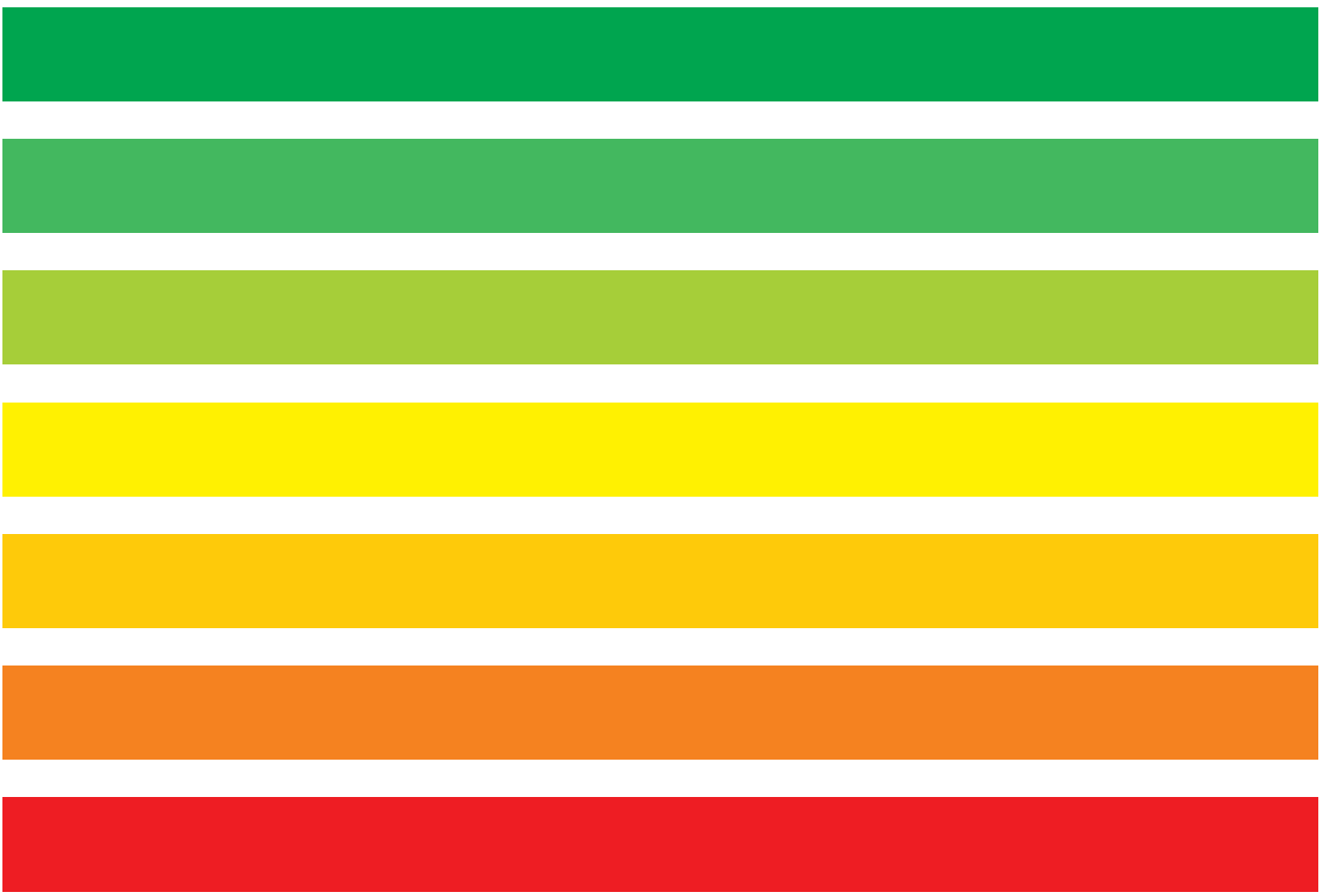


# PRIRUČNIK ZA ENERGETSKO CERTIFICIRANJE ZGRADA







# Priručnik za energetska certificiranje zgrada



Poticanje energetske  
efikasnosti u Hrvatskoj

## IMPRESSUM

*Program Ujedinjenih naroda za razvoj (UNDP), je svjetska mreža UN-a za razvoj, koja zagovara promjene i povezivanje država sa znanjem, iskustvom te potencijalima kako bi se stanovnicima omogućilo da izgrade bolji život. Djelujemo u 166 država, pomažući im kako bi našli vlastita rješenja za izazove globalnog i nacionalnog razvoja. Razvojem lokalnih kapaciteta, te se države oslanjaju na ljude iz UNDP-a i široki raspon naših partnera. Kratki dijelovi ove publikacije mogu se reproducirati nepromijenjeni, bez odobrenja autora i pod uvjetom da se navede izvor. U ovoj publikaciji iznesena su mišljenja autora i nužno ne predstavljaju službeno stajalište UNDP-a.*

*U sklopu nacionalnog projekta „Poticanje energetske efikasnosti u Hrvatskoj“, a uz financiranje Fonda za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost, UNDP provodi i nacionalni projekt „Sustavno gospodarenje energijom u gradovima i županijama“, te Program Vlade RH „Dovesti svoju kuću u red“ koji imaju za cilj povećanje energetske učinkovitosti i uvođenje metodologije sustavnog gospodarenja energijom u objektima u vlasništvu gradova, županija i države. Kroz navedene programe provodi se niz edukativnih aktivnosti, a organizirana je i priprema edukacijskih materijala koji imaju za cilj jačanje kapaciteta javne uprave za provođenje mjera energetske učinkovitosti, kao i stručnjaka koji se bave projektiranjem, upravljanjem i održavanjem zgrada i njihovih energetskih sustava.*

Nakladnik: Program Ujedinjenih naroda za razvoj - UNDP

Urednici: Prof.dr.sc. Branimir Pavković, Dr.sc. Vlasta Zanki

Tehnički urednici: Mislav Kirac, Iva Nekić

Suradnici na tehničkoj pripremi: Ana Mirković, Jelena Šantek, Anita Vugrinski, Jasmin Mekanović, Hrvoje Relota

### Autori:

Prof.dr.sc. Mladen Andrassy (Poglavlje 12)

Prof.dr.sc. Igor Balen (Poglavlje 8)

Prof.dr.sc. Ivanka Boras (Poglavlje 3)

Doc.dr.sc. Damir Dović (Poglavlje 7)

Željka Hrs Borković (Poglavlja 1, 2, 4)

Prof.dr.sc. Kristian Lenić (Poglavlje 11)

Doc.dr.sc. Dražen Lončar (Poglavlje 10)

Prof.dr.sc. Branimir Pavković (Poglavlje 5)

Doc.dr.sc. Vladimir Soldo (Poglavlje 9)

Mr.sc. Boris Sučić (Poglavlje 13)

Prof.dr.sc. Srećko Švaić (poglavlje 6)

### Recenzenti:

Prof.dr.sc. Bernard Franković (Poglavlja 7, 10, 11, 12)

Prof.dr.sc. Tonko Ćurko (Poglavlja 5, 6, 8, 9)

Silvio Novak (Poglavlja 1, 2, 3, 4,)

Dr.sc. Zoran Morvaj (Poglavlje 13)

Grafičko oblikovanje i naslovnica: Predrag Rapaić

Lektura: Vicko Krampus

Tisak: Tiskara Zelina

Prvo izdanje 2010

Naklada: 2500

Copyright © 2010

**ISBN: 978-953-7429-25-6**

CIP zapis dostupan u računalnom katalogu Nacionalne sveučilišne knjižnice u Zagrebu pod brojem 746680

## PREDGOVOR UREDNIKA

Provođenjem politike energetske učinkovitosti ostvaruju se ciljevi koje je Republika Hrvatska definirala Strategijom energetskog razvoja, a u skladu s energetskom politikom Europske unije. Smanjenje neposredne potrošnje energije za 9% do 2016. godine jasno je definiran cilj za postizanje uravnoteženog energetskog sustava koji se temelji na sigurnoj opskrbi energijom, konkurentnosti i očuvanju okoliša.

S udjelom u neposrednoj potrošnji energije u Republici Hrvatskoj od približno 40%, zgradarstvo je najveći potrošač energije i ima najveći potencijal za ostvarenje ušteda. Prvi korak prema smanjenju potrošnje energije u zgradama je provedba energetskih pregleda kojima se utvrđuje postojeće stanje i daje prijedlog mjera za poboljšanje energetske učinkovitosti, čime se stvara podloga za energetska certificiranje zgrada.

Fond za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost Republike Hrvatske provodi i potiče projekte i programe energetske učinkovitosti i korištenja obnovljivih izvora energije. Značajan broj projekata provedbe energetskih pregleda i energetske učinkovitosti proveden je upravo u području zgradarstva.

Izdavanje ovog priručnika omogućuje pregled tehničkih znanja iz područja energetike i građevinarstva potrebnih za kvalitetnu provedbu energetskog certificiranja zgrada, čime je ostvaren važan iskorak prema postizanju strateških energetskih ciljeva Republike Hrvatske.

*Fond za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost*

## UVODNA RIJEČ UREDNIKA

U procesu pristupanja Republike Hrvatske Europskoj uniji i usklađivanja hrvatskog zakonodavstva s europskom pravnom stečevinom, jedna od važnijih aktivnosti u području zgradarstva i energetske učinkovitosti je prijenos Direktive o energetskim svojstvima zgrada (Directive 2002/91/EC on Energy Performance of Buildings). Europske inicijative s kraja 2008. godine, sadržane u paketu mjera za poticanje korištenja energije iz obnovljivih izvora i prerađenoj Direktivi o energetskim svojstvima zgrade (Directive 2010/31/EU on the Energy Performance of Buildings - recast) postavljaju sektor graditeljstva u ključnu ulogu energetske politike i politike zaštite okoliša u Europi. Ove se inicijative baziraju na ranije utvrđenim ciljevima Europske unije za razdoblje od 2007. do 2020. godine, a to su 20% smanjenje emisije stakleničkih plinova, 20% povećanje energetske učinkovitosti, povećanje udjela obnovljivih izvora energije na 20% u ukupnoj energetskej potrošnji, te 10% udio biogoriva u transportu.

Temeljem odredbi Zakona o prostornom uređenju i gradnji u Republici Hrvatskoj doneseni su podzakonski akti koji detaljnije uređuju područje energetske učinkovitosti u graditeljstvu, a to su: Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti zgrada, Tehnički propis o sustavima ventilacije, djelomične klimatizacije i klimatizacije zgrada, Tehnički propis o sustavima grijanja i hlađenja zgrada, Tehnički propis za prozore i vrata, Tehnički propis za dimnjake u građevinama, Pravilnik o uvjetima i mjerilima za osobe koje provode energetske preglede i energetska certificiranje zgrada, te Pravilnik o energetskom certificiranju zgrada.

Posljednja dva propisa uspostavila su okvir za pripremu procesa certificiranja građevina u Republici Hrvatskoj, čija je provedba otpočela u travnju 2010. Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva donijelo je metodologiju energetskih pregleda, a s obukom osoba koje trebaju provoditi energetske preglede i energetska certificiranje zgrada otpočelo se prema dogovorenom programu u više institucija koje je ovlastilo Ministarstvo.

Program Ujedinjenih naroda za razvoj (UNDP) s Ministarstvom gospodarstva, rada i poduzetništva u srpnju 2005. godine pokrenuo je projekt „Poticanje energetske efikasnosti u Hrvatskoj“. Cilj projekta je podizanje svijesti građanstva o efikasnoj potrošnji energije te poticanje primjene ekonomski isplativih, energetski efikasnih (EE) tehnologija, materijala i usluga u Hrvatskoj. Pored potpore za izradu tehničke dokumentacije i stručne i tehničke pomoći, jedan od najvažnijih instrumenata provedbe projekta bili su i energetski pregledi zgrada na kojima su već i prije početka provedbe postupka energetskog certificiranja (prema Pravilniku o energetskom certificiranju zgrada) stečena iskustva provedbe i kontrole rezultata preliminarnih energetskih studija. Na osnovu iskustava nastalih provođenjem energetskim pregleda u sklopu EE projekta nastao je i Priručnik za provođenje energetskih pregleda u zgradama koji je dostupan na web stranicama EE projekta ([www.ee.undp.hr](http://www.ee.undp.hr)).

S obzirom na interdisciplinarnost potrebnu kod provedbe energetskih pregleda i izrade energetskih certifikata s prijedlogom mjera poboljšanja energetskih svojstava zgrade, pokazala se od samoga početka provedbe obuke potreba za izradom priručnika koji će na jednom mjestu obuhvatiti znanja potrebna arhitektima, građevinskim, strojarskim i elektrotehničkim inženjerima koji sudjeluju u certificiranju zgrada. U ovdje predstavljenom priručniku, koji je financirao Fond za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost u okviru programa Vlade RH za učinkovito korištenje energije u državnim objektima „Dovesti svoju kuću u red“ koji provodi UNDP, a izradili su ga stručnjaci koji na ovlaštenim institucijama provode obuku osoba koje će provoditi energetske preglede i energetska certificiranje zgrada, dan je dio takvih znanja.

Prvo poglavlje priručnika obuhvaća osvrt na europske i hrvatske propise u svezi s energetskim certificiranjem, uspostavom sustava certificiranja i djelovanjem ovlaštenih osoba. U drugom poglavlju daje se pregled hrvatske i europske tehničke regulative. U trećem poglavlju dane su osnove proračuna kretanja zraka, topline i vlage u građevini te prikaz fizikalnih procesa koji se odvijaju u građevinskim strukturama. Četvrto poglavlje sadrži tipologiju izgradnje zgrada prema vremenu gradnje i energetskim potrebama, smjernice za integraciju elemenata za korištenje obnovljivih izvora energije u arhitekturu, opis svojstava građevinskih materijala, te analizu zgrade i njezinih građevinskih dijelova.

U petom poglavlju dan je osvrt na osnovne izvore i transformaciju energije, a u nastavku su opisani sustavi grijanja građevina i potrošne tople vode s osvrtom na njihove sastavne dijelove i značajke potrošnje energije. Šesto poglavlje također se odnosi na sustave grijanja, s naglaskom na detalje na koje je potrebno obratiti pažnju kod energetskih pregleda takvih sustava. U sedmom poglavlju opisani su potencijali i način primjene obnovljivih izvora energije s naglaskom na primjenu Sunčeve energije. Osmo poglavlje sadrži prikaz sustava klimatizacije s njihovim elementima, opis mogućnosti povrata topline u klimatizacijskim sustavima i prijedlog mjera za poboljšanje njihovih svojstava. Na početku poglavlja dani su uvjeti toplinske ugodnosti kod

boravka čovjeka u zgradi, te opis osnovnih promjena stanja zraka u klimatizaciji. U devetom poglavlju opisani su principi rada rashladnih uređaja, njihove radne tvari, te je dan prikaz rashladnih sustava i sustava s dizalicama topline, kao i i njihovih komponenti s osvrtom na energetska učinkovitost. U desetom poglavlju opisane su tehnologije kogeneracije, značajke i dimenzioniranje kogeneracijskih postrojenja, te informacije o stjecanju statusa povlaštenog proizvođača električne energije.

Jedanaesto poglavlje sadrži detaljan opis metodologije proračuna gubitaka i dobitaka topline zgrade, kao i metodologije proračuna potrošnje energije u zgradarstvu prema Pravilniku o energetskom certificiranju zgrada, odnosno odgovarajućim normama. U dvanaestom poglavlju dane su teoretske osnove i prikaz izvedbe i primjene termografskih sustava koji mogu biti vrlo koristan alat kod provedbe energetskih pregleda zgrada. Konačno, u trinaestom poglavlju dan je osvrt na učinkovitost elektrotehničkih sustava zgrade, njihov pregled i moguće mjere poboljšanja njihovih svojstava.

Izrazita interdisciplinarnost cjelokupne problematike obuhvaćene u ovom priručniku, velik broj različitih hrvatskih i europskih propisa koji se koriste pri proračunima, te suradnja više autora iz različitih područja, rezultirala je neizbježnim, donekle neujednačenim načinom prikazivanja, označavanja i tumačenja pojmova. Osim manjih intervencija u cilju izbjegavanja ponavljanja iste tematike na različitim mjestima, urednici nisu intervenirali u sadržaj pojedinih poglavlja, pa u tekstovima različitih autora ima neizbježnih ponavljanja i razlika u oznakama koje označavaju iste varijable i fizikalne veličine. Ima i slučajeva da se različite varijable označavaju istim oznakama. U cilju boljeg razumijevanja, na početku priručnika dan je i popis oznaka u kojemu je pored oznake, naziva i jedinice mjere varijable ili fizikalne veličine navedeno i poglavlje u kojemu se ta oznaka pojavljuje u spomenutom obliku.

Svi zakoni, propisi, pravilnici i norme na koje se pozivaju autori u tekstu navedeni su također na kraju priručnika u posebnom prilogu.

Kako do izlaska ovoga priručnika iz tiska nije bio izrađen računalni program za proračune potrošnje energije u zgradarstvu, njegov opis nije obuhvaćen ovim priručnikom, iako je ranija namjera bila da se i to učini. Taj posao ostaje za mogući drugi dio ovog priručnika, za koji smatramo da bi trebao sadržavati i primjere dobre prakse kod provedbe energetskih pregleda i izrade certifikata, te opis metodologije izračuna učinka najčešće predlaganih mjera za poboljšanje svojstava zgrada i njihovih sustava. Time bi bio ostvaren doprinos poboljšanju kvalitete energetskih certifikata u procesu stalnog stručnog usavršavanja osoba koje provode energetske preglede i energetska certificiranje, što je jedan od važnih zahtjeva obnovljene Direktive o energetskim svojstvima zgrada, kao i Pravilnika o energetskom certificiranju zgrada. Kvalitetan postupak certificiranja zgrada bi u svakom slučaju trebao dodatno potaknuti primjenu mjera energetske učinkovitosti u građevinama te smanjenje potrošnje energije i emisije stakleničkih plinova.

U Zagrebu 18. listopada 2010.

Dr. sc. Vlasta Zanki  
Prof. dr. sc. Branimir Pavković





**SADRŽAJ**

Predgovor urednika	
Uvodna riječ urednika	
Sadržaj	
Popis slika	
Popis tablica	
Popis oznaka	
<b>1. ENERGETSKO CERTIFICIRANJE U HRVATSKOJ</b>	<b>1</b>
1.1. EU Direktiva 2002/91/EC o energetskim svojstvima zgrada (EPBD)	1
1.1.1. Ključni elementi i ciljevi Direktive	1
1.1.2. Novelacija Direktive 2002/91/EC o energetskim svojstvima zgrada	5
1.2. Ostale relevantne EU Direktive u području energetske učinkovitosti	6
1.2.1. Direktiva 89/106/EEC o usklađivanju zakonskih i upravnih propisa država članica ograđevnim proizvodima (CPD1)	7
1.2.2. Direktiva 2006/32/EC o energetske učinkovitosti i energetskim uslugama	8
1.2.3. Direktiva 2005/32/EC, 2009/125/EC o uspostavi okvira za utvrđivanje zahtjeva za ekološki dizajn proizvoda koji koriste energiju	9
1.2.4. Direktiva 2004/8/EC o promociji kogeneracije bazirane na korisnim toplinskim potrebama na unutrašnjem tržištu energije	10
1.2.5. Direktiva 92/75/EEC o obveznom označavanju energetske učinkovitosti kućanskih uređaja	10
1.2.6. Direktiva 93/76/EEC o ograničavanju emisija ugljičnog dioksida kroz povećanje energetske učinkovitosti	11
1.2.7. Direktiva 2003/87/EC o uspostavi sustava trgovanja dozvolama za emitiranje stakleničkih plinova unutar EU-a	11
1.2.8. Direktiva 2004/101/EC o uspostavi sustava trgovanja dozvolama za emitiranje stakleničkih plinova, s obzirom na primjenu mehanizama Protokola iz Kyota	11
1.2.9. Akcijski plan Europske komisije o energetske učinkovitosti - ušteda za 20% do 2020. godine	1
1.3. Implementacija Eu Direktive 2002/91/ec o energetskim svojstvima zgrada u Hrvatsko zakonodavstvo	12
1.3.1. Akcijski plan za implementaciju Europske direktive o energetskim svojstvima zgrada u hrvatsko zakonodavstvo	12
1.3.2. Zakon o učinkovitom korištenju energije u neposrednoj potrošnji (NN 152/2008)	13
1.3.3. Zakon o prostornom uređenju i gradnji (NN 76/07 i 38/09)	14
1.3.4. Uspostava administrativne strukture	15
1.4. Osnove energetske certificiranja stambenih i nestambenih zgrada te zgrada javne namjene	15
1.4.1. Osnove energetske pregleda i energetske certificiranja	15
1.5. Nacionalna metodologija energetske pregleda zgrada	20

1.6. Uvjeti i mjerila za osobe koje provode energetske preglede i energetska certificiranje zgrada	24
1.7. Djelovanje ovlaštenih osoba i tržište	25
1.8. Sustav administracije i kontrola	27
Reference (1. poglavlje)	31
<b>2. TEHNIČKA REGULATIVA U HRVATSKOJ</b>	33
2.1. Pravilnik o energetska certificiranju zgrada (NN 36/10)	34
2.2. Pravilnik o uvjetima i mjerilima za osobe koje provode energetske preglede i energetska certificiranje zgrada (NN 113/08 i 89/09)	43
2.3. Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (NN 110/08 i 89/09) s pripadajućim normama	48
2.4. Tehnički propis za prozore i vrata (NN 69/06) s pripadajućim normama	57
2.5. Tehnički propis o sustavima grijanja i hlađenja zgrada (NN 110/08) s pripadajućim normama	60
2.6. Tehnički propis o sustavima ventilacije, djelomične klimatizacije i klimatizacije zgrada (NN 03/07) s pripadajućim normama	65
2.7. Tehnički propis za dimnjake u građevinama (NN 03/07) s pripadajućim normama	69
2.8. Pregled normi za provedbu EPBD-a	73
2.8.1. Krovni dokument TR 15615	73
2.8.2. Norme za proračun ukupne energije u zgradama	73
2.8.3. Norme vezane za proračun isporučene finalne energije	75
2.8.4. Norme vezane za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje	77
2.8.5 Norme vezane uz praćenje i potvrđivanje energetska svojstava	81
Reference (2. poglavlje)	83
<b>3. ENERGETIKA I FIZIKA ZGRADE</b>	85
3.1. Vlažni zrak: kretanje zraka, topline i vlage	85
3.1.1. Svojstva vlažnog zraka	85
3.1.2. Kondenzacija vodene pare na zidovima građevinskih elemenata	90
3.1.3. Difuzija vlage	93
3.1.4. Proračun kondenzacije i isušivanja vlage	98
3.1.5. Kapilarno kretanje vlage	100
3.2. Oznake i mjerne jedinice	101
3.2.1. Osnovne mjerne jedinice SI sustava	101
3.2.2. Osnovne mjerne jedinice transporta topline i vlage	101
3.3. Fizikalni procesi u građevnim strukturama	102
3.3.1. Temperatura i toplina	102
3.3.2. Mehanizmi transporta topline	103
Reference (3. poglavlje)	130

<b>4. OSNOVE ZGRADARSTVA I IZVEDBE ZGRADE</b>	<b>133</b>
4.1. Tipologija izgradnje i podjela zgrada prema razdoblju gradnje i energetske potrebe	133
4.1.1. Stambene zgrade	133
4.1.2. Nestambene zgrade	137
4.1.3. Zgrade građene prije 1940. godine	138
4.1.4. Zgrade građene u razdoblju od 1940. do 1970. godine	150
4.1.5. Zgrade građene u razdoblju od 1970. do 1987. godine	154
4.1.6. Zgrade građene u razdoblju od 1987. do 2006. godine	160
4.1.7. Suvremena izgradnja	162
4.1.8. Integracija elemenata za korištenje obnovljivih izvora energije u arhitekturu	166
4.2. Materijali	174
4.2.1. Materijali općenito, vrste i svojstva	174
4.2.2. Vrsta i svojstva toplinsko izolacijskih materijala	176
4.2.3. Ugradba, sustavi zaštite	186
4.3. Analiza zgrade i građevnih dijelova, slaganje sustava građevnih dijelova	190
4.3.1. Negrijani dijelovi zgrade, određivanje temperaturnih zona	190
4.3.2. Podovi	193
4.3.3. Krovovi	196
4.3.4. Zidovi	200
4.3.5. Tipovi vrata i prozora, te karakteristike i vrste stakla i profila	206
4.3.6. Sustavi zaštite od Sunčevog zračenja i njihova učinkovitost	214
4.3.7. Zrakopropusnost zgrada	221
4.3.8. Zrakopropusnost prozora i vrata	223
4.4. Toplinski mostovi	225
4.4.1. Definiranje toplinskih mostova	225
4.4.2. Posljedice jakih toplinskih mostova	229
4.4.3. Načini i sredstva za smanjenje utjecaja toplinskih mostova	230
4.4.4. Proračun utjecaja toplinskog mosta na toplinske gubitke	232
PRILOG I (4. poglavlje)	242
Reference (4. poglavlje)	245
<b>5. SUSTAVI GRIJANJA</b>	<b>247</b>
5.1. Izvori i pretvorba energije	247
5.1.1. Prirodni izvori energije	247
5.1.2. Pretvorba energije	248
5.1.3. Konačna energija - oblici i svojstva	251
5.2. Sustavi grijanja	260

5.2.1. Pojedinačna (lokalna) grijanja	260
5.2.2. Centralna grijanja	269
5.2.3. Daljinska grijanja	275
5.2.4. Sustavi zagrijavanja sanitarne potrošne vode	281
5.3. Sastavni dijelovi sustava centralnog grijanja	288
5.3.1. Kotlovi	288
5.3.2. Plamenici	308
5.3.3. Pumpe	314
5.3.4. Ekspanzija prijenosnika topline	323
5.3.5. Ogrjevna tijela i površine	323
5.3.6. Cjevovodi i armatura	332
5.3.7. Sustavi za odvod plinova izgaranja	349
5.4. Regulacija grijanja	355
Reference (5. poglavlje)	365
<b>6. KOMPONENTE SUSTAVA GRIJANJA: ISPITIVANJE I PREGLED</b>	367
6.1. Kotlovi za sustave grijanja i pripremu sanitarne vode	367
6.1.1. Europske i hrvatske norme za gradnju i ispitivanje toplovodnih i vrelovodnih kotlova	367
6.1.2. Mjerni instrumenti i uređaji	380
6.1.3. Aktivnosti koje je potrebno obaviti kroz energetska pregled	382
6.2. Sustavi za proizvodnju toplinske i električne energije	384
6.2.1. Kogeneracija	384
6.2.2. Trigeneracija	386
6.2.3. KTE sustavi na biomasu	386
6.2.4. Područja primjene KTE sustava	386
6.2.5. Prednosti i mane	387
6.2.6. Primjena	387
6.2.7. Aktivnosti koje je potrebno obaviti kroz energetska audit	388
6.3. Sustavi za ulje i plin	389
6.3.1. Podjela	389
6.3.2. Tehničke karakteristike uljnih i plinskih sustava za dobavu goriva	389
6.3.3. Zahtjevi na instalacije	391
6.3.4. Norme	392
6.3.5. Aktivnosti koje je potrebno obaviti kroz energetska audit	393
6.4. Dimnjaci	393
6.4.1. Podtlak dimnjaka	393
6.4.2. Presjek dimnjaka	394

6.4.3. Izgaranje i produkti izgaranja	395
6.4.4. Aktivnosti koje je potrebno obaviti kroz energetski audit	400
6.5. Cjevovodi i armatura	401
6.5.1. Armatura za hidrauličko balansiranje	401
6.5.2. Mjerenje temperature i protoka	403
6.5.3. Aktivnosti koje je potrebno obaviti kroz energetski pregled	403
6.6. Regulacija sustava	404
6.6.1. Kriteriji za izbor regulacije grijanja	404
6.6.2. Kontrola sustava	405
6.6.3. Aktivnosti koje je potrebno obaviti kroz energetski pregled	406
6.7. Kapacitet sustava grijanja	406
6.7.1. Potrebna snaga sustava grijanja	406
6.7.2. Godišnji stupanj djelovanja	408
6.7.3. Aktivnosti koje je potrebno obaviti kroz energetski pregled	408
Reference (6. poglavlje)	409
<b>7. ALTERNATIVNI SUSTAVI I OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE ZA GRIJANJE, HLAĐENJE I PRIPREMU POTROŠNE TOPLE VODE</b>	<b>411</b>
7.1. Obnovljivi izvori energije	411
7.1.1. Princip obnovljivosti energije	411
7.1.2. Karakteristike obnovljive energije	413
7.2. Pregled osnovnih vrsta obnovljivih izvora energije	413
7.2.1. Sunčeva energija	413
7.2.2. Biomasa	415
7.2.3. Vjetar	417
7.2.4. Geotermalna energija	418
7.2.5. Ostale vrste obnovljivih izvora	419
7.3. Sunčevo zračenje	421
7.3.1. Karakteristike	421
7.3.2. Geometrija Zemlje i Sunca	422
7.3.3. Zračenje na nagnutu plohu	423
7.4. Kolektori Sunčevog zračenja	426
7.4.1. Pločasti kolektori	426
7.4.2. Optimalni kut kolektora	427
7.4.3. Izmjena topline u pločastom kolektoru	429
7.4.4. Efikasnost kolektora	430
7.4.5. Utjecaj konstrukcije i materijala na toplinske karakteristike	431
7.4.6. Raspodjela strujanja u kolektorima	434

7.4.7. Ostali tipovi kolektora	434
7.5. Sunčani toplovodni sustavi	438
7.5.1. Vrste i karakteristike	438
7.5.2. Regulacija	443
7.5.3. Dijelovi i oprema sunčanih sustava	443
7.5.4. Ispitivanja sunčanih kolektora i sustava	444
7.6. Hlađenje pomoću Sunčeve energije	446
7.7. Simulacija i ekonomično dimenzioniranje sunčanih sustava	447
7.7.1. Metode proračuna	447
7.7.2. Rezultati simulacije	449
7.7.3. Vrijeme povrata investicije	450
7.7.4. Optimizacija kolektorske površine i zapremine spremnika	450
7.8. Popis mjera za povećanje efikasnosti sunčanih toplovodnih sustava	452
7.9. Fotonaponske ćelije i sustavi	453
7.9.1. Vrste i karakteristike fotonaponskih ćelija	453
7.9.2. Fotonaponski sustavi	456
7.10. Primjeri povećanje energetske učinkovitosti	457
7.10.1. Primjer 1 - Proračun energetskih ušteda kod ugradnje sunčanog sustava prema HRN EN 15316-4-3	457
7.10.2. Primjer 2 - Analiza primjene mjere energetske učinkovitosti u stambenoj zgradi	463
7.11. Zaključak	468
Prilog (7. poglavlje)	468
Reference (7. poglavlje)	472
<b>8. SUSTAVI VENTILACIJE I KLIMATIZACIJE</b>	475
8.1. Uvod	475
8.2. Toplinska ugodnost	476
8.2.1. Definicija	476
8.2.2. Čimbenici	476
8.2.3. Model toplinske ravnoteže (PMV-PPD)	486
8.3. Vlažni zrak	488
8.3.1. Definicija	488
8.3.2. Stanje vlažnog zraka	489
8.3.3. Osnovni procesi	491
8.4. Ventilacija	497
8.4.1. Uvod	497
8.4.2. Podjela	498
8.4.3. Ventilacijski zahtjevi	509

8.4.4. Ukupni protok zraka	511
8.5. Klimatizacija	512
8.5.1. Uvod	512
8.5.2. Vrste sustava	514
8.6. Komponente sustava	535
8.6.1. Uvod	535
8.6.2. Grijač	537
8.6.3. Hladnjak	540
8.6.4. Povrat topline	544
8.6.5. Ovlaživač	553
8.6.6. Filtar	555
8.6.7. Ventilator	559
8.6.8. Kanalski razvod	564
8.6.9. Distributer	569
8.7. Preporuke	573
Reference (8. poglavlje)	575
<b>9. RASHLADNI SUSTAVI I DIZALICE TOPLINE, OPREMA I KOMPONENTE</b>	<b>577</b>
9.1. Uvod	577
9.2. Parni kompresijski rashladni uređaji	577
9.3. Sorpcijski, termoelektrični i ejektorski rashladni uređaji	582
9.3.1. Sorpcijski rashladni uređaji	582
9.3.2. Termoelektrični rashladni uređaji (Peltierov proces)	585
9.3.3. Ejektorski rashladni uređaji	586
9.4. Radne tvari kompresijskih rashladnih sustava	587
9.4.1. Sintetičke radne tvari	588
9.4.2. Prirodne radne tvari	589
9.4.3. Utjecaj radnih tvari na okoliš	590
9.4.4. Radne tvari i njihove ekološki prihvatljive zamjene	592
9.4.5. Ulja za radne tvari	593
9.5. Komponente kompresijskih rashladnih uređaja	594
9.5.1. Kompresori	594
9.5.2. Kondenzatori	597
9.5.3. Prigušni ventili	599
9.5.4. Isparivači	600
9.6. Cjevovodi i pomoćne komponente	602
9.6.1. Izolacija cjevovoda	602



9.7. Posredni i neposredni sustavi hlađenja	606
9.7.1. Posredni sustavi hlađenja - rashladnici vode	606
9.7.2. Neposredni sustav hlađenja - VRF sustav	609
9.7.3. Energetska usporedba posrednog i neposrednog sustava hlađenja zgrade	610
9.8. Upravljanje rashladnim sustavima	612
9.9. Dizalice topline	615
9.9.1. Načini rada dizalice topline	617
9.9.2. Izvori topline za dizalice topline	619
9.9.3. Ekonomski pokazatelji primjene dizalica topline	630
9.10. Umjsto zaključka	633
Reference (9. poglavlje)	634
<b>10. KOGENERACIJA</b>	637
10.1. Uvod	637
10.2. Definicija i značajke kogeneracije	637
10.3. Kogeneracijske tehnologije	639
10.4. Značajke kogeneracijskih postrojenja	644
10.5. Dimenzioniranje kogeneracijskog postrojenja	645
10.6. Ekonomska izvodljivost	649
10.7. Status povlaštenosti	651
10.8. Licenciranje	652
10.9. Kogeneracija u normi EN 15316	653
10.10. Zaključak	656
Reference (10. poglavlje)	657
<b>11. METODOLOGIJA PRORAČUNA TOPLINSKE ENERGIJE</b>	659
11.1. Osnove meteorologije (zone, proračunski parametri)	659
11.1.1. Općenito	659
11.1.2. Referentni klimatski podaci	660
11.1.3. Stvarni klimatski podaci	663
11.1.4. Proračunski parametri	664
11.2. Utjecaj geometrije zgrade i faktora oblika na energrtsku potrošnju	664
11.3. Metodologija proračuna gubitka topline prema HRN EN 12831	667
11.3.1. Općenito	667
11.3.2. Ukupni toplinski gubitak pojedinačnog grijanog prostora	668
11.3.3. Toplinsko opterećenje cijele zgrade	672
11.3.4. Pojednostavljena metoda	672
11.4. Metodologija proračuna dobitka topline prema VDI 2078	673

11.4.1. Ukupni toplinski dobici	673
11.4.2. Unutarnji izvori topline	674
11.4.3. Vanjski toplinski izvori	676
11.5. Metodologija proračuna potrošnje energije u zgradarstvu prema Pravilniku o energetska certificiranju zgrada (NN 36/10)	678
11.5.1. Općenito	678
11.5.2. Godišnje potrebna toplinska energija za grijanje prema HRN EN ISO 13790	687
11.5.3. Godišnja potrebna toplinska energija za zagrijavanje potrošne tople vode (prema HRN EN 15316-3-1)	711
11.5.4. Općenito o proračunu gubitaka sustava grijanja i sustava pripreme potrošne tople vode	713
11.5.5. Godišnji toplinski gubici sustava grijanja prema HRN EN 15316	720
11.5.6. Godišnji toplinski gubici sustava za pripremu potrošne tople vode (PTV) prema HRN EN 15316	728
11.5.7. Godišnje potrebna energija za hlađenje prema HRN EN ISO 13790	734
11.5.8. Godišnji gubici sustava hlađenja prema HRN EN 15243	739
11.5.9. Godišnja potrebna energija za hlađenje	744
11.5.10. Godišnja potrebna energija za ventilaciju u sustavu prisilne ventilacije, djelomične klimatizacije i klimatizacije $Q_{ve}$ uključujući gubitke prema HRN EN ISO 13790, HRN EN 15241, HRN EN 15243	744
11.5.11. Godišnja potrebna energija za rasvjetu prema HRN EN 15193	745
11.5.12. Godišnja potrebna energija za pogon pomoćnih sustava prema HRN EN 15316, HRN EN 15241, HRN EN 15243	746
11.5.13. Godišnja isporučena energija zgradi prema HRN EN 15316, HRN EN 15241, HRN EN 15243	746
11.5.14. Godišnja primarna energija	747
11.5.15. Godišnja emisija CO <sub>2</sub>	748
Reference (11. poglavlje)	749
<b>12. TERMOGRAFIJA</b>	751
12.1. Termodinamičke osnove	751
12.1.1. Toplinsko zračenje	751
12.2. Temperatura i mjerenje temperature	759
12.2.1. Uvod	759
12.2.2. Mjerenje temperature	759
12.3. Termografski sustavi	767
12.3.1. Uvod	767
12.3.2. Svojstva termografije i termografskih uređaja	768
12.3.3. Načela rada termografskog uređaja	768
12.4. Analiza termograma	779
12.4.1. Svjetloća površine - odašiljano zračenje	779
12.4.2. Termografski prikaz - termogram	779
12.4.3. Tehnike analize termografskog prikaza	782
12.5. Primjena termografije u zgradarstvu	786

12.5.1. Značajke transporta topline kroz građevinske elemente	786
12.5.2. Termografska mjerenja u zgradarstvu	787
12.5.3. Postupak pripreme i provedbe termografskog mjerenja na objektu	790
Reference (12. poglavlje)	792
<b>13. ELEKTRIČNA ENERGIJA U ZGRADARSTVU</b>	<b>795</b>
13.1. Općenito o elektroenergetskom sustavu u zgradama	795
13.2. Električna rasvjeta	796
13.2.1. Općenito o svjetlu - svjetlosne veličine	796
13.2.2. Izvori svjetlosti	799
13.2.3. Regulacija - upravljanje rasvjetom, ovisnost o dnevnom svjetlu	805
13.3. Elektromotorni pogoni u zgradarstvu	806
13.4. Ostala oprema i sustavi	808
13.5. Sustavi za inteligentno upravljanje u zgradarstvu - inteligentne zgrade	808
13.6. Zaključak	809
Reference (13. poglavlje)	810
<b>PRILOG I (tehnička i zakonska regulativa)</b>	<b>813</b>

## POPIS SLIKA

### 1. Poglavlje

Slika 1.1 - Metodologija proračuna prema EPBD-u, osnovna shema CEN standarda	3
Slika 1.2 - Prijedlog izgleda energetskega certifikata iz prEN 15217 - Energy performance of buildings - Methods for expressing energy performance and for energy certification of buildings, te energetskega certifikata usvojen u RH	4
Slika 1.3 - Ciljevi energetske politike do 2020. godine u EU	9
Slika 1.4 - Prva i treća stranica energetskega certifikata za stambene zgrade	19
Slika 1.5 - Prva i treća stranica energetskega certifikata za nestambene zgrade	19
Slika 1.6 - ICT snimke napravljene prilikom energetskega pregleda u svrhu vizualizacije toplinskih mostova i nehomogenosti vanjskog zida, EIHP, 2008.	21

### 2. Poglavlje

Slika 2.1 - Prilagodba zakonodavstva RH europskim direktivama	33
Slika 2.2 - Grafički prikaz energetskega razreda stambene zgrade	36
Slika 2.3 - Grafički prikaz energetskega razreda nestambene zgrade	37

### 3. Poglavlje

Slika 3.1 - Dijagram ovisnosti maksimalne mase vodene pare u zraku o njegovoj temperaturi ( $p = 1$ bar)	85
Slika 3.2 - Dijagram promjene relativne vlažnosti zraka tijekom dana uz pretpostavljeni stalan sadržaj vlage i promjenjivu temperaturu zraka	87
Slika 3.3 - Mollierov dijagram	88
Slika 3.4 - Dijagram ovisnosti razreda unutarnje vlažnosti o vanjskoj temperaturi zraka	89
Slika 3.5 - Primjer konstrukcijskog toplinskog mosta i profil temperature unutrašnje površine zida	90
Slika 3.6 - Primjer konstrukcijskog toplinskog mosta: nosivi poprečni armirano-betonski zid	91
Slika 3.7 - Primjer geometrijskog toplinskog mosta. Strelice pokazuju smjer povećane gustoće toplinskog toka	91
Slika 3.8 - Temperaturna raspodjela po poprečnom presjeku građevinskog elementa	93
Slika 3.9 - Princip difuzije vodene pare kroz građevne elemente	95
Slika 3.10 - Različiti slučajevi stanja vlage u presjecima građevinskih elemenata	96
Slika 3.11 - Difuzija vodene pare s isušivanjem u ravnini kondenzacije	99
Slika 3.12 - Kapilarno dizanje vlage u zidovima	100
Slika 3.13 - Provođenje topline	104
Slika 3.14 - Jednodimenzijско provođenje topline kroz homogeni ravni sloj: toplinski tok okomit na površinu sloja	104
Slika 3.15 - Jednodimenzijско provođenje topline kroz element s više homogenih slojeva	105
Slika 3.16 - Ovisnost toplinske provodnosti zida od opeke o vlažnosti opeke	107
Slika 3.17 - Provođenje topline kroz slojeve različitih debljina	108
Slika 3.18 - Provođenje topline kroz slojeve različitih toplinskih provodnosti	108
Slika 3.19 - Tipičan model slobodne konvekcije	109
Slika 3.20 - Ovisnost koeficijenta prijelaza topline o brzini vjetra za vertikalnu plohu	110
Slika 3.21 - Opći slučaj izmjene topline zračenjem između dvaju tijela	111
Slika 3.22 - Prolazak topline kroz građevinski element sastavljen od više homogenih slojeva	114
Slika 3.23 - Uz proračun toplinskog otpora nehomogenih građevinskih slojeva	117
Slika 3.24 - Uz primjer proračuna toplinskog otpora elementa građevine koji se sastoji od homogenih i nehomogenih slojeva	118
Slika 3.25 - Prolazak topline kroz jednoslojni ravni zid	120
Slika 3.26 - Građevinski element s provjetranom fasadom	125
Slika 3.27 - Građevinski element - lagana konstrukcija	125
Slika 3.28 - Raspodjela temperatura po pojedinim slojevima vanjskog zida	128
Slika 3.29 - Raspodjela parcijalnih tlakova vodene pare i tlakova zasićenja po pojedinim slojevima	129

#### 4. Poglavlje

Slika 4.1 - Kretanje prosječne potrošnje toplinske energije u zgradama RH u ovisnosti o zakonodavnom okruženju, izvor EIHP	134
Slika 4.2 - Zastupljenost obiteljskih kuća u ukupnoj stambenoj izgradnji	134
Slika 4.3 - Podjela nastanjenih stanova prema godini izgradnje	136
Slika 4.4 - Kućanstva prema broju članova prema popisima od 1953. do 2001. godine	137
Slika 4.5 - Postojeće stanje zgrade i njene vanjske ovojnice	146
Slika 4.6 - Postojeće stanje zgrade - tlocrt prizemlja	146
Slika 4.7 - Termografske snimke stanja vanjske ovojnice i tipični toplinski mostovi	147
Slika 4.8 - Prijedlog mogućeg izgleda nakon provedene energetske obnove	147
Slika 4.9 - Pogled prema zgradi prije i nakon rekonstrukcije (Arch DI Ingrid Domenig-Meisinger)	148
Slika 4.10 - Celulozna sačasta struktura fasadnog panela i njeno fizikalno djelovanje	149
Slika 4.11 - Zgrada u fazi rekonstrukcije i po završetku	149
Slika 4.12 - Postojeće stanje zgrade	151
Slika 4.13 - Tlocrt prizemlja	152
Slika 4.14 - Zgrada nakon provedene energetske rekonstrukcije	153
Slika 4.15 - Termografske snimke pročelja, prije rekonstrukcije, vizualizacija toplinskih gubitaka	154
Slika 4.16 - Usporedba termografske snimke istog detalja pročelja prije i nakon rekonstrukcije, izvor EIHP	154
Slika 4.17 - Dopušteni i korigirani zadovoljavajući koeficijenti prolaska topline W/m <sup>2</sup> K za vanjski zid ovisno o zakonodavnom okruženju	155
Slika 4.18 - Stanje zgrade prije rekonstrukcije	156
Slika 4.19 - Tlocrt karakteristične etaže i zgrada nakon rekonstrukcije	156
Slika 4.20 - Stanje vanjske ovojnice prije rekonstrukcije	158
Slika 4.21 - Tlocrt prizemne etaže i zgrada nakon energetske rekonstrukcije	159
Slika 4.22 - Usporedba termograma prije (lijevo) i nakon rekonstrukcije (desno), izvor EIHP	160
Slika 4.23 - Potrošnja energije u zgradama ovisno o zakonodavnom okruženju i usporedba s potrošnjom u niskoenergetskim i pasivnim zgradama, izvor EIHP	161
Slika 4.24 - Tlocrt karakteristične etaže i pogledi na realizirano rješenje	162
Slika 4.25 - Sunčani sustavi za grijanje i PTV integrirani u elemente pročelja i ograde terase	167
Slika 4.26 - Elementi sunčanih fotonaponskih sustava i integracija na staklenu površinu	169
Slika 4.27 - Fotonaponski sustavi kao višefunkcionalni element transparentnih ploha pročelja	170
Slika 4.28 - Fotonaponski sustavi kao višefunkcionalni element pročelja i krova	170
Slika 4.29 - Fotonaponski sustavi kao višefunkcionalni element zaštite od sunca	170
Slika 4.30 - Fotonaponski sustavi kao višefunkcionalni element pokrova	171
Slika 4.31 - Sanyo poslovna zgrada - Solar Ark, Gifu Prefecture, Japan, višefunkcionalni fasadni element s integriranim sustavom fotonaponskih modula od 630 kW, te proizvodnjom energije od oko 530.000 kWh godišnje	171
Slika 4.32 - Integrirani višefunkcionalni sustavi - Poslovna zgrada AG u Linzu, Austrija, 66 kW, te nadstrešnica u Bastadu, Švedska, 38,7 kW	171
Slika 4.33 - Primjer vjetroagregata s horizontalnim i vertikalnim vratilom	172
Slika 4.34 - Primjer vjetroagregata integriranog na zgradu i u okoliš	173
Slika 4.35 - Poslovna zgrada - World Trade Center Bahrain, (Atkins Design Studio)- tri vjetroagregata od 225 kW, promjera 29 m pokrivaju 15% energije dva poslovna tornja od 50 katova	173
Slika 4.36 - Tradicijski materijali vezani su na mikrolokaciju građenja	174
Slika 4.37 - Masivne nosive konstrukcije i pozicija toplinske izolacije	176
Slika 4.38 - Položaj toplinske izolacije u građevnom dijelu	177
Slika 4.39 - Usporedba debljina toplinske izolacije u odnosu na toplinske karakteristike vanjskog zida	179
Slika 4.40 - Kamena vuna i polistiren - najčešće korišteni materijali za toplinsku izolaciju	180
Slika 4.41 - Organski toplinsko izolacijski materijali - prirodni - ekspanzirano pluto - ploče i pamuk - filc	182
Slika 4.42 - Organski toplinsko izolacijski materijali - prirodni - celulozna vlakna - rasuti materijal i drvena vuna	182

Slika 4.43 - Organski toplinsko izolacijski materijali - umjetni - tvrde pjene - EPS - ekspanzirani polistiren - ploče i XPS - ekstrudirani polistiren	182
Slika 4.44 - XPS - ekstrudirani polistiren - struktura zatvorenih ćelija - minimalna vodoupojnost	183
Slika 4.45 - PUR - poliuretan u pločama i prskani poliuretan	183
Slika 4.46 - Anorganski toplinsko izolacijski materijali - vlaknasti - filčevi i ploče - MW - staklena vuna - filc i MW - kamena vuna - ploče	183
Slika 4.47 - Ekspanzirani perlit - nasip i pjenasto staklo - CG	184
Slika 4.48 - Toplinsko izolacijski materijali složenog porijekla "kombi" ploče s MW jezgrom i s EPS jezgrom	184
Slika 4.49 - Specijalni toplinsko izolacijski materijali - transparentne kapilarne ploče za upijanje topline i VIP - vakuumske izolacijske ploče	184
Slika 4.50 - VIP3 s vanjske strane zida - ploče se moraju zaštititi, ovjes na plastičnim vodilicama	185
Slika 4.51 - VIP s unutrašnje strane zida - spojevi se moraju prelijepiti Al samoljepljivim folijama radi postizanja efikasne parne brane (TI iznutra), ploče zaštititi od oštećenja (proboja folije)parne brane (TI iznutra), ploče zaštititi od oštećenja (proboja folije)	185
Slika 4.52 - VIP u sastavu lake fasadne ostakljene stijene i klasična toplinska izolacija istih karakteristika prolaska topline $U = 0.26 \text{ W/m}^2\text{K}$	186
Slika 4.53 - Specijalni toplinsko izolacijski materijali - dvoslojne folije za refleksiju IC zračenja	186
Slika 4.54 - Toplinska izolacija podne međukatne konstrukcije u svrhu zvučne izolacije topota, tzv. plivajući pod	187
Slika 4.55 - Toplinska izolacija poda negrijanog potkrovlja	187
Slika 4.56 - Toplinska izolacija kosog krova grijanog potkrovlja	188
Slika 4.57 - Toplinska izolacija laganih zidova prema negrijanom prostoru	188
Slika 4.58 - Toplinska izolacija podnožja vanjskog zida pjenastim staklom	189
Slika 4.59 - Toplinska izolacija vanjskog zida - ventilirana fasada	189
Slika 4.60 - Određivanje temperaturnih zona zgrade	192
Slika 4.61 - Karakteristični slojevi poda na tlu - toplinska izolacija u sredini konstrukcije	193
Slika 4.62 - Karakteristični slojevi poda na tlu - toplinska izolacija s vanjske strane konstrukcije	194
Slika 4.63 - Karakteristični slojevi poda na tlu - toplinska izolacija s unutarnje strane konstrukcije	194
Slika 4.64 - Karakteristični slojevi poda iznad vanjskog zraka ili prema negrijanom prostoru ispod - ETICS fasadni sustav	195
Slika 4.65 - Karakteristični slojevi poda iznad vanjskog zraka ili prema negrijanom prostoru ispod - ovješena stropna konstrukcija	195
Slika 4.66 - Pravilna izvedba toplinske izolacije kosog krova i spoja sa zidnom izolacijom kod lagane krovne konstrukcije	196
Slika 4.67 - Pravilna izvedba toplinske izolacije stropa prema negrijanom tavanu i spoja sa zidnom izolacijom	197
Slika 4.68 - Pravilna izvedba toplinske izolacije ravnog krova i spoja sa zidnom izolacijom	197
Slika 4.69 - Pravilna izvedba toplinske izolacije kosog krova i spoja sa zidnom izolacijom kod masivne krovne konstrukcije	198
Slika 4.70 - Pravilna izvedba toplinske izolacije ravnog krova s umetnutim gotovim elementom za prekid toplinskog mosta i spoj sa zidnom izolacijom	198
Slika 4.71 - Načini rješavanja problema toplinskih mostova kod konzolnih istaka balkonskih ploča	199
Slika 4.72 - Temperaturne krivulje za neizolirani i izolirani zid od opeke	200
Slika 4.73 - Temperaturne krivulje za neizolirani i izolirani zid od armiranog betona	201
Slika 4.74 - Pravilna izvedba toplinske izolacije vanjskog zida kod kompaktne fasade	201
Slika 4.75 - Pravilna izvedba toplinske izolacije vanjskog zida kod ventilirane fasade	202
Slika 4.76 - Prirodno ventilirana dvostruka fasada	204
Slika 4.77 - Dvostruka ventilirana fasada prema unutra - aktivna fasada (1), dvostruka ventilirana fasada prema van - interaktivna fasada (2), prirodno ventilirana fasada s dodatnim zasjenjenjem (3), te prirodno ventilirana dvostruka bioklimatska fasada (4.4)	205
Slika 4.78 - Prozori prema načinu otvaranja	206
Slika 4.79 - Prozori prema sastavu krila	207
Slika 4.80 - Temperature na unutarnjoj površini stakla u ovisnosti o vrsti ostakljenja	209
Slika 4.81 - Toplinski kvalitetni profili od PVC-a, drva i aluminija	209
Slika 4.82 - Dodatno poboljšanje toplinskih karakteristika prozora može se postići s toplinskom izolacijom u profilu i/ili ugrađenim trostrukim izo staklom	210

Slika 4.83 - Dobro izolirajuće kutije za rolete	211
Slika 4.84 - Tekstilna obloga pročelja stvara zonu s povećanim strujanjem zraka ispred pročelja	220
Slika 4.85 - Vanjska zaštita od sunca kao element arhitekture	220
Slika 4.86 - Oprema za ispitivanje zrakopropusnosti	221
Slika 4.87 - Tipične greške izvedbe - zrakopropusnost reške oko prozora (lijevo) i strujanje zraka kroz šupljine u PU pjenu (desno) s brzinom strujanja zraka kroz reške	222
Slika 4.88 - Neobrađeni prodori uz instalacije	222
Slika 4.89 - Instalacijski zid nije zrakonepropustan - prodor zraka kroz tipkalo ugradnog vodokotlića	222
Slika 4.90 - Neobrađen i obrađen detalj prodora instalacije kroz krovšte	223
Slika 4.91 - Prolaz zaštitne cijevi elektroinstalacija kroz zrakonepropustan sloj (lijevo) i fazonski rukavci za brtvljenje elektroinstalacija (desno)	223
Slika 4.92 - Prikaz toplinskog mosta na neizoliranom uglu zgrade, te isti nakon izvedbe toplinske izolacije	226
Slika 4.93 - Toplinski most prouzrokovan promjenom materijala	227
Slika 4.94 - Temperatura (lijevo) i gustoća toplinskog toka (desno) u presjeku toplinskog mosta uzrokovanog promjenom materijala	227
Slika 4.95 - Toplinski most prouzrokovan promjenom debljine konstrukcije	228
Slika 4.96 - Temperatura (lijevo) i gustoća toplinskog toka (desno) u presjeku toplinskog mosta uzrokovanog promjenom debljine konstrukcije	228
Slika 4.97 - Tipični toplinski mostovi prouzrokovani promjenom geometrije konstrukcije	228
Slika 4.98 - Temperatura (lijevo) i gustoća toplinskog toka (desno) u toplinskom mostu prouzrokovanom promjenom geometrije konstrukcije	229
Slika 4.99 - Tipične posljedice toplinskih mostova	230
Slika 4.100 - Ispravna ugradnja prozora u svrhu smanjenja utjecaja toplinskih mostova	231
Slika 4.101 - Izvedba prekida toplinskog mosta ubacivanjem izolacijskog elementa za prekid toplinskog mosta u oplatu prije betoniranja, uz potrebno statičko povezivanje	231
Slika 4.102 - Katalog toplinskih mostova - R (krov) - HRN EN ISO 14603:2008	234
Slika 4.103 - Katalog toplinskih mostova - B (balkon) - HRN EN ISO 14603:2008	235
Slika 4.104 - Katalog toplinskih mostova - IW (sudar unutarnjeg i vanjskog zida) - HRN EN ISO 14603:2008	235
Slika 4.105 - Katalog toplinskih mostova - C (ugao vanjskog zida) - HRN EN ISO 14603:2008	236
Slika 4.106 - Katalog toplinskih mostova - P (stup) - HRN EN ISO 14603:2008	236
Slika 4.107 - Katalog toplinskih mostova - IF (sudar međukatne konstrukcije i vanjskog zida) - HRN EN ISO 14603:2008	237
Slika 4.108 - Katalog toplinskih mostova - GF (prema tlu) - HRN EN ISO 14603:2008	238
Slika 4.109 - Katalog toplinskih mostova - W (prozor) - HRN EN ISO 14603:2008	239
Slika 4.110 - Katalog toplinskih mostova Xella Waermebruecken 2006 4.0	241

## 5. Poglavlje

Slika 5.1 - Izvori energije	248
Slika 5.2 - Pretvorba energije	249
Slika 5.3 - Sječka i cjepanice	259
Slika 5.4 - Briketi i peleti	259
Slika 5.5 - Kamini	260
Slika 5.6 - Kamin prema DIN 18895	261
Slika 5.7 - Površina poprečnog presjeka dimnjaka za kamin	261
Slika 5.8 - Zidana kaljeva peć	262
Slika 5.9 - Željezne peći	263
Slika 5.10 - Željezne trajnožareće peći s progorijevanjem (lijevo) i s donjim izgaranjem (desno) [5.4]	263
Slika 5.11 - Grijalica sa svijetlim zračenjem	264
Slika 5.12 - Grijalica sa tamnim zračenjem	265
Slika 5.13 - Uljna peć	266
Slika 5.14 - Centralno snabdijevanje gorivom za uljne peći	266
Slika 5.15 - Kalorifer	267

Slika 5.16 - Grijalice zračenjem	267
Slika 5.17 - Grijalice konvekcijom (DeLonghi)	268
Slika 5.18 - Podni električni grijač	268
Slika 5.19 - Električna akumulacijska grijalica - presjek i vanjski izgled	269
Slika 5.20 - Otvoreno gravitacijsko toplovodno grijanje	270
Slika 5.21 - Otvoreno gravitacijsko toplovodno grijanje s donjim razvodom	271
Slika 5.22 - Povezivanje i promjena temperatura u sustavu jednocijevnog grijanja	271
Slika 5.23 - Jednocijevni sustav - etažno grijanje	272
Slika 5.24 - Osiguranje protoka kroz radijator kod ugradnje prolaznog ventila	272
Slika 5.25 - Jednocijevni sustav toplovodnog grijanja za višekatnu zgradu s horizontalnim ograncima	272
Slika 5.26 - Jednocijevni sustav toplovodnog grijanja za višekatnu zgradu s vertikalnim glavnim vodovima	273
Slika 5.27 - Povezivanje radijatora u sustavu sa specijalnim ventilima za jednocijevno etažno grijanje	273
Slika 5.28 - Jednocijevni ventil	274
Slika 5.29 - Dvocijevni sustav toplovodnog grijanja donji razvod	274
Slika 5.30 - Dvocijevni sustav toplovodnog grijanja gornji razvod	275
Slika 5.31 - Dvocijevni razvod - gore obični, dolje Tiechelman	275
Slika 5.32 - Sustav daljinskog grijanja i proizvodnje električne energije	276
Slika 5.33 - Načini vođenja cjevovoda kod daljinskih grijanja - a) polaganje direktno u zemlju, b) stupovi za slobodno vođenje cijevi, c) kanali za vođenje cjevovoda	277
Slika 5.34 - Vrste toplovodnih mreža - a) jednostavna radijalna mreža, b) kružna mreža, c) razgranata kružna mreža gradskog područja	277
Slika 5.35 - Povezivanje vrelovoda s kućnom podstanicom - indirektni sustav	278
Slika 5.36 - Povezivanje vrelovoda s kućnom podstanicom - direktni sustav	278
Slika 5.37 - Sustav parnog daljinskog grijanja s kućnom podstanicom	279
Slika 5.38 - Mjerenje potrošnje na vrelovodu	280
Slika 5.39 - Izgled razdjelnika s isparivanjem	280
Slika 5.40 - Protočni sustav zagrijavanja potrošne tople vode	281
Slika 5.41 - Bojleri za centralno zagrijavanje potrošne tople vode ugrađeni na kotlu	281
Slika 5.42 - Centralni sustav zagrijavanja potrošne tople vode (PTV) s izdvojenim spremnikom PTV	282
Slika 5.43 - Funkcionalna shema rada dizalice topline za zagrijavanje PTV	283
Slika 5.44 - Dizalica topline za zagrijavanje potrošne tople vode	283
Slika 5.45 - Sustav za zaštitu od legionelle	284
Slika 5.46 - Sustav za povrat otpadne topline sanitarne vode	288
Slika 5.47 - Kotlovi s jednim prolazom (A), kotlovi s dva prolaza (B), kotlovi s tri prolaza (C), kotlovi s povratnim strujanjem u ložištu (D)	289
Slika 5.48 - Lijevano željezni kotao na cjepanice ili ugljen	289
Slika 5.49 - Čelični pirolitički kotao na cjepanice	290
Slika 5.50 - Čelični kotlovi za biomasu: lijevo kotao s plamenikom na pelete; desno kotao s izgaranjem u fluidiziranom sloju	290
Slika 5.51 - Čelični kondenzacijski kotao na ulje	290
Slika 5.52 - Niskotemperaturni uljno - plinski kotao s pretlačnim plamenikom	291
Slika 5.53 - Niskotemperaturni lijevanoželjezni kotao s atmosferskim plamenikom na plin [5.18]	291
Slika 5.54 - Kondenzacijski kotao s katalitičkim plamenikom na plin	292
Slika 5.55 - Električni kotao	292
Slika 5.56 - Niskotemperaturni lijevani člankasti kotlovi - konstrukcija	293
Slika 5.57 - Niskotemperaturni čelični kotlovi - konstrukcija	293
Slika 5.58 - Plinski kotao s atmosferskim plamenikom bez ventilatora	294
Slika 5.59 - Plinski kombinirani grijač vode s atmosferskim plamenikom - pogon s ventilatorom za izlazne plinove	295
Slika 5.60 - Iskorištenje topline kod niskotemperaturnog i kondenzacijskog kotla	296
Slika 5.61 - Temperatura rošenja za zemni plin i loživo ulje	296
Slika 5.62 - Krivulja stupanj dana grijanja	297
Slika 5.63 - Polazna temperatura grijanja u sustavu 90/70°C i raspodjela potrošnje za različite vanjske temperature	298



Slika 5.64 - Polazna temperatura grijanja u sustavu 75/60°C i raspodjela potrošnje za različite vanjske temperature	298
Slika 5.65 - Polazna temperatura grijanja u sustavu 50/40°C i raspodjela potrošnje za različite vanjske temperature	299
Slika 5.66 - Način spajanja rada kondenzacijskog kotla za dva temperaturna režima povrata	299
Slika 5.67 - Funkcionalna shema prolaza tople vode i dimnih plinova kod kondenzacijskog kotla	300
Slika 5.68 - Stupnjevi korisnosti kotlova s uljnim ili plinskim gorivom prema uputstvima (92/42EWG)	301
Slika 5.69 - Stupnjevi korisnosti različitih izvedbi kotlova kod parcijalnih opterećenja	302
Slika 5.70 - Krivulja srednjih vanjskih temperatura i određivanje broja stupanj dana grijanja	303
Slika 5.71 - Stupanj iskorištenja kondenzacijskog kotla	306
Slika 5.72 - Gubici pogonske pripravnosti kotla	307
Slika 5.73 - Dijelovi procesa izgaranja	309
Slika 5.74 - Shematski prikaz plamenika s raspršivanjem ulja pod tlakom	309
Slika 5.75 - Jednocijevni sustav s jednim vodom za pumpu (gore) i jednocijevni sustav s dva voda za pumpu (dolje)	310
Slika 5.76 - Plamenik s dvocijevnim sustavom (lijevo), prstenasti vod s nekoliko plamenika (desno) 1 - ventil za reduciranje laka 2 - odzračivanje	310
Slika 5.77 - Plinski atmosferski plamenici: injekcijski plamenik s pločastim reakcijskim tijelom (gore) i injekcijski plamenik s cilindričnim reakcijskim tijelom (dolje)	311
Slika 5.78 - Plamenik s predmiješanjem	312
Slika 5.79 - Emisije dušičnih oksida različitih sustava izgaranja	312
Slika 5.80 - Spajanje plinskog plamenika na prirodni plin	313
Slika 5.81 - Primjer spajanja plinskog plamenika na ukapljeni naftni plin	313
Slika 5.82 - Plinska rampa	314
Slika 5.83 - Linijska pumpa (lijevo) i duplex pumpa (desno)	316
Slika 5.84 - Karakteristika pumpe jednog proizvođača	316
Slika 5.85 - Karakteristike pumpi različitih promjera s ucrtanim stupnjevima korisnosti	317
Slika 5.86 - Tipične $\dot{V}-H$ karakteristike cirkulacijskog cjevovoda i centrifugalne pumpe	317
Slika 5.87 - Tipične $\dot{V}-H$ karakteristike otvorenog cjevovoda i centrifugalne pumpe	318
Slika 5.88 - Dvije pumpe jednakih $\dot{V}-H$ karakteristika u paralelnom radu	318
Slika 5.89 - Dvije pumpe jednakih $\dot{V}-H$ karakteristika u serijskom radu - prikaz primjene i $\dot{V}-H$ krivulje	319
Slika 5.90 - Regulacija dobave promjenom broja okretaja u cirkulacijskom cjevovodu	319
Slika 5.91 - Regulacija dobave promjenom broja okretaja u otvorenom cjevovodu	320
Slika 5.92 - Promjena volumena vode uslijed promjene temperature	321
Slika 5.93 - Shema instalacije grijanja s otvorenim (lijevo) i zatvorenim (desno) sustavom ekspanzije	321
Slika 5.94 - Ekspanzijska posuda s membranom	322
Slika 5.95 - Uređaj za automatsko održavanje tlaka u sustavu	322
Slika 5.96 - Temperature u sustavu grijanja radijatorima	323
Slika 5.97 - Ogrjevna tijela	324
Slika 5.98 - Smještaj ogrjevnog tijela a) ispod prozora, b) na unutarnjem zidu	324
Slika 5.99 - Temperaturni profili različitih vrsta grijanja: a) idealno, b) radijator na vanjskom zidu, c) radijator na unutarnjem zidu	324
Slika 5.100 - Standardni lijevanoželjezni radijatori	325
Slika 5.101 - Standardni čelični radijatori	326
Slika 5.102 - Standardni čelični cijevni radijatori	326
Slika 5.103 - Pločasta ogrjevna tijela: glatka (lijevo), profilirana (desno)	327
Slika 5.104 - Standardni čelični cijevni radijatori za kupaonice	327
Slika 5.105 - Glatke cijevi (lijevo) i orebrene cijevi (desno)	327
Slika 5.106 - Ugradnja i izrada konvektora	328
Slika 5.107 - Ugradnja konvektora a) ispod prozora; b) pored zida; c) slobodno postavljen; d), e) ugrađen u zidu; f), g), h) u podu; i) iza klupe	328
Slika 5.108 - Shematski prikaz ventilatorskog konvektora	329
Slika 5.109 - Temperaturni profili različitih vrsta grijanja: a) idealno, b) podno, c) stropno	330
Slika 5.110 - Neke izvedbe sustava stropnog grijanja i hlađenja	330

Slika 5.111 - Izvedba stropnog grijanja i hlađenja s perforiranim panelima iz gipsanih ploča za zvučnu izolaciju	331
Slika 5.112 - Izvedbe podnih grijanja i hlađenja	331
Slika 5.113 - Gotovi paneli za podna grijanja - izgled i ugradnja	331
Slika 5.114 - Cjevovodi i armatura	332
Slika 5.115 - Različite vrste cijevi a) polietilenske b) bakrene u kolutu i šipci c) iz nerđajućeg čelika	333
Slika 5.116 - Načini spajanja cijevi - a) zavarivanjem, b) navojem, c) prirubnicama	333
Slika 5.117 - Ventil	334
Slika 5.118 - Zasun	334
Slika 5.119 - Leptirasta zaklopka	334
Slika 5.120 - Kuglasta slavina	334
Slika 5.121 - Ventili za regulaciju protoka	335
Slika 5.122 - Sigurnosni ventili a) s oprugom, b) s utegom	335
Slika 5.123 - Nepovratni ventili	335
Slika 5.124 - Hvatači nečistoće	336
Slika 5.125 - Odvajač kondenzata s plovkom (lijevo), termički odvajač kondenzata (desno)	336
Slika 5.126 - Termodinamički odvajač kondenzata	337
Slika 5.127 - Odzračni ventili	337
Slika 5.128 - Pad tlaka kod strujanja vode temperature 80°C u čeličnim cijevima	342
Slika 5.129 - Cijev izolirana s dva sloja izolacije	343
Slika 5.130 - Optimalna debljina izolacije	347
Slika 5.131 - Optimalna debljina izolacije cjevovoda - primjer	347
Slika 5.132 - Optimalna debljina izolacije prema VDI 2055/1982.	348
Slika 5.133 - Tlakovi u sustavu za odvod plinova izgaranja iz kotla s prirodnim propuhom i s nadtlakom [5.4]	349
Slika 5.134 - Odnosi tlakova u postrojenju s ložištem prema EN 13384	350
Slika 5.135 - Odnosi temperatura u postrojenju s ložištem prema EN 13384	351
Slika 5.136 - Promjer dimnjaka za uljno i plinsko ložište za kotlove s malim otporom	352
Slika 5.137 - Nastavci za dimnjake koji povećavaju podtlak	353
Slika 5.138 - Ventilatori za dimne plinove, lijevo - ventilator na glavi, desno: pojačivač podtlaka	353
Slika 5.139 - Uvjeti temperature i tlaka prema EN 13384 za sustave za odvođenje plinova niske temperature	354
Slika 5.140 - Graničnik propuha	354
Slika 5.141 - Načini ugradnje graničnika propuha	355
Slika 5.142 - Lokalna regulacija - lijevo ručna, desno termostatskim ventilom	356
Slika 5.143 - Termostatski radijatorski ventil - način rada	356
Slika 5.144 - Termostatski radijatorski ventil	357
Slika 5.145 - Učinak ogrjevnog tijela u ovisnosti o sobnoj temperaturi uslijed djelovanja termostatskog radijatorskog ventila	357
Slika 5.146 - Zonska regulacija sobne temperature zonskim ventilima	357
Slika 5.147 - Mjerna, upravljačka i regulacijska postava za sustav grijanja	358
Slika 5.148 - Centralna automatska regulacija temeljem vanjske temperature i lokalna regulacija termostatskim ventilima	358
Slika 5.149 - Regulacija temperature u polaznom vodu ovisno o vanjskoj temperaturi	359
Slika 5.150 - Promjena temperature s vremenom	359
Slika 5.151 - Centralna automatska regulacija temeljem vanjske temperature s optimizacijom i lokalna regulacija termostatskim ventilima	360
Slika 5.152 - Regulacija uljnih ili plinskih kotlova u ovisnosti o sobnoj temperaturi	361
Slika 5.153 - Regulacija uljnih ili plinskih kotlova u ovisnosti o vanjskoj temperaturi	362
Slika 5.154 - Osnovne hidrauličke sheme pri regulaciji troputnim ventilima	363
Slika 5.155 - Regulacija miješanjem	363
Slika 5.156 - Regulacija prigušivanjem	364

## 6. Poglavlje

Slika 6.1 - Zahtjevi na dimenzije ložišta	368
Slika 6.2 - Zahtjevi na stupanj djelovanja na nazivnoj i djelomičnoj snazi 0,3 QN	368
Slika 6.3 - Zahtjevi na pretičak zraka	369
Slika 6.4 - Zahtjevi na maksimalni potlak dimnjaka	369
Slika 6.5 - Maksimalni otpor ložišta za kotlove s pretlakom	369
Slika 6.6 - Stupnjevi djelovanja toplovodnih kotlova na kruto gorivo	371
Slika 6.7 - Maksimalni dopušteni potlak dimnjaka u ovisnosti o nazivnom učinku	371
Slika 6.8 - Ventili sigurnosti (a. rasteretni ventil za kapljevine, b sigurnosni ventil za plinove i pare)	373
Slika 6.9 - Tipsko ispitivanje toplovodnog kotla	375
Slika 6.10 - Ispitna linija s mješalištem	375
Slika 6.11 - Ispitna linija s izmjenjivačem topline	376
Slika 6.12 - Mjerna linija za određivanja pada tlaka na strani vode	377
Slika 6.13 - Raspored termoparova kod mjerenja temperature podloge	377
Slika 6.14 - Mjerenje potrošnje goriva, a-kruto, b-kapljevito, c-plinovito	378
Slika 6.15 - Mjerenje potrošnje goriva, topline predane vodi i sastava dimnih plinova	379
Slika 6.16 - Gubici na okolinu kao funkcija nazivnog učinka	380
Slika 6.17 - Uređaj za mjerenje sastava dimnih plinova	380
Slika 6.18 - Određivanje koeficijenta prijelaza topline	381
Slika 6.19 - Pumpa za mjerenje dimnog broja	381
Slika 6.20 - Određivanje količine dimnih plinova	381
Slika 6.21 - Mjerenje potrošnje goriva vaganjem	382
Slika 6.22 - Mjerenje protoka vode	382
Slika 6.23 - KTE s plinskim motorom	385
Slika 6.24 - Veliki KTE sustav	385
Slika 6.25 - Mikro KTE sustav	386
Slika 6.26 - Plinski kogeneracijski uređaj	386
Slika 6.27 - Smještaj malih UNP spremnika, zone opasnosti	389
Slika 6.28 - Shematski prikaz isparivača UNP	390
Slika 6.29 - Pretlačni i atmosferski plinski plamenik	390
Slika 6.30 - Ukopani i nadzemni spremnik za EL. loživo ulje	391
Slika 6.31 - Kotlovnica velikog kapaciteta s prostorom za ostale uređaje	391
Slika 6.32 - Priključivanje trošila na dimnjak i različite izvedbe dimnjaka	394
Slika 6.33 - Cijevni razvod s regulacijom protoka pojedine dionice i ogrjevnog tijela	401
Slika 6.34 - Ugradnja regulatora diferencijalnog tlaka	402
Slika 6.35 - Ugradnja regulatora diferencijalnog tlaka	402
Slika 6.36 - Ugradnja prestrujnog ventila	403
Slika 6.37 - a) Uređaj za mjerenje diferencijalnog tlaka (služi za podešavanje regulacijskih ventila i određivanje protoka kroz ventil); b) Ventil s mjernim priključcima	403
Slika 6.38 - Regulacija preko vanjske temperature s mješajućim ventilom	404
Slika 6.39 - Sustav s više kotlovnih jedinica (standardni kotlovi)	407

## 7. Poglavlje

Slika 7.1 - Energija Sunčevog zračenja pretvorena u različite oblike obnovljivih energija na Zemlji	411
Slika 7.2 - Prirodni tok obnovljive energije na Zemlji (jedinica 1 TW)	412
Slika 7.3 - Tijek obnovljive i energije iz fosilnih goriva kroz okoliš	412
Slika 7.4 - Udio pojedinih izvora energije u ukupnoj svjetskoj potrošnji primarne energije 2006. godine	414
Slika 7.5 - Korištenje pojedinih vrsta obnovljivih energija u svijetu 2006. godine	414
Slika 7.6 - Udio pojedinih izvora energije u ukupnoj potrošnji primarne energije u EU, (udio obnovljivih je 7,8% u 2007.)	414

Slika 7.7 - Korištenje pojedinih vrsta obnovljivih energija u EU	415
Slika 7.8 - Udio pojedinih izvora energije u ukupnoj potrošnji primarne energije u R. Hrvatskoj 2007. g.	415
Slika 7.9 - Uređaji za izgaranje biomase - kotao na a) ogrjevno drvo i b) na pelete	416
Slika 7.10 - Vjetroagregat s horizontalnom osi	417
Slika 7.11 - Mala vjetroagregat ( 70 W) i regulator punjenja	418
Slika 7.12 - Jedan od primjera postrojenja za proizvodnju el. energije uz pomoć geotermalnog izvora	419
Slika 7.13 - Sustav daljinskog grijanja na sjeveru Pariza koji koristi geotermalni izvor tople vode, snaga 3-5 MW	419
Slika 7.14 - Zračenje prema i sa Zemlje	421
Slika 7.15 - Direktno i difuzno Sunčevo zračenje	421
Slika 7.16 - Definicija zemljopisne širine( $f$ ) i dužine( $y$ ), te meridijalne i ekvatorijalne ravnine	422
Slika 7.17 - Promjena nagiba Zemljine osi tijekom okretanja oko Sunca	423
Slika 7.18 - Godišnja varijacija Sunčeve ozračenosti horizontalne plohe tijekom vedra dana u ovisnosti o zemljopisnoj širini	423
Slika 7.19 - Definicija kutova za nagnutu plohu izloženu direktnom Sunčevom zračenju	424
Slika 7.20 - Lokalna raspodjela difuznog zračenja pri razdobljima s raznim indeksima prozračnosti	425
Slika 7.21 - Sunčani sustav za pripremu PTV -a s pločastim kolektorima	426
Slika 7.22 - Razne izvedbe pločastih kolektora	426
Slika 7.23 - Pločasti kolektor s pokrovnim staklom	427
Slika 7.24 - a) Optimalni nagib kolektora u proljeće i jesen, ljeti i zimi, b) relativno kretanje Sunca promatrano sa Zemlje tijekom pojedinih godišnjih doba	428
Slika 7.25 - Utjecaj nagiba kolektora ( $\beta = 0^\circ - 90^\circ$ ) na njegovu godišnju ozračenost, mjerene vrijednosti	428
Slika 7.26 - Optimalne vrijednosti kuta nagiba kolektora b	428
Slika 7.27 - Osnovni mehanizmi izmjene topline u pločastom kolektoru, analogija s električnim krugovima	429
Slika 7.28 - Raspodjela temperatura (K) na ponavljajućem segmentu apsorbera (simulacija u FLUENT -u)	429
Slika 7.29 - Raspodjela temperatura u međuprostoru između apsorbera i stakla (simulacija u FLUENT -u)	430
Slika 7.30 - Mjerene vrijednosti efikasnosti pločastog kolektora i regresijski polinom	431
Slika 7.31 - Utjecaj emisivnosti apsorbera i propusnosti stakla na efikasnost pločastog kolektora, $\alpha = 0,95$	431
Slika 7.32 - Rezultati mjerenja na dva različito prolemljena kolektora, $a = 0.9$ i $e = 0.106$	432
Slika 7.33 - Rezultati mjerenja kolektora s TINOX premazom i laserski zavarenim cijevima za ploču apsorbera	432
Slika 7.34 - Raspodjela temperature u materijalu apsorbera, zavara i cijevi	433
Slika 7.35 - Utjecaj $\alpha$ na efikasnost kolektora, temeljeno na CFD simulacijama u FLUENT	433
Slika 7.36 - a) paralelni i b) serijski spoj kolektora	434
Slika 7.37 - a) Konstrukcija s apsorberom nanesenim na koncentričnu cijev kroz koju struji fluid (s i bez reflektirajućih zrcala) b) konstrukcija s U cijevi i ravnim apsorberom c) konstrukcija s koaksijalno postavljenom polaznom i povratnom cijevi i ravnim apsorberom d) konstrukcija s tzv. toplinskom cijevi	435
Slika 7.38 - Efikasnosti različitih konstrukcija kolektora	436
Slika 7.39 - Neostakljeni apsorberi	436
Slika 7.40 - Koncentrirajući kolektori	437
Slika 7.41 - Sunčev toranj (10 MWe) u južnoj Kaliforniji, 1818 heliostatskih zrcala	437
Slika 7.42 - Termosifonski sunčevi sustav s prirodnom cirkulacijom, raspored temperatura	438
Slika 7.43 - Primjer kompaktnog termosifonskog sustava	438
Slika 7.44 - Sustav s jednim spremnikom za pripremu PTV -a	439
Slika 7.45 - Primjeri toplovodnih sustava s dvostrukim spremnikom	439
Slika 7.46 - Primjeri toplovodnih sustava s dvostrukim spremnikom	440
Slika 7.47 - Toplovodni sustav s dva spremnika	440
Slika 7.48 - a) Sustav s protočnim grijačem (izmjenjivačem) PTV -a, b) spremnik s protočnim grijačem kombiniran s manjim akumulacijskim spremnikom	441
Slika 7.49 - Sunčani sustav za pripremu tople vode temp. $35^\circ\text{C}$ u prehrambenoj industriji s pločastim izmjenjivačem toplin kolektorskog kruga, nominalni toplinski učinak 500 kW	442
Slika 7.50 - a) kolektor montiran na krov b) kolektor montiran kao dio krova	443
Slika 7.51 - Sunčani sustav s grupama kolektora montiranih na krovne nosače	443
Slika 7.52 - Ispitna linija za mjerenje toplinskih karakteristika kolektora	445

Slika 7.53 - Apsorpcijski rashladni sustav (dizalica topline)	446
Slika 7.54 - Shema sunčanog rashladnog sustava za klimatizaciju	447
Slika 7.55 - Primjer satne potrošnje PTV -a u kućanstvu kroz dan	448
Slika 7.56 - Simulirane vrijednosti promjene temperatura u spremniku PTV -a tijekom dana za optimirani sunčani sustav u a) Zagrebu i b) Splitu	449
Slika 7.57 - Optimalna površina kolektora u ovisnosti o broju osoba	452
Slika 7.58 - Izračunato vrijeme povrata investicije (godina) u ovisnosti o broju osoba, a) usporedba s plinom, b) usporedba s električnom energijom kao energentom u konvencionalnom dijelu sustava	452
Slika 7.59 - Fotonaponska ćelija-princip rada PN spoja	454
Slika 7.60 - a) Spajanje fotonaponskih ćelija u modul, b) fotonaponski modul u obliku panela	454
Slika 7.61 - Ovisnost napona U i jakosti struje I o intenzitetu Sunčevog zračenja	455
Slika 7.62 - Fotonaponski modul kombiniran s cijevnim izmjenjivačem na poleđini za zagrijavanje tople vode	455
Slika 7.63 - Način spajanja fotonaponskog modula s potrošačima preko regulatora punjenja/praznjenja baterije i DC/AC pretvarača	456
Slika 7.64 - Primjeri korištenja fotonaponskih sustava	456
Slika 7.65 - Skica analizirane niskoenergetske kuće s odgovarajućim podacima o samom objekt. Podaci o tehničkim sustavima dani su u energetske certifikata u nastavku.	457
Slika 7.66 - Dijagramski prikaz rezultata iz tablice 7.3	460
Slika 7.67 - Energetski certifikat za nestambene zgrade	461
Slika 7.68 - Klimatski, termotehnički i energetski podatci za zgradu	462
Slika 7.69 - Prijedlog mjera/preporuka za povećanje energetske učinkovitosti	463
Slika 7.70 - Konvencionalno rješenje grijanja i pripreme PTV -a u stambenoj zgradi	464
Slika 7.71 - Alternativni sustav sa sunčanim zagrijavanjem PTV -a i kondenzacijskim kotlom	464

## 8. Poglavlje

Slika 8.1 - Zona boravka	475
Slika 8.2 - Ovisnost temperature prostorije $\theta_i$ o vanjskoj temperaturi $\theta_e$ prema DIN1946 - dio 2	477
Slika 8.3 - Analogija između stvarnog i zamišljenog prostora	478
Slika 8.4 - Termometar s crnom sferom	479
Slika 8.5 - Najveća dozvoljena relativna vlažnost zraka u ovisnosti o temperaturi zraka u prostoriji $\theta_i$	480
Slika 8.6 - Područje toplinske ugodnosti za zimsko i ljetno razdoblje u $h,x$ - dijagramu	480
Slika 8.7 - Područje toplinske ugodnosti za zimsko i ljetno razdoblje	484
Slika 8.8 - Ovisnost PPD indeksa o brzini strujanja zraka i temperaturi	482
Slika 8.9 - Ovisnost srednje brzine strujanja o temperaturi i stupnju turbulencije za PPD=15%	482
Slika 8.10 - Skala ugodnosti prema vrijednosti PMV indeksa prema ASHRAE	487
Slika 8.11 - Međusobna zavisnost PMV i PPD indeksa	487
Slika 8.12 - Mollierov $h,x$ - dijagram za vlažni zrak	489
Slika 8.13 - Prikaz stanja vlažnog zraka	490
Slika 8.14 - Adijabatsko miješanje dviju struja zraka	491
Slika 8.15 - Prikaz adijabatskog miješanja dviju struja zraka	492
Slika 8.16 - Grijanje zraka	493
Slika 8.17 - Prikaz grijanja zraka	493
Slika 8.18 - Hlađenje zraka s odvlaživanjem	494
Slika 8.19 - Prikaz hlađenja s odvlaživanjem zraka	495
Slika 8.20 - Ovlaživanje zraka	495
Slika 8.21 - Prikaz ovlaživanja zraka	496
Slika 8.22 - Jedinica za pripremu zraka s miješanjem - pojednostavljena shema	497
Slika 8.23 - Jedinica za pripremu 100% vanjskog zraka - pojednostavljena shema	498
Slika 8.24 - Strujanje zraka kroz prostor u zgradi - nacrt	499
Slika 8.25 - Strujanje zraka oko zgrade - nacrt	500
Slika 8.26 - Koeficijent površinskog tlaka vjetra $C_{p,m}$ osrednjen po površini zida visoke zgrade	501

Slika 8.27 - Koeficijent površinskog tlaka vjetra $C_{p,m}$ osrednjen po površini zida niske zgrade	501
Slika 8.28 - Strujanje zraka kroz zgradu uslijed vjetra - tlocrt	502
Slika 8.29 - Strujanje zraka kroz zgradu uslijed efekta dimnjaka	503
Slika 8.30 - Povećanje protoka uslijed povećanja površine jednog otvora u odnosu na drugi	504
Slika 8.31 - Rizik recirkulacije istrošenog zraka	505
Slika 8.32 - Sustavi ventilacije prema tlaku u prostoru - pojednostavljeni prikaz	506
Slika 8.33 - Osnovni elementi sustava centralne ventilacije - pojednostavljeni prikaz	507
Slika 8.34 - Sustav centralne ventilacije za stambene prostore s povratom topline	507
Slika 8.35 - Decentralizirani sustav ventilacije hale - primjer	508
Slika 8.36 - Centralni zračni sustav klimatizacije	512
Slika 8.37 - Centralna tlačna i odsisna klimatizacijska jedinica	513
Slika 8.38 - Centralna klimatizacijska jedinica u presjeku - shema	513
Slika 8.39 - Krovna paketna klimatizacijska jedinica	516
Slika 8.40 - Jednozonski sustav s konstantnim volumenom - pojednostavljena shema	516
Slika 8.41 - Funkcionalna shema spajanja i regulacije jednozonskog sustava djelomične klimatizacije s konstantnim volumenom	517
Slika 8.42 - $h,x$ dijagram - prikaz procesa pripreme zraka za sustav sa slike 8.41	518
Slika 8.43 - Višezonski sustav sa zonskim dogrijačima - pojednostavljena shema	518
Slika 8.44 - Funkcionalna shema spajanja i regulacije višezonskog sustava klimatizacije sa zonskim dogrijačima	519
Slika 8.45 - $h,x$ dijagram - prikaz procesa pripreme zraka za sustav sa slike 8.44	519
Slika 8.46 - Sustav s promjenjivim volumenom - pojednostavljena shema	520
Slika 8.47 - Funkcionalna shema spajanja i regulacije jednokanalnog sustava klimatizacije s promjenjivim volumenom	521
Slika 8.48 - Ventil promjenjivog volumena zraka - princip djelovanja	521
Slika 8.49 - Dvokanalni sustav s konstantnim volumenom - pojednostavljena shema	522
Slika 8.50 - Miješajuća kutija konstantnog volumena - princip djelovanja	522
Slika 8.51 - Funkcionalna shema spajanja i regulacije dvokanalnog sustava s promjenjivim volumenom	523
Slika 8.52 - Dvokanalna miješajuća kutija promjenjivog volumena - princip djelovanja	523
Slika 8.53 - Usporedba dimenzija poprečnog presjeka kanala i cijevi za isti toplinski učinak	525
Slika 8.54 - Zračno - vodeni visokobrzinski / niskobrzinski sustav - pojednostavljena shema	526
Slika 8.55 - Ventilokonvektor u presjeku - zidna izvedba	527
Slika 8.56 - Ventilokonvektor u presjeku - shema stropne izvedbe	527
Slika 8.57 - Centralna priprema primarnog zraka s priključenim ventilokonvektorima - pojednostavljena shema	527
Slika 8.58 - $h,x$ dijagram - prikaz procesa pripreme zraka za sustav sa slike 8.57	528
Slika 8.59 - Centralna priprema primarnog zraka s odvojenim ventilokonvektorima - pojednostavljena shema	528
Slika 8.60 - Indukcijski uređaj u presjeku - shema	529
Slika 8.61 - Centralna priprema primarnog zraka s priključenim indukcijskim uređajima - dvocijevni sustav	529
Slika 8.62 - Centralna priprema primarnog zraka s priključenim indukcijskim uređajima - četverocijevni sustav	530
Slika 8.63 - Panel s cijevnim registrom za rashladni strop	530
Slika 8.64 - Centralni razvod primarnog zraka s rashladnim stropom	531
Slika 8.65 - Dvocijevni vodeni sustav hlađenja	532
Slika 8.66 - Sobni klimatizacijski uređaj - individualna jedinica za prostoriju	533
Slika 8.67 - Razdvojeni sustav	533
Slika 8.68 - Primjer povezivanja unutarnjih jedinica i vanjske jedinice VRF sustava	534
Slika 8.69 - Pretvorba toplinskih dobitaka u toplinsko opterećenje	536
Slika 8.70 - Izvori toplinskog opterećenja prostorije	536
Slika 8.71 - Grijač	537
Slika 8.72 - Izmjenjivač za grijanje tipa voda - zrak	538
Slika 8.73 - Izmjenjivač za grijanje tipa para - zrak	538
Slika 8.74 - Regulacija učinka grijača promjenom temperature vode	539
Slika 8.75 - Regulacija učinka grijača/hladnjaka promjenom protoka vode	540
Slika 8.76 - Hladnjak	540
Slika 8.77 - Izmjenjivač za hlađenje tipa voda - zrak	542

Slika 8.78 - Izmjenjivač za hlađenje tipa freon - zrak (direktni isparivač)	543
Slika 8.79 - On-off regulacija učinka direktnog isparivača	543
Slika 8.80 - Odvlaživanje pomoću hladnjaka s dogrijavanjem	544
Slika 8.81 - Shematski prikaz sustava povrata topline	545
Slika 8.82 - Podjela sustava povrata topline	546
Slika 8.83 - h,x dijagram - prikaz procesa povrata osjetne topline zimi	546
Slika 8.84 - Pločasti rekuperator - sustav povrata osjetne topline	547
Slika 8.85 - Kružni cirkulacijski sustav - sustav povrata osjetne topline	547
Slika 8.86 - Sustav povrata topline s evaporativnim hlađenjem	548
Slika 8.87 - Toplinske cijevi u uspravnoj izvedbi - sustav povrata osjetne topline	549
Slika 8.88 - h,x dijagram - prikaz procesa povrata osjetne i latentne topline zimi	551
Slika 8.89 - Rotirajući regeneratorski sustav - sustav povrata osjetne i latentne topline	552
Slika 8.90 - Funkcionalna shema spajanja i regulacije sustava toplozračnog grijanja sa 100% vanjskim zrakom i kružnim cirkulacijskim sustavom	552
Slika 8.91 - Ovlaživanje vodom - ovlaživač s raspršivanjem vode	553
Slika 8.92 - Ovlaživanje vodom - ovlaživač s evaporativnim blokom	554
Slika 8.93 - Ovlaživanje vodenom parom - direktno ubrizgavanje pare	554
Slika 8.94 - Ovlaživanje parom s graničnikom vlage iza ovlaživača	555
Slika 8.95 - Grubi filtar - traka, pomična rola, panel	556
Slika 8.96 - Fini filtar - vrećasti, kazetni pravokutni, kazetni V-oblika	557
Slika 8.97 - Apsolutni filtar - HEPA, detalj plisiranja materijala	557
Slika 8.98 - Pojednostavljeni prikaz filtracije čestica s različitim vrstama filtara	558
Slika 8.99 - Adsorpcijski filtar - patrone, panel	558
Slika 8.100 - Elektrostaticki filtar - elektrostaticki, električki, princip	558
Slika 8.101 - Ventilator za centralnu klimatizacijsku jedinicu - s remenskim prijenosom, direktno gonjeni	560
Slika 8.102 - Pojednostavljeni dijagram za izbor ventilatora	561
Slika 8.103 - Regulacija brzine vrtnje ventilatora prema statičkom tlaku u kanalskom razvodu	562
Slika 8.104 - Regulacija ventilatora za održavanje tlaka u prostoru	562
Slika 8.105 - Regulacija kapaciteta tlačnog ventilatora prema odsisnom ventilatoru	563
Slika 8.106 - Regulacija mješališta za "besplatno" hlađenje	563
Slika 8.107 - Različite vrste zračnih kanala	565
Slika 8.108 - Općenite preporuke pri projektiranju i izvođenju kanalskog razvoda	565
Slika 8.109 - Razdioba tlaka u kanalskom razvodu	566
Slika 8.110 - Pojednostavljena shema za balansiranje kanalskog razvoda,	568
Slika 8.111 - Preporuke za smještaj vanjskih rešetki za usis i ispuh	570
Slika 8.112 - Rešetke	571
Slika 8.113 - Stropni difuzori s priključnom kutijom	572
Slika 8.114 - Linijski difuzor	572
Slika 8.115 - Zračni ventil	572
Slika 8.116 - Difuzori za potisnu ventilaciju	572
Slika 8.117 - Sapnica	573

## 9. Poglavlje

Slika 9.1 - Shematski prikaz rashladnog uređaja i proces prikazan u T-s dijagramu	578
Slika 9.2 - Ovisnost faktora hlađenja o temperaturi isparivanja i kondenzacije radne tvari R134a sa stapnim kompresorom	579
Slika 9.3 - Ovisnost rashladnog učinka o temperaturi isparivanja i kondenzacije radne tvari R134a sa stapnim kompresorom	580
Slika 9.4 - Kućni hladnjak	580
Slika 9.5 - Split sustav za hlađenje zraka	580
Slika 9.6 - Mogućnost rada uređaja u načinu rada hlađenja, odnosno grijanja	581
Slika 9.7 - Jednostavni adsorpcijski rashladni uređaj	583

Slika 9.8 - Termoelektrični rashladni uređaj	585
Slika 9.9 - Karakteristika Peltierovog para s temperaturom visokotemperaturnog spremnika od 40°C	586
Slika 9.10 - Shema ejektorskog rashladnog uređaja	586
Slika 9.11 - Krivulja napetosti radnih tvari	588
Slika 9.12 - Promjena koncentracije ozona s visinom	591
Slika 9.13 - Stapni hermetički kompresor (Danfoss)	594
Slika 9.14 - Presjek poluhermetičkog stapnog kompresora (Copeland)	594
Slika 9.15 - Presjek spiralnog kompresora (Trane)	595
Slika 9.16 - Presjek spiralnog kompresora upravljanog digitalnom tehnologijom (Copeland)	595
Slika 9.17 - Presjek vijčanog kompresora (Bitzer)	596
Slika 9.18 - Presjek centrifugalnog kompresora (Turboacor Danfoss)	596
Slika 9.19 - Temperaturni profil na kondenzatoru	597
Slika 9.20 - Kondenzator kućnog hladnjaka	597
Slika 9.21 - Kondenzacijske jedinice	598
Slika 9.22 - a) Kondenzator s cijevima u plaštu; b) pločasti kompaktni kondenzator	598
Slika 9.23 - Protusmjerni rashladni toranj s induciranim strujanjem	599
Slika 9.24 - Spoj termoekspanzijskog ventila s isparivačem	600
Slika 9.25 - Spoj elektroničkog ekspanzijskog ventila s isparivačem	600
Slika 9.26 - Shematski prikaz orebrenog isparivača za hlađenje zraka	601
Slika 9.27 - Orebreni isparivaču u kućištu za ovjes o strop	601
Slika 9.28 - Isparivač a) s cijevima u plaštu („shell & tube“); b) pločasti kompaktni isparivač	602
Slika 9.29 - Cijevna izolacija s cijevnim držačem	603
Slika 9.30 - Predizolirane cijevi	603
Slika 9.31 - Ugradnja odvađača ulja u tlačni vod	605
Slika 9.32 - Mjesto ugradnje filtra i kontrolnog stakla u rashladni sustav	605
Slika 9.33 - Rashladnik vode s vodom hlađenim kondenzatorom	606
Slika 9.34 - Rashladnik vode sa zrakom hlađenim kondenzatorom i spiralnim kompresorima (McQuay)	607
Slika 9.35 - Rashladnik vode sa zrakom hlađenim kondenzatorom i rekuperatorom topline	607
Slika 9.36 - Rashladnik vode s vodom hlađenim kondenzatorom i vijčanim kompresorom (Carrier)	608
Slika 9.37 - Shematski prikaz apsorpcijskog rashladnika vode s temperaturama procesa	609
Slika 9.38 - Prikaz apsorpcijskog procesa u h,č dijagramu	609
Slika 9.39 - Apsorpcijski rashladnik vode	609
Slika 9.40 - Shematski prikaz VRF sustava hlađenja zgrade	610
Slika 9.41 - Kvalitativan prikaz usporedbe posrednog i neposrednog sustava hlađenja	610
Slika 9.42 - Usporedni dijagram učinkovitosti posrednog i neposrednog sustava hlađenja	611
Slika 9.43 - Primjer direktne intermitirajuće regulacije rada kućnog hladnjaka	613
Slika 9.44 - Primjer inverterske regulacije rada rashladnog uređaja	613
Slika 9.45 - Regulacijska karakteristika inverterskog i intermitirajućeg načina upravljanja rashladnim uređajem	613
Slika 9.46 - Multikompresorski set s tri hermetička kompresora u paralelnom radu	614
Slika 9.47 - Prikaz promjene učinka kompresora promjenom broja okretaja ili promjenom broja cilindara uključenih u rad	614
Slika 9.48 - Promjena temperature na isparivaču s promjenom broja okretaja kompresora ( $n_1 > n_2$ )	614
Slika 9.49 - Promjena temperature na kondenzatoru s promjenom broja okretaja kompresora, ( $n_1 > n_2$ )	614
Slika 9.50 - Promjena karakteristike isparivača uzrokovana naslagama leda na isparivaču	615
Slika 9.51 - Tijek energije u ljevokretnom kružnom procesu	615
Slika 9.52 - Ovisnost toplinskog množitelja o temperaturama isparivanja i kondenzacije	616
Slika 9.53 - Monovalentni rad dizalice topline	618
Slika 9.54 - Bivalentno paralelni rad dizalice topline	618
Slika 9.55 - Bivalentno alternativni rad dizalice topline	618
Slika 9.56 - Kvalitativan prikaz djelotvornosti i raspoloživosti izvora topline	619
Slika 9.57 - Dizalica topline zrak-voda	619
Slika 9.58 - Shematski prikaz dizalice topline zrak-voda s parametrima procesa	620
Slika 9.59 - Shematski prikaz solarne dizalice topline	621



Slika 9.60 - Dizalica topline voda-voda	623
Slika 9.61 - Dizalica topline voda-voda	624
Slika 9.62 - Način spajanja crpnog i ponornog bunara s dizalicom topline	625
Slika 9.63 - Dizalica topline tlo-voda (horizontalna izvedba izmjenjivača u tlu)	626
Slika 9.64 - Dizalica topline tlo-voda (vertikalna izvedba izmjenjivača u tlu)	627
Slika 9.65 - a) Dvostruka U cijev s utegom; b) Poprečni presjek bušotine s izmjenjivačem topline i ispunom	628
Slika 9.66 - a) Cementiranje bušotine; b) Završetak cementiranja	628
Slika 9.67 - Dizalica topline voda-zrak s mjernom opremom	629
Slika 9.68 - Temperatura tla po visini bušotine	629
Slika 9.69 - Razdioba temperature tla uzduž bušotine pri uključivanju uređaja u rad u 07.00 sati, te na kraju dana u 20.00	630
Slika 9.70 - Investicijski i pogonski troškovi različitih izvora toplinske energije za grijanje stambene zgrade 400 m <sup>2</sup>	632

## 10. Poglavlje

Slika 10.1 - Usporedba gubitaka energetske transformacije nastalih u odvojenoj i kogeneracijskoj proizvodnji električne i toplinske energije	638
Slika 10.2 - Parna turbina	640
Slika 10.3 - Plinska turbina	640
Slika 10.4 - Kogeneracijsko postrojenje s kombiniranim procesom plinske i parne turbine	641
Slika 10.5 - Mikrokogeneracijski moduli s motorima s unutarnjim izgaranjem	641
Slika 10.6 - Mikrokogeneracijski moduli sa Stirlingovim motorima	642
Slika 10.7 - Mikrokogeneracijski moduli s gorivnim člancima	643
Slika 10.8 - Shematski prikaz trigeneracijskog postrojenja	644
Slika 10.9 - Dnevni profili toplinskog i električnog opterećenja višestambenog objekta	646
Slika 10.10 - Godišnji profili toplinskog i električnog opterećenja višestambenog objekta	646
Slika 10.11 - Toplinsko i električno opterećenje višestambenog objekta, krivulje trajanja i mjesečni prosjeci	647
Slika 10.12 - Tjedni pogon kogeneracijskog postrojenja bez (lijevo) i s (desno) toplinskim spremnikom.	648
Slika 10.13 - Pojednostavljen prikaz postupka stjecanja statusa povlaštenog proizvođača električne energije	653
Slika 10.14 - Profil godišnjeg opterećenja kogeneracijskog modula	654
Slika 10.15 - Ilustracija rezultata ispitivanja pogonskih značajki kogeneracijskog modula	654
Slika 10.16 - Sustav daljinskog grijanja	655
Slika 10.17 - Energetski tokovi u sustavu daljinskog grijanja	655

## 11. Poglavlje

Slika 11.1 - Glavne i klimatološke meteorološke postaje u Hrvatskoj	659
Slika 11.2 - Mjesto upisa energetske potrebe za referentne i stvarne klimatske podatke na drugoj stranici energetske certifikata	659
Slika 11.3 - Usporedba prosječnih mjesečnih količina dozračenog Sunčeve energije za referentne klimatske podatke za kontinentalnu i primorsku Hrvatsku	662
Slika 11.4 - Usporedba prosječnih mjesečnih temperatura vanjskog zraka za referentne klimatske podatke za kontinentalnu i primorsku Hrvatsku	662
Slika 11.5 - Usporedba mjesečnog broja stupanj dana grijanja za referentne klimatske podatke za kontinentalnu i primorsku Hrvatsku	662
Slika 11.6 - Približni faktori oblika za različite tipologije izgradnje	666
Slika 11.7 - Najmanja udaljenost od zgrade koja radi sjenu u odnosu na njenu visinu za južnu orijentaciju prema LAG smjernicama (Njemačka)	666
Slika 11.8 - Transmisijski toplinski gubici	669
Slika 11.9 - Osnovni tokovi energije i smjer tijekom proračuna potrebne energije za grijanje zgrade	679
Slika 11.10 - Toplinski tokovi između zgrade i tehničkog sustava: a) tehnički sustav i b) zgrada	680
Slika 11.11 - Shema proračuna zgrade s tri zone i dva tehnička sustava	681
Slika 11.12 - a) prvi korak proračuna; b) drugi korak proračuna	682

Slika 11.13 - Tablica za upis podataka o energetskim potrebama u energetski certifikat za stambene zgrade	682
Slika 11.14 - Mjesto upisa podataka o potrošnji energije u energetski certifikat za nestambene zgrade	683
Slika 11.15 - Primjer podjele zgrade na dvije zone i proračun unutarnje temperature za ZONU I	690
Slika 11.16 - Prosječna vrijednost postavne temperature pri kvazikontinuiranom grijanju i hlađenju	693
Slika 11.17 - Izmjena topline transmisijom i ventilacijom među zonama z i y	695
Slika 11.18 - Fazni pomak promjena izmijenjenog toplinskog toka prema tlu i promjena srednjih mjesečnih vanjskih temperatura zraka	698
Slika 11.19 - Različite izvedbe poda: a) pod na tlu; b) uzdignuti pod; c) grijani podrum	700
Slika 11.20 - Kutevi horizontalnih i vertikalnih prozorskih elemenata za zasjenjenje	708
Slika 11.21 - Osnovni tokovi konačne i korisne energije, nepovrativih gubitaka topline i potrebne pomoćne energije (energija za rad pomoćnih uređaja) za termotehnički sustav zgrade	713
Slika 11.22 - Ulazni i izlazni podaci za proračun podsustava <i>j</i> unutar termotehničkog sustava <i>i</i>	714
Slika 11.23- Najčešća podjela podsustava termotehničkog sustava grijanja	714
Slika 11.24 - Najčešća podjela podsustava termotehničkog sustava za pripremu potrošne tople vode	715
Slika 11.25 - Bilanca topline na razini zgrade za režim grijanja - jednostavan slučaj	717
Slika 11.26 - Bilanca topline na razini termotehničkog sustava za režim grijanja - jednostavan slučaj	718
Slika 11.27 - Bilanca topline na razini zgrade za režim grijanja - složeni slučaj	719
Slika 11.28 - Bilanca topline na razini termotehničkog sustava za režim grijanja - složeni slučaj	719
Slika 11.29 - Osnovna bilanca energije podsustava izmjene topline u prostoru	721
Slika 11.30 - Bilanca topline na razini zgrade za režim hlađenja	738
Slika 11.31 - Bilanca topline na razini termotehničkog sustava za režim hlađenja	739
Slika 11.32 - Postupak proračuna potrebne konačne energije, toplinskih gubitaka sustava i pomoćne energije sustava hlađenja	740
Slika 11.33 - Opća struktura i tokovi energije sustava za grijanje, hlađenje, klimatizaciju i ventilaciju s podjelom na podsustave	740

## 12. Poglavlje

Slika 12.1 - Lijevo - karakteristike vala; desno - valovi različitih valnih duljina i amplituda	751
Slika 12.2 - Elektromagnetski spektar	751
Slika 12.3 - Vidljivi dio spektra	752
Slika 12.4 - Propusnost atmosfere za infracrveno zračenje u odabranom dijelu spektra	752
Slika 12.5 - Raspodjela upadnog zračenja	753
Slika 12.6 - Otvor izotermne šupljine kao crno tijelo	754
Slika 12.7 - Spektralna raspodjela emisije crnog tijela	755
Slika 12.8 - Wienov zakon pomaka	756
Slika 12.9 - Ovisnost emisijskog faktora o kutu za električne vodiče i izolatore	757
Slika 12.10 - Primjeri termometara rastezanja	761
Slika 12.11 - Shema spajanja termopara	761
Slika 12.12 - Karakteristike odziva nekih termoparova	762
Slika 12.13 - Termometri s termoparom	762
Slika 12.14 - Shema spajanja termopara s usporedbenom temperaturom	763
Slika 12.15 - Konstrukcija otporničkog termometra	764
Slika 12.16 - Shema spajanja otporničkog termometara	764
Slika 12.17 - Shema bolometra	765
Slika 12.18 - Ovisnost promjera vidnog polja o udaljenosti	766
Slika 12.19 - Pogreške mjerenja bolometrom uslijed neodgovarajućeg vidnog polja	766
Slika 12.20 - Termografska kamera	767
Slika 12.21 - Termogram	767
Slika 12.22 - Put infracrvenog signala kroz termografski uređaj	769
Slika 12.23 - Linijski skener za snimanje iz zrakoplova	769
Slika 12.24 - Termografski sustav s mehaničkim skeniranjem AGA	770

Slika 12.25 - FPA osjetnik: lijevo - prikaz dimenzija, desno - detalj površine	771
Slika 12.26 - Mikrobolometarski detektor	772
Slika 12.27 - Element mikrobolometarskog osjetnika	773
Slika 12.28 - Odziv osjetnika IC zračenja	774
Slika 12.29 - Uz definiciju temperaturne razlučivosti termografske kamere	775
Slika 12.30 - Uz pojam prostorne razlučivosti	775
Slika 12.31 - Propusnost sloja standardne atmosfere debljine 1 km	777
Slika 12.32 - Utjecaj emisijskog faktora na očitavanje temperature	777
Slika 12.33 - Toplinsko zračenje usmjereno s površine objekta prema termografskoj kameri	779
Slika 12.34 - Termografski prikazi istog objekta s različitim postavkama parametara objekta	780
Slika 12.35 - Uz određivanje reflektirane prividne temperature	781
Slika 12.36 - Različite palete boja s različitim kontrastima	782
Slika 12.37 - Način definiranja izoterme na temperaturnoj skali	783
Slika 12.38 - Izoterma interval - upotreba alata na kameri	783
Slika 12.39 - Lociranje mjesta najviše temperature upotrebom alata "isotherm above"	783
Slika 12.40 - Korištenje alata mjerna točka	784
Slika 12.41 - Primjena alata "područje" na kameri	784
Slika 12.42 - Temperaturni profil na odabranoj vodoravnoj liniji	785
Slika 12.43 - Toplinski mostovi	788
Slika 12.44 - Pojava vlage na stropu i iznad prozora	788
Slika 12.45 - Otkrivanje strukture ispod sloja vanjske žbuke	788
Slika 12.46 - Utvrđivanje stupnja oštećenja ovojnice vanjske žbuke zgrade	789
Slika 12.47 - Vlaga - hladnije područje i zrak - toplije područje ispod bitumenskog sloja na ravnom krovu	789

### 13. Poglavlje

Slika 13.1 - Primjer pojednostavljene jednopolne sheme elektroenergetskog sustava u zgradarstvu	798
Slika 13.2 - Primjer upravljanja vršnim opterećenjem	796
Slika 13.3 - Primjeri razine rasvijetljenosti	797
Slika 13.4 - Primjer dobrog (lijevo) i lošeg (desno) uzvrata boje	798
Slika 13.5 - Mogućnosti za uštede korištenjem dostignuća suvremene rasvjete	800
Slika 13.6 - Primjer štedne žarulje (OSRA M DULUX EL LONGLIFE E27) s oznakom snaga za zamjenu odgovarajućih standardnih žarulja	803
Slika 13.7 - Spektar zračenja i shematski prikaz standardne žarulje sa žarnom niti	804
Slika 13.8 - Halogena žarulja	805
Slika 13.9 - Princip rada i mogućnosti za uštede primjenom modernog sustava regulacije rasvjete u prostoru, ovisno o dnevnom svjetlu	806
Slika 13.10 - Značajke o kojima ovisi efikasnost elektromotornog pogona	806
Slika 13.11 - Primjer mogućih dobitaka adekvatnim reguliranjem elektromotornog pogona	807

**POPIS TABLICA****1. Poglavlje**

Tablica 1.1 - Energetski razredi zgrada utvrđeni Pravilnikom	17
Tablica 1.2 - Podaci koji se unose u završno izvješće o energetskom pregledu	22
Tablica 1.3 - Specifikacija mjera energetskih ušteda u završnom izvještaju o energetskom pregledu	24

**2. Poglavlje**

Tablica 2.1 - Energetski razredi stambenih zgrada utvrđeni Pravilnikom	36
Tablica 2.2 - Energetski razredi nestambenih zgrada utvrđeni Pravilnikom	37
Tablica 2.3 - Izvod iz Odluke o najvišim cijenama koštanja provođenja energetskih pregleda i izdavanja energetskih certifikata zgrada	42
Tablica 2.4 - Zahtjevi za zgrade koje se griju na temperaturu 18°C ili više	50
Tablica 2.5 - Najveće dopuštene vrijednosti koeficijenta prolaska topline, $U$ [ $W/(m^2K)$ ], građevnih dijelova novih zgrada, malih zgrada ( $AK < 50 m^2$ ) i nakon zahvata na postojećim zgradama	51

**3. Poglavlje**

Tablica 3.1 - Tablica stanja zasićenog vlažnog zraka	86
Tablica 3.2 - Razredi vlažnosti unutrašnjih prostora	89
Tablica 3.3 - Približne vrijednosti faktora otpora difuziji vodene pare za neke odabrane materijale	94
Tablica 3.4 - Osnovne mjerne jedinice SI sustava	101
Tablica 3.5 - Osnovne mjerne jedinice transporta topline	101
Tablica 3.6 - Osnovne mjerne jedinice transporta vlage	102
Tablica 3.7 - Toplinska provodnost (okvirne vrijednosti)	106
Tablica 3.8 - Okvirne vrijednosti koeficijenta prijelaza topline za različite vrste strujanja	110
Tablica 3.9 - Emisijski faktori	113
Tablica 3.10 - Plošni otpori prijelazu topline u ovisnosti od smjera toplinskog toka	114
Tablica 3.11 - Toplinski otpor neprovjetravnih slojeva zraka, $(m^2K)/W$ , površine velike emisivnosti	115
Tablica 3.12 - Svojstva materijala u nehomogenom sloju	118
Tablica 3.13 - Debljina slojeva u smjeru toplinskog toka	119
Tablica 3.14 - Udjeli u površini pojedinih odsječaka	119
Tablica 3.15 - Geometrijske značajke slojeva zida i toplinska svojstva materijala	127

**4. Poglavlje**

Tablica 4.1 - Stambeni fond Republike Hrvatske prema popisima stanovništva	135
Tablica 4.2 - Podjela stanova u Hrvatskoj i Zagrebu prema modalitetima korištenja	135
Tablica 4.3 - Zastupljenost nastanjenih stanova prema godini izgradnje u ukupnom sektoru postojećih zgrada	136
Tablica 4.4 - Građevinske veličine stambenih i nestambenih zgrada za koje su izdane građevinske dozvole u razdoblju 1996.-2008. godine, novogradnja i dogradnja1	138
Tablica 4.5 - Prosječni koeficijenti prolaska topline za tipične vanjske konstrukcije u određenom razdoblju gradnje, te moguća poboljšanja povećanjem toplinske zaštite	140
Tablica 4.6 - Usporedba energetskih svojstava zgrade u Linzu prije i nakon provedene energetske obnove po pasivnom standardu - rekonstrukcija s faktorom 10	150
Tablica 4.7 - Usporedba koeficijenata prolaska topline vanjske ovojnice zgrade prije i nakon provedene energetske obnove	152
Tablica 4.8 - Usporedba koeficijenata prolaska topline vanjske ovojnice zgrade prije i nakon provedene energetske obnove	157

Tablica 4.9 - Usporedba koeficijenta prolaska topline vanjske ovojnice zgrade prije i nakon provedene energetske obnove	159
Tablica 4.10 - Projektne vrijednosti toplinske provodljivosti za neke toplinsko izolacijske materijale, $\lambda$ (W/(m·K)), približne vrijednosti faktora otpora difuziji vodene pare, te usporedba relativnih troškova za ugradnju	181
Tablica 4.11 - Kategorije klima unutarnjeg prostora prema HRN EN 15251	190
Tablica 4.12 - Preporučene vrijednosti unutarnje temperature prema HRN EN 15251	191
Tablica 4.13 - Povećanje toplinskog otpora konstrukcije zbog utjecaja negrijanog tavana prema HRN EN ISO 6946:2008	199
Tablica 4.14 - Računske vrijednosti stupnja propuštanja ukupne energije ostakljenja $g^{\perp(-)}$ kod okomitog upada sunčeva zračenja, Izvor: Tehnički propis o uštedi toplinske energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, (NN 79/05)	210
Tablica 4.15 - Koeficijenti prolaska topline za pojedine vrste stakla, okvira i ukupno prozora	212
Tablica 4.16 - Vrste i tehničke karakteristike ostakljenja	213
Tablica 4.17 - Pregled sustava za zasjenjivanje	215
Tablica 4.18 - Razredba prozora prema zrakopropusnosti po ukupnoj površini	224
Tablica 4.19 - Razredba prozora prema zrakopropusnosti po duljini rešaka	224
Tablica 4.20 - Tražena razina zrakopropusnosti prozora u odnosu na visinu zgrade	224
Tablica 4.21 - Pregled softverskih paketa za proračun	233

## 5. Poglavlje

Tablica 5.1 - Energetske iskoristivosti nekih procesa	250
Tablica 5.2 - Cijene električne energije za poduzetništvo	252
Tablica 5.3 - Cijene električne energije za kućanstvo	252
Tablica 5.4 - Ogrjevne moći nekih tekućih goriva	254
Tablica 5.5 - Sastav ekstra lakog loživog ulja	255
Tablica 5.6 - Svojstva ekstra lakog loživog ulja	255
Tablica 5.7 - Sastav prirodnog plina	256
Tablica 5.8 - Svojstva prirodnog plina	256
Tablica 5.9 - Svojstva ukapljenog naftnog plina	257
Tablica 5.10 - Kemijski sastav i ogrjevna moć ugljena	258
Tablica 5.11 - Nasipna gustoća nekih krutih goriva	259
Tablica 5.12 - Potrošnja i temperatura PTV za različite objekte	284
Tablica 5.13 - Potrošnja i temperatura PTV za ugostiteljske objekte	284
Tablica 5.14 - Potrošnja i temperatura PTV za stanove	285
Tablica 5.15 - Potrošnja i temperatura PTV za stanove	287
Tablica 5.16 - Stupnjevi korisnosti kotlova s uljnim ili plinskim gorivom prema zahtjevima EZ-a	300
Tablica 5.17 - Pregled učinkovitosti različitih kotlova	301
Tablica 5.18 - Prosječne mjesečne temperature zraka za Zagreb	303
Tablica 5.19 - Mjesečni broj stupanj dana za Zagreb	304
Tablica 5.20 - Faktori $f$ za proračun	305
Tablica 5.21 - Faktor kratkotrajnosti $f_9$	305
Tablica 5.22 - Stupanj korisnosti standardnih starih kotlova 2 x 523 kW	307
Tablica 5.23 - Potrošnja plina standardnih starih kotlova 2 x 523 kW	308
Tablica 5.24 - Potrošnja plina kondenzacijskog kotla dimenzioniranog za stvarnu potrebu	308
Tablica 5.25 - Normirani učinci i dimenzije lijevanoželjeznih radijatora	325
Tablica 5.26 - Normirani učinci čeličnih cijevi	328
Tablica 5.27 - Koeficijenti lokalnih otpora	339
Tablica 5.28 - Koeficijenti lokalnih otpora	341
Tablica 5.29 - Izolacijske klase prema HRN EN 12828	345

Tablica 5.30 - Potrebna debljina izolacije ovisno o promjeru cijevi d1, toplinskoj vodljivosti materijala toplinske izolacije $\lambda$ , linearnom transmisivnom koeficijentu UL za cijevi i izolacijskim klasama (HRN EN 12828)	345
Tablica 5.31 - Ekonomski opravdane debljine izolacije za različite tipove cijevi promjera do DN 40	348

## 6. Poglavlje

Tablica 6.1 - Vrijednosti dopuštenih emisija, zahtjevi za kvalitetu izgaranja, prema normi HRN EN 303-2. Kotlovi na kapljevitom gorivu snage do 1000 kW	370
Tablica 6.2 - Vrijednosti dopuštenih emisija za kotlove koji su tvornički isporučeni s plamenikom (UNIT)	370
Tablica 6.3 - Vrijednosti dopuštenih emisija, zahtjevi za kvalitetu izgaranja, prema normi HRN EN 303-3. Kotlovi na plinovito gorivo snage do 1000 kW koji su tvornički isporučeni s plamenikom (UNIT)	370
Tablica 6.4 - Granice emisija za toplovodne kotlove na kruta goriva (vrijedi za suhe dimne plinove svedeno na 0°C, 1013 mbar i 10% O <sub>2</sub> u dimnim plinovima)	372
Tablica 6.5 - Aktivnosti tijekom i nakon pregleda	383
Tablica 6.6 - Podjela KTE sustava daje se na osnovi proizvodnje el. energije	384
Tablica 6.7 - Prednosti i mane	387
Tablica 6.8 - Preporučena primjena	387
Tablica 6.9 - Manje preporučena primjena	388
Tablica 6.10 - Aktivnosti tijekom i nakon pregleda	388
Tablica 6.11 - Aktivnosti tijekom i nakon pregleda	393
Tablica 6.12 - Karakteristike goriva	395
Tablica 6.13 - Podjela uređaja za loženje (kotlova) prema Uredbi o GVE	396
Tablica 6.14 - GVE za male uređaje za loženje koji koriste uobičajena kruta goriva	396
Tablica 6.15 - GVE za srednje uređaje za loženje koji koriste uobičajena i posebna kruta goriva	396
Tablica 6.16 - GVE za male uređaje za loženje koji koriste uobičajena tekuća goriva i za srednje uređaje za loženje koji koriste uobičajena i posebna tekuća goriva	397
Tablica 6.17 - GVE za male i srednje uređaje za loženje koji koriste plinska goriva	397
Tablica 6.18 - Vrijednosti dopuštenih emisija u zrak iz različitih uređaja za loženje u pojedinim državama Europe	398
Tablica 6.19 - Aktivnosti tijekom i nakon pregleda	400
Tablica 6.20 - Aktivnosti tijekom i nakon pregleda	404
Tablica 6.21 - Aktivnosti tijekom i nakon pregleda	406
Tablica 6.22 - Stupanj i uvjeti djelovanja cijevne mreže i regulacije	407
Tablica 6.23 - Učinkovitosti uređaja na kruta goriva	407
Tablica 6.24 - Aktivnosti tijekom i nakon pregleda	408

## 7. Poglavlje

Tablica 7.1 - Tehničke i ekonomske karakteristike optimiziranih sunčanih sustava različitih veličina u odnosu na broj osoba za područje Zagreba i Splita	451
Tablica 7.2 - Ulazni podaci za proračun sunčanog sustava	457
Tablica 7.3 - Rezultati proračuna parametara rada sunčanog sustava za pripremu PTV -a i grijanje prostora	458
Tablica 7.4 - Potreba za toplinskom energijom analizirane kuće s i bez instaliranog sunčanog sustava	460
Tablica 7.5 - Rezultati analize energetskih potreba zgrade s konvencionalnim sustavom	465
Tablica 7.6 - Rezultati analize energetskih potreba zgrade s alternativnim sustavom	465
Tablica 7.7 - Primjer 3 - Zamjena električnog bojlera sunčanim sustavom u obiteljskoj kući	466
Tablica 7.8 - Satne vrijednosti Sunčeve ozračenosti horizontalne plohe u Zagrebu za karakteristični dan u pojedinom mjesecu	468
Tablica 7.9 - Satne vrijednosti sunčeve ozračenosti horizontalne plohe u Splitu za karakteristični dan u pojedinom mjesecu	469

Tablica 7.10 - Satne vrijednosti Sunčeve ozračenosti plohe orijentirane prema jugu i nagnute pod kutom 45° prema horizontali u Zagrebu za karakteristični dan u pojedinom mjesecu	469
Tablica 7.11 - Satne vrijednosti sunčeve ozračenosti plohe orijentirane prema jugu i nagnute pod kutom 45° prema horizontali u Splitu za karakteristični dan u pojedinom mjesecu	470
Tablica 7.12 - Izračunati i izmjereni odnos difuznog i ukupnog Sunčevog zračenja na horizontalnu plohu $H_d/H$ u Zagrebu i Splitu	470
Tablica 7.13 - Prosječne mjesečne temperature zraka u Zagrebu i Splitu	471

## 8. Poglavlje

Tablica 8.1 - Toplinski otpor odjeće $R [(m^2K)/W]$	483
Tablica 8.2 - Toplinski tok od osoba u klimatiziranim prostorima	484
Tablica 8.3 - Primjer kriterija ugodnosti prema PMV i PPD za standardne prostore	488
Tablica 8.4 - Primjer odnosa ukupnih i lokalnih kriterija ugodnosti za standardne prostore	488
Tablica 8.5 - Okvirni broj izmjena zraka unutar prostora u jednom satu uslijed otvaranja prozora i vrata	499
Tablica 8.6 - Preporučeni iskustveni broj izmjena zraka na sat za različite vrste prostora	510
Tablica 8.7 - Usporedba između centralnog i decentraliziranog sustava klimatizacije	514
Tablica 8.8 - Osnovne značajke niskobrzinskog i visokobrzinskog sustava klimatizacije	515
Tablica 8.9 - Vrste filtara i klase filtracije	559
Tablica 8.10 - Klase propusnosti zračnih kanala prema smjernici Eurovent 2/2	568
Tablica 8.11 - Preporučene brzine strujanja zraka na odsisnim distributerima	570

## 9. Poglavlje

Tablica 9.1 - Razredi energetske učinkovitosti split klima uređaja	582
Tablica 9.2 - Rashladni odnos ARU kao funkcija temperatura procesa i radne smjese	584
Tablica 9.3 - Svojstva radnih tvari	587
Tablica 9.4 - Odnos termofizikalnih i transportnih svojstava radnih tvari R717 i R22	589
Tablica 9.5 - Zapaljiva svojstva ugljikovodičnih radnih tvari	590
Tablica 9.6 - Potencijal globalnog zagrijavanja radnih tvari	592
Tablica 9.7 - Ekološki prihvatljive radne tvari	592
Tablica 9.8 - Svojstva radnih tvari	593
Tablica 9.9 - Preporučljive brzine strujanja radnih tvari u cjevovodima rashladnih uređaja, m/s	602
Tablica 9.10 - Minimalna debljina izolacije cjevovoda u zatvorenom prostoru (kao proizvod AF/Armaflex)	604
Tablica 9.11 - Minimalna debljina izolacije cjevovoda koji prolazi kroz vanjski okoliš (kao proizvod HT/Armaflex otporne na UV zračenje)	604
Tablica 9.12 - Model potrošnje električne energije posrednog sustava	611
Tablica 9.13 - Model potrošnje električne energije neposrednog sustava	612
Tablica 9.14 - Radne točke komercijalnih dizalica topline tlo-voda prema HRN EN 14511	616
Tablica 9.15 - Radne točke komercijalnih dizalica topline voda-voda prema HRN EN 14511	617
Tablica 9.16 - Mjerene vrijednosti parametara solarne dizalice topline na dan 23.05.2006. (FSB, Zagreb)	622
Tablica 9.17 - Specifični učinak horizontalnog izmjenjivača u tlu ovisno o sastavu tla	625
Tablica 9.18 - Parametri dizalice topline s vertikalnim bušotinama	627
Tablica 9.19 - Parametri dizalice topline za karakterističan dan, 22. ožujka 2010.	630
Tablica 9.20 - Cijena toplinske energije iz različitih izvora energije stambene zgrade 400 m <sup>2</sup>	631

## 10. Poglavlje

Tablica 10.1 - Pregled tehničkih značajki odabranih kogeneracijskih tehnologija	645
Tablica 10.2 - Rezultati analize ekonomske izvodljivosti kogeneracijskih konfiguracija u karakterističnim RH uvjetima	650

**11. Poglavlje**

Tablica 11.1 - Referentne vrijednosti meteoroloških parametara za primorsku Hrvatsku	661
Tablica 11.2 - Referentne vrijednosti meteoroloških parametara kontinentalnu Hrvatsku	661
Tablica 11.3 - Unutarnje projektne temperature prema vrsti prostora (HRN EN 12831)	664
Tablica 11.4 - Utjecaj promjene oblika zgrade na povećanje površine vanjskog oplošja zgrade	665
Tablica 11.5 - Utjecaj raščlanjivanja tijela zgrade na povećanje površine vanjskog oplošja zgrade	665
Tablica 11.6 - Toplinski tok (ukupni, osjetni i latentni) koji odaje ljudski organizam u ovisnosti o temperature zraka i razini aktivnosti	674
Tablica 11.7 - Stupanj toplinskog opterećenja prostorije rasvjetom	675
Tablica 11.8 - Faktori propusnosti za različite vrste stakla i izvedbe prozora	677
Tablica 11.9 - Energetski razredi zgrada	678
Tablica 11.10 - Metodologija određivanja potrebnih veličina za upis u energetski certifikat za stambene zgrade	684
Tablica 11.11 - Metodologija određivanja potrebnih veličina za upis u energetski certifikat za nestambene zgrade	685
Tablica 11.12 - Vremenska razdoblja	689
Tablica 11.13 - Postavne vrijednosti unutarnje temperature za razdoblja grijanja i hlađenja ovisno o namjeni zgrade (HRN EN ISO 13790)	691
Tablica 11.14 - Fazni pomak u mjesecima koji opisuje kašnjenje promjena toplinskog toka prema zemlji u odnosu na promjenu vanjske temperature zraka za različite tipove poda	698
Tablica 11.15 - Način proračuna koeficijenta prolaza topline za poda na tlu u ovisnosti o $dt$	699
Tablica 11.16 - Periodička dubina prodiranja, ovisno o vrsti tla	700
Tablica 11.17 - Broj izmjena zraka između negrijanog prostora i vanjskog okoliša u ovisnosti o zrakopropusnosti prostora	702
Tablica 11.18 - Faktor smanjenja zbog sjene od pomičnog zasjenjenja	707
Tablica 11.19 - Stupanj propuštanja ukupnog zračenja okomito na ostakljenje	707
Tablica 11.20 - Parcijalni faktor zasjenjenja zbog konfiguracije terena $F_{hor}$	707
Tablica 11.21 - Parcijalni faktor zasjenjenja zbog gornjih elemenata prozorskog otvora (streha) $F_{ov}$ za sezonu grijanja	708
Tablica 11.22 - Parcijalni faktor zasjenjenja zbog bočnih elemenata prozorskog otvora $F_{fin}$ za sezonu grijanja	708
Tablica 11.23 - Primjer izračuna potrebne toplinske energije, toplinskih gubitaka i potrebne dodatne energije te iskoristivih gubitaka i pomoćne energije za zgradu sa sustavom grijanja i električnom pripremom potrošne tople vode	716
Tablica 11.24 - Pregled različitih kombinacija sustava (prema Dodatku C norme HRN EN 15243)	741
Tablica 11.25 - Mogući načini određivanja potrebne godišnje električne energije za rasvjetu	745
Tablica 11.26 - Faktori primarne energije prema <i>Pravilniku o energetskom certificiranju zgrada</i> (NN 36/10)	747
Tablica 11.27 - Faktori emisije $CO_2$ u ovisnosti o izvoru energije prema <i>Pravilniku o energetskom certificiranju zgrada</i> (NN 36/10)	748

**12. Poglavlje**

Tablica 12.1 - Emisijski faktori za neke karakteristične građevinske materijale	758
Tablica 12.2 - Vrijednosti električnog otpora Pt 100 otporničkog termometra	763
Tablica 12.3 - Toplinska provodnost nekih građevinskih materijala	786
Tablica 12.4 - Preporučena svojstva termografskog sustava za primjenu u zgradarstvu	791

**13. Poglavlje**

Tablica 13.1. Primjeri razine rasvijetljenosti	797
--	-----



## OZNAKE

Obzirom na veliki broj referenci i izvora podataka jednadžbe korištene u tekstovima različitih autora često sadrže iste oznake za različite fizikalne veličine i koeficijente, a ponekad se ista fizikalna veličina označava različitim oznakama. Tamo gdje je to bilo moguće uvedene su dodatne oznake u obliku indeksa, a za neke veličine i oznake to nije bilo moguće, pa su zadržane originalne oznake bez izmjena. U tekstovima pojedinih autora ove su vrijednosti objašnjene, a u sljedećoj tablici je pored oznake navedeno i poglavlje u kojoj se pojavljuje.

Oznaka	Objašnjenje	Mjerna jedinica	Poglavlje
A	Površina	m <sup>2</sup>	3
$A_{e,k}$	Površina konstrukcije k između negrijanog prostora i okoline	m <sup>2</sup>	4
$A_f$	Netto površina poda kondicioniranih dijelova zgrade	m <sup>2</sup>	11
$A_g$	Oplošje grijanog dijela zgrade	m <sup>2</sup>	1
$A_i$	Površina plohe <i>i</i>	m <sup>2</sup>	8
$A_k$	Ploština korisne površine zgrade	m <sup>2</sup>	1
$A_{kol}$	Kolektorska površina	m <sup>2</sup>	7
$A_{PROZ}$	Površina prozora ili druge ostakljene plohe	m <sup>2</sup>	11
$A_{PROZ-OS}$	Površina osunčanog dijela ostakljene plohe pri čemu treba uzeti u obzir građevinske elemente oko prozora koje je mogu zasjeniti	m <sup>2</sup>	11
$A_{PROZ-ST}$	Ukupna površina ostakljene plohe	m <sup>2</sup>	11
$A_Q$	Anergija topline	J	5
$A_{sol,k}$	Efektivna površina k-tog građevnog elementa uzimajući u obzir orijentaciju i nagib plohe	m <sup>2</sup>	11
$A_v$	površina otvora,	mm <sup>2</sup>	3
$A_w$	Površina poprečnog presjeka cijevi	m <sup>2</sup>	5
$A_{w,p}$	Ukupna ploština prozora	m <sup>2</sup>	11
$A_{U-ZID}$	Površina pregradnog zida, stropa ili poda	m <sup>2</sup>	11
<i>a</i>	Temperaturna provodnost ili toplinska difuzivnost	m <sup>2</sup> /s	3
<i>a</i>	Koeficijent apsorpcije	-	7
$a_c$	Bezdimenzijski numerički parametar koji uzima u obzir utjecaj toplinske inercije	-	11
$a_{c,red}$	Bezdimenzijski redukcijски faktor za nekontinuirano hlađenje određen prema HRN EN ISO 13790	-	11
$a_H$	Bezdimenzijski numerički parametar koji uzima u obzir utjecaj toplinske inercije	-	11
$a_{H,red}$	Bezdimenzijski redukcijски faktor za nekontinuirano grijanje prema HRN EN ISO 13790	-	8
$a_o$	Korekcijski faktor uslijed neravnina terena	-	8
<i>B</i>	Potrošnja goriva	m <sup>3</sup> /kg	5
<i>b</i>	Vrijeme pripravnosti za pogon kotla	h	5
$b_{OD}$	Broj ogrjevnih dana u godini izražen u satima	h	6
$b_{PR}$	Faktor propusnosti ostakljene plohe	-	11

$b_{RP}$	Broj sati rada plamenika	h	6
$b_{tr,k}$	Faktor prilagodbe, $b_{tr,k} \neq 1$ ako je temperatura s druge strane građevinskog elementa različita od vanjske temperature zraka	-	11
$b_u$	Temperaturni redukcijski faktor koji uzima u obzir razliku temperatura negrijanog prostora i vanjske projektne temperature	-	11
$b_{vk}$	Sati potpunog iskorištenja kotla	h	5
$C_D$	Koeficijent protjecanja za otvor	-	8
$C_{fix}$	Fiksni troškovi	kn	7
$C_G$	Cijena goriva	kn	7
$C_{invest}$	Cijena investicije	kn	7
$C_i$	Dozvoljena unutarnja koncentracija zagađivača u stacionarnom stanju	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	8
$C_{i,t}$	Srednja koncentracija zagađivača u prostoru (uz idealno miješanje)	$\text{m}^3/\text{m}^3$	8
$C_{kol}$	Cijena kolektora	kn	8
$C_m$	Efektivni toplinski kapacitet	W.h/K	2
$C_o$	Koncentracija zagađivača u vanjskom zraku	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	8
$C_p$	Koeficijent površinskog tlaka vjetra	-	8
$C_{res}$	Toplina izmijenjena konvektivno pri disanju	W/m <sup>2</sup>	8
$C_w$	Koeficijent učinkovitosti otvora	-	8
$c$	Specifični toplinski kapacitet	J/(kg K)	3
$c$	Brzina vala	m/s	12
$c_E$	Trošak proizvodnje električne energije	€	10
$c_F$	Specifični trošak goriva	€/kWh <sub>t</sub>	10
$c_H$	Cijena topline	€/kWh <sub>t</sub>	10
$c_{OM}$	Specifične troškove pogona i održavanja	€/kWh <sub>e</sub>	10
$c_{PRED}$	Specifični toplinski kapacitet predmeta ili tvari	J/kgK	11
$D,d$	Promjer	m	5
$D$	Koeficijent difuzije vodene pare kroz zrak, u ovisnosti o atmosferskom tlaku i temperaturi	m <sup>2</sup> /h	3
$d$	Debljina sloja	m	3
$d_{ekv}$	Ekvivalentni promjer	mm	8
$d_v$	Relativna gustoća	-	5
$E$	Vlastita emitirana energija realnog tijela	W/m <sup>2</sup>	12
$E_{CHP}$	Godišnju proizvodnju električne energije u kogeneracijskom procesu	kWh <sub>e</sub>	10
$E_c$	Vlastita emitirana energija crnog tijela	W/m <sup>2</sup>	12
$E_{del}$	Godišnja isporučena energija	kWh/a	1
$E_{el,chp}$	Proizvedena električna energija u kogeneracijskom procesu	kWh	10
$E_f$	Energija goriva utrošena za pogon kogeneracijskog postrojenja i toplane	J	10
$Eks_Q$	Eksergija topline	J	5

$E_i$	Godišnja potrebna energija za rasvjetu za stvarne klimatske podatke za definirani profil korištenja	kWh/a	1
$E_{obnov}$	Toplinska energija iz obnovljivih izvora dovedena odgovarajućim sustavom (npr. sunčanim kolektorima)	kWh	11
$E_{pov}$	Toplinska energija vraćena sustavom za regeneraciju/rekuperaciju	kWh	11
$E_{prim}$	Godišnja primarna energija	kWh/a	1
$E_{res}$	Toplina izmijenjena ishlapljivanjem pri disanju	W/m <sup>2</sup>	8
$E_{sk}$	Toplina izmijenjena ishlapljivanjem s površine kože	W/m <sup>2</sup>	8
$\Sigma E$	Ukupna utrošena energija tokom godine	kW	9
$e$	Maksimalna relativna pogreška	-	3
$e$	Seebeckov koeficijent parova	V/°C	9
$e_{dis}$	Faktor potrošnje energije za rad cirkulacijske crpke	-	11
$e_i$	Koeficijent zaklonjenosti	-	11
$e_p$	Koeficijent utroška sustava	-	7
$e_{p,i}$	Faktor primarne energije za pojedini i-ti izvor energije	-	11
$e_{12, e21}$	Geometrijski ili vidni faktori	-	3
$F_c$	Koeficijent zasjenjenja	%	4
$F_{hor}$	Parcijalni faktor zasjenjenja zbog konfiguracije terena	-	11
$F_{ov}$	Parcijalni faktor zasjenjenja zbog gornjih elemenata prozorskog otvora	-	11
$F_{fin}$	Parcijalni faktor zasjenjenja zbog bočnih elemenata prozorskog otvora	-	11
$F_{r,k}$	Faktor oblika između k-tog građevnog elementa i neba	-	11
$F_{sh,gl}$	Faktor smanjenja zbog sjene od pomičnog zasjenjenja	-	11
$F_{sh,ob,k}$	Faktor smanjenja zbog sjene od vanjskih prepreka direktnom sunčevu zračenju na površinu k-tog građevnog elementa	-	11
$f$	Korekcijski faktor	-	5
$f_a$	Procijenjeni udio toplinskih gubitaka	-	5
$f_{aux,rbl}$	Faktor povrata pomoćne energije	-	11
$f_{cl}$	Omjer izložene površine kože odjevene osobe prema ukupnoj površini	-	7
$f_{C,m}$	Udio dana u mjesecu koji pripada sezoni hlađenja	-	11
$f_{g1}$	Korekcijski faktor utjecaja godišnjih promjena vanjske temperature.	-	11
$f_{g2}$	Korekcijski faktor koji uzima u obzir razliku između srednje godišnje i projektne vanjske temperature zraka	-	11
$f_{H,m}$	Udio broja dana u mjesecu koji pripada sezoni grijanja	-	11
$f_{H,hr}$	Udio sati u tjednu tijekom kojih grijanje radi sa normalnom postavnom vrijednošću unutarnje temperature	-	11
$f_{hydr}$	Faktor za hidrauličko uravnoteženje	-	11
$f_{im}$	Faktor za nekontinuirani pogon	-	11
$f_k$	Temperaturni korekcijski faktor za pojedini slučaj izmjene topline (prema dodatku D.7.2. norme HRN EN 12831)	-	11

$f_n$	Udjeli površina svakog promatranog odsječka u ukupnoj površini	-	3
$f_0$	Faktor oblika zgrade	-	1
$f_{p,DH}$	Faktor primarne energije sustava daljinskog grijanja (DH sustav) koji obuhvaća toplanu i kogeneracijsko postrojenje	-	10
$f_{rad}$	Faktor zračenja (samo za sustave grijanja zračenjem)	-	11
$f_{RH}$	Korekcijski faktor koji ovisi o trajanju prekida grijanja i padu temperature tijekom prekida grijanja (prema dodatku D.6 norme HRN EN 12831)	-	11
$f_{Rsi}$	Faktor temperature na unutarnjoj površini	-	3
$f_{Rsi,min}$	Minimalni temperaturni faktor na unutrašnjoj površini zida	-	3
$f_{sol,m}$	Udio toplinske energije dovedene sunčanim sustavom u ukupnom toplinskom opterećenju sunčanog sustava (mjesečni)	-	7
$f_{sh,with}$	Koeficijent za određivanje faktora zasjenjenja	-	4
$f_{V,i}$	Korekcijski faktor temperature	-	11
$f_{with}$	Udio vremena s uključenom pomičnom zaštitom i vremena s isključenom pomičnom zaštitom od sunca	-	11
$f_{\Delta\theta,i}$	Korekcijski temperaturni faktor koji uzima u obzir dodatni gubitak topline prostorija koje su grijane na veću temperaturu nego susjedne grijane prostorije (npr. kupaonica koja se grije na 24°C)	-	11
$G$	Ukupno apsorbirano zračenje	Wh/m <sup>2</sup>	7
$G_V$	Iznos stvaranja vlage u prostoriji	kg/h	3
$G_w$	Korekcijski faktor utjecaja podzemne vode.	-	11
$g$	Gustoća toka vodene pare,	kg/(m <sup>2</sup> s)	3
$g_c$	Gustoća intenziteta kondenzacije vlage	kg/(m <sup>2</sup> ·s)	3
$g_{ev}$	Gustoća intenziteta isušivanja vlage	kg/(m <sup>2</sup> ·s)	3
$g_{gl}$	Ukupna propusnost sunčeva zračenja kroz prozirne elemente kada pomično zasjenjenje nije uključeno	-	11
$g_{gl+sh}$	Ukupna propusnost sunčeva zračenja kroz prozirne elemente s uključenom pomičnom zaštitom od sunca	-	11
$g_{\perp}$	Solarni faktor	%	4
$H$	Osjetna izmijenjena toplina	W/m <sup>2</sup>	8
$\bar{H}$	Ukupno dnevno zračenje horizontalne plohe	Wh/m <sup>2</sup> d	7
$H_A$	Koeficijent transmisije izmjene topline prema susjednim zgradama	W/K	11
$H_{CHP}$	Godišnja isporučena korisna toplina iz kogeneracijskog procesa	kWh <sub>t</sub>	10
$H_D$	Koeficijent transmisije izmjene topline izravno prema vanjskom okolišu	W/K	11
$H_d$	Donja ogrjevnost goriva	MJ/kg	5
$\bar{H}_d$	Difuzno dnevno zračenje na horizontalnu plohu	Wh/m <sup>2</sup> d	7
$H_g$	Gornja ogrjevnost goriva	MJ/kg	5
$H_{g,m}$	Koeficijent transmisije izmjene topline prema tlu određen za svaki proračunski mjesec	W/K	11
$H_{met}$	Visina na kojoj se mjeri brzina kao meteorološki podatak	m	8

$H_{NPL}$	Visina neutralne razine tlaka	m	8
$H_{pe}$	Periodički koeficijent transmisije izmjene topline prema tlu	W/K	11
$H_{s,g,mm}$	Srednje mjesečno globalno zračenje na horizontalnu plohu	kWh/m <sup>2</sup>	4
$H_{s,g,ic,mm}$	Srednje mjesečno globalno zračenje na nagnutu plohu	kWh/m <sup>2</sup>	4
$H_T'$	Koeficijent transmisijskog toplinskog gubitka po jedinici oplošja grijanog prostora zgrade	W/(m <sup>2</sup> ·K)	2
$H_{T,ie}$	Koeficijent transmisijskog gubitka topline od grijanog prostora prema okolišu kroz omotač zgrade	W/K	11
$H_{T,ig}$	Koeficijent transmisijskog gubitka topline od grijanog prostora prema tlu	W/K	11
$H_{T,ij}$	Koeficijent transmisijskog gubitka topline od grijanog prostora prema susjednom prostoru grijanog na nižu temperaturu	W/K	10
$H_{T,iue}$	Koeficijent transmisijskog gubitka topline od grijanog prostora prema okolišu kroz negrijani prostor	W/K	11
$H_{tr,ad}$	Koeficijent transmisijskog toplinskog gubitka	W/K	1
$H'_{tr,adj}$	Koeficijent transmisijskog toplinskog gubitka po jedinici oplošja grijanog dijela zgrade	W/m <sup>2</sup> K	2
$H_{tr,zy}$	Koeficijent transmisije izmjene topline između zona z i y	W/K	11
$H_U$	Koeficijent transmisije izmjene topline kroz negrijani prostor prema vanjskom okolišu	W/K	11
$H_V$	Efektivna visina	m	5
$H_{Ve,adj}$	Koeficijent toplinskog gubitka provjetranjem	W/K	2
$H_{V,i}$	Projektni koeficijent ventilacijskih gubitaka topline	W/K	11
$H_{ve,z \rightarrow y}$	Koeficijent ventilacijske izmjene topline između zona z i y	W/K	11
$h$	Specifična entalpija	J/kg	8
$h_d$	Visina dimnjaka	m	5
$I$	Ukupno zračenje horizontalne plohe	Wh/m <sup>2</sup>	6
$I_A$	Godišnji investicijski trošak	€	10
$I_b$	Direktno zračenje na nagnutu plohu	Wh/m <sup>2</sup>	7
$I_{cl}$	Odnos ukupnog otpora prolazu topline od površine kože do vanjske površine odjeće i toplinskog otpora odjeće	clo	8
$I_{IR}$	Faktor istodobnosti rasvjete	-	11
$I_{IS}$	Stupanj istodobnosti pogona	-	11
$I_T$	Ukupno zračenje na nagnutu plohu	Wh/m <sup>2</sup>	7
$I_{RASP-MAX}$	Maksimalno raspršeno (difuzno) zračenja na plohu	W/m <sup>2</sup>	11
$I_{sol,k}$	Prosječna gustoća toplinskog toka sunčeva zračenja na površinu k-tog građevnog elementa u promatranom proračunskom periodu (mjesecu) na određenu orijentaciju i nagib plohe	W/m <sup>2</sup>	11
$I_{UK-MAX}$	Maksimalno ukupno zračenje na plohu	W/m <sup>2</sup>	11
$I_o$	Ekstraterestričko zračenje	Wh/m <sup>2</sup>	7
$I_{\lambda,c}$	Intenzitet vlastitog emitiranog zračenja (spektralna raspodjela) crnog tijela	W/m <sup>3</sup>	12

$K$	Koeficijent propusnosti po m <sup>2</sup> površine kanala	m <sup>3</sup> /(s·m <sup>2</sup> ·Pa <sup>0.65</sup> )	8
$K_e$	Vodljivost parova	W/°C	9
$k_T$	Indeks prozračnosti atmosfere	-	7
$k_{U-ZID}$	Koeficijent prolaza topline pregradnog zida, stropa ili poda	W/(m <sup>2</sup> K)	11
$L$	Duljina	m	3
$L_C$	Trajanje sezone hlađenja	mjesec	11
$L_D$	Koeficijent toplinske veze transmisijom	W/K	11
$L_H$	Trajanje sezone grijanja	mjesec	11
$L_{iu}$	Koeficijent toplinske veze transmisijom između grijanog i negrijanog prostora	W/K	11
$L_{min}$	Teorijski potrebna količina zraka	m <sup>3</sup> /kg ili m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup>	5
$I_g$	Značajka pogona sustava grijanja za određivanje izolacijske klase cijevi	Ks	5
$I_m$	Duljine linijskih toplinskih mostova	m	11
$I_o$	Duljina dionice cjevovoda	m	5
$M$	Molarna masa	kg/kmol	5
$M$	Metabolički učinak	W/m <sup>2</sup>	8
$\dot{M}$	Protok medija za prijenos topline	kg/h	5
$\dot{M}_{DP}$	Maseni protok dimnih plinova	kg/s	5
$\dot{M}_{RT}$	Maseni protok radne tvari	kg/s	9
$\dot{m}_{con}$	Ukupna emisija štetne tvari iz izvora zagađenja	μg/h	8
$m_{PRED}$	Masa predmeta ili tvari	kg	11
$m_{sz}$	Masa suhog zraka	kg	3
$m_w$	Masa vlage sadržana u vlažnom zraku	kg	3
$n$	Broj izmjena zraka	h <sup>-1</sup>	2
$n_{50}$	Broj izmjena zraka prostora u jednom satu pri razlici tlaka od 50 Pa između prostora i vanjskog okoliša	h <sup>-1</sup>	11
$n_{min}$	Minimalni broj izmjena zraka svježim zrakom	h <sup>-1</sup>	11
$n_{tap}$	Broj izlivanja vode iz cijevi u jednom danu		11
$n_{\beta}$	broj sati pogona [h/god]		5
$P$	Izloženi opseg poda	m	11
$\dot{P}$	Snaga pumpe	kW	5
$P_B$	Otpor strujanja zraka za izgaranje iz atmosfere do kotla	Pa	5
$PD$	Postotak nezadovoljnih osoba uslijed propuha	%	8
$\dot{P}_e$	Snaga elektromotora	kW	5
$P_{EL}$	Električna snaga za pogon ventilatora	W	8
$P_{FW}$	Otpor strujanju u dimnom kanalu	Pa	5
$P_H$	Statički tlak dimnjaka	Pa	5
$P_{jpp}$	Period povrata investicije	godina	7
$P_{komp}$	Snaga kompresora	W	9
$P_L$	Tlak vjetra	Pa	5

$P_R$	Tlak u dimnjaku uslijed trenja	Pa	5
$P_{RAS}$	Ukupni električni učin svih rasvjetnih tijela prostorije	W	11
$P_{SUO}$	Nazivni učin stroja, uređaja ili opreme	W	11
$P_W$	Tlak potreban za savladavanje otpora u ložištu	Pa	5
$P_Z$	Podtlak u dimnjaku	Pa	5
$P_{ZO}$	Nadtlak dimnjaka	Pa	5
$P_{Zoe}$	Efektivni nadtlak	Pa	5
$P_{Zexcess}$	Dozvoljeni računski tlak u vodovima	Pa	5
$p$	Srednji atmosferski tlak zraka	Pa	3
$p_c$	Tlak zasićenja u ravnini u kojoj dolazi do pojave kondenzacije	Pa	3
$p_e$	Parcijalni tlak vodene pare u zraku s vanjske strane promatranog elementa	Pa	3
$p_i$	Parcijalni tlak vodene pare u zraku s unutarnje strane promatranog elementa	Pa	3
$p_d$	Parcijalni tlak u zraku sadržane vodene pare	Pa	3
$p_{kr}$	Kritični tlak	bar	5
$p_s$	Tlaka zasićenja pare	Pa	3
$\Delta p$	Pad tlaka	bar	5
$\Delta p_{lin}$	Gubici trenja uslijed površinske hrapavosti unutarnje površine kanala	Pa	8
$Q$	Toplina	J	3
$Q_B$	Toplinsko opterećenje kotla,	kW	6
$Q_C$	Godišnja potrebna energija za hlađenje za stvarne klimatske podatke	kWh/a	11
$Q_{C,gn}$	Ukupni toplinski dobiti zgrade u periodu hlađenja	J	11
$Q_{C,ht}$	Ukupna izmijenjena toplina u periodu hlađenja	J	11
$Q_{C,ls}$	Godišnji gubici sustava hlađenja	kWh/ m <sup>2</sup> a	1
$Q_{C,nd}$	Godišnja potrebna toplinska energija za hlađenje	kWh/a	1
$Q_{C,nd,m}$	Mjesečna potrebna korisna energija za hlađenje	J	11
$Q_{C,nd,cont}$	Ukupna potrebna korisna energija za hlađenje zone pri kontinuiranom hlađenju	J	11
$Q_{duct-leak}$	Godišnji toplinski gubici zbog propuštanja ventilacijskih kanala	kWh	11
$Q_{em,in}$	Ulaz toplinske energije u podsustav izmjene topline	kWh	11
$Q_{em,ls,nrvd}$	Gubici toplinske energije podsustava izmjene topline koji nisu iskorišteni za grijanje prostora	kWh	11
$Q_{em,ls,rvd}$	Gubici toplinske energije podsustava izmjene topline koji su iskorišteni za grijanje prostora (ne unutar podsustava nego unutar zgrade)	kWh	11
$Q_{em,out}$	Izlaz toplinske energije iz podsustava izmjene topline (koja je jednaka potrebnoj korisnoj energiji za grijanje prostora)	kWh	11
$Q_{grij}$	Toplina potrebna za grijanje	kWh	7
$Q_{H,gen,ls}$	Gubitak toplinske energije podsustava izvora (proizvodnje) toplinske energije	kWh	11

$Q_{H,gen,ls,rbl}$	Iskoristivi gubitak toplinske energije podsustava izvora (proizvodnje) toplinske energije	kWh	11
$Q_{H,dis,ls}$	Gubitak toplinske energije podsustava razvoda (distribucije) toplinske energije	kWh	11
$Q_{H,dis,ls,rbl}$	Iskoristivi gubitak toplinske energije podsustava razvoda (distribucije) toplinske energije	kWh	11
$Q_{H,em,ls}$	Gubitak toplinske energije podsustava izmjene toplinske energije u prostoru	kWh	10
$Q_{H,em,ls,rbl}$	Iskoristivi gubitak toplinske energije podsustava izmjene toplinske energije u prostoru	kWh	11
$Q_{H,gn}$	Ukupni toplinski dobici zgrade u periodu grijanja	kWh	1
$Q_{H,ht}$	Ukupni toplinski gubici zgrade u periodu grijanja prema vanjskom okolišu	kWh	1
$Q_{H,ls}$	Godišnji toplinski gubici sustava grijanja	kWh	1
$Q_{H,nd}$	Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje	kWh/a	1
$Q_{H,nd,cont}$	Ukupna potrebna korisna energija za grijanje zone pri kontinuiranom grijanju	J	11
$Q'_{H,nd,dop}$	Dopuštena specifična godišnja potrebna toplinska energija za grijanje	kWh/(m <sup>3</sup> a)	1
$Q_{H,nd,ref}$	Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje za referentne klimatske podatke	kWh/a	1
$Q'_{H,nd,ref}$	Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje za referentne klimatske podatke izražena po jedinici obujma grijanog dijela zgrade	kWh/(m <sup>3</sup> a)	1
$Q''_{H,nd,ref}$	Specifična godišnja potrebna toplinska energija za grijanje za referentne klimatske podatke za stambenu zgradu	kWh/ m <sup>2</sup> a	1
$Q_{H,nd,rel}$	Relativna vrijednost godišnje potrebne toplinske energije za grijanje za nestambene zgrade	%	1
$Q_{H,sol,us,m}$	Toplinsko opterećenje sunčanog sustava kod grijanja prostora	kWh/mj	7
$Q_{int}$	Unutarnji dobici topline	kWh	2
$Q_{izl}$	Iskoristiva izlazna toplina	J	5
$Q_{kol}$	Toplina dobivena u kolektoru	W	6
$Q_m$	Mjesečna potrošnja topline	kW	5
$\dot{Q}_n$	Standardna potrebna količina topline	kW	5
$Q_o$	Toplinski tok od jednog čovjeka	W	11
$Q_{OS}$	Toplinski tok koji odaju ljudi u prostoru	W	11
$Q_{OST}$	Toplinski tok od ostalih izvora (razni procesi i sl.)	W	11
$Q_{PROL}$	Toplinski tok koji odaju predmeti pri prolasku kroz prostoriju	W	11
$Q_{PROZ-KONV}$	Toplinski tok doveden iz okoline provođenjem i konvekcijom kroz ostakljene plohe	W	11
$Q_{PROZ-ZR}$	Toplinski tok doveden iz okoline zračenjem kroz ostakljene plohe	W	11
$Q_{prop}$	Godišnja potrebna energija za ventilatore i regulaciju	kWh	11
$Q_{PTV}$	Potrebna toplina za zagrijavanje PTV-a	kWh	5



$Q_{RAS}$	Toplinski tok od rasvjetnih tijela	W	11
$Q_{SUO}$	Toplinski tok koji odaju strojevi, uređaji i ostala oprema	W	11
$Q_{U-ZID}$	Toplinski tok iz susjednih prostorija provođenjem i konvekcijom kroz unutarnji zid, pod ili strop	W	11
$Q_{V-ZID}$	Toplinski tok iz okoline provođenjem i konvekcijom kroz vanjski zid ili krov	W	11
$Q_{VENT}$	Toplinski tok uslijed prirodne ventilacije (kroz zatore)	W	11
$Q_{ul}$	Ulazna toplina	J	5
$\dot{Q}_R$	Instalirana snaga radijatora	kW	5
$Q_s$	Stvarna snaga radijatora	W	5
$Q_{sol}$	Solarni dobici topline	kWh	2
$Q_{sol,ls,m}$	Toplinski gubici spremnika i distribucije između spremnika i dodatnog izvora topline (kotla) (mjesečno)	kWh/mj	7
$Q_{sol,ls,rb,lm}$	Ukupni iskoristivi (povrativi) toplinski gubici spremnika i distribucije između spremnika i dodatnog izvora topline (kotla) te toplinski gubici pomoćnih uređaja (mjesečno)	kWh/mj	7
$Q_{sol,out,m}$	Toplinska energija dovedena sunčanim sustavom objektu (mjesečna)	kWh/mj	7
$Q_{sol,us,m}$	Ukupno toplinsko opterećenje sunčanog sustava (mjesečno)	kWh/mj	7
$Q_{sprem}$	Toplinska energija akumulirana u spremniku	kWh	7
$\dot{Q}_T$	Transmisijski toplinski gubici	kW	5
$Q_{tr}$	Izmijenjena toplina transmisijom za zonu z prema vanjskom okolišu	J	11
$Q_{tr,zy}$	Izmijenjena toplina transmisijom iz zone z prema zoni y	J	11
$Q_{UN}$	Ukupno unutarnje toplinsko opterećenje - unutarnji izvori topline	W	11
$\dot{Q}_V \dot{Q}_v$	Ventilacijski toplinski gubici	kW	5
$Q_v$	Toplinski učinak kotla	kW	6
$Q_{ve}$	Izmijenjena toplina ventilacijom za zonu z prema vanjskom okolišu	J	11
$Q_{ve,z \rightarrow y}$	Izmijenjena toplina ventilacijom iz zone z prema zoni y	J	11
$Q_{VANJ}$	Ukupno vanjsko toplinsko opterećenje - vanjski izvori topline	W	11
$Q_{Ve}$	Godišnja potrebna energija za ventilaciju u sustavu prisilne ventilacije, djelomične klimatizacije i klimatizacije za stvarne klimatske podatke za definirani profil korištenja	kWh/a	1
$Q_{V,pre-cool}$	Mjesečna potrebna korisna energija za prethlađenje ventilacijskog zraka	kWh	11
$Q_{V,pre-heat}$	Mjesečna potrebna korisna energija za predgrijavanje ventilacijskog zraka	kWh	11
$Q_{V,sys,pre-cool,an}$	Godišnja potrebna konačna energija za centralno prethlađenje	kWh	11
$Q_{V,sys,pre-heat,an}$	Godišnja potrebna konačna energija za centralno predgrijavanje	kWh	11
$Q_w$	Godišnja potrebna toplinska energija za pripremu potrošne tople vode (PTV)	kWh	1
$Q_{w,ls}$	Godišnji toplinski gubici sustava pripreme potrošne tople vode	kWh	1

$\Sigma Q_{DT}$	Dobavljena toplinska energija tokom godine	W	9
$\Sigma Q_{del,j}$	Ukupno isporučena toplinska energija za potrebe grijanja prostora i pripreme potrošne tople vode	W	10
$q$	Gustoća toplinskog toka	W/m <sup>2</sup>	3
$q_a$	Gubici dimnim plinovima	-	6
$q_B$	Gubici na okolinu s oplata kotla	-	6
$q_b$	Faktor gubitaka kotla kod pripravnosti	-	5
$q_d$	Gustoća difuzijskog toka vodene pare kroz građevinski element,	kg/(m <sup>2</sup> ·s),	3
$q_g$	Gubici zbog ostatka goriva u pepelu	-	6
$q_{isp}$	Specifični učinak isparivača,	kJ/kg	9
$q_{kond}$	Specifični učinak kondenzatora	kJ/kg	9
$q_m$	Maseni protok	kg/s	3
$q_{mRT}$	Maseni protok radne tvari	kg/s	9
$q_v$	Volumenski protok	m <sup>3</sup> /s	3
$R$	Projektna vrijednost toplinskog otpora	(m <sup>2</sup> K)/W	3
$R$	Otpor trenja u cjevovodu	Pa	5
$R$	Električni otpor parova	Ohm	9
$R_b$	Odnos između direktnog zračenja na nagnutu i horizontalnu plohu	-	7
$RQ$	Respiratorni kvocijent	-	8
$R'_{si}$	Unutrašnji otpor prijelazu topline, plošni otpori,	(m <sup>2</sup> K)/W	3
$R_{se}$	Vanjski otpor prijelazu topline, plošni otpori	(m <sup>2</sup> K)/W	3
$R_T$	Ukupni toplinski otpor građevnog dijela u	(m <sup>2</sup> K)/W	3
$R'_T$	Gornja granična vrijednost ukupnog toplinskog otpora	(m <sup>2</sup> K)/W	3
$R''_T$	Donja granična vrijednost ukupnog toplinskog otpora	(m <sup>2</sup> K)/W	3
$R_{T,u}$	Ukupni toplinski otpor s neprovjetravanim slojem zraka	(m <sup>2</sup> K)/W	3
$R_{T,v}$	Ukupni toplinski otpor s dobro (jako) provjetravanim slojem zraka	(m <sup>2</sup> K)/W	3
$r$	Toplina isparivanja	MJ/kg	5
$r$	Faktor refleksije	-	12
$r_{a-f}$	Toplinski otpor između apsorbera i fluida u cijevima	(m <sup>2</sup> K)/W	7
$r_i$	Jedinični otpor cjevovoda	Pa/m	5
$r_t$	Ukupni toplinski otpor gubicima topline	(m <sup>2</sup> K)/W	7
$S$	Ušteda na toplinskoj energiji	kn	7
$SD$	Broj stupanj dana grijanja	Kd/a	1
$S_{d,mj}$	Broj stupanj dana jednog mjeseca	-	5
$s_d$	Debljina sloja zraka ekvivalentna za difuziju vodene pare	m	3
$s_{UN}$	Faktor toplinskog opterećenja za unutarnje izvore	-	11
$s_v$	Faktor toplinskog opterećenja za vanjske izvore topline	-	11
$T$	Period oscilacija	-	3
$T$	Termodinamička temperatura,	K	3
$T_{amb}$	Temperatura ambijenta	K	12

$T_{aps}$	temperatura apsorberske ploče	K	7
$T_f$	Temperatura fluida u cijevima kolektora	K	7
$T_{f,iz}$	Temperatura na izlazu fluida iz kolektora	K	7
$T_{f,ul}$	Temperatura na ulazu fluida iz kolektora	K	7
$T_g$	Granična temperatura	K	5
$T_{iob}$	Najniža temperatura u sustavu pri stacionarnom pogonu	K	5
$T_{ok}$	Temperatura okoliša	K	9
$T_p$	Temperatura rošenja	K	5
$\bar{T}_r$	Srednja temperatura zračenja	K	8
$T_{s1}$	Temperatura vode u spremniku na početku vremenskog intervala	K	7
$Tu$	Stupanj turbulencije	K	8
$T_w$	Temperatura plinova	K	5
$T_z$	Temperatura zraka	K	7
$\Delta T$	Promjena temperature	K	3
$t$	Vrijeme	s	11
$t_{a,min}$	Vanjska projektna temperatura	°C	5
$t_{a,mj}$	Srednja mjesečna temperatura vanjskog zraka	°C	5
$t_{kr}$	Kritična temperatura	°C	5
$t_{op,an}$	Trajanje grijanja u satima godišnje	h/a	11
$t_{p,m}$	Srednja temperatura prostorije	°C	5
$t_{vr}$	Temperatura vrelišta	°C	5
$U$	Koeficijent prolaza topline	W/(m <sup>2</sup> K)	2
$U_{e,k}$	Toplinska vodljivost konstrukcija između negrijanog prostora i okoline,	W/(m <sup>2</sup> K).	4
$U_{equiv,k}$	Ekvivalentni koeficijent prolaza topline određen u ovisnosti o tipu poda određen prema HRN EN ISO 13370	W/(m <sup>2</sup> ·K).	11
$U_f$	Koeficijent prolaska topline okvira prozora	W/(m <sup>2</sup> ·K).	4
$U_{kc}$	Korigirani koeficijent prolaza topline građevinskih elemenata uzimajući u obzir toplinske mostove	W/(m <sup>2</sup> ·K).	11
$U_{max}$	Maksimalni dopušteni koeficijent prolaska topline	W/(m <sup>2</sup> ·K).	1
$U_{stvarni}$	Stvari koeficijent prolaska topline	W/(m <sup>2</sup> ·K).	1
$U_{zida}$	Koeficijenta prolaska topline zida	kWh/m <sup>2</sup>	4
$\Delta U_{TM}$	Korekcija koeficijent prolaza topline zbog toplinskih mostova	W/(m <sup>2</sup> ·K)	2
$u$	Specifična unutarnja energija tijela pri temperaturi $\vartheta$ ,	J/kg	3
$u_0$	Referentna vrijednost specifične unutarnje energije pri temperaturi $\vartheta_0$	J/kg	3
$V$	Volumen	m <sup>3</sup>	3
	Protok pumpe	kg/m <sup>3</sup>	5
$V_e$	Obujam grijanog dijela zgrade	m <sup>3</sup>	1
$V_{ex}$	Volumenski protok odvedenog zraka iz prostora prilikom prisilne ventilacije	m <sup>3</sup> /s	11

$\dot{V}_{inf}$	Infiltracijski protok zraka uslijed propuštanja ovojnice zgrade	$m^3/s$	11
$V_{mech,inf,i}$	Višak odsisnog zraka	$m^3/h$	11
$V_{min,i}$	Higijenski minimalni volumni protok zraka	$m^3/h$	11
$V_n$	Obujam negrijanog prostora	$m^3$	4
$\dot{V}_o$	Minimalni protok vanjskog zraka	$m^3/h$	8
$\dot{V}_{o,p}$	Minimalni protok vanjskog zraka po osobi	$m^3/(h \text{ osobi})$	8
$V_s$	Stapajni volumen	$m^3$	9
$V_{sprem}$	Volumen spremnika	$m^3$	7
$V_{su}$	Volumenski protok dovedenog zraka u prostor prilikom prisilne ventilacije ()	$m^3/s$	11
$V_x$	Dodatni tok zraka uslijed vjetra i uzgona	$m^3/h$	2
$v_{mm}$	Srednja mjesečna i godišnja brzina vjetra	$m/s$	4
$W$	Rad	J	5
$W_{ctr}$	Pomoćna energija potrebna za rad sustava regulacije (u proračunskom periodu)	kWh	11
$W_{C,aux}$	Godišnja potrebna pomoćna energija za sustav hlađenja	kWh	11
$W_e$	Koeficijent akumulacije energije,	$kJ/(m^2K)$	3
$W_g$	Wobbe broj	$kJ/m^3$	5
$W_{H,aux}$	Godišnja potrebna pomoćna energija za sustav grijanja	kWh	11
$W_{H,dis,aux,an}$	Godišnja potrebna pomoćna energija za podsustav razvoda	kWh/a	11
$W_{H,dis,hydr,an}$	Godišnja potrebna hidraulička energija za podsustav razvoda	kWh/a	11
$W_{others}$	Pomoćna energija potrebna za rad ventilatora i dodatnih pumpi (u proračunskom periodu)	kWh	11
$W_{sol,aux,m}$	Pomoćna energija potrebna za pogon pumpi i regulacije (mjesečna)	kWh/mj	8
$W_{Ve,aux}$	Godišnja potrebna pomoćna energija za sustav hlađenja	kWh	11
$w_a$	Brzina strujanja zraka	$m/s$	8
$w_{ar}$	relativna brzina strujanja zraka (u odnosu na osobu)	$m/s$	8
$w_{SD}$	Standardna devijacija brzine strujanja zraka	$m/s$	8
$X$	Masena vlaga	%	3
$x$	Sadržaj vlage	$g/kg$	3
$Z$	Broj dana grijanja	d	1
$Z$	Lokalni otpor	Pa	5
$Z_{mj}$	broj dana grijanja u određenom mjesecu	-	5
$z$	Broj cilindara kompresora	-	9
$Z_B$	Broj sati pogona	h	5
$\alpha$	Koeficijent prijelaza topline	$W/(m^2 \times K)$	3
$\alpha_t$	Koeficijent linearnog istezanja,	$m/(m \times K)$	3
$\alpha_s$	Kut visine Sunca: kut između sunčevih zraka i horizontale	°	7
$\beta$	Kut između nagnute plohe i horizontalne ravnine	°	7

$\beta_e$	Koeficijent prijelaza vodene pare s vanjske površine elementa na vanjski zrak	kg/(m <sup>2</sup> sPa)	3
$\beta_{gen}$	Faktor učina kotla	-	11
$\beta_i$	Koeficijent prijelaza vodene pare s unutarnjeg zraka na unutarnju stranu elementa	kg/(m <sup>2</sup> sPa)	3
$\gamma$	Azimut plohe, otklon plohe i otklon projekcije sunčevih zraka na horizontalnu ravninu od smjera juga,	°	7
$\gamma_c$	Odnos toplinskih dobitaka i ukupno izmijenjene topline transmisijom i ventilacijom u režimu hlađenja	-	11
$\gamma_s$	Azimut Sunca, otklon projekcije sunčevih zraka na horizontalnu ravninu od smjera juga	°	7
$\gamma_H$	Odnos toplinskih dobitaka i ukupne izmijenjene topline transmisijom i ventilacijom u režimu grijanja	-	8
$\delta$	Koeficijent difuzijske vodljivosti vodene pare,	kg/(m <sup>2</sup> sPa)	3
$\delta_g$	Kut nagiba Zemljine osi prema ravnini orbite	°	7
$\delta$	Periodička dubina prodiranja	m	11
$\delta_o$	Koeficijent difuzijske vodljivosti vodene pare u zraku	kg/(m <sup>2</sup> sPa)	3
$\delta_p$	Koeficijent difuzije vodene pare u nekom materijalu u odnosu na parcijalni tlak vodene pare	kg/(m <sup>2</sup> sPa)	3
$\varepsilon$	Emisijski faktor	-	3
$\varepsilon_{hl}$	Faktor grijanja (COP)	-	9
$\varepsilon_{hl}$	Faktor hlađenja (EER)	-	9
$\varepsilon_{gr,G}$	Godišnji toplinski množitelj dizalice topline	-	9
$\varepsilon_i$	Korekcijski faktor za visinu prostorije od tla (do 10 m $\varepsilon_i=1$ )	-	11
$\varepsilon_n$	Emisijski faktor u smjeru normale	-	12
$\zeta_{hl}$	Rashladni odnos jednostupanjskog apsorpcijskog rashladnog uređaja	-	9
$\zeta_{gr}$	Toplinski odnos jednostupanjskog apsorpcijskog rashladnog uređaja	-	9
$\eta$	vremenski pomak faze oscilacija temperature	h	3
$\eta_{carnot}$	Iskoristivost idealnog Carnotovog procesa	-	5
$\eta_{ctr}$	Stupanj korisnosti za regulaciju temperature	-	11
$\eta_e$	Omjer proizvedene električne energije i goriva utrošenog za proizvodnje električne energije i korisne topline u kogeneracijskom procesu	-	10
$\eta_{em}$	Ukupni stupanj korisnosti sustava izmjene topline u prostoru	-	11
$\eta_{emb}$	Stupanj korisnosti za specifične gubitke ugrađenih sustava.	-	11
$\eta_{en}$	Energetska iskoristivost	-	5
$\eta_{eks}$	Eksergetska iskoristivost	-	5
$\eta_g$	Toplinski gubici u cjevovodu i izmjenjivaču	-	7
$\eta_{H,gn}$	Bezdimenzijski faktor iskorištenja toplinskih dobitaka za grijanje	-	1
$\eta_k$	Stupanj korisnosti kotla	-	5
$\eta_{kol}$	Efikasnost kolektora	-	7
$\eta_m$	Srednji stupanj iskoristivosti kotla	-	5

$\eta_M$	Stupanj djelovanja elektromotora	-	5
$\eta_p$	Korisnost pumpe	-	5
$\eta_{ref,e}$	Električna učinkovitost referentne elektrane, ovisi o vrsti korištenog goriva i godini izgradnje kogeneracijskog postrojenja	-	10
$\eta_{ref,t}$	Toplinska učinkovitost referentne kotlovnice, ovisna o vrsti korištenog goriva i načinu korištenja otpadne topline	-	10
$\eta_{str}$	Stupanj korisnosti za vertikalni profil temperature	-	11
$\eta_t$	Omjer proizvedene korisne topline i goriva utrošenog za proizvodnje električne energije i korisne topline u kogeneracijskom procesu	-	10
$\eta_v$	Stupanj korisnosti sustava povrata topline prilikom prisilne ventilacije	-	11
$\eta_{VE}$	Stupanj korisnosti ventilatora	-	8
$\theta$	Upadni kut, kut između sunčevih zraka i normale nagnute plohe	°	7
$\theta_a$	Temperatura suhog termometra (zraka)	°C	8
$\theta_{a,stv}$	Stvarna temperatura vanjskog zraka	°C	11
$\theta_{cl}$	Površinska temperatura odjeće	°C	8
$\theta_e$	Temperatura okolnog zraka	°C	5
$\theta_{em}$	Srednja vanjska temperatura u sezoni grijanja	°C	1
$\theta_{ep}$	Temperaturni prag	°C	4
$\theta_{e,proj}$	Vanjska projektna temperatura	°C	11
$\theta_g$	Temperatura sfere	°C	8
$\theta_{gen,PN}$	Normna srednja temperatura kotlovske vode pri nazivnom učinku (70°C)	°C	11
$\theta_{gen,w}$	Stvarna srednja temperatura kotlovske vode pri nazivnom učinku	°C	11
$\theta_{HV}$	Temperatura hladne vode na ulazu u bojler [°C]	°C	5
$\theta_i$	Unutarnja projektna temperatura u sezoni grijanja	°C	1
$\theta_{i,stv}$	Stvarna temperatura zraka u prostoriji	°C	11
$\theta_{int,C}$	Unutarnja postavna temperatura u režimu hlađenja	°C	11
$\theta_{int,C,s}$	Unutarnja postavna temperatura za hlađenje prostora "s" površine $A_{f,s}$ unutar zone	°C	11
$\theta_{int,H,s}$	Unutarnja postavna temperatura za grijanje prostora "s" površine $A_{f,s}$ unutar zone	°C	11
$\theta_k$	Srednja dnevna temperatura zraka	°C	4
$\theta_{mm}$	Srednja mjesečna i godišnja temperatura zraka	°C	4
$\theta_{min}$	Srednja minimalna temperatura zraka	°C	4
$\theta_{max}$	Srednja maksimalna temperatura zraka	°C	4
$\theta_{PTV}$	Temperatura na koju se zagrijava potrošna voda	°C	5
$\theta_{sd}$	Standardne devijacije temperatura zraka	°C	4
$\theta_{sp}$	Temperatura zraka u susjednoj prostoriji ili temperatura tla	°C	11
$\theta_{r,s}$	Stvarna temperatura povrata	°C	5

$\theta_{r,n}$	Normna temperatura povrata	°C	5
$\theta_{v,s}$	Stvarna temperatura polaza, °C	°C	5
$\theta_{v,n}$	Normna temperatura polaza, °C	°C	5
$\theta_w$	Temperatura ogrjevnog medija u cijevima	°C	5
$\theta_{y,mn}$	Aktualna srednja temperatura u susjednoj zoni y uključujući pregrijanje ili pothlađivanje	°C	11
$\theta_z$	Zenitni kut: kut između sunčevih zraka i vertikale	°	7
$\theta_{z,C}$	Unutarnja postavna temperatura grijane zone z	°C	11
$\theta_{z,H}$	Unutarnja postavna temperatura grijane zone z	°C	11
$\theta_{z,s}$	Stvarna temperatura zraka	°C	5
$\theta_{z,n}$	Normna temperatura zraka	°C	5
$\Delta\theta_{ekv}$	Ekvivalentna razlika temperatura koja uzima u obzir promjenu temperature vanjske stijenke zida zbog sunčeva zračenja određuje se iz tablica u normi	°C	11
$\Delta\theta_{PRED}$	Razlika temperatura predmeta pri izlazu i ulazu u prostoriju	°C	11
$\lambda$	Toplinska provodnost	W/(m·K)	3
$\lambda_{tr}$	Koeficijent trenja	-	5
$\lambda_v$	Valna duljina	μm	7
$\lambda_{vol}$	Volumetrički stupanj djelovanja kompresora	-	9
$\lambda_z$	Koeficijent pretička zraka	-	5
$\mu$	Kinematička žilavost	Pa s	3
$\mu_d$	Faktor otpora difuziji vodene pare	-	3
$\mu_{OR}$	Stupanj toplinskog opterećenja prostorije rasvjetom	-	11
$\mu_{OS}$	Stupanj opterećenja stroja, uređaja ili opreme	-	11
$\rho$	Gustoća	kg/m <sup>3</sup>	3
$\rho_g$	Faktor refleksije tla	-	7
$\tau$	Vremenska konstanta zone zgrade	h	11
$\tau$	Faktor dijatermije (propusnosti).	-	12
$\tau_{C,0}$	Referentna vremenska konstanta za hlađenje	h	11
$\tau_{H,0}$	Referentna vremenska konstanta za grijanje	h	11
$\vartheta$	Temperatura	°C	3
$\vartheta_e$	Temperatura vanjskog zraka	°C	3
$\vartheta_i$	Temperatura unutrašnjeg zraka prostorije	°C	3
$\vartheta_s$	Temperatura rošenja	°C	3
$\vartheta_{si,min}$	Minimalna unutrašnja temperatura stjenke zida	°C	3
$\Sigma\Sigma\xi$	Suma lokalnih koeficijenata otpora	-	5
$\nu$	Faktor prigušenja amplitude oscilacija temperature	-	3
$\Phi$	Toplinski tok	W	3
$\Phi_{amb}$	Zračenje iz okoliša koje prispijeva na promatrani objekt	W	12
$\Phi_{gr}$	Projektne toplinski gubici zimi prema HRN EN 12831	W	8
$\Phi_H$	Ukupni učinak hladnjaka	W	8

$\Phi_{HL}$	Ukupno toplinsko opterećenje proračunske zone	W	8
$\Phi_i$	Ukupni toplinski gubitak pojedinačnog i-tog grijanog prostora	W	11
$\Phi_{isp}$	Učinak isparivača	W	8
$\Phi_{kond}$	Učinak kondenzatora	W	8
$\Phi_o$	Rashladni učinak	W	8
$\Phi_m$	Toplinski tok izmjene topline s tlom za proračunski mjesec	W/m <sup>2</sup>	11
$\Phi_{PN}$	Nazivni učin kotla	W	11
$\Phi_{RH,i}$	Dodatni toplinski učin kojim se kompenziraju učinci nekontinuiranog grijanja prostora	W	11
$\Phi_{T,i}$	Transmisijski toplinski gubici i-tog grijanog prostora	W	11
$\Phi_{V,i}$	Ventilacijski toplinski gubici topline i-tog grijanog prostora	W	11
$\Phi_{VE}$	Toplina koju ventilator uslijed rada predaje struji zraka	W	8
$\Phi_{VZ}$	Toplinski tok za zagrijavanje vanjskog zraka	W	8
$\varphi$	Faktor istovremenosti	-	5
$\varphi_g$	Zemljopisna širina	°	7
$\varphi_z$	Relativna vlažnost zraka	%	3
$\phi_{int,mn,k}$	Prosječni toplinski tok k-tog unutarnjeg izvora topline u grijanom prostoru: ljudi, uređaji, rasvjeta, rekuperirana topline iz termotehničkih uređaja i sl.	W	11
$\phi_{int,mn,u,l}$	prosječni toplinski tok l-tog unutarnjeg izvora topline u susjednom nekondicioniranom prostoru	W	11
$\phi_{int,HVAC}$	Izmijenjen toplinski tok nastao radom sustava grijanja, hlađenja i ventilacije	W	11
$\phi_{int,H}$	Unutarnji toplinski tok iskorištenih toplinskih gubitaka sustava grijanja	W	11
$\phi_{int,C}$	Unutarnji toplinski tok iskorištenih toplinskih gubitaka sustava hlađenja	W	11
$\phi_{int,V}$	Unutarnji toplinski tok iskorištenih toplinskih gubitaka sustava ventilacije	W	11
$\phi_{r,k}$	Toplinski tok zračenja k-tog građevnog elementa prema nebu	W	11
$\phi_{sol,mn,k}$	Prosječni toplinski učin sunčanog toplinskog izvora kroz k-ti građevni dio u grijani prostor	W	11
$\phi_{sol,mn,u,l}$	Prosječni toplinski učin sunčanog toplinskog izvora kroz l-ti građevni dio u susjedni negrijani prostor	W	11
$\chi$	Koeficijenti prolaska topline svih točkastih toplinskih mostova	W/K	11
$\psi$	Obujamska vlaga	%	3
$\psi$	Zemljopisna duljina	°	7
$\psi$	Dužinski koeficijenti prolaska topline svih linijskih toplinskih mostova	W/mK	11
$\omega$	Satni kut	°/sat	7



**KONSTANTE**

Oznaka	Objašnjenje	Mjerna jedinica	Poglavlje
$c$	Brzina svjetlosti, $3 \cdot 10^8$	m/s	5
$G_s$	Sunčeva konstanta 1367	W/m <sup>2</sup>	7
$g$	Gravitacijska konstanta	m <sup>2</sup> /s	5
$h$	Planckova konstanta, $6.6256 \cdot 10^{-34}$	Js	12
$k$	Boltzmannova konstanta, $1.3805 \cdot 10^{-23}$	J/K	12
$R$	Plinska konstanta	J/kgK	5
$\sigma$	Stefan-Boltzmannova konstanta, $5,6706 \times 10^{-8}$	W/(m <sup>2</sup> K <sup>4</sup> )	3

**BEZDIMENZIJSKE ZNAČAJKE**

Oznaka	Objašnjenje	Mjerna jedinica	Poglavlje
Re	Reynoldsova značajka	-	5

**INDEKSI**

Oznaka	Objašnjenje	Poglavlje
ARU	Apsorpcijski rashladni uređaj	9
DZ	Dobavni zrak	8
EEV	Elektroekspanzijski ventil	9
EMV	Elektromagnetski ventil	9
H	Osjetnik vlage	8
HV	Hladna voda	8
IZ	Istrošeni zrak	8
M	Miješajući ventil	8
MF	Temperaturni osjetnik	6
MZ	Mješavina zraka	8
OZ	Odsisni zrak	8
P	Prostorija	8
PTV	Potrošna topla voda	9
RT	Radna tvar	9
RV	Prigušni ventil	9
RZ	Optočni zrak	8
S	Protusmrzavajući temperaturni osjetnik	8
SA	Automatski kontroler	6
SG	Upravljački dio objekta	6
SR	Unutrašnja temperatura	6
STR	Regulacijski ventil za usponske vodove	6
SW	Osjetnik vanjske temperature	6

<i>T</i>	Temperaturni osjetnik	8
<i>TC</i>	Upravljački dio	6
<i>TEV</i>	Termoekspanzijski ventil	9
<i>VR</i>	Vanjska temperatura	6
<i>TV</i>	Topla voda	8
<i>VZ</i>	Vanjski zrak	8



# 1. ENERGETSKO CERTIFICIRANJE U HRVATSKOJ

## 1.1. EU Direktiva 2002/91/EC o energetske svojstvima zgrada (EPBD)

### 1.1.1. Ključni elementi i ciljevi Direktive

Povećanje učinkovitog korištenja energije i korištenje obnovljivih izvora energije, važan je dio svih strategija na globalnoj i nacionalnoj razini. Sadašnje stanje potrošnje energije u zgradarstvu je realan potencijal za povećanje učinkovitosti, korištenje obnovljivih izvora energije i alternativnih energetske sustava. Cijene energije i energenata će, zbog globalnih i lokanih razloga, u narednom razdoblju rasti - što će utjecati na porast troškova stanovanja i poslovanja. Zato je potrebno dobro poznavati vlastitu energetiku u smislu tehničkih mogućnosti i troškova te biti u stanju njome upravljati. Zbog velike potrošnje energije u zgradama, koja u ukupnoj energetske bilanci konstantno raste, a istovremeno i najvećeg potencijala energetske i ekološke ušteda, energetska učinkovitost danas postaje prioritet suvremene arhitekture i energetike. Ovo je područje prepoznato kao područje koje ima najveći potencijal za smanjenje ukupne potrošnje energije na nacionalnoj razini, čime se direktno utječe na ugodniji i kvalitetniji boravak u zgradi, duži životni vijek zgrade, te doprinosi zaštiti okoliša. Akcijski plan za energetske učinkovitost, niz direktiva i poticajnih mehanizama, te obvezna energetska certifikacija zgrada, svakako govore u prilog važnosti upravljanja energijom u zgradama. Povećanjem energetske učinkovitosti utječe se na povećanje standarda života u zgradama, pokreću se ulaganja u građevinskom sektoru i gospodarski razvoj, potiče se industrija i zapošljavanje, a sveukupno doprinosi smanjenju potrošnje energije, zaštiti okoliša i većoj konkurentnosti cijele nacionalne ekonomije.

Uvođenje energetske certifikacije zgrada u hrvatsko zakonodavstvo i podjele zgrada u energetske razrede prema godišnjoj potrebnoj toplinske energiji za grijanje, donosi niz ključnih promjena u graditeljstvu, koje mogu odigrati značajnu ulogu kako u povećanju standarda gradnje i osmišljavanju suvremenog energetske koncepta novih zgrada te osuvremenjivanju postojećih zgrada, tako i u značajnom doprinosu smanjenju energetske potrošnje u sektoru zgradarstva, kao najvećem pojedinačnom potrošaču energije [1.14].

Ključni faktori kojima se projektanti trebaju posvetiti su: integracija alternativnih sustava i obnovljivih izvora energije u arhitekturu i urbanizam, rješavanje višefunkcionalnih konstruktivnih elemenata zgrada, integralno projektiranje i inovativne tehnologije, uz poznavanje financijskih mogućnosti i rizika te unaprjeđenje kvalitete života u zgradama, uz smanjenje njihovog ekološke otiska. Dobro planiran energetske koncept ima veliki potencijal u smislu održivosti i povećanja energetske učinkovitosti. Najbolji rezultati postižu se integralnim planiranjem poboljšanja standarda, povećanja fleksibilnosti, smanjenja potrošnje energije, a time i troškova održavanja, te povećanja korištenja višefunkcionalnih elemenata i obnovljivih izvora energije.

Direktiva o energetske svojstvima zgrada [1.1], donosi velike promjene za sve sudionike u projektiranju i gradnji. Direktivu je krajem 2002. godine donio Europski parlament, čime je jasno nametnuo obvezu štednje energije u zgradama EU-a kao i zemljama kandidatima. Novu EU Direktivu zemlje članice morale su integrirati u svoje zakonodavstvo do 4. siječnja 2006. godine. Direktiva uz uvodna obrazloženja, sadrži 17 članaka i prilog koji obuhvaća općeniti okvir za izračun energetske svojstava zgrada.

U uvodu Direktive navode se osnovni razlozi donošenja ove važne Direktive, te se ističe potreba za racionalnim korištenjem prirodnih resursa, tj. fosilnih goriva, koji su ključni izvori energije, ali i glavni izvori emisija ugljičnog dioksida. Povećanje energetske učinkovitosti važan je dio svih političkih strategija i mjera za ispunjenje obveza preuzetih u okviru Kyoto protokola, te se treba uključiti u svaki politički koncept pojedine države. S obzirom da se u zgradama troši više od 40% ukupne energetske potrošnje, te da ta potrošnja konstantno raste, mjere energetske učinkovitosti treba usmjeriti primarno na sektor zgradarstva. Ističe se da nove zgrade moraju ispunjavati minimalne zahtjeve u pogledu energetske svojstava, te razmatrati alternativne energetske sustave. Obnovu postojećih zgrada treba smatrati prilikom za poduzimanjem mjera za povećanje energetske učinkovitosti, s obzirom da se u postojećem sektoru zgrada krije najveći potencijal energetske ušteda. Proces certifikacije može se poduprijeti programima kojima bi se omogućio jednak pristup poboljšanju energetske svojstava; može se temeljiti na sporazumima između nepristranih organizacija i tijela koje imenuje država članica; mogu ga provesti poduzeća za opskrbu

energijom koja se obvezuju realizirati utvrđene investicije. U svojem projektu moraju podlijegati nadzoru i kontroli države članice, ali i omogućiti primjenu poticajnih sustava. Zgrade javne namjene moraju u pogledu odnosa prema okolišu i energiji biti uzor i zato podliježu redovnom energetskom certificiranju. Isticanjem energetskog certifikata na vidljivom mjestu povećava se transparentnost širenja informacija o energetskim svojstvima pojedine zgrade. Ističe se problem sve veće uporabe sustava za hlađenje i klimatizaciju, što uzrokuje vršna opterećenja, porast potrošnje električne energije i lošiju energetska bilancu. Prednost treba dati strategijama koje pridonose poboljšanju energetskih svojstava zgrade u ljetnom razdoblju, te razvijati tehnike pasivnog hlađenja. Naplata troškova za energiju treba se vršiti prema stvarnoj potrošnji, a korisniku treba omogućiti da sam upravlja svojom energetskom potrošnjom.

Prva dva članka opisuju obuhvat Direktive i bitne pojmove, treći članak govori o utvrđivanju metodologije izračuna energetskih svojstava zgrada, dok četvrti članak uvodi obveze za minimalne zahtjeve te daje mogućnosti za izuzeća kod pojedinih kategorija zgrada. Peti i šesti članak govore o minimalnim zahtjevima energetske učinkovitosti za nove i postojeće zgrade, dok sedmi članak uvodi obvezu energetskog certificiranja zgrada prilikom izgradnje, prodaje ili iznajmljivanja zgrade. Osmi članak Direktive uvodi obveznu kontrolu kotlova za grijanje, a deveti obveznu kontrolu sustava za kondicioniranje zraka.

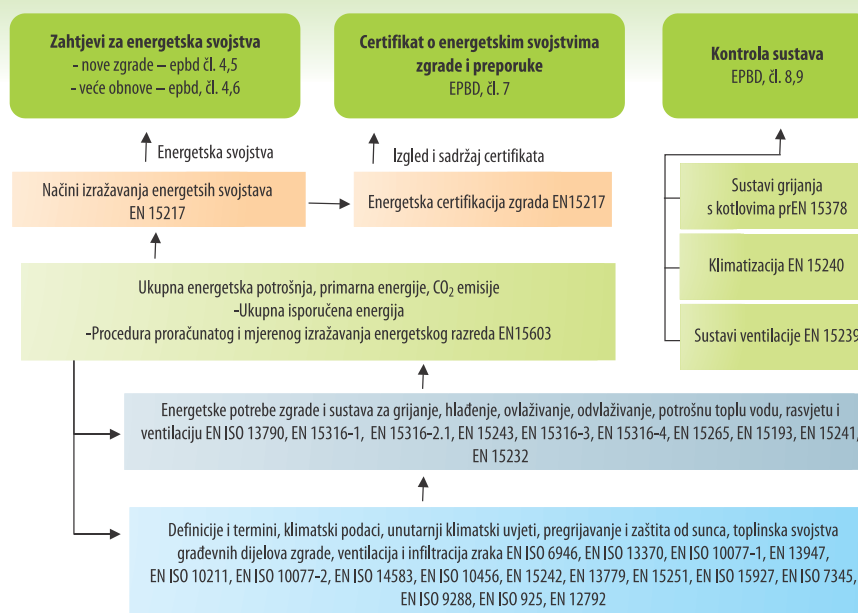
Deseti članak Direktive uvodi obvezu osiguranja neovisnog stručnog kvalificiranog i/ili ovlaštenog osoblja za energetska certificiranja i kontrole sustava u zgradama. Posljednji članci govore o ispitivanju, informiranju, prilagođavanju, provedbi i stupanju na snagu ove Direktive.

Direktiva 2002/91/EC uvodi pet bitnih elemenata:

- uspostavu općeg okvira za metodologiju proračuna energetskih svojstava zgrada
- primjenu minimalnih zahtjeva energetske učinkovitosti za nove zgrade
- primjenu minimalnih zahtjeva energetske učinkovitosti za postojeće zgrade, prilikom većih rekonstrukcija (korisne površine iznad 1000 m<sup>2</sup>)
- energetska certifikaciju zgrada
- redovitu inspekciju kotlova i sustava za kondicioniranje zraka u zgradama.

Metodologija proračuna energetskih svojstava zgrada u skladu s Direktivom obuhvaća:

- toplinske karakteristike ovojnice i unutarnjih konstrukcijskih dijelova zgrade
- sustave za grijanje i pripremu tople vode
- sustave za kondicioniranje zraka
- sustave ventilacije
- instalirane sustave rasvjete
- poziciju i orijentaciju zgrade uključujući vanjske klimatske uvjete
- pasivne sunčane sustave i naprave za zaštitu od sunca
- prirodnu ventilaciju
- klimatske uvjete unutar zgrade.



**Slika 1.1 – Metodologija proračuna prema EPBD-u, osnovna shema CEN standarda [1.3]**

Pri projektiranju novih kao i rekonstrukciji postojećih zgrada površine veće od 1000 m<sup>2</sup> potrebno je razmotriti mogućnosti primjene sljedećih sustava:

- aktivni sunčani sustavi i drugi sustavi za proizvodnju toplinske i električne energije na temelju obnovljivih energenata
- proizvodnja toplinske i električne energije kogeneracijom
- sustavi daljinskog ili blokovskog grijanja i hlađenja
- dizalice topline
- prirodno osvjetljenje.

Za potrebe izračuna zgrade treba klasificirati u kategorije prema namjeni, kao npr.:

- obiteljske kuće različitih načina gradnje
- višestambene zgrade
- poslovne zgrade
- obrazovne zgrade
- bolnice
- hoteli i restorani
- sportski objekti
- zgrade veleprodaje i maloprodaje
- ostale vrste zgrada koje troše energiju.

Direktiva od zemalja članica za postojeće zgrade, s korisnom površinom većom od 1000 m<sup>2</sup> koje će se obnavljati, traži poboljšanje minimalnih energetske svojstava koliko god je to tehnički, funkcionalno i ekonomski izvedivo. U Direktivi je također određeno, da zemlje članice moraju osigurati ovlaštene stručnjake za postupak certificiranja zgrada, nadzor sustava za grijanje i prozračivanje, te sastavljanje pratećih preporuka za poboljšanja tih sustava u smislu uštede energije i emisije štetnih tvari. Osnovni je cilj *Direktive 2002/91/EC* obvezati zemlje članice na nužnost smanjenja potrošnje svih vrsta energije u cjelokupnom fondu budućih i postojećih zgrada. Uzimajući u obzir dugi životni vijek zgrada (od 50 do više od 100 godina) najveći je, kratkoročni i srednjoročni, energetski potencijal u postojećem fondu zgrada.

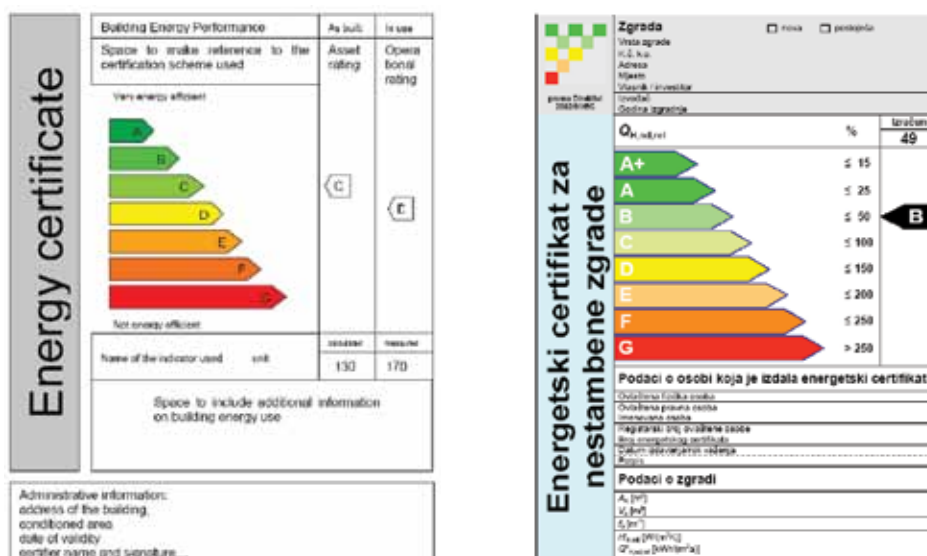
Nove zgrade moraju biti građene tako da udovoljavaju zadanim minimalnim energetske uvjetima. Za nove zgrade s površinom većom od 1000 m<sup>2</sup> mora se razmotriti mogućnost primjene decentraliziranih energetske sustava baziranih na obnovljivim izvorima energije, daljinskom grijanju i hlađenju, kogeneraciji, dizalicama topline i sl. Također, zemlje članice moraju uvesti obvezne inspekcije kotlova na fosilna goriva izlaznih snaga od 20 kW do 100 kW. Kotlovi snage veće od 100 kW kontrolirat će se

svake dvije godine. Za plinske kotlove to se razdoblje može produžiti na četiri godine. Kod kotla starijeg od 15 godina potrebna je inspekcija cijelog sustava. Zahtjevi se primjenjuju i kod postojećih zgrada korisne površine veće od 1000 m<sup>2</sup> kada se radi o opsežnim zahvatima obnove zgrade.

Isto tako, kako bi smanjili potrošnju energije i reducirali emisiju CO<sub>2</sub>, zemlje članice će kontrolirati rashladne sustave snage veće od 12 kW. Inspekcija će uključivati i ocjenu učinkovitosti klima uređaja. Zemlje članice moraju osigurati da sve navedene inspekcije, kao i energetske preglede (audite) izvrše nezavisni energetska stručnjaci. Države koje implementiraju ovu Direktivu u svoje zakonodavstvo, trebaju poduzeti mjere kojima se osigurava da će se za zgrade s ukupnom korisnom površinom većom od 1.000 m<sup>2</sup>, koje koriste tijela vlasti i institucije i zgrade koje pružaju javne usluge velikom broju ljudi, pa ih zato ti ljudi često posjećuju, energetska certifikat star najviše deset godina izložiti na za javnost jasno vidljivo mjesto.

Implementacija EU Direktive 2002/91/EC trebala bi odigrati značajnu ulogu u unaprjeđenju energetske učinkovitosti, smanjenju energetske potreba u zgradama i smanjenju emisija štetnih plinova u okoliš. Ova Direktiva jest temeljni zakonodavni instrument koji se odražava i na arhitekturu, uvodeći okvir za integriranu metodologiju za mjerenje energetske učinkovitosti, primjenu minimalnih standarda u novim zgradama i određenim rekonstrukcijama zgrada, energetska certifikaciju zgrada i savjete za nove i postojeće zgrade, nadzor i ocjenu kotlova i sustava za grijanje i sustava za hlađenje. Direktiva uvodi certifikat energetske učinkovitosti zgrade koji mora biti dostupan potencijalnom kupcu ili korisniku zgrade, a njegova valjanost ne može biti duža od 10 godina. Certifikat sadrži opis postojećeg stanja korištenja energije s numeričkim indikatorima količine energije koja se stvarno troši ili koja se procjenjuje potrebnom za različite namjene povezane standardiziranim upotrebom zgrade, a koja može obuhvaćati, između ostalog, grijanje, hlađenje, ventilaciju, pripremu tople vode i rasvjetu. Tako zgrade s manjom potrošnjom, odnosno većom energetska učinkovitošću, dobivaju veću vrijednost na tržištu nekretnina. Certificiranje potiče dobro gospodarenje energijom te obnovu postojećih zgrada koja omogućuje povrat dodatnih troškova kroz ukupne uštede energije.

Certifikat o energetska svojstvima zgrada mora sadržavati referentne vrijednosti kao što su pravne norme i mjerila kako bi potrošačima omogućio usporedbu i procjenu energetska svojstava zgrade. Certifikatu treba priložiti preporuke za povećanje energetske učinkovitosti. On služi jedino kao informacija, eventualni pravni ili drugi učinci certifikata određuju se prema pravilima pojedinih država. Ujedno, energetska certifikat jest i jaki marketinški instrument s ciljem promocije energetske učinkovitosti i niskoenergetske gradnje i postizanja višeg komfora života i boravka u zgradama. Energetska certificiranjem zgrada dobivaju se transparentni podaci o potrošnji energije u zgradama na tržištu, energetska učinkovitost prepoznaje se kao znak kvalitete, potiču se ulaganja u nove inovativne koncepte i tehnologije, potiče se korištenje alternativnih sustava za opskrbu energijom u zgradama, razvija se tržište novih niskoenergetska zgrada i modernizira sektor postojećih zgrada, te se doprinosi ukupnom smanjenju potrošnje energije i zaštiti okoliša.



Slika 1.2 – Prijedlog izgleda energetska certifikata iz prEN 15217 - Energy performance of buildings - Methods for expressing energy performance and for energy certification of buildings, te energetska certifikat usvojen u RH [1.8]

### 1.1.2. Novelacija Direktive 2002/91/EC o energetske svojstvima zgrada

Zbog prepoznatog velikog, neiskorištenog potencijala energetske ušteda u zgradama, nedavno je objavljen i prijedlog nove, doručene Direktive o energetske svojstvima zgrada. Prijedlog novelacija EPBD objavljen je 31.3.2009., doručan u studenom 2009., a 18. svibnja 2010. godine Europski parlament prihvatio je novelaciju Direktive 2002/91/EC. Direktiva je u Službenom glasniku EU-a objavljena 18. lipnja 2010. godine pod nazivom **DIRECTIVE 2010/31/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast)**.

Prijedlog nove Direktive je uvođenje još strožijih zahtjeva vezano na energetska svojstva zgrada. Upozorava se na potrebu donošenja konkretnih akcija s ciljem iskorištavanja velikog potencijala energetske ušteda u zgradama. Također se upozorava na nedovoljno korištenje obnovljivih i alternativnih energetske sustava u zgradama i traži se njihovo obvezno razmatranje za sve nove zgrade, bez obzira na veličinu kao i za postojeće zgrade pri većim rekonstrukcijama. Od zemalja članica se traži da pripreme nacionalne planove za povećanje broja skoro nul-energetske zgrada, te da o tome redovito izvještavaju Europsku komisiju. Predlaže se više financijskih mehanizama poticanja energetske učinkovitosti na nacionalnoj i europskoj razini. Sektor zgrada javne namjene mora preuzeti vodeću ulogu u području povećanja energetske učinkovitosti u zgradama i zacrtati ambicioznije ciljeve za zgrade javne namjene.

Nova EPBD direktiva ima ukupno 31 članak i 5 priloga. Prvi članak opisuje područje Direktive i postavlja sljedeće minimalne zahtjeve za energetska svojstva zgrade:

- a) uspostavu općeg okvira za metodologiju proračuna energetske svojstva zgrada i dijelova zgrada
- b) primjenu minimalnih zahtjeva energetske učinkovitosti za nove zgrade i nove dijelove zgrada
- c) primjenu minimalnih zahtjeva energetske učinkovitosti za: postojeće zgrade, dijelove zgrade i građevne dijelove pod većom rekonstrukcijom; građevne dijelove vanjske ovojnice zgrade koji imaju značajan utjecaj na energetska svojstva vanjske ovojnice zgrade kada se mijenjaju ili obnavljaju; tehničke sustave zgrade pri ugradnji, zamjeni ili nadogradnji
- d) nacionalne planove za povećanje broja skoro nul-energetske zgrada
- e) energetska certifikaciju zgrada ili dijelova zgrada
- f) redovitu inspekciju kotlova i sustava za kondicioniranje zraka u zgradama
- g) nezavisni sustav kontrole energetske certifikata i izvješća.

U članku se navodi da su zahtjevi Direktive minimalni te da zemlje članice mogu usvojiti i strože zahtjeve.

U članku 2 dane su osnovne definicije i pojmovi.

Članak 3 poziva se na opću metodologiju izračuna energetske svojstva zgrade koju zemlje članice moraju usvojiti u skladu s opisanom metodologijom u Prilogu 1.

Članak 4 govori o minimalnim zahtjevima za energetska svojstva zgrada, te koje je zgrade moguće izuzeti.

U članku 5 traži se uspostava metodologije za izračun ekonomski optimalne minimalne razine energetske svojstva zgrada, za nove i postojeće zgrade, te usporedbu s važećim zakonodavnim okvirom u pojedinim zemljama članicama.

Članak 6 opisuje energetska svojstva novih zgrada, te potrebu tehničke, ekonomske i ekološke analize primjenjivosti alternativnih energetske sustava u zgradama (obnovljivi izvori energije, kogeneracija, daljninsko/blokovsko grijanje i hlađenje, dizalice topline) za sve nove zgrade, bez obzira na veličinu.

U članku 7 opisana su energetska svojstva postojećih zgrada, potreba poboljšanja energetske svojstva pri većim rekonstrukcijama, koliko god je to tehnički, funkcionalno i ekonomski isplativo.

Članak 8 govori o tehničkim sustavima zgrade, te sustavima upravljanja, kontrole i regulacije sa svrhom uštede energije.

Članak 9 uvodi pojam *skoro nul-energetske zgrade*, te traži da od 31. prosinca 2020. godine, sve nove zgrade budu skoro nul-energetske, odnosno da od 31. prosinca 2018. godine nove zgrade javne namjene budu skoro nul-energetske. Od zemalja



članica traži se da pripreme nacionalne planove za povećanje broja skoro nul-energetskih zgrada. Javni sektor treba stimulirati na energetska obnova u standardu skoro nul-energetskih zgrada.

U članku 10 govori se o financijskom poticanju i uklanjanju barijera za izgradnju novih i energetska obnova postojećih zgrada u skoro nul-energetskom standardu. Od zemalja članica traži se da do 30. lipnja 2011. godine pripreme konkretne mjere i instrumente za brzu implementaciju ove Direktive. Te planove potrebno je revidirati i poboljšavati svake tri godine.

Članak 11,12 i 13 govore o energetska certificiranju zgrada i izdavanju te izlaganju energetska certifikata, te navode potrebu iskazivanja mjera za poboljšanje energetska svojstava zgrada koje pokrivaju mjere povezane s nužnom rekonstrukcijom zgrade i tehničkih sustava, te odvojeno pojedinačne mjere za poboljšanje građevnih dijelova i elemenata tehničkih sustava u zgradi. Proširuje se obveza za javno izlaganje energetska certifikata u zgradama javne namjene na sve veće od 500 m<sup>2</sup>, odnosno od 9. srpnja 2015. na sve veće od 250 m<sup>2</sup>.

Članak 14 opisuje obvezu redovite kontrole sustava grijanja za sustave veće od 20 kW. Sustavi veći od 100 kW moraju se redovito kontrolirati svake dvije godine, plinski kotlovi svake četiri godine.

Članak 15 opisuje obvezu redovite kontrole sustava za kondicioniranje zraka, za sustave veće od 12 kW, a članak 16 redovito izvještavanje o provedenoj kontroli sustava grijanja i kondicioniranja zraka. Svako izvješće mora uključiti opis stanja i preporuke za ekonomski optimalno poboljšanje energetska svojstava ispitivanog sustava.

Članak 17 govori o obvezi osiguranja dovoljnog broja nezavisnih stručnjaka za provođenje pregleda i energetska certifikaciju zgrada, a članak 18 o potrebi uspostave nezavisnog sustava kontrole energetska certifikata i izvješća energetska pregleda. Zemlje članice dužne su osigurati provođenje nezavisnog sustava kontrole u skladu s prilogom 2 Direktive.

Članci 19 - 26 govore o izvještavanju i informiranju, te konzultiranju o progresu implementacije ove Direktive.

Članak 27 uvodi obvezu kaznenih odredbi za neodgovarajuću implementaciju Direktive, koja u nacionalno zakonodavstvo, prema članku 28 mora biti implementirana najkasnije do 9. srpnja 2012. godine. Ostali članci su prijelazne i završne odredbe, a Direktiva stupa na snagu 20 dana od objave u Službenom glasniku EU-a.

PRILOG 1 – OPĆI OKVIR ZA IZRAČUN ENERGESKIH SVOJSTAVA ZGRADA

PRILOG 2 – NEZAVISNI SUSTAV KONTROLE ENERGETSKIH CERTIFIKATA I IZVJEŠĆA

PRILOG 3 – METODOLOŠKI OKVIR ZA IDENTIFICIRANJE EKONOMSKI OPTIMALNE RAZINE ZA ZAHTJEVE NA ENERGETSKA SVOJSTVA ZGRADA I GRAĐEVNIH DIJELOVA

PRILOG 4 – STARI EPBD I IMPLEMENTACIJA NOVOG EPBD-a

PRILOG 5 – USPOREDNA TABELA DIREKTIVE 2002/91 I 2010/31

## 1.2. Ostale relevantne EU Direktive u području energetska učinkovitosti

Važne direktive Europske unije koje reguliraju područje energetska učinkovitosti [1.14] su sljedeće:

Direktiva 2002/91/EC o energetska svojstvima zgrada / *Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings (Official Journal L 001,04/01/2003)*

Direktiva 89/106/EEC o usklađivanju zakonskih i upravnih propisa država članica o građevnim proizvodima / *Council Directive 89/106/EEC of 21 December 1988 on the approximation of laws, regulations and administrative provisions of the Member States relating to construction products (Official Journal L40/12of1989-02-11)*

Direktiva 2006/32/EC o energetska učinkovitosti i energetska uslugama / *Directive 2006/32/EC of the European Parliament and of the Council of 5 April 2006 on energy end-use efficiency and energy services and repealing Council Directive 93/76/EEC (Official Journal L 114 , 27/04/2006 P. 0064 – 0085)*

Direktiva 2005/32/EC o uspostavi okvira za utvrđivanje zahtjeva za ekološki dizajn proizvoda koji koriste energiju/Directive

2005/32/EC of the European Parliament and of the Council of 6 July 2005 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-using products and amending Council Directive 92/42/EEC and Directives 96/57/EC and 2000/55/EC of the European Parliament and of the Council / Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-related products (recast)

Direktiva 2004/8/EC o promociji kogeneracije bazirane na korisnim toplinskim potrebama na unutrašnjem tržištu energije / *Directive 2004/8/EC of the European Parliament and of the Council of 11 February 2004 on the promotion of cogeneration based on a useful heat demand in the internal energy market and amending Directive 92/42/EEC (Official Journal L 52/50, 21/02/2004)*

Direktiva 92/75/EEC o obveznom označavanju energetske učinkovitosti kućanskih uređaja / *Council Directive 92/75/EEC of 22 September 1992 on the indication by labelling and standard product information of the consumption of energy and other resources by household appliances (Official Journal L 297, 13/10/1992) Commission Directive 2003/66/EC of 3 July 2003 amending Directive 94/2/EC implementing Council Directive 92/75/EEC with regard to energy labelling of household electric refrigerators, freezers and their combinations (Official Journal L 170, 09/07/2003 P. 0010 – 0014)*

Direktiva 93/76/EEC o ograničavanju emisija ugljičnog dioksida kroz povećanje energetske učinkovitosti / *Council Directive 93/76/EEC of 13 September 1993 to limit carbon dioxide emissions by improving energy efficiency (SAVE) (Official Journal L 237, 22/09/1993)*

Direktiva 2003/87/EC o uspostavi sustava trgovanja dozvolama za emitiranje stakleničkih plinova unutar EU / *Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council of 13 October 2003 establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community and amending Council Directive 96/61/EC (Official Journal L 275/32, 25/10/2003)*

Direktiva 2004/101/EC o uspostavi sustava trgovanja dozvolama za emitiranje stakleničkih plinova, s obzirom na primjenu mehanizama Protokola iz Kyota / *Directive 2004/101/EC of the European Parliament and of the Council of 27 October 2004 amending Directive 2003/87/EC establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community, in respect of the Kyoto Protocol's project mechanisms (Official Journal L 338/18, 13/11/2004)*

Akcijski plan Europske komisije o energetske učinkovitosti – ušteda za 20 posto do 2020. godine / *Action plan for energy efficiency: Realising the potential - saving 20% by 2020*

### **1.2.1. Direktiva 89/106/EEC o usklađivanju zakonskih i upravnih propisa država članica o građevnim proizvodima (CPD<sup>1</sup>)**

Osnovni cilj ove Direktive je usklađivanje nacionalnog zakonodavstva za građevne proizvode u odnosu na zdravstvene i sigurnosne zahtjeve. Direktiva definira da je građevni proizvod svaki proizvod namijenjen za trajnu ugradnju u građevine visokogradnje i niskogradnje. Građevni proizvod može se staviti na tržište, distribuirati i rabiti samo ako je dokazana njegova uporabljivost i ima oznaku CE. Građevinski proizvod je uporabljiv ako je napravljen tako da kada se ugradi u građevinu uz pravilno projektiranje i izvođenje, ona ispunjava bitne zahtjeve za građevinu, te ako ti proizvodi nose znak sukladnosti CE. Bitni zahtjevi za građevinu su: mehanička otpornost i stabilnost, sigurnost od požara, higijena, zdravlje i okoliš, sigurnost pri uporabi, zaštita od buke i ušteda energije i toplinska zaštita.

Osobitost te Direktive u odnosu na druge direktive novoga pristupa je u tome što se njezini bitni zahtjevi zadovoljavaju na posredan način, odnosno bitni se zahtjevi ne odnose izravno na građevne proizvode nego na gotove građevine u koje su ti proizvodi ugrađeni. Zbog toga Direktiva u sustav ocjenjivanja sukladnosti uvodi tzv. interpretativne dokumente (interpretative documents) kojima se uspostavljaju međusobni odnosi između prikladnosti građevnih proizvoda za uporabu i bitnih zahtjeva koji se odnose na građevine. Tih interpretativnih dokumenata ima šest, po jedan za svaki bitni zahtjev, a svrha im je uspostavljanje veze između bitnih zahtjeva i tehničkih specifikacija, za čije su donošenje mandatima zadužena europska stručna tijela kako bi se proizvodima pridružila određena svojstva i time olakšala pravilna primjena Direktive.

Druga je osobitost te Direktive uvođenje europskoga tehničkog odobrenja (European Technical Approval – ETA) kao pozitivne tehničke ocjene pogodnosti građevnoga proizvoda za predviđenu namjenu, a odnosi se na one nove vrste proizvoda za koje iz određenih razloga nije (još) moguće donijeti europske usklađene norme.

Dokazivanje sukladnosti građevnoga proizvoda s Direktivom (zadovoljavanje njezinih bitnih zahtjeva, odnosno interpretativnih dokumenata), a time i mogućnost stavljanja oznake CE na proizvod, moguće je provesti u prvome redu na temelju nacionalne

1 Uobičajeni skraćeni naziv, engl. *Construction Products Directive*

norme, koja je usklađena europska norma ili europskoga tehničkog odobrenja. Svaki treći način dokazivanja sukladnosti iziskuje dodatne napore i troškove koji idu na teret proizvođača. Oznaka CE na građevnome proizvodu znači zadovoljavanje bitnih zahtjeva Direktive kao i svih drugih bitnih zahtjeva drugih direktiva, ako se one odnose na isti proizvod.

Europska je komisija od 1995. godine, kada je započela s davanjem mandata za usklađene europske specifikacije, dodijelila 31 mandat za europske norme za skupinu proizvoda i dva horizontalna mandata za zaštitu od požara Europskome odboru za normizaciju (CEN), te 20 mandata Europskoj organizaciji za tehnička odobrenja (EOTA) za izradbu ETA uputa (ETA Guidelines – ETAG). Njima je obuhvaćeno otprilike 600 usklađenih norma (harmonized standards) i još oko 1500 podupirućih norma (supporting standards) koje trebaju omogućiti punu implementaciju CPD.

Sve te norme pripremaju se u čak 75 europskih tehničkih odbora (CEN/TC) i to u čak 8 područja normizacije, od kojih ih je ipak najviše u području graditeljstva. Mandati su dodijeljeni za 29 skupina proizvoda: agregati, cement i vapno, cijevi, spremišta i sl. za vodu koja nije za piće, čelik za armiranje i prednapinjanje betona, dimnjaci, dimovodni kanali i sl., drveni konstrukcijski proizvodi, geosintetici, gipsani proizvodi, konstrukcijski ležajevi, konstrukcijska ljepila, membrane, metalni konstrukcijski proizvodi, mortovi i žbuke, ploče na osnovi drva, požarni alarmi, nadzorni sustavi za dim i sl. proizvodi, predgotovljeni betonski proizvodi, proizvodi povezani s prometom, proizvodi za izgradnju putova/cesta, proizvodi za zidanje i sl. proizvodi, proizvodi za pokrivanje krovova, sanitarni uređaji, staklo u graditeljstvu, toplinsko-izolacijski proizvodi, uređaji za raspolaganje otpadnim vodama, uređaji za zračno grijanje, vrata, prozori i sl. proizvodi, završni slojevi stropova, završni slojevi zidova i zidne obloge.

### 1.2.2. Direktiva 2006/32/EC o energetske učinkovitosti i energetskim uslugama

17. svibnja 2006. godine na snagu je stupila Direktiva 2006/32/EC o energetske učinkovitosti i energetskim uslugama. Direktiva je usmjerena na poboljšanje učinkovitosti neposredne potrošnje energije, a kao takva smatra se instrumentom poboljšanja sveukupne sigurnosti opskrbe energijom, smanjenja ovisnosti o uvozu energenata, smanjenja emisija CO<sub>2</sub> iz energetskeg sektora, ali i povećanju konkurentnosti europskog gospodarstva u skladu s Lisabonskom strategijom. Svrha Direktive je povećati isplativost povećanja energetske učinkovitosti u zemljama članicama EU-a tako da donesu potrebne ciljeve kao i mehanizme, inicijative, financijske i zakonske okvire za uklanjanje prepreka koje utječu na efikasnost u korištenju energije. Naglašava se potreba izrade nacionalnih akcijskih planova o energetske učinkovitosti svake 3 godine te provedba planova s ciljem ukupnog smanjenja potrošnje energije za 9% u roku od devet godina ili 1% godišnje. Sve članice će donijeti isplative, praktične i razumne mjere u svrhu ostvarivanja toga cilja. Kako bi poslužile svojim primjerom, članice moraju osigurati primjenu donesenih mjera prvenstveno u javnom sektoru, fokusirajući se na najisplativije mjere koje donose najveće uštede u energiji i najbrži povrat investicije.

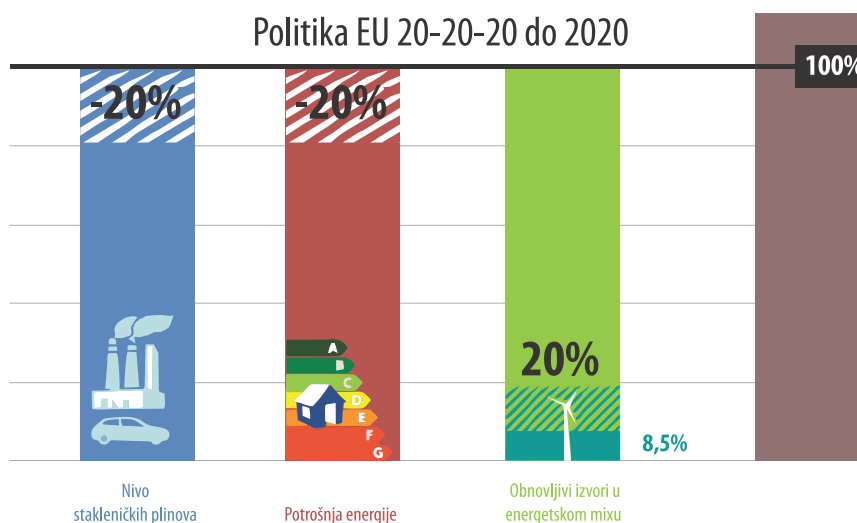
Ova je Direktiva krovna direktiva za područje energetske učinkovitosti. Direktiva obvezuje na postavljanje kvantitativnih ciljeva za poboljšanje energetske učinkovitosti, osiguranje opskrbe energijom i zaštitu okoliša. Zemlje članice obvezne su postići cilj od najmanje 9%-tnog smanjenja neposredne potrošnje energije u razdoblju od 2008. do 2016. godine. Nadalje, u Akcijskom planu energetske učinkovitosti Europske komisije, EU je postavila cilj 20% smanjenja ukupne primarne potrošnje energije do 2020. godine. Valja istaknuti da svi dokumenti EU-a ističu potrebu definiranja i primjene instrumenata poticajne politike kojima će se osigurati primjena troškovno učinkovitih rješenja za smanjenje potrošnje energije.

Svrha ove Direktive je poboljšanje učinkovite upotrebe krajnje energije u državama članicama kroz osiguranje potrebnih okvirnih ciljeva kao i mehanizme, poticaje i institucionalne, financijske i pravne okvire za uklanjanje postojećih tržišnih prepreka i nedostataka koje sprječavaju učinkovito korištenje krajnje energije, kroz stvaranje uvjeta za razvoj i promicanje tržišta energetske usluge i uvjeta za osiguranje drugih mjera za poboljšanje energetske učinkovitosti za krajnje korisnike.

Države članice usvajaju i imaju za cilj postizanje sveobuhvatnog nacionalnog okvirnog cilja uštede energije, koji za devetu godinu primjene ove Direktive iznosi 9%, do kojega se dolazi energetskim uslugama i drugim mjerama za poboljšanje energetske učinkovitosti. Direktiva se obraća institucijama i tržištu sa svrhom promocije energetske učinkovitosti kroz razvoj tržišta za energetske usluge, te opskrbu krajnjih korisnika programima i mjerama energetske učinkovitosti. Direktiva se odlično nadopunjuje s EPBD-om. Određuje set ciljeva za uštedu energije na nacionalnoj razini i zahtjeva poduzimanje određenih aktivnosti od strane zemalja članica:

- Definiranje obveznih mjera za javni sektor uključujući uvođenje kriterija energetske učinkovitosti u postupke javne nabave
- Definiranje obveznih mjera energetskim subjektima vezano na ponudu energetskih usluga i drugih mjera energetske učinkovitosti krajnjim potrošačima
- Donošenje jedinstvene metodologije za izračun poboljšanja energetske učinkovitosti
- Redovito izvješćivanje o rezultatima uštede (trogodišnji nacionalni akcijski planovi)
- Osiguranje kvalitetnih neovisnih energetskih pregleda kod svih potrošača energije
- Osiguranje individualnog mjerenja potrošnje energije
- Uporabu fondova za energetske učinkovitost za subvencioniranje mjera energetske učinkovitosti s većim investicijskim troškovima.

Direktiva dakle obavezuje na postavljanje kvantitativnih ciljeva za poboljšanja energetske učinkovitosti u razdoblju od 2008. do 2016. To bi značilo da Hrvatska, tijekom toga osmogodišnjeg razdoblja treba smanjiti neposrednu potrošnju energije za 9%. Hrvatska također, do 2020., preuzima obvezu poznatu kao 3 X 20%. Uz podmirenje 20% potreba potrošnje energije iz obnovljivih izvora energije i smanjenje emisije stakleničkih plinova za 20%, to uključuje i ostvarenje povećanja energetske učinkovitosti također za 20%.



**Slika 1.3 – Ciljevi energetske politike do 2020. godine u EU**

### 1.2.3. Direktiva 2005/32/EC, 2009/125/EC o uspostavi okvira za utvrđivanje zahtjeva za ekološki dizajn proizvoda koji koriste energiju

Direktiva 2005/32/EC o eko dizajnu proizvoda koji koriste energiju (EuP), kao što su električni i elektronički uređaji ili oprema za grijanje, jasnije nam pruža EU pravila za eko dizajn i osigurava da nejednakosti između nacionalnih propisa ne postaju prepreka za trgovinu unutar Europske unije. Direktiva nas izravno ne upozna s obavezujućim zahtjevima za posebne proizvode, ali definira uvjete i kriterije za uspostavu naknadnih provedbenih mjera, zahtjeva vezanih za karakteristike proizvoda koji su važni za okoliš i omogućava da se oni brzo i učinkovito poboljšaju. Od proizvoda koji ispunjavaju zahtjeve koristi će imati i poslovanje i potrošači i to poboljšavanjem slobodnog kretanja robe kroz EU i poboljšavanjem kvalitete proizvoda i zaštite okoliša. Direktiva predstavlja novinu u EU politici proizvoda i uspostavlja mnoge inovativne elemente zajedno s konkretnom primjenom načela paketa „bolje regulacije“. Eko dizajn proizvoda ima za cilj poboljšati ekološku učinkovitost proizvoda tijekom životnog ciklusa, sustavnom integracijom aspekata okoliša u vrlo ranoj fazi projektiranja proizvoda. Krajem 2009. godine usvojena je i najnovija doradana i proširena Direktiva.

#### 1.2.4. Direktiva 2004/8/EC o promociji kogeneracije bazirane na korisnim toplinskim potrebama na unutrašnjem tržištu energije

Direktiva 2004/8/EC o unaprjeđenju kogeneracije na temelju potrošnje korisne energije na unutrašnjem tržištu energije, pokrenuta je s ciljem povećanja energetske učinkovitosti i poboljšanja sigurnosti opskrbe energijom kreiranjem okvira za unaprjeđivanje i razvoj visokoučinkovite kogeneracije toplinske i električne energije temeljene na korisnoj toplinskoj potrošnji i uštedi primarne energije na unutrašnjem tržištu, uzimajući u obzir specifične nacionalne okolnosti s naglaskom na klimatskim i ekonomskim uvjetima.

U Direktivi su strogo definirani produkti kogeneracije (kogeneracijska električna i toplinska energija, kogeneracijsko gorivo), visokoučinkovita kogeneracija i potrebne energetske uštede. S druge strane, Direktiva zahtijeva od zemalja članica stvaranje uvjeta koji će omogućiti certifikaciju visokoučinkovite kogeneracije (Jamstvo o podrijetlu, zakonski i regulatorni okvir), analiziranje nacionalnih potencijala za visokoučinkovitu kogeneraciju, koncipiranje strategije za ostvarivanje potencijala, uključujući i mehanizme podrške, reguliranje pristupa mreži u smislu prava pristupa i transparentnosti postupka, te tarifa za isporuku, rezervu energije (*back-up*) i vršne potrebe (*top-up*), publiciranje izvješća s rezultatima analize i evaluacije te dostavljanje statistike o proizvodnji električne i toplinske energije u kogeneracijama.

Donošenjem ove Direktive, kogeneracija je prepoznata kao jedna od glavnih tehnologija za postizanje bolje energetske učinkovitosti jer su ušteda primarne energije, izbjegnute mrežni gubici i smanjene emisije, priznate dobrobiti kogeneracije. Učinkovito iskorištavanje energije u kogeneracijskim postrojenjima doprinosi i sigurnosti opskrbe i poboljšava tržišnu poziciju EU-a i njenih članica, pa je promocija učinkovite kogeneracije, koja se temelji na potrebama za korisnom toplinskom energijom, prioritet svake zajednice. Kratkoročno, Direktiva će služiti kao sredstvo konsolidacije postojećih i, gdje je moguće, poticanja novih kogeneracijskih instalacija visoke iskoristivosti. Da bi se stvorili izjednačeni uvjeti za razvoj, potrebna je regulatorna sigurnost i financijska potpora. To je posebno važno tijekom prijelazne faze liberalizacijskog procesa, gdje interno energetska tržište nije u potpunosti razvijeno i eksterni troškovi nisu uključeni u cijenu energije. Dugoročno, Direktiva će biti sredstvo preko kojega će se stvoriti neophodni zakonodavni okvir za osiguranje učinkovite kogeneracije uz druge ekološki povoljne načine opskrbe energijom.

#### 1.2.5. Direktiva 92/75/EEC o obveznom označavanju energetske učinkovitosti kućanskih uređaja

Temeljna je Direktiva o označavanju energetske učinkovitosti kućanskih uređaja, 92/75/EEC koja točno definira kućanske uređaje koji trebaju biti označeni oznakom energetske učinkovitosti, te detaljno propisuje oblik i sadržaj energetske oznake, usvojena je 22. rujna 1992. godine.

Odredbe Direktive 92/75/EEC primjenjuju se na sljedeće skupine uređaja:

1. Hladnjake i ledenice, te njihove kombinacije
2. Perilice i sušilice rublja, te njihove kombinacije
3. Perilice posuđa
4. Električne pećnice
5. Klimatizacijske uređaje
6. Električne izvore svjetla.

Odredbe Direktive ne primjenjuju se na uređaje koji koriste autonomne izvore energije, na uređaje čija je proizvodnja prestala prije stupanja na snagu Direktive te na rabljene uređaje.

Dobavljač je dužan uz uređaj koji isporučuje distributeru dostaviti oznaku energetske učinkovitosti te tehničku dokumentaciju koja potvrđuje i ujedno daje opširnija objašnjenja o podacima na oznaci. U skladu s EU Direktivom o obveznom označavanju energetske učinkovitosti kućanskih uređaja, donesene su i posebne direktive za sve najzastupljenije kućanske uređaje.

### **1.2.6. Direktiva 93/76/EEC o ograničavanju emisija ugljičnog dioksida kroz povećanje energetske učinkovitosti**

Takozvana SAVE direktiva, jedna je od prvih direktiva koja obvezuje zemlje članice EU-a na implementaciju programa energetske učinkovitosti u cilju smanjenja CO<sub>2</sub> emisija. Direktiva postavlja bitne zahtjeve: smanjenje toplinskih gubitaka zgrada, poboljšanje učinkovitosti i racionalizaciju korištenja sustava za grijanje, hlađenje i ventilaciju, korištenje obnovljivih izvora energije u što većoj mjeri, primjena principa bioklimatske arhitekture i pasivnih sunčevih sustava, upravljanje i kontrola energetskih svojstava zgrada primjenom suvremenih upravljačkih sustava.

### **1.2.7. Direktiva 2003/87/EC o uspostavi sustava trgovanja dozvolama za emitiranje stakleničkih plinova unutar EU-a**

Cilj ove Direktive je uspostava sustava trgovanja dozvolama za emitiranje CO<sub>2</sub> unutar Europske unije. Razlog uspostave takvog sustava je ekonomično smanjenje emisije stakleničkih plinova. Preduvjeti za uspostavu sustava trgovanja emisijskim dozvolama su izrada nacionalnog alokacijskog plana i uspostava registra emisijskih dozvola. Primjenom ove Direktive osigurat će se slobodna trgovina dozvolama za emitiranje unutar Europske unije.

### **1.2.8. Direktiva 2004/101/EC o uspostavi sustava trgovanja dozvolama za emitiranje stakleničkih plinova, s obzirom na primjenu mehanizama Protokola iz Kyota**

Cilj ove Direktive je povezati mehanizme Protokola iz Kyota - zajednička provedba (engl. *Joint Implementation - JI*) i mehanizam čistog razvoja (engl. *Clean Development Mechanism - CDM*) sa sustavom trgovanja dozvolama za emitiranje unutar Europske unije. Direktivom se priznaje jednakost certifikata smanjenja emisije u okviru JI i CDM projekata s dozvolama za emitiranje u sklopu sustava trgovanja dozvolama za emitiranje Europske unije.

### **1.2.9. Akcijski plan Europske komisije o energetskej učinkovitosti – ušteda za 20% do 2020. godine**

Europska komisija donijela je krajem 2006. godine i Akcijski plan o energetskej učinkovitosti pod naslovom „Ušteda za 20% do 2020. godine“ jer je utvrđeno da se unatoč sve skupljim energentima, sve težim posljedicama za okoliš te sve većoj ovisnosti o nabavi fosilnih goriva van granica Europske unije, najmanje 20% energije troši nepotrebno.

Akcijski plan sadrži paket prioritarnih mjera koje pokrivaju ekonomski isplative i energetske učinkovite inicijative, koje uključuju akcije u područjima: učinkovitosti kućanskih uređaja, energetske učinkovitosti u zgradarstvu s naglaskom na promociju niskoenergetskih i pasivnih zgrada, energetske učinkovitosti u prometu, energetske učinkovite proizvodnje i distribucije energije, prijedloge mehanizama financiranja energetske učinkovitosti, te promociju i podizanje svijesti o energetskej učinkovitosti. U planu se ističe značaj energetske učinkovitosti za EU, te se naglašava da ako se odmah krene s primjenom predloženih mjera, do 2020. bi se mogla smanjiti potrošnja za 100 milijardi eura godišnje, a emisija CO<sub>2</sub> pala bi za 780 milijuna tona. Plan bi trebao biti implementiran u državne zakone članica EU-a u sljedećih 6 godina.

### 1.3. Implementacija EU Direktive 2002/91/EC o energetske svojstvima zgrada u Hrvatsko zakonodavstvo

Sektor zgradarstva posebno je značajan kao potrošač energije [1.16] jer

- u ukupnoj potrošnji energije sudjeluje s oko 40%, sa stalnim porastom potrošnje kao odrazom povećanja životnog standarda
- ima velik potencijal energetske i ekološke uštede
- zgrade zbog dugog životnog vijeka imaju dug i kontinuiran utjecaj na okoliš i energetska potrošnja.

Očekuje se da će energetska certifikacija zgrada potaknuti niz novih aktivnosti u graditeljstvu kroz integralan pristup osmišljavanju energetike zgrada [1. 3] kao što su:

- energetske preglede zgrada
- energetska obnova i osuvremenjivanje postojećih zgrada
- integralno planiranje suvremenog energetske koncepta novih zgrada.

Implementacijom EU Direktive 2002/91/EC o energetske svojstvima zgrada (EPBD) u hrvatsko zakonodavstvo, uvodi se obvezna energetska certifikacija zgrada za nove i postojeće zgrade. EPBD se implementira na temelju Akcijske plana za implementaciju [1.3] izrađenog u Ministarstvu zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva (MZOPUG) i usvojenog u travnju 2008. godine, kroz Zakon o prostornom uređenju i gradnji (NN 76/07 i 38/09) [1.4] i Zakon o učinkovitom korištenju energije u neposrednoj potrošnji (NN 152/08) [1.5] te nizom tehničkih propisa i pravilnika, od kojih su do sada usvojeni: Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinske zaštiti zgrada (NN 110/08 i 89/09) [1.6], Tehnički propis o sustavima grijanja i hlađenja zgrada (NN 110/08) [1.7], Pravilnik o energetske certificiranju zgrada (NN 36/10) [1.8] i Pravilnik o uvjetima i mjerilima za osobe koje provode energetske preglede i energetska certificiranje zgrada (NN 113/08 i 89/09) [1.9]. U lipnju 2009. godine usvojena je i nacionalna Metodologija provođenja energetske pregleda zgrada [1.10], u skladu s člankom 28. Pravilnika o energetske certificiranju zgrada [1.8], čime su ostvareni osnovni preduvjeti za početak energetske certifikacije zgrada.

Odgovorne institucije za implementaciju EPBD-a su Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva te Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva. Veliki dio Direktive prenesen je Akcijskim planom u podzakonske akte i temeljno kroz Zakon o prostornom uređenju i gradnji [1.4]. U skladu s Akcijskim planom bilo je potrebno propisati izgled i sadržaj energetske certifikata i klasifikaciju zgrada u energetske razrede, metodologiju izračuna, za koje se zgrade izdaje, a koje su zgrade izuzete od obveze certificiranja, koje zgrade imaju obvezu javnog izlaganja certifikata, koje su obveze investitora i vlasnika zgrade, vođenje registra certifikata i drugo. Također je bilo potrebno definirati uvjete i mjere za osobe koje će se ovlastiti za provođenje energetske pregleda i energetska certifikaciju zgrada, te program izobrazbe i stručnog osposobljavanja. Prijenos Direktive u zakone koji uređuju područje energetike u nadležnosti je Ministarstva gospodarstva, rada i poduzetništva.

#### 1.3.1. Akcijski plan za implementaciju Europske direktive o energetske svojstvima zgrada u hrvatsko zakonodavstvo

Akcijskim planom za implementaciju EPBD-a u hrvatsko zakonodavstvo [1.3], pripremljenim u Ministarstvu zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva u suradnji s imenovanim timom stručnjaka, te usvojenim od strane Vlade RH u travnju 2008. godine, definirane su aktivnosti potrebne za punu implementaciju navedene Direktive, koja uključuje i energetska certifikaciju zgrada.

Usljed multidisciplinarnosti i složenosti provedbe Direktive o energetske svojstvima zgrada koja proizlazi i iz njezinog okvirnog karaktera, nadležnosti dvaju ministarstava: Ministarstva zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva i Ministarstva gospodarstva, rada i poduzetništva, za njeno provođenje te ograničenosti roka, osnovano je Povjerenstvo za prijenos i implementaciju Direktive. Povjerenstvo je osnovano Odlukom ministrice zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva sa zadaćom razrade aktivnosti i mjera potrebnih za implementaciju Direktive, pripremu prijedloga, potrebnih odluka i pripremu nacrtu Akcijske plana, nadzorne i savjetodavne uloge kod sustavnog praćenja realizacije Akcijske plana, predlaganja drugih mjera koje imaju svrhu povećanje energetske učinkovitosti zgrada te praćenja provedbe tih i ostalih mjera koje se donose i

provode u sektoru zgradarstva sa svrhom povećanja energetske učinkovitosti.

Odlučeno je da je prijenos i implementacija Direktive u nacionalno zakonodavstvo u nadležnosti dva ministarstva: Ministarstva zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva (članci 3., 4., 5., 6., 7. i djelomično 10.) i Ministarstva gospodarstva, rada i poduzetništva (članci 8., 9. i djelomično 10.).

U Hrvatskoj Direktiva o energetskim svojstvima zgrada nije prenesena u cijelosti niti u jednom propisu. No, energetska učinkovitost se provlači kroz niz dokumenata i propisa. U Strategiji energetskog razvitka RH (NN 38/02), te Nacionalnoj strategiji zaštite okoliša (NN 46/02), utvrđen je interes Republike Hrvatske za učinkovito korištenje energije, primjenu kogeneracije, korištenje obnovljivih izvora energije. U Zakonu o energiji (NN 68/01 i 177/04) ističe se interes RH za učinkovito korištenje energije. Zakonom o proizvodnji, distribuciji i opskrbi toplinskom energijom (NN 42/05), dana je mogućnost energetskim subjektima, koji koriste energetski objekt kogeneracije te koriste otpad, biorazgradive dijelove otpada ili obnovljive izvore energije za proizvodnju toplinske energije, da mogu steći status povlaštenog proizvođača toplinske energije. Mjere za racionalno korištenje energije sadržane su i u člancima 24 i 36 toga Zakona prema kojima se daje mogućnost vlasnicima postojećih samostalnih uporabnih cjelina da ugrade uređaje za mjerenje potrošnje topl. energije, dok novi objekti moraju imati za svaku samostalnu uporabnu cjelinu (stan, poslovni prostor) uređaje za mjerenje potrošnje toplinske energije.

Na temelju Zakona o tehničkim zahtjevima za proizvode i ocjenu sukladnosti (NN 158/03), donesen je Pravilnik o zahtjevima za stupnjeve djelovanja novih toplovodnih kotlova na tekuće i plinovito gorivo (NN 135/05) koji se odnosi na kotlove nazivne snage između 4 i 400 kW. Zakon o gradnji (NN 175/03 i 100/04) sadrži bitni zahtjev o uštedi energije i toplinskoj zaštiti, prenesen iz Direktive o građevnim proizvodima 89/106/EEC. Temeljem ovoga Zakona doneseni su Tehnički propis o uštedi toplinske energije i toplinskoj zaštiti zgrada (NN 79/05, 155/05 i 74/06), te Tehnički propis o sustavima ventilacije, djelomične klimatizacije i klimatizacije zgrada (NN 03/07). Zakon o prostornom uređenju i gradnji (NN 76/07) navodi uštede energije i toplinsku zaštitu kao jedan od bitnih zahtjeva za građevinu. Isti Zakon također navodi da svaka zgrada mora imati certifikat o energetskim svojstvima. Zakon o učinkovitom korištenju energije u neposrednoj potrošnji (NN 152/2008) uređuje područje učinkovitog korištenja energije u neposrednoj potrošnji, donošenje programa i planova za poboljšanje energetske učinkovitosti te njihovo provođenje, mjere energetske učinkovitosti, a posebno djelatnost energetskih usluga i energetskih pregleda, obveze javnog sektora, energetskog subjekta i velikog potrošača te prava potrošača u primjeni mjera energetske učinkovitosti.

Republika Hrvatska obvezna je uskladiti svoj zakonodavni okvir sa svim direktivama Europske unije te preuzeti i sve obveze iz tih direktiva. Obveza je transponirati Direktivu EPBD-a u nacionalno zakonodavstvo do dana potpisivanja ugovora o punopravnom članstvu i osigurati instrumente implementacije. Prijenos Direktive predviđen je novim odredbama zakona koji uređuju građenje građevina, a u nadležnosti je Ministarstva prostornog uređenja i graditeljstva. Istim bi se trebala dati pravna osnova za donošenje podzakonskih akata vezano za

- uvođenje metodologije za energetske karakteristike
- propisivanje minimalnih energetskih zahtjeva
- klasificiranje zgrada u energetske razrede
- obveznost certificiranja novih zgrada, te postojećih zgrada prilikom prodaje ili iznajmljivanja
- uvjete stručne osposobljenosti kvalificiranih nezavisnih stručnjaka za provedbu certificiranja i energetskih pregleda zgrada.

Prijenos Direktive u zakone koji uređuju područje energetike i energetske učinkovitosti u nadležnosti je Ministarstva gospodarstva, rada i poduzetništva. Razradom navedenih zakonskih odredbi, podzakonskim aktima utvrdit će se obveza provođenja redovite kontrole kotlova za grijanje i sustava za klimatizaciju od strane kvalificiranih stručnjaka.

### **1.3.2. Zakon o učinkovitom korištenju energije u neposrednoj potrošnji (NN 152/2008)**

Ovim se Zakonom [1.5] uređuje područje učinkovitog korištenja energije u neposrednoj potrošnji, donošenje programa i planova za poboljšanje energetske učinkovitosti te njihovo provođenje, mjere energetske učinkovitosti, a posebno djelatnost energetskih usluga i energetskih pregleda, obveze javnog sektora, energetskog subjekta i velikog potrošača te prava potrošača u primjeni mjera energetske učinkovitosti.



Ovaj se Zakon ne odnosi na energetska učinkovitost u postrojenjima za proizvodnju i transformaciju energije, prijenos i distribuciju energije te na uvjete za obavljanje energetskog pregleda radi izdavanja energetskog certifikata zgrade, niti na energetske preglede kotla za grijanje i sustava za klimatizaciju u zgradi na koje se odnose posebni propisi u području gradnje. Svrha je ovoga Zakona ostvarivanje ciljeva održivog energetskog razvoja: smanjenje negativnih utjecaja na okoliš iz energetskog sektora, poboljšanje sigurnosti opskrbe energijom, zadovoljavanje potreba potrošača energije i ispunjavanje međunarodnih obveza Republike Hrvatske u području smanjenja emisija stakleničkih plinova i to poticanjem primjene mjera energetske učinkovitosti u sektorima neposredne potrošnje energije.

Zakon obvezuje na izradu Nacionalnih akcijskih planova energetske učinkovitosti, te drugih planskih dokumenata na razini županija i gradova. Zakon implementira i obvezu iz EPBD direktive o redovitim energetskom pregledima kotlova za grijanje i sustava za klimatizaciju. Ovlaštene osobe za energetske preglede zgrada sa složenim tehničkim sustavom, u dijelu koji se odnosi na strojarski dio tehničkog sustava, prema posebnom propisu, mogu obavljati i redovite energetske preglede kotlova za grijanje i sustava za klimatizaciju zgrade.

### 1.3.3. Zakon o prostornom uređenju i gradnji (NN 76/07 i 38/09)

Zakonom o prostornom uređenju i gradnji [1.4] od 13. srpnja 2007. godine (NN 76/07) definira se i značaj energetske učinkovitosti i obvezna energetska certifikacija zgrada. Između bitnih zahtjeva za građevinu koje je potrebno osiguravati u projektiranju, građenju i održavanju građevine, obvezuje se na uštedu energije i toplinsku zaštitu, tako da u odnosu na mjesne klimatske prilike potrošnja energije prilikom korištenja uređaja za grijanje, hlađenje i provjetravanje bude jednaka propisanoj razini ili niža od nje, a da za osobe koje borave u građevini budu osigurani zadovoljavajući toplinski uvjeti. Za nove i postojeće zgrade kvaliteta s obzirom na potrošnju energije, odrediti će se klasifikacijom u energetske razrede. Za svaki energetski razred utvrditi će se raspon vrijednosti potrošnje za toplinsku energiju, električnu energiju i potrošnu vodu te emisije CO<sub>2</sub>. Podaci o potrošnji pojedine vrste energije određivat će se proračunom ili prema stvarnoj potrošnji u zgradi. Prije izdavanja uporabne dozvole, kod promjene vlasništva ili iznajmljivanja zgrade ili stana obveza je pribaviti certifikat o energetskim svojstvima zgrade i dati na uvid kupcu ili iznajmljivaču. Certifikat izdaje ovlaštena osoba, koju će ovlastiti Ministarstvo. Energetska svojstva i način izračuna toplinskih svojstava zgrade, energetske zahtjeve za nove i postojeće zgrade (s izuzećima od propisanih zahtjeva), uvjete, sadržaj i način izdavanja certifikata, zgrade za koje postoji obveza javnog izlaganja certifikata o energetskim svojstvima i uvjete za osobe ovlaštene za izdavanje certifikata propisati će ministar pravilnikom. Obvezna primjena Zakona o prostornom uređenju i gradnji je od 1. listopada 2007. godine. Članak 15 Zakona implementira članke EPBD 3, 4, 5, 6, 7 i 10, prenoseći obvezu da svaka zgrada mora biti projektirana, izgrađena i održavana tako da tijekom uporabe ima propisana energetska svojstva. Prije izdavanja uporabne dozvole, odnosno prije promjene vlasništva ili iznajmljivanja zgrade ili njezinoga dijela, mora se pribaviti certifikat o energetskim svojstvima zgrade, kojega izdaje ovlaštena osoba. Ovlaštenje za izdavanje certifikata izdaje Ministarstvo. U certifikat kupac ili unajmljivač zgrade ili njezinog dijela ima pravo uvida prije sklapanja ugovora o kupoprodaji ili iznajmljivanju prema posebnom zakonu. Energetska svojstva i način izračuna toplinskih svojstava zgrade, energetske zahtjeve za nove i postojeće zgrade s izuzećima od propisanih zahtjeva, te uvjete, sadržaj i način izdavanja certifikata (certificiranje), zgrade za koje postoji obveza javnog izlaganja certifikata o energetskim svojstvima i uvjete za osobe ovlaštene za izdavanje certifikata propisuje ministar pravilnikom.

Temeljem ovog Zakona i Akcijskog plana, tijekom 2008. i 2009. godine izrađeni su i usvojeni slijedeći Pravilnici i Tehnički propisi:

- [1] Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti zgrada NN 110/08 i Tehnički propis o izmjeni Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama NN 89/09
- [2] Tehnički propis o sustavima grijanja i hlađenja zgrada NN 110/08
- [3] Pravilnik o energetskom certificiranju zgrada NN 113/08 i Pravilnik o izmjenama Pravilnika o energetskom certificiranju zgrada NN 91/09, Pravilnik o energetskom certificiranju zgrada NN 36/10
- [4] Pravilnik o uvjetima i mjerilima za osobe koje provode energetske preglede i energetska certificiranja zgrada NN 113/08 i Pravilnik o izmjenama i dopunama Pravilnika o uvjetima i mjerilima za osobe koje provode energetske preglede i energetska certificiranja zgrada NN 89/09
- [5] Metodologija provođenja energetskog pregleda zgrada, Energetski institut Hrvoje Požar, MZOPUG, lipanj 2009.

### 1.3.4. Uspostava administrativne strukture

Učinkovitim korištenjem energije postiže se krajnji cilj, a to je smanjenje energetske potrošnje. Praćenje potrošnje energije moguće je provoditi ako postoji evidencija energetskih pregleda, a što ukazuje na potrebu uspostave administrativne strukture za praćenje baze podataka. Slijedom navedenog dolazimo do zaključka da je za praćenje provedbe implementacije Direktive, za što su nadležni MZOPUG i MINGORP, neophodna uspostava administrativne strukture čiji djelokrug obuhvaća:

- izrada i vođenje registra ovlaštenih stručnjaka za energetski pregled zgrada, certificiranje, inspekciju kotlova za grijanje te sustava klimatizacije
- izrada i vođenje registra izvješća energetskih pregleda
- izrada i vođenje registra certifikata.

Kako bi se utvrdio približan broj stručnih osoba koje će provoditi energetske preglede i energetska certificiranja zgrada, provedena je kratka analiza postojećeg sektora zgrada. Godišnje je potrebno pregledati u prosjeku 20 000 novih stanova za 250 radnih dana. To može obaviti 80 ljudi radeći puno radno vrijeme, odnosno 160 osoba koje bi taj posao obavljale samo poslije podne. Kada s tom broju pridoda broj osoba koje bi vršile energetski pregled na zgradama koje se prodaju, iznajmljuju ili se podvrgavaju većim rekonstrukcijama, može se pretpostaviti broj od najmanje 500 potrebnih stručnih osoba koje će Ministarstvo ovlastiti za potrebe provođenja energetskih pregleda i energetska certificiranja zgrada [1.3].

Implementacijom EPBD direktive u hrvatsko zakonodavstvo stvoreni su osnovni uvjeti za provedbu energetske certificiranja zgrada u praksi. Započela je i sustavna izobrazba stručnjaka koji će biti ovlašteni za provođenje energetskih pregleda i energetska certificiranja zgrada. Daljnje aktivnosti trebale bi ići u smjeru aktivne provedbe usvojenog zakonodavstva, kontinuiranog usklađivanja sa zakonodavstvom EU-a, te edukacija i promocije energetske certificiranja i općenito energetske učinkovitosti za razne ciljne grupe.

## 1.4. Osnove energetskog certificiranja stambenih i nestambenih zgrada te zgrada javne namjene

### 1.4.1. Osnove energetskih pregleda i energetskog certificiranja

Osnovni pojmovi i definicije, prema Pravilniku [1.8]

**zgrada** jest građevina s krovom i zidovima u kojoj se koristi energija radi ostvarivanja određenih klimatskih uvjeta, namijenjena boravku ljudi, odnosno smještaju životinja, biljaka i stvari, a sastoji se od tijela zgrade, instalacija, ugrađene opreme i prostora zgrade;

**stambena zgrada** jest zgrada koja je u cijelosti ili u kojoj je više od 90% bruto podne površine namijenjeno za stanovanje, odnosno koja nema više od 50 m<sup>2</sup> neto podne površine u drugoj namjeni. Stambenom zgradom smatra se i zgrada s apartmanima u turističkom području;

**nestambena zgrada** jest zgrada koja nije stambena;

**nestambena zgrada gospodarske namjene** jest zgrada namijenjena za obavljanje gospodarske proizvodne i poljoprivredne djelatnosti (npr. to su: proizvodne hale u industrijskoj proizvodnji, proizvodne radionice, skladišta, zgrade namijenjene poljoprivrednom gospodarstvu i sl.);

**zgrada mješovite namjene** jest zgrada koja ima više od 10% neto podne površine u drugoj namjeni od osnovne (stambene, nestambene ili ostale namjene), kada je ploština te neto podne površine u drugoj namjeni veća od od 50 m<sup>2</sup> i zbog čega je moguće zgradu podijeliti na zone koje se mogu posebno certificirati u skladu s temeljnom klasifikacijom zgrada (npr. stambena, uredska i trgovačka namjena u jednoj zgradi);

**zgrada s više zona** jest zgrada koja ima više dijelova za koje se mogu izraditi zasebni energetska certifikati. Zgrada s više zona jest zgrada:

– koja se sastoji od dijelova koji čine zaokružene funkcionalne cjeline koje imaju različitu namjenu te imaju mogućnost odvojenih sustava grijanja i hlađenja (stambeni dio u nestambenoj zgradi), ili se razlikuju po unutarnjoj projektnoj temperaturi za više od 4°C

– kod koje je 10% i više neto podne površine prostora zgrade u kojem se održava kontrolirana temperatura u drugoj namjeni od osnovne namjene, kada je ploština te neto podne površine u drugoj namjeni veća od 50 m<sup>2</sup>

– kod koje dijelovi zgrade koji su zaokružene funkcionalne cjeline imaju različiti termotehnički sustav i/ili bitno različite režime korištenja termotehničkih sustava;

**tehnički sustav zgrade** jest tehnička oprema ugrađena u zgradu koja služi za njezino grijanje, hlađenje, ventilaciju, klimatizaciju, pripremu tople vode, osvjetljenje i proizvodnju električne energije;

**termotehnički sustav zgrade** jest tehnički sustav u koji nije uključeno osvjetljenje i proizvodnja električne energije;

**pomoćni sustav** jest tehnička oprema koja doprinosi pretvorbi energije za pokrivanje energetskih potreba zgrade;

**ovlaštena osoba** jest osoba koja prema posebnom propisu kojim se propisuju uvjeti i mjerila za osobe koje provode energetske preglede i energetska certificiranja zgrada ima ovlaštenje Ministarstva zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva za provođenje energetskih pregleda i/ili izdavanje energetskog certifikata;

**energetski pregled zgrade** jest dokumentirani postupak koji se provodi u cilju utvrđivanja energetskih svojstava zgrade i stupnja ispunjenosti tih svojstava u odnosu na referentne vrijednosti i sadrži prijedlog mjera za poboljšanje energetskih svojstava zgrade koje su ekonomski opravdane, a provodi ga ovlaštena osoba;

**energetski certifikat** jest dokument koji predočuje energetska svojstva zgrade i koji ima propisani sadržaj i izgled prema Pravilniku [8], a izdaje ga ovlaštena osoba;

**energetsko certificiranje zgrade** jest skup radnji i postupaka koji se provode u svrhu izdavanja energetskog certifikata;

**energetski razred zgrade** jest indikator energetskih svojstava zgrade koji se za stambene zgrade izražava preko godišnje potrebne toplinske energije za grijanje za referentne klimatske podatke svedene na jedinicu ploštine korisne površine zgrade  $A_k$ , a za nestambene zgrade preko relativne vrijednosti godišnje potrebne toplinske energije za grijanje;

**referentne vrijednosti** su dopuštene vrijednosti propisane posebnim propisom kojim se propisuju tehnički zahtjevi glede racionalne uporabe energije i toplinske zaštite novih i postojećih zgrada i prema kojima se uspoređuju izračunata energetska svojstva zgrade;

**referentni klimatski podaci** jesu skup odabranih klimatskih parametara koji su karakteristični za neko geografsko područje;

**stvarni klimatski podaci** jesu klimatski podaci dobiveni statističkom obradom prema meteorološkoj postaji najbližoj lokaciji zgrade;

**godišnja potrebna toplinska energija za grijanje**,  $Q_{H,nd}$  (kWh/a), jest računski određena količina topline koju sustavom grijanja treba tijekom jedne godine dovesti u zgradu za održavanje unutarnje projektne temperature u zgradi tijekom razdoblja grijanja zgrade;

**koeffcijent transmisijskog toplinskog gubitka**,  $H_{tr,ad}$  (W/K), jest količnik između toplinskog toka koji se transmisijom prenosi iz grijane zgrade prema vanjskom prostoru i razlike između unutarnje projektne temperature grijanja i vanjske temperature;

**obujam grijanog dijela zgrade**,  $V_e$  (m<sup>3</sup>), jest bruto obujam, obujam grijanog dijela zgrade kojemu je oplošje  $A$ ;

**oplošje grijanog dijela zgrade**,  $A$  (m<sup>2</sup>), jest ukupna ploština građevnih dijelova koji razdvajaju grijani dio zgrade od vanjskog prostora, tla ili negrijanih dijelova zgrade (omotač grijanog dijela zgrade), određena prema HRN EN ISO 13789:2008;

**ploština korisne površine zgrade**,  $A_k$  (m<sup>2</sup>), jest ukupna ploština neto podne ploštine grijanog dijela zgrade. Kod stambenih zgrada može se odrediti prema približnom izrazu  $A_k = 0,32 \cdot V_e$ ;

**faktor oblika zgrade**,  $f_0 = A/V_e$  (m<sup>-1</sup>), jest količnik oplošja,  $A$  (m<sup>2</sup>), i obujma,  $V_e$  (m<sup>3</sup>), grijanog dijela zgrade;

**godišnja potrebna toplinska energija za grijanje za referentne klimatske podatke**,  $Q_{H,nd,ref}$  (kWh/a), jest računski određena količina topline koju sustavom grijanja treba tijekom jedne godine dovesti u zgradu za održavanje unutarnje projektne temperature u zgradi tijekom razdoblja grijanja zgrade, za referentne klimatske podatke;

**specifična godišnja potrebna toplinska energija za grijanje za referentne klimatske podatke za stambenu zgradu**,  $Q''_{H,nd,ref}$  (kWh/(m<sup>2</sup>a)) jest godišnja potrebna toplinska energija za grijanje za referentne klimatske podatke izražena po jedinici ploštine korisne površine zgrade;

**specifična godišnja potrebna toplinska energija za grijanje za referentne klimatske podatke za nestambenu zgradu** jest godišnja potrebna toplinska energija za grijanje za referentne klimatske podatke izražena po jedinici obujma grijanog dijela zgrade,  $Q'_{H,nd,ref}$  (kWh/(m<sup>3</sup>a)), te godišnja potrebna toplinska energija za grijanje za referentne klimatske podatke izražena po jedinici ploštine korisne površine zgrade,  $Q''_{H,nd,ref}$  (kWh/(m<sup>2</sup>a));

**relativna vrijednost godišnje potrebne toplinske energije za grijanje za nestambene zgrade**,  $Q_{H,nd,rel}$  [%], jest omjer specifične godišnje potrebne toplinske energije za grijanje za referentne klimatske podatke,  $Q''_{H,nd,ref}$  (kWh/(m<sup>2</sup>a)) i dopuštene specifične godišnje potrebne toplinske energije za grijanje,  $Q'_{H,nd,dop}$  (kWh/(m<sup>3</sup>a)), a izračunava se prema izrazu:

$$Q_{H,nd,rel} = Q'_{H,nd,ref} / Q'_{H,nd,dop} \cdot 100 \quad (1.1)$$

Postupak energetske certificiranja postojeće zgrade sastoji se od:

- energetske pregleda zgrade
- vrjednovanja i/ili završnog ocjenjivanja radnji energetske pregleda zgrade
- izrade energetske certifikata zgrade s prijedlogom mjera za poboljšanje energetske svojstva zgrade koje su ekonomski opravdane i s izračunatim razdobljem povrata investicije.

Postupak energetske certificiranja nove zgrade sastoji se od:

- određivanja energetske razreda zgrade i
- izrade energetske certifikata s preporukama za korištenje zgrade, vezano na ispunjenje bitnog zahtjeva uštede energije i toplinske zaštite i ispunjenje energetske svojstva zgrade.

Suvremeno upravljanje energijom u zgradama uključuje široku analizu svih energetske sustava zgrade. Energetske pregled ili audit zgrade podrazumijeva analizu toplinskih karakteristika i energetske sustava zgrade s ciljem utvrđivanja učinkovitosti i/ili neučinkovitosti potrošnje energije te donošenja zaključaka i preporuka za povećanje energetske učinkovitosti. Energetske pregled utvrđuje način korištenja energije, područja rasipanja energije i identificira mjere za povećanje energetske učinkovitosti. Osnovni cilj energetske pregleda je prikupljanjem i obradom niza parametara dobiti što točniji uvid u zatečeno energetske stanje zgrade s obzirom na: građevinske karakteristike u smislu toplinske zaštite; kvalitetu sustava za grijanje, hlađenje, prozračivanje i rasvjetu; zastupljenost i kvalitetu energetske uređaja; strukturu upravljanja zgradom te pristup stanara ili zaposlenika energetskej problematici, nakon čega se odabiru konkretne optimalne energetske-ekonomske mjere povećanja energetske učinkovitosti.

Uvođenjem energetske certifikacije zgrada u budućnosti, odnosno klasifikacije i ocjenjivanja zgrada prema potrošnji energije, energetske pregled zgrade postaje nezaobilazna metoda utvrđivanja učinkovitosti, odnosno neučinkovitosti potrošnje energije te podloga za izradu energetske certifikata zgrade.

Energetske certifikat jest dokument koji predočuje energetske svojstva zgrade, ali i jaki marketinški instrument s ciljem promocije energetske učinkovitosti i nisko energetske gradnje i postizanja višeg komfora života i boravka u zgradama. Energetske certifikacijom zgrada dobivaju se transparentni podaci o potrošnji energije u zgradama na tržištu, energetske učinkovitost prepoznaje se kao znak kvalitete, potiču se ulaganja u nove inovativne koncepte i tehnologije, potiče se korištenje alternativnih sustava za opskrbu energijom u zgradama, razvija se tržište novih nisko energetske zgrada i modernizira sektor postojećih zgrada, te se doprinosi ukupnom smanjenju potrošnje energije i zaštiti okoliša.

**Tablica 1.1 - Energetske razredi zgrada utvrđeni Pravilnikom [1.8]**

<b>Energetske razred</b>	<b><math>Q_{H,nd,ref}</math> – specifična godišnja potrebna toplinske energije za grijanje u kWh/(m<sup>2</sup>a)</b>
A+	≤ 15
A	≤ 25
B	≤ 50
C	≤ 100
D	≤ 150
E	≤ 200
F	≤ 250
G	> 250

Pravilnik o energetske certifikaciji zgrada [1.8] propisuje zgrade za koje je potrebno izdati energetske certifikat o energetske svojstvima zgrade i izuzeća od obveznosti izdavanja energetske certifikata, energetske razrede zgrada, sadržaj i izgled energetske certifikata, izdavanje i važenje, energetske certifikacije novih zgrada, energetske certifikacije postojećih zgrada koje se prodaju, iznajmljuju ili daju na leasing, zgrade javne namjene za koje je obvezno javno izlaganje energetske certifikata

i izlaganje energetskega certifikata, obveze investitora, odnosno vlasnika zgrade u vezi s energetska certificiranjem zgrade, registar izdanih energetskega certifikata, te nadzor nad provedbom Pravilnika.

Temeljem izračuna specifične godišnje potrebne toplinske energije za grijanje  $Q_{H,nd,ref}$  zgrada se svrstava u razred energetske potrošnje, od A+ razreda s najmanjom potrošnjom toplinske energije za grijanje ( $Q_{H,nd,ref} \leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ ), do G razreda zgrade s najvećom energetska potrošnjom ( $Q_{H,nd,ref} > 250 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ ) i to u dvije referentne klime, kontinentalna i primorska Hrvatska, s granicom na 2200 stupanj dana grijanja. Pri tome je važno napomenuti da zgrade projektirane u skladu s današnjim propisima uglavnom ulaze u razred energetske potrošnje C, te da je potrebno značajno poboljšanje energetskega svojstva zgrade kako bi zgrada bila svrstana u energetska razred B, A ili A+.

Energetska certificiranjem zgrada uvodi se:

- obveza vlasnika zgrade da prilikom izgradnje, prodaje ili iznajmljivanja zgrade predoči budućem vlasniku, odnosno potencijalnom kupcu ili najmoprimcu energetska certifikat kojemu rok valjanosti nije duži od deset godina
- obveza izdavanja i izlaganja energetskega certifikata ne starijeg od 10 godina na jasno vidljivom mjestu, za zgrade javne namjene, ukupne korisne površine veće od 1000 m<sup>2</sup> koje koriste tijela javne vlasti i zgrade institucija koje pružaju javne usluge velikom broju ljudi (zgrade s velikim prometom ljudi).

Investitor nove zgrade dužan je osigurati energetska certifikat zgrade prije obavljanja tehničkog pregleda, odnosno priložiti ga zahtjevu za izdavanje uporabne dozvole. Ta se obveza odnosi na sve nove zgrade za koje se nakon 31. ožujka 2010. godine podnosi zahtjev za izdavanje akta, temeljem kojega se može graditi.

Vlasnik postojeće zgrade dužan je prilikom prodaje ili iznajmljivanja zgrade u cjelini ili njezinog dijela koji je samostalna uporabna cjelina (pojedini stan, pojedinačni uredski prostor i sl.), odnosno lizinga (engl. *leasing*), osigurati energetska certifikat zgrade, odnosno njezinog dijela i dati ga na uvid potencijalnom kupcu ili unajmljivaču zgrade. Kod prodaje zgrade ili njezinog dijela koji je samostalna uporabna cjelina, energetska certifikat mora biti na uvidu prigodom sklapanja ugovora o kupoprodaji i sastavni je njegov dio. Sve postojeće zgrade koje se prodaju, iznajmljuju ili daju na lizing moraju imati energetska certifikat dostupan na uvid kupcu ili najmoprimcu najkasnije danom pristupanja Republike Hrvatske u članstvo EU-a.

Zgrade javne namjene koje imaju ukupnu korisnu površinu veću od 1 000 m<sup>2</sup> moraju imati energetska certifikat izložen na mjestu jasno vidljivom posjetiteljima zgrade. Energetska certifikat izrađuje se uvećan na format A3, zaštićen od eventualnih oštećenja i pričvršćen na siguran način. Javno se izlaže prva strana energetskega certifikata koja sadrži osnovne podatke o zgradi i skalu energetskega razreda, te treća strana certifikata koja sadrži preporuke za poboljšanje energetskega svojstva zgrade. Zgrade javne namjene, za koje je obvezno javno izlaganje energetskega certifikata, moraju imati izrađen i javno izložen energetska certifikat i popis mjera za povećanje energetske učinkovitosti u roku od najdulje 36 mjeseci od donošenja Metodologije provođenja energetskega pregleda zgrade, dakle najkasnije do lipnja 2012. godine.

Energetska certifikat zgrade (stambene i nestambene) sadrži ukupno pet stranica, od kojih prva sadrži osnovne podatke o zgradi te grafičku skalu energetskega razreda od A+ do G, s navedenim iznosom specifične godišnje potrebne toplinske energije za grijanje za referentne klimatske uvjete  $Q_{H,nd,ref}$  u kWh/(m<sup>2</sup>a). Druga stranica certifikata sadrži klimatske podatke, podatke o svim ugrađenim tehničkim sustavima u zgradi, te rezultate izračuna energetskega potreba zgrade s navedenim vrijednostima koeficijentata prolaska topline za pojedine građevne dijelove zgrade. Treća stranica sadrži prijedlog mjera za poboljšanje energetskega svojstva zgrade koje su ekonomski opravdane. Četvrta stranica energetskega certifikata zgrade sadrži objašnjenje tehničkih pojmova, a peta stranica energetskega certifikata zgrade sadrži detaljan opis propisa, normi i proračunskih postupaka za određivanje podataka navedenih u energetska certifikatu.

Zgrada		<input type="checkbox"/> nova <input type="checkbox"/> postojeća	
Vrsta zgrade			
K.Š. k.o.			
Adresa			
Mjesto			
Vlasnik / investitor			
Izdavač			
Godina izgradnje			
$Q_{H,nd,rel}$	kWh/(m <sup>2</sup> a)	Izračun	
		49	
A+	≤ 15		
A	≤ 25		
B	≤ 50	<b>B</b>	
C	≤ 100		
D	≤ 150		
E	≤ 200		
F	≤ 250		
G	> 250		
Podaci o osobi koja je izdala energetski certifikat			
Ovlaštena fizička osoba			
Ovlaštena pravna osoba			
Imenovana osoba			
Registarski broj ovlaštene osobe			
Broj energetskog certifikata			
Datum istovanižnog važenja			
Potpis			
Podaci o zgradi			
$A_v$ [m <sup>2</sup> ]			
$V_v$ [m <sup>3</sup> ]			
$\delta$ [m <sup>2</sup> ]			
$H_{F,nd}$ [W/(m <sup>2</sup> K)]			
$Q_{H,nd,rel}$ [kWh/(m <sup>2</sup> a)]			

Prijedlog mjera / Preporuke	
- za postojeće zgrade:	prijedlog mjera za poboljšanje energetskih svojstava zgrade koje su ekonomski opravdane
- za nove zgrade:	preporuke za korištenje zgrade vezano na ispunjenje bitnog zahtjeva uštede energije i toplinske zaštite i ispunjenje energetskih svojstava zgrade
1.	
2.	
3.	
4.	
5.	
6.	
7.	
8.	
9.	
10.	
11.	
12.	
13.	
14.	
15.	
16.	
17.	
18.	
19.	

Slika 1.4 – Prva i treća stranica energetskog certifikata za stambene zgrade

Zgrada		<input type="checkbox"/> nova <input type="checkbox"/> postojeća	
Vrsta zgrade			
K.Š. k.o.			
Adresa			
Mjesto			
Vlasnik / investitor			
Izdavač			
Godina izgradnje			
$Q_{H,nd,rel}$	%	Izračun	
		49	
A+	≤ 15		
A	≤ 25		
B	≤ 50	<b>B</b>	
C	≤ 100		
D	≤ 150		
E	≤ 200		
F	≤ 250		
G	> 250		
Podaci o osobi koja je izdala energetski certifikat			
Ovlaštena fizička osoba			
Ovlaštena pravna osoba			
Imenovana osoba			
Registarski broj ovlaštene osobe			
Broj energetskog certifikata			
Datum istovanižnog važenja			
Potpis			
Podaci o zgradi			
$A_v$ [m <sup>2</sup> ]			
$V_v$ [m <sup>3</sup> ]			
$\delta$ [m <sup>2</sup> ]			
$H_{F,nd}$ [W/(m <sup>2</sup> K)]			
$Q_{H,nd,rel}$ [kWh/(m <sup>2</sup> a)]			

Prijedlog mjera / Preporuke	
- za postojeće zgrade:	prijedlog mjera za poboljšanje energetskih svojstava zgrade koje su ekonomski opravdane
- za nove zgrade:	preporuke za korištenje zgrade vezano na ispunjenje bitnog zahtjeva uštede energije i toplinske zaštite i ispunjenje energetskih svojstava zgrade
1.	
2.	
3.	
4.	
5.	
6.	
7.	
8.	
9.	
10.	
11.	
12.	
13.	
14.	
15.	
16.	
17.	
18.	
19.	

Slika 1.5 – Prva i treća stranica energetskog certifikata za nestambene zgrade

## 1.5. Nacionalna metodologija energetskih pregleda zgrada

U svrhu ujednačavanja kvalitete i metoda provedbe energetskih pregleda zgrada, u lipnju 2009. godine usvojena je nacionalna Metodologija provođenja energetskog pregleda zgrada [1.10]. Metodologija se trenutno usklađuje s novim Pravilnikom o energetskom certificiranju. Prema toj metodologiji, energetski pregled zgrade obvezno uključuje:

1. analizu građevinskih karakteristika zgrade u smislu toplinske zaštite (analizu toplinskih karakteristika vanjske ovojnice zgrade)
2. analizu energetskih svojstava sustava grijanja i hlađenja
3. analizu energetskih svojstava sustava klimatizacije i ventilacije
4. analizu energetskih svojstava sustava za pripremu potrošne tople vode
5. analizu energetskih svojstava sustava potrošnje električne energije – sustav elektroinstalacija, rasvjete, kućanskih aparata i drugih podsustava potrošnje električne energije
6. analizu upravljanja svim tehničkim sustavima zgrade
7. potrebna mjerenja gdje je to nužno za ustanovljavanje energetskog stanja i /ili svojstava
8. analizu mogućnosti promjene izvora energije
9. analizu mogućnosti korištenja obnovljivih izvora energije i učinkovitih sustava
10. prijedlog ekonomski povoljnih mjera poboljšanja energetskih svojstava zgrade, ostvarive uštede, procjenu investicije i jednostavno razdoblje povrata
11. izvješće s preporukama za optimalni zahvat i redoslijed prioriteta mjera koje će se implementirati kroz jednu ili više faza.

Energetski pregled zgrade opcionalno može uključivati i druge radnje ovisno o namjeni i vrsti zgrade, kao npr. analizu potrošnje sanitarne vode i preporuke za smanjenje potrošnje sanitarne vode.

Osnovna karakteristika energetskog pregleda stambene zgrade je prikupljanje podataka o zgradi i izračun godišnjih energetskih potreba za grijanje i potrošnu toplu vodu, prema HRN EN 13790:2008 [1.11]. Za stambene i nestambene zgrade nije obvezno mjerenje niti prikupljanje podataka o potrošnji i troškovima za energiju, već se cijeli energetski pregled temelji na prikupljanju ulaznih podataka i izračunu. Ako postoje podaci, moguće je opcionalno analizirati i potrošnju i troškove za energiju te provesti određena mjerenja u svrhu utvrđivanja kvalitete izvedbe kod novih zgrada, odnosno identifikacije problema i točnijeg utvrđivanja energetskih svojstava kod postojećih zgrada.

Osnovni proračunski izraz za određivanje godišnje potrebne toplinske energije za grijanje prema EN ISO 13790 je:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn} \quad (1.2)$$

$Q_{H,ht}$  – ukupni toplinski gubici zgrade u razdoblju grijanja prema vanjskom okolišu, kWh

$Q_{H,gn}$  – ukupni toplinski dobici zgrade u razdoblju grijanja, kWh

$\eta_{H,gn}$  – bezdimenzijski faktor iskorištenja toplinskih dobitaka za grijanje

Osnovni proračunski izraz za određivanje ukupne godišnje potrebne toplinske energije sustava,  $Q_H$  je:

$$Q_H = Q_{H,nd} + Q_W + Q_{H,ls} + Q_{W,ls} \quad (1.3)$$

$Q_{H,nd}$  – godišnja potrebna toplinska energija za grijanje, kWh

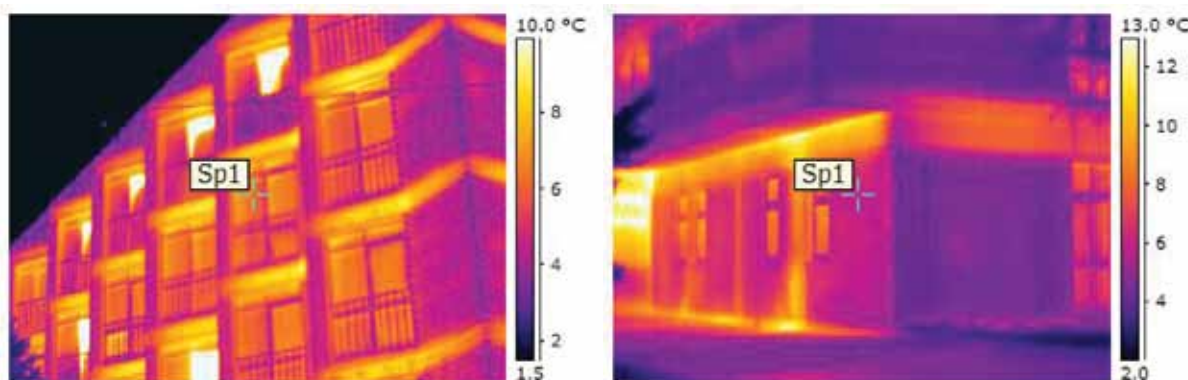
$Q_W$  – godišnja potrebna toplinska energija za pripremu potrošne tople vode (PTV), kWh

$Q_{H,ls}$  – godišnji toplinski gubici sustava grijanja, kWh

$Q_{W,ls}$  – godišnji toplinski gubici sustava pripreme potrošne tople vode, kWh

Za preciznije utvrđivanje postojećih energetskih svojstava zgrade i svih tehničkih sustava u zgradi, često je potrebno provesti određena mjerenja. Kada postoji opravdana sumnja u točnost ulaznih podataka potrebnih za izračun energetskih svojstava vanjske ovojnice i tehničkih sustava, mogu se provoditi mjerenja:

- toplinskih gubitaka kroz vanjsku ovojnicu korištenjem infracrvene termografije (ICT), te mjerenje zrakopropusnosti (Blower Door Test), mjerenje toplinskog otpora
- u sustavima klimatizacije, grijanja, hlađenja, ventilacije
- elektroenergetskih parametara potrošnje električne energije – po trošilima ili podsustavima.



**Slika 1.6:** ICT snimke napravljene prilikom energetskog pregleda u svrhu vizualizacije toplinskih mostova i nehomogenosti vanjskog zida, EIHP, 2008.

Osnovni elementi energetskog pregleda postojećih zgrada za potrebe energetskog certificiranja su

1. analiza energetskih svojstava zgrade i karakteristika upravljanja potrošnjom i troškovima energije
2. analiza i izbor mogućih mjera poboljšanja energetskih svojstava zgrade
3. energetsko, ekonomsko i ekološko vrjednovanje predloženih mjera
4. završno izvješće o energetskom pregledu s preporukama i redoslijedom prioritarnih mjera.

Osnovni elementi energetskog pregleda novih zgrada za potrebe energetskog certificiranja su

1. analiza energetskih svojstava zgrade i karakteristika upravljanja potrošnjom i troškovima energije – prema podacima iz projektne dokumentacije i uvidom u izvedeno stanje
2. završno izvješće o energetskom pregledu s iskazom podataka za izradu energetskog certifikata.

Energetskim pregledom se za potrebe energetskog certificiranja analiziraju svi tehnički sustavi zgrade, a izračunava se godišnja potrebna toplinska energija za grijanje  $Q_{H,nd}$  za stvarne i referentne klimatske uvjete koja se za sada obvezno unosi u energetski certifikat, dok je unos ostalih energetskih potreba opcionalan. U konačnosti, energetski certifikat bi trebao sadržavati podatke o ukupnoj primarnoj energiji  $E_{prim}$  (kWh/a), odnosno podatke o računski određenoj količini energije za potrebe zgrade tijekom jedne godine, koja obuhvaća ukupnu primarnu energiju za grijanje, pripremu potrošne tople vode, hlađenje i rasvjetu, te energiju za pomoćne uređaje i regulaciju. Uz to trebaju biti iskazane i  $CO_2$  emisije prema utrošku pojedinog izvora energije.

Analiza mogućih mjera poboljšanja energetskih svojstava i povećanja energetske učinkovitosti obavezno uključuje:

- poboljšanje toplinskih karakteristika vanjske ovojnice
- poboljšanje energetskih svojstava sustava grijanja prostora
- poboljšanje energetskih svojstava sustava hlađenja prostora
- poboljšanje energetskih svojstava sustava ventilacije i klimatizacije
- poboljšanje energetskih svojstava sustava pripreme potrošne tople vode
- poboljšanje energetskih svojstava sustava potrošnje električne energije – rasvjeta, uređaji i ostala trošila
- poboljšanje energetskih svojstava specifičnih podsustava
- analiza mogućnosti zamjene energenta ili korištenja obnovljivih izvora energije za proizvodnju toplinske i/ili električne energije
- poboljšanje sustava regulacije i upravljanja
- poboljšanje sustava opskrbe vodom i potrošnje (opcionalno)
- potrebne procjene i izračuni ušteda za odabrane mjere.



Mogućnosti poboljšanja energetskih svojstava zgrade možemo podijeliti u dvije skupine:

1. mjere uz male troškove i brzi povrat investicije, prema Pravilniku o energetskom certificiranju zgrada, Prilog 4.
2. mjere uz veće troškove i dulji povrat investicije, prema Pravilniku o energetskom certificiranju zgrada, Prilog 4.

Analiza mjera obvezno se provodi pri energetskim pregledima postojećih zgrada svih vrsta i namjena.

Pri provedbi energetskog pregleda, posebno je važno završno izvješće o rezultatima provedenog energetskog pregleda. Završno izvješće sadrži sve prethodno navedene elemente energetskog pregleda i specifikaciju potrebnih podataka za izradu energetskog certifikata zgrade. Također, izvješće može služiti kao podloga za poslovno odlučivanje ključnim ljudima. Energetski certifikat se izrađuje u skladu sa završnim izvješćem. U završnom izvješću, uz sve prikupljene podatke o energetskim svojstvima zgrade, potrebno je specificirati sljedeće podatke:

**Tablica 1.2 - Podaci koji se unose u završno izvješće o energetskom pregledu**

1. OPĆI PODACI O ZGRADI		
1.1.	vrsta zgrade prema namjeni (prema podjeli iz članka 5. stavka 2. PECZ, NN 113/08)	
1.2.	lokacija zgrade (katastarska čestica, ulica, kućni broj, mjesto s poštanskim brojem)	
1.3.	ime i prezime vlasnika, odnosno investitora zgrade	
1.4.	naziv izvođača radova	
1.5.	godina završetka izgradnje	
2. PODACI O ZGRADI		
2.1.	ploština korisne površine zgrade $A_k$ (m <sup>2</sup> )	
2.2.	obujam grijanog dijela zgrade $V_e$ (m <sup>3</sup> )	
2.3.	faktor oblika $f_o$ (m <sup>-1</sup> )	
2.4.	koeficijent transmisijskog toplinskog gubitka (po jedinici oplošja grijanog dijela zgrade) $H_T'$ (W/(m <sup>2</sup> K))	
2.5.	godišnja potrebna toplinska energija za grijanje za referentne klimatske podatke, $Q''_{H,nd,ref}$ (kWh/m <sup>2</sup> a)	
3. KLIMATSKI PODACI		
3.1.	broj stupanj dana grijanja $SD$ (Kd/a)	
3.2.	broj dana sezone grijanja $Z$ (d)	
3.3.	srednja vanjska temperatura u sezoni grijanja $\theta_{e,m}$ (°C)	
3.4.	unutarnja projektna temperatura u sezoni grijanja $\theta_i$ (°C)	
4. PODACI O TEHNIČKIM SUSTAVIMA ZGRADE		
4.1.	način grijanja zgrade (lokalno, etažno, centralno, daljinski izvor)	
4.2.	izvori energije koji se koriste za grijanje	
4.3.	izvori energije koji se koriste za pripremu potrošne tople vode	
4.4.	način hlađenja (lokalno, etažno, centralno, daljinski izvor)	
4.5.	izvori energije koji se koriste za hlađenje	
4.6.	vrsta ventilacije (prirodna, prisilna bez povrata topline, prisilna s povratom topline)	
4.7.	vrsta i namjena korištenja sustava s obnovljivim izvorima energije	
4.8.	udio obnovljivih izvora energije u potrebnoj toplinskoj energiji za grijanje (%)	

5. PODACI O POTREBNOJ ENERGIJI		
5.1.	godišnja potrebna toplinska energija za grijanje, $Q_{H,nd}$ (kWh/a) i (kWh/(m <sup>2</sup> a)), ukupno, specifično, dopušteno	
5.2.	godišnji toplinski gubici sustava grijanja $Q_{H,ls}$ u (kWh/a) i (kWh/(m <sup>2</sup> a))	
5.3.	godišnja potrebna toplinska energija za zagrijavanje potrošne tople vode, $Q_w$ u (kWh/a) i (kWh/(m <sup>2</sup> a))	
5.4.	godišnji toplinski gubici sustava za zagrijavanje potrošne tople vode, $Q_{w,ls}$ u (kWh/a) i [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	
5.5.	godišnja potrebna toplinska energija $Q_H$ u (kWh/a) i (kWh/(m <sup>2</sup> a))	
5.6.	godišnja potrebna toplinska energija za hlađenje $Q_{C,nd}$ u (kWh/a) i (kWh/(m <sup>2</sup> a))	
5.7.	godišnji gubici sustava hlađenja $Q_{C,ls}$ u (kWh/a) i (kWh/(m <sup>2</sup> a)),	
5.8.	godišnja potrebna energija za ventilaciju u sustavu prisilne ventilacije, djelomične klimatizacije i klimatizacije za stvarne klimatske podatke za definirani profil korištenja $Q_{ve}$ u (kWh/a) i (kWh/(m <sup>2</sup> a))	
5.9.	godišnja potrebna energija za rasvjetu za stvarne klimatske podatke za definirani profil korištenja $E_l$ u (kWh/a) i (kWh/(m <sup>2</sup> a))	
5.10.	godišnja isporučena energija $E_{del}$ u (kWh/a) i (kWh/(m <sup>2</sup> a))	
5.11.	godišnja primarna energija $E_{prim}$ u (kWh/a) i (kWh/(m <sup>2</sup> a))	
5.12.	godišnja emisija CO <sub>2</sub> za stvarne klimatske podatke u (kg/a) i (kg/(m <sup>2</sup> a))	
6. KOEFICIJENTI PROLASKA TOPLINE ZA POJEDINE GRAĐEVNE DIJELOVE ZGRADE		
Građevni dio	$U$ stvarni (W/(m <sup>2</sup> K))	$U$ max (W/(m <sup>2</sup> K))
7. REDOSLIJED PRIORITETNIH MJERA ZA POBOLJŠANJE ENERGETSKIH SVOJSTAVA		

Tablica 1.3 - Specifikacija mjera energetskih ušteda u završnom izvještaju o energetskom pregledu

Mjere	Opis mjere	Procjena investicije (x)	Procijenjene uštede		Procijenjene uštede (y)	Jednostavno razdoblje povrata x/y	Smanjenje emisije CO <sub>2</sub>
		[kn]	[kWh/a]	energent	[kn/a]	[godina]	[tona/a]
1							
2							
3							
4							
5							
6							
<b>UKUPNO</b>							

## 1.6. Uvjeti i mjerila za osobe koje provode energetske preglede i energetska certificiranje zgrada

Uvjeti i mjerila za davanje ovlaštenja osobama za provođenje energetskih pregleda i energetska certificiranje zgrada definirani su Pravilnikom o uvjetima i mjerilima za osobe koje provode energetske preglede i energetska certificiranje zgrada NN 113/08 i Pravilnikom o izmjenama i dopunama Pravilnika o uvjetima i mjerilima za osobe koje provode energetske preglede i energetska certificiranje zgrada NN 89/09 [1.9]. Također su definirani uvjeti i mjerila za davanje suglasnosti institucijama za provođenje Programa izobrazbe za osobe koje provode energetske preglede i energetska certificiranje zgrada.

Ovlaštenje se izdaje za:

- energetska certificiranje stambenih i nestambenih zgrada s jednostavnim tehničkim sustavom
- energetska certificiranje stambenih i nestambenih zgrada sa složenim tehničkim sustavom
- provođenje energetskih pregleda stambenih i nestambenih zgrada s jednostavnim tehničkim sustavom
- provođenje energetskih pregleda stambenih i nestambenih zgrada sa složenim tehničkim sustavom.

Pri tome je definirano da su zgrade s jednostavnim tehničkim sustavom:

- stambene ili nestambene zgrade bez sustava grijanja, hlađenja, ventilacije te s individualnim sustavima pripreme potrošne tople vode
- zgrade s pojedinačnim i centralnim izvorima topline za grijanje bez posebnih sustava za povrat topline, s razdiobom toplinske energije i s centralnim ili individualnim sustavima za pripremu potrošne tople vode bez korištenja alternativnih sustava te pojedinačnim rashladnim uređajima, sustavima ventilacije bez povrata topline i ograničenjem buke u ventilacijskim sustavima bez dodatne obrade zraka.

Zgrade sa složenim tehničkim sustavom su:

- stambene ili nestambene zgrade s postrojenjima s centralnim izvorima topline za grijanje i/ili hlađenje zgrade, s centralnom pripremom potrošne tople vode, sa sustavima za mjerenje i razdiobu toplinske i rashladne energije, centralnim rashladnim sustavima, sustavima ventilacije i klimatizacije s povratom topline i ograničenjem buke te dodatnom obradom zraka
- zgrade sa složenim sustavima za grijanje i hlađenje s korištenjem alternativnih sustava opskrbe energijom, centrale za daljinsko zagrijavanje i hlađenje, rashladna postrojenja, ventilacijski uređaji s reguliranim grijanjem i hlađenjem zraka i klima uređaji, uključujući i pripadajuće rashladne uređaje i druge zgrade koje nisu navedene kao jednostavni tehnički sustavi.

Uvjet za dobivanje ovlaštenja je najmanje završen prijediplomski i diplomski sveučilišni studij ili integrirani prijediplomski i diplomski sveučilišni studij kojim se stječe akademski naziv magistar inženjer arhitektonske, građevinske, strojarke ili elektrotehničke struke, odnosno završen specijalistički diplomski studij kojim se stječe stručni naziv specijalist građevinske, strojarke ili elektrotehničke struke, najmanje pet godina radnog iskustva u struci na poslovima projektiranja, stručnog nadzora građenja, održavanja, odnosno ispitivanja građevinskog dijela zgrade vezano na uštedu energije i toplinsku zaštitu, provođenja energetske preglede zgrade, ispitivanja funkcije energetske sustava u zgradi, ili ispitivanja funkcije sustava automatskog reguliranja i upravljanja u zgradi, te uspješno završen Program osposobljavanja. Ovlaštena osoba može provoditi samostalno sve energetske preglede zgrada s jednostavnim tehničkim sustavima. Za provođenje energetske preglede zgrada sa složenim tehničkim sustavima, preporuča se oformiti tim stručnjaka od najmanje tri stručne osobe, pri čemu osoba strojarke struke vrši energetske preglede strojarskog dijela tehničkog sustava zgrade, osoba elektrotehničke struke vrši energetske preglede elektrotehničkog dijela tehničkog sustava zgrade, a osoba arhitektonske ili građevinske struke vrši energetske preglede u dijelu koji se odnosi na građevinske karakteristike zgrade, u smislu racionalne uporabe energije i toplinske zaštite. Za provođenje energetske preglede i energetska certificiranja zgrada može se ovlastiti i pravna osoba koja ima zaposlene stručne kvalificirane osobe odgovarajućih struka.

Za energetska certificiranja zgrada sa složenim tehničkim sustavom, može se ovlastiti samo pravna osoba koja ima zaposlenu najmanje jednu ovlaštenu osobu koja uz ostale uvjete ima završen Program osposobljavanja Modul 2, a koja je arhitektonske, građevinske, strojarke ili elektrotehničke struke. Ta pravna osoba može provoditi i energetska certificiranja zgrada s jednostavnim tehničkim sustavom, te provoditi energetske preglede zgrada sa složenim tehničkim sustavom u dijelu koji se odnosi na građevinske karakteristike zgrade, u smislu racionalne uporabe energije i toplinske zaštite. Ako ta pravna osoba želi provoditi energetske preglede zgrada sa složenim tehničkim sustavom u dijelu koji se odnosi na strojarke, elektrotehnički dio, odnosno sustave automatskog reguliranja i upravljanja, tada mora imati zaposlenu najmanje jednu osobu koja uz ostale uvjete ima strojarke ili elektrotehničku stručnu spremu. Ovlaštenje za energetska certificiranja zgrada sa složenim tehničkim sustavom, automatski ne uključuje i provođenje svih potrebnih energetske preglede takvih zgrada, kao što je to slučaj kod ovlaštenja za energetska certificiranja zgrada s jednostavnim tehničkim sustavom.

U praksi se pokazalo da se najbolji rezultati kod energetske preglede postižu integralnim radom stručnjaka tri različite struke, pri čemu svaka struka detaljno analizira svoje područje struke, a smjernice za poboljšanje energetske svojstava se integralno planiraju i predlažu u završnom izvješću energetske preglede.

Sve ovlaštene osobe dužne su se redovito stručno usavršavati.

## 1.7. Djelovanje ovlaštenih osoba i tržište

Stručno osposobljavanje i obvezno usavršavanje osoba koje provode energetske preglede i/ili energetska certificiranja zgrada provode sveučilišta, veleučilišta, instituti, strukovne organizacije koji imaju suglasnost Ministarstva zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva za obavljanje tih poslova. Trenutno<sup>2</sup> je osam ovlaštenih institucija u Hrvatskoj, koje provode prve tečajeve prema Programu izobrazbe, definiranom u Pravilniku [1.9]. Program izobrazbe za stručno osposobljavanje i obvezno usavršavanje osoba koje provode energetske preglede i energetska certificiranja zgrada, sastoji se od Modula 1 i Modula 2, te periodičkog stručnog usavršavanja.

Broj potrebnih ovlaštenih osoba za provođenje energetske preglede i energetska certificiranja zgrada ovisi o stambenom i nestambenom fondu zgrada kao i o brzini uvođenja certificiranja. U Akcijskom planu [1.3] procijenjen je broj od minimalno 500 potrebnih stručnih osoba za provedbu energetske certificiranja zgrada. To je u skladu i s procjenom EU-a da je potrebno minimalno 100 stručnjaka na milijun stanovnika za kvalitetnu provedbu energetske certificiranja zgrada [1.18].

**Modul 1 obvezno pohađaju:**

- fizičke osobe koje se ovlašćuju za provođenje energetske pregleda i energetska certificiranje zgrada s jednostavnim tehničkim sustavom
- osobe zaposlene u pravnoj osobi koja se ovlašćuje za provođenje energetske pregleda i/ili energetska certificiranje zgrada s jednostavnim tehničkim sustavom koje provode energetske pregleda i energetska certificiranje zgrada
- osobe koje u svojstvu imenovane osobe u ovlaštenoj pravnoj osobi potpisuju izvješća o energetskim pregledima i energetske certifikate zgrada s jednostavnim tehničkim sustavom
- fizičke osobe koje se ovlašćuju za provođenje energetske pregleda zgrada sa složenim tehničkim sustavom u dijelu koji se odnosi na građevinske karakteristike zgrade, u smislu racionalne uporabe energije i toplinske zaštite
- osobe zaposlene u pravnoj osobi koja se ovlašćuje za provođenje energetske pregleda zgrada sa složenim tehničkim sustavom u dijelu koji se odnosi na građevinske karakteristike zgrade, u smislu racionalne uporabe energije i toplinske zaštite.

**Modul 2 obvezno pohađaju:**

- fizičke osobe koje se ovlašćuju za provođenje energetske pregleda zgrada sa složenim tehničkim sustavom u dijelu koji se odnosi na strojarski dio tehničkog sustava zgrade, elektrotehnički dio tehničkog sustava zgrade, odnosno na sustave automatskog reguliranja i upravljanja tehničkog sustava zgrade
- osobe koje će provoditi energetske pregleda zgrada u dijelu koji se odnosi na strojarski dio tehničkog sustava zgrade, elektrotehnički dio tehničkog sustava zgrade, odnosno na sustave automatskog reguliranja i upravljanja tehničkog sustava zgrade, zaposlene u punom radnom vremenu i na neodređeno radno vrijeme u pravnoj osobi koja se ovlašćuje za provođenje za provođenje energetske pregleda, odnosno za provođenje energetske certificiranje zgrada sa složenim tehničkim sustavom
- osobe koje u svojstvu imenovane osobe u ovlaštenoj pravnoj osobi potpisuju energetske certifikate zgrada sa složenim tehničkim sustavom i izvješća o provedenim energetskim pregledima koji se odnose na strojarski dio tehničkog sustava, elektrotehnički dio tehničkog sustava, odnosno na sustave automatskog reguliranja i upravljanja tehničkog sustava zgrada sa složenim tehničkim sustavom.

Program osposobljavanja utvrđen u Modulu 2 mogu pohađati samo osobe koje su uspješno završile Program osposobljavanja utvrđen u Modulu 1.

**Ovlaštene osobe nakon uspješno završenog Programa osposobljavanja moraju:**

- razumjeti ključne postavke i ciljeve Direktive o energetskim svojstvima zgrada
- imati osnovna znanja o drugim izvorima europskog prava koji se odnose na energetska učinkovitost zgrada
- dobro poznavati važeće propise kojima se implementira Direktiva o energetskim svojstvima zgrade
- biti sposobne za samostalno prikupljanje podataka o zgradi potrebnih za energetska ocjenu prema metodologiji propisanoj posebnim propisom
- primjenjivati računalne programe namijenjene za provođenje potrebnih proračuna u svrhu dobivanja podataka koji se iskazuju kod provedenog energetske pregleda i energetske certificiranja zgrade
- ocijeniti građevinske karakteristike zgrade u smislu racionalnog korištenja energije i toplinske zaštite
- ocijeniti tehničke sustave zgrade:
  - sustav ventilacije
  - sustav za grijanje, hlađenje
  - sustav za pripremu potrošne tople vode
  - sustav rasvjete
  - sustav za automatsku regulaciju i upravljanje
- interpretirati podatke o zgradi naročito u odnosu na dimenzije i tip građevnih dijelova zgrade
- izvesti potrebne proračune vezano na podatke potrebne za provođenje energetske pregleda i energetska certificiranje zgrade
- dati preporuke za poboljšanje energetske svojstava zgrade
- izraditi energetska certifikat zgrade.

Da bi osoba dobila ovlaštenje od nadležnog Ministarstva za provođenje energetske pregleda i/ili izdavanje energetske certifikata mora proći program izobrazbe i osposobljavanja. Kroz teoretsku i praktičnu nastavu predloženi program

izobrazbe i osposobljavanja educira polaznike i osposobljava ih za provedbu energetskih pregleda i izdavanje energetskog certifikata, a sve u skladu s Programom osposobljavanja i usavršavanja navedenom u Prilogu 4 Pravilnika. Programom izobrazbe - Modul 1 za osobe koje provode energetske preglede i/ili energetska certificiranja zgrada s jednostavnim tehničkim sustavom obuhvaćena su sljedeća područja:

- 1. Energetska certificiranja u Hrvatskoj**
- 2. Tehnička regulativa**
- 3. Osnove energetike i fizike zgrade**
- 4. Osnove zgradarstva i izvedbe zgrada**
- 5. Sustavi grijanja**
- 6. Priprema podataka, iznalaženje fizikalnih energetskih vrijednosti i primjena računalnog programa**
- 7. Izrada izvješća.**

Programom izobrazbe - Modul 2 za osobe koje provode energetske preglede i/ili energetska certificiranja zgrada sa složenim tehničkim sustavom obuhvaćena su sljedeća područja:

- 1. Tehnička regulativa**
- 2. Sustavi grijanja, hlađenja i ventilacije**
- 3. Priprema podataka, iznalaženje fizikalnih energetskih vrijednosti i primjena računalnog programa**
- 4. Izrada izvješća.**

Programom usavršavanja za osobe koje su ovlaštene za provođenje energetskih pregleda i energetska certificiranja zgrada obuhvaćena su sljedeća područja:

- 1. Promjena građevno-tehničke regulative**
- 2. Izvješća o energetskom certificiranju**
- 3. Iskustva iz provedenih nadzora nad radom ovlaštenih osoba**
- 4. Stručno usavršavanje.**

## **1.8. Sustav administracije i kontrola**

Investitor odnosno vlasnik zgrade dužni su

- osigurati energetski certifikat zgrade kada je prema Pravilniku propisana obveza njegovog izdavanja poslove provođenja energetskog pregleda i energetskog certificiranja zgrade povjeriti za to ovlaštenim osobama
- na zahtjev ovlaštene osobe dati na uvid bilo koji dokument nužan za provođenje energetskog pregleda i energetskog certificiranja zgrade
- za potrebe provođenja energetskog pregleda ili energetskog certificiranja zgrade omogućiti pristup ovlaštenoj osobi u sve dijelove zgrade koja je predmet energetskog pregleda ili energetskog certificiranja
- na dobro vidljivom mjestu istaknuti energetski certifikat zgrade javne namjene za koju je izlaganje energetskog certifikata obvezno prema Pravilniku [1.8].

Za potrebe provođenja energetskog pregleda i/ili energetskog certificiranja dijela zgrade koji čini samostalnu uporabnu cjelinu, vlasnici, odnosno korisnici drugih dijelova te zgrade dužni su omogućiti ovlaštenim osobama provođenje energetskog pregleda i energetskog certificiranja zgrade, te im omogućiti pristup u sve dijelove zgrade i dati na uvid dokumente potrebne za provođenje energetskog pregleda i energetskog certificiranja toga dijela zgrade.

Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva vodi registar izdanih energetskih certifikata zgrada. Podatke u registar izdanih energetskih certifikata zgrada unosi ovlaštena osoba koja izrađuje energetski certifikat, putem web stranice Ministarstva.

Nadzor nad provedbom energetske certifikacije obavlja Ministarstvo. Ministarstvo u provedbi nadzora može:

- provoditi povremene kontrole ispravnosti izdanih energetskih certifikata zgrada
- zahtijevati da sve zgrade koje podliježu obvezi certificiranja imaju propisani energetski certifikat.

Ovlaštenje za provođenje energetskih pregleda i energetska certifikaciju zgrada daje, produžuje i oduzima Ministarstvo po prethodno pribavljenom mišljenju Povjerenstva koje provodi postupak za davanje ovlaštenja za provođenje energetskih pregleda i energetska certificiranja zgrada. Povjerenstvo osniva i njegove članove imenuje ministrica posebnom Odlukom. Ovlaštenje se daje na rok od 3 godine, a može se produžavati na isti rok.

Fizička osoba koja podnosi zahtjev za davanje ovlaštenja za provođenje energetskih pregleda i energetska certificiranja zgrada zahtjevu prilaže:

- osobne podatke: ime i prezime, datum rođenja, identifikacijski broj, adresa stanovanja, telefon, e-mail
- naznaku ovlaštenja za koju se zahtjev podnosi (energetske preglede zgrada s jednostavnim ili sa složenim tehničkim sustavom i vrsta energetskog pregleda, energetska certificiranja zgrada s jednostavnim tehničkim sustavom)
- preslik diplome
- preslik radne knjižice iz kojega je razvidno da osoba ima propisano radno iskustvo na poslovima struke
- kratki opis područja rada i iskustva u struci, te eventualno ranije iskustvo na poslovima provođenja energetskih pregleda i/ili izdavanja energetskih certifikata zgrada
- preslik uvjerenja o uspješno završenom Programu osposobljavanja
- dokaz o posjedovanju osiguranja od profesionalne odgovornosti
- dokaz da protiv nje nije pokrenuta istraga, odnosno da se protiv nje ne vodi kazneni postupak zbog kaznenog djela koji se vodi po službenoj dužnosti
- dokaz o podmirenim troškovima postupka.

U svrhu utvrđivanja činjenica bitnih za davanje ovlaštenja, fizička osoba koja podnosi zahtjev dužna je na traženje Ministarstva dostaviti i druge isprave i dokaze.

Pravna osoba koja podnosi zahtjev za davanje ovlaštenja za provođenje energetskih pregleda i/ili energetskog certificiranja zgrada zahtjevu prilaže:

- naziv pravne osobe (tvrtku), sjedište, identifikacijski broj
- naznaku ovlaštenja za koju se zahtjev podnosi (energetske preglede zgrada sa složenim tehničkim sustavom i vrsta energetskog pregleda, energetska certificiranja zgrada s jednostavnim tehničkim sustavom i/ili sa složenim tehničkim sustavom)
- preslik izvoda iz sudskog registra;
- ime i prezime odgovorne osobe u pravnoj osobi, telefon, e-mail
- ime i prezime imenovane osobe u pravnoj osobi
- za zaposlene stručne kvalificirane osobe koje će provoditi energetske preglede i/ili energetska certificiranja zgrade i za imenovanu osobu u pravnoj osobi prilažu se potrebni dokazi
- dokaz o posjedovanju osiguranja od profesionalne odgovornosti
- dokaz da protiv odgovorne osobe u pravnoj osobi nije pokrenuta istraga, odnosno da se protiv nje ne vodi kazneni postupak zbog kaznenog djela koji se vodi po službenoj dužnosti
- dokaz o podmirenim troškovima postupka.

U svrhu utvrđivanja činjenica bitnih za davanje ovlaštenja, pravna osoba koja podnosi zahtjev dužna je na traženje Ministarstva dostaviti i druge isprave i dokaze.

Ovlaštene fizičke osobe za provođenje energetskih pregleda i/ili energetska certificiranja zgrada i osobe zaposlene u ovlaštenoj pravnoj osobi koje provode energetske preglede i/ili energetska certificiranja zgrada, dužne su ovisno o vrsti ovlaštenja koje posjeduju:

- utvrditi mjeru ispunjavanja energetskih svojstava zgrade u odnosu na propisane uvjete
- procijeniti energetska svojstva zgrade
- predložiti, kada su primjenjive i potrebne, mjere za poboljšanje energetskih svojstava zgrade
- odrediti energetski razred i izdati energetski certifikat zgrade

- čuvati dokumentirane analize svakog procesa (izvješće o energetskom pregledu i energetski certifikat) u elektronskom ili pisanom obliku najmanje deset godina od provedenih radnji (provedenog energetskog pregleda ili izdanog energetskog certifikata) i dati ih na uvid Ministarstvu kada ono to zatraži
- poslove za koje su ovlaštene obavljati savjesno i u skladu s važećim propisima, pravilima struke i propisanom metodologijom.

Ovlaštena fizička osoba svojim potpisom potvrđuje istinitost i točnost podataka na izvješću o provedenom energetskom pregledu, odnosno izdanom energetskom certifikatu zgrade, za provođenje kojih je ovlaštena. Imenovana osoba u ovlaštenoj pravnoj osobi svojim potpisom potvrđuje istinitost i točnost podataka na izvješću o energetskom pregledu, odnosno izdanom energetskom certifikatu, za provođenje kojih je pravna osoba ovlaštena. Odgovorna osoba u ovlaštenoj pravnoj osobi dužna je osigurati da se provođenje energetskih pregleda i izdavanje energetskih certifikata zgrada obavlja u skladu s važećim propisima, pravilima struke i propisanom metodologijom. Ovlaštene osobe dužne su obavijestiti tijelo koje je izdalo akt na temelju kojega se može graditi, Ministarstvo i građevinsku inspekciju ako utvrde da nova zgrada ne ispunjava propisane uvjete vezano na energetska učinkovitost.

Ovlaštena fizička osoba odgovorna je za štetu nastalu u obavljanju poslova za koje je ovlaštena prema ovome Pravilniku. Ovlaštena pravna osoba odgovara za štetu nastalu radom njenih zaposlenika u obavljanju poslova za koje je ovlaštena prema ovome Pravilniku.

U slučaju da se kod provođenja energetskog pregleda i/ili energetskog certificiranja zgrade pokaže potreba provođenja određenih ispitivanja dijelova zgrade u svrhu dokazivanja ispunjavanja bitnog zahtjeva za zgradu u pogledu uštede energije i toplinske zaštite ili drugih mjerenja, snimanja i slično u svrhu dobivanja određenih podataka ili vrijednosti vezano na energetska svojstva zgrade, fizičke i pravne osobe ovlaštene za provođenje energetskih pregleda i/ili energetskog certificiranja zgrada, dužne su te poslove povjeriti osobama koje za obavljanje tih poslova imaju odgovarajuće ovlaštenje. Pravna osoba ovlaštena za energetska certificiranja zgrada sa složenim tehničkim sustavom, dužna je provođenje energetskog pregleda zgrade u dijelu koji se odnosi na strojarški, elektrotehnički ili građevinski dio zgrade vezano na racionalno korištenje energije, povjeriti ovlaštenim osobama koje ispunjavaju uvjete ako sama ne zapošljava osobe koje ispunjavaju te uvjete. Ovlaštena osoba dužna je trajno ispunjavati propisane uvjete za davanje ovlaštenja za obavljanje poslova za koje je ovlaštena. Nadzor nad ispunjavanjem uvjeta za provođenje energetskih pregleda i energetskog certificiranja zgrada i radom ovlaštenih osoba provodi Ministarstvo.

Ovlaštenoj osobi Ministarstvo će oduzeti ovlaštenje, odnosno neće ga produžiti ako ovlaštena osoba:

- ne ispunjava propisane uvjete prema kojima je dobila ovlaštenje jer je ovlaštenje dobila na temelju netočnih podataka ili je prestala ispunjavati uvjete
- ne obavlja poslove za koje je ovlaštena stručno, u skladu s pravilima struke, važećim propisima i prema propisanoj metodologiji
- obavlja poslove suprotno odredbama Pravilnika
- ne obavlja poslove za koje je ovlaštena.

Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva vodi registar ovlaštenih osoba za obavljanje energetskih pregleda i energetska certificiranja zgrada, te registar nositelja Programa izobrazbe. Izvadak iz registra objavljuje se na službenim internetskim stranicama Ministarstva. Stručno osposobljavanje i obvezno usavršavanje osoba koje provode energetske preglede i/ili energetska certificiranja zgrada provode sveučilišta, veleučilišta, instituti, strukovne organizacije koji imaju suglasnost Ministarstva za obavljanje tih poslova. Suglasnost za provođenje Programa izobrazbe daje se na 5 godina, a može se produžavati na isti rok. Suglasnost nije upravni akt.

Suglasnost za provođenje Programa izobrazbe može dobiti podnositelj zahtjeva koji:

- zapošljava ili na drugi način osigurava stručne osobe koje će voditi obuku i provjeru znanja osoba ovlaštenih za provođenje energetskih pregleda i energetska certificiranja zgrada
- raspolaže prostorom za provođenje Programa izobrazbe
- raspolaže potrebnom tehničkom opremljenošću za provođenje Programa izobrazbe
- ima potrebnu administraciju za vođenje evidencija i druge administrativne poslove.



Stručne osobe koje provode edukaciju su osobe koje imaju najmanje akademski naziv magistra struke (arhitektonske, građevinske, strojarske ili elektrotehničke struke), odnosno specijalista struke (građevinske, strojarske ili elektrotehničke struke), koje su priznati stručnjaci iz područja Programa izobrazbe, imaju najmanje deset godina radnog iskustva i trajno rade na pripremi ili primjeni tehničke regulative iz područja energetske učinkovitosti u zgradarstvu.

Nositelj Programa izobrazbe obvezan je:

- provoditi Program izobrazbe sukladno propisanom programu iz Pravilnika
- provjeriti identitet i prisutnost osobe koja pohađa Program izobrazbe
- provesti provjeru znanja osoba koje pohađaju Program osposobljavanja
- voditi evidenciju osoba koje su završile Program izobrazbe
- izvještavati Ministarstvo na njegov zahtjev o provedbi Programa izobrazbe i o podacima iz evidencije koju vodi
- omogućiti Ministarstvu nadzor nad provedbom Programa izobrazbe te nad dokumentima na temelju kojih se vodi evidencija osoba koje pohađaju Program izobrazbe.

U slučaju da nositelj Programa izobrazbe prestane ispunjavati neki od propisanih uvjeta, Ministarstvo će mu rješenjem oduzeti ovlaštenje.

## Reference

- [1.1] *Direktiva 2002/91/EC o energetske svojstvima zgrada / Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings* (Official Journal L 001, 04/01/2003)
- [1.2] *Directive 2010/31/EU of the European parliament and of the council of 19 may 2010 on the energy performance of buildings (recast)*, (Official Journal L 153, 18/06/2010)
- [1.3] Akcijski plan za implementaciju EPBD u hrvatsko zakonodavstvo, Vlada Republike Hrvatske, ožujak/travanj 2008.
- [1.4] *Zakon o prostornom uređenju i gradnji*, NN 76/07 i 38/09
- [1.5] *Zakon o učinkovitom korištenju energije u neposrednoj potrošnji* (NN 152/08)
- [1.6] *Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti zgrada* NN 110/08 i *Tehnički propis o izmjeni Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama* NN 89/09
- [1.7] *Tehnički propis o sustavima grijanja i hlađenja zgrada* NN 110/08
- [1.8] *Pravilnik o energetskom certificiranju zgrada* NN 36/10
- [1.9] *Pravilnik o uvjetima i mjerilima za osobe koje provode energetske preglede i energetsko certificiranje zgrada* NN 113/08 i *Pravilnik o izmjenama i dopunama Pravilnika o uvjetima i mjerilima za osobe koje provode energetske preglede i energetsko certificiranje zgrada* NN 89/09
- [1.10] *Metodologija provođenja energetskog pregleda zgrada*, Energetski institut Hrvoje Požar, MZOPUG, lipanj 2009.
- [1.11] HRN EN 13790:2008 - *Energetska svojstva zgrada - Proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora* (ISO 13790:2008, EN ISO 13790:2008)
- [1.12] *Prijedlog Studije primjenjivosti alternativnih sustava za opskrbu energijom kod novih i postojećih zgrada*, Energetski institut Hrvoje Požar, 2009.
- [1.13] IEA ECBCS Annex 44, Integrating Environmentally Responsive Elements in Buildings
- [1.14] Hrs Borković, Ž. et al. (2007) *Energetska učinkovitost u zgradarstvu – Vodič za sudionike u projektiranju, gradnji, rekonstrukciji i održavanju zgrada*, Zagreb, EIHP/HEP TOPLINARSTVO
- [1.15] Rey, F.J., Velasco, E., Varela, F. (2007), *Building Energy Analyses (BEA): A methodology to assess building energy labelling*, Energy and Buildings 39 (2007), 709-716
- [1.16] Vuk, B. (et.al.), (2009), *Energija u Hrvatskoj: godišnji energetski pregled 2008*, Zagreb, MINGORP, EIHP
- [1.17] EnR (2008), Implementation of the EU Energy Performance of Buildings Directive – a snapshot report – EnR lessons learned and recommendation for the future
- [1.18] Casals, X.G.(2006) *Analysis of building energy regulation and certification in Europe: Their role, limitations and differences*, Energy and Buildings 38, 2006, 381-392
- [1.19] <http://www.mzopu.hr>
- [1.20] <http://ec.europa.eu/>
- [1.21] <http://www.buildup.eu>

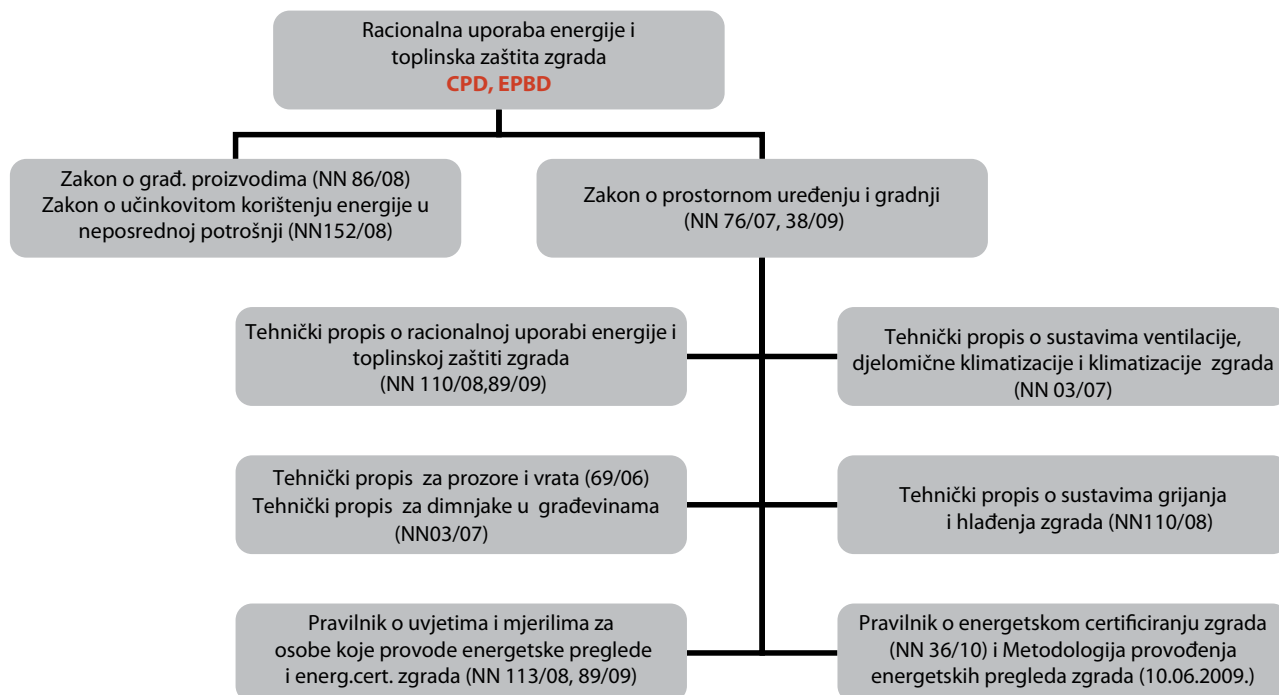


## 2. TEHNIČKA REGULATIVA U HRVATSKOJ

Republika Hrvatska obvezna je uskladiti svoj zakonodavni okvir s direktivama Europske unije te preuzeti obveze iz tih direktiva. Direktiva o energetskim svojstvima zgrada [2.1] složena je i po svom sadržaju specifična, te je nužan poseban integralni pristup za njezinu implementaciju i puni prijenos u nacionalno zakonodavstvo. S obzirom na nedavno donošenje nove Direktive o energetskim svojstvima zgrada 2010/31/EU [2.2], očekuje nas niz novih zadataka vezano na njenu punu implementaciju. Direktiva o energetskim svojstvima zgrada – EPBD (Energy Performance of Buildings Directive), obvezuje zemlje članice da same definiraju minimalne zahtjeve u pogledu energetskih svojstava zgrada. Rok za implementaciju je fiksno određen (04. 01. 2006.) i ne ovisi o aktivnostima CEN-a (Comite Europeen de Normalisation). Zemlje članice EU-a imale su mogućnost odgode primjene članaka 7., 8. i 9. Direktive najkasnije do 04. 01. 2009. godine.

Obveza Republike Hrvatske je transponirati Direktivu u nacionalno zakonodavstvo do dana potpisivanja ugovora o punopravnom članstvu i osigurati instrumente implementacije. Prijenos Direktive predviđen je novim odredbama Zakona koji uređuje građenje građevina, a u nadležnosti je Ministarstva zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva. Podzakonski akti doneseni u razdoblju 2007. – 2009., stvorili su temelje za uvođenje energetske certifikacije zgrada, propisivanje minimalnih zahtjeva za nove i postojeće zgrade, uvođenje metodologije proračuna energetskih svojstava zgrada, uvjete stručne osposobljenosti kvalificiranih nezavisnih stručnjaka za provedbu certificiranja i energetskih pregleda zgrada. Prijenos Direktive u zakone koji uređuju područje energetike i energetske učinkovitosti u nadležnosti je Ministarstva gospodarstva, rada i poduzetništva. Razradom navedenih zakonskih odredbi, podzakonskim aktima utvrđuje se obveza provođenja redovite kontrole kotlova za grijanje i sustava za klimatizaciju od strane kvalificiranih stručnjaka.

EPBD se implementira na temelju Akcijskog plana za implementaciju [2.3], izrađenog u Ministarstvu zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva (MZOPUG) i usvojenog u travnju 2008. godine, kroz Zakon o prostornom uređenju i gradnji (NN 76/07 i 38/09) [2.4] i Zakon o učinkovitom korištenju energije u neposrednoj potrošnji (NN 152/08) [2.5] te nizom tehničkih propisa i pravilnika.



Slika 2.1 – Prilagodba zakonodavstva RH europskim direktivama<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> EPBD-Uobičajeni skraćeni naziv za Direktivu o energetskim svojstvima zgrada, engl. Energy Performance of Buildings Directive

<sup>2</sup> Uobičajeni skraćeni naziv, engl. Construction Products Directive

## 2.1. Pravilnik o energetska certificiranju zgrada (NN 36/10)

Temeljem Akcijskog plana za implementaciju EPBD-a, usvojenog u travnju 2008. godine, te Zakona o prostornom uređenju i gradnji (NN 76/07 i 38/09), krajem 2008. godine usvojen je Pravilnik o energetska certificiranju zgrada, NN 113/2008. Pravilnik je dorađen Pravilnikom o izmjenama Pravilnika o energetska certificiranju zgrada NN 91/09. Konačno, u ožujku 2010., objavljena je nova verzija Pravilnika o energetska certificiranju zgrada (NN 36/10) [2.6] koji se sastoji od ukupno 9 poglavlja, 37 članaka i 9 priloga.

### I. OPĆE ODREDBE

Pravilnikom se propisuju:

- zgrade za koje je potrebno izdati energetska certifikat o energetska svojstvima zgrade (u daljnjem tekstu: energetska certifikat) i izuzeća od obveznosti izdavanja energetska certifikata
- energetska razredi zgrada
- sadržaj i izgled energetska certifikata, izdavanje i važenje
- energetska certificiranje novih zgrada
- energetska certificiranje postojećih zgrada koje se prodaju, iznajmljuju ili daju na leasing
- zgrade javne namjene za koje je obvezno javno izlaganje energetska certifikata i izlaganje energetska certifikata
- obveze investitora, odnosno vlasnika zgrade u vezi s energetska certificiranjem zgrade
- registar izdanih energetska certifikata
- nadzor nad provedbom Pravilnika.

Ovim Pravilnikom implementira se Direktiva 2002/91/EC [2.1] u dijelu koji se odnosi na:

- obvezu vlasnika zgrade da prilikom izgradnje, prodaje ili iznajmljivanja zgrade predoči budućem vlasniku, odnosno potencijalnom kupcu ili najmoprimcu energetska certifikat kojemu rok valjanosti nije duži od deset godina
- obvezu izdavanja i izlaganja energetska certifikata ne starijeg od 10 godina, na jasno vidljivom mjestu, za zgrade javne namjene, ukupne korisne površine veće od 1000 m<sup>2</sup> koje koriste tijela javne vlasti i zgrade institucija koje pružaju javne usluge velikom broju ljudi (zgrade s velikim prometom ljudi).

U prvom je poglavlju dano detaljno objašnjenje niza pojmova u području energetska pregleda i energetska certifikacije zgrada, od kojih su najvažniji prikazani u poglavlju 1.

### II. ZGRADE ZA KOJE JE POTREBNO IZDATI ENERGETSKI CERTIFIKAT I IZUZEĆA OD OBVEZNIŠTI IZDAVANJA ENERGETSKOG CERTIFIKATA

U drugom poglavlju se pojašnjava za koje je zgrade potrebno izdati energetska certifikat, te koje su izuzete od energetska certificiranja. Definira se da energetska certifikat mora imati svaka nova zgrada, te postojeća zgrada koja se prodaje, iznajmljuje ili daje na leasing, osim zgrada koje su prema ovome Pravilniku izuzete od obveze izdavanja energetska certifikata.

Vrste zgrada za koje se izdaje (međusobno usporedivi) energetska certifikat određene su prema pretežitij namjeni korištenja i dijele se na:

#### A. stambene zgrade:

1. s jednim stanom i stambene zgrade u nizu (samostojeće stambene kuće s jednim stanom, kuće s jednim stanom u nizu ili drugačije povezane zgrade s jednim stanom, kuće s najviše tri stana i kuće u nizu s više stanova po lameli – zgrade kod kojih se izrađuje zasebni energetska certifikat za svaku stambenu jedinicu).

2. s više stanova (stambene zgrade s više od tri stana, stambeni blokovi – zgrade kod kojih se može izraditi zajednički energetska certifikat ili zasebni energetska certifikat za svaku stambenu jedinicu)

**B.1. nestambene zgrade:**

1. uredske, administrativne i druge poslovne zgrade slične pretežite namjene
2. školske i fakultetske zgrade, vrtići i druge odgojne i obrazovne ustanove
3. zgrade za kulturno-umjetničku djelatnost i zabavu, muzeji i knjižnice
4. bolnice i ostale zgrade za zdravstvenu zaštitu i zgrade za institucionalnu skrb
5. hoteli i slične zgrade za kratkotrajni boravak, zgrade ugostiteljske namjene (gostionice, restorani i sl.)
6. zgrade za stanovanje zajednica (domovi – đачki, studentski, umirovljenički, radnički, dječji domovi, zatvori, vojarne i sl. zgrade za stanovanje)
7. zgrade za promet i komunikacije (terminali, postaje, zgrade za promet, pošte, telekomunikacijske zgrade)
8. sportske dvorane
9. zgrade veleprodaje i maloprodaje (trgovački centri, zgrade s dućanima)
10. druge nestambene zgrade koje se griju na temperaturu +18°C ili više.

**B.2. ostale nestambene zgrade u kojima se koristi energija radi ostvarivanja određenih uvjeta kondicioniranja.**

Energetski certifikat nije potreban za:

1. nove zgrade i postojeće zgrade koje se prodaju, iznajmljuju ili daju na leasing, koje imaju uporabnu korisnu površinu manju od 50 m<sup>2</sup>
2. zgrade koje imaju predviđeni vijek uporabe ograničen na dvije godine i manje
3. privremene zgrade izgrađene u okviru pripremnih radova za potrebe organizacije gradilišta
4. radionice, proizvodne hale, industrijske zgrade i druge gospodarske zgrade koje se, u skladu sa svojom namjenom moraju držati otvorenima više od polovice radnog vremena ako nemaju ugrađene zračne zavjese
5. zgrade namijenjene za održavanje vjerskih obreda
6. jednostavne građevine utvrđene posebnim propisom
7. postojeće zgrade koje se prodaju ili se pravo vlasništva prenosi u stečajnom postupku u slučaju prisilne prodaje ili ovrhe
8. postojeće zgrade koje se prodaju ili iznajmljuju bračnom drugu ili članovima uže obitelji
9. zgrade koje su po posebnom zakonu upisane u Registar kulturnih dobara Republike Hrvatske i zgrade koje imaju posebnu ambijentalnu vrijednost a kod kojih bi ispunjenje zahtjeva energetske učinkovitosti značilo neprihvatljivu promjenu njihovog karaktera ili njihovog vanjskog izgleda, u skladu s predviđenom spomeničkom zaštitom zgrade
10. zgrade koje se ne griju ili se griju na temperaturu do +12 °C.

**III. ENERGETSKI RAZREDI ZGRADA**

Stambene i nestambene zgrade svrstavaju se u osam energetske razreda prema energetske ljestvici od A+ do G, s time da A+ označava energetske najpovoljniji, a G energetske najnepovoljniji razred.

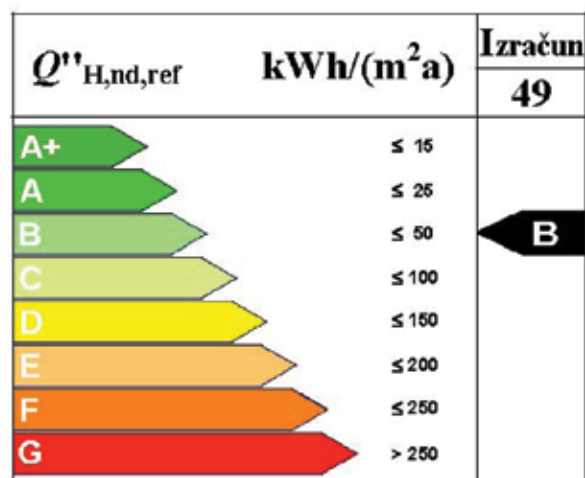
Energetski razredi se iskazuju za referentne klimatske podatke. Referentni klimatski podaci određeni su posebno za kontinentalnu i za primorsku Hrvatsku u odnosu na broj stupanj dana grijanja. Za gradove i mjesta koji imaju 2200 i više stupanj dana grijanja godišnje, energetske potrebe se proračunavaju prema referentnim klimatskim podacima za kontinentalnu Hrvatsku, pri čemu su referentni klimatski podaci uzeti za grad Karlovac. Za gradove i mjesta koji imaju manje od 2200 stupanj dana grijanja godišnje, energetske potrebe se proračunavaju prema referentnim klimatskim podacima za primorsku Hrvatsku, pri čemu su referentni klimatski podaci uzeti za grad Šibenik.

Energetski razredi zgrada utvrđeni su za stambene zgrade prema sljedećoj tablici:

**Tablica 2.1 - Energetski razredi stambenih zgrada utvrđeni Pravilnikom [2.6]**

Energetski razred	$Q''_{H,nd,ref}$ – specifična godišnja potrebna toplinska energija za grijanje za referentne klimatske podatke u kWh/(m <sup>2</sup> a)
A+	≤ 15
A	≤ 25
B	≤ 50
C	≤ 100
D	≤ 150
E	≤ 200
F	≤ 250
G	> 250

Energetski razred grafički se prikazuje na energetskom certifikatu stambene zgrade strelicom s podatkom o specifičnoj godišnjoj potrebnoj toplinskoj energiji za grijanje za referentne klimatske podatke u kWh/(m<sup>2</sup>a) na sljedeći način:



**Slika 2.2 – Grafički prikaz energetskog razreda stambene zgrade**

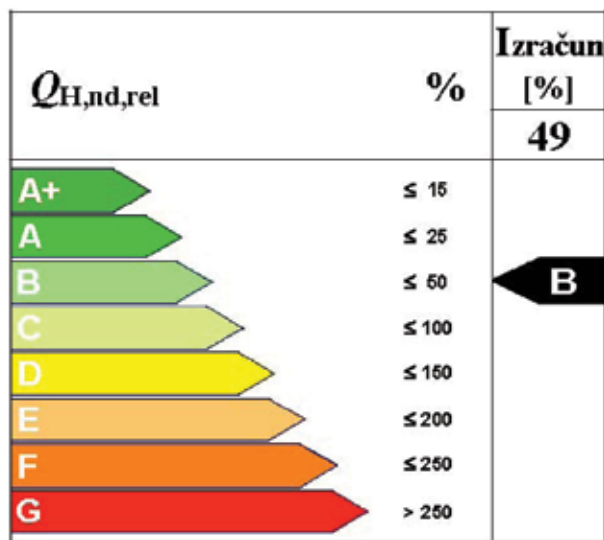
**Specifična godišnja potrebna toplinska energija za grijanje za referentne klimatske podatke za stambenu zgradu,  $Q''_{H,nd,ref}$  (kWh/(m<sup>2</sup>a))** jest godišnja potrebna toplinska energija za grijanje za referentne klimatske podatke, izražena po jedinici ploštine korisne površine zgrade.

Energetski razredi zgrada utvrđeni su za nestambene zgrade prema sljedećoj tablici:

**Tablica 2.2 - Energetski razredi nestambenih zgrada utvrđeni Pravilnikom [2.6]**

Energetski razred	$Q_{H,nd,rel}$ - relativna vrijednost godišnje potrebne toplinske energije za grijanje u %
A+	≤ 15
A	≤ 25
B	≤ 50
C	≤ 100
D	≤ 150
E	≤ 200
F	≤ 250
G	> 250

Energetski razred grafički se prikazuje na energetskom certifikatu nestambene zgrade strelicom s podatkom o relativnoj godišnjoj potrebnoj toplinskoj energiji za grijanje izraženoj u % na sljedeći način:



**Slika 2.3 – Grafički prikaz energetskeg razreda nestambene zgrade**

**Specifična godišnja potrebna toplinska energija za grijanje za referentne klimatske podatke za nestambenu zgradu** jest godišnja potrebna toplinska energija za grijanje za referentne klimatske podatke, izražena po jedinici obujma grijanog dijela zgrade,  $Q'_{H,nd,ref}$  (kWh/(m<sup>3</sup>a)), te godišnja potrebna toplinska energija za grijanje za referentne klimatske podatke, izražena po jedinici ploštine korisne površine zgrade,  $Q''_{H,nd,ref}$  (kWh/(m<sup>2</sup>a)).

**Relativna vrijednost godišnje potrebne toplinske energije za grijanje za nestambene zgrade**,  $Q_{H,nd,rel}$  [%], jest omjer specifične godišnje potrebne toplinske energije za grijanje za referentne klimatske podatke,  $Q'_{H,nd,ref}$  (kWh/(m<sup>3</sup>a)) i dopuštene specifične godišnje potrebne toplinske energije za grijanje,  $Q'_{H,nd,dop}$  (kWh/(m<sup>3</sup>a)), a izračunava se prema izrazu:

$$Q_{H,nd,rel} = Q'_{H,nd,ref} / Q'_{H,nd,dop} \cdot 100 \quad (2.1)$$



#### IV. SADRŽAJ ENERGETSKOG CERTIFIKATA ZGRADE, IZDAVANJE I ROK VAŽENJA

U ovom je poglavlju detaljno opisan sadržaj energetske certifikata te što se sve upisuje u pojedinu od ukupno 5 stranica energetske certifikata. Svrha energetske certifikata je pružanje informacija vlasnicima i korisnicima zgrada o energetskim svojstvima zgrade i usporedba zgrada u odnosu na njihova energetska svojstva, te u odnosu na referentne vrijednosti. Vrijednosti koje su istaknute na energetskom certifikatu odražavaju energetska svojstva zgrade i potrošnju energije, izračunatu na temelju pretpostavljenog režima korištenja zgrade i ne moraju nužno izražavati realnu potrošnju u zgradi ili njezinoj samostalnoj uporabnoj jedinici jer ona uključuje i ponašanje korisnika.

Energetski certifikat sadrži opće podatke o zgradi, energetske razred zgrade, podatke o osobi koja je izdala energetski certifikat, podatke o termotehničkim sustavima, klimatske podatke, podatke o potrebnoj energiji i referentne vrijednosti, objašnjenja tehničkih pojmova, te popis primijenjenih propisa i normi. Energetski certifikat za postojeće zgrade obvezno sadrži i prijedlog mjera za poboljšanje energetskih svojstava zgrade koje su ekonomski opravdane. Energetski certifikat za nove zgrade sadrži preporuke za korištenje zgrade vezano na ispunjenje bitnog zahtjeva uštede energije i toplinske zaštite i ispunjenje energetskih svojstava zgrade.

Za zgrade koje su određene kao »ostale nestambene zgrade u kojima se koristi energija radi ostvarivanja određenih uvjeta kondicioniranja«, ne određuje se energetske razred, već se u energetskom certifikatu navode koeficijenti prolaska topline za određene građevne dijelove zgrade i uspoređuju se s referentnim vrijednostima. Energetski certifikat ovih zgrada ne sadrži podatke o potrebnoj energiji kao niti prijedlog mjera za poboljšanje energetskih svojstava zgrade koje su ekonomski opravdane. Energetski certifikat izrađuje se unošenjem potrebnih podataka na slikovnim prikazima danim u prilogima 1, 2 i 3 Pravilnika isključivo elektroničkim putem, osim potpisa ovlaštene osobe. Energetski certifikat izdaje se za cijelu zgradu. Iznimno energetski certifikat može se izdati i za dijelove zgrade kada se radi o zgradi koja je prema ovome Pravilniku definirana kao »zgrada s više zona«. Iznimno za postojeće zgrade koje se prodaju, iznajmljuju ili daju na leasing, energetski certifikat se može izdati i za dio zgrade koji čini samostalnu uporabnu cjelinu zgrade kao što je na primjer ured, stan ili slično. Iznimno za zgradu koja je prema ovome Pravilniku definirana kao »zgrada mješovite namjene«, kod koje se dio zgrade koji je samostalna uporabna cjelina, koristi za javnu namjenu, tada se za taj dio zgrade izdaje zaseban energetski certifikat. Zgrada ili njezina samostalna uporabna cjelina može imati samo jedan važeći energetski certifikat.

Ovlaštena osoba koja je izdala energetski certifikat, uručuje ga investitoru, odnosno vlasniku zgrade u dva jednako važeća primjerka. Rok važenja energetske certifikata je 10 godina.

Energetski certifikat zgrade ili njezine samostalne uporabne cjeline, odnosno dijela zgrade, dužan je čuvati vlasnik (odnosno investitor) zgrade ili njezine samostalne uporabne cjeline, odnosno dijela zgrade i tijelo koje je izdalo uporabnu dozvolu, odnosno akt na temelju kojega se može graditi najmanje u roku važenja tog energetske certifikata.

#### V. ENERGETSKO CERTIFICIRANJE ZGRADA

Energetsko certificiranje provodi se na temelju proračuna energetskih potreba zgrade za referentne klimatske podatke, te uključuje radnje i postupke propisane ovim Pravilnikom. Metodologija energetske certificiranja novih i postojećih stambenih zgrada dana je u Prilogu 6 ovoga Pravilnika. Metodologija energetske certificiranja novih i postojećih nestambenih zgrada dana je u Prilogu 7 ovoga Pravilnika.

U slučaju da se za »zgradu mješovite namjene« izdaje jedan zajednički energetski certifikat za cijelu zgradu, tada se postupak energetske certificiranja te zgrade provodi sukladno pretežitoj namjeni zgrade.

##### Energetsko certificiranje novih zgrada

Investitor nove zgrade dužan je osigurati energetski certifikat prije početka njezine uporabe, odnosno puštanja u pogon. Za zgrade čija građevinska (bruto) površina nije veća od 400 m<sup>2</sup> i zgrade za obavljanje isključivo poljoprivrednih djelatnosti čija građevinska (bruto) površina nije veća od 600 m<sup>2</sup>, investitor je dužan energetski certifikat dostaviti tijelu koje je izdalo rješenje o uvjetima građenja zajedno sa završnim izvješćem nadzornog inženjera.

Za zgrade koje nisu navedene, energetski certifikat se prilaže zahtjevu za izdavanje uporabne dozvole.

Energetsko certificiranje nove zgrade uključuje:

- određivanje energetske razreda zgrade i
- izradu energetske certifikata s preporukama za korištenje zgrade, vezano na ispunjenje bitnog zahtjeva uštede energije i toplinske zaštite i ispunjenje energetske svojstava zgrade.

Energetski certifikat nove zgrade izdaje se na temelju podataka iz glavnog projekta u odnosu na racionalnu uporabu energije i toplinsku zaštitu, završnog izvješća nadzornog inženjera o izvedbi građevine i pisane izjave izvođača o izvedenim radovima i uvjetima održavanja građevine. Ako izvješće i/ili izjava ukazuju na odstupanja od glavnog projekta koja imaju utjecaja na racionalnu uporabu energije i toplinsku zaštitu, dodatni podaci za izradu energetske certifikata utvrđuju se uvidom u relevantnu dokumentaciju na gradilištu, te po potrebi očevidom na zgradi. Ako se nova zgrada ili njezin dio koji čini samostalnu uporabnu cjelinu, prodaje u tijeku građenja, tada je vlasnik koji je kupio zgradu, odnosno njezin uporabni dio (novi investitor), dužan osigurati energetski certifikat prije početka uporabe, odnosno puštanja u pogon te zgrade, odnosno njezinog dijela.

### **Energetsko certificiranje postojećih zgrada koje se prodaju, iznajmljuju ili daju na leasing**

Vlasnik zgrade dužan je prilikom prodaje, iznajmljivanja ili leasinga zgrade u cjelini ili njezinog dijela koji je samostalna uporabna cjelina (pojedini stan, pojedinačni uredski prostor i sl.), osigurati energetski certifikat zgrade, odnosno njezinog dijela i dati ga na uvid potencijalnom kupcu ili unajmljivaču zgrade. Kod prodaje zgrade ili njezinog dijela koji je samostalna uporabna cjelina, energetski certifikat mora biti na uvidu prilikom sklapanja ugovora o kupoprodaji.

Energetsko certificiranje postojeće zgrade uključuje:

- energetski pregled zgrade
- vrjednovanje i/ili završno ocjenjivanje radnji energetske pregleda zgrade
- izdavanje energetske certifikata.

Energetski pregled zgrade uključuje:

1. analizu građevinskih karakteristika zgrade u smislu toplinske zaštite (analizu toplinskih karakteristika vanjske ovojnice zgrade)
2. analizu energetske svojstava sustava grijanja i hlađenja
3. analizu energetske svojstava sustava klimatizacije i ventilacije
4. analizu energetske svojstava sustava za pripremu potrošne tople vode
5. analizu energetske svojstava sustava elektroinstalacija i rasvjete, te drugih potrošača energije koji imaju značajan udjel u ukupnoj potrošnji energije zgrade, ovisno o namjeni korištenja zgrade
6. analizu upravljanja svim tehničkim sustavima zgrade
7. potrebna mjerenja gdje je to nužno za ustanovljavanje energetske stanja i /ili svojstava
8. analizu mogućnosti promjene izvora energije
9. analizu mogućnosti korištenja obnovljivih izvora energije i učinkovitih sustava
10. prijedlog mjera za poboljšanje energetske svojstava zgrade koje su ekonomski opravdane, ostvarive uštede, procjenu i razdoblje povrata investicije
11. izvješće s preporukama za optimalni zahvat i redosljed prioritarnih mjera koje će se implementirati kroz jednu ili više faza.

Energetski pregled zgrade osim navedenog, može uključivati i druge radnje ovisno o vrsti zgrade. Energetski pregled zgrade provodi se u skladu s načelima iz metodologije za provođenje energetske pregleda i pravilima struke. Izdavanje energetske certifikata za postojeće zgrade uključuje:

- određivanje energetske razreda zgrade i
- izradu energetske certifikata s prijedlogom mjera za poboljšanje energetske svojstava zgrade koje su ekonomski opravdane i s izračunatim razdobljem povrata investicije.

### **Zgrade javne namjene za koje je obvezno javno izlaganje energetske certifikata**

Zgrade javne namjene određene prema ovome Pravilniku jesu poglavito nestambene zgrade koje koriste tijela vlasti i zgrade institucija koje pružaju javne usluge, te zgrade drugih namjena koje pružaju usluge velikom broju ljudi.

Zgrade iz stavka 1. ovoga članka jesu:

1. poslovne zgrade za obavljanje administrativnih poslova pravnih i fizičkih osoba
2. zgrade državnih upravnih i drugih tijela, tijela lokalne (područne) uprave
3. zgrade pravnih osoba s javnim ovlastima
4. zgrade sudova, zatvora, vojarni
5. zgrade međunarodnih institucija, komora, gospodarskih asocijacija
6. zgrade banaka, štedionica i drugih financijskih organizacija
7. zgrade trgovina, restorana, hotela
8. putničkih agencija, marina, drugih uslužnih i turističkih djelatnosti
9. zgrade željezničkog, cestovnog, zračnog i vodenog prometa, zgrade pošta, telekomunikacijskih centara i sl.
10. zgrade visokih učilišta i sl., zgrade škola, vrtića, jaslica, studentskih i đačkih domova i sl., zgrade domova za starije osobe i sl.
11. zgrade sportskih udruga i organizacija, zgrade sportskih objekata
12. zgrade kulturnih namjena: kina, kazališta, muzeja i sl.
13. zgrade bolnica i drugih ustanova namijenjenih zdravstveno--socijalnoj i rehabilitacijskoj namjeni.

Zgrade javne namjene koje imaju ukupnu korisnu površinu veću od 1000 m<sup>2</sup> moraju imati energetska certifikat izložen na mjestu jasno vidljivom posjetiteljima zgrade.

Ako zgrada javne namjene ima više ulaza, tada se energetska certifikat izlaže na jasno vidljivom mjestu uz glavni ulaz zgrade. Energetska certifikat se izrađuje prema Prilogu 2 ovoga Pravilnika, uvećan na format A3, zaštićen od eventualnih oštećenja i pričvršćen na siguran način. Javno se izlaže prva stranica energetska certifikata koja sadrži osnovne podatke o zgradi i skalu energetska razreda, te treća stranica energetska certifikata koja sadrži prijedlog mjera za poboljšanje energetska svojstava zgrade koje su ekonomski opravdane kod postojećih zgrada, odnosno preporuke za korištenje zgrade vezano na ispunjenje bitnog zahtjeva uštede energije i toplinske zaštite i ispunjenje energetska svojstava zgrade kod novih zgrada.

Za izradu i javno izlaganje energetska certifikata zgrada javne namjene za koje je propisana obveza izlaganja energetska certifikata, odgovoran je vlasnik zgrade. Korisnik zgrade javne namjene za koju je obvezno izlaganje energetska certifikata, dužan je omogućiti izradu energetska certifikata i njegovo izlaganje.

## **VI. OBVEZE INVESTITORA, ODNOSNO VLASNIKA ZGRADE U VEZI S ENERGETSKIM CERTIFICIRANJEM ZGRADE**

Investitor odnosno vlasnik zgrade dužni su:

- osigurati energetska certifikat kada je prema ovome Pravilniku propisana obveza njegovog izdavanja
- poslove provođenja energetska pregleda i/ili energetska certificiranja zgrade povjeriti za to ovlaštenim osobama
- na zahtjev ovlaštene osobe dati na uvid bilo koji dokument nužan za provođenje energetska pregleda i/ili energetska certificiranja zgrade
- za potrebe provođenja energetska pregleda i/ili energetska certificiranja zgrade omogućiti pristup ovlaštenoj osobi u sve dijelove zgrade koja je predmet energetska pregleda i/ili energetska certificiranja
- na dobro vidljivom mjestu istaknuti energetska certifikat zgrade javne namjene za koju je izlaganje energetska certifikata obvezno prema ovom Pravilniku.

Za potrebe provođenja energetska pregleda i/ili energetska certificiranja dijela zgrade koji čini samostalnu uporabnu cjelinu, vlasnici, odnosno korisnici drugih dijelova te zgrade, dužni su omogućiti ovlaštenim osobama provođenje energetska pregleda i/ili energetska certificiranja zgrade, te im omogućiti pristup u sve dijelove zgrade i dati na uvid dokumente potrebne za provođenje energetska pregleda i/ili energetska certificiranja toga dijela zgrade.

Ministrica može posebnom odlukom propisati najveće cijene koštanja provođenja energetska pregleda i izdavanja energetska certifikata za pojedine vrste zgrada. U skladu s time, 12. svibnja 2010. godine, donesena je Odluka o najvišim cijenama koštanja provođenja energetska pregleda i izdavanja energetska certifikata zgrada.

## VII. REGISTAR IZDANIH ENERGETSKIH CERTIFIKATA

Ministarstvo vodi registar izdanih energetskih certifikata.

## VIII. NADZOR NAD PROVEDBOM PRAVILNIKA

Nadzor nad provedbom odredbi ovoga Pravilnika obavlja Ministarstvo.

Ministarstvo u provedbi nadzora može:

- provoditi povremene kontrole ispravnosti izdanih energetskih certifikata
- zahtijevati da sve zgrade koje podliježu obvezi energetskog certificiranja prema ovome Pravilniku imaju propisani energetski certifikat.

## IX. PRIJELAZNE I ZAVRŠNE ODREDBE

Sve zgrade za koje se nakon 31. ožujka 2010. godine podnosi zahtjev za izdavanje akta, temeljem kojega se može graditi, moraju imati energetski certifikat izdan na način sukladno odredbama ovoga Pravilnika koje se odnose na energetska certificiranja novih zgrada. Ostale zgrade koje nisu navedene, kada se prodaju, iznajmljuju ili daju na leasing, moraju imati energetski certifikat izdan na način sukladno odredbama ovoga Pravilnika koje se odnose na energetska certificiranja postojećih zgrada, dostupan na uvid kupcu ili najmoprimcu najkasnije danom pristupanja Republike Hrvatske članstvu EU-a.

Sve zgrade javne namjene za koje je obvezno javno izlaganje energetskog certifikata prema ovome Pravilniku moraju imati izrađen i javno izložen energetski certifikat u roku od najdulje 36 mjeseci od objave Odluke Ministrice, kojom se utvrđuje Metodologija za provođenje energetskih pregleda.

Ovaj Pravilnik sadrži sljedeće priloge:

Prilog 1. u kojemu je dan slikovni prikaz energetskog certifikata stambenih zgrada

Prilog 2. u kojemu je dan slikovni prikaz energetskog certifikata nestambenih zgrada

Prilog 3. u kojemu je dan slikovni prikaz energetskog certifikata ostalih nestambenih zgrada u kojima se koristi energija radi ostvarivanja određenih uvjeta kondicioniranja

Prilog 4. u kojemu je dan dio prijedloga mjera za poboljšanje energetskih svojstava zgrade koje su ekonomski opravdane

Prilog 5. u kojemu je dan prikaz registra izdanih energetskih certifikata koji se vodi u Ministarstvu

Prilog 6. u kojemu je dana metodologija energetskog certificiranja stambenih zgrada

Prilog 7. u kojemu je dana metodologija energetskog certificiranja nestambenih zgrada

Prilog 8. u kojemu su dani referentni klimatski podaci za kontinentalnu Hrvatsku

Prilog 9. u kojemu su dani referentni klimatski podaci za primorsku Hrvatsku

**Tablica 2.3 – Izvod iz Odluke o najvišim cijenama koštanja provođenja energetskih pregleda i izdavanja energetskih certifikata zgrada**

NAJVIŠE CIJENE KOŠTANJA PROVOĐENJA ENERGETSKIH PREGLEDA I IZDAVANJA ENERGETSKIH CERTIFIKATA ZGRADA																	
VRSTE ZGRADA		STAMBENE ZGRADE (POJEDINAČNI STANOV I ZGRADE U CJELINI) I NESTAMBENE ZGRADE (POSLOVNE, VRTIĆI, ŠKOLE, DOMOVI, HOTELI)							NESTAMBENE ZGRADE (IZRAZITO SLOŽENE GRAĐEVINE SA SLOŽENIM SUSTAVIMA INSTALACIJA I VIŠE TEMPERATURNIH ZONA)								
		> 50 m <sup>2</sup>	≤ 250 m <sup>2</sup>	ZA STAN U ZGRADI	≤ 400 m <sup>2</sup> i poljopr. ≤ 600 m <sup>2</sup>	1.000 m <sup>2</sup>	5.000 m <sup>2</sup>	10.000 m <sup>2</sup>	20.000 m <sup>2</sup>	50.000 m <sup>2</sup>	> 50.000 m <sup>2</sup>	1.000 m <sup>2</sup>	5.000 m <sup>2</sup>	10.000 m <sup>2</sup>	15.000 m <sup>2</sup>	20.000 m <sup>2</sup>	50.000 m <sup>2</sup>
NOVE ZGRADE	PREGLED DOKUMENTACIJE I (PO POTREBI) PREGLED ZGRADE TE IZDAVANJE EN. CERTIFIKATA	PAUŠAL: 1.400 kn		PAUŠAL: 1.750 kn	2.300 kn	6.200 kn	9.400 kn	14.300 kn	26.400 kn	PAUŠAL: 31.700 kn	3.100 kn	8.100 kn	12.200 kn	15.600 kn	18.500 kn	33.500 kn	PAUŠAL: 40.200 kn
		0 <sup>1,3</sup> do 3.300 kn	0 <sup>1,3</sup> do 1.500 kn	0 <sup>1,3</sup> do 5.000 kn	cijena za nove zgrade pomnožena s koeficijentom 0 <sup>1,2,3</sup> do 3,8												
POSTOJEĆE ZGRADE	VREDNOVANJE RADNJI EN. PREGLEDA I IZDAVANJE EN. CERTIFIKATA	PAUŠAL: 1.450 kn	PAUŠAL: 1.200 kn	PAUŠAL: 2.400 kn	cijena za nove zgrade pomnožena s koeficijentom 1 <sup>1,2</sup> do 1,2												

1 za slučaj zgrade za koju je projekt izrađen prema Tehničkom propisu o racionalnom korištenju energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (NN 110/08, NN 89/09)

2 za slučaj zgrade za koju je projekt izrađen prema Tehničkom propisu o racionalnom korištenju energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (NN 79/05, NN 155/05, NN 74/06)

3 ako postoji dokumentacija dostatna za vrednovanje radnji energetskog pregleda i izdavanje energetskog certifikata zgrade

## 2.2. Pravilnik o uvjetima i mjerilima za osobe koje provode energetske preglede i energetska certificiranje zgrada (NN 113/08 i 89/09)

Pravilnik o uvjetima i mjerilima za osobe koje provode energetske preglede i energetska certificiranje zgrada (NN 113/08) [2.7] usvojen je u rujnu 2008. godine. Izmjene Pravilnika usvojene su u srpnju 2009. godine. Pravilnik se sastoji od ukupno 12 poglavlja i 4 priloga.

### I. OPĆE ODREDBE

Pravilnikom se propisuju:

- uvjeti i mjerila za davanje ovlaštenja osobama za provođenje energetske preglede i energetska certificiranje zgrada
- davanje, produživanje, važenje i izmjena ovlaštenja za provođenje energetske preglede i energetska certificiranje zgrada
- dokumentacija za davanje, produživanje i izmjenu ovlaštenja za provođenje energetske preglede i energetska certificiranje zgrada
- postupanje i izuzeće ovlaštenih osoba za provođenje energetske preglede i energetska certificiranje zgrada
- nadzor nad obavljanjem poslova ovlaštenih osoba, oduzimanje ovlaštenja
- registar osoba ovlaštenih za provođenje energetske preglede i energetska certificiranje zgrada
- uvjeti i mjerila za davanje suglasnosti za provođenje Programa izobrazbe za osobe koje provode energetske preglede i energetska certificiranje zgrada (u daljnjem tekstu: Program izobrazbe)
- registar nositelja Programa izobrazbe
- nadzor nad radom nositelja Programa izobrazbe i oduzimanje suglasnosti

Ovim Pravilnikom implementira se Direktiva o energetskim svojstvima zgrada [2.1] u dijelu koji se odnosi na osiguranje neovisnih kvalificiranih i/ili ovlaštenih stručnjaka koji mogu biti ili samostalni ili zaposlenici nadležnih tijela ili privatnih službi koji na neovisan način provode energetske preglede i certificiraju zgrade te izrađuju popratne preporuke za ekonomski povoljno poboljšanje energetskih svojstava zgrade.

Od definicija koje su dane, bitno je istaknuti definicije zgrada prema složenosti tehničkih sustava, već spomenute u prvom dijelu:

zgrade s jednostavnim tehničkim sustavom jesu:

- stambene ili nestambene zgrade bez sustava grijanja, hlađenja, ventilacije te s individualnim sustavima za pripremu potrošne tople vode
- zgrade s pojedinačnim i centralnim izvorima topline za grijanje bez posebnih sustava za povrat topline, s razdiobom toplinske energije i s centralnim ili individualnim sustavima za pripremu potrošne tople vode bez korištenja alternativnih sustava te pojedinačnim rashladnim uređajima, sustavima ventilacije bez povrata topline i ograničenjem buke u ventilacijskim sustavima bez dodatne obrade zraka.

zgrade sa složenim tehničkim sustavom jesu:

- stambene ili nestambene zgrade s postrojenjima s centralnim izvorima topline za grijanje i/ili hlađenje zgrade, s centralnom pripremom potrošne tople vode, sa sustavima za mjerenje i razdiobu toplinske i rashladne energije, centralnim rashladnim sustavima, sustavima ventilacije i klimatizacije s povratom topline i ograničenjem buke te dodatnom obradom zraka
- zgrade sa složenim sustavima za grijanje i hlađenje s korištenjem alternativnih sustava opskrbe energijom, centrale za daljinsko zagrijavanje i hlađenje, rashladna postrojenja, ventilacijski uređaji s reguliranim grijanjem i hlađenjem zraka i klima uređaji, uključujući i pripadajuće rashladne uređaje i druge zgrade koje nisu navedene kao zgrade s jednostavnim tehničkim sustavima.

## II. UVJETI I MJERILA ZA OSOBE KOJE PROVODE ENERGETSKE PREGLEDE I/ILI ENERGETSKO CERTIFICIRANJE ZGRADA

Pravilnikom je propisano da osobe koje provode energetske preglede i energetska certificiranja zgrada, moraju imati ovlaštenje Ministarstva za zaštitu okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva. Ovlaštenje za energetske preglede i energetska certificiranja zgrada daje se fizičkoj ili pravnoj osobi koja ispunjava uvjete propisane ovim Pravilnikom.

Ovlaštenje se izdaje za:

- energetska certificiranja stambenih i nestambenih zgrada s jednostavnim tehničkim sustavom
- energetska certificiranja stambenih i nestambenih zgrada sa složenim tehničkim sustavom
- provođenje energetskih pregleda stambenih i nestambenih zgrada s jednostavnim tehničkim sustavom
- provođenje energetskih pregleda stambenih i nestambenih zgrada sa složenim tehničkim sustavom.

Za energetska certificiranja zgrada s jednostavnim tehničkim sustavom može se ovlastiti i pravna osoba koja:

- je registrirana za projektiranje, stručni nadzor građenja, tehničko savjetovanje, znanstveno-istraživačku djelatnost, arhitektonske djelatnosti i inženjerstvo, građevinarstvo, istraživanje i razvoj u tehničkim znanostima, znanstvene i stručne poslove u području energetike i sl.
- ima zaposlenu najmanje jednu osobu koja provodi radnje i postupke energetskog certificiranja zgrade i koja ispunjava uvjete Pravilnika.

Sve osobe koje u ovlaštenoj pravnoj osobi provode radnje i postupke energetskog certificiranja zgrade moraju:

- imati najmanje završen prijediplomski i diplomski sveučilišni studij ili integrirani prijediplomski i diplomski sveučilišni studij kojim se stječe akademski naziv magistar, inženjer arhitektonske, građevinske, strojarske ili elektrotehničke struke, odnosno da imaju završen specijalistički diplomski studij kojim se stječe stručni naziv specijalist građevinske, strojarske ili elektrotehničke struke
- imati najmanje pet godina radnog iskustva u struci na poslovima projektiranja, stručnog nadzora građenja, održavanja, odnosno ispitivanja građevinskog dijela zgrade vezano na uštedu energije i toplinsku zaštitu, provođenja energetskih pregleda zgrade, ispitivanja funkcije energetskih sustava u zgradi, ili ispitivanja funkcije sustava automatskog reguliranja i upravljanja u zgradi
- uspješno završiti Program osposobljavanja – Modul 1
- biti zaposlene u ovlaštenoj pravnoj osobi u punom radnom vremenu na neodređeno vrijeme.

Ovlaštena pravna osoba imenuje jednu osobu koja u njezino ime potpisuje energetske certifikate zgrada (u daljnjem tekstu: imenovana osoba). Imenovana osoba supotpisuje i izvješća o energetskim pregledima zgrada, provedenim u ovlaštenoj pravnoj osobi. Za energetska certificiranja zgrada s jednostavnim tehničkim sustavom osim pravne osobe može se ovlastiti i fizička osoba koja ispunjava uvjete. Ovlaštena pravna osoba i ovlaštena fizička osoba osim provođenja energetskog certificiranja zgrada s jednostavnim tehničkim sustavom, mogu provoditi i sve energetske preglede zgrada s jednostavnim tehničkim sustavom. Za energetska certificiranja zgrada sa složenim tehničkim sustavom, može se ovlastiti pravna osoba koja ispunjava uvjete iz Pravilnika, s time da je najmanje jedna od osoba koja provodi radnje i postupke energetskog certificiranja zgrade, zaposlena kod pravne osobe, uspješno završila Program osposobljavanja – Modul 2.

Imenovana osoba koja potpisuje energetske certifikate zgrada sa složenim tehničkim sustavom i supotpisuje izvješća o energetskom pregledu takvih zgrada, mora uspješno završiti i Program osposobljavanja – Modul 2.

Ovlaštena pravna osoba osim provođenja energetskog certificiranja zgrada sa složenim tehničkim sustavom i provođenja energetskog certificiranja zgrada s jednostavnim tehničkim sustavom, može provoditi i energetske preglede zgrada sa složenim tehničkim sustavom u dijelu u kojemu ima najmanje jednu osobu, zaposlenu u punom radnom vremenu i na neodređeno radno vrijeme, koja ispunjava uvjete Pravilnika [2.7].

Za provođenje energetskih pregleda zgrada sa složenim tehničkim sustavom, može se ovlastiti fizička osoba koja ispunjava uvjete iz Pravilnika i koja je uspješno završila Program osposobljavanja – Modul 2, a koja je:

- strojarske struke, za energetske preglede u dijelu u kojemu se odnosi na strojarski dio tehničkog sustava zgrade
- elektrotehničke struke, za energetske preglede u dijelu u kojemu se odnosi na elektrotehnički dio tehničkog sustava zgrade
- elektrotehničke ili strojarske struke, za energetske preglede u dijelu u kojemu se odnosi na sustave automatskog reguliranja i upravljanja tehničkog sustava zgrade.

Energetske preglede zgrada sa složenim tehničkim sustavom u dijelu koji se odnosi na građevinske karakteristike zgrade u smislu racionalne uporabe energije i toplinske zaštite, mogu provoditi sve ovlaštene osobe sa završenim Modulom 1. Ovlaštena fizička osoba, osobe zaposlene u ovlaštenoj pravnoj osobi koje provode energetske preglede i imenovana osoba u pravnoj osobi dužne su se redovito usavršavati.

### III. DAVANJE, PRODUŽAVANJE I IZMJENA OVLAŠTENJA

Ovlaštenje daje, produžuje i oduzima Ministarstvo po prethodno pribavljenom mišljenju Povjerenstva koje provodi postupak za davanje ovlaštenja za provođenje energetskih pregleda i energetska certificiranje zgrada.

### IV. DOKUMENTACIJA ZA DAVANJE, PRODUŽAVANJE I IZMJENU OVLAŠTENJA

Ovlaštenje se daje na rok od 3 godine, a može se produživati na isti rok.

Ovlaštenje se daje nakon provedenog postupka ocjenjivanja ispunjavanja uvjeta i mjerila propisanih ovim Pravilnikom.

U poglavlju se definira potrebna dokumentacija za dobivanje ovlaštenja, kao i postupak produživanja ili izmjene ovlaštenja.

### V. POSTUPANJE I IZUZEĆE U OBAVLJANJU POSLOVA OVLAŠTENIH OSOBA

Ovlaštena fizička osoba svojim potpisom potvrđuje istinitost i točnost podataka na izvješću o provedenom energetskom pregledu, odnosno izdanom energetskom certifikatu zgrade, za provođenje kojih je ovlaštena. Imenovana osoba u ovlaštenoj pravnoj osobi, svojim potpisom potvrđuje istinitost i točnost podataka na izvješću o energetskom pregledu, odnosno izdanom energetskom certifikatu, za provođenje kojih je pravna osoba ovlaštena. Osobe koje provode radnje i postupke energetskog certificiranja zgrade, svojim potpisom potvrđuju istinitost i točnost podataka na izdanom energetskom certifikatu zgrade, izvješću o energetskom pregledu zgrade.

Ovlaštena fizička i pravna osoba ne može provesti energetski pregled i/ili energetska certificiranje zgrade:

- za koju nije ovlaštena sukladno ovom Pravilniku
- za koju ne ispunjava uvjete sukladno Pravilniku
- za koju je sudjelovala u izradi projekta, nostrifikaciji projekta, kontroli projekta, u stručnom nadzoru građenja, kao odgovorna osoba koja vodi građenje ili pojedine radove na toj zgradi ili je sudjelovala u održavanju te zgrade
- kojoj je vlasnik, korisnik, srodnik vlasnika zgrade ili je zaposlenik osobe koja je naručila izradu energetskog pregleda zgrade ili energetskog certifikata
- po cijeni višoj od cijene utvrđene posebnom odlukom ministrice.

### VI. NADZOR NAD RADOM OVLAŠTENIH OSOBA, ODUZIMANJE OVLAŠTENJA

Ovlaštena osoba dužna je trajno ispunjavati propisane uvjete za davanje ovlaštenja za obavljanje poslova za koje je ovlaštena. Nadzor nad ispunjavanjem uvjeta za provođenje energetskih pregleda i energetskog certificiranja zgrada i radom ovlaštenih osoba provodi Ministarstvo.

### VII. REGISTAR OVLAŠTENIH OSOBA ZA OBAVLJANJE ENERGETSKIH PREGLEDA I ENERGETSKO CERTIFICIRANJE ZGRADA

Ministarstvo vodi registar ovlaštenih osoba za obavljanje energetskih pregleda i energetska certificiranje zgrada.



## VIII. PROVOĐENJE PROGRAMA IZOBRAZBE

Stručno osposobljavanje i obvezno usavršavanje osoba koje provode energetske preglede i/ili energetske certifikacije zgrada provode sveučilišta, veleučilišta, instituti, strukovne organizacije koji imaju suglasnost Ministarstva za obavljanje tih poslova. Suglasnost za provođenje Programa izobrazbe daje se na 5 godina, a može se produžavati na isti rok.

Suglasnost za provođenje Programa izobrazbe može dobiti podnositelj zahtjeva koji:

- zapošljava ili na drugi način osigurava stručne osobe koje će voditi obuku i provjeru znanja osoba ovlaštenih za provođenje energetskih pregleda i energetske certifikacije zgrada
- raspolaže prostorom za provođenje Programa izobrazbe
- raspolaže potrebnom tehničkom opremljenosti za provođenje Programa izobrazbe
- ima potrebnu administraciju za vođenje evidencija i druge administrativne poslove.

Stručne osobe su osobe koje imaju najmanje akademski naziv magistra struke (arhitektonske, građevinske, strojarske ili elektrotehničke struke), odnosno specijalista struke (građevinske, strojarske ili elektrotehničke struke), koje su priznati stručnjaci iz područja Programa izobrazbe, imaju najmanje deset godina radnog iskustva i trajno rade na pripremi ili primjeni tehničke regulative iz područja energetske učinkovitosti u zgradarstvu koja je predmet Programa izobrazbe.

Nositelj Programa izobrazbe obavezan je:

- provoditi Program izobrazbe sukladno propisanom programu iz Priloga 4.A., 4.B. i 4.C. ovoga Pravilnika
- provjeriti identitet i prisutnost osobe koja pohađa Program izobrazbe
- provesti provjeru znanja osoba koje pohađaju Program osposobljavanja
- voditi evidenciju osoba koje su završile Program izobrazbe
- izvještavati Ministarstvo na njegov zahtjev o provedbi Programa izobrazbe i o podacima iz evidencije koju vodi
- omogućiti Ministarstvu nadzor nad provedbom Programa izobrazbe i drugim obavezama koje ima u skladu s ovim Pravilnikom te nad dokumentima na temelju kojih se vodi evidencija osoba koje pohađaju Program izobrazbe.

## IX. NADZOR NAD RADOM NOSITELJA PROGRAMA IZOBRAZBE, ODUZIMANJE SUGLASNOSTI

Nositelj Programa izobrazbe dužan je trajno ispunjavati propisane uvjete za davanje suglasnosti.

Nadzor nad ispunjavanjem uvjeta za provođenje Programa izobrazbe nad nositeljima Programa izobrazbe provodi Ministarstvo.

## X. REGISTAR NOSITELJA PROGRAMA IZOBRAZBE

Ministarstvo vodi registar nositelja Programa izobrazbe.

## XI. PROGRAM OSPOSOBLJAVANJA I PROGRAM USAVRŠAVANJA

Za stručno osposobljavanje i godišnje usavršavanje ovlaštenih osoba koje provode energetske preglede i energetske certifikacije zgrada utvrđuju se Program osposobljavanja i Program usavršavanja.

Program osposobljavanja utvrđen je s dvije razine, kroz Modul 1. i Modul 2.

Modul 1. obvezno pohađaju:

- fizičke osobe koje se ovlašćuju za provođenje energetskih pregleda i energetske certifikacije zgrada s jednostavnim tehničkim sustavom
- osobe zaposlene u pravnoj osobi koja se ovlašćuje za provođenje energetskih pregleda i/ili energetske certifikacije zgrada s jednostavnim tehničkim sustavom koje provode energetske preglede i energetske certifikacije zgrada
- osobe koje u svojstvu imenovane osobe u ovlaštenoj pravnoj osobi potpisuju izvješća o energetskim pregledima i energetske certifikate zgrada s jednostavnim tehničkim sustavom
- fizičke osobe koje se ovlašćuju za provođenje energetskih pregleda zgrada sa složenim tehničkim sustavom u dijelu koji se odnosi na građevinske karakteristike zgrade u smislu racionalne uporabe energije i toplinske zaštite
- osobe zaposlene u pravnoj osobi koja se ovlašćuje za provođenje energetskih pregleda zgrada sa složenim tehničkim sustavom u dijelu koji se odnosi na građevinske karakteristike zgrade u smislu racionalne uporabe energije i toplinske zaštite

Modul 2. obvezno pohađaju:

- fizičke osobe koje se ovlašćuju za provođenje energetskih pregleda zgrada sa složenim tehničkim sustavom u dijelu koji se odnosi na strojarski dio tehničkog sustava zgrade, elektrotehnički dio tehničkog sustava zgrade, odnosno na sustave automatskog reguliranja i upravljanja tehničkog sustava zgrade
- osobe koje će provoditi energetske preglede zgrada u dijelu koji se odnosi na strojarski dio tehničkog sustava zgrade, elektrotehnički dio tehničkog sustava zgrade, odnosno na sustave automatskog reguliranja i upravljanja tehničkog sustava zgrade, zaposlene u punom radnom vremenu i na neodređeno radno vrijeme u pravnoj osobi koja se ovlašćuje za provođenje energetskih pregleda, odnosno za provođenje energetskog certificiranja zgrada sa složenim tehničkim sustavom
- osobe koje u svojstvu imenovane osobe u ovlaštenoj pravnoj osobi potpisuju energetske certifikate zgrada sa složenim tehničkim sustavom i izvješća o provedenim energetskim pregledima koji se odnose na strojarski dio tehničkog sustava, elektrotehnički dio tehničkog sustava, odnosno na sustave automatskog reguliranja i upravljanja tehničkog sustava zgrada sa složenim tehničkim sustavom.

Ovlaštene osobe nakon uspješno završenog Programa osposobljavanja moraju:

- razumjeti ključne postavke i ciljeve Direktive o energetskim svojstvima zgrada
- imati osnovna znanja o drugim izvorima europskog prava koji se odnose na energetska učinkovitost zgrada
- dobro poznavati važeće propise kojima se implementira Direktiva o energetskim svojstvima zgrade
- biti sposobne za samostalno prikupljanje podataka o zgradi potrebnih za energetska ocjenu prema metodologiji propisanoj posebnim propisom
- primjenjivati računalne programe namijenjene za provođenje potrebnih proračuna u svrhu dobivanja podataka koji se iskazuju kod provedenog energetskog pregleda i energetskog certificiranja zgrade
- ocijeniti građevinske karakteristike zgrade u smislu racionalnog korištenja energije i toplinske zaštite
- ocijeniti tehničke sustave zgrade:
  - sustav ventilacije
  - sustav za grijanje, hlađenje
  - sustav za pripremu potrošne tople vode
  - sustav rasvjete
  - sustav za automatsku regulaciju i upravljanje
- interpretirati podatke o zgradi naročito u odnosu na dimenzije i tip građevnih dijelova zgrade
- izvesti potrebne proračune vezano na podatke potrebne za provođenje energetskog pregleda i energetska certificiranje zgrade
- dati preporuke za poboljšanje energetskih svojstava zgrade
- izraditi energetska certifikat zgrade.

## XII. PRIJELAZNE I ZAVRŠNE ODREDBE

Ovaj Pravilnik sadrži sljedeće priloge:

Prilog 2.A. u kojemu je propisan izgled i sadržaj ovlaštenja za provođenje energetskih pregleda i/ili izdavanje energetskih certifikata zgrade za fizičke osobe

Prilog 2.B. u kojemu je propisan izgled i sadržaj ovlaštenja za provođenje energetskih pregleda i/ili izdavanje energetskih certifikata zgrade za pravne osobe

Prilog 3. u kojemu je propisan sadržaj registra osoba koje imaju suglasnost za provođenje Programa izobrazbe

Prilog 4. u kojemu je naveden sadržaj tema koje su sastavni dio Programa osposobljavanja i Programa usavršavanja za osobe koje provode energetska preglede i energetska certificiranja zgrada

Prilog 4.A. u kojemu je propisan Program osposobljavanja za osobe koje provode energetska preglede i energetska certificiranja zgrada s jednostavnim tehničkim sustavom (Modul 1)

Prilog 4.B. u kojemu je propisan Program osposobljavanja za osobe koje provode energetska preglede i energetska certificiranja zgrada sa složenim tehničkim sustavom (Modul 2.)

Prilog 4.C. u kojemu je propisan Program usavršavanja za sve osobe ovlaštene za provođenje energetskih pregleda i energetska certificiranja zgrada.

### 2.3. Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (NN 110/08 i 89/09) s pripadajućim normama

Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (NN 110/08 i 89/09) [2.8] na snazi je od 31.3.2009. godine, s izmjenom od 16.7.2009. kojom je obvezna primjena propisa pomaknuta s 30.9.2009. godine na 31.3.2010. godine. Tehnički propis se sastoji od 9 poglavlja: I. Opće odredbe, II. Tehnički zahtjevi za racionalnu uporabu energije i toplinsku zaštitu za nove zgrade, III. Tehnički zahtjevi za racionalnu uporabu energije i toplinsku zaštitu prilikom rekonstrukcije postojećih zgrada, IV. Ostali tehnički zahtjevi za racionalnu uporabu energije i toplinsku zaštitu, V. Tehnička svojstva i drugi zahtjevi za građevne proizvode, VI. Sadržaj projekta zgrade u odnosu na racionalnu uporabu energije i toplinsku zaštitu u zgradama, VII. Iskaznica potrebne toplinske energije za grijanje i toplinske energije za hlađenje zgrade, VIII. Održavanje zgrade u odnosu na racionalnu uporabu energije i toplinsku zaštitu, IX. Prijelazne i završne odredbe. Sastavni dio tehničkog propisa je i 5 priloga.

**Tehnički propis** uvodi obvezu izračuna potrebne energije **za grijanje** i potrebne energije **za hlađenje zgrada**, pooštava kriterije toplinske zaštite za građevne dijelove zgrade (U koeficijenti), uvodi obveznu izradu elaborata tehničke, ekološke i ekonomske izvedivosti alternativnih sustava za opskrbu energijom za zgrade veće od 1000 m<sup>2</sup>, zabranjuje elektrotoporno grijanje, uvodi centralno postrojenje za pripremu topline, obvezno za nove stambene zgrade s više od 3 stambene jedinice.

#### I. OPĆE ODREDBE

Tehničkim propisom propisuju se:

- tehnički zahtjevi glede racionalne uporabe energije i toplinske zaštite koje treba ispuniti prilikom projektiranja i građenja novih zgrada, te tijekom uporabe postojećih zgrada koje se griju na unutarnju temperaturu višu od 12°C
- tehnički zahtjevi glede racionalne uporabe energije i toplinske zaštite koje treba ispuniti prilikom projektiranja rekonstrukcije postojećih zgrada koje se griju na unutarnju temperaturu višu od 12°C
- ostali tehnički zahtjevi za racionalnu uporabu energije i toplinsku zaštitu u zgradama
- tehnička svojstva i drugi zahtjevi za neke građevne proizvode koji se ugrađuju u zgradu u svrhu racionalne uporabe energije i toplinske zaštite i ocjenjivanje sukladnosti tih proizvoda s navedenim zahtjevima
- sadržaj projekta zgrade u odnosu na racionalnu uporabu energije za grijanje i hlađenje te toplinsku zaštitu
- sadržaj Iskaznice potrebne toplinske energije za grijanje i toplinske energije za hlađenje zgrade
- održavanje zgrade u odnosu na racionalnu uporabu energije i toplinsku zaštitu.

Ovim Propisom implementira se Direktiva o energetske svojstvima zgrada [2.1] u dijelu koji se odnosi na:

- propisivanje minimalnih zahtjeva za energetska svojstva novih zgrada i postojećih zgrada kod kojih se provode veće rekonstrukcije
- potrebu izrade elaborata tehničke, ekološke i ekonomske primjenjivosti alternativnih sustava za opskrbu energijom za nove zgrade s ploštinom korisne površine većom od 1000 m<sup>2</sup>, kao i poboljšanja energetske svojstva postojećih zgrada koje imaju ploštinu korisne površine veću od 1000 m<sup>2</sup>, u slučaju njihovih većih rekonstrukcija.

Opće odredbe definiraju i obveze zgrada koje se ne griju ili se griju do 12°C, kao i zgrade na koje se ne primjenjuje ovaj propis. U poglavlju se daje i popis i značenje pojedinih bitnih pojmova, od kojih se ovdje izdvaja:

**Faktor oblika zgrade**,  $f_0 = A/V_e$  (m<sup>-1</sup>), jest količnik oplošja,  $A$  (m<sup>2</sup>), i obujma,  $V_e$  (m<sup>3</sup>), grijanog dijela zgrade

**Toplinski most** jest manje područje u omotaču grijanog dijela zgrade kroz koje je toplinski tok povećan radi promjene materijala, debljine ili geometrije građevnog dijela

**Ploština korisne površine zgrade**,  $A_k$  (m<sup>2</sup>), jest ukupna ploština neto podne površine grijanog dijela zgrade. Kod stambenih zgrada može se odrediti prema približnom izrazu  $A_k = 0,32 \cdot V_e$

**Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje za stvarne klimatske podatke**,  $Q_{H,nd}$  (kWh/a), jest računski određena količina topline koju sustavom grijanja treba tijekom jedne godine dovesti u zgradu za održavanje unutarnje projektne temperature u zgradi tijekom razdoblja grijanja zgrade

**Godišnja potrebna toplinska energija za hlađenje za stvarne klimatske podatke**,  $Q_{C,nd}$  (kWh/a), jest računski određena količina topline koju sustavom hlađenja treba tijekom jedne godine odvesti iz zgrade za održavanje unutarnje projektne temperature u zgradi tijekom razdoblja hlađenja zgrade

**Koeficijent transmisijskog toplinskog gubitka**,  $H_{tr,adj}$  (W/K), jest količnik između toplinskog toka koji se transmisijom prenosi iz grijane zgrade prema vanjskom prostoru i razlike između unutarnje projektne temperature grijanja i vanjske temperature

**Koeficijent toplinskog gubitka provjetravanjem**,  $H_{ve,adj}$  (W/K), jest količnik između toplinskog toka koji se prenosi iz grijane zgrade prema vanjskom prostoru izmjenom zraka u prostoriji s vanjskim zrakom i razlike između unutarnje projektne temperature grijanja i vanjske temperature.

Tehnički zahtjevi za racionalnu uporabu energije i toplinsku zaštitu u zgradama propisani su:

1. najvećom dopuštenom godišnjom potrebnom toplinskom energijom za grijanje po jedinici ploštine korisne površine zgrade, odnosno po jedinici obujma grijanog dijela zgrade
2. najvećim dopuštenim koeficijentom transmisijskog toplinskog gubitka po jedinici oplošja grijanog dijela zgrade
3. sprječavanjem pregrijavanja prostorija zgrade zbog djelovanja sunčeva zračenja tijekom ljeta
4. ograničenjima zrakopropusnosti omotača zgrade
5. najvećim dopuštenim koeficijentima prolaska topline pojedinih građevnih dijelova omotača zgrade
6. smanjenjem utjecaja toplinskih mostova
7. najvećom dopuštenom kondenzacijom vodene pare unutar građevnog dijela zgrade
8. sprječavanjem površinske kondenzacije vodene pare, ako ovim Propisom nije drukčije određeno.

## II. TEHNIČKI ZAHTJEVI ZA RACIONALNU UPORABU ENERGIJE I TOPLINSKU ZAŠTITU ZA NOVE ZGRADE

Poglavljem II. Tehnički zahtjevi za racionalnu uporabu energije i toplinsku zaštitu za nove zgrade dana je maksimalna vrijednost  $Q_{H,nd}$  za stambene i nestambene zgrade, ovisno o faktoru oblika zgrada, s izuzetkom zgrada kod kojih se najmanje 70% toplinske energije za grijanje podmiruje iz individualnih obnovljivih izvora energije ili zgrada kod kojih se više od polovice toplinskih gubitaka nadoknađuje unutarnjim izvorima topline iz tehnološkog procesa. Ograničen je koeficijent transmisijskog toplinskog gubitka po jedinici oplošja grijanog dijela zgrade  $H'_{tr,adj}$ . Određena je metoda proračuna godišnje potrebne toplinske energije za grijanje zgrada  $Q_{H,nd}$  i uvjeti za primjenu proračunske metode, te metoda proračuna potrebne godišnje toplinske energije za hlađenje zgrada, kao i zaštita od pregrijavanja prostorija u ljetnom razdoblju.

Posebno su dani zahtjevi za zgrade koje se griju na temperaturu veću od 12°C, a manju od 18°C, kroz ograničenje koeficijenta transmisijskog toplinskog gubitka po jedinici oplošja. Određen je najmanji broj izmjena unutarnjeg zraka, maksimalna zrakopropusnost zgrada, način dokazivanja zahtjeva za zrakonepropusnost.

Određena je minimalna toplinska zaštita; način proračuna toplinskih mostova; metoda proračuna kondenzacije vodene pare unutar i na površini građevinskih dijelova. Dani su posebni zahtjevi za slobodnostojeće zgrade s plošinom korisne površine manjom od 50 m<sup>2</sup>.

Tablica 2.4 – Zahtjevi za zgrade koje se griju na temperaturu 18 °C ili više

ZGRADE KOJE SE GRIJU NA TEMPERATURU 18°C I VIŠE		
	Stambena zgrada	Nestambena zgrada
$f_0$ Faktor oblika zgrade	$Q''_{H,nd}$ (kWh/m <sup>2</sup> a) Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje po jedinici ploštine korisne površine zgrade	$Q'_{H,nd}$ (kWh/m <sup>3</sup> a) Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje po jedinici obujma grijanog dijela zgrade
$f_0 \leq 0,20$	$Q''_{H,nd} = 51,31$	$Q'_{H,nd} = 16,42$
$0,20 < f_0 < 1,05$	$Q''_{H,nd} = (41,03 + 51,41 f_0)$	$Q'_{H,nd} = (13,13 + 16,45 f_0)$
$f_0 \geq 1,05$	$Q''_{H,nd} = 95,01$	$Q'_{H,nd} = 30,40$
<b>TEMPERATURA</b> Srednja mj.temp. vanjskog zraka najhladnijeg mjeseca na lokaciji	$H'_{tr,adj} = H_{tr,adj}/A$ (W/m <sup>2</sup> K) Koeficijent transmisijskog toplinskog gubitka po jedinici oplošja grijanog dijela zgrade	$H'_{tr,adj} = H_{tr,adj}/A$ (W/m <sup>2</sup> K) $f > 30\%$ (udio ploštine prozora u ploštini pročelja)
$> 3^\circ\text{C}$	$H'_{tr,adj} = 0,45 + 0,15/f_0$	$H'_{tr,adj} = 0,45 + 0,24/f_0$
$\leq 3^\circ\text{C}$	$H'_{tr,adj} = 0,30 + 0,15/f_0$	$H'_{tr,adj} = 0,35 + 0,24/f_0$

Ograničenja godišnje potrebne toplinske energije za grijanje iz odredbi članaka 8 i 9 ovoga Propisa ne primjenjuju se na:

- zgradu koje najmanje 70% potrebne toplinske energije za grijanje podmiruje iz individualnih obnovljivih izvora energije
- zgradu kod koje se više od polovice toplinskih gubitaka nadoknađuje unutarnjim izvorima topline iz tehnološkog procesa.

Za grijanje zgrada nije dopušteno rabiti sustave elektrootpornog grijanja. Ovaj članak stupa na snagu 31. prosinca 2015. godine.

Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje zgrade,  $Q_{H,nd}$  (kWh/a), izračunava se u skladu s normom HRN EN ISO 13790:2008, metoda proračuna po mjesecima, uz sljedeće uvjete:

- za proračun gubitaka topline,  $Q_{H,ht}$ , za zgradu s uvedenim sustavom za klimatizaciju i nestambenu zgradu gospodarske namjene za unutarnju temperaturu grijanja,  $\Theta_{int,set,H}$  primjenjuje se projektom predviđena vrijednost
- za proračun gubitaka topline,  $Q_{H,ht}$ , za stambenu zgradu i nestambenu zgradu javne namjene koja nema uveden sustav za klimatizaciju, pretpostavlja se da unutarnja projektna temperatura grijanja iznosi  $\Theta_{int,set,H} = 20^\circ\text{C}$
- u slučaju prekidanog grijanja (nestambene zgrade javne ili gospodarske namjene), gubici topline,  $Q_{H,ht}$  računaju se tako da se unutarnja projektna temperatura grijanja zamijeni s usrednjenom unutarnjom temperaturom; projektno trajanje prekida grijanja kod nestambenih zgrada javne namjene iznosi 7 sati s unutarnjom projektnom temperaturom  $16^\circ\text{C}$ , a za nestambene zgrade gospodarske namjene trajanje prekida grijanja je prema podacima iz projekta
- unutarnji dobici topline,  $Q_{int}$ , računaju se s vrijednošću  $5 \text{ W/m}^2$  ploštine korisne površine zgrade, ako drugim propisom nije drukčije određeno
- kod proračuna solarnih dobitaka topline,  $Q_{sol}$  ne uzimaju se u obzir neprozirne plohe vanjskih građevnih dijelova koje su izložene sunčevu zračenju, a kod prozirnih površina potrebno je uzeti u obzir mjeru zasjenjenosti
- kod proračuna koeficijenta toplinskog gubitka provjetranjem,  $H_{ve}$ , broj izmjena zraka,  $n$ , određuje se prema HRN EN ISO 13789 za srednju razinu nepropusnosti za zrak omotača zgrade. Ako ne postoje točniji podaci, dodatni tok zraka uslijed vjetera i uzgona,  $V_x$ , može se računati s vrijednosti  $V_x = 0,2 \cdot V_e$  (m<sup>3</sup>/h)
- za efektivni toplinski kapacitet,  $C_m$  (Wh/K), grijanog dijela zgrade, koji se koristi kod utvrđivanja stupnja iskorištenja dobitaka topline, dopušteno je koristiti približne vrijednosti dobivene pomoću izraza  $C_m = 15 \cdot V_e$  [Wh/(m<sup>3</sup>·K)], za zgrade s pretežno laganim unutarnjim zidovima, spuštenim stropovima, te za visoke hale, odnosno pomoću izraza  $C_m = 50 \cdot V_e$  [Wh/(m<sup>3</sup>·K)], za zgrade s masivnim unutarnjim i vanjskim zidovima bez spuštenih stropova. Primjenu ovih približnih izraza treba navesti u dijelu projekta kojim se daje tehničko rješenje zgrade u odnosu na racionalnu uporabu energije i toplinsku zaštitu
- kod proračuna gubitaka topline prostor garaže s kojim graniči grijana prostorija zgrade promatra se kao vanjski prostor.

Godišnja potrebna toplinska energija za hlađenje zgrade,  $Q_{C,nd}$  (kWh/a), izračunava se u skladu s normom HRN EN ISO 13790:2008,

metoda proračuna po mjesecima, pri čemu za sada nije određena najveća dopuštena vrijednost toplinske energije za hlađenje. Pregrijavanje prostorija zgrade zbog djelovanja sunčeva zračenja tijekom ljeta potrebno je spriječiti odgovarajućim tehničkim rješenjima.

Zgrada za koju je grijanje predviđeno na temperaturu višu od 12 °C a manju od 18 °C, mora biti projektirana i izgrađena na način da koeficijent transmisivnog toplinskog gubitka po jedinici oplošja grijanog prostora zgrade,  $H_T' = H_T/A$  [W/(m<sup>2</sup>·K)], ovisno o faktoru oblika zgrade,  $f_o$ , nije veći od vrijednosti utvrđene jednadžbom:

1.  $H_{tr,adj}' = 0,65 + 0,10/f_o$  kada srednja mjesečna temperatura vanjskog zraka najhladnijeg mjeseca na lokaciji zgrade jest > 3°C,

odnosno

2.  $H_{tr,adj}' = 0,53 + 0,10/f_o$  kada srednja mjesečna temperatura vanjskog zraka najhladnijeg mjeseca na lokaciji zgrade jest ≤ 3°C.

Zgrada mora biti projektirana i izgrađena tako da građevni dijelovi koji čine omotač grijanog prostora zgrade, uključivo možebitne spojnice između pojedinih građevnih dijelova i prozirne elemente koji nemaju mogućnost otvaranja, budu zrakonepropusni u skladu s dosegnutim stupnjem razvoja tehnike i tehnologije u vrijeme izrade projekta. Broj izmjena unutarnjeg zraka s vanjskim zrakom kod zgrade u kojoj borave ili rade ljudi treba iznositi najmanje  $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$  ako propisom donesenim u skladu sa Zakonom o prostornom uređenju i gradnji kojim se uređuje to područje nije drukčije propisano.

U vrijeme kada ljudi ne borave u dijelu zgrade koji je namijenjen za rad i/ili boravak ljudi, potrebno je osigurati izmjenu unutarnjeg zraka od najmanje  $n = 0,2 \text{ h}^{-1}$ .

Ispunjavanje zahtjeva o zrakonepropusnosti dokazuje se i ispitivanjem na izgrađenoj zgradi prema HRN EN 13829:2002, metoda određivanja A. Prilikom ispitivanja iz stavka 1. ovoga članka, za razliku tlakova između unutarnjeg i vanjskog zraka od 50 Pa, izmjereni tok zraka, sveden na obujam grijanog zraka, ne smije biti veći od vrijednosti  $n_{s0} = 3,0 \text{ h}^{-1}$  kod zgrada bez mehaničkog uređaja za provjetravanje, odnosno  $n_{s0} = 1,5 \text{ h}^{-1}$  kod zgrada s mehaničkim uređajem za provjetravanje.

**Tablica 2.5 – Najveće dopuštene vrijednosti koeficijenta prolaska topline, U [W/(m<sup>2</sup>·K)], građevnih dijelova novih zgrada, malih zgrada ( $A_k < 50 \text{ m}^2$ ) i nakon zahvata na postojećim zgradama**

Redni broj	Građevni dio	U [W/(m <sup>2</sup> ·K)]			
		$\theta_i \geq 18^\circ\text{C}$		$12^\circ\text{C} < \theta_i < 18^\circ\text{C}$	
		$\theta_{e,mj}, \text{ min} > 3^\circ\text{C}$	$\theta_{e,mj}, \text{ min} \leq 3^\circ\text{C}$	$\theta_{e,mj}, \text{ min} > 3^\circ\text{C}$	$\theta_{e,mj}, \text{ min} \leq 3^\circ\text{C}$
1.	Vanjski zidovi, zidovi prema garaži, tavanu	0,60	0,45	0,75	0,75
2.	Prozori, balkonska vrata, krovni prozori, prozirni elementi pročelja	1,80	1,80	3,00	3,00
3.	Ravni i kosi krovovi iznad grijanog prostora, stropovi prema tavanu	0,40	0,30	0,50	0,40
4.	Stropovi iznad vanjskog zraka, stropovi iznad garaže	0,40	0,30	0,50	0,40
5.	Zidovi i stropovi prema negrijanim prostorijama i negrijanom stubištu temperature više od 0°C	0,65	0,50	2,00	2,00
6.	Zidovi prema tlu, podovi na tlu	0,501	0,501	0,801	0,651
7.	Vanjska vrata, vrata prema negrijanom stubištu, s neprozirnim vratnim krilom	2,90	2,90	2,90	2,90
8.	Stijenka kutije za rolete	0,80	0,80	0,80	0,80
9.	Stropovi između stanova, stropovi između grijanih radnih prostorija različitih korisnika	1,40	1,40	1,40	1,40

Zgrada koja se grije na temperaturu višu od 12°C, mora biti projektirana i izgrađena tako da utjecaj toplinskih mostova na godišnju potrebnu toplinu za grijanje bude što manji. Da bi se ispunio taj zahtjev, prilikom projektiranja treba primijeniti sve ekonomski prihvatljive tehničke i tehnološke mogućnosti. Ako je potencijalni toplinski most projektiran u skladu s hrvatskom normom koja sadrži katalog dobrih rješenja toplinskih mostova (HRN EN ISO 14683:2008 Toplinski mostovi u zgradarstvu – Linearni koeficijent prolaska topline – Pojednostavnjene metode i zadane utvrđene vrijednosti / *Thermal bridges in building construction -- Linear thermal transmittance -- Simplified methods and default values*), tada se može umjesto točnog proračuna utjecaj toplinskih mostova uzeti u obzir povećanjem koeficijenta prolaska topline,  $U$  [W/(m<sup>2</sup>·K)], svakog građevnog dijela oplošja grijanog dijela zgrade za  $\Delta U_{TM} = 0,05$  W/(m<sup>2</sup>·K).

Ako rješenje toplinskog mosta nije iz kataloga hrvatske norme, tada se umjesto točnog proračuna prema hrvatskim normama utjecaj toplinskih mostova može uzeti u obzir s povećanjem koeficijenta prolaska topline,  $U$  [W/(m<sup>2</sup>·K)], svakog građevnog dijela oplošja grijanog dijela zgrade za  $\Delta U_{TM} = 0,10$  W/(m<sup>2</sup>·K).

Građevni dijelovi grijane zgrade, koji graniče s vanjskim zrakom ili negrijanim prostorijama projektiraju se i izvode tako da se spriječi nastajanje građevinske štete uslijed kondenzacije vodene pare koja difuzijom ulazi u građevni dio.

Kondenzacija vodene pare unutar građevnog dijela zgrade i njeno isparavanje računaju se u skladu s HRN EN ISO 13788:2002, uzimajući u obzir sljedeće uvjete:

- za stambenu zgradu i nestambenu zgradu javne namjene, u kojima nije uveden sustav klimatizacije, proračun se provodi za temperaturu unutarnjeg zraka  $\Theta_i = 20^\circ\text{C}$
- za zgradu u kojoj je uveden sustav klimatizacije i nestambenu zgradu gospodarske namjene proračun se provodi za projektom predviđenu vrijednost temperature.

### III. TEHNIČKI ZAHTJEVI ZA RACIONALNU UPORABU ENERGIJE I TOPLINSKU ZAŠTITU PRILIKOM REKONSTRUKCIJE POSTOJEĆIH ZGRADA

Poglavljem III. Tehnički zahtjevi za racionalnu uporabu energije i toplinsku zaštitu prilikom rekonstrukcije postojećih zgrada određuju se slučajevi rekonstrukcije kod kojih je potrebno ispuniti dane zahtjeve te iznimke od primjene Propisa.

Tehnički zahtjevi za racionalnu uporabu energije i toplinsku zaštitu koje treba ispuniti prilikom projektiranja rekonstrukcije postojećih zgrada određuju se za slučajeve rekonstrukcije:

1. kojom se postojeća zgrada dograđuje i / ili nadograđuje, tako da se ploština korisne površine zgrade, koja se grije na temperaturu višu od 12°C, poveća za više od 50 m<sup>2</sup>
2. kojom se obnavljaju, djelomično ili potpuno zamjenjuju građevni dijelovi zgrade koji su dio omotača grijanog dijela zgrade, te ako ti radovi obuhvaćaju najmanje po 25% površine svakog građevnog dijela, ili najmanje 75% omotača grijanog dijela zgrade
3. kojom se obnavljaju samo pojedini građevni dijelovi zgrade iz omotača grijanog dijela zgrade na površini većoj od 25%
4. kojom se negrijana zgrada ili njezin dio ploštine korisne površine veće od 50 m<sup>2</sup> prenamjenjuje u prostor koji se grije na temperaturu višu od 12°C.

### IV. OSTALI TEHNIČKI ZAHTJEVI ZA RACIONALNU UPORABU ENERGIJE I TOPLINSKU ZAŠTITU

Poglavlje IV. Ostali tehnički zahtjevi za racionalnu uporabu energije i toplinsku zaštitu određuje metode proračuna koeficijenata prolaska topline  $U$ ; način odvojenog proračuna energetskih svojstava za dio zgrade; zahtjeve za kuće u nizu, ograničenje koeficijenata prolaska topline u slučaju panelnog grijanja, način proračuna dobitaka topline za tipske montažne zgrade, smještaj ogrjevnih tijela ispred prozora, uvjete za ugradnju elemenata za regulaciju topline, zahtjeve za tehničke mejre za elemente razvoda topline u građevini, spremnike za akumulaciju topline, sustave prisilne ventilacije i/ili klimatizacije, sustave povrata topline, zgrade za koje je obvezno koristiti centralno postrojenje za pripremu topline. Dani su građevni dijelovi koji se tijekom uporabe ne smiju promijeniti tako da se pogorša energetska učinkovitost zgrade; zahtjevi za pregrade prema prostorijama druge namjene i prostorijama koje se povremeno rabe; zahtjevi za dinamičke toplinske karakteristike građevnih dijelova zgrade.

Proračun energetskih svojstava dijela zgrade glede racionalne uporabe energije te toplinske zaštite, može se izraditi za dio zgrade kao za samostalnu zgradu (toplinska zona) ako se taj dio od preostalog dijela zgrade razlikuje:

1. u pogledu namjene
2. u vrijednosti unutarnje projektne temperature za više od 4°C
3. u pogledu uporabljenog termotehničkog sustava
4. po režimu uporabe termotehničkih sustava.

U slučaju panelnog grijanja (npr. podno grijanje) koeficijent prolaska topline slojeva građevnog dijela, koji se nalaze između površine grijanja i vanjskog zraka, zemlje ili negrijanog dijela zgrade, ne smije biti veći od 0,35 W/(m<sup>2</sup>·K).

Ogrjevno tijelo dopušteno je postaviti ispred prozirnih vanjskih površina samo ako je ono sa stražnje strane zaštićeno oblogom i ako koeficijent prolaska topline,  $U$  [W/(m<sup>2</sup>·K)], te obloge nije veći od 0,9 W/(m<sup>2</sup>·K).

Ogrijevno tijelo, koje dovodi toplinu u prostoriju, mora imati ugrađen element za regulaciju topline (npr. termostatski ventil) kada je korisna ploština neto podne površine prostorije veća od 6 m<sup>2</sup>.

Vanjski neprozirni građevni dijelovi, koji su izloženi sunčevu zračenju, moraju imati odgovarajuće dinamičke toplinske karakteristike kako bi se smanjio njihov doprinos zagrijavanju zraka u zgradi tijekom ljetnih mjeseci. Ispunjenje dinamičkih toplinskih karakteristika za lagane vanjske građevne dijelove izložene sunčevu zračenju, s plošnom masom manjom od 100 kg/m<sup>2</sup>, dokazuje se posredno preko koeficijenta prolaska topline,  $U$  [W/(m<sup>2</sup>·K)], koji:

- za zidove ne smije biti veći od 0,35 W/(m<sup>2</sup>·K)
- za krovove ne smije biti veći od 0,30 W/(m<sup>2</sup>·K).

## V. TEHNIČKA SVOJSTVA I DRUGI ZAHTJEVI ZA GRAĐEVNE PROIZVODE

Poglavljem V. Tehnička svojstva i drugi zahtjevi za građevne proizvode, određena su svojstva proizvoda koji se ugrađuju u svrhu racionalne uporabe energije i toplinske zaštite, vrste građevnih proizvoda te način ocjenjivanja sukladnosti tih proizvoda.

## VI. SADRŽAJ PROJEKTA ZGRADE U ODNOSU NA RACIONALNU UPORABU ENERGIJE I TOPLINSKU ZAŠTITU U ZGRADAMA

U poglavlju VI. Sadržaj projekta zgrade u odnosu na racionalnu uporabu energije i toplinsku zaštitu u zgradama, određuje sadržaj projekta zgrade; zgrade za koje je potrebno izraditi elaborat tehničke, ekološke i ekonomske izvedivosti alternativnih sustava za opskbu energijom; sadržaj projekta za rekonstrukciju zgrada. Poglavlje upućuje na prilog E s meteorološkim veličinama za mjerodavne postaje.

Glavni projekt zgrade u dijelu koji se odnosi na racionalnu uporabu energije i toplinsku zaštitu sadrži tehnički opis, proračun fizikalnih svojstava zgrade glede racionalne uporabe energije i toplinske zaštite, proračun godišnje potrebne toplinske energije za grijanje zgrade za stvarne klimatske podatke, proračun godišnje potrebne toplinske energije za hlađenje za zgradu s instaliranim sustavom za hlađenje za stvarne klimatske podatke, program kontrole i osiguranja kvalitete, nacрте, te Iskaznicu potrebne toplinske energije za grijanje i potrebne toplinske energije za hlađenje, ako posebnim propisom nije drukčije određeno.

Za zgrade s ploštinom korisne površine većom od 1000 m<sup>2</sup>, zahtjevu za izdavanje građevinske dozvole, odnosno potvrdi glavnog projekta obvezno se prilaže elaborat tehničke, ekološke i ekonomske izvedivosti alternativnih sustava za opskrbu energijom, naročito decentraliziranih sustava opskrbe energijom korištenjem obnovljivih izvora energije, kogeneracijskih sustava, daljinskog ili blokovskog grijanja, sustava s dizalicama topline te sustava s gorivnim ćelijama. Obveza prilaganja ovog elaborata za zgrade s ploštinom većom od 1000 m<sup>2</sup> primjenjuje se šest mjeseci nakon objave Studije primjenjivosti alternativnih sustava na službenim internetskim stranicama Ministarstva.

Izvedbeni projekt sadrži karakteristične detalje pojedinih dijelova zgrade, koji imaju utjecaja na ispunjavanje propisanih uvjeta glede racionalne uporabe energije i toplinske zaštite zgrade, osobito detalje područja potencijalnih toplinskih mostova.



## VII. ISKAZNICA POTREBNE TOPLINSKE ENERGIJE ZA GRIJANJE I TOPLINSKE ENERGIJE ZA HLAĐENJE ZGRADE

U poglavlju se obavezuje na izradu iskaznice u glavnom projektu zgrade, uvjete za izdavanje posebne iskaznice za pojedini dio zgrade i način ovjeravanja iskaznice.

## VIII. ODRŽAVANJE ZGRADE U ODNOSU NA RACIONALNU UPORABU ENERGIJE I TOPLINSKU ZAŠTITU

Poglavlje VIII. Održavanje zgrade u odnosu na racionalnu uporabu energije i toplinsku zaštitu, određuje uvjete i sadržaj održavanja zgrade u odnosu na racionalnu uporabu energije i toplinsku zaštitu, te karakteristike proizvoda koji se mogu koristiti za održavanje zgrade.

## IX. PRIJELAZNE I ZAVRŠNE ODREDBE

Poglavljem IX. Prijelazne i završne odredbe dani su prilozi A, B, C, D, i E te mogućnost propisivanja dodatnih normi na koje upućuju norme iz priloga odlukom Ministra koja će se objaviti na službenim web stranicama Ministarstva zaštite okoliša, prostornog uređenje i graditeljstva. Poglavljem se ukida Tehnički propis o uštedi toplinske energije i toplinskoj zaštiti u zgradama.

Ovaj Propis sadrži sljedeće priloge:

1. Prilog »A« u kojemu su popisane hrvatske norme i druge tehničke specifikacije za proračune i ispitivanja građevnih dijelova zgrade i zgrade kao cjeline, glede zahtjeva za racionalnu uporabu energije i zahtjeva za toplinsku zaštitu koje treba ispuniti prilikom projektiranja novih i rekonstrukcije postojećih zgrada na primjenu kojih upućuje ovaj Propis
2. Prilog »B« u kojemu su popisane hrvatske norme i druge tehničke specifikacije koje sadrže zahtjeve koje, u svezi s toplinskom zaštitom, trebaju ispuniti toplinsko-izolacijski građevni proizvodi za zgrade
3. Prilog »C« u kojemu su popisane najveće dopuštene vrijednosti koeficijenta prolaska topline,  $U$  [ $W/(m^2 \cdot K)$ ], građevnih dijelova zgrade koje treba ispuniti pri projektiranju novih i projektiranju rekonstrukcije postojećih zgrada i utvrđene su vrijednosti tehničkih svojstava nekih građevnih proizvoda s kojima se mogu provoditi dokazni proračuni propisani ovim Propisom
4. Prilog »D« u kojemu su propisani obrasci Iskaznica potrebne topline za grijanje i energije za hlađenje za zgradu grijanu na temperaturu  $18^\circ\text{C}$  ili višu i Iskaznice potrebne toplinske energije za grijanje i toplinske energije za hlađenje za zgradu grijanu na temperaturu od  $12^\circ\text{C}$  do  $18^\circ\text{C}$
5. Prilog »E« u kojemu su sadržane meteorološke veličine za mjerodavne meteorološke postaje (u daljnjem tekstu: postaje) potrebne za proračun fizikalnih svojstava zgrade glede racionalne uporabe energije i toplinske zaštite.

**PRILOG A<sup>1</sup>**

POPIS HRVATSKIH NORMI I DRUGIH TEHNIČKIH SPECIFIKACIJA ZA PRORAČUNE I ISPITIVANJA GRAĐEVNIH DIJELOVA ZGRADE I ZGRADE KAO CJELINE:

**A.1 NORME ZA PRORAČUN NA KOJE UPUĆUJE OVAJ PROPIS**

HRN EN 410:2003  
HRN EN 673:2003  
HRN EN ISO 6946:20XX  
HRN EN ISO 10077-1:2002  
HRN EN ISO 10211-1:20XX  
HRN EN ISO 10456:20XX  
HRN EN 12524:2002  
HRN EN ISO 13370:20XX  
HRN EN ISO 13788:2002  
HRN EN ISO 13789:20XX  
HRN EN ISO 13790:2008  
HRN EN ISO 14683: 20XX

Nazivi svih navedenih normi dani su u Prilogu I na kraju priručnika.

**A.2 NORME ZA ISPITIVANJE NA KOJE UPUĆUJE OVAJ PROPIS**

HRN EN 674:2005  
HRN EN 1026:2001  
HRN EN 12207:2001  
HRN EN ISO 12412-2:2004  
HRN EN ISO 12567-1:2002  
HRN EN 13829:2002

Nazivi svih navedenih normi dani su u Prilogu I na kraju priručnika.

**PRILOG B<sup>2</sup>**

POPIS HRVATSKIH NORMI I DRUGIH TEHNIČKIH SPECIFIKACIJA KOJE UPUĆUJU NA ZAHTJEVE KOJE, U SVEZI S TOPLINSKOM ZAŠTITOM, TREBAJU ISPUNITI TOPLINSKO-IZOLACIJSKI GRAĐEVNI PROIZVODI ZA ZGRADE:

HRN EN 13162:2002  
HRN EN 13162/AC:2007  
HRN EN 13163:2002  
HRN EN 13163/AC:2007  
HRN EN 13164:2002  
HRN EN 13164/A1:2004  
HRN EN 13164/AC:2007  
HRN EN 13165:2002  
HRN EN 13165/A1:2004  
HRN EN 13165/A2:2004  
HRN EN 13165/AC:2007  
HRN EN 13166:2002  
HRN EN 13166/A1:2004  
HRN EN 13166/AC:2007  
HRN EN 13167:2002  
HRN EN 13167/A1:2004  
HRN EN 13167/AC:2007  
HRN EN 13168:2002  
HRN EN 13168/A1:2004  
HRN EN 13168/AC:2007  
HRN EN 13169:2002  
HRN EN 13169/A1:2004  
HRN EN 13169/AC:2007  
HRN EN 13170:2002  
HRN EN 13170/AC:2007  
HRN EN 13171:2002  
HRN EN 13171/A1:2004  
HRN EN 13171/AC:2007  
HRN EN 13172:2002  
HRN EN 13172/A1:2005  
HRN EN 13499:2004  
HRN EN 13500:2004  
HRN EN 1745:2003

Nazivi svih navedenih normi dani su u Prilogu I na kraju priručnika.

## 2.4. Tehnički propis za prozore i vrata (NN 69/06) s pripadajućim normama

Tehnički propis za prozore i vrata (NN 69/06) [2.9] stupio je na snagu u lipnju 2006. godine. Propisom su propisana tehnička svojstva i drugi zahtjevi za prozore i vrata koji se ugrađuju u građevine u svrhu ispunjavanja bitnih zahtjeva za građevinu, te način potvrđivanja sukladnosti prozora i vrata.

Tehnički propis se sastoji od teksta propisa, poglavlja o prijelaznim i završnim odredbama i priloga „Tehnička svojstva i drugi zahtjevi za prozore i vrata, te način potvrđivanja sukladnosti“.

Propisom je obuhvaćena definicija vrata kao vrata namijenjena isključivo prolazu pješaka, te prozora kojima se smatraju vanjski prozori, odnosno vrata ugrađeni u građevinske otvore koji razdvajaju unutarnji i vanjski prostor, te ostali prozori i vrata na koje se odnose zahtjevi otpornosti na opterećenje vjetrom, vodonepropusnosti, propusnosti zraka, prolaska topline, zvučne izolacije te otpornosti na požar i propuštanje dima. Definicijom prozora i vrata obuhvaćene su i stijene sličnih konstruktivnih karakteristika koje se ugrađuju na isti način kao prozori i vrata, odnosno ako se na njih odnose isti zahtjevi kao i na prozore i vrata.

Dani su izuzeci od primjene propisa. Propis se ne primjenjuje na vrata i stijene izrađene u potpunosti od stakla, rotirajuća vrata, vrata opremljena mehaničkim pogonom, ostakljene krovne konstrukcije, ovješene fasade, garažna vrata, industrijska vrata i vrata za skloništa.

Određena su tehnička svojstva i trajnost prozora. Potrebni dokazi uporabljivosti, dokumentacija s kojom se prozori isporučuju te postupanje u slučaju nesukladnosti prozora s tehničkim specifikacijama. Određeno koja je svojstva prozora potrebno odrediti projektom građevine, te na koji način utvrditi uvjete za ugradnju, uporabu i održavanje prozora i vrata.

Svojstva prozora, odnosno vrata za predvidive uvjete uobičajene uporabe građevine i predvidive utjecaje okoliša na građevinu u njezinom projektiranom uporabnom vijeku, moraju se odrediti projektom građevine, osobito u vezi:

- otpornosti na opterećenje vjetrom, koja mora odgovarati predviđenom djelovanju vjetra
- vodonepropusnosti, koja mora odgovarati utjecaju kiše pri predviđenom djelovanju vjetra
- propusnosti zraka, za prozore i vrata koji se ugrađuju u prostorima i prostorijama koje moraju ispunjavati uvjete izmjene zraka i/ili toplinskih gubitaka provjetranjem (kuhinje, kupaonice, radne i pomoćne prostorije i sl.) sukladno posebnom propisu
- prolaska topline, za prozore i vrata koji se ugrađuju između vanjskog prostora i grijanih prostorija, odnosno između prostorija koje imaju različitu unutarnju projektnu temperaturu sukladno posebnom propisu
- zvučne izolacije, za prozore i vrata koji se ugrađuju između prostora i/ili prostorija s različitim razinama buke sukladno posebnom propisu
- otpornosti na požar i propuštanje dima, za prozore i vrata koji se ugrađuju između prostora i/ili prostorija koje pripadaju različitim požarnim sektorima sukladno posebnom propisu.

Uvjeti za ugradnju, uporabu i održavanje prozora i vrata moraju se odrediti projektom građevine tako da se ispune bitni zahtjevi i drugi uvjeti koje mora ispunjavati građevina.

Prijelaznim i završnim odredbama određeni su uvjeti uz koje se prozori mogu ugrađivati u građevinu te je prekinuta primjena tehničkih pravila iz Pravilnika o tehničkim normativima za projektiranje i izvođenje završnih radova u građevinarstvu koja su u suprotnosti s ovim propisom; određen je način označavanja prozora do pristupanja RH u EU.

Prilog „Tehnička svojstva i drugi zahtjevi za prozore i vrata, te način potvrđivanja sukladnosti“ daje specificirana svojstva vrata i prozora, način potvrđivanja sukladnosti, način označavanja, metode ispitivanja, uvjete održavanja, projektiranje i popis priznatih tehničkih pravila i normi za prozore.

Posebnom odlukom Ministra moguće je utvrditi popis ostalih norma za primjenu Tehničkog propisa za prozore i vrata.

## PRILOG - TEHNIČKA SVOJSTVA I DRUGI ZAHTJEVI ZA PROZORE I VRATA TE NAČIN POTVRĐIVANJA SUKLADNOSTI

### 1. Područje primjene

Ovim se Prilogom sukladno članku 7. stavku 1. Propisa [2.9] određuju tehnička svojstva i drugi zahtjevi za prozore i vrata, te način potvrđivanja sukladnosti prozora i vrata. Tehnička svojstva i drugi zahtjevi, te potvrđivanje sukladnosti prozora i vrata određuju se, odnosno provode, ovisno o vrsti prozora i/ili vrata, prema normama iz ovoga Priloga, normama na koje te norme upućuju i odredbama Propisa [2.9], te u skladu s posebnim propisom.

### 2. Specificirana svojstva, potvrđivanje sukladnosti i označavanje

Tehnička svojstva prozora i vrata, ovisno o vrsti prozora, odnosno vrata, moraju ispunjavati opće i posebne zahtjeve bitne za njihovu krajnju namjenu u građevini i moraju biti specificirana prema normi HRN EN 14351-1, odnosno prema posebnom propisu. Prozori i vrata prema podjeli u normi HRN EN 14351-1, te ostali prozori i vrata na koje se odnose zahtjevi otpornosti na opterećenje vjetrom, vodonepropusnosti, propusnosti zraka, prolaska topline i zvučne izolacije, moraju se specificirati prema toj normi. Prozori i vrata koji se nalaze između prostora različitih požarnih sektora glede otpornosti na požar i propuštanja dima, moraju se specificirati u skladu s posebnim propisom. Svojstva prozora i vrata moraju biti specificirana u projektu građevine. Svojstvo propusnosti zraka obvezno se specificira. Svojstvo otpornosti na opterećenje vjetrom, vodonepropusnosti, prolaska topline, zvučne izolacije te otpornost na požar i propuštanje dima, mora se specificirati u ovisnosti o namjeni i položaju prozora ili vrata u građevini i uvjetima njezine uporabe. Potvrđivanje sukladnosti prozora i/ili vrata na koje se primjenjuje ovaj Prilog glede svojstava propusnosti zraka, otpornosti na opterećenje vjetrom, vodonepropusnosti, prolaska topline i zvučne izolacije provodi se, ovisno o vrsti prozora, odnosno vrata, prema odredbama Dodatka ZA norme HRN EN 14351-1, te odredbama Priloga i posebnog propisa. Prozori i vrata označavaju se, na otpremnici i na prozoru ili vratima prema normi HRN EN 14351-1.

Oznaka mora obvezno sadržavati upućivanje na tu normu, a u skladu s posebnim propisom. Oznaka iz točke 2.3.1 ovoga Priloga obvezno sadržava iskazanu obavijest o svojstvima propusnosti zraka te o ostalim svojstvima (kao što su: otpornost na opterećenje vjetrom, vodonepropusnost, prolaz topline, zvučna izolacija te otpornost na požar i propuštanje dima) kada se ta svojstva, u ovisnosti o namjeni i položaju prozora ili vrata u građevini i uvjetima njezine uporabe, specificiraju projektom građevine.

### 3. Ispitivanje

Ispitivanje svojstava propusnosti zraka, otpornosti na opterećenje vjetrom, vodonepropusnosti, prolaska topline i zvučne izolacije prozora i vrata i uzimanje i priprema uzoraka za ispitivanje, ovisno o vrsti prozora i vrata, provodi se prema normama na koje upućuje norma iz Priloga. Ispitivanje prozora i/ili vrata na svojstva otpornosti na požar i na propuštanje dima provodi se, ovisno o vrsti prozora, odnosno vrata, prema priznatom tehničkom pravilu iz Priloga i priznatim tehničkim pravilima na koje ono upućuje.

### 4. Održavanje svojstava

Održavanje svojstva prozora i/ili vrata tijekom prijevoza, pretovara i skladištenja, mora se osigurati u skladu s uputom proizvođača.

### 5. Projektiranje

Djelovanje vjetra određuje se proporcionalno referentnim brzinama vjetra određenim normom nHRN ENV 1991-2-4 za odgovarajuću visinu ugradnje prozora, odnosno vrata.

### 6. Popis priznatih tehničkih pravila i norma

#### Priznata tehnička pravila

Pravilnik o tehničkim normativima za projektiranje i izvođenje završnih radova u građevinarstvu (»Službeni list« 21/90), te priznata tehnička pravila i tehničke specifikacije na primjenu kojih ta priznata tehnička pravila upućuju. Pravilnik u obveznom atestiranju elemenata tipnih građevinskih konstrukcija na otpornost prema požaru te o uvjetima kojima moraju udovoljavati organizacije udruženog rada, ovlaštene za atestiranje tih proizvoda (»Službeni list« 24/90 i NN 47/97 i 68/00), te priznata tehnička pravila i tehničke specifikacije na primjenu kojih ta priznata tehnička pravila upućuju.

### Norme za prozore i vrata<sup>3</sup>

HRN EN 14351-1:2006  
HRN EN 1192:2001  
HRN EN 1529:2001  
HRN EN 1530:2001  
HRN EN 12207:2001  
HRN EN 12208:2001  
HRN EN 12210:2001  
HRN EN 12210/AC:2005  
HRN EN 12217:2005  
HRN EN 12219:2001  
HRN EN 12608:2003  
HRN EN 13115:2001  
HRN EN 179:2001  
HRN EN 179/A1/AC:2003  
HRN EN 1125:2003  
HRN EN 1125/A1/AC:2005  
HRN EN ISO 10077-1:2002  
HRN EN ISO 10077-2:2004

Nazivi svih navedenih normi dani su u Prilogu 1 na kraju priručnika.

Ministar ovlašten za donošenje ovoga Propisa posebnom odlukom će utvrđivati popis ostalih norma bitnih za primjenu ovoga Propisa i norma na koje upućuje norma iz točke 6.2.1. ovoga Priloga. Ova odluka objavljuje se na web stranicama Ministarstva zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva.

### Norme za određivanje djelovanja vjetra

HRN ENV 1991-2-4 Eurokod 1: Osnove projektiranja i djelovanja na konstrukcije – 2-4– dio: Djelovanja na konstrukcije – Opterećenje vjetrom (ENV 1991-2-3:1995.)

U rujnu 2006. donesena je **Odluka o popisu normi bitnih za primjenu Tehničkog propisa za prozore i vrata** (Narodne novine 69/06):

HRN EN 410  
HRN EN 947  
HRN EN 948  
HRN EN 949  
HRN EN 950  
HRN EN 1026  
HRN EN 1027  
HRN EN 1121  
HRN EN 1191  
HRN EN 12046-1  
HRN EN 12046-2  
HRN EN 12211  
HRN EN ISO 140-3  
HRN EN ISO 717-1  
HRN EN ISO - 12657-1  
HRN EN ISO-12567-2

Nazivi svih navedenih normi dani su u Prilogu 1 na kraju priručnika.

<sup>3</sup> Izvod iz Tehničkog propisa

## 2.5. Tehnički propis o sustavima grijanja i hlađenja zgrada (NN 110/08) s pripadajućim normama

Tehnički propis o sustavima grijanja i hlađenja (NN 110/08) [2.10] stupio je na snagu 31. ožujka 2009. godine. Sastoji se od ukupno 6 poglavlja: I. Opće odredbe, II. Tehnička svojstva sustava, III. Projektiranje sustava, IV. Izvođenje i uporabljivost sustava, V. Održavanje sustava i VI. Prijelazne i završne odredbe.

Sastavni dio propisa su prilozi A i B.

Prilog A – Projektiranje sustava

Prilog B – Izvođenje i održavanje sustava

U prvom poglavlju (I. Opće odredbe) navedeno je što se sve propisuje Propisom [2.10], u kojim slučajevima se propis ne može primijeniti, dan je pregled definicija osnovnih pojmova, te podjela sustava grijanja i hlađenja s obzirom na konstrukciju i ugradnju ogrjevnih tijela, medije koji se koriste i na temperaturne režime sustava. Propisom tražena tehnička svojstva sustava grijanja i hlađenja dana su u drugom poglavlju (II. Tehnička svojstva). U trećem poglavlju (III. Projektiranje sustava) dan je detaljni sadržaj strojarskog, elektrotehničkog i po potrebi arhitektonskog projekta u dijelu glavnog projekta zgrade koji se odnosi na tehničko rješenje sustava grijanja i hlađenja. U četvrtom poglavlju (IV. Izvođenje i uporabljivost sustava) navedene su dužnosti izvođača sustava pri izvođenju sustava te prilikom preuzimanja proizvoda. Što se podrazumijeva pod održavanjem sustava i koji se proizvodi mogu ugrađivati u sustav dano je u petom poglavlju (V. Održavanje). U posljednjem poglavlju ovog Propisa (VI. Prijelazne i završne odredbe) naveden je između ostalog rok do kojega se mogu primjenjivati stara priznata tehnička pravila koja se odnose na sustave grijanja i hlađenja.

### I. OPĆE ODREDBE

Tehničkim propisom o sustavima grijanja i hlađenja (NN 110/08) propisuju se:

- tehnička svojstva za sustave grijanje i hlađenje u zgradama
- zahtjevi za projektiranje, izvođenje sustava, uporabljivost, održavanje i drugi zahtjevi za sustave grijanja i hlađenja zgrade.

Propis se ne može primijeniti na: čiste prostore (npr. operacijske dvorane, prostori za ispitivanje lijekova, dijelovi laboratorija i dr.), laboratorije, jednonamjenska skloništa i garaže te zgrade i prostore koji zahtijevaju viši stupanj ugone i za koje je potrebno uz sustave grijanja i hlađenja obvezno primijeniti sustave koji osiguravaju kemijsku i mehaničku čistoću zraka, propisanu razinu buke te praćenje stupnja relativne vlažnosti.

Definicije osnovnih pojmova kod sustava grijanja i hlađenja zgrada:

**Sustav grijanja** - sustav koji služi za grijanje zgrade, više prostorija ili samo jedne prostorije u zgradi

**Sustav hlađenja** - sustav koji služi za hlađenje zgrade, više prostorija ili samo jedne prostorije u zgradi

**PVRT-sustavi** - sustavi promjenjivog volumena radne tvari

**SPLIT-sustavi** - sustavi hlađenja ili hlađenja/grijanja s jednom vanjskom jedinicom i jednom ili više unutarnjih jedinica.

Podjela sustava grijanja s obzirom na konstrukciju i ugradnju ogrjevnih tijela:

- sustavi radijatorskog grijanja
- sustavi panelnog grijanja
- sustavi cijevnih registara
- sustavi podnog grijanja
- sustavi ventilokonvektora (parapetne, stropne i podstropne ugradnje)
- SPLIT sustavi
- PVRT sustavi
- sustavi kaloriferskog grijanja uključivo zračne zavjese
- kamini
- grijalice na kruto gorivo.

Podjela sustava hlađenja s obzirom na konstrukciju i ugradnju rashladnih tijela:

- sustavi ventilokonvektora (parapetne, stropne i podstropne ugradnje)
- sustavi cijevnih registara (hladni stropovi).

## II. TEHNIČKA SVOJSTVA SUSTAVA

Tehnička svojstva sustava grijanja i hlađenja moraju biti takva da

- se u slučaju požara spriječi širenje vatre unutar zgrade odnosno susjednih zgrada
- se u zgradi zadovolje zadani temperaturni uvjeti
- se sustavima spriječi ugrožavanje okoliša oslobađanjem opasnih plinova, para i drugih štetnih tvari kao i onečišćenja voda, zraka i tla
- se izbjegnu moguće ozljede korisnika zgrade
- razina buke bude na razini da ne ugrožava zdravlje i da se osigura noćni mir i zadovoljavajući uvjeti za odmor i rad, te da se sustavima spriječi širenje buke između pojedinih prostora u zgradi, odnosno susjednih zgrada
- osiguravaju racionalno korištenje energije.

## III. PROJEKTIRANJE SUSTAVA

Projektom sustava grijanja i hlađenja mora se dokazati da će zgrada tijekom izvođenja i uporabnog projektiranog vijeka ispunjavati bitne zahtjeve zaštite od požara, higijene, zdravlja i zaštite okoliša, sigurnosti u korištenju, zaštitu od buke te uštede energije i toplinske zaštite zgrade.

Tehničko rješenje sustava grijanja i hlađenja, kao sastavni dio glavnog projekta zgrade, obuhvaćeno je

- strojarskim projektom
- elektrotehničkim projektom
- i po potrebi arhitektonskim projektom.

Strojarski projekt sustava grijanja i hlađenja mora u sebi sadržavati projektni zadatak, tehnički opis, proračune, program kontrole i kvalitete te crteže. Od proračuna se, ovisno o sustavu, provodi termodinamički proračun toplinskih opterećenja zgrade (ljet/zima), proračun tehničkih karakteristika komponenata i dijelova sustava s postupkom odabira, proračun i odabir sustava ekspanzije, proračun toplinskih istezanja, hidraulički proračun cijevnog razvoda ogrjevnog, odnosno rashladnog medija, po potrebi akustički proračun, bilanca toplinske, rashladne i električne energije, proračun godišnje potrebne toplinske energije za grijanje i hlađenje zgrade.

U dijelu projekta koji se odnosi na tehničko rješenje sustava automatske regulacije i upravljanja, strojarski, odnosno elektrotehnički projekt mora sadržavati tehnički opis, program kontrole i kvalitete i crteže.

Arhitektonski projekt, koji se odnosi na tehničko rješenje sustava grijanja i hlađenja, mora sadržavati crteže u kojima je prikazan položaj prodora cijevnog razvoda energetskih medija u zgradi, položaj svih dijelova sustava smještenih na pročeljima i izvan zgrade te na krovu zgrade i ukupnu visinu zgrade uključivo dijelove sustava grijanja i hlađenja smještenih na krovu.

## IV. IZVOĐENJE I UPORABLJIVOST SUSTAVA

Prilikom izvođenja sustava grijanja i hlađenja, izvođač se mora pridržavati projekta, tehničkih uputa za ugradnju i uporabu proizvoda te odredaba ovog Propisa.

Dužnosti izvođača sustava prilikom preuzimanja proizvoda su da utvrdi:

- da je proizvod isporučen s odgovarajućom oznakom i da se podaci na dokumentaciji s kojom je proizvod isporučen podudaraju s podacima u oznaci proizvoda
- da je proizvod isporučen s tehničkim uputama za ugradnju i uporabu na hrvatskom jeziku
- da su svojstva uključivo i rok uporabe proizvoda te podaci značajni za njegovu ugradnju, uporabu i utjecaj na svojstva i trajnost sustava, sukladni svojstvima i podacima određenim glavnim projektom.



Dokumentaciju s kojom je proizvod isporučen izvođač je dužan pohraniti među dokaze o sukladnosti proizvoda koji se moraju nalaziti na gradilištu. Izričito je navedena zabrana ugradnje proizvoda koji je isporučen bez odgovarajućih oznaka, bez tehničkih uputa za ugradnju i uporabu na hrvatskom jeziku, koji nemaju svojstva zahtijevana projektom sustava, te kojima je istekao rok uporabe. Ugradnja proizvoda mora biti odobrena od strane nadzornog inženjera upisom u građevinski dnevnik.

## V. ODRŽAVANJE SUSTAVA

S ciljem očuvanja traženih tehničkih svojstava sustava i ispunjavanja zahtjeva određenih projektom zgrade i ovim Propisom, sustave grijanja i hlađenja je tijekom trajanja zgrade potrebno održavati. Održavanje spomenutih sustava podrazumijeva:

- *redovite preglede* sustava u razmacima i na način određen projektom zgrade i pisanom izjavom izvođača o izvedenim radovima i o uvjetima održavanja zgrade
- *izvanredne preglede* sustava nakon izvanrednog događaja ili po inspekcijskom nadzoru.

Za održavanje i servisiranje sustava dopušteno je ugrađivati samo one građevne i druge proizvode koji ispunjavaju odgovarajuće uvjete određene projektom, odnosno koji imaju povoljnija svojstva.

## VI. PRIJELAZNE I ZAVRŠNE ODREDBE

Tehnički propis o sustavima grijanja i hlađenja (NN 110/08) stupio je na snagu 31. ožujka 2009. godine.

Sastavni dio ovog propisa su prilozi A i B.

### PRILOG A – PROJEKTIRANJE SUSTAVA<sup>4</sup>

Popis normi za proračun i projektiranje:

Regulacija sustava grijanja:

HRN EN 12098-1:2003

HRN EN 12098-2:2003

HRN EN 12098-3:2003

HRN EN 12098-4:2008

Sustavi grijanja u zgradama:

HRN EN 12828:2003

HRN EN 12831:2004

HRN EN 14337:2008

Toplinske značajke zgrada:

HRN EN ISO 13789:2000

HRN EN ISO 13829:2002

## Energijska svojstva zgrada:

HRN EN 13790:2008 -

## Rashladni sustavi i dizalice topline:

HRN EN 378-1:2004

HRN EN 378-2:2004

HRN EN 378-3:2004

HRN EN 378-4:2004

HRN EN 1861:2004

HRN EN 12263:2004

HRN EN 12284:2004

HRN EN 13136:2004

HRN EN 14511:2006

## Ogrjevna tijela:

HRN EN 442-1:20XX

## Uređaji za grijanje na kruta goriva:

HRN EN 13229:2004

HRN EN 13240:2004

## Plinski uređaji za grijanje:

HRN EN 416-1:2004

HRN EN 777-1:2004

HRN EN 777-2:2004

HRN EN 777-3:2004

HRN EN 777-4:2004

HRN EN 419-1:2004

## Akustika:

HRN EN ISO 3740:2001

HRN EN ISO 11200:1998

HRN EN ISO 11201:1998

HRN ENV 13154-1:2004

HRN ENV 13154-2:2004

HRS CEN/TS 15379:2008

HRN EN ISO 16484-2:2004

HRN EN 14037-1:2004

HRN EN 437:2004

## Priznata tehnička pravila:

HRN M.E6.203

HRN M.E7.201

HRN M.E7.202

**PRILOG B – IZVOĐENJE I ODRŽAVANJE SUSTAVA**

Norme za izvođenje i održavanje sustava:

HRN EN 12170:2004

HRN EN 12171:2004

HRN EN 12828:2003

HRN EN 14336:2005

HRN EN 14337:2008

HRN EN 378-2:2004

HRN EN 378-3:2004

HRN EN 378-4:2004

HRN EN 1736:2004

HRN ENV 12102:2004

HRN EN 12263:2004

HRN EN 12284:2004

HRN EN 13313:2004

HRN ENV 12102:2004

Norme za ispitivanje i kontrolu sustava:

HRN EN 14336:2005

HRN EN 378-2:2004

HRN ISO/R 916:2004

HRN ISO 1996-1:2004

HRN ISO 1996-2:2000

HRN ISO 1996-3:2000

## 2.6. Tehnički propis o sustavima ventilacije, djelomične klimatizacije i klimatizacije zgrada (NN 03/07) s pripadajućim normama

Tehnički propis o sustavima ventilacije, djelomične klimatizacije i klimatizacije zgrada (NN 03/07) [2.11] stupio je na snagu 1. ožujka 2007. godine. Sastoji se od ukupno 6 poglavlja: I. Opće odredbe, II. Tehnička svojstva sustava, III. Projektiranje sustava, IV. Izvođenje i uporabljivost sustava, V. Održavanje sustava i VI. Prijelazne i završne odredbe.

Sastavni dio propisa su prilozi A i B.

Prilog A – Projektiranje sustava

Prilog B – Izvođenje i održavanje sustava

U prvom poglavlju (I. Opće odredbe) navedeno je što se sve propisuje Propisom [2.11], u kojim slučajevima se propis ne može primijeniti, dan je pregled definicija osnovnih pojmova, te podjela sustava ventilacije obzirom na način izmjene zraka i sustava djelomične klimatizacije i klimatizacije s obzirom na kvalitetu zraka. Propisom tražena tehnička svojstva sustava ventilacije, sustava ventilacije s procesom grijanja zraka, sustava djelomične klimatizacije i sustava klimatizacije dana su u drugom poglavlju (II. Tehnička svojstva). U trećem poglavlju (III. Projektiranje sustava) dan je detaljni sadržaj strojarskog, i po potrebi arhitektonskog/građevinskog i elektrotehničkog projekta u dijelu glavnog projekta zgrade koji se odnosi na tehničko rješenje sustava ventilacije, djelomične klimatizacije i klimatizacije. U četvrtom poglavlju (IV. Izvođenje i uporabljivost sustava) navedene su dužnosti izvođača sustava pri izvođenju sustava te prilikom preuzimanja proizvoda. Što se podrazumijeva pod održavanjem sustava i koji se proizvodi mogu ugrađivati u sustav dano je u petom poglavlju (V. Održavanje). U posljednjem poglavlju ovog Propisa (VI. Prijelazne i završne odredbe) naveden je između ostalog rok do kojega se mogu primjenjivati stara priznata tehnička pravila koja se odnose na sustave ventilacije, djelomične klimatizacije i klimatizacije.

### I. OPĆE ODREDBE

Tehničkim propisom o sustavima ventilacije, djelomične klimatizacije i klimatizacije zgrada (NN 03/07) propisuju se:

- tehnička svojstva za sustave ventilacije, sustave djelomične klimatizacije i za sustave klimatizacije u zgradama
- zahtjevi za projektiranje, izvođenje sustava, uporabljivost, održavanje i drugi zahtjevi za sustave.

Propis se ne može primijeniti na: prostore ugrožene eksplozivnom atmosferom, sustave namijenjene za odvođenje dima i topline nastalih u požaru, čiste prostore (npr. operacijske dvorane, prostori za ispitivanje lijekova, dijelovi laboratorija i dr.), skloništa, garaže, industrijske objekte i proizvodne pogone i skladišta.

Osnovni pojmovi kod sustava ventilacije, djelomične klimatizacije i klimatizacije zgrada su: sustav ventilacije, sustav klimatizacije, sustav djelomične klimatizacije, prirodna ventilacija, prisilna ventilacija, termodinamička priprema zraka, zgrada.

Podjela sustava ventilacije s obzirom na način izmjene zraka:

- sustavi s prirodnom izmjenom zraka
- sustavi s prisilnom izmjenom zraka.

Podjela sustava djelomične klimatizacije s obzirom na kvalitetu zraka:

- sustavi za rad s vanjskim zrakom
- sustavi za rad bez vanjskog zraka
- sustavi za rad s mješavinom vanjskog i optoćnog zraka.

Podjela sustava klimatizacije s obzirom na kvalitetu zraka:

- sustavi za rad s vanjskim zrakom
- sustavi za rad s mješavinom vanjskog i optoćnog zraka.

## II. TEHNIČKA SVOJSTVA SUSTAVA

Tehnička svojstva sustava ventilacije moraju biti takva da

- se u slučaju požara spriječi širenje vatre i dima unutar zgrade, odnosno širenje vatre na susjedne građevine
- se u zgradi zadovolje uvjeti kvalitete zraka te spriječi sakupljanje vlage u dijelovima zgrade ili na površinama unutar zgrade
- se izbjegnu moguće ozljede korisnika zgrade
- razina buke bude na takvoj razini da ne ugrožava zdravlje i da se osigura noćni mir i zadovoljavajući uvjeti za odmor i rad, te da se sustavima spriječi širenje buke između pojedinih prostora u zgradi.

Tehnička svojstva sustava ventilacije s procesom grijanja zraka, sustava djelomične klimatizacije i sustava klimatizacije moraju, uz tehnička svojstva koja se iziskuju od sustava ventilacije, dodatno osigurati zadovoljavajuće toplinske uvjete u zgradi uz potrošnju energije jednaku ili nižu od potrošnje određene posebnim propisom. U slučaju adaptacije, odnosno rekonstrukcije zgrade, sustavi ventilacije, djelomične klimatizacije i klimatizacije zgrada kao sastavni dio zgrade moraju imati gore navedena tehnička svojstva.

## III. PROJEKTIRANJE SUSTAVA

Projektom sustava ventilacije, djelomične ventilacije i klimatizacije mora se dokazati da će zgrada tijekom izvođenja sustava i projektiranog uporabnog vijeka ispunjavati bitne zahtjeve zaštite od požara, higijene, zdravlja i zaštite okoliša, sigurnosti u korištenju, zaštite od buke te procesima gospodarenja energijom u svrhu uštede energije i toplinske zaštite zgrade.

U glavnom projektu zgrade dio koji se odnosi na tehničko rješenje sustava ventilacije, djelomične klimatizacije i klimatizacije i uvjete za njegovo izvođenje i održavanje sastoji se od

- strojarskog projekta
- arhitektonskog i/ili građevinskog projekta (po potrebi) i
- elektrotehničkog projekta (po potrebi).

Strojarski dio tehničkog rješenja sustava mora sadržavati tehnički opis, proračune, program kontrole i osiguranja kvalitete i crteže. Od proračuna je potrebno provesti proračun toplinskih opterećenja zgrade (ljet/zima), proračun tehničkih svojstava elemenata, hidraulički proračun vodnih i zračnih sustava, proračun sustava povrata energije za sve uređaje s količinom vanjskog zraka većom od 2500 m<sup>3</sup>/h, akustički proračun sustava te bilancu toplinske, rashladne i električne energije za sve elektromotorne pogone.

Arhitektonski ili građevinski projekt, koji se odnosi na tehničko rješenje sustava, mora između ostalog sadržavati nacрте kojima se prikazuje položaj prodora i prolaza ventilacijskih kanala i cijevnog razvoda medija unutar zgrade, položaj ulaznih i izlaznih otvora ventilacijskih kanala, položaj svih dijelova sustava zgrade smještenih na krovu zgrade i visina zgrade uključivo navedene dijelove te položaj svih dijelova sustava eventualno smještenih na pročeljima zgrade. Strojarski, odnosno elektrotehnički dio glavnog projekta, koji se odnosi na tehničko rješenja podsustava automatske regulacije, mora sadržavati tehnički opis, program kontrole i osiguranja kvalitete te crteže s funkcionalnim shemama podsustava i međusobnim funkcionalnim povezivanjem komponenata podsustava.

## IV. IZVOĐENJE I UPORABLJIVOST SUSTAVA

Prilikom izvođenja sustava ventilacije, djelomične klimatizacije i klimatizacije izvođač se mora pridržavati projekta, tehničkih uputa za ugradnju i uporabu proizvoda te odredaba Propisa [2.11].

Dužnosti izvođača sustava prilikom preuzimanja proizvoda su da utvrdi:

- da je proizvod isporučen s odgovarajućom oznakom i da se podaci na dokumentaciji s kojom je proizvod isporučen podudaraju s podacima u oznaci proizvoda
- da je proizvod isporučen s tehničkim uputama za ugradnju i uporabu na hrvatskom jeziku
- da su svojstva uključivo i rok uporabe proizvoda te podaci značajni za njegovu ugradnju, uporabu i utjecaj na svojstva i trajnost sustava sukladni svojstvima i podacima određenim glavnim projektom.

Dokumentaciju s kojom je proizvod isporučen izvođač je dužan pohraniti među dokaze o sukladnosti proizvoda koji se moraju nalaziti na gradilištu. Izričito je navedena zabrana ugradnje proizvoda koji je isporučen bez odgovarajućih oznaka, bez tehničkih uputa za ugradnju i uporabu na hrvatskom jeziku, koji nemaju svojstva zahtijevana projektom sustava, te kojima je istekao rok uporabe. Ugradnju proizvoda mora odobriti nadzorni inženjer upisom u građevinski dnevnik.

## V. ODRŽAVANJE SUSTAVA

S ciljem očuvanja traženih tehničkih svojstava sustava i ispunjavanja zahtjeva određenih projektom zgrade i ovim Propisom sustave ventilacije, djelomične klimatizacije i klimatizacije je tijekom trajanja zgrade potrebno održavati. Održavanje spomenutih sustava podrazumijeva:

- *redovite preglede* sustava u razmacima i na način određen projektom građevine i ovim Propisom
- *izvanredne preglede* sustava nakon izvanrednog događaja ili po inspekcijskom nadzoru
- *izvođenje radova* kojima se sustav zadržava ili vraća u stanje određeno projektom građevine i ovim Propisom.

Za održavanje sustava dopušteno je koristiti samo one proizvode za koje su ispunjeni propisani uvjeti i za koje je izdana isprava o sukladnosti prema odgovarajućem propisu.

## VI. PRIJELAZNE I ZAVRŠNE ODREDBE

Tehnički propis o sustavima ventilacije, djelomične klimatizacije i klimatizacije zgrada (NN 03/07) stupio je na snagu 1. ožujka 2007. godine. Sastavni dio ovog propisa su prilogi A i B.

## PRILOG A – PROJEKTIRANJE SUSTAVA<sup>5</sup>

Norme koje se odnose na proračun i projektiranje su:

HRN EN 1505:2003  
HRN EN 1506:2003  
HRN CR 1752:2004  
HRN EN 12792:2006  
HRN EN 14511-1:2006  
HRN EN 12831:2004  
HRN EN 13154-1:2004  
HRN EN 13154-2:2004  
HRN EN 13180:2004  
HRN EN 13403:2004  
HRN EN 13465:2004  
HRN EN 13779:2008  
HRN EN ISO 7730:2003  
HRN ENV 12102:2004  
HRN EN 307:2004  
HRN ISO 18144:2004  
HRN ISO 2631-2:1999

Norme iz područja ventilacije koje su usvojene poslije donošenja Tehničkog propisa o sustavima ventilacije, djelomične klimatizacije i klimatizacije zgrada (NN 03/07):

HRN EN 15241:2008  
HRN EN 15242:2008  
HRN EN 15243:2008

Popis priznatih tehničkih pravila:

HRN U.C2.200:1971

HRN U.C2.201:1971

HRN U.C2.202:1971

HRN U.J5.600:1987

Objašnjenje normi dano je u Prilogu I na kraju priručnika.

## **PRILOG B – IZVOĐENJE I ODRŽAVANJE SUSTAVA**

Norme koje se odnose na izvođenje i održavanje sustava su:

HRN ENV 12097:2003

HRN EN 12237:2004

HRN ISO 2631-2:1999

Norme koje se odnose na ispitivanje i kontrolu sustava su:

HRN ENV 12237:2004

HRN ISO 12792:2006

HRN EN 13182:2004

HRN EN 14134:2004

HRN EN ISO 7730:2003

HRN EN 12341:2006

HRN ISO 1996-1:2004

HRN ISO 1996-2:2000

HRN ISO 1996-3:2000

HRN EN ISO 11200:1998

HRN EN ISO 11201:1998

HRN EN ISO 9612:2000

HRN ENV 12102:2004

HRN EN 1366-1:2002

HRN EN 1366-2:2002

HRN ISO 2631-1:1999

HRN ISO 2631-2:1999

## 2.7. Tehnički propis za dimnjake u građevinama (NN 03/07) s pripadajućim normama

Tehnički propis za dimnjake u građevinama (NN 03/07) [2.12] stupio je na snagu 1. ožujka 2007. godine. Sastoji se od ukupno 7 poglavlja: I. Opće odredbe, II. Tehnička svojstva dimnjaka, III. Građevni proizvodi za dimnjake, IV. Projektiranje dimnjaka, V. Izvođenje i uporabljivost dimnjaka, VI. Održavanje dimnjaka i VII. Prijelazne i završne odredbe.

Sastavni dio propisa su i prilozi A, B, C i D.

Prilog A – Glineni/keramički, betonski i metalni proizvodi za dimnjake

Prilog B – Predgotovljeni (sistemski) dimnjaci

Prilog C – Projektiranje dimnjaka

Prilog D – Izvođenje i održavanje dimnjaka.

U prvom poglavlju (I. Opće odredbe), navedeno je što propis propisuje, gdje se propis ne može primijeniti, dane su definicije osnovnih pojmova kod dimnovodnih sustava, navedene su tri osnovne vrste dimnjaka s obzirom na način izvođenja, te su navedeni građevni proizvodi namijenjeni ugradnji u dimnjake na koje se ovaj propis primjenjuje.

U poglavlju II. Tehnička svojstva, navedena su tehnička svojstva koja moraju imati dimnjaci.

Treće poglavlje (III. Građevni proizvodi za dimnjake) odnosi se na građevne proizvode od kojih dimnjaci mogu izrađivati. Navedeni su uvjeti koje građevni proizvodi moraju imati da bi se ugradili u dimnjak. U slučaju nesukladnosti građevnog proizvoda za izradu dimnjaka dane su mjere koje je proizvođač, odnosno uvoznik dužan poduzeti.

Osnovni naputci od važnosti za projektiranje dimnjaka dani su u četvrtom poglavlju (IV. Projektiranje dimnjaka). Detaljno je navedeno što sve mora sadržavati arhitektonski ili građevinski te strojarski dio glavnog projekta građevine u dijelu koji se odnosi na tehničko rješenje dimnjaka. Naglašeno je da svi projekti građevina stambene i stambeno-poslovne namjene moraju imati i tehničko rješenje pričuvnog dimnjaka na kruta goriva u izvanrednim situacijama. Dan je najveći dopušteni broj ložišta na kruta goriva koji se mogu priključiti na jedan pričuvni dimnjak.

U petom poglavlju (V. Izvođenje i uporabljivost dimnjaka) navedene su dužnosti izvođača pri izvođenju dimnjaka te prilikom preuzimanja građevnog proizvoda namijenjenog ugradnji u dimnjak.

U šestom poglavlju (VI. Održavanje) ovog propisa, koje se bavi održavanjem dimnjaka, navedeno je što se podrazumijeva pod održavanjem dimnjaka, te koji se građevni proizvodi mogu koristiti za održavanje dimnjaka.

U posljednjem poglavlju ovog Propisa (VII. Prijelazne i završne odredbe) naveden je između ostalog rok do kojega se mogu primjenjivati stara priznata tehnička pravila koja se odnose na dimnjak.

### I. OPĆE ODREDBE

Tehničkim propisom za dimnjake u građevinama (NN 03/07) (u nastavku propis) propisuju se:

- tehnička svojstva za dimnjake u građevinama
- zahtjevi za projektiranje, izvođenje, uporabljivost, održavanje dimnjaka i drugi zahtjevi za dimnjake te
- tehnička svojstva i drugi zahtjevi za građevne proizvode namijenjene ugradnji u dimnjake.

Propis se ne može primijeniti na samostojeće dimnjake koji sami za sebe čine građevnu cjelinu i na dimnjake koji su isključivo u funkciji proizvodnog pogona.

S obzirom na način izvođenja postoje tri osnovne vrste dimnjaka:

- montažni
- predgotovljeni (sistemski)
- zidani.



Definicije osnovnih pojmova kod dimovodnih sustava:

**Dimnjak** – dio građevnog sklopa građevine, u obliku vertikalnog ili približno vertikalnog kanala postojan na požar čađe, koji služi za siguran i neometan odvod dimnih plinova u vanjsku atmosferu, nastalih radom na dimnjak priključenog ložišta

**Montažni dimnjak** – dimnjak koji se izvodi na gradilištu od međusobno usklađenih građevnih proizvoda

**Predgotovljeni (sistemski) dimnjak** – dimnjak sastavljen u proizvodnom pogonu izvan gradilišta od međusobno usklađenih građevnih proizvoda i drugih proizvoda, koji se kao predgotovljeni građevni proizvod ugrađuje u građevinu

**Zidani dimnjak** – dimnjak koji se zida na gradilištu od punih opeka

**Dimovod** – prolaz za provođenje produkata izgaranja u vanjsku atmosferu

U vrijeme nesigurne opskrbe energijom, uslijed različitih utjecaja (npr. nestabilna opskrba plinom, nedostatak električne energije, različite prirodne katastrofe ...) u Tehničkom propisu za dimnjake u građevinama (NN 03/07), definiran je i pričuvni dimnjak na koji se u izvanrednim situacijama priključuju manja ložišta na kruta goriva, te takav dimnjak ne može služiti kao zamjena za glavni dimnjak u građevini.

Građevni proizvodi za izradu dimnjaka na koje se primjenjuje ovaj propis su:

- glineni/keramički proizvodi za dimnjake
- metalni proizvodi za dimnjake
- betonski proizvodi za dimnjake
- predgotovljeni (sistemski) dimnjaci
- drugi građevni proizvodi.

## II. TEHNIČKA SVOJSTVA DIMNJAKA

Prema Tehničkom propisu za dimnjake u građevinama tehnička svojstva dimnjaka moraju biti takva da tijekom izvođenja i uporabe dimnjaka:

- predvidiva djelovanja na građevinu ne prouzroče rušenje ili oštećenje dimnjaka
- ne prouzroči, prenese i/ili širi požar
- ne proizvode buku preko dopuštene razine
- uslijed odvođenja dimnih plinova iz ložišta ne budu ugrožena higijena, zdravlje ljudi i okoliš
- se izbjegniju moguće ozljede korisnika
- potrošnja energije bude jednaka propisanoj razini ili manjoj od nje.

Navedena tehnička svojstva dimnjaka postižu se projektiranjem i izvođenjem dimnjaka, dok se očuvanje tehničkih svojstava tijekom cijelog životnog vijeka građevine i samog dimnjaka postiže održavanjem dimnjaka u skladu s ovim propisom. Kod adaptacije, odnosno rekonstrukcije građevine, dimnjak kao sastavni dio građevine mora imati jednaka ili povoljnija tehnička svojstva nego prije rekonstrukcije, odnosno adaptacije. U slučaju promjene uređaja za loženje i/ili promjene goriva, dimnjak mora također sadržavati navedena tehnička svojstva. Uz održavanje navedenih tehničkih svojstava izuzetno je važna usklađenost uređaja za loženje i dimnjaka, što se postiže u tehničkom rješenju dimnjaka.

## III. GRAĐEVNI PROIZVODI ZA DIMNJAKE

Građevni proizvodi za dimnjake proizvode se u proizvodnim pogonima izvan gradilišta, a smije se ugraditi u dimnjak, odnosno u građevinu ako ispunjava zahtjeve ovog Propisa i ako je za njega izdana isprava o sukladnosti. U slučaju nesukladnosti građevnog proizvoda s tehničkim specifikacijama za taj proizvod, proizvođač građevnog proizvoda je dužan odmah prekinuti proizvodnju i poduzeti mjere radi utvrđivanja i otklanjanja pogrešaka. Ako je već došlo do isporuke nesukladnog građevnog proizvoda za dimnjake, proizvođač, odnosno uvoznik mora o tome odmah obavijestiti sve kupce, distributere, ovlaštenu pravnu osobu koja je sudjelovala u potvrđivanju sukladnosti i Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva.

#### IV. PROJEKTIRANJE DIMNJAKA

Svjetli otvor dimovodnog kanala mora biti takav da se osigura neometano odvođenje dimnih plinova u atmosferu stvaranjem odgovarajućeg podtlaka ili predtlaka. Na jednu dimovodnu cijev smiju se priključiti samo kompatibilni uređaji za loženje koji koriste istu vrstu goriva.

Tehničko rješenje dimnjaka, kao sastavni dio glavnog projekta građevine, obuhvaćeno je:

- arhitektonskim i/ili građevinskim projektom
- strojarskim projektom.

Arhitektonski ili građevinski projekt, koji se odnosi na tehničko rješenje dimnjaka, sastoji se od tehničkog opisa, programa kontrole i osiguranja kvalitete i nacрта. Od nacрта u arhitektonskom, odnosno građevinskom dijelu tehničkog rješenja dimnjaka, potrebno je dati broj i položaj priključaka uređaja za loženje, položaj dimnjaka u građevini, položaj izlaznog otvora dimnjaka i njegova visina iznad krova građevine, položaj naprava za pristup dimnjaku i pristupnih otvora s vratašcima za kontrolu i čišćenje. Strojarski dio tehničkog rješenja dimnjaka sastoji se od tehničkog opisa, proračuna dimnjaka i programa kontrole i osiguranja kvalitete. Od proračuna je između ostalog potrebno dati proračun svijetlog otvora dimnjaka za odabrane karakteristike uređaja za loženje, proračun korisne visine dimnjaka.

Glavni projekt obiteljske kuće i jednostavne građevine u dijelu koji se odnosi na dimnjak sastoji se od tehničkog opisa i nacрта. Iz nacрта mora biti vidljiv položaj dimnjaka u građevini, položaj izlaznog otvora dimnjaka i njegova visina iznad krova građevine te položaj naprava za pristup dimnjaku i pristupnih otvora s vratašcima namijenjenih za kontrolu i čišćenje.

Nadalje, svi projekti građevina stambene i stambene-poslovne namjene obvezno moraju imati i tehničko rješenje pričuvnog dimnjaka. Broj i raspored pričuvnih dimnjaka određuje se tako da svaka stambena jedinica ima najmanje jedan priključak na pričuveni dimnjak. Na jedan pričuveni dimnjak dopušteno je priključivanje najviše pet ložišta na kruta goriva.

Projekt obiteljske kuće ne mora sadržavati tehničko rješenje pričuvnog dimnjaka.

#### V. IZVOĐENJE I UPORABLJIVOST DIMNJAKA

Prilikom izvođenja dimnjaka izvođač se mora pridržavati dijela projekta koji se odnosi na dimnjak, tehničkih uputa za ugradnju i uporabu s kojima odgovarajući građevni proizvodi za dimnjake moraju biti isporučeni te odredaba ovoga Propisa. Dužnosti izvođača prilikom preuzimanja građevnih proizvoda namijenjenih ugradnji u dimnjak su da utvrdi:

- da je građevni proizvod isporučen s odgovarajućim oznakama i da se podaci na dokumentaciji s kojom je građevni proizvod isporučen podudaraju s podacima u propisanoj oznaci
- da je građevni proizvod isporučen s tehničkim uputama za ugradnju i uporabu
- da su svojstva uključivo i rok uporabe građevnog proizvoda te podaci značajni za njegovu ugradnju, uporabu i utjecaj na svojstva i trajnost dimnjaka sukladni svojstvima i podacima određenim glavnim projektom.

Dokumentaciju s kojom je građevni proizvod isporučen izvođač je dužan pohraniti među dokaze o sukladnosti građevnih proizvoda koji se moraju nalaziti na gradilištu. Izričito je navedena zabrana ugradnje dimnjaka, odnosno građevnih proizvoda za izradu dimnjaka u slučaju montažnog dimnjaka bez odgovarajućih oznaka, tehničkih uputa za ugradnju i uporabu, koji nemaju svojstva zahtijevana projektom građevine, te kojima je istekao rok uporabe.

Dimnjak ima projektom predviđena tehnička svojstva i uporabljiv je ako:

- su građevni proizvodi ugrađeni u dimnjak na propisani način i imaju ispravu o sukladnosti
- su uvjeti građenja i druge okolnosti bile sukladne zahtjevima iz projekta
- dimnjak ima dokaze u nepropusnosti u slučajevima kada je takav dokaz propisan kao obavezan, odnosno zahtijevan projektom.

Ako se dokaže da izvedeni dimnjak nema tehnička svojstva tražena ovim propisom, potrebno je pristupiti izradi projekta sanacije dimnjaka.

## VI. ODRŽAVANJE DIMNJAKA

S ciljem očuvanja tehničkih svojstava dimnjaka i ispunjavanja zahtjeva određenih projektom građevine i ovim Propisom, dimnjake je tijekom trajanja građevine potrebno održavati. Održavanje dimnjaka podrazumijeva:

- redovite preglede dimnjaka u razmacima i na način određen projektom građevine i ovim Propisom
- izvanredne preglede dimnjaka nakon izvanrednog događaja ili po inspekcijskom nadzoru
- izvođenje radova kojima se dimnjak zadržava ili vraća u stanje određeno projektom građevine i ovim Propisom.

Za održavanje dimnjaka dopušteno je koristiti samo one građevne proizvode za koje su ispunjeni propisani uvjeti i za koje je izdana isprava o sukladnosti.

## VII. PRIJELAZNE I ZAVRŠNE ODREDBE

Tehnički propis za dimnjake u građevinama (NN 03/07) stupio je na snagu 1. ožujka 2007. godine.

Sastavni dio ovog propisa su prilozi A, B, C i D.

### PRILOG A – GLINENI/KERAMIČKI, BETONSKI I METALNI PROIZVODI ZA DIMNJAKE<sup>6</sup>

Norme za glinene/keramičke, betonske i metalne građevne proizvode:

HRN EN 1443:2003

HRN EN 1457:2003

HRN EN 1806:2003

HRN EN 13502:2004

HRN EN 1857:2003

HRN EN 1858:2003

HRN EN 12446:2003

HRN EN 1856-1:2003

HRN EN 1856-2:2004

HRN EN 12391-1:2004

### PRILOG B – PREDGOTOVLJENI (SISTEMSKI) DIMNJACI

Norme za predgotovljene (sistemske) dimnjake:

HRN EN 1443:2003

HRN EN 13063-1:2006

HRN EN 13063-2:2006

HRN EN 13069:2005

HRN EN 1856-1:2003

### PRILOG C – PROJEKTIRANJE DIMNJAKA

Norme za projektiranje i proračun:

HRN EN 1443:2003

HRN DIN 18160-1:2003

HRN DIN 18160-5:2003

HRN EN 13384-1:2003

HRN EN 13384-1/AC:2004

HRN EN 13384-2:2003

## PRILOG D – IZVOĐENJE I ODRŽAVANJE DIMNJAKA

Norme za izvođenje i održavanje dimnjaka:

HRN EN 1457:2003

HRN EN 1806:2003

HRN EN 13502:2004

HRN EN 13063-1:2006

HRN EN 13063-2:2005

HRN EN 13069:2005

HRN EN 12391-1:2004

HRN DIN 18160-1:2003

HRN DIN 18160-5:2003

Norme za ispitivanje dimnjaka:

HRN EN 1859:2003

HRN EN 13216-1:2004

## 2.8. Pregled normi za provedbu EPBD-a

### 2.8.1. Krovni dokument TR 15615

**TR 15615:** Explanation of the general relationship between various European standards and the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) - Umbrella document.

Krovni dokument koji objašnjava opće odnose među različitim EN normama i Direktivom o energetske svojstvima zgrada [2.1]. Opisuje europske norme koje su predviđene za potporu Direktive, pružanjem proračunskih metoda i pratećih materijala za određivanje ukupnih energetske svojstava zgrada. U prilogu A norme su organizirane u hijerarhijskoj strukturi. Sadržaj pojedinih norma je sumiran u prilogu B. Prilog C daje popis definicija, prilog D popis oznaka koje se nadalje konzistentno koriste u normama.

U nastavku je dan kratki prikaz najvažnijih normi za proračun energetske svojstava zgrada [2.14][2.15].

### 2.8.2. Norme za proračun ukupne energije u zgradama

Norme za proračun ukupne energije u zgradama, odnosno metode proračuna dane ovim normama, baziraju se na rezultatima proračuna provedenih po normama u poglavlju Norme vezane za proračun isporučene finalne energije.

**HRN EN 15603:2008** Energetska svojstva zgrada – opća uporaba energije i definicija energetske razreda / Energy performance of buildings - Overall energy use and definition of energy ratings

Norma definira načine korištenja energije koje je potrebno uključiti u ukupnu potrebnu energiju u zgradama i metode ocjenjivanja za nove i postojeće zgrade. Norma prikazuje ukupne energetske potrebe zgrade: za grijanje, hlađenje, toplu vodu, osvjetljenje, uključujući i gubitke sustava i pomoćnu energiju.

Uloga standarda je:

- povezivanje rezultata iz drugih norma za proračun potrebne energije za posebne sustave u zgradama
- uključivanje energije proizvedene u zgradama, dio koje može biti korišten izvan zgrade
- daje sumu ukupne korištene energije u zgradama u tabelarnom obliku
- pruža energetska ocjena baziranu na primarnoj energiji, emisijama CO<sub>2</sub> i drugim parametrima definiranim nacionalnim propisima

- uspostavlja opće principe za proračun faktora primarne energije i emisija CO<sub>2</sub>
- daje metode za proračun standardnog energetskeg razreda, standardnog korištenja energije, neovisno o načinu korištenja, stvarne klimatske i druge stvarne (okolišne ili unutarnje) uvjete
- daje metode ocjenjivanja energetskeg razreda prema izmjerenim podacima, bazirano na isporučenoj i izvezenoj energiji
- daje metodologiju poboljšanja točnosti proračunskih modela zgrade usporedbom s izmjerenom potrošnjom
- daje metodu određivanja energetske učinkovitosti mogućim poboljšanjima zgrada.

Na nacionalnoj bazi određuje se:

- tip određivanja energetskeg razreda
- uvjeti pod kojima se u određivanje energetskeg razreda zgrade, na temelju izračuna za stvarnu zgradu, može uključiti određivanje energetskeg razreda prema projektu
- hoće li će se obnovljiva energija proizvedena na mjestu zgrade uključiti u isporučenu energiju ili ne.

U početnom dijelu norma definira bitne pojmove, a u nastavku oznake, jedinice i indekse.

Nadalje, normom se određuje način određivanja energetskeg svojstva zgrada – korištenje energije prema pojedinim tehničkim sustavima zgrada, vrste energetskeg razreda i njihovu svrhu, te u prilogima norme (informativnog karaktera) metode prikupljanja podataka o zgradama (podaci o ovojnici zgrade, toplinski kapacitet, sustavi grijanja, sustavi ventilacije, sustavi hlađenja, djelovanje zgrade), nadzor i praćenje energije, procjenu potrebne energije za ostale funkcije zgrada, ogrjevnost vrijednost goriva, faktore pretvorbe za primarnu energiju i CO<sub>2</sub> emisije, primjer određivanja intervala pouzdanosti, te primjer određivanja energetskeg razreda jedne zgrade.

**HRN EN 15217:2007** Energetska svojstva zgrada – Metode za izražavanje energetskeg svojstva zgrada i za certifikaciju zgrada s obzirom na energiju / Energy performance of buildings - Methods for expressing energy performance and for energy certification of buildings

Norma definira metode izražavanja energetskeg svojstva zgrada kroz indikatore za izražavanje energetskeg svojstva cjelokupne zgrade, uključujući grijanje, ventilaciju, klimatizaciju, potrošnu toplu vodu i rasvjetu; daje načine izražavanja potrebne energije za projektiranje novih zgrada i rekonstrukciju postojećih; postupke za određivanje referentnih vrijednosti te načine izrade procedure za energetska certifikaciju zgrada.

Indikator energetskeg svojstva:

- Energetska svojstva zgrade se prezentira ukupnim indikatorom – pokazateljem energetskeg svojstva **EP** koji predstavlja zbroj isporučene i izvezene energije po energetskeg nositelju.

*EP* se može izraziti:

- primarnom energijom
- emisijom CO<sub>2</sub>
- neto isporučenom energijom vaganom drugim parametrom određenim nacionalnom energetskeg politikom.

Indikatori se mogu razlikovati za:

- nove zgrade
- postojeće koje se obnavljaju
- nadograđeni dio postojeće zgrade
- različite tipove zgrada.

Norma definira i pojmove energetske certifikacije, energetskeg certifikata, energetskeg razreda, referentne vrijednosti i drugo, te prateće oznake, jedinice i indekse.

Dodaci:

- postupak dokumentacije energetskeg certificiranja zgrade
- postupak klasifikacije energetskeg svojstva zgrade
- format energetskeg certifikata
- zahtjevi na svojstva ovojnice zgrade i komponente sustava.

Prilog A je predložak za nacionalna tijela koja uspostavljaju proceduru energetske certifikacije na nacionalnoj razini.

Prilog B daje jednostavni postupak za definiciju energetske razreda konzistentnu za sve tipove zgrada.

Prilog C opisuje predložene formate energetske certifikata.

Prilog D daje primjer načina određivanja zahtjeva za ovojnicu zgrade i komponente sustava.

**HRN EN 15459:2008** Energetska svojstva zgrada – Postupak ekonomske ocjene energetske sustava u zgradama / Energy performance of buildings - Economic evaluation procedure for energy systems in buildings

Norma daje podatke i proračunske metode za ekonomsku ocjenu sustava grijanja i ostalih sustava u potrošnji energije u zgradama.

### 2.8.3. Norme vezane za proračun isporučene finalne energije

Ove norme predstavljaju poveznicu između energetske potreba zgrade i ukupne finalne energije isporučene zgradi za grijanje, hlađenjem, ventilaciju, potrošnu toplu vodu i rasvjetu.

**HRN EN 15316:2008** Sustavi grijanja u zgradama – Metode proračuna energetske zahtjeva i učinkovitosti sustava / Heating systems in buildings - Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies

Norma se sastoji od 4 dijela, u ukupno 12 dokumenata:

1. Opći zahtjevi
2. Sustavi grijanja i hlađenja zgrada
3. Sustavi potrošne tople vode
4. Izvori topline.

**HRN EN 15316-1:2008** Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energetske zahtjeva i učinkovitosti sustava – 1. dio: Općenito

Norma uređuje potrebne ulazne podatke, izlazne podatke te strukturu proračunske metode za potrebnu energiju sustava. Energetska svojstva se mogu ocijeniti ili na temelju učinkovitosti sustava, ili prema vrijednostima gubitaka zbog neučinkovitosti sustava, prema analizi energetske svojstva sljedećih segmenata sustava grijanja i pripreme potrošne tople vode:

- ogrjevna tijela s regulacijom
- distribucija energije s regulacijom
- spremnici energije s regulacijom
- izvori energije s regulacijom.

**HRN EN 15316-2-1** Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energetske zahtjeva i učinkovitosti sustava – Dio 2-1: Sustavi za grijanje prostora zračenjem topline

Energetska svojstva mogu se odrediti ili prema karakteristikama ogrjevnih tijela ili prema gubicima sustava. Metoda se bazira na analizi sljedećih karakteristika sustava:

- nejednolika distribucija temperature u prostoru
- ogrjevna tijela ugrađena u građevinske dijelove
- kontrola unutarnje temperature.

**HRN EN 15316-2-3** Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energetske zahtjeva i učinkovitosti sustava – Dio 2-3: Razvodi sustava grijanja prostora

Norma daje metodologiju proračuna/procjene emisije topline sustava razvoda s vodom kao medijem i pomoćne potrebe, kao i nadoknadive gubitke i nadoknadivu pomoćnu energiju.

**HRN EN 15316-3** Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energetske potrebe i učinkovitosti sustava – Sustavi za pripremu potrošne tople vode

Norma daje metode za proračun potrebne energije i učinkovitosti za sustave pripreme potrošne tople vode za sve tipove zgrada u tri dijela:

**HRN EN 15316-3-1** Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energetske potrebe i učinkovitosti sustava – Dio 3-1: Sustavi za pripremu potrošne tople vode, pokazatelji potreba prema izljevnom mjestu

**HRN EN 15316-3-2** Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energetske potrebe i učinkovitosti sustava – Dio 3-2: Sustavi za pripremu potrošne tople vode, razvod

**HRN EN 15316-3-3** Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energetske potrebe i učinkovitosti sustava – Dio 3-3: Sustavi za pripremu potrošne tople vode, zagrijavanje

**HRN EN 15316-4:2008** Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energetske potrebe i učinkovitosti sustava

Daje metode za izračun učinkovitosti sustava i/ili gubitaka i pomoćne energije. Sastoji se od 7 dijelova:

**HRN EN 15316-4-1:2008** Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energetske potrebe i učinkovitosti sustava – Dio 4-1: Sustavi za proizvodnju topline izgaranjem (kotlovi)

**HRN EN 15316-4-2:2008** Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energetske potrebe i učinkovitosti sustava – Dio 4-2: Sustavi za proizvodnju topline, sustavi dizalica topline

**HRN EN 15316-4-3:2008** Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energetske potrebe i učinkovitosti sustava – Dio 4-3: Sustavi za proizvodnju topline, toplinski sustavi sunčevog zračenja

**HRN EN 15316-4-4:2008** Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energetske potrebe i učinkovitosti sustava – Dio 4-4: Sustavi za proizvodnju topline, sustavi kogeneracije uklopljeni u zgradu

**HRN EN 15316-4-5:2008** Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energetske potrebe i učinkovitosti sustava – Dio 4-5: Sustavi za proizvodnju topline za grijanje prostora, pokazatelji i kvaliteta daljinskog grijanja i sustava velikih volumena

**HRN EN 15316-4-6:2008** Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energetske potrebe i učinkovitosti sustava – Dio 4-6: Sustavi za proizvodnju topline, fotonaponski sustavi

**HRN EN 15316-4-7:2008** Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energetske potrebe i učinkovitosti sustava – Dio 4-7: Sustavi za proizvodnju topline izgaranjem biomase

**HRN EN 15243:2008** Ventilacija u zgradama – Proračun temperatura, opterećenja i energije u prostorijama zgrada sa sustavima klimatizacije prostora / Ventilation for buildings - Calculation of room temperatures and of load and energy for buildings with room conditioning systems

Proračun temperatura u prostorijama i opterećenja za zgrade sa sustavima klimatizacije prostora – definira postupke za proračun temperatura, osjetnih opterećenja i potrebne energije za prostorije; latentno opterećenje za grijanje i hlađenje prostora, opterećenje za grijanje, hlađenje, ovlaživanje i odvlaživanje zgrada i opterećenje sustava grijanja, hlađenja, ovlaživanja i odvlaživanja. Metoda je dana kao opća satna metoda proračuna, te kao pojednostavljene metode proračuna.

**HRN EN 15377-1:2008** Sustavi grijanja u zgradama -- Projektiranje ugradbenih sustava površinskog grijanja i hlađenja vodom -- 1. dio: Određivanje učinka grijanja i hlađenja / Heating systems in buildings -- Design of embedded water based surface heating and cooling systems -- Part 1: Determination of the design heating and cooling capacity

**HRN EN 15377-2:2008** Sustavi grijanja u zgradama -- Projektiranje ugradbenih sustava površinskog grijanja i hlađenja vodom -- 2. dio: Projektiranje, dimenzioniranje i ugradnja / Heating systems in buildings -- Design of embedded water based surface heating and cooling systems -- Part 2: Design, dimensioning and installation

**HRN EN 15377-3:2008** Sustavi grijanja u zgradama -- Projektiranje ugradbenih sustava površinskog grijanja i hlađenja vodom -- 3. dio: Optimiranje uporabe obnovljivih izvora energije / Heating systems in buildings -- Design of embedded water based surface heating and cooling systems -- Part 3: Optimizing for use of renewable energy sources

**HRN EN 15241:2008** Ventilacija u zgradama – Metode proračuna energijskih gubitaka zbog ventilacije i infiltracije u poslovnim zgradama / Ventilation for buildings – Calculation methods for energy losses due to ventilation and infiltration in commercial buildings

Norma opisuje metode proračuna utjecaja ventilacijskih sustava (uključivo i prozračivanje) u zgradama za korištenje u proračunima potrebne energije, učina grijanja i učina hlađenja. Svrha norme je određivanje načina proračuna karakteristika (temperatura, vlažnost) svježeg zraka i odgovarajuće potrebne energije za obradu zraka u obliku potrebne pomoćne električne energije

**HRN EN 15232:2008** Energetska svojstva zgrada - Utjecaj automatizacije zgrada, nadzor i upravljanje zgradama / Energy performance of buildings - Impact of Building Automation, Controls and Building Management

Norma određuje učin normiranih ušteda i optimizacije sustava automatizacije i upravljanja zgradama i tehničkog upravljanja zgradama i sustavima. Sumira metodologije proračuna potrebne energije za grijanje, ventilaciju, hlađenje, potrošnu toplu vodu i rasvjetu zgrada i izražava uštede energije i efikasnost u zgradama kroz primjenu različitih funkcija uštede energije sustava automatizacije i upravljanja zgradama.

**HRN EN 15193:2008** Energetska svojstva zgrada – Energetski zahtjevi za rasvjetu / Energy performance of buildings – Energy requirements for lighting

Norma određuje metodu proračuna za određivanje potrebne energije za rasvjetu zgrada i pruža numerički indikator za potrebnu energiju za rasvjetu zgrada za potrebe certifikacije zgrada. Također pruža i metodologiju proračuna dinamičkih potreba za energijom za procjenu ukupnih energetskih svojstava zgrada.

#### 2.8.4. Norme vezane za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje

**HRN EN ISO 13790:2008** Energetska svojstva zgrada - Proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora / Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling

Norma pruža metode proračuna za određivanje potrebne godišnje energije za grijanje i hlađenje stambenih i nestambenih zgrada, ili dijelove zgrada. Uključuje proračun prolaska topline transmisijom i ventilacijom za zgrade grijane ili hlađene na stalnu unutarnju temperaturu; proračun unutarnjih dobitaka i solarnih dobitaka topline u ukupnoj potrebnoj energiji; godišnju potrebnu energiju za grijanje i hlađenje; dodatnu godišnju energiju za ventilaciju. Zgrade mogu imati više zona s različitim unutarnjim projektnim temperaturama, i mogu imati prekidno grijanje i hlađenje. Proračunski interval je mjesec, sat, ili (za stambene zgrade) sezona grijanja ili hlađenja. Norma daje osnovna pravila za rubne uvjete i ulazne klimatske podatke neovisno o odabranoj metodi proračuna.

**HRN EN 15255:2008** Energetska svojstva zgrada - Proračun opterećenja primjetnog ohlađivanja prostora - Opći kriteriji i postupci provjeravanja / Thermal performance of buildings - Sensible room cooling load calculation - General criteria and validation procedures

Norma određuje razinu ulaznih i izlaznih podataka i propisuje rubne uvjete za proračun osjetnog hlađenja jedne prostorije pri konstantnoj ili promjenjivoj temperaturi, uključujući ograničenje vršne snage hlađenja. Uključuje klasifikaciju proračunskih metoda i kriterije koje metoda mora zadovoljiti da bi ispunila zahtjeve ove norme. Svrha je vrjednovanje proračunskih metoda koje se koriste za određivanje maksimalnog učina za odabir opreme i projektiranje sustava GVK; vrjednovanje temperaturnih profila kod smanjenih učina sustava; pružiti podatke za vrjednovanje najboljih mogućnosti smanjenja opterećenja; dopustiti analizu djelomičnog opterećenja za projektiranje, vođenje i nadzor sustava.

**HRN EN 15265:2008** Energetska svojstva zgrada - Proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora upotrebom dinamičkih metoda - Opći kriteriji i postupci provjeravanja / Thermal performance of buildings - Calculation of energy needs for space heating and cooling systems using dynamic methods - General criteria and validation procedures

Određuje pretpostavke, rubne uvjete i testove za provjeru proračunskih metoda za godišnju potrebnu energiju za grijanje i hlađenje zgrada (ili dijelova zgrada) kod vršenja proračuna i satnim intervalima, ne određujući posebnu numeričku tehniku. Svrha norme je vrjednovanje proračunskih metoda koje se koriste za proračune energetskih karakteristika svakog prostora u zgradama; pruža podatke o energiji koji se koriste za razmjenu s analizama karakteristika sustava (GVK, rasvjeta, potrošna topla voda, itd.).



## Norme za potporu – Toplinska svojstva građevnih dijelova

**HRN EN ISO 13789:2008** Toplinska svojstva zgrada – Koeficijenti prijelaza topline transmisijom i ventilacijom – Metoda proračuna / Thermal performance of buildings - Transmission and ventilation heat transfer coefficients - Calculation method  
Određuje metode i pruža konvencije za proračun koeficijenata stacionarnog proračuna transmisijskih i ventilacijskih gubitaka čitave zgrade i dijelova zgrada. Primjenjivo i na gubitke topline (unutarnja temperatura viša od vanjske) i na dobitke (unutarnja toplina niža od vanjske).

**HRN EN ISO 13786:2008** Toplinska svojstva građevnih dijelova zgrade – Dinamičke toplinske značajke – Metode proračuna / Thermal performance of building components - Dynamic thermal characteristics - Calculation methods  
Određuje karakteristike u odnosu na dinamičko toplinsko ponašanje građevnih dijelova i daje metode za njihov proračun.

**HRN EN ISO 6946:2008** Građevni dijelovi i građevni dijelovi zgrade – Toplinski otpor i koeficijent prolaska topline – Metoda proračuna / Building components and building elements - Thermal resistance and thermal transmittance - Calculation method  
Metoda proračuna toplinskog otpora i prolaska topline građevnih dijelova, bez vrata, prozora i drugih ostakljenih konstrukcija, građevnih dijelova u kontaktu s tlom i građevnih dijelova kroz koje je projektiran prolaz zraka. Proračunska metoda se bazira na odgovarajućim projektnim vrijednostima toplinske vodljivosti ili toplinskog otpora materijala. Metoda je primjenjiva za građevne dijelove koji se sastoje od toplinski homogenih slojeva u što su uključeni i slojevi zraka. Također normom je dana i približna metoda za građevne dijelove koji sadrže nehomogene slojeve uključujući i utjecaj metalnih pričvrsnica korekcijskim faktorima opisanim u dodatku norme.

**HRN EN ISO 13370:2008** Toplinska svojstva zgrada – Prijenos topline preko tla – Metode proračuna / Thermal performance of buildings - Heat transfer via the ground - Calculation methods

Daje metode proračuna koeficijenata prolaska topline i prolaska topline za građevne dijelove u toplinskom kontaktu s tlom, uključujući podove na tlu, podove iznad tla i podume. Primjenjuje se na građevne dijelove ili njihove dijelove ispod horizontalne ravnine vanjskih zidova zgrade. Uključuje proračun stacionarnog dijela prolaska topline (godišnji prosječni prolaz topline) i dio prolaska topline zbog peridičkih godišnjih varijacija u temperaturama (sezonske varijacije prolaska topline oko prosječnog godišnjeg).

**HRN EN 13947:2008** Toplinska svojstva ovješanih fasada – Proračun koeficijenta prolaska topline / Thermal performance of curtain walling - Calculation of thermal transmittance

Metode proračuna prolaska topline kroz ovješena pročelja koja se sastoje od ostakljenih i/ili neprozirnih panela ugrađenih ili pričvršćenih na okvire. Detaljne i pojednostavljene metode. Uključuje različite vrste ostakljenja, okvire od svih materijala, različite vrste neprozirnih panela obloženih metalom, staklom, keramikom ili bilo kojim drugim materijalom, utjecaj toplinskih mostova na ostakljene površine, površine okvira i površine ispune.

**HRN EN ISO 10077-1:2008** Toplinska svojstva prozora, vrata i zaslona – Proračun koeficijenta prolaska topline – 1. dio: Općenito / Thermal performance of windows, doors and shutters - Calculation of thermal transmittance - Part 1: General  
Određuje metode proračuna prolaska topline kroz prozore i vrata za prolaz pješaka koji se sastoje od ostakljenih i/ili neprozirnih panela u okvirima, s i bez kapaka. Dopušta različite vrste ostakljenja, neprozirnih panela, različite vrste okvira i dodaje dodatni toplinski otpor za zatvorene kapke gdje je to prikladno.

**HRN EN ISO 10077-2:2008** Toplinska svojstva prozora, vrata i zaslona – Proračun koeficijenta prolaska topline – 2. dio: numerička metoda za okvire / Thermal performance of windows, doors and shutters - Calculation of thermal transmittance - Part 2: Numerical method for frames

Određuje metodu i daje podatke o materijalima potrebne za proračun prolaska topline vartikalnih profila okvira, i linijski koeficijent prolaska topline. Može se koristiti i za ocjenu toplinskog otpora profila kapaka i toplinske karakteristike kutija roleta.

**HRN EN ISO 10211:2008** Toplinski mostovi u zgradarstvu – Toplinski tokovi i površinske temperature – Detaljni proračuni / Thermal bridges in building construction - Heat flows and surface temperatures - Detailed calculations

Daje specifikacije za 3D i 2D geometrijski model toplinskog mosta za numerički proračun prolaska topline i površinskih temperatura. Specifikacije uključuju geometrijske granice i podjelu modela, toplinske rubne uvjete i toplinske vrijednosti i odnose za korištenje u proračunima.

**HRN EN ISO 14683:2008** Toplinski mostovi u zgradarstvu – Linearni koeficijent prolaska topline – Pojednostavljene metode i zadane utvrđene vrijednosti / Thermal bridges in building construction - Linear thermal transmittance - Simplified methods and default values

Određuje pojednostavljene metode za određivanje prolaska topline kroz linijske toplinske mostove koji se pojavljuju na spojevima građevnih dijelova. Određuje zahtjeve za kataloge toplinskih mostova i ručne metode proračuna. Pruža unaprijed određene vrijednosti linijskog prolaska topline.

**HRN EN ISO 10456:2008** Građevni materijali i proizvodi – Svojstva s obzirom na toplinu i vlagu – Tablične projektne vrijednosti i postupci određivanja nazivnih i projektnih toplinskih vrijednosti / Building materials and products - Hygrothermal properties - Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values  
Norma određuje način utvrđivanja i izražavanja projektnih vrijednosti homogenih građevnih materijala i proizvoda, s postupcima za pretvorbu vrijednosti dobivenih pode određenim uvjetima za druge rubne uvjete, koji vrijede u rasponima okolišnih temperatura između -30°C i +60°C. Daje koeficijente konverzije za temperaturu i vlagu. Ovi koeficijenti su važeći za srednje temperature u rasponu 0 – 30°C. Također, norma daje podatke za proračun prolaska topline i vlage u tabelarnom obliku, za toplinski homogene materijale i proizvode koji se uobičajeno koriste u gradnji zgrada.

#### **Norme za potporu – Ventilacija i infiltracija**

**HRN EN 15242:2008** Ventilacija u zgradama – Metode proračuna za određivanje protoka zraka u zgradama uključujući infiltraciju / Ventilation for buildings - Calculation methods for the determination of air flow rates in buildings including infiltration

Opisuje metodu proračuna protoka zraka za ventilaciju zgrada za primjenu u proračunima potrebne energije, učina grijanja i hlađenja, ljetnog komfora i vrjednovanje kvalitete unutarnjeg zraka. Primjenjuje se na mehanički ventilirane zgrade; pasivne kanale; hibridne sustave izmjenjivanja mehaničkih i prirodnih načina ventilacije; ručno otvaranje prozora za ventilaciju ili povećanje ljetne udobnosti.

**HRN EN 13779:2008** Ventilacija u nestambenim zgradama – Zahtjevi za sustave ventilacije i klimatizacije / Ventilation for non-residential buildings - Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems

Daje indikatore karakteristika ventilacijskih sustava. Primjenjiva za projektiranje ventilacijskih i klimatizacijskih sustava nestambenih zgrada koje koriste ljudi, osim za industrijske procese (primjena za stambene zgrade se obrađuje u normi HRN EN 14788)

#### **Norme za potporu – Pregrijavanje i zaštita od osunčanja**

**HRN EN ISO 13791:2008** Toplinska svojstva zgrada – Proračun unutrašnjih sobnih temperatura u ljetnom razdoblju bez mehaničkog hlađenja – Opći kriteriji i postupci provjeravanja / Thermal performance of buildings -- Calculation of internal temperatures of a room in summer without mechanical cooling -- General criteria and validation procedures

Određuje pretpostavke, rubne uvjete, jednadžbe i testove za proračunske postupke, pod tranzijentnim satnim uvjetima, unutarnjih temperatura (temperatura zraka, radna temperatura) u toplom razdoblju jednog prostora bez opreme za grijanje ili hlađenje u funkciji. Nisu određene specifične numeričke tehnike.

**HRN EN ISO 13792:2008** Toplinska svojstva zgrada – Proračun unutrašnjih sobnih temperatura u ljetnom razdoblju bez mehaničkog hlađenja – Pojednostavljene metode / Thermal performance of buildings - Calculation of internal temperatures of a room in summer without mechanical cooling - Simplified methods

Određuje nužne ulazne podatke za pojednostavljenu metodu proračuna najveće, najmanje i prosječne operative temperature prostorije u toplom razdoblju, kako bi se odredile karakteristike prostorije i izbjeglo pregrijavanje prostorije u projektnoj fazi ili odredilo je li potrebna ugradnja rashladnog sustava. Daje mjerila koja mora zadovoljiti proračunska metoda kao bi udovoljila normiranim zahtjevima.

**HRN EN 13363-1: 2008/Ispr. 1:2008** Naprave za zaštitu od sunca u kombinaciji s ostakljenjem – Proračun sunčanog i svjetlosnog prolaska – 1. dio: Pojednostavljena metoda / Solar protection devices combined with glazing - Calculation of solar and light transmittance - Part 1: Simplified method

Određuje pojednostavljenu metodu temeljenu na prolasku topline i ukupnom prolasku sunčanog zračenja ostakljenja te prolasku topline i refleksiji uređaja za zaštitu od osunčanja za procjenu ukupno propuštanje sunčane energije naprave za zaštitu od sunčanog zračenja u kombinaciji s ostakljenjem. Primjenjivo za sve vrste zaštite od insolacije paralelne s ostakljenjem. Za žaluzine i pomične brisoleje se pretpostavlja da će biti podešeni tako da nema direktnog prolaska solarnog zračenja.

**HRN EN 13363-2: 2008** Naprave za zaštitu od sunca u kombinaciji s ostakljenjem -- Proračun ukupnog propuštanja sunčeve energije i propuštanja svjetlosti -- 2 dio: Detaljna metoda proračuna / Solar protection devices combined with glazing - Calculation of total solar energy transmittance and light transmittance -- Part 2: Detailed calculation method

Određuje detaljnu metodu proračuna temeljenu na spektralnim transmisivnim podacima o materijalima naprava za zaštitu od osunčanja i stakla za određivanje ukupnog propuštanja sunčane energije i drugih relevantnih sunčanih i optičkih podataka o kombinaciji. Vrijedi za sve vrste naprava paralelnih s ostakljenjem. Dopušta prozračivanje naprava u svakom položaju za određivanje energije apsorbirane napravom ili ostakljenjem za vertikalnu orijentaciju ostakljenja.

### **Norme za potporu – Unutarnji uvjeti i vanjska klima**

**HRN CR 1752:2004** Ventilacija u zgradama – Projektni kriteriji za unutrašnjost / Ventilation for buildings -- Design criteria for the indoor environment

Određuje zahtjeve i metode za izražavanje kvalitete unutarnjeg prostora za projektiranje, narudžbu, korištenje i upravljanje ventilacijskih i klimatizacijskih sustava. Pokriva unutarnje prostore namijenjene za ljude, ali isključuju stambene i zgrade s posebnih zahtjevima industrijskih procesa.

**HRN EN 15251:2008** Ulazni mikroklimatski parametri za projektiranje i ocjenjivanje energijskih značajka zgrada koji se odnose na kvalitetu zraka, toplinsku lagodnost, osvjetljenje i akustiku / Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics

Određuje parametre utjecaja i/ili kriterije za unutarnji prostor za projektiranje tehničkih sustava zgrade i proračun energetskih karakteristika. Također određuje metode za dugoročno vrjednovanje postignutih mikroklimatskih uvjeta kao rezultata proračuna ili mjerenja. Primarno primjenjivo u neindustrijskim zgradama gdje kriterije za unutarnju mikroklimu određuju potrebe ljudskog boravka i gdje procesi i proizvodnja nemaju najveći učinak na mikroklimu.

**HRN EN ISO 15927-1** Značajke zgrada s obzirom na toplinu i vlagu – Proračun i prikaz klimatskih podataka – 1. dio: Prosječne mjesečne vrijednosti pojedinih meteoroloških elemenata / Hygrothermal performance of buildings - Calculation and presentation of climatic data - Part 1: Monthly and annual means of single meteorological elements

Određuje postupke izračuna i prikaza srednjih mjesečnih vrijednosti onih parametara koji su potrebni za određivanje pojedinih higrotermalnih karakteristika zgrada. Obuhvaća temperaturu zraka, vlažnost zraka, brzinu vjetra, padaline, insolaciju, dugovalno zračenje.

**HRN EN ISO 15927-4** Značajke zgrada s obzirom na toplinu i vlagu - Proračun i prikaz klimatskih podataka - 4. dio: Vrijednosti po satu, za procjenu godišnje potrošnje energije za grijanje i hlađenje / Hygrothermal performance of buildings - Calculation and presentation of climatic data - Part 4: Hourly data for assessing the annual energy use for heating and cooling

Određuje metodu za određivanje referentne godine satnih podataka prikladnih za određivanje prosječne godišnje energije za grijanje i hlađenje

**HRN EN ISO 15927-5** Značajke zgrada s obzirom na toplinu i vlagu -- Proračun i prikaz klimatskih podataka - 5. dio: Podaci za proračun toplinskog opterećenja za grijanje prostora / Hygrothermal performance of buildings - Calculation and presentation of climatic data - Part 5: Data for design heat load for space heating

Određuje definiciju, metodu proračuna i metodu izražavanja klimatskih podataka za određivanje učina grijanja u zgradama s vanjskim zimskim projektnim temperaturama, brzinom i orijentacijom vjetra.

**HRN EN ISO 15927-6** Značajke zgrada s obzirom na toplinu i vlagu - Proračun i prikaz klimatskih podataka - 6. dio: Akumulirana toplinska razlika ( stupanj – dan ) / Hygrothermal performance of buildings - Calculation and presentation of climatic data - Part 6: Accumulated temperature differences (degree-days)

Određuje definiciju, metodu proračuna i metodu izražavanja podataka o akumuliranim temperaturnim razlikama koji se koriste za određivanje potrebne energije za grijanje u zgradama.

Norme EN ISO 15927 – 2 i EN ISO 15927 – 3 još uvijek nisu preuzete.

### **Norme za potporu – Definicije i terminologija**

**HRN EN ISO 7345:** Toplinska izolacija -- Fizikalne veličine i definicije /Thermal insulation -- Physical quantities and definitions  
Definira fizikalne veličine u području toplinske izolacije, te odgovarajuće oznake i jedinice.

**HRN EN ISO 9288: 1998** Toplinska izolacija -- Prijenos topline zračenjem - Fizikalne veličine i definicije / Thermal insulation - Heat transfer by radiation - Physical quantities and definitions  
Definira fizikalne veličine u području toplinske izolacije u dijelu prijenosa topline zračenjem, te odgovarajuće oznake i jedinice.

**HRN EN ISO 9251:2002** Toplinska izolacija - Uvjeti prijenosa topline i svojstva materijala – Rječnik /Thermal insulation -- Heat transfer conditions and properties of materials - Vocabulary  
Određuje pojmove u području toplinske izolacije za opisivanje uvjeta i svojstva materijala.

**HRN EN 12792:2006** Ventilacija u zgradama - Simboli, nazivlje i grafički simboli /Ventilation for buildings - Symbols, terminology and graphical symbols  
Određuje simbole i terminologiju u EN normama u području ventilacije u zgradama.

## **2.8.5 Norme vezane uz praćenje i potvrđivanje energetske svojstva**

**HRN EN 12599: 2004** Ventilacija u zgradama -- Ispitni postupci i mjerne metode za primopredaju izvedenih sustava ventilacije i klimatizacije / Ventilation for buildings -- Test procedures and measuring methods for handing over installed ventilation and air conditioning systems

Određuje kontrole, ispitne metode i mjerne instrumente za kontrolu podobnosti ugrađenih sustava u fazi primopredaje. Pruža izbor između jednostavnih ispitnih metoda i ekstenzivnih mjerenja.

Primjenjiva na mehaničke sustave ventilacije i klimatizacije prema HRN EN 12792 koji se sastoje od bilo kojega od sljedećih uređaja:

- terminalni uređaji i jedinice
- uređaji za ventilaciju
- uređaji za distribuciju zraka (dobava, odzračivanje, ispuh)
- zaštita od požara
- automatski kontrolni uređaji.

Ne određuje postupke kojima se sustav postavlja, prilagođava i balansira i postupke za unutarnju kontrolu kvalitete prije primopredaje.

**HRN EN 13829:2002** Toplinske značajke zgrada - Određivanje propusnosti zraka kod zgrada - Metoda razlike tlakova / Thermal performance of buildings - Determination of air permeability of buildings - Fan pressurization method  
Mjerenje zrakopropusnosti zgrada ili dijelova zgrada in situ. Određuje korištenje metode razlike tlakova na dijelu zgrade ili čitavoj zgradi. Opisuje mjerenje rezultirajuće zrakopropusnosti kroz raspon razlika tlakova.

**HRN EN ISO 12569:2002** Toplinska izolacija zgrada - Određivanje izmjene zraka u zgradama - Metoda s plinom kao indikatorom / Thermal insulation in buildings - Determination of air change in buildings - Tracer gas dilution method

Opisuje korištenje plina kao indikatora za određivanje izmjene zraka u jednoj zoni inducirane vremenskim uvjetima ili mehaničkom ventilacijom. Uključuje opadanje koncentracije, stalno ubrizgavanje i stalnu koncentraciju.

**HRN EN 13187:2000** Toplinske značajke zgrada - Kvalitativno otkrivanje toplinskih mostova u obodnim konstrukcijama zgrada -- Metoda infracrvenog snimanja / Thermal performance of buildings -- Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes -- Infrared method

Određuje kvalitativnu metodu termografskog ispitivanja za određivanje termalnih nepravilnosti u građevnoj ovojnici. Metoda se koristi inicijalno za određivanje velikih varijacija u toplinskim karakteristikama, uključujući i zrakopropusnost, dijelova koji čine vanjsku ovojnicu zgrade. Rezultate mora interpretirati posebno školovana osoba.

**HRN EN 15378:2008** Sustavi grijanja u zgradama -- Nadzor nad kotlovima i sustavima grijanja / Heating systems in buildings -- Inspection of boilers and heating systems

Određuje postupke pregleda i opcijske metode mjerenja za određivanje energetske karakteristike postojećih kotlova i sustava grijanja. Uključuje kotlove za grijanje, potrošnu toplu vodu ili oboje; plinske kotlove, kotlove na tekuće i kruta goriva (uključivo biomasa). Također uključuje razvod, uključivo i povezane komponente i regulaciju, ogrjevna tijela s dodacima, te sustave regulacije grijanja prostora.

**HRN EN 15239:2008** Ventilacija u zgradama -- Energetske značajke zgrada -- Smjernice za provjeru ventilacijskih sustava / Ventilation for buildings -- Energy performance of buildings -- Guidelines for inspection of ventilation systems

Daje metodologiju za ispitivanje sustava mehaničke i prirodne ventilacije u pogledu potrošnje energije, primjenjivo za sve zgrade. Svrha je ocjena djelovanja sustava i utjecaj na potrošnju energije. Uključuje prijedloge za moguća poboljšanja sustava.

**HRN EN 15240:2008** Ventilacija u zgradama -- Energijske značajke zgrada -- Smjernice za provjeru sustava pripreme zraka / Ventilation for buildings -- Energy performance of buildings -- Guidelines for inspection of air-conditioning systems

Opisuje uobičajenu metodologiju za pregled klimatizacijskih sustava u zgradama za hlađenje prostora ili grijanje sa stanovišta potrošnje energije. Svrha je ocjena energetske karakteristike i pravilno dimenzioniranje sustava, uključujući promjene u odnosu na izvorno stanje i naknadnim izmjenama projekta, stvarne zahtjeve i trenutno stanje zgrade; ispravnost djelovanja sustava; djelovanje i postavke regulacije; djelovanje i svrhovitost različitih komponenti; stupanj djelovanja.

## Reference

- [2.1] *Direktiva 2002/91/EC o energetskim svojstvima zgrada / Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings* (Official Journal L 001, 04/01/2003)
- [2.2] *Directive 2010/31/EU of the European parliament and of the council of 19 may 2010 on the energy performance of buildings (recast)*, (Official Journal L 153, 18/06/2010)
- [2.3] *Akcijski plan za implementaciju EPBD-a u hrvatsko zakonodavstvo*, Vlada Republike Hrvatske, ožujak/travanj 2008.
- [2.4] *Zakon o prostornom uređenju i gradnji*, NN 76/07 i 38/09
- [2.5] *Zakon o učinkovitom korištenju energije u neposrednoj potrošnji* (NN 152/08)
- [2.6] *Pravilnik o energetskom certificiranju zgrada* NN 113/08 i *Pravilnik o izmjenama Pravilnika o energetskom certificiranju zgrada* NN 91/09, *Pravilnik o energetskom certificiranju zgrada* NN 36/10
- [2.7] *Pravilnik o uvjetima i mjerilima za osobe koje provode energetske preglede i energetsko certificiranje zgrada* NN 113/08 i *Pravilnik o izmjenama i dopunama Pravilnika o uvjetima i mjerilima za osobe koje provode energetske preglede i energetsko certificiranje zgrada* NN 89/09
- [2.8] *Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti zgrada* NN 110/08 i *Tehnički propis o izmjeni Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama* NN 89/09
- [2.9] *Tehnički propis za prozore i vrata* NN 69/06
- [2.10] *Tehnički propis o sustavima grijanja i hlađenja zgrada* NN 110/08
- [2.11] *Tehnički propis o sustavima ventilacije, djelomične klimatizacije i klimatizacije zgrada* NN 03/07
- [2.12] *Tehnički propis za dimnjake u građevinama* NN 03/07
- [2.13] *Metodologija provođenja energetskog pregleda zgrada*, Energetski institut Hrvoje Požar, MZOPUG, lipanj 2009.
- [2.14] Dick van Dijk (2009) ANNEXES to report: *Background, status and future of CEN-EPBD standards*
- [2.15] List of CEN standards to support the EPBD, <http://www.buildup.eu>
- [2.16] <http://www.mzopu.hr>
- [2.17] <http://www.hzn.hr>
- [2.18] <http://ec.europa.eu/>
- [2.19] <http://www.buildup.eu>
- [2.20] <http://www.iee-cense.eu>



### 3. ENERGETIKA I FIZIKA ZGRADE

#### 3.1. Vlažni zrak: kretanje zraka, topline i vlage

Uz temperaturu zraka, parametar bitan za osiguravanje udobnosti u prostoru je vlažnost zraka. Propisane optimalne vrijednosti vlažnosti zraka variraju, ovisno o namjeni prostora. Za osiguravanje i održavanje tih vrijednosti u prostoru potrebno je razumjeti fizikalna svojstva vlažnog zraka, ali i svojstva građevinskih materijala i struktura vezanih za vlagu, te mehanizme njezinog transporta.

##### 3.1.1. Svojstva vlažnog zraka

Vlažni zrak je smjesa suhog zraka i vlage. Vлага se u zraku može pojaviti u tri agregatna stanja: kao para, kapljevina ili led. Ako se u vlažnom zraku vлага pojavljuje samo u obliku pregrijane pare, takav se zrak naziva nezasićenim vlažnim zrakom. Ako se uz paru pojavljuje i vлага u obliku kapljevine i/ili leda, radi se o zasićenom vlažnom zraku.

Za opisivanje stanja vlažnog zraka u praksi najčešće se koristi fizikalna veličina: sadržaj vlage. Sadržaj vlage predstavlja omjer između mase vlage sadržane u vlažnom zraku (bez obzira na agregatno stanje) i mase suhog zraka, prema izrazu:

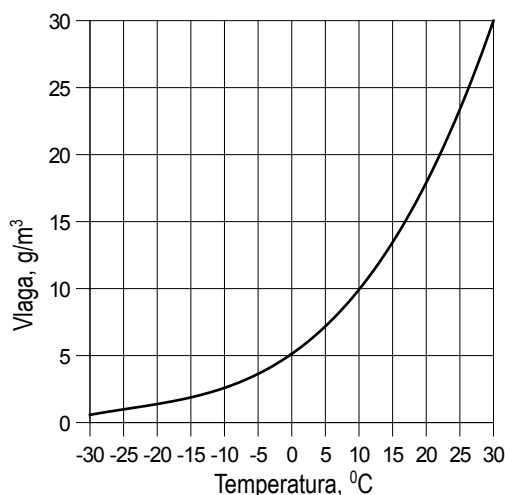
$$x = \frac{m_w}{m_{sz}} \quad (3.1)$$

pri čemu je:

$m_w$  - masa vlage sadržana u vlažnom zraku, [ kg<sub>w</sub> ]

$m_{sz}$  - masa suhog zraka, [ kg<sub>sz</sub> ]

Budući da je masa vlage u vlažnom zraku promjenljiva, proračuni procesa s vlažnim zrakom rade se tako da se sve specifične veličine odnose na vlažni zrak, ali se izražavaju po kg suhoga zraka. Količina vlage koja je u zraku sadržana u obliku vodene pare, pri određenoj temperaturi, ne može biti veća od maksimalne. Ta maksimalna količina vlage u zraku u obliku pare određena je ukupnim tlakom vlažnog zraka i njegovom temperaturom. S porastom temperature zraka raste maksimalna količina vlage koja može biti sadržana u vlažnom zraku u obliku vodene pare. Sadržaj vlage u nezasićenom vlažnom zraku može se naznačiti i u g/m<sup>3</sup> (gramima vodene pare po kubičnom metru vlažnoga zraka). Ovako iskazana vlažnost zraka naziva se apsolutnom vlažnošću. Ovisnost između temperature i apsolutne vlažnosti vlažnog zraka, za slučaj kada je parcijalni tlak vodene pare u vlažnom zraku upravo jednak tlaku zasićenja je grafički prikazana na slici 3.1.



Slika 3.1 - Dijagram ovisnosti maksimalne mase vodene pare u zraku o njegovoj temperaturi (p = 1 bar)



Primjer: iz dijagrama moguće je očitati da pri temperaturi od 25°C i apsolutnom tlaku od 1 bar, zrak može sadržavati maksimalno 23 g vodene pare po m<sup>3</sup>. U području nezasićenog vlažnog zraka stanje zraka najčešće se iskazuje relativnom vlažnošću zraka. Relativna vlažnost zraka za određenu temperaturu predstavlja omjer stvarne apsolutne vlažnosti zraka i maksimalno moguće apsolutne vlažnosti (kada je zrak zasićen). Budući da se u tom području oba sudionika u smjesi (suhi zrak i para) mogu tretirati kao idealni plinovi, relativna se vlažnost zraka može iskazati i kao omjer parcijalnog tlaka u zraku sadržane vodene pare  $p_d$  i tlaka zasićenja pare  $p_s$  pri istoj temperaturi  $\vartheta$ .

$$\varphi = \frac{p_d(\vartheta)}{p_s(\vartheta)} \quad (3.2)$$

Relativna vlažnost zraka izražava se u postocima (%) i kreće se od 0% (potpuno suhi zrak) do 100% (zrak je potpuno zasićen). Preko relativne vlažnosti zraka može se izračunati i sadržaj vlage za područje nezasićenog vlažnog zraka prema jednadžbi (3.3):

$$x = 0,622 \cdot \frac{p_d(\vartheta)}{p - p_d(\vartheta)} \quad (3.3)$$

Ako se zrak određene apsolutne vlažnosti hladi, njegova će relativna vlažnost rasti jer snižavanjem se temperature smanjuje i iznos maksimalne moguće količine vlage koju zrak može sadržavati u obliku pare. U određenom trenutku će zrak biti u stanju potpune zasićenosti, nakon čega bi daljnjim hlađenjem došlo do kondenzacije vodene pare iz zraka i do zamagljivanja zraka. Ta se temperatura, pri kojoj relativna vlažnost u zraku dosegne 100%, naziva temperaturom rošenja,  $\vartheta_r$ .

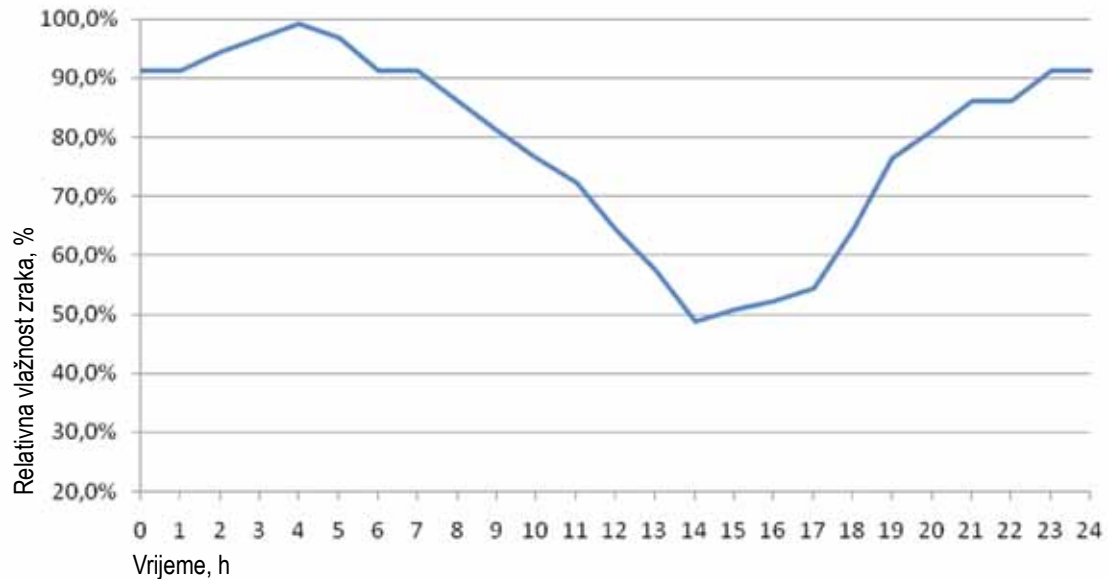
Primjer: za zrak apsolutne vlažnosti 16 g/m<sup>3</sup> i temperature 25°C relativna vlažnost zraka iznosi 70%, a temperatura rošenja približno 19°C.

Tablica 3.1 prikazuje tlakove zasićenja i maksimalan sadržaj vlage u zraku u stanju zasićenosti pri različitim temperaturama zraka.

**Tablica 3.1 - Tablica stanja zasićenog vlažnog zraka**

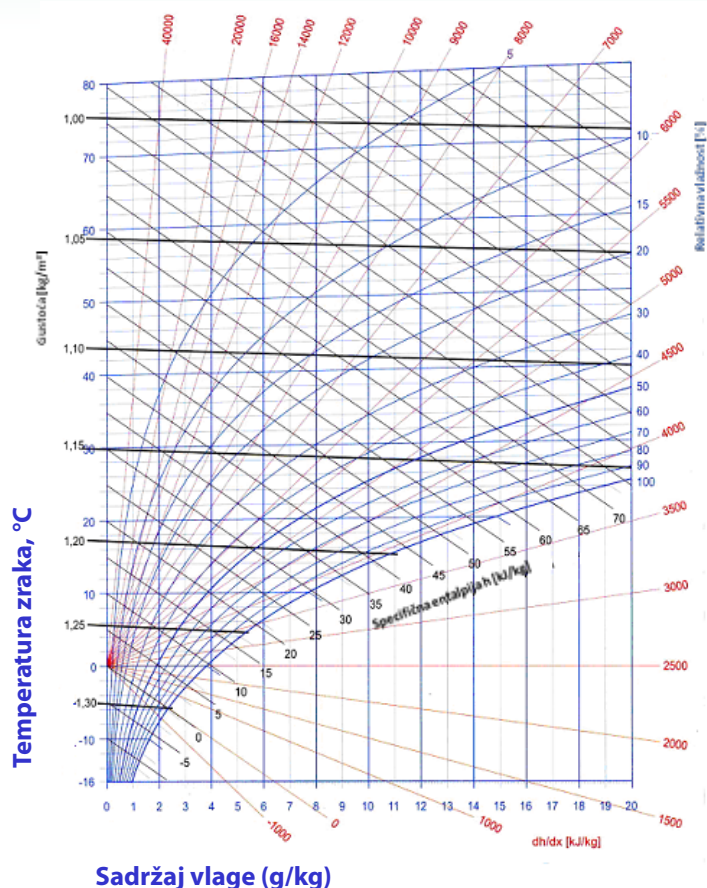
$\vartheta, ^\circ\text{C}$	$p_{\text{sat}}, \text{Pa}$	$x_{\text{sat}}, \text{g/m}^3$	$\vartheta, ^\circ\text{C}$	$p_{\text{sat}}, \text{Pa}$	$x_{\text{sat}}, \text{g/m}^3$	$\vartheta, ^\circ\text{C}$	$p_{\text{sat}}, \text{Pa}$	$x_{\text{sat}}, \text{g/m}^3$
-20	103	0,88	0	611	4,84	20	2337	17,25
-19	113	0,96	1	656	5,18	21	2486	18,28
-18	124	1,05	2	705	5,55	22	2642	19,37
-17	137	1,15	3	757	5,93	23	2808	20,51
-16	150	1,26	4	813	6,34	24	2982	21,71
-15	165	1,38	5	872	6,78	25	3166	22,97
-14	181	1,51	6	935	7,24	26	3359	24,30
-13	198	1,65	7	1001	7,73	27	3563	25,68
-12	217	1,80	8	1072	8,25	28	3778	27,14
-11	237	1,96	9	1147	8,80	29	4003	28,66
-10	259	2,13	10	1227	9,38	30	4241	30,26
-9	283	2,32	11	1312	9,99	31	4490	31,94
-8	309	2,52	12	1402	10,64	32	4752	33,69
-7	338	2,74	13	1497	11,32	33	5027	35,52
-6	368	2,98	14	1598	12,04	34	5316	37,44
-5	401	3,24	15	1704	12,80	35	5619	39,45
-4	437	3,51	16	1817	13,60	36	5937	41,55
-3	475	3,81	17	1937	14,44	37	6271	43,74
-2	517	4,13	18	2063	15,33	38	6621	46,03
-1	562	4,47	19	2196	16,26	39	6987	48,43

Iznos relativne vlažnosti zraka mijenja se tijekom dana. Tipičan primjer je ljetni dan u kojemu se temperatura zraka kreće od najnižih jutarnjih temperatura na razini od 16°C (oko 4 sata ujutro) do maksimalne temperature od 29°C koja se postiže u 14 sati poslijepodne. Pretpostavka je stalni sadržaj vlage u zraku tijekom dana od 14 g/m<sup>3</sup> (u realnim uvjetima ova vrijednost u ljetnim danima neznatno varira tijekom dana). Kako je vidljivo na slici 3.2, s padom temperature zraka, zbog snižavanja tlaka zasićenja vodene pare u zraku, dolazi do porasta relativne vlažnosti zraka. Očekivano, u najtoplijem dijelu dana, relativna vlažnost zraka opada jer s povišenjem temperature i tlakovi zasićenja vodene pare u zraku postaju viši.



**Slika 3.2 - Dijagram promjene relativne vlažnosti zraka tijekom dana uz pretpostavljeni stalan sadržaj vlage i promjenjivu temperaturu zraka**

Važno je spomenuti i sljedeće: s obzirom da se vodena para u prostoriji raspoređuje jednoliko, a temperatura zraka nije jednolika (toliji je zrak uz strop, razlika temperatura zraka od poda do stropa kod normalnih stropnih visina iznosi oko 4°C) relativna će vlažnost zraka biti veća uz pod, a manja uz strop.



Slika 3.3 – Mollierov dijagram

Za potrebe proračuna procesa koji uključuju vlažni zrak (npr. procesa klimatizacije prostora) koristi se Mollierov dijagram (slika 3.3). Mollierov dijagram daje grafički prikaz stanja vlažnog zraka, na slici za apsolutni tlak vlažnog zraka 1 bar.

Na apscisi dijagrama je sadržaj vlage izražen u gramima vlage po kilogramu suhoga zraka, a na ordinati je specifična entalpija vlažnoga zraka svedena na kilogram suhoga zraka. Radi se o kosokutnom Mollierovom dijagramu. U dijagramu se može očitati i relativnu vlažnost zraka (plave krivulje konstantne relativne vlažnosti) čija se skala nalazi na desnoj ordinati. Izoterme (linije konstantne temperatura zraka) u °C prikazane su pravcima (plava boja) sa skalom naznačenom na lijevoj ordinati. Linije konstantne gustoće vlažnog zraka prikazane su crnom bojom, a njihove vrijednosti u  $\text{kg}/\text{m}^3$  dane su skalom na lijevoj ordinati.

### 3.1.1.1. Izvori vlage i kontrola vlažnosti zraka u prostorima

Osiguravanje zdravih higijenskih uvjeta i postizanje udobnosti boravka u prostoru pretpostavlja dovoljnu količinu vlage u zraku. Kod nedovoljne vlažnosti zraka, pogotovo u grijanim prostorima u zimskom razdoblju godine, na površinama ogrjevnih tijela može doći do pojave prašine te nastanka plinova koji nadražuju dišne organe. Također, smanjena vlažnost u zraku utječe na sušenje sluznice kože dišnih putova, čime se umanjuje njihova funkcionalnost, a time i osjećaj udobnosti boravka ljudi u tom prostoru. S druge strane, prekomjerna vlaga u zraku je nepovoljna jer na hladnim površinama vanjskih zidova prostorije može se kondenzirati vlaga iz zraka i nastati neugodni mirisi, plijesni i gljivice. Stoga se preporučuje da, pri normalnim sobnim temperaturama, relativnu vlažnost zraka treba održavati u rasponu od 35% do 60%.

Izvori vlage u prostorijama su različiti. U svim prostorima u kojima redovito borave ljudi, upravo su oni jedan od velikih izvora vlage u zraku. Ljudi odaju vlagu hlađenjem preko kože, te disanjem. Ovisno o razini njihove tjelesne aktivnosti kao

i o temperaturi zraka u prostoru, bit će značajno različit i intenzitet odavanja vlage. Primjerice: kod laganog rada u sjedećem položaju u uvjetima normalne vlažnosti prostora, normalno odjevene osobe pri 20°C odaju 38 g vlage na sat, dok se ta količina u istim uvjetima, ali pri temperaturi zraka od 26°C, gotovo udvostručuje na približno 70 g vlage na sat. Brojne aktivnosti ljudi u zatvorenim prostorima, također doprinose porastu vlage u zraku prostorija. To su kuhanje, tuširanje ili sušenje rublja kod kojih se značajne količine vodene pare hlapljenjem ili isparavanjem predaju zraku.

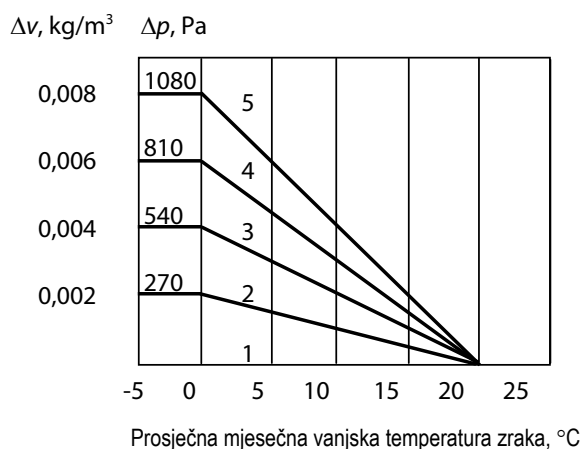
Osim hlapljenjem i isparavanjem, do promjene količine vlage u zraku dolazi i uslijed difuzije vlage kroz materijal zidova prostorija, pri čemu smjer transporta vlage kroz zid ovisi o stanjima zraka s unutarnje i vanjske strane zida. Do promjene stanja vlažnosti zraka u prostoru može doći uslijed kretanja zraka kroz pukotine u zidovima i kroz mjesta oslabljenog brtvljenja.

Kako je za osjećaj ugone u prostoru, osim temperature zraka, potrebno održavati i njegovu relativnu vlažnost u prethodno spomenutim granicama, nužno je utjecati na stanje zraka u prostorima kako bi se povećanje vlage u zraku, nastalo uslijed boravka i aktivnosti ljudi u prostorima, moglo otkloniti.

U skladu s tim, norma HRN EN ISO 13788 definira pet razreda vlažnosti unutarnjih prostora kojima se propisuje maksimalan sadržaj vlage u prostorima različite namjene, u ovisnosti o vanjskoj temperaturi zraka. Razredi vlažnosti prostora prikazuje tablica 3.2. Za istu vanjsku temperaturu zraka preporučene maksimalne vrijednosti sadržaja vlage rastu od klase 1 prema klasi 5. S porastom vanjske temperature zraka preporučene maksimalne vrijednosti sadržaja vlage opadaju. Dijagram na slici 3.4 grafički prikazuje navedene ovisnosti.

**Tablica 3.2 - Razredi vlažnosti unutrašnjih prostora**

Razred vlažnosti	Tip prostora
1	Skladišni prostori
2	Uredi, trgovine
3	Prostori niskog stupnja zauzeća
4	Prostori visokog stupnja zauzeća, sportske dvorane, kuhinje, kantine, zgrade grijane neloženim plinskim grijalicama.
5	Zgrade posebne namjene, npr. praonice, pivovare, bazeni



**Slika 3.4 – Dijagram ovisnosti razreda unutarnje vlažnosti o vanjskoj temperaturi zraka**

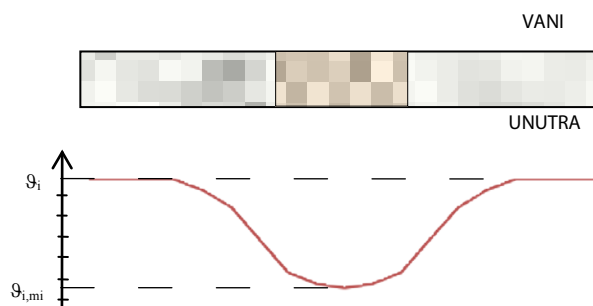
### 3.1.2. Kondenzacija vodene pare na zidovima građevinskih elemenata

Kondenzacija vodene pare iz zraka na unutarnjim površinama vanjskih zidova građevine i pojava kondenzacije vodene pare u unutarnjim slojevima građevinskih elemenata dva su osnovna problema koji se javljaju kod građevinskih konstrukcija. Metode proračuna potrebne temperature unutarnje površine pri kojoj bi se izbjegla kritična vlažnost površine i unutarnja kondenzacija daje norma HRN EN ISO 13788:2002.

Do kondenzacije vodene pare na unutarnjim površinama vanjskih zidova građevina često dolazi uslijed neodgovarajuće izolacije vanjskih zidova ili nekih njihovih dijelova. Osim toga, među česte uzroke kondenzacije vodene pare na unutarnjim ploham građevine spadaju toplinski mostovi. Pod toplinskim mostom se podrazumijeva ograničeno područje u vanjskom plaštu zgrade kod kojega se, uslijed promjene materijala, debljine ili geometrije građevnog dijela, u usporedbi s neprekinutim dijelovima građevne konstrukcije, dolazi do povećanog toplinskog toka kroz omotač. Prema uzroku nastanka toplinski mostovi mogu biti:

- **Konstruktivski toplinski mostovi** – koji se javljaju uslijed neprikladne kombinacija različitih vrsta materijala. U praksi to su toplinski mostovi nastali kao posljedica izvedbe stupa ili serklaža u zidanoj konstrukciji, spojevi zidanih zidova pročelja s međukatnim konstrukcijama, prekidi toplinsko-izolacijskih materijala radi konstrukcijskog povezivanja i slično. Kako je u tim je slučajevima gustoća toplinskog toka u pojedinim dijelovima konstrukcije različita, izoterme nisu više paralelne s graničnim ploham konstrukcije, te dolazi do poprečnog provođenja topline. Širina područja na unutarnjoj plohi koja ima nižu temperaturu od neprekinutog dijela konstrukcije, kao i intenzitet pada temperature, ovisi o materijalima koji su u međusobnom dodiru.

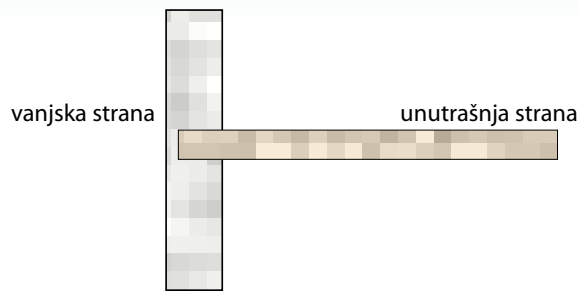
Slika 3.5 daje primjer konstrukcijskog toplinskog mosta u sredini vanjskog zida - armirani betonski stup u sredini zida čiji je toplinski otpor niži od ostatka zidne konstrukcije. Kako je vidljivo iz temperaturne raspodjele na unutarnjoj površini zida, zbog smanjenog otpora prolasku topline, toplinski mostovi predstavljaju mjesta na kojima se javljaju najniže temperature na unutarnjim stijenkama vanjskih zidova, a time i znatno veća mogućnost pojava kondenzacije vodene pare iz zraka na njihovim ploham.



**Slika 3.5 - Primjer konstrukcijskog toplinskog mosta i profil temperature unutrašnje površine zida**

Korekcija ovakvog tipa toplinskog mosta radi se pomoću načela izolacije, tako da se preko unutarnje površine toplinskog mosta postavlja toplinska izolacija. To može biti materijal iz presjeka samoga zida (ako ima zadovoljavajuća svojstva toplinske izolacije) ili neki drugi izolacijski materijal. Ako se koristi drugi izolacijski materijal, oblaganje treba izvršiti na širini oko tri puta većoj od širine toplinskog mosta. Postavljanje toplinske izolacije s vanjske strane toplinskog mosta u ovom slučaju nije ispravno rješenje, jer će i pored postavljene izolacije temperature na unutarnjoj površini toplinskog mosta ostati relativno niske.

S druge strane, za toplinske mostove koji nastaju kao posljedica prodora nosivih poprečnih armirano-betonskih zidova i armirano-betonskih stropova u vanjske zidove (slika 3.6), toplinska se izolacija postavlja uvijek s vanjske strane. Razlog tomu je što se betonska konstrukcija nalazi najvećim dijelom u unutrašnjosti zgrade i na relativno visokim temperaturama, te je ovakvo postavljanje izolacije u potpunosti zadovoljavajuće.

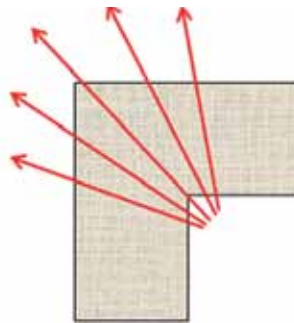


**Slika 3.6 - Primjer konstrukcijskog toplinskog mosta: nosivi poprečni armirano-betonski zid**

- Geometrijski toplinski mostovi – koji se javljaju uslijed promjene oblika konstrukcije, (povećana ploha za izmjenu topline, npr. na uglovima zgrade).

Na oštrim uglovima zgrade dolazi do divergencije toplinskog toka, jer je vanjska površina veća od unutarnje, te će unutarnja plošna temperatura ugla uvijek biti nekoliko stupnjeva niža od unutarnje plošne temperature neprekinute konstrukcije. U uvjetima veće vlažnosti zraka prostorije, kao i veće razlike između temperature zraka u prostoriji i vanjskog zraka, može prouzročiti kondenzaciju vodene pare na unutarnjoj plohi uglova, a time i moguću pojavu plijesni. Veličina područja niže temperature i intenzitet pada temperature ovisit će o toplinsko-izolacijskim vrijednostima materijala konstrukcije, koncepciji rješenja spoja, debljini konstrukcija, kretanju zraka uz unutarnje plohe te o razlici između unutarnje i vanjske temperature.

Slika 3.7 prikazuje karakterističan profil ovojnice građevine kod kojega dolazi do pojave toplinskog mosta zbog činjenice da sama geometrija konstrukcije uvjetuje pojavu povećanog toplinskog toka na označenom mjestu. Značajno povećanje vanjske površine ovojnice na tom mjestu dovodi do intenzivnije izmjene topline i snižavanja temperature unutarnje površine ovojnice, a time i do povećanja rizika pojave kondenzacije vlage.



**Slika 3.7 - Primjer geometrijskog toplinskog mosta. Strelice pokazuju smjer povećane gustoće toplinskog toka**

Rješavanje problema niskih površinskih temperatura na unutarnjim uglovima zgrade može se postići različitim tehničkim zahvatima koji uklanjaju uzroke niskih plošnih temperatura: izvedba zaobljenja unutarnjeg kuta, smještaj ogrjevnog tijela unutar kuta (cijev centralnog grijanja), postavljanje toplinske izolacije s vanjske strane ili postavljanje toplinske izolacije s unutarnje strane. U praksi se često javlja kombinacija konstrukcijsko – geometrijskih toplinskih mostova.

- Konvektivni toplinski mostovi, kod kojih se toplina prenosi strujanjem zraka (slabo brtvljenje oko prozora ili na spojevima montažnih elemenata). Posljedica konvektivnih toplinskih mostova je povećani gubitak topline zbog ventilacije unutarnjeg prostora ili propusnosti kroz nezabrtvljene dijelove zgrade. Oni se obrađuju u sklopu proračuna ventilacijskih gubitaka topline. Svi otvori u ovojnicama zgrada predstavljaju mjesta s povećanim rizikom pojave kondenzacije vodene pare iz zraka. Posebno se to odnosi na prozore, jer zbog svojih toplinskih svojstava oni predstavljaju mjesta u ovojnicama građevine na kojima su toplinski gubici višestruko veći nego li kroz same zidove. Kvaliteta prozora i njihova konstrukcija

uvelike utječu na iznos toplinskih gubitaka kroz njih. Najbolji se rezultati postižu upotrebom prozora s dvostrukim ili trostrukim izo-staklima kod kojih se međuprostori između stakala mogu puniti i inertnim plinovima (argon, ksenon, kripton) radi povećanja otpora transportu topline. Prilikom ugradnje, posebnu je pažnju potrebno posvetiti brtvljenju koje ima značajnu ulogu u snižavanju propuštanja topline kroz mjesta ugradnje prozora.

- Toplinski mostovi uvjetovani okolinom (različita plošna temperatura elemenata u prostoriji).  
Toplinski mostovi uvjetovani okolinom jesu oni koji imaju povećani gubitak topline zbog povišene temperature okoline, npr. u nišama za grijača tijela. Iz toga razloga se preporučuje da zid niše za grijače tijelo (vrlo često je tanji od ostalih vanjskih zidova) ne smije imati lošija toplinsko-izolacijska svojstva od ostalog dijela vanjske konstrukcije. Ako se grijače tijelo nalazi ispred ostakljene stijene, ona mora imati niski koeficijent prolaska topline, a od izvora topline treba biti zaštićena oblogom određenih toplinsko-izolacijskih svojstava. Konvektivni toplinski mostovi i oni uvjetovani okolinom, ne nastaju zbog povećanih toplinskih gubitaka prouzročenih materijalom i oblikom građevne konstrukcije, te se ne razmatraju u analizama transmisivnih gubitaka topline.

Za slučaj kada je temperatura vanjskog zraka relativno niska, a otpor prolasku topline vanjskih zidova mali, temperatura će unutarnje površine vanjskog zida također biti niska. Ako temperatura unutarnje površine vanjskog zida padne ispod temperatura rosišta (za promatrano stanje vlažnog zraka u prostoriji), vlaga iz zraka će kondenzirati na površini zida.

Za promatranu temperaturu zraka u prostoriji, rizik od pojave kondenzacije vlage na površini unutarnjih zidova je to veći što je veća relativna vlažnost zraka, jer temperatura rosišta raste s porastom relativne vlažnosti. Drugim riječima, do kondenzacije vlage na unutarnjim površinama zidova prostora s velikom relativnom vlažnošću zraka, dolazit će pri višim temperaturama, čime se postavljaju stroži uvjeti za izolaciju ovojnice građevine.

Primjer: neka je temperatura zraka u dvije prostorije jednaka i neka iznosi 22°C. Neka je u jednoj prostoriji relativna vlažnost zraka 40%, a u drugoj 60%. Potrebno je odrediti temperature površina unutarnjih zidova kod kojih će u ova dva slučaja doći do kondenzacije. U prvom slučaju, sadržaj vlage u zraku iznosi 6,6 g/kg, što dogovara temperaturi rošenja od približno 8°C, dok je u drugom slučaju sadržaj vlage 10 g/kg i pripadajuća temperatura rošenja 16°C. Iz navedenog je moguće zaključiti da toplinska izolacija prostorije, u kojoj se nalazi zrak veće vlažnosti, treba biti daleko bolja od one u kojoj se relativna vlaga održava na nižoj razini, kako bi se osiguralo da temperatura unutarnjeg zida prostorije u uvjetima povećanog toplinskog toka iz prostorije prema van (kada su temperature vanjskog zraka niske) ne padne ispod temperature rošenja.

Kondenzacija vodene pare nije beznačajan problem i jedan je od najčešćih uzroka degradacije kvalitete građevina. Neke od brojnih negativnih posljedica kondenzacije vodene pare na stijenama unutarnjih zidova su:

- povećanje toplinske provodnosti materijala, odnosno smanjena izolacijska svojstva
- degradacija mehaničkih svojstava materijala i propadanje strukture materijala
- ugrožavanje zdravlja osoba koje borave u tim prostorima, te pojava gljivica i plijesni
- moguća pojava korozije.

Kako bi se kondenzacija spriječila, potrebno je na pravilan način odrediti strukturu i debljinu građevinskih elemenata radi postizanja odgovarajuće toplinske izolacije između unutarnjeg i vanjskog prostora građevine.

Posebnu pažnju potrebno je posvetiti pravilnoj korekciji toplinskih mostova koji su najkritičnija mjesta na građevinama u smislu pojave kondenzacije i degradacije materijala, uslijed nastalih nepovoljnih uvjeta na njihovim površinama. Negativne posljedice postojanja toplinskih mostova je moguće svesti na minimum postavljanjem odgovarajuće toplinske izolacije, te dobrim brtvljenjem spojeva.

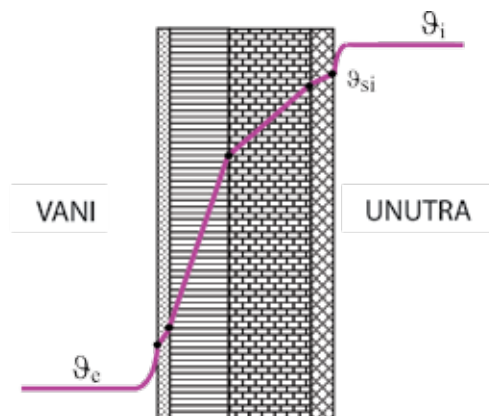
Kod proračuna potrebnog otpora prolasku topline, kriterij odabira je minimalni temperaturni faktor na unutarnjoj površini zida,  $f_{Rsi,min}$  definiran jednadžbom:

$$f_{Rsi,min} = \frac{\vartheta_{si,min} - \vartheta_e}{\vartheta_i - \vartheta_e} \quad (3.4)$$

u kojoj su:

- $\vartheta_{s,min}$  - minimalna unutarnja temperatura stijenke zida u °C
- $\vartheta_e$  - temperatura vanjskog zraka u °C
- $\vartheta_i$  - temperatura unutarnjeg zraka prostorije u °C

Odgovarajuće temperature iz jednadžbe 3.4 prikazuje slika 3.8.



**Slika 3.8 - Temperaturna raspodjela po poprečnom presjeku građevinskog elementa**

Postupak određivanja minimalne unutarnje temperature stijenke zida temelji se na zadovoljavanju uvjeta pod kojima neće doći do nastanka plijesni na unutarnjim zidovima uslijed prevelike vlage i moguće kondenzacije. Taj uvjet zahtijeva da relativna vlažnost zraka na temperaturi površine unutarnjeg zida bude najviše 80% tijekom maksimalno nekoliko dana uz zadane uvjete zraka unutar prostora.

U skladu s ovim zahtjevom potrebno je, koristeći srednje mjesečne vrijednosti temperatura (i odgovarajuće vrijednosti parcijalnih tlakova vodene pare) vanjskog zraka, te koristeći odgovarajuće, najčešće propisane vrijednosti temperatura i vlažnosti unutarnjeg zraka, odrediti minimalne dopuštene temperature unutarnjih stijenki zidova za svaki mjesec u godini. Za proračun, prilikom određivanja relativne vlažnosti zraka u prostoru, potrebno je na zadane parametre u prostoru dodati korekciju od 10% u općem slučaju, odnosno 5% ako se radi o prostorima u kojima klimatizacijski sustav održava stalnu propisanu relativnu vlažnost. Ova korekcija je nužna kao sigurnosni faktor zbog relativno velike moguće pogreške koja se može javiti u izračunima zbog nemogućnosti točne procjene stvarne relativne vlažnosti zraka u prostoru. Međutim, ova korekcija ne uzima u obzir moguće povećanje relativne vlažnosti u prostoru uslijed aktivnosti osoba unutar prostora, a što može dovesti do značajnog odstupanja u projektnim vrijednostima vlažnosti zraka.

S izračunatim vrijednostima minimalnog temperaturnog faktora na unutarnjoj površini zida, za svaki mjesec u godini, kao kritična vrijednost odabire se najveća među izračunatim vrijednostima. U skladu s tako dobivenom kritičnom vrijednošću, proračun otpora prolasku topline građevinskog elementa računa se tako da u kritičnom mjesecu stvarni minimalni temperaturni faktor na unutarnjoj površini, izvedenog građevinskog elementa, bude veći od kritične vrijednosti minimalnog temperaturnog faktora na unutarnjoj površini zida dobivene proračunom.

### 3.1.3. Difuzija vlage

Difuzija vlage je proces kojim se vlaga, odnosno molekule vode, kreću s mjesta više koncentracije k mjestu niže koncentracije. Koncentracija vodene pare u zraku proporcionalna je njezinom parcijalnom tlaku u zraku, pa se pojava difuzije u kontekstu građevinskih struktura može definirati i računati i preko ove veličine koja se koristi kod opisa stanja zraka u prostoru.



Do difuzije vodene pare kroz porozne građevinske elemente dolazi uvijek kada postoji razlika u parcijalnim tlakovima vodene pare s dvije strane toga elementa, a proces se odvija u smjeru nižeg parcijalnog tlaka (slika 3.9). Intenzitet difuzije, osim o veličini te razlike, ovisi i o karakteristikama i strukturi građevnog materijala od kojega je element napravljen. Slično svojstvu toplinske provodnosti, svaki materijal karakterizira koeficijent difuzijske vodljivosti vodene pare  $\delta$ . U literaturi se često koristi i faktor otpora difuziji vodene pare,  $\mu_d$ , koji je također ovisan o vrsti materijala, a definira se kao omjer koeficijenta difuzijske vodljivosti vodene pare za dani materijal i koeficijenta difuzijske vodljivosti vodene pare za zrak. U tablici 3.3 prikazane su vrijednosti faktora otpora difuziji vodene pare za neke karakteristične materijale u građevinarstvu.

**Tablica 3.3 - Približne vrijednosti faktora otpora difuziji vodene pare za neke odabrane materijale**

Materijal	Gustoća $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	Faktor otpora difuziji vodene pare $\mu_d$
Puna opeka od gline	1800	5/10
Klinker opeka	1900	5/10
Puna fasadna opeka od gline	1800	5/10
Šuplja fasadna opeka od gline	1200	5/10
Prirodni kamen	2000	50
Šuplji blokovi od betona	1000	5/15
Šuplji blokovi od laganog betona	500	5/10
Armirani beton	2500	80/130
Beton s laganim agregatom	2000	6/10
Porobeton	1000	6/10
Cementna žbuka	2000	15/35
Vapnena žbuka	1600	6/10
Gipsana žbuka	1500	6/10
Lagana žbuka	1300	15/20
Toplinsko-izolacijska žbuka	400	5/20
Sanacijska žbuka	1400	6/35
Cementni mort	2000	15/35
Cementni estrih	2000	50
Gipskartonske ploče	900	8
Keramičke pločice	2300	200
Bitumenska traka s uloškom staklenog voala	1100	50 000
Polimerna hidroizolacijska traka na bazi PVC-P	1200	100 000
Polimerna hidroizolacijska traka na bazi PIB	1600	300 000
Polimerna hidroizolacijska traka na bazi CR	1300	100 000
Polimerna hidroizolacijska traka na bazi VAE	1300	200 000
Lomljevin ekspandiranog pluta	≤ 200	3
Pijesak, šljunak, tucanik (drobljenac)	≤ 1700	3
Mineralna vuna (MW)	30 - 200	1
Ekspandirani polistiren (EPS)	15 - 30	60
Tvrda poliuretanska pjena (PUR)	≥ 30	60
Fenolna pjena (PF)	≥ 30	50
Ekspandirano pluto (ICB)	80 - 500	5/10
Drvena vlakanca (WF)	110 - 450	5/10

Različiti materijali imaju različite otpore difuziji vodene pare. U većini slučajeva toplinski otpor materijala i difuzni otpor su divergentni, što znači da su materijali koji su dobri toplinski izolatori ujedno loši difuzni izolatori i obrnuto. Prema paropropusnosti građevinske materijale može se podijeliti u nekoliko skupina. Organski su materijali higroskopni navlače paru) te dobro propusni zbog velikog broja površinskih pora. Kod pečenih mineralnih materijala propusnost ovisi o vrsti i kvaliteti (opeka zbog svoje poroznosti upija vlagu, ali ima sposobnost samoisušenja). Građevinske materijale s dodacima vezanog materijala (betoni i mortovi) smatra se difuzno jačim materijalima (zbog procesa samobrtvljenja betona).

Jednadžba difuzije vodene pare kroz građevinske elemente analogna je jednadžbi prolaska topline i glasi:

$$q_m = \frac{(p_i - p_e)}{\frac{1}{\beta_i} + \frac{d_1}{\delta_1} + \frac{d_2}{\delta_2} + \dots + \frac{1}{\beta_e}} \quad (3.5)$$

Pri tome su:

- $q$  - gustoća difuzijskog toka vodene pare kroz građevinski element,  $\text{kg}/[\text{m}^2 \cdot \text{s}]$
- $p_i, p_e$  - parcijalni tlakovi vodene pare u zraku s unutarnje, odnosno s vanjske strane promatranog elementa, Pa
- $\beta_i$  i  $\beta_e$  - koeficijenti prijelaza vodene pare s unutarnjeg zraka na unutarnju stranu elementa, odnosno s vanjske površine elementa na vanjski zrak,  $\text{kg}/[\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}]$
- $d_i$  - debljina pojedinog sloja građevinskog elementa,  $m$
- $\delta_i$  - koeficijent difuzijske vodljivosti vodene pare pojedinog sloja,  $[\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})]$ .

Veličina  $\delta_i$  u jednadžbi (3.5) računa se pomoću izraza:

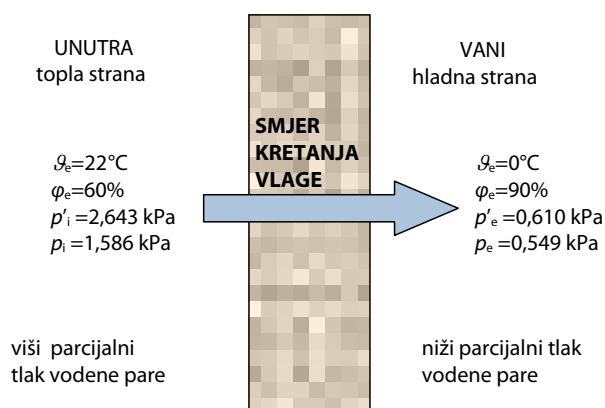
$$\delta_d = \frac{D}{\mu \cdot R_D \cdot T} \quad (3.6)$$

pri čemu se pojedine oznake u jednadžbi odnose na:

- $R_D$  - plinska konstanta vodene pare,  $462 \text{ J}/(\text{kg K})$
- $\mu_d$  - faktor otpora difuziji vodene pare kroz građevinski materijal. Jednak je odnosu koeficijenta difuzijske vodljivosti vodene pare kroz zrak  $\delta_z$  i koeficijenta difuzijske vodljivosti vodene pare kroz promatrani građevinski materijal  $\delta$ . Pokazuje koliko je puta veći otpor difuzijskom prolasku vodene pare kroz promatrani građevinski materijal, nego kroz sloj mirnog zraka jednake debljine i jednake temperature.
- $D$  - koeficijent difuzije vodene pare kroz zrak, u ovisnosti o atmosferskom tlaku i temperaturi,  $\text{m}^2/\text{h}$

$$D = 0,083 \cdot \frac{101325}{p} \cdot \left( \frac{T}{273,15} \right)^{1,81} \quad (3.7)$$

- $p$  - srednji atmosferski tlak zraka, [Pa]
- $T$  - termodinamička temperatura, [K]



Slika 3.9 - Princip difuzije vodene pare kroz građevne elemente

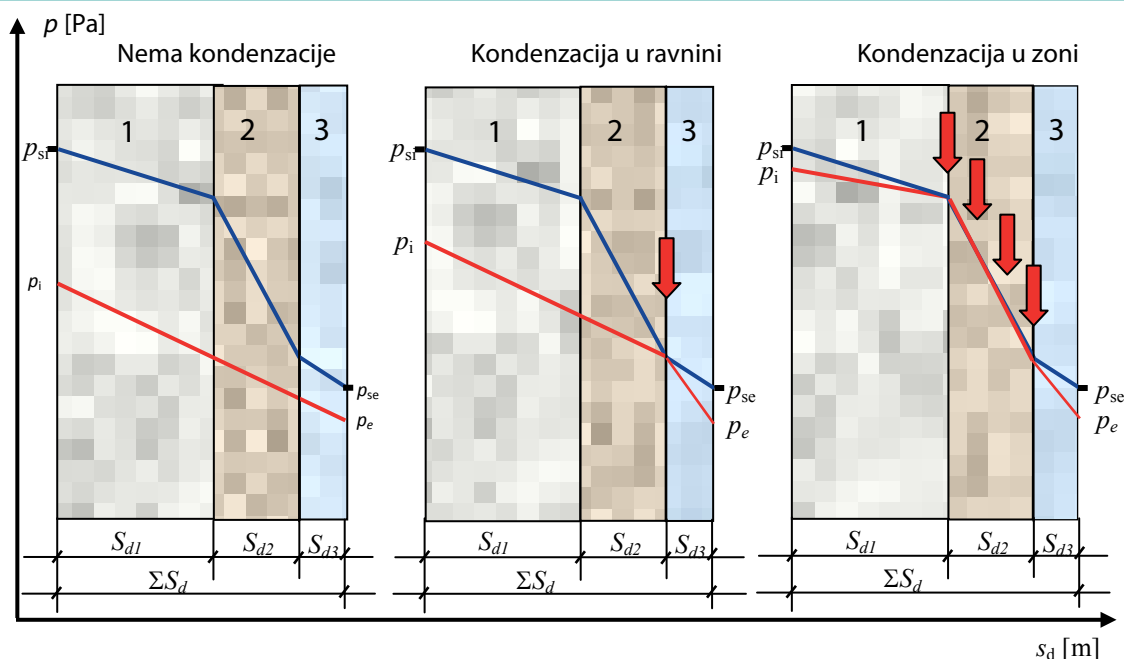
Jednadžba difuzije vodene pare kroz građevinski element osnova je za proračun toka vodene pare koji difuzijom prolazi kroz građevinske elemente. Međutim, kod proučavanja transporta vodene pare kroz elemente građevina, nije od tolike važnosti količina vlage koja difundira kroz građevinski element, već odgovor na pitanje: dolazi li prilikom njenog prolaska kroz element, na određenim mjestima unutar građevinskog elementa, do pojave njezine kondenzacije? Naime, difuzija vodene pare kroz građevinske elemente nije sama po sebi štetna jer nema bitne negativne posljedice po karakteristike i svojstva elementa. Tek kondenzacijom vodene pare u slojevima elemenata, dolazi do degradacije njihovih toplinsko-izolacijskih svojstava i mogućnosti oštećenja građevine.

Za utvrđivanje dolazi li i na kojim mjestima unutar slojeva građevinskog elementa do kondenzacije vodene pare, nužno je odrediti raspodjelu parcijalnih tlakova vodene pare kao i raspodjelu tlakova zasićenja po presjeku elementa. Na mjestima za koje se utvrdi da bi parcijalni tlakovi vodene pare bili viši od tlakova zasićenja za odgovarajuće temperature (a što je fizikalno nemoguće), realno je očekivati pojavu kondenzacije vlage unutar građevnog elementa. Mogućnost pojave kondenzacije procjenjuje se tako da se za promatrani element najprije provede proračun transporta topline, uvažavajući rubne uvjete i toplinske i geometrijske značajke pojedinih slojeva. Rezultat toga proračuna je temperaturna raspodjela unutar građevinskog elementa.

Temeljem dobivene temperaturne raspodjele i krivulje napetosti za vodu ( $p, \vartheta$  dijagram), svakoj temperaturi pridružuje se odgovarajuća vrijednost tlaka zasićenja. Na taj način dobije se raspodjela tlakova zasićenja kroz profil građevinskog elementa. Međutim, tlakovi zasićenja se ne mijenjaju linearno s temperaturom pa je za potrebe točnijeg određivanja raspodjele tlakova zasićenja, potrebno očitati nekoliko tabličnih vrijednosti unutar pojedinih slojeva građevnog elementa, unutar kojega se temperaturni profil mijenja linearno.

Krivulja raspodjele parcijalnih tlakova vodene pare određuje se tako da se izjednači odnos pada parcijalnog tlaka za pojedini sloj prema ukupnom padu tlaka s obje strane građevinskog elementa i odnos otpora difuzijskoj propustljivosti vodene pare promatranog sloja prema ukupnom otporu difuzijskoj propustljivosti građevinskog elementa. Nakon toga se tako određena raspodjela stvarnih parcijalnih tlakova vodene pare unutar građevnog elementa ucrtava preko prethodno određene raspodjele tlakova zasićenja.

Ako krivulja parcijalnih tlakova vodene pare ni na jednom mjestu unutar građevinskog elementa ne presijeca krivulju tlakova zasićenja, tada za dane uvjete unutar građevinskog elementa ne dolazi do kondenzacije difundirane vodene pare (slika 3.10 - lijevo). Ako se krivulje presijecaju (slika 3.10 - sredina i desno), unutar građevinskog elementa će doći do kondenzacije vodene pare i to na cijelom području presijecanja (kondenzacija u ravnini ili kondenzacija u zoni).



Slika 3.10 - Različiti slučajevi stanja vlage u presjecima građevinskih elemenata

Osnovno pravilo kojega se načelno treba pridržavati kod projektiranja vanjskih elemenata zgrade s ciljem sprječavanja kondenzacije difuzijske vodene pare u elementima glasi: kod višeslojnih vanjskih elemenata zgrade relativni otpori difuziji vodene pare pojedinih slojeva elementa moraju se smanjivati idući u smjeru iz unutrašnjosti prema vani. Što je neki građevinski element više u suprotnosti s ovim pravilom, to je veća vjerojatnost kondenzacije difuzijske vodene pare u tom elementu. Pravilo se može preoblikovati i izreći preko takozvanog faktora položaja. Faktor položaja definira se kao umnožak faktora otpora difuziji vodene pare  $m$  i toplinske provodnosti  $l$ . Pravilo glasi: kod višeslojnih vanjskih elemenata faktor položaja pojedinih slojeva mora se smanjivati idući u smjeru iz unutrašnjosti prema vani. S obzirom da faktor položaja u obzir uzima i toplinsku provodnost materijala, on u sebi posredno uključuje i oblik temperaturne raspodjele, a preko temperatura i izgled krivulje tlaka zasićenja. Praktična primjena ovoga pravila zahtijeva da kod višeslojnog građevnog elementa položaj sloja toplinske izolacije bude što bliže vanjskoj strani elementa, odnosno da u idealnom slučaju bude s vanjske strane elementa.

Osim vanjskih klimatskih faktora (temperatura i relativna vlažnost zraka) glavni utjecajni parametri koji su odgovorni za pojavu unutrašnje površinske kondenzacije i razvoj gljivica u prostorijama su:

- kvaliteta postavljene toplinske izolacije vanjskih obodnih elemenata zgrade (iznos toplinskog otpora, prisutnost toplinskim mostova, geometrija i unutarnji površinski otpor)
- interna produkcija vlage koja utječe na temperaturu rosišta na unutrašnjoj površini zida
- unutarnja temperatura zraka u prostoriji. Niža je temperatura zraka u prostoriji u pravilu kritičnija, posebno za prostorije sa smanjenim, isprekidanim grijanjem ili u negrijanim prostorijama gdje vodena para može ući iz susjednih grijanih prostorija
- sustav grijanja koji utječe na gibanje zraka i temperaturnu raspodjelu.

### **Paropropusne folije i paronepropusne folije – parne brane**

Kako se prirodan proces izmjene topline i vlage između unutarnjeg prostora i vanjskog zraka ne može u potpunosti zaustaviti, potrebno je u procesu projektiranja građevinskog elementa osigurati za samu građevinu ispravan fizikalni proces. To podrazumijeva sprječavanje procesa kondenzacije difundirane vodene pare u građevnom dijelu ili na njemu u mjeri koja može izazvati građevinsku štetu. Što se tiče difuzijskog kretanja vodene pare to znači da slojevi u vanjskom zidu moraju biti posloženi tako da se paropropusnost slojeva povećava od područja višeg tlaka vodene pare prema području nižeg tlaka vodene pare.

Dakle, kod vanjskih zidova treba izbjegavati postavljanje paronepropusnih slojeva s vanjske strane zida, jer će oni zaustaviti ili usporiti difuziju vodene pare kroz zid na nepovoljnom mjestu (na području hladnih zona) te će doći do pojave kondenzacije vodene pare unutar građevnog elementa i vlaženja zida. Paropropusne folije su slojevi takvog materijala koji omogućuju prolaz vodene pare u jednom smjeru, dok je u suprotnom smjeru taj prolaz onemogućen. Ovakve su folije našle primjenu kao slojevi sekundarnih pokrova, tj. slojeva kod kojih je važno da vodena para prolazi kroz njih prema vanjskom prostoru, a istovremeno taj sloj služi kao zaštita od prodora vode (kod krovova i/ili zidova kod kojih postoji realna opasnost od prodora oborinskih voda). Paropropusna folija se obvezno postavlja s vanjske strane toplinske izolacije.

Za sprječavanje difuznog prodiranja vodene pare iz grijanih prostora u sloj toplinske izolacije i sprječavanje stvaranja kondenzata u toplinskoj izolaciji (odnosno njegovog svođenja na dopušteni minimum), kao i sprječavanja kondenzacije vodene pare na unutarnjim površinama, koriste se paronepropusne folije – parne brane.

Parne brane su materijali s velikim difuznim otporom. Analogno pojmu toplinske izolacije za ove se materijale može reći da su difuzni izolatori. Parne brane mogu biti potpune (metali, staklo) ili djelomične (sintetske i sintetsko-bitumenske trake). Kao parne brane koriste se:

- metalne folije (zaštićene) ili limovi (Al, Cu) – albit, albifol, alumka
- višekratni uljeni naliči i lakovi
- sintetske (PE-okiten višeslojan, PVC) ili sintetsko-bitumenske trake s ulošcima
- asfaltni i parafinski spojevi
- neprekinute gumene trake i folije
- pjenušavo staklo (foam glass).

Ispravan položaj parne brane je uvijek na toplijoj strani sloja toplinske izolacije. Parne brane potrebno je proračunati. Pri tome se iznos potrebnog otpora difuziji vodene pare određuje prema očekivanom opterećenju pritiskom vodene pare. Veličina difuznog otpora parne brane mora biti znatno veća od otpora hidroizolacijskog sloja.

### 3.1.4. Proračun kondenzacije i isušivanja vlage

#### 3.1.4.1. Proračun kondenzacije

Proračun kondenzacije obuhvaća određivanje intenziteta, odnosno brzine kondenzacije u građevinskom elementu. Za slučaj kondenzacije u ravnini (prikaz na slici 3.10 u sredini), intenzitet kondenzacije određuje se kao razlika gustoće toka vlage koji se difuzijom transportira prema sloju i gustoće toka vlage koji se difuzijom transportira od sloja, jednadžba (3.8):

$$g_c = \delta_0 \left( \frac{p_i - p_c}{s_{d,T} - s_{d,c}} - \frac{p_c - p_e}{s_{d,c}} \right) \quad (3.8)$$

gdje su:

- $g_c$  - gustoća intenziteta kondenzacije vlage, [kg/(m<sup>2</sup>·s)]
- $\delta_0$  - propusnost zraka za vodenu paru (u ovisnosti o parcijalnom tlaku vodene pare u zraku), [kg/(m·s·Pa)]
- $p_i$  i  $p_e$  - parcijalni tlakovi vodene pare u materijalu na unutarnjoj, odnosno vanjskoj strani zida, [Pa]
- $p_c$  - tlak zasićenja u ravnini u kojoj dolazi do pojave kondenzacije (slika 3.10, sredina - parcijalni tlak u ravnini na spoju slojeva 2 i 3), [Pa]
- $s_{d,T}$  i  $s_{d,c}$  - ekvivalentne debljine zračnih slojeva, pri čemu se indeksi  $T$  i  $c$  odnose na cjelokupnu debljinu zida, odnosno na debljinu sloja u kojemu dolazi do kondenzacije,  $\mu$ . Relativni otpor difuziji vodene pare ili ekvivalentna debljina predstavlja umnožak debljine stvarnog sloja materijala ( $d$ ) i faktora otpora difuziji vodene pare toga sloja ( $\mu$ ). To je debljina mirnog sloja zraka koji ima jednaki otpor difuzijskom prolazu vodene pare kao promatrani sloj građevinskog elementa debljine  $d$ .

Ukupnu količinu kondenzirane vlage je moguće odrediti integriranjem gornje jednadžbe u vremenu, odnosno zbrajanjem količina vlage koja se kondenzirala u unutrašnjosti zida u nekom vremenskom razdoblju.

#### 3.1.4.2. Proračun isušivanja

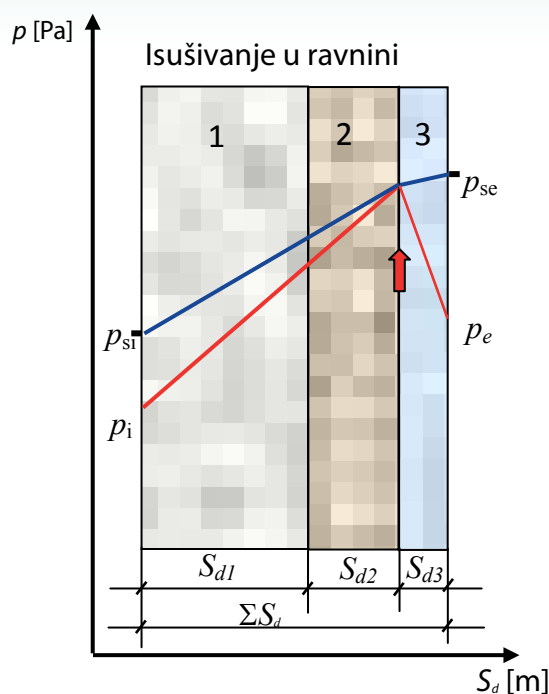
Slično kondenzaciji moguće je proračunati i isušivanje odnosno hlapljenje kondenzata nastalog unutar građevinskih struktura. Do isušivanja vlage u građevinskom elementu dolazi u slučaju kada parcijalni tlakovi vodene pare u zraku s obje strane građevinskog elementa postanu manji od tlaka zasićenja vodene pare u ravnini kondenzacije, pri čemu se vodena para difuzijom transportira prema van (slika 3.11). Ovakav slučaj najčešći je u ljetnom razdoblju godine.

Sam proračun isušivanja provodi se na posve identičan način kao i za kondenzaciju, pa je po analogiji s jednadžbom (3.8) moguće odrediti gustoću intenziteta isušivanja vlage,  $g_{ev}$  u kg/(m<sup>2</sup>·s), prema jednadžbi:

$$g_{ev} = \delta_0 \left( \frac{p_i - p_c}{s_{d,T} - s_{d,c}} - \frac{p_c - p_e}{s_{d,c}} \right) \quad (3.9)$$

u kojoj su sve veličine već ranije definirane u tekstu.

Vidljivo je da su izrazi za izračun gustoće intenziteta kondenzacije i isušivanja vlage identični, no prema utvrđenoj konvenciji do kondenzacije dolazi kada je izraz pozitivnog predznaka, dok se isušivanje javlja kada je izraz negativnog predznaka. U općem slučaju, moguće je da do kondenzacije i do isušivanja dolazi u više različitih presjeka unutar građevinskog elementa, ovisno o nastalim uvjetima u samom elementu (odnosima parcijalnih tlakova vodene pare u presjecima te odgovarajućih tlakova zasićenja, kao i odnosima parcijalnih tlakova vodene pare s unutarnje i s vanjske strane zida).



Slika 3.11 - Difuzija vodene pare s isušivanjem u ravnini kondenzacije

Slika 3.11 prikazuje slučaj zida kod kojega u ravnini, na granicama slojeva 2 i 3 dolazi do isušivanja vlage. Detaljnijom analizom raspodjele parcijalnih tlakova vodene pare u presjecima zidova i raspodjele tlakova zasićenja, moguće je zaključiti da će u slučaju da su parcijalni tlakovi vodene pare u materijalu na unutarnjoj, odnosno vanjskoj strani zida niži od tlaka zasićenja vodene pare u ravnini kondenzacije, u materijalu nužno doći do isušivanja vlage u ravnini kondenzacije. To je moguće utvrditi i jednostavnom analizom izraza (3.9) gdje je jasno vidljivo da za slučaj kada su  $p_i$  i  $p_e$  niži od  $p_e$ , izraz nužno poprima negativan predznak.

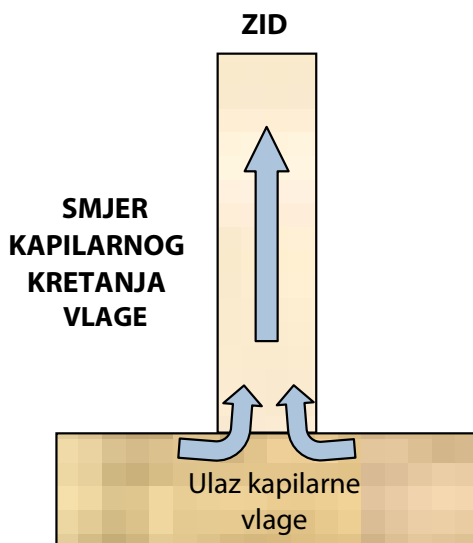
Osnovni su kriteriji i načela kojima se treba rukovoditi pri ocjeni kvalitete građevinskog elementa u pogledu difuzije vodene pare sljedeća:

- Projektiranje vanjskog građevinskog elementa treba biti osmišljeno na takav način da se spriječi kondenzacija vodene pare koja se difuzijom kreće kroz element
- U materijalima koji su osjetljivi na promjenu vlažnosti, kao što je drvo ili materijali na bazi drva, ne smije se dopustiti kondenzacija vodene pare.

U materijalima koji nisu posebno osjetljivi na promjenu vlage, kondenzacija pare je dopuštena, pod uvjetom da proces kondenzacije ne dovodi do takve degradacije svojstava materijala da nastanu građevinske štete. To će biti samo u onim slučajevima u kojima je ukupna vlažnost materijala u kojemu je došlo do kondenzacije vodene pare na kraju razdoblja difuzije vodene pare (kraj zimskog razdoblja godine) manja od najveće dopuštene vlažnosti za taj materijal. Također, građevinski element u kojemu se kondenzirala vodena para, treba zadovoljiti uvjet da se ukupna količina u njemu kondenzirane vodene pare može isušiti kroz razdoblje difuzijskog sušenja (ljetno razdoblje). To znači da vrijeme potrebno za isušivanje elementa mora biti kraće od stvarno mogućeg trajanja difuzije u ljetnom razdoblju, a koje opet ovisi o klimatskim prilikama u kojima se građevni element nalazi.

### 3.1.5. Kapilarno kretanje vlage

Osim difuzijom, vlaga se u građevinskim strukturama može kretati i kapilarno. Iako se ovakvo kretanje vlage nastoji spriječiti u fazi gradnje objekta odgovarajućim izolacijskim rješenjima u konstrukciji zidova, ipak se u nekim slučajevima kada horizontalna izolacija nije adekvatno riješena ili je oštećena, zbog izrazite poroznosti građevnih materijala, te velike vlage u tlu, u zidovima objekata javlja kapilarno dizanje vlage u zidovima. Ilustracija mehanizma kapilarnog dizanja vlage u zidovima je prikazana slikom 3.12.



Slika 3.12 - Kapilarno dizanje vlage u zidovima

Količina kapilarne vlage ovisi će o poroznosti građevnog materijala i vlažnosti okolnog tla. Primjerice, od uobičajenih građevnih materijala cigla, mort i vapnenac najviše upijaju vlagu upravo zbog velike poroznosti, jer je udio pora zraka u njima i do 25%. U strukturi takvih poroznih materijala veliki je broj finih kapilarnih cjevčica kroz koje se onda zemna vlaga kapilarno transportira kroz strukturu materijala. Uzrok kapilarnog transporta je razlika polariteta zidova (pozitivan) i vlažnog tla (negativan) uslijed kojega dolazi do pojave privlačenja molekula vode iz tla i materijala, a upravo velika površinska napetost molekula vode iz zemne vlage, omogućuje transport molekula vode kroz kapilarni sustav u strukturi materijala i pojavu povećane vlage u zidovima.

Kapilarna vlaga predstavlja veliki problem, naročito kod starih građevinskih objekata koji u svojim temeljnim zidovima nemaju nikakvu horizontalnu i vertikalnu hidroizolaciju. To je najčešći slučaj u starijim objektima, velikog povijesnog i kulturnog značaja, čiji su temelji i podrumski zidovi izrađeni od opeke, koja je po svojoj prirodi vrlo higroskopan materijal.

Tehnike koje se danas koriste radi eliminacije posljedica koje stvara kapilarna vlaga, dijele se na one koje presijecaju penjanje vlage kroz konstrukciju i one koje ne sprječavaju njezinu prisutnost unutar zidova, ali sprječavaju njeno štetno djelovanje na površini zida. Osim toga, razvijene su i metode elektroosmoze koje uz pomoć slabih struja "okreću" smjer kretanja vode i na taj način doprinose isušivanju objekata.

## 3.2. Oznake i mjerne jedinice

### 3.2.1. Osnovne mjerne jedinice SI sustava

Tablica 3.4 prikazuje popis osnovnih mjernih jedinica SI sustava.

**Tablica 3.4 - Osnovne mjerne jedinice SI sustava**

Veličina	Mjerna jedinica	Oznaka
Duljina	Metar	m
Masa	Kilogram	kg
Vrijeme	Sekunda	s
Jakost električne struje	Amper (Ampere)	A
Termodinamička temperatura	Kelvin	K
Količina tvari	Mol	mol
Jakost svjetlosti	Kandela (Candela)	cd

### 3.2.2. Osnovne mjerne jedinice transporta topline i vlage

Za transport topline i vlage značajne su fizikalne veličine prikazane u tablici 3.5 i 3.6.

**Tablica 3.5 - Osnovne mjerne jedinice transporta topline**

Veličina	Oznaka fizikalne veličine	Mjerna jedinica
Temperatura	$T, \vartheta$	K, °C
Tlak	$p$	Pa
Volumen	$V$	m <sup>3</sup>
Gustoća	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>
Debljina sloja	$d$	m
Maseni protok	$q_m$	kg/s
Volumenski protok	$q_v$	m <sup>3</sup> /s
Površina	$A$	m <sup>2</sup>
Toplina	$Q$	J
Toplinski tok	$\Phi$	W = J/s
Gustoća toplinskog toka	$q$	W/m <sup>2</sup>
Toplinska provodnost	$\lambda$	W/(m · K)
Specifični toplinski kapacitet	$c$	J/(kg · K)
Kinematička žilavost	$\mu$	Pa · s
Temperaturna provodnost	$a$	m <sup>2</sup> /s
Koeficijent prijelaza topline	$h$	W/(m <sup>2</sup> · K)
Koeficijent prolaska topline	$U$	W/(m <sup>2</sup> · K)
Projektna vrijednost toplinskog otpora	$R$	(m <sup>2</sup> · K)/W



Tablica 3.6 - Osnovne mjerne jedinice transporta vlage

Veličina	Oznaka fizikalne veličine	Mjerna jedinica
Koeficijent difuzije vodene pare	$D$	$\text{m}^2/\text{s}$
Koeficijent difuzije vodene pare u zraku	$D_o$	$\text{m}^2/\text{s}$
Iznos stvaranja vlage u prostoriji	$G_v$	$\text{kg}/\text{h}$
Gustoća toka vodene pare	$g$	$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$
Koeficijent difuzije vodene pare u nekom materijalu u odnosu na parcijalni tlak vodene pare	$\delta_p$	$\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$
Koeficijent difuzije vodene pare u zraku u odnosu na parcijalni tlak vodene pare	$\delta_o$	$\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$
Debljina sloja zraka ekvivalentna za difuziju vodene pare	$s_d$	$\text{m}$
Faktor otpora difuziji vodene pare	$\mu_d$	$\text{kg}/\text{m}^3$
Relativna vlažnost zraka	$\varphi_d$	$\%$
Faktor temperature na unutarnjoj površini	$f_{Rsi}$	-
Projektni faktor temperature na unutarnjoj površini	$f_{Rsi \text{ min}}$	-
Minimalna prihvatljiva temperatura površine	$\vartheta_{si \text{ min}}$	$^{\circ}\text{C}$
Broj izmjena zraka	$n$	$\text{h}^{-1}$

### 3.3. Fizikalni procesi u građevnim strukturama

#### 3.3.1. Temperatura i toplina

Za dobivanje temeljne definicije temperature treba iskoristiti Nulti zakon termodinamike koji kaže da svaki sustav prepušten samom sebi prirodno teži postizanju ravnoteže i onog trenutka kada je postigne sve mjerljive promjene u sustavu iščezavaju. Temeljem toga može se zaključiti da će dva tijela biti u međusobnoj toplinskoj ravnoteži onda i samo onda ako imaju iste temperature. To je suštinska definicija temperature. Temperatura svoje fizikalno značenje dobiva kada se je poveže s gibanjem molekula tijela. Prema molekularnoj teoriji temperatura je u izravnoj vezi s prosječnom brzinom gibanja molekula i kako ta brzina raste, raste i temperatura i obratno. U SI sustavu mjera su u upotrebi dvije temperaturne skale: Kelvinova temperaturna skala i Celzijeva temperaturna skala. Odgovarajuće su mjerne jedinice 1 K odnosno  $1^{\circ}\text{C}$ .

Toplina ili toplinska energija je ona energija koja se izmjenjuje između dva tijela ili unutar samoga tijela samo uslijed temperaturnih razlika. Ako se energija izmjenjuje zbog nekog drugog uzroka a ne zbog temperaturnih razlika, takva se izmjena energije ne može nazvati toplinom. Mjerna jedinica za toplinu (toplinsku energiju) je J (Joul), oznaka za toplinu u literaturi je Q. Toplina izmijenjena u jedinici vremena naziva se toplinski tok, označava simbolom  $\Phi$ , mjerna je jedinica  $\text{J}/\text{s} = \text{W}$  (Watt).

### 3.3.2. Mehanizmi transporta topline

Postojanje temperaturnih razlika unutar tijela ili između više tijela osnovni je uvjet za izmjenu (prijenos) topline. Prijenos topline općenito je praćen promjenom temperature u prostoru i vremenu, pa se temperaturno polje predstavlja jednadžbom:

$$\vartheta = \vartheta(x, y, z, t) \quad (3.10)$$

Ako se unutar promatranog tijela povežu sva mjesta iste temperature dobivaju se izotermne plohe ili linije (izoterme) koje se mogu, ali ne moraju, zatvarati unutar promatranog tijela. S obzirom na vremensku ovisnost, temperaturna raspodjela i s njom povezana izmjena topline može biti stacionarna (vremenski ustaljena, nepromjenljiva) ili nestacionarna (vremenski promjenljiva). Ako se tijekom prijenosa topline sve veličine (temperatura, toplinski tok ili gustoća toplinskog toka) vremenski ne mijenjaju, izmjena topline je stacionarna. To znači da svaki, pa i najmanji dio tijela mora tijekom odvijanja procesa primiti i predati istu količinu topline. Ako taj uvjet nije ispunjen, pa tijelo više topline prima nego je odaje, u tijelu će doći do akumulacije energije, odnosno do povećanja temperature. I obrnuto, ako tijelo odaje više topline nego što je prima, temperatura će tijela padati. I temperatura tijela i izmijenjena toplina mijenjat će se s vremenom. Takva se izmjena topline naziva nestacionarna izmjena topline.

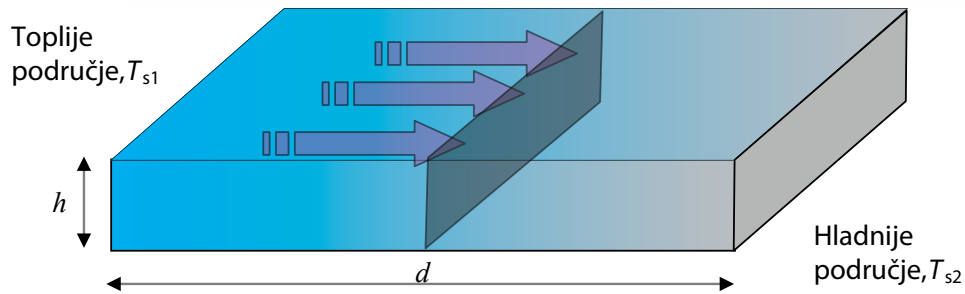
U osnovi se razlikuju tri načina transporta topline:

- kondukcija ili provođenje
- konvekcija ili komešanje (s promjenom agregatnog stanja ili bez nje)
- radijacija ili zračenje.

#### 3.3.2.1. Provođenje

Provođenje topline je način izmjene topline koji se događa u tijelima čije su osnovne čestice (molekule, atomi) vezane na položaj u kojem se nalaze u samom tijelu i ne mogu se znatnije pomaknuti. Strogo gledajući, provođenje se odvija u krutim tijelima (krutinama) premda se može pojaviti i kod tekućina (kapljevine ili plinova) kada se one nalaze u vrlo malom prostoru tako da ne može doći do znatnijeg gibanja njihovih makroskopskih dijelova. Provođenje je način izmjene topline pri kojemu se toplina prenosi na razini atoma i molekula njihovim direktnim dodirima. S obzirom da molekule više temperature imaju veću kinetičku energiju titranja, one će u srazu s molekulama niže temperature njima predati dio svoje energije, te se time usporiti. Prijenos je topline uvijek usmjeren od čestica više temperature prema česticama niže temperature.

S obzirom da nulti zakon termodinamike kaže da izolirani sustav, prepušten samom sebi, teži postizanju ravnoteže (toplinske), neravnomjerna raspodjela temperature unutar tijela može se održati samo pod uvjetom da je tijelo trajno izloženo poremećaju iz svojega okoliša. To znači da tijelo na jednom mjestu od nekoga prima, a na drugome mjestu nekome drugome predaje toplinu. Izmjena topline koja se odvija na rubnim plohama tijela, između tijela i njegovog okoliša, definira se odgovarajućim rubnim uvjetima.



Slika 3.13 - Provođenje topline

**Fourierov zakon**

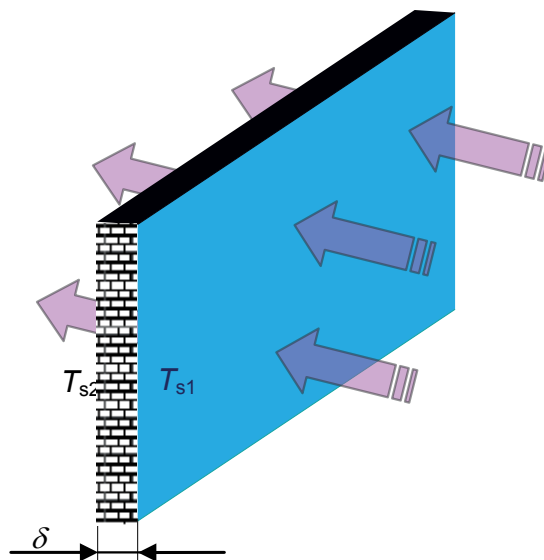
Za stacionarno provođenje topline kroz ravni homogeni sloj, bez postojanja toplinskih izvora ili ponora, te uz pretpostavku da je toplinska provodnost materijala konstantna, toplinski tok izmijenjen provođenjem računa se prema izrazu:

$$\Phi = \frac{(T_{s1} - T_{s2})}{\frac{d}{\lambda}} \cdot A \quad (3.11)$$

Oznake se u jednadžbi odnose na:

$\Phi$	-toplinski tok, [W]
$T_{s1} - T_{s2}$	-razlika temperatura rubnih ploha, [K]
$A$	-površina okomita na smjer izmjene topline, [m <sup>2</sup> ]
$d$	-debljina sloja, [m]
$\lambda$	-toplinska provodnost materijala, [W/mK]

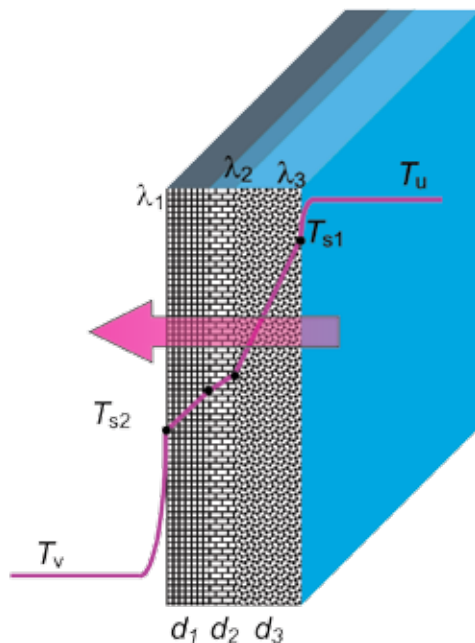
Nazivnik u jednadžbi 3.11 zove se specifični toplinski otpor [m<sup>2</sup>K/W].



Slika 3.14 - Jednodimenzijnsko provođenje topline kroz homogeni ravni sloj: toplinski tok okomit na površinu sloja

Za element sastavljen od više homogenih ravnih slojeva vrijedi:

$$\Phi = \frac{(T_{s1} - T_{s2})}{\frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3}} \cdot A \quad (3.12)$$



Slika 3.15 - Jednodimenzijnsko provođenje topline kroz element s više homogenih slojeva

### Toplinska provodnost materijala

Toplinska provodnost materijala ( $\lambda$ ) fizikalno je svojstvo materijala. U općem slučaju ovisi o prirodi promatrane tvari, njezinoj temperaturi, tlaku i vlažnosti. Određuje se mjerenjem. S obzirom na vrijednosti toplinske provodnosti pojedinih materijala koje se kreću od nekoliko stotina (čisti metali) do vrijednosti ispod jedinice (nemetalni materijali i plinovi), materijali se općenito mogu podijeliti na vodiče i izolatore. Vrijednost toplinske provodnosti gradbenih materijala se u prosjeku kreće oko 1 W/(m·K). Za izolacijske materijale su poželjne što niže vrijednosti toplinske provodnosti (što veći toplinski otpor) i kreću se oko 0,04 W/(m·K). U tablici 3.7 prikazane su informativne vrijednosti toplinske provodnosti za neke odabrane materijale: metale, gradbene i hidroizolacijske materijale te toplinsku izolaciju.

Tablica 3.7 - Toplinska provodnost (okvirne vrijednosti)

Materijal	Gustoća $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	Specifični toplinski kapacitet $c$ , J/(kg · K)	Toplinska provodnost $\lambda$ , W/(m · K)
Bakar	8930	379	386
Aluminij	2700	879	229
Čelik	7850	461	59,3
Puna opeka od gline	1800	900	0,81
Klinker opeka	1900	800	0,85
Puna fasadna opeka od gline	1800	900	0,83
Šuplja fasadna opeka od gline	1200	900	0,55
Prirodni kamen	2000	1000	1,40
Šuplji blokovi od betona	1000	1000	0,70
Šuplji blokovi od laganog betona	500	1000	0,30
Armirani beton	2500	1000	2,60
Beton s laganim agregatom	2000	1000	1,35
Porobeton	1000	100	0,31
Cementna žbuka	2000	1000	1,60
Vapnena žbuka	1600	1000	0,80
Gipsana žbuka	1500	1000	0,54
Lagana žbuka	1300	1000	0,56
Toplinsko-izolacijska žbuka	400	1000	0,11
Sanacijska žbuka	1400	1000	0,65
Cementni mort	2000	1000	1,60
Cementni estrih	2000	1100	1,60
Gipskartonske ploče	900	900	0,25
Keramičke pločice	2300	840	1,30
Bitumenska traka s uloškom staklenog voala	1100	1000	0,23
Polimerna hidroizolacijska traka na bazi PVC-P	1200	1000	0,14
Ekspandirani perlit	≤ 100	1000	0,060
Lomljevina ekspandiranog pluta	≤ 200	1300	0,055
Pijesak, šljunak, tucanik (drobljenac)	≤ 1700	1000	0,81
Prozorsko staklo	2400 - 3200	0,662	0,582 - 1,05
Mineralna vuna (MW)	30 - 200	1030	0,035 - 0,050
Ekspandirani polistiren (EPS)	15 - 30	1450	0,035 - 0,040
Tvrda poliuretanska pjena (PUR)	≥ 30	1400	0,020 - 0,040
Fenolna pjena (PF)	≥ 30	1400	0,030 - 0,045
Ekspandirano pluto (ICB)	80 - 500	1560	0,045 - 0,055
Drvena vlakanca (WF)	110 - 450	1400	0,035 - 0,070
Guma	1200	1,424	0,157
Voda	1000	4,18	0,60
Zrak	1,2	1,005	0,025

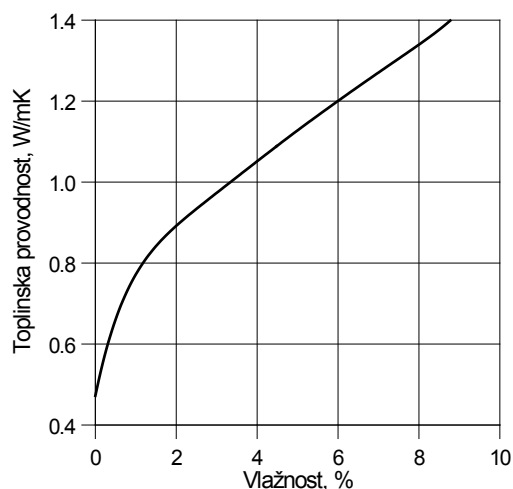
Materijali velike gustoće u pravilu imaju i veću vrijednost koeficijenta toplinske provodnosti. Praškasti i porozni materijali iskazuju posebnu ovisnost toplinske provodnosti o gustoći. To se objašnjava time što je toplinska provodnost materijala koji se nalazi unutar pora (najčešće zrak) puno manja od koeficijenta toplinske provodnosti same krutine.

Efektivna vrijednost toplinske provodnosti poroznih materijala bitno ovisi o njihovom sadržaju vlage. Tu se činjenicu objašnjava dodatnim doprinosom uslijed konvektivne izmjene topline uzrokovane kapilarnim gibanjem vlage te činjenicom da je toplinska provodnost vlage, koja umjesto zraka ispunjava prostor u porama materijala, više od 20 puta veća od toplinske provodnosti zraka. Sadržaj vlage u materijalu opisuje se masenom vlagom ( $X$ ) ili obujamskom vlagom ( $\psi$ ).

Masena vlaga (u postotcima) predstavlja odnos mase slobodne vode u materijalu i mase suhog materijala:

$$X = \frac{\text{masa vlažnog materijala} - \text{masa suhog materijala}}{\text{masa suhog materijala}} \cdot 100 \% \quad (3.13)$$

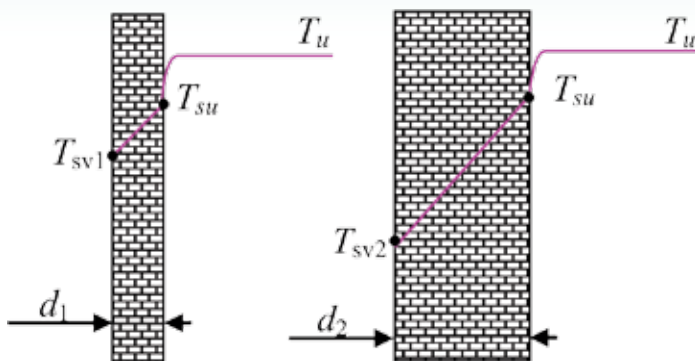
Obujamska vlaga predstavlja odnos obujma vode sadržane u materijalu i obujma toga materijala. Može se kao i masena vlaga izraziti u postotcima ili u  $\text{m}^3/\text{m}^3$ .



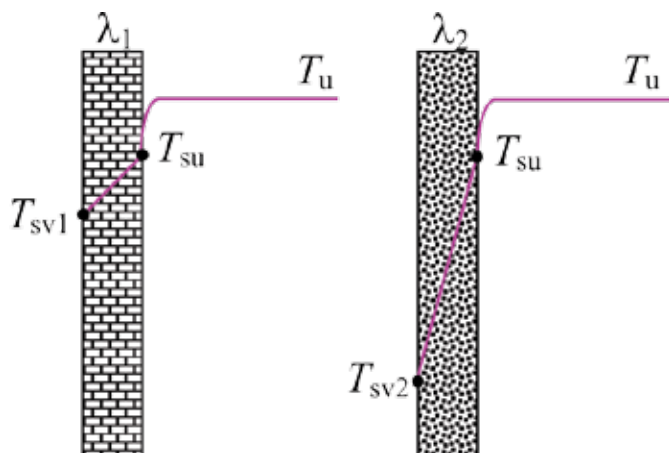
**Slika 3.16 - Ovisnost toplinske provodnosti zida od opeke o vlažnosti opeke**

Toplinska provodnost građevinskog materijala općenito raste s porastom temperature. Uzrok tomu je porast toplinske provodnosti osnovnog materijala, kao i porast toplinske provodnosti zraka u porama materijala. U građevinskoj praksi ovisnost toplinske provodnosti materijala o temperaturi, nema većega praktičnog značaja, jer se radi o relativno malom rasponu promjena temperatura građevnih elemenata. Za toplinske proračune u građevinarstvu koriste se vrijednosti toplinske provodnosti pri srednjoj vrijednosti temperature od  $10^\circ\text{C}$ . Toplinska provodnost poroznih materija je zbog njihove strukture zbroj svih triju efekata transporta topline: provođenja, konvekcije i zračenja. Zato se kod takvih materijala najčešće definira vrijednost specifičnog toplinskog otpora.

Toplinski otpor sloja načinjenog iz homogenog materijala ovisi o debljini sloja i o svojstvima materijala. Povećanje toplinskog otpora postiže se ili povećanjem debljine sloja (slika 3.17) ili izborom materijala s nižim vrijednostima toplinske provodnosti (slika 3.18).



Slika 3.17 - Provođenje topline kroz slojeve različitih debljina



Slika 3.18 - Provođenje topline kroz slojeve različitih toplinskih provodnosti

### Specifični toplinski kapacitet

Specifični toplinski kapacitet tvari je fizikalno svojstvo tvari. U termodinamici se označava simbolom  $c$ , mjerna jedinica je  $J/(kg \cdot K)$ . Definira ga se kao količinu topline koju treba dovesti jednom kilogramu tvari (pod određenim uvjetima) da se temperatura tvari promijeni za 1 K. Kapljevita voda ima jednu od najvećih vrijednosti specifičnog toplinskog kapaciteta. Za zagrijavanje, odnosno hlađenje 1 kilograma vode za 1 stupanj K potrebno je dovesti/odvesti oko 4200 J topline, što je u prosjeku oko deset puta više nego kod metalnih materijala. Produkt  $m \cdot c$  (J/K), naziva se toplinskim kapacitetom tvari, a označava iznos topline koju treba dovesti tvari mase  $m$  da joj se temperatura promijeni za 1 K. Sukladno prethodnom, za protočne sustave definira se toplinski kapacitet struje tekućine  $q_m \cdot c$  (W/K).

### Temperaturna provodnost ili toplinska difuzivnost

Veličina značajna pri analizi nestacionarnog provođenja topline je temperaturna provodnost ili toplinska difuzivnost:

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \quad [m^2/s] \quad (3.14)$$

Vrijednost toplinske difuzivnosti ukazuje na brzinu promjene temperature, što znači da će u volumenu krutine brže doći do izjednačavanja temperatura ukoliko krutina ima veću vrijednost koeficijenta  $a$ . Temperaturna provodnost predstavlja mjeru toplinske inercije. Metalni materijali imaju za red ili dva reda veličine veće vrijednosti koeficijenta toplinske difuzivnosti od gradbenih materijala.

### 3.3.2.2. Konvekcija

Konvekcija je naziv za prijenos topline koji se odvija između krutog tijela (npr. površina građevinskog elementa) i tekućine u gibanju. Pod tekućinom se podrazumijeva stanje tvari koje nije kruto, stanje plina i kapljevine. Gibanje tekućine može biti pobuđeno na dva načina: prirodnom (slobodnom) konvekcijom i prisilnom (prinudnom) konvekcijom.

Kod prirodne konvekcije strujanje je tekućine uvjetovano heterogenošću masenih sila nad promatranim volumenom tekućine. Ta je heterogenost uzrokovana nejednolikom temperaturnom raspodjelom u tekućini, a samim tim i nejednolikom raspodjelom gustoće (čestica uz površinu zida i čestica podalje). Ta razlika u gustoći za posljedicu ima slobodno strujanje tekućine. Primjerice: ako je površina zida toplija, onda će čestice tekućine koje su bliže površini biti toplije, te time i lakše. One će se uslijed toga podizati uvis i izazvati strujanje uzrokovano izmjenom topline.



Slika 3.19 - Tipičan model slobodne konvekcije

Kod prisilne konvekcije strujanje je tekućine izazvano izvana nametnutom razlikom tlakova (pumpa, ventilator), te se strujanje tekućine događa bez obzira na prijelaz topline. I kod jedne i kod druge vrste konvekcije intenzitet izmjene topline je određen brojem međusobnih dodira različito temperiranih čestica. Naime, u oba slučaja radi se o tome da se toplije čestice kreću od površine zida (ako je zid topliji od tekućine) prema jezgri struje, hlade se miješajući se s hladnijim česticama, a hladnije se čestice tekućine kreću prema toplijem zidu, zagrijavaju se i vraćaju u jezgri struje. Ako je više dodira (bolje miješanje čestica tekućine) i izmjena će topline biti intenzivnija. Prema tome, na prijelaz topline konvekcijom prevladavajući utjecaj ima način strujanja tekućine uz površinu zida.

Toplinski tok izmijenjen konvekcijom opisuje se Newtonovim zakonom hlađenja:

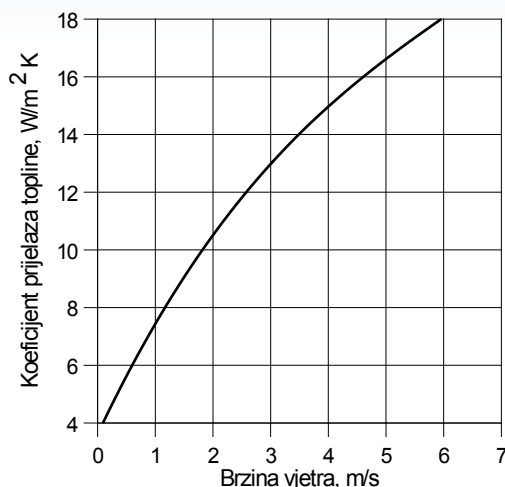
$$\Phi = h \cdot (\vartheta_s - \vartheta_\infty) \cdot A \quad (3.15)$$

pri čemu se oznake u jednadžbi odnose na:

$\Phi$	-toplinski tok,[W]
$h$	-koeficijent konvektivnog prijelaza topline, [W/m <sup>2</sup> K]
$\vartheta_s$	-temperatura površine zida, [°C]
$\vartheta_\infty$	-temperatura tekućine podalje od zida, [°C]
$A$	-površina okomita na smjer izmjene topline, [m <sup>2</sup> ]

U općem slučaju vrijednost koeficijenta prijelaza topline konvekcijom ovisi o veličini i obliku tijela (npr. građevinskog elementa), načinu strujanja (smjer toplinskog toka), o brzini strujanja, o temperaturi stijenke i temperaturi tekućine, te o svojstvima tekućine koja struji uz površinu. Na slici 3.18 prikazana je ovisnost konvektivnog koeficijenta prijelaza topline o brzini vjetrova za vertikalnu građevinsku plohu.





**Slika 3.20 - Ovisnost koeficijenta prijelaza topline o brzini vjetra za vertikalnu plohu**

Kako je kod slobodne konvekcije gibanje tekućine uzrokovano samo razlikama u gustoći tekućine, smjer će toplinskog toka imati utjecaja na intenzitet gibanja, a time posredno i na intenzitet transporta topline. Kod vertikalnih građevinskih ploha smjer toplinskog toka ne utječe bitno na vrijednost koeficijenta prijelaza topline konvekcijom. Međutim, kod horizontalnih ploha je smjer toplinskog toka od presudne važnosti. Za silazni smjer toplinskog toka vrijednost koeficijenta prijelaza topline je puno manja nego za uzlazni. Silazni toplinski tok susreće se kod međukatnih konstrukcija iznad negrijanih podruma kada je temperatura zraka u prostoriji viša od temperature poda. S obzirom da je zrak koji se nalazi uz pod niže temperature i veće gustoće, gibanje je zraka otežano, a time i konvektivna izmjena topline.

Slučaj uzlaznog toplinskog toka javlja se kod podnih konstrukcija s ugrađenim podnim grijanjem. U ovom slučaju zagrijava se hladniji zrak koji prispjeva na površinu poda, smanjuje mu se gustoća, diže se uvis i izaziva gibanje koje bitno povećava vrijednost konvektivnog koeficijenta prijelaza topline.

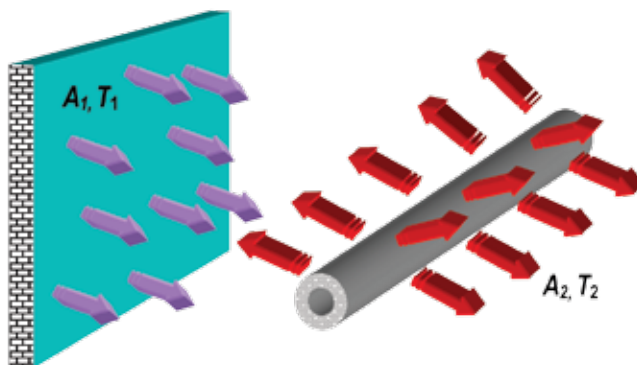
**Tablica 3.8 - Okvirne vrijednosti koeficijenta prijelaza topline za različite vrste strujanja**

Element građevinske konstrukcije	$h$ W/(m <sup>2</sup> K)	Napomena
Unutrašnji zid	8	Prirodna cirkulacija zraka
Strop, toplinski tok prema gore	8	
Strop, toplinski tok prema dolje	6	
Pod, toplinski tok prema dolje	6	
Pod, toplinski tok prema gore	7	
Vanjski zid i krov izloženi vjetru	30	Prisilna cirkulacija zraka
Unutarnje površine zidova	20	
Vanjski zid u zavjetrini	20	

### 3.3.2.3. Zračenje

Zračenje je mehanizam izmjene topline koji se odvija u formi elektromagnetskih valova između tijela različitih temperatura, između kojih je proziran (propustan) medij. Širenje se elektromagnetskih valova odvija bez materijalnog posrednika i to je osnovna razlika između zračenja i prethodna dva načina prijenosa topline (i provođenje i konvekcija zahtijevaju materijalnog posrednika). Zračenje se može odvijati i u vakuumu. Neki su materijali bolji, a neki lošiji emiteri zračenja. Iznos emitirane energije s površine tijela ovisi o temperaturi tijela, vrsti materijala i stanju površine. S obzirom da je kod krutina i kapljevina jako izražena apsorpcija zračenja pojedine molekule od strane njoj susjednih molekula, zračenje koje emitiraju, odnosno apsorbiraju kapljevine, odnosno krutine uvijek je vezano samo na zbivanje na površini. Za ovakve se materijale emisija i apsorpcija zračenja promatraju kao površinski fenomeni. Debljina površinskog sloja odgovornog za emisiju i apsorpciju zračenja iznosi: za metalne materijale tek nekoliko molekula, za nemetalne materijale nekoliko mikrometara. Većina je materijala nepropusna za toplinsko zračenje. Međutim, postoje materijali koji su propusni za upadna zračenja na pojedinim dijelovima elektromagnetskog spektra. Primjer takvog materijala je staklo: vrlo je propusno za svjetlosne zrake (valne duljine od 0,4 do 0,7  $\mu\text{m}$ ), potpuno nepropusno za infracrvene zrake (valne duljine od 0,7 do 400  $\mu\text{m}$ ).

Za mješavine plinova koji sadrže čestice vodene pare ili ugljičnog dioksida, ili pak za krutine koje su djelomično propusne za zračenje, apsorpcija je dubinska, te zračenje koje tijelo emitira može imati izvor bilo gdje u promatranom tijelu. Emisija i apsorpcija zračenja su tada volumenski fenomeni. Svako tijelo odašilje vlastito emitirano zračenje i apsorpira zračenje koje dolazi od drugih tijela. Neto iznos zračenjem izmijenjenog toplinskog toka je razlika između onoga što tijelo emitira i onoga što apsorpira.



Slika 3.21- Opći slučaj izmjene topline zračenjem između dvaju tijela

Problem izmjene topline zračenjem može postati vrlo složen ako se promatra izmjena topline između tijela proizvoljnih oblika i veličina, smještenih proizvoljno u prostoru. U tom će se slučaju, zračenje odašlano s površine promatranog tijela, raspodijeliti na sva tijela u njegovom okolišu, u iznosima koji će ovisiti o njihovoj geometriji i međusobnom prostornom položaju.

Za slučaj izmjene topline zračenjem između dvaju tijela koja su proizvoljno smještena u prostoru, uz uvjet da su maleni prostorni kutovi pod kojima se tijela međusobno vide, odnosno da se radi o dobrim emiterima zračenja ( $\epsilon_1 \approx \epsilon_2 \cong 1$ ), vrijede jednadžbe:

$$\Phi_{12} = \epsilon_{12} \cdot A_1 \cdot \epsilon_1 \cdot \epsilon_2 \cdot \sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4) \quad (3.16)$$

$$\Phi_{12} = \epsilon_{21} \cdot A_2 \cdot \epsilon_1 \cdot \epsilon_2 \cdot \sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4) \quad (3.17)$$

pri čemu je:

$\Phi$	-toplinski tok, [W]
$e_{12}, e_{21}$	-geometrijski ili vidni faktori
$A_1, A_2$	-površine tijela, [m <sup>2</sup> ]
$\varepsilon_1$	-emisijski faktor tijela [1]
$\varepsilon_2$	-emisijski faktor tijela [2]
$\sigma$	-5,6706 · 10 <sup>-8</sup> W/(m <sup>2</sup> K <sup>4</sup> ) Stefan-Boltzmannova konstanta
$T_1$	-temperatura tijela 1, [K]
$T_2$	-temperatura tijela 2, [K]

Geometrijski ili vidni faktor ovisi samo o geometriji graničnih ploha tijela i njihovom međusobnom položaju u prostoru. Izračunavanje vidnih faktora za različite geometrije i međusobne položaje može se provesti preko jednadžbi dostupnih u stručnoj literaturi.

Najjednostavniji je slučaj izmjene topline zračenjem između dviju (za toplinsko zračenje nepropusnih) bliskih usporednih stijenki, za koje vrijedi jednakost površina, tj.  $A_1 = A_2 = A$ , te za koje je vidni faktor  $e_{12} = 1$ . Slijedi da je:

$$\Phi_{12} = \frac{A \cdot \sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \quad (3.18)$$

Drugi je jednostavni primjer izmjena topline zračenjem za model obuhvaćenog tijela. Za taj slučaj se uz  $e_{12} = 1$  i  $e_{21} = \omega = A_1/A_2$  dobiva:

$$\Phi_{12} = \frac{A_1 \cdot \sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \omega \cdot \left( \frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right)} \quad (3.19)$$

Emisijski faktor površine tijela u općem slučaju ovisi o vrsti materijala, stanju površine, temperaturi i valnoj duljini. Koeficijenti emisije većine građevinskih materijala (beton, opeka, žbuka i slično) kreću se od 0,8 do 0,9, što znači da su građevinski materijali dobri emiteri i dobri apsorberi zračenja.

U tablici 3.9 su navedene vrijednosti emisijskih faktora za neke karakteristične građevinske materijale.

Tablica 3.9 - Emisijski faktori

Vrsta materijala		Temperatura °C	Emisijski faktor $\epsilon_n$ (g)
Drvo:	bukva	70	0,935
	hrastovina	40	0,9
	smrekovina	100	0,82
Građevni materijali:	azbestne ploče	40	0,96
	asfalt, pločnik	40	0,85 - 0,93
	beton, hrapava površina	0 - 100	0,92 - 0,97
	granit	40	0,44
	sadra, gips	40	0,9
	mramor - polirani - brušeni	40 -	0,93 0,545
	žbuka	40	0,93
Guma:	tvrda, crna	40	0,95
	mekana siva	40	0,86
Krovni materijali:	alumijske površine	40	0,22
	azbestni cement	1400	0,65
	bitumenski filc	1400 - 2800	0,89
	pokrovne ploče: smeđe zelene	1400 1400°C	0,8 0,87
Opeka:	žuta, vatrootporna	540 1100	0,94 0,98
	pročeljna, crvena	20	0,92
	pročeljna, žuta	20	0,72
	vatrootporna	17	0,87
	P.V.C.		0,91 - 0,93
Staklo:	glatko, ravno	0 - 200	0,92 - 0,95
	polirane ploče	20	0,94

#### 3.3.2.4. Ukupni toplinski otpor građevnog elementa – metoda proračuna prema normi HRN EN ISO 6946

Načelno se postupak proračuna ukupnog toplinskog otpora građevnog dijela provodi tako da se izračunaju toplinski otpori svakog homogenog sloja i njima pribroje površinski (plošni) toplinski otpori. U nastavku su prikazani načini proračuna ukupnog toplinskog otpora za slučaj kada se građevni element sastoji od toplinski homogenih slojeva i za slučaj kada se građevni element sastoji od toplinski homogenih i toplinski nehomogenih slojeva.

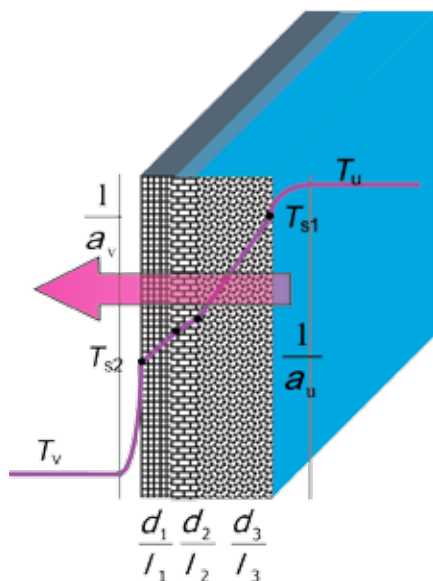
### Toplinski otpor homogenih slojeva

Prema normi ISO 6946 toplinski se homogenim slojem smatra sloj konstantne debljine čija su toplinska svojstva jednolika. Toplinski otpor homogenog sloja računa se prema jednadžbi:

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (3.20)$$

pri čemu je:

- $d$  - debljina sloja materijala, [m]  
 $\lambda$  - toplinska provodnost sloja materijala, [W/(mK)]



Slika 3.22 - Prolazak topline kroz građevinski element sastavljen od više homogenih slojeva

### Otpori prijelaza topline na graničnim plohama, plošni toplinski otpori

Za slučajeve kada nisu poznati specifični uvjeti izmjene topline na ravnim rubnim (graničnim) plohama tijela i okolnog zraka, u proračunu se mogu primijeniti vrijednosti navedene tablici 3.10. Vrijednosti navedene u stupcu "vodoravno" primjenjuju se za toplinski tok s nagibom do  $\pm 30^\circ$  od horizontalne ravnine.

Tablica 3.10 prikazuje projektne vrijednosti otpora prijelazu topline u ovisnosti o smjeru toplinskog toka. Vrijednosti plošnih otpora koriste se isključivo na onim površinama koje su u dodiru sa zrakom. U slučaju kada je smjer toplinskog toka promjenljiv, preporučuje se koristiti vrijednosti za vodoravan smjer toplinskog toka.

Za građevne dijelove koji graniče s tlom uzima se da je  $R_{se} = 0$ .

Tablica 3.10 - Plošni otpori prijelazu topline u ovisnosti od smjera toplinskog toka

	Smjer toplinskog toka		
	Uvis	Vodoravan	Naniže
$R_{si}'$ [(m <sup>2</sup> ·K)/W]	0,10	0,13	0,17
$R_{se}'$ [(m <sup>2</sup> ·K)/W]	0,04	0,04	0,04

**Toplinski otpori slojeva zraka**

Vanjski građevinski elementi nekada se izvode sa zatvorenim slojem zraka koji građevinski element dijeli u dva dijela. O zračnom sloju u građevinskom elementu i njegovom toplinskom otporu prijenosu topline, ima smisla govoriti ako je debljina tog zračnog sloja relativno mala (od 2 do 10 cm) u odnosu na njegovu visinu i širinu. S obzirom da se transport topline u sloju zraka ne odvija samo provođenjem, kao kod krutih materijala, već i konvekcijom i zračenjem, toplinski otpor sloja zraka nije određen isključivo njegovom debljinom. Naprotiv, toplinski otpor sloja zraka u tom slučaju ovisi o svim faktorima o kojima ovisi prijelaz topline konvekcijom i zračenjem: debljini zračnog sloja, smjeru toplinskog toka i emisijskim faktorima površina koje ograničavaju sloj zraka.

Vrijednosti navedene u tablici 3.11 predstavljaju vrijednosti toplinskog otpora neprovjetranog sloja zraka različite debljine, u ovisnosti o smjeru toplinskog toka i mogu se koristiti za sloj zraka koji:

- se nalazi između površina koje su međusobno paralelne i okomite na smjer toplinskog toka, a čiji je emisijski faktor veći od 0,8
- ima debljinu (u smjeru toplinskog toka) od najmanju 0,1 puta debljine svake od dvije preostale dimenzije, ali nije deblji od 0,3 m
- nema izmjene zraka s unutarnjim prostorom.

Međuvrijednosti se dobivaju linearnom interpolacijom. Vrijednosti navedene u stupcu "vodoravno" primjenjuju se za toplinski tok s nagibom do  $\pm 30^\circ$  od horizontale.

**Tablica 3.11 - Toplinski otpor neprovjetranih slojeva zraka, ( $m^2 K/W$ ), površine velike emisivnosti**

Debljina sloja zraka mm	Smjer toplinskog toka		
	Uvis	Vodoravan	Naniže
0	0,00	0,00	0,00
5	0,11	0,11	0,11
7	0,13	0,13	0,13
10	0,15	0,15	0,15
15	0,16	0,17	0,17
25	0,16	0,18	0,19
50	0,16	0,18	0,21
100	0,16	0,18	0,22
300	0,16	0,18	0,23

*Neprovjetranim slojem zraka* smatra se sloj zraka u kojemu ne postoji izravna dobava pri cirkulaciji zraka unutar sloja. Ako između sloja zraka i vanjske okoline nema izolacije, ali postoje mali otvori prema vanjskom okolišu, sloj zraka se može smatrati neventiliranim ako ti otvori ne dopuštaju strujanje kroz sloj i ne prelaze:

- 500 mm<sup>2</sup> po metru duljine (u horizontalnom smjeru) za vertikalne slojeve zraka
- 500 mm<sup>2</sup> po kvadratnom metru površine za horizontalne slojeve zraka.

*Slabo provjetravani sloj zraka* je sloj u kojemu je dobava zraka iz vanjskog okoliša ograničena površinom otvora,  $A_v$  unutar sljedećih područja:

- > 500 mm<sup>2</sup> ali < 1500 mm<sup>2</sup> po metru duljine (u horizontalnom smjeru) za vertikalne slojeve zraka
- > 500 mm<sup>2</sup> ali < 1500 mm<sup>2</sup> po kvadratnom metru površine za horizontalne slojeve zraka.

Utjecaj provjetravanja ovisi o veličini i rasporedu ventilacijskih otvora. Proračun ukupnog toplinskog otpora komponente sa slabo provjetravanim slojem zraka, može se približno izračunati jednadžbom:

$$R_T = \frac{1500 - A_v}{1000} \cdot R_{T,u} + \frac{A_v - 500}{1000} \cdot R_{T,v} \quad (3.21)$$

pri čemu je:

- $R_{T,u}$  - ukupni toplinski otpor s neprovjetravanim slojem zraka, [(m<sup>2</sup>K)/W]
- $R_{T,v}$  - ukupni toplinski otpor s dobro (jako) provjetravanim slojem zraka, [(m<sup>2</sup>K)/W]
- $A_v$  - površina otvora, mm<sup>2</sup>

Dobro provjetravani sloj zraka je sloj zraka za koji je površina otvora između sloja zraka i vanjskog okoliša veća ili jednaka:

- 1500 mm<sup>2</sup> po metru duljine (u horizontalnom smjeru) za vertikalne slojeve zraka
- 1500 mm<sup>2</sup> po kvadratnom metru površine za horizontalne slojeve zraka.

Ukupni toplinski otpor građevne komponente koja sadrži dobro ventilirani sloj zraka, treba provesti tako da se izostavi toplinski otpor sloja zraka i svih ostalih slojeva koji se nalaze između sloja zraka i vanjskog okoliša, a uključi vanjski površinski otpor koji odgovara mirujućem zraku. Moguće je koristiti i odgovarajuće vrijednosti za  $R_{si}$  iz tablice 3.10.

*Proračun ukupnog toplinskog otpora elementa građevine koji se sastoji od homogenih slojeva*

Ukupan toplinski otpor ravnog građevnog dijela koji se sastoji od više homogenih slojeva okomitih na smjer toplinskog toka, računa se prema jednadžbi:

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n + R_{se} \quad (3.22)$$

pri čemu se oznake u jednadžbi odnose na:

- $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$  - otpor provođenju topline pojedinog homogenog sloja, [(m<sup>2</sup> K)/W]
- $R_{si}, R_{se}$  - unutarnji, odnosno vanjski otpor prijelazu topline, plošni otpori, [(m<sup>2</sup> K)/W]

Kada se ukupni toplinski otpor predstavlja kao konačan rezultat, treba ga iskazati na dvije decimale.

*Proračun ukupnog toplinskog otpora elementa građevine koji se sastoji od homogenih i nehomogenih slojeva*

Metoda proračuna ukupnog toplinskog otpora elementa građevine, predstavljena u nastavku, jednostavna je metoda koja je primjenjiva za slučajeve kada omjer gornje i donje granične vrijednosti ukupnog toplinskog otpora ne prelazi 1,5. Metoda nije primjenjiva za slučajeve kada je izolacija premošćena nekim metalnim elementom. Za slučajeve primjene metalnih spojnica metoda se može primijeniti tako da se proračun provede ne uzimajući u obzir metalne spojnice, a onda se rezultat (ukupni toplinski otpor) korigira prema ISO 6946 dodatak D.

Ukupni toplinski otpor komponente građene od toplinski homogenih i toplinski nehomogenih slojeva koji su prostorno paralelni s površinom izmjene topline, računa se kao aritmetička srednja vrijednost gornje i donje granične vrijednosti toplinskog otpora:

$$R_T = \frac{R_T' + R_T''}{2} \quad (3.23)$$

Pri tome je:

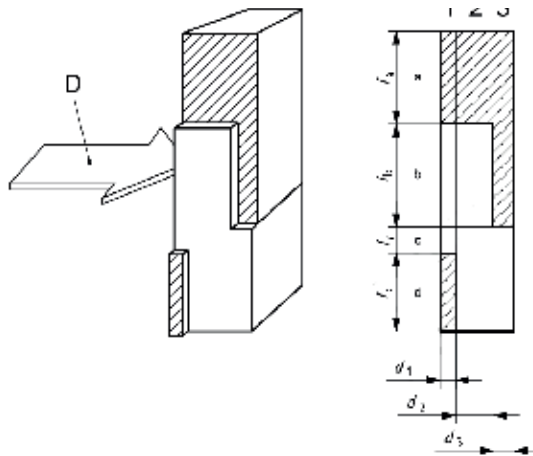
- $R_T'$  - gornja granična vrijednost ukupnog toplinskog otpora, [(m<sup>2</sup> K)/W]
- $R_T''$  - donja granična vrijednost ukupnog toplinskog otpora, [(m<sup>2</sup> K)/W]

Kada se ukupni toplinski otpor predstavlja kao konačan rezultat, treba ga iskazati na dvije decimale.

Potrebno je naglasiti da se ovako izračunata vrijednost ukupnog toplinskog otpora građevnog elementa smije koristiti samo

za proračun toplinskih gubitaka, a nikako za proračun stvarnih temperatura u nekoj točki površine građevnog elementa. U tom smislu metoda nije prikladna za proračun površinskih temperatura u svrhu procjene moguće pojave kondenzacije vlage.

Proračun gornje i donje granične vrijednosti treba provesti tako da se promatrani građevni element podijeli na odsječke i slojeve kako je prikazano na slici 3.23, pri čemu se svi tako dobiveni dijelovi promatranog građevinskog elementa ( $m_j$ ) pojedinačno smatraju toplinski homogenima. Odsječcima  $m$  ( $m = a, b, c, \dots, q$ ) okomitim na površine građevinskog elementa pripadaju odgovarajući udjeli u površini  $f_m$ . Slojevi  $j$  ( $j = 1, 2, 3, \dots, n$ ) su paralelni s površinama i imaju debljine  $d_j$ . Dakle, dio  $m_j$  ima toplinsku provodnost  $\lambda_{mj}$ , debljinu  $d_j$ , udio u ukupnoj površini  $f_m$  i toplinski otpor  $R_{mj}$ . Suma svih udjela u površinama je jednaka jedinici:  $f_a + f_b + f_c + \dots + f_q = 1$ .



**Slika 3.23 - Uz proračun toplinskog otpora nehomogenih građevnih slojeva**

Gornja granična vrijednost ukupnog toplinskog otpora,  $R_T'$  računa se uz pretpostavku jednodimenzijskog toplinskog toka, okomitog na promatranu površinu prema izrazu:

$$\frac{1}{R_T'} = \frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} + \frac{f_c}{R_{Tc}} + \dots + \frac{f_n}{R_{Tn}} \quad (3.24)$$

pri čemu je:

$R_{Ta}, R_{Tb}, \dots, R_{Tn}$  - ukupni toplinski otpor između dva prostora različitih temperatura za svaki promatrani odsječak,  $[(m^2 \cdot K)/W]$   
 $f_a, f_b, \dots, f_n$  - udjeli površina svakog promatranog odsječka u ukupnoj površini.

Donja granična vrijednost ukupnog toplinskog otpora izračunava se s pretpostavkom da su sve ravnine paralelne s površinom objekta izotermne plohe - izoterme. Računa se ekvivalentni toplinski otpor svakog nehomogenog sloja:

$$\frac{1}{R_j} = \frac{f_a}{R_{aj}} + \frac{f_b}{R_{bj}} + \frac{f_c}{R_{cj}} + \dots + \frac{f_n}{R_{nj}} \quad (3.25)$$

Donja granična vrijednost ukupnog toplinskog otpora računa se prema izrazu:

$$R_T'' = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n + R_{se} \quad (3.26)$$

*Procjena pogreške*

Maksimalna relativna pogreška,  $e$ , u postocima određuje se prema jednadžbi:

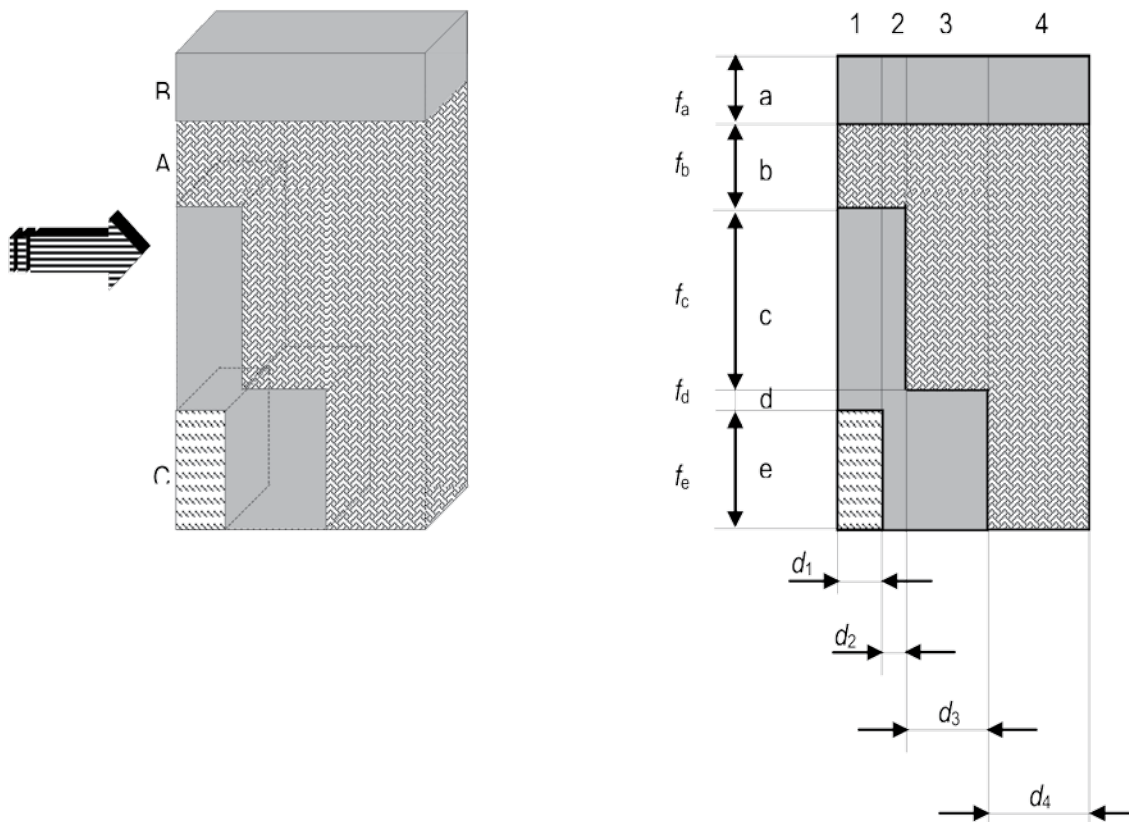
$$e = \frac{R_T' - R_T''}{2 \cdot R_T} \cdot 100 \quad (3.27)$$

Za omjer gornje i donje granične vrijednosti ukupnog toplinskog otpora od 1,5 maksimalna relativna pogreška iznosi 20%.



## Primjer proračuna

Za konfiguraciju slojeva prema slici 3.24, potrebno je odrediti ukupni koeficijent toplinskog otpora građevnog dijela sa svojstvima i dimenzijama navedenima u tablicama u nastavku.



Slika 3.24 - Uz primjer proračuna toplinskog otpora elementa građevine koji se sastoji od homogenih i nehomogenih slojeva

Tablica 3.12 - Svojstva materijala u nehomogenom sloju

Materijal	Toplinska provodnost $\lambda$ , W/(mK)
A – beton od kamenog agregata	2,33
B – puna opeka	0,76
C - drvo, hrastovina	0,21

Tablica 3.13 - Debljina slojeva u smjeru toplinskog toka

Oznaka sloja	Debljina sloja u smjeru toplinskog toka mm
1	50
2	30
3	90
4	110

Tablica 3.14 - Udjeli u površini pojedinih odsječaka

Oznaka površine	Udio područja
a	$f_a = 0,137$
b	$f_b = 0,176$
c	$f_c = 0,932$
d	$f_d = 0,039$
e	$f_e = 0,256$

Gornja granična vrijednost računa se prema izrazu:

$$R_{Ta} = R_{si} + R_{a1} + R_{a2} + R_{a3} + R_{a4} + R_{se} = 0,13 + 0,06579 + 0,03947 + 0,1184 + 0,14474 + 0,04 = 0,53842 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W} \quad (3.28)$$

$$R_{Tb} = R_{si} + R_{b1} + R_{b2} + R_{b3} + R_{b4} + R_{se} = 0,13 + 0,02146 + 0,01287 + 0,03863 + 0,0472 + 0,04 = 0,2902 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W} \quad (3.29)$$

$$R_{Tc} = R_{si} + R_{c1} + R_{c2} + R_{c3} + R_{c4} + R_{se} = 0,13 + 0,06579 + 0,03947 + 0,03863 + 0,0472 + 0,04 = 0,3611 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W} \quad (3.30)$$

$$R_{Td} = R_{si} + R_{d1} + R_{d2} + R_{d3} + R_{d4} + R_{se} = 0,13 + 0,06579 + 0,03947 + 0,11842 + 0,0472 + 0,04 = 0,4409 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W} \quad (3.31)$$

$$R_{Te} = R_{si} + R_{e1} + R_{e2} + R_{e3} + R_{e4} + R_{se} = 0,13 + 0,2381 + 0,03947 + 0,11842 + 0,0472 + 0,04 = 0,6132 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W} \quad (3.32)$$

$$\frac{1}{R_T} = \frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} + \frac{f_c}{R_{Tc}} + \frac{f_d}{R_{Td}} + \frac{f_e}{R_{Te}} = \frac{0,137}{0,53842} + \frac{0,176}{0,29017} + \frac{0,392}{0,3611} + \frac{0,039}{0,44089} + \frac{0,256}{0,6132} = 2,4525 \quad (3.33)$$

$$R_T^i = 0,40775 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W} \quad (3.34)$$

Proračun donje granične vrijednosti toplinskog otpora pretpostavlja proračun ekvivalentnog toplinskog otpora svakog nehomogenog sloja. Proračun se provodi za slojeve od 1 do 4.

$$\frac{1}{R_1} = \frac{f_a}{R_{a1}} + \frac{f_b}{R_{b1}} + \frac{f_c}{R_{c1}} + \frac{f_d}{R_{d1}} + \frac{f_e}{R_{e1}} = \frac{0,137}{0,06579} + \frac{0,176}{0,02146} + \frac{0,392}{0,06579} + \frac{0,039}{0,06579} + \frac{0,256}{0,2381} = 17,91 \quad (3.35)$$

$$R_1 = 0,05583 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W} \quad (3.36)$$

$$\frac{1}{R_2} = \frac{f_a}{R_{a2}} + \frac{f_b}{R_{b2}} + \frac{f_c}{R_{c2}} + \frac{f_d}{R_{d2}} + \frac{f_e}{R_{e2}} = \frac{0,137}{0,03947} + \frac{0,176}{0,012876} + \frac{0,392}{0,03947} + \frac{0,039}{0,03947} + \frac{0,256}{0,03947} = 34,544 \quad (3.37)$$

$$R_2 = 0,02895 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W} \quad (3.38)$$

$$\frac{1}{R_3} = \frac{f_a}{R_{a3}} + \frac{f_b}{R_{b3}} + \frac{f_c}{R_{c3}} + \frac{f_d}{R_{d3}} + \frac{f_e}{R_{e3}} = \frac{0,137}{0,11842} + \frac{0,176}{0,03863} + \frac{0,392}{0,03863} + \frac{0,039}{0,11842} + \frac{0,256}{0,11842} = 18,353 \quad (3.39)$$

$$R_3 = 0,05448 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W} \quad (3.40)$$

$$\frac{1}{R_4} = \frac{f_a}{R_{a4}} + \frac{f_b}{R_{b4}} + \frac{f_c}{R_{c4}} + \frac{f_d}{R_{d4}} + \frac{f_e}{R_{e4}} = \frac{0,137}{0,14474} + \frac{0,176}{0,04721} + \frac{0,392}{0,04721} + \frac{0,039}{0,04721} + \frac{0,256}{0,04721} = 19,226 \quad (3.41)$$

$$R_4 = 0,05201 \text{ (m}^2 \text{ K)/W} \quad (3.42)$$

$$R_T'' = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n + R_{se} = 0,13 + 0,05583 + 0,02895 + 0,05448 + 0,05201 + 0,04 = 0,36128 \text{ (m}^2 \text{ K)/W} \quad (3.43)$$

$$R_T = \frac{R_T' + R_T''}{2} = \frac{0,40775 + 0,36128}{2} = 0,3845 \text{ (m}^2 \text{ K)/W} \quad (3.44)$$

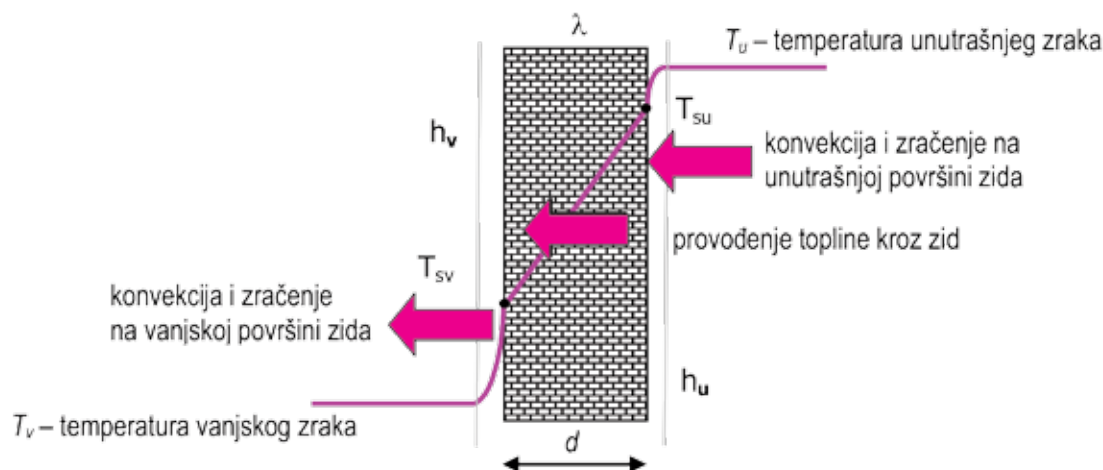
Omjer gornje i donje granične vrijednosti toplinskog otpora za promatrani građevni element iznosi:

$$\frac{R_T'}{R_T''} = 1,128 \quad (3.45)$$

Proračun se može provesti po ovoj metodi.

### 3.3.2.5. Koeficijent prolaska topline

Transport topline s tekućine s jedne strane zida na tekućinu s druge strane zida naziva se prolazak topline. Prolazak topline u sebi uvijek uključuje dva transporta topline konvekcijom na rubnim plohama zida, provođenje kroz zid (jednoslojni ili višeslojni) i, ako postoji, izmjenu topline zračenjem na rubnim plohama.



Slika 3.25 - Prolazak topline kroz jednoslojni ravni zid

Koeficijent prolaska topline predstavlja recipročnu vrijednost ukupnog toplinskog otpora. Oznaka za koeficijent prolaska topline je  $U$ , mjerna jedinica je  $W/(m^2 K)$ .

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (3.46)$$

pri čemu  $R_T$  predstavlja ukupni toplinski otpor građevnog dijela u  $(m^2 K)/W$ .

Računski određena vrijednost  $U$  nesmije biti veća od najveće dopuštene vrijednosti koeficijenta prolaska topline iskazane u Tehničkim propisima o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (NN 110/2008). U proračunu koeficijenta prolaska topline kod podova na tlu i krovova, u obzir se uzimaju samo slojevi koji su sa strane prostorije do sloja hidroizolacije. Iznimka je slučaj sustava obrnutog krova na toplinsko-izolacijski sloj inaperimetarsku toplinsku izolaciju (vanjska toplinska izolacija dijela zgrade koji je u dodiru s tlom koja ne leži u podzemnoj vodi kada su oni od ekstrudiranog polistirena ili drugog odgovarajućeg vodoneupojnog materijala).

**Korekcija koeficijenta prolaska topline**

Koeficijent prolaska topline, izračunat prema prethodno opisanim postupcima, treba korigirati za slučajeve kada u obzir treba uzeti utjecaje zračnih šupljina u izolaciji mehaničkih spojnica, koje prolaze kroz izolaciju i utjecaj padalina kod obrnutog krova. Korekcija se provodi tako da se izračunatoj vrijednosti koeficijenta prolaska topline dodaje korekcijski član  $\Delta U$ .

$$U_c = U + \Delta U \quad (3.47)$$

$$\Delta U = \Delta U_g + \Delta U_f + \Delta U_r \quad (3.48)$$

pri čemu je:

- $\Delta U_g$  -korekcija za zračne šupljine, uzima u obzir gibanje zraka u toplinskoj izolaciji
- $\Delta U_f$  -korekcija za mehaničke spojnice, uzima u obzir utjecaj pričvrstna ploča toplinske izolacije i sličnih spojnica na smanjenje toplinskog otpora, pri čemu je potrebno poznavati broj, geometriju i svojstva spojnica
- $\Delta U_r$  -korekcija za obrnute krovove, uzima u obzir negativni utjecaj oborinskih voda na toplinsku izolaciju.

Zračna šupljina je opći naziv za prostor ispunjen zrakom u izolaciji ili između izolacije i susjednih elemenata, koji postoji u stvarnoj izvedbi građevine, ali se ne prikazuju na građevinskim crtežima. Zračne šupljine se mogu podijeliti u dvije kategorije: procjepi između izolacijskih ploča ili između izolacije i konstrukcijskog elementa u smjeru toplinskog toka i zračni džepovi u izolaciji ili između izolacije i konstrukcijskog materijala okomiti na smjer toplinskog toka. Zračne šupljine mogu poboljšati izmjenu topline tako da se povećava transport topline konvekcijom i zračenjem: povećanje ovisi o veličini, orijentaciji i poziciji zračne šupljine.

Zračni su procjepi uzrokovani malim promjenama u dimenzijama izolacijskog proizvoda (tolerancija dimenzija), odstupanjima u odnosu na zahtijevane veličine tijekom rezanja i postavljanja izolacije, te zbog postojanja dimenzijskih tolerancija samog konstrukcijskog elementa i njegovih nepravilnosti. Samo procjepi koji premošćuju cijelu debljinu izolacije od tople do hladne strane uzrokuju porast transporta topline, te je provedba korekcije koeficijenta transporta topline u tom slučaju neophodna.

Zračni džepovi nastaju uslijed neparalelnih površina unutar same konstrukcije: izolacija je prekruta, nesavijljiva ili nekompresibilna, te ne naliježe u potpunosti na konstrukcijski element. Kada zračni džepovi nisu spojeni, tj. kada nisu povezani s drugim zračnim šupljinama ili unutrašnjom, odnosno vanjskom okolinom, primjenjuje se samo blaža korekcija.

Ukoliko se zračni procjepi i zračni džepovi javljaju u kombinaciji, može biti prisutan transport mase, što će dodatno pojačati izmjenu topline i u tom slučaju treba primijeniti značajniju korekciju. Izračun korekcije provodi se prema normi ISO 6946 Dodatak D.2.

Korekcija za mehaničke spojnice provodi se ako spojnice prodiru djelomično ili potpuno kroz izolacijski sloj. Pri tome u obzir treba uzeti vrstu materijala spojnica, broj spojnica po  $m^2$  površine, površinu poprečnog presjeka spojnica, debljinu izolacijskog sloja koji sadržava spojnicu te duljinu spojnica koja se nalazi u izolacijskom sloju. Korekciju nije potrebno provoditi za slučaj da je toplinska provodnost mehaničkih spojnica manja od  $1 \text{ W}/(m \cdot K)$ . Izračun korekcije provodi se prema normi ISO 6946 Dodatak D.3.

Korekcija za obrnute krovove provodi se uslijed slijevanja oborina između toplinske izolacije (ekstrudirani polistiren XPS) i hidroizolacije. Korekcija se provodi samo za grijane građevine. Za ovu je korekciju potrebno poznavati podatke o srednjoj vrijednosti kiše u  $\text{mm}/\text{danu}$  tijekom sezone grijanja za lokaciju na kojoj se građevina nalazi.

Ukoliko ukupna korekcija  $\Delta U$  ne prelazi iznos od 3%, korekcija se ne mora primijeniti.

### 3.3.2.6. Akumulacija energije u građevinskim elementima

Ako su uvjeti izmjene topline na rubnim plohamu građevinske konstrukcije konstantni u vremenu (nepromjenljivi), građevinska se konstrukcija nalazi u stacionarnom ili približno stacionarnom (kvazistacionarnom) stanju. Temperature pojedinih elemenata konstrukcije (i njezinih slojeva) su konstantne i svojim iznosima odgovaraju intenzitetu i značajkama izmjene topline na rubnim plohamu. Svaki je element konstrukcije na svojoj točno određenoj, ravnotežnoj temperaturi u odnosu na uvjete nametnute iz okoliša.

S obzirom na masu i specifični toplinski kapacitet, svaki će dio građevinske konstrukcije imati i određeni iznos unutarnje energije. Specifična unutarnja energija nekompresibilnih tvari mjeri se u J/kg i definira prema jednadžbi:

$$u(\vartheta) = c \cdot (\vartheta - \vartheta_0) + u_0 \quad [\text{J/kg}] \quad (3.49)$$

pri čemu je:

- $u$  - specifična unutarnja energija tijela pri temperaturi  $J$ , [J/kg]
- $c$  - specifični toplinski kapacitet nekompresibilne tvari, [J/(kg · K)]
- $\vartheta$  - temperatura tijela, [°C]
- $\vartheta_0$  - referentna temperatura, [°C]
- $u_0$  - referentna vrijednost specifične unutarnje energije pri temperaturi  $\vartheta_0$ , [J/kg]

Uobičajeni je dogovor da je pri temperaturi  $\vartheta_0 = 0$  °C vrijednost unutarnje energije  $u_0(\vartheta_0) = 0$  J/kg, te jednadžba (3.49) prelazi u oblik:

$$u(\vartheta) = c \cdot \vartheta \quad [\text{J/kg}] \quad (3.50)$$

S obzirom da se osnovni građevinski materijali (beton, puna opeka) uglavnom odlikuju velikom gustoćom, a time i velikom masom, moći će u sebi akumulirati veću količinu energije (zapravo unutrašnje energije, premda se ova energija ponekad u literaturi pogrešno naziva topline).

Stoga, ako zimi dođe do prekida grijanja, masivni će građevinski elementi izmjenom topline (i smanjenjem svoje unutrašnje energije) sa zrakom u prostoriji, dugo vremena temperaturu zraka održavati manje-više konstantnom i time spriječiti naglo ohlađivanje prostorije. Akumulacija energije u vanjskim konstrukcijama u ljetnom razdoblju nije poželjna jer uzrokuje povišenje ionako visokih temperatura zraka u prostorijama.

Mogućnost akumulacije energije vanjskog elementa zgrade u zimskom razdoblju opisuje se koeficijentom akumulacije  $W_e$ , u kJ/(m<sup>2</sup> · K), i računa prema izrazu:

$$W = U \cdot \left[ d_1 \cdot \rho_1 \cdot c_1 \cdot \left( \frac{1}{h_e} + \frac{d_1}{2 \cdot \lambda_1} \right) + d_2 \cdot \rho_2 \cdot c_2 \cdot \left( \frac{1}{h_e} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{2 \cdot \lambda_2} \right) + \dots \right. \\ \left. + d_n \cdot \rho_n \cdot c_n \cdot \left( \frac{1}{h_e} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \dots + \frac{d_{n-1}}{\lambda_{n-1}} + \frac{d_n}{2 \cdot \lambda_n} \right) \right] \quad [\text{kJ/m}^2 \text{ K}] \quad (3.51)$$

pri čemu veličine u jednadžbi (3.51) predstavljaju:

- $W$  - koeficijent akumulacije energije, [kJ/(m<sup>2</sup>K)]
- $d_i$  - debljina sloja, [m]
- $\rho_i$  - gustoća materijala, [kg/m<sup>3</sup>]
- $c_i$  - specifični toplinski kapacitet, [J/(kg K)]
- $\lambda_i$  - toplinska provodnost materijala, [W/(m K)]
- $h_e$  - koeficijent prijelaza topline na vanjskoj površini (uključujući zračenje i konvekciju), [W/(m<sup>2</sup>K)].

Koeficijent akumulacije  $W_e$  predstavlja količinu energije koju vanjski građevinski element akumulira po jedinici svoje površine za jediničnu razliku temperatura unutarnjeg i vanjskog zraka u stacionarnom stanju.

Toplinska svojstva građevinske konstrukcije ne ovise samo o debljini pojedinih slojeva nego i o redosljedu slaganja slojeva. Redosljed slaganja slojeva će utjecati na raspored temperatura višeslojnog građevinskog elementa. Za zimsko razdoblje godine ukoliko je toplinska izolacija postavljena s vanjske, hladnije strane, uslijed velikog toplinskog otpora sloja izolacije, ostatak će građevinskog elementa (nosivi dio) biti na relativno visokoj temperaturi. Ako se toplinska izolacija postavi s unutrašnje strane, cijeli će nosivi dio zida biti na niskim temperaturama. Niske su temperature građevinskog elementa povezane s mogućnošću pojave kondenzacije vlage unutar nosive strukture, a time i s mogućim oštećenjima koja mogu nastati uslijed vlage.

Koeficijent akumulacije bitno ovisi o redosljedu slojeva u građevinskom elementu. Bit će veći ukoliko se toplinski izolacijski sloj nalazi bliže vanjskoj, negrijanoj površini, a slojevi od masivnog materijala (velikog toplinskog kapaciteta) bliže unutrašnjoj površini. Također, koeficijent akumulacije će rasti s porastom debljine i toplinskog otpora izolacijskog sloja. Iz navedenih razloga je potrebno izbjegavati postavljanje toplinske izolacije s unutrašnje strane. Smještaj toplinske izolacije s unutrašnje strane je opravdan u slučajevima kada prostor treba povremeno i relativno brzo zagrijati, jer u tom slučaju ne dolazi do zagrijavanja (i akumulacije energije) nosivog, masivnog dijela građevinskog elementa.

Važno je spomenuti da na temperaturu zraka u prostoriji za vrijeme prekida grijanja, ne utječe samo sposobnost akumulacije energije vanjskih elemenata zgrade, već i mogućnost akumulacije energije svih unutarnjih elemenata.

### **Fazno promjenljivi materijali PCM**

Kako je energija, akumulirana u građevinskom elementu izgrađenom iz standardnih materijala, ograničena masom i temperaturnim razlikama (specifični toplinski kapaciteti nisu veliki), ukupni efekt ovako pohranjene energije (osjetna toplina) ne može biti značajan. Puno se veći efekt pohrane energije može postići primjenom materijala koji, promjenom svog agregatnog stanja, omogućuju korištenje latentne topline. Prijelaz krute u kapljevitu fazu događa se za tvar pri točno određenoj temperaturi, pri čemu je za taj fazni prijelaz tvari potrebno dovoditi toplinu. Obrnuti proces (prijelaz iz kapljevite u krutu fazu), zahtijeva odvođenje topline od tvari. I pri jednoj i pri drugoj pretvorbi agregatnog stanja, pri konstantnom tlaku, nema promjene temperature tvari. Tvari ili smjese tvari s visokim vrijednostima latentne topline, koje taljenjem i kristalizacijom mogu primiti ili odati velike količine energije, a temperatura taljenja im se nalazi u području u kojemu je ovaj proces iskoristiv pri regulaciji temperature, nazivaju se fazno promjenljivim materijalima (engl. *Phase Change Material PCM*).

Na temperaturama nižim od tališta fazno promjenljivi materijali se ponašaju kao sve ostale krutine. Dovođenjem topline povećava im se temperatura. Međutim, zagrijavanjem na temperaturu tališta dolazi do pretvorbe krute u kapljevitu fazu (taljenje) pri čemu temperatura ostaje konstantna. Nakon što se rastali cijela krutina, daljnjim dovođenjem topline raste temperatura nastale kapljevine. U obrnutom procesu, snižavanjem temperature okoline, kapljevina se hladi do temperature tališta, nakon čega slijedi skrutnjavanje, tijekom kojega se od tvari odvodi toplina, a njezina temperatura ostaje konstantna.

Primjenom PCM materijala u građevnim objektima postiže se uravnoteženje dnevnih varijacija temperature, s obzirom da fazno promjenljivi materijali svojim taljenjem usporavaju ili onemogućavaju dnevni porast temperature iznad svoje temperature tališta, a kristalizacijom sprječavaju prekomjerno pad temperature. Osim uravnoteženja temperature, na ovaj se način smanjuju potrebe za grijanjem i hlađenjem, štedi energija i čuva okoliš. Prema podacima u literaturi, ovisno o klimatskom području, uštede se kreću u rasponu od 20 do 40%. Premda su fazno promjenljivi materijali najdjelotvorniji u klimatskim područjima s velikim razlikama između dnevnih i noćnih temperatura, izborom odgovarajućih materijala za svako se klimatsko područje može postići tražena učinkovitost. Isti PCM materijali neće biti jednako učinkoviti u svim klimatskim područjima. Za hladnija područja, gdje je potrebno spriječiti prekomjerno ohlađivanje unutarnjeg prostora, preporučuju se materijali čija se temperatura taljenja kreće u rasponu od 18°C do 22°C. Za toplija područja, gdje je važno spriječiti prekomjerno povišenje temperature, prikladniji su materijali s temperaturom taljenja između 22°C i 26°C. U građevinarstvu se PCM koriste na specijalnim umreženim nosačima, mikroinkapsulirani PCM materijali te građevinski materijali na bazi mikrokapsula. Za PCM materijale poželjna je visoka vrijednost latentne topline, temperatura taljenja u točno određenim granicama te velika gustoća. Zahtjevi koji se postavljaju s gledišta sigurnosti primjene PCM materijala su kemijska stabilnost, neotrovnost i prihvatljivost za okoliš.

### 3.3.2.7. Dinamičke karakteristike građevne konstrukcije

Svaka promjena uvjeta izmjene topline na rubnim plohama građevinske konstrukcije (bilo promjena temperature okoline, bilo promjena intenziteta izmjene topline: vjetar, sunčevo zračenje) izazvat će nestacionarnost u temperaturnoj raspodjeli i u iznosu toplinskog toka koji se izmjenjuje na rubnim plohama. Dinamičke karakteristike građevne konstrukcije opisuju vremenski odgovor nekog građevnog dijela na toplinsku pobudu iz njegove okoline. Proračun se provodi prema normi HRN EN ISO 13786. Svojstva koja određuju dinamičke karakteristike građevnog dijela su: toplinska provodnost  $\lambda$ , W/(m K), specifični toplinski kapacitet  $c$ , J/(kg · K) i gustoća materijala  $\rho$ , (kg/m<sup>3</sup>). Veličina koja povezuje ova svojstva je toplinska difuzivnost ili temperaturna provodnost  $\alpha$ , m<sup>2</sup>/s. Ova veličina određuje toplinsku tromost objekta, odnosno definira brzinu kojom objekt reagira promjenom svoje temperature po cijelom volumenu na pobudu iz okoliša.

Relativno velike dnevne promjene temperature vanjskog zraka (ili ekvivalentne temperature za slučaj djelovanja i sunčevog zračenja) karakteristične su za ljetno razdoblje, te je u toplinskom proračunu to potrebno uzeti u obzir. Iz toga se razloga pred građevinski element postavlja dodatni zahtjev – toplinska stabilnost elementa. Pod toplinskom stabilnošću vanjskog građevinskog elementa podrazumijeva se njegovo svojstvo očuvanja relativno postojane temperature na svojoj unutrašnjoj površini tijekom periodičkih promjena temperature vanjskog zraka, odnosno toplinskog toka koji prolazi kroz promatrani element. Ako vanjski elementi zgrade nemaju dovoljnu toplinsku stabilnost, temperatura će zraka u zgradi znatno varirati, ovisno o promjeni temperature okoline.

U teoriji toplinske stabilnosti pretpostavka je da se temperatura vanjskog zraka (odnosno ekvivalentna temperatura) i toplinski tok kroz površinu vanjskog građevinskog elementa mijenjaju (osciliraju) po zakonu kosinusoide. Promjena temperature unutrašnje površine građevinskog elementa zahtijeva određeno vremensko razdoblje koje je potrebno za transport topline od vanjske površine. Zato se promjena temperature vanjske površine građevinskog elementa neće trenutno odraziti na temperaturu unutrašnje površine. "Temperaturni val" je naziv za vremensku periodičku oscilaciju temperature objekta. Razlika vrijednosti između trenutne temperature vanjskog zraka i srednje temperature zraka (za razdoblje od 24 sata) zove se amplituda oscilacije temperature vanjskog zraka  $A_{te}$ . Oscilacije temperature vanjskog zraka, odnosno ekvivalentne temperature, uzrokovat će oscilacije toplinskog toka kroz vanjsku površinu građevinskog elementa  $A_q$ . Te će oscilacije također imati oblik kosinusoide s razdobljem od 24 sata, ali će imati određeni vremenski pomak. Zbog toga će se mijenjati i temperatura vanjske površine građevinskog elementa (po zakonu kosinusoide i s razdobljem od 24 sata), ali s vremenskim pomakom faze oscilacija. Omjer amplitude toplinskog toka na vanjskoj površini građevinskog elementa (ili vanjskoj površini sloja višeslojnog elementa) i amplitude oscilacija temperature vanjske površine elementa (odnosno sloja elementa)  $A_j$ , zove se koeficijent primanja topline i definira se jednadžbom:

$$U = \frac{A_q}{A_g} \quad (3.52)$$

s pripadajućom mjernom jedinicom W/(m<sup>2</sup> · K). Njegova vrijednost ovisi o periodu toplinskih oscilacija, svojstvima materijala i svojstvima građevinskog elementa. Za relativno debele jednoslojne građevinske elemente koeficijent primanja topline je funkcija samo fizikalnih svojstava materijala i period oscilacija toplinskog toka, te u tom smislu predstavlja značajku materijala elementa i definira se kao:

$$U = S = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c \cdot 2\pi / T} \quad (3.53)$$

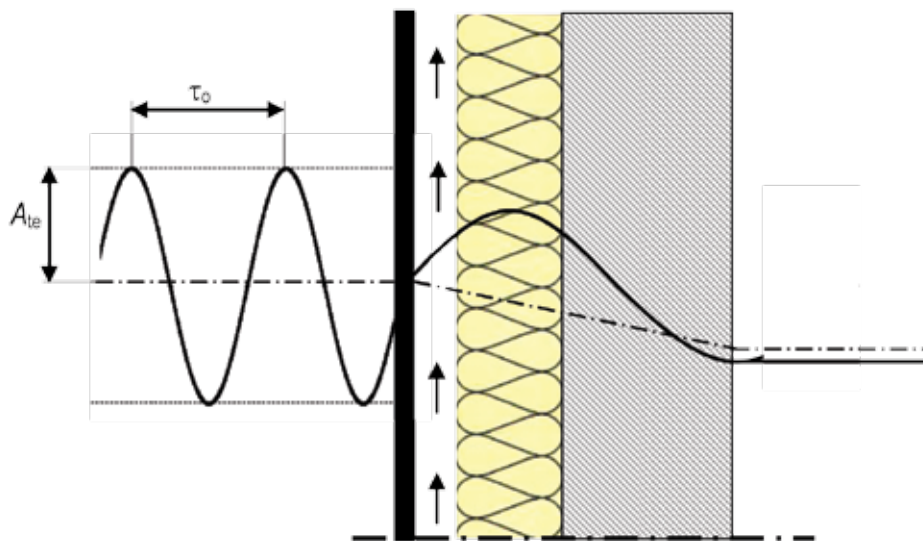
pri čemu je  $T$  period oscilacija.

Za višeslojni građevinski element, koji je sastavljen od relativno tankih slojeva, koeficijent primanja topline vanjske površine nekog sloja ne ovisi samo o svojstvima materijala promatranog sloja već i o karakteristikama jednog ili više slojeva koji dolaze iza promatranog sloja u smjeru toplinskog toka. Vremenski razmak koji je potreban da unutarnja površina reagira promjenom svoje temperature na promjenu temperature vanjskog zraka, odnosno ekvivalentne temperature, naziva se vremenski pomak faze oscilacija temperature, označava se s  $\eta$  i izražava u satima. Omjer amplitude oscilacija temperature vanjskog zraka  $A_{te}$  (odnosno amplitude ekvivalentne temperature) i amplitude oscilacija temperature unutarnje površine građevinskog elementa  $A_{gi}$ , naziva se faktor prigušenja amplitude oscilacija temperature, prema jednadžbi:

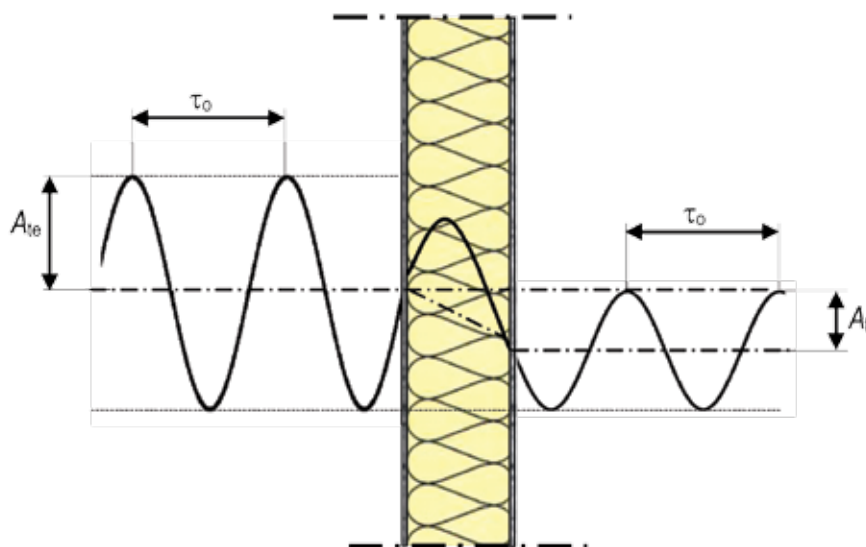
$$\nu = \frac{A_{te}}{A_{gi}} \quad (3.54)$$

Za građevni objekt povoljno je da je prigušenje temperaturnih valova što veće i da je što veći fazni pomak. To osigurava vremenski ujednačenu temperaturu unutrašnje površine građevine. Ljetna stabilnost građevinskog dijela podrazumijeva da do zagrijavanja unutarnjih prostorija dolazi što kasnije (kada na fasadi već dolazi do pada temperature, u predvečerje). Za ljetnu je stabilnost tako povoljnije postavljanje toplinske izolacije s vanjske strane (sprječava se zagrijavanje masivnih elemenata konstrukcije i s time povezana akumulacija energije).

Provjetravana fasada u smislu ljetne toplinske stabilnosti ima prednosti pred klasičnim konstrukcijama jer je montažna obloga, zbog sloja provjetranog zraka, odličan izolator od sunčeva zračenja i ne treba proračunavati ljetnu stabilnost.



Slika 3.26 - Građevinski element s provjetranom fasadom



Slika 3.27 - Građevinski element - lagana konstrukcija



Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, traži da vanjski neprozirni građevni dijelovi, koji su izloženi sunčevu zračenju, moraju imati odgovarajuće dinamičke toplinske karakteristike kako bi se smanjio njihov doprinos zagrijavanju zraka u zgradi tijekom ljetnih mjeseci. Prema iskustvenim podacima neprozirni građevni dijelovi imaju zadovoljavajuća svojstva prigušenja "temperaturnih valova" ako im je masa po 1 m<sup>2</sup> površine veća od 100 kg. Ispunjenje dinamičkih toplinskih karakteristika za lagane vanjske građevne dijelove izložene sunčevu zračenju, s plošnom masom manjom od 100 kg/m<sup>2</sup>, dokazuje se posredno preko koeficijenta prolaska topline,  $U$ , koji za zidove ne smije biti veći od 0,35 W/(m<sup>2</sup>·K), a za krovove ne smije biti veći od 0,30 W/(m<sup>2</sup>·K).

### 3.3.2.8. Toplinsko istezanje

Promjene klimatskih uvjeta u kojima se nalazi građevinski objekt izazivaju veće ili manje promjene temperature vanjske površine, a transportom topline i promjene temperature unutarnjih slojeva građevnog elementa. Svaka promjena temperature u pravilu izaziva promjenu volumena čvrstih tijela: pri zagrijavanju dolazi do rastezanja, a pri hlađenju do stezanja. Onemogućavanje volumenskog istezanja građevnog dijela (onemogućavanje "temperaturnog rada"), može dovesti do oštećenja konstrukcije i ozbiljnog narušavanja njezine stabilnosti. Česta su oštećenja krovnih rubova, fasada, pucanja materijala na spojevima, itd.

Posebnu pažnju treba posvetiti zagrijavanju vanjske rubne površine građevinskog objekta zbog sunčeva zračenja. To će zagrijavanje u bitnome ovisiti o vrsti materijala vanjskog rubnog sloja građevinskog elementa, njegovom faktoru apsorpcije, mogućnostima transporta topline u unutrašnjost građevnog elementa (u unutarnje slojeve) i o orijentaciji rubne plohe prema suncu (najjače je zagrijavan krov, zatim jugozapadna strana, a najslabije sjeverna strana). Ovisno o smještaju toplinske izolacije (nalazi li se s vanjske ili s unutarnje strane nosivog dijela konstrukcije), bit će prisutna veća ili manja promjena temperature nosivog dijela konstrukcije – manji ili veći "temperaturni" rad. Ako je toplinska izolacija smještena s vanjske strane, bit će prisutno manje zagrijavanje nosivog dijela konstrukcije, shodno tomu i manja vrijednost temperaturnog rada. To je jedan od bitnih razloga zašto se toplinski izolacijski sloj, kod višeslojnog građevinskog elementa, mora postaviti uvijek s vanjske strane elementa.

Ako se radi o nehomogenim materijalima u građevnom je dijelu vrlo bitno postići međusobnu usklađenost "temperaturnog rada" pojedinih materijala, tako da se vodi računa o rasporedu pojedinih slojeva i izboru pojedinih materijala ili izvedbom potrebnih dilatacija, što znači da materijali, koji su izloženi većoj promjeni temperature, moraju imati mogućnost vršenja "temperaturnog rada".

S obzirom da se "temperaturni rad" može smanjiti skraćanjem duljine samog elementa, to se elementi osjetljivi na pomake i naprezanja dijele u dva ili više dijelova (izvedba dilatacijske reške). Dilatacijske reške izvode se sa svrhom sprječavanja oštećenja konstrukcija uslijed temperaturnih promjena i time izazvanih istezanja/stezanja u samim konstrukcijama. Dilatirani se može cijeli objekt ili pojedinačni dijelovi objekta, te se dilatacije dijele na glavne i dopunske. Glavne se dilatacije izvode kod objekata visokogradnje prema propisanim kriterijima. Važno je naglasiti da se dilatacije ni u kojem slučaju ne smiju ispunjavati žbukom, nego ih se trajno zatvara elastičnim kitovima, letvicama, trakama od plastične mase, aluminijskim i slično. Svaki statički proračun sadrži proračun dilatacija i naprezanja koja nastaju u konstrukcijama uslijed temperaturnih promjena. Dopunske dilatacije treba proračunati kod svih konstrukcija koje su podložne velikim promjenama temperature.

Linijaska dilatacija elementa zbog promjene temperature računa se prema izrazu:

$$\Delta L = \alpha_t \cdot \Delta T \cdot L \quad (3.55)$$

pri čemu je:

$\alpha_t$	- koeficijent linearnog istezanja, [m/(m K)]
$\Delta T$	- promjena temperature, [K]
$L$	- duljina promatranog elementa, [m]

Pri proračunu ukupnog godišnjeg temperaturnog rada građevinskog elementa, temperaturnu razliku treba izračunati za najnepovoljnije vrijednosti godišnjih temperatura: za maksimalnu ljetnu temperaturu (uključivo utjecaj sunčevog zračenja) i minimalnu zimsku temperaturu, u sredini promatranog elementa.

Ako je građevinski element ukliješten, te je onemogućeno njegovo istezanje/stezanje, u njemu će se pojaviti takozvana temperaturna naprezanja uslijed tlačnog/vlačnog opterećenja. Ako su naprezanja prevelika, u materijalu mogu nastati pukotine koje se označuju kao "žive pukotine" jer se šire i stiskaju, ovisno je li se element konstrukcije grije ili hladi. Ove se pukotine ne mogu sanirati sve dotle dok se odgovarajućim mjerama ne smanji temperaturni rad elementa.

## Primjer proračuna

Potrebno je proračunati i nacrtati temperaturni profil kroz troslojni vanjski zid, te Glaserovom približnom metodom odrediti dolazi li do kondenzacije vodene pare koja se difuzijom kreće kroz promatrani zid. Zadana je temperatura vanjskog zraka  $-15^{\circ}\text{C}$ , relativne vlažnosti 90% i temperatura zraka u prostoriji  $25^{\circ}\text{C}$ , relativne vlažnosti 60%. Debljine pojedinih slojeva i pripadajuća svojstva materijala navedena su u tablici 3.15.

**Tablica 3.15 - Geometrijske značajke slojeva zida i toplinska svojstva materijala**

Vrsta materijala	Debljina sloja $d$ (m)	Gustoća $\rho$ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	Toplinska provodnost $\lambda$ ( $\text{W}/\text{mK}$ )	Faktor otpora difuziji vodene pare $\mu$ (-)
armirani beton	0,2	2500	2,33	90
polistirenska pjena	0,05	20	0,041	35
fasadna opeka	0,12	1400	0,61	6

Toplinski otpori pojedinih slojeva:

$$R_i = \frac{1}{h_u} = 0,13 \quad (\text{m}^2\text{K})/\text{W} \quad (3.56)$$

$$R_1 = \frac{d_1}{\lambda_1} = \frac{0,2}{2,33} = 0,08584 \quad (\text{m}^2\text{K})/\text{W} \quad (3.57)$$

$$R_2 = \frac{d_2}{\lambda_2} = \frac{0,05}{0,041} = 1,2195 \quad (\text{m}^2\text{K})/\text{W} \quad (3.58)$$

$$R_3 = \frac{d_3}{\lambda_3} = \frac{0,12}{0,61} = 0,1967 \quad (\text{m}^2\text{K})/\text{W} \quad (3.59)$$

$$R_e = \frac{1}{h_v} = \frac{1}{25} = 0,04 \quad (\text{m}^2\text{K})/\text{W} \quad (3.60)$$

Ukupni otpor transportu topline:

$$R_{uk} = R_u + R_1 + R_2 + R_3 + R_v = 0,13 + 0,08584 + 1,2195 + 0,1967 + 0,04 = 1,672 \quad (\text{m}^2\text{K})/\text{W} \quad (3.61)$$

Gustoća toplinskog toka kroz zid:

$$q = \frac{\vartheta_u - \vartheta_v}{R_{uk}} = \frac{25 - (-15)}{1,672} = 24 \quad \text{W}/\text{m}^2 \quad (3.62)$$

Promjene temperatura po pojedinim slojevima:

$$\Delta \vartheta_u = q \cdot R_u = 24 \cdot 0,13 = 3,12^{\circ}\text{C} \quad (3.63)$$

$$\Delta \vartheta_1 = q \cdot R_1 = 24 \cdot 0,08584 = 2,06^{\circ}\text{C} \quad (3.64)$$

$$\Delta \vartheta_2 = q \cdot R_2 = 24 \cdot 1,2195 = 29,26^{\circ}\text{C} \quad (3.65)$$

$$\Delta \vartheta_3 = q \cdot R_3 = 24 \cdot 0,1967 = 4,72 \text{ °C} \quad (3.66)$$

$$\Delta \vartheta_V = q \cdot R_V = 24 \cdot 0,04 = 0,96 \text{ °C} \quad (3.67)$$

Temperature po pojedinim slojevima iznose:

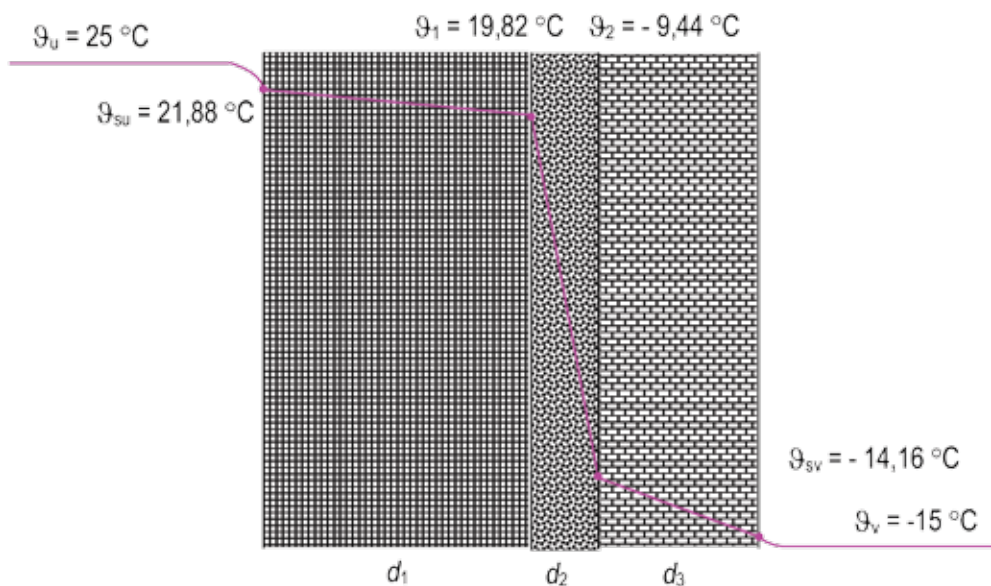
$$\vartheta_{su} = \vartheta_u - \Delta \vartheta_u = 25 - 3,12 = 21,88 \text{ °C} \quad (3.68)$$

$$\vartheta_1 = \vartheta_{su} - \Delta \vartheta_1 = 21,88 - 2,06 = 19,82 \text{ °C} \quad (3.69)$$

$$\vartheta_2 = \vartheta_1 - \Delta \vartheta_2 = 19,82 - 29,26 = -9,44 \text{ °C} \quad (3.70)$$

$$\vartheta_{sv} = \vartheta_2 - \Delta \vartheta_3 = -9,44 - 4,72 = -14,16 \text{ °C} \quad (3.71)$$

Raspodjela temperatura po pojedinim slojevima je prikazana na slici 3.28.



Slika 3.28 - Raspodjela temperatura po pojedinim slojevima vanjskog zida

Za zadane temperature vanjskog zraka i zraka u prostoriji te za izračunate temperature vanjske i unutarnje površine zida i temperature pojedinih slojeva, iz tablica se mogu očitati tlakovi zasićenja vodene pare:

Za opisano stanje vanjskog i unutarnjeg zraka, izračunavaju se parcijalni tlakovi vodene pare u zraku, korištenjem podataka za tlakove zasićenja i podatke o relativnim vlažnostima. Slijedi:

$\vartheta_u = 25 \text{ °C}$	$p_{s_u} = 3,167 \text{ kPa}$
$\vartheta_{su} = 21,88 \text{ °C}$	$p_{s_{su}} = 2,643 \text{ kPa}$
$\vartheta_1 = 19,82 \text{ °C}$	$p_{s_1} = 2,329 \text{ kPa}$
$\vartheta_2 = -9,44 \text{ °C}$	$p_{s_2} = 0,275 \text{ kPa}$
$\vartheta_{sv} = -14,16 \text{ °C}$	$p_{s_{sv}} = 0,180 \text{ kPa}$
$\vartheta_v = -15 \text{ °C}$	$p_{s_v} = 0,165 \text{ kPa}$

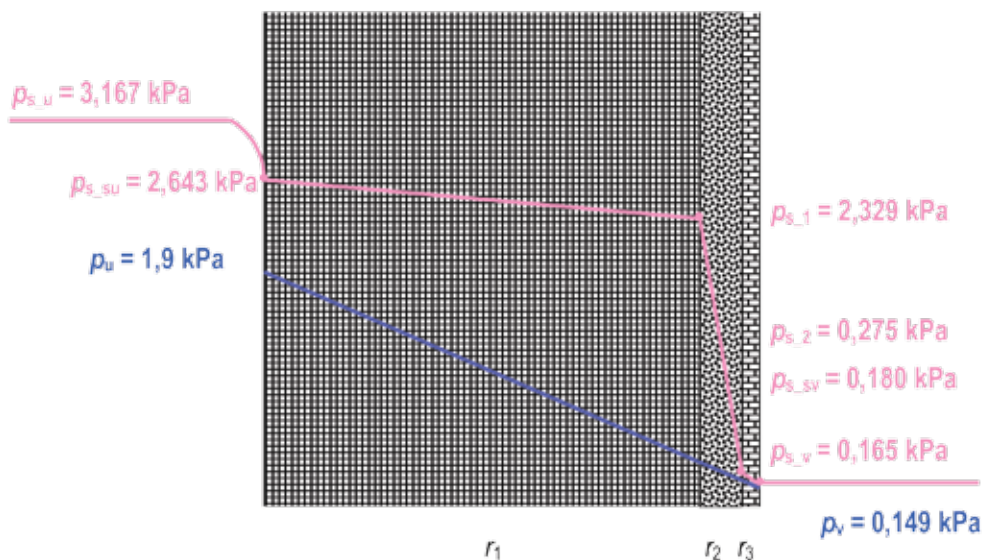
$$\rho_u = \varphi_u \cdot p'_u = 0,6 \cdot 3,167 = 1,900 \text{ kPa} \quad (3.72)$$

$$\rho_v = \varphi_v \cdot p'_v = 0,9 \cdot 0,165 = 0,149 \text{ kPa} \quad (3.73)$$

Konačno, potrebno je izračunati relativne otpore difuziji vodene pare  $r$  pojedinih slojeva zida kako slijedi:

Armirani beton:	$r_1 = d_1 \cdot \mu_1 = 0,2 \cdot 90 = 18 \text{ m}$
Polistirenska pjena:	$r_2 = d_2 \cdot \mu_2 = 0,05 \cdot 35 = 1,75 \text{ m}$
Fasadna opeka:	$r_3 = d_3 \cdot \mu_3 = 0,12 \cdot 6 = 0,72 \text{ m}$

Pomoću izračunatih vrijednosti moguće je nacrtati dijagram difuzije u odgovarajućem mjerilu (Slika 3.29). Iz dijagrama je vidljivo da za slučaj promatranog zida u zadanim uvjetima vanjskog i unutarnjeg stanja zraka, ne dolazi do kondenzacije vodene pare unutar zida, budući da krivulja parcijalnog tlaka vodene pare ni na jednom mjestu ne presijeca krivulju tlaka zasićenja.



Slika 3.29 - Raspodjela parcijalnih tlakova vodene pare i tlakova zasićenja po pojedinim slojevima

## Reference

- [3.1] Vladimir Šimetin, *Građevinska fizika*, Fakultet građevinskih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, 1983.
- [3.2] Antun Galović, *Termodinamika II*, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, 2007.
- [3.3] Boris Halasz, Antun Galović, Ivanka Boras, *Toplinske tablice*, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, 2007.
- [3.4] Norme: HRN EN ISO 6946; HRN EN ISO 13788; HRN EN ISO 13786
- [3.5] Stanislav Kurajica, *Fazno promjenljivi materijali*, TEHNOEKO 4/2007, Zagreb, 2007.
- [3.6] Jasenka Bertol-Vrčec, *Unutarnja plošna temperatura toplinskih mostova*, Vol.7(1999), No.1(17) PROSTOR, 121-136
- [3.7] Zoran Jakopović, *Krovne folije*, <http://www.gradimo.hr>





## 4. OSNOVE ZGRADARSTVA I IZVEDBE ZGRADE

### 4.1. Tipologija izgradnje i podjela zgrada prema razdoblju gradnje i energetske potrebama

Sa stajališta energetske potrošnje, razdoblje izgradnje izuzetno je važan parametar. Podjela zgrada u ovisnosti o starosti i vrsti gradnje je područje kojemu nije posvećena dovoljna pažnja i o kojemu će, u budućnosti, trebati puno više voditi računa. Zbog karakteristika gradnje i nedostatka propisa o toplinskoj zaštiti, u razdoblju najveće stambene izgradnje od 1950. do 1980. godine, izgrađen je niz stambenih i nestambenih zgrada koje su danas veliki potrošači energije, s prosječnom godišnjom potrošnjom energije za grijanje od preko 200 kWh/m<sup>2</sup>a.

Razdoblje izgradnje kao i razdoblje eventualne obnove zgrade prvi su i osnovni podatak koji ćemo provjeriti prilikom provođenja energetske pregleda zgrade. Taj nam podatak puno govori o karakteristikama izgradnje i tipovima konstrukcija koje su korištene u pojedinom razdoblju izgradnje. Također nam govori o eventualnom postojanju toplinske zaštite, ovisno o zakonodavnom okruženju u području toplinske zaštite u odnosu na razdoblje izgradnje.

**Prema starosti i vrsti gradnje, a u ovisnosti o zakonodavnom okruženju, postojeće zgrade u Hrvatskoj možemo podijeliti u karakteristične grupacije:**

- **zgrade građene prije 1940. godine**
- **zgrade građene u razdoblju od 1940. do 1970. godine**
- **zgrade građene u razdoblju od 1970. do 1987. godine**
- **zgrade građene u razdoblju od 1987. do 2006. godine**
- **novogradnja usklađena s Tehničkim propisom o uštedi toplinske energije i toplinskoj zaštiti u zgradama NN 79/05 s obveznom primjenom od 1. srpnja 2006. godine, te Tehničkim propisom o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti zgrada NN 110/08, NN 89/09.**

U analizi energetske svojstava zgrade i karakteristika energetske potrošnje bitan je podatak o namjeni zgrade i specifičnostima energetske potrošnje vezano uz njenu namjenu.

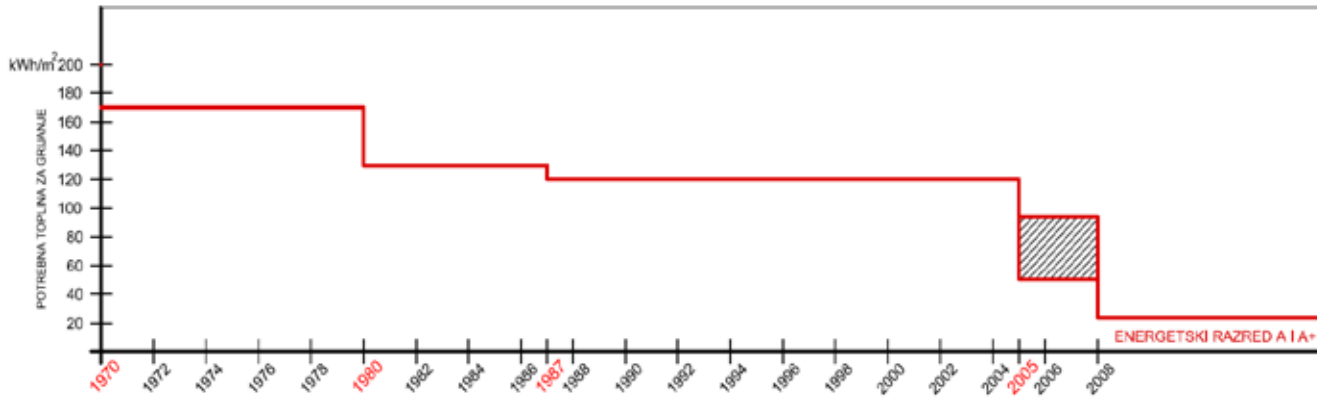
**Osnovna podjela zgrada prema namjeni je na stambene i nestambene zgrade.**

#### 4.1.1. Stambene zgrade

Osnovna karakteristika postojeće izgradnje u Hrvatskoj je neracionalno velika potrošnja svih oblika energije, prvenstveno energije za grijanje, ali porastom standarda sve više i za hlađenje zgrada. Energetska potrošnja namijenjena za grijanje, pripremu tople vode i kondicioniranje zraka predstavlja najznačajniji dio energetske potrošnje u zgradama. Ako se postojeće zgrade izgrađene nakon donošenja zahtjeva u pogledu toplinske zaštite zgrada u okviru norme HRN U.J5.600: *Toplinska tehnika u građevinarstvu, tehnički uvjeti za projektiranje i građenje zgrada* iz 1987. godine, prihvate kao uvjetno zadovoljavajuće sa stajališta toplinske zaštite i uštede energije, čak i u tom slučaju oko 83% naseljenih zgrada u Hrvatskoj ima nezadovoljavajuću toplinsku zaštitu, s prosječnom potrošnjom energije za grijanje prostora od 150 do 200 kWh/m<sup>2</sup>a.



### PROSJEČNA POTROŠNJA ENERGIJE U ZGRADAMA U RH U OVISNOSTI O ZAKONODAVNOM OKRUŽENJU

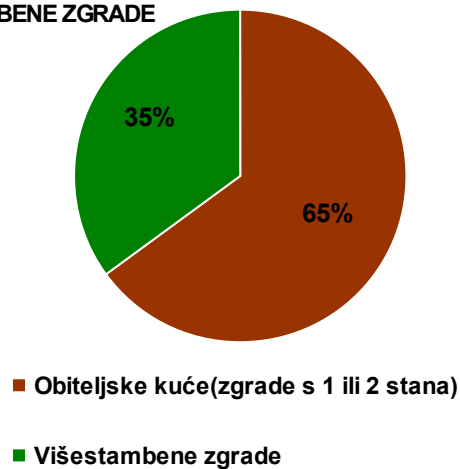


Smanjena potrošnja energije u razdoblju iza 2008. godine mogla bi se postići gradnjom prema zahtjevima za postizanje energetske razreda A i A+; gradnjom prema minimalnim zahtjevima Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama zadržava se razina potrošnje iz razdoblja 2005. - 2008. godine.

**Slika 4.1 - Kretanje prosječne potrošnje toplinske energije u zgradama RH u ovisnosti o zakonodavnom okruženju, izvor EIHP**

Ukupan broj stanova u Hrvatskoj, prema zadnjem popisu stanovništva iz 2001. godine [4.18], iznosi 1,88 milijuna, ili 133,3 milijuna kvadratnih metara stambene izgradnje. Iz tog je podatka jasno vidljiv energetska potencijal zgrada u Republici Hrvatskoj. Ako pretpostavimo da su stambene zgrade s jednim ili dva stana ustvari obiteljske kuće, udio obiteljskih kuća u stambenoj gradnji iznosi prosječno 65%.

### STAMBENE ZGRADE



**Slika 4.2 - Zastupljenost obiteljskih kuća u ukupnoj stambenoj izgradnji**

Tablica 4.1 - Stambeni fond Republike Hrvatske prema popisima stanovništva [4.18]

		Broj stanova	Površina stanova (tis. m <sup>2</sup> )	Prosječna površina stana (m <sup>2</sup> )	Prosječna površina stana po osobi (m <sup>2</sup> )	Prosječan broj osoba po stanu
Popis 1971.	ukupno	1 188 743	62 659	52,7	14,3	3,7
	gradska naselja	513 534	27 781	54,1	15,4	3,5
Popis 1981.	ukupno	1 381 434	86 954	62,9	19,6	3,2
	gradska naselja	727 683	45 035	61,9	20,1	3,1
Popis 1991.	ukupno	1 575 644	110 972	70,4	23,7	3,0
	gradska naselja	878 968	59 184	67,3	23,2	2,9
Popis 2001.	ukupno	1 877 126	133 307	71	27,3	2,6

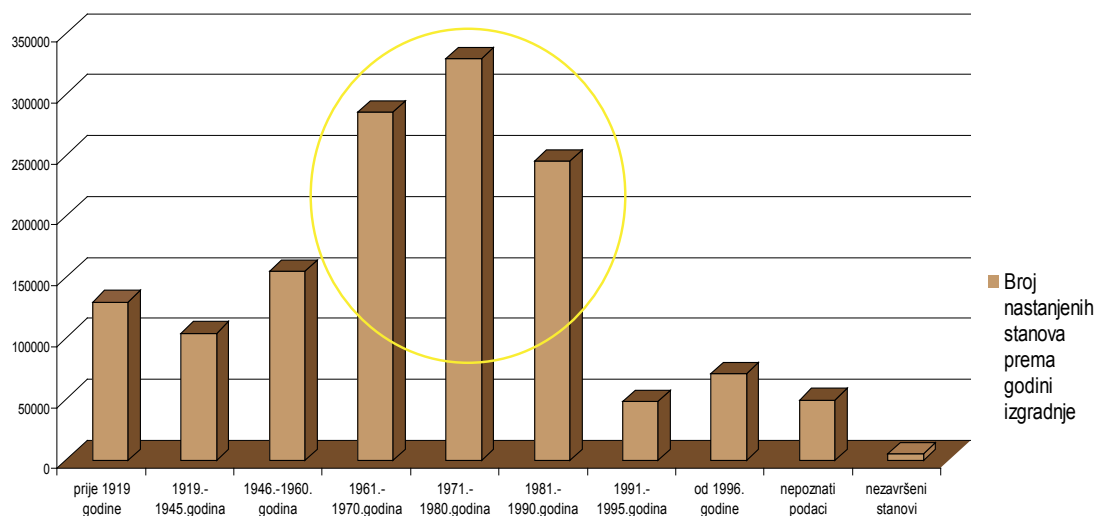
Tablica 4.2 - Podjela stanova u Hrvatskoj i Zagrebu prema modalitetima korištenja [4.18]

Modaliteti korištenja stanova	Republika Hrvatska		Grad Zagreb	
	Broj stanova	Uk. površina (m <sup>2</sup> )	Broj stanova	Uk. površina (m <sup>2</sup> )
Ukupno	1 877 126	133 306 758	312 902	20 315 678
Stanovi za stalno stanovanje				
Ukupno	1 660 649	120 973 492	304 163	19 829 752
Nastanjeni	1 421 623	105 815 623	271 183	17 958 929
Privremeno nastanjeni	196 633	12 824 336	31 284	1 791 495
Napušteni	42 393	2 333 533	1 696	79 328
Stanovi koji se koriste privremeno				
Stanovi za odmor	182 513	10 390 305	4 843	201 739
U vrijeme sezonskih radova u poljoprivredi	8 418	282 084	101	3 755
Stanovi u kojima se samo obavljala djelatnost	25 546	1 660 877	3 795	280 432

Stambeni fond Republike Hrvatske je prema popisima stanovništva iznosio 1971. godine ukupno 1.188.743 stanova. Godine 1981. broj stanova je porastao u odnosu na 1971. za 16,2%, ili u prosjeku 1,6% godišnje i iznosio je ukupno 1.381.434 stanova. Godine 1991. registrirana su 1.575.644 stana, što čini porast u odnosu na 1981. za 14,1% ili 1,4% godišnje. U razdoblju između dva posljednja popisa stanovništva, 1991.-2001. godine, ukupni stambeni fond Hrvatske je, prema dostupnim podacima porastao za 301.482 stana, što znači da je 2001. godine bilo 19,1% više stanova nego 1991. godine, odnosno prosječni godišnji porast je iznosio 1,9%.

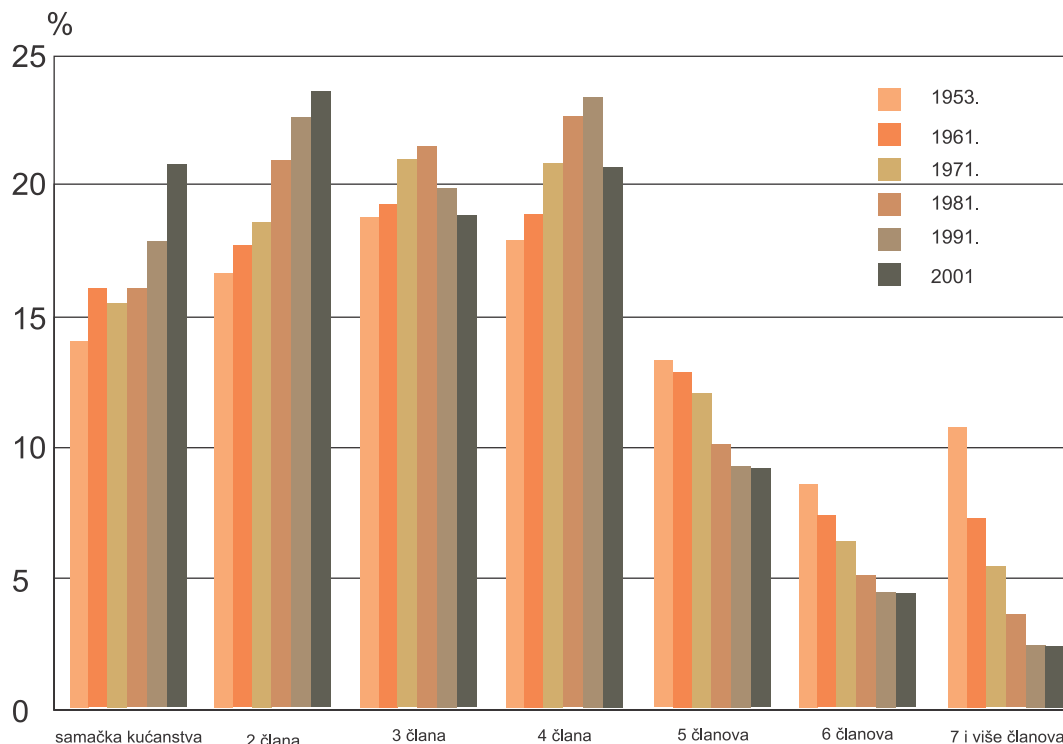
**Tablica 4.3 - Zastupljenost nastanjenih stanova prema godini izgradnje u ukupnom sektoru postojećih zgrada [4.18]**

GODINA IZGRADNJE	BROJ STAMBENIH JEDINICA	ZASTUPLJENOST U UKUPNOM SEKTORU POSTOJEĆIH ZGRADA
PRIJE 1919. GODINE	129 901	9,10
1919. - 1945.	104 333	7,30
<b>1946. - 1960.</b>	<b>154 672</b>	<b>10,90</b>
<b>1961. - 1970.</b>	<b>285 451</b>	<b>20,10</b>
<b>1971. - 1980.</b>	<b>329 028</b>	<b>23,10</b>
<b>1981. - 1990.</b>	<b>244 908</b>	<b>17,20</b>
1991. - 1995.	47 911	3,40
1996. - 2001.	70 817	5,00
nepoznato i nedovršeno	54 602	3,90
ukupno	1 421 523	100



**Slika 4.3 - Podjela nastanjenih stanova prema godini izgradnje**

G 5-2.  
KUĆANSTVA PREMA BROJU ČLANOVA PREMA POPISIMA OD 1953. DO 2001.



Slika 4.4 - Kućanstva prema broju članova prema popisima od 1953. do 2001. godine[4.18]

Iz provedenih analiza možemo zaključiti da je u razdoblju najveće izgradnje u Hrvatskoj, od 1946. do 1990. godine, izgrađen velik broj zgrada koje danas predstavljaju velike energetske potrošače, i potrebno ih je sustavno obnavljati. Porastom standarda života, te rastom samačkih kućanstava, dodatno raste i potrošnja energije u tim zgradama.

Danas se više ne postavlja pitanje troškova energetske obnove, već troškova ako se ništa ne učini po tom pitanju. Potencijal energetske obnove postojećeg sektora zgrada je izrazito velik, a aktivnosti u smjeru obnove mogu potaknuti niz gospodarskih aktivnosti te tako doprinijeti gospodarskom i razvoju industrije, zapošljavanju i većoj konkurentnosti cijelog gospodarstva. Energetsku obnovu zgrada treba sustavno planirati i usmjeriti je na onaj dio sektora koji će ostvariti najveće energetske uštede uz nužno povećanje standarda. Također, s obzirom da se jednom obnovljena zgrada vjerojatno idućih 20-30 godina neće obnavljati, takve energetske obnove treba provoditi u skladu s niskoenergetskim principima i uz primjenu obnovljivih i alternativnih energetske sustava.

#### 4.1.2. Nestambene zgrade

Nestambene zgrade nisu tako dobro statistički obrađene i evidentirane kao stambene zgrade. Podaci o današnjoj nestambenoj izgradnji, dostupni su putem izdanih građevnih dozvola, pa možemo analizirati odnos novoizgrađenog stambenog i nestambenog fonda zgrada. U razdoblju od 1996. do 2008. godine zabilježen je pad broja izdanih dozvola za stambene zgrade i porast broja izdanih građevinskih dozvola za nestambene zgrade, pa je danas prosječni odnos 60% stambena i 40% nestambena izgradnja. Podaci o nestambenim zgradama, posebno o zgradama javne namjene postat će vrlo bitni pri uvođenju obvezne energetske certifikacije zgrada, kao i obveze javnog izlaganja energetske certifikata koja se uvodi za zgrade javne namjene.

**Tablica 4.4 - Građevinske veličine stambenih i nestambenih zgrada za koje su izdane građevinske dozvole u razdoblju 1996.-2008. godine, novogradnja i dogradnja<sup>1</sup>**

	ZGRADE						
	UKUPNO		STAMBENE ZGRADE		NESTAMBENE ZGRADE		ODNOS POVRŠINA ST./NEST. %
	Površina m <sup>2</sup>	Volumen m <sup>3</sup>	Površina m <sup>2</sup>	Volumen m <sup>3</sup>	Površina m <sup>2</sup>	Volumen m <sup>3</sup>	
1996.	1 463 639	4 768 048	1 032 529	2 996 941	431 111	1 771 107	71% / 29%
1997.	1 912 222	6 050 695	1 277 332	3 667 044	634 890	2 383 651	67% / 33%
1998.	1 907 048	6 339 905	1 334 851	3 916 229	572 197	2 423 676	70% / 30%
1999.	1 899 648	6 070 278	1 367 927	4 039 407	531 721	2 030 871	72% / 28%
2000.	2 182 816	7 330 076	1 476 776	4 348 993	706 040	2 981 083	68% / 32%
2001.	3 191 988	10 621 828	2 153 574	6 289 905	1 038 414	4 331 923	67% / 33%
2002.	3 596 308	12 187 775	2 393 281	6 977 036	1 203 027	5 210 739	66% / 34%
2003.	4 103 471	14 552 605	2 455 370	7 252 104	1 648 101	7 300 501	60% / 40%
2004.	4 202 942	14 839 468	2 434 488	7 189 454	1 768 454	7 650 014	58% / 42%
2005.	4 773 236	16 925 965	2 840 236	8 394 718	1 933 000	8 531 247	60% / 40%
2006.	5 155 445	18 249 379	3 167 992	9 373 883	1 987 453	8 875 496	61% / 39%
2007.	5 524 936	20 473 930	3 009 703	8 883 354	2 515 233	11 590 576	55% / 45%
2008.	5 156 169	18 356 838	3 054 229	9 057 543	2 101 940	9 299 295	59% / 41%

Nestambene zgrade vrlo se razlikuju po potrošnji energije u ovisnosti o starosti te u ovisnosti o tipologiji i načinu korištenja zgrade, tj. namjeni zgrade te je za procjenu energetskeg potencijala važna analiza po tipovima energetske potrošnje.

#### 4.1.3. Zgrade građene prije 1940. godine

Osnovno obilježje gradnje u ovom razdoblju je gradnja tradicionalnim tehnikama i materijalima, bez primjene toplinske zaštite. Toplinska zaštita zgrada je dio građevinske fizike koja je relativno mlada znanost. Vezana je uz naglu pojavu novih materijala u graditeljstvu, energetska krizu te uz razvoj svijesti o potrebi uštede energije i zaštite okoliša. Nedovoljna toplinska izolacija dovodi do povećanih toplinskih gubitaka zimi, hladnih obodnih konstrukcija, oštećenja nastalih kondenzacijom (vlagom), te pregrijavanja prostora ljeti. Posljedice su oštećenja konstrukcije, te neudobno i nezdravo stanovanje i rad. Zagrijavanje takvih prostora zahtijeva veću količinu energije što dovodi do povećanja cijene korištenja i održavanja prostora, ali i do većeg zagađenja okoliša. Zagađenje okoliša opet ima utjecaj na oštećenje građevina i na život i zdravlje ljudi.

U tradicionalnom graditeljstvu zaštitna uloga vanjske ovojnice zgrade bila je iskustveno prenošena ovisno o primjenjenom materijalu koji je zadovoljavao nosivost i pružao određenu toplinsku zaštitu. Toplinska zaštita nije bila predmet koji je usmjeravao izbor konstrukcije, a ušteda energije, prema današnjem shvaćanju, bila je nepoznata.

<sup>1</sup> Republika Hrvatska - Državni zavod za statistiku, [www.dzs.hr](http://www.dzs.hr)

Prva razmišljanja teoretičara o ograničenoj količini energetskih sirovina javljaju se početkom dvadesetog stoljeća. Godine 1912. Karl Schmidt govori o ograničenoj godišnjoj potrošnji energije. Godine 1921. u naselju Heleran kod Dresdena grade se građevine od drveta u obliku dvostruke drvene konstrukcije i međuprostora ispunjenog tresetom. Ovo možemo smatrati pretečom ugradnje toplinske izolacije u svrhu uštede energije. Prvi propisi o toplinskoj zaštiti u Hrvatskoj doneseni su 1970. godine. Zato je kod analize toplinskih karakteristika postojećih zgrada bitan podatak o godini izgradnje ili veće rekonstrukcije zgrade. Kod zgrada građanih prije 1970. godine, nisu se radili nikakvi proračuni gubitaka topline i uštede energije. Zgrade su se gradile iskustveno, zadovoljavajući statiku konstrukcije. Starije zgrade izvodile su se kao zidana konstrukcija od pune opeke ili kamena, debljine zida 30, 45, 60 cm kod gradnje starim formatom opeke (29/14/6,5-7,5 cm), te 25, 38 ili 50 cm pa i više kod gradnje novim formatom opeke (25/12/6,5 cm). Toplinska izolacija nije se koristila. Stropovi su uglavnom drveni ili masivni od opeke, kamena ili betonskih elemenata (rebričasti betonski strop). Takve starije zgrade masivnih debelih zidova, zbog velike debljine konstrukcije i relativno niskog stupnja zagrijavanja prostora, nisu imale tako velike toplinske gubitke, kao novije lake betonske konstrukcije bez toplinske zaštite. Međutim, uvođenjem standarda grijanja prostora na temperaturu višu od 18°C, kroz takve zidove gubi se znatan dio toplinske energije i pojavljuje problem vlage. Vrijednosti koeficijenta prolaska topline za takve vanjske zidane konstrukcije, ne zadovoljavaju zahtjeve današnjih propisa.

Zidovi u tlu kod starih zgrada izvodili su se kao i vanjski zidovi od opeke ili kamena. Podrumski prostori su uglavnom bili pomoćni prostori građevine koji se nisu grijali. Najčešće provjetravani podrum služio je kao tampon prostor između tla i prostora prizemlja. Vлага koja je bila neminovna, isušivala se u prostoru podruma ne šteteći ostalim konstrukcijama. Najčešće neizolirani pod nije stvarao problema u pomoćnim negrijanim prostorima građevine. Podovi su najčešće bili izvedeni na sloju nabijene zemlje. Kao hodna obloga koristile su se drvene kocke ili opekarski elementi položeni u nasip. Podovi prizemnih prostorija na tlu izvodili su se najčešće s drvenim slijepim podovima u nasipu. Podovi na tlu u slučaju grijanih prostora ne zadovoljavaju zahtjeve današnjih propisa. Hladni podovi grijanih prostora često su izloženi i pojavi kondenzacije na njihovoj gornjoj površini.

Strop prema negrijanom tavanu najčešće se izvodio kao drveni strop s podgledom (žbuka na daščanoj oplati), nasipom šute i gornjom daščanom oplatom kao podom tavana, ili opekarski elementi položeni u sloj pijeska. Strop iznad negrijanog prostora je uglavnom strop podruma i najčešće se izvodio kao svođeni strop od opeke ili kamena s nasipom i plivajućim drvenim podom, položenim u taj nasip. Podgled svoda uglavnom se žbukao. Krov kod starih građevina najčešće se nije izolirao jer se izvodio iznad negrijanog tavanskog prostora. Tavan kod tradicionalne gradnje služi kao međuprostor između vanjskog i unutarnjeg grijanog prostora. Problem se pojavljuje kod prenamjene tavanskog prostora u grijani stambeni prostor.

Prozori i vrata kod starih građevina izvodili su se uglavnom drveni, ustakljeni s jednim ili dva stakla po krilu. Ugrađivali su se kao jednostruki ili dvostruki prozori s dva krila na razmaku većem od 10 cm. Takvi prozori uzrokuju velike gubitke topline kroz vanjsku ovojnici, kako uslijed transmisije tako i zbog prolaza zraka kroz nebrtvljene reške.

Prosječni gubici topline kod takvih starih zgrada kreću se uglavnom između 180 i 250 kWh/m<sup>2</sup>godišnje. Analize pokazuju da se povećanjem toplinske izolacije vanjske ovojnice, prvenstveno vanjskog zida, te zamjenom prozora, gubici topline smanjuju najmanje na 60-90 kWh/m<sup>2</sup>godišnje, što je ušteda u potrošnji energije za oko 70%.

Tablica 4.5 - Prosječni koeficijenti prolaska topline za tipične vanjske konstrukcije u određenom razdoblju gradnje, te moguća poboljšanja povećanjem toplinske zaštite [4.9]

VANJSKI ZID, PREMA GARAŽI ILI TAVANU,			VANJSKI ZID S TOPLINSKOM IZOLACIJOM I ZAVRŠNOM ŽBUKOM (ETICS SUSTAV, kamena vuna)						
Materijal	$d$	$U$	$d=8$ cm	$d=10$ cm	$d=12$ cm	$d=14$ cm	$d=16$ cm	$d=18$ cm	$d=20$ cm
	[cm]	[W/m <sup>2</sup> K]	$U$ , [W/m <sup>2</sup> K]						
<b>KARAKTERISTIČNO ZA RAZDOBLJE DO 1940.g. KONTINENTALNA HRVATSKA</b>			<b>POBOLJŠANE KARAKTERISTIKE NAKON IZVEDBE TOPLINSKE IZOLACIJE</b>						
Puna opeka (obostrano ožbukana)	30	<b>1,89</b>	0,41	0,35	0,30	0,26	0,23	0,21	0,19
	45	<b>1,40</b>	0,38	0,32	0,28	0,25	0,22	0,20	0,18
	60	<b>1,16</b>	0,36	0,31	0,27	0,24	0,21	0,19	0,18
	80	<b>0,87</b>	0,33	0,28	0,25	0,22	0,20	0,18	0,17
<b>KARAKTERISTIČNO ZA RAZDOBLJE DO 1940.g. PRIMORSKA HRVATSKA</b>			<b>POBOLJŠANE KARAKTERISTIKE NAKON IZVEDBE TOPLINSKE IZOLACIJE</b>						
Kamen (obostrano ožbukani)	30	<b>2,51</b>	0,44	0,36	0,31	0,27	0,24	0,21	0,19
	50	<b>1,85</b>	0,41	0,34	0,30	0,26	0,23	0,21	0,19
	65	<b>1,54</b>	0,39	0,33	0,29	0,25	0,23	0,20	0,18
	80	<b>1,32</b>	0,38	0,32	0,28	0,25	0,22	0,20	0,18
Kamen (iznutra ožbukani)	30	<b>2,53</b>	0,44	0,36	0,31	0,27	0,24	0,21	0,19
	50	<b>1,86</b>	0,41	0,34	0,30	0,26	0,23	0,21	0,19
	65	<b>1,53</b>	0,39	0,33	0,29	0,25	0,23	0,20	0,18
	80	<b>1,33</b>	0,38	0,32	0,28	0,25	0,22	0,20	0,18
<b>KARAKTERISTIČNO ZA RAZDOBLJE OD 1940.g. DO 1970.g.</b>			<b>POBOLJŠANE KARAKTERISTIKE NAKON IZVEDBE TOPLINSKE IZOLACIJE</b>						
Puna opeka (obostrano ožbukana)	30	<b>1,89</b>	0,41	0,35	0,30	0,26	0,23	0,21	0,19
Armirani beton (iznutra ožbukani 1,5 cm)	16/20/25	<b>4,05/3,82/3,56</b>	0,46	0,38	0,32	0,28	0,25	0,22	0,20
	30/40/50	<b>3,33/2,95/2,65</b>	0,45	0,37	0,32	0,27	0,24	0,21	0,19
Betonski blokovi (obostrano ožbukani)	25	<b>1,61</b>	0,40	0,34	0,29	0,25	0,23	0,20	0,19
<b>KARAKTERISTIČNO ZA RAZDOBLJE POSLIJE 1970.g.</b>			<b>POBOLJŠANE KARAKTERISTIKE NAKON IZVEDBE TOPLINSKE IZOLACIJE</b>						

\*nastavak s prethodne stranice

VANJSKI ZID, PREMA GARAŽI ILI TAVANU,			VANJSKI ZID S TOPLINSKOM IZOLACIJOM I ZAVRŠNOM ŽBUKOM (ETICS SUSTAV, kamena vuna)						
Materijal	d	U	d=8 cm	d=10 cm	d=12 cm	d=14 cm	d=16 cm	d=18 cm	d=20 cm
	[cm]	[W/m <sup>2</sup> K]	U, [W/m <sup>2</sup> K]						
Šuplja opeka (obostrano ožbukana)	25	<b>1,62</b>	0,40	0,34	0,29	0,25	0,23	0,20	0,19
	35	<b>1,21</b>	0,37	0,31	0,27	0,24	0,22	0,20	0,18
<b>KARAKTERISTIČNO ZA RAZDOBLJE OD 1970.g. DO 2006.g.</b>			<b>POBOLJŠANE KARAKTERISTIKE NAKON IZVEDBE TOPLINSKE IZOLACIJE</b>						
Šuplja opeka 29 cm s termoizolacijskom žbukom 4 cm	35	<b>0,86</b>	0,32	0,27	0,24	0,22	0,20	0,18	0,17
Šuplja opeka 29 cm s tankoslojnom fasadom (4-6)+0,8 cm - DEMIT	36	<b>0,55</b>	0,36	0,30	0,26	0,23	0,21	0,19	0,17
Sendvič zid (fasadna opeka 12 cm, t.i. 3 cm, ab 15 cm)	30	<b>1,13</b>	0,36	0,31	0,27	0,24	0,21	0,19	0,18
Sendvič zid (šuplja opeka 19 cm, t.i. 5 cm, fasadna opeka 12 cm)	40	<b>0,47</b>	0,25	0,22	0,20	0,18	0,17	0,16	0,15
Sendvič zid (šuplja opeka 29 cm, t.i. 5 cm, fasadna opeka 12 cm)	48	<b>0,44</b>	0,33	0,28	0,25	0,22	0,20	0,18	0,17
Sendvič zid s ventiliranom šupljinom (šuplja opeka 19 cm, t.i. 3 cm, ventilirana šupljina 3 cm, fasadna opeka 12 cm) *dodatnu toplinsku izolaciju izvesti prije ventilirane šupljine	40	<b>0,84</b>	0,29	0,25	0,22	0,19	0,18	0,16	0,15
Sendvič zid s ventiliranom šupljinom (šuplja opeka 29 cm, t.i. 3 cm, ventilirana šupljina 3 cm, fasadna opeka 12 cm) *dodatnu toplinsku izolaciju izvesti prije ventilirane šupljine	47	<b>0,65</b>	0,34	0,29	0,25	0,22	0,20	0,18	0,17
Sendvič zid s ventiliranom šupljinom (ab 15 cm, t.i. 3 cm, ventilirana šupljina 3 cm, ab 5 cm) *dodatnu toplinsku izolaciju izvesti prije ventilirane šupljine	23	<b>1,52</b>	0,35	0,30	0,26	0,23	0,21	0,19	0,17
Zidovi od laganog betona (porobeton) obostrano ožbukani	20	<b>1,22</b>	0,37	0,31	0,27	0,24	0,22	0,20	0,18
	25	<b>0,99</b>	0,34	0,30	0,26	0,23	0,21	0,19	0,17



\*nastavak s prethodne stranice

POD NA TLU			POD NA TLU TOPLINSKI IZOLIRAN						
Materijal	$d$	$U$	$d=8$ cm	$d=10$ cm	$d=12$ cm	$d=14$ cm	$d=16$ cm	$d=18$ cm	$d=20$ cm
	[cm]	[W/m <sup>2</sup> K]	$U$ , [W/m <sup>2</sup> K]						
<b>KARAKTERISTIČNA VANJSKA OVOJNICA DO 1970.g.</b>			<b>POBOLJŠANE KARAKTERISTIKE NAKON IZVEDBE TOPLINSKE IZOLACIJE</b>						
Pod na tlu	17	<b>2,67</b>	0,42	0,35	0,30	0,26	0,23	0,20	0,19
<b>KARAKTERISTIČNA VANJSKA OVOJNICA OD 1970.g. DO 2006.g.</b>									
Pod na tlu + t.i. 3 cm	20	<b>0,89</b>	0,42	0,35	0,30	0,26	0,23	0,20	0,19

ZID PREMA NEGRIJANOM STUBIŠTU			TOPLINSKI IZOLIRAN ZID PREMA NEGRIJANOM STUBIŠTU						
Materijal	$d$	$U$	$d=8$ cm	$d=10$ cm	$d=12$ cm	$d=14$ cm	$d=16$ cm	$d=18$ cm	$d=20$ cm
	[cm]	[W/m <sup>2</sup> K]	$U$ , [W/m <sup>2</sup> K]						
<b>KARAKTERISTIČNA VANJSKA OVOJNICA DO 1970.g.</b>			<b>POBOLJŠANE KARAKTERISTIKE NAKON IZVEDBE TOPLINSKE IZOLACIJE</b>						
Puna opeka (obostrano ožbukana)	30	<b>1,64</b>	0,40	0,33	0,29	0,25	0,23	0,20	0,19
Šuplja opeka (obostrano ožbukana)	25	<b>1,42</b>	0,40	0,34	0,29	0,25	0,23	0,20	0,19
Armirani beton (obostrano ožbukani 1,5 cm)	16/20/25	<b>2,97/2,84/2,70</b>	0,46	0,38	0,32	0,28	0,25	0,22	0,20
	30/40/50	<b>2,56/2,33/2,14</b>	0,45	0,37	0,32	0,27	0,24	0,21	0,19

VANJSKI ZID PREMA TERENU			VANJSKI ZID PREMA TERENU TOPLINSKI IZOLIRAN						
Materijal	$d$	$U$	$d=8$ cm	$d=10$ cm	$d=12$ cm	$d=14$ cm	$d=16$ cm	$d=18$ cm	$d=20$ cm
	[cm]	[W/m <sup>2</sup> K]	$U$ , [W/m <sup>2</sup> K]						
<b>KARAKTERISTIČNA VANJSKA OVOJNICA DO 1970.g.</b>			<b>POBOLJŠANE KARAKTERISTIKE NAKON IZVEDBE TOPLINSKE IZOLACIJE OD XPS*-a</b>						
Armirani beton	16/20/25	<b>5,21/4,83/4,42</b>	0,35	0,28	0,24	0,21	0,18	0,16	0,15
	30/40/50	<b>4,08/3,52/3,11</b>	0,34	0,28	0,23	0,20	0,18	0,16	0,14
Puna opeka	60	<b>1,15</b>	0,28	0,24	0,21	0,18	0,16	0,15	0,12
	80	<b>0,89</b>	0,26	0,22	0,20	0,17	0,16	0,14	0,13
<b>KARAKTERISTIČNA VANJSKA OVOJNICA OD 1987.g. DO 2006.g.</b>			<b>POBOLJŠANE KARAKTERISTIKE NAKON IZVEDBE TOPLINSKE IZOLACIJE OD XPS*-a</b>						
Beton s toplinskom izolacijom 5 cm i obzidom od opeke 6 cm	37	<b>0,50</b>	0,22	0,19	0,17	0,15	0,14	0,13	0,12

\*ekstrudirani polistiren

\*nastavak s prethodne stranice

STROP PREMA NEGRIJANOM TAVANU ILI PODRUMU			STROP PREMA NEGRIJANOM TAVANU TOPLINSKI IZOLIRAN						
Materijal	$d$	$U$	$d=8$ cm	$d=10$ cm	$d=12$ cm	$d=14$ cm	$d=16$ cm	$d=18$ cm	$d=20$ cm
	[cm]	[W/m <sup>2</sup> K]	$U$ , [W/m <sup>2</sup> K]						
<b>KARAKTERISTIČNO ZA RAZDOBLJE DO 1940.g</b>			<b>POBOLJŠANE KARAKTERISTIKE NAKON IZVEDBE TOPLINSKE IZOLACIJE</b>						
Drveni strop 40 cm s ispunom od pijeska ili šute, obloga od punih opečnih elemenata 6 cm	50	<b>1,16</b>	0,33	0,28	0,25	0,22	0,20	0,18	0,16
Strop od punih opečnih elemenata 25 cm	35	<b>1,46</b>	0,38	0,32	0,28	0,24	0,22	0,20	0,18
KARAKTERISTIČNO ZA RAZDOBLJE DO 1970.g			<b>POBOLJŠANE KARAKTERISTIKE NAKON IZVEDBE TOPLINSKE IZOLACIJE</b>						
Sitnobrebričasti strop d ploče=6 cm, h <sub>uk</sub> =40 cm	40	<b>4,20</b>	0,44	0,36	0,30	0,26	0,23	0,21	0,19
KARAKTERISTIČNO ZA RAZDOBLJE DO 1987.g			<b>POBOLJŠANE KARAKTERISTIKE NAKON IZVEDBE TOPLINSKE IZOLACIJE</b>						
Opečni elementi 14 cm + betonska ploča 6 cm	22 cm	<b>1,66</b>	0,38	0,32	0,27	0,24	0,21	0,19	0,17
Beton 16 cm, iznutra ožbukano	18	<b>3,55</b>	0,43	0,35	0,30	0,26	0,23	0,20	0,18

STROP IZNAD VANJSKOG PROSTORA			STROP PREMA OTVORENOM PROSTORU TOPLINSKI IZOLIRAN						
Materijal	$d$	$U$	$d=8$ cm	$d=10$ cm	$d=12$ cm	$d=14$ cm	$d=16$ cm	$d=18$ cm	$d=20$ cm
	[cm]	[W/m <sup>2</sup> K]	$U$ , [W/m <sup>2</sup> K]						
<b>KARAKTERISTIČNA VANJSKA OVOJNICA OD 1940.g. DO 1987.g.</b>			<b>POBOLJŠANE KARAKTERISTIKE NAKON IZVEDBE TOPLINSKE IZOLACIJE</b>						
Opečni elementi 14 cm + betonska ploča 6 cm	29 cm	<b>1,41</b>	0,38	0,32	0,28	0,25	0,22	0,20	0,18
Armirani beton 16 cm	25	<b>2,19</b>	0,42	0,35	0,30	0,26	0,23	0,21	0,19
<b>KARAKTERISTIČNA VANJSKA OVOJNICA OD 1987.g. DO 2008.g.</b>			<b>POBOLJŠANE KARAKTERISTIKE NAKON IZVEDBE TOPLINSKE IZOLACIJE</b>						
Opečni elementi 14 cm + betonska ploča 6 cm + t.i. 3 cm	32	<b>0,68</b>	0,30	0,26	0,23	0,21	0,19	0,17	0,16

\*nastavak s prethodne stranice

STROP IZMEĐU STANOVA			STROP IZMEĐU STANOVA TOPLINSKI IZOLIRAN						
Materijal	$d$	$U$	$d=2$ cm	$d=4$ cm	$d=6$ cm	$d=8$ cm	$d=10$ cm	$d=12$ cm	$d=14$ cm
	[cm]	[W/m <sup>2</sup> K]	$U$ , [W/m <sup>2</sup> K]						
<b>KARAKTERISTIČNA VANJSKA OVOJNICA</b>			<b>POBOLJŠANE KARAKTERISTIKE NAKON IZVEDBE TOPLINSKE IZOLACIJE</b>						
Opečni elementi 14 cm + betonska ploča 6 cm + EPS 2 cm	29 cm	<b>1,30</b>	<b>0,72</b>	<b>0,52</b>	<b>0,41</b>	<b>0,34</b>	<b>0,29</b>	<b>0,25</b>	<b>0,22</b>
Armirani beton 16 cm + EPS 2 cm	25	<b>1,94</b>	0,88	0,61	0,46	0,37	0,31	0,27	0,24

KOSI KROV (STAMBENI PROSTOR ISPOD KROVA)			KOSI KROV (STAMBENI PROSTOR ISPOD KROVA) TOPLINSKI IZOLIRAN						
Materijal	$d$	$U$	$d=8$ cm	$d=10$ cm	$d=12$ cm	$d=14$ cm	$d=16$ cm	$d=18$ cm	$d=20$ cm
	[cm]	[W/m <sup>2</sup> K]	$U$ , [W/m <sup>2</sup> K]						
<b>KARAKTERISTIČNA VANJSKA OVOJNICA OD 1970.g.</b>			<b>POBOLJŠANE KARAKTERISTIKE NAKON IZVEDBE TOPLINSKE IZOLACIJE</b>						
Drvene grede ispunjene t.i. 5 cm	7,5	<b>0,63</b>	0,27	0,24	0,21	0,19	0,18	0,16	0,15
<b>KARAKTERISTIČNO ZA RAZDOBLJE OD 1970.g.</b>			<b>POBOLJŠANE KARAKTERISTIKE NAKON IZVEDBE TOPLINSKE IZOLACIJE</b>						
Opečni elementi + betonska ploča	$d=20$ cm (14+6)	<b>1,92</b>	0,40	0,33	0,28	0,25	0,22	0,20	0,18
Beton iznutra ožbukani	16	<b>4,05</b>	0,44	0,36	0,30	0,26	0,23	0,20	0,18

RAVNI KROV (STAMBENI PROSTOR ISPOD KROVA)			KOSI KROV (STAMBENI PROSTOR ISPOD KROVA) TOPLINSKI IZOLIRAN						
Materijal	$d$	$U$	$d=8$ cm	$d=10$ cm	$d=12$ cm	$d=14$ cm	$d=16$ cm	$d=18$ cm	$d=20$ cm
	[cm]	[W/m <sup>2</sup> K]	$U$ , [W/m <sup>2</sup> K]						
<b>KARAKTERISTIČNO ZA RAZDOBLJE OD 1940.g.</b>			<b>POBOLJŠANE KARAKTERISTIKE NAKON IZVEDBE TOPLINSKE IZOLACIJE</b>						
Montažna ploča 20 cm, t.i. 3 cm, cementni estrih i h.i.	32	<b>0,76</b>	<b>0,30</b>	<b>0,26</b>	<b>0,23</b>	<b>0,20</b>	<b>0,18</b>	<b>0,17</b>	<b>0,16</b>
Betonska ploča 16 cm, t.i. 3 cm, cementni estrih i h.i.	28	<b>0,96</b>	0,32	0,28	0,24	0,22	0,19	0,18	0,16

\*nastavak s prethodne stranice

PROZORI	OKVIR		OSTAKLJENJE						
			do 1970.g.		do 1987.g.		do 2006.g.	od 2006.g.	
			1-struko ostakljenje (4 mm) bez brtvljenja	2 x 1-struko ostakljenje (4 mm) 2 doprozornika d=30 cm bez brtvljenja	2-struko obično ostakljenje (4/6-8/4 mm) bez brtvljenja	3-struko obično ostakljenje bez brtvljenja (4/6-8/4/6-8/4 mm)	2-struko izolacijsko staklo (4/10-16/4 mm) i 2-strukim brtvljenjem	2-struko izolacijsko staklo (4/16/4 mm) s plinovitim punjenjem, low <sub>e</sub> premazom i 3-strukim brtvljenjem	3-struko izolacijsko staklo (4/16/4/16/4 mm) s plinovitim punjenjem, low <sub>e</sub> premazom i 3-strukim brtvljenjem
Materijal	d [cm]	U [W/m <sup>2</sup> K]							
Drveni okvir	5	<b>2,9</b>	5,2	3,6	2,9	2,6	-	-	-
	7	<b>2,4</b>	-	-	-	-	2,2 - 2,0	1,4 - 1,0	1,1
Drvo aluminij s poliuretanom 4 cm	11	<b>0,5</b>	-	-	-	-	-	1,3	0,9
Metalni okvir bez prekinutog toplinskog mosta	5	<b>5,9</b>	5,9	3,1	4,0	3,2	-	-	-
Metalni okvir s prekinutim toplinskim mostom	5	<b>3,4</b>	5,9	2,7	3,2	2,6	2,5	1,7	1,4
Pvc okvir	5-8	<b>2,2-2,0</b>	-	-	3,2	2,4	2,2 - 2,0	-	-
	10	<b>1,4</b>	-	--	-	-	-	1,4	1,0 - 0,8

Napomena: crveno su označeni svi građevni dijelovi vanjske ovojnice čiji koeficijenti prolaska topline ne zadovoljavaju Tehnički propis o racionalnoj upotrebi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama NN 110/08

Koeficijenti prolaska topline određuju se prema EN ISO 6946:2007, Tehnički propis o racionalnoj upotrebi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, prilog A.1 (NN110/08)

## Karakteristični primjer gradnje četrdesetih godina prošlog stoljeća

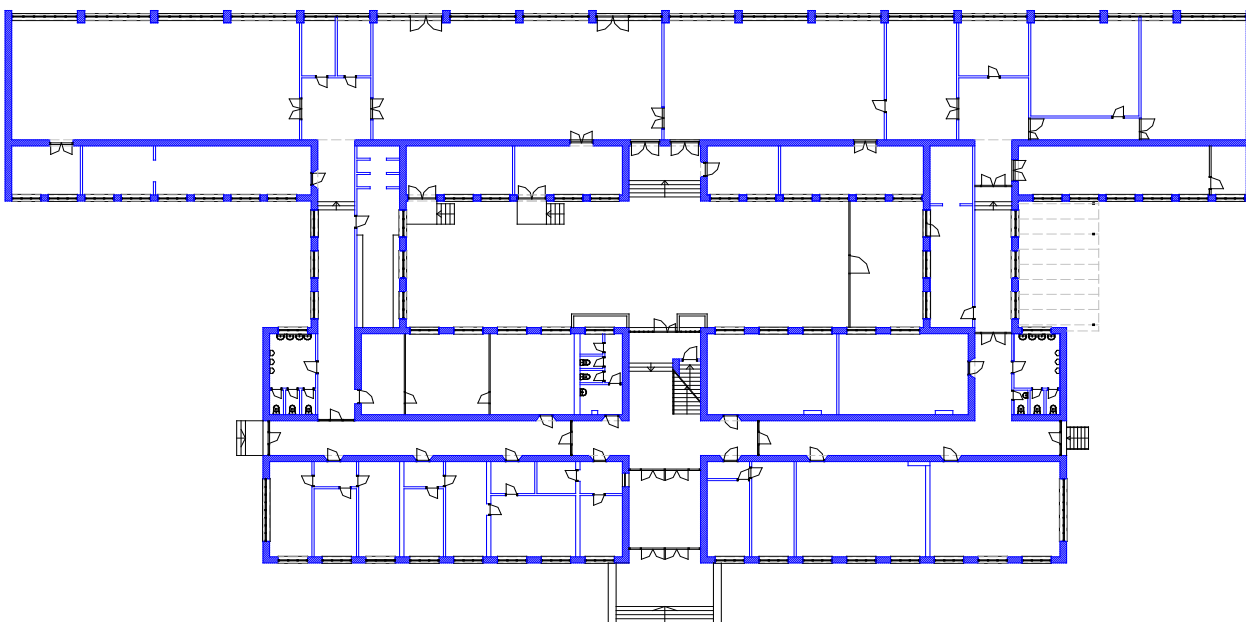
### ELEKTROSTROJARSKA OBRITNIČKA ŠKOLA U ZAGREBU [4.19]

**Ploština korisne površine zgrade**,  $A_k = 3.962,00 \text{ m}^2$  Faktor oblika za zgradu iznosi  $f_0 = 0,34$

Građevina je zidana punom opekam, debljina zida 25 i 38 cm, obostrano ožbukano, dijelom kao prizemna zgrada, dijelom podrum + prizemlje + 2 kata. Krovnište je drveno, dvostrešno i četverostrešno, pokrov valovitim salonit pločama. Tavanski prostor se ne grije. Međukatna konstrukcija je sitnobrečasti betonski strop s nasipom šute i završnom obradom. Prozori su stari drveni, većim dijelom s jednostrukim, a manjim s dvostrukim staklom, s lošim brtvljenjem.

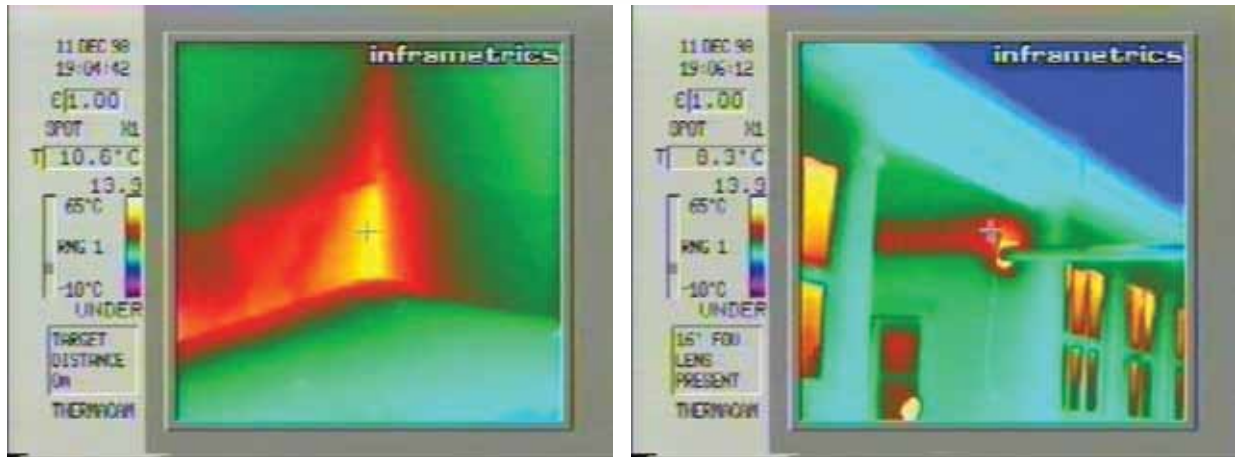


Slika 4.5 - Postojeće stanje zgrade i njene vanjske ovojnice



POVRŠINA PRIZEMLJA S DVORIŠTEM Pbrutto=2.600,00 m<sup>2</sup> (dvorište 280,00 m<sup>2</sup>) Pnetto = 1980,00 m<sup>2</sup>

Slika 4.6 - Postojeće stanje zgrade - tlocrt prizemlja



Slika 4.7 - Termografske snimke stanja vanjske ovojnice i tipični toplinski mostovi

Potrošnja energije za grijanje prostora utvrđena provedenim energetskim pregledom iznosi  $Q_{H,nd}=198$  kWh/m<sup>2</sup>grijanog prostora zgrade. Uz predložene mjere poboljšanja energetskih svojstava zgrade i smanjenja toplinskih gubitaka postiže se energetska potrošnja za grijanje manja od 65 kWh/m<sup>2</sup>. Uz veće debljine toplinske izolacije te ugradnju prozora s trostrukim ostakljenjem moguće je postići i niskoenergetski ili pasivni standard pri energetskoj obnovi zgrade. Uštede koje se postižu u energetskoj potrošnji kreću se od 60% na više.

Predložene mjere poboljšanja energetskih svojstava vanjske ovojnice zgrade obuhvatile su toplinsku zaštitu vanjskog zida i smanjenje koeficijenta prolaska topline  $U = 1,46$  na  $U = 0,32$  W/m<sup>2</sup>K, zatim toplinsku zaštitu stropa prema negrijanom tavanu i smanjenje koeficijenta prolaska topline  $U = 1,14$  na  $U = 0,28$  W/m<sup>2</sup>K, te zamjenu prozora čiji se koeficijent  $U$  kretao od 3,5 do 5,8 W/m<sup>2</sup>K, uz ugradnju novih prozora s  $U = 1,40$  W/m<sup>2</sup>K. Mjere su obuhvatile i manje zahvate na sustavu grijanja i pripreme potrošne tople vode.



Slika 4.8 - Prijedlog mogućeg izgleda nakon provedene energetske obnove

Uz nužnu obnovu školske zgrade u svrhu poboljšanja standarda smještajnog komfora školske djece, ulaganjem u povećanje energetske učinkovitosti, postižu se energetske uštede od oko 67%. Godišnja ušteda u potrošnji toplinske energije za grijanje

iznosi 531.272 kWh, što prema prosjeku za Hrvatsku znači godišnje smanjenje emisije CO<sub>2</sub> za oko 164 tone.

Energetska obnova zgrada predstavlja najveći potencijal za energetske uštede. Projekti energetske obnove danas se u EU uglavnom realiziraju na niskoenergetski ili pasivni standard gradnje.

## Karakteristični primjer energetske obnove stambene zgrade građene pedesetih godina prošlog stoljeća na pasivni standard

### ENERGETSKA OBNOVA VIŠESTAMBENE ZGRADE U LINZU, AUSTRIJA [4.25]

Višestambena zgrada na pet etaža s 50 stanova, građena pedesetih godina prošlog stoljeća, trebala je temeljitu obnovu. Osnovni cilj rekonstrukcije bio je s jedne strane smanjenje potrošnje energije i povećanje energetske učinkovitosti, a s druge strane povećanje standarda i kvalitete života, te bolje funkcionalnosti prostora. Loše toplinsko stanje zgrade bez toplinske zaštite te prozori kroz koje su se ostvarivali veliki toplinski gubici zimi i pregrijavanje prostora ljeti, uzrokovalo je velike račune za energiju i velike životne troškove stanarima. Osim toga pozicija zgrade uz vrlo prometnu ulicu onemogućavala je korištenje balkona kao i redovito prozračivanje prostora, zbog prašine i buke. Energetskoj obnovi prethodio je detaljni energetski pregled zgrade, pri čemu je ustanovljena prosječna energetska potrošnja za grijanje od 179 kWh/m<sup>2</sup>. Dodatna motivacija prilikom obnove bila je postizanje standarda pasivne kuće, dakle smanjenje potrošnje toplinske energije na manje od 15 kWh/m<sup>2</sup>. Rekonstrukcija je obuhvatila dodatnu toplinsku izolaciju cijele vanjske ovojnice, povećanje stambenog prostora i zatvaranje balkona te ugradnju prefabriciranih zidnih fasadnih izolacijskih panela. Osim visoke razine toplinske zaštite uveden je i sustav mehaničke ventilacije s iskorištenjem topline otpadnog zraka. Projekt je nagrađen austrijskom državnom nagradom za arhitekturu i održivi razvoj, kao i nagradom Energie Star 2006. godine, kao najuspješniji projekt povećanja energetske učinkovitosti.



Slika 4.9 - Pogled prema zgradi prije i nakon rekonstrukcije (Arch DI Ingrid Domenig-Meisinger)

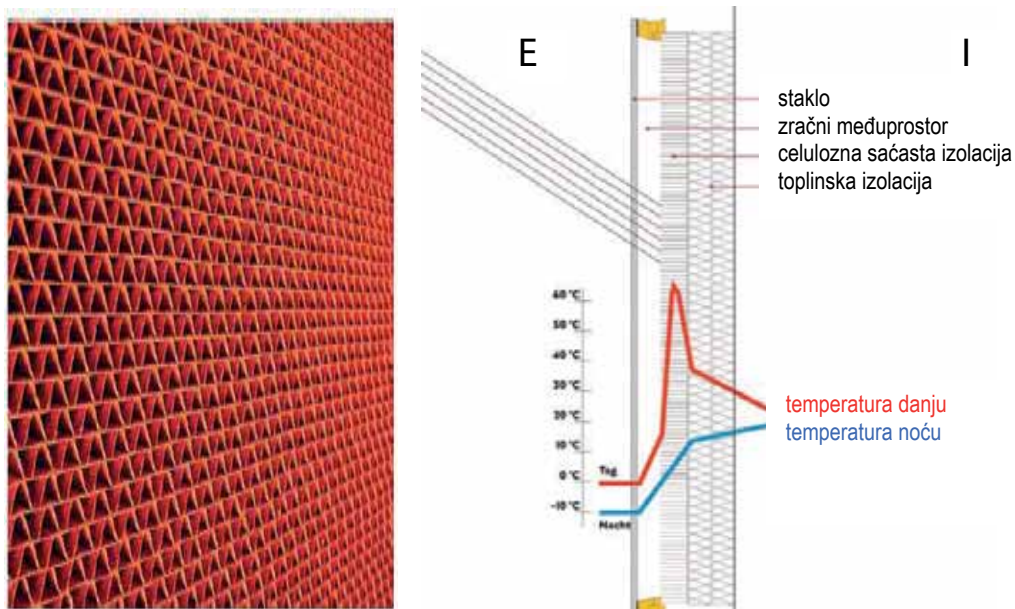
Rekonstrukcija je provedena 2005.-2006. godine. Rekonstrukcijom je povećana korisna površina zgrade s 2.789 m<sup>2</sup> na 3.106 m<sup>2</sup>, zbog proširenja stambenog prostora na balkone, a višestruko su smanjene energetske potrebe, s 500.000 kWh godišnje na 45.000 kWh, što predstavlja energetske uštede od 455.000 kWh godišnje ili 90%, te smanjenje emisija CO<sub>2</sub> sa 160.000 na 14.000 kg CO<sub>2</sub> godišnje. Energetskom rekonstrukcijom zgrade smanjeni su toplinski gubici a time i troškovi za energiju više nego deseterostruko, a povećala se kvaliteta, funkcionalnost i standard boravka i života u prostoru zgrade. Godišnja potrebna toplina za grijanje smanjena je sa 179 kWh/m<sup>2</sup> na 14,4 kWh/m<sup>2</sup>, a toplinski gubici sa 118 W/m<sup>2</sup> na 11,3 W/m<sup>2</sup>.

Energetskom rekonstrukcijom višestambene zgrade u Linzu postignuto je:

- smanjenje troškova za energiju na minimum
- povećanje kvalitete unutarnjeg zraka
- funkcionalnije korištenje prostora, povećanja standarda
- primjena novih inovativnih tehnologija prefabrikacije
- rekonstrukcija bez uznemiravanja i potrebe iseljavanja stanovnika.

Prilikom rekonstrukcije primjenjeno je novo inovativno rješenje ugradnje prefabriciranih fasadnih panela koji su značajno doprinijeli smanjenju toplinskih gubitaka. Idejni autor rješenja fasadnog panela gap solar [4.30] austrijski je arhitekt Johan Aschauer, za što je dobio cijeli niz nagrada. Centralni dio elementa je celulozna sačasta struktura koja se može postaviti između dva stakla ili između vanjske staklene ploče i unutarnjeg sloja toplinske izolacije na vanjskom zidu. Fasadni element ima drveni nosivi okvir i bočnu rešetku za prozračivanje sloja između stakla i celuloznog saća. Ploče su veličine maimalno 1,25x3,00 m, a mogu biti u raznim bojama po RAL-u.

Svoju pravu vrijednost ovi paneli pokazuju u zimskom razdoblju. Kako su zimi sunčeve zrake niže, odnosno kut upada manji, one prodiru duboko u celuloznu sačastu strukturu i zagrijavaju je. Pri tome se na vanjskoj stijeni pojavi topla zona pri čemu se temperaturna razlika između stijene i unutrašnjosti objekta gotovo izjednači. Vanjski zid postaje zid gotovo bez toplinskih gubitaka. Ljeti kada su sunčeve zrake više, celulozno saće je zasjenjeno, zidovi ostaju hladni, a zaštita od sunca kod korištenja u staklenoj stijeni nije potrebna. Panel ima najbolje karakteristike na južnom, istočnom i zapadnom pročelju, a mjerenja su pokazala koeficijente prolaska topline  $U=0,02-0,08 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Ugrađeni su prozori s koeficijentom prolaska topline  $U=0,86 \text{ W/m}^2\text{K}$  s dvostrukim izo staklom i trećim staklom iza kojeg se nalazi zaštita od sunca.



Slika 4.10 - Celulozna sačasta struktura fasadnog panela i njeno fizikalno djelovanje



Slika 4.11 - Zgrada u fazi rekonstrukcije i po završetku



Danas troškovi grijanja za prosječan stan od cca 60 m<sup>2</sup> iznose 4,70 EUR mjesečno, a prije rekonstrukcije su iznosili preko 40 EUR mjesečno. Troškovi klasične rekonstrukcije ovakve zgrade izračunati su na oko 608,70 EUR po m<sup>2</sup>, dok su stvarni troškovi uvođenjem standarda pasivne gradnje iznosili 774 EUR/m<sup>2</sup>. Dodatno ulaganje višestruko se isplatilo, uz deseterostruko smanjenje toplinskih gubitaka, poboljšana je kvaliteta unutarnjeg zraka, povećan standard i funkcionalnost prostora, a troškovi održavanja smanjeni su na minimum.

**Tablica 4.6 - Usporedba energetske svojstva zgrade u Linzu prije i nakon provedene energetske obnove po pasivnom standardu - rekonstrukcija s faktorom 10**

ENERGETSKA SVOJSTVA	PRIJE ENERGETSKE OBNOVE	NAKON ENERGETSKE OBNOVE
ENERGIJA ZA GRIJANJE $Q_{H,nd}$	179,0 kWh/m <sup>2</sup>	14,4 kWh/m <sup>2</sup>
UKUPNE ENERGETSKE POTREBE	cca 500.000 kWh/god.	45.000 kWh/god.
ENERGETSKE UŠTEDE	-	455.000 kWh/god.
U VRIJEDNOST VANJSKOG ZIDA	1,2-1,4 W/m <sup>2</sup> K	0,082 W/m <sup>2</sup> K (uz doprinos sunca)
U VRIJEDNOST KROVA	0,9 W/m <sup>2</sup> K	0,094 W/m <sup>2</sup> K
U VRIJEDNOST PODA	0,7 W/m <sup>2</sup> K	0,21 W/m <sup>2</sup> K
U VRIJEDNOST PROZORA	3,0 W/m <sup>2</sup> K	0,86 W/m <sup>2</sup> K
UKUPNI GRIJANI PROSTOR	2.789 m <sup>2</sup>	3.106 m <sup>2</sup>
GODIŠNJE CO <sub>2</sub> EMISIJE	160.000 kg CO <sub>2</sub> /god	14.000 kg CO <sub>2</sub> /god
TROŠKOVI ZA GRIJANJE ZA PROSJEČNI STAN OD 60 M <sup>2</sup>	40-50 EUR MJESEČNO	4,7 EUR MJESEČNO

#### 4.1.4. Zgrade građene u razdoblju od 1940. do 1970. godine

Osnovno obilježje gradnje u ovom razdoblju je s jedne strane primjena tradicionalnih tehnika i materijala opisanih u prethodnom poglavlju, a s druge strane početak primjene novih materijala i statički tanjih, laganijih konstrukcija, a sve prije pojave prvih propisa o toplinskoj zaštiti zgrada. Ovo je razdoblje gradnje karakteristično i po velikoj i ubrzanoj gradnji, te izgradnji zgrada koje danas predstavljaju najveći problem u smislu energetske potrošnje. Pojava novih materijala, statički laganijih i tanjih konstrukcija većih raspona, velikih ostakljenih površina, a loših toplinskih karakteristika, te bez primjene toplinske zaštite, karakterizira ovo razdoblje izgradnje.

Novi materijali i njihova raznolikost rezultirali su i promjenom koncepcije konstrukcija. Armirani beton dopušta statički „tanke“ konstruktivne elemente koji bez toplinske izolacije imaju velike toplinske gubitke. Velike staklene površine ostakljene su jednostrukim ostakljenjem. Prva naftna kriza sedamdesetih godina prošlog stoljeća, ubrzala je prihvaćanje činjenica da su izvori fosilnih goriva sasvim sigurno ograničeni i da je energente potrebno racionalno koristiti. Ubrzo nakon toga mnoge industrijski razvijene zemlje donose prve zakone i propise o štednji energije za zagrijavanje građevina. Većina europskih zemalja danas ima regulirano područje toplinske zaštite i uštede energije koje se trenutno usklađuje s dokumentima prihvaćenim na razini EU-a.

## Karakteristični primjer gradnje šezdesetih godina prošlog stoljeća

### POSLOVNA ZGRADA HEP ELEKTRE U KOPRIVNICI [4.20]

**Ploština korisne površine zgrade**,  $A_k = 1.240,00 \text{ m}^2$  Faktor oblika za zgradu iznosi  $f_0 = 0,34$

Poslovna zgrada HEP ELEKTRA Koprivnica građena je 1968. godine, prije usvajanja prvih hrvatskih propisa o toplinskoj zaštiti i uštedi energije 1970. godine (Pravilnik o tehničkim mjerama i uvjetima za toplinsku zaštitu zgrada - Službeni list SFRJ 35/70). Građevina je tlocrtno pravokutnog oblika, kompaktnog volumena, tlocrtna bruto površina 30,14x11,65 metara, ukupno bruto cca 1.400 m<sup>2</sup>. Ostakljenim hodnikom zgrada je povezana s novijom upravnom zgradom. Zgrada je organizirana na četiri etaže, s ravnim krovom. U prizemlju se nalazi kotlovnica, sanitarni čvor, pomoćni i kancelarijski prostori. Na prvom katu je kuhinja sa spremištima i sanitarijama za kuharice, restoran, dvorana za sastanke i kancelarijski prostor. Drugi i treći kat su kancelarijski prostori.

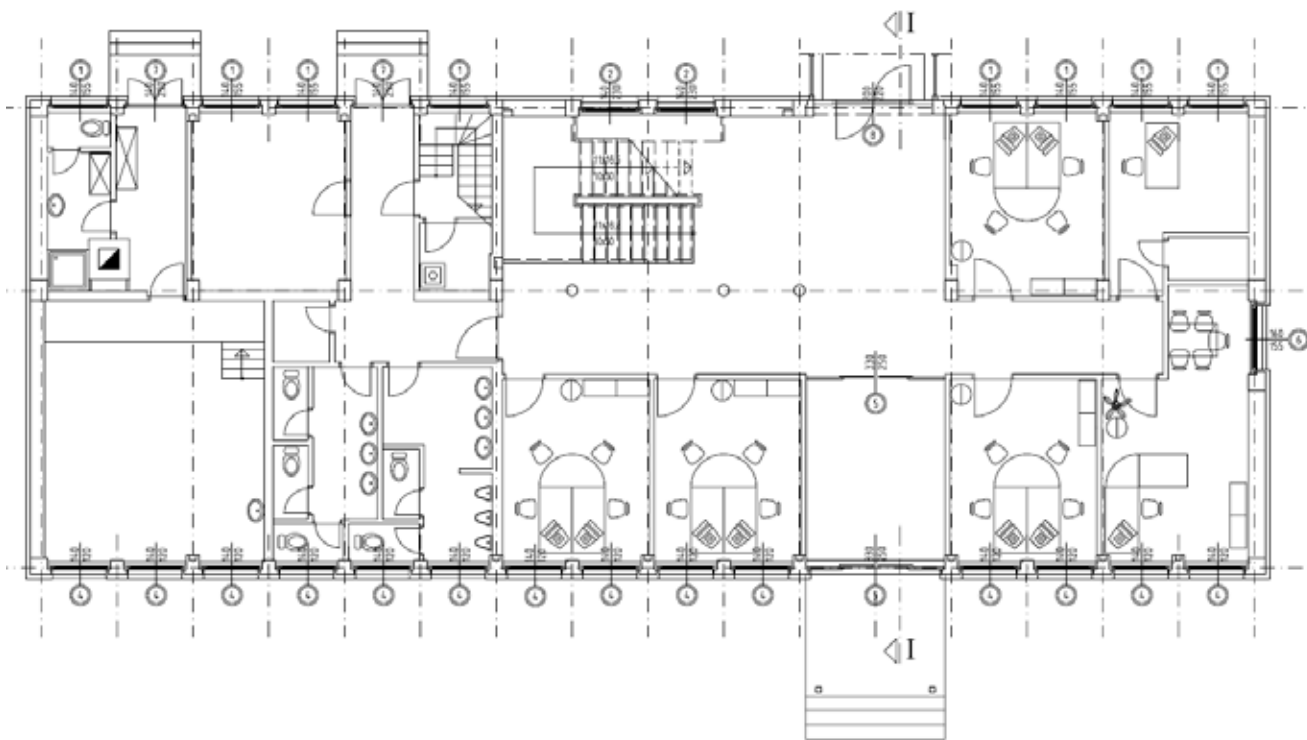


Slika 4.12 - Postojeće stanje zgrade

Analizirana zgrada građena je u kombinaciji pune opeke i armiranog betona, obostrano žbukano. Nosivu konstrukciju čine armiranobetonski stupovi i zidovi, međusobno povezani armiranobetonskim gredama. Postojeći stropovi su armiranobetonski rebričasti. Vanjski zidovi zidani su punom opekama, u debljini 25 ili 38 cm, a dijelom su armiranobetonski debljine 30 cm, bez toplinske izolacije. Toplinsko stanje ovakve nehomogene vanjske ovojnice zgrade je izuzetno loše, toplinski gubici kroz neizolirani vanjski zid od pune opeke ili betona su veliki, a postoji i problem vlage u prizemlju i na ravnom krovu. Prozori su većim dijelom drveni, ostakljeni jednostrukim ili s dva jednostruka stakla, vrlo loših toplinskih karakteristika.

Postojeće grijanje izvedeno je kao toplovodno grijanje s radijatorskim ogrjevnim tijelima, uz temperaturu ogrjevne vode oko 70-80°C. Potrošna topla voda se priprema u odvojenom spremniku iz kojeg se distribuira potrošačima. Ogrjevna voda se priprema u lokalnoj kotlovnici s dva jednaka toplovodna kotla nazivnog kapaciteta 2x580 kW. Kotlovi su stari oko 22 godine, no vizualnim pregledom ustanovljeno je da su uredno i dobro održavani. Energent je plin. Zgrada nema sustav hlađenja, te postoji veliki problem pregrijavanja prostora ljeti.

Zbog lošeg stanja pročelja, kao i ravnog krova, te velike potrošnje energije za grijanje, pojavila se potreba za rekonstrukcijom zgrade. Investitor donosi odluku da se rekonstrukcija izvede uz mjere povećanja energetske učinkovitosti i poboljšanja standarda boravka i rada u poslovnoj zgradi. U tu svrhu proveden je energetski pregled postojeće zgrade, te izrađena energetska studija s prijedlogom optimalnog idejnog rješenja u svrhu povećanja energetske učinkovitosti. Energetskim pregledom zgrade i provođenjem infracrvenog snimanja s ciljem utvrđivanja toplinske kvalitete vanjske ovojnice, ustanovljena je prosječna potrošnja energije za grijanje od oko 240 kWh/m<sup>2</sup>.



Slika 4.13 - Tlocrt prizemlja

**Tablica 4.7 - Usporedba koeficijenta prolaska topline vanjske ovojnice zgrade prije i nakon provedene energetske obnove**

KONSTRUKCIJA	POSTOJEĆE STANJE $U$ ( $W/m^2K$ )	STANJE NAKON REKONSTRUKCIJE $U$ ( $W/m^2K$ )
Kutija za rolete	$U=2,30$	$U=0,33$
Vanjski zid opeka 38 cm	$U=1,40$	$U=0,30$
Vanjski zid opeka 25 cm	$U=1,84$	$U=0,32$
Vanjski zid opeka + kamen	$U=1,80$	$U=0,32$
Vanjski zid AB 33 cm	$U=2,70$	$U=0,34$
Ravni krov/strop prema tavanu	$U=0,60$	$U=0,25$
Pod na tlu	$U=0,60$	$U=0,60$
Prozori	$U=3,50 - 4,00$	$U=1,40$

Rekonstrukcija je započela 2004. godine i završila 2005. godine. Rekonstrukcija je obuhvatila toplinsku zaštitu cijele vanjske ovojnice, izvedbu kosog krova, te rekonstrukciju sustava grijanja i uvođenje sustava hlađenja zgrade. Rekonstrukcija vanjske ovojnice obuhvatila je:

- sanaciju fasade izvedbom dodatne toplinske izolacije vanjskog zida kamenom vunom u debljini 10 cm i sloja završne tankoslojne silikatne žbuke
- promjenu prozora, tj. kompletne fasadne stolarije i ugradnju visokokvalitetnih plastificiranih aluminijskih prozorskih okvira s prekinutim toplinskim mostom i ugrađenim izo staklom 4+16argon+6mm, s  $U=1,4 W/m^2K$ , s mikroprekidačima kojima se isključuje grijanje/hlađenje pojedine prostorije prilikom provjetravanja
- sanaciju ravnog krova izvedbom kosog krova nagiba, te dodatnom toplinskom izolacijom stropa zadnje etaže prema negrijanom tavanu u debljini 14 cm

Ovakvom sanacijom vanjske ovojnice zgrade očekivane su uštede u potrošnji energije za grijanje oko 70%, odnosno s prosječnih 220–240 kWh/m<sup>2</sup> na oko 60–70 kWh/m<sup>2</sup>.

Energetska analiza pokazala je da možemo očekivati smanjenje potrošnje toplinske energije za grijanje s 240 na oko 70 kWh m<sup>2</sup>, uz povećanje standarda i produljenje životnog vijeka zgrade. S obzirom da se potrošnja plina smanjuje s prosječno 40.000 m<sup>3</sup> godišnje na oko 14.000 m<sup>3</sup>, emisije CO<sub>2</sub> u okoliš smanjuju se godišnje za oko 48 tona.

Povratno razdoblje ulaganja kod svih ovako kompleksnih zahvata u povećanje energetske učinkovitosti, kreće se u prosjeku od 5 do 10 godina, uz današnje cijene energije i energenata. Povećanjem cijene energije u budućnosti te uvođenjem poticaja za mjere energetske učinkovitosti i korištenja obnovljivih izvora energije, ekonomski parametri bit će još povoljniji. Povratno razdoblje ulaganja najduži je za građevinske mjere, pa je njih važno planirati prilikom nužnih zahvata obnove i održavanja zgrada. Tada dodatno ulaganje u povećanje toplinske zaštite iznosi oko 20 do 30% ukupnih ulaganja. Također je važno dobro optimirati kombinaciju mjera povećanja energetske učinkovitosti, kako bi se došlo do energetski, ekonomski i ekološki najkvalitetnijeg rješenja.

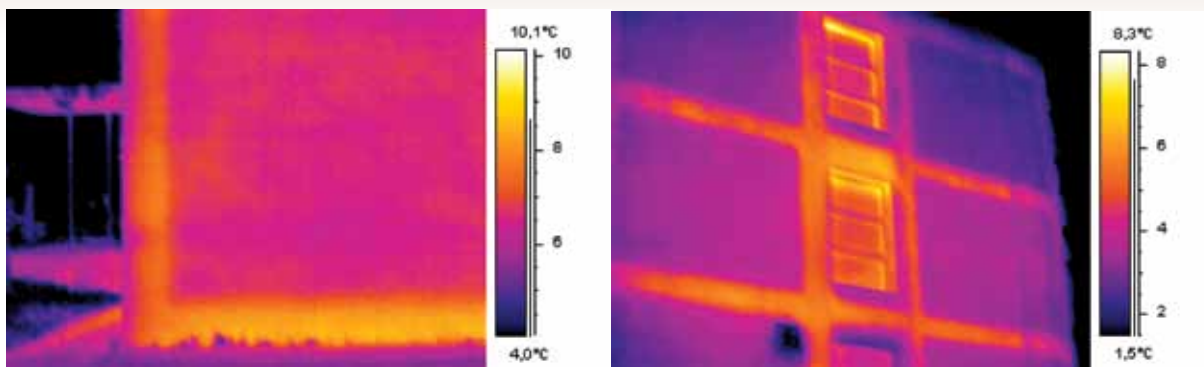


**Slika 4.14 - Zgrada nakon provedene energetske rekonstrukcije**

Rezultati rekonstrukcije u svrhu povećanja energetske učinkovitosti, opravdali su modelirana i proračunata očekivanja. Potrošnja toplinske energije smanjena je za 65 do 70%. Povećanje standarda postignuto je kvalitetnom toplinskom zaštitom cijele vanjske ovojnice, te uvođenjem suvremenog sustava grijanja i hlađenja prostorija. Automatska regulacija sustava dodatno doprinosi povećanju energetske učinkovitosti.

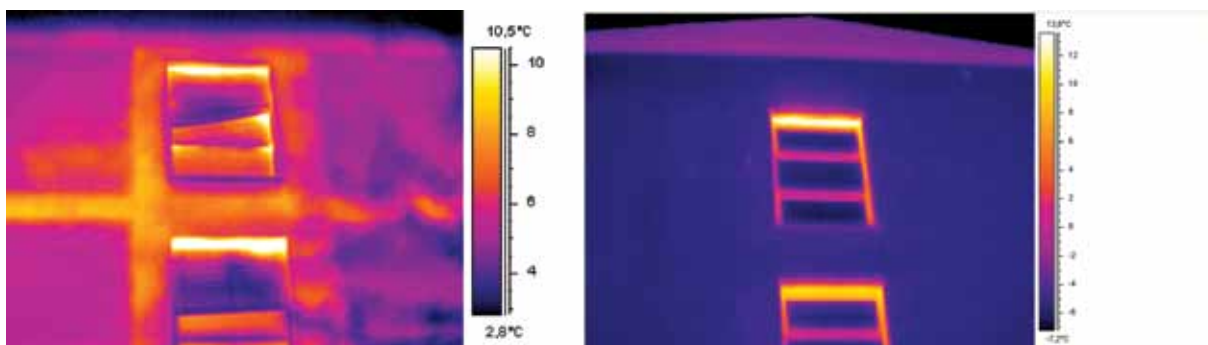
Termografska analiza zgrade prije i nakon rekonstrukcije dodatni je način ustanovljavanja energetske stanja prije rekonstrukcije te potvrđivanja toplinske kvalitete nakon rekonstrukcije. U svijetu se metoda infracrvene termografije sve više koristi kao obvezna metoda kontrole kvalitete izvedbe prije izdavanja uporabne dozvole. Termografsko snimanje vanjskog pročelja zgrade prije rekonstrukcije, obavljeno je 08. travnja 2004. u vremenu od 05 sati do 09 sati prijepodne. Vanjska temperatura bila je oko -1°C, unutarnji prostor bio je zagrijan na 23°C. Snimanje je obavljeno termografskom kamerom FLIR SC 2000. Termografsko snimanje provedeno je u svrhu vizualizacije toplinskih gubitaka i izrade varijanti optimizacije potrošnje energije.

Ovo termografsko snimanje vrlo lijepo pokazuje kako zgrada građena bez toplinske izolacije ima izuzetno nehomogenu površinu što se tiče toplinskih gubitaka, zbog različitih toplinskih karakteristika materijala od kojih je građena. Tako jedan armirano betonski zid s koeficijentom prolaska topline od čak  $U=2,71 \text{ W/m}^2\text{K}$  ima gotovo dvostruko veće toplinske gubitke od zida od opeke 38 cm sa  $U=1,40 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Također se lijepo vide toplinski mostovi i loša kvaliteta prozora i brtvljenja, te veliko propuštanje kroz neizolirane kutije za roletu.



Slika 4.15 - Termografske snimke pročelja, prije rekonstrukcije, vizualizacija toplinskih gubitaka

Termografsko snimanje ovojnice zgrade nakon rekonstrukcije, provedeno je 24. veljače 2005. godine u razdoblju od 21.45 do 23.15 sati. Snimanje je provedeno s ciljem određivanja temperaturne razdiobe na vanjskim ploham objekta i potvrđivanja kvalitete toplinske zaštite nakon obnove u odnosu na stanje koje je termografskim snimanjem zabilježeno godinu dana ranije, u travnju 2004. godine. Nebo je bilo vedro, temperatura zraka između  $-1,0$  i  $+2,3^{\circ}\text{C}$ , a vlažnost zraka 79-81%. Termografsko snimanje potvrdilo je očekivanu toplinsku kvalitetu zgrade.



Slika 4.16 - Usporedba termografske snimke istog detalja pročelja prije i nakon rekonstrukcije, izvor EIHP

#### 4.1.5 Zgrade građene u razdoblju od 1970. do 1987. godine

Tehnički napredak u proizvodnji materijala za zidanje, upotreba betona i armiranog betona, te gradnja „tankih“ konstrukcija koje zadovoljavaju statički proračun, ali nemaju nikakav energetska koncept, ima za posljedicu izgradnju velikog fonda zgrada koji je sa stajališta toplinske zaštite i uštede energije izuzetno nepovoljan. Takva gradnja počinje već 50-tih godina prošlog stoljeća, a u razdoblju od 1970. do 1980 godine vrlo je česta izgradnja vitkih skeletnih konstrukcija ili poprečnih betonskih nosivih zidova, a ispunjena između nosive konstrukcije radi se često kao stolarski element s izuzetno lošim toplinskim karakteristikama. Česti su i prefabricirani betonski parapetni paneli, bez ikakve toplinske zaštite. Osnovna karakteristika gradnje u razdoblju od 1970. do 1987., a s obzirom na toplinsku zaštitu, je s jedne strane usvajanje prvih propisa o toplinskoj zaštiti zgrada i početak skromnog korištenja toplinske izolacije, a s druge strane gradnja statički vitkih, tankih konstrukcija, velikih staklenih površina i zapravo toplinski vrlo loših objekata.

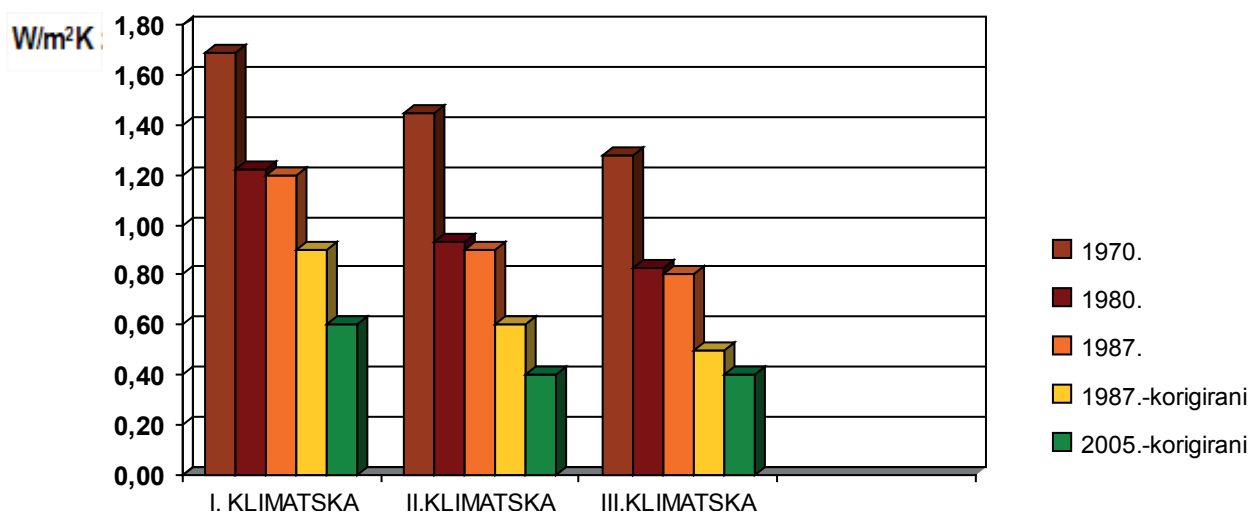
Prvi propisi o toplinskoj zaštiti zgrada u Republici Hrvatskoj doneseni su 1970. godine (Pravilnik o tehničkim mjerama i uvjetima za toplinsku zaštitu zgrada - Službeni list SFRJ 35/70). U njemu je određena podjela državnog teritorija na tri građevinsko klimatske zone. Za svaku zonu su propisane najveće dopuštene vrijednosti koeficijenta prolaza topline  $k$  ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ) (danas  $U$ ) za pojedine elemente vanjske ovojnice zgrade. Počinje skromna primjena toplinske izolacije u debljinama 2-4 cm. Istovremeno se

razvija industrija građevinskih materijala, kao i primjena armiranog betona, zahvaljujući kojem konstrukcija zgrada postaje sve tanja i sve lakša. Statika zgrade je zadovoljena, a energetski koncept ne postoji. Nikakva ili vrlo stidljivo primjenjena toplinska izolacija karakteristična je za gradnju sve do 1980. godine. Koriste se uglavnom prozori s izo staklom, ali vrlo loših profila, bez prekinutog toplinskog mosta, te s lošim brtvljenjem. Površina staklenih ploha se povećava.

Zgrade se tada grade uz zadovoljavanje minimalnih uvjeta statike i toplinske izolacije. Standard grijanja međutim raste. Armirano betonske konstrukcije zidova izvode se ili bez izolacije, ili s 2-4 cm izolacije tipa heraklit, drvolut ili okipor koja se stavlja u oplatu kod betoniranja. Parapeti su često betonski prefabrikati. Armirano betonski zidovi izvode se u minimalnim statičkim debljinama od 16 i 18 cm, rijeđe 20 cm. Zidane konstrukcije izvode se uglavnom od šuplje blok opeke 19 cm, (ili pune opeke 25 cm) koja obostrano ožbukana jedva zadovoljava tadašnje minimalne uvjete za toplinsku izolaciju. Ne posvećuje se gotovo nikakva pažnja rješavanju detalja karakterističnih toplinskih mostova. To često rezultira pojavom vlage i plijesni na unutrašnjim uglovima kuća. Krovovi se često izvode kao ravni krovovi s betonskom pločom i minimalnom izolacijom. Toplinski gubici zgrada iz ovog razdoblja često su veći od onih na starijim zgradama, građanim prije 1970. godine, te iznose i preko 300 kWh/m<sup>2</sup>godišnje.

Mjere sanacije ne razlikuju se puno u odnosu na sanaciju starijih zgrada, s tom prednosti što se izolacija uglavnom bez problema može izvoditi s vanjske strane. I u ovom slučaju ekonomski najisplativije je sanirati krov ili strop prema negrijanom tavanu, te vanjski zid i prozore. S obzirom na velike staklene površine koje karakteriziraju gradnju tog razdoblja, zamjena prozora može rezultirati vrlo velikim uštedama. S druge strane gledano, velike staklene površine povećavaju troškove sanacije. Potrebno je kod svake sanacije ispitati kvalitetu prozorskih profila i stakla, te eventualno ugraditi toplinski kvalitetnije staklo i dobro zabrtviti profile. Puno se može postići, uz mala ulaganja i toplinskom izolacijom niša s radijatorima i kutija za roletu, te ugradnjom roleta, žaluzina i sl.

Godine 1980. su doneseni novi zahtjevi u pogledu toplinske zaštite zgrada u okviru norme JUS U.J5.600: Toplinska tehnika u građevinarstvu i tehnički uvjeti za projektiranje i građenje zgrada kojima su vrijednosti dopuštenih koeficijenata prolaska topline  $U(k)$  smanjene za cca 30%. Novo, pooštreno i dopunjeno izdanje doneseno je 1987. godine pod nazivom HRN U.J5.600. Osim ove norme u primjeni su i sljedeće norme iz područja toplinske tehnike u građevinarstvu: HRN U.J5.510 (1987), HRN U.J5.520 (1980), HRN U.J5.530 (1980). Važno je naglasiti da je bitna novost u Propisima iz 1987. godine u ograničavanju toplinskih gubitaka, ne samo kroz pojedine elemente vanjske ovojnice već i za zgradu kao cjelinu. Da bi se to zadovoljilo koeficijenti  $U$  moraju biti i znatno manji od dopuštenih.



Slika 4.17 - Dopušteni i korigirani zadovoljavajući koeficijenti prolaska topline  $W/m^2K$  za vanjski zid ovisno o zakonodavnom okruženju

## Karakteristični primjer gradnje u razdoblju od sedamdesetih godina prošlog stoljeća do 1987. godine

### POSLOVNA ZGRADA ENERGETSKOG INSTITUTA HRVOJE POŽAR U ZAGREBU [4.23]

**Ploština korisne površine zgrade**,  $A_k = 2.150,00 \text{ m}^2$  Faktor oblika za zgradu iznosi  $f_0 = 0,35$

Poslovna zgrada Savska 163 izgrađena je 1975. godine, prema projektu arhitekta Đure Mirkovića. Zgrada je interpolirana u blok zgrada na istočnoj strani Savske ceste s koje je i glavni ulaz u zgradu. Organizirana je u 6 etaža: suteren, prizemlje i četiri kata, s ravnim krovom, a raščlanjena je na tri građevinske i funkcionalne cjeline: sjeverna i južna dilatacija, te središnji komunikacijski trakt. Neto korisna površina zgrade je  $2.150 \text{ m}^2$ , bruto površina prizemlja iznosi  $408,00 \text{ m}^2$ , a cijele zgrade  $2.450,00 \text{ m}^2$ . Zatečena nosiva konstrukcija je armiranobetonski skeletni sustav s armiranobetonskim zidovima, stupovima i okvirima, s monolitnim betonskim parapetnim zidom, s vanjske strane obloženim s 5 cm okipora i prefabriciranom betonskom oblogom 7 cm u tzv. «natur» betonu.



Slika 4.18 - Stanje zgrade prije rekonstrukcije



Slika 4.19 - Tlocrt karakteristične etaže i zgrada nakon rekonstrukcije

Postojeća toplinska zaštita zgrade bila je nedovoljna i toplinski gubici kroz vanjsku ovojnicu izuzetno veliki. Stari aluminijski prozori mjestimično su procurjevali, metalni dijelovi oksidirali, stakla su bila djelomično zamućena, profili bez prekinutog toplinskog mosta. Ravni krov je na više mjesta curio, te je bila potrebna potpuna sanacija ravnog krova ili izvedba novog kosog krova. Statičkom analizom ustanovljeno je da konstrukcija ne zadovoljava današnje propise, što je uzrokovalo i potrebu konstruktivne sanacije zgrade. Zatečeni sustav grijanja, sastojao se od vlastite toplinske podstanice, priključene na centralni

toplinski sustav grada Zagreba s centralnim radijatorskim grijanjem prostora. Pojedine prostorije hladene su prozorskim jedinicama, dok je sustav za pripremu zraka i ventilaciju postojao samo u sobi za sastanke i biblioteci u suterenu. Ventilacija ostalih prostorija izvodila se prirodnim prozračivanjem preko prozora. Iz svega navedenog vidljivo je da je bila potrebna temeljita adaptacija zgrade prije useljenja. Energetski pregled zgrade proveden je s ciljem analize toplinskih karakteristika vanjske ovojnice i energetskih sustava zgrade, te optimalnog izbora mjera povećanja energetske učinkovitosti pri nužnoj rekonstrukciji zgrade. Energetskim pregledom ustanovljena je prosječna potrošnja energije za grijanje 235 kWh/m<sup>2</sup>, a zajedno s toplom vodom oko 280 kWh/m<sup>2</sup>.

Rekonstrukcija zgrade provedena je tijekom 2000. i 2001. godine. Rekonstrukcija je obuhvatila četiri osnovne cjeline:

- Toplinska izolacija cijele vanjske ovojnice
- Rekonstrukcija interijera prilagođena novim potrebama
- Uvođenje suvremenog sustava grijanja, ventilacije i klimatizacije (GVK)
- Uvođenje centralnog sustava nadzora i upravljanja energetikom (CNUS), uz mjerenje svih bitnih energetskih veličina.

Rekonstrukcija vanjske ovojnice zgrade bila je nužna kako iz razloga toplinske zaštite i zaštite od buke tako i iz konstruktivnih i estetskih razloga. Radi rasterećenja nosive konstrukcije, odnosno održanja ukupne statičke stabilnosti zgrade, a i radi jednostavnijeg i kvalitetnijeg učvršćenja nove fasadne obloge, bilo je potrebno prethodno skinuti montažne dijelove AB parapeta. Nova laka aluminijska fasada kombinacija je punih elemenata ravnog lima, punih parapetnih elemenata s emajliranim staklom, te novih prozora s vanjskim žaluzinama. Novi presjek vanjskog zida sastoji se od postojećeg armiranobetonskog zida, 10 cm kamene vune, ventiliranog sloja zraka 4 cm te završne obloge staklom, limom ili kamenom.

**Tablica 4.8 - Usporedba koeficijenata prolaska topline vanjske ovojnice zgrade prije i nakon provedene energetske obnove**

KONSTRUKCIJA	POSTOJEĆE STANJE $U$ (W/m <sup>2</sup> K)	STANJE NAKON REKONSTRUKCIJE $U$ (W/m <sup>2</sup> K)
Vanjski zid	$U=1,45$	$U=0,35$
Ravni krov/strop prema tavanu	$U=1,94$	$U=0,30$
Pod na tlu	$U=0,95$	$U=0,60$
Prozori	$U=3,50$	$U=1,40$

Postojeći prozori od eloksiranog aluminijskog bez prekinutog toplinskog mosta i loših toplinskih karakteristika zamijenjeni su visokokvalitetnom aluminijskom bravarijom s prekinutim toplinskim mostom i ugrađenim dvostrukim staklom s niskoemisivnim premazom (low-e) punjenim argonom, koeficijenta prolaska topline  $U=1,40$  W/m<sup>2</sup>K. Omogućena je prirodna ventilacija prostorija preko prozora, a svi prozori imaju ugrađene mikroprekidače spojene na sustav centralnog nadzora i upravljanja, te se prilikom otvaranja prozora radi prozračivanja automatski blokira grijanje, odnosno hlađenje u prostoriji.

Zbog zahvata na postojećoj konstrukciji bilo je nužno provesti statičku analizu stabilnosti konstrukcije. Revizija statičkog proračuna iz 1971. pokazala je da zgrada ne zadovoljava seizmičke propise ako se uzme u obzir stvarna težina zgrade u 9. zoni seizmike. Nakon što je utvrđeno da konstrukcija za smjer duž okvira ne zadovoljava ni po kriteriju deformacija ni po kriteriju naprezanja, odlučeno je da se okvirna konstrukcija ukrući čeličnim spregovima i da se smanji razina seizmičkog opterećenja. Čelični spregovi za preuzimanje horizontalnih sila su poboljšali situaciju do te mjere da je konstrukcija postala otporna i za nešto veći intenzitet potresa od 8. zone seizmičnosti. Preostalu slabu točku konstrukcije na vertikalno opterećenje (grede) eliminiralo se rušenjem teških pregradnih zidova od opeke i izvedbom laganih zidova od gips-kartonskih ploča na hodnicima. Smanjenjem vertikalnog opterećenja od pregradnih zidova, te već spomenutim uklanjanjem postojećih betonskih fasadnih montažnih elemenata i uklanjanjem slojeva ravnog krova smanjila se i rizičnost konstrukcije na seizmičko opterećenje.

Rekonstrukcija zgrade Instituta obuhvatila je rekonstrukciju vanjske ovojnice zgrade, rekonstrukciju unutrašnjeg prostora, uvođenje potpuno novog suvremenog sustava grijanja, ventilacije i klimatizacije, te centralnog sustava nadzora i upravljanja. Sve primijenjene mjere povećanja energetske učinkovitosti u zgradi te primjene suvremenih tehnologija praćene su, kako tokom izgradnje tako i nakon puštanja objekta u upotrebu, mjerenjem svih bitnih energetskih veličina.



Prema izrađenoj analizi, specifična potrošnja potrebna za grijanje prostora danas iznosi oko 70 - 80 kWh/m<sup>2</sup>, a prije rekonstrukcije iznosila je 235 kWh/m<sup>2</sup>, što predstavlja uštedu od oko 65%.

## Karakteristični primjer gradnje sedamdesetih godina prošlog stoljeća

### DJEČJE JASLICE IVANČICA U OSIJEKU [4.22]

**Ploština korisne površine zgrade**,  $A_k=830,00$  m<sup>2</sup>Faktor oblika za zgradu iznosi  $f_0=0,58$

Postojeća zgrada jaslica sagrađena je 1974. godine, po projektu arhitekta Ivana Salera iz Osijeka.

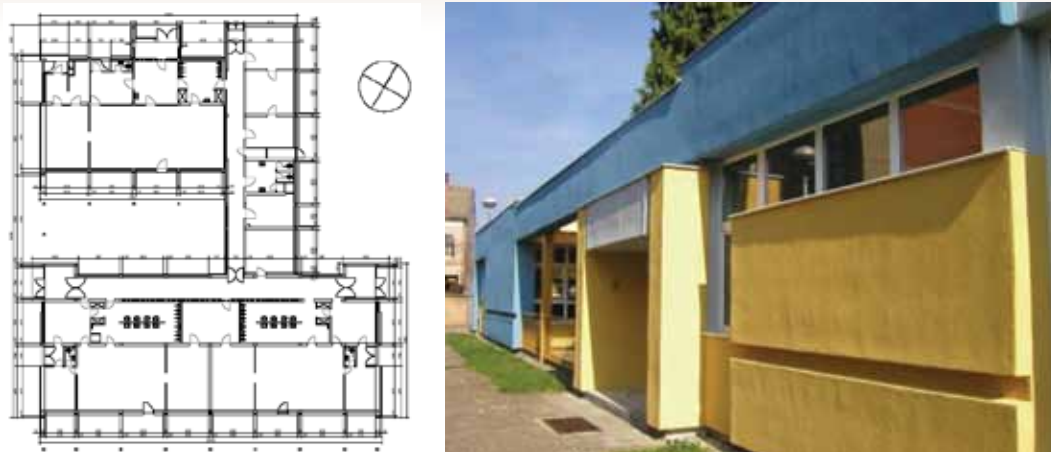
Slobodno stojeća prizemna građevina podijeljena je konstruktivno i funkcionalno u tri dilatacije, u kojima su smještene tri grupe djece od 0 do 3 godine. Analizom postojećeg stanja ustanovljeno je izuzetno loše stanje vanjske ovojnice, s gotovo potpuno propalom kamenom fasadnom oblogom, nedostatno izoliranim zidovima, toplinski nekvalitetnim prozorima, te ravnim krovom koji na više mjesta propušta vodu. Zgrada je pretrpila i znatna oštećenja tijekom Domovinskog rata. Iz svega navedenog bilo je vidljivo da je riječ o substandardnom objektu dječjih jaslica koji je nužno sanirati i zaštititi od daljnjeg propadanja.



Slika 4.20 - Stanje vanjske ovojnice prije rekonstrukcije

Vanjski zidovi izvedeni su u debljini od 25 i 38 cm od pune opeke. Završna obrada zidova je kombinacija fasadne opeke, vidljive betonske površine stupova i greda obrađene teraplantom, pranog kulira, te ljepljenih ploča od poliranog kamena koje su s vremenom u cijelosti otpale s pročelja. Fasadne staklene stijene (prozori i vrata) izvedene su od eloksiranih aluminijskih profila s neprekinutim toplinskim mostom, ostakljene djelomično dvostrukim izo staklom, a djelomično jednostrukim običnim ili armiranim staklom. Krov je ravni, izoliran bitumenskom hidroizolacijom postavljenom na beton u padu i sloj drvoluta, 5 cm. Stanje u interijeru ukazuje na problem curenja ravnog krova, te na potrebu temeljitog rješenja sanacije ravnog krova. Zaštita od sunca je izvedena na južnim fasadama objekta (prostorije za boravak djece) u vidu armirano-betonskih brisoleja - pergola poduprta čeličnim stupovima. Zgrada je priključena na centralni toplinski sustav grada Osijeka i ima vlastitu podstanicu s točnim podacima o potrošnji energije, međutim nema mogućnost reguliranja vremena grijanja u skladu s vlastitim potrebama.

Energetski pregled zgrade proveden je s ciljem analize toplinskih karakteristika vanjske ovojnice i energetske sustava zgrade radi utvrđivanja učinkovitosti, odnosno neučinkovitosti potrošnje energije te donošenja zaključaka i preporuka za povećanje energetske učinkovitosti. Analizirano je zatečeno energetska stanje zgrade s obzirom na: građevinske karakteristike u smislu toplinske zaštite; kvalitetu sustava za grijanje, hlađenje, prozračivanje i rasvjetu; zastupljenost i kvalitetu energetske uređaja; strukturu upravljanja zgradom te pristup zaposlenika energetskej problematiki. Energetskim pregledom zgrade, analizom računa o potrošnji toplinske i električne energije te provođenjem infracrvenog snimanja s ciljem utvrđivanja toplinske kvalitete vanjske ovojnice, ustanovljeno je energetska vrlo loše stanje s prosječnom potrošnjom energije za grijanje oko 278 kWh/m<sup>2</sup>. Toplinska udobnost i standard boravka djece u jaslicama bio je vrlo nizak. Termografsko snimanje zgrade provedeno 1999. godine u svrhu vizualizacije toplinskih gubitaka, potvrdilo je lošu kvalitetu vanjske ovojnice, te izražene toplinske mostove.



**Slika 4.21 - Tlocrt prizemne etaže i zgrada nakon energetske rekonstrukcije**

Rekonstrukcija je započela krajem 2003. godine i završila 2004. godine. Rekonstrukcijom je obuhvaćena zamjena prozora, izvedba toplinske izolacije i završne obrade fasade, toplinska i hidroizolacija ravnog krova, te manji zahvati na povećanju energetske učinkovitosti sustava grijanja i rasvjete.

Zidovi su obloženi sa 10 cm kamene vune, završno obrađeno tankoslojnom silikatnom žbukom. Postojeći prozori zamijenjeni su PVC prozorima<sup>2</sup> znatno boljih toplinskih karakteristika,  $U=1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ , ravni krov se sanirao skidanjem postojeće hidroizolacije, te postavom parne brane, 14 cm kamene vune i PVC hidroizolacije. Završna obrada svih zidova je tankoslojna silikatna žbuka, a nekadašnja razlika u materijalima za završnu obradu - kamen, opeka, teraplast, pri rekonstrukciji se naglašava u tri različite boje pročelja: nekad kamena obloga - plavo, fasadna opeka - oker žuto, beton - sivo. Rekonstrukcija poda nije obuhvaćena projektom, iako koeficijent prolaska topline za pod ne zadovoljava propise. Zbog odnosa gubitaka topline kroz pod koji su relativno mali i velikih troškova rekonstrukcije poda, ona se u ovom slučaju, nije pokazala ekonomski isplativom mjerom povećanja energetske učinkovitosti.

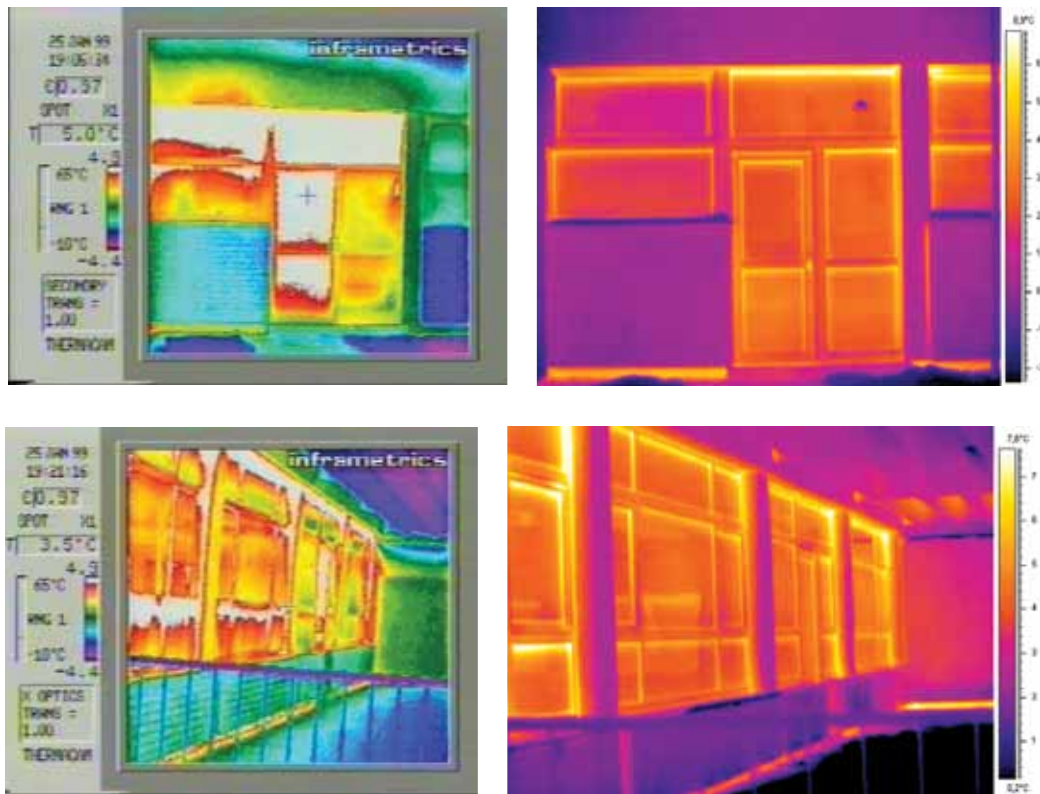
Energetska analiza popraćena termografskim snimanjem pokazala je da možemo očekivati smanjenje toplinskih potreba zgrade u odnosu na postojeće s 238.000 kWh na 62.000 kWh, odnosno za 74%, a toplinskog opterećenja objekta sa 134.000 W na 37.000 W, odnosno za 72% godišnje. To znači da je očekivana potrošnja toplinske energije za grijanje nakon rekonstrukcije oko 72 kWh/m<sup>2</sup>. Promatrano s ekonomskog stajališta, razdoblje povrata početnog ulaganja u povećanje energetske učinkovitosti je u desetoj godini vijeka trajanja projekta, uz godišnju uštedu 176.000 kWh energije, i smanjenje emisije 134,5 tona CO<sub>2</sub> godišnje u okoliš. Jednostavna ekonomska analiza ne uzima u obzir povećanje cijene energije, tako da je realno razdoblje povrata investicije i znatno kraći, uz današnji trend porasta cijena energenata.

**Tablica 4.9 - Usporedba koeficijenata prolaska topline vanjske ovojnice zgrade prije i nakon provedene energetske obnove**

KONSTRUKCIJA	POSTOJEĆE STANJE $U \text{ (W/m}^2\text{K)}$	STANJE NAKON REKONSTRUKCIJE $U \text{ (W/m}^2\text{K)}$
Vanjski zid opeka 38 cm	$U=1,46$	$U=0,31$
Vanjski zid opeka 25 cm	$U=1,94$	$U=0,32$
Vanjski zid beton	$U=3,20$	$U=0,35$
Ravni krov	$U=0,95$	$U=0,24$
Pod na tlu	$U=2,80$	$U=2,80$
Prozori i staklene stijene	$U=3,50$	$U=1,40$

<sup>2</sup> Projektom je predviđena aluminijska bravarija, ali se odustalo zbog cijene. Razina toplinske zaštite ipak je izvedena kako je predviđeno energetskom studijom.

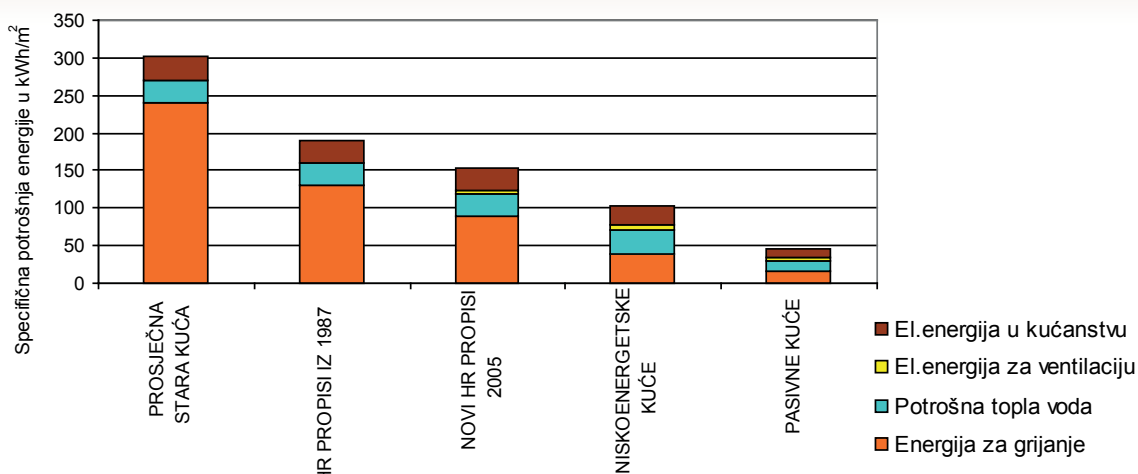
Termografsko snimanje ovojnice zgrade nakon rekonstrukcije, provedeno je 1. veljače 2005. godine u razdoblju od 16.45 do 18.45 sati. Mjerenje je provedeno s ciljem određivanja temperaturne razdiobe na vanjskim ploham i potvrđivanja kvalitete toplinske zaštite nakon rekonstrukcije. Vanjska temperatura iznosila je u vrijeme mjerenja od +4,7°C do +3,0°C, a vlažnost zraka 51-66%. Mjerenje je vršeno uz pomoć termografskog sustava ThermoCAM SC 2000. Na snimljenim termogramima nakon rekonstrukcije nema naznaka vidljivih mjesta slabije izolacije, niti propuštanja na spojevima prozora i vrata, na dijelovima obuhvaćenim rekonstrukcijom. Međutim, možemo primijetiti nešto veće propuštanje topline uz liniju poda na tlu, do čega dolazi dijelom zbog toplinski neizoliranog poda, a dijelom zbog toga što toplinska izolacija zida nije postavljena i ispod razine terena, već je završena nekoliko centimetara prije terena, da se izbjegnju iskopi. Unatoč tome, možemo zaključiti da je termografsko snimanje potvrdilo očekivanu kvalitetu toplinske zaštite nakon rekonstrukcije.



Slika 4.22 - Usporedba termograma prije (lijevo) i nakon rekonstrukcije(desno), zvor EIHP

#### 4.1.6. Zgrade građene u razdoblju od 1987. do 2006. godine

Unatoč svjetskim trendovima i naglašene potrebe štednje energije u zgradama, Hrvatskoj je trebalo gotovo dvadeset godina do usvajanja novog tehničkog propisa i strožih zahtjeva glede toplinske zaštite i uštede toplinske energije u zgradama. Svi projekti i sva izgradnja u razdoblju od 1987. godine do danas, ima u prosjeku istu toplinsku kvalitetu, a godišnje toplinske potrebe kreću se u prosjeku od 100 do 150 kWh/m<sup>2</sup>godišnje. Gradi se svim dostupnim materijalima na tržištu, a primjenjena toplinska izolacija je takva da zadovoljava postojeće propise. Od toplinsko izolacijskih materijala najčešće se koriste kamena vuna i polistiren, u debljinama 4, 5, 6 rijeđe 8 cm za vanjski zid, te 8 do 12 cm za kosi krov u kontinentalnom dijelu Hrvatske, dok u primorskom dijelu i manje, uz čestu primjenu toplinske žbuke, bez dodatne toplinske izolacije. Bitnog napretka u toplinskoj zaštiti zgrada u razdoblju od 1987. do 2006. godine nema. 1. srpnja 2005. godine usvojen je novi Tehnički propis o uštedi toplinske energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (NN 79/05) s obveznom primjenom od 1. srpnja 2006. godine. Tehnički propis o uštedi toplinske energije i toplinskoj zaštiti u zgradama predstavlja veliki napredak u toplinskoj zaštiti zgrada, a obuhvaća i novogradnje i rekonstrukcije postojećih zgrada.



**Slika 4.23 - Potrošnja energije u zgradama ovisno o zakonodavnom okruženju i usporedba s potrošnjom u niskoenergetskim i pasivnim zgradama, izvor EIHP**

Aktivnosti na povećanju energetske učinkovitosti povećanjem toplinske zaštite zgrada treba usmjeriti na zgrade građene prije 1987. godine. U zgradama građanim u razdoblju od 1987. do 2006. godine potrebno je dodatnim preporukama za uštedu energije - regulacija, štedna rasvjeta, itd. i manjim zahvatima na ovojnici zgrade smanjiti potrošnju energije. Ono što treba svakako učiniti je usmjeriti sve snage na povećanje energetske učinkovitosti, toplinsku zaštitu i uštedu energije novih zgrada, kako zakonskom regulativom, tako i promocijom i podizanjem svijesti o uštedi energije i zaštiti okoliša.

Pri svakoj rekonstrukciji treba pažljivo optimirati energetske sustave u što bolju energetski učinkovitu cjelinu. Nove zgrade potrebno je planirati integralno i detaljno razmatrati energetski koncept.

## Karakteristični primjer novije gradnje

### STAMBENA ZGRADA U ZAGREBU

Zgrada je izgrađena 2002. godine po programu društveno poticane stanogradnje, prema projektu arh. T. Borkovića. Ima ukupno 63 stana, podrum, prizemlje, 4 etaže i potkrovlje, ukupne korisne površine  $A_k = 4.207,00 \text{ m}^2$

Konstruktivni je sustav zgrade u potpunosti armirano betonski, s nosivim armirano betonskim zidovima debljine 20 cm, te AB pločama debljine 18 cm. Vanjski AB zidovi zgrade debljine 20 cm su toplinski izolirani ekspanziranom polistirenom debljine 10 cm,  $U=0,32-0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Ravni krov toplinski je izoliran s 12 cm kamene vune,  $U= 0,29 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Vanjska stolarija prozora i staklenih stijena je izvedena od petkomornih PVC profila ustakljenih IZO staklom -  $U=1,80 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Na svim prozorima i ostakljenim stijenama ugrađene su PVC rolete kao pokretna zaštita od osunčanja.



**Slika 4.24 - Tlocrt karakteristične etaže i pogledi na realizirano rješenje**

Povećana debljina toplinske izolacije u odnosu na minimalno potrebnu prema važećoj regulativi u toku gradnje, rezultat je kompenzacije utjecaja toplinskih mostova zbog velike ukupne duljine loggia. Grijanje stanova je etažnim plinskim sustavom centralnog grijanja s aluminijskim rebrastim radiatorima. Priprema potrošne tople vode je bojlerom etažnog grijanja, s akumulacijskim spremnikom zapremine 80-120 l u svakom stanu. U stanovima nije predviđeno hlađenje.

Prozračivanje boravišnih prostora stana je prirodnom ventilacijom kroz prozore. Kupaonice i sanitarni čvorovi se prozračuju sabirnim ventilacijskim kanalima, te prirodnom ventilacijom (kupaonice na pročelju zgrade). U kuhinjama je omogućeno i prozračivanje kuhinjskom napom s odvođenjem otpadnog zraka iznad krova zgrade. Svi stanovi imaju odvojeno mjerenje potrošnje energenata (električne energije, prirodnog plina) i potrošne tople vode. Standard opremanja zgrada bio je definiran minimalnim tehničkim uvjetima za zgrade iz programa poticane stanogradnje koji su naknadno šire prihvaćeni kao minimalni prostorni standard i standard opremanja stanova, a i dalje su obvezni u gradnji i opremanju stanova u programima poticane stanogradnje.

#### 4.1.7. Suvremena izgradnja

Tehnički propis o uštedi toplinske energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (NN 79/05) predstavlja veliki napredak u toplinskoj zaštiti zgrada, a obuhvaća i novogradnje i rekonstrukcije postojećih zgrada. Propis definira maksimalno dopuštenu godišnju potrošnju za zgrade u kWh/m<sup>2</sup>, odnosno kWh/m<sup>3</sup>, koja je vezana uz faktor oblika zgrade, tj. odnos površine oplošja grijanog prostora zgrade i volumena koji taj prostor zatvara ( $f_0 = A/V_e$  (m<sup>-1</sup>), gdje je A-oplošje - zbroj površina pročelja, poda i stropa, a V<sub>e</sub>-volumen grijanog dijela zgrade). Koeficijent prolaska topline za prozore i balkonska vrata kod zgrada koje se griju na temperaturu 18°C i više, ograničen je na maksimalno U = 1,80 W/m<sup>2</sup>K.

Kako je Hrvatska tek nedavno usvojila napredniji standard toplinske zaštite, osnovna preporuka kod gradnje novih zgrada je

pokušati dodatno poboljšati tu toplinsku zaštitu i analizirati mogućnost niskoenergetske arhitekture. Svi europski trendovi kreću se u tom smjeru i nije teško pretpostaviti da će se i naši propisi za novogradnju vrlo skoro ponovno morati usklađivati sa sve strožim europskim propisima. Uzimajući u obzir životni vijek zgrade, apsolutno je opravdano projektiranje novih niskoenergetskih zgrada. Uvođenjem energetske certifikacije zgrada, to postaje i marketinški zanimljivo.

Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (NN 110/08 i 89/09) na snazi je od 31.3.2009. godine, s izmjenom od 16.7.2009. kojom je obvezna primjena propisa pomaknuta s 30.9.2009. godine na 31.3.2010. godine.

Tehnički zahtjevi za racionalnu uporabu energije i toplinsku zaštitu u zgradama propisani su:

1. najvećom dopuštenom godišnjom potrebnom toplinskom energijom za grijanje po jedinici ploštine korisne površine zgrade, odnosno po jedinici obujma grijanog dijela zgrade
2. najvećim dopuštenim koeficijentom transmisijskog toplinskog gubitka po jedinici oplošja grijanog dijela zgrade
3. sprječavanjem pregrijavanja prostorija zgrade zbog djelovanja sunčeva zračenja tijekom ljeta
4. ograničenjima zrakopropusnosti omotača zgrade
5. najvećim dopuštenim koeficijentima prolaska topline pojedinih građevnih dijelova omotača zgrade
6. smanjenjem utjecaja toplinskih mostova
7. najvećom dopuštenom kondenzacijom vodene pare unutar građevnog dijela zgrade
8. sprječavanjem površinske kondenzacije vodene pare (razvoj gljivica i plijesni), ako Propisom nije drukčije određeno.

U nacionalnu regulativu u području racionalnog korištenja energije i toplinske zaštite u zgradama tokom 2008.g. i 2009.g. ugrađene su smjernice europskih direktiva koje promoviraju energetska učinkovitost kao standard gradnje za nove zgrade, ali i kao standard rekonstrukcije postojećih zgrada. Novi zakoni, pravilnici i tehnički propisi stavljaju nove zahtjeve pred investitore, projektante i izvođače te u proces gradnje uvode integralni pristup planiranju, projektiranju, izvođenju i održavanju zgrade. Pri tome je zgradu potrebno analizirati tokom cijelog razdoblja korištenja s ciljem smanjenja potrošnje energije i nepovoljnog utjecaja na okoliš uz sagledavanje i planiranje ukupnih troškova za energiju.

Zbog velike potrošnje energije u zgradama, a istovremeno i najvećeg potencijala energetske i ekološke uštede, energetska učinkovitost i održiva gradnja danas postaju prioriteti suvremene arhitekture i energetike. Zgrade su najveći pojedinačni potrošač energije, a time i veliki zagađivač okoliša. Zbog dugog životnog vijeka zgrada, njihov je utjecaj na okoliš u kojem živimo dug i kontinuiran i ne možemo ga zanemarivati. Zadovoljavanje 3E-forme - energija, ekonomija, ekologija - novi je zahtjevniji zadatak koji se postavlja pred projektante i graditelje. Susrećemo se s jedne strane s problemom nove izgradnje usklađene sa suvremenim standardom života i održivim razvojem, a s druge strane s problemom osuvremenjivanja postojeće izgradnje koja u velikom postotku ne zadovoljava današnji standard, troši enormno puno energije i preko noći postaje veliki problem i veliki zagađivač okoliša. Energetska učinkovitost danas može djelovati kao svojevrsni urbanistički i arhitektonski poticaj, ali i kao polje za primjenu inovativnih tehničkih i tehnoloških rješenja. Suvremena arhitektura danas, uz kreativni doprinos i doprinos kvaliteti života, mora uključiti u promišljanje i cijeli niz mjera za povećanje energetske učinkovitosti, mogućnosti korištenja obnovljivih izvora energije, daljinskog grijanja i hlađenja, kogeneracije, smanjenja korištenja fosilnih goriva i zagađenja okoliša u kojem živimo. Struka je danas u poziciji odgovoriti na te izazove koji se pred nju postavljaju i pozitivno utjecati na ublažavanje energetske i ekološke krize te pridonijeti održivom razvoju.

Kod gradnje novih kuća i zgrada važno je već u fazi idejnog projektiranja integralno planirati energetska koncept i predvidjeti sve što je potrebno da se dobije kvalitetna i optimalna energetska učinkovita građevina [4.24].

Zato je potrebno:

- analizirati lokaciju, orijentaciju i oblik kuće
- primijeniti visoku razinu toplinske izolacije cijele vanjske ovojnice i izbjegavati toplinske mostove
- iskoristiti toplinske dobitke od sunca i zaštititi se od pretjeranog osunčanja
- koristiti energetska učinkovit sustav grijanja, hlađenja i ventilacije te ga kombinirati s obnovljivim izvorima energije.

#### **Odabir lokacije, orijentacija i oblik kuće**

- Ako je moguće, odabrati mjesto izloženo suncu, koje ne zasjenjuju druge kuće, a zaštićeno je od jakih vjetrova
- Otvoriti kuću prema jugu, a zatvoriti prema sjeveru
- Ograničiti dubinu kuće i omogućiti niskom zimskom suncu da uđe u kuću

- Zaštititi kuću od prejakog ljetnog sunca zelenilom i napravama za zaštitu od sunca
- Kompaktan volumen kuće pomaže smanjenju gubitaka topline
- Kod projektiranja je važno grupirati prostore slične funkcije i slične unutarnje temperature, pomoćne prostore smjestiti na sjeveru, a dnevne na jugu
- Karakteristike energetske učinkovite gradnje treba uključiti u proces projektiranja što ranije, već u fazi idejnog rješenja, jer se na taj način postižu najkvalitetniji rezultati

### Visoka razina toplinske zaštite cijele vanjske ovojnice zgrade

- vanjski zid
- zid između grijanih prostora različitih korisnika
- zid prema negrijanom prostoru
- vanjski zid prema terenu
- pod na terenu
- međukatna konstrukcija koja odvaja prostore različitih korisnika
- strop prema negrijanom podrumu
- strop prema negrijanom tavanu
- ravni i kosi krov iznad grijanog prostora
- strop iznad vanjskog prostora
- prozori i vanjska vrata (vanjski otvori).

### Smanjenje utjecaja toplinskih mostova na minimum

- Razrada projekta mora svakako obuhvatiti rješavanje bitnih detalja za izbjegavanje toplinskih mostova
- Najbolji način izbjegavanja toplinskih mostova je postava toplinske izolacije s vanjske strane zida, bez prekida te dobro brtvljenje reški i spojeva
- U projektu posebnu pažnju treba obratiti na detalje koji mogu biti toplinski mostovi, ako nisu pravilno toplinski izolirani, npr. postava prozora u odnosu na toplinsku izolaciju u vanjskom zidu, spojevi konstrukcija, prodori stropnih ploča i sl.
- Po završetku gradnje termografskim snimanjem provjeriti kvalitetu izvedenih radova i eventualno postojanje toplinskih mostova.

Prema Tehničkom propisu, NN 110/08, članak 52, za zgrade veće od 1.000 m<sup>2</sup> obavezan je elaborat tehničke, ekološke i ekonomske izvedivosti alternativnih sustava za opskrbu energijom, naročito decentraliziranih sustava opskrbe energijom korištenjem OIE, kogeneracijskih sustava, daljinskog/blokovskog grijanja, sustava s dizalicama topline te sustava s gorivnim ćelijama. Zbog toga je potrebna suradnja stručnjaka različitih profila u izradi projekata i pri donošenju odluka.

Za planiranje energetike u zgradarstvu potrebno je u projektiranju postaviti tehničke uvjete i osigurati prostorne parametre, uskladiti s karakteristikama regije i lokacije kroz: debljinu toplinske izolacije, učinkovite sustave grijanja i hlađenja, primjenu obnovljivih izvora energije, a gdje je moguće primijeniti pasivne tehnike grijanja i hlađenja koje poboljšavaju unutarnje klimatske uvjete i mikroklimu oko građevine. Pregrijavanje prostorija zgrade zbog djelovanja sunčeva zračenja tijekom ljeta potrebno je spriječiti odgovarajućim tehničkim rješenjima.

### Rješavanje energetske koncepcije zgrade

Odabir energetske, ekološke i ekonomske optimalne koncepcije zgrade, podrazumijevajući i fiziku zgrade i energetske procese koji se odvijaju u zgradi, kao i korištenih energenata, ima ključnu ulogu u kasnijoj eksploataciji zgrade, kako u pogledu troškova tako i utjecaja na čovjekov okoliš.

Energetska koncepcija je integralno i optimalno rješenje u smislu kvalitete gradnje, opskrbe energijom i racionalne energetske potrošnje u projektiranim građevinama. Takvo rješenje dugoročno ostvaruje niske troškove pri korištenju i održavanju zgrada, te produžava životni vijek zgrade uz smanjenje njezinog ekološkog otiska.

Osnovni pristup rješenju energetskega koncepta usmjeren je na tri bitna elementa:

- Smanjenje energetske potrebe povećanjem re toplinske zaštite zgrada (A ili B razred energetske potrošnje) - niskoenergetski standard gradnje
- Korištenje suvremenih učinkovitih energetskega sustava koji koriste principe rekuperacije otpadne topline, a kao energent koriste fosilna goriva
- Korištenje obnovljivih izvora energije.

U razmatranje energetskega koncepta uključuje se:

- Analiza lokacije, orijentacije i oblika zgrada
- Primjena visoke razine toplinske zaštite cijele vanjske ovojnice uz izbjegavanje toplinskih mostova
- Iskorištavanje toplinskog dobitka od sunca i zaštita od pretjeranog osunčanja
- Korištenje energetskega učinkovitih sustava klimatizacije, grijanja, hlađenja i ventilacije (KGVH) s rekuperacijom otpadne topline te suvremenih alternativnih sustava za opskrbu zgrade energijom
- Korištenje učinkovitih sustava rasvjete, elektromotornih pogona te ostalih elemenata finalne potrošnje energije
- Inteligentno upravljanje radom i nadzor pojedinih grupa trošila radi smanjenja troškova i potrošnje te povećanja sigurnosti
- Zaštita okoliša.

U skladu s EU Direktivom 2002/91/EC o energetskega svojstvima zgrada (EPBD), razmatra se tehnička, ekološka i ekonomska primjenljivost alternativnih sustava kao što su:

- Decentralizirani sustavi za opskrbu energijom na temelju obnovljivih energenata
- Kogeneracija
- Daljinsko/blokovsko grijanje ili daljinsko/blokovsko hlađenje
- Dizalice topline.

Ulazni podaci za energetskega koncept su:

- Karakteristike lokacije, klimatološki podaci
- Dostupni izvori energije i prirodni resursi
- Postojeća mreža energetskega infrastrukture
- Potencijal za korištenje alternativnih izvora energije
- Tip i veličina građevine, namjena i način korištenja
- Toplinska zaštita zgrade
- Karakteristike energetskega sustava.

### **Napredne smjernice za projektni zadatak za projektante - građenje po niskoenergetskim principima**

- U projektiranju je potrebno poštivati principe niskoenergetskega arhitekture
- Toplinska zaštita zgrada treba biti takva da u energetskega certifikatu koji će se izraditi nakon izgradnje, a prije uporabne dozvole, zgrade budu klasificirane u A razred  $Q_{H,nd,ref} < 25 \text{ kWh/m}^2\text{a}$
- Sustav grijanja, hlađenja, ventilacije i klimatizacije treba centralizirati i dati prijedlog rješenja koje će u konačnosti rezultirati najmanjom potrošnjom energije uz prihvatljive financijske pokazatelje
- Potrebno je razmotriti mogućnost proizvodnje energije iz obnovljivih izvora energije s posebnim naglaskom na korištenju sunčeve energije - integracija elemenata za korištenje obnovljivih izvora energije u arhitekturu
- Visoku razinu toplinske zaštite cijele vanjske ovojnice
- Rješavanje detalja potencijalnih toplinskih mostova
- Kontrola toplinskog zračenja od sunca kako bi se smanjile potrebe za rashladnom energijom
- Maksimalan ulazak dnevnog osvjetljenja kako bi se smanjila potreba za električnom energijom
- Korištenje prirodnog zasjenjenja gdje je to moguće
- Integralno planirati rješenja svih tehničkih sustava zgrade, kako bi se omogućila centralizacija, visoka energetska učinkovitost, te jednostavno upravljanje potrošnjom za svakog korisnika.



#### 4.1.8. Integracija elemenata za korištenje obnovljivih izvora energije u arhitekturu

Energetska certifikacija zgrada, kvalitetno provedena i implementirana, mogla bi odigrati bitnu ulogu u podizanju kvalitete gradnje i kvalitetnom osmišljavanju energetske koncepcije novih zgrada, pokretanju sustavne obnove i osuvremenjivanja postojećeg sektora zgrada, te značajno doprinijeti razvoju integralnog projektiranja uzimajući u obzir cijeli životni vijek zgrade.

Ključni faktori kojima se projektanti trebaju posvetiti su: integracija alternativnih sustava i obnovljivih izvora energije u arhitekturu i urbanizam, rješavanje višefunkcionalnih konstruktivnih elemenata zgrada, integralno projektiranje i inovativne tehnologije, uz poznavanje financijskih mogućnosti i rizika te unaprjeđenje kvalitete života u zgradama uz smanjenje njihovog ekološkog otiska. Dobro planiran energetska koncepcija ima veliki potencijal u smislu održivosti i povećanja energetske učinkovitosti. Najbolji rezultati postižu se integralnim planiranjem poboljšanja standarda, povećanja fleksibilnosti, smanjenja potrošnje energije, a time i troškova održavanja, te povećanja korištenja višefunkcionalnih elemenata i obnovljivih izvora energije.

Zbog svega navedenog, potrebno je znati kako alternativne i obnovljive izvore energije uspješno integrirati u postojeća i nova arhitektonska rješenja. Alternativni sustavi za opskrbu energijom u zgradama su svi oni sustavi koji na suvremen, ekološki i energetska učinkovit način proizvode energiju potrebnu za funkcioniranje zgrade. Tu ubrajamo obnovljive izvore energije, kogeneraciju i trigeneraciju, daljinsko grijanje i hlađenje, dizalice topline, itd. Od obnovljivih izvora energije u arhitekturi se najviše koriste:

- energija Sunca - sunčani sustavi za grijanje i potrošnu toplu vodu i fotonaponski sustavi
- energija vjetra - male vjetroturbine i vjetroeletre
- energija biomase
- korištenje topline okoline - geotermalna energija, toplina površinskih voda i toplina plićih slojeva tla.

Elementi za proizvodnju energije iz energije Sunca ili vjetra novi su oblikovni element koji sudjeluje u energetska opskrbi zgrade i potrebno je poznavati osnove tehnologije kako bismo ih mogli uspješno integrirati u arhitektonska rješenja.

#### Sunčani sustavi za grijanje i potrošnu toplu vodu

Sustavi za grijanje vode Sunčevom energijom uobičajeno se koriste za pripremu potrošne tople vode (PTV), a nešto rjeđe za grijanje prostora. Toplinski kolektori se mogu integrirati u samu vanjsku ovojnica zgrade i tada moraju zadovoljiti sve funkcionalne i tehničke zahtjeve koji su bitni za građevinske konstrukcije. Također se mogu montirati na vlastitu potkonstrukciju ispred građevinskih konstrukcija u klasičnoj izvedbi.

Mogućnosti primjene su:

- na krovu - integrirani u pokrov, učvršćeni na konstrukciju krova, s neovisnom potkonstrukcijom ili kao nadstrešnica
- na pročelju - integrirani u završni sloj, kao neovisna konstrukcija ili u sklopu ventilirane fasade, kao strehe, ograde i sl.
- neposredno uz zgradu.

Toplinski kolektori ne moraju biti dio pročelja niti vidljiv element oblikovanja, ali kada oblikuju završni izgled vanjske ovojnice bitno je njihovo skladno uklapanje i primjena inovativnog dizajna uz postavu elemenata na način koji osigurava optimalnu razinu proizvodnje topline. Izgled toplinskih kolektora se bolje uklapa u suvremena rješenja vanjske ovojnice dok se na starim zgradama preporuča primjena kolektora manjih dimenzija (veličine crijeva). U pogledu funkcionalno-oblikovnih zahtjeva primjena toplinskih kolektora u odnosu na fotonaponske sustave, ima veća ograničenja s obzirom da su elementi većih dimenzija, nije moguće ostvariti transparentnost, a postava je tehnički zahtjevnija. Na tržištu postoje proizvodi koji u jednom elementu sadrže fotonaponske module i toplinske kolektore što olakšava povezivanje, oblikovanje i uklapanje na vanjsku ovojnica.



**Slika 4.25 - Sunčani sustavi za grijanje i PTV integrirani u elemente pročelja i ograde terase**

### Sunčani fotonaponski sustavi

Fotonaponski sustav je sustav za generiranje električne energije iz Sunčevog zračenja pomoću fotoelektričnog efekta, transformiranje oblika napona iz istosmjernog u izmjenični, plasiranja energije u električnu mrežu, te eventualne pohrane energije u akumulatorima. Fotonaponski moduli sastoje se od međusobno spojenih sunčanih (solarnih) ćelija u kojima se, prilikom obasjavanja Sunčevim zračenjem generira istosmjerni napon pomoću fotoelektričnog efekta. Ovisno o tehnologiji, učinkovitost pretvorbe Sunčeve energije u električnu kreće se od 4% za tehnologiju amornog silicija (Si) do 16% za tehnologije monokristaličnog silicija. Tipičan odnos snage i površine fotonaponskih modula kreće se između 110 i 140 W/m<sup>2</sup> dok je za transparentne fotonaponske module taj odnos manji i iznosi oko 50 W/m<sup>2</sup>.

Mogućnosti primjene su:

- na krovu - integrirani u pokrov, učvršćeni na konstrukciju krova, s neovisnom potkonstrukcijom ili kao nadstrešnica
- integrirani elementi koji se postavljaju po principima krovnih pokrova - fotonaponske šindre, crijepovi ili krovne ploče (tehnologija tankog filma)
- na pročelju - integrirani u završni sloj, kao neovisna konstrukcija, kao strehe, ograde i sl., ispred čvrstog dijela fasade (neprovidni moduli), kao dio ostakljenja ili dvostruke ventilirane fasade (transparentni moduli)
- zaštita od sunca - horizontalne ili vertikalne lamele kao dio sustava za zaštitu od sunca - fiksni ili pokretni (tehnologija tankog filma ili neprovidni moduli u svim izvedbama)
- neposredno uz zgradu (fotonaponska stabla), rasvjeta.

Mogući izgled fotonaponskih modula je:

- neprovidni - klasična izvedba koja se najčešće primjenjuje kao samostalna konstrukcija ili integrirano u površinu vanjske ovojnice zgrade
- transparentni - kao dio ovojnice zgrade na transparentnim krovnim (nadstrešnice, atriji, nadsvjetla, krovni prozori) i zidnim površinama kada je potrebno osigurati visoki stupanj transmisije svjetlosti
- polutransparentni u različitim bojama - nijanse plave, smeđe, žute i zelene boje.

Prema tehnologiji proizvodnje, razlikujemo:

- Monokristaliničan Si, učinkovitost 11-16%, za 1 kW energije 7-9 m<sup>2</sup>
- Polikristaliničan Si, za 1 kW energije 9-11 m<sup>2</sup>
- Tanki film, za 1 kW energije 11-13 m<sup>2</sup>
- Amorfni Si, za 1 kW energije 16-20 m<sup>2</sup>.

Za smještaj fotonaponskih modula prednost ima južna orijentacija i nagib pod određenim kutom, ali moguća je postava na istočno i zapadno pročelje te na vertikalne i horizontalne plohe uz nešto manju učinkovitost proizvodnje energije, vodeći računa o mogućem zasjenjenju. Inovativna primjena fotonaponske na fasadi smanjuje toplinsko opterećenje zgrade i potrebu za korištenjem klimatizacije.

Horizontalne lamele s fotonaponskim panelima mogu biti postavljene fiksno, pod optimalnim kutom ili mogu biti pokretne tako da tokom dana i godišnjeg doba uvijek budu postavljene u optimalnom nagibu za učinkovitu proizvodnju energije. Na južnom pročelju je najčešća postava fiksnih lamela dok se na istočnom i zapadnom preporuča postava pokretnih kako bi se ostvario zadovoljavajući stupanj iskorištenja Sunčevog zračenja. Kod pokretnih lamela su dobici 10% veći u odnosu na fiksne. Lamele se mogu pokretati i prema želji korisnika na način da se npr. lamela u visini pogleda može pomicati neovisno kako bi se osigurao bolji pogled ili prirodno osvjetljenje. Horizontalne lamele omogućuju zaštitu od Sunca do 85%, a za sprječavanje bliještanja potrebna je jednostavna naprava za zasjenjenje s unutrašnje strane (venecijaner, zastor). Raspored lamela bitno utječe na distribuciju prirodnog osvjetljenja u prostoru tako da je u nekim slučajevima moguća postava preko cijelog pročelja (zahtjev za difuznim osvjetljenjem) ili djelomično (kod radnih prostora).

Fotonaponska šindra odgovara dimenzijama klasične šindre i postavlja se s preklapom od na daščanu oplatu s hidroizolacijom. Fotonaponski crijepovi po dimenzijama odgovaraju klasičnim elementima, postavljaju se klasičnu krovnu potkonstrukciju, s preklapom crijepova u smjeru paralelnom sa strehom. Fotonaponske krovne ploče se postavljaju na klasičnu krovnu potkonstrukciju.

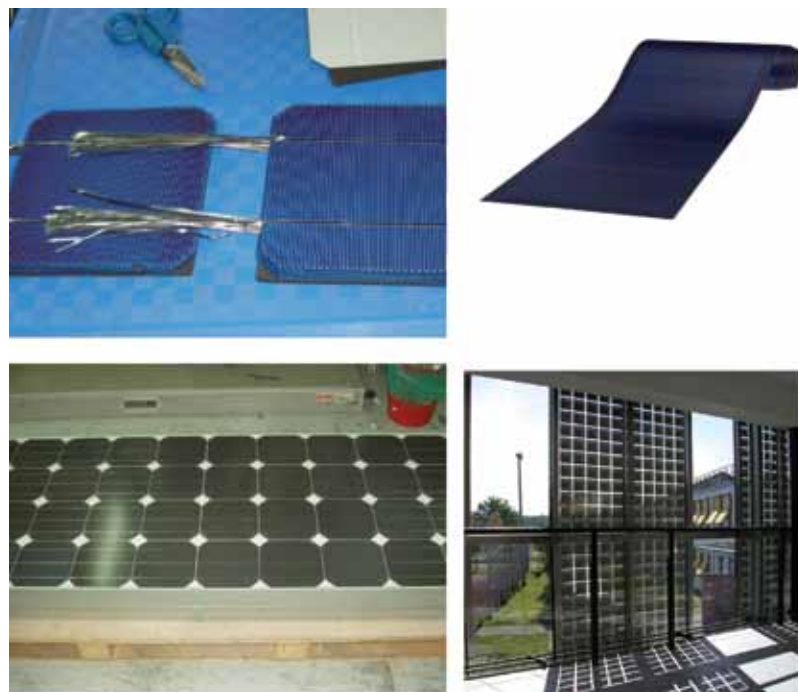
Moguća je primjena fotonaponskih modula u konstrukcijama koje zamjenjuju uobičajene građevinske materijale vanjske ovojnice na fasadi, krovu ili krovnim prozorima, odnosno koji su integrirani u samu ovojnicu. Ovakve konstrukcije se koriste na novim, ali i postojećim zgradama. Na ovaj način smanjuje se početna investicija u fotonaponski sustav jer je veći dio troškova uključen u troškove vanjske ovojnice. Također, primjena fotonaponskih modula kao integralnog dijela vanjske ovojnice omogućuje bolje oblikovno rješenje.

Uvijek treba osigurati da slojevi krova ispod fotonaponskih panela ispunjavaju sve bitne uvjete za građevinu. Smještaj fotonaponskog sustava na ravni krov može biti kao neovisna konstrukcija ili kao nadstrešnica za tehnička postrojenja. Takve konstrukcije predstavljaju drugu ovojnicu zgrade koja smanjuje utjecaje okoliša i omogućuju korištenje pasivnih principa (npr. hlađenje zgrade).

Tehnologija danas omogućuje primjenu fotonaponskih panela na samoj ovojnici zgrade kao dio ostakljenja pri čemu je potrebno ostvariti zadovoljavajući koeficijent prolaska topline ( $U, W/m^2K$ ), stupanj propuštanja ukupne energije kroz ostakljenje ( $g_{\perp}, \%$ ) i koeficijent zasjenjenja ( $F_c \%$ ). Čelije se mogu postaviti u rasterima različite gustoće i tako ostvariti različit stupanj propuštanja svjetlosti. Takvi polutransparentni sustavi karakteristični su za velike staklene površine, ali je potrebno rješavanje utjecaja blještanja i velikih toplinskih dobitaka.

Ventilirane fasade ili fasade s dvije ovojnice pogodne su za primjenu fotonaponskih modula s monokristalnim i polikristalnim sunčanim ćelijama budući da njihova učinkovitosti ovisi od porasta temperature za razliku ćelija od amornog silicija koje se mogu ugrađivati i u klasične kompaktne fasade.

Fotonaponski moduli koji se postavljaju kao neovisna konstrukcija na zgradi ili neposredno uz zgradu, mogu ostvariti veću učinkovitosti jer se mogu postaviti pod optimalnim kutom u odnosu na Sunčevo zračenje. Također se ostvaruje odgovarajuće hlađenje sa stražnje strane modula. Osim oblikovnog uklapanja potrebno je predvidjeti i riješiti tehnička pitanja poput: izvedba potkonstrukcije, osiguravanja optimalnih uvjeta za proizvodnju energije, povezivanja s otočnim sustavom ili mrežom, međusobnog povezivanja modula, održavanja i reguliranja odnosa vlasnika i korisnika sustava.



**Slika 4.26 - Elementi sunčanih fotonaponskih sustava i integracija na staklenu površinu**



Slika 4.27 - Fotonaponski sustavi kao višefunkcionalni element transparentnih ploha pročelja



Slika 4.28 - Fotonaponski sustavi kao višefunkcionalni element pročelja i krova



Slika 4.29 - Fotonaponski sustavi kao višefunkcionalni element zaštite od sunca



Slika 4.30 - Fotonaponski sustavi kao višefunkcionalni element pokrova



Slika 4.31 - Sanyo poslovna zgrada - Solar Ark, Gifu Prefecture, Japan, višefunkcionalni fasadni element s integriranim sustavom fotonaponskih modula od 630 kW, te proizvodnjom energije od oko 530.000 kWh godišnje



Slika 4.32 - Integrirani višefunkcionalni sustavi - Poslovna zgrada AG u Linzu, Austrija, 66 kW, te nadstrešnica u Bastadu, Švedska, 38,7 kW

### Energija vjetra - integralni energetski koncept

Suvremeno korištenje energije vjetra služi proizvodnji električne energije. Vjetroagregati se većinom postavljaju u otvorenim prirodnim okolišima, ali moguća je i njihova montaža na krovu zgrade ili integracija u samu strukturu građevine. Agregat vjetroelektrane čini vjetroturbina i pripadni električni generator koji su većinom u zajedničkom kućištu na zajedničkom vratilu. Dva su temeljna tipa vjetroagregata: s horizontalnim vratilom i s vertikalnim vratilom. Vjetroagregati s horizontalnim vratilom su uobičajeni. Grade se u rasponu snaga od nekoliko vata do nekoliko megavata te su obično postavljeni na vrh stupa potrebne visine. Rotor vjetroturbine je najčešće s tri lopatice i okrenut u vjetar. Manji uređaji se usmjeravaju pomoću vjetrulje, a veći servomotorima pomoću senzora.

Vjetroagregati s vertikalnim vratilom ne zahtijevaju veliku visinu stupa za montažu jer je turbinsko kolo (manjeg promjera) položeno u horizontalnoj ravnini. Ne zahtijevaju usmjeravanje, tiši su i pogodni za zgrade, iako nešto slabije učinkovitosti.

Učinak vjetroelektrane ovisi o nekoliko faktora:

- Snaga koja se može dobiti od energije vjetra razmjerna je trećoj potenciji brzine vjetra
- Brzina vjetra se povećava s visinom. Podizanjem vjetroturbine na dvostruku visinu povećava se brzina vjetra za oko 10%, a time i snaga za više od 30%.
- Snaga turbine je razmjerna kvadratu promjera rotora turbine.

Minimalna brzina vjetra koja omogućava racionalan rad vjetroelektrane je oko 5 m/s a maksimalnu snagu turbina postiže obično kod brzina između 10 i 16 m/s. Pri većim brzinama se regulacijskim zahvatima snaga održava na konstantnoj vrijednosti kako ne bi došlo do preopterećenja turbine i generatora, a kod određene maksimalne dopuštene brzine vjetra turbina se zaustavlja u svrhu zaštite od oštećenja. Predviđanje potencijala energije vjetra i njenog doprinosa pri zadovoljenju energetskih potreba u urbanom okolišu korištenjem malih vjetroagregata montiranih na krovove zgrada danas je dio integralnog planiranja primjene obnovljivih izvora energije i energetske učinkovitosti u zgradarstvu. Važni utjecajni parametri takvog planiranja su:

- Oblik krova zgrade na koju se montira mali vjetroagregat (ravni, kosi s različitim nagibom)
- Raspored zgrada u uličnom rasteru
- Oblik terena (zgrade na ravnom ili terenu s određenim nagibom).

Idealna lokacija za instalaciju urbanih vjetroagregata trebala bi biti pozicionirana u području gdje je srednja godišnja brzina vjetra velika, s ravnom ulicom paralelnom s dominantnim smjerom vjetra i dugim nizom zgrada uz vjetar. Međutim, danas je vrlo malo naputaka o očekivanoj proizvodnji malih vjetroagregata montiranih na krovove urbanog okoliša koji bi dali instalaterima i potrošačima informaciju o njihovom optimalnom pozicioniranju. Kako je nužno izbjeći nerealno dugačko vrijeme povrata investicije zbog niskog faktora opterećenja, izbor lokacije za instalaciju malih vjetroagregata potrebno je pažljivo provesti. Utjecaj oblika zgrade, položaja objekata oko planirane lokacije i stupanj nagiba terena imaju ključnu ulogu za optimizaciju mjesta za postavljenja agregata, procjenu potencijala energije vjetra i proizvodnju električne energije kao i osnovne proračune isplativosti investicije. Integrirano u arhitekturu, danas se posebno dizajniraju rješenja malih vjetroagregata, postavljenih u nizu na krovovima zgrada, ali i većih agregata integriranih u konstruktivne sustave zgrada.



Slika 4.33 - Primjer vjetroagregata s horizontalnim i vertikalnim vratilom



**Slika 4.34 - Primjer vjetroagregata integriranog na zgradu i u okoliš**



**Slika 4.35 - Poslovna zgrada - World Trade Center Bahrain, (Atkins Design Studio)- tri vjetroagregata od 225 kW, promjera 29 m pokrivaju 15% energije dva poslovna tornja od 50 katova**

Obnovljivi izvori energije i suvremeni alternativni sustavi opskrbe energijom danas predstavljaju novi arhitektonski izazov za primjenu inovativnih tehnologija i razvoj integralnog pristupa projektiranju. Njihov je doprinos smanjenju energetske potrebe i održivom razvoju velik.

Cijena takvih sustava se polako smanjuje, te uz očekivani porast cijene energije i energenata, ovakvi sustavi postaju ekonomski vrlo opravdani. Dodatno se razvijaju u cijelom svijetu pa tako i u Hrvatskoj sustavi poticanja s ciljem ukupnog smanjenja štetnih emisija u okoliš. Integracija obnovljivih izvora energije u arhitekturu i okoliš zahtijeva znanje i vještinu koja je potrebna za dobivanje suvremenih integralnih i inovativnih arhitektonskih rješenja, koja mogu unaprijediti kvalitetu života u našim zgradama i smanjiti njihov ekološki otisak. Veliki potencijal leži u razvoju višefunkcionalnih elemenata vanjske ovojnice zgrada s integriranih sustavima za proizvodnju energije iz obnovljivih izvora.



## 4.2. Materijali

### 4.2.1. Materijali općenito, vrste i svojstva

Materijale u zgradarstvu možemo općenito podijeliti na tradicijske materijale, vezane na mikrolokaciju građenja, te na suvremene prirodne ili umjetne materijale (gradiva).



Slika 4.36 - Tradicijski materijali vezani su na mikrolokaciju građenja

#### Materijali/gradiva u zgradarstvu prema namjeni dijele se na:

- konstruktivni materijali, materijali za pregrađivanje, veziva
- materijali obloga i zaštite.

#### Konstruktivni materijali i materijali za pregrađivanje dijele se na:

- materijali za izvedbu nosive konstrukcije zgrade i nosivih pregrada - kamen, opeka, beton, armirani beton, drvo, čelik, veziva
- materijali za izvedbu nenosivih pregrada - opeka, beton, drvo, gipskarton, ...

#### Materijali za obloge i zaštite dijele se na:

- obloge u interijeuru - materijali za obloge podova, zidova, stropova
- obloge u eksterijeuru - materijali za fasadne obloge, krovne obloge, obloge terena
- izolacijske obloge - materijali za hidroizolacije, toplinske izolacije, zaštita od požara, zračenja, buke, brtveni materijali

Materijale/gradiva biramo prema namjeni za koju se koriste i prema njihovim svojstvima.

#### Osnovna svojstva po kojima se materijali definiraju su:

- fizikalna
- mehanička
- kemijska
- tehnološka.

**Osnovna svojstva po kojima odabiremo materijale:**

- čvrstoća
- elastičnost / plastičnost
- žilavost / krtost
- trošnost / trajnost
- homogenost / heterogenost
- težina
- gustoća / poroznost
- promjenljivost obujma
- provodljivost topline
- provodljivost zvuka
- trajnost / podložnost korozivnim i biološkim utjecajima okoline
- gorivost / vatrootpornost
- i neizbježno: estetski kriterij: - tekstura, struktura, boja
- kao i financijski kriterij: - obradivost, dostupnost, cijena.

Bitno svojstvo svakog materijala danas postaje i oporabljivost, trajnost, te utjecaj na okoliš prilikom proizvodnje i u eksploataciji.

Osim ovih osnovnih svojstava, mogu se zahtijevati od materijala i druga specifična svojstva, vezana na područje primjene materijala:

- otpornost na razne vrste kemikalija
- otpornost na habanje
- vodoupojnost
- otpornost na mraz
- prozirnost
- translucencija ili refleksivnost
- električna (ne)provodljivost
- apsorpcija/refleksija zvuka
- otpor prolazu vodene pare
- otpor prostrujavanju vjetra itd...

Svojstva materijala koji se koriste u zgradarstvu se ispituju u laboratorijima za ispitivanje i istraživanje građevinskih materijala. Ispituju se ona svojstva koja su proizvođaču, projektantu i izvođaču bitna za konkretnu primjenu materijala.

Ispitivanja su obvezna za sve materijale koji se koriste u zgradarstvu i stavljaju u promet, a učestalost ispitivanja je određena normama i propisima za primjenu materijala.

O rezultatima ispitivanja se izdaje za svaki materijal ili građevni element Potvrda o sukladnosti s deklariranim svojstvima od strane proizvođača ili prodavača, koju izdaje ovlaštena institucija. Temeljem potvrde o sukladnosti, proizvođač ili distributer izdaje Izjavu o sukladnosti.

Potvrđivanje sukladnosti za materijale ili građevne elemente koji nisu obuhvaćeni normama ili znatno odstupaju od normi, provodi se prema tehničkim dopuštenjima za te građevne proizvode.

Isprijava o svojstvima svih materijala i elemenata primijenjenih u gradnji se prilažu prilikom tehničkog pregleda zgrade prije izdavanja uporabne dozvole za građevinu.

## Konstruktivni materijali - mehanička svojstva

### Čvrstoća

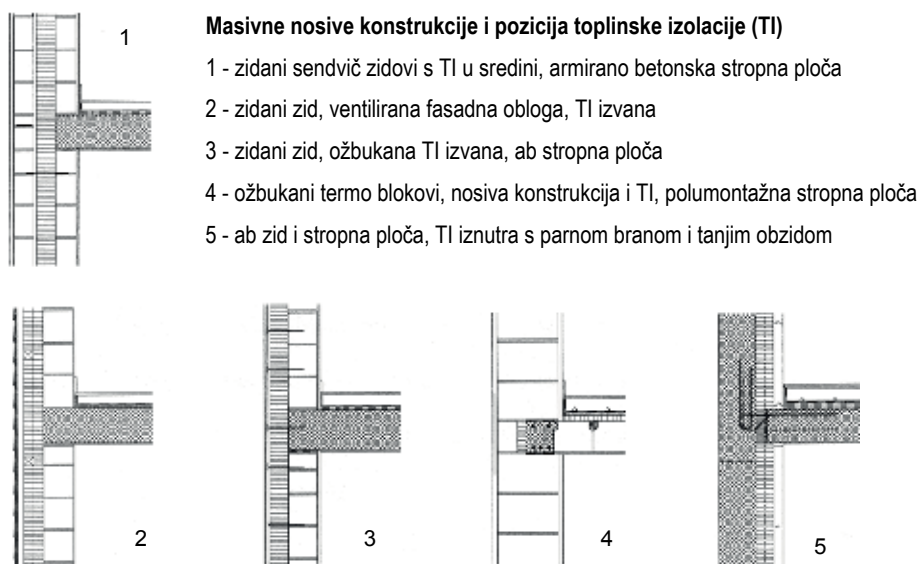
Čvrstoća je najčešće zahtijevano i ispitivano svojstvo za konstruktivne materijale. Ispitivanje se provodi na maksimalno naprezanje pri kojem nastupa razaranje materijala. Ispituju se tlačna čvrstoća, vlačna čvrstoća, vlačna čvrstoća na savijanje i torziju.

Najčeći konstruktivni materijali - kamen, beton i opeka imaju visoku tlačnu čvrstoću, a minimalnu vlačnu čvrstoću, te se ne upotrebljavaju se u konstrukcijama i građevnim dijelovima koji su izloženi vlačnoj sili i savijanju. Drvo i čelik karakteriziraju visoka vlačna i čvrstoća na savijanje, a drvo relativno mala tlačna čvrstoća. Armirani beton ima visoku tlačnu, vlačnu i čvrstoću na savijanje, a porozirana opeka i porobeton osrednju tlačnu i minimalnu vlačnu čvrstoću.

Od ostalih karakterističnih svojstava konstruktivnih materijala treba spomenuti da opeka ima visoku vatrootpornost, za razliku od armiranog betona, betona i drva koji su osrednje vatrootporni, te čelika koji ima izrazito nisku vatrootpornost bez odgovarajuće zaštite.

Pri dugotrajnoj izloženosti vodi i vlazi sve konstruktivne materijale potrebno je odgovarajuće zaštititi.

Kad govorimo o toplinsko izolacijskim svojstvima materijala za nosive konstrukcije, možemo reći da su beton, armirani beton, kamen i čelik izrazito loši toplinski izolatori, dok su drvo, opeka, porobeton nešto bolji toplinski izolatori, naročito kod većih debljina.



Slika 4.37 - Masivne nosive konstrukcije i pozicija toplinske izolacije

## 4.2.2 Vrsta i svojstva toplinsko izolacijskih materijala

Toplinske izolacije su posebno razvijeni suvremeni građevinski materijali koji se ugrađuju u konstrukcije iz sljedećih razloga:

### 1. Toplinske zaštite (zimsko razdoblje)

- smanjenje odvođenja topline iz zgrada (smanjenja toplinskih gubitaka)
- postizanja unutarnje površinske temperature iznad točke rošenja.

**2. Toplinske stabilnosti (ljetno razdoblje):**

- zaštita konstruktivnih dijelova zgrade od velikih temperaturnih razlika, odnosno toplinskih naprezanja
- postizanje ujednačene temperature unutarnjeg prostora, odnosno zaštita od pregrijavanja obodnih pregrada i zračenja topline u interijer.

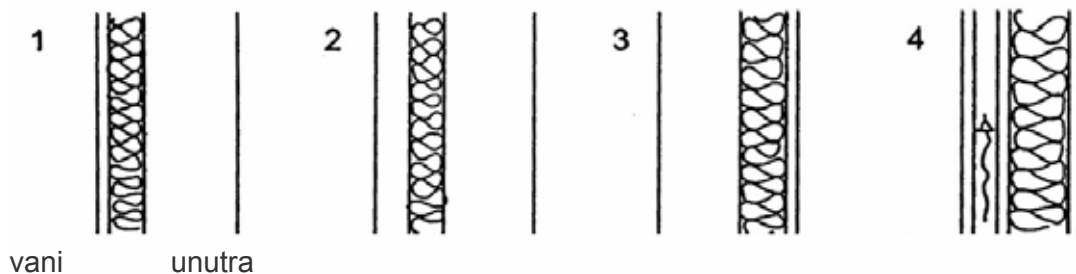
Najpovoljniji položaj toplinske izolacije je s vanjske, zimi hladnije strane konstrukcije. Pozicije unutar slojeva vanjske konstrukcije ili na unutarnjoj strani su nepovoljnije za postizanje ispravnog fizikalnog procesa. Smještaj toplinske izolacije s unutarnje strane povoljniji je samo za prostore koji se povremeno griju (kazališne i koncertne dvorane, sportske dvorane i sl.) gdje je potrebno brzo zagrijavanje volumena zraka bez akumuliranja topline u masivnoj konstrukciji.

Zahtjevi koji se postavljaju za suvremene toplinske izolacijske materijale:

- visoka toplinsko izolacijska svojstva
- čvrstoća, postojanost oblika
- negorivost, netoksičnost pri gorenju
- vodoneupojnost - samo ekstrudirani polistiren XPS i pjenasto staklo CG
- postojanost na starenje, truljenje, vibracije
- visoka paropropusnost - samo neki
- kemijska neutralnost, ekološka prihvatljivost, oporabljivost.

Položaj toplinske izolacije u građevnom dijelu može biti:

1. bliže vanjskoj strani zida
2. unutar konstrukcije
3. bliže unutarnjoj strani
4. u cijeloj debljini građevnog dijela (poželjno ventilirana fasadna obloga).



**Slika 4.38 - Položaj toplinske izolacije u građevnom dijelu**

Toplinske izolacijske materijale karakterizira dobra toplinska izolacijska vrijednost već pri malim debljinama, mala gustoća, te mala provodljivost topline  $\lambda = 0.025$  do  $0.050$  W/mK.

Uvjet čvrstoće toplinske izolacijskog materijala postavlja se samo kod određenih konstrukcija i to:

- velika tlačna čvrstoća kod konstrukcija iznad kojih su ceste, parkirališta, skladišni prostori
- određena minimalna do srednja tlačna čvrstoća kod izvedbe podova, u ravnim krovovima, ovisno o položaju toplinske izolacije
- određena minimalna tlačna i vlačna čvrstoća na kontaktnim pročeljima (žbuka na toplinskoj izolaciji), ovisno i o vrsti i debljini žbuke
- kod toplinske izolacije kao ispune potkonstrukcija ne postavlja se zahtjev za tlačnu čvrstoću materijala.

Toplinske izolacijske materijale često su izloženi promjeni topline i vlage, pri čemu ne smiju pokazivati promjene oblika (bubrenje, skupljanje i sl.)

Ovisno o mjestu ugradnje u konstrukciji (izloženosti), te zahtjevima o požarnoj zaštiti građevine, u konstrukciji se mogu

ugrađivati negorivi i gorivi materijali. Kriteriji su određeni namjenom zgrade i pozicijom materijala (izloženost vatri). Negorivi ili slabo gorivi toplinsko izolacijski materijali su kamene i staklene vune i porobetonke ploče.

Toplinsko izolacijski materijali su više ili manje vodoupojni, a jedini vodoneupojni materijali su ekstrudirani polistiren XPS i pjenasto staklo CG.

Toplinsko izolacijski materijali mogu biti više ili manje paropropusni (otpor difuziji vodene pare). Visoka paropropusnost materijala poželjno je svojstvo kod ugradnje materijala toplinske zaštite s vanjske strane, npr. mineralna vuna:  $\mu \geq 1$ . Visoka paronepropusnost poželjna je kod unutrašnjih pozicija toplinsko izolacijskih materijala (XPS:  $\mu = 50-200$ ; pjenasto staklo:  $\mu = 70000$  - apsolutna parna brana).

Ovisno o izboru najpovoljnijeg toplinsko izolacijskog materijala za određenu konstrukciju, on treba biti ugrađen na način koji je odgovarajući njegovim svojstvima te zaštićen od mogućeg propadanja.

Toplinsko izolacijske materijale prema podrijetlu dijelimo na:

- organski toplinsko izolacijski materijali - prirodni
- organski toplinsko izolacijski materijali - umjetni
- anorganski toplinsko izolacijski materijali
- toplinsko izolacijski materijali složenog porijekla (višeslojni).

Specijalni toplinsko izolacijski materijali:

- transparentne toplinske izolacije za solarne kolektore
- refleksne folije za izolaciju zračenja topline (IC radijaciju)
- vakuumske izolacijske ploče
- nanogel materijali
- keramički termorefleksni premazi, itd...

Oblici toplinsko izolacijskih proizvoda:

- ploče (tvrde i polutvrde)
  - za toplinsku izolaciju zidova, podova i ravnih krovova (gdje toplinska izolacija treba imati dovoljnu čvrstoću).
- role (smotci, bale) - filčevi
  - mekša struktura materijala (ali i manja čvrstoća) za kose krovove, lake konstrukcije i svuda gdje se prostor zapunjava toplinskom izolacijom, odnosno gdje materijal izolacije nije izložen tlačnom opterećenju.
- rasuti materijal i posebni oblici
  - toplinsko izolacijska smjesa za upuhavanje u zatvoreni prostor (šupljina između dva zida i sl.)
  - toplinsko izolacijska pjena za štrcanje na pripremljenu podlogu gdje se zapjeni i otvrdne
  - toplinsko izolacijska smjesa tekuće konzistencije za ulijevanje u predviđeni prostor - kalup (toplinsko izolacijski paneli i sl.) gdje se zapjeni i otvrdne
  - toplinsko izolacijski nasipi (podni nasipi perlita ili granula ekspaniranog polistirena).

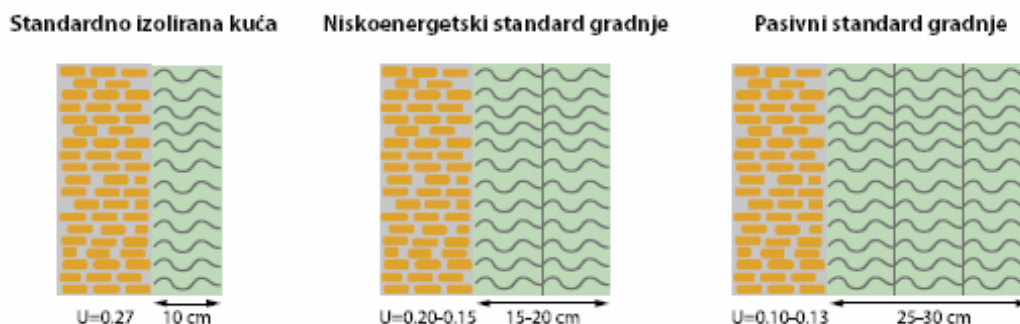
Dodatna površinska obrada ploča i rola toplinske izolacije izvodi se kao:

- jednostrana ili obostrana obrada, ovisno o potrebi kod ugradnje
- fenoliziranje površine mineralne vune (vjetrovna brana)
- kaširanje mineralne vune staklenim voalom (vjetrovna brana)
- kaširanje aluminijskom folijom ili polietilenskom folijom (parna brana)
- kaširanje bitumenskom ljepenkom (zaštita ili slabija parna brana)
- kaširanje natron papirom (zaštita).

Vrsta i položaj kaširanog sloja (ili obrade površine) treba biti strogo određen toplinsko-difuznim proračunom (parna brana s krive strane - česta pogreška!).

Da bi zadovoljili današnje propise i gradili u skladu sa suvremenim smjericama energetske učinkovitosti, sve vanjske konstrukcije potrebno je toplinski zaštititi. Toplinska izolacija smanjuje toplinske gubitke zimi, pregrijavanje prostora ljeti, te štiti nosivu konstrukciju od vanjskih uvjeta i jakih temperaturnih naprezanja. Toplinski izolirana zgrada je ugodnija, produžuje joj se životni vijek i doprinosi zaštiti okoliša.

### Usporedba debljina toplinske izolacije u odnosu na toplinske karakteristike vanjskog zida

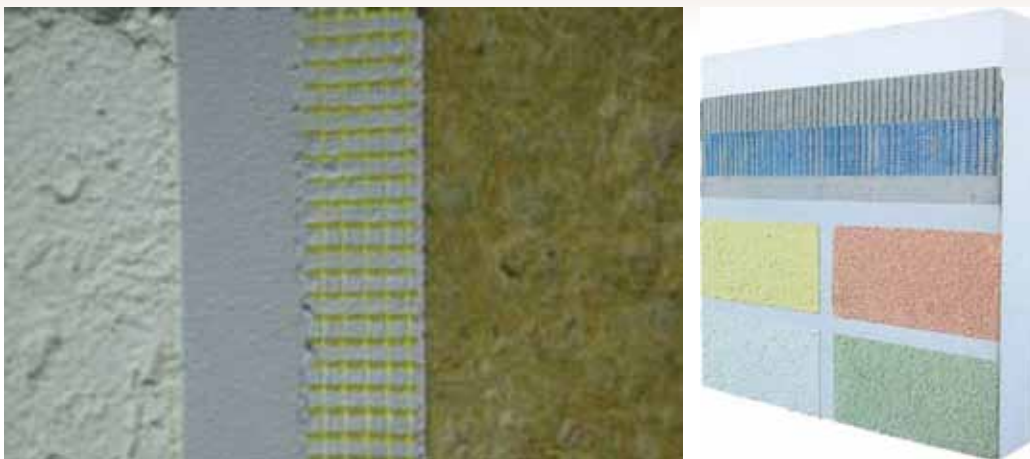


Slika 4.39- Usporedba debljina toplinske izolacije u odnosu na toplinske karakteristike vanjskog zida

Dobro poznavanje toplinskih svojstava građevinskih materijala jedan je od preduvjeta za projektiranje energetski učinkovitih zgrada. Toplinski gubici kroz građevni element ovise o sastavu elementa, orijentaciji i koeficijentu toplinske vodljivosti. Koeficijent toplinske vodljivosti  $\lambda$  (W/mK) je količina topline koja prođe u jedinici vremena kroz sloj materijala površine  $1 \text{ m}^2$ , debljine  $1 \text{ m}$  kod razlike temperature od  $1 \text{ K}$ . Vrijednost koeficijenta različita je za različite materijale, a ovisi o gustoći, veličini i povezanosti pora i stanju vlažnosti materijala. Bolju toplinsku izolaciju postizemo ugradnjom materijala niske toplinske vodljivosti, odnosno visokog toplinskog otpora. Toplinski otpor materijala povećava se s obzirom na debljinu materijala. Koeficijent prolaska topline  $U$  je količina topline koju građevni element gubi u  $1$  sekundi po  $\text{m}^2$  površine kod razlike temperature od  $1 \text{ K}$ , izraženo u  $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ . Koeficijent  $U$  je bitna karakteristika vanjskog elementa konstrukcije i igra veliku ulogu u analizi ukupnih toplinskih gubitaka ( $\text{kWh}/\text{m}^2$ ), a time i potrošnji energije za grijanje.

**Što je koeficijent prolaska topline manji, to je toplinska zaštita zgrade bolja.**

Pri izboru materijala za toplinsku zaštitu treba osim toplinske vodljivosti uzeti u obzir i druge karakteristike materijala kao što su požarna otpornost, faktor otpora difuziji vodene pare, tlačna tvrdoća, stisljivost, trajnost, otpornost na vlagu i drugo. Također je važan i način proizvodnje materijala, te korištenje energije u proizvodnji, a i cijena. Na izbor materijala utječe i vrsta konstrukcije u koju ga ugrađujemo, tako da nije isto radi li se o izolaciji poda, podrumskog zida, nadzemnog zida, ravnog ili kosog krova. Osnovna podjela toplinsko izolacijskih materijala je na anorganske i organske materijale. Najpoznatiji predstavnik anorganskih izolacija je kamena i staklena vuna, a organskih materijala polistiren - ekspanzirani i ekstrudirani, te poliuretani, odnosno poliuretanska pjena.



**Slika 4.40 - Kamena vuna i polistiren - najčešće korišteni materijali za toplinsku izolaciju**

Mineralna vuna - kamena i staklena, dobar je toplinski izolator s toplinskom provodljivošću između 0,035 i 0,045 W/m<sup>2</sup>K, što je uvrštava među najbolje toplinske izolatore. To je izolacijski materijal mineralnog podrijetla za toplinsku, zvučnu i protupožarnu izolaciju u graditeljstvu, industriji i brodogradnji. Mineralna vuna ima visoku otpornost na požar, paropropusna je i djelomično vodootporna. Otporna je na starenje i raspadanje, te na mikroorganizme i insekte. Koristi se u svim vanjskim konstrukcijama za toplinsku zaštitu, te u pregradnim zidovima za zvučnu zaštitu. Jedino mjesto gdje se ne preporučuje je za izolaciju podrumskih zidova pod zemljom. U novije vrijeme došlo je do znatnih pomaka u procesu proizvodnje staklene vune u smislu ekološke proizvodnje i izbacivanja kemijskih veziva, što se može uočiti i u promjeni boje materijala, koja postaje izrazito smeđa ili bijela. Time je učinjen znatan pomak u pogledu ekološke proizvodnje i primjene tih proizvoda.

Osim kamene i staklene vune, na našem tržištu najviše se koristi polistiren ili „stiropor“. „Stiropor“ je zapravo komercijalni naziv prvog proizvedenog polistirena u Njemačkoj, 1954. godine. Naziv stiropor postao je sinonim za ekspanzirani polistiren, EPS. Zbog dobrih izolacijskih svojstava  $\lambda = 0,035-0,040$  W/mK, te niske cijene i jednostavne ugradnje, danas je to jedan od najpopularnijih izolacijskih materijala. Koristi se najviše kao toplinska zaštita, u svim vanjskim konstrukcijama, te kao plivajući pod u podnim međukatnim konstrukcijama. Ima znatno slabija protupožarna svojstva od kamene vune, te nije otporan na temperature više od 80°C. Često se koristi za toplinsku zaštitu podrumskih zidova - ekstrudirani polistiren. Ekstrudirani polistiren XPS je najčešće obojen u plavo, ružičasto, narančasto, zeleno, ili žuto, ovisno o proizvođaču, za razliku od ekspaniranog polistirena EPS, koji je bijele boje.

Poliuretanska pjena također se dosta koristi, naročito pri sanacijama krovova. Ima još bolja toplinska svojstva pa  $\lambda$  iznosi između 0,020 i 0,035 W/mK. Ima dobra svojstva na vlagu i temperaturne promjene. Međutim, znatno je skuplja od prva dva navedena materijala, slabe vatrootpornosti i izrazito otrovna prilikom gorenja, te zbog toga nije u široj primjeni.

Na tržištu se polako pojavljuju i drugi izolacijski materijali kao što su celuloza, glina, perlit, vermikulit, trstika, pamuk, lan, slama, ovčja vuna i drugi. Imaju nešto slabija izolacijska svojstva, pa su potrebne veće debljine. Ovi se materijali u svijetu koriste lokalno, prema podrijetlu i izvoru sirovine za proizvodnju. Za pravilan izbor materijala za toplinsku izolaciju, potrebno je dobro poznavati njegova fizikalna kemijska svojstva, te prednosti i mane primjene.

**Tablica 4.10 - Projektne vrijednosti toplinske provodljivosti za neke toplinsko izolacijske materijale,  $\lambda$  (W/(m·K)), približne vrijednosti faktora otpora difuziji vodene pare, te usporedba relativnih troškova za ugradnju**

TOPLINSKO IZOLACIJSKI MATERIJAL	GUSTOĆA $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	TOPLINSKA PROVODLJIVOST $\lambda$ (W/mK)	POTREBNA DEBLJINA (cm) ZA $U=0,35$ W/m <sup>2</sup> K	FAKTOR OTPORA DIFUZIJI VODENE PARE $\mu$	REL. TROŠAK ZA $U=0,35$ W/m <sup>2</sup> K
mineralna vuna (MW) prema HRN EN 13162 (kamena i staklena vuna)	10 do 200	0,035 do 0,050	9-11	1	1
ekspandirani polistiren (EPS) prema HRN EN 13163 (stiropor)	15 do 30	0,035 do 0,040	9-10	60	0,50-0,80
ekstrudirana polistirenska pjena (XPS) prema HRN EN 13164	$\geq 25$	0,030 do 0,040	8-10	150	2,5
tvrdna poliuretanska pjena (PUR) prema HRN EN 13165	$\geq 30$	0,020 do 0,040	7-9	60	5-8
drvena vuna (WW) prema HRN EN 13168	360 do 460	0,065 do 0,09	16-20	3/5	4-6
ekspandirani perlit (EPB) prema HRN EN 13169	140 do 240	0,040 do 0,065	10-16	5	1,5-2,0
ekspandirano pluto (ICB) prema HRN EN 13170	80 do 500	0,045 do 0,055	11-14	5/10	2,0-3,0
ovčja vuna	15-60	0,040	10-11	1-2	-
slama	-	0,090 do 0,130	20-35	-	-

U tablici 4.10 je dan pregled najčešćih toplinsko izolacijskih materijala, njihove toplinske karakteristike, potrebne debljine za postizanje iste razine toplinske zaštite, te relativni trošak za takvu razinu toplinske zaštite po m<sup>2</sup>izolacije. Analizirani usporedni troškovi se odnose na toplinsku izolaciju vanjskog zida. Dakle, za postizanje dobre toplinske zaštite vanjskog zida, preporučljivi koeficijent prolaska topline iznosi  $U=0,35$  W/m<sup>2</sup>K. Za to nam je potrebno prosječno 10 cm kamene vune, ili 9 cm polistirena, ovisno o deklariranoj vrijednosti toplinske provodljivosti materijala. Za istu vrijednost trebat će nam cca 16-20 cm debljine izolacije od drvene vune, ili 7-9 cm poliuretanske izolacije. Ako uspoređujemo cijene materijala na tržištu te pretpostavimo da je cijena kamene vune 1, onda je polistirenska izolacija EPS nešto jeftinija, odnosno 0,50-0,80, a ekstrudirani polistiren XPS, nešto skuplji. Poliuretanska pjena ima faktor cijene 5-8, a npr. drvena vuna 4-6. To objašnjava i najveću primjenu kamene i staklene vune, te polistirena na hrvatskom tržištu. Stvarna cijena toplinsko izolacijskih materijala ovisi o njihovim karakteristikama, debljini i načinu primjene, a možemo istaknuti prosječnu cijenu izolacije za vanjski zid po m<sup>2</sup> za npr. mineralnu vunu koja iznosi 7,5 kuna za 1 cm debljine, odnosno cca 75 kuna za 10 cm debljine izolacije po m<sup>2</sup> (bez PDV-a). Navedene usporedbe cijena su okvirne, te su podložne tržišnim uvjetima ponude i potražnje.





Slika 4.41 - Organski toplinsko izolacijski materijali - prirodni - ekspandirano pluto - ploče i pamuk - filc



Slika 4.42 - Organski toplinsko izolacijski materijali - prirodni - celulozna vlakna - rasuti materijal i drvena vuna



Slika 4.43 - Organski toplinsko izolacijski materijali - umjetni - tvrde pjene - EPS - ekspandirani polistiren - ploče i XPS - ekstrudirani polistiren



Slika 4.44 - XPS - ekstrudirani polistiren - struktura zatvorenih ćelija - minimalna vodoupojnost



Slika 4.45 - PUR - poliuretan u pločama i prskani poliuretan



Slika 4.46 - Anorganski toplinsko izolacijski materijali - vlaknasti - filčevi i ploče - MW - staklena vuna - filc i MW - kamena vuna - ploče



Slika 4.47- Ekspandirani perlit - nasip i pjenasto staklo - CG



Slika 4.48 - Toplinsko izolacijski materijali složenog porijekla "kombi" ploče s MW jezgrom i s EPS jezgrom



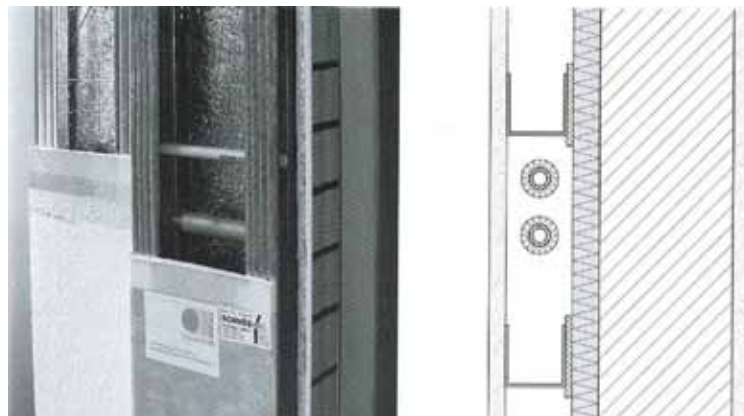
Slika 4.49- Specijalni toplinsko izolacijski materijali - transparentne kapilarne ploče za upijanje topline i VIP - vakuumske izolacijske ploče

Transparentne toplinske izolacije koriste se za toplinsku izolaciju vanjskih transparentnih (prozori) i netransparentnih ploha (zidovi). Djeluju tako da primaju i prenose toplinu na unutarnji dio konstrukcije ili na sustave za dodatno zagrijavanje. Sastoje se od velikog broja horizontalno smještenih uskih cjevčica, obostrano zatvorenih staklenom ili polikarbonatnom plohom. Horizontalni položaj cjevčica, zbog niskog nagiba sunčevih zraka zimi, omogućava propuštanje toplinskog zračenja i zagrijavanje masivne konstrukcije zida, a ljeti je zbog strmih sunčevih zraka sprječava.

Kod konvencionalne toplinske izolacije dobra izolacijska svojstva postižu se uz pomoć zraka koji se nalazi u poroznom materijalu. Ako odstranimo zrak iz materijala, izolacijska svojstva se povećavaju zahvaljujući vakuumu. Za to se koriste stisnuta staklena vlakna, polistirenska pjena i sl. Vakuumska izolacija radi se u modularnim panelima, a zbog izuzetnih izolacijskih svojstava potrebne su znatno manje debljine za ista toplinska izolacijska svojstva. Primjena je posebno zanimljiva kod objekata spomeničke zaštite, ili kod staklenih parapetnih elemenata.



**Slika 4.50 - VIP<sup>3</sup> s vanjske strane zida - ploče se moraju zaštititi, ovjes na plastičnim vodilicama**



**Slika 4.51 - VIP s unutrašnje strane zida - spojevi se moraju prelijepiti Al samoljepljivim folijama radi postizanja efikasne parne brane (TI iznutra), ploče zaštititi od oštećenja (proboja folije)parne brane (TI iznutra), ploče zaštititi od oštećenja (proboja folije)**



**Slika 4.52 - VIP u sastavu lake fasadne ostakljene stijene i klasična toplinska izolacija istih karakteristika prolaska topline  $U = 0.26 \text{ W/m}^2\text{K}$**



**Slika 4.53 - Specijalni toplinski izolacijski materijali - dvoslojne folije za refleksiju IC zračenja**

Refleksne folije i ploče za izolaciju zračenja topline (IC radijaciju) reflektiraju toplinu natrag u prostor zimi, zadržavaju je izvan prostora ljeti. Aluminijске folije ne smiju biti u kontaktu s podlogom, a postavljaju se uvijek međusobno razmaknute kako bi se postigao efekt refleksije IC zračenja - najpogodnija primjena u kosom krovu.

Postavom refleksnih dvoslojnih i višeslojnih folija na kosom lakom krovu, odvojeno od podloge postiže se efekt toplinske izolacije kao s 12 -14 cm mineralne vune, a za 8-slojni Triso-Laine - efekt izolacije kao 21 cm MW. Prilikom izvedbe nužno je odvojiti foliju od podloge i obloge obostrano za puni efekt refleksije.

### 4.2.3. Ugradba, sustavi zaštite

Za pravilnu ugradnju toplinsko izolacijskih materijala kao i sam izbor materijala potrebno je dobro poznavanje izolacijskih materijala, njihovih svojstava i mogućnosti te prednosti i mana ugradnje u pojedine konstrukcije. Nijedan toplinsko izolacijski materijal nije pogodan za sve vanjske konstrukcije.

Za toplinsku izolaciju poda na tlu kao i poda prema negrijanom prostoru najčešće se koriste ploče EPS-ekspandirani polistiren, XPS-ekstrudirani polistiren, poliuretanske ploče te vrlo tvrde ploče mineralne vune, dobro zaštićene od vlage.

Za toplinsku, odnosno prvenstveno zvučnu izolaciju od topota kod međukatnih podnih konstrukcija, postavljaju se elastificirane ploče EPS-a, tvrde ploče mineralne vune, a nikako tvrde ploče EPS-a ili XPS-a, odvojene slojem izolacije od zida - tzv. plivajući pod.



**Slika 4.54 - Toplinska izolacija podne međukatne konstrukcije u svrhu zvučne izolacije topota, tzv. plivajući pod**

Toplinska izolacija ravnog masivnog prohodnog ili neprohodnog krova izvodi se najčešće tvrdim pločama EPS, XPS, CG, PUR, a mineralna vuna primjenjuje se samo kod neprohodnih krovova, i to isključivo tvrde ploče kamene vune. Za toplinsku izolaciju ravnog lakog krova također se koriste isti materijali. Za toplinsku izolaciju poda potkrovlja bez opterećenja mogu se koristiti mekanije ploče ili filc mineralne vune, ili nasip toplinsko izolacijskog materijala u rastresitom stanju. Najčešće korišteni materijali za toplinsku izolaciju ravnih krovova izvedenu iznad hidroizolacije, tzv inverzni krov jesu ploče XPS-a ili pjenastog stakla. Za klasičnu izvedbu koriste se ostale uobičajene toplinske izolacije s naglaskom na tvrdoći ploča koje se postavljaju, posebno na prohodnim ravnim krovovima i terasama.



**Slika 4.55 - Toplinska izolacija poda negrijanog potkrovlja**

Toplinska izolacija kosog krova grijanog potkrovlja izvodi se najčešće od mekih ploča mineralne vune, rjeđe prskane poliuretanske pjene. Tvrdne ploče EPS-a i XPS-a su neprikladne zbog svoje nepodatnosti ugradnji u krovnu konstrukciju.

Toplinska izolacija potkrovlja uvijek se izvodi u dva sloja, sloj između rogova, te ispod rogova, s obaveznom parnom branom s unutarnje, toplije strane konstrukcije.



**Slika 4.56 - Toplinska izolacija kosog krova grijanog potkrovlja**

Za toplinsku izolaciju laganih zidova prema negrijanom prostoru mogu se koristiti meke ploče ili filc mineralne vune, te prskana poliuretanska pjena.



**Slika 4.57 - Toplinska izolacija laganih zidova prema negrijanom prostoru**

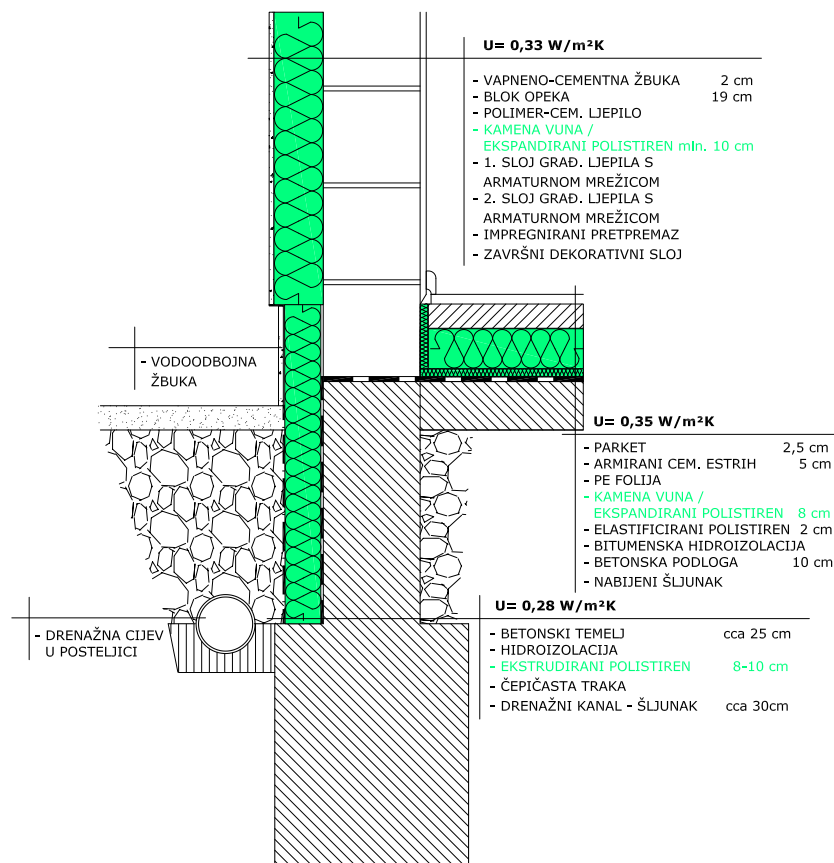
Toplinska izolacija vanjskog zida izvodi se tvrdim fasadnim pločama mineralne vune, polistirena, te lamelama mineralne vune. Najčešće se izvode tzv ETICS sustavi kontaktne tankoslojne fasade. ETICS sustavi (External Thermal Insulation Composite System) povezani su sustavi za vanjsku toplinsku izolaciju na osnovi ekspanziranog polistirena ili mineralne vune, u skladu s normom HRN EN 13499 (EPS) i HRN EN 13500 (MW) Pri tome je važno naglasiti da se podnožje zida mora izvesti vodoneupojnim materijalima za toplinsku zaštitu, odnosno XPS ili pjenasto staklo CG.



1. hidroizolacija
2. CG
3. CG
4. obzid
5. vanjski zid
6. estrih - unutarnji prostor
7. temeljna ploča

Slika 4.58 - Toplinska izolacija podnožja vanjskog zida pjenastim staklom

Toplinska izolacija provjetravane obloge vanjskog zida izvodi se fasadnim hidrofobiziranim pločama ili pločama kaširanim staklenim voalom, a optimalni materijal je mineralna vuna - staklena ili kamena. Polistiren se preporučuje u vanjskom zidu samo za ETICS sustave.



Slika 4.59 - Toplinska izolacija vanjskog zida - ventilirana fasada



### 4.3. Analiza zgrade i građevnih dijelova, slaganje sustava građevnih dijelova

#### 4.3.1. Negrijani dijelovi zgrade, određivanje temperaturnih zona

Temperaturne zone prema tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama se definiraju kao prostori koji se od preostalog dijela zgrade razlikuju:

- u pogledu namjene - što dopušta promatranje prostora iste namjene s različitim vlasnicima kao jedne zone
- u vrijednosti unutarnje projektne temperature za više od 4°C - unutarnja projektna temperatura određuje se prema HRN EN 15251:2008 Ulazni mikroklimatski parametri za projektiranje i ocjenjivanje energijskih značajka zgrada koji se odnose na kvalitetu zraka, toplinsku lagodnost, osvjetljenje i akustiku (EN 15251:2007). Razlika temperatura od 4°C omogućuje formiranje većih zona, jer bi u suprotnom slučaju npr. kupaonica (negrijano stubište, spremište i sl.) bila posebna zona unutar stana ili zgrade
- u pogledu uporabljenog termotehničkog sustava - granice zone se poklapaju s granicama prostora koje pokriva određeni termotehnički sustav. Ako se koristi više termotehničkih sustava, koji se ne preklapaju, kao u slučaju centralnog grijanja na razini stana i boravišnih prostora stana hlađenih split sustavima, boravišni prostori predstavljaju odvojenu zonu u odnosu na ostatak stana
- po režimu uporabe termotehničkih sustava - različit režim korištenja termotehničkih sustava traži razdvajanje zona

Norma HRN EN 15251 uvodi adaptivni model određivanja unutarnjih projektne temperatura prema kategorijama prostora, ovisno o zahtjevima za udobnost, te raspone operativnih temperatura za određene vrste prostora.

**Tablica 4.11 - Kategorije klima unutarnjeg prostora prema HRN EN 15251**

Kategorija	Opis	PPD <sup>1)</sup> , [%]	PMV <sup>2)</sup>
I.	najviši zahtjevi – za prostorije u kojima posebno osjetljive osobe rade i žive	< 6	-0,2<PMV<+0,2
II.	normalni zahtjevi – za nove zgrade i zgrade koje se rekonstruiraju	< 10	-0,5<PMV<+0,5
III.	prihvatljivo područje zahtjeva za postojeće zgrade	< 15	-0,7<PMV<+0,7
IV.	zahtjevi su izvan ovdje navedenih kriterija – korištenje se mora ograničiti na nekoliko sati godišnje	> 15	PMV<-0,7 ili PMV>+0,7

1) engl. *Predicted Percentage of Dissatisfied* - predviđeni udio nezadovoljnih

2) engl. *Predicted Mean Vote* - predviđeni srednji glas na skali od 7 vrijednosti osjetljivosti na toplinu

Tablica 4.12 - Preporučene vrijednosti unutarnje temperature prema HRN EN 15251

Zgrada, odnosno tip prostorije	Kategorija	Operativna temperatura <sup>2)</sup>	
		Najmanja vrijednost u sezoni grijanja (ZIMA) ~ 1,0 clo <sup>1)</sup>	Najveća vrijednost u sezoni hlađenja (LJETO) ~ 0,5 clo 1)
Stambena zgrada: sobe za stanovanje (spavaće sobe, dnevni boravci, kuhinje, itd.) Sjedenje ~ 1,2 m	I	21	25,5
	II	20	26
	III	18	27
Pojedinačni uredi Sjedenje ~ 1,2 m	I	21	25,5
	II	20	26
	III	19	27
Robne kuće Sjedenje ~ 1,6 m	I	17,5	24
	II	16	25
	III	15	26

1) engl. *clothing units* - jedinica za otpor provođenja topline odjeće 1 clo = 0,155 m<sup>2</sup>K/W (1,5 clo topla odjeća, 1,0 clo normalna odjeća, 0,5 clo lagana ljetna odjeća, 0,0 clo bez odjeće)

2) operativna temperatura - uniformna temperatura prostora okruženog crnim tijelom u kojem bi se radijacijom i konvekcijom razmjenjivala ista količina energije kao u stvarnom prostoru

Takav model je značajno kvalitetniji od fiksiranih zahtjeva, ali je metoda proračuna kompleksna, te je u pogledu energetske certifikacije jednostavnije uzeti vrijednosti uvriježene u praksi.

Negrijani dijelovi zgrade se razlikuju po tome radi li se o negrijanim prostorima temperature više od 0°C ili o intenzivno provjetravanim negrijanim prostorijama, kod kojih je temperatura prostorija jednaka temperaturi vanjskog zraka samo u smislu najvećeg dopuštenog koeficijenta prolaska topline konstrukcije na granici grijanog prostora i negrijanog prostora. U pogledu proračuna ukupno potrebne topline za grijanje ili hlađenje, potrebno je odrediti toplinske gubitke kroz sve negrijane prostore u kontaktu s grijanim prostorima zgrade.

Ostakljene negrijane prostorije su specifične, jer se kod proračuna potrebne toplinske energije za grijanje i hlađenje zgrada računaju i toplinski dobici iz tih prostorija i zbrajaju s ostalim toplinskim dobicima zgrade.

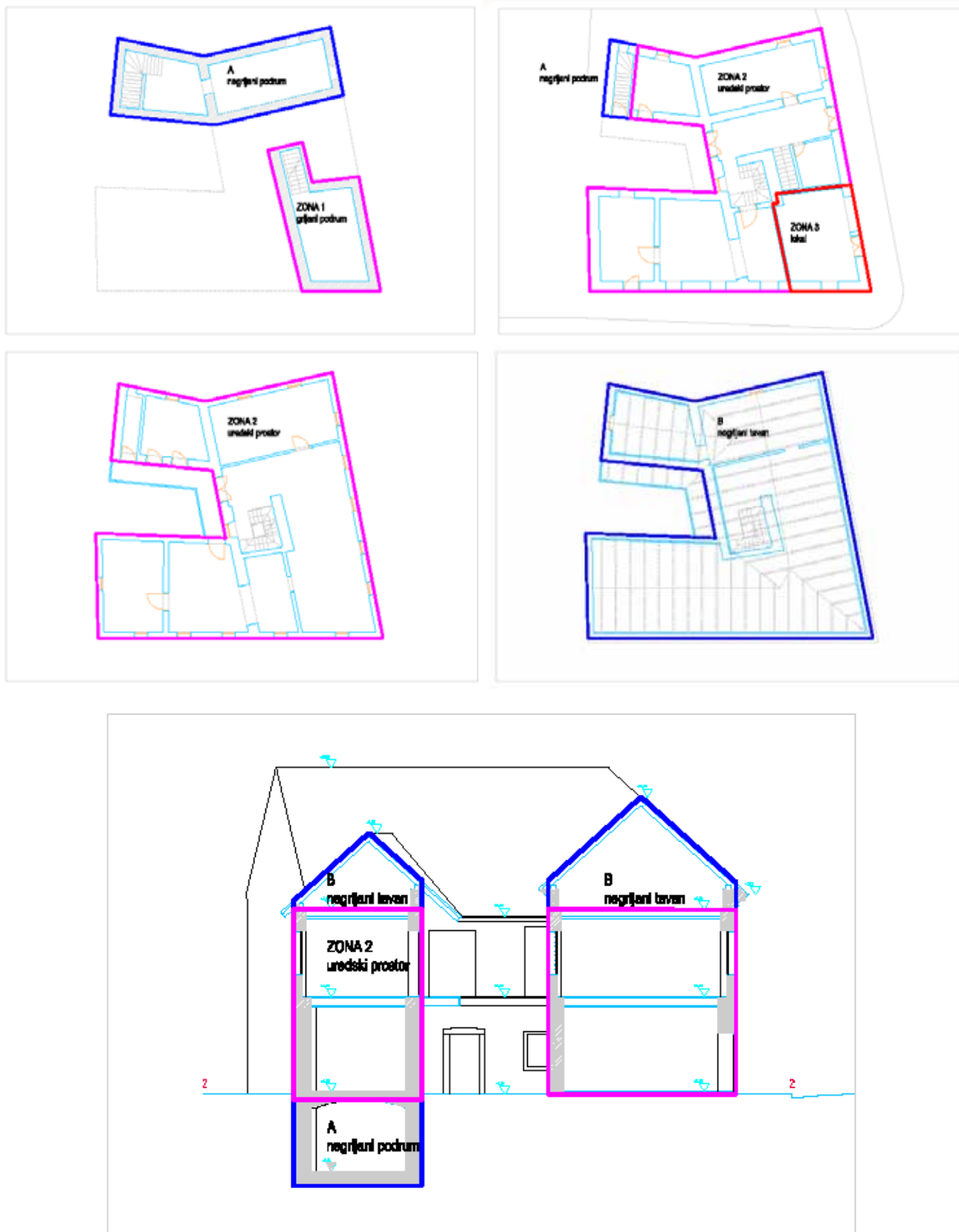
Prema Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (NN 110/08 i 89/09) toplinski se gubici prema negrijanom prostoru računaju kao toplinski gubici prema vanjskom prostoru, ali je prema normi HRN EN ISO 6946:2008 moguće dodavanje toplinskog otpora negrijanog prostora  $R_u$  toplinskom otporu konstrukcije prema izrazu:

$$R_u = \frac{A_i}{\sum_k (A_{e,k} U_{e,k}) + 0,33 \cdot n V_n} \quad (4.1)$$

gdje je:

- $A_i$  - ukupna površina konstrukcija između grijanog i negrijanog prostora
- $A_{e,k}$  - površina konstrukcije k između negrijanog prostora i okoline
- $U_{e,k}$  - toplinska vodljivost konstrukcija između negrijanog prostora i okoline
- $n$  - broj izmjena zraka u negrijanom prostoru
- $V_n$  - obujam negrijanog prostora

pri čemu se gubici računaju za sve konstrukcije u negrijanom prostoru, osim za pod negrijanog prostora na tlu.



Slika 4.60 - Određivanje temperaturnih zona zgrade

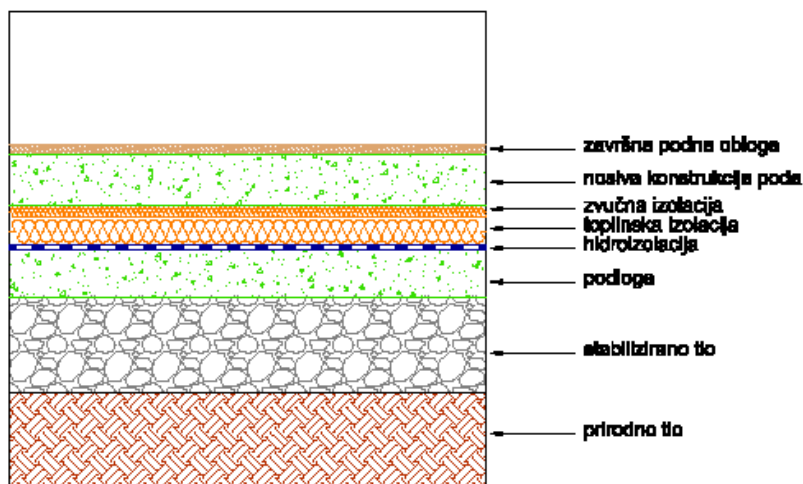
### 4.3.2. Podovi

Podne konstrukcije dijelimo prema položaju u zgradi na podove na tlu te stropove iznad vanjskog zraka ili prema negrijanom prostoru ispod.

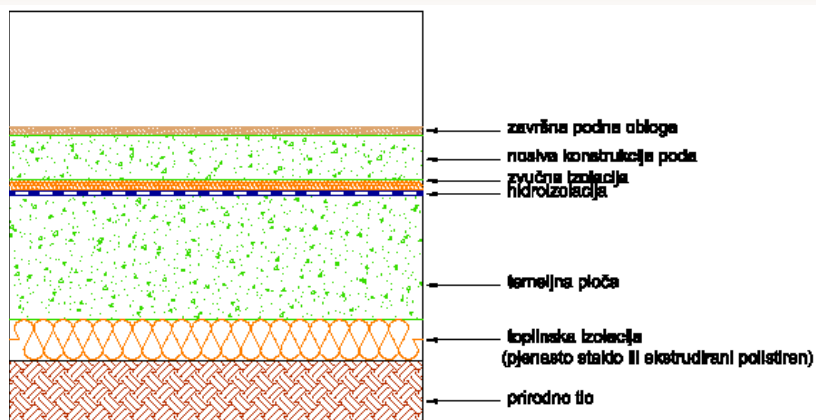
Pod na tlu uz zahtjeve mehaničke otpornosti i stabilnosti, zahtjeve vezane na korištenje prostora (trajnost, habanje, otpornost na kemijske utjecaje), zvučne izolacije od prijenosa buke iz i prema prostoru, mora zadovoljiti i zahtjeve toplinske izolacije prema tlu, kao i hidroizolacije od vlage iz tla (kapilarne ili pod tlakom).

Pod na tlu je karakterističan po dodatnom sloju za hidroizolaciju, uz koji su vezani slojevi koji služe za izvedbu hidroizolacijskog sloja i njegovu zaštitu. Kod starijih konstrukcija problem hidroizolacije je najčešće rješavan izdizanjem poda iznad razine okolnog tla, izvedbom slojeva s većim udjelom šupljina (nasip krupnog kamena ili šljunka) i slojeva smanjene kapilarnosti (zbijeni nasipi od gline), te izvedbom dodatnih podnih konstrukcija sa šupljinama iznad tih slojeva. Bitumenske hidroizolacije su se u upotrebi pojavile kasno, ali postoje kod većine podnih konstrukcija građenih nakon 1940. godine. Suvremeni sustavi bitumenskih hidroizolacija, polimerne varena trake, polimer cementni premazi, ili vodonepropusne nosive konstrukcije (temeljne ploče) zahtijevaju specifične mjere zaštite kod ugradnje.

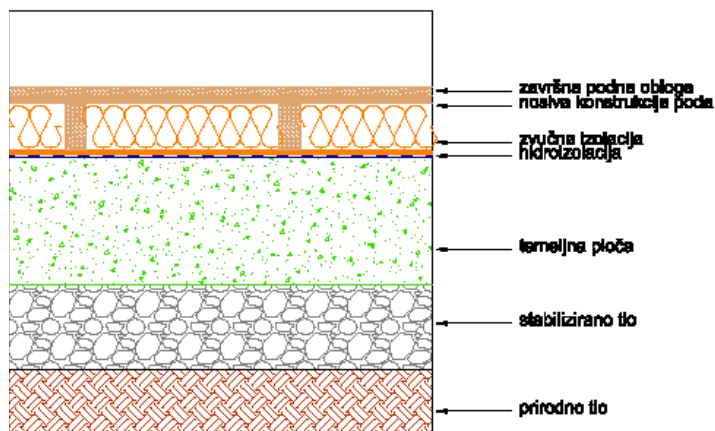
Ugradnja sloja toplinske izolacije u podu prema tlu dodatno je otežana zbog male nosivosti toplinsko izolacijskih materijala, te je specifično opterećenje na toplinsku izolaciju potrebno održati u dopuštenim rasponima kod kojih neće doći do deformacija poda i/ili izolacijskog materijala.



Slika 4.61 - Karakteristični slojevi poda na tlu - toplinska izolacija u sredini konstrukcije



**Slika 4.62 - Karakteristični slojevi poda na tlu - toplinska izolacija s vanjske strane konstrukcije**

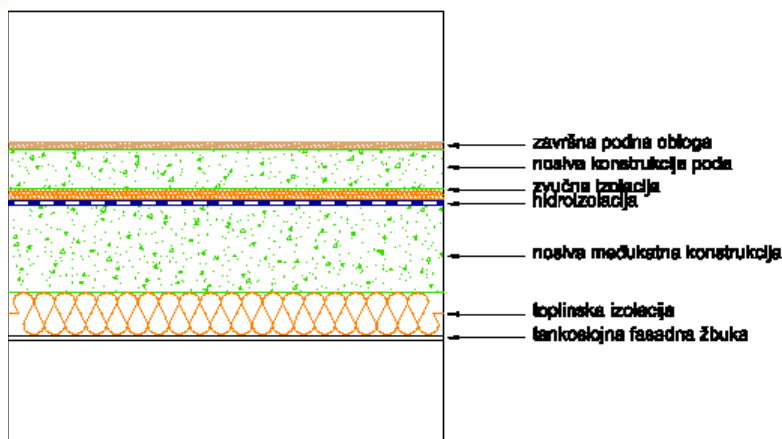


**Slika 4.63 - Karakteristični slojevi poda na tlu - toplinska izolacija s unutarnje strane konstrukcije**

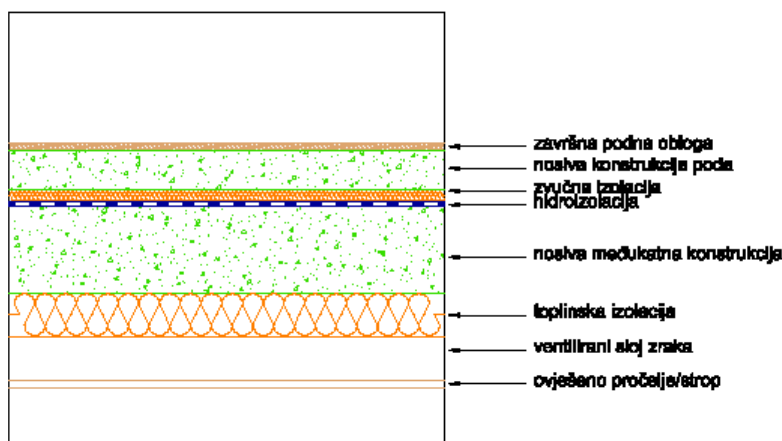
Raspored slojeva u podovima se prilagođava primijenjenim materijalima za hidroizolaciju, toplinsku i zvučnu izolaciju, kao i ostalim zahtjevima prema podnoj konstrukciji.

Raspon materijala za toplinsku izolaciju dopušta ugradnju toplinske izolacije u gotovo svim položajima u sastavu podne konstrukcije (s vanjske strane, u konstrukciji ili s unutarnje strane konstrukcije).

Stropovi iznad vanjskog zraka ili prema negrijanom prostoru ispod su konstrukcijski vrlo slični međukatnim konstrukcijama, s dodatnim slojem toplinske izolacije i zaštitnih slojeva. Kako se toplinska izolacija najčešće postavlja s vanjske strane konstrukcije, sastav slojeva ovisi prvenstveno o rješenju podgleda stropa i mogućnosti učvršćivanja toplinske izolacije. Za razliku od podova na tlu, kod stropova iznad negrijanog prostora i vanjskog prostora, potrebno je obratiti pažnju i na pojavu difuzije vodene pare kroz konstrukciju. Kod nepravilnog rješenja konstrukcija, sigurna je pojava šteta uslijed kondenzacije vodene pare u konstrukcijama, šteta uslijed smrzavanja te visoki troškovi održavanja i popravka konstrukcija.



Slika 4.64 - Karakteristični slojevi poda iznad vanjskog zraka ili prema negrijanom prostoru ispod - ETICS fasadni sustav



Slika 4.65 - Karakteristični slojevi poda iznad vanjskog zraka ili prema negrijanom prostoru ispod - ovješena stropna konstrukcija

Toplinski gubici prema terenu iznose do 10% ukupnih toplinskih gubitaka. Kod novogradnji se pod na terenu treba toplinski izolirati što većom debljinom toplinske izolacije, dok je kod postojećih zgrada prilikom energetske obnove takva mjera uglavnom ekonomski neisplativa, zbog većih građevinskih zahvata koji je prate. Međutim, ekonomski vrlo isplative mjere su toplinska izolacija stropne konstrukcije prema negrijanom tavanu, te podne konstrukcije prema negrijanom podrumu. Također, potrebno je toplinski zaštititi i podne konstrukcije iznad otvorenih prolaza. Kod postave toplinske izolacije važno je toplinski izolirati cijelu vanjsku ovojnicu bez prekida izolacije, kako bi se utjecaj toplinskih mostova smanjio na minimum.

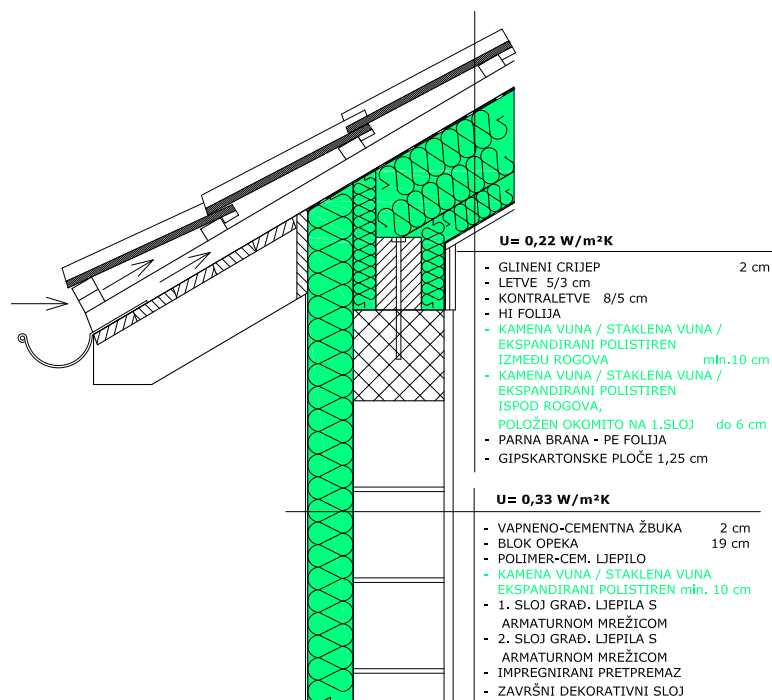
Iako su gubici kroz pod na tlu relativno mali u usporedbi s gubicima drugih dijelova konstrukcije, temperatura podne plohe bliska temperaturi unutrašnjeg prostora puno je ugodnija za boravak.

Da bi se izbjegli toplinski mostovi i izbjegli nepotrebni toplinski gubici potrebno je izolirati cijelu vanjsku ovojnicu zgrade, uključujući i dijelove konstrukcije prema negrijanim prostorima ili prostorima s različitim režimom korištenja. Preporuča se toplinski ih izolirati s minimalno 10 cm kamene vune ili polistirena. Završna obrada može biti žbukanjem ili obloga gipskartonskim pločama ako se radi o unutrašnjem prostoru.

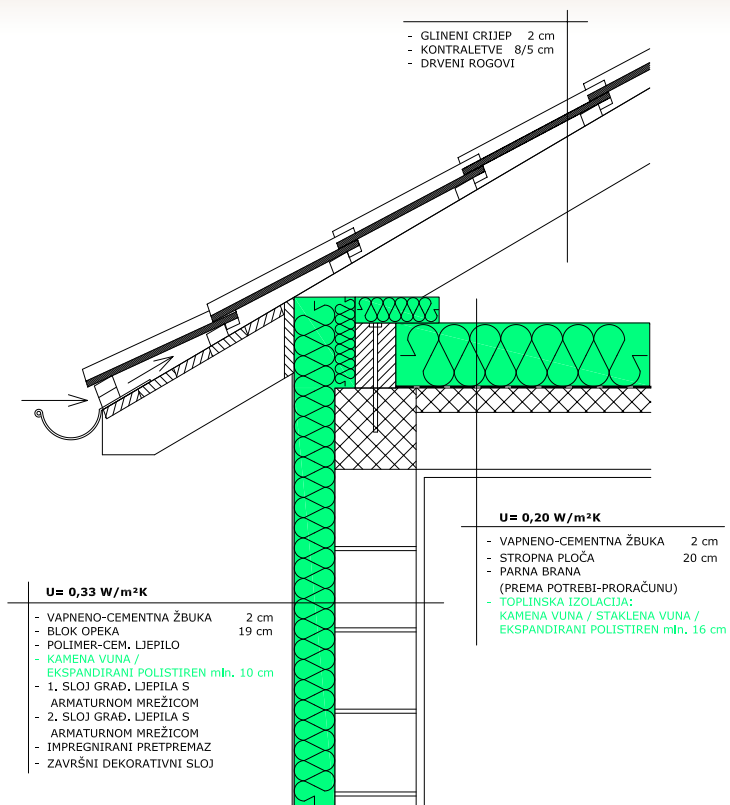
### 4.3.3. Krovovi

Iako je udio krova zastupljen sa svega oko 10-20% u ukupnim toplinskim gubicima u kući, krov ima posebno važnu ulogu u kvaliteti i standardu stanovanja. On štiti kuću od kiše, snijega, hladnoće i vrućine. Najčešći oblik krova na obiteljskim i manjim stambenim zgradama je kosi krov. Vrlo često se prostor ispod kosog krova namjenjuje za stanovanje iako nije adekvatno toplinski izoliran. Kod takvih situacija pojavljuju se veliki toplinski gubici zimi, ali i još veći problem pregrijavanja ljeti. Ako krov nije toplinski izoliran, kroz njega se može izgubiti i 30% topline. Naknadna toplinska izolacija krova je jednostavna i ekonomski vrlo isplativa, jer je povratno razdoblje investicije od 1 do 5 godina. Za toplinsku izolaciju kosih krovova treba koristiti nezapaljive i paropropusne toplinske izolacijske materijale, kao što je npr. mineralna vuna. Detalj spoja toplinske izolacije vanjskog zida i krova treba riješiti bez toplinskih mostova. Ako prostor ispod kosog krova nije grijan, tj. nije namijenjen za stanovanje, toplinsku izolaciju treba postaviti na strop zadnje etaže prema negrijanom tavanu.

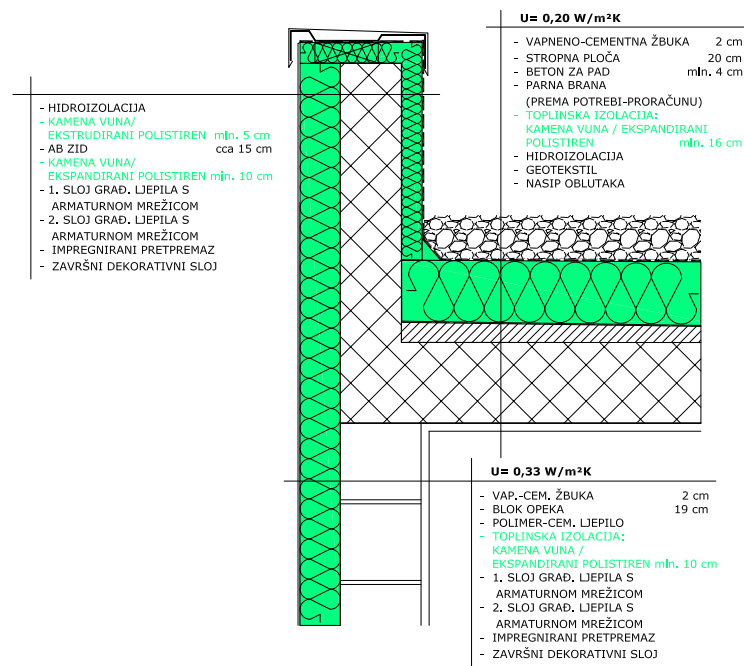
Ravni krovovi su najviše izloženi atmosferskim utjecajima od svih vanjskih elemenata zgrade. Zato je važno kvalitetno ih izolirati i toplinskom i hidroizolacijom, te pravilno riješiti odvodnju oborinskih voda. Ravni krov može biti riješen kao prohodni, neprohodni ili tzv. zeleni krov. U skladu s time izvodi se završna obrada krova.



Slika 4.66 - Pravilna izvedba toplinske izolacije kosog krova i spoja sa zidnom izolacijom kod lagane krovne konstrukcije

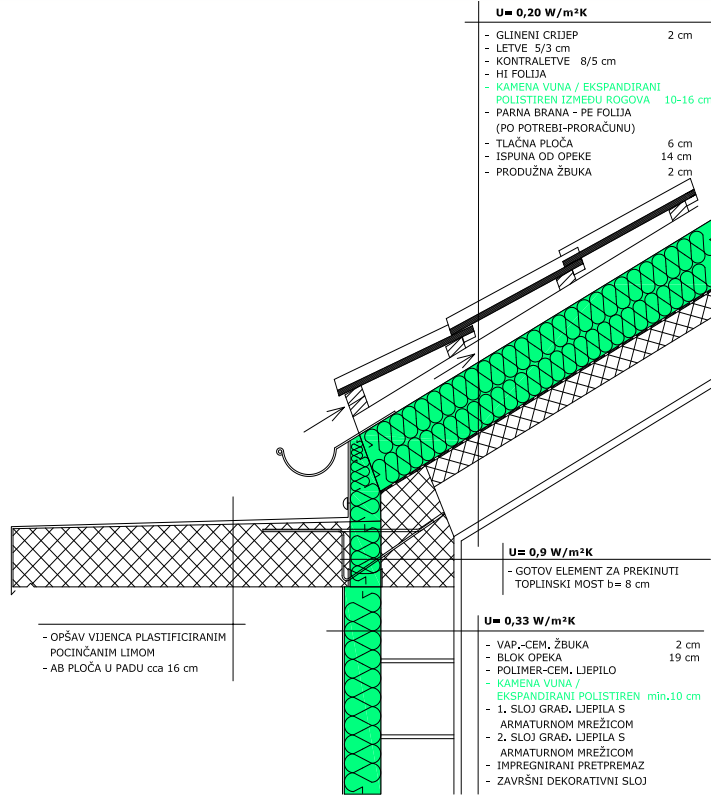


Slika 4.67 - Pravilna izvedba toplinske izolacije stropa prema negrijanom tavanu i spoja sa zidnom izolacijom

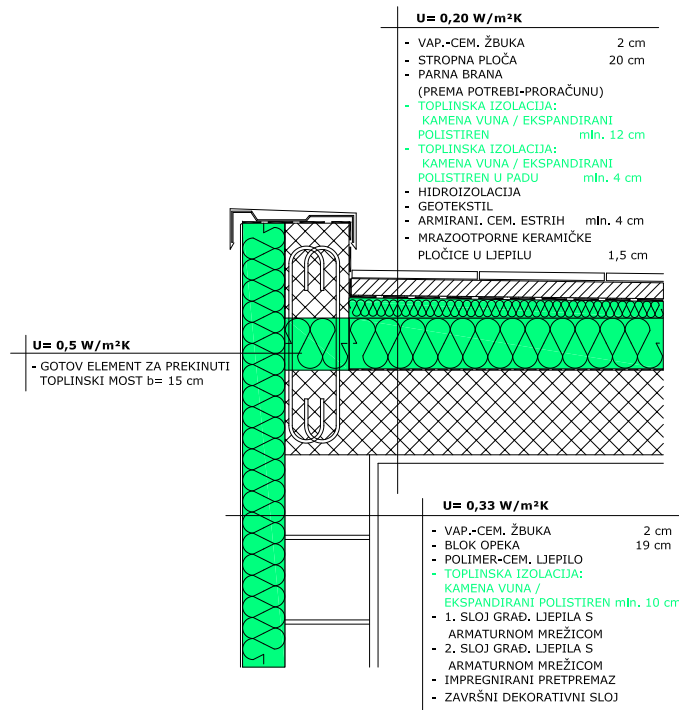


Slika 4.68 - Pravilna izvedba toplinske izolacije ravnog krova i spoja sa zidnom izolacijom

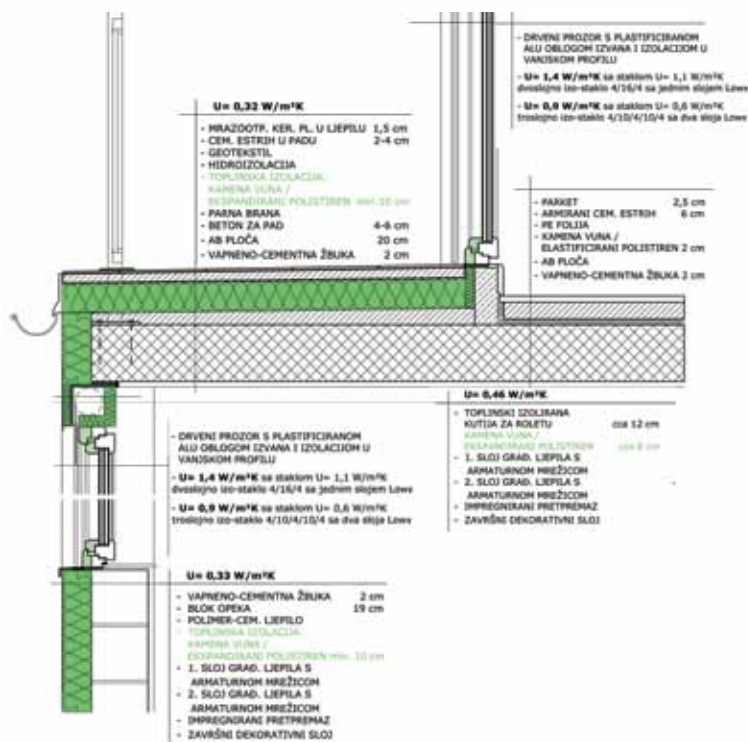




Slika 4.69 - Pravilna izvedba toplinske izolacije kosog krova i spoja sa zidnom izolacijom kod masivne krovne konstrukcije



Slika 4.70 - Pravilna izvedba toplinske izolacije ravnog krova s umetnutim gotovim elementom za prekid toplinskog mosta i spoj sa zidnom izolacijom



Slika 4.71 - Načini rješavanja problema toplinskih mostova kod konzolnih istaka balkonskih ploča

Terasa se može izvesti s ozelenjenim krovom, odgovarajuće hidro i toplinski izoliranim prema stambenom prostoru s donje strane. U tom slučaju se povećava broj potrebnih slojeva i njihova ukupna debljina. Ovisno o vrsti bilja određuje se potrebna dubina zemlje, a bitno je spriječiti prodor korijenja do sloja hidroizolacije, a vlage do toplinske izolacije. Ozelenjeni krov dobro zadržava toplinu, akumulira ju u slojevima zemlje i na taj način ostvaruje stalnu temperaturu završnog sloja, ljeti i zimi.

Prema Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (NN 110/08 i 89/09), toplinski se gubici prema negrijanom prostoru tavana računaju kao toplinski gubici prema vanjskom prostoru, ali je prema normi HRN EN ISO 6946:2008 moguće dodavanje toplinskog otpora negrijanog prostora  $R_u$  toplinskom otporu konstrukcije. Pojednostavljena metoda proračuna dopuštena je kod negrijanih prostora s neizoliranom vanjskom ovojnicom, što je vrlo česta situacija kod kosih krovova iznad negrijanog tavana. Ovom metodom, toplinski otpor stropa prema negrijanom prostoru, povećava se za toplinski otpor prostora negrijanog tavana. Metoda je primjenjiva samo za određivanje toplinskih gubitaka, dok se za proračun difuzije vodene pare kroz konstrukciju mora primijeniti detaljna metoda proračuna.

Tablica 4.13 - Povećanje toplinskog otpora konstrukcije zbog utjecaja negrijanog tavana prema HRN EN ISO 6946:2008

Karakteristike krova		$R_u$ m <sup>2</sup> K/W
1	Pokrov crijepom bez zaštitne folije, oplate ili sličnog	0,06
2	Pokrov limom, ili pokrov crijepom s daščanom oplatom ili folijom	0,2
3	Kao 2, s aluminijskom ili drugom niskoemisivnom oblogom s donje strane krovne konstrukcije	0,3
4	Krov s daščanom oplatom i filcom	0,3

Bilješka: Vrijednosti toplinskog otpora uključuju toplinski otpor ventiliranog prostora i kose krovne konstrukcije. Ne uključuju vanjski toplinski otpor  $R_{se}$ .

#### 4.3.4. Zidovi

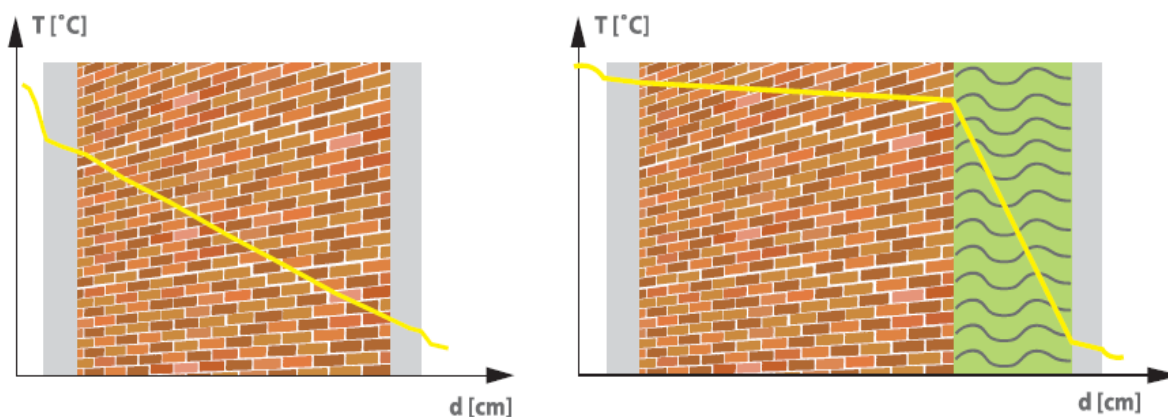
Toplinsku izolaciju vanjskog zida, u pravilu, treba izvoditi dodavanjem novog toplinsko izolacijskog sloja s vanjske strane zida, a iznimno s unutarnje strane zida. Izvedba toplinske izolacije s unutarnje strane zida nepovoljna je s građevinsko-fizikalnog stajališta, a često je i skuplja zbog potrebe dodatnog rješavanja problema difuzije vodene pare, strožih zahtjeva u pogledu sigurnosti protiv požara, gubitka korisnog prostora i dr. Postava toplinske izolacije s unutarnje strane zida je fizikalno lošija, jer iako postižemo poboljšanje izolacijske vrijednosti zida, značajno mijenjamo toplinski tok u zidu i osnovni nosivi zid postaje hladniji. Zbog toga posebnu pažnju treba posvetiti izvedbi parne brane kako bi se izbjeglo nastajanje kondenzata i pojava plijesni. Također, toplinski treba izolirati i dio pregrada koje se spajaju s vanjskim zidom. Sanacija postojećeg vanjskog zida izvedbom izolacije s unutarnje strane izvodi se iznimno kod zgrada pod spomeničkom zaštitom, kada se žele izbjeći promjene na vanjskom pročelju zgrade zbog njezine povijesne vrijednosti.

Kod izvedbe toplinsko izolacijskog sloja s vanjske strane zida moguća su dva rješenja završnog sloja koji štiti toplinsko izolacijski sloj i ostatak zida od vanjskih atmosferskih utjecaja. Prvo rješenje karakterizira izvedba vanjskog zaštitnog sloja punoplošnim lijepljenjem na toplinsko izolacijski sloj (tzv. ETICS sustav). Kod drugog rješenja zaštitni je sloj u obliku pojedinačnih elemenata učvršćenih na odgovarajuću podkonstrukciju na način da između zaštitne obloge i sloja toplinske izolacije ostane sloj zraka koji se ventilira prema van (tzv. ventilirana fasada). Djelotvorni toplinsko izolacijski sloj završava slojem za provjetravanje kroz koji zrak treba cirkulirati i isušivati vlagu.

Ovisno o vrsti žbuke fasade mogu biti tankoslojne i debeloslojne. Toplinsko izolacijski materijal se lijepi za podlogu polimerno-cementnim ljepilom a po potrebi (ploče obvezno, lamele po potrebi), dodatno učvršćuje mehaničkim spojnica, pričvrstnicama ili tiplama. Ploče ili lamele se postavljaju s horizontalnim pomakom u odnosu na prethodni red, a uglove i otvore je potrebno pažljivo obraditi kao i cjelokupnu vanjsku površinu tako da se nanosi polimerno-cementno ljepilo i utiskuje tekstilno-staklena mrežica (alkalno otporna). Ponovno se zaglađuje polimerno-cementnim ljepilom. Nakon sušenja nanosi se impregnirajući premaz kako bi se ujednačila upojnost površine.

Kao završni sloj za tankoslojni sustav koriste se silikatni, silikonski, silikonsko-silikatni ili akrilatni završni sloj minimalne debljine zrna 1,5-4,00 mm. Kod debeloslojnog sustava koristi se mineralna žbuka debljine 15 mm i završno dekorativni sloj debljine do 5 mm. Potrebno je nanijeti cementni špric kao vezivni sloj između toplinsko izolacijskog materijala i lagane mineralne žbuke.

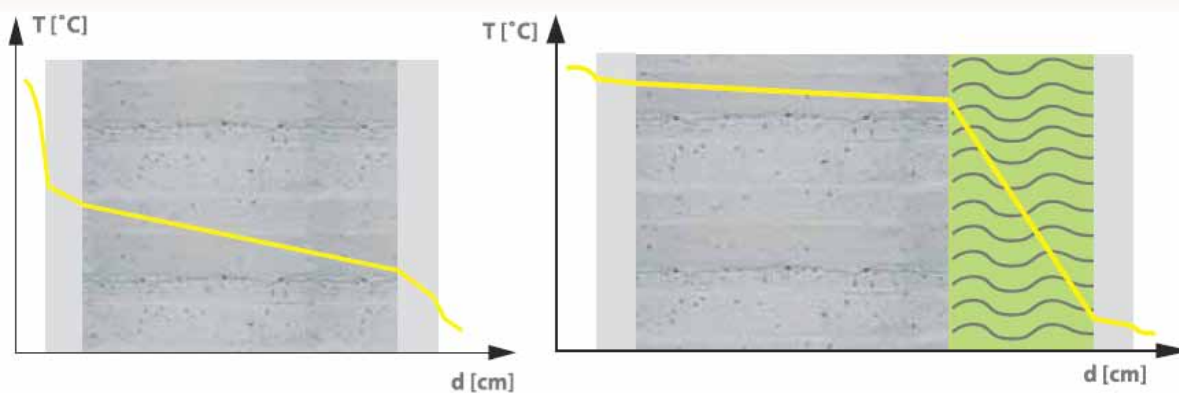
Industrija građevinskih materijala nudi mnogo varijanti cjelovitih sustava ovih dvaju načina toplinske izolacije zidova, pri čemu za oba rješenja debljina toplinsko izolacijskog sloja ne bi trebala biti manja od 10 do 12 cm, čime bi se vrijednost koeficijenta prolaska topline  $U_{zida}$  smanjila na 0,25 do 0,35 W/m<sup>2</sup>K. Za niskoenergetske i pasivne kuće debljine toplinske izolacije trebaju biti i znatno veće, ovisno naravno o klimatskim uvjetima i željenoj razini energetske potrošnje.



Slika 4.72 - Temperaturne krivulje za neizolirani i izolirani zid od opeke

U slučaju neizoliranog zida od šuplje opeke debljine 19 cm,  $U=1,67$  [W/m<sup>2</sup>K],

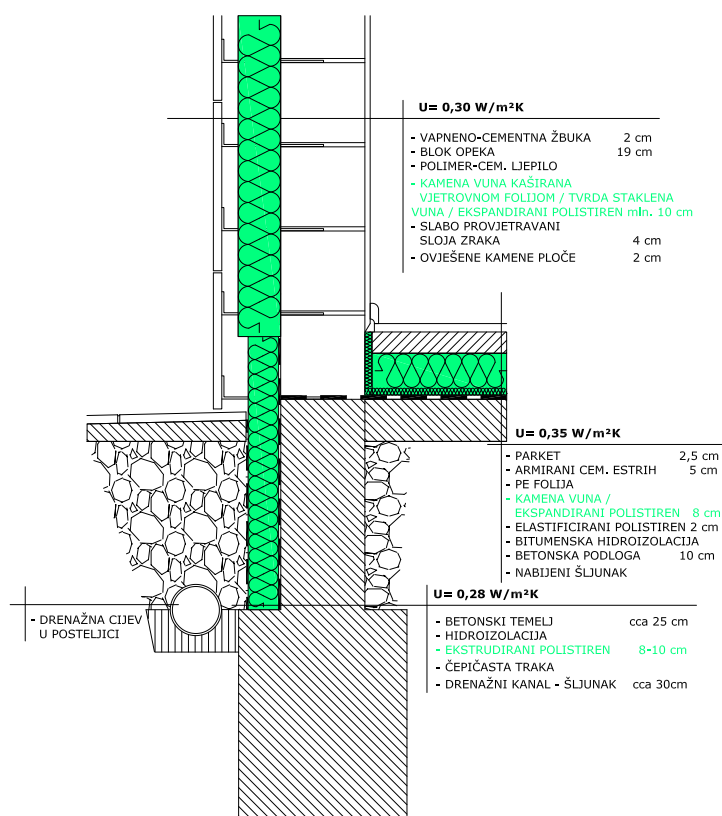
U slučaju izolacije zida od opeke 19 cm sa 10 cm kamene vune,  $U=0,32$  [W/m<sup>2</sup>K].



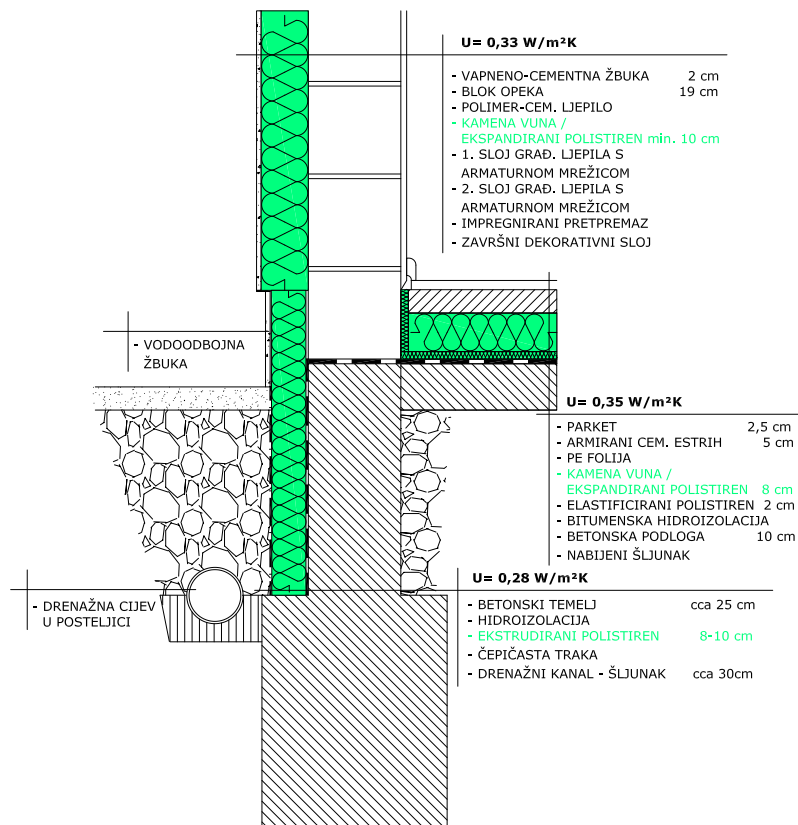
Slika 4.73 - Temperaturne krivulje za neizolirani i izolirani zid od armiranog betona

U slučaju neizoliranog AB zida debljine 20 cm,  $U=3,20$  [W/m<sup>2</sup>K]

U slučaju izolacije AB zida s 10 cm kamene vune,  $U=0,35$  [W/m<sup>2</sup>K]



Slika 4.74 - Pravilna izvedba toplinske izolacije vanjskog zida kod kompaktne fasade



Slika 4.75 - Pravilna izvedba toplinske izolacije vanjskog zida kod ventilirane fasade

## SUVREMENI SUSTAVI STAKLENE VANJSKE OVOJNICE

### Dvostruka fasada

Dvostruka fasada sastoji se od dvije ovojnice koje mogu biti izvedene od različitih materijala, a najčešće su od stakla. Između njih je ventilirana zračna šupljina čija širina može varirati od nekoliko centimetara do jednog metra (u posebnim slučajevima i više), ovisno o planiranim karakteristikama vanjske ovojnice, uvjetima okoliša i cjelokupnoj koncepciji zgrade koja uključuje i energetske sustave. U šupljini su smještene naprave za zaštitu od sunca i zasjenjenje koje se reguliraju ručno, mehanički ili pomoću centralnog sustava za upravljanje.

Dvostruka ventilirana staklena fasada predstavlja integrirani sustav građenja. Za razliku od bilo kojeg drugog fasadnog sustava, kompaktnog ili ventiliranog, dvostruke ventilirane fasade omogućuju dinamičko modeliranje građevinskog i energetskog sustava zgrade sagledavanjem:

- parametara iz prirode - lokacija, orijentacija, godišnje doba, doba dana, vanjska temperatura, vlažnost i tlak zraka, toplinski dobici od Sunčevog zračenja
- željenih parametara u prostoru - unutarnja temperatura, zrakopropusnost, smanjenje toplinskih potreba i potreba za hlađenjem, postizanje odgovarajuće razine zvučne izolacije od vanjske buke i prenošenje buke između katova, zaštita od požara.

Učinkovita građevinska ovojnica nije pasivni dio zgrade već kontrolom graničnih parametara nastoji zaustaviti ili ublažiti njihov nepovoljan utjecaj na ostvarenje povoljnih unutarnjih parametara uz što manju potrošnju energije. Integrirana tehnologija građenja podrazumijeva interakciju građevinskih i energetskih sustava razmjenom energije između okoliša i zgrade:

- Moguće je postići manji koeficijent prolaska topline  $U$  ( $W/m^2K$ ) i niži stupanj propuštanja ukupne energije kroz ostakljenje ( $g_{\perp}$ ). Tada je moguće ostvariti veću transparentnost te u većoj mjeri koristiti dnevnu svjetlost što dovodi do direktnih ušteda u energiji, smanjenjem upotrebe rasvjete i indirektnih ušteda smanjenjem rashladnog opterećenja uzrokovano umjetnom rasvjetom
- U razdoblju bez insolacije dodatna opna poboljšava toplinsku izolaciju, korištenjem topline od sunca smanjuju se potrebe i troškovi toplinske energije
- U razdoblju insolacije zagrijani zrak u šupljini se diže uvis i odnosi toplinu u okoliš (efekt dimnjaka) te se smanjuju toplinski dobici. Time se smanjuju ukupne potrebe i troškovi za rashladnu energiju
- Toplinska komponenta Sunčevog zračenja zaustavljena na napravi za zaštitu od sunca (najčešće venecijaner ili tenda) u zračnoj šupljini predaje se struji zraka, veličina toplinske komponente može biti do  $750 W/m^2$  na vertikalnu površinu
- Temperatura na površini unutarnjeg stakla je bliska temperaturi unutrašnjeg prostora te je ostvarena ugodnost boravka i uz samu fasadu. Time je povećan tlocrtno koristan prostor i smanjene su potrebe za dodatnim grijanjem i hlađenjem uz fasadu
- Smještaj naprave za zaštitu od sunca i zasjenjenje između dvije ovojnice osigurava trajnost i nezavisnost korištenja neovisno od vanjskih uvjeta
- Kontrolom intenziteta Sunčeve svjetlosti moguće je propustiti zadovoljavajuću razinu i tako smanjiti potrebu za rasvjetom
- Mogućnost mehaničke ili prirodne ventilacije unutarnjeg prostora u visokim zgradama
- Mogućnost rekuperacije zagrijanog zraka iz zračne šupljine (kod određenog koncepta dvostruke staklene fasade) za dogrijavanje prostora udaljenih od fasade
- Konceptcija dvostrukih ventiliranih fasada omogućuje primjenu inovativnih sustava grijanja, hlađenja i ventilacije kao niskotemperaturno grijanje i hlađenje
- Mogućnost smanjenja snage instalacijskih uređaja i prostora koji koriste instalacijski kanali
- Ostvarenje bolje razine zvučne izolacije od vanjske buke zbog postojanja tampon zone.

### Tipologije staklenih fasada

**Jednostruka fasada** koju čini izolacijsko staklo s niskoemisivnim premazom. Naprava za zaštitu od sunca je postavljena s vanjske strane (izložena vanjskim uvjetima) ili u prostoru (neučinkovita). Otvori na fasadi mogu se slobodno otvarati.

Koeficijent prolaska topline  $U=2,0 W/m^2K$

Svjetlopropusnost  $\tau_{LT}$  0,5-0,6

Stupanj propuštanja ukupne energije kroz ostakljenje ( $g_{\perp}$ ) kod okomitog upada Sunčevog zračenja 0,3-0,4

Zvučna izolacija  $R_w$  (dB) 32-36

**Prirodno ventilirana dvostruka fasada** koju čini jednostruko staklo s vanjske strane ispred naprave za zaštitu od sunca, prostor između dvije staklene opne koji je prirodno ventiliran prema van i unutarnja staklena stijena koju čini izolacijsko staklo s  $LOW_e$  premazom i šupljinom s plinovitom ispunom.

Koeficijent prolaska topline  $U=1,4 - 1,5 W/m^2K$

Svjetlopropusnost  $\tau_{LT}$  0,6-0,7

Stupanj propuštanja ukupne energije kroz ostakljenje ( $g_{\perp}$ ) kod okomitog upada Sunčevog zračenja 0,2

Zvučna izolacija  $R_w$  (dB) 38-44

Zrak koji pri dnu slobodno ulazi u šupljinu između dvije staklene opne zagrijava se i pri vrhu izlazi van. Tako zrak u kretanju u šupljini ljeti prima na sebe dio topline koji bi prošao u zgradu i vraća je u okoliš. Naprava za zaštitu od sunca kontrolira prolaz topline i osvjtljenja u zgradu, a zaustavljena toplina se odvodi prirodnim strujanjem zraka. Zimi je moguće zatvoriti otvore za zrak i ostvariti dodatnu toplinsko-izolacijsku zonu. Unutarnja staklena stijena je zaštićena od padalina čime je smanjen rizik od prodora vode. Ovakva fasada ima veliku debljinu, od 50 do 80 cm, stoga nije uvijek moguća izvedba s obzirom na veliku neiskorištenu tlocrtnu površinu i veće troškove održavanja i izgradnje.



**Slika 4.76 - Prirodno ventilirana dvostruka fasada**

**Dvostruke ventilirane aktivne fasade** u kojima je zrak u zračnoj šupljini pokretan prisilno pomoću mikroventilatora koji se nalaze u fasadnom panelu ili uključivanjem u GHVK sustav. Takve fasade su panelne, što znači da je pojedini modul usklađen s katnom visinom zgrade i sve energetske procese (kako u prostoru tako i u zračnoj šupljini) moguće je kontrolirati na razini jedne etaže ili jedne zone, ovisno o koncepciji. Ukupna debljina fasade je od 18 do 22 cm, od čega zračna šupljina zauzima od 12 do 15 cm. S obzirom na način ventiliranja i poziciju toplinsko izolacijskog stakla razlikuje se aktivna fasada (ventilirana prema unutra) i interaktivna fasada (ventilirana prema van). U zračnoj šupljini smještena je naprava za zaštitu od sunca i regulaciju osvjetljenja.

**Aktivna fasada u presjeku:**

Vanjska ovojnica je dvostruko izo staklo sa slojem Low<sub>e</sub> i šupljinom s plinovitim punjenjem (npr. 4+16+4, 10+16+5+5 mm)

Zračna šupljina uvlači zrak iz zgrade i pomoću HVAC sustava izvlači ga u vrhu panela prema sustavu za ventilaciju. Širina zračne komore cca. 12 do 15 cm, s napravom (motorizirana ili manualna) za zaštitu od sunca. Unutarnja ovojnica je jednostruko staklo (npr. 4+4+6 mm)

Ukupni koeficijent prolaska topline  $U=1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$

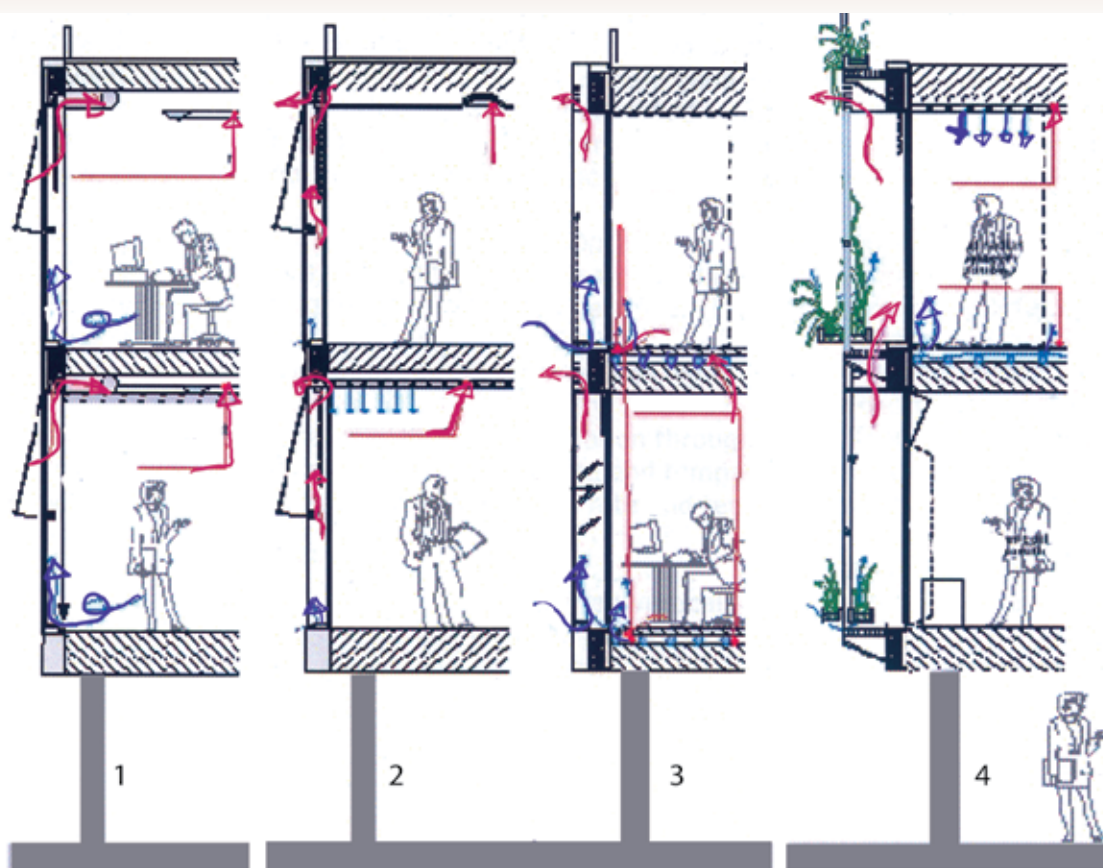
Mogućnost otvaranja unutarnjeg sloja staklene ovojnice

Stupanj propuštanja ukupne energije kroz ostakljenje ( $g_{\perp}$ ) kod okomitog upada Sunčevog zračenja 0,15-0,25

Svjetlopropusnost  $\tau_{\text{tr}}$  0,6-0,7

Zvučna izolacija  $R_w = 38-44 \text{ dB}$

Ova fasada je pogodna za hladne klime zbog povećane temperaturne ugodnosti u zoni uz fasadu i mogućnosti rekuperacije toplinskih dobitaka od Sunca pomoću toplinskih izmjenjivača u razdoblju grijanja.



**Slika 4.77 - Dvostruka ventilirana fasada prema unutra - aktivna fasada (1), dvostruka ventilirana fasada prema van - interaktivna fasada (2), prirodno ventilirana fasada s dodatnim zasjenjenjem (3), te prirodno ventilirana dvostruka bioklimatska fasada (4.4)**

#### **Interaktivna fasada** u presjeku:

Vanjska ovojnica je jednostruko laminirano staklo (npr. 4+4 mm, 8+8 mm)

Zračna komora je ventilirana vanjskim zrakom koji ulazi u komoru pri dnu vanjskog stakla i izbacuje se van na vrhu vanjskog stakla. Zrak pokreću mikroventilatori koji su smješteni u fasadnom panelu, a upravljaju ih senzori u fasadi ili pomoću centralnog upravljačkog sustava zgrade (CNUS). Širina komore cca 15 do 30 cm s tendom ili žaluzinama (motorizirana ili manualna) za zaštitu od sunca.

Unutarnja ovojnica je dvostruko izo staklo sa slojem  $Low_e$  i plinovitim punjenjem (od 4+16+4 do 8 +16+4+4 mm)

Ukupni koeficijent prolaska topline  $U=1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$

Prostor između dvije staklene ovojnice je prirodno ventiliran prema van pomoću mikroventilatora

Stupanj propuštanja ukupne energije kroz ostakljenje ( $g_{\perp}$ ) kod okomitog upada Sunčevog zračenja 0,10-0,20

Svjetlopropusnost  $\tau_{\perp}$  0,6-0,7

Zvučna izolacija  $R_w = 38-44 \text{ dB}$ .

Ova fasada je pogodna za tople klime gdje su veće potrebe za rashladnom energijom. Za hladnog razdoblja s manjim toplinskim dobitcima od sunca ili kroz noć može se smanjiti ventilacija zračne šupljine kako bi se postigla niža vrijednost koeficijenta prolaska topline. Moguće je otvaranje prozora i prirodna ventilacija prostora i u visokim zgradama.

#### **Prirodno ventilirana dvostruka fasada s dodatnim zasjenjenjem**

Količina zraka koji ulazi i izlazi iz zračne šupljine regulirana je u skladu s mjerenom temperaturom u šupljini i unutrašnjem prostoru. Ventilacija zračne šupljine koristi i energiju izmjenjivača topline i ventilokonvektora koji se koriste za grijanje i hlađenje prostora. U ovoj kombinaciji koristi se i podno grijanje. U zračnoj šupljini smješteni su horizontalni venecijaneri, brisoleji ili tende koji su centralno upravljani.



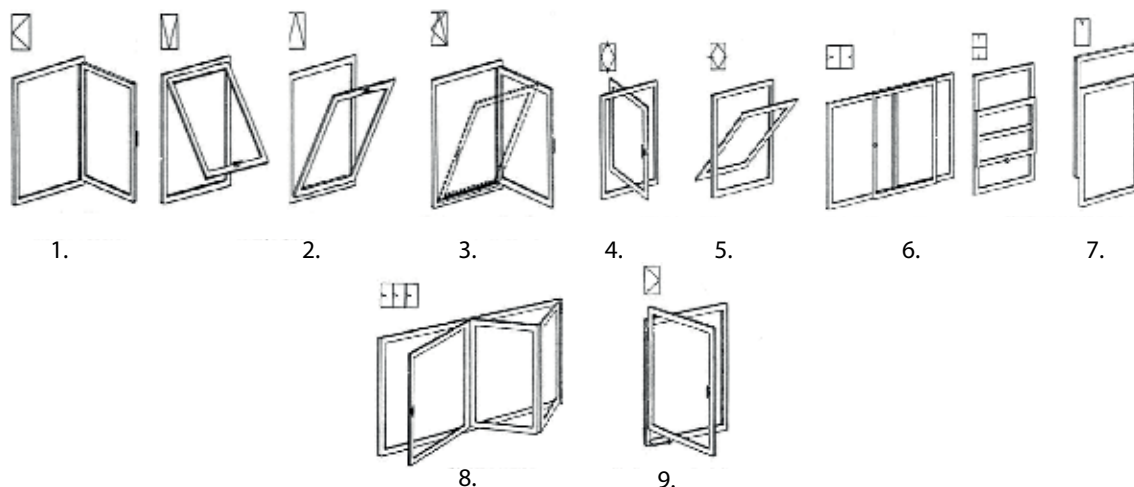
**Bioklimatska fasada** se sastoji od trostrukog izo-stakla i vanjskih plošnih zastora. Na balkonu ispred fasade kao zasjenjenje se koriste biljke. Grijanje i hlađenje je riješeno zračenjem pomoću mikrocijevi u unutarnjim pregradama - zidovi, stropovi, podovi. Ovaj koncept dvostruke fasade primjeren je za zgrade do 15 katova.

### 4.3.5. Tipovi vrata i prozora, te karakteristike i vrste stakla i profila

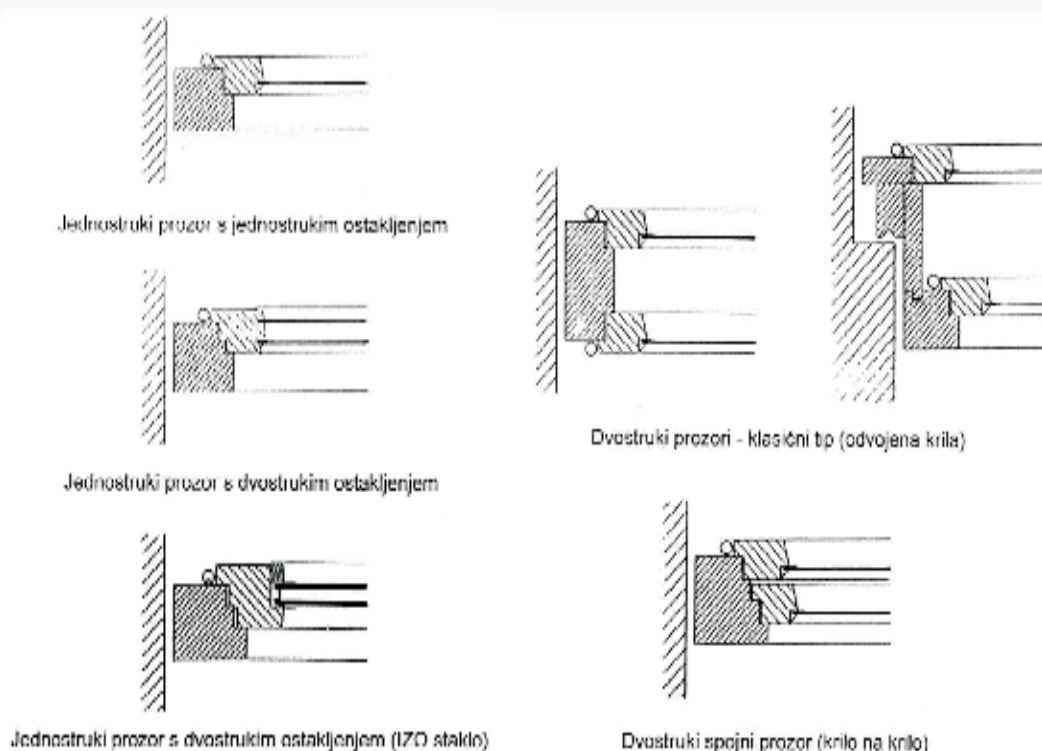
Prozor je najdinamičniji dio vanjske ovojnice zgrade, koji istovremeno djeluje kao prijemnik koji propušta Sunčevu energiju u prostor te kao zaštita od vanjskih utjecaja i toplinskih gubitaka. Gubici kroz prozore dijele se na transmisivne gubitke, na gubitke ventilacijom, tj. provjetravanjem te na gubitke radijacijom (zračenjem). Ako zbrojimo transmisivne toplinske gubitke kroz prozore i gubitke provjetravanjem, ukupni toplinski gubici kroz prozore predstavljaju više od 50% toplinskih gubitaka zgrade. Gubici kroz prozore obično su deset i više puta veći od onih kroz zidove, pa je jasno koliku važnost igra energetska učinkovitost prozora u ukupnim energetskim potrebama zgrada. U skladu s novim Tehničkim propisom, koeficijent prolaska topline za prozore i balkonska vrata može iznositi maksimalno  $U=1,80 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Dok se na starim zgradama koeficijent  $U$  prozora kreće oko  $3,00\text{-}3,50 \text{ W/m}^2\text{K}$  i više (gubici topline kroz takav prozor iznose prosječno  $240\text{-}280 \text{ kWh/m}^2\text{godišnje}$ ), europska zakonska regulativa propisuje sve niže i niže vrijednosti i one se danas najčešće kreću u rasponu od  $1,40\text{-}1,80 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Na suvremenim niskoenergetskim i pasivnim kućama taj se koeficijent kreće između  $0,80\text{-}1,40 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Preporuka za gradnju suvremene energetske učinkovite zgrade je koristiti prozore s koeficijentom  $U < 1,40 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

#### Prozori prema načinu otvaranja

1. zaokretni
2. otklopni
3. zaokretno otklopni
4. obrtni
5. prevrtni
6. horizontalno posmični
7. vertikalno posmični
8. sklopivi
9. podizno zaokretni prozor



Slika 4.78 - Prozori prema načinu otvaranja



Slika 4.79 - Prozori prema sastavu krila

U ukupnim toplinskim gubicima prozora sudjeluju staklo i prozorski profili. Prozorski profili, neovisno o vrsti materijala od kojega se izrađuju, mora osigurati: dobro brtvljenje, prekinuti toplinski most u profilu, jednostavno otvaranje i nizak koeficijent prolaska topline. Stakla se danas izrađuju kao izolacijska stakla, dvoslojna ili troslojna, s različitim plinovitim punjenjem ili premazima koji poboljšavaju toplinske karakteristike. Na niski  $U$ -faktor stakla utječu sljedeći čimbenici:

- **Debljina i broj međuprostora**

$U$ -faktor smanjujemo većim brojem međuprostora i čim većom širinom tih međuprostora. Dakle manji  $U$ -faktor možemo postići upotrebom dvoslojnih ili troslojnih izo stakala. Npr. 4+10+4+10+4, što znači 3 stakla debljine 4 mm na razmacima od 10 mm.

- **Punjenje međuprostora**

Napunimo li međuprostor izo stakla nekim od već spomenutih plinova (argon, krypton i sl.)  $U$ -faktor će se smanjiti. Kod razmaka među staklenim pločama od 8-16 mm, doprinos ispune međuprostora inertnim plinom je 0,1 W/m<sup>2</sup>K za argon do 0,2 W/m<sup>2</sup>K za kripton.

- **Odabir stakla**

Debljina stakla vrlo malo utječe na  $U$ -faktor, ali ga zato upotreba stakla niske emisije (Low-e staklo) značajno smanjuje. Low-e stakla premazana su sa strane koja dolazi u međuprostor izo stakla posebnim metalnim filmom koji propušta zračenja kratke valne duljine (sunčeva svjetlost), a reflektira zračenja dugih valnih duljina (infracrvena zračenja). Niskoemisivni slojevi koji se koriste kod stakla za prozore mogu biti meki, tvrdi, ili niskoemisivne folije. "Meki" niskoemisivni slojevi se nanose na gotovu staklenu ploču u obliku premaza, te nisu dovoljno izdržljivi prema vanjskim utjecajima (struganje, ispiranje), i primjenjuju se isključivo na plohama stakla zaštićenim od vanjskih utjecaja (unutrašnje plohe kod izo stakla). "Tvrdi" niskoemisivni slojevi se izrađuju vezanjem metalnih oksida na površinu rastaljenog stakla u procesu proizvodnje stakla. Iako su manje učinkoviti od mekih slojeva, otporni su na vanjske utjecaje pa se mogu koristiti i na izloženim staklenim površinama. Niskoemisivne folije su tanke poliesterske folije koje se mogu naknadno postaviti na staklo. Trajnost takvih folija je mala, zbog korištenih materijala za proizvodnju, trajnosti samog materijala, osjetljivosti materijala na mehanička oštećenja, kvalitete korištenih ljepljiva i uvjeta u kojima se postavljaju na staklo (vlažnost zraka, čistoća stakla). Veći proizvođači staklenih ploča za prozore danas

deklariraju sve podatke o staklenim pločama kao i o vezanim sustavima od takvih staklenih ploča (izo staklo). Zbog različitih karakteristika ostakljenja različitih proizvođača, nužno je kod izbora voditi računa o fizikalnim svojstvima ostakljenja. Odabir stakla je potrebno prilagoditi i orijentaciji otvora i zahtjevima prostora - različito se tretiraju osunčana i zasjenjena pročelja.

Okviri prozora i vrata osim osnovne funkcije nošenja i učvršćivanja stakla u građevinskim konstrukcijama vanjske ovojnice zgrade, moraju ostvariti mogućnost prirodne ventilacije prostora, čišćenje, mogućnost prolaza - ovisno o položaju i namjeni otvora. U suvremenoj konstrukciji prozora najrašireniji materijali u uporabi su drvo, metali, PVC ili stakloplastika te različite varijante kompozitnih sastava okvira prozora od navedenih materijala. Drvo je jedan od najčešćih materijala u izradi prozora, najrašireniji kroz povijest gradnje zbog izuzetno dobrog odnosa cijene i mehaničkih karakteristika, iako je kao organski materijal podložan starenju i propadanju, te je potrebno posvetiti pažnju obradi i zaštiti od atmosferskih utjecaja, kao i održavanju te zaštite. Za zadržavanje dimenzionalne stabilnosti i povećanje čvrstoće, drveni profili za izradu prozora u pravilu se izrađuju od lameliranih drvenih profila, koje ima bolje mehaničke karakteristike od masivnog drva. Koeficijent prolaska topline okvira prozora je kod drvenih prozora primarno definiran debljinom prozorskog profila (najčešća dimenzija danas je 68 mm) i koeficijentom toplinske provodljivosti materijala -  $\lambda=0,13$  do  $0,18$  W/mK, te se postiže vrijednost  $U_f = 1,1$  do  $1,8$  W/m<sup>2</sup>K. Postoje i primjeri profila od lameliranih drva kod kojih je u postupku izrade profila ostavljena mreža šupljina ispunjenih zrakom i dodatno smanjen  $U_f$  na vrijednost  $0,9$  W/m<sup>2</sup>K

Prozori od plastičnih masa su u početnim fazama primjene bili izrađivani od različitih sastava plastičnih masa, kao i stakloplastičnih kompozita, da bi se ustalilo korištenje polivinil klorida (PVC) koji je u općoj upotrebi najčešće korišten termoplastični polimer nakon polietilena (PE) i polipropilena (PP). Unatoč brojnim primjedbama zbog ekološke neprihvatljivosti materijala, vrlo niska cijena proizvodnje čini PVC materijalom koji trenutno nema kvalitetnu zamjenu. Razvoj PVC prozora i njihovo širenje na tržištu naglo počinje 70-ih godina 20. stoljeća, i u tom razdoblju je postignuta vrijednost koeficijenta prolaska topline okvira između  $1,6$  i  $1,2$  W/m<sup>2</sup>K.

Metalni okviri prozora (ako zanemarimo rane izvedbe prozora ostakljenih staklenim pločama međusobno povezanih lijevanim olovom), izrađuju se od čeličnih ili aluminijskih profila, u pravilu s prekinutim toplinskim mostom, osim kod specifičnih konstrukcija u interijerima. Koeficijent prolaska topline tih okvira je zbog velike toplinske vodljivosti metala visok i kreće se u rasponu od  $1,5$  do  $3,2$  W/m<sup>2</sup>K. Kod najboljih aluminijskih profila s prekinutim toplinskim mostom dobivamo vrijednosti bliske PVC profilima. Formalno, takvi prozori jesu aluminijski s prekinutim toplinskim mostom, iako po konstrukcijskim detaljima predstavljaju svojevrsan oblik kompozitne konstrukcije. Metalni prozori pokazuju značajnu karakteristiku vrlo visoke mehaničke čvrstoće, koju se postiže relativno malim presjecima konstrukcije okvira, kao i veliku trajnost zbog karakteristika materijala.

Najveći potencijal u razvoju pokazuju kompozitne konstrukcije, kod kojih se razne vrste materijala koriste na optimalan način - metali i drvo za postizanje mehaničke čvrstoće, razne vrste toplinsko izolacijskih materijala za povećanje otpora prolasku topline, te razne vrste završnih obloga kojima se povećava trajnost konstrukcija prozora. Kompozitne konstrukcije okvira prozora postižu vrijednosti  $U_f$  oko  $0,7$  W/m<sup>2</sup>K, te u kombinaciji s višestrukim niskoemisivnim ostakljenjem postizemo prozore s koeficijentom prolaska topline nižim od  $0,8$  W/m<sup>2</sup>K.

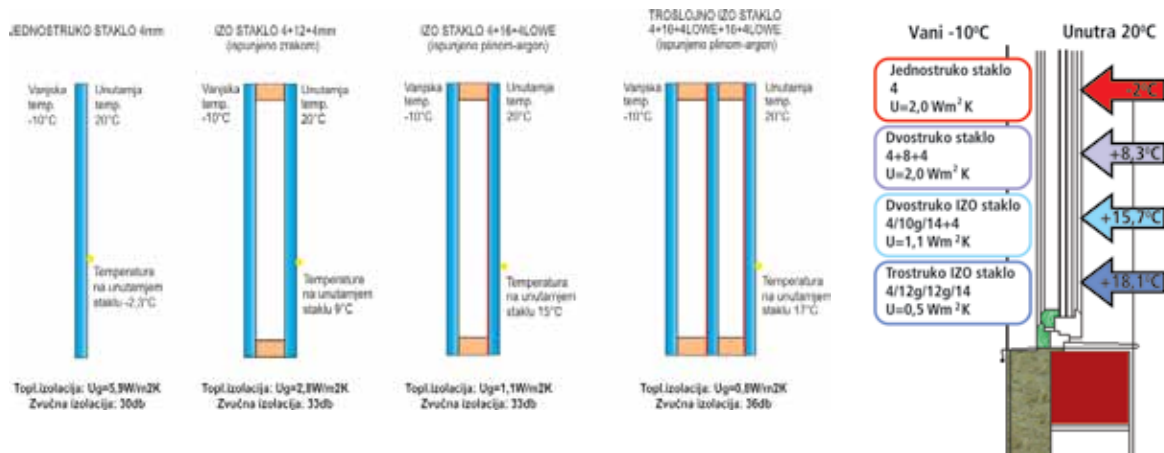
Neki od primjera takvih kompozitnih konstrukcija su PVC - aluminijski prozor (osnovni okvir prozora od PVC-a s dodatnom oblogom od aluminijskog, koja povećava trajnost prozora i mijenja vizualni karakter prozora; drvo - aluminijski prozor s vanjskom oblogom aluminijskim profilom i dodatnom PU toplinskom izolacijom; aluminij - drvo - u osnovi aluminijski prozor s unutarnjom drvenom oblogom, koja ne utječe značajno na koeficijent prolaska topline prozora, ali povećava osjećaj udobnosti i donekle smanjuje kontaktnu temperaturu unutarnje plohe prozora. Kod kompozitnih sastava važna je svaka komponenta, te njihovo povezivanje i djelovanje unutar kompleksnog sastava, pa je važno i da sam prozor prođe kontrolu kvalitete i certifikaciju za upotrebu kao kompletan građevinski proizvod.

Potrebno je osigurati brtvljenje stakla i samog prozorskog okvira te prozorskog okvira i doprozornika. Povezivanje prozora i zida mora biti izvedeno zrakonepropusno, uz nužnu brigu posvećenu difuziji vodene pare kroz rešku, čime se osigurava od prodora zraka i vlage u rešku.

**Tablica 4.14 - Računske vrijednosti stupnja propuštanja ukupne energije ostakljenja  $g_{\perp}(-)$  kod okomitog upada sunčeva zračenja, Izvor: Tehnički propis o uštedi toplinske energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, (NN 79/05)**

TIP OSTAKLJENJA	$g_{\perp}(-)$
Jednostruko staklo (bezbojno, ravno float staklo)	0,87
Dvostruko izolirajuće staklo (s jednim međuslojem zraka)	0,80
Trostruko izolirajuće staklo (s dva međusloja zraka)	0,70
Dvostruko izolirajuće staklo s jednim staklom niske emisije ( $Low_E$ obloga)	0,60
Trostruko izolirajuće staklo s dva stakla niske emisije (dvije $Low_E$ obloge)	0,50
Dvostruko izolirajuće staklo sa staklom za zaštitu od Sunčeva zračenja	0,50
Staklena opeka	0,60

U praksi se koriste i suvremenija stakla znatno niže vrijednosti  $g_{\perp}$  koja omogućavaju zadovoljavajuću zaštitu od prekomjernog Sunčevog zračenja zgrada, naročito kod zgrada s pretežitom ostakljenom vanjskom ovojnicom, te kod zgrada u primorskim klimatskim uvjetima.



**Slika 4.80 - Temperature na unutarnjoj površini stakla u ovisnosti o vrsti ostakljenja**



**Slika 4.81 - Toplinski kvalitetni profili od PVC-a, drva i aluminija**



**Slika 4.82 - Dodatno poboljšanje toplinskih karakteristika prozora može se postići s toplinskom izolacijom u profilu i/ili ugrađenim trostrukim izo staklom**

Poboljšanje toplinskih karakteristika prozora i drugih staklenih površina moguće je postići na sljedeće načine:

- zabrtviti prozore i vanjska vrata
- provjeriti i popraviti okove na prozorima i vratima
- izolirati niše za radijatore i kutije za rolete
- reducirati gubitke topline kroz prozore ugradnjom roleta, postavom zavjesa i sl.
- zamijeniti prozore i vanjska vrata toplinski kvalitetnijim prozorima (preporuka  $U < 1,40 \text{ W/m}^2\text{K}$ ).



Slika 4.83 - Dobro izolirajuće kutije za rolete

Tablica 4.15 - Koeficijenti prolaska topline za pojedine vrste stakla, okvira i ukupno prozora

PROZORI	OKVIR		OSTAKLJENJE			
	$d$ [cm]	$U$ [W/m <sup>2</sup> K]	do 1970.g.	do 1987.g.	do 2006.g.	od 2006.g.
<b>Materijal</b>			2 x 1-struko ostakljenje (4 mm) 2 doprozornika d=30 cm bez brtvljenja	3-struko obično ostakljenje bez brtvljenja (4/6-8/4/6-8/4 mm)	2-struko izolacijsko staklo (4/10-16/4 mm) i 2-strukim brtvljenjem	2-struko izolacijsko staklo (4/16/4 mm) s plinovitim punjenjem, low <sub>e</sub> premazom i 3-strukim brtvljenjem
			-struko ostakljenje (4 mm) bez brtvljenja	2-struko obično ostakljenje (4/6-8/4 mm) bez brtvljenja		3-struko izolacijsko staklo (4/16/4/16/4 mm) s plinovitim punjenjem, low <sub>e</sub> premazom i 3-strukim brtvljenjem
Drveni okvir	5 7	<b>2,9</b> <b>2,4</b>	5,7 3,6	3,4 2,9	2,4 - 2,1 -	1,1 -
Drvo aluminijski poliuretanom 4 cm	11	<b>0,5</b>	-	-	-	1,3
Metalni okvir bez prekinutog toplinskog mosta	5	<b>5,9</b>	3,1	4,0	-	-
Metalni okvir s prekinutim toplinskim mostom	5	<b>3,4</b>	2,7	3,2	2,5	1,7
Pvc okvir	5-8 10	<b>2,2-2,0</b> <b>1,4</b>	- -	3,2 -	2,2 - 2,0 -	- 1,4

napomena: vrijednosti u crvenim poljima ne zadovoljavaju propise

Tablica 4.16 - Vrste i tehničke karakteristike ostakljenja

VRSTE I TEHNIČKE KARAKTERISTIKE OSTAKLJENJA				
OSTAKLJENJE	TEHNIČKI OPIS	DEBLJINE STAKLA PO SLOJEVIMA [mm]	PRIBLIŽNA POVRŠINSKA TEMPERATURA <sup>4</sup> [°C]	KOEF. PROLASKA TOPLINE $U$ [W/m <sup>2</sup> K]
<b>JEDNOSTRUKO OSTAKLJENJE</b>	jednostruko staklo	6	- 2,00	5,80
<b>DVOSTRUKO IZO STAKLO</b>	dvostruko izo staklo	4/12/4	8,00	3,00
<b>DVOSTRUKO TOPLINSKO IZOLACIJSKO STAKLO LE <math>\epsilon = 0,16</math></b>	dvostruko izo staklo s metalnom folijom	4/14/4	12,0	1,60
<b>DVOSTRUKO TOPLINSKO IZOLACIJSKO STAKLO Ar, LE <math>\epsilon = 0,1</math></b>	dvostruko izo staklo s ispunom od argona i metalnom folijom	4/16/4	14,00	1,20-1,50
<b>TROSTRUKO TOPLINSKO IZOLACIJSKO STAKLO Kr, LE <math>\epsilon = 0,1 - 0,05</math></b>	trostruko izo staklo s ispunom od kriptonu i dvije met. folije	4/8/4/8/4 4/10/4/10/4	17,00 18,00	0,70-0,80 0,50-0,60
<b>DVOSTRUKO TOPLINSKO I ZVUČNO IZOLACIJSKO STAKLO SF<sub>6</sub>, Ar, LE <math>\epsilon = 0,1</math></b>	dvostruko izo staklo s ispunom plinovima za povećanje topl. i zv. izolacije i s met. folijom	6/16/4	14,00 13,00	1,30-1,50 1,50-2,00
<b>DVOSTRUKO TOPLINSKO I ZVUČNO IZOLACIJSKO STAKLO SF<sub>6</sub>, Ar, LE <math>\epsilon = 0,1</math></b>	dvostruko izo staklo s laminiranim staklom izvana i ispunom plinovima za povećanje toplinske i zvučne izolacije te s met. folijom	LAM 9/16/6	13,00	1,60-1,80
<b>DVOSTRUKO TOPLINSKO I ZVUČNO IZOLACIJSKO STAKLO SF<sub>6</sub>, LE <math>\epsilon = 0,1</math></b>	dvostruko izo staklo s lam. staklom izvana i iznutra i ispunom plinovima za pov. zvučne izolacije te s met. folijom	LAM12/20/LAM10	11,00	2,00-2,20
<b>DVOSTRUKO STAKLO SA ZAŠTITOM OD SUNCA Ar, LE <math>\epsilon = 0,1</math></b>	dvostruko izo staklo s ispunom od argona i metalnom folijom	6/12/6	14,00	1,50-1,60

4 Kod vanjske temperature -10 °C



### 4.3.6. Sustavi zaštite od Sunčevog zračenja i njihova učinkovitost

U ukupnoj energetskoj bilanci kuće važnu ulogu igraju i toplinski dobici od Sunca. U suvremenoj arhitekturi puno pažnje posvećuje se prihvatu Sunca i zaštiti od pretjeranog osunčanja, jer se i pasivni dobici topline moraju regulirati i optimizirati u zadovoljavajuću cjelinu. Sustavi za zaštitu od sunca usklađeni s vanjskim uvjetima okoline osiguravaju dobre uvjete rada i boravka u zgradi. Ako se kontrolira njihova primjena (mobilnost, automatizacija) omogućuju prilagodljiv ulaz sunca u zgradu. Stoga je moguće potrošnju energije za hlađenje ljeti i grijanje zimi značajno smanjiti i koristiti ili izbjegavati dobitke od Sunca.

Za djelotvornu zaštitu od preintenzivnog osvjetljenja primjenjuju se sljedeća rješenja:

- arhitektonska geometrija: zelenilo, trijemovi, strehe, nadstrešnice, balkoni
- elementi vanjske zaštite od sunca: razni pokretni i nepokretni brisoleji, vanjske žaluzine
- rolete, tende, inteligentna pročelja, suvremena ostakljenja i dr.
- elementi unutarnje zaštite od sunca: rolete, žaluzine, roloi, zavjese i dr.
- elementi unutar stakla za zaštitu od sunca i usmjeravanje svjetla - holografski elementi, reflektirajuća stakla i folije, staklo koje usmjerava svjetlo, staklene prizme i dr.
- višefunkcionalni konstruktivni elementi zgrada.

Elementi zaštite od sunca mogu se postavljati:

- na fasadi
- u unutrašnjem prostoru.

Elementi mogu biti fiksirani ili pokretni, klizni, rolo i uz to automatizirani. Mogu biti postavljeni kao pojedinačni vertikalni ili horizontalni elementi ili kao plohe, u oba slučaja izvana ili unutra. Elementi trebaju biti lagani, a postavljaju se na potkonstrukciju koja je odmaknuta od nosive konstrukcije zgrade.

Materijali od kojih se izrađuju elementi zaštite od sunca su :



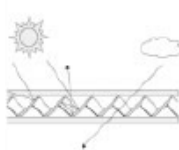


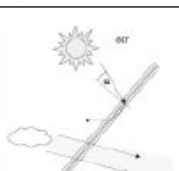
- aluminij (ekstrudiran, anodiziran, pjeskaren)
- drvo (otporno na vanjske uvjete)
- tkanine (fiberglas, impregnirane ili prirodni materijal).


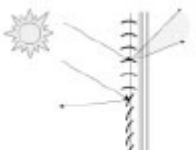
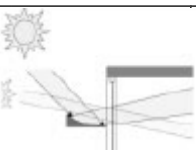



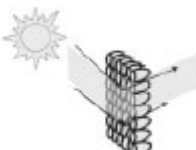
Korisni elementi zaštite od sunca su nadstrešnice ili trijemovi određene dubine na južnom pročelju koje sprječavaju upad Sunčevog zračenja ljeti, a propuštaju ga zimi. U pravilu se na južnoj strani postavljaju horizontalni elementi jer ljetno južno sunce upada pod visokim kutom pa ga horizontalna ploha može odbiti. Zimsko sunce upada pod blagim kutom i prolazi kroz horizontalne elemente u prostor. Na zapadnoj i istočnoj strani se postavljaju vertikalni elementi koji mogu raspršiti zrake budući da zapadno Sunčevo zračenje uvijek upada pod blagim kutom.




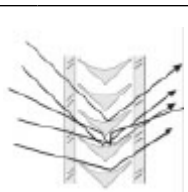

Dodatno, moguće je upotrebom mobilnih i automatiziranih elemenata optimizirati korištenje dobitaka od Sunčevog zračenja za pojedine prostore prema trenutnoj potrebi.

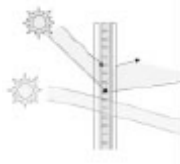
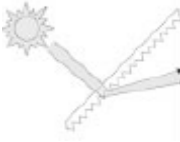

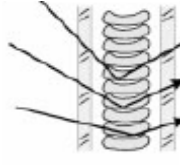
Ipak, zaštiti od sunca najviše doprinosi pravilna orijentacija zgrade, odnosno grupiranje prostorija po namjeni prema uvjetima pojedine orijentacije.





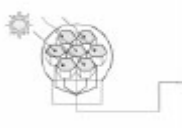
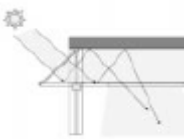
Tablica 4.17 - Pregled sustava za zasjenjivanje [4.26]

SUSTAVI ZASJENJIVANJA												
KAT.	TIP	SKICA	KLIMA	LOKAC.	KRITERIJI ZA IZBOR							
					zaštita od blještavila	pogled izvana	dovođenjesvjetla u dubinu sobe	homogeno osvjetljenje	potencijal uštede	potrebno pomicati	raspoloživost	
1A PRIMARNO KORIŠTENJE DIFUZNOG DNEVNOG SVJETLA	PRIZMA PANELI		sve klime	vert. prozori i nadsvjetla	ovisi	ne	ovisi	ovisi	ovisi	ovisi	da	
	ŽALUZINE		umjerena klima	vert. prozori	da	ovisi	da	da	da	da	da	
	OGLEDALA ZA ZAŠTITU OD SUNCA		umjerena klima	nadsvjetla, ostakljeni krovovi	ovisi	ne	ne	da	ne	ne	da	
	KANALNI ZENITALNI OTVORI		umjerena klima	nadsvjetla	da	ne	ne	da	da	ne	test faza	
	HOLOGRAFSKI OPTIČKI ELEMENTI		sve klime	vert. prozori, nadsvjetla, ostakljeni krovovi	ovisi	da	ne	ovisi	da	da	test faza	
	TRANSPARENTNI SUSTAV HOLOGRAFSKI ELEMENTI SA TOTALNOM REFLEKSIJOM		umjerena klima	vert. prozori, nadsvjetla, ostakljeni krovovi	ovisi	da	ne	da	da	da	da	

SUSTAVI ZASJENJIVANJA											
KAT.	TIP	SKICA	KLIMA	LOKAC.	KRITERIJI ZA IZBOR						
					zaštita od blještavila	pogled izvana	dovođenjesvjetla u dubinu sobe	homogeno osvjetljenje	potencijal uštede	potrebno pomicati	raspoloživost
1 B PRIMARNO KORIŠTENJE DIREKTNOG SUNČEVOG ZRAČENJA	SJENILA KOJA USMJERAVAJU SVJETLO		vruća klima s puno sunca	vert. prozori iznad nivoa pogleda	da	da	ovisi	ovisi	ovisi	ne	test faza
	ŽALUZINE		sve klime	vert. prozori	da	ovisi	da	da	da	da	da
	SREDSTVA ZA PREUSMJERAVANJE SUNČEVOG ZRAČENJA		sve klime	vert. prozori	ovisi	da	da	da	da	ne	da
	STAKLO SA REFLEKTIRAJUĆIM ELEMENT. - OKASOLAR		umjerena klima	vert. prozori, nadsvjetla	ovisi	ovisi	ovisi	ovisi	ovisi	ne	da
	NAD - SVJETLA S ELEMENTIMA ZA LOM SVJETLA		vruća klima s puno sunca	nadsvjetla	ovisi	ovisi	da	da	da	ne	test faza
	POKRETNE LAMELE		umjerena klima	vert. prozori, nadsvjetla	da	ovisi	ovisi	ovisi	ovisi	da	da
	ANIDOLIČKE SOLARNE BLENDE		sve klime	vert. prozori	da	ovisi	da	da	ovisi	ne	test faza

SUSTAVI ZASJENJIVANJA												
KAT.	TIP	SKICA	KLIMA	LOKAC.	KRITERIJI ZA IZBOR							
					zaštita od blještavila	pogled izvana	dovođenjesvjetla u dubinu sobe	homogeno osvjetljenje	potencijal uštede	potrebno pomicati	raspoloživost	
2A SUSTAVI ZA USMJERAVANJE DIFUZNOG SVJETLA	SVJETLEĆE POLICE		umjerena klima, s dosta naoblake	vert. prozori	ovisi	da	ovisi	ovisi	ovisi	ne	da	
	ANIDOLIČKI INTEGRIRANI SUSTAVI		umjerena klima	vert. prozori	ne	da	da	da	da	ne	da	
	ANIDOLIČKI STROPOVI		umjerena klima s dosta naoblake	vert. fasada iznad pogleda	da	da	da	da	da	ne	test faza	
	TROKUT. SUSTAVI U STAKLU		umjerena klima	vert. prozori	da	ovisi	da	da	da	ne	da	
	ZENITALNI SUSTAVI ZA VOĐENJE SVJETLA SA HOLOGRAFSKIM ELEM.		umjerena klima s dosta naoblake	vert. prozori posebno u unutarnjim dvorištima, nadsvjetla	ovisi	da	da	da	da	ne	test faza	

SUSTAVI ZASJENJIVANJA												
KAT.	TIP	SKICA	KLIMA	LOKAC.	KRITERIJI ZA IZBOR							
					zaštita od blještavila	pogled izvana	dovođenjesvjetla u dubinu sobe	homogeno osvjetljenje	potencijal uštede	potrebno pomicati	raspoloživost	
2 B SUSTAVI ZA USMJERAVANJE DIREKTOG SVJETLA	PANELI ZA LOM SVJETLA		sve klime	vert. prozori, nadsvjetla	ne	da	da	da	da	ne	test faza	
	PRIZMA PANELI		sve klime	vert. prozori, nadsvjetla	ovisi	ovisi	ovisi	ovisi	ovisi	da ili ne	da	
	HOLOGRAFSKI SISTEMI NA NADSVJETLIMA		sve klime	nadsvjetla	ovisi	da	da	da	da	ne	da	
	IZO-STAKLO KOJE USMJERAVA SVJETLO		sve klime	vert. prozori, nadsvjetla	ovisi	ne	da	da	da	ne	da	

SUSTAVI ZASJENJIVANJA											
KAT.	TIP	SKICA	KLIMA	LOKAC.	KRITERIJI ZA IZBOR						
					zaštita od blještavila	pogled izvana	dovođenjesvjetla u dubinu sobe	homogeno osvjetljenje	potencijal uštede	potrebno pomicati	raspoloživost
2 C	SISTEM ZA RASIP. SVJETLA		sve klime	vert. prozori, nadsvjetla	ne	ne	da	da	ovisi	ne	da
2 D	TRANSPORT SVJETLA										
	HELIOSTAT. SISTEMI		sve klime, puno sunca				da		da	da	da
	SVJETL. CIJEVI		sve klime, puno sunca					da	da	da	ne da
	SOLARNE TUBE		sve klime, puno sunca					da	ovisi	da	ne da
	VLAKNA		sve klime, puno sunca	krov				da		da	da da
STROP KOJI USMJERAVA SVJETLO		sve klime, puno sunca						da	da	da	ne test faza

Način postavljanja zaštite od sunca i odnos prema konstrukcijama otvora i pročelja mora biti takav da omogući kvalitetno zasjenjenje, sa što manjim ograničavanjem pogleda kroz otvore. Potrebno je spriječiti stvaranje džepova toplog zraka ispod ili iza konstrukcija za zaštitu od osunčanja, jer lokalnim povećanjem temperature iza takvih konstrukcija se transmisijskim i ventilacijskim dobicima nadoknađuju smanjeni radijacijski dobitci zbog zasjenjenja. Povećanje temperature kod određenih oblika konstrukcija za zaštitu od insolacije može se koristiti za dodatno povećanje brzine strujanja zraka i povećano prozračivanje zgrada.



**Slika 4.84 - Tekstilna obloga pročelja stvara zonu s povećanim strujanjem zraka ispred pročelja**

Normom HRN EN ISO 13790 dana je metoda proračuna toplinskih dobitaka od Sunca, kao i smanjenje solarnih dobitaka zbog stalnih ili pokretnih zaštita od sunca. U skladu s mjesečnom metodom proračuna toplinskih gubitaka, i solarni dobitci računaju se mjesečnom metodom. Kod primjene pomičnih zaštita od sunca, pretpostavlja se da ograničavaju osunčanje veće od  $300 \text{ W/m}^2$ . Koeficijent  $f_{sh,with}$  u izrazu za određivanje faktora zasjenjenja  $F_{sh,gl}$  je potrebno odrediti na nacionalnoj razini, u ovisnosti o klimatskim uvjetima, i vrijednosti iz priloga G norme HRN EN ISO 13790:2008 su samo približne. Proračun utjecaja zaštite od sunca uzima u obzir samo direktno zračenje - pretpostavlja se da reflektirano i indirektno zračenje nesmetano dopiru do prozora.

Također, moguće je proračunati i solarne dobitke neprozirnih konstrukcija. Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama ne traži proračun solarnih dobitaka kroz neprozirne konstrukcije, jer se djelomično kompenzira radijacijskim gubicima kroz neprozirne elemente, te ima značajnijeg utjecaja samo na slabo izoliranim tamnim konstrukcijama, kakve su izbjegnute samim ograničenjem koeficijenta prolaska topline za konstrukcije vanjske ovojnice.



**Slika 4.85 - Vanjska zaštita od sunca kao element arhitekture**

### 4.3.7. Zrakopropusnost zgrada

Zrakopropusnost zgrada predstavlja značajan udio u toplinskim gubicima zgrada, osobito kod zgrada koje su izvedene s višim stupnjem toplinske izolacije u odnosu na standardne zahtjeve energetske karakteristika definirane Tehničkim propisom o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama. U Hrvatskoj, kao i u većini europskih zemalja, ispitivanje zrakopropusnosti na razini čitave zgrade nije obvezno. Tehničkim propisom o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama određeno je da je minimalna količina svježeg zraka jednaka 0,5 izmjena zraka na sat (kod razlike tlakova unutarnjeg i vanjskog zraka od 50 Pa), što se odnosi i na planirano prozračivanje prostora ( otvorima na pročelju koji se mogu otvarati ili mehaničkom ventilacijom) i na infiltraciju kroz reške i sljubnice u konstrukciji i između građevinskih dijelova. Maksimalni broj izmjena zraka je ograničen na 1,5 h<sup>-1</sup> kod zgrada s mehaničkim uređajem za provjetranje, odnosno 3 h<sup>-1</sup> kod zgrada bez mehaničkog uređaja za provjetranje. Dodatno, za zgrade koje se ventiliraju mehaničkim uređajem za ventilaciju, s brojem izmjena zraka većim od 0,7 h<sup>-1</sup> i protokom većim od 2500 m<sup>3</sup>/h obavezan je povrat topline iz odlaznog zraka.

Normom HRN EN 13829:2002 Toplinske značajke zgrada -- Određivanje propusnosti zraka kod zgrada (tzv. Blower Door Test)-Metoda razlike tlakova određen je način ispitivanja zrakopropusnosti čitave ovojnice zgrade ili samo dijelova zgrade, što se odnosi i na kanale. Metodom ispitivanja prema razlici tlakova moguće je:

- odrediti zrakopropusnost zgrade ili dijela zgrade
- usporediti relativnu zrakopropusnost sličnih zgrada ili dijelova zgrada
- pronaći mjesta propuštanja zraka
- odrediti smanjenje zrakopropusnosti individualnim provedenim mjerama na postojećim zgradama i građevnim dijelovima.

Ovom metodom nije moguće izmjeriti infiltraciju zraka, ali metoda daje podatke koji se mogu koristiti za proračun infiltracije kroz građevinske dijelove zgrade. Za primjenu metode ispitivanja definirane ovim standardom idealni su vremenski uvjeti s malim temperaturnim razlikama i malom brzinom vjetra. Iako se idealni uvjeti teško postižu na terenu, potrebno je izbjegavati ekstremne brzine vjetra i razlike u temperaturama.

Norma je namijenjena ispitivanju zgrada s jednom zonom, iako je moguće ispitivanje i velikog broja zgrada s više zona uz uvjet potpunog otvaranja vrata među zonama, ili jednakog tlaka u susjednim zonama. Norma opisuje način izražavanja zrakopropusnosti zgrada sveden na razliku tlakova n=50 Pa i kod drugih razlika tlakova prilikom mjerenja. Metoda je korisna za provođenje energetske pregleda jer na brz i jednostavan način ustanovljuje stanje ovojnice u smislu zrakopropusnosti, a preporuča se provesti na svim novim zgradama prema HRN EN 13829:2002 .



Slika 4.86 - Oprema za ispitivanje zrakopropusnosti





Slika 4.87 - Tipične greške izvedbe - zrakopropusnost reške oko prozora (lijevo) i strujanje zraka kroz šupljine u PU pjeni (desno) s brzinom strujanja zraka kroz reške



Slika 4.88 - Neobrađeni prodori uz instalacije



Slika 4.89 - Instalacijski zid nije zrakonepropustan - prodor zraka kroz tipkalo ugradnog vodokotlića



Slika 4.90 - Neobrađen i obrađen detalj prodora instalacije kroz krovšte



Slika 4.91 - Prolaz zaštitne cijevi elektroinstalacija kroz zrakonepropustan sloj (lijevo) i fazonski rukavci za brtvljenje elektroinstalacija (desno)

#### 4.3.8. Zrakopropusnost prozora i vrata

Razredba prozora prema HRN EN 12207:1999.; minimalna zrakopropusnost prozora prema dosadašnjoj regulativi; norma i izvedbene značajke prema HRN EN 14351-1:2006. Kako bi se osigurala razina zrakotijesnosti zgrada u skladu s Tehničkim propisom o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, određena je razredba prozora prema normi HRN EN 12207:2001 Prozori i vrata - Propusnost zraka - Razredba, kojom se određuju razredi prozora u odnosu na postignute rezultate ispitivanja prozora koja se provode prema normi HRN EN 1026:2001 Prozori i vrata - Propusnost zraka - Metoda ispitivanja.

Razredba prozora se vrši po kriteriju zrakopropusnosti prema ukupnoj površini ispitivanog prozora te zrakopropusnosti prema ukupnoj duljini reške na spoju krila i doprozornika. Kod razredbe prema ukupnoj površini ispitivanog prozora određena su 4 razreda prozora, od 1 do 4, te se njihova zrakopropusnost mjeri u protoku zraka u  $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ . Pri tome je 4. razred, razred najmanje zrakopropusnosti od  $3 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$  pri razlici tlakova 100 Pa.

Tablica 4.18 - Razredba prozora prema zrakopropusnosti po ukupnoj površini

Razred	Referentna zrakopropusnost pri razlici tlakova 100 Pa $m^3/h/m^2$	Maksimalni tlak ispitivanja Pa
0	ne ispituje se	
1	50	150
2	27	300
3	9	600
4	3	600

Razredba prozora prema zrakopropusnosti rešaka se također vrši u 4 razreda.

Tablica 4.19 - Razredba prozora prema zrakopropusnosti po duljini rešaka

Razred	Referentna zrakopropusnost pri razlici tlakova 100 Pa $m^3/h/m$	Maksimalni tlak ispitivanja Pa
0	ne ispituje se	
1	12,50	150
2	6,75	300
3	2,25	600
4	0,75	600

Konačno utvrđivanje razreda prozora vrši se na temelju rezultata ispitivanja zrakopropusnosti prozora prema površini i prema duljini reški, pri čemu se razred prozora određuje na način:

- ako se prema oba načina ispitivanja prozor nalazi u istom razredu, dodjeljuje mu se taj razred
- ako su rezultati ispitivanja u dva susjedna razreda, dodjeljuje se povoljniji razred
- ako je razlika ispitivanja dva razreda, dodjeljuje se srednja vrijednost
- ako je razlika ispitivanja tri razreda ili veća, prozor se ne klasificira.

Izvešće o ispitivanju prozora mora uz dodijeljeni razred sadržavati i ukupnu površinu ispitivanog prozora i ukupnu duljinu reški. Prema Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, tražena razina zrakopropusnosti prozora, balkonskih vrata i prozora je određena za zgrade do dva kata i s više od dva kata.

Tablica 4.20 - Tražena razina zrakopropusnosti prozora u odnosu na visinu zgrade

	broj katova zgrade	razred zrakopropusnosti prema HRN EN 12207-1:2002
1.	zgrada do 2 kata	2
2.	zgrada s više od 2 kata	3

Izvedbene značajke prozora i njihovo opisivanje dane su normom 14351-1:2006 Prozori i vrata - Norma za proizvod, izvedbene značajke - 1. dio: Prozori i vanjska pješačka vrata bez otpornosti na požar i/ili propuštanje dima, kojom se definira niz karakteristika prozora i vrata:

- otpornost na opterećenje vjetrom
- otpornost na snijeg i stalna opterećenja
- otpornost na požar
- vodonepropusnost
- opasne tvari
- otpornost na udarce
- nosivost sigurnosnih uređaja
- visina i širina
- otvaranje u nuždi
- akustička svojstva
- propuštanje topline
- propuštanje zračenja
- zrakopropusnost
- trajnost
- sile za rukovanje
- mehanička otpornost
- ventilacija
- otpornost na prodor metaka
- otpornost na eksplozije
- otpornost kod ponavljano otvaranja i zatvaranja
- ponašanje u različitim klimatskim uvjetima
- otpornost na provalu
- posebni zahtjevi.

## 4.4. Toplinski mostovi

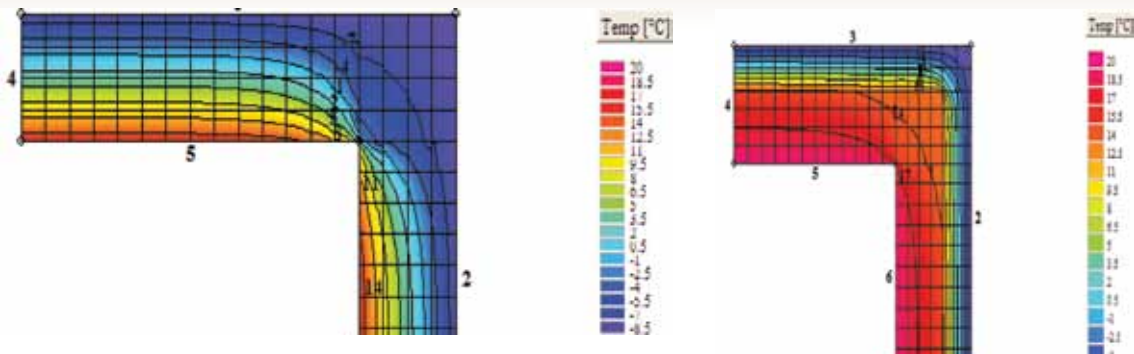
### 4.4.1. Definiranje toplinskih mostova

Toplinski most je mjesto smanjenog otpora prolasku topline od osnovne konstrukcije u kojoj se nalazi. Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama definira toplinski most kao „**manje područje u omotaču grijanog dijela zgrade kroz koje je toplinski tok povećan radi promjene materijala, debljine ili geometrije građevnog dijela**“, u skladu s normom HRN EN ISO 10211:2008 u kojoj je definiran kao „*područje u vanjskoj ovojnici zgrade gdje je jednolik toplinski otpor promijenjen potpunim ili djelomičnim prodorom materijala drugačije toplinske vodljivosti, i/ili promjenom debljine, i/ili razlikom unutarnje i vanjske površine*“.

Ovisno o uzroku povišene toplinske propustljivosti, razlikujemo dvije osnovne vrste toplinskih mostova:

- konstruktivni toplinski mostovi - nastaju kod kombinacija različitih vrsta materijala
- geometrijski toplinski mostovi - nastaju uslijed promjene oblika konstrukcije, npr. uglovi zgrade.

U praksi su vrlo česte kombinacije ovih vrsta toplinskih mostova.



**Slika 4.92 - Prikaz toplinskog mosta na neizoliranom uglu zgrade, te isti nakon izvedbe toplinske izolacije**

Jednoličan toplinski otpor vanjske ovojnice zgrade može se promijeniti uslijed:

- potpunog ili djelomičnog prodora ovojnice zgrade materijalima drugačijih svojstava toplinske provodljivosti
- promjene debljine građe
- razlike između unutarnje i vanjske površine, kao što se događa na spojevima zida, poda, stropa.

Posljedice toplinskih mostova su:

- promjene u toplinskim gubicima
- promjene unutarnje površinske temperature.

Zbog manjeg otpora toplinskoj propustljivosti, nego tipični presjek pregrade, temperatura unutarnje površine pregrade na toplinskom mostu manja je nego na preostaloj površini, što povećava potencijalnu opasnost kondenziranja vodene pare na ovim mjestima. Najbolji način izbjegavanja toplinskih mostova je postavljanje toplinske izolacije s vanjske strane cijele vanjske ovojnice, bez prekida te dobro brtvljenje reški i spojeva.

Temeljna pretpostavka u proračunu prolaska topline kroz konstrukciju prema normi HRN EN ISO 6946:2008 je da se konstrukcije izvode od homogenih materijala s jednakim otporom prolaska topline u svim smjerovima, pri čemu se i zračni slojevi smatraju homogenim za potrebe primjene norme. Sljedeća pretpostavka je da je otpor prolasku topline okomito na površinu konstrukcije nepromijenjen na čitavoj površini konstrukcije.

Stvarno ponašanje konstrukcija se razlikuje od ovih pretpostavki - toplinski tok prati liniju najmanjeg otpora, te gotovo ni na jednom dijelu uobičajenih građevinskih konstrukcija nemamo jednoliki tok okomito na površinu konstrukcije. Zbog toga, u proračun je potrebno uključiti i nepravilnosti u sastavu, debljini i geometriji konstrukcija.

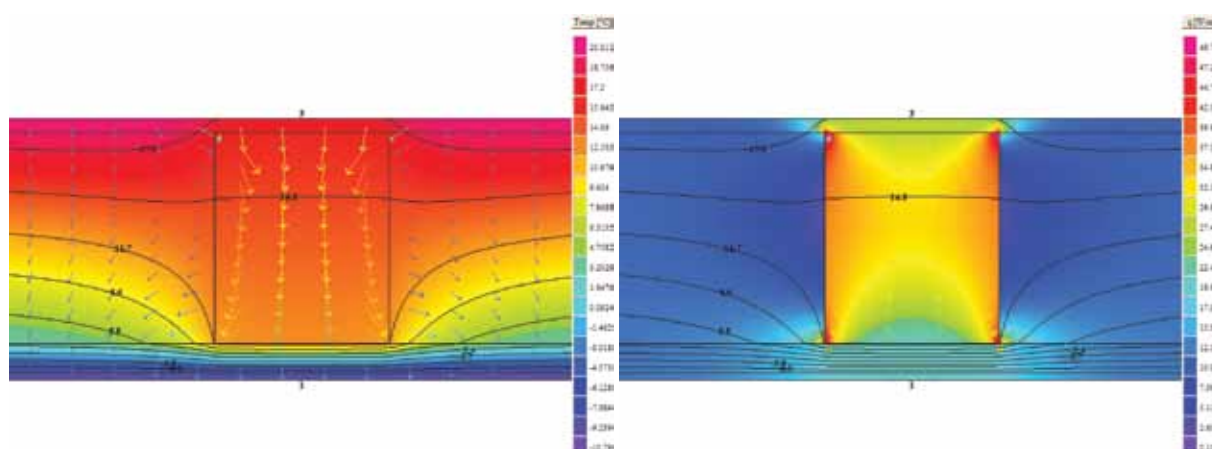
Po uzroku nastanka, toplinske mostove možemo podijeliti na:

### **Toplinski most prouzročen promjenom materijala**

Građevinske konstrukcije su vrlo rijetko homogene u svom sastavu. Već se kod jednostavnog slučaja zida od opeke može uočiti različit koeficijent toplinske vodljivosti opeke i morta u ležajnicama i sudarnicama, te odstupanje u debljinama ili značajno izmijenjeni format opeke, može izazvati različitu toplinsku vodljivost čitavog zida u odnosu na normiranu toplinsku vodljivost određenu normom HRN EN ISO 10456:2008. Takvo odstupanje se u smislu norme HRN EN ISO 10211:2008 ne smatra posljedicom toplinskog mosta, iako se primjenjuju isti termodinamički principi.



Slika 4.93 - Toplinski most prouzrokovan promjenom materijala



Slika 4.94 - Temperatura (lijevo) i gustoća toplinskog toka (desno) u presjeku toplinskog mosta uzrokovanog promjenom materijala

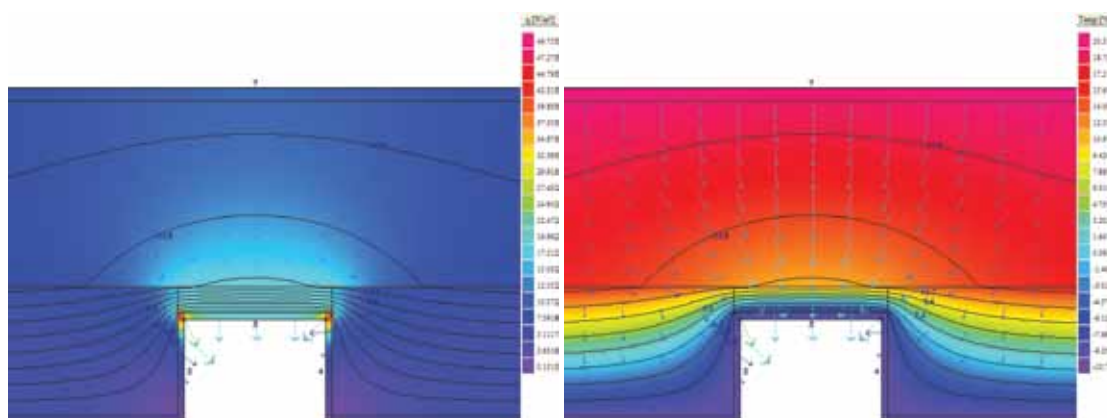
Toplinski most zbog promjene materijala je vrlo čest u suvremenim konstrukcijama zbog specijaliziranog korištenja materijala prema njihovim bitnim karakteristikama: armirani beton ili čelik za nosive konstrukcije, dok se za ispunje koriste materijali lošijih mehaničkih karakteristika, manje gustoće i vrlo često boljih toplinskih karakteristika. Utjecaj toplinskih mostova zbog promjene materijala bio je još veći u razdoblju 50-ih i 60-ih godina, do donošenja prvih propisa o minimalnoj toplinskoj zaštiti zgrada, jer je izuzetan napredak postizan upravo u polju nosivih konstrukcija - povećanje raspona, vrlo tanke konstrukcije, ekstenzivno korištenje armiranog betona ili čelika za nosivu konstrukciju, pri čemu je materijal ispunje takvih skeletnih konstrukcija vrlo često bila opeka ili plinobeton. Dodatni razlog za pojavu takvih toplinskih mostova je i pojava regulative o seizmičkoj otpornosti zgrada koja je uslijedila nakon potresa u Skopju 1963. godine, nakon čega je postalo obvezno korištenje armirano betonskih serklaža u zidanim konstrukcijama. Tipična mjesta pojave takvog toplinskog mosta su mjesta armirano - betonskih serklaža ili stupova i greda nosive konstrukcije sa zidovima ispunje ili nosivim zidovima od drugih materijala.

### Toplinski most prouzročen promjenom debljine konstrukcije

Promjena debljine konstrukcije je sljedeći razlog za pojavu toplinskih mostova. Jedan od oblika takvog toplinskog mosta je smanjenje debljine konstrukcije zbog ugradnje instalacija.



Slika 4.95 - Toplinski most prouzrokovan promjenom debljine konstrukcije



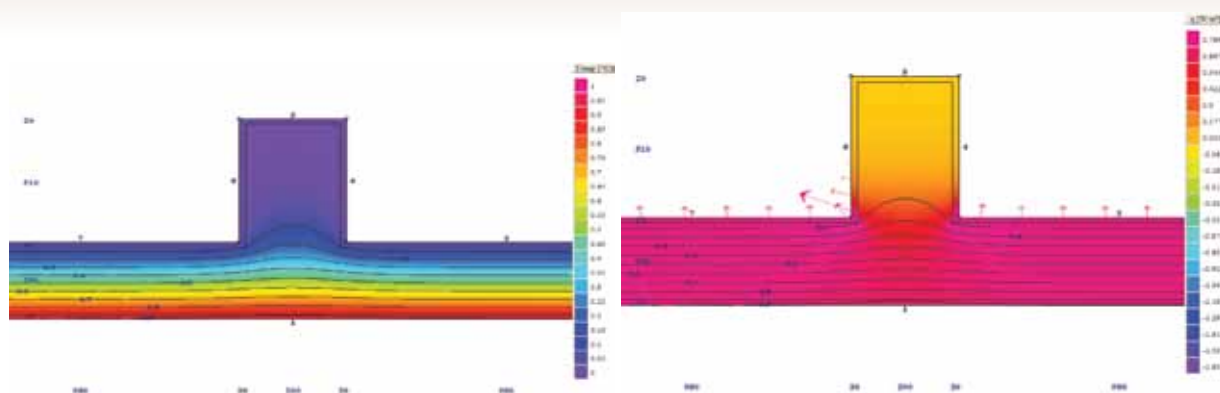
Slika 4.96 - Temperatura (lijevo) i gustoća toplinskog toka (desno) u presjeku toplinskog mosta uzrokovanog promjenom debljine konstrukcije

### Toplinski most prouzročen promjenom geometrije konstrukcije

Promjena geometrije konstrukcije je uzrok toplinskih mostova zbog razlike ploštine unutarnje i vanjske površine konstrukcije, što izaziva povećanu gustoću toplinskog toka. Veličina toplinskih gubitaka kroz toplinski most zbog promjene geometrije konstrukcije ovisi i o toplinskoj vodljivosti materijala konstrukcije.



Slika 4.97 - Tipični toplinski mostovi prouzrokovani promjenom geometrije konstrukcije



**Slika 4.98 - Temperatura (lijevo) i gustoća toplinskog toka (desno) u toplinskom mostu prouzrokovanom promjenom geometrije konstrukcije**

Po obliku, toplinske mostove dijelimo na:

#### Točkasti toplinski most

Jednodimenzijски - točkasti - toplinski most je pojavom ograničen na jednu točku u ravnini plošne građevinske konstrukcije, pri čemu je termin „točka“ određen ograničenim rasprostiranjem toplinskog mosta u svim smjerovima u ravnini konstrukcije. U stvarnosti je točkasti toplinski most trodimenzionalni problem, i prilikom proračuna se modelira i razmatra kao i točkasti toplinski most koji nastaje, na primjer, na mjestu spoja dva vanjska zida i ravnog krova.

#### Linijски toplinski most

Dvodimenzijски - linijски - toplinski most je ograničen u jednom smjeru u ravnini konstrukcije. Tipični linijски toplinski mostovi su neizolirani horizontalni i vertikalni AB serklaži u zidu od opeke, te mjesta ugradnje prozora.

### 4.4.2. Posljedice jakih toplinskih mostova

Povećani protok topline na mjestima toplinskog mosta u odnosu na osnovnu konstrukciju, izaziva prvenstveno povećane toplinske gubitke. Zbog lokalno povećanih toplinskih gubitaka, temperatura unutarnje plohe konstrukcije je u zimskom razdoblju niža od ostale konstrukcije, te proračun difuzije vodene pare kroz konstrukciju izvršen za osnovnu konstrukciju ne odgovara stvarnom stanju konstrukcije. Toplinski mostovi uzrokuju:

- povećane gubitke topline
- pojavu kondenzacije na unutarnjoj površini konstrukcije
- pojavu kondenzacije unutar konstrukcije
- nepredvidivi tok topline i temperature unutar konstrukcije.

Posljedice jakih toplinskih mostova uzrokuju:

- oštećenja konstrukcije uslijed pojave vlage i rasta gljivica na mjestima tipičnih toplinskih mostova
- degradaciju materijala konstrukcije zbog pojave vlage
- narušavanje bitnih zahtjeva za građevine (mehanička stabilnost)
- mehanička oštećenja konstrukcije zbog smrzavanja.





**Slika 4.99 - Tipične posljedice toplinskih mostova**

Tipične posljedice toplinskih mostova mogu imati i vrlo negativan utjecaj na ljudsko zdravlje. Tu pojavu treba spriječiti ne samo zbog estetskih razloga, već i zbog higijenskih, jer spore plijesni mogu prouzročiti različite alergijske i druge bolesti stanara. Valja napomenuti da ta pojava nije uvijek samo posljedica toplinskih mostova, već je uvjetovana i ponašanjem korisnika (načinom grijanja, stupnjem temperature i vlažnosti zraka prostorije, ritmom provjetravanja i sl.). Uvjetovana je i nepovoljnim projektom prostorije (mali prozori uz velike dubine prostorije i bez mogućnosti prozračivanja kutova prostorije). Pri manje izrazitim toplinskim mostovima na kojima nije prekoračena točka orošavanja, nema ni štete zbog orošavanja unutarnje plohe vanjske konstrukcije. Međutim, kako je na toplinskom mostu plošna temperatura niža, a relativna vlažnost okolnog zraka u tom području zbog toga viša, površinski slojevi konstrukcije preuzimaju vodenu paru iz zraka. Zbog djelovanja između čestica vode i prašine koje se uzajamno privlače na području toplinskog mosta jače se taloži prašina, a posljedica toga je ploha tamnija od ostalog dijela zida.

#### **4.4.3. Načini i sredstva za smanjenje utjecaja toplinskih mostova**

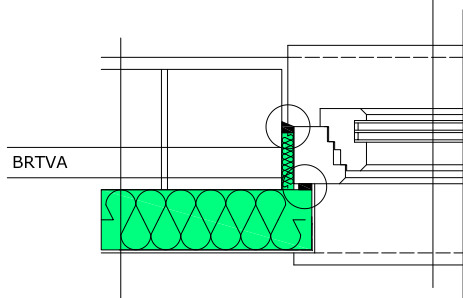
Konstruktivna rješenja za smanjenje utjecaja toplinskih mostova kreću primarno od izbjegavanja pojave toplinskih mostova, o čemu je potrebno voditi brigu već u ranim fazama projektiranja zgrade. Svi detalji potencijalnih mjesta pojave toplinskih mostova trebaju biti adekvatno riješeni. Najveća opasnost za pojavu toplinskog mosta se nalazi u nosivoj konstrukciji - iz potrebe da se nosiva konstrukcija izvodi kontinuirano, bez prekida, kako bi se osiguralo prenošenje opterećenja i projektirano djelovanje konstrukcije. Ovaj je faktor posebno izražen kod konstrukcija velikih raspona, gdje su konstruktivni zahtjevi primarni i često se zanemaruju pojave zračnosti i toplinskih mostova, ili se rješavaju neadekvatnim sredstvima.

Razvedenost gabarita zgrade je sljedeći faktor rizika za pojavu toplinskih mostova zbog vrlo velikog broja potencijalnih toplinskih mostova, što ne mora značiti i njihovu stvarnu pojavu. Povećana razvedenost dodatno utječe na zgradu i povećanjem faktora oblika, tako da odnos grijanog volumena zgrade i oplošja postaje nepovoljniji u energetskom smislu.

Konstrukcije s velikim zračnim šupljinama - spuštene stropovi, obloge podgleda, sve vrste dekorativnih obloga i dodatnih konstrukcija na vanjskoj ovojnici, pojedinačno ne predstavljaju uzrok toplinskih mostova, ali je potrebno voditi računa da se ne zanemare toplinski mostovi koji nastaju unutar i na spojevima takvih konstrukcija.

Negrijani prostori unutar zgrade posredno utječu i na izmjenu faktora oblika zgrade. Prema negrijanim prostorima, ovisno o namjeni i položaju u samoj zgradi, može se pojaviti veliki broj toplinskih mostova, čijem se rješavanju posvećuje manje pažnje zbog stava da su gubici kroz te prostore značajno manji nego gubici kroz ovojnici zgrade prema vanjskom prostoru.

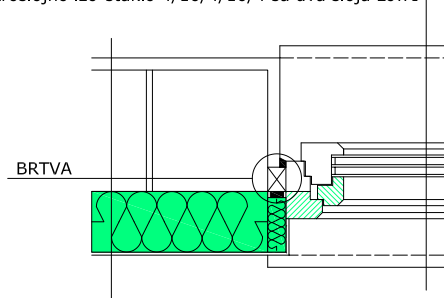
- DRVENI PROZOR
- $U = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$  sa staklom  $U = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$  dvoslojno izo-staklo 4/16/4 sa jednim slojem Lowe
- $U = 0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$  sa staklom  $U = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$  troslojno izo-staklo 4/10/4/10/4 sa dva sloja Lowe



$U = 0,33 \text{ W/m}^2\text{K}$

- VAPNENO-CEMENTNA ŽBUKA 2 cm
- BLOK OPEKA 19 cm
- POLIMER-CEM. LJEPILO
- KAMENA VUNA / EKSPANDIRANI POLISTIREN min. 10 cm
- 1. SLOJ GRAD. LJEPILA S ARMATURNOM MREŽICOM
- 2. SLOJ GRAD. LJEPILA S ARMATURNOM MREŽICOM
- IMPREGNIRANI PRETPREMAZ
- ZAVRŠNI DEKORATIVNI SLOJ

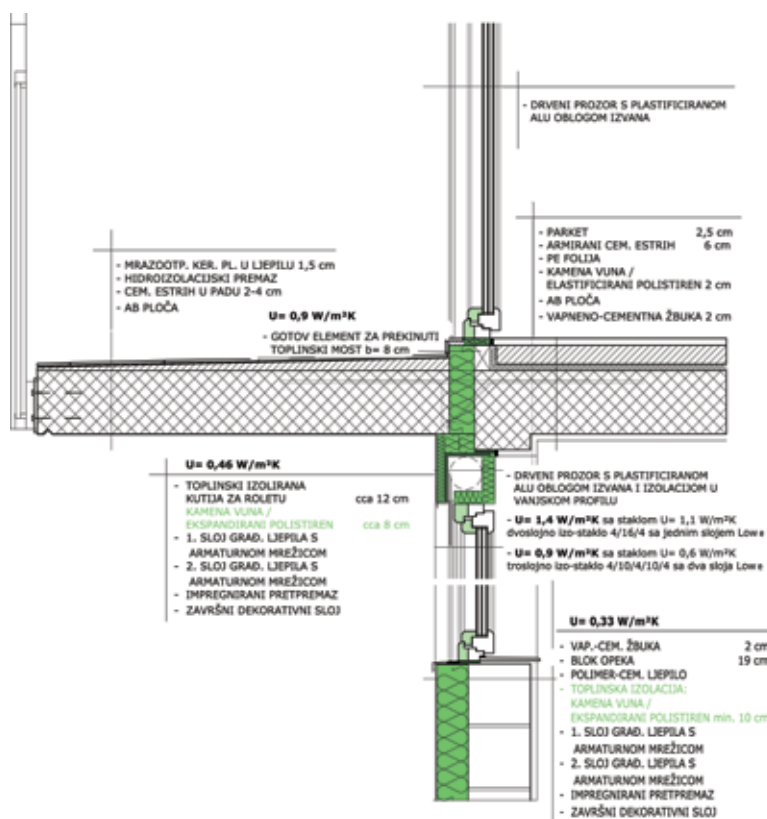
- DRVENI PROZOR S PLASTIFICIRANOM ALU OBLOGOM IZVANA I IZOLACIJOM U VANJSKOM PROFILU
- $U = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$  sa staklom  $U = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$  dvoslojno izo-staklo 4/16/4 sa jednim slojem Lowe
- $U = 0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$  sa staklom  $U = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$  troslojno izo-staklo 4/10/4/10/4 sa dva sloja Lowe



$U = 0,33 \text{ W/m}^2\text{K}$

- VAPNENO-CEMENTNA ŽBUKA 2 cm
- BLOK OPEKA 19 cm
- POLIMER-CEM. LJEPILO
- KAMENA VUNA / EKSPANDIRANI POLISTIREN min. 10 cm
- 1. SLOJ GRAD. LJEPILA S ARMATURNOM MREŽICOM
- 2. SLOJ GRAD. LJEPILA S ARMATURNOM MREŽICOM
- IMPREGNIRANI PRETPREMAZ
- ZAVRŠNI DEKORATIVNI SLOJ

Slika 4.100 - Ispravna ugradnja prozora u svrhu smanjenja utjecaja toplinskih mostova



Slika 4.101 - Izvedba prekida toplinskog mosta ubacivanjem izolacijskog elementa za prekid toplinskog mosta u oplatu prije betoniranja, uz potrebno statičko povezivanje

#### 4.4.4. Proračun utjecaja toplinskog mosta na toplinske gubitke

Proračun vrijednosti linearnih toplinskih mostova koji najviše od svih toplinskih mostova utječu na ukupne toplinske gubitke u zgradama je moguće izvršiti i pojednostavljenim metodama definiranim normom HRN EN ISO 14683:2008 Toplinski mostovi u zgradarstvu - Linearni koeficijent prolaska topline - Pojednostavljene metode i zadane utvrđene vrijednosti.

Norma pruža na izbor jednu od metoda proračuna koja je u pojedinom slučaju najučinkovitija:

##### 1. Detaljni proračun toplinskih mostova prema HRN EN ISO 10211:2008

Detaljni izračun toplinskih mostova vrši se prema normi HRN EN ISO 10211:2008 Toplinski mostovi u zgradarstvu - Toplinski tokovi i površinske temperature - Detaljni proračuni.

Norma opisuje detaljnu metodu proračuna, koja se djelomično razlikuje kod dvodimenzionalnog i trodimenzionalnog rješavanja toplinskih mostova i proračuna toplinskog toka te minimalne temperature površine konstrukcije. Specificirani su uvjeti za određivanje geometrijskih granica i raščlanjenje modela, toplinskih rubnih uvjeta i toplinske vrijednosti koje se koriste, uz pretpostavku da su sva fizikalna svojstva neovisna o temperaturi, kao i da nema izvora topline unutar konstrukcije.

Proračun toplinskih mostova prema normi HRN EN ISO 10211:2008 bazira se na raščlambi geometrijskog modela na dovoljno malene geometrijske segmente koji imaju homogenu toplinsku vodljivost. Sustav se rješava ili iterativnim postupkom ili neposrednom tehnikom, nakon čega se distribucija temperatura unutar segmenata (ćelija) određuje interpolacijom. Teoretski, moguće je na ovaj način modelirati čitavu zgradu, ali bi proračun bio tehnički gotovo neizvediv zbog prevelike količine informacija koje je potrebno obraditi. Zato su određena pravila za rezne ravnine kod izrade trodimenzionalnih i dvodimenzionalnih modela u odnosu na debljinu konstrukcije i udaljenosti od ravnina simetrije elemenata. Također, kako bi se proračun mogao jednostavnije izvršiti, određeni su i uvjeti pod kojima je dopušteno pojednostavljivanje geometrijskog modela.

Ulazni podaci za proračun toplinskih mostova su:

- toplinska provodljivost materijala
- površinski otpori
- rubne temperature
- toplinska provodljivost kvazi-homogenih slojeva
- ekvivalentna toplinska vodljivost zračnih šupljina
- temperatura u susjednim negrijanim prostorima.

##### Metoda proračuna

Geometrijski model podijeljen je na ćelije, svaka s karakterističnom točkom (čvorom). Za svaki čvor se dobiva sustav jednadžbi koji je funkcija temperature u čvoru, čije rješenje daje temperaturu čvora, iz čega se dalje mogu odrediti toplinski tokovi. Proračun je u praksi moguće izvesti samo korištenjem računalnih programa, koji moraju biti verificirani prema referentnim primjerima u prilogu norme.

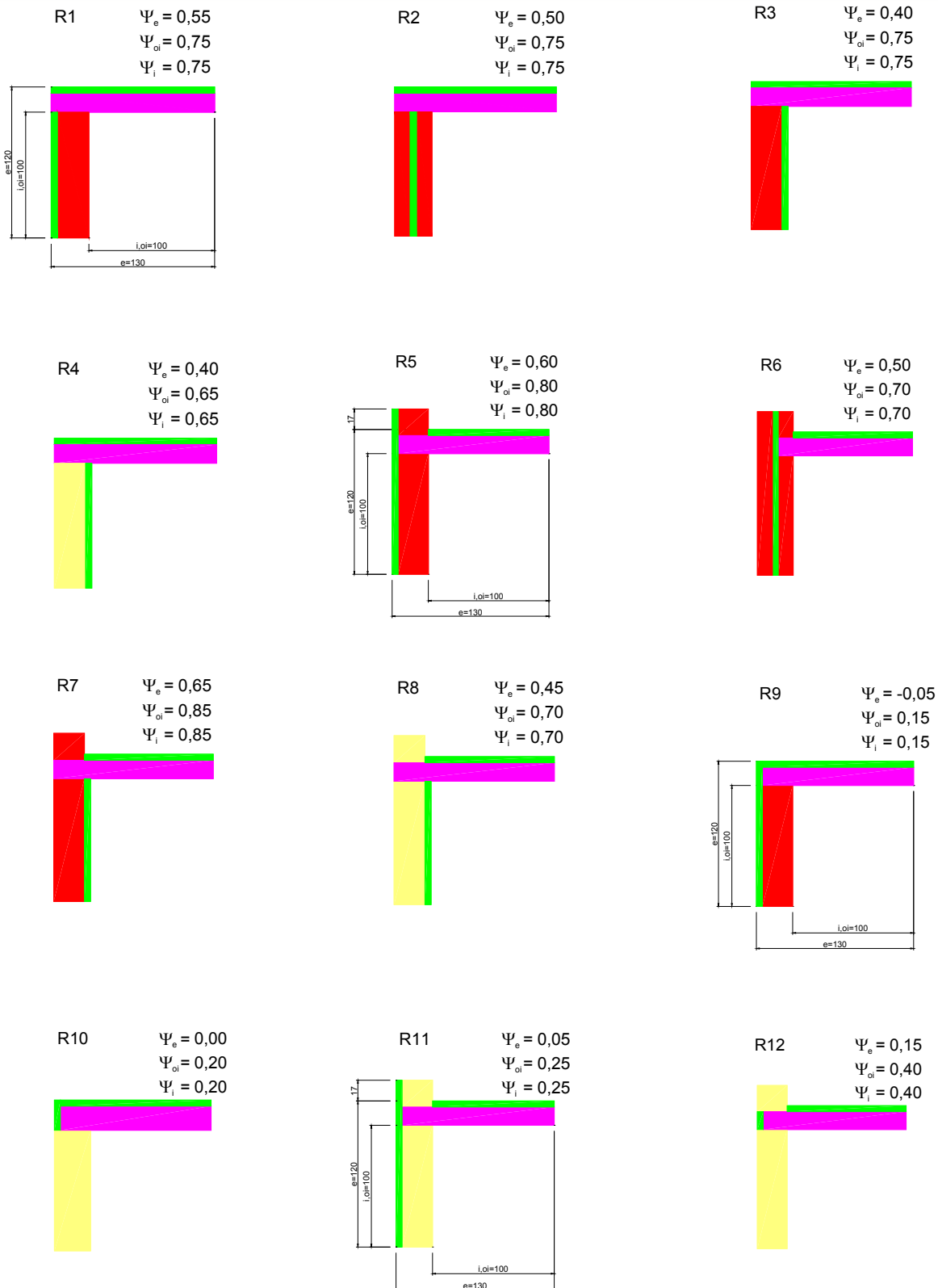
Na tržištu postoji niz softverskih paketa različitih mogućnosti, predviđenih ili samo za proračun toplinskih mostova, ili kao dio obuhvatnijih rješenja za proračun toplinskih gubitaka. Neki od tih softvera mogu uz prolaz topline proračunati i difuziju vodene pare, u 2D i 3D geometrijskim modelima.

Tablica 4.21 - Pregled softverskih paketa za proračun

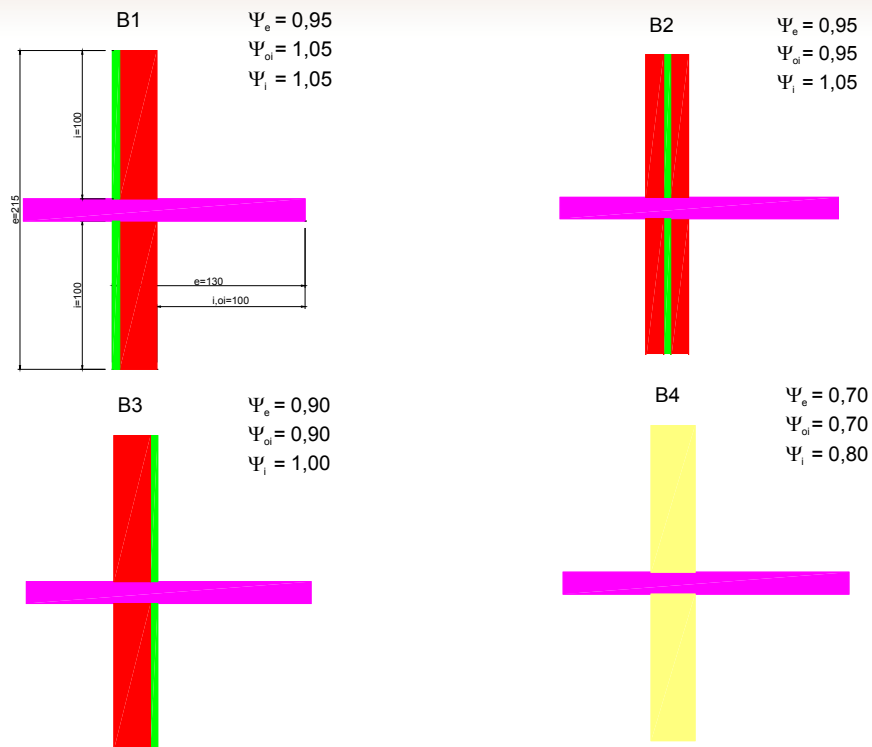
Naziv	2D/3D	Stacionarna/ tranzijentna	Slobodna forma/ Pravokutna forma	$\psi$	Licenca
AnTherm	3D	S	P	Da	Komercijalna
Argos	2D	S	S	Da	Komercijalna
Bisco/Bistra	2D	S/T	S	Da	Komercijalna
Champs-bes	2D	T	P		Slobodna
David32	3D	S	P		Slobodna
Delphin	2D	T	P		Komercijalna
Flixo	2D	S	S	Da	Komercijalna
FramePlus					Komercijalna
HAMLab	3D	T	S		Slobodna
Heat2	2D	T	P	Da	Komercijalna
Heat3	3D	T	P	Da	Komercijalna
Kobra v3.0w	3D	S	P	Da	Slobodna
KOBRU86	2D	S/T	P	Da	Komercijalna
RadTherm	3D	T	S		Komercijalna
Solido	3D	S	S		Komercijalna
TAS ambiens	2D	T	S		Komercijalna
Therm 6.0	2D	S	S		Slobodna
Trisco/Voltra	3D	S/T	P	Da	Komercijalna
Unorm	3D	S	P	Da	Slobodna
WUFI 2D 3.2	3D	T	S		Komercijalna
Ansys multiphysics	3D	T	S		Komercijalna
Ansys CFX	3D	T	S		Komercijalna
Fluent	3D	T	S		Komercijalna
Phoenics	3D	T	S		Komercijalna
Comsol multiphysics	3D	T	S		Komercijalna

## 2. Katalozi toplinskih mostova

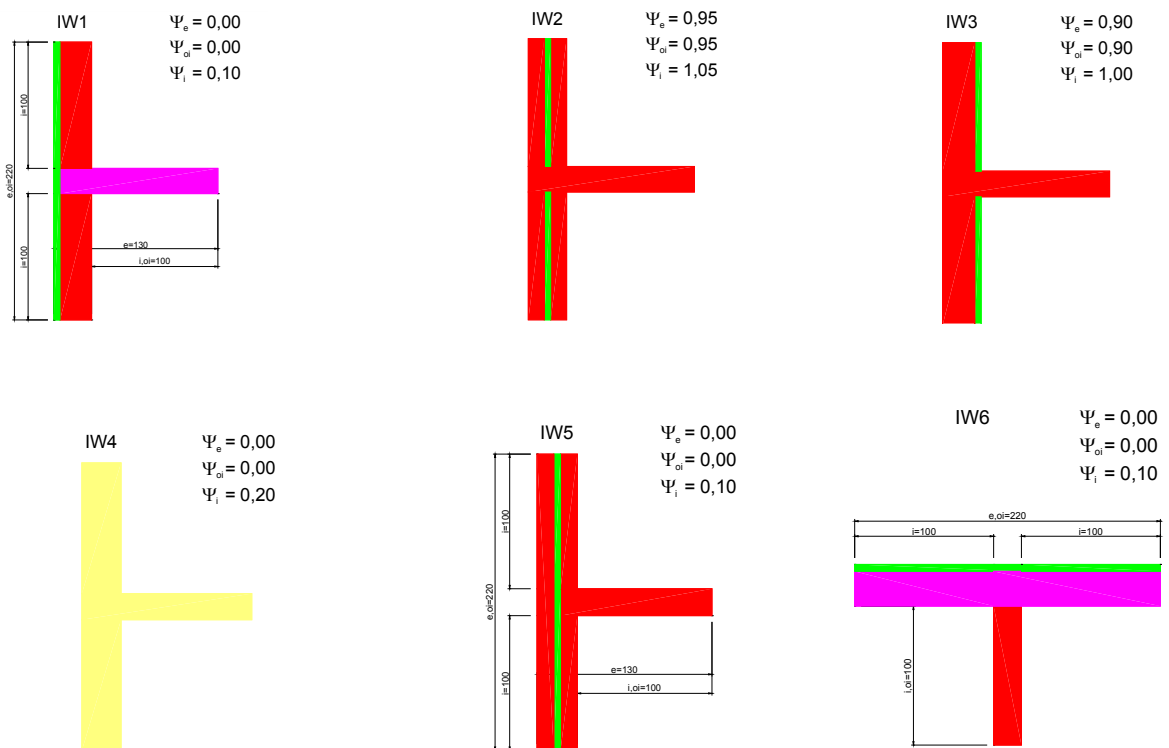
Bazični katalog toplinskih mostova nalazi se u normi HRN EN ISO 14683:2008, koji sadržava unaprijed određene vrijednosti toplinskih mostova za karakteristične situacije koje se susreću na zgradama. U proračunu tih toplinskih mostova u katalogu ulazni parametri dani u tabeli A.2 HRN EN ISO 14683:2008 odabrani su tako da su dane vrijednosti koeficijenta prolaska topline linijskih toplinskih mostova  $\psi$  blizu maksimalnim vrijednostima, tako da utjecaj toplinskih mostova korištenjem tih vrijednosti neće biti podcijenjen.



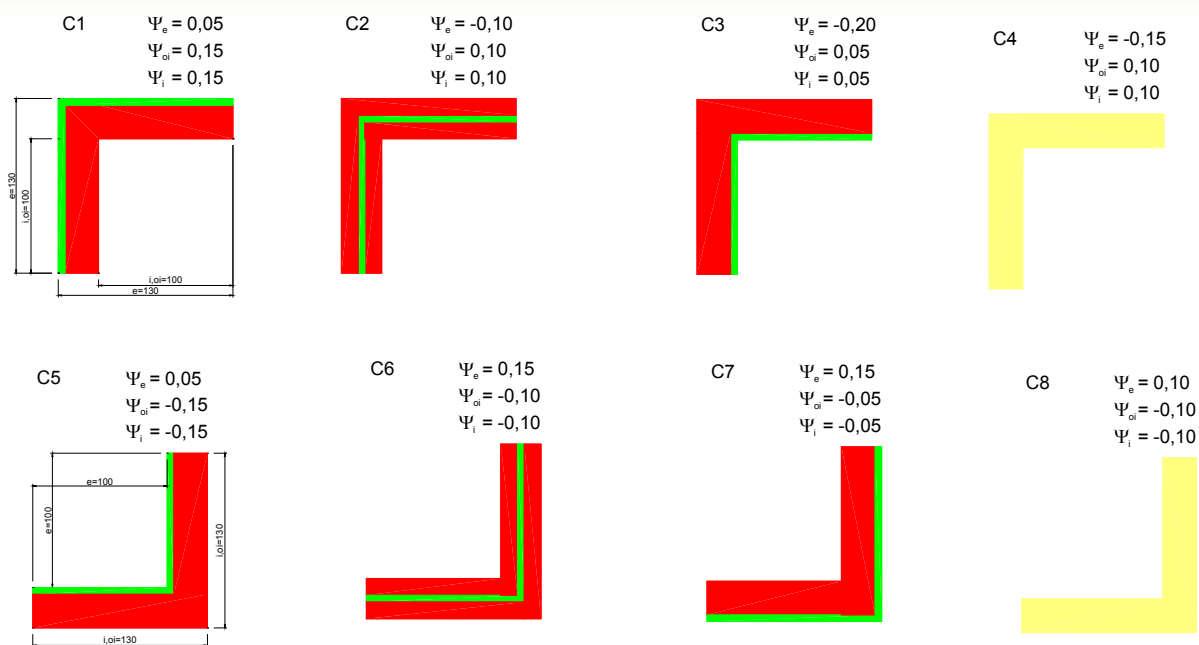
Slika 4.102 - Katalog toplinskih mostova - R (krov) - HRN EN ISO 14603:2008



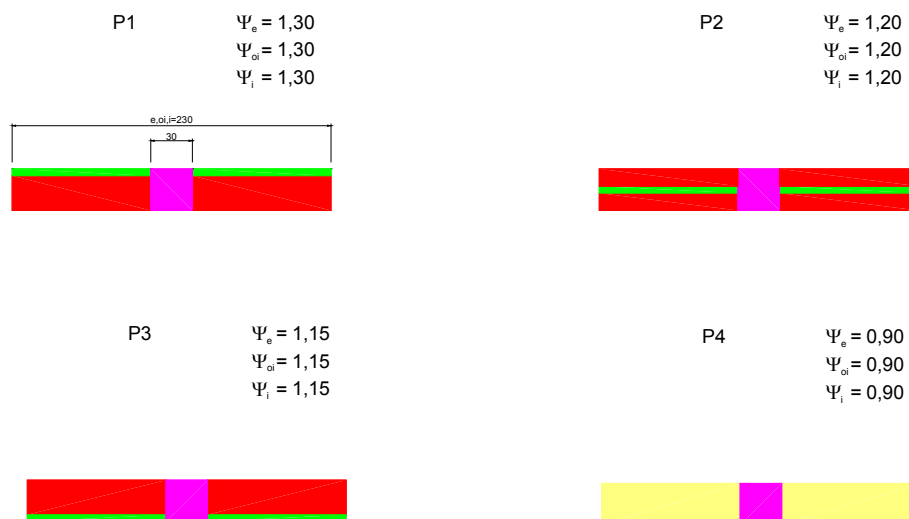
Slika 4.103 - Katalog toplinskih mostova - B (balkon) - HRN EN ISO 14603:2008



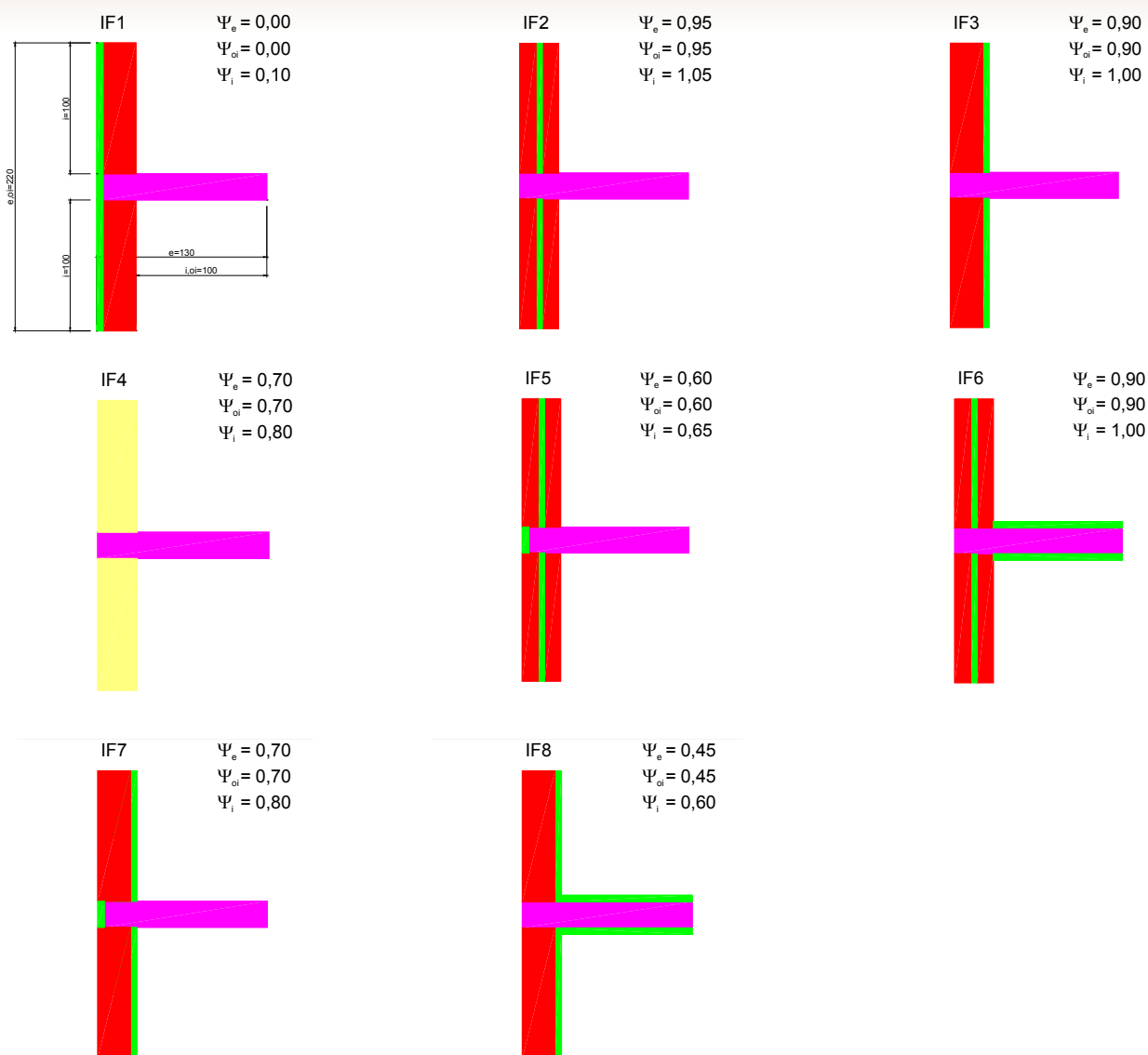
Slika 4.104 - Katalog toplinskih mostova - IW (sudar unutarnjeg i vanjskog zida) - HRN EN ISO 14603:2008



Slika 4.105 - Katalog toplinskih mostova - C (ugao vanjskog zida) - HRN EN ISO 14603:2008

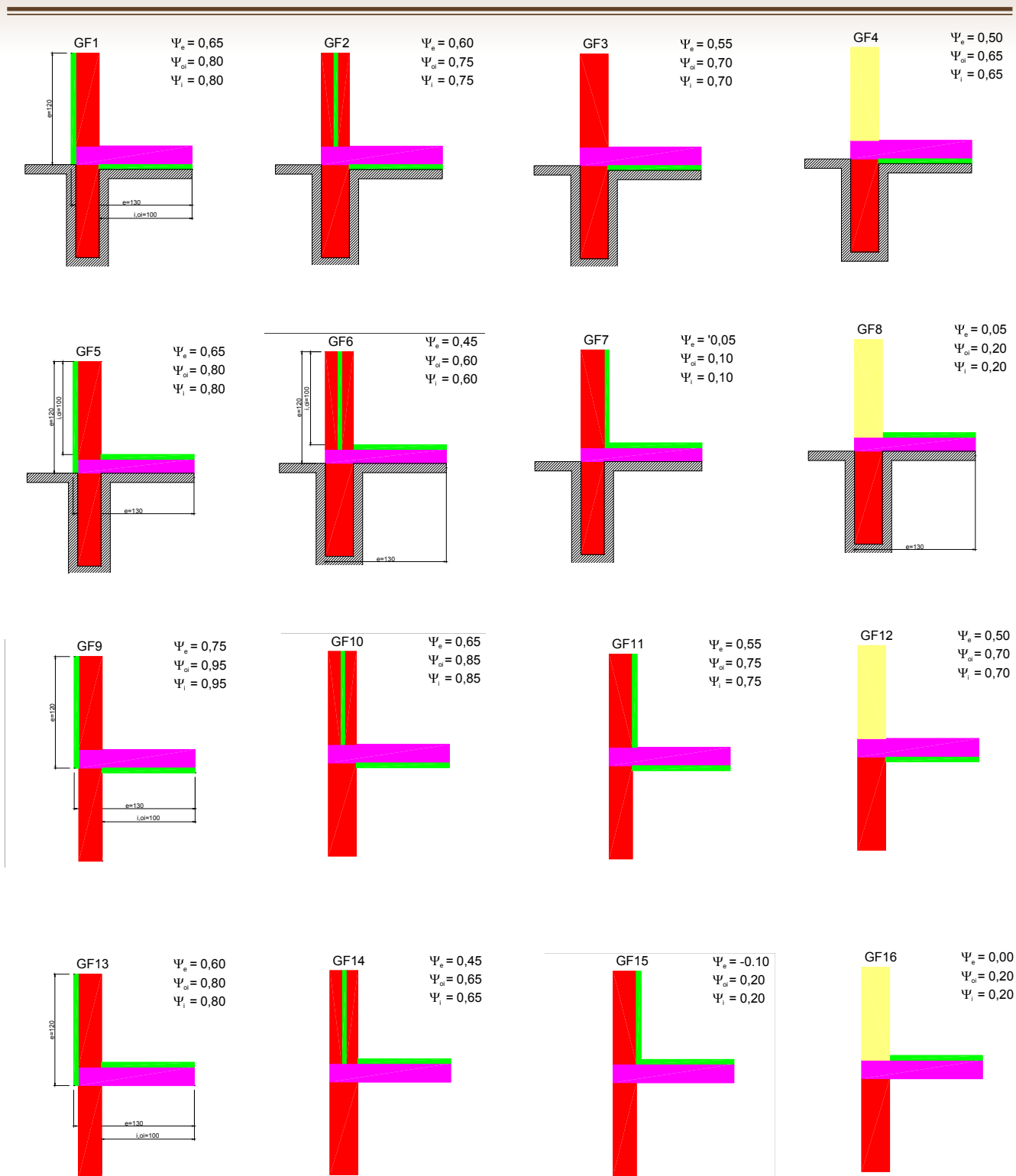


Slika 4.106 - Katalog toplinskih mostova - P (stup) - HRN EN ISO 14603:2008

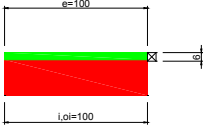
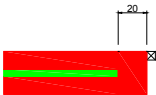
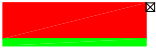

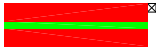

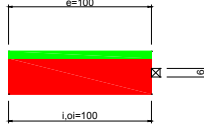
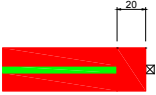
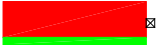


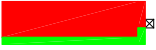
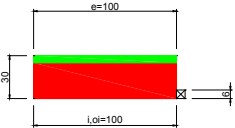
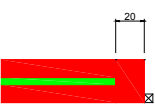
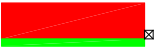


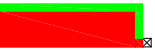


Slika 4.107 - Katalog toplinskih mostova - IF (sudar međukatne konstrukcije i vanjskog zida) - HRN EN ISO 14603:2008



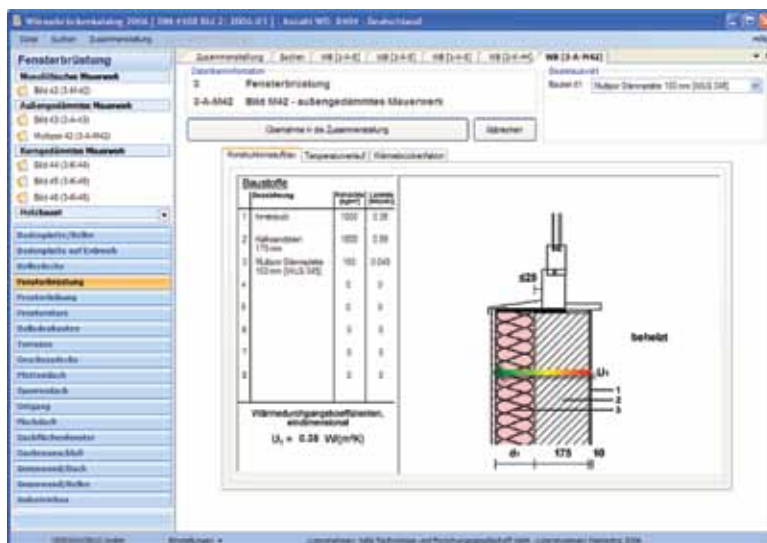
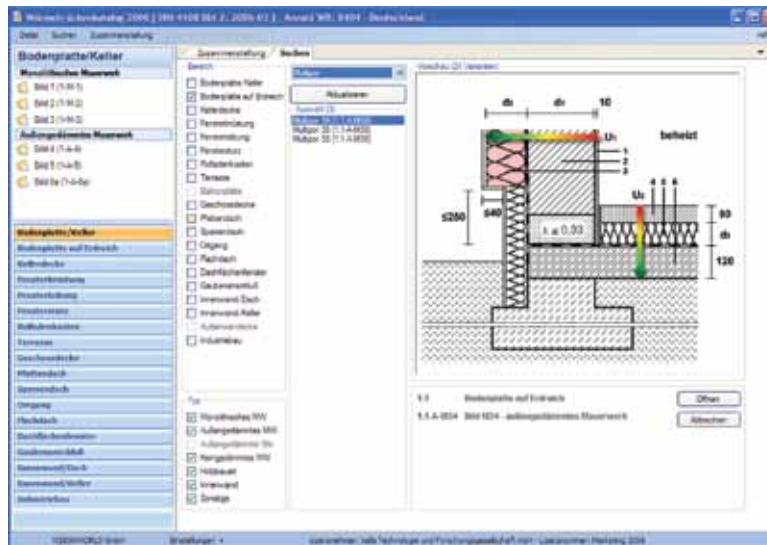


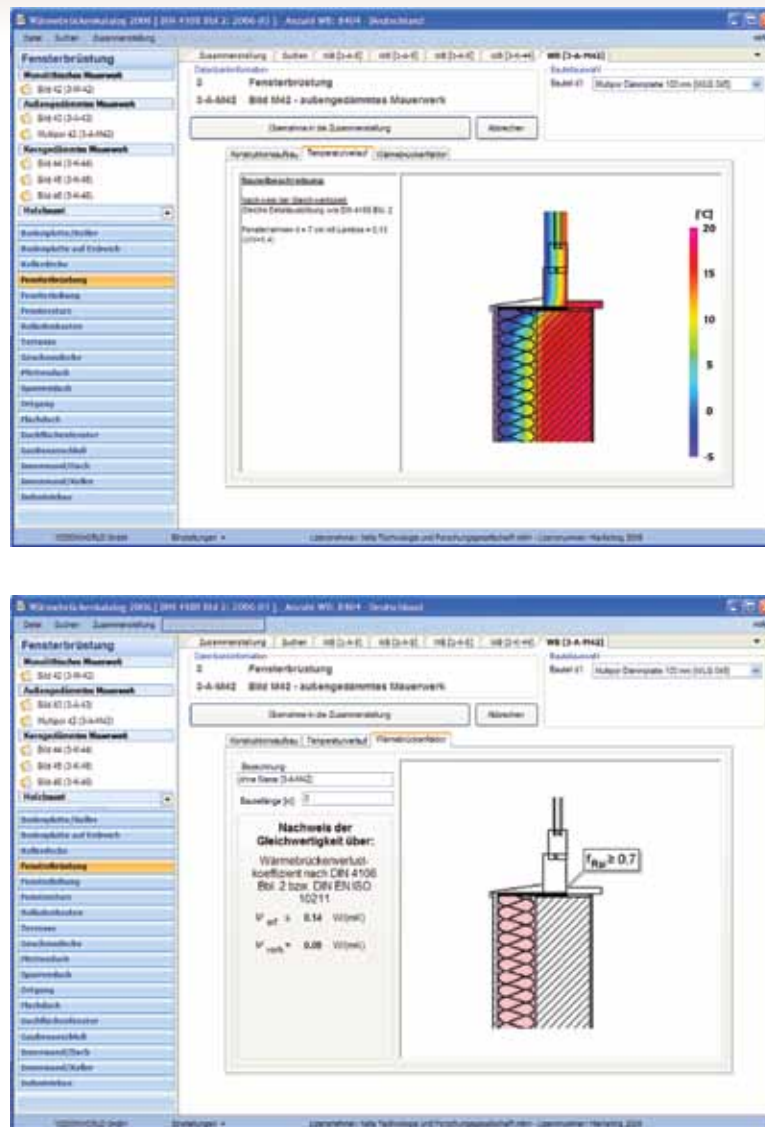
Slika 4.108 - Katalog toplinskih mostova - GF (prema tlu) - HRN EN ISO 14603:2008

W1	$\Psi_e = 0,00$ $\Psi_{oi} = 0,00$ $\Psi_i = 0,00$	W2	$\Psi_e = 1,00$ $\Psi_{oi} = 1,00$ $\Psi_i = 1,00$	W3	$\Psi_e = 0,80$ $\Psi_{oi} = 0,80$ $\Psi_i = 0,80$	W4	$\Psi_e = 0,15$ $\Psi_{oi} = 0,15$ $\Psi_i = 0,15$
							
W5	$\Psi_e = 0,40$ $\Psi_{oi} = 0,40$ $\Psi_i = 0,40$	W6	$\Psi_e = 0,10$ $\Psi_{oi} = 0,10$ $\Psi_i = 0,10$	W7	$\Psi_e = 0,45$ $\Psi_{oi} = 0,45$ $\Psi_i = 0,45$	W8	$\Psi_e = 1,00$ $\Psi_{oi} = 1,00$ $\Psi_i = 1,00$
							
W9	$\Psi_e = 0,60$ $\Psi_{oi} = 0,60$ $\Psi_i = 0,60$	W10	$\Psi_e = 0,10$ $\Psi_{oi} = 0,10$ $\Psi_i = 0,10$	W11	$\Psi_e = 0,00$ $\Psi_{oi} = 0,00$ $\Psi_i = 0,00$	W12	$\Psi_e = 0,10$ $\Psi_{oi} = 0,10$ $\Psi_i = 0,10$
							
W13	$\Psi_e = 0,80$ $\Psi_{oi} = 0,80$ $\Psi_i = 0,80$	W14	$\Psi_e = 1,00$ $\Psi_{oi} = 1,00$ $\Psi_i = 1,00$	W15	$\Psi_e = 0,00$ $\Psi_{oi} = 0,00$ $\Psi_i = 0,00$	W16	$\Psi_e = 0,15$ $\Psi_{oi} = 0,15$ $\Psi_i = 0,15$
							
		W17	$\Psi_e = 0,40$ $\Psi_{oi} = 0,40$ $\Psi_i = 0,40$	W18	$\Psi_e = 0,20$ $\Psi_{oi} = 0,20$ $\Psi_i = 0,20$		
							

Slika 4.109 - Katalog toplinskih mostova - W (prozor) - HRN EN ISO 14603:2008

Napredniji oblik kataloga toplinskih mostova katalozi su toplinskih mostova u obliku baza podataka za računala. Toplinski mostovi su u katalozima određeni proračunima, te su uz vrijednosti koeficijenta prolaska topline popraćeni i dodatnim podacima, ovisno o načinu na koji je izvršen proračun toplinskih mostova. Jedan od primjera takvog kataloga je „Xella Wärmebrückenkatalog 2006 4.0“ [4.34]. Uz pokrivanje značajno većeg broja i oblika toplinskih mostova, te veću raznovrsnost u odabiru materijala i sastava osnovnih konstrukcija, ovi katalogi mogu dati i podatke o odstupanju proračunatog i stvarnog toplinskog mosta.





Slika 4.110 - Katalog toplinskih mostova Xella Waermebruecken 2006 4.0

### 3. Priručne metode proračuna

Priručne metode proračuna vezane su na pojedine sustave konstrukcija, kao što su sendvič sustavi fasadnih obloga. Te su metode proračuna razvijene za varijacije koje su moguće unutar samih sustava. Takve metode proračuna daju proizvođači za svoje sustave, i njihova preciznost može jako varirati pa se primjena takvih metoda proračuna ne preporuča.

#### Povećanje toplinskih gubitaka zbog toplinskih mostova

Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama definira više mogućnosti razmatranja i pojednostavljenja proračuna utjecaja toplinskih mostova.

- proračun utjecaja toplinskih mostova prema normama HRN EN ISO 13789, HRN EN ISO 14683, HRN EN ISO 10211 i HRN EN ISO 13370
- povećanje koeficijenta prolaska topline svih obodnih konstrukcija za  $0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$ , ako se toplinski most nalazi u hrvatskoj normi s katalogom dobrih rješenja toplinskih mostova

- povećanje koeficijenta prolaska topline svih obodnih konstrukcija za  $0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ , ako se toplinski most ne nalazi u hrvatskoj normi s katalogom dobrih rješenja toplinskih mostova.

Međutim, ako uzmemo tako pojednostavnjeni proračun za koeficijent prelaska topline vanjskog zida  $0,45 \text{ W/m}^2\text{K}$

- povećanje  $0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$  je **10%**
- povećanje  $0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$  je **20%** povećanja ukupnog koeficijenta prolaska topline obodnih konstrukcija - što ovisno o udjelu ventilacijskih gubitaka, može značajno narušiti toplinsku bilancu zgrade.

Dodatno kod niskoenergetskih kuća za vanjski zid  $U \approx 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$  povećanje koeficijenta za  $0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$  iznosi **33%**.

Ili kod pasivnih kuća  $U < 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ , povećanje za  $0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$  iznosi 66%.

Što je zgrada bolje toplinski izolirana i ostvaruje manje toplinske gubitke, to je utjecaj toplinskih mostova na povećanje ukupnih toplinskih gubitaka, ako oni nisu dobro riješeni, veći.

Izgraditi zgradu bez toplinskih mostova gotovo je nemoguće, ali uz pravilno projektirane detalje toplinske zaštite, utjecaj toplinskih mostova možemo smanjiti na minimum. Potencijalna mjesta toplinskih mostova su konzolne istake balkona, istake streha krovova, spojevi konstrukcija, spojevi zida i prozora, kutije za roletu, niše za radijatore, temelji i drugo. Zato na njih, pri rješavanju konstruktivnih detalja, treba obratiti posebnu pažnju. Potrebno je u glavnom i izvedbenom projektu razraditi sve bitne detalje, osobito mjesta potencijalnih toplinskih mostova, u skladu s Tehničkim propisom o uštedi toplinske energije i toplinskoj zaštiti u zgradama [4.5]. Po završetku izgradnje, kvalitetu gradnje i toplinske zaštite moguće je dodatno provjeriti termografskim snimanjem.

## PRILOG I

### Pregled osnovnih pojmova i definicija [7]

**ploština neto podne površine zgrade** jest ukupna ploština zgrade između elemenata koji ga omeđuju i računa se prema točki 5.1.5. HRN EN ISO 9836:2002;

**ploština bruto podne površine zgrade** jest zbroj ploština poda za sve razine zgrade i računa se prema točki 5.1.3. HRN EN ISO 9836:2002;

**ploština ukupne korisne površine zgrade** jest ukupna neto podna ploština zgrade koja odgovara namjeni uporabe zgrade i računa se prema točki 5.1.7. HRN EN ISO 9836:2002;

**tehnički sustav zgrade** jest tehnička oprema ugrađena u zgradu koja služi za njezino grijanje, hlađenje, ventilaciju, klimatizaciju, pripremu tople vode, osvjetljenje i proizvodnju električne energije;

**termotehnički sustav zgrade** jest tehnički sustav u koji nije uključeno osvjetljenje i proizvodnja električne energije;

**pomoćni sustav** jest tehnička oprema koja doprinosi pretvorbi energije za pokrivanje energetskih potreba zgrade;

**referentni klimatski podaci** jesu skup odabranih klimatskih parametara koji su karakteristični za neko geografsko područje;

**stvarni klimatski podaci** jesu klimatski podaci dobiveni statističkom obradom prema meteorološkoj postaji najbližoj lokaciji zgrade;

**godišnja emisija ugljičnog dioksida**,  $\text{CO}_2$  (kg/a), jest masa emitiranog ugljičnog dioksida u vanjski okoliš tijekom jedne godine koja je posljedica energetskih potreba zgrade;

**godišnja isporučena energija**,  $E_{\text{del}}$  (kWh/a), jest energija dovedena tehničkim sustavima zgrade tijekom jedne godine za pokrivanje energetskih potreba za grijanje, hlađenje, ventilaciju, potrošnu toplu vodu, rasvjetu i pogon pomoćnih sustava;

**godišnja potrebna toplinska energija za grijanje**,  $Q_{\text{H,nd}}$  (kWh/a), jest računski određena količina topline koju sustavom grijanja treba tijekom jedne godine dovesti u zgradu za održavanje unutarnje projektne temperature u zgradi tijekom razdoblja grijanja zgrade (za stvarne klimatske podatke);

**godišnja potrebna toplinska energija za hlađenje**,  $Q_{c,nd}$  (kWh/a), jest računski određena količina topline koju sustavom hlađenja treba tijekom jedne godine odvesti iz zgrade za održavanje unutarnje projektne temperature u zgradi tijekom razdoblja hlađenja zgrade (za stvarne klimatske podatke);

**godišnja potrebna energija za ventilaciju**,  $Q_{ve}$  (kWh/a), jest računski određena količina energije za pripremu zraka sustavom prisilne ventilacije, djelomične klimatizacije i klimatizacije tijekom jedne godine za održavanje stupnja ugodnosti prostora u zgradi;

**godišnja potrebna energija za rasvjetu**,  $E_L$  (kWh/a), jest računski određena količina energije koju treba dovesti zgradi tijekom jedne godine za rasvjetu;

**godišnja potrebna toplinska energija za zagrijavanje potrošne tople vode**,  $Q_w$  (kWh/a), jest računski određena količina topline koju sustavom pripreme potrošne tople vode treba dovesti tijekom jedne godine za zagrijavanje vode;

**godišnja potrebna toplinska energija**,  $Q_H$  (kWh/a), jest zbroj godišnje potrebne topline i godišnjih toplinskih gubitaka sustava za grijanje i zagrijavanje potrošne tople vode u zgradi;

**godišnja primarna energija**,  $E_{prim}$  (kWh/a), jest računski određena količina energije za potrebe zgrade tijekom jedne godine koja nije podvrgnuta nijednom postupku pretvorbe;

**godišnji toplinski gubici sustava grijanja**,  $Q_{H,ls}$  (kWh/a), jesu energetska gubici sustava grijanja tijekom jedne godine koji se ne mogu iskoristiti za održavanje unutarnje temperature u zgradi;

**godišnji gubici sustava hlađenja**,  $Q_{c,ls}$  (kWh/a), jesu energetska gubici sustava hlađenja tijekom jedne godine koji se ne mogu iskoristiti za održavanje unutarnje temperature u zgradi;

**godišnji toplinski gubici sustava za zagrijavanje potrošne tople vode**,  $Q_{w,ls}$  (kWh/a), jesu energetska gubici sustava pripreme potrošne tople vode tijekom jedne godine koji se ne mogu iskoristiti za zagrijavanje vode;

**koeficijent transmisivnog toplinskog gubitka**,  $H_{trad}$  (W/K), jest količnik između toplinskog toka koji se transmisijom prenosi iz grijane zgrade prema vanjskom prostoru i razlike između unutarnje projektne temperature grijanja i vanjske temperature;

**prostori zgrade u kojima se održava kontrolirana temperatura** jesu prostori zgrade koji se griju i/ili hlade;

**prostori zgrade u kojima se ne održava kontrolirana temperatura** jesu prostori zgrade koji su negrijani, odnosno nehlađeni prostori zgrade;

**obujam grijanog dijela zgrade**,  $V_e$  (m<sup>3</sup>), jest bruto obujam, obujam grijanog dijela zgrade kojemu je oplošje  $A$ ;

**oplošje grijanog dijela zgrade**,  $A$  (m<sup>2</sup>), jest ukupna ploština građevnih dijelova koji razdvajaju grijani dio zgrade od vanjskog prostora, tla ili negrijanih dijelova zgrade (omotač grijanog dijela zgrade), određena prema HRN EN ISO 13789:2008;

**ploština korisne površine zgrade**,  $A_k$  (m<sup>2</sup>), jest ukupna ploština neto podne površine grijanog dijela zgrade. Kod stambenih zgrada se može odrediti prema približnom izrazu  $A_k = 0,32 \cdot V_e$ ;

**faktor oblika zgrade**,  $f_0 = A/V_e$  (m<sup>-1</sup>), jest količnik oplošja,  $A$  (m<sup>2</sup>), i obujma,  $V_e$  (m<sup>3</sup>), grijanog dijela zgrade;

**srednja vanjska temperatura**,  $\theta_e$  (°C), jest osrednjena vrijednost temperature vanjskog zraka u promatranom vremenskom razdoblju prema meteorološkoj postaji najbližoj lokaciji zgrade;

**unutarnja projektna temperatura**,  $\theta_i$  (°C), jest projektom predviđena temperatura unutarnjeg zraka svih prostora grijanog dijela zgrade;

**godišnja potrebna toplinska energija za grijanje za referentne klimatske podatke**,  $Q_{H,nd,ref}$  (kWh/a), jest računski određena količina topline koju sustavom grijanja treba tijekom jedne godine dovesti u zgradu za održavanje unutarnje projektne temperature u zgradi tijekom razdoblja grijanja zgrade, za referentne klimatske podatke;

**specifična godišnja potrebna toplinska energija za grijanje za referentne klimatske podatke za stambenu zgradu**,  $Q''_{H,nd,ref}$  (kWh/(m<sup>2</sup>a)), jest godišnja potrebna toplinska energija za grijanje za referentne klimatske podatke izražena po jedinici ploštine korisne površine zgrade;

**specifična godišnja potrebna toplinska energija za grijanje za referentne klimatske podatke za nestambenu zgradu** jest godišnja potrebna toplinska energija za grijanje za referentne klimatske podatke izražena po jedinici obujma grijanja dijela zgrade,  $Q'_{H,nd,ref}$  (kWh/(m<sup>3</sup>a)), te godišnja potrebna toplinska energija za grijanje za referentne klimatske podatke izražena po jedinici ploštine korisne površine zgrade,  $Q''_{H,nd,ref}$  (kWh/(m<sup>2</sup>a));

**dopuštena vrijednost specifične godišnje potrebne toplinske energije za grijanje za stambene zgrade**,  $Q''_{H,nd,dop}$  (kWh/(m<sup>2</sup>a)), jest dopuštena specifična godišnja potrebna toplinska energija za grijanje koja se izračunava uz uvjete propisane za nove stambene zgrade prema posebnom propisu kojim se propisuju tehnički zahtjevi glede racionalne uporabe energije i toplinske zaštite novih i postojećih zgrada;

**dopuštena vrijednost specifične godišnje potrebne toplinske energije za grijanje za nestambene zgrade**,  $Q'_{H,nd,dop}$  (kWh/(m<sup>3</sup>a)), jest dopuštena specifična godišnja potrebna toplinska energija za grijanje koja se izračunava uz uvjete propisane za nove nestambene zgrade prema posebnom propisu kojim se propisuju tehnički zahtjevi glede racionalne uporabe energije i toplinske zaštite novih i postojećih zgrada;

**relativna vrijednost godišnje potrebne toplinske energije za grijanje za nestambene zgrade**,  $Q_{H,nd,rel}$  [%], jest omjer specifične godišnje potrebne toplinske energije za grijanje za referentne klimatske podatke,  $Q'_{H,nd,ref}$  (kWh/(m<sup>3</sup>a)) i dopuštene specifične godišnje potrebne toplinske energije za grijanje,  $Q'_{H,nd,dop}$  (kWh/(m<sup>3</sup>a)), a izračunava se prema izrazu:

$$Q_{H,nd,rel} = Q'_{H,nd,ref} / Q'_{H,nd,dop} \times 100 (\%)$$

**broj stupanj dana grijanja** predstavlja zbroj temperaturnih razlika između unutarnje projektne temperature i srednje dnevne vanjske temperature za sve dane sezone grijanja.

## Reference

- [4.1] *Direktiva 2002/91/EC o energetskim svojstvima zgrada / Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings* (Official Journal L 001, 04/01/2003)
- [4.2] *Akcijski plan za implementaciju EPBD u hrvatsko zakonodavstvo*, Vlada Republike Hrvatske, ožujak/travanj 2008.
- [4.3] *Zakon o prostornom uređenju i gradnji*, NN 76/07 i 38/09
- [4.4] *Zakon o učinkovitom korištenju energije u neposrednoj potrošnji* (NN 152/08)
- [4.5] *Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti zgrada* NN 110/08 i *Tehnički propis o izmjeni Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama* NN 89/09
- [4.6] *Tehnički propis o sustavima grijanja i hlađenja zgrada* NN 110/08
- [4.7] *Pravilnik o energetskom certificiranju zgrada* NN 36/10
- [4.8] *Pravilnik o uvjetima i mjerilima za osobe koje provode energetske preglede i energetsko certificiranje zgrada* NN 113/08 i *Pravilnik o izmjenama i dopunama Pravilnika o uvjetima i mjerilima za osobe koje provode energetske preglede i energetsko certificiranje zgrada* NN 89/09
- [4.9] *Metodologija provođenja energetskog pregleda zgrada*, Energetski institut Hrvoje Požar, MZOPUG, lipanj 2009.
- [4.10] HRN EN 13790:2008 - *Energetska svojstva zgrada - Proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora* (ISO 13790:2008, EN ISO 13790:2008)
- [4.11] *Prijedlog Studije primjenjivosti alternativnih sustava za opskrbu energijom kod novih i postojećih zgrada*, Energetski institut Hrvoje Požar, 2009.
- [4.12] IEA ECBCS Annex 44, *Integrating Environmentally Responsive Elements in Buildings*
- [4.13] Hrs Borković, Ž. et al. (2007) *Energetska učinkovitost u zgradarstvu – Vodič za sudionike u projektiranju, gradnji, rekonstrukciji i održavanju zgrada*, Zagreb, EIHP/HEP TOPLINARSTVO
- [4.14] Rey, F.J., Velasco, E., Varela, F. (2007), *Building Energy Analyses (BEA): A methodology to assess building energy labelling*, Energy and Buildings 39 (2007), 709-716
- [4.15] Vuk, B. (et.al.), (2009), *Energija u Hrvatskoj: godišnji energetski pregled 2008.*, Zagreb, MINGORP, EIHP
- [4.16] EnR (2008), *Implementation of the EU Energy Performance of Buildings Directive – a snapshot report – EnR lessons learned and recommendation for the future*
- [4.17] Casals, X.G.(2006) *Analysis of building energy regulation and certification in Europe: Their role, limitations and differences*, Energy and Buildings 38, 2006, 381-392
- [4.18] REPUBLIKA HRVATSKA - DRŽAVNI ZAVOD ZA STATISTIKU
- [4.19] Hrs Borković, Ž., Krstulović, V., Mihalek, E., Gelo, T. (2003) *Pilot projekt povećanja energetske efikasnosti u zgradarstvu- Elektrostrojarska obrtnička škola u Zagrebu - Prijedlog preciznog projektnog zadatka, investicijski plan i ekonomska opravdanost zahvata, elaborat toplinskih svojstava građevine i idejni projekt*, EIHP, Zagreb
- [4.20] Hrs Borković, Ž., Petrić, H. (2004) *Energetska studija u svrhu povećanja energetske efikasnosti pri rekonstrukciji poslovne zgrade «HEP» d. p. «Elektra» Koprivnica*, EIHP, Zagreb
- [4.21] Hrs Borković, Ž., Matić, Z. (2003) *Koncept i idejni projekt energetski samostojne ekološke kuće kao elementa autonomnog solarnog sela za seoski turizam na otocima*, EIHP, Zagreb
- [4.22] Hrs Borković, Ž., Savić, S., Krstulović, V. (2002) *Pilot projekt povećanja energetske efikasnosti u zgradarstvu - Dječje jaslice IVANČICA u Osijeku - Elaborat s prijedlogom preciznog projektnog zadatka*, EIHP, Zagreb
- [4.23] Hrs Borković, Ž., Petrić, H. (2002) *Pilot projekt povećanja energetske efikasnosti u zgradarstvu - Poslovna zgrada EIHP - brošura*, EIHP, Zagreb
- [4.24] Zanki, V., Bukarica, V., Dović, D., Hrs Borković, Ž., Soldo, V., Sučić, B., Švaić, S., (2008), *Priručnik za energetske savjetnike*, UNDP, Hrvatska
- [4.25] Zbašnik-Senegačnik, M.(2008): *Veliki pasivni objekti*, AR-Arhitektura, Raziskave, 2008/1, 46-55
- [4.26] International Energy Agency - *Daylight in buildings, A report of IEA SHC Task 21/ECBCS Annex 29*, july 2000 (www.iea.org)
- [4.27] <http://www.mzopu.hr>
- [4.28] <http://ec.europa.eu/>
- [4.29] <http://www.buildup.eu>
- [4.30] <http://www.gap-solar.at>
- [4.31] <http://ri-isa.com>
- [4.32] <http://www.permasteelisa.com>
- [4.33] *Laboratory for visionary architecture*, www.l-a-v-a.net
- [4.34] <http://www.xella.de>





## 5. SUSTAVI GRIJANJA

### 5.1. Izvori i pretvorba energije

Energija je sposobnost obavljanja rada, odnosno svladavanja sile na nekom putu. Ta definicija objedinjuje sve oblike energije. Koliko će se pojedinog oblika energije utrošiti za neku radnju, ovisi o njenoj sposobnosti (kvaliteti) da se transformira u rad.

#### 5.1.1. Prirodni izvori energije

Sva iskoristiva toplinska energija potječe iz tri osnovna izvora energije: energije Sunca, energije iz Zemlje i energije gravitacije.

**Energija Sunca** nastaje procesima termonuklearne fuzije vodika koji se odvijaju u središtu Sunca. Produkti fuzije su helij i velika količina energije koja se prenosi prema površini Sunca, prosječne temperature 5760 K. S površine Sunca energija se emitira u svemir elektromagnetskim valovima. Iako samo vrlo mali dio ukupne Sunčeve energije dolazi do površine Zemlje, na nju tijekom jedne godine dospije veća količina energije od one sadržane u ukupnim rezervama ugljena i nafte. Energija sunčeva zračenja na Zemlji pretvara se u druge oblike energije procesima fotosinteze, isparivanja i strujanja.

**Energija iz Zemlje** posljedica je topline rastaljene Zemljine jezgre koja se iz unutrašnjosti provodi prema površini. Zemlja se od svojih početaka, kada je postojala kao kugla užarenih tvari, hladi i stvara kruti dio Zemljine kore koji je debeo do 50 km. Prosječna dnevna količina energije koja se iz središta Zemlje dovodi površini iznosi  $5,4 \text{ MJ/m}^2$  (gustoća toplinskog toka  $0,063 \text{ W/m}^2$ ), što je nisko i nije pogodno za tehničko iskorištavanje. Toplinski gradijent po dubini Zemljine kore može biti mjestimično vrlo različit, a on je mjerodavan za iskorištavanje topline iz Zemlje. Energija iz Zemlje stoga se najčešće koristi kao toplina izvora vruće vode ili pare, toplina suhih stijena i kao toplinski izvor za rad dizalica topline.

**Energija gravitacije** posljedica je gravitacijskih sila između Sunca, Mjeseca i Zemlje. Gravitacijske sile uzrokuju promjene razine mora i time promjenu potencijalne energije morske vode. Amplituda plime i oseke mjestimično varira, a može iznositi od nekoliko centimetara do šesnaest metara.

Energija iz tri osnovna izvora prirodnim se pretvorbama pretvara u druge oblike energije.

Prirodni izvori energije kao posljedica energije Sunca su:

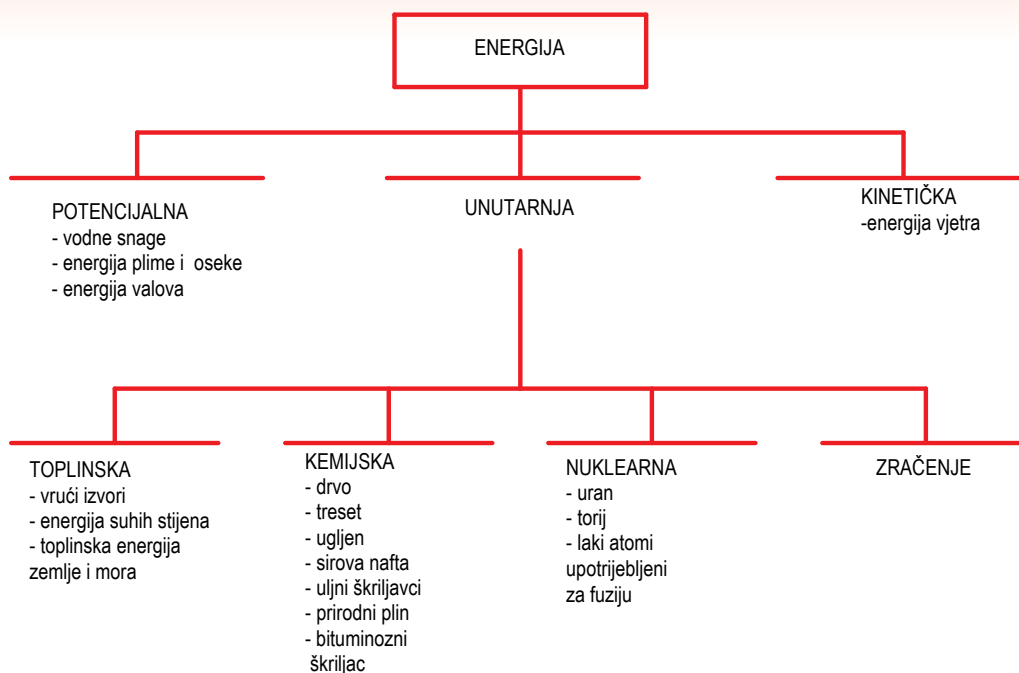
- energija direktnog Sunčeva zračenja
- energija biomase i fosilnih goriva (nastalih primarno procesom pretvorbe Sunčeva zračenja fotosintezom)
- energija hrane
- potencijalna energija jezera i vodotokova (nastala procesima isparivanja)
- energija vjetra (nastala kao posljedica strujanja zračnih masa zbog nejednolikog ugrijavanja Sunčevim zračenjem)
- energija valova (kao posljedica energije vjetra)
- topline zraka, mora i dijelom topline zemlje.

Energija iz Zemlje sadržana je u sljedećim prirodnim izvorima energije:

- energiji vrućih izvora
- toplini zemlje
- energiji nuklearnog goriva i
- energiji vulkana.

Energija gravitacije sadržana je u energiji plime i oseke.

Podjela izvora energije s obzirom na oblik energije prikazana je na slici 5.1.



Slika 5.1 - Izvori energije

Često se susreće podjela na konvencionalne i nekonvencionalne izvore energije.

**Konvencionalni** izvori energije su oni koji se za određenu namjenu najčešće upotrebljavaju. U konvencionalne izvore ubrajaju se: ogrjevno drvo, fosilna goriva (ugljen, sirova nafta i prirodni plin), potencijalna energija vodotoka (snage veće od 30 MW), nuklearna goriva i vrući izvori.

**Nekonvencionalni** izvori energije su energija Sunčeva zračenja, energija vjetra, energija valova, energija plime i oseke, energija suhih stijena, potencijalna energija vodotoka malih snaga i toplinska energija mora.

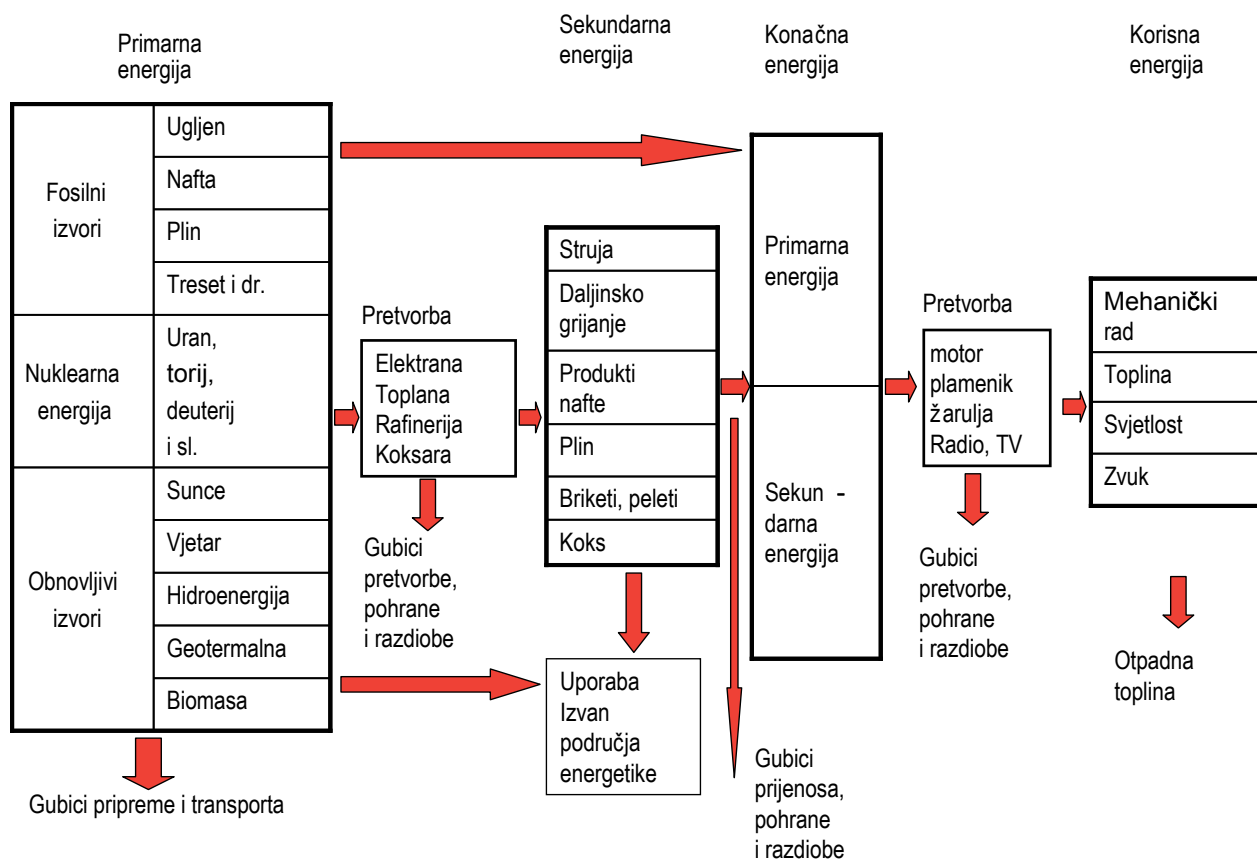
**Obnovljivi i neobnovljivi izvori energije:** izvor energije može se smatrati obnovljivim, ako se njegova izdašnost ne smanjuje za ljudsko poimanje vremena, tj. ako je povećanje raspoložive energije veće ili jednako njenoj potrošnji u istom vremenskom razdoblju. Prema navedenoj definiciji obnovljivosti i prirodni se izvori energije također mogu podijeliti na obnovljive i neobnovljive. Neobnovljivi prirodni izvori energije su npr. fosilna i nuklearna goriva, dok su obnovljivi prirodni izvori energije vodne snage, energija Sunčeva zračenja, energija vjetra, energija valova, energija plime i oseke, biomasa (ako je prinos nove biomase veći ili jednak iskorištavanju, što se postiže pravilnim gospodarenjem), bioplin te toplina zraka, mora i zemlje (akumulirana sunčeva energija).

### 5.1.2. Pretvorba energije

**Zakon o očuvanju energije:** energija se ne stvara niti uništava. U svim realnim (nepovratnim) procesima energija se pretvara iz jednog oblika u drugi, pri čemu gubitak predstavlja dio koji se pretvara u neiskoristivu energiju. Zbroj svih energija na ulazu u neki sustav jednak je zbroju energija na izlazu iz njega. Pri korištenju energije iz nuklearnih goriva, masa se može poistovjetiti s energijom prema Einsteinovoj jednadžbi  $E = mc^2$ .

**Pretvorba energije:** prirodni oblici energije mogu se direktno koristiti ili se preko pretvorbenih oblika energije mogu pretvarati u korisne oblike, najčešće u mehaničku ili toplinsku energiju. Tu se govori o primarnoj, sekundarnoj, konačnoj i korisnoj energiji. Primarnom se energijom pritom smatra ona energija koja je sadržana u energentu (nosiocu energije). Sekundarna energija je dobivena energetskom pretvorbom iz primarne energije i predstavlja primarnu energiju umanjenu za gubitke u pretvorbi (npr. električna energija proizvedena izgaranjem goriva u termoelektrani). Konačna (ili neposredna) energija je ona energija koja dolazi do krajnjeg korisnika (sekundarna energija umanjena za gubitke prijenosa i distribucije). Konačno, korisna energija

je ona koja je utrošena za zadovoljavanje potreba krajnjih korisnika (konačna energija umanjena za gubitke pretvorbe kod korisnika). Shematski prikaz tokova energije i međusobni odnosi navedenih oblika prikazani su na slici 5.2 prema [5.1].



Slika 5.2 - Pretvorba energije

**Eksergija** je maksimalan rad kojega se može dobiti iz nekog radnog fluida dovođenjem njegovog stanja povratnim (reverzibilnim) putem do stanja okoline. U svim realnim (nepovratnim) procesima eksergija se smanjuje. Energetski resursi (gorivo) se u procesu korištenja (izgaranje) degradiraju zbog izjednačenja njihovog kemijskog potencijala s okolinom. Zadatak energetičara je na što učinkovitiji način iskoristiti sadržanu energiju energetskih resursa prije njihove degradacije, odnosno izjednačenja sa stanjem okoline. Kvaliteta energije je to veća, što se veći njen dio može transformirati u koristan rad, odnosno što je veća pripadna eksergija. Eksergiju možemo smatrati mjerom za vrijednost energije. Čim je veći udjel eksergije u nekoj energiji, time je veća vrijednost te energije. Tako je kvaliteta električne, potencijalne i kinetičke energije veća od kvalitete toplinske energije, jer ovi oblici energije sadrže samo eksergiju.

Eksergija topline (toplinskog toka) jednaka je radu koji se može dobiti povrativim Carnotovim desnokretnim procesom utroškom topline  $Q$ , pri temperaturama ogrjevnog spremnika  $T$  i rashladnog spremnika  $T_0$ .

$$Eks_Q = \eta_{\text{carnot}} Q = \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) Q \quad (5.1)$$

Anergija topline (toplinskog toka) je neiskoristivi dio topline  $Q$  i iznosi:

$$A_Q = \frac{T_0}{T} Q \quad (5.2)$$

Toplinska energija je veća od eksergije, tj. pored eksergije sadrži u sebi i anergiju. Toplinska energija okoline nema u sebi nikakvu eksergiju. Cjelokupnu energiju okoline čini anergija. Gornji izrazi odnose se na toplinske spremnike konstantne temperature.

Pri korištenju dimnih plinova izgaranja eksergija se izračunava za promjenjivu temperaturu ogrjevnog spremnika (plinovi izgaranja se ohlađuju):

$$Eks_Q = \int_1^2 \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) dQ \quad (5.3)$$

Anergija dimnih plinova izgaranja je tada:

$$A_Q = T_0 \int_1^2 \frac{dQ}{T} \quad (5.4)$$

**Eksergija goriva** je rad koji bi se teoretski mogao dobiti povrativom (reverzibilnom) kemijskom reakcijom izgaranja, što realno nije moguće u tehnički izvedivom procesu. Eksergija goriva je približno jednaka gornjoj ogrjevnoj moći goriva.

Za potrebe grijanja poželjno je koristiti čim manje visokokvalitetne topline (koja sadrži velik udio eksergije). Iz toga razloga povoljnija su niskotemperaturna grijanja korištenjem dizalica topline (udio eksergije u isporučenoj toplinskoj energiji, ovisno o temperaturama procesa, prosječne vrijednosti u režimu grijanja je oko 30%) od elektrootpornih grijanja, kao i niskotemperaturna grijanja kod kojih se maksimalno iskorištava raspoloživa eksergija goriva u odnosu na visokotemperaturna grijanja (npr. primjena kondenzacijskih kotlova u usporedbi s primjenom standardnih kotlova, o čemu će biti riječi u nastavku).

## Učinkovitost energetskih procesa

### Energetska iskoristivost

Energetska iskoristivost nekog procesa definira se kao omjer iskorištene izlazne energije (rad i iskoristiva toplina) i utrošene ulazne energije u proces.

$$\eta_{en} = \frac{\text{iskorištena (izlazna) energija}}{\text{utrošena (ulazna) energija}} = \frac{\text{rad} + \text{iskoristiva izlazna toplina}}{\text{ulazna toplina}} \quad (5.5)$$

$$\eta_{en} = \frac{W + Q_{izl}}{Q_{ul}} \quad (5.6)$$

Primjeri energetske iskoristivosti nekih procesa i dostizivih granica maksimalnih vrijednosti (u zgradama) dani su u tablici 5.1, prema [5.2].

**Tablica 5.1 - Energetske iskoristivosti nekih procesa**

Energetski sustav	$\eta_{en}$
Parne elektrane (konvencionalno izgaranje)	0,25 - 0,40 (0,45)
Plinske elektrane	0,20 - 0,35 (0,40)
Dizelske elektrane	0,35 - 0,45 (0,52)
Elektrane s kombiniranim procesom	0,45 - 0,55 (0,60)
Kogeneracijske elektrane	0,50 - 0,80 (0,90)

### Eksergetska iskoristivost

Za sustav koji proizvodi rad eksergetska iskoristivost je omjer dobivenog rada i utrošene eksergije

$$\eta_{eks} = \frac{\text{rad}}{\text{utrošena (iskorištena) eksergija}} = \frac{W}{Eks_{ul} - Eks_{izl}} \quad (5.7)$$

Za sustave koji troše rad, kao što su npr. rashladni sustavi, eksergetska iskoristivost je omjer prirasta eksergije i utrošenog rada

$$\eta_{eks} = \frac{\text{dobivena eksergija (prirast)}}{\text{rad}} = \frac{Eks_{izl} - Eks_{ul}}{W} \quad (5.8)$$

Za sustav koji ne proizvodi niti troši rad eksergetska iskoristivost je omjer dobivenog prirasta eksergije i utrošene eksergije

$$\eta_{eks} = \frac{\text{dobivena eksergija (prirast)}}{\text{utrošena eksergija}} = \frac{\sum Eks_{rad,medija,izl} - \sum Eks_{rad,medija,ul}}{\sum Eks_{pog,medija,ul} - \sum Eks_{pog,medija,izl}} \quad (5.9)$$

Za povratne procese je  $\eta_{eks,max} = 1,0$ , dok je za realne nepovratne procese  $\eta_{eks,max} < 1,0$ .

### 5.1.3. Konačna energija - oblici i svojstva

Od oblika konačne energije koji se kod korisnika pretvaraju u korisnu energiju posebno su zanimljivi

- Električna energija iz distribucijske mreže (sekundarna energija)
- Kapljevita, plinovita i kruta goriva (primarni oblici)
- Obnovljivi izvori energije (sunce, vjetar, biomasa).

#### Električna energija

Električna energija može se koristiti za elektrootporno grijanje ili za pogon kompresijskih dizalica topline. Prema podacima HEP-a oko 50-60% energije proizvedene u Hrvatskoj (ovisno o hidrološkoj situaciji) proizvodi se radom hidroelektrana, oko 30 - 40% radom termoelektrana i oko 8 - 10% radom nuklearne elektrane Krško.

Cijene se formiraju u skladu s tarifnim pravilnikom elektrodistribucijskih poduzeća, koji odobrava Vlada RH, temeljem prijedloga Hrvatske energetske regulatorne agencije. Za kućanstva se primjenjuje različit način obračuna nego za poduzetništvo. Ukupna cijena električne energije sastoji se iz naknade za radnu energiju, naknade za radnu snagu (koja se za kategoriju kućanstava i neke modele u kategoriji poduzetništva ne obračunava), naknade za prekomjernu jalovu snagu (obračunava se samo kod kategorije poduzetništva) i naknade za mjernu opskrbu i uslugu. U nekim modelima predviđena je jedinstvena tarifa bez obzira u kojem se dijelu dana energija troši, dok je u nekim modelima izvršena podjela na dnevnu i noćnu tarifu, pri čemu je cijena radne energije u noćnoj tarifi, kad je opterećenje mreže manje, niža nego li je to slučaj u dnevnoj tarifi. Odabirom ovakvog načina obračuna za korisnika se mogu ostvariti određeni pozitivni ekonomski efekti primjenom sustava grijanja s toplinskom akumulacijom. Cijena također ovisi i o tome preuzima li se električna energija na visokom, srednjem ili niskom naponu. Tarifni pravilnici doživljavaju tijekom godina znatne promjene, ovisno o energetske i ekonomskoj situaciji, te je dulje planiranje temeljeno na ekonomskim pokazateljima prilično otežano. Primjer cijena električne energije dan je u tablici 5.2. za kategoriju poduzetništvo i u tablici 5.3. za kategoriju kućanstava.

Tablica 5.2 - Cijene električne energije za poduzetništvo [5.34]

Kategorija kupca		Tarifni model	Tarifni element					
			Radna energija			Radna snaga	Prekomjerna jalova snaga	Naknada za mjernu uslugu i opskbu
			JT	VT	NT			
			[kn/kWh]	[kn/kWh]	[kn/kWh]	[kn/kW]	[kn/kvarh]	[kn/mj]
			Tarifne stavke					
Poduzetništvo	Visoki napon	Bijeli	-	0,34	0,17	49,99	0,15	106
	Srednji napon	Bijeli	-	0,45	2300	58,39	0,15	106
	Niski napon	Plavi	0,71	-	-	-	0,15	65
		Bijeli	-	0,75	0,38	-	0,15	65
		Crveni	-	0,52	0,26	70,97	0,15	65
		Narančasti	1,02	-	-	-	-	65
	Žuti (javna rasvjeta)	0,58	-	-	-	-	31,5	

Tablica 5.3 - Cijene električne energije za kućanstvo [5.34]

Kategorija kupca		Tarifni model	Tarifni element					
			Radna energija			Radna snaga	Prekomjerna jalova snaga	Naknada za mjernu uslugu i opskbu
			JT	VT	NT			
			[kn/kWh]	[kn/kWh]	[kn/kWh]	[kn/kW]	[kn/kvarh]	[kn/mj]
			Tarifne stavke					
Kućanstvo	Niski napon	Plavi	0,7042	-	-	-	-	16
			(0,8662)					(19,68)
		Bijeli	-	0,7439	0,3769	-	-	16
				(0,915)	(0,4636)			(19,68)
	Narančasti	0,9224	-	-	-	-	-	
		(1,1346)						
	Crni	0,3075	-	-	-	-	5,4	
		(0,3782)					(6,642)	

## Goriva

Gorivima se nazivaju gorive tvari koje pri izgaranju razvijaju određenu količinu topline, odnosno tvari koje dovedene na temperaturu zapaljenja, uz prisustvo kisika iz zraka uz stvaranje plamena ili žara, prelaze u plinovite spojeve i nesagorive ostatke te razvijaju određenu količinu topline.

**Zahtjevi na goriva:**

Postoji niz kriterija koji se mogu postaviti i koji utječu na odabir određene vrste goriva. Među ostalima, to su:

- cijena
- dovoljne količine
- lako paljenje (da točka zapaljenja nije previsoka)
- dimni plinovi koji ne zagađuju okoliš i nisu toksični
- prikladnost za transport i skladištenje.

**Vrste goriva:**

- Kapljevita goriva (najčešće lož ulje)
- Plinovita goriva (prirodni plin, ukapljeni naftni plin)
- Kruta goriva (ugljen, koks, drvene cjepanice, peleti, briketi, sječka, hoblovina).

**Ogrjevna moć goriva****Donja ogrjevna moć goriva  $H_d$** 

Donja ogrjevna moć goriva  $H_d$  je toplina oslobođena procesom izgaranja goriva bez dodatnog iskorištavanja topline kondenzacije vodene pare (dimni plinovi su svedeni na standardno stanje, a vodena para u njima ne kondenzira). Za poznati kemijski sastav goriva vrijedi izraz za izračunavanje donje ogrjevnice moći:

$$H_d \cong 34,8c + 93,9h + 10,5s + 6,3n - 10,8o - 2,5w \text{ [MJ/kg]} \quad (5.10)$$

- c - sadržaj ugljika [kg/kg]
- h - sadržaj vodika [kg/kg]
- s - sadržaj sumpora [kg/kg]
- n - sadržaj dušika [kg/kg]
- o - sadržaj kisika [kg/kg]
- w - sadržaj vode [kg/kg]

**Gornja ogrjevna moć goriva  $H_g$** 

Kod goriva koja u sastavu sadrže vodik, pa stoga u plinovima izgaranja sadrže vodenu paru, razlikuje se gornja ogrjevna moć od donje ogrjevnice moći. Gornja ogrjevna moć predstavlja toplinu oslobođenu procesom izgaranja goriva s dodatnim iskorištavanjem topline kondenzacije vodene pare (dimni plinovi su svedeni na standardno stanje, a vodena para u njima kondenzira). Gornja ogrjevna moć veća je od donje ogrjevnice moći za količinu kondenzacije vodene pare sadržane u plinovima izgaranja.

$$H_g = H_d + r \frac{9h + w}{100} \quad (5.11)$$

- h - sadržaj vodika [kg/kg]
- w - sadržaj vode [kg/kg]
- r - toplina isparivanja vode ( $r = 2,5$  [MJ/kg])

Pored vode nastale izgaranjem vodika, i vlaga (sadržana npr. u krutim gorivima) znatno utječe na ogrjevnice moć. Iskorištenje topline kondenzacije moguće je i opravdano kod goriva koja sadrže vodik (npr. plinovita goriva), ali povezano je s problemima sumporne korozije u slučaju da goriva sadrže i sumpor (loživu ulje).



### Količina zraka za izgaranje

Teorijska količina zraka za izgaranje krutih i tekućih goriva je:

$$L_{\min} = \frac{22,4}{0,21} \left( \frac{c}{12} + \frac{h}{4} + \frac{s}{32} - \frac{o}{32} \right) = 8,88c + 26,44h + 3,32s + 3,33o \quad [\text{m}^3/\text{kg}] \quad (5.12)$$

Kod plinovitih goriva teoretski potrebna količina zraka je:

$$L_{\min} = \frac{1}{0,21} \left[ \left( \frac{\text{CO} + \text{H}_2}{2} \right) + \left( n + \frac{m}{4} \right) C_n H_m - O_2 \right] \quad [\text{m}^3/\text{m}^3] \quad (5.13)$$

Stvarna količina zraka za izgaranje je veća jer cjelokupna masa gorive tvari ne može biti u kontaktu s kisikom potrebnim za izgaranje.

$$L = \lambda_z L_{\min} \quad (5.14)$$

$\lambda_z$  je koeficijent prelika zraka. Orijentacijske vrijednosti za  $\lambda$  su sljedeće [5.4]:

Plinska ložišta s ventilatorom	$\lambda_z = 1,1 - 1,3$
Atmosferski plinski plamenici	$\lambda_z = 1,25 - 1,5$
Uljna ložišta	$\lambda_z = 1,2 - 1,5$
Ložišta s ugljenim prahom	$\lambda_z = 1,2 - 1,3$
Mehanička ložišta s ugljem	$\lambda_z = 1,3 - 1,5$
Ložišta s ručnim ubacivanjem krutih goriva	$\lambda_z = 1,5 - 2,0$

Ako je prelika zraka prevelik, ložište radi neučinkovito, jer se hladi nepotrebno dovedenim zrakom.

**Tablica 5.4 - Ogrjevne moći nekih tekućih goriva**

Gorivo	Gustoća kod 20°C [kg/dm <sup>3</sup> ]	Sastav % m/m				Gornja ogrjevna moć [kJ/kg]	Donja ogrjevna moć [kJ/kg]
		C	H	O + N	S		
Etilni alkohol	0,8	52	13	25		29890	26960
Benzol	0,88	92	8			41940	40230
Benzin	0,72-0,80	85	15			46700	42500
Loživo ulje EL	0,82-0,86	86	13	0,5	0,3	45400	42700
Loživo ulje S	0,90-0,92	86	11	1	2	42300	40200
Petrolej	0,80-0,82	85	15			42900	40800
Metanol	0,79	38	12	50		22310	19510
Diesel gorivo	0,84	86	13	0,4	0,5	44800	41650
Katransko ulje kamenog uglja	1,00—1,08	89	7	4		39150	37450

## Loživo ulje

Loživo ulje je često korišteno gorivo za sustave centralnih grijanja. Najčešće se koristi ekstra lako loživo ulje (LUEL), čiji su sastav i karakteristike detaljnije prikazani u sljedećim tablicama:

**Tablica 5.5 - Sastav ekstra lakog loživog ulja**

Naziv	Maseni udio [%]
C	86
H	13
O + N	0,5
S	0,2

**Tablica 5.6 - Svojstva ekstra lakog loživog ulja**

Vrelište / Područje vrenja [°C]	180 - 300
Točka paljenja / (Plamište najmanje) [°C]	55
Temperatura samozapaljenja [°C]	50 - 460
Granice eksplozivnosti [% v/v]	6 - 6,5
Gustoća (15°C) [kg/m <sup>3</sup> ]	820 - 860
Točka tečenja [°C]	0 do -12
Viskoznost (20°C) [mm <sup>2</sup> /s]	1,8 - 6,0
Viskoznost (40°C) [mm <sup>2</sup> /s]	1,3 - 3,8
Količina sumpora, najviše [% m/m]	0,2
Gornja ogrjevna moć [kJ/kg]	45400
Gornja ogrjevna moć [kWh/kg]	12,611
Donja ogrjevna moć [kJ/kg]	42700
Donja ogrjevna moć [kWh/kg]	11,861

Trenutna situacija u Hrvatskoj je takva da se maloprodajne cijene naftnih derivata određuju jednom tjedno, a jednokratno ne mogu odjednom rasti ili padati za više od 3,5%. Ako dođe do smanjenja ili povećanja cijena naftnih derivata za više od 3,5%, cijena se mijenja za 3,5%, a razlika se razdjeljuje u idućim obračunskim razdobljima. Cijena se dakle formira ovisno o stanju na tržištu, te znatno varira. Današnja cijena iznosi (maloprodajna s PDV-om, lipanj 2010.) 5,08 kn/l, a preračunata cijena (za gustoću 840 kg/m<sup>3</sup>) 5,3 kn/kg.

## Plinovita goriva

Plinovita goriva koja se najčešće koriste za potrebe centralnih grijanja su prirodni plin i ukapljeni naftni plin. Dok sastav prirodnog plina čini uglavnom metan, ukapljeni naftni plin je najvećim dijelom smjesa propana i butana. Prirodni se plin transportira sustavom cjevovoda od izvorišta do krajnjih potrošača, dok se ukapljeni naftni plin skladišti u proizvodnji i kod potrošača, te transportira u tlačnim posudama. Ovi plinovi sadrže u svom sastavu znatan udio vodika i stoga su pogodni za korištenje u kondenzacijskim kotlovima. Ne sadrže sumpor te su produkti, njihova izgaranja slobodna od sumpornog dioksida, što ih čini ekološki prihvatljivim gorivima.

Prirodni plin : Cijena prirodnog plina varira ovisno o regiji, a prema podacima distributera (HEP plin) iznosi (s PDV-om) 2,29 kn/m<sup>3</sup> za kućanstva, a za poduzetništvo 2,32 kn/m<sup>3</sup> (lipanj 2010). Uobičajeni sastav prirodnog plina kojega isporučuje HEP-Plin prikazan je u tablicama 5.7 i 5.8.

Tablica 5.7 - Sastav prirodnog plina [5.34]

Naziv	Formula	Volumni udio [%]
metan	CH <sub>4</sub>	92,00 - 99,00
etan	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,05 - 2,60
dušik	N <sub>2</sub>	0,40 - 2,90
ugljik dioksid	CO <sub>2</sub>	0,05 - 0,09
viši ugljikovodici	C <sub>m</sub> H <sub>n</sub>	0,10 - 0,40

Tablica 5.8 - Svojstva prirodnog plina

<b>Gornja ogrjevna moć <math>H_g</math> (26°C, 1013,25 mbar)</b>	kJ/m <sup>3</sup>	40152
	kWh/m <sup>3</sup>	11,153
<b>Gonja ogrjevna moć <math>H_d</math> (25°C, 1013,25 mbar)</b>	kJ/m <sup>3</sup>	36218
	kWh/m <sup>3</sup>	10,061
<b>Gustoća <math>\rho</math> (0°C, 1013,25 mbar)</b>	kg/m <sup>3</sup>	0,753
<b>Relativna gustoća <math>d_v</math> (zrak =1)</b>	-	0,59
<b>Wobbe broj <math>W_g</math></b>	kJ/m <sup>3</sup>	52273
	kWh/m <sup>3</sup>	14,52
<b>Teoretska količina zraka za izgaranje <math>L_{min}</math></b>	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	9,592

Ukapljeni naftni plin: Ukapljeni naftni plin smjesa je propana i butana. Komercijalni propan-butan plin smjesa je bez boje, okusa i mirisa, oko dva puta teži od zraka, za uporabu je odoriziran, najčešće etil merkaptanom da bi se njegova prisutnost u zraku mogla osjetiti njuhom, nije otrovan, ali kod prevelike koncentracije smanjuje količinu kisika u prostoriji. Kod atmosferskog tlaka i normalne temperature propan-butan je u plinovitom stanju. Svojstva su dana u tablici 5.9, a maloprodajna cijena je 5,97 kn (s PDV-om) za spremnike (rujan 2010) [5.35].

Tablica 5.9 - Svojstva ukapljenog naftnog plina

Naziv	Butan	Propan
Formula	$C_4H_{10}$	$C_3H_8$
Molarna masa $M$ [kg/kmol]	44,096	42,081
Plinska konstanta $R$ [J/(kgK)]	188,5	197,58
Maseni udio ugljika [%]	81,71	85,72
Maseni udio vodika [%]	18,28	14,28
Vrelište $t_{vr}$ [°C]	-0,5	-42
Kritična temperatura $t_{kr}$ [°C]	96,8	91,8
Kritični tlak $p_{kr}$ [bar]	42,46	44,73
Specifični volumen u plinovitom stanju (pri 15°C) $v_{pl}$ [m <sup>3</sup> /kg]	0,521	0,545
Specifični volumen u kapljevitom stanju (pri 15°C) $v_{kap}$ [l/kg]	1,972	1,912
Gustoća u plinovitom stanju (pri normalnim uvjetima) $\rho_{pl}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	2,011	1,913
Gustoća u kapljevitom stanju (pri 15°C) $v_{kap}$ [kg/l]	0,507	0,523
Specifični toplinski kapacitet u kapljevitom stanju (pri 0°C) $c_{kap}$ [kJ/(kgK)]	2,43	2,64
Relativna gustoća $d$	1,555	1,48
Gornja ogrjevna vrijednost $H_g$ [kWh/kg]	14	13,69
Gornja ogrjevna vrijednost $H_g$ [kWh/m <sup>3</sup> ]	28,28	26,21
Donja ogrjevna vrijednost $H_d$ [kWh/kg]	12,87	12,79
Donja ogrjevna vrijednost $H_d$ [kWh/m <sup>3</sup> ]	25,99	24,5
Omjer ogrjevnih vrijednosti $H_d / H_g$	0,919	0,934

### Kruta goriva

Kruta goriva korištena u termotehničkim sustavima grijanja su ugljen, te biomasa u obliku drvenih cjepanica, briketa, peleta i sječke.

**Ugljen:** u današnje vrijeme ugljen je malo zastupljen na tržištu goriva. Problem primjene u lokalnim ložištima je relativno veliko zagađenje zraka uslijed njegova izgaranja, pa je današnje korištenje uglavnom ograničeno na termoelektrane, gdje se u dobro kontroliranim uvjetima mogu emisije štetnih tvari u okoliš održati u željenim granicama.

Tablica 5.10 - Kemijski sastav i ogrjevna moć ugljena [5.2]

	Sastav goriva (maseni udjeli) za supstanciju bez vlage i pepela					Sadržaj vlage i pepela		Donja ogrjevna moć
	c	h	o	n	s	w	a	[MJ/kg]
<b>Drvo</b>	0,5	0,06	0,44	0,01	0	0,12-0,25	0,245	15,3
<b>Kakanj - sitni</b>	0,756	0,057	0,151	0,018	0,018	0,067	0,245	20,8
<b>Banović - kocka</b>	0,747	0,063	0,138		0,052	0,09	0,146	22,2
<b>Trbovlje - orah</b>	0,677	0,056	0,23		0,038	0,123	0,139	19,5
<b>Kreka - krupni</b>	0,671	0,041	0,266	0,017	0,005	0,185	0,078	19,4
<b>Kosovo</b>	0,723	0,055	0,178	0,015	0,029	0,153	0,287	15,4
<b>Rurski kameni ugljen</b>								
<b>Plameni</b>	0,831	0,054	0,09	0,017	0,009	0,02-0,05	0,02-0,10	28-32
<b>Masni</b>	0,887	0,049	0,041	0,016	0,007			
<b>Kovački</b>	0,909	0,044	0,025	0,016	0,006			
<b>Mršavi</b>	0,912	0,041	0,024	0,016	0,008			
<b>Antracit</b>	0,918	0,036	0,026	0,014	0,007			
<b>Koks kamenog ugljena</b>	0,975	0,003	0,003	0,01	0,009	0,02-0,16	0,08-0,10	29

**Biomasa:** kao gorivo u termotehničkim sustavima, tj. u toplovodnim kotlovima na biomasu, najčešće se koristi biomasa iz šumarstva. Šumska biomasa od sječe stabala iz prirodne šume ili plantaže i biomasa kao otpad iz drvne industrije, na tržištu se pojavljuje obliku oblica, sječke, briketa ili peleta.

Sječka se proizvodi na samom mjestu sječe. Usitnjavanje drvene biomase vrši se strojem pogonjenim motorom traktora ili šumskim strojem. Sječka se, nakon sušenja na zraku, skladišti ili odmah koristi u termotehničkim sustavima s kotlovima na biomasu, prilagođenim za prihvata sječke. Vlažnost sječke može biti visoka, od 15 do 50%.

Briketi se proizvode procesom prešanja (zgušnjavanja) drvene biomase strojevima za briketiranje klipne ili pužnom izvedbom. Briketi su obično cilindričnog oblika promjera od 20 do 120 mm i duljine do 400 mm.

Peleti se proizvode zgušnjavanjem sitnijih komadića drvene biomase (piljevine, blanjevine i bruševine) bez dodatka sredstava za vezivanje ili kemijskih sintetskih primjesa. Proizvode se u visokotlačnim prešama, a imaju oblik malog cilindra promjera od 4 do 40 mm i duljine do 100 mm. Postupak izrade peleta obuhvaća proces usitnjavanja drvene biomase, sušenje u sušari do vlažnosti od 8 do 10%, komprimiranje sirovine (peletiranje), hlađenje gotovih peleta zrakom te pakiranje. Peleti su naročito pogodni za automatsko loženje kotlova za centralno grijanje uz odgovarajuće skladištenje. Korištenjem suvremenih kotlova i poboljšanim vođenjem procesa izgaranja, postiže se mala emisija CO i pepela. S obzirom da ne sadrže puno vlage, njihova donja ogrjevna moć je oko 5,1 kWh/kg (količina topline koja nastaje izgaranjem 1 kg peleta približno je jednaka toplini koja nastaje izgaranjem 0,5 l loživog ulja).

Cijena na hrvatskom tržištu varira ovisno o sezoni i isporučitelju, a prosječna vrijednost kreće se oko 1,1 kn/kg.

Cjepanice su najčešće korišteni oblik biomase za sustave centralnih grijanja. Na tržištu se uglavnom nalaze bukove, jelove, grabove i hrastove cjepanice. Osnovna goriva tvar ne razlikuje se značajno u ogrjevoj moći, dok razlike slijede uglavnom iz sadržaja vlage te mase jednog prostornog metra (gustoća slaganja). Donja ogrjevna moć suhog drva je 19975 kJ/kg (5,55 kWh/kg). Vлага značajno utječe na ogrjevnu moć. Donja ogrjevna moć cjepanica sušenih na zraku (15% vlage) je 15764 kJ/kg (4,38 kWh/kg). Cjepanice se prodaju s cijenom koja se slobodno formira na tržištu i jako varira ovisno o sezoni, a najčešći način formiranja cijene je za 1 prostorni metar. Prosječna cijena na tržištu je oko 350 - 400 kn za prostorni metar. Uz prosječnu masu od oko 500 kg za jedan prostorni metar, ogrjevna moć jednog prostornog metra kreće se oko 2189 kWh.



Slika 5.3 - Sječka i cjepanice



Slika 5.4 - Briketi i peleti

Tablica 5.11 - Nasipna gustoća nekih krutih goriva [5.4]

Gorivo	Nasipna gustoća [kg/m <sup>3</sup> ]	Gorivo	Nasipna gustoća [kg/m <sup>3</sup> ]
Kameni uglj	850 - 890	Drveni uglj tvrdog drva	190 - 220
Briket kamenog uglja	740 - 780	Drveni uglj mekog drva	130 - 150
Prašina kamenog uglja	700 - 800	Piljevina	180 - 280
Mrki uglj	650 - 780	Treset	310 - 380
Briket mrkog uglja	700 - 720	Briketi treseta	650 - 750
Prašina mrkog uglja	450 - 500	Koks za visoke peći	460 - 530
Slama u prešanim balama	80 - 130	Koks za livnice	430 - 500
Slama u okruglim balama	60 - 130	Sitni koks	700 - 760
Tvrdo drvo (bukva)	560	Meko drvo (četinari)	420

## 5.2. Sustavi grijanja

Zadatak sustava grijanja je održavanje temperature u grijanim prostorima u željenim granicama tijekom hladnijeg razdoblja godine. Tehnički uvjeti za sustave definirani su zahtjevom za ostvarenje željene razine ugodnosti za ljude koji borave u grijanim prostorima, prvenstveno za održavanje operativne temperature u željenim granicama.

Svi uređaji koji se danas koriste za grijanje prostorija dijele se na dvije osnovne grupe: pojedinačna (lokalna) i centralna grijanja.

**Pojedinačna (lokalna) grijanja:** ložište ili generator (izvor) topline se nalazi u grijanoj prostoriji. Oni odaju toplinu zračenjem i konvekcijom. Način na koji će prostoriji biti predan veći dio topline ovisi o vrsti uređaja i ogrjevnog tijela, te o mjestu postavljanja.

**Centralna grijanja:** generator topline je smješten na jednom mjestu u građevini, dok su ogrjevna tijela smještena u pojedinačnim prostorijama. Sustav centralnog grijanja sastoji se od:

- Generators topline (kotao, dizalica topline, uređaj za pretvorbu sunčeve energije ili uređaj za korištenje drugih izvora topline)
- Dimovodnog sustava (ako se koristi kotao)
- Razvoda toplinske energije (razvod cijevne mreže kod toplovodnih grijanja)
- Ogrjevnih tijela
- Cirkulacijskih pumpi
- Zaporne i regulacijske armature
- Ekspanzijskog sustava
- Sustava regulacije i upravljanja.

Ako se koristi jedan ogrjevni uređaj po stanu u građevini s više stanova, govori se o etažnom grijanju.

**Daljinska grijanja:** ova grijanja čine posebnu grupu centraliziranih sustava grijanja. Kod daljinskih grijanja ložište je u centralnoj toplani iz koje se toplinom snabdijeva jedna ili više grupa građevina, stambeni blokovi ili gradske četvrti. Često su ova postrojenja građena kao termoelektrane - toplane, tj. kogeneracijska postrojenja s istovremenom proizvodnjom električne i toplinske energije.

### 5.2.1. Pojedinačna (lokalna) grijanja

#### Grijalice na kruta goriva

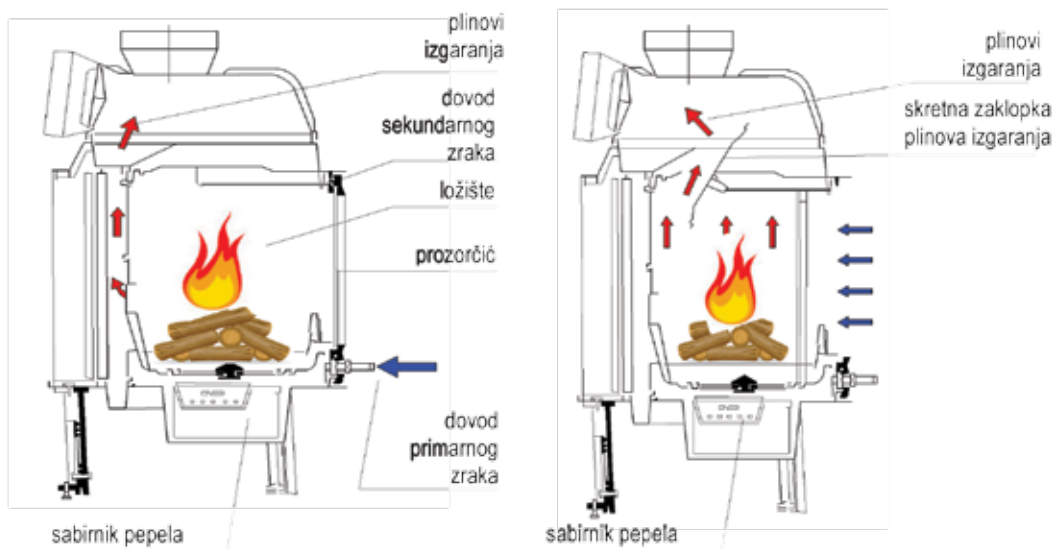
Uobičajena ložišta za kruta goriva su kamini, kaljeve peći i željezne peći.

**Kamini** su nastali od otvorenog ognjišta, koriste se rijetko, najčešće u dekorativne svrhe. Namijenjeni su prvenstveno izgaranju drvenih cjepanica. Za izgaranje su potrebne značajne količine zraka (120 - 500 m<sup>3</sup>/h), koji samo djelomično sudjeluje u izgaranju. Zbog potrebnog velikog pretička zraka za izgaranje drvenih cjepanica, stupanj iskorištenja topline goriva je nizak, oko 20 - 30%. Za kamin je potrebno je osigurati potreban dovod zraka (kod novih zgrada s dobrim brtvenjem prozora i vrata potrebno je predvidjeti kanale za dovod zraka). Opsluživanje kamina je zahtjevno, traži značajan rad poslužioaca.



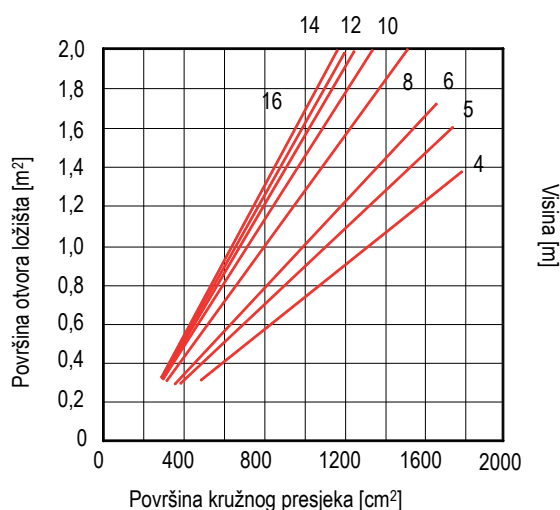
Slika 5.5 - Kamini

Prijenos topline prema grijanom prostoru nastaje uglavnom zračenjem. Poboljšanje stupnja iskorištenja topline ostvaruje se poboljšanom konvekcijom, ugradnjom kaminskih uložaka sa sabirnikom dimnih plinova koji služe boljem iskorištenju topline dimnih plinova i staklenim vratima koja utječu na povećanje učinkovitosti (smanjuje se pretičak zraka). Kaminski uložak prema DIN 18895 prikazan je na slici 5.6. Lijevo je slučaj kad su staklena vrata zatvorena, a desno kad su otvorena iz estetskih razloga.



Slika 5.6 - Kamin prema DIN 18895 [5.4]

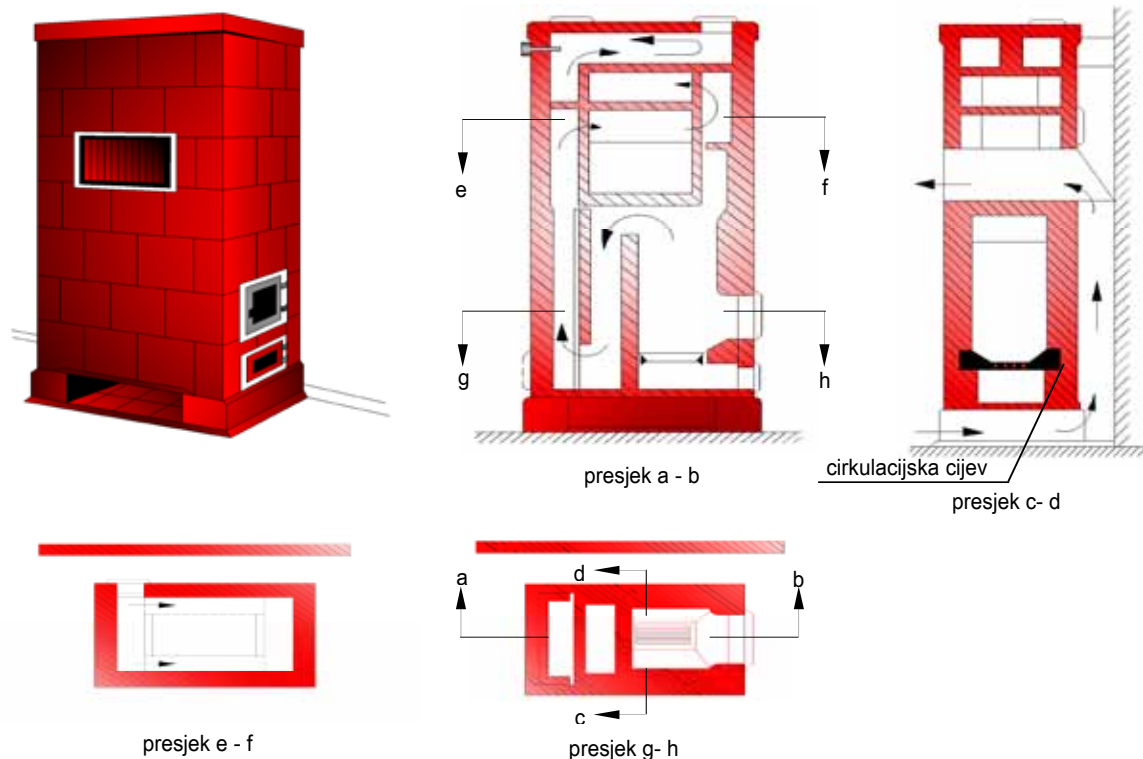
Presjek dimnjaka izračunava se za srednju temperaturu plinova izgaranja od 50 do 60°C i raspoloživu visinu, prema ogrjevnom učinku, koji mora biti povezan i s veličinom presjeka površine otvora ložišta. Primjer na slici 5.7 daje presjek dimnjaka poprečnog kružnog presjeka u funkciji površine otvora ložišta (ogrjevni učinak) i visine dimnjaka. Vidi se da je presjek od oko 350 cm<sup>2</sup> (promjer 20 cm) najmanja moguća vrijednost prikazana u dijagramu.



Slika 5.7 - Površina poprečnog presjeka dimnjaka za kamin

**Kaljeve peći:** građene su od glinenih ili šamotnih elemenata (kaljeva), s kanalima za vođenje dimnih plinova postavljenim unutar peći na takav način da su osigurani povoljni uvjeti prijenosa topline na prostoriju (slika 5.8). U zatvorenom ložištu se izgaranjem krutog goriva u kratkom vremenu proizvede toplina koja se akumulira u velikoj masi peći i tijekom dana odaje u prostor. Kaljeve peći su dakle termoakumulacijske peći. Odlikuju se velikim površinama za prijenos topline na prostoriju, pa su površinske temperature niske, a osjećaj ugodnosti u tako grijanom prostoru dobar. Mogućnost regulacije je nedovoljna, pa su gradijenti temperature u prostoru i u vremenu znatni.





Slika 5.8 - Zidana kaljeva peć [5.4]

Postoje izvedbe kaljevih peći za jednu prostoriju ili za više prostorija, povezane zračnim kanalima s drugim prostorijama. Starije izvedbe su zidane, dok su novije izvedbe prenosive, glazirane sa svih strana i postavljene na nožicama. Postoje lake, srednje i teške izvedbe, koje se razlikuju po debljini stijenki. Što je stijenka deblja odavanje topline je manje ( $0,7 \text{ kW/m}^2$  kod teškog tipa, a  $1,2 \text{ kW/m}^2$  kod lakog tipa). Oko 50% topline se odaje u prostoriju zračenjem a 50% konvekcijom.

Uobičajeno gorivo za kaljeve peći je drvo ili briketi mrkog uglja. Za druga goriva treba paziti na termičko opterećenje ložišta. Kaljeve peći se iz arhitektonskih razloga zadržavaju u prostorijama i kad se prilikom rekonstrukcije grijanja želi izbjeći daljnje loženje krutim gorivima. U takvom slučaju se u peć mogu ugraditi plamenici na lož ulje ili plin (treba koristiti odgovarajuće uloške za grijanje iz razloga sigurnosti). Kaljeva peć također može poslužiti i kao ogrjevno tijelo. Naime, u nju je moguće ugraditi električne grijače, a postoje i izvedbe s toplovodnim cijevima u sustavu centralnog grijanja ugrađenima u peć. Stupnjevi iskorištenja goriva u kaljevim pećima kreću se oko 65 do 75%. Dimnjaci kaljevih peći su manjeg presjeka nego što je to slučaj kod kamina, a preporuka za minimalni promjer dimnjaka okruglog presjeka je oko 13 cm.

**Željezne peći:** izrađene su od lijevanog željeza, ložište im je obloženo šamotnom oblogom (slika 5.9). Regulacijom količine zraka za izgaranje lako se regulira brzina izgaranja u ovim pećima. Ova je regulacija može biti i automatska. Temperatura površine im je viša ( $200$  do  $250^\circ\text{C}$ ), pa se veći dio topline odaje zračenjem. Kao i kod kaljevih peći, gradijenti temperature u prostoru i vremenu su znatni. Koriste se često u dekorativne svrhe (lijevanoželjezne peći), najčešće kao dopunsko grijanje.

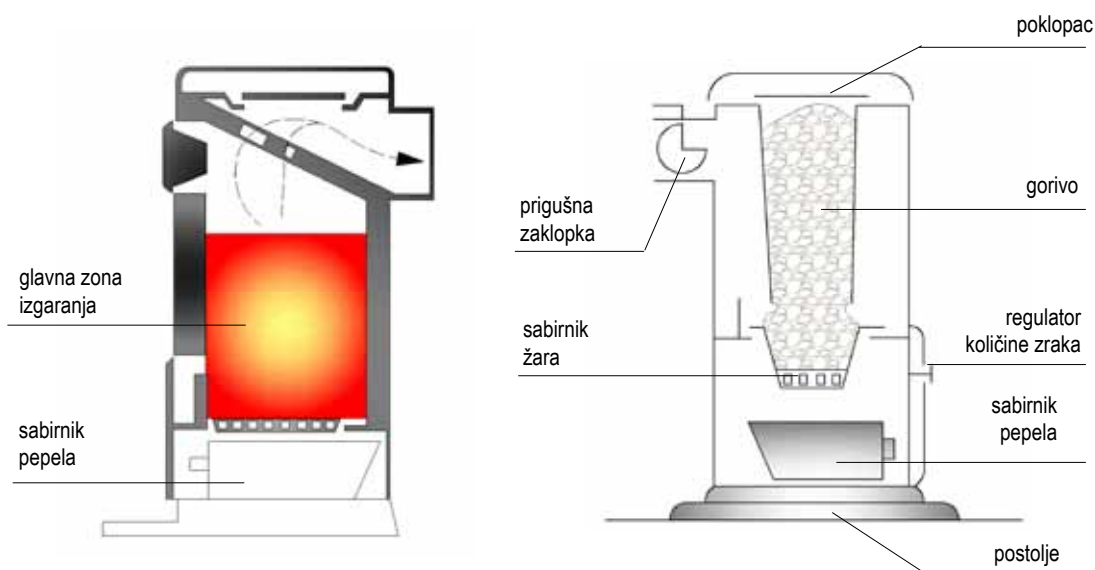


Slika 5.9 - Željezne peći

Ovisno o načinu punjenja i izgaranja razlikuju se izvedbe s progorijevanjem, s donjim izgaranjem (slika 5.10) i univerzalne trajno žareće peći. Kod izvedbi s progorijevanjem peć se puni odozgo, potpala i dovod zraka su odozdo i cjelokupna masa goriva izgara postupno odozdo, prostrujana dimnim plinovima. Maksimalni stupanj iskorištenja je od 75 do 80%, a trajno se ostvaruje 65 do 70%. Temperatura izlaznih plinova je 250 do 300°C pri punom opterećenju. Lože se skoro svim vrstama krutih goriva (antracit, koks, kameni uglj, cjepanice, briketi...).

Kod peći s donjim izgaranjem šahta za punjenje je odvojena od prostora za izgaranje. Samo donji dio goriva koji se nalazi na rešetki izgara. Gorivo se postupno spušta prema rešetki. Zbog ograničenog prostora izgaranja regulacija može biti vrlo precizna. Maksimalni stupanj djelovanja je 80 do 85%, a trajno se ostvaruje 70 do 75%.

Univerzalna trajnožareća peć predstavlja kombinaciju prethodne dvije vrste. Zrak za izgaranje dovodi se s više strana na gorivo koje izgara, čime se osigurava kontrolirano i potpuno izgaranje.



Slika 5.10 - Željezne trajnožareće peći s progorijevanjem (lijevo) i s donjim izgaranjem (desno) [5.4]

## Plinske grijalice i grijači za pojedinačna (lokalna) grijanja

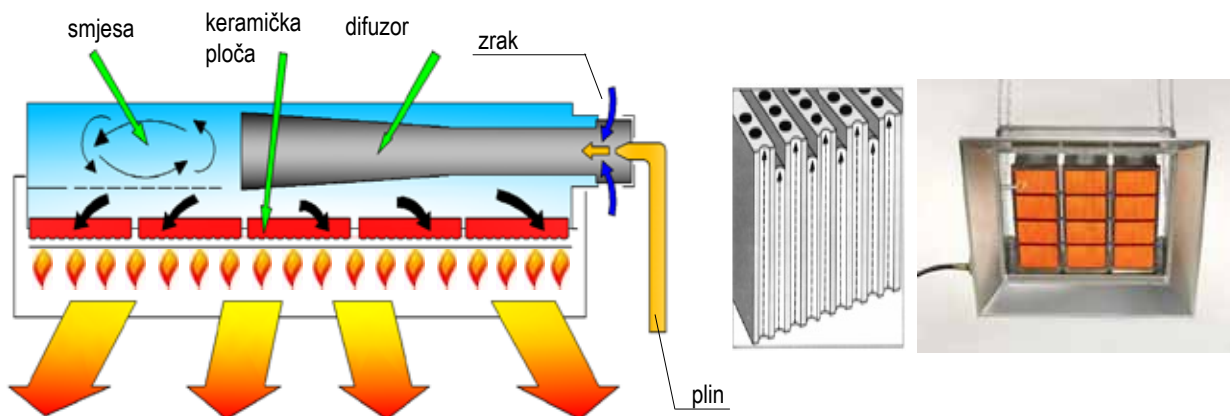
Plinski uređaji za grijanje primjenjuju se za zagrijavanje stambenih prostorija, kancelarija, prodavaonica, škola, terasa, hala i sl. Pogodni su za primjenu kod sanacije starih građevina, za kratkotrajno zagrijavanje prostorija, za zagrijavanje hala i u slučaju djelomičnog grijanja prostora. Plinske infracrvene grijalice koriste se za grijanje cijelih ili dijelova površina, radnih mjesta u velikim prostorima u industrijskim i proizvodnim halama, za skladišta, crkve, sportske hale ili površine na otvorenom prostoru (npr. tribine, kolodvori, terase). Plinske grijalice odaju toplinu najvećim dijelom zračenjem. Prijelaz topline zračenjem nije vezan za tvar kroz koju se odvija, sloj zraka kroz koji prolaze infracrvene zrake ne zagrijava se, dok površina na koje zračenje pada, apsorbira, reflektira ili propušta infracrvene zrake, ovisno o svojim fizikalnim svojstvima.

S obzirom da stanje ugodnosti ovisi pored temperature zraka i o temperaturi obuhvatnih ploha koje se uslijed apsorpcije zračenja ugrijavaju, primjenom grijalica kod kojih se toplina prenosi zračenjem, moguće je da temperature zraka u prostoru budu niže nego u slučaju sustava grijanja kod kojih se veći dio topline prenosi konvekcijom.

Dijele se na dva tipa: uređaji sa svijetlim i uređaji s tamnim zračenjem.

**Uređaji sa svijetlim zračenjem** (slika 5.11) povoljni su za zagrijavanje prostorija većih visina ( $H > 5\text{m}$ ). Sastoje se od komore za izgaranje, Venturijeve cijevi za slobodan ulaz zraka za izgaranje s mlaznicama za plin, reflektora i zračne ploče od keramike. Plin struji kroz mlaznicu u sredinu Venturijeve cijevi gdje se zbog nastalog podtlaka usisava zrak za izgaranje. Smjesa zraka i plina se kroz difuzor vodi u komoru za izgaranje. Smjesa se predgrijava i dovodi do keramičke ploče, izrađene iz keramike visoke poroznosti. Smjesa zraka i plina izlazi kroz male otvore, pali se i nastaje veliki broj malih plamenova. Veličina plamenova ovisi o tlaku ispred otvora, koji se postiže odgovarajućim proširenjem difuzora. Površina keramike doseže temperaturu  $900^{\circ}\text{C}$  i emitira vidljivo crveno „zračenje“.

Odvođenje plinova izgaranja vrši se bez direktnog priključka kanala, pomoću ventilatora koji se u prostoriji postavljaju iznad grijača ili prirodnim provjetranjem. Za instalirani 1 kW ogrjevnog učinka treba osigurati oko  $10\text{ m}^3/\text{h}$  odvedenog zraka. Ukupni stupanj iskorištenja topline je do 95%. Učinci pojedinačnih grijača kreću se od 3 do 42 kW.



Slika 5.11 - Grijalica sa svijetlim zračenjem

**Uređaji s tamnim zračenjem** (slika 5.12) rade po istim zakonitostima i s istim prednostima kao i uređaji sa svijetlim zračenjem. Temperatura zračnih cijevi je prosječno oko  $300^{\circ}\text{C}$ . Zbog nižih temperatura na površini, ovim se uređajima mogu grijati i niže hale (minimalna visina postavljanja  $H > 3\text{ m}$ ). Zbog nižih površinskih temperatura cijevi nisu užareno crvene i odatle je naziv tamni zračni grijači.

Uređaji tamnog zračenja mogu biti:

- Standardni uređaji (pojedinačni): uređaj s linearnom ili U-cijevi, reflektorima iznad cijevi, plamenikom i ventilatorom
- Uređaji s više plamenika: na jednoj cijevi postavljeno je nekoliko plamenika jedan iza drugoga. Na kraju se nalazi ventilator za plinove izgaranja

- Recirkulacijski uređaji: s promjerima cijevi do 450 mm i duljinom cijevi preko 100 m to su najveći tamni zračeći grijači. Imaju samo jedan plamenik. Plinovi izgaranja preko recirkulacijske komore vraćaju se u zračecu cijev
- Visokoučinski uređaji: odlikuju se toplinski izoliranim reflektorima, čime se povećava stupanj korisnosti zračenja.

Grijači tamnog zračenja podliježu propisima obveznog mjerenja dimnih plinova. Odvod plinova izgaranja može se provoditi preko pojedinačnog dimnjaka s ili bez dovoda zraka za izgaranje, preko dimnjače do zajedničkog dimnjaka za dva grijača, preko sabirnika za dimne plinove većeg broja grijača s ugrađenim dodatnim ventilatorom u sabirniku ili izuzetno s indirektnim odvođenjem otpadnih plinova. Stupanj korisnosti postrojenja za grijanja s tamnim zračećim grijačima kreće se od 89 do 91%.



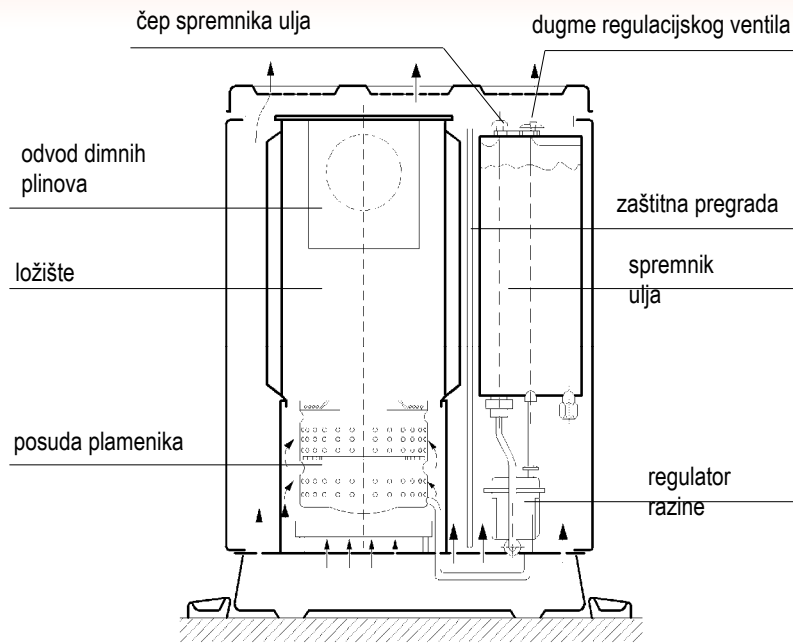
Slika 5.12 - Grijalica sa tamnim zračenjem

**Sobne plinske grijalice:** izrađuju se u varijanti s odvodom plinova izgaranja dimnjakom ili s odvodom plinova izgaranja na vanjski zid. Približno 70% odavanja topline vrši se konvekcijom. Postoje i sobne plinske grijalice na UNP, s odvodom plinova izgaranja u samu prostoriju, ali njihovo je korištenje rijetko i vrlo ograničeno.

**Sigurnost plinskih grijalica:** kod svih pojedinačnih plinskih uređaja za grijanje važno je osigurati da neizgoreni plinovi ne izlaze iz uređaja. To se provodi bimetalnim osiguranjem gdje plamen grije bimetal koji drži plinski ventil otvorenim, termoelektričnim osiguranjem, gdje se umjesto bimetala koristi termoelement koji stvara napon koji drži ventil otvorenim ili ionizacijskim osiguranjem gdje plamen koji gori provodi jednosmjernu struju do mase, a strujni krug se prekida gašenjem plamena. Pored toga, sve plinske peći vezane za dimnjake imaju i protočne prekidače koji prekidaju dovod plina kod prekida strujanja izlaznih plinova.

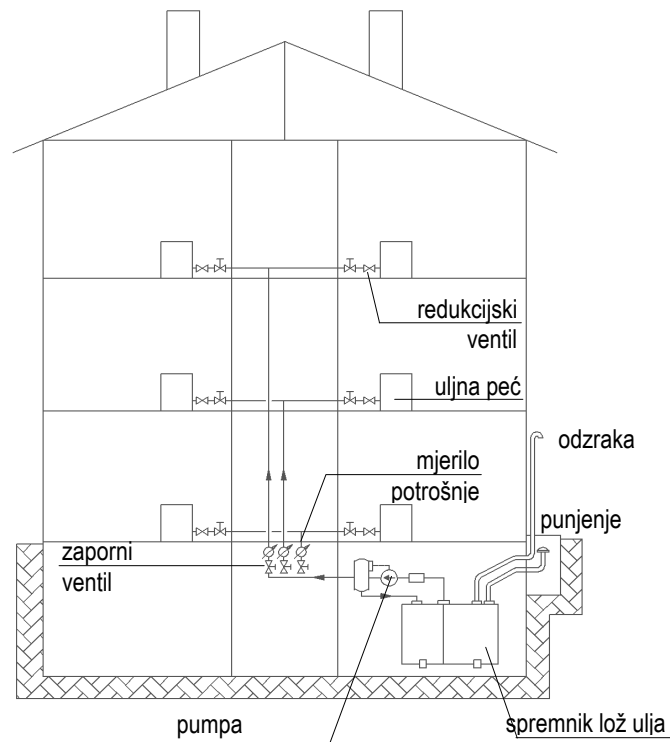
## Uljne peći

Uljne peći se u novije vrijeme manje koriste, a njihova primjena bila je znatna u vrijeme niskih cijena nafte. Prednosti u odnosu na peći na kruta goriva su čistiji pogon, manje posla oko opsluživanja, brzo zagrijavanje, dobra mogućnost regulacije i relativno mali prostor za smještaj goriva. Iz spremnika goriva volumena oko 10 - 15 litara (slika 5.13) ulje dolazi u regulator razine u kojem se pomoću plovka održava konstantna razina ulja. Preko regulacijskog ventila ulje dospijeva u plamenik s isparavanjem s prstenovima za stabilizaciju plamena. Paljenje se vrši ručno (ponekad automatski), a regulacija je također ručna, ventilom za ručnu regulaciju. Stupanj korisnosti kod nominalnog opterećenja kreće se oko 86%. Temperatura dimnih plinova kreće se oko 300 - 370°C, koeficijent prečišćavanja od 1,4 do 1,8, a udio CO<sub>2</sub> u dimnim plinovima od 9 do 11%. Najveći učinci pojedinačnih peći su do oko 35 kW.



Slika 5.13 - Uljna peć

Moguće je i centralno skladištenje loživog ulja (npr. u podrumu zgrade), pri čemu se ulje pumpom dobavlja iz skladišta u podrumu čiji volumen i uvjeti gradnje trebaju odgovarati propisima za skladištenje ulja u sustavima centralnog grijanja (slika 5.14).

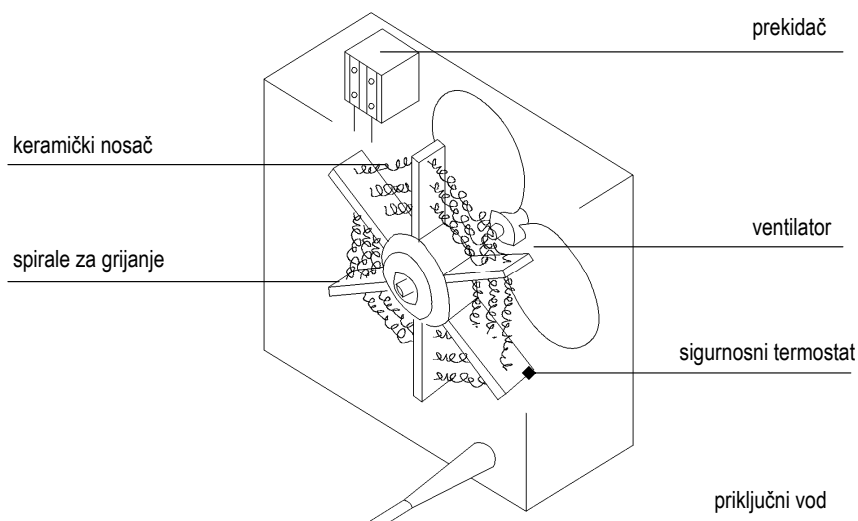


Slika 5.14 - Centralno snabdijevanje gorivom za uljne peći

### Električni uređaji za pojedinačna (lokalna) grijanja

Važno je ovdje napomenuti da prema Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (članak 11, koji stupa na snagu 31. prosinca 2015. godine), za grijanje zgrada nije dopušteno rabiti sustave elektrootpornog grijanja. Elektrootporni uređaji odaju razvijenu toplinu neposredno u grijani prostor. Takvo grijanje može biti direktno ili akumulacijsko. Kod direktnog grijanja uređaj toplinu, nastalu pretvorbom električne energije, odaje u prostoriju u trenutku kada ona nastaje ili s kratkim kašnjenjem, dok se kod akumulacijskog grijanja toplina u vrijeme jeftinije tarife električne energije akumulira, a predaje prostoriji tijekom razdoblja skuplje tarife. Grijanje kompresijskom dizalicom topline (toplinskom pumpom) je kombinacija električnog grijanja (pogon kompresora) i korištenja obnovljivih izvora energije (korištenje topline sadržane u okolnom zraku, podzemnoj ili površinskoj vodi i sl.). Prema Direktivi o korištenju obnovljivih izvora energije [5.5], prepoznate su dizalice topline kao uređaji za korištenje obnovljivih izvora energije, pa će se kod izračunavanja udjela iskorištenja obnovljivih izvora energije, korištenjem dizalica topline, računati i priznavati udio obnovljivih izvora u ukupno proizvedenoj toplini.

**Prijenosni kaloriferi** (slika 5.15): koriste se uglavnom za povremeno zagrijavanje prostorija. Učinci do oko 2 kW. Prednosti su kratko vrijeme zagrijavanja i ujednačena temperatura u prostoriji. Obično su opremljeni regulatorom za sobnu temperaturu i sigurnosnim termostatom.



Slika 5.15 - Kolorifer

**Infracrvene grijalice:** elementi koji griju su cijevi (čelik ili kvarc) s ugrađenim elektrootpornim žicama. Površinske temperature cijevi su 600 do 700°C, pa se govori o infracrvenoj grijalici (slika 5.16). Sve zračeće grijalice imaju reflektore od poliranog sjajnog metala. Namjena je kao i kod plinskih infracrvenih grijalica za lokalna, a zbog cijene električne energije uglavnom za povremena grijanja.



Slika 5.16 - Grijalice zračenjem

**Konvektori:** temperature površine izložene prema prostoru su male i odavanje topline je uglavnom konvekcijom. Sobna temperatura se ugađa putem regulatora. Razlikuju se uređaji s prirodnom (konvektori, cijevna ogrjevna tijela s ili bez rebrastih cijevi i sl., prikazani na slici 5.17) i prisilnom konvekcijom (ventilatorski konvektori).



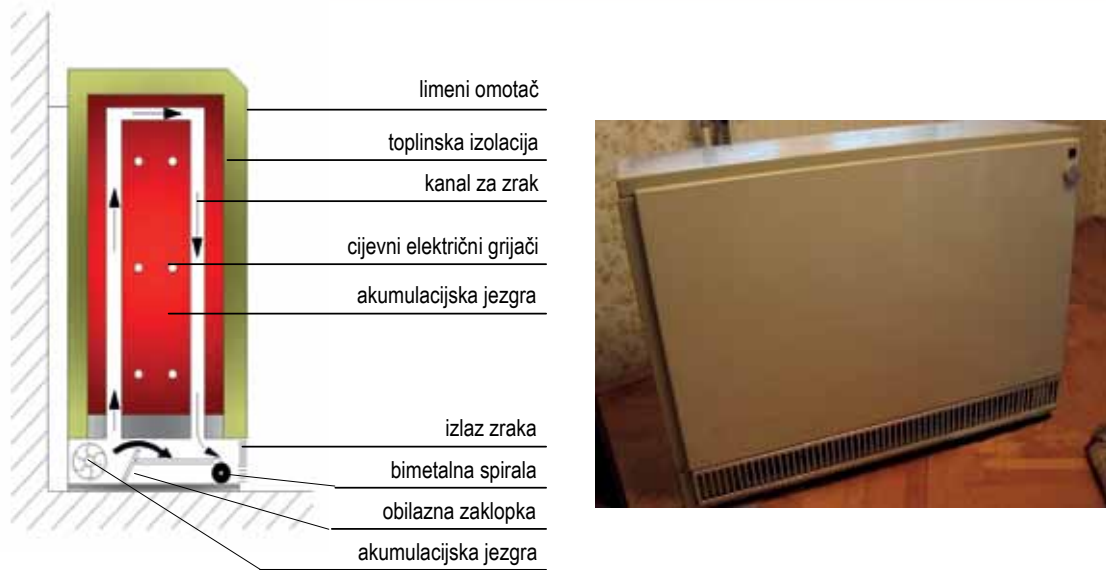
Slika 5.17 - Grijalice konvekcijom (DeLonghi)

**Stropni ili podni električni grijači:** gotove ploče (međusobno zalijepljene poliesterske folije s ugrađenim elektrogrijačima iz bakra i folijom od legure kalaja i olova ili grafita namijenjenom za provođenje topline) isporučuju se u obliku gotovih elemenata za grijanje (slika 5.18). Odavanje topline stropnih ploča 100 do 300 W/m<sup>2</sup>, dok kod podnih ploča treba paziti na zone boravka (odavanje topline iznosi do 160 W/m<sup>2</sup>), ograničenja temperature poda (do oko 9°C iznad temperature prostorije, fiziološki zahtjevi), te sve ostalo u skladu s pravilima struke za podno grijanje.



Slika 5.18 - Podni električni grijač

**Električno akumulacijsko grijanje:** unutar uređaja, u kućištu od čeličnog lima s 20 do 50 mm toplinske izolacije smješteni su betonski ili magnezitni elementi koji se pomoću elektrogrijača ugrijavaju na 500 do 700°C (slika 5.19). Punjenje je uglavnom za vrijeme isporuke struje po jeftinijoj tarifi. U vrijeme više tarife uređaj se ne puni već se koristi akumulirana toplina. Za 1 dm<sup>3</sup> magnezita koji se ohladi od 600 na 120°C, okolini se preda toplina od 0,47 kWh [5.4]. Kod akumulacijskih uređaja s nereguliranim odavanjem topline ne može se regulirati temperatura izlaznog zraka, dok se kod uređaja s reguliranim odavanjem topline zrak koji ventilator usisava iz prostorije miješa sa zrakom koji uslijed rada ventilatora protječe kroz akumulacijsku jezgru. Omjer tih količina (temperatura dovodnog zraka) regulira se djelovanjem zaklopke pokretane bimetalnom spiralom.



**Slika 5.19 - Električna akumulacijska grijalica - presjek i vanjski izgled [5.4]**

Površinske nadtemperature površine akumulacijske grijalice u odnosu na prostor su ograničene (prednja stijenka 70 K, bočne stijenke 60 K, poklopac 45 K, stražnja stijenka 60 K). Prednosti ove vrste grijanja u odnosu na konvencionalna grijanja s izgaranjem goriva su to što nema dimnjaka, jednostavno se postavljaju, ne treba kotlovnica i spremište goriva, prostorije se brzo zagrijavaju. Ušteda ovisi o omjeru cijena energenata, ali uglavnom je ostvariva u odnosu na konvencionalne energente. Lako se određuju i obračunavaju troškovi grijanja. Nedostaci su velika masa (do oko 40 kg/kW ogrjevnog učinka), velik prostor za smještaj, visoka temperatura zraka na izlazu (do 120°C) što rezultira izgaranjem prašine i stvaranjem nadražujućih plinova, buka ventilatora i ograničena priključna snaga.

### 5.2.2. Centralna grijanja

Kao nosioci topline kod centralnih grijanja koriste se voda, para ili zrak, pa se govori o toplovodnom, parnom ili zračnom grijanju. U okviru ovog poglavlja bit će riječi samo o toplovodnom centralnom grijanju.

Prednosti centralnih grijanja u odnosu na lokalna:

- smanjen broj ložišta i dimnjaka
- smanjeno zagađivanje okoline
- nema prenošenja goriva i pepela u prostorima za boravak ljudi
- veća ekonomičnost iskorištenja goriva
- manji potreban prostor za smještaj ogrjevnih tijela
- manje posla pri opsluživanju.

Nedostaci:

- potrebno mjerenje za raspodjelu troškova u slučaju više korisnika
- veći investicijski troškovi, ali i veća udobnost
- gubici energije pri distribuciji topline.

**Toplovodna grijanja** rade s vodom do maksimalne temperature 110°C kao nosiocem topline. Voda se zagrijava u kotlovima i kroz cijevnu mrežu se dovodi do ogrjevnih tijela u prostorijama gdje se hladi odavanjem topline i ponovno vraća u kotao na zagrijavanje.



Podjele mogu slijediti temeljem različitih kriterija:

- Prema sili koja osigurava cirkulaciju vode: gravitacijska grijanja i grijanja s pumpom.
- Prema načinu vođenja vode u cijevima: jednocijevna i dvocijevna
- Prema položaju glavnih razvodnih cijevi: s gornjim i donjim razvodom
- Prema vrsti energije: grijanja s krutim gorivom, uljem, plinom ili električnom energijom
- Prema vezi s atmosferom: otvorena i zatvorena toplovodna grijanja.

Prednosti toplovodnih grijanja:

- jednostavnost rukovanja
- velika pogonska sigurnost
- ugodno zagrijavanje uslijed relativno niskih temperatura na površini ogrjevnih tijela
- centralna regulacija promjenom temperature vode
- dobra regulacija primjenom termostatskih ventila
- minimalna korozija i dug vijek trajanja postrojenja.

Nedostaci:

- veća inertnost i dulje vrijeme zagrijavanja
- opasnost od zamrzavanja kod prekida rada.

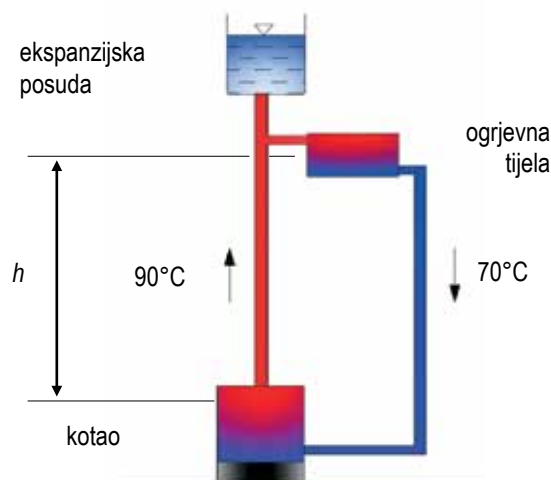
### Gravitacijska grijanja (sustavi s prirodnom cirkulacijom)

Kod gravitacijskih grijanja (slike 5.20 i 5.21) strujanje nastaje uslijed razlike tlaka, nastale zbog razlike gustoća toplije i hladnije vode ispred i iza ogrjevnog tijela. Da bi se uspostavila cirkulacija, mora biti osigurana odgovarajuća razlika visine ogrjevnih tijela i kotla. Razlika tlaka  $\Delta p$  koja se može ostvariti u sustavu grijanja ovisi o visinskoj razlici kotla i radijatora  $h$  i razlici gustoća vode na temperaturi polaza i povrata (slika 5.20).

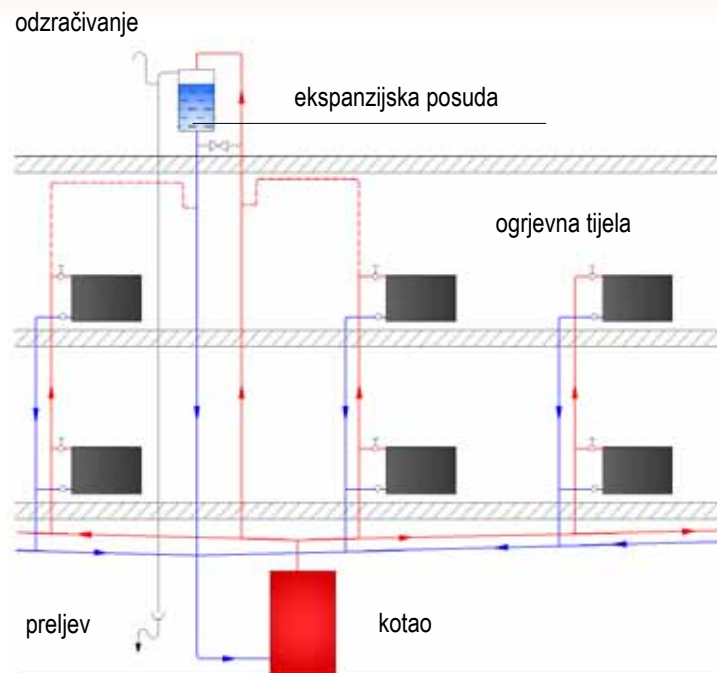
$$\Delta p = g h (\rho_v - \rho_r) \quad (5.15)$$

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$  ubrzanje zemljine teže.

Razlika tlaka u sustavu 90/70°C iznosi 125 Pa po metru visinske razlike, pa cjevovodi trebaju biti tako dimenzionirani da otpori u njima budu manji od raspoložive razlike tlakova za zadanu visinu. Iz toga su razloga cjevovodi većeg promjera i njihovo je vođenje ograničeno u prostoru. Također je otežana regulacija i balansiranje cjevovoda. Danas se ovo grijanje rjeđe izvodi.



Slika 5.20 - Otvoreno gravitacijsko toplovodno grijanje

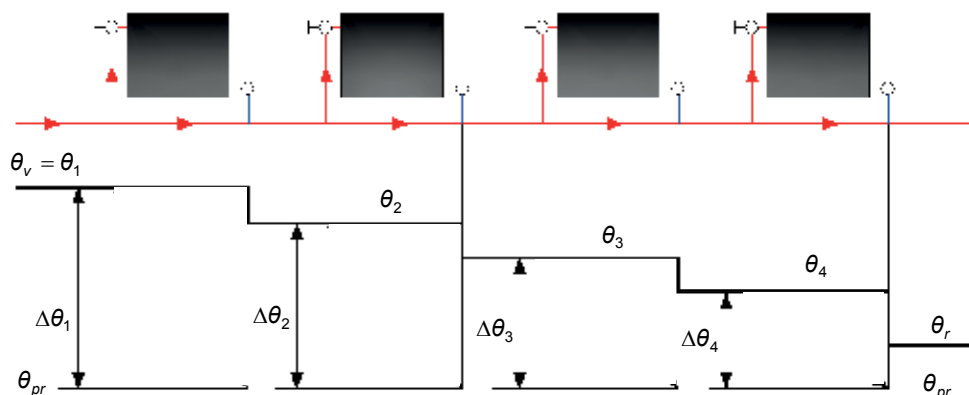


Slika 5.21 - Otvoreno gravitacijsko toplovodno grijanje s donjim razvodom

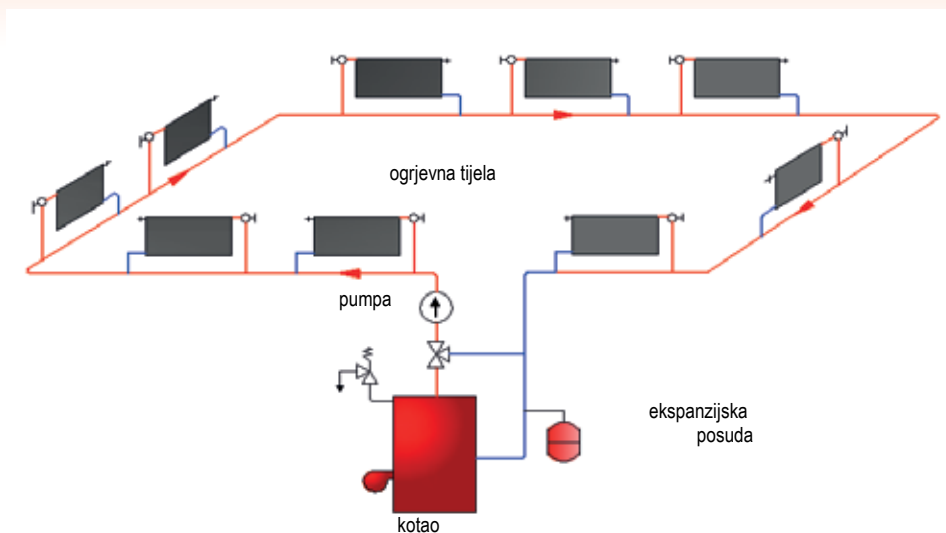
### Sustavi s prisilnom cirkulacijom

Kod ovih sustava razliku tlakova potrebnu za ostvarenje cirkulacije stvaraju pumpe. Zbog većih raspoloživih razlika tlakova brzine strujanja u cijevima su veće, pa je zagrijavanje brže, a inercija manja. Cijevi su manjeg promjera, pa je cijevna mreža jeftinija, a i gubici topline su manji. Mogućnosti vođenja cjevovoda su manje ograničene nego li je to slučaj kod gravitacijskih grijanja. Nedostaci su skuplje održavanje, potrošnja električne energije i ovisnost o električnoj energiji (nema cirkulacije kad nema napajanja). Mogu se izvesti s jednocijevnim i dvocijevnim razvodom.

**Jednocijevni razvodi:** svako ogrjevno tijelo se kod jednocijevnog grijanja ugrađuje u hidrauličkoj paralelnoj vezi s glavnim razvodom. Miješanje ohlađene struje iz ogranka i glavne struje vrši se na priključku povratnog voda ogranka u glavnu struju, tako da svako sljedeće ogrjevno tijelo ima nižu temperaturu ( $\theta_1, \dots, \theta_4$ ), odnosno nadtemperaturu ( $\Delta\theta_1, \dots, \Delta\theta_4$ ), prema temperaturi prostorije  $\theta_{pr}$  (slika 5.22), što treba uzeti u obzir kod proračuna odavanja topline ogrjevnog tijela, odnosno odabira ogrjevnog tijela.

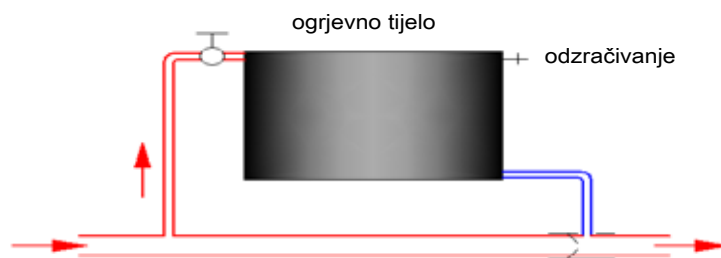


Slika 5.22 - Povezivanje i promjena temperatura u sustavu jednocijevnog grijanja

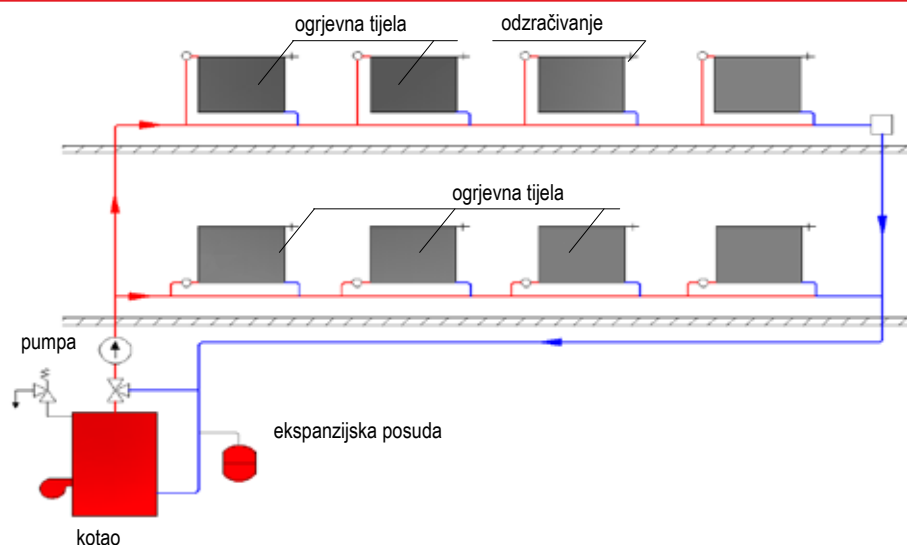


**Slika 5.23 - Jednocijevni sustav - etažno grijanje**

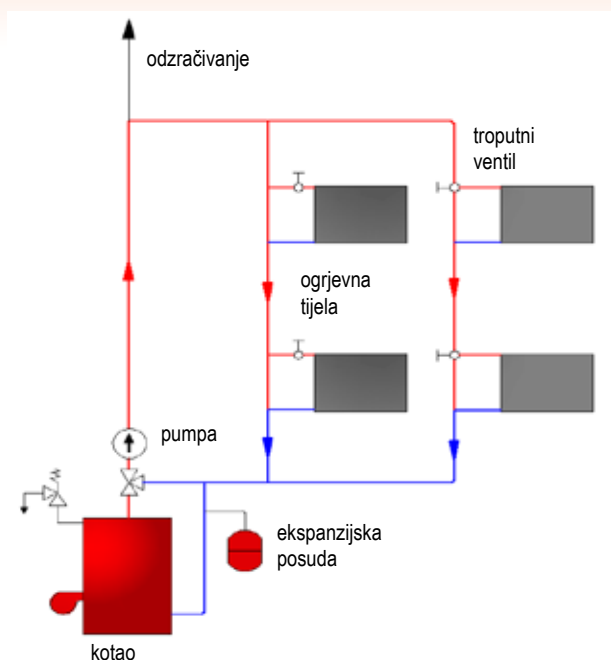
Ako se, kao na slikama 5.22 i 5.23 uz radijatore ugrađuju prolazni ventili, strujanje vode bi se većim dijelom odvijalo kroz obilazni vod radijatora jer su otpori u radijatoru veći od otpora obilaznog voda. Da bi se to spriječilo, potrebno je odgovarajućim suženjem na priključku povratnog cjevovoda radijatora osigurati podtlak kako bi se ostvarila cirkulacija kroz radijator (slika 5.24). Na višekatnim zgradama mogu se jednocijevna grijanja izvesti s horizontalnim ili vertikalnim glavnim vodovima (slike 5.25 i 5.26).



**Slika 5.24 - Osiguranje protoka kroz radijator kod ugradnje prolaznog ventila**

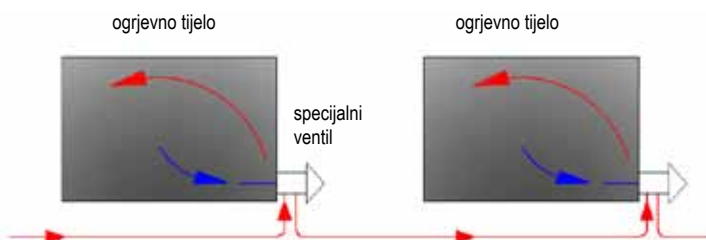


**Slika 5.25 - Jednocijevni sustav toplovodnog grijanja za višekatnu zgradu s horizontalnim ograncima**



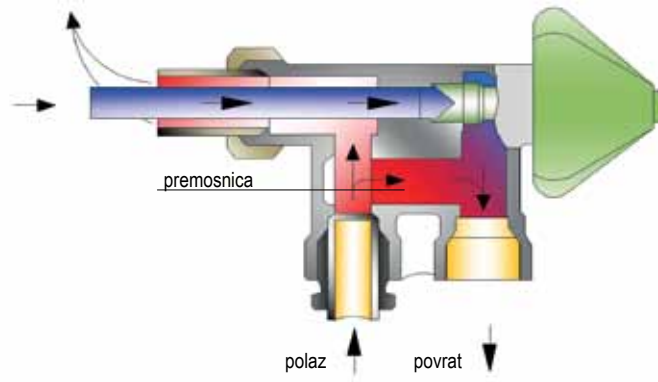
**Slika 5.26 - Jednocijevni sustav toplovodnog grijanja za višekatu zgradu s vertikalnim glavnim vodovima**

Na slici 5.26, na lijevom ogranku prikazana je ugradnja prolaznih ventila na radiatorima (s osiguranjem strujanja kako je opisano uz sliku 5.24), a na desnom ogranku ugradnja troputnih ventila na glavnom ogranku. Ugradnja troputnih ventila nije uobičajena. Način priključivanja radijatora znatno se pojednostavljuje ugradnjom specijalnih ventila za jednocijevna grijanja. Tada se povezivanje radijatora provodi kao na slici 5.27.



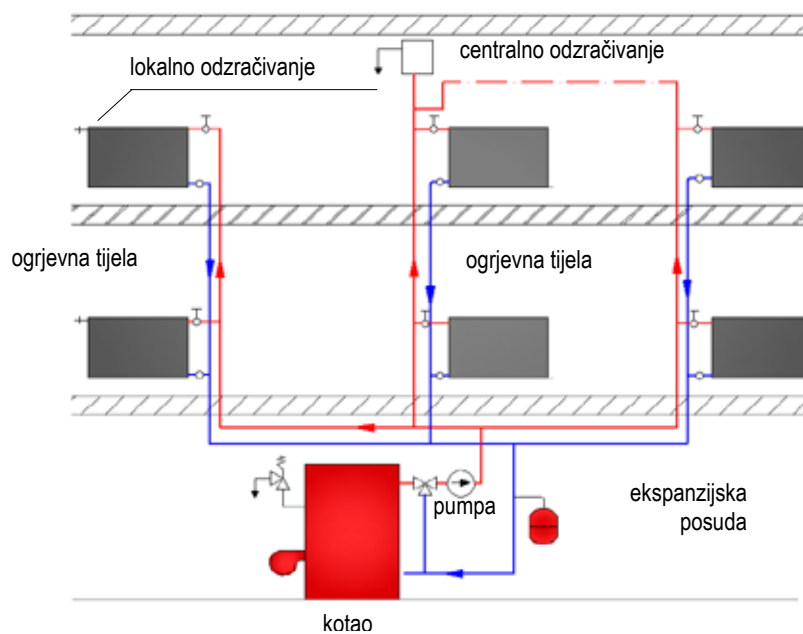
**Slika 5.27 - Povezivanje radijatora u sustavu sa specijalnim ventilima za jednocijevno etažno grijanje**

Radijatorski ventili za jednocijevna grijanja konstruirani su s ugrađenim i obilaznim vodom radijatora (premosnicom), kako se vidi iz presjeka ventila na slici 5.28.



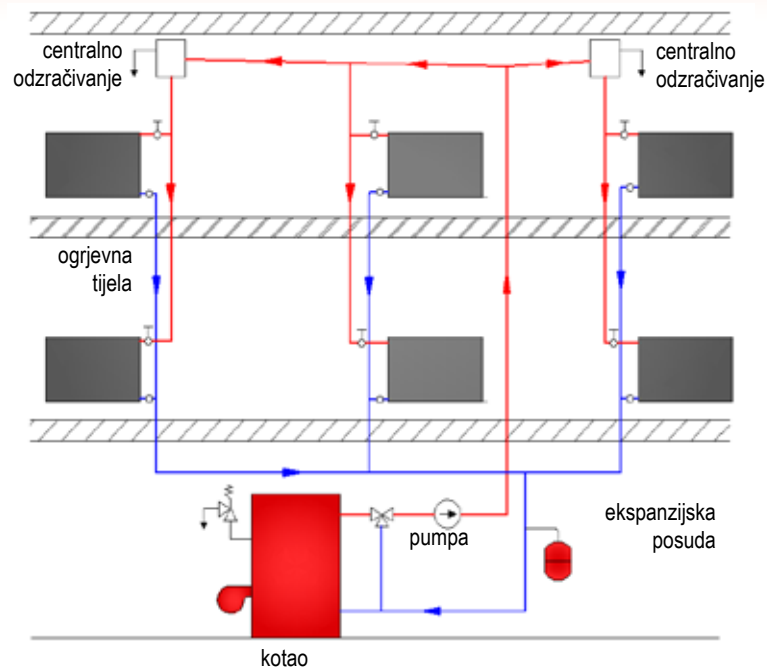
Slika 5.28 - Jednocijevni ventil [5.4]

**Dvocijevni razvodi:** kod dvocijevnog razvoda svako ogrjevno tijelo je priključeno na odvojeni razvodni i povratni vod i dobiva vodu približno iste temperature iz razvodnog voda (slika 5.29).



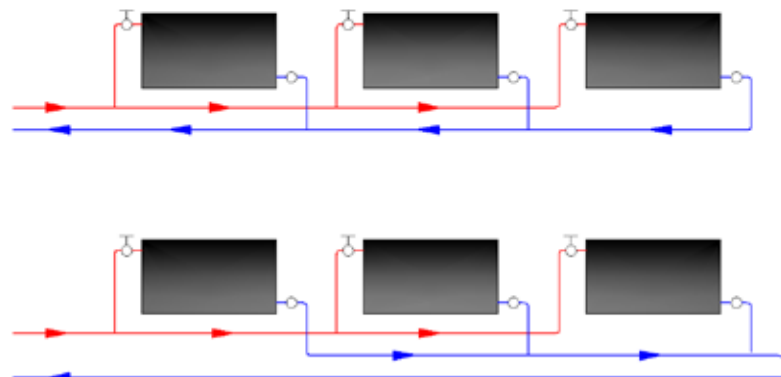
Slika 5.29 - Dvocijevni sustav toplovodnog grijanja donji razvod

Pri donjem razvodu razvodni i povratni vodovi postavljaju se ispod stropa podruma odakle se vode usponski razvodni i povratni vertikalni vodovi do ogrjevnih tijela. Odzračivanje je centralno ili lokalno na najvišim mjestima instalacije. Lokalno odzračivanje, ako je ručno, može stvarati problema s cirkulacijom u slučaju nakupljanja zraka u najvišim ogrjevnim tijelima. Kod gornjeg razvoda pumpa potiskuje vodu u usponski vod do gornje etaže, odakle se preko razvodnih vodova vodi do ogrjevnih tijela. Povratni vodovi mogu biti također pod krovom ili u podrumu i putem njih se voda vraća u kotao. Na slici 5.30 prikazan je gornji razvod kod kojega je povratni cjevovod smješten u podrumu. Odzračivanje je centralno, na najvišem mjestu.



Slika 5.30 - Dvocijevni sustav toplovodnog grijanja gornji razvod

Radijatori na slici 5.30 povezani su u Tiechelmannov krug. Karakteristika Tiechelmannova kruga je da je ukupna duljina priključka (polazni i povratni) od razvodnika do svakog ogrjevnog tijela ista, pa su hidraulički otpori ujednačeni a mogućnost balansiranja mreže bolja. Jasniji prikaz običnog i Tiechelmannova razvoda dan je na slici 5.31.



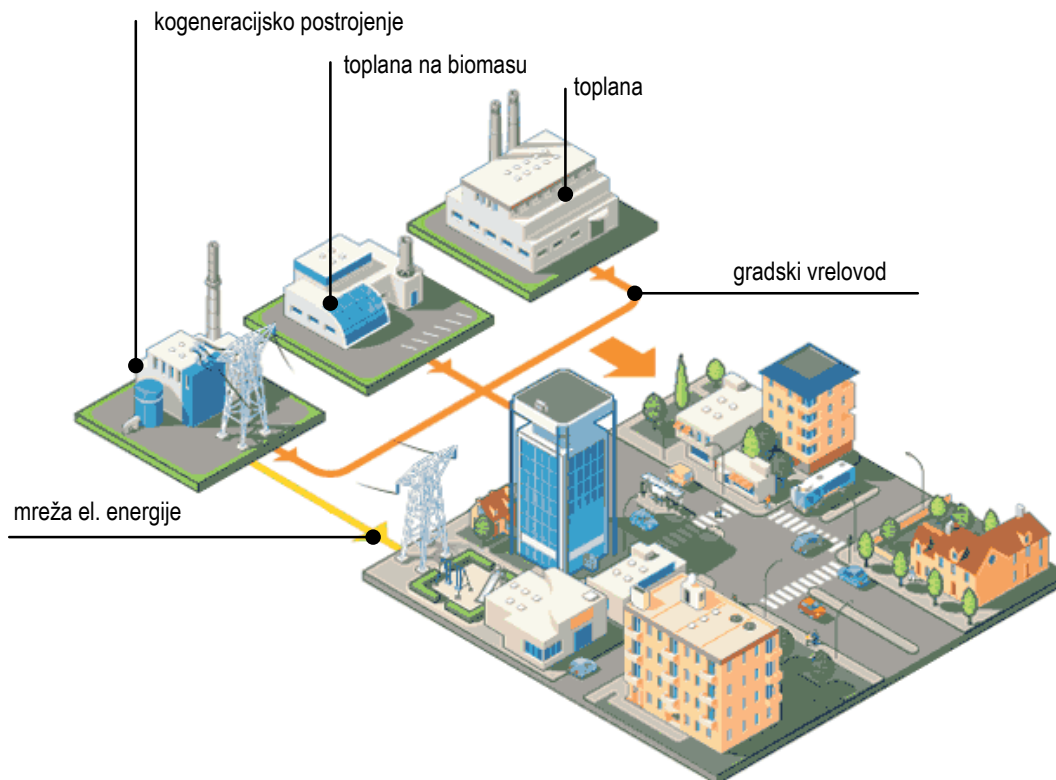
Slika 5.31 - Dvocijevni razvod - gore obični, dolje Tiechelmann [5.4]

### 5.2.3. Daljinska grijanja

Pojedinačno grijanje objekata podrazumijeva da svaka zgrada treba imati vlastiti sustav centralnog grijanja. Tu se javlja potreba za skladišnim prostorom za gorivo i vlastitim dimnjakom, te odgovarajućim prostorom za kotlovnicu. U naseljima s većim brojem zgrada, pojedinačni sustavi grijanja su značajan izvor zagađenja. Pored toga, učinkovitost manjih kotlova niža je od učinkovitosti kotlova većih učinaka, a treba voditi računa i o tome da je mogućnost kontrole rada postrojenja bolja kod velikih kotlovnica sa zaposlenim osobljem odgovarajuće struke.

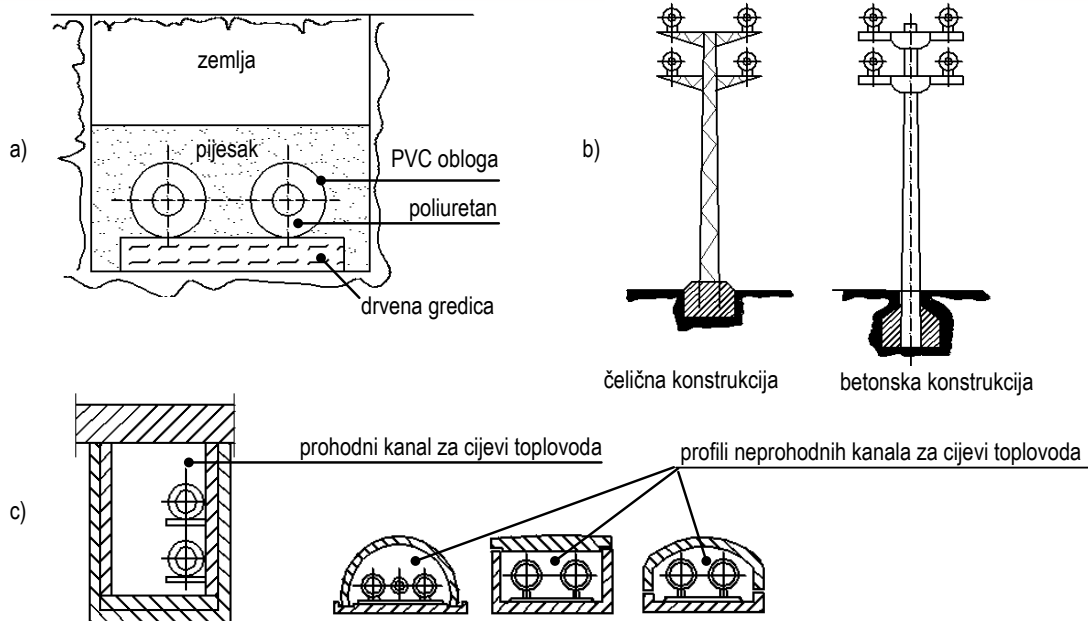
U sustavima daljinskog grijanja voda se grije na jednom mjestu (toplani, termoelektrani - toplani) i preko razvodne mreže distribuira prema toplinskim podstanicama, gdje se u toplinskim izmjenjivačima toplina predaje na kućnu cijevnu mrežu.

Toplinska se energija osim u kotlovnica može proizvesti i u termoelektranama - toplanama. Proces kogeneracije koji se odvija u termoelektrani - toplani je energetski učinkovitiji proces od izgaranja u kotlovnici. Pored električne energije dobija se i para koja se koristi za grijanje. Izvan razdoblja grijanja para se koristi za pripremu potrošne tople vode. Ljeti se para također može koristiti za potrebe hlađenja. Prednosti daljinskih grijanja u odnosu na lokalna grijanja su veći stupanj korisnosti, mogućnost korištenja jeftinijeg goriva, manje zagađenje (lokacija, kontrola izgaranja, pročišćavanje dimnih plinova), manja opasnost od požara, veća sigurnost u radu, stručno održavanje. Kao toplinski izvori koriste se plin, ugljen, mazut, nuklearna energija, ali i geotermalna energija, biopljin, sunčeva energija, a moguće je i korištenje dizalica topline.



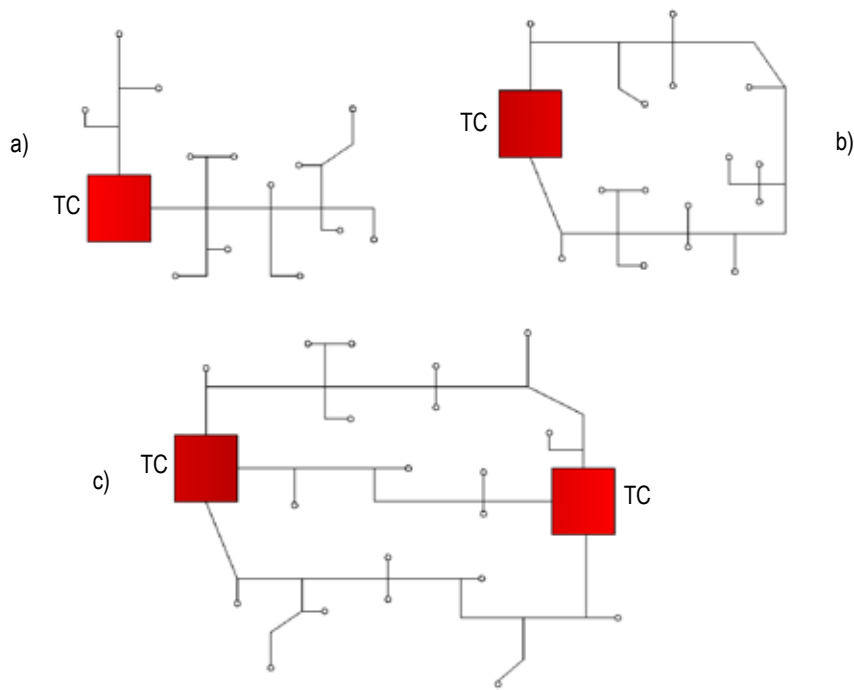
**Slika 5.32 - Sustav daljinskog grijanja i proizvodnje električne energije [5.31]**

Nosilac topline može biti voda (sustavi do 110°C i sustavi iznad 110°C), te para. Mogu se grijati blokovi zgrada (manji sustavi, temperatura obično do 110°C), te gradske četvrti (sustavi od 20 do oko 4000 MW, temperatura obično do 140°C). Za prijenos energetskeg medija od toplane do toplinske podstanice koriste se cijevi s toplinskom izolacijom. Toplovod se postavlja nadzemno, podzemno u kanalima ili podzemno s predizoliranim cijevima ukopanim u zemlju (slika 5.33). O načinu postavljanja cjevovoda ovise i toplinski gubici, ali oni nisu jedini kriterij na koji se obraća pažnja kod gradnje cjevovoda. Najčešće polaganje cjevovoda je u prohodne kanale zajedno s ostalom infrastrukturom (plin, telefon, struja). Takvi su kanali pristupačni radi održavanja i eventualnog proširenja sustava (ne treba ponovo kopati).



**Slika 5.33 - Načini vođenja cjevovoda kod daljinskih grijanja - a) polaganje direktno u zemlju, b) stupovi za slobodno vođenje cijevi, c) kanali za vođenje cjevovoda**

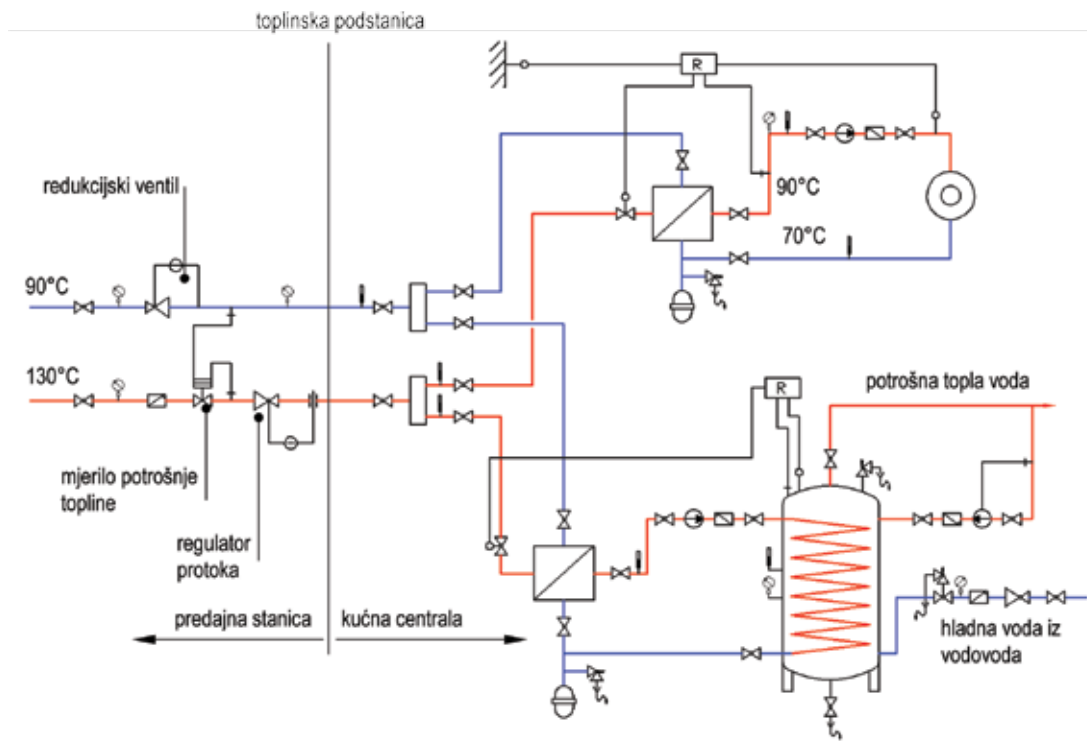
Pogonska sigurnost sustava dodatno se povećava primjenom kompleksnih razgranatih distribucijskih mreža kod kojih toplina do potrošača može doći iz različitih toplana ukjučenih u mrežu (slika 5.34).



**Slika 5.34 - Vrste toplovodnih mreža - a) jednostavna radijalna mreža, b) kružna mreža, c) razgranata kružna mreža gradskog područja**

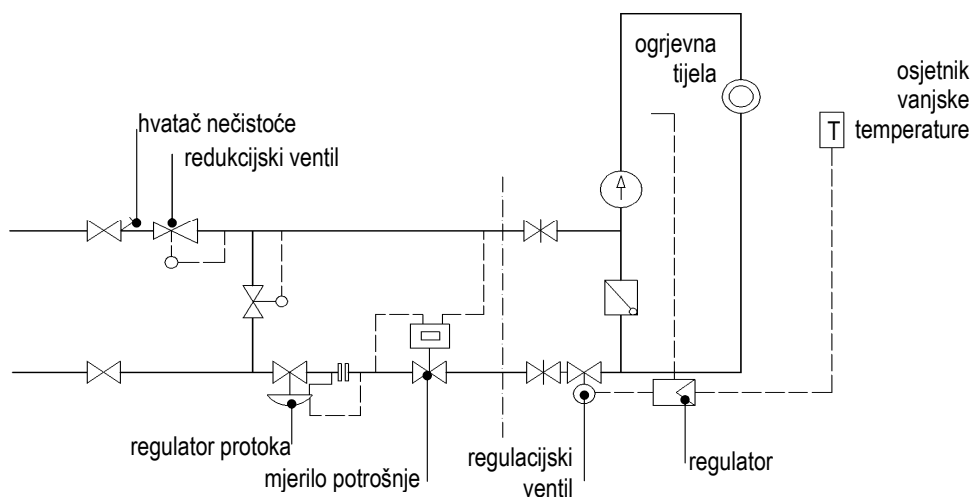


Toplinske podstanice mogu biti indirektna i direktna. Indirektna su s toplinskim izmjenjivačima i odvojenom krugovima vode u sustavu daljinskog grijanja i kućne instalacije (slika 5.35). Prednost indirektnih sustava je manja mogućnost propuštanja (razdvajanje kućne instalacije od toplovoda).



**Slika 5.35 - Povezivanje vrelovoda s kućnom podstanicom - indirektni sustav**

Kod direktnih je podstanica (slika 5.36) u kućnoj instalaciji ista voda kao i u toplovodu. Polazna temperatura u kućnoj instalaciji regulira se miješanjem povratne vode iz kućne instalacije i polazne vode iz toplovoda. Direktni priključak može se smatrati ekonomičnijim rješenjem od indirektnog (manja investicija, bolja regulacija temperature u povratnom vodu, bolja kvaliteta vode).



**Slika 5.36 - Povezivanje vrelovoda s kućnom podstanicom - direktni sustav**

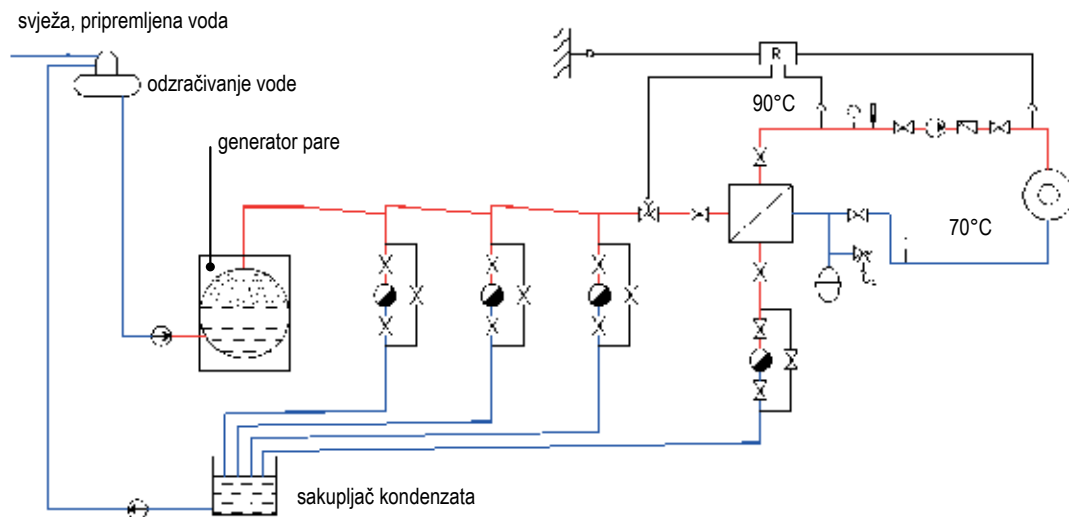
**Balansiranje mreže:** balansiranje protoka u mreži daljinskog grijanja, kao i balansiranje protoka u mreži kućne instalacije od velikog je značaja za učinkovitost rada sustava. U slučaju da protoci medija za prijenos topline (najčešće voda) nisu usklađeni s projektnim vrijednostima, što se u praksi može očekivati u skoro 90% slučajeva, doći će do prevelikih protoka na dijelovima mreže ili potrošačima bliže kotlovnici (ili toplinskoj podstanici), dok će na udaljenijim ograncima taj protok biti premalen.

U kućnim instalacijama takve pojave imaju za posljedicu pregrijavanje prostorija bližim kotlovnici ili toplinskoj podstanici i nedovoljnu temperaturu prostora s radiatorima priključenim na krajnjim ograncima, a u sustavima daljinskog grijanja nedovoljan učinak cjelokupnih podstanica na krajnjim ograncima.

Problem se često pokušava riješiti povećanjem kapaciteta pumpi, što je nepravilno, jer time se samo povećava priključna snaga i utrošena energija (snaga potrebna za rad pumpe, a time i utrošena energija raste s trećom potencijom promjene protoka. Za 20% povećan ukupni protok u cjevovodu potrebna snaga je 1,73 puta veća).

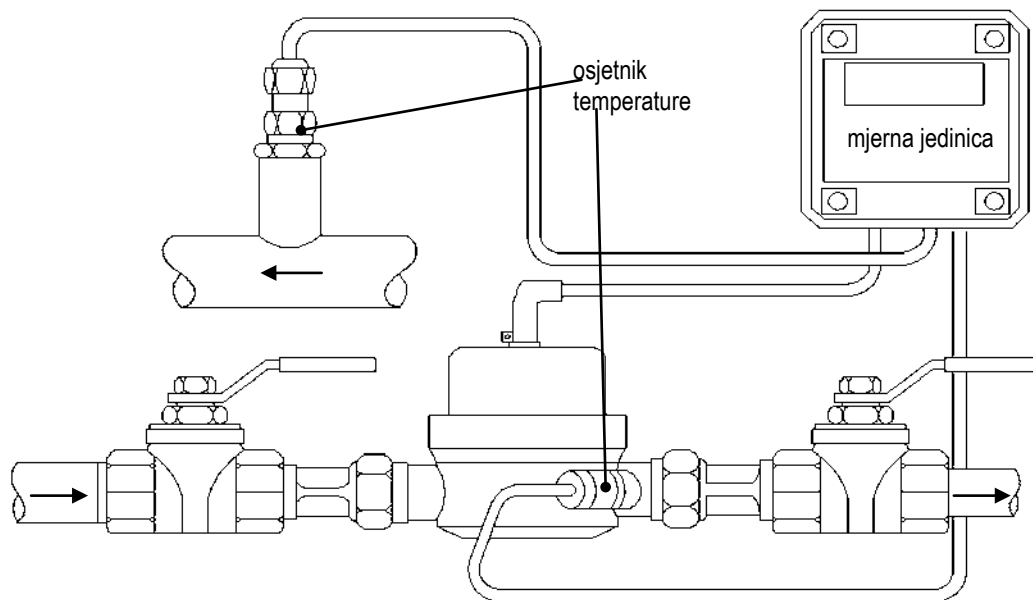
Pravilan pristup je balansiranje mreže, pri čemu treba voditi računa o optimalnoj primjeni ventila za balansiranje, jer u protivnom rastu napor i potrebna snaga pumpe, te potrošnja energije.

**Parna daljinska grijanja:** kod kućnih podstanica u sustavima parnog daljinskog grijanja (slika 5.37) postoji mogućnost dodatnog korištenja kondenzata za pripremu potrošne vode, pa čak i predgrijavanja zraka za klima sustave. Potpuno iskorištenje sadržaja topline radnog medija povećava troškovnu učinkovitost (plaća se utrošena para, bez obzira na temperaturu povratnog kondenzata).



Slika 5.37 - Sustav parnog daljinskog grijanja s kućnom podstanicom

**Mjerenje potrošnje topline u sustavima daljinskog grijanja:** mjerenje potrošnje toplinske energije svakog pojedinog potrošača pokazuje se kao značajan faktor gospodarenja energijom jer stimulira štednju i osigurava uštede koje se mogu procijeniti na 15-30% u odnosu na slučaj kada toga mjerenja nema. Kod daljinskih grijanja mjeri se direktno ukupna potrošnja energije toplinske podstanice. Za mjerenje protoka koriste se krilni uređaji, uređaji s prigušivanjem (blende) ili ultrazvučni mjerači. Razlika temperature između polaznog i povratnog voda mjeri se termoparovima. Na mjernom uređaju očitava se ukupni utrošak toplinske energije čitavog kruga grijanja.



Slika 5.38 - Mjerenje potrošnje na vrelovodu

**Mjerenje potrošnje pojedinih potrošača:** koristi se u višekatnim stambenim zgradama gdje pojedine vertikalne povezuju ogrjevna tijela u različitim stanovima.

Stariji tip razdjelnika, koji se danas sve manje koristi, je razdjelnik toplinske energije s isparivanjem (slika 5.39). Razdjelnici sa specijalnom tekućinom s niskom točkom isparivanja (tetralini) i skalom za očitavanja razine tekućine. Količina tekućine koja ispari tijekom razdoblja grijanja predstavlja relativnu količinu topline koju je odavalo ogrjevno tijelo.



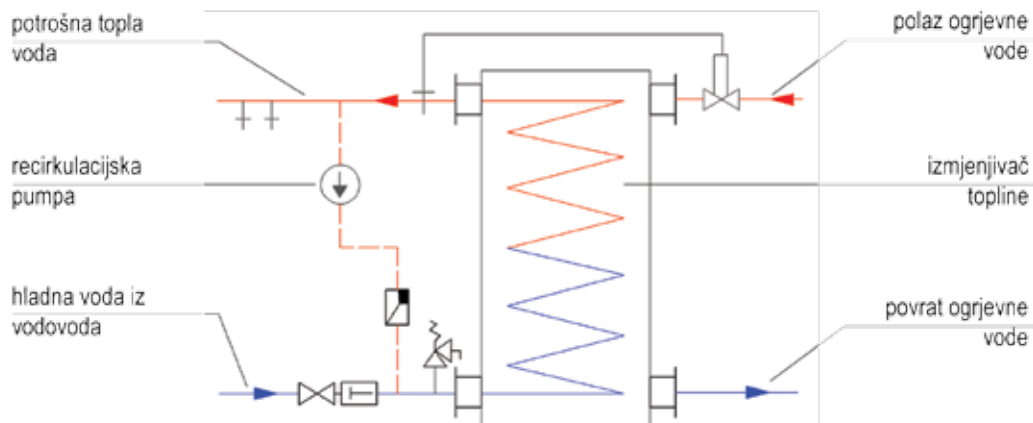
Slika 5.39 - Izgled razdjelnika s isparivanjem [5.24]

Elektronički razdjelnici toplinske energije opremljeni su osjetnicima PT 100. Mjerne vrijednosti se digitalno obrađuju u mikroprocesorima i za razliku od mjernih uređaja za isparivanje elektronika, omogućuje prilagođavanje karakteristikama ogrjevnog tijela, očitavanje vrijednosti u traženom trenutku na licu mjesta ili daljinski radijskom, odnosno modemsom komunikacijom. Ugrađuju se u nove zgrade koje se spajaju na sustav daljinskog grijanja. Troškovi ulaganja su relativno visoki.

### 5.2.4. Sustavi zagrijavanja sanitarne potrošne vode

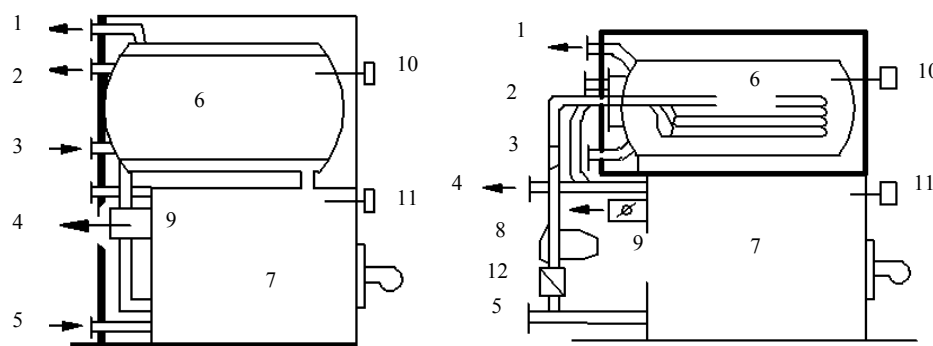
Zagrijavanje sanitarne potrošne vode može se provesti lokalnim (decentraliziranim) ili centralnim sustavima. Decentralizirano grijanje potrošne vode koristi se za pojedinačne potrošače, npr. za jedno izljevno mjesto, pa se tu zbog niže potrošnje vode, a time i manjeg potrebnog toplinskog učinka za njeno grijanje, mogu koristiti protočni električni zagrijači vode. Ako se radi o grupi potrošača (npr. u kupaonici), mogu se koristiti protočni plinski grijači vode ili akumulacijski električni bojleri manjeg volumena.

Zagrijači vode mogu se izvesti kao protočni ili akumulacijski. Kod protočnog zagrijača njegov učinak treba biti takav da svu količinu vode koja se u određenom trenutku troši, može zagrijati na željenu temperaturu. Zbog potrebnih većih učinaka primjena ovih zagrijača češća je za manja, pojedinačna trošila. Cijevna grijalica u grijaču prikazanom na slici 5.40 ima dovoljnu površinu da zagrije svu potrošnu vodu koja kroz nju protječe, a ogrjevna voda u plaštu spremnika osigurava određenu akumulaciju, ovisno o volumenu plašta. Centralna priprema potrošne vode protočnim grijačem uobičajena je u slučaju kad se koristi tzv. kombinirani plinski kotao, namijenjen grijanju stana i potrošne vode, koji ima dovoljan učinak da osigura grijanje potrošne vode i kod istovremenog rada više potrošača. Takav će kotao biti kasnije prikazan na slici 5.58.



Slika 5.40 - Protočni sustav zagrijavanja potrošne tople vode [5.4]

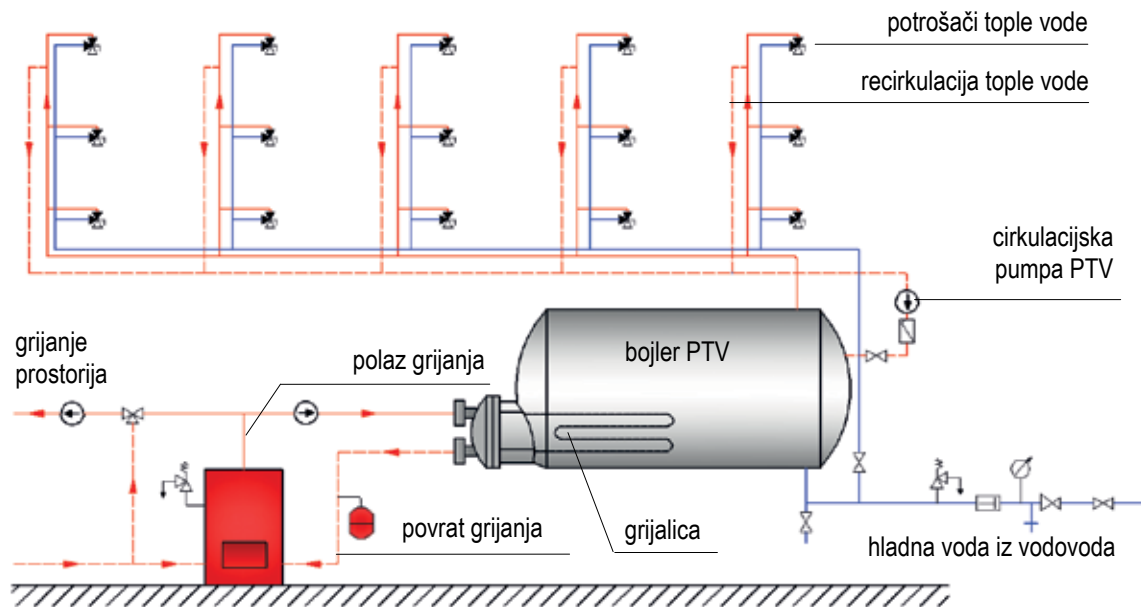
Akumulacijsko zagrijavanje koristi se za centralne sustave, kod kojih je potrošnja veća i može se računati s faktorima istovremenosti potrošnje. Bojler kod manjih sustava može biti sastavni dio kotla (slika 5.41). U bojleru može biti ugrađena cijevna grijalica (desno) ili cijeli bojler može biti uronjen u kotlovsku vodu (lijevo), pri čemu se izmjena topline između kotlovske i potrošne vode odvija preko plašta bojlera.



1 - topla voda, 2 - cirkulacijski vod, 3 - hladna voda, 4 - polaz grijanja, 5 - povrat grijanja, 6 - spremnik, 7 - kotao, 8 - pumpa, 9 - priključak za dimne plinove, 10 - regulator temperature tople vode, 11 - graničnik temperature kotlovske vode, 12 - nepovratni ventil

Slika 5.41 - Bojleri za centralno zagrijavanje potrošne tople vode ugrađeni na kotlu [5.4]

Češći su centralni sustavi kod kojih se bojler ugrađuje odvojeno od kotla (slika 5.42).

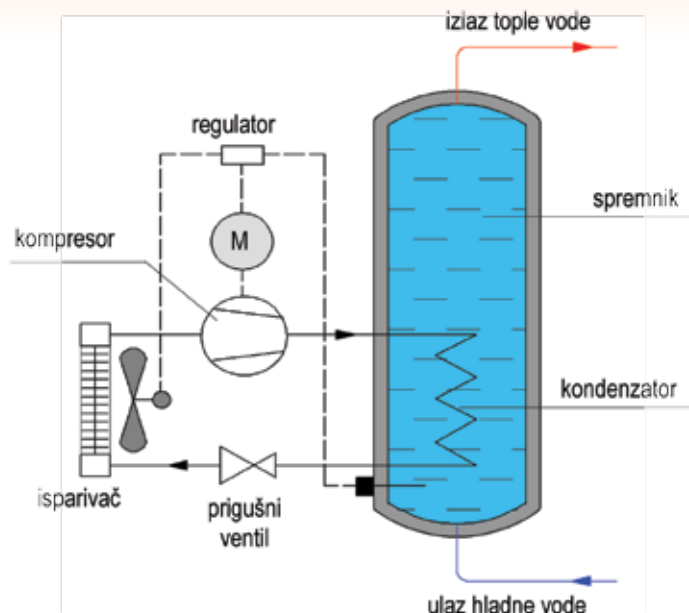


**Slika 5.42 - Centralni sustav zagrijavanja potrošne tople vode (PTV) s izdvojenim spremnikom PTV**

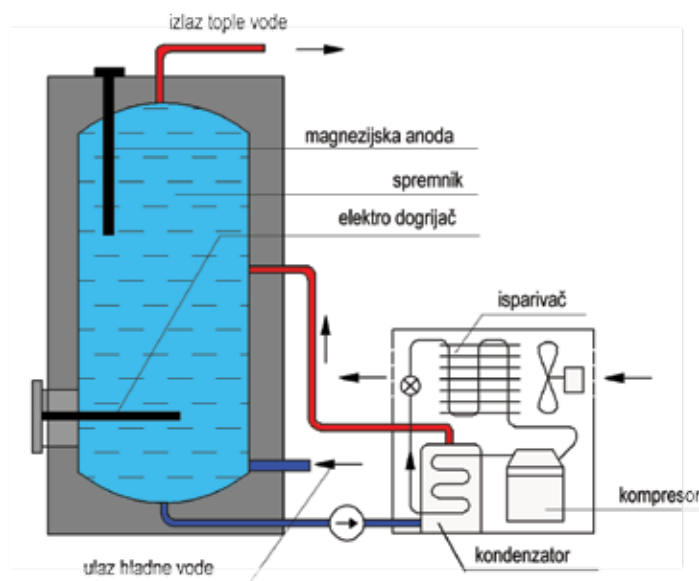
Centralni sustavi zagrijavanja potrošne vode smješteni su obično u kotlovnici. U sustavu je kotao namijenjen i za zadovoljavanje ogrjevnog učinka za grijanje zgrade, pumpa grijača potrošne vode, akumulacijski grijač potrošne vode (bojler s grijalicom), razvodni cjevovodi tople i hladne vode sa sigurnosnom, zapornom i regulacijskom armaturom, cirkulacijski cjevovod tople vode s cirkulacijskom pumpom.

Cirkulacijska pumpa ugrađuje se kako bi se na udaljenim izljevnim mjestima osigurala topla voda odmah nakon otvaranja slavine. Nije poželjno da je cirkulacijska pumpa uvijek uključena, pa se njeno uključivanje regulira vremenskim programom u ovisnosti o potrošnji tople vode u građevini, ili što je još bolje, temeljem temperature vode na povratu cirkulacijskog voda u bojler. Razvodni cjevovodi tople vode i cirkulacijski cjevovodi trebaju biti toplinski izolirani radi sprječavanja gubitaka topline i osiguranja potrebne temperature potrošne vode na izljevnim mjestima. Razvodni cjevovodi hladne vode također trebaju biti izolirni zbog opasnosti od smrzavanja, kao i radi sprječavanja rošenja.

**Dizalice topline za grijanje potrošne vode:** za zagrijavanje potrošne vode mogu se koristiti i dizalice topline. Njihovom se primjenom mogu očekivati uštede na troškovima grijanja, s obzirom da kompresijske dizalice topline koriste toplinsku energiju iz okoline i utroškom mehaničkog rada, podižu je na pogodnu temperaturu za grijanje. Izvedbe mogu biti raznovrsne, pa kondenzator dizalice topline može biti ugrađen u obliku cijevne grijalice u samom spremniku potrošne vode (slika 5.43) ili potrošna voda iz spremnika može pomoću pumpe cirkulirati kroz kondenzator dizalice topline (slika 5.44). Pri odabiru dizalice topline za grijanje potrošne sanitarne vode, treba voditi računa o potrebi cjelogodišnjeg rada na vrlo promjenjivim temperaturama toplinskog izvora (ako je to zrak, temperatura u kontinentalnom dijelu Hrvatske može tijekom godine varirati od oko  $-18^{\circ}\text{C}$  pa do oko  $+35^{\circ}\text{C}$ ). Iz toga razloga dizalica topline treba biti posebno prilagođena takvom načinu rada. Pored toga, dizalice topline koje rade s jednostupanjskom kompresijom i danas uobičajenim radnim tvarima, mogu ostvariti temperature vode do oko  $50-55^{\circ}\text{C}$ , što nije dovoljno za osiguranje potrebnih temperatura vode u nekim slučajevima. Tada treba primijeniti dizalice topline s dvostupanjskom kompresijom ili pak dizalice topline koje rade po transkritičnom procesu s radnom tvari  $\text{CO}_2$  i koje mogu postići značajno više temperature potrošne vode.

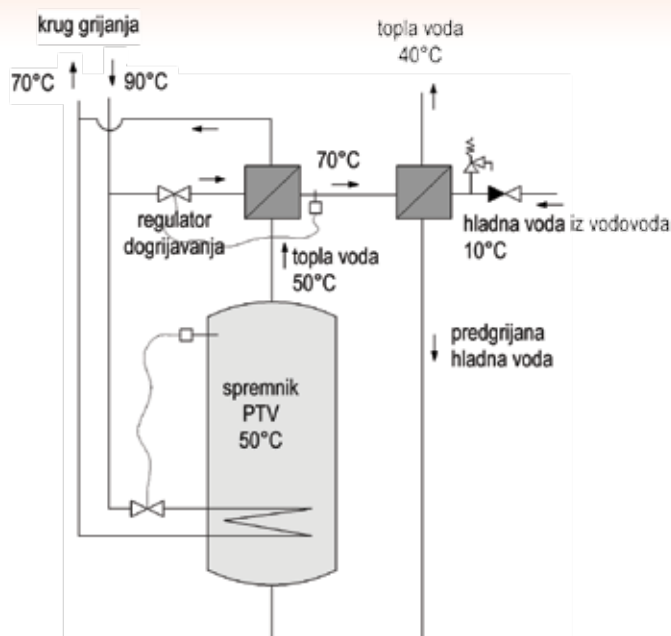


Slika 5.43 - Funkcionalna shema rada dizalice topline za zagrijavanje PTV [5.4]



Slika 5.44 - Dizalica topline za zagrijavanje potrošne tople vode [5.4]

Za potrošnju energije važan je odabir temperature potrošne vode, koji ovisi ne samo o vrsti potrošača, već je ograničen i uvjetima zaštite od legionelle. Legionelle su bakterije koje izazivaju tzv. legionarsku bolest (jednu vrstu upale pluća), koja može biti smrtonosna. Legionelle se razmnožavaju na temperaturama između 32°C i 42°C, a uništavaju se na temperaturama oko 60°C do 65°C. U akumulacijskim sustavima potrebno je barem na kratko, uglavnom u noćnom razdoblju postići takve temperature, kako bi došlo do uništavanja legionelle (termička dezinfekcija). Moguća je i dezinfekcija ultraljubičastim zrakama. Za sustav prikazan na slici 5.44 moguće je ugrađenim električnim grijačem povremeno ugrijeti vodu na višu temperaturu. Jedan od mogućih načina ostvarenja povišene temperature radi termičke dezinfekcije prikazan je i na slici 5.45.



Slika 5.45 - Sustav za zaštitu od legionelle [5.4]

Kod projektiranja sustava za zagrijavanje potrošne tople vode, važno je poznavati njenu ukupnu potrošnju, kao i dnevnu dinamiku potrošnje. Vrijednosti potrošnje i temperatura za različite potrošače dane su u tablicama 5.12, 5.13 i 5.14:

Tablica 5.12 - Potrošnja i temperatura PTV za različite objekte [5.4]

Objekt	Potrebna količina vode	Temperatura vode [°C]
Bolnica	100 - 300 l/dnevno, krevet	60
Vojarna	30 - 50 l/dnevno, osoba	45
Ustanova	10 - 40 l/dnevno, osoba	45
Toplice	200 - 400 l/dnevno, pacijent	45
Robna kuća	10 - 40 l/dnevno, osoba	45
Škola bez tuševa	5 - 15 l/dnevno, učenik	45
Škola s tuševima	30 - 50 l/dnevno, učenik	45
Sportski tereni s tuševima	50 - 70 l/dnevno, sportaš	45
Frizerski salon	150 - 200 l/dnevno, osoba	45
Praonica	250 - 300 l/100 kg rublja	75

Tablica 5.13 - Potrošnja i temperatura PTV za ugostiteljske objekte [5.4]

Potrošno mjesto	Dnevna potrošnja po osobi [l/dnevno]	
	60°C	45°C
Restorani po gostu	8 - 20	12 - 30
Hoteli - sobe s kupaonicom	100 - 150	140 - 220
Hoteli - sobe s tušem	50 - 100	70 - 120
Hoteli - sobe s umivaonikom	10 - 15	15 - 20
Odmarališta, pansioni	25 - 50	35 - 70

Tablica 5.14 - Potrošnja i temperatura PTV za stanove [5.4]

Potrošno mjesto		Količina pri jednom uzimanju [l]	Temperatura vode [°C]	Trajanje [min]
Ispusni ventil				
DN10	poluotvoren	5	40	1
	potpuno otvoren	10	40	1
DN15	poluotvoren	10	40	1
	potpuno otvoren	18	40	1
DN20	poluotvoren	25	40	1
	potpuno otvoren	45	40	1
Sudoper	jednodijelni	30	55	5
	dvodijelni	50	55	5
Umivaonik	samo pranje ruku	5	35	1,5
	umivaonik	10	35	2
	umivaonik, jednodijelni	15	40	3
	umivaonik, dvodijelni	25	40	3
Kada za kupanje	mala (100)	100	40	15
	srednja (160)	150	40	15
	velika (180)	250	40	20
Tuširanje		50	40	6
Kada za sjedenje		50	40	5
Bide		25	40	8
<b>Ukupna dnevna potrošnja za domaćinstva</b>				
manji zahtjevi		10 - 20 l/dnevno, osoba		
veći zahtjevi		20 - 40 l/dnevno, osoba		
najveći zahtjevi		40-80 l/dnevno, osoba		

Potrebna toplina za grijanje potrošne tople vode određuje se prema izrazu iz [5.4]:

$$Q_{PTV} = V(\theta_{PTV} - \theta_{HV})c_w \quad [\text{kWh}] \quad (5.16)$$

- $V$  - zagrijana količina potrošne vode [m<sup>3</sup>]  
 $\theta_{PTV}$  - temperatura na koju se zagrijava potrošna voda [°C]  
 $\theta_{HV}$  - temperatura hladne vode na ulazu u bojler [°C]  
 $c_w$  - specifična toplina vode  $c_w = 1,163$  [kWh/m<sup>3</sup>K]

Učink potreban za zagrijavanje ovisi o vremenu  $t$  u kojemu se to želi ostvariti

$$\dot{Q} = \frac{Q_{PTV}}{t} \quad [\text{kW}] \quad (5.17)$$

Tako npr., ako bi se kada od 200 litara punila vodom tijekom 12 minuta (0,2 sata), trenutni potreban učinak bi bio

$$\frac{Q_{PTV}}{t} = \frac{V(\theta_{PTV} - \theta_{HV})c_w}{t} = \frac{(0,2 \cdot 40) - 10 \cdot 1,163}{0,2} = 34,9 \quad [\text{kW}] \quad (5.18)$$



To je velik učinak i nije opravdano projektirati sustav zagrijavanja potrošne vode za  $n$  stanova tako da se predvidi ogrjevni učinak od  $n \cdot \dot{Q}$  kW.

Naravno, ne koristi se voda na svim potrošnim mjestima istovremeno, pa je potreban učinak za koji se projektiraju centralni sustavi za grijanje potrošne vode manji.

Ako se proračunava centralni akumulacijski sustav, za slučaj  $n$  stanova (u prikazanom primjeru s kupaonicama i kadama volumena  $V_k = 200$  l), maksimalna satna potreba količine potrošne tople vode  $\dot{V}$  za  $n$  prosječnih stanova iznosi:

$$\dot{V} = V_k n \varphi = 0,2 \cdot n \cdot \varphi \text{ [m}^3/\text{h]} \quad (5.19)$$

gdje su:

- $n$  - broj kada
- $\varphi$  - faktor istovremenosti. Faktor istovremenosti  $\varphi$  može se usvojiti kao funkcija broja stanova s vrijednostima iz tablice 5.15.

Pretpostavlja se da je dnevna potrošnja vode ograničena na razdoblje od  $Z_B$  sati, pri čemu je realna pretpostavka  $Z_b = 2$  sata. U tom slučaju dnevna potreba za toplinom je:

$$\dot{V}_{uk} = 2 \cdot \dot{V} = 0,4 \cdot n \cdot \varphi \text{ [l/dan]} \quad (5.20)$$

Maksimalni učinak pri temperaturi hladne vode od  $10^\circ\text{C}$  i tople vode od  $40^\circ\text{C}$ , uz  $c_W = 1,163$  kWh/m<sup>3</sup>K je:

$$\dot{Q} = 0,2 \cdot n \cdot \varphi \cdot (40 - 10) \cdot 1,163 = 7 \cdot \varphi \cdot n \text{ [kW]} \quad (5.21)$$

U stanovima opremljenim samo tuševima s potrošnjom vode od 50 l vode po tuširanju i s 2 tuširanja po satu potrebna toplina iznositi će:

$$\dot{Q} = 0,1 \cdot n \cdot \varphi \cdot (40 - 10) \cdot 1,163 = 3,5 \cdot \varphi \cdot n \text{ [kW]} \quad (5.22)$$

Primjerice, za  $n = 28$  stanova s kupaonicom, maksimalna potrebna toplina za grijanje PTV iznosi:

$$\dot{Q}_{PTV} = 7 \cdot \varphi \cdot n = 7 \cdot 0,37 \cdot 28 = 72 \text{ [kW]} \quad (5.23)$$

Ako se koriste protočni sustavi, potrebna količina topline je veća, ali i ovdje treba računati s faktorima istovremenosti. Pri korištenju protočnog sustava zagrijavanja, potrebna toplina za zagrijavanje vode računa se:

- za kupanje u kadi

$$\dot{Q} = 15 \cdot \varphi \cdot n \text{ [kW]} \quad (5.24)$$

- za tuširanje

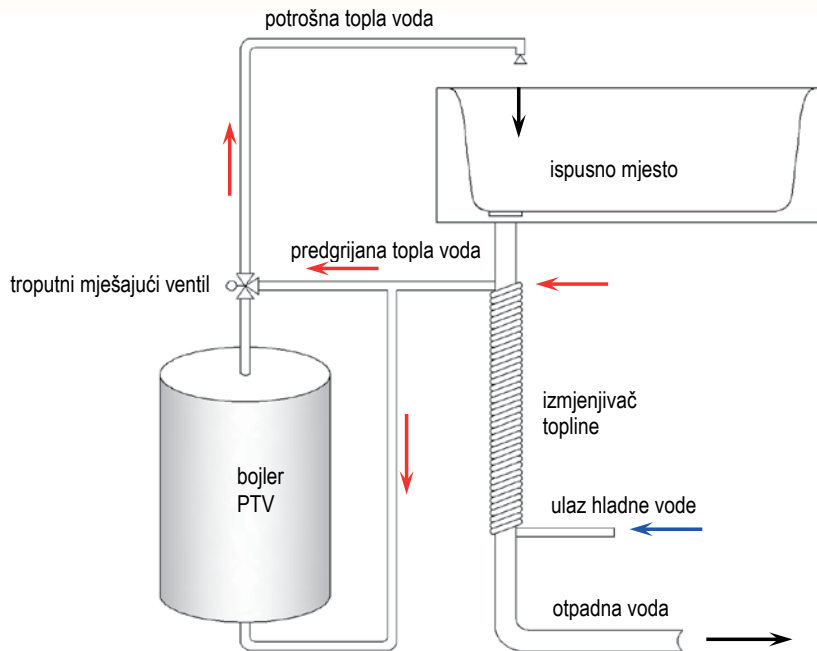
$$\dot{Q} = 6 \cdot \varphi \cdot n \text{ [kW]} \quad (5.25)$$

Tablica 5.15 - Potrošnja i temperatura PTV za stanove [5.4]

Broj stanova	Faktor istovremenosti	Kapacitet kotla $\dot{Q}_k$ [kW] pri $z_A$ [h]			Veličina bojlera $V_s$ [m <sup>3</sup> ] za $z_A$ [h]					
					0,5		1		2,5	
					$t_0 - t_u$ [K]					
$n$	$\varphi$	0,5	1	2,5	30	50	30	50	30	50
1	1,15	14	12	8	200	150	350	200	600	350
2	0,86	21	17	12	300	200	500	300	900	500
4	0,65	31	26	17	450	300	750	450	1200	750
6	0,56	40	34	22	600	400	1000	600	1600	950
8	0,5	48	40	27	700	450	1150	700	2000	1200
10	0,47	56	47	31	800	500	1350	800	2200	1400
12	0,47	68	57	38	1000	600	1650	1000	2700	1600
15	0,44	79	66	44	1150	700	1900	1150	3200	1900
18	0,42	91	78	50	1300	800	2300	1350	3600	2200
20	0,4	96	80	53	1400	850	2400	1400	3800	2300
25	0,38	114	95	63	1600	1000	2700	1700	4500	2700
30	0,36	130	108	72	1900	1200	3100	1900	5200	3100
36	0,36	151	127	84	2200	1300	3600	2200	6000	3600
50	0,32	192	161	106	2800	1700	4600	2800	7600	4600
60	0,31	223	187	124	3200	2000	5400	3200	8900	5300
80	0,29	278	233	155	4000	2400	6700	4000	11,1	6700
100	0,28	336	281	186	4800	2900	7100	4800	13,3	8000
120	0,27	389	326	215	5600	3400	9400	5600	15,4	9300
150	0,26	468	392	260	6700	4100	11,3	6700	18,6	11,2
200	0,25	600	502	333	8600	5200	14,4	8600	23,9	14,3

Volumen bojlera za pripremu potrošne tople vode značajan je i za potrošnju energije. Premalen volumen bojlera za potrošnu vodu često se u korištenju kompenzira povećanjem temperature vode, kako bi se miješanjem na potrošačima došlo do željene temperature, a predviđena akumulacija zadovoljila kapacitetom. Povećana temperatura vode ima za posljedicu veće toplinske gubitke u bojleru i mreži, gubitke vode vezane za ostvarenje željene temperature na potrošaču miješanjem (veće kod primjene dvoručnih nego kod primjene jednoručnih slavina) i u nepovoljnim rasponima temperature povećano taloženje kamenca u bojleru i na ogrjevnim površinama grijalica. Za potrošnju energije također je važno osigurati mjerenje potrošnje sanitarne tople vode. Praćenjem potrošnje mogu se utvrditi odstupanja od uobičajenih vrijednosti ili neracionalno trošenje, a uz dodatno mjerenje temperature i udio topline za pripremu potrošne vode u energetske bilanci.

**Korištenje otpadne topline sanitarne vode:** oko 80% topline utrošene za pripremu potrošne tople vode neiskorišteno odlazi u kanalizaciju [5.32]. Ako se odvodi vode iz kada, tuševa i umivaonika izvedu odvojeno od fekalne kanalizacije, moguće je ostvariti povrat topline otpadne vode od umivanja i tuševa kao što je prikazano na slici 5.46. To je prikladno napraviti za veće potrošače (npr. hoteli, stambene zgrade i sl.), a instalacija ovakvih uređaja jeftinija je u novogradnjama nego što je to slučaj za postojeće zgrade. Važno je sustav izvesti tako da osigurava pouzdan rad imajući u vidu da otpadna voda sadrži nečistoće i masnoću.



Slika 5.46 - Sustav za povrat otpadne topline sanitarne vode [5.32]

## 5.3. Sastavni dijelovi sustava centralnog grijanja

Kako je na početku rečeno, sustav centralnog grijanja sastoji se iz generatora topline (ovdje će se govoriti o kotlovima), dimovodnog sustava, razvoda cijevne mreže, ogrjevnih tijela, cirkulacijskih pumpi, zaporne i regulacijske armature, ekspanzijskog sustava i sustava regulacije i upravljanja. U nastavku će se pobliže opisati ovi dijelovi.

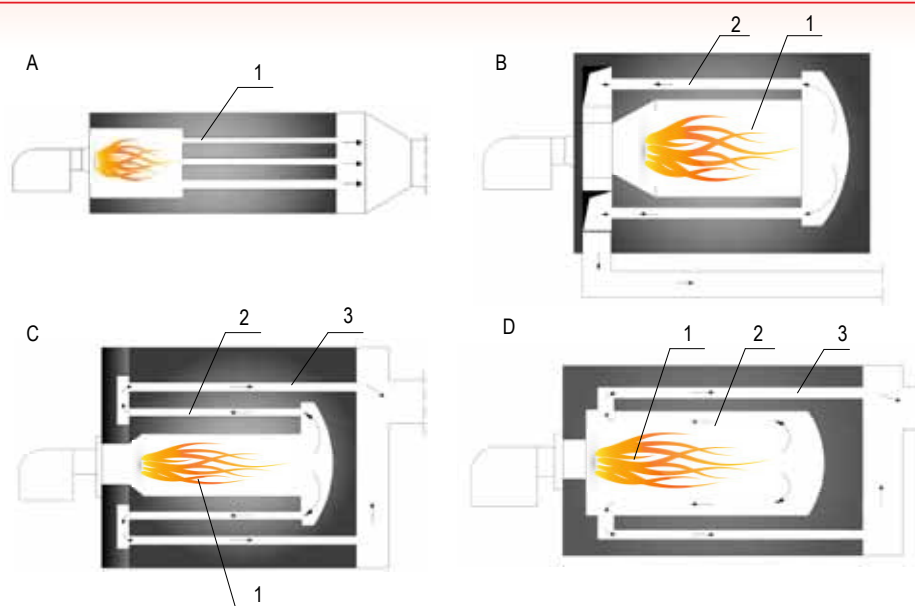
### 5.3.1. Kotlovi

Centralni zadatak današnjeg razvoja kotlova je povećanje energetske učinkovitosti i smanjenje emisija štetnih tvari. Modernizacijom kotlovskih postrojenja mogu se smanjiti emisija  $\text{CO}_2$  i potrošnja goriva. Emisije  $\text{NO}_x$ ,  $\text{C}_x\text{H}_y$ ,  $\text{CO}$  i čađe mogu se smanjiti u mnogo većoj mjeri utjecajem na temperaturu plamena kroz konstrukciju ložišta i komora za izgaranje. Od posebnog su utjecaja i suvremene konstrukcije plamenika. Europske i hrvatske norme za gradnju i ispitivanje toplovodnih i vrelovodnih kotlova definiraju zahtjeve na kotlove, vezano na gradnju, učinkovitost, sigurnost, tehničku dokumentaciju, metode ispitivanja. Ovi zahtjevi dani su u posebnom poglavlju ovog priručnika.

**Prema mediju koji zagrijavaju** kotlovi se mogu podijeliti na toplovodne, vrelovodne, parne, a postoje kotlovi kod kojih se kao medij za prijenos topline koristi i ulje. Kotlovi u kojima se voda zagrijava na temperaturu  $t \leq 110^\circ\text{C}$ , nazivaju se toplovodni, a oni u kojima se voda zagrijava na temperaturu  $t > 110^\circ\text{C}$  vrelovodni.

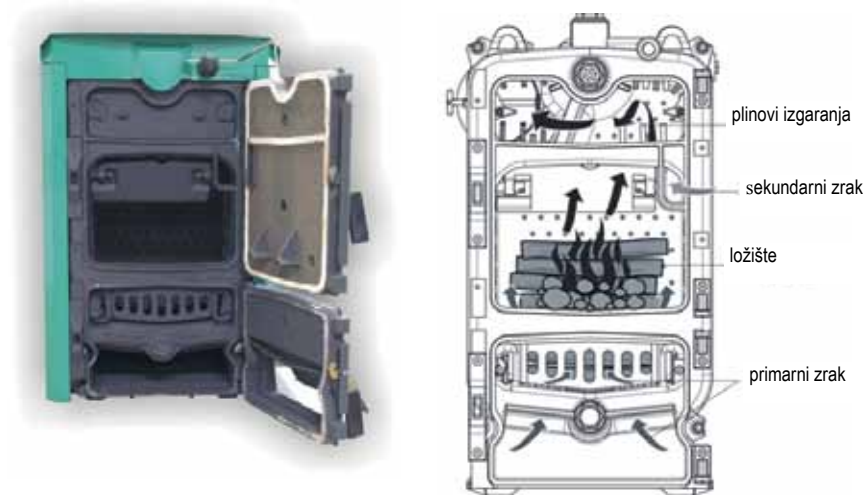
Podjela toplovodnih i vrelovodnih kotlova prema načinu vođenja dimnih plinova (slika 5.47):

- kotlovi s jednim prolazom
- kotlovi s dva prolaza
- kotlovi s tri prolaza
- kotlovi s povratnim strujanjem u ložištu.



**Slika 5.47 - Kotlovi s jednim prolazom (A), kotlovi s dva prolaza (B), kotlovi s tri prolaza (C), kotlovi s povratnim strujanjem u ložištu (D) [5.4]**

**Podjela kotlova prema konstrukciji:** ovisno o primijenjenom gorivu razlikuju se kotlovi svojom konstrukcijom i opremom. Tako se mogu razlikovati kotlovi na kruta goriva (fosilna ili biomasu), kotlovi na ulje, kotlovi na ulje ili plin, plinski kotlovi i kotlovi za električno grijanje. Kotlovi na kruta goriva (slike 5.48 do 5.50) svojom su konstrukcijom prilagođeni izgaranju cjepanica ili ugljena, odnosno različitih oblika biomase (briketi, peleti, sječka). Gorivo izgara na rešetkama različitih oblika i položaja, u fluidiziranom sloju, u specijalnim plamenicima konstruiranim za različite oblike biomase.



**Slika 5.48 - Lijevano željezni kotao na cjepanice ili ugljen [5.33]**

Kod pirolitičkih kotlova (slika 5.49) drvo se u podstehiometrijskim uvjetima rasplinjava, a tako nastali plinovi odvođeni su u komoru izgaranja gdje u potpunosti izgaraju. Mogućnosti regulacije su iznimno dobre, a kotlovi su opremljeni mjernom i regulacijskom opremom za kontrolu temperatura, pretička zraka i sl.



1. vrata
2. regulacija
3. prostor za punjenje
4. područje rasplinjavanja
5. sabirnik za pepeo
6. komora izgaranja
7. sabirnik pepela ispod izmjenjivača
8. ventilator dimnih plinova
9. toplinski izmjenjivač
10. gornji poklopac za čišćenje
11. kotlovska pumpno regulacijska grupa

Slika 5.49 - Čelični pirolitički kotao na cjepanice [5.18]



Slika 5.50 - Čelični kotlovi za biomasu: lijevo kotao s plamenikom na pelete; desno kotao s izgaranjem u fluidiziranom sloju [5.17]

Uljni i plinski toplovodni kotlovi, kao i kotlovi s kombiniranim gorivom ulje - plin, namijenjeni su uglavnom za rad s pretlačnim plamenicima. Mogu se izvesti kao standardni, niskotemperaturni ili kondenzacijski kotlovi. Kod korištenja plina kao goriva, kotao se može izvesti i s atmosferskim plamenikom. Neki primjeri izvedbi prikazani su na slikama 5.51 do 5.54.



1. odvod dimnih plinova i dovod zraka
2. regulacija
3. izmjenjivač topline iz nehrđajućeg čelika
4. dvostupanjski kompaktni plamenik
5. kotlovska pumpno regulacijska grupa
6. komora izgaranja
7. prigušivač buke

Slika 5.51 - Čelični kondenzacijski kotao na ulje [5.18]



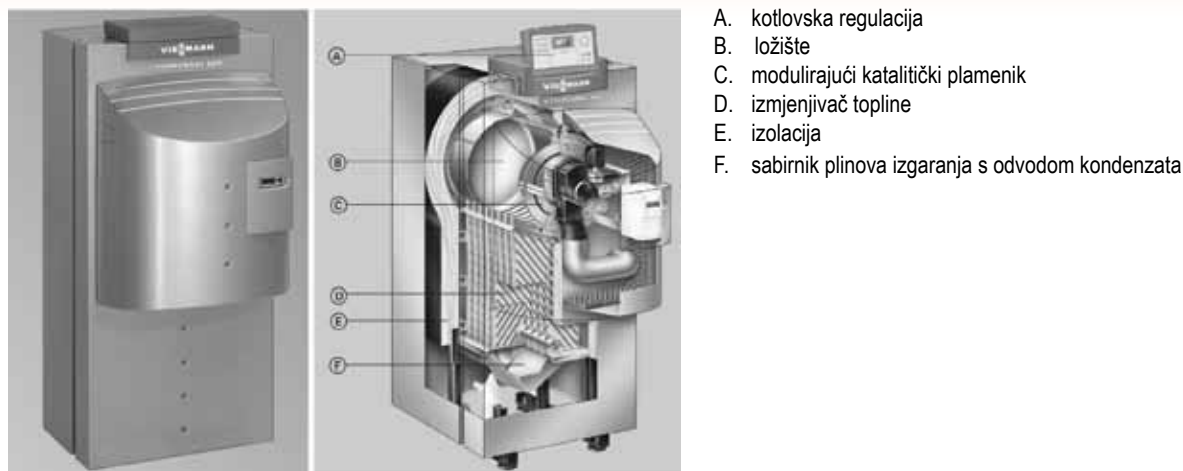
1. regulacija kotla i krugova grijanja
2. treći prolaz dimnih plinova
3. drugi prolaz dimnih plinova
4. površine za izmjenu topline
5. ložište - prvi prolaz
6. izolacija
7. pretlačni plamenik

**Slika 5.52 - Niskotemperaturni uljno - plinski kotao s pretlačnim plamenikom [5.18]**



1. kotlovska regulacija
2. izolacija
3. izmjenjivač topline iz lijevanog željeza
4. atmosferski plamenik

**Slika 5.53 - Niskotemperaturni lijevanoželjezni kotao s atmosferskim plamenikom na plin [5.18]**



Slika 5.54 - Kondenzacijski kotao s katalitičkim plamenikom na plin [5.18]

Električni kotlovi (slika 5.55) grade se u manjoj mjeri, s obzirom na relativno visoku cijenu električne energije, kao i zabranu korištenja elektrootpornog grijanja, o kojoj je ranije bilo riječi. Predviđeni su za centralno grijanje manjih kuća ili stanova kao samostalni ili kao pomoćni izvor topline na električnu energiju.



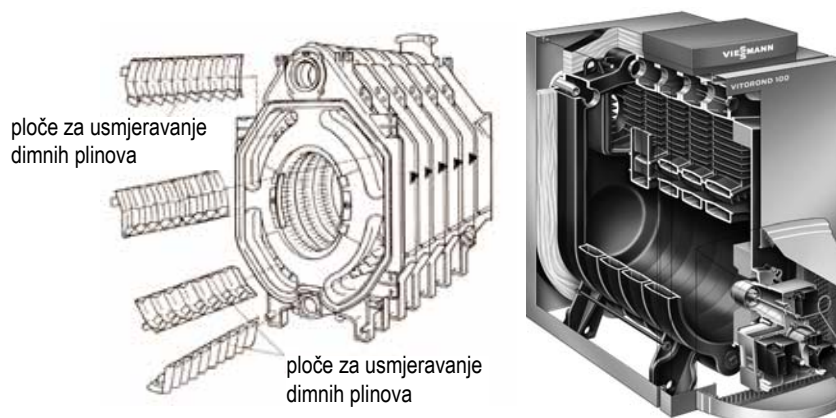
Slika 5.55 - Električni kotao [5.25]

Podjela kotlova prema materijalu izrade:

- lijevani
- čelični i kotlovi od plemenitih čelika
- aluminijski
- kotlovi od kombinacije materijala.

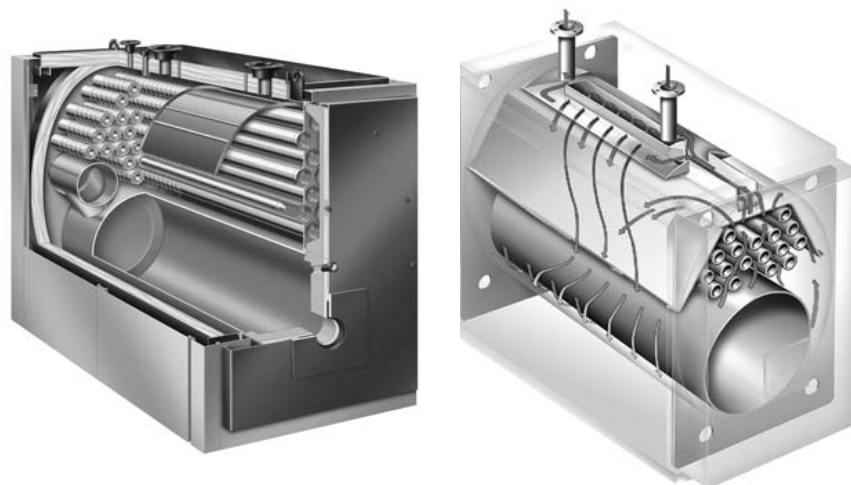
**Lijevani kotlovi:** sastoje se iz pojedinih šupljih članaka ispunjenih vodom (slika 5.56). S vanjske strane struje plinovi izgaranja. Između prednjeg i stražnjeg članka je određeni broj središnjih članaka, kapacitet određene grupe mijenja se brojem članaka. Na prednjem članku su vrata za punjenje i pepeo (kruta) ili plamenik (tekuća i plinovita goriva), a na stražnjem priključak za dimnjak ili dimnjaču. Lijevani kotlovi za kruta goriva imaju između srednjih članaka otvor za punjenje, prolaze za strujanje plinova izgaranja i po cijeloj dužini rešetku za izgaranje, te prostor za pepeo ispod. Srednji članci formiraju komoru za izgaranje i konvekcijske ogrjevne površine. Članci se međusobno povezuju dvostrukim koničnim kotlovskim nazubicama i ankerima

za pritezanje. Brtvenje je pomoću brtvenih letvi uz dodatak kotlovskog kita ili brtvene trake. Grade se već od 1893. godine, u početku za kruta goriva, kasnije za tekuća i plinovita.



**Slika 5.56 - Niskotemperaturni lijevani člankasti kotlovi - konstrukcija [5.18]**

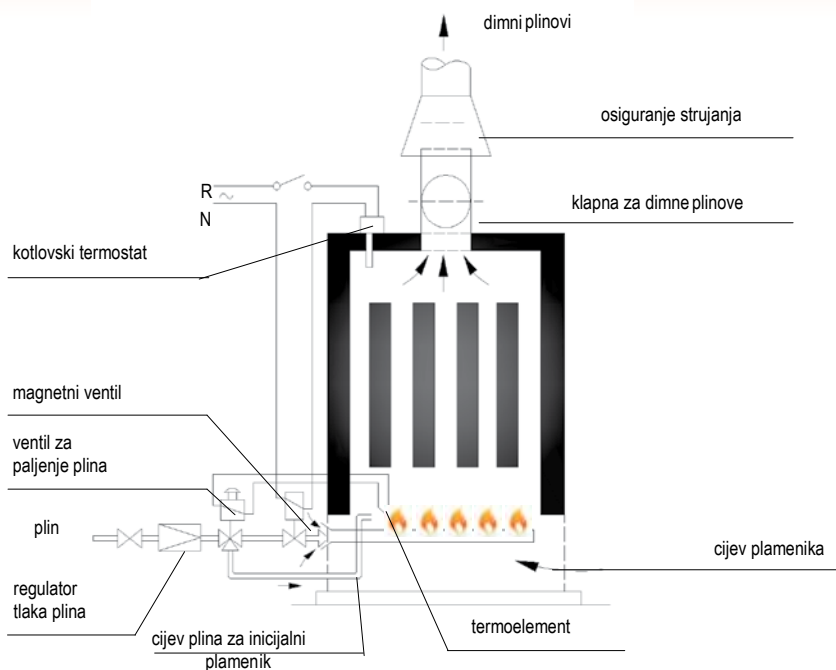
**Čelični kotlovi:** u početku su se od čelika izrađivali veliki kotlovi, a u današnje vrijeme, razvojem tehnike zavarivanja i smanjenjem troškova, primjenom postupaka automatskog zavarivanja, čelik se kao materijal, koji omogućava vrlo različita konstrukcijska rješenja, koristi i za male i srednje kotlove (slika 5.57). Koriste se ugljični, a za više zahtjeve i kod kondenzacijskih kotlova plemeniti čelici. Prednosti su mogući veliki učinci, viši pogonski tlakovi i temperature, trajno brtvenje s obzirom na dimne plinove i nadtlak, mogućnost popravka zavarivanjem i jednostavno otklanjanje eventualnih propuštanja.



**Slika 5.57 - Niskotemperaturni čelični kotlovi - konstrukcija [5.18]**

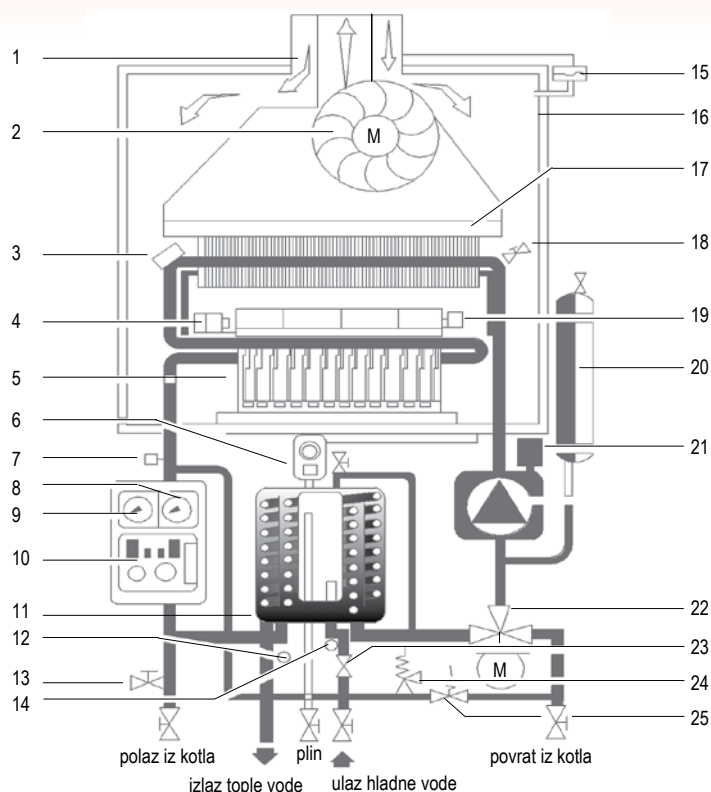
Plinski kotlovi manjih učinaka za etažna grijanja (slika 5.58) grade se s atmosferskim plamenicima ili s ventilatorima. Izvode se kao kotlovi, plinski protočni grijači vode ili kombinirani protočni grijači vode.





**Slika 5.58 - Plinski kotao s atmosferskim plamenikom bez ventilatora [5.4]**

Kod kotlova s atmosferskim plamenikom (slike 5.58 i 5.59) plin izlazi kroz mlaznicu povlačeći za sobom zrak koji zbog nastalog podtlaka ulazi u cijev plamenika, miješa se s plinom i izgara. Plamen se osigurava termoelementom, a osiguranje strujanja sprječava utjecaj različitih uvjeta, koji vladaju u dimnjaku, na izgaranje plina na plameniku. Klapna za dimne plinove zatvara se kod prekida rada radi sprječavanja gubitaka. Tzv. poluautomatski kotlovi, kod kojih je inicijalni plamen stalno gori, danas se više ne koriste zbog njihove povećane potrošnje plina. Plinski cirkulacijski i kombinirani grijači vode (slika 5.59) namijenjeni su ugradnji na zid, lako se mogu instalirati s obzirom na male gabarite i namijenjeni su za etažna grijanja u kućama s više stanova.



1 - priključak za zrak / ispušne plinove, 2 - ventilator ispušnih plinova, 3 - sigurnosni termostat, 4 - užarena elektroda za paljenje, 5 - plinski plamenik, 6 - plinska armatura, 7 - osjetni element temperature u polaznom vodu, 8 - termometar u polaznom vodu, 9 - manometar u polaznom vodu, 10 - univerzalni plamenik, 11 - izmjenjivač topline, 12 - osjetnik temperature, 13 - ventil za punjenje i pražnjenje kotla, 14 - „Stand by“ temperaturni osjetnik, 15 - prekidač diferencijalnog tlaka, 16 - zatvoreno ložište, 17 - izmjenjivač topline, 18 - ručni odzračni ventil, 19 - ionizacijska elektroda, 20 - zatvorena ekspanzijska posuda, 21 - automatski odzračnik, 22 - cirkulacijska pumpa, 23 - troputni ventil, 24 - regulacijski ventil, 25 - sigurnosni ventil, 26 - prestrujni ventil

**Slika 5.59 - Plinski kombinirani grijač vode s atmosferskim plamenikom - pogon s ventilatorom za izlazne plinove [5.4]**

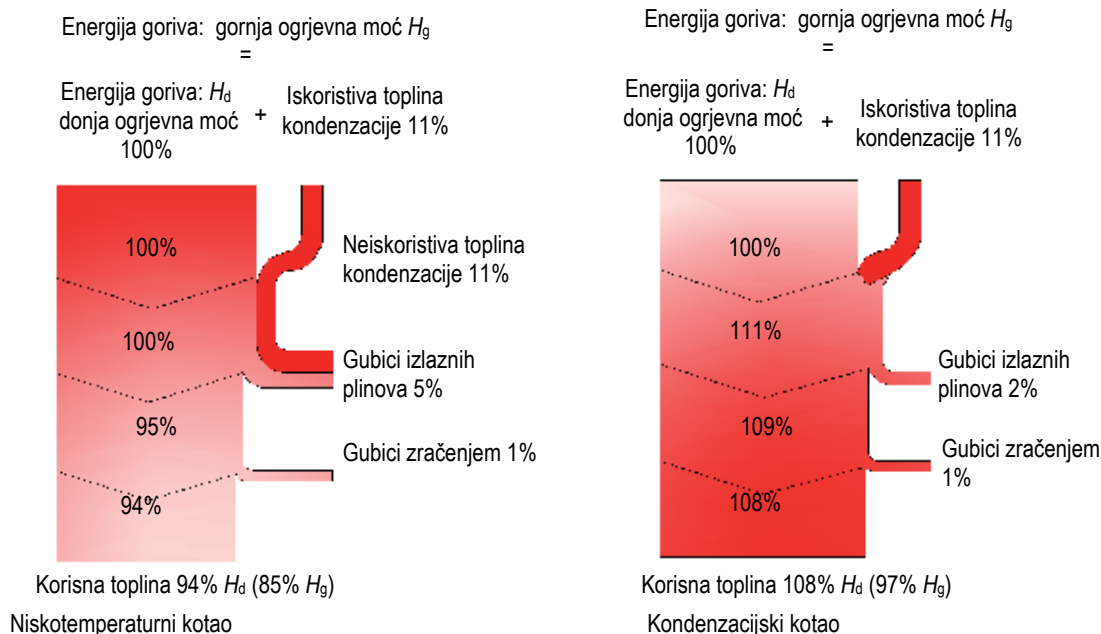
Vrlo je važna podjela kotlova prema učinkovitosti korištenja energije na standardne, niske i kondenzacijske (koji se još nazivaju i kotlovi s povećanim iskorištenjem topline goriva, njem. Brennwertkessel).

**Standardnim** se kotlovima smatraju kotlovi koji rade sa stalno povišenim temperaturama. Temperatura vode u kotlu održava se u granicama od 70°C do 90°C. Ove temperature uvjetovane su njegovom konstrukcijom koja nije primjerena za kondenzaciju dimnih plinova. Oni ne dostižu stupanj korisnosti koji se traži od niskotemperaturnih kotlova.

**Niskotemperaturni** kotlovi (NT kotlovi): su kotlovi predviđeni da rade s višestupanjskom i bezstupanjskom regulacijom učinka ložišta, pod uvjetom da ispunjavaju zahtjev da se održi stupanj korisnosti i onda kada temperatura u povratnom vodu pređe granicu iznad 40°C. Konstrukcija niskotemperaturnih kotlova je takva da u njima, osim u iznimnim slučajevima, ne dolazi do kondenzacije dimnih plinova na površinama za izmjenu topline. Kod ovih se kotlova temperatura polazne vode i dimnih plinova snižavaju u skladu s krivuljom grijanja, u skladu s parcijalnim opterećenjem, čime se smanjuju gubici uslijed pogonske pripravnosti.

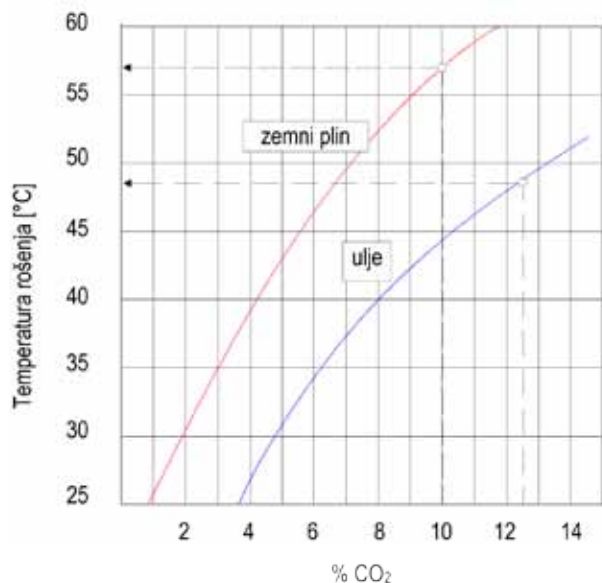
Današnji niskotemperaturni kotlovi postižu godišnji stupanj korisnosti od oko 91 do 95%. Veći kotlovi s dvostupanjskim ili moduliranim plamenicima ostvaruju stupnjeve korisnosti 94 do 96%.

**Kondenzacijski** kotlovi: su kotlovi kod kojih se toplina sadržana u vodenoj pari i plinovima izgaranja koristi putem kondenzacije.



**Slika 5.60 - Iskorištenje topline kod niskotemperaturnog i kondenzacijskog kotla**

Kod sniženja temperature na stijenama ogrjevnih površina ispod temperature rošenja, dolazi do stvaranja kondenzata iz vodene pare u dimnim plinovima. Goriva imaju različite sastave i stehiometrijske odnose kod izgaranja. Stoga su i temperature kod kojih dolazi do kondenzacije vodene pare u dimnim plinovima različite za različita goriva. Kod prirodnog plina ta je temperatura oko 57°C, dok je za loživo ulje niža i iznosi oko 47°C.

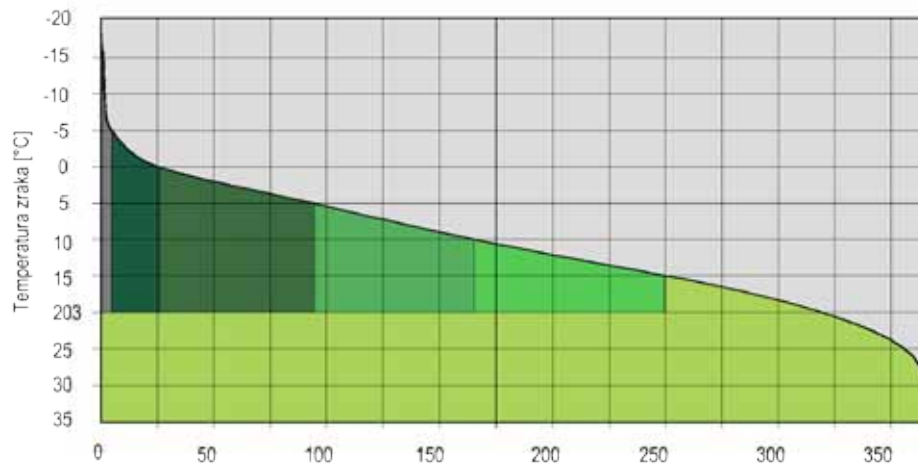


**Slika 5.61 - Temperatura rošenja za zemni plin i loživo ulje**

Da bi se odredila mogućnost primjene kondenzacijskog kotla u sustavu grijanja i ocijenili učinci moguće zamjene, treba utvrditi međusobnu ovisnost potrošnje energije i polaznih temperatura u sustavu grijanja o vanjskim temperaturama.

Potrebno je krenuti od tzv. stupanj - dana krivulje (krivulje učestalosti temperatura - slika 5.62). Na apscisi su prikazani dani u

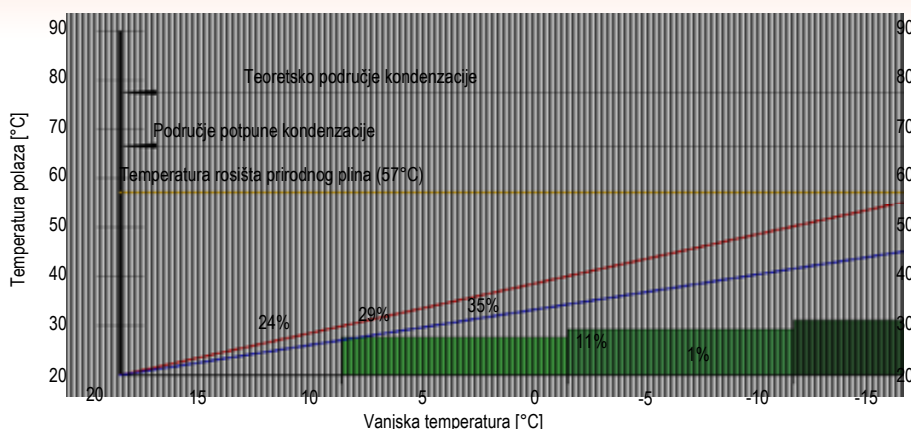
godini (0 - 365), a na ordinati vanjske temperature. Krivulja prikazuje broj dana u godini s temperaturom vanjskog zraka nižom od promatrane temperature za jednu promatranu lokaciju. Tako npr. broj dana grijanja (broj dana s temperaturom nižom od 15°C koja je uzeta kao granica grijanja u prikazanom primjeru) iznosi 250 dana. Broj dana s temperaturom nižom od 0°C je 25. U godini je 365 dana s temperaturom nižom od 35°C.



Slika 5.62 - Krivulja stupanj dana grijanja

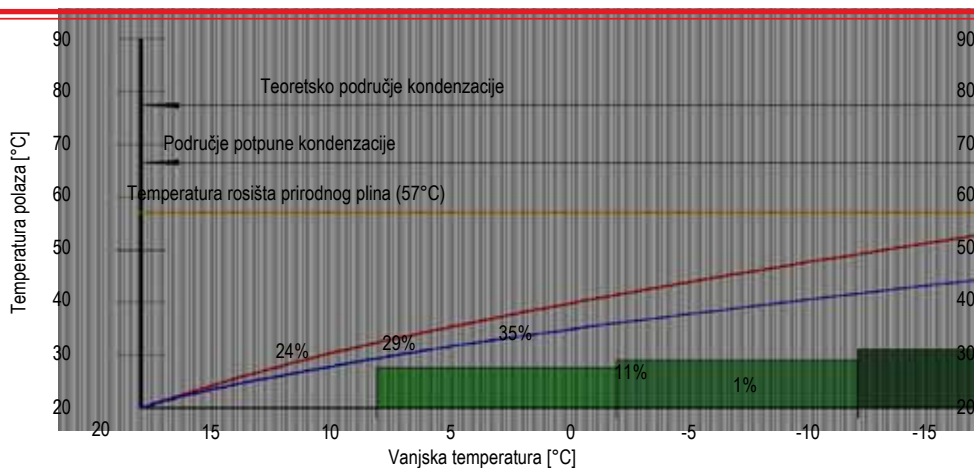
Iz krivulje na slici 5.62 moguće je nakon ucrtavanja površine omeđene temperaturom 20°C (temperatura grijanog prostora) i krivulje učestalosti temperatura utvrditi raspodjelu potrošnje energije u pojedinim temperaturnim intervalima (na primjeru sa slike to su intervali od -15°C do -10°C, od -10°C do -5°C, od -5°C do 0°C, od 0°C do +5°C, od +5°C do +10°C i od +10°C do +15°C kada se prekida grijanje).

Sustav grijanja se projektira tako da se kod vanjske projektne temperature, koja je za prikazani slučaj jednaka -15°C, usvoji polazna temperatura vode za sustav grijanja. Kod radijatorskih grijanja dosadašnja je praksa bila da se sustav projektira s polaznom temperaturom 90°C, pri čemu je ohlađivanje vode u radijatorima 20°C, pa je povratna temperatura 70°C. Kod viših vanjskih temperatura potrebno odavanje topline radijatora je sve manje, pa se u skladu s time smanjuje polazna temperatura tople vode u sustavu grijanja, ali i razlika polazne i povratne temperature za konstantan protok vode kroz radijatore. Kod vanjske temperature jednake temperaturi u prostoriji (npr. 20°C, što je prikazano na sa slici 5.63), polazna temperatura je 20°C, i grijanje više nije potrebno. Na slici 63 su prikazane polazne i povratne temperature radijatorskog grijanja sustava 90/70°C u funkciji vanjske temperature, pri čemu su stupcima prikazani udjeli topline koji se u pojedinom temperaturnom rasponu utroši za grijanje građevine, dobiveni određivanjem površina ispod krivulje sa slike 5.62. Ucrtana je i granična temperatura od 57°C, kod koje je moguće korištenje topline kondenzacije iz plinova izgaranja u slučaju korištenja prirodnog plina. Iz slike se vidi da mogućnost djelomičnog korištenja topline kondenzacije počinje oko vanjske temperature -6°C, kad je temperatura povratne vode niža od 57°C, dok se toplina kondenzacije u potpunosti može koristiti kod vanjskih temperatura viših od oko +2°C, kada je potrebna polazna temperatura za sustav grijanja niža od 57°C. Udio topline potrebne za grijanje građevine kod vanjskih temperatura između +2°C i +15°C (kada se prekida grijanje) je oko 65% ukupne potrebne topline za grijanje građevine.



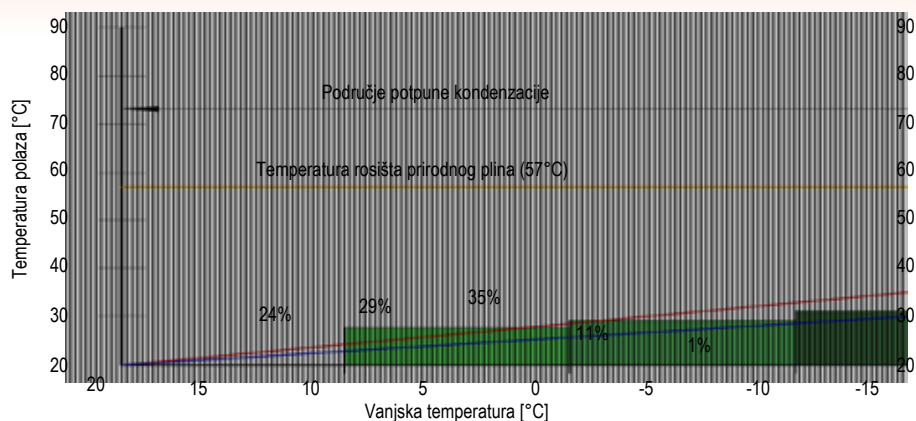
Slika 5.63 - Polazna temperatura grijanja u sustavu 90/70°C i raspodjela potrošnje za različite vanjske temperature

Ako su radijatori u građevini nešto predimenzionirani, što je vrlo čest slučaj jer su metode proračuna koje su se koristile imale predviđenu značajnu rezervu kapaciteta, koja se kretala od 15% do čak 40% u nekim nepovoljnijim slučajevima, a projektanti su iz razloga nesigurnosti proračuna ponekad i povećavali takvu rezervu, radijatori su i kod projektnih temperatura vanjskog zraka mogli zadovoljiti potrebe grijanja građevine i s nižim temperaturama vode. Slučaj prikazan na slici 5.64 je u praksi često prisutan, kada je dovoljna polazna temperatura tople vode u sustavu grijanja od 75°C pri kojoj radijatori odaju dovoljnu količinu topline u grijane prostorije. U ovom slučaju je udio topline koji se može proizvesti uz potpuno iskorištenje topline kondenzacije, kod vanjskih temperatura viših od oko -1°C, oko 90% ukupne potrebne topline za grijanje građevine.



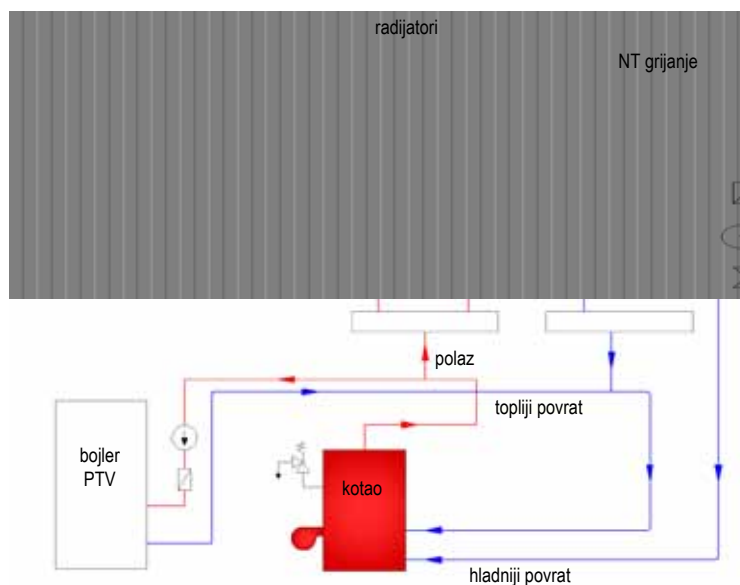
Slika 5.64 - Polazna temperatura grijanja u sustavu 75/60°C i raspodjela potrošnje za različite vanjske temperature

Ako se radi o niskotemperaturnim grijanjima (kao što su panelna grijanja, grijanja ventilatorskim konvektorima i sl.), polazne temperature u sustavu grijanja niže su od temperature kondenzacije vodene pare iz plinova izgaranja i kod vanjskih projektnih temperatura, te se u tom slučaju sva toplina za grijanje građevine može proizvesti uz iskorištenje topline kondenzacije vodene pare u plinovima izgaranja. Prema Tehničkom propisu o sustavima grijanja i hlađenja zgrada (NN 110/08), niskotemperaturna su grijanja ona s temperaturom polaznog voda nižom od 40°C. Na slici 5.65 dan je primjer za slučaj da je sustav grijanja (u ovom slučaju ventilatorskim konvektorima) odabran za režim 50/40°C kod vanjske projektne temperature.



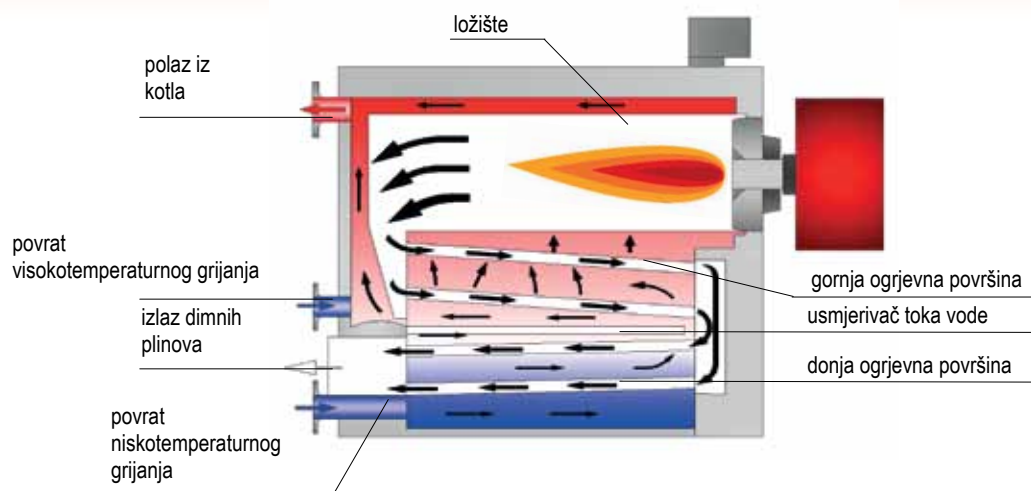
**Slika 5.65 - Polazna temperatura grijanja u sustavu 50/40°C i raspodjela potrošnje za različite vanjske temperature**

Kondenzacijska tehnika je dakle u potpunosti primjenjiva u suvremenoj stanogradnji u slučaju projektiranih niskotemperaturnih režima grijanja. Kad se kotao koristi za dva temperaturna režima, npr. za niskotemperaturno grijanje prostora i grijanje potrošne vode, pravilnim smještajem priključaka povratne vode na kotlu može se osigurati bolje iskorištenje topline kondenzacije (slika 5.66).



**Slika 5.66 - Način spajanja rada kondenzacijskog kotla za dva temperaturna režima povrata [5.17]**

Konstrukcija kotla treba u tom slučaju biti odgovarajuća, tj. hladniji povrat treba biti spojen na kotao u blizini izlaza plinova izgaranja (slika 5.67).



Slika 5.67 - Funkcionalna shema prolaza tople vode i dimnih plinova kod kondenzacijskog kotla [5.4]

### Učinkovitost kotlova

Zahtjevi na minimalnu učinkovitost kotlova su normirani. Prema uputstvima (92/42EWG) Europske zajednice za stupanj korisnosti novih toplodvodnih kotlova s uljnim ili plinskim gorivom vrijedi sljedeća tablica:

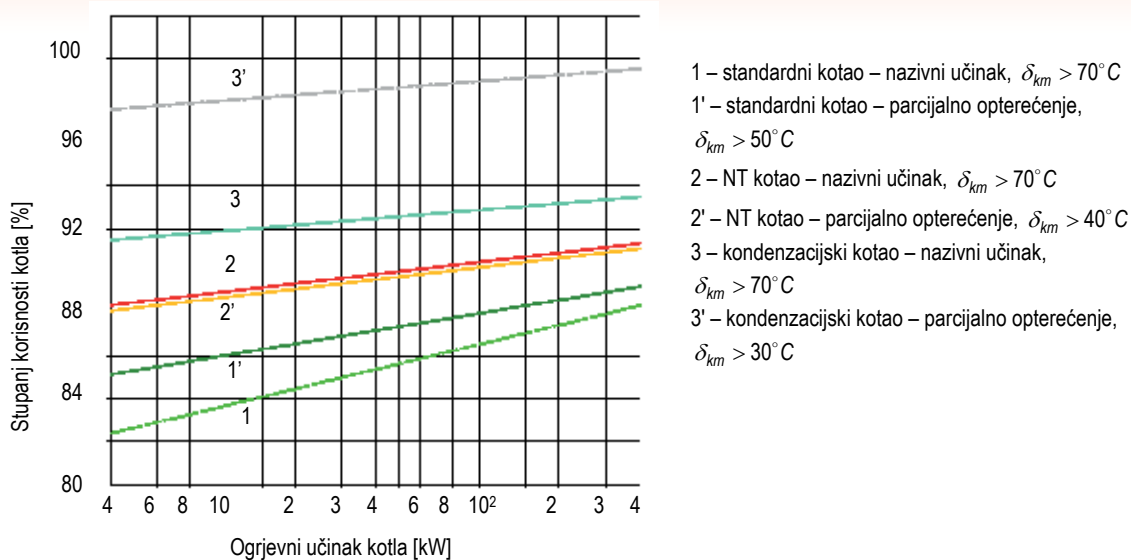
Tablica 5.16 - Stupnjevi korisnosti kotlova s uljnim ili plinskim gorivom prema zahtjevima EZ-a

Tip kotla	$P_n$	Kod nazivnog učinka		Kod parcijalnog opterećenja	
	kW	Prosječna temperatura vode u kotlu [°C]	Izraz za zahtijevani stupanj korisnosti [%]	Prosječna temperatura vode u kotlu [°C]	Izraz za zahtijevani stupanj korisnosti [%]
Standardni kotlovi	40 - 400	70	$\geq 84 + 2\log P_n$	$\geq 50$	$\geq 80 + 3\log P_n$
Niskotemperaturni kotlovi*)	40 - 400	70	$\geq 87 + 1,5\log P_n$	40	$\geq 87,5 + 1,5\log P_n$
Kondenzacijski kotlovi	40 - 400	70	$\geq 91 + 1\log P_n$	30**)	$\geq 97 + 1\log P_n$

\*) Uključujući kondenzacijske kotlove za tekuće gorivo

\*\*\*) Temperatura povratnog voda na ulazu u kotao

Vrijednosti iz tablice 5.16 prikazane su dijagramom na slici 5.68.



Slika 5.68 - Stupnjevi korisnosti kotlova s uljnim ili plinskim gorivom prema uputstvima (92/42EWG)

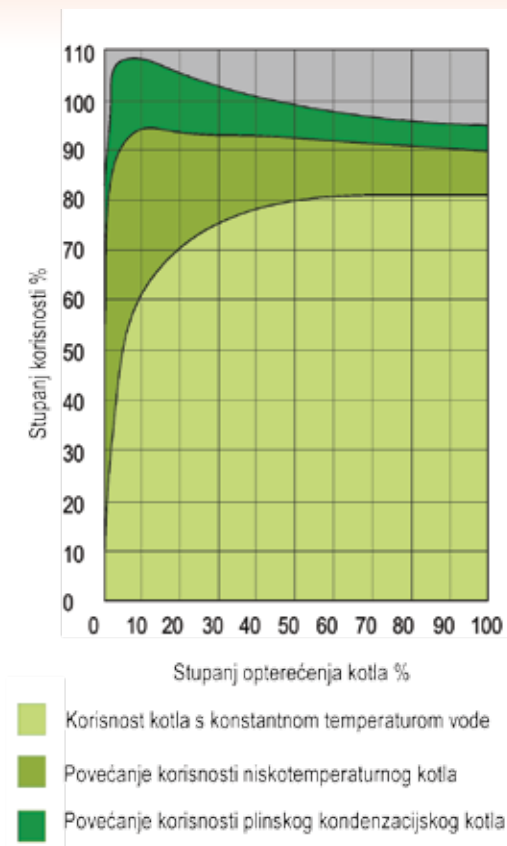
Zbirni informativni pregled učinkovitosti različitih kotlova i peći dan je u tablici 5.17.

Tablica 5.17 - Pregled učinkovitosti različitih kotlova

Gorivo	Vrsta uređaja	Učinkovitost
Kruta goriva	Peći i štednjaci	60 do 75%
	Kotlovi - starija izvedba	60 do 75%
	Kotlovi - nova izvedba	80 do 90%
	Kotlovi na različitu biomasu	82 do 92%
	Peleti	87 do 92%
	Sječka	85 do 90%
	Kombinirani kotlovi	70 do 78%
Tekuća goriva	Kombinirani kotlovi (kruto gorivo)	65 do 75%
	Standardni	85 do 90%
	Nisko temperaturni	90 do 95%
Plinska goriva	Standardni	92 do 95%
	Nisko temperaturni	95 do 98%
	Kondenzacijski	do 108%

Usporedba stupnjeva korisnosti standardnih, niskotemperaturnih i kondenzacijskih kotlova kod parcijalnih opterećenja dana je na slici 5.69 [5.18].





**Slika 5.69 - Stupnjevi korisnosti različitih izvedbi kotlova kod parcijalnih opterećenja**

Iz slike 5.69 koja predstavlja stupanj korisnosti (iskazan u odnosu na donju ogrjevnu moć goriva) različitih izvedbi kotlova kod parcijalnih opterećenja, vidi se važna činjenica da niskotemperaturni i kondenzacijski kotlovi bolje koriste toplinu goriva kod parcijalnih opterećenja. To je vrlo važno, jer projektanti često radi sigurnosti (ili nesigurnosti u odnosu na rezultate proračuna) odabiru kotlove većeg ogrjevnog učinka od nominalno potrebnog.

Kod kotla s konstantnom temperaturom kotlovske vode srednji se stupanj korisnosti  $\eta_t$  u nekom vremenskom razdoblju korištenja kotla izračunava kao

$$\eta_t = \frac{\eta_k}{\left(\frac{b}{b_{vk}} - 1\right)q_b + 1} \quad (5.26)$$

- $\eta_k$  - stupanj korisnosti kotla,
- $b$  - vrijeme pripravnosti za pogon,
- $b_{vk}$  - sati potpunog iskorištenja kotla i
- $q_b$  - faktor gubitaka kotla kod pripravnosti

Ako su kotlovi predimenzionirani, nazivnik će u gornjem izrazu biti veći i srednji stupanj korisnosti manji.

Primjer:

Za građevinu u Zagrebu potrebnog ogrjevnog učinka 850 kW provedena je usporedna analiza primjene standardnih kotlova starije izvedbe (2 x 523 kW), ložena plinom ukupnog učinka i dva kondenzacijska kotla novije proizvodnje učinka 2 x 502 kW.

Potrošnja energije po mjesecima izračunata je u skladu sa starijom normom DIN 2067, temeljem podataka o vanjskoj temperaturi zraka kao:

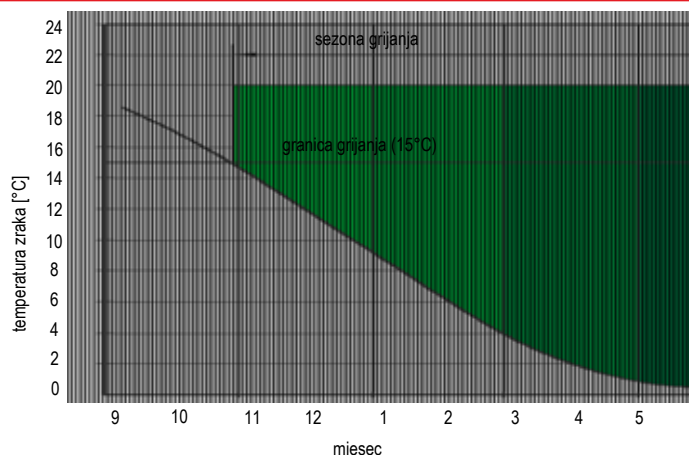
$$Q_a = \dot{Q}_N \cdot f \cdot \frac{24 \cdot \sum S_{d,mj}}{\theta_{p,m} - \theta_{a,min}} \quad [\text{kW}] \quad (5.27)$$

- $\dot{Q}_N$  - standardna potrebna količina topline [kW]  
 $f$  - korekcijski faktor  
 $S_{d,mj}$  - broj stupanj dana jednog mjeseca  
 $\theta_{p,m}$  - srednja temperatura prostorije ( $\theta_{p,m} = 20^\circ\text{C}$ )  
 $\theta_{a,min}$  - vanjska projektna temperatura ( $\theta_{a,min} = -18^\circ\text{C}$ )

Pored načina proračuna stupanj dana opisanog u objašnjenju uz sliku 5.62, broj stupanj dana može se odrediti i temeljem srednjih mjesečnih temperatura zraka, za odabranu granicu grijanja (u primjeru je to  $15^\circ\text{C}$ ) i prosječnu temperaturu grijanih prostora (u primjeru je to  $20^\circ\text{C}$ ).

**Tablica 5.18 - Prosječne mjesečne temperature zraka za Zagreb**

Mjesec	Prosječna temperatura [°C]
Siječanj	0,5
Veljača	3,1
Ožujak	7,3
Travanj	11,8
Svibanj	16,3
Lipanj	19,3
Srpanj	21,3
Kolovoz	20,6
Rujan	17
Listopad	11,9
Studeni	6,4
Prosinac	2
<b>Godina</b>	<b>10,3</b>



**Slika 5.70 - Krivulja srednjih vanjskih temperatura i određivanje broja stupanj dana grijanja**

Tablica 5.19 - Mjesečni broj stupanj dana za Zagreb

Mjesec	Broj dana grijanja $z_{mj}$	Srednja temperatura vanjskog zraka $t_{a,mj}$ [°C]	Broj stupanj dana $S_{d,mj}$
Siječanj	31	0,5	604,5
Veljača	28	3,1	473,2
Ožujak	31	7,3	393,7
Travanj	30	11,8	246
Svibanj	-	16,3	-
Lipanj	-	19,3	-
Srpanj	-	21,3	-
Kolovoz	-	20,6	-
Rujan	-	17	-
Listopad	31	11,9	251,1
Studeni	30	6,4	408
Prosinac	31	2	558
<b>Godišnje</b>	<b>212</b>	<b>10,3</b>	<b>2934,5</b>

Kako se standardna potrebna količina topline  $\dot{Q}_N$  koja prema DIN 4701 uključuje transmisijske  $\dot{Q}_T$  i ventilacijske  $\dot{Q}_V$  gubitke objekta računa kao

$$\dot{Q}_N = \dot{Q}_T + 0,5\dot{Q}_V \quad (5.28)$$

Prema instaliranom učinku radijatorskog grijanja u primjeru koji iznosi  $\dot{Q}_R = 845$  kW, može se temeljem poznavanja propisa DIN 4701, po kojemu je proračun sustava grijanja rađen, usvojiti da je zbog zahtjeva propisa za rezervu kapaciteta i projektantske prakse predimenzioniranja učinka ogrjevnih tijela, stvarna potrebna toplina zapravo 25% niža.

$$\dot{Q}_N = 0,75 \cdot \dot{Q}_R = 0,75 \cdot 845 = 633 \text{ kW} \quad (5.29)$$

Korekcijski faktor  $f$  računat prema DIN 2067, listu 2. u obzir uzima više faktora i definiran je izrazom:

$$f = \prod_{i=0}^9 f_i = f_0 \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \cdot f_5 \cdot f_6 \cdot f_7 \cdot f_8 \cdot f_9 \quad (5.30)$$

Vrijednosti za faktore  $f$  dani su u tablicama 5.20 i 5.21.

Tablica 5.20 - Faktori  $f$  za proračun [5.4]

Korekcijski faktor	Značenje		Vrijednost faktora
$f_0$	proračun potrebne topline prema	DIN4701/59.	1,00
		DIN4701/83.	1,07
$f_1$	faktor izjednačenja: uzima u obzir toplinske dobitke uslijed sunčeva zračenja i unutarnjih izvora topline		0,78
$f_2$	istovremenost potrebe za toplinom zbog provjetravanja	DIN4701/59.	0,75-0,95
		DIN4701/83.	1,00
$f_3$	utjecaj povećanog kapaciteta zagrijavanja ogrjevnih uređaja (npr. električni akumulacijski uređaji)		0,85-1,00
$f_4$	utjecaj djelomičnog zagrijavanja (npr. nezagrijavane spavaće sobe)		0,70-0,95
$f_5$	odstupanje sobne temperature	-3 K	0,80
		+3 K	1,20
$f_6$	utjecaj toplinske izolacije		0,90-1,00
$f_7$	mogućnost reguliranja, opremljenost mjernim i regulacijskim uređajima	nedovoljna	1,05-1,15
		veoma dobra	0,80-0,85
$f_8$	utjecaj načina obračunavanja	paušalno	1,10
		prema potrošnji	0,95
$f_9$	faktor kratkotrajnosti (dnevni broj sati rada sustava)		tablica 5.21

Tablica 5.21 - Faktor kratkotrajnosti  $f_9$  [5.4]

Zgrada	Faktor kratkotrajnosti $f_9$	
	bez	sa
	sníženje temperature za vrijeme vikenda	
Škola - jedna smjena	0,82	0,80
Škola - dvije smjene	0,91	0,87
Škola - dvije smjene i večernje korištenje	0,93	0,88
Ustanova	0,87	0,84
Obiteljska kuća	0,94	-
Obiteljska kuća - više etaža	0,95	-
Bolnica	1,00	-

Broj stupanj dana jednog mjeseca razdoblja grijanja umnožak je broja dana grijanja u određenom mjesecu i razlike srednjih temperatura prostorije i srednje mjesečne temperature vanjskog zraka (pri čemu je kao granica grijanja usvojena temperatura vanjskog zraka +15°C):

$$S_{d,mj} = z_{mj} \cdot (\theta_{p,m} - \theta_{a,mj}) \quad (5.31)$$

- $z_{mj}$  - broj dana grijanja u određenom mjesecu  
 $\theta_{p,m}$  - srednja temperatura prostorije ( $t_{p,m} = 20^\circ\text{C}$ )  
 $\theta_{a,mj}$  - srednja mjesečna temperatura vanjskog zraka

Potrošnja topline određenog mjeseca računa se kao:

$$Q_m = Q_a \cdot \frac{S_{d,mj}}{\sum S_d} \text{ [kW]} \quad (5.32)$$

Proračun se provodi za svaki mjesec sezone grijanja, tj. od siječnja do travnja i od listopada do prosinca. Ako se kao proračunsko razdoblje usvoji jedan mjesec, izraz 5.26 daje srednji stupanj iskorištenja za svaki pojedini mjesec kao:

$$\eta_m = \frac{\eta_k}{\left(\frac{b}{b_{vk}} - 1\right) \cdot q_b + 1} \quad (5.33)$$

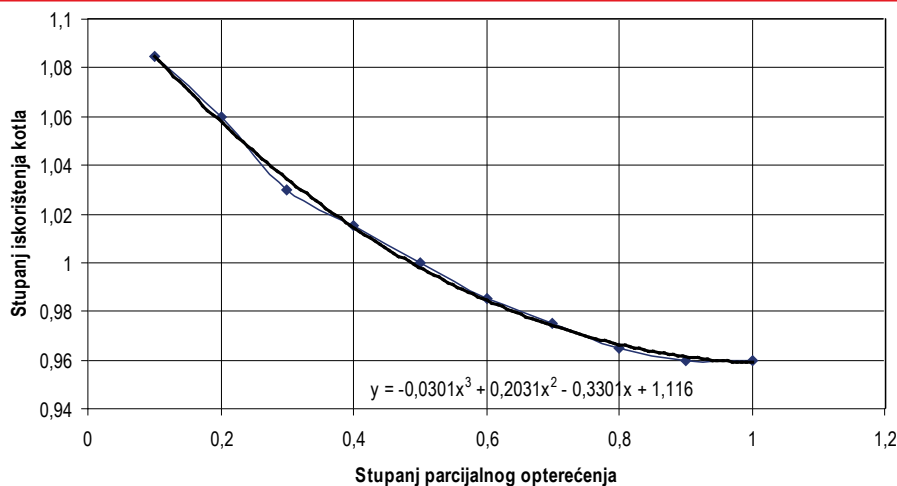
- $\eta_k$  - normni stupanj iskorištenja kotla (usvojena vrijednost 85%)
- $b$  - vrijeme pripravnosti kotla (usvojeno 16 h dnevno)
- $b_{vk}$  - broj sati potpune iskoristivosti kotla (izračunava se kao kvocijent potrošnje energije i raspoloživog učinka kotla)
- $q_b$  - faktor gubitaka kotla kod pripravnosti (usvojen s vrijednošću 0,0025 za kotao godine proizvodnje iza 1980., učinka 523 kW, u skladu s podacima prikazanim na slici 5.72)

Stupanj parcijalnog opterećenja kotla  $\dot{Q} / \dot{Q}_n$  određen je izrazom:

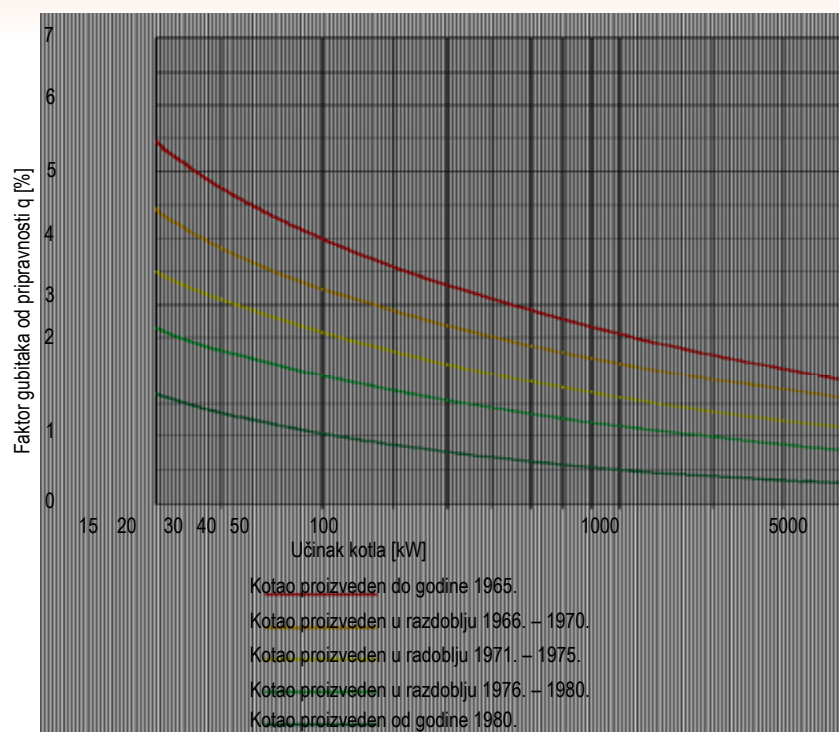
$$\frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_n} = \frac{\theta_p - \theta_{a,m}}{\theta_p - \theta_{a,\min}} \quad (5.34)$$

- $t_p$  - temperatura prostorije ( $t_p = 20^\circ\text{C}$ )
- $t_{a,m}$  - srednja mjesečna temperatura
- $t_{a,\min}$  - vanjska projektna temperatura ( $t_{a,\min} = -18^\circ\text{C}$ )

Ovisno o stupnju parcijalnog opterećenja, određen je stupanj korisnosti kondenzacijskog kotla u skladu s podacima na slici 5.69. Temeljem tih podataka određeni su koeficijenti regresijskog polinoma prikazani slikom 5.71.



Slika 5.71 - Stupanj iskorištenja kondenzacijskog kotla



Slika 5.72 - Gubici pogonske pripravnosti kotla

Konačno, potrošnja plina određena je izrazom:

$$B = \frac{Q}{\eta_m H_d} \quad [\text{m}^3] \quad (5.35)$$

- $Q$  - potrebna toplina za grijanje objekta [kWh]  
 $\eta_m$  - srednji stupanj iskorištenja  
 $H_d$  - donja ogrjevna moć plina ( $H_d = 9,2606 \text{ kWh/m}^3$ )

Tablica 5.22 - Stupanj korisnosti standardnih starih kotlova 2 x 523 kW

Mjesec	Vanjska temp. [°C]	$S_d$	Potrebna toplina [kWh]	Broj sati pogonske pripravnosti [h]	Stvarni broj sati rada plamenika učinka 1046 kW [h]	$\eta$ [/]
Siječanj	0,50	604,50	115.084,56	496,00	110,02	0,84
Veljača	3,10	473,20	90.087,70	448,00	86,13	0,84
Ožujak	7,30	393,70	74.952,51	496,00	71,66	0,84
Travanj	11,80	246,00	46.833,42	480,00	44,77	0,83
Listopad	11,90	251,10	47.804,35	496,00	45,70	0,83
Studeni	6,40	408,00	77.674,94	480,00	74,26	0,84
Prosinac	2,00	558,00	106.231,90	496,00	101,56	0,84
<b>Godišnje:</b>	<b>11,50</b>	<b>2934,50</b>	<b>558.669,37</b>	<b>3.392,00</b>	<b>553,77</b>	<b>0,84</b>

Tablica 5.23 - Potrošnja plina standardnih starih kotlova 2 x 523 kW

Mjesec	Potrebna toplina [kWh]	Stupanj iskorištenja [/]	Potrošnja plina [m <sup>3</sup> ]
Siječanj	115.084,56	0,84	14.748,62
Veljača	90.087,70	0,84	11.565,00
Ožujak	74.952,51	0,84	9.662,97
Travanj	46.833,42	0,83	6.094,32
Listopad	47.804,35	0,83	6.222,68
Studeni	77.674,94	0,84	10.002,65
Prosinac	106.231,90	0,84	13.626,78
<b>Godišnje:</b>	<b>558.669,37</b>	<b>0,84</b>	<b>71.923,02</b>

Tablica 5.24 - Potrošnja plina kondenzacijskog kotla dimenzioniranog za stvarnu potrebu

Mjesec	Vanjska temperatura [°C]	Potrebna toplina [kWh]	Stupanj parcijalnog opterećenja [/]	Stupanj iskorištenja [/]	Potrošnja plina [m <sup>3</sup> ]
Siječanj	0,50	115.084,56	0,51	0,96	12.952,34
Veljača	3,10	90.087,70	0,44	0,98	9.897,00
Ožujak	7,30	74.952,51	0,33	1,02	7.957,16
Travanj	11,80	46.833,42	0,22	1,05	4.810,85
Listopad	11,90	47.804,35	0,21	1,05	4.907,10
Studeni	6,40	77.674,94	0,36	1,01	8.303,72
Prosinac	2,00	106.231,90	0,47	0,97	11.786,51
<b>Godišnje:</b>	<b>11,50</b>	<b>558.669,37</b>		<b>1,01</b>	<b>60.614,68</b>

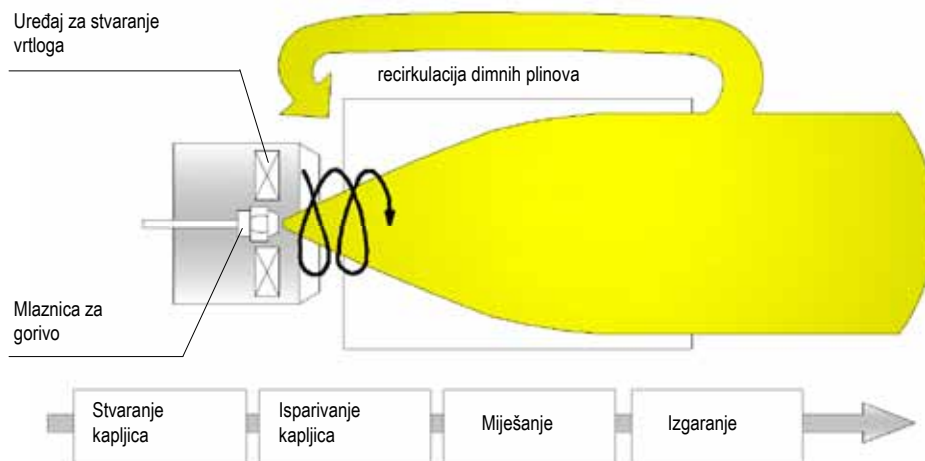
Primjenom kondenzacijskih kotlova učinka 2 x 502 kW, koji su obrađeni u analiziranom primjeru, moguća ušteda goriva u odnosu na postojeće stanje je  $72.487 - 60.614 = 11.873 \text{ m}^3$  prirodnog plina godišnje. Iskazano kroz današnju cijenu plina ( $2,446 \text{ kn/m}^3$ ), to rezultira financijskom uštedom na nabavi goriva (plina) od 29.041 kn godišnje.

Ovakvo smanjenje potrošnje plina ima za rezultat i smanjenje emisije CO<sub>2</sub>. Smanjenje emisije CO<sub>2</sub> izračunato je s vrijednošću emisije od  $1,9 \text{ kg/m}^3$  iz tablice u prilogu 6A Pravilnika o energetska certificiranju zgrada. Za navedeni slučaj ono iznosi 22.558 kg godišnje.

### 5.3.2. Plamenici

**Uljni plamenici:** da bi gorivo izgorilo, moraju se pomiješati molekule goriva i zraka. U slučaju izgaranja loživog ulja, ulje i zrak su u različitim agregatnim stanjima, pa ulje prije izgaranja treba ispariti. Zato gorivo treba preko što veće površine biti u kontaktu s toplim plinovima izgaranja.

Zrak se miješa s parom koja se stvara isparivanjem raspršenih kapljica goriva u kružno raspoređenim mlazovima. U zoni reakcije oslobađa se energija sadržana u gorivu. Programiranim upravljanjem vodi se funkcija uključivanja i kontrole, čime se omogućuje automatski pogon plamenika.

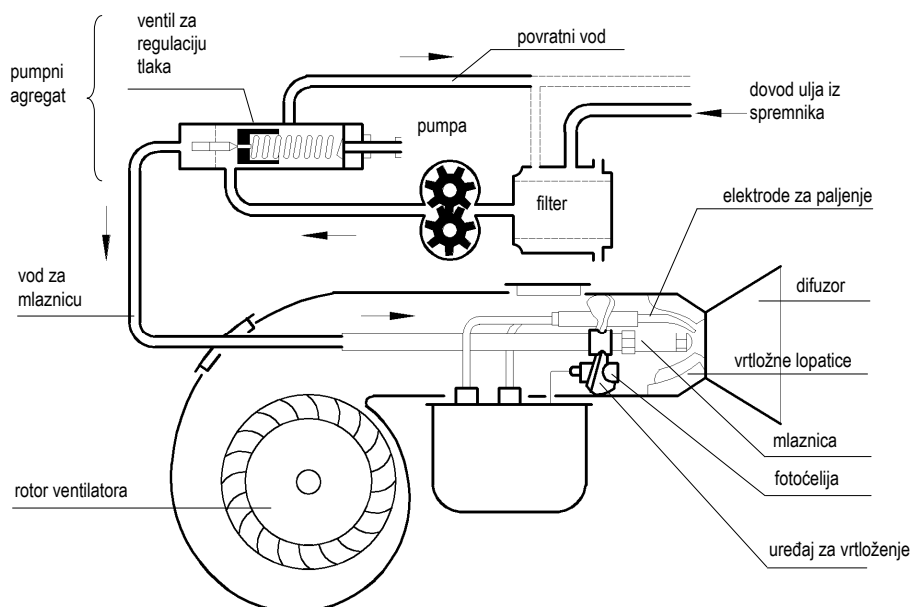


Slika 5.73 - Dijelovi procesa izgaranja [5.4]

Prema pripremi goriva plamenici se dijele na sljedeći način:

- plamenici s raspršivanjem ulja pod tlakom
- plamenici s injekcionim raspršivanjem ulja
- plamenici s ultrazvučnim raspršivanjem ulja
- plamenici s rotacionim raspršivanjem ulja i
- plamenici gdje gorivo dolazi u tankom sloju.

Prema pripremi zraka postoje plamenici s ventilatorom, bez ventilatora, s kompresorom i s predgrijavanjem zraka. Prema pripremanju gorive smjese postoje plamenici s pripremom smjese prije paljenja (difuzorni plamenici), plamenici s miješanjem ispred plamena i plamenici s djelomičnim miješanjem ispred plamena. Plamenici s raspršivanjem ulja (slika 5.74): ovi plamenici se najčešće koriste i izrađuju u svim veličinama.



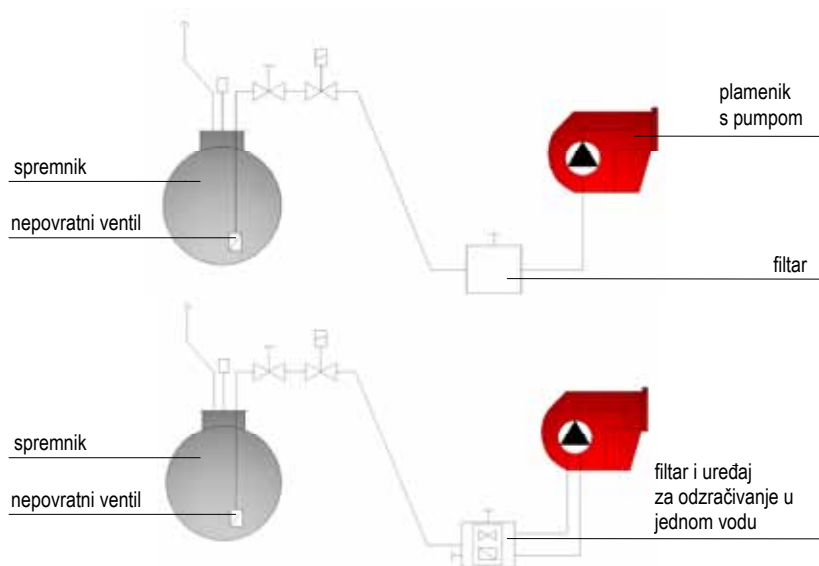
Slika 5.74 - Shematski prikaz plamenika s raspršivanjem ulja pod tlakom [5.4]



## Povezivanje uljnih plamenika na spremnik goriva

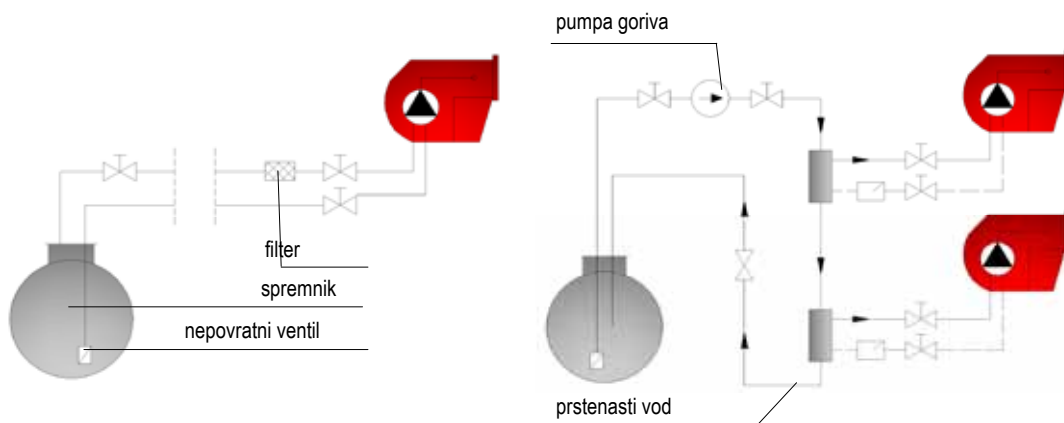
Uljni cjevovodi između spremnika i plamenika mogu se postaviti kao jednocijevni i dvocijevni.

Jednocijevni sustavi imaju samo jedan vod za ulje između spremnika i plamenika (slika 5.75). Sustav s jednim vodom predviđen je za mala postrojenja s gravitacijskim dovodom ulja.



**Slika 5.75 - Jednocijevni sustav s jednim vodom za pumpu (gore) i jednocijevni sustav s dva voda za pumpu (dolje) [5.4]**

Dvocijevni sustavi imaju jedan razvodni i jedan povratni vod za ulje (slika 5.76, lijevo). Višak ulja i eventualni zrak se vraćaju u spremnik. Veća postrojenja s više plamenika imaju prstenasti vod s pumpom (slika 5.76, desno).



**Slika 5.76 - Plamenik s dvocijevnim sustavom (lijevo), prstenasti vod s nekoliko plamenika (desno) 1 - ventil za reduciranje tlaka 2 - odzračivanje [5.4]**

**Plinski plamenici:** Podjela plinskih plamenika može se izvršiti prema nekoliko kriterija.

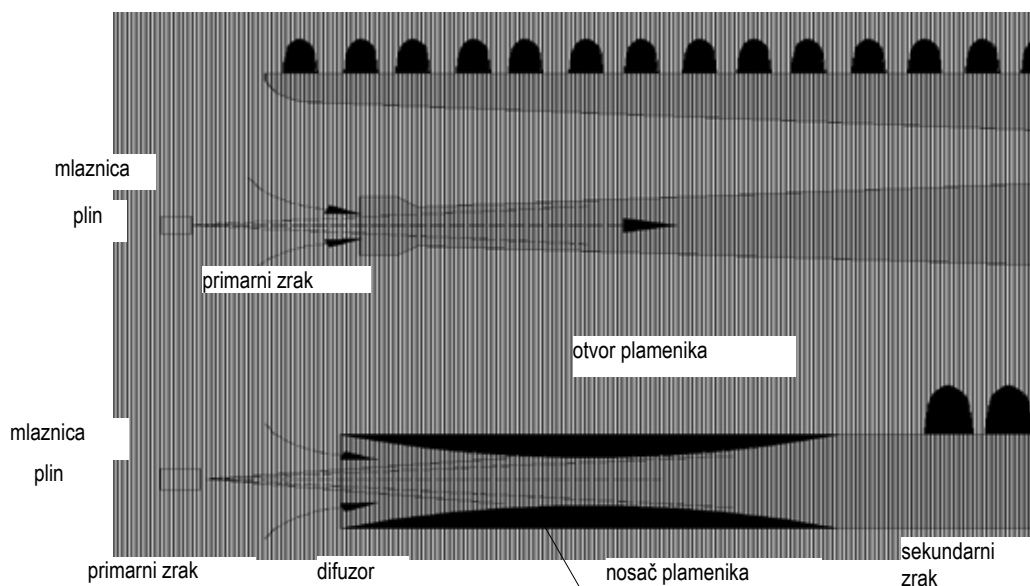
Prema pripremi smjese plamenici mogu biti s miješanjem ispred plamena, s djelomičnim miješanjem ispred plamena, s miješanjem u plamenu (difuzijski plamenik) i katalitički plamenici.

Plinski plamenici se mogu razlikovati prema vrsti plina, pa tako postoje plamenici za gradski i daljinski plin, za zemni plin, za ukapljeni plin, te plamenik za više plinova i plamenik za sve plinove.

Prema načinu dovođenja zraka plamenici mogu biti s ventilatorom ili bez ventilatora. Prema tlaku plina mogu biti plamenici niskog tlaka (5...50 kPa plinskog tlaka) i visokog tlaka (50...300 kPa, odnosno 0,5...3,0 bar plinskog tlaka).

Prema načinu rada mogu se razlikovati plinski plamenici s ručnim uključivanjem, poluautomatski plinski plamenici kod kojih se glavni plamen pali pomoću inicijalnog plamena koji stalno gori ili se pri puštanju u rad preko piezo-upaljača pali inicijalni plamen koji dalje ima termoelektrično upravljanje, te potpuno automatski plinski plamenik. Kod automatskog plamenika plamen se pali direktno, električno ili se pak paljenje vrši na mlaznici za gorivo. Inicijalni plamen, koji trajno gori, ovdje nije potreban. Za male atmosferske plamenike danas se uglavnom primjenjuje potpuno automatsko paljenje.

**Plinski atmosferski plamenici:** kao i kod ranije opisanih plinskih uređaja sa zračenjem, kod plamenika bez ventilatora, priprema gorive smjese plina i zraka je po principu injektora kako je prikazano na slici 5.77 u nastavku. Plin se pod visokim tlakom ubrizgava u cijev za miješanje preko mlaznice. Zbog velike brzine stvara se na ulazu cijevi za miješanje podtlak uslijed kojega se usisava zrak. Zrak i plin se dalje u cijevi miješaju, a nastala djelomična ili potpuna smjesa se ravnomjerno raspoređuje na propusno reakcijsko tijelo (izrađeno od keramike, metalnog tkanja...). Paljenje je električno ili inicijalnim plamenom.



**Slika 5.77 - Plinski atmosferski plamenici: injeksijski plamenik s pločastim reakcijskim tijelom (gore) i injeksijski plamenik s cilindričnim reakcijskim tijelom (dolje) [5.4]**

**Plinski plamenici s ventilatorom:** zrak za izgaranje dovodi se pomoću ventilatora, pa je ovisnost ovih plamenika o podtlaku dimnjaka jako smanjena u usporedbi s atmosferskim plamenicima. Miješanje plina i zraka odvija se ili ispred ili iza ventilatora. Prednost im je točno doziranje količine zraka, čime se osigurava bolje miješanje, pogonska sigurnost i bolji stupanj korisnosti.

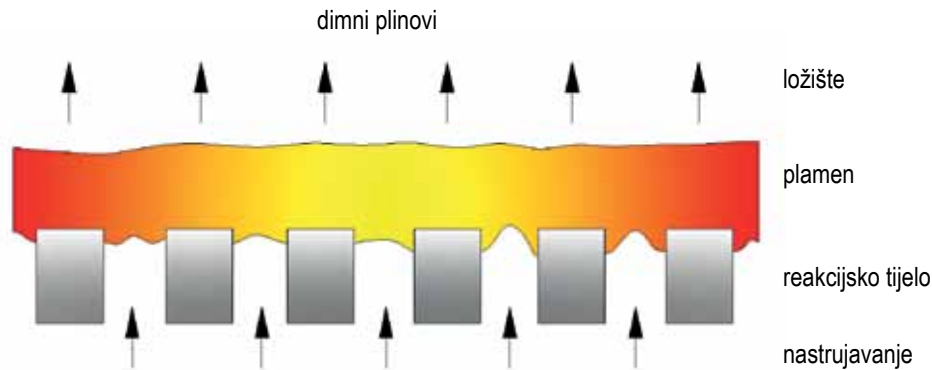
Plamenici s ventilatorima sadrže:

- ventilator s motorom
- vod za plin, filter, regulator tlaka, magnetni ventil, presostat
- cijev plamenika sa zaustavnim diskom (kod difuzijskog plamenika), propusnim reakcijskim elementom (plamenik s predmiješanjem) ili katalitičkim reakcijskim elementom (katalitički plamenik)
- opremu za paljenje
- opremu za upravljanje i sigurnosne uređaje (presostat, uređaj za kontrolu plamena).

Kod **difuzijskih** plamenika miješanje se osigurava zaustavnim diskom ili vrtloženjem.

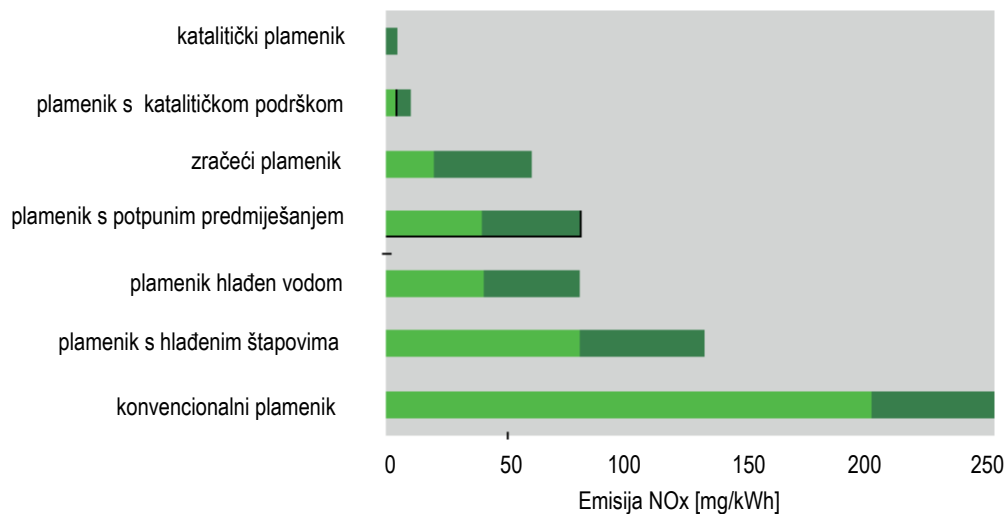
Kod **plamenika s predmiješanjem** gorivo i zrak se miješaju ispred plamena (slika 5.78). Nadstehiometrijska smjesa prolazi kroz propusno reakcijsko tijelo (keramika, čelik) i ulazi u komoru izgaranja. Reakcijski dio se ugrijava na visoku ujednačenu temperaturu i prenosi dobar dio topline zračenjem. Oblik reakcijskog dijela ovisi o konstrukciji plamenika (ploča, cilindar...).

Ovakvom se konstrukcijom smanjuje udio dušičnih oksida u plinovima izgaranja.



Slika 5.78 - Plamenik s predmiješanjem [5.4]

Plamenici s katalitičkom podrškom: kod plamenika ove vrste dio procesa oksidacije je katalitički, a dio oksidacije je u plamenu. Katalitički plamenici: kod potpuno katalitičkih plamenika cjelokupna reakcija oksidacije odvija se katalitički. Kao nosioci katalizatora (platina, paladij) koriste se keramika ili plemeniti metali. Oblik nosača može biti metalno ili keramičko saće, metalna tkanina, sloj kuglica, obložene cijevi ili porozni sinterirani materijal. Ovakve se konstrukcije razvijaju u cilju smanjenja emisija dušičnih oksida.

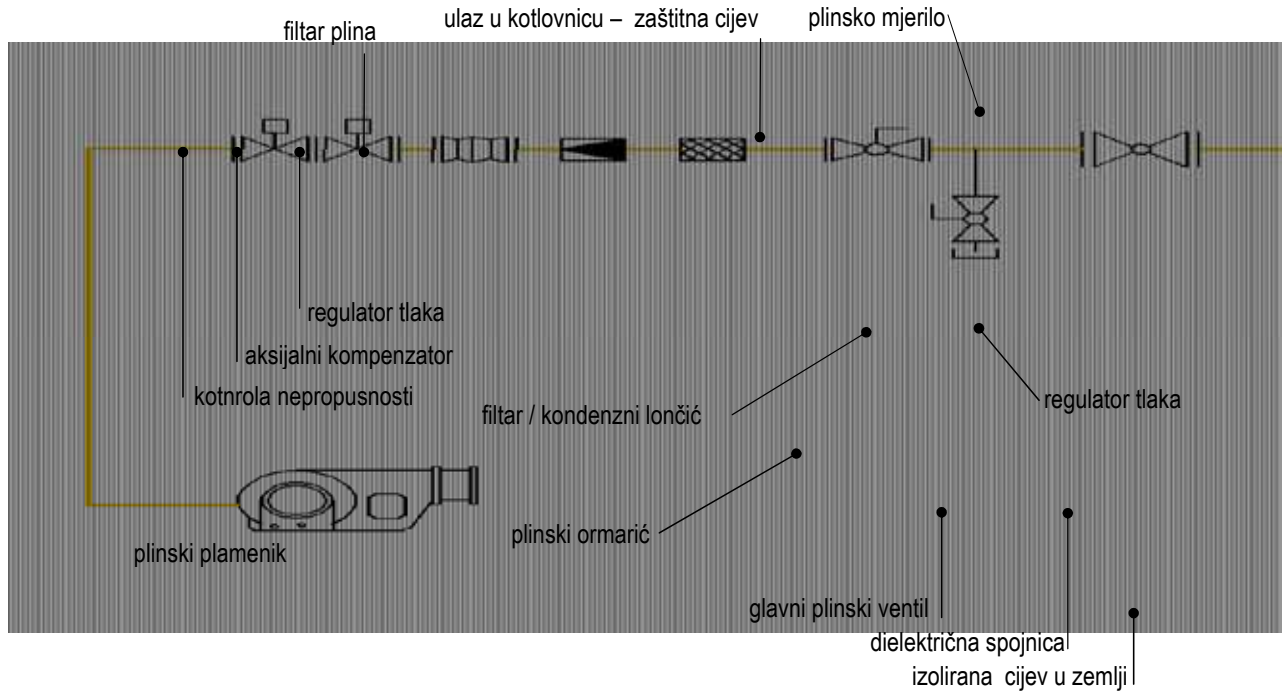


Slika 5.79 - Emisije dušičnih oksida različitih sustava izgaranja [5.4]

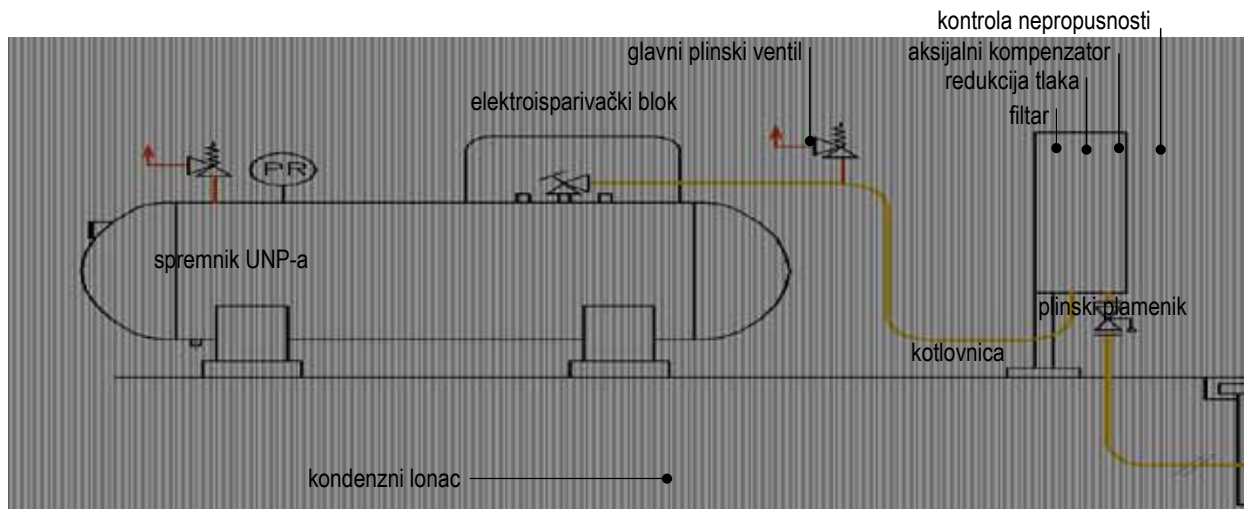
## Povezivanje plinskih plamenika

Prirodni plin se distribuira razvodnom mrežom plinskog distributera. Tehnički uvjeti za pogon, vođenje i razvoj distribucijskog sustava, povezivanje s ostalim dijelovima plinskog sustava, priključenje na distribucijski sustav te mjerna pravila pri distribuciji plina utvrđena su Mrežnim pravilima plinskog distribucijskog sustava (NN 50/09). Ukapljeni naftni plin distribuira se obično kamionima cisternama do korisnika. Kod korisnika se skladišti u nadzemnim ili podzemnim spremnicima. Uvjeti i mjere zaštite od požara i tehnoloških eksplozija pri izgradnji građevina i postrojenja te skladištenju, držanju i prometu ukapljenog naftnog plina regulirani su pravilnikom o ukapljenom naftnom plinu (NN 117/07). U hladnijim područjima potrebno je predvidjeti isparivače za plin (toplovodne ili električne) koji predstavljaju dodatne potrošače energije i bez koji neki sustavi ne mogu ispravno raditi kod nižih vanjskih temperatura. Priključak i gradnja kotlovnice definirani su zasada starim Pravilnikom o tehničkim normativima za projektiranje, gradnju, pogon i održavanje plinskih kotlovnica (Sl.list 10/90 i 52/90).

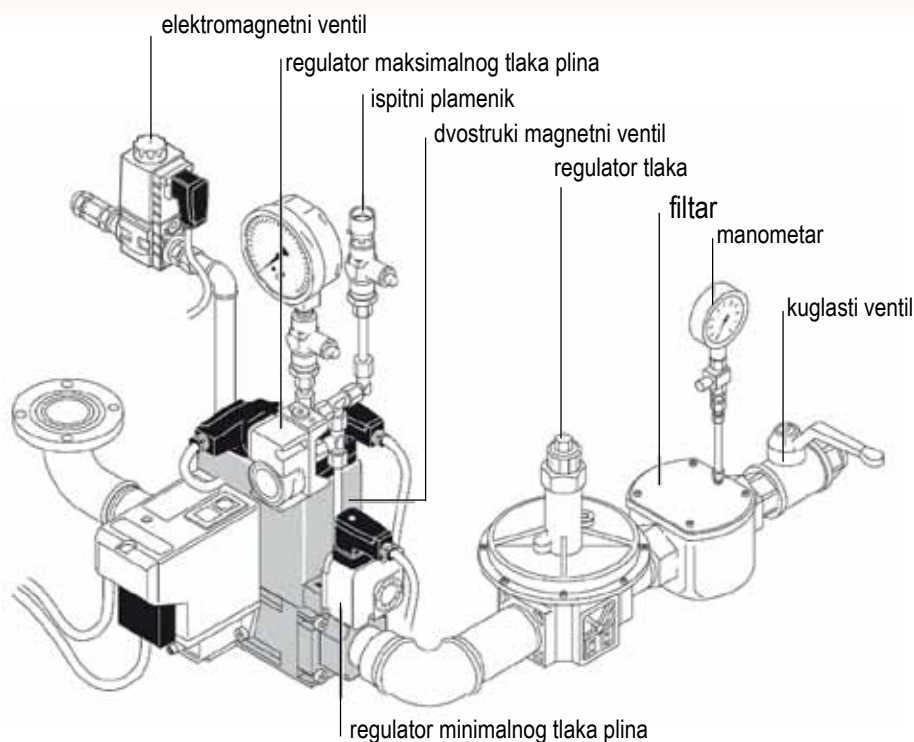
Primjeri spajanja plinskih plamenika na mrežu prirodnog plina i spremnik ukapljenog naftnog plina, dani su na slikama 5.80 i 5.81, dok je na slici 5.82 prikazana plinska rampa.



Slika 5.80 - Spajanje plinskog plamenika na prirodni plin



Slika 5.81 - Primjer spajanja plinskog plamenika na ukapljeni naftni plin



Slika 5.82 - Plinska rampa [5.26]

### 5.3.3. Pumpe

Pumpe su hidraulički strojevi kojima je svrha prenijeti na tekućinu jedan ili više oblika energije; potencijalnu, kinetičku ili energiju tlaka, upotrebljavajući mehanički rad pogonskog stroja. Neke pumpe imaju zadatak podizati tekućinu, druge dovesti je u određeni prostor pod tlakom, a neke transportirati tekućinu u cirkulacijskom sustavu ili do udaljenih mjesta.

Potrebna snaga za pogon pumpe (snaga na vratilu):

$$\dot{P} = \frac{\dot{V} \Delta p}{\eta_p} \text{ [W]} \quad (5.36)$$

$\eta_p$  je stupanj korisnosti pumpe, koji se za male pumpe u sustavima centralnih grijanja kreće od 0,4 do 0,6, za srednje pumpe 0,6 do 0,75, a kod velikih pumpi je vrijednost stupnja korisnosti 0,75 do 0,86.

Otpor strujanja u cirkulacijskim sustavima sastoji se od otpora trenja u cjevovodu  $R$  i lokalnih otpora  $Z$  i računaju se prema izrazu:

$$\Delta p = R + Z = \rho \frac{w^2}{2} \left( \lambda_{tr} \frac{l}{d} + \sum \zeta \right) \text{ [Pa]} \quad (5.37)$$

- $\sum \zeta$  - suma lokalnih koeficijenata otpora
- $\rho$  - gustoća vode ( $\rho = 1.000 \text{ kg/m}^3$ )
- $w$  - brzina strujanja vode kroz cijev
- $\lambda_{tr}$  - koeficijent trenja
- $l$  - duljina dionice cjevovoda
- $d$  - promjer cjevovoda

U sustavima za dobavu (dizanje) fluida treba dodati i tlak potreban za svladavanje visinske razlike  $H$ .

$$\Delta p = \rho g H \text{ [Pa]} \quad (5.38)$$

Protok pumpe  $\dot{V}$  u sustavu grijanja određuje se iz potrebnog učinka  $\dot{Q}$  koji se prenosi vodom i odabrane temperaturne razlike za sustav grijanja  $\Delta\theta$ .

$$\dot{V} = \frac{\dot{Q}}{\rho c \Delta\theta} \text{ [m}^3\text{/s]} \quad (5.39)$$

gdje je  $c = 4,187 \text{ [kJ/kgK]}$  specifični toplinski kapacitet vode (ako se koristi neki drugi medij za prijenos topline, treba uvrstiti odgovarajuću vrijednost).

Snaga elektromotora računa se prema formuli

$$\dot{P}_e = \frac{\dot{P}}{\eta_M} \quad (5.40)$$

gdje je  $\eta_M$  stupanj djelovanja elektromotora.

Protočna količina  $\dot{V}$  je upravo proporcionalna broju okretaja  $n$ . Visina dobave  $H$  je upravo proporcionalna s kvadratom broja okretaja  $n$ . Snaga na osovini pumpe  $\dot{P}$  je upravo proporcionalna s trećom potencijom broja okretaja.

$$\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (5.41)$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^2 \quad (5.42)$$

$$\frac{\dot{P}_1}{\dot{P}_2} = \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^3 \quad (5.43)$$

Prema načinu rada pumpe mogu biti volumetrijske (stapne i rotacijske), turbo pumpe (centrifugalne) i mlazne pumpe (ejektor). U sustavima grijanja koriste se gotovo isključivo centrifugalne pumpe.

Podjela centrifugalnih pumpi moguća je:

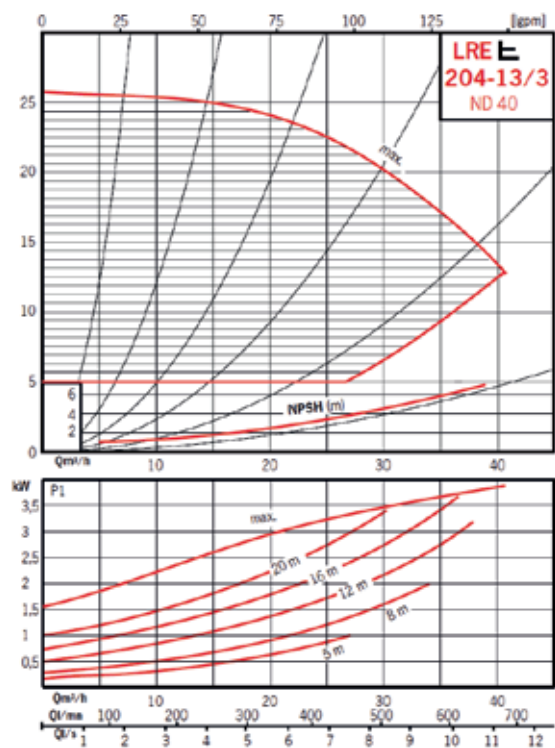
- prema dobavi na male, srednje i velike
- prema tlaku na niskotlačne, srednjotlačne i visokotlačne
- prema broju stupnjeva na jednostupanjske i višestupanjske
- prema izvedbi rotora na pumpe s jednostranim ili dvostranim ulazom
- prema položaju osi vratila na vertikalne i horizontalne
- prema međusobnom položaju usisnog i tlačnog priključka na linijske i kutne
- prema načinu usisavanja na samousisne (s uređajem za stvaranje vakuuma u usisnom vodu) i nesamousisne
- prema načinu spajanja s pogonskim strojem na pumpe s izravnim pogonom pumpe s pogonom preko reduktora ili na neki drugi način.

Kučičke pumpe u sustavima centralnih grijanja najčešće se izvodi od lijevanog željeza. Radna kola izvode se obično od visokokvalitetnih sintetičkih tzv. kompozitnih materijala. U manjim sustavima ugrađuju se direktno na cjevovod (linijska izvedba - slika 5.83, lijevo). Zbog uštede na prostoru, vremenu ugradnje, kao i potrebnom materijalu često se koriste dvojne pumpe (dupleks) od kojih je jedna radna, a druga rezervna (slika 5.83, desno). Svaka od tih pumpi autonomna je no mogu raditi i u paralelnom pogonu.



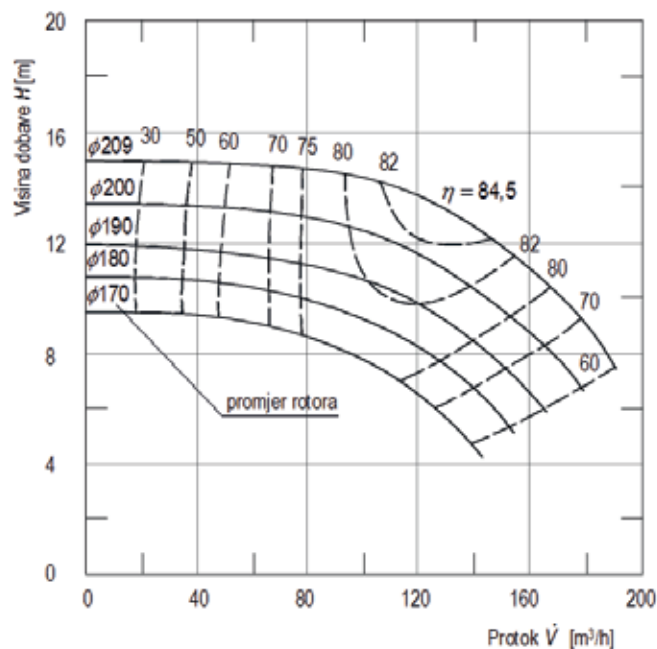
Slika 5.83 - Linijska pumpa (lijevo) i duplex pumpa (desno) [5.19]

Proizvođači pumpi prikazuju karakteristiku pumpe u  $\dot{V}-H$  dijagramu u kojemu se prikazuje međusobna ovisnost visine dobave i protoka. U dijagramu na slici 5.84 su osim  $\dot{V}-H$  karakteristike pri najvećoj radnoj brzini pumpe s elektroničkom regulacijom broja okretaja, prikazane i krivulje potrebnih snaga pumpe, te NPSH vrijednosti. Na dijagramu su prikazane i karakteristične krivulje cirkulacijskog cjevovoda  $H = k\dot{V}^2$ .



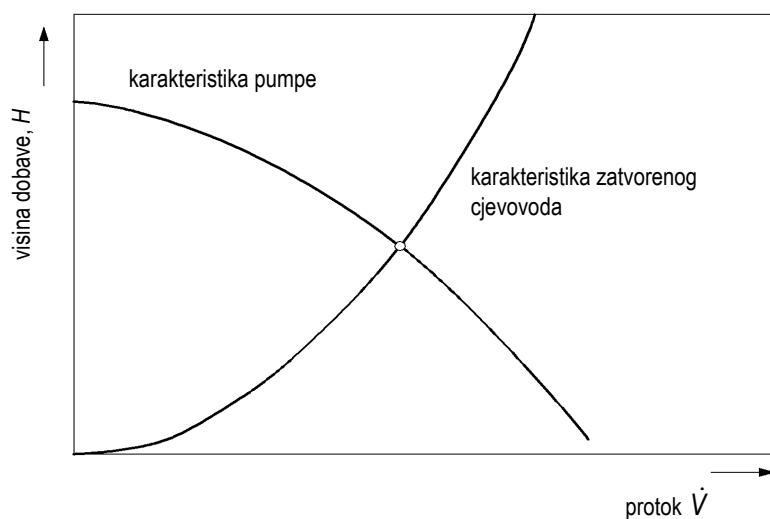
Slika 5.84 - Karakteristika pumpe jednog proizvođača [5.19]

U izbornim dijagramima ucrtavaju se ponekad i krivulje stupnja korisnosti pumpe (slika 5.85). Radnu točku pumpe treba odabrati tako da bude u dijelu karakteristike s visokim stupnjem korisnosti.



Slika 5.85 - Karakteristike pumpi različitih promjera s ucrtanim stupnjevima korisnosti [5.4]

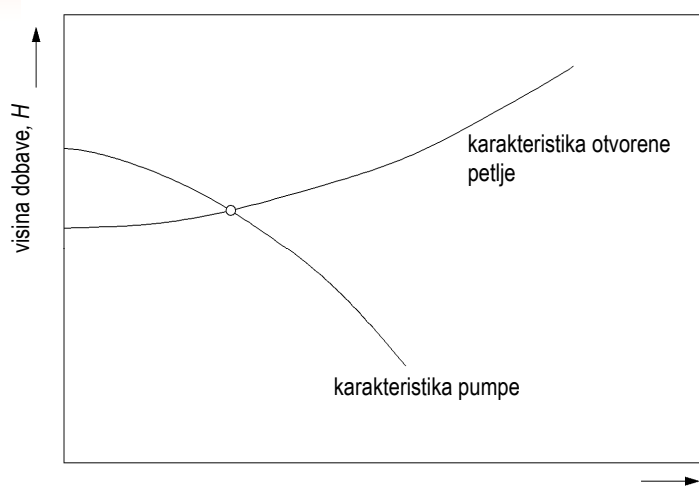
Pri turbulentnom strujanju otpori se mijenjaju proporcionalno s kvadratom protoka pa je u  $\dot{V} - H$  dijagramu pripadna krivulja cjevovoda parabola  $H = k\dot{V}^2$  kako je prikazano na slici 5.86. U cirkulacijskom cjevovodu je za protok  $\dot{V} = 0$  i visina dobave  $H = 0$ . Presjecište krivulje cjevovoda i karakteristične krivulje pumpe daje radnu točku sustava, jer je u toj točki izjednačena pumpe dovedena energija s otporima mreže.



Slika 5.86 - Tipične  $\dot{V} - H$  karakteristike cirkulacijskog cjevovoda i centrifugalne pumpe

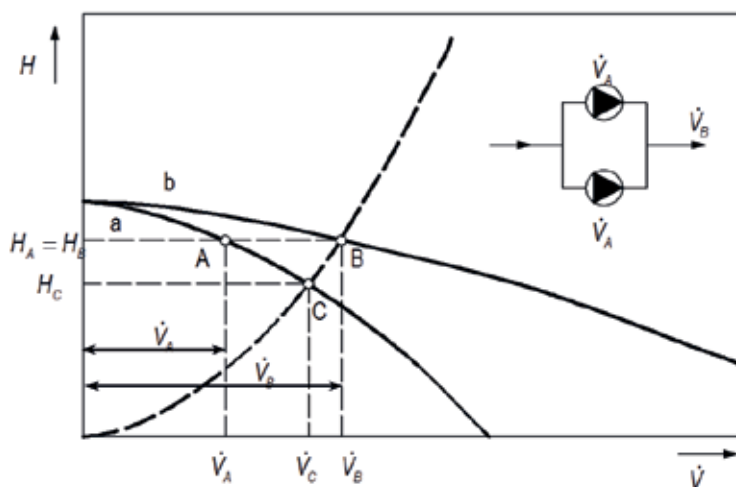
Kada pumpa transportira tekućinu iz spremnika s niže razine u spremnik na višoj razini ili kad treba transportirati vodu do potrošača koji zahtijeva određeni ulazni tlak vode (npr. na sapnice rashladnog tornja), dio pada tlaka nastaje zbog trenja, dio zbog podizanja vode na višu razinu, a dio zbog lokalnih otpora (slika 5.87).





Slika 5.87 - Tipične  $\dot{V} - H$  karakteristike otvorenog cjevovoda i centrifugalne pumpe

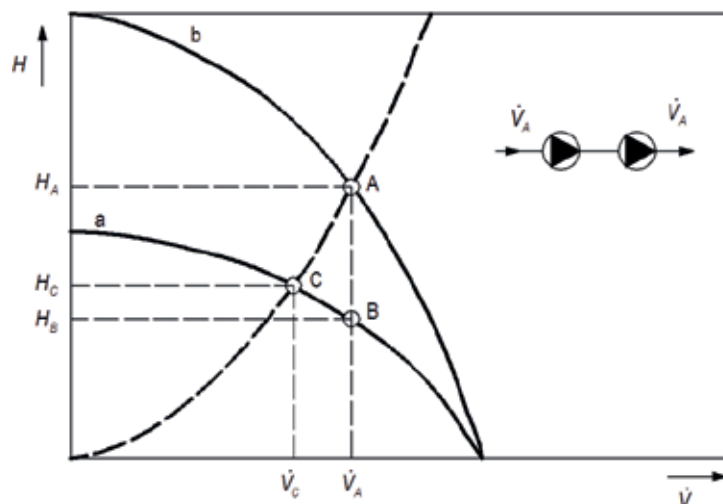
Pumpe u paralelnom radu: dvije pumpe može se ugraditi tako da rade paralelno radi povećanja kapaciteta danog postrojenja ili radi fleksibilnosti pogona u sustavima s varijabilnim protokom. Promjene protoka će ovisiti o obliku krivulje, o karakteristici cjevovoda i njezinim modifikacijama koje se mogu izazvati regulacijskim ventilima, kao i o broju pumpi u pogonu (slika 5.88).



Slika 5.88 - Dvije pumpe jednakih  $\dot{V} - H$  karakteristika u paralelnom radu

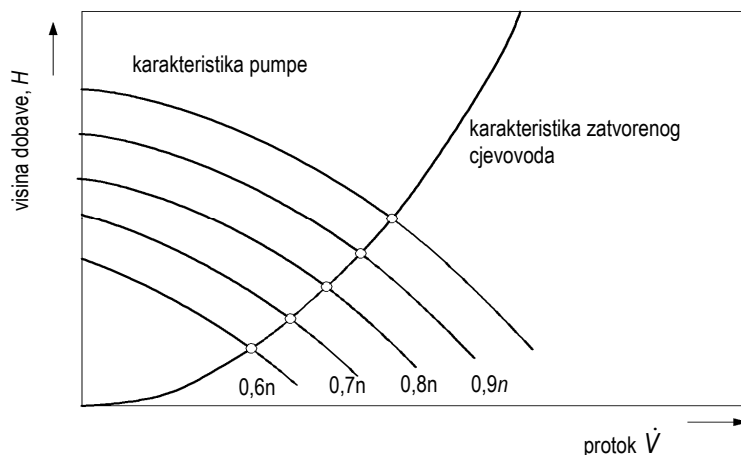
Ako je u pogonu samo jedna pumpa, tada je radna točka prema slici 5.88 u točki C (presjecište karakteristike cjevovoda i karakteristike pumpe A i predstavlja 100% kapacitet. Veći protoci se mogu postići paralelnim radom obje pumpe. Zajedničkom paralelnom radu dviju pumpi odgovara sumarna karakteristika pumpe. Sumarna karakteristika dviju pumpi dobit će se tako da zbrojimo protoke jedne i druge  $\dot{V} - H$  krivulje pri konstantnoj visini dobave. Sumarna  $\dot{V} - H$  krivulja dviju pumpi B siječe karakteristiku cjevovoda u točki B, i protok je veći od slučaja kad radi jedna pumpa, ali treba napomenuti da je ukupni protok dviju pumpi u paralelnom radu uvijek manji od zbroja protoka tih pumpi u odvojenom radu.

Pumpe u seriji: serijski rad pumpi ne primjenjuje se često, osim u slučajevima "booster" pumpi. Na slici 5.89 prikazane su karakteristike dviju jednakih pumpi (krivulja A) i ukupna karakteristika (krivulja B) u serijskom spoju. Ukupna karakteristika dobit će se tako da se za isti protok zbroje visine dobave. Radna točka pri radu jedne pumpe je C, a pri radu dvije jednake pumpe je A.



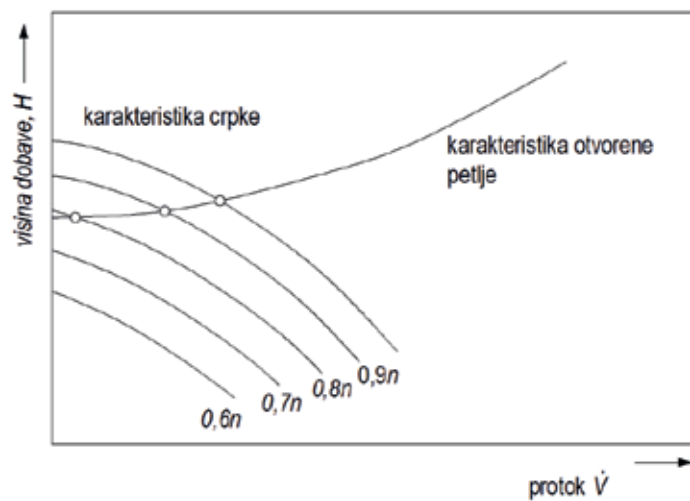
Slika 5.89 - Dvije pumpe jednakih  $\dot{V} - H$  karakteristika u serijskom radu - prikaz primjene i  $\dot{V} - H$  krivulje

Regulacija dobave promjenom broja okretaja pumpe: slika 5.90 prikazuje karakteristiku pumpe pri različitim brojevima okretaja s u cirkulacijskom cjevovodu. Vidi se da je karakteristika sustava zatvorene petlje vrlo prikladna za regulaciju promjenom broja okretaja, jer smanjenjem broja okretaja putuje radna točka po paraboli cjevovoda prema manjim protocima.



Slika 5.90 - Regulacija dobave promjenom broja okretaja u cirkulacijskom cjevovodu

Regulaciju dobave pumpe promjenom broja okretaja nema smisla primijeniti u sustavu s podizanjem tekućine ili s dobavom u prostor pod tlakom jer se regulacija može odvijati u uskom području promjene broja okretaja, a kod nižeg broja okretaja pumpa ne može dati potrebnu visinu dobave (slika 5.91).



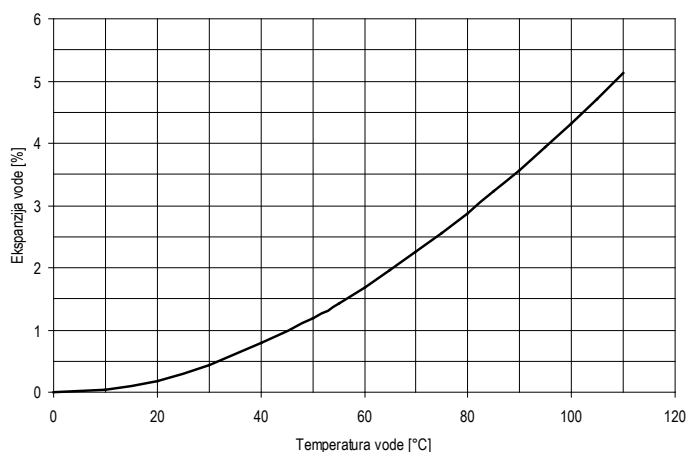
Slika 5.91 - Regulacija dobave promjenom broja okretaja u otvorenom cjevovodu

Smanjenje broja okretaja elektromotora dovodi do znatnih ušteda energije. Već je navedeno da je preuzeta snaga iz mreže proporcionalna s trećom potencijom broja okretaja. Promjena broja okretaja omogućuje ekonomično prilagođavanje snage pumpe promijenjenim pogonskim uvjetima cijevne mreže.

Broj okretaja pumpe može se mijenjati stupnjevito (2, 3, 4 ili više stupnjeva) i kontinuirano. Kontinuirana promjena broja okretaja omogućuje potpuno prilagođavanje rada pumpe promjenjivim radnim uvjetima postrojenja. Na žalost, ne može se broj okretaja smanjivati na niske postotke nazivnog broja okretaja. Kontinuirana regulacija se obično provodi do 60% nazivnog broja okretaja, a ispod 50% se ne preporučuje i u praksi se ne provodi. Fizikalna veličina prema kojoj se ugađa broj okretaja elektromotora, odnosno kapacitet pumpe može biti razlika tlaka, polazna temperatura i sl. Razlika tlaka u svojstvu vodeće veličine je vrlo prikladna u sustavima s promjenjivom količinom. Izbor vodeće veličine ovisi o vrsti postrojenja. Kontinuirana regulacija broja okretaja uobičajeno se ostvaruje frekvencijskom regulacijom. Kod frekvencijske regulacije promjena se broja okretaja vrši regulacijom napona i frekvencije pomoću tiristorskih pretvarača frekvencije. Frekvencijska regulacija zahtijeva 10 do 20% veći motor. Promjena frekvencije izaziva radio smetnje u mreži pa je obvezna ugradnja mrežnih filtara. Moguća je primjena u širem opsegu regulacije uz visoki stupanj iskoristivosti u području 20 do 80% nazivnog broja okretaja. Frekvencijski regulator je relativno skup.

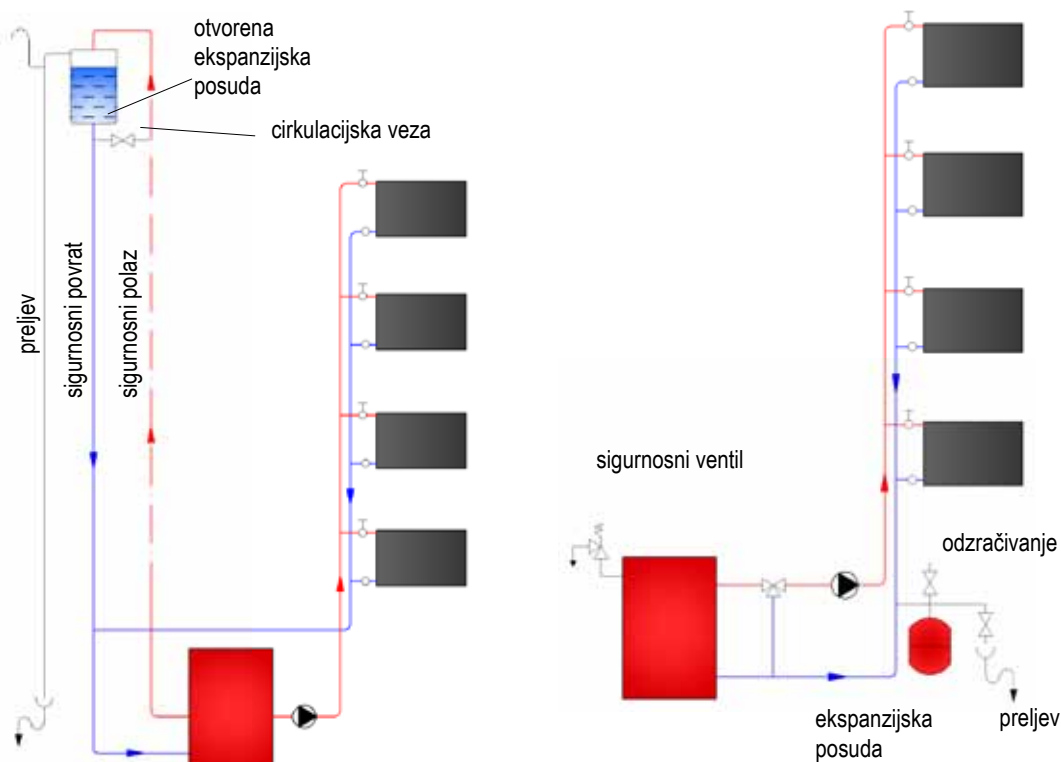
#### 5.3.4. Ekspanzija prijenosnika topline

Zagrijavanjem se vodi povećava volumen. Promjena volumena vode u sustavu grijanja uslijed promjene temperature iznosi oko 2,9% kod zagrijavanja vode na srednju temperaturu od 80°C. Kako je voda praktički nestlačiva, došlo bi njenim zagrijavanjem do značajnog porasta tlaka, a time i do opasnosti od pucanja kotla ili cjevovoda. Potrebno je osigurati da voda nesmetano dilatira.

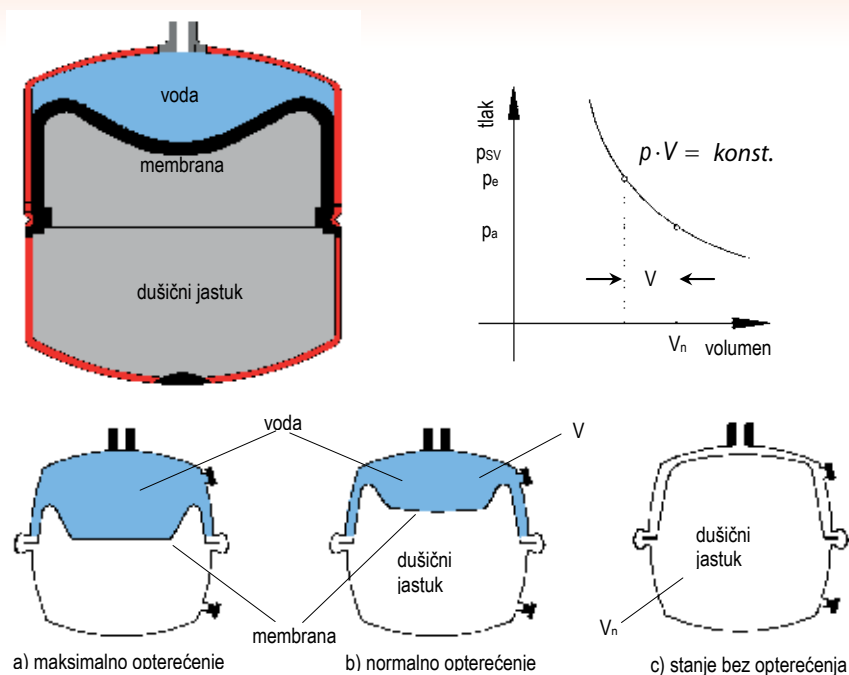


**Slika 5.92 - Promjena volumena vode uslijed promjene temperature**

Najjednostavniji način je ugradnja otvorene ekspanzijske posude na najvišem mjestu instalacije, kako je to prikazano na slici 5.93 (lijevo). Ovi sustavi ekspanzije pogodni su za sva toplovodna grijanja do 110°C, bez obzira na učinak. Problemi se javljaju s korozijom uslijed prisustva kisika u vodi (voda je u neposrednom dodiru sa zrakom), mogućnošću smještaja posude i zaštitom od smrzavanja. Volumen posude odabire se obično 3 puta veći od dilatacije vode. Zatvoreni sustavi ekspanzije s membranskim ekspanzijskim posudama (slika desno) mogu se ugrađivati na toplovodna grijanja učinka do 350 kW, uz uvjet termostatskog osiguranja. Kod primjene membranskih ekspanzijskih posuda (slika 5.94), tlak u sustavu je promjenjiv, ovisno o volumenu vode koji je prihvatila ekspanzijska posuda. Volumen je potrebno odrediti tako da kod maksimalne dilatacije vode tlak u sustavu ne pređe gornju granicu kod koje se otvara sigurnosni ventil.

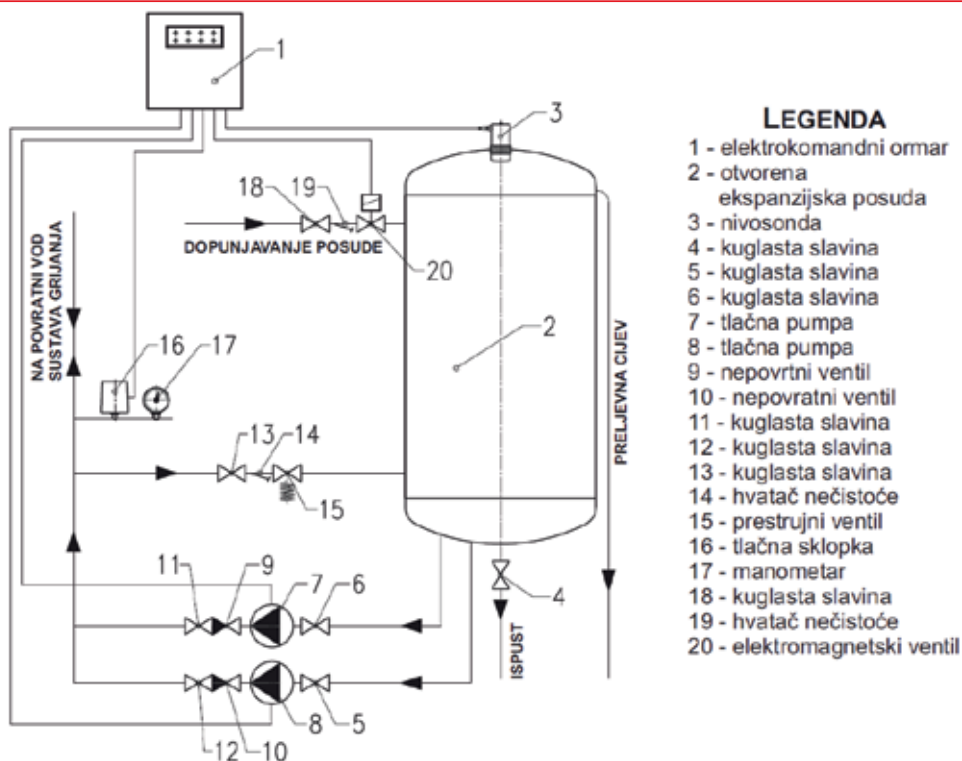


**Slika 5.93 - Shema instalacije grijanja s otvorenim (lijevo) i zatvorenim (desno) sustavom ekspanzije**



Slika 5.94 - Ekspanzijska posuda s membranom [5.4]

Za sustave iznad 350 kW, moguće je primijeniti zatvorene ekspanzijske posude s dušikom, uz uvjete koji vrijede za vrelvodne sustave, a u novije vrijeme se kao povoljnije rješenje koriste nisko smještene otvorene ekspanzijske posude s pumpnim agregatima za održavanje tlaka u sustavu. Takav ekspanzijski modul prikazan je na slici 5.95. Pumpe se uključuju temeljem signala presostata, te održavaju željeni tlak.



Slika 5.95 - Uređaj za automatsko održavanje tlaka u sustavu [5.27]

### 5.3.5. Ogrjevna tijela i površine

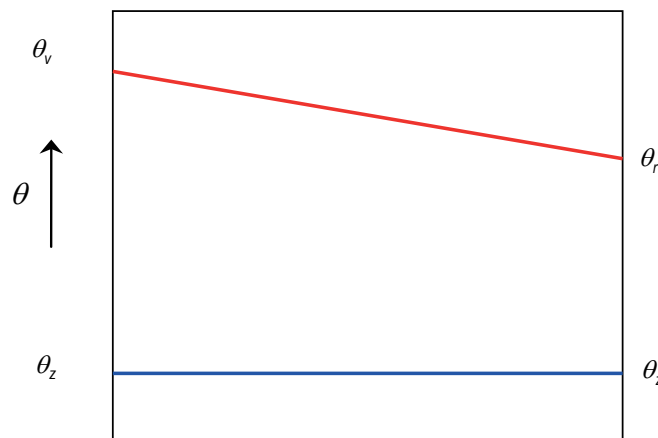
Zadatak ogrjevnih površina je prenijeti toplinu s medija za prijenos topline (voda) na zrak u prostoriji. Toplina se na prostoriju prenosi konvekcijom i zračenjem. Udio zračenja i konvekcije varira ovisno o sustavu. Toplozračna grijanja su čisti konvektivni sustavi, dok je kod podnih i stropnih grijanja udio zračenja visok. Različiti udio konvekcije i zračenja za pojedine vrste ogrjevnih površina, rezultira u različitoj ovisnosti ogrjevnog učinka o nadtemperaturi ogrjevnog tijela (razlika srednje temperature vode i temperature prostora). Ova se ovisnost izražava pojednostavljeno preko eksponenta ogrjevnog tijela  $n$  u jednadžbi 5.44. Konvektori imaju visok udio konvekcije i za njih je  $n = 1,4$ , za radijatore je  $n$  približno jednak 1,3, dok je za podna i zidna grijanja, kod kojih je utjecaj zračenja dominantan,  $n$  približno jednak 1,1. Što je  $n$  bliži vrijednosti 1, to je linearnija ovisnost učinka ogrjevnog tijela o nadtemperaturi.

Temperaturni režim rada i veličina ogrjevnih tijela mogu se slobodno birati, vodeći računa o potrebnom protoku, željenom boljem korištenju ogrjevnog moći goriva (niže povratne temperature), ravnomjernoj distribuciji temperature u prostoru, troškovima i sl. Za radijatorska grijanja bile su uobičajene temperature 90/70°C u polaznom i povratnom vodu kod temperature prostorije 20°C, dok su danas (EN 442) te temperature 75/65°C pri temperaturi prostorije 20°C.

Preračunavanje s normnih podataka koji se daju u katalogima proizvođača na druge temperaturne razlike, vrše se prema izrazu:

$$Q_s = Q_n \left[ \frac{\frac{\theta_{v,s} - \theta_{r,s}}{\ln \frac{\theta_{v,s} - \theta_{z,s}}{\theta_{r,s} - \theta_{z,s}}}}{\frac{\theta_{v,n} - \theta_{r,n}}{\ln \frac{\theta_{v,n} - \theta_{z,n}}{\theta_{r,n} - \theta_{z,n}}}} \right]^n \quad (5.44)$$

Indeksi u gornjem izrazu označavaju: v - polaz, r - povrat, n - normni, s - stvarni.



Slika 5.96 - Temperature u sustavu grijanja radijatorima

Konstruktivske izvedbe:

- Člankasta ogrjevna tijela (čelični i lijevani radijatori)
- Pločasta ogrjevna tijela
- Cijevni radijatori i cijevna ogrjevna tijela za kupaonice
- Cijevna ogrjevna tijela i orebrene cijevi
- Konvektori
- Ostali posebni oblici.

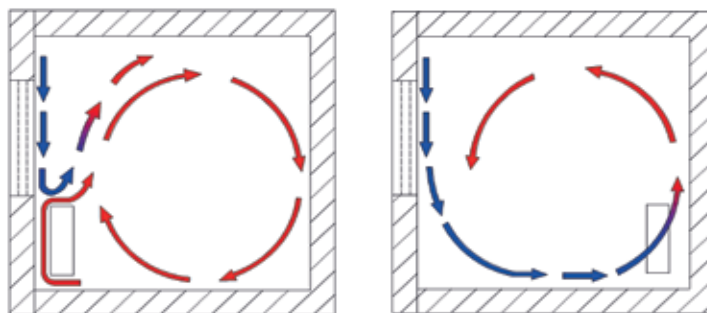


Slika 5.97 - Ogrjevna tijela

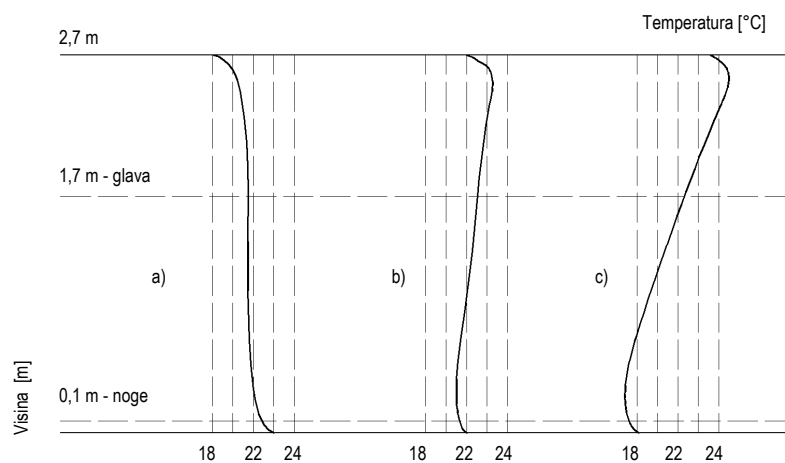
Pored toga, kao ogrjevne površine mogu poslužiti površine poda, stropa i zida, pa govorimo o podnim, stropnim i zidnim grijanjima.

Smještaj ogrjevnog tijela je značajan za uvjete ugodnosti u prostoru i za ukupnu potrošnju energije prostora.

Smještaj ogrijevnih tijela ispod prozora definiran je člankom 39., Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (NN 110/08) [5.6, 5.7] koji kaže da je ogrijevno tijelo dopušteno postaviti ispred prozirnih vanjskih površina samo ako je ono sa stražnje strane zaštićeno oblogom i ako koeficijent prolaska topline,  $U$  [ $W/(m^2K)$ ], te obloge nije veći od  $0,9 W/(m^2K)$ .



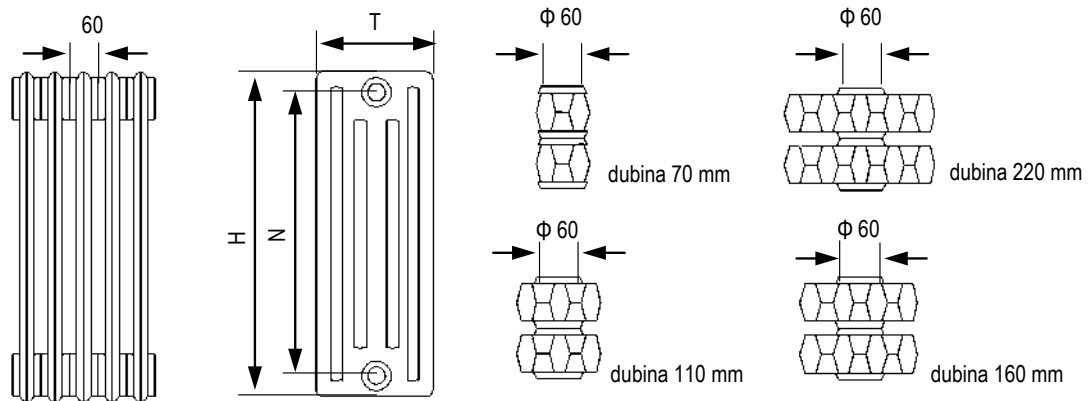
Slika 5.98 - Smještaj ogrjevnog tijela a) ispod prozora, b) na unutarnjem zidu



Slika 5.99 - Temperaturni profili različitih vrsta grijanja: a) idealno, b) radijator na vanjskom zidu, c) radijator na unutarnjem zidu

**Radijatori** se sastoje iz većeg broja članaka iste veličine koji se međusobno povezuju, tvoreći tako ogrjevne površine različitih učinaka. Izrađuju se od lijevanog željeza (slika 5.100), čelika (slike 5.101 i 5.102) ili aluminija. Veličine i učinci su normirani (izuzetak čine aluminijски radijatori koji se izrađuju u velikom broju varijanti).

Učinci lijevanoželjeznih radijatora su za primjer prikazani u tablici 5.25. Za ostale radijatore učinci se mogu pronaći u literaturi, npr. u [5.4].



Slika 5.100 - Standardni lijevanoželjezni radijatori [5.4]

Tablica 5.25 - Normirani učinci i dimenzije lijevanoželjeznih radijatora

Visina H [mm]	Razmak priključka N [mm]	Dubina T [mm]	Nominalni učinak [W/članak]		Volumen vode [l/članak]	Masa [kg/članak]
			Voda 75/65/20°C	Zasićena para 100°C		
280	200	250	69	128	0,9	4,7
430	350	70	41	76	0,4	2,3
		110	53	97	0,6	3,2
		160	70	129	0,8	4,3
		220	92	169	1,1	5,9
580	500	70	51	95	0,5	3,1
		110	69	128	0,8	4,5
		160	95	175	1,1	5,9
		220	122	224	1,3	7,5
680	600	160	111	204	1,2	7
980	900	70	84	154	0,8	5,2
		160	154	284	1,5	9,9
		220	196	361	1,9	13

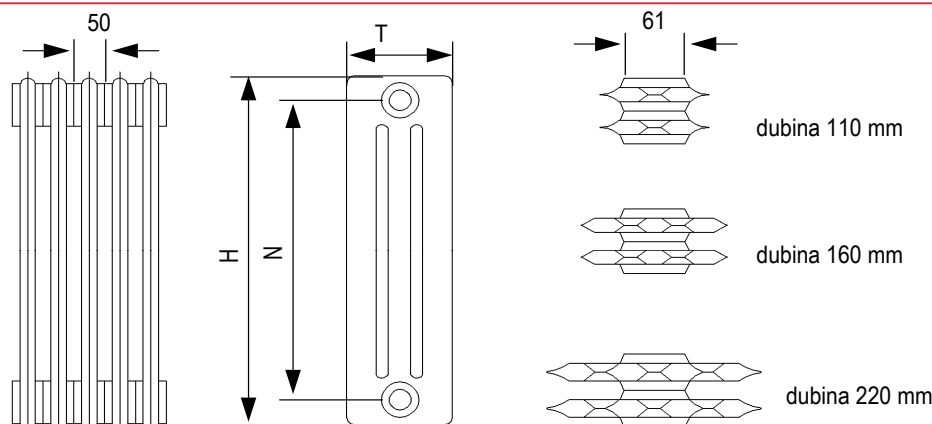
EkspONENT ogrjevnog tijela n=1,3

Preračunavanje na učinke s režima kod 75°/65°/20°C na druge režime, slijedi uvrštenjem vrijednosti u ranije navedeni izraz. Primjer prikazuje proračun sa standardnog režima na režim kod 90°/70°/20°C.

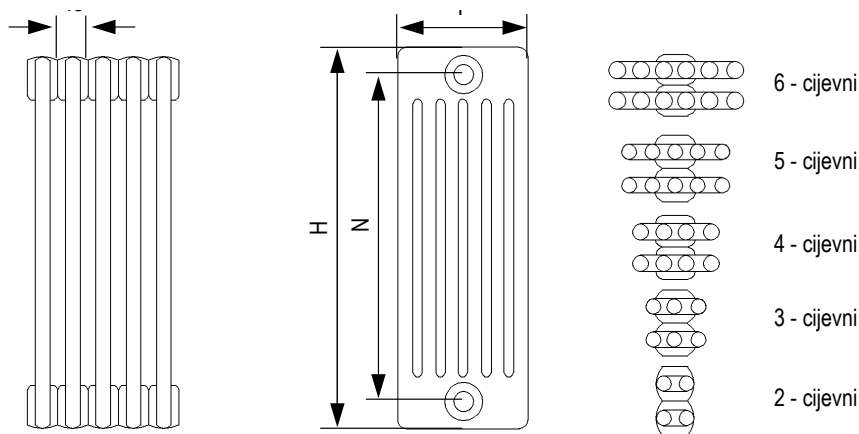


$$Q_s = Q_n \left[ \frac{\theta_{v,s} - \theta_{r,s}}{\ln \frac{\theta_{v,s} - \theta_{z,s}}{\theta_{r,s} - \theta_{z,s}}} \right]^n = Q_n \left[ \frac{90 - 70}{\ln \frac{90 - 20}{70 - 20}} \right]^{1,3} = \dot{Q}_n \left[ \frac{59,44027}{49,8329} \right]^{1,3} = 1,25757 \dot{Q}_n \quad (5.45)$$

### Čelični radijatori

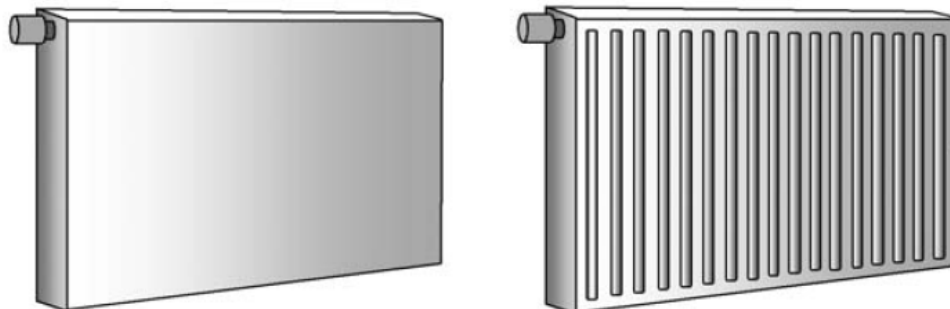


Slika 5.101 - Standardni čelični radijatori [5.4]



Slika 5.102 - Standardni čelični cijevni radijatori [5.4]

**Pločasti radijatori:** izvode se od čeličnih limova, s ravnim ili profiliranim čeonim pločama (slika 5.103). Povećanje ogrjevnog učinka ostvaruje se ugradnjom više paralelnih ploča i konvektorskim limovima. Primjenom konvektorskih limova povećava se mogućnost nakupljanja prašine. Modeli s glatkim pločama bez konvektorskih limova pogodni su za prostore gdje su vrlo visoki higijenski zahtjevi (bolnice, ambulante...).



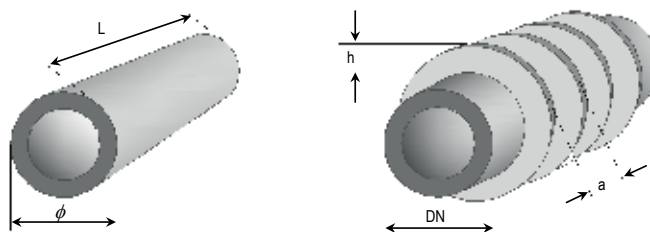
Slika 5.103 - Pločasta ogrjevna tijela: glatka (lijevo), profilirana (desno) [5.4]

**Cijevni kupaonski radijatori** su jedan oblik cijevnih radijatora i prikladni su za primjenu u kupaonicama gdje se često ručni suše na radijatorima (slika 5.104).



Slika 5.104 - Standardni čelični cijevni radijatori za kupaonice

**Glatke i orebrene cijevi.** Glatke cijevi (slika 5.105, lijevo) rijetko se koriste za grijanje, dok orebrene cijevi (slika 5.105, desno) osiguravaju veći učinak po metru dužine i koriste se u nekim slučajevima kao ogrjevna tijela. Učinci su prikazani u tablici 5.26, a mogu poslužiti i za ocjenu gubitaka topline pri vođenju cijevi kroz negrijane prostore.

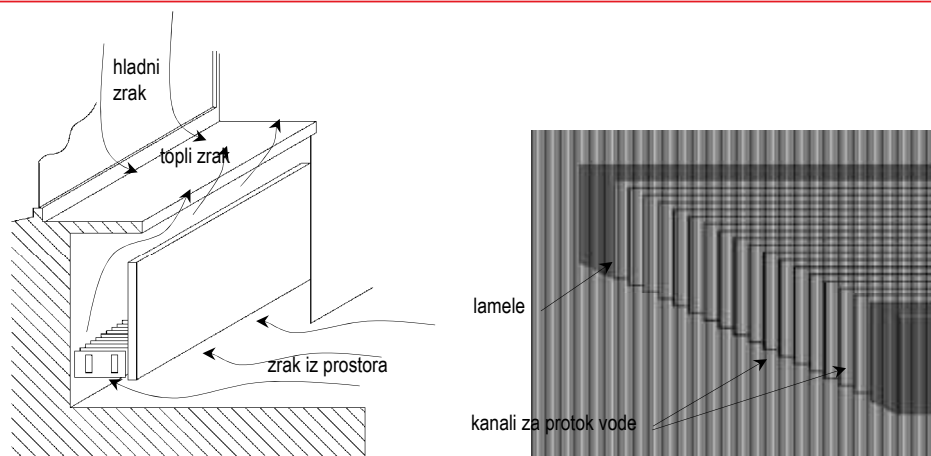


Slika 5.105 - Glatke cijevi (lijevo) i orebrene cijevi (desno) [5.4]

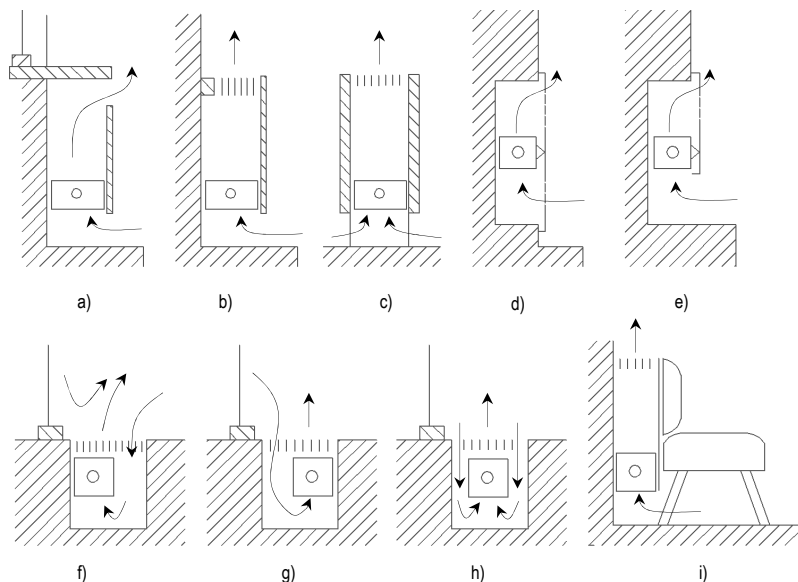
Tablica 5.26 - Normirani učinci čeličnih cijevi [5.4]

Nazivni promjer DN [mm]	Navojne cijevi prema DIN 2440				Čelične cijevi prema DIN 2448/49			
	15	20	25	32	40	50	65	80
Vanjski promjer [mm]	21,3	26,9	33,7	42,4	48,3	60,3	76,1	88,9
Srednja nadtemperatura cijevi [K]								
80	87	103	124	150	170	207	241	271
70	72	85	102	124	141	170	201	225
60	58	68	82	100	114	137	160	180

**Konvektori** odaju toplinu najvećim dijelom konvekcijom. Sastoje se od kanala (cijevi) za protok vode od bakra ili čelika i lamela od aluminijskog ili čeličnog lima navučenih na kanale. Ugrađuju se na različite načine (slike 5.106 i 5.107), a protok zraka ostvaruje se uslijed prirodnog uzgona. Učinkovitost značajno ovisi o visini kanala za strujanje zraka određenoj visinom maske. Zbog pojačanog strujanja zraka na njima se skuplja prašina (koja se zbog otežanog pristupa teško čisti).



Slika 5.106 - Ugradnja i izrada konvektora [5.4]

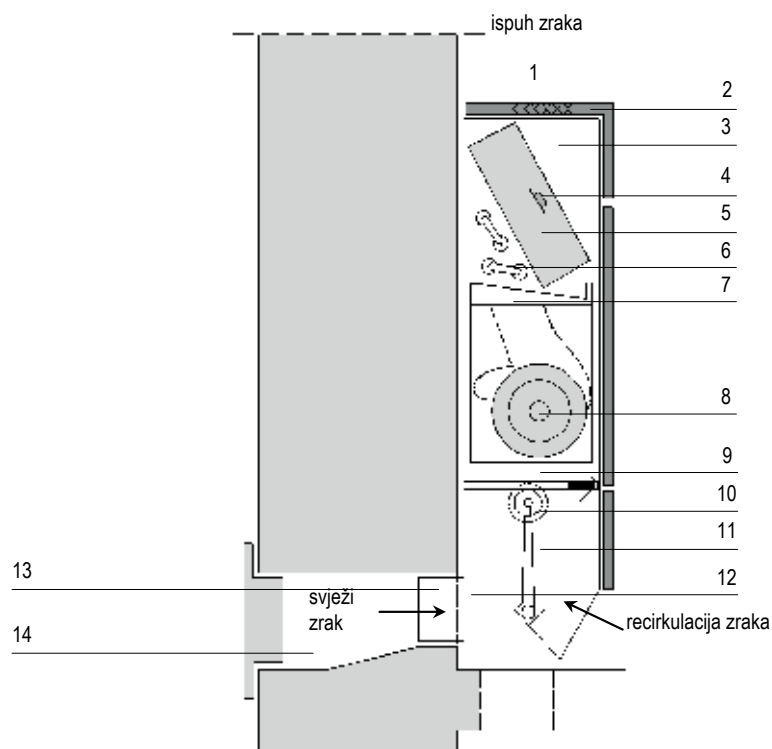


Slika 5.107 - Ugradnja konvektora a) ispod prozora; b) pored zida; c) slobodno postavljen; d), e) ugrađen u zidu; f), g), h) u podu; i) iza klupe [5.4]

**Ventilatorski konvektori** (slika 5.108) imaju ugrađen ventilator za cirkulaciju zraka preko konvektora. Veća površina i prisilna cirkulacija zraka rezultiraju većim mogućim specifičnim učincima i omogućuju niže temperature kod grijanja. Uobičajene vrijednosti temperature tople vode su 50/40°C. Zbog povećanih brzina strujanja zraka u prostoru i s time povezanog osjećaja „propuha“, kod primjene ventilatorskih konvektora, poželjno je projektirati sustav grijanja za unutarnju temperaturu zimi 22°C. Niže polazne temperature rezultiraju manjim gubicima sustava i većom energetskom učinkovitošću, dok povišene temperature u prostoru imaju za posljedicu veće gubitke.

Također je moguće i hlađenje. Uobičajeni režim temperature vode je 7/12°C, kod temperature prostora 26°C. Kod hlađenja se javlja rošenje pa ventilatorski konvektor mora biti opremljen kadicom (okapnicom) za skupljanje kondenzata.

Moguće su izvedbe s dovodom dijela svježeg vanjskog zraka na ventilatorski konvektor. Količina svježeg i optoćnog zraka regulira se zaklopkom koja može biti pogonjena i motorom. Shematski prikaz ventilatorskog konvektora prikazan je na slici 5.108.

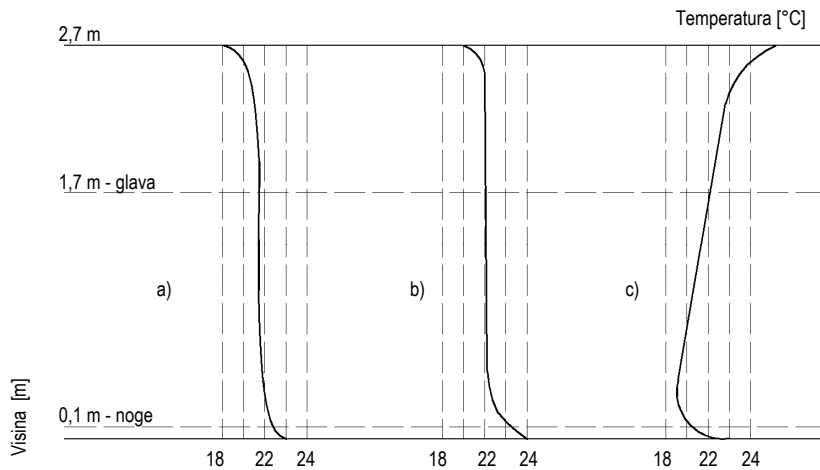


1 - izlazna rešetka, 2 - kućište, 3 - osnovna konstrukcija, 4 - protusmrzavajući termostat, 5 - izmjenjivač topline, 6 - dodatno el. grijanje, 7 - okapnica, 8 - ventilator, 9 - filtar, 10 - motorni pogon, 11 - miješajuća zaklopka, 12 - usis vanjskog zraka, 13 - ugradbeni okvir, 14 - zaštitna rešetka

**Slika 5.108 - Shematski prikaz ventilatorskog konvektora**

**Panelna grijanja:** sustavi grijanja i hlađenja kod kojih se prijenos topline vrši vodom, koja struji kroz cijevi ugrađene u obuhvatne plohe prostorija: podove, zidove i stropove, koriste se već dulje vrijeme. Zbog velikih površina za izmjenu topline s prostorijom, temperature kod grijanja mogu biti znatno niže, a kod hlađenja više nego li je to u slučaju primjene ventilatorskih konvektora. Površinske temperature obuhvatnih ploha kod grijanja, limitirane su zbog fiziološkog utjecaja na osobe koje borave u prostoru. Tako je gornja granica površinske temperature kod podnog grijanja 29°C za dio poda na kojemu je predviđen boravak ljudi, dok je u zonama gdje nije predviđen boravak, dopuštena površinska temperatura do 35°C. Dopuštena površinska temperatura zida je do 40°C (iznad te temperature postoji mogućnost opekline), a stropa do oko 27°C (na višim temperaturama pojačani utjecaj zračenja izaziva osjećaj nelagode kod prisutnih osoba). Kod hlađenja značajan utjecaj na dopuštenu temperaturu ima pored osjećaja ugodnosti uvjetovanog izmjenom topline, još i mogućnost pojave rošenja na hlađenim stijenama, što za posljedicu može imati oštećenje građevinskih dijelova i pojavu gljivica. Tako su kod hlađenja površinske temperature poda limitirane na 19°C, a zidova i stropova na 17°C (kod temperature prostorije 22°C i relativne vlažnosti 60%, temperatura rošenja je 14°C).

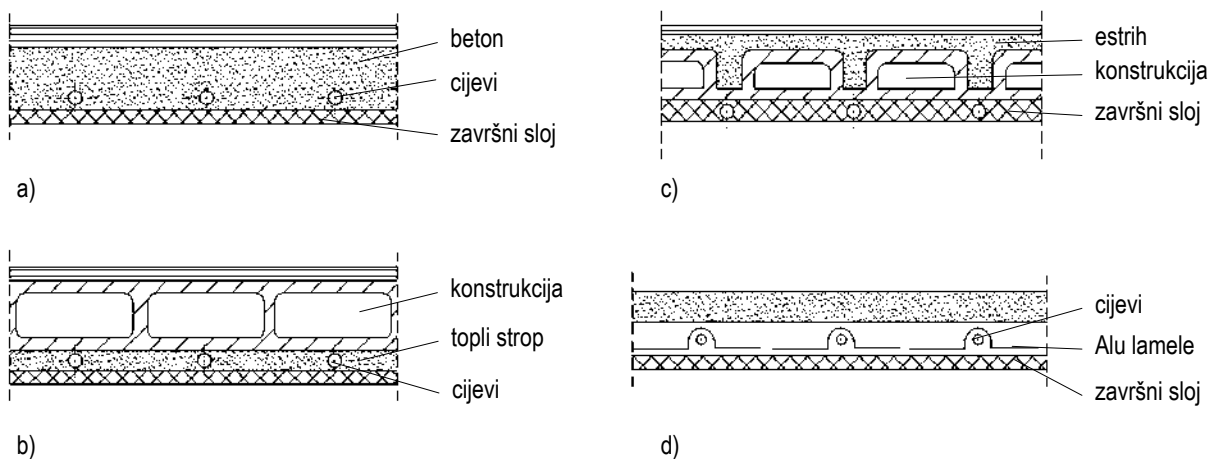
Podna grijanja osiguravaju vrlo dobru raspodjelu temperature s malim gradijentom po visini prostorije (slika 5.109), što je važno za osjećaj ugodnosti osoba koje borave u tako grijanom prostoru.



Slika 5.109 - Temperaturni profili različitih vrsta grijanja: a) idealno, b) podno, c) stropno

Ograničenje koeficijenta prolaska topline u slučaju panelnog grijanja, definirano je člankom 37. Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (NN 110/08) [5.6, 5.7], koji kaže da u slučaju panelnog grijanja (npr. podno grijanje) koeficijent prolaska topline slojeva građevnog dijela, koji se nalaze između površine grijanja i vanjskog zraka, zemlje ili negrijanog dijela zgrade, ne smije biti veći od  $0,35 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

**Stropna grijanja (i hlađenja):** izvode se najčešće u uredskim prostorima, hotelskim sobama i tamo gdje su podovi zauzeti opremom i uređajima. Neke izvedbe prikazane su na slici 5.110. Sustavi označeni s a, b i c imaju značajnu akumulacijsku masu i pogodniji su za prostore s malim toplinskim gubicima, ali povećana toplinska akumulacija omogućuje ugradnju kotlova ili rashladnih uređaja manjih kapaciteta i noćni rad u režimu hlađenja. Sustavi s cijevima ugrađenim u nosivu konstrukciju zidova i stropova nazivaju se i TABS (Thermally - Active Building Systems). U kombinaciji s potisna ventilacijom može se postići izuzetno visoka energetska učinkovitost u grijanju i hlađenju. TABS su pogodni za hlađenje građevina kod kojih specifična rashladna opterećenja ne prelaze  $40 - 60 \text{ W}/\text{m}^2$  tlocrtne površine.



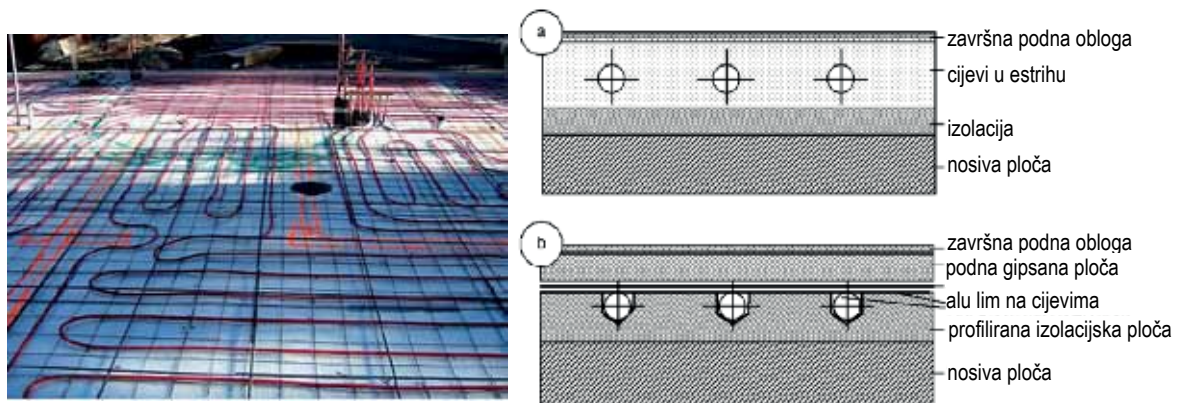
Slika 5.110 - Neke izvedbe sustava stropnog grijanja i hlađenja

Sustavi s manjom akumulacijom imaju metalne lamele koje osiguravaju bolju distribuciju temperature po površini (slika 5.110 (d)) ili su ploče izrađene od gipsa koji dobro provodi toplinu, a posebne izvedbe sa zeolitom mogu osigurati bolju kvalitetu zraka i prigušenje zvuka u prostoriji. Sustavi s manjom akumulacijom općenito osiguravaju oko 3-6% veću energetska učinkovitost od sustava s većom akumulacijskom masom.

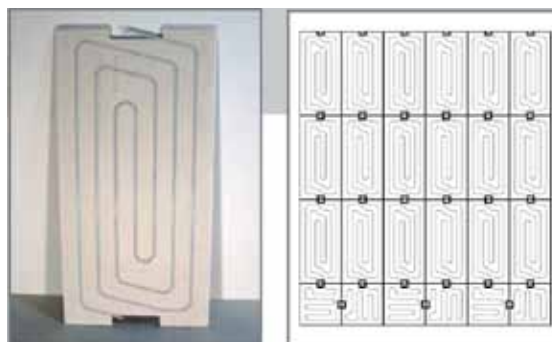


**Slika 5.111 - Izvedba stropnog grijanja i hlađenja s perforiranim panelima iz gipsanih ploča za zvučnu izolaciju**

**Podna grijanja** izvode se najčešće u kućanstvima gdje su ponekad, ovisno o toplinskom opterećenju i odabranom temperaturnom režimu, kombiniraju podne i zidne aktivne površine. Ušteda prostora je značajna, a kao što je već ranije rečeno, ovakva distribucija topline pogodna je za prostore s relativno niskim specifičnim opterećenjem grijanja (10 - 40 W/m<sup>2</sup>tlocrtne površine). Moguća je ugradnja cijevi u nosivu konstrukciju (slika 5.111) ili lakše izvedbe kao na slici 5.112. Danas su česti i sustavi tvornički pripremljenih podnih gipsanih panela s ugrađenim cijevima koji se na gradilištu međusobno spajaju, a postavljaju se na gotovu nosivu konstrukciju (slika 5.113).



**Slika 5.112 - Izvedbe podnih grijanja i hlađenja**



**Slika 5.113 - Gotovi paneli za podna grijanja - izgled i ugradnja**

Podna grijanja se zbog ujednačene raspodjele temperature po visini posebno često koriste u visokim halama (hangari, sportske hale, industrijske hale, aerodromske zgrade i sl.). Energetski učinkovito rješenje u kombinaciji s podnim grijanjem predstavljaju velike reflektirajuće plohe za toplinsko zračenje na stropovima takvih objekata. Primjeri takvih izvedbi mogu se pronaći u aerodromskim zgradama i zatvorenim klizalištima.

Primjena dizalice topline moguća je i s panelnim grijanjima (i hlađenjima), kao i s ventilatorskim konvektorima koji danas predstavljaju vrlo često rješenje kod odabira sustava distribucije toplinskog, odnosno rashladnog učinka. Temperatura medija za prijenos topline kod panelnih grijanja (30 - 35°C) je niža nego kod grijanja ventilatorskim konvektorima (uobičajeno polaz / povrat 50/40°C). Iz toga će razloga dizalice topline u režimu grijanja raditi učinkovitije u kombinaciji s panelnim grijanjima nego u slučaju primjene ventilatorskih konvektora. Potrošnja električne energije za rad dizalice topline može kod primjene panelnog grijanja biti i do 30% niža od potrošnje energije za grijanje u slučaju zagrijavanja prostora ventilatorskim konvektorima.

### 5.3.6. Cjevovodi i armatura

Cjevovodi služe za transport plinova para i kapljevina. Ograničenja i zahtjevi postavljaju se za sisteme cjevovoda pri konstruiranju, a posebno pri ugradnji uređaja. Dio njih je obrađen obvezujućim propisima. Pri odabiranju cijevi, ventila, spojeva i ostale opreme pojedinih cjevovoda, koriste se standardi koji za tu svrhu postoje. Standardi određuju cijevi, elemente cjevovoda i njihov materijal, te se na taj način omogućuje industrijska proizvodnja i serijska izrada, kao i sigurnost tih dijelova. Svaki sustav cjevovoda sastoji se od cijevi određenih duljina, cijevnih spojeva, zapornih uređaja, nosećih i potpornih elemenata i eventualno toplinske izolacije (slika 5.114).

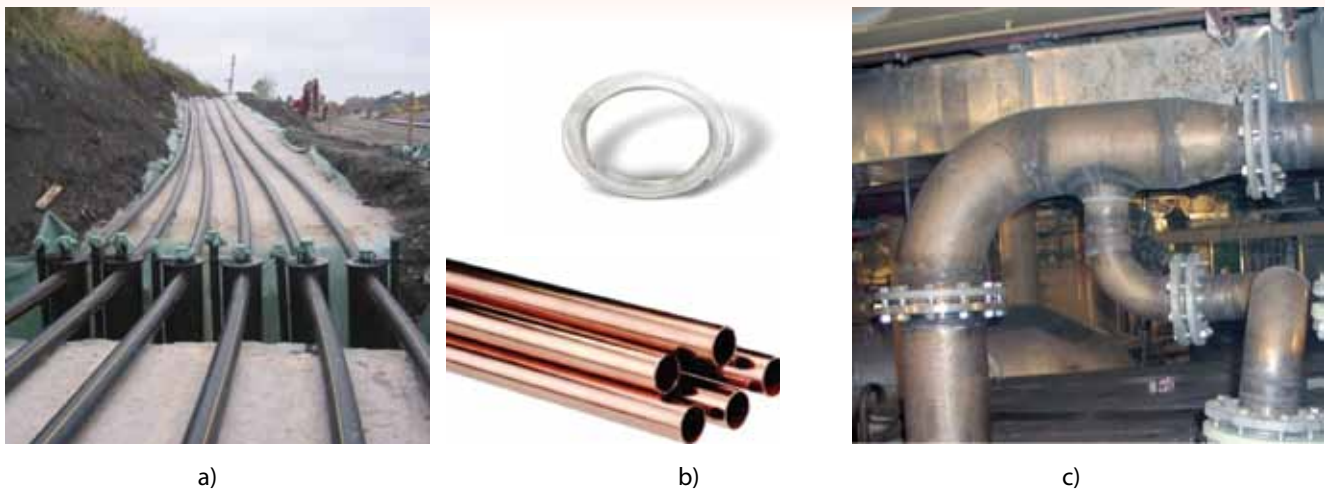


Slika 5.114 - Cjevovodi i armatura

Cijevi : cijevi se izrađuju valjanjem (bešavne), zavarivanjem (spiralno i uzdužno) ili ekstrudiranjem (istiskivanjem).

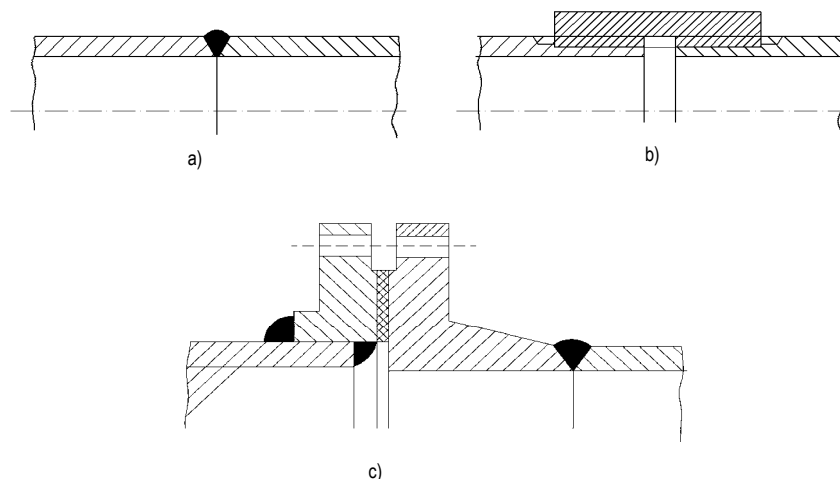
Materijali od kojih se cijevi izrađuju su raznovrsni. Radni tlak, temperatura kapljevine ili plina i namjena za koju se cijevi upotrebljavaju, uvjetuju odabiranje materijala cijevi. Cijevi se mogu izrađivati od ugljičnog čelika, legiranog čelika (Cr, Mo, Ni i dr.), lijevanog željeza, obojenih metala (bakra, aluminijska, mjedi, legure bakra, olova), plastične mase (polivinil klorida, polietilena i sl.), gume, stakla, keramike, betona, platna i dr.

Bešavne vučene čelične cijevi se najviše upotrebljavaju za izradu cjevovoda. One se upotrebljavaju za paru pri visokom tlaku i temperaturi, zatim za nekorozivne produkte u procesnoj industriji, ulje, vodu i sl. Pored čeličnih bešavnih cijevi, upotrebljavaju se i cijevi sa šavom, koje su jeftinije, ali im je primjena ograničena na cjevovode s niskim radnim tlakom (npr. manja centralna grijanja). Cijevi iz legiranih čelika upotrebljavaju se za korozivne medije. Bakrene cijevi se upotrebljavaju za cjevovode pare u kojima vlada niski tlak i umjerena temperatura, kao i za neke radne tvari u tehnici hlađenja. Česta je primjena bakrenih cijevi i za transport vode kod toplovodnih grijanja.



**Slika 5.115 - Različite vrste cijevi a) polietilenske b) bakrene u kolutu i šipci c) iz nerđajućeg čelika**

Najčešće se primjenjuju tri vrste međusobnog spajanja cijevi (slika 5.116): spajanje prirubnicama, cijevnim navojem i zavarivanjem. Spajanje prirubnicom i navojem je rastavljivo, dok spajanje zavarivanjem nije rastavljivo. Spajanje zavarivanjem upotrebljava se tamo gdje se želi postići potpuna neporopusnost, ušteda na rastavljivim spojevima i gdje nije potrebno otpuštati prirubnice radi pregleda cjevovoda. Prirubnice mogu biti pričvršćene na cijev: navojem, zavarivanjem, lemljenjem i uvaljivanjem. Prirubnice mogu biti i slobodno položene na cijev: na razvaljani rub cijevi, na privareni prsten na rubu cijevi i na zbijanjem odebljani rub cijevi.

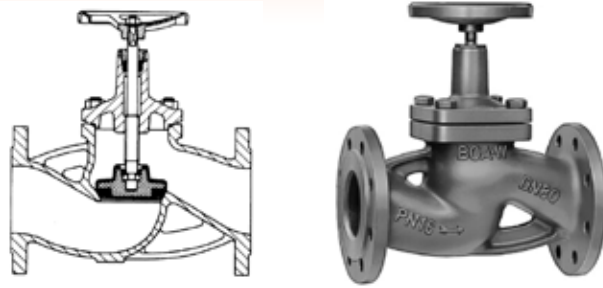


**Slika 5.116 - Načini spajanja cijevi - a) zavarivanjem, b) navojem, c) prirubnicama**

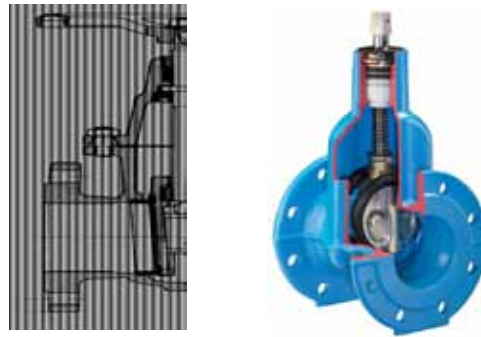
### Elementi za zatvaranje

Elementi zatvaranja odabiru se prema nazivnom tlaku, nazivnom promjeru, i sredstvu koje će kroz njih protjecati. Najčešće se upotrebljavaju ventil (slika 5.117), zasuni (slika 5.118), zaklopke (slika 5.119) i slavine (slika 5.120 - na slici je prikazana kuglasta slavin). Elementi zatvaranja predviđeni su za ugradnju u jednome od krajnjih položaja, tj. u otvorenom ili zatvorenom položaju.

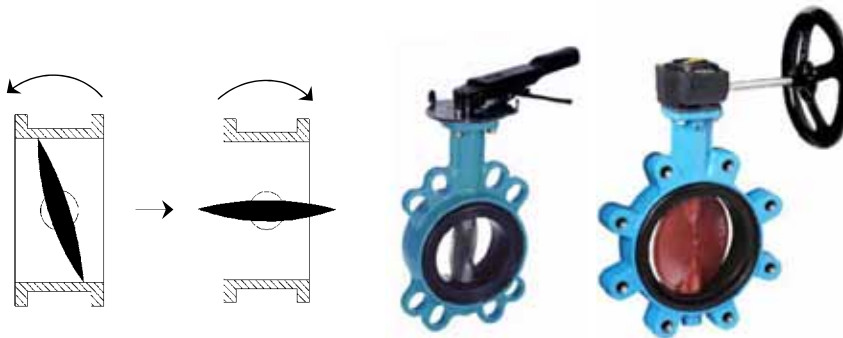




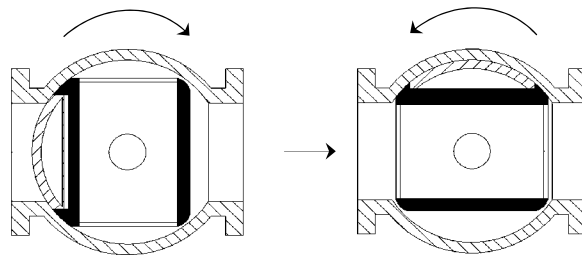
Slika 5.117 - Ventil [5.20]



Slika 5.118 - Zasun [5.20]



Slika 5.119 - Leptirasta zaklopka [5.20]



Slika 5.120 - Kuglasta slavina

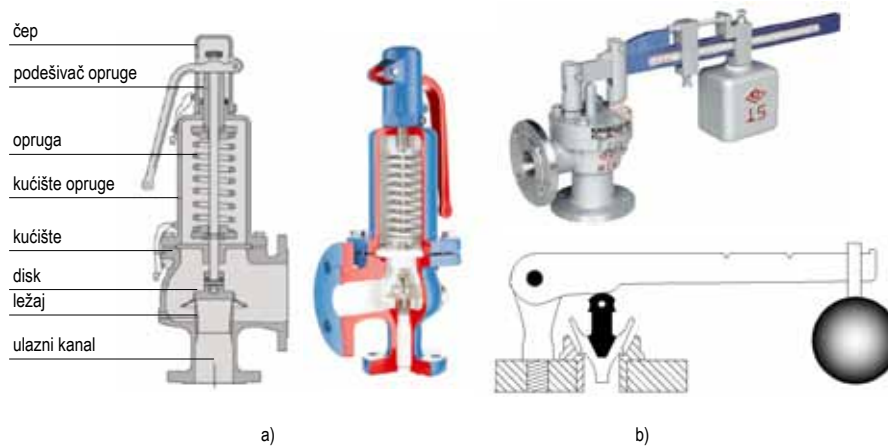
Najveći hidraulički otpori su kod ventila, manji kod zaklopki, dok su za zasune i kuglaste slavine ti otpori najmanji. Hidraulički otpori elemenata zatvaranja utječu na povećanje snaga i potrošnje energije pumpe u sustavu, pa je važno primjenjivati ih racionalno i koristiti one s manjim otporima.

Ako je uloga ventila reguliranje protoka, protočni presjek za strujanje u ventilu je posebno oblikovan. Posebno se izrađuju ventili za balansiranje cijevne mreže (slika 5.121). To su ventili na kojima se preko priključaka za mjerni instrument može mjeriti protok i koji se mogu ugoditi na način da protok kroz njih u otvorenom položaju ima željenu vrijednost.



Slika 5.121 - Ventili za regulaciju protoka [5.28]

Sigurnosni ventili: sigurnosni ventili različite izvedbe propuštaju višak tlaka koji može nastati u kotlovima, spremnicima, i cjevovodima. Mogu biti u izvedbi s oprugom ili utegom (slika 5.122). Kod odabira sigurnosnog ventila treba izvršiti proračun pada tlaka u ventilu pri strujanju radne tvari koja istječe iz posude. Porast tlaka u posudi zbog pada tlaka uslijed strujanja radne tvari kroz ventil, ne smije biti veći od dopuštenog.



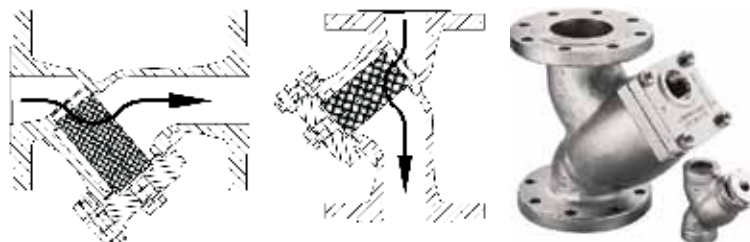
Slika 5.122 - Sigurnosni ventili a) s oprugom, b) s utegom

Nepovratni ventili: nepovratni ventili sprječavaju povratni tok kontrolom smjera toka fluida umjesto zatvaranja. Kao organ zatvaranja najčešće je predviđena pločica ili kuglica (slika 5.123).



Slika 5.123 - Nepovratni ventili [5.20]

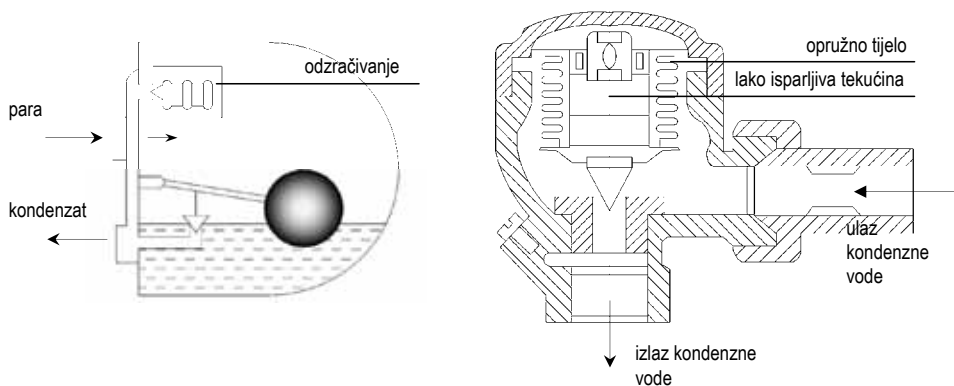
Hvatači nečistoće: ugrađuju se u cjevovode radi zaštite uređaja i armature. tamo gdje se u cjevovodu i uređajima ne smije pojaviti nečistoća koja može ugroziti funkciju (npr. izmjenjivači topline s malim presjecima za strujanje fluida, regulacijski ventili i sl.). Obično sadrže mrežicu iz nehrđajućeg materijala koja se radi čišćenja može vaditi. Treba obratiti pažnju na redovitu provjeru stanja hvatača nečistoće, jer mogu proizročiti povećane otpore i time poremetiti uravnoteženost mreže li bitno smanjiti protok. Presjek i primjer hvatača nečistoće prikazan je na slici 5.124.



Slika 5.124 - Hvatači nečistoće [5.20]

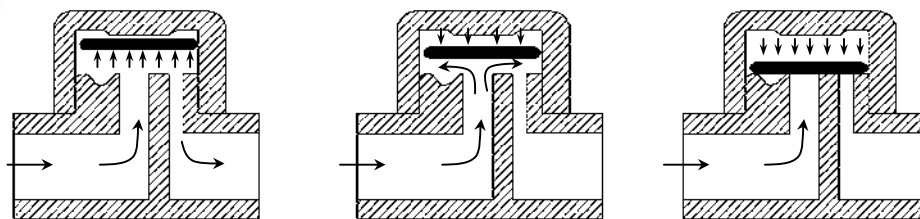
Odvajači kondenzata: odvajajući kondenzat imaju zadatak da kondenzat koji se stvara u parovodima odvede od pare, te da osiguraju da iz izmjenjivača topline izlazi samo kondenzat. Ugrađuju se u toplinskim podstanicama, tamo gdje se za distribuciju topline koristi vodena para. Važno je osigurati da nema njihovog propuštanja, tj. da se para nepotrebno ne troši. Prigušenjem kondenzata koji je višeg tlaka od okolišnog, nastaje manja količina pare koja je neizbježna i to treba razlikovati od propuštanja odvajajući kondenzata.

Odvajači kondenzata mogu biti u izvedbi s plovkom (slika 5.125, lijevo), termički (slika 5.125, desno) ili termodinamički (slika 5.126). Odvajači kondenzata s plovkom imaju plovak koji u posudi pliva na sloju vode, i ovisno o razini vode, otvara ili zatvara ventil polugom. Kod termičkih odvajajući kondenzata koristi se širenje plina, kapljevine ili krutog tijela, uslijed promjene temperature za zatvaranje ventila. Čim para dospje u odvajajući, temperatura raste i lako isparljiva tekućina u mijehu isparava, volumen se povećava, mijeh se širi i ventil se zatvara. Kad se kondenzat ohladi, mijeh se skuplja i ventil se otvara.



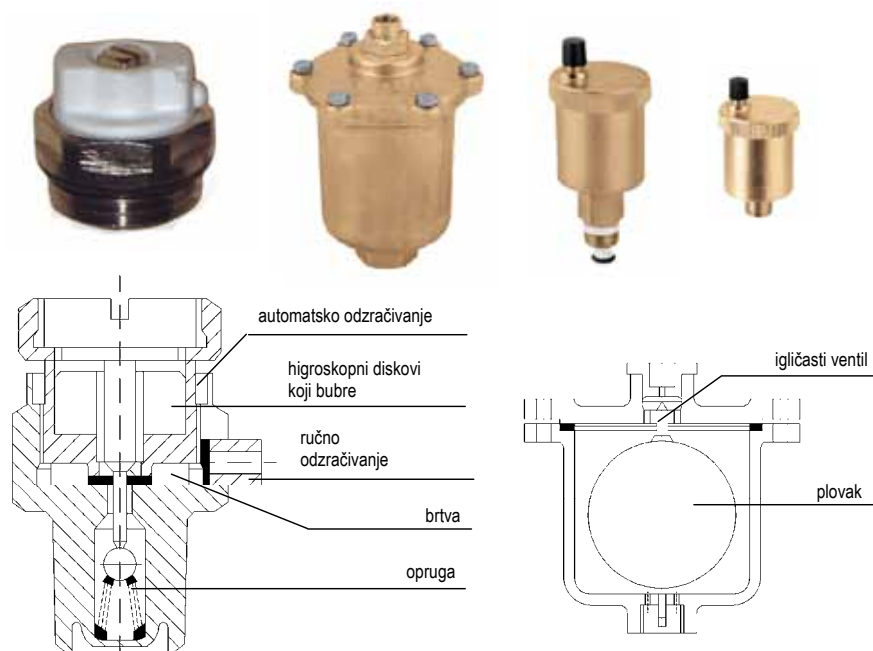
Slika 5.125 - Odvajač kondenzata s plovkom (lijevo), termički odvajajući kondenzata (desno) [5.4]

Kod termodinamičkog odvajajući kondenzata kondenzat podiže poklopac i otiče. Strujanjem pare većom brzinom ispod pladnja stvara se podtlak (Bernoullijeva jednadžba). Para struji i iznad pladnja, manjom brzinom. Zbog razlike tlakova ispod i iznad pladnja, on se spušta na sjedište. Čim se para ohladi, snižava se tlak i kondenzat koji dotječe ponovo podiže pladanj. Ovakav odvajajući kondenzata može se ugraditi u svim položajima.



Slika 5.126 - Termodinamički odvajač kondenzata [5.4]

Odračni ventili: zrak može prouzročiti brojne probleme jer prekida cirkulaciju vode kroz dijelove instalacije grijanja, uslijed čega taj dio instalacije ne grije, a ostatak je debalansiran. To je često izraženo kod donjeg razvoda, kada se ne izvede centralno odzračivanje, već se odzračuje svaka vertikala ili radiator zasebno. Potrebno je na najvišim mjestima instalacije ugraditi odzračne lončiče s ručnim i automatskim ventilima za odzračivanje, a na radiatorima radijatorske ručne odzračne ventile. Presjeci odzračnih ventila kao i primjeri prikazani su na slici 5.127.



Slika 5.127 - Odzračni ventili

### Određivanje promjera cijevi

Kod nestlačivih fluida, jednadžba kontinuiteta može se pisati u obliku:

$$Aw = \frac{\dot{M}}{\rho} = \dot{V} = \text{konst} \quad (5.46)$$

gdje je  $\dot{M}$  maseni protok tekućine [kg/s],  $\rho$  [kg/s] gustoća,  $w$  [m/s] prosječna brzina strujanja za poprečni presjek cijevi i  $A$  [m<sup>2</sup>] površina poprečnog presjeka cijevi i  $\dot{V}$  volumenski protok [m<sup>3</sup>/s].

Iz gornjeg izraza slijedi

$$A = \frac{\dot{V}}{w} \quad (5.47)$$

Za cijevi kružnog poprečnog presjeka vrijedi:

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \quad (5.48)$$

pa je

$$d = \sqrt{\frac{\dot{V} \cdot 4}{w \cdot \pi}} \quad (5.49)$$

$d$  - unutarnji promjer cijevi

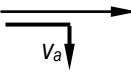
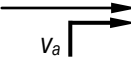
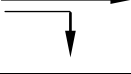
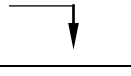

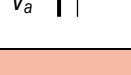
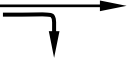
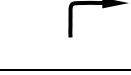
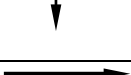

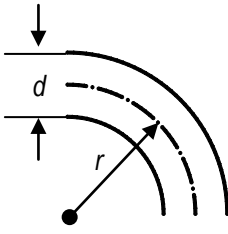
Otpori strujanja

Kako je već ranije rečeno, ukupni otpor strujanja se sastoji iz otpora trenja u cjevovodu  $R$  i lokalnih otpora  $Z$ . Otpori se računaju po izrazu:

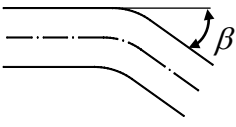
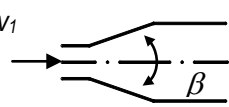
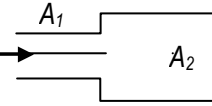
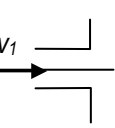
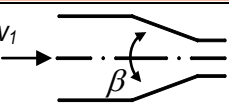
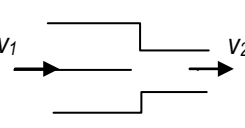
$$\Delta p = R + Z = \rho \frac{w^2}{2} \left( \lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta \right) \text{ [Pa]} \quad (5.50)$$

Koeficijenti lokalnih otpora  $\zeta$  za koljena, ogranke cjevovoda, armaturu i elemente sustava grijanja mogu se pronaći u tablicama u različitim priručnicima. Primjeri su dani u tablicama 5.27 i 5.28.

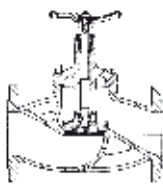
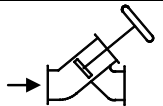
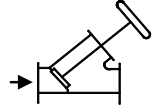



Tablica 5.27 - Koeficijenti lokalnih otpora [5.29]

Oznaka	Naziv	Koeficijent otpora $\xi$	
<b>Ogranak, pod pravim kutem</b>			
	Ogranak, odvajanje toka $\zeta_a$	1,3	1,5
	Ogranak, priključenje glavnog toka $\xi_a$	0,9	1
	Ogranak, odvajanje od glavnog toka $\xi_2$	0,35	0
	Ogranak, priključenje glavnom toku $\xi_1$	0,6	0,5
	Ogranak, spajanje glavnog i sporednog toka $\xi_a$	3	
	Ogranak, račvanje glavnog i sporednog toka $\xi_a$	3	
<b>Ogranak, oblikovan</b>			
	Ogranak, odvajanje toka	0,9	
	Ogranak, priključenje glavnog toka	0,4	
	Ogranak, odvajanje od glavnog toka	0,3	
	Ogranak, priključenje glavnom toku	0,2	
<b>Razdjelnik / sabirnik</b>			
	Razdjelnik	$\zeta_1 = 0,5$	
	Sabirnik	$\zeta_1 = 0,5$	
<b>Cijevni luk</b>			
	90°, Gladak	$r = d$	0,21
		$r = 2d$	0,14
		$r = 4d$	0,11
		$r = 6d$	0,09
		$r = 10d$	0,11
	90°, Hrapav	$r = d$	0,51
		$r = 2d$	0,3
		$r = 4d$	
		$r = 6d$	
		$r = 10d$	

Tablica 5.27 - Koeficijenti lokalnih otpora [5.29] - nastavak

Oznaka	Naziv	Koeficijent otpora $\xi$	
<b>Koljeno</b>			
	Koljeno	$\beta = 90^\circ$	1,3
		$\beta = 60^\circ$	0,8
		$\beta = 45^\circ$	0,4
<b>Proširenje</b>			
	Proširenje, postupno	$\beta = 10^\circ$	$\zeta_1 = 0,20$
		$\beta = 20^\circ$	$\zeta_1 = 0,45$
		$\beta = 30^\circ$	$\zeta_1 = 0,6$
		$\beta = 40^\circ$	$\zeta_1 = 0,75$
	Proširenje, naglo	$\zeta_1 = 1 - \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2$	
		$\zeta_1 = 1,0$	
<b>Suženje</b>			
	Suženje, postupno	$\beta = 30^\circ$	$\zeta_1 = 0,02$
		$\beta = 45^\circ$	$\zeta_1 = 0,04$
		$\beta = 60^\circ$	$\zeta_1 = 0,07$
	Suženje, naglo s oštrim rubovima	$\zeta_1 = 0,5$	
		$\zeta_2 = 0,38$	
	Suženje, s blagim prijelazom	$\zeta_1 = 0,25$	
		$\zeta_2 = 0,38$	
<b>Lira - luk</b>			
	Lira-luk, blago savijen	0,75	
		1,5	

Tablica 5.28 - Koeficijenti lokalnih otpora [5.29]

Oznaka	Naziv	Koeficijent otpora $\xi$	
	Ventil s ravnim sjedištem	DN 15	10
		DN 20	8,5
		DN 25	4
		DN 32	6
		DN 40 ... 80	5
		DN 100	5,4
		DN 200	6,3
		DN 300	7
	S kosim sjedištem	DN 15	3,5
		DN 20	2,5
		DN 25 ... 50	2
	Protočni	DN 15	2
		DN 20 ... 25	1,5
		DN 32 ... 50	1
		DN 65 ... 80	0,7
		$\geq$ DN 100	0,6
	Zasun	DN 10 ... 15	1
		DN 20 ... 25	0,5
		DN 32 ... 40	0,3
		$\geq$ DN 50	0,3
	Slavina	DN 10 ... 15	1,5
		$\geq$ DN 20	1
	Nepovratni ventil	DN 15 ... 20	15
		DN 25 ... 50	13
		DN 100	
		$\geq$ DN 200	
	Spremnik		
	Kotao		
	Člankasti radijator		

Vidi se da je utjecaj lokalnih otpora za veće promjere manji nego li je to slučaj kod manjih promjera.

Otpori trenja mogu se izračunati i po izrazu:

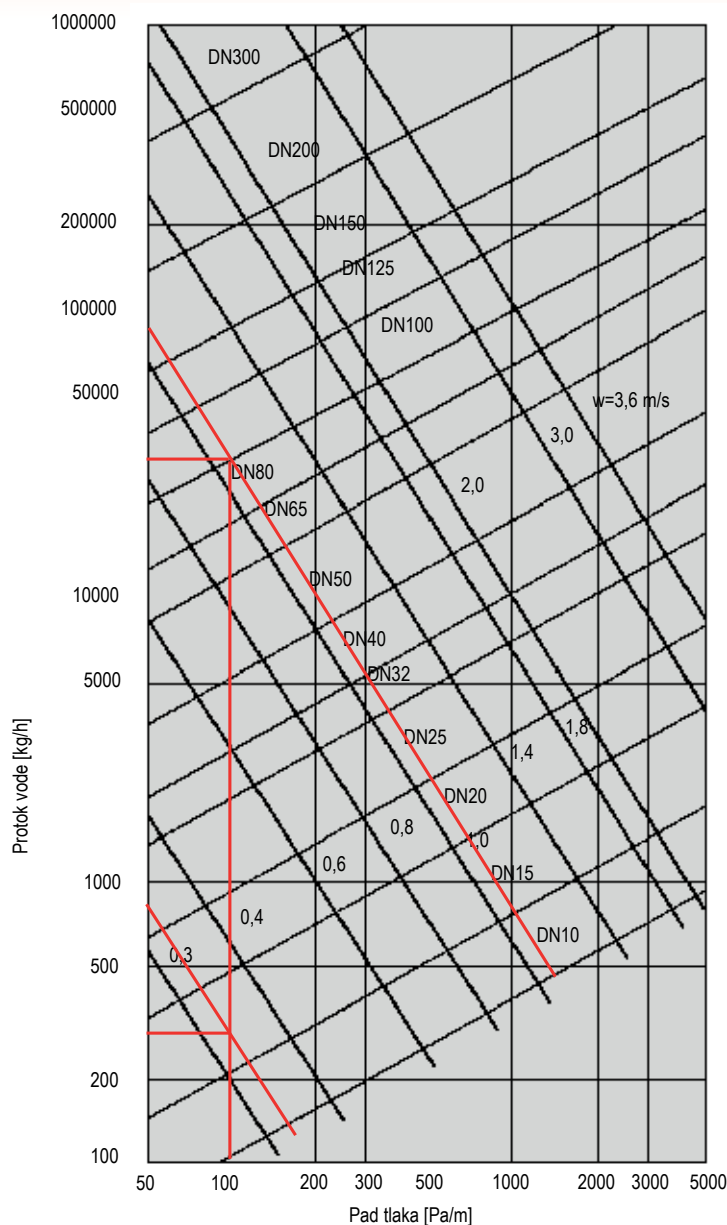
$$R = r \cdot l \text{ [Pa]} \quad (5.51)$$

gdje je  $r$  jedinični otpor.

$$r = \lambda \frac{l}{d} \rho \frac{w^2}{2} \text{ [Pa/m]} \quad (5.52)$$

Podaci o jediničnim otporima  $r$  daju se u tehničkoj literaturi (za dužni metar cjevovoda) za jedan medij (npr. vodu) određene srednje temperature, za različite protoke i promjere cijevi. Podaci mogu biti dani u obliku tablica ili dijagrama. Dijagram na slici 5.128 izrađen je prema jednom takvom prikazu. Vidi se da trenje to manje utječe na gubitke strujanja što je veći promjer cjevovoda, pa se pad tlaka od 100 Pa po dužnom metru cjevovoda, ostvaruje kod manje cijevi (u primjeru je to cijev DN 15), s brzinom 0,32 m/s, dok se isti pad tlaka kod veće cijevi DN 80, ostvaruje s brzinom strujanja oko 1,1 m/s.





Slika 5.128 - Pad tlaka kod strujanja vode temperature 80°C u čeličnim cijevima

Otpori strujanja po dužnom metru cjevovoda mogu se odrediti i računski, ako se poznaje koeficijent trenja  $\lambda_{tr}$ , koji se može odrediti za bilo koji medij, za koji se izračuna Reynoldsova značajka  $Re = \frac{wd}{\nu}$  i relativna hrapavost  $\frac{e}{d}$ . Kod turbulentnog strujanja u cijevi (kod  $Re = \frac{wd}{\nu} > 2300 - 3000$ ) koeficijent trenja može se odrediti pomoću Colebrookeove jednadžbe 5.53 u kojoj se rješenje za  $\lambda_{tr}$  može naći grafoanalitičkim ili iterativnim postupkom.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_{tr}}} = -2,0 \lg \left( \frac{e/d}{3,71} + \frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda_{tr}}} \right) \quad (5.53)$$

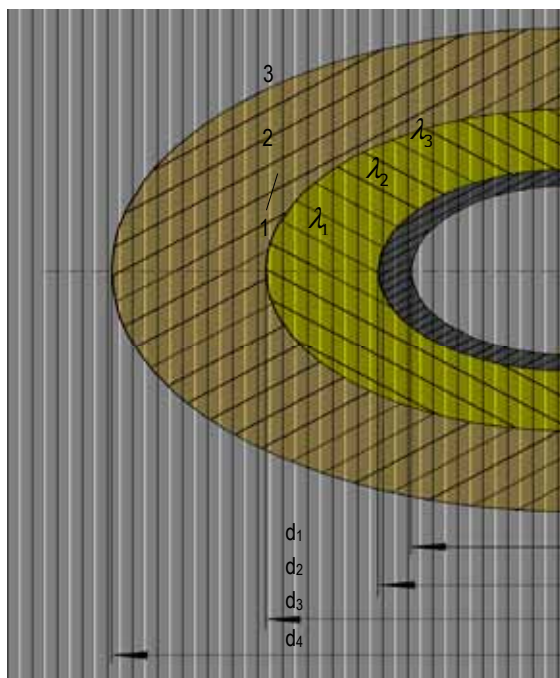
### Gubici topline u cjevovodu

U cjevovodima kojima se prenosi toplina, gubitak topline mora se održavati u unaprijed određenim granicama. Troškovi izolacije moraju biti u izravnoj vezi s uštedom na gubicima topline koja se ostvaruje izolacijom. Gubitak topline cijevi izolirane s dva sloja izolacije (2 i 3 na slici 5.129) određuje se iz izraza:

$$\dot{Q} = \frac{l\pi \cdot (\theta_i - \theta_a)}{\frac{1}{\alpha_i \cdot d_i} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_1} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2 \lambda_2} \cdot \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_3} \cdot \ln \frac{d_4}{d_3} + \frac{1}{\alpha_a \cdot d_4}} \quad (5.54)$$

gdje je:

- $l$  - duljina cjevovoda [m]
- $\theta_i$  - temperatura medija koji struji unutar cijevi [°C]
- $\theta_a$  - temperatura zraka okoline [°C]
- $d_1$  - unutarnji promjer cijevi [m]
- $d_4$  - vanjski promjer cijevi [m]
- $d_{2,3}$  - promjeri slojeva izolacije [m]
- $\lambda_1$  - toplinska vodljivost za cijev
- $\lambda_2$  - toplinska vodljivost za prvi sloj izolacije
- $\lambda_3$  - toplinska vodljivost za drugi sloj izolacije
- $\alpha_i$  - koeficijent prijelaza topline s unutarnje strane cijevi
- $\alpha_a$  - koeficijent prijelaza topline s vanjske strane izolacije.



Slika 5.129 - Cijev izolirana s dva sloja izolacije

Ako je toplinska vodljivost  $\lambda_1$  cijevne stijenke velik, otpor će biti malen, što znači da se toplinski otpor može zanemariti. Pri proračunu otpora provođenju topline toplinske izolacije, dakle pri određivanju  $\lambda$  za izolaciju na nekoj srednjoj temperaturi, srednju temperaturu izolacije treba procijeniti. Obično se uzima da je unutarnja temperatura izolacije jednaka temperaturi medija u cijevi.

Za konstantnu toplinsku vodljivost izolacije temperatura između slojeva izolacije može se izračunati iz jednadžbe:

$$\theta_{k+1} = \theta_k - \frac{\dot{Q}}{2\pi\lambda_k} \ln \frac{r_{k+1}}{r_k} \quad (5.55)$$

gdje su  $\theta_{k+1}$  i  $\theta_k$  temperature s vanjske i unutarnje strane promatranog sloja izolacije.

Promjena temperature medija za prijenos topline koji struji kroz cjevovod (jednofazno strujanje, bez promjene agregatnog stanja) može se odrediti iz jednadžbe:

$$\Delta\theta = \frac{\dot{Q}}{\dot{M}c_p} \quad (5.56)$$

$c_p$  - specifična toplota medija za prijenos topline [J/kgK]  
 $\dot{M}$  - protok medija za prijenos topline [kg/h]

Ako kroz cijev struji dvofazni medij (koji isparuje ili kondenzira), temperatura se ne mijenja.

## Izolacija cjevovoda

Zadatak izolacije je da se gubici topline svedu na minimalne vrijednosti ili da se iz drugih razloga ograniči površinska nadtemperatura. Ugrađuje se na kotlovima, spremnicima tople vode, cjevovodima, armaturi i uređajima smještenim u negrijanim prostorima.

Dimenzioniranje može biti po različitim kriterijima:

- da se ostvari ekonomski optimalno snabdijevanje toplinom (ulaganja u izolaciju trebaju biti opravdana uštedom na toplini u vremenu rada postrojenja)
- da se osigura promjena temperature prijenosnika topline u odgovarajućim granicama
- da se ograniči utjecaj na okolinu (npr. ograničeno zračenje, ograničena površinska temperatura - dodir).

**Najmanja potrebna debljina izolacije:** Tehničkim propisom o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (NN 110/08), u dijelu koji se odnosi na razdiobu topline i tehničke mjere za elemente razvoda topline u građevini (članak 41), predviđeno je da je projektom novog, odnosno rekonstrukcijom postojećeg termotehničkog sustava s razdiobom topline i razvodom tople vode za grijanje uključivo armaturu, potrebno predvidjeti toplinski izolirane vodove, odnosno armaturu. Najmanja potrebna debljina takve izolacije toplinske vodljivosti 0,035 W/mK. iznosi:

- 2/3 promjera cijevi, a najviše do 100 mm za vodove, odnosno armaturu u prostoru zgrade u kojemu se ne održava kontrolirana temperatura
- 1/3 promjera cijevi, a najviše do 50 mm za vodove i armaturu u zidovima i utorima u međukatnoj konstrukciji, na mjestu križanja vodova, kod središnjih razdjelivača ogrijevnog medija
- 1/3 promjera cijevi, a najviše do 50 mm za vodove i armaturu u prostoru zgrade u kojemu se održava kontrolirana temperatura
- 6 mm (može se izostaviti kod postavljanja zvučne izolacije) u međukatnoj konstrukciji prema prostoru zgrade u kojemu se održava kontrolirana temperatura za vodove i armature u površinskom sloju poda.

Toplinsku izolaciju s toplinskom vodljivošću većom od 0,035 W/mK, potrebno je proračunati na potrebnu debljinu prema priznatim pravilima struke. Potrebna debljina sloja toplinske izolacije ovisi o promjeru cijevi i toplinskoj vodljivosti izolacijskog materijala, a može se odrediti i na osnovu izolacijske klase (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6). Određivanje izolacijske klase provodi se prema značajki pogona sustava grijanja  $I$  [Ks] (HRN EN 12828), koja se izračunava prema 5.57.

$$I = f_a (\theta_w - \theta_e) Z [\text{Ks}] \quad (5.57)$$

$f_a$  - procijenjeni udio toplinskih gubitaka  
 $\theta_w$  - temperatura ogrjevnog medija u cijevima  
 $\theta_e$  - temperatura okolnog zraka  
 $Z$  - trajanje sezone grijanja.

Ovisno o vrijednosti značajke pogona grijanja, određuje se odgovarajuća izolacijska klasa prema tablici 5.29.

Tablica 5.29 - Izolacijske klase prema HRN EN 12828 [5.23]

Izolacijska klasa	Značajka pogona sustava grijanja / [°Cs / god x 10 <sup>9</sup> ]
0	$I < 0,05$
1	$0,05 < I < 0,17$
2	$0,17 < I < 0,35$
3	$0,35 < I < 0,70$
4	$0,70 < I < 1,40$
5	$1,40 < I < 2,80$
6	$I > 2,80$

Potrebne debljine toplinske izolacije prikazane su u tablici 5.30.

Tablica 5.30 - Potrebna debljina izolacije ovisno o promjeru cijevi  $d_1$ , toplinskoj vodljivosti materijala toplinske izolacije  $\lambda$ , linearnom transmisijskom koeficijentu  $U_L$  za cijevi i izolacijskim klasama (HRN EN 12828) [5.23]

Vanjski promjer cijevi $d_1$ [mm]	Potrebna debljina izolacije u [mm]									
	IZOLACIJSKA KLASA 1					IZOLACIJSKA KLASA 2				
	$U_L$ [W/mK]	$\lambda$ [W/mK]				$U_L$ [W/mK]	$\lambda$ [W/mK]			
		0,03	0,04	0,05	0,06		0,03	0,04	0,05	0,06
10	0,25	1	3	6	11	0,23	2	5	8	14
20	0,29	5	7	11	16	0,25	7	12	19	27
30	0,32	8	12	17	23	0,28	11	17	25	36
40	0,35	10	14	20	28	0,3	14	21	30	47,2
60	0,42	12	18	26	37	0,36	17	26	37	50
80	0,48	14	22	31	41	0,41	20	29	41	54
100	0,55	15	23	32	44	0,46	22	32	43	57
200	0,88	19	26	35	46	0,72	27	37	49	62
300	1,21	21	29	39	50	0,98	28	39	51	64
Ravna ploha	(1,17)	22	30	37	45	0,88	31	41	51	62

Tablica 5.30 - Potrebna debljina izolacije ovisno o promjeru cijevi  $d_1$ , toplinskoj vodljivosti materijala toplinske izolacije  $\lambda$ , linearnom transmisivnom koeficijentu  $U_L$  za cijevi i izolacijskim klasama (HRN EN 12828) [5.23]

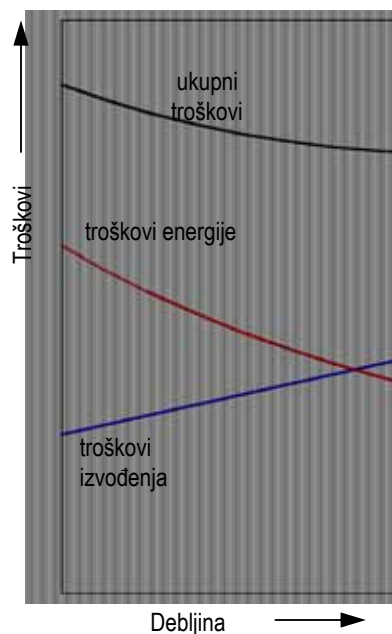
nastavak

Vanjski promjer cijevi $d_1$ [mm]	Potrebna debljina izolacije $u$ [mm]									
	IZOLACIJSKA KLASA 3					IZOLACIJSKA KLASA 4				
	$U_L$ [W/mK]	$\lambda$ [W/mK]				$U_L$ [W/mK]	$\lambda$ [W/mK]			
		0,03	0,04	0,05	0,06		0,03	0,04	0,05	0,06
10	0,2	4	7	13	20	0,18	6	11	19	31
20	0,22	10	17	26	38	0,19	13	23	36	56
30	0,24	14	23	35	50	0,21	19	31	49	72
40	0,26	18	28	41	58	0,22	24	38	58	84
60	0,3	23	35	50	69	0,25	30	47	70	99
80	0,34	26	39	55	74	0,28	35	54	77	107
100	0,38	29	42	59	78	0,31	38	58	82	112
200	0,58	35	50	66	85	0,46	47	68	92	120
300	0,78	38	53	69	86	0,61	51	72	95	122
Ravna ploha	(0,66)	42	56	70	84	0,49	58	77	96	116

Vanjski promjer cijevi $d_1$ [mm]	Potrebna debljina izolacije $u$ [mm]									
	IZOLACIJSKA KLASA 5					IZOLACIJSKA KLASA 6				
	$U_L$ [W/mK]	$\lambda$ [W/mK]				$U_L$ [W/mK]	$\lambda$ [W/mK]			
		0,03	0,04	0,05	0,06		0,03	0,04	0,05	0,06
10	0,15	9	17	29	49	0,13	13	22	40	62
20	0,16	18	33	54	86	0,14	25	36	70	110
30	0,17	16	45	71	111	0,14	35	57	94	148
40	0,18	32	54	85	128	0,15	43	68	110	156
60	0,21	41	67	102	150	0,17	60	90	138	210
80	0,23	48	76	113	162	0,18	70	108	155	240
100	0,25	53	82	120	169	0,2	75	115	165	260
200	0,36	65	97	134	178	0,28	83	133	180	280
300	0,47	71	102	137	178	0,36	89	149	223	290
Ravna ploha	(0,35)	82	110	137	165	0,22	133	177	222	266

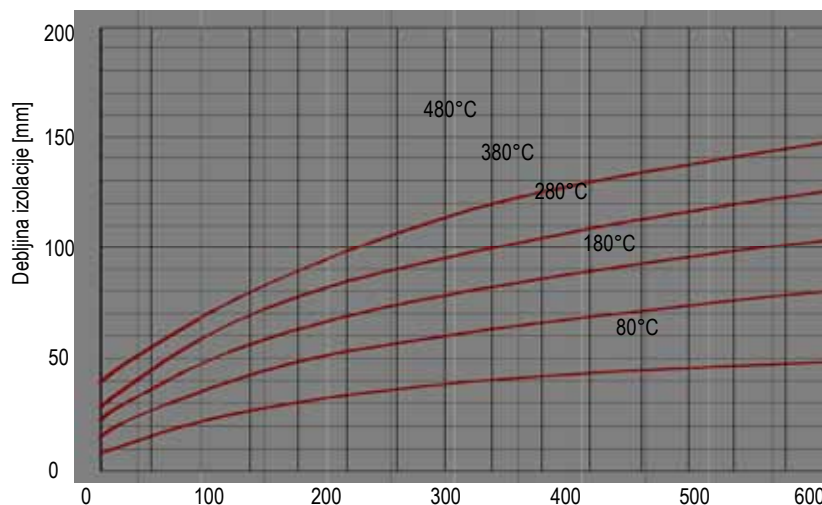
### Optimalna debljina izolacije

Rast cijena energije nameće potrebu da se vodi računa o ekonomičnosti. S povećanjem debljine izolacije rastu i troškovi izvođenja, a troškovi uslijed gubitaka topline se smanjuju (slika 5.130). Najekonomičnija debljina izolacije je ona kod koje je suma za obje vrste troškova najniža.



Slika 5.130 - Optimalna debljina izolacije

Optimalna debljina ovisi o cijeni energije, ali i o cijeni dobave i ugradnje izolacije mijenja se s tržišnim uvjetima. Problem kod odabira može predstavljati činjenica da optimalnu debljinu izolacije treba odrediti za dulje vremensko razdoblje nakon ugradnje, uz nepoznate tržišne uvjete u budućnosti. Često se u različitim priručnicima, katalozima i sl. pronalaze podaci takve vrste. Jedan primjer prikazan je na slici 5.131.



Slika 5.131 - Optimalna debljina izolacije cjevovoda - primjer

U tablici 5.31 prikazane su ekonomski opravdane debljine izolacije za cijevi promjera do DN 40, koje vrijede kod današnjih cijena energije i izolacije.

**Tablica 5.31 - Ekonomski opravdane debljine izolacije za različite tipove cijevi promjera do DN 40**

Navojne čelične cijevi	-	-	DN10	DN15	DN20	-	DN25	DN32	-	DN40	
Šavne čelične cijevi	-	-	-	-	-	DN25	-	DN32	-	DN40	
Bakrene cijevi*	12	15	18	22	-	28	35	-	44	-	
POTREBNA DEBLJINA IZOLACIJE CIJEVI u [mm]											
Toplinska vodljivost $\lambda$ [W/mK]	0,025	10	11	11	11	12	17	18	18	23	24
	0,030	15	15	15	15	15	23	23	24	31	31
	0,035	20	20	20	20	20	30	30	30	40	40
	0,040	27	27	26	26	25	38	38	38	51	50
	0,045	36	35	34	33	30	49	47	47	63	69
	0,050	48	45	43	41	39	61	59	57	78	77

\* vanjski promjer u [mm]

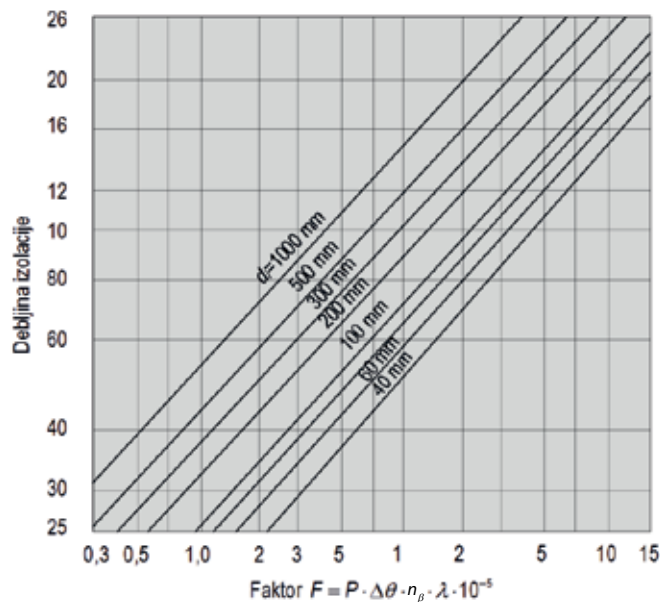
Za veće promjere može se koristiti sljedeći postupak: Prema VDI 2055 (ovdje su kao primjer korišteni podaci izdanja iz 1982. godine) izračunava se faktor F kao

$$F = P \Delta \vartheta n_{\beta} \lambda \cdot 10^{-5} \quad (5.58)$$

gdje je  $P$  cijena topline (za dijagram na slici 5.132 treba cijenu izračunati u DEM/MWh, pri čemu se može usvojiti vrijednost 1DEM = 4 KN)

- $\Delta \vartheta$  - srednja razlika temperature [K]
- $n_{\beta}$  - broj sati pogona [h/god]
- $\lambda$  - toplinska vodljivost izolacije [W/mK]

S poznatim faktorom F i promjerom cjevovoda, može se iz dijagrama na slici 5.132 odrediti optimalna debljina izolacije.



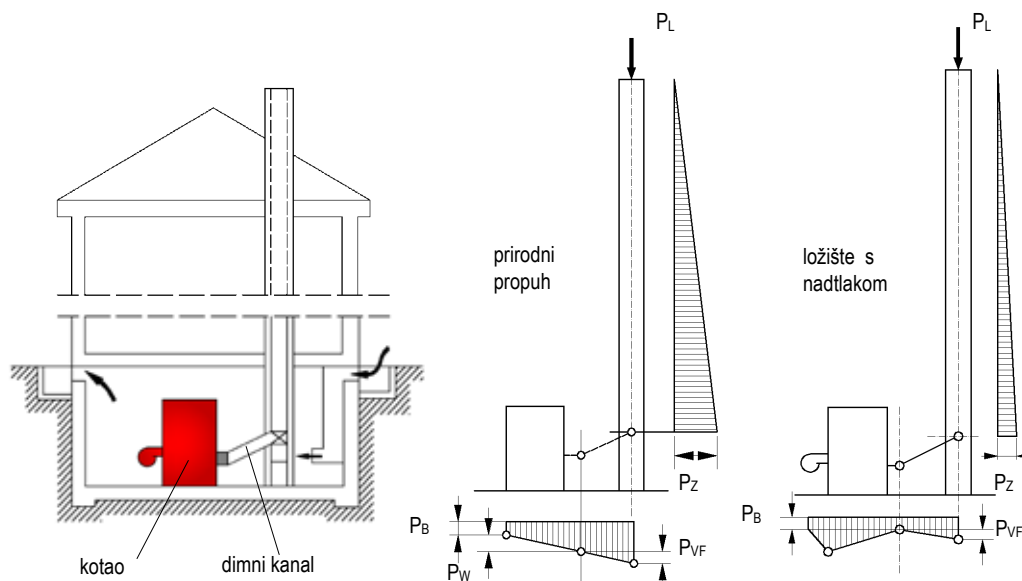
**Slika 5.132 - Optimalna debljina izolacije prema VDI 2055/1982.**

### 5.3.7. Sustavi za odvod plinova izgaranja

Zadatak sustava za dimne plinove je siguran odvod produkata plinova izgaranja i dovod zraka potrebnog za izgaranje.

Sustavi s podtlakom za odvodne plinove: razlika tlaka potrebna za ostvarenje strujanja nastaje uslijed razlike gustoće toplih dimnih plinova i hladnog vanjskog zraka iste visine.

Kod ložišta bez ventilatora (kotlovi s prirodnim propuhom - slika 5.133), dimnjaci trebaju stvoriti takav uzgon da svladaju otpore strujanja zraka u prostoriji do ložišta i otpore strujanja dimnih plinova u ložištu i odvodnim kanalima, uključujući dimnjak. To je obično slučaj kod starijih kotlova na kruto gorivo i starijih kotlova s plamenicima i ventilatorom koji je služio samo za pripremu smjese zraka i goriva. Kod novijih kotlova (kotlovi s nadtlakom - slika 5.133), plamenik svladava otpore strujanja u kotlu, dok uzgon dimnjaka treba samo svladati otpore strujanja zraka za izgaranje do kotla i otpore strujanja dimnih plinova u odvodnim kanalima, uključujući dimnjak.



Slika 5.133 - Tlakovi u sustavu za odvod plinova izgaranja iz kotla s prirodnim propuhom i s nadtlakom [5.4]

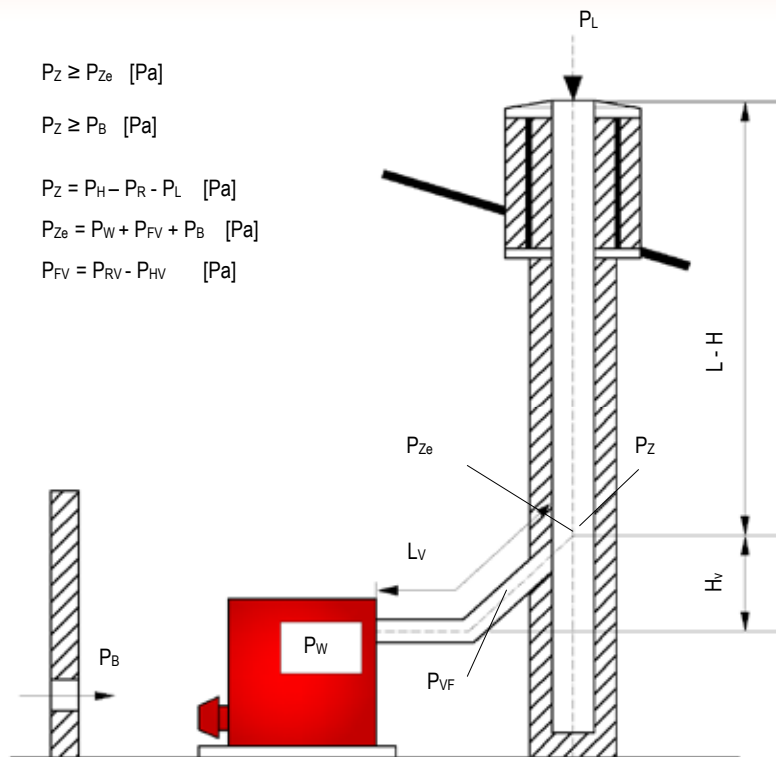
Detalji proračuna obrađeni su u normi EN 13384. Polazni podaci za proračun su podaci kotla (maseni protok dimnih plinova  $\dot{m}$ , temperatura plinova  $T_W$ , potreban tlak za svladavanje otpora kotla  $P_W$ , dimenzije dimnog priključka  $D_W$ ), potreban tlak za svladavanje otpora strujanja dovodnog zraka  $P_B$  i karakteristike predviđene konstrukcije dimnjaka (hrapavost unutarnjih stijenki, otpor prolazu topline prema okolnom zraku), pretpostavljene geometrijske veličine dimnjaka (svjetli presjek  $A$ , odnosno  $A_V$ , visina  $H$ , odnosno  $H_V$  i duljina  $L$ , odnosno  $L_V$ ). Potrebni su nadalje podaci o temperaturama zraka:  $T_L$  - temperatura okolnog zraka,  $T_u$  - temperatura okolnog zraka vertikalnog dijela,  $T_{uo}$  - temperatura okolnog zraka za usporedbu s temperaturom na izlaznom otvoru i tlak okolnog zraka  $p_L$ . Proračun se neće prikazivati u okviru ovih predavanja, a u nastavku se navode tek osnovni uvjeti proračuna.

Korisni podtlak u dimnjaku na ulazu u vertikalni dio dimnjaka, ( $P_Z$ ) predstavlja zbroj statičkog tlaka  $P_H$  (podtlak koji nastaje uslijed razlike gustoća zraka i dimnih plinova), umanjen za otpore trenja  $P_R$  i tlak vjetra  $P_L$  koji može nastati pri nepovoljnom smještaju otvora za izlaz dimnih plinova.  $P_Z = P_H - P_R - P_L$

Podtlak  $P_{Ze}$  je potreban za svladavanje otpora strujanja u generatoru topline  $P_W$ , dimnom kanalu (veznom elementu)  $P_{FW}$  i otpora strujanja zraka za izgaranje iz atmosfere do kotla  $P_B$ . Vrijedi dakle:  $P_{Ze} = P_W + P_{FW} + P_B$ .

Korisni podtlak treba biti veći od podtlaka za svladavanje otpora strujanja, tj.  $P_Z \geq P_{Ze}$ , a da bi se izbjegla pojava nadtlaka u odnosu na kotlovnici, korisni podtlak mora biti veći od podtlaka za dovođenje zraka u kotlovnici, tj. treba biti ispunjeno i  $P_Z \geq P_B$





$$P_Z \geq P_{Ze} \quad [\text{Pa}]$$

$$P_Z \geq P_B \quad [\text{Pa}]$$

$$P_Z = P_H - P_R - P_L \quad [\text{Pa}]$$

$$P_{Ze} = P_W + P_{VF} + P_B \quad [\text{Pa}]$$

$$P_{RV} = P_{RV} - P_{HV} \quad [\text{Pa}]$$

$H_v$  - efektivna visina veznog elementa,  $L$  - visina vertikalnog dijela,  $L_v$  - duljina veznog elementa,  $P_B$  - tlak potreban za dovod zraka za izgaranje,  $P_{VF}$  - tlak potreban za svladavanje otpora u veznom elementu,  $P_H$  - statički tlak u vertikalnom dijelu,  $P_L$  - tlak zbog vjetra,  $P_R$  - tlak potreban za svladavanje otpora u vertikalnom dijelu,  $P_W$  - tlak potreban za svladavanje otpora u ložištu,  $P_Z$  - podtlak plinova na ulazu u vertikalni dio,  $P_{Ze}$  - potreban podtlak plinova na ulazu u vertikalni dio

**Slika 5.134 - Odnosi tlakova u postrojenju s ložištem prema EN 13384 [5.4]**

Pored uvjeta koji se odnose na tlak, kod dimenzioniranja sustava za odvod dimnih plinova, treba poštovati i uvjete temperature. Prvi je uvjet da u sustavu za odvod plinova po suhom postupku (D) temperatura ne smije biti niža od temperature rošenja, a po vlažnom postupku (W) ne smije nigdje biti niža od temperature smrzavanja. Temperatura  $T_{iob}$  je najniža temperatura u sustavu pri stacionarnom pogonu, temperatura  $T_g$  je granična temperatura i  $T_p$  temperatura rošenja. Vrijedi:

- za sustav odvođenja dimnih plinova po suhom postupku (D)

$$T_{iob} \geq T_g = T_p \quad (5.59)$$

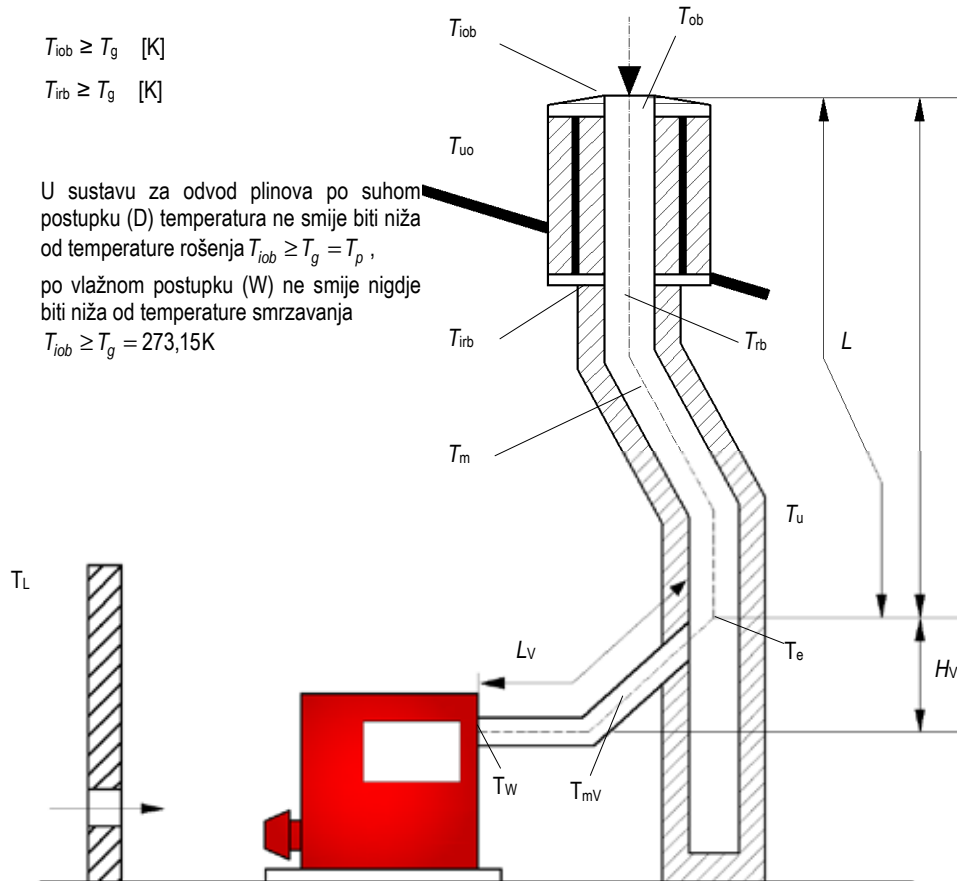
- za sustav odvođenja dimnih plinova po vlažnom postupku (W)

$$T_{iob} \geq T_g = 273,15 \text{ K} \quad (5.60)$$

Pri dodatnoj toplinskoj izolaciji na glavi dimnjaka treba temperatura na unutarnjem zidu ispod izolacije  $T_{irb}$  biti veća od temperature rošenja, tj.  $T_{irb} \geq T_g$

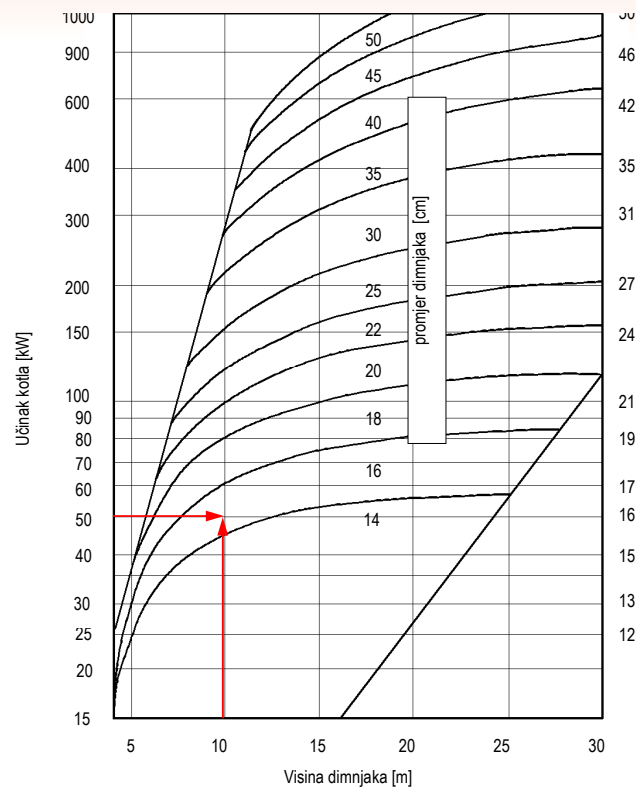
$T_e$  - temperatura plinova na ulazu u vertikalni dio,  $T_{iob}$  - temperatura na unutarnjoj stijenci izlaznog otvora,  $T_{irb}$  - temperatura na unutarnjoj stijenci toplinske izolacije,  $T_u$  - temperatura okolnog zraka vertikalnog dijela,  $T_m$  - srednja temperatura plinova,

$T_{mv}$  - srednja temperatura plinova u veznom elementu,  $T_{ob}$  - temperatura plinova na izlaznom otvoru,  $T_p$  - temperatura rosišta,  $T_w$  - temperatura plinova u ložištu,  $T_{uo}$  - temperatura okolnog zraka za usporedbu s temperaturom na izlaznom otvoru,  $T_L$  - temperatura okolnog zraka,  $T_{rb}$  - temperatura plinova u toplinski izoliranom dijelu.



Slika 5.135 - Odnosi temperatura u postrojenju s ložištem prema EN 13384 [5.4]

Često se za dimenzioniranje dimnjaka koriste dijagrami proizvođača. Primjer određivanja prikazan je na slici 5.136. za kotao ložen loživim uljem. Ako se npr. uljni kotao učinka 50 kW s potrebnom podtlakom  $P_w = 5$  Pa, treba priključiti na dimnjak visine  $H = 10$  m, promjer dimnjaka je 16 cm. Ostale uvjete treba također provjeriti.



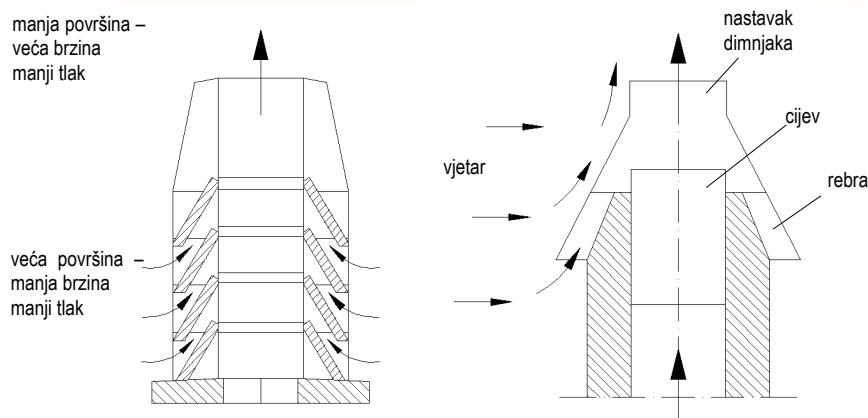
**Slika 5.136 - Promjer dimnjaka za uljno i plinsko ložište za kotlove s malim otporom [5.4]**

Postoje različite izvedbe, s obzirom na konstrukciju, kao što su jednoslojni, višeslojni ili čelični dimnjaci, sustavi za odvod plinova izgaranja s ograničenom postojanošću na toplinu, sustavi za dovod zraka i odvod dimnih plinova.

Prema izradi razlikuju se sustavi za odvod plinova po suhom (temperatura dimnih plinova iznad temperature rošenja, nema kondenzata) i po vlažnom postupku (temperatura dimnih plinova je niža od temperature rošenja) kod kojih treba poduzeti mjere za odvod kondenzata, a materijal kanala za vođenje dimnih plinova treba biti otporan na koroziju.

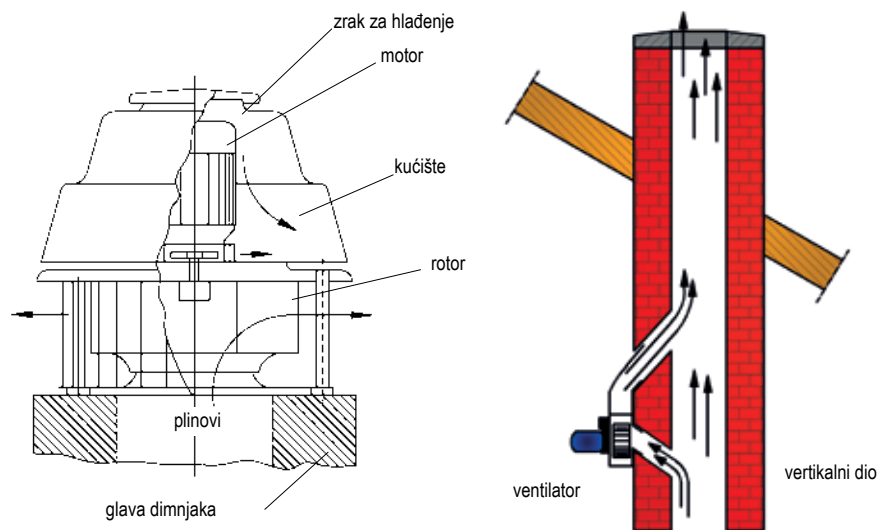
Postoji cijeli niz uvjeta na smještaj sustava za odvod dimnih plinova, od onih uvjetovanih zahtjevom da ne može doći do zapaljenja ili prijenosa požara na građevinsku konstrukciju (minimalne udaljenosti, toplinska izolacija), do onih koji su vezani na uvjete strujanja oko završetka dimnjaka koji utječu na tlak okolnog zraka na izlazu dimnih plinova, a time i na strujanje dimnih plinova.

Na vrh sustava za odvod dimnih plinova postavlja se nastavak čija je uloga smanjiti utjecaj vjetera, odnosno iskoristiti ga za povećanje podtlaka (venturi sapnica). Primjeri su prikazani na slici 5.137.



Slika 5.137 - Nastavci za dimnjake koji povećavaju podtlak [5.4]

U slučaju da dimnjak ne stvara dovoljan podtlak (pogreška u projektiranju, nemogućnost ugradnje, rekonstrukcija kotlovnice s povećanjem učinka...), povećanje podtlaka može se ostvariti ventilatorima smještenim na vertikalnom dijelu ili na glavi dimnjaka (slika 5.138). Potrošnja energije treba biti uzeta u obzir kod energetskog pregleda.



Slika 5.138 - Ventilatori za dimne plinove, lijevo - ventilator na glavi, desno: pojačivač podtlaka [5.4]

### Sustavi s nadtlakom za odvodne plinove

Sustavi s nadtlakom za odvodne plinove namijenjeni su uglavnom za otpadne plinove niske temperature (novi kondenzacijski kotlovi).

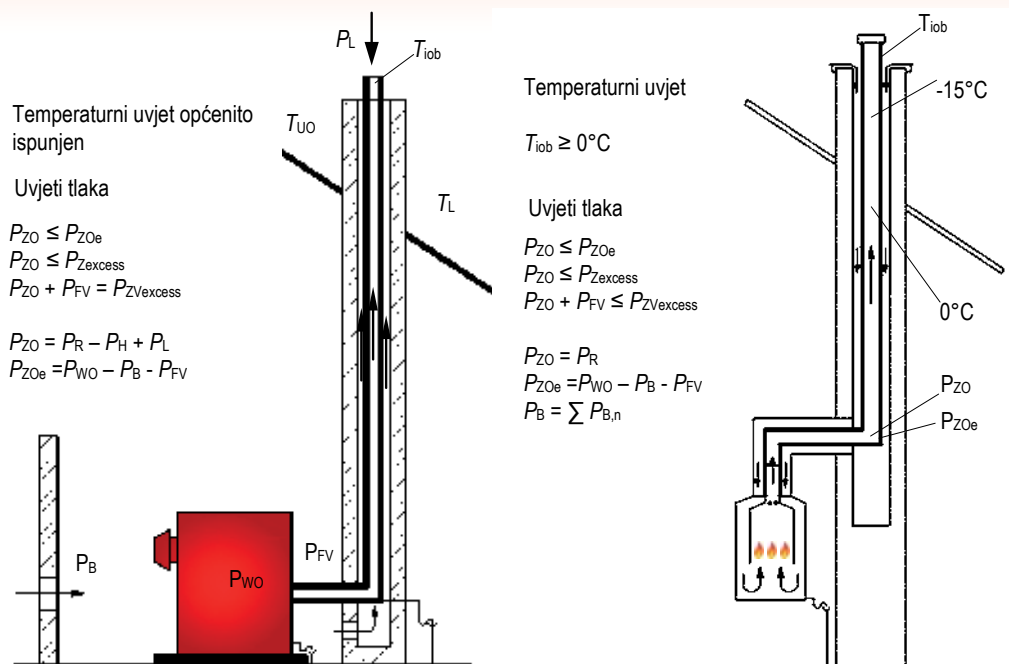
Za sustave odvođenja dimnih plinova s nadtlakom također moraju biti ispunjeni uvjeti temperature i tlaka. Pri nadtlaku mora vrijediti uvjet da nadtlak  $P_{Z0}$  ne smije prijeći granicu iznad vrijednost efektivnog nadtlaka  $P_{Z0e}$  i dopušteni računski tlak u vodovima  $P_{Zexcess}$ .

$$P_{Z0} = P_R - P_H + P_L \leq P_{W0} - P_{FW} - P_B = P_{Z0e} \quad (5.61)$$

$$P_{Z0} \leq P_{Zexcess} \quad (5.62)$$

$$P_{Z0} + P_{FV} \leq P_{Zexcess} \quad (5.63)$$

Uvjeti su pregledno prikazani na slici 5.139.



Slika 5.139 - Uvjeti temperature i tlaka prema EN 13384 za sustave za odvođenje plinova niske temperature [5.4]

Također postoji cijeli niz zahtjeva na izvođenje, posebno u svezi s zaštitom od požara.

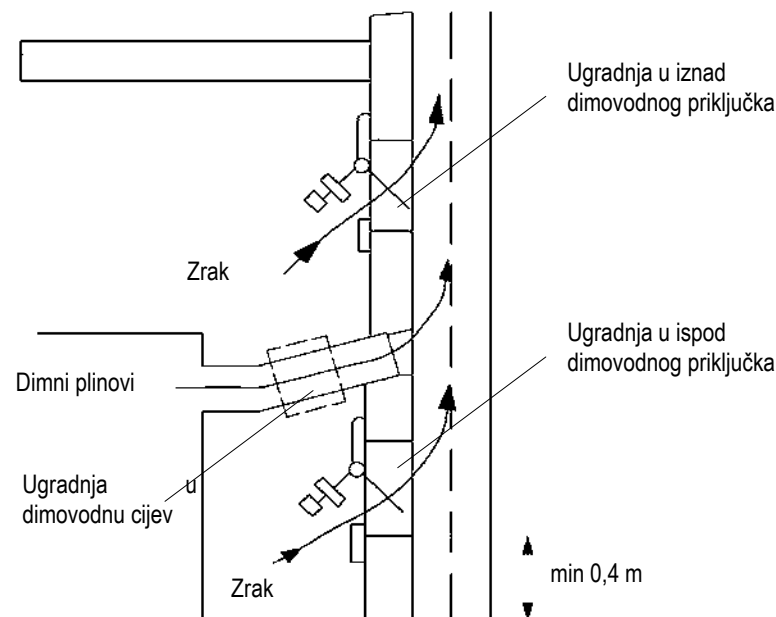
### Graničnici propuha

Dimnjaci se projektiraju tako da je njihov propuh zadovoljavajući pri temperaturi 15°C, dok se u stvarnosti pojavljuju i niže temperature kod kojih je propuh veći. To može imati za posljedicu veći pretljak zraka kod nekih kotlova, a time i rad kotla izvan optimalnog područja (gubici, moguća kondenzacija). Također, česta je situacija da se kotao ugrađuje uz već postojeći dimnjak, te nemamo utjecaja na njegov podtlak.

U takvim slučajevima pogodno je ugraditi graničnik propuha (slike 5.140 i 5.141).



Slika 5.140 - Graničnik propuha



Slika 5.141 - Načini ugradnje graničnika propuha [5.4]

## 5.4. Regulacija grijanja

Toplina potrebna za zagrijavanje jedne prostorije nije uvijek ista i ovisi o vanjskoj temperaturi, vjetru, sunčevom zračenju, unutarnjim izvorima topline i dr. Usklađivanje učinka ogrjevnih tijela i kotla u skladu s promjenjivom potrebom topline, rješava se regulacijom.

Kroz svoju ulogu ostvarivanja željenih temperatura u prostorijama, sustavi regulacije ostvaruju i smanjenje potrošnje energije za grijanje.

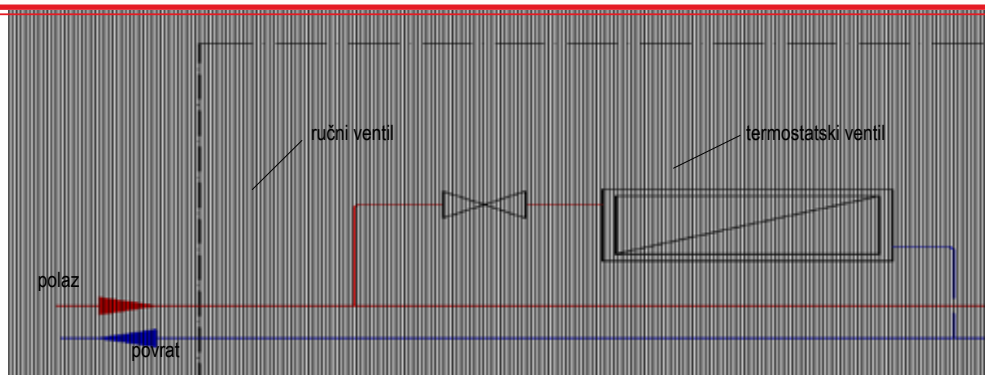
Polazeći od vrste djelovanja regulacijskog uređaja, oni se mogu podijeliti na sljedeći način (EN 12828:2003) :

- lokalna regulacija L
- zonska regulacija Z
- centralna regulacija, C.

Svaki od ove tri osnovne vrste djelovanja može biti proveden na jedan od četiri načina rada:

- ručno R (dovod topline kontrolira se samo ručno upravljanim uređajem)
- automatski A (dovod topline kontrolira se automatski upravljanim uređajem)
- u funkciji vremena VF (dovod topline se isključuje ili reducira tijekom određenih razdoblja, npr. noću)
- s optimizacijom vremenskog upravljanja OVF (dovod topline se isključuje ili reducira tijekom određenih razdoblja, npr. noću. Ponovno uključivanje se optimira, ovisno o različitim kriterijima, uključujući i uštedu energije).

## Regulacija temperature pojedinih prostorija - lokalna regulacija



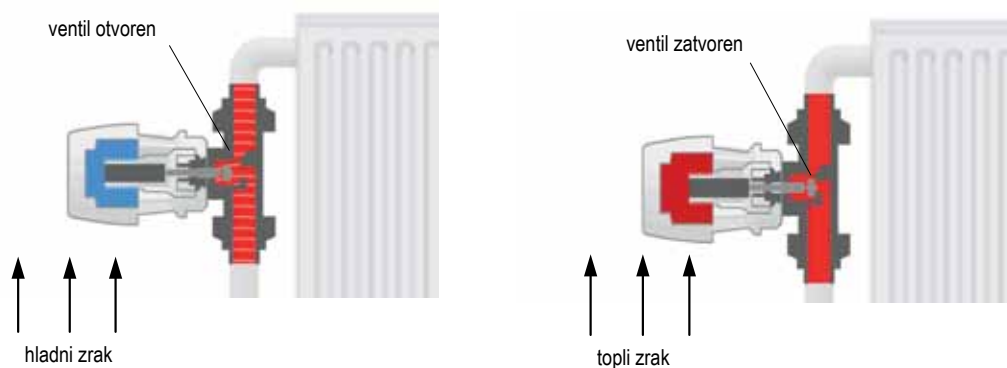
Slika 5.142 - Lokalna regulacija - lijevo ručna, desno termostatskim ventilom [5.23]

Vrsta rada	Način rada			
	R	A	VF	OVF
L	x			
Z				
C				

Vrsta rada	Način rada			
	R	A	VF	OVF
L		x		
Z				
C				

Temperatura pojedinih prostorija održava se u željenim granicama preko dovođenja topline ogrjevnim tijelima ili površinama. To je moguće provesti ručno (slika 5.142, lijevo) ili automatski (slika 5.142, desno).

Od regulatora bez pomoćne energije koriste se najčešće termostatski radijatorski ventili (slika 5.144). To su proporcionalni regulatori s proporcionalnim područjem 1 do 3 K. Osjetnik temperature je obično mijeh punjen plinom koji uslijed promjene temperature dilatira i time ostvaruje pomak pladnja ventila u odnosu na sjedište (slike 5.143 i 5.145).



Slika 5.143 - Termostatski radijatorski ventil - način rada [5.30]



Slika 5.144 - Termostatski radijatorski ventil [5.30]

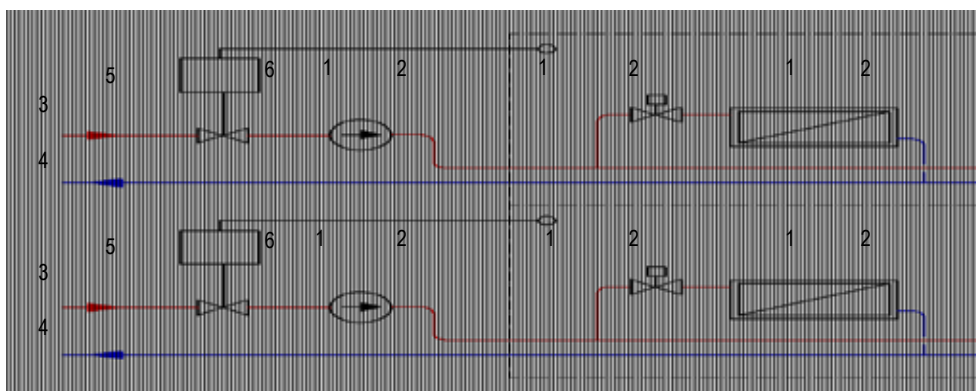


Slika 5.145 - Učinkovitost ogrjevnog tijela u ovisnosti o sobnoj temperaturi uslijed djelovanja termostatskog radijatorskog ventila

Potencijal uštede primjenom termostatskih ventila kreće se ovisno o situaciji u granicama 5 - 15% u odnosu na potrošnju energije sustava bez termostatskih ventila.

### Zonska regulacija

Kod zonske regulacije (slika 5.146) reguliraju se pojedine zone sa sličnim karakteristikama toplinskih opterećenja (npr. sjever i jug iste zgrade). Obično se povezuje s lokalnom automatskom regulacijom temperature po pojedinim prostorijama.



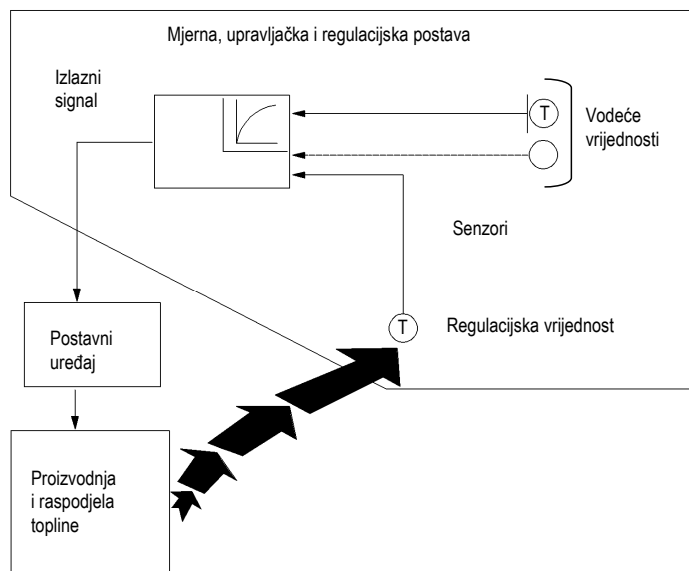
Vrsta rada	Način rada			
	R	A	VF	OVF
L		x		
Z		x		
C				

Slika 5.146 - Zonska regulacija sobne temperature zonskim ventilima [5.30]



**Centralna regulacija**

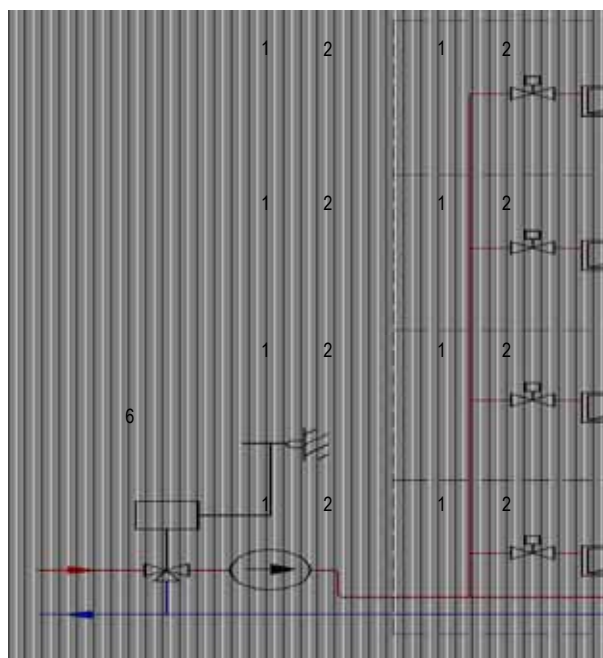
Centralna regulacija obično se provodi kao automatska, s vremenskom funkcijom ili optimizacijom vremenskog upravljanja. Kod automatske regulacije čovjek nije uključen u regulacijski krug svojim djelovanjem, već se postupak odvija automatski (slika 5.147).



**Slika 5.147 - Mjerna, upravljačka i regulacijska postava za sustav grijanja [5.21]**

Vodeća veličina može biti npr. temperatura okolnog zraka, ali i druge veličine, kao npr. sunčevo zračenje, vjetar, senzori prisutnosti, vrijeme i sl. Primjer na slici 5.148. prikazuje slučaj centralne regulacije temperature temeljem vanjske temperature.

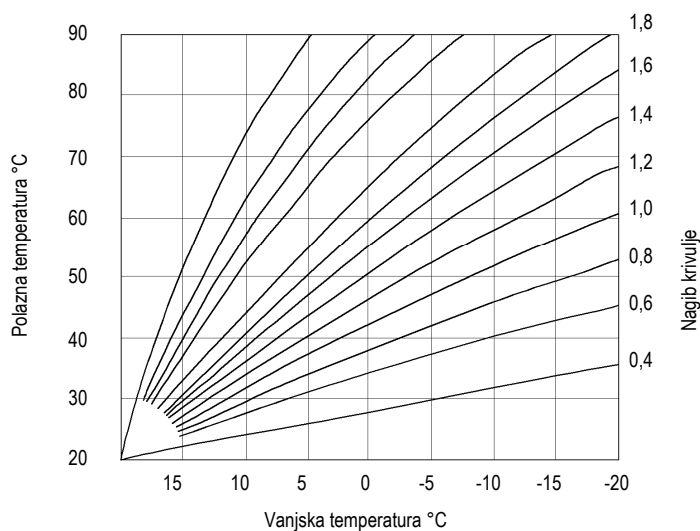
Vrsta rada	Način rada			
	R	A	VF	OVF
L		x		
Z				
C		x		



1 – termostatski ventil, 2 – radiator, 3 – polazni vod, 4 – povratni vod  
5 – regulator, 6 – vanjski osjetnik temperature, 7 – troputni mješajući ventil

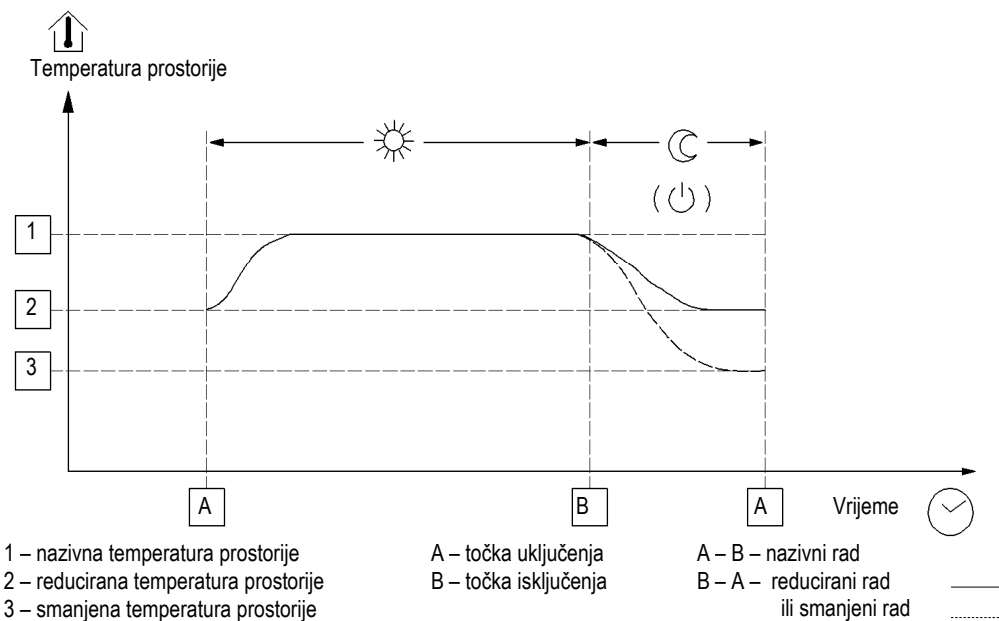
**Slika 5.148 - Centralna automatska regulacija temeljem vanjske temperature i lokalna regulacija termostatskim ventilima [5.23]**

Temperatura polaznog voda regulira se u skladu s vanjskom temperaturom (slika 5.149). Osjetnik vanjske temperature daje vrijednost elektroničkom regulacijskom uređaju. Regulacija temperature polaznog voda može se provesti djelovanjem na mješajući ventil i/ili plamenik. Kontrola polazne temperature je putem osjetnika temperature vode na polaznomvodu. Između vanjske temperature i polazne temperature može se odrediti bilo kakva veza, ovisno o vrsti i dimenzioniranju ogrjevnih površina.



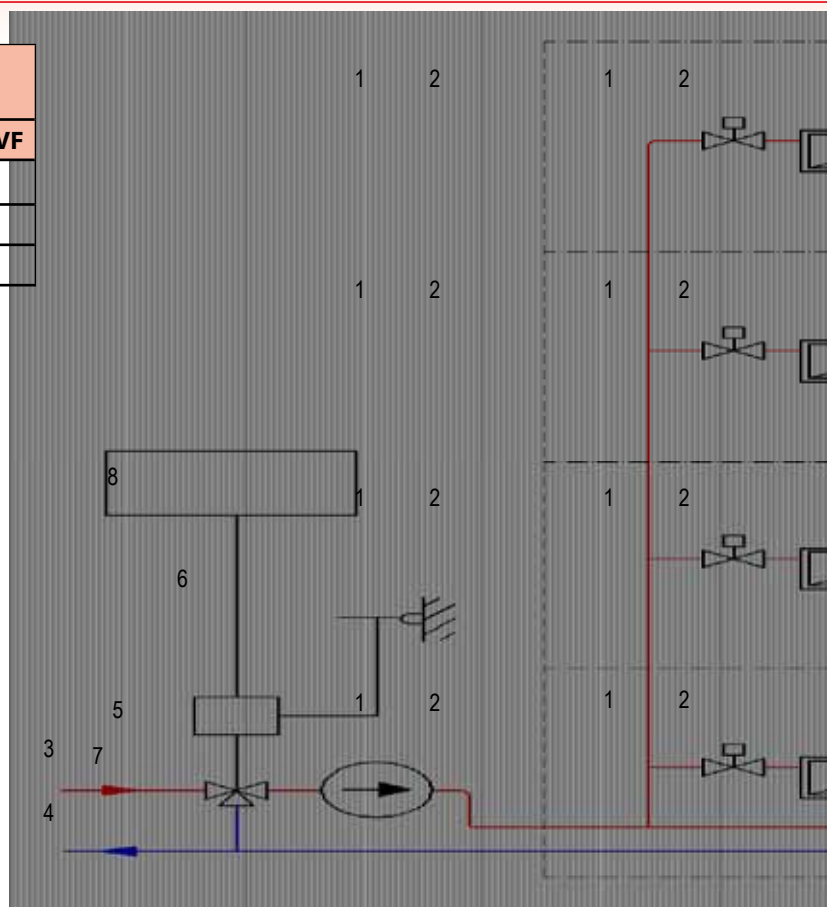
Slika 5.149 - Regulacija temperature u polaznomvodu ovisno o vanjskoj temperaturi

Regulator može imati mogućnost vremenskog upravljanja, npr. sniženje noćne temperature (slika 5.150). Početak i kraj grijanja može se optimirati temeljem dodatnih vodećih veličina.



Slika 5.150 - Promjena temperature s vremenom [5.23]

Vrsta rada	Način rada			
	R	A	VF	OVF
L		x		
Z				
C				x



1 – termostatski ventil, 2 – radiator, 3 – polazni vod, 4 – povratni vod, 5 – regulator, 6 – vanjski osjetnik temperature, 7 – troputni miješajući ventil, 8 - optimizator

**Slika 5.151 - Centralna automatska regulacija temeljem vanjske temperature s optimizacijom i lokalna regulacija termostatskim ventilima [5.23]**

### Regulacija temperature vode u kotlu

Kod niskotemperaturnih kotlova regulatori temperature vode održavaju njezinu temperaturu na željenoj vrijednosti i služe kao graničnici gornjih vrijednosti.

Ako se radi o dvopoložajnoj regulaciji, pri prekoračenju gornje ili donje postavljene granične vrijednosti dovođenje topline se isključuje odnosno uključuje.

Tropoložajni regulatori dopuštaju tri različita stupnja uključivanja, npr. isključeno, uključeno s nižom temperaturom i uključeno s višom temperaturom.

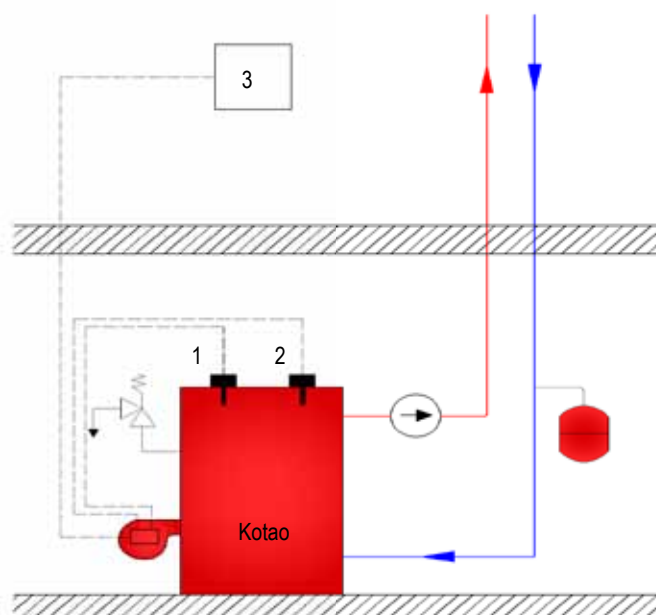
Za suvremene kotlove koristi se kontinuirana regulacija za ugađanje kapaciteta kotla u skladu s opterećenjem. Plamenik pri tome ne radi u režimu uključeno - isključeno, već se njegov učin mijenja u skladu s opterećenjem.

Uobičajene karakteristike kotlovske regulacije:

- Regulacija temperature prema vanjskoj temperaturi ili prema sobnom osjetniku
- Ograničenje minimalne temperature vode u kotlu
- Podesiva dinamička temperaturna diferencija ukapčanja plamenika
- Automatski rad ljeto/zima
- Zaštita od smrzavanja
- Upravljanje cirkulacijskim pumpama
- Regulacija temperature potrošne tople vode uključanjem plamenika i pumpe bojlera
- Mogućnost odabira paralelnog rada pumpe grijanja i bojlera PTV.

### Regulacija kotla prema sobnoj temperaturi

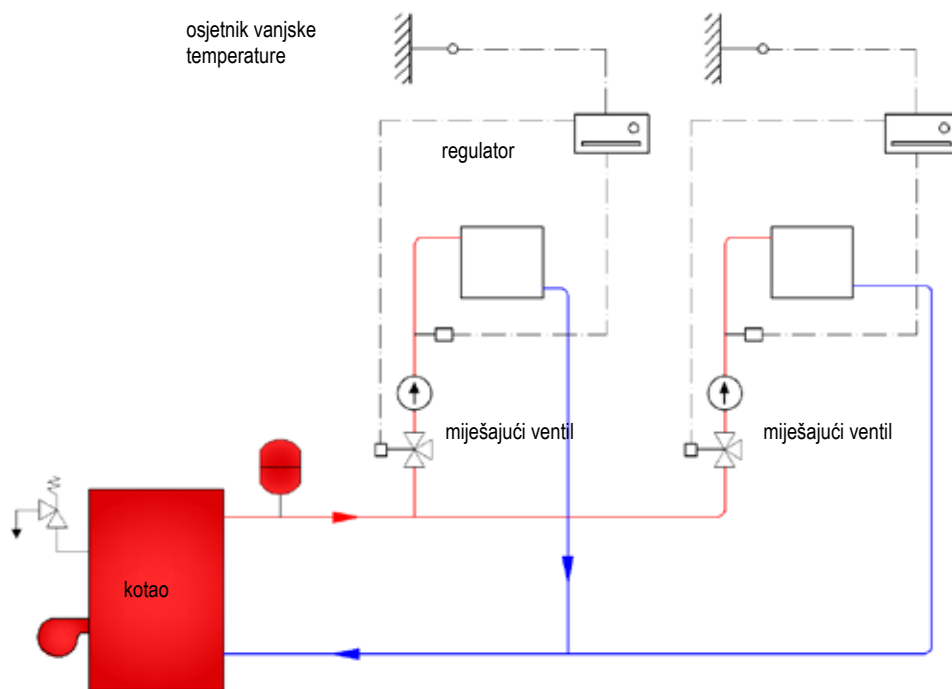
Kod regulacije kotla prema sobnoj temperaturi, sobni termostat (slika 5.152) u referentnoj prostoriji djeluje na kotao na jedan od gore opisanih načina. Regulator kotla mora se povremeno ugoditi u skladu s vanjskom temperaturom. Moguće je i uključivanje pumpe pri konstantnoj temperaturi kotla. U oba slučaja potrebna je povratna termička sprega, jer bi inače došlo do znatnih oscilacija temperatura.



1) regulacija temperature kotla 2) granični termostat 3) sobni termostat s uklopnim satom

**Slika 5.152 - Regulacija uljnih ili plinskih kotlova u ovisnosti o sobnoj temperaturi**

## Regulacija prema vanjskoj temperaturi



**Slika 5.153 - Regulacija uljnih ili plinskih kotlova u ovisnosti o vanjskoj temperaturi**

Kad bi se primijenila samo ovakva regulacija (slika 5.153), ne bi sve prostorije mogle imati jednaku temperaturu zbog različitih uvjeta prijelaza topline i različitih unutarnjih izvora topline. Zato se ova regulacija kombinira sa sobnim regulatorima temperature (npr. radijatorski termostatski ventili).

U većim sustavima grijanja često su potrebne različite razine temperature za različite krugove potrošnje, tako je za pripremu potrošne vode potrebna konstantna temperatura kotlovske vode od 80 do 90°C, za radijatore je ta temperatura u granicama 30 do 90°C, do je kod površinskih grijanja ta temperatura do 50°C.

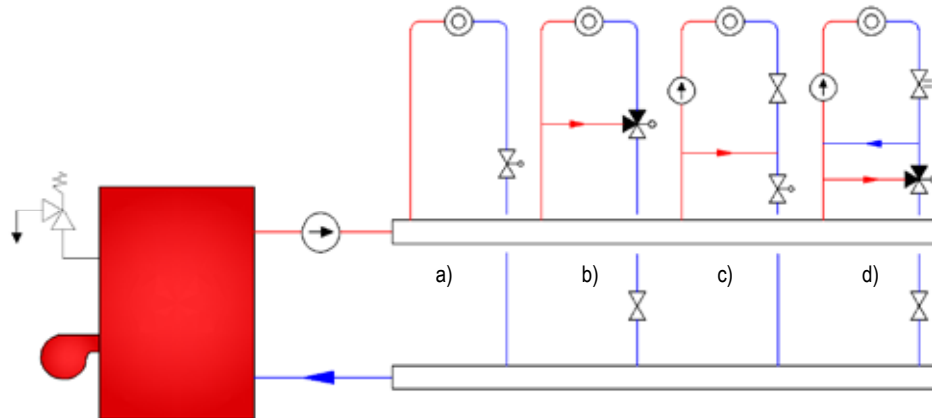
Ovakve različite temperature u istom sustavu najlakše je ostvariti primjenom miješajućih ventila.

Na primjeru takvog spajanja prikazanom na slici 5.153. voda u kotlu se održava konstantnom pomoću termostata na npr. 90°C, dok se odgovarajuća temperatura u polaznom vodu za sustav grijanja prostorija dobiva pomoću miješajućeg ventila mješanjem toplije vode iz kotla s hladnijom povratnom vodom iz sustava grijanja. Upravljanje ventilom može biti ručno ili automatsko, u skladu s vanjskom temperaturom.

U većim građevinama moguće je ugraditi veći broj takvih regulacijskih krugova, npr. na sjevernu i južnu stranu, krugove podnog grijanja, krugove radijatorskog grijanja i sl. Svaki krug ima svoju pumpu i svoj regulator.

### Temeljne hidrauličke sheme regulacije primjenom troputnog ventila

U praksi se u postrojenjima grijanja, ventilacije i klimatizacije za regulaciju učinka grijača i hladnjaka primjenjuju četiri osnovna načina regulacije kako je to prikazano na slici 5.154.



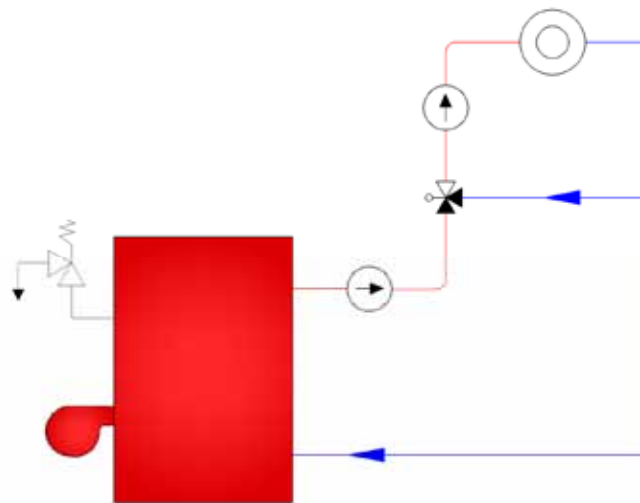
Slika 5.154 - Osnovne hidrauličke sheme pri regulaciji troputnim ventilima [5.4]

a) regulacija prigušivanjem;  $\dot{Q} = f(\Delta\vartheta)$

b) regulacija obilaznim vodom (by-passom) i razdjelnikom (regulacija količinom);  $\dot{Q} = f(\dot{M})$

c) regulacija miješanjem s dva cirkulacijska kruga;  $\dot{Q} = f(\Delta\vartheta)$

d) dvokružna regulacija s ubrizgavanjem;  $\dot{Q} = f(\Delta\vartheta)$

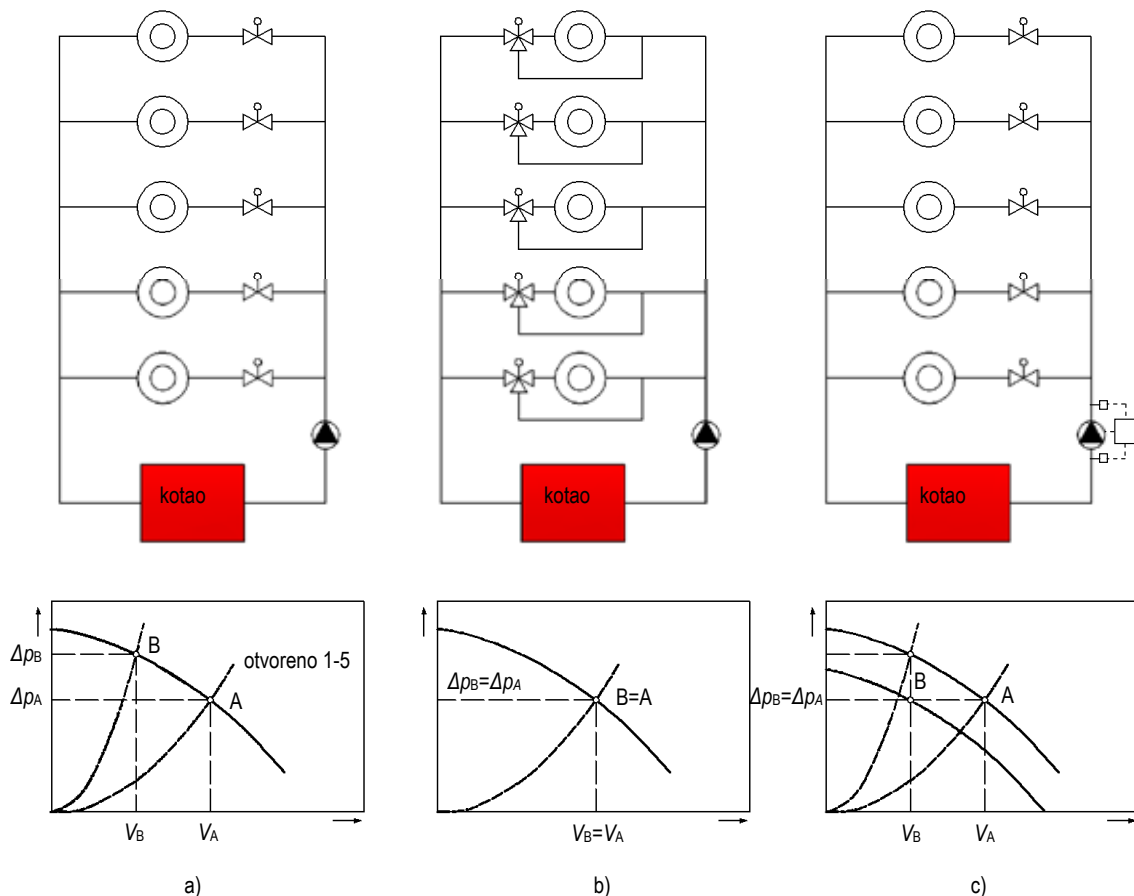


Slika 5.155 - Regulacija miješanjem

### Regulacija količinom

Ako su ventili na ograncima pritvoreni, karakteristika cjevovoda će se promijeniti, a time i statički tlak u cjevovodu od veličine  $\Delta p_A$  na  $\Delta p_B$  pa će kroz preostale neprigušene ogranke protok biti veći. Da bismo održavali protoke na preostalim ograncima unutar potrebnih vrijednosti, preostali ventili morali bi se pritvoriti, a to bi imalo za posljedicu nestabilnost regulacije. Opisane poteškoće pri regulaciji učinka na primjeru izmjenjivača s prolaznim ventilima, mogu se izbjeći primjenom troputnih ventila. Primjenom troputnih ventila ne mijenja se tlak, odnosno količina na ostalim izmjenjivačima. Najpovoljnije rješenje za ovakav slučaj je primjena pumpe s reguliranim brojem okretaja temeljem razlike tlakova ulaza i izlaza iz pumpe. U tom slučaju će kod

prigušenja dijela ogranaka regulator smanjiti broj okretaja pumpe od početnih  $n_1$  na  $n_2$ , osiguravajući tako ujednačenu razliku tlaka u sustavu, a time i ujednačene protoke kroz ogranke cjevovoda. Umjesto troputnih ventila u tom slučaju se koriste jeftiniji prolazni ventili.



Slika 5.156 - Regulacija prigušivanjem

**Balansiranje mreže:** pravilna distribucija ogrjevnog medija je od velikog značaja za energetska učinkovitost. Fluid ide tamo gdje su otpori manji, pa ako mreža nije balansirana, kroz neke će ogranke (uglavnom one bliže kotlu) protok biti povećan, a kroz neke nedostatan. Time će u dijelovima cjevovoda s povećanim protokom ohlađivanje vode na ogrjevnim tijelima biti manje, a nadtemperatura prema prostoriji veća. Bez regulacijskog sustava to bi rezultiralo pregrijavanjem prostorija. Ove se pojave mogu javiti i u cjelokupnom sustavu ako je, što je čest slučaj, glavna cirkulacijska pumpa predimenzionirana. Tada je i potrošnja energije za rad pumpe povećana, što također utječe na energetska učinkovitost.

U dijelovima cjevovoda sa smanjenim protokom može se pojaviti slučaj da je učinak ogrjevnih tijela nedostatan. Također, cjelokupan protok kroz sustav grijanja može biti nedostatan u slučaju da je pumpa preslaba. Tada sustav ne funkcionira ispravno i ne postižu se željene temperature u prostoru. O balansiranju mreže bit će još riječi u drugim poglavljima ovoga priručnika.

## Reference

- [5.1] E. Sauer, R. Zeise, *Energietransport,-speicherung und –verteilung*, Technischer Verlag Resch Köln : Verlag TUV Rheinland, 1982.
- [5.2] H. Požar, *Osnove energetike 1, 2 i 3*, Školska knjiga, Zagreb, 1992.
- [5.3] B. Udovičić, *Energetika*, Školska knjiga, Zagreb, 1993.
- [5.4] Recknagel, Sprenger, Schramek: *Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik*, Oldenbourg Industrieverlag, 2008.
- [5.5] ...: *Directive 2009/28/EC of the European parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC*, Official Journal of the European Communities, Brussels 2009.
- [5.6] ...: *Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti zgrada*, Narodne novine br. 110/08, Zagreb, 2008.
- [5.7] ...: *Tehnički propis o izmjeni Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti zgrada*, Narodne novine br. 89/09, Zagreb, 2009.
- [5.8] ...: *Tehnički propis o sustavima ventilacije, djelomične klimatizacije i klimatizacije zgrada*, Narodne novine br. 03/07, Zagreb, 2007.
- [5.9] ...: *Tehnički propis o sustavima grijanja i hlađenja zgrada*, Narodne novine br. 110/08, Zagreb, 2008.
- [5.10] ...: *Tehnički propis za prozore i vrata*, Narodne novine br. 69/06, Zagreb, 2006.
- [5.11] ...: *Tehnički propis za dimnjake u građevinama*, Narodne novine br. 03/07, Zagreb, 2007.
- [5.12] ...: *Pravilnik o uvjetima i mjerilima za osobe koje provode energetske preglede i energetska certificiranje zgrada*, Narodne novine br. 113/08, Zagreb, 2008.
- [5.13] ...: *Pravilnik o izmjenama i dopunama pravilnika o uvjetima i mjerilima za osobe koje provode energetske preglede i energetska certificiranje zgrada*, Narodne novine br. 89/09, Zagreb, 2009.
- [5.14] ...: *Pravilnik o energetskom certificiranju zgrada*, Narodne novine br. 113/08, Zagreb, 2008.
- [5.15] ...: *Pravilnik izmjenama pravilnika o energetskom certificiranju zgrada*, Narodne novine br. 91/09, Zagreb, 2009.
- [5.16] ...: *Metodologija provođenja energetskog pregleda zgrade*, www.mzopu.hr, Zagreb, 2009.
- [5.17] www.buderus.de
- [5.18] www.viessmann.de
- [5.19] www.salmson.com
- [5.20] www.ksb.com
- [5.21] Controls for heating systems – *Part 1: Outside temperature compensated control equipment for hot water heating systems*, EN 12098-1
- [5.22] Controls for heating systems – *Part 2: Optimum start-stop control equipment for hot water heating systems*, EN 12098-2
- [5.23] *Sustavi toplovodnog grijanja u građevinama – izvedba sustava toplovodnog grijanja*, HRN EN 12828
- [5.24] www.brunata.com
- [5.25] www.centrometal.hr
- [5.26] www.weishaupt.de
- [5.27] www.pireko.hr
- [5.28] www.tourandersson.com
- [5.29] www.herz.at
- [5.30] www.danfoss.com
- [5.31] www.sustainable-development.veolia.com
- [5.32] www.energysavers.gov
- [5.33] www.newhorizoncorp.com
- [5.34] www.hep.hr
- [5.35] www.proplin.hr





## 6. KOMPONENTE SUSTAVA GRIJANJA: ISPITIVANJE I PREGLED

### 6.1. Kotlovi za sustave grijanja i pripremu sanitarne vode

Zadaća ovih kotlova je priprema (zagrijavanje) vode za potrebe sustava grijanja i pripreme sanitarne vode. Temperatura na koju se u kotlu zagrijava nosilac topline, voda, mjerodavna je za njegovo razvrstavanje. Kotlovi u kojima se voda zagrijava na temperaturu  $t \leq 110^\circ\text{C}$  nazivaju se toplovodni, a oni u kojima se voda zagrijava na temperaturu  $t > 110^\circ\text{C}$  vrelovodni. Tako su i zahtjevi koje ti kotlovi moraju ispuniti, a da bi bili stavljeni na tržište i uporabu, vezani na te temperature nosilaca topline.

Toplovodni i vrelovodni kotlovi klasificiraju se prema:

- Vrsti goriva (tekuća, plinovita, kruta)
- Materijalu gradnje (lijevani, čelični u zavarenoj izvedbi izrađeni od ugljičnog ili nehrđajućeg čelika)
- Kapacitetu (mali, srednji, veliki)
- Prema tlaku u ložištu (pretlačni i potlačni)
- Prema konstrukciji (dimocjevni, vodocjevni).

#### Podjela toplovodnih i vrelovodnih kotlova prema snazi

Ovisno o namjeni za koju se ova podjela radi, razvrstavanje prema snazi može biti različito. Tako općenito vrijedi i najčešće se susreće sljedeća podjela:

- Mali kotlovi, do 50 kW
- Srednji kotlovi, 50 kW do 500 kW
- Veliki kotlovi, više od 500 kW.

Drugačiju podjelu nalazimo kod razvrstavanja kotlova kada se ono odnosi na dopuštene emisije štetnih plinova u okoliš iz stacionarnih uređaja na kruto, kapljevito i plinovito gorivo

- Mali kotlovi, više od 0,1 MW do 1 MW
- Srednji kotlovi, više od 1 MW do 50 MW
- Veliki kotlovi, više od 50 MW.

#### 6.1.1. Europske i hrvatske norme za gradnju i ispitivanje toplovodnih i vrelovodnih kotlova

Direktivama Europske zajednice na kojima se temelje hrvatski pravilnici i usklađenim europskim normama koje su preuzete kao hrvatske norme, dani su bitni zahtjevi koje moraju zadovoljiti kotlovi, a da bi mogli biti stavljeni na tržište i uporabu. Sukladnost sa zahtjevima pravilnika i normi potvrđuje se oznakom sukladnosti (CE oznaka ili C oznaka u Hrvatskoj) i izjavom o sukladnosti proizvođača. Kako kotlovi spadaju u uređaje koji moraju biti sigurni u uporabi, imati određene karakteristike u pogledu emisija štetnih tvari u zrak i zadovoljiti funkciju, na njih se obično odnosi više direktiva (pravilnika). Oznaka sukladnosti na pločici kotla znači da su zadovoljeni zahtjevi svih propisa koji se na kotao odnose.

Za nove toplovodne kotlove ložene plinovitim i tekućim gorivom do 350 kW, na snazi je Pravilnik o zahtjevima za stupnjeve djelovanja novih toplovodnih kotlova na tekuće i plinovito gorivo, kojim se propisuju minimalni stupnjevi djelovanja kotlova koji se stavljaju na tržište i u uporabu. Svi ovi pravilnici i norme odnose se na nove kotlove koje proizvođač stavlja na tržište.

##### 6.1.1.1. Norme za toplovodne kotlove na ulje, plin i kruto gorivo

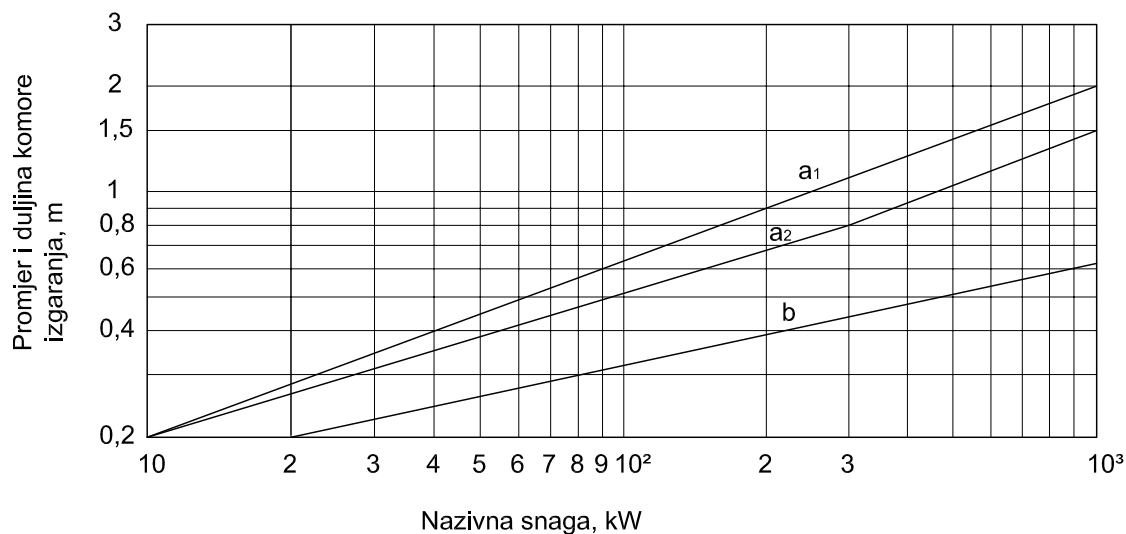
Hrvatske norme za toplovodne kotlove koje imaju oznake HRN EN 303-1, 2, 3 i 6, odnose se na kotlove ložene kapljevitim i plinskim gorivima, snage do 1000kW, temperature radnog medija do  $100^\circ\text{C}$  i radnog tlaka 8 bar. Norma HRN EN 303-4 odnosi se na kotlove s plamenikom na ulje ili plin do snaga 70 kW, temperature radnog medija do  $100^\circ\text{C}$  i radnog tlaka 3 bar za zatvorene sustave odnosno 1 bar za otvorene sustave. Norma HRN EN 303-5 odnosi se na kotlove za kruta goriva snage do 300kW, temperature radnog medija do  $100^\circ\text{C}$  i radnog tlaka od 6 bar, dok norma HRN EN 304 propisuje postupke ispitivanja kotlova, mjerne linije i uređaje za mjerenje.

U normama su dani sigurnosni zahtjevi na kotlove koji se odnose na zaštitu ljudi i okoliša, kvalitetu izgaranja, površinske temperature, osiguranja od prekoračenja pojedinih veličina (tlak, temperatura radnog medija), zahtjevi na materijal gradnje, zahtjevi na funkcionalnost, zahtjevi na stupnjeve djelovanja.

### Zahtjevi na toplovodne kotlove ložene uljem ili plinom

Opći zahtjevi na toplovodne kotlove dani u odgovarajućim, gore navedenim normama su:

- Zahtjevi na geometrijske veličine ložišta, (slika 6.2)
- Zahtjevi na stupnjeve djelovanja, (slika 6.2)
- Zahtjevi na prečišćak zraka, (slika 6.3)
- Zahtjevi na kotlove s podtlakom u ložištu, (slika 6.3)
- Zahtjevi na kotlove s pretlakom u ložištu, (slika 6.4)
- Zahtjevi na pogonsku spremnost
- Zahtjevi na kvalitetu izgaranja, (tablica 6.1).

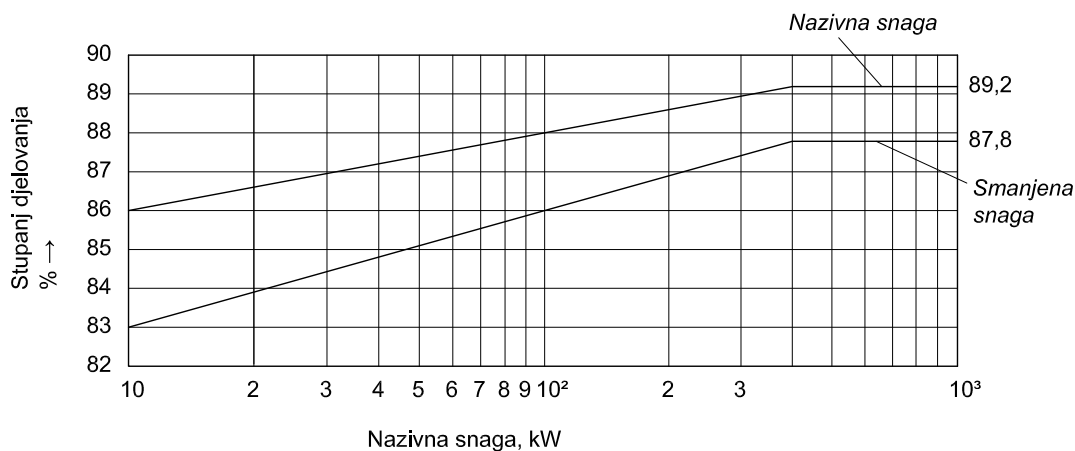


*a<sub>1</sub>* - za komore izgaranja s direktnim prolazom

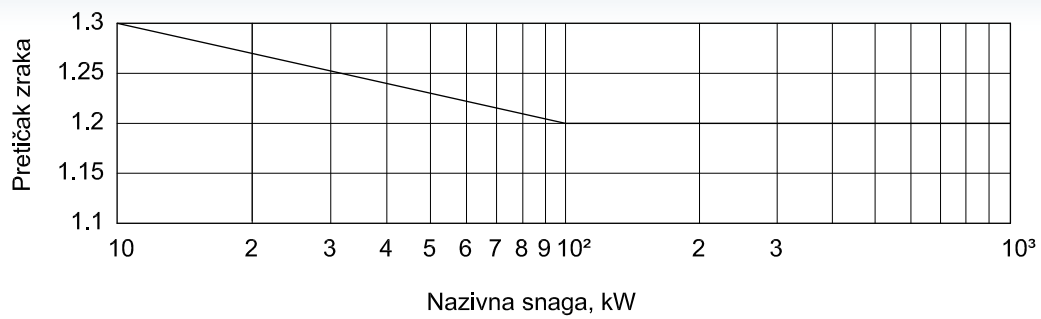
*a<sub>2</sub>* - za komore izgaranja s okretnim plamenom

*b* - promjer komore izgaranja ili najmanji ekvivalentni promjer za slučaj komore koja nije cilindrična

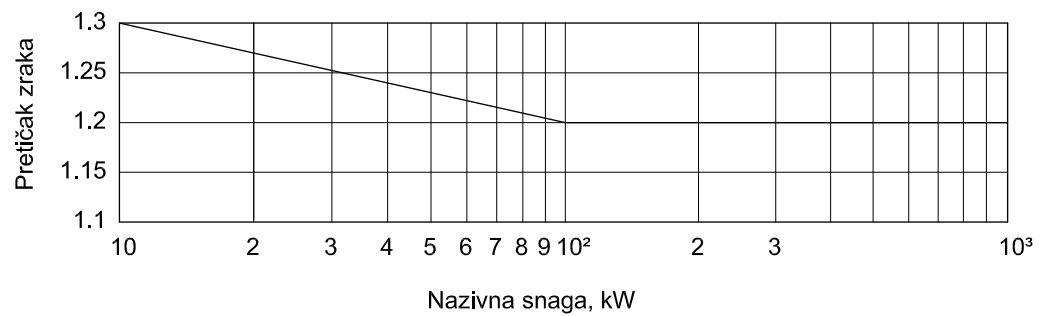
**Slika 6.1 - Zahtjevi na dimenzije ložišta**



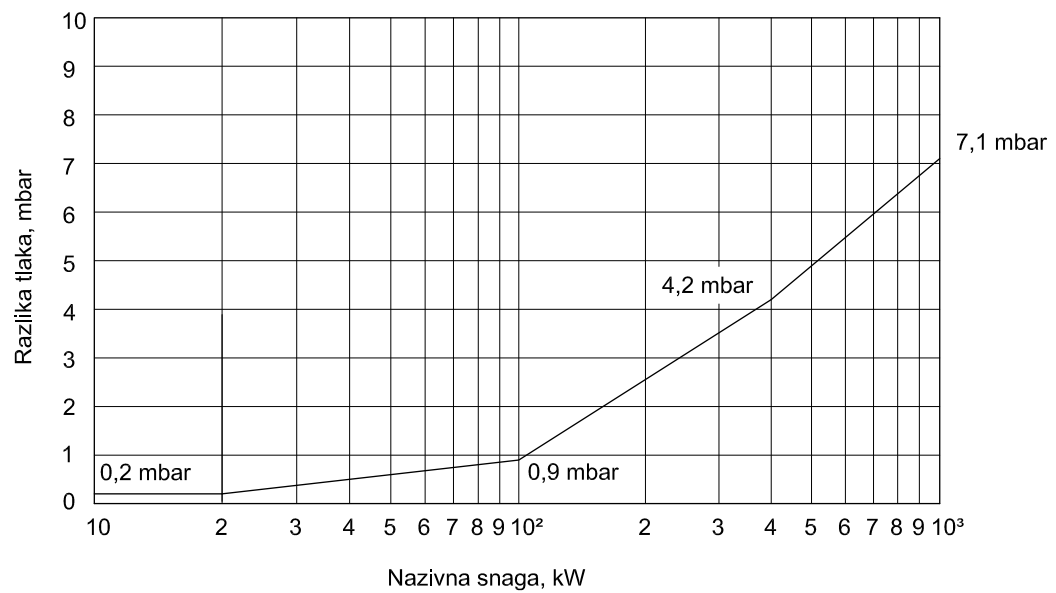
**Slika 6.2 - Zahtjevi na stupanj djelovanja na nazivnoj i djelomičnoj snazi 0,3 QN**



Slika 6.3 - Zahtjevi na pretičak zraka



Slika 6.4- Zahtjevi na maksimalni potlak dimnjaka



Slika 6.5 - Maksimalni otpor ložišta za kotlove s pretlakom

Minimalni zahtjevi na kvalitetu izgaranja propisani su normom. Svaka država ima pravo donijeti strože zahtjeve od onih danih u normi.

**Tablica 6.1 - Vrijednosti dopuštenih emisija, zahtjevi za kvalitetu izgaranja, prema normi HRN EN 303-2. Kotlovi na kapljevito gorivo snage do 1000 kW**

NO <sub>x</sub> , mg/kWh	CO, mg/kWh	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> , ppm	Zacrnjenje dimnjaka
250	110	10	dimni broj <1

**Tablica 6.2 - Vrijednosti dopuštenih emisija za kotlove koji su tvornički isporučeni s plamenikom (UNIT)**

Klasa	NO <sub>x</sub> , mg/kWh	CO, mg/kWh	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> , ppm	Zacrnjenje dimnjaka
1	185	110	10	dimni broj < 1
2	120	80	10	< 1
3	120	60	10	< 1

\* C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>, organski vezan ugljik

**Tablica 6.3 - Vrijednosti dopuštenih emisija, zahtjevi za kvalitetu izgaranja, prema normi HRN EN 303-3. Kotlovi na plinovito gorivo snage do 1000 kW koji su tvornički isporučeni s plamenikom (UNIT)**

Klasa	CO, %	NO <sub>x</sub> , mg/kWh
1	max. 0,1% kod nerazrijeđenih suhih dimnih plinova	170
2		120
3		80

Za kotlove, toplovodne i vrelovodne, snaga većih od 1000 kW, postoje norme kojima su dani zahtjevi koje ti uređaji moraju zadovoljiti da bi mogli biti stavljeni na tržište i u uporabu. Na ove kotlove zahtjevi u pogledu čvrstoće konstrukcije i sigurnosti su stroži s obzirom da oni rade s većim radnim parametrima (temperatura, tlak). To su:

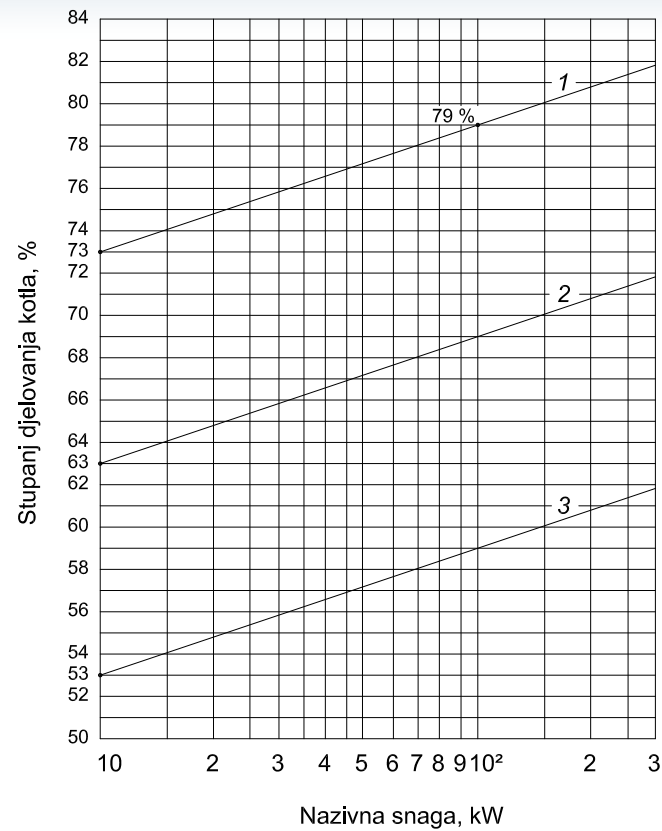
HRN EN 14394 za kotlove s ventilatorskim plamenikom na ulje i plin, snage do 10MW i temperature radnog medija između 100°C i 110°C. HRN EN 12952 (1 do 17) i 12953 (1 do 16) za kotlove na kruto, kapljevito i plinovito gorivo, velikih snaga i temperature medija preko 110°C, za proizvodnju pare i vrele vode.

#### Zahtjevi na toplovodne kotlove ložene krutim gorivima

Opći zahtjevi na toplovodne kotlove dani u normi 303-5 su:

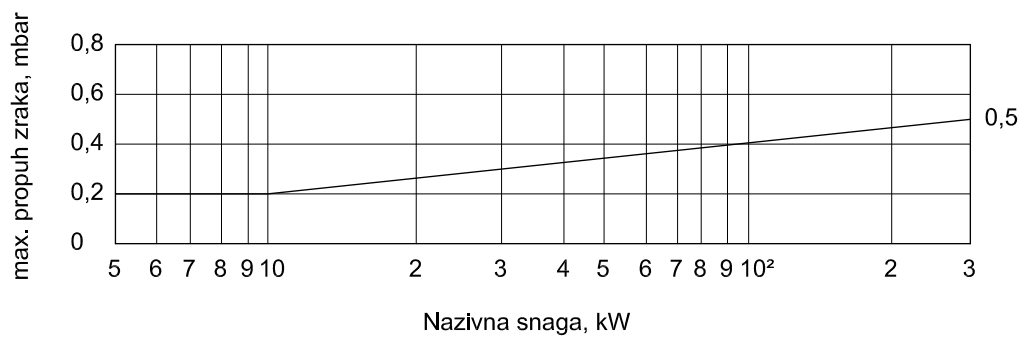
- Zahtjevi na stupnjeve djelovanja, (slika 6.18)
- Zahtjevi na pretičak zraka
- Zahtjevi na kotlove s podtlakom u ložištu (slika 6.19)
- Zahtjevi za potrebnu veličinu akumulacijskog spremnika
- Zahtjevi na kvalitetu izgaranja.

Kotlovi su podijeljeni u tri klase, ovisno o rezultatima dobivenim ispitivanjima, (tablica 6.4).



Slika 6.6 - Stupnjevi djelovanja toplovodnih kotlova na kruto gorivo

1. klasa 3;  $\eta_k = 67 + \log Q_N$
2. klasa 2;  $\eta_k = 57 + \log Q_N$
3. klasa 1;  $\eta_k = 47 + \log Q_N$



Slika 6.7 - Maksimalni dopušteni potlak dimnjaka u ovisnosti o nazivnom učinku

**Tablica 6.4 - Granice emisija za toplovodne kotlove na kruta goriva (vrijedi za suhe dimne plinove svedeno na 0°C, 1013 mbar i 10% O<sub>2</sub> u dimnim plinovima)**

Loženje	Gorivo	Nazivna snaga kW	Granice emisije								
			CO			OGC Mg/m <sup>3</sup> kod O <sub>2</sub> *			Prašina		
			Klasa 1	Klasa 2	Klasa 3	Klasa 1	Klasa 2	Klasa 3	Klasa 1	Klasa 2	Klasa 3
ručno	Prirodno	≤50	25000	8000	5000	2000	300	150	200	180	150
		>50-150	12500	5000	2500	1500	200	100	200	180	150
		>150-300	12500	2000	1200	1500	200	100	200	180	150
	Fosilno	≤50	25000	8000	5000	2000	300	150	180	150	125
		>50-150	12500	5000	2500	1500	200	100	180	150	125
		>150-300	12500	2000	1200	1500	200	100	180	150	125
automatsko	Prirodno	≤50	15000	5000	3000	1750	200	100	200	180	150
		>50-150	12500	4500	2500	1250	150	80	200	180	150
		>150-300	12500	2000	1200	1250	150	80	200	180	150
	Fosilno	≤50	15000	5000	3000	1750	200	100	180	150	125
		>50-150	12500	4500	2500	1250	150	80	180	150	125
		>150-300	12500	2000	1200	1250	150	80	180	150	125

\* vrijedi za suhe dimne plinove

Za etažne uređaje za grijanje i pripremu sanitarne vode kao i za uređaje namijenjene za lokalno zagrijavanje prostorija krutim gorivima, postoje također norme u kojima su dani zadani sigurnosni zahtjevi koji se odnose na zaštitu ljudi i okoliša, kvalitetu izgaranja, površinske temperature, osiguranja od prekoračenja pojedinih veličina (tlak, temperatura radnog medija), zahtjevi na materijal gradnje, zahtjevi na funkcionalnost, zahtjevi na stupnjeve djelovanja. To su:

HRN EN 13240 za peći i kamine

HRN EN 12815 za štednjake za kuhanje, pečenje i grijanje

HRN EN 12809 etažni kotlovi loženi krutim gorivom, nazivne snage do 50 kW

HEN EN 14785 etažni kotlovi loženi peletima drva

HRN EN 13229 otvoreni kamini i ugradbeni kamini, loženi krutim gorivom

### Sigurnosni zahtjevi, osiguranje od prekoračenja dopuštenih vrijednosti temperature i tlaka

#### Kotlovi na ulje i plin

Svaki kotao mora biti opremljen regulatorom temperature, sigurnosnim graničnim termostatom, a sustav zajedno s kotlom mora imati ventil sigurnosti i ekspanzijsku posudu (zatvorenu ili otvorenu).

Regulator temperature održava kotlovsku vodu na zadanoj temperaturi, jednakoj ili nižoj od najviše dopuštene radne temperature (područje rada 60°C do 100°C za standardne kotlove). Granični termostat osigurava da u slučaju neispravnosti regulatora temperature, kotlovska voda ne prekorači temperaturu na koju je kotao proračunat (110°C za toplovodne kotlove, 120°C i više za vrelovodne kotlove). I jedan i drugi moraju zadovoljiti zahtjeve direktiva (Pravilnika) i usklađenih normi koje se na njih odnose i imati oznaku sukladnosti.

Ekspanzijska posuda održava željeni tlak u sustavu, preuzimajući porast volumena radnog medija, vode, kod zagrijavanja. Ekspanzijska posuda može biti otvorena prema atmosferi ili zatvorena. Ventil sigurnosti (slika 6.8) štiti kotao i instalaciju od prekoračenja tlaka iznad dopuštenih vrijednosti. U slučaju nekontroliranog porasta temperature u kotlu i neispravnog rada zatvorene ekspanzijske posude, on će na određenom tlaku otvoriti i rasteretiti kotao i sustav te na taj način spriječiti da ne dođe do oštećenja sustava ili eksplozije.

Kada je u sustav ugrađena otvorena ekspanzijska posuda, kotao mora imati sljedeće elemente zaštite: regulator temperature i sigurnosni granični termostat. Kad je u sustav ugrađena zatvorena ekspanzijska posuda, kotao mora imati sljedeće elemente zaštite: regulator temperature, sigurnosni granični termostat i ventil sigurnosti.



Slika 6.8 - Ventil sigurnosti (a. rasteretni ventil za kapljevine, b sigurnosni ventil za plinove i pare)

#### Tehnička regulativa:

Za kotlove snage do 350kW i temperature medija do 100°C, na snazi je:

**Pravilnik o zahtjevima za stupnjeve djelovanja novih toplovodnih kotlova na tekuće i plinovito gorivo.** Za peći i kamine, štednjake za kuhanje, pečenje i grijanje te kotlove na kruta, fosilna goriva i biomasu, na snazi su: **Tehnički propis o građevnim proizvodima i Pravilnik o građevnim proizvodima.** Za kotlove na kapljevita, plinovita i kruta goriva, na snazi je i **Pravilnik za tlačnu opremu.** Prema opremi koja se na kotlovima nalazi oni moraju zadovoljiti: **Pravilnik o električnoj sigurnosti, Pravilnik o elektromagnetskoj kompatibilnosti i Pravilnik o strojevima.** Kada se stave u uporabu, kotlovi kao stacionarni izvori emisija štetnih tvari u zrak kontroliraju se prema **Uredbi o graničnim vrijednostima emisijama onečišćujućih tvari u zrak iz stacionarnih izvora (Uredba o GVE-u)**

#### 6.1.1.2. Norme za ispitivanje toplovodnih i vrelovodnih kotlova

Ispitivanja toplovodnih kotlova dana su normom HRN EN 304, na koju se pozivaju i norme koje se odnose na vrelovodne kotlove i kotlove za etažna grijanja.

#### Zahtjevi na tehničku dokumentaciju

Norma traži ispitivanja za utvrđivanje zadovoljavanja zahtjeva na konstrukciju, termotehničke karakteristike i ispitivanje tlakom. Ispitivanja provodi proizvođač i/ili ovlašteno neovisno tijelo, prema zahtjevima pojedinog pravilnika. Ispitni postupak obuhvaća i kontrolu dokumentacije, podataka za identifikaciju kotla, tehničkih uputa za postavljanje, puštanje u rad i nadzor u radu.



Svaki kotao mora imati natpisnu pločicu na kojoj moraju biti minimalni sljedeći podaci:

- Naziv i sjedište poduzeća (proizvođač)
- Naziv proizvoda (tip)
- Serijski broj i godina proizvodnje
- Nazivna toplinska snaga i područje snage
- Dopuštena tlak, [bar]
- Dopuštena temperatura, [°C].

Tehničke upute moraju sadržavati najmanje sljedeće podatke:

- Nazivno toplinsko opterećenje, [kW]
- Nazivnu toplinsku snagu i područje snage, [kW]
- Potreban propuh, [mbar]
- Otpor na strani dimnih plinova, tlak u ložištu za kotlove s pretlakom u ložištu, mbar
- Temperaturu dimnih plinova, [°C]
- Količinu dimnih plinova, [kg/s]
- Dimenziju dimnjače
- Otpor na strani vode, [mbar]
- Gubitak na pogonsku spremnost
- Sadržaj vode u kotlu, [L]
- Područje rada regulatora temperature
- Karakteristike sigurnosnog temperaturnog graničnika
- Vrste goriva
- Dimenzije i volumen ložišta
- Broj prolaza dimnih plinova
- Način regulacije
- Dimenzije priključaka plamenika.

Upute za montažu moraju sadržavati:

- Način sklapanja kotla
- Zahtjeve za podlogu na koju se kotao postavlja
- Mjesta postavljanja osjetnika i sigurnosnih elemenata
- Stavljanje u pogon.

Upute za održavanje moraju sadržavati:

- Način održavanja kotla
- Karakteristike upravljanja
- Obrazloženja i preporuke za održavanje i vremenske intervale
- Vrste goriva.

### **Ispitne linije i mjerenja**

#### **Ispitivanja kod proizvođača ili ovlaštenog tijela - tipsko ispitivanje, (slika 6.20)**

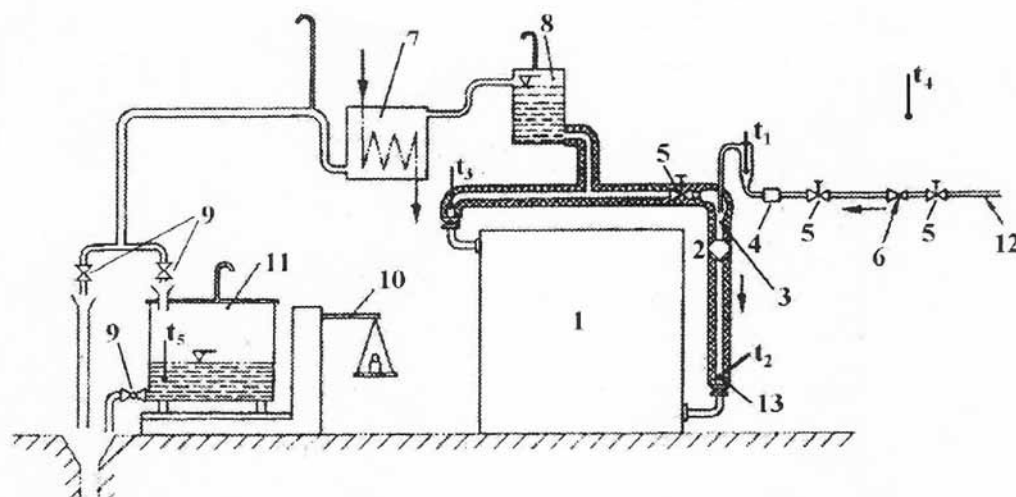
- Ispitivanje nazivnog i djelomičnog toplinskog učinka
- Ispitivanja stupnja djelovanja
- Određivanje emisije štetnih tvari
- Određivanje pada tlaka na strani vode i strani dimnih plinova
- Kontrola površinskih temperatura
- Ispitivanje sigurnosti
- Kontrola tehničke dokumentacije
- Kontrola uputa za postavljanje, uporabu i održavanje.



Slika 6.9 - Tipsko ispitivanje toplovodnog kotla

### Određivanje toplinskog učinka kotla

Na slikama 6.10 i 6.11 shematski su prikazane linije za ispitivanje termotehničkih karakteristika kotla. Linija na slici 6.10 koristi se kod manjih snaga i zasniva se na direktnom miješanju svježe i kotlovske vode, čime se održavaju tražene temperature polaznog i povratnog voda. Linija na slici 6.11 koristi se za ispitivanja kotlova većih snaga. Kotlovska voda cirkulira u zatvorenom krugu, a temperature polaznog i povratnog voda održavaju se na traženim vrijednostima ohlađivanjem kotlovske vode u izmjenjivaču topline.



Slika 6.10 - Ispitna linija s mješalištem

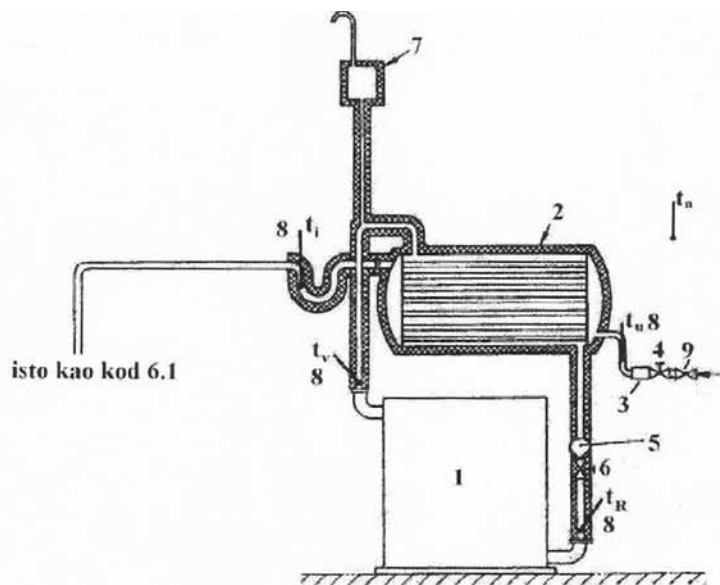
1. Ispitivani kotao, 2. Cirkulacijska crpka, 3. Mješalište, 4. Protokomjer za vodu, 5. Igličasti ventil, 6. Stalnotlačni ventil,
7. Izmjenjivač topline, 8. Odzračna posuda, 9. Zaporni ventil, 10. Vaga (mjerenje goriva), 11. Posuda za vodu,
12. Spojne cijevi, 13. Mjerenje temperature

Količina topline predana vodi u kotlu (toplinski učinak) određuje se preko izraza:

$$Q_V = m_v \cdot c_{pv} \cdot (t_3 - t_1), [\text{kW}] \quad (6.1)$$

Gdje su:

- $m_v$  - maseni protok hladne vode, [kg/s] (kontrolira se vaganjem)
- $c_{pv}$  - specifični toplinski kapacitet vode za srednju temperaturu
- $t_3$  - temperatura vode na izlazu iz kotla, [°C]
- $t_1$  - temperatura hladne vode, [°C]



**Slika 6.11 - Ispitna linija s izmjenjivačem topline**

1. Ispitivani kotao, 2. Cirkulacijska crpka, 3. Mješalište, 4. Protokomjer za vodu, 5. Igličasti ventil, 6. Stalnotlačni ventil,
7. Izmjenjivač topline, 8. Odzračna posuda, 9. Zaporni ventil, 10. Vaga (mjerenje goriva), 11. Posuda za vodu,
12. Spojne cijevi, 13. Mjerenje temperature

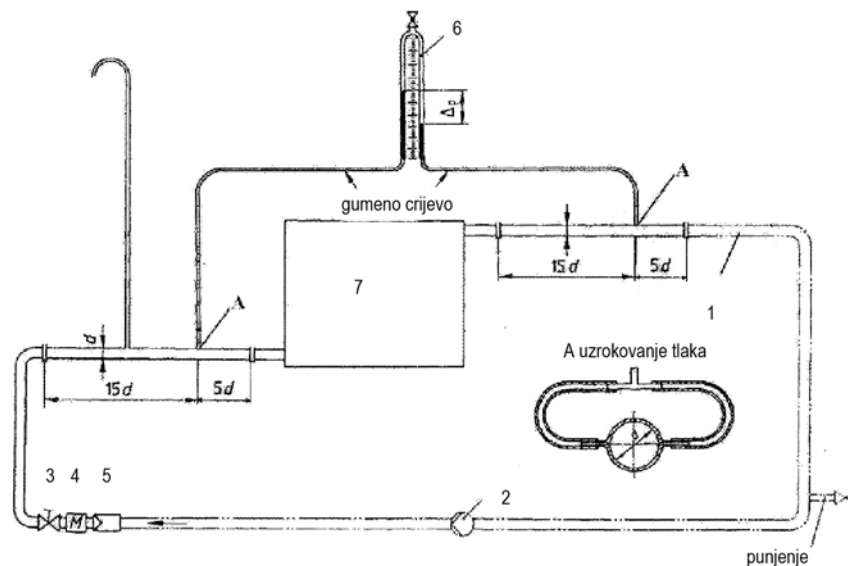
Količina topline predana vodi u kotlu (toplinski učinak) određuje se preko izraza:

$$Q_V = m_v \cdot c_{pv} \cdot (t_i - t_u), \text{ kW} \quad (6.2)$$

Gdje su:

- $m_v$  - maseni protok vode, [kg/s] (mjeren protokomjerom)
- $c_{pv}$  - specifični toplinski kapacitet vode za srednju temperaturu
- $t_i$  - temperatura izlazne vode, [°C]
- $t_u$  - temperatura ulazne vode, [°C]

### Određivanje otpora kotla na strani vode

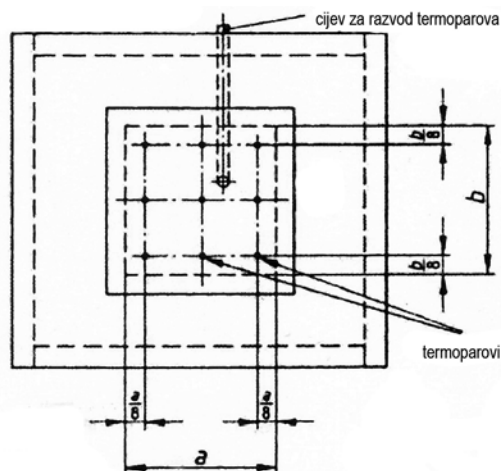


**Slika 6.12 - Mjerna linija za određivanja pada tlaka na strani vode**

1. Cijevna petlja, 2. Pumpa, 3. Regulacijski zasun, 4. Mjerilo protoka, 5. Nepovratni ventil, 6. Mjerilo tlaka, 7. Kotao

Poznavanje otpora kotla na strani vode važno je za dimenzioniranje crpke. Pad tlaka (slika 6.12) mjeri se kod temperaturne razlike polaznog i povratnog voda od  $\Delta t=20^{\circ}\text{C}$  i  $\Delta t=10^{\circ}\text{C}$ .

### Mjerenje temperatura poda

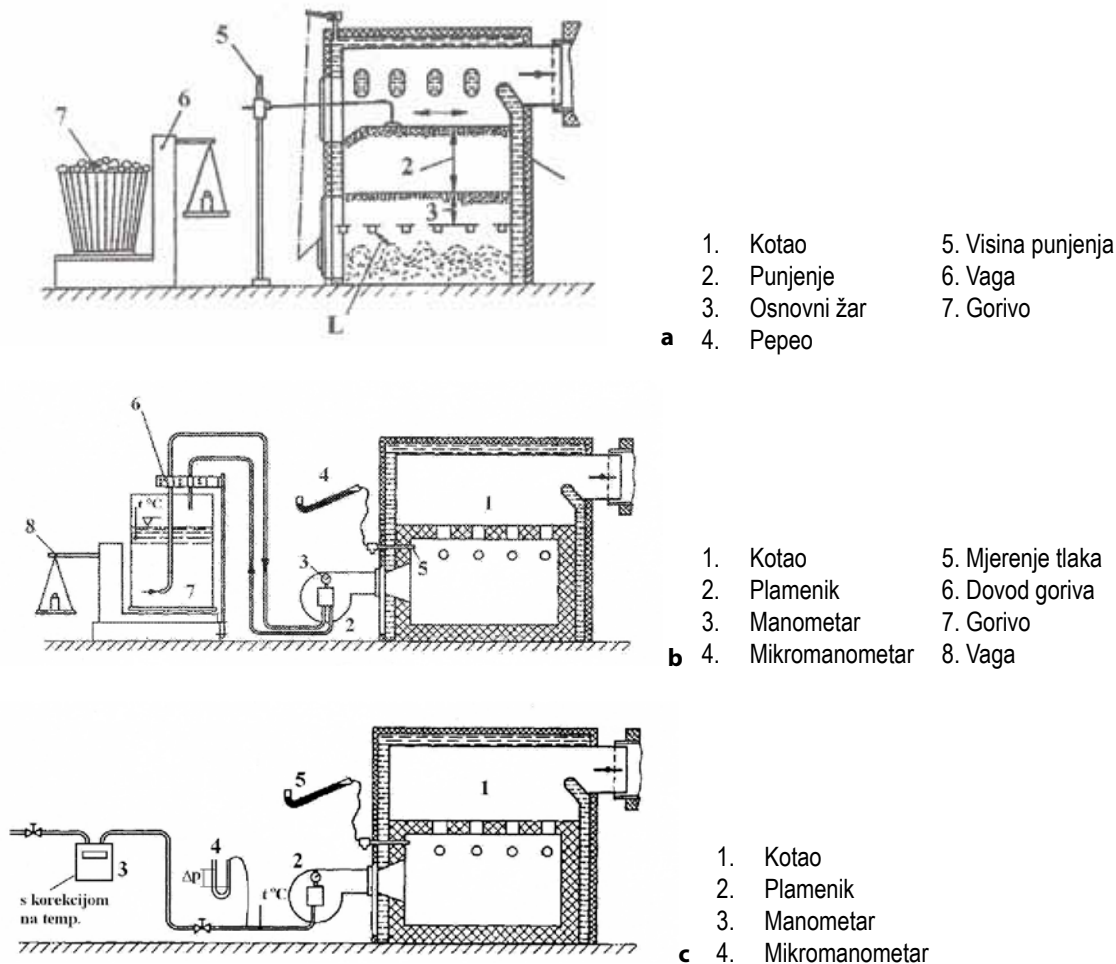


**Slika 6.13 - Raspored termoparova kod mjerenja temperature podloge**

Mjerenja temperature podloge (slika 6.13) bitna su za definiranje karakteristika podloge na koju se postavlja kotao.

**Mjerenja toplinskog opterećenja ložišta (potrošnja goriva)**

Način mjerenja ovisi o vrsti goriva koje u kotlu izgara. Iz izmjerene toplinskog učinka na strani vode i toplinskog opterećenja (potrošnje goriva) izračunava se direktnom metodom stupanj djelovanja kotla. Na slici 6.14 a, b i c prikazano je određivanje potrošnje krutog, kapljevito i plinovito goriva i mjerenje pretlaka ili podtlaka ložišta (pad tlaka na strani dimnih plinova).



**Slika 6.14 - Mjerenje potrošnje goriva, a-kruto, b-kapljevito, c-plinovito**

Toplinsko opterećenje kotla računa se preko potrošene količine goriva u jedinici vremena i donje ogrjevne vrijednosti goriva koje izgara u kotlu.

$$Q_B = B \cdot H_d, [\text{kW}] \quad (6.3)$$

Gdje su:

- B - unesena količina goriva, [kg/s]  
 $H_d$  - donja ogrjevna vrijednost goriva, [kJ/kg]

**Stupanj djelovanja kotla**

## a. Direktna metoda mjerenja

Zasniva se na mjerenju topline predane vodi i topline unesene gorivom. Računa se preko izraza:

$$\eta = \frac{Q_v}{Q_B} \quad (6.4)$$

Na slici 6.15 prikazana su mjerenja toplinskog učinka kotla u laboratoriju.



**Slika 6.15 - Mjerenje potrošnje goriva, topline predane vodi i sastava dimnih plinova**

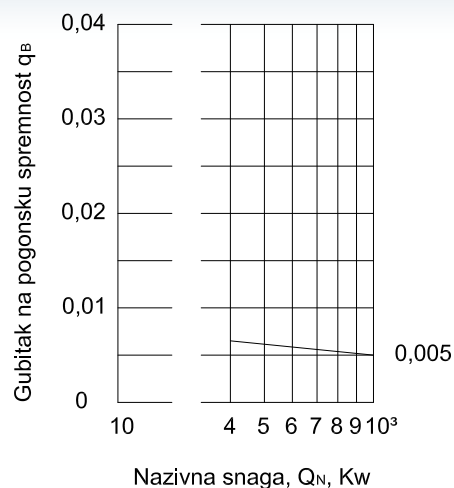
## b. Indirektna metoda

Zasniva se na mjerenju toplinskog opterećenja i gubitaka na strani dimnih plinova (osjetna toplina dimnih plinova i nepotpuno izgaranje) i gubitaka na okolinu te kod kotlova na kruto gorivo, na mjerenju količine neizgorenog goriva u pepelu. Stupanj djelovanja dobiva se preko izraza:

$$\eta = 100 \cdot [1 - (q_a + q_g + q_B)] \quad (6.5)$$

- $q_a$  - gubici dimnim plinovima
- $q_g$  - gubici zbog ostatka goriva u pepelu
- $q_B$  - gubici na okolinu s oplata kotla

Kod kotlova na kapljevito i plinovito gorivo može se indirektni stupanj djelovanja odrediti mjerenjem na strani dimnih plinova. Pri tome se gubitak na okolinu računa preko nazivnog učinka kotla  $Q_N$  kako je dano dijagramom na slici 6.16.


**Slika 6.16 - Gubici na okolinu kao funkcija nazivnog učinka**

### 6.1.2. Mjerni instrumenti i uređaji

a. Sastav dimnih plinova i gubitke dimnim plinovima, pretičak zraka određuje se uređajem za mjerenje sastava dimnih plinova, (slika 6.17).

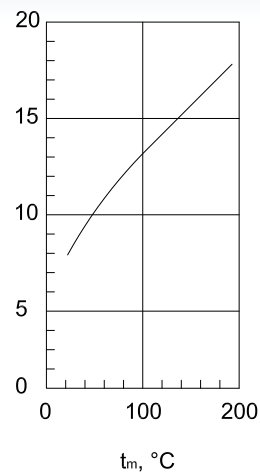

**Slika 6.17 - Uređaj za mjerenje sastava dimnih plinova**

b. Gubitci na okolinu određuju se mjerenjem površinskih temperatura kotla i računanjem konvekcijom odane topline s ploha kotla iz pomoć dijagrama na slici 6.30. Gubitak se računa preko izraza:

$$q_B = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot A_i \cdot (t_{m_i} - t_{\theta}) / Q_B \quad (6.6)$$

Gdje su:

- $\alpha$  - koeficijent prijelaza topline, [W/m<sup>2</sup>K], (vidi dijagram na slici 6.30)
- $A$  - površina oplošja kotla, [m<sup>2</sup>]
- $t_m$  - srednja temperatura oplošja
- $t_{ok}$  - temperatura okoline
- $Q_B$  - toplinsko opterećenje, [W]



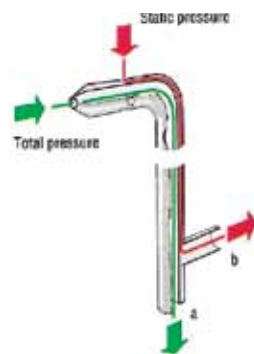
Slika 6.18 - Određivanje koeficijenta prijelaza topline

c. Dimni broj (čistoća izgaranja loživog ulja) mjeri se preko filtera papira uz pomoć uređaja za izvlačenje dimnih plinova, slika 6.19.



Slika 6.19 - Pumpa za mjerenje dimnog broja

d. Količina dimnih plinova određuje se preko brzine dimnih plinova koja se mjeri pomoću Prandtl-Pitot i površine presjeka dimnjaka, slika 6.20.



Slika 6.20 - Određivanje količine dimnih plinova



$V = w \cdot A$ , m<sup>3</sup>/s - protočni volumen dimnih plinova

$w = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}$ , m/s - brzina dimnih plinova

$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4}$ , m<sup>2</sup> - površina presjeka dimnjaka

e. Količina utrošenog goriva mjeri se vaganjem ili mjernom urom, slika 6.21.



**Slika 6.21 - Mjerenje potrošnje goriva vaganjem**

f. Mjerenje protoka vode obavlja se različitim uređajima za mjerenje protoka (s turbinom, ultrazvučnim mjeračem, mjernom blendom), slika 6.22.



**Slika 6.22 - Mjerenje protoka vode**

### 6.1.3. Aktivnosti koje je potrebno obaviti kroz energetska pregled

Komponente sustava grijanja i potrošne tople vode, moraju zadovoljiti bitne zahtjeve za građevinu, odnosno bitne zahtjeve tehničkog propisa i norme koji se na njega odnose. Za sve građevne proizvode, namijenjene za grijanje i pripremu potrošne tople vode, primjenjuju se Pravilnik za građevne proizvode i Tehnički propis za građevne proizvode koji specificiraju dokumente koji prate pojedini građevni proizvod i moraju biti na uvid prilikom preuzimanja građevine. Na temelju tih dokumenata i uvida

u stvarno stanje, donosi se sud o usklađenosti izvedene instalacije s projektom. Za svaki ugrađeni element sustava grijanja i pripreme potrošne tople vode, moraju postojati upute za postavljanje, rad i održavanje na hrvatskom jeziku. Sukladnost građevnog proizvoda s propisima, dokazuje se proizvođačevom izjavom o sukladnosti i odgovarajućim certifikatom ako je propisan primijenjenom tehničkom specifikacijom i oznakom sukladnosti na samom proizvodu.

Ispitivanjima na sustavu grijanja i pripreme potrošne vode u građevini mora se dokazati da su ostvareni zahtjevi u pogledu ugradnje građevnih proizvoda u sustave, da je instalacija izvedena prema zahtjevima tehničkog propisa o sustavima grijanja i hlađenja, da je kotao spojen na odgovarajući dimnjak i odrediti učinkovitost sustava, odnosno elemente potrebne za izračun isporučene energije u sustav. Mjerenjima treba utvrditi emisije štetnih tvari u zrak i usporediti sa zahtjevima propisa. Ostala mjerenja provode se kod novih građevina prema potrebi, dok se kod postojećih građevina, čije se instalacije grijanja i sanitarne vode žele osuvremeniti, moraju provesti kompletna mjerenja sustava (nazivna snaga, gubitci, stupanj djelovanja, emisije) kako bi se mogle donijeti mjere za poboljšanje učinkovitosti.

Za svaki ugrađeni kotao potrebno je utvrditi da tijelo kotla i plamenik imaju pločice s tehničkim podacima iz kojih se mogu utvrditi osnovne karakteristike ovih uređaja. Novi kotlovi moraju na pločici imati i oznaku sukladnosti i priloženu izjavu o sukladnosti. Za sve uređaje moraju biti na uvid:

- Upute za postavljanje, rad i održavanje na hrvatskom jeziku
- Shema postrojenja s bitnim podacima vezanim za sigurnost i opisom rada postrojenja, a kod kotlova u radu dodatno i
- dokumentacija vezano za održavanje i mjerenje emisija
- dokumentacija iz koje je vidljiva potrošnja goriva.

**Tablica 6.5 - Aktivnosti tijekom i nakon pregleda**

Provjeriti	Predložiti
Da li postoji dokumentacija za kotao i njegovu opremu te shema spajanja	Potrebne sanacije oplata i izolacije ukoliko je potrebno
Podatke na pločici kotla	Ugradnju mjerača potrošnje goriva ako ne postoji
Stanje kotla, oplata, izolacije, instalacije	Ugradnju kalorimetra ako ne postoji
Stanje sigurnosne opreme	Generalni servis kotla/plamenika, po potrebi
Knjigu pregleda i održavanja kotla	Određivanje stupnja djelovanja i godišnjeg stupnja djelovanja
Podatke s kotla i podatke iz projektne dokumentacije	Ukoliko je kotao stariji od 15 godina nabavku novog (standardni, niskotemperaturni ili kondenzacijski)
Potrošnju goriva	Ugradnju dvostupanjskog plamenika ili plamenika s kontinuiranom regulacijom
Stanje dimnjaka i priključka na dimnjak	Kod biomase analizirati ugradnju akumulacijskog spremnika
Podatke o izmjerenim GVE	Sanaciju dimnjaka ako je potrebno
Podatke o periodičkim pregledima	Podešavanje radnih parametara ako je potrebno
Dokumentaciju za plamenik	Ugradnju zaštitne crpe ako je potrebno
Podatke na pločici plamenika	Postavljanje uputa za rad i sheme spajanja
Broj sati rada plamenika	Potrebu za praćenjem mjerenih podataka
Knjigu servisiranja plamenika	Godišnju analizu potrošnje goriva i isporučene topline

## 6.2. Sustavi za proizvodnju toplinske i električne energije

Kombinirani sustavi za proizvodnju toplinske i el. energije (KTE) poznati pod pojmovima kogeneracija (toplinska i električna energija) i tri-generacija (toplinska i električna energija i hlađenje), istovremeno daju električnu i toplinsku energiju koja se može koristiti za grijanje i/ili hlađenje kad se u sustav doda apsorpcijski rashladni uređaj. Ovi se sustavi koriste kad postoji cjelogodišnja potreba za toplinom uz proizvodnju električne energije.

KTE sustavi se sastoje od pogonskog stroja u kojemu izgara gorivo. Mehanička energija koju daje stroj, koristi se za pogon generatora el. energije koji je sastavni dio pogonskog stroja (obično motor s unutrašnjim izgaranjem ili plinska turbina). Toplina koja se razvija u pogonskom stroju koristi se za zagrijavanje prostora ili sanitarne vode. Također se ona može koristiti za dobivanje rashladnog učinka u apsorpcijskom rashladnom uređaju.

**Tablica 6.6 - Podjela KTE sustava daje se na osnovi proizvodnje el. energije**

<b>Mikro</b>	< 5 kWe
<b>Mini</b>	5 do 500 kWe
<b>Mali</b>	500 kWe do 5 MWe
<b>Srednji</b>	5 do 50 MWe
<b>Veliki</b>	> 50 MWe

Prednosti KTE sustava proizlaze iz njihove veće učinkovitosti zbog proizvodnje toplinske energije. Kod konvencionalnih sustava za proizvodnju el. energije toplinska se energija ne iskorištava. Iskorištavanjem toplinske energije stupanj djelovanja KTE sustava dostiže do 80%. Druga je prednost proizvodnja el. energije na mjestu potrošnje čime se izbjegavaju gubitci prijenosa.

### 6.2.1. Kogeneracija

U KTE sustavima, (slika 6.23 i 6.24) nalazimo različite tipove pogonskih strojeva koji koriste i različite vrste goriva. To mogu biti različiti motori s unutrašnjim izgaranjem, parne i plinske turbine i kombinirane izvedbe. Motori s unutrašnjim izgaranjem koriste se kod manjih sustava (mikro, mini i mali KTE). Oni generiraju dvije razine toplinske energije. Visoka razina iz ispušnih plinova i niska razina iz sustava za hlađenje motora.

Parne se turbine najčešće koriste u srednjim i velikim KTE sustavima. Tada imamo protutlačnu ili kondenzacijsku parnu turbinu. Kod oba sustava para se proizvodi u parnom kotlu. Kod protutlačne turbine sav se potencijal pare iskorištava u turbini prije nego iz nje izlazi s određenim protutlakom. Kod kondenzacijske turbine jedan se dio pare oduzima iz turbine na međutlaku. Ostatak se potpuno kondenzira.

KTE sustavi s plinskim turbinama koriste se od mini sustava pa na više. Turbina je obično avionska. Izlazni plinovi koriste se za dobivanje toplinske energije.

Kod kombiniranih izvedbi u sustavu imamo ugrađene različite pogonske strojeve. To je obično plinska turbina iz koje se plinovi izgaranja koriste za proizvodnju pare u kotlu koja se potom koristi u parnoj turbini. Kombinirani se KTE sustavi koriste za velika postrojenja. Goriva koja se koriste u KTE sustavima su plin ili kapljevitog gorivo ili biogoriva.

Pogonski stroj i generator osiguravaju el. energiju za potrošače. Generator je obično sinkroni i rotira stalnom brzinom i ima svoju frekvenciju. U sustavu su ugrađeni izmjenjivači topline čija je uloga da toplinu ispušnih plinova i vode za hlađenje predaju nosiocu toplinske energije u sustavu grijanja (voda ili zrak). Toplinski učinak KTE sustava ovisan je o količini toplinske energije koja se može iskoristiti u objektu. Rashladni se sustav ugrađuje kad se ne može iskoristiti sva toplinska energija visoke razine.



**Slika 6.23 - KTE s plinskim motorom**



**Slika 6.24 - Veliki KTE sustav**

KTE sustavi moraju imati osiguran svježi zrak za izgaranje, a dimni se plinovi moraju odvoditi u atmosferu. Za mikro i male sustave zrak za izgaranje može se uzimati iz prostora (strojarnice). Kod većih sustava mora se osigurati poseban dovod zraka za izgaranje. U sustav mora biti ugrađen katalizator za ispušne plinove kako bi se smanjio  $\text{NO}_x$  i prigušivač buke.

Automatski kontrolni sustav koristi se uglavnom za pokretanje i zaustavljanje KTE jedinica i za modulaciju proizvodnje el. energije i toplinske energije kako bi se zadovoljile potrebe objekta. Također se može koristiti za nadzor rada i upravljanje karakteristikama KTE sustava.

Mikro KTE sustavi (slika 6.25 i 6.26) danas su još uvijek u fazi razvoja za uporabu u obiteljskim i drugim manjim objektima. Takve jedinice imaju el. snagu od 1 kW i daju toplinsku energiju za sustav grijanja i pripremu sanitarne vode. U razvoju su također i druge izvedbe - KTE sustavi s gorivnim ćelijama ili Stirling motorom.


**Slika 6.25 - Mikro KTE sustav**

**Slika 6.26 - Plinski kogeneracijski uređaj**

### 6.2.2. Trigeneracija

Tri-generacija može uvelike povećati stupanj djelovanja sustava i smanjiti troškove. Kod tri-generacije koristi se otpadna toplina u apsorpcijskom uređaju za dobivanje rashladnog učinka. Na taj se način osigurava iskorištavanje otpadne topline pogonskog stroja tijekom cijele godine. Grijanje i priprema sanitarne vode zimi i hlađenje i priprema sanitarne vode ljeti.

### 6.2.3. KTE sustavi na biomasu

Nekada je uporaba biomase bila vezana uz velike KTE sustave (nekoliko MW). Danas se, međutim, ona koristi i u sustavima od par stotina kW. Tri su osnovne tehnologije za korištenje biomase. Prvo je izgaranje biomase na rešetki kao tradicionalan dobro poznat postupak izgaranja krutih goriva. Drugi je način izgaranje u fluidiziranom sloju. Oba se koriste za proizvodnju pare za pogon parne turbine. Treći način je rasplinjavanje biomase. Tako dobiveni gorivi plinovi mogu se koristiti za pogon motora s unutrašnjim izgaranjem ili se koriste na drugi način. Ovi sustavi su također u razvojnoj fazi jer treba riješiti probleme vezane za pročišćavanje plina, probleme s naslagama katrana i čađe i koroziju. Isto tako može se u ovim sustavima koristiti bioplin.

### 6.2.4. Područja primjene KTE sustava

Topla voda iz KTE sustava može se u objektu koristiti na više načina:

- Grijanje prostora
- Pripremu sanitarne vode
- Zagrijavanje bazenske vode
- Hlađenje prostora primjenom apsorpcijskih uređaja.

Proizvedena el. energija koristi se za podmirivanje dijela potreba objekta. Jedan se dio el. energije može isporučivati u mrežu ako za to postoji potreba. KTE sustavi se rijetko koriste za potpunu opskrbu objekta el. energijom i toplinom. Oni su uglavnom u kombinaciji s kotlom. Pri tome KTE sustav podmiruje bazne potrebe, a kotlovi pokrivaju povećane potrebe.

Ispravno projektiran i vođen KTE sustav s kotlom i isporukom el. energije, objektu daje maksimalnu efikasnost. Problemi se javljaju kad se KTE sustav projektira za podmirenje vršnih potrošnja. Tada dolazi do porasta povratnih temperatura vode i sustav se pregrijava. KTE sustavi su isplativi kada rade minimalno 4000 do 5000 sati godišnje.

### 6.2.5. Prednosti i mane

Tablica 6.7 - Prednosti i mane

Prednosti	Ograničenja
Proizvodnja el.energije i topline	Traži poznata i konstantna opterećenja za dobar stupanj djelovanja
Daje visoke stupnjeve djelovanja kad se proizvedena toplina potpuno iskoristi	Traži potpuno iskorištavanje toplinske energije za dobar stupanj djelovanja
Poboljšava karakteristike el. mreže stabilizirajući struju i napon	Traži redovito održavanje
Daje kontinuiranu isporuku el.energije	Rjeđe se koristi za dobivanje samo el.energije ili topline
Proizvedena toplinska energija može se koristiti za dobivanje rashladnog učinka	Da bi bio isplativ sustav mora raditi minimalno 4000 do 5000 sati godišnje

### 6.2.6. Primjena

Tablica 6.8 - Preporučena primjena

Primjena	Zahtjevi
Bazeni	Konstantna potreba za zagrijavanjem i potrebna el.energija za pogon pumpi. Veliki zahtjevi za sanitarnom vodom
Centri za rehabilitaciju i odmor	Cjelodnevni rad i veliki zahtjevi za sanitarnu vodu
Bolnice	24 satni rad. Potrebne više temperature prostora. Velike potrebe za sanitarnom vodom
Domovi za starije	Potrebne više temperature prostora. Velike potrebe za sanitarnom vodom
Hoteli	Cjelodnevni rad i potreba za komforom. Centri za odmor i rekreaciju. Velike potrebe za sanitarnom vodom
Sveučilišni kampusi	Učionice, uredi, ostali prostori traže cjelodnevni rad i rad do kasno u noć. Prostori za smještaj traže toplinsku energiju u jutarnjim i večernjim satima.
Policijske stanice	24 satni rad. Potreba za el.energijom i toplinom neovisno o vanjskim izvorima

**Tablica 6.9 - Manje preporučena primjena**

Primjena	Zahtjevi
Uredi i gradske vijećnice	Posebno kad se koriste i u večernjim satima. Može se kombinirati s hlađenjem
Muzeji	Potreba za održavanjem stalne temperature neovisno o satima rada za posjetioce
Zatvori	24 satni rad
Škole	Produženi rad, škole s bazenima i centrima za izobrazbu odraslih
Trgovački centri	Produljeno vrijeme rada. Potreba za hlađenjem

### 6.2.7. Aktivnosti koje je potrebno obaviti kroz energetska audit

Aktivnosti su identične onima koje se provode kod kotlova, samo što se u ovom slučaju kontroliraju podaci relevantni za KTE sustav. Svakako je nužno utvrditi postizanje projektnih parametara i mogućnost što točnijeg mjerenja veličina koje su potrebne za kasnije analize. To su prvenstveno potrošnja goriva, isporučena el. energija, isporučena toplinska energija i realiziran rashladni kapacitet ako je ugrađen. Svi ovi uređaji podliježu pod Uredbu o GVE-u.

**Tablica 6.10 - Aktivnosti tijekom i nakon pregleda**

Provjeriti	Predložiti
Da li postoji dokumentacija za KTE sustav i njegovu opremu te shema spajanja	Potrebne sanacije ukoliko je potrebno
Podatke na pločici KTE sustava	Ugradnju mjerača potrošnje goriva ako ne postoji
Stanje KTE sustava i instalacije	Analizu rada na nivou godine
Stanje sigurnosne opreme	Generalni servis pojedinih dijelova, po potrebi
Knjigu pregleda i održavanja	Određivanje učinkovitosti KTE sustava, električne i toplinske
Podatke s KTE sustava i podatke iz projektne dokumentacije	Usporedbu stvarnog stanja s projektnim podacima
Potrošnju goriva	Vrijeme stajanja radi održavanja i kvarova
Stanje dimnjaka i priključka na dimnjak	Sanaciju dimnjaka ako je potrebno
Podatke o izmjerenim GVE	Podešavanje radnih parametara ako je potrebno
Podatke o periodičkim pregledima	
Upute za rad i održavanje	
Karakteristike radnih medija koji se nalaze u pojedinom krugu	
Da li KTE sustav radi predviđeni broj radnih sati	
Knjigu servisiranja zbog različitih kvarova ili prepodešavanja	

## 6.3. Sustavi za ulje i plin

### 6.3.1. Podjela

Ovisno o gorivu koje se koristi u sustavu grijanja, razlikuje se i sustav za dovod goriva:

- Sustavi za dovod plinovitog goriva
- Sustavi za dovod tekućeg goriva
- Sustavi za dovod krutog goriva.

### 6.3.2. Tehničke karakteristike uljnih i plinskih sustava za dobavu goriva

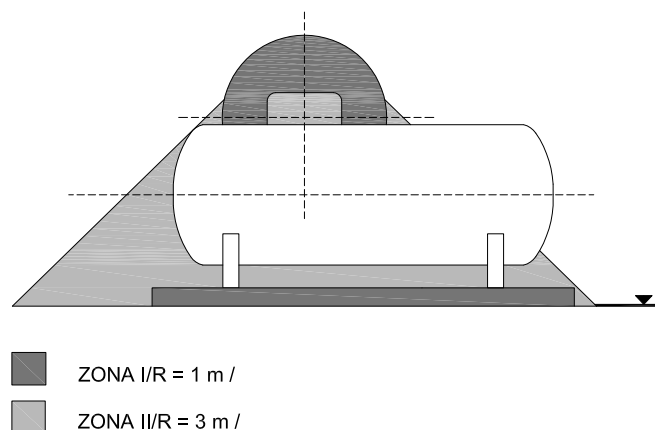
#### 6.3.2.1. Plinovito gorivo

Zemni plin

Plinovod, regulacijski uređaj i potrebna plinska oprema, čine zajedno sustav za dovod goriva do trošila (kotla) u kojem se nalazi naprava za izgaranje, plamenik.

Ukapljeni naftni plin (UNP)

Spremnik, isparivač, regulacijski uređaj i potrebna plinska oprema, čine zajedno sustav za dovod goriva do trošila (kotla) u kojem se nalazi naprava za izgaranje, plamenik. Spremnik za UNP može biti nadzemni ili podzemni.

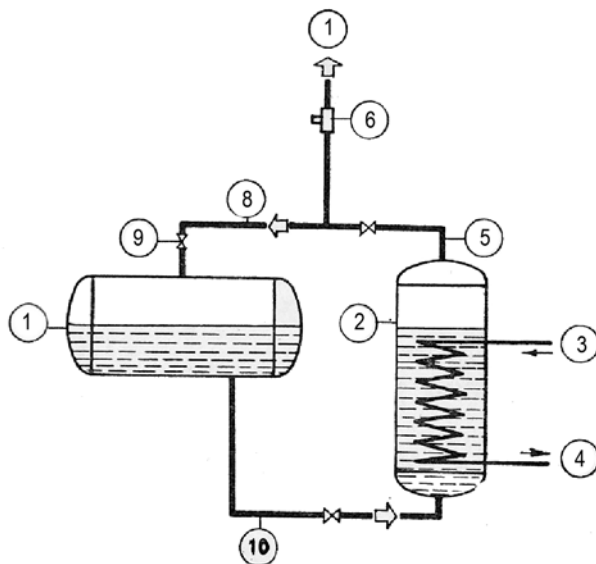


**Slika 6.27 - Smještaj malih UNP spremnika, zone opasnosti**

Prema Pravilniku o ukapljenom naftnom plinu N.N. 117/2007, članak 22. „Oko malih spremnika UNP-a je jedinstvena zona opasnosti i iznosi 1m vodoravno oko ventila i priključaka te 1m sferno iznad i kupasto ispod, do kružnice na tlu promjera 3m.“, (slika 6.26)

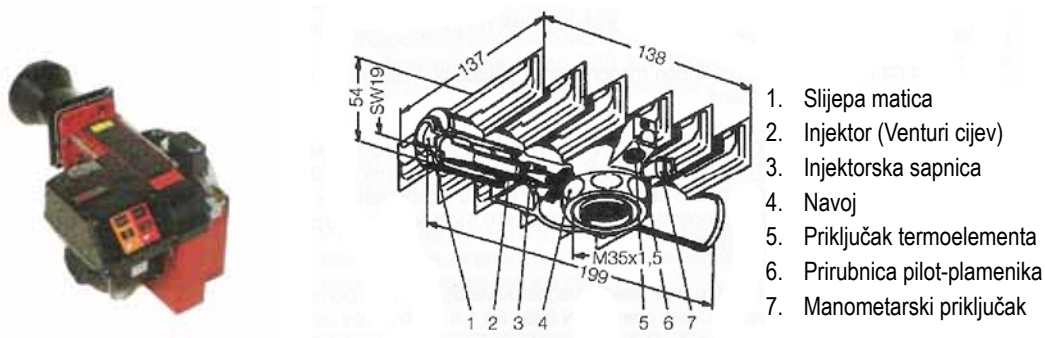
Isparivač za UNP, (slika 6.28) koristi se kod velikih potrošača kada dotok topline iz okoline nije dovoljan da osigura tražene količine plina.




**Slika 6.28 - Shematski prikaz isparivača UNP**

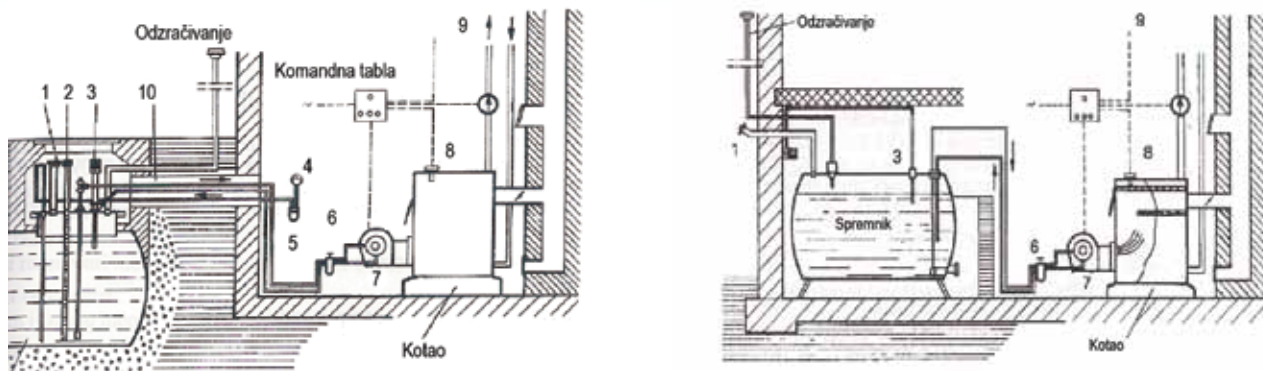
(1. Spremnik, 2. Isparivač, 3. i 4. Grijalica ulaz/izlaz, 5. Plinska faza, 6. Sigurnosni ventil, 7. Prema potrošaču, 8. Vod za izjednačenje tlaka, 9. ventil, 10. Tekuća faza)

Sustav za dovod plinovitog goriva razlikuje se ovisno o vrsti plamenika i vrsti plina. Tako razlikujemo sustav za dovod plina atmosferskim plamenicima i sustav za dovođenje plina pretlačnim plamenicima, (slika 6.29), odnosno sustav za dovod zemnog ili ukapljenog naftnog plina.


**Slika 6.29 - Pretlačni i atmosferski plinski plamenik**

### 6.3.2.2. Kapljevito gorivo

Koristi se EL loživo ulje ili lako loživo ulje (sve manje zbog većeg zagađenja okoliša). Spremnici mogu biti nadzemni ili podzemni (slika 6.30). Radi sprječavanja zagađenja okoliša, spremnici moraju biti dvoplašni ili smješteni u bazenu za prihvata kapljevine. Ukopani spremnici bez obzira na vrstu goriva moraju biti zaštićeni od korozije i elektrokorozije.



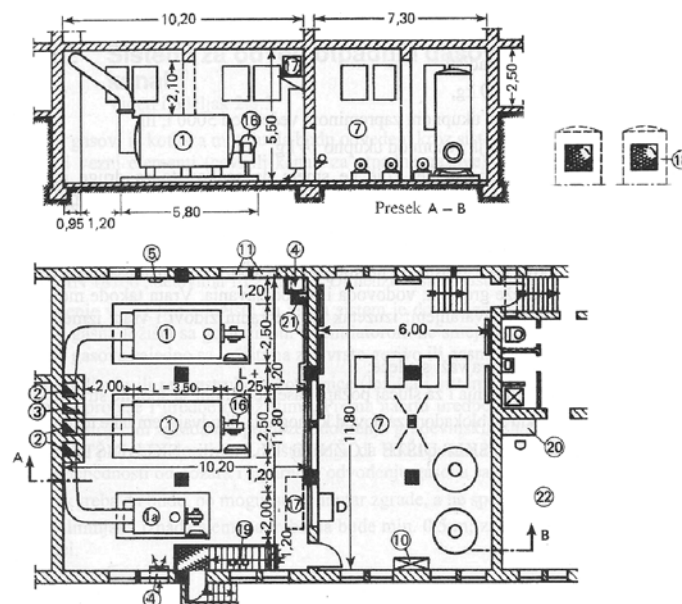
Slika 6.30 - Ukopani i nadzemni spremnik za EL. loživo ulje

### 6.3.3. Zahtjevi na instalacije

Kotlovi kapaciteta većeg od 50 kW, moraju se postavljati u posebne prostorije s odgovarajućim provjetravanjem kako bi se osigurala potrebna količina zraka za izgaranje. Kotlovi na ulje i plin u određenim se slučajevima mogu staviti u zajedničke prostorije ako su ispunjeni sljedeći uvjeti:

- kada je ostvarena sigurnost pogona ili je neophodno da se u tim prostorijama nalaze i drugi uređaji (grijač zraka, procesno ložište, pojedinačno ložište)
- kad se nalaze u izdvojenim objektima koji služe kao kotlovnice i skladište goriva.

Plamenici i uređaji za dobavu plinovitog i kapljevito goriva, za kotlove kapaciteta većeg od 50 kW, moraju na vanjskom zidu kotlovnice imati prekidač za slučaj opasnosti, preko kojega se isključuje napajanje gorivom (prekidač za slučaj opasnosti - požar). Ako je u istoj prostoriji uskladišteno kapljevito gorivo ili se do skladišta prolazi kroz kotlovnicu, mora postojati jasno označen uređaj za zatvaranje dovoda goriva na mjestu prekidača za slučaj opasnosti. Kod sustava kapaciteta većih od 600 kW, javlja se potreba odvajanja prostorije, (slika 6.31) u kojoj je kotao od ostalih uređaja (pumpe, izmjenjivači topline, razdjelnici i slično).



Slika 6.31 - Kotlovnica velikog kapaciteta s prostorom za ostale uređaje

### **6.3.3.1. Plinski aparati i instalacija**

Kod postavljanja plinskog grijanja i instalacije plina, potrebno je poštovati zahtjeve lokalnog plinskog distributera. Investitor mora prije početka radova osigurati suglasnost za dimnjak, postavljanje instalacije i priključivanje trošila. Ako se radi o tekućem naftnom plinu, tada se postavljanje spremnika za UNP i izvođenje instalacije, mora provesti prema važećoj zakonskoj regulativi, kao i preglede u toku uporabe.

Plinska trošila (kotlovi, grijalice) mogu se, ovisno o snazi, postaviti u prostorije samo ako su iste dovoljnog volumena i odgovarajuće prozračivane. Veličine prostorija, otvori za zrak i ostale mjere propisane su zakonskom regulativom.

### **6.3.3.2. Aparati na EL loživo ulje i instalacija**

Kod postavljanja instalacije i spremnika za sustav grijanja na EL loživo ulje, potrebno je pridržavati se važeće zakonske regulative kojom su propisani:

- zahtjevi za postavljanja spremnika na otvorenom, u objektu ili ukopanog
- spremnika
- elementi instalacije za dobavu loživog ulja od spremnika do trošila i opremu spremnika
- požarna sigurnost.

Isto tako treba redovito održavati spremnik i instalaciju kako u njima ne bi došlo do taloženja nečistoća.

Trošila na EL loživo ulje (kotlovi, grijalice) mogu se, ovisno o snazi, postaviti u prostorije samo ako su iste dovoljnog volumena i odgovarajuće prozračivane. Veličine prostorija, otvori za zrak i ostale mjere propisane su zakonskom regulativom.

### **6.3.4. Norme**

Hrvatski propisi i norme za elemente sustava za dobavu goriva, kapljevito, plinovito ili kruto su uglavnom preuzete europske direktive i norme.

Pravilnik o tlačnoj opremi N.N.135/05 i 126/08

Pravilnik za plinske aparate N.N. 135/05

Pretlačni uljni plamenici: HRN EN 226

Pretlačni plinski plamenici: HRN EN 676

Ispitni plinovi, ispitni tlakovi, kategorizacija uređaja HRN EN 437

Toplovodna grijanja-planiranje HRN EN 12828

Podzemni spremnici za UNP HRN EN 14075

Nadzemni spremnici za UNP 12542

Sigurnosni ventili za spremnike UNP 14071

Sigurnosni ventili za plinove, pare i kapljevine HRN EN 4126-1

### 6.3.5. Aktivnosti koje je potrebno obaviti kroz energetski audit

Kod sustava za ulje i plin plamenik je element koji je odgovoran za efikasnost kotla. Zato je njegovo održavanje i kontrola bitno za cijeli sustav grijanja objekta.

**Tablica 6.11 - Aktivnosti tijekom i nakon pregleda**

Provjeriti	Predložiti
Da li postoji dokumentacija za sustav skladištenja i dobave goriva	Potrebne sanacije ukoliko je potrebno
Podatke na pločicama pojedinih komponenata sustava	Ugradnju mjerača potrošnje goriva ako ne postoji
Stanje instalacije	Analizu rada na nivou godine
Stanje sigurnosne opreme	Generalni servis pojedinih dijelova, po potrebi
Knjigu pregleda i održavanja	Ugradnju isparivača za UNP ili zagrijavanje ulja ako je potrebno
Podatke sustava skladištenja i dobave goriva i podatke iz projektne dokumentacije	Kontrolu katodne zaštite na ukopanim spremnicima
Potrošnju goriva preko podataka o punjenju spremnika	

## 6.4. Dimnjaci

Dimnjak je sastavni dio sustava grijanja. Njegova je uloga odvođenje dimnih plinova u atmosferu. Za ispravan rad sustava grijanja, bez obzira radi li se o pojedinačnom ili centralnom sustavu, neophodno je da dimnjak bude ispravno dimenzioniran. To znači da ima odgovarajući presjek za nastalu količinu dimnih plinova i visinu kako bi ostvario traženi podtlak, neophodan za odvođenje dimnih plinova. Isto tako dimnjak mora biti izrađen od odgovarajućih materijala, ovisno o gorivu koje se koristi. Vrstu, presjek i visinu dimnjaka određuje projektant na osnovi podataka o sustavu grijanja, tipu kotla, vrsti goriva, režimu grijanja i konfiguraciji terena.

### 6.4.1. Podtlak dimnjaka

Podtlak dimnjaka, ostvaruje se na osnovi razlike gustoće dimnih plinova i okolišnjeg zraka. Ako taj uzgon nije dovoljan, potrebno je dimne plinove odvoditi prisilno. Kod kotlova na kruto gorivo i uređaja s atmosferskim plamenikom, dimnjak mora osigurati podtlak dovoljan za svladavanje otpora kotla, dimnjače (priključak na dimnjak) i samog dimnjaka.

Kod kotlova s ventilatorskim plamenicima (pretlačni kotlovi), plamenik stvara pretlak potreban za svladavanje otpora kotla, a dimnjak otpora u dimnjači i samom dimnjaku.

## 6.4.2. Presjek dimnjaka

Presjek dimnjaka za manje objekte određujemo prema podacima proizvođača dimnjaka, (slika 6.45) ili prema izrazima danim u stručnoj literaturi.

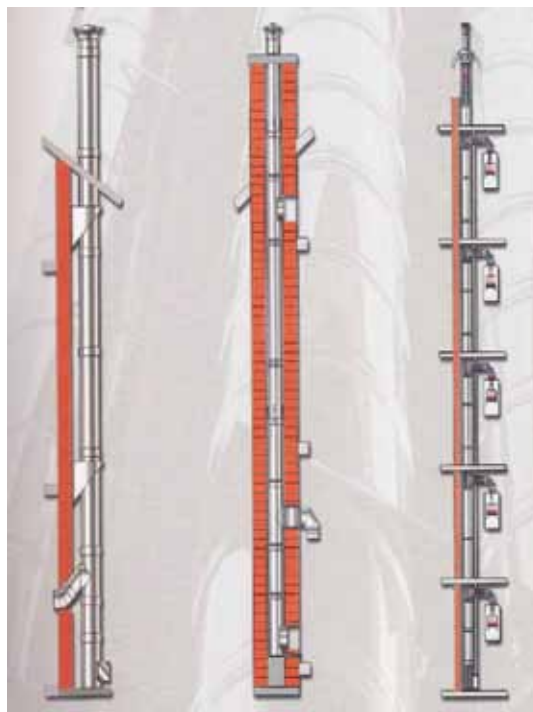
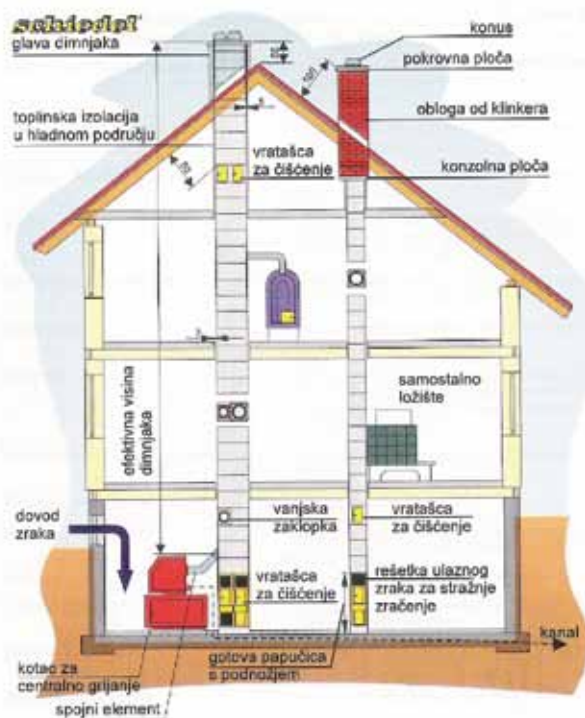
### 6.4.2.1. Izrada

Razlikujemo sljedeće vrste gradnje dimnjaka:

- dimnjaci iz opeke ili šamota
- dimnjaci izvedeni od prefabriciranih elemenata
- dimnjaci iz više slojeva (toplinski izolirani)
- specijalni dimnjaci iz nehrđajućih materijala (nehrđajući čelik ili keramika) za kondenzacijske kotlove i plinske kotlove.

Dimnjaci se u pravilu postavljaju u unutrašnjosti zgrade, (slika 6.32). Iznutra moraju biti glatki i nepropusni te konstantnog presjeka. Konstrukcija dimnjaka mora osigurati njegovu postojanost i otpornost na temperature i koroziju. Visina dimnjaka određena je visinom zgrade. Kako bi se izbjegli utjecaj vjetrova i susjednih objekata, potrebno je visinu dimnjaka prilagoditi stanju na terenu. Temperatura dimnih plinova najviša je na ulazu u dimnjak i postupno opada prema vrhu. Potrebno je osigurati da se dimni plinovi na svom putu ne ohlade do temperature kondenzacije.

Temperature dimnih plinova na izlazu iz kotla ovise o vrsti kotla. Kod standardnih kotlova na sve vrste goriva, ona je oko 200 do 250°C, dok je za niskotemperaturne kotlove od 160 do 180°C a za kondenzacijske oko 50°C. Upravo radi toga potrebno je provesti sanaciju dimnjaka kod prelaska s jedne na drugu vrstu goriva, odnosno na drugi tip kotla. Dimnjak se mora dati kontrolirati i očistiti stručnoj osobi - dimnjačaru, u propisanim vremenskim razmacima.

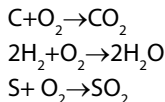


Slika 6.32 - Priklučivanje trošila na dimnjak i različite izvedbe dimnjaka

### 6.4.3. Izgaranje i produkti izgaranja

#### 6.4.3.1. Idealno izgaranje

Pod idealnim izgaranjem podrazumijevamo potpunu reakciju svih gorivih elemenata u gorivu s najmanjom količinom kisika. Izgaranje je ekzotermni proces oksidacije goriva pri čemu se razvija toplina. Goriva su uglavnom organski spojevi, sastavljeni od ugljika C, vodika H, sumpora S, kisika O, dušika N, pepela i vlage. Za gorive sastojke vrijedi sljedeća kemijska reakcija:



U praksi je idealno izgaranje s minimalnom količinom kisika praktički neostvarivo. Kako bi se postigle potpune reakcije, nužno je gorivu dovesti više kisika od onog minimalno potrebnog. Upravo zato je i potrebna količina zraka za izgaranje veća od minimalne za sve vrste ložišta.

$Z = \lambda \cdot Z_{\min}$  gdje je  $\lambda$  pretičak zraka i iznosi:

Za ručna ložišta	$\lambda = 1,6$ do $2$
Za mehanička ložišta	$\lambda = 1,3$ do $1,6$
Za ložišta na ulje i ugljenu prašinu	$\lambda = 1,2$ do $1,4$
Za plinska ložišta	$\lambda = 1,05$ do $1,2$

Kod idealnog izgaranja dobivamo i minimalnu količinu dimnih plinova (vlažnih ili suhih). Vlažni dimni plinovi u sebi sadrže i vodenu paru čija količina ovisi o vlazi goriva i količini vodika u gorivu. Količina dimnih plinova određuje se preko izraza;

$$D = D_{\min} + (\lambda - 1) \cdot Z_{\min} \quad (6.7)$$

Tablica 6.12 - Karakteristike goriva

Gorivo	Vlaga, %	$Z_{\min}$ , m <sup>3</sup> /kg	$D_{\min, vl}$ , m <sup>3</sup> /kg	CO <sub>2max</sub> , %vol.
Drvo	15	4,1	4,8	20,2
Lignit	26,5	3,88	4,63	20,8
EL loživo ulje		11,2	11,8	15,5
Zemni plin L		8,4	9,4	11,8

Količina vlažnih dimnih plinova nastalih u ložištu, mora se odvest u atmosferu. Kad imamo kondenzacijski uređaj, onda se jedan dio vodene pare kondenzira u kotlu tako da količina dimnih plinova može poprimiti u najboljem slučaju vrijednost koja odgovara količini suhih dimnih plinova.

#### 6.4.3.2. Mjerenja dimnih plinova

Mjerenja na dimnim plinovima obuhvaćaju mjerenje količine dimnih plinova, mjerenje sastava dimnih plinova, mjerenje prašine u dimnim plinovima. Ova se mjerenja provode u svrhu dobivanja podataka za proračun dimnjaka i proračun količina onečišćujućih tvari u zrak. Mjerenja sastava dimnih plinova obavljaju se specijalnim uređajima za mjerenje sastava dimnih plinova. Uređaji za mjerenje sastava dimnih plinova imaju različite vrste senzora koji se baziraju na elektrokemijskom principu, ionizaciji dimnih plinova ili apsorpciji infracrvenog zračenja. Mjeri se: O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, NO, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, i izračunavaju pretičak zraka, gubitci dimnim plinovima i potlak dimnjaka te uz dodatnu opremu, brzina dimnih plinova.

Posebno se za mjerenje prašine u dimnim plinovima koriste uređaji koji se temelje na gravimetrijskoj metodi.

Uređaji iskazuju vrijednosti pojedinih sastojaka prvenstveno u ppm (particle per milion, 10000 ppm=1%), a preračunavaju ih u mg/m<sup>3</sup> kod 0°C i tlaka 101,3 kPa ili mg/kWh, kod tražene referentne vrijednost kisika u suhom dimnom plinu.

Prema Uredbi o GVE-u imamo sljedeću podjelu uređaja za loženje (kotlova)

**Tablica 6.13 - Podjela uređaja za loženje (kotlova) prema Uredbi o GVE**

UREĐAJ ZA LOŽENJE	KRUTO GORIVO	TEKUĆE I PLINSKO GORIVO
Mali	> 0,1 do 1 MW	> 0,1 do 3 MW
Srednji	> 1 do 50 MW	> 3 do 50 MW
Veliki	> 50 MW	> 50 MW

**Tablica 6.14 - GVE za male uređaje za loženje koji koriste uobičajena kruta goriva**

	GVE
Zacrnljenje dimnjaka	1
Toplinski gubici u otpadnom plinu	17%
Ugljik (II) oksid	1000 mg/m <sup>3</sup>
Zadani volumni udio kisika	7% (ugljen, vrtložno loženje) 11% (drvo, biomasa)

**Tablica 6.15 - GVE za srednje uređaje za loženje koji koriste uobičajena i posebna kruta goriva**

	GVE
Toplinski gubici u otpadnom plinu	17%
Krute čestice	150mg/m <sup>3</sup>
Oksidi sumpora izraženi kao SO <sub>2</sub>	2000mg/m <sup>3</sup>
Ugljik(II) oksid	500mg/m <sup>3</sup>
Oksidi dušika izraženi kao NO <sub>2</sub>	500mg/m <sup>3</sup> vrtložno izgaranje: 300mg/m <sup>3</sup>
Plinoviti anorganski spojevi - klor izraženi kao HCl - fluora izraženi kao HF	200mg/m <sup>3</sup> 30mg/m <sup>3</sup>
Organski spojevi izraženi kao ukupni ugljik	50mg/m <sup>3</sup> (samo za posebna kruta goriva)
Zadani volumni udio kisika	7% (ugljen, vrtložno loženje) 11% (drvo, biomasa)

**Tablica 6.16 - GVE za male uređaje za loženje koji koriste uobičajena tekuća goriva i za srednje uređaje za loženje koji koriste uobičajena i posebna tekuća goriva**

	Uređaj za loženje	GVE
<b>Dimni broj</b>	Mali	1
<b>Toplinski gubici u otpadnom plinu</b>	Mali i srednji	10%
<b>Krute čestice</b>	Srednji	150 mg/m <sup>3</sup>
<b>Ugljik(II) oksid</b>	Mali i srednji	175 mg/m <sup>3</sup>
<b>Oksidi dušika izraženi kao NO<sub>2</sub></b>	Mali i srednji	250 mg/m <sup>3</sup> za ekstra lako loživo ulje
		350 mg/m <sup>3</sup> za ostala loživa ulja
<b>Oksidi sumpora izraženi kao SO<sub>2</sub></b>	Srednji	1700 mg/m <sup>3</sup>
<b>Zadani volumni udio kisika</b>	Mali i srednji	3%

**Tablica 6.17 - GVE za male i srednje uređaje za loženje koji koriste plinska goriva**

	Uređaj za loženje	GVE
<b>Dimni broj</b>	Mali	0
<b>Toplinski gubici u otpadnim plinovima</b>	Mali i srednji	10%
<b>Krute čestice</b>	Srednji	10 mg/m <sup>3</sup>
<b>Ugljik(II) oksid</b>	Srednji	100 mg/m <sup>3</sup>
<b>Oksidi dušika izraženi kao NO<sub>2</sub></b>	Mali i srednji	200 mg/m <sup>3</sup>
<b>Zadani volumni udio kisika</b>	Mali i srednji	3 %

Već je rečeno da se vrijednosti dopuštenih emisija dimnim plinovima, navedeni u normama mogu razlikovati od države do države, no smiju biti samo manji od normom propisanih. Iz niže navedenih podataka vidljive su razlike u zahtjevima pojedinih zemalja u pogledu dopuštenih emisija iz ovih uređaja u odnosu na zahtjeve dane u normama.

U tablici 6.18 prikazane su vrijednosti dopuštenih emisija u zrak iz različitih uređaja za loženje u pojedinim državama Europe.



**Tablica 6.18 - Vrijednosti dopuštenih emisija u zrak iz različitih uređaja za loženje u pojedinim državama Europe**

Pregled dodatnih zahtjeva po pojedinim regijama i državama (svedeno na 13 % O <sub>2</sub> )						
1	<b>EUROPSKE NORME</b>	<b>iskorištenje %</b>		<b>CO mg/m<sub>n</sub><sup>3</sup></b>	<b>CO %</b>	<b>prašina mg/m<sub>n</sub><sup>3</sup></b>
	EN 13240 - peći, kamini	50		12500	1,0	--
	EN 12815 - štednjaci	50		12500	1,0	--
2	<b>NJEMAČKA 1. BimSchV. St.1</b>	<b>iskorištenje %</b>		<b>CO mg/m<sub>n</sub><sup>3</sup></b>	<b>CO %</b>	<b>prašina mg/m<sub>n</sub><sup>3</sup></b>
	EN 13240 - peći, kamini - povremeno loženje	73		2000	0,16	100
	EN 13240 - peći, kamini - trajnožarnost	70		2500	0,20	100
	EN 12815 - štednjaci - kuhanje	70		3000	0,24	100
	EN 12815 - štednjaci - kuhanje + grijanje	75		3500	0,28	100
	Njemačka 1. BimSchV. St.1 (planirano 2009) EN 13240	73		2000	0,16	75
	Njemačka 1. BimSchV. St.1 (planirano 2009) EN 13240	73		1250	0,10	40
	Njemačka DIN plus EN 13240 NO <sub>x</sub> ≤ 200 mg/Nm <sup>3</sup> C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> ≤ 120 mg/Nm <sup>3</sup>	75		1500	0,12	75
	Njemačka Regensburg EN 13240	--		1500	0,12	75
	Njemačka München EN 13240 NO <sub>x</sub> ≤ 200 mg/Nm <sup>3</sup>	--		1500	0,12	75
3	<b>ŠVICARSKA LRV</b>	<b>iskorištenje %</b>		<b>CO mg/m<sub>n</sub><sup>3</sup></b>	<b>CO %</b>	<b>prašina mg/m<sub>n</sub><sup>3</sup></b>
	EN 13240 - peći, kamini - EN 13240	--		1500	0,12	100
	EN 12815 - štednjaci - kuhanje	--		3000	0,24	110
	EN 12815 - štednjaci - kuhanje + centralno grijanje	--		3000	0,24	150
4	<b>AUSTRIJA Art. 15a B-VG</b>	<b>iskorištenje %</b>	<b>CO mg/MJ</b>	<b>CO mg/m<sub>n</sub><sup>3</sup></b>	<b>CO %</b>	<b>prašina mg/m<sub>n</sub><sup>3</sup></b>
	EN 13240 - na drvo NO <sub>x</sub> ≤ 150 mg/Nm <sup>3</sup> OGC (C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> ) ≤ 50 mg/Nm <sup>3</sup>	78	1100	625	0,05	50
	EN 13240 - na ugljen - EN 13240	75	1100	625	0,05	50
	EN 12815 - na drvo - štednjaci - kuhanje	72	1100	625	0,05	50
	EN 12815 - na ugljen - štednjaci - kuhanje	73	1100	625	0,05	50

### 6.4.3.3. Prikaz izmjerenih veličina

Uređaji za mjerenje sastava dimnih plinova izvorno daju koncentracije pojedinih sastojaka u udjelima ppm (particle per milion).

1% = 10000 ppm

Za pretvaranje u druge mjerne jedinice na raspolaganju su pretvorbeni faktori. Usporedivi podaci dobivaju se svođenjem na referentne vrijednosti kisika kod 0°C i 1013 mbar.

Preračunavanje na referentnu vrijednost kisika dobivamo preko izraza:

$$A_{ref} = \frac{21 - O_{2ref}}{21 - O_{2mj}} \cdot A_{mj} \quad (6.8)$$

Gdje su:

A - mjereni parametar  
indeksi:  
ref - referentna vrijednost  
mj - mjerena vrijednost.

Tako slijedi:

$$CO(mg / m^3) = \frac{21 - O_{2ref}}{21 - O_{2mj}} \cdot 1,25 \cdot CO(ppm) \quad (6.9)$$

$$NO_x(mg / m^3) = \frac{21 - O_{2ref}}{21 - O_{2mj}} \cdot 2,05 \cdot (NO(ppm) + NO_2(ppm)) \quad (6.10)$$

$$NO_x(mg / m^3) = \frac{21 - O_{2ref}}{21 - O_{2mj}} \cdot 2,05 \cdot (NO(ppm) + NO_2(ppm)) \quad (6.11)$$

Nadalje imamo:

*Lako ili EL loživo ulje*

**CO** 1 ppm = 1,11 mg/kWh; 1 mg/m<sup>3</sup> = 0,889 mg/kWh

**NO<sub>x</sub>** 1 ppm = 1,822 mg/kWh; 1 mg/m<sup>3</sup> = 0,889 mg/kWh

*Prirodni plin*

**CO** 1 ppm = 1,074 mg/kWh; 1 mg/m<sup>3</sup> = 0,859 mg/kWh

**NO<sub>x</sub>** 1 ppm = 1,759 mg/kWh; 1 mg/m<sup>3</sup> = 0,859 mg/kWh

#### 6.4.3.4. Sastav dimnih plinova

##### **Dušik (N<sub>2</sub>)**

U zraku ga ima 79% vol. Dušik je bezbojan plin bez mirisa i okusa i ne sudjeluje u procesu izgaranja, već predstavlja balast jer se u ložištu zagrijava i zatim izbacuje u okolinu. U dimnim plinovima ga ima između 78% i 80%.

##### **Ugljični dioksid (CO<sub>2</sub>)**

Ugljični dioksid bezbojan je plin bez mirisa i lagano kiselog okusa. Ubraja se u stakleničke plinove. Maksimalna dopuštena količina u zraku je 5000 ppm. Pri koncentraciji od 15% vol. (150000 ppm) izaziva trenutno gubitak svijesti. U dimnim plinovima uljnih ložišta ima ga 12,5% do 14%, plinskih 10% do 12% i ložišta na drvnu biomasu 7% do 13%.

### **Kisik ( $O_2$ )**

Jedan dio kisika pri izgaranju se veže s vodikom stvarajući vodu. Ovisno o temperaturi dimnih plinova, ona može biti u obliku pare ili kapljevine. Preostali kisik nalazi se u dimnim plinovima i preko njega se računa efikasnost izgaranja i količina  $CO_2$  u dimnim plinovima. U dimnim plinovima uljnih ložišta ima ga 2% do 5%, plinskih 2% do 3% i ložišta na drvenu biomasu 7% do 13%.

### **Ugljični monoksid ( $CO$ )**

Ugljični monoksid bezbojan je plin bez mirisa, otrovan i rezultat je nepotpunog izgaranja goriva. U velikim koncentracijama u zraku onemogućava apsorpciju kisika u krv. Pri koncentraciji u zraku od 700 ppm, izaziva smrt osobe u roku od 3 sata. Maksimalna dopuštena količina u zraku je 50 ppm. U dimnim plinovima uljnih ložišta ima ga 80 ppm do 150 ppm, plinskih 80 ppm do 100 ppm i ložišta na drvenu biomasu 150 ppm do 20000 ppm.

### **Oksidi dušika ( $NO_x$ )**

Dušik iz goriva i zraka na visokim temperaturama veže se s kisikom stvarajući dušikov monoksid NO. Nakon određenog vremena nastavlja se oksidacija i stvara se  $NO_2$ . Dušikov dioksid je topiv u vodi i izaziva smetnje na respiratornim organima, pridonosi razgradnji ozona u kombinaciji s ultraljubičastim zračenjem. NO i  $NO_2$  zajedno se nazivaju oksidima dušika  $NO_x$ . U dimnim plinovima uljnih i plinskih ložišta ima ga 50 ppm do 100ppm, a ložišta na drvenu biomasu 120 ppm do 180 ppm.

### **Sumporni dioksid ( $SO_2$ )**

Sumporni dioksid bezbojan je plin, otrovan i neugodnog mirisa. Nastaje iz sumpora koji se nalazi u gorivu. Maksimalna dopuštena koncentracija u zraku je 5 ppm. Sumporasta kiselina nastaje u dodiru s vodom. U dimnim plinovima uljnih i plinskih ložišta ima ga 180% do 220%, a ložišta na drvenu biomasu nalazi se u tragovima.

### **Ugljikovodici ( $C_xH_x$ )**

Nastaju kod nepotpunog izgaranja. Pridonose stvaranju stakleničkih plinova. Sadrže metan, butan, benzen i druge. U dimnim plinovima uljnih i plinskih ložišta ima ga manje od 50 ppm, a ložišta na drvenu biomasu 150 ppm do 1800ppm.

### **Čađa**

Predstavlja čisti ugljik, a rezultat je nepotpunog izgaranja. Kod uljno plinskih kotlova mjeri se preko dimnog broja koji mora biti manji od 1. Kod krutih goriva kvaliteta izgaranja određuje se preko zacrnjenja dimnjaka.

### **Krute čestice (prašina)**

Lebdeće čestice su pepeo, mineral iz goriva. Određuju se gravimetrijskom metodom.

## **6.4.4. Aktivnosti koje je potrebno obaviti kroz energetska audit**

Kvalitetan dimnjak osigurava i dobar rad kotla što rezultira i manjim gubitcima. Ovisno o gorivu i dimnjak mora biti izrađen od adekvatnih gradiva. Zato je njegovo održavanje i kontrola bitno za cijeli sustav grijanja objekta.

**Tablica 6.19 - Aktivnosti tijekom i nakon pregleda**

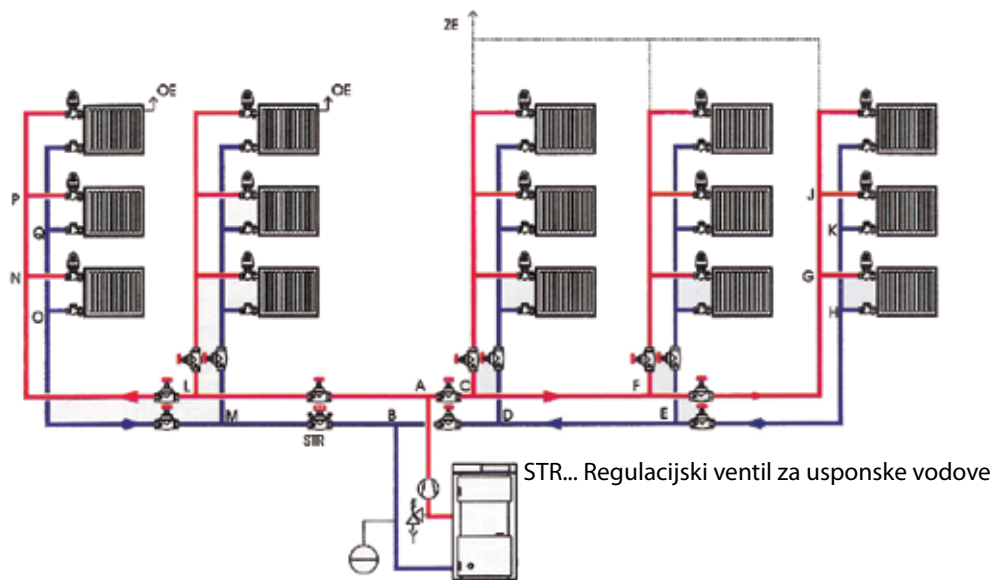
Provjeriti	Predložiti
Da li su dimnjak i kotao kompatibilni	Sanacije ako je potrebno
Da li je dimnjak građen iz odgovarajućih materijala	Čišćenje
Stanje dimnjaka	Reguliranje potlaka
Da li dolazi do kondenzacije dimnih plinova u dimnjaku	Usklađivanje dimnjaka i kotla
Knjigu pregleda i održavanja	
Potlak dimnjaka	
Mjerenja GVE	

## 6.5. Cjevovodi i armatura

### Cijevni razvod nosilaca topline

Za kvalitetnu distribuciju nosilaca topline bitno je da cirkulacijske crpke imaju odgovarajuće karakteristike, broj okretaja, visinu dizanja i mogućnost regulacije kako bi se prilagodile sustavu u koji su ugrađene. Svaka grana sustava mora se moći regulirati, zatvoriti, isprazniti i odzračiti. Zaporni ventili moraju biti za odgovarajuću namjenu, odgovarajući tlak i temperaturu i moraju se dobro zatvarati. Sva zaporna, kontrolna i regulacijska armatura mora biti pristupačna za manipulaciju, održavanje i očitavanje. Strujanje medija kroz cijevi i armaturu ne smije stvarati buku.

Ostvarivanje potrebnog protoka kroz pojedine dionice i ogrjevna tijela ostvaruje se balansiranjem mreže pomoću regulacijskih ventila, prigušnih ventila i regulatora protoka (slika 6.33). Preporuča se ugradnja regulatora temperature na razdjelnike polaznog voda. Cirkulacijske crpke i uređaji za održavanje tlaka u sustavu, moraju se tako postaviti da ne dolazi do ulaska zraka u sustav. Cjelokupni cijevni razvod mora se izvesti tako da uslijed temperaturnih dilatacija ne dođe do oštećenja na sustavu ili objektu. Problem dilatacija rješava se ugradnjom kompenzatora.



Slika 6.33 - Cijevni razvod s regulacijom protoka pojedine dionice i ogrjevnog tijela

### 6.5.1. Armatura za hidrauličko balansiranje

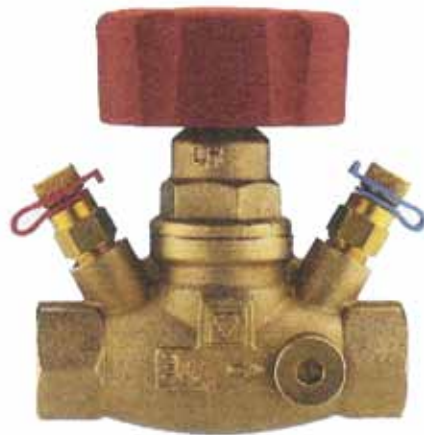
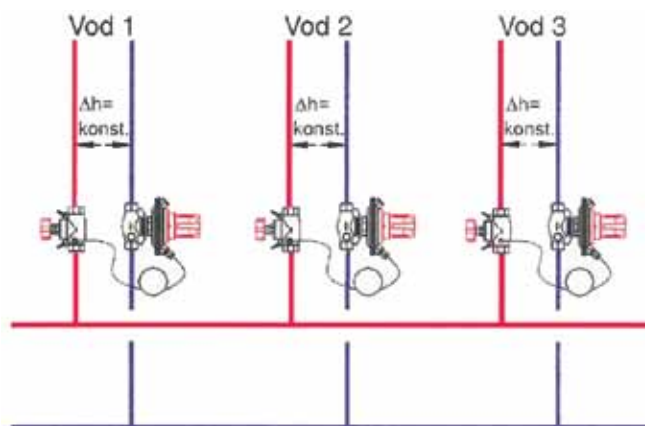
Takve armature moraju imati mogućnost podešavanja pada tlaka i mjerenja protoka.

#### Ventili za regulaciju dionica

Pomoću njih može se preko podešavanja pada tlaka na ventilu, podesiti željeni protok (maksimalni) kroz dionicu. To je potrebno kako bi se spriječilo da dionice s ukupno manjim padom tlaka imaju povećan, a one s većim nedovoljan protok. Uz pomoć ventila za regulaciju (slika 6.34) moguće je svaku dionicu hidraulički uravnotežiti.

#### Regulatori diferencijalnog tlaka

Imaju zadaću održavati razliku tlaka na dionici na željenoj vrijednosti. Regulator diferencijalnog tlaka je proporcionalni regulator i radi bez pomoćne energije. Postavlja se na povratnom vodu. Ventil se povezuje preko voda za prijenos impulsa s ventilom za regulaciju grane, smještenom u polaznom vodu (slika 6.35).


**Slika 6.34 - Ugradnja regulatora diferencijalnog tlaka**

**Slika 6.35 - Ugradnja regulatora diferencijalnog tlaka**

### **Prestrujni ventili**

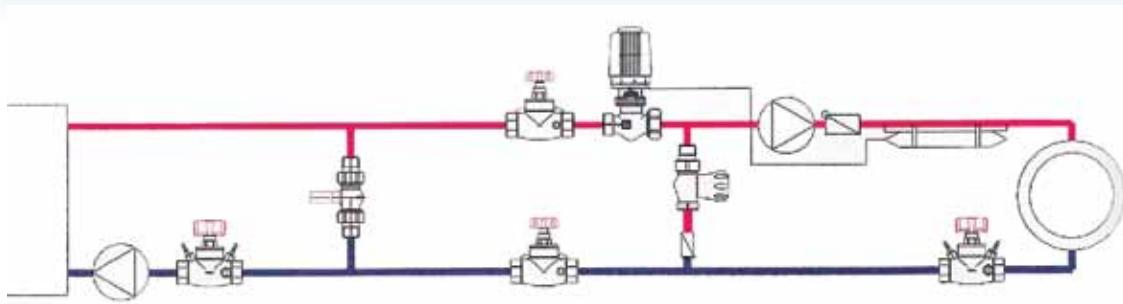
Koristi se kod malih sustava umjesto regulatora diferencijalnog tlaka. Kod prekoračenja maksimalnog tlaka prestrujni ventil otvara i jedan dio tople vode iz polaznog voda, miješa se s povratnom vodom (slika 6.36).

### **Predpodesivi termostatski ventil**

Termostatski radijatorski ventil (slika 6.39) ima važnu ulogu u sustavu grijanja. Njegova je zadaća:

- Registriranje temperature prostorije
- Uspoređivanje iste s namještenom vrijednosti
- Kompenzacija poremećaja podešavanjem protoka kako bi održao temperaturu prostorije konstantnom.

Zato se termostatski ventil kao izvršni organ mora dobro odabrati, a predpodešavanje se mora obaviti na svakom ventilu kako bi se postavio maksimalni protok kroz ventil koji odgovara učinku radijatora. Tako se osigurava da ventil radi u cjelokupnom području regulacije. Treba napomenuti da se termostatski ventili ne stavljaju na instalacije u kojima je ugrađen kotao na kruto gorivo bez akumulacijskog spremnika.

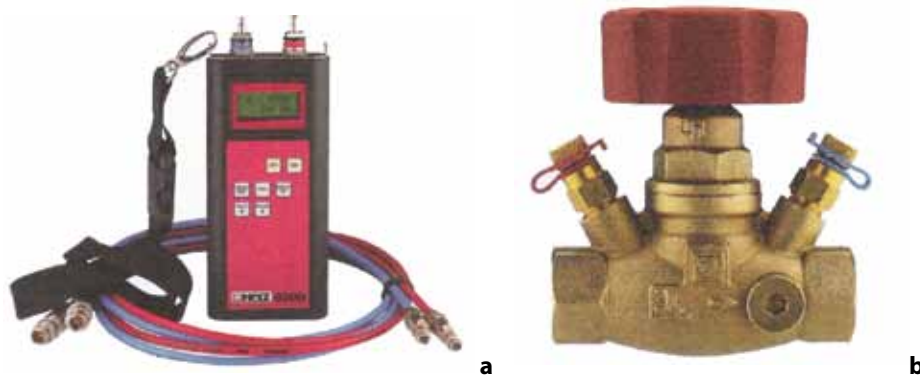


Slika 6.36 - Ugradnja prestrujnog ventila

### 6.5.2. Mjerenje temperature i protoka

Mjerenje temperature nosilaca topline obavlja se temperaturnim senzorima koji se ili ulažu u cjevovod ili se ugrađuju kao naležni (prisanjaju na cijevi). Informativno se temperatura medija može dobiti mjerenjem temperature stjenke cijevi kontaktnim termometrom ili infracrvenim beskontaktnim termometrom.

Mjerenje protoka obavlja se različitim uređajima koji mogu biti ugrađeni u instalaciju, kao turbinski mjerači protoka, rotometri, krilni mjerači. Za mjerenje protoka preko pada tlaka koriste se mjerne blende ili ventili (slika 6.37), preko čijega se pada tlaka može odrediti protok (regulacijski ventili). Za kontrolna mjerenja služimo se ultrazvučnim mjeračima koji se mogu postaviti izvana na cijev.



Slika 6.37 - a) Uređaj za mjerenje diferencijalnog tlaka (služi za podešavanje regulacijskih ventila i određivanje protoka kroz ventil); b) Ventil s mjernim priključcima

### 6.5.3. Aktivnosti koje je potrebno obaviti kroz energetski pregled

Stanje cijevne mreže razvoda nosilaca topline bitno je s jedne strane zbog kontrole toplinskih gubitaka a isto tako i zbog osiguranja traženih protoka kroz ogrjevna tijela, što također pridonosi uštedi energije. Kvalitetno izvedena i balansirana cijevna mreža osigurava i dobar rad cijelog sustava, što rezultira smanjenim gubiticima. Mogućnost regulacije broja okretaja cirkulacijskih crpki dodatno poboljšava učinkovitost sustava.

**Tablica 6.20 - Aktivnosti tijekom i nakon pregleda**

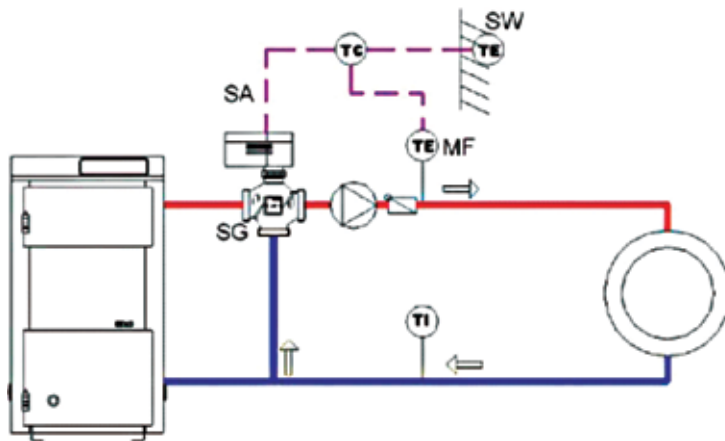
Provjeriti	Predložiti
Opće stanje cijevnog razvoda i armature	Sanacije ako je potrebno
Izolacije cjevovoda	Postavljanje ili sanaciju
Mogućnost mjerenja temperature, protoka	Ugradnju odgovarajućih mjernih uređaja
Da li postoje regulacijski ventili na dionicama i ogrjevnim tijelima	Ugradnju regulacijskih i termostatskih ventila
Cirkulacijske crpke i mogućnost njihove regulacije	Ugradnju cirkulacijskih crpki s promjenljivim brojem okretaja
Knjigu održavanja i podatke o balansiranju sustava	Redovito održavanje i vođenje knjige o radovima na sustavu

## 6.6. Regulacija sustava

Kod sustava grijanja regulacijom se želi održavati temperatura polaza nosilaca topline s ciljem ostvarivanja tražene temperature prostora. Regulacija može biti ručna i automatska.

Razlikujemo također centralnu i lokalnu regulaciju. Centralna regulacija osigurava potrebnu temperaturu polaznog voda sustava centralnog grijanja prema vanjskoj (VR) ili unutrašnjoj temperaturi (SR). Lokalna regulacija osigurava traženu temperaturu u prostoriji.

Svaka se regulacija sastoji od temperaturnog osjetnika, upravljačke jedinice i izvršnog člana (Slika 6.38).


**Slika 6.38 - Regulacija preko vanjske temperature s mješajućim ventilom**

### 6.6.1. Kriteriji za izbor regulacije grijanja

Kriteriji ovise o tome što se želi regulirati:

- Jedna prostorija SR
- Obiteljska kuća SR
- Obiteljska kuća s više jednakih prostorija za boravak i regulacijom polaznog voda prema vanjskoj temperaturi VR
- Kuća s više stanova, škole, uredi, s razdvojenim krugovima grijanja VR prema stranama svijeta.

Općenito vrijedi:

- U referentnoj prostoriji ne smije biti postavljen termostatski ventil
- Osjetnici topline reagiraju na izvor topline kao što su sunce, osobe, uređaji
- Kod podnog grijanja imamo kod regulacije sobne temperature (SR) velika kašnjenja.

Sustav se može optimirati s dopunskim funkcijama:

- Preko dana radi s vanjskom regulacijom (VR)
- Preko uklopnog sata i regulacije preko referentne prostorije (SR)
- Preko obustave grijanja do točke koja osigurava brzo zagrijavanje, ukapčanje preko vanjske regulacije (VR).

Pravilnom kombinacijom dvaju tipova regulacije postiže se ušteda energije.

## 6.6.2. Kontrola sustava

Postizanja traženih parametara ovisi o mjestu postavljanja temperaturnih osjetnika koji daju informaciju sustavu regulacije.

### **Postavljanje osjetnika u prostoriji**

S obzirom na regulaciju, osjetnik treba postaviti u građevinski hladniju prostoriju u odnosu na one u kojima se temperatura regulira termostatski ventilima. S obzirom na kvalitetu mjernog signala, treba osigurati da osjetnik mjeri ispravno temperaturu prostorije. Mjesto postavljanja osjetnika:

- Ne na sunčano mjesto
- Ne blizu izvora topline (lampe)
- Ne na tople zidove (u kojima su cijevi tople vode)
- Ne u niše i kutove prostorija
- Ne blizu vrata koja vode u negrijane prostore
- Ne na cijevi i metalne podloge i mjesta strujanja hladnog zraka.

### **Postavljanje vanjskog osjetnika**

S obzirom na regulaciju preporuča se u prostorijama izloženim sunčevom zračenju postaviti termostatske ventile.

S obzirom na kvalitetu mjernog signala, mjesto postavljanja treba biti:

- Na visini I. kata
- Zaštićeno od lažne topline (prozor)
- Ne u nišama i uglovima objekta.

### **Postavljanje osjetnika polaznog voda**

S obzirom na regulaciju osjetnik se stavlja iza točke mješanja.

S obzirom na kvalitetu signala

- stavlja se iza crpke na vertikalni dio cijevi
- Radi vremenskog kašnjenja ne daleko od mješališta
- Osjetnike staviti nasuprot smjeru strujanja
- Nalježne osjetnike staviti na голу cijev i izolirati.

### **Regulacija niskotemperaturnog grijanja**

Kod niskotemperaturnog grijanja potrebno je izabrati malu temperaturnu razliku polaza i povrata ogrjevnog medija kako bi se ogrjevna tijela držala na što višoj srednjoj temperaturi i tako smanjila potrebna površina za izmjenu topline. Ovo traži 2 do 4 puta veće protoke u mreži ili u odnosu na krug izvora topline. Za smanjenje učinka grijanja, u toku noći, ima smisla ugraditi crpku s promjenljivim brojem okretaja čime se postiže ušteda energije.



### 6.6.3. Aktivnosti koje je potrebno obaviti kroz energetski pregled

Funkcionalnost odabrane regulacije uvjetovana je njezinom izvedbom i pravilno postavljenim osjetnicima preko kojih se dobivaju upravljačke veličine. Ispravno odabrana i održavana regulacija osnovni je uvjet za učinkoviti rad sustava grijanja i uštedu energije.

**Tablica 6.21 - Aktivnosti tijekom i nakon pregleda**

Provjeriti	Predložiti
Sustav regulacije i njegovu kompatibilnost sa sustavom grijanja odnosno karakteristikama objekta	Sanacije ako je potrebno
Mjesta postavljanja temperaturnih osjetnika	Postavljanje na ispravno mjesto
Održavanje regulacije	Automatsko praćenje mjerenih i reguliranih veličina za veće objekte
Mogućnost praćenja reguliranih veličina	Ugradnju regulacijskih i termostatskih ventila ili njihova skidanje ukoliko remete regulaciju
Knjigu održavanja i podatke o umjeravanju osjetnika	Redovito održavanje i vođenje knjige o radovima na sustavu

## 6.7. Kapacitet sustava grijanja

### 6.7.1. Potrebna snaga sustava grijanja

Potrebna snaga sustava grijanja načelno se određuje na osnovi transmisijskih gubitaka zbog infiltracije zraka i dobitaka (izvori topline), izračunatih na osnovi poznatih koeficijenata prolaza topline gradbenih elemenata, zidova, stropova, podova i njihovih pripadajućih površina, količine zraka koja prodire u prostore te razlike temperatura zraka s vanjske i unutrašnje strane. Pri tome se za vanjsku temperaturu uzima projektna vanjska temperatura za pojedinu građevinu zonu.

$$P = P_t + P_l - P_d, \text{ [kW]} \quad (6.12)$$

Gdje su:

- $P_t$  - transmisijski gubitci
- $P_l$  - gubitci zbog infiltracije zraka
- $P_d$  - dobici od sunca i uređaja i drugih aktivnosti

OVAKO izračunata snaga predstavlja potreban toplinski učinak sustava grijanja za izabrane projektne parametre. Izvor topline mora imati veću snagu zbog gubitaka samog izvora, cijevne mreže i regulacije.

$$P_i = \frac{P}{\eta_u}, \text{ [kW]} \quad (6.13)$$

Ukupni stupanj djelovanja sustava grijanja možemo tada izraziti preko pojedinačnih stupnjeva djelovanja

$$\eta_u = \eta_k \cdot \eta_c \cdot \eta_r \quad (6.14)$$

Učinkovitost pojedinih uređaja za pretvorbu energije (peći, kotlovi, grijalice) dobivamo mjerenjem prema odgovarajućim normama. U tablicama 6.22 i 6.23 dane su pojedinačne učinkovitosti uređaja, cijevne mreže i regulacije sustava grijanja.

Tablica 6.22 - Stupanj i uvjeti djelovanja cijevne mreže i regulacije

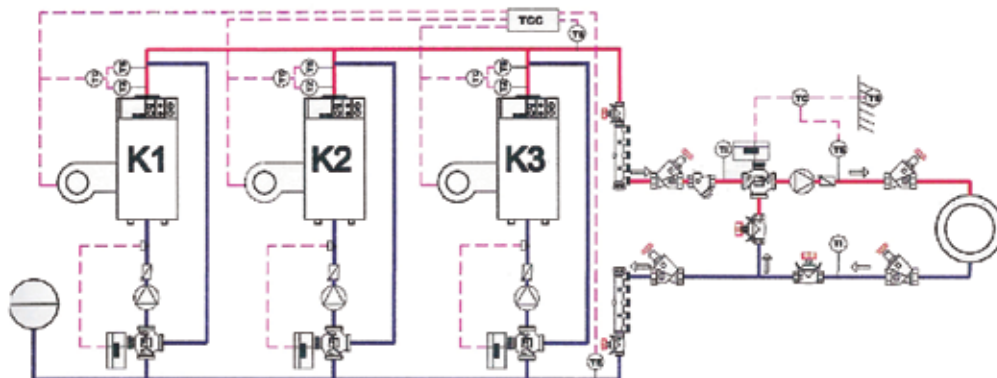
Cijevna mreža	Stupanj djelovanja	Uvjeti
	Ovisno o duljini i kvaliteti izolacije i razvodu cijevi	95% do 98%
Regulacija	Centralna automatska	95%
	Ručna kontrolirana	92%
	Ručna nekontrolirana	90%

Tablica 6.23 - Učinkovitosti uređaja na kruta goriva

VRSTA UREĐAJA	STUPANJ DJELOVANJA
Peći i štednjaci	60% do 75%
Kotlovi starija izvedba	60% do 75%
Kotlovi nova izvedba	80% do 90%
Kotlovi na biomasu	82% do 92%
Peleti	87% do 92%
Sječka	85% do 90%
Kombinirani kotlovi	70% do 78%
Kombinirani kotlovi (kruto)	65% do 75%
Standardni	85% do 90%
Niskotemperturni	90% do 95%
Standardni	92% do 95%
Niskotemperturni	95% do 98%
Kondenzacijski	do 108%

### Sustavi s više kotlova

Kod pojedinih objekata zbog specifičnosti njihovog korištenja ili pouzdanosti rada, potrebno je postaviti sustav s više kotlova (slika 6.39). Za postizanje optimalnog rada takvog sustava potrebno je svaki izvor topline podesiti na maksimalni učinak uz minimalne emisije štetnih tvari u zrak.



Slika 6.39 - Sustav s više kotlovskih jedinica (standardni kotlovi)

### 6.7.2. Godišnji stupanj djelovanja

Pored stupnjeva djelovanja dobivenih na osnovi mjerenja prema normama, korisno je poznavati i godišnji stupanj djelovanja koji odražava stvarno stanje sustava. Ovaj podatak bitan je i za odluku o potrebnoj snazi izvora topline. Treba težiti da kotao što duže radi na snazi bliskoj nominalnoj, a to znači da je bolje imati malo podkapacitiran nego prekapacitiran uređaj. Za određivanje godišnjeg stupnja djelovanja kotla, potrebno je znati broj dana loženja i broj sati rada plamenika.

$$\eta_{GOD} = \frac{\eta_K}{\left(\frac{b_R}{b_D} - 1\right) \cdot q_b + 1} \quad (6.15)$$

gdje su:

- $\eta_{GOD}$  - godišnji stupanj djelovanja
- $\eta_K$  - stupanj djelovanja kotla
- $b_{RP}$  - broj sati rada plamenika
- $b_{OD}$  - broj ogrjevnih dana u godini izražen u satima
- $q_b$  - gubitci pripravnosti kotla.

### 6.7.3. Aktivnosti koje je potrebno obaviti kroz energetski pregled

Za dobivanje potpune slike o sustavu koji se promatra, potrebno je pregledati postojeću dokumentaciju, prikupiti podatke o svim bitnim elementima sustava i proučiti način regulacije i upravljanja sustavom.

**Tablica 6.24 - Aktivnosti tijekom i nakon pregleda**

Provjeriti	Predložiti
Sustav regulacije i njegovu kompatibilnost sa sustavom grijanja odnosno karakteristikama objekta	Izmjene ako je potrebno
Da li se prate potrošnja goriva i isporučena energija	Postavljanje mjerila
Da li postoji knjiga održavanja	Uvođenje knjige održavanja
Da li postoje zapisi o mjerenju emisija u zrak	Čuvanje zapisa i analizu
Da li postoji dokumentacija za objekt i sustave grijanja i pripreme sanitarne vode	Izrada dokumentacije

## Reference

- [6.1] BISRIA Guide; „*The Illustrated Guide to Renewable Technologies*“; BISRIA, London, UK, 2008.
- [6.2] BSRIA Guide; „*CHP for Existing Buildings*“ BSRIA, London, UK, 2007.
- [6.3] Recknagel, Sprenger, Schramek, Čeperković; „*Grejanje i klimatizacija*“, INTERKLIMA, Vrnjačka Banja, 2004.
- [6.4] Rudolf Jauschovec; „*HERZ toplovodno grijanje-hidraulika*“, HERZ Armaturen GmbH, Beč, 2004.
- [6.5] Srećko Švaić i ostali; „*Izveštaji ispitivanja toplovodnih kotlova*“, FSB Zagreb, Zagreb, HR
- [6.6] Grupa autora; „*Priručnik za energetske savjetnike*“ UNDP Hrvatska, Zagreb 2008.
- [6.7] TESTO; „*Flue Gas Analysis for Practical Users*“, Testo GmbH, Njemačka.



## 7. ALTERNATIVNI SUSTAVI I OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE ZA GRIJANJE, HLAĐENJE I PRIPREMU POTROŠNE TOPLE VODE

### 7.1. Obnovljivi izvori energije

U današnje vrijeme sve više raste svijest o opasnostima koje donosi povećano zagrijavanje atmosfere i onečišćenje okoliša kao posljedica progresivnog rasta potrošnje energije koja se uglavnom dobiva iz fosilnih goriva. Iz tih se razloga te ubrzanog rasta cijena fosilnih goriva, kao i predviđanja o njihovom nestajanju u skoroj budućnosti, svijet sve više okreće prema pronalaženju efikasnijih načina proizvodnje i potrošnje energije te posebice korištenju obnovljivih izvora energije.

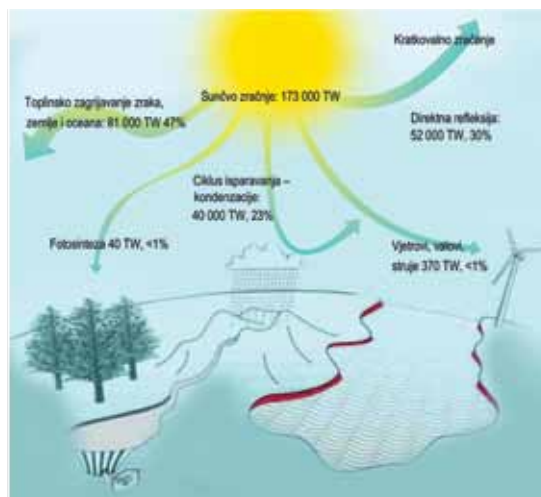
#### 7.1.1. Princip obnovljivosti energije

Sunčevo zračenje je najveći izvor obnovljive energije na Zemlji gdje se pretvara u druge oblike obnovljive energije (slika 7.1) poput:

- energije vjetra
- hidroenergije
- biomase
- energije valova
- energije morskih struja
- toplinske energije oceana.

Ostali oblici obnovljivih energija uključuju :

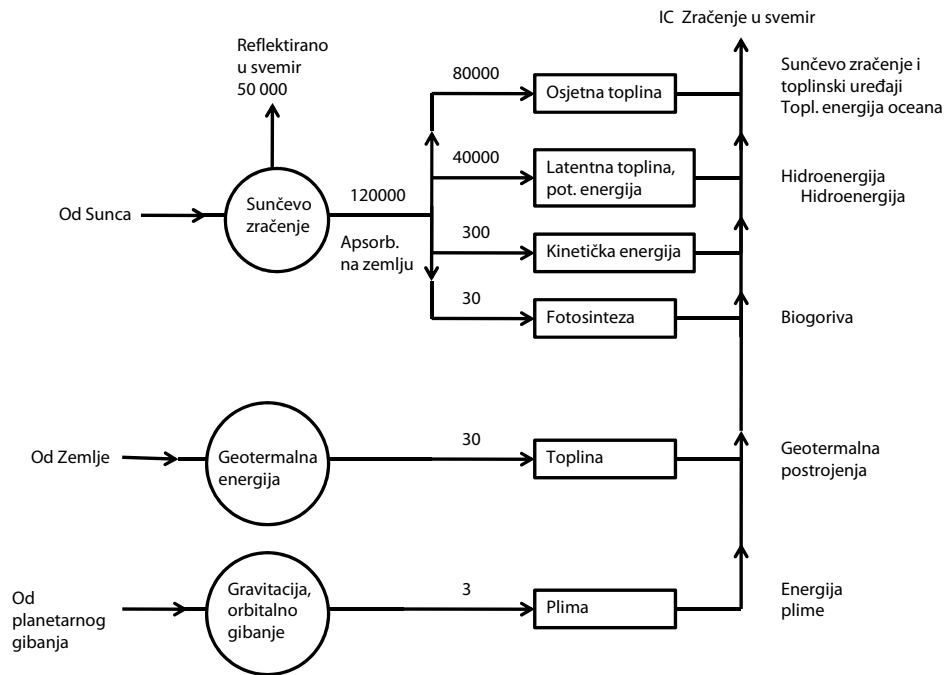
- geotermalnu energiju kojoj su izvor toplinski kapacitet zemljine jezgre te kemijske i nuklearne reakcije u slojevima duboko ispod zemljine površine i
- energiju plime i oseke koja ima izvor u orbitalnom gibanju te gravitacijskim silama između Zemlje, Mjeseca i Sunca.



Slika 7.1 - Energija Sunčevog zračenja pretvorena u različite oblike obnovljivih energija na Zemlji [7.2]

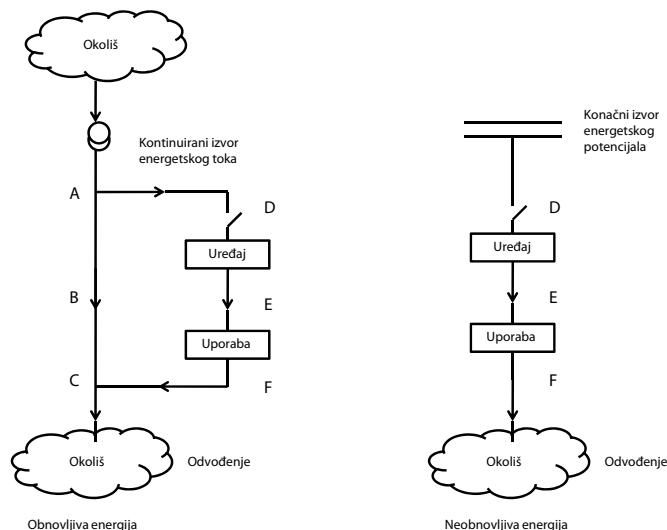
Kako je vidljivo iz prikaza energetske tokove obnovljive energije na slikama 7.1 i 7.2, od pristiglih 173 000 TW Sunčeve energije do granice atmosfere, na Zemlji se apsorbira 120 000 TW, što je 7500 puta više od svjetskih potreba za primarnom energijom koji imaju ekvivalent od 16 TW (2006. g.). Pri tome valja napomenuti da je ta Sunčeva energija dozračena na veliku površinu tako da rezultira relativno malom vrijednosti gustoće energetske tokove <math><1 \text{ kW/m}^2</math>. Dozračena Sunčeva energija pretvara se u osjetnu i latentnu toplinu, odnosno troši se na zagrijavanje zemljine površine, oceana i atmosfere te na ishlapljivanje vode. Jedan vrlo mali dio (<math><1\%</math>) iskoristi se u biljkama kroz proces fotosinteze te za pokretanje vjetrova, valova i morskih struja koji

svi primarno nastaju uslijed različitog zagrijavanja pojedinih dijelova Zemlje. Pri svemu tome najveći potencijal ima direktno korištenje Sunčevog zračenja (npr. uz pomoć sunčevih toplovodnih kolektora, fotonaponskih ćelija), hidroenergija te toplinska energija akumulirana u oceanima i tlu. Mogućnost iskorištenja pojedinog potencijala ovisi ponajviše o karakteristikama odgovarajućeg oblika obnovljive energije te dosegnute tehnološke razine uređaja i sustava koji je koriste.



Slika 7.2 - Prirodni tok obnovljive energije na Zemlji (jedinica 1 TW) [7.3]

Osnovna razlika između obnovljive i energije dobivene iz fosilnih goriva, očituje se kroz princip obnovljivosti energije koji je prikazan na slici 7.3, a na kojoj se vidi kako je obnovljiva energija prilikom njenog korištenja samo "skrenuta" iz svog prirodnog obnovljivog toka te opet vraćena u njega, pri čemu je ukupni prirast energije u okolišu jednak nuli. Energija iz fosilnih goriva je dobivena iz statičnog izvora, gdje se skladištila milijunima godina, te je u kratkom vremenu oslobođena u okoliš ljudskim djelovanjem. Pri tome je ukupni prirast energije u okolišu jednak upravo energiji oslobođenoj iz goriva.



Slika 7.3 - Tijek obnovljive i energije iz fosilnih goriva kroz okoliš [7.3]

### 7.1.2. Karakteristike obnovljive energije

Jedna od jako naglašenih razlika između obnovljive i energije iz fosilnih goriva leži u veličini gustoće energetske toka pri prvotnoj pretvorbi u, za korisnika, prikladan oblik energije. Tako je vrijednost gustoće energetske toka obnovljive energije uglavnom  $<1 \text{ kW/m}^2$  (npr. Sunčevo zračenje, energija vjetera pri  $10 \text{ m/s}$ ), dok fosilna goriva omogućuju postizanje nekoliko redova veličine većih vrijednosti (primjerice u ložištu toplovodnog plinskog kotla je moguće izmijeniti  $100 \text{ kW/m}^2$  toplinske energije, ili nekoliko  $\text{MW/m}^2$  u izmjenjivaču topline nuklearnog reaktora). Vrijednosti gustoće energetske toka pri konačnoj uporabi su dakako puno manje i otprilike su jednake kod obnovljive i energije iz fosilnih goriva. Iz svih tih razloga obnovljiva energija je često prikladnija za lokalizirano iskorištavanje pri samom korisniku, dok je ona iz fosilnih goriva prikladna i za centralnu pripremu i daljnju distribuciju.

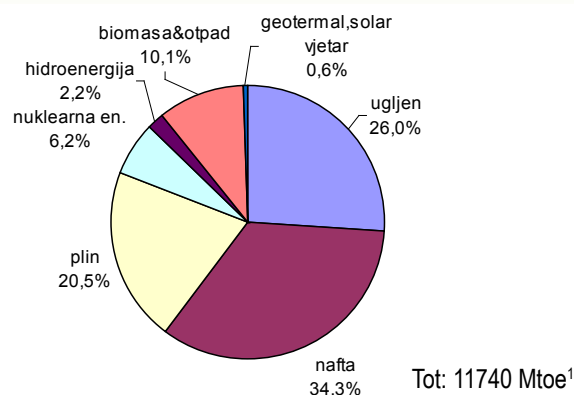
Obnovljivu energiju karakterizira nekontrolirana promjenjivost u vremenu, što nameće potrebu za uskladištenjem i pažljivom regulacijom da bi se trenutno raspoloživi energetski tok izvora i prikupljanje, uskladili s potrošnjom te potrebu za postojanjem pomoćnog (fosilnog) izvora energije. Različita raspoloživost obnovljive energije na različitim lokacijama zahtijeva poznavanje potencijala za iskorištavanje te pažljivo dimenzioniranje sustava za iskorištavanje, ovisno o lokaciji ugradnje. Određivanje potencijala često uključuje dugogodišnje praćenje meteoroloških parametara odabrane lokacije (npr. brzine vjetera, Sunčevo zračenje...) ili pak nekih drugih relevantnih parametara poput proizvodnje i korištenja biomase, otpadnog materijala i dr. Efikasnosti pretvorbe obnovljive u korisnu energiju su oko 50% kod sunčanih toplovodnih kolektora, 10% kod fotonaponskih ćelija, 70% kod toplovodnih kotlova na biomasu, 60% kod hidroelektrana, 30% kod vjetroelektrana, 75% kod elektrana koje koriste energiju plime ili valova. Zbog svega navedenog iskorištavanje obnovljive energije zahtijeva temeljite tehnološko – ekonomske analize izvedivosti pojedinih rješenja te načelno multidisciplinarni pristup, a koji uključuje područja poput biologije, kemije, meteorologije, poljoprivrede, geologije, strojarstva, elektrotehnike, arhitekture. Naposljetku valja napomenuti da iskorištavanje obnovljivih energija, zbog svoje kompleksnosti te često značajno većih troškova po jedinici korisniku dobavljene energije, podrazumijeva visoku razinu ekološke osviještenosti kako lokalne zajednice tako i energetskih stručnjaka.

## 7.2. Pregled osnovnih vrsta obnovljivih izvora energije

### 7.2.1. Sunčeva energija

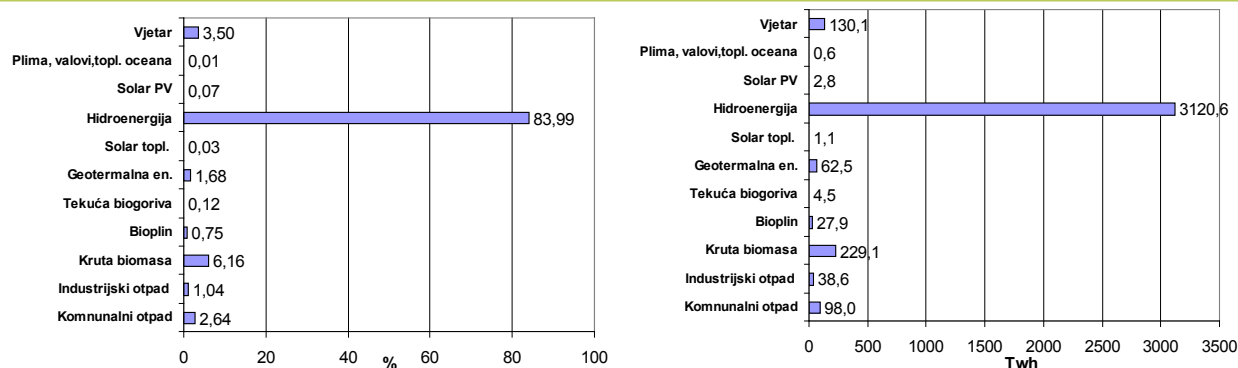
Energija Sunčevog zračenja se direktno iskorištava pomoću sunčanih kolektora za zagrijavanje vode i zraka, koncentrirajućih kolektora za proizvodnju električne energije te fotonaponskih ćelija za direktnu proizvodnju električne energije. Osim za potrebe grijanja, kolektori se koriste u sklopu sorpcijskih sustava i za hlađenje. Pasivno iskorištavanje energije Sunčevog zračenja uključuje razne arhitektonske mjere s ciljem što veće apsorpcije i akumulacije dozračenog energije u zgradama za potrebe grijanja prostora, te kao takvo nije predmet ovog poglavlja. Tipične vrijednosti efikasnosti pretvorbe Sunčeve u korisnu energiju iznose oko 50% za toplovodne kolektore (pločaste i vakuumske), 20% za koncentrirajuće kolektore, 10% za fotonaponske ćelije, dok je kod sunčanih sorpcijskih rashladnih sustava odnos rashladnog učinka i pogonske energije Sunčevog zračenja  $\text{SPCF} < 0,15$ . Nominalne snage sustava za direktno iskorištavanje Sunčeve energije kreću se od  $1 \text{ kW}$  kod sustava s toplovodnim kolektorima ili od  $50 \text{ W}$  kod fotonaponskih sustava, pa sve do nekoliko  $\text{MW}$  kod sunčanih elektrana s paraboličnim kolektorima ili fotonaponskim ćelijama. S obzirom na relativno male vrijednosti gustoće energetske toka Sunčevog zračenja ( $<1 \text{ kW/m}^2$ ), sunčani sustavi se u praksi uglavnom koriste za lokalnu opskrbu energijom, primjerice, obiteljskih kuća, autokampova, marina, hotela. Sunčane elektrane kao centralizirani sustav iziskuju znatno veće investicijske troškove po jedinici proizvedene energije i isplative su isključivo uz subvencije, bilo u fazi investicije ili naknadno kroz cijenu proizvedene električne energije. Udio direktnog iskorištavanja energije Sunčevog zračenja u ukupnoj potrošnji je uglavnom manji od  $0,1\%$  u svijetu i većini zemalja EU-a, za razliku od npr. biomase s udjelom od  $10\%$ , slika 7.4. U skoroj budućnosti se ne očekuje značajnije povećanje tog udjela, bez obzira na mnogobrojne poticaje te progresivni rast broja instaliranih kolektora i fotonaponskih ćelija. Unatoč tim malim udjelima, sunčani sustavi mogu znatno doprinijeti povećanju godišnje efikasnosti konvencionalnih sustava uz koje su najčešće instalirani kao nadopuna te primjerice smanjiti vršna opterećenja za električnom energijom kakva se u ljetnoj turističkoj sezoni redovito javljaju na našoj obali i otocima zbog korištenja električnih bojlera. Da mjesta značajnom rastu solarnog tržišta u Republici Hrvatskoj ima, pokazuju podaci o 3 puta manjoj instaliranoj površini toplovodnih sunčevih kolektora u odnosu na Sloveniju i čak 50 puta manjoj u odnosu na Austriju, a koja ima gotovo dva puta manju godišnju ozračenost u odnosu na primorsku Hrvatsku. Pri tome treba istaknuti važnost državnih poticaja koji u mnogim zemljama EU-a dosežu i  $50\%$  cijene ukupne investicije u sunčani sustav. Važeće norme u Republici Hrvatskoj za uporabu i ispitivanje toplovodnih sunčanih kolektora su HRN EN 12975-1,2, a za sunčane sustave se koriste HRN EN 12976-1,2, ISO 9459-5.



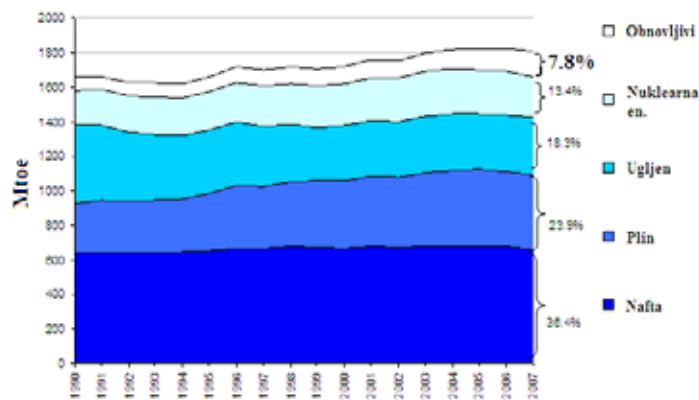


Slika 7.4 - Udio pojedinih izvora energije u ukupnoj svjetskoj potrošnji primarne energije 2006. godine [7.5]

**Napomena:** el. energija dobivena iz hidroenergije i energije vjetra ovdje nije svedena na ekvivalentnu količinu fosilnog goriva koju bi trebalo potrošiti u konvencionalnoj termoelektrani za njenu proizvodnju, onako kako se nekad računalo (pa su npr. vrijednosti udjela hidroenergije bile oko tri puta veće!), već je prema novoj konvenciji IEA računato sa stvarnom energetskom vrijednosti proizvedene el. energije

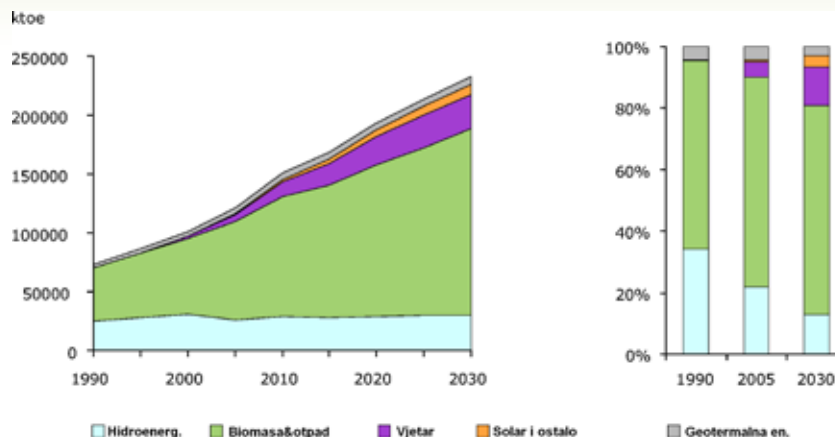


Slika 7.5 - Korištenje pojedinih vrsta obnovljivih energija u svijetu 2006. godine [7.5]

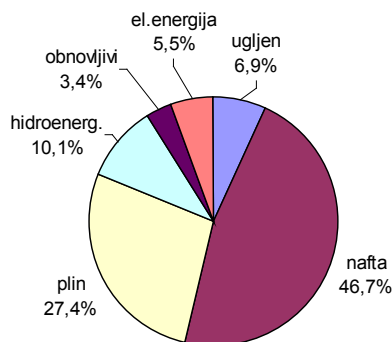


Slika 7.6 - Udio pojedinih izvora energije u ukupnoj potrošnji primarne energije u EU, (udio obnovljivih je 7,8% u 2007.) [7.6]

<sup>1</sup> Mtoe – (engl. Million Tonnes of Oil Equivalent) je iznos energije oslobođen izgaranjem milijun tona sirove nafte =  $44.868 \times 10^6$  GJ



Slika 7.7 - Korištenje pojedinih vrsta obnovljivih energija u EU [7.6]



Slika 7.8 - Udio pojedinih izvora energije u ukupnoj potrošnji primarne energije u R. Hrvatskoj 2007. g. [7.7]

**Napomena: u udjelu obnovljivih izvora od 3,4% najveći dio otpada na biomasu, dok ostali obnovljivi izvori sudjeluju s manje od 0,5% u ukupnoj potrošnji primarne energije**

## 7.2.2. Biomasa

Biomasa je organski materijal nastao tijekom procesa fotosinteze, odnosno spajanja  $\text{CO}_2$  i vode pod djelovanjem fotona iz Sunčevog zračenja, pri čemu nastaju ugljikohidrati kisik i voda, i kao takva zapravo predstavlja akumuliranu energiju Sunčevog zračenja i to u ukupnom iznosu od oko 90 TW (skupa s proizvedenim  $\text{O}_2$ ). U reverzibilnoj reakciji spajanja s kisikom tijekom izgaranja i prirodnih metaboličkih procesa (npr. raspadanja, fermentacije..), oslobađa se toplinska energija u iznosu od 16 MJ/kg (suhe tvari) te  $\text{CO}_2$  i voda. U takvom teoretskom zatvorenom ciklusu je neto prirast  $\text{CO}_2$  jednak nuli. U prirodi načelno postoji ravnoteža između količine  $\text{CO}_2$  iz atmosfere apsorbirane kroz rast biljaka i količine  $\text{CO}_2$  oslobođene kroz procese njihovog raspadanja (kao i kroz respiratorne procese živih bića koji se hrane tim biljkama i dr.). Spaljivanjem biomase oslobađa se jednaka količina  $\text{CO}_2$  (i energija) koja bi ionako bila oslobođena kroz prirodne procese ako je takva potrošnja biomase vremenski usklađena s prirodnim tijekom njenog obnavljanja. U praksi je dakako intenzitet korištenja biomase znatno veći od njenog rasta, tako da i korištenje biomase kao goriva trenutno doprinosi povećanju koncentracije  $\text{CO}_2$  u atmosferi. Najčešće vrste biomase koje se danas koriste su cijepano drvo, drvni ostaci, peleti, brzorastuće biljke, poljoprivredne kulture (šećerna trska, riža, uljana repica, kukuruz, žetveni ostatak, slama), životinjski ostaci, komunalni i industrijski otpad i dr.

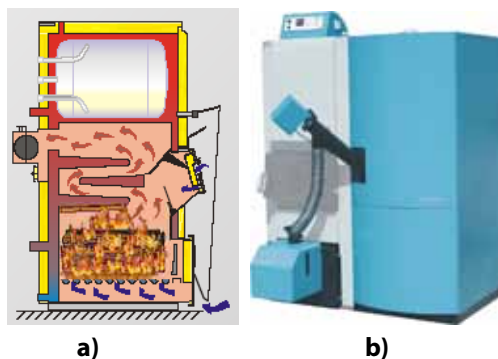
Kroz razne postupke prerade biomase dobivaju se sljedeća biogoriva:

- drveni ugljen (donja ogrjevna vrijednost 30 MJ/kg) dobiven procesom pirolize (zagrijavanje biomase u potpunosti bez prisutnosti zraka ili djelomično izgaranje)
- plinska goriva (mješavine  $H_2$ , CO i  $CO_2$ ) poput npr. drvnog plina (donja ogrjevna vrijednost 5-10 MJ/kg) dobivena kroz proces pirolize ili rasplinjavanja (reakcija biomase s vrućom vodenom parom i zrakom)
- sintetski plin (mješavina  $H_2$  i CO) koji nastaje procesom rasplinjavanja (korištenjem kisika umjesto zraka), a iz kojega se dalje može sintetizirati gorivo visoke ogrjevne vrijednosti poput metana (donja ogrjevna vrijednost 55 MJ/kg) ili metanola koji je najprikladnija zamjena za benzin
- etanol - dobiva se kroz anaerobne procese fermentacije biomase sa značajnim udjelom ugljikohidrata (poput šećerne trske ili ostatka nakon obrade-molase, kukuruza, krumpira)
- bioplin (mješavina metana i  $CO_2$ ) koji se dobiva procesom anaerobne digestije (uz djelovanje bakterija) iz životinjskog otpada (gnojiva) ili pak komunalnog/industrijskog otpada
- biljna ulja poput biodizela (donja ogrjevna vrijednost 38 MJ/kg – za usporednu dizel ima oko 42 MJ/kg, benzin 46 MJ/kg) ili kokosovog ulja dobivena mehaničkim postupcima iz uljane repice, suncokreta i kokosa.

Danas se biomasa najviše koristi za dobivanje toplinske energije direktnim izgaranjem u pećima, kaminima, kotlovima (slika 7.9), bilo za potrebe kuhanja, grijanja prostora i vode, tehnološke procese, pogon plinske turbine produktima izgaranja kod proizvodnje el. energije. Najveći problem takvom korištenju predstavlja vlaga koja se nalazi u gorivu (maseni udio obično >20%) i snižava njegovu donju ogrjevnu vrijednost sa 16 MJ/kg suhe tvari na ispod 14 MJ/kg ukupne (vlažne) mase. Osim smanjenja ogrjevne moći vlažna goriva s više od 18-20% vlage dovode do lošijeg izgaranja u ložištima, odnosno niže efikasnosti, veće koncentracije štetnih plinova ( $CO$ ,  $NO_x$ ,  $C_xH_y$ ) u dimnim plinovima te do taloženja smola na stjenkama ložišta i u dimnjaku. Efikasnosti kod izgaranja biomase kreću se od 70% u standardnim pećima na drvene cjepanice i brikete do visokih 90% u kotlovima na pelete ili u pirolitičkim kotlovima. Nominalne snage uređaja za izgaranje biomase kreću se od 10 kW kod peći i kamina, do 2 MW kod toplovodnih kotlova ili pak do 10 MW kod jedinica s višestupanjskim izgaranjem za tretman komunalnog otpada i proizvodnju topline za daljinsko grijanje. Cijena toplinske energije iz ogrjevnog drveta otprilike je jednaka onoj iz zemnog plina, a povoljnija je od cijene energije iz lož ulja ili el. energije. Za svakodnevnu uporabu prikladniji peleti imaju višu cijenu od ogrjevnog drveta, ali još uvijek nižu od lož ulja te s obzirom na efikasnost i čistoću izgaranja, predstavljaju odličan izbor za kućanstva i veće objekte.

Na svjetskoj razini biomasa predstavlja jedan od značajnijih energetskih izvora s udjelom od 10% pri čemu je taj postotak u industrijaliziranim zemljama niži <5% (osim u Švedskoj 15%), a u zemljama u razvoju znatno viši od 35%.

Udio biomase u ukupnoj potrošnji energije u Republici Hrvatskoj je <4% i odnosi se uglavnom na ogrjevno drvo. Biomasa se smatra jednim od najznačajnijih obnovljivih izvora energije te se njen udio u ukupnoj potrošnji primarne energije u EU planira povećati sa sadašnjih 4% na 10% do 2020. g., uz plansku sadnju brzorastućih biljaka i prikladnih poljoprivrednih kultura. Važeće europske norme u Republici Hrvatskoj kojima su određene karakteristike i ispitivanja uređaja koji koriste biomasu su HRN EN 303-5 (kotlovi), EN 12815 (štednjaci i peći), EN 13240 (grijači prostora) i dr. gdje su između ostalog dane minimalne efikasnosti te granične vrijednosti emisija štetnih plinova poput  $CO$ ,  $C_xH_y$  i prašine.



Slika 7.9 - Uređaji za izgaranje biomase – kotao na a) ogrjevno drvo i b) na pelete

### 7.2.3. Vjetar

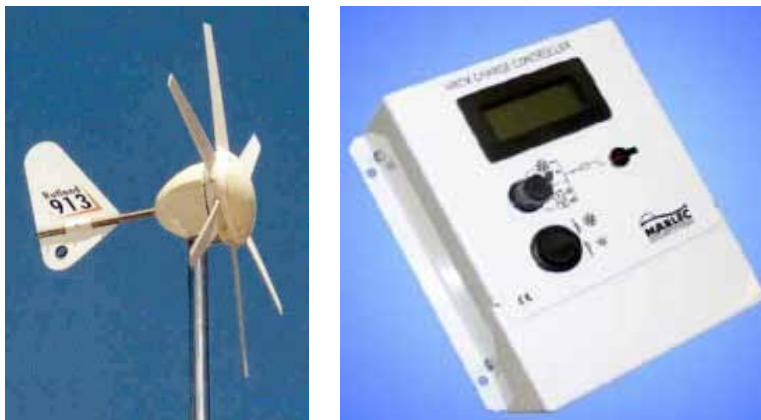
Vjetrovi nastaju kao posljedica nejednolikog intenziteta zagrijavanja različitih dijelova Zemlje. Danas se energija vjetra u značajnijoj mjeri koristi za proizvodnju električne energije te u manjoj mjeri za pumpanje vode. Procijenjeni ukupni energetski potencijal vjetrova na Zemlji je oko dva puta veći od svjetskih potreba za električnom energijom. Energija vjetra brzine 12 m/s (pri kojoj se često izražava nominalna snaga vjetroturbine) koju je moguće iskoristiti na standardnoj vjetroturbini s horizontalnom osi (slika 7.10) iznosi oko 300 W/m<sup>2</sup> površine presjeka okomite na smjer strujanja vjetra. Ukupna godišnja količina električne energije dobivena takvom turbinom, iznosi primjerice za područje Danske oko 2-3 kWh/W instalirane snage (što daje 200-300 kWh/m<sup>2</sup> presjeka strujanja pri prosječnoj brzini od oko 8 m/s, odnosno 100 W/m<sup>2</sup> presjeka strujanja), što je više od godišnje količine električne energije koja se može dobiti iz primjerice visoko učinkovite fotonaponske elektrane nominalne snage 500 kW (monokristalične ćelije  $\eta=13\%$ ) u Švicarskim Alpama, a koja iznosi 1-1,5 kWh po 1 W instalirane snage (tj. 150 kWh/m<sup>2</sup> površine fotonaponskih ćelija), uz naravno i znatno manju zauzetu površinu tla kod vjetroturbina. Prije instaliranja svake vjetroturbine, potrebno je provesti mjerenja brzine vjetra tijekom najmanje jedne a često i više godina, i to na raznim visinama od tla, s obzirom na to da se brzina vjetra povećava s udaljenošću od tla.

Danas se za pretvorbu energije vjetra u električnu najčešće koriste vjetroturbine s horizontalnom osi nominalne snage u prosjeku do 1 MW i promjera rotora do 60 m, s jednom, dvije ili tri lopatice. Takve se vjetroturbine obično uključuju u rad pri brzinama vjetra od 5 m/s te postižu svoju maksimalnu snagu kod brzina 12-14 m/s koja se potom regulacijom održava konstantnom sve do brzina 30 m/s kada dolazi do zaustavljanja rotora radi sprječavanja oštećenja. Iz tih se razloga ne može iskoristiti sav energetski potencijal vjetra, pa tako niti onda kad primjerice bura puše brzinom većom od 30 m/s (108 km/h). Turbine s osi okomitom na smjer vjetra, a čiji rad ne ovisi o smjeru vjetra, nisu još zaživjele u praksi zbog tehničkih problema (rezonancije konstrukcije, montaže velikih lopatica i dr.). Efikasnosti vjetroturbina s horizontalnom osi kreću se oko 30%, a cijena instalacije oko 700-1100 EUR/kW za vjetroturbine srednje snage (30-1500 kW). Nasuprot srednjim i velikim vjetroturbinama (>1500 kW) pogodnim za priključak na električnu mrežu, za inidividulane objekte i područja bez električne mreže prikladnije su male vjetroturbine snage do 30 kW čija je specifična cijena proizvedene električne energije veća nego kod srednjih i velikih vjetroturbina, no daleko su jednostavnije i jeftinije za ugradnju. Najveći broj instaliranih malih vjetroturbina snage je do 100 W i koriste se uglavnom u vikendicama, farmama, udaljenim naseljima, svjetionicima, brodovima. Njima se generira istosmjerna struja te je, slično kao i kod fotonaponskih sustava, potrebno imati bateriju s regulatorom punjenja i po potrebi pretvarač u izmjeničnu struju (slika 7.11). Često se male vjetroturbine nadopunjuju u radu s fotonaponskim ćelijama, pružajući tako visoki stupanj autonomije sustava.

2008. godine u EU su najviše instaliranih kapaciteta vjetroelektrana imale Njemačka (23,9 GW), Španjolska (16,7 GW), Italija (3,7 GW), Francuska (3,4 GW), V.Britanija (3,24 GW) i Danska (3,18 GW) [7.8]. Danska tako danas pokriva 21% svih potreba za el. energijom iz svojih vjetroelektrana, Španjolska 12% a Njemačka 7%. Poslije hidroenergije, energija vjetra predstavlja najznačajniji obnovljivi izvor za proizvodnju el. energije, tako da se u EU iz vjetroelektrana ukupne snage 65 GW trenutno pokriva 4,2% ukupnih potreba za el. energijom (ili 142 TWh) [7.8], a do 2020. g., planira se sa 180 GW pokriti oko 12% predviđenih potreba za el. energijom. U R. Hrvatskoj iskorištavanje energije vjetra je na vrlo niskoj razini, a određeni pomaci učinjeni su instaliranjem vjetroelektrana na Pagu (6 MW, proizvede 15 000 MWh godišnje), na brdima Trtar-Krtolin (11,2 MW, proizvede 32 000 MWh godišnje - dovoljno za opskrbu 10 000 domaćinstava) i Orlice (9,6 MW) iznad Šibenika te Vrataruše iznad Senja (42 MW), pri čemu postoje planovi za instalaciju više od 200 MW novih kapaciteta u skoroj budućnosti.



Slika 7.10 - Vjetroatragat s horizontalnom osi

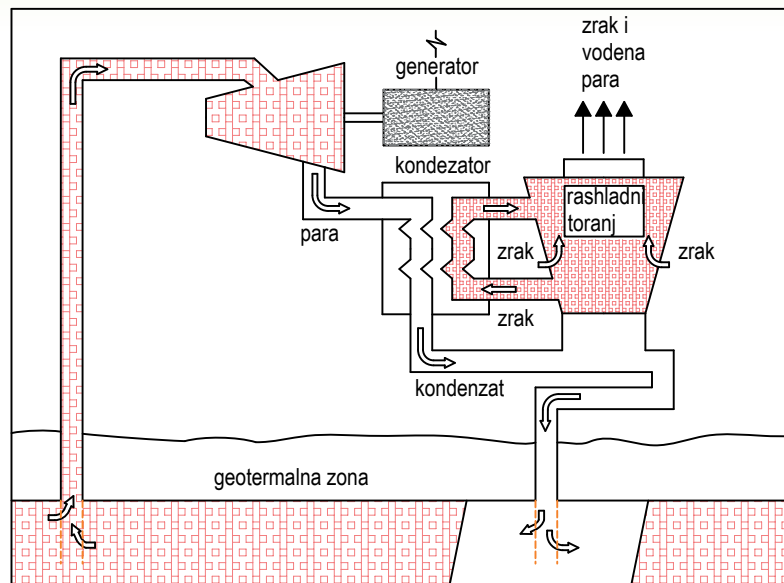


Slika 7.11 - Mala vjetroagregat ( 70 W ) i regulator punjenja

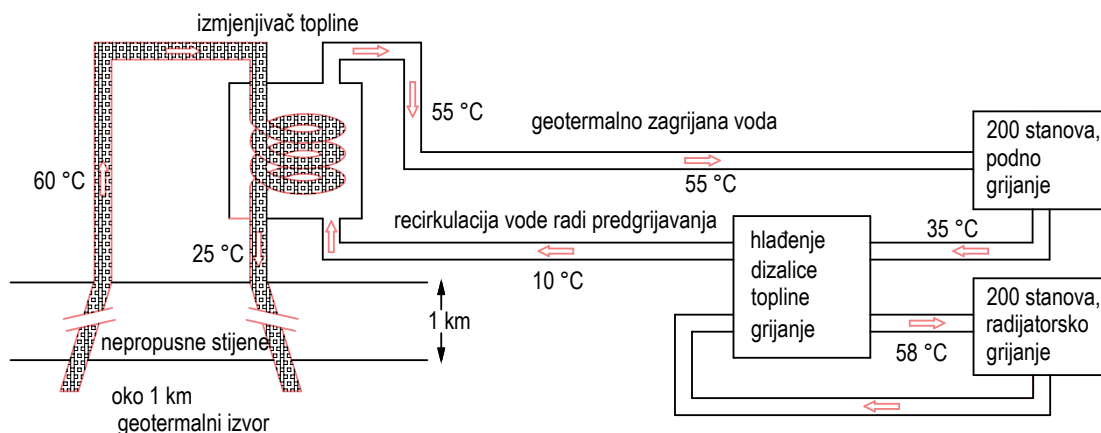
#### 7.2.4. Geotermalna energija

Geotermalna energija je jedina obnovljiva energija koja izvor ima u samoj Zemlji, odnosno u jezgri temp. 7000°C kao i u raspadu radioaktivnih izotopa urana, torija i kalija u slojevima bližim površini te u raznim kemijskim reakcijama. Prosječna gustoća toplinskog toka uslijed temperaturne razlike jezgre i površine Zemlje iznosi malih 0,06 W/m<sup>2</sup> uz vertikalne temperaturne gradijente < 40°C/km. No, u pojedinim područjima, posebice na granicama ploča površinskog sloja i vulkanski aktivnim područjima (npr. Island, južna Italija), ta je gustoća toplinskog toka znatno veća – 0,3 W/m<sup>2</sup> uz vertikalne temperaturne gradijente >80°C/km. Geotermalna energija danas se u svijetu najčešće koristi za proizvodnju električne energije (10 GW, 2007.g.) te za potrebe grijanja u zgradama ili proizvodnih procesa (iskorištenih 8 GW od nominalnih 28 GW, 2007.g.). Proizvodnja električne energije je ekonomična samo ako je geotermalna energija raspoloživa na temperaturama >150°C i koje u praksi nisu više od 300°C. Pri tome se koriste bušotine kojima se iz prirodnih rezervoara zagrijane vode prisutnih na dubinama do 30 km dovodi para (obično 180-185°C, 8-9 bar) za pogon turbine spojene na el. generator (slika 7.12), uz efikasnost postrojenja < 30%. U slučajevima kada je geotermalni fluid (para ili vruća voda pod visokim tlakom) kemijski neprikladan za direktno korištenje u turbini, koriste se binarni sustavi s indirektnim zagrijavanjem sekundarnog fluida (npr. butan) preko dodatnog izmjenjivača. Za područja u kojima nema prirodnih rezervoara, koristi se relativno nova tehnologija inicijalnog ubrizgavanja vode pod visokim tlakom kroz bušotinu do dubine 3-7 km u područje suhih stijena (npr. granit) s velikim vertikalnim temperaturnim gradijentima, gdje su temperature obično oko 250°C, kako bi se stvorili bazeni vruće vode. Tijekom eksploatacije svježa se voda upumpava u te bazene i kroz drugu, kraću, bušotinu cirkulira nazad prema površini. Geotermalna energija je ipak češće raspoloživa pri nižim temperaturama od prethodno navedenih, odnosno oko 70°C, te se u tim slučajevima geotermalna voda indirektno (zbog visokog udjela minerala i korozivnosti) koristi u daljinskim sustavima grijanja prostora i potrošne tople vode. Jedan takav sustav je prikazan na slici 7.13 uz također ugrađenu dizalicu topline za dodatno iskorištenje energije iz povratne vode relativno niske temperature (35°C).

Geotermalna energija predstavlja jedan od značajnih svjetskih izvora obnovljive energije s obzirom da je godišnja svjetska proizvodnja električne i toplinske energije >60 TWh, uz veliki trend godišnjeg rasta >10%, brzi napredak tehnologija za iskorištavanje i relativno nisku cijenu proizvedene korisne energije. U Republici Hrvatskoj energetska potencijal procijenjen je na oko 800 MW toplinske i 45 MW električne energije, pri čemu se najveći izvori nalaze u području jugozapadnog Zagreba (Blato), Ludbrega, Koprivnice i Valpova (Bizovac) [7.7]. Korištenje je za sad tradicionalno ograničeno na toplice te na sportsko rekreacijske ili hotelske objekte i bolnice, pri čemu se koriste prirodni izvori ili bušotine nastale tijekom istraživanja rezervi nafte i plina.



Slika 7.12 - Jedan od primjera postrojenja za proizvodnju el. energije uz pomoć geotermalnog izvora [7.2]



Slika 7.13 - Sustav daljinskog grijanja na sjeveru Pariza koji koristi geotermalni izvor tople vode, snaga 3-5 MW [7.2]

## 7.2.5. Ostale vrste obnovljivih izvora

### 7.2.5.1. Hidroenergija

Hidroenergija je uz biomasu najznačajniji obnovljivi izvor iz kojega se dobiva 20% svjetske el. energije, a instalirani kapaciteti iznose preko 770 GW uz stalni godišnji rast od 3-4 %. Ukupni energetska potencijal je 26 TW, odnosno 200 000 TWh godišnje, tj. 1,6 puta veći od ukupnih svjetskih energetska potreba za primarnom energijom, dok je tehnički iskoristiv potencijal procijenjen na 2-3 TW, odnosno 10 000-20 000 TWh godišnje. U našoj zemlji se iz hidroelektrana ukupnog kapaciteta 2100 MW dobiva oko 25% ukupne potrošnje el. energije. Tehnologija za iskorištavanje je dobro razvijena i pouzdana, prosječne efikasnosti pretvorbe u el. energiju su visoke (veće od 60%), dugi je vijek trajanja postrojenja (50 godina), cijena proizvedene el. energije relativno niska. Konstrukcija hidroelektrane ovisi ponajviše o raspoloživom vodenom padu. Što je on veći potrebni su manji protoci vode za istu snagu, što znači kompaktnije postrojenje. Danas se najviše koriste radijalne Francisove turbine (maks. efikasnost do 95%), i može ih se naći kod elektrana s raspoloživim vodenim padom od 2 do 200 m. Ipak, kod malih raspoloživih vodenih

padova (do par metara) i nužno potrebnih većih protoka vode, prikladnije je koristiti aksijalnu Kaplanovu turbinu ("propeler"). Kod velikih vodenih padova (250 m) i posljedično velikih brzina vode na ulazu u turbinu, koristi se impulsna Peltonova turbina. Osim velikih hidroelektrana danas se sve više razmatraju male elektrane snage < 5 MW, a kojima se nastoje iskoristiti kapaciteti manjih vodotokova. Pored manjeg utjecaja na okoliš, njima se izbjegava potreba za distribucijom električne energije na velike udaljenosti, a i jednostavnije su za upravljanje i održavanje. Procijenjeni potencijal iskoristiv u malim hidroelektranama iznosi 10-25% ukupnog svjetskog hidropotencijala, tj. oko dodatnih 500 GW, pri čemu trenutno instalirani iznose više od 90 GW, pa tako očito postoji puno prostora za daljnja povećanja.

Općenito, može se ustvrditi da daljnje povećanje korištenja hidro potencijala ponajviše ovisi o spremnosti prihvaćanja neizbježnog utjecaja na okoliš kao i na lokalnu zajednicu.

#### 7.2.5.2. Energija plime

Rezultat gravitacijskih i centrifugalnih sila koje su prisutne između Zemlje, Mjeseca i Sunca, a koje određuju njihovo orbitalno kretanje, je i kretanje vodenih masa na zemlji, odnosno pojavu plime i oseke. Najčešći način korištenja energije plime i oseke je uz pomoć brana izgrađenih u prikladnim zaljevima, a u kojima se na turbinama iskorištava kinetička energija vode tijekom plime i/ili naknadnog povlačenja vode tijekom oseke. Drugi način iskorištavanja uključuje instaliranje potopljenih turbinskih rotora na mjestima gdje su prisutne velike brzine strujanja tijekom plime. Ukupni svjetski potencijal je 3000 GW dok je tehnički iskoristiv potencijal procijenjen na najmanje 120 GW (10% svjetskog hidropotencijala) [7.3]. Najveća elektrana od 250 MW je instalirana u V. Britaniji i proizvodi struju po cijeni usporedivoj s onom iz hidro i nuklearnih elektrana. Može se reći da je tehnologija korištenja energije plime i oseke relativno dobro razvijena, pri čemu se osim velikih investicijskih troškova javlja i problem utjecaja na okoliš, slično kao što je to slučaj i kod hidroelektrana.

#### 7.2.5.3. Energija valova

Valovi nastaju djelovanjem vjetra iznad vodenih površina te kao takvi predstavljaju jedan koncentriraniji oblik energije vjetra, odnosno Sunčeve energije. Energija vala visine 3 m u dubokoj vodi (50 m) je reda veličine oko 50 kW/m širine vala. Sudeći prema tim brojkama, energetska potencijal je velik i za primjerice područje V. Britanije iznosi oko 120 GW. Tehnologija za iskorištavanje energije valova još je u fazi razvoja, tako da su mnoga tehnička rješenja još u ispitivanju - npr. elektrana s oscilirajućim stupcem vode koji pokreće turbinu, a gdje se kinetička energija valova sužavanjem presjeka strujanja pretvara u potencijalnu, kroz podizanje stupca vode u prostoru oko turbine. Drugi načini iskorištavanja uključuju primjerice plutače koje svojim podizanjem i spuštanjem na valovima pokreću struju zraka u cilindru s turbinom, zatim potopljeni cilindar čije se rotiranje uslijed valova prenosi na cilindre koji pumpaju radni fluid na turbine i dr..

#### 7.2.5.4. Toplinska energija oceana

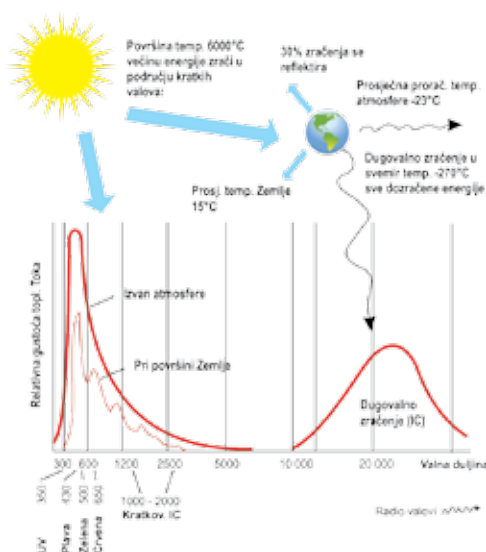
Oceani su najveći kolektori Sunčevog zračenja. Korištenje akumulirane toplinske energije u oceanima za proizvodnju električne energije temelji se na temperaturnoj razlici između tople vode na površini i one hladne na većim dubinama. Te razlike površinske i vode u dubinama od 1000 m mogu biti i do 20°C. U instaliranim probnim postrojenjima (snage oko 100 kW) toplom se vodom s površine preko izmjenjivača topline zagrijava radni fluid (amonijak, freon, voda) koji se u sklopu standardnog Rankinovog parnog procesa dovodi na turbinu. Za kondenzaciju radnog fluida koristi se hladna voda iz dubljih slojeva. Iako se radi o malim temperaturnim razlikama isparivača i kondenzatora te posljedično niskim efikasnostima kružnog procesa - oko 5% (ukupna efikasnost postrojenja je još 50% niža zbog potroška energije za pumpanje vode iz dubina), raspoložive količine vode su velike pa se tako već planiraju postrojenja snage od čak 400 MW.

## 7.3. Sunčevo zračenje

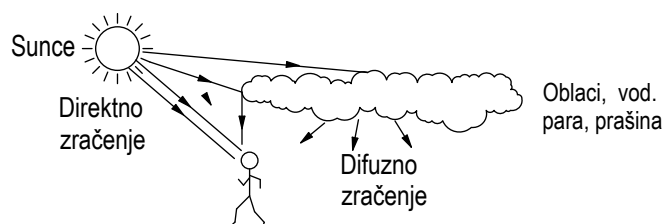
### 7.3.1. Karakteristike

Dio ukupne energije oslobođene kroz reakcije nuklearne fuzije u središtu Sunca ( $380000 \cdot 10^9 \text{ TW}$ ) dozračuje se s njegove površine temperature  $5777 \text{ K}$  našem planetu. Najveći dio te energije u iznosu od  $170\,000 \text{ TW}$  dozrači se u obliku elektromagnetskih valova valne duljine  $\lambda = 0,3 \div 2,5 \text{ }\mu\text{m}$ , tj. kratkovalnim zračenjem (vidljivom i kratkovalnom infracrvenom području). Od toga se na Zemlji apsorbira oko  $120\,000 \text{ TW}$ .

Sunčeva konstanta iznosi  $1367 \text{ W/m}^2$  ( $\pm 1.5\%$  mjerne nesigurnosti) i predstavlja iznos ekstraterestričkog Sunčevog zračenja na granici zemljine atmosfere, iskazanog po jedinici površine plohe okomite na smjer zračenja. Od tog zračenja  $30\%$  se odmah reflektira nazad u svemir, većinom od oblaka, a jedan manji dio od Zemljine površine (većinom snijega i leda). Ostatak zračenja (do  $1 \text{ kW/m}^2$ ) djelomično se apsorbira u atmosferi zagrijavajući je pri tome, dok se preostali dio apsorbira u Zemljinoj površini. Sunčevo zračenje dolazi do površine Zemlje u obliku direktnog i difuznog zračenja. Difuzno zračenje je posljedica raspršivanja zračenja na oblacima te molekulama zraka (Rayleighovo zračenje), vodenoj pari i prašini.



Slika 7.14 - Zračenje prema i sa Zemlje [7.2]



Slika 7.15 - Direktno i difuzno Sunčevo zračenje [7.3]

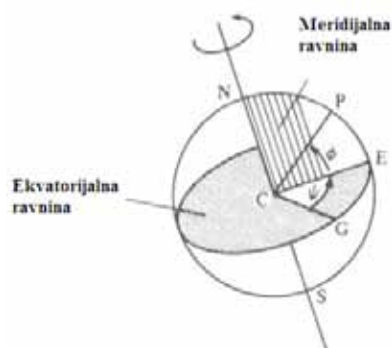
Sunčeva energija koja doprije do Zemljine površine uglavnom se potroši na zagrijavanje zraka, vodenih površina i tla te na ishlapljivanje vode ( $< 1\%$  još na fotosintezi u biljkama te pokretanje vjetrova i valova). Sva Sunčeva energija koju Zemlja primi u konačnici se odzrači natrag u svemir temperature  $-273^\circ\text{C}$  i to s površine prosječne temperature  $15^\circ\text{C}$  te iz gornjih slojeva atmosfere efektivne prosječne temperature  $-20^\circ\text{C}$ . Najveći dio te topline izmijeni se dugovalnim infracrvenim zračenjem u rasponu valnih duljina  $\lambda = 5 \div 25 \text{ }\mu\text{m}$ .



Većina dugovalnog zračenja emitiranog sa zemljine površine, same atmosfere i oblaka ne može proći direktno u svemir jer se djelomično apsorbira u plinovima koji se nalaze u atmosferi, ponajviše u  $\text{CO}_2$ , vodenoj pari i metanu (tzv. staklenički plinovi) a potom se emitira u svim smjerovima, uključujući i onaj prema zemljinoj površini. Taj je prirodni proces poznat i kao "efekt staklenika". Kada ne bi bilo stakleničkih plinova, temperatura zemljine površine bila bi  $-20^\circ\text{C}$  umjesto sadašnjih prosječnih  $15^\circ\text{C}$ , uz znatno veće temperaturne promjene dan/noć. Staklenički plinovi djeluju prema tome kao prirodni izolator, odnosno povećavaju toplinski otpor izmjeni topline između Zemlje i Svemira. Očekuje se da će povećanje koncentracije stakleničkih plinova u atmosferi, a koje je posebno izraženo u nekoliko posljednjih desetljeća, uslijed neumjerenog korištenja fosilnih goriva, dovesti do dodatnog povećanja toplinskog otpora zračenju sa Zemlje u svemir. Kako se u toplinskoj ravnoteži sva na Zemlji primljena Sunčeva energija mora odzračiti nazad u svemir, posljedica povećanja toplinskog otpora je i povećanje temperature zemljine površine i atmosfere.

### 7.3.2. Geometrija Zemlje i Sunca

Slika 7.16 pokazuje Zemljinu ekvatorijalnu i lokalnu meridijalnu ravninu, os, polove i točku P, opisanu zemljopisnom širinom  $\phi_g$  i duljinom  $\psi$ . Prilikom Zemljine rotacije oko vlastite osi, jednom u 24 h meridijalna ravnina CEPN dolazi u paralelni položaj sa smjerom Sunčevih zraka, što označava trenutak sunčevog podneva (12:00) za sve točke te zemljopisne duljine. Satni kut  $\omega$  je kut kroz koji Zemlja rotira i to kutnom brzinom od  $15^\circ/\text{sat}$  ( $360^\circ/\text{dan}$ ).

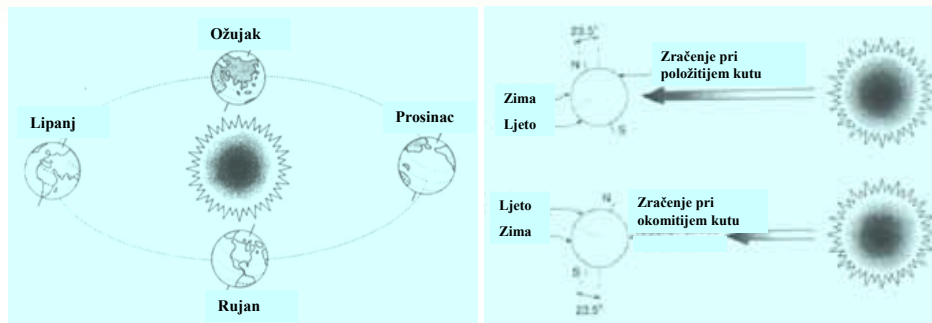


**Slika 7.16 - Definicija zemljopisne širine( $\phi$ ) i dužine( $\psi$ ), te meridijalne i ekvatorijalne ravnine [7.3]**

Varijacija Sunčevog zračenja tijekom godine posljedica je kretanja Zemlje oko Sunca, odnosno promjene kuta između ekvatorijalne ravnine i smjera Sunčevih zraka, pri čemu one više ili manje okomito upadaju na Zemljinu površinu, što uvelike utječe na jačinu zračenja. Dodatno, tom prilikom dolazi i do promjene duljine puta koji Sunčeve zrake moraju proći kroz atmosferu što ima utjecaj na količinu raspršenog, reflektiranog i apsorbiranog zračenja. Deklinacija  $\delta_g$  je kut nagiba Zemljine osi prema ravnini orbite i kao takav je mjera varijacije Sunčevog zračenja kroz godinu, a mijenja se od  $\delta_g = -23.5^\circ$  zimi do  $\delta_g = 23.5^\circ$  ljeti prema izrazu:

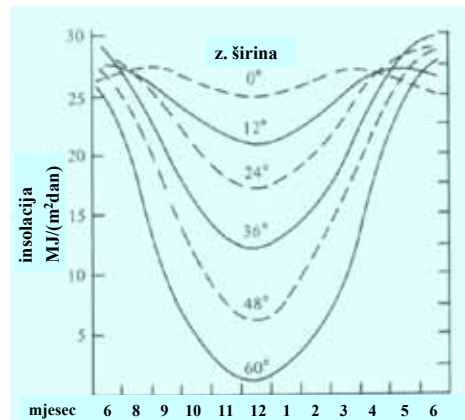
$$\delta_g = 23.45 \sin[360^\circ(284 + n)/365], \quad [^\circ] \quad (7.1)$$

gdje je n redni broj dana u godini brojeći od 1. siječnja.



Slika 7.17 - Promjena nagiba Zemljine osi tijekom okretanja oko Sunca [7.2], [7.3]

Godišnja količina Sunčevog zračenja na horizontalnu plohu, tj. godišnja ozračenost, za područje Zagreba iznosi 1200 kWh/m<sup>2</sup>, a Splita 1600 kWh/m<sup>2</sup>. 75% te energije se doznači u toplijoj polovici godine, tj. od travnja do listopada. Iz dijagrama na slici 7.18 može se, primjerice, vidjeti da je ozračenost za područje Hrvatske (zemlj. širina 45°) u siječnju 5 puta manja nego u lipnju.

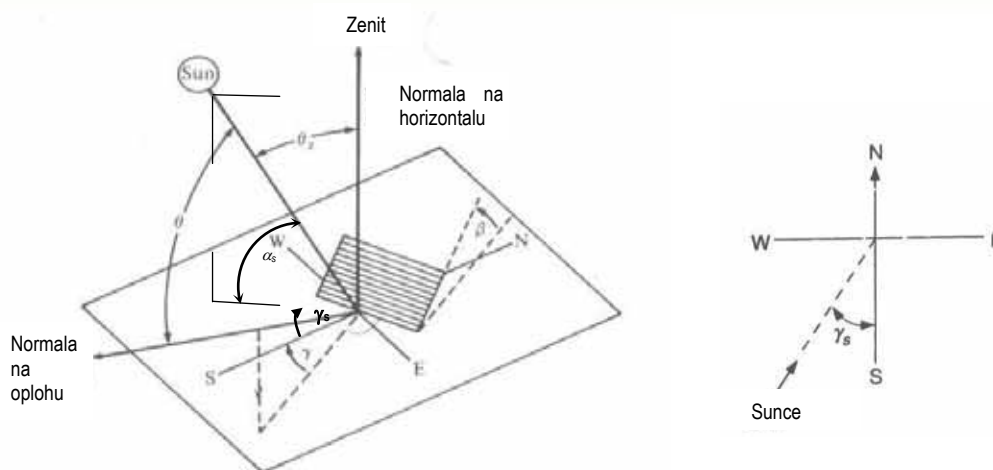


Slika 7.18 - Godišnja varijacija Sunčeve ozračenosti horizontalne plohe tijekom vedra dana u ovisnosti o zemljopisnoj širini [7.3]

### 7.3.3. Zračenje na nagnutu plohu

Slika 7.19 prikazuje kuteve kojima se opisuje direktno Sunčevo zračenje na nagnutu plohu:

1. nagib plohe  $\beta$  : kut između nagnute plohe i horizontalne ravnine ( $0^\circ < \beta < 90^\circ$ )
2. azimut plohe  $\gamma$  i azimut Sunca  $\gamma_s$  : odklon plohe i odklon projekcije Sunčevih zraka na horizontalnu ravninu od smjera juga, respektivno
3. upadni kut  $\theta$  : kut između Sunčevih zraka i normale nagnute plohe
4. zenitni kut  $\theta_z$  : kut između Sunčevih zraka i vertikale i
5. kut visine Sunca  $\alpha_s$  : kut između Sunčevih zraka i horizontale ( $\alpha_s = 90^\circ - \theta_z$ ).



Slika 7.19 - Definicija kutova za nagnutu plohu izloženu direktnom Sunčevom zračenju [7.3], [7.1]

Odnos između kutova sa slike 7.19. je definiran sljedećim izrazom:

$$\begin{aligned} \cos \theta &= \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \gamma + \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega \\ &+ \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \end{aligned} \quad (7.2)$$

Za plohe orijentirane prema jugu ( $g=0^\circ$ ) prethodni izraz se može pisati kao

$$\cos \theta = \cos(\phi - \beta) \cos \delta \cos \omega + \sin(\phi - \beta) \sin \delta, \quad (7.3)$$

Pri provedbi praktičnih proračuna sunčevih sustava često se javlja potreba za preračunavanjem satnih vrijednosti ukupnog Sunčevog zračenja, danih uobičajeno za horizontalnu plohu, na plohu nagnutu pod nekim kutom  $\beta$ . Najjednostavniji model proračuna je tzv. izotropni model koji uzima u obzir samo onaj dio difuznog zračenja koji pada na plohu ravnomjerno raspršen s cijelog nebeskog svoda, zanemarujući dio difuznog zračenja koncentriran oko Sunčevog diska i oko linije horizonta. Izraz prema kojem se određuje ukupno zračenje na nagnutu plohu (u prikazanom slučaju satna ozračenost) prema izotropnom modelu glasi

$$I_T = I_b R_b + I_d \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + I \rho_g \left( \frac{1 - \cos \beta}{2} \right), \quad [\text{Wh}/\text{m}^2] \quad (7.4)$$

pri čemu prvi član na desnoj strani jednadžbe 7.4 predstavlja direktno zračenje, drugi član difuzno a treći reflektirano zračenje od tla na nagnutu plohu:

- $I$  – ukupno zračenje horizontalne plohe ( $I=I_b+I_d$ ) [ $\text{Wh}/\text{m}^2$ ]
- $I_b$  – direktno zračenje na horizontalnu plohu [ $\text{Wh}/\text{m}^2$ ]
- $I_d$  – difuzno zračenje na horizontalnu plohu [ $\text{Wh}/\text{m}^2$ ] i
- $\rho_g$  – faktor refleksije tla.

$R_b$  je odnos između direktnog zračenja na nagnutu i horizontalnu plohu te se računa prema

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z}, \quad (7.5)$$

Kod izračuna srednjih dnevnih ili mjesečnih vrijednosti ozračenosti nagnute plohe temeljem podataka za horizontalnu, koristi se načelno isti pristup kao i kod prikazanog izračuna satnih, osim što se faktor  $R_b$  računa prema drugim izrazima koji se mogu pronaći u relevantnoj literaturi (npr. [7.1]).

Iznos difuzne komponente zračenja određuje se preko tzv. indeksa prozračnosti atmosfere koji daje odnos između ukupnog i ekstraterestričkog zračenja prema

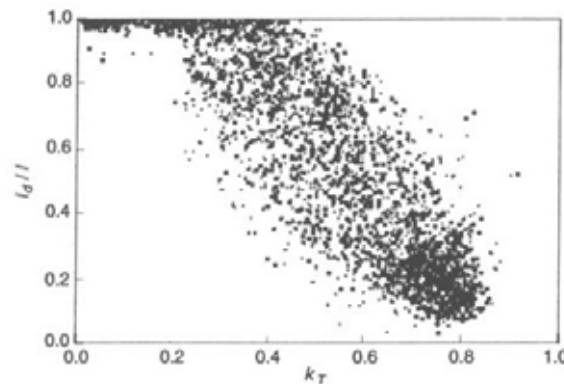
$$k_T = \frac{I}{I_o}, \quad (7.6)$$

gdje se ekstraterestričko zračenje računa prema

$$I_o = G_s \left( 1 + 0,033 \cos \frac{360n}{365} \right) \cos \theta_z, \text{ [Wh/m}^2\text{]} \quad (7.7)$$

$G_s = 1367 \text{ W/m}^2$  – Sunčeva konstanta (ekstraterestričko Sunčevo zračenje)

$1 \leq n \leq 365$ .



Slika 7.20 - Lokalna raspodjela difuznog zračenja pri razdobljima s raznim indeksima prozračnosti [7.1]

I pored velikog raspršivanja mjernih podataka, kako je vidljivo iz dijagrama na slici 7.20, do neke mjere je moguće uspostaviti funkcijsku vezu između satnih vrijednosti difuznog zračenja (satne ozračenosti) i indeksa prozračnosti koja za područje Europe i SAD-a glasi

$$\frac{I_d}{I} = \begin{cases} 1 - 0,249k_T; & k_T \leq 0,35 \\ 1,557 - 1,84k_T; & 0,35 < k_T \leq 0,75 \\ 0,177; & k_T > 0,75 \end{cases}, \quad (7.8)$$

Za područje Republike Hrvatske može se koristiti sljedeći izraz (7.9) za srednju dnevnu ozračenost:

$$\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} = 1,05 + 1,125\bar{K}_T, \text{ [Wh/m}^2\text{d]} \quad (7.9)$$

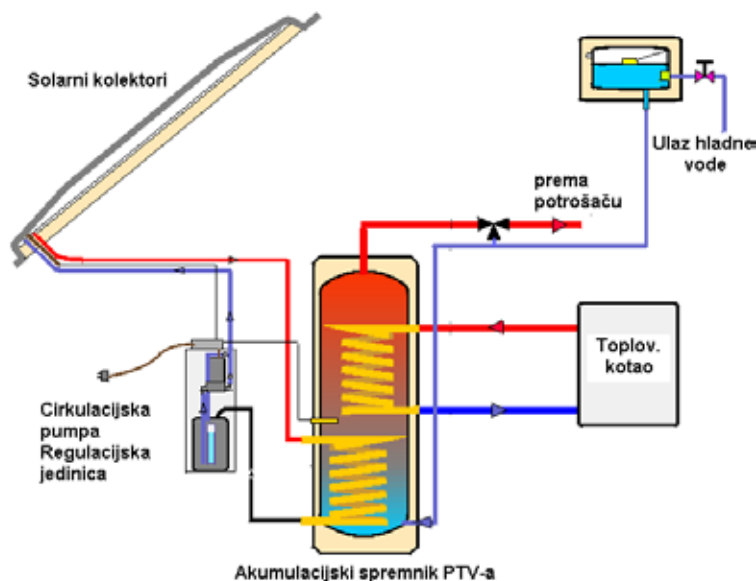
Ovaj izraz se pokazao točnijim od prethodnog u odnosu na mjerne vrijednosti čak i kad se primjeni na satne ozračenosti.

Koristeći izraze (7.2)-(7.9) moguće je izračunati satne vrijednosti ozračenosti proizvoljno orijentirane plohe nagnute pod proizvoljnim kutom u bilo kojemu razdoblju godine, koristeći pri tome satne podatke o ukupnoj ozračenosti horizontalne plohe  $I$  dane za pojedinu lokaciju (podaci za Zagreb i Split su dani u prilogu).

## 7.4. Kolektori Sunčevog zračenja

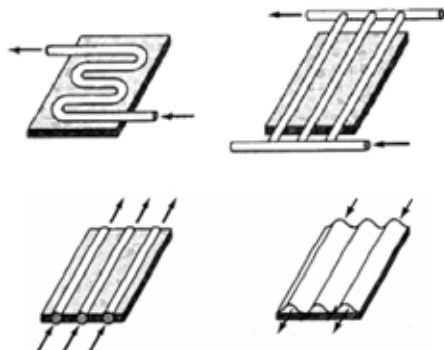
### 7.4.1. Pločasti kolektori

Danas se Sunčeva energija najviše koristi za zagrijavanje vode u sustavima grijanja prostora i pripreme potrošne tople vode (PTV) te za zagrijavanje bazenske vode. Od ostalih primjera direktnog korištenja Sunčeve energije treba spomenuti direktno zagrijavanje zraka u tzv. zračnim kolektorima, proizvodnju električne energije pomoću fotonaponskih ćelija i koncentrirajućih kolektora, solarno hlađenje, sušenje usjeva, desalinizaciju i dr. Na tržištu su najzastupljeniji sunčani sustavi za pripremu potrošne tople vode. U osnovi se sastoje od sunčevih kolektora, spremnika tople vode, diferencijalne automatike i pomoćnog izvora topline (slika 7.21).



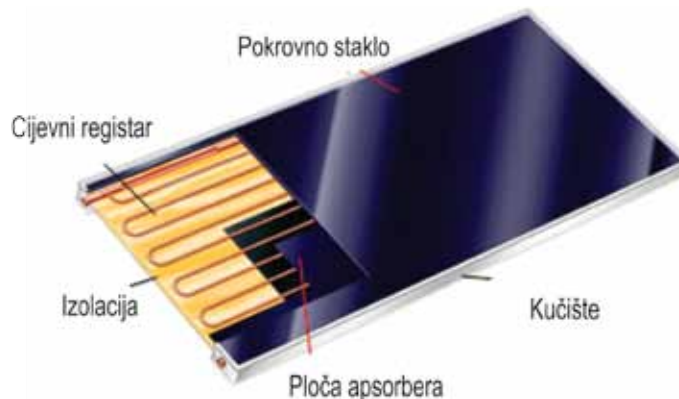
Slika 7.21 - Sunčani sustav za pripremu PTV-a s pločastim kolektorima

Najvažniji dio sunčanog sustava, pločasti sunčevi kolektori, su prvi put patentirani u Kaliforniji 1909. godine, a masovnija proizvodnja bilježi se tijekom naftne krize 70-tih godina prošlog stoljeća. Od tada su kolektori znatno unaprijeđeni, što se posebice odnosi na njihovu toplinsku efikasnost, a sve zahvaljujući razvoju novih premaza apsorbera i novih tehnologija pričvršćivanja cijevi za ploču apsorbera. To je dovelo do znatnog povećanja broja instaliranih kolektora tijekom 1990-tih, kao i znatnog snižavanja cijena koje su tijekom posljednjih 15- tak godina smanjene i do 50%. Neke izvedbe pločastih kolektora koje se mogu pronaći na tržištu, prikazane su na slici 7.22.



Slika 7.22 - Razne izvedbe pločastih kolektora

Na slici 7.23 prikazan je tip pločastog kolektora s pokrovnim staklom kakav se najčešće može pronaći na tržištu.



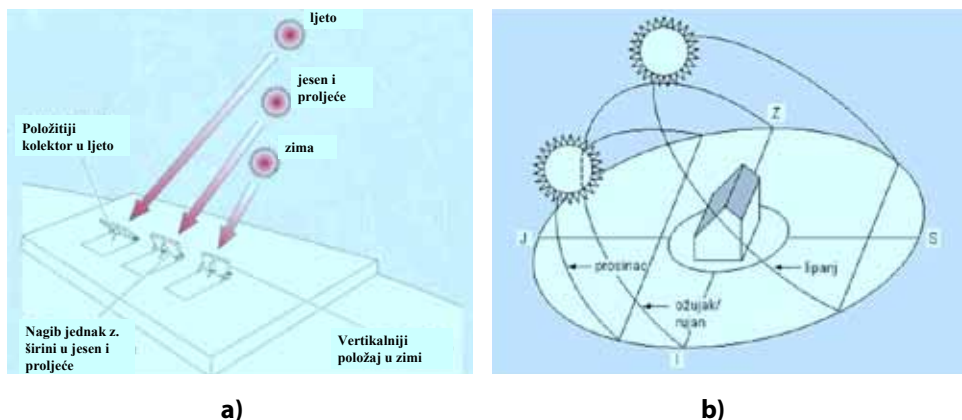
**Slika 7.23 - Pločasti kolektor s pokrovnim staklom**

Osnovni dijelovi kolektora su apsorbirska ploča s pričvršćenim cijevnim registrom, pokrovno staklo, izolacija i kućište. Apsorbirska ploča, koja ima ulogu apsorpcije Sunčevog zračenja i daljnjeg provođenja topline prema cijevima kroz koje struji radni fluid, obično je premazana selektivnim premazom koji ima visoki koeficijent apsorpcije za kratkovalno Sunčevo zračenje ( $a = 0,9 \div 0,96$ ) i niski koeficijent apsorpcije, tj. emisivnosti ( $a = \varepsilon = 0,06 \div 0,2$ ) za dugovalno IC zračenje. Slične karakteristike ima i pokrovno staklo čiji je koeficijent propusnosti za kratkovalno zračenje visok ( $\tau = 0,9 \div 0,95$ ), a za dugovalno vrlo nizak ( $\tau < 0,02$ ). Takva svojstva u konačnici utječu na povećanu apsorpciju Sunčevog zračenja i smanjenje toplinskih gubitaka zagrijane ploče apsorbira dugovalnim zračenjem. Stražnja i bočna izolacija kolektora (min. vuna, PU pjena) obično je debljine 30-50 mm, pri čemu gubici kroz izolaciju iznose oko 5% ukupnih gubitaka kolektora. Cijevni registar obično se sastoji od niza cijevi promjera 6-10 mm, paralelno napajanih iz distribucijskih cijevi većeg promjera (12-14 mm). Drugi tip registra sastoji se od jedne cijevi savijene u obliku serpentine (slika 7.22).

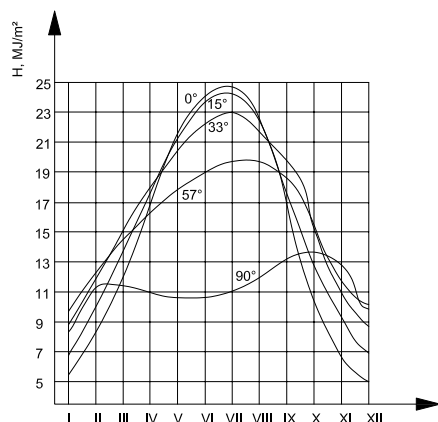
Paralelni registar primjereniji je za uporabu u toplijim klimatskim područjima (npr. mediteranskim zemljama) jer su zbog većih protoka (veći broj cijevi) posljedično niži temp. prirasti radnog medija, od ulaza do izlaza iz kolektora, još uvijek dovoljni za predaju sve prikupljene topline kolektorima, vodi u spremniku pri dimenzijama i ekonomski prihvatljivim veličinama izmjenjivača (i temperaturama vode u spremniku koje su prisutne tijekom rada sustava). Registri u obliku serpentine su prikladniji za umjerene do hladne klime (npr. srednja, zapadna i sjeverna Europa) jer omogućuju dovoljno velike izlazne temperature fluida iz kolektora, prilikom svakog prolaza i kod nižih vrijednosti Sunčevog zračenja i temperatura okoline, naravno uz ukupno manje vrijednosti protoka kroz ovdje samo jednu cijev serpentine.

#### **7.4.2. Optimalni kut kolektora**

Sunčevi kolektori se obično montiraju na krovove ili balkone. Optimalni kut nagiba kolektora prema horizontali ( $\beta$ ) ovisi o zemljopisnoj širini, razdoblju u godini za koji se određuje (slike 7.24 i 7.25) te o namjeni sunčanog sustava. Primjerice, optimalni godišnji nagib kolektora u Hrvatskoj iznosi  $37^\circ$  te je, kao i obično, blizak prosječnoj zemljopisnoj širini  $\phi=45^\circ$ . U slučajevima kad je potrebno prikupiti što više energije u ljetnim mjesecima (npr. tijekom turističke sezone u apartmanima i hotelima) tad je optimalni kut  $(10-20)^\circ$  jer se time osigurava najveća količina prikupljene energije u tom razdoblju. S druge strane, u kontinentalnom dijelu je tijekom ljetnih mjeseci obično potrebno manje toplinske energije nego u ostatku godine, tako da, ovisno o ciljanom razdoblju, optimalni kut može biti veći i od  $45^\circ$ .

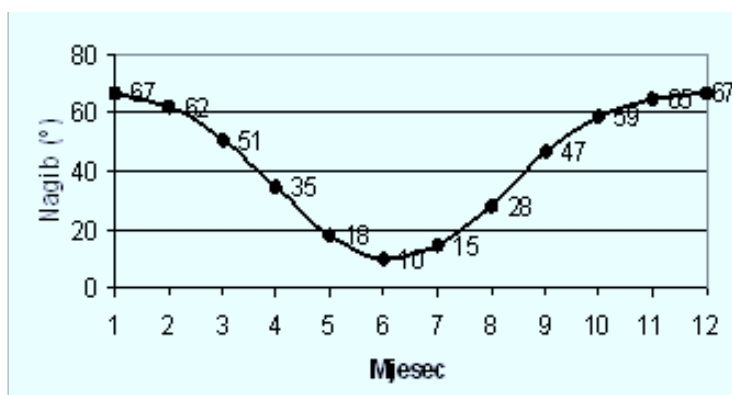


Slika 7.24 - a) Optimalni nagib kolektora u proljeće i jesen, ljeti i zimi, b) relativno kretanje Sunca promatrano sa Zemlje tijekom pojedinih godišnjih doba [7.2]



Slika 7.25 - Utjecaj nagiba kolektora ( $\beta=0^\circ-90^\circ$ ) na njegovu godišnju ozračenost, mjerene vrijednosti [7.2]

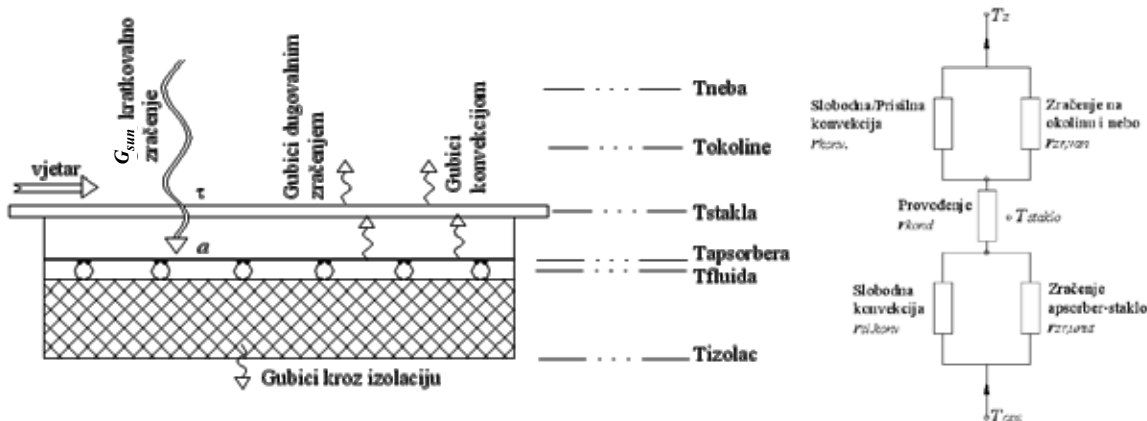
Slika 7.26 prikazuje optimalne kutove nagiba kolektora za različite mjesece u R. Hrvatskoj. Namještajući nagib kolektora tako da bude optimalan u svakom mjesecu, njegova ukupna godišnja ozračenost bi iznosila u Splitu  $1900 \text{ kWh/m}^2$  dok bi kolektoru montiranom pod  $45^\circ$  bilo dozračeno  $1800 \text{ kWh/m}^2$ , tj. 6% manje Sunčeve energije. Ta relativno mala razlika je posljedica utjecaja difuzne komponente zračenja koja je manje osjetljiva na promjenu nagiba nego direktna komponenta ukupnog zračenja.



Slika 7.26 - Optimalne vrijednosti kuta nagiba kolektora  $\beta$  [7.17]

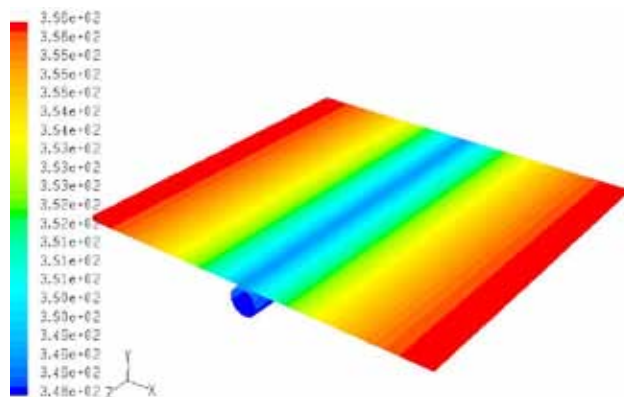
### 7.4.3. Izmjena topline u pločastom kolektoru

Slika 7.27 prikazuje osnovne mehanizme izmjene topline u pločastom kolektoru. Sunčevo zračenje se nakon prolaska kroz pokrovno staklo i određenih gubitaka uslijed refleksije i apsorpcije (ukupno 10% pri  $\tau = 0,9$ ), djelomično apsorbira u premazu apsorberske ploče. Dio upadnog zračenja apsorbera reflektira se nazad kroz staklo tako da ukupno apsorbirano zračenje iznosi  $W(\tau a)$ . Apsorbirana se energija provođenjem kroz materijal ploče (bakar, aluminij) i za nju pričvršćene cijevi u konačnici predaje radnom fluidu (voda, propilenglikol/voda) koji struji kroz te cijevi. Pri tome veliki utjecaj na efikasnost kolektora ima kvaliteta kontakta između cijevi i apsorbera.



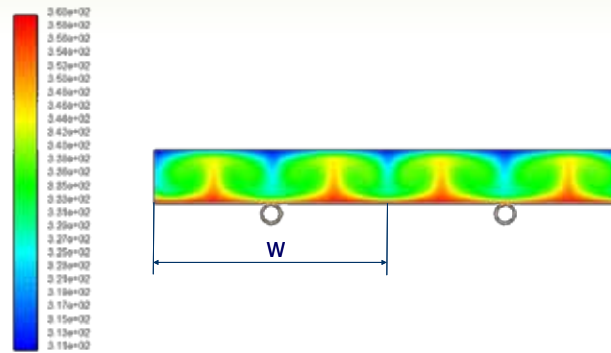
Slika 7.27 - Osnovni mehanizmi izmjene topline u pločastom kolektoru, analogija s električnim krugovima

Dakako, sva apsorbirana energija se ne uspije predati radnom mediju, već se dio izmjeni s okolišem i kao takav predstavlja toplinske gubitke kolektora. Jedan dio topline se gubi sa zagrijane apsorberske ploče (slika 7.28) zračenjem prema pokrovnom staklu koje pak ne propušta to dugovalno zračenje već ga apsorbira. Osim zračenjem, jedan dio topline gubi se slobodnom konvekcijom s ploče apsorbera na zrak (slika 7.29) koji se uslijed toga kreće između apsorbera i stakla dodatno ga zagrijavajući, od kuda se toplina dalje provodi prema vanjskoj površini stakla. U konačnici, zagrijano staklo će izmijeniti dovedenu mu toplinu s okolišem, i to zračenjem na okolne objekte i nebeski svod te slobodnom ili prisilnom konvekcijom na okolišni zrak, ovisno o tome puše li vjetar ili ne. Jedan manji dio gubitaka odnosi se na gubitke kroz izolaciju kolektora (<5% ukupnih). Opisani gubici mogu se u analogiji s električnim krugovima prikazati temperaturnom razlikom apsorber-zrak i pojedinim toplinskim otporima izmjeni topline, slika 7.27.



Slika 7.28 - Raspodjela temperatura (K) na ponavljajućem segmentu apsorbera (simulacija u FLUENT-u) [7.16]





Slika 7.29 - Raspodjela temperatura u međuprostoru između apsorbera i stakla (simulacija u FLUENT-u) [7.16]

Korisna toplina dovedena radnom fluidu može se izraziti kao razlika apsorbirane topline i toplinskih gubitaka na okoliš svedenih na temperaturu zraka  $T_z$

$$Q_{kol} = G_{sun} \cdot (\tau\alpha) \cdot A_{kol} - A_{kol} (T_{aps} - T_z) / r_t, \text{ [W]} \quad (7.10)$$

Ta je toplina također jednaka toplini izmijenjenoj između apsorberske ploče temperature  $T_{aps}$  i fluida u cijevima temperature  $T_f$

$$Q_{kol} = A_{kol} (T_{aps} - T_f) / r_{a-f}, \text{ [W]} \quad (7.11)$$

gdje  $r_{a-f}$  ( $m^2K/W$ ) predstavlja toplinski otpor između apsorbera i fluida u cijevima. Ukupni toplinski otpor gubicima topline  $r_t$  ( $m^2K/W$ ) računa se prema slici 7.27, kao serijski spoj dviju grupa paralelnih otpora zračenja i konvekcije te otpora provođenja kroz staklo (detaljnije u [7.16]).

#### 7.4.4. Efikasnost kolektora

Efikasnost kolektora je definirana kao omjer korisne energije predane vodi i energije upadnog Sunčevog zračenja na ravninu kolektora.

$$\eta_{kol} = \frac{Q_{kol}}{G_{sun} \cdot A_{kol}}, \quad (7.12)$$

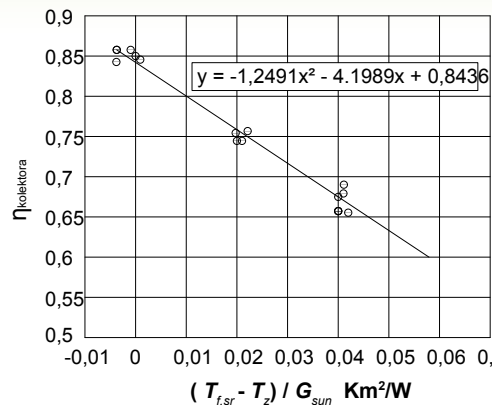
Efikasnost se najčešće određuje eksperimentalno mjerenjem topline koja je predana fluidu, tj. ulazne i izlazne temperature fluida te njegovog masenog protoka  $\dot{m}$

$$Q_{kol} = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_{f,\dot{e}} - T_{f,\dot{u}}), \text{ [W]} \quad (7.13)$$

Efikasnost kolektora je direktno povezana s njegovim toplinskim gubicima, što su oni veći to je efikasnost manja, pri određenom Sunčevom zračenju. Efikasnost se najčešće iskazuje u ovisnosti razlici srednje temp. radnog fluida  $T_{f,sr}$  u kolektoru i temperature okolišnog zraka  $T_z$  te upadnom Sunčevom zračenju  $G_{sun}$  na ravninu kolektora, odnosno izrazom:

$$\eta_{kol} = \eta_o - a_1 \frac{(T_{f,sr} - T_z)}{G_{sun}} - a_2 G_{sun} \left[ \frac{(T_{f,sr} - T_z)}{G_{sun}} \right]^2 \quad (7.14)$$

Koeficijenti polinoma  $h_r$ ,  $a_1$  i  $a_2$  određuju se regresijskom analizom eksperimentalnih podataka koji se obično prikazuju u dijagramima poput onoga na slici 7.30.



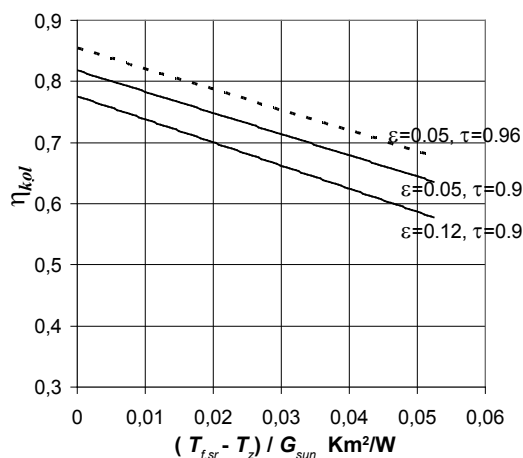
Slika 7.30 - Mjerene vrijednosti efikasnosti pločastog kolektora i regresijski polinom

Kako je vidljivo iz prethodnog dijagrama, efikasnost kolektora pada s porastom temperature radnog fluida, a što je posljedica povećanja temperature apsorbera, odnosno povećanja toplinskih gubitaka apsorbera na okolinu. Prema tome, više temperature radnog fluida u odnosu na stvarno potrebne nisu poželjne sa stanovišta efikasnosti. Povećani gubici na okolinu mogu biti i posljedica snižavanja temperature okolišnog zraka, što također dovodi do smanjenja efikasnosti kad su svi ostali radni parametri konstantni. Također, smanjenje vrijednosti Sunčevog zračenja pri istoj temp. razlici fluid-zrak (tj. uz iste toplinske gubitke) rezultirati će smanjenjem efikasnosti, a što je pak posljedica smanjenja ukupne apsorbirane pa time i dovedene korisne topline radnom fluidu  $Q_{kol}$  (vidi izraz 7.12).

## 7.4.5. Utjecaj konstrukcije i materijala na toplinske karakteristike

### 7.4.5.1. Utjecaj optičkih svojstava apsorbera i stakla

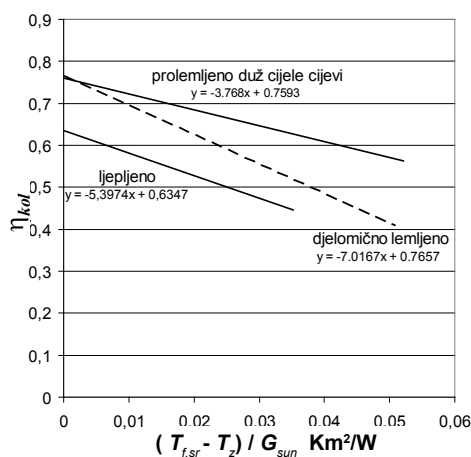
Proračun toplinskih otpora i toplinske bilance kolektora omogućuje analizu utjecaja konstrukcijskih parametara i svojstava materijala na njegove toplinske karakteristike te njihovu optimizaciju. Rezultati jedne takve analize utjecaja koeficijenta emisivnosti apsorbera i propusnosti stakla, prikazani su na slici 7.31. Ovdje se može primijetiti kako smanjenjem koeficijenta emisivnosti s  $\varepsilon = 0,12$  (prosječni premazi) na  $\varepsilon = 0,05$  (visoko selektivni i nešto skuplji premazi) ima isti utjecaj na povećanje efikasnosti kao i povećanje koeficijenta propusnosti stakla s uobičajenih  $\tau = 0,9$  na  $\tau = 0,96$  koji imaju najkvalitetnija i vrlo skupa kolektorska stakla.



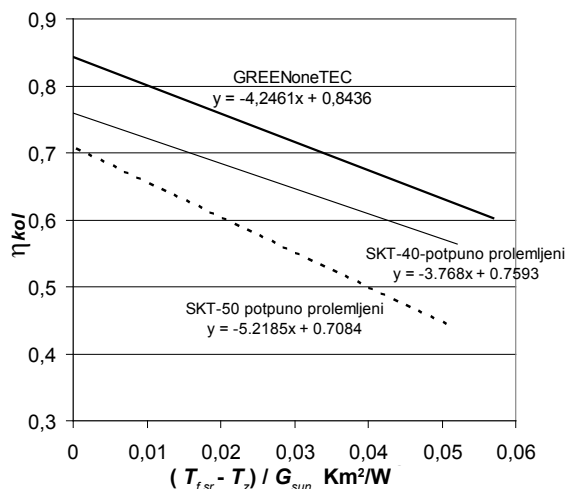
Slika 7.31 - Utjecaj emisivnosti apsorbera i propusnosti stakla na efikasnost pločastog kolektora,  $a = 0,95$

### 7.4.5.2. Utjecaj otpora spoja apsorbera i cijevi

Kako je već spomenuto, kvaliteta spoja cijevi i apsorbera od velikog je utjecaja na efikasnost kolektora. Lošiji kontakt predstavlja veliki toplinski otpor prolazu topline od apsorbera prema fluidu koji struji u cijevi, što uzrokuje povišenje temperature apsorbera i povećane toplinske gubitke slobodnom konvekcijom i zračenjem prema pokrovnom staklu. Na velikom broju kolektora instaliranih do početka 1990-tih, cijevi su za ploču apsorbera bile pričvršćivane postupkom lemljenja, pri čemu su cijevi najčešće smještane u utore profilirane u ploči apsorbera. Česti problemi koji se javljaju pri postupku lemljenja vezani su uz zaostajanje mjehura plinova u samom materijalu spoja, čime se znatno snižava njegova toplinska provodljivost. Pored toga, prisutan je i određen broj potpuno neprolemljenih mjesta. Rezultati ispitivanja jednog, na takav način zalemljenog kolektora s cijevnom serpentinom, dani su u dijagramu na slici 7.32., skupa s rezultatima mjerenja na istom tipu kolektora kod kojega je lemljeni spoj ostvaren cijelom duljinom cijevi te u posebnom slučaju lijepljenjem visokovodljivim ljepilom pomiješanim s metalnom prašinom radi povećanja vodljivosti spoja.



Slika 7.32 - Rezultati mjerenja na dva različito prolemljena kolektora,  $a = 0.9$  i  $\varepsilon = 0.106$  [7.9]

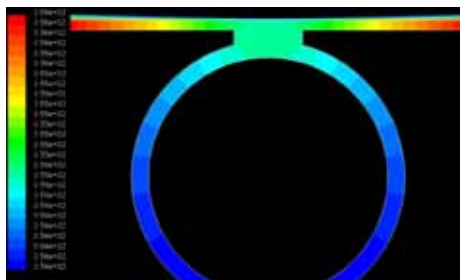


Slika 7.33 - Rezultati mjerenja kolektora s TINOX premazom i laserski zavarenim cijevima za ploču apsorbera [7.16]

Kako se vidi iz prethodnog dijagrama, prolemljivanje je rezultiralo povećanjem efikasnosti od 10 do 30%, dok je lijepljeni spoj dao najlošije rezultate.

Najučinkovitiji postupci spajanja danas su postupci laserskog i ultrazvučnog zavarivanja cijevi za ploču apsorbera bez korištenja dodatnog materijala. Takav, dimenzijama najmanji, spoj pokazao se boljim čak i od spoja nastalog potpunim prolemljivanjem

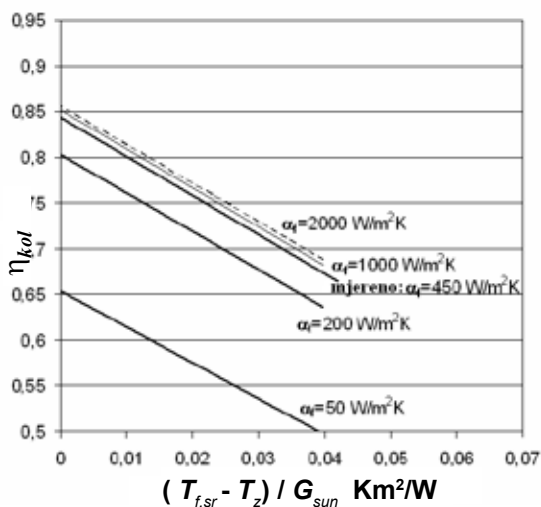
cijevi kolektora, a što se vidi iz dijagrama na slici 7.33, gdje su prikazane izmjerene vrijednosti učinkovitosti koje su 11% više kod kolektora s laserskim zavarenim cijevima za apsorber. Kako pokazuju analize provedene numeričkim simulacijama, daljnje povećanje širine laserskog zavara ne bi imalo utjecaja na poboljšanje efikasnosti, s obzirom da je trenutna širina zavara znatno veća od debljine apsorberske ploče pa su i gradijenti temperatura tamo manji, što upućuje na manji toplinski otpor, slika 7.34. Stoga je daljnje povećanje efikasnosti kod pločastih kolektora moguće ostvariti još jedino poboljšanjem svojstava premaza apsorbera (veći  $\alpha$  i manji  $\varepsilon$ ) i pokrovnog stakla (veći  $\tau$ ) te usavršavanjem drugih konstrukcija kod kojih je ostvarena veća površina izmjene topline između fluida i apsorbera (npr. kod kolektora gdje fluid struji između dviju ploča).



Slika 7.34 - Raspodjela temperature u materijalu apsorbera, zavara i cijevi [7.16]

#### 7.4.5.3. Utjecaj strujanja radnog fluida

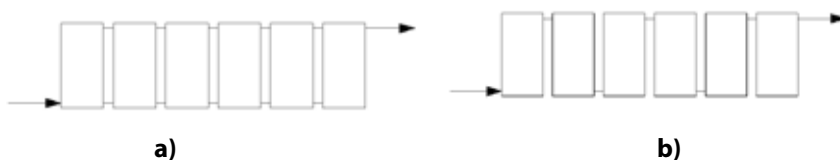
Dijagram na slici 7.34 ukazuje na činjenicu da koeficijent prijelaza topline na strani radnog fluida nema značajniji utjecaj na efikasnost kolektora nakon što njegova vrijednost prijeđe  $\alpha_f = 450 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Kod tipične konstrukcije kolektora s promjerom cijevi od 10 mm, radni protoci fluida su 35-50 kg/h po  $\text{m}^2$  apsorbera (ispitni je  $70 \text{ kg/hm}^2$ ) takvi da je strujanje uglavnom laminarno, pri čemu je  $\alpha_f = 300 \div 400 \text{ W/m}^2\text{K}$ . To bi značilo da daljnje povećanje protoka iznad navedenih nema smisla, a pogotovo stoga što pad tlaka raste gotovo 8 puta brže nego intenzitet prijelaza topline, što može značajno povećati troškove za pogon cirkulacijske pumpe. S druge strane kod protoka s  $\alpha_f < 200 \text{ W/m}^2\text{K}$  toplinski otpor od cijevi prema fluidu ima veći utjecaj na ukupni otpor od apsorbera do fluida, što može značajno smanjiti efikasnost kolektora. Iz toga je razloga potrebno obratiti pozornost da vrijednosti protoka kroz kolektore ne padnu ispod  $30 \text{ kg/hm}^2$ , a to se osigurava odabirom odgovarajuće cirkulacijske pumpe, tj. proračunom hidrauličkih gubitaka strujanja u kolektorskom krugu.



Slika 7.35 - Utjecaj  $\alpha_f$  na efikasnost kolektora, temeljeno na CFD simulacijama u FLUENT 7.1 [7.16]

### 7.4.6. Raspodjela strujanja u kolektorima

Kolektori se mogu spajati serijski ili paralelno, slika 7.36. Paralelni spoj je bolji s gledišta pada tlaka, ali zahtijeva veći broj i promjere razdjelnih cijevi uslijed većih protočnih količina radnog fluida. Serijski spoj omogućuje postizanje većeg prirasta temperature od ulaza do izlaza kolektora s obzirom da su protoci manji, no unatoč tome pad tlaka cijelog spoja je obično znatno veći nego što bi bio kod paralelnog spoja istog broja i tipa kolektora. Također, uslijed viših temperatura u serijskom spoju prosječna je efikasnost niža nego kod paralelnog spoja. Međutim, serijski spoj je ponekad nužan, jer u područjima s nižom godišnjom ozračenosti, omogućuje korištenje dimenzijama i ekonomski primjerenih izmjenjivačkih površina u spremnicima tople vode, s obzirom da se takvim spojem postižu veće izlazne temperature iz kolektora, tj. osigurava predaju sve prikupljene topline vodi u spremniku (na isti način kao što je prethodno navedeno za kolektore s cijevnom serpentinom). Prednost serijskog spoja je to što nema problema s nejednolikom distribucijom radnog fluida kroz pojedine kolektore u spoju kao kod većeg broja paralelno spojenih kolektora, gdje središnji kolektori imaju najmanji protok. Iz toga razloga nije preporučljivo imati više od 5-6 kolektora u paralelnom spoju, dok je kod serijskog spoja broj ograničen dopuštenim padom tlaka.

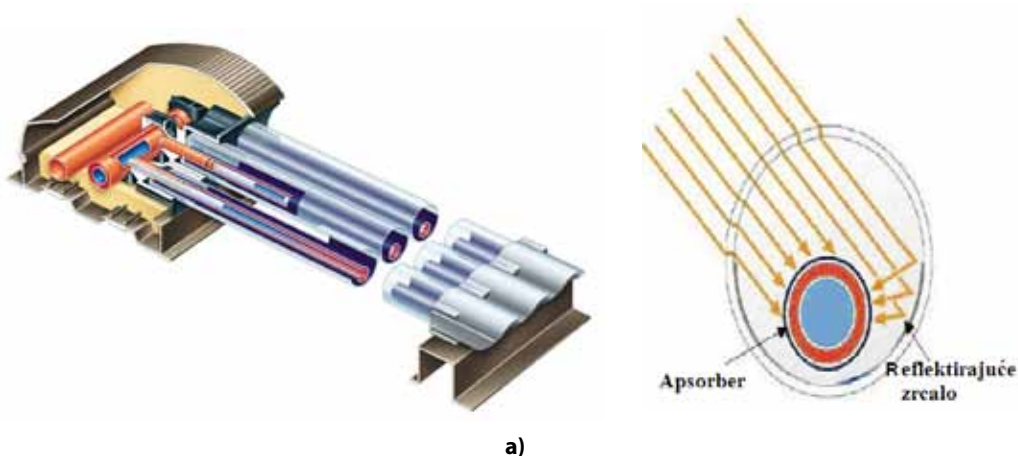


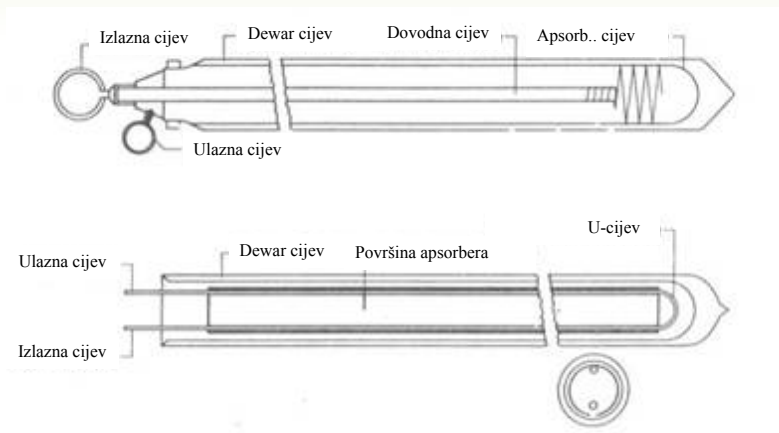
Slika 7.36 - a) paralelni i b) serijski spoj kolektora

### 7.4.7. Ostali tipovi kolektora

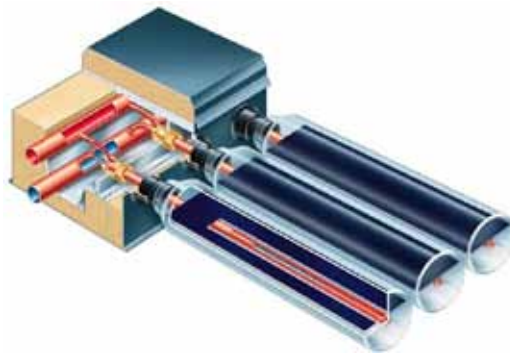
#### 7.4.7.1. Vakuumske kolektori

Ova vrsta kolektora je danas, poslije pločastih, najraširenija na tržištu. Princip rada je u osnovi identičan kao i kod pločastih, osim što je ovdje evakuiran prostor između apsorbera i stakla radi smanjenja toplinskih gubitaka uslijed slobodne konvekcije. Zbog smanjenja napreznja u materijalu stakla, kod ovih se kolektora apsorber smješta u staklene cijevi. Osnovni tipovi su prikazani na slici 7.37. Kod većine njih fluid struji kroz koaksijalne cijevi, pri čemu je unutrašnja povratna iz sustava (hladni fluid), a vanjska polazna (zagrijani fluid). Apsorber je vanjska površina koaksijalnih cijevi na koju je nanesen premaz ili je to pak ravna ploča (kao kod pločastih kolektora). Ponekad se koriste reflektirajuća zrcala koja imaju zadatak usmjeriti Sunčevo zračenje na apsorber, tj. koncentrične cijevi. Zaseban tip predstavljaju tzv. toplinske cijevi kod kojih fluid struji kroz samo jednu cijev u dva smjera. Pri tome dolazi do isparavanja radnog fluida (freon, alkohol) u donjem apsorberskom dijelu i kondenzacije u gornjem dijelu cijevi, gdje se toplina predaje sekundarnom fluidu koji je dalje preko izmjenjivača predaje vodi u spremniku. Kako se toplinske cijevi odlikuju visokim koeficijentima prijelaza topline, ovakvi kolektori imaju ponešto veću efikasnost od onih s jednofaznim strujanjem.

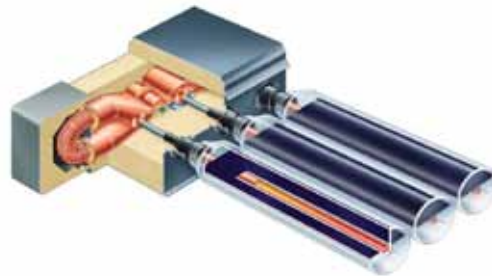




b)



c)

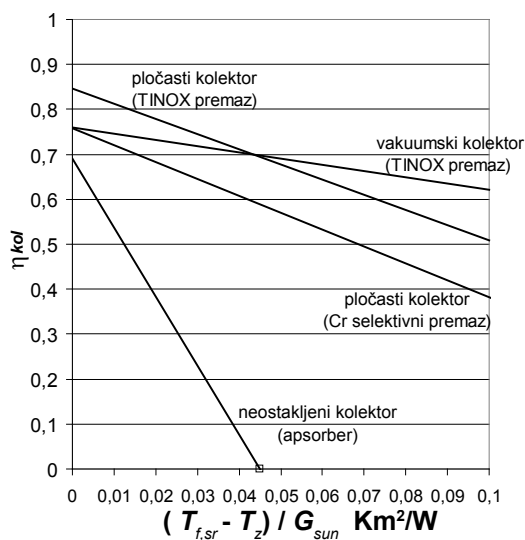


d)

**Slika 7.37 - a) Konstrukcija s apsorberom nanesenim na koncentričnu cijev kroz koju struji fluid (s i bez reflektirajućih zrcala)  
b) konstrukcija s U cijevi i ravnim apsorberom c) konstrukcija s koaksijalno postavljenom polaznom i povratnom cijevi i ravnim apsorberom [7.11] d) konstrukcija s tzv. toplinskom cijevi [7.11]**

Iako su u vakuumskim kolektorima smanjeni konvektivni gubici, zbog potrebe za korištenjem staklenih cijevi, nepovoljniji je odnos manje korisne površine apsorbera i ukupne projicirane površine kolektora (odnos je oko 0,6) u usporedbi s pločastima (odnos je oko 0,9). Kako se efikasnost (a i cijena) određuje prema ukupnoj projiciranoj površini apsorbera ili kolektora, time izračunata efikasnost vakuumskih kolektora ispada niža od one pločastih kolektora identičnih karakteristika apsorbera i stakla, u dijelu radne krivulje koja odgovara pretežito ljetnom režimu rada, slika 7.38. To u praksi znači da je s vakuumskim kolektorima potrebno zauzeti više površine na krovu ako se želi prikupiti jednaka količina energije kao i s pločastima. Situacija je jedino

drukčija u zimskim mjesecima, pri oblačnom vremenu ili izuzetno visokim temperaturama fluida ( $>70^\circ$ ) kada je efikasnost vakuumskih kolektora veća. Također, vakuumski kolektori omogućuju postizanje većih temperatura na izlazu (max.  $100^\circ\text{C}$ ) nego kod pločastih (max  $85^\circ\text{C}$ ), što ih čini prikladnima za hladnije klime s nižom ozračenosti (zbog manje potrebne izmjenjivačke površine u spremniku) te za korištenje u sunčanim rashladnim sustavima. Drugi veliki nedostatak vakuumskih kolektora je česta pojava napuknuća stakla (uslijed temp. dilatacija ili dr.) pri čemu dolazi do gubitka vakuuma i pada efikasnosti.



Slika 7.38 - Efikasnosti različitih konstrukcija kolektora

#### 7.4.7.2. Neostakljeni apsorberi

Ovaj se tip kolektora (slika 7.39) sastoji od plastičnih ili gumenih cijevi otpornih na UV zračenje, povezanih najčešće u paralelnom spoju. S obzirom na velike toplinske gubitke uslijed nepostojanja pokrovnog stakla, takvi su kolektori prikladni samo za niskotemperaturne aplikacije ( $24\text{--}32^\circ\text{C}$ ), poput zagrijavanja bazena ili tople vode u ljetnim mjesecima. Cijenom su znatno povoljniji od ostalih tipova, a nedostatak im je niža efikasnost i degradacija materijala uslijed djelovanja UV zračenja.



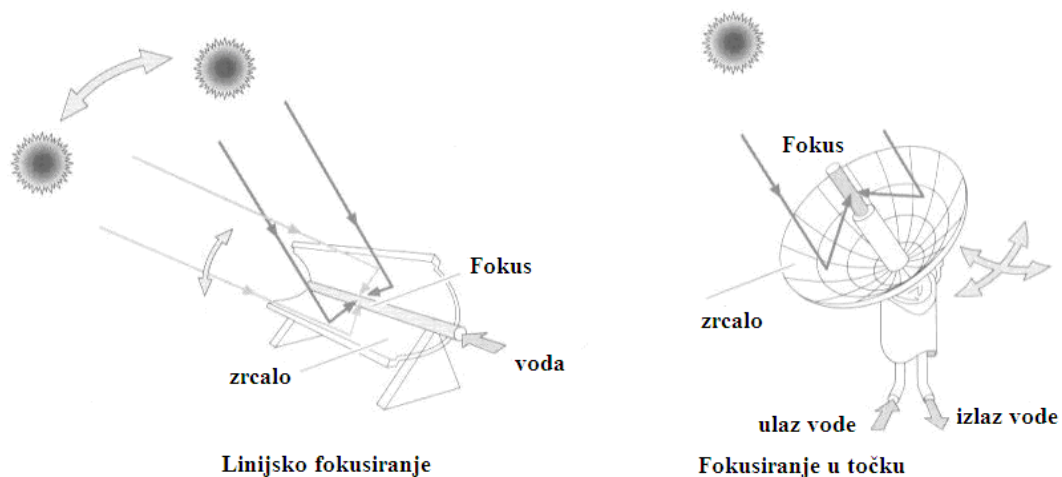
Slika 7.39 - Neostakljeni apsorberi

#### 7.4.7.3. Koncentrirajući kolektori

Koncentrirajući kolektori koriste se tamo gdje je potrebno postići temperature radnog medija više od  $100^\circ\text{C}$  radi prvenstveno proizvodnje električne energije ili mehaničkog rada. Dijelegu se na tzv. parabolična korita i tanjuraste koncentratore, slika 7.40. Parabolična korita sastoje se od paraboličnih zrcala (aluminij ili srebro nanoseno na staklo ili plastiku) koja se okreću oko uzdužne osi orijentirane u smjeru istok-zapad radi praćenja promjene upadnog kuta Sunca (odnosno kuta visine Sunca).

Zračenje se koncentrira na apsorbersku cijev, omogućujući postizanje temperatura fluida (npr. ulja) u njoj do 500°C. Zagrijani fluid se odvodi dalje u postrojenje za proizvodnju vodene pare za turbinu i u konačnici električne energije, pri čemu se ukupna efikasnost kreće od (14-22)%. Tanjurasti koncentraciji koji prate kretanje Sunca u dvije dimenzije (po visini i azimutu) omogućuju veće koncentracijske omjere (do 10000) i postizanje temperatura do 2700°C. Tako visoke temperature omogućuju proizvodnju mehaničkog rada, kao primjerice u slučaju Stirlingovog stroja koji se smješta u fokus koncentracije, pri čemu se postižu visoke temperature od 700-1000°C i visoka ukupna efikasnost pretvorbe Sunčeve u električnu energiju od 30%. U pojedinim slučajevima se Sunčeva energija koristi za disocijaciju amonijaka te prijenos produkata na veće udaljenosti. Kasnijom sintezom na mjestu korištenja se oslobađa toplina potrebna za proizvodnju vodene pare za turbinu i u konačnici el. energije.

Još jedan od načina proizvodnje el. energije je prikazan na slici 7.41, tzv. sunčev toranj, a gdje se uz pomoć niza heliostatskih zrcala koji prate kretanje Sunca usmjerava Sunčevo zračenje na apsorber smješten na vrhu tornja gdje se proizvodi para pri temperaturi od ~500°C. Nedostatak ovakvih kolektora je visoka cijena zbog potrebe za preciznim smještanjem apsorbera u fokus, postizanje geometrijski točnog paraboličnog oblika samih zrcala te ugradnje mehanizma praćenja Sunca. Također, reflektirajuća zrcala su podložna koroziji i oksidaciji uslijed izloženosti visokim temperaturama, a potrebno je i osigurati visoku čistoću reflektirajućih površina što dodatno povećava troškove održavanja.



Slika 7.40 - Koncentrirajući kolektori [7.2]



Slika 7.41 - Sunčev toranj (10 MWe) u južnoj Kaliforniji, 1818 heliostatskih zrcala [7.3]

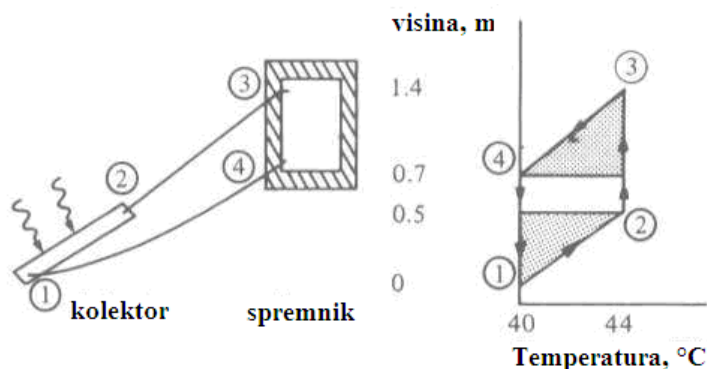


## 7.5. Sunčani toplovodni sustavi

### 7.5.1. Vrste i karakteristike

#### 7.5.1.1. Sustavi za pripremu PTV-a

Za direktno iskorištavanje Sunčeve energije danas se najčešće koriste niskotemperaturni (40-60°C) toplovodni sunčevi sustavi i to za potrebe pripreme potrošne tople vode (PTV), grijanje prostora i bazenske vode. Kako je već ranije navedeno, osnovni dijelovi takvih sustava su sunčani kolektori kojima se zagrijava voda u akumulacijskom spremniku. Cirkulacija radnog fluida (vode ili mješavina voda/glikol) između kolektora i spremnika može biti prisilna uz pomoć pumpe ili prirodna uslijed razlika temperatura kolektora i spremnika. Tipičan termosifonski sustav koji radi s prirodnom cirkulacijom je prikazan na slici 7.42. Kod takvih sustava spremnik mora biti obvezno smješten iznad kolektora da bi se uspostavila prirodna cirkulacija pod djelovanjem sila uzgona koje se dodatno pojačavaju kad se spremnik nalazi iznad gornjeg ruba kolektora (min 20 cm). To, dakako, čini instalaciju često nepraktičnom, imajući u vidu da se kolektori najčešće montiraju na krovove. Jedno praktično rješenje toga problema je prikazano na slici 7.43, gdje je relativno mali spremnik od 100 litara pričvršćen za gornju stranicu kolektora. Naravno, takav će spremnik imati znatno veće toplinske gubitke (niske temp., vjetar) nego kad je smješten u objektu. Drugo rješenje bilo bi smještanje kolektora na terasu ili na tlo. Pri svemu tome treba voditi računa da su spojni cjevovodi fluida kolektorskog kruga što kraći i većih promjera, uz izbjegavanje dodatnih otpora strujanja (koljena, ventili) kako bi se ukupni pad tlaka držao što nižim. S obzirom na relativno male uzgonske sile, tipični protoci su također niski: (30 ÷ 40) litara/(hm<sup>2</sup>). Kako je već ranije diskutirano, mali protoci i brzine u kolektorima dovode do snižavanja efikasnosti. S druge strane, veći su temperaturni gradijenti u spremniku u odnosu na sustave s prisilnom cirkulacijom, što znači da će iz donjeg dijela spremnika izlaziti hladniji fluid prema kolektoru, podižući time njegovu efikasnost. Termosifonski sustavi su zbog iznesenih karakteristika prikladniji za korištenje u toplijim klimama s većom godišnjom ozračenosti npr. mediteranske zemlje, Australija, Izrael gdje su tradicionalno vrlo rašireni.

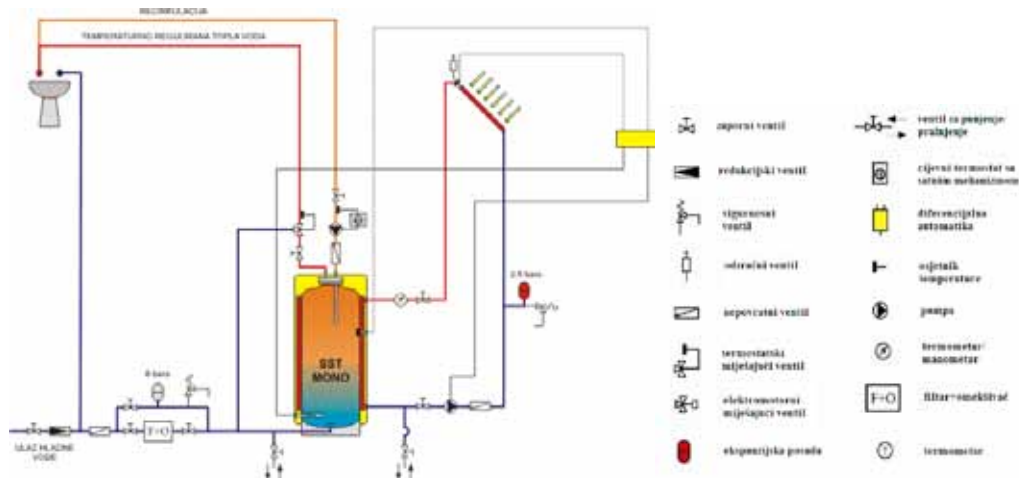


Slika 7.42 - Termosifonski sunčevi sustav s prirodnom cirkulacijom, raspored temperatura [7.3]



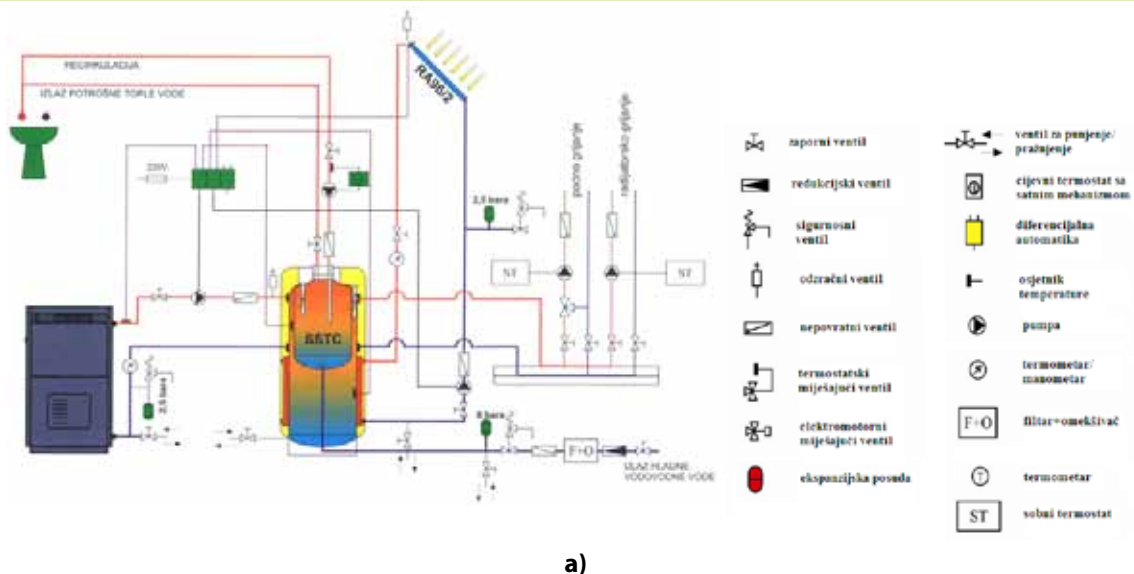
Slika 7.43 - Primjer kompaktog termosifonskog sustava

Slika 7.44 prikazuje jednostavni sustav s prisilnom cirkulacijom i jednim spremnikom za pripremu PTV-a. Za razliku od sustava s prirodnom cirkulacijom, ovakvi sustavi koriste termostatsku regulaciju za isključivanje pumpe kad temperaturna razlika između fluida na izlazu iz kolektora i vode u spremniku bude manja od zadane vrijednosti (npr. 3-5°C). Pumpa se ponovo uključuje kad se uspostavi tražena minimalna temperaturna razlika.



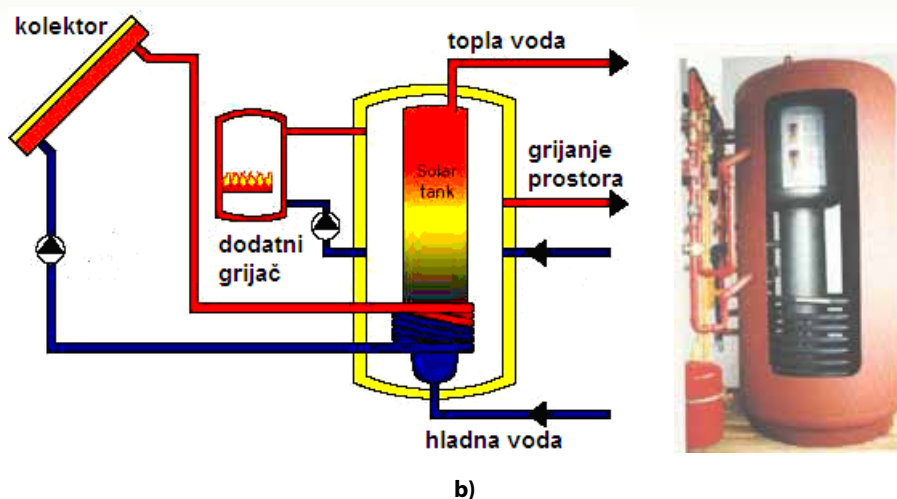
Slika 7.44 - Sustav s jednim spremnikom za pripremu PTV-a [7.11]

Veće se efikasnosti postižu kod ugradnje dodatnog manjeg spremnika unutar većeg, slika 7.45. U tom slučaju se izbjegava narušavanje temperaturne stratifikacije vode u većem spremniku zbog miješanja s hladnom svježom vodom, kao u prethodnom slučaju, a koja se ovdje dovodi direktno u manji spremnik. Potrošna topla voda iz manjeg spremnika izmjenjuje toplinu s onom iz vanjskog spremnika, a koja se indirektno zagrijava kolektorima preko izmjenjivača u donjem dijelu spremnika i po potrebi pomoćnim izvorom topline u gornjem dijelu. Voda iz većeg spremnika obično se koristi u sustavu grijanja prostora što je također razlog zašto se mora odvojiti od PTV-a iz manjeg spremnika. Svime tim se osigurava da je voda najveće temperature izdvojena pri vrhu spremnika, a ona najmanje na dnu, od kuda se odvodi radni fluid kolektorskog kruga nazad prema kolektorima, nakon što je predao prikupljenu toplinu na izmjenjivaču spremnika. Što je niža temperatura u donjem dijelu spremnika, bit će niža i temperatura polaza radnog fluida prema kolektorima, čime se povećava njihova efikasnost, a time i ukupna efikasnost cijelog sustava. Pored toga, veća temperaturna stratifikacija u spremniku, tj. niža temp. u srednjem i donjem dijelu spremnika povlači i manje dimenzije izmjenjivača topline kolektorskog kruga koji se nalazi u tim dijelovima spremnika.



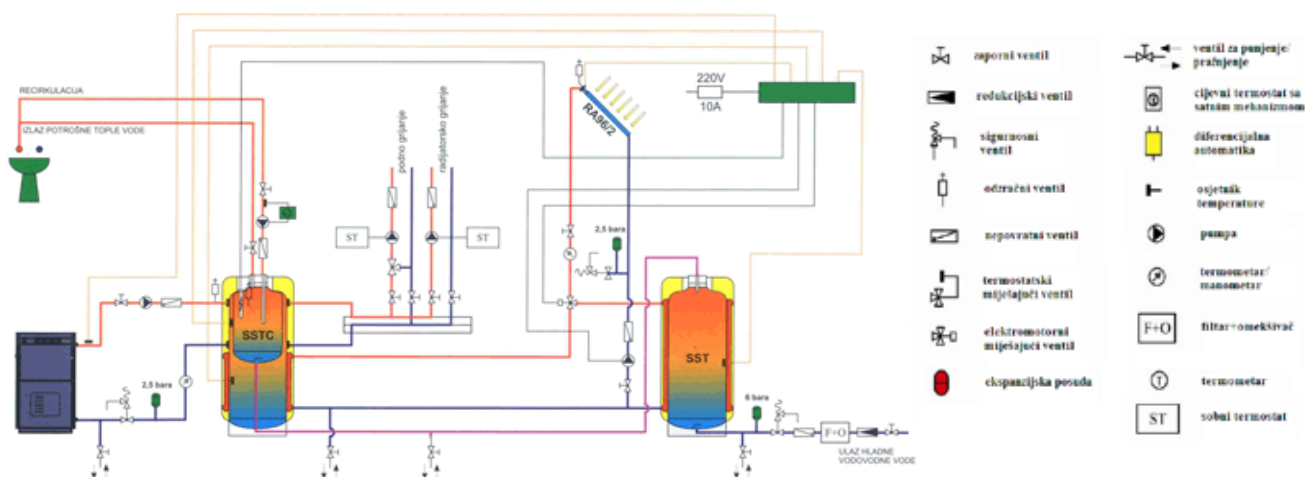
a)

Slika 7.45 - Primjeri toplovodnih sustava s dvostrukim spremnikom [7.11]



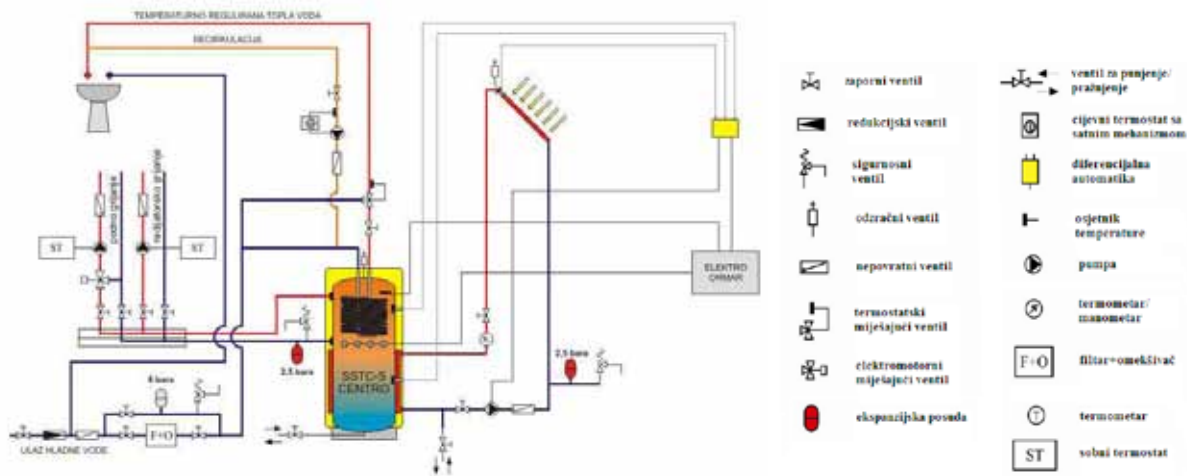
Slika 7.46 - Primjeri toplovodnih sustava s dvostrukim spremnikom [7.11]

U većim sustavima uputno je koristiti konfiguraciju s dva spremnika, slika 7.46. U takvom sustavu kolektori prvo zagrijavaju jedan spremnik do željene temperature (npr. 55°C). Nakon toga se fluid kolektorskog kruga usmjerava uz pomoć troputnog ventila prema izmjenjivaču drugog spremnika, gdje se predgrijava svježija voda koja ulazi u sustav. Takvi su sustavi posebice prikladni za korištenje u objektima s apartmanima, gdje su potrebe za PTV-om tijekom ljeta velike, a u zimskim mjesecima znatno manje, pa je i jedan spremnik dovoljan za pokrivanje potreba za PTV-om. U odnosu na situaciju kada bi se koristio jedan veći spremnik identičnog ukupnog volumena, ovdje se brže zagrijava manja količina vode u prvom spremniku i podiže efikasnost rada kolektora, s obzirom na nižu temperaturu polaza kolektorskog kruga onda kada je strujanje usmjereno na izmjenjivač drugog hladnijeg spremnika.



Slika 7.47 - Toplovodni sustav s dva spremnika [7.11]

Na slici 7.48 prikazan je sustav sa spremnikom i protočnim zagrijačem PTV-a. Protočnim grijačem izbjegava se miješanje svježije hladne vode i one prethodno zagrijane. S druge strane, ovdje temperatura u gornjem dijelu spremnika mora biti nekoliko °C viša od tražene temperature PTV-a kako bi se uspjela izmijeniti sva potrebna toplina za zagrijavanje protočne vode, što često povlači potrebu za paljenjem pomoćnog grijača. U sustavu s dvostrukim spremnikom (slika 7.45) dulje raspoloživo vrijeme zagrijavanja PTV-a omogućuje rad s nižim temperaturama u vanjskom spremniku, koje su praktično jednake željenoj temp. PTV-a u manjem spremniku. Tako je s te strane bolje imati mogućnost akumulacije PTV-a, pa se često protočni zagrijači kombiniraju s manjim akumulacijskim spremnikom kakav je prikazan na slici 7.48 (b), da bi se u konačnici iskoristile sve prednosti protočnog i akumulacijskog sustava.



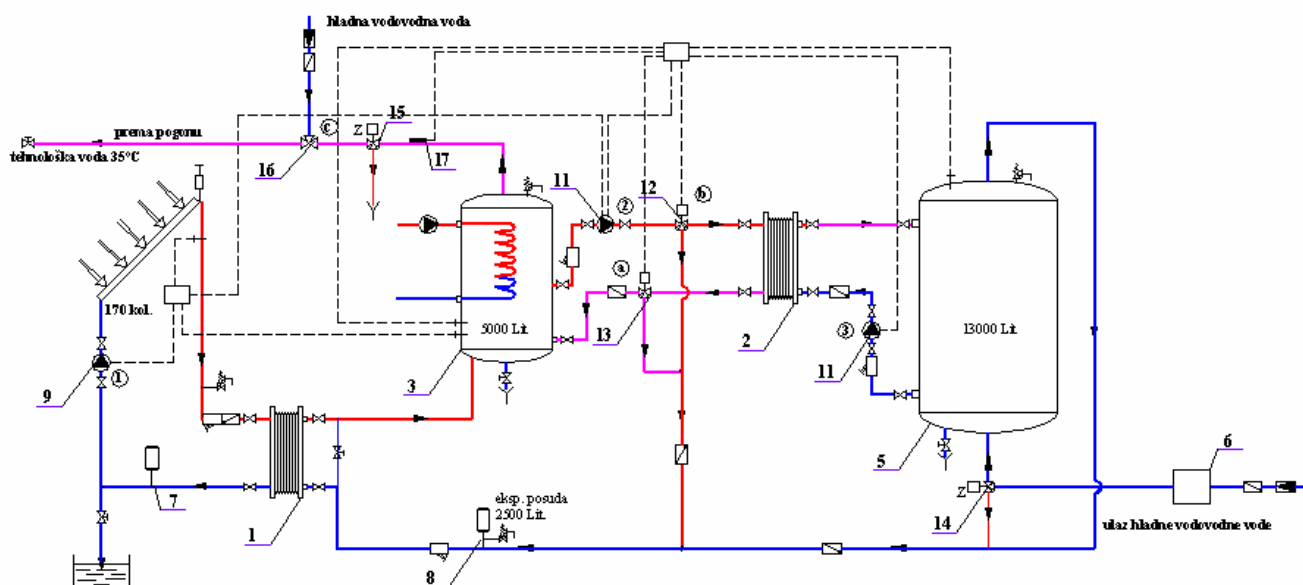
a)



b)

**Slika 7.48 - a) Sustav s protočnim grijačem (izmjenjivačem) PTV-a, b) spremnik s protočnim grijačem kombiniran s manjim akumulacijskim spremnikom [7.11]**

U većini toplovodnih sustava fluid kolektorskog kruga predaje toplinu vodi u spremniku cijevnim izmjenjivačem topline savijenim u obliku spirale. U posebnim slučajevima koristi se spremnik s dvostrukom stijenkom pri čemu fluid struji u međuprostoru između dviju stijenki, kao što je prikazano na prethodnim slikama 7.47 i 7.48. Kod većih sustava obično se koriste vanjski (pločasti) izmjenjivači većeg kapaciteta i efikasnosti, slika 7.49, pri čemu je potrebna dodatna cirkulacijska pumpa. Izmjenjivači moraju biti tako dimenzionirani da izmjene svu toplinu prikupljenu kolektorima pri određenoj minimalnoj temperaturnoj razlici kolektorskog fluida i vode u spremniku koja može nastupiti tijekom rada (vidi poglavlje Simulacija rada sunčanog sustava). U suprotnom dolazi do povećanja polazne temperature fluida kolektorskog kruga i sniženja efikasnosti kolektora. Ako potrebnu izmjenjivačku površinu nije moguće smjestiti u spremnik ili je naprosto jeftinije koristiti manje izmjenjivače, potrebni toplinski učin moguće je postići povećanjem temperature radnog fluida i to bilo spajanjem kolektora u serijski spoj i/ili korištenjem kolektora s cijevnom serpentinom, što naravno smanjuje efikasnost kolektora, kako je već ranije diskutirano. Cijevni izmjenjivači su najjednostavnije rješenje, ali imaju relativno male vrijednosti koeficijenta prolaza topline zbog slobodne konvekcije oko cijevi, što povlači potrebu za velikom izmjenjivačkom površinom i većom temperaturnom razlikom kolektorskog medija i vode u spremniku (što smanjuje efikasnost kolektora) u odnosu na primjerice pločaste izmjenjivače. Na žalost, pločasti izmjenjivači su osjetljivi na taloženje kamenca što zahtijeva periodička kemijska čišćenja, tako da su prikladniji za veće sustave i industrijske aplikacije.



1. Izmjenjivač topline  $Q_{\max}=533$  kW, PRIMAR: glikol/voda, SEKUNDAR: voda 2. Izmjenjivač topline  $Q_{\max}=90$  kW, PRIMAR: voda, SEKUNDAR: voda 3. Spremnik vode,  $V=5000$  litara. 5. Spremnik vode,  $V=13000$  litara. 6. Omekšivač 7. Ekspanzijska posuda,  $V=125$  litara, 8. Ekspanzijska posuda,  $V=2500$  litara, 9. Cirkulacijska pumpa u solarnom krugu, 10. Cirkulacijska pumpa, 11. Cirkulacijska pumpa, 12. Troputni ventil prema izmjenjivaču 90 kW, 13. Troputni ventil prema spremniku 5000 litara, 14. Troputni ventil za funkciju brzog ohlađivanja sustava, 15. Troputni ventil - rasteretni (za funkciju brzog ohlađivanja sustava) 16. Termostatski troputni ventil  $35^{\circ}\text{C}$ , 17. Prekidač za indicaciju protoka;

**Slika 7.49 - Sunčani sustav za pripremu tople vode temp.  $35^{\circ}\text{C}$  u prehrambenoj industriji s pločastim izmjenjivačem topline kolektorskog kruga, nominalni toplinski učinak 500 kW [7.10]**

### 7.5.1.2. Sustavi za grijanje prostora

Osim za pripremu PTV-a, sunčani sustavi često se koriste i za niskotemperaturno grijanje prostora. Na prethodnim shemama sunčanih sustava prikazan je način napajanja sustava radijatorskog grijanja iz spremnika vodom temp. ( $40-60^{\circ}\text{C}$ ) koja je fizički uvijek odvojena od PTV-a, ili pak sustava podnog ili zidnog grijanja vodom temp. oko  $30^{\circ}\text{C}$  (regulacija temp. polaza grijanja preko troputnog ventila). Zbog činjenice da je zimi ozračenost i do 5 puta manja nego ljeti, a potrebe za toplinom nekoliko puta veće, bile bi potrebne nekoliko desetaka puta veće površine kolektora za pokrivanje ukupnih toplinskih potreba objekta zimi, a što bi, osim velikih investicijskih troškova, dovelo i do pregrijavanja sustava ljeti. Iz toga razloga potrebno je pažljivo optimirati broj kolektora i ostale dijelove sustava (zapreminu spremnika). Obično se takvi sustavi dimenzioniraju tako da se prikupljenom Sunčevom energijom pokrije oko 10-15% ukupnih energetskih potreba zimi (grijanje+PTV). U energetski štedljivijim objektima ti udjeli rastu sa smanjenjem specifične potrošnje topline ( $\text{kWh}/\text{m}^2$ ), tako da je u pasivnim niskoenergetskim kućama ( $Q_{\text{H,nd}} < 15 \text{ kWh}/\text{m}^2$ ) moguće i 100%-tno pokrivanje potreba za toplinskom energijom i u zimskim mjesecima.

### 7.5.1.3. Sustavi za grijanje bazena

Zagrijavanje bazenske vode sunčevim kolektorima je zbog relativno niskih potrebnih temperatura vode ( $24-32^{\circ}\text{C}$ ) jedan od najefikasnijih i najekonomičnijih načina korištenja Sunčeve energije za grijanje tople vode. Kako je već ranije bilo navedeno, za tu svrhu se najčešće koriste neostakljeni apsorberi a kojima se prikuplja Sunčeva energija za pokrivanje toplinskih gubitaka bazena uslijed ishlapljivanja, prskanja, konvekcije na zrak (vjetra) te zračenja prema nebu i okolišnim objektima. Da bi se smanjili ti gubici, bazeni se često prekrivaju prozirnim plastičnim pločama. Procijenjeni toplinski gubici otvorenih bazena iznose oko  $4 \text{ kWh}/\text{m}^2$  na dan, dok zatvoreni bazeni imaju gubitke oko  $2,5 \text{ kWh}/\text{m}^2$  na dan. Kolektorima se obično pokrivaju i potrebe za zagrijavanje svježe vode radi održavanja higijenskog minimuma.

### 7.5.2. Regulacija

Rad regulacije je od velike važnosti za efikasan rad sunčanog sustava. Regulacija se sastoji od osjetnika temperature smještenim na izlazu iz kolektora i na različitim pozicijama u spremnicima te upravljačke jedinice. Upravljačka jedinica uključuje i isključuje pojedine pumpe, usmjerava fluid preko troputnog ventila na pojedini spremnik, uključuje rad pomoćnog el. grijača ili pumpe toplovođenog kotla. Također, moderne regulacije upravljaju i ostatkom sustava grijanja u zgradi (npr. grupama podnog grijanja i radijatora po prostorijama i dr.), povezujući sve u jedinstveni sustav upravljanja.

### 7.5.3. Dijelovi i oprema sunčanih sustava

Općenito, cjevovodi u sunčanim sustavima bi trebali biti što je moguće kraći ne bi li se minimizirali toplinski gubici. Svi dijelovi cjevovoda između kolektora i spremnika moraju se izolirati, a to se obično čini UV otpornom izolacijom. U većim sustavima koristi se min. vuna obložena Al limom (koji između ostalog pruža zaštitu i od ptica). U manjim sustavima (do 10 m<sup>2</sup> kolektorske površine) cjevovodi su obično promjera 10 do 20 mm. Kolektori se mogu montirati na postojeći krov (slika 7.50 (a) ) ili kao dio njega (slika 7.48 (b) ) što je bolje rješenje s obzirom na uštede na materijalu pokrova krovne konstrukcije i bolju toplinsku izolaciju. Također, kolektori se mogu montirati na ravne krovove, terase ili tlo, koristeći posebne nosače (slika 7.51) koji moraju izdržati sva opterećenja uslijed tlaka vjetrova, težine snijega i dr.



Slika 7.50 - a) kolektor montiran na krov b) kolektor montiran kao dio krova

U većim sustavima kolektori se spajaju u grupe i polja, slika 7.51. Tu treba voditi računa o tome da se pravilnim dimenzijama cjevovoda osigura jednoliki protok kroz sve grupe, a što se dodatno može kontrolirati ventilima s ugrađenim mjerачem protoka. Obično se svaki kolektor u manjim sustavima ili pojedina grupa u većim, opremaju odzračnim ventilom koji se koristi za propuštanje zraka tijekom punjenja sustava.



Slika 7.51 - Sunčani sustav s grupama kolektora montiranih na krovne nosače

Važan dio sunčanog sustava su ekspanzijske posude i ventili sigurnosti koji se montiraju u kolektorskom krugu, dovodu svježe vode i sustavu grijanja. Ekspanzijska posuda mora biti pažljivo dimenzionirana tako da osigura stalni tlak u sustavu pri

uobičajeno velikim promjena temperature, posebice fluida kolektorskog kruga. Tlak u kolektorskom krugu je obično između (2 - 2,5) bar, dok je u ostalim dijelovima sustava oko 3 bar. Ako dođe do pada tlaka u kolektorskom krugu (npr. ispod 1,5 bar), može doći do prestanka cirkulacije radnog fluida zbog pojave kavitacije na usisnoj strani pumpe. Do takvog pada tlaka može pak doći zbog primjerice propuštanja spojeva izloženih Sunčevom zračenju, uslijed propuštanja sigurnosnog ventila bilo zbog njegove ili neispravnosti ekspanzijske posude ili pak pregrijavanja sustava zbog nestanka el. energije za pogon cirkulacijske pumpe. Iz tih je razloga potrebno redovito (npr. jednom tjedno) provjeravati tlak u sustavu i po potrebi dopunjavati sustav radnim fluidom. Da bi se spriječilo rashlađivanje spremnika tijekom noći ili oblačnog vremena zbog prirodne cirkulacije fluida kolektorskog kruga, potrebno je ugraditi nepovratni ventil između kolektora i spremnika. Iz istih razloga se nepovratni ventil stavlja između spremnika i toplovodnog kotla.

#### 7.5.4. Ispitivanja sunčanih kolektora i sustava

Većina centara za ispitivanje kolektora i sustava akreditirano je od strane nacionalnih akreditacijskih agencija za ispitivanja prema sljedećim normama :

- EN 12975-2: Solar thermal systems and components - Solar collectors - Part 2: Test methods
- EN 12976-2: Solar thermal systems and components - Factory made systems - Part 2: Test methods.

Manji broj ispitivanja provodi se prema nacrtima normi:  
ENV 12977-2 (Custom built systems) i ENV 12977-3 (Stores).

Većina ispitnih centara izdaje i certifikat "Solar Keymark" kojim se potvrđuje provedba svih ispitivanja iz navedenih EN normi te provjera osiguranja kvalitete u proizvodnji. "Solar Keymark" je razvijen od strane CEN (Europskog komiteta za certifikaciju) kao neobvezan certifikat kojim se daje jamstvo europske kvalitete proizvoda.

#### Ispitivanje kolektora (prema EN 12975-2:2006) uključuje:

1. Mjerenje efikasnosti s i bez vjetra
2. Određivanje faktora promjene upadnog kuta
3. Izračun toplinskog kapaciteta
4. Pad tlaka
5. Test kvalitete
  - 5.1. Tlačna proba (1,5×maks. radni tlak)
  - 5.2. Otpornost na visoku temperaturu (određivanje stagnacijske temperature)
  - 5.3. Ispitivanje izloženosti dugotrajnoj insolaciji
    - 5.3. Vanjski i unutrašnji toplinski šok
    - 5.3. Propusnost na kišu
    - 5.3. Otpornost na smrzavanje
    - 5.3. Mehaničko opterećenje stakla i spojeva s kućištem (uslijed vjetra i snijega)
    - 5.3. Otpornost na udarce (kamenje, tuča).



Slika 7.52 - Ispitna linija za mjerenje toplinskih karakteristika kolektora

**Standardna ispitivanja sustava do 10 m<sup>2</sup> i 900 l prema EN 12976-2:2006 uključuju:**

1. Otpornost na smrzavanje
2. Zaštita od pregrijavanja
3. Tlačna proba
4. Prikladnost za pitku vodu
5. Otpornost na vanjske utjecaje
6. Zaštitna oprema (sigurnosni ventili, ekspanzijske posude..)
7. Označavanje
8. Toplinske karakteristike sustava - provedba ispitivanja karakteristika komponenti prema **ISO 9459-5**
  - 8.1 određivanje pomoćne energije (el grijači, kotao..)
  - 8.2 određivanje "parazitske" energije (pumpa, regulacija)
  - 8.3 određivanje energije odvedene potrošaču
  - 8.4 određivanje udjela solarne u ukupnoj energiji
  - 8.5 simulacije rada za razne pogonske i vremenske uvjete na temelju mjerenja
  - 8.6 provjera pokrivanja potreba bez rada kolektora
9. Zaštita od povratnog strujanja
10. Električna sigurnost.

**Ispitivanje komponenti**

spremnika za potrebe PTV-a i grijanja:

- određivanje toplinskih gubitaka
- određivanje ukupne godišnje prikupljene energije u kombinaciji s različitim kolektorima ili regulacijom ili pumpama.

**Ispitivanje materijala**

- određivanje propusnosti stakla
- određivanje karakteristika premaza apsorbera
- faktora promjene upadnog kuta stakla.

**Posebna ispitivanja**

- Paralelna ispitivanja dva usporediva sustava
- Ispitivanja kombiniranih sustava za PTV i grijanje prostora (solar+kotlovi na biomasu, plin, lož ulje).



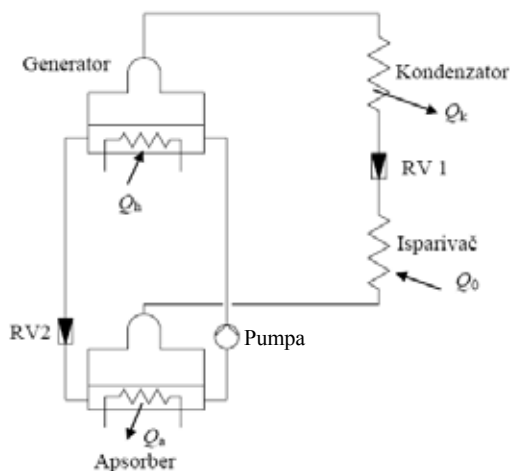
## 7.6. Hlađenje pomoću Sunčeve energije

Prednost hlađenja Sunčevom energijom u odnosu na grijanje leži u činjenici da je potreba za rashladnom energijom najveća u razdoblju godine kad je ozračenost najveća. Iako je danas hlađenje Sunčevom energijom još uvijek ograničeno na udaljena područja bez pristupa el. mreži ili pak na pilot projekte, mnogi toplovodni suistavi koji imaju na raspolaganju višak energije ljeti, mogu se kombinirati s rashladnim sunčanim sustavima čime se poboljšava ekonomičnost sustava na razini godine.

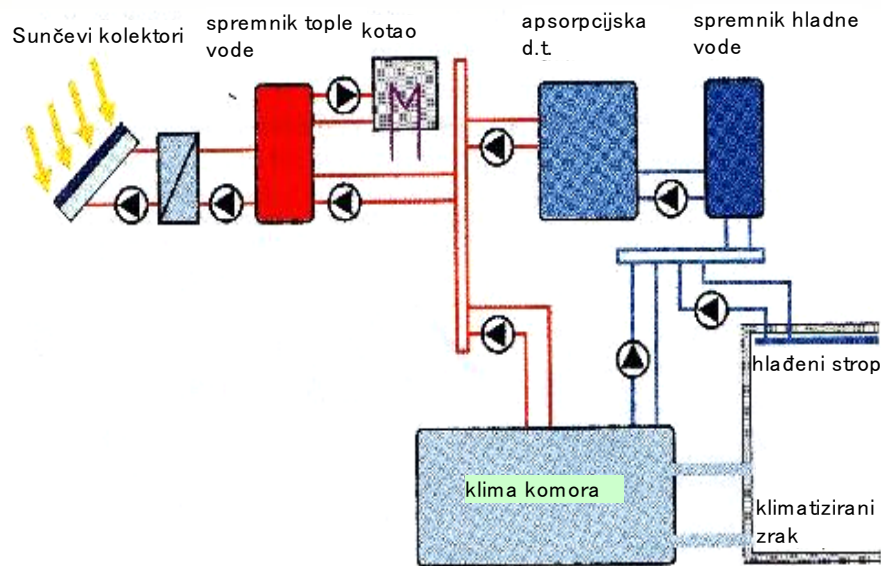
Najčešće se koriste sljedeće vrste sunčanih rashladnih sustava:

- apsorpcijski rashladni sustavi
- adsorpcijski sustavi s desikantom i
- sustavi s mehaničkim dizalicama topline.

Na tržištu su najviše prisutni apsorpcijski sustavi, koji rade s temperaturama generatora od (75-95)°C, a radne tvari su najčešće mješavina Litij - bromid/voda ili amonijak/voda. Kapaciteti uređaja kreću se u širokom rasponu do najviše 350 kW. Energiju za pogon generatora osiguravaju najčešće vakuumske kolektori, radi bolje efikasnosti u odnosu na pločaste pri radu s ovdje poželjnim relativno visokim temperaturama radnog medija (>75°C). Kondenzator i apsorber najčešće se hlade vodom ili zrakom. Kod vodenog hlađenja obično se koristi i rashladni toranj kao dio sustava. Toplinski COP (definiran kao omjer rashladnog učina isparivača i topline dovedene generatoru) kreće se obično između 0,6 i 0,8, što je znatno manje nego kod konvencionalnih rashladnih uređaja (COP>2). S obzirom na visoke temperature u kolektoru, odnos rashladnog učina, tj. korisne topline odvedene iz prostora iz dozračene Sunčeve energije kolektorima-SPCF (solar performance cooling factor) je vrlo mali SPCF= 0,1 ÷ 0,15, a te vrijednosti su često čak i niže tijekom prijelaznih razdoblja između paljenja i gašenja sustava, kao posljedica promjenjivosti Sunčevog zračenja. Unatoč tim brojkama, sunčevi rashladni sustavi bilježe znatan rast posljednjih godina, a vrijeme povrata investicija u, primjerice, nekim turističkim objektima u južnoj Europi, procjenjuju se na desetak godina. Investicijski troškovi procjenjuju se na 2000-4500 EUR/kW rashladnog učina.



Slika 7.53 - Apsorpcijski rashladni sustav (dizalica topline)



Slika 7.54 - Shema sunčanog rashladnog sustava za klimatizaciju

Adsorpcijski sustavi hlađenja s desikantom (silika gel, zeolit, LiCl) koriste Sunčevu energiju za regeneraciju desikanta koji se u otvorenim sustavima koristi za snižavanje vlažnosti zraka ili apsorpciju para radne tvari u zatvorenim sustavima. Relativno niske temperature nosioca topline (obično 60-80°C) koje se mogu postići, ovdje češće korištenim pločastim kolektorima, predstavljaju problem za efikasnu izmjenu topline i mase s desikantima, tako da se COP uglavnom kreće oko  $COP = 0,5$ . Sustavi s desikantom su prikladni uglavnom za tropska i subtropska područja s visokom relativnom vlažnošću zraka, pri čemu je njihova isplativost još uvijek upitna. Investicijski troškovi se procjenjuju na 3500-5500 EUR/kW rashladnog učina.

Treću grupu sunčanih rashladnih sustava čine mehanički sustavi sa Sunčevom energijom pogonjenim Rankinovim procesom, gdje se proizvodi el. energija koja se potom koristi za pogon kompresora konvencionalnih rashladnih sustava. Takve sustave karakterizira mala efikasnost procesa, s obzirom na relativno niske raspoložive temperature u kolektorima. Pregrijavanje pare izbjegava se zbog nepovoljnog utjecaja na efikasnost kolektora, tako da se problemi erozije turbinskih lopatica rješavaju korištenjem drugih radnih tvari (poput freona) umjesto vode.

## 7.7. Simulacija i ekonomično dimenzioniranje sunčanih sustava

### 7.7.1. Metode proračuna

Toplinska energija prikupljena sunčanim kolektorima varira u vremenu ovisno o meteorološkim uvjetima te neovisno o energetske potrebe objekta koji su također promjenjivi u vremenu. U dobro dimenzioniranom sunčanom sustavu te se razlike između prikupljene Sunčeve energije i energetske potrebe pokrivaju preko akumulacijskog spremnika i pomoćnog izvora topline. Da bi se kvalitetno dimenzionirao sunčani sustav, potrebno je provesti simulaciju njegova rada na satnoj razini, koja uključuje proračun trenutno dovedene i odvedene energije iz sustava, te temperatura vode u spremniku i kolektorskom krugu. Time se dobivaju podaci o dinamičkim karakteristikama sustava tijekom cijelog dana, a koji su potrebni za dimenzioniranje kolektorske površine, zapremine i broja spremnika, izmjenjivača topline te pomoćnog izvora topline. Ti se podaci potom analiziraju u odnosu na ukupne energetske uštede i cijenu investicije, odnosno njeno vrijeme povrata. Pored takvih detaljnih simulacija, proračuni sustava mogu se napraviti koristeći i razne druge generalizirane metode temeljene na određivanju potrebnih parametara iz dijagrama, poput  $f$ -chart metode primijenjene u HRN EN 15316-4-3 (Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava – Dio 4-3: Sustavi za proizvodnju topline, toplinski sustavi Sunčevog zračenja) - vidi primjer u 9.1,  $\phi$ ,  $f$ -chart metode i dr. (više u [7.1]). Te metode daju informaciju samo o mjesečnim vrijednostima prikupljene Sunčeve energije za određenu kolektorsku površinu i volumen spremnika, ali ne omogućuju uvid u

dinamičko ponašanje sustava što je od izuzetne važnosti za kvalitetno projektiranje sustava, postizanje maksimalne efikasnosti u radu i osiguranje pokrivanja energetske potrebe objekta tijekom cijelog dana.

U nastavku je dan pregled metode za simulaciju toplovodnog sunčanog sustava s jednim spremnikom za zagrijavanje PTV-a i grijanje prostora. Korisna +Sunčeva energija prikupljena kolektorima može se odrediti iz eksperimentalnih podataka dobivenih od proizvođača prema

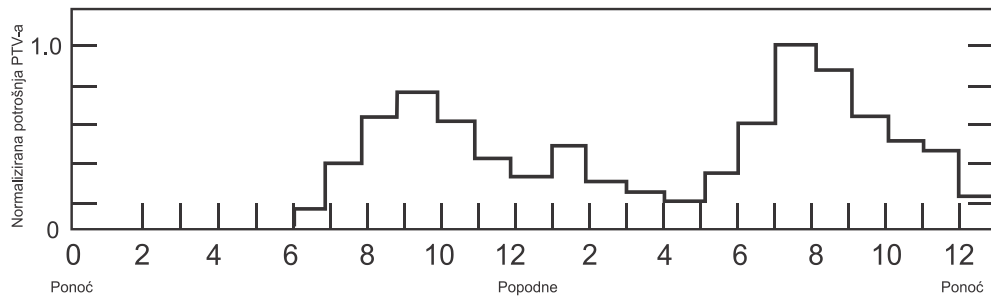
$$Q_{kol} = \eta_{kol} \cdot G_{sun} \cdot A_{kol} \cdot t, [\text{kWh}] \quad (7.15)$$

$G_{sun}$  je Sunčevo zračenje na plohu kolektora u određenom trenutku karakterističnog dana u pojedinom mjesecu u godini (podaci za Zagreb i Split su dani u prilogu). Podaci o mjerenim satnim vrijednostima Sunčevog zračenja osrednjeni za razdoblje od 10 godina dani su u prilogu. Kako su ti podaci dani za horizontalnu plohu, potrebno ih je proračunati na nagnutu plohu kolektora. Temperatura okolišnog zraka potrebna za proračun efikasnosti je također dana u prilogu.

Toplinska energija koja se odvodi iz spremnika tijekom potrošnje PTV-a je

$$Q_{PTV} = \dot{m}c_p (T_{s1} - T_{svj}) t, [\text{kWh}] \quad (7.16)$$

gdje je  $T_{s1}$  temperatura vode u spremniku na početku svakog vremenskog intervala ( $t = 1 \text{ h}$ ). Svježa voda koja se dovodi u spremnik temperature je  $T_{svj} = 10 \div 15 \text{ }^\circ\text{C}$ . Satnu potrošnju vode tijekom dana teško je točno odrediti. U tu se svrhu mogu koristiti dijagrami poput onih sa slike 7.55. Općenito se može uzeti da je potrošnja PTV-a referentne temp.  $45^\circ\text{C}$  u kućanstvima  $40 \div 60$  litara/dan po osobi, dok je u hotelima i autokampovima ona znatno viša  $80 \div 120$  litara/dan po osobi.



Slika 7.55 - Primjer satne potrošnje PTV-a u kućanstvu kroz dan [7.1]

Toplinska energija akumulirana u spremniku je

$$Q_{sprem} = Q_{kol} \eta_g - Q_{PTV}, [\text{kWh}] \quad (7.17)$$

gdje  $h_g$  uzima u obzir toplinske gubitke cjevovoda i izmjenjivača.

Porast prosječne temperature spremnika zapremine  $V_{sprem}$  tijekom svakog sata je

$$\Delta T = \frac{Q_{sprem}}{V_{sprem} \cdot \rho c_p}, [^\circ\text{C}] \quad (7.18)$$

Temperatura vode u spremniku na kraju svakog sata je

$$T_s^2 = T_s^1 + \Delta T, [^\circ\text{C}] \quad (7.19)$$

Koristeći prethodne izraze moguće je izračunati promjene temperature vode u spremniku tijekom karakterističnog dana u mjesecu. To omogućuje određivanje potrebne površine kolektora i zapremine spremnika da bi se postigle željene temperature u spremniku u pojedinom mjesecu. Na kraju pojedinog dana postignuta temperatura spremnika se umanjuje za  $(2-3)^\circ\text{C}$  zbog toplinskih gubitaka tijekom noći i kao takva se koristi kao ulazna vrijednost za simulaciju rada sljedeći dan. Nakon simulacije

rada za nekoliko dana postiže se stacionarna raspodjela temperatura tijekom dana, što je podloga za daljnje proračune parametara rada sustava – poput, primjerice, dodatne energije pomoćnog grijača (kotla, el. grijača) da bi se voda zagrijala na željenu temperaturu (npr. 50°C). Temperatura PTV-a u spremniku bi morala biti viša od 45°C radi sprječavanja razmnožavanja legionele, ali opet ne smije biti nepotrebno visoka (do 55°C) jer se time smanjuje efikasnost kolektora. Iznos dodatne energije pomoćnog grijača računa se prema

$$Q_{PTV} = \dot{m}c_p(50^\circ\text{C} - T_{s2})t, [\text{kWh}] \quad (7.20)$$

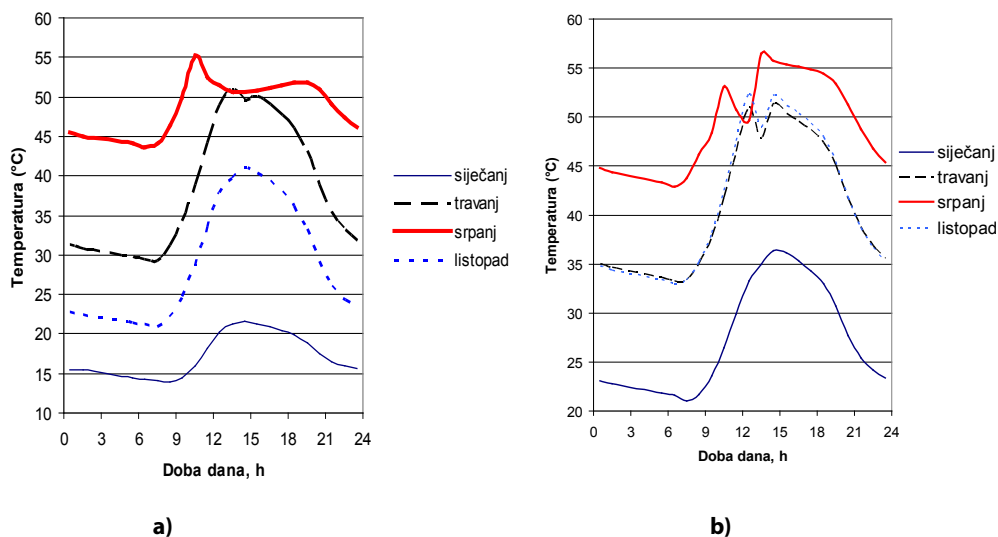
Ovdje je pretpostavljeno da se PTV dogrijava negdje izvan spremnika (npr. pločastim izmjenjivačem) na temperaturu 50°C, tako da temperatura u spremniku ostaje samo pod utjecajem energije dovedene kolektorima i one oduzete potrošnjom PTV-a. U stvarnosti se to dogrijevanje obično događa u spremniku, ali voda ima tu temperaturu samo pri vrhu spremnika, tako da takva situacija ne utječe puno na prosječne temperature  $T_{s1,2}$  kojima se računa u simulaciji. Detaljniji proračuni bi trebali uključiti i utjecaj spomenute temperaturne stratifikacije u spremniku, za što se mogu koristiti programi za numeričku simulaciju poput npr. TRNSYS-a. U slučaju kada se sustav koristi za bilo radijatorsko, podno ili zidno grijanje, gornji izraz za akumuliranu toplinu poprma sljedeći oblik:

$$Q_{sprem} = Q_{kol} - Q_{PTV} - Q_{grij}, [\text{kWh}] \quad (7.21)$$

Pri čemu mora biti poznat iznos potrebne topline za grijanje  $Q_{grij}$ .

## 7.7.2. Rezultati simulacije

Provedena je simulacija rada kolektorskog sustava za obiteljsku kuću korisne površine  $A_k = 100 \text{ m}^2$  s 4 ukućana, smještena u dva različita klimatska područja - Zagrebu i Splitu, [7.10]. Površina kolektora je dimenzionirana tako da se u potpunosti pokrije potreba za zagrijavanjem PTV-a u ljetnim mjesecima. Rezultati ukazuju na činjenicu da je u Splitu potrebna manja kolektorska površina. Srednja godišnja efikasnost kolektora je veća u Splitu ( $h_{kol} = 0,60$ ) nego u Zagrebu ( $h_{kol} = 0,49$ ). Tijekom zimskih mjeseci efikasnost kolektora u Splitu je ( $h_{kol} = 0,58$ ), a ljeti je tek nešto veća ( $h_{kol} = 0,62$ ). Tako male razlike su posljedica niže temperature u spremniku zimi (što podiže efikasnost), a s druge strane nižih vrijednosti temperature zraka i Sunčevog zračenja zimi (što pak snizuje efikasnost). U Zagrebu je efikasnost kolektora zimi ( $h_{kol} = 0,4$ ) znatno niža nego ljeti ( $h_{kol} = 0,56$ ), a što je posljedica većih razlika temperatura zraka i iznosa Sunčevog zračenja zimi i ljeti no što je to u Splitu.



Slika 7.56 - Simulirane vrijednosti promjene temperatura u spremniku PTV-a tijekom dana za optimirani sunčani sustav u a) Zagrebu i b) Splitu [7.17]

### 7.7.3. Vrijeme povrata investicije

Konačne dimenzije komponenti sunčanog sustava, posebice ukupnu površinu kolektora, vrlo često određuje visina investicije i njeno vrijeme povrata. Cijena investicije se ovdje može prikazati kao zbroj varijabilnih troškova ovisnih o kolektorskoj površini i fiksnih troškova (spremnik, armatura, cijevi i dr.)

$$C_{invest} = C_{kol} A_{kol} + C_{fix}, \quad [\text{kn}] \quad (7.22)$$

Fiksni troškovi za određeni raspon kolektorske površine odnose se na spremnik, regulaciju, pumpe, ekspanzijske posude, ventile, cijevi, instalaciju i dr. Dakako, ako su spremnik i sva pripadajuća armatura dio konvencionalnog sustava koji bi se ionako morao ugraditi, onda investicija u sunčani sustav obuhvaća samo one dijelove koji se dodatno moraju ugraditi (kolektori, regulacija, dodatne cijevi, pumpe, razlika u cijeni solarnog spremnika i manjeg spremnika u konvencionalnom sustavu i dr.). Najtočniji način određivanja investicije u sunčani dio sustava je usporedba ukupne cijene konvencionalnog sustava i cijene takvog sustava kombiniranog sa sunčanim.

Uštede na toplinskoj energiji koje se ostvaruju kroz korištenje sunčanog sustava tijekom godine određuju se iz rezultata simulacija i jednake su iskorištenoj Sunčevoj energiji za zagrijavanje vode. Izražena u ekvivalentnoj količini goriva (plina, ulja) odnosno novcu, ta se ušteda može izračunati prema

$$S = \frac{\sum Q_{kol} \eta_g}{\eta_{kotoao}} H_d \cdot C_G, \quad [\text{kn}] \quad (7.23)$$

gdje je  $H_d$  donja ogrjevna moć goriva ( $\text{kg/J}$ ,  $\text{m}_n^3/\text{J}$ ), a  $C_G$  je cijena goriva ( $\text{kn/kg}$ ,  $\text{kn/m}_n^3$ ).  $\sum Q_{kol} \eta_g$  je ukupna godišnja Sunčeva energija iskorištena za zagrijavanje vode. Ovdje nisu uračunate uštede vezane uz smanjene toplinske gubitke konvencionalnog dijela sustava, koje posebice dolaze do izražaja ljeti kad je smanjena potrošnja (samo za PTV), a cijeli sustav se mora održavati toplim. Korištenje sunčanih sustava omogućuje rad samo s povremenim uključivanjem pomoćnih grijača čime se postižu znatne uštede i podiže godišnja efikasnost konvencionalnog dijela sustava. Za procjenu tih ušteda potrebno je koristiti proračune iz skupine normi HRN EN 15316, a njihovim pridodavanjem prikupljenoj Sunčevoj energiji, znatno se može smanjiti izračunata vrijednost vrijeme povrata investicije (vidi primjer iz priloga).

Jednostavno vrijeme povrata investicije računa se prema

$$P_P = \frac{C_{invest}}{S}, \quad [\text{godina}] \quad (7.24)$$

Ako se za investiranje koristi kredit banke, mora se u obzir uzeti i utjecaj kamata jer one produljuju vrijeme povrata. Pri tome se obično uzima u obzir i utjecaj inflacije koja pak skraćuje vrijeme povrata.

### 7.7.4. Optimizacija kolektorske površine i zapremine spremnika

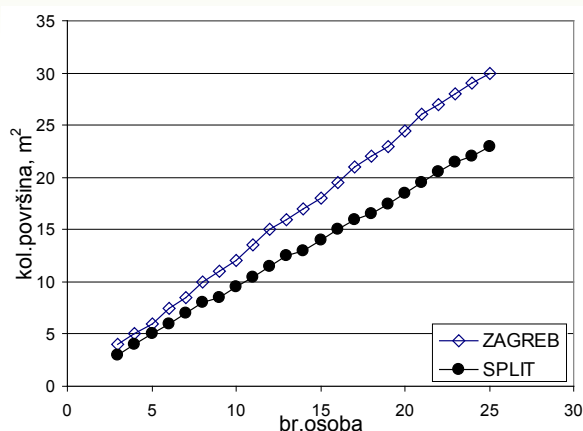
U tablici 7.1 prikazani su rezultati optimizacije sunčanih sustava za pripremu PTV-a različitih veličina u odnosu na broj osoba, smještenih u klimatskim područjima Zagreba i Splita. Optimalna površina kolektora u ovisnosti o broju osoba, prikazana je dijagramski na slici 7.57. Procijenjena je relativno visoka potrošnja PTV-a referentne temp.  $45^\circ\text{C}$  u iznosu od 80 Lit/dan po osobi, kako bi se obuhvatio rezidencijalni i turistički sektor (apartmani, autokampovi...). Načelno, kod sunčanih sustava povećanje potrošnje PTV-a rezultira povećanjem iznosa godišnje prikupljene Sunčeve energije, a što se može, primjerice, vidjeti kroz usporedbu vrijednosti u dijagramima na slici 7.57 (ako se svedu na  $\text{m}^2$  površine kolektora) s primjerom u poglavlju 7.10.3, gdje je potrošnja u kućanstvu uzeta kao 60 Lit/osobi.

Također povoljan utjecaj na povećanje prikupljene Sunčeve energije ima i povećanje zapremine spremnika, no ono dakako povlači i veće investicijske troškove što pak može dovesti do povećanja vremena povrata investicije. Svi su sustavi optimizirani prema kriteriju da se u potpunosti pokriju energetske potrebe za pripremu PTV-a u ljetnim mjesecima, srpnju i kolovozu, uz minimalno vrijeme povrata investicije. Investicijski troškovi procijenjeni su na temelju prosječnih tržišnih cijena opreme različitih proizvođača i cijena kolektora prosječnih toplinskih karakteristika. Kod sustava za pripremu PTV-a sa 6 i više osoba, u investiciju sunčanog dijela sustava uračunati su samo troškovi za kolektore, cjevovode, regulaciju, "solarni set" (pumpa,

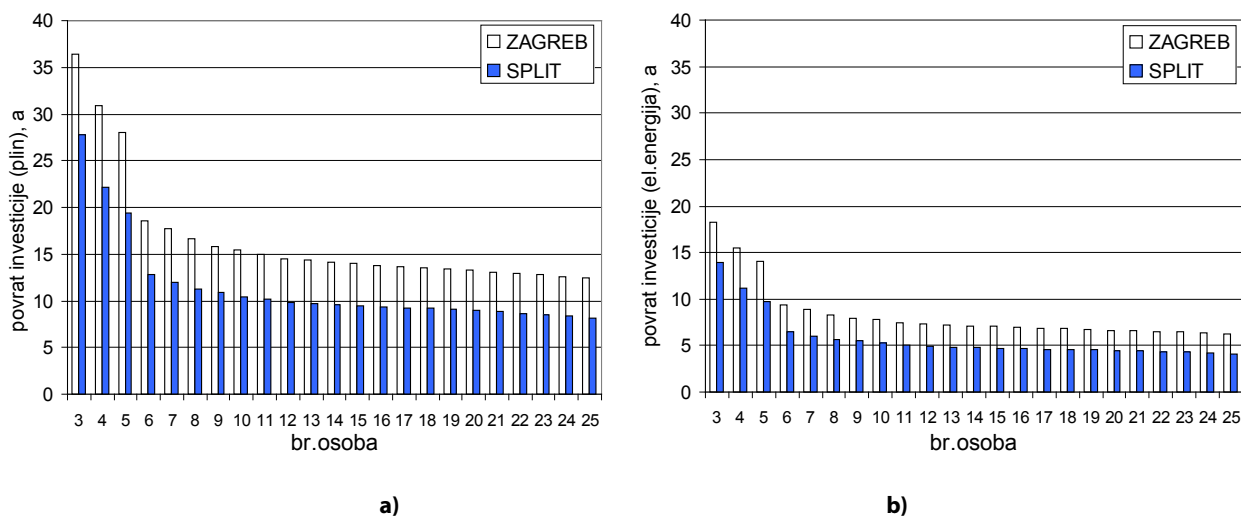
Tablica 7.1 - Tehničke i ekonomske karakteristike optimiziranih sunčanih sustava različitih veličina u odnosu na broj osoba za područje Zagreba i Splita

Broj osoba	Površina kolektora m <sup>2</sup>		Spremnik Lit.	Iskorištena sun energija kWh/a		Energija za PTV kWh/a	Povrat invest. – plin, a		Povrat invest. – el. energija, a		Cijena investicije, kn	
	ZAGREB	SPLIT		ZAGREB	SPLIT		ZAGREB	SPLIT	ZAGREB	SPLIT	ZAGREB	SPLIT
3	4	3	200	2320	2850	3574	36,4	27,8	18,2	13,9	29001	27201
4	5	4	200	2900	3800	4765	30,9	22,21	15,5	11,1	30801	29001
5	6	5	250	3480	4750	5957	28,1	19,4	14,1	9,8	33547	31747
6	7,5	6	300	4350	5700	7148	18,6	12,8	9,3	6,4	27800	25100
7	8,5	7	350	4930	6650	8339	17,7	11,9	8,9	6,0	29981	27281
8	10	8	400	5800	7600	9531	16,6	11,3	8,3	5,7	33064	29464
9	11	8,5	450	6380	8075	10722	15,9	10,9	8,0	5,5	34783	30283
10	12	9,5	500	6960	9025	11913	15,5	10,5	7,8	5,3	36989	32489
11	13,5	10,5	550	7830	9975	13105	14,9	10,1	7,5	5,1	40133	34733
12	15	11,5	600	8700	10925	14296	14,5	9,9	7,3	4,9	43319	37019
13	16	12,5	650	9280	11875	15487	14,3	9,6	7,2	4,8	45645	39345
14	17	13	700	9860	12350	16679	14,2	9,6	7,1	4,8	48007	40807
15	18	14	750	10440	13300	17870	14,0	9,5	7,0	4,7	50394	43194
16	19,5	15	800	11310	14250	19061	13,8	9,3	6,9	4,7	53694	45594
17	21	16	850	12180	15200	20253	1,6	9,2	6,8	4,6	56988	47988
18	22	16,5	900	12760	15675	21444	13,5	9,2	6,8	4,6	59354	49454
19	23	17,5	950	13340	16625	22635	13,5	9,1	6,7	4,5	61665	51765
20	24,5	18,5	1000	14210	17575	23827	13,3	8,9	6,7	4,5	64792	53992
21	26	19,5	1050	15080	18525	25018	13,1	8,8	6,6	4,4	67798	56098
22	27	20,5	1100	15660	19475	26209	13,0	8,7	6,5	4,4	69746	58046
23	28	21,5	1150	16240	20425	27401	12,8	8,5	6,4	4,3	71491	59791
24	29	22	1200	16820	20900	28592	12,6	8,4	6,3	4,2	72985	60385
25	30	23	1250	17400	21850	29783	12,4	8,2	6,2	4,1	74177	61577

osoba za područje Zagreba i Splita



Slika 7.57 - Optimalna površina kolektora u ovisnosti o broju osoba



Slika 7.58 - Izračunato vrijeme povrata investicije (godina) u ovisnosti o broju osoba, a) usporedba s plinom, b) usporedba s električnom energijom kao energentom u konvencionalnom dijelu sustava

## 7.8. Popis mjera za povećanje efikasnosti sunčanih toplovodnih sustava

1. Za objekte s više od 4 osoba prilikom projektiranja sustava grijanja i pripreme PTV-a i/ili kupovine opreme predvidjeti mogućnost spajanja spremnika PTV-a na sunčane kolektore jer se, uz prikupljenu besplatnu Sunčevu energiju, time smanjuju i toplinski gubici sustava (posebice izvan sezone grijanja)
2. Izolirati spremnik i sve cjevovode u sustavu
3. Za veće sustave od 4 m<sup>2</sup> kolektorske površine obvezno napraviti proračun veličine komponenti sunčanog sustava (kolektorske površine, zapremine spremnika)
4. Za veće sustave od 4 m<sup>2</sup> proračunati pad tlaka u kolektorskom krugu radi odabira adekvatne pumpe kako bi se izbjegao pad efikasnosti zbog protoka manjih od 30 Lit/h po m<sup>2</sup> kolektora, odnosno preveliki pad tlaka kod vrijednosti većih od 70 litara/hm<sup>2</sup>, a koje praktički ne dovode do povećanja efikasnosti kolektora
5. Kod većih sunčanih sustava s potrebnom zapreminom spremnika > 1000 litara, predvidjeti ugradnju dva manja spremnika umjesto jednog većeg, jer se time postiže brže zagrijavanje vode na potrebnu temperaturu i povećava efikasnost sustava radi nižih prosječnih temperatura na polazu kolektorskog kruga, te omogućuje modularni način rada ovisno o potrošnji i iznosu Sunčevog zračenja

6. Sustave i regulaciju projektirati tako da se u spremnicima održavaju temperature  $<55^{\circ}\text{C}$  zbog što efikasnijeg rada kolektora.
7. Vakuumske kolektore koristiti samo kada je potrebno prikupiti veću količinu Sunčeve energije u zimskim mjesecima, jer u ljetnim rade s nižom efikasnošću od pločastih
8. Serijski spoj kolektora koristiti samo kada se proračunom dokaže da izmjenjivači topline u spremniku ne bi u zimskim mjesecima mogli izmijeniti svu prikupljenu toplinu pri nižim izlaznim temperaturama iz paralelnog spoja.
9. Sustave projektirati tako da se u potpunosti pokriju potrebe za PTV-om u ljetnim mjesecima kako bi se izbjegla potreba za paljenjem kotla i zagrijavanjem velikog volumena vode u njemu i priključnim cjevovodima
10. U slučajevima iz prethodne točke preporuča se direktna ugradnja el. grijača u spremnik što je tada ekonomičnije rješenje od korištenja toplovoodnog kotla
11. Prilikom projektiranja/izvođenja sustava za grijanje prostora koristiti niskotemperaturna podna i zidna grijanja radi povećanja efikasnosti kolektora i sustava u cjelini
12. Sunčane sustave za grijanje prostora dimenzionirati prema mogućnosti korištenja viškova topline tijekom ljeta, a koji se primjerice mogu iskoristiti za zagrijavanje bazenske vode ili apsorpcijsko hlađenje
13. Provjeravati tlak u kolektorskom krugu barem jednom tjedno i po potrebi nadopuniti radni fluid da se izbjegnu zastoji u radu i pregrijavanje kolektora
14. Redovito jednom godišnje obaviti čišćenje izmjenjivačkih površina, dopunu radnog fluida i kontrolu svih ostalih dijelova sustava (ekspanzijskih posuda, sigurnosnih ventila i dr.) te priključaka (posebice na kolektorima).

## 7.9. Fotonaponske ćelije i sustavi

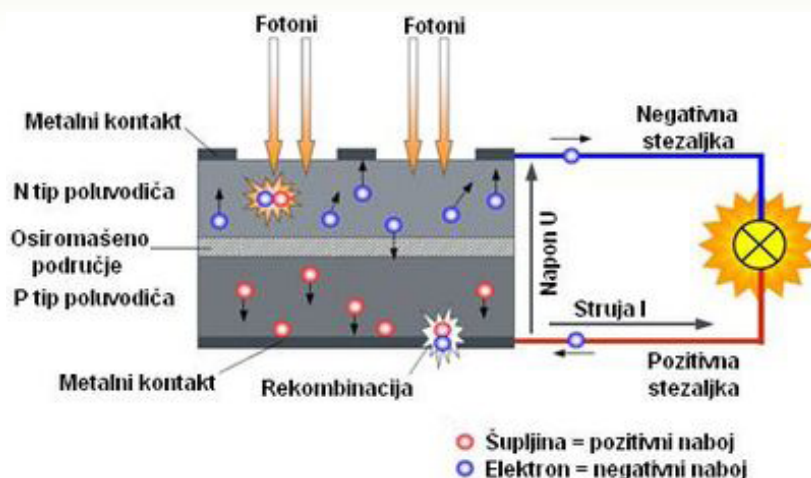
### 7.9.1. Vrste i karakteristike fotonaponskih ćelija

Fotonaponske ćelije koriste se za izravnu pretvorbu energije Sunčevog zračenja u električnu energiju. Princip rada temelji se na fotoelektričnom efektu. Većina danas komercijalno korištenih fotonaponskih ćelija napravljena je od poluvodiča silicija. Od ostalih vrsta treba spomenuti one napravljene od poluvodiča galij arsenida (GaAs), bakar-inidum-diselenida ( $\text{CuInSe}_2$ ) i kadmij-telurija (CdTe) koje, bilo zbog cijene, toksičnosti ili osjetljivosti na vremenske utjecaje, nisu još značajnije zastupljene na tržištu.

Fotonaponska ćelija od silicija nastaje spajanjem dva tanka sloja poluvodiča poznatih kao P i N tip (slika 7.59). Pozitivno nabijeni P tip dobije se dodavanjem malih količina primjese (obično fosfora) u kristalnu rešetku silicija, a negativno nabijeni N tip dodavanjem neke drukčije primjese (obično bora). Te primjese izazivaju manjak slobodnih elektrona u međuatomskim vezama kod P tipa, tj. pojavu tzv. "šupljina" i višak slobodnih elektrona kod N tipa. Spajanjem P i N tipa poluvodiča dolazi do prelaska elektrona iz N u P tip u ograničenom području neposredno oko PN spoja, koje se zbog toga naziva "osiromašeno" od nosioca naboja. Kada se takav spoj osvjetli, pod utjecajem fotona, dolazi do podizanja elektrona na višu energetska razinu i njihovog izbijanja iz međuatomskih veza te, pod utjecajem uspostavljenog električnog polja u osiromašenom području, do njihovog kretanja prema N tipu, a "šupljina" prema P tipu. Kada se metalni kontakti na P i N dijelu spoje s vanjskim trošilom, elektroni će se kretati preko vanjskog električnog kruga prema P tipu, popunjavajući tamo "šupljine" te opet kroz ćeliju prema kontaktima N tipa.

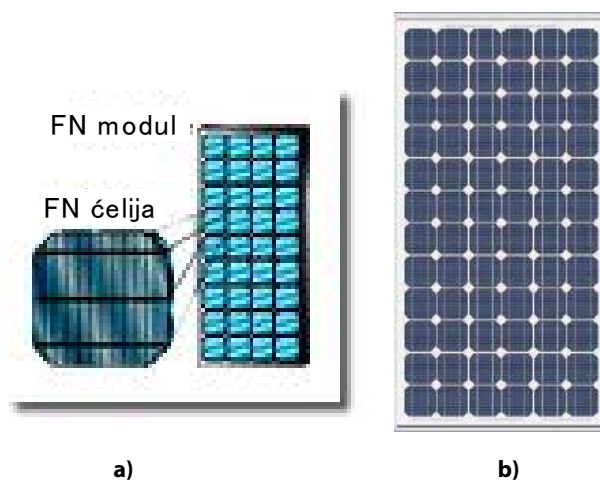
Jakost tako nastale električne struje je proporcionalna intenzitetu Sunčevog zračenja. Gustoća električne struje je oko  $200 \text{ A/m}^2$ , što daje jakost struje do najviše  $2,5 \text{ A}$  po ćeliji. Najveći napon iznosi oko  $0,6 \text{ V}$  (kad ćelija nije spojena na vanjsko trošilo) i vrlo malo ovisi o intenzitetu Sunčevog zračenja.





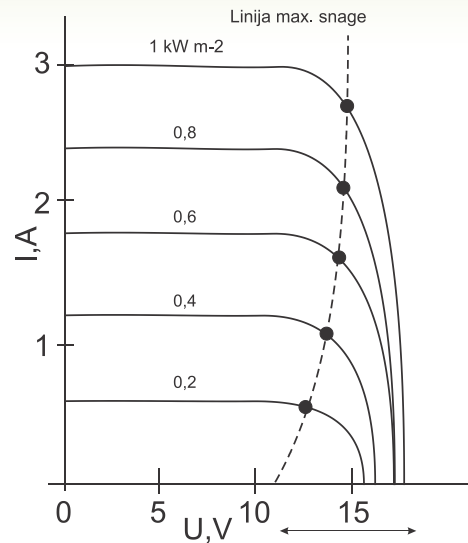
Slika 7.59 - Fotonaponska ćelija-princip rada PN spoja

Fotonaponske ćelije spajaju se u seriju (slika 7.60 (a)) kako bi se dobile vrijednosti napona nešto veće od 12 V ili 24 V, a koje su uobičajene za akumulatore i uređaje koji se priključuju na fotonaponske ćelije. Potom se serijski nizovi spajaju u paralelu kako bi se postigli veći iznosi jakosti struje, odnosno željena snaga. Na taj način nastaju moduli u obliku panela (slika 7.60 (b)), na kojima su fotonaponske ćelije učvršćene i zaštićene od atmosferskih utjecaja.



Slika 7.60 - a) Spajanje fotonaponskih ćelija u modul, b) fotonaponski modul u obliku panela

Radna karakteristika fotonaponskog modula prikazana je na slici 7.61. Primjerice, najveća snaga fotonaponskog modula od monokristalnog silicija površine 0,5 m<sup>2</sup> iznosi 73 W pri intenzitetu Sunčevog zračenja od 1000 W/m<sup>2</sup> uz efikasnost pretvorbe Sunčeve u električnu energiju od 14,5%. Za usporedbu, sunčevi toplovodni kolektor identične površine bi pri Sunčevom zračenju od 1000 W/m<sup>2</sup> imao snagu od oko 300 W pri ljetnim uvjetima rada (tj. pri efikasnosti od 60%). Ovdje treba naglasiti da se toplovodnim kolektorima dobiva toplinska, a fotonaponskim ćelijama električna energija koja se smatra "vrjednijim" oblikom jer se može izravno pretvoriti u toplinsku energiju i u mehanički rad. S druge strane, toplinska energija se neizravno pretvara u električnu mehaničkim radom turbine u termoelektranama pri efikasnostima od oko 35% ili u solarnim elektranama s koncentrirajućim zrcalima pri efikasnostima od 15-30%.



Slika 7.61 - Ovisnost napona  $U$  i jakosti struje  $I$  o intenzitetu Sunčevog zračenja

Pored spomenutih monokristaličnih silicijevih ćelija postoje i jeftinije polikristalične ćelije čija je struktura kristala manje pravilna, a efikasnost pretvorbe Sunčeve u električnu energiju iznosi 10%. Naposljetku, komercijalno se koriste i ćelije od amorfne silicija, koje su daleko najjeftinije, ali imaju malu efikasnost od samo 4%. Danas na tržištu sve više raste udio polikristaličnih ćelija u odnosu na monokristalične, i to prvenstveno zbog manjih investicijskih troškova za proizvodne pogone, jeftinijeg samog procesa proizvodnje, veće aktivne površine modula (zbog četvrtastog oblika ćelija naspram okruglog kod monokristaličnih) te mogućnosti proizvodnje ćelija većih dimenzija što je prikladnije za ugradnju u module.

Razlozi za relativno niske efikasnosti fotonaponskih ćelija su gubici koji nastaju zbog prevelike ili premale količine energije koju imaju fotoni u pojedinom području valnih duljina u odnosu na iznos potreban za izdvajanje elektrona iz međuatomske veze. Neiskorišteni dio apsorbirane Sunčeve energije pretvara se u toplinu. Ostali gubici nastaju zbog otpora u samom materijalu i spojevima, tzv. rekombinacijske struje u osiromašenom području [7.3], zasjenjenja od metalnih kontakata na površini te zbog refleksije. Efikasnost fotonaponskih ćelija te time i snaga, padaju s povećanjem njihove temperature. Iz tih je razloga potrebno osigurati što bolje hlađenje montiranih modula (npr. odmicanjem modula od površine krova). Jedan od načina kako osigurati kvalitetno hlađenje i pri tome dodatno iskoristiti apsorbiranu Sunčevu energiju su fotonaponski moduli kombinirani s cijevnim izmjenjivačem za zagrijavanje tople vode smještenim na poleđini modula, i koji pri tome ima najveću efikasnost pretvorbe Sunčeve u toplinsku energiju  $h_o$  oko 50%. (slika 7.62).



Slika 7.62 - Fotonaponski modul kombiniran s cijevnim izmjenjivačem na poleđini za zagrijavanje tople vode

## 7.9.2. Fotonaponski sustavi

Fotonaponski sustav sastoji se od fotonaponskih panela, akumulatora, regulatora i pretvarača istosmjerne u izmjeničnu struju te trošila (slika 7.63). Punjenje/pražnjenje akumulatora regulira se posebnim regulatorom koji ima zadaću spriječiti prepunjenost ili preveliku ispražnjenost akumulatora, a koji mogu bitno smanjiti vijek trajanja akumulatora ili ga pak uništiti. Ponekad se u sustave ugrađuje i tzv. DC/AC pretvarač istosmjerne struje u izmjeničnu prikladnu za pogon kućanskih aparata. Pretvorba kemijske energije akumulatora natrag u električnu (gubici oko 20%) te ostali gubici u navedenim regulatorima i pretvaračima dodatno smanjuju efikasnost pretvorbe Sunčeve u korisnu električnu energiju.

Zbog male efikasnosti i još uvijek visoke cijene (kod kućnih sustava oko 6 EUR/W instalirane snage), fotonaponske ćelije se ugrađuju tamo gdje su potrebne relativno male snage i/ili ne postoji priključak na električnu mrežu. Primjeri primjene su vikendice, planinarski domovi, radiorepetitori na vrhovima planina, telefonske govornice uz autoceste, ulična rasvjeta, parkirni automati, baterije/akumulatori za manje brodove i jedrilice itd. (slika 7.64). Za takve primjene fotonaponski sustavi se odlično nadopunjuju u radu s malim vjetrogeneratorima (<1 kW). Cijena instalacije fotonaponskih modula može se smanjiti ako se oni koriste kao dijelovi krova, što je već testirano kroz mnoge projekte EU-a. S obzirom na kontinuirani trend pada cijena fotonaponskih modula (kod većih sustava snage >1 MW cijena je 3-4 EUR/W) i pripadajuće opreme posljednjih desetak godina, može se očekivati da bi fotonaponski sustavi mogli uskoro postati ekonomski konkurentni konvencionalnim načinima opskrbe električnom energijom.



Slika 7.63 - Način spajanja fotonaponskog modula s potrošačima preko regulatora punjenja/pražnjenja baterije i DC/AC pretvarača



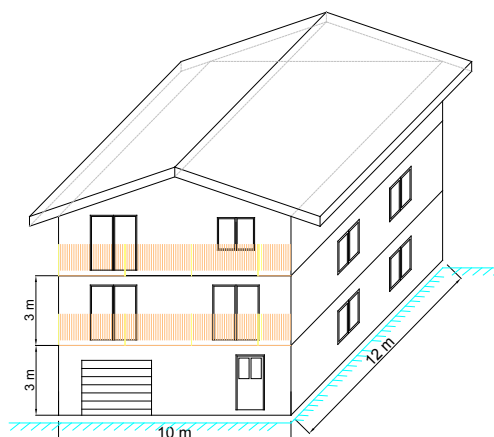
Slika 7.64 - Primjeri korištenja fotonaponskih sustava

## 7.10. Primjeri povećanje energetske učinkovitosti

### 7.10.1. Primjer 1 – Proračun energetskih ušteda kod ugradnje sunčanog sustava prema HRN EN 15316-4-3

U nastavku su dani rezultati proračuna parametara rada optimiziranog sunčanog sustava za pripremu PTV-a i grijanje prostora instaliranog u niskoenergetskoj kući (slika 7.65). Kriterij optimizacije je minimalno vrijeme povrata investicije. Proračun je napravljen prema Metodi B iz norme HRN EN 15316-4-3 (Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava – Dio 4-3: Sustavi za proizvodnju topline, toplinski sustavi Sunčevog zračenja) a koja se temelji na tzv. f-chart metodi [7.1].

Također, napravljena je usporedba potrošnje energije u identičnom objektu u koji nije ugrađen sunčani sustav. Temeljem izračunatih vrijednosti ispunjen je energetski certifikat za varijantu kuće s instaliranim sunčanim sustavom.



- Podaci o objektu:
- broj etaža 3
  - visina etaže 3 m
  - korisna površina 270 m<sup>2</sup>
  - oplošje 640 m<sup>2</sup>
  - obujam grijanog dijela zgrade 870 m<sup>3</sup>
  - udio prozora 0,2
  - centralna kotlovnica u prizemlju
  - broj osoba 10

Slika 7.65 - Skica analizirane niskoenergetske kuće s odgovarajućim podacima o samom objektu. Podaci o tehničkim sustavima dani su u energetskom certifikata u nastavku.

Tablica 7.2 - Ulazni podaci za proračun sunčanog sustava

Lokacija	Zagreb	
Tip objekta	Obiteljska kuća	
$A_k$	270	m <sup>2</sup>
$Q_{H,nd}$	27	kWh/m <sup>2</sup> a
Tip grijanja	Podno+zračno	
Temp.sustava grijanja	40	°C
Potrošnja vode za 10 osoba temp. 60°C (45°C)	347 (495)	Lit/d
Volumen spremnika	750	Lit
Vol.dogrij.dijela	200	Lit
Spremnik u grijanom dijelu kuće	DA	
Cijevi izolirane	DA	
Neiskorišteni topl. gubici distribucije	15,5	%
Tip kotla:	Niskotemp. 15 kW	
Neiskorišteni topl. gubici kotla	277	W
Tip kolektora	Pločasti	
Površina kolektora	13,3	m <sup>2</sup>
Nagib kolektora	40	°

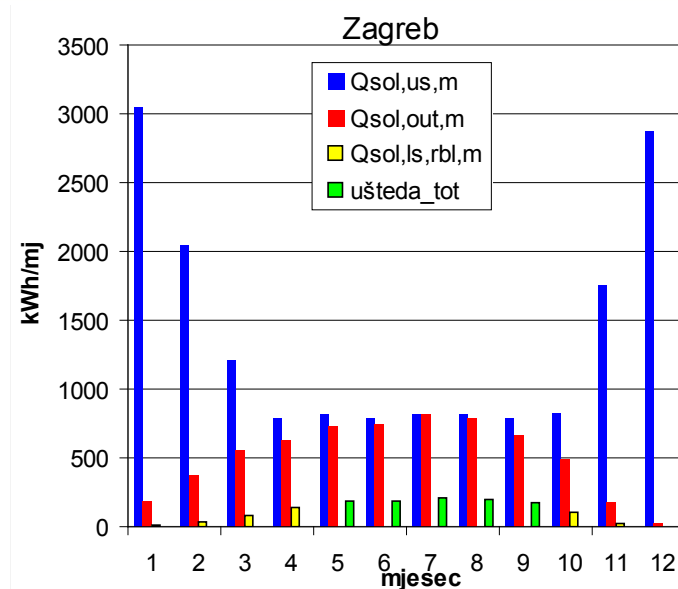
Tablica 7.3 - Rezultati proračuna parametara rada sunčanog sustava za pripremu PTV-a i grijanje prostora

A=13,3 m <sup>2</sup>		V=750 Lit									
		nagib.kol.=40°									
mjesec	QH,sol,us,m kWh/mj	QW,sol,us,m kWh/mj	Qsol,us,m kWh/mj	Qsol,out,m kWh/mj	fsol,m	Wsol,aux,m kWh/mj	Qsol,ls,m kWh/mj	Qsol,ls,rbl,m kWh/mj	Spremn.-t-distrib. kWh/mj	Ušteda tot kWh/mj	
1	2420	624	3043	190	0,06	4,7	13,0	15,4	13,0	0,8	
2	1482	563	2045	373	0,18	6,1	31,6	34,6	31,6	1,6	
3	586	624	1209	559	0,46	8,4	78,0	82,2	78,0	2,4	
4	57	735	792	627	0,79	10,0	132,9	137,9	132,9	2,7	
5	0	814	814	732	0,90	11,7	116,2	0,0	0,0	188,5	
6	0	787	787	739	0,94	11,5	117,4	0,0	0,0	190,5	
7	0	814	814	814	1,00	13,1	129,2	0,0	0,0	209,5	
8	0	814	814	790	0,97	12,3	125,5	0,0	0,0	203,5	
9	0	787	787	668	0,85	10,5	106,0	0,0	0,0	172,0	
10	133	692	825	484	0,59	7,5	96,3	100,1	96,3	2,0	
11	1149	603	1753	172	0,10	4,2	17,9	20,0	17,9	0,7	
12	2244	624	2867	18	0,006	3,2	1,6	3,2	1,6	0,1	
tot/god	8070	8480	16550	6165	0,37	103	966	393	371	974	

uk. doprinos sustavu, kWh	7511
iskorišt. sunč. en., kWh/m <sup>2</sup>	491
investicija, kn	40871
povrat inv. - el. energ., a	7,9
povrat inv. - plin, a	16,0

Objašnjenje oznaka:

$Q_{H,sol,us,m}$	Toplinsko opterećenje sunčanog sustava kod grijanja prostora (mjesečno) - uzima u obzir toplinsku potrebu za grijanje prostora skupa sa svim neiskoristivim toplinskim gubicima do ogrjevnog tijela (tj. gubicima distribucije i predaje)
$Q_{W,sol,us,m}$	Toplinsko opterećenje sunčanog sustava kod pripreme PTV-a (mjesečno) - uzima u obzir toplinsku potrebu za pripremu PTV-a skupa sa svim neiskoristivim gubicima do izljevno mjesto (tj. gubicima distribucije)
$Q_{sol,us,m}$	$= Q_{H,sol,us,m} + Q_{W,sol,us,m}$ ; Ukupno toplinsko opterećenje sunčanog sustava (mjesečno)
$Q_{sol,out,m}$	Toplinska energija dovedena sunčanim sustavom objektu (mjesečna)
$f_{sol,m}$	$= Q_{sol,out,m} / Q_{sol,us,m}$ ; Udio toplinske energije dovedene sunčanim sustavom u ukupnom toplinskom opterećenju sunčanog sustava (mjesečni)
$W_{sol,aux,m}$	Pomoćna energija potrebna za pogon pumpi i regulacije (mjesečna)
$Q_{sol,ls,m}$	Toplinski gubici spremnika i distribucije između spremnika i dodatnog izvora topline (kotla) (mjesečni)
$Q_{sol,ls,rbl,m}$	Ukupni iskoristivi (povrativi) toplinski gubici spremnika i distribucije između spremnika i dodatnog izvora topline (kotla) te toplinski gubici pomoćnih uređaja (mjesečni)
spremn.+distrib.	Iskorišteni gubici prikupljene Sunčeve energije spremnika i distribucije između spremnika i dodatnog izvora topline (kotla) za potrebe grijanja prostora (mjesečni)
ušteta_tot	Iznos ukupne energetske uštede radi smanjenja toplinskih gubitaka dodatnog izvora (kotla) i energije za pogon pomoćnih uređaja zbog smanjenog broja sati rada dodatnog izvora (mjesečni)
Uk. doprinos. sustava	$= (Q_{sol,out,m}) + (ušteta\_tot) + (spremn.+distrib.)$ (godišnji)
Iskoriš. Sunč.energ.	Iznos toplinske energije dovedene sunčanim sustavom objektu po jedinici površine kolektora (godišnji)
Investicija	Obuhvaća kolektore, razliku u cijeni solarnog i spremnika konvencionalnog sustava, "solarni set" (regulacija, pumpa, ekspanzijska posuda, ventili i dr.), cjevovode, trošak ugradnje
Neiskorišteni topl. gubici kotla	Obuhvaćaju prosječne stand-by gubitke kotla (niži temp. nivo) te toplinske gubitke prilikom zagrijavanja PTV-a (viši temp. nivo) u razdoblju izvan sezone grijanja i kao takvi ulaze u iznos ušteta_tot; računato prema normi HRN EN 15316-4-1



Slika 7.66 - Dijagramski prikaz rezultata iz tablice 7.3

Tablica 7.4 - Potreba za toplinskom energijom analizirane kuće s i bez instaliranog sunčanog sustava

		bez sun.sustava	
$Q_{H,nd}+Q_W$ (toplinska potreba)	14717	14717	kWh/a
Rasvjeta	5213	5213	kWh/a
Iskorištena Sunčeva energija	6488		kWh/a
Ušteta na topl. gubicima kotla	974		kWh/a
Ušteta na en. za pogon pumpe	26		kWh/a
Ukupna isporučena energija (grijanje, PTV, hlađenje, rasvjeta)	21810	29298	kWh/a
Ukupna primarna energija (grijanje, PTV, hlađenje, rasvjeta)	44613	52900	kWh/a
Udio obnovljive en. u ( $Q_{H,nd}+Q_W$ )	44		%
* $e_p$ (grij.&PTV)	1,63	2,19	

\*  $e_p$  – koeficijent utroška sustava je omjer primarne energije samo za grijanje+PTV i toplinske potrebe objekta za grijanje +PTV ( $Q_{H,nd}+Q_W$ )



#### Komentar rezultata:

Iz prikazanih rezultata vidljivo je da su iznosi prikupljene energije u prosincu i siječnju vrlo mali, dok su ostalim mjesecima uglavnom dovoljni za pokrivanje potreba za PTV-om, odnosno većeg dijela potreba za grijanjem prostora kad nema potrošnje PTV-a (npr. u dane kad nema ukućana). U ljetnim mjesecima potreba za ukupnom energijom za pripremu PTV-a  $Q_{W,sol,us,m}$  je veća zbog većeg iznosa neiskoristivih gubitaka, tj. nemogućnosti korištenja toplinskih gubitaka distribucije za grijanje prostora u tom razdoblju.

Iz prikazanih rezultata vidljivo je da se, osim korištenja besplatne Sunčeve energije (6488 kWh/a), ugradnjom sunčanog sustava, ostvaruju dodatne uštede na račun smanjenja broja sati rada niskotemperaturnog toplovođenog kotla i to u iznosu od 974 kWh/a. Naime, prema normi HRN EN 15316-4-3 dodatni izvor (kotao) u toplijem dijelu godine (ovdje od svibnja do rujna) ne

mora biti uključen 24 h na dan, s obzirom da je  $f_{sol,m} \geq 80\%$  (tj. kotao se pali samo povremeno), što onda povlači ovdje prikazanu značajnu uštedu na toplinskim gubicima kotla. Uštede su još znatno veće kod korištenja standardnih kotlova koji imaju veće toplinske gubitke od niskotemperaturnih (npr. standardni kotlovi imaju i do 2 puta veće stand-by gubitke). Iz tablice 7.4 vidljivo je kako je 6488 kWh/a prikupljene i u sustav predane Sunčeve energije rezultiralo u konačnici smanjenjem potrošnje primarne energije kuće za 8278 kWh/a. Pri tome treba istaknuti i znatan utjecaj ugradnje sunčanog sustava na smanjenje koeficijenta  $e_p$ , tj. odnosa primarne energije i korisno utrošene energije za grijanje i pripremu PTV-a i to za 35%.

### Energetski certifikat analizirane kuće

	<b>Zgrada</b> <input checked="" type="checkbox"/> nova <input type="checkbox"/> postojeća			
	Vrsta zgrade			
	K.č. k.o.			
	Adresa			
	Mjesto			
	Vlasnik / investitor			
	Izvođač			
	Godina izgradnje			
	<b>Energetski certifikat za nestambene zgrade</b>	$Q_{H,nd,rel}$	%	Izračun <b>34</b>
		<b>A+</b>	$\leq 15$	
<b>A</b>		$\leq 25$		
<b>B</b>		$\leq 50$		
<b>C</b>		$\leq 100$		
<b>D</b>		$\leq 150$		
<b>E</b>		$\leq 200$		
<b>F</b>		$\leq 250$		
<b>G</b>	$> 250$			
<b>Podaci o osobi koja je izdala energetski certifikat</b>				
Ovlaštena fizička osoba				
Ovlaštena pravna osoba				
Imenovana osoba				
Registarski broj ovlaštene osobe				
Broj energetskog certifikata				
Datum izdavanja/rok važenja				
Potpis				
<b>Podaci o zgradi</b>				
$A_k$ [m <sup>2</sup> ]	270			
$V_e$ [m <sup>3</sup> ]	840			
$f_0$ [m <sup>-1</sup> ]	0,76			
$H_{tr,adj}$ [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,33			
$Q_{H,nd,ref}$ [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	27			

Slika 6.67 – Energetski certifikat za nestambene zgrade



Klimatski podatci					
Klimatski podaci (kontinentalna ili primorska Hrvatska)		kontinentalna			
Broj stupanj dana grijanja SD [Kd/a]		3045			
Broj dana sezone grijanja Z [d]		180			
Srednja vanjska temperatura u sezoni grijanja $\theta_e$ [°C]		11,2			
Unutarnja projektna temperatura u sezoni grijanja $\theta_i$ [°C]		21			

Podaci o termotehničkim sustavima zgrade	
Način grijanja zgrade (lokalno, etažno, centralno, daljinski izvor)	centralno
Izvori energije koji se koriste za grijanje i pripremu potrošne tople vode	solarni sustav i niskotemp. plin. toplov. kotao 15 kW + zračno i podno grij. + recirk. PTV-a
Način hlađenja (lokalno, etažno, centralno, daljinski izvor)	centralno
Izvori energije koji se koriste za hlađenje	zrak. hlad. rashladnik vode 7 kW + zračno + podno hlad.
Vrsta ventilacije (prirodna, prisilna bez ili s povratom topline)	prisilna s 60% rekuperacijom
Vrsta i način korištenja sustava s obnovljivim izvorima energije	solarni sustav za grijanje i PTV s 13,2 m <sup>2</sup> pločastih kolektora i spremnikom 750 Lit
Udio obnovljivih izvora energije u potrebnoj toplinskoj energiji za grijanje [%]	88

Energetske potrebe						
	Za referentne klimatske podatke		Za stvarne klimatske podatke		Zahtjev	
	Ukupno [kWh/a]	Specifično [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	Ukupno [kWh/a]	Specifično [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	Dopušteno [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	Ispunjeno DA / NE
$Q_{H,nd}$	7375	27			80	DA
$Q_W$	7342	27				
$Q_{H,ls}$	1812	7				
$Q_{W,ls}$	2506	9				
$Q_H$	19036	71				
$Q_{C,nd}$	3040	11				
$Q_{C,ls}$	741	3				
$Q_C$	3781	14				
$Q_{ve}$	9012	33				
$E_L$	5213	19				
$E_{del}$	<b>21810</b>	81				
$E_{prim}$	<b>44613</b>	165				
CO <sub>2</sub> [kg/a]	7783					
$Q'_{H,nd}$ [kWh/(m <sup>3</sup> a)]		9			26	DA

Objašnjenje:  obvezna ispunja  ispunjava se opcijski

Slika 7.68 – Klimatski, termotehnički i energetske podatci za zgradu

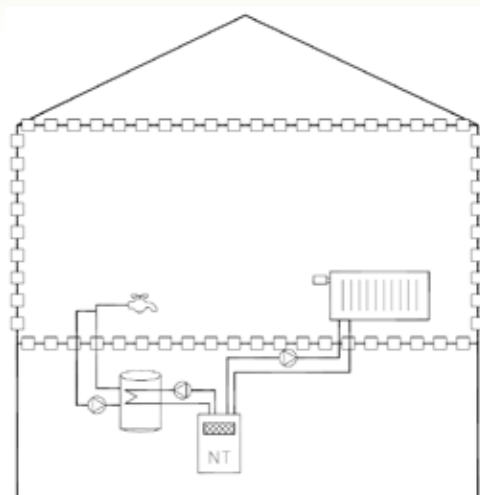
Prijedlog mjera / Preporuke	
- za postojeće zgrade:	prijedlog mjera za poboljšanje energetske svojstva zgrade koje su ekonomski opravdane
- za nove zgrade:	preporuke za korištenje zgrade vezano na ispunjenje bitnog zahtjeva uštede energije i toplinske zaštite i ispunjenje energetske svojstva zgrade
1. Ugradnja solarnog sustava za grijanje i pripremu PTV-a, 13,3 m <sup>2</sup> pločastih kolektora +750 Lit spremnik, ušteda prim.energije 8287 kWh/a, period povrata investic. 8-16 god.	
2. Ugradnja dizalice topline zrak/voda za grijanje i pripremu PTV-a, nom.snaga 10,6 kW, ušteda prim.energije 9413 kWh/a, period povrata investic. 8-10 god.	
3. Ne koristiti parno ovlaživanje zraka, ušteda prim. energije 7075 kWh/a	
4. Ugradnja malog el. akumulacionog bojlera za pripremu PTV-a u kuhinjama i pranje ruku u kupaoionicama radi smanjenja topl. gubitaka recirkulacijskog kruga	
5. Koristiti štedljive žarulje umjesto običnih, ušteda prim. energije 10314 kWh/a, period povrata investicije 1,2 god.	
6.	
7.	

Slika 7.69 – Prijedlog mjera/preporuka za povećanje energetske učinkovitosti

### 7.10.2. Primjer 2 - Analiza primjene mjere energetske učinkovitosti u stambenoj zgradi

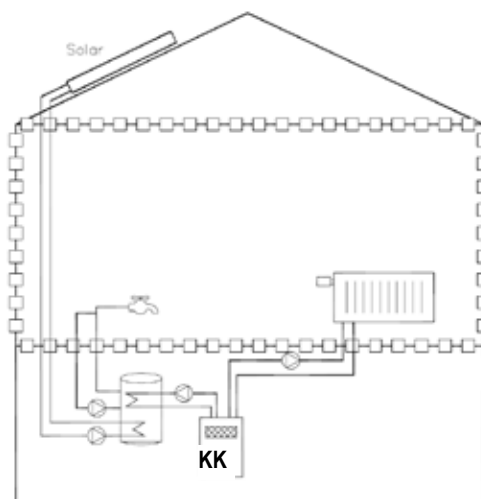
U nastavku je dan primjer energetske analize učinkovitosti primjene sunčanog sustava za potrebe pripreme PTV-a i grijanja prostora stambene zgrade korisne površine  $A_k=1331 \text{ m}^2$  u odnosu na konvencionalno rješenje bez sunčanog sustava. Konvencionalno rješenje (slika 7.70) uključuje korištenje centralnog grijanja s niskotemperaturnim kotlom (70/55°C) s kombiniranim zagrijavanjem PTV-a. Kotao i pripadajući indirektno zagrijavani spremnik su smješteni izvan grijane zone zgrade, tj. izvan toplinskog omotača, kao i razvod PTV-a s recirkulacijom te razvod tople vode za grijanje. Pri tome su vertikalni vodovi smješteni unutar grijane zone. Grijanje je uz pomoć radijatora opremljenih termostatskim ventilima. Zgrada je prirodno provjetravana, a broj izmjena zraka je  $0,6 \text{ h}^{-1}$ .

Analiza je rađena u skladu sa "Studijom primjenjivosti alternativnih sustava kod novih i postojećih zgrada" koja je podloga projektantima za izradu "Elaborata tehničke, ekološke i ekonomske izvedivosti alternativnih sustava za opskrbu energijom". Izrada elaborata je propisana Tehničkim propisom o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (TPRUETZZ), NN 110/08 i prilaže se zahtjevu za izdavanje građevinske dozvole za objekte veće od  $1000 \text{ m}^2$ .



**Slika 7.70 - Konvencionalno rješenje grijanja i pripreme PTV-a u stambenoj zgradi**

Alternativno rješenje (slika 7.71) uključuje spajanje sunčanog sustava s pločastim kolektorima ukupne površine 14 m<sup>2</sup> na postojeći spremnik PTV-a, pri čemu usponski vodovi sunčanog kruga prolaze grijanom zonom. Niskotemperaturni kotao iz konvencionalnog rješenja je zamijenjen kondenzacijskim pri istom temperaturnom režimu (70/55°C) radi boljeg iskorištenja energije goriva. Razvod PTV-a je s recirkulacijom.



**Slika 7.71 - Alternativni sustav sa sunčanim zagrijavanjem PTV-a i kondenzacijskim kotlom**

Tablica 7.5 Rezultati analize energetske potreba zgrade s konvencionalnim sustavom

	Izračunato za stvarne klimatske podatke				
	GRIJANJE	PTV	VENTILACIJA	HLAĐENJE	RASVJETA
	$Q_{H,nd}$	$Q_{W,nd}$	$Q_{Ve}$ (bez gub.)	$Q_{C,nd}$	$E_I$
Apsolutna potreba, kWh/a	93170	16638	-	-	-
Svedena potreba na $A_k$ , kWh/(m <sup>2</sup> a)	70	12,5	-	-	-
Najveća dopuštena, kWh/(m <sup>2</sup> a)	84,7	-	-	-	-
Neisk.gubici sustava, [kWh/a]	$Q_{H,ls}$	$Q_{W,ls}$	$Q_{Ve,ls}$	$Q_{C,ls}$	-
	13709	13310	-	-	-
Pomoćna energija, [kWh/a]	$E_{H,p}$	$E_{W,p}$	$E_{Ve,p}$	$E_{C,p}$	-
	932	399	-	-	-
Godišnja isporučena energija građevini, $E_{del}$			138158 [kWh/a]	103,8 [kWh/m <sup>2</sup> a]	
<b>Godišnja primarna energija, <math>E_{prim}</math></b>			153997 [kWh/a]	115,7 [kWh/m <sup>2</sup> a]	
<b>Koeficijent utroška sustava, <math>e_p = E_{prim,H} / (Q_{H,nd} + Q_{W,nd})</math></b>			1,40		
Godišnja emisija CO <sub>2</sub> , [kg/a] (prema NN. 113/08)			28071 (svedeno na $E_{del}$ za plin i el.energiju)		
Udio obnovljivih izvora energije u ( $Q_{H,nd} + Q_{W,nd}$ ), [%]			0		

Tablica 7.6 - Rezultati analize energetske potreba zgrade s alternativnim sustavom

	Izračunato za stvarne klimatske podatke				
	GRIJANJE	PTV	VENTILACIJA	HLAĐENJE	RASVJETA
	$Q_{H,nd}$	$Q_{W,nd}$	$Q_{Ve}$ (bez gub.)	$Q_{C,nd}$	$E_I$
Apsolutna potreba, kWh/a	93170	16638	-	-	-
Svedena potreba na $A_k$ , kWh/(m <sup>2</sup> a)	70	12,5	-	-	-
Najveća dopuštena, kWh/(m <sup>2</sup> a)	84,7	-	-	-	-
Neisk.gubici sustava, [kWh/a]	$Q_{H,ls}$	$Q_{W,ls}$	$Q_{Ve,ls}$	$Q_{C,ls}$	-
	6712	7063	-	-	-
Pomoćna energija, [kWh/a]	$E_{H,p}$	$E_{W,p}$	$E_{Ve,p}$	$E_{C,p}$	-
	1158	250	-	-	-
Godišnja isporučena energija građevini, $E_{del}$			117261 [kWh/a]	88 [kWh/m <sup>2</sup> a]	
<b>Godišnja primarna energija, <math>E_{prim}</math></b>			131769 [kWh/a]	99,0 [kWh/m <sup>2</sup> a]	
<b>Koeficijent utroška sustava, <math>e_p = E_{prim,H} / (Q_{H,nd} + Q_{W,nd})</math></b>			1,20		
Godišnja emisija CO <sub>2</sub> , [kg/a] (prema NN. 113/08)			23891 (svedeno na $E_{del}$ za plin i el.energiju)		
Udio obnovljivih izvora energije u ( $Q_{H,nd} + Q_{W,nd}$ ), [%]			7 % (7730 kWh/a)		
Uštede u isporučenoj energiji u odnosu na polaz. rješenje.			20897 [kWh/a]	6498 [kn/a]	
Cijena investicije			32000 [kn]		
Vrijeme povrata investicije, [a]			4,9		

Iz prethodnih tablica s rezultatima proračuna vidi se da je ugradnja sunčanih kolektora i kondenzacijskog kotla dovela do smanjenja neiskorištenih toplinskih gubitaka sustava grijanja i pripreme PTV-a za 40-50%. Također značajno su smanjene isporučena i primarna energija objekta. Ugradnjom sunčanih kolektora s udjelom prikupljene Sunčeve energije od 7% u ukupnoj korisno utrošenoj toplini za grijanje i PTV-a, tj. sa 7730 kWh/a ostvareno je dodatnih ušteda od oko 6000 kWh/a u konvencionalnom dijelu sustava na račun smanjenja toplinskih gubitaka radi smanjenog broja radnih sati kotla, posebice u razdoblju izvan sezone grijanja. Ostatak ukupnih ušteda od 20 897 kWh/a, tj. oko 7000 kWh/a otpada na utjecaj povećanja efikasnosti kondenzacijskog kotla u odnosu na niskotemperaturni.

**Tablica 7.7 - Primjer 3 - Zamjena električnog bojlera sunčanim sustavom u obiteljskoj kući**

Tipška mjera	<b>Zamjena električnog bojlera za pripremu potrošne tople vode (PTV) sunčanim sustavom uz upotrebu električne energije za dogrijavanje</b>																																																				
<b>Opis mjere</b>	Sunčani sustav koji se sastoji od 2 kolektora (ukupne efektivne površine 3,6 m <sup>2</sup> ), spremnika od 200 litara, te električnog grijača u spremniku za dogrijavanje i automatikom, ugrađen je u obiteljsku kuću u kojoj žive 4 člana obitelji kao zamjena za stari električni bojler koji je zagrijavao potrošnu toplu vodu (PTV). Sunčani sustav je optimiran pokrivati 100% potrebe za PTV-om u ljetnim mjesecima. Pretpostavka je da kućanstvo koristi dvotarifno brojilo, pa je računato s prosječnom cijenom te dvije tarife. Pretpostavljena dnevna potrošnja PTV-a temp. 45°C je 60 litara/osobi.																																																				
<b>Uštede</b>	<table border="1" data-bbox="483 1074 1291 1830"> <thead> <tr> <th colspan="5" data-bbox="483 1074 1291 1136"><b>EE mjera: Ugradnja sunčanih kolektora za PTV</b></th> </tr> <tr> <th data-bbox="483 1136 716 1176"><b>Energent:</b></th> <th colspan="2" data-bbox="716 1136 857 1176"><b>ZAGREB</b></th> <th colspan="2" data-bbox="857 1136 1291 1176"><b>SPLIT</b></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="483 1176 716 1364" rowspan="3"><b>Godišnje uštede</b></td> <td data-bbox="716 1176 857 1217">1985</td> <td data-bbox="857 1176 998 1217">kWh/god.</td> <td data-bbox="998 1176 1140 1217">3007</td> <td data-bbox="1140 1176 1291 1217">kWh/god.</td> </tr> <tr> <td data-bbox="716 1217 857 1257">0,69</td> <td data-bbox="857 1217 998 1257">kn/kWh</td> <td data-bbox="998 1217 1140 1257">0,69</td> <td data-bbox="1140 1217 1291 1257">kn/kWh</td> </tr> <tr> <td data-bbox="716 1257 857 1364">1769,65</td> <td data-bbox="857 1257 998 1364">kn/god.</td> <td data-bbox="998 1257 1140 1364">2474,83</td> <td data-bbox="1140 1257 1291 1364">kn/god.</td> </tr> <tr> <td data-bbox="483 1364 716 1470"><b>Uštede na zakupljenoj snazi</b></td> <td data-bbox="716 1364 857 1470"><b>400</b></td> <td data-bbox="857 1364 998 1470"></td> <td data-bbox="998 1364 1140 1470"><b>400</b></td> <td data-bbox="1140 1364 1291 1470"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="483 1470 716 1534"><b>Investicija</b></td> <td data-bbox="716 1470 857 1534">30000</td> <td data-bbox="857 1470 998 1534">kn</td> <td data-bbox="998 1470 1140 1534">30000</td> <td data-bbox="1140 1470 1291 1534">kn</td> </tr> <tr> <td data-bbox="483 1534 716 1619"><b>Rok povrata investicije</b></td> <td data-bbox="716 1534 857 1619">16,95</td> <td data-bbox="857 1534 998 1619">godina</td> <td data-bbox="998 1534 1140 1619">12,12</td> <td data-bbox="1140 1534 1291 1619">godina</td> </tr> <tr> <td data-bbox="483 1619 716 1704"><b>Životni vijek EE mjere</b></td> <td data-bbox="716 1619 857 1704">25</td> <td data-bbox="857 1619 998 1704">godina</td> <td data-bbox="998 1619 1140 1704">25</td> <td data-bbox="1140 1619 1291 1704">godina</td> </tr> <tr> <td data-bbox="483 1704 716 1838"><b>Uštede u životnom vijeku</b></td> <td data-bbox="716 1704 857 1838">44241,25</td> <td data-bbox="857 1704 998 1838">kn</td> <td data-bbox="998 1704 1140 1838">61870,75</td> <td data-bbox="1140 1704 1291 1838">kn</td> </tr> </tbody> </table>					<b>EE mjera: Ugradnja sunčanih kolektora za PTV</b>					<b>Energent:</b>	<b>ZAGREB</b>		<b>SPLIT</b>		<b>Godišnje uštede</b>	1985	kWh/god.	3007	kWh/god.	0,69	kn/kWh	0,69	kn/kWh	1769,65	kn/god.	2474,83	kn/god.	<b>Uštede na zakupljenoj snazi</b>	<b>400</b>		<b>400</b>		<b>Investicija</b>	30000	kn	30000	kn	<b>Rok povrata investicije</b>	16,95	godina	12,12	godina	<b>Životni vijek EE mjere</b>	25	godina	25	godina	<b>Uštede u životnom vijeku</b>	44241,25	kn	61870,75	kn
<b>EE mjera: Ugradnja sunčanih kolektora za PTV</b>																																																					
<b>Energent:</b>	<b>ZAGREB</b>		<b>SPLIT</b>																																																		
<b>Godišnje uštede</b>	1985	kWh/god.	3007	kWh/god.																																																	
	0,69	kn/kWh	0,69	kn/kWh																																																	
	1769,65	kn/god.	2474,83	kn/god.																																																	
<b>Uštede na zakupljenoj snazi</b>	<b>400</b>		<b>400</b>																																																		
<b>Investicija</b>	30000	kn	30000	kn																																																	
<b>Rok povrata investicije</b>	16,95	godina	12,12	godina																																																	
<b>Životni vijek EE mjere</b>	25	godina	25	godina																																																	
<b>Uštede u životnom vijeku</b>	44241,25	kn	61870,75	kn																																																	

**Tablica 7.7 - Primjer 3 - Zamjena električnog bojlera sunčanim sustavom u obiteljskoj kući nastavak-**

<p><b>Grafički prikaz</b></p>																			
<p><b>Specifikacija opreme</b></p>	<p>Sunčani sustav s ukupnom cijenom koštanja od 30.000 kn (uračunata je i montaža) sastoji se od sljedećih komponenti:</p> <table border="1" data-bbox="483 1089 1507 1564"> <tbody> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>2 kolektora jedinične bruto površine 2 m<sup>2</sup>, efektivne površine upada svjetlosti 1,8 m<sup>2</sup>, s premazom: apsorpcija = 96%, emisivnost = 5%</li> </ul> </td> <td style="text-align: right;">6.400 kn</td> </tr> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>spremnik 200 Lit</li> </ul> </td> <td style="text-align: right;">5.500 kn</td> </tr> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>automatika</li> </ul> </td> <td style="text-align: right;">1.800 kn</td> </tr> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>set s pumpom</li> </ul> </td> <td style="text-align: right;">2.800 kn</td> </tr> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>set ulazne vode</li> </ul> </td> <td style="text-align: right;">3.000 kn</td> </tr> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>reg.izl.temp.vode</li> </ul> </td> <td style="text-align: right;">1.000 kn</td> </tr> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>montaža</li> </ul> </td> <td style="text-align: right;">4.800 kn</td> </tr> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>cijevi</li> </ul> </td> <td style="text-align: right;">1.700 kn</td> </tr> <tr> <td><b>ukupno</b></td> <td style="text-align: right;"><b>30.000 kn</b></td> </tr> </tbody> </table>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2 kolektora jedinične bruto površine 2 m<sup>2</sup>, efektivne površine upada svjetlosti 1,8 m<sup>2</sup>, s premazom: apsorpcija = 96%, emisivnost = 5%</li> </ul>	6.400 kn	<ul style="list-style-type: none"> <li>spremnik 200 Lit</li> </ul>	5.500 kn	<ul style="list-style-type: none"> <li>automatika</li> </ul>	1.800 kn	<ul style="list-style-type: none"> <li>set s pumpom</li> </ul>	2.800 kn	<ul style="list-style-type: none"> <li>set ulazne vode</li> </ul>	3.000 kn	<ul style="list-style-type: none"> <li>reg.izl.temp.vode</li> </ul>	1.000 kn	<ul style="list-style-type: none"> <li>montaža</li> </ul>	4.800 kn	<ul style="list-style-type: none"> <li>cijevi</li> </ul>	1.700 kn	<b>ukupno</b>	<b>30.000 kn</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>2 kolektora jedinične bruto površine 2 m<sup>2</sup>, efektivne površine upada svjetlosti 1,8 m<sup>2</sup>, s premazom: apsorpcija = 96%, emisivnost = 5%</li> </ul>	6.400 kn																		
<ul style="list-style-type: none"> <li>spremnik 200 Lit</li> </ul>	5.500 kn																		
<ul style="list-style-type: none"> <li>automatika</li> </ul>	1.800 kn																		
<ul style="list-style-type: none"> <li>set s pumpom</li> </ul>	2.800 kn																		
<ul style="list-style-type: none"> <li>set ulazne vode</li> </ul>	3.000 kn																		
<ul style="list-style-type: none"> <li>reg.izl.temp.vode</li> </ul>	1.000 kn																		
<ul style="list-style-type: none"> <li>montaža</li> </ul>	4.800 kn																		
<ul style="list-style-type: none"> <li>cijevi</li> </ul>	1.700 kn																		
<b>ukupno</b>	<b>30.000 kn</b>																		
<p><b>Procedura za provođenje mjere</b></p>	<p>Zbog veličine sustava nije potreban poseban izvedbeni projekt, već konzultacija s proizvođačem. Iznimka su situacije kada nije moguće postaviti kolektore prema jugu. Preporuča se angažman servisera ovlaštenih od strane proizvođača, te kupovina gotovog solarnog sustava.</p>																		
<p><b>Postupak i razdoblje održavanja</b></p>	<p>Preporuča se godišnji servis (cca 700 kn) koji uključuje: kontrolu i čišćenje spremnika od kamenca (1-3 godina), kontrolu/zamjenu mag. anoda (zamjena 1-3 god), dopunjavanje glikola, kontrola tlaka ekspanzijske posude (zamjena 10-15 godina), kontrola izolacije (zamjena vanjske UV otporne izolacije nakon 10 godina), zamjena pumpi nakon cca. 15 godina</p>																		

## 7.11. Zaključak

Hrvatska je tijekom '70-tih bila jedna od vodećih zemalja u svijetu u promoviranju i istraživanjima iskorištavanja Sunčeve energije (Institut R. Bošković, Zagreb) kao i u proizvodnji sunčanih kolektora i fotonaponskih modula (Tehnomont Pula, Končar - Solarne ćelije, Spliti dr.). Unatoč tome, mnoge europske zemlje imaju znatno veći broj instaliranih sunčevih kolektora i fotonaponskih modula po glavi stanovnika. Zbog relativno velikih investicijskih troškova u odnosu na konvencionalne sustave za grijanje i pripremu PTV-a, većina tih zemalja subvencionira ulaganje u opremu za iskorištavanje obnovljivih izvora energije. Međutim, u prethodnom je tekstu pokazano kroz proračune i rezultate ispitivanja, da je čak i bez takvih poticaja korištenje sunčevih toplovodnih sustava ekonomski vrlo isplativo kao alternativa električnom zagrijavanju vode, koje je uobičajeno u tijeku turističke sezone na obali i otocima, odnosno plinu, a time i skupljem lož ulju, kao često korištenim energentima u kontinentalnom dijelu naše zemlje. To isto vrijedi i za kotlove i peći koji koriste biomasu za pripremu PTV-a i grijanje prostora u odnosu na uređaje na fosilna goriva. Također, u ovom poglavlju je ukazano na činjenicu da sunčani sustavi mogu podići učinkovitost konvencionalnih dijelova sustava, posebice izvan sezone grijanja, smanjujući broj sati rada i paljenja kotlova. Dijelovi teksta ovoga poglavlja koji se tiču sunčevih kolektora ukazuju na potrebu ocjene njihovih tehničkih karakteristika i krivulje efikasnosti te potrebu postojanja odgovarajuće dokumentacije o ispitivanjima, prije no što se donese odluka o odabiru kolektora, odnosno donošenja preporuka za korisnika koje se daju na trećoj stranici certifikata. Kroz dijelove poglavlja o sunčevima sustavima, ukazano je na važnost pažljivog odabira vrste sustava te dimenzioniranja optimalne kolektorske površine i zapremine spremnika u ovisnosti o potrošnji energije u objektu, razdoblju korištenja tijekom godine, meteorološkim podacima i cijeni energenta.

Na kraju se može zaključiti kako je obnovljive izvore energije u velikom broju slučajeva moguće uspješno koristiti, u smislu tehničke funkcionalnosti i ekonomske isplativosti, za pokrivanje značajnog dijela energetske potrebe zgrade te time i bitno smanjiti njezinu potrošnju primarne energije.

## Prilog

**Tablica 7.8 - Satne vrijednosti Sunčeve ozračenosti horizontalne plohe u Zagrebu za karakteristični dan u pojedinom mjesecu**

Zagreb $\beta=0^\circ$	mjesec											
	Wh/m <sup>2</sup>											
sat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4-5				0,5	11	19	14	2,5				
5-6			2	22	67	87	77	38	8			
6-7		4	27	92	167	186	185	128	61	0,1		
7-8	9	35	96	197	288	310	310	257	162	13	0,6	
8-9	43	101	188	317	417	437	445	383	289	68	14	4
9-10	98	183	290	419	528	542	564	518	403	150	52	30
10-11	147	252	366	499	599	633	654	608	496	240	101	72
11-12	184	290	389	534	643	665	695	661	539	320	147	112
12-13	194	303	396	529	644	664	698	651	532	358	177	139
13-14	168	266	347	493	589	628	651	600	486	359	185	143
14-15	117	201	275	420	501	544	561	512	402	322	153	121
15-16	54	117	196	301	398	423	443	397	289	248	104	79
16-17	11	42	100	191	280	310	326	268	163	152	50	33
17-18		4	28	83	155	191	192	136	54	62	11	5
18-19			1,5	18	55	83	79	36	6	8	0,1	
19-20				0,1	7	17	14	2				
<b>MJ/dan</b>	3,69	6,47	9,73	14,82	19,26	20,66	21,27	18,71	14,00	8,28	3,58	2,66
<b>kWh/mjesec</b>	31,78	50,34	83,75	123,47	165,82	172,17	183,15	161,12	116,70	71,30	29,84	22,88

**Tablica 7.9 - Satne vrijednosti sunčeve ozračenosti horizontalne plohe u Splitu za karakteristični dan u pojedinom mjesecu**

Split $\beta=0^\circ$	mjesec											
	Wh/m <sup>2</sup>											
sat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4-5					6	15	11	1				
5-6			1	20	72	106	90	46	8			
6-7		5	37	112	200	243	231	171	85	20	1	
7-8	18	65	165	255	354	405	395	330	227	129	38	10
8-9	98	176	289	400	503	553	553	482	378	267	136	81
9-10	192	297	410	524	626	678	605	617	509	390	238	172
10-11	263	378	515	609	716	776	778	706	598	479	307	242
11-12	306	428	556	647	758	816	827	752	638	521	345	277
12-13	312	420	540	645	750	810	821	753	633	517	339	285
13-14	276	375	506	603	697	755	761	699	580	463	295	248
14-15	200	292	432	521	615	676	670	609	503	371	224	175
15-16	106	183	306	406	505	560	554	486	369	242	117	88
16-17	23	71	172	268	361	415	402	334	216	104	28	14
17-18		5	53	128	211	262	249	175	73	13	0	
18-19			2	26	81	111	100	50	5			
19-20					7	17	13	2				
<b>MJ/dan</b>	6,46	9,70	14,34	18,59	23,26	25,91	25,42	22,37	17,36	12,66	7,44	5,73
<b>kWh/mjesec</b>	55,61	75,46	123,50	154,92	200,32	215,94	218,86	192,60	114,66	109,00	62,04	49,35

**Tablica 7.10 - Satne vrijednosti Sunčeve ozračenosti plohe orijentirane prema jugu i nagnute pod kutom 45° prema horizontali u Zagrebu za karakteristični dan u pojedinom mjesecu**

Zagreb $\beta=45^\circ$	mjesec											
	Wh/m <sup>2</sup>											
sat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4-5				0,52	9,52	15,96	11,90	2,37				
5-6			2,56	23,04	57,97	73,06	65,43	35,97	9,03			
6-7		5,42	34,52	96,35	144,50	156,20	157,21	121,21	68,84	0,12		
7-8	14,11	47,38	122,72	206,32	249,20	260,34	263,43	243,26	182,83	16,13	0,95	
8-9	67,41	136,74	240,33	331,99	360,82	367,00	378,15	362,52	326,16	84,39	22,17	7,26
9-10	153,62	247,75	370,72	438,82	456,87	455,17	479,27	490,30	454,81	186,14	82,33	54,44
10-11	230,43	341,17	467,88	522,60	518,31	531,60	555,75	575,49	559,77	297,83	159,92	130,67
11-12	288,43	392,62	497,28	559,26	556,38	558,47	590,59	625,65	608,30	397,11	232,75	203,26
12-13	304,11	410,22	506,23	554,02	557,24	557,63	593,14	616,19	600,40	444,27	280,25	252,26
13-14	263,35	360,12	443,59	516,32	509,65	527,40	553,20	567,91	548,49	445,51	292,92	259,52
14-15	183,41	272,12	351,55	439,86	433,51	456,85	476,72	484,62	453,69	399,59	242,25	219,59
15-16	84,65	158,40	250,56	315,24	344,38	355,24	376,45	375,77	326,16	307,76	164,67	143,37
16-17	17,24	56,86	127,84	200,03	242,28	260,34	277,02	253,67	183,96	188,63	79,17	59,89
17-18		5,42	35,79	56,93	134,12	160,40	163,15	128,73	60,94	76,94	17,42	9,07
18-19			1,92	18,85	47,59	69,70	67,13	34,07	6,77	9,93	0,16	
19-20				0,10	6,06	14,28	11,90	1,89				
<b>MJ/dan</b>	5,78	8,76	12,43	15,52	16,66	17,35	18,07	17,71	15,80	10,28	5,67	4,82
<b>kWh/mjesec</b>	49,01	74,24	105,33	131,46	141,17	147,00	153,12	150,05	133,90	87,06	48,04	40,85



**Tablica 7.11 Satne vrijednosti sunčeve ozračenosti plohe orijentirane prema jugu i nagnute pod kutom 45° prema horizontali u Splitu za karakteristični dan u pojedinom mjesecu**

Split $\beta=45^\circ$	mjesec											
	Wh/m <sup>2</sup>											
sat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4-5					5,46	12,74	9,57	0,98				
5-6			1,20	20,65	65,51	90,04	78,31	44,97	9,43			
6-7		7,35	44,24	115,61	181,97	206,41	200,99	167,18	100,14	29,61	1,74	
7-8	32,12	95,51	197,31	263,23	322,09	344,02	343,68	322,63	267,44	190,96	66,24	19,12
8-9	174,89	258,61	345,59	412,90	457,67	469,73	481,15	471,24	445,34	395,24	237,08	154,89
9-10	342,65	436,41	490,28	540,90	569,58	575,91	526,40	603,23	599,68	577,32	414,89	328,91
10-11	469,35	555,43	615,84	628,65	651,47	659,15	676,92	690,24	704,54	709,07	535,18	462,77
11-12	546,09	628,90	664,87	667,87	689,68	693,13	719,56	735,21	751,67	771,24	601,42	529,70
12-13	556,80	617,14	645,73	665,81	682,40	688,03	714,33	736,19	745,78	765,32	590,96	545,00
13-14	492,55	551,02	605,08	622,45	634,18	641,31	662,13	683,40	683,33	685,39	514,26	474,25
14-15	356,92	429,06	516,59	537,81	559,57	574,21	582,95	595,41	592,61	549,20	390,49	334,65
15-16	189,17	268,90	365,92	419,10	459,48	475,68	482,02	475,15	434,74	358,24	203,96	168,28
16-17	41,05	104,33	205,68	276,65	328,46	352,51	349,77	326,54	254,48	153,95	48,81	26,77
17-18		7,35	63,38	132,13	191,98	222,55	216,65	171,09	86,01	19,24		
18-19			2,39	26,84	73,70	94,29	87,01	48,88	5,89			
19-20					6,37	14,44	11,31	1,96				
MJ/dan	11,53	14,26	17,15	19,19	21,17	22,01	22,11	21,87	20,45	18,74	12,98	10,96
kWh/mjesec	97,65	120,78	145,30	162,58	179,33	186,48	187,35	185,27	173,27	158,75	109,95	92,85

**Tablica 7.12 - Izračunati i izmjereni odnos difuznog i ukupnog Sunčevog zračenja na horizontalnu plohu**

$\bar{H}_d / \bar{H}$  u Zagrebu i Splitu

mjesec	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Split	0,48	0,44	0,43	0,42	0,38	0,35	0,35	0,35	0,36	0,36	0,47	0,48
Zagreb	0,7	0,63	0,6	0,52	0,49	0,46	0,45	0,44	0,47	0,56	0,70	0,75
Zagreb (mjereno)	0,7	0,62	0,53	0,52	0,49	0,48	0,45	0,44	0,47	0,59	0,69	0,72

**Tablica 7.13 - Prosječne mjesečne temperature zraka u Zagrebu i Splitu**

<b>mjesec</b>	<b>Zagreb</b>	<b>Split</b>
	°C	°C
1	0,3	7
2	2,3	7,7
3	6,7	10,6
4	11,3	14,2
5	16,2	19,3
6	19,8	23,2
7	21,1	25,6
8	20,9	25,4
9	16,3	21
10	12,5	17,5
11	6,5	12,4
12	1,2	8,6

## Reference

- [7.1] Duffie J.A., Beckman W.A., *Solar engineering of thermal processes*, John Wiley&Sons, pp.919, New York, 1991.
- [7.2] Boyle G., *Renewable energy-power for sustainable future*, Oxford University Press, pp.477, Oxford, 1998.
- [7.3] Twidell J., Weir T., *Renewable energy resources*, E&FN Spon, pp.439, London, 1997.
- [7.4] Kulišić P., *Novi izvori energije*, Šk. knjiga, pp.154, Zagreb, 1991.
- [7.5] *International Energy Agency*, <http://www.iea.org>, 2010.
- [7.6] *European Environment Agency*, <http://www.eea.europa.eu>, 2010.
- [7.7] *Energetski institut Hrvoje Požar*, <http://www.eihp.hr/>, 2010.
- [7.8] *The European Wind Energy Association*, <http://www.ewea.org/>, 2010.
- [7.9] Dović D., Švaić S., *Ispitno izvješće sunčevih kolektora proizvođača Tehnomont d.o.o.*, FSB, Zagreb, 2003.
- [7.10] Dović D., Švaić S., *Solar energy for heating and domestic water purposes*, 1<sup>st</sup> Int conference on renewable energy resources, Dubrovnik, 2004
- [7.11] Katalozi proizvođača : Horvatić, Buderus, VIEMANN, Wolf, GreenOneTec, Centrometal, Vaillant: 1997-2009.
- [7.12] Recknagel H. et al.: *Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik*, Oldenburg Verlag, München, 2007.
- [7.13] Vieira M. E., Duarte P.O.O, Buarque H. L. B., *Determination of the void fraction and drift velocity in a two-phase flow with a boiling solar collector*, Solar Energy Vol. 69, No. 4, pp. 315–319, 2000.
- [7.14] Hussein H.M.S., *Transient investigation of a two phase closed thermosyphon flat plate solar water heater*, Energy Conversion and Management, Vol. 43, pp. 2479–2492, 2002
- [7.15] Mathioulakis E., Belessiotis V., *A new heat-pipe type solar domestic hot water system*, Solar Energy, Vol. 72, No. 1, pp. 13–20, 2002.
- [7.16] Dović D., *Numerička i eksperimentalna studija sunčanog kolektora s valovitim apsorberom*, Doktorska disertacija, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, 2005.
- [7.17] Kolaković I., Dović D., *Simulation of the solar domestic hot water system operation*, Technical gazette, Vol. 16, No. 1, pp. 3-9, 2009
- [7.18] *HRN EN 15316-4-3:2008 Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava – Dio 4-3: Sustavi za proizvodnju topline, toplinski sustavi Sunčevog zračenja*

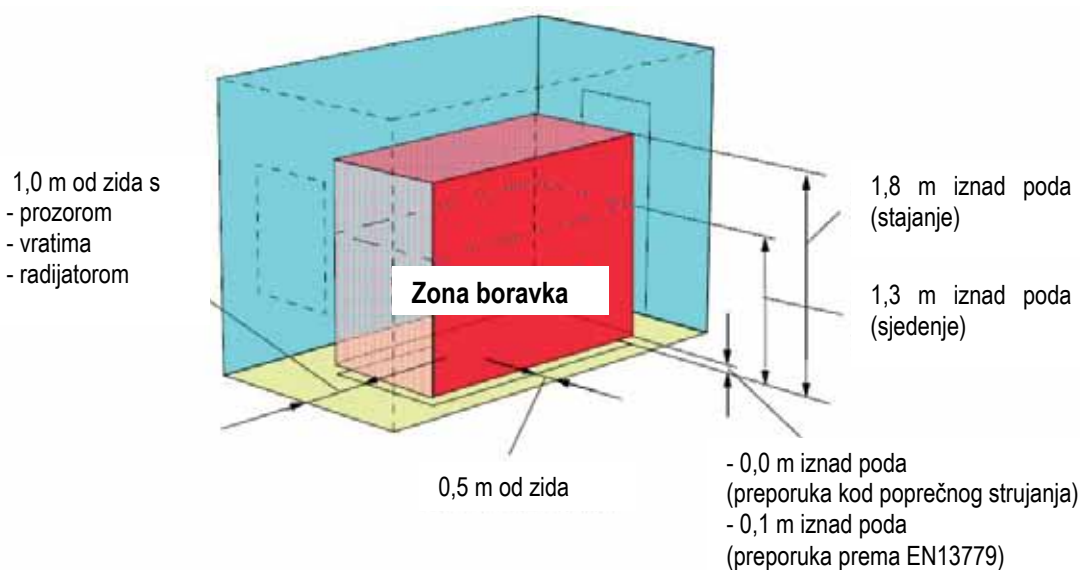




## 8. SUSTAVI VENTILACIJE I KLIMATIZACIJE

### 8.1. Uvod

Klimatizacija kao pojam označuje složeni proces koji uključuje pripremu, razvod i ubacivanje zraka u kondicionirani prostor. Klimatizacijom se reguliraju i održavaju, unutar zadanih granica, sljedeći parametri: temperatura zraka, relativna vlažnost, brzina strujanja zraka, čistoća zraka, razina buke i razlika tlaka u prostoru, sve radi postizanja ugodnog i zdravog okoliša za osobe koje borave u prostoru, odnosno radi postizanja uvjeta za potrebe industrijske proizvodnje. U svakoj prostoriji postoji dio u kojemu korisnici provode većinu vremena i koji se naziva *zona boravka*, te dio u koji relativno rijetko ulaze i u kojemu zbog toga nije potrebno održavati ranije navedene parametre, u zadanim granicama. U literaturi postoje preporuke o tome što se smatra zonom boravka (slika 8.1), ali od toga se može i odstupiti ovisno o vrsti i namjeni prostorije. Regulacija procesa pripreme zraka u klimatizaciji vrši se automatski, uz prilagođavanje promjenjivim utjecajima vanjskog okoliša i unutarnjih toplinskih opterećenja.



Slika 8.1 - Zona boravka [8.1]

Sustav grijanja, ventilacije i klimatizacije (GVİK) koristi se kada prijenos topline i tvari između unutarnjeg prostora i vanjskog okoliša nije moguće regulirati pasivnim načinom, odnosno kada se ne može postići željeni osjećaj ugodnosti u prostoru prirodnim putem, zatim kada postoje vrlo strogi zahtjevi za kvalitetom zraka u prostoru (operacijske dvorane, laboratoriji, proizvodnja elektronike, i dr.) te kada prirodna ventilacija ili nije moguća ili je ograničenih mogućnosti (buka prometa, velike/ duboke prostorije, velike razlike tlaka uslijed vjetrova). GVİK sustav je oprema zgrade koja košta mnogo novca, troši mnogo energije, ima velik utjecaj na ugodnost i ima veliki potencijal da poboljša ili naruši zdravlje osoba koje borave u zgradi te mu se zbog toga treba posvetiti odgovarajuća pažnja pri projektiranju i izvedbi zgrade.

GVİK sustav ima četiri osnovne funkcije:

1. Osiguranje potrebne energije za hlađenje i grijanje prostora
2. Priprema zraka: grijanje, hlađenje, ovlaživanje, odvlaživanje, pročišćavanje te prigušenje buke
3. Razdioba kondicioniranog zraka u klimatiziranom prostoru (s dovoljnim udjelom vanjskog zraka)
4. Regulacija i održavanje parametara u unutarnjem prostoru unutar zadanih granica

Veliki broj parametara poput veličine prostora, trajanja boravka u prostoru, unutarnjih parametara prostora koje treba regulirati, kvalitete i učinkovitosti regulacije te cijene opreme određuju vrstu i raspored korištenih komponenti sustava koji će osigurati odgovarajuće uvjete unutar klimatiziranog prostora.

## 8.2. Toplinska ugodnost

### 8.2.1. Definicija

Ugodan okoliš je onaj u kojemu se ne zamjećuju nikakve tjelesne ili duševne smetnje tijekom boravka ili rada. Prema normi EN ISO 7730, toplinska se ugodnost definira kao stanje svijesti koje izražava zadovoljstvo toplinskim stanjem okoliša. Ovako široko postavljena definicija ugodnog okoliša ili ugodnosti povezana je s velikim brojem čimbenika, koji su relevantni tom konceptu. Osjećaj ugodnosti, kao reakcija na okoliš, nužno je individualan, tako da ne postoji neki određen skup stanja okoliša u kojem bi baš svaka osoba iskazala isto zadovoljstvo. U grupi osoba koje borave ili obavljaju iste aktivnosti u nekom prostoru, uvijek se javlja izvjestan broj onih koje iskazuju određeni stupanj nezadovoljstva. Ugodnost se stoga može u praksi navesti kao skup stanja okoliša u kojemu postotak nezadovoljnih ne prelazi određenu vrijednost. Razmatrajući stanja okoliša samo u okviru toplinskih parametara prostora koji se ostvaruju GViK sustavom, takva vrsta ugodnosti može se opisati kao toplinska ugodnost.

Osnovni čimbenici koji utječu na toplinsku ugodnost pri boravku osoba u nekom prostoru su:

1. Temperatura zraka u prostoru
2. Temperatura ploha prostora
3. Vlažnost zraka
4. Strujanje zraka (brzina, smjer)
5. Stupanj odjevenosti
6. Stupanj fizičke aktivnosti
7. Ostali čimbenici (kvaliteta zraka, namjena prostora, buka i dr.).

Prema modelu toplinske ravnoteže, toplinska ugodnost je rezultat zajedničkog djelovanja svih navedenih čimbenika. Pri promjeni jednog čimbenika, istu ili sličnu razinu ugodnosti moguće je održati samo uz promjenu i nekog drugog. Promjene pojedinih čimbenika moguće je u tom pogledu ostvariti u određenim međuzavisnim uskim rasponima koji tvore područje toplinske ugodnosti.

Održavanje toplinske ugodnosti uvjetovano je toplinskom ravnotežom tijela prema okolišu. Stanje toplinske ravnoteže postignuto je kada je toplina proizvedena metabolizmom, umanjena za izvršeni mehanički rad, jednaka toplinskim gubicima prema okolišu. Jednadžba toplinske ravnoteže tijela glasi [8.2]:

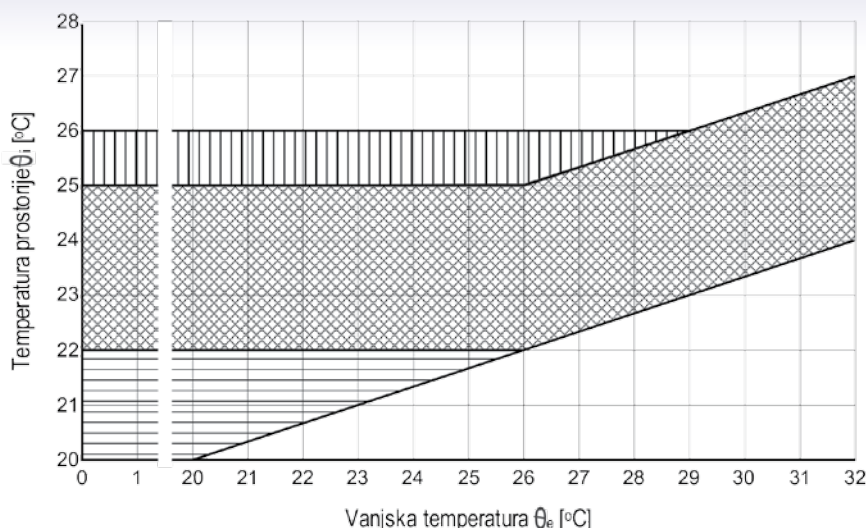
$$M - W = H + E_{sk} + C_{res} + E_{res} \quad (8.1)$$

$M$	-metabolički učinak [W/m <sup>2</sup> ]
$W$	-izvršeni mehanički rad [W/m <sup>2</sup> ]
$H$	-osjetna izmijenjena toplina [W/m <sup>2</sup> ]
$E_{sk}$	-toplina izmijenjena hlapljivanjem s površine kože [W/m <sup>2</sup> ]
$C_{res}$	-toplina izmijenjena konvektivno pri disanju [W/m <sup>2</sup> ]
$E_{res}$	-toplina izmijenjena hlapljivanjem pri disanju [W/m <sup>2</sup> ]

### 8.2.2. Čimbenici

#### 8.2.2.1. Temperatura zraka u prostoru

Za klimatske uvjete koji karakteriziraju srednjoeuropsko područje, preporučuje se temperatura zraka u prostoru u zimskom razdoblju oko 22°C, primjerena normalno odjevenoj osobi u sjedećem položaju bez fizičkog rada. U prijelaznom, odnosno ljetnom razdoblju, temperatura zraka u prostoru raste u ovisnosti o vanjskoj temperaturi. Viša temperatura u prostoru u ljetnom razdoblju uvjetovana je nošenjem laganije odjeće i bliska je vrijednostima od 22°C do 24°C, najviše 26°C.



**Slika 8.2 - Ovisnost temperature prostorije  $\theta_i$  o vanjskoj temperaturi  $\theta_e$  prema DIN1946 - dio 2 [8.3]**

Navedene vrijednosti temperature predstavljaju srednje vrijednosti koje se odnose na zonu boravka, mjereno u visini glave, te zahtijevaju ponovno određivanje za svaki pojedini slučaj. Pored toga, navedeni raspon temperatura odgovara stalnom, odnosno dugotrajnom boravku u prostoriji, te stanju mirovanja ili slabe fizičke aktivnosti pri sjedenju ili stajanju uz lagani do srednji stupanj odjevenosti (slika 8.2 – križno šrafrano područje). Za prostore u kojima se boravi kraće vrijeme ljeti i u koje se ulazi izravno izvana, preporučuje se povišena temperatura prostorije (slika 8.2 – okomito šrafrano područje). Za ljetnih vrućina, kada je vanjska temperatura viša od 28°C, prevelika razlika temperatura između unutarnjeg prostora i vanjskog okoliša može prouzročiti temperaturni šok organizma. U slučaju vrlo niskog stupnja turbulencije (vidi 8.2.2.4.) ili vrlo male brzine strujanja zraka, temperatura u prostoriji zimi i ljeti može iznositi do 22°C (slika 8.2 – vodoravno šrafrano područje).

Za osobe koje imaju viši stupanj fizičke aktivnosti, optimalna temperatura prostorije bit će niža. Ovisno o stupnju fizičke aktivnosti, temperatura zraka u prostoriji u kojoj se osoba osjeća ugodno može se spustiti na 18°C ili niže (npr. teški fizički rad u ljevaonici 10°C do 12°C; rad u montažnoj hali 12°C do 15°C; rad za tokarskim strojem 16°C do 18°C).

Ugodnost boravka u prostoru podrazumijeva također ujednačenost razdiobe temperature zraka, posebno u zoni boravka. Ravnomjerna temperaturna razdioba postiže se kvalitetnom gradnjom, nepropusnim prozorima i vratima, te ravnomjernim pogonom GViK sustava, upravljanim kvalitetnim sustavom automatske regulacije. Promjena temperature po visini prostorije, pri sjedenju, ne treba biti veća od 1,5°C/m do 2°C/m, odnosno najviše do 3°C između stopala i glave osobe.

### 8.2.2.2. Temperatura ploha prostora

Površinska temperatura unutarnjih ploha koje okružuju prostoriju redovito je niža ili viša od površinske temperature ljudskog tijela. Uslijed toga dolazi do izmjene topline zračenjem između tijela i okolnih ploha i do pojave toplinskih gubitaka tijela, što utječe na ugodnost. Pritom temperatura zraka može biti u granicama koje odgovaraju kriterijima ugodnosti npr. 22°C. Međutim, ako su temperature ploha značajno niže od te vrijednosti (npr. zimi), javit će se osjećaj kako je temperatura od 22°C u prostoru preniska.

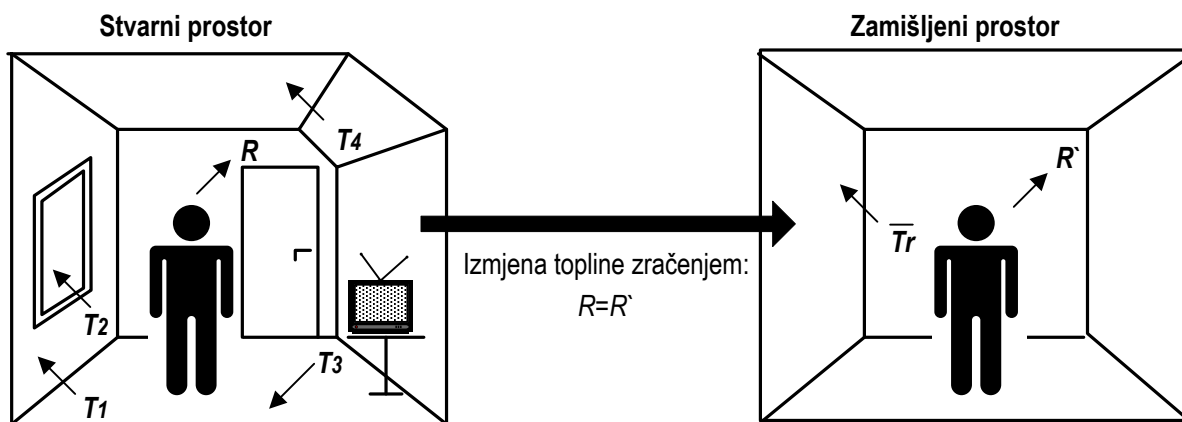
Utjecaj na ugodnost procjenjuje se preko srednje temperature svih unutarnjih ploha prostorije, odnosno tzv. srednje temperature zračenja. Iskustveno, ako je srednja temperatura zračenja ploha niža ili viša za 1°C od temperature zraka, to se odražava na toplinsku ugodnost isto kao kad bi se temperatura prostorije promijenila za 1°C. Dakle, temperature ploha imaju utjecaj na ugodnost ekvivalentan temperaturi zraka u prostoriji. Stoga, navedene vrijednosti temperature zraka za koje se postiže toplinska ugodnost u prostoriji vrijede u uvjetima kod kojih je srednja temperatura ploha jednaka ili bliska temperaturi zraka. Faktor koji predstavlja aritmetičku srednju vrijednost temperature zraka i temperature ploha u prostoriji naziva se osjetna



temperatura prostorije. Za niske vanjske projektne temperature, srednja temperatura pojedinačne unutarnje plohe ne treba biti niža od 16°C za standardnu primjenu. Utjecaj temperature plohe na ugodnost raste pri slaboj toplinskoj izolaciji prostorije te ovisi i o položaju opreme GViK sustava i o poziciji osobe u prostoriji. Npr. ako je ogrjevno tijelo postavljeno uz unutarnji (pregradni) zid, a osoba se nalazi uz vanjski zid ili vanjski prozor, ona će zračenjem predavati povećanu količinu topline prema vanjskoj plohi, što stvara osjećaj neugodnosti (tzv. „efekt hladnog zračenja“). Istraživanja su pokazala da se neugodan osjećaj javlja pri toplinskim gubicima tijela od 40 W/m<sup>2</sup>, što za osobu u mirovanju, u mirujućem zraku odgovara temperaturnoj razlici između ploha od oko 5°C. Toplina izmijenjena između tijela (stopala) i poda, značajno utječe na osjećaj toplinske ugodnosti, pogotovo ako je osoba bez obuće. Donja granica površinske temperature poda je oko 17°C.

Iz navedenog se može zaključiti kako na toplinsku ugodnost značajno utječe odnos između temperature zraka u prostoriji i srednje temperature svih unutarnjih ploha prostorije. Njihova razlika ne treba iznositi više od 3°C. Pritom treba voditi računa i o smanjenju međusobnih razlika između temperatura pojedinih ploha.

Srednja temperatura zračenja  $\bar{T}_r$  je jednolika temperatura ploha zamišljenog crnog zatvorenog prostora kod koje tijelo gubi jednaku količinu topline zračenjem kao i u slučaju da se nalazi u stvarnom zatvorenom prostoru s nejednolikim temperaturama ploha.



Slika 8.3 - Analogija između stvarnog i zamišljenog prostora

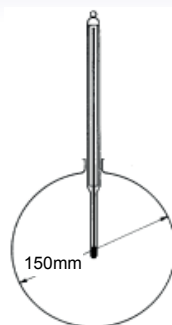
U praksi, pojednostavljeni način određivanja srednje temperature zračenja za poznate temperature unutarnjih ploha i pripadajuće površine slijedi iz izraza (najmanje točan način koji se dobiva zanemarivanjem utjecaja faktora konfiguracije zbog komplikacija u njihovu određivanju):

$$\bar{T}_r = \frac{\sum_i A_i T_i}{\sum_i A_i} \quad [\text{K}] \quad (8.2)$$

$T_i$  - temperatura plohe  $i$  [K]

$A_i$  - površina plohe  $i$  [m<sup>2</sup>]

Ako se vrijednost  $\bar{T}_r$  određuje pomoću mjerenja, zbog svoje jednostavnosti, najčešće korišten instrument je termometar s crnom sferom (slika 8.4). Instrument se sastoji od šuplje sfere od tankog bakrenog lima, obojenog crnom bojom, promjera 150 mm s termoparom ili vrhom termometra u njezinu središtu. Temperatura koju sfera poprime, rezultat je toplinske ravnoteže između topline primljene iz okoliša i topline predane u okoliš zračenjem i konvekcijom.



Slika 8.4 - Termometar s crnom sferom [8.4]

Nakon što se izmjeri temperatura sfere, brzina strujanja zraka u prostoriji te temperatura zraka u prostoriji, može se izračunati srednja temperatura zračenja prema izrazu:

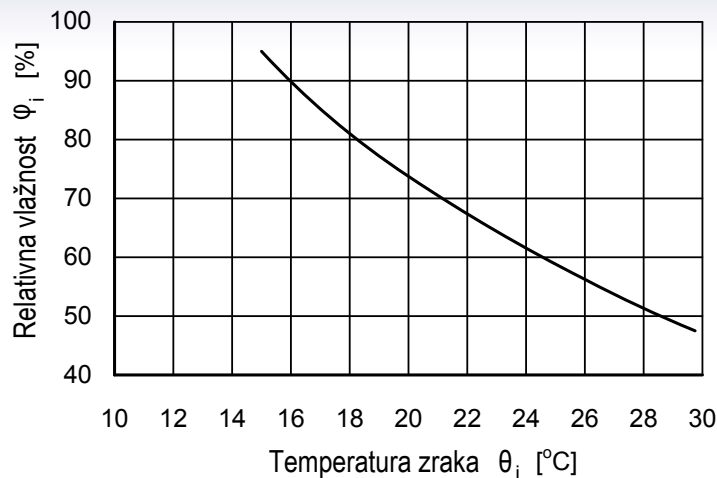
$$\bar{\theta}_r = \sqrt[4]{(\theta_g + 273)^4 + \frac{1,1 \times 10^8 w_a^{0.6}}{\varepsilon D^{0.4}} (\theta_g - \theta_a)} - 273 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (8.3)$$

$\theta_g$	-temperatura sfere [°C]
$\theta_a$	-temperatura suhog termometra (zraka) [°C]
$w_a$	-brzina strujanja zraka [m/s]
$D$	-promjer sfere [m]
$\varepsilon$	-emisijski faktor (0,98 za crnu sferu)

### 8.2.2.3. Vlažnost zraka

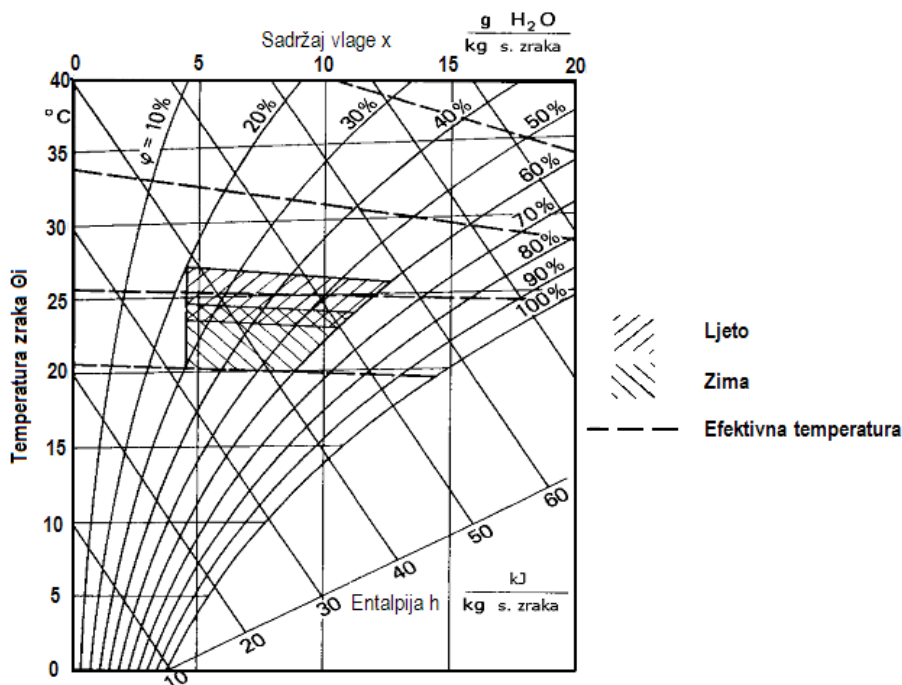
U uvjetima koji odgovaraju kriterijima toplinske ugodnosti vezanim uz temperaturu prostorije i srednju temperaturu zračenja ploha, vlažnost zraka ne utječe bitno na ugodnost. Promjenu relativne vlažnosti zraka u širokom rasponu od 30% do 70%, pri temperaturi zraka od 20°C do 26°C, bit će teško zamijetiti kao promjenu razine ugodnosti. Pri navedenim temperaturama, uz nisku razinu fizičke aktivnosti, vrlo je mali udio latentne topline koju tijelo izmijeni s okolišem ishlapljivanjem vlage s površine kože. Kako vlažnost zraka djeluje prvenstveno na taj mehanizam izmjene topline, promjenom vlažnosti ne remeti se značajno toplinska ravnoteža tijela, a time niti toplinska ugodnost. Na slici 8.5 prikazan je raspon preporučljivih maksimalnih vrijednosti relativne vlažnosti zraka u ovisnosti o temperaturi prostorije. Prema DIN 1946-2, za standardne temperature zraka u komfornoj klimatizaciji, prihvatljiv je najveći sadržaj vlage do 11,5 g/kg, odnosno relativna vlažnost zraka do 65%.

Donja prihvatljiva granica relativne vlažnosti zraka je do 30%, a niže vrijednosti, kakve se mogu javiti u prostoru u sezoni grijanja, dovode do osjećaja "suhog" zraka koji se odražava na ugodnost, makar nema neposredan utjecaj na toplinsku ugodnost. Poveća li se temperatura tako da više ne odgovara kriterijima toplinske ugodnosti, tada vlažnost zraka postaje bitna za ugodnost. Povećanjem temperature raste i udio topline koju tijelo oslobađa hlapljenjem vlage preko kože. Ako je ovaj proces usporen zbog prevelike vlažnosti zraka, dolazi do stvaranja kondenzata na površini kože, odnosno znojenja. Održavanje ugodnosti stoga općenito zahtijeva nižu vlažnost zraka pri višoj temperaturi prostorije. To znači da pri temperaturi prostorije od 20°C do 22°C, relativna vlažnost zraka može biti u granicama od 30% do 65%, dok pri temperaturi prostorije 26°C, relativna vlažnost ne treba prelaziti 55% (što odgovara sadržaju vlage oko 11,5 g/kg).



Slika 8.5 - Najveća dozvoljena relativna vlažnost zraka u ovisnosti o temperaturi zraka u prostoriji  $\theta_i$

Ako se razina fizičke aktivnosti poveća, za održavanje toplinske ugodnosti treba dodatno smanjiti vlažnost zraka. S druge strane, ako se poveća brzina strujanja zraka u zoni boravka, smanjuje se utjecaj vlažnosti zraka na ugodnost uslijed povećanja izmjene topline između tijela i okoliša konvekcijom.

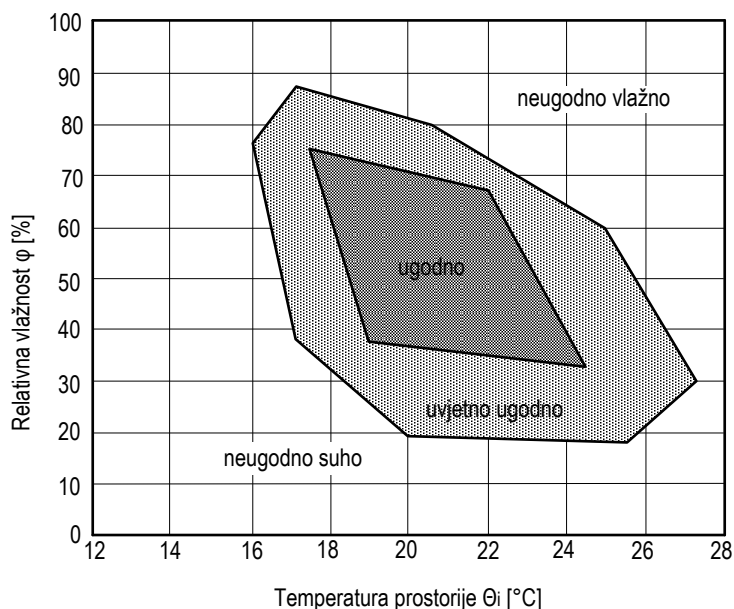


Slika 8.6 - Područje toplinske ugodnosti za zimsko i ljetno razdoblje u  $h,x$  - dijagramu

Područje toplinske ugodnosti često se iskazuje preko kombinacije temperature i relativne vlažnosti zraka. Slika 8.6 prikazuje područje ugodnosti u Mollieroovom  $h,x$  - dijagramu za vlažni zrak za zimsko i ljetno razdoblje prema ASHRAE Standard 55. Prikazano šrafirano područje odgovara stupnju odjevenosti 0,5 clo do 0,9 clo (toplinski otpor odjeće 0,078 m<sup>2</sup>K/W do 0,14 m<sup>2</sup>K/W) (vidi 8.2.2.5.), za laki fizički rad uz sjedenje i brzinu strujanja zraka u zoni boravka do 0,2 m/s. U tim uvjetima najviša temperatura zraka u prostoriji u ljetnom razdoblju ne treba prelaziti 26°C.

Slika 8.7 prikazuje područje ugodnosti u dijagramu temperature prostora i relativne vlažnosti zraka [8.8]. Prikazano tamno

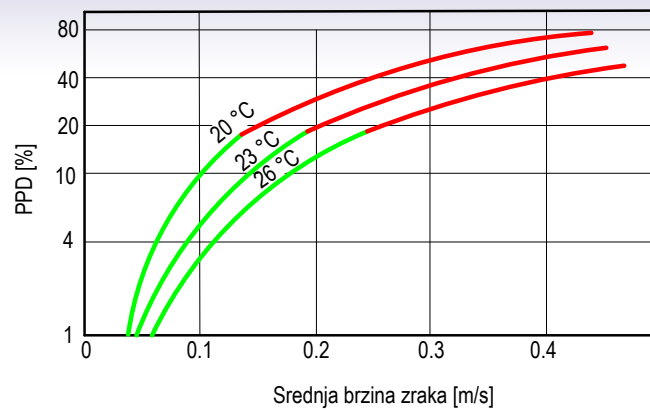
šrafirano područje odgovara kriterijima ugodnosti u komfornoj klimatizaciji, dok svijetlo šrafirano područje još uvjetno odgovara postavljenim zahtjevima. Dijagram vrijedi za srednju temperaturu zračenja unutarnjih ploha od 19,5°C do 23°C i za brzinu strujanja zraka do 0,2 m/s.



Slika 8.7 - Područje toplinske ugodnosti za zimsko i ljetno razdoblje [8.8]

#### 8.2.2.4. Strujanje zraka

Strujanje zraka uz površinu ljudskog tijela mijenja omjer osjetnog i latentnog odavanja topline prema okolišu te utječe na toplinsku ravnotežu tijela i okoliša, a time i na ugodnost. Ovaj utjecaj je razmjern brzini i usmjerenosti strujanja zraka te razlici temperature zraka i površine tijela. Zrak koji struji iz jednog smjera i pri tome je niže temperature od prostorije, može dovesti do osjećaja neugodnosti, posebice ako je strujanje usmjereno na potiljak ili na noge u predjelu skočnog zgloba. Mnogi prigovori na ugodnost u ventiliranim ili klimatiziranim prostorima često su posljedica upravo ovih okolnosti, koje se opisuju kao propuh. Propuh se definira kao neželjeno lokalno hlađenje ljudskog tijela, prouzročeno strujanjem zraka. Kod nižih temperatura zraka već i mala brzina strujanja može izazvati neugodan osjećaj uslijed propuha, dok se kod viših temperatura čak i pri nešto višim brzinama još može očekivati prihvatljiva razina ugodnosti. U prihvaćenim rasponima temperature zraka, preporučljiva brzina zraka je do 0,25 m/s za osobe u mirovanju. Uz nepovoljnije uvjete, brzina zraka ne treba prelaziti 0,15 m/s. Na slici 8.8 dan je prikaz utjecaja brzine strujanja zraka u ovisnosti o temperaturi zraka na postotak nezadovoljnih osoba (PPD indeks, vidi 8.2.3.2). Osobe s višom razinom fizičke aktivnosti manje su osjetljive na propuh te mogu tolerirati brzine zraka i do 0,5 m/s. Temperatura i brzina zraka u nekoj prostoriji pritom predstavljaju srednje vrijednosti izmjerene u zoni boravka. Dobro izvedeni GViK sustav nekog prostora davat će ujednačene vrijednosti brzine strujanja prostorno i vremenski. O brzini strujanja u zoni boravka ovisi i omjer predane osjetne topline konvekcijom i zračenjem prema okolišu. Za uobičajenu primjenu, uz laku fizičku aktivnost, odnos se mijenja od 60% prema 40% u korist konvekcije pri višim brzinama strujanja, do 60% prema 40% u korist zračenja pri nižim brzinama strujanja.



**Slika 8.8 - Ovisnost PPD indeksa o brzini strujanja zraka i temperaturi**

Značajan utjecaj na osjećaj ugodnosti ima i stupanj turbulencije  $Tu$  (slika 8.9). Stupanj turbulencije je veličina kojom se opisuje promjenljivost brzine strujanja zraka u vremenu. Dobro dimenzioniran sustav razvoda zraka ima jednoliku razdiobu brzine strujanja u prostoru i vremenu, odnosno mali intenzitet turbulencije. Stupanj turbulencije određuje se prema izrazu:

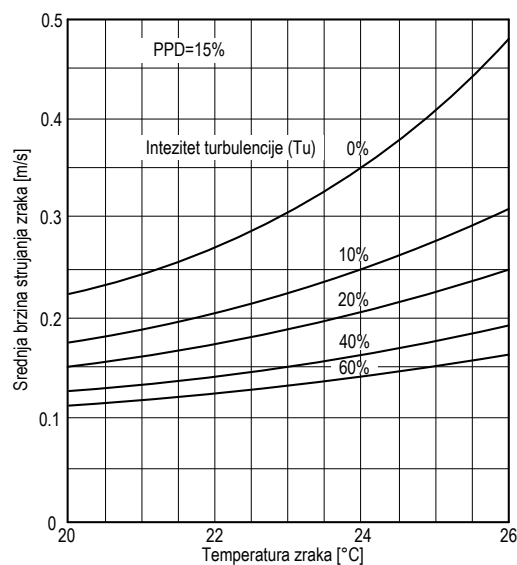
$$Tu = 100 \frac{w_{SD}}{w_a} [\%] \quad (8.4)$$

- $Tu$  -stupanj turbulencije  
 $w_{SD}$  -standardna devijacija brzine strujanja zraka [m/s]  
 $w_a$  -srednja brzina strujanja zraka [m/s]

Kada su poznati temperatura zraka u prostoriji, brzina strujanja zraka i stupanj turbulencije, moguće je izračunati postotak osoba koje će biti nezadovoljne uslijed propuha prema izrazu (8.5). Dopušteni postotak nezadovoljnih za kategoriju prostora B prema EN ISO 7730 za druge čimbenike je do 10%, ali se u slučaju propuha dopušta do 20% nezadovoljnih.

$$PD = (34 - \theta_a)(w_a - 0,05)^{0,6223} (0,3696w_a Tu + 3,143) [\%] \quad (8.5)$$

- $PD$  -postotak nezadovoljnih osoba uslijed propuha (kada je  $PD > 100\%$  uzima se  $PD = 100\%$ ) [%]  
 $\theta_a$  -temperatura suhog termometra [°C]  
 $w_a$  -brzina strujanja zraka (kada je  $w_a < 0,05$  m/s uzima se  $w_a = 0,05$  m/s) [m/s]



**Slika 8.9 - Ovisnost srednje brzine strujanja o temperaturi i stupnju turbulencije za PPD=15%**

### 8.2.2.5. Stupanj odjevenosti

Prolaz osjetne topline od tijela do vanjske površine odjeće opisuje se nizom jednadžbi koje sadrže sve mehanizme izmjene topline - zračenje između tijela i unutarnje površine odjeće, konvekciju u zračnom sloju između tijela i odjeće, te provođenje kroz odjeću. Za lakše definiranje navedenog složenog procesa, uvedena je veličina  $I_{cl}$  koja predstavlja odnos ukupnog otpora prolazu topline od površine kože do vanjske površine odjeće i toplinskog otpora odjeće  $0,155 \text{ (m}^2\text{K)/W}$ . Jedinica je 1 clo (engl. *clothing value*) =  $0,155 \text{ (m}^2\text{K)/W}$  što odgovara toplinskom otporu poslovnog odijela s košuljom, kravatom i sakoom. Ukupni toplinski otpor odjeće je zbroj toplinskih otpora pojedinih odjevnih predmeta:  $I_{cl} = \sum I_{clu}$ . Ukupni toplinski otpor odjeće određuje se pomoću izraza:

$$R = 0,155 \cdot I_{cl} \text{ [(m}^2\text{K)/W]} \quad (8.6)$$

$R$  -toplinski otpor odjeće [(m<sup>2</sup>K)/W]

$I_{cl}$  -stupanj odjevenosti [clo]

Orientacijske vrijednosti toplinskog otpora odjeće za različite razine odjevenosti prikazane su u tablici 8.1.

**Tablica 8.1 - Toplinski otpor odjeće R [(m<sup>2</sup>K)/W] [8.9]**

Odjeća	R [(m <sup>2</sup> K)/W]	$I_{cl}$ [clo]
golo tijelo	0	0
laka odjeća (kratke hlače, majica)	0,080	0,5
odjeća s hlačama, košuljom, čarapama, cipelama	0,100	0,65
normalna radna odjeća	0,125 – 0,160	0,8 – 1,0
laka sportska odjeća s jaknom	0,160	1,0
poslovno odijelo s košuljom, kravatom, sakoom	0,160	1,0
zimski odjeća s debelim pulloverom	0,200	1,25
radna odjeća s dugim donjim vešom, pulloverom i jaknom	0,210	1,3
poslovno odijelo s lakšim kaputom	0,240	1,5
odjeća za vrlo hladno vrijeme sa zimskom jaknom	0,250 – 0,300	1,6 – 2,0
teška odjeća za najhladnije vrijeme	0,450 – 0,600	3,0 – 4,0

### 8.2.2.6. Stupanj fizičke aktivnosti

Mirujuća osoba ima najvišu površinsku temperaturu kože. Ako se razina fizičke aktivnosti povećava pri stalnoj temperaturi okoliša, površinska temperatura kože se snižava kako bi se povećao toplinski tok iz tijela prema vanjskoj površini kože. Ako se temperatura zraka povisi iznad gornje granice toplinske ugodnosti, pojačava se cirkulacija kroz periferne krvne žile, srednja temperatura kože raste i na taj se način povećava izmjena topline ishlapljivanjem prema okolišnjem zraku. Ako to nije dovoljno, tijelo reagira znojenjem, jer se hlađenjem kapljevite vlage s površine kože efekt hlađenja dodatno pojačava. Znojenje će pri istoj temperaturi zraka nastupiti ranije ako je relativna vlažnost zraka viša. Istraživanja su pokazala da se iznad temperature zraka od 18°C vrijednost ukupne predane topline okolišu ustaljuje na oko 120 W za mirujuću osobu u sjedećem položaju, uz lagani rad. Pri nižim temperatura zraka viši je udio topline predane konvekcijom, a ako se temperatura povisi, udio (osjetne) topline predane konvekcijom se smanji, a poraste udio (latentne) topline predane ishlapljivanjem. Radi jednostavnijeg vrjednovanja izmjene topline povezane sa stupnjem fizičke aktivnosti, uveden je pojam metaboličkog učinka  $M$ , koji predstavlja energiju što se stvara oksidacijskim procesima u tijelu i troši se na fizičku aktivnost i proizvodnju tjelesne topline. Jedinica je 1 met (engl. *metabolic rate*) =  $58,2 \text{ W/m}^2$ . Ova jedinica definirana je kao metabolički učinak osobe koja mirno sjedi. Za primjer, zdrava muška osoba dobi 20 godina ima maksimalni metabolički učinak oko  $M = 12$  met, a u dobi 70 godina vrijednost opada na oko 7 met. Maksimalne vrijednosti za žene su oko 30% niže. Metabolički učinak može se izmjeriti (veća preciznost) ili izračunati (inženjerska praksa). Empirijska jednadžba za određivanje metaboličkog učinka glasi:

$$M = 21(0,23RQ + 0,77) \cdot \frac{V_{O_2}}{A_D} \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (8.7)$$

$$A_D = 0,202 \cdot m^{0,425} \cdot h^{0,725} \text{ [m}^2\text{]} \quad (8.8)$$

$M$	-metabolički učinak [W/m <sup>2</sup> ]
$RQ$	-respiratorni kvocijent $V_{CO_2}$ (izdah)/ $V_{O_2}$ (udah)
$V_{O_2}$	-potrošnja kisika [ml/s]
$A_D$	-vanjska površina tijela [m <sup>2</sup> ]
$m$	-masa osobe [kg]
$h$	-visina osobe [m]

Raspon vrijednosti  $RQ$  kreće se od 0,7 do 1,0, npr. za lagani rad (sjedenje,  $M < 1.5$  met)  $RQ = 0,83$ , a uz teški napor ( $M = 5$  met)  $RQ = 1.0$ .

Treba imati u vidu činjenicu da metabolički učinak nije potpuno jednak predanoj toplini od osobe u okoliš! Proračunske vrijednosti toplinskih dobitaka od osoba u klimatiziranim prostorijama dane su u tablici 8.2.

**Tablica 8.2 - Toplinski tok od osoba u klimatiziranim prostorima [8.11]**

Aktivnost	Ukupni toplinski dobitak $\Phi_{uk}$ [W]		Osjetna toplina $\Phi_{os}$ [W]	Latentna toplina $\Phi_L$ [W]
	Odrasli muškarac	Usklađena vrijednost M/Ž		
Sjedenje u kazalištu, dan	115	95	65	30
Sjedenje u kazalištu, noć	115	105	70	35
Sjedenje, lagani rad	130	115	70	45
Ured, umjerena aktivnost	140	130	75	55
Trgovina, stajanje, lagani rad; hodanje	160	130	75	55
Banka, hodanje, stajanje	160	145	75	70
Restoran, jedenje	175	160	80	80
Tvornica, lagani rad	235	220	80	140
Plesanje, umjereno	265	250	90	160
Tvornica, lagani rad za strojem, hodanje 4.8 km/h	295	295	110	185
Kuglanje	440	425	170	255
Tvornica, teški rad	440	425	170	255
Tvornica, teški rad za strojem uz podizanje tereta	470	470	185	285
Atletika u dvorani	585	525	210	315

Napomene:

- Vrijednosti u tablici odgovaraju temperaturi zraka oko 22°C. U slučaju povišenja temperature na npr. 27°C, ukupni toplinski dobitak ostaje isti, a iznos osjetne topline treba umanjiti za 20%, te za taj iznos uvećati latentnu toplinu.
- Usklađena vrijednost toplinskog dobitka temelji se na normalnom postotku muškaraca, žena i djece za navedenu aktivnost, uz pretpostavku da toplinski dobitak od odrasle žene iznosi oko 85%, a toplinski dobitak od djeteta oko 75% toplinskog dobitka od odraslog muškarca.
- Sve vrijednosti zaokružene su na 5 W.

### 8.2.2.7. Kvaliteta zraka

Kada je GViK sustav izveden tako da udovoljava svim osnovnim čimbenicima toplinske ugodnosti (temperatura zraka, temperatura ploha, vlažnost zraka, brzina strujanja), još uvijek može doći do prigovora korisnika prostora. Pri tome se najčešće primjedbe odnose na kvalitetu zraka, što znači da tom čimbeniku treba pridati odgovarajuće značenje pri projektiranju i izboru sustava. Jedna od mogućih pojava koja narušava ugodnost su čestice prašine u prostoriji, koje nadražuju dišne organe ljudi. Neugodnost zbog prašine više dolazi do izražaja u različitim radionicama, npr. brusionicama ili čistionicama, dok je jedna od zdravstveno najštetnijih izloženosti prašini ona pri radu u industriji cementa, gdje je potrebno poduzeti posebne mjere zaštite prema važećim propisima.

Drugi negativni utjecaj na ugodnost imaju različiti plinovi i pare, od kojih neki imaju samo neugodan miris, a neki su štetni za zdravlje ljudi. Izražavanje nezadovoljstva i pritužbi na kvalitetu zraka uslijed mirisa od osoba, namještaja, tepiha, boje, kemikalija (koje hlape iz različitih građevnih materijala), u današnje vrijeme nisu rijetka pojava. Značajan zagađivač zraka u stambenim i uredskim prostorijama također je i cigaretni dim, koji se sastoji od niza plinovitih i parovitih sastojaka, te kapljeviti i krutih čestica. Dopuštena koncentracija opasnih tvari u zraku na radnom mjestu izražava se preko MDK – vrijednosti (maksimalna dopuštena koncentracija) s jedinicom 1 ppm (engl. *parts per million*), što približno odgovara » 1 mg/m<sup>3</sup>. U MDK – tablicama i cigaretni dim je označen kao kancerogen za pasivne pušače na radnom mjestu (npr. osoblje u gostionicama i restoranima). MDK – tablice u pravilu donose vrijednosti za osamsatnu izloženost, pa u stambenim zgradama treba postići bitno niže vrijednosti koncentracije pojedinih plinova i para (za tvari koje su označene kao vrlo opasne po zdravlje i do 10 puta niže od tabličnih – npr. arsen, azbestna prašina, benzol, hidrazin). Osobe koje borave u prostoriji također smanjuju kvalitetu zraka, uglavnom kroz proces disanja (trošenje kisika i izdisanje CO<sub>2</sub>) i znojenja.

Navedeni potencijalni izvori onečišćenja zraka u prostoriji, kombinirani s pojačanom nepropusnošću građevine (mali broj izmjena zraka), dovode do pojave opisane u literaturi kao tzv. *sindrom bolesti zgrade* (engl. *sick building syndrome*). Radi se o pojavi izražavanja nezadovoljstva, posebice u klimatiziranim građevinama, pri čemu se veći broj korisnika (više od 20%) žale na „suh“ zrak, „ustajali“ zrak, stalne neugodne mirise, što za posljedicu ima osjećaj glavobolje, teškoće pri disanju, pad koncentracije, zamor i razdražljivost. Kako bi se navedene negativne pojave izbjegle, zadnjih se godina pojavljuje u stručnoj literaturi niz preporuka koje sugeriraju odgovarajuće korake u projektiranju građevine i njenih termotehničkih sustava. Preporuke se odnose na:

- strukturu građevine - izbjegavanje upotrebe toksičnih građevnih materijala, izbjegavanje izvora alergene prašine, uzimanje u obzir orijentacije građevine, dovoljna vanjska zaštita od sunca, udio ostakljenja < 50% vanjske površine, izbjegavanje prostorija bez prozora, omogućavanje otvaranja barem jednog prozora u prostoriji i sl.
- izbor i funkciju GViK sustava - povećanje dovoda vanjskog zraka, filtracija zraka, izbjegavanje pojave propuha, niske brzine strujanja u zoni boravka, automatsko isključivanje sustava pri otvaranju prozora, posebna regulacija temperature za svaku prostoriju, mala promjena temperature po visini prostorije, lak pristup dijelovima sustava radi čišćenja i održavanja, priprema vode za ovlaživanje – UV zračenje, ozonski sustav i sl.
- održavanje građevine i instalacija - redovito čišćenje svih dijelova sustava; redovita mikrobiološka kontrola i sl.

### 8.2.2.8. Namjena prostora

Osobe u prostorima različite namjene mogu iskazivati osjećaj ugodnosti pri različitim vrijednostima osnovnih čimbenika ugodnosti, kao što su temperatura i vlažnost zraka, brzina strujanja zraka i dr. Općenito, u usporedbi s ranije navedenim kriterijima za standardne stambene i uredske prostorije, ako se radi o prostorijama namijenjenim odvijanju intenzivnije fizičke aktivnosti, primjerice sportskoj ili gimnastičkoj dvorani, osobe koje se natječu, treniraju ili vježbaju osjećat će se ugodnije u okolišu nešto niže temperature i vlažnosti zraka, te nešto više brzine strujanja zraka. Nasuprot tome, u prostorijama kao što su kupaonice i liječničke ordinacije u kojima su osobe djelomično ili potpuno razodjevene, te u prostorijama u kojima borave djeca predškolske dobi (jaslice, vrtići), osjećaj ugodnosti se javlja pri višim temperaturama zraka i nižim brzinama strujanja.



### 8.2.2.9. Buka

Kada šum, odnosno buka različitih frekvencija i amplituda prijeđe određenu vrijednost, bez sumnje je štetna za zdravlje. Buka utječe na koncentraciju, spavanje, disanje i izmjenu tvari između organizma i okoliša, pogotovo pri aktivnostima koje se trebaju odvijati u tišini. Mogući unutarnji izvori buke u prostoriji su koračanje, vodovodne instalacije, radio, televizija te GVIK sustav (protjecanje medija kroz cijevnu i kanalsku mrežu, ventilator, kompresor i dr.). Pored razine buke, na ugodnost utječu određene frekvencije, trajanje i učestalost pojave buke, te doba dana i namjena prostora. Jedinica za razinu buke je dB(A) za vrjednovanje zvučne snage prema krivulji A iz DIN-phon dijagrama. Iako oštećenje sluha nastupa tek pri višegodišnjoj izloženosti razini buke od  $\geq 90$  dB(A), obzirom na utjecaj buke na osjećaj ugodnosti postoji niz propisa kojima se regulira dopuštena razina buke u pojedinim situacijama. Tako je npr. u stambenom prostoru dopuštena razina buke danju 35 dB(A), a noću 25 dB(A), dok je u uredu dopušteno 55 dB(A). Ventilator je najveći izvor buke među elementima sustava ventilacije i klimatizacije, a razina buke može se smanjiti primjerice sniženjem brzine strujanja medija i ugradnjom prigušivača.

## 8.2.3. Model toplinske ravnoteže (PMV-PPD)

### 8.2.3.1. PMV indeks

PMV (engl. *Predicted Mean Vote*) indeks predviđa kako će grupa ljudi ocijeniti ugodnost boravka u prostoriji. Kod određivanja PMV indeksa fiziološki odziv termoregulacijskog sustava osobe povezan je statistički s vrjednovanjem osjećaja toplinske ugodnosti glasovima prikupljenim od najmanje 1300 ispitanika. Njegovo je previđanje relativno složen matematički postupak koji se može provesti prema normi EN ISO 7730:

$$PMV = (0,303e^{-0,036M} + 0,028)\{(M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [5733 - 6,99(M - W) - p_a] - 0,42[(M - W) - 58,15] - 1,7 \cdot 10^{-5} M(5867 - p_a) - 0,0014M(34 - \theta_a) - 3,96 \cdot 10^{-8} f_{cl} [(\theta_{cl} + 273)^4 - (\bar{\theta}_r + 273)^4] - f_{cl} \alpha_c (\theta_{cl} - \theta_a)\} \quad (8.9)$$

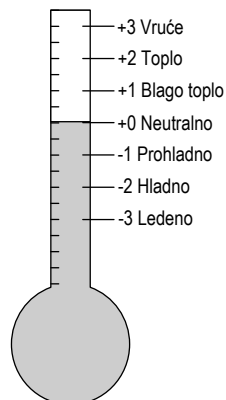
$$\theta_{cl} = 35,7 - 0,028(M - W) - I_{cl} \left\{ 3,96 \cdot 10^{-8} f_{cl} [(\theta_{cl} + 273)^4 - (\bar{\theta}_r + 273)^4] + f_{cl} \alpha_c (\theta_{cl} - \theta_a) \right\} \quad (8.10)$$

$$\alpha_c = \begin{cases} 2,38(\theta_{cl} - \theta_a)^{0,25} & \text{za } 2,38(\theta_{cl} - \theta_a)^{0,25} > 12,1\sqrt{w_{ar}} \\ 12,1\sqrt{w_{ar}} & \text{za } 2,38(\theta_{cl} - \theta_a)^{0,25} < 12,1\sqrt{w_{ar}} \end{cases} \quad (8.11)$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1,00 + 1,290 \cdot I_{cl} & \text{za } I_{cl} < 0,078 (m^2 K) / W \\ 1,05 + 0,645 \cdot I_{cl} & \text{za } I_{cl} > 0,078 (m^2 K) / W \end{cases} \quad (8.12)$$

$M$	-metabolički učinak [W/m <sup>2</sup> ]
$W$	-izvršeni mehanički rad (jednak nuli za većinu aktivnosti) [W/m <sup>2</sup> ]
$I_{cl}$	-toplinski otpor odjeće [(m <sup>2</sup> K)/W]
$f_{cl}$	-omjer izložene površine kože odjevene osobe prema ukupnoj površini [-]
$\theta_a$	-temperatura zraka [°C]
$\theta_{cl}$	-površinska temperatura odjeće [°C]
$\bar{\theta}_r$	-srednja temperatura zračenja (opisana u 8.2.2.2.) [°C]
$w_{ar}$	-relativna brzina strujanja zraka (u odnosu na osobu) [m/s]
$p_a$	-parcijalni tlak vodene pare u zraku [Pa]
$\alpha_c$	-koeficijent prijelaza topline konvekcijom [W/m <sup>2</sup> K]

Jednostavniji način određivanja PMV indeksa je očitanjem iz tablica danih u EN ISO 7730 za relativnu vlažnost zraka 50% i različite temperature zraka, brzine zraka, razine aktivnosti i razine odjevenosti. Razina ugodnosti vrjednuje se prema ASHRAE skali ugodnosti sa sedam točaka. Skupina ljudi određuje brojevima na skali (slika 8.10) svoj subjektivan osjećaj toplinske ugodnosti u prostoriji. Osobe koje su se izjasnile brojevima  $\pm 2$  ili  $\pm 3$  spadaju u skupinu nezadovoljnih stanjem u prostoriji.



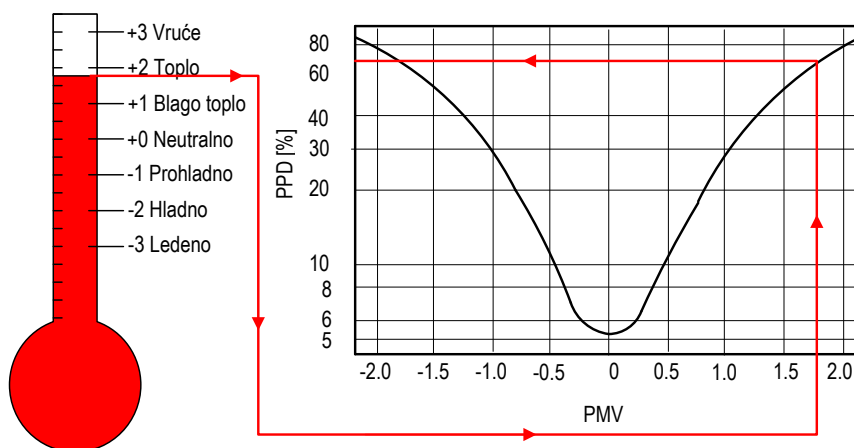
Slika 8.10 - Skala ugodnosti prema vrijednosti PMV indeksa prema ASHRAE

### 8.2.3.2. PPD indeks

Kada je poznat PMV indeks, moguće je odrediti PPD (engl. *Predicted Percentage of Dissatisfied*) indeks koji predviđa postotak nezadovoljnih osoba u nekoj prostoriji. Određuje se pomoću jednostavnog matematičkog izraza kao funkcija od PMV indeksa:

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{-(0,03353 PMV^4 + 0,2179 PMV^2)} \quad [\%] \quad (8.13)$$

S obzirom da su PMV i PPD indeksi međusobno zavisni, moguće je napraviti dijagram prikazan na slici 8.11. Pomoću takvog dijagrama jednostavno se grafički odredi PPD indeks ako je već poznat PMV indeks.



Slika 8.11 - Međusobna zavisnost PMV i PPD indeksa

Norma EN ISO 7730 definira toplinsku ugodnost PMV i PPD indeksima dijeleći standardne stambeno-uredske prostore na tri kategorije kvalitete A, B i C, prema tablici 8.3, odnosno 8.4.

Tablica 8.3 - Primjer kriterija ugodnosti prema PMV i PPD za standardne prostore

Kategorija	Kriterij ugodnosti		Raspon osjetne temperature	
	PPD [%]	PMV [-]	Zima (1,0 clo i 1,2 met) [°C]	Ljeto (0,5 clo i 1,2 met) [°C]
A	< 6	-0,2 < PMV < +0,2	22,0 ± 1,0	24,5 ± 1,0
B	< 10	-0,5 < PMV < +0,5	22,0 ± 2,0	24,5 ± 1,5
C	< 15	-0,7 < PMV < +0,7	22,0 ± 3,0	24,5 ± 2,5

Tablica 8.4 - Primjer odnosa ukupnih i lokalnih kriterija ugodnosti za standardne prostore

Kategorija	Kriterij ugodnosti		Lokalna ugodnost			
	PPD [%]	PMV [-]	Postotak nezadovoljnih uslijed propuha PD [%]	Postotak nezadovoljnih uslijed promjene temperature po visini [%]	Postotak nezadovoljnih uslijed toplog ili hladnog poda [%]	Postotak nezadovoljnih uslijed asimetričnog zračenja ploha [%]
A	< 6	-0,2 < PMV < +0,2	< 10	< 3	< 10	< 5
B	< 10	-0,5 < PMV < +0,5	< 20	< 5	< 10	< 5
C	< 15	-0,7 < PMV < +0,7	< 30	< 10	< 15	< 10

## 8.3. Vlažni zrak

### 8.3.1. Definicija

Vlažni zrak je tipični atmosferski zrak koji sadržava određenu količinu vodene pare (vlage), odnosno predstavlja smjesu dva plina - suhog zraka i vodene pare. Dakle, ako se u tehnici klimatizacije spominje zrak, uglavnom se radi upravo o vlažnom zraku. Suhi zrak je smjesa većinom kisika  $O_2$  i dušika  $N_2$  koja ne sadrži vodenu paru i čiji je približni sastav (preostali elementi vrlo malenog udjela pridodani su dušiku):

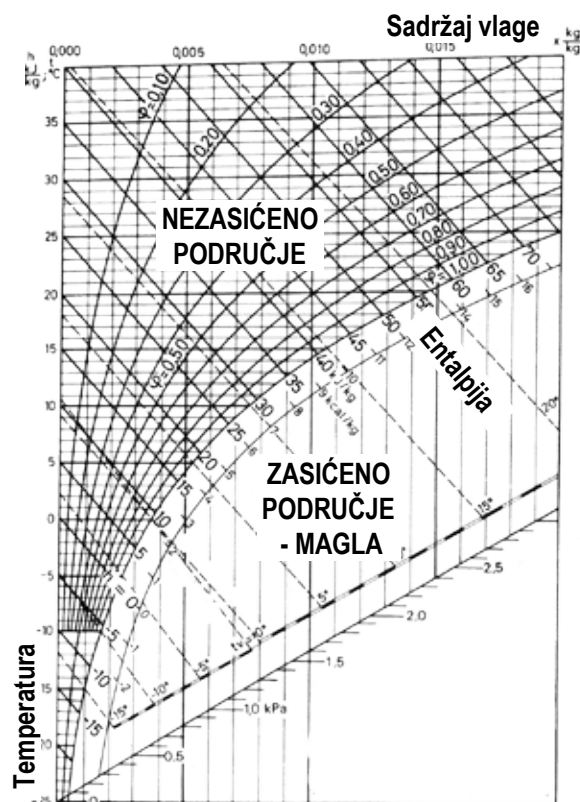
- dušik  $N_2$ : 78% volumena, molekularna masa  $M=28$  kg/kmol
- kisik  $O_2$ : 21% volumena, molekularna masa  $M=32$  kg/kmol
- argon Ar: 1% volumena, molekularna masa  $M=40$  kg/kmol

molekularna masa mješavine  $M=28.96$  kg/kmol.

Teorija vlažnog zraka bavi se termodinamičkim svojstvima vlažnog zraka i koristi ta svojstva za analizu stanja i procesa s vlažnim zrakom za raspon temperatura: od  $-40^\circ\text{C}$  do  $50^\circ\text{C}$ . Razumijevanje procesa s vlažnim zrakom od ključnog je značenja za sustave klimatizacije, jer je kondicionirani zrak medij čija priprema predstavlja osnovu za postizanje uvjeta ugodnosti u prostoru.

U literaturi se koriste dva osnovna tipa dijagrama za prikaz procesa s vlažnim zrakom. U SAD-u je češće u upotrebi psihometrijski dijagram, dok se u Europi uglavnom koristi Mollierov  $h,x$  - dijagram (slika 8.12). Oba dijagrama koriste iste osi za prikazivanje stanja i procesa ( $h$  - entalpija i  $x$  - sadržaj vlage). Za odgovarajući dijagram, apsolutni tlak mora biti poznat, jer postoje dijagrami za različite tlakove. Na slici 8.12 prikazan je primjer dijagrama za najčešći slučaj – apsolutni tlak normalnog stanja zraka

$p_a = 101,3$  kPa. Os apscise predstavlja sadržaj vlage  $x$  u (kg vlage)/(kg suhog zraka), os ordinate predstavlja temperaturu u celzijevim stupnjevima ( $^{\circ}\text{C}$ ), a kosi pravci predstavljaju specifičnu entalpiju vlažnog zraka  $h$  u (kJ)/(kg suhog zraka).



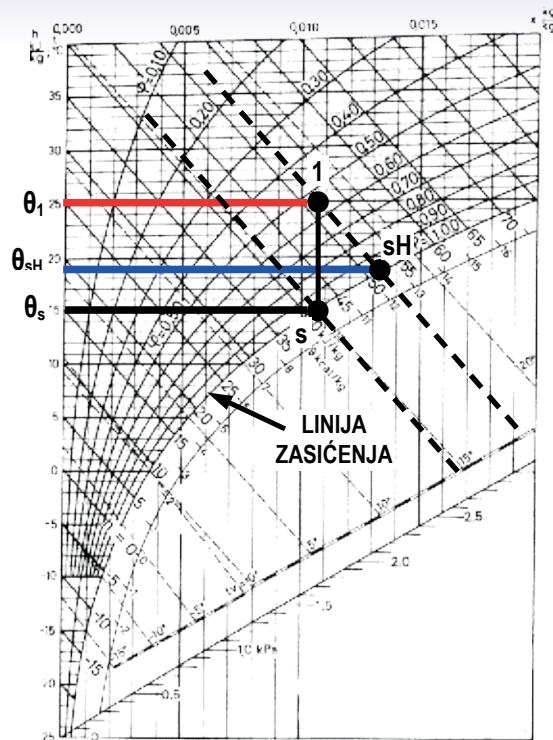
Slika 8.12 – Mollierov  $h,x$  - dijagram za vlažni zrak

Procesi u sustavima klimatizacije odvijaju se u nezasićenom području, jer zadržavanje stanja zraka u zasićenom području nije tehnički opravdano. U nezasićenom području vlaga u zraku je u parovitom agregatnom stanju, a ulaskom u zasićeno područje započinje izlučivanje kapljevite vlage iz zraka. To je u većini tehničkih primjena nepoželjno (pojava kondenzacije na unutarnjim ploham građevnih dijelova), no u nekim procesima u klimatizaciji je nužno (hlađenje zraka s odvlaživanjem).

### 8.3.2 Stanje vlažnog zraka

Termodinamičko stanje vlažnog zraka definira se preko dvije veličine, a ostali podaci se mogu dobiti iz toga stanja proračunom ili očitavanjem iz dijagrama. Svi proračuni se mogu izvršiti bez uporabe dijagrama, ali je ponekad potrebna iteracija. Jedna od mogućnosti je određivanje stanja preko temperature suhog i vlažnog termometra. Temperatura suhog termometra obično se naziva temperaturom zraka (stanje 1 na slici 8.13.) Temperatura suhog termometra  $\theta_1$  mjeri se običnim termometrom i pokazatelj je sadržaja topline. Temperatura vlažnog termometra (stanje sH na slici 8.13.) povezana je sa sadržajem vlage u zraku. Temperatura  $\theta_{sH}$  mjeri se termometrom kojemu je vrh prekriven tkaninom natopljenom vodom, uz prisilno strujanje zraka preko termometra. Temperatura vlažnog termometra je uvijek niža od temperature suhog termometra, osim pri 100% relativnoj vlažnosti zraka (stanja na liniji zasićenja), kada su jednake. Mjerni instrument koji kombinira dva termometra za mjerenje navedenih temperatura naziva se psihrometar. Točka rosišta (stanje s na slici 8.13) vlažnog zraka pripadajuće temperature  $\theta_s$  nalazi se na liniji zasićenja, točno ispod stanja zraka 1. Temperatura  $\theta_s$  predstavlja temperaturu plohe na kojoj će započeti kondenzacija vlage iz zraka za zadano stanje 1, odnosno na višim temperaturama vlaga ostaje u zraku u parovitom stanju.

Kako je masa vlage u vlažnom zraku promjenljiva, proračuni procesa s vlažnim zrakom se rade tako da se sve specifične veličine odnose na vlažni zrak, ali su izražene po kilogramu suhog zraka.



Slika 8.13 – Prikaz stanja vlažnog zraka

Sadržaj vlage (količina vlage, apsolutna vlažnost) je omjer trenutne mase vodene pare prisutne u vlažnom zraku i mase suhog zraka:

$$x = \frac{m_w}{m_a} \text{ [kg}_w\text{/kg}_{sz}] \quad (8.14)$$

$m_w$  - masa vodene pare [kg]  
 $m_a$  - masa suhog zraka [kg]

Sadržaj vlage teško se mjeri, ali je vrlo koristan u proračunima. Uz pretpostavku da se vlažni zrak ponaša kao idealni plin, sadržaj vlage se također može izračunati pomoću parcijalnog tlaka vodene pare i apsolutnog tlaka zraka:

$$x = 0,622 \frac{p_w}{p - p_w} \text{ [kg}_w\text{/kg}_{sz}] \quad (8.15)$$

$p_w$  - parcijalni tlak vodene pare [Pa]  
 $p$  - apsolutni tlak zraka [Pa]

Sadržaj vlage suhog zraka je  $x = 0$  kg/kg.

Jednostavnije od sadržaja vlage mjeri se relativna vlažnost. Relativna vlažnost je omjer parcijalnog tlaka vodene pare u stvarnom vlažnom zraku i parcijalnog tlaka vodene pare u zasićenom zraku pri istoj temperaturi i tlaku:

$$\varphi = \frac{p_w}{p_s(T)} \quad (8.16)$$

$p_s(T)$  - tlak zasićenja vodene pare pri temperaturi  $T$  [Pa]

Relativna vlažnost može poprimiti vrijednosti između 0% i 100% (između 0 i 1). Relativna vlažnost  $\varphi = 0\%$  vrijedi za suhi zrak, a relativna vlažnost  $\varphi = 100\%$  vrijedi za stanja zraka na liniji zasićenja.

Iz izraza (8.15) i (8.16) dobije se odnos između sadržaja vlage i relativne vlažnosti:

$$x = 0,622 \frac{p_s(T)}{\frac{p}{\varphi} - p_s(T)} \text{ [kg}_w\text{/kg}_{sz}] \quad (8.17)$$

Specifična entalpija vlažnog zraka  $h$  (kJ/kg) je definirana kao ukupna entalpija mješavine suhog zraka i vodene pare po kg suhog zraka. Sastoji se od osjetne i latentne topline i važna je u proračunima procesa grijanja i hlađenja. Za nezasićeno područje u Mollierovom dijagramu (slika 8.12), može se odrediti iz izraza:

$$h = 1,01\theta + x(2501 + 1,86\theta) \text{ [kJ/kg]} \quad (8.18)$$

$\theta$  -temperatura zraka [°C]  
 $x$  -sadržaj vlage [kg/kg]

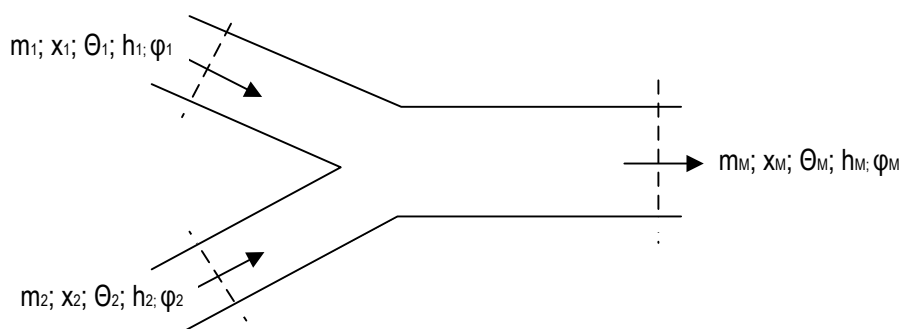
Sadržaj vlage stanja zraka 1 može se izračunati i iz temperatura suhog i vlažnog termometra ( $\theta_1$  i  $\theta_{sH}$  na slici 8.13) izmjerenih pomoću psihrometra, pri čemu se podaci sadržaja vlage  $x_s$  i specifične entalpije  $h_s$  za temperaturu vlažnog termometra (stanje zasićenja) mogu očitati iz tablica danih u literaturi:

$$x_1 = \frac{h_s - 4,19\theta_{sH}x_s - 1,01\theta_1}{2501 + 1,86\theta_1 - 4,19\theta_{sH}} \text{ [kg}_w\text{/kg}_{sz}] \quad (8.19)$$

### 8.3.3. Osnovni procesi

#### 8.3.3.1. Adijabatsko miješanje dviju struja

Proces adijabatskog miješanja dviju struja zraka (slika 8.14) pretpostavlja miješanje bez izmjene topline s okolišem. Često se koristi u klimatizaciji za uštedu toplinske energije, jer se na taj način djelomice koristi sadržaj topline povratnog zraka iz prostora i točka miješanja se približava stanju ubacivanja, uz uvjet da je stanje vanjskog zraka nepovoljno za neposrednu pripremu.



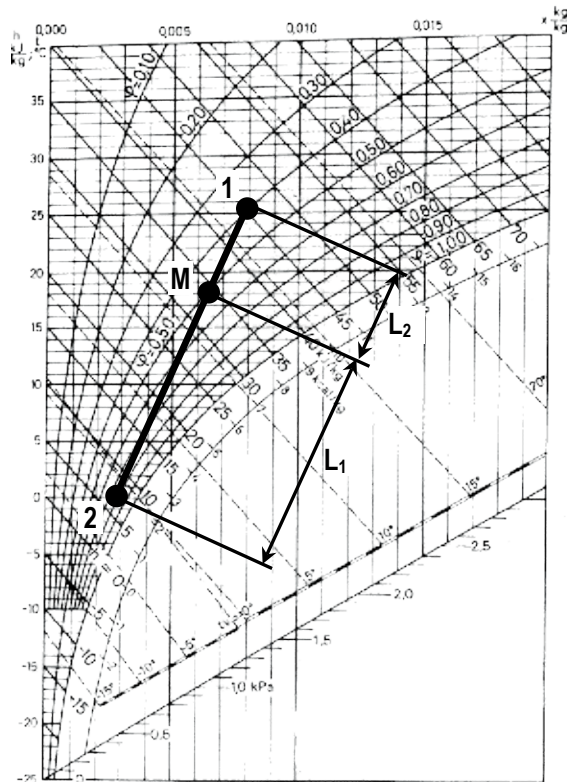
Slika 8.14 – Adijabatsko miješanje dviju struja zraka

Masena bilanca, za poznate masene protoke struja 1 i 2, pri tome glasi:

$$\dot{m}_M = \dot{m}_1 + \dot{m}_2 \text{ [kg/s]} \quad (8.20)$$

Stanje mješavine  $M$  (temperatura i sadržaj vlage) može se odrediti grafičkim načinom, pri čemu se najprije u dijagram ucrtaju poznata stanja 1 i 2, spoje se pravcem i zatim se utvrde sljedeći omjeri za koje se očitava stanje  $M$  (slika 8.15):

$$\begin{aligned}
 L &= L_1 + L_2 \\
 L_1 &= \frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_M} L \\
 L_2 &= \frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_M} L
 \end{aligned}
 \tag{8.21}$$



Slika 8.15 – Prikaz adijabatskog miješanja dviju struja zraka

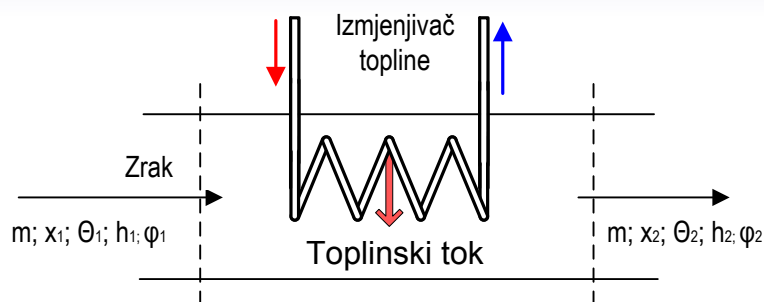
Ako se stanje mješavine  $M$  određuje izračunom, tada, za poznata stanja  $1$  i  $2$  i izračunatu bilancu (8.20), za sadržaj vlage i specifičnu entalpiju mješavine slijedi:

$$x_M = \frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_M} x_1 + \frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_M} x_2 \text{ [kg}_w\text{/kg}_{sz}\text{]}
 \tag{8.22}$$

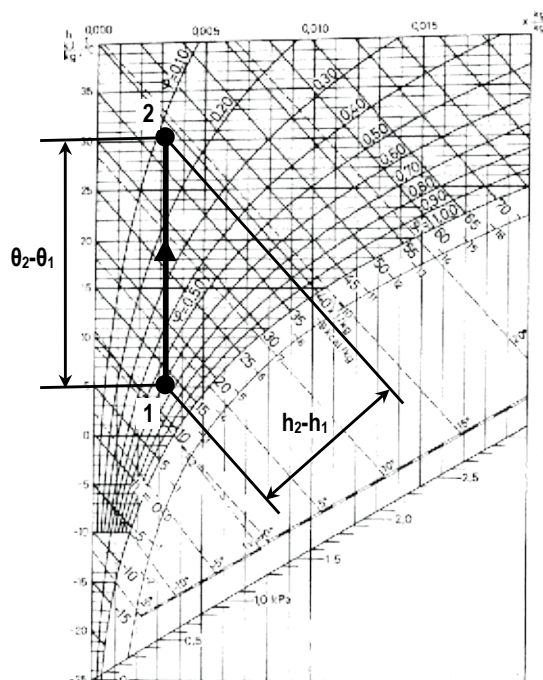
$$h_M = \frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_M} h_1 + \frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_M} h_2 \text{ [kJ/kg]}
 \tag{8.23}$$

### 8.3.3.2. Grijanje i hlađenje bez odvlaživanja

U procesu grijanja (slika 8.16) ili hlađenja bez odvlaživanja mijenja se temperatura struje zraka, a sadržaj vlage ostaje nepromijenjen ( $x = \text{konst}$ ). Takav proces uključuje samo izmjenu osjetne topline. Međutim, pri promjeni temperature mijenja se i relativna vlažnost (slika 8.17), što treba uvažiti kod pripreme zraka u klimatizaciji.



Slika 8.16 – Grijanje zraka



Slika 8.17 – Prikaz grijanja zraka

Tako će zrak nakon zagrijavanja poprimiti nižu relativnu vlažnost, a nakon hlađenja višu relativnu vlažnost u odnosu na početno stanje. Proces prikazan na slici 8.17 odnosi se samo na grijanje, a hlađenje bez odvlaživanja izgleda identično, samo je smjer odvijanja procesa suprotan i ide od više prema nižoj temperaturi. Za toplinski tok pri promjeni stanja između 1 i 2, uz entalpije izračunate iz izraza 8.18, za oba procesa jednako vrijedi:

$$\Phi_{1-2} = \dot{m}_a (h_2 - h_1) \text{ [W]} \quad (8.24)$$

- $\dot{m}_a$  -maseni protok suhog zraka [kg/s]
- $h_1$  -specifična entalpija početnog stanja 1 [kJ/kg]
- $h_2$  -specifična entalpija krajnjeg stanja 2 [kJ/kg]

Budući da se sadržaj vlage ne mijenja, za određivanje specifične entalpije pojedinih stanja zraka nije potrebno koristiti izraz (8.18.), a prethodni izraz može se napisati u jednostavnijem obliku:

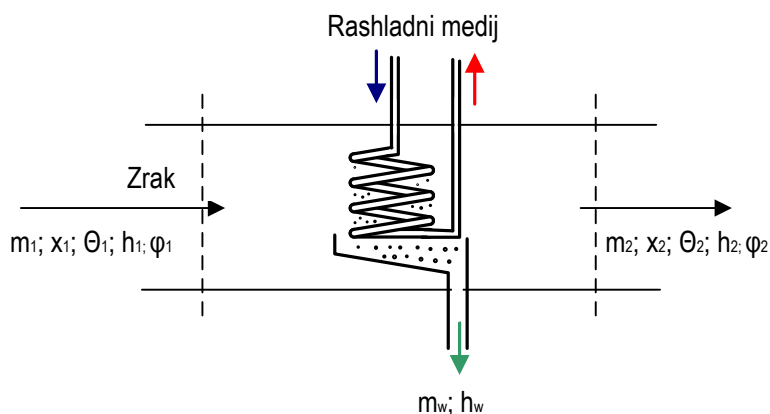


$$\Phi_{1-2} = \dot{m}_a 1,01(\theta_2 - \theta_1) \text{ [kW]} \quad (8.25)$$

- $\theta_1$  -temperatura početnog stanja 1 [°C]  
 $\theta_2$  -temperatura krajnjeg stanja 2 [°C]

### 8.3.3.3. Hlađenje s odvlaživanjem

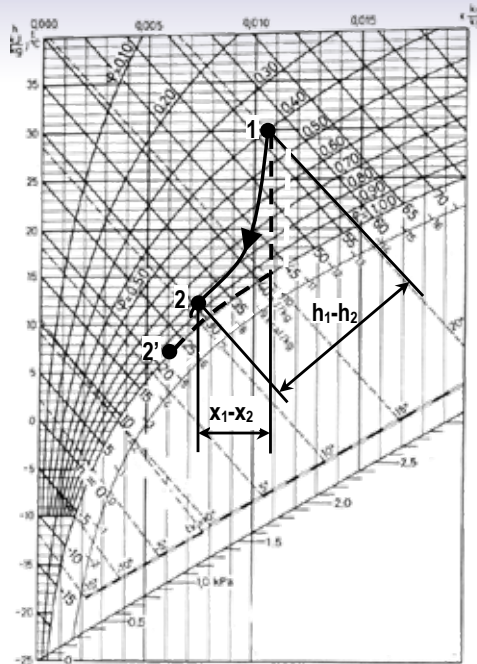
Kada je potrebno smanjiti količinu vlage u prostoru, zrak je potrebno odvlažiti (osušiti) na odgovarajući način. Izlučivanje vlage iz zraka početnog stanja 1 vrši se njegovim hlađenjem na hladnjaku klimatizacijskog uređaja (slika 8.18), čija je temperatura rashladne površine ispod temperature rosišta zraka. Hlađenjem zraka od stanja 1 do 2 i izdvajanjem kondenzirane vlage dobiva se konačno stanje 2 smanjenog sadržaja vlage u odnosu na početno stanje 1. Taj postupak osim izmjene osjetne topline (promjena temperature) uključuje i izmjenu latentne topline (promjena sadržaja vlage).



Slika 8.18 – Hlađenje zraka s odvlaživanjem

Na dijagramu (slika 8.19) prikazani su teorijski proces (do stanja 2') i stvarni proces (do stanja 2) hlađenja s odvlaživanjem. Razlika se javlja stoga što u stvarnom procesu nije ostvariv kontakt svake molekule struje zraka s površinom hladnjaka, pa se proces hlađenja i odvlaživanja ne provodi jednoliko u svim dijelovima struje zraka. Stanje 2' moguće je odrediti računski, poznatim izrazima iz literature, a stanje 2 određuje se grafički iz dijagrama. Masu izlučene vlage po kilogramu suhog zraka moguće je očitati na osi apscise dijagrama kao razliku sadržaja vlage zraka stanja 1 i stanja 2.

Budući da sadržaj vlage nije isti za početno i krajnje stanje zraka, za toplinski tok pri promjeni stanja između 1 i 2, potrebno je specifične entalpije izračunati iz izraza 8.18 i zatim toplinski tok odrediti iz izraza 8.24. Bilanca odvlaživanja može se odrediti analogno izrazu (8.26). Proces hlađenja s odvlaživanjem karakterističan je za klimatizaciju u ljetnom razdoblju, kada je sadržaj vlage vanjskog zraka viši od stanja koje treba postići i održati u klimatiziranom prostoru.

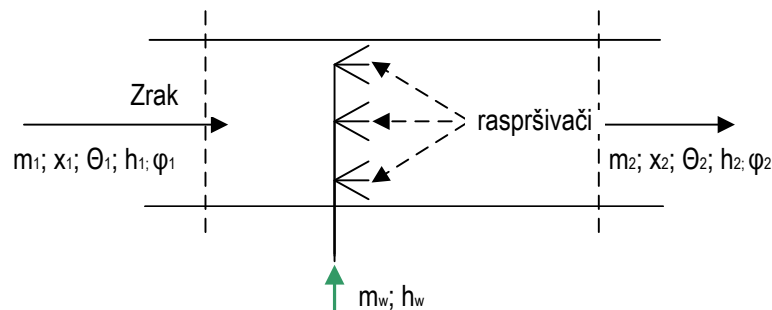


Slika 8.19 – Prikaz hlađenja s odvlaživanjem zraka

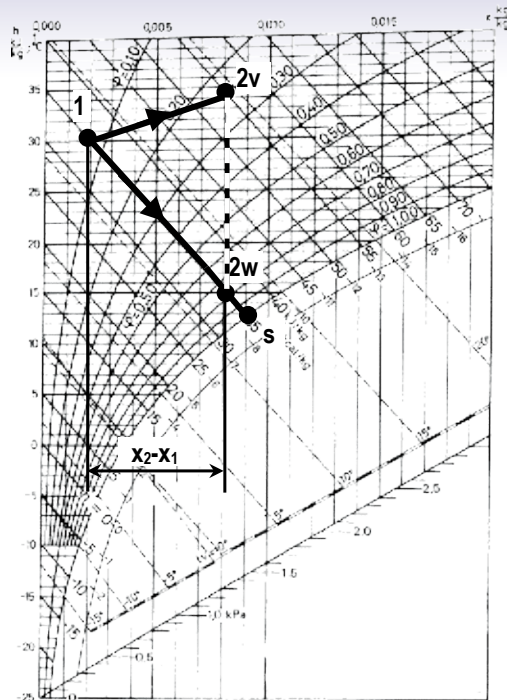
#### 8.3.3.4. Ovlaživanje

Ovlaživanje zraka (slika 8.20) je postupak kojim se povećava sadržaj vlage u zraku, a moguće ga je izvesti na dva osnovna načina. Prvi je ovlaživanje kapljevito vodom, a drugi je ovlaživanje vodenom parom. Za oba procesa vrijedi da će promjena entalpije vlažnog zraka ovisiti o entalpiji medija za ovlaživanje (nagib pravca ovlaživanja na slici 8.21). Kod ovlaživanja vodom, promjena stanja zraka odvija se po pravcu čiji je nagib u odnosu na linije konstantne entalpije vrlo mali (promjena stanja vlažnog zraka iz točke 1 u 2w, slika 8.21). To je zbog male entalpije kapljevite vode koja se ubrizgava u struju zraka. Tijekom ovog procesa zrak se hladi u odnosu na početno stanje, predajući vodi upravo onoliko topline koliko je potrebno za njezino ishlapljenje.

Kod ovlaživanja vodenom parom, promjena stanja zraka odvija se po pravcu čiji je nagib ovisan o entalpiji pare. Zrak se najčešće, zbog visoke entalpije pare, pri tome neznatno ugrije tijekom ovlaživanja (promjena stanja vlažnog zraka iz točke 1 u točku 2v, slika 8.21). Proces ovlaživanja karakterističan je za klimatizaciju u zimskom razdoblju, kada je sadržaj vlage vanjskog zraka znatno niži od stanja koje treba postići u klimatiziranom prostoru.



Slika 8.20 – Ovlaživanje zraka



Slika 8.21 – Prikaz ovlaživanja zraka

Masena bilanca vlage koja se dodaje zraku prilikom ovlaživanja, bez obzira na to koji se medij koristi je:

$$\dot{m}_w = \dot{m}_a (x_2 - x_1) \text{ [kg/s]} \quad (8.26)$$

- $\dot{m}_a$  -maseni protok suhog zraka [kg/s]  
 $x_1$  -sadržaj vlage početnog stanja 1 [kg/kg]  
 $x_2$  -sadržaj vlage krajnjeg stanja 2 [kg/kg]

Jednadžbe pravca ovlaživanja za kapljevitu vodu ( $h_w$ ) i vodenu paru ( $h_v$ ) su:

$$\frac{dh}{dx} = h_w = c_w \theta_w = \frac{h_{2w} - h_1}{x_2 - x_1} \text{ [kJ/kg]} \quad (8.27)$$

- $c_w$  -specifični toplinski kapacitet vode » 4,19 [kJ/(kgK)]  
 $\theta_w$  -temperatura vode [°C]  
 $h_1$  -specifična entalpija početnog stanja 1 [kJ/kg]  
 $h_{2w}$  -specifična entalpija krajnjeg stanja 2w [kJ/kg]

$$\frac{dh}{dx} = h_v = \frac{h_{2v} - h_1}{x_2 - x_1} \text{ [kJ/kg]} \quad (8.28)$$

- $h_v$  -specifična entalpija vodene pare – očitati iz tablica za suhozasićenu paru [kJ/kg]  
 $h_{2v}$  -specifična entalpija krajnjeg stanja 2v [kJ/kg]

Iz prethodnih izraza 8.27 i 8.28 jednostavno se može izračunati specifična entalpija krajnjeg stanja 2w, odnosno stanja 2v. Izračunata entalpija može se koristiti za izračunavanje toplinskog toka pomoću izraza 8.24.

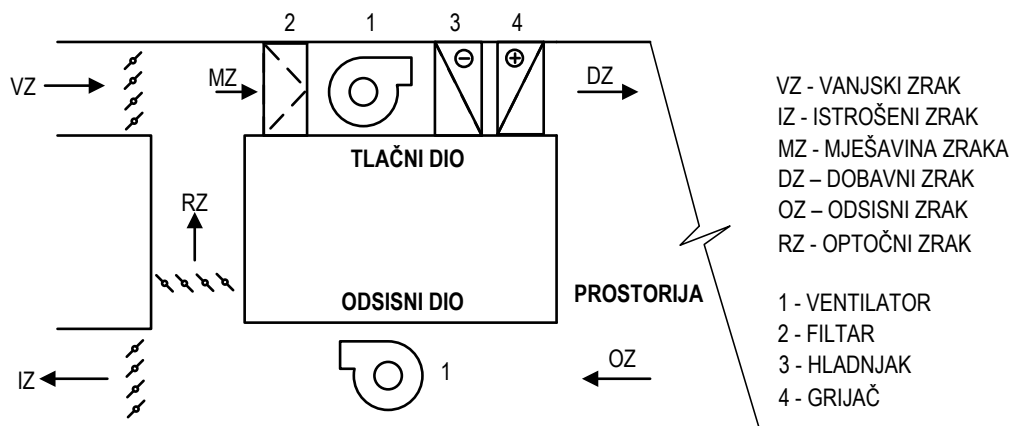
## 8.4. Ventilacija

### 8.4.1. Uvod

U zgradama vanjski zrak ulazi u prostore na dva osnovna načina - infiltracijom i ventilacijom. Infiltracija je dotok vanjskog zraka u zgradu kroz zazoru zatvorenih prozora i ostale nenamjerne otvore na vanjskom oplošju, te kroz vanjska vrata pri ulazu i izlazu iz zgrade. Infiltracija je zapravo posljedica propuštanja zraka kroz vanjsko oplošje uslijed nepotpunog brtvljenja, uglavnom na dijelovima koji se mogu otvarati. Ventilacija predstavlja namjerno ubacivanje određene količine zraka iz okoliša u prostore u zgradi kroz projektirane otvore. Dakle, ugradnja sustava ventilacije predstavlja namjeru regulirane razdiobe zraka unutar zgrade. Dovedeni zrak koristi za ostvarivanje prihvatljive kvalitete unutarnjeg zraka (engl. *IAQ - Indoor Air Quality*) i kriterija toplinske ugodnosti. Količina, odnosno protok dovedenog zraka ovisi o zahtjevima koji se postavljaju za sustav ventilacije, od kojih su osnovni:

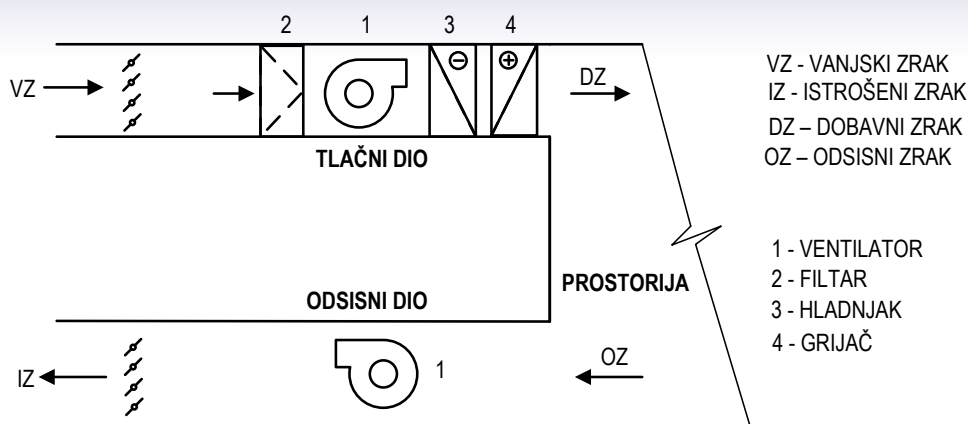
- dovođenje vanjskog zraka (kisika) u unutarnji prostor za disanje ljudi (i/ili životinja)
- kontrola koncentracije zagađivača u zraku prostora
- uklanjanje zagađivača iz prostora (parkirne garaže, cestovni tuneli, laboratoriji, radionice...)
- uklanjanje topline i vlage iz prostora (zatvoreni bazeni, kuhinje...)
- održavanje jednolikog termodinamičkog stanja zraka u zoni boravka
- uspostavljanje željene razdiobe zraka unutar prostora.

Jedinica za pripremu zraka (ventilacijska ili klimatizacijska jedinica) koristi se za potrebe kondicioniranja prostora unutar zgrade. Na slici 8.22 prikazana je jedinica s miješanjem vanjskog i optoćnog zraka. Dakle, određena količina povratnog zraka iz odsisnog kanala (zrak koji se odvodi iz prostorija), može se miješati s vanjskim zrakom i vratiti ponovno na pripremu što se naziva optok ili recirkulacija. Na taj način ostvaruje se ušteda energije za grijanje i hlađenje, pogotovo kada su vanjski vremenski uvjeti nepovoljni, odnosno kada su temperature vanjskog zraka zimi vrlo niske ili ljeti vrlo visoke.



Slika 8.22 – Jedinica za pripremu zraka s miješanjem – pojednostavljena shema

U pojedinim slučajevima, kao što su primjerice ventilacijske jedinice smještene u skućenom prostoru, optok povratnog zraka nije moguć zbog nedostatka prostora za smještaj jedinice i kanalskog razvoda. Pri tome se koristi jedinica za pripremu 100% vanjskog zraka, gdje se sav odsisni zrak ispušta u okoliš kao istrošeni zrak, a sav dobovani zrak dobiva se pripremom čistog vanjskog zraka (slika 8.23).



Slika 8.23 – Jedinica za pripremu 100% vanjskog zraka – pojednostavljena shema

Dobava vanjskog zraka u ventilaciji je nužna i ne izvode se sustavi sa 100% optoćnog zraka, jer bez dobave vanjskog zraka ne može se govoriti o sustavu ventilacije!

## 8.4.2. Podjela

Sustave ventilacije prema načinu strujanja zraka dijeli se na:

- Prirodnu ventilaciju
- Prisilnu (mehaničku) ventilaciju.

### 8.4.2.1. Prirodna ventilacija

Strujanje zraka u prirodnoj ventilaciji pokrenuto je prirodno i/ili umjetno dobivenim razlikama tlaka između vanjskog okoliša i unutarnjeg prostora, ali bez uporabe ventilatora. Pogonske sile koje izazivaju prirodnu ventilaciju su:

- energija vjetra
  - efekt dimnjaka,
- pri čemu spomenute sile mogu djelovati zasebno ili zajedno.

Prednosti ovoga načina prozračivanja su:

- mali investicijski troškovi
- jednostavno održavanje
- jeftina pogonska energija,
- mala brzina strujanja zraka
- niska razina buke.

Nedostaci su:

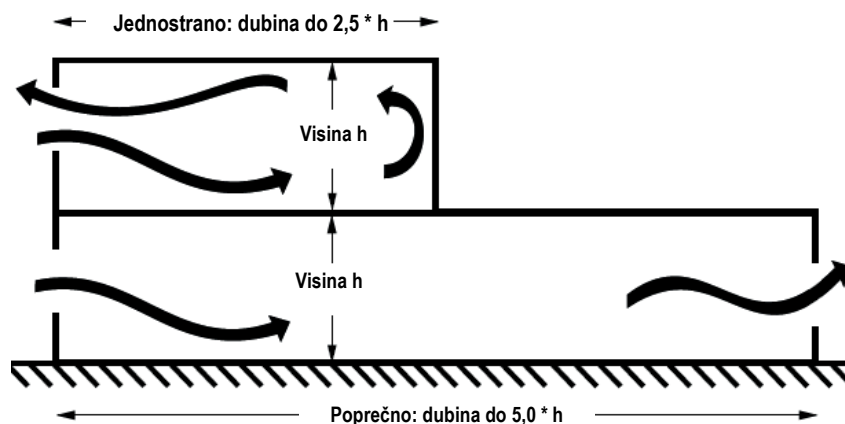
- slaba učinkovitost
- slaba mogućnost upravljanja
- ovisnost o vremenskim uvjetima.

U mnogim zgradama otvori vanjski prozori su osnovna komponenta prirodne ventilacije te omogućuju brzo prozračivanje prostora. Količina zraka koji ulazi u prostor prirodnom ventilacijom, može ovisiti primjerice o otvorenosti vanjskih prozora i vrata (tablica 8.5).

**Tablica 8.5 - Okvirni broj izmjena zraka unutar prostora u jednom satu uslijed otvaranja prozora i vrata**

Stanje	Broj izmjena zraka na sat
Zatvoreni prozori i vrata (infiltracija)	0 – 0,5
Otklopljen prozor (na kip)	0,3 – 1,5
Napola otvoren prozor (45°)	5 – 10
Širom otvoren prozor	10 – 15
Otvoreni prozor i vrata na suprotnim zidovima	do 40

Ipak, u u praksi postoji granična udaljenost od otvora do koje se može očekivati učinkovito prozračivanje prostora otvaranjem prozora u zgradi. Ako postoji mogućnost otvaranja samo s jedne strane prostora, pretpostavljena granična dubina prostora je do 2,5 puta visina od poda do stropa (standardno do oko 6,5 m – slika 8.24).

**Slika 8.24 – Strujanje zraka kroz prostor u zgradi – nacrt [8.12]**

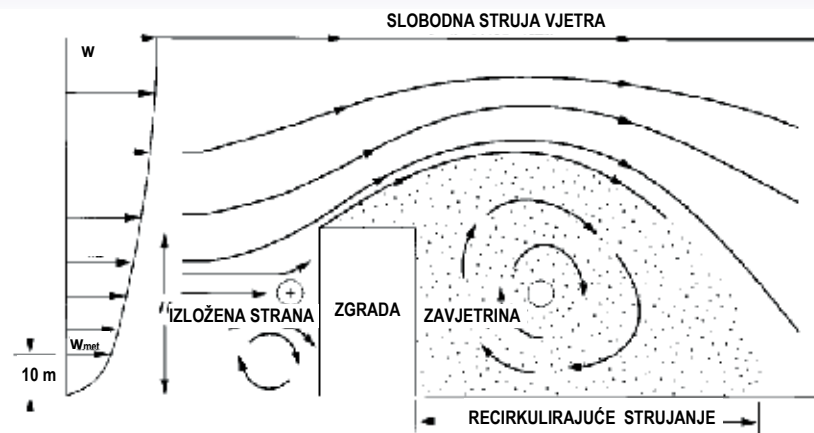
## Energija vjetra

Pri strujanju zraka oko prepreke dolazi do pretvorbe dinamičkog tlaka struje u statički tlak. Kako se zgrade može smatrati jednom vrstom prepreke strujanju zraka u vanjskom okolišu, kod strujanja oko zgrade dolazi do iste pojave, što uzrokuje zone različitih tlakova na različitim stranama zgrade. Tako će izložena strana, odnosno strana na direktnom udaru vjetra najčešće biti u pretlaku dok će se suprotna strana zgrade, ona u zavjetrini, nalaziti u potlaku. To utječe na strujnice vjetra u neposrednoj blizini zgrade i na moguću pojavu recirkulirajućeg strujanja.

Raspoloživi tlak vjetra (u odnosu na vanjski statički tlak) na vanjskoj površini zgrade iznosi:

$$\Delta p_w = C_p \rho_0 \frac{w^2}{2} \text{ [Pa]} \quad (8.29)$$

- $\Delta p_w$  -razlika tlaka vjetra prema vanjskom statičkom tlaku [Pa]  
 $C_p$  -koeficijent površinskog tlaka vjetra [-]  
 $\rho_0$  -gustoća vanjskog zraka [kg/m<sup>3</sup>]  
 $w$  -brzina naleta vjetra na izloženoj fasadi [m/s]



Slika 8.25 – Strujanje zraka oko zgrade – nacrt [8.11]

Brzina naleta vjetra za prostorije na visini iznad 10 m izračunava iz meteorološke brzine vjetra dane standardno za visinu 10 m, uz korekciju zbog visine i neravnina okolnog terena:

$$w = a_0 w_{met} \left( \frac{H_w}{H_{met}} \right)^n \quad [\text{m/s}] \quad (8.30)$$

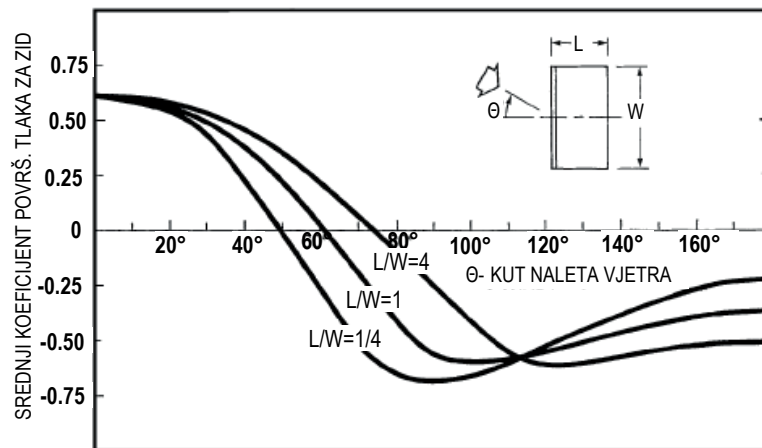
pri čemu su koeficijenti:

- za gradsko područje:  $a_0=0,35$ ;  $n=0,4$
- za prigradsko područje:  $a_0=0,60$ ;  $n=0,28$
- za zračnu luku:  $a_0=1,00$ ;  $n=0,15$ .

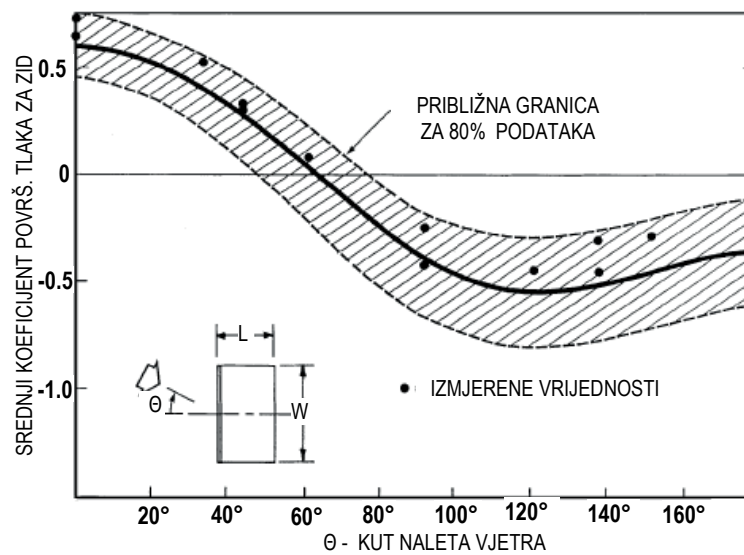
$w$	-brzina naleta vjetra [m/s]
$a_0$	-korekcijski faktor uslijed neravnina terena [-]
$w_{met}$	-brzina vjetra prema meteorološkoj stanici [m/s]
$H_w$	-visina na kojoj se nalazi promatrana prostorija [m]
$H_{met}$	-visina na kojoj se mjeri brzina kao meteorološki podatak [m]
$n$	-eksponent profila brzine [-]

Koeficijent površinskog tlaka vjetra  $C_p$  ovisi o obliku zgrade te brzini strujanja vjetra, a određuje se eksperimentalno. Ako je primjerice smjer vjetra okomit na površinu zida visoke zgrade koji ima omjer  $L/W$  (širina/duljina) = 4, srednja vrijednost koeficijenta površinskog tlaka vjetra  $C_{p,m}$  je oko + 0,60 na strani izloženoj vjetru, oko -0,5 u zavjetrini i na ravnom krovu te oko -0,25 na ostale dvije (bočne) strane (slika 8.26).

Na slici 8.26 prikazani su srednji koeficijenti površinskog tlaka vjetra  $C_{p,m}$  za niske zgrade, koji se između izložene strane i strane u zavjetrini kreću između vrijednosti oko +0,60 i -0,50. Ovisno o položaju i veličini predviđenih ventilacijskih otvora na zgradi ovisit će i način strujanja zraka kroz prostoriju uslijed vjetra, kako je vidljivo na slici 8.27.

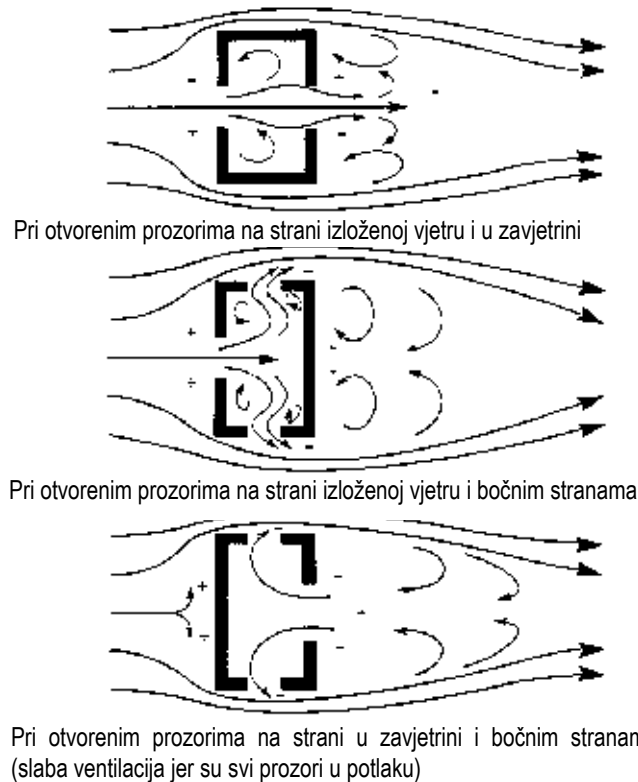


Slika 8.26 - Koeficijent površinskog tlaka vjetra  $C_{p,m}$  osrednjen po površini zida visoke zgrade [8.11]



Slika 8.27 - Koeficijent površinskog tlaka vjetra  $C_{p,m}$  osrednjen po površini zida niske zgrade [8.11]





**Slika 8.28 - Strujanje zraka kroz zgradu uslijed vjetra – tlocrt [8.10]**

Sustavi prirodne ventilacije obično se dimenzioniraju za brzine vjetra do polovice prosječne vrijednosti za proračunsko razdoblje. Protok zraka (samo) uslijed vjetra računa se na sljedeći način:

$$\dot{V}_a = C_w A w \quad [m^3/s] \quad (8.31)$$

$\dot{V}_a$	-protok zraka [ $m^3/s$ ]
$C_w$	-koeficijent učinkovitosti otvora (približno 0.5 do 0.6 za okomiti smjer vjetra, 0.25 do 0.35 za dijagonalni smjer vjetra) [-]
$A$	-slobodna površina ulaznih otvora [ $m^2$ ]
$w$	-brzina vjetra [ $m/s$ ]

Ulazni otvori trebaju biti postavljeni na izloženoj strani, po mogućnosti okomito na prevladavajući smjer vjetra za lokaciju zgrade. Povoljne pozicije za postavljanje izlaznih (istrujnih) otvora, odnosno načini odsisne ventilacije su:

- na strani zgrade u zavjetrini, točno nasuprot ulaznim otvorima
- na krovu, u području potlaka izazvanog diskontinuitetom u strujanju vjetra
- na bočnim stranama gdje se pojavljuju zone potlaka
- u tavanom prostoru na strani u zavjetrini
- preko okomitog šahta
- preko krovnog ventilatora.

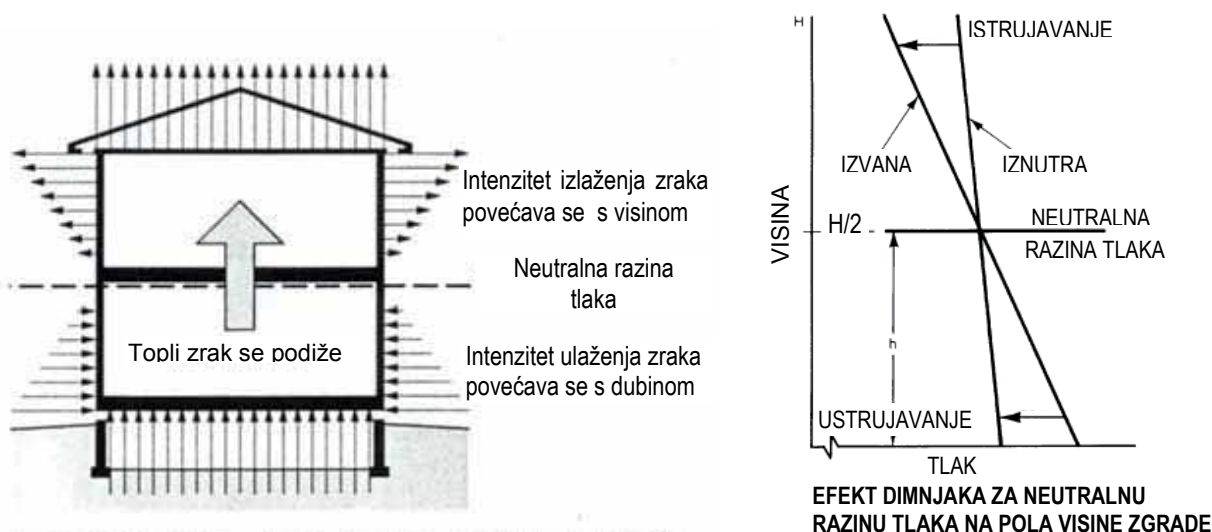
Može se predvidjeti sljedeći utjecaj vjetra na karakteristike strujanja zraka unutar prostora i zgrade:

1. Prostorije na strani izloženoj vjetru obično su u pretlaku, a na strani koja je u zavjetrini su u potlaku u odnosu prema vanjskom okolišu. Stoga je preporuka graditi čiste prostore, poput npr. konferencijskih dvorana, na strani izloženoj vjetru, a laboratorije u kojima se radi sa štetnim tvarima na strani u zavjetrini.

2. Ulaz vanjskog zraka sustava prirodne ventilacije trebao bi se nalaziti na strani s pozitivnim koeficijentom površinskog tlaka  $C_p$  za prevladavajući smjer vjetrova. Izlaz istrošenog zraka trebao bi se nalaziti na stranama gdje je  $C_p$  negativan, tj. na strani zgrade u zavjetrini (po mogućnosti točno nasuprot ulazima zraka) ili na krovu u području potlaka izazvanog diskontinuitetom u strujanju.
3. Ako je to potrebno, tlačni ventilator sustava prisilne ventilacije treba osigurati dovoljan ukupni tlak za svladavanje eventualnog vanjskog potlaka na ulazu, a odsisni ventilator za svladanje vanjskog pretlaka na izlazu zraka. Treba osigurati i alternative za ulaz i izlaz zraka kada je smjer vjetrova različit od prevladavajućeg.

### Efekt dimnjaka

Efekt dimnjaka ili efekt uzgorskog tlaka je pojava koja nastaje kada temperaturna razlika između hladnog vanjskog i toplog unutarnjeg zraka izaziva razliku gustoće između ta dva stupca zraka. Razlika gustoće uzrokuje veći tlak vanjskog okoliša u odnosu na topli zrak, unutar donjeg dijela zgrade, zbog čega dolazi do strujanja zraka iz vanjskog okoliša u zgradu. Posljedica toga je pojava da se u sezoni grijanja topli zrak u zgradi podiže prema gore, a kroz otvore u donjim dijelovima zgrade dolazi do prodora hladnijeg vanjskog zraka. Ljeti je proces obrnut, ali je slabije izražen zbog manjih temperaturnih razlika između zraka u zgradi i vani. Visina na kojoj je unutarnji tlak jednak vanjskom naziva se *neutralna razina tlaka* – iznad nje je tlak zraka unutra veći od vanjskog, a ispod nje manji od vanjskog tlaka.



Slika 8.29 - Strujanje zraka kroz zgradu uslijed efekta dimnjaka [8.11]

Ako se zanemare vertikalni gradijenti gustoće, raspoloživa razlika tlaka uslijed efekta uzgona za horizontalni otvor na visini  $h$  iznad referentne ravnine zgrade iznosi:

$$\Delta p_{st} = (\rho_0 - \rho_i) g (H_{NPL} - h) \text{ [Pa]} \quad (8.32)$$

odnosno:

$$\Delta p_{st} = \rho_0 \left( \frac{T_i - T_o}{T_i} \right) g (H_{NPL} - h) \text{ [Pa]} \quad (8.33)$$

$\Delta p_{st}$	-razlika tlaka uslijed efekta uzgona [Pa]
$\rho_0$	-gustoća vanjskog zraka [kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_i$	-gustoća unutarnjeg zraka [kg/m <sup>3</sup> ]
$T_o$	-temperatura vanjskog zraka [K]

$T_i$	-temperatura unutarnjeg zraka [K]
$H_{NPL}$	-visina neutralne razine tlaka (iznad referentne ravnine) [m]
$h$	-visina otvora (iznad referentne ravnine) [m]

Za zgrade s dva otvora na različitoj visini na vanjskom zidu, mjereno od donjeg otvora, može se izračunati pozicija neutralne razine tlaka (ne mora biti na polovici visine zgrade):

$$H_{NPL} = \frac{h_0}{1 + (A_1 / A_2)^2 (T_i / T_0)} \quad [m] \quad (8.34)$$

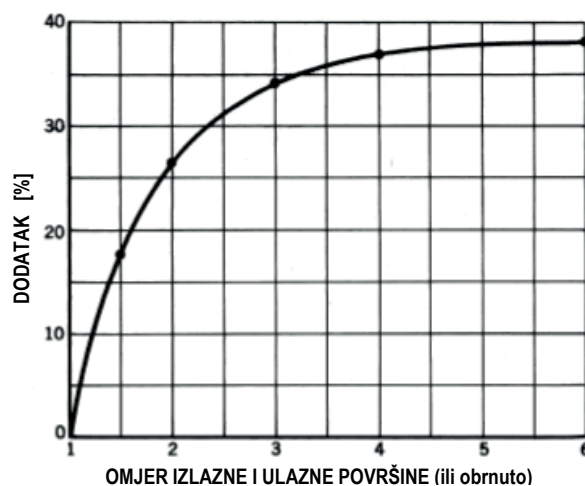
$H_{NP}$	-visina neutralne razine tlaka (iznad donjeg otvora) [m]
$h_0$	-vertikalni razmak između otvora [m]
$A$	-površina donjeg otvora [m <sup>2</sup> ]
$A_2$	-površina gornjeg otvora [m <sup>2</sup> ]

Ako su površine ulaznih i izlaznih otvora jednake, a unutarnji otpori strujanju u građevini nisu veliki, protok zraka izazvan efektom uzgona računa se prema:

$$\dot{V}_a = C_D A \sqrt{2g \Delta H_{NPL} (T_i - T_0) / T_i} \quad [m^3/s] \quad (8.35)$$

$C_D$	-koeficijent protjecanja za otvor (obično 0,65) [-]
$g$	-gravitacijska konstanta (= 9,81) [m <sup>2</sup> /s]
$A$	-slobodna površina ulaznih ili izlaznih otvora [m <sup>2</sup> ]
$\Delta H_{NPL}$	-visina od sredine donjeg otvora do neutralne razine tlaka (eng. NPL) [m]
$T_0$	-temperatura vanjskog zraka [K]
$T_i$	-temperatura unutarnjeg zraka [K]

Optimalni protok po jedinici površine postiže se pri jednakim površinama ulaznih i izlaznih otvora za zrak. Povećanjem izlazne površine prema ulaznoj (ili obrnuto), povećava se ukupni protok zraka, ali ne proporcionalno s povećanjem površine. Kada otvori nisu jednakih površina, u jednadžbu (8.35) uvrštava se manja površina te se tako dobiveni protok uvećava za određeni postotak očitao iz dijagrama (slika 8.30). Izraz (8.35) vrijedi ako je temperatura vanjskog zraka  $T_0$  niža od temperature unutarnjeg zraka  $T_i$ . U suprotnom, izraz treba modificirati tako da se  $T_i$  u nazivniku zamijeni s  $T_0$  te da se u brojniku  $(T_i - T_0)$  zamijeni s  $(T_0 - T_i)$ .



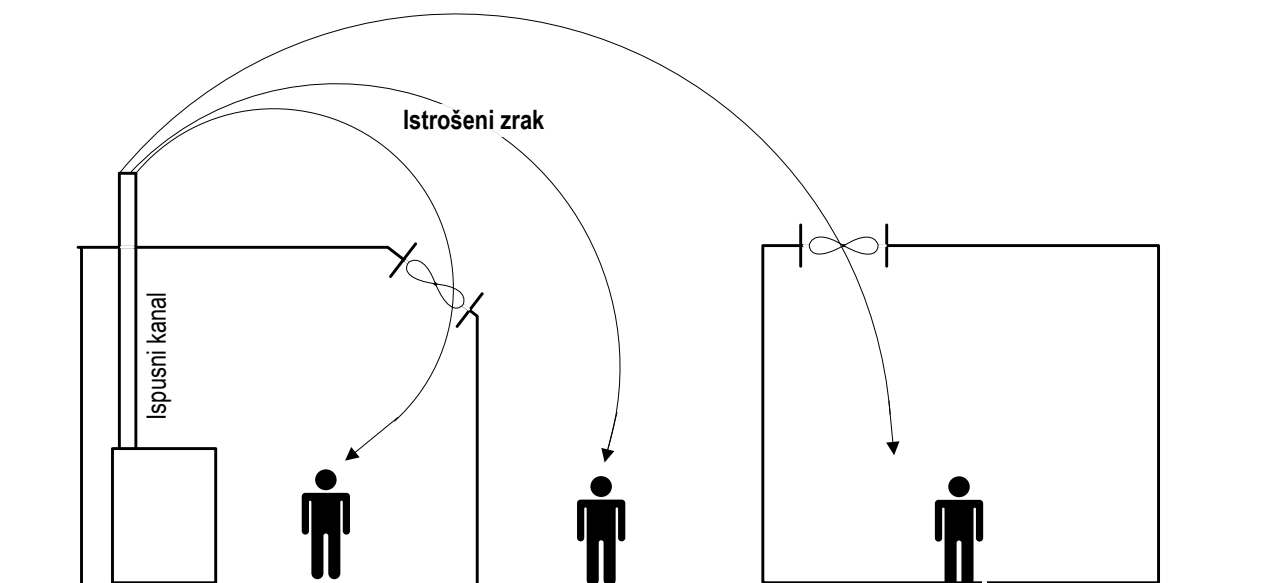
Slika 8.30 - Povećanje protoka uslijed povećanja površine jednog otvora u odnosu na drugi [8.11]

Ako je raspoloživi tlak uslijed uzgona (jednadžba 8.32) veći od pada tlaka u kanalima kroz koje struji zrak, takav sustav može se iskoristiti za prirodnu ventilaciju:

$$\Delta p_{uzg} \geq \Delta p_{kan} \rightarrow (\rho_0 - \rho_i)g(H - H_{NPL}) \geq \sum RL + \sum Z \text{ [Pa]} \quad (8.36)$$

- $R$  -jedinični pad tlaka uslijed trenja [Pa/m]  
 $Z$  -pad tlaka uslijed lokalnih otpora strujanju [Pa]  
 $L$  -duljina kanala [m]

Ispuh zraka odvodi zagađivače iz zgrade u vanjski okoliš gdje se njihova koncentracija smanjuje miješanjem s vanjskim zrakom u procesu tzv. razrjeđivanja. Primjerice, ispuh u obliku visokog dimnjaka treba izvesti dovoljno visoko i dovoljno daleko od usisnih otvora za zrak. Ako pozicija ispuha ili usisa nije odgovarajuća, moguć je povrat nedovoljno razrijeđenih štetnih tvari u zgradu, što značajno utječe na kvalitetu unutarnjeg zraka (slika 8.31). Na položaj i visinu ispusnog dimnjaka, pored uzgona utječe i vjetar.

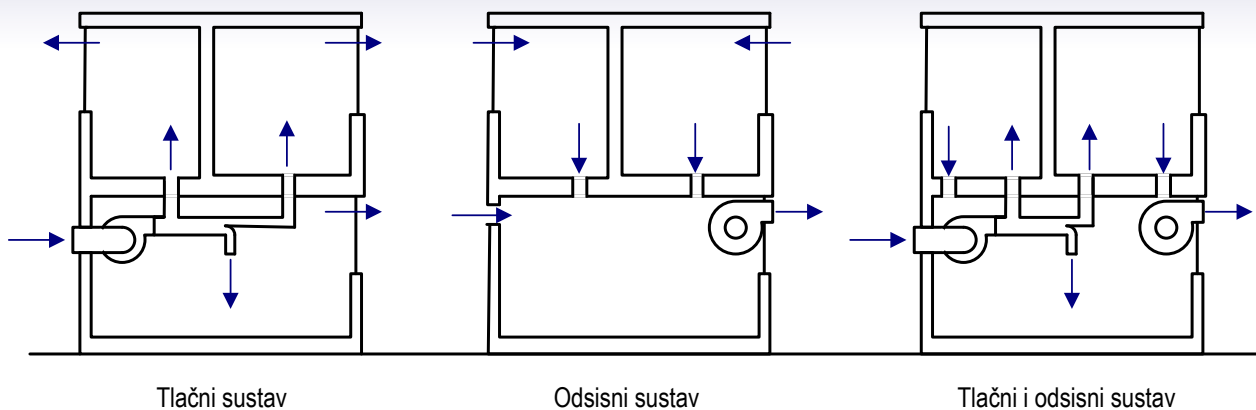


Slika 8.31 - Rizik recirkulacije istrošenog zraka

#### 8.4.2.2. Prisilna ventilacija

Prisilna ventilacija ostvaruje se pomoću rada ventilatora. Prednosti ovakvog načina ventilacije u usporedbi s prirodnom ventilacijom su: neovisnost o vremenskim uvjetima, dobra mogućnost regulirane razdiobe zraka, pojednostavljenje procesa projektiranja sustava te velik izbor različite opreme. Nedostaci su: povećani investicijski troškovi, povećana potrošnja energije, optok zraka i buka. Prisilna ventilacija preporučuje se za prostore s jednim vanjskim zidom čija dubina prema suprotnom zidu prelazi dvije i pol visine prostora (slika 8.24) te na suprotnom zidu nema otvora koji bi omogućili učinkovito prirodno provjetranje.

Tlak u ventiliranim prostorima u većini je slučajeva jednak vanjskom atmosferskom tlaku, što znači da je protok dobavnog zraka dovedenog u prostor jednak protoku povratnog zraka odvedenog iz prostora. Takvi prostori nazivaju se neutralni ili uravnoteženi. Međutim, u sustavima prisilne ventilacije protoci dobavnog i povratnog zraka mogu se, prema potrebi, različito dimenzionirati. Ako je protok dobavnog zraka veći od povratnog, prostor se nalazi u pretlaku, a ako je obrnuto prostor je u potlaku. Osnovi principi prikazani su na slici 8.32.



Slika 8.32 - Sustavi ventilacije prema tlaku u prostoru – pojednostavljeni prikaz

### Tlačna ventilacija

U prostorima gdje se izvodi tlačna ventilacija, ventilator smješten u tlačni razvod dovodi zrak kroz istrujne otvore u prostor i time postiže *pretlak* u prostoru u odnosu na njegovo okruženje. Iz prostorija u pretlaku zrak slobodno istrujava kroz prestrujne otvore i zazole prema okolnim prostorijama ili vanjskom okolišu. Prostori u kojima se obično održava pretlak su oni kod kojih je tražena razina kvalitete unutarnjeg zraka i kontrola uvjeta kondicioniranog prostora iznad zahtjeva koji vrijede za okolne prostore. To mogu biti stambeni prostori ili uredi u zagađenom gradskom okolišu ili gdje vanjski zrak sadrži povećanu koncentraciju alergeni tvari.

### Odsisna ventilacija

U prostorima gdje se predviđa odsisna ventilacija, ventilator smješten u odsisni razvod prisilnim strujanjem odvodi zrak iz prostora čime se postiže *potlak* u prostoru u odnosu na njegovo okruženje. Posljedica toga je da se zrak iz promatrane prostorije ne širi prema okolnim prostorijama, već dolazi do infiltracije zraka u prostor kroz prestrujne otvore i zazole iz okoliša. Kao jednostavan primjer ovakvih sustava poznat je odsis iz kupaonica i sanitarnih prostora.

### Tlačna i odsisna ventilacija

Kod sustava ventilacije u kojima se ventilator nalazi u tlačnom i u odsisnom razvodu, postoji prisilno strujanje u svrhu dovođenja i odvođenja zraka. Ovisno o odnosu protoka dovedenog i odvedenog zraka ovisit će i tlak u prostoriji. Ako je protok dobavnog zraka veći od protoka odsisnog zraka, u prostoru se održava pretlak, ako je manji održava se potlak, a ako su spomenuti protoci jednaki tlak u prostoru je jednak okolišnjem (uravnoteženi sustav). Prostori kao što su učionice, operacijske dvorane, čisti prostori i sl. obično su u pretlaku, jer se kod takvih prostora nastoji spriječiti infiltraciju zraka iz okoliša. Kod kuhinja, industrijskih radionica, laboratorija u kojima se radi s štetnim tvarima i sl., potrebno je spriječiti širenje neugodnih mirisa ili opasnih tvari po ostalim prostorima u zgradi. Stoga se u takvim prostorima obično održava potlak u odnosu na okoliš. Uravnoteženi sustavi izvode se u komfornoj i industrijskoj primjeni gdje ne postoje razlozi za održavanjem razlike tlaka između kondicioniranog prostora i njegova okoliša, što je slučaj u većini prostora.

Na razliku tlaka između kondicioniranog prostora i okoliša utječe ne samo prisilna ventilacija već i spomenuti mehanizmi prirodne ventilacije (efekt dimnjaka i energija vjetra) te zrakotijesnost oplošja zgrade. Ako postoji regulirana razlika tlaka između zraka u prostoru i okolišnjeg zraka (pozitivna ili negativna), ona ovisi o zahtjevima prostora i obično je manja od 13 Pa. Veća razlika tlaka otežava otvaranje i zatvaranje prozora i vrata. Npr. razlika tlaka od 12 Pa djeluje silom od 18 N na vrata površine 1,5 m<sup>2</sup>.

Prema mjestu pripreme zraka sustav prisilne ventilacije možemo podijeliti na:

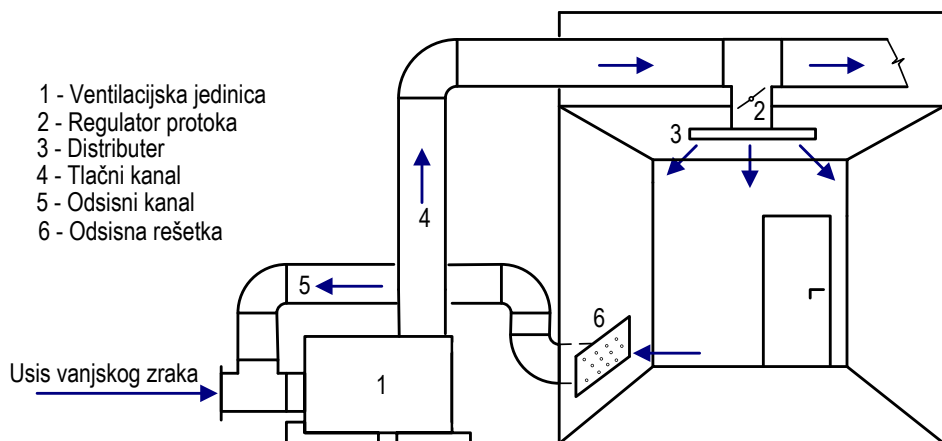
1. sustav centralne ventilacije gdje se priprema zraka vrši na jednoj centralnoj lokaciji, a zatim se zrak kanalskim razvodom distribuira u prostore

2. decentralizirani (lokalni) sustav ventilacije gdje se priprema zraka vrši za svaki prostor ili toplinsku zonu zasebno.

Sustav centralne ventilacije uključuje sljedeće osnovne komponente (slika 8.33):

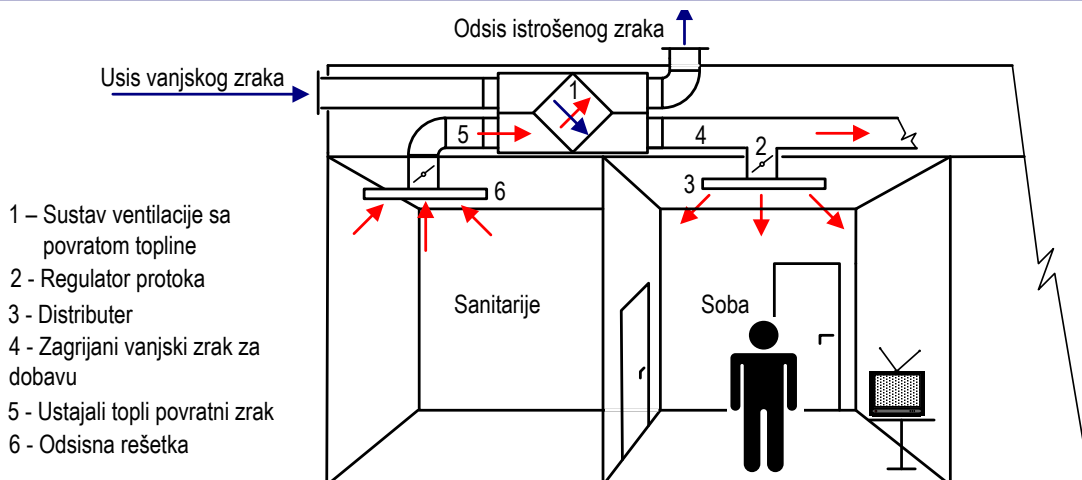
- ventilacijska jedinica
- kanalski razvod (tlačni i odsisni)
- distributeri i rešetke (tlačni i odsisni)
- vanjske rešetke (usisne i ispušne)
- regulacijski elementi.

Osnovna prednost centralnog sustava je u smještaju opreme izvan prostora za boravak, što omogućuje jednostavniji pristup i održavanje.



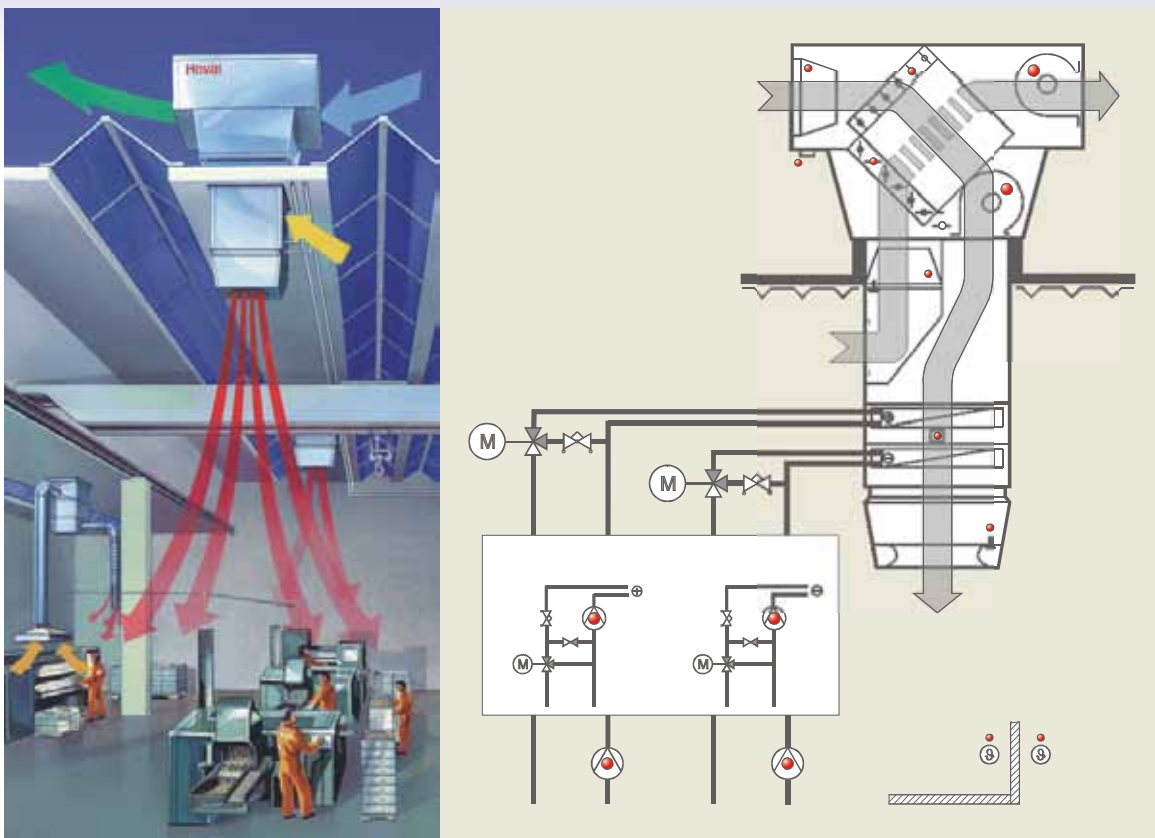
**Slika 8.33 - Osnovni elementi sustava centralne ventilacije – pojednostavljeni prikaz**

Kod centralnih ventilacijskih sustava za stambene prostore karakteristična je podjela prostora na tlačnu zonu (sobe) i odsisnu zonu (kuhinja i sanitarije), dok se kroz hodnike vrši prestrujavanje zraka između tih zona. Danas se takvi sustavi u pravilu opremaju sustavom povrata topline (slika 8.34) radi uštede energije i smanjenja pogonskih troškova.



**Slika 8.34 - Sustav centralne ventilacije za stambene prostore s povratom topline**

Decentralizirani ventilacijski sustav se izvodi zasebno za pojedini prostor ili dio prostora i moguće je njegovo korištenje neovisno o ostalim sustavima. Time je u slučaju eventualnog kvara prestankom rada ventilacije pogođen manji dio zgrade. Također, time se izbjegava dugi kanalski razvod koji može zauzimati znatan prostor unutar zgrade kod primjene centralnog sustava. Moderni lokalni ventilacijski sustavi često su opremljeni svim potrebnim elementima za grijanje, hlađenje zraka i povrat topline te u tom smislu ne zaostaju za centralnim sustavom.



Slika 8.35 - Decentralizirani sustav ventilacije hale - primjer [8.17]

Kod sustava prisilne ventilacije, ranije opisana energija vjeta i efekt uzgona također utječu na ukupni tlak u prostoru. Razlika tlaka na pojedinom otvoru prostora u odnosu na vanjski statički tlak u tom slučaju računa se prema:

$$\Delta p = \Delta p_{st} + \Delta p_w + \Delta p_l \text{ [Pa]} \quad (8.37)$$

$\Delta p$	-razlika tlaka prostora u odnosu na vanjski statički tlak [Pa]
$\Delta p_{st}$	-razlika tlaka uslijed efekta uzgona [Pa]
$\Delta p_w$	-razlika tlaka uslijed efekta vjeta [Pa]
$\Delta p_l$	-razlika tlaka koja nastaje zbog razlika u količinama zraka koji se dovodi i odvodi sustavom mehaničke ventilacije [Pa]

Positivan rezultat pomoću prethodnog izraza dobije se za dotok zraka u zgradu.

Volumenski protok zraka koji nastaje kao posljedica ukupne razlike tlaka između prostora i okoliša, računa se iz prethodno izračunatog ukupnog pretlaka ili potlaka u prostoriji prema (8.38). Jednadžba se može koristiti i za određivanje protoka zraka uslijed infiltracije.

$$\dot{V}_a = C_D A \sqrt{2\Delta p / \rho_a} \text{ [m}^3\text{/s]} \quad (8.38)$$

$\dot{V}_a$	-volumenski protok zraka [m <sup>3</sup> /s]
$C_D$	-koeficijent istjecanja za otvor [-]
$A$	-slobodna površina otvora [m <sup>2</sup> ]
$\Delta p$	-razlika tlaka prostora u odnosu na vanjski statički tlak [Pa]
$\rho_a$	-gustoća zraka [kg/m <sup>3</sup> ]

### 8.4.3. Ventilacijski zahtjevi

Pri dimenzioniranju ventilacijskog sustava najprije treba odrediti protok zraka koji se dovodi pojedinim prostorima zgrade. Protoci se mogu odrediti prema određenim preporukama i zahtjevima, a ovise o tome kakvo se stanje zraka u prostoriji želi postići te želi li se dobavnim zrakom samo održavati potrebnu kvalitetu zraka ili također treba pokriti određena toplinska opterećenja.

#### 8.4.3.1. Zahtjev prema broju osoba

Preporučena minimalna količina vanjskog dobavnog zraka za ventilaciju prema normi ASHRAE Standard 62 iznosi 8 L/s (oko 30 m<sup>3</sup>/h) po osobi u zatvorenom prostoru za nepušače. Naravno, dobava zraka po osobi potrebna za izdašnu ventilaciju prostora može se povećati što ovisi o namjeni prostora i aktivnosti osoba u prostoru. Preporuke se, ovisno o vrsti prostora i zgrada, mogu pronaći u literaturi, gdje neki autori preporučuju npr. do 100 m<sup>3</sup>/(h osobi), za urede u modernim visokim poslovnim višekatnicama. Za uobičajene stambene i poslovne prostore, dobava vanjskog zraka je u rasponu 30 do 60 m<sup>3</sup>/(h osobi), pri čemu više od 50 m<sup>3</sup>/(h osobi) zadovoljava ≥90% prisutnih.

Posebna pozornost treba se posvetiti ventilaciji prostora predviđenih za pušenje, gdje se dobavu vanjskog zraka mora povećati za najmanje +20 m<sup>3</sup>/(h osobi), a neki autori sugeriraju i dvostruko povećanje u odnosu na predviđeni protok za nepušače. Navedene preporučene količine vanjskog zraka dane su po osobi, pa se za  $N$  osoba koje borave u prostoru minimalni ukupni protok vanjskog zraka za prostor računa prema:

$$\dot{V}_o = N\dot{V}_{o,p} \text{ [m}^3\text{/h]} \quad (8.39)$$

$\dot{V}_o$	-minimalni protok vanjskog zraka [m <sup>3</sup> /h]
$N$	-broj osoba u prostoriji [-]
$\dot{V}_{o,p}$	-minimalni protok vanjskog zraka po osobi [m <sup>3</sup> /(h osobi)]

#### 8.4.3.2. Zahtjev prema koncentraciji zagađivača u zraku

Zagađivačima u prostoru smatramo različite nebiološke čestice (sintetička i staklena vlakna, produkte izgaranja, prašinu i dr.), bioaerosole te plinove i pare koji se stvaraju tijekom industrijskih procesa, od građevnih materijala, namještaja, opreme, osoba i njihovih aktivnosti unutar prostora ili su uneseni izvana. Navedene tvari utječu na zdravlje osoba koje borave u prostoru kroz osjećaj neugode, teškoće pri disanju, alergije, a ponekad predstavljaju i smrtnu opasnost.

Dobavni protok vanjskog zraka, potreban kako bi se održalo koncentraciju određenog zagađivača u zraku prostora unutar dopuštenih granica, može se izračunati iz:

$$\dot{V}_o = \frac{\dot{m}_{con}}{C_i - C_o} \text{ [m}^3\text{/h]} \quad (8.40)$$

$\dot{m}_{con}$	-ukupna emisija štetne tvari iz izvora zagađenja [μg/h]
$C_i$	-dopuštena unutarnja koncentracija u stacionarnom stanju [μg/m <sup>3</sup> ]
$C_o$	-koncentracija u vanjskom zraku [μg/m <sup>3</sup> ]

Dopuštena unutarnja koncentracija zagađivača  $C_i$  treba zadovoljavati vrijednosti propisane u tablicama za maksimalne dopuštene koncentracije (tzv. MDK tablice, Uredba o graničnim vrijednostima onečišćujućih tvari u zraku – NN 133/2005), npr. dopuštena koncentracija ugljičnog monoksida CO u zatvorenim parkirnim garažama iznosi 100 ppm za tridesetminutnu izloženost. Pri tom za industrijske i neindustrijske unutarnje prostore vrijede različiti standardi.



Koncentracija zagađivača se najčešće izražava u sljedećim jedinicama:

ppm -volumenski udio zagađivača u milijunu volumenskih dijelova zraka

$\mu\text{g}/\text{m}^3$  -mikrograma zagađivača po kubičnom metru zraka

pri čemu je pravilo za preračunavanje:  $1 \text{ ppm} = \frac{24,45}{M} 1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$

M -relativna molekularna masa zagađivača

### 8.4.3.3. Zahtjev prema broju izmjena zraka na sat

Broj izmjena zraka na sat (engl. *ACH - Air Changes per Hour*) predstavlja omjer volumenskog protoka vanjskog zraka koji uđe u prostor u jednom satu i (unutarnjeg) volumena prostora  $V$ . Prema tome, protok vanjskog zraka računa se iz:

$$\dot{V}_o = ACH \cdot V \text{ [m}^3/\text{h]} \quad (8.41)$$

$ACH$  -broj izmjena zraka na sat [ $\text{h}^{-1}$ ]

$V$  -volumen prostora [ $\text{m}^3$ ]

Potreban broj izmjena u jednom satu ovisi o volumenu, obliku i namjeni prostora, zatim o aktivnostima u prostoru i sl. te se u literaturi mogu pronaći preporučene vrijednosti za različite prostore. Za uobičajene stambene i poslovne prostore vrijednost  $ACH$  kreće se u rasponu od 4 do 8  $\text{h}^{-1}$ . Kriterij za proračun ventilacijskog zahtjeva prema broju izmjena koristi se kada izvori zagađenja nisu jasno određeni ili se koristi kao kontrola proračuna protoka vanjskog zraka drugim metodama.

**Tablica 8.6 - Preporučeni iskustveni broj izmjena zraka na sat za različite vrste prostora**

Namjena prostora	ACH [ $\text{h}^{-1}$ ]
Ured	3...6
Knjižnica	3...5
Restoran	6...8
Trgovina	4...8
Kazalište, kino dvorana	4...6
Sanitarije	3...6
Operacijska dvorana	15...20
Skladište	4...6
Garderoba	3...6
Zatvoreni bazen	3...6
Soba za sastanke	5...10
Diskoteka, noćni klub	6...8

Ako se u zgradu u kojoj postoji izvor zagađenja ne dovodi dovoljna količina vanjskog zraka za ventilaciju, nakon nekog vremena koncentracija zagađivača će porasti iznad dopuštene razine. Primjer su zatvorene parkirne garaže u kojima može doći do porasta koncentracije ugljičnog monoksida CO. Promjena koncentracije zagađivača u vremenu  $t$  može se izračunati iz izraza:

$$C_{i,t} = \frac{\dot{V}_{con,t}}{ACH \cdot V} (1 - e^{-ACH \cdot t}) + (C_{i,t=0} - C_{s,t}) e^{-ACH \cdot t} + C_{s,t} \quad [\text{m}^3/\text{m}^3] \quad (8.42)$$

$C_{i,t}$	-srednja koncentracija zagađivača u prostoru (uz idealno miješanje) [ $\text{m}^3/\text{m}^3$ ]
$\dot{V}_{con,t}$	-ukupna emisija zagađivača iz izvora zagađenja [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]
ACH	-broj izmjena zraka na sat [1/h]
V	-volumen prostora [ $\text{m}^3$ ]
t	-vrijeme [h]
$C_{i,t=0}$	-početna koncentracija zagađivača u prostoru [ $\text{m}^3/\text{m}^3$ ]
$C_{s,t}$	-koncentracija zagađivača u dobavnom zraku [ $\text{m}^3/\text{m}^3$ ]

#### 8.4.4. Ukupni protok zraka

Ako se zrakom za ventilaciju ne želi postići samo određena kvaliteta zraka u prostoru nego treba pokriti i toplinsko opterećenje, tada je zimi potrebno dovoditi zrak pripremljen na višu temperaturu od unutarnje (pokriavanje toplinskih gubitaka), odnosno ljeti dovoditi zrak pripremljen na nižu temperaturu od unutarnje (odvođenje toplinskog opterećenja). Razlika temperature zraka na ulazu u prostor i temperature unutar prostora, ne smije pri tome biti prevelika (posebno ljeti), jer to izravno utječe na toplinsku ugodnost i zdravlje osoba koje u prostoru borave. Preporučene razlike temperatura u komfornoj primjeni su:

- 3...8°C (iznimno 10°C) u sezoni hlađenja (temperatura ubacivanja niža od unutarnje),
- 10...20°C u sezoni grijanja (temperatura ubacivanja viša od unutarnje).

Volumenski protok zraka za ventilaciju, pri kojemu se održava zahtijevana unutarnja projektna temperatura, može se izračunati iz rezultata proračuna osjetnog toplinskog opterećenja kod hlađenja i grijanja što prema projektnom osjetnom toplinskom opterećenju kod hlađenja iznosi:

$$\dot{V}_{AC-H} = \frac{\Phi_{s,HL}}{\rho c_p \Delta\theta_{AC-H}} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (8.43)$$

a prema projektnim osjetnim toplinskim gubicima kod grijanja iznosi:

$$\dot{V}_{AC-G} = \frac{\Phi_{s,GR}}{\rho c_p \Delta\theta_{AC-G}} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (8.44)$$

$\dot{V}_{AC-H}$	-protok zraka koji se dovodi u prostor ljeti [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]
$\dot{V}_{AC-G}$	-protok zraka koji se dovodi u prostor zimi [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]
$\Phi_{s,HL}$	-osjetno toplinsko opterećenje ljeti [W]
$\Phi_{s,GR}$	-osjetni toplinski gubici zimi [W]
$\rho$	-gustoća zraka [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]
$c_p$	-specifični toplinski kapacitet zraka [ $\text{kJ}/(\text{kgK})$ ]
$\Delta\theta_{AC-H}$	-razlika između temperature dobavnog zraka ljeti i sobne temperature [°C]
$\Delta\theta_{AC-G}$	-razlika između temperature dobavnog zraka zimi i sobne temperature [°C]

$$\text{SEZONA HLAĐENJA: } \Delta\theta_{AC-H} = 3 - 8 \text{ (10)}^\circ\text{C}$$

$$\text{SEZONA GRIJANJA: } \Delta\theta_{AC-G} = 10 - 20^\circ\text{C}$$

Ako sustav ventilacije radi s konstantnim protokom zraka, proračun uz korištenje toplinskog opterećenja kod hlađenja obično kao rezultat daje veći protok zraka, jer je dopuštena razlika temperatura između dobavnog zraka i zraka u prostoriji znatno manja.

## 8.5. Klimatizacija

### 8.5.1. Uvod

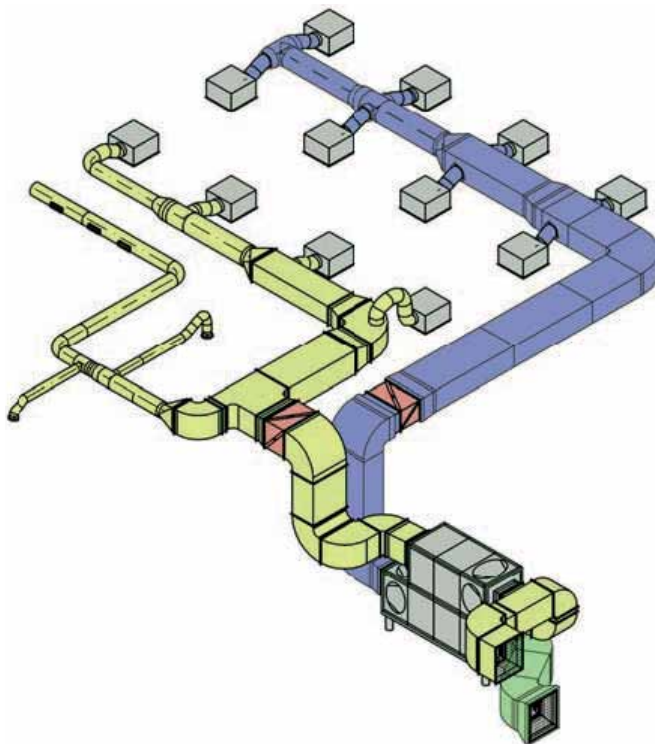
Postoji podjela sustava za pripremu zraka u normi DIN 1946, prema mogućnosti sustava da izvrši četiri osnovna termodinamička procesa pripreme vlažnog zraka:

- grijanje
- hlađenje
- ovlaživanje
- odvlaživanje (sušenje).

temeljem čega se sustavi dijele na:

1. Sustavi ventilacije (izvršavaju jedan od gore navedenih procesa)
2. Sustavi djelomične klimatizacije (izvršavaju dva ili tri od navedenih procesa)
3. Sustavi klimatizacije (izvršavaju sva četiri procesa cjelogodišnje).

Kako je već ranije napomenuto, sustavi bez dovođenja vanjskog zraka u zgradu, odnosno sustavi sa 100% recirkulacijom zraka *nisu* sustavi ventilacije *nit* sustavi klimatizacije! Kod centralnog sustava klimatizacije komponente potrebne za pripremu zraka nalaze se na jednom mjestu – unutar klimatizacijske jedinice. Sustav može biti izveden tako da priprema 100% vanjski zrak, ali se radi uštede energije često izvode sustavi s optočnim (recirkulacijskim) zrakom, tj. sustavi u kojima se miješaju vanjski zrak i zrak iz prostorije u odgovarajućem omjeru. Nakon miješanja, zrak prolazi kroz filter koji uklanja nečistoće i na taj način štiti opremu i podiže kvalitetu dobavnog zraka. Hladnjak i grijač pripremaju zrak u klimatizacijskoj jedinici na željeno stanje (temperaturu i/ili vlažnost) te se tako pripremljeni zrak razvodi kanalima do istrujnih otvora iz kojih se ubacuje po prostorijama (slika 8.36).

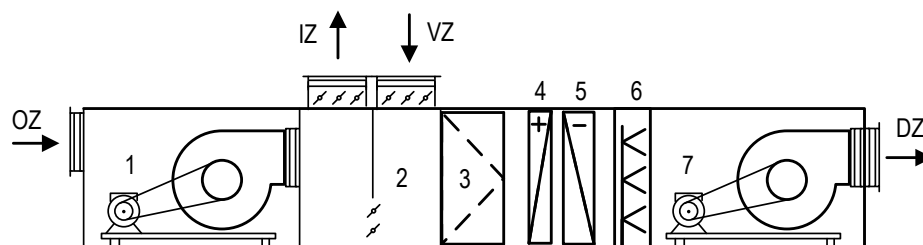


Slika 8.36 – Centralni zračni sustav klimatizacije

Centralne tlačne i odsisne klimatizacijske jedinice prikazane na slikama 8.37 i 8.38 predstavljaju dvije od niza mogućih konfiguracija.



Slika 8.37 - Centralna tlačna i odsisna klimatizacijska jedinica



VZ - VANJSKI ZRAK	1 – ODSISNI VENTILATOR	5 - HLADNJAK
IZ - ISTROŠENI ZRAK	2 - MJEŠALIŠTE	6 - OVLAŽIVAČ
DZ – DOBAVNI ZRAK	3 - FILTER	7 - TLAČNI VENTILATOR
OZ - ODSISNI ZRAK	4 - GRIJAČ	

Slika 8.38 - Centralna klimatizacijska jedinica u presjeku – shema

Prikazana jedinica u presjeku na slici 8.38 ima odsisni i tlačni ventilator, mješalište, vrećasti filter, grijač, hladnjak i ovlaživač. Time se omogućuje cjelogodišnje postizanje i održavanje temperature i relativne vlažnosti zraka, uz odgovarajuću dobavu vanjskog zraka za ventilaciju. Dobava vanjskog zraka može varirati promjenom omjera miješanja vanjskog i optoćnog zraka između ventilacijskog minimuma i nazivnog protoka. Kod sustava s mješalištem, količina vanjskog zraka regulira se ovisno o vanjskim uvjetima tako da upravljačka jedinica prema kriteriju temperature ili entalpije (temperatura i vlažnost u jednoj veličini) vanjskog zraka, otvara ili pritvara zaklopke pomoću elektromotornih pogona. U praktičnoj primjeni to znači da će pri vanjskim uvjetima koji su blizu stanja dobavnog zraka, zaklopka za vanjski zrak biti više otvorena pa će udio vanjskog zraka u odnosu na optoćni zrak biti velik. Pri nepovoljnim vanjskim uvjetima (vrlo hladno ili vrlo toplo) slučaj je obrnut i količina vanjskog zraka se smanjuje na minimum prema ventilacijskom zahtjevu (ne manje), a ostatak čini optoćni zrak. Ovakvim se načinom upravljanja, pri povoljnim vanjskim uvjetima, može postići tzv. „besplatno“ hlađenje (engl. *free cooling*) uz dobavu do 100% vanjskog zraka u prostor.

Prednost centralnog sustava klimatizacije je u mogućnosti precizne regulacije temperature i relativne vlažnosti zraka tijekom cijele godine. Međutim, oprema centralnog sustava obično se smješta izvan klimatiziranog prostora (u podrumu, potkrovlju, pomoćnim prostorijama u zgradi, na krovu ili pored zgrade), što znači da je potrebno osigurati prostor za centralnu jedinicu s pripadajućom pratećom opremom i za potencijalno velik sustav distribucije zraka (kanalski razvod). S druge strane, prednost decentraliziranog sustava je u njegovoj prilagodljivosti (promjenjivim) energetskim potrebama zgrade.

Tablica 8.7 – Usporedba između centralnog i decentraliziranog sustava klimatizacije

CENTRALNI SUSTAV	DECENTRALIZIRANI SUSTAV
Energetski učinkovit za zone sa sličnim potrebama za grijanjem odnosno hlađenjem.	Učinkovita priprema zraka za zone s različitim potrebama (npr. dio zona zahtjeva grijanje, a drugi dio hlađenje)
Teško postiže istu razinu ugodnosti u svim zonama istovremeno.	Sadrži zonske osjetnike, što omogućava regulaciju stanja zraka svake zone zasebno i neovisno o drugim zonama.
Manji broj jedinica za održavanje, pri čemu održavanje i popravak uglavnom nisu u zoni boravka.	Velik broj jedinica za održavanje, pri čemu se održavanje i popravak često odvijaju u zoni boravka.
U slučaju kvara ili za vrijeme održavanja sustava veći dio zgrade ostaje bez grijanja odnosno hlađenja.	U slučaju kvara ili za vrijeme održavanja sustava manji dio zgrade ostaje bez grijanja odnosno hlađenja.
Teško je povećati kapacitet postojećeg sustava.	Proširenje sustava je moguće ugradnjom dodatnih modula.
Dugi distribucijski kanali za zrak.	Kratki distribucijski kanali za zrak.
Buka od opreme se može lako izolirati ugradnjom prigušivača buke.	Buka od opreme se uglavnom čuje u prostoru u kojem se boravi.

## 8.5.2. Vrste sustava

Podjela sustava klimatizacije prema nositelju toplinskog učinka:

- Zračni sustavi
- Zračno – vodeni sustavi
- Vodeni sustavi
- Neposredni rashladni sustavi.

### 8.5.2.2. Zračni sustavi

Kod zračnih sustava nositelj toplinskog učinka je zrak, što znači da se toplinski gubici prostora tijekom sezone grijanja pokrivaju zrakom koji se dovodi u prostor s temperaturom višom od temperature prostorije. Ljeti je proces obrnut, odnosno toplinsko opterećenje nastalo od okoliša i unutarnjih izvora odvodi se zrakom niže temperature od temperature prostorije. Ovisno o ugrađenim komponentama i njihovom smještaju, zračni sustav ima mnogo različitih izvedbi.

Zračni sustavi mogu biti izvedeni kao:

- niskobrzinski ili niskotlačni
- visokobrzinski ili visokotlačni.

Zračni sustavi nisu energetska nezavisni i često osim priključka električnog napajanja trebaju i priključke za ogrjevni i rashladni medij (najčešće voda).

Tablica 8.8 - Osnovne značajke niskobrzinskog i visokobrzinskog sustava klimatizacije

	Niskobrzinski (niskotlačni)	Visokobrzinski (visokotlačni)
<b>Brzina strujanja zraka u kanalima</b>	2 - 8 (10) m/s	10 - 30 m/s
<b>Pad tlaka u kanalima (eksterni)</b>	500 – 1500 Pa	1500 – 3500 Pa
<b>Oblik kanala</b>	Najčešće pravokutnog presjeka; omjer stranica od 1:2 do 1:4,5	Najčešće okruglog presjeka
<b>Primjena</b>	Komforna klimatizacija (stambene zgrade, hoteli, kazališta, muzeji, koncertne dvorane i dr.)	Poslovne/uredske zgrade, zgrade s ograničenim prostorom za smještaj kanalskog razvoda

## Prednosti zračnih sustava:

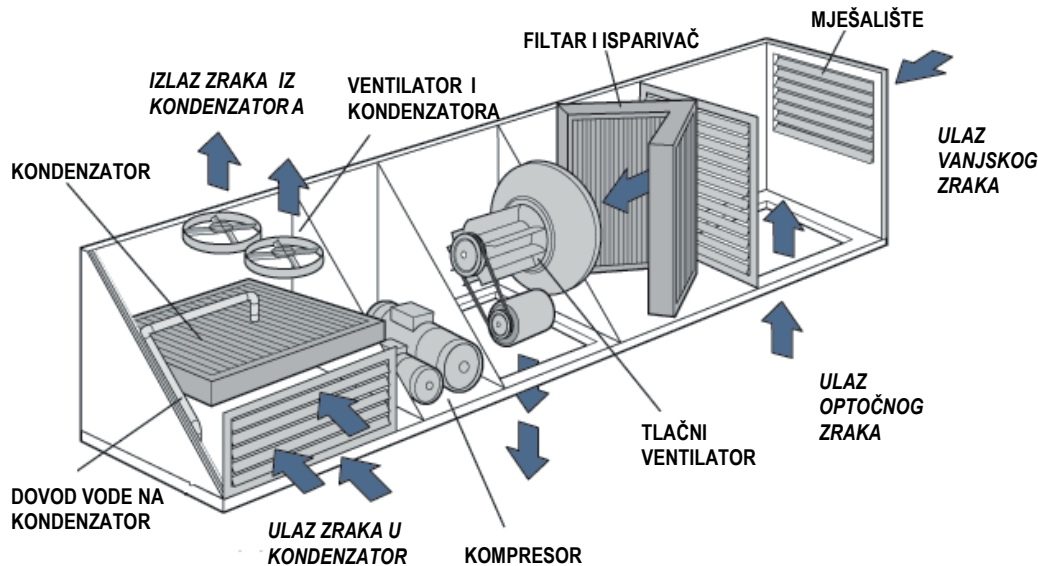
- Smještaj većine opreme u klima strojarnici omogućuje pogon i održavanje izvan prostora u kojima se boravi. Dodatno, to pruža slobodu pri izboru opreme za filtriranje, prigušenje vibracija i buke, te mogućnost izbora visokokvalitetne i trajne opreme
- Cijevi, kanali, električna oprema, ožičenje, filtri i oprema koja stvara vibracije i buku, smješteni su većinom izvan klimatiziranog prostora, što smanjuje potrebu održavanja u prostoru i smanjuje mogućnost povreda korisnika, oštećenja namještaja i ometanja poslovnih procesa
- Najveće mogućnosti korištenja vanjskog zraka za "besplatno" hlađenje s mješaljštem umjesto hlađenja rashladnim uređajem
- Automatska regulacija brzo i jednostavno vrši promjenu pogonskog režima ovisno o uvjetima vanjskog okoliša
- Velik izbor sustava regulacije po zonama, fleksibilnost i regulacija relativne vlažnosti pri svim pogonskim uvjetima, s mogućnošću istovremenog grijanja i hlađenja, čak i izvan sezone
- Jednostavno se ugrađuju sustavi povrata topline zrak-zrak i drugi
- Omogućuje se fleksibilnost pri projektiranju optimalne razdiobe zraka i regulacija puhanja te prilagodljivost različitim lokalnim uvjetima
- Mogu se primijeniti i kada su potrebne nestandardne količine dobavnog ili vanjskog zraka (prostori u potlaku ili pretlaku i sl.)
- Dobro se prilagođavaju ovlaživanju zimi
- Povećanjem broja izmjena zraka i korištenjem kvalitetne regulacije, moguće je održavati najpreciznije uvjete: do  $\pm 0,15$  K na suhom termometru i  $\pm 0,5\%$  relativne vlažnosti. Danas pojedini sustavi mogu održavati praktički konstantne uvjete u prostoru.

## Nedostaci zračnih sustava:

- Prema preporukama u literaturi, upotreba zračnih sustava isplativa je do toplinskog opterećenja  $50 \text{ W/m}^2$ . Potreban je velik prostor za kanalski razvod, što smanjuje korisnu površinu zgrade i povećava visinu zgrade.
- Ovisno o razmještaju, na većim površinama treba osigurati dovoljno prostora za okomite kanale potrebne za distribuciju zraka po visini zgrade
- Osiguravanje pristupa krajnjim elementima sustava (ventilokonvektorima, distributerima) u kondicioniranom prostoru zahtijeva blisku suradnju između arhitekta, strojara i građevinara
- Uravnoteženje (balansiranje) protoka zraka, pogotovo kod velikih sustava, može biti složeno i dugotrajno
- Grijanje rubnih zona nije uvijek dostupno u izvedbi privremenog grijanja tijekom izgradnje zgrade.

### Sustav s paketnom jedinicom

Paketne jedinice (slika 8.39) izvode se kao jedan tvornički sklop koji u sebi sadrži sve potrebne komponente za pripremu zraka, što obično uključuje rashladni uređaj (isparivač ili hladnjak i kombinaciju kompresora i kondenzatora), a mogu se koristiti za grijanje, hlađenje i ventilaciju. Rashladni uređaj u paketnoj jedinici često se isporučuje u izvedbi dizalice topline. Korištenje krovnih jedinica ograničeno je na građevine s pet do šest katova, jer prostor za kanale i potrebna snaga ventilatora u višim zgradama, nadmašuju karakteristike ugrađenih tipskih komponenata.

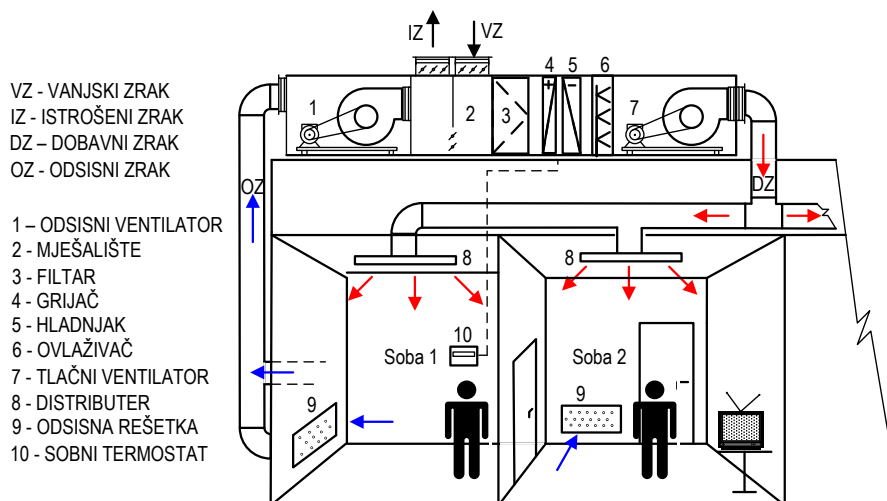


Slika 8.39 - Krovna paketna klimatizacijska jedinica [8.17]

### Jednokanalni sustav s konstantnim volumenom

Kod sustava s konstantnim volumenom (engl. *constant air volume - CAV*) regulacija učinka vrši se promjenom temperature dobavnog zraka pri čemu njegov volumenski protok kroz sustav ostaje nepromijenjen.

Kod jednozonske izvedbe CAV sustava (slika 8.40) tlačnim kanalskim razvodom dobavlja se zrak jednakog stanja (temperature i relativne vlažnosti) u sve priključene krajnje elemente sustava (distributere). U jednoj prostoriji nalazi se sobni regulator s termostatom preko kojega se upravlja radom sustava i na taj način održavaju zadani parametri u svim klimatiziranim prostorima.

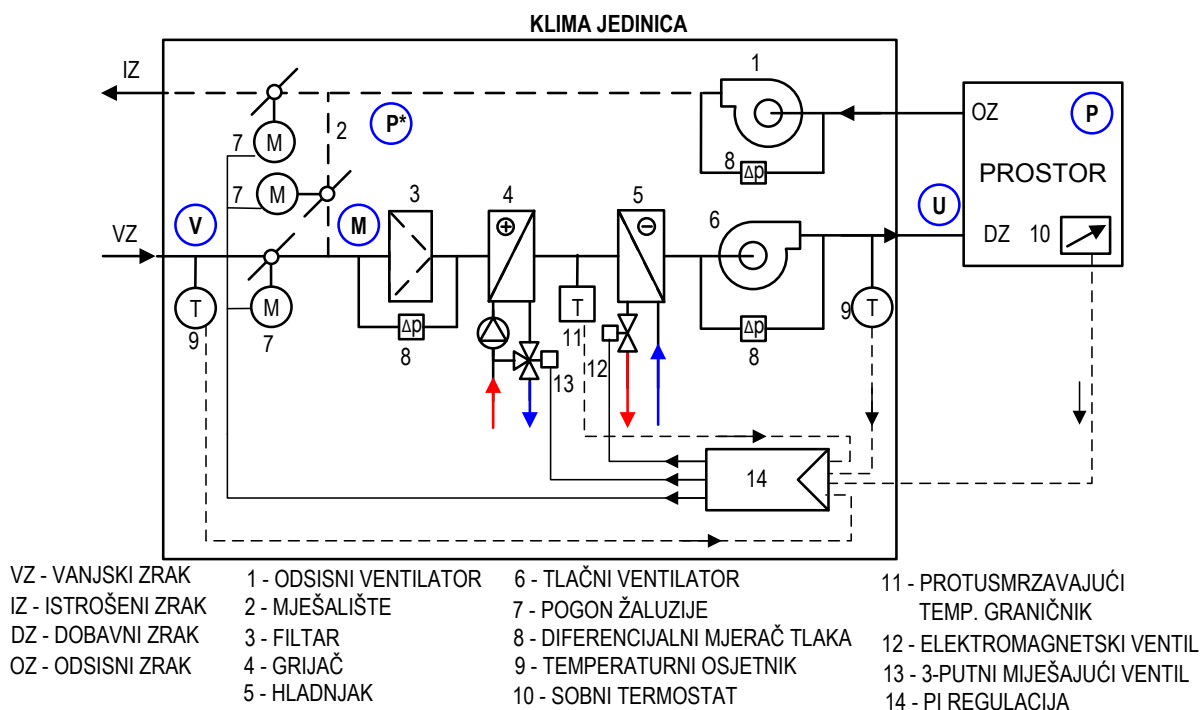


Slika 8.40 - Jednozonski sustav s konstantnim volumenom - pojednostavljena shema

Sustav nije pogodan za korištenje u zgradama gdje postoje velike razlike u zahtjevima za grijanjem ili hlađenjem između različitih prostorija. Kako se priprema zraka regulira s obzirom na stanje u prostoriji u kojoj se nalazi termostat, moguće je da se u prostorijama s bitno drugačijim zahtjevima od referentne prostorije, ne postigne željeno stanje zraka.

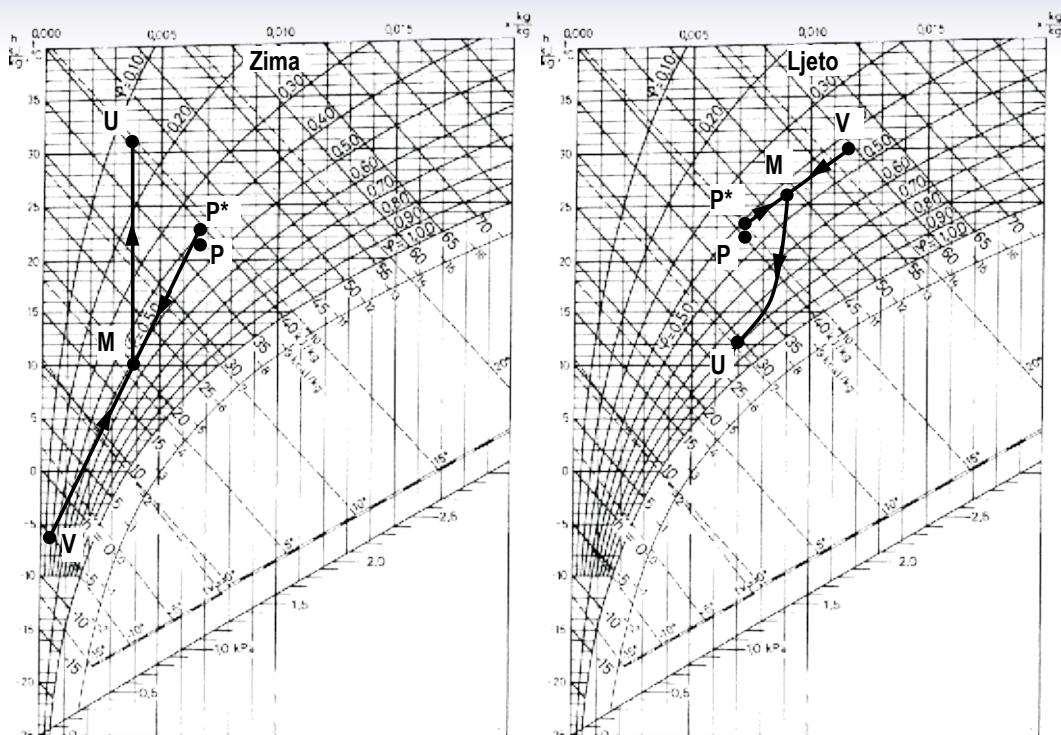
Na slici 8.41 prikazana je funkcionalna shema jednozonskog CAV sustava za grijanje i hlađenje zraka s mješalištem. Sustav koristi priključak na toplu vodu (npr. 80/60°C) za grijanje i na hladnu vodu (npr. 6/12°C) za hlađenje. Osnovni regulacijski element sustava je regulator (14), pomoću kojega se regulira temperatura dobavnog zraka. Ta temperatura mjeri se preko osjetnika (10) i u slučaju odstupanja od postavljene vrijednosti, regulator (14) pomiče zaklopke vanjskog, istrošenog i optoćnog zraka (7) i mijenja otvorenost ventila (12) i (13). Primjerice, ako je izmjerena temperatura niža od postavljene vrijednosti u sezoni grijanja, položaj zaklopki pomiče se prema minimumu protoka vanjskog zraka. Ako se vrijednost temperature i dalje snižava, otvara se ventil (13) za grijanje. Ako temperatura raste, postupak je obrnut. Analogno navedenom, ako je izmjerena temperatura viša od postavljene vrijednosti u sezoni hlađenja, položaj zaklopki pomiče se prema minimumu protoka vanjskog zraka. Ako se vrijednost temperature i dalje povećava, otvara se ventil (12) za hlađenje. Zaštita od smrzavanja vrši se preko zaštitnog termostata (11), kojim se mjeri temperatura zraka iza grijača. Ako je vrijednost temperature niža od postavljene (npr. 5°C), uključuje se sekundarna cirkulacijska pumpa grijača, potpuno se otvara ventil (13), zatvaraju se zaklopke vanjskog i istrošenog zraka i na poslijetku se isključuju ventilatori kako bi se spriječilo smrzavanje vode u grijaču. Upravljanje promjenom postavljene vrijednosti temperature vrši se preko sobnog upravljača (10). Kompenzacija postavljene vrijednosti (10) stalno se vrši preko vanjske temperature mjerene na usisu vanjskog zraka osjetnikom (9).

Proces pripreme zraka u h,x dijagramu za karakteristične pogonske uvjete u zimskom i ljetnom razdoblju, prikazan je na slici 8.42. Prikazani sustav sa slike 8.41 u zimskom razdoblju (slika 8.42 - dijagram lijevo) ima mogućnost miješanja vanjskog i optoćnog zraka te zatim grijanja na stanje ubacivanja U, dok se u ljetnom razdoblju (slika 8.42 - dijagram desno) nakon miješanja vrši hlađenje i odvlaživanje do stanja ubacivanja U. Za razliku od centralnog jednozonskog sustava, gdje se svakoj prostoriji dobavlja zrak istog termodinamičkog stanja (parametri postignuti na izlazu iz klimatizacijske jedinice), kod višezonskog se sustava temperatura zone može regulirati preko krajnjih elemenata (npr. zonskih dogrijača, slika 8.43).

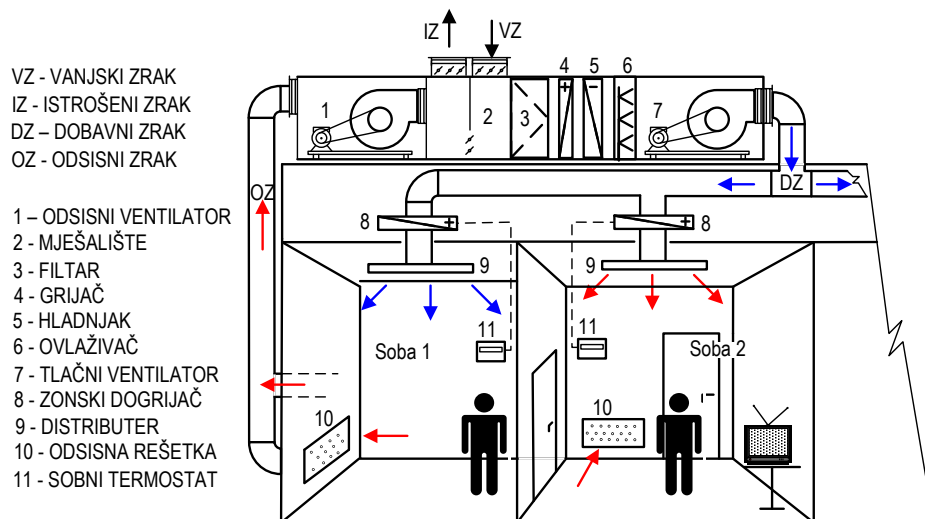


**Slika 8.41 – Funkcionalna shema spajanja i regulacije jednozonskog sustava djelomične klimatizacije s konstantnim volumenom**



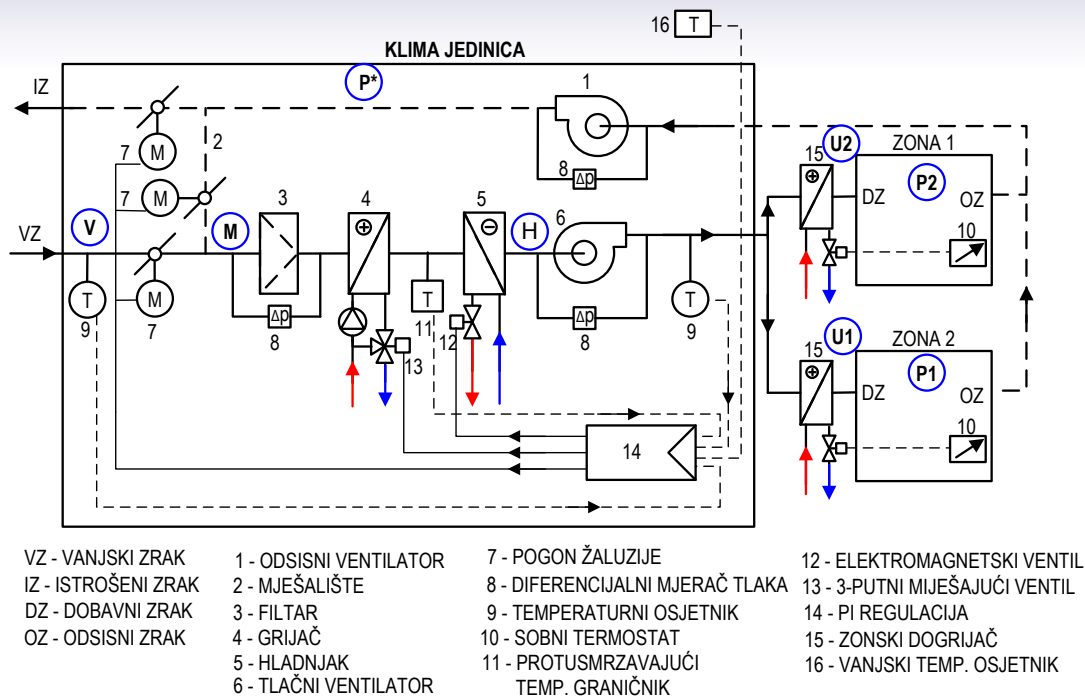


Slika 8.42 - h,x dijagram - prikaz procesa pripreme zraka za sustav sa slike 8.41



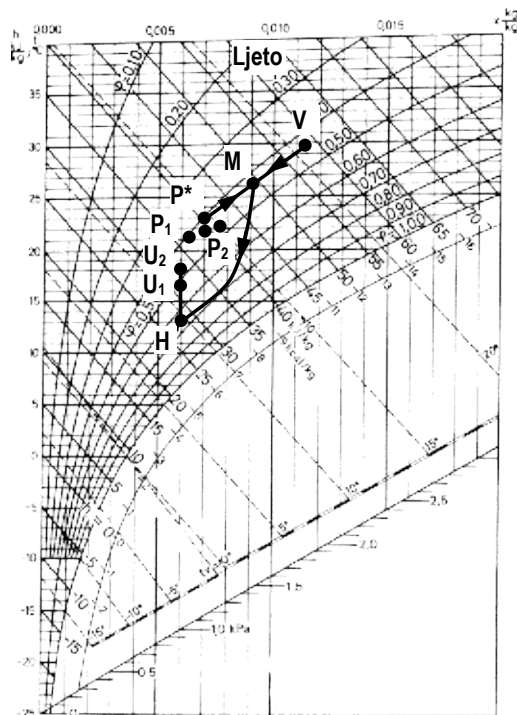
Slika 8.43 - Višezonski sustav sa zonskim dogrijačima – pojednostavljena shema

U klimatizacijskoj jedinici priprema se zrak na stanje koje zadovoljava potrebe zone s npr. najnižom temperaturom, zatim se zrak razvodi prema različitim zonama te se na kraju dogrijači smješteni u kanale pojedine zone, koriste za regulaciju temperature zonskim termostatom (10) (slika 8.44). Kako višezonski sustav obično u centralnoj pripremi snižava temperaturu zraka prema potrebi najhladnije zone te ga zatim dogrijava za ostale zone, ovakav način pripreme zraka sve se rjeđe koristi, jer ne predstavlja racionalno gospodarenje energijom.



**Slika 8.44 – Funkcionalna shema spajanja i regulacije višezonskog sustava klimatizacije sa zonskim dogrijačima**

Proces pripreme zraka u h,x dijagramu za sustav sa zonskim dogrijačima sa slike 8.44 u karakterističnim pogonskim uvjetima za ljetno razdoblje, prikazan je na slici 8.45. Na primjeru dviju zona/prostorija vidi se kako dogrijači zraka na ulazu u pojedinu zonu mogu postići različite temperature ubacivanja (stanja  $U_1$  i  $U_2$ ) te tako održavati različita stanja zraka  $P_1$  i  $P_2$  u prostorima.

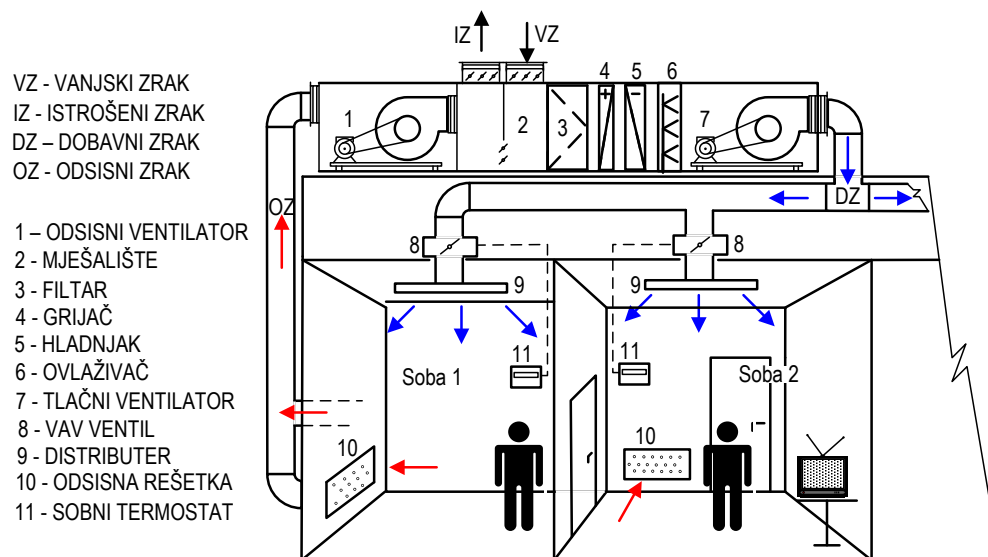


**Slika 8.45 - h,x dijagram - prikaz procesa pripreme zraka za sustav sa slike 8.44**

### Jednokanalni sustav s promjenjivim volumenom

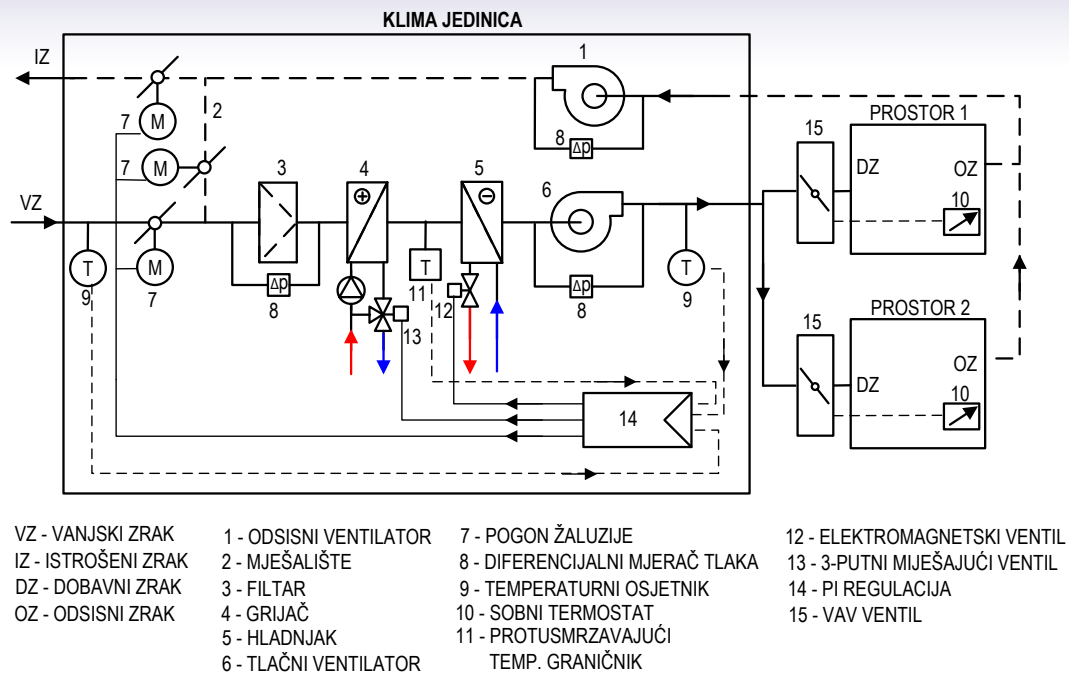
Za razliku od sustava s konstantnim volumenom, u sustavima s promjenjivim volumenom zraka (engl. *variable air volume - VAV*), regulacija temperature prostorije vrši se promjenom volumenskog protoka dobavnog zraka, pri čemu njegova temperatura ostaje približno konstantna (slika 8.46). Temperatura dobavnog zraka može se mijenjati ovisno o sezoni (grijanje/hlađenje), no uvijek mora biti dovoljno niska kako bi pokrila toplinska opterećenja najnepovoljnije zone i održala odgovarajuću relativnu vlažnost. U jednokanalnoj izvedbi sustav se obično koristi za hlađenje prostora u unutrašnjosti zgrade tijekom cijele godine. Pri tome kroz kanalski razvod struji hladni zrak konstantne temperature (12-16°C), dok su primjeri primjene VAV sustava samo s toplim zrakom rijetki. Protok dobavnog zraka mijenja se pomoću krajnjih elemenata s promjenjivim protokom zraka, tzv. VAV ventila (8) koji se postavljaju u dovodnim kanalima svake od kondicioniranih prostorija. Regulacija se vrši propuštanjem više ili manje zraka kroz VAV ventil u kondicionirani prostor (između maksimuma - 100% otvorenosti i minimuma - obično 25-30% otvorenosti), ovisno o trenutačnoj potrebi za hlađenjem. Ako kod minimalne otvorenosti ventila dolazi do daljnjeg smanjenja temperature u prostoru, uz VAV ventil se ugrađuje dogrijač.

Najveći potencijal uštede energije korištenjem ovih sustava, ostvaruje se u rubnim zonama, gdje promjene toplinskog opterećenja od sunca i vanjske temperature dopuštaju povremeno smanjenje protoka zraka.



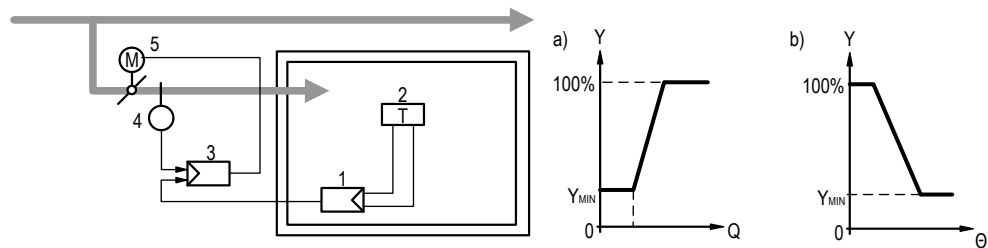
Slika 8.46 - Sustav s promjenjivim volumenom – pojednostavljena shema

Kod ovoga tipa sustava moguć je problem s ubacivanjem nedovoljne količine vanjskog zraka (povećanje koncentracije CO<sub>2</sub> u prostoru) kada je toplinsko opterećenje malo i problem regulacije relativne vlažnosti, čemu posebnu pažnju treba posvetiti u prostorima gdje je udio osjetne topline (omjer osjetne topline te zbroja osjetne i latentne topline koja se treba odvesti) relativno mali, poput konferencijskih dvorana.



**Slika 8.47 – Funkcionalna shema spajanja i regulacije jednokanalnog sustava klimatizacije s promjenjivim volumenom**

Kutija ili ventil promjenjivog volumena (engl. *VAV box/valve*) element je sustava u kojemu se mijenja volumenski protok dobavne struje zraka promjenom otvorenosti jednokrillne leptiraste zaklopke (slika 8.48). Minimalni protok dobavnog zraka je obično oko 30% nazivne vrijednosti, jer se inače ne bi zadovoljili zahtjevi za minimalnim protokom vanjskog zraka. Upravljanje otvaranjem/zatvaranjem zaklopke vrši se pneumatski ili direktnim digitalnim upravljanjem (engl. *Direct Digital Control - DDC*). Povišenjem postavljene vrijednosti temperature ili isključivanjem hlađenja na sobnom termostatu (2), glavnim temperaturnim regulatorom (1) izdaje se nalog regulatorom protoka (3) za zatvaranje zaklopke pogonom (5). Osjetnik brzine (4) je kontrolna veličina (slika 8.48 – djelovanje a). Nasuprot tome, sniženjem temperature na termostatu (2) ili povećanjem toplinskog opterećenja izdaje se nalog za povećanje protoka otvaranjem zaklopke (slika 8.48 – djelovanje b).

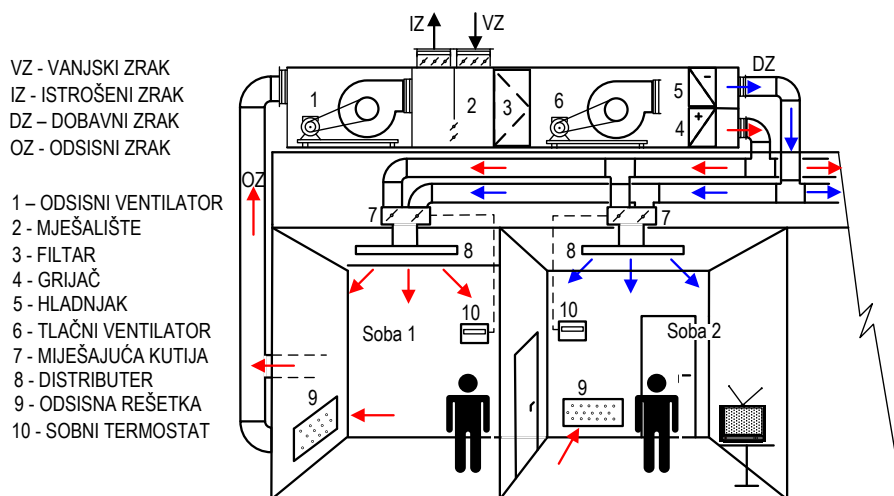


- 1 - Regulator temperature
- 2 - Sobni termostat
- 3 - Regulator protoka
- 4 - Osjetnik brzine
- 5 - Pogon zaklopke

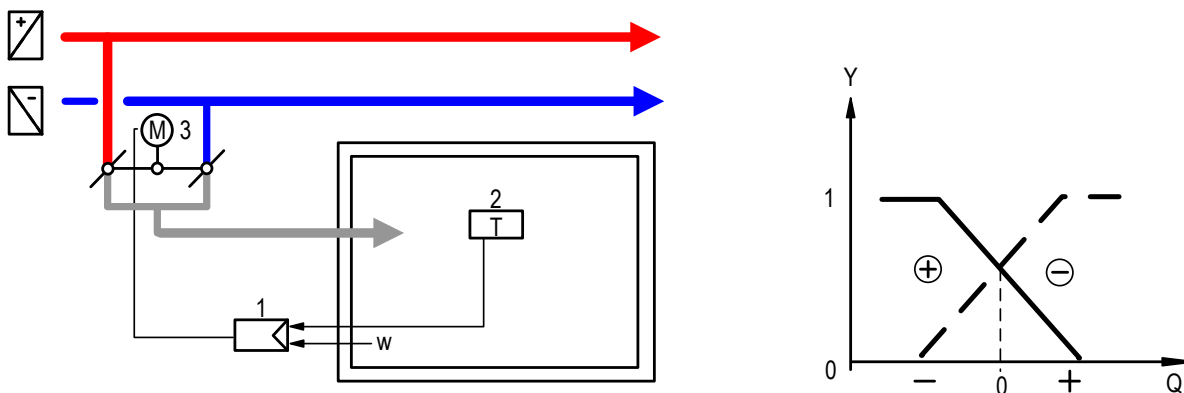
**Slika 8.48 - Ventil promjenjivog volumena zraka – princip djelovanja**  
**a) djelovanje regulatora protoka**  
**b) djelovanje regulatora temperature**

### Dvokanalni sustav s konstantnim volumenom

Ovaj tip sustava obično se koristi kada u zgradi postoji veći broj zona ili prostorija s različitim toplinskim opterećenjima. Kod dvokanalnog sustava kroz svaku zonu prolaze odvojeni tlačni kanali za topli ( $\leq 45^\circ\text{C}$ ) i hladni ( $12\text{--}16^\circ\text{C}$ ) zrak. Regulacija temperature vrši se miješanjem struja toplog i hladnog zraka u miješajućoj kutiji, postavljenoj na ulazu u prostoriju, a ukupna količina zraka nakon miješanja koja se dovodi u prostoriju, je konstantna. Omjer miješanja struja mora biti takav da omogući pokrivanje toplinskih gubitaka i toplinskog opterećenja pojedine zone (prostorije). Dimenzioniranje "hladnog" kanala vrši se na 100% nazivnog protoka zraka u sustavu, dok se "topli" kanal dimenzionira na oko 70% protoka, a nakon miješanja ukupni protok iznosi 100% nazivnog protoka. Promjenom postavljene vrijednosti temperature na sobnom termostatu (2) (slika 8.50) ili promjenom toplinskog opterećenja, preko temperaturnog regulatora (1), vrši se promjena omjera miješanja struja iz toplog i hladnog kanala, pomicanjem zaklopki u miješajućoj kutiji pogonom (3). Mogućnost regulacije relativne vlažnosti kod ovih sustava je ograničena. Danas se dvokanalni sustavi s konstantnim volumenom, zbog visoke potrebne energije za pripremu zraka (30 – 60% više od VAV sustava) i povećanog prostora za smještaj kanalskog razvoda, rijetko primjenjuju. Kod ovog tipa sustava velik je potencijal za uštedu energije.



Slika 8.49 - Dvokanalni sustav s konstantnim volumenom – pojednostavljena shema

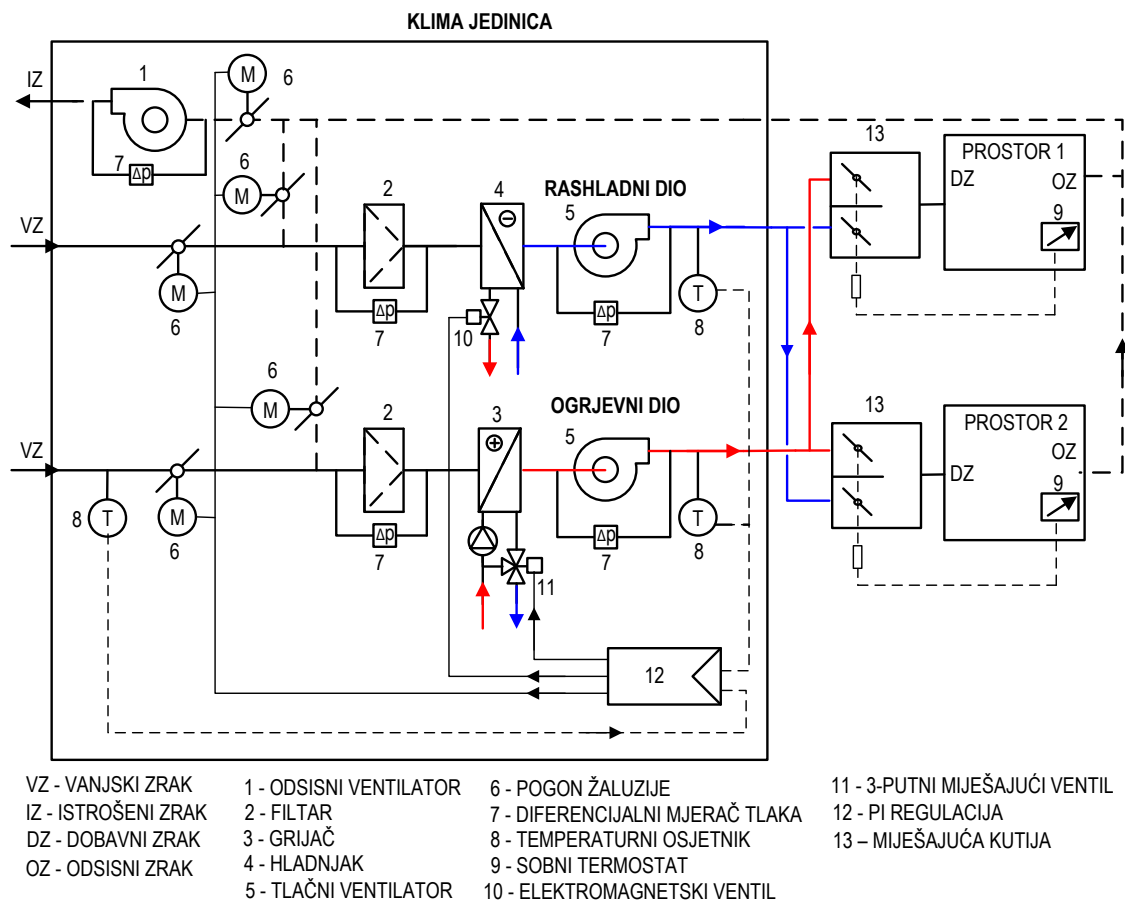


Slika 8.50 – Miješajuća kutija konstantnog volumena – princip djelovanja

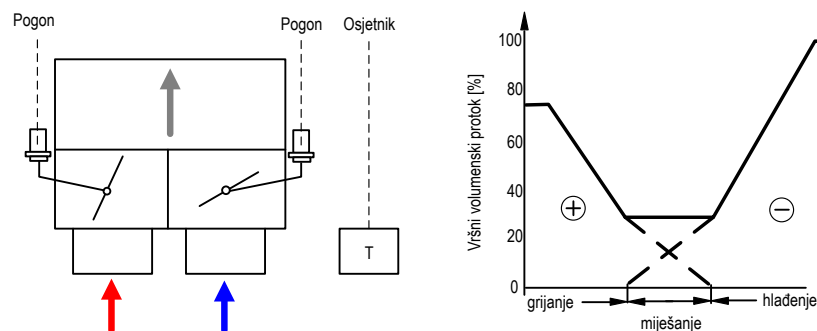
### Dvokanalni sustav s promjenjivim volumenom

Kod ovog tipa sustava, u usporedbi s CAV sustavom, korišteni sastavni elementi su slični, uz različitu karakteristiku protoka kroz miješajuću kutiju (slika 8.52). U sezoni hlađenja sustav radi s promjenjivim protokom zraka, što omogućuje odgovarajuće energetske uštede. Pri određenim pogonskim uvjetima moguća je pojava toplinskih gubitaka sustava slično CAV sustavu sa zonskim dogrijačima, pogotovo ako se koriste VAV ventili s ugrađenim dogrijačem. Ti gubici su znatno manjeg iznosa nego kod CAV sustava, zbog mogućnosti smanjenja protoka zraka u situaciji pri kojoj se gubici pojavljuju.

U izvedbi sustava kao na slici 8.51 miješajuća VAV kutija sastoji se od jednokanalnog rashladnog i jednokanalnog ogrjevnog VAV ventila u zajedničkom kućištu, gdje se u svakom dijelu zasebno regulira volumenski protok zraka koji kroz nju prolazi i na taj način održava željenu temperaturu zraka u prostoru. Pri tome se na kanal s hladnim zrakom može priključiti jednokanalne VAV kutije za one prostore, primjerice u unutrašnjosti zgrade, koji trebaju samo hlađenje.

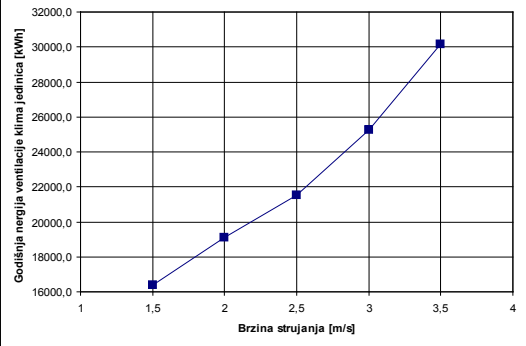
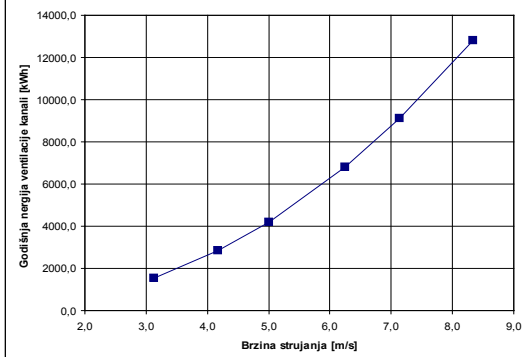


**Slika 8.51 - Funkcionalna shema spajanja i regulacije dvokanalnog sustava s promjenjivim volumenom**



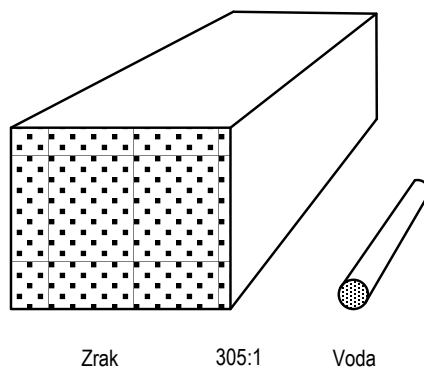
**Slika 8.52 - Dvokanalna miješajuća kutija promjenjivog volumena – princip djelovanja**

## Primjer 1 – Zračni sustav klimatizacije – utjecaj brzine strujanja na pad tlaka i troškove energije

Naziv	Utjecaj brzine strujanja zraka na pad tlaka i troškove energije	
Opis	Uredska zgrada 2000 m <sup>2</sup> . Ugradnja zračnog sustava klimatizacije. <u>Ulazni podaci:</u> Volumenski protok zraka za ventilaciju $V = 18000 \text{ m}^3/\text{h}$ ; Duljina kritične dionice $L = 100 \text{ m}$ ; Koeficijenti lokalnih otpora tlačnog kanalskog razvoda $\Sigma\zeta = 5,0$ ; Koeficijenti lokalnih otpora tlačnog kanalskog razvoda $\Sigma\zeta = 3,0$ ; Broj sati pogona godišnje $t_{op} = 3640 \text{ h/god}$	
Rezultati	<b>Promjena brzine strujanja u zračnom sustavu klimatizacije</b>	
	U slikama ispod krivo je napisana „nergija“ – treba biti „energija“	
	Ukupna električna energija godišnje – kanalski razvod	
	Ukupna električna energija godišnje – klimatizacijska jedinica	
	Omjer troškova godišnje – kanalski razvod*	1100,00 kn (brzina zraka 3,1 m/s – proračunski minimum); 9100,00 kn (brzina strujanja 8,3 m/s – proračunski maksimum); 8,3 puta iznosi povećanje troškova između proračunskog minimuma i maksimuma brzine.
Omjer troškova godišnje – klimatizacijska jedinica*	11600,00 kn (brzina zraka 1,5 m/s – proračunski minimum); 21400,00 kn (brzina strujanja 3,5 m/s – proračunski maksimum); 1,8 puta iznosi povećanje troškova između proračunskog minimuma i maksimuma brzine.	
Promjena dimenzija sustava	Dimenzija kanalskog razvoda za proračunski minimum 3,1 m/s: poprečni presjek 1600 mm x 1000 mm; Dimenzija kanalskog razvoda za proračunski maksimum 8,3 m/s: poprečni presjek 1000 mm x 600 mm  Dimenzija klimatizacijske jedinice za proračunski minimum 1,5 m/s: poprečni presjek 2590 mm x 1220 mm (KU-11 PROKLIMA Zagreb); Dimenzija klimatizacijske jedinice za proračunski maksimum 3,5 m/s: poprečni presjek 1170 mm x 1220 mm (KU-7 PROKLIMA Zagreb)	
* proračun s cijenama energenata na dan 15.01.2010.		

### 8.5.2.2. Zračno - vodeni sustavi

Kod zračno-vodenih sustava, u centralnoj klimatizacijskoj jedinici najčešće se priprema samo primarni vanjski zrak (obično bez miješanja s optočnim), koji se razvodi po prostorima prvenstveno za potrebe ventilacije, s tim da pri tome kanalski razvod može biti izveden kao niskotlačni ili visokotlačni. S druge strane, pokrivanje toplinskih gubitaka i toplinskih opterećenja zgrade, vrši se korištenjem vode kao ogrjevnog, odnosno rashladnog medija preko sekundarnog vodenog sustava koji ima kompaktnije dimenzije od zračnog. Na taj način mogu se značajno smanjiti dimenzije zračnih kanala, jer zrak više ne preuzima grijanje i hlađenje zgrade, čime se smanjuje njegov volumenski protok kroz zgradu. Za standardne parametre strujanja u režimu hlađenja, razlika u površini poprečnog presjeka je preko 300 puta (slika 8.53). Najčešće korišteni krajnji elementi su ventilokonvektori (pogodni za upotrebu uz niskotlačni razvod primarnog zraka) i indukcijski uređaji (pogodni za upotrebu uz visokotlačni razvod primarnog zraka). Ventilokonvektori i indukcijski uređaji spajaju se na dvocijevni ili četverocijevni razvod. Uređaji se opremaju s jednim ili dva izmjenjivača topline.



**Slika 8.53 – Usporedba dimenzija poprečnog presjeka kanala i cijevi za isti toplinski učinak**

Prednosti zračno – vodenih sustava:

- Omogućena pojedinačna regulacija temperature prostorija podešavanjem sobnih termostata na različite temperature uz relativno niske investicijske troškove
- Odvojeni izvori ogrjevnog i rashladnog učinka u primarnom zraku i sekundarnoj vodi, daju korisnicima u prostoru mogućnost izbora između režima grijanja i hlađenja
- Potrebno je manje prostora za sustav distribucije zraka jer je dobava smanjena korištenjem sekundarne vode za grijanje i hlađenje. Kanal za povrat zraka je manji, a ponekad i nepotreban ili se kombinira s odsisnim sustavom iz ostalih dijelova zgrade
- Veličina centralne klimatizacijske jedinice je manja nego kod zračnih sustava jer se priprema manja količina zraka. Priprema zraka u sezoni grijanja je na temperaturu do 18°C, a u sezoni hlađenja može varirati u širokom rasponu od 12 do 20°C, ovisno o potrebnom odvlaživanju
- Odvlaživanje, filtracija i ovlaživanje zraka vrše se na centralnoj lokaciji izvan kondicioniranih prostora.
- Dobava zraka za ventilaciju može zadovoljiti potrebne ventilacijske zahtjeve
- Prostor se može grijati ili hladiti bez pogona zračnog sustava, preko sekundarnog vodenog sustava. Izbjegava se rad ventilatora noću u zgradama u kojima se u to vrijeme ne boravi. Predviđeni kapacitet grijanja za slučaj zaštite od smrzavanja, ako je potreban, mnogo je manji nego kod većine zračnih sustava
- Komponente sustava su trajne. Uređaji u prostorijama koji rade u normalnim uvjetima imaju očekivani vijek trajanja od 20 do 25 godina. Trajnost cjevovoda i sustava kanala treba biti jednaka trajnosti zgrade.

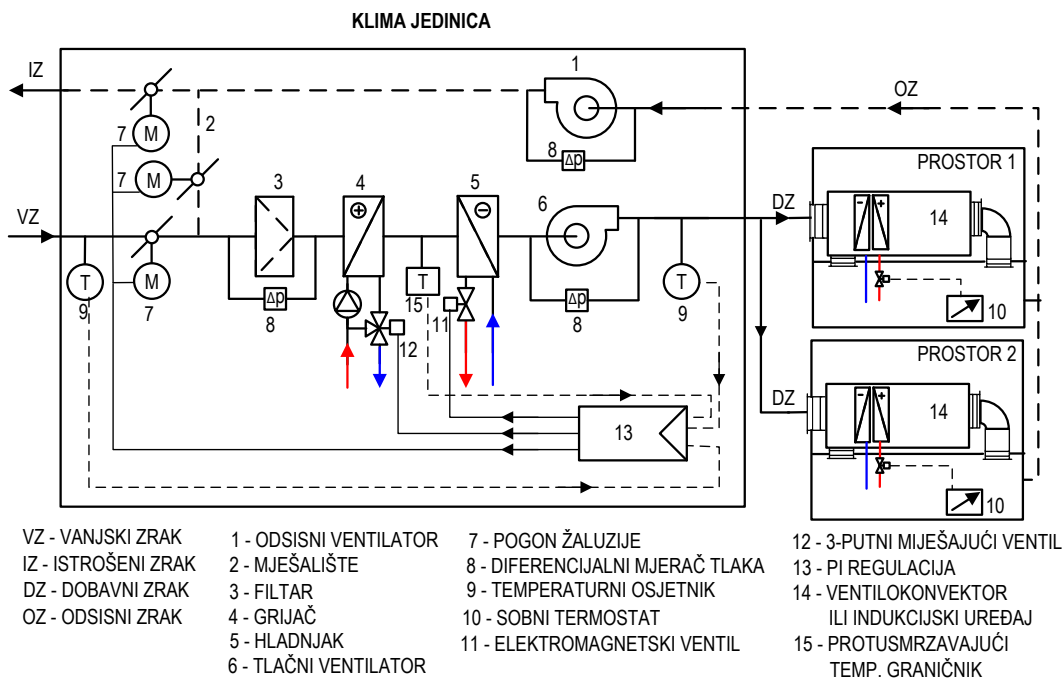
Nedostaci zračno – vodenih sustava:

- Za većinu zgrada, ovi sustavi su ograničeni na rubne prostore, što znači da ostale zone trebaju zasebne sustave.
- Potreban složeniji sustav regulacije nego za većinu zračnih sustava
- Sekundarno strujanje zraka iz prostora može prouzročiti onečišćenje indukcijskih uređaja što utječe na učinak. Filtarske mrežice koji se koriste za zaštitu opreme, traže održavanje unutar klimatiziranog prostora i mogu smanjiti učinak jedinica
- Dobava primarnog zraka često je konstantna, bez mogućnosti isključenja, što je mana kod stambene primjene, gdje stanari



- (ili gosti hotela) mogu poželjeti isključiti sustav ventilacije, ili gdje to traži uprava zgrade radi smanjenja pogonskih troškova.
- Potrebna niska temperatura rashladne vode u primarnom rashladnom krugu kako bi se moglo regulirati relativnu vlažnost zraka u prostoru
  - Sustav nije primjeren za prostore s visokim zahtjevima za odsisom zraka (npr. istraživački laboratoriji), ako nije osigurana dodatna ventilacija
  - Centralno odvlaživanje smanjuje ili eliminira kondenzaciju na izmjenjivačkim površinama sekundarnog vodenog kruga pri maksimalnom projektnom latentnom opterećenju. Međutim, iznenadni izvori vlage (npr. uslijed otvaranja prozora ili ulaska veće skupine ljudi u prostor) mogu izazvati kondenzaciju koja može rezultirati smanjenjem ugodnosti ili materijalnom štetom
  - Potrošnja energije za indukcijske sustave je veća nego kod većine ostalih sustava zbog veće snage potrebne za svladavanje pada tlaka primarnog zraka u indukcijskim uređajima
  - Investicijski troškovi za četverocijevni indukcijski sustav veći su nego za većinu zračnih sustava.

Temperaturni režim sekundarnog ogrjevnog medija obično iznosi u polaznoj cijevi do 60°C, a rashladnog medija u polaznoj cijevi 12 do 16°C. Temperaturni pad između polazne i povratne cijevi ogrjevnog medija je oko 10°C, a kod rashladnog medija iznosi 2 do 5°C.



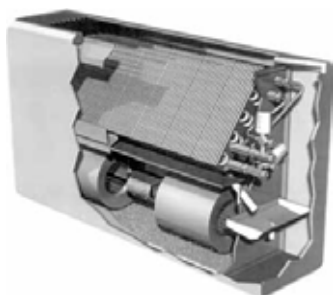
**Slika 8.54 – Zračno - vodeni visokobrzinski / niskobrzinski sustav - pojednostavljena shema**

### Niskotlačni sustav s ventilokonvektorima

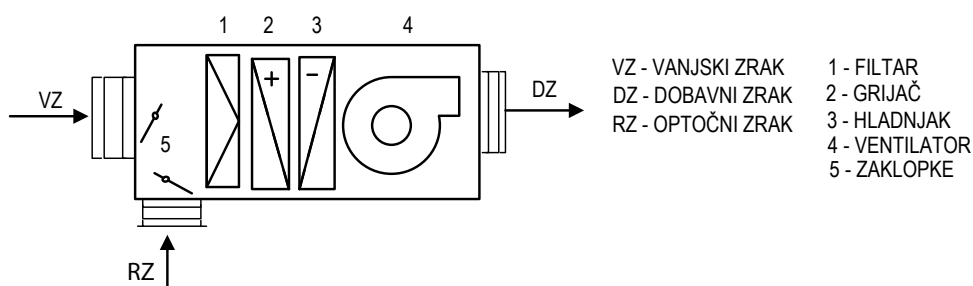
Ventilokonvektori su uređaji koji se koriste za grijanje i hlađenje struje zraka pomoću izmjenjivača topline zrak - voda. U njemu se pomoću zaklopki miješaju struja vanjskog zraka za ventilaciju i struja optoćnog zraka iz prostorije (opcija), tako nastala mješavina filtrira se i zatim grijeje ili hladi na grijaču, odnosno hladnjaku ugrađenom u uređaj (slika 8.56). Kroz grijač i hladnjak struji topla, odnosno hladna voda, pri čemu cijevni razvod može biti izveden kao dvocijevni (polaz + povrat), trocijevni (polaz tople vode + polaz hladne vode + zajednički povrat) ili četverocijevni (polaz tople vode + polaz hladne vode + povrat tople vode + povrat hladne vode). Trocijevni razvod koristi se vrlo rijetko zbog slabe energetske učinkovitosti koja je prvenstveno posljedica zajedničkog povratnog cjevovoda. Nakon što se zrak pripremi na željenu temperaturu, ubacuje se u prostor pomoću ventilatora.

Ventilokonvektori su dostupni u različitim izvedbama: vertikalni – zidni (slika 8.55), horizontalni – stropni (slika 8.56), i dr.

Regulacija učinka vrši se promjenom protoka na strani vode otvaranjem i zatvaranjem ventila na ulazu u izmjenjivač(e) ili promjenom protoka na strani zraka, izborom brzine vrtnje ventilatora (položaji: isključeno - 1.brzina - 2.brzina - 3.brzina).

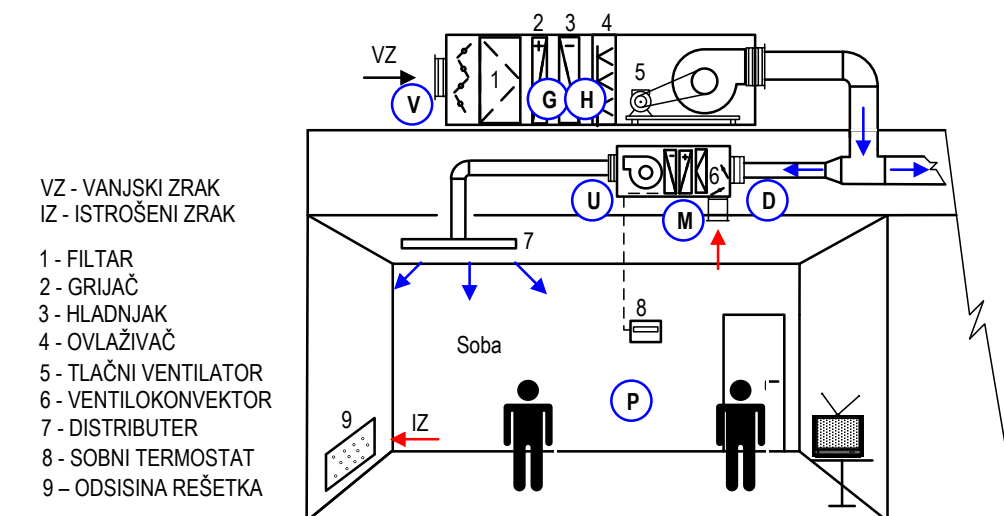


Slika 8.55 - Ventilokonvektor u presjeku – zidna izvedba

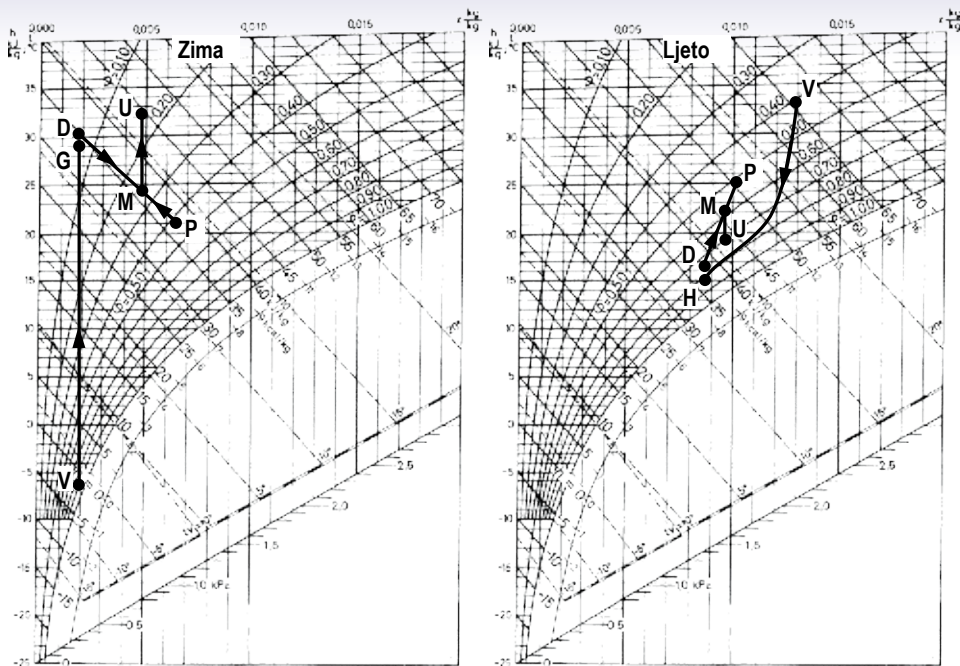


Slika 8.56 - Ventilokonvektor u presjeku – shema stropne izvedbe

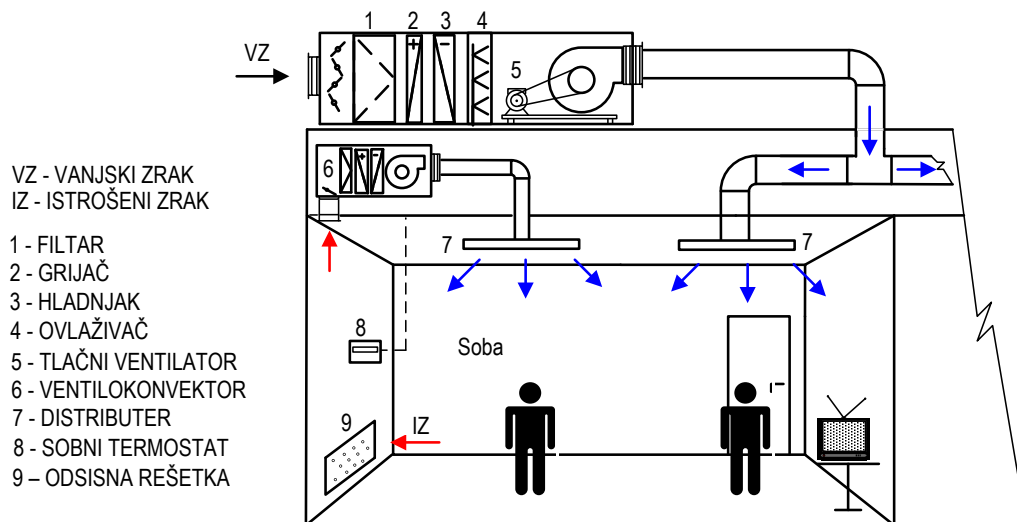
U praksi se najčešće pojavljuju dvije različite konfiguracije sustava klimatizacije s primarnim zračnim sustavom i ventilokonvektorima. U prvom se slučaju primarni zrak priprema u centralnoj klima jedinici i nakon toga kanalima dovodi do ventilokonvektora koji su priključeni na kanalski razvod (slika 8.57). U ventilokonvektoru miješa se primarni (vanjski) zrak iz klima jedinice i sekundarni (optočni) zrak iz prostorije te se mješavina dodatno grijeje ili hladi na izmjenjivaču topline (ogrjevnom ili rashladnom vodom) i pomoću ventilatora ubacuje u prostoriju. U drugom se slučaju (slika 8.59) primarni zrak konstantne temperature dobavlja odvojenim kanalskim razvodom direktno preko distributera u prostoriju, a zrak iz prostorije cirkulira kroz ventilokonvektor pri čemu se grijeje ili hladi i na taj se način vrši regulacija temperature.



Slika 8.57 - Centralna priprema primarnog zraka s priključenim ventilokonvektorima – pojednostavljena shema



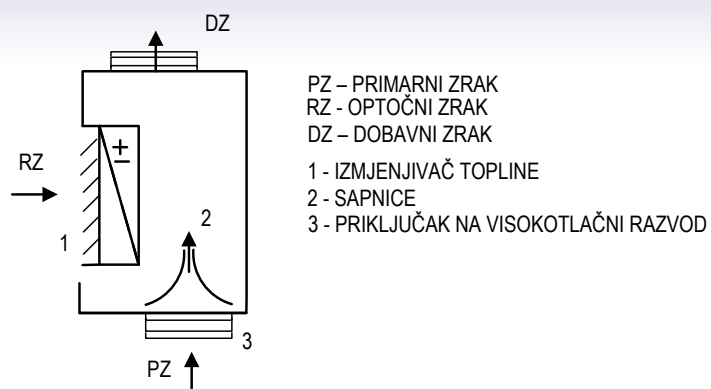
Slika 8.58 - h,x dijagram - prikaz procesa pripreme zraka za sustav sa slike 8.57



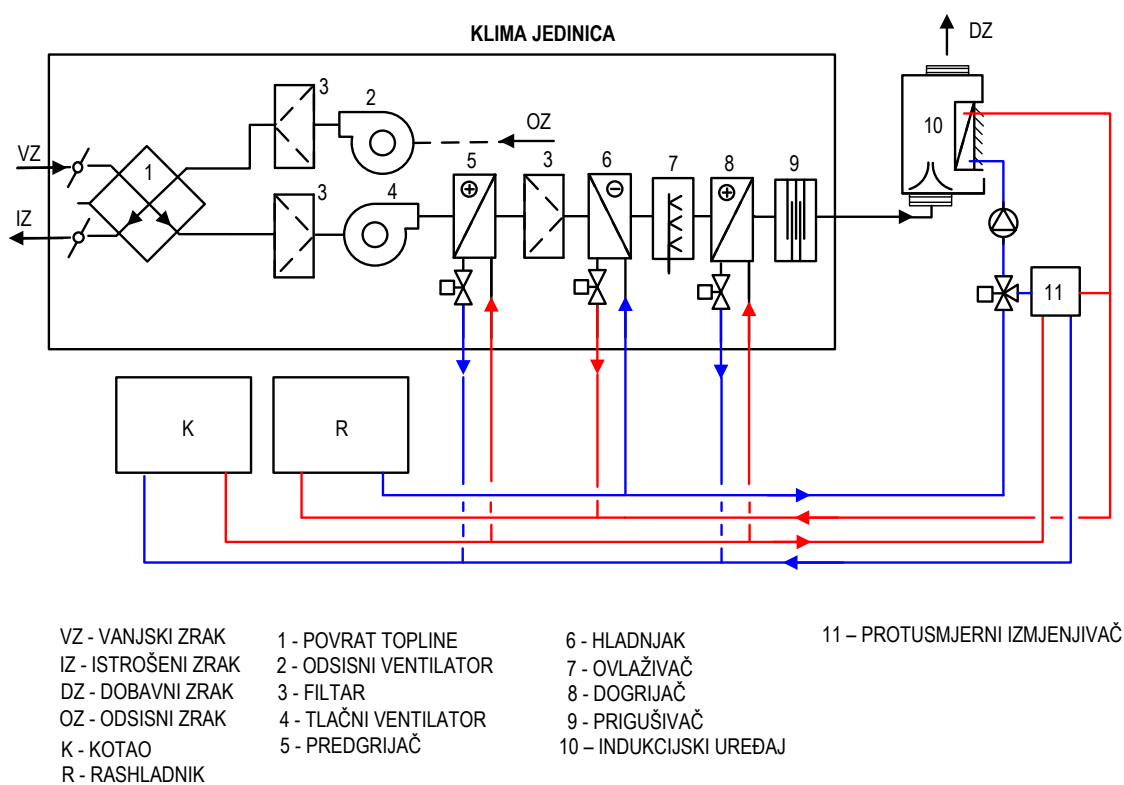
Slika 8.59 - Centralna priprema primarnog zraka s odvojenim ventilokonvektorima – pojednostavljena shema

### Visokotlačni sustav s indukcijskim aparatima

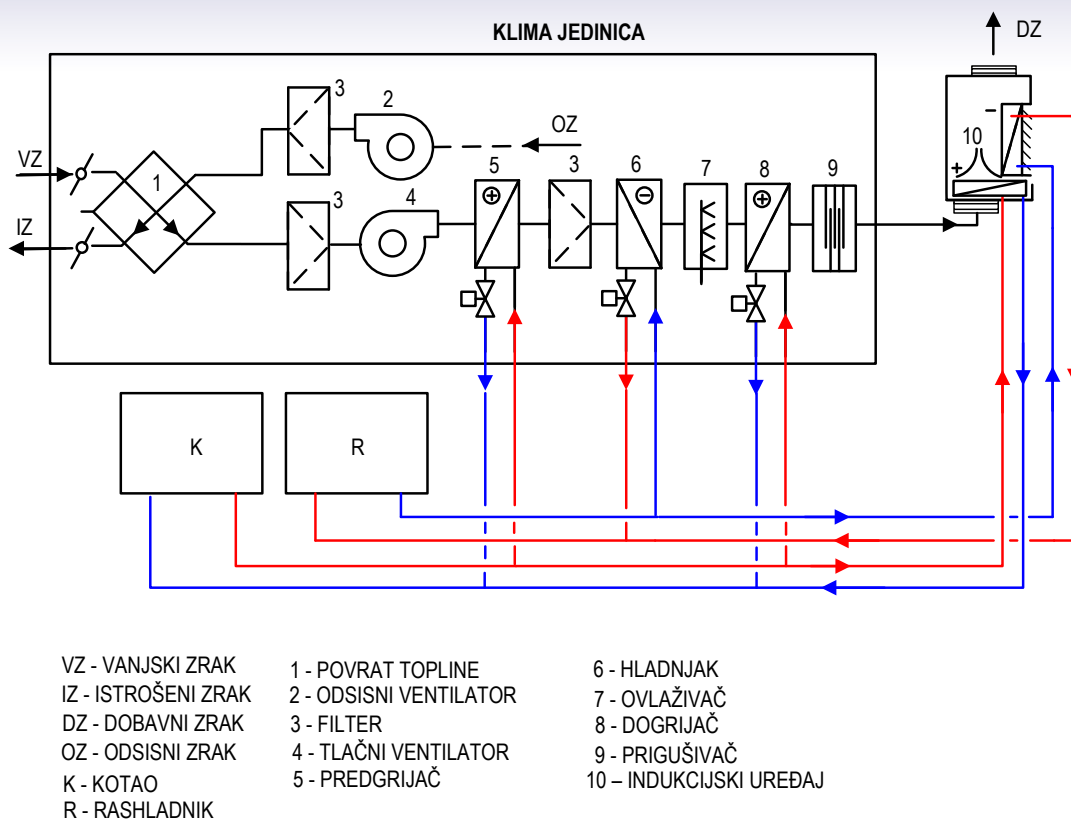
Indukcijski uređaj nema ventilator(e), elektromotor(e) niti kompresor(e). Centralno pripremljeni primarni zrak dobavlja se u plenum jedinice pod srednjim, odnosno visokim tlakom (slika 8.60). Srednjobrzijskim ili visokobrzijskim strujanjem zraka kroz sapnice uređaja inducira se strujanje optočinog zraka iz prostorije kroz izmjenjivač zrak – voda te se optočni zrak grije ili hladi na izmjenjivaču, ovisno o sezoni i potrebama prostorije. Slično ventilokonvektorima, cijevni razvod može biti izveden kao dvocijevni (slika 8.61) ili četverocijevni (slika 8.62). Redovito održavanje uglavnom se svodi na pregled temperature regulacije, čišćenje filtarskih mrežica i povremeno čišćenje indukcijskih sapnica.



Slika 8.60 – Indukcijski uređaj u presjeku – shema



Slika 8.61 - Centralna priprema primarnog zraka s priključenim indukcijskim uređajima – dvocijevni sustav



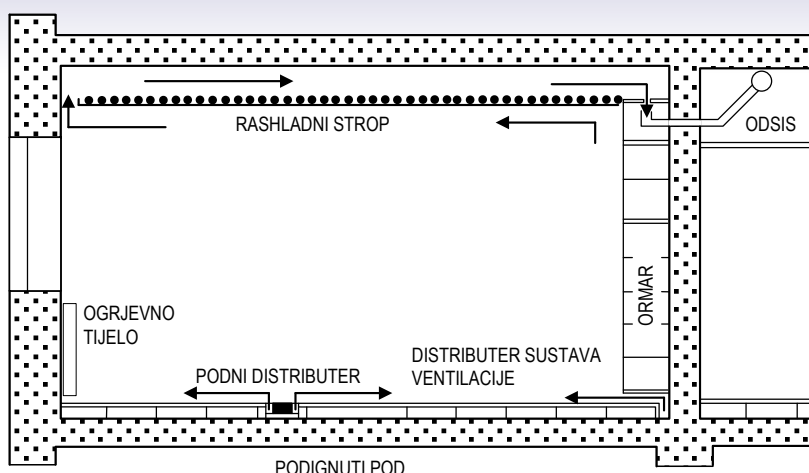
**Slika 8.62 - Centralna priprema primarnog zraka s priključenim indukcijskim uređajima – četverocijevni sustav**

### Sustav sa zračnim panelima

Sustav grijanja i hlađenja vodom pomoću zračnih panela (zidnih, stropnih, podnih) omogućuje pokrivanje toplinskih gubitaka i toplinskih opterećenja zgrade, dok se ventilacijski zahtjevi prostora pokrivaju primarnim zračnim sustavom (slika 8.64). Za rashladne stropove mogu se koristiti gotovi paneli s cijevnim registrom koji se priključuju na razvod hladne vode (slika 8.63). Prema normi DIN 4715, rashladni učinak stropa određuje se pri temperaturnog razlici od  $\Delta\theta = 10^\circ\text{C}$  između površine stropa i zraka u prostoru. Pri tim uvjetima rashladni učinak gotovih metalnih panela kreće se oko 80 do 95 W/m<sup>2</sup>.



**Slika 8.63 - Panel s cijevnim registrom za rashladni strop**



Slika 8.64 - Centralni razvod primarnog zraka s rashladnim stropom

## Primjer 2 – Zračni sustav ili zračno-vodeni sustav klimatizacije

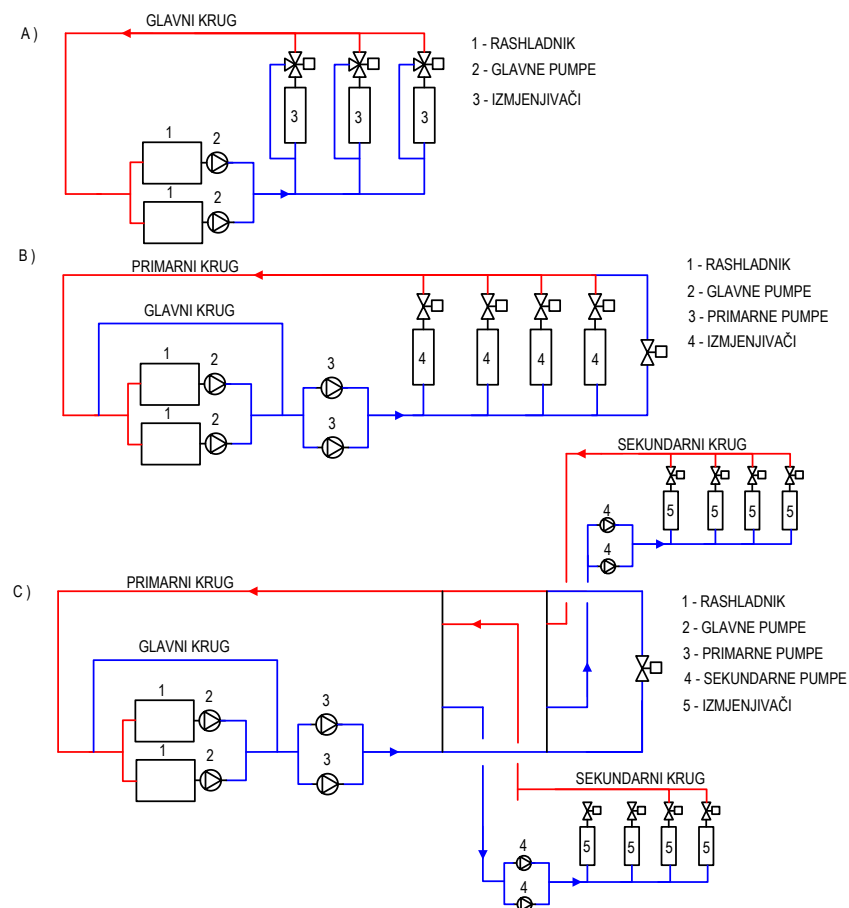
Naziv	Usporedba zračnog sustava i zračno-vodenog sustava klimatizacije																									
Opis	Uredska zgrada 2000 m <sup>2</sup> . Ugradnja zračnog sustava ili zračno-vodenog sustava klimatizacije. <u>Ulazni podaci:</u> Volumenski protok zraka za ventilaciju $V = 15000 \text{ m}^3/\text{h}$ (broj izmjena $2,5 \text{ h}^{-1}$ ) zračno-vodeni sustav Volumenski protok zraka za klimatizaciju $V = 27000 \text{ m}^3/\text{h}$ (broj izmjena $4,5 \text{ h}^{-1}$ , minimalni udio vanjskog zraka 55%) zračni sustav; Stupanj povrata osjetne topline $\Phi_2 = 50\%$ ; Broj sati pogona godišnje $t_{op} = 3640 \text{ h/god}$																									
Rezultati	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Zračno-vodeni sustav u usporedbi sa zračnim sustavom klimatizacije</th> </tr> <tr> <th></th> <th>Zagreb</th> <th>Split</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ukupna toplinska energija godišnje – režim grijanja</td> <td>222800 kWh (zračno-vodeni) 229500 kWh (zračni)</td> <td>113000 kWh (zračno-vodeni) 116400 kWh (zračni)</td> </tr> <tr> <td>Ukupna toplinska energija godišnje – režim hlađenja</td> <td>72800 kWh (zračno-vodeni) 75000 kWh (zračni)</td> <td>121850 kWh (zračno-vodeni) 125500 kWh (zračni)</td> </tr> <tr> <td>Ukupna električna energija godišnje</td> <td colspan="2">17300 kWh (kontinuirana regulacija) zračno-vodeni 28200 kWh (kontinuirana regulacija) zračni</td> </tr> <tr> <td>Godišnje uštede energije kod zračno-vodenog sustava</td> <td colspan="2">oko 3% toplinske energije, oko 40% električne energije, u usporedbi sa zračnim sustavom klimatizacije</td> </tr> <tr> <td>Smanjenje kanalskog razvoda kod zračno-vodenog sustava</td> <td colspan="2">oko 40% visine kanala zračnog dijela sustava uz fiksnu širinu i brzinu strujanja zraka, u usporedbi sa zračnim sustavom klimatizacije</td> </tr> <tr> <td>Utjecaj izbora zračno-vodenog sustava na dimenzije zgrade</td> <td colspan="2">smanjenje visine etaže za 20% i povećanje neto korisne površine zgrade za 20% uslijed smanjenja dimenzija zračnih kanala i klimatizacijske jedinice, u usporedbi sa zračnim sustavom klimatizacije</td> </tr> </tbody> </table>		Zračno-vodeni sustav u usporedbi sa zračnim sustavom klimatizacije				Zagreb	Split	Ukupna toplinska energija godišnje – režim grijanja	222800 kWh (zračno-vodeni) 229500 kWh (zračni)	113000 kWh (zračno-vodeni) 116400 kWh (zračni)	Ukupna toplinska energija godišnje – režim hlađenja	72800 kWh (zračno-vodeni) 75000 kWh (zračni)	121850 kWh (zračno-vodeni) 125500 kWh (zračni)	Ukupna električna energija godišnje	17300 kWh (kontinuirana regulacija) zračno-vodeni 28200 kWh (kontinuirana regulacija) zračni		Godišnje uštede energije kod zračno-vodenog sustava	oko 3% toplinske energije, oko 40% električne energije, u usporedbi sa zračnim sustavom klimatizacije		Smanjenje kanalskog razvoda kod zračno-vodenog sustava	oko 40% visine kanala zračnog dijela sustava uz fiksnu širinu i brzinu strujanja zraka, u usporedbi sa zračnim sustavom klimatizacije		Utjecaj izbora zračno-vodenog sustava na dimenzije zgrade	smanjenje visine etaže za 20% i povećanje neto korisne površine zgrade za 20% uslijed smanjenja dimenzija zračnih kanala i klimatizacijske jedinice, u usporedbi sa zračnim sustavom klimatizacije	
Zračno-vodeni sustav u usporedbi sa zračnim sustavom klimatizacije																										
	Zagreb	Split																								
Ukupna toplinska energija godišnje – režim grijanja	222800 kWh (zračno-vodeni) 229500 kWh (zračni)	113000 kWh (zračno-vodeni) 116400 kWh (zračni)																								
Ukupna toplinska energija godišnje – režim hlađenja	72800 kWh (zračno-vodeni) 75000 kWh (zračni)	121850 kWh (zračno-vodeni) 125500 kWh (zračni)																								
Ukupna električna energija godišnje	17300 kWh (kontinuirana regulacija) zračno-vodeni 28200 kWh (kontinuirana regulacija) zračni																									
Godišnje uštede energije kod zračno-vodenog sustava	oko 3% toplinske energije, oko 40% električne energije, u usporedbi sa zračnim sustavom klimatizacije																									
Smanjenje kanalskog razvoda kod zračno-vodenog sustava	oko 40% visine kanala zračnog dijela sustava uz fiksnu širinu i brzinu strujanja zraka, u usporedbi sa zračnim sustavom klimatizacije																									
Utjecaj izbora zračno-vodenog sustava na dimenzije zgrade	smanjenje visine etaže za 20% i povećanje neto korisne površine zgrade za 20% uslijed smanjenja dimenzija zračnih kanala i klimatizacijske jedinice, u usporedbi sa zračnim sustavom klimatizacije																									

### 8.5.2.3. Vodeni sustavi

Sustavi koji koriste vodu za grijanje i hlađenje prostora u zgradi bez dovođenja vanjskog zraka, ne udovoljavaju ventilacijskim zahtjevima i stoga se ne mogu nazvati sustavima klimatizacije u doslovnom smislu. Međutim, takvi sustavi ipak omogućuju postizanje i održavanje temperature zraka u prostoru te se u praksi (ako uključuju hlađenje) i za njih često koristi naziv *klimatizacijski*. Najčešća izvedba vodenog sustava je dvocijevni ili četverocijevni sustav s ventilokonvektorima. Dvocijevni sustav ima razvod s jednom polaznom i jednom povratnom cijevi kroz koji, u određenom trenutku, može protjecati samo topla ili samo hladna voda. Takav sustav, stoga u jednom trenutku može samo grijati ili samo hladiti, dok se preokretanje procesa iz grijanja u hlađenje i obrnuto, može provesti ručno ili automatski odgovarajućom zapornom i regulacijskom armaturom. Četverocijevni sustav ima odvojene cjevovode toplog i hladnog polaza te toplog i hladnog povrata i tako omogućuje istovremeno grijanje i hlađenje, u različitim prostorima unutar zgrade. Takav je sustav fleksibilniji od dvocijevnog, ali četverocijevni razvod zahtijeva znatno veću investiciju. Cijevi kroz koje struji hladna voda nužno je toplinski izolirati radi sprječavanja kondenzacije vlage iz okolišnjeg zraka. Debljina izolacije ovisi o radnim temperaturama vode, promjeru i namjeni cijevi.

Na slici 8.65 prikazane su pojednostavljene sheme spajanja triju izvedbi dvocijevnog sustava hlađenja s različitim načinima povezivanja cirkulacijskih krugova za priključenje izmjenjivača/trošila na cijevni razvod. Za jednostavne sustave s manjim brojem trošila moguće je spajanje izvesti tako da glavne pumpe rashladnika ujedno ostvaruju cirkulaciju kroz izmjenjivače trošila (A). Za složenije sustave s većim brojem trošila obično se koristi paralelno spajanje primarnog cirkulacijskog kruga sa zasebnim primarnim pumpama koje ostvaruju cirkulaciju kroz trošila, dok se glavne pumpe koriste za cirkulaciju kroz rashladnike (B). Naposljetku, za vrlo složene sustave s velikim brojem trošila koje treba podijeliti u funkcijske cjeline (grupe), na primarni krug spaja se niz sekundarnih cirkulacijskih krugova gdje sekundarne pumpe ostvaruju cirkulaciju kroz grupe trošila sa sličnim režimom korištenja (C).

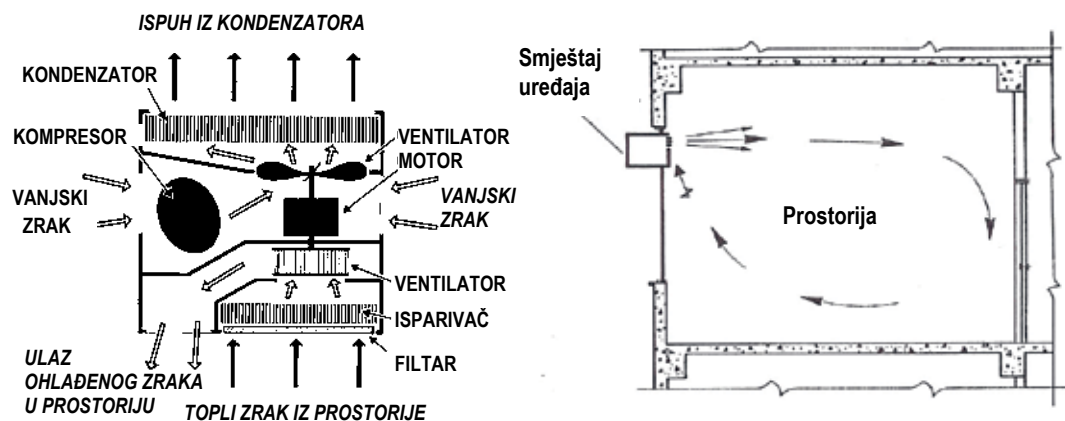
- A – s glavnim krugom (s konstantnim protokom)
- B – s primarnim krugom (s konstantnim protokom)
- C – s primarnim krugom i sekundarnim krugovima (s konstantnim protokom)



Slika 8.65 - Dvocijevni vodeni sustav hlađenja

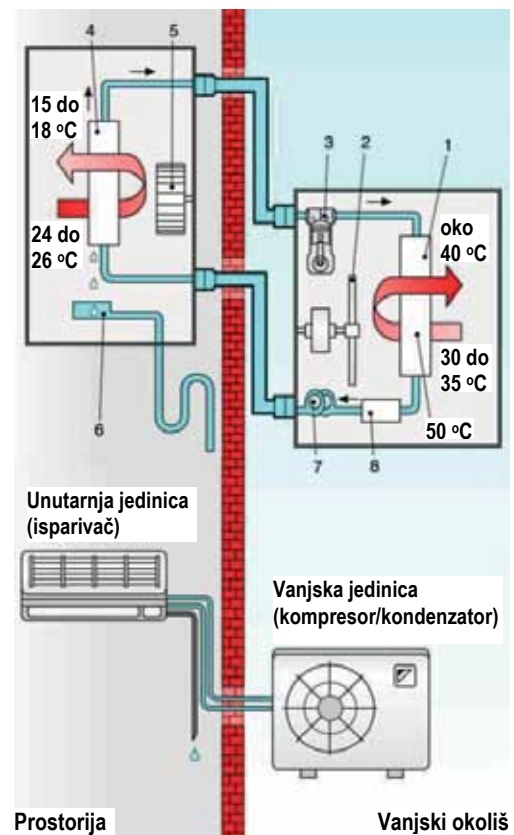
### 8.5.2.4. Neposredni rashladni sustavi

Za rashladne sustave bez dovođenja vanjskog zraka vrijede iste napomene kao i za vodene sustave, iako moderni neposredni rashladni sustavi u pojedinim izvedbama imaju mogućnost dovođenja vanjskog zraka za ventilaciju. Nositelj ogrjevnog i rashladnog učinka je radna tvar, najčešće freon, koji pri promjeni agregatnog stanja izmjenjuje toplinu sa zrakom u zgradi. Obično se sastoje od jednog ili više tvornički proizvedenih sklopova koji uključuju isparivač i kombinaciju kompresora i kondenzatora, a mogu se koristiti za grijanje, hlađenje i ventilaciju. Ovakvi sustavi dostupni su u paketnoj i razdvojenoj (engl. *split*) izvedbi. Paketna jedinica izvedena je kao jedan tvornički sklop, a najjednostavniji primjer je sobni uređaj za pojedinu prostoriju (slika 8.66).



Slika 8.66 - Sobni klimatizacijski uređaj – individualna jedinica za prostoriju

1. Kondenzator (vanjski izmjenjivač)
5. Unutarnji ventilator
2. Vanjski ventilator
6. Posuda za kondenzat
3. Kompresor
7. Ekspanzijski ventil
4. Isparivač (unutarnji izmjenjivač)
8. Sušilo - filter

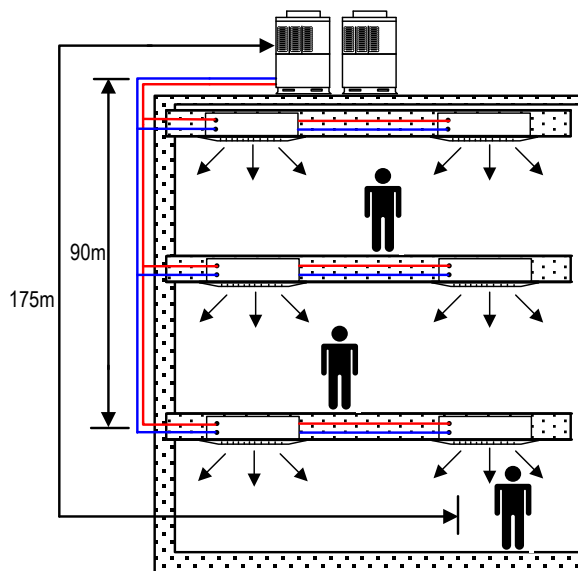


Slika 8.67 - Razdvojeni sustav [8.17]



Razdvojeni sustavi (moguće u izvedbi dizalice topline) imaju više od jednog tvornički proizvedenog sklopa, npr. u najjednostavnijoj izvedbi jednu unutarnju i jednu vanjsku jedinicu i tada se nazivaju pojedinačni (engl. *monosplit*).

Osim pojedinačnih, dostupni su i višedijelni razdvojeni sustavi (engl. *multisplit*) u izvedbi s konstantnim protokom radne tvari (engl. *Constant Refrigerant Flow - CRF*), ili s promjenjivim protokom radne tvari (eng. *Variable Refrigerant Flow - VRF*, slika 8.68). Osnovna značajka VRF sustava (s promjenjivim protokom radne tvari) je u mogućnosti spajanja većeg broja unutarnjih jedinica na jednu vanjsku jedinicu. Kod modernih VRF sustava moguće je povezati do 60 unutarnjih jedinica na jednu vanjsku jedinicu, s tim da duljina cjevovoda radne tvari može biti do 350 m između vanjske i najudaljenije unutarnje jedinice uz 50 m visinske razlike (90 m ako je vanjska jedinica postavljena iznad unutarnjih). Trenutačno je najčešće u upotrebi radna tvar R410A.



Slika 8.68 - Primjer povezivanja unutarnjih jedinica i vanjske jedinice VRF sustava [8.17]

Kod razdvojenih sustava, jedna od mogućih izvedbi je dizalica topline, a koristi se za grijanje i klimatizaciju. Dizalica topline (toplinska pumpa) je uređaj koji posreduje u prijenosu topline između dva toplinska spremnika, odnosno omogućuje prijenos topline s niže na višu temperaturnu razinu pomoću ljevokretnog kružnog procesa s prikladnom radnom tvari. Dizalica topline radi na principu rashladnog stroja, ali na višoj temperaturnoj razini. Radna tvar prikuplja toplinu od izvora (niskotemperaturnog toplinskog spremnika) uslijed čega isparava, odnosno prelazi iz kapljevite u parnu fazu u isparivaču. Kako bi mogla toplinu predati trošilu (u režimu grijanja), potrebno je radnu tvar komprimirati pomoću kompresora, a kao posljedica kompresije radnoj tvari se povisuju tlak i temperatura. Pri novonastaloj višoj temperaturi, radna tvar predaje toplinu ponoru (visokotemperaturnom toplinskom spremniku) uslijed čega se kondenzira i vraća u kapljevitu fazu u kondenzatoru. Iz kondenzatora se kapljevita radna tvar vodi kroz ekspanzijski ventil gdje joj se smanjuje tlak i radna tvar postaje spremna za ponovno isparavanje, čime je kružni proces zatvoren i postupak se ponavlja.

Ovisno o toplinskom izvoru i ponoru koji se koriste, postoje različite izvedbe dizalice topline, a tri osnovna toplinska izvora/ponora su:

- zrak
- voda
- zemlja (tlo).

## 8.6. Komponente sustava

### 8.6.1. Uvod

U današnje se vrijeme više od 40% svjetske energije troši u zgradarstvu pri čemu sustav grijanja, ventilacije i klimatizacije ima velik udio u toj potrošnji. Tijekom života u gradu, ljudi provode oko 90% vremena u zatvorenim prostorima, a GViK sustav ima velik utjecaj na ugodnost i potencijal da poboljša ili naruši zdravlje osoba koje borave u zgradi te je istovremeno dio opreme zgrade koji košta mnogo novca i troši mnogo energije.

Najprije treba definirati neke osnovne pojmove:

*Toplinski gubici* predstavljaju toplinsku energiju koja se odvodi iz grijanog prostora u (hladniji) vanjski okoliš u jedinici vremena. *Projektne toplinski gubici* predstavljaju toplinski tok između zgrade i vanjskog okoliša, izračunat za unutarnje i vanjske projektne uvjete. *Toplinski dobici* predstavljaju toplinsku energiju koja se dovodi u hlađeni prostor iz vanjskih izvora ili iz unutarnjih izvora topline u jedinici vremena. Toplinski gubici i dobici mogu biti osjetni i latentni. Osjetna toplina direktno se izmjenjuje s prostorom provođenjem, konvekcijom i/ili zračenjem te utječe na temperaturu suhog termometra, odnosno temperaturu zraka. Latentna toplina izmjenjuje se uz promjenu sadržaja vlage u prostoru i utječe na temperaturu vlažnog termometra. Za razliku od toplinskih dobitaka, *toplinsko opterećenje* je toplinski tok kojeg u promatranom trenutku treba odvesti od hlađenog prostora kako bi se održala konstantna temperatura i određena relativna vlažnost zraka u prostoru. Obično se javlja ljeti, ali se može pojaviti i u drugim godišnjim dobima u prostorima s velikim unutarnjim toplinskim dobicima. Toplinsko opterećenje također može biti osjetno i latentno.

Proračun toplinskog opterećenja u klimatizaciji uglavnom se koristi:

- za određivanje volumenskog protoka zraka u zračnim sustavima
- za dimenzioniranje opreme sustava (određivanje rashladnog učinka izmjenjivača i učinka druge opreme)
- kao ulazni podatak modela za analizu potrošnje energije sustava u promatranom vremenu kako bi se odabrala optimalna varijanta rješenja.

*Vršno toplinsko opterećenje* proračunske zone je maksimalno toplinsko opterećenje promatranog dijela zgrade, izračunato prema vanjskim projektnim uvjetima za ljetno razdoblje. Računa se kao najveći zbroj svih komponenti toplinskog opterećenja za pojedinu zonu (opterećenje od sunca kroz prozore, prolaz topline kroz zidove i krov, unutarnje opterećenje od električne rasvjete i osoba i dr.) u promatranom vremenskom trenutku. Pomoću vršnog opterećenja zone računa se dobavni volumenski protok zraka, potreban za klimatizaciju promatrane zone. *Projektno toplinsko opterećenje* zgrade je najveći zbroj komponenti toplinskog opterećenja za sve proračunske zone zgrade u istom vremenskom trenutku. Nakon što je poznato projektno opterećenje, moguće je izračunati dobavni volumenski protok zraka za klimatizaciju zgrade i dimenzionirati komponente sustava.

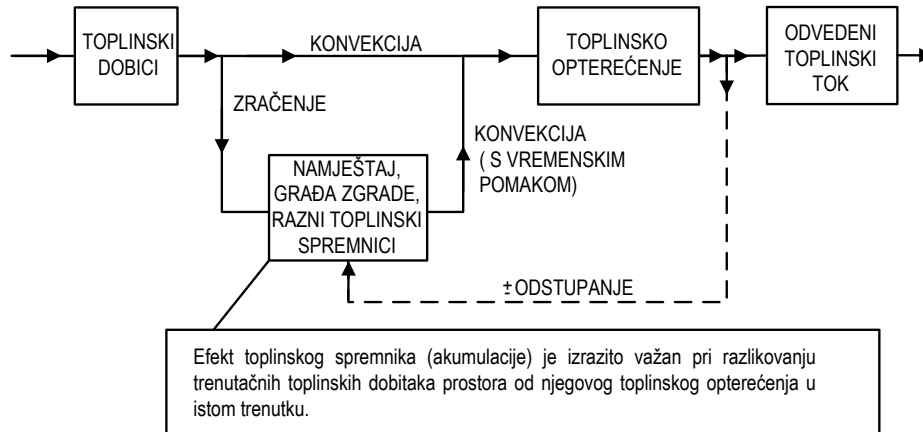
Vrlo je važno uočiti navedenu razliku između toplinskih dobitaka i toplinskog opterećenja, jer zbroj toplinskih dobitaka nije jednak toplinskom opterećenju prostora u promatranom trenutku. Također, projektno opterećenje zgrade ne mora biti jednako zbroju vršnih opterećenja toplinskih zona. Građevinska konstrukcija predstavlja toplinski spremnik u kojemu se akumulira određena količina topline. Dio topline toplinski izvori predaju direktno hlađenom prostoru konvekcijom. Toplinski dobici zračenjem se akumuliraju u elementima građevinske konstrukcije i namještaju te se s vremenskim pomakom predaje hlađenom prostoru (slika 8.69). Akumulacija topline unutar konstrukcije značajno utječe na dimenzioniranje opreme, a ovisi najvećim dijelom o masi vanjske ovojnice zgrade, pri čemu veća masa konstrukcije uglavnom znači veću sposobnost akumulacije topline. Toplinsko opterećenje pojedinog prostora dijeli se u dvije osnovne skupine (slika 8.70):

1) *Vanjsko opterećenje* koje nastaje uslijed toplinskih dobitaka od vanjskih izvora kroz vanjsko oplošje zgrade, odnosno kroz pregradne zidove. To su:

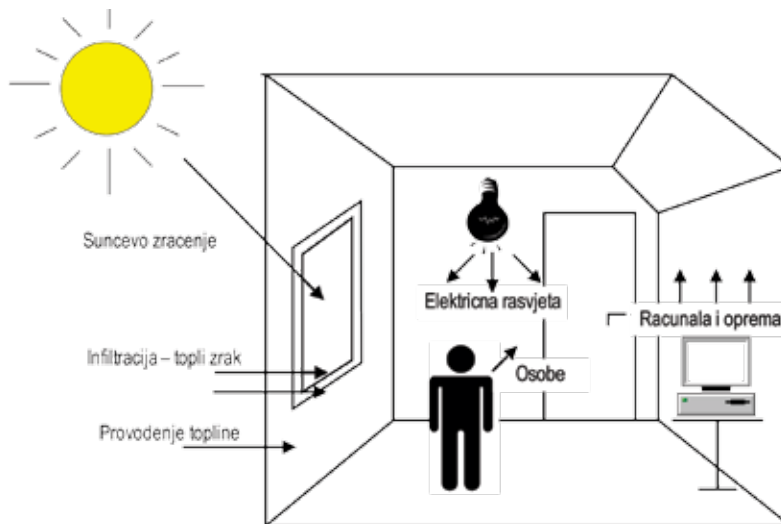
- toplinski dobici kroz vanjske zidove i krov
- toplinski dobici od sunca kroz ostakljenja
- toplinski dobici provođenjem kroz ostakljenja
- toplinski dobici kroz pregradne zidove
- infiltracija vanjskog zraka u hlađeni prostor.

2) *Unutarnje opterećenje* koje nastaje uslijed dobitaka osjetne i latentne topline od toplinskih izvora unutar prostora, a to su:

- osobe
- rasvjeta
- oprema i uređaji.



**Slika 8.69 - Pretvorba toplinskih dobitaka u toplinsko opterećenje [8.11]**



**Slika 8.70 - Izvori toplinskog opterećenja prostorije**

Proračun projektnih toplinskih gubitaka za zimu u Europi je normiran i provodi se prema HRN EN 12831. Proračun se vrši za kvazistacionarne uvjete unutarnjeg i vanjskog okoliša i rezultat se dobije u jednom prolazu kroz normirani algoritam. Postupak proračuna toplinskog opterećenja za ljeto bitno se razlikuje od proračuna toplinskih gubitaka za zimu. Osnovna razlika temelji se na uključivanju u proračun pojave akumulacije topline u zidovima, podovima, namještaju, što doprinosi toplinskom opterećenju prostora s manjim ili većim vremenskim pomakom. Dio topline predaje se prostoriji i nakon što su izvori topline isključeni ili nisu više prisutni, pa se vremenski pomak mora uzeti u obzir jer zbog toga trenutno toplinsko opterećenje može biti (i najčešće jest) različito od trenutanih toplinskih dobitaka prostora (koristi se nestacionarna analiza). Pri tome se u većini slučajeva treba odrediti sat u kojemu nastupa najveće toplinsko opterećenje, što često zahtijeva prolazak istog algoritma više puta.

Kako su pri određivanju vremenskog pomaka mogući različiti proračunski pristupi, proračun projektnog toplinskog opterećenja za potrebe dimenzioniranja i izbora opreme za klimatizaciju nije normiran. Kroz vremensko razdoblje od oko 90 godina na svjetskoj razini pojavilo se više metoda koje omogućuju određivanje projektnog toplinskog opterećenja, a većina potječe iz SAD-a.

Prema ASHRAE koriste se slijedeće metode:

- Metoda vremenskih redova zračenja (eng. *Radiant Time Series - RTS*)
- Metoda prijenosnih funkcija (eng. *Transfer Function Method - TFM*)
- Metoda ukupne ekvivalentne razlike temperatura s vremenskim osrednjavanjem (eng. *Total Equivalent Temperature Differential/ Time Averaging - TETD/TA*)
- Metoda temperaturne razlike toplinskog opterećenja s toplinskim opterećenjem od sunca i faktorima toplinskog opterećenja (eng. *Cooling Load Temperature Differential/ Solar Cooling Load/ Cooling Load Factor - CLTD/SCL/CLF*)
- Metoda toplinske bilance (eng. *Heat Balance - HB*).

Korištenje bilo koje od navedenih metoda smatra se prihvatljivim, iako se dobiveni rezultati razlikuju. Trenutačno se kao projektantska metoda najviše razvija RTS, dok se HB metoda, kao najsloženija, uglavnom koristi za satni proračun u svrhu detaljne energetske analize sustava. Kako se u većini metoda koristi iteracijski postupak, za proračun se najčešće koristi neki računalni softver. U Europi se također pojavilo nekoliko metoda, a u Hrvatskoj je dobro prihvaćena metoda proračuna Njemačkog inženjerskog saveza (njem. VDI) dana u smjernici VDI 2078.

Prikaz proračuna projektnih toplinskih gubitaka prema HRN EN 12831 i projektnih toplinskih opterećenja prema VDI 2078 dan je u poglavlju 11.

### 8.6.2. Grijač

Grijač (slika 8.71) je komponenta koja se u sustavima klimatizacije koristi za zagrijavanje zraka u zgradi, a smješta se ili u centralnu klimatizacijsku jedinicu, ili u zonsku jedinicu ili u samu prostoriju, ovisno o izvedbi sustava grijanja. Grijači su najčešće izvedeni kao orebreni izmjenjivači voda – zrak ili para – zrak. Grijače karakterizira izmjena osjetne topline, što znači da se temperatura zraka povećava dok sadržaj vlage pri tom ostaje nepromijenjen.

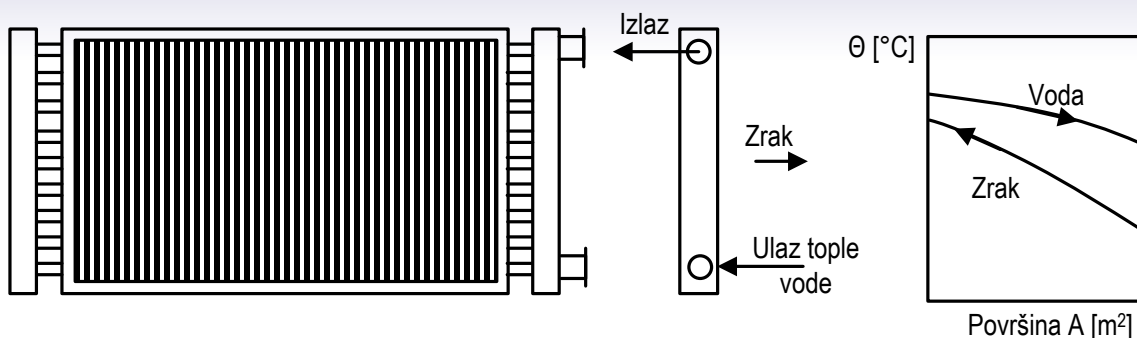


Slika 8.71 – Grijač

A – toplvodni grijač

B – parni grijač

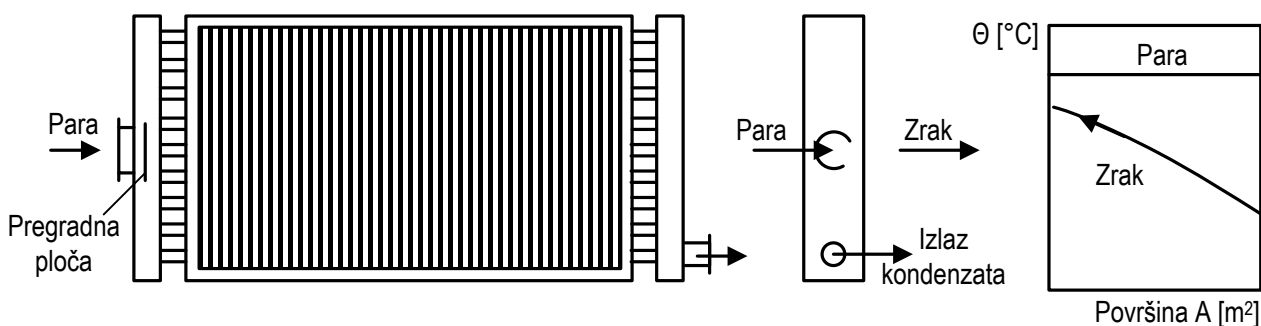
Grijač s toplom vodom kao ogrjevnim medijem uglavnom je napravljen od standardnih materijala čelične cijevi i čelična rebra/ lamele ili bakrene cijevi i aluminijske lamele. Cijevi su najčešće postavljene vodoravno kako bi se izbjegli zračni džepovi u izmjenjivaču. U slučaju kada su izmjenjivači izloženi smrzavanju, potrebno je dodati sredstvo za zaštitu od smrzavanja (npr. etilen glikol, propilen glikol), a treba uzeti u obzir i mogućnost ispuštanja tekućine iz izmjenjivača, što se odnosi i na grijače u kojima cirkulira ogrjevni medij s glikolom.



Slika 8.72 - Izmjenjivač za grijanje tipa voda – zrak

Brzina nastrujavanja zraka u svijetlom presjeku ispred izmjenjivača je između 1,5 i 5 m/s. Temperatura zraka iza izmjenjivača kreće se od oko 18°C za ventilaciju do 50°C za grijanje. Temperaturni režim tople vode varira od 45/40°C do 80/60°C, ovisno o primjeni. Brzina strujanja vode kroz izmjenjivač je između 0,5 i 1,8 m/s. Protok vode najčešće se određuje na temelju pada temperature od 10 do 20°C prilikom prolaska kroz izmjenjivač. Otpor strujanju zraka obično se ograničava na oko 100 – 150 Pa za stambene i poslovne zgrade, te na oko 250 Pa za industrijske zgrade. Broj redova cijevi u smjeru strujanja zraka je između 1 i 12 i ovisi o potrebnom kapacitetu.

Kod parnih grijača kroz koje zrak struji vodoravno, cijevi s parom mogu biti postavljene vodoravno ili okomito. U osnovnom rasporedu, ulaz pare je na jednom kraju izmjenjivača, a cijevi imaju nagib prema izlazu kondenzata, koji je najčešće na suprotnom kraju. Kada je temperatura zraka na ulazu  $\leq 0^\circ\text{C}$ , dovod pare ne bi se smio modulirati, nego treba biti potpuno otvoren ili potpuno zatvoren kako bi se spriječilo smrzavanje na stjenkama izmjenjivača. U takvim se slučajevima regulacija učinka na izmjenjivaču (za potrebe djelomičnog opterećenja) može izvesti vođenjem dijela zraka oko parnog izmjenjivača pomoću obilaznog voda. Na taj način samo dio vanjskog zraka prima na sebe toplinu i zatim se miješa s hladnim zrakom koji se vodi obilaznim vodom.



Slika 8.73 - Izmjenjivač za grijanje tipa para – zrak

Tlak pare kreće se od 15 do 100 kPa (pretlak), a najčešće iznosi oko 35 kPa (pretlak). Za sustave kod kojih je ulazna temperatura zraka ispod  $0^\circ\text{C}$ , preporučuje se minimalni pretlak pare od 35 kPa. Izmjenjivači para – zrak odabiru se tako da brzina suhozasićene pare ne prelazi 30 m/s uz prihvatljivu količinu kondenzata unutar cijevi izmjenjivača, ovisno o tipu. Broj redova cijevi u smjeru strujanja zraka je između 1 i 4. Dimenzioniranje grijača vrši se na temelju projektnih toplinskih gubitaka, određenih prema normi HRN EN 12831. Nakon što su određeni projektni toplinski gubici i toplinski tok potreban za zagrijavanje vanjskog zraka, računa se potrebni ukupni kapacitet grijanja zraka (može biti podijeljen u više izmjenjivača):

$$\Phi_G = \Phi_{GR} + \Phi_{VZ} \text{ [W]} \quad (8.45)$$

$\Phi_{GR}$  - projektni toplinski gubici zimi prema HRN EN 12831 [W]

$\Phi_{VZ}$  -toplinski tok za zagrijavanje vanjskog zraka [W]

Toplinski tok za zagrijavanje vanjskog zraka (na temperaturu prostorije) određuje se iz:

$$\Phi_{VZ} = \dot{V}_{VZ} \rho c_p (\theta_i - \theta_e) \text{ [W]} \quad (8.46)$$

$\dot{V}_{VZ}$  -volumenski protok vanjskog zraka [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

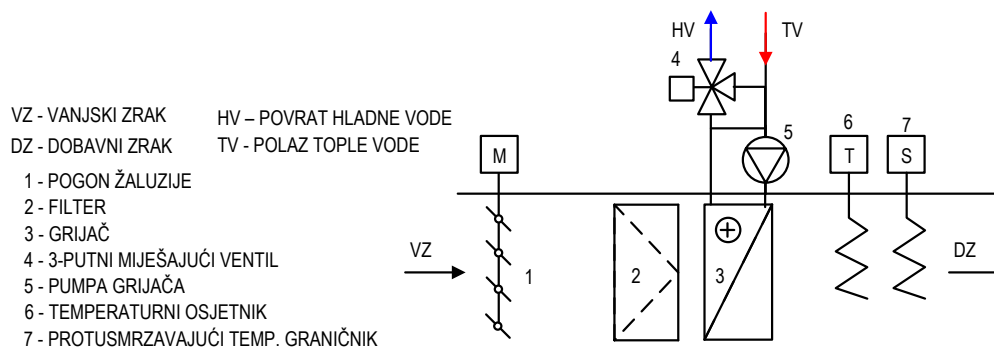
$\rho$  -gustoća zraka [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$c_p$  -specifični toplinski kapacitet zraka [ $\text{J}/(\text{kgK})$ ]

$\theta_i$  -temperatura zraka u prostoriji [ $^{\circ}\text{C}$ ]

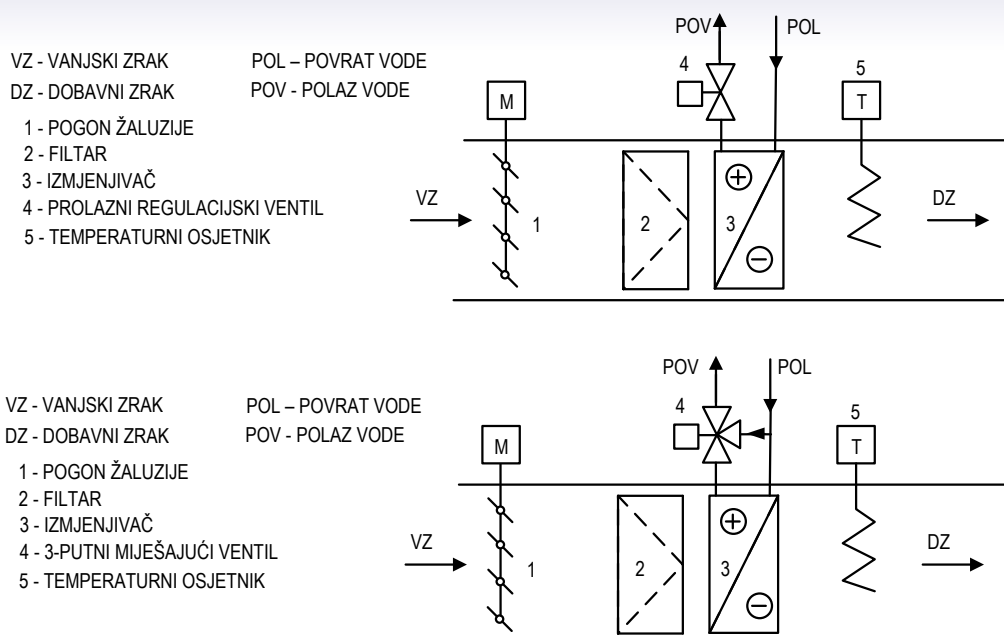
$\theta_e$  -vanjska temperatura zraka [ $^{\circ}\text{C}$ ]

Ako su poznati protok zraka i temperaturna razlika zraka ispred i iza izmjenjivača, kapacitet pojedinog grijača može se odrediti i preko  $h,x$  - dijagrama i izraza (8.25). Grijači u centralnim klimatizacijskim jedinicama mogu se izvesti kao predgrijači, grijači ili dogrijači, ovisno o stanju i minimalnom protoku vanjskog zraka. U konvencionalnom rasporedu primarnog i sekundarnog cirkulacijskog kruga, sekundarna pumpa grijača i glavna pumpa sustava su hidraulički neovisne. Rezultat je konstantan protok kroz grijač i kroz primarni krug uz primjenu troputnog ventila za miješanje vode iz polaznog i povratnog voda. Tako se promjena učinka grijača vrši promjenom temperature vode na ulazu u izmjenjivač (slika 8.74). Ventilima se upravlja preko osjetnika temperature zraka na izlazu iz grijača ili temperature prostora, a podešeni su tako da se potpuno otvore za grijanje ako dođe do prekida napajanja regulacijskog sklopa ili postizanja izlazne temperature zraka niže od postavljene vrijednosti protusmrzavajućeg graničnika temperature S.



**Slika 8.74 - Regulacija učinka grijača promjenom temperature vode**

Regulacija učinka grijača moguća je i prolaznim regulacijskim ventilom ili troputnim razdjelnim ventilom promjenom protoka vode kroz izmjenjivač. U tome se slučaju preporučuje korištenje cirkulacijske pumpe s modulirajućom regulacijom brzine vrtnje (slika 8.75).



Slika 8.75 - Regulacija učinka grijača/hladnjaka promjenom protoka vode

### 8.6.3. Hladnjak

Hladnjak (slika 8.76) je komponenta koja se u sustavima klimatizacije koristi za hlađenje i odvlaživanje zraka u zgradi, a smješta se ili u centralnu klimatizacijsku jedinicu, ili u zonsku jedinicu ili u samu prostoriju, ovisno o izvedbi sustava hlađenja. Kod hladnjaka postoji izmjena osjetne i latentne topline. Hladnjaci su najčešće izvedeni kao orebreni izmjenjivači voda – zrak ili freon – zrak (direktni isparivač).

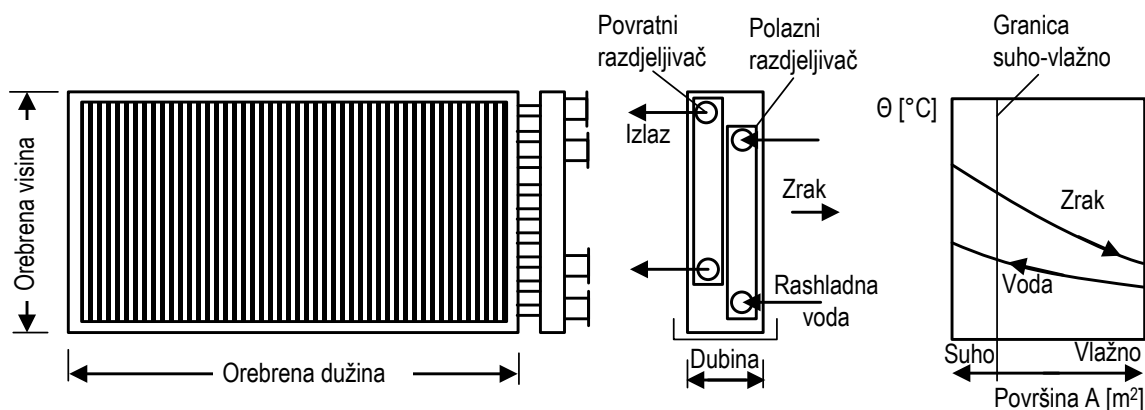


Slika 8.76 – Hladnjak

A – hladnjak s rashladnom vodom

B – direktni isparivač

Hladnjak s rashladnom vodom konstrukcijski je vrlo sličan toplovodnom grijaču, a osnovnu razliku predstavlja posuda za kondenzat koja je kod primjene hladnjaka obvezna. Za izmjenjivač se uglavnom koriste bakrene cijevi s aluminijskim orebrenjem, iako ima i izmjenjivača s bakrenim orebrenjem. Vanjski promjeri cijevi su do 25 mm s rebrima/lamelama na razmaku od 1,5 do 6,5 mm. Razmak između cijevi kreće se od 15 do 75 mm kod „šahovskog“ (naizmjeničnog, „cik-cak“) ili rednog (linijskog) rasporeda cijevi, ovisno o širini lamela i ostalim pogonskim parametrima.



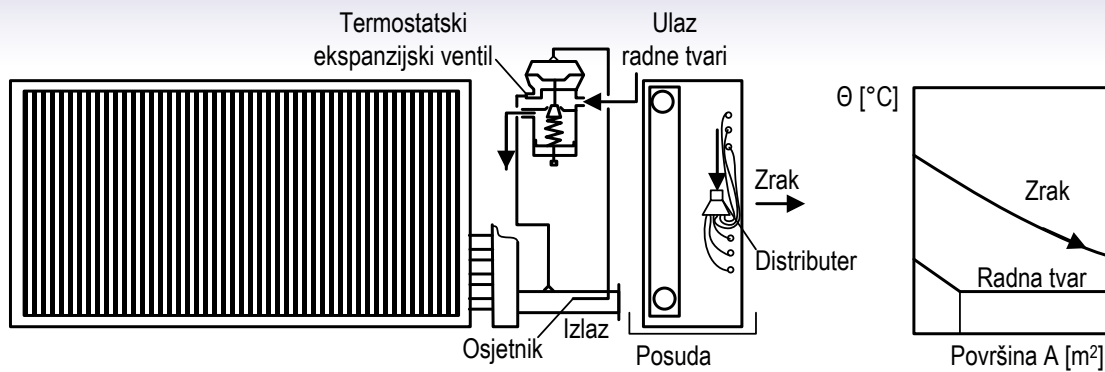
Slika 8.77 - Izmjenjivač za hlađenje tipa voda – zrak

Brzina nastrujavanja zraka u svijetlom presjeku ispred izmjenjivača je 1 do 4 m/s. Temperatura suhog termometra ulaznog zraka kreće se od 18 do 40°C, a temperatura vlažnog termometra ulaznog zraka od 15 do 30°C. Ulazna temperatura rashladne vode u izmjenjivač je između 2 i 18°C. Temperaturni režim rashladne vode najčešće varira od 5/12°C do 14/18°C, ovisno o primjeni. Brzina strujanja rashladne vode kroz izmjenjivač je 0,3 do 2,4 m/s. Protok vode najčešće se određuje na temelju porasta temperature od 3 do 8°C prilikom prolaska kroz izmjenjivač. Otpor strujanju zraka obično poprima vrijednosti slične kao za toplovodne grijače. Broj redova cijevi u smjeru strujanja zraka je između 1 i 12.

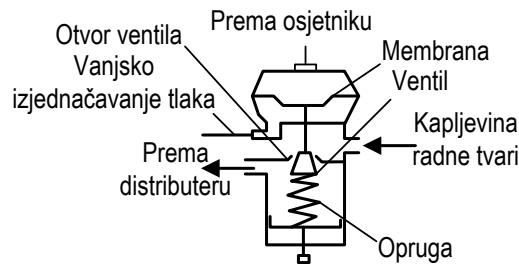
Omjer osjetne i ukupne topline odvedene hlađenjem i odvlaživanjem na strani zraka u praksi se mijenja od oko 0,6 do 1,0 (osjetna toplota je od 60 do 100% ukupne, ovisno o primjeni). Odvlaživači za komfornu primjenu odabiru se obično s brzinom nastrujavanja zraka do 2,5 m/s radi sprječavanja prijenosa vodenih kapljica niz klima jedinicu i zračne kanale. Iza hladnjaka se ugrađuje eliminator kapljica radi sprječavanja prijenosa vodenih kapljica niz struju zraka.

Izmjenjivač s direktnom ekspanzijom funkcionira na principu isparivanja radne tvari izravno u hladnjaku zraka. Termostatski ekspanzijski ventil (TEV) koristi se za automatsku regulaciju protoka radne tvari prema isparivaču, u ovisnosti o količini isparene radne tvari te na taj način održava optimalan pogon isparivača u širokom rasponu pogonskih uvjeta. Kako bi se osigurala približno jednolika distribucija radne tvari kroz više redova cijevi, između TEV i ulaza u izmjenjivač se postavlja distributer čime se ostvaruje jednolika raspodjela radne tvari između cirkulacijskih krugova u izmjenjivaču. Temperature pri kojima isparava radna tvar su u tehnici klimatizacije uglavnom iznad 0°C, a pregrijanje na izlazu iz izmjenjivača se održava unutar zadanih granica od 3 do 6°C. Izlazna temperatura radne tvari iz izmjenjivača kreće se obično između 2 i 14°C. Kao najprikladnije i najčešće korištene radne tvari za taj temperaturni režim rada su R-134a, R-407C ili R-410A.





Termostatski ekspanzijski ventil



Slika 8.78 - Izmjenjivač za hlađenje tipa freon – zrak (direktni isparivač)

Za dimenzioniranje hladnjaka najprije je potrebno odrediti projektno toplinsko opterećenje zgrade prema nekoj od navedenih metoda, primjerice prema smjernici VDI 2078. S izračunatim projektnim osjetnim i latentnim toplinskim opterećenjem (odvojeno), moguće je odrediti protok zraka i vlažnost zraka koji se dovodi u proračunsku zonu ili zgradu prema:

$$\dot{V}_{AC} = \frac{\Phi_{s,\max}}{\rho c_p \Delta\theta_{AC}} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (8.47)$$

$$x_{AC} = x_i - \frac{\Phi_{l,\max}}{\rho r_0 \dot{V}_{AC}} \quad [\text{kg}_w/\text{kg}_{sz}] \quad (8.48)$$

- $\Phi_{s,\max}$  -projektno osjetno toplinsko opterećenje [W]
- $\Phi_{l,\max}$  -projektno latentno toplinsko opterećenje [W]
- $\Delta\theta_{AC}$  -temperaturna razlika između dobavnog zraka i unutarnjeg zraka u ljetnom razdoblju 3 – 8 (10)°C
- $x_i$  -sadržaj vlage unutarnjeg zraka [ $\text{kg}_w/\text{kg}_{sz}$ ]
- $r_0$  -specifična toplota isparavanja vode [J/kg]

Uz poznavanje osjetnih i latentnih toplinskih opterećenja moguće je također izračunati potrebni ukupni kapacitet hlađenja zraka prema izrazu 8.49. Osim pokrivanja toplinskih opterećenja, hladnjak mora ohladiti vanjski zrak na temperaturu prostorije, a u obzir se uzima i zagrijavanje zraka od elektromotora ventilatora:

$$\Phi_H = \Phi_{HL} + \Phi_{VZ} + \Phi_{VE} \quad [\text{W}] \quad (8.49)$$

$$\Phi_{HL} = \Phi_{s,\max} + \Phi_{l,\max} \quad [\text{W}] \quad (8.50)$$

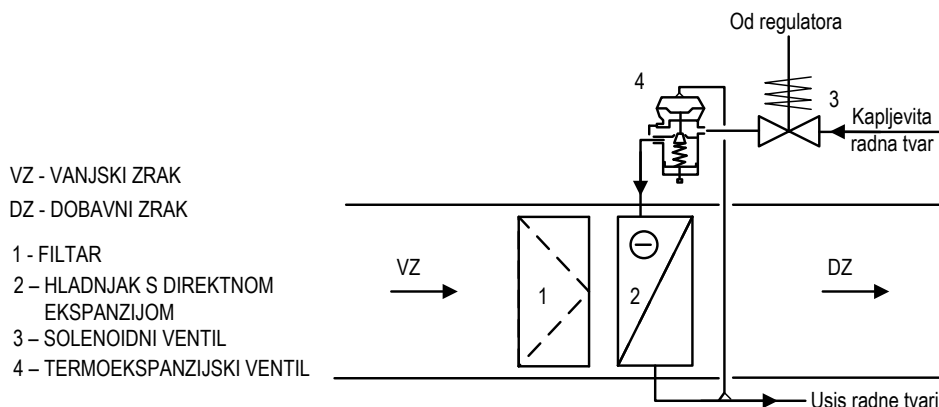
$$\Phi_{VZ} = \dot{V}_{VZ} \rho (h_e - h_i) \quad [\text{W}] \quad (8.51)$$

$$\Phi_{VE} = \frac{\Delta p_T \dot{V}_{AC}}{\eta_{VE}} \text{ [W]} \quad (8.52)$$

$\Phi_H$	-ukupni učinak hladnjaka [W]
$\Phi_{HL}$	-ukupno toplinsko opterećenje proračunske zone [W]
$\Phi_{VZ}$	-učinak potreban za hlađenje vanjskog zraka na temperaturu prostorije [W]
$\Phi_{VE}$	-toplina koju ventilator uslijed rada predaje struji zraka [W]
$\dot{V}_{VZ}$	-volumenski protok vanjskog zraka [m <sup>3</sup> /s]
$h_e$	-specifična entalpija vanjskog zraka [J/kg]
$h_i$	-specifična entalpija unutarnjeg zraka [J/kg]
$\Delta p_T$	-ukupni tlak ventilatora [Pa]
$\eta_{VE}$	-stupanj korisnosti ventilatora

Ako su poznati protok zraka i temperaturna razlika zraka ispred i iza izmjenjivača, kapacitet hladnjaka može se odrediti i preko  $h,x$  - dijagrama i izraza (8.11).

Regulacija učinka hladnjaka s rashladnom vodom uglavnom se provodi promjenom protoka vode kroz izmjenjivač s prolaznim regulacijskim ventilom ili troputnim razdjelnim ventilom. U tome se slučaju preporučuje korištenje cirkulacijske pumpe s modulirajućom regulacijom brzine vrtnje (slika 8.75). Regulacijski ventili su zatvoreni ako je tlačni ventilator isključen. Otvorenost ventila se ugađa u ovisnosti o temperaturi zraka na izlazu iz hladnjaka ili o temperaturi prostora. Hladnjak s direktnim isparavanjem regulira se solenoidnim ventilima na cijevima kapljevite faze radne tvari (slika 8.79). Čelna zaklopka i zaklopka obilaznog voda na strani zraka se ne preporučuju, jer mogu dovesti do stvaranja leda na izmjenjivaču kod smanjenog protoka zraka. Regulacija se može poboljšati ako se vrši u dva ili više stupnjeva (modulirajuća regulacija) što se može postići korištenjem regulatora promjenjivog usisnog tlaka.

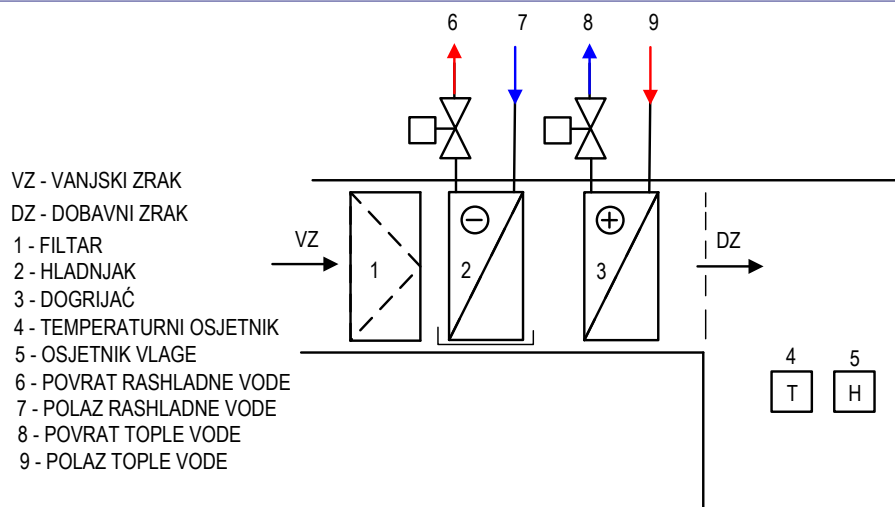


**Slika 8.79 – On-off regulacija učinka direktnog isparivača**

Regulacija vlažnosti temelji se na izlaznim signalima osjetnika vlage, smještenog u prostoru ili u odsisnom kanalu. Jedan od načina regulacije odvlaživanja je preko regulacije učinka hladnjaka. Temperatura hladnjaka se smanji na vrijednost pri kojoj se odvaja dovoljna količina vlage iz dobavnog zraka i na taj se način postiže zadana vrijednost relativne vlažnosti dobavnog zraka. Dogrjač se koristi za održavanje temperature prostora kada, uslijed procesa odvlaživanja, temperatura dobavnog zraka po izlasku iz hladnjaka postane preniska (slika 8.80).

Kapacitet odvlaživanja ograničen je svojstvima zraka koji se koristi u klimatizaciji. Ako se vlaga koja se kondenzira iz struje zraka leđi na površini hladnjaka, strujanje zraka je otežano, a u težim slučajevima može biti i prekinuto. U praksi je granica smrzavanja na oko 5°C na vanjskoj površini izmjenjivača. Na taj način se dobiva zrak relativne vlažnosti oko 30% pri temperaturi prostora od 24°C, što je prikladno za većinu komercijalnih primjena. Za veće učinke odvlaživanja treba koristiti adsorpcijske sušaće zraka. Drugi način odvlaživanja je uz korištenje orošavanog hladnjaka, čime se intenzitet izmjene topline dodatno povećava, ali se pritom javlja problem troškova održavanja, dogrijavanja i uklanjanja krutog taloga s površine izmjenjivača.

Adsorpcijski sušač, odnosno odvlaživač koji radi na osnovi kemijskog sredstva za sušenje, može smanjiti relativnu vlažnost na niže vrijednosti no što se može postići hladnjakom. Ovaj uređaj apsorbira vlagu koristeći silikagel ili sličan higroskopni materijal. Pri kontinuiranom pogonu, potrebno je dovođenje topline i zraka za regeneraciju, tj. odvođenje vlage iz tog materijala.



Slika 8.80 - Odvlaživanje pomoću hladnjaka s dogrijavanjem

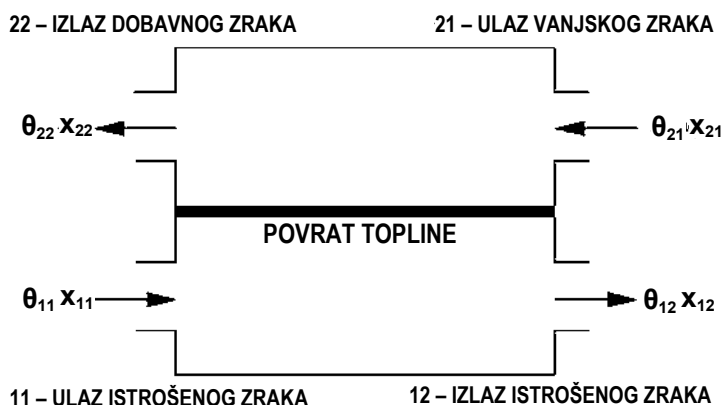
Za ispravan rad grijača i hladnjaka važno je da unutarnje i vanjske površine izmjenjivača budu čiste. Unutarnje površine izložene vodi ili mješavini vode i glikola uglavnom ostaju dugo čiste u normalnoj uporabi ako je provedena odgovarajuća priprema vode i održavanje. U slučaju stvaranja naslaga, primjerice kamenca u cijevima, povremeno se javlja potreba za kemijskim i mehaničkim čišćenjem cijevi. Vanjska orebrena površina izmjenjivača lakše se održava čistom ako je ispred izmjenjivača postavljen filter koji zadržava čestice prašine iz struje zraka. Redovitom zamjenom filtera, vanjska površina izmjenjivača ne treba posebno održavanje. U slučaju potrebe, preporučuje se propuhivanje lamela komprimiranim zrakom i ispiranje mlazom vode pod tlakom s blagom otopinom deterdženta. Kod jačeg zaprljanja izmjenjivača s taloženjem masnoće, primjerice u restoranima i kuhinjama, preporučuje se demontaža izmjenjivača i čišćenje vanjske površine parom ili toplom vodom s dodatkom deterdženta. Ako izmjenjivač ima više od 3 reda cijevi u smjeru strujanja zraka, tada je otežano vizualno utvrđivanje zaprljanosti vanjske površine. Čišćenje je temeljitije ako se započne na izlaznoj strani zraka iz izmjenjivača. Kod čišćenja treba biti pažljiv, jer su lamele izmjenjivača vrlo osjetljive na savijanje. Kod hladnjaka je potrebno kontrolirati odvod kondenzata iz posude ispod hladnjaka te ga po potrebi očistiti.

Kako bi se smanjili toplinski gubici i povećala energetska učinkovitost grijača, odnosno hladnjaka, potrebno je priključni cjevovod i armaturu toplinski izolirati. Preporučuje se primjena toplinske izolacije s parnom branom, posebice kod hladnjaka, kako bi se izbjegla kondenzacija vlage iz okolišnog zraka na vanjskoj površini cijevi. Debljina toplinske izolacije prema Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (NN 110/2008) za cjevovode i armaturu u negrijanom prostoru iznosi 2/3 promjera cijevi (najviše 100 mm).

#### 8.6.4. Povrat topline

Povratom toplinske energije iz otpadnih medija koristi se toplinska energija sadržana u otpadnim medijima, koja bi se inače neiskorištena odbacila u okoliš. Na taj se način smanjuju pogonski troškovi (ušteta goriva, ušteta električne energije), smanjuje učinak i dimenzije opreme te ponekad omogućuje izostavljanje pojedine opreme (kotao, rashladnik, izmjenjivači, ovlaživač), a jedna od važnih prednosti je i zaštita okoliša. Zbog toga pitanje koje se nameće nije da li koristiti sustave povrata topline ili ne, nego kada i kako ih koristiti. Odgovor na to pitanje ovisi o nizu čimbenika te je za svaki slučaj potrebno provesti posebnu analizu isplativosti pojedine izvedbe sustava. Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (NN 110/2008) navodi obvezu korištenja sustava povrata topline (SPT) za zračne sustave ventilacije i klimatizacije, gdje ukupni protok vanjskog zraka u zgradu iznosi od 2500 m<sup>3</sup>/h na više.

SPT koji se koristi u zračnim GViK sustavima funkcionira po principu izmjene topline između struja dobavnog i istrošenog zraka pri čemu se tijekom toplog vremena entalpija dobavne struje zraka smanjuje, a istrošene struje povećava, dok je tijekom hladnog vremena proces suprotan. Na taj je način omogućen djelomični povrat toplinske energije sadržane u istrošenom zraku. Za ocjenu učinkovitosti sustava povrata topline, koriste se značajke: stupanj povrata topline, stupanj povrata vlage i pad tlaka, pri čemu se povrat najčešće prikazuje na strani vanjskog, odnosno dobavnog zraka (struja 2).



Slika 8.81 - Shematski prikaz sustava povrata topline

Stupanj povrata topline je značajka koja predstavlja povrat osjetne topline izražen na strani vanjskog zraka:

$$\Phi_2 = \frac{\theta_{22} - \theta_{21}}{\theta_{11} - \theta_{21}} \quad [-] \quad (8.53)$$

- $\theta_{11}$  -temperatura istrošenog zraka na ulazu u uređaj [°C]
- $\theta_{21}$  -temperatura vanjskog zraka na ulazu u uređaj [°C]
- $\theta_{22}$  -temperatura dobavnog zraka na izlazu iz uređaja [°C]

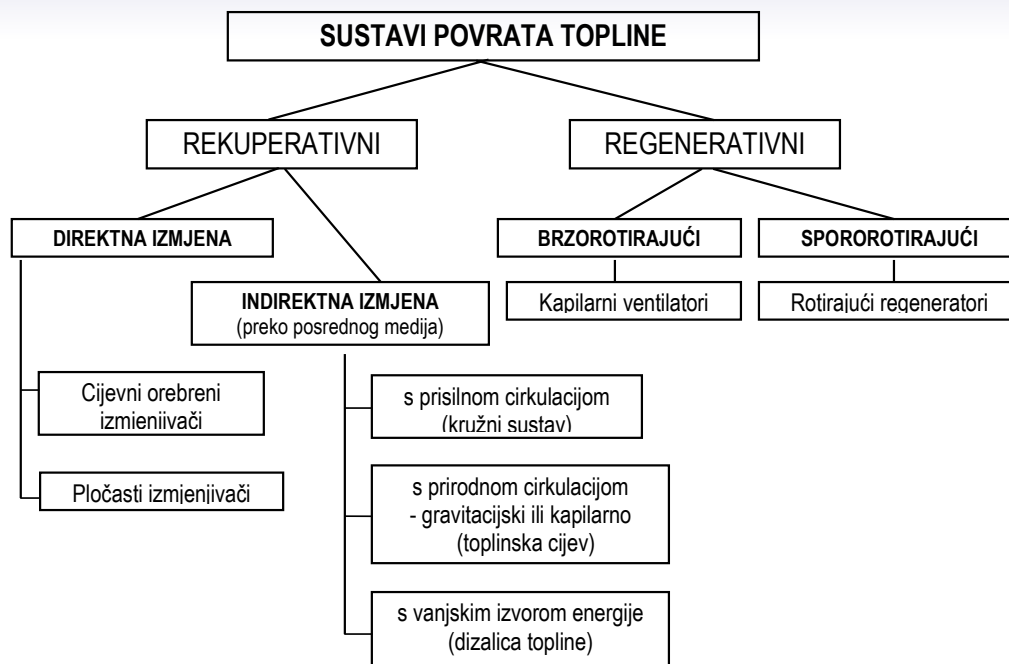
Stupanj povrata vlage je značajka koja predstavlja povrat latentne topline izražen na strani vanjskog zraka:

$$\Psi_2 = \frac{x_{22} - x_{21}}{x_{11} - x_{21}} \quad [-] \quad (8.54)$$

- $x_{11}$  -sadržaj vlage u istrošenom zraku na ulazu u uređaj [kg<sub>w</sub>/kg<sub>sz</sub>]
- $x_{21}$  -sadržaj vlage u vanjskom zraku na ulazu u uređaj [kg<sub>w</sub>/kg<sub>sz</sub>]
- $x_{22}$  -sadržaj vlage u dobavnom zraku na izlazu iz uređaja [kg<sub>w</sub>/kg<sub>sz</sub>]

Prethodni izrazi vrijede za jednake masene protoke obiju struja tj.  $\dot{m}_1 = \dot{m}_2$  [kg/s].

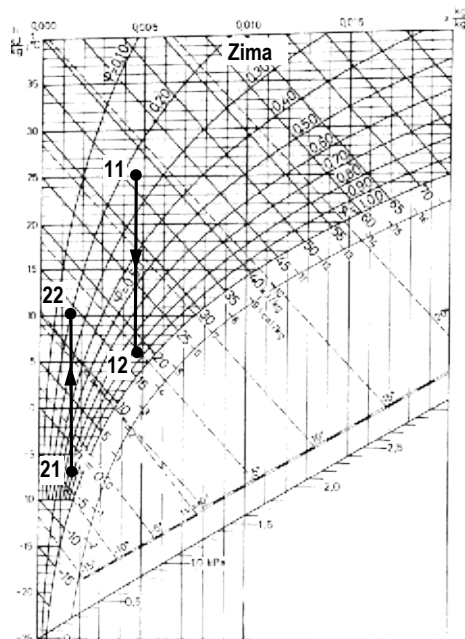
Ovisno o izvedbi uređaja, moguća je izmjena samo osjetne topline, pri čemu dolazi do promjene temperature struja ili izmjena osjetne i latentne topline, a pri čemu dolazi do promjene temperature i vlage struja zraka. Uređaj za povrat osjetne topline naziva se rekuperator, a uređaj za povrat ukupne topline (osjetne i latentne) regeneratore.



Slika 8.82 - Podjela sustava povrata topline

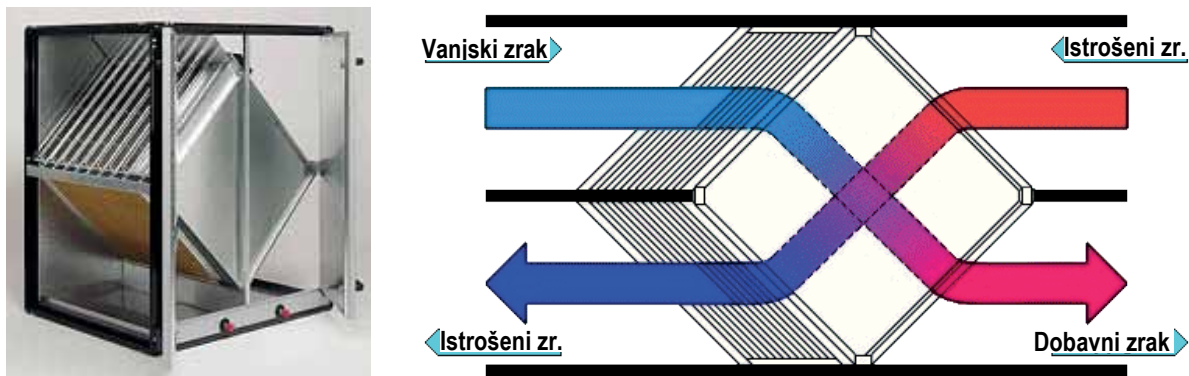
#### 8.6.4.1. Rekuperativni povrat topline

Kod rekuperativnih sustava prijelaz topline odvija se preko ploha (cijevi, ploče) bez međusobnog izravnog dodira medija, što omogućuje povrat samo osjetne topline. Tako se u sezoni grijanja vanjski zrak može predgrijati, a u sezoni hlađenja može se ohladiti. Prednosti ovakve izvedbe su razdvajanje struja medija i mogućnost prijelaza topline između različitih medija (voda, zrak, ulje). Nedostaci su manji stupanj korisnosti, veći pad tlaka te veći potreban prostor za ugradnju u usporedbi s regenerativnim sustavima.



Slika 8.83 - h,x dijagram - prikaz procesa povrata osjetne topline zimi

Proces povrata topline na slici 8.83 prikazuje predgrijavanje vanjskog zraka s toplim istrošenim zrakom iz zgrade u protustruji. Ako struja istrošenog zraka ima veći sadržaj vlage od prikazanog, u nekim pogonskim uvjetima može doći do kondenzacije vlage na toj strani uređaja, ali to ne znači i mogućnost povrata vlage.

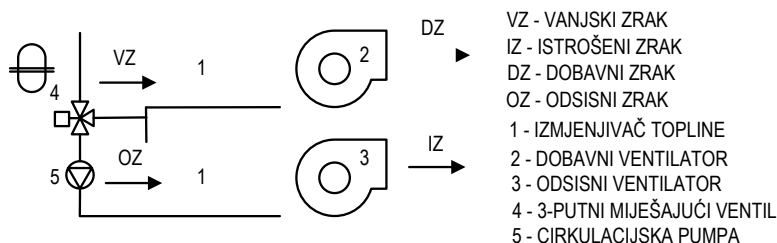


Slika 8.84 – Pločasti rekuperator - sustav povrata osjetne topline

Pri niskim temperaturama vanjskog zraka (oko  $-10^{\circ}\text{C}$ ) to može dovesti do pojave leda na površini izmjenjivača, što može značajno smanjiti učinkovitost sustava pa i potpuno prekinuti protok zraka. Problem se rješava ugradnjom obilaznog voda, smanjenjem protoka ili predgrijavanjem vanjskog zraka.

Pločasti rekuperator (slika 8.84) s križnim strujanjem zraka najčešće se koristi za prijelaz topline između plinova temperatura do  $100^{\circ}\text{C}$ . Napravljen je od aluminijskog lima (eventualno prevučenog plastikom), nehrđajućeg čelika ili plastike. Debljine ploča između kojih struji zrak je do 1 mm, a razmak među njima je 5 do 10 mm. Širina izmjenjivača je do 3 m s protocima plina do  $100\,000\text{ m}^3/\text{h}$ . U izmjenjivaču zbog otpora strujanju, dolazi do pada tlaka koji na strani vanjskog zraka iznosi 100 do 250 Pa, ovisno o pogonskim uvjetima. Regulacija učinka se također vrši najčešće ugradnjom obilaznog voda. Stupanj povrata topline pločastih rekuperatora iznosi 50 do 70% uz brzine strujanja zraka 2 do 3 m/s.

Kružni cirkulacijski sustav (slika 8.85) ima dva izmjenjivača zrak-voda izrađena od bakrenih cijevi s aluminijskim lamelama ili od čeličnih cijevi i rebara. Princip rada je takav da posredni medij (voda ili voda-glikol) cirkulira kroz izmjenjivače povezane spojnim cjevovodom, preuzima toplinu s jedne struje i predaje ju drugoj struji. Cjevovod ima vlastitu cirkulacijsku pumpu, ekspanzijsku posudu i troputni miješajući ventil. Ovakva je izvedba pogodna kada su dobavna i istrošena struja zraka međusobno udaljene. Izmjenjivači se sastoje od 2 do 8 redova cijevi u smjeru strujanja koje na sebi imaju lamele s međusobnim razmakom 1,5 do 6 mm. Ugradbena širina izmjenjivača je do 4 m s protocima plina do  $100\,000\text{ m}^3/\text{h}$ . Pad tlaka na strani vanjskog zraka je 100 do 250 Pa.



Slika 8.85 – Kružni cirkulacijski sustav - sustav povrata osjetne topline

Problem smrzavanja rješava se dodavanjem glikola u krug vode i smanjenjem protoka vode kroz izmjenjivač u dobavnoj struji zraka. Također je potrebno smanjiti izmjenu topline između spojnog cjevovoda i okoliša, pogotovo ako je cjevovod dugačak. Zbog toga se spojni cjevovodi trebaju dobro izolirati i na taj način smanjiti gubitke topline. Regulacija učinka vrši se troputnim miješajućim ventilom u struji vode. Optimalno područje rada sustava je za omjer:

$$\frac{\dot{m}_{VZ} c_p}{\dot{m}_w c_w} = 1 \quad (8.55)$$

$\dot{m}_{VZ}$	-maseni protok vanjskog zraka [kg/s]
$c_p$	-specifični toplinski kapacitet zraka [J/(kgK)]
$\dot{m}_w$	-maseni protok vode [kg/s]
$c_w$	-specifični toplinski kapacitet vode [J/(kgK)]

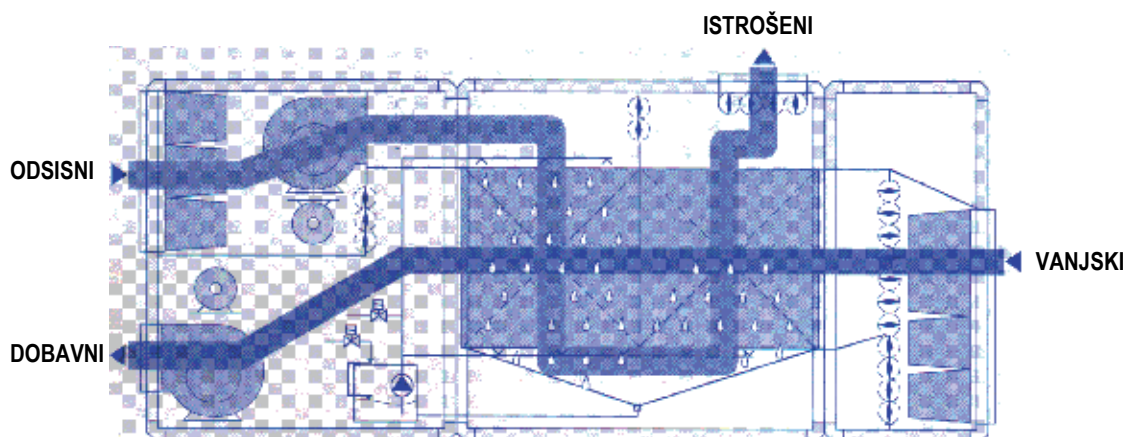
Stupanj povrata topline kružnih cirkulacijskih sustava iznosi 40 do 60% uz brzine strujanja zraka 2 do 3 m/s.

Stupanj povrata navedenih uređaja može se povećati na 60 do 75% povećanjem ugradbene duljine izmjenjivača tako da se prijeđe s križnog na protusmjerno strujanje (pločasti rekuperator), odnosno povećanjem broja redova cijevi izmjenjivača u smjeru strujanja i slojevitom razdiobom vode po presjeku strujanja (kružni cirkulacijski sustav). Drugi način je postavljanje dva izmjenjivača jedan iza drugoga, pri čemu se, za slučaj dva jednaka uređaja, povećani stupanj povrata osjetne topline računa prema izrazu:

$$\Phi_{2,UK} = \frac{2\Phi_2 - \Phi_2^2 \left(1 + \frac{\dot{m}_{VZ}}{\dot{m}_{IZ}}\right)}{1 - \Phi_2^2 \frac{\dot{m}_{VZ}}{\dot{m}_{IZ}}} \quad [-] \quad (8.56)$$

$\Phi_{2,UK}$	-stupanj povrata osjetne topline za dva jednaka serijski spojena izmjenjivača [-]
$\Phi_2$	-stupanj povrata pojedinog izmjenjivača [-]
$\dot{m}_{VZ}$	-maseni protok struje vanjskog zraka [kg/s]
$\dot{m}_{IZ}$	-maseni protok struje istrošenog zraka [kg/s]

Jedna od posebnih izvedbi (slika 8.86) je postavljanje dvaju pločastih rekuperatora jedan iza drugog, uz raspršivanje vode sa strane istrošenog zraka u ljetnom režimu. Tako se u ljetnom režimu rada korištenjem evaporativnog hlađenja postiže stupanj povrata do 90%.



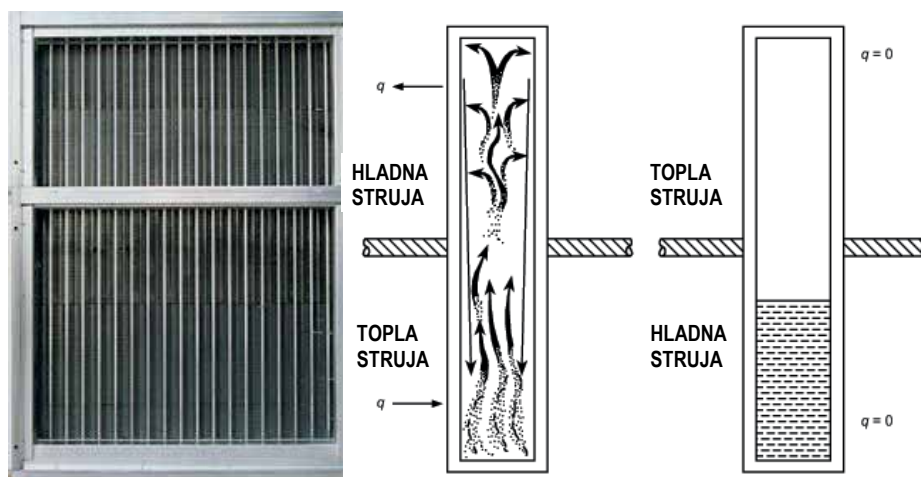
Slika 8.86 – Sustav povrata topline s evaporativnim hlađenjem [8.17]

Toplinske cijevi (engl. *heat pipes*) koriste se uglavnom za prijelaz topline između plinova temperatura 40 do 80°C. Cijevi izmjenjivača su vakumirane i pune posrednim medijem koji se bira prema radnom području (alkoholi ili radne tvari). Dio cijevi nalazi se u jednoj, a dio u drugoj struji zraka, međusobno različite temperature. Radna tvar unutar cijevi isparava na jednoj, a kondenzira na drugoj strani, prenoseći tako toplinu s jednog medija na drugi. Moguća je uspravna i vodoravna izvedba izmjenjivača.

Kod uspravne izvedbe (slika 8.87) princip rada je gravitacijski što znači da radna tvar kondenzira u gornjem dijelu izmjenjivača, a kondenzat se gravitacijski slijeva i isparava u donjem dijelu cijevi. Na taj se način struja koja prolazi preko gornjeg dijela izmjenjivača zagrijava, a struja koja prolazi preko donjeg dijela hladi. Povrat topline moguće je ostvariti samo u režimu grijanja, a regulacija se vrši obilaznim vodom.

Princip rada kod vodoravne izvedbe je kapilarni, a izveden je tako da su cijevi na unutarnjoj površini prevučene poroznim slojem. Radna tvar kondenzira u jednom, a isparava u drugom dijelu izmjenjivača i zatim se kondenzat kapilarnim silama kroz porozni sloj kreće prema zoni isparavanja. Tako se struja koja prolazi preko jednog dijela izmjenjivača zagrijava, a struja koja prolazi preko drugog dijela hladi. Tako je moguće vršiti povrat topline u režimu grijanja i hlađenja te regulaciju učinka promjenom kuta nagiba izmjenjivača.

Za izradu izmjenjivača najčešće se koriste bakrene cijevi i aluminijske lamele. Broj redova cijevi u smjeru strujanja kreće se od 2 do 8, s lamelama međusobnog razmaka 1,5 do 4 mm., s padom tlaka 100 do 200 Pa na strani vanjskog zraka. Kod ovakve izvedbe sustava nema pokretnih dijelova što je prednost sa stajališta održavanja. Stupanj povrata topline iznosi od 50 do 60%.



Slika 8.87 – Toplinske cijevi u uspravnoj izvedbi - sustav povrata osjetne topline



## Primjer 3 – Sustav povrata toplinske energije

Naziv mjere	<b>Opremanje sustava prisilne ventilacije sa sustavom povrata topline iz istrošenog zraka – pločasti rekuperator (povrat osjetne topline)</b>																																					
Opis mjere	<p>Uredska zgrada 2000 m<sup>2</sup>. Ugradnja sustava povrata toplinske energije iz istrošenog zraka u sustav prisilne ventilacije.</p> <p><u>Ulazni podaci:</u>          Toplinski izvor (grijanje i hlađenje): dizalica topline COP=3          Volumenski protok zraka tlačno-odsisnog sustava prisilne ventilacije V=18000 m<sup>3</sup>/h          Stupanj korisnosti ventilatora <math>\eta=75\%</math>          Stupanj povrata osjetne topline <math>\Phi_2=50\%</math>          Broj sati pogona godišnje <math>t_{op}=3640</math> h/god          Pad tlaka – tlačni dio: <math>\Delta p_T=1000</math> Pa (bez ugrađenog SPT)          Pad tlaka – odsisni dio: <math>\Delta p_O=800</math> Pa (bez ugrađenog SPT)          Dodatni otpor strujanja zraka uz ugrađeni SPT po ventilatoru <math>\Delta p_{SPT}=200</math> Pa</p>																																					
Uštede	<p>Investicija, godišnje uštede, povrat investicije</p> <table border="1" data-bbox="277 895 1380 1868"> <thead> <tr> <th colspan="3" data-bbox="277 895 1380 953"><b>Opremanje sustava prisilne ventilacije sa sustavom povrata osjetne topline</b></th> </tr> <tr> <th data-bbox="277 953 591 1002"></th> <th data-bbox="591 953 972 1002"><b>Zagreb</b></th> <th data-bbox="972 953 1380 1002"><b>Split</b></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="277 1002 591 1102">Smanjenje toplinske snage (osjetne)</td> <td data-bbox="591 1002 972 1102">sa 204 kW na 102 kW (grijač) sa 62 kW na 31 kW (hladnjak)</td> <td data-bbox="972 1002 1380 1102">sa 150 kW na 75 kW (grijač) sa 62 kW na 31 kW (hladnjak)</td> </tr> <tr> <td data-bbox="277 1102 591 1202">Povećanje električne snage</td> <td data-bbox="591 1102 972 1202">sa 12,0 kW na 14,7 kW (dodatnih 200 Pa po ventilatoru)</td> <td data-bbox="972 1102 1380 1202">sa 12,0 kW na 14,7 kW (dodatnih 200 Pa po ventilatoru)</td> </tr> <tr> <td data-bbox="277 1202 591 1302">Ukupna električna energija godišnje</td> <td data-bbox="591 1202 972 1302">43700 kWh (bez SPT) 53400 kWh (sa SPT)</td> <td data-bbox="972 1202 1380 1302">43700 kWh (bez SPT) 53400 kWh (sa SPT)</td> </tr> <tr> <td data-bbox="277 1302 591 1402">Ukupna toplinska energija godišnje</td> <td data-bbox="591 1302 972 1402">200000 kWh (bez SPT) 100000 kWh (sa SPT)</td> <td data-bbox="972 1302 1380 1402">157500 kWh (bez SPT) 78750 kWh (sa SPT)</td> </tr> <tr> <td data-bbox="277 1402 591 1502">Godišnje uštede toplinske energije</td> <td data-bbox="591 1402 972 1502">23700 kn 100000 kWh</td> <td data-bbox="972 1402 1380 1502">18700 kn 78750 kWh</td> </tr> <tr> <td data-bbox="277 1502 591 1564">Godišnji troškovi</td> <td data-bbox="591 1502 972 1564">11400 kn (održavanje i pogon)</td> <td data-bbox="972 1502 1380 1564">11400 kn (održavanje i pogon)</td> </tr> <tr> <td data-bbox="277 1564 591 1625">Investicija</td> <td data-bbox="591 1564 972 1625">45000 kn</td> <td data-bbox="972 1564 1380 1625">45000 kn</td> </tr> <tr> <td data-bbox="277 1625 591 1687">Rok povrata investicije</td> <td data-bbox="591 1625 972 1687">3,7 god</td> <td data-bbox="972 1625 1380 1687">6,2 god</td> </tr> <tr> <td data-bbox="277 1687 591 1749">Životni vijek EE mjere</td> <td data-bbox="591 1687 972 1749">25 god</td> <td data-bbox="972 1687 1380 1749">25 god</td> </tr> <tr> <td data-bbox="277 1749 591 1868">Uštede u životnom vijeku*</td> <td data-bbox="591 1749 972 1868">261900 kn 2500 MWh</td> <td data-bbox="972 1749 1380 1868">136100 kn 1970 MWh</td> </tr> </tbody> </table> <p data-bbox="277 1910 836 1947">* proračun s cijenama energenata na dan 15.01.2010.</p>		<b>Opremanje sustava prisilne ventilacije sa sustavom povrata osjetne topline</b>				<b>Zagreb</b>	<b>Split</b>	Smanjenje toplinske snage (osjetne)	sa 204 kW na 102 kW (grijač) sa 62 kW na 31 kW (hladnjak)	sa 150 kW na 75 kW (grijač) sa 62 kW na 31 kW (hladnjak)	Povećanje električne snage	sa 12,0 kW na 14,7 kW (dodatnih 200 Pa po ventilatoru)	sa 12,0 kW na 14,7 kW (dodatnih 200 Pa po ventilatoru)	Ukupna električna energija godišnje	43700 kWh (bez SPT) 53400 kWh (sa SPT)	43700 kWh (bez SPT) 53400 kWh (sa SPT)	Ukupna toplinska energija godišnje	200000 kWh (bez SPT) 100000 kWh (sa SPT)	157500 kWh (bez SPT) 78750 kWh (sa SPT)	Godišnje uštede toplinske energije	23700 kn 100000 kWh	18700 kn 78750 kWh	Godišnji troškovi	11400 kn (održavanje i pogon)	11400 kn (održavanje i pogon)	Investicija	45000 kn	45000 kn	Rok povrata investicije	3,7 god	6,2 god	Životni vijek EE mjere	25 god	25 god	Uštede u životnom vijeku*	261900 kn 2500 MWh	136100 kn 1970 MWh
<b>Opremanje sustava prisilne ventilacije sa sustavom povrata osjetne topline</b>																																						
	<b>Zagreb</b>	<b>Split</b>																																				
Smanjenje toplinske snage (osjetne)	sa 204 kW na 102 kW (grijač) sa 62 kW na 31 kW (hladnjak)	sa 150 kW na 75 kW (grijač) sa 62 kW na 31 kW (hladnjak)																																				
Povećanje električne snage	sa 12,0 kW na 14,7 kW (dodatnih 200 Pa po ventilatoru)	sa 12,0 kW na 14,7 kW (dodatnih 200 Pa po ventilatoru)																																				
Ukupna električna energija godišnje	43700 kWh (bez SPT) 53400 kWh (sa SPT)	43700 kWh (bez SPT) 53400 kWh (sa SPT)																																				
Ukupna toplinska energija godišnje	200000 kWh (bez SPT) 100000 kWh (sa SPT)	157500 kWh (bez SPT) 78750 kWh (sa SPT)																																				
Godišnje uštede toplinske energije	23700 kn 100000 kWh	18700 kn 78750 kWh																																				
Godišnji troškovi	11400 kn (održavanje i pogon)	11400 kn (održavanje i pogon)																																				
Investicija	45000 kn	45000 kn																																				
Rok povrata investicije	3,7 god	6,2 god																																				
Životni vijek EE mjere	25 god	25 god																																				
Uštede u životnom vijeku*	261900 kn 2500 MWh	136100 kn 1970 MWh																																				

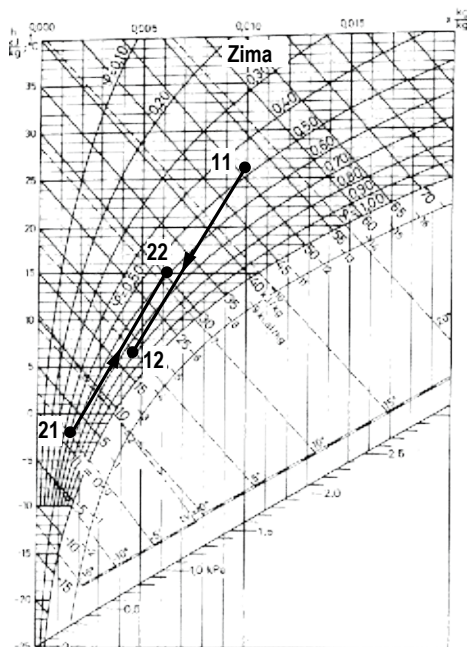
### 8.6.4.2. Regenerativni povrat topline

Kod regenerativnog sustava, prijelaz topline se odvija preko akumulacijske mase, uz međusobni izravni kontakt struja medija, što osim povrata osjetne topline omogućuje i povrat latentne topline (u odgovarajućim pogonskim uvjetima). Prednosti sustava su mogućnost povrata topline i vlage, veći stupanj korisnosti te kompaktna izvedba u usporedbi s rekuperatorima, a nedostatak je nemogućnost potpunog razdvajanja struja fluida pa je moguća izmjena topline samo između plinova.

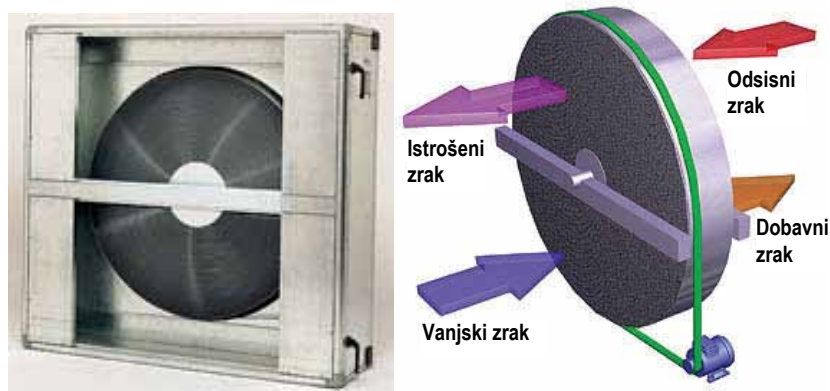
Kod rotirajućeg regeneratora (slika 8.89), toplina se između struja zraka prenosi rotirajućom akumulacijskom masom u obliku saća izrađenog najčešće od aluminijske i smještenog u čelično kućište. Polovica regeneratora nalazi se u jednoj, a druga polovica u drugoj struji zraka, međusobno različitih temperatura. Strujanje u uređaju je protustrujno i koristi se za prijelaz topline između plinova temperatura do 200°C. Promjer rotora je do 6 m, brzina vrtnje rotora 5 do 20 min<sup>-1</sup> s protocima plina do 150 000 m<sup>3</sup>/h. Pad tlaka na strani vanjskog zraka je 50 do 300 Pa. Sustavom je moguće ostvariti stupanj povrata topline i stupanj povrata vlage od 65 do 85%. Rotor se ne smije potpuno zaustaviti niti u vremenu kada se ne vrši povrat topline, već se treba regulirati tako da rotira na minimalnom broju okretaja ili se uključuje povremeno.

Dvije osnovne izvedbe rotirajućeg regeneratora su sorpcijska i kondenzacijska izvedba. Kod sorpcijskog regeneratora površina saća presvučena je higroskopnim materijalom (npr. silikagel), pa higroskopna ispunna preuzima vlagu s vlažne struje plina i predaje je suhoj struji. Sustav se može koristiti za povrat osjetne i latentne topline zimi, te hlađenje i odvlaživanje ljeti. Kondenzacijski regeneratori imaju glatku površinu saća izrađenu od aluminijske ili čelike čime je omogućen povrat latentne topline samo zimi, tj. samo u slučaju hlađenja ispod rosišta stanja istrošenog zraka, pri čemu vlaga kondenzira u toploj i isparava u hladnoj struji. Problemi koji nastaju pri radu rotirajućeg regeneratora su opasnost od smrzavanja pri niskim vanjskim temperaturama i osjetljivost na onečišćenje saća, što dovodi do smanjenja stupnja povrata topline i vlage te porasta pada tlaka. Osim toga, dolazi do miješanja povratnog i vanjskog zraka u iznosu 2 do 5%. Miješanje se može smanjiti brtvljenjem, čime se miješanje smanjuje na manje od 0,5% ili izvedbom s „plinskim jastukom“, čime miješanje potpuno prestaje. Sprječavanje smrzavanja i regulacija učinka rješavaju se promjenom brzine vrtnje rotora.

Kod svih sustava povrata topline treba obratiti pozornost na razinu onečišćenja površina izmjenjivača. Naime, ako se onečišćenje izmjenjivača povećava, tada dolazi do smanjenja stupnja povrata topline, stupnja povrata vlage i do porasta pada tlaka na strani zraka što izravno utječe na porast potrošnje električne energije za pogon ventilatora klimatizacijske jedinice. Onečišćenje je moguće smanjiti u znatnoj mjeri ugradnjom filtera i njihovom redovitom zamjenom tijekom održavanja.



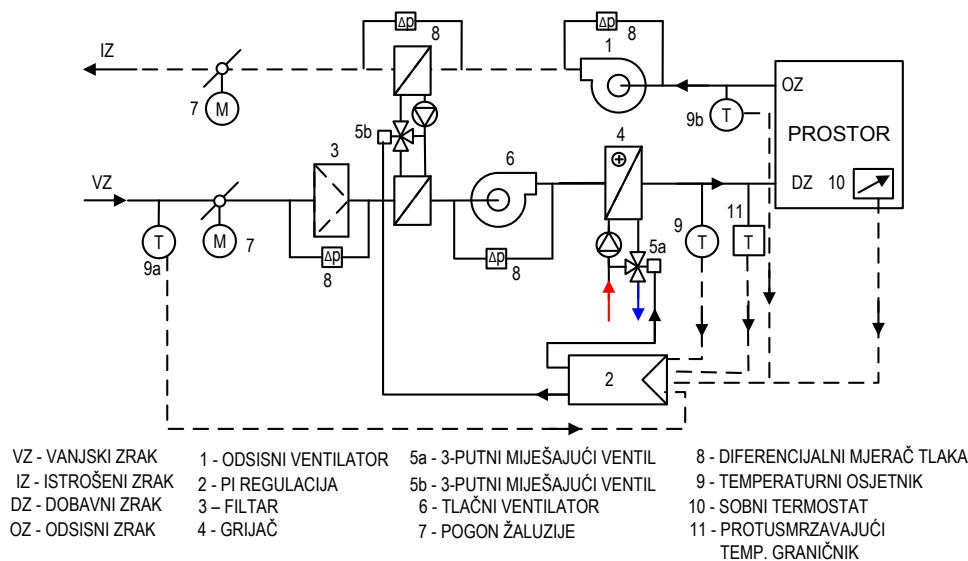
Slika 8.88 - h,x dijagram - prikaz procesa povrata osjetne i latentne topline zimi



Slika 8.89 – Rotirajući regeneratorski sustav povrata osjetne i latentne topline

Analize i praksa pokazuju kako su sustavi povrata toplinske energije u pravilu isplativi, a za optimalan izbor tipa sustava, potrebno je provesti cjelovitu analizu za konkretan slučaj ugradnje uključivo investicijske i pogonske troškove, troškove održavanja i uštedu energije. Gospodarska analiza sustava temelji se na pogonskim uvjetima sustava klimatizacije, geografskoj lokaciji i namjeni zgrade. Optimiranje stupnja povrata topline vezanjem SPT u seriju (jedan iza drugog), znatno povećava pad tlaka, što najčešće dovodi do produljenja vremena povrata investicije.

Na slici 8.90 prikazana je funkcionalna shema jednokanalnog sustava toplozračnog grijanja zraka sa 100% vanjskim zrakom. Sustav koristi priključak na toplu vodu (npr. 80/60°C) za grijanje, a za potrebe predgrijanja zraka koristi kružni cirkulacijski sustav povrata topline umjesto konvencionalnog predgrijača. Osnovni regulacijski element sustava je regulator (2), pomoću kojega se regulira temperatura dobavnog zraka. Temperatura prostora mjeri se preko osjetnika (9b) i u slučaju odstupanja od postavljene vrijednosti regulator (2), mijenja otvorenost ventila (5a) i (5b). Zaštita od smrzavanja vrši se preko zaštitnog termostata (11), kojim se mjeri temperatura zraka iza grijača. Ako je vrijednost temperature niža od postavljene (npr. 5°C), uključuje se sekundarna cirkulacijska pumpa grijača, potpuno se otvara ventil (5a), zatvaraju se zaklopke vanjskog i istrošenog zraka i na posljeticu se isključuju ventilatori kako bi se spriječilo smrzavanje vode u grijaču. Pritom se zatvara ventil (5b) i prekida protok vode kroz izmjenjivač u dobavnoj struji kako bi se spriječilo smrzavanje kondenzirane vlage iz istrošenog zraka.



Slika 8.90 – Funkcionalna shema spajanja i regulacije sustava toplozračnog grijanja zraka sa 100% vanjskim zrakom i kružnim cirkulacijskim sustavom

### 8.6.5. Ovlaživač

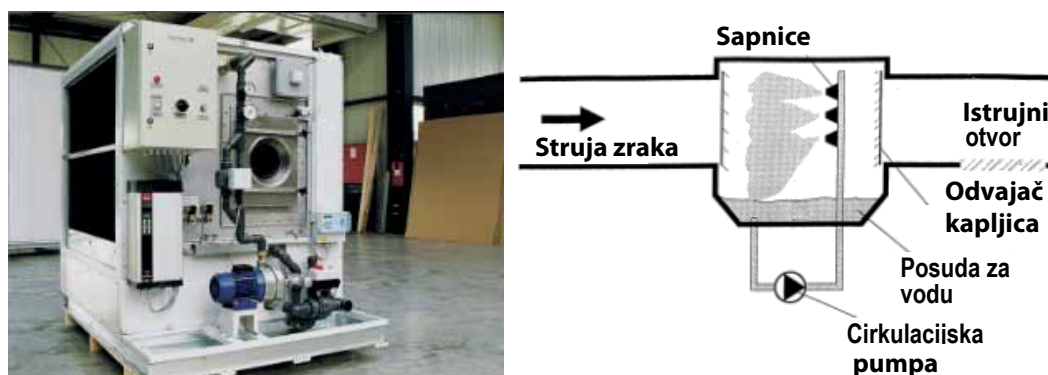
U sustavima klimatizacije je za održavanje toplinske ugodnosti ponekad potrebno ovlaživati zrak koji se dovodi u prostor, a potreba za tim najčešće se javlja u zimskom razdoblju, jer hladni vanjski zrak ulazi u proces pripreme s niskim sadržajem vlage  $x_e$  (obično između 1 i 3 g<sub>w</sub>/kg<sub>sz</sub>). Sadržaj vlage dobavnog zraka treba biti za 4 do 8 g<sub>w</sub>/kg<sub>sz</sub> iznad te vrijednosti. Učinak ovlaživanja je količina vode ili vodene pare koju je potrebno ovlaživačem predati zraku kako bi se postigla i održala određena relativna vlažnost zraka u prostoru. Učinak primarno ovisi o količini vanjskog zraka koji ulazi u prostor prirodnom ili prisilnom ventilacijom. Pri određivanju učinka u obzir se moraju uzeti i izvori vlage unutar prostora - latentno opterećenje prostora od osoba, uređaja, opreme i proizvoda (tehnologije).

$$\dot{m}_{ovl} = (\dot{V}_{VZ} + \dot{V}_{inf})\rho(x_i - x_e) - \dot{m}_{w,i} \quad [\text{kg/s}] \quad (8.57)$$

$\dot{m}_{ovl}$	-količina vode koju je potrebno predati zraku [kg/s]
$\dot{V}_{VZ}$	-protočni volumen vanjskog zraka [m <sup>3</sup> /s]
$\dot{V}_{inf}$	-protočni volumen zraka usljed infiltracije [m <sup>3</sup> /s]
$x_i$	-sadržaj vlage zraka u prostoriji [kg <sub>w</sub> /kg <sub>sz</sub> ]
$x_e$	-sadržaj vlage vanjskog zraka [kg <sub>w</sub> /kg <sub>sz</sub> ]
$\dot{m}_{w,i}$	-dobitak vlage od unutarnjih izvora [kg/s]

Ovlaživanje se može vršiti raspršivanjem vode u kapljevitom stanju ili vodene pare. Oba načina prikazana su u h,x dijagramu (slika 8.21) iz kojega je vidljivo da se pri ovlaživanju kapljevitom vodom temperatura struje zraka snižava, dok pri ovlaživanju vodenom parom temperatura struje zraka ostaje gotovo nepromijenjena. Stoga, pri ovlaživanju kapljevitom vodom, obično zrak nakon ovlaživanja treba dogrijati te se dogrijač postavlja nakon ovlaživača.

Ovisno o masenom protoku zraka, maseni se protok vode ili vodene pare potreban za povećanje sadržaja vlage struje zraka od  $x_1$  do  $x_2$  (slika 8.21) računa prema izrazu (8.26). Ovlaživanje vodom moguće je izvesti na različite načine, primjerice raspršivanjem ili pomoću ovlaživača s evaporativnim blokom. Kod prvog načina, voda se direktno raspršuje u struju zraka pri čemu je jako bitno fino raspršenje, odnosno postizanje sitnih čestica. Voda se obično raspršuje sapnicama (slika 8.91) (komprimirani zrak, voda pod tlakom) ili ultrazvučnim vibracijama. U drugom slučaju, voda se prelijeva preko ispune (slika 8.92) koja se natopi. Na površini ispune voda ishlapljuje slijevajući se prema dolje u tankom filmu. Kroz blok struji zrak i na taj način upija vlagu. Voda se slijeva u za to predviđenu posudu iz koje se ponovo prelijeva preko ispune. Iza ovlaživača vodom ugrađuje se odvajač kapljica radi sprječavanja prijenosa vodenih kapljica niz struju zraka.



Slika 8.91 – Ovlaživanje vodom - ovlaživač s raspršivanjem vode



Slika 8.92 – Ovlaživanje vodom - ovlaživač s evaporativnim blokom

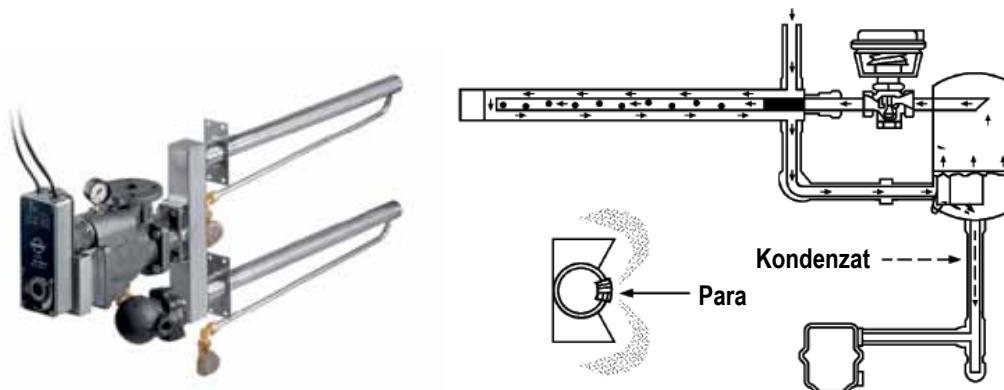
Karakteristični parametri kod ovlaživanja vodom:

- Brzine zraka je u pravilu između 2 i 4 m/s kroz površinu presjeka sa sapnicama za vodu
- Uobičajena duljina sekcije ovlaživača je 1,5 do 3 m
- Veličina vodenih kapljica je do 100  $\mu\text{m}$
- Ukupni pad tlaka struje zraka pri prolazu kroz ovlaživač uglavnom ovisi o obliku odvajača kapljica i brzini struje zraka kroz njih. Vrijednosti se kreću između 65 i 250 Pa, a najčešće oko 125 Pa
- Za ovlaživanje je omjer toplinskih kapaciteta vode i zraka u pravilu  $(m_w c_w)/(m_a c_a) = 0,3 - 0,6$ . Za 1,5 m dugu sekciju uz  $(m_w c_w)/(m_a c_a) = 0,45$  to znači 0,5 L/s vode na 1 m<sup>3</sup>/s zraka, uz učinkovitost ovlaživanja od 0,85 do 0,90.

Ovlaživanje parom može se izvesti direktnim ubrizgavanjem pare gdje se tzv. razvodno koplje nalazi u struji zraka i ispušta paru izravno u struju. Ovaj se princip primjenjuje ako je para već dostupna u zgradi, odnosno ako se proizvodi za potrebe drugih procesa. Najčešći izvor pare je niskotlačni parni kotao u kotlovnici. U slučaju kada para nije dostupna iz drugog izvora, sustav ubrizgavanja izvodi se kao samostalan, uglavnom električni sustav kod kojega je izvedeno vlastito generiranje pare grijačima elektrodnog ili otporničkog tipa. Treba paziti da ovlaživač bude ugrađen na mjesto gdje zrak može apsorbirati ispuštenu paru prije nego ona dođe u dodir s ostalim elementima sustava, poput izmjenjivača ili zaklopki. U suprotnom može doći do kondenzacije u dijelu sustava iza ovlaživača.

Karakteristični parametri kod ovlaživanja parom:

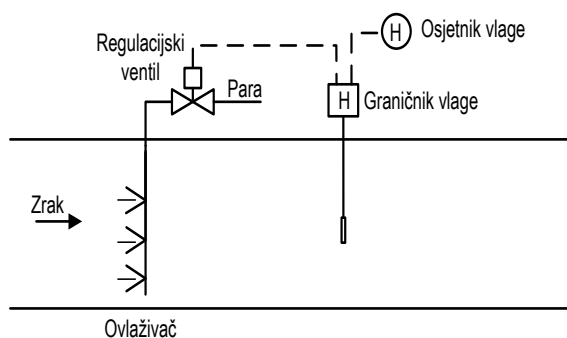
- Brzine zraka u pravilu između 3 i 10 m/s kroz površinu presjeka s razvodnim kopljima
- Iskustvena minimalna duljina ravne sekcije sustava bez prepreka iza parnog ovlaživača je 2 m
- Preciznost regulacije vlage kod standardnih parnih ovlaživača je  $\pm 5$  do 7% za on/off regulaciju i  $\pm 3$  do 5% za modulirajuću regulaciju.



Slika 8.93 - Ovlaživanje vodenom parom – direktno ubrizgavanje pare

Regulacija ovlaživača vrši se preko osjetnika vlage u prostoru ili u odsisnom kanalu. Kapacitet kod direktnog ubrizgavanja pare regulira se uglavnom mikroprocesorskim regulatorom koji pomiče iglu regulacijskog ventila prema signalu od osjetnika vlage, odnosno određuje protok pare. Kod ovlaživanja vodom, signal od osjetnika vlage uglavnom uključuje, odnosno isključuje cirkulacijsku pumpu. Za smanjenje prijenosa viška vlage niz struju zraka s potencijalnom kondenzacijom, u sustav se može ugraditi graničnik vlage iza ovlaživača (slika 8.94).

Ovlaživači predstavljaju dio sustava klimatizacije za koji je vrlo važno redovito održavanje. Kod ovlaživača s vodom javlja se problem skupljanja nečistoće u posudi za vodu u donjem dijelu ovlaživača. Pri određenim temperaturama može doći do povećanja koncentracije mikroorganizama (primjerice bakterija legionela) u stajaćoj vodi, a raspršivanjem te vode u ovlaživaču, javlja se opasnost za zdravlje korisnika. Također je moguće da uslijed ishlapljivanja poraste koncentracija otopljenih mineralnih tvari u vodi u posudi, što kroz dulje razdoblje dovodi do stvaranja taloga i do začepljenja cijevi i sapnica. Stoga je važno periodičko pražnjenje, čišćenje i dezinfekcija ovlaživača, pogotovo na kraju sezone grijanja. Za ovlaživanje općenito se koriste tri vrste vode: pitka (netretirana), umekšana i demineralizirana. Izbor pojedine vrste ovisi o primjeni i tipu ovlaživača, pri čemu treba proučiti tehničku dokumentaciju ovlaživača (ako se primjerice koristi elektroparni ovlaživač s elektrodama, tada nije dopušteno korištenje umekšane vode). Ako se voda mora kemijski tretirati, to treba činiti na odgovarajući način dodavanjem biocida i drugih kemikalija koje su prikladne za ovlaživače za što se mora konzultirati stručnjaka za pripremu vode. Kod parnih ovlaživača, osnovni problem predstavlja stvaranje taloga na dijelovima ovlaživača kod isparavanja vode povišene karbonatne tvrdoće. Posebno treba provjeriti koja su kemijska sredstva predviđena za pripremu napojne vode centralnog generatora pare, kako se ne bi kroz parni ovlaživač ugrozilo kvalitetu zraka u zgradi.



Slika 8.94 - Ovlaživanje parom s graničnikom vlage iza ovlaživača

### 8.6.6. Filtar

Filtracijom zraka poboljšava se kvaliteta zraka, zdravlje osoba koje borave u zgradi, štiti se oprema od onečišćenja te se u industrijskoj primjeni poboljšava kvaliteta proizvoda (npr. mikroelektronika, optika, farmaceutska industrija, prerada hrane i dr.). Izvori zagađenja zraka mogu biti vanjski, odnosno atmosferski, najčešće dim (industrija, promet...), prašina (pijesak, zemlja, promet...) te organske čestice (bakterije, pelud...) ili unutarnji što dolaze od kože i kose, vlakana, opreme, kondenzata i dr.

Osnovne značajke filtara za zrak su:

- učinkovitost - izražava se kao postotak izdvojene nečistoće sveden na veličinu čestice
- kapacitet zadržavanja prašine - ukupna masa prašine koju filtar može akumulirati
- pad tlaka.

Kao dodatni pojam definira se sposobnost zadržavanja prašine kao maseni udio izdvojene prašine iz zraka u odnosu na ukupnu količinu prašine ispred filtra (često se brka s učinkovitošću).

Filtri se ugrađuju na usis vanjskog zraka u zgradu, u recirkulacijske te obilazne kanale. Potrebno ih je ugraditi tako da je prednja površina okomita na struju zraka, kad god je to moguće. Filtarska sekcija obično prekriva čitav presjek strujanja kombinacijom standardnih ili posebnih dimenzija pojedinačnih filtara. Filtar se zamjenjuje novim kada se dosegne konačni pad tlaka propisan od proizvođača. Na tržištu se nude u izvedbi filtarske trake, panelnog filtra, vrećastog filtra, kazetnog filtra, HEPA filtra i dr. Volumenski protok po jedinici površine kreće se od 0,02 do 2,5 m<sup>3</sup>/(s·m<sup>2</sup>), maksimalni dopušteni pad tlaka od 20 do 600 Pa, a koriste se za pročišćavanje zraka s koncentracijom čestica manjom od 5 mg/m<sup>3</sup> (komforna klimatizacija).

Grubi filtri se koriste za uklanjanje čestica veličine 3 do 80  $\mu\text{m}$  kao npr. prašine što se taloži na unutarnjim površinama, peludi, spora, plijesni, laka za kosu i tekstilnih vlakana. Karakterizira ih mali pad tlaka, niska cijena i dobra učinkovitost za vlakna i krupnije čestice, ali i relativno slaba učinkovitost za tipičnu atmosfersku prašinu. Najčešće su u izvedbi panelnih ili plisiranih filtara klase G1 do G4 prema EN 779 (tablica 8.9), s masenim zadržavanjem prašine 60 do 90%. Obično su suhe i jednokratne izvedbe. U tu kategoriju spadaju i različite filtarske trake iz sintetičkih, celuloznih ili staklenih vlakana s promjerom vlakna od 1 do 10  $\mu\text{m}$ . Kako im učinkovitost raste, promjer i razmak između vlakana se smanjuju. Filtarska traka obično se isporučuje u roli širine 1 do 2 m i omogućuje korisniku rezanje materijala na potrebne dimenzije. Projektna brzina strujanja zraka kroz filtarski medij obično je od 0,5 do 3 m/s. Brzina nastrojavanja zraka na čelnu površinu većinom je oko 2,5 m/s, što odgovara brzinama nastrojavanja na izmjenjivače u klimatizacijskoj jedinici. Panelni filtri imaju površinu filtracije 2 do 8 puta veću od čelne površine, pa se brzina strujanja zraka nakon ulaska u filtarski medij smanjuje na 0,25 do 0,5 m/s. Panelni filtri se izrađuju od visokoporoznih grubih vlakana, a pojedinačni su paneli dostupni u standardnim (600 mm x 600 mm) i posebnim veličinama. Ugradbena dubina panelnih filtara uglavnom je između 25 i 100 mm. Često se koriste u paketnim klima uređajima i klimatizacijskim jedinicama u komercijalnim i javnim zgradama, u radnim prostorima i u stambenim aplikacijama. Često se koriste i kao predfiltri za visokoučinske filtre. Nakon dostignutog pada tlaka na filtru od oko 120 Pa, treba ga zamijeniti.

Posebnost filtara na pomičnoj roli je automatsko premotavanje elektromotornim pogonom prema signalu s tlačne sklopke ili pomoću uklopnog sata. Regulacija preko tlačne sklopke mjeri pad tlaka na filtru i uključuje/isključuje pogon za premotavanje prema gornjoj, odnosno donjoj postavljenoj vrijednosti. To štedi materijal, ali osjetnici statičkog tlaka trebaju biti pravilno montirani i izvan utjecaja pomicanja regulacijskih zaklopki klimatizacijske jedinice. Većina sustava regulacije preko tlaka ne radi dobro u praksi. Regulacija uklopnim satom pomaže izbjegavanju navednog problema, jer se ciklus premotavanja može podesiti uz osiguravanje pogona s prihvatljivom potrošnjom filtarskog materijala. Tipičan otpor strujanja za filtre na pomičnoj roli kreće se od 100 do 125 Pa.



Slika 8.95 – Grubi filtar – traka, pomična rola, panel

Fini filtri uključuju klase F5 do F9, prema EN 779 (tablica 8.9) i koriste se za uklanjanje čestica veličine 0,3 do 3  $\mu\text{m}$  kao što su bakterije, virusi, isparenja od kuhanja, dim i ugljena prašina. Za čestice veličine od 1 do 3  $\mu\text{m}$  učinkovitost je od  $E_2 < 50\%$  do  $E_2 > 80\%$  (klase F5 i F6), a za čestice veličine od 0,3 do 1  $\mu\text{m}$  učinkovitost je od  $E_1 < 75\%$  do  $E_1 > 95\%$ . (klase F7 do F9). Filtarski materijal je od sintetičkih ili staklenih vlakana promjera manjeg od 1  $\mu\text{m}$ . Brzine strujanja unutar medija su od 0,03 do 0,5 m/s, uz brzine nastrojavanja do 4 m/s. Izvedba je najčešće vrećasta ili kazetna s plisiranim materijalom povećane površine filtracije. Često im prethodi predfiltrar (grubi filtar) kako bi im se produžio pogonski vijek. Vrećasti i kazetni filtri izrađuju se od različitih vrsta vlakana promjenjive debljine, promjera i gustoće, pri čemu se koriste sintetička, celulozna, staklena vlakna i drugi materijali. Filtarski materijal obično se ugrađuje u okvir u obliku vreća, odnosno plisiran u kazetu pravokutnog ili V-oblika. U nekim konstrukcijskim rješenjima materijal se drži sam uslijed vlastite krutosti ili uslijed napuhavanja zrakom, kao primjerice kod vrećastih filtara. Plisiranje u kazeti osigurava velik omjer između površine filtracije i čelne površine filtra, omogućujući tako prihvatljiv pad tlaka uz male brzine strujanja zraka kroz filtarski materijal. Pojedinačni su filtri dostupni u standardnim (600 mm x 600 mm) i posebnim veličinama. Početni pad tlaka je obično od 25 do 250 Pa. Zamjena se vrši pri konačnom padu tlaka od 125 Pa za filtre s nižim otporom, do 500 Pa za filtre s najvišim otporom strujanju. Ugradbena dubina filtra varira od 100 do 900 mm. Koriste se u zahtjevnijim komercijalnim i industrijskim aplikacijama (zračni sustavi u bolnicama, visokozahjevne komercijalne zgrade, radionice precizne mehanike i dr).



Slika 8.96 – Fini filter – vrećasti, kazetni pravokutni, kazetni V-oblika

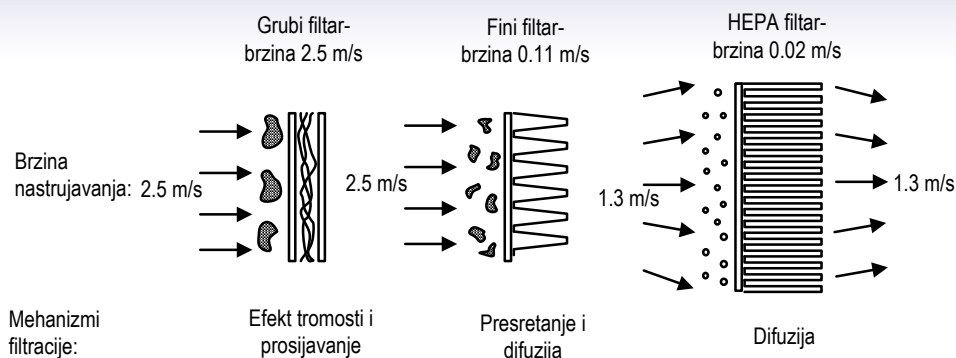
Apsolutni filtri uključuju klase H10 do H14 prema EN 1822 pod nazivom HEPA (engl. *high efficiency particulate air*) koji imaju učinkovitost od 99,97% za čestice veće ili jednake od 0,3  $\mu\text{m}$ , prema DOP test metodi te uključuju klase U15 do U17 prema EN 1822, pod nazivom ULPA (engl. *ultra-low penetration air*) koji imaju učinkovitost 99,999% za čestice veće ili jednake od 0,12  $\mu\text{m}$  prema istoj metodi. Filtarski materijal je od staklenih vlakana promjera manjeg od 1  $\mu\text{m}$  koja se plisiraju u čvrste papirne trake. Površina filtracije može biti 50 puta veća od čelne površine filtra, uz brzine nastrujavanja zraka od 1 do 1,5 m/s i pad tlaka od 160 do 340 Pa za čist filter. Brzina nastrujavanja za HEPA/ ULPA filtre može se povećati do 2,5 m/s, ali se time povećava propusnost filtra za čestice određene veličine i moguća posljedica je sniženje klase filtracije. Brtvljenje između materijala i okvira filtra te između okvira i vanjske brtve kućišta je kritično za propuštanje i učinkovitost. Za produljenje radnog vijeka prethodi im jedan fini predfilter ili dva, po jedan grubi i fini. Služe za uklanjanje čestica kao što su slobodni virusi, ugljična prašina, cigaretni dim, dim od izgaranja i radon. Koriste se za čiste prostore u mikroelektroničkoj i farmaceutskoj industriji, preciznoj mehanici i u operacijskim dvoranama u bolnicama. Standardne dimenzije su 610 x 610 x 292 mm, a dostupni su i u posebnim dimenzijama. Pad tlaka kreće se u rasponu od 150 do više od 500 Pa tijekom radnog vijeka.

Prvi i drugi stupanj filtracije (u trostupanjnom sustavu) smještaju se obično ispred grijača, hladnjaka i drugih elemenata sustava klimatizacije radi zaštite opreme od taloženja prašine. Ako apsolutni filtri štite kritične prostore kao što su čisti prostori, zadnji stupanj filtracije treba ugraditi što bliže prostoru da se spriječi onečišćenje između filtera i istrujnog otvora. Krajnji slučaj predstavljaju prostori s jednosmjernim strujanjem zraka, gdje čitav strop ili zid postaje zadnja filtarska sekcija.



Slika 8.97 – Apsolutni filter – HEPA, detalj plisiranja materijala





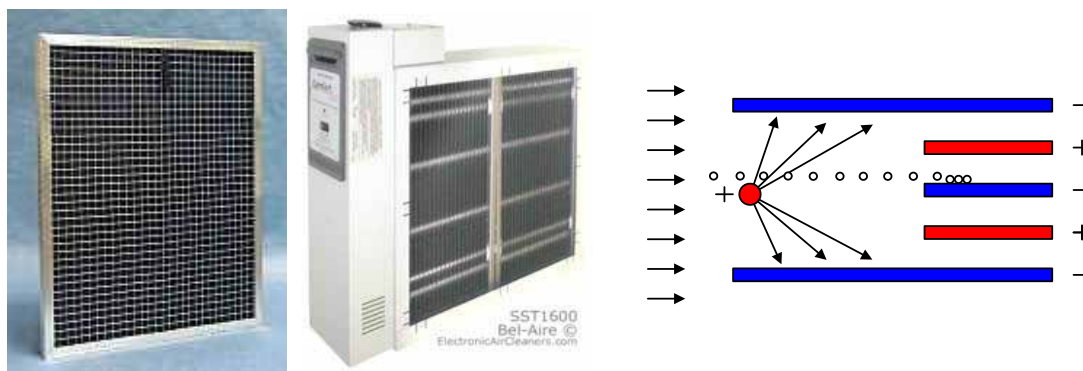
**Slika 8.98 – Pojednostavljeni prikaz filtracije čestica s različitim vrstama filtera**

Adsorpcijski filtri s aktivnim ugljenom često se koriste za uklanjanje neugodnih mirisa i isparenja (uključujući hlapljive organske spojeve unutar prostora, (engl. *VOC – volatile organic compounds*) iz struje zraka. Adsorpcija fizikalno predstavlja kondenzaciju plina ili pare na aktivnoj supstanci, koja je visokoporozna. Kada zrak struji kroz tipičan ventilacijski sustav brzinom od 2 do 2,5 m/s, pripadajući padovi tlaka na adsorberu su između 50 i 100 Pa. Dostupni su u mnogo različitih izvedbi, često kao grubi ili fini filtri s nanesenim površinskim slojem od aktivnog ugljena. Općenito, pri većoj vlažnosti i temperaturi zraka opada kapacitet adsorpcije aktivnog ugljena. Granična vrijednost, tj. maksimum radne temperature je +38°C.



**Slika 8.99 – Adsorpcijski filter – patrone, panel**

Elektrostatički filtri koriste efekt privlačenja između čestica različitog električkog naboja (+/-). Elektrostatička izvedba koristi saće (polipropilen) koje privlači čestice prašine suprotnog naboja, a naboj saća proizvodi strujanje zraka kroz filter. Električka izvedba koristi električno napajanje pri čemu ionizirajuće žice daju česticama prašine (+) naboj, a zatim ih na kolektorskom bloku privuku ploče (-) nabojem. Ovi filtri obično se ugrađuju u odsisni kanal prije odsisnog ventilatora. U slučaju filtriranja vanjskog zraka, minimalna radna temperatura zraka ispred filtra je +4°C, a pripadajući padovi tlaka za ovaj tip filtra su između 50 i 100 Pa.



**Slika 8.100 – Elektrostatički filter – elektrostatički, električki, princip**

Tablica 8.9 – Vrste filtara i klase filtracije

Vrećasti filtri									
Kazetni filtri					HEPA/ULPA filtri				
Filtari na pomičnoj roli									
Filtarske trake									
PREMA ASHRAE Standard 52.1									
Srednje zadržavanje $A_a$ [%]				Srednja učinkovitost $E_a$ [%]					Inicijalna učinkovitost za MPPS*
$A_a < 65$	$65 \leq A_a < 80$	$80 \leq A_a < 90$	$90 \leq A_a$	$40 \leq E_a < 60$	$60 \leq E_a < 80$	$80 \leq E_a < 90$	$90 \leq E_a < 95$	$95 \leq E_a$	85 % $< T_{x=MPPS} < 99,999995\%$
PREMA EN 779									PREMA EN 1822
G 1	G 2	G 3	G 4	F 5	F 6	F 7	F 8	F 9	H 10 – U 17

\* MPPS – engl. Most Penetrating Particle Size – minimalna učinkovitost

Mogući uzroci slabe filtracije zraka su:

- nedovoljna učinkovitost filtra
- neispravna ugradnja
- prodor nečistoće (kroz filtar, između filtra i okvira ili između okvira i kućišta)
- oštećenje filtra (poderani, probušeni)
- slabo održavanje.

Važni zahtjevi na instalaciju filtra koji omogućuju odgovarajuću učinkovitost su:

- filtar mora imati dovoljan kapacitet u odnosu na protok zraka i količinu prašine s kojima treba rukovati. Preopterećenje od 10 do 15% je gornja dopuštena granica.
- filtar mora odgovarati pogonskim uvjetima, kao što su: količina prašine u vanjskom zraku, potrebna razina čistoće zraka, tip pogona, brzina strujanja zraka, dopušteni pad tlaka, pogonska temperatura.
- početni, srednji i krajnji padovi tlaka tijekom pogona, koji značajno utječu na potrošnju energije i trajnost filtara i zračnog sustava, moraju biti poznati. Praćenje pada tlaka na filtru direktno utječe na njegovu učinkovitost.
- ako će se količina zraka u sustavu naknadno povećavati, treba odmah ugraditi veću filtarsku sekciju.

Minimalne zahtjeve za filtraciju vanjskog zraka u nestambenim zgradama definira norma HRN EN 13779, gdje se u prilogu A navode minimalni zahtjevi za klase filtara prema EN 779 (standardna komforna aplikacija). Kvaliteta vanjskog zraka dijeli se u kategorije ODA 1 do ODA 5 (engl. *outdoor air*), a kvaliteta unutarnjeg zraka u kategorije IDA 1 do IDA 4 (engl. *indoor air*), pri čemu klasa 1 predstavlja najvišu, a klasa 4, odnosno 5 najnižu kvalitetu.

Ako se filtracija vrši u jednom stupnju, najniža preporučena klasa je F7 prema EN 779. Ako se filtracija vrši u dva stupnja, najniža klasa prvog stupnja je F5 prema EN 779, a klasa drugog stupnja je ista kao kod jednostupanjske filtracije. Navedeno odgovara umjerenom kvaliteti unutarnjeg zraka IDA 3 i čistom vanjskom zraku ODA 1. Ako vanjski zrak sadrži prašinu (urbani gradski okoliš) ili se želi postići višu kvalitetu unutarnjeg zraka, tada prvi stupanj filtracije treba biti klase F7, a drugi klase F9. Za najnižu kvalitetu vanjskog zraka ODA 5 preporučuje se korištenje adsorpcijskih filtara u kombinaciji s filtrima čestica radi odvajanja plinova i mirisa. Najniža klasa filtracije za zaštitu sustava povrata topline je F6. Filtri prvog stupnja trebaju se bez obzira na pad tlaka zamijeniti novim nakon 2000 pogonskih sati ili najmanje jednom godišnje, a filtri drugog stupnja nakon 4000 pogonskih sati ili najmanje jednom u dvije godine. Preporučena razdoblja zamjene su u proljeće po završetku sezone grijanja ili u jesen po završetku sezone peludi. Prilikom odbacivanja istrošenih filtara, treba imati na umu kako su filtri većinom klasificirani kao opasan otpad.

### 8.6.7. Ventilator

Ventilator je komponenta sustava pripreme zraka koja dobavlja i odsisava zrak za ventilaciju prostora. Osnovne pogonske karakteristike ventilatora su protok zraka i ukupni pad tlaka u zračnom sustavu. Vrlo važan je pravilan odabir ventilatora koji će osigurati traženi protok i kompenzirati ukupni pad tlaka, jer poddimenzionirani ventilator ne može osiguravati uvjete udobnosti u prostoru, a predimenzionirani ventilator neracionalno troši energiju i novac.



Slika 8.101 – Ventilator za centralnu klimatizacijsku jedinicu – s remenskim prijenosom, direktno gonjeni

Dvije osnovne izvedbe ventilatora za ugradnju u zračne sustave su centrifugalni (radijalni) s naprijed i natrag zakrivljenim lopaticama i aksijalni. Centrifugalni ventilator može imati remenski prijenos snage s motora na kolo ventilatora (slika 8.101 lijevo) ili može imati direktno spojeno vratilo s kolom ventilatora (izvedba sa slobodnim kolom – slika 8.101 desno). Aksijalni ventilator u pravilu ima direktno spojeno vratilo s kolom ventilatora. Zbog toga je stupanj korisnosti aksijalnih ventilatora obično nešto veći od centrifugalnih. Također, aksijalni ventilatori iz konstrukcijskih razloga obično imaju nešto višu razinu buke. Centrifugalni ventilatori konstrukcijski su prilagođeni za više ukupne tlakove pri manjim protocima u usporedbi s aksijalnim ventilatorima. Najučinkovitiji ventilatori za ugradnju u centralne klimatizacijske jedinice su centrifugalni s unatrag zakrivljenim lopaticama. Ako se koristi remenski prijenos, prednost treba dati pločastom remenu pred klinastim zbog većeg stupnja korisnosti. Aksijalni ventilatori se najčešće koriste za hlađenje kondenzatora rashladnika, ventilaciju tunela i garaža i dr.

Ukupni pad tlaka u sustavu ventilacije računa se kao zbroj internog (unutarnjeg) pada tlaka - pada tlaka u klimatizacijskoj jedinici i eksternog (vanjskog) pada tlaka – pada tlaka u zračnim kanalima i na distributerima. Povećanje tlaka u ventilatoru (zbroj statičkog i dinamičkog tlaka) mora biti veće ili jednako zbroju internog i eksternog pada tlaka:

$$\Delta p_V = \Delta p_{STAT} + \Delta p_{DIN} \geq \Delta p_{INT} + \Delta p_{EXT} \text{ [Pa]} \quad (8.58)$$

Električna snaga za pogon ventilatora za nazivni protok i pad tlaka:

$$P_{EL} = \frac{\dot{V} \Delta p_V}{\eta_{TOT}} \text{ [W]} \quad (8.59)$$

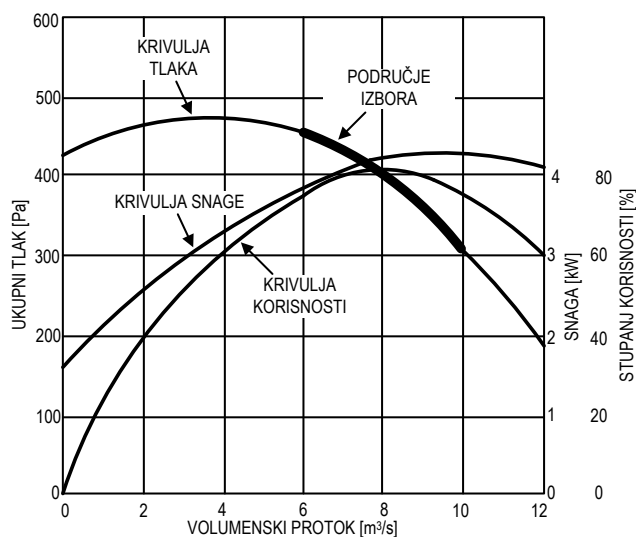
$$\eta_{TOT} = \eta_V \eta_{TRAN} \eta_{MOT} \eta_{REG} = 0,3 - 0,8 \text{ [-]} \quad (8.60)$$

$P_{EL}$	-električna snaga za pogon ventilatora [W]
$\Delta p_V$	-povećanje tlaka zraka u ventilatoru [Pa]
$\dot{V}$	-volumenski protok zraka kroz ventilator [m <sup>3</sup> /s]
$\eta_{TOT}$	-ukupni stupanj korisnosti ventilatora [-]
$\eta_V$	-stupanj korisnosti kola ventilatora [-]
$\eta_{TRAN}$	-stupanj korisnosti prijenosnog sustava (remenice, vratila) [-]
$\eta_{MOT}$	-stupanj korisnosti motora [-]
$\eta_{REG}$	-stupanj korisnosti regulacije [-]

Uslijed rada ventilatora dolazi do zagrijavanja struje zraka koju ventilator dobavlja jer se tim zrakom obično hladi motor ventilatora. To treba uzeti u obzir u režimu hlađenja, jer će ventilator prostoriji dobavljati zrak s nešto višom temperaturom, nego što je izašao iz hladnjaka klimatizacijske jedinice (ako je ventilator iza hladnjaka). Povećanje temperature zraka od ventilatora računa se približno prema izrazu:

$$\Delta \theta \approx \frac{\Delta p_V}{\rho c_p \eta_{TOT}} \text{ [°C]} \quad (8.61)$$

Izbor ventilatora vrši se prema potrebnom protoku i ukupnom padu tlaka u sustavu klimatizacije iz tabličnih ili grafičkih podataka proizvođača. Iskorištenje ventilatora usko je povezano s potrošnjom energije u zračnom sustavu. Ventilator treba izabrati tako da radi s visokim stupnjem korisnosti kroz najdulje moguće razdoblje pogona. Ventilatori su izvor buke u zračnim sustavima, pri čemu obično ventilatori s većom ukupnom korisnošću proizvode nižu razinu buke. Zvukovi visokih frekvencija se lakše prigušuju od niskofrekventnih zvukova. Proizvođač bi osim dijagrama za izbor ventilatora trebao dati i podatke o zvučnom tlaku koji ventilator proizvodi.



Slika 8.102 - Pojednostavljeni dijagram za izbor ventilatora

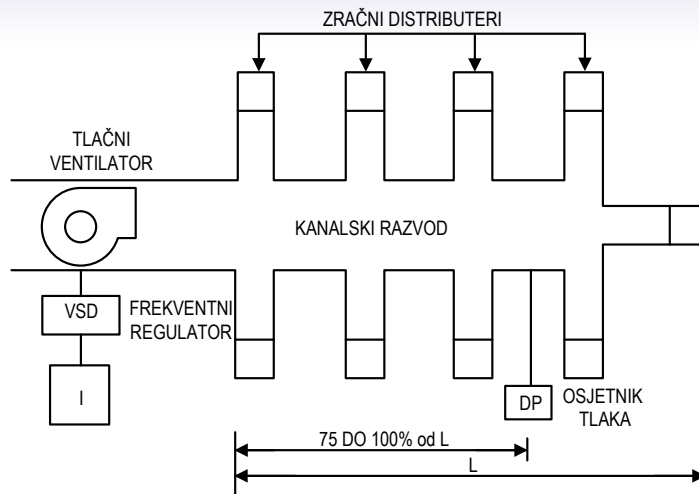
Pri ugradnji zračne jedinice s ventilatorom, kanali se s jedinicom trebaju spojiti jedrenim platnom ili drugim elastičnim materijalom kako bi se spriječio prijenos vibracija.

Prema mogućnosti promjene brzine vrtnje, ventilatori se mogu izvesti kao:

- jednobrzinski (on/off)
- dvobrzinski
- modulirajući.

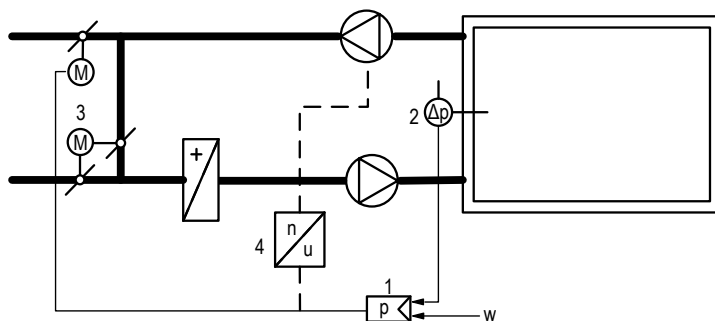
Najefikasniji način promjene kapaciteta ventilatora je promjena brzine vrtnje i za to se najčešće primjenjuje modulirajuća regulacija s kontinuiranom promjenom brzine vrtnje. Kod nekih tipova ventilatora kapacitet se može mijenjati i promjenom nagiba lopatica. Ventilatori se u modernim centralnim sustavima klimatizacije često opremaju modulirajućom regulacijom, jer je učinkovita prilagodba brzine vrtnje, odnosno kapaciteta ventilatora, važan čimbenik koji utječe na ekonomičnost pogona zračnog sustava. Primjerice, VAV sustavi (s promjenjivim volumenom zraka) pri djelomičnom toplinskom opterećenju, rade sa smanjenim protokom zraka pri čemu prilagodba brzine vrtnje može dovesti do značajne uštede energije.

Jedan od najčešćih načina regulacije rada ventilatora u VAV sustavima je putem osjetnika statičkog tlaka u zračnom kanalu (slika 8.103). Regulacija radi na principu održavanja statičkog tlaka na jednom mjernom mjestu. Praksa pokazuje kako je najpovoljnije postaviti osjetnik tlaka u kanal na 75% do 100% udaljenosti između prvog i najudaljenijeg distributera. Međutim, ako se osjetnik postavi preblizu pojedinom VAV ventilu, to može stvarati poteškoće pri balansiranju sustava. Također se primijetilo kako i kod dobro pozicioniranog osjetnika ventilator u velikom broju pogonskih sati tlači zrak u kanalski razvod u kojemu je velik broj djelomično zatvorenih VAV ventila, što dovodi do povećane potrošnje energije. Stoga se u pojedinim slučajevima koriste i signali sa VAV ventila za regulaciju ventilatora, jer je energetska učinkovitiji pogon s manjom brzinom vrtnje i većom otvorenosti većine VAV ventila u sustavu. Mjerenjima su kod takvoga pristupa ustanovljene dodatne energetske uštede od 30 do 50%.



**Slika 8.103 - Regulacija brzine vrtnje ventilatora prema statičkom tlaku u kanalskom razvodu**

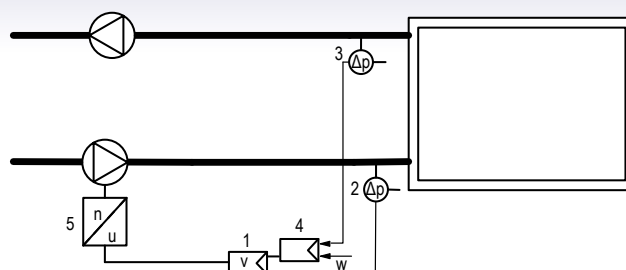
Regulacija kapaciteta ventilatora putem razlike statičkog tlaka, koristi se za održavanje tlaka u zgradi ili prostoru različitog od okolnih prostorija ili vanjskog okoliša. Tipične primjene su za čiste prostore (pozitivna razlika tlaka kako bi se spriječila infiltracija), laboratorije (pozitivna ili negativna ovisno o namjeni) i kuhinje (negativna razlika tlaka kako bi se spriječilo širenje pare i mirisa). Metoda regulacije odsisnog ventilatora (slika 8.104) koristi mjerenje unutarnjeg i vanjskog (referentnog) statičkog tlaka prostora preko diferencijalnog osjetnika tlaka (2). Lokacija mjerenja statičkog tlaka mora biti na mjestu udaljenom od vrata i prozora te dizala, a ako se koristi osjetnik, treba ga smjestiti u prostrano reprezentativno područje zaštićeno od propuha. Regulator tlaka obično upravlja zaklopkama u odsisnom kanalu (3) kako bi se održao traženi tlak promjenom protoka zraka.



- 1 - Regulator
- 2 - Diferencijalni osjetnik tlaka
- 3 - Pogon zaklopke
- 4 - Frekventni pretvarač (opcija)

**Slika 8.104 – Regulacija ventilatora za održavanje tlaka u prostoru**

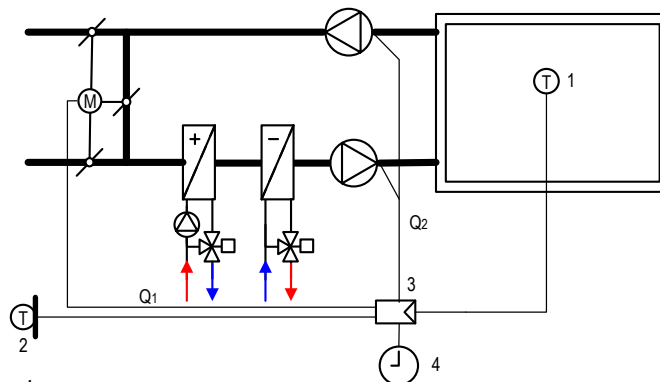
Regulacija kapaciteta tlačnog ventilatora može se vršiti slijedenjem (engl. *tracking*) promjene kapaciteta odsisnog ventilatora (slika 8.105). Regulator (1) prima signal od regulatora (4) ako se putem osjetnika dinamičkog tlaka (3) izmjeri promjena protoka u odsisnom kanalu. Na temelju te promjene mijenja se postavljena vrijednost protoka na regulatoru (1) i slijedi nalog za promjenu brzine vrtnje tlačnog ventilatora pomoću varijatora brzine (5).



- 1 - Regulator tlačnog ventilatora
- 2 - Diferencijalni osjetnik tlaka u tlačnom kanalu
- 3 - Diferencijalni osjetnik tlaka u odsisnom kanalu
- 4 - Regulator odsisnog ventilatora
- 5 - Frekventni pretvarač

**Slika 8.105 – Regulacija kapaciteta tlačnog ventilatora prema odsisnom ventilatoru**

Značajne uštede energije mogu se postići u sezoni hlađenja korištenjem tzv. “besplatnog” hlađenja u razdobljima snižene vanjske temperature, primjerice noću. Takav način korištenja posebno je isplativ u masivnim zgradama povećane toplinske tromosti. Pri tome je važno optimalno ugoditi regulaciju razdoblja takvog pogona i graničnih temperatura uključanja i isključenja (slika 8.106). Minimalna vrijednost granične temperature vanjskog zraka za uključanje je između 12 i 14°C, uz uvjet da unutarnja temperatura prelazi postavljenu vrijednost. Pri tome su zaklopke vanjskog i istrošenog zraka potpuno otvorene i zaklopka optočnog zraka potpuno zatvorena. Izmjenjivači nisu u pogonu.



- 1 - Osjetnik unutarnje temperature
  - 2 - Osjetnik vanjske temperature
  - 3 - Regulator
  - 4 - Tajmer
- Q1 - Signal za upravljanje zaklopki  
Q2 - Signal za upravljanje ventilatora

**Slika 8.106 – Regulacija mješališta za “besplatno” hlađenje**

Kao jedan od energetski učinkovitih načina regulacije kapaciteta ventilatora može se koristiti i regulacija prema ventilacijskom zahtjevu za održavanje odgovarajuće koncentracije zagađivača u prostoru. U prostor se pri tom postavlja osjetnik zagađivača (primjerice osjetnik CO<sub>2</sub> u standardnim primjenama poput ureda, učionica i sl.) i protok vanjskog zraka se prilagođava koncentraciji zagađivača tako da se pri povišenju koncentracije protok poveća, a pri snižavanju koncentracije protok se smanji. Tako se u pojedinim prostorima protok vanjskog zraka održava prema opterećenju u određenom trenutku, što može značajno smanjiti potrošnju energije ventilacijskog sustava izvan razdoblja intenzivnog korištenja.

### Primjer 4 – Ventilator s frekventnim pretvaračem

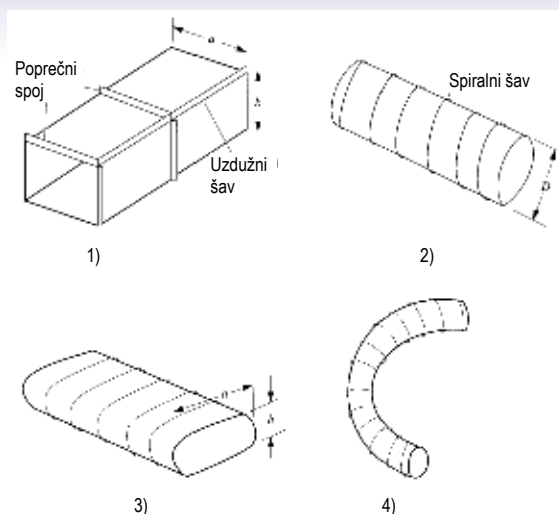
Naziv mjere	Opremanje sustava prisilne ventilacije VAV sa kontinuiranom regulacijom brzine vrtnje na tlačnom i odsisnom ventilatoru																
Opis mjere	<p>Uredska zgrada 2000 m<sup>2</sup>. Ugradnja sustava prisilne ventilacije promjenjivog protoka zraka s frekventnim pretvaračima za regulaciju brzine vrtnje tlačnog i odsisnog ventilatora.</p> <p><u>Ulazni podaci:</u></p> <p>Nazivni volumenski protok zraka sustava prisilne ventilacije V=18000 m<sup>3</sup>/h            Stupanj korisnosti ventilatora <math>\eta=75\%</math>            Broj sati pogona godišnje <math>t_{op}=3640</math> h/god            Pad tlaka – tlačni dio: <math>\Delta p_r=1000</math> Pa            Pad tlaka – odsisni dio: <math>\Delta p_o=700</math> Pa            Prosječni volumenski protok zraka sustava prisilne ventilacije V=11700 m<sup>3</sup>/h            (65% nazivnog protoka prema HRN EN 13779)</p>																
Uštede	<table border="1" data-bbox="277 774 1360 1406"> <thead> <tr> <th colspan="2" data-bbox="277 774 1360 821">Opremanje sustava prisilne ventilacije sa kontinuiranom regulacijom brzine vrtnje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="277 821 591 906">Ukupna električna energija godišnje</td> <td data-bbox="591 821 1360 906">36920 kWh (regulacija zaklopkama) 18810 kWh (kontinuirana regulacija)</td> </tr> <tr> <td data-bbox="277 906 591 991">Godišnje uštede</td> <td data-bbox="591 906 1360 991">12860 kn 18110 kWh</td> </tr> <tr> <td data-bbox="277 991 591 1076">Godišnji troškovi</td> <td data-bbox="591 991 1360 1076">13900 kn (održavanje i pogon)</td> </tr> <tr> <td data-bbox="277 1076 591 1161">Investicija</td> <td data-bbox="591 1076 1360 1161">19000 kn</td> </tr> <tr> <td data-bbox="277 1161 591 1247">Rok povrata investicije</td> <td data-bbox="591 1161 1360 1247">1,5 god</td> </tr> <tr> <td data-bbox="277 1247 591 1332">Životni vijek EE mjere</td> <td data-bbox="591 1247 1360 1332">20 god</td> </tr> <tr> <td data-bbox="277 1332 591 1406">Uštede u životnom vijeku*</td> <td data-bbox="591 1332 1360 1406">226800 kn 362 MWh</td> </tr> </tbody> </table> <p>* proračun s cijenama energenata na dan 15.01.2010.</p>	Opremanje sustava prisilne ventilacije sa kontinuiranom regulacijom brzine vrtnje		Ukupna električna energija godišnje	36920 kWh (regulacija zaklopkama) 18810 kWh (kontinuirana regulacija)	Godišnje uštede	12860 kn 18110 kWh	Godišnji troškovi	13900 kn (održavanje i pogon)	Investicija	19000 kn	Rok povrata investicije	1,5 god	Životni vijek EE mjere	20 god	Uštede u životnom vijeku*	226800 kn 362 MWh
Opremanje sustava prisilne ventilacije sa kontinuiranom regulacijom brzine vrtnje																	
Ukupna električna energija godišnje	36920 kWh (regulacija zaklopkama) 18810 kWh (kontinuirana regulacija)																
Godišnje uštede	12860 kn 18110 kWh																
Godišnji troškovi	13900 kn (održavanje i pogon)																
Investicija	19000 kn																
Rok povrata investicije	1,5 god																
Životni vijek EE mjere	20 god																
Uštede u životnom vijeku*	226800 kn 362 MWh																

### 8.6.8. Kanalski razvod

Kanali su element sustava ventilacije i klimatizacije koji se koristi za transport zraka od klimatizacijske jedinice do klimatiziranog prostora.

Podjela kanala prema obliku poprečnog presjeka (slika 8.107):

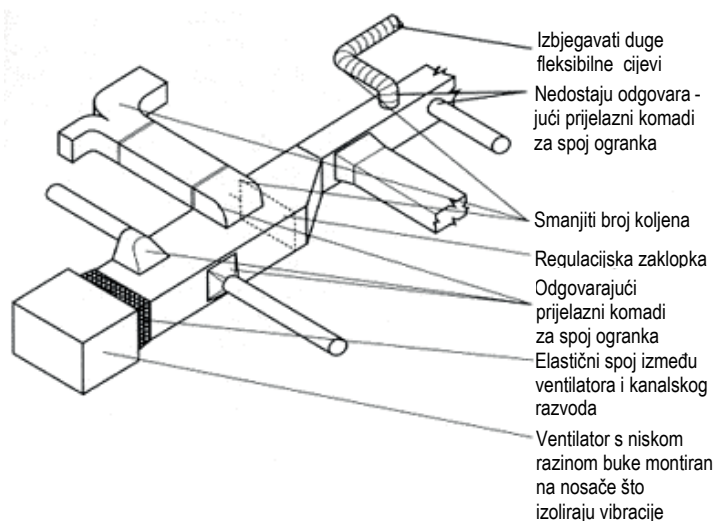
- 1) Pravokutni – koriste se za većinu standardnih primjena u niskobrzinskim sustavima. Lagano se sklapaju na mjestu montaže, ali za velike poprečne presjeke kanala su potrebna ojačanja, odnosno ukrute
- 2) Okrugli – pogodni za visokobrzinske sustave jer ih karakterizira manji otpor strujanju zraka, bolja krutost i čvrstoća, manja buka i minimalno propuštanje zraka ( $\leq 3\%$ )
- 3) Ovalni – oblik poprečnog presjeka između pravokutnog i okruglog, pa ovaj tip kanala posjeduje prednosti i pravokutnih i okruglih kanala s manje jakih turbulencija zraka i manjim potrebnim prostorom za montažu
- 4) Fleksibilni - koriste se za povezivanje glavnog kanala i distributera i trebaju biti što kraći jer izazivaju velik pad tlaka.



Slika 8.107 - Različite vrste zračnih kanala

Materijali za izradu kanala moraju biti iznutra glatki sa što manjim koeficijentom trenja, jer to izravno utječe na pad tlaka u kanalu i potrebnu snagu ventilatora. Osim toga moraju biti male mase, jednostavni za proizvodnju i montažu, jednostavni za čišćenje, dugotrajni, nehigroskopi, nezapaljivi, te otporni na koroziju. Kanali se najčešće izrađuju od galvaniziranog ili nehrđajućeg čelika, aluminija (debljine lima 0,4 – 3,5 mm) i stakloplastike (debljine 25 – 38 mm). Za fleksibilne cijevi koristi se višeslojna poliesterska folija ojačana spiralnom jezgrom od čelične žice ili naboranim spiralnim trakama od aluminija i izolirana slojem staklene vune debljine 25 do 50 mm. Vanjska površina fleksibilne cijevi obično je pokrivena aluminijskom folijom koja služi kao mehanička zaštita i kao parna brana.

Pri projektiranju i izvođenju kanala treba obratiti pažnju na velik broj čimbenika kako bi kanali imali odgovarajuću funkciju u sustavu ventilacije. Pored preporuka prikazanih na slici 8.108, važno je predvidjeti dovoljan prostor za montažu uz osiguran pristup radi održavanja i čišćenja tijekom eksploatacije (s dovoljnim brojem, dimenzijama i odgovarajućim razmještajem revizijskih otvora).



Slika 8.108 - Općenite preporuke pri projektiranju i izvođenju kanalskog razvoda



Usljed trenja i lokalnih gubitaka u kanalima dolazi do pada tlaka. Stoga se u sustav ugrađuje ventilator koji kompenzira gubitke i tlači, odnosno odsisava zrak iz zgrade. Karakteristike tlaka pri strujanju zraka uzduž kanala s ventilatorom mogu se sažeti kako slijedi:

- u CAV sustavima strujanje zraka u kanalima smatra se kontinuiranim i stabilnim. Kako je promjena statičkog tlaka u sustavu kanala s ventilatorom mala u usporedbi s atmosferskim tlakom, strujanje zraka se također smatra i nestlačivim
- u većini dionica, ukupni tlak struje zraka smanjuje se u smjeru strujanja (pad tlaka)
- ukupni tlak struje zraka može se lokalno iznimno povećati uslijed povećanja brzine strujanja do koje dolazi zbog miješanja struja iz više ogranaka
- kada zrak struji kroz ventilator, ukupni i statički tlak povećaju se od minimalne (negativne) vrijednosti na ulazu u ventilator do maksimalne (pozitivne) vrijednosti na izlazu iz ventilatora
- značajka tlaka između bilo koja dva presjeka kanala je regulirana promjenom ukupnog tlaka  $p_{uk}$  uslijed pada tlaka  $\Delta p_{EXT}$  između ta dva presjeka pri čemu vrijedi  $p_{uk2} = p_{uk1} - \Delta p_{EXT}$ .

Ukupni tlak u kanalu jednak je zbroju statičkog tlaka (tlak fluida na stjenku) i dinamičkog tlaka (nastaje zbog strujanja zraka u kanalu). Pojednostavljeni primjer razdiobe tlaka prikazan je na slici 8.109. Proračun ukupnog tlaka, pri čemu se statički tlak često izražava preko visine stupca vode, vrši se prema:

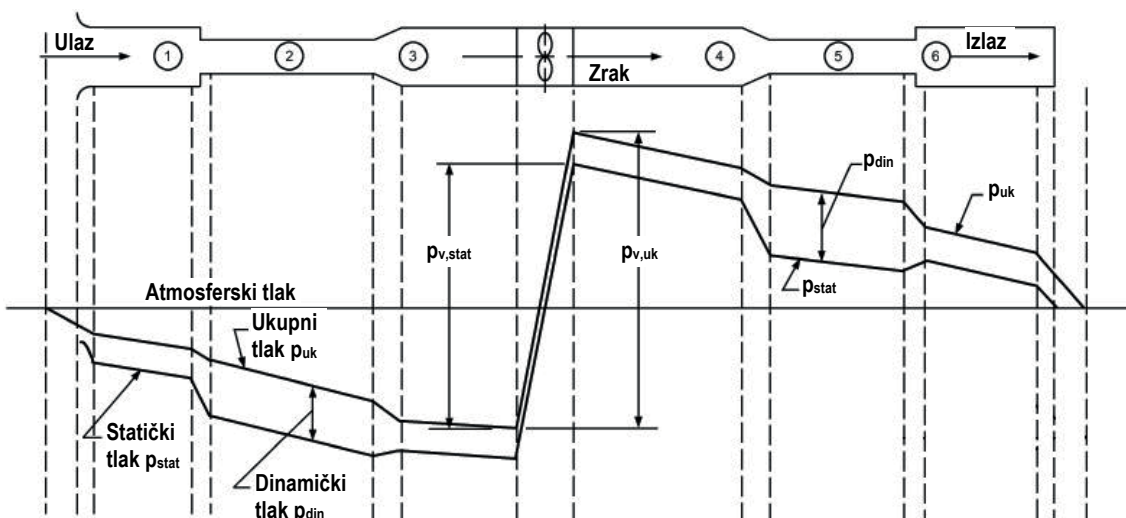
$$p_{uk} = p_{stat} + p_{din} \text{ [Pa]} \quad (8.62)$$

$$p_{stat} = \rho_w g H \text{ [Pa]} \quad (8.63)$$

$$p_{din} = \frac{\rho w^2}{2} \text{ [Pa]} \quad (8.64)$$

$\rho_w$  -gustoća vode [kg/m<sup>3</sup>]  
 $H$  -statički tlak izražen u visini stupca vode [m]

Prema slici 8.109 vidljivo je kako kod smanjenja presjeka strujanja poraste dinamički tlak uslijed povećanja brzine, dok se ukupni i statički tlak snižavaju. Kod povećanja presjeka strujanja ukupni i dinamički tlak se snižavaju, a statički tlak može porasti (ne uvijek). Ta se pojava naziva povrat statičkog tlaka.



Slika 8.109 – Razdioba tlaka u kanalskom razvodu

Eksterni pad tlaka (u kanalima) računa se kao zbroj padova tlaka uslijed trenja i lokalnih otpora prema izrazu:

$$\Delta p_{EXT} = \Delta p_{lin} + \Delta p_{lok} \quad [\text{Pa}] \quad (8.65)$$

$$\Delta p_{lin} = \lambda \frac{L}{d} \frac{\rho w^2}{2} \quad [\text{Pa}] \quad (8.66)$$

$$\Delta p_{lok} = \zeta \frac{\rho w^2}{2} \quad [\text{Pa}] \quad (8.67)$$

$\Delta p_{lin}$	-gubici trenja uslijed površinske hrapavosti unutarnje površine kanala [Pa]
$\Delta p_{lok}$	-lokalni gubici u dijelovima sustava poput ulaza, izlaza, zaklopki, koljena, T-spojeva i dr. [Pa]
$\lambda$	-koeficijent trenja [-]
$L$	-duljina kanala [m]
$d$	-unutarnji promjer kanala okruglog presjeka [m]
$\zeta$	-koeficijent lokalnih gubitaka [-]

Ukupni pad tlaka može se prikazati jednadžbom:

$$\Delta p_{EXT} = \left( \sum \lambda \frac{L}{d} + \sum \zeta \right) \frac{\rho w^2}{2} = \sum RL + \sum Z \quad [\text{Pa}] \quad (8.68)$$

$R$	-jedinični pad tlaka po metru duljine [Pa/m]
$Z$	-pad tlaka uslijed lokalnih otpora [Pa]

Veličine  $R$ ,  $Z$  i  $\zeta$  mogu se odrediti iz tablica i dijagrama u literaturi ili proračunom preko odgovarajućih jednadžbi.

Za proračun pada tlaka uslijed trenja za kanale koji nisu okruglog presjeka (pravokutni, ovalni), potrebno je izračunati njihove ekvivalentne promjere. Preračunavanje se temelji na jednakom protoku, otporu i duljini promatrane dionice. U literaturi se mogu pronaći gotove tablice izračunatih ekvivalentnih promjera za standardne dimenzije pravokutnih kanala. Ekvivalentni promjer za pravokutne kanale određuje se prema izrazu:

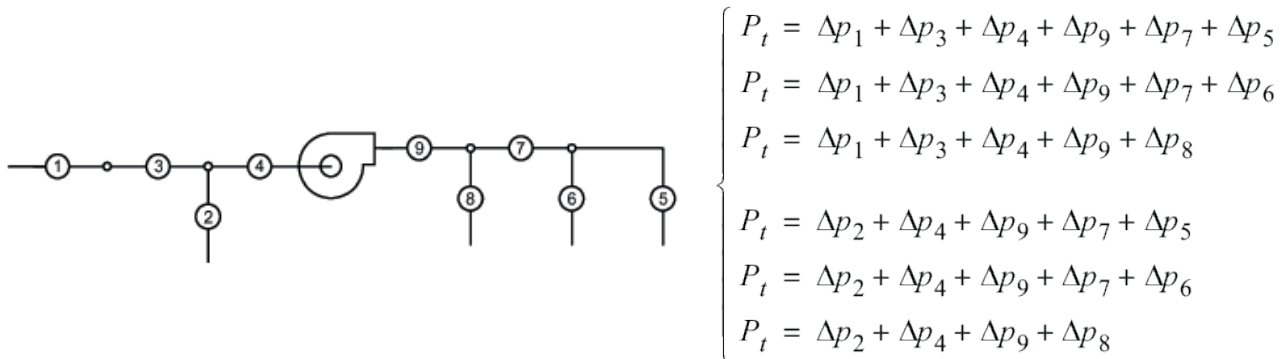
$$d_{ekv} = 1,38 \sqrt{\frac{a^5 b^5}{(a+b)^2}} \quad (8.69)$$

$a$	-duljina jedne stranice kanala (slika 8.107-1) [mm]
$b$	-duljina druge stranice kanala [mm]

Za sustave niskotlačne klimatizacije najčešće se dimenzioniranje kanala provodi metodom konstantne brzine pri čemu se u pojedinoj dionici odabere konstantna brzina zraka prema zahtjevima ugodnosti. Površine presjeka, odnosno dimenzije pojedine dionice kanala proračunaju se na osnovi odabrane brzine i zatim se zaokruže na standardnu veličinu prema literaturi. Brzina se postupno smanjuje od klimatizacijske jedinice (5 do 8 m/s), prema krajevima kanalskog razvoda gdje su smješteni dobavni i odsisni distributeri (2 do 3.5 m/s). Podjela na dionice vrši se po kriteriju konstantne brzine strujanja, odnosno nova dionica započinje kada se promijeni površina poprečnog presjeka kanala za konstantan protok zraka ili kada se promijeni protok uslijed odvajanja dijela struje u ogranke kanala.

Za odgovarajuću razdiobu zraka unutar zgrade nije dovoljno samo ispravno dimenzionirati ukupni protok, ventilator i zračne kanale. Vrlo je značajno ostvariti odgovarajući protok u svim dionicama kanalskog razvoda, prema projektu. Stoga se zračni kanali hidraulički balansiraju kako bi svi prostori u zgradi dobili predviđenu količinu zraka. Pojednostavljeni primjer prikazan je na slici 8.110 gdje šest jednadžbi predstavlja šest mogućih putova strujanja i te jednadžbe trebaju biti zadovoljene za ostvarivanje ravnoteže tlakova pri projektom protoku u svim dionicama. Balansiranje se barem djelomično treba ostvariti odgovarajućim

načinom grananja kanala. Balansiranje samo pomoću regulacijskih zaklopki nije ekonomično (gubici prigušenja) i može postati izvor primjetne buke kod strujanja.



Slika 8.110 – Pojednostavljena shema za balansiranje kanalskog razvoda, [8.11]

Propuštanje kanala vrlo loše utječe na energetska učinkovitost zračnih sustava klimatizacije. Preporuka je da propuštanje ne prelazi 6% protoka zraka što za održavanje projektiranog protoka u praksi traži oko 15% veću snagu ventilatora. Kanalski razvod nije moguće potpuno zabrtviti, a propuštanje se najčešće iskazuje preko protoka istjecanja zraka svedenog na jedinicu površine kanala pri nekom referentnom tlaku. Za klasifikaciju propusnosti kanala koristi se koeficijent propusnosti po m<sup>2</sup> površine kanala:

$$K = \frac{\dot{V}}{A \Delta p_{ref}^{0.65}} \quad [\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Pa}^{0.65})] \quad (8.70)$$

- $\dot{V}$  -protok istjecanja zraka [m<sup>3</sup>/s]  
 $A$  -površina kanala [m<sup>2</sup>]  
 $\Delta p_{ref}$  -referentni tlak za ispitivanje [-]

Ako je poznat koeficijent propuštanja  $K$ , protok istjecanja za kanalski razvod poznate površine  $A$  s poznatim ukupnim padom tlaka  $\Delta p$ , može se izračunati prema:

$$\dot{V} = K A \Delta p^{0.65} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (8.71)$$

Tablica 8.10 - Klase propusnosti zračnih kanala prema smjernici Eurovent 2/2

Klase prema Eurovent 2/2* lit/(s·m <sup>2</sup> ·Pa <sup>0.65</sup> )	Propusnost pri tlaku 100 Pa lit/(s·m <sup>2</sup> )	Propusnost pri tlaku 400 Pa lit/(s·m <sup>2</sup> )
<b>Klasa A</b> K<0,027	0,54	1,33
<b>Klasa B</b> K<0,009	0,18	0,44
<b>Klasa C</b> K<0,003	0,06	0,15
<b>Klasa D</b> K<0,001	0,02	0,05

\* Klasa D nije definirana u Eurovent 2/2 ali se koristi u nekim europskim zemljama

Smanjenje propusnosti zračnih kanala postiže se izvedbom spojeva u višoj klasi, omatanjem spojeva vanjskim trakama za brtvljenje ili ugradnjom gumenih brtvi u spojeve (najskuplje i najkvalitetnije rješenje – standardno u skandinavskim zemljama). Pad tlaka u kanalskom razvodu direktno je povezan s potrebnom snagom ventilatora. Smanjenje pada tlaka postiže se odgovarajućim projektnim rješenjima uz smanjenje duljine razvoda, broja koljena i ogranaka, pravilnim razmještajem i izborom

distributera i dr. Iz izraza 8.68 vidljivo je kako dimenzije kanala imaju direktan utjecaj na pad tlaka, jer će u kanalima veće površine poprečnog presjeka (većeg ekvivalentnog promjera) otpor trenja biti manji. Tu je i indirektan utjecaj dimenzije kanala preko brzine strujanja pri konstantnom protoku, jer pad tlaka raste s kvadratom porasta brzine. Primjerice, kod dvostruko veće brzine strujanja (dvostruko manji presjek strujanja), pad tlaka poraste četiri puta. Stoga je općenita preporuka kako za potrebni protok zraka kanale ne treba pretjerano smanjivati. Povišena brzina strujanja u kanalu može izazvati i primjetnu buku.

Toplinska izolacija kanala postavlja se iz tri osnovna razloga:

- smanjenje izmjene topline između kanala i okoliša uz eventualno sprječavanje kondenzacije
- zaštita od požara
- apsorpcija buke iz kanala.

Postavljanje toplinske izolacije uobičajeno je na vanjskoj površini kanala, a ako se slučajno izolacija postavlja iznutra, tada predviđeni materijal treba biti pogodan za čišćenje standardnim načinima. Ako kroz kanal struji hladni zrak, za klimatizaciju tada postoji mogućnost kondenzacije vlage iz zraka na vanjskoj površini neizoliranog kanala. U tome se slučaju treba koristiti izolacija s parnom branom koja sprječava prodor vlage unutar izolacijskog materijala. Na tržištu se mogu pronaći i gotovi predizolirani kanali. U praksi se obvezno izvodi toplinska izolacija usisnog kanala vanjskog zraka do klimatizacijske jedinice i dobavnog kanalskog razvoda od jedinice do prostora. Odsisni razvod često ostaje neizoliran što nije uvijek tehnički opravdano, pogotovo ako se odsisni zrak koristi za povrat topline. Debljina izolacije ovisi o izolacijskom materijalu i najčešće iznosi od 20 mm na više. Pri prolasku tlačnih i odsisnih kanala kroz požarne sektore, često je nužna ugradnja protupožarne zaklopke čije dimenzije priključka odgovaraju dimenzijama kanala.

### 8.6.9. Distributer

Distributeri se koriste za dovod i odsis zraka u klimatiziranim prostorima. Na temelju potrebnog volumenskog protoka zraka i veličini prostorije, odabere se odgovarajuća veličina i tip istrujnih ili odsisnih distributera iz kataloga proizvođača. Zatim se odabere broj komada distributera i lokacija unutar prostorije za ostvarivanje odgovarajuće razdiobe strujanja u zoni boravka. Lokalni izvori toplinskih opterećenja su odlučujući za izbor tipa i pozicije dobavnih distributera, koje treba locirati tako da se neutralizira nepoželjni konvektivni toplinski tok od koncentriranog izvora toplinskog opterećenja.

Ako je izvor topline smješten unutar zone boravka u prostoriji, efekt zagrijavanja zraka može se spriječiti usmjeravanjem hladnog zraka prema izvoru topline ili smještajem odsisnih distributera u blizini izvora. Odsis u blizini izvora topline je ekonomičniji za primjenu kod hlađenja jer se toplina odvodi na izvoru, umjesto da toplinski opterećuje zrak klimatiziranog prostora. U prostorima za koje je predviđeno korištenje pretežno u režimu hlađenja, takav odsis najtoplijeg zraka iz prostora može efektivno umanjiti potrošnju energije.

Ako je opterećenje od rasvjete veliko (primjerice  $50 \text{ W/m}^2$  i više) i stropovi relativno visoki (iznad 4.5 m), dobavni distributeri trebaju biti smješteni po mogućnosti ispod rasvjete. Ovakav pristup smanjuje potrebe za većim protokom dobavnog zraka. Zatvorena rasvjetna tijela su energetska povoljnija od izloženih rasvjetnih tijela, jer se veći dio topline izmjenjuje zračenjem.

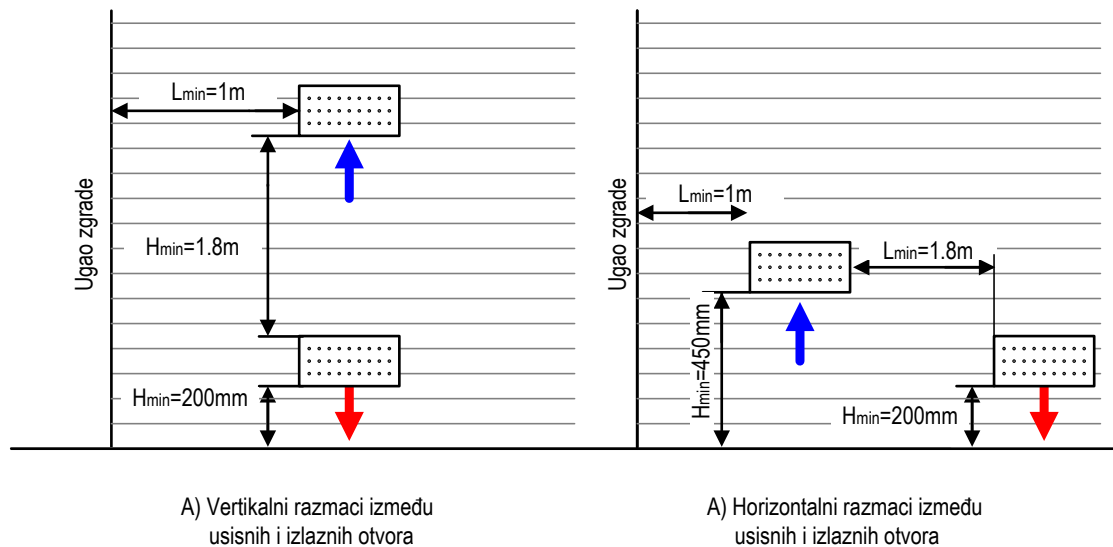
U prostorima s vrlo visokim stropovima, atrijima, krovnim prozorima ili velikim okomitim staklenim površinama i u najvišim područjima iznad zone boravka, slojevita razdioba zraka može se iskoristiti kao mjera uštede energije postavljanjem odsisnih otvora blizu zone boravka. Ako je izveden spuštenu strop, treba održavati niski radni statički tlak preko cijele površine stropa zbog mehaničke zaštite; uglavnom je najveći prihvatljivi pad tlaka od 5 do 7.5 Pa.

Načelno, smještaj odsisnih distributera ne utječe značajno na razdiobu zraka u zoni boravka, iako se pri tome treba pridržavati osnovnih stručnih preporuka. Odsisne distributere treba smjestiti "dovoljno" daleko od dobavnih distributera, tako da se smanji pojava „kratkog spoja“ sa strujom dobavnog zraka. Ako se zrak dobavlja sa stropa, odsis se može smjestiti između dobavnih distributera ili na udaljenom dijelu prostorije. U prostorijama s izraženom vertikalnom slojevitom razdiobom zraka, poput računskih centara, kinodvorana, kuhinja, kafića ili klubova, odsis treba smjestiti blizu stropa radi odvođenja toplog zraka, mirisa i dima.

Tablica 8.11 – Preporučene brzine strujanja zraka na odsisnim distributerima

Smještaj odsisnog otvora	Brzina preko bruto površine [m/s]
Iznad zone boravka	> 4
Unutar zone boravka, udaljeno od sjedećih mjesta	3 do 4
Unutar zone boravka, u blizini sjedećih mjesta	2 do 3
Prestrujavanje korz vrata ili zidove s rešetkama	1 do 1,5
Prestrujavanje kroz podrezana vrata	1 do 1,5

Vanjske rešetke za usis vanjskog i ispuh istrošenog zraka postavljaju se na vanjski zid (slika 8.111), na krov ili u zasebni objekt pored zgrade koji je sa zgradom povezan kanalom u tlu. Kako bi se smanjilo usis nečistoće iz vanjskog okoliša, preporučuje se proširenje usisnog kanala i izbor veličine vanjske usisne rešetke kod koje brzina strujanja na rešetki ne prelazi 3 m/s. S unutarnje strane vanjske rešetke obvezno se postavlja žičana mreža s otvorom oka 1 cm x 1 cm, radi zaštite od ulaska ptica i većih kukaca.



Slika 8.111 - Preporuke za smještaj vanjskih rešetki za usis i ispuh

Distributeri se dijele na tri glavne skupine:

- rešetke
- difuzori
- sapnice

Rešetke se koriste kao istrujni distributeri dobavnog zraka ili kao odsisni distributeri istrošenog zraka pri miješajućoj ventilaciji. Upotreba iste rešetke u režimu grijanja i hlađenja zraka mora se pažljivo ispitati i često nije preporučljiva. Rešetke imaju usporedivo manji omjer indukcije, veće propadanje mlaza, veći domet i brzinu strujanja u zoni boravka od stropnih i ostalih distributera. Funkcioniraju dobro ako su smještene visoko na zidu (rešetka s dvostrukim otklanjanjem mlaza je obično optimalno rješenje) i rubno u parapetu ili podu (rešetke sa zakrivljenim krilcima koje usmjeravaju zrak paralelno s površinom za montažu). Istrujne rešetke montirane u 2.4 do 3 m visoke stropove, koje upuhuju zrak direktno prema zoni boravka najčešće su neprihvatljive u komfornim sustavima klimatizacije.



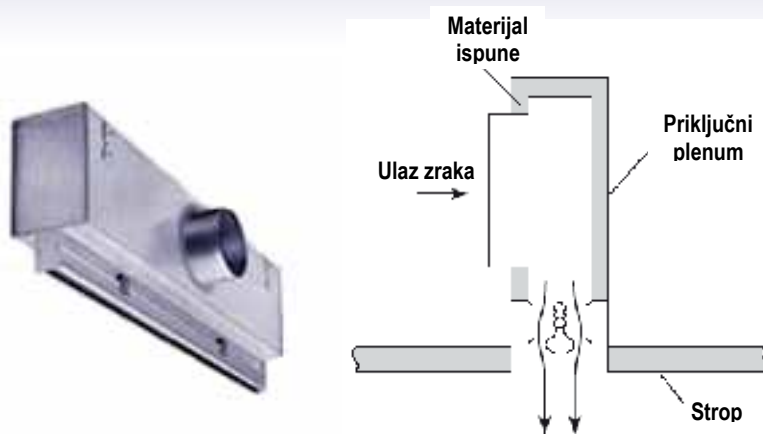
Slika 8.112 – Rešetke

Difuzori se na tržištu nude u velikom broju različitih tipova za ugradnju na strop, u pod, u zid ili u parapet ispod vanjskog prozora. Stropni difuzori sastoje se od niza koncentričnih prstenova ili stožastih ploha izrađenih od krilaca postavljenih u različitim smjerovima i vanjskog kućišta ili okvira. Dobavni zrak se ubacuje kroz koncentrične prolaze, kroz prolaze usmjerene u jednom, dva, tri, u svim smjerovima ili vrtložno. Smjer ispuhivanja zraka se kod većine stropnih distributera može mijenjati od horizontalnog do vertikalnog. Dobavni stropni difuzori koji ubacuju zrak horizontalno su pogodni za klimatiziranje prostora s niskim stropovima, a osim toga mogu raditi i s većim protocima zraka. Stropni difuzori s većim omjerom indukcije pogodni su za veće temperaturne razlike pri distribuciji hladnog zraka.



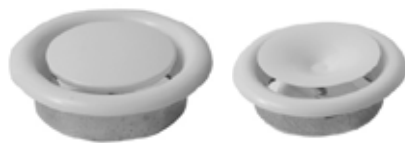
Slika 8.113 - Stropni difuzori s priključnom kutijom

Linijski difuzori koriste se kao dobavni (najčešće) ili odsisni distributeri. Sastoje se od jednog ili više paralelnih raspورا uz mogućnost ugradnje u višestruke sekcije kako bi se ostvarile duge, neprekinute linije na stropu. Najčešće se koriste za stropnu ugradnju, ali mogu biti smješteni i visoko na zidu, u parapetu ili u podu. Dobavni zrak može se usmjeravati horizontalno ili vertikalno za svaki raspورا zasebno. Pri ugradnji u vertikalne zidove na udaljenosti manjoj od 15 – 30 cm ispod stropa, strujanje je okomito na površinu zida (uz liniju stropa). Ako se ugrađuje niže od 30 cm ispod stropa, preporučuje se otklon u smjeru stropa pod kutom 15 do 30°.



Slika 8.114 - Linijski difuzor

Zračni ventil koristi se kao dobavni i odsisni distributer posebno prilagođen za ventilaciju kupaonica te sanitarnih i sličnih prostora. Regulacija se obavlja okretanjem središnjeg dijela ventila čime se mijenja protok zraka i otpor strujanju.



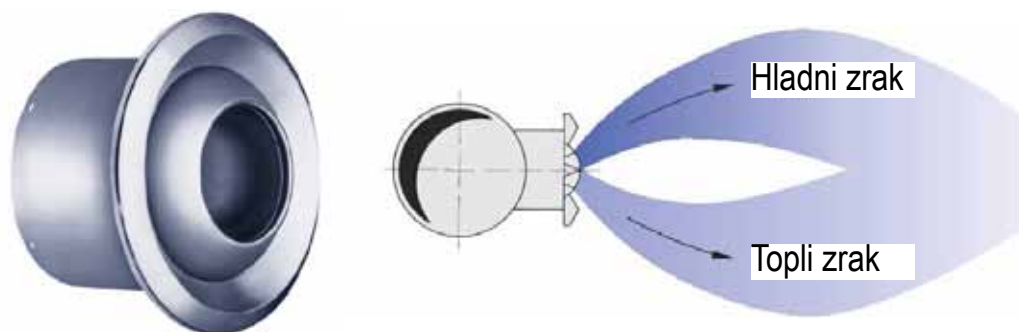
Slika 8.115 – Zračni ventil

Kod potisne ventilacije kondicionirani (obično hladni) zrak dobavlja se kroz dobavne difuzore s malim brzinama strujanja (0.3 do 0.45 m/s) izravno u zonu boravka. Difuzori se jednoliko razmještaju po stropu, u podu ili na zidu tako da se ostvari niskoturbulentno jednosmjerno strujanje preko cijele prostorije. Temperaturna razlika između dobavnog zraka i zraka u prostoriji ovisi uglavnom o zahtijevanoj brzini strujanja u prostoru i toplinskom opterećenju kojega iz zone boravka treba odvoditi. Ako se primjerice kondicionirani zrak snižene temperature dovodi direktno u zonu boravka pri podu, temperaturna razlika ubacivanja iznosi 2 do 5°C. Poprečno strujanje pogodno je ventilaciju visokih prostora te za uklanjanje zagađivača nastalih unutar prostora, jer zrak struji u jednom smjeru i na određeni način „ispire“ prostoriju. Pored toga, potrošnja energije za hlađenje obično je manja u usporedbi s miješajućim strujanjem.



Slika 8.116 – Difuzori za potisnu ventilaciju

Sapnica je dobavni distributer okruglog oblika otvora, posebno prilagođena za veliki domet zračnog mlaza (do 30 m). Struja zraka koja se ispuhuje iz sapnice sužava se neposredno ispred otvora, što rezultira velikom brzinom istrujavanja i jednolikom distribucijom zraka. Prednost korištenja sapnice prema ostalim tipovima distributera je veći domet i manje rasipanje mlaza. Neki tipovi sapnica pružaju mogućnost otklona mlaza pod kutom do  $\pm 30^\circ$  (slika 8.117). Također, sapnice imaju veliki indukcijski omjer i često se koriste za distribuciju hladnog zraka s velike visine.



Slika 8.117 – Sapnica [8.17]

## 8.7. Preporuke

Ušteda energije u GViK sustavima najjednostavnije se postiže proizvoljnim postupcima kao što je isključivanje sustava kada njihov pogon nije potreban. Također, kod regulacije sustava naglasak treba biti na jednostavnosti korištenja, pogotovo kod manjih zgrada koje nemaju službu za nadzor i upravljanje energetikom zgrade. Naravno, temeljna pretpostavka energetski učinkovitog sustava je optimalno dimenzioniranje pojedinih komponenata i sustava kao cjeline. Pored toga, osnovni načini uštede energije u GViK sustavima općenito uključuju:

- isključivanje sustava kada pogon nije potreban
- isključivanje izvora toplinskog opterećenja prostora (rasvjete, opreme) kada pogon nije potreban
- "besplatno" hlađenje s vanjskim zrakom kada uvjeti dopuštaju
- hidrauličko uravnoteženje razvoda ogrjevnog i rashladnog medija (zraka, vode)
- smanjenje istjecanja medija uslijed propuštanja razvoda
- smanjenje ventilacije u prostorima izvan razdoblja korištenja
- provjera i podešavanje pogonskih parametara sustava prije sezone grijanja i sezone hlađenja
- korištenje snižene temperaturne razine ugodnosti u prostorima izvan razdoblja korištenja
- pridržavanje predviđenog programa održavanja (čišćenje komponenata sustava, zamjena filtara, zamjena dotrajalih potrošnih dijelova i dr.).

Ušteda energije može se postići i sniženjem cijene energije što uključuje:

- korištenje jeftinijeg ekološki prihvatljivog energenta
- korištenje alternativnih izvora energije: obnovljivih izvora energije, kogeneracije, dizalica topline
- povećanje volumena spremnika energije na lokaciji zgrade
- kontrola vršne električne snage sustava i korekcija faktora jalove energije.

Nešto skuplje mjere uštede energije uključuju zamjenu dotrajale i neučinkovite opreme ili dopunu sustava energetski učinkovitijim komponentama:

- zamjena toplinskog i rashladnog izvora
- ugradnja sustava povrata topline
- zamjena pumpi i ventilatora
- opremanje pumpi i ventilatora modulirajućom regulacijom brzine vrtnje
- poboljšanje toplinske izolacije
- ugradnja DDC regulacije i sustava upravljanja energijom.



Smanjenje potrošnje energije može se ostvariti i kroz prilagodbu pogonskih parametara radi sniženja troškova korištenja, pod uvjetom da se tim postupcima ne ugrožava kriterij ugodnosti:

- prilagodba postavljenih veličina temperature i vlažnosti zraka na regulaciji prema trenutačnim potrebama prostora
- prilagodba razdiobe zraka prema trenutačnim potrebama prostora
- snižavanje postavljene temperature zraka na regulaciji zimi i povišenje ljeti
- isključivanje opreme u prostorima u kojima pogon nije potreban
- promjena trajanja razdoblja pogona s normalnom temperaturnom razinom ugodnosti (kasnije uključivanje, ranije isključivanje)
- smanjenje ili eliminacija dogrijavanja i naknadnog hlađenja
- sniženje temperature ogrjevnog medija i povišenje temperature rashladnog medija u dopuštenim granicama.

## Reference

- [8.1] REHVA, *Displacement Ventilation in Non-industrial Premises*, 2002.
- [8.2] Fanger, *Thermal comfort*, McGraw-Hill, New York, 1972.
- [8.3] DIN 1946-2, *Ventilation and air-conditioning*, technical health requirements, 1994.
- [8.4] BGI 579, *Hitzearbeit – erkennen – beurteilen – schützen*, 2007.
- [8.5] ASHRAE, *Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, 2004.
- [8.6] EN ISO 7730, *Ergonomics of the Thermal Environment -- Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort Using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria*, 2005.
- [8.7] ASHRAE, *Standard 62: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*, 2001.
- [8.8] RWE Energie, *RWE Energie Bauhandbuch*, 12. Auflage, Oberhausen: Plitt Druck- und Verlag GmbH, 1998.
- [8.9] Recknagel, *Taschenbuch für Heizung- und Klimatechnik*, 68. Auflage, München: Oldenburg Verlag GmbH, 1997.
- [8.10] UFC 3-440-06N, *Design: Cooling Buildings by Natural Ventilation*, 2004.
- [8.11] ASHRAE, *Handbook of Fundamentals*, 2009.
- [8.12] Liddament, *Indoor Air Quality Handbook, Chapter 13: Ventilation Strategies*, McGraw-Hill, New York, 2001.
- [8.13] ASHRAE, *Handbook of HVAC Systems and Equipment*, 2008.
- [8.14] ASHRAE, *Handbook of HVAC Applications*, 2007.
- [8.15] Wang, *Handbook of Air-conditioning and Refrigeration*, McGraw-Hill, New York, 2000.
- [8.16] HRN EN 13779, *Ventilation for Non-residential Buildings – Performance Requirements for Ventilation and Room - conditioning systems*, 2004.
- [8.17] Tehnička dokumentacija BC Hydro, Daikin, Hoval, Klimaoprema, Menerga, Trox



## 9. RASHLADNI SUSTAVI I DIZALICE TOPLINE, OPREMA I KOMPONENTE

### 9.1. Uvod

Rashladni uređaji i dizalice topline imaju široku primjenu u prehrambenoj industriji, tzv. hladnom lancu, medicini, farmaceutskoj industriji, kemijskoj industriji. Vrlo važan dio primjene su i sustavi za toplinsku obradu prostora za boravak ljudi u zgradama što uključuje grijanje, hlađenje, održavanje vlage i kvalitete zraka. Uređaji za hlađenje sastavni su dio klimatizacijskih sustava s centralnom klima komorom i kanalnim razvodom, ali i jediničnih uređaja za hlađenje, tzv. split uređaja. Split uređaji za hlađenje zraka najširu primjenu imaju u domaćinstvima i u manjim javnim prostorima gdje se ne zahtijeva potpuna obrada klime.

Rashladna tehnika bavi se hlađenjem neke tvari ili tijela na temperaturu nižu od temperature okoline, što je ujedno i definicija tehničkog hlađenja:

$$T_{hl} < T_{ok}$$

Osim navedenog tehničkog hlađenja tvari na temperaturu nižu od temperaturu okoline, prirodno hlađenje prisutno je kod tijela koja su više temperature od temperature okoline, pri čemu tijelo prirodnim putem izmjenjuje toplinu s okolinom, težeći toplinskoj ravnoteži s okolinom.

#### Tehničko hlađenje

Rashladnim uređajem toplina se prenosi s toplinskog spremnika niže temperature (odvija se na isparivaču) na toplinski spremnik više temperature – okolinu (odvija se na kondenzatoru) uz privedeni vanjski rad (kompenzacijsku energiju), pri čemu se troši energija za pogon uređaja (npr. pogon kompresora). U suštini rashladni uređaj je dizalica topline jer se energija (toplina) s nižeg energetskeg potencijala podiže na viši.

Prema privedenoj kompenzacijskoj energiji razlikuju se sljedeći rashladni uređaji:

- kompresijski rashladni uređaji (pogonska energija je mehanička energija)
- sorpcijski rashladni uređaji (pogonska energija je toplinska energija)
- ejektorski rashladni uređaji (pogonska energija je toplinska energija)
- termoelektrični rashladni uređaji (pogonska energija je električna energija)
- magnetski rashladni uređaji ...

Najveći broj komercijalnih rashladnih i klima uređaja su kompresijski rashladni uređaji pogonjeni elektromotornim kompresorom. Zatim slijede apsorpcijski rashladni uređaji pogonjeni toplinskom energijom (plin, para, otpadna toplina, Sunčeva energija). Također ne treba zanemariti ni neke druge tipove rashladnih uređaja kao što su npr. magnetski uređaji, čija se istraživanja intenziviraju.

### 9.2. Parni kompresijski rashladni uređaji

#### Procesi u parnom rashladnom uređaju s jednostupanjskom kompresijom

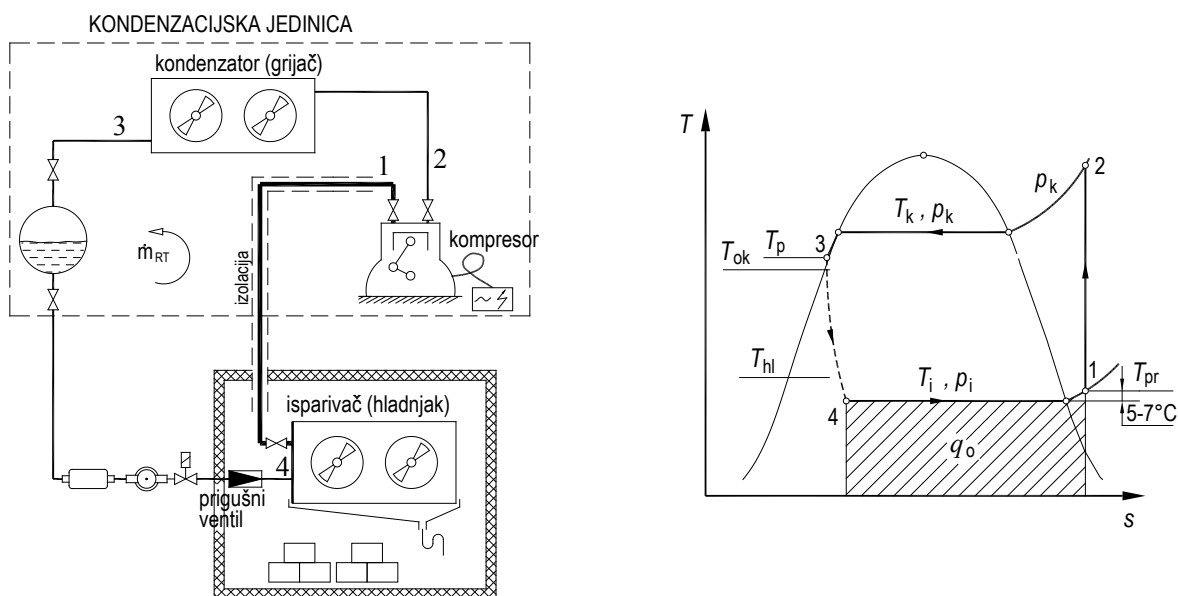
Parne procese karakterizira promjena toplinskog i agregatnog stanja radne tvari u toku strujanja komponentama rashladnog uređaja.

Svaki kompresijski parni rashladni uređaj sastoji se od četiri osnovne komponente unutar kojih struji radna tvar:

- kompresor
- kondenzator
- prigušni ventil
- isparivač.

U **isparivaču** radna tvar isparava pri tlaku isparivanja (**promjena stanja 4-1**, slika 9.1) najčešće pri konstantnoj temperaturi, primajući toplinu s medija (zraka ili kapljevine) kojega hladi. Temperatura isparivanja je uvijek niža od temperature medija koji se hladi na isparivaču (najčešće je to zrak, a može biti i kapljevine – voda ili neka smjesa npr. vode i alkohola). Radna tvar na ulazu u isparivač pretežito je u kapljevitoj stanju (stanje 4), dok je radna tvar na izlasku iz isparivača u suhozasićenom ili blago pregrijanom stanju (stanje 1). Na slici 9.1 prikazan je rashladni uređaj za hlađenje zraka.

**Kompresor** je onaj element rashladnog uređaja koji omogućuje hlađenje materije na temperaturu ispod temperature okoline i zato se njemu mora dovesti rad. Toplinu nije moguće prirodnim putem prenositi s tijela niže temperature na tijelo više temperature. Da bi to bilo moguće, mora se primijeniti tehničko hlađenje. Kompresor odsisavanjem pare radnoj tvari snižava tlak i na taj način umjetno ostvaruje nižu temperaturu radne tvari od temperature medija koji se hladi. Kompresor usisava suhozasićenu paru radne tvari s tlaka isparivanja i komprimira je na tlak kondenzacije (**promjena stanja 1-2**), odnosno na temperaturu koja je viša od temperature okoline. Kompresor ne smije usisavati kapljevину, jer bi moglo doći do hidrauličkog udara.



Promjene stanja u ljevokretnom kružnom procesu:

- isparivanje: promjena 4-1 ( $T_i, p_i$ )
- kompresija: promjena 1-2 ( $p_i \rightarrow p_k$ )
- kondenzacija: promjena 2-3 ( $T_k, p_k$ )
- prigušenje: promjena 3-4 ( $p_k \rightarrow p_i$ )

**Slika 9.1 - Shematski prikaz rashladnog uređaja i proces prikazan u T-s dijagramu**

Toplinu koju je radna tvar u isparivaču preuzela na sebe uvećanu za energiju privedenu u kompresoru, potrebno je u **kondenzatoru** predati okolini. Da bi to bilo moguće, temperatura radne tvari u kondenzatoru mora biti viša od temperature medija koji preuzima toplinu kondenzacije (okolinski zrak ili voda). U kondenzator radna tvar ulazi kao pregrišana para (stanje 2), predajući toplinu okolini, prvo se ohladi do temperature kondenzacije pri čemu daljnjim odvođenjem topline radna se tvar kondenzira. Odavanjem topline okolini kondenzacija napreduje, sadržaj pare u kondenzatoru sve se više smanjuje, a udio kapljevine raste. Radna tvar na izlasku iz kondenzatora sva je u kapljevitoj stanju. Za bolju učinkovitost uređaja poželjno je da se radna tvar na izlasku kondenzatora pothladi za nekoliko stupnjeva, odnosno da temperatura radne tvari na izlasku iz kondenzatora bude za 3 do 5 °C niža od temperature kondenzacije. Najveći dio izmijenjene toplote u kondenzatoru ostvari se prilikom promjene agregatnog stanja iz parne u kapljevitu fazu (izmjena latentne toplote), dok se manji dio izmijeni hlađenjem pregrižanih para i pothlađenjem kondenzata. Toplota kondenzacije (**promjena stanja 2-3**) koju je potrebno predati okolini jednaka je toplini (energiji) izmijenjenoj u isparivaču uvećanoj za energiju koja je dovedena kompresoru:

$$q_{\text{kond}} = q_{\text{isp}} + w_{\text{komp}}, \text{ [kJ/kg]}, \quad \text{odnosno} \quad \Phi_{\text{kond}} = \Phi_{\text{isp}} + P_{\text{komp}}, \text{ [W]}, \quad (9.1)$$

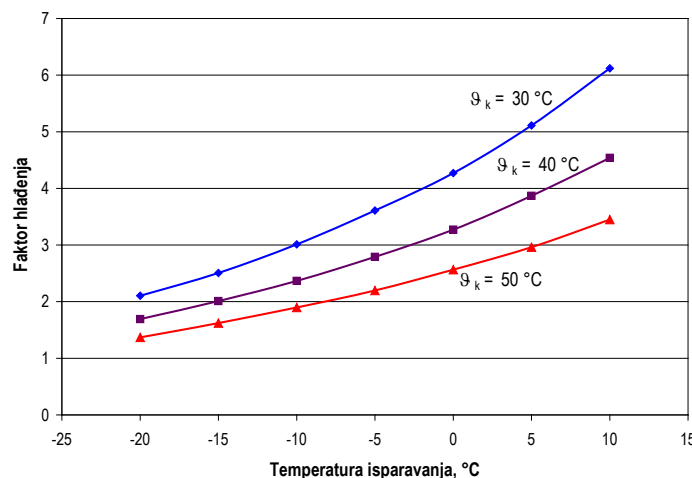
$q_{\text{kond}}$	- specifični učinak kondenzatora, kJ/kg	$\Phi_{\text{kond}}$	- učinak kondenzatora, W
$q_{\text{isp}}$	- specifični učinak isparivača, kJ/kg	$\Phi_{\text{isp}}$	- učinak isparivača, W
$w_{\text{komp}}$	- rad kompresora, kJ/kg	$P_{\text{komp}}$	- snaga kompresora, W

Nakon što je radna tvar toplinsku energiju predala okolini i kondenzirala, sve se odvija pri visokom tlaku, u kapljevitom stanju ulazi u **prigušni ventil** koji služi za snižavanje tlaka radne tvari s tlaka kondenzacije na tlak isparivanja, pri čemu pada i temperatura radne tvari, **promjena stanja 3-4**. Prilikom prigušenja radne tvari dolazi do ekspanzije radne tvari pa je na ulazu u isparivač još uvijek radna tvar najvećim dijelom u kapljevitom stanju, ali sadrži i parnu fazu. Ovime je rashladni kružni proces zatvoren.

Učinkovitost kompresijskog rashladnog procesa iskazuje se faktorom hlađenja. Faktor hlađenja  $\varepsilon_{\text{hl}}$  (engl. energy efficiency ratio – EER) rashladnog uređaja definiran je kao omjer učinka isparivača i privedene snage kompresoru:

$$\varepsilon_{\text{hl}}(\text{EER}) = \frac{q_{\text{isp}}}{w_{\text{komp}}} = \frac{\Phi_{\text{isp}}}{P_{\text{komp}}} \quad (9.2)$$

Ovisno o temperaturama toplinskih spremnika, odnosno temperaturama isparivanja i kondenzacije radne tvari (slika 9.2), te karakteristikama rashladnog kompresora, faktor hlađenja postiže vrijednosti od 1,5 (kod rashladnih uređaja koji se koriste za duboko zamrzavanje robe), do 3,5 i više kod rashladnih uređaja koji se koriste za komforno hlađenje. Vrijednosti faktora hlađenja u граниčnim slučajevima mogu biti manje od jedan, ali i veće od 6.



**Slika 9.2 - Ovisnost faktora hlađenja o temperaturi isparivanja i kondenzacije radne tvari R134a sa stapnim kompresorom**

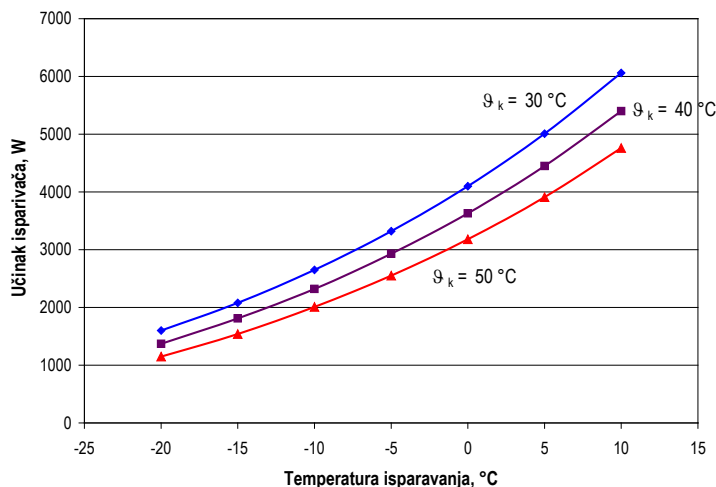
Rashladni učinak isparivača, a to je ujedno i rashladni učinak kompresora, određen je izrazom (9.3):

$$\Phi_{\text{isp}} = \dot{M}_{\text{RT}} q_{\text{isp}} = V_s n \lambda_{\text{vol}} z \rho_{\text{usis}} q_{\text{isp}}, \text{ [W]} \quad (9.3)$$

pri čemu je:

$\dot{M}_{\text{RT}}$	- maseni protok radne tvari, kg/s
$V_s$	- stapajni volumen, m <sup>3</sup>
$n$	- broj okretaja elektromotora kompresora, s <sup>-1</sup>
$\lambda_{\text{vol}}$	- volumetrički stupanj djelovanja kompresora, -
$z$	- broj cilindara kompresora, -
$\rho_{\text{usis}}$	- gustoća radne tvari na usisu u kompresor, kg/m <sup>3</sup>
$q_{\text{isp}}$	- specifični učinak isparivača, kJ/kg.

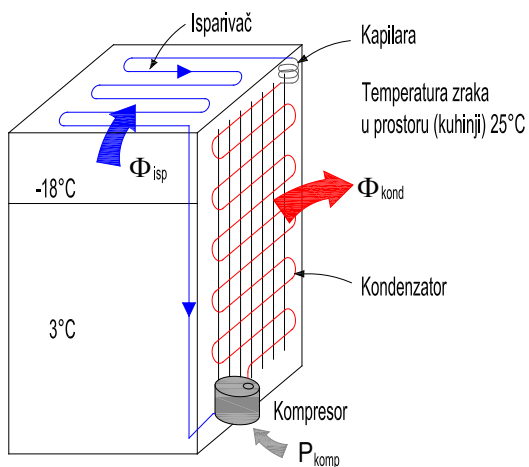
Osim konstrukcijskih veličina kompresora ( $V_s, n$ ) rashladni učinak ovisi i o volumetričkom stupnju djelovanja kompresora ( $\lambda$ ), gustoći radne tvari na usisu u kompresor ( $\rho_{usis}$ ) i specifičnom rashladnom učinku ( $q_{isp}$ ). Navedena termofizikalna svojstva za poznatu radnu tvar su funkcija temperature kondenzacije i isparivanja radne tvari (slika 9.3).



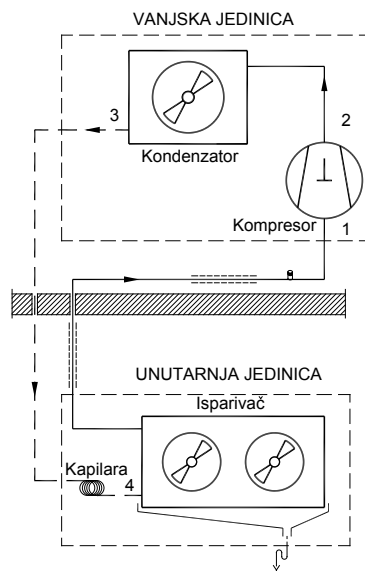
Slika 9.3 - Ovisnost rashladnog učinka o temperaturi isparavanja i kondenzacije radne tvari R134a sa stapnim kompresorom

Rashladni učinak uređaja bit će veći ako je niža temperatura kondenzacije radne tvari i viša temperatura isparavanja radne tvari. Iz navedenog slijedi da manja temperaturna razlika između temperature kondenzacije i temperature isparavanja radne tvari doprinosi većem rashladnom učinku  $\Phi_{isp}$  i većem faktoru hlađenja  $\varepsilon_{hl}$ .

Slika 9.4 i slika 9.5 prikazuju dva najčešće korištena rashladna uređaja, kućni hladnjak i split klima uređaj za hlađenje zraka.



Slika 9.4 - Kućni hladnjak

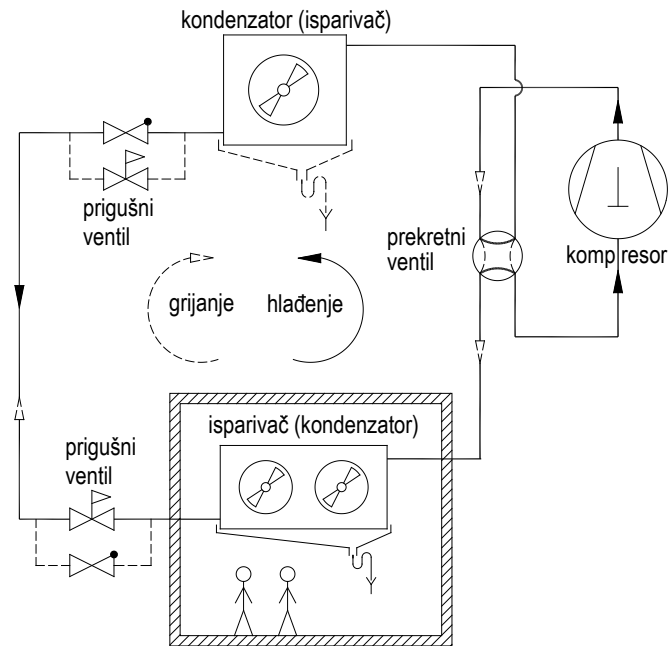


Slika 9.5 - Split sustav za hlađenje zraka

## Dizalica topline zrak-zrak

Dizalica topline (*heat pump, Wärmepumpe*) je svaki uređaj koji podiže toplinsku energiju s niže na višu energetska razinu (temperaturu) uz privedeni vanjski rad s ciljem korištenja toplinske energije više razine. Primarni cilj je korištenje toplinske energije izmijenjene na visokotemperaturnom izmjenjivaču (kondenzatoru), npr. za grijanje. Nasuprot tome rashladni uređaj koristi toplinsku energiju izmijenjenu na niskotemperaturnom izmjenjivaču (isparivaču). Dakle, svaki rashladni uređaj

istovremeno je i dizalica topline, bitno je što je primarni cilj, korištenje rashladne ili ogrjevne energije. Prekretanjem procesa, tj. zamjenom uloga isparivača i kondenzatora isti uređaj može se koristiti za grijanje, odnosno hlađenje. Slika 9.6 prikazuje shemu split klima uređaja koji ima mogućnost rada u režimu hlađenja i režimu grijanja.



**Slika 9.6 - Mogućnost rada uređaja u načinu rada hlađenja, odnosno grijanja**

Energetska valjanost (učinkovitost) split klima uređaja u režimu hlađenja ocjenjuje se faktorom hlađenja za uvjete koji su dani u normi HRN EN 14511 ( $\vartheta_{hl} = 27\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\vartheta_{ok} = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Primjer:  $\Phi_{isp} = 3500\text{ W}$ ;  $P_{EL} = 1084\text{ W}$

$$\varepsilon_{hl} = \frac{3500}{1084} = 3,23$$

Valjanost ogrjevnog procesa sa split klima uređajem u režimu grijanja ocjenjuje se faktorom grijanja ili toplinskim množiteljem. Toplinski množitelj  $\varepsilon_{gr}$  dizalice topline (engl. coefficient of performance – COP) definiran je sljedećim izrazom:

$$\varepsilon_{gr}(COP) = \frac{\Phi_{kond.}}{P_{EL}} \quad (9.4)$$

Primjer:  $\Phi_{kond} = 3850\text{ W}$ ;  $P_{EL} = 1067\text{ W}$

( $\vartheta_{gr} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\vartheta_{ok} = 7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , HRN EN 14511)

$$\varepsilon_{gr} = \frac{3850}{1067} = 3,21$$

### Razvrstavanje split klima uređaja prema energetska učinkovitosti

Split klima uređaji razvrstavaju se u energetske razrede prema režimu rada, ovisno o tome koristi li se uređaj za hlađenje ili za grijanje. Ako se split klima uređaj koristi u režimu hlađenja, njegov razred energetske učinkovitosti određuje faktor hlađenja  $\varepsilon_{hl}$  (EER). Npr. uređaj s faktorom hlađenja većim od 3,2 svrstava se u energetska razred A (tablica 9.1). Kada uređaj radi u režimu grijanja relevantan je njegov toplinski množitelj  $\varepsilon_{gr}$  (COP). Npr. uređaj s faktorom grijanja većim od 3,6, svrstava se u energetska razred A u režimu grijanja.



Tablica 9.1 - Razredi energetske učinkovitosti split klima uređaja

HLAĐENJE, $\varepsilon_{hi}$ (EER)	
Razred energetske učinkovitosti A $3,20 < EER$	
Razred energetske učinkovitosti B $3,20 > EER > 3,00$	
Razred energetske učinkovitosti C $3,00 > EER > 2,80$	
Razred energetske učinkovitosti D $2,80 > EER > 2,60$	
Razred energetske učinkovitosti E $2,60 > EER > 2,40$	
Razred energetske učinkovitosti F $2,40 > EER > 2,20$	
Razred energetske učinkovitosti G $2,20 > EER$	
GRIJANJE, $\varepsilon_{gr}$ (COP)	
Razred energetske učinkovitosti A $3,60 < COP$	
Razred energetske učinkovitosti B $3,60 > COP > 3,40$	
Razred energetske učinkovitosti C $3,40 > COP > 3,20$	
Razred energetske učinkovitosti D $3,20 > COP > 2,80$	
Razred energetske učinkovitosti E $2,80 > COP > 2,60$	
Razred energetske učinkovitosti F $2,60 > COP > 2,40$	
Razred energetske učinkovitosti G $2,40 > COP$	

### 9.3. Sorpcijski, termoelektrični i ejektorski rashladni uređaji

#### 9.3.1. Sorpcijski rashladni uređaji

Sukladno s drugom glavnom stavku termodinamike za ostvarivanje ljevokretnog parnog procesa i rashladnog učinka, potrebno je utrošiti određeni kompenzacijski rad. Sam stavak ne govori ništa o vrsti tog kompenzacijskog rada. Dok se kompresijski rashladni uređaji koriste mehaničkom energijom, a parni ejektori kinetičkom energijom strujanja, sorpcijski se rashladni uređaji koriste toplinskom energijom za ostvarivanje rashladnog učinka. Kao i u slučaju kompresijskih rashladnih uređaja tako i kod sorpcijskih uređaja, toplinu koja se preuzima od hlađene robe potrebno je transportirati na višu energetska razinu, odnosno višu temperaturu. Za tu namjenu umjesto mehaničkih kompresora koji su primijenjeni u kompresijskim rashladnim uređajima, kod sorpcijskih uređaja koriste se „toplinski kompresori“. U načelu oni koriste smjesu dvije tvari od kojih je jedna radna tvar, a druga sorpcijska tvar.

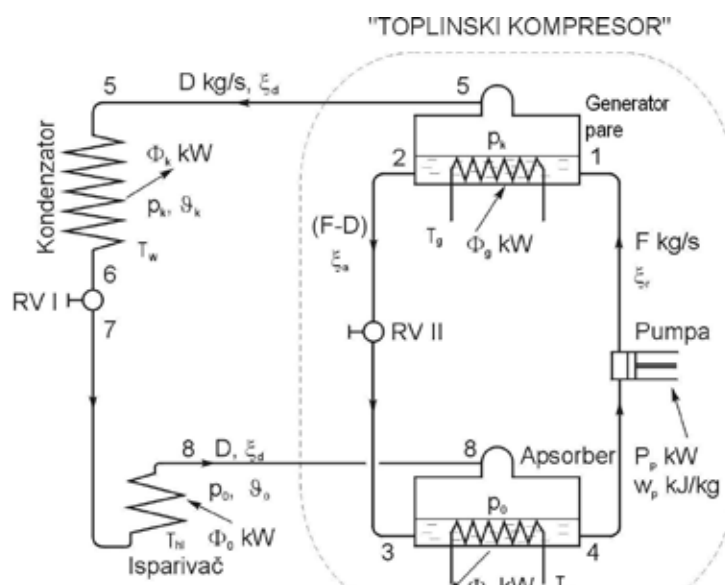
Kod sorpcijskih rashladnih uređaja radne tvari su slične ili iste one kao i kod kompresijskih rashladnih uređaja. S druge strane sorpcijsko sredstvo je tvar koja mora biti u mogućnosti, pod određenim uvjetima tlaka i temperature, primiti odnosno apsorbirati što je više moguće radne tvari. Sorpcijske tvari mogu biti u tekućem i krutom stanju. Kada se primjenjuju tekuće sorpcijske tvari, tada se govori o „kapljevinim apsorpcijskim uređajima“ ili skraćeno „apsorpcijskim uređajima“. U slučaju primjene krutih sorpcijskih tvari govori se o „suhim sorpcijskim uređajima“.

Krute sorpcijske tvari moguće je dalje podijeliti prema načinu sorpcije, na apsorpcijske i adsorpcijske tvari. Kod apsorpcijskih krutih tvari uglavnom je riječ o solima metala ( $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{SrCl}_2$ ) s kojima radna tvar, npr. amonijak ostvaruje čvrstu kemijsku vezu. S druge strane primjenom sorpcijskih tvari velikih unutarnjih površina, npr. aktivnog ugljena ili silikagela govori se o adsorpciji. Pojava adsorpcije pripisuje se dijelom kapilarnoj kondenzaciji, a dijelom stvaranju jednomolekulnih slojeva. Uređaji koji se koriste ovakvim adsorpcijskim tvarima nazivaju se „adsorpcijski rashladni uređaji“. Način pogona sorpcijskih uređaja možemo podijeliti na kontinuirani i diskontinuirani proces. Kontinuirani proces moguć je samo primjenom kapljevitih apsorpcijskih tvari. Dakako, za krute apsorpcijske i adsorpcijske tvari ovakav proces nije moguć pa se stoga ovdje govori o diskontinuiranom procesu.

### Apsorpcijski rashladni uređaji

Za razliku od kompresijskih, kod apsorpcijskih rashladnih uređaja (ARU) uz radnu tvar nalazi se još i apsorpcijsko sredstvo. Oboje zajedno čine radnu smjesu apsorpcijskih rashladnih uređaja. Dok se kod kompresijskih rashladnih uređaja kao radnu tvar u načelu može upotrijebiti bilo koji ukapljeni plin, kod apsorpcijskih rashladnih uređaja radna smjesa mora posjedovati niz oprečnih svojstava. Time je izbor vrlo sužen. Najviše u praksi korišteni parovi radnih smjesa su amonijak/voda ( $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$ ) i voda/litijbromid ( $\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr}$ ). U slučaju para amonijaka i vode, amonijak je radna tvar, a voda sorpcijska tvar, dok je u slučaju vode i litijbromida, voda radna tvar. Kod vode i litijbromida primjena rashladnih uređaja je ograničena najnižom dopuštenom radnom temperaturom isparivanja koja mora biti viša od  $0^\circ\text{C}$ . Iz toga razloga ovi se uređaji najčešće primjenjuju u sustavima klimatizacije. Najjednostavnija osnovna forma kontinuiranog apsorpcijskog rashladnog uređaja prikazana je na slici 9.7.

Jednostavni apsorpcijski rashladni uređaj sastoji se od kruga radne tvari i kruga toplinskog kompresora. U krugu radne tvari nalaze se kondenzator, prigušni ventil i isparivač, dok se u krugu toplinskog kompresora nalaze generator pare (kuhalo), prigušni ventil, apsorber i pumpa. U generatoru pare se iz otopine radne i apsorpcijske tvari, dovođenjem topline ( $\Phi_g$ ), pri temperaturi  $T_g$ , izdvaja više ili manje čista para radne tvari. Iz generatora pare izdvojena se para radne tvari, odvodi prema kondenzatoru, dok se osiromašena otopina (osiromašena s obzirom na sada smanjeni udio radne tvari u otopini) vodi prema prigušnom ventilu RV II i apsorberu. U kondenzatoru se radna tvar ukapljuje, predajući toplinu  $\Phi_k$  okolini, pri temperaturi kondenzacije  $T_k$ , a potom u prigušnom ventilu RV I prigušuje s tlaka kondenzacije na tlak isparivanja. U isparivaču radna tvar isparuje, ostvarujući rashladni učinak  $\Phi_o$  pri temperaturi isparivanja  $T_o$ . Nastala para radne tvari struji u apsorber gdje se apsorbira u struji osiromašene smjese, pristigle iz generatora pare. Na putu iz generatora pare osiromašenu smjesu potrebno je prigušiti s tlaka kondenzacije  $p_k$  na tlak isparivanja  $p_o$ , što se ostvaruje u prigušnom ventilu RV II. U apsorberu se radna tvar apsorbira u osiromašenoj otopini te se tako obogaćena transportira prema generatoru pare cirkulacijskom pumpom. Prilikom apsorpcije razvija se toplina miješanja koju je potrebno odvoditi iz apsorbera.



Slika 9.7 - Jednostavni apsorpcijski rashladni uređaj

Apsorpcijski rashladni uređaji rade isto kao kompresijski rashladni strojevi između dva različita tlaka, odnosno između tlaka  $p_k$ , koji je za generator pare i kondenzator približno jednak, a najviše se razlikuje za pad tlaka u cjevovodu između aparata i tlaka  $p_o$ , koji je na sličan način jednak za apsorber i isparivač. Tlak kondenzacije  $p_k$  ovisan je o temperaturi okoliša, dok je tlak isparivanja  $p_o$  određen željenom temperaturom hlađenja  $T_{hr}$ .

Za razliku od kompresijskih rashladnih uređaja, radni proces apsorpcijskih rashladnih uređaja karakteriziran je s tri temperaturne razine pri kojima se toplina uređaju dovodi ili odvodi. Toplinska energija dovodi se generatoru pare ogrjevnim medijem pri temperaturi grijanja  $T_g$ , isparivaču pri temperaturi hlađenja  $T_{hr}$ , a odvodi u kondenzatoru i apsorberu pri temperaturi okoline  $T_w$ . Pored tlaka i temperature kao dvije osnovne veličine stanja, kojima se u potpunosti mogu opisati stanja radne tvari u procesu

kompresijskog rashladnog uređaja, kod apsorpcijskih rashladnih uređaja potrebno je poznavati i koncentraciju radne otopine ( $\xi$ ). Sukladno shemi predstavljenog jednostupanjskog ARU (slika 9.7) moguće je razlikovati tri razine koncentracija, a to su: čista radna tvar s koncentracijom  $\xi_d = 1$ , koja kruži u krugu radne tvari uređaja; bogata otopina koncentracije  $\xi_r$ , koja se pumpom transportirana iz apsorbera do generatora pare i osiromašena otopina s koncentracijom  $\xi_a$ , koja struji iz generatora pare do apsorbera preko prigušnog ventila RV II.

Apsorpcijski rashladni uređaji su značajno skuplji od kompresijskih rashladnih uređaja, složeniji su i zauzimaju više mjesta. U nekim slučajevima manje su učinkoviti i skuplje ih je održavati. Iz navedenih razloga apsorpcijski rashladni uređaji koriste se u slučajevima niže cijene toplinske energije, potrebne za njihov pogon u usporedbi s električnom energijom. Apsorpcijski rashladni uređaji primarno se koriste u velikim komercijalnim i industrijskim sustavima.

Bilanca apsorpcijskog rashladnog uređaja prikazana je sljedećim izrazom:

$$\Phi_g + \Phi_o + P_p = \Phi_k + \Phi_a \quad (9.5)$$

Rashladni odnos ( $\zeta_{hi}$ ) jednostupanjskog apsorpcijskog rashladnog uređaja definiran je kao:

$$\zeta_{hi} = \frac{\Phi_o}{\Phi_g + P_p} = \frac{\Phi_o}{\Phi_g} \approx 0,2 \div 0,8 ; P_p \ll F_g \quad (9.6)$$

Toplinski odnos ( $\zeta_{gr}$ ) jednostupanjske apsorpcijske dizalice topline definiran je kao:

$$\zeta_{gr} = \frac{\Phi_a + \Phi_k}{\Phi_g + P_p} = \frac{\Phi_a + \Phi_k}{\Phi_g} \approx 1,2 \div 1,5 \quad (9.7)$$

Rashladni odnos ( $\zeta_{hi}$ ) apsorpcijskog rashladnog uređaja nikako se ne smije neposredno uspoređivati s faktorom hlađenja ( $\epsilon_{hi}$ ) kompresijskog rashladnog uređaja. Općenito vrijedi da apsorpcijski rashladni uređaji imaju to viši rashladni odnos što je temperatura ogrjevnog sredstva viša i što ima manji temperaturni pad u generatoru pare. Učinak apsorpcijskih rashladnika vode ( $H_2O/LiBr$ ) općenito se navodi pri temperaturi ogrjevnog sredstva od  $115^\circ C$ . Smanjenjem temperature ogrjevnog sredstva, učinak uređaja drastično pada, oko 12,5% za pad temperature ogrjevnog sredstva od  $6^\circ C$ . Na primjer učinak uređaja pri temperaturi ogrjevnog sredstva od  $90^\circ C$  iznositi će oko 50% učinka pri  $115^\circ C$ .

Rashladni odnos realnih apsorpcijskih rashladnih uređaja kreće se od 0,2 do 0,75. Donja granica rashladnog odnosa odgovara sustavima s  $NH_3/H_2O$  pri niskim temperaturama hlađenja, dok gornja granica odgovara uređajima korištenim za potrebe hlađenja zraka ili vode u sustavima klimatizacije. U tablici 9.2 dani su realni rashladni odnosi apsorpcijskih uređaja, ovisno o tipu i primjeni.

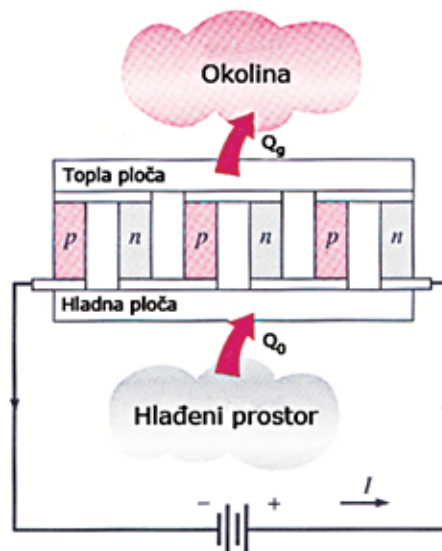
**Tablica 9.2 - Rashladni odnos ARU kao funkcija temperatura procesa i radne smjese**

Radna smjesa	Temperature [ $^\circ C$ ]			Rashladni odnos, $\zeta_{hi}$
	Ogrjevnog sredstva	Rashladne vode	Radne tvari u isparivaču	
$NH_3/H_2O$	120 do 135	20 do 30	+5 do -5	0,5 do 0,65
	105 do 140	10 do 25	-5 do -10	0,45 do 0,62
	105 do 140	10 do 25	-15 do -20	0,40 do 0,55
	160 do 165	15 do 18	-40 do -45	0,28 do 0,32
	160 do 165	15 do 18	-50 do -55	0,22 do 0,26
$H_2O/LiBr$	100 do 120	30	+10 do +2	0,75 do 0,7

Također u solarnim apsorpcijskim rashladnim uređajima kao pogonska energija može se koristiti toplina dobivena iz solarnog kolektora djelovanjem Sunčeva zračenja. Rashladnik vode sa smjesom  $H_2O - LiBr$  na zadovoljavajući način radi kod temperature vode u generatoru od 88 do 96 °C koja se priprema u solarnim vakuumskim kolektorima. Rashladni odnos iznosi do 0,7.

### 9.3.2. Termoelektrični rashladni uređaji (Peltierov proces)

U termoelektričnim rashladnim uređajima za proizvodnju rashladnog učinka izravno se koristi električna energija. Godine 1834. Jean Charles Athenase Peltier primijetio je da će prilikom puštanja električne energije kroz električni krug sastavljen od dviju žica različitog materijala, spojevi žica težiti različitim temperaturama (slika 9.8). Jedinstveno svojstvo ovoga procesa jest mogućnost promjene smjera prijenosa topline okretanjem polariteta izvora, odnosno prelaska iz hlađenja u grijanje. To se naziva Peltierovim procesom. Učinak takvog rashladnog uređaja snažno je ovisan o svojstvima materijala Peltierovih parova, označenih s  $p$  i  $n$  (slika 9.8).



Slika 9.8 - Termoelektrični rashladni uređaj

Materijali pogodni za Peltierove parove moraju imati visoki Seebackov koeficijent, odnosno moraju imati nizak koeficijent toplinske vodljivosti  $K$ , kako bi se izbjegli toplinski gubici između tople i hladne strane spoja, te nizak električni otpor  $R$ , kako bi se izbjegli električni gubici. Kako su većina dobro električki vodljivih materijala ujedno i dobri vodiči topline, vrlo je teško pronaći adekvatne materijale. Važan parametar koji kazuje koliko dobro neki materijal zadovoljava zahtjeve potencijalnog Peltierovog elementa naziva se Joffesov parametar ili Joffesov broj. Maksimalni faktor hlađenja (COP) Peltierovog elementa koji je moguće postići, funkcija je Joffesovog broja, a definiran je kao:

$$Z = \frac{e^2}{R \cdot K_1} [1 / ^\circ\text{C}] \quad (9.8)$$

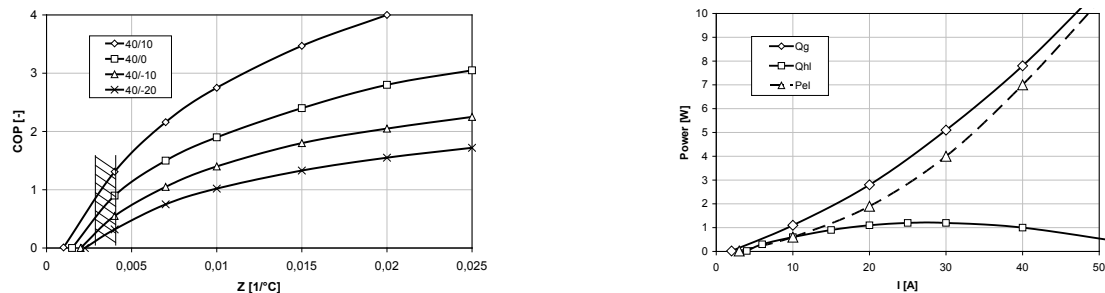
gdje su:

- $e$  - Seebackov koeficijent parova [ $V/^\circ\text{C}$ ]
- $R$  - električni otpor parova [Ohm] i
- $K_1$  - vodljivost parova [ $W/^\circ\text{C}$ ].

Materijali od najvećeg interesa za Peltierove parove spadaju u skupinu poluvodiča. Za primjenu uređaja pri sobnim temperaturama to su materijali temeljeni na spoju  $Bi_2Te_3$  s malim dodacima Br i Cu. Na taj način razvijeni su materijali s vrijednostima  $Z$  parametra između 3 i  $3,5 \times 10^{-3} 1/^\circ\text{C}$ .

Slika 9.9 prikazuje faktor hlađenja (COP) termoelektričnog uređaja kao i Carnotova učinkovitost kao funkcija Joffesovog broja. Pretpostavljeno je da je temperatura visokotemperaturnog spremnika 40°C, a krivulje su prikazane za razne temperature

niskotemperaturnog spremnika.  $COP_{2opt}$  predstavlja učinkovitost koju bi bilo moguće postići pri optimalnim uvjetima. Iz dijagrama je vidljivo da je za postizanje Carnotove učinkovitosti od oko 40% (što bi odgovaralo razini učinkovitosti klasičnih kompresijskih uređaja) potrebno imati materijal s vrijednošću  $Z$  broja od  $20 \times 10^{-3} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ . To je nažalost šest puta više od najviše vrijednosti  $Z$  parametra dostupnih materijala danas.



**Slika 9.9 - Karakteristika Peltierovog para s temperaturom visokotemperaturnog spremnika od 40°C**

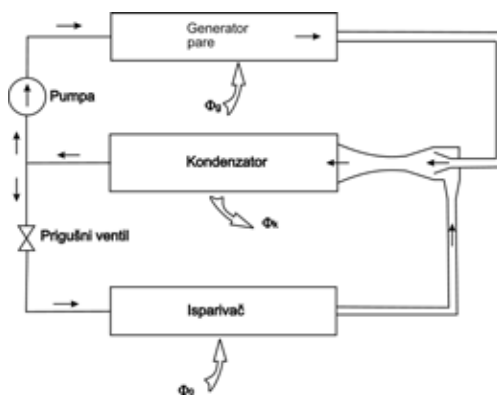
Rezultati su temeljeni na komercijalno dostupnim materijalima sa  $Z$  faktorom od  $0,0028 \text{ 1/}^\circ\text{C}$  i dimenzijama parova koji su dimenzionirani, uzimajući u obzir troškove materijala i sklapanja  $L=5 \text{ mm}$  i  $A/L^2=1$ .

Termoelektrični rashladni uređaji zanimljivi su za područje primjene gdje se traži jednostavnost, kompaktnost, tihi i siguran rad bez pokretnih dijelova, kao npr. u svemirskoj i vojnoj industriji i laboratorijskoj primjeni.

### 9.3.3. Ejektorski rashladni uređaji

Ejektorski rashladni uređaji koriste se toplinskom energijom za ostvarivanje rashladnog učinka kao i u slučaju sorpcijskih rashladnih uređaja. Unatoč ulozenim znanstveno istraživačkim naporima ovaj način hlađenja nije našao širu primjenu u praksi. Ipak, za male temperaturne razlike i uz primjenu otpadne toplinske energije niske cijene, može predstavljati dobru alternativu klasičnim kompresijskim rashladnim uređajima.

Rashladni krug, prikazan na sljedećoj slici (slika 9.10), sličan je klasičnom kompresijskom sustavu uz razliku u vrsti kompresora koji je građen na strujnom principu. U ejektoru, para iz isparivača usisava se u struju pare visoke brzine pristigle iz generatora pare preko sapnice u kojoj ekspandira. Brzina pare na izlazu iz sapnice mora biti dovoljno visoka tako da usporenje u difuzoru nakon mješališta, rezultira porastom tlaka, s tlaka isparivanja na tlak kondenzacije. Učinak ejektorskih rashladnih uređaja najviše ovisi o učinkovitosti samog ejektora. Učinkovitost dostupnih ejektora kreće se od 20 do 25%. Ta niska učinkovitost ograničava mogućnost za postizanje visokih faktora hlađenja (COP) ejektorskih rashladnih uređaja. Unatoč tomu ejektorski uređaji mogu ostvariti viši faktor hlađenja od jednostupanjskog apsorpcijskog uređaja u slučajevima gdje je razlika između temperature u kondenzatoru i isparivaču mala.



**Slika 9.10 - Shema ejektorskog rashladnog uređaja**

Mnoge tvari mogu poslužiti kao radne tvari u ejektorskom sustavu kao npr. voda, amonijak, izo-butan, R134a, R152a. U slučaju klimatizacije uglavnom se koristi voda. Obično se u praksi koristi jedna radna tvar u oba kruga, krugu generatora i isparivača, no preporuka je da se koriste različite tvari. U krugu generatora pare poželjno je primijeniti radnu tvar s većom molekularnom masom nego u rashladnom krugu. U patentu Neumanna i Lustwerka predlaže se korištenje žive u krugu generatora pare i vode u rashladnom krugu. U kondenzatoru ih je moguće lako razdvojiti jer se kao kapljevine ne miješaju. Naravno korištenje žive u praksi danas ne bi bilo dopušteno zbog visokih rizika koje živa predstavlja sa zdravstvenog aspekta.

## 9.4. Radne tvari kompresijskih rashladnih sustava

Unutar rashladnog i klima uređaja struji radna tvar, prijenosnik energije između niskotemperaturnog i visokotemperaturnog toplinskog spremnika. Najčešći prijenosnici energije su halogenirani ugljikovodici – „freoni“ (R22, R134a, R404a, R407C, R410A i dr.). Radne tvari također mogu biti prirodne tvari kao amonijak, izo-butan, CO<sub>2</sub>.

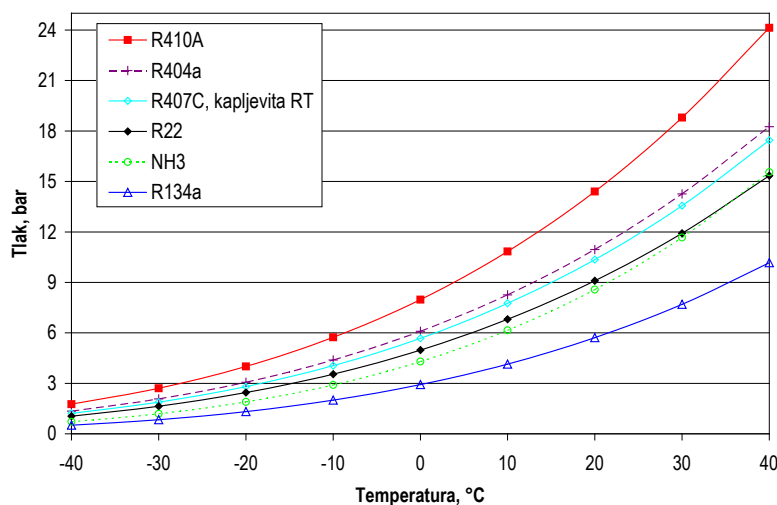
Poželjno je da radna tvar zadovoljava sljedeća svojstva:

**Tablica 9.3 – Svojstva radnih tvari**

Kriterij	Svojstva radne tvari
Funkcionalne osobine	<ul style="list-style-type: none"> <li>- fizikalna i kemijska stabilnost</li> <li>- nekorozivnost, ne otapa konstrukcijske materijale konstrukcije</li> <li>- fizikalno ili kemijski ne reagira s mazivim uljem, naročito uz prisutnost vlage</li> </ul>
Sigurnosne osobine	<ul style="list-style-type: none"> <li>- nezapaljivost, čista tvar ili u smjesi sa zrakom, uljem i vlagom</li> <li>- neeksplozivnost</li> <li>- neotrovnost</li> <li>- lagano otkrivanje prisutnosti u zraku</li> <li>- neškodljivost po okolinu</li> </ul>
Termodinamičke osobine	<ul style="list-style-type: none"> <li>- niska temperatura isparivanja pri atmosferskom tlaku</li> <li>- umjeren tlak zasićenja pri temperaturi 35 ÷ 45°C</li> <li>- umjeren kompresijski omjer, <math>p_k/p_i</math></li> <li>- visoko položena kritična točka</li> <li>- velika latentna toplina isparivanja i kondenzacije</li> <li>- veliki volumetrički rashladni učinak <math>q_v</math> [kJ/m<sup>3</sup>]</li> <li>- velika gustoća (mali specifični volumen)</li> <li>- mala viskoznost</li> <li>- veliki koeficijent toplinske vodljivosti</li> <li>- veliki dielektrični otpor, radi rada u hermetički zatvorenim kompresorima</li> <li>- niska točka smrzavanja</li> </ul>
Ekološke osobine	<ul style="list-style-type: none"> <li>- bez utjecaja na razgradnju ozonskog omotača (ODP=0)</li> <li>- što manji utjecaj na zagrijavanje atmosfere (mali GWP)</li> </ul>

Pri izboru radne tvari poželjno je da krivulje konstantnog tlaka pare u pregrijanom području T,s - dijagrama budu što položnije, zato da bi se u kružnom procesu pri istim temperaturama isparivanja i kondenzacije utrošilo manje rada. U tom slučaju je temperatura na kraju kompresije niža. Tlak zasićenja radne tvari, koji odgovara temperaturi isparivanja, a koja je određena temperaturom hlađenog medija, treba biti nešto veći od atmosferskog tlaka zato da bi rashladni uređaj tijekom cijelog procesa radio u pretlaku u odnosu na atmosferu. Odnos tlaka i temperature zasićenja pare radnih tvari prikazan je krivuljom napetosti na sljedećoj slici (slika 9.11). Zbog puno nižih pripadnih tlakova zasićenja, radna tvar R134a ima prednost pred ostalim radnim tvarima. Za radnu tvar R410A debljina stijenki izmjenjivača i cijevi treba biti veća zbog visokih pripadnih tlakova zasićenja (npr. za temperaturu kondenzacije 50 °C pripadni tlak zasićenja je 30,3 bar).

Odnos između tlakova isparivanja i kondenzacije izravno utječe na volumetrijski stupanj dobave kompresora, pa se preferiraju radne tvari s nižim omjerom tlakova pri istim omjerima temperatura isparivanja i kondenzacije, čime se uz iste konstrukcijske dimenzije postiže veći rashladni (ogrjevni) učinak sustava. Toplina isparivanja radne tvari pri karakterističnim temperaturama isparivanja treba biti što veća, da bi za isti učinak rashladnog uređaja protočna masa radne tvari bila manja.



Slika 9.11 - Krivulja napetosti radnih tvari

Prema ASHRAE-u sve radne tvari označavaju se s prvom slovnom oznakom R, zatim slijede tri broja. Moguća je i dodatna slovna oznaka.

Za radne tvari anorganskog podrijetla prvi broj uvijek je 7, a druga dva broja predstavljaju molekularnu masu radne tvari (R717 - amonijak). Za radne tvari organskog podrijetla prvi broj predstavlja broj atoma C-1, drugi broj je broj atoma H+1, dok je treći broj atoma flora.

### 9.4.1. Sintetičke radne tvari

Halogenirani ugljikovodici dijele se u tri skupine CFC, HCFC i HFC, a zajedničkim nazivom često se zovu freonima, premda su samo radne tvari iz skupine CFC-a nosile tvornički naziv „freoni“:

CFC – klorofluorouglijci (*engl. chlorofluorocarbons*) su potpuno halogenirani derivati zasićenih ugljikovodika (R11, R12)

HCFC – klorofluorouglikovodici (*engl. hydrochlorofluorocarbons*) su djelomično halogenirani derivati zasićenih ugljikovodika koji sadrže vodik i klor (R22)

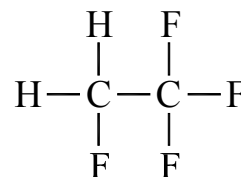
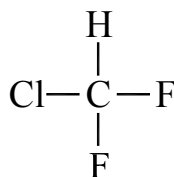
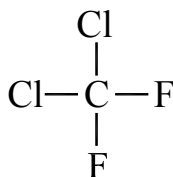
HFC – fluorirani ugljikovodici (*engl. hydrofluorocarbons*) su djelomično halogenirani derivati zasićenih ugljikovodika koji sadrže vodik i ne sadrže klor (R134a).

Navedene radne tvari su halogenirani derivati metana i etana, a dobiju se zamjenom atoma vodika u molekulama metana ili etana s atomima fluora, klora i broma (halogeni elementi).

Osim jednokomponentnih radni tvari u posljednjih petnaestak godina sve se više koriste smjese dvije ili tri jednokomponentne radne tvari. Smjese radnih tvari mogu biti zeotropske i azeotropske. Radne tvari reda 400 su zeotropske smjese, dok su radne tvari reda 500 azeotropske smjese. Kod radnih tvari reda 400 (npr. R407C) prilikom isparavanja/kondenzacije radna tvar mijenja temperaturu (klizanje temperature), dok je kod azeotropskih radnih tvari temperatura isparavanja/kondenzacije konstantna (R507).

**Označavanje jednokomponentnih radnih tvari:**

Skupina RT:	CFC	HCFC	HFC
ASHRAE oznaka:	R12	R22	R134a
Kemijska formula:	$\text{CF}_2\text{Cl}_2$	$\text{CHF}_2\text{Cl}$	$\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4$



Radne tvari štetne za ozonski omotač (R-11, R-12, R-502, ...).

Radne tvari (R-22, R-141b) manje štetne za ozonski omotač u odnosu na CFC skupinu.

Novo ekološki prihvatljive radne tvari bez utjecaja na ozonski omotač (R-134a, R-404a, R-407C, R410A).

**9.4.2. Prirodne radne tvari****Amonijak (R717)**

Amonijak je još uvijek termodinamički gledano najbolja radna tvar i gotovo da je nezamjenjiva u industrijskim postrojenjima. Nezaobilazna je njegova primjena u rashladnim sustavima za brzo hlađenje i skladištenje hrane (tuneli, rashladne komore), u industriji pića, kod sportskih ledenih terena. U tablici 9.4 dana su svojstva amonijaka u odnosu na R22.

**Tablica 9.4 - Odnos termofizikalnih i transportnih svojstava radnih tvari R717 i R22**

Svojstvo	R717/R22
Specifični toplinski kapacitet kapljevine i pare $c_p$ , kJ/kgK	4/1
Toplina isparivanja $r$ , kJ/kg	6/1
Toplinska vodljivost kapljevine $\lambda$ , W/(m K)	5,5/1
Dinamička viskoznost $\eta$ , Pa s	0,8/1
Gustoća kapljevine $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	0,5/1

Za isti rashladni učinak, sustavi s amonijakom imaju manje dimenzije cjevovoda (otprilike šest puta manji maseni protok radne tvari), dvostruko manje punjenje sustava (manja gustoća). Zbog male gustoće parovite i kapljevine faze R717, padovi tlaka kroz sustav su znatno manji, što je posebno korisno u razgranatim sustavima s dugačkim cjevovodima. Zbog znatno boljih termodinamičkih i transportnih svojstava radne tvari, u procesu s amonijakom je prijelaz topline dva do tri puta bolji nego u procesu s R22 pa su izmjenjivači manjih dimenzija. Amonijak je manje osjetljiv na vlagu u sustavu i ne miješa se s uljem. Sa stajališta zaštite okoliša R717 je najprihvatljivija radna tvar. Ispuštanjem u atmosferu nema utjecaja na razgradnju ozona (ODP = 0), niti na efekt staklenika (GWP = 0).

Kada se govori o amonijaku, ne mogu se zaobići njegovi nedostaci koji mu uvelike ograničavaju primjenu, posebno u gusto naseljenim područjima, iako to nije uvijek slučaj. Budući da mu je stupanj štetnosti A2, amonijak je otrovan u smjesi sa zrakom u volumnom udjelu od 0,5 do 0,6 %. Spada u zapaljive i eksplozivne radne tvari. Temperatura zapaljena je 651 °C, a eksplozivan je kad volumni udio u zraku iznosi 15,3 – 27%. Amonijak se koristi kao radna tvar i u apsorpcijskim rashladnim uređajima u kombinaciji s vodom. Mogućnost korištenja otpadnih toplina ističe opravdanost uporabe apsorpcijskih rashladnih uređaja, unatoč niskoj učinkovitosti takvih sustava.



**Ugljikov dioksid (R744)**

CO<sub>2</sub> kao prirodna radna tvar ima dugu tradiciju u rashladnoj tehnici, te je u 50-tim godinama prošlog stoljeća često korišten u rashladnim sustavima na brodovima. Ugljikov-dioksid nema utjecaj na razgradnju ozona (ODP=0), dok ima neznatan utjecaj na efekt staklenika (GWP=1). Kemijski je stabilan, nije zapaljiv niti je toksičan, premda u većim količinama može biti opasan i izazvati gušenje.

Troškovi za ugljični dioksid su niski, pri čemu nema dodatnih troškova za njegovo zbrinjavanje. Volumetrički rashladni učinak mu je znatno veći nego kod radnih tvari R22 i NH<sub>3</sub> (približno 5 do 8 puta), što znatno smanjuje dimenzije uređaja. Premda CO<sub>2</sub> kao radna tvar ima dosta prednosti, glavni razlog zašto nema široku primjenu u praksi su nepovoljne termodinamičke karakteristike za standardne aplikacije hlađenja, koje dovode do tehničkih problema pri izvedbi uređaja. Naime, ugljični dioksid ima izrazito nisku kritičnu temperaturu od samo 31,1°C, uz izrazito visok kritični tlak od 74 bar. Za jednostupanjske sustave to zahtijeva transkritične radne parametre s tlakovima i većim od 100 bar. Bez obzira na navedene nedostatke CO<sub>2</sub> se sve više koristi i u transkritičnom području. U posljednjih nekoliko godina intenzivirana su istraživanja vezana za primjenu ugljičnog dioksida u rashladnim sustavima. S vremenom se svladavaju tehničke poteškoće oko implementacije CO<sub>2</sub> u transkritičnom području i na tržištu se pojavljuje sve više komponenata za njihovu primjenu.

**Ugljikovodici (HC)**

U manjim i srednjim rashladnim uređajima ugljikovodici kao radne tvari: izo-butan (R600a), propan (R290) i propilen (R1270) zbog svojih dobrih svojstava i ekološke prihvatljivosti zauzimaju svoje mjesto na tržištu. Najšira je primjena izo-butana R600a koji se koristi u novim manjim i najmanjim rashladnim uređajima (kućanskim hladnjacima) kao zamjena za R134a i R12. Ima najmanji volumetrički rashladni učinak od korištenih radnih tvari što znači da za isti kapacitet sustava ima najveći radni volumen cilindra kompresora (gotovo dva puta veći od, npr. radnog volumena za R12). Zbog toga se ne koristi kao zamjenska radna tvar u postojećim sustavima. Dobra strana ugljikovodika je mala gustoća kapljevine. Primjerice u sustavima gdje se R12 zamjenjuje s R600a, punjenje se smanjuje do 65% jer su otprilike u tom odnosu gustoće kapljevite izo-butana i R12. Općenito, zbog manje gustoće ugljikovodika i punjenja sustava smanjuje se mogućnost zapaljenja radne tvari u slučaju propuštanja.

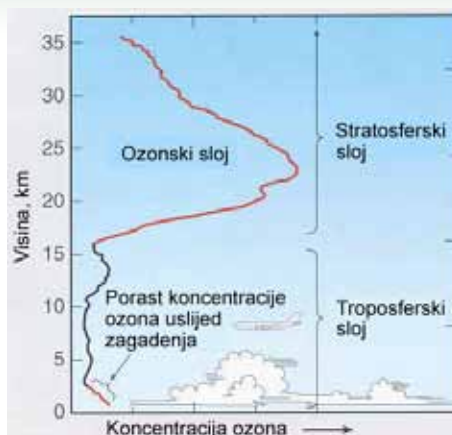
Ostaje prisutan problem zapaljivosti ugljikovodika čime se zahtjevi za sigurnošću konstrukcije povećavaju. Sve ugljikovodične radne tvari su visokozapaljive (tablica 9.5), ali nisu toksične. To im daje klasifikaciju A3 prema HRN EN 378. Uređaji trebaju biti izvedeni prema normi koja navodi detaljne zahtjeve za sigurnu uporabu zapaljivih radnih tvari u komercijalne i industrijske svrhe.

**Tablica 9.5 - Zapaljiva svojstva ugljikovodičnih radnih tvari**

Radna tvar	Oznaka	Donja granica zapaljivosti (LFL)		Temperatura samozapaljenja (°C)
		Volumena (%)	Masena (kg/m <sup>3</sup> )	
Propan	R290	2.1	0.038	470
Izobutan	R600a	1.8	0.043	460
Propilen	R1270	2.5	0.043	455

**9.4.3. Utjecaj radnih tvari na okoliš**

Brojne tvari koje je proizveo čovjek štetno djeluju na razgradnju ozonskog sloja. Ozonski je sloj važan jer upija ultraljubičasto (UV) zračenje sa Sunca, sprečavajući da većina UV zraka dopre do Zemljine površine. Valne duljine zračenja u UV spektru samo su malo kraće od valnih duljina vidljivog svjetla. UV zračenje valnih duljina između 280 i 315 nm (nanometar je milijarditi dio metra) naziva se UV-B, a štetno je za gotovo sve oblike života. Upijajući većinu UV-B zračenja prije nego ono dopre do Zemljine površine ozonski sloj štiti naš planet od štetnih utjecaja tog zračenja. Stratosferski je ozon (Slika 9.12) također značajan i za atmosfersku raspodjelu temperatura, čime utječe na klimu na Zemlji. Ozonski sloj je Zemljin suncobran. Ozon je prisutan i u nižim slojevima atmosfere (tj. u troposferi), ali u nižim koncentracijama nego u stratosferi. Izgaranje fosilnih goriva i biomase oslobađa spojeve poput dušikovih oksida i organskih spojeva, koji uz pomoć Sunčeve energije stvaraju ozon. Ovaj prizemni ozon sastavni je dio gradskog smoga i može prouzročiti probleme s dišnim organa kod ljudi te oštećenja na biljkama.



Slika 9.12 - Promjena koncentracije ozona s visinom

Najveći utjecaj na razgradnju ozonskog sloja imaju ugljikovodici halogenirani s klorom i bromom. Sve one imaju sljedeće značajke: u donjim slojevima atmosfere jako su postojane, uglavnom netopive u vodi i otporne na fizičke i biološke utjecaje, sadrže klor ili brom (elemente izuzetno reaktivne u slobodnom stanju), te stoga mogu katalitički razgrađivati ozon. Te tvari su poznatije pod nazivom tvari koje oštećuju ozonski sloj (TOOS). Navedena su svojstva razlog što tvari koje oštećuju ozonski sloj ostaju u zraku dugo vremena i postupno dopijevaju u sve dijelove atmosfere, uključujući i stratosferu. U stratosferi one se razgrađuju djelovanjem snažnog Sunčevog zračenja, oslobađajući atome klora ili broma, koji katalitički uništavaju ozon.

Klorofluorogljici (CFC) su tvari koje imaju najveći utjecaj na razgradnju ozona. CFC su se od vremena njihove sinteze (1928. godine) rabili na različite načine: kao radna tvar u hladnjacima i klimatizacijskim uređajima, kao potisni plin u limenkama aerosola, kao sredstvo za ekspanziranje u proizvodnji fleksibilnih pjena za jastuke i madrace, te kao sredstvo za čišćenje u elektroničkoj industriji.

Djelomično halogenirani klorofluorogljikovodici (HCFC) su slični CFC-ima, te su se u velikoj mjeri proizvodili kao zamjenske radne tvari u uređajima za hlađenje i za ekspanziranje. HCFC-i manje uništavaju ozon od CFC-a, jer ih atom vodika čini manje stabilnim i podložnijim razgradnji u donjim slojevima atmosfere, sprečavajući da većina njihovog klora dopre do stratosfere. Freoni iz skupine fluoriranih ugljikovodika (HFC) ne sadrže klor i nemaju štetan utjecaj na razgradnju ozonskog sloja.

#### Potencijal razgradnje ozona - ODP

Potencijal razgradnje ozona, ODP (engl. Ozone Depletion Potential) ovisan je o sposobnosti oslobađanja klora (Cl) i broma (Br), te vremenske postojanosti u atmosferi. Kao jedinična (referentna) vrijednost uzeto je djelovanje freona R-11. Ovaj faktor je posljedica svih potencijalnih djelovanja na ozon koja traju do potpune razgradnje (vrijeme raspada) za ozon štetne tvari. Vodik u molekulama spojeva HCFC smanjuje njihovu postojanost u atmosferi na 2 do 20 godina. Fluorirani ugljikovodici (HFC) ne sadrže klor, te stoga ne razaraju ozon, njihov ODP=0.

#### Potencijal globalnog zagrijavanja - GWP

Atmosfera poput stakla uglavnom propušta kratkovalno Sunčevo zračenje, ali je slabo propusna za dugovalno zračenje kojim zrači Zemljina površina. Zato dio energije koja je dozračena u sustav Zemlja-atmosfera ostaje u njemu kao u stakleniku i pretvara se u toplinu. Dozračena energija u dnevnom razdoblju veća je od odzračene energije u noćnom razdoblju i naziva se efekt staklenika. Potencijal globalnog zagrijavanja, GWP (engl. Global Warming Potential) neke tvari je relativni utjecaj te tvari na efekt staklenika u odnosu na utjecaj CO<sub>2</sub>. Kao referentna vrijednost uzeto je djelovanje CO<sub>2</sub> jer se u atmosferu emitira u najvećim količinama. CO<sub>2</sub> trajno ostaje u atmosferi, te je stoga uvijek potrebno navesti za koje je vremensko razdoblje GWP izražen (20, 100 ili 500 godina). Najznačajniji staklenički plinovi su: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFC-i, PFC-i i SF<sub>6</sub>. Primjer: utjecaj 1 kg R-134a odgovara utjecaju 1300 kg CO<sub>2</sub>, 1 kg R-12 odgovara utjecaju 7100 kg CO<sub>2</sub> u 100 godina.

Iako radne tvari iz skupine HFC-a nemaju utjecaja na razgradnju ozonskog sloja (ODP = 0), svi halogenirani ugljikovodici, pa tako i radne tvari iz skupine HFC-a su staklenički plinovi s velikim GWP potencijalom.

Tablica 9.6 – Potencijal globalnog zagrijavanja radnih tvari

Radna tvar	ODP	GWP		
		20 g.	100 g.	500 g.
R-11	1	4500	3400	1400
R-12	1	7100	7100	4100
R-502	0.34	-	4300	-
R-22	0.055	4200	1700	540
R-134a	0	3100	1300	-
R-404a	0	-	3800	-
R-407C	0	-	1600	-
R410A	0	-	1725	-
R-717	0	0	0	0

#### 9.4.4. Radne tvari i njihove ekološki prihvatljive zamjene

Zamjena radnih tvari CFC (karakterističan predstavnik R12) i HCFC (karakterističan predstavnik R22) u rashladnim uređajima i dizalicama topline tvarima koje ne sadrže po ozon štetan klor, u skladu s odrednicama Montrealskog protokola iz 1987., nametnula je potrebu za istraživanjem novih radnih tvari. Osim eksplozivnih ugljikovodika HC (butan, propan) na tržištu se pojavljuju HFC i njihove mješavine. Najpoznatija radna tvar iz HFC skupine je jednokomponentna radna tvar R134a, koja se uglavnom koristi kao zamjena za R12. U manjim kućanskim hladnjacima danas se radna tvar R12 često zamjenjuje i s ugljikovodikom R600a. Zamjenske radne tvari za R22 su najčešće mješavine radnih tvari koje mogu biti azeotropске i zeotropске (R407C, R410A). Azeotropска radna tvar R502 (CFC/HCFC), koja se u prošlosti koristila za niže temperature hlađenja, danas se najčešće zamjenjuje s pseudozeotropskom smjesom R404a ili azeotropskom smjesom R507.

S obzirom da radne tvari iz skupine HFC-a imaju značajan utjecaj na efekt staklenika, F-gas regulativa (EU 842/2006) današnja istraživanja u rashladnoj i klima tehnici sve više usmjerava na primjenu prirodnih radnih tvari kao što su amonijak, ugljični dioksid, ugljikovodici, te R 1234yf. F-gas regulativa donosi novo doba u istraživanju i primjeni radnih tvari. Radne tvari osim što ne smiju imati utjecaj na razgradnju ozona, trebaju imati što manji potencijal globalnog zagrijavanja (GWP). U novim automobilskim rashladnim uređajima, granica za primjenu radnih tvari od 2011. godine GWP < 150.

Tablica 9.7 - Ekološki prihvatljive radne tvari

Radna tvar	Sastav	Zamjena za	GWP <sub>100</sub>	Primjena	Napomena
R134a		R12, R22	1300	Kućanski aparati i mali komercijalni rashladni uređaji	Prikladna za retrofiting
R152a		R12	140	Automobilski rashladni uređaji	Umjereno zapaljiva (u istraživanju)
R1234yf		R134a	4	Automobilski rashladni uređaji	U istraživanju
R600a		R12, R134a	20	Kućanski aparati	Zapaljiva, eksplozivna
R404a	143a/125/134a 52/44/4 %	R502, R22	3800	Pokretne hladnjače za smrznutu robu	Pseudoazeotropска RT
R407C	32/125/134a 23/25/52 %	R22	1600	Klimatizacija	Klizanje temperature
R417a	600/134a/125 3,5/50/46,5 %	R22	2138	Rashladnici vode, rashladne vitrine	Klizanje temperature
R410A	32/125/50/50 %	-	1725	Split sustavi za hlađenje	Visok tlak
R23		R13	11700	Kaskadni rashladni uređaji	Visok GWP
R744			1	Kaskadni rashladni uređaji	Previsok tlak, $T_{kr}$ - niska
R717		R22	0	Industrijsko hlađenje	Otrovna

Primijenjena radna tvar bitno utječe na svojstva rashladnog uređaja. Veći pripadni tlak zasićenja radne tvari znači veću gustoću na usisu u kompresor, a time i manje dimenzije kompresora. Radna tvar R600a ima najmanji volumetrički rashladni učinak (tablica 9.8), što znači da će za isti kapacitet sustava imati najveći radni volumen cilindra kompresora (gotovo dva puta veći od npr. radnog volumena cilindra kompresora za radnu tvar R134a).

Radna tvar R717 ima najveću toplinu isparivanja, pa zato i najmanje dimenzije cjevovoda. Zbog male gustoće radne tvari R717 na usisu u kompresor, vrijednost volumetričkog rashladnog učinka usporediva je s volumetričkim učinkom radnih tvari R22, R404a i R407C. Radna tvar R410A ima najveći volumetrički rashladni učinak od navedenih radnih tvari, te je za isti kapacitet rashladnog uređaja korisni volumen kompresora 30 do 50% manji. Zbog takve karakteristike radna tvar R410A se ne koristi kao zamjenska radna tvar za R22 u postojećim instalacijama, ali je zbog dobrih termofizikalnih svojstava u novim uređajima nezaobilazna.

**Tablica 9.8 - Svojstva radnih tvari**

Svojstvo	R134a	R600a	R22	R404a	R410A	R407C	R717
ODP	0	0	0,055	0	0	0	0
GWP <sub>100</sub>	1300	20	1500	3260	1725	1526	0
Molekularna masa	102,03	58,12	86,47	97,6	72,59	86,2	17,03
Kritična temperatura, °C	101	134,7	96,2	72,14	70,17	86,05	135,25
Kritični tlak, bar	40,6	36,4	49,9	37,4	47,7	46,3	113,3
Temperatura isparivanja (p <sub>atm</sub> ), °C	-26,1	-11,6	-40,8	-46,6	-51,6	-43,8	-33,33
Klizanje temperature, °C	0	0	0	0,5	0,1	5-7	0
Tlak vrenja/rošenja (-15 °C), bar	1,64	0,89	2,96	3,72	4,82	3,39/2,64	2,36
Gustoća kapljevine (30 °C), kg/m <sup>3</sup>	1187	544,3	1171	1021	1035	1116	595,2
Gustoća pare (-15 °C), kg/m <sup>3</sup>	8,29	2,49	12,9	18,57	18,43	11,48	1,97
Toplina isparivanja (-15 °C), kJ/kg	209,5	369,8	216,5	177,7	237,6	221,9	1312,8
Volumetrički rashladni učinak, kJ/m <sup>3</sup>	1285,3	688	2178,8	2250,7	3243,7	1888,5	2214,3

#### 9.4.5. Ulja za radne tvari

Za rad s radnim tvarima iz skupine CFC-a i HCFC-a najčešće se koriste:

- mineralna ulja (MO)
- alkil-benzenska ulja (AB)
- ili kombinacija mineralnih ulja i alkil-benzenskih ulja.

Za rad s ekološki prihvatljivim radnim tvarima iz skupine HFC-a koriste se sintetička ulja:

- poli-esterska ulja (POE)
- poli-alkilen-glikolna ulja (PAG)
- poli-vinil-esterna ulja (PVE).

Budući da se HFC-i i mineralna ulja ne miješaju (ne tvore homogenu smjesu), radne tvari iz skupine HFC-a ne mogu se puniti u postojeće sustave u kojima je mineralno ulje. U slučaju zamjene radne tvari u postojećem sustavu (npr R12) sa zamjenskom radnom tvaru (R134a), potrebno je sustav prilagoditi novoj radnoj tvari. Ta prilagodba postojećeg sustava novoj radnoj tvari (*engl. retrofitting*), minimalno zahtijeva zamjenu mineralnog ili alkil-benzenskog ulja novim sintetičkim uljem.

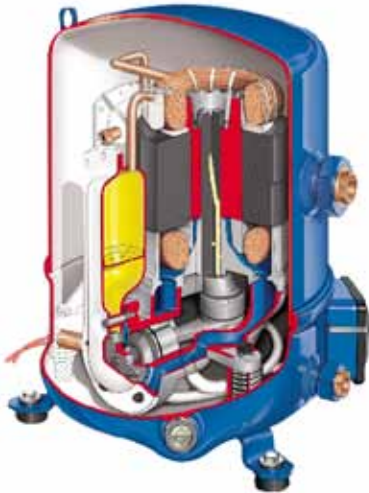
## 9.5. Komponente kompresijskih rashladnih uređaja

### 9.5.1. Kompresori

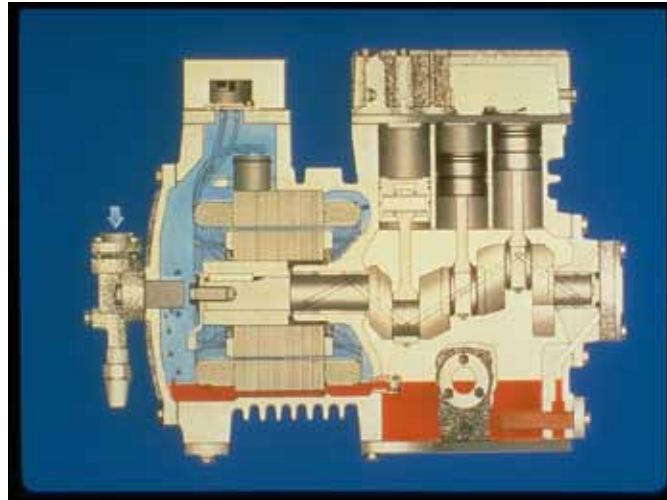
U rashladnim i klima uređajima koriste se stapni, lamelni i spiralni kompresori za manje i srednje sustave, te vijčani i centrifugalni kompresori za veće rashladne sustave. U svakom kućanskom hladnjaku kompresiju radne tvari obavlja kompresor promjera cilindra dvadesetak milimetara, dok su u velikim hladnjačama ugrađeni višecilindarski kompresori sa stapovima promjera ponekad većim i od 200 mm. U novije vrijeme prednost pred stapnim kompresorima imaju spiralni i vijčani kompresori, pogotovo za veće sustave.

#### Stapni kompresori

Stapni kompresori koriste se većinom za srednje i manje učinke rashladnih agregata. Grade se za umjerene brzine vrtnje koje rijetko prelaze  $2000 \text{ min}^{-1}$ . U praksi su rashladni učinci većinom ispod 500 kW. Nedostatak stapnih kompresora su samoradni ventili koji su najopterećeniji dijelovi kompresora. Konstrukcija ventila povećava štetni prostor koji je najtjecajniji uzrok volumetrijskih gubitaka. Suvremeni multikompresorski setovi s dva do četiri kompresora u paralelnom radu zamjenjuju jedan veći kompresor. Paralelnim radom više kompresora znatno se olakšana regulacija rashladnog učinka, čime se povećava učinkovitost uređaja. Najčešće se koristi poluhermetička izvedba kompresora s kompresorom i motorom u jednom kućištu s prirubničkim spojem. U hermetičkoj (slika 9.13) i poluhermetičkoj (slika 9.14) izvedbi kompresora radna tvar prvo struji preko namotaja elektromotora čime ih hladi, a zatim se usisava u kompresor.



Slika 9.13 - Stapni hermetički kompresor (Danfoss)



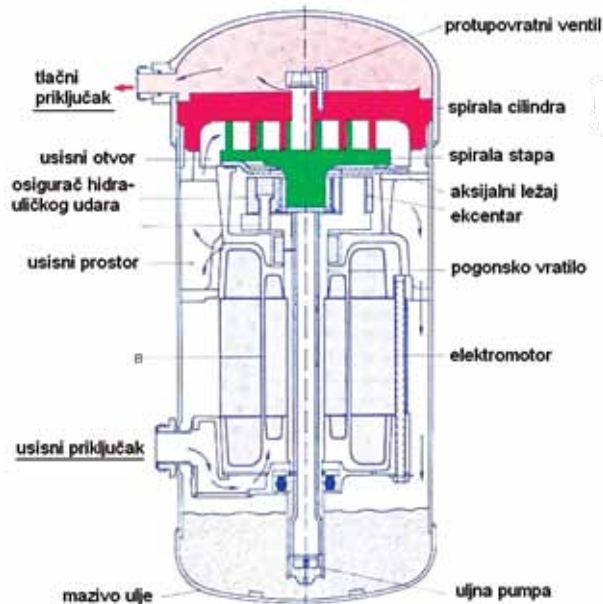
Slika 9.14 - Presjek poluhermetičkog stapnog kompresora (Copeland)

Najčešće korištena radna tvar kod stapnih kompresora je R22. Godinama se također koristila radna tvar R12, a danas su to R404a, R407C i R410A.

Nakon 10.000 do 20.000 radnih sati stapni kompresori zahtijevaju detaljniji servis cilindara i ventila. Do učinaka od 350 kW učinkovitost im je bolja u odnosu na vijčane kompresore.

#### Spiralni kompresori

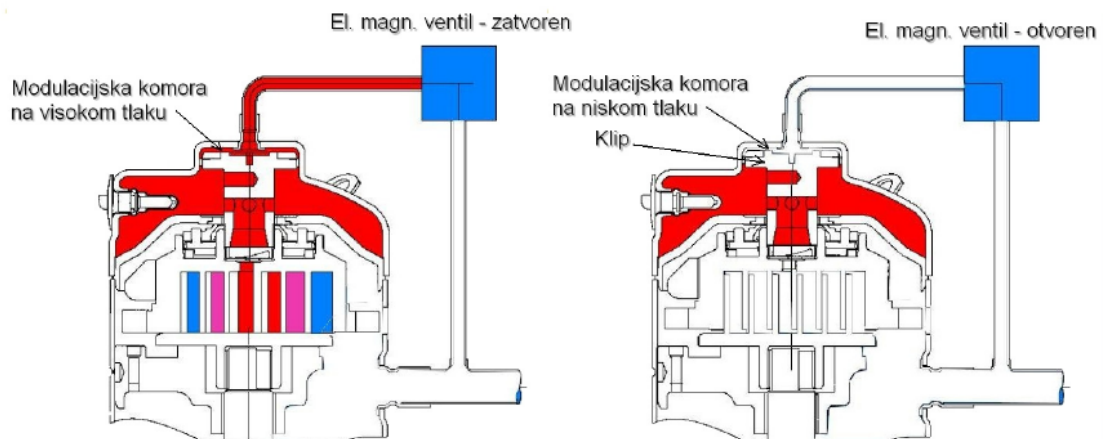
Spiralni hermetički kompresori uglavnom se koriste za manje rashladne učinke. Budući da postižu manje kompresijske omjere, primjenjuju se za klimatizacijsku tehniku. Međutim, ovi kompresori se intenzivno razvijaju i očekuje se da će se sve više primjenjivati i da će im snaga rasti, pogotovo kad se zna da im dobava ne ovisi značajno o kompresijskom omjeru. Kompresija radne tvari kod spiralnih kompresora odvija se između pomične (spiralna stapa) i nepomične spirale (spiralna cilindra). U većini slučajeva na rashladnim agregatima koristi se više spiralnih kompresora u paralelnom radu čime se postiže stupnjevana regulacija rashladnog učinka.



Slika 9.15 - Presjek spiralnog kompresora (Trane)

Suvremena digitalna tehnologija upravljanja spiralnih kompresora omogućuje regulaciju učinka kompresora u rasponu od 10 do 100%. Modulacija učinka u slučaju smanjenog zahtjeva potrošača, ostvarena je na mehaničkom principu, razdvajanjem spirala iz zahvata aksijalnim pomicanjem. Tzv aksijalna prilagodljivost omogućuje mali pomak neorbitirajuće spirale (1 mm), tako da su spirale u stanju mirovanja i u prvih nekoliko okretaja elektromotora kompresora malo razmaknute, čime se kompresor uvijek pokreće rasterećen.

Mehanizam za podizanje gornje spirale dan je na sljedećoj slici (slika 9.16). Na gornjoj strani spirale učvršćen je klip sa šupljom klipnjačom. Na lijevoj slici prikazan je kompresor u normalnom radu, sa spiralama u zahvatu. Nema razlike tlakova na modulacijskom klipu, elektromagnetski ventil (EMV) je zatvoren. Ako se EMV otvori, dolazi do prestrujavanja plina na usisnu stranu kompresora, dolazi do razlike tlakova na klipu, koji ga pomiče gore, a on sa sobom pomiče i fiksnu spiralu. Pri tome dolazi do prestrujavanja vrlo malih količina radne tvari na usisnu stranu kompresora.

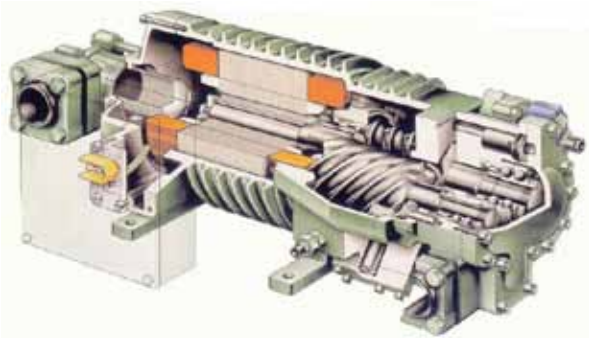


Slika 9.16 - Presjek spiralnog kompresora upravljanog digitalnom tehnologijom (Copeland)

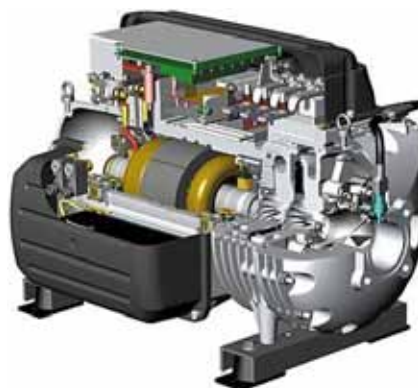
Zahvaljujući širem rasponu regulacije rashladnog opterećenja, moguće je tlak isparavanja držati unutar užih granica, a time i viši prosječni tlak isparavanja, što dovodi do značajnih energetska ušteda. Povišenje temperature isparavanja samo za 1°C dovodi do uštede od 4,6% na pogonskoj energiji kompresora. Sljedeće radne tvari koriste se u spiralnim kompresorima: R134a, R404a, R407C, R410A, R22 i R744.

### Vijčani kompresori

U vijčanim kompresorima (slika 9.17) radna tvar se komprimira u prostoru između radnog i razvodnog rotora koji su obuhvaćeni zajedničkim kućištem s minimalnim zazorom. Usisni i tlačni priključak kompresora nalaze se na nasuprotnim poklopcima koji zatvaraju čone strane kućišta. Transport radne tvari kroz kompresor je dijagonalan.



Slika 9.17 - Presjek vijčanog kompresora (Bitzer)



Slika 9.18 - Presjek centrifugalnog kompresora (Turboacor Danfoss)

Kod vijčanih kompresora dolazi izražajno svojstvo brzohodnosti rotornih kompresora. Rotori su osno simetrični te se mogu idealno uravnotežiti, a s obzirom da nemaju samoradne ventile, brzina vrtnje im nije ograničena ventilima. Zbog toga je uobičajena brzina vrtnje 3000 min<sup>-1</sup> ili više. Pri radu kompresora s nazivnim omjerom kompresije gotovo da nema pulzacija, a dobava je gotovo kontinuirana.

S porastom kompresijskog omjera rastu gubici propuštanja iz područja višeg u područje nižeg tlaka. Zbog toga se za veće kompresijske omjere u usisni vod ubrizgava uljna magla koja prije svega služi za brtvljenje zazora, a ujedno snižava temperaturu radne tvari tijekom kompresije. Omjeri kompresije vijčanih kompresora s ubrizgavanjem ulja lako mogu doseći kompresijske omjere stepnih kompresora. Zbog ubrizgavanja ulja u usis kompresora vijčani kompresori iako u osnovi malih dimenzija, imaju priključene prilično velike pomoćne uređaje: odvajač ulja, sabirnik ulja, hladnjak ulja i uljnu pumpu. Temperatura ulja u radu postiže temperaturu 60°C, ponekad i 70°C. Nakon hlađenja ulje se u kompresor ubrizgava s temperaturom od približno 50°C. Ovi kompresori zahtijevaju detaljni servis nakon 30.000 do 60.000 radnih sati. Njima se postižu rashladni učinci do 4 MW (većinom od 0,5 do 1,5 MW). Radna tvar je R134a ili R22. U industrijskim postrojenjima koristi se amonijak.

### Centrifugalni kompresori

Svi dosad spomenuti kompresori rade na volumetrijskom načelu, dok turbo kompresori rade na strujnom načelu. U rashladnoj tehnici koriste se centrifugalni turbo kompresori (slika 9.18), koji za razliku od aksijalnih kompresora, postižu veće kompresijske omjere.

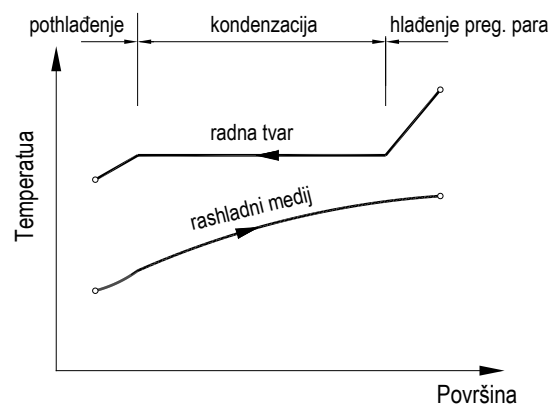
Osnovni dijelovi centrifugalnog kompresora su rotor gdje se pari radne tvari predaje kinetička energija (velika brzina strujanja kroz kanale), i difuzor-stator gdje se pari smanjuje brzina i povećava tlak. Dobava im znatno ovisi o kompresijskom omjeru. Opće je pravilo da je potreban volumni protok od najmanje 0,5 m<sup>3</sup>/s da bi centrifugalni kompresori postali konkurentni u usporedbi s vijčanim kompresorima s dva rotora. U praksi se centrifugalni kompresori većinom koriste za rashladne učinke od 1 MW do 7 MW (ponekad i više). Radna tvar danas je najčešće R134a ili R123, prije R12. U industrijskim sustavima koristi se amonijak. Jedinice manje od 4MW su hermetičke izvedbe, dok se veće jedinice izvode u otvorenoj izvedbi.

### 9.5.2. Kondenzatori

Kondenzator je jedan od četiri osnovne komponente kompresijskog rashladnog uređaja na kojemu se toplina kondenzacije radne tvari predaje okolišnom mediju (toplinska energija preuzeta od hlađenog medija na isparivaču uvećana za energiju kompresije).

$$\Phi_{\text{kond}} \approx \Phi_{\text{isp}} + P_{\text{komp}} \quad (9.9)$$

Radna tvar na ulazu u kondenzator je u pregrijanom stanju, dok je na izlazu iz kondenzatora najčešće pothlađena radna tvar (slika 9.19).



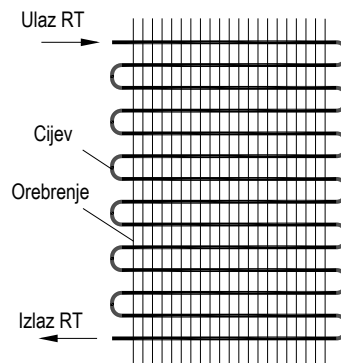
Slika 9.19 - Temperaturni profil na kondenzatoru

Više temperature kondenzacije radne tvari doprinose većoj potrošnji energije za pogon kompresora, odnosno rashladnog uređaja i manjoj učinkovitosti sustava. Za 1°C viša temperatura kondenzacije, povećava potrošnju energije za pogon kompresora za približno 3%. Kondenzatori se dijele prema načinu hlađenja na:

- zrakom hlađene
- vodom hlađene
- zrakom i vodom hlađene kondenzatore.

#### Zrakom hlađeni kondenzatori

Najveći broj kondenzatora u praksi su hlađeni zrakom. Zrak je izuzetno pristupačan toplinski ponor i ne zahtijeva veće ulaganje u održavanje kondenzatora. Na manjim rashladnim uređajima kondenzatori su hlađeni zrakom bez prisilne cirkulacije zraka. Slika 9.20 prikazuje primjer kondenzatora kućnog hladnjaka, koji se sastoji od bakrene cijevi i orebrenja izvedenog od žice ili uskih lamela.



Slika 9.20 - Kondenzator kućnog hladnjaka



Zbog slabog koeficijenta prijelaza topline na strani zraka, kondenzatori srednjih i većih kapaciteta hlađeni su prisilnom cirkulacijom zraka. Slika 9.21 prikazuje kondenzacijsku jedinicu rashladnog uređaja koju čine kondenzator i kompresor na zajedničkom postolju ili kućištu.

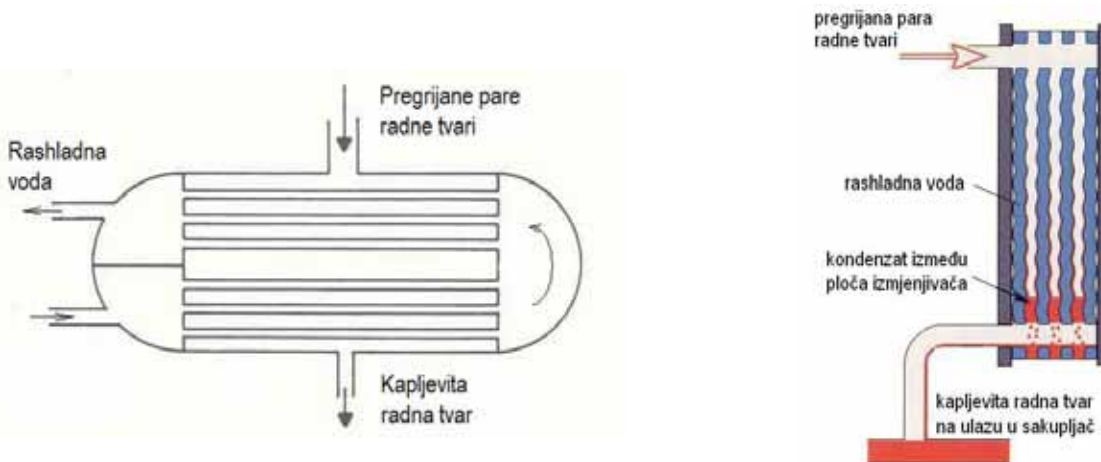


Slika 9.21 - Kondenzacijske jedinice

Temperatura kondenzacije zrakom hlađenih kondenzatora je za 10 do 12°C viša od temperature okoline. Razmak između lamela iznosi od 2 do 4 mm. Nečiste površine kondenzatora značajno utječu na povišenje temperature kondenzacije, a time i povećanu potrošnju energije za pogon rashladnog uređaja.

### Vodom hlađeni kondenzatori

Voda ima znatno veći specifični toplinski kapacitet od zraka, a kad je raspoloživa u prosjeku je niže temperature od zraka što znači da se kod vodom hlađenih kondenzatora postižu niže temperature kondenzacije (niži tlakovi kondenzacije), a time i manja potrošnja energije za pogon kompresora. Izvedba vodom hlađenog kondenzatora je s cijevima u plaštu ili pločasta kompaktna izvedba kondenzatora.



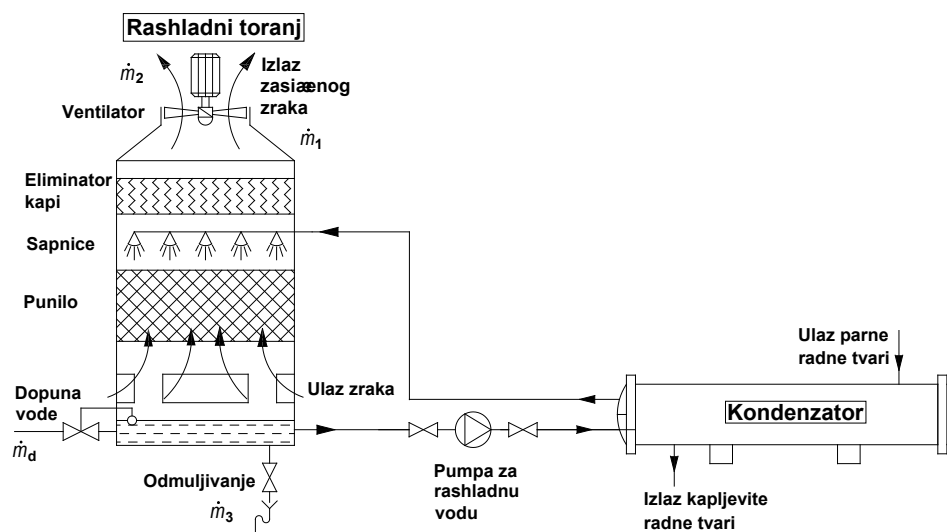
Slika 9.22 - a) Kondenzator s cijevima u plaštu; b) pločasti kompaktni kondenzator

### Vodom i zrakom hlađeni kondenzatori

Kondenzatori hlađeni optočnom vodom koriste se kod sustava većih toplinskih opterećenja, bilo u izvedbi rashladnog tornja ili evaporativnog kondenzatora. Evaporativni kondenzatori najčešće svoju primjenu nalaze u rashladnoj industriji, dok se rashladni tornjevi (slika 9.23) primjenjuju u većim klimatizacijskim sustavima. Ovi kondenzatori zahtijevaju brižnu kemijsku pripremu vode i veća sredstva za održavanje sustava.

Vodu koju je potrebno hladiti, raspršuje se pomoću sapnica na izmjenjivačkim površinama. Preko izmjenjivačke površine nastrujava zrak. Izmjena topline između vode i zraka manjim dijelom se odvija konvekcijom, a većim dijelom ishlapljivanjem vode. Za uobičajene klimatske uvjete u Hrvatskoj od 32 do 35°C temperature vanjskog zraka i relativne vlažnosti 45%,

temperaturni režim vode na kondenzatoru iznosi približno 29/33°C. Pri tome temperatura kondenzacije iznosi između 36 i 39°C. U usporedbi sa zrakom hlađenim kondenzatorima kod kojih temperatura kondenzacije za navedene uvjete iznosi približno 45°C, kod rashladnih sustava s vodom hlađenim kondenzatorima postiže se znatno bolja učinkovitost.



Slika 9.23 - Protusmjerni rashladni toranj s induciranim strujanjem

U radu evaporativnih sustava za odvođenje topline kondenzacije javljaju se gubici vode. Te gubitke je potrebno nadoknaditi dodavanjem svježe vode u recirkulirajući sustav. Potrebna masa dodatne vode ( $\dot{m}_d$ ) jednaka je zbroju mase vode koja je ishlapila ( $\dot{m}_1$ ), mase vode koja je odnesena strujom zraka ( $\dot{m}_2$ ) i mase vode koja je potrebna za odmuljivanje ( $\dot{m}_3$ ).

$$\dot{m}_d = \dot{m}_1 + \dot{m}_2 + \dot{m}_3, \text{ [kg/s]} \quad (9.10)$$

Gubitak vode na rashladnom tornju iznosi od 2 do 5% od optočne vode na rashladnom tornju.

Kod recirkulirajućih sustava jedna te ista količina vode obavlja veći broj optoka u sustavu. Zbog toga, rashladna recirkulacijska voda mora imati sastav koji će u svim uvjetima pogona osigurati čiste površine sustava (bez taloženja mulja i kamenca), korozijsku stabilnost površina sustava i spriječiti nastajanje biološkog taloga. Evaporativni kondenzatori postižu za 3 do 5°C nižu temperaturu kondenzacije od kondenzatora hlađenih vodom iz rashladnog tornja.

### 9.5.3. Prigušni ventili

Uloga prigušnih ventila je doziranje i prigušivanje radne tvari s tlaka kondenzacije na tlak isparivanja. Za rashladne sustave s halogeniranim ugljikovodicima kao radnim tvarima koriste se sljedeći prigušni ventili:

- kapilare
- termoekspanzijski ventili TEV
- elektronički ekspanzijski ventili (EEV)
- dok se za amonijačne sustave koriste ventili s plovkom.

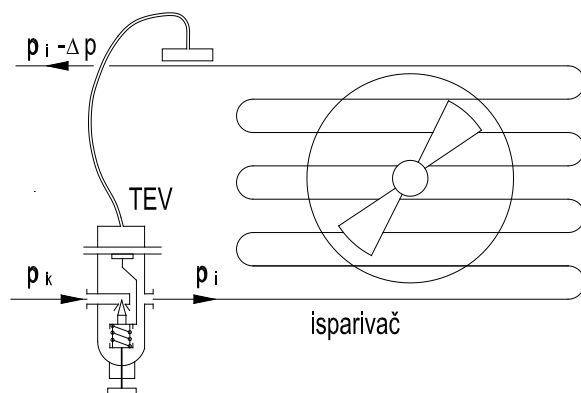
#### Kapilara

Kapilara se koristi kao prigušni organ za manje i najmanje rashladne uređaje učinka do 5 kW.

Kapilara hidrauličkim otporima strujanja prigušuje radnu tvar s tlaka kondenzacije na tlak isparivanja. Izrađuje se u promjerima od 0,5 do 1,5 mm i duljine od 1,5 do 6 m. Regulacijska karakteristika kapilare je takva da ona propušta u isparivač svu radnu tvar koja je u kondenzatoru kondenzirala. Budući da ona nije ventil i u mirovanju, propušta radnu tvar s visokog na niski tlak, na uređajima na kojima je kapilara prigušni organ (kućni hladnjaci, ledenice, split klima uređaji) između isparivača i kompresora ugrađuje se odvajач kapljevite radne tvari (slika 9.21b).

### Termoekspanzijski ventil

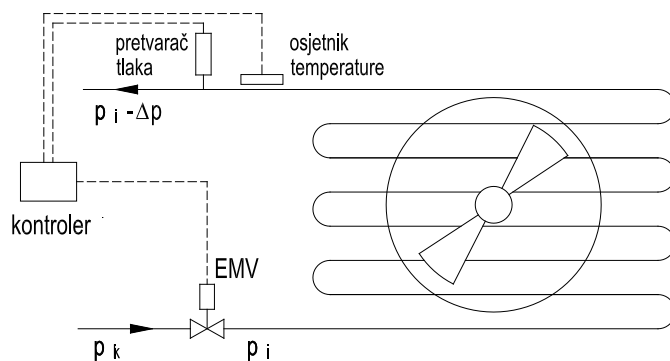
Na rashladnom uređaju prikazanom na sljedećoj slici (slika 9.24), doziranje i prigušenje radne tvari s tlaka kondenzacije na tlak isparivanja provodi termoekspanzijski ventil (TEV). Termoekspanzijski ventil koristi se u srednjim i većim freonskim rashladnim sustavima. On regulira pregrijanje radne tvari na izlazu iz isparivača i na taj način osigurava kompresor od usisavanja kapljevite radne tvari i hidrauličkog udara. On propušta u isparivač upravo onu količinu radne tvari koja će u isparivaču ispariti i za 5 do 7°C se pregrijati. U tome mu pomaže osjetnik, koji je sastavni dio TEV-a i koji se postavlja na izlaz iz isparivača, a s kapilarnom cjevčicom je spojen s membranom TEV-a.



Slika 9.24 - Spoj termoekspanzijskog ventila s isparivačem

### Elektronički ekspanzijski ventil

Elektronički ekspanzijski ventil (EEV) objedinjuje funkcije elektromagnetskog ventila i termoekspanzijskog ventila (slika 9.25). Regulira minimalno stabilno pregrijanje radne tvari na izlazu iz isparivača. Za to mu služi osjetnik temperature pregrijanja radne tvari koje se naslanja na izlaznu cijev isparivača, pretvarač tlaka spojen na tlak radne tvari na izlazu iz isparivača, te kontroler koji iz očitavanja temperature i tlaka određuje pregrijanje radne tvari, te otvara ili zatvara ventil kako bi održao minimalno stabilno pregrijanje radne tvari.



Slika 9.25 - Spoj elektroničkog ekspanzijskog ventila s isparivačem

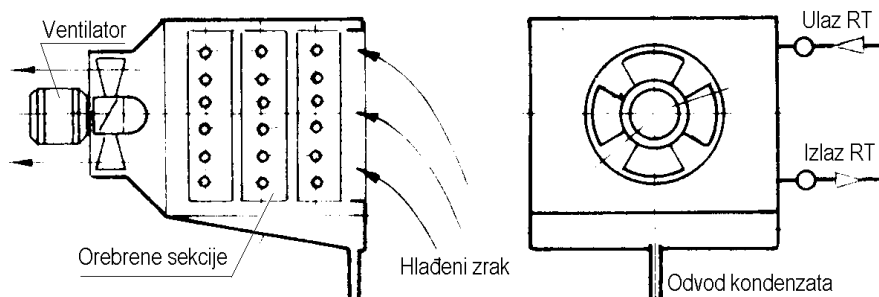
#### 9.5.4. Isparivači

Prema namjeni isparivači se dijele na isparivače za hlađenje zraka i isparivače za hlađenje kapljevina (posredno hlađenje). Prema funkcionalnosti dijele se na potopljene i suhe isparivače.

Isparivač je onaj element rashladnog uređaja na kojemu se ostvaruje rashladni učinak, odnosno na kojemu se ostvaruje hlađenje.

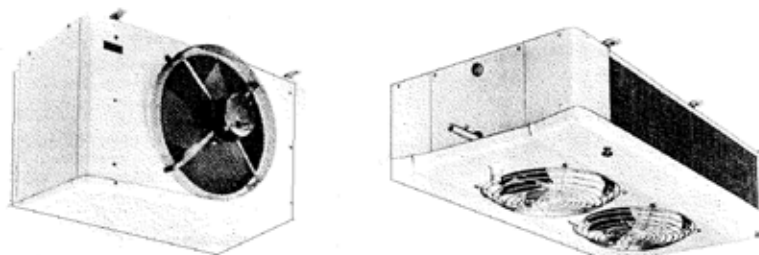
### Isparivači za hlađenje zraka

U većini slučajeva na isparivačkim sekcijama za hlađenje zraka su navučene lamele (orebrenje) kako bi se povećala površina izmjene topline, jer je u procesu sa zrakom koeficijent prijelaza topline znatno manji od onoga na strani radne tvari. Također iz navedenih razloga, strujanje zraka preko orebrenih površina isparivača pospješuje mehanički ventilator (slika 9.26).



Slika 9.26 - Shematski prikaz orebrenog isparivača za hlađenje zraka

Za prisilnu cirkulaciju zraka preko orebrenih površina isparivača, koeficijent prolaza topline iznosi 15 do 35 W/(m<sup>2</sup>K), sveden na vanjsku površinu isparivača. Razmak između lamela ovisan je o temperaturi hlađenja i povećava se sa snižavanjem temperature hlađenja. Najveći razmak između lamela na isparivaču imaju isparivači u tunelima za duboko zamrzavanje, od 8 do 15 mm, dok je razmak među lamelama isparivača split klima uređaja 2 do 3 mm.



Slika 9.27 - Orebreni isparivaču u kućištu za ovjes o strop

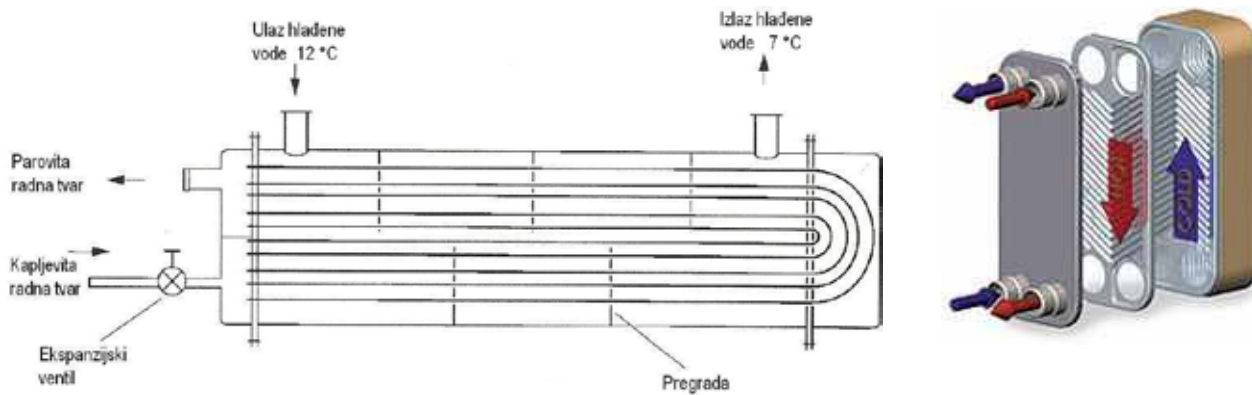
Optimalna temperaturna razlika između temperature hlađenja i temperature isparivanja na isparivačima za hlađenje zraka iznosi približno 10°C. Veća temperaturna razlika doprinosi nižoj temperaturi isparivanja, a time i većoj potrošnji električne energije za pogon kompresora. Manja temperaturna razlika postiže se većom izmjenjivačkom površinom, odnosno većom investicijom u opremu (isparivači za hlađenje voća i povrća).

Svaki isparivač za hlađenje zraka mora imati okapnicu (tavicu) za odvod kondenzata. Svaki put kada je temperatura vanjske stjenke cijevi isparivača jednaka ili niža od temperature rošenja za stanje zraka u hlađenom prostoru dolazi do kondenzacije vodene pare iz zraka na hladnim stjenkama isparivača. Ako je temperatura stjenke 0°C ili niža, dolazi do stvaranja inja i leda na isparivaču. Inje i led predstavljaju otpor prolazu topline, što dovodi do smanjenja učinka isparivača, ali i povećanja potrošnje energije za pogon uređaja. Iz navedenih razloga led se mora povremeno odleđivati. Potrošnja energije za odleđivanje isparivača iznosi od 10 do 15% ukupno utrošene energije za pogon rashladnog uređaja za hlađenje zraka. Odleđivanje ili defrostacija isparivača provodi se na sljedeće načine:

- samoodleđivanjem
- električnim grijačima
- preokretanjem procesa
- vrućim parama radne tvari.

### Isparivači za hlađenje kapljevina

Koriste se za posredne sustave hlađenja vode (često u režimu 12/7°C) ili za hlađenje glikolne smjese. Izvode se kao isparivači s cijevima u plaštu ili pločasti kompaktni isparivači (slika 9.28). Ovi potonji sve više zauzimaju mjesto u praksi zbog manjih dimenzija (veći k) i manjeg punjenja radne tvari po kW učinka hlađenja.



Slika 9.28 - Isparivač a) s cijevima u plaštu („shell & tube“); b) pločasti kompaktni isparivač

## 9.6. Cjevovodi i pomoćne komponente

Povrat ulja kojeg kompresor zajedno s radnom tvari izbaci u tlačni vod, rješava se pravilnim dimenzioniranjem cjevovoda rashladnog uređaja. Brzina radne tvari u pojedinim dijelovima cjevovoda treba biti dovoljno visoka kako bi radna tvar nosila ulje sa sobom i na taj način ga vraćala u karter kompresora. Tablica 9.9 daje preporučene brzine strujanja radnih tvari koje omogućuju nesmetan povrat ulja u kompresor. Veće brzine od navedenih osiguravaju siguran povrat ulja, ali s druge strane znače i veće padove tlaka u cjevovodima, što rezultira smanjenim učinkom sustava.

Tablica 9.9 - Preporučljive brzine strujanja radnih tvari u cjevovodima rashladnih uređaja, m/s

Radna tvar	Usisni vod	Tlačni vod	Kapljevinski vod
Freoni	8 ÷ 12	10 ÷ 15	0,4 ÷ 1
Amonijak (R 717)	10 ÷ 20	15 ÷ 25	0,5 ÷ 1
R 718	/	/	0,5 ÷ 1,5
PPE	/	/	0,3 ÷ 0,8

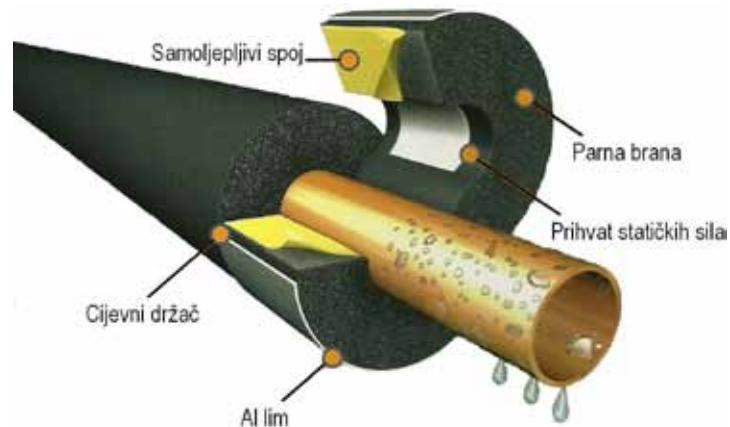
### 9.6.1. Izolacija cjevovoda

Izolacija komponenti rashladnih sustava ima za cilj onemogućiti kondenzaciju vodne pare na hladnim stjenkama cjevovoda, isparivača (za hlađenje kapljevina), akumulacijskih spremnika, razdjeljivača. Izolacija također smanjuje toplinske gubitke sustava, te neutralizira toplinske mostove. Obvezno se na rashladnim i klima uređajima mora izolirati usisni vod. Ako su rashladni uređaji namijenjeni za posredne sustave hlađenja, onda se osim usisnih hladnih vodova mora izolirati isparivač i cjevovod posrednog prijenosnika energije. Do kondenzacije vodene pare na hladnim stjenkama isparivača ili cjevovoda dolazi u slučaju postizanja temperature vanjske površine cijevi jednake ili niže od temperature točke rošenja za stanje zraka oko cijevi.

Izolacijski materijali korišteni u rashladnoj i klima tehnici su u većini slučajeva sintetički kaučuk ili poliuretan. Izolacijski materijal mora imati što veći otpor difuziji vodene pare i što niži koeficijent toplinske vodljivosti. Noviji izolacijski materijali na bazi

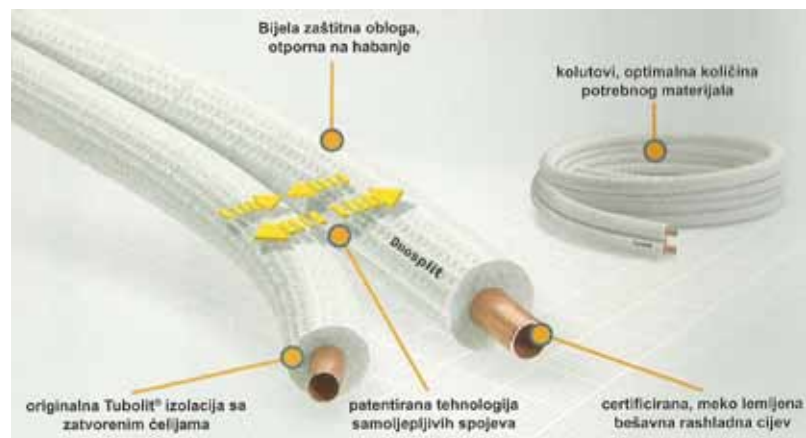
elastomera sa strukturom zatvorenih ćelija, postižu vrijednosti toplinske vodljivosti  $\lambda_{0°C} \leq 0,033 \text{ W/(m K)}$  i koeficijent otpora difuziji vodene pare  $\mu \geq 10.000$ .

Izolacijski materijali izvode se u obliku cijevi ili ploča koje se pomoću šavnog spoja lijepe na cjevovode ili komponente rashladnih uređaja (slika 9.29).



Slika 9.29 - Cijevna izolacija s cijevnim držačem

Također, cijevi u rashladnoj i klima tehnici mogu biti tvornički predizolirane (slika 9.30). Koriste se pri ugradnji split, multi-split i VRF sustava hlađenja.



Slika 9.30 - Predizolirane cijevi

Debljina toplinske izolacije cjevovoda funkcija je promjera cjevovoda, temperature medija unutar cijevi te temperature i relativne vlažnosti zraka oko cijevi. U tablici 9.10 dane su minimalne vrijednosti debljine cijevne izolacije za temperaturni režim hlađene vode 12/7°C u slučaju kad se cjevovod nalazi unutar zatvorenog prostora. Izračun je proveden u svrhu sprječavanja rošenja na vanjskoj stijenci toplinske izolacije za sljedeće parametre:

- temperatura zraka 25°C
- relativna vlažnost zraka 70%
- temperatura medija u cijevi 7°C
- toplinska vodljivost izolacijskog materijala 0,0346 W/(m K).

**Tablica 9.10 - Minimalna debljina izolacije cjevovoda u zatvorenom prostoru (kao proizvod AF/Armaflex)**

Vanjski promjer Cu cijevi mm	Minimalna debljina izolacije mm
15	6
22	6,3
28	6,6
35	6,7
42	6,9
54	7,1
64	7,2

Tablica 9.11 daje primjer proračuna minimalne debljine toplinske izolacije bakrenih cjevovoda koji prolaze kroz slobodnu okolinu za sljedeće uvjete:

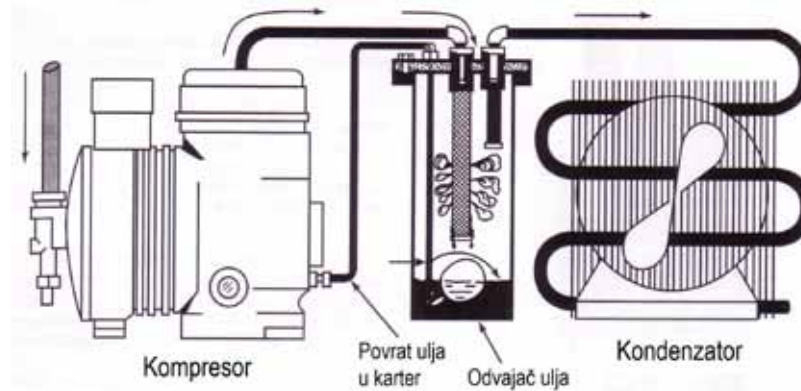
- temperatura zraka 50°C
- relativna vlažnost zraka 70%
- temperatura medija u cijevi 7°C
- toplinska vodljivost izolacijskog materijala 0,0429 W/(m K).

**Tablica 9.11 - Minimalna debljina izolacije cjevovoda koji prolazi kroz vanjski okoliš (kao proizvod HT/Armaflex otporne na UV zračenje)**

Vanjski promjer Cu cijevi mm	Minimalna debljina izolacije mm
15	14,9
22	16,2
28	17
35	17,7
42	18,3
54	19,1
64	19,4

**Mehanički odvajač ulja**

Ugradnjom odvajača ulja u tlačni vod rashladnog uređaja (slika 9.31), veći dio ulja odvaja se od radne tvari i vraća u karter, a ostatak kruži uređajem zajedno s radnom tvari.



Slika 9.31 - Ugradnja odvajača ulja u tlačni vod

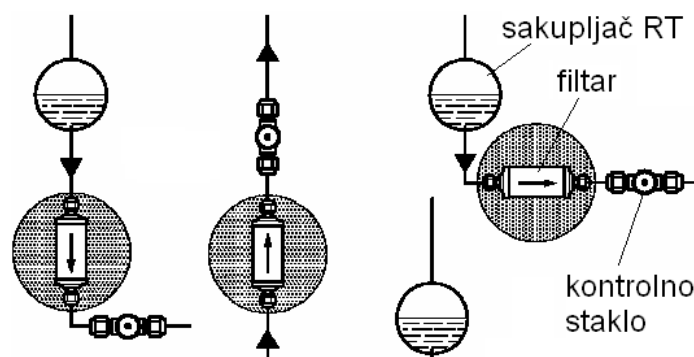
**Izbor filtra / sušača radne tvari**

Neutralizaciju vlage u sustavu moguće je postići ugradnjom sušača/filtra. Filtar/sušač ugrađuje se u kapljevinski vod rashladnog uređaja i služi apsorpciji vlage, kiselina i filtriranju nečistoća iz radne tvari (slika 9.32). U rashladnim uređajima s CFC i HCFC radnim tvarima (mineralna i alkil-benzenska ulja) koriste se filtri od molekularnih sita i aktiviranog aluminij oksida. U rashladnim uređajima s HFC radnim tvarima (POE ulja) koriste se filtri koji sadrže čvrstu jezgru sa 100 % molekularnih sita. Nakon izgaranja elektromotora kompresora, potrebno je osim kompresora zamijeniti i ulje u uređaju, kao i radnu tvar, te ugraditi "burn-out filter" i kasnije ga zamijeniti s standardnim filtrom. Filtar/sušač treba promijeniti pri svakom otvaranju uređaja.

Kontrolno staklo s pokazivačem vlage treba staviti iza filtra/sušača radne tvari.

Pokazivač pokazuje sljedeće: - *zeleno*: nema opasne vlage u radnoj tvari

- *žuto*: previsok sadržaj vlage u radnoj tvari ispred prigušnog (termoekspanzijskog) ventila.



Slika 9.32 - Mjesto ugradnje filtra i kontrolnog stakla u rashladni sustav



## 9.7. Posredni i neposredni sustavi hlađenja

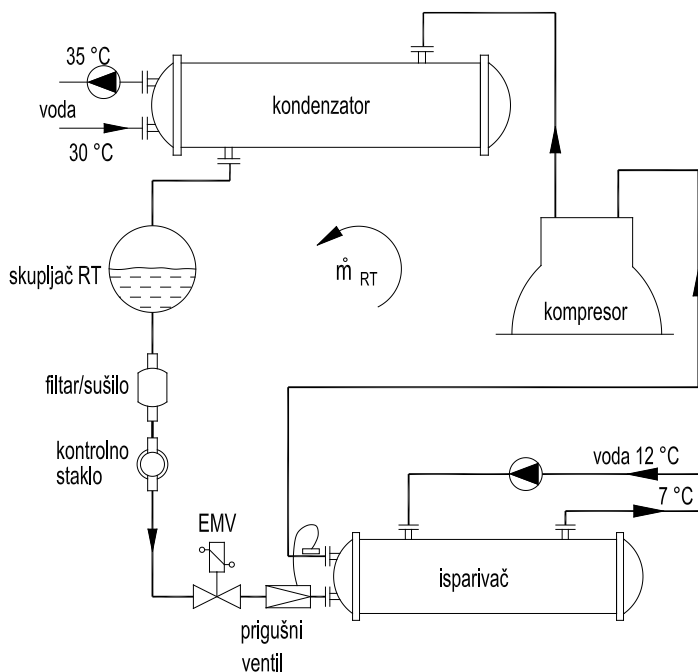
### 9.7.1. Posredni sustavi hlađenja - rashladnici vode

#### Namjena korištenja i tehnologija funkcioniranja rashladnika kapljevine

Rashladnici kapljevine („chilleri“) koriste se za posredne sustave hlađenja. U većini slučajeva u rashladniku kapljevine – rashladnom agregatu, hladi se voda u temperaturnom režimu 12/7°C. Ohlađena voda se pomoću pumpi drži u cirkulaciji kroz ventilokonvektore koji su postavljeni po prostorijama zgrade i na njima se hladi zrak ili se voda drži u cirkulaciji kroz hladnjake zraka koji su smješteni u centralnim jedinicama za pripremu zraka, klima komorama. Osnovna podjela rashladnika kapljevine je prema načinu hlađenja njihovih kondenzatora:

- vodom hlađeni kondenzatori (slika 9.33)
- zrakom hlađeni kondenzatori (slika 9.34).

Ako je kondenzator rashladnog agregata hlađen zrakom, agregat se postavlja u slobodnu okolinu, najčešće na krovove zgrada. Ako je kondenzator rashladnog agregata hlađen vodom, uređaj se instalira u prostor strojarnice zgrade, a rashladni toranj vodom hlađenog kondenzatora nalazi se u slobodnoj okolini. Rashladnici vode koriste se u različitim industrijskim postrojenjima. Glavnu ulogu imaju u većim klimatizacijskim sustavima za hlađenje zraka, kao što su poslovni objekti, bolnice, ustanove, trgovački centri.



Slika 9.33 - Rashladnik vode s vodom hlađenim kondenzatorom

#### Tipovi rashladnika kapljevine

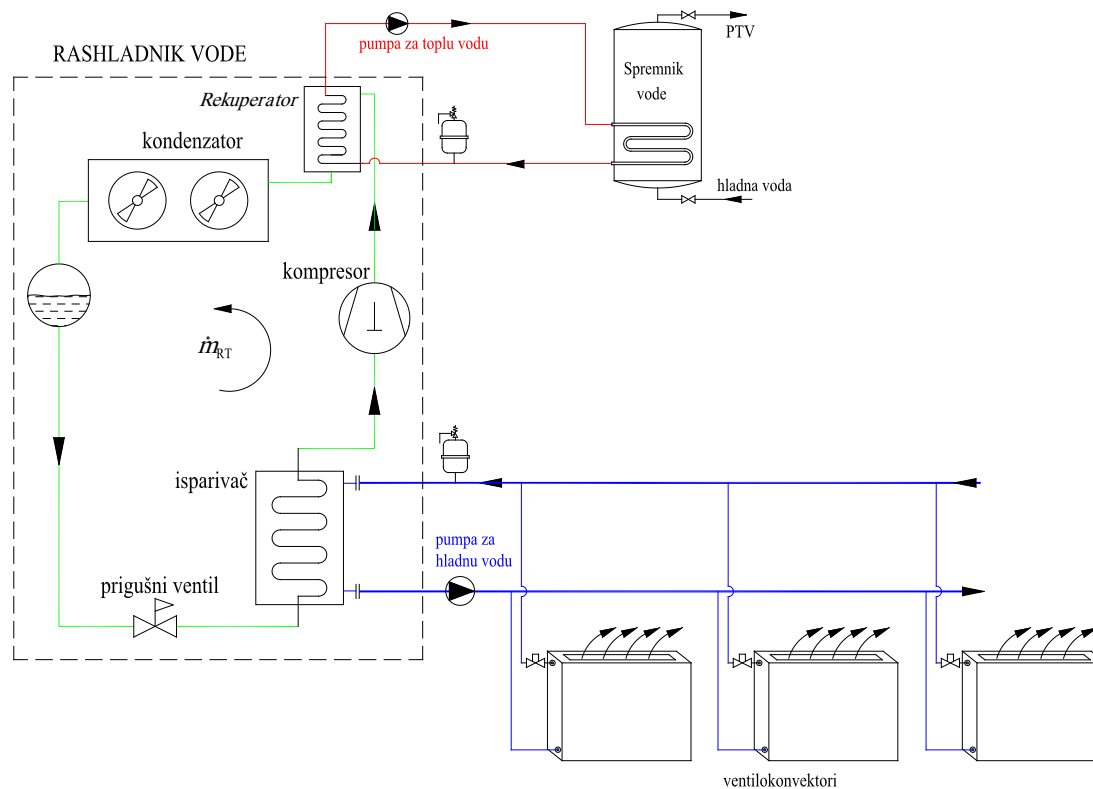
Rashladnici kapljevine također se dijele prema vrsti kompresora na:

- centrifugalne rashladne agregate
- vijčane rashladne agregate
- agregate sa stapnim kompresorima
- rashladnike sa spiralnim kompresorima.



**Slika 9.34 - Rashladnik vode sa zrakom hlađenim kondenzatorom i spiralnim kompresorima (McQuay)**

Na sljedećoj slici prikazan je primjer rekuperacije topline pregriyanih para radne tvari, rashladnika vode sa zrakom hlađenim kondenzatorom. Toplina pregriyanih para radne tvari na izlazu iz kompresora koriste se za zagrijavanje potrošne tople vode. U praksi je sve veći broj jedinica koji djelomično ili potpuno koriste toplinu kondenzacije za zagrijavanje potrošne tople vode. Najviše su u primjeni radne tvari R407C i R410A.



**Slika 9.35 - Rashladnik vode sa zrakom hlađenim kondenzatorom i rekuperatorom topline**



Slika 9.36 - Rashladnik vode s vodom hlađenim kondenzatorom i vijčanim kompresorom (Carrier)

### Servis rashladnika vode

Servis rashladnika vode obično provode specijalizirane tvrtke prema uputama proizvođača rashladnih agregata.

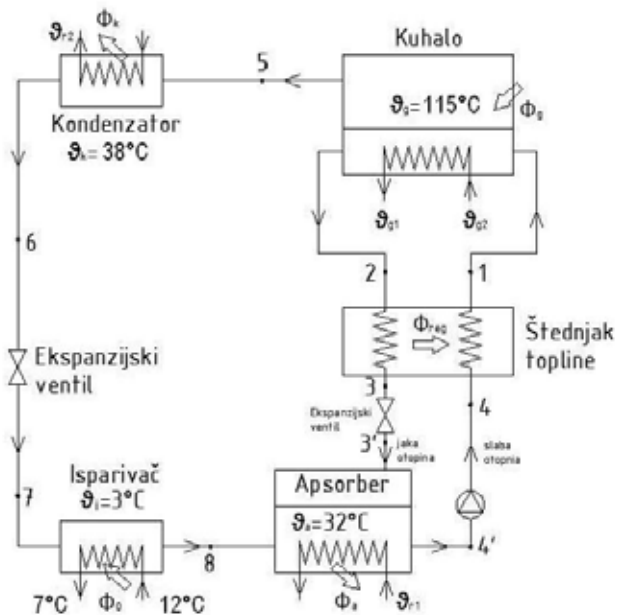
Redoviti godišnji servis rashladnika vode obuhvaća:

- kontrolu nepropusnosti radne tvari uređajem za detekciju propuštanja
- kontrolu kvalitete i razine ulja u kompresoru
- kontrolu temperature isparivanja i kondenzacije, mjerenje pregrijanja radne tvari na izlazi iz isparivača, mjerenje temperature pothlađenja radne tvari, po potrebi nadopuna radne tvari
- kontrolu hidrauličkog kruga, kontrola tlaka, protoka vode, rada cirkulacijskih pumpi, hvatača nečistoća, ekspanzijske posude
- kontrolu svih elemenata zaštite od smrzavanja, provjera temperature smrzavanja glikolne smjese i eventualna nadopuna glikola. Ako se u sustavu koristi voda kao sekundarni prijenosnik energije, korisnik treba provjeriti ispravnost električnih grijača ili vodu ispustiti iz sustava
- mjerenje napona napajanja, otpora izolacije namotaja elektromotora, pritezanje svih električnih spojeva i kontakata
- kontrolu i podešavanje radnih parametara, kontrola zaštitnih presostata, kontrola upravljačkog modula, kontrola rada ventilatora zrakom hlađenog kondenzatora ili rashladnog tornja
- puštanje rashladnika u pogon, kontrola rada uređaja s predstavnikom korisnika, te izrada protokola o provedenom redovitom godišnjem servisu s izmjerenim parametrima rada uređaja.

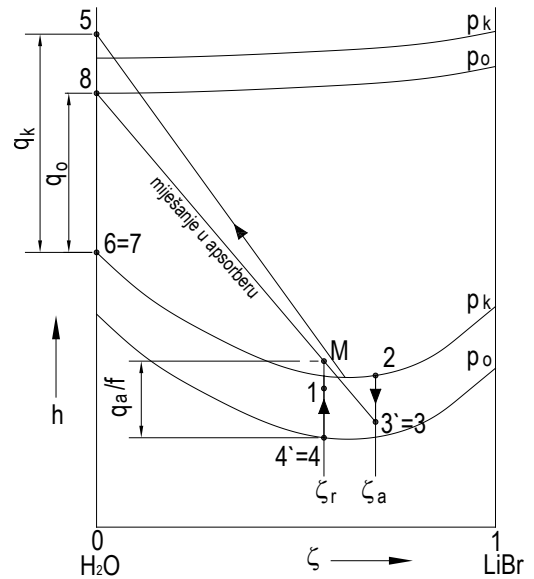
Kemijsko pranje kondenzatora obavlja se tijekom redovitog godišnjeg servisa, biorazgradivim ekološkim otapalima koja ne oštećuju aluminijske i bakrene dijelove kondenzatora. Prije kemijskog pranja orebrenog kondenzatora, potrebno je demontirati ventilator, a pranje provoditi u smjeru suprotnom od smjera strujanja zraka kroz kondenzator.

### Apsorpcijski rashladnici vode

Osim kompresijskih rashladnika vode koriste se i apsorpcijski rashladnici vode. Radna smjesa apsorpcijskih rashladnika vode najčešće je smjesa  $H_2O/LiBr$ . Na sljedećoj slici (slika 9.37) prikazana je shema apsorpcijskog rashladnika vode (ARV) sa svim komponentama i radnim temperaturama. Slika 9.38 prikazuje apsorpcijski rashladni proces u  $h, \xi$ -dijagramu, a slika 9.39 prikazuje ARV. Za pogon uređaja koristi se toplinska energija (vodena para, plin, Sunčeva energija). Kod solarnih apsorpcijskih rashladnika vode kao pogonska energija koristi se toplinska energija dobivena iz solarnih kolektora djelovanjem Sunčeva zračenja.



Slika 9.37 - Shematski prikaz apsorpcijskog rashladnika vode s temperaturama procesa



Slika 9.38 - Prikaz apsorpcijskog procesa u  $h, \xi$ -dijagramu

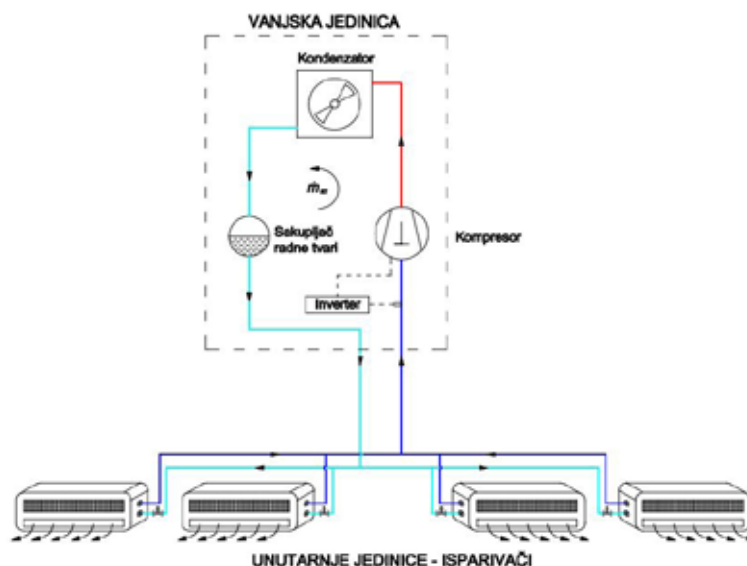


Slika 9.39 - Apsorpcijski rashladnik vode

### 9.7.2. Neposredni sustav hlađenja - VRF sustav

Osnovna karakteristika VRF (*engl. variable refrigerant flow*) sustava (slika 9.40) je da se sastoji od većeg broja unutarnjih jedinica (isparivač i prigušni ventil) spojenih na jednu vanjsku jedinicu (kompresor i kondenzator). Broj unutarnjih jedinica ide i do 50 ili čak i više. Ovi sustavi predviđeni su za srednje velike i velike zgrade u kojima se ugrađuje jedan ili modularno više neovisnih podsustava. Osim što se cijeli sustav može koristiti kao uređaj za hlađenje ili grijanje prostora, moguće je i način rada pri kojemu se neke prostorije hlade, a druge zagrijavaju toplinom odvedenom iz onih prvih, čime se preraspodjeljuje postojeća energija unutar sustava i znatno šteti električna energija. VRF sustav je prilagodljiv – uz jednu vanjsku jedinicu moguće je kombinirati

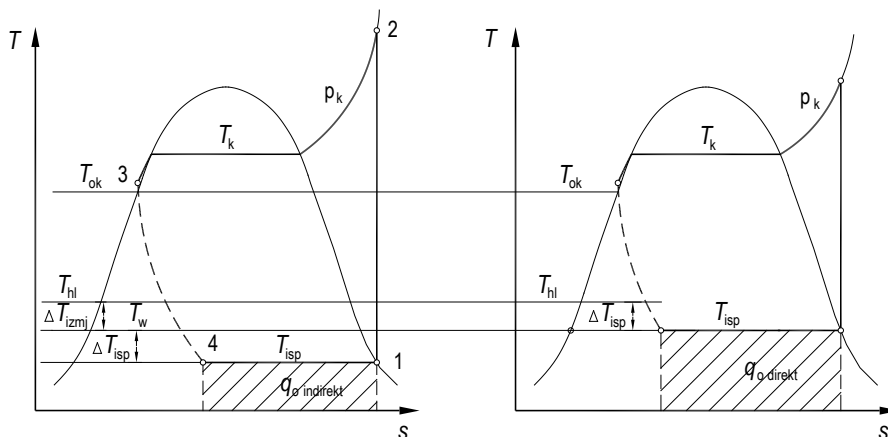
različite unutarnje jedinice – kazetne s dvosmjernim ili četversmjernim istrujavanjem (za ugradnju u spuštene stropove), parapetne, stropne, kanalne ili zidne. Rad pojedinačnih unutarnjih jedinica moguće je kontrolirati izravno – u prostoriji gdje su ugrađene ili centralnom kontrolnom jedinicom (računalom). Termin VRF (ili VRV, *engl. variable refrigerant volume*), varijabilni protok radne tvari odnosi se na sposobnost sustava na upravljanje količinom radne tvari koja struji kroz isparivače, te se na taj način u svakoj pojedinoj zoni hlađenja posebno može mijenjati kapacitet isparivača, tj. individualno regulirati razina komfora.



Slika 9.40 - Shematski prikaz VRF sustava hlađenja zgrade

### 9.7.3. Energetska usporedba posrednog i neposrednog sustava hlađenja zgrade

Termodinamički gledano neposredni sustav hlađenja je u prednosti u odnosu na posredni sustav hlađenja. Budući da posredni sustav sadrži jedan više izmjenjivač, postiže niže temperature isparavanja u odnosu na neposredni, direktni sustav (slika 9.41). Time je za isti rashladni učinak sustavu potrebno privesti veću pogonsku snagu, što za posljedicu ima manji faktor hlađenja posrednih rashladnih sustava.



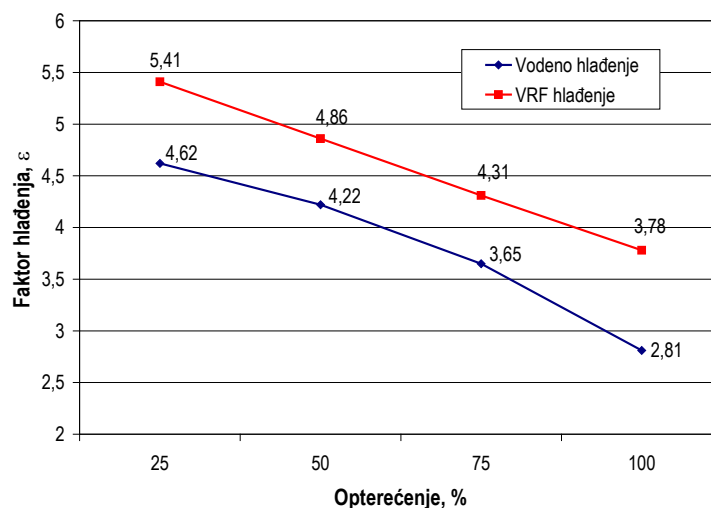
Slika 9.41 - Kvalitativan prikaz usporedbe posrednog i neposrednog sustava hlađenja

Certifikacijski program smjernice EUROVENT-a odnosi se na rashladne sustave (npr. rashladnike vode) koji se koriste u sustavima klimatizacije ili hlađenja. Sve radne tvari uzete su u obzir, a rashladnici mogu biti zrakom hlađeni, vodom hlađeni ili evaporativno hlađeni.

Smjernica navodi vrijeme rada sustava pri parcijalnom opterećenju:

- sustav sa 100 % učinka radi 3 % pogonskih dana u godini
- sustav sa 75 % učinka radi 33 % pogonskih dana u godini
- sustav s 50 % učinka radi 41 % pogonskih dana u godini
- sustav s 25 % učinka radi 23 % pogonskih dana u godini.

Usporedba je napravljena za rashladni učinak sustava hlađenja u iznosu od 350 kW (hlađena zgrada površine približno 5.000 m<sup>2</sup>). Za neposredni rashladni sustav odabrano je 7 vanjskih jedinica, ukupnog nominalnog učinka 50 kW × 7 = 350 kW. Odabrani rashladnik vode, temperaturnog režima vode 12/7°C, također je rashladnog učinka 350 kW. Pretpostavljen je godišnji broj sati rada rashladnog sustava 1200 sati. Faktor hlađenja rashladnog uređaja s posrednim i neposrednim sustavom hlađenja pri parcijalnom opterećenju prikazan je na sljedećoj slici (slika 9.42).



Slika 9.42 - Usporedni dijagram učinkovitosti posrednog i neposrednog sustava hlađenja

Sukladno navedenom, modelirana je godišnja potrošnja električne energije za pogon kompresora posrednog i neposrednog rashladnog uređaja kako slijedi (tablica 9.12 i tablica 9.13).

Tablica 9.12 - Model potrošnje električne energije posrednog sustava

Nazivni učinak hlađenja, kW	Parcijalno opterećenje, %	Parcijalno opterećenje, kW	Vrijeme parcijalnog opterećenja, %	Vrijeme rada sustava, h/god.	Parcijalno opterećenja h/god.	Rashladna energija, kWh/god.	Faktor hlađenja, ε	El. energija, kWh/god.	Cijena el. energije, kn/kWh	El. energija, kn/god.
350	100	350	3	1200	36	12600	2,81	4484	0,64/0,32	2583
	75	262,5	33		396	103950	3,65	28479		16404
	50	175	41		492	86100	4,22	20403		11752
	25	87,5	23		276	24150	4,62	5227		3011
Ukupno			100		1200	226.800		58594		33750

Maksimalno postignuta snaga rashladnika vode iznosi 124,5 kW. Uz cijenu zakupa snage prema tarifnom modelu Poduzetništvo – Crveni od 87 kn/kWh, mjesečni troškovi za rad rashladnika vode povećavaju se za približno 10.500 kn.

Tablica 9.13 - Model potrošnje električne energije neposrednog sustava

Nazivni učinak hlađenja, kW	Parcijalno opterećenje, %	Parcijalno opterećenje, kW	Vrijeme parcijalnog opterećenja, %	Vrijeme rada sustava, h/god.	Parcijalno opterećenje h/god.	Rashladna energija, kWh/god.	Faktor hlađenja, $\varepsilon$	El. energija, kWh/god.	Cijena el. energije, kn/kWh	El. energija, kn/god.
350	100	350	3	1200	36	12600	3,78	3333	0,64/0,32	1920
	75	262,5	33		396	103950	4,31	24118		13892
	50	175	41		492	86100	4,86	17716		10204
	25	87,5	23		276	24150	5,41	4464		2571
Ukupno			100		1200	226.800		49632		28588

Maksimalno postignuta snaga VRF sustava hlađenja iznosi 92,5 kW. Uz cijenu zakupa snage prema tarifnom modelu Poduzetništvo – Crveni od 87 kn/kWh, mjesečni troškovi za rad rashladnika vode se povećavaju za približno 8.000 kn.

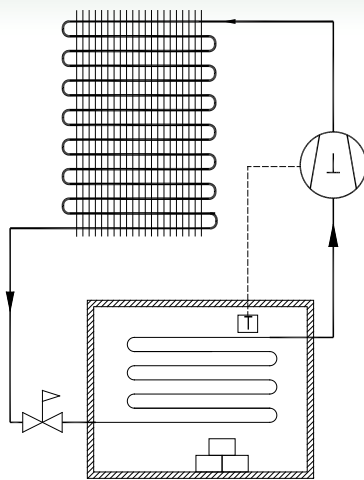
Analizom je utvrđeno da je za posredni rashladni proces, za koji su prema pojedinom djelomičnom opterećenju određeni faktori hlađenja, ukupna potrošnja električne energije 58.600,00 kWh/god. Direktni VRF sustav hlađenja imao bi pri istim uvjetima rada, uz određene faktore hlađenja za pojedina djelomična opterećenja, potrošnju električne energije u iznosu od 49.600,00 kWh/god.

Razlika u potrošnji električne energije posrednog sustava i neposrednog sustava iznosi približno 9.000 kWh, što znači da je godišnja potrošnja električne energije za pogon vodenog sustava hlađenja veća za približno 20% od potrošnje električne energije neposrednog VRF sustava. Kad se u analizu pogonskih troškova uvrsti i zakup snage, razlike u ukupnim pogonskim troškovima ostaju na razini 20% u korist vodenog sustava hlađenja. Približno 20% je veća investicija u VRF sustav hlađenja u odnosu na vodeni posredni sustav hlađenja zgrada.

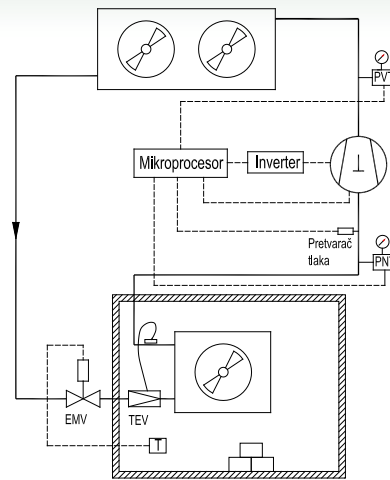
## 9.8. Upravljanje rashladnim sustavima

Upravljačke elemente regulacije čine mikroprocesor-kontroler, frekvencijski pretvarač i pretvarač tlaka. Regulacijske elemente rashladnih uređaja čine termostat i presostat niskog tlaka, dok sigurnosne elemente rashladnih i klima uređaja čine presostat visokog tlaka, presostat niskog tlaka, diferencijalni presostat ulja, osjetnik temperature hlađene vode. Presostat visokog tlaka štiti kompresor od maksimalno dopuštenog tlaka radne tvari u tlačnom vodu uređaja, dok presostat niskog tlaka isključuje kompresor kada tlak radne tvari niskotlačne strane rashladnog uređaja padne ispod minimalne namještene granice.

Na jednostavnijim i manjim rashladnim i klima uređajima regulacija je često intermitirajuća (*on-off*) s uključenim ili isključenim kompresorom rashladnog uređaja. Termostat koji mjeri temperaturu hlađenog medija direktno isključuje kompresor iz rada kada je postignuta temperatura hlađenja (slika 9.43). Također termostat uključuje kompresor u rad, nakon što temperatura hlađenog medija naraste na gornju graničnu vrijednost namještenu na termostatu. Ovo je najjednostavniji način regulacije hlađenog prostora (medija). Energetski gledano intermitirajući način regulacije je neučinkovit, pogotovo za sustave kod kojih rashladno opterećenje tijekom rada značajno varira, pri čemu dolazi do velikog broja ciklusa uključivanja i isključivanja kompresora i porasta temperaturne razlike između temperature hlađenja i temperature isparivanja.



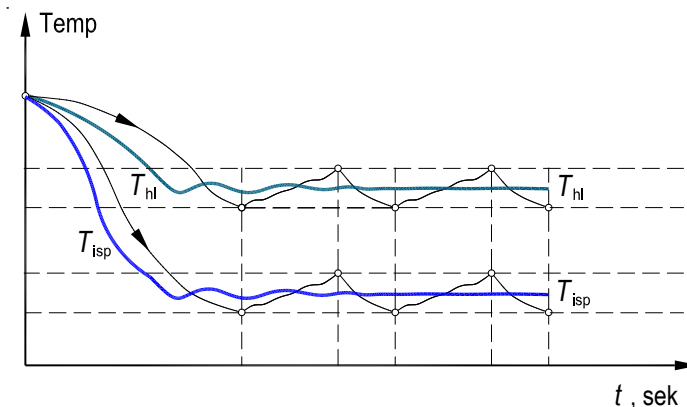
**Slika 9.43 - Primjer direktno intermitirajuće regulacije rada kućnog hladnjaka**



**Slika 9.44 - Primjer inverterijske regulacije rada rashladnog uređaja**

Znatno bolje rezultate regulacije rada rashladnog uređaja daje inverterijska regulacija (slika 9.44). Inverterijska regulacija predstavlja napredak u vođenju i regulaciji rada rashladnih i klima uređaja. Inverterijska regulacija znači frekvencijsku regulaciju broja okretaja kompresora, čime se ostvaruje stupnjevana regulacija učinka. Drugim riječima, rad kompresora, a time i učinak točnije se prilagođavaju zadanim uvjetima. Temperaturna su odstupanja mnogo manja nego kod intermitirajuće regulacije, pa je i udobnost primjene veća, a uz to je potrošnja električne energije od 20 do 40% manja.

Slika 9.45 prikazuje profil temperatura isparivanja i hlađenog medija za slučaj intermitirajuće regulacije i inverterijske regulacije.



**Slika 9.45 - Regulacijska karakteristika inverterijskog i intermitirajućeg načina upravljanja rashladnim uređajem**

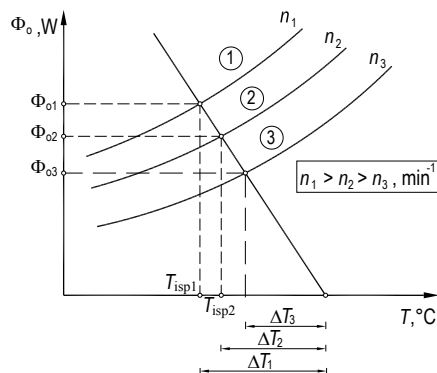
Za veće rashladne uređaje kao što su sustavi rashladnih komora, rashladni sustavi supermarketa i rashladnici vode, za regulaciju rashladnog učinka sustava koriste se više kompresora u paralelnom radu, tzv. multikompresorski setovi (slika 9.46). Multikompresorski setovi postižu precizniju regulaciju rashladnog učinka prema potrebnom rashladnom opterećenju, što ima za posljedicu smanjenje potrošnje električne energije za pogon kompresora, a time i manje troškove u toku eksploatacije sustava. Rad pojedinih kompresora multikompresorskog seta upravljan je prema tlaku u usisnom vodu rashladnog uređaja kojega registrira pretvarač tlaka, a mikroprocesor prema tlaku u usisnom vodu uključuje ili isključuje pojedine kompresore u rad. Ako je jedan od kompresora seta frekvencijski reguliran, postiže se veći broj stupnjeva regulacije rashladnog učinka sustava.



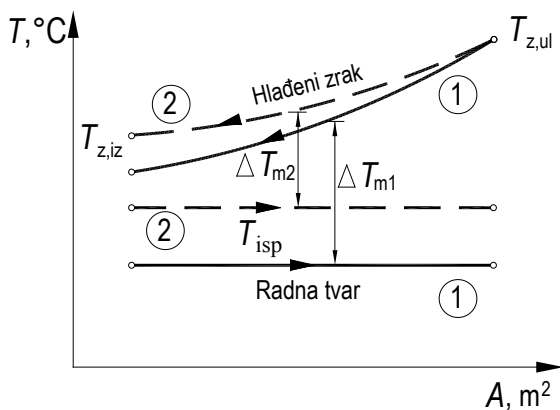
Slika 9.47 prikazuje dobre karakteristike regulacije rashladnog uređaja kompresora promjenom broja okretaja elektromotora kompresora ili broja cilindara uključenih u rad. Prednosti navedenog načina regulacije ogledaju se u manjoj temperaturnoj razlici temperature hlađenja i temperature isparivanja (slika 9.48), te temperature kondenzacije i temperature zraka za hlađenje (slika 9.49) što ima za posljedicu manji kompresijski omjer, manju potrošnju električne energije za pogon kompresora, te niže temperature radne tvari na kraju kompresije.



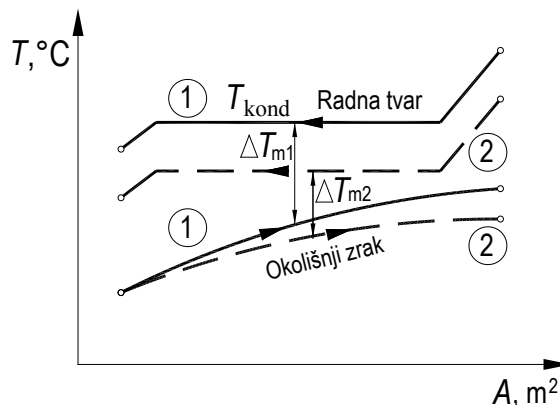
Slika 9.46 - Multikompresorski set s tri hermetička kompresora u paralelnom radu



Slika 9.47 - Prikaz promjene učinka kompresora promjenom broja okretaja ili promjenom broja cilindara uključenih u rad

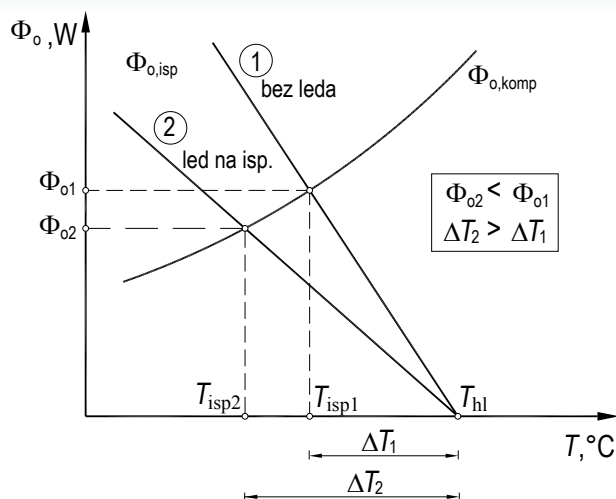


Slika 9.48 - Promjena temperature na isparivaču s promjenom broja okretaja kompresora ( $n_1 > n_2$ )



Slika 9.49 - Promjena temperature na kondenzatoru s promjenom broja okretaja kompresora, ( $n_1 > n_2$ )

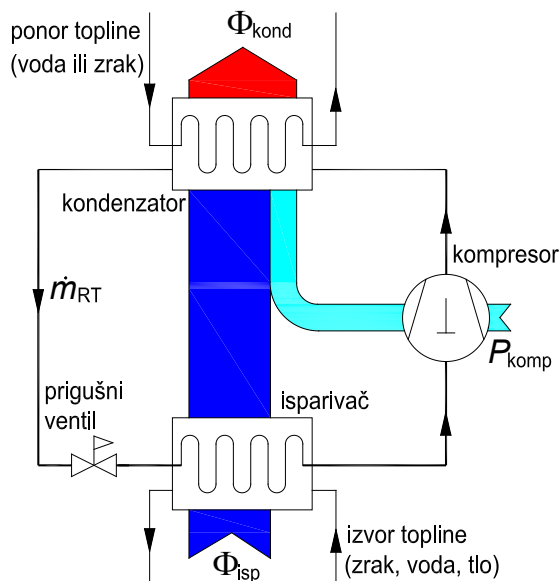
Slika 9.50 prikazuje promjenu učinka isparivača kao posljedica stvaranja naslage leda na orebrenim sekcijama isparivača. Naslage inja i leda predstavljaju otpor prolazu topline na isparivaču, što za posljedicu ima manji rashladni učinak uređaja, veću temperaturnu razliku hlađenog zraka i temperature isparavanja, te veći kompresijski omjer. U konačnici naslage leda dovode do veće potrošnje energije za pogon rashladnog uređaja.



Slika 9.50 - Promjena karakteristike isparivača uzrokovana naslagama leda na isparivaču

## 9.9. Dizalice topline

Ljevokretni kružni proces posreduje u prijenosu topline između dva toplinska spremnika, niskotemperaturnog spremnika kojem se odvodi toplina i pritom se hladi, te visokotemperaturnog toplinskog spremnika kojemu se ta toplina dovodi i pritom se grije (slika 9.51).



Slika 9.51 - Tijek energije u ljevokretnom kružnom procesu

Inače u praksi se uvriježio naziv dizalica topline za lijevokretni uređaj koji se koristi za potrebe grijanja. Toplinski množitelj, ili faktor grijanja dizalice topline definiran je izrazom:

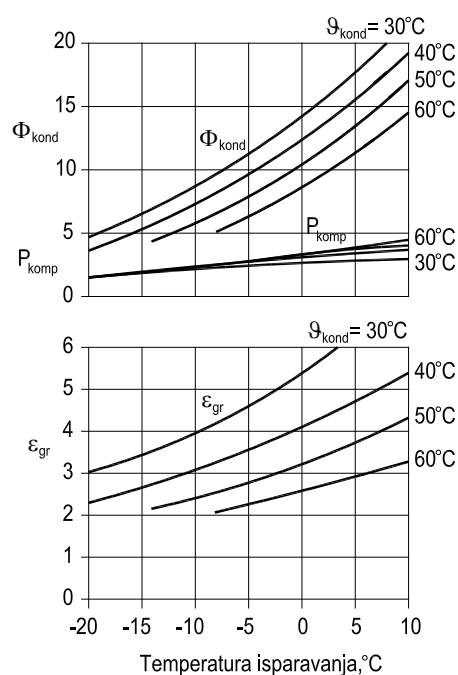
$$\varepsilon_{gr} = \frac{\Phi_{kond}}{P_{komp}} \quad (9.11)$$

pri čemu učinak grijanja koji predstavlja učinak kondenzatora iznosi:

$$\Phi_{\text{kond}} \approx \Phi_{\text{isp}} + P_{\text{komp}}, [\text{W}] \quad (9.12)$$

Prosječni toplinski množitelj, ovisno o temperaturama toplinskog izvora i ponora, najčešće doseže vrijednosti od 2,5 do 5. To npr. znači da za 1 kW privedene električne snage dizalici topline, ostvareni toplinski učinak dizalice topline može biti i nekoliko puta veći, odnosno 2,5 do 5 kW. Učinkovitost dizalice topline smanjuje se s padom temperature toplinskog izvora, ali i s porastom temperature ogrjevnog medija na izlazu iz kondenzatora. Najčešće su sustavi za grijanje s dizalicom topline namijenjeni za niskotemperaturno grijanje prostora (ako se radi o vodi, temperaturni režim je 45/35°C) te za zagrijavanje potrošne tople vode.

Pravilo koje vrijedi je: što je manja temperaturna razlika između temperature toplinskog izvora (zrak, voda, tlo) i temperature toplinskog ponora (zraka ili vode koja se grije), to će veći biti učinak grijanja i manja snaga kompresora, odnosno bit će veći toplinski množitelj (slika 9.52).



**Slika 9.52 - Ovisnost toplinskog množitelja o temperaturama isparavanja i kondenzacije [9.5]**

Može se zaključiti da učinkovitost dizalice topline bitno ovisi o temperaturama toplinskih spremnika. Tako npr. norma HRN EN 14511 za radnu točku B0/W35 definira učinkovitost dizalice topline tlo-voda za temperaturni režim glikolne smjese na isparivaču: 0/-3°C i temperaturni režim vode na kondenzatoru 30/35°C. Komercijalne dizalice topline za navedene uvjete imaju faktor grijanja oko 4,5 (tablica 9.14). Faktor grijanja za radnu točku B0/W55 i temperaturni režim vode na kondenzatoru 50/55°C je značajno manji i iznosi oko 3,0.

**Tablica 9.14 - Radne točke komercijalnih dizalica topline tlo-voda prema HRN EN 14511**

Parametri / Temperaturni režimi	B0/W35*		B0/W55**	
Učinak grijanja, kW	10,4	10,8	9,5	9,8
El. snaga privedena sustavu, kW	2,4	2,4	3,3	3,3
Faktor grijanja	4,4	4,5	2,9	3,0

\*Temperaturni režim glikolne smjese na isparivaču: 0/-3°C; Temperaturni režim vode na kondenzatoru 30/35°C

\*\*Temperaturni režim glikolne smjese na isparivaču: 0/-3°C; Temperaturni režim vode na kondenzatoru 50/55°C

Za dizalice topline koje koriste vodu kao toplinski izvor, norma HRN EN 14511 određuje radnu točku W10/W35, pri čemu je temperaturni režim vode na isparivaču: 10/5°C, a na kondenzatoru 30/35°C. Manja temperaturna razlika između toplinskih spremnika za posljedicu ima porast vrijednosti toplinskog množitelja koji iznosi za komercijalne dizalice topline približno 5,5 (tablica 9.15). Za radnu točku W10/W55 toplinski množitelj iznosi približno 3,5.

**Tablica 9.15 - Radne točke komercijalnih dizalica topline voda-voda prema HRN EN 14511**

Parametri / Temperaturni režimi	W10/W35*		W10/W55**	
Učink grijanja, kW	11,6	10,9	10,2	9,6
El. snaga privedena sustavu, kW	2,1	1,9	3,0	2,7
Faktor grijanja	5,5	5,7	3,5	3,6

\*Temperaturni režim vode na isparivaču: 10/5°C; Temperaturni režim vode na kondenzatoru 30/35°C

\*\*Temperaturni režim vode na isparivaču: 10/5°C; Temperaturni režim vode na kondenzatoru 50/55°C

Od toplinskog množitelja dizalice topline u standardnim ili aplikacijskim točkama, relevantniji je godišnji toplinski množitelj  $\varepsilon_{gr,G}$  (engl. *Seasonal performance factor - SPF*) koji se koristi za potrebe vrjednovanja energetske učinkovitosti dizalice topline:

$$\varepsilon_{gr,G} = \frac{\sum Q_{DT}}{\sum E} \quad (9.13)$$

a definiran je kao omjer stvarno dobavljene toplinske energije tijekom godine ( $\sum Q_{DT}$ ) i tijekom godine ukupne utrošene energije ( $\sum E$ ) za pogon kompresora, pumpi, ventilatora te sustava za odleđivanje isparivača.

Proračun učinkovitosti dizalice topline dan je u normi HRN EN 15316-4-2. Norma daje metode proračuna pogonske energije i godišnjeg toplinskog množitelja dizalica topline koje se koriste u sustavima grijanja prostora, dizalica topline za zagrijavanje potrošne tople vode, te dizalica topline koje se koriste kombinirano za grijanje prostora i za zagrijavanje PTV-a. Preporučena metoda proračuna je *bin* metoda. Proračun prema *bin* metodi podrazumijeva podjelu sezone grijanja na temperaturne intervale (razrede). Za određivanje trajanja pojedinih temperaturnih intervala koriste se ulazni podaci o satnoj vanjskoj temperaturi zraka (ispitne referentne godine) za promatranu geografsku lokaciju. Metoda uz rezultate ispitivanja za standardne ispitne uvjete dizalice topline prema HRN EN 14511, uzima u proračun specifične radne uvjete za svaku individualnu instalaciju.

### 9.9.1. Načini rada dizalice topline

Sustavi grijanja s dizalicom topline mogu biti izvedeni tako da dizalica topline bude jedini izvor topline. Također, dizalica topline može se koristiti u sprezi s drugim izvorima topline. Razlikujemo sljedeće načine rada dizalice topline:

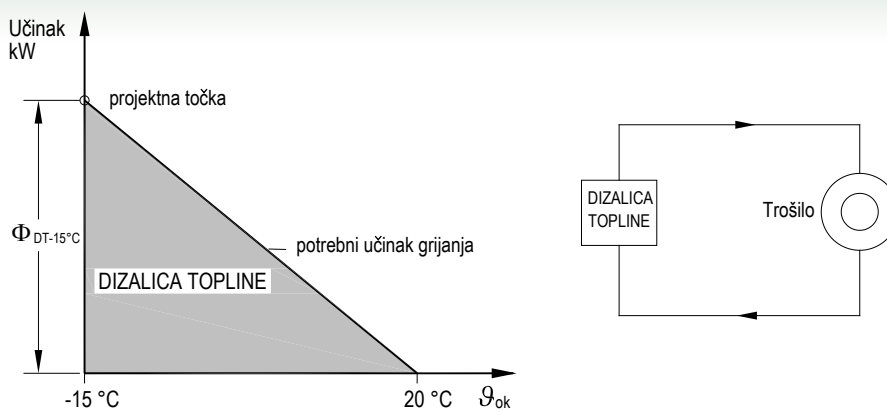
- Monovalentni način rada
- Bivalentno-paralelni način rada
- Bivalentno-alternativni način rada.

#### Monovalentni način rada dizalice topline

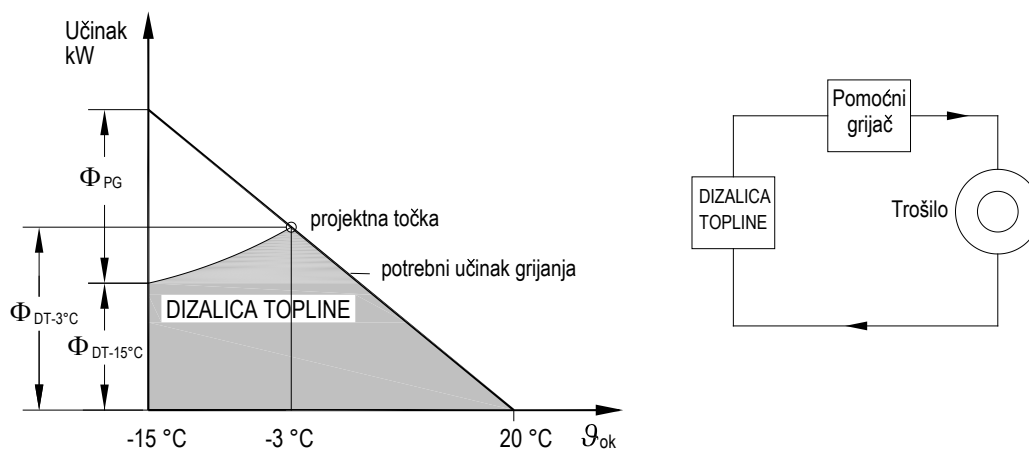
Sve toplinske gubitke zgrade (toplinsko opterećenje) koji se proračunavaju prema normi HRN EN 12831 pokriva isključivo dizalica topline. Učink dizalica topline projektira se prema vanjskoj projektnoj temperaturi zraka (slika 9.53). Dizalice topline povezane s tlom (s podzemnom vodom ili tlom kao izvorima topline) rade kao monovalentni sustavi grijanja.

#### Bivalentno-paralelni način rada dizalice topline

Do određene vrijednosti vanjske temperature zraka dizalica topline je jedini izvor topline. Daljnjim padom vanjske temperature zraka (npr. -3°C ili niže) uključuje se paralelno još jedan toplinski izvor (npr. plinski bojler). Priključenje drugog toplinskog izvora, regulacija vodi prema vanjskoj temperaturi zraka i potrebnom učinku grijanja. Ovaj način rada sustava grijanja koristi se kod dizalica topline sa zrakom kao izvorom topline.



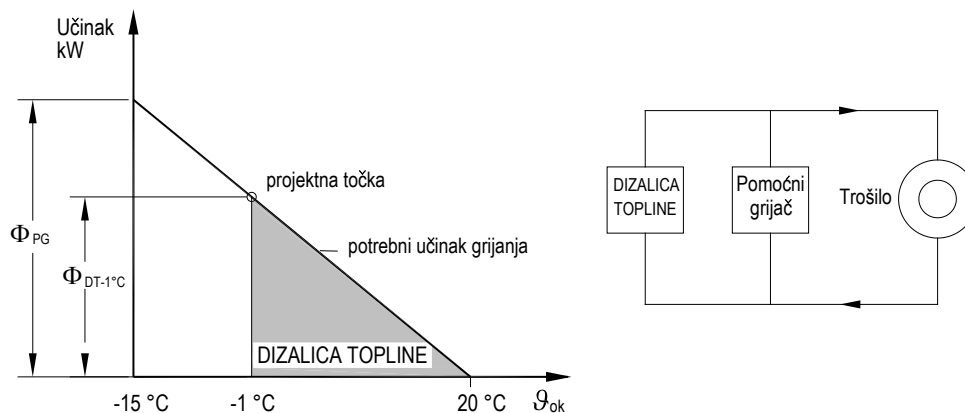
Slika 9.53 - Monovalentni rad dizalice topline



Slika 9.54 - Bivalentno paralelni rad dizalice topline

### Bivalentno-alternativni način rada dizalice topline

Do određene vrijednosti vanjske temperature zraka dizalica topline je jedini izvor topline, koja ovisno o karakteristici grijanja odgovara maksimalnoj temperaturi polaznog voda od 55°C. Daljnjim padom vanjske temperature zraka uključuje se drugi izvor topline i on je dalje jedini u radu (npr. plinski bojler). Točka preokretanja izbora sustava grijanja u ovom primjeru iznosi -1 °C. Ovaj način rada sustava grijanja koristi se za zgrade s radiatorima kao ogrjevnim tijelima, temperaturnog režima 90/70°C ili 80/60°C.

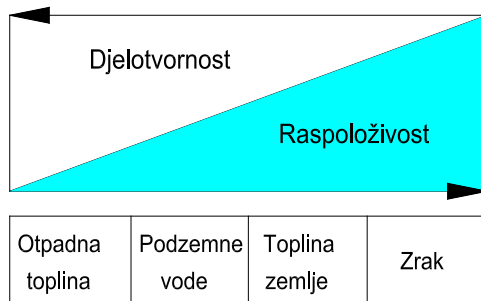


Slika 9.55 - Bivalentno alternativni rad dizalice topline

### 9.9.2. Izvori topline za dizalice topline

Za postrojenje dizalice topline od najvećeg su značaja svojstva toplinskog izvora. Može se reći da je postrojenje za grijanje dizalicom topline onoliko dobro, koliko je dobar njegov toplinski izvor. Kao niskotemperaturni toplinski spremnici koriste se voda (riječna, jezerska, morska i podzemna) zrak, otpadna toplina, Sunce ili se isparivač zakopava u zemlju, pri čemu tlo predstavlja toplinski spremnik. Da bi se osigurao ekonomičan rad dizalice topline, na izvor topline se postavlja niz zahtjeva među kojima su najvažniji sljedeći:

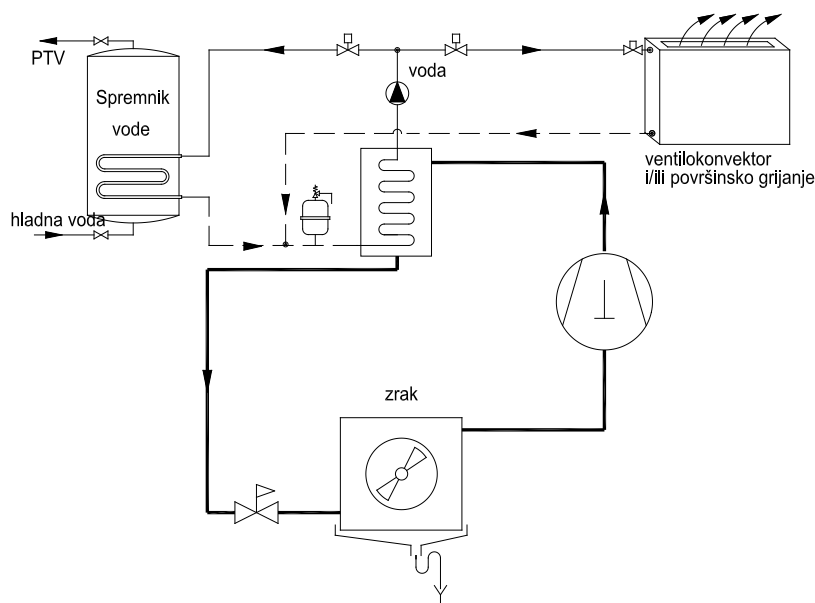
- toplinski izvor treba osigurati potrebnu količinu topline u svako doba i na što višoj temperaturi (slika 9.56)
- troškovi za priključenje toplinskog izvora na dizalicu topline trebaju biti što manji
- energija za transport topline od izvora do isparivača dizalice topline treba biti što manja.



Slika 9.56 - Kvalitativan prikaz djelotvornosti i raspoloživosti izvora topline

#### Okolišnji zrak kao izvor topline

Najveći i najpristupačniji ogrjevni spremnik topline za dizalice topline predstavlja okolišnji zrak. Orebreni izmjenjivač topline s prisilnom cirkulacijom zraka koristi se za izmjenu topline između zraka i radne tvari (slika 9.57). Razlika temperature okolišnjeg zraka, kao izvora topline i radne tvari koja isparuje kreće se od 6 do 10°C. Kod izbora ovakve izvedbe dizalice topline, potrebno je voditi računa o sljedeće dvije stvari: temperaturi okolišnjeg zraka za danu lokaciju i stvaranju inja i leda na orebrenim sekcijama isparivača.



Slika 9.57 - Dizalica topline zrak-voda

Loša strana zraka kao izvora topline su varijacije njegove temperature, što znatno utječe na toplinski množitelj dizalice topline. Smanjivanjem temperature okoline smanjuje se i ogrjevni učinak dizalice topline. Ove dizalice topline se ne dimenzioniraju na puno opterećenje, odnosno za najnepovoljniju radnu točku, jer bi u najvećem dijelu godine sustav bio predimenzioniran.

Ovisno o temperaturi vanjskog zraka, toplinski množitelj dizalice topline kreće se od 2,5 do 3,5.

Za stvaranje leda na lamelama i cijevima isparivača najkritičnije su temperature vanjskog zraka od  $-3$  do  $+2^{\circ}\text{C}$ , jer kod tih temperatura vanjski zrak posjeduje prilično veliki sadržaj vlage, pa je količina nastalog leda dovoljno velika da zatvori kanale za prolaze zraka u isparivaču. Niže vanjske temperature nisu toliko kritične, jer je sadržaj vlage u zraku veoma malen, pa je količina nastalog leda malena. Neželjeni utjecaj leda i odleđivanje isparivača treba uzeti u obzir pri dimenzioniranju dizalice topline.

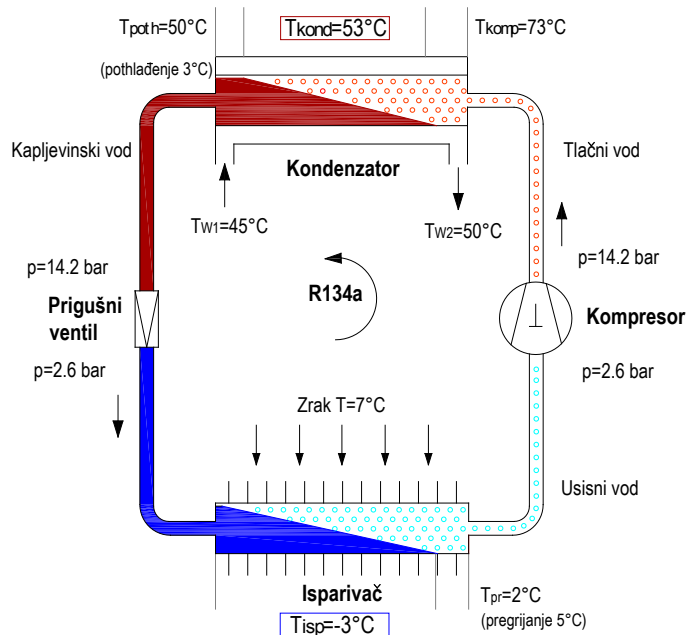
Na osnovi dosadašnjeg iskustva s dizalicama topline za grijanje zgrada, s vanjskim zrakom kao izvorom topline, može se reći da se do  $-5^{\circ}\text{C}$  vanjske temperature (u specijalnim slučajevima do  $-15^{\circ}\text{C}$ ) može ekonomski i pogonski opravdano upotrijebiti dizalica topline, a ispod  $-5^{\circ}\text{C}$  treba upotrijebiti dodatno grijanje na ulje, plin ili električnu energiju.

Nedostatak dizalica topline koje rade s vanjskim zrakom kao izvorom topline su visoka buka i velika količina zraka koja je potrebna zbog njegove male specifične topline. Hlađenjem zraka za 6 do  $8^{\circ}\text{C}$  dobivaju se optimalni odnosi između: količine zraka, veličine ventilatora, veličine isparivača i toplinskog množitelja.

Važno je primijetiti da ugradnjom četveroputnog prekretnog ventila uređaj u ljetno doba može raditi u režimu hlađenja.

**Primjer:** Dizalica topline zrak-voda s temperaturama i tlakovima radne tvari u radnoj točki A7/W50 (HRN EN 14511).

Slika 9.58 prikazuje parametre rada dizalice topline sa zrakom kao izvorom topline temperature  $+7^{\circ}\text{C}$  i temperaturnim režimom vode na kondenzatoru 45/50  $^{\circ}\text{C}$ . Za navedene uvjete dizalica topline s toplinskim učinkom od 10 kW, postiže normirani toplinski množitelj 2,8, pri čemu električna snaga dizalice topline (kompresor, ventilator isparivača, sustav za odleđivanje) iznosi 3,6 kW.



**Slika 9.58 - Shematski prikaz dizalice topline zrak-voda s parametrima procesa**

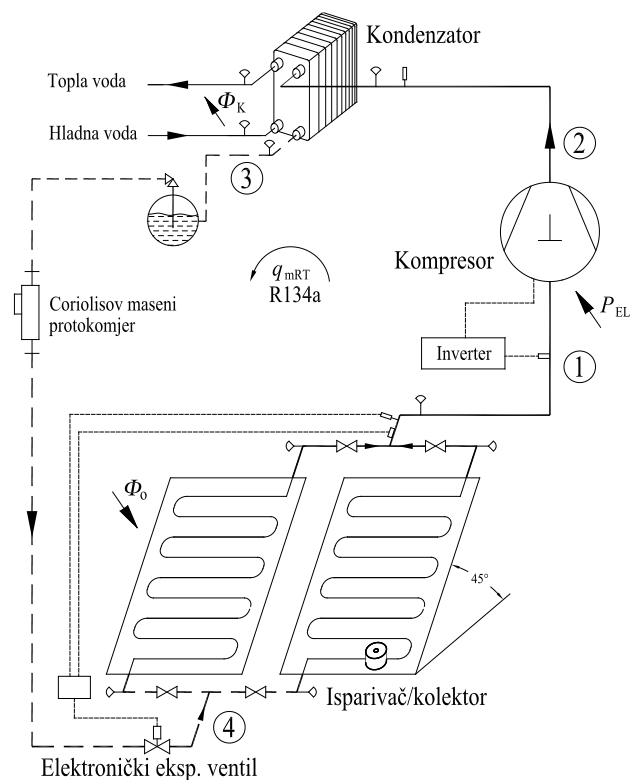
U radnoj točki A-7/W50 (temperatura zraka  $-7^{\circ}\text{C}$ ) navedena dizalica topline ima sljedeće učinke:

- toplinski učinak dizalice topline 6,8 kW
- električna snaga dizalice topline 3,4 kW
- toplinski množitelj 2,0.

**Direktno Sunčevo zračenje izvor topline za dizalicu topline - solarna dizalica topline**

Energija Sunca može se koristiti kao izravni izvor topline ili u kombinaciji s drugim izvorima topline. Zrak, površinske vode i tlo kao izvor topline posredno koriste energiju Sunca. Osnovna prednost izravnog korištenja energije Sunca kao izvora topline za dizalice topline je viša temperatura isparivanja, te time veći učinak isparivača nego kod drugih izvora topline. Rezultat je veći toplinski množitelj. U usporedbi s klasičnim kolektorskim sustavom, kod sustava koji uključuje dizalicu topline su učinkovitost kolektora i kapacitet uređaja veći, zahvaljujući nižoj temperaturi medija u solarnom kolektoru (najviše +25°C).

U Laboratoriju za toplinu i toplinske uređaje na Fakulteta strojarstva i brodogradnje, projektiran je i izveden ispitni sustav sa solarnom dizalicom topline (slika 9.59). Osim osnovnih komponenti kompresijske dizalice topline, uređaj je opremljen i mjerilima relevantnih veličina, koje se preko prihvatnog sustava i razvijenog programskog paketa pohranjuju na računalu. Na ispitnom sustavu provedena su mjerenja s ostakljenim i neostakljenim izvedbama kolektora. Rezultati pokazuju veliki utjecaj ozračenja, temperature okoline i brzine vrtnje kompresora na karakteristike sustava. Toplinski množitelj, ovisno o temperaturnim uvjetima, doseže vrijednosti od 3 do 7, a nerijetko i više.



**Slika 9.59 - Shematski prikaz solarne dizalice topline**

Parametri sustava pokazuju visoku razinu ustaljenosti u mjernom vremenu, te time praktički omogućuju zapis parametara procesa u vremenu od 10 do 15 minuta. Osrednjavanjem prikupljenih podataka dobiju se stacionarne točke procesa. Jedan takav zapis rezultata prikazan je u mjernom protokolu u tablici 9.16:



Tablica 9.16 - Mjerene vrijednosti parametara solarne dizalice topline na dan 23.05.2006. (FSB, Zagreb)

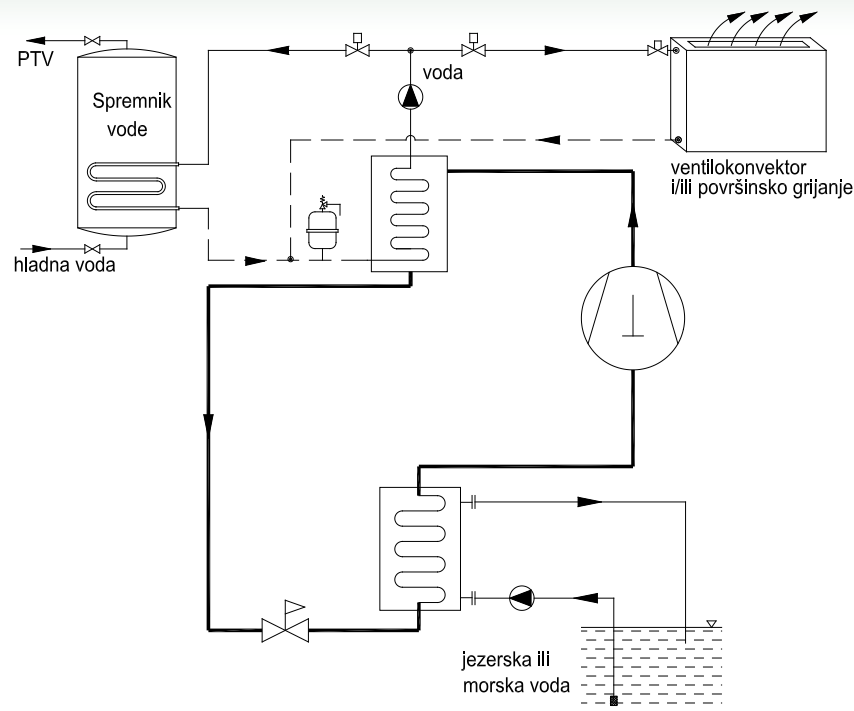
Mjerene veličine	Oznaka	Vrijednost	Jedinica
Temperatura isparivanja	$\vartheta_i$	16,9	°C
Temperatura kondenzacije	$\vartheta_k$	46	°C
Temperatura vode na ulazu u kond.	$\vartheta_{wul}$	31,6	°C
Temperatura vode na izlazu iz kond.	$\vartheta_{wiz}$	43,1	°C
Temperatura okoline	$\vartheta_{ok}$	31	°C
Tlak isparivanja	$p_i$	5,12	bar
Tlak kondenzacije	$p_k$	11,9	bar
Maseni protok radne tvari R134a	$q_{mRT}$	66,9	kg/h
Maseni protok vode	$q_{mw}$	0,0705	kg/s
Električna snaga kompresora	$P_{EL}$	623,3	W
Frekvencija EM kompresora	$f$	45	Hz
Ozračenje	$I_{TS}$	804,4	W/m <sup>2</sup>
<b>Proračunske veličine</b>			
<b>UČINAK ISPARIVAČA</b>			
Na strani radne tvari: $\Phi_i = q_{mRT}(h_1 - h_4)$	$\Phi_o$	2881	W
<b>UČINAK KONDENZATORA</b>			
Na strani radne tvari: $\Phi_k = q_{mRT}(h_2 - h_3)$	$\Phi_k$	3441	W
Na strani vode: $\Phi_k = q_{mw} c_{pw} \Delta\vartheta_w$	$\Phi_k$	3386	W
Toplinski množitelj	$\varepsilon_g$	5,43	-
Učinkovitost kolektora	$\eta_{kol}$	0,94	-

U usporedbi s klasičnim solarnim sustavom, gdje postoje konvektivni gubici kolektora, u slučaju primjene solarnog kolektora u dizalicama topline s izravnom ekspanzijom radne tvari ti su gubici znatno smanjeni, ili su čak pretvoreni u dobitke kada je temperatura radne tvari, kao u navedenom primjeru, niža od temperature okoline (ili točnije rečeno, ako je temperatura apsorberske ploče niža od temperature okoline).

#### Vode potoka, rijeka, jezera i mora kao izvor topline

Naselja uz potoke, rijeke, jezera i mora imaju izvor topline u mnogim slučajevima pristupačan i jeftin (slika 9.60). Takve se vode mogu uobičajeno koristiti pri temperaturama višim od +4°C. Niske temperature izvora topline smanjuju toplinski množitelj i ekonomičnost dizalice topline. Na osnovi iskustva i proračuna, temperaturna razlika vode ohlađene u isparivaču ne bi trebala biti manja od 4°C (npr. od 4 do 6°C).

Korištenje dizalice topline s ovakvim izvorima topline ekonomski je opravdano kod vanjskih temperatura iznad granice od 0°C. Pri tome veliku ulogu imaju položaj i veličina rijeke ili jezera.



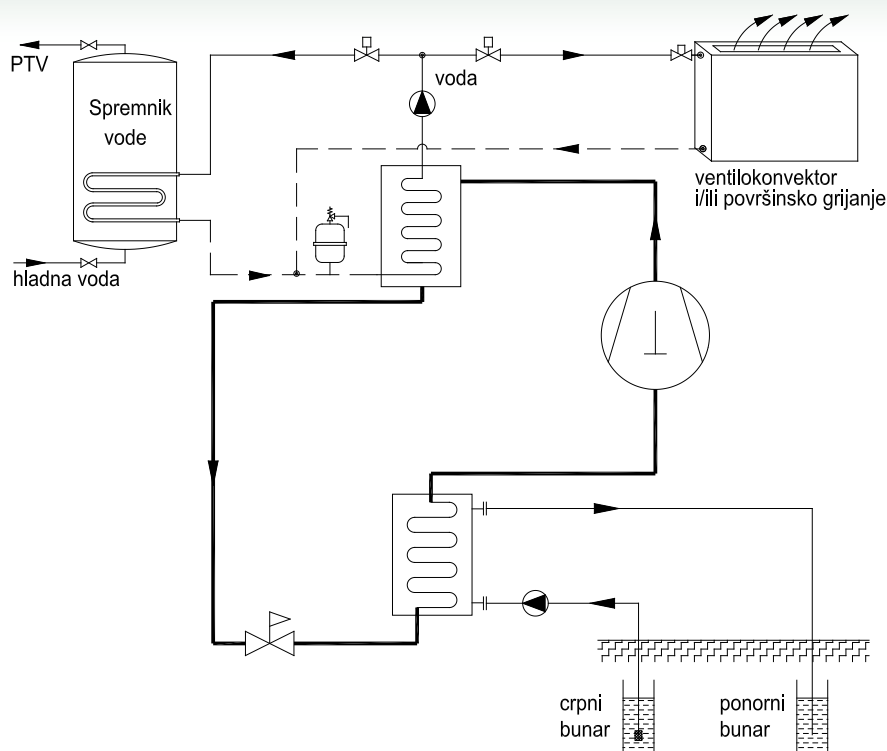
Slika 9.60 - Dizalica topline voda-voda

Jezeru su zbog veće akumulacije u pogledu temperature vode obično povoljnija od rijeka. Kod dovoljno velikih jezera i na dovoljno velikim dubinama (oko 20 do 30 m), temperatura vode u zimskom vremenu ne pada ispod 5°C. Nedostatak ovog izvora je ograničenost njegove primjene samo na mali broj potrošača koji leže uz samo jezero. Za potrošače koji leže dalje od jezera investicijski i pogonski troškovi za crpljenje i povratak vode u jezero su preveliki.

### Podzemne vode kao izvor topline

Temperatura podzemne vode iznosi u većini slučajeva od 8 do 12°C i ovisi o dubini iz koje se voda crpi. Ova se temperatura tokom cijele godine neznatno mijenja te je podzemna voda najpovoljnija kao izvor topline za pogon dizalice topline.

Za crpljenje podzemne vode potrebna su dva bunara, crpni i ponorni (slika 9.61). Razmak između ovih bunara treba biti što je moguće veći, a po mogućnosti ne manji od 10 m. Crpni bunar treba davati u svim vremenima pogona dovoljnu količinu vode, odnosno izdašnost crpnog bunara je najvažnija za projektiranje ove dizalice topline. Potopljena crpka ugrađuje se obično do dubine 15 m kako bi se smanjili pogonski troškovi pumpe. Ispod pumpe, ostavlja se slobodna visina bunara koja omogućuje nakupljanje pijeska i nečistoća. Promjer bunara je obično 220 mm ili veći. Protok pumpe za vodu proračunava se na temperaturnu razliku vode na isparivaču od 4 do 5°C.



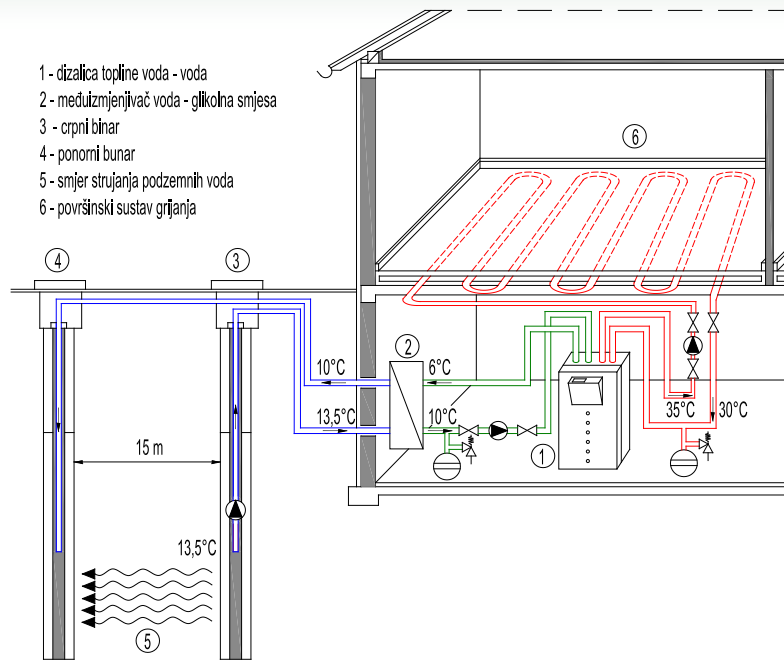
Slika 9.61 - Dizalica topline voda-voda

**Primjer:**

U primorskom dijelu Hrvatske, 80 m od mora, izveden je crpni bunar dizalice topline voda-voda. Na udaljenosti 15 m od crpnog bunara ugrađen je ponorni bunar. Shematski prikaz sustava prikazan je na shemi danoj na sljedećoj slici (slika 9.62). Nakon dvije godine korištenja sustava za grijanje obiteljske kuće temperatura podzemne vode na dubini 22 m iznosi 13,5°C. U krug podzemne vode ugrađen je međuzmjenjivač topline od titana, kako bi se isparivač zaštitio od korozivnog djelovanja podzemne vode (morska voda).

Parametri dizalice topline voda-voda učinka 14,4 kW (VWS 101/2) su sljedeći:

- Temperaturni režim na međuzmjenjivaču:
  - primar 13,5/10°C
  - sekundar 6/10°C
- Snaga potopljene dobavne pumpe 0,5 kW
- Dubina bunara 28 m (pumpa postavljena na dubini 22 m)
- Ispusna cijev u izljevnom bunaru na visini 18 m
- Ukupni toplinski množitelj za temperaturni režim ogrjevne vode 35/30 °C iznosi 5,1.



Slika 9.62 - Način spajanja crpnog i ponornog bunara s dizalicom topline

### Tlo kao izvor topline

Tlo predstavlja ogroman toplinski spremnik koji se može koristiti kako za grijanje tako i za hlađenje prostora. Iako se hlađenje može ostvariti neposrednim korištenjem izmjenjivača topline u tlu, u svrhu grijanja je u pravilu potrebno upotrijebiti dizalicu topline. Ugradnjom prekretnog ventila, dizalica topline se načelno zimi može koristiti za grijanje, a ljeti za hlađenje. Glavna prednost zemlje kao izvora ili ponora topline je u njezinoj relativno konstantnoj temperaturi već na dubini od 2 m (od 7 do 13°C), koja omogućuje rad dizalice topline u optimalnoj projektnoj točki, bez dnevnih i sezonskih varijacija.

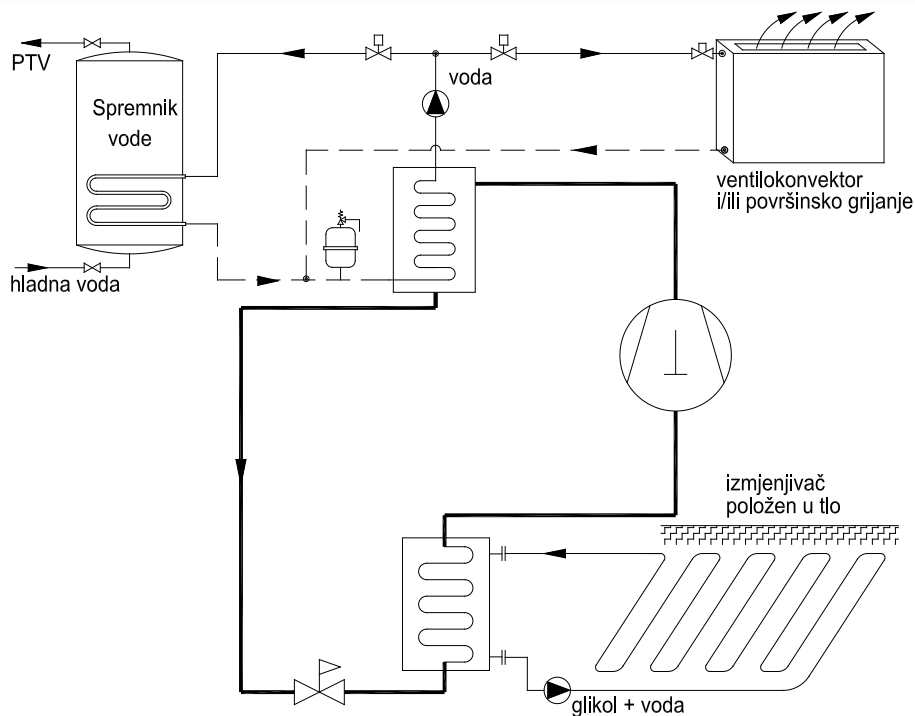
### Horizontalna izvedba izmjenjivača

Horizontalna izvedba izmjenjivača topline (slika 9.63) zahtijeva nešto niže investicijske troškove, ali zbog nedostatka potrebne slobodne površine često nije primjenjiva osim u ruralnim područjima. Potrebna slobodna površina je otprilike dvostruko veća od grijane površine objekta. Najčešće se izmjenjivač topline polaže u tlu u obliku snopa vodoravnih cijevi na dubini od 1,2 do 1,5 m, s međusobnim razmakom cijevi od 0,5 do 1 m, ovisno o sastavu i vrsti tla. Približno na svaki m<sup>2</sup> grijanog prostora treba u zemlju položiti 1,5 do 2 m cijevi. Izmjenjivačke sekcije koje se paralelno spajaju, trebaju biti podjednake dužine radi lakšeg balansiranja izmjenjivača. Dužina jedne izmjenjivačke sekcije iznosi do 100 m. Promjer polietilenske cijevi većinom iznosi 25 ili 32 mm. Učink izmjenjivača, ovisno o svojstvima tla, kreće se u granicama od 15 do 35 W/m<sup>2</sup> (tablica 9.17), pri čemu se najbolja učinkovitost dobiva za glineno tlo i tlo s podzemnim vodama.

Tablica 9.17 - Specifični učinak horizontalnog izmjenjivača u tlu ovisno o sastavu tla

Vrsta tla	Specifični učinak, W/m <sup>2</sup>
Suho pješčano tlo	10-15
Mokro pješčano tlo	15-20
Suho glinasto tlo	20-25
Mokro glinasto tlo	25-30
Tlo s podzemnom vodom	30-35

Regeneracija toplinskog izvora događa se zahvaljujući Sunčevom zračenju, kiši ili rosi.



Slika 9.63 - Dizalica topline tlo-voda (horizontalna izvedba izmjenjivača u tlu)

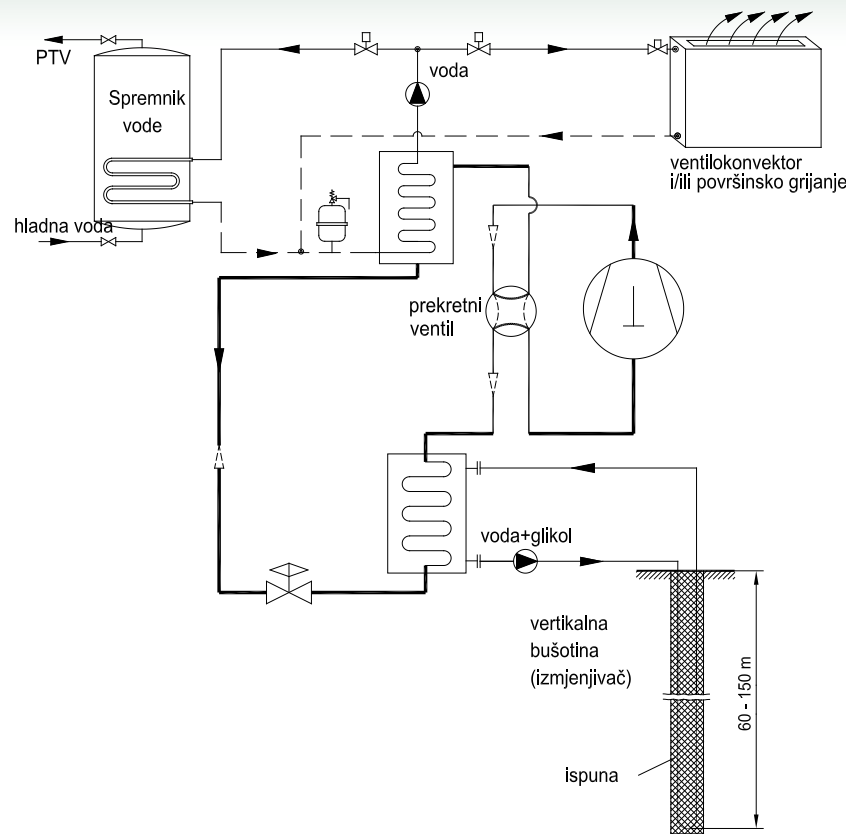
Izmjenjivačke sekcije mogu se postavljati i u kanale (rovove) čime su potrebe za slobodnom površinom smanjenje.

#### Vertikalna izvedba izmjenjivača

Vertikalna izvedba bušotine (slika 9.64) u koju se ulaže izmjenjivač od 60 do 150 m (200 m) dubine često je prihvatljiva u gusto naseljenim područjima, pogotovo na mjestima gdje je okoliš uređen, pri čemu dolazi do minimalnih promjena vanjskog izgleda okoline. Ovakvi su sustavi široko prihvaćeni u razvijenom svijetu, u čemu prednjače Švedska, SAD, Austrija, Njemačka, Švicarska, Francuska.

Koliko se topline može oduzeti tlu ovisi o njegovom sastavu i vlažnosti, te mjestu polaganja izmjenjivača topline (tablica 9.18). Do sada provedena istraživanja, kao i u praksi instalirani sustavi pokazuju da je temperatura tla na dubini od 2 m otprilike 7 do 10°C, a na dubini do 100 m temperatura tla se kreće između 12 i 15°C. Izmjenjivač (tvornički predmontiran) u tlo se polaže u dvije osnovne izvedbe:

- kao dvostruka U cijev
- kao koaksijalna cijev pri čemu kroz unutarnju PE cijev struji hladni medij (voda + glikol), dok se kroz vanjsku metalnu cijev zagrijani medij vraća na isparivač.



Slika 9.64 - Dizalica topline tlo-voda (vertikalna izvedba izmjenjivača u tlu)

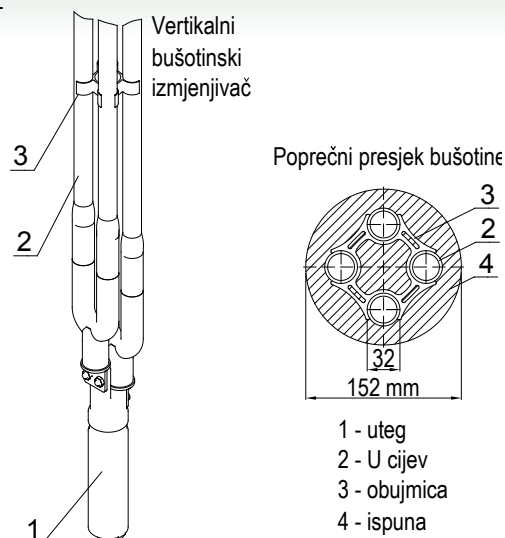
Tablica 9.18 - Parametri dizalnice topline s vertikalnim bušotinama

<b>Učinkovitost vertikalnog izmjenjivača</b>	20 ÷ 85 W/m
<b>Promjer PE cijevi:</b>	25, 32, 40 mm
<b>Promjer bušotine</b>	80 ÷ 150 mm (250 mm)
<b>Ispuna bušotine:</b>	smjesa bentonita i cementa
<b>Toplinska vodljivost tla</b>	1 ÷ 3 W/(m K)

Kod instalacija s izmjenjivačem u vertikalnoj bušotini, kod normalnih hidrogeoloških uvjeta, uzima se da je srednji učinak izmjenjivača s dvostrukom U cijevi 50 W/m (prema VDI 4640). Pouzdaniji rezultati dobiju se in-situ mjerenjima svojstava tla. Protok pumpe za glikolnu smjesu proračunava se na temperaturnu razliku glikola na isparivaču od približno 3°C.

Troškovi izvedbe bušotine i polaganja izmjenjivača zajedno s ispunom iznose od 35 do 55 €/m. Navedena cijena izvedbe vertikalnog izmjenjivača odnosi se na Njemačku. U SAD-u i Švedskoj cijene su niže. U Hrvatskoj su u posljednje godinu-dvije izvedene prve bušotine i njihova primjena raste. Cijena izvedbe bušotine s izmjenjivačem iznosi od 45 do 60 €/m.

**PRIMJER:** Na Fakultetu strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, u Laboratoriju za toplinu i toplinske uređaje, u sklopu znanstvenog projekta koji se provodi uz potporu Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa, pod nazivom *Dizalice topline s korištenjem tla kao obnovljivog toplinskog spremnika*, izvedena je dizalica topline s izmjenjivačem u vertikalnoj bušotini dubine 100 m. U suradnji s tvrtkom FIL.B.IS. Hidro-Geo u neposrednoj je blizini Laboratorija u bušotinu promjera 152 mm postavljen je bušotinski izmjenjivač topline (toplinska sonda) u obliku dvostruke U cijevi (slika 9.65). Dvostruka U cijev izvodi se iz polietilena visoke gustoće PE 100 i promjera je 32 mm. Uz izmjenjivač topline u bušotinu se u svrhu istraživanja položeni temperaturni osjetnici, koji omogućuju mjerenje temperature tla na različitim dubinama: od 1,5 m pa do 100 m. Temperaturni osjetnici omogućuju dugoročno praćenje promjene temperature na površini kontakta između tla i bušotine tijekom njezine eksploatacije.



**Slika 9.65 - a) Dvostruka U cijev s utegom; b) Poprečni presjek bušotine s izmjenjivačem topline i ispunom**

Nakon polaganja izmjenjivača, slijedi cementiranje bušotine. Nakon polaganja toplinske i temperaturne sonde, bušotina se zapunjava specijalnom smjesom bentonita i cementa dobre toplinske vodljivosti ( $\lambda \approx 2,0 \text{ W}/(\text{m K})$ ).

Cementiranje bušotine provodi se pomoću pete cijevi, promjera 32 mm, koja se uvlači između cijevi toplinske sonde. Tijekom cementiranja peta se cijev postupno izvlači van (slika 9.66) .



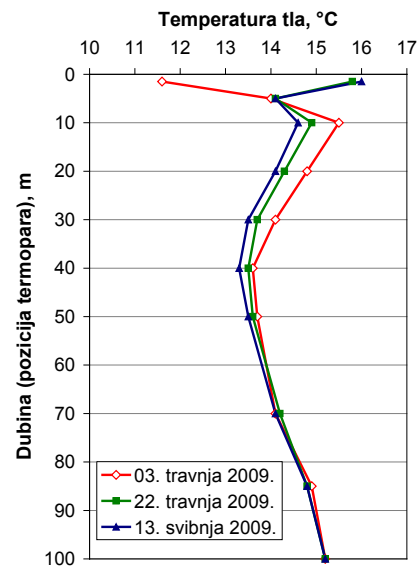
**Slika 9.66 - a) Cementiranje bušotine; b) Završetak cementiranja**

Spajanje polazne i povratne cijevi dizalice topline s cijevima dvostruke U sonde izvodi se korištenjem prelaznih elektrotopornih PE-HD spojnice i "Y" fazonskih komada. Koristeći tlo kao toplinski spremnik dizalica topline (slika 9.67) ima mogućnost rada u režimu hlađenja i režimu grijanja.



Slika 9.67 - Dizalica topline voda-zrak s mjernom opremom

Sljedeća slika (slika 9.68) prikazuje temperaturni profil temperature tla po visini bušotine, nakon toplinske stabilizacije bušotine. Na dubini 1,5 i 5 metara primjetan je utjecaj okolišnje temperature na temperaturu tla. Od 10 do 50 metara temperatura tla pada, da bi nakon 50 metara dubine, temperatura rasla sve do 100 m. Izmjerena temperatura tla na dubini 50 m iznosi 13,5°C. Temperatura tla na dubini 100 m je 15,2°C.

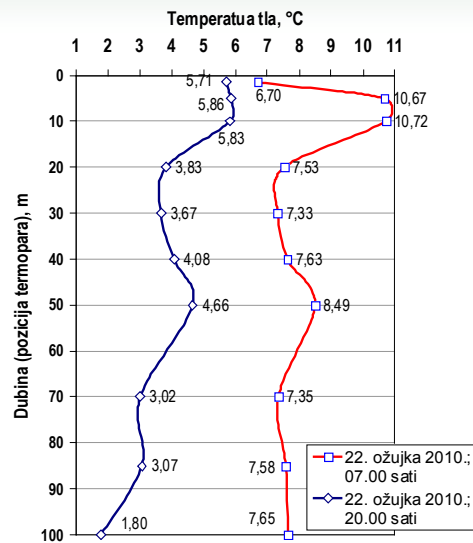


Slika 9.68 - Temperatura tla po visini bušotine

Nakon potpune temperaturne stabilizacije tla, a prije početka eksploatacije sustava, proveden je višednevni test s narinutim konstantnim toplinskim tokom, tzv. test toplinskog odziva (*engl. thermal response test*). Prema rezultatima mjerenja proračunata je prosječna vrijednost toplinske vodljivosti tla duž bušotine dubine 100 m na lokaciji FSB, Ivana Lučića 5, u iznosu od  $\lambda = 1,70 \text{ W/(m K)}$ , dok je toplinski otpor bušotine  $R_b = 0,073 \text{ (K m)/W}$

Na sljedećoj slici (slika 9.69) prikazan je primjer rezultata mjerenja temperature tla po visini bušotine za vrijeme eksploatacije bušotine i rada dizalice topline. Rezultati su dani za jedan karakterističan dan (22. ožujka 2010.), s uključivanjem uređaja u 07.00 sati i isključivanjem uređaja u 20.00 sati iz rada. Rezultati pokazuju da se promjena sastava tla, a time i njegove toplinske vodljivosti uzduž bušotine, odražava kroz nejednoliku promjenu temperature tla po visini bušotine. Najviše temperature tla u radu sustava javljaju se na dubini od 10 i 50 m, što ukazuje na prisutnost podzemnih tokova vode na navedenim dubinama.





**Slika 9.69 - Razdioba temperature tla uzduž bušotine pri uključivanju uređaja u rad u 07.00 sati, te na kraju dana u 20.00**

Mirovanjem sustava tijekom noći tlo se oporavlja, odnosno raste mu temperatura, što za posljedicu ima najveću vrijednost učinka izmjenjivača u tlu, ali i toplinskog množitelja kod uključivanja uređaja u rad u 07.00 sati. Učinak bušotinskog izmjenjivača topline kod pokretanja uređaja iznosi 6,1 kW, dok je toplinski množitelj 4,45 (tablica 9.19). Tijekom eksploatacije sustava zemlja se pothlađuje, pa učinak izmjenjivača pada. Na kraju dana u 20.00 sati, kada regulacija sustava isključuje uređaj iz rada, učinak izmjenjivača u tlu iznosi 4,66 kW, a toplinski množitelj 3,86. Isključenjem uređaja iz rada dolazi do oporavka bušotine, pri čemu iz sata u sat raste temperatura tla duž bušotine.

**Tablica 9.19 - Parametri dizalice topline za karakterističan dan, 22. ožujka 2010.**

Mjerene veličine	Vrijednost parametra	
	07.00 sati	20.00 sati
Temp. glikolne smjese – POLAZ, °C	3,59	-1,80
Temp. glikolne smjese – POVRAT, °C	7,79	1,46
Temperatura grijanog prostora, °C	19,70	22,42
Temperatura okoline, °C	12,48	11,27
<b>Učinak izmjenjivača u tlu, kW</b>	<b>6,10</b>	<b>4,66</b>
El. snaga kompresora, kW	1,77	1,63
Učinak kondenzatora, kW	7,87	6,29
<b>Toplinski množitelj, -</b>	<b>4,45</b>	<b>3,86</b>

### 9.9.3. Ekonomski pokazatelji primjene dizalica topline

Dizalice topline smatraju se visokoučinkovitim sustavima za dobivanje toplinske energije. Primjenjuju se u svim veličinama, od onih najmanjih za grijanje stanova, pa sve do toplinskih sustava čitavih naselja. Prepreku u njihovoj primjeni predstavljaju veći investicijski troškovi (primjer korištenja tla u vertikalnoj izvedbi izmjenjivača), u odnosu na konvencionalne sustave grijanja. Troškovi pogona koji su npr. znatno manji u odnosu na uljne kotlove, najviše ovise o cijeni električne energije, dok troškovi ulaganja ovise o primijenjenom toplinskom izvoru i učinku dizalice topline.

Toplinski učinak dizalica topline koje se koriste u kućanstvima kreće se od 3 do 18 kW, pri čemu pogonska snaga kompresora iznosi od 1 do 6 kW. Isplativost njihovog korištenja ponajviše ovisi o investicijskim troškovima i odnosu cijena električne energije

i ostalih energenata poput plina i ulja. Nedostatak u njihovom radu je ovisnost o promjenljivoj temperaturi toplinskog izvora (npr. zraka), koja znatno utječe na učinak i efikasnost sustava. Približno dvostruko je niži toplinski učinak dizalice topline sa zrakom kao toplinskim izvorom kod vanjske temperature zraka 10°C, od učinka dizalice topline kad je zrak temperature -10°C.

#### Primjer proračuna ekonomske analize različitih sustava grijanja stambene zgrade, A= 400 m<sup>2</sup>

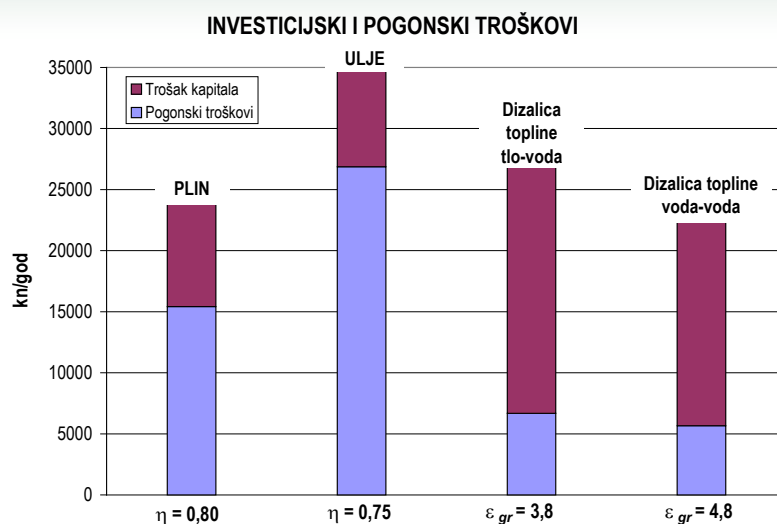
Analiza ekonomske isplativosti različitih izvora toplinske energije provedena je na primjeru manje stambene zgrade grijane površine 400 m<sup>2</sup>, učinka grijanja 18 kW. Procijenjena specifična godišnja potrebna toplinska energija za grijanje je 80 kWh/(m<sup>2</sup> god), što znači da je godišnja potrebna toplinska energija za grijanje zgrade 32.000 kWh/god (tablica 9.20). Na temelju maloprodajne cijene termotehničke opreme i cijene izvedbe pojedinih termotehničkih sustava za grijanje, procijenjeni su investicijski troškovi različitih sustava grijanja.

Godišnji stupanj djelovanja plinskog bojlera uzet je 0,80, dok je godišnji stupanj djelovanja uljnog kotla procijenjen na 0,75. Za sustave s dizalicom topline tlo-voda (vertikalna izvedba izmjenjivača) i voda-voda s crnim i ponornim bunarima pretpostavljen je niskotemperaturni površinski sustav grijanja, a dijelom ventilokonvektorski sustav grijanja s temperaturnim režimom 40/35 °C. Godišnji faktor grijanja dizalice topline tlo-voda iznosi 3,8, dok je godišnji faktor grijanja dizalice topline voda-voda 4,8. Plinski i uljni sustav pretpostavljaju centralno radijatorsko grijanje, te dio podnog grijanja.

Slika 9.70 pokazuje da su pogonski troškovi sustava grijanja stambene zgrade s dizalicom topline u odnosu na konvencionalne sustave grijanja (prirodni plin i loživo ulje) približno dvostruko do trostruko manji za današnju cijenu energenata. S druge strane investicijski troškovi za sustave dizalica topline povezanih s tlom, značajno su veći u odnosu na konvencionalne sustave grijanja. Ti su troškovi dvostruko ili više veći u odnosu na sustave grijanja koji koriste plin ili loživo ulje kao energent. Vrijeme povrata investicije za dizalice topline s vodom iznosi približno 13 godina, dok je vrijeme povrata ulaganja u bušotinske izmjenjivače topline veći od 15 godina. Ako se u analizu uvrsti i sustav hlađenja, vrijeme povrata ulaganja za primjenu dizalice topline iznosi od 9 do 12 godina. U analizu nije uključena priprema i potrošnja PTV-a.

**Tablica 9.20 - Cijena toplinske energije iz različitih izvora energije stambene zgrade 400 m<sup>2</sup>,  
Q<sub>H,nd</sub> = 32.000 kWh/god, Q<sub>H,nd</sub>'' = 80 kWh/(m<sup>2</sup> god), Φ<sub>gr</sub> = 18 kW**

	Plin	Ulje	Dizalica topline tlo-voda	Dizalica topline voda-voda
<b>ENERGETSKA ANALIZA</b>				
Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje, kWh	32.000	32.000	32.000	32.000
Stupanj djelovanja/faktor grijanja	0,8	0,75	3,8	4,8
Efektivna potreba za energijom, kWh	40.000	42.667	8.421	6.667
Emisija CO <sub>2</sub>	8.000	11.093	4.463	3.533
Utrošak energenta	3440 m <sup>3</sup>	3190 lit	8.421 kWh el.en.	6.667 kWh el.en.
<b>EKONOMSKA ANALIZA</b>				
Investicija, kn	80.000,00	72.000,00	200.000,00	165.000,00
Faktor anuiteta	0,100	0,100	0,100	0,100
Trošak kapitala, kn/god.	7.970,00	7.173,00	19.925,00	16.438,00
Cijena energenta, kn/jed mjeri	2,87	4,74	0,64/0,32	0,64/0,32
Cijena energenta, kn/kWh	0,386	0,63	0,64/0,32	0,64/0,32
Pogonski troškovi, kn/god.	15.420,00	26.877,00	6.678,00	5.667,00
Održavanje, kn/god.	1.500,00	2.000,00	1.000,00	1.500,00
Troškovi kapitala i pogona, kn/god.	24.890,00	36.050,00	27.603,00	23.605,00
<b>Troškovi kroz 15 godina, kn</b>	<b>373.353,00</b>	<b>540.745,00</b>	<b>414.040,00</b>	<b>354.078,00</b>



**Slika 9.70 - Investicijski i pogonski troškovi različitih izvora toplinske energije za grijanje stambene zgrade 400 m<sup>2</sup>,  $Q_{H,nd} = 32.000$  kWh/god.,  $Q_{H,nd}'' = 80$  kWh/(m<sup>2</sup> god.),  $\Phi_{gr} = 18$  kW**

## 9.10. Umjesto zaključka

Optimalno dimenzioniranje i odabir rashladnih uređaja, regulacija rada i vođenja rashladnog procesa, te redoviti servis i održavanje doprinose dužem vijeku trajanja rashladnih uređaja, većoj energetskoj učinkovitosti i višem stupnju zaštite okoliša.

U nastavku slijede mjere za održivi rad i učinkovitost rashladnih i klima uređaja:

- Ugradnja rashladnih i klima uređaja energetskog razreda A ili A+
- Smještaj kondenzacijske jedinice rashladnog uređaja zaštićene od direktnog Sunčevog zračenja, uz dobru cirkulaciju okolišnjeg zraka
- Redovito održavanje rashladnih i klima uređaja te dizalica topline. Jednom godišnje kemijski ili mehanički čistiti prašinu, lišće i ostale nečistoće s orebrenih površina kondenzatora. Također, isparivačke sekcije redovito čistiti i provjeravati ispravnost sustava za odleđivanje isparivača. Nečistoće na orebrenim sekcijama kondenzatora, te led na orebrenim sekcijama isparivača značajno smanjuju koeficijent prolaza topline izmjenjivača, uslijed čega dolazi do smanjenja rashladnog učinka, povećanja kompresijskog omjera, a time i povećanja potrošnje energije za pogon kompresora. Povećanje temperature kondenzacije za 1°C, znači približno 3% veću potrošnju električne energije za pogon kompresora.
- Izolacija usisnih cjevovoda rashladnih i klima uređaja kako bi se spriječila kondenzacija vodene pare. Izolacija isparivača posrednih sustava hlađenja toplinskom izolacijom s parnom branom debljine 13 ili 19 mm.
- Primjena stupnjevane regulacije rada rashladnog uređaja upravljane frekvencijskim pretvaračem ili s više kompresora u paralelnom radu, ima znatno bolju učinkovitost u odnosu na intermitirajuću regulaciju. Primjenom ove regulacije temperaturna razlika između temperatura hlađenja i temperature isparivanja se sa smanjenim opterećenja smanjuje što ima za posljedicu manji kompresijski omjer, a time i manju potrošnju energije za pogon kompresora.
- Optimalno dimenzioniranje učinka rashladnih uređaja (dizalica topline). Predimenzionirani uređaju u kombinaciji s intermitirajućom regulacijom doprinose značajnom povećanju potrošnje električne energije za pogon rashladnih i klima uređaja, te veliki broj ciklusa uključivanja i isključivanja kompresora.
- Rashladne i klima uređaja kod kojih je došlo do propuštanja radne tvari, prvo servisirati, ispitati na propusnost, a tek tada napuniti s radnom tvari. Manjak radne tvari u rashladnom uređaju ima za posljedicu smanjenje rashladnog (ogrjevnog) učinka i povećanu potrošnju energije. Često dopunjavanje sustava povećava potrošnju novih količina radne tvari, te time doprinosi onečišćenju okoliša stakleničkim plinovima.
- Redovito održavanje rashladnih tornjeva. Zamjena punila rashladnog tornja te kemijska priprema vode za rashladni toranj: dodavanje stabilizatora tvrdoće s ciljem sprječavanja taloženja  $\text{CaCO}_3$ , dodavanje inhibitora korozije, sprječavanje razvoja mikroorganizama i algi dodavanjem klora i mikrobiocida, tehnološkim postupcima održavati karbonatnu tvrdoću vode u granicama  $K_d=0,5-3$  °nj, uklanjanje mehaničkih nečistoća. Kondenzatori hlađeni optočnom vodom s rashladnog tornja za približno 15% smanjuju potrošnju električne energije za pogon kompresora u odnosu na rashladne agregate hlađene zrakom. Ako rashladni toranj nije dobro održavan, navedena energetska ušteda iščezava, a dolazi do povećane potrošnje vode.
- Ostale radnje: ispravno dimenzioniranje komponenti sustava te odabira opreme, ugradnja uređaja s parcijalnom ili potpunom rekuperacijom topline kondenzacije, primjena elektroničkih ekspanzijskih ventila, namještanje pregrijanja radne tvari na termoekspanzijskom ventilu, provjera propusnosti radne tvari iz rashladnih i klima uređaja, provjera radnih tlakova isparivanja i kondenzacije radne tvari, kontrola kvalitete i razine ulja u kompresoru, praćenje potrošnje energija za pogon sustava.

## Reference

- [9.1] M. Andrassy, *Stapni kompresori*, FSB, Zagreb, 2004.
- [9.2] ASHRAE Handbook, *Refrigeration*, Atlanta, 2006.
- [9.3] T. Ćurko, Radni udžbenik: *Hlađenje i dizalice topline*, FSB, Zagreb, 2008.
- [9.4] E. Granryd, *Introduction to refrigerating engineering*, Part I, Royal Institute of Technology, Stockholm, 2005.
- [9.5] E. Granryd, *Introduction to refrigerating engineering*, Part II, Royal Institute of Technology, Stockholm, 2005.
- [9.6] V. Soldo, *Teorijska i eksperimentalna analiza dizalice topline sa solarnim kolektorima*, Doktorski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2004.
- [9.7] V. Soldo, V. Zanki, M. Grozdek, T. Ćurko, *Svojstva zamjenskih radnih tvari*, 18. međunarodni simpozij o grijanju, hlađenju i klimatizaciji – Interklima 2005., Zbornik radova, str. 109-119, Zagreb, 2005.
- [9.8] V. Soldo, T. Ćurko, M. Grozdek: *Konvencionalno grijanje ili grijanje dizalicom topline*, Interklima 2009., Zbornik radova, str. 51-58, Zagreb, 2009.
- [9.9] V. Soldo, M. Ruševljan, T. Ćurko: *Ispitna dizalica topline sa sondom dubine 100 metara*, Klima forum Zadar, 2009.
- [9.10] J. Spitler, J. Cullin: *Misconceptions regarding design of ground-source heat pump systems*, Proceedings of the World Renewable Energy Congress, Glasgow, 2008.
- [9.11] W. F. Stoecker, *Industrial Refrigeration Handbook*, McGraw-Hill Professional, 1998.
- [9.12] A.R.Trott, T.C. Welch, *Refrigeration & Air-Conditioning*, Butterworth-Heinemann, 2000.
- [9.13] S.K. Wang, *Handbook of air conditioning and refrigeration*, McGraw-Hill, 2000.
- [9.14] D. Žilić, E. Winandy, G. Hundy: *Primjena scroll-kompresora s modulacijom rashladnog učinka u tehnici hlađenja*, Klima forum Zadar, 2009.
- [9.15] Hrvatska norma HRN EN 14511: *Klimatizacijski uređaji, rashladnici kapljevina i dizalice topline s kompresorima na električni pogon za grijanje i hlađenje prostora*
- [9.16] VDI Richtlinien, *Ground source heat pump systems*, VDI 4640, Part 2, Berlin, 2001.
- [9.17] Tehnička dokumentacija: Bitzer, Carrier, Copeland, Daikin, Danfoss, Vaillant, Viessmann





## 10. KOGENERACIJA

### 10.1. Uvod

Postupna transformacija gospodarske aktivnosti razvijenih zemalja prema uslužnim djelatnostima, kao i podizanje razine toplinske ugodnosti stambenih i poslovnih objekata dovela je do značajnog povećanja potrošnje energije u sektoru zgradarstva. U mnogim zemalja ukupna potrošnja različitih oblika energije za grijanje i hlađenje prostora, pripremu potrošne tople vode, rasvjetu i pogon električnih uređaja dostiže 40% ukupnih energetskih potreba, zbog čega je i većina mjera smanjenja potrošnje i efikasnijeg korištenja energije, a između ostalih i primjena kogeneracijskih tehnologija, usmjerena na sektor zgradarstva.

Postojanje istovremenih potreba za toplinskom i električnom energijom u stambenim i poslovnim objektima pretpostavka je primjene kogeneracijskih tehnologija koje omogućavaju uštedu primarne energije, smanjuju negativan utjecaj na okoliš, te povećavaju sigurnost opskrbe energijom. Dugi niz godina kogeneracija značajno doprinosi kompetitivnosti industrijskog sektora. Tradicionalno se u zemljama sjeverne i srednje Europe, pa tako i u Republici Hrvatskoj, kogeneracijske tehnologije primjenjuju u centraliziranim toplinskim sustavima u kojima se korištenjem istog primarnog izvora energije osigurava opskrba toplinskom i električnom energijom stambenih četvrti te objekata javne i uslužne namjene. U novije vrijeme, zahvaljujući širenju plinske distribucijske mreže, kao i usavršavanju tehničkih rješenja stvorene su pretpostavke za implementaciju mikrokogeneracijskih sustava.

Promicanje i razvoj visokoučinkovite kogeneracije toplinske i električne energije, koja se temelji na ekonomski opravdanim potrebama za toplinskom i rashladnom energijom s ciljem štednje primarne energije i smanjenja emisija ugljičnog dioksida, prioritet je Europske unije i predmet Direktive 2004/8/EZ o kogeneraciji koja je transponirana i u hrvatsko zakonodavstvo skupom podzakonskih akata koji uređuju proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije. U cilju uvođenja kogeneracijske tehnologije i njenih prednosti u sektor zgradarstva, Direktiva o kogeneraciji preuzima odredbe Direktive o energetskim svojstvima zgrada koja zahtijeva da se kod projektiranja novih ili značajnije rekonstrukcije starih objekata, mora razmotriti tehnička, ekonomska i ekološka izvodljivost alternativnih energetskih sustava među kojima je i kogeneracija.

Kombiniranjem kogeneracijskih postrojenja s rashladnim uređajima (apsorpcijskim, adsorpcijskim, ali i kompresorskim) dobivaju se tzv. trigeneracijski sustavi koji omogućavaju podmirivanje potreba za rashladnom energijom. Uobičajeno se sa smanjivanjem potreba za toplinskom energijom povećavaju potrebe hlađenja na način koji osigurava približno jednoliku raspodjelu ukupnih energetskih potreba i jamči efikasan pogon postrojenja u većem dijelu godine. Klimatske posebnosti regija u RH u kojima se susreću značajke kontinentalne i mediteranske klime, upućuju na analizu opravdanosti i isplativosti ugradnje pogona ne samo kogeneracijskih, nego i trigeneracijskih sustava u područjima s izraženim potrebama za rashladnom energijom u ljetnim mjesecima.

### 10.2. Definicija i značajke kogeneracije

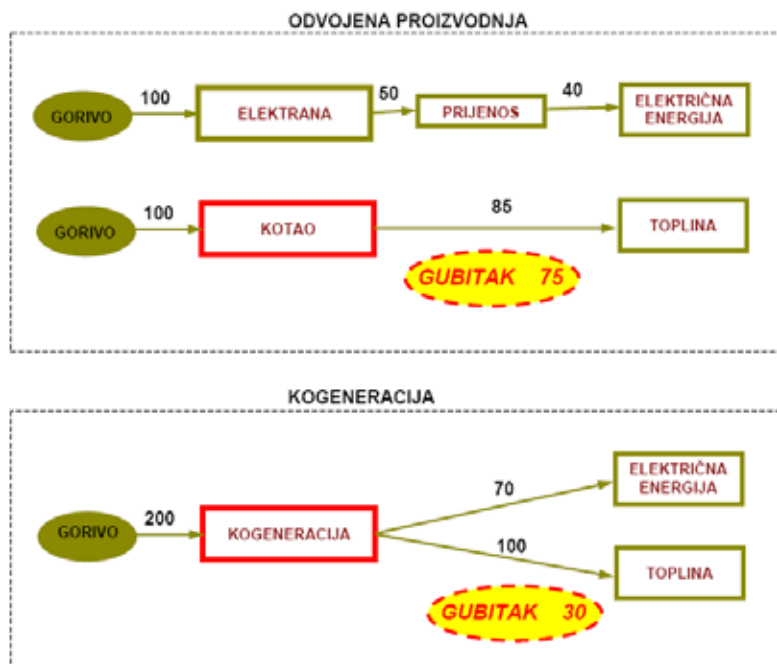
Kogeneracija ili kombinirana proizvodnja električne i toplinske energije (engl. *Combined Heat and Power CHP*, njem. *Kraft Wärme Kopplung – KWK*) predstavlja koncept istovremene proizvodnje električne i korisne toplinske energije. Kogeneracija je primjenjiva svugdje gdje postoje potrebe za električnom, toplinskom i/ili rashladnom energijom. Postrojenja koja omogućavaju proizvodnju tri različita oblika energije – električne, toplinske i rashladne nazivaju se trigeneracijska.

Pored energana u različitim industrijama, kogeneracija je pogodna za sustave daljinskog grijanja, za hotele, bolnice, zračne luke, trgovačke centre, sportske dvorane ili bazene. Veličina kogeneracijskog postrojenja uobičajeno se izražava nazivnim kapacitetom za proizvodnju električne energije i kreće se u rasponu od nekoliko kilowatta do više stotina megawatta. Postrojenja čija snaga ne prelazi 1 MW<sub>e</sub> nazivaju se male kogeneracije, dok se postrojenja snage do 50 kW<sub>e</sub> nazivaju mikrokogeneracije

Prednosti kogeneracijskih sustava, u odnosu na sustave odvojene opskrbe najbolje su ilustrirane usporedbom gubitaka koji nastaju u energetskim pretvorbama. Za istu količinu primarne energije (fosilnog goriva, vodika, biomase, industrijskog ili



poljoprivrednog otpada) kogeneracijsko postrojenje isporučit će i do 40% više električne i toplinske energije nego sustav s odvojenom opskrbom. Ilustracija usporedbe gubitaka energetskih transformacija koji nastaju u odvojenoj i kogeneracijskoj proizvodnji prikazana je slici 10.1. Za istu količinu primarne energije na ilustraciji prikazanoj sa 100 + 100 jedinica goriva u odvojenoj proizvodnji, proizvest će se 40 jedinica električne i 85 jedinica toplinske energije, dok će se u kogeneracijskoj proizvodnji proizvesti 70 jedinica električne i 100 jedinica toplinske energije. Primjenom kogeneracijskog koncepta smanjuju se energetska gubici.



**Slika 10.1 - Usporedba gubitaka energetskih transformacija nastalih u odvojenoj i kogeneracijskoj proizvodnji električne i toplinske energije**

Kogeneracija omogućava:

- učinkovitije korištenje energije goriva u usporedbi s odvojenom proizvodnjom toplinske i električne energije
- smanjenje emisija ugljičnog dioksida
- proizvodnju na mjestu potrošnje, a s time i smanjenje gubitaka prijenosa i distribucije te
- sigurniju i fleksibilniju opskrbu energijom.

Svi kogeneracijski sustavi, ako su odgovarajuće dimenzionirani, u pravilu štede energiju goriva zbog činjenice da su efikasniji od sustava odvojene proizvodnje električne i toplinske energije. Pored efikasnije proizvodnje kogeneracijska postrojenja smanjuju potrošnju primarne energije i zbog činjenice da su najčešće smješteni u blizini krajnjeg potrošača s čime se smanjuju ili u potpunosti izbjegavaju gubici prijenosa i distribucije toplinske i električne energije.

Pored izravnog smanjenja emisija zbog manje potrošnje goriva, kogeneracija omogućava i indirektno smanjenje emisija u koje nastaju u procesima eksploatacije, prerade, transporta i skladištenja goriva iako se ne može uvijek sa sigurnošću tvrditi da će kogeneracija smanjiti ukupne emisije. Krajnji efekt će ponajprije ovisiti o implementiranoj kogeneracijskoj tehnologiji, tehnologiji odvojene proizvodnje s kojom se kogeneracija uspoređuje, kao i gorivima koja se koriste. Pogon velikog broja malih postrojenja disperziranih u prostoru koji zamjenjuje veliku elektranu, ne mora nužno rezultirati poboljšanjem kvalitete zraka. Velike elektrane najčešće su smještene dalje od velikih naselja, te koriste opremu za smanjenje emisija i s pomoću visokih dimnjaka raspršuju zagađenje u više slojeve atmosfere. Nasuprot tome, kogeneracijske jedinice su uobičajeno locirane blizu ili unutar urbanih zona i mogu imati negativan utjecaj na kvalitetu lokalne atmosfere.

Od raspoloživih kogeneracijskih tehnologija motori s unutarnjim izgaranjem imaju najštetniji utjecaj na kvalitetu zraka, ponajprije zbog emisije dušičnih oksida i neizgorenih ugljikovodika. Takvi se tipovi motora najčešće koriste za kogeneracije u

zgradama. Relativno kratke ispušne cijevi, i visoke zgrade u okruženju, onemogućavaju disperziju dimnih plinova što rezultira većoj izloženosti stanovništva zagađenju. Procjena utjecaja kogeneracije na kvalitetu zraka je često složena zbog činjenice da se taj utjecaj mijenja s lokacijom. Npr. utjecaj može biti pozitivan (smanjenje emisija) u usporedbi s proizvodnjom električne energije u termoelektrani koja postoji u regiji, ali i negativan (povećanje emisija) na mjestu gdje je smješteno kogeneracijsko postrojenje.

Na razini nacionalne ekonomije kogeneracija može doprinijeti smanjenju ukupnih troškova za uvoz goriva. Primjena kogeneracijske tehnologije odražava se i na institucije tradicionalno uključene u ponudu i potražnju električne i toplinske energije i može imati značajne socijalne i ekonomske implikacije na različite sektore, ponajprije kroz uvođenje novih poslovnih aktivnosti. Implementacija kogeneracijskih tehnologija koja mogu izgarati različita goriva, otvara nove poslovne mogućnosti za dobavu alternativnih goriva kao što su biomasa ili komunalni otpad. Također investicije u kogeneracijska postrojenja otvaraju prostor za osnivanje tvrtki koje će pružati uslugu ne samo izgradnje nego i pogona i održavanja postrojenja te kroz to potaknuti zapošljavanje.

Problematicu međudjelovanja kogeneracijskih postrojenja i elektroenergetskog sustava moguće je analizirati na nekoliko razina. Ako se kogeneracijsko postrojenje razmatra kao proizvođač električne energije, njegova instalacija i pogon na lokalnoj razini smanjuje potrebu za proizvodnjom u velikim baznim elektranama. Također, proizvodnja električne energije na mjestu potrošnje doprinosi smanjivanju vršnog opterećenja sustava. Prethodno navedeni aspekti impliciraju i promjene u planiranju proširenja elektroenergetskog sustava jer izgradnja kogeneracijskog postrojenja postaje alternativa izgradnji novih velikih blokova. Relativno mali kapaciteti kogeneracijskih postrojenja i kratko vrijeme izgradnje pružaju veću fleksibilnost u planiranju u usporedbi s velikim baznim elektranama. Ovisno o intenzitetu proizvodnje i potrošnje električne energije, kogeneracijska postrojenja se mogu priključivati na visokonaponske prijenosne mreže ili na srednje i niskonaponske distribucijske mreže. Razina povezivanja s elektroenergetskim sustavom uvjetuje i različite tehničke implikacije srodne svim distribuiranim izvorima pa tako i kogeneraciji kao što su otočni pogon, regulacija napona, regulacija djelatne snage i frekvencije, osiguravanje snage pričuve, mjerenja energetske tokova...

### 10.3. Kogeneracijske tehnologije

U glavne elemente kogeneracijskog postrojenja ubrajaju se: pogonski stroj, električni generator, sustav za iskorištavanje otpadne topline i sustav vođenja procesa. Klasifikacija kogeneracijskih tehnologija provodi se uglavnom prema tipu pogonskog stroja kojim se pogoni električni generator. Najčešće se za pogon električnog generatora koriste parne turbine, plinske turbine, kombinirani proces plinske i parne turbine, te motori s unutarnjim izgaranjem. U novije vrijeme na tržište se vraćaju i stari koncepti (kao što su parni stapni stroj ili Stirlingov motor), ali i nove tehnologije koje se nalaze u različitim stadijima komercijalizacije kao što su gorivni članci, mikroturbine ili organski Rankinov ciklus.

U primjeni je najrašireniji koncept kogeneracijskog postrojenja **s parnom turbinom**. Vodena para proizvedena u generatoru pare (parnom kotlu) se nakon ekspanzije u parnoj turbini koristi za grijanje vode u sustavu područnog grijanja i/ili u industrijskom procesu. Načelno se razlikuju postrojenja s protutlačnom parnom turbinom i postrojenja s kondenzacijskom turbinom s reguliranim oduzimanjem. Kod postrojenja protutlačne turbine proizvodnja električne energije ovisi o promjenljivoj potrošnji toplinske energije, te protutlaku pare koji je određen tehnološkim zahtjevima potrošača. Kod postrojenja kondenzacijske turbine s reguliranim oduzimanjem na proizvodnju električne energije, osim promjenjive toplinske potrošnje, utječe i tlak kondenzacije koji ovisi o temperaturi i raspoloživoj količini rashladnog medija (vode ili zraka).



Slika 10.2 –Parna turbina - [10.9]

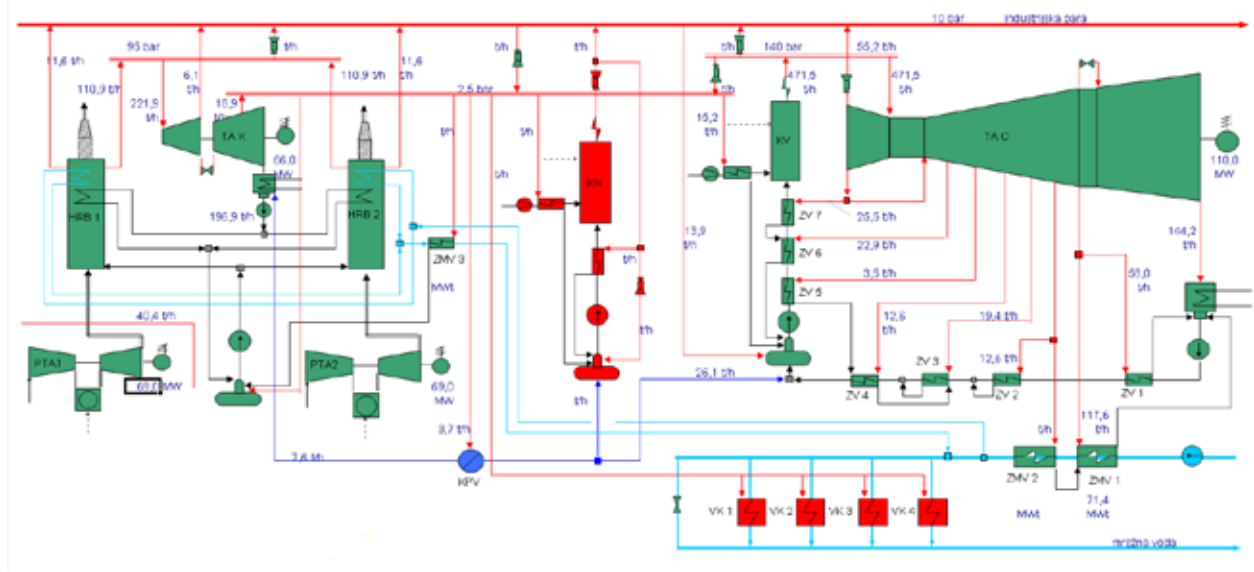


Slika 10.3 –Plinska turbina- [10.10]

Kod kogeneracijskih postrojenja s **plinskom turbinom**, plinska se turbina koristi za proizvodnju električne energije (ili za pogon kompresora i pumpi), a vrući se ispušni plinovi koriste za proizvodnju toplinske energije (tople/vrele vode i/ili procesne pare) u kotlu na otpadnu toplinu.

Na sličnom konceptu temelje se i kogeneracijska postrojenja s **motorom s unutarnjim izgaranjem** u kojima se za proizvodnju toplinske energije koristi kotao na ispušne plinove. Kao dodatni "izvor" toplinske energije koriste se hladnjaci rashladne vode i ulja. Motori su u pravilu inačice automobilskih i brodskih motora u Otto ili Diesel izvedbi koji su konstrukcijski prilagođeni dugotrajnom pogonu (servisni intervali mogu premašiti i 20000 sati pogona). Motori omogućavaju fleksibilan pogon postrojenja, s brzim pokretanjima i obustavama kao i pogon u ritmu potražnje, ne samo za toplinskom nego i za električnom energijom.

U postrojenjima s plinskom turbinom (ali i s motorom s unutarnjim izgaranjem), toplinska energija dimnih plinova može se iskoristiti i za proizvodnju pare u kotlu na ispušne plinove. Ekspanzijom pare u parnoj turbini moguće je proizvesti dodatne količine električne energije. Ovaj koncept, poznat još i kao **kombinirani proces** plinske i parne turbine, omogućava integraciju i nekoliko plinskih turbina (ili motora) i parnih turbina u jednom postrojenju. Shematski prikaz kombiniranog procesa plinskih i parnih turbina u gradskoj termoelektrani-toplani dat je na slici 10.4.



Slika 10.4 – Kogeneracijsko postrojenje s kombiniranim procesom plinske i parne turbine

U proteklom desetljeću intenziviran je razvoj tzv. mikrokogeneracijskih postrojenja s ciljem stvaranja preduvjeta za masovnu proizvodnju i komercijalizaciju. Mikrokogeneracijski moduli temelje se na motorima s unutarnjim izgaranjem, na motorima s vanjskim izgaranjem ili na gorivnim člancima, a namijenjeni su prije svega ugradnji u individualne stambene i poslovne objekte ili kao zamjena ili kao nadogradnja postojećih konvencionalnih sustava grijanja.

Mikrokogeneracijska postrojenja s **motorima s unutarnjim izgaranjem** i s mogućnošću izgaranja različitih vrsta goriva (prirodnog i ukapljenog plina, loživog ulja, bioplina, biodizela, ...) načelno se ne razlikuju od postrojenja većih snaga. Kompaktni moduli prilagođeni su ugradnji u podrumne manjih objekata ili čak u sanitarne ili kuhinjske prostorije. U pravilu omogućavaju pokrivanje većeg dijela toplinskih potreba i djelomično pokrivanje potreba za električnom energijom objekta. Ilustracija nekoliko kompaktnih izvedbi prikazana je na slici 10.5.



Slika 10.5 – Mikrokogeneracijski moduli s motorima s unutarnjim izgaranjem - [10.11]

**Stirlingov motor** je klipni motor s vanjskim izgaranjem u kojem se kao radni medij koristi inertni plin koji naizmjenice struji iz toplog u hladni prostor. Zbog vanjskog grijanja radnog medija Stirlingov motor može koristiti bilo koju vrstu goriva. U pravilu niska električna iskoristivost i relativno visoka ukupna iskoristivost pogoduje ugradnji u sustave koji slijede toplinsko opterećenje lokacije. Ilustracija mikrokogeneracijskih modula sa Stirlingovim motorima koji koriste plinsko i kruto gorivo prikazana je na slici 10.6.



Slika 10.6 – Mikrokogeneracijski moduli sa Stirlingovim motorima - [10.12]

Suvremeni razvoj **parnih motora** usmjeren je na tržišni segment postrojenja malih snaga u kojima je iskoristivost parnih turbina niska. Prostor za povratak parnih motora, ponajprije u industrijske energane, otvorio se povećanjem zanimanja za mala kogeneracijska postrojenja ložena biomasom. Proces s parnim motorom načelno se ne razlikuje od procesa s parnom turbinom. Izgaranjem biomase u parnom kotlu proizvodi se pregrijana para koja se koristi za pogon parnog motora, odnosno električnog generatora. Nakon ekspanzije u motoru para se koristi kao radni medij u sustavu grijanja ili u industrijskom procesu. Osim stapnih u kogeneracijske sustave ugrađuju se i vijčani parni motori koji nisu osjetljivi na fluktuacije kvalitete vodene pare. U glavne odlike parnih motora ubrajaju se pouzdanost, niski troškovi održavanja, te mogućnost prilagodbe promjenjivom toplinskom opterećenju. U segmentu mikrokogeneracijskih postrojenja namijenjenih ugradnji u individualne objekte, razvijen je model električne snage 3 kW koji se temelji na stapnom parnom motoru i linearnom generatoru [10.13].

U porastu je i broj kogeneracijskih postrojenja koja se temelje na tzv. organskom Rankineovom ciklusu (ORC). ORC je varijacija Rankineovog ciklusa u kojem se umjesto vode kao radni medij koristi organski fluid (silikonsko ulje, izopentan, izooktan, amonijak). Zbog relativno niske temperature isparavanja radnog medija ORC je pogodan za iskorištavanje topline na znatno nižim temperaturama. ORC se najviše primjenjuje u geotermalnim postrojenjima za proizvodnju električne energije, te u teškoj industriji gdje se iskorištava otpadna toplina industrijskog procesa. Novije primjene usmjerene su ka korištenju Sunčeve energije i energije biomase. U mikrokogeneracijskom segmentu nude se kompaktni moduli snage 1 kW<sub>e</sub>, predviđeni za zamjenu plinskih bojlera i ugradnju na zidove sanitarnih ili kuhinjskih prostorija u stanovima [10.14].

U kategoriju mikrokogeneracijskih tehnologija djelomično pripadaju i **mikroturbine**, odnosno male plinske turbine projektirane za raspon snaga od 25 do 200 kW. Najčešće se ugrađuju na veće objekte javne ili komercijalne namjene. Toplina ispušnih plinova koristi se osim za grijanje i za "pogon" apsorpcijskih rashladnih uređaja. Kogeneracijski sustavi s mikroplinskim turbinama odlikuju se kompaktnom izvedbom i niskom razinom emisija štetnih tvari. U usporedbi s "velikim" plinskim turbinama i motorima s unutarnjim izgaranjem mikroturbine imaju nižu električnu iskoristivost i specifično viši investicijski trošak.

**Gorivni članci** predstavljaju mikrokogeneracijsku tehnologiju čija se komercijalizacija očekuje u narednom desetljeću. Najveći broj aplikacija razvija se s gorivnim člancima s polimernom membranom (engl. *Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell – PEMFC*) i radnom temperaturom od približno 80°C, te s keramičkim gorivnim člancima (engl. *Solid Oxide Fuel Cell – SOFC*), čija pogonska temperatura premašuje 500°C. Gorivni članci pretvaraju kemijsku energiju vodika i kisika u električnu. Svi tipovi gorivnih članaka temelje se na oksidaciji vodika. Vodik se kao gorivo može dobiti iz različitih izvora (prirodnog plina, propana, metanola, etanola, ugljena, biomase) ili elektrolizom vode (korištenjem električne energije proizvedene po mogućnosti u vjetroelektrani, solarnoj elektrani ili konvencionalnom postrojenju). U usporedbi s mikrokogeneracijskim tehnologijama koje se temelje na motorima s unutarnjim i vanjskim izgaranjem, i koje su najprikladnije za primjenu u postojećim stambenim i poslovnim objektima u kojima je toplinska potrošnja značajno veća od električne, mikrokogeneracije s gorivnim člancima imaju znatno veći omjer električnog i toplinskog kapaciteta. Zbog toga će biti prikladnije za ugradnju u nove i rekonstruirane stambene i poslovne objekte koji će s vremenom postati sve bolje izolirani i u kojima će se prosječna toplinska potrošnja s vremenom smanjiti.

Visoki investicijski troškovi najveća su barijera komercijalizaciji mikrokogeneracijskih modula s gorivnim člancima. Kompaktne izvedbe mikrokogeneracijskih modula s gorivnim člancima prikazane su na slici 10.7.

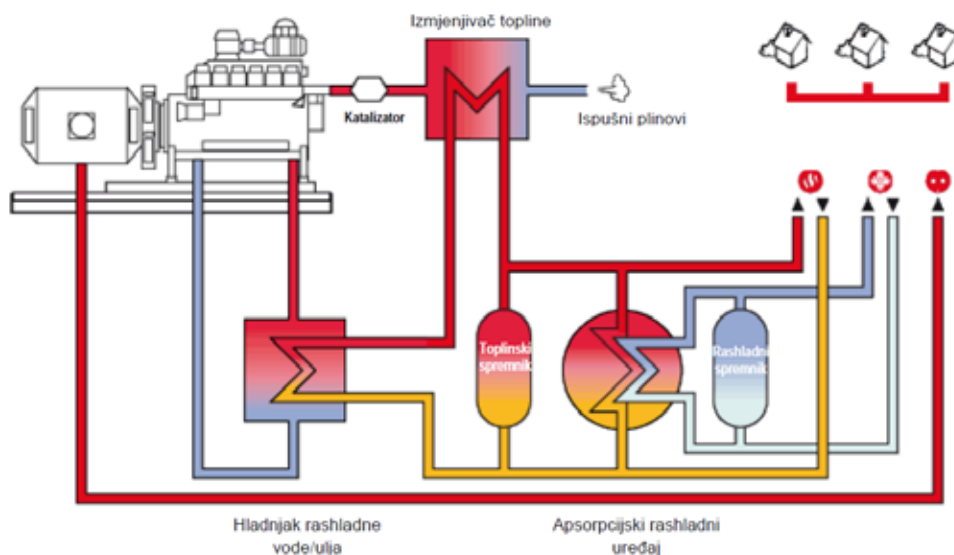


**Slika 10.7 – Mikrokogeneracijski moduli s gorivnim člancima - [10.15]**

**Trigeneracija** predstavlja koncept korištenja kogeneracije u proizvodnji rashladne energije dizalicama topline, najčešće s apsorpcijskim uređajima (radne tvari  $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$  ili  $\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr}$ ), a u novije vrijeme i s adsorpcijskim uređajima (radne tvari zeolit/voda, silikagel/voda). Načelno su dobro razvijeni i komercijalizirani veći sustavi, čiji električni kapacitet premašuje 50 kW, toplinski kapacitet veći je od 150 kW, a rashladni 30 kW. Uobičajeno se trigeneracijski sustavi upotpunjavaju s vrelovodnim kotlovima i kompresijskim rashladnim uređajima koji se koriste kao pomoćne jedinice za pokrivanje vršnih i minimalnih toplinskih i rashladnih opterećenja lokacije.

Shematski prikaz trigeneracijskog postrojenja s motorom s unutarnjim izgaranjem i apsorpcijskim rashladnim uređajem, te spremnicima toplinske i rashladne energije prikazana je na slici 10.8. Motor s unutarnjim izgaranjem „proizvodi“ dva oblika otpadne topline – vruću vodu zagrijanu u rashladnom sustavu motora te vruće ispušne plinove. Oba oblika mogu se iskoristiti za grijanje vode u sustavu grijanja, grijanje potrošne tople vode kao i za proizvodnju rashladne vode u apsorpcijskim hladnjacima.

Ulaganje u projekt trigeneracijskog postrojenja uvijek se, u kontekstu isplativosti uspoređuje s drugim projektima, kogeneracijskog ili konvencionalnog energetskeg sustava. Integracija apsorpcijskog hladnjaka u trigeneracijsko postrojenje ne mora nužno rezultirati i konfiguracijom čiji će pogon biti ekonomski povoljniji od pogona konfiguracije s konvencionalnim kompresorskim rashladnim uređajem jer u usporedbi s konvencionalnim dizalicama topline, apsorpcijski hladnjaci imaju značajno niži faktor hlađenja. Za isplativost trigeneracijskog postrojenja neophodno je postojanje jeftine (otpadne) topline.



Slika 10.8 – Shematski prikaz trigeneracijskog postrojenja - [10.14]

## 10.4. Značajke kogeneracijskih postrojenja

Za izbor najbolje konfiguracije kogeneracijskog postrojenja s aspekta primjene, potrebno je provesti multikriterijsku tehničku analizu koja će obuhvatiti različite parametre: iskoristivost, pouzdanost i raspoloživost, kvalitetu isporučene električne i toplinske energije, fleksibilnost s obzirom na korištenje različitih vrsta goriva, efikasnost pogona na nižim opterećenjima, složenost i cijenu održavanja ...

Ukupna ili kogeneracijska iskoristivost je parametar koji određuje koliko korisne energije se proizvodi iz određene količine goriva. Vrijednost ukupne iskoristivosti ne daje jasnu sliku o udjelima električne i toplinske energije. Stoga se iskoristivost kogeneracijskog sustava uvijek razdvaja na električnu i ukupnu.

Pouzdanost sustava je jedan od glavnih zahtjeva u projektiranju i u rangu je s troškovima investicije i iskoristivosti sustava. Kod određivanja pouzdanosti, težište se stavlja na najmanje pouzdanu komponentu sustava. Pouzdanost se može definirati kao vjerojatnost kojom će oprema odraditi svoju zadaću u specficiranom vremenskom intervalu. Uobičajena definicija predstavlja omjer stvarnog i planiranog vremena godišnjeg pogona postrojenja.

Prekidi i varijacije proizvodnje distribuiranih izvora u širem smislu pa tako i kogeneracijskih postrojenja, mogu prouzročiti probleme u elektroenergetskom sustavu i utjecati na napon i frekvenciju kao najvažnije parametre kvalitete električne energije. Zbog toga se posebna pažnja posvećuje raspoloživosti postrojenja te osiguravanju kontinuirane proizvodnje električne energije, naročito kod velikih industrijskih kogeneracija kao i kod termoelektrana-toplana koje isporučuju značajnije količine električne energije u mrežu.

Mogući razlog investiranja u kogeneracijsko postrojenje može biti i osiguranje kontinuirane i pouzdane opskrbe električnom energijom u uvjetima nepouzdanosti isporuke energije od strane elektroenergetskog sustava. Za takva kogeneracijska postrojenja potrebno je osigurati pogon neovisan od mreže

Ovisno o sustavu i korisnicima zahtjevi za toplinskom energijom mijenjaju se s obzirom na tlak i temperaturu, kao i s obzirom na izbor kogeneracijskog sustava.

Zbog radikalnih promjena u raspoloživosti, cijenama, porezima i ekološkim restrikcijama, fleksibilnost u korištenju goriva postaje jedan od ključnih parametara pri izboru kogeneracijske tehnologije i često se veća postrojenja na biomasu ili prirodni plin projektiraju i za korištenje pričuvnih goriva kao što su laka ili teška loživa ulja.

U razdoblju eksploatacije kogeneracijskog postrojenja moguća su i vjerojatna duža razdoblja pogona na nižim opterećenjima. Prilikom projektiranja sustava, potrebno je izabrati opremu koja će osigurati efikasan pogon postrojenja i na nižim opterećenjima. Uobičajeno su motori s unutarnjim izgaranjem bolji izbor od sustava s plinskom i parnom turbinom s obzirom na iskoristivost pogona na nižem opterećenju.

Razina automatizacije i nadzora povezana je izravno s brojem operatera te s ekonomičnošću pogona, raspoloživosti kao i utjecajem pogona postrojenja na okoliš. Automatski nadzor glavnih pogonskih parametara vibracija, emisija, kemijske analize s regulacijom relevantnih varijabli, predstavlja važan aspekt maksimalnog iskorištavanja postrojenja.

Za ilustraciju kapaciteta i pogonskih značajki kogeneracijskih postrojenja uobičajeno se koristi omjer električne i toplinske snage ( $P_{el}/Q_t$ ), u kojem u brojniku  $P_{el}$  označava snagu na pragu kogeneracijskog postrojenja (snagu na stezaljkama električnog generatora umanjena za snagu pomoćnih uređaja – pumpi, ventilatora, ...), a  $Q_t$  toplinsku snagu postrojenja. Omjer električne i toplinske snage značajno utječe na ekonomičnost pogona kogeneracijskog postrojenja koji se uobičajeno vodi u ritmu potražnje za toplinskom energijom. Postrojenje s višim  $P_{el}/Q_t$  omjerom proizvesti će više električne energije i omogućiti dodatno smanjenje troškova nabavke i/ili povećanje prihoda od prodaje električne energije. Referentni P/Q omjeri za kogeneracijska postrojenja koja koriste fosilna goriva iznose:

- 0,45 za postrojenje s kondenzacijskom turbinom i reguliranim oduzimanjima
- 0,45 za postrojenje s protutlačnom turbinom
- 0,55 za postrojenja s plinskom turbinom i kotlom na otpadnu toplinu
- 0,75 za postrojenja s motorom s unutarnjim izgaranjem
- 0,95 za kombinirani proces plinske i parne turbine.

Najvažnije tehničke značajke kogeneracijskih tehnologija prikazane su u tablici 10.1.

**Tablica 10.1 – Pregled tehničkih značajki odabranih kogeneracijskih tehnologija**

	$P_{el}$	$\eta_{uk}$	$\eta_{el}$	$P_{el}/Q_t$	Goriva
Parne turbine	5 MW – 250 MW	90 %	15 – 25 %	0,1 – 0,4	ugljen, mazut, otpad, biomasa
Plinske turbine	50 kW – 250 MW	85 %	25 – 30 %	0,3 – 0,6	plin, loživo ulje
Kombinirani proces	20 MW – > 300 MW	90 %	30 – 45 %	0,4 – 1,0	plin,
Otto motori	1 kW – 5 MW	90 %	25 – 42 %	0,4 – 1,1	plin, bioplin
Diesel motori	5 kW – 20 MW	90 %	28 – 44 %	0,5 – 1,1	loživo ulje, biljno ulje
Stirlingov motor	1 kW – 40 kW	85 %	10 – 30 %	0,1 – 0,4	plin, peleti
Gorivni članci	1 kW – 250 kW	90 %	30 – 47 %	0,3 – 0,7	plin

## 10.5. Dimenzioniranje kogeneracijskog postrojenja

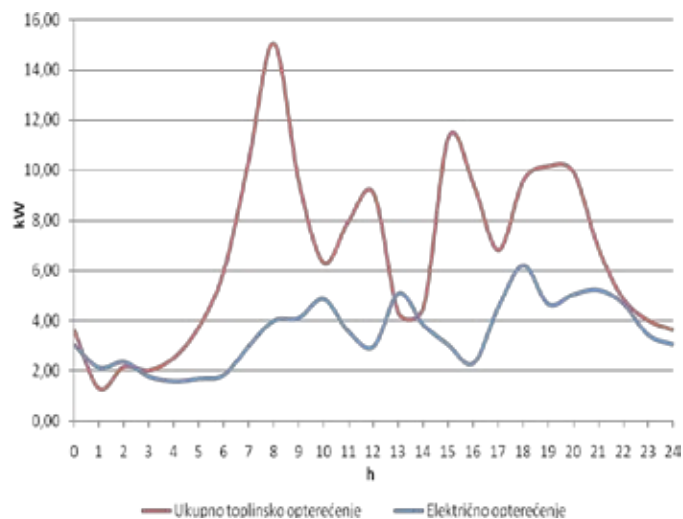
Polazište za dimenzioniranje kogeneracijskog postrojenja predstavljaju podaci o toplinskim i eventualno rashladnim potrebama lokacije. Kvaliteta i rezolucija podataka o toplinskom opterećenju ovisit će o raspoloživoj metodologiji prikupljanja ili proračuna. Pored podataka dobivenih mjerenjem ili analizom računa o potrošnji energije, za procjenu toplinskih potreba mogu se koristiti i rezultati proračuna, odnosno rezultati simulacijske analize.



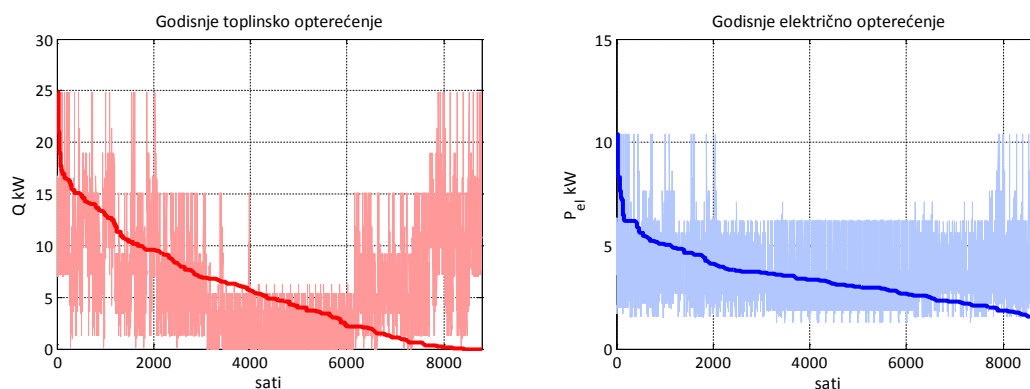
U SR Njemačkoj postoji i posebna norma (VDI 4655) koja definira referentne profile potrošnje toplinske i električne energije u jedno i višestambenim objektima. Normom je obuhvaćeno 10 karakterističnih dana (zimski, ljetni, proljetni/jesenski, radni ili neradni, oblačan ili vedar) i 15 klimatskih zona. Referentni profili koriste se za ocjenu mogućnosti uklapanja različitih mikrokogeneracijskih sustava u sustave opskrbe energijom stambenih objekta.

Za ilustraciju dnevnog profila toplinskog i električnog opterećenja odabran je višestambeni objekt grijane površine 600 m<sup>2</sup> svrstan u energetska razred C. Razmatrani profili za prosječan oblačan proljetni radni dan i klimatsku zonu koja približno odgovara klimatskim uvjetima u središnjoj Hrvatskoj, prikazani su na slici 10.9. Prikazano ukupno toplinsko opterećenje obuhvaća toplinske potrebe grijanja prostora i pripreme potrošne tople vode. Razvidno je da se najviše vrijednosti električnog i toplinskog opterećenja ne postižu istovremeno što dodatno usložnjava problem izbora optimalne veličine i konfiguracije kogeneracijskog postrojenja.

Ilustracija godišnjeg profila toplinskog i električnog opterećenja razmatranog objekta, dobivena kombiniranjem dnevnih referentnih profila karakterističnih za odabranu klimatsku zonu, prikazana je na slici 10.10. Deblje linije predstavljaju tzv. krivulje trajanja opterećenja, dobivene sortiranjem satnih vrijednosti opterećenja.



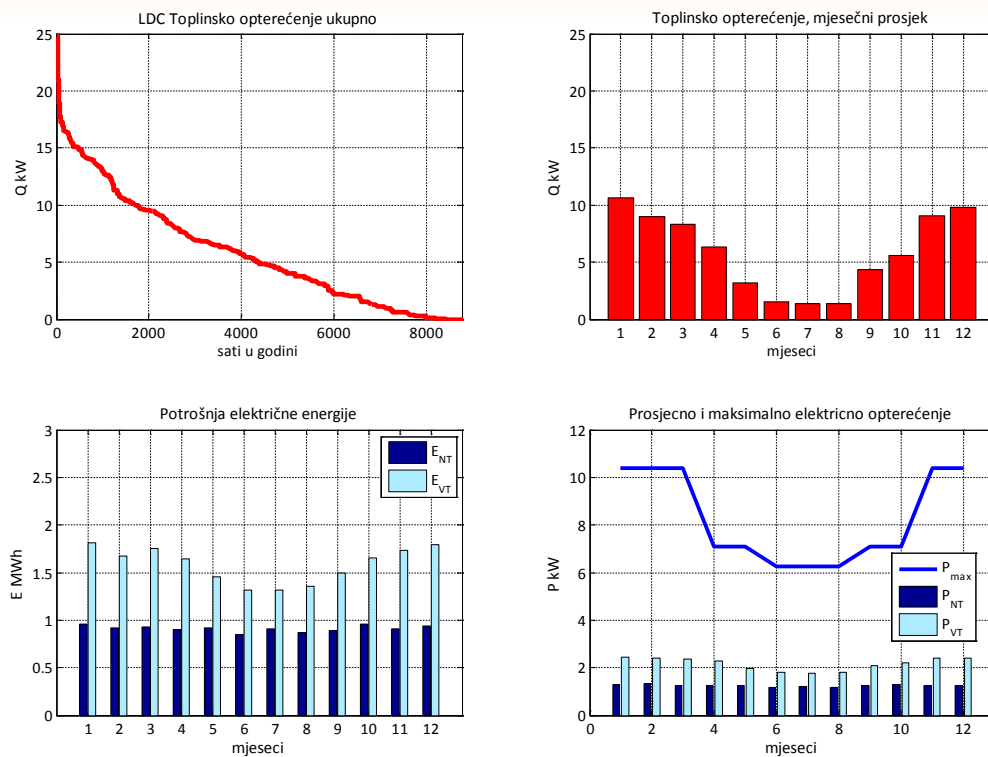
Slika 10.9 – Dnevni profili toplinskog i električnog opterećenja višestambenog objekta



Slika 10.10 – Godišnji profili toplinskog i električnog opterećenja višestambenog objekta

U okvirima preliminarne analize razmatraju se različite veličine i konfiguracije kogeneracijskih postrojenja pri čemu se mijenjaju glavni tehnički parametri u rasponu vrijednosti koji približno odgovaraju parametrima odgovarajućih tehnologija.

Sumarni prikaz podataka koji ilustriraju energetske potrebe lokacije, i koji su relevantni ne samo za dimenzioniranje, nego i tehničku i ekonomsku procjenu učinaka pogona kogeneracijskog postrojenja, dat je na slici 10.11.



**Slika 10.11 –Toplinsko i električno opterećenje višestambenog objekta, krivulje trajanja i mjesečni prosjeci**

Krivulja trajanja toplinskog opterećenja prikazana u gornjem lijevom koordinatnom sustavu slike 10.11 koristi se za određivanje veličine kogeneracijskog postrojenja i omogućava procjenu očekivanog broja sati pogona na nazivnoj snazi. Podaci o prosječnom mjesečnom toplinskom opterećenju prikazani su u gornjem desnom koordinatnom sustavu. Mjesečni podaci o utrošenoj električnoj energiji u višoj i nižoj tarifnoj stavci prikazani su u donjem lijevom koordinatnom sustavu, dok su podaci o prosječno angažiranoj i maksimalnoj električnoj snazi prikazani u donjem desnom koordinatnom sustavu. Podaci se mogu iskoristiti za procjenu raspoloživih viškova i manjkova električne energije u razdobljima više i niže tarife.

U traženju tehnički i ekonomski optimalnog rješenja, razmatraju se različite konfiguracije kao i pogonski scenariji koji investitoru u kogeneracijsko postrojenje mogu osigurati maksimalan prihod, u specifičnim uvjetima, određenim važećim zakonodavnim i tržišnim okvirom. Izbor veličine kogeneracijskog postrojenja koje će proizvoditi električnu energiju u ritmu potražnje za toplinskom energijom, često dovodi potencijalnog investitora u dilemu zbog sljedećih razloga:

- *veliko postrojenje* koje pokriva približno svu zimsku toplinsku potrošnju može biti slabije iskorišteno u većem dijelu godine, a ljeti, u uvjetima smanjene toplinske potrošnje, može se dogoditi i obustava zbog ograničenja koja nameće pogon na niskim opterećenjima i
- *malo postrojenje* koje će pokrivati baznu toplinsku potrošnju, osigurat će kontinuiran pogon u većem dijelu godine, ali i uz manju proizvodnju električne energije i specifično više investicijske troškove.

Kod izbora kogeneracijskog postrojenja mogu se slijediti i različite preporuke poput pokrivanja 50 – 70% vršne zimske toplinske potrošnje (što bi u ilustriranom primjeru značilo nazivnu toplinsku snagu između 12,5 i 17,5 kW) ili pak osiguravanja pogona od najmanje 5.000 sati na nazivnoj snazi (što bi u ilustriranom primjeru bio kapacitet od svega 4 kW).

Postrojenja manjeg kapaciteta veći su dio vremena u pogonu na nominalnoj snazi i omogućavaju bolje iskorištavanje energije goriva, ali i proizvode manje količine električne energije te samo u manjoj mjeri doprinose snižavanju troškova proizvodnje toplinske energije. Kod izbora kogeneracijskog postrojenja manjeg kapaciteta, potrebno je osigurati veći kapacitet postrojenja za pokrivanje vršnog toplinskog opterećenja što može dodatno smanjiti profitabilnost konfiguracije.

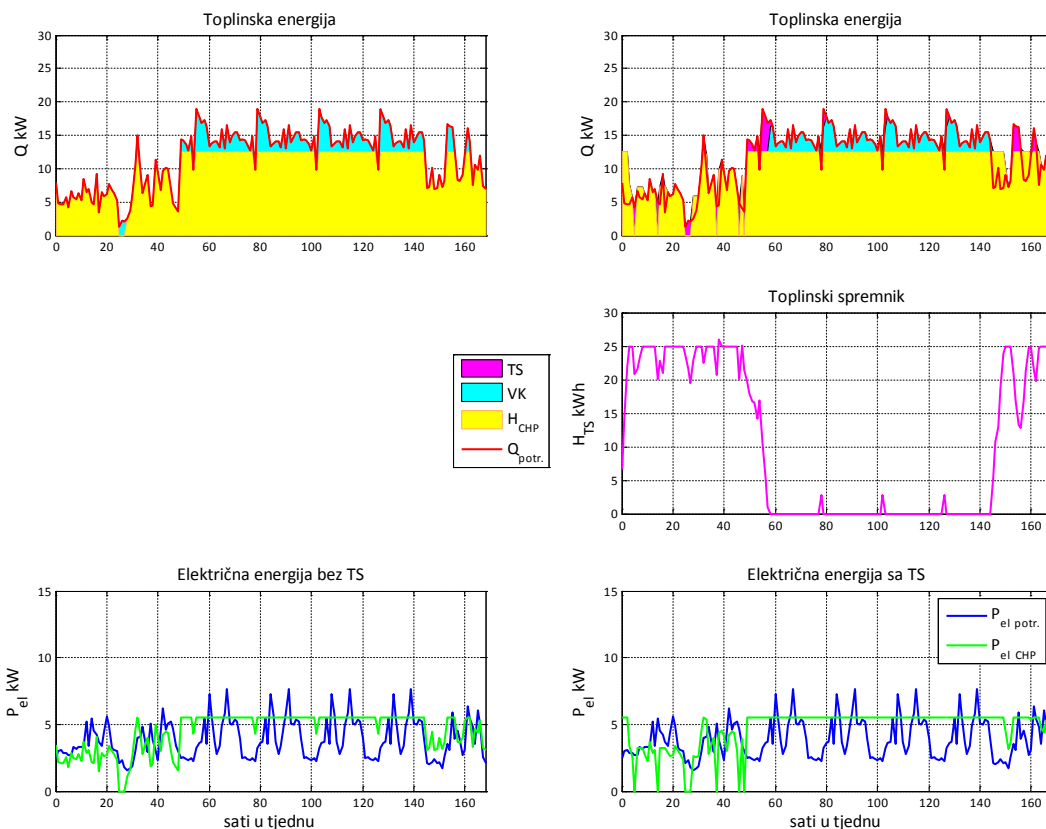
Prijašnja projektantska praksa najčešće se temeljila na pretpostavci povećanja buduće energetske potrošnje što je često dovodilo do predimenzioniranja kogeneracijskih postrojenja. U današnje vrijeme očekivana implementacija širokog spektra mjera smanjenja energetske potrošnje, nameće potrebu za pažljivim prognoziranjem razvoja potrošnje toplinske (i rashladne) energije na lokaciji. Prilikom izbora i optimiranja kogeneracijskog sustava, razmatraju se sljedeći aspekti:

- sinteza konfiguracije (definiranje broja i kapaciteta proizvodnih jedinica za svaki oblik isporučene energije – toplinske, rashladne i električne)
- planiranje pogona (analiza strategija vođenja pogona s obzirom na pogonsko stanje opreme, energetske tokove, te nabavne i prodajne cijene energije).

Kod postojećih postrojenja razmatraju se samo strategije vođenja pogona, dok se za nova postrojenja oba aspekta moraju uzeti u obzir s obzirom da su zavisni jedan o drugom. Optimalnu strukturu sustava moguće je odrediti tek nakon provedbe satne analize pogona različitih konfiguracija na godišnjoj razini uzimajući u obzir i promjenjive tržišne cijene energije, te različite strategije vođenja kogeneracijskog postrojenja. Načelno se razlikuju sljedeće strategije vođenja:

- pogon koji slijedi toplinske potrebe lokacije do granica određenih toplinskim kapacitetom kogeneracijskog postrojenja; manjak toplinske energije nadoknađuje se pogonom vršnog kotla, dok se viškovi električne energije isporučuju u elektroenergetski sustav
- pogon koji maksimalizira proizvodnju električne energije do granica određenih kapacitetom toplinskog spremnika
- otopni pogon u energetski izoliranim sustavima.

Usporedba dviju strategija vođenja pogona u ritmu potražnje za toplinskom energijom i pogona koji maksimalizira proizvodnju električne energije, ilustrirana je na slici 10.12 na kojoj su prikazani rezultati simulacije tjednog pogona kogeneracijskog postrojenja toplinskog kapaciteta 12,5 kW i električnog kapaciteta 5,5 kW. Uspoređene su dvije konfiguracije kogeneracijskog postrojenja, jedna bez toplinskog spremnika, a druga s toplinskim spremnikom kapaciteta 25 kWh.



Slika 10.12 – Tjedni pogon kogeneracijskog postrojenja bez (lijevo) i s (desno) toplinskim spremnikom.

Tjedni profili toplinskih potreba, identični za obje konfiguracije, prikazani su u gornjim koordinatnim sustavima crvenom krivuljom. U konfiguraciji bez toplinskog spremnika (lijevi koordinatni sustavi) kogeneracijsko postrojenje (žuta površina) pokriva toplinske potrebe objekta sve do postizanja nominalne toplinske snage (12,5 kW), a obustavlja pogon kada je toplinsko opterećenje manje od 20% toplinskog kapaciteta kogeneratora. Manjak toplinske energije (u satima vršnog opterećenja ili u satima minimalnih toplinskih potreba), podmiruje se proizvodnjom vršnog kotla (VK) koja je na prikazima označena svijetloplavom površinom. Konfiguracija s toplinskim spremnikom (TS) omogućava produljenje rada kogeneracijskog postrojenja i povećanu proizvodnju električne energije. Stanje napunjenosti toplinskog spremnika kao i isporučena toplinska energija označeni su smeđom bojom. Na donjim koordinatnim sustavima prikazane su krivulje proizvodnje ( $P_{CHP}$  narančasto) i potrošnje ( $P_{potr.}$  tamnoplavo) električne energije. Razvidno je da se u oba scenarija pojavljuju i viškovi i manjkovi električne energije za čiju je isporuku ili nadoknadu neophodno osigurati vezu s elektroenergetskim sustavom. Stvarni ekonomski učinci proizvodnje električne energije ovisit će o nabavnim i prodajnim cijenama električne energije koje mogu bit konstantne, ovisne o dobu dana (najčešće dvije ili tri tarife), sezonske (zimski i ljetni) ili ovisne o tržišnim kretanjima.

## 10.6. Ekonomska izvodljivost

Za ocjenu isplativosti različitih kogeneracijskih i trigeneracijskih koncepata najčešće se koristi ekonomski kriterij koji se temelji na procjeni ukupnih godišnjih troškova pokrivanja potreba za toplinskom, rashladnom i električnom energijom. Godišnji trošak rastavlja se najčešće na dvije komponente – investicijske (fiksne) i pogonske (varijabilne) troškove. Fiksni troškovi pokrivaju nabavku, instalaciju i održavanje opreme koja treba biti amortizirana u unaprijed specificiranom razdoblju. Varijabilni troškovi uključuju potrošnju kogeneracijskog modula, vršnog kotla te trošak preuzete električne energije. Prihod ostvaren prodajom električne energije umanjuje varijabilne troškove. Ukupni godišnji trošak pogona kogeneracijskog postrojenja uspoređuje se s troškovima pogona konvencionalnog energetskog sustava.

Alternativno se isplativost investicija u kogeneracijske projekte procjenjuje na temelju usporedbe specifičnog troška proizvodnje električne energije u kogeneraciji s nabavnom cijenom električne energije na potencijalnoj lokaciji kogeneracijskog postrojenja, te s poticajnom cijenom propisanom tarifnim sustavom. Pri tome se u obzir uzimaju svi prethodno navedeni parametri: nabavna cijena goriva (prirodnog plina), očekivano trajanje pogona na nazivnoj snazi, te tehnoekonomske specifičnosti razmatrane kogeneracijske tehnologije. Specifični trošak proizvodnje električne energije može se izračunati prema izrazu (10.1)

$$c_E = \frac{I_A + c_{OM} \cdot E_{CHP} + c_F \cdot F_{CHP} - c_H \cdot H_{CHP}}{E_{CHP}} \quad (10.1)$$

u kojemu  $I_A$  označava godišnji investicijski trošak (€),  $c_{OM}$  specifične troškove pogona i održavanja (€/kWh<sub>e</sub>),  $c_F$  specifični trošak goriva (€/kWh<sub>e</sub>),  $E_{CHP}$  godišnju proizvodnju električne energije (kWh<sub>e</sub>) u kogeneracijskom procesu,  $F_{CHP}$  godišnju potrošnju goriva (kWh<sub>e</sub>),  $H_{CHP}$  godišnje isporučenu korisnu toplinu (kWh<sub>t</sub>),  $c_H$  cijenu topline (€/kWh<sub>t</sub>). Investicijska atraktivnost kogeneracijskog postrojenja ovisit će o odnosu izračunatog specifičnog troška proizvodnje te nabavne i otkupne cijene električne energije. Uobičajeno je prosječna nabavna cijena električne energije viša od prodajne (otkupne). Ako je specifični trošak proizvodnje niži od nabavne cijene i istovremeno viši od otkupne cijene, pogon kogeneracijskog postrojenja isplativ je samo do razine pokrivanja potrošnje električne energije na lokaciji. Ako je specifični trošak proizvodnje niži i od otkupne cijene, pogon kogeneracijskog postrojenja je isplativ i u slučaju zamjene potrošnje električne energije proizvodnjom na lokaciji kao i u slučaju izvoza viškova električne energije u elektroenergetski sustav.

U uvjetima varijabilnih cijena energije, varijabilnog električnog i toplinskog opterećenja lokacije, detaljnu evaluaciju ekonomske izvodljivosti omogućava računalna simulacija koja pruža uvid u različite klimatske uvjete i različite pogonske režime koji su najčešće ovisni o toplinskom, odnosno električnom opterećenju objekta, procesa ili sustava u koje kogeneracijsko postrojenje isporučuje energiju. Toplinsko i električno opterećenje funkcije su vremena i uglavnom slučajnog karaktera, pa kvaliteta simulacijske analize značajno ovisi o odabranom vremenskom koraku. Uobičajeno su simulacije zasnovane na praćenju rada sustava u svakom satu kroz duže razdoblje, a najčešće godinu dana, što omogućava stvaranje detaljne slike o potrošnji goriva, isporuci električne i toplinske energije, kao i o potencijalnim uštedama u odnosu na sustave odvojene opskrbe. Satna analiza naročito dobiva na težini u uvjetima dereguliranog energetskog tržišta kada varijabilne cijene energije mogu značajno utjecati na ekonomičnost pogona kogeneracijskog postrojenja. Za razliku od analiza koje se temelje na prosječnim ili kumulativnim podacima, satna simulacijska analiza uzima u obzir vremenski aspekt pogona energetskog postrojenja i pruža potpun uvid u specifičnosti pogona na nižim opterećenjima kada je iskoristivost uobičajeno niža.

**Tablica 10.2 – Rezultati analize ekonomske izvodljivosti kogeneracijskih konfiguracija u karakterističnim RH uvjetima**

<b>Tehničke značajke</b>									
Električna snaga	kW	5,5	5,5	35	35	342	342	1.999	1.999
električna iskoristivost	%	27,0%	27,0%	34,6%	34,6%	37,1%	37,1%	42,1%	42,1%
ukupna iskoristivost	%	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%	88,7%	88,7%	85,1%	85,1%
<b>Financijske značajke</b>									
specifična investicija	€/kW	3.500	3.500	1.800	1.800	1.200	1.200	1.100	1.100
pogon i održavanje	€/MWh	35	35	22	22	11	11	8	8
<b>Proizvodnja</b>									
faktor opterećenja	h/a	3.500	5.000	3.500	5.000	3.500	5.000	3.500	5.000
električna energija	MWh	19	28	123	175	1.197	1.710	6.997	9.995
toplinska energija	MWh	45	64	196	280	1.665	2.378	7.146	10.209
potrošnja goriva	MWh	71	102	354	506	3.226	4.609	16.619	23.741
<b>Cijene uz 7,25 kn/EUR</b>									
prirodni plin	kn/m <sup>3</sup>	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,5	2,5
prirodni plin	€/MWh	42	42	42	42	42	42	37	37
električna energija	kn/kWh	0,86	0,86	0,88	0,88	0,88	0,88	0,66	0,66
električna energija	€/MWh	119,2	119,2	121,0	121,0	121,0	121,0	91,2	91,2
toplinska energija	kn/MWh	337,8	337,8	337,8	337,8	337,8	337,8	291,2	291,2
toplinska energija	€/MWh	46,6	46,6	46,6	46,6	46,6	46,6	40,2	40,2
<b>Prihodi</b>									
električna energija	€	2.294	3.277	14.827	21.181	144.878	206.969	638.370	911.958
toplinska energija	€	2.093	2.989	9.138	13.054	77.562	110.802	287.002	410.003
<b>Ukupno</b>	<b>€</b>	<b>4.387</b>	<b>6.267</b>	<b>23.965</b>	<b>34.235</b>	<b>222.440</b>	<b>317.771</b>	<b>925.373</b>	<b>1.321.961</b>
<b>Troškovi</b>									
goriva	€	3.020	4.314	14.995	21.421	136.648	195.212	606.770	866.815
pogona i održavanja	€	674	963	2.695	3.850	13.167	18.810	55.972	79.960
<b>Ukupno</b>	<b>€</b>	<b>3.693</b>	<b>5.276</b>	<b>17.690</b>	<b>25.271</b>	<b>149.815</b>	<b>214.022</b>	<b>662.742</b>	<b>946.775</b>
Prihodi - troškovi	€	693	990	6.275	8.964	72.625	103.749	262.630	375.186
Investicija	€	19.250	19.250	63.000	63.000	410.400	410.400	2.198.900	2.198.900
<b>JPP</b>	<b>god</b>	<b>27,8</b>	<b>19,4</b>	<b>10,0</b>	<b>7,0</b>	<b>5,7</b>	<b>4,0</b>	<b>8,4</b>	<b>5,9</b>

Rezultati pojednostavljene analize ekonomske izvodljivosti različitih kogeneracijskih konfiguracija prikazani su u tablici 10.2. Analizirane su konfiguracije koje se temelje na motorima s unutarnjim izgaranjem i plinskim turbinama i uspoređene s obzirom na različito ekvivalentno godišnje opterećenje, 3.500 i 5.000 sati godišnjeg pogona na nazivnoj snazi.

U analizi su pretpostavljene prosječne nabavne cijene električne energije za kategoriju potrošača koji su potencijalni investitori u kogeneracijska postrojenja različite veličine (kućanstva, te poduzetnici priključeni na niski, srednji ili visoki napon). U aktualnim uvjetima u RH prosječna nabavna cijena električne energije u pravilu, pored naknade za preuzetu energiju, obuhvaća i naknadu za maksimalno angažiranu snagu kao i administrativne i druge naknade (npr. za poticanje obnovljivih izvora energije i kogeneracije). Za potrebe proračuna vrlo često se cijena toplinske energije procjenjuje u odnosu na cijenu goriva (u analizi je pretpostavljen 10% viši iznos od nabavne cijene plina). Kao rezultat analize dobiven je godišnji prihod i izračunato jednostavno razdoblje povrata investicije. Troškovi pogona i održavanja pretpostavljeni su prema prosječnim tehnološkim podacima i svedeni na jedinicu proizvedene električne energije.

Razvidno je da trajanje pogona presudno utječe na isplativost pogona i da samo konfiguracije veće snage (iznad 100 kW<sub>e</sub>), koje mogu osigurati više od 5.000 sati godišnjeg pogona, mogu biti profitabilne u aktualnim uvjetima. Relativno povoljni pokazatelji isplativosti konfiguracije 342 kW i u uvjetima manje godišnje proizvodnje posljedica su visoke električne iskoristivosti i relativno visoko pretpostavljene cijene električne energije (npr. za postrojenje koje podmiruje potrebe poduzetnika priključenih na niskonaponsku mrežu). U postojećim uvjetima visokih investicijskih troškova i nepovoljnog omjera cijene električne energije i prirodnog plina, pokazatelji isplativosti ne govore u prilog uvođenju kogeneracijskih postrojenja na mikrorazinama (ispod 50 kW električne snage).

## 10.7. Status povlaštenosti

Ako su preliminarni pokazatelji ekonomske izvodljivosti pozitivni, opravdano je razmotriti uključivanje kogeneracijskog postrojenja u sustav povlaštenih proizvođača električne energije iz obnovljivih izvora i kogeneracije. Statusom povlaštenosti omogućena je isporuka svih proizvedenih viškova električne energije u elektroenergetski sustav kao i otkup električne energije po zajamčenoj cijeni. Status se stječe i zadržava samo u slučaju ispunjavanja kriterija visoke učinkovitosti.

Status povlaštenog proizvođača električne energije u spojnom procesu proizvodnje električne i toplinske energije, ostvaruje se zadovoljavanjem kriterija efikasnosti proizvodnje i provođenjem procedura za dobivanje statusa propisanih Pravilnikom o stjecanju statusa povlaštenog proizvođača električne energije. Kriteriji efikasnosti moraju se održavati tijekom cijelog razdoblja za koje je dobiveno rješenje kako bi se status zadržao. Povlašteni proizvođači:

- ispunjavaju kriterije visokoučinkovite kogeneracije, definirane "Pravilnikom o stjecanju statusa povlaštenog proizvođača električne energije (NN 67/07)"
- omogućavaju uštedu primarne energije od 10% u odnosu na odvojenu proizvodnju toplinske i električne energije, ili bilo kakvu uštedu energije ako su postrojenja manja od 1 MW električne snage i
- imaju pravo na isporuku ukupno proizvedene električne energije operatoru sustava te prodaju po zajamčenoj cijeni.

Poredbeno mjerilo za uštedu primarne energije predstavljaju učinkovitosti referentnih postrojenja za odvojenu proizvodnju toplinske i električne energije koje odgovaraju najboljoj raspoloživoj i u praktičnim uvjetima korištenoj tehnici. Indeks uštede primarne energije (UPE indeks) određuje se prema izrazima (10.2 i 10.3):

$$\eta_t = \frac{H_k}{Q_f}, \quad \eta_e = \frac{E_k}{Q_f} \quad (10.2)$$

$$UPE = 1 - \frac{1}{\frac{\eta_e}{\eta_{ref,e}} + \frac{\eta_t}{\eta_{ref,t}}} \quad (10.3)$$

gdje su:

- $H_k$  - količina korisne topline iz kogeneracije, umanjena za svu toplinu proizvedenu u odvojenim kotlovima ili oduzimanjem pare prije turbine, toplinu povratnog kondenzata, gubitke u razvodu
- $\eta_t$  - omjer proizvedene korisne topline i goriva utrošenog za proizvodnje električne energije i korisne topline u kogeneracijskom procesu
- $\eta_e$  - omjer proizvedene električne energije  $E_k$  i goriva utrošenog za proizvodnje električne energije  $Q_f$  i korisne topline u kogeneracijskom procesu,
- $\eta_{ref,e}$  - električna učinkovitost referentne elektrane, ovisi o vrsti korištenog goriva i godini izgradnje kogeneracijskog postrojenja i
- $\eta_{ref,t}$  - toplinska učinkovitost referentne kotlovnice, ovisna o vrsti korištenog goriva i načinu korištenja otpadne topline.

Pojam visokoučinkovite kogeneracije uvijek je definiran u odnosu na korisnu toplinsku potrošnju. Korisna toplina je toplina proizvedena u kogeneracijskom procesu koja se izravno koristi u tehnološkim procesima, procesima grijanja ili sekundarnim procesima hlađenja (trigeneracija), kao i toplina isporučena sustavima područnog grijanja, odnosno hlađenja. Tzv. *nekorisna toplina* predstavlja toplinu ispuštenu u okoliš bez korisne upotrebe (kroz ispuh motora ili dimnjak postrojenja, rashladnim kondenzatorom), gubitke u razvodu, toplinu povratnog kondenzata...

Donošenjem europske kogeneracijske Direktive uglavnom je promijenjena uvriježena praksa prikazivanja kogeneracijske električne energije kao ukupno proizvedena električna energija u kogeneracijskim postrojenjima. Načelno se za prikazivanje podataka o kogeneracijskoj proizvodnji koriste sljedeće statističke kategorije:

- električna energija proizvedena u kogeneracijskom postrojenju, izmjerena na stezaljkama generatora (statistička vrijednost)
- kogeneracijska električna energija, određena prema Aneksu II. kogeneracijske Direktive (statistička vrijednost)
- visokoučinkovita kogeneracijska električna energija, definirana u odnosu na uštedu primarne energije (statistička vrijednost)

Prema odredbama aneksa II. direktive odnosno članka 2. Pravilnika o stjecanju statusa povlaštenog proizvođača električne energije, **kogeneracijska električna energija** jednaka je ukupnoj godišnjoj proizvodnji električne energije mjerenoj na stezaljkama glavnih generatora, samo u slučaju kada je godišnja učinkovitost kogeneracijskih postrojenja s kombiniranim procesom plinske i parne turbine, te postrojenja s kondenzacijskom parnom turbinom i oduzimanjima pare, veća ili jednaka 80% ili kada je godišnja učinkovitost ostalih postrojenja veća ili jednaka od 75%. Ako su godišnje učinkovitosti manje od graničnih vrijednosti, tada se kogeneracijska električna energija izračunava kao produkt isporučene korisne toplinske energije i faktora koji odražava stvarni omjer električne i toplinske energije iz kogeneracije. Razlike između ukupno proizvedene i kogeneracijske električne energije mogu biti značajne, posebno u javnim toplanama.

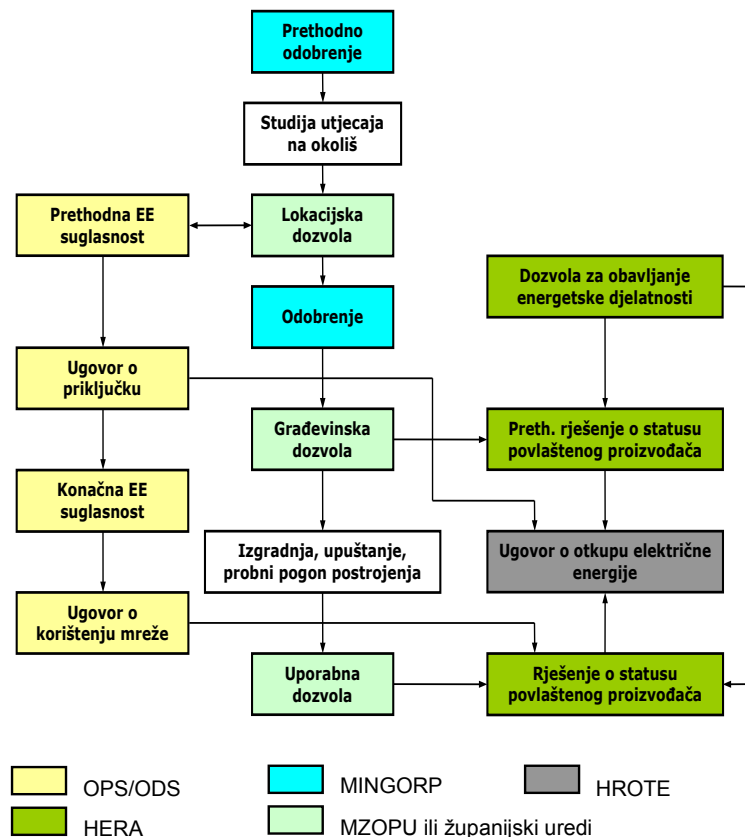
## 10.8. Licenciranje

U energetska zakonodavstvu RH kogeneracija je obuhvaćena skupom podzakonskih akata koji uređuju proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije i koji pored spomenutog Pravilnika o stjecanju statusa povlaštenog proizvođača obuhvaćaju i sljedeće akte :

- Uredbu o minimalnom udjelu električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije čija se proizvodnja potiče, NN 33/07
- Uredbu o naknadama za poticanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije, NN 33/07
- Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije, NN 33/07
- Pravilnik o korištenju obnovljivih izvora energije i kogeneracije, NN 67/07.

Oni zajedno s aktima iz domene graditeljstva, prostornog uređenja i elektroenergetike, definiraju proceduru licenciranja povlaštenog proizvođača električne energije u kogeneracijskom postrojenju. Postupak licenciranja, ilustriran na slici 10.13, obuhvaća niz koraka u rasponu od registracije tvrtke za obavljanje energetske djelatnosti, ishoda lokacijske dozvole ili potvrde glavnog projekta, preko ugovora o priključku i korištenju elektroenergetske mreže sve do potpisivanja ugovora o otkupu električne energije koji se sklapa s Hrvatskim operatorom tržišta (HROTE). Investitor ili vlasnik kogeneracijskog postrojenja u postupku stjecanja statusa povlaštenog proizvođača, kontaktira s različitim institucijama državne i lokalne samouprave i to s Ministarstvom gospodarstva, rada i poduzetništva (MINGORP) radi ishoda prethodnog i konačnog energetska odobrenja

te i upisa projekta u registar, s Ministarstvom zaštite okoliša prostornog uređenja i graditeljstva (MZOPU) ili sa županijskim uredima prostornog uređenja u pogledu ishođenja lokacijske, građevinske i uporabne dozvole, s Hrvatskom energetskom i regulatornom agencijom (HERA) radi dobivanja dozvole za obavljanje energetske djelatnosti kao i prethodnog konačnog rješenja o stjecanju statusa povlaštenog proizvođača. U postupku licenciranja nezaobilazna su i odobrenja i ugovori koje izdaju operatori prijenosnog (OPS) ili distribucijskog sustava, a koji uređuju problematiku priključka postrojenja na elektroenergetski sustav, definiranu mrežnim pravilima, odnosno tehničkim zahtjevima za priključak elektroenergetskog (distribuiranog) izvora.



Slika 10.13 – Pojednostavljen prikaz postupka stjecanja statusa povlaštenog proizvođača električne energije

## 10.9. Kogeneracija u normi EN 15316

Pored regulatornog okvira vezanog za proizvodnju električne energije, kogeneracija nalazi svoju primjenu i u normama proisteklim iz Direktive o energetskim performansama zgrada u okviru koje je definirana kao alternativni izvor opskrbe toplinskom energijom, kojega treba razmotriti bilo kod izgradnje novih ili pri značajnijoj rekonstrukcije postojećih objekata.

Norma 15316-4-4 definira metodologiju izračuna potrošnje primarne energije, proizvodnje električne energije, isporučene topline i iskoristivih toplinskih gubitaka za kogeneracijska postrojenja instalirana unutar ili uz objekt, a koja predstavljaju dio sustava za proizvodnju topline namijenjene grijanju prostora, pripremi PTV-a i apsorpcijskom hlađenju. U normi se metodološki razlikuju dva pogonska režima:

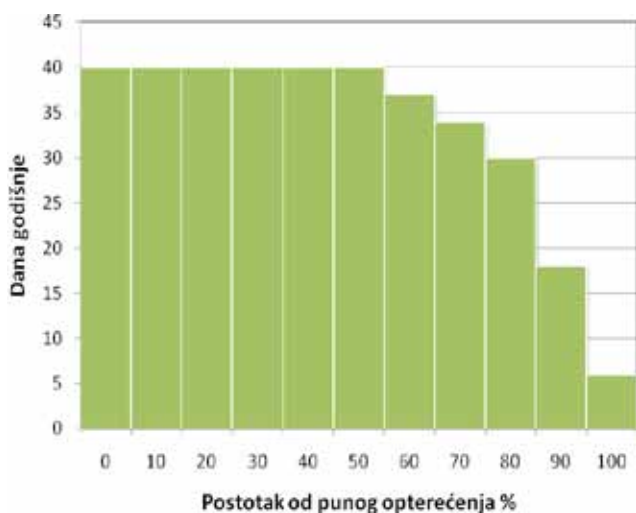
- tzv. "bazni" pogon, u kojemu je kogeneracijsko postrojenje dimenzionirano za pokrivanje baznih toplinskih potreba objekta i većinu vremena je u pogonu na nazivnoj snazi i
- pogon u ritmu potražnje za toplinskom energijom, u kojemu kogeneracijsko postrojenje zamjenjuje toplovodni kotao i pokriva širok raspon toplinskih opterećenja.



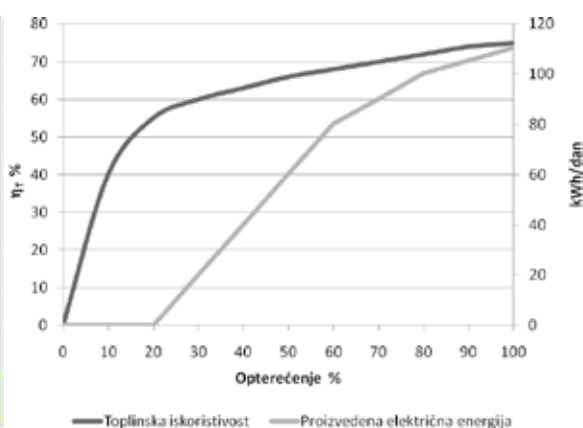
Prilikom određivanja godišnjih energetskih tokova mogu se koristiti ili kumulativni godišnji podaci ili podaci koji su prikupljeni u određenom obračunskom razdoblju (sezona, mjesec ili tjedan). Slično kao i kod određivanja indeksa uštede primarne energije za ocjenu pogonskih značajki kogeneracijskog sustava, potrebno je odrediti više tipova podataka i to:

- godišnje isporučena toplinska energija iz kogeneracijskog postrojenja
- godišnja potrošnja energije goriva u kogeneracijskom postrojenju
- godišnji gubitak topline u kogeneracijskom postrojenju
- godišnja proizvodnja električne energije u kogeneracijskom postrojenju
- ukupna toplinska energija predana podsustavu grijanja prostora i pripreme PTV-a
- ukupna toplinska energija predana rashladnom sustavu
- kogeneracijski dio topline grijanja prostora i pripreme PTV-a
- kogeneracijski dio topline hlađenja.

Ako nisu dostupni svi podaci o potrošnji, mogu se i procijeniti na temelju pretpostavljenog, odnosno procijenjenog profila toplinskog opterećenja objekta (ilustracija na slici 10.14) kao i poznavanja toplinske i električne iskoristivosti u čitavom rasponu opterećenja kogeneracijskog modula (najčešće kao rezultat ispitivanja pogonskih značajki što je ilustrirano na slici 10.15).



Slika 10.14 – Profil godišnjeg opterećenja kogeneracijskog modula



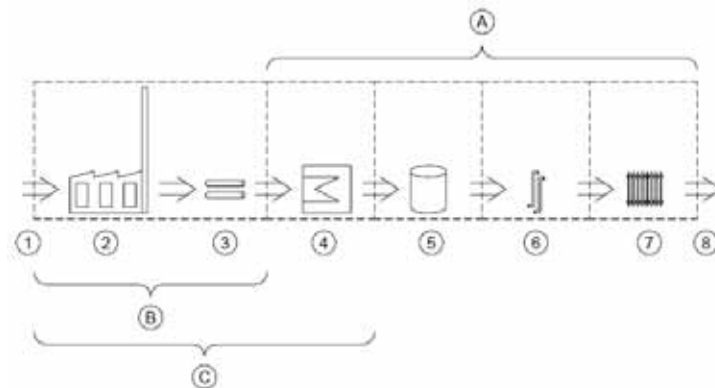
Slika 10.15 – Ilustracija rezultata ispitivanja pogonskih značajki kogeneracijskog modula

Kod određivanja tehničke performanse sustava, odnosno rangiranja i usporedbe s drugim oblicima opskrbe toplinskom energijom, proizvedena električna energija u kogeneracijskom postrojenju, umanjena za potrošnju pomoćnih uređaja, (npr. pumpi i ventilatora), obračunava se kao energetski bonus (tzv. "power bonus") koji umanjuje nepovoljan efekt povećane potrošnje goriva u kogeneracijskom procesu. Na taj način se, ovisno naravno o godišnjim pokazateljima pogona, može pokazati da je kogeneracija povoljniji izbor od npr. konvencionalnog plinskog kotla relativno visoke toplinske iskoristivosti. Za razliku od metodologije propisane za izračun indeksa uštede primarne energije, norma 15316-4-4, primjenjuje tzv. "primary energy rating", kriterij u kojemu se sva potrošena energija primarnog goriva i isporučena električna energija svodi samo na isporučenu toplinsku energiju.

Prednosti kogeneracije dolaze do izražaja i u normi 15316-4-5 u kojoj je definiran postupak procjene energetske performanse sustava daljinskog grijanja. Sustav daljinskog grijanja, načelno ilustriran na slici 10.16, dijeli se na: vanjski dio, smješten izvan objekta (B), te unutarnji dio, smješten unutar objekta (A).

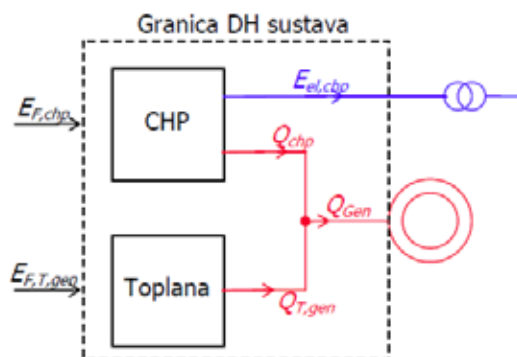
Pored navedenog razlikuju se: dio obuhvaćen normom (C), potrošnja goriva (1), proizvodnja topline (i električne energije) (2), toplovodna mreža (3), toplinska podstanica (4), toplinski spremnik (5), podsustav distribucije (6), podsustav predaje (7), toplinska potreba (8).

Normom je propisan izračun faktora primarne energije, odnosno potrošnje energije primarnog goriva za proizvodnju jedinice korisne toplinske i rashladne energije. Faktor primarne energije predstavlja ekvivalent energije fosilnog goriva utrošene za crpljenje, eksploataciju, proizvodnju i transport fosilnih i obnovljivih energetskih resursa koji svoju krajnju primjenu nalaze u grijanju i hlađenju objekata. Što je faktor primarne energije manji, to je proizvodnja i isporuka toplinske energije povoljnija u ekološkom i u općem energetskom smislu, potrošnja fosilnih goriva je manja, a manje je i opterećenje okoliša stakleničkim plinovima.



Slika 10.16 – Sustav daljinskog grijanja

Ako toplinsku energiju isporučuje kogeneracijsko postrojenje, tada se proizvedena električna energija evaluira kroz smanjenje potrošnje primarnog goriva u konvencionalnoj elektrani. Proizvedenoj električnoj energiji pridružuje se ekvivalent primarne energije i umanjuje od ukupne potrošnje primarne energije sustava, potrebne za podmirivanje toplinskih potreba objekta što je zorno ilustrirano na slici 10.17 i definirano izrazom 10.4.



Slika 10.17 – Energetski tokovi u sustavu daljinskog grijanja

$$f_{P, DH} = \frac{f_{P, chp} \cdot E_{F, chp} + f_{P, T, gen} \cdot E_{F, T, gen} - f_{P, el} \cdot E_{el, chp}}{\sum_j Q_{del, j}} \quad (10.4)$$

Faktor primarne energije prikazanog sustava daljinskog grijanja (DH sustav, od engl. *District Heating*), koji obuhvaća toplanu i kogeneracijsko postrojenje, određuje se u ovisnosti o  $E_f$  energiji goriva utrošenog za pogon kogeneracijskog postrojenja i toplane, proizvedenoj električnoj energiji u kogeneracijskom procesu  $E_{el, chp}$  te o ukupno isporučenoj toplinskoj energiji za potrebe grijanja prostora i pripreme potrošne tople vode  $\sum Q_{del, j}$ . Razvidno je da kogeneracijska proizvodnja zbog pridružene visoke vrijednosti faktora primarne energije  $f_{p, el}$  koji odgovara inverznoj vrijednosti prosječne električne iskoristivosti proizvodnje električne energije termoelektanama na fosilna goriva (u RH  $f_{p, el} = 3$ , preporučena vrijednost u normi  $f_{p, el} = 2,5$ ) značajno doprinosi energetske i ekološke efikasnosti sustava daljinskog grijanja.

## 10.10. Zaključak

Kogeneracija danas predstavlja tehnički usavršen koncept učinkovitog korištenja primarne energije koji bi mogao značajno doprinijeti ispunjavanju europskih energetske i ekološke ciljeva do 2020. godine.

Zbog relativno nepovoljnog ekonomskog okvira (izraženog nedovoljno velikom razlikom između cijene električne energije i cijene goriva, te relativno visokim investicijskim troškovima osobito malih postrojenja), aktualni razvoj kogeneracije uvjetovan je financijskim potporama.

Postojeće subvencije opreme i uvođenje premija na svu proizvedenu električnu energiju u razvijenim europskim zemljama (Njemačka, Nizozemska, Velika Britanija), stvaraju pretpostavke za značajnije povećanje broja instalacija malih i mikrokogeneracijskih jedinica što bi trebalo doprinijeti razvoju tržišta opreme i snižavanju specifičnih investicijskih troškova.

Na tragu očekivanog europskog razvoja može se očekivati postupno uvođenje malih i mikrokogeneracijskih jedinica u RH, ponajprije u objekte komercijalne i javne namjene kod kojih su tehnokonomski pokazatelji povoljniji u usporedbi s kućnim kogeneracijskim instalacijama.

## Reference

- [10.1] *Pravilnik o energetskom certificiranju zgrada* (NN 36/10)
- [10.2] *Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama* (NN 110/08 i 89/09).
- [10.3] HRN EN ISO 13790 *Energetska svojstva zgrada - Proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora* (ISO 13790:2008; EN ISO 13790:2008)
- [10.4] HRN EN 15603 *Energetska svojstva zgrada - Ukupna potrošnja energije i definiranje energetske procjene* (EN 15603:2007)
- [10.5] HRN EN 15217 *Energijska svojstva zgrada - Metode za izražavanje energijskog svojstva zgrada i za certifikaciju zgrada s obzirom na energiju* (EN 15217:2007)
- [10.6] HRN EN ISO 6946 *Građevni dijelovi i građevni dijelovi zgrade - Toplinski otpor i koeficijent prolaska topline - Metoda proračuna* (ISO 6946:2007; EN ISO 6946:2007)
- [10.7] HRN EN ISO 13370 *Toplinske značajke zgrada - Prijenos topline preko tla - Metode proračuna* (ISO 13370:2007; EN ISO 13370:2007)
- [10.8] HRN EN ISO 13789 *Toplinske značajke zgrada - Koeficijent transmisivnih toplinskih gubitaka - Metode proračuna* (ISO 13789:2007; EN ISO 13789:2007)
- [10.9] HRN EN ISO 14683 *Toplinski mostovi u zgradarstvu - Linearni koeficijent prolaska topline - Pojednostavnjena metoda i utvrđene vrijednosti* (ISO 14683:2007; EN ISO 14683:2007)
- [10.10] HRN EN 15316-1 *Sustavi grijanja u zgradama - Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava - 1. dio: Općenito* (EN 15316-1:2007)
- [10.11] HRN EN 15316-2-1 *Sustavi grijanja u zgradama - Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava - Dio 2-1: Sustavi za grijanje prostora zračenjem topline* (EN 15316-2-1:2007)
- [10.12] HRN EN 15316-2-3 *Sustavi grijanja u zgradama - Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava - Dio 2-3: Razvodi sustava grijanja prostora* (EN 15316-2-3:2007)
- [10.13] HRN EN 15316-3-1 *Sustavi grijanja u zgradama - Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava - Dio 3-1: Sustavi za pripremu potrošne tople vode, pokazatelji potreba prema izljevnome mjestu* (EN 15316-3-1:2007)
- [10.14] HRN EN 15316-3-2 *Sustavi grijanja u zgradama - Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava - Dio 3-2: Sustavi za pripremu potrošne tople vode, razvod* (EN 15316-3-2:2007)
- [10.15] HRN EN 15316-3-3 *Sustavi grijanja u zgradama - Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava - Dio 3-3: Sustavi za pripremu potrošne tople vode, zagrijavanje* (EN 15316-3-3:2007)
- [10.16] HRN EN 15316-4-1 *Sustavi grijanja u zgradama - Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava - Dio 4-1: Sustavi za proizvodnju topline izgaranjem (kotlovi)* (EN 15316-4-1:2008)
- [10.17] HRN EN 15316-4-2 *Sustavi grijanja u zgradama - Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava - Dio 4-2: Sustavi za proizvodnju topline, sustavi dizalica topline* (EN 15316-4-2:2008)
- [10.18] HRN EN 15316-4-3 *Sustavi grijanja u zgradama - Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava - Dio 4-3: Sustavi za proizvodnju topline, toplinski sustavi Sunčevog zračenja* (EN 15316-4-3:2007)
- [10.19] HRN EN 15316-4-4 *Sustavi grijanja u zgradama - Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava - Dio 4-4: Sustavi za proizvodnju topline, sustavi kogeneracije uklopljeni u zgradu* (EN 15316-4-4:2007)
- [10.20] HRN EN 15316-4-5 *Sustavi grijanja u zgradama - Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava - Dio 4-5: Sustavi za proizvodnju topline za grijanje prostora, pokazatelji i kvaliteta daljinskog grijanja i sustava velikih volumena* (EN 15316-4-5:2007)
- [10.21] HRN EN 15316-4-6 *Sustavi grijanja u zgradama - Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava - Dio 4-6: Sustavi za proizvodnju topline, fotonaponski sustavi* (EN 15316-4-6:2007)
- [10.22] HRN EN 15316-4-7 *Sustavi grijanja u zgradama - Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava - Dio 4-7: Sustavi za proizvodnju topline izgaranjem biomase* (EN 15316-4-7:2008)
- [10.23] HRN EN 15241 *Ventilacija u zgradama - Metode proračuna energijskih gubitaka zbog ventilacije i infiltracije u poslovnim zgradama* (EN 15241:2007)
- [10.24] HRN EN 15242 *Ventilacija u zgradama - Metode proračuna za određivanje protoka zraka u zgradama uključujući infiltraciju* (EN 15242:2007)
- [10.25] HRN EN 15243 *Ventilacija u zgradama - Proračun temperatura, opterećenja i energije u prostorijama zgrada sa sustavima klimatizacije prostora* (EN 15243:2007)
- [10.26] HRN EN 15193 *Energijska svojstva zgrade - Energijski zahtjevi za rasvjetu* (EN 15193:2007)



## 11. METODOLOGIJA PRORAČUNA TOPLINSKE ENERGIJE

### 11.1. Osnove meteorologije (zone, proračunski parametri)

#### 11.1.1. Općenito

Meteorološki parametri često nisu u skladu sa željenim stanjem lagodnosti. Zato čovjek nastoji prikladnim mjerama postići stanje lagodnosti (odjećom, obućom, pokrivalom za glavu, grijanjem ili hlađenjem prostora, odvlaživanjem, ovlaživanjem, zasjenjenjem, osvjetljavanjem, itd.). Radi osiguranja željenog stanja lagodnosti unutar prostora, potrebno je uložiti energiju. Osnovni meteorološki parametri koji utječu na potrošnju energije pri osiguravanju željenog stanja lagodnosti u prostoru su temperatura i vlažnost okolišnjeg zraka, brzina i smjer vjetera, intenzitet i trajanje Sunčeva zračenja. Meteorološki podaci mjerodavni za proračun potrošnje energije, dobivaju se mjerenjima okolišnjeg stanja. Izračunavaju se višegodišnji prosjeci, na dnevnoj, mjesečnoj ili godišnjoj razini. Meteorološki parametri mjere se u glavnim i klimatološkim ("običnim") meteorološkim postajama (slika 11.1), a mjerenja sustavno provodi Državni hidrometeorološki zavod.



Izvor: DHMZ

Slika 11.1 - Glavne i klimatološke meteorološke postaje u Hrvatskoj

Za potrebe energetske certificiranja, energetske potrebe zgrade računaju se za referentne klimatske podatke i za stvarne klimatske podatke te se upisuju u tablicu na drugoj stranici energetske certifikata (slika 11.2)

Energetske potrebe						
	Za referentne klimatske podatke		Za stvarne klimatske podatke		Zahtjev	
	Ukupno [kWh/a]	Specifično [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	Ukupno [kWh/a]	Specifično [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	Dopušteno [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	Ispunjeno DA / NE
$Q_{H,nd}$						
$Q_W$						
$Q_{H,js}$						
$Q_{W,js}$						
$Q_H$						
$E_{30l}$						
$E_{solim}$						
$CO_2$ [kg/a]						

Objašnjenje:  obvezna ispunjena  ispunjava se opcijski

Slika 11.2 - Mjesto upisa energetske potrebe za referentne i stvarne klimatske podatke na drugoj stranici energetske certifikata [11.1]

Referentni klimatski podaci predstavljaju skup meteoroloških parametara karakterističnih za neko geografsko ili klimatološko područje. Stvarni klimatski podaci jesu statističke vrijednosti dobivene obradom izmjerenih meteoroloških parametara na najbližoj meteorološkoj postaji, a navedeni su u *Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama* (NN 110/08 i 89/09).

### 11.1.2. Referentni klimatski podaci

Referentni klimatski podaci definirani su *Pravilnikom o energetskom certificiranju zgrada* (NN 36/10) i temelj su za određivanje energetskog razreda zgrade. Pravilnikom su definirani referentni klimatski podaci za dvije klimatske zone: kontinentalnu i primorsku Hrvatsku. Određivanje zone u koju spada stvarna lokacija zgrade vrši se u ovisnosti o stvarnom broju stupanj dana grijanja na lokaciji zgrade (ili najbližoj meteorološkoj postaji za koju su dostupni stvarni meteorološki podaci). Za gradove i mjesta koji imaju 2200 i više stupanj dana grijanja godišnje, proračun energetskih potreba vrši se prema referentnim klimatskim podacima za kontinentalnu Hrvatsku. Za gradove i mjesta koji imaju manje od 2200 stupanj dana grijanja godišnje, proračun energetskih potreba vrši se prema referentnim klimatskim podacima za primorsku Hrvatsku. Broj stupanj dana grijanja utvrđen je uz uvjet da je unutarnja temperatura u zgradi 20 °C i da sezona grijanja započinje s padom vanjske temperature u tri uzastopna dana ispod 12 °C te da sezona grijanja završava s porastom vanjske temperature u tri uzastopna dana iznad 12 °C.

Referentne vrijednosti za **kontinentalnu Hrvatsku** iznose:

- broj stupanj dana:  $SD = 2900$
- broj dana u sezoni grijanja:  $Z = 180$
- vanjska projektna temperatura:  $\theta_{e,proj} = -12^{\circ}\text{C}$ .

Referentne vrijednosti za **primorsku Hrvatsku** iznose:

- broj stupanj dana:  $SD = 1600$
- broj dana u sezoni grijanja:  $Z = 135$
- vanjska projektna temperatura:  $\theta_{e,proj} = -4^{\circ}\text{C}$ .

Referentne vrijednosti srednje mjesečne temperature zraka te dozračene sunčeve energije po mjesecima za primorsku Hrvatsku dane su u tablici 11.1, a one za kontinentalnu Hrvatsku u tablici 11.2.

*Primjer: Određivanje referentne zone za zgradu u Opatiji*

Kako bi se odredila referentna klimatska zona za lokaciju zgrade u Opatiji, potrebno je poznavati stvarni broj stupanj dana, definiran za Opatiju. Kako u Prilogu E *Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama* (NN 110/08 i 89/09) ne postoje stvarni meteorološki podaci za Opatiju, usvaja se stvarni broj stupanj dana za najbližu lokaciju za koju postoje stvarni meteorološki podaci, a to su podaci za Rijeku. Za Rijeku je u navedenim podacima definiran broj stupanj dana za Rijeku 2044 koji se usvaja i za Opatiju. Prema tom stvarnom broju stupanj dana određuje se referentna zona. Budući da je stvarni broj stupanj dana  $2044 < 2200$ , slijedi da se za Opatiju uzimaju referentni klimatski podaci za primorsku Hrvatsku.

Prema tome pri proračunu energetskih potreba zgrade u Opatiji za referentne klimatske podatke, usvaja se referentni broj stupanj dana 1600, broj dana grijanja 135 i vanjska projektna temperatura od  $-4^{\circ}\text{C}$ .

Tablica 11.1 - Referentne vrijednosti meteoroloških parametara za primorsku Hrvatsku [11.1]

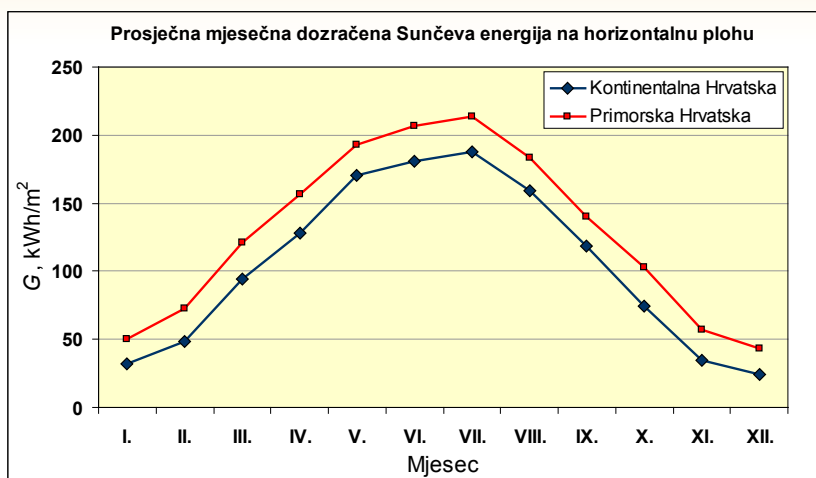
Mjesec	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
Temperatura °C	7,2	8,1	10,6	13,4	18,0	21,6
Ozračenost kWh/m <sup>2</sup>	50,28	73,06	121,39	156,39	192,78	206,94
J	85,83	103,06	116,39	100,28	93,61	87,78
I, Z	40,00	56,94	88,06	106,39	125,56	132,50
S	17,78	22,50	36,94	46,39	57,78	58,89
Stupanj-dan	393	330	286	0	0	0
Mjesec	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
Temperatura °C	24,5	24,0	20,5	16,2	11,8	8,5
Ozračenost kWh/m <sup>2</sup>	213,89	183,61	140,28	103,33	56,67	43,33
J	94,72	104,44	118,33	134,72	95,00	80,28
I, Z	138,89	123,33	100,83	79,72	45,28	35,00
S	58,33	51,67	38,61	28,61	18,61	15,56
Stupanj-dan	0	0	0	0	239	352

Tablica 11.2 - Referentne vrijednosti meteoroloških parametara kontinentalnu Hrvatsku [11.1]

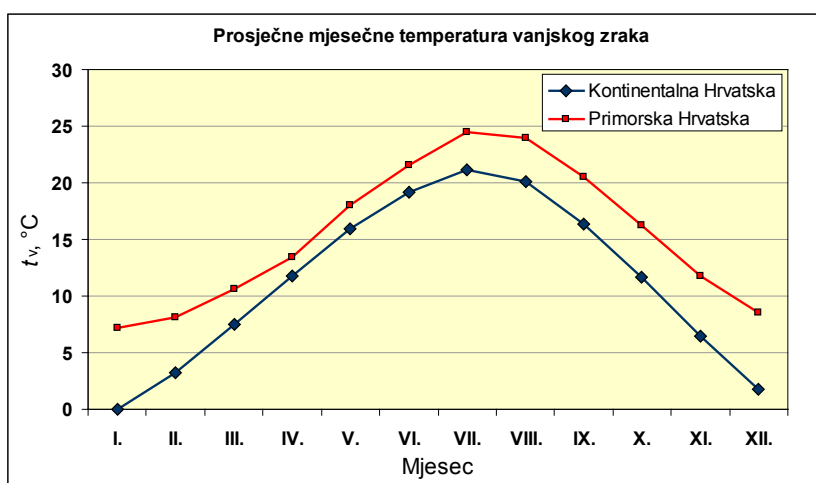
Mjesec	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
Temperatura °C	0,3	3,2	7,5	11,8	15,9	19,2
Ozračenost kWh/m <sup>2</sup>	31,94	48,61	94,44	128,06	170,00	181,11
J	43,61	57,78	86,11	83,61	87,78	83,61
I, Z	23,61	35,56	66,94	86,39	110,56	116,11
S	14,17	20,00	35,00	45,28	57,78	59,44
Stupanj-dan	607	467	385	234	0	0
Mjesec	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
Temperatura °C	21,1	20,1	16,4	11,7	6,5	1,8
Ozračenost kWh/m <sup>2</sup>	187,78	159,44	118,61	74,44	34,72	24,17
J	90,28	94,17	99,72	88,06	45,56	32,22
I, Z	121,94	106,94	84,72	55,56	25,56	17,22
S	59,44	51,67	37,78	26,67	15,28	11,39
Stupanj-dan	0	0	0	245	401	561

Usporedbe prosječnih mjesečnih količina dozačene Sunčeve energije, prosječnih mjesečnih temperatura te mjesečnih broja stupanj dana grijanja za kontinentalnu i primorsku Hrvatsku, prikazane su na slikama 11.3-11.5.

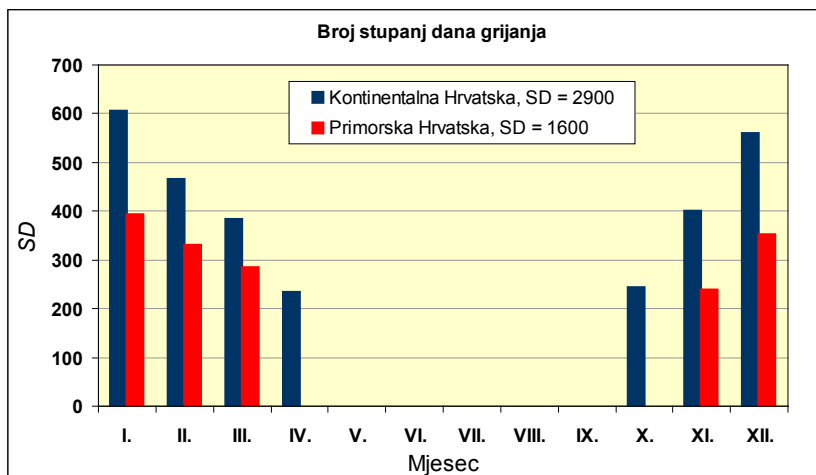




Slika 11.3 - Usporedba prosječnih mjesečnih količina dozračene Sunčeve energije za referentne klimatske podatke za kontinentalnu i primorsku Hrvatsku [11.1]



Slika 11.4 - Usporedba prosječnih mjesečnih temperatura vanjskog zraka za referentne klimatske podatke za kontinentalnu i primorsku Hrvatsku [11.1]



Slika 11.5. - Usporedba mjesečnog broja stupanj dana grijanja za referentne klimatske podatke za kontinentalnu i primorsku Hrvatsku [11.1]

### 11.1.3. Stvarni klimatski podaci

Stvarni klimatski podaci dani su u *Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama* (NN 110/08 i 89/09).

Temelj su za određivanje stvarnih energetske potreba zgrade, ali ne i za određivanje energetske razreda. Za proračun potrošnje energije zgrade temeljem stvarnih meteoroloških podataka, koriste se meteorološki podaci za najbližu postaju iz podataka sadržanih u Prilogu E *Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama* (NN 110/08 i 89/09). Meteorološki podaci dani su za 32 meteorološke postaje i to: Bjelovar, Borovo, Brestovac Belje, Dubrovnik, Đurđevac, Gospić, Hvar, Karlovac, Knin, Križevci, Lipik, Mali Lošinj, Ogulin, Osijek, Pazin, Požega, Pula, Rijeka, Rovinj, Senj, Sinj, Sisak, Skrad, Slavonski Brod, Split-Marijan, Stubičke toplice, Šibenik, Topusko, Varaždin, Zadar, Zagreb-Grič, Zagreb-Maksimir.

Svi podaci temeljeni su na prosječnim vrijednostima tridesetogodišnjeg niza (1961.-1990. godine), a sastoje se od sljedećim meteoroloških podataka:

#### a) Temperatura vanjskog zraka

Navedeni su sljedeći podaci o temperaturi zraka:

- Srednje mjesečne i godišnje temperature zraka  $\theta_{mm}$  [°C]
- Srednje minimalne  $\theta_{min}$  [°C] i maksimalne  $\theta_{max}$  [°C] temperature zraka
- Standardne devijacije srednje temperature  $\theta_{sd}$  [°C]
- Percentili srednje dnevne temperature zraka 1, 5, 10, 90, 95 i 99. ( $\theta_{p1}, \theta_{p2}, \theta_{p3}, \theta_{p90}, \theta_{p95}, \theta_{p99}$ ).

Percentili 1, 5 i 10 one su vrijednosti temperature zraka od kojih 1%, 5%, odnosno 10% srednjih dnevnih temperatura ima nižu vrijednost, a percentili 90, 95 i 99 one su vrijednosti temperature zraka koju premašuje 10%, 5%, odnosno 1% srednjih dnevnih temperatura.

#### b) Broj dana grijanja

Broj dana čija je srednja dnevna temperatura zraka, tijekom hladnog dijela godine, manja od temperature početka grijanja ( $\theta_g$ ). Broj dana grijanja definiran je za različite temperature početka grijanja i to 10°C, 12°C i 15°C. Dani su i percentili broja dana grijanja.

#### c) Broj stupanj dana

Stupanj dan jest umnožak broja dana grijanja i temperaturne razlike između dogovorene srednje unutarnje temperature zraka (najčešće 20°C) i srednje dnevne temperature vanjskog zraka.

U zbroj stupanj dana uzimaju se samo oni dani u godini kod kojih je temperatura zraka niža od dogovorene temperature za temperaturnu granicu grijanja (10, 12 ili 15°C). U ovim meteorološkim podacima stupanj dani definirani su za temperaturu zraka u grijanom prostoru od 20°C i za različite temperature početka grijanja i to 10°C, 12°C i 15°C. Dani su i percentili stupanj dana.

#### d) Vlažnost zraka

Navedeni su sljedeći podaci o vlažnosti zraka:

- Srednje mjesečne vrijednosti relativne vlažnosti zraka  $\phi$  [%]
- Srednje vrijednosti relativne vlažnosti zraka mjerene u 7 i 14 sati  $\phi_{7h}$  i  $\phi_{14h}$  [%]
- Srednje mjesečne vrijednosti parcijalnog tlaka vodene pare  $p$  [hPa]
- Srednje vrijednosti parcijalnog tlaka vodene pare  $p$  [hPa] mjerene u 7 i 14 sati  $p_{7h}$  i  $p_{14h}$  [hPa].

#### e) Brzina vjetra

Dane su srednje mjesečne i godišnje brzine vjetra  $v_{mm}$  [m/s], izračunate su iz podataka o jačini vjetra.

#### f) Sunčevo zračenje

Navedene su mjesečne i godišnje dozračena energija globalnoga Sunčeva zračenja.

Podaci su dani za različite orijentacije plohe (S, SI, I, JI, J, JZ, Z, SZ) i različite nagibe ploha u odnosu na horizontalnu ravninu (0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75° i 90°).

#### 11.1.4. Proračunski parametri

Na gubitke i dobitke topline zgrade, pored ostalih meteoroloških parametara, najviše utječu temperatura vanjskog zraka i željena temperatura unutar zgrade. Stvarna unutarnja temperatura prostora ovisna je o trenutnoj želji i potrebama korisnika tako da ju je nemoguće unaprijed točno predvidjeti. U proračunima se zato koristi vrijednost **unutarnje projektne temperature**. Vanjska temperatura zraka također je vrlo promjenjiva. Za određivanje učina komponenata termotehničkih sustava i za određivanje potrošnje energije, koristi se **vanjska projektna temperatura**.

##### Unutarnja projektna temperatura

Za proračun normiranog toplinskog opterećenja koriste se podaci unutarnje projektne temperature iz HRN EN 12831, a za različite namjene prostorija navedene su u tablici 11.3.

**Tablica 11.3 - Unutarnje projektne temperature prema vrsti prostora (HRN EN 12831)**

Vrsta prostora	Unutarnja projektna temperatura, °C
Uredi	20
Konferencijske sale	20
Gledališta	20
Restorani, kafići	20
Učionice	20
Robne kuće	16
Stambeni prostori	20
Kupaonice	24
Crkve	15
Muzeji i galerije	16

##### Vanjska projektna temperatura zraka

Vanjska projektna temperatura zraka je proračunska vrijednost koja se uzima u obzir pri proračunu toplinskog opterećenja sustava grijanja ili hlađenja. Na temelju tih normiranih vrijednosti vanjskih temperatura za zimu i ljeto, određuju se nazivne snage uređaja termotehničkih sustava, odnosno vrši se izbor termotehničke opreme.

Vanjska projektna temperatura zraka prema HRN EN 12831 može biti određena na dva načina:





- izračunata prema normi HRN EN ISO 15927-5 i navedena u nacionalnom dodatku norme HRN EN 12831 ili usvojena vrijednost najmanje dvodnevne srednje temperature, koja je izmjerena barem 10 puta tijekom dvadesetogodišnjeg razdoblja. Za Hrvatsku nema nacionalnog dodatka normi HRN EN 12831, te se obično koriste podaci dostupni u stručnoj literaturi.

#### 11.2. Utjecaj geometrije zgrade i faktora oblika na energetska potrošnju

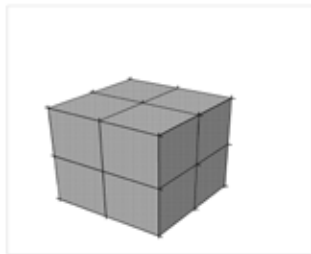
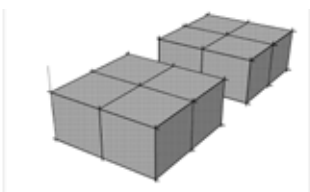
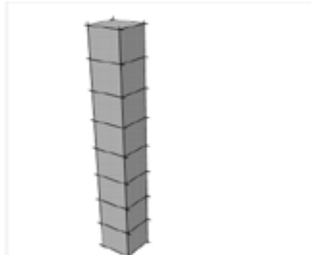
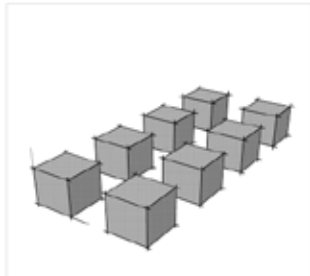
Faktor oblika zgrade,  $f_0 = A/V_e$  ( $m^{-1}$ ), jest količnik oplošja,  $A$  ( $m^2$ ), i obujma,  $V_e$  ( $m^3$ ), grijanog dijela zgrade. Oplošje grijanog dijela zgrade,  $A$  ( $m^2$ ), jest ukupna ploština građevnih dijelova koji razdvajaju grijani dio zgrade od vanjskog prostora, tla ili negrijanih dijelova zgrade (omotač grijanog dijela zgrade). Obujam grijanog dijela zgrade,  $V_e$  ( $m^3$ ), jest bruto obujam, obujam grijanog dijela zgrade kojemu je oplošje  $A$ .

Geometrija zgrade i faktor oblika zgrade direktno utječu na potrošnju energije u zgradi. Promjena oblika tijela zgrade, kao i raščlanjivanje tijela zgrade utječu na veličinu vanjskog oplošja zgrade. Veličina transmisijskih gubitaka topline kroz oplošje grijanog volumena zgrade ovisi o veličini oplošja: Što je veće oplošje, veća je transmisija topline! Uz isti volumen zgrade, njezino veće oplošje daje veći faktor oblika. Što je oblik zgrade "kompaktniji" to je faktor oblika manji.

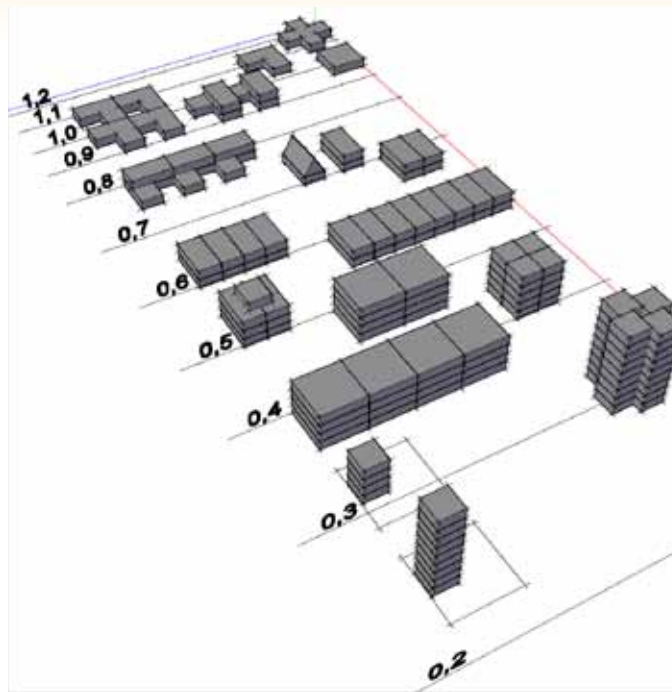
Tablica 11.4 – Utjecaj promjene oblika zgrade na povećanje površine vanjskog oplošja zgrade

Promjena oblika tijela zgrade utječe na veličinu oplošja za isti volumen				
	96%	98%	100%	112%

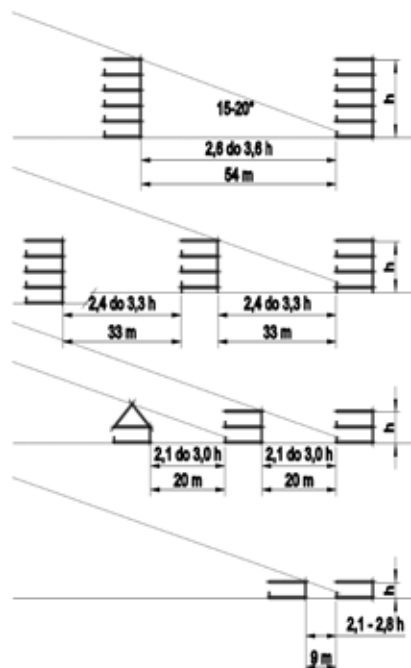
Tablica 11.5 - Utjecaj raščlanjivanja tijela zgrade na povećanje površine vanjskog oplošja zgrade

raščlanjivanje tijela zgrade utječe na povećanje površine vanjskog oplošja	vanjsko oplošje	
		100%
povećanje vanjskog oplošja za 33%		
		133%
povećanje vanjskog oplošja za 42%		
		142%
povećanje vanjskog oplošja za 100%		
		200%

Pri projektiranju novih zgrada ili rekonstrukciji postojećih, geometrija zgrade i povećani faktor oblika zgrade mogu odigrati bitnu ulogu u povećanju cijene gradnje ali i energetske potrošnje. Potrebno je voditi računa da će za zgradu većeg oplošja, odnosno većeg faktora oblika, trebati više toplinske zaštite za postizanje istog energetskog razreda, odnosno ciljane energetske potrošnje.



Slika 11.6 – Približni faktori oblika za različite tipologije izgradnje



Slika 11.7 – Najmanja udaljenost od zgrade koja radi sjenu u odnosu na njenu visinu za južnu orijentaciju prema LAG smjernicama (Njemačka)

Slika 11.7 prikazuje minimalnu potrebnu međusobnu udaljenost zgrada kako bi svi prostori zgrade dobili kvalitetno osunčanje. Ovo je važan faktor u suvremenom urbanističkom planiranju, koji se često zanemaruje.

## 11.3. Metodologija proračuna gubitka topline prema HRN EN 12831

### 11.3.1. Općenito

Postupak proračuna normiranog toplinskog opterećenja opisan u HRN EN 12831, mjerodavan je za određivanje nazivnih snaga uređaja termotehničkih sustava, odnosno za odabir opreme, a ne služi za određivanje godišnje potrošnje energije u svrhu energetskog certificiranja zgrada (za tu svrhu koristi se proračun opisan u normi HRN EN ISO 13790).

Norma HRN EN 12831 donosi:

- metodologiju proračuna normiranog toplinskog opterećenja za pojedini grijani prostor (zonu, stan, sobu, ured) radi utvrđivanja učina grijaačih tijela
- metodologiju proračuna normiranog toplinskog opterećenja za cijelu zgradu ili zasebnu cjelinu zgrade u svrhu određivanja potrebe za toplinskom energijom te
- metodologiju pojednostavljene proračunske metode.

Za definiranje ulaznih proračunskih parametara može postojati i nacionalni dodatak normi. Kako nacionalni dodatak za Hrvatsku nije donesen, koriste se preporučeni ulazni parametri i faktori sadržani u Prilogu D norme.

Opisana procedura za osnovne slučajeve može se koristiti za većinu građevina sa sljedećim karakteristikama:

- zgrade čije prostorije nemaju strop viši od 5 m
- zgrade koje su grijane ili se pretpostavlja da su grijane na vremenski nepromijenjenu (stacionarnu) temperaturu te
- zgrade za koje se pretpostavlja da je temperatura zraka u prostoriji jednaka operativnoj temperaturi.

Primjeri takvih građevina su: građevine u rezidencijalnim četvrtima, uredske i administrativne građevine, škole, knjižnice, bolnice, rekreacijske građevine, zatvori, građevine za ugostiteljstvo, robne kuće i druge građevine korištene u poslovne svrhe te industrijske građevine.

Dodaci normi sadržavaju informacije kako postupati u posebnim slučajevima i to kod građevina s visokim stropovima te građevina u kojoj se temperatura zraka i operativna temperatura znatno razlikuju.

Opisane proračunske metode temelje se na pretpostavci da su raspodjele temperature zraka u prostoru i vanjske temperature zraka jednolike. Gubici topline računaju se za stacionarno stanje, pretpostavljajući konstantna fizikalna svojstva zraka i građevinskih elemenata.

Proračun normiranog toplinskog opterećenja vrši se određivanjem transmisijskih gubitaka topline (tj. izmijenjenog toplinskog toka kroz stijenke prostorije - zid, strop, pod, prozore, vrata, prema susjednim prostorima različite temperature, vanjskom zraku ili zemlji) te ventilacijskih gubitaka topline (izmijenjene topline zbog prisilne ili prirodne ventilacije prostora, te infiltracije kroz fuge prozora i vrata, prema vanjskom okolišu te izmijenjene topline ventilacijom između različitih prostora unutar zgrade).

Potrebni ulazni podaci u proračun normiranog toplinskog opterećenja su:

a) meteorološki podaci za lokaciju zgrade

- vanjska projektna temperatura  $\theta_{e,proj}$  [°C]
- godišnja srednja vanjska temperatura  $\theta_{m,e}$  [°C] za proračun transmisijskih gubitaka prema tlu

b) unutarnji projektni parametri

- unutarnja projektna temperatura prostora u zgradi  $\theta_{int}$  [°C] ovisno o namjeni prostora

c) podaci o dimenzijama i fizikalnim svojstvima zgrade

- unutarnji volumen grijanih i negrijanih prostora  $V_i$  [m<sup>3</sup>]
- površine svih dijelova zgrade,  $A_k$  [m<sup>2</sup>]
- koeficijenti prolaza topline svih dijelova zgrade  $U_k$  [W/m<sup>2</sup>K]
- dužinski koeficijenti prolaska topline svih linijskih toplinskih mostova  $y_l$  [W/mK]
- duljine linijskih toplinskih mostova  $l_l$  [m]

d) radni parametri - za izračun ventilacijskih gubitaka

- minimalni broj izmjena zraka prostora u jednom satu  $n_{min}$  [1/h]
- broj izmjena zraka prostora u jednom satu pri razlici tlaka od 50 Pa, između prostora i vanjskog okoliša  $n_{50}$  [1/h]

- infiltracijski protok zraka uslijed propuštanja ovojnice zgrade  $V_{inf}$  [m<sup>3</sup>/s]
- volumenski protok dovedenog zraka u prostor prilikom prisilne ventilacije  $V_{su}$  [m<sup>3</sup>/s]
- volumenski protok odvedenog zraka iz prostora prilikom prisilne ventilacije  $V_{ex}$  [m<sup>3</sup>/s]
- stupanj korisnosti sustava povrata topline prilikom prisilne ventilacije  $\eta_v$

### 11.3.2. Ukupni toplinski gubitak pojedinačnog grijanog prostora

Koraci proračuna normiranog toplinskog opterećenja za pojedini grijani prostor su sljedeći:

- odrediti vrijednost vanjske projektne temperature i srednje godišnje temperature;
- odrediti status svakog prostora (grijanoga ili negrijanoga) i vrijednosti unutarnje temperature svakog grijanog prostora;
- odrediti dimenzije i fizikalna toplinska svojstva svih elemenata zgrade za svaki grijani i negrijani prostor;
- izračunati koeficijent transmisijskih gubitka topline (koeficijent prolaza topline) i pomnožiti ga s razlikom temperatura da bi se dobio transmisijski gubitak topline grijanoga prostora;
- izračunati koeficijent ventilacijskih gubitka topline i pomnožiti ga s razlikom temperatura da bi se dobio ventilacijski gubitak topline grijanog prostora;
- izračunati ukupni toplinski gubitak grijanog prostora zbrajanjem transmisijskih i ventilacijskih gubitaka topline;
- izračunati potrebni toplinski učin za početno zagrijavanje prostora, tj. dodatnu snagu potrebnu da nadoknadi grijanje s prekidima;
- izračunati ukupno normirano toplinsko opterećenje grijanog prostora kao zbroj ukupnog gubitka topline i toplinskog učina za početno zagrijavanje.

Ukupni toplinski gubitak pojedinačnog i-tog grijanog prostora izračunava se prema izrazu:

$$\Phi_i = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} \quad [W] \quad (11.1)$$

gdje su:

- $\Phi_{T,i}$  - transmisijski toplinski gubici i-tog grijanog prostora [W]  
 $\Phi_{V,i}$  - ventilacijski toplinski gubici topline i-tog grijanog prostora [W].

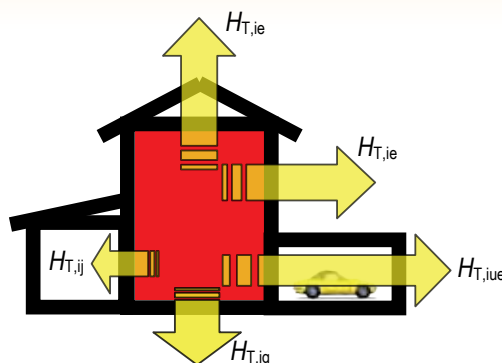
#### 11.3.2.1. Transmisijski toplinski gubici

Transmisijski toplinski gubici i-tog grijanog prostora (slika 11.6) izračunavaju prema izrazu:

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad [W] \quad (11.2)$$

gdje su:

- $H_{T,ie}$  - koeficijent transmisijskog gubitka topline od grijanog prostora prema okolišu kroz omotač zgrade [W/K]  
 $H_{T,iue}$  - koeficijent transmisijskog gubitka topline od grijanog prostora prema okolišu kroz negrijani prostor [W/K]  
 $H_{T,ig}$  - koeficijent transmisijskog gubitka topline od grijanog prostora prema tlu [W/K]  
 $H_{T,ij}$  - koeficijent transmisijskog gubitka topline od grijanog prostora prema susjednom prostoru grijanog na nižu temperaturu [W/K]  
 $\theta_{int,i}$  - unutarnja projektne temperatura grijanog prostora [°C] te  
 $\theta_{e,proj}$  - vanjska projektne temperatura [°C]



Slika 11.8- Transmisijski toplinski gubici

*Koeficijent transmisijskog gubitka topline iz grijanoga prostora prema okolišu*

Koeficijent transmisijskog gubitka topline iz grijanoga prostora prema okolišu kroz sve građevinske elemente (zidove, pod, strop, vrata, prozore) uključujući linearne toplinske mostove, računa se prema izrazu:

$$H_{T,ie} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot e_k + \sum_l \psi_l \cdot l_l \cdot e_l \quad [\text{W/K}] \quad (11.3)$$

gdje su:

- $A_k$  - površina građevinskog k-tog elementa [ $\text{m}^2$ ]
- $e_k, e_l$  - korekcijski faktori izloženosti koji uzimaju u obzir utjecaje kao što su različite izolacije, upijanje vlage u građevinske elemente i klimatske utjecaje kao što je brzina vjetra i temperatura u slučaju da ovi uvjeti nisu uzeti u obzir prilikom utvrđivanja koeficijenta prolaza topline  $U$  (prema EN ISO 6946).  
 $e_k$  i  $e_l$  trebaju biti određeni na bazi nacionalnog dodatka. U nedostatku nacionalnih vrijednosti koriste se vrijednosti definirane u dodatku D.4.1 norme HRN EN 12831 ( $e_k=1, e_l=1$ ).
- $U_k$  - koeficijent prolaza topline k-tog građevinskog elemenata [ $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ ], a računa se prema:
  - normi HRN EN ISO 6946 (za neprozirne elemente)
  - normi HRN EN ISO 10077-1 (za prozore i vrata) ili
  - posebno zadanim tehničkim propisima.
- $l_l$  - duljina linearnog toplinskog mosta [ $\text{m}$ ]
- $\psi_l$  - dužinski koeficijent prolaska topline linearnog toplinskog mosta [ $\text{W}/\text{mK}$ ] koji se može odrediti na jedan od dva načina:
  - za grubu procjenu, korištenjem tabeliranih vrijednosti koje su dane u normi HRN EN ISO 14683 ili
  - izračunati prema normi HRN EN ISO 10211-2.

*Pojednostavljeni postupak proračuna dodatka za toplinske mostove*

Kod pojednostavljenog postupka proračuna, koeficijent prolaza topline građevinskog elementa korigira se za utjecaj toplinskih mostova, tako da se utjecaj toplinskih mostova ne mora računati odvojeno. Korigirani koeficijent prolaza topline koji uključuje utjecaj toplinskih mostova iznosi:

$$U_{kc} = U_k + \Delta U_{tb} \quad [\text{W}/(\text{m}^2\text{K})] \quad (11.4)$$

gdje su:

- $U_{kc}$  - korigirani koeficijent prolaza topline građevinskih elemenata, uzimajući u obzir toplinske mostove [ $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ ]
- $U_k$  - koeficijent prolaza topline građevinskog elemenata [ $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ ] i
- $\Delta U_{tb}$  - korekcijski faktor ovisan o tipu građevinskog elementa. Dan je u prilogu D.4.1. norme HRN EN 12831 [ $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ ].

Ako postoji negrijani prostor između grijanoga prostora i vanjskoga prostora, koeficijent transmisijskog gubitka topline iz grijanog u vanjski prostor kroz negrijani prostor proračunava se prema izrazu:

$$H_{T,iue} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot b_u + \sum_l \psi_l \cdot l_l \cdot b_u \quad [\text{W/K}] \quad (11.5)$$



gdje je:

$b_u$  - temperaturni reduksijski faktor koji uzima u obzir razliku temperatura negrijanog prostora i vanjske projektne temperature. Način izračunavanja opisan je u normi HRN EN 12 831.

*Koeficijent transmisijskog gubitka topline od grijanoga prostora prema tlu*

Gubitak topline kroz podove i zidove podruma ovisi o nekoliko faktora, kao što su površina i izloženi opseg podne plohe, dubina podrumskoga poda ispod površine tla i toplinska svojstva tla.

Ovaj gubitak topline prema tlu se može proračunati prema normi HRN EN ISO 13370, koristeći jedan od dva načina: detaljan način ili pojednostavljen način opisan u nastavku, a u kojemu gubici topline zbog toplinskih mostova nisu uzeti u obzir.

Koeficijent transmisijskog gubitka topline od grijanoga prostora prema tlu u stacionarnom stanju iznosi:

$$H_{T,ig} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot \left( \sum_k A_k \cdot U_{\text{equiv},k} \right) \cdot G_w \quad [\text{W/K}] \quad (11.6)$$

gdje su:

- $f_{g1}$  - korekcijski faktor utjecaja godišnjih promjena vanjske temperature.  
Ovaj faktor bi trebao biti određen u nacionalnom dodatku norme HRN EN 12831. U nedostatku nacionalnih vrijednosti, koriste se vrijednosti dane u dodatku D.4.3 norme, a predložena vrijednost je 1,45.
- $f_{g2}$  - korekcijski faktor koji uzima u obzir razliku između srednje godišnje i projektne vanjske temperature zraka
- $A_k$  - površina građevinskog elementa koji je u dodiru s tлом [m<sup>2</sup>]
- $U_{\text{equiv},k}$  - ekvivalentni koeficijent prolaza topline određen u ovisnosti o tipu poda određen prema HRN EN ISO 13370 [W/ (m<sup>2</sup>K)] te
- $G_w$  - korekcijski faktor utjecaja podzemne vode. Ako je udaljenost od pretpostavljene podzemne vode i poda podruma manja od 1 m, tada se uzima  $G_w = 1,15$ , a ako je udaljenost veća od 1 m tada je  $G_w = 1$ .

*Koeficijent transmisijskog gubitka topline od grijanoga prostora prema susjednom prostoru koji se grije na nižu temperaturu*

Ovaj koeficijent opisuje izmjenu topline između grijanog prostora i susjednog prostora koji su grijani na različitu temperaturu. Susjedna prostorija može biti prostorija unutar stambene jedinice (kupaonica, spremište), prostorija koja pripada susjednoj stambenoj jedinici ili prostorija koja pripada susjednoj zgradi koja se možda ne grije. Proračunava se prema sljedećem izrazu:

$$H_{Tj} = \sum_k f_{ij} \cdot A_k \cdot U_k \quad [\text{W/K}] \quad (11.7)$$

gdje su:

- $f_{ij}$  - korekcijski faktor koji uzima u obzir razliku između temperature susjednog prostora i vanjske temperature
- $A_k$  - površina građevinskog elementa [m<sup>2</sup>] i
- $U_k$  - koeficijent prolaza topline građevinskog elementa [W/(m<sup>2</sup>K)].

Pri proračunu izmjene topline sa susjednim prostorom utjecaj toplinskih mostova ne uzima se u obzir.

### 11.3.2.2. Ventilacijski toplinski gubici i-tog grijanog prostora

Izmijenjeni toplinski tok uslijed ventilacijskih toplinskih gubitaka i-tog grijanog prostora izračunava se prema izrazu:

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\theta_{\text{int},i} - \theta_e) \quad [\text{W}] \quad (11.8)$$

gdje su:

- $H_{V,i}$  - projektni koeficijent ventilacijskih gubitaka topline [W/K],
- $\theta_{\text{int},i}$  - unutarnja projektna temperatura grijanog prostora [°C] i
- $\theta_e$  - vanjska projektna temperatura [°C].

Projektni koeficijent ventilacijskih gubitaka topline  $H_{V,i}$  izračunava se prema izrazu:

$$H_{V,i} = V_i \cdot \rho \cdot c_p \quad [\text{W/K}] \quad (11.9)$$

gdje su:

- $V_i$  - protok zraka kroz grijani prostor [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]  
 $\rho$  - gustoća zraka na temperaturi  $\theta_{\text{int},i}$  [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] i  
 $c_p$  - specifičan toplinski kapacitet zraka na temperaturi  $\theta_{\text{int},i}$  [ $\text{J}/(\text{kg K})$ ].

Pretpostavljajući konstantnu gustoću i specifični toplinski kapacitet zraka, projektni koeficijent ventilacijskih gubitaka može se izračunati prema izrazu:

$$H_{V,i} = 0,34 \cdot V_i \quad [\text{W/K}] \quad (11.10)$$

gdje je  $V_i$  u [ $\text{m}^3/\text{h}$ ].

Protok zraka  $V_i$  određuje se na različite načine u ovisnosti o tome postoji li u prostoru prisilna (mehanička) ili samo prirodan ventilacija.

U slučaju kada nema prisilne ventilacije, za vrijednost protoka zraka grijanoga prostora uzima se veća vrijednost između protoka zraka infiltracijom kroz fuge u ovojnici zgrade i minimalno potrebnog protoka zraka iz higijenskih razloga:

$$V_i = \max(V_{\text{inf},i}, V_{\text{min},i}) \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (11.11)$$

gdje su:

- $V_{\text{inf},i}$  - infiltracija zraka kroz fuge u ovojnici zgrade [ $\text{m}^3/\text{h}$ ] i  
 $V_{\text{min},i}$  - higijenski minimalni volumni protok zraka [ $\text{m}^3/\text{h}$ ].

Protok zraka grijanog prostora  $V_i$  s mehaničkom ventilacijom određuje se prema izrazu:

$$V_i = V_{\text{inf},i} + V_{\text{su},i} \cdot f_{V,i} + V_{\text{mech,inf},i} \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (11.12)$$

gdje su:

- $V_{\text{inf},i}$  - infiltracija zraka kroz fuge u ovojnici zgrade [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]  
 $V_{\text{su},i}$  - protok dovodnog ventilacijskog zraka [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]  
 $V_{\text{mech,inf},i}$  - višak odsisnog zraka [ $\text{m}^3/\text{h}$ ] i  
 $f_{V,i}$  - korekcijski faktor temperature.

Higijenski minimalni protok zraka iznosi:

$$V_{\text{min},i} = n_{\text{min}} \cdot V_i \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (11.13)$$

gdje su:

- $n_{\text{min}}$  - minimalni broj izmjena zraka svježim zrakom [1/h] te  
 $V_i$  - volumen grijanoga prostora [ $\text{m}^3$ ].

Minimalni protok zraka određen je *Tehničkim propisom o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama* (NN 110/08 i 89/09) ili prema projektnom zadatku ( $n_{\text{min}} = 0,5 - 2,0$  1/h, ovisno o vrsti prostorije).

Infiltracija zraka kroz fuge u ovojnici zgrade može se izračunati prema izrazu:

$$V_{\text{inf},i} = 2 \cdot V_i \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (11.14)$$

gdje su:

- $n_{50}$  - broj izmjena zraka prostora u jednom satu pri razlici tlaka od 50 Pa između prostora i vanjskog okoliša [1/h]  
 $e_i$  - koeficijent zaklonjenosti i  
 $\varepsilon_i$  - korekcijski faktor za visinu prostorije od tla (do 10 m  $\varepsilon_i=1$ ).

### 11.3.2.3 Toplinsko opterećenje pojedinačnog grijanog prostora

Za grijani prostor toplinsko opterećenje proračunava se prema izrazu:

$$\Phi_{\text{HL},i} = \Phi_{\text{T},i} + \Phi_{\text{V},i} + \Phi_{\text{RH},i} \quad [\text{W}] \quad (11.15)$$

gdje su:

- $\Phi_{T,i}$  - transmisijski toplinski gubici i-tog prostora [W]  
 $\Phi_{V,i}$  - ventilacijski toplinski gubici i-tog prostora [W] i  
 $\Phi_{RH,i}$  - dodatni toplinski učin kojim se kompenziraju učinci nekontinuiranog grijanja prostora [W].

Dodatni toplinski učin kojim se kompenziraju učinci nekontinuiranog grijanja određuje se prema podacima u projektom zadatku ili prema izrazu:

$$\Phi_{RH,i} = A_i \cdot f_{RH} \quad [W] \quad (11.16)$$

gdje su:

- $A_i$  - površina poda prostorije [m<sup>2</sup>] i  
 $f_{RH}$  - korekcijski faktor koji ovisi o trajanju prekida grijanja i padu temperature tijekom prekida grijanja (prema dodatku D.6 norme HRN EN 12831).

### 11.3.3. Toplinsko opterećenje cijele zgrade

Toplinsko opterećenje zgrade jest suma toplinskih opterećenja pojedinih prostora prema izrazu:

$$\Phi_{HL} = \sum_i \Phi_{T,i} + \sum_i \Phi_{V,i} + \sum_i \Phi_{RH,i} \quad [W] \quad (11.17)$$

gdje su:

- $\sum \Phi_{T,i}$  - suma transmisijskih toplinskih gubitaka svih grijanih prostora isključujući izmjenu topline unutar zgrade [W]  
 $\sum \Phi_{V,i}$  - suma ventilacijskih toplinskih gubitaka svih grijanih prostora isključujući izmjenu topline unutar zgrade [W] i  
 $\sum \Phi_{RH,i}$  - suma dodatnih toplinskih učina kojima se kompenziraju učinci nekontinuiranog grijanja svih prostora unutar zgrade [W].

### 11.3.4. Pojednostavljena metoda

Pojednostavljena metoda proračuna smije se koristiti za zgrade stambene namjene kod kojih je broj izmjena zraka prostora u jednom satu, pri razlici tlaka od 50 Pa, između prostora i vanjskog okoliša  $n_{50} < 3 \text{ h}^{-1}$ .

#### 11.3.4.1. Ukupni toplinski gubitak pojedinačnog grijanog prostora prema pojednostavljenoj metodi proračuna

Ukupni toplinski gubitak pojedinačnog i-tog grijanog prostora izračunava se prema izrazu:

$$\Phi_i = (\Phi_{T,i} + \Phi_{V,i}) \cdot f_{\Delta\theta,i} \quad [W] \quad (11.18)$$

gdje su:

- $\Phi_{T,i}$  - transmisijski toplinski gubici i-tog grijanog prostora [W]  
 $\Phi_{V,i}$  - ventilacijski toplinski gubici topline i-tog grijanog prostora [W] i  
 $\Phi_{\Delta\theta,i}$  - korekcijski temperaturni faktor koji uzima u obzir dodatni gubitak topline prostorija koje su grijane na veću temperaturu nego susjedne grijane prostorije (npr. kupaonica koja se grije na 24°C).

#### 11.3.4.2. Transmisijski toplinski gubitak i-tog grijanog prostora prema pojednostavljenoj metodi

Transmisijski toplinski gubitak i-tog grijanog prostora izračunava se prema izrazu:

$$\Phi_{T,i} = \sum_k f_k \cdot A_k \cdot U_k \cdot (\theta_{int,i} - \theta_{e,proj}) \quad [W] \quad (11.19)$$

gdje su:

- $f_k$  - temperaturni korekcijski faktor za pojedini slučaj izmjene topline (prema dodatku D.7.2. norme HRN EN 12831)  
 $A_k$  - površina k-tog građevinskog elementa [m<sup>2</sup>]  
 $U_k$  - koeficijent prolaza topline k-tog građevinskog elementa [W/m<sup>2</sup>K]  
 $\theta_{int,i}$  - unutarnja projektna temperatura grijanog prostora [°C] te  
 $\theta_{e,proj}$  - vanjska projektna temperatura [°C].

### 11.3.4.3. Ventilacijski toplinski gubitak i-tog grijanog prostora prema pojednostavljenoj metoda

Ventilacijski toplinski gubitak i-tog grijanog prostora izračunava se prema izrazu:

$$\Phi_{V,i} = 0,34 \cdot V_{\min,i} \cdot (\theta_{\text{int},i} - \theta_{\text{e,proj}}) \text{ [W]} \quad (11.20)$$

gdje su:

- $V_{\min,i}$  - higijenski minimalni volumni protok zraka [m<sup>3</sup>/h]
- $\theta_{\text{int},i}$  - unutarnja projektna temperatura grijanog prostora [°C] i
- $\theta_{\text{e,proj}}$  - vanjska projektna temperatura [°C].

### 11.3.4.4. Toplinsko opterećenje cijele zgrade prema pojednostavljenoj metodi proračuna

Proračun toplinskog opterećenja cijele zgrade ne uzima u obzir izmjenu topline između pojedinih cjelina unutar zgrade (npr. između pojedinih stanova u zgradi) i može se izračunati prema izrazu:

$$\Phi_{\text{HL}} = \sum_i \Phi_{T,i} + \sum_i \Phi_{V,i} + \sum_i \Phi_{\text{RH},i} \text{ [W]} \quad (11.21)$$

gdje su:

- $\sum \Phi_{T,i}$  - suma transmisijskih toplinskih gubitaka svih grijanih prostora isključujući izmjenu topline unutar zgrade [W]
- $\sum \Phi_{V,i}$  - suma ventilacijskih toplinskih gubitaka svih grijanih prostora isključujući izmjenu topline unutar zgrade [W] i
- $\sum \Phi_{\text{RH},i}$  - suma dodatnih toplinskih učina kojima se kompenziraju učinci nekontinuiranog grijanja svih prostora unutar zgrade [W].

## 11.4. Metodologija proračuna dobitka topline prema VDI 2078

### 11.4.1. Ukupni toplinski dobitci

Prema normi VDI 2078 ukupni toplinski dobitci prostorije zbroj su vanjskog i unutarnjeg toplinskog opterećenja prema izrazu:

$$Q_{\text{UK}} = Q_{\text{UN}} + Q_{\text{VANJ}} \text{ [W]} \quad (11.22)$$

gdje su:

- $Q_{\text{UN}}$  - ukupno unutarnje toplinsko opterećenje – unutarnji izvori topline [W] i
- $Q_{\text{VANJ}}$  - ukupno vanjsko toplinsko opterećenje – vanjski izvori topline [W].

Unutarnje toplinsko opterećenje, tj. izvori topline u samoj prostoriji sastoje se iz nekoliko različitih utjecaja prema izrazu:

$$Q_{\text{UN}} = Q_{\text{OS}} + Q_{\text{RAS}} + Q_{\text{SUO}} + Q_{\text{U-ZID}} + Q_{\text{PROL}} + Q_{\text{OST}} \text{ [W]} \quad (11.23)$$

gdje su:

- $Q_{\text{OS}}$  - toplinski tok koji odaju ljudi u prostoru [W]
- $Q_{\text{RAS}}$  - toplinski tok od rasvjetnih tijela [W]
- $Q_{\text{SUO}}$  - toplinski tok koji odaju strojevi, uređaji i ostala oprema [W]
- $Q_{\text{U-ZID}}$  - toplinski tok iz susjednih prostorija provođenjem i konvekcijom kroz unutarnji zid, pod ili strop [W]
- $Q_{\text{PROL}}$  - toplinski tok koji odaju predmeti pri prolasku kroz prostoriju [W] te
- $Q_{\text{OST}}$  - toplinski tok od ostalih izvora (razni procesi i sl.) [W].

Vanjsko toplinsko opterećenje, tj. vanjski izvori topline izračunavaju se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{\text{VANJ}} = Q_{\text{V-ZID}} + Q_{\text{PROZ-KONV}} + Q_{\text{PROZ-ZR}} + Q_{\text{VENT}} \text{ [W]} \quad (11.24)$$

gdje su:

- $Q_{\text{V-ZID}}$  - toplinski tok iz okoline provođenjem i konvekcijom kroz vanjski zid ili krov [W]
- $Q_{\text{PROZ-KONV}}$  - toplinski tok doveden iz okoline provođenjem i konvekcijom kroz ostakljene plohe [W]
- $Q_{\text{PROZ-ZR}}$  - toplinski tok doveden iz okoline zračenjem kroz ostakljene plohe [W] i
- $Q_{\text{VENT}}$  - toplinski tok uslijed prirodne ventilacije (kroz zazore) [W].

## 11.4.2. Unutarnji izvori topline

### 11.4.2.1. Toplina koju odaju ljudi

Toplinski tok koji odaju ljudi u prostoru izračunava se prema izrazu:

$$Q_{OS} = n \cdot Q_o \cdot s_{UN} \quad [W] \quad (11.25)$$

gdje su:

- $n$  - broj osoba u prostoriji
- $Q_o$  - toplinski tok od jednog čovjeka [W] i
- $s_{UN}$  - faktor toplinskog opterećenja za unutarnje izvore.

Toplinski tok koji odaje jedan ljudski organizam zbroj je osjetne i latentne topline, a ovisi o temperaturi zraka u prostoriji, te o razini aktivnosti, prema tablici 11.6.

**Tablica 11.6 - Toplinski tok (ukupni, osjetni i latentni) koji odaje ljudski organizam u ovisnosti o temperaturi zraka i razini aktivnosti**

Razina aktivnosti	Topl. tok [W] Vlaga [g/h]	Temperatura zraka u prostoriji [°C]						
		18	20	22	23	24	25	26
Sjedeći ili lakši stojeći rad	$Q_{UK}$	125	120	120	120	115	115	115
	$Q_{SENZ}$	100	95	90	85	75	75	70
	$Q_{LAT}$	25	25	25	35	40	40	45
	$m_v$	35	35	40	50	60	60	65
Teži rad	$Q_{UK}$	190	190	190	190	190	190	190
	$Q_{SENZ}$	125	115	105	100	95	85	85
	$Q_{LAT}$	65	75	85	90	95	100	105
	$m_v$	95	110	125	135	140	145	150
Teški fizički rad	$Q_{UK}$	270	270	270	270	270	270	270
	$Q_{SENZ}$	155	140	120	115	110	105	95
	$Q_{LAT}$	115	130	150	155	160	165	175
	$m_v$	165	165	215	225	230	240	250

Faktor toplinskog opterećenja  $s_{UN}$  dan je u normi. Može se, međutim, usvojiti da je  $s_{UN} = 1$ .

### 11.4.2.2. Toplina koju odaju rasvjetna tijela

Toplinski tok koji odaju rasvjetna tijela može se odrediti prema izrazu:

$$Q_{RAS} = P_{RAS} \cdot I_{IR} \cdot \mu_{OR} \cdot s_{UN} \quad [W] \quad (11.26)$$

gdje su:

- $P_{RAS}$  - ukupni električni učin svih rasvjetnih tijela prostorije [W]
- $I_{IR}$  - faktor istodobnosti rasvjete (uzima u obzir druge mogućnosti rasvjete, npr. prirodnu rasvjetu)
- $\mu_{OR}$  - stupanj toplinskog opterećenja prostorije rasvjetom, prema tablici 11.5 te
- $s_{UN}$  - faktor toplinskog opterećenja za unutarnje izvore

Tablica 11.7 - Stupanj toplinskog opterećenja prostorije rasvjetom

Izvedba			$\mu_{OR}$			
Obične žarulje ili druga rasvjetna tijela s prirodnim strujanjem zraka			1			
Fluorescentna rasvjeta s prisilnim strujanjem zraka	Odsis zraka kroz:	$V/P^*$	0,2	0,3	0,5	1
	- otvore u stropu		0,8	0,7	0,55	0,45
	- neizolirane kanale		0,45	0,4	0,35	0,3
	- izolirane kanale		0,4	0,35	0,3	0,25

\*  $V/P$  – omjer protoka zraka i nazivnog učina rasvjete [ $m^3/(hW)$ ]

#### 11.4.2.3. Toplina koju odaju strojevi, uređaji i ostala oprema

Toplinski tok koji odaju strojevi, uređaji i ostala oprema, koji se nalaze u prostoriji, izračunava se prema izrazu:

$$Q_{SUO} = I_{IS} \cdot s_{UN} \cdot \sum \frac{P_{SUO}}{\eta} \cdot \mu_{OS} \quad [W] \quad (11.27)$$

gdje su:

- $P_{SUO}$  - nazivni učin stroja, uređaja ili opreme [W]
- $I_{IS}$  - stupanj istodobnosti pogona
- $\mu_{OS}$  - stupanj opterećenja stroja, uređaja ili opreme
- $\eta$  - stupanj djelovanja motora (ako postoji) te
- $s_{UN}$  - faktor toplinskog opterećenja za unutarnje izvore.

#### 11.4.2.4. Toplina dovedena iz susjednih prostorija provođenjem i konvekcijom kroz unutarnji zid, pod ili strop

Toplinski tok doveden iz susjednih prostorija provođenjem i konvekcijom kroz unutarnji zid, pod ili strop može se izračunati prema:

$$Q_{U-ZID} = k_{U-ZID} \cdot A_{U-ZID} \cdot (\theta_{sp} - \theta_i) \quad [W] \quad (11.28)$$

gdje su:

- $k_{U-ZID}$  - koeficijent prolaza topline pregradnog zida, stropa ili poda [ $W/(m^2K)$ ]
- $A_{U-ZID}$  - površina pregradnog zida, stropa ili poda (ne računajući površinu vrata i ostalih otvora) [ $m^2$ ]
- $\theta_{sp}$  - temperatura zraka u susjednoj prostoriji ili temperatura tla [ $^{\circ}C$ ] i
- $\theta_i$  - temperatura zraka u prostoriji [ $^{\circ}C$ ].

#### 11.4.2.5. Toplina koju odaju predmeti pri prolasku kroz prostoriju

Toplinski tok koji odaju razni predmeti ili tvari pri prolasku kroz prostoriju može se izračunati prema izrazu:

$$Q_{PROL} = \frac{m_{PRED} \cdot c_{PRED} \cdot \Delta\theta_{PRED} \cdot s_{UN}}{t} \quad [W] \quad (11.29)$$

gdje su:

- $c_{PRED}$  - specifični toplinski kapacitet predmeta ili tvari [ $J/kgK$ ]
- $m_{PRED}$  - masa predmeta ili tvari [kg]
- $t$  - vrijeme boravka predmeta il tvari u prostoru [s]
- $\Delta\theta_{PRED}$  - razlika temperatura predmeta pri izlazu i ulazu u prostoriju [ $^{\circ}C$ ] i
- $s_{UN}$  - faktor toplinskog opterećenja za unutarnje izvore.

#### 11.4.2.6. Toplina koju odaju ostali izvori (razni procesi i sl.)

Toplinski tok koji odaju ostali izvori, primjerice kemijski i slični procesi, životinje itd., u većini slučajeva može se zanemariti, a treba ga uzeti u obzir kad se smatra da je njihov udio značajan.

### 11.4.3. Vanjski toplinski izvori

#### 11.4.3.1. Toplina dovedena iz okoline provođenjem i konvekcijom kroz vanjske zidove ili krov

Toplinski tok provođenjem i konvekcijom kroz vanjski zid ili krov iz okoline može se izračunati prema izrazu:

$$Q_{V-ZID} = k_{V-ZID} \cdot A_{V-ZID} \cdot \Delta\theta_{ekv} \quad [W] \quad (11.30)$$

gdje su:

- $k_{V-ZID}$  - koeficijent prolaza topline vanjskog zida ili krova [ $W/(m^2K)$ ]
- $A_{V-ZID}$  - površina vanjskog zida ili krova (bez površine prozora, vrata i sličnih otvora) [ $m^2$ ] i
- $\Delta\theta_{ekv}$  - ekvivalentna razlika temperatura koja uzima u obzir promjenu temperature vanjske stijenke zida zbog Sunčeva zračenja određuje se iz tablica u normi [ $^{\circ}C$ ].

Ekvivalentna razlika temperatura, koja se može očitati iz tablica, definirana je za temperaturu zraka u prostoriji od  $22^{\circ}C$  i temperaturu vanjskog zraka  $24,5^{\circ}C$ . Za temperaturne uvjete različite od navedenih, vrijednost ekvivalentne razlike temperatura računa se prema izrazu:

$$\Delta\theta_{ekv(kor)} = \Delta\theta_{ekv} + (\theta_{a,stv} - 24,5) + (22 - \theta_{i,stv}) \quad [^{\circ}C] \quad (11.31)$$

gdje su:

- $\Delta\theta_{ekv}$  - ekvivalentna razlika temperatura za temperaturu zraka u prostoriji od  $22^{\circ}C$  i temperaturu vanjskog zraka od  $24,5^{\circ}C$
- $\theta_{a,stv}$  - stvarna temperatura vanjskog zraka [ $^{\circ}C$ ] i
- $\theta_{i,stv}$  - stvarna temperatura zraka u prostoriji [ $^{\circ}C$ ].

#### 11.4.3.2. Toplina dovedena iz okoline provođenjem i konvekcijom kroz ostakljene plohe

Toplinski tok doveden iz okoline provođenjem i konvekcijom kroz ostakljenu (prozorsku) plohu izračunava se prema izrazu:

$$Q_{PROZ-KONV} = k_{PROZ} \cdot A_{PROZ} \cdot (\theta_a - \theta_i) \quad [W] \quad (11.32)$$

gdje su:

- $k_{PROZ}$  - koeficijent prolaza topline prozora [ $W/(m^2K)$ ]
- $A_{PROZ}$  - površina prozora ili druge ostakljene plohe [ $m^2$ ]
- $\theta_a$  - temperatura vanjskog zraka [ $^{\circ}C$ ] i
- $\theta_i$  - temperatura zraka u prostoriji [ $^{\circ}C$ ].

### 11.4.3.3. Toplina dovedena iz okoline zračenjem kroz ostakljene plohe

Toplinski tok iz okoline zračenjem kroz ostakljenu plohu može se izračunati pomoću izraza:

$$Q_{\text{PROZ-ZR}} = [A_{\text{PROZ-OS}} \cdot I_{\text{UK-MAX}} + (A_{\text{PROZ-ST}} - A_{\text{PROZ-OS}}) \cdot I_{\text{RASP-MAX}}] \cdot b_{\text{PR}} \cdot s_{\text{V}} \quad [\text{W}] \quad (11.33)$$

gdje je:

- $A_{\text{PROZ-OS}}$  - površina osunčanog dijela ostakljene plohe pri čemu treba uzeti u obzir građevinske elemente oko prozora koje je mogu zasjeniti [m<sup>2</sup>]
- $A_{\text{PROZ-ST}}$  - ukupna površina ostakljene plohe (bez površine okvira) koja se izračunava izrazom  $A_{\text{PROZ-ST}} = A_{\text{PROZ}} \cdot g$  [m<sup>2</sup>], gdje je  $g$  udio stakla u površini prozora, a  $A_{\text{PROZ}}$  površina prozora,
- $I_{\text{UK-MAX}}$  - maksimalno ukupno zračenja na plohu [W/m<sup>2</sup>]
- $I_{\text{RASP-MAX}}$  - maksimalno raspršeno (difuzno) zračenja na plohu [W/m<sup>2</sup>]
- $b_{\text{PR}}$  - faktor propusnosti ostakljene plohe te
- $s_{\text{V}}$  - faktor toplinskog opterećenja za vanjske izvore topline.

Ako nema zasjenjenja prozora, površina osunčanog dijela ostakljene plohe  $A_{\text{PROZ-OS}}$  jednaka je ukupnoj površini ostakljene plohe (bez površine okvira)  $A_{\text{PROZ-ST}}$  te vrijedi:

$$Q_{\text{PROZ-ZR}} = A_{\text{PROZ-ST}} \cdot I_{\text{UK-MAX}} \cdot b_{\text{PR}} \cdot s_{\text{V}} \quad [\text{W}] \quad (11.38)$$

Faktor propusnosti ostakljene plohe za različite vrste stakla i izvedbe prozora može se odrediti pomoću tablice 11.6.

**Tablica 11.8- Faktori propusnosti za različite vrste stakla i izvedbe prozora**

Izvedba prozora ili sjenila		$b_{\text{PR}}$
<b>Ravno prozorsko staklo prema DIN1249</b>	jednostruko	1,0
	dvostruko	0,9
<b>Apsorbirajuće prozorsko staklo</b>	jednostruko	0,75
	dvostruko (izvana apsorbirajuće, iznutra obično)	0,65
<b>Reflektirajuće prozorsko staklo</b>	jednostruko (prevučeno metalnim oksidom)	0,65
<b>Staklena ploha (stijena)</b>	glatka, nematirana	0,65
	glatka, matirana	0,45
	s uzorkom, nematirana	0,45
	s uzorkom, matirana	0,35
<b>Vanjska sjenila</b>	žaluzine (otvorene pod 45°)	0,15
	venecijaneri	0,3
<b>Sjenila između dva stakla</b>	žaluzine (otvorene pod 45°)	0,5
<b>Unutarnja sjenila</b>	žaluzine (otvorene pod 45°)	0,7
	zavjese	0,5

Ako se zaštita od Sunčeva zračenja sastoji od više gore navedenih elemenata, tada se faktori množe (npr. za dvostruko staklo i zavjesu  $b_{\text{PR}} = 0,9 \cdot 0,5 = 0,45$ ).

### 11.4.3.4. Toplina dovedena uslijed prirodne ventilacije (kroz zazore)

Toplinski tok uslijed prirodne ventilacije prilikom proračuna dobitaka topline prostora uzima se u obzir samo u iznimnim slučajevima.



## 11.5. Metodologija proračuna potrošnje energije u zgradarstvu prema Pravilniku o energetskom certificiranju zgrada (NN 36/10)

### 11.5.1. Općenito

#### 11.5.1.1. Energetsko svojstvo zgrade - energetski razred

Dokument Europskog parlamenta pod nazivom Direktiva o energetskom svojstvu zgrada - Energy performance of Buildings Directive (EPBD) 2002/91/EC od 16.12.2002. godine, donesena je s ciljem promicanja poboljšanja energetskog svojstva zgrada u zemljama EU-a isplativim mjerama, uzimajući u obzir vanjske klimatske uvjete uz očuvanje zadovoljavajućeg komfora unutar kondicioniranog prostora. Izrađeno je desetak normi koje pomažu implementaciju Direktive u praksi. Direktivom se definira energetsko svojstvo zgrade kao procijenjena ili stvarno potrošena ukupna količina energije za osiguravanje željenih uvjeta unutar prostora, a obuhvaća energiju za grijanje, hlađenje, pripremu potrošne tople vode, ventilaciju i rasvjetu.

Energetsko svojstvo zgrade izražava se broječanim indikatorom, a može biti iskazan količinom potrebne primarne energije, količinom emisije CO<sub>2</sub> ili nekom drugom veličinom definiranom u nacionalnim propisima. U Hrvatskoj to uređuje Pravilnik o energetskom certificiranju zgrada (NN 36/10), prema kojemu se kao indikator energetskih svojstava zgrade koristi **energetski razred zgrade**. Energetski razred zgrade jest izražen preko specifične godišnje potrebne toplinske energije za grijanje  $Q''_{H,nd,ref}$  [kWh/(m<sup>2</sup>a)] (za stambene zgrade), odnosno preko relativne vrijednosti specifične godišnje potrebne toplinske energije za grijanje  $Q_{H,nd,rel}$  [%] (za nestambene zgrade), sve proračunato za referentne klimatske podatke. Relativna vrijednost godišnje potrebne toplinske energije za grijanje za nestambene zgrade  $Q_{H,nd,rel}$  [%], jest omjer specifične godišnje potrebne toplinske energije za grijanje za referentne klimatske podatke  $Q'_{H,nd,ref}$  [kWh/(m<sup>3</sup>a)] i dopuštene specifične godišnje potrebne toplinske energije za grijanje  $Q'_{H,nd,dop}$  [kWh/(m<sup>3</sup>a)]. Energetski razred određuje se temeljem spomenutih vrijednosti prema tablici 11.9.

Tablica 11.9 - Energetski razredi zgrada [11.1]

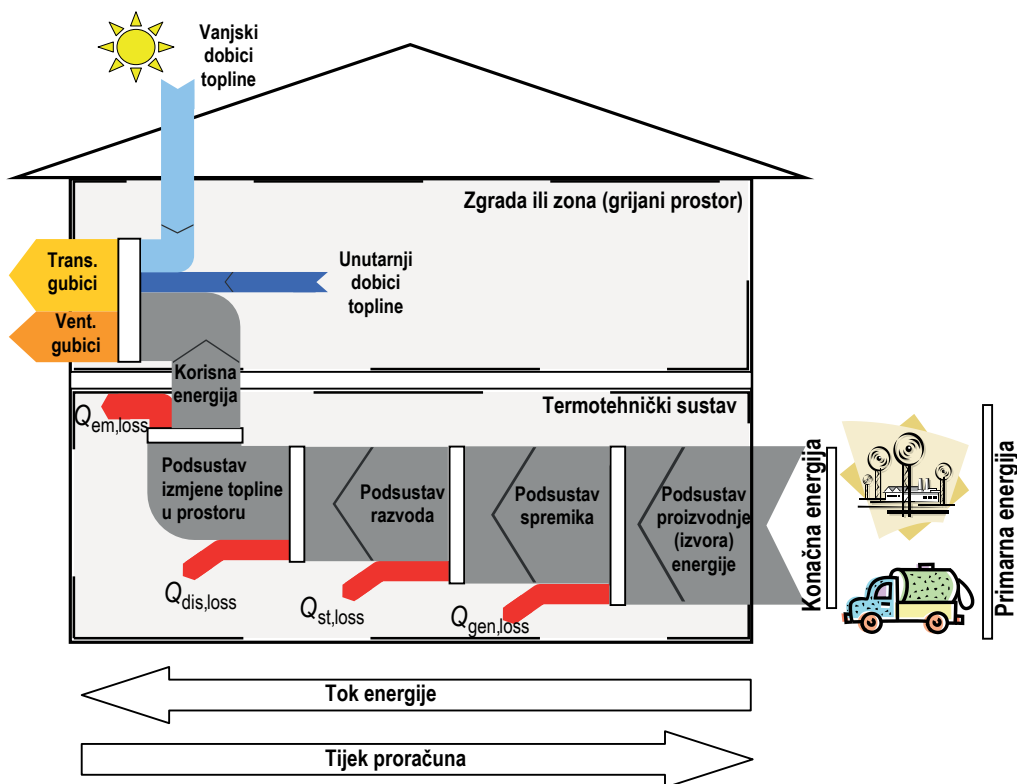
Stambene zgrade		Nestambene zgrade	
Energetski razred	$Q''_{H,nd,ref}$ kWh/(m <sup>2</sup> a)	Energetski razred	$Q''_{H,nd,ref}$ kWh/(m <sup>2</sup> a)
A+	≤ 15	A+	≤ 15
A	≤ 25	A	≤ 25
B	≤ 50	B	≤ 50
C	≤ 100	C	≤ 100
D	≤ 150	D	≤ 150
E	≤ 200	E	≤ 200
F	≤ 250	F	≤ 250
G	> 250	G	> 250

Energetski razred zgrade upisuje se u energetski certifikat te on u pravilu odražava energetska svojstva zgrade i potrošnju energije, izračunatu na temelju pretpostavljenog režima korištenja zgrade i ne mora nužno izražavati realnu potrošnju u zgradi ili njezinoj samostalnoj uporabnoj jedinici. Naime stvarna potrošnja energije značajno ovisi o ponašanju korisnika zgrade, a energetski razred određen na temelju izračunate potrošnje energije, kao neovisna veličina, omogućuje usporedbu različitih zgrada.

Osnovni okvir proračuna potrebne energije definiran je normom HRN EN 15603. Norma donosi način proračuna ukupne konačne energije zgrade, ukupne potrošnje energije, izražene preko primarne energije, količine emisije CO<sub>2</sub> ili nekog drugog pokazatelja definiranih nacionalnom energetskom politikom. Proračun potrebne konačne energije za zgradu uključuje proračun energije za grijanje, hlađenje i odvlaživanje, ventilaciju i ovlaživanje, pripremu potrošne tople vode, rasvjetu i ostale potrošače energije. Ukupna godišnja konačna energija uključuje i potrebnu pomoćnu energiju i gubitke energije svih tehničkih sustava.

### 11.5.1.2. Okvirni tijek proračuna

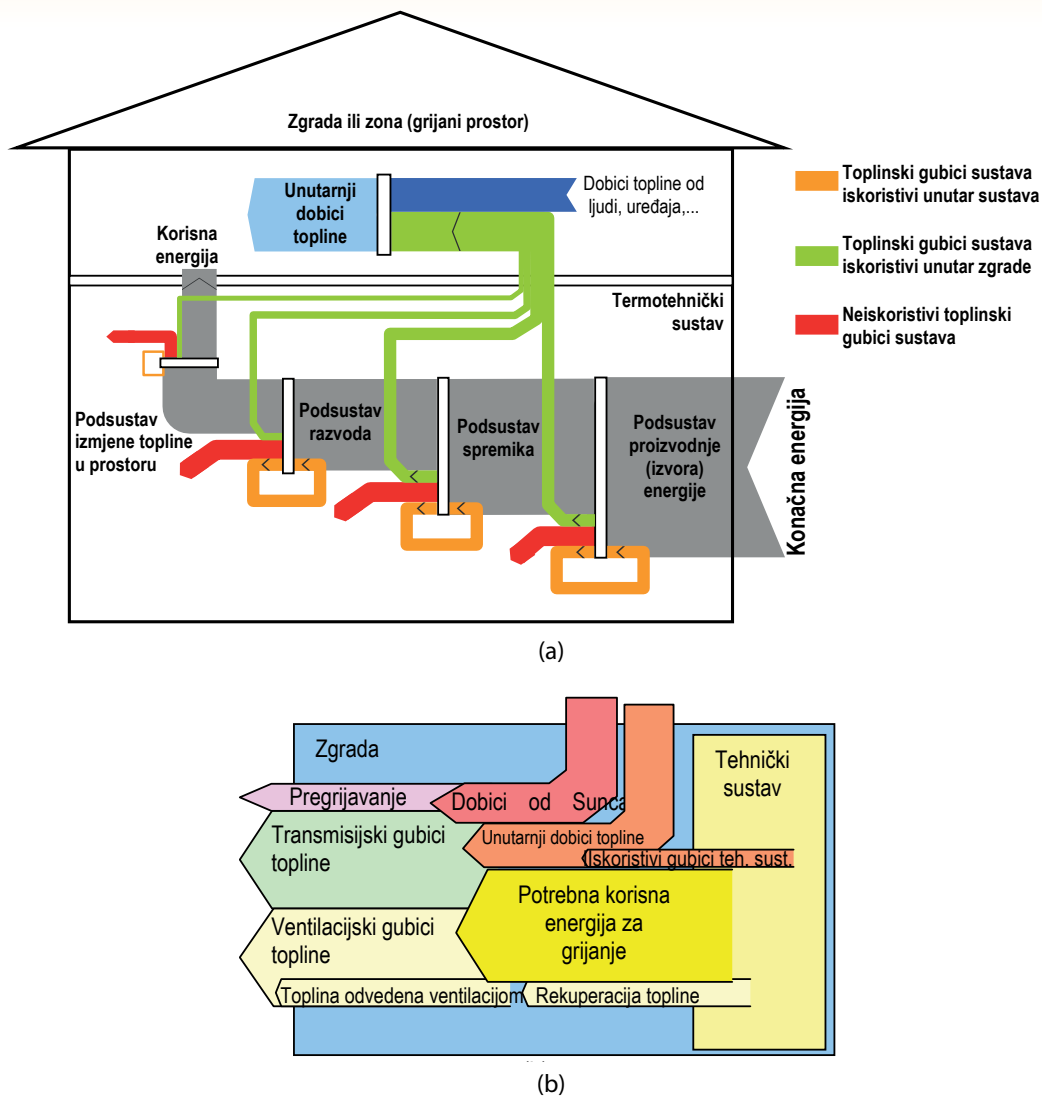
Proračun tokova energije vrši se za definiranu granicu objekta (npr. stan, zgrada, i sl.) Redoslijed proračuna potrebne energije vrši se u obrnutom smjeru od toka energije. Najprije se izračunava potrebna toplinska i rashladna energija koju treba dovesti ili odvesti u svrhu osiguranja željenog stanja u prostoru (korisna energija), nakon čega se pristupa proračunu potrebne energije za pogon tehničkih sustava zgrade za isporuku potrebne toplinske i rashladne energije (konačna energija). Na kraju se određuje potrebna količina primarne energije, koristeći faktore konverzije u ovisnosti o izvoru energije (slika 11.6).



Slika 11.9. - Osnovni tokovi energije i smjer tijek proračuna potrebne energije za grijanje zgrade

Potrebna električna energija (rasvjeta i pomoćna energija) i toplinska energija (grijanje, hlađenje i priprema potrošne tople vode) iskazuju se odvojeno. Energija proizvedena u ili na granici objekta od obnovljivih izvora energije i njena potrošnja u objektu, promatraju se odvojeno od ukupne potrošnje energije. Unutar granica objekta gubici energije tehničkih sustava uzimaju se u obzir eksplicitno, a gubici energije izvan granica objekta uzimaju se u obzir faktorima konverzije.

Unutar granica objekta, odvojeno se vrše bilance energije zgrade bez tehničkih sustava i bilanca energije tehničkog sustava. Bilancom energije na razini zgrade proračunava se potrebna korisna energija (tj. potrebna toplinska i rashladna energija koju treba dovesti zgradi za održavanje željenog stanja). Podatak o potrošenoj količini toplinske i rashladne energije ulazni je parametar za bilancu na razini tehničkih sustava. Tehnički sustavi imaju gubitke energije koje možemo podijeliti na tri dijela: neiskoristive gubitke topline sustava, gubitke topline sustava koji se mogu iskoristiti unutar prostora i gubitke topline koji se mogu iskoristiti unutar samog sustava (slika 11.10 (a)). Dakle, dio toplinskih gubitaka može se direktno iskoristiti u zgradi za namirenje potrebne toplinske i rashladne energije. Zbog toga su bilanca energije zgrade i bilanca termotehničkog sustava međuovisne i proračun je potrebno provesti iteracijski. Iteracijski postupak omogućuje uzimanje u proračun i međudjelovanje zgrade i tehničkog sustava kao i međudjelovanje između različitih zona zgrade. U svrhu energetskog certificiranja mogu se koristiti dvije iteracije proračuna. Interakcija i tokovi energija između zgrade i tehničkog sustava prikazani su na slici 11.10.



Slika 11.10 - Toplinski tokovi između zgrade i tehničkog sustava: a) tehnički sustav i b) zgrada

Bilanca energije na razini zgrade (ili samo proračunske zone zgrade) obuhvaća:

- izmjenu topline transmisijom između kondicioniranog prostora zgrade i vanjskog okoliša zbog razlike temperature kondicioniranog prostora i vanjske temperature
- izmjenu topline ventilacijom između kondicioniranog prostora zgrade i vanjskog okoliša
- izmjenu topline transmisijom i ventilacijom između susjednih zona
- unutarnje toplinske dobitke i gubitke (od osoba, uređaja, rasvjete, te toplina oslobođena ili apsorbirana radom ostalih tehničkih sustava)
- toplinske dobitke od Sunčeva zračenja
- potrebnu korisnu energiju za grijanje (ako se zona grije, sustav grijanja dovodi toplinu kako bi se povećala unutarnja temperatura na zahtijevanu najmanju postavnu vrijednost)
- potrebnu korisnu energiju za hlađenje (ako se zona hladi, sustav hlađenja odvodi toplinu kako bi se smanjila unutarnja temperatura na zahtijevanu najveću postavnu vrijednost) te
- akumuliranu toplinsku energiju koja se oslobađa ili pohranjuje u masi zgrade.

Dakle, bilanca energije na razini zgrade uključuje i povratnu toplinu iz različitih izvora kao što su iskoristivi toplinski gubici iz sustava ventilacije i iskoristivi toplinski gubici sustava grijanja i hlađenja. Dio ove topline se iskoristava kao korisna energija za grijanje i hlađenje te je zbog toga proračun potrebno provesti iteracijski u barem dva proračunska koraka. Prilikom proračuna

bilance energije za dulja razdoblja (mjesec i godina), kakav se najčešće koristi za određivanje energetskih potreba u zgradama, toplina pohranjena ili oslobođena iz mase zgrade može se zanemariti.

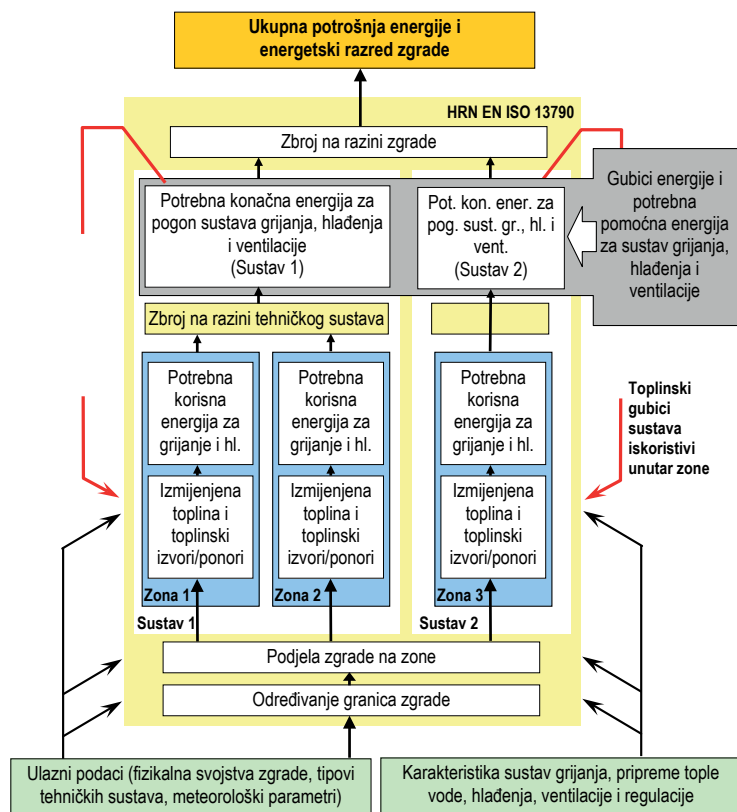
Potrebna energija za grijanje i potrebna energija za hlađenje osiguravaju se radom tehničkih sustava za grijanje i sustava za hlađenje. Bilanca energije na razini tehničkog sustava zgrade za grijanje i hlađenje obuhvaća:

- potrebnu energiju za grijanje i hlađenje koje se dobiju zbrajanjem potrebnih korisnih energija za grijanje i hlađenje zona koje koriste zajednički tehnički sustav
- energiju iz obnovljivih izvora energije
- toplinske gubitke sustava za grijanje i hlađenje
- potrebnu energiju za pogon tehničkih sustava grijanja i hlađenja (konačnu energiju)
- potrebnu konačnu energiju za sustav predgrijanja i prethlađenja zraka za ventilaciju, uključivo toplinske gubitke
- i u posebnim slučajevima proizvedenu energiju tehničkih sustava zgrade (kada se npr. koristi kogeneracijsko postrojenje za zajedničku proizvodnju toplinske i električne energije).

Proračun se provodi u koracima na sljedeći način:

- definiraju se granice svih kondicioniranih i nekondicioniranih zona
- odrede se ulazni podaci o okolišu (unutarnji i vanjski klimatski podaci)
- za svaku zonu zgrade i za svaki mjesec u godini proračuna se potrebna energija za grijanje i potrebna energija za hlađenje
- odredi se godišnja potrebna energija po zonama zbrajanjem mjesečnih potreba
- zbroji se potrebna energija po zonama koje opslužuju iste kombinacije tehničkih sustava
- odredi se potrebna konačna energije za grijanje i hlađenje, uzimajući u obzir toplinske gubitke sustava za grijanje i za hlađenje
- zbroje se rezultati za različite zone zgrade s različitim tehničkim sustavima.

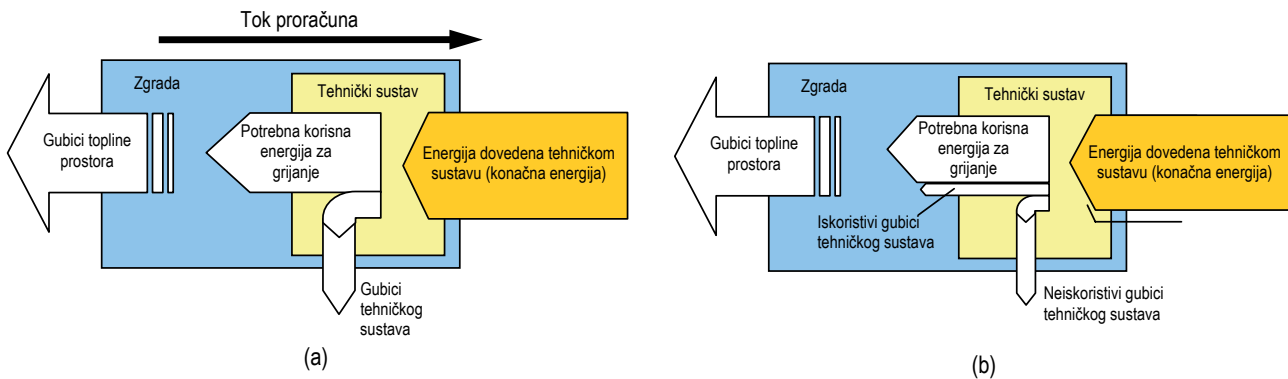
Schema proračuna zgrade s tri zone i dva tehnička sustava prikazana je na slici 11.11.



Slika 11.11- Shema proračuna zgrade s tri zone i dva tehnička sustava.

Kao što je već rečeno, da bi se uzelo u obzir međudjelovanje zgrade i tehničkog sustava, proračun se provodi u barem dva proračunska koraka (dvije iteracije) i to na sljedeći način:

- u prvom koraku se proračunava potrebna korisna energija za grijanje i hlađenje prostora, ne uzimajući u obzir toplinske gubitke sustava grijanja i hlađenja jer su u toj fazi proračuna oni još nepoznati. Iz izračunate potrebne korisne energije za grijanje i hlađenje proračunavaju se, između ostalog, i gubici tehničkog sustava koji se mogu iskoristiti
- u drugom koraku vrši se ponovni proračun potrebne korisne energije za grijanje i hlađenje pri čemu se uzimaju u obzir u prethodnoj iteraciji izračunati iskoristivi toplinski gubici sustava koji se uzimaju u proračun unutarnjih toplinskih dobitaka. Proračun u dva koraka za slučaj grijanja prikazan je na slici 11.12.



Slika 11.12 - a) prvi korak proračuna; b) drugi korak proračuna

### 11.5.1.3. Vrijednosti koje se unose u energetska certifikat

Podaci o potrošnji energije upisuju se na drugu stranicu energetska certifikata. Za stambene zgrade u predviđenu tablicu unose se sljedeće vrijednosti (slika 11.13):

- godišnja potrebna toplinska energija za grijanje za referentne klimatske podatke,  $Q_{H,nd,ref}$  [kWh/a] i specifična,  $Q''_{H,nd,ref}$  [kWh/(m<sup>2</sup>a)]
- godišnja potrebna toplinska energija za grijanje za stvarne klimatske podatke,  $Q_{H,nd}$  [kWh/a], specifična,  $Q''_{H,nd}$  [kWh/(m<sup>2</sup>a)] i najveća dopuštena vrijednost  $Q''_{H,nd,dop}$  [kWh/(m<sup>2</sup>a)]
- godišnja potrebna toplinska energija za zagrijavanje potrošne tople vode za stvarne klimatske podatke,  $Q_w$  u [kWh/a] i [kWh/(m<sup>2</sup>a)]
- godišnji toplinski gubici sustava grijanja za stvarne klimatske podatke  $Q_{H,ls}$  u [kWh/a] i [kWh/(m<sup>2</sup>a)]
- godišnji toplinski gubici sustava za zagrijavanje potrošne tople vode za stvarne klimatske podatke  $Q_{w,ls}$  u [kWh/a] i [kWh/(m<sup>2</sup>a)]
- godišnja potrebna toplinska energija za stvarne klimatske podatke  $Q_H$  u [kWh/a] i [kWh/(m<sup>2</sup>a)]
- godišnja isporučena energija zgradi za stvarne klimatske podatke  $E_{del}$  u [kWh/a] i [kWh/(m<sup>2</sup>a)]
- godišnja primarna energija za stvarne klimatske podatke  $E_{prim}$  u [kWh/a] i [kWh/(m<sup>2</sup>a)] i
- godišnja emisija CO<sub>2</sub> za stvarne klimatske podatke u [kg/a] i [kg/(m<sup>2</sup>a)].

Energetske potrebe						
	Za referentne klimatske podatke		Za stvarne klimatske podatke		Zahtjev	
	Ukupno [kWh/a]	Specifično [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	Ukupno [kWh/a]	Specifično [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	Dopušteno [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	Ispunjeno DA / NE
$Q_{H,nd,ref}$						
$Q_w$						
$Q_{H,ls}$						
$Q_{w,ls}$						
$Q_H$						
$E_{del}$						
$E_{prim}$						
CO <sub>2</sub> [kg/a]						

Objašnjenje:  obvezna ispunjena  ispunjava se opcijski

Slika 11.13 - Tablica za upis podataka o energetskim potrebama u energetska certifikat za stambene zgrade [11.1]

Za nestambene zgrade u predviđenu tablicu unose se sljedeće vrijednosti (slika 11.14):

- godišnja potrebna toplinska energija za grijanje za referentne klimatske podatke,  $Q_{H,nd,ref}$  [kWh/a] i specifična,  $Q''_{H,nd,ref}$  [kWh/(m<sup>2</sup>a)]
- godišnja potrebna toplinska energija za grijanje za stvarne klimatske podatke,  $Q_{H,nd}$  [kWh/a], specifična,  $Q''_{H,nd}$  [kWh/(m<sup>2</sup>a)] i najveća dopuštena vrijednost  $Q''_{H,nd,dop}$  [kWh/(m<sup>2</sup>a)]
- godišnja potrebna toplinska energija za zagrijavanje potrošne tople vode za stvarne klimatske podatke  $Q_{W,pr}$  u [kWh/a] i [kWh/(m<sup>2</sup>a)]
- godišnji toplinski gubici sustava grijanja za stvarne klimatske podatke  $Q_{H,ls}$  u [kWh/a] i [kWh/(m<sup>2</sup>a)]
- godišnji toplinski gubici sustava za zagrijavanje potrošne tople vode za stvarne klimatske podatke  $Q_{W,ls}$  u [kWh/a] i [kWh/(m<sup>2</sup>a)]
- godišnja potrebna toplinska energija za stvarne klimatske podatke  $Q_H$  u [kWh/a] i [kWh/(m<sup>2</sup>a)]
- godišnja potrebna toplinska energija za hlađenje za stvarne klimatske podatke  $Q_{C,nd}$  u [kWh/a] i [kWh/(m<sup>2</sup>a)]
- godišnji gubici sustava hlađenja za stvarne klimatske podatke  $Q_{C,ls}$  u [kWh/a] i [kWh/(m<sup>2</sup>a)]
- godišnja potrebna energija za hlađenje za stvarne klimatske podatke  $Q_C$  u [kWh/a] i [kWh/(m<sup>2</sup>a)]
- godišnja potrebna energija za ventilaciju u sustavu prisilne ventilacije, djelomične klimatizacije i klimatizacije za stvarne klimatske podatke  $Q_{ve}$  u [kWh/a] i [kWh/(m<sup>2</sup>a)]
- godišnja potrebna energija za rasvjetu za stvarne klimatske podatke  $E_l$  u [kWh/a] i [kWh/(m<sup>2</sup>a)]
- godišnja isporučena energija za definirani profil korištenja  $E_{del}$  u [kWh/a] i [kWh/(m<sup>2</sup>a)]
- godišnja primarna energija za definirani profil korištenja  $E_{prim}$  u [kWh/a] i [kWh/(m<sup>2</sup>a)]
- godišnja emisija CO<sub>2</sub> za definirani profil korištenja u [kg/a] i [kg/(m<sup>2</sup>a)] te
- specifična godišnja potrebna toplinska energija za grijanje za stvarne klimatske podatke  $Q'_{H,nd}$  [kWh/(m<sup>3</sup>a)] i najveća dopuštena vrijednost  $Q'_{H,nd,dop}$  [kWh/(m<sup>3</sup>a)].

	Za referentne klimatske podatke		Za stvarne klimatske podatke		Zahtjev	
	Ukupno [kWh/a]	Specifično [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	Ukupno [kWh/a]	Specifično [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	Dopušteno [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	Ispunjeno DA/NE
$Q_{H,ref}$						
$Q_{H,nd}$						
$Q_{H,nd,dop}$						
$Q_{W,pr}$						
$Q_{H,ls}$						
$Q_{W,ls}$						
$Q_H$						
$Q_{C,nd}$						
$Q_{C,ls}$						
$Q_C$						
$Q_{ve}$						
$E_l$						
$E_{del}$						
$E_{prim}$						
CO <sub>2</sub> [kg/a]						
$Q'_{H,nd}$ [kWh/(m <sup>3</sup> a)]						

Objašnjenje:  obvezne ispunja  ispunjava se opcijski

Slika 11.14 - Mjesto upisa podataka o potrošnji energije u energetski certifikat za nestambene zgrade [11.1]

Neke vrijednosti se ispunjavaju obvezno, a neke opcijski. U certifikate za stambene zgrade za sada je obavezan upis godišnje potrebne toplinske energije za grijanje za referentne klimatske podatke, za stvarne klimatske podatke kao i najviša dopuštena vrijednost prema Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, NN 110/08 i 89/09). U certifikate za nestambene zgrade za sada je obavezna ispunjena sljedećih veličina:

- godišnja potrebna toplinska energija za grijanje za referentne klimatske podatke,  $Q_{H,nd,ref}$  [kWh/a] i specifična,  $Q''_{H,nd,ref}$  [kWh/(m<sup>2</sup>a)]
- godišnja potrebna toplinska energija za grijanje za stvarne klimatske podatke,  $Q_{H,nd}$  [kWh/a], specifična,  $Q''_{H,nd}$  [kWh/(m<sup>2</sup>a)] i najveća dopuštena vrijednost  $Q''_{H,nd,dop}$  [kWh/(m<sup>2</sup>a)] prema Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, NN 110/08 i 89/09) te
- specifična godišnja potrebna toplinska energija za grijanje za stvarne i referentne klimatske podatke  $Q'_{H,nd}$  [kWh/(m<sup>3</sup>a)] i najveća dopuštena vrijednost  $Q'_{H,nd,dop}$  [kWh/(m<sup>3</sup>a)].

U nastavku se daje pregled potrebnih veličina, kratka metodologija proračuna, popis normi za proračun te pripadajuće poglavlje u kojemu se detaljnije opisuju način proračuna.

Metodologija određivanja potrebnih veličina za upis u energetske certifikat za stambene zgrade prikazana je u tablici 11.10, a za nestambene zgrade u tablici 11.11.

**Tablica 11.10 - Metodologija određivanja potrebnih veličina za upis u energetske certifikat za stambene zgrade [11.1]**

Naziv veličine	Upis u en. certifikat		Metoda proračuna	Poglavlje
	obavezan	opcijski		
Godišnje potrebna toplinska energija za grijanje $Q_{H,nd}$ [kWh/a] i $Q_{H,nd}$ [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	za referentne klim. podatke $Q_{H,nd,ref}$ za stvarne klim. podatke $Q_{H,nd}$	-	Proračun se provodi prema odredbama posebnog propisa kojim se propisuju tehnički zahtjevi glede racionalne uporabe energije i toplinske zaštite novih i postojećih zgrada (prema <i>Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti NN 110/08 i 89/09</i> ) Osnova proračuna jest norma HRN EN ISO 13790 uz neka pojednostavljena navedena u Propisu. Izračunava se i zahtijevana vrijednost $Q''_{H,nd}$ (prema <i>Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti NN 110/08 i 89/09</i> )	5.2
Godišnja potrebna toplinska energija za zagrijavanje potrošne vode $Q_W$ [kWh/a] i $Q_W$ [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	-	za stvarne i referentne klimatske podatke	Prema normi HRN EN 15316-3-1 Pojednostavljeno za stambene zgrade s do 3 stambene jedinice: $Q_W = 12,5 \cdot A_k \text{ [kWh/a]}$ Specifična vrijednost: $\frac{Q_W}{A_k} = 12,5 \text{ [kWh/(m}^2\text{a)]}$ Pojednostavljeno za stambene zgrade s više od 3 stambene jedinice: $\frac{Q_W}{A_k} = 12,5 \text{ [kWh/a]}$ Specifična vrijednost: $\frac{Q_W}{A_k} = 16 \text{ [kWh/(m}^2\text{a)]}$	5.3
Godišnji toplinski gubici sustava grijanja $Q_{H,Js}$ [kWh/a] i $Q_{H,Js}$ [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	-	za stvarne i referentne klimatske podatke	Prema normi HRN EN 15316	5.4 5.5
Godišnji toplinski gubici sustava za zagrijavanje potrošne tople vode $Q_{W,Js}$ [kWh/a] i $Q_{W,Js}$ [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	-	za stvarne i referentne klimatske podatke	Prema normi HRN EN 15316 $Q_{W,Js} = Q_{W,dis,Js} + Q_{W,st,Js} + Q_{W,gen,Js} \text{ [kWh/a]}$	5.4 5.6
Godišnja potrebna toplinska energija $Q_H$ [kWh/a] i $Q_H$ [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	-	za stvarne i referentne klimatske podatke	Računa se kao zbroj potrebne toplinske energije za grijanje i zagrijavanje potrošne tople vode te gubitaka oba sustava	5.7

**Tablica 11.10 - Metodologija određivanja potrebnih veličina za upis u energetska certifikat za stambene zgrade [11.1] - nastavak**

Naziv veličine	Upis u en. certifikat		Metoda proračuna	Poglavlje
	obavezan	opcijski		
Godišnja isporučena energija zgradi $E_{del}$ [kWh/a] i [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	-	za stvarne i referentne klimatske podatke	Računa se kao: $E_{del} = Q_H + \frac{Q_C}{COP} + Q_{Ve} + E_L + Q_{aux} - E_{obnov} - E_{pov}$ (kWh/a)	5.14
Godišnja primarna energija $E_{prim}$ [kWh/a] i [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	-	za stvarne i referentne klimatske podatke	Prema <i>Pravilniku o energetskom certificiranju zgrada</i> (NN 36/10)	5.15
Godišnja emisija CO <sub>2</sub> [kg/a] i [kg/(m <sup>2</sup> a)]	-	za stvarne i referentne klimatske podatke	Prema <i>Pravilniku o energetskom certificiranju zgrada</i> (NN 36/10)	5.16
Koeficijent transmisijskog toplinskog gubitka $H'_{tr,adj}$ [W/(m <sup>2</sup> K)]	-	-	Proračun se provodi prema odredbama posebnog propisa kojim se propisuju tehnički zahtjevi glede racionalne uporabe energije i toplinske zaštite novih i postojećih zgrada.	5.2

**Tablica 11.11 - Metodologija određivanja potrebnih veličina za upis u energetska certifikat za nestambene zgrade [11.1]**

Naziv veličine	Upis u en. certifikat		Metoda proračuna	Poglavlje
	obavezan	opcijski		
Godišnje potrebna toplinska energija za grijanje $Q_{H,nd}$ [kWh/a] i [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	za referentne klim. podatke $Q_{H,nd,ref}$ za stvarne klim. podatke $Q_{H,nd}$	-	Proračun se provodi prema odredbama posebnog propisa kojim se propisuju tehnički zahtjevi glede racionalne uporabe energije i toplinske zaštite novih i postojećih zgrada (prema <i>Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti NN 110/08 i 89/09</i> ) Osnova proračuna jest norma HRN EN ISO 13790 uz neka pojednostavljena navedene u Propisu. Izračunava se i zahtijevana vrijednost $Q''_{H,nd}$ (prema <i>Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti NN 110/08 i 89/09</i> )	5.2
Godišnja potrebna toplinska energija za zagrijavanje potrošne vode $Q_W$ [kWh/a] i [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	-	za stvarne i referentne klimatske podatke	Prema normi HRN EN 15316-3-1 $Q_W = \rho_W \cdot c_W \cdot V_W \cdot (\theta_W - \theta_0)$ [kWh/a]	5.3



**Tablica 11.11 - Metodologija određivanja potrebnih veličina za upis u energetske certifikat za stambene zgrade [1.1]- nastavak**

Naziv veličine	Upis u en. certifikat		Metoda proračuna	Poglavlje
	obavezan	opcijski		
Godišnji toplinski gubici sustava grijanja $Q_{H,ls}$ [kWh/a] i [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	-	za stvarne i referentne klimatske podatke	Prema normi HRN EN 15316	5.4 5.5
Godišnji toplinski gubici sustava za zagrijavanje potrošne tople vode $Q_{W,ls}$ [kWh/a] i [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	-	za stvarne i referentne klimatske podatke	Prema normi HRN EN 15316 $Q_{W,ls} = Q_{W,dis,ls} + Q_{W,st,ls} + Q_{W,gen,ls}$ [kWh/a]	5.4 5.6
Godišnja potrebna toplinska energija $Q_H$ [kWh/a] i [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	-	za stvarne i referentne klimatske podatke	Računa se kao zbroj potrebne toplinske energije za grijanje i zagrijavanje potrošne tople vode te gubitaka oba sustava.	5.7
Godišnje potrebna toplinska energija za hlađenje $Q_{C,nd}$ [kWh/a] i [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	-	za stvarne i referentne klimatske podatke	Prema HRN EN ISO 13790 $Q_{C,nd} = Q_{C,gn} - \eta_{C,ls} \cdot Q_{C,ht}$ [kWh/a]	5.8
Godišnji gubici sustava hlađenja za $Q_{C,ls}$ [kWh/a] i [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	-	za stvarne i referentne klimatske podatke	Prema HRN EN 15243	5.9
Godišnja potrebna energija za hlađenje $Q_C$ [kWh/a] i [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	-	za stvarne i referentne klimatske podatke	Računa se kao zbroj potrebne energije za hlađenje i gubitaka sustava hlađenja: $Q_C = Q_{C,nd} + Q_{C,ls}$ [kWh/a]	5.10
Godišnja potrebna energija za ventilaciju u sustavu prisilne ventilacije, djelomične klimatizacije i klimatizacije $Q_{ve}$ uključujući gubitke u [kWh/a] i [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	-	za stvarne i referentne klimatske podatke	Prema HRN EN ISO 13790, HRN EN 15241, HRN EN 15243	5.11

**Tablica 11.11- Metodologija određivanja potrebnih veličina za upis u energetska certifikat za nestambene zgrade [11.1]- nastavak**

Naziv veličine	Upis u en. certifikat		Metoda proračuna	Poglavlje
	obavezan	opcijski		
Godišnja potrebna energija za rasvjetu $E_l$ [kWh/a] i [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	-	za stvarne i referentne klimatske podatke	Prema HRN EN 15193	5.12
Godišnja isporučena energija zgradi $E_{del}$ [kWh/a] i [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	-	za stvarne i referentne klimatske podatke	Računa se kao: $E_{del} = Q_H + \frac{Q_C}{COP} + Q_{Ve} + E_L + Q_{aux} - E_{obnov} - E_{pov}$ [kWh/a]	5.14
Godišnja primarna energija $E_{prim}$ [kWh/a] i [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	-	za stvarne i referentne klimatske podatke	Prema <i>Pravilniku o energetska certificiranju zgrada</i> (NN 36/10)	5.15
Godišnja emisija CO <sub>2</sub> [kg/a] i [kg/(m <sup>2</sup> a)]	-	za stvarne i referentne klimatske podatke	Prema <i>Pravilniku o energetska certificiranju zgrada</i> (NN 36/10)	5.16
Koeficijent transmisivnog toplinskog gubitka $H_T^+$ [W/(m <sup>2</sup> K)]	-	-	Proračun se provodi prema odredbama posebnog propisa kojim se propisuju tehnički zahtjevi glede racionalne uporabe energije i toplinske zaštite novih i postojećih zgrada.	5.2

### 11.5.2. Godišnje potrebna toplinska energija za grijanje $Q_{H,nd}$ prema HRN EN ISO 13790

Prema *Pravilniku o energetska certificiranju zgrada* (NN 36/10) godišnja potrebna toplinska energija za grijanje jest računski određena količina topline koju sustavom grijanja treba tijekom jedne godine dovesti u zgradu za održavanje unutarnje projektne temperature u zgradi tijekom razdoblja grijanja. U energetska certifikat potrebno je unijeti i dopuštenu vrijednost određenu prema *Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti* (NN 110/08 i 89/09).

Prema *Pravilniku o energetska certificiranju zgrada* (NN 36/10), godišnja potrebna toplinska energija za grijanje izračunava se prema *Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti* (NN 110/08 i 89/09) koji predviđa normu HRN EN ISO 13790 kao osnovu proračuna, ali uz sljedeće uvjete (članak 14. Tehničkog propisa):

- za proračun gubitaka topline,  $Q_{H,ht'}$  za zgradu s uvedenim sustavom za klimatizaciju i nestambenu zgradu gospodarske namjene za unutarnju temperaturu grijanja,  $\Theta_{int,set,H'}$  primjenjuje se projektom predviđena vrijednost
- za proračun gubitaka topline,  $Q_{H,ht'}$  za stambenu zgradu i nestambenu zgradu javne namjene koja nema uveden sustav za klimatizaciju pretpostavlja se da unutarnja projektna temperatura grijanja iznosi  $\Theta_{int,set,H} = 20^\circ\text{C}$
- u slučaju prekidanog grijanja (nestambene zgrade javne ili gospodarske namjene), gubici topline,  $Q_{H,ht'}$  računaju se tako da se unutarnja projektna temperatura grijanja zamijeni s usrednjenom unutarnjom temperaturom; projektno trajanje prekida grijanja kod nestambenih zgrada javne namjene iznosi 7 sati s unutarnjom projektnom temperaturom  $16^\circ\text{C}$ , a za nestambene zgrade gospodarske namjene trajanje prekida grijanja je prema podacima iz projekta; unutarnji dobici topline,  $Q_{int'}$  računaju se s vrijednošću  $5 \text{ W/m}^2$  ploštine korisne površine zgrade, ako drugim propisom nije drukčije određeno
- kod proračuna solarnih dobitaka topline,  $Q_{sol}$  ne uzimaju se u obzir neprozirne plohe vanjskih građevnih dijelova koje su izložene Sunčevu zračenju, a kod prozirnih površina potrebno je uzeti u obzir mjeru zasjenjenosti

- kod proračuna koeficijenta toplinskog gubitka provjetranjem,  $H_{ve}$ , broj izmjena zraka,  $n$ , određuje se prema HRN EN ISO 13789 za srednju razinu nepropusnosti za zrak omotača zgrade. Ako ne postoje točniji podaci, dodatni tok zraka uslijed vjetra i uzgona,  $V_x$ , može se računati s vrijednosti  $V_x = 0,2 \cdot V_e$  [ $m^3/h$ ]
- za efektivni toplinski kapacitet,  $C_m$  [Wh/K], grijanog dijela zgrade, koji se koristi kod utvrđivanja stupnja iskorištenja dobitaka topline, dopušteno je koristiti približne vrijednosti dobivene pomoću izraza  $C_m = 15 \cdot V_e$  [Wh/( $m^3 \cdot K$ )], za zgrade s pretežno laganim unutarnjim zidovima, spuštenim stropovima, te za visoke hale, odnosno pomoću izraza  $C_m = 50 \cdot V_e$  [Wh/( $m^3 \cdot K$ )], za zgrade s masivnim unutarnjim i vanjskim zidovima bez spuštenih stropova. Primjenu ovih približnih izraza treba navesti u dijelu projekta kojim se daje tehničko rješenje zgrade u odnosu na racionalnu uporabu energije i toplinsku zaštitu te
- kod proračuna gubitaka topline prostor garaže s kojim graniči grijana prostorija zgrade, promatra se kao vanjski prostor.

U nastavku se navodi opis proračuna godišnje potrebne toplinske energije za grijanje prema normi HRN EN ISO 13790 koji se treba koristiti uzimajući u obzir gore navedene uvjete.

### 11.5.2.1. Općenito o normi HRN EN ISO 13790 : “Energetska svojstva zgrada – Proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora”

Norma opisuje postupak proračuna godišnje potrošnje energije za grijanje i hlađenje stambenih i nestambenih zgrada ili dijelova zgrada.

Norma obuhvaća:

- proračun izmjene topline transmisijom i ventilacijom unutar dijela zgrade koji se grije ili hladi na konstantnu temperaturu
- proračun utjecaja unutarnjih dobitaka topline kao i dobitaka topline od Sunčeva zračenja na toplinsku bilancu
- proračun godišnje potrebne (korisne) energije za grijanje i hlađenje te
- proračun potrebne energije za pogon uređaja za grijanje i hlađenje (konačna energija)
- Zgrada može imati više zona s različitim postavkama temperatura, te može biti grijana i hlađena s prekidima.

### 11.5.2.2. Tipovi proračuna – vremenski korak

Norma HRN EN ISO 13790 opisuje tri različita pristupa proračunu potrošnje energije za grijanje i hlađenje s obzirom na vremenski korak proračuna:

1. Kvazistacionarni proračun na bazi sezonskih vrijednosti
2. Kvazistacionarni proračun na bazi mjesečnih vrijednosti i
3. Dinamički proračun s vremenskim korakom od jednog sata ili kraćim.

Prilikom proračuna potrebne energije zgrade za potrebe energetske certificiranja, može se koristiti kvazistacionarni proračun na bazi **mjesečnih vrijednosti**. Proračuni omogućuju određivanje potrebne topline za grijanje i hlađenje za svaki mjesec u godini, a godišnja potrošnja energije izračunava se kao suma mjesečnih vrijednosti.

Kod svih proračuna duljine vremenskih razdoblja uzimaju se prema HRN EN ISO 13790 (dodatak F), a prikazani su u tablici 11.12.

Tablica 11.12 - Vremenska razdoblja

Period	Broj dana	Vrijeme u h	Vrijeme u 10 <sup>6</sup> s
Siječanj	31	744	2,6784
Valjača	28	372	2,4192
Ožujak	31	744	2,6784
Travanj	30	720	2,592
Svibanj	31	744	2,6784
Lipanj	30	720	2,592
Srpanj	31	744	2,6784
Kolovoz	31	744	2,6784
Rujan	30	720	2,592
Listopad	31	744	2,6784
Studen	30	720	2,592
Prosinac	31	744	2,6784
Godina	365	8760	31,536

### 11.5.2.3. Potrebni ulazni podaci

Potrebni ulazni podaci u proračun navedeni su u nastavku.

Meteorološki podaci:

- prosječna mjesečna gustoća toplinskog toka Sunčeva zračenja na plohe različitog nagiba i orijentacije [ $W/m^2$ ] i
- prosječna mjesečna temperatura vanjskog zraka  $q_e$  [ $^{\circ}C$ ].

Unutarnji projektni parametri:

- unutarnje projektne temperature za sve proračunske zone  $q_{int}$  [ $^{\circ}C$ ] i
- broj izmjena zraka u svakoj proračunskoj zoni  $n$  [ $h^{-1}$ ].

Podaci o dimenzijama i fizikalnim svojstvima zgrade:

- površine svih građevinskih dijelova zgrade,  $A_k$  [ $m^2$ ]
- netto površina poda kondicioniranih dijelova zgrade,  $A_f$  [ $m^2$ ]
- koeficijenti prolaza topline svih dijelova zgrade  $U_k$  [ $W/m^2K$ ]
- koeficijenti prolaska topline svih točkastih toplinskih mostova  $c$  [ $W/K$ ]
- dužinski koeficijenti prolaska topline svih linijskih toplinskih mostova  $y$  [ $W/mK$ ] i
- duljine linijskih toplinskih mostova  $l$  [ $m$ ].

Podaci o sustavima u zgradi:

- karakteristike sustava grijanja, pripreme tople vode, hlađenja, ventilacije, rasvjete i druge opreme
- raspored ugrađenih sustava unutar zgrade
- način korištenja sustava
- regulacija ugrađenih sustava te
- karakteristike unutarnjih izvora topline.

Pri proračunu potrebne energija za referentne klimatske podatke meteorološki podaci se uzimaju za kontinentalnu ili primorsku Hrvatsku, a dani su u *Pravilniku o energetskom certificiranju zgrada* (NN 36/10), prilozi 7.A. i 7.B. Pri proračunu potrebne energije za stvarne klimatske podatke uzimaju se meteorološki podaci iz *Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama* (NN 110/08 i 89/09), prilog E i to za mjesto najbliže stvarnoj lokaciji zgrade.

#### 11.5.2.4. Izlazni podaci - rezultati proračuna prema HRN EN ISO 13790

Izlazni podaci proračuna prema HRN EN ISO 13790 su za svaku zonu zgrade po mjesecima i ukupno za sezonu kako slijedi:

a) za režim grijanja

- ukupna izmijenjena toplina transmisijom
- ukupna izmijenjena toplina ventilacijom
- ukupni unutarnji toplinski dobici uključujući iskorištene toplinske gubitke sustava
- ukupni dobici topline od sunca
- potrebna korisna energija za grijanje
- potrebna konačna energija za pogon sustava grijanja za svaki pojedini energent te
- potrebna konačna energija za pogon sustava ventilacije (režim grijanja) za svaki pojedini energent

b) za režim hlađenja

- ukupna izmijenjena toplina transmisijom
- ukupna izmijenjena toplina ventilacijom
- ukupni unutarnji toplinski dobici uključujući iskorištene toplinske gubitke sustava
- ukupni dobici topline od sunca
- potrebna korisna energija za hlađenje
- potrebna konačna energija za pogon sustava hlađenja za svaki pojedini energent te
- potrebna konačna energija za pogon sustava ventilacije (režim hlađenja) za svaki pojedini energent.

#### 11.5.2.5. Podjela zgrade na proračunske zone

Zgradu je moguće podijeliti u različite zone za koje se odvojeno računa potrebna energija za grijanje i hlađenje.

##### Kriteriji podjele zgrade na zone

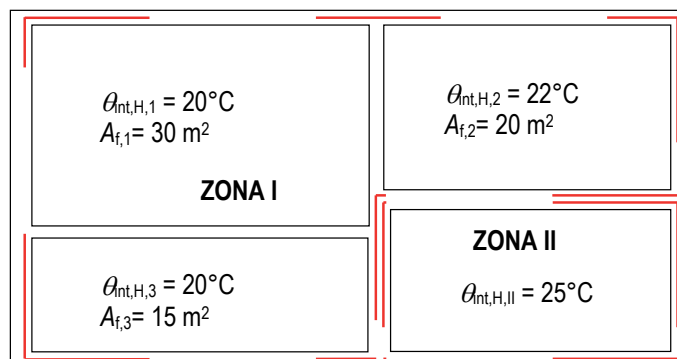
Podjela zgrade na proračunske zone vrši se za dijelove zgrade koji se razlikuju:

- prema namjeni (ako je 10% ili više površine u drugoj namjeni)
- u pogledu vrste i režima uporabe termotehničkog sustava te
- u vrijednostima unutarnje projektne temperature za više od 4 K.

Glede međudjelovanja među zonama norma HRN EN ISO 13790 nudi provedbu proračuna na tri načina:

- cijela zgrada predstavlja jednu zonu
- zgrada je podijeljena u nekoliko zona pri čemu se ne uzima u obzir izmjena topline između zona (ako je razlika unutarnjih projektnih temperatura među zonama < 5 K) te
- zgrada je podijeljena u nekoliko zona pri čemu se uzima u obzir izmjena topline između zona (ako je razlika unutarnjih projektnih temperatura među zonama  $\geq 5$  K).

Prilikom proračuna potrebne energije zgrade za potrebe energetskog certificiranja proračun se može provesti na treći način tako da se uzima u obzir izmjena topline između zona (ako je razlika unutarnjih projektnih temperatura među zonama  $\geq 5$  K).



Slika 11.15 - Primjer podjele zgrade na dvije zone i proračun unutarnje temperature za ZONU I

Unutarnje postavne temperature pojedine prostorije za razdoblje grijanja i hlađenja uzimaju se iz tablice 11.13 (prema HRN EN ISO 13790, Dodatak G)

**Tablica 11.13 - Postavne vrijednosti unutarnje temperature za razdoblja grijanja i hlađenja ovisno o namjeni zgrade (HRN EN ISO 13790)**

Vrsta prostora	Unutarnja postavna vrijednost temperature ljeti, °C	Unutarnja postavna vrijednost temperature zimi, °C
Obiteljske kuće	20	26
Stambene zgrade	20	26
Uredi	20	26
Obrazovne zgrade	20	26
Bolnice	22	26
Restorani	20	26
Trgovine	20	26
Sportski objekti	18	26

Unutarnja postavna temperatura zone za grijanje izračunava se prema sljedećem izrazu:

$$\theta_{\text{int,H}} = \frac{\sum_s A_{f,s} \cdot \theta_{\text{int,H},s}}{\sum_s A_{f,s}} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (11.35)$$

gdje su:

- $\theta_{\text{int,H},s}$  - unutarnja postavna temperatura za grijanje prostora "s" površine  $A_{f,s}$  unutar zone [kWh] i  
 $A_{f,s}$  - površina prostora "s" unutar zone s različitim postavnim temperaturama grijanja prostora [kWh].

Analogno tome unutarnja postavna temperatura za hlađenje u zoni s različitim postavnim temperaturama određuje se prema izrazu:

$$\theta_{\text{int,C}} = \frac{\sum_s A_{f,s} \cdot \theta_{\text{int,C},s}}{\sum_s A_{f,s}} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (11.36)$$

gdje su:

- $\theta_{\text{int,C},s}$  - unutarnja postavna temperatura za hlađenje prostora "s" površine  $A_{f,s}$  unutar zone [kWh] i  
 $A_{f,s}$  - površina prostora "s" unutar zone s različitim postavnim temperaturama hlađenja prostora [kWh].

Primjer:

Postavna temperatura ZONE I prema slici 11.15 iznosi:

$$\theta_{\text{int,H}} = \frac{\sum_s A_{f,s} \cdot \theta_{\text{int,H},s}}{\sum_s A_{f,s}} = \frac{30 \cdot 20 + 20 \cdot 22 + 15 \cdot 20}{30 + 20 + 15} = 20,62 \text{ }^\circ\text{C} \quad (11.37)$$

#### 11.5.2.6. Trajanje sezone grijanja i hlađenja

Radi procjena energetske potrebe koje ovise o trajanju sezone grijanja i hlađenja (npr. potrebna godišnja energija za rad pumpi, ventilatora, centralnog predgrijavanja ili primarnog hlađenja-prethlađenja), potrebno je poznavati trajanje sezone grijanja i hlađenja. Prilikom proračuna na mjesečnoj bazi, kakav se koristi pri energetskom certificiranju zgrada, trajanje sezone

grijanja i hlađenja u proračunu nisu fiksno određene, nego se određuju ovisno o potrošnji korisne energije.

**Trajanje sezone grijanja** izraženo u mjesecima izračunava se prema sljedećem izrazu:

$$L_H = \sum_{m=1}^{m=12} f_{H,m} \quad [\text{mjesec}] \quad (11.38)$$

gdje je:

$f_{H,m}$  - udio broja dana u mjesecu koji pripada sezoni grijanja [-].

Udio dana u pojedinom mjesecu koji se ubraja u sezonu grijanja, određuje se temeljem omjera pripadajuće mjesečne potrošnje energije za grijanje i ukupne energije za grijanje, hlađenje, predgrijavanje i predhlađenje ventilacijskog zraka prema sljedećem izrazu:

$$f_H = \frac{Q_{H,nd}}{Q_{H,nd} + Q_{C,nd} + Q_{V,pre-heat} + Q_{V,pre-cool}} \quad (11.39)$$

gdje su:

- $Q_{H,nd}$  - mjesečna potrebna korisna energija za grijanje [kWh]
- $Q_{C,nd}$  - mjesečna potrebna korisna energija za hlađenje [kWh]
- $Q_{V,pre-heat}$  - mjesečna potrebna korisna energija za predgrijavanje ventilacijskog zraka [kWh] i
- $Q_{V,pre-cool}$  - mjesečna potrebna korisna energija za prethlađenje ventilacijskog zraka [kWh].

Faktor  $f_H$  računa se za svaki mjesec u godini.

Analogno tome trajanje sezone hlađenja određuje se prema sljedećem izrazu:

$$L_C = \sum_{m=1}^{m=12} f_{C,m} \quad [\text{mjesec}] \quad (11.40)$$

gdje je:

$f_{C,m}$  - udio dana u mjesecu koji pripada sezoni hlađenja [-].

Udio dana u pojedinom mjesecu koji se ubraja u sezonu hlađenja određuje se temeljem omjera pripadajuće mjesečne potrošnje energije za hlađenje i ukupne energije za grijanje i hlađenje prema sljedećem izrazu:

$$f_C = \frac{Q_{C,nd}}{Q_{H,nd} + Q_{C,nd}} \quad (11.41)$$

gdje su:

- $Q_{H,nd}$  - mjesečna potrebna korisna energija za grijanje [J] i
- $Q_{C,nd}$  - mjesečna potrebna korisna energija za hlađenje [J].

### 11.5.2.7. Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje

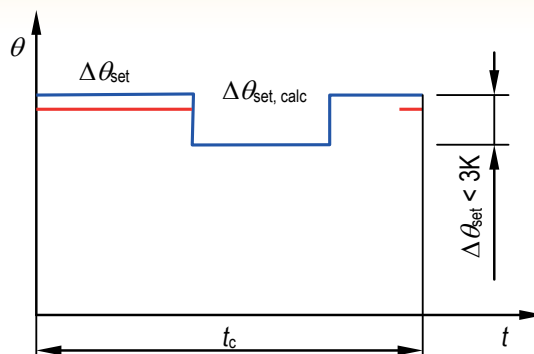
Za stambene zgrade se najčešće pretpostavlja da je grijanje kontinuirano ili kvazikontinuirano (kada je razlika postavnih vrijednosti željene unutarnje temperature u normalnim razdobljima grijanja u odnosu na razdoblje reduciranog grijanja manja od 3 °C). Potrebna toplinska energija za grijanje za kontinuirano grijanje računa se prema izrazu:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,nd,cont} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn} \quad [J] \quad (11.42)$$

gdje su:

- $Q_{H,ht}$  - ukupna izmijenjena toplina u razdoblju grijanja [J]
- $Q_{H,nd,cont}$  - ukupna potrebna korisna energija za grijanje zone pri kontinuiranom grijanju [J]
- $Q_{H,gn}$  - ukupni toplinski dobitci zgrade u razdoblju grijanja [J] i
- $\eta_{H,gn}$  - faktor iskorištenja toplinskih dobitaka pri grijanju.

Pri kvazikontinuiranom grijanju za postavnu vrijednost željene unutarnje temperature uzima se prosječna vrijednost postavnih vrijednosti temperature  $Dq_{set,calc}$  slika 11.16.



Slika 11.16 - Prosječna vrijednost postavne temperature pri kvazikontinuiranom grijanju i hlađenju

Neke nestambene zgrade imaju izrazito nekontinuirani pogon grijanja, to se osobito odnosi na pogon kod kojega je noću i vikendima znatno reducirana postavna vrijednost unutarnje temperature. U takvim slučajevima treba uzeti u obzir utjecaj nekontinuiranog grijanja na godišnju potrošnju energije za grijanje.

Potrošnja energije za grijanje pri nekontinuiranom (intermitentnom) grijanju računa se prema izrazu:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,nd,interm} = a_{H,red} \cdot Q_{H,nd,cont} \quad [J] \quad (11.43)$$

gdje je:

$a_{H,red}$  - bezdimenzijski redukcijski faktor za nekontinuirano grijanje prema HRN EN ISO 13790.

Bezdimenzijski faktor koji uzima u obzir utjecaj nekontinuiranog grijanja izračunava se prema:

$$a_{H,red} = 1 - 3 \cdot \left( \frac{\tau_{H,0}}{\tau} \right) \cdot \gamma_H \cdot (1 - f_{H,hr}) \quad (11.44)$$

gdje su:

$f_{H,hr}$  - udio sati u tjednu tijekom kojih grijanje radi s normalnom postavnom vrijednošću unutarnje temperature (npr. ako grijanje u poslovnoj zgradi radi samo pet dana u tjednu po 10 sati slijedi  $(5 \times 10) / (7 \times 24) = 0,3$ )

$\tau$  - vremenska konstanta zone zgrade [h]

$\tau_{H,0}$  - referentna vremenska konstanta za grijanje [h] - za mjesečni proračun iznosi  $\tau_{H,0} = 15$  h te

$\gamma_H$  - odnos toplinskih dobitaka i ukupne izmijenjene topline transmisijom i ventilacijom u režimu grijanja

$$\text{tj. } \gamma_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}} \quad [-].$$

Vremenska konstanta zgrade iznosi:

$$\tau = \frac{C_m / 3600}{H_{tr,adj} + H_{ve,adj}} \quad [h] \quad (11.45)$$

gdje je:

$H_{tr,adj}$  - koeficijent transmisijske izmjene topline proračunske zone sveden na razliku temperatura vanjskog i unutarnjeg zraka [W/K]

$H_{ve,adj}$  - koeficijent ventilacijske izmjene topline proračunske zone sveden na razliku temperatura vanjskog i unutarnjeg zraka [W/K]

$C_m$  - toplinski kapacitet zgrade ili proračunske zone [J/K] pojednostavljeno se može usvojiti kao:

$$C_m = 470 \text{ kJ}/(\text{m}^2\text{K}) \cdot A_f \text{ (m}^2) \quad \text{za teške zone zgrade}$$

$$C_m = 180 \text{ kJ}/(\text{m}^2\text{K}) \cdot A_f \text{ (m}^2) \quad \text{za lagane zone zgrade te}$$

$$C_m = 330 \text{ kJ}/(\text{m}^2\text{K}) \cdot A_f \text{ (m}^2) \quad \text{za srednje teške zone zgrade}$$

gdje je  $A_f$  površina kondicioniranog dijela proračunske zone zgrade proračunata s vanjskim dimenzijama.

Pri proračunu se koriste fizikalne veličine prema sljedećim definicijama:



**Koeficijent transmisivne izmjene topline** - jest veličina toplinskog toka transmisijom iz grijanog prostora prema vanjskom okolišu podijeljena s razlikom temperatura unutarnjeg prostora i vanjskog okoliša [W/K].

**Koeficijent ventilacijske izmjene topline** - jest veličina toplinskog toka ventilacijom iz grijanog prostora prema vanjskom okolišu podijeljena s razlikom temperatura unutarnjeg prostora i vanjskog okoliša [W/K].

**Koeficijent toplinskih gubitaka** - jest veličina ukupnog toplinskog toka (transmisijom i ventilacijom) iz grijanog prostora prema vanjskom okolišu podijeljena s razlikom temperatura unutarnjeg prostora i vanjskog okoliša [W/K].

**Koeficijent toplinske veze** - jest općenito veličina izmijenjenog toplinskog toka podijeljena s razlikom temperatura između dva prostora odvojenih nekim konstrukcijskim elementom [W/K].

### Ukupna izmijenjena toplina u režimu grijanja

Ukupna izmijenjena toplina proračunske zone u režimu grijanja kada se zgrada sastoji samo od jedne zone ili u slučaju više zona kada je razlika temperatura u susjednim zonama manja od 5 K, za promatrano vremensko razdoblje (mjesec), računa se prema izrazu:

$$Q_{H,ht} = Q_{tr} + Q_{ve} \quad [J] \quad (11.46)$$

gdje su:

$Q_{tr}$  - izmijenjena toplina transmisijom za proračunsku zonu [J] i

$Q_{ve}$  - izmijenjena toplina ventilacijom za proračunsku zonu [J].

Izmijenjena toplina proračunske zone u režimu grijanja kada se zgrada sastoji od više zona čija je razlika unutarnjih temperatura među zonama z i y veća ili jednaka 5 K, za promatrano vremensko razdoblje (mjesec), računa se prema izrazu:

$$Q_{H,ht} = Q_{tr} + Q_{ve} + Q_{tr,zy} + Q_{ve,z \rightarrow y} \quad [J] \quad (11.47)$$

gdje su:

$Q_{tr}$  - izmijenjena toplina transmisijom za zonu z prema vanjskom okolišu [J]

$Q_{ve}$  - izmijenjena toplina ventilacijom za zonu z prema vanjskom okolišu [J]

$Q_{tr,zy}$  - izmijenjena toplina transmisijom iz zone z prema zoni y [J] i

$Q_{ve,z \rightarrow y}$  - izmijenjena toplina ventilacijom iz zone z prema zoni y [J].

Izmijenjena toplina transmisijom prema vanjskom okolišu za zonu z, računa se za svaki mjesec i to prema izrazu:

$$Q_{tr} = H_{tr,adj} \cdot (\theta_{int,H} - \theta_e) \cdot t \quad [J] \quad (11.48)$$

gdje su:

$H_{tr,adj}$  - koeficijent transmisivne izmjene topline proračunske zone sveden na razliku temperatura vanjskog i unutarnjeg zraka (prema HRN EN ISO 13789) [W/K]

$\theta_{int,H}$  - unutarnja postavna temperatura grijane zone [°C]

$\theta_e$  - srednja vanjska temperatura za proračunsko razdoblje (mjesečna) [°C] te

$t$  - proračunsko vremensko razdoblje [s].

Izmijenjena toplina ventilacijom prema vanjskom okolišu za zonu z računaju se također za svaki mjesec i to prema izrazu:

$$Q_{ve} = H_{ve,adj} \cdot (\theta_{int,H} - \theta_e) \cdot t \quad [J] \quad (11.49)$$

gdje je:

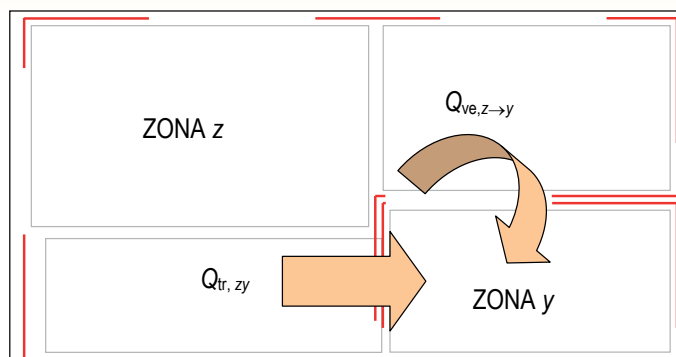
$H_{ve,adj}$  - koeficijent ventilacijske izmjene topline proračunske zone sveden na razliku temperatura vanjskog i unutarnjeg zraka (prema HRN EN ISO 13789) [W/K]

$\theta_{int,H}$  - unutarnja postavna temperatura grijane zone [°C]

$\theta_e$  - srednja vanjska temperatura za proračunsko razdoblje (mjesečna) [°C] i

$t$  - proračunsko vremensko razdoblje [s].

Za slučaj kada se zgrada sastoji od dvije ili više zona čija je razlika unutarnjih postavnih temperatura veća ili jednaka 5 K, računa se transmisivna i ventilacijska izmjena topline među zonama, slika 11.17.



Slika 11.17 - Izmjena topline transmisijom i ventilacijom među zonama z i y.

Izmijenjena topline transmisijom iz zone z prema zoni y iznosi:

$$Q_{tr,zy} = H_{tr,zy} \cdot (\theta_{z,H} - \theta_{y,mn}) \cdot t \quad [J] \quad (11.50)$$

gdje su:

- $H_{tr,zy}$  - koeficijent transmisijske izmjene topline između zona z i y [W/K]
- $\theta_{z,H}$  - unutarnja postavna temperatura grijane zone z [°C]
- $\theta_{y,mn}$  - aktualna srednja temperatura u susjednoj zoni y uključujući pregrijanje ili pothlađivanje [°C] i
- $t$  - proračunsko vremensko razdoblje [s].

Izmijenjena topline ventilacijom iz zone z prema zoni y iznosi:

$$Q_{ve,z \rightarrow y} = H_{ve,z \rightarrow y} \cdot (\theta_{z,H} - \theta_{y,m}) \cdot t \quad [J] \quad (11.51)$$

gdje su:

- $H_{ve,z \rightarrow y}$  - koeficijent ventilacijske izmjene topline između zona z i y [W/K]
- $\theta_{z,H}$  - unutarnja postavna temperatura grijane zone z [°C]
- $\theta_{y,mn}$  - aktualna srednja temperatura u susjednoj zoni y uključujući pregrijanje ili pothlađivanje [°C] i
- $t$  - proračunsko vremensko razdoblje [s].

Aktualna srednja temperatura susjedne zone za grijanje računa se prema izrazu (Dodatak B norme):

$$\theta_{y,mn} = \frac{Q_{H,gn} + Q_{H,nd} + \sum_k (H_{H,ht,k} \cdot \theta_{a,k} / b_{tr,k}) \cdot t}{\sum_k (H_{H,ht,k} / b_{tr,k}) \cdot t} \quad [°C] \quad (11.52)$$

gdje su:

- $Q_{H,nd}$  - mjesečna potrebna korisna energija za grijanje susjedne zone y [J]
- $H_{H,ht,k}$  -  $k$ -ti element unutar ukupnog koeficijenta izmjene topline susjedne zone y za slučaj grijanja sveden na razliku temperatura vanjskog i unutarnjeg zraka [W/K]
- $b_{tr,k}$  - faktor prilagodbe,  $b_{tr,k} \neq 1$  ako je temperatura s druge strane građevinskog elementa različita od vanjske temperature zraka
- $Q_{H,gn}$  - mjesečni ukupni toplinski dobitci zgrade u režimu grijanja [J]
- $\theta_{a,k}$  - za  $k$ -ti element transmisijske izmjene topline označava temperaturu s vanjske strane građevinskog elementa  $\theta_{e,k}$  [°C], a za  $k$ -ti element ventilacijske izmjene topline označava temperatura dobavnog zraka  $q_{a,sup,k}$  [°C] i
- $t$  - vremenski korak proračuna – mjesec [s].

Kod zgrada s više zona, čija je razlika unutarnjih postavnih temperatura veća ili jednaka 5 K, proračun potrebne korisne energije za grijanje zone vrši se u koracima, tj. iterativno (najčešće u dvije ili tri iteracije) prema sljedećem algoritmu:

- 1) u početku se usvaja da je aktualna srednja temperatura svake zone jednaka postavnoj vrijednosti unutarnje temperature određenoj prema jednadžbi (11.35) u poglavlju 11.5.2.5.
- 2) izračunavaju se potrebne energije za grijanje svake zone uzimajući u obzir transmisivnu i ventilacijsku izmjenu topline među zonama na gore opisani način
- 3) na temelju neto dobivenih potrebnih energija za grijanje izračunavaju se aktualne srednje temperature zone prema gornjoj jednadžbi (11.51) te
- 4) ako se nova izračunata aktualna srednja temperatura razlikuje od pretpostavljene za više od 0,5°C, postupak se ponavlja od koraka 2), a u protivnom iteracijski postupak proračuna je okončan.

### Koeficijent transmisivne izmjene topline

Koeficijent transmisivne izmjene topline zone sveden na razliku temperatura vanjskog i unutarnjeg zraka određuje se u skladu s normom HRN EN ISO 13789 prema sljedećem izrazu:

$$H_{tr,adj} = H_D + H_{g,m} + H_U + H_A \quad [\text{W/K}] \quad (11.53)$$

gdje su:

- $H_D$  - koeficijent transmisivne izmjene topline izravno prema vanjskom okolišu [W/K]
- $H_{g,m}$  - koeficijent transmisivne izmjene topline prema tlu, određen za svaki proračunski mjesec [W/K]
- $H_U$  - koeficijent transmisivne izmjene topline kroz negrijani prostor prema vanjskom okolišu [W/K] te
- $H_A$  - koeficijent transmisivne izmjene topline prema susjednim zgradama [W/K].

Općeniti izraz za pojedini koeficijent transmisivnog gubitka sastoji se od tri dijela i može se prema normi HRN EN ISO 13789 napisati u obliku:

$$H_x = b_{tr,x} \left[ \sum_i A_i U_i + \sum_k l_k \psi_k + \sum_j \chi_j \right] \quad [\text{W/K}] \quad (11.54)$$

gdje su:

- $A_i$  - površina  $i$ -tog građevinskog elementa ovojnice zgrade [m<sup>2</sup>]
- $U_i$  - koeficijent prolaza topline  $i$ -tog građevinskog elementa [W/(m<sup>2</sup>K)]
- $l_k$  - duljina  $k$ -tog linearnog toplinskog mosta [m]
- $\psi_k$  - dužinski koeficijent prolaza topline  $k$ -tog linearnog toplinskog mosta [W/(m K)]
- $\chi_j$  - koeficijent prolaza topline  $j$ -tog točkastog toplinskog mosta [W/K] i
- $b_{tr,x}$  - faktor prilagodbe,  $b_{tr,x} \neq 1$ , ako je temperatura s druge strane građevinskog elementa različita od vanjske temperature zraka (npr. kada je s druge strane kondicionirani ili nekondicionirani prostor te u slučajevima poda na tlu). Njime se svi koeficijenti transmisivnih gubitaka svode na istu razliku temperatura i to između temperature vanjskog i unutarnjeg zraka. Određuje se u skladu s normom HRN EN ISO 13789.

Za sve proračune, ako nije drugačije zahtijevano, rabe se vanjske dimenzije zgrade. Pri tome se linearni i točkasti toplinski mostovi mogu zanemariti ako je glavni izolacijski sloj jednolike debljine i prekriva cijelu vanjsku ovojnicu zgrade, a time i potencijalne toplinske mostove.

Kod postojećih starih neizoliranih zgrada, toplinski mostovi se mogu uzeti u obzir prema točki 2.1 iz priloga G norme HRN EN ISO 13790 i to iz tablice G1.

Zbrajanje dijelova izraza vrši se po svim građevinskim elementima koje razdvajaju unutarnji prostor i prostor s druge strane konstrukcije (površinama, linijskim i točkastim toplinskim mostovima). Pri tome se razlikuju površine prema vanjskom zraku i one prema drugim prostorima (tlo, nekondicionirani prostor ili nasuprotni kondicionirani prostor). Horizontalna granica koja dijeli građevinske elemente ispod površine tla (one koje izmjenjuju toplinu s tlom) i građevinske elemente iznad tla (one koje izmjenjuju toplinu s vanjskim zrakom), određuje se na sljedeći način (prema HRN EN ISO 13370):

- za zgrade s podom na tlu, uzdignutim podom i negrijanim podrumom kao granica se uzima razina unutarnje površine poda prizemlja, a
- za zgrade s grijanim podrumom kao granica se uzima stvarna razina tla.

U slučaju više tipova poda na tlu ili više različitih susjednih kondicioniranih ili nekondicioniranih prostora, vrijednosti za koeficijente transmisivne izmjene topline se zbrajaju, koristeći pripadajuću vrijednost faktora prolagodbe  $b_{tr,x}$  za svaki građevinski element.

Način proračuna koeficijenta transmisivne izmjene topline za specifične slučajeve dan je u nastavku.

#### Izmjena topline kroz prozore i vrata

Za sve prozore i ostale providne površine za udio ploštine prozorskog okvira u ukupnoj površini prozora, uzima se vrijednost 0,3. Utjecaj noćne izolacije prozora (roletama i kopcima) u proračunu se ne uzima u obzir.

Vrijednosti koeficijenata transmisivne izmjene topline za prozore i vrata mogu se odrediti prema HRN ISO 10077-1 i HRN ISO 10077-2.

#### Izmjena topline prema tlu

Kako bi se uzela u obzir velika toplinska tromost tla te adekvatna temperaturna razlika kod izmjene topline s tlom, proračun se vrši na mjesečnoj bazi i to prema normi HR EN ISO 13370, Dodatak A.

Proračun izmjene topline prema tlu vrši se na mjesečnoj bazi, koristeći dodatne periodičke koeficijente koji uzimaju u obzir toplinsku inerciju tla u odnosu na godišnji hod temperatura vanjskoga zraka. Pri tome se zanemaruje utjecaj podzemne vode.

Koeficijent transmisivne izmjene topline prema tlu za proračunski mjesec iznosi:

$$H_{g,m} = \frac{\Phi_m}{\theta_{i,m} - \theta_{e,m}} \quad [\text{W/K}] \quad (11.55)$$

gdje su:

- $\Phi_m$  - toplinski tok izmjene topline s tlom za proračunski mjesec [ $\text{W/m}^2$ ]
- $\theta_{i,m}$  - unutarnja temperatura za proračunski mjesec  $m$  [ $^{\circ}\text{C}$ ] i
- $\theta_{e,m}$  - srednja vanjska temperatura za proračunski mjesec  $m$  [ $^{\circ}\text{C}$ ].

Proračun se provodi uz pretpostavku konstantne unutarnje temperature i uz varijaciju srednje mjesečne vanjske temperature zraka i zemlje. Uzima se u obzir "kašnjenje", tj. fazni pomak godišnjih procjena toplinskog toka prema tlu u odnosu na godišnje promjene srednjih mjesečnih vanjskih temperatura zraka. Ovo se opisuje parametrom  $b$  (slika 11.18).

Godišnja varijacija srednje mjesečne temperature zraka izračunava se prema izrazu:

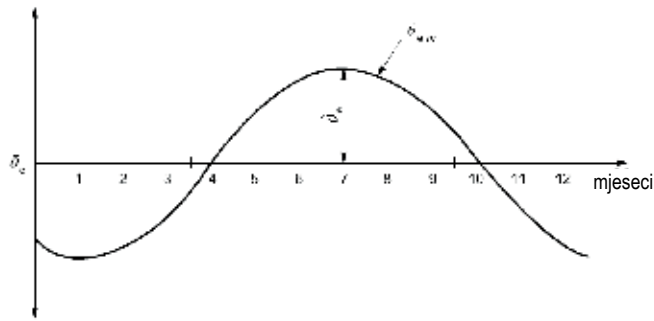
$$\theta_{e,m} = \bar{\theta}_e - \hat{\theta}_e \cos\left(2\pi \frac{m - \tau}{12}\right) \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (11.56)$$

Toplinski tok izmjene topline s tlom iskazuje se stacionarnom komponentom i periodičkom komponentom zbog godišnjih promjena vanjske temperature. Toplinski tok izmjene topline s tlom za proračunski mjesec, izračunava se prema sljedećem izrazu:

$$\Phi_m = H_g (\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_e) + H_{pe} \hat{\theta}_e \cos\left(2\pi \frac{m - \tau - \beta}{12}\right) \quad [\text{W/K}] \quad (11.57)$$

gdje su:

- $H_g$  - stacionarni koeficijent transmisivne izmjene topline prema tlu [ $\text{W/K}$ ]
- $H_{pe}$  - periodički koeficijent transmisivne izmjene topline prema tlu [ $\text{W/K}$ ]
- $\bar{\theta}_i$  - srednja godišnja unutarnja temperatura [K] ili [ $^{\circ}\text{C}$ ]
- $\bar{\theta}_e$  - srednja godišnja vanjska temperatura [K] ili [ $^{\circ}\text{C}$ ]
- $\hat{\theta}_e$  - godišnja amplituda promjene vanjske temperature od srednje vrijednosti (polovica razlike godišnje maksimalne i minimalne srednje mjesečne temperature)
- $m$  - broj mjeseca (od  $m=1$  za siječanj do  $m=12$  za prosinac)
- $\tau$  - broj mjeseca s najmanjom vanjskom temperaturom ( $\tau = 1$ ) te
- $\beta$  - fazni pomak godišnje promjene toplinskog toka prema tlu u odnosu na godišnje promjene temperature vanjskog zraka u mjesecima, ovisno o vrsti poda, uzima se prema podacima danim u tablici 11.14.



**Slika 11.18 - Fazni pomak promjena izmijenjenog toplinskog toka prema tlu i promjena srednjih mjesečnih vanjskih temperatura zraka**

Kada su poznate srednje mjesečne temperature vanjskog zraka, toplinski tok izmjene topline s tlom za proračunski mjesec, može se jednostavnije izračunati prema sljedećem izrazu:

$$\Phi_m = H_g(\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_e) + H_{pe}(\bar{\theta}_e - \theta_{e,m}) \quad [W] \quad (11.58)$$

gdje su:

- $H_g$  - stacionarni koeficijent transmisivne izmjene topline prema tlu [W/K]
- $H_{pe}$  - periodički koeficijent transmisivne izmjene topline prema tlu [W/K]
- $\bar{\theta}_i$  - srednja godišnja unutarnja temperatura [°C]
- $\bar{\theta}_e$  - srednja godišnja vanjska temperatura [°C]
- $\theta_{e,m}$  - srednja vanjska temperatura za proračunski mjesec  $m$  [°C] i
- $m$  - redni broj pojedinog mjeseca (od  $m=1$  za siječanj do  $m=12$  za prosinac).

**Tablica 11.14 - Fazni pomak u mjesecima koji opisuje kašnjenje promjena toplinskog toka prema zemlji u odnosu na promjenu vanjske temperature zraka za različite tipove poda**

Vrsta poda	$\beta$
Pod na tlu, bez rubne izolacije	1
Pod na tlu s horizontalnom unutarnjom rubnom izolacijom	1
Pod na tlu s vertikalnom ili vanjskom rubnom izolacijom	2
Uzdignuti pod	0
Grijani ili negrijani podrum	1

Stacionarni koeficijent transmisivne izmjene topline prema tlu, računa se prema izrazu (HRN EN 13370):

$$H_g = A \cdot U + P \cdot \psi_g \quad [W/K] \quad (11.59)$$

gdje su:

- $A$  - površina poda [m<sup>2</sup>]
- $U$  - koeficijent prolaza topline između unutarnjeg i vanjskog prostora [W/(m<sup>2</sup>K)]
- $P$  - izloženi opseg poda [m] i
- $\psi_g$  - duljinski koeficijent prolaza topline za spoj zida i poda [W/(m K)].

Pri proračunu koeficijenta prolaza topline za koeficijent toplinske vodljivosti tla uzima se  $\lambda = 2 \text{ W/(mK)}$ . Za proračun toplinskog toka kroz tlo koristi se srednja godišnja unutarnja temperatura. Ako je za različite prostorije neposredno iznad tla definirana različita unutarnja temperatura, treba uzeti srednju vrijednost unutarnje temperature u ovisnosti o površinama pojedinog prostora različite unutarnje temperature. Duljinski koeficijent prolaska topline linearnog toplinskog mosta za spoj zida i poda  $y_g$ , računa se za vanjske dimenzije zgrade.

Koeficijent prolaza topline  $U$  računa se posebno za četiri različita slučaja:

- 1) ploča na tlu (pod na tlu)
- 2) pod uzdignut od tla (uzdignuti pod)
- 3) grijani podrum i
- 4) negrijani podrum.

U svrhu proračuna koeficijenta prolaza topline potrebno je prethodno izračunati "karakterističnu dimenziju poda" kako slijedi:

$$B' = \frac{A}{0,5 \cdot P} \quad (11.60)$$

gdje su:

- $A$  - površina poda [ $m^2$ ] i  
 $P$  - izloženi opseg poda [m].

Izloženi opseg poda  $P$  predstavlja ukupnu duljinu vanjskih zidova koji odvajaju unutarnji prostora od vanjskog okoliša i to:

- kod proračuna cijele zgrade  $P$  je ukupni opseg zgrade, a  $A$  je ukupna površina poda
- kod proračuna gubitaka topline za dio zgrade (npr. kod proračuna za pojedine stanove)  $P$  uključuje duljinu vanjskih zidova koji odvajaju grijani prostor od vanjskog okoliša, ali ne uključuje dio zidova koji odvajaju promatrani dio zgrade od ostalih grijanih dijelova, dok  $A$  predstavlja površinu poda promatranog dijela zgrade
- negrijani dijelovi izvan izoliranog dijela zgrade kao što su garaže i spremišta, ne uzimaju se u obzir pri proračunu  $P$  i  $A$ , ali se uzima u obzir duljina zidova između tih negrijanih dijelova i grijanog dijela zgrade. Tada se izmjena topline prema tlu računa kao da tih negrijanih prostora nema.

Za slučaj podruma,  $B'$  se proračunava na temelju površine i opsega podruma ne uključujući zidove podruma.

Koeficijent prolaza topline  $U$  za pod na tlu (slika 11.19(a)), računa se različito u ovisnosti o veličini  $d_t$  prema tablici 11.15.

**Tablica 11.15 - Način proračuna koeficijenta prolaza topline za poda na tlu u ovisnosti o  $d_t$**

za $d_t < B'$	neizolirani ili slabo izolirani podovi	
za $d_t \geq B'$	dobro izolirani podovi	

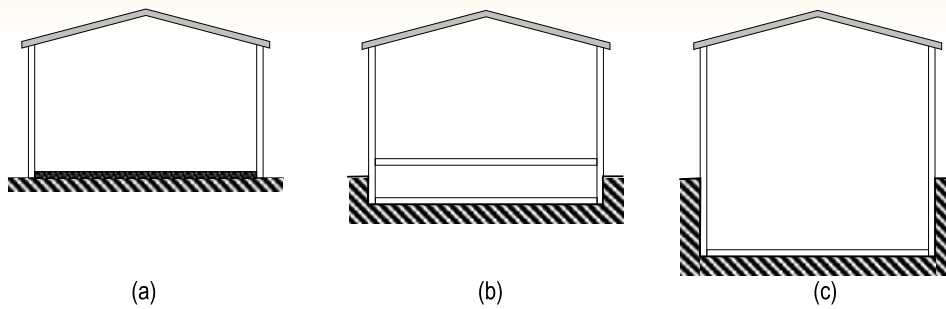
Vrijednost  $d_t$  izračunava se prema izrazu:

$$d_t = w + \lambda(R_{si} + R_f + R_{se}) \quad (11.61)$$

gdje su:

- $\lambda$  - koeficijent toplinske vodljivost tla  $\lambda = 2 \text{ W/(mK)}$   
 $w$  - ukupna debljina zida [m]  
 $R_{si}$  - toplinski otpor s unutarnje strane [ $m^2K/W$ ]  
 $R_f$  - toplinski otpor podne konstrukcije [ $m^2K/W$ ]  
 Pri proračunu toplinskog otpora podne konstrukcije zanemaruje se toplinski otpor tankih podnih obloga velike toplinske provodljivosti. Toplinski otpor armirano-betonske podne ploče uzima se u obzir.  
 $R_{se}$  - toplinski otpor s vanjske strane [ $m^2K/W$ ]

Koeficijenti prolaza topline za slučaj poda uzdignutog od tla, grijanog podruma ili negrijanog podruma, proračunavaju se na sličan način, a postupak je detaljnije opisan u normi HRN EN 13370.



Slika 11.19 - Različite izvedbe poda: a) pod na tlu; b) uzdignuti pod; c) grijani podrum

Periodički koeficijent transmisivne izmjene topline prema tlu  $H_{pe}$  izračunava se različito, ovisno o izvedbi poda. Za pod na tlu, izračunava se prema sljedećem izrazu:

$$H_{pe} = 0,37 \cdot P \cdot \lambda \cdot \ln \left( \frac{\delta}{d_t} + 1 \right) \quad [\text{W/K}] \quad (11.62)$$

gdje su:

- $P$  - izloženi opseg poda [m]
- $\lambda$  - koeficijent toplinske vodljivosti tla  $\lambda = 2 \text{ W/(mK)}$
- $d_t$  - veličina koja se izračunava prema gore navedenom izrazu (11.61)
- $\delta$  - periodička dubina prodiranja [m] uzima se u ovisnosti o tipu tla prema podacima danim u tablici 11.16.

Tablica 11.16 - Periodička dubina prodiranja, ovisno o vrsti tla

Kategorija	Vrsta tla	$\delta$ [m]
1	glinasto ili muljevito tlo	2,2
2	pijesak ili šljunak	3,2
3	homogena stijena	4,2

Periodički koeficijenti transmisivne izmjene topline prema tlu  $H_{pe}$  za ostale izvedbe poda (slučaj poda uzdignutog od tla, grijanog podruma ili negrijanog podruma), proračunavaju se na sličan način, a postupak je detaljnije opisan u normi HRN EN 13370, u dodatku F.

#### Izmjena topline kroz negrijani prostor prema vanjskom okolišu

Određuje se prema HRN EN ISO 13789.

Koeficijent transmisivne izmjene topline kroz negrijani prostor prema vanjskom okolišu, određuje se prema izrazu:

$$H_U = b_{tr,U} L_{iu} \quad [\text{W/K}] \quad (11.63)$$

gdje su:

- $L_{iu}$  - koeficijent toplinske veze transmisijom između grijanog i negrijanog prostora  $L_{iu} = L_{D,iu}$  [W/K] i
- $b_{tr,U}$  - faktor prilagodbe,  $b_{tr,U} \neq 1$  ako je temperatura s druge strane građevinskog elementa različita od vanjske temperature zraka.

Koeficijent toplinske veze transmisijom računa se prema izrazu:

$$L_D = \sum_i A_i U_i + \sum_k I_k \psi_k + \sum_j \chi_j \quad [\text{W/K}] \quad (11.64)$$

gdje su:

- $A_i$  - površina  $i$ -tog građevinskog elementa [ $m^2$ ]
- $U_i$  - koeficijent prolaza topline  $i$ -tog građevinskog elementa [ $W/(m^2K)$ ]
- $l_k$  - duljina  $k$ -tog linearnog toplinskog mosta [ $m$ ]
- $\Psi_k$  - dužinski koeficijent prolaza topline  $k$ -tog linearnog toplinskog mosta [ $W/(m K)$ ] te
- $\chi_j$  - koeficijent prolaza topline  $j$ -tog točkastog toplinskog mosta [ $W/K$ ].

Za proračun gubitaka kroz negrijani prostor prema vanjskom okolišu faktor prilagodbe  $b_{tr,U}$  iznosi:

$$b_{tr,U} = \frac{H_{ue}}{H_{iu} + H_{ue}} \quad (11.65)$$

gdje su:

- $H_{ue}$  - koeficijent ukupne izmjene topline (transmisijom i ventilacijom) od negrijanog prostora prema vanjskom okolišu [ $W/K$ ] i
- $H_{iu}$  - koeficijent ukupne izmjene topline (transmisijom i ventilacijom) od grijanog prostora prema negrijanom prostoru [ $W/K$ ].

Navedeni koeficijenti ukupne izmjene topline računaju se prema izrazima:

$$H_{iu} = L_{iu} + H_{V,iu} \quad [W/K] \quad (11.66)$$

$$H_{ue} = L_{ue} + H_{V,ue} \quad [W/K] \quad (11.67)$$

gdje su:

- $L_{iu}$  - koeficijent toplinske veze transmisijom između grijanog i negrijanog prostora  $L_{iu} = L_{D,iu}$  [ $W/K$ ] prema gornjem izrazu
- $L_{ue}$  - koeficijent toplinske veze transmisijom između negrijanog prostora i vanjskog okoliša  $L_{ue} = L_{D,ue} + H_{g,ue}$  [ $W/K$ ] prema gornjim izrazima
- $H_{V,iu}$  - koeficijent izmjene topline ventilacijom između grijanog i negrijanog prostora [ $W/K$ ] te
- $H_{V,ue}$  - koeficijent izmjene topline ventilacijom između negrijanog prostora i vanjskog okoliša [ $W/K$ ].

Koeficijenti ventilacijske izmjene topline računaju se prema izrazima:

$$H_{V,iu} = \rho \cdot c \cdot \dot{V}_{iu} \quad [W/K] \quad (11.68)$$

$$H_{V,ue} = \rho \cdot c \cdot \dot{V}_{ue} \quad [W/K] \quad (11.69)$$

gdje su:

- $\rho$  - gustoća zraka [ $kg/m^3$ ]
- $c$  - specifični toplinski kapacitet zraka [ $J/(kgK)$ ]
- $\dot{V}_{iu}$  - protok zraka između grijanog i negrijanog prostora [ $m^3/s$ ] i
- $\dot{V}_{ue}$  - protok zraka između negrijanog prostora i vanjskog okoliša [ $m^3/s$ ].

Za praktične proračune uzima se  $\rho \cdot c = 1200$  [ $J/(m^3K)$ ].

Može se pretpostaviti da nema izmjene zraka između grijanog i negrijanog prostora te se usvaja  $\dot{V}_{iu} = 0$ .

Protok zraka između negrijanog prostora i vanjskog okoliša, izračunava se prema izrazu:

$$\dot{V}_{ue} = V_u \cdot \frac{n_{ue}}{3600} \quad [m^3/s] \quad (11.70)$$

gdje su:

- $V_u$  - volumen zraka u negrijanom prostoru [ $m^3$ ] i
- $n_{ue}$  - broj izmjena zraka između negrijanog prostora i vanjskog okoliša [ $1/h$ ].

Broj izmjena zraka između negrijanog prostora i vanjskog okoliša, uzima se iz tablice 11.17.



**Tablica 11.17. - Broj izmjena zraka između negrijanog prostora i vanjskog okoliša u ovisnosti o zrakopropusnosti prostora**

Broj	Tip zrakopropusnosti	$n_{ue}$ [1/h]
1	Bez prozora i vrata prema vanjskom okolišu, svi spojevi dobro zabrvljeni, bez ventilacijskih otvora prema vanjskom okolišu	0
2	Svi spojevi dobro zabrvljeni, bez ventilacijskih otvora prema vanjskom okolišu	0,5
3	Svi spojevi dobro zabrvljeni, mali ventilacijski otvori	1
4	Postoji zrakopropusnost zbog pojedinih otvorenih spojeva ili stalno otvorenih ventilacijskih otvora	5
5	Postoji zrakopropusnost zbog brojnih otvorenih spojeva ili velikih ili brojnih stalno otvorenih ventilacijskih otvora	10

Ako je poznat broj izmjena zraka prostora u jednom satu pri razlici tlaka od 50 Pa između negrijanog prostora i vanjskog okoliša  $n_{50}$ , broj izmjena zraka između negrijanog prostora i vanjskog okoliša može se procijeniti prema empirijskom izrazu:

$$n = \frac{n_{50}}{20} \quad [1/h] \quad (11.71)$$

U tom slučaju se usvaja vrijednost  $n_{ue}$  iz tablice 11.17 koja je najbliža procijenjenoj vrijednosti  $n$ .

#### Izmjena topline prema susjednim zgradama

Izmjena topline transmisijom prema susjednim zgradama uzima se u obzir ako se postavna unutarnja temperatura susjedne zgrade razlikuje za 5 K ili više od postavne unutarnje temperature zgrade za koju se proračunavaju energetske potrebe. Proračun je analogan proračunu koeficijenta transmisije izmjene topline kroz negrijani prostor. Pri tome se ne uzima u obzir izmjena topline ventilacijom i infiltracijom iz susjednih zgrada. Stvarna razlika temperatura u usporedbi s razlikom temperatura grijanog prostora i vanjskog okoliša, uzima se u obzir s faktorom prilagodbe  $b_{tr,x}$ .

#### Koeficijent ventilacijske izmjene topline

Koeficijent ventilacijske izmjene topline određuje se u skladu s normom HRN EN ISO 13790 prema sljedećem izrazu:

$$H_{ve} = \rho \cdot c_p \cdot \sum_k (b_{ve,k} \cdot q_{ve,k,mn}) \quad [W/K] \quad (11.72)$$

gdje su:

- $\rho$  - gustoća zraka [ $kg/m^3$ ]
- $c_p$  - specifični toplinski kapacitet zraka pri konstantnom tlaku [ $J/kgK$ ]  
za praktične proračune uzima se  $\rho \cdot c_p = 1200 J/(m^3K)$
- $b_{ve,k}$  - faktor prilagodbe za svaki pojedini (k-ti) element koji pridonosi ventilacijskim gubicima.  $b_{ve,k} \neq 1$ , ako je temperatura ulaznog zraka različita od vanjske temperature zraka (slučaj kod predgrijavanja, predhlađenja zraka ili rekuperacije topline) te
- $q_{ve,k,mn}$  - vremenski uprosječeni protok zraka u proračunskom razdoblju za svaki pojedini (k-ti) element koji pridonosi ventilacijskim gubicima [ $m^3/s$ ].

Vremenski uprosječeni protok zraka  $q_{ve,k,mn}$  izračunava se prema izrazu:

$$q_{ve,k,mn} = f_{ve,t,k} \cdot q_{ve,k} \quad [m^3/s] \quad (11.73)$$

gdje su:

- $q_{ve,k}$  - protok zraka za svaki pojedini (k-ti) element koji pridonosi ventilacijskim gubicima u proračunskom razdoblju [ $m^3/s$ ] određen prema HRN EN 15242 i/ili HRN EN 15241 i
- $f_{ve,t,k}$  - udio vremena rada u danu za svaki pojedini (k-ti) element koji pridonosi ventilacijskim gubicima u proračunskom razdoblju (za cjelodnevni pogon  $f_{ve,t,k} = 1$ ), određen prema HRN EN 15242 i/ili HRN EN 15241.

Pri proračunu koeficijenta ventilacijske izmjene topline i primjeni norme HRN EN 15242 i/ili HRN EN 15241 potrebno je voditi računa o sljedećem:

- 1) Pri različitim uvjetima pogona u režimu grijanja i u režimu hlađenja, potrebno je koristiti odvojene ulazne podatke. To se osobito odnosi na slučaj kada u ljetnom i zimskom režimu rada različiti protoci ventilacijskog zraka
- 2) Za slučaj ventilacije vanjskim zrakom i infiltracije vanjskog zraka faktor prilagodbe iznosi  $b_{ve,k} = 1$
- 3) Za slučaj ventilacije i infiltracije iz susjednih nekondicioniranih prostora usvaja se, pojednostavljeno,  $b_{ve,k} = 1$
- 4) Ventilacija i infiltracija iz susjednih zgrada ne uzima se u obzir
- 5) Izmjena topline ventilacijom između različitih toplinski povezanih zona ne uzima se u obzir
- 6) Utjecaj jedinice za regeneraciju topline uzima se u obzir prema proračunu opisanom u normi HRN EN 13790 (točka 9.3.3.8)
- 7) Kod prisilne ventilacije s centralnim predgrijanjem i prethlađenjem zraka proračun treba provesti tako da se vrši odvojen proračun potrebne energije za predgrijanje i prethlađenje. Tada se pri proračunu koeficijenta ventilacijske izmjene topline koristi faktor prilagodbe, izračunat temeljem temperature ventilacijskog zraka na ulazu u proračunsku zonu zgrade prema izrazu:

$$b_{ve,k} = \frac{\theta_{int} - \theta_{sup,k}}{\theta_{int} - \theta_e} \quad (11.74)$$

gdje su:

- $\theta_{int}$  - unutarnja postavna temperatura kondicionirane zone [°C]
- $\theta_{sup,k}$  - temperatura zraka na izlazu iz jedinice centralnog predgrijanja ili predhlađenja i na ulazu u proračunsku zonu zgrade [°C] i
- $\theta_e$  - temperatura vanjskog zraka [°C].

Energija potrebna za predgrijanje računa se prema izrazu:

$$Q_{V,pre-heat} = \rho \cdot c_p \cdot f_{ve,t,k} \cdot q_{ve,k} (\theta_{sup,k} - \theta_e) \cdot t \quad [J] \quad (11.75)$$

Analogno se energija potrebna za prethlađenje računa prema sljedećem izrazu:

$$Q_{V,pre-cool} = \rho \cdot c_p \cdot f_{ve,t,k} \cdot q_{ve,k} (\theta_e - \theta_{sup,k}) \cdot t \quad [J] \quad (11.76)$$

gdje su:

- $\rho$  - gustoća zraka [kg/m<sup>3</sup>]
- $c_p$  - specifični toplinski kapacitet zraka pri konstantnom tlaku [J/kgK], pri čemu se za praktične proračune uzima [J/(m<sup>3</sup>K)]
- $f_{ve,t,k}$  - udio vremena rada u danu za svaki pojedini (k-ti) element koji pridonosi ventilacijskim gubicima u proračunskom razdoblju (za cjelodnevni pogon  $f_{ve,t,k} = 1$ ), određen prema HRN EN 15242 i/ili HRN EN 15241,
- $q_{ve,k,mn}$  - protok zraka za svaki pojedini (k-ti) element ventilacije koji je predgrijan ili prethlađen te ulazi u proračunsku zonu s temperaturom  $q_{sup,k}$ , određen prema HRN EN 15242 i/ili HRN EN 15241 [m<sup>3</sup>/s],
- $\theta_{sup,k}$  - temperatura zraka na izlazu iz jedinice centralnog predgrijanja ili predhlađenja i na ulazu u proračunsku zonu zgrade [°C]
- $\theta_e$  - temperatura vanjskog zraka [°C] te
- $t$  - vremenski korak proračuna – mjesec [s].

Ako se predgrijanje ili prethlađenje koristi zajedno s regeneratom topline, utjecaj regeneratora topline uzima se u obzir tako da se u prethodnim izrazima (11.75 i 11.76) vanjska temperatura  $q_e$  zamijeni s temperaturom zraka koji dolazi iz regeneratora topline.

8) Pretpostavlja se da je zgrada podijeljena na zone tako da jedan ventilacijski sustav ne opslužuje više od jedne zone, te se može zanemariti prestrujavanje zraka između zona

**9) Pri proračunu koristi se mjesečna metoda s jednom srednjom mjesečnom temperaturom vanjskog zraka, podjelom razdoblja korištenja na dva režima (korišteno i nekorišteno) te pet brzina vjeta karakterističnih za promatrani mjesec.**

### Toplinski dobici u režimu grijanja

Toplinski dobici proračunske zone za promatrano vremensko razdoblje (mjesec) izračunavaju se prema izrazu:

$$Q_{H,gn} = Q_{int} + Q_{sol} \quad [J] \quad (11.77)$$

gdje su:

- $Q_{int}$  - unutarnji toplinski dobici u proračunskom mjesecu [J] i
- $Q_{sol}$  - toplinski dobici od sunčeva zračenja u proračunskom mjesecu [J].

### Unutarnji toplinski dobici

Unutarnji toplinski dobici obuhvaćaju unutarnje toplinske izvore ili ponore. Čine ih svi toplinski tokovi u kondicioniranom prostoru (proračunskoj zoni) koji potječu iz unutarnjih izvora, osim onih toplinskih tokova kojima je izričita funkcija grijanje ili hlađenje prostora te priprema potrošne tople vode.

Obuhvaćaju:

- toplinsku energiju zbog metabolizma ljudi koji borave u prostoru
- toplinsku energiju od rada raznih korisnikovih uređaja u prostoru
- toplinsku energiju od rasvjete
- toplinsku energiju predanu ili odanu od potrošne tople vode i otpadnih voda
- toplinsku energiju predanu ili odanu radom elemenata sustava grijanja, hlađenja i ventilacije (onaj dio gubitaka koji se može rekuperirati unutar zgrade) te
- toplinsku energiju predanu ili odanu od raznih procesa i robe koja se unosi u prostor.

Unutarnji toplinski gubici proračunske zone za promatrano vremensko razdoblje (mjesec), izračunavaju se prema izrazu:

$$Q_{int} = \left( \sum_k \phi_{int,mn,k} \right) \cdot t + \left( \sum_l (1 - b_{tr,l}) \phi_{int,mn,u,l} \right) \cdot t \quad [J] \quad (11.78)$$

gdje su:

- $\phi_{int,mn,k}$  - prosječni toplinski tok k-tog unutarnjeg izvora topline u grijanom prostoru: ljudi, uređaji, rasvjeta, rekuperirana toplina iz termotehničkih uređaja i sl. [W]
- $\phi_{nt,mn,u,l}$  - prosječni toplinski tok l-tog unutarnjeg izvora topline u susjednom nekondicioniranom prostoru [W]
- $b_{tr,l}$  - faktor prilagodbe za susjedni negrijani prostor s l-tim unutarnjim toplinskim izvorom (prema normi HRN EN ISO 13789) i
- $t$  - proračunsko vremensko razdoblje [s].

U svrhu proračuna energetske potrebe pri energetskom certificiranju zgrada kod proračuna toplinskog toka iz unutarnjih izvora, zanemaruju se unutarnji izvori topline u susjednim nekondicioniranim prostorima, osim u slučaju osunčanih prostora - staklenika.

Prosječni toplinski tok k-tog unutarnjeg izvora  $\phi_{nt,mn,k}$  unutar promatrane zone i l-tog unutarnjeg izvora u susjednom nekondicioniranom prostoru, može predstavljati:

- unutarnji izvor toplinskog toka od ljudi  $\phi_{int,Oc}$
- unutarnji izvor toplinskog toka od uređaja  $\phi_{int,A}$
- unutarnji izvor toplinskog toka od rasvjete  $\phi_{int,L}$  (pri tome se zanemaruje oslobođena toplina od pomične i dekorativne rasvjete, rasvjete oko zgrade i sl.)
- unutarnji izvor toplinskog toka od potrošne tople vode, vode iz vodovoda i otpadnih voda (kanalizacije)  $\phi_{int,WA}$
- unutarnji izvor rekuperirane topline nastale radom sustava grijanja, hlađenja i ventilacije  $\phi_{int,HVAC}$  ili
- unutarnji izvor toplinskog toka od procesa i roba  $\phi_{int,Proc}$ .

Pri tome se odvođenje topline (toplinski ponor) također uključuje u unutarnje izvore topline, ali s negativnim predznakom.

Unutarnji toplinski izvori od ljudi i uređaja, računaju se prema Prilogu G norme HRN EN ISO 13790, a pojednostavljeno se mogu računati na sljedeći način:

- za stambene zgrade

$$\phi_{int,Oc} + \phi_{int,A} = 4,5 \text{ W/m}^2 \cdot A_f \quad [W] \quad (11.79)$$

- za uredske zgrade

$$\phi_{\text{Int},\text{Oc}} + \phi_{\text{Int},\text{A}} = 6 \text{ W/m}^2 \cdot A_f \quad [\text{W}] \quad (11.80)$$

- za ostale nestambene zgrade javne namjene

$$\phi_{\text{Int},\text{Oc}} + \phi_{\text{Int},\text{A}} = 5 \text{ W/m}^2 \cdot A_f \quad [\text{W}] \quad (11.81)$$

gdje je:

$A_f$  - površina kondicioniranog dijela proračunske zone zgrade proračunata s vanjskim dimenzijama [m<sup>2</sup>] te

- za ostale nestambene zgrade gospodarske namjene toplinski tok od ljudi i uređaja, određuje se prema namjeni i uvjetima korištenja.

Izmijenjen toplinski tok nastao radom sustava grijanja, hlađenja i ventilacije, predstavlja iskorišteni dio iskoristivih toplinskih gubitaka navedenih sustava, a računa se prema izrazu:

$$\phi_{\text{Int},\text{HVAC}} = \phi_{\text{Int},\text{H}} + \phi_{\text{Int},\text{C}} + \phi_{\text{Int},\text{V}} \quad [\text{W}] \quad (11.82)$$

gdje su:

- $\phi_{\text{Int},\text{H}}$  - unutarnji toplinski tok iskorištenih toplinskih gubitaka sustava grijanja [W]
- $\phi_{\text{Int},\text{C}}$  - unutarnji toplinski tok iskorištenih toplinskih gubitaka sustava hlađenja [W] i
- $\phi_{\text{Int},\text{V}}$  - unutarnji toplinski tok iskorištenih toplinskih gubitaka sustava ventilacije [W].

Prije nego li se odrede toplinski gubici tehničkih sustava, a time i iskorišteni toplinski gubici, potrebno je izračunati potrebnu toplinsku energiju za grijanje bez uključivanja ovih elemenata u proračun. Oni se uzimaju u obzir tek u drugoj iteraciji proračuna.

Unutarnji toplinski tok zbog iskoristivih toplinskih gubitaka sustava grijanja, hlađenja i ventilacije, sastoji se od topline predane unutar zgrade od strane pomoćnih uređaja sustava (kao što su crpke, ventilatori ili elektronički uređaji) i toplinskih gubitaka podsustava emisije, razvoda, spremnika i izvora (proizvodnje) toplinske energije. Moguće je pretpostaviti da je dio toplinskih gubitaka topline sustava grijanja koji se iskorištava unutar zgrade zanemarivo mali te da se u proračunu može ispustiti, međutim to mora biti eksplicitno definirano u nacionalnoj metodologiji.

Ostale unutarnje dobitke topline  $\phi_{\text{Int},\text{L}}$ ,  $\phi_{\text{Int},\text{WA}}$  i  $\phi_{\text{Int},\text{Proc}}$  treba računati prema normi HRN EN ISO 13790 (poglavlje 11.3)

### Toplinski dobitci od Sunčeva zračenja

Toplinski gubici proračunske zone od Sunčeva zračenja za promatrano vremensko razdoblje (mjesec) računaju se prema izrazu:

$$Q_{\text{sol}} = \left( \sum_k \phi_{\text{sol},\text{mn},k} \right) \cdot t + \left( \sum_l (1 - b_{\text{tr},l}) \phi_{\text{sol},\text{mn},\text{u},l} \right) \cdot t \quad [\text{J}] \quad (11.83)$$

gdje su:

- $\phi_{\text{sol},\text{mn},k}$  - prosječni toplinski učin sunčanog toplinskog izvora kroz k-ti građevni dio u grijani prostor [W]
- $\phi_{\text{sol},\text{mn},\text{u},l}$  - prosječni toplinski učin sunčanog toplinskog izvora kroz l-ti građevni dio u susjedni negrijani prostor [W]
- $b_{\text{tr},l}$  -faktor prilagodbe za susjedni negrijani prostor s l-tim sunčanim toplinskim izvorom (prema normi HRN EN ISO 13789) i
- $t$  - proračunsko vremensko razdoblje [h].

Općeniti izraz za prosječni toplinski tok od sunčanog toplinskog izvora kroz k-ti građevni dio glasi:

$$\phi_{\text{sol},k} = F_{\text{sh},\text{ob},k} A_{\text{sol},k} I_{\text{sol},k} - F_{\text{r},k} \phi_{\text{r},k} \quad [\text{W}] \quad (11.84)$$

gdje su:

- $F_{\text{sh},\text{ob},k}$  - faktor smanjenja zbog sjene od vanjskih prepreka direktnom Sunčevu zračenju na površinu k-tog građevnog elementa
- $A_{\text{sol},k}$  - efektivna površina k-tog građevnog elementa uzimajući u obzir orijentaciju i nagib plohe [m<sup>2</sup>],
- $I_{\text{sol},k}$  - prosječna gustoća toplinskog toka Sunčeva zračenja na površinu k-tog građevnog elementa u promatranom proračunskom razdoblju (mjesecu) na određenu orijentaciju i nagib plohe [W/m<sup>2</sup>],

- $F_{r,k}$  -faktor oblika između k-tog građevnog elementa i neba npr.  $F_{r,k}=1$  za nezasjenjeni vodoravan krov  $F_{r,k}=0,5$  za nezasjenjeni okomiti krov i
- $\phi_{r,k}$  - toplinski tok zračenja k-tog građevnog elementa prema nebu [W].

Pri proračunu se zanemaruju toplinski dobici kroz neprozirne građevne elemente. Zanemaruje se također i utjecaj toplinskog zračenja građevnih elemenata prema nebu pa se drugi član u gornjem izrazu (11.84) može izostaviti.

Efektivna površina građevnog elementa  $A_{sol}$  izračunava se prema sljedećem izrazu:

$$A_{sol} = F_{sh,gl} \cdot g_{gl} \cdot (1 - F_F) A_{w,p} \quad [m^2] \quad (11.85)$$

gdje su:

- $F_{sh,gl}$  - faktor smanjenja zbog sjene od pomičnog zasjenjenja prema *Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama* (NN 110/08 i 89/09)
- $g_{gl}$  - ukupna propusnost Sunčeva zračenja kroz prozirne elemente kada pomično zasjenjenje nije uključeno računa se prema izrazu  $g_{gl} = 0,9 \cdot g_{gl,n}$  gdje se  $g_{gl,n}$  prema *Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama* (NN 110/08 i 89/09) uzima iz tablice 11.19
- $F_F$  - udio ploštine prozorskog okvira u ukupnoj površini prozora [ $F_F=0,3$ ] i
- $A_{w,p}$  - ukupna ploština prozora [ $m^2$ ].

Faktor smanjenja zbog sjene od pomičnog zasjenjenja izračunava se prema izrazu:

$$F_{sh,gl} = \frac{(1 - f_{with})g_{gl} + f_{with}g_{gl+sh}}{g_{gl}} \quad (11.86)$$

gdje su:

- $g_{gl}$  - ukupna propusnost Sunčeva zračenja kroz prozirne elemente kada pomično zasjenjenje nije uključeno, računa se prema izrazu  $g_{gl} = 0,9 \cdot g_{gl,n}$ , gdje se  $g_{gl,n}$  prema *Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama* (NN 110/08 i 89/09) uzima iz tablice 11.19
- $g_{gl+sh}$  - ukupna propusnost Sunčeva zračenja kroz prozirne elemente s uključenom pomičnom zaštitom od sunca računa se prema izrazu  $g_{gl+sh} = 0,9 \cdot g_{gl,n} \cdot F_C$ , gdje se  $g_{gl,n}$  i  $F_C$  prema *Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama* (NN 110/08 i 89/09) uzimaju iz tablica 11.18 i 11.19 te
- $f_{with}$  - udio vremena s uključenom pomičnom zaštitom i vremena s isključenom pomičnom zaštitom od sunca.

Pri određivanju udjela vremena s uključenom pomičnom zaštitom od sunca, treba pretpostaviti da je zaštita uključena ako je intenzitet Sunčeva zračenja na predmetnu površinu prozora veći od  $300 \text{ W/m}^2$ , a potpuno isključena ako je intenzitet manji ili jednak  $300 \text{ W/m}^2$ . To uvelike ovisi o klimi te o mjesecu za koji se vrši proračun. Također ovisi o nagibu i orijentaciji prozora. Udio  $f_{with}$  za pojedini mjesec izračunava se kao omjer suma satnih vrijednosti intenziteta upadnog Sunčeva zračenja na promatranu plohu većih od  $300 \text{ W/m}^2$  i sume satnih vrijednosti intenziteta upadnog Sunčeva zračenja na promatranu plohu za sve sate u mjesecu.

Tablica 11.18 - Faktor smanjenja zbog sjene od pomičnog zasjenjenja

Redni broj	Naprava za zaštitu od sunčeva zračenja	$F_c$
1.	Bez naprave za zaštitu od sunčeva zračenja	1
2.	Naprava s unutrašnje strane ili između stakala	
2.1	– bijele ili reflektirajuće površine i malene transparentnosti <sup>a)</sup>	0,75
2.2	– svijetle boje ili malene transparentnosti	0,80
2.3	– tamne boje ili povišene transparentnosti	0,90
3	Naprava s vanjske strane	
3.1	– žaluzine, lamele koje se mogu okretati, otraga provjetravano	0,25
3.2	– žaluzine, rolete, kapci (škure, grilje)	0,30
4.	Strehe, lođe <sup>b)</sup>	0,50
5.	Markize, gore i bočno provjetravane <sup>b)</sup>	0,40

<sup>a)</sup> Transparentnost naprave za zaštitu od Sunčeva zračenja manja od 15% smatra se malenom, a transparentnost u iznosu 15% ili većem smatra se povišenom.

<sup>b)</sup> Navedena vrijednost primjenjuje se za slučaj kad je spriječeno direktno osunčanje prozora.

Tablica 11.19 - Stupanj propuštanja ukupnog zračenja okomito na ostakljenje

Redni broj	Tip ostakljenja	$g_{gl,n}$
1.	Jednostruko staklo (bezbojno, ravno float staklo)	0,87
2.	Dvostruko izolirajuće staklo (s jednim međuslojem zraka)	0,80
3.	Trostruko izolirajuće staklo (s dva međusloja zraka)	0,70
4.	Dvostruko izolirajuće staklo s jednim staklom niske emisije (Low-E obloga)	0,60
5.	Trostruko izolirajuće staklo s dva stakla niske emisije (dvije Low-E obloge)	0,50
6.	Dvostruko izolirajuće staklo sa staklom za zaštitu od sunčeva zračenja	0,50
7.	Staklena opeka	0,60

Faktor zasjenjenja  $F_{sh,ob}$  zbog sjene od vanjskih prepreka direktnom Sunčevu zračenju na površinu građevnog elementa uzima u obzir stalno zasjenjenje zbog ostalih susjednih zgrada, konfiguracije terena, prevjesa, ostalih elementa na istoj zgradi te vanjskog dijela otvora prozora, a izračunava se prema izrazu:

$$F_{sh,ob} = F_{hor} \cdot F_{ov} \cdot F_{fin} \quad (11.87)$$

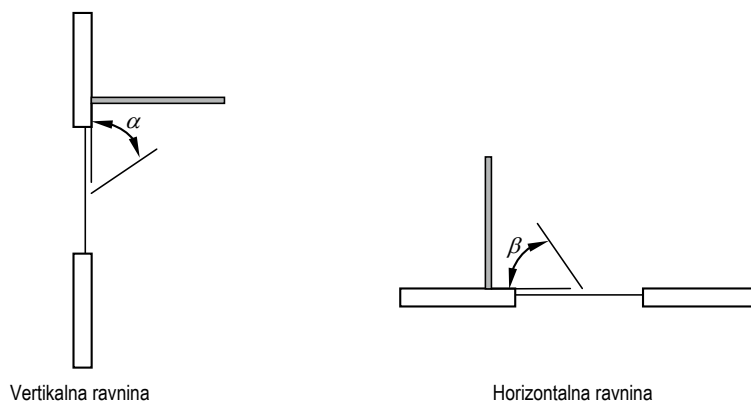
gdje su:

- $F_{hor}$  – parcijalni faktor zasjenjenja zbog konfiguracije terena
- $F_{ov}$  – parcijalni faktor zasjenjenja zbog gornjih elemenata prozorskog otvora i
- $F_{fin}$  – parcijalni faktor zasjenjenja zbog bočnih elemenata prozorskog otvora.

Parcijalni faktor zasjenjenja zbog konfiguracije terena  $F_{hor}$  za sezonu grijanja, može uzeti u tablice 11.20 u ovisnosti o orijentaciji plohe, kuta horizonta i zemljopisnoj širini.

Tablica 11.20 - Parcijalni faktor zasjenjenja zbog konfiguracije terena  $F_{hor}$ 

Kut horizonta	45° S zem. širine			55° S zem. širine			65° S zem. širine		
	J	I/Z	S	J	I/Z	S	J	I/Z	S
0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
10°	0,97	0,95	1,00	0,94	0,92	0,99	0,86	0,89	0,97
20°	0,85	0,82	0,98	0,68	0,75	0,95	0,58	0,68	0,93
30°	0,62	0,70	0,94	0,49	0,62	0,92	0,41	0,54	0,89
40°	0,46	0,61	0,90	0,40	0,56	0,89	0,29	0,49	0,85



Slika 11.20 - Kutevi horizontalnih i vertikalnih prozorskih elemenata za zasjenjenje

Parcijalni faktor zasjenjenja zbog gornjih elemenata prozorskog otvora  $F_{ov}$  ovisi o kutu  $\alpha$  (slika 11.20) i zemljopisnoj širini lokacije zgrade, a za sezonu grijanja može uzeti iz tablice 11.21.

**Tablica 11.21 - Parcijalni faktor zasjenjenja zbog gornjih elemenata prozorskog otvora (streha)  $F_{ov}$  za sezonu grijanja**

Kut gornjeg prozorskog sjenila $\alpha$	45° S zem. širine			55° S zem. širine			65° S zem. širine		
	J	I/Z	S	J	I/Z	S	J	I/Z	S
0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
30°	0,90	0,89	0,91	0,93	0,91	0,91	0,95	0,92	0,90
45°	0,74	0,76	0,80	0,80	0,79	0,80	0,85	0,81	0,80
60°	0,50	0,58	0,66	0,60	0,61	0,65	0,66	0,65	0,66

Parcijalni faktor zasjenjenja zbog bočnih elemenata prozorskog otvora  $F_{fin}$  ovisi o kutu  $\beta$  (slika 11.20) i zemljopisnoj širini lokacije zgrade, a za sezonu grijanja može uzeti iz tablice 11.22. Vrijednosti u tablici dani su samo za bočno zasjenjenje na jednoj strani prozora. Za bočno zasjenjenje s obje strane prozora koji su južno orijentirani, treba pomnožiti dva navedena parcijalna faktora zasjenjenja. Kod otvora orijentiranih prema zapadu ili istoku, navedeni faktori zasjenjenja vrijede za jednostrano bočno zasjenjenje na južnom boku prozora. Za zasjenjenja na sjevernom boku prozora nije potrebno uzimati korekcijski faktor.

**Tablica 11.22 - Parcijalni faktor zasjenjenja zbog bočnih elemenata prozorskog otvora  $F_{fin}$  za sezonu grijanja**

Kut bočnog prozorskog sjenila $\beta$	45° S zem. širine			55° S zem. širine			65° S zem. širine		
	J	I/Z	S	J	I/Z	S	J	I/Z	S
0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
30°	0,94	0,92	1,00	0,94	0,91	0,99	0,94	0,90	0,98
45°	0,84	0,84	1,00	0,86	0,83	0,99	0,85	0,82	0,98
60°	0,72	0,75	1,00	0,74	0,75	0,99	0,73	0,73	0,98

U tablicama 11.20, 11.21 i 11.22 prikazane su vrijednosti koje su važeće za sezonu grijanja i navedene zemljopisne širine. Za sezonu hlađenja i ostale zemljopisne širine potrebno je odrediti faktore zasjenjenja prema uputama iz HRN EN ISO 13790 (dodatak G 5.3).

### Faktor iskorištenja toplinskih dobitaka za grijanje

Faktor iskorištenja toplinskih dobitaka za grijanje  $\eta_{H,gn}$  je bezdimenzijski faktor koji definira koliki se udio ukupnih toplinskih dobitaka iskorištava za grijanje.

Računa se posebno za svaku proračunsku zonu i za svaki mjesec. Funkcija je omjera toplinskih dobitaka i ukupne izmijenjene topline u režimu grijanja te toplinske inercije zgrade (koja se opisuje parametrom  $a_H$ ).

Definiran je sljedećim izrazima:

$$\eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H+1}} \quad \text{za } \gamma_H > 0 \text{ i } \gamma_H \neq 1 \quad (11.88)$$

$$\eta_{H,gn} = \frac{a_H}{a_H + 1} \quad \text{za } \gamma_H = 1 \quad (11.89)$$

$$\eta_{H,gn} = \frac{a_H}{a_H + 1} \quad \text{za } \gamma_H = 1 \quad (11.90)$$

gdje su:

$a_H$  - bezdimenzijski numerički parametar koji uzima u obzir utjecaj toplinske inercije i

$\gamma_H$  - odnos toplinskih dobitaka i ukupne izmijenjene topline transmisijom i ventilacijom u režimu grijanja, izračunat prema izrazu:

$$\gamma_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}} \quad (11.91)$$

Bezdimenzijski numerički parametar koji uzima u obzir utjecaj toplinske inercije funkcija je vremenske konstante zgrade prema izrazu:

$$a_H = a_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,0}} \quad (11.92)$$

gdje je za mjesečni proračun  $a_{H,0} = 1$  i  $\tau_{H,0} = 15$  h.

Vremenska konstanta zgrade izračunava se prema izrazu:

$$\tau = \frac{C_m / 3600}{H_{tr} + H_{ve}} \quad [h] \quad (11.93)$$

gdje su:

$H_{tr}$  - koeficijent transmisijske izmjene topline [W/K]

$H_{ve}$  - koeficijent ventilacijske izmjene topline [W/K] i

$C_m$  - toplinski kapacitet zgrade ili proračunske zone [J/K].

Za proračun vremenske konstante zgrade koriste se koeficijenti transmisijske i ventilacijske izmjene topline za režim grijanja ili za režim hlađenja, ovisno o tome koji je režim dominantan.

Toplinski kapacitet zgrade ili proračunske zone može se odrediti pojednostavljeno odabrati prema izrazima:

$$C_m = 470 \text{ kJ}/(\text{m}^2\text{K}) \cdot A_f (\text{m}^2) \quad \text{za teške zone zgrade} \quad (11.94)$$

$$C_m = 180 \text{ kJ}/(\text{m}^2\text{K}) \cdot A_f (\text{m}^2) \quad \text{za lagane zone zgrade} \quad (11.95)$$

$$C_m = 330 \text{ kJ}/(\text{m}^2\text{K}) \cdot A_f (\text{m}^2) \quad \text{za srednje teške zone zgrade} \quad (11.96)$$

gdje je  $A_f$  površina kondicioniranog dijela proračunske zone zgrade, proračunata s vanjskim dimenzijama.



Pri tome se zgrade dijele na teške, srednje teške i laganje prema sljedećim karakteristikama:

“Teške zone zgrade” predstavljaju one zone zgrade koje zadovoljavaju sljedeće uvjete:

- masivni unutarnji i vanjski građevni dijelovi (gustoća materijala  $^3 1000 \text{ kg/m}^3$ )
- bez ovješanih stropova ili obloga stropova toplinsko izolacijskim materijalima
- bez toplinske izolacije na unutarnjoj strani vanjskih građevnih dijelova
- bez visokih prostorija

“Srednje teške zone zgrade” jesu one zone zgrade koje zadovoljavaju sljedeće uvjete:

- masivni unutarnji i vanjski građevni dijelovi (gustoća materijala  $^3 600 \text{ kg/m}^3$ )
- bez ovješanih stropova ili obloga stropova toplinsko izolacijskim materijalima
- bez toplinske izolacije na unutarnjoj strani vanjskih građevnih dijelova
- bez visokih prostorija

“Lagane zone zgrade” su one zone zgrade koje ne zadovoljavaju uvjete za teške i srednje teške zone zgrade.

Faktor iskorištenja toplinskih dobitaka za grijanje može se, za potrebe certificiranja, računati na pojednostavljen način prema sljedećim izrazima (iz *Pravilnika o energetskom certificiranju zgrada*, NN 36/10):

$$\eta_{H,gn} = 1 \text{ za masivnu zgradu (tešku zgradu)} \quad (11.97)$$

$$\eta_{H,gn} = 0,98 \text{ za srednje tešku zgradu te} \quad (11.98)$$

$$\eta_{H,gn} = 0,90 \text{ za laku zgradu} \quad (11.99)$$

### Godišnje potrebna energija za grijanje

Godišnje potrebna energija za grijanje u [kWh/a] izračunava se kao zbroj mjesečnih vrijednosti potrebne energije za grijanje na način:

$$Q_{H,nd} = \frac{1}{3,6 \cdot 10^6} \sum_{m=1}^{12} Q_{H,nd,m} \text{ [kWh/a]} \quad (11.100)$$

gdje su:

- $Q_{H,nd}$  - ukupna godišnja potrebna korisna energija za grijanje [kWh/a] i  
 $Q_{H,nd,m}$  - mjesečna potrebna korisna energija za grijanje [J].

Specifična vrijednost izražena po jedinici korisne površine iznosi:

$$\frac{Q_{H,nd}}{A_k} \text{ [kWh/(m}^2\text{)a]} \quad (11.101)$$

gdje je:

- $A_k$  - ploština korisne površine zgrade [m<sup>2</sup>] - ukupna neto podna ploština zgrade koja odgovara namjeni uporabe zgrade, računa se prema točki 5.1.7 HRN EN ISO 9836.

### Zahtijevana (dopuštena) vrijednost godišnje potrebne toplinske energije za grijanje - $Q''_{H,nd}$

U energetska certifikat obavezan je upis i dopuštene vrijednosti godišnje potrebne korisne energije za grijanje. Ona se određuje u skladu sa Zahtjevima za zgrade grijane na temperaturu 18 °C ili višu prema *Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama* (NN 110/08 i 89/09).

Stambena zgrada za koju je grijanje predviđeno na temperaturu 18 °C ili višu, mora biti projektirana i izgrađena tako da godišnja potrebna toplinska energija za grijanje po jedinici ploštine korisne površine zgrade,  $Q''_{H,nd}$  u [kWh/(m<sup>2</sup>a)], ovisno o faktoru oblika zgrade,  $f_o$ , nije veća od vrijednosti:

$$\text{– za zgrade s } f_o \leq 0,20 \quad Q''_{H,nd} = 51,31 \text{ kWh/[m}^2\text{a)}, \quad (11.102)$$

$$\text{– za zgrade s } 0,20 < f_0 < 1,05 \quad Q''_{H,nd} = (41,03 + 51,41 \cdot f_0) \text{ kWh}/[\text{m}^2\text{a}] \quad (11.103)$$

$$\text{– za zgrade s } f_0 \geq 1,05 \quad Q''_{H,nd} = 95,01 \text{ kWh}/[\text{m}^2\text{a}] \quad (11.104)$$

gdje je:

$f_0$  – faktor oblika zgrade je omjer oplošja  $A$  [ $\text{m}^2$ ] i obujma  $V_e$  [ $\text{m}^3$ ] grijanog dijela zgrade i izračunava se prema izrazu:

$$f_0 = \frac{A}{V_e} \quad [\text{m}^{-1}] \quad (11.105)$$

### 11.5.3. Godišnja potrebna toplinska energija za zagrijavanje potrošne tople vode $Q_w$ (prema HRN EN 15316-3-1)

#### 11.5.3.1. Općenito

Određivanje potrebne toplinske energije za pripremu potrošne topline vode vrši se prema normi HRN EN 15316-3-1 *Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava - Dio 3-1: Sustavi za pripremu potrošne tople vode, pokazatelji potreba prema izljevnom mjestu*. Norma opisuje proračun potrebne toplinske energije za pripremu potrošne tople vode u zgradi na 4 načina:

- **prema dnevnoj dinamici potrošnje** (u prilogu A dani su standardizirani programi dnevne potrošnje za različite slučajeve, ovisno o broju osoba i opreme kupaonice)
- **prema dnevnom utrošenom volumenu** (u prilogu B dane su standardizirane vrijednosti potrebnog volumena potrošne tople vode, ovisno o vrsti prostora, broju osoba i sl.)
- **prema površini zgrade** (samo ako je donesen nacionalni dodatak normi u kojem se definira specifična vrijednost)
- **prema vrsti zgrade** (samo ako je donesen nacionalni dodatak normi - temelji se na pretpostavci da potrošnja tople vode ovisi o vrsti i namjeni zgrade)

Za potrebe energetskog certificiranja zgrada (prema *Pravilniku o energetskom certificiranju zgrada*, NN 36/10) koriste se kako slijedi:

ZA STAMBENE ZGRADE - proračun prema površini zgrade

ZA NESTAMBENE ZGRADE - proračun prema dnevnom utrošenom volumenu.

#### 11.5.3.2. Potrebna toplinska energija za pripremu potrošne tople vode za stambene zgrade

Godišnja potrebna toplinska energija za pripremu tople vode računa se prema korisnoj površini objekta.

Za stambene zgrade s do 3 stambene jedinice:

$$Q_w = 12,5 \cdot A_k \quad [\text{kWh/a}] \quad (11.106)$$

Za stambene zgrade s više od 3 stambene jedinice:

$$Q_w = 16 \cdot A_k \quad [\text{kWh/a}] \quad (11.107)$$

gdje je  $A_k$  - ploština korisne površine zgrade [ $\text{m}^2$ ].

Za nestambenu zgradu s do 3 stambene jedinice to pretpostavlja potrošnju tople vode od oko 230 l/ $\text{m}^2$  godišnje (za temperaturu potrošne tople vode 60°C i temperaturu vode iz vodovoda 13,5°C). Tako bi stan od 60  $\text{m}^2$  trošio godišnje 13,8  $\text{m}^3$  tople vode, odnosno 38 l/dan.

#### 11.5.3.2. Potrebna toplinska energija za pripremu potrošne tople vode za nestambene zgrade

Dnevno potrebna toplinska energija za pripremu tople vode računa se prema izrazu:

$$Q_{W,d} = \rho_W \cdot c_W \cdot V_{W,d} \cdot (\theta_W - \theta_0) \quad [\text{kWh/d}] \quad (11.108)$$

gdje su:

- $\rho_W$  - gustoća vode [ $\text{kg/m}^3$ ]
- $c_W$  - specifični toplinski kapacitet vode [ $\text{kWh/kg K}$ ]
- $V_{W,d}$  - potrebni dnevni volumen tople vode [ $\text{m}^3/\text{d}$ ]
- $\theta_W$  - temperatura potrošne tople vode,  $60^\circ\text{C}$  i
- $\theta_0$  - temperatura hladne vode iz vodovoda,  $13,5^\circ\text{C}$ .

Pri proračunu se može usvojiti da je  $\rho_W \cdot c_W = 1,16$  [ $\text{kWh}/(\text{m}^3\text{K})$ ] te izraz za izračunavanje dnevno potrebne topline za pripremu potrošne tople vode u nestambenim zgradama postaje:

$$Q_{W,d} = 1,16 \cdot V_{W,d} \cdot (\theta_W - \theta_0) \quad [\text{kWh/d}] \quad (11.109)$$

Dnevno potreban volumen tople vode  $V_{W,d}$  određuje se u ovisnosti o vrsti i namjeni zgrade prema izrazu:

$$V_{W,d} = \frac{V_{W,f,d} \cdot f}{1000} \quad [\text{m}^3/\text{d}] \quad (11.110)$$

gdje su:

- $V_{W,f,d}$  - specifična dnevna potrošnja tople vode po jedinici proračuna i
- $f$  - jedinica proračuna ovisno o tipu i namjeni objekta:  
npr. za bolnice  $V_{W,f,d} = 88$  l/(broj ležaja  $\times$  dan),  $f =$  broj ležaja za hotel \*\*\*  $V_{W,f,d} = 90$  l/(broj ležaja  $\times$  dan),  $f =$  broj ležaja.

Specifične dnevne potrošnje tople vode po vrstama objekata i namjeni dane su u dodatku B norme HRN EN 15316-3-1.

Potrošnja energije za pripremu tople vode u zgradama obrazovnih institucija, uredskim zgradama, kazalištima, predavaonicama te trgovinama ne uzima se u obzir.

Mjesečne i godišnje potrebne količine toplinske energije za pripremu tople vode dobiju se zbrajanjem dnevnih vrijednosti:

$$Q_{W,m} = \sum_{d=1}^{bd} Q_{W,d} \quad [\text{kWh}] \quad (11.111)$$

$$Q_W = \sum_{m=1}^{12} Q_{W,m} \quad [\text{kWh}] \quad (11.112)$$

gdje su:

- $Q_{W,d}$  - dnevna potrebna toplinska energija za pripremu potrošne tople vode [ $\text{kWh}$ ]
- $Q_{W,m}$  - mjesečno potrebna toplinska energija za pripremu potrošne tople vode [ $\text{kWh}$ ]
- $Q_W$  - godišnje potrebna toplinska energija za pripremu potrošne tople vode [ $\text{kWh}$ ] i
- $bd$  - broj dana u proračunskom mjesecu, uzima se iz tablice 11.12.

Specifična vrijednost izražena po jedinici korisne površine iznosi:

$$\frac{Q_W}{A_K} \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2)] \quad (11.113)$$

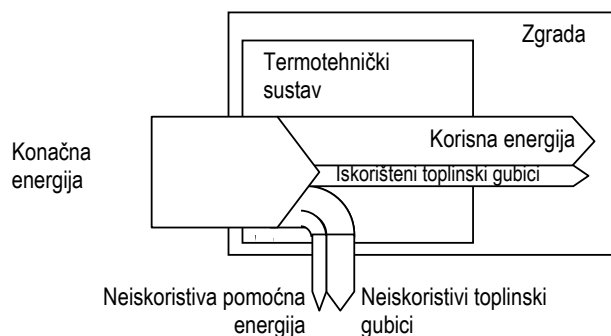
gdje je:

- $A_K$  - ploština korisne površine zgrade [ $\text{m}^2$ ] - ukupna neto podna ploština zgrade koja odgovara namjeni uporabe zgrade, računa se prema točki 5.1.7 HRN EN ISO 9836.

## 11.5.4. Općenito o proračunu gubitaka sustava grijanja i sustava pripreme potrošne tople vode

### 11.5.4.1. Općenito

Kako bi se odredila potrebna konačna energija za pogon termotehničkog sustava, potrebno je izračunati gubitke energije samog sustava i pridodati ih potrebnoj korisnoj energiji za grijanje, odnosno za pripremu potrošne tople vode, prema slici 11.21. Energetski gubici sustava sastoje se od gubitka toplinske energije i energije potrebne za rad pomoćnih uređaja (pomoćna energija). Smjer proračuna suprotan je od smjera protoka energije. Proračun započinje određivanjem potrebne korisne energije preko potrebne konačne energije pa do primarne energije. Proračun je strukturiran prema komponentama termotehničkog sustava (podsustav izmjene energije u prostoru, razvod, spremnik i proizvodnja energije).



**Slika 11.21 - Osnovni tokovi konačne i korisne energije, nepovrativih gubitaka topline i potrebne pomoćne energije (energija za rad pomoćnih uređaja) za termotehnički sustav zgrade**

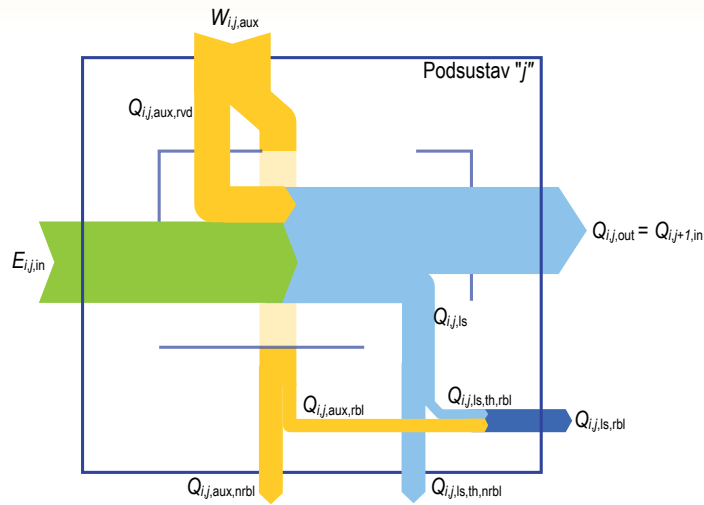
Metoda proračuna gubitka sustava grijanja i sustava za pripremu potrošne tople vode temelji se na analizi sljedećih dijelova sustava (podsustava):

- energetska efikasnost podsustava izmjene topline u prostoru uključujući regulaciju (npr. sustav ogrjevnih tijela)
- energetska efikasnost podsustava razvoda (distribucije) uključujući regulaciju (npr. cjevovodi sustava razvoda radijatora)
- energetska efikasnost podsustava spremnika (akumulacije) uključujući regulaciju (npr. sustav akumulacijskog spremnika tople vode)
- energetska efikasnost podsustava proizvodnje (izvora) energije uključujući regulaciju (npr. kotlovi, sustav sunčevih kolektora, dizalica tople, sustav kogeneracije).

Podjela sustava na računske podsustave slična je fizičkoj podjeli termotehničkog sustava, pri tomu se podsustav spremnika može uključiti u podsustav proizvodnje ili se može proračunavati kao odvojeni podsustav.

Končana energija potrebna za rad termotehničkog sustava određuje se posebno kao potrebna konačna toplinska energija i potrebna konačna pomoćna energija, najčešće električna (za pogon pomoćnih elemenata sustava, npr. cirkulacijskih crpki).

Slika 11.22 prikazuje ulazne i izlazne podatke proračuna, odnosno tokove energije, za jedan podsustav "j" unutar termotehničkog sustava "i".

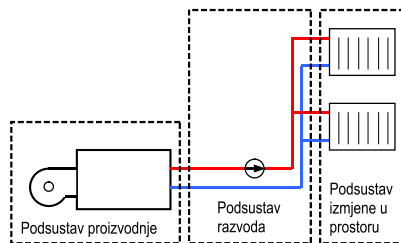


Slika 11.22 - Ulazni i izlazni podaci za proračun podsustava *j* unutar termotehničkog sustava *i*.

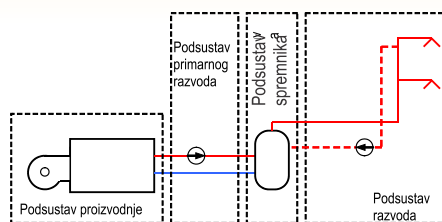
Značenje pojedinih oznaka na slici 11.22 je sljedeće:

- $Q_{i,j,out}$  - izlaz toplinske energije iz podsustava *j* ( $=Q_{i,j+1,in}$  ulaz toplinske energije u sljedeći podsustav)
- $E_{i,j,in}$  - ulaz toplinske energije ili energenta u podsustav *j*
- $W_{i,j,aux}$  - potrebna pomoćna energija podsustava *j*
- $Q_{i,j,aux,rvd}$  - rekuperirana (iskorištena) pomoćna energija u obliku toplinske energije unutar podsustava *j*
- $Q_{i,j,ls}$  - gubici toplinske energije podsustava *j*
- $Q_{i,j,ls,rbl}$  - gubici toplinske energije podsustava *j* koji se mogu rekuperirati (iskoristiti) za grijanje prostora (ne unutar podsustava nego unutar zgrade)
- $Q_{i,j,ls,th,rbl}$  - gubici toplinske energije podsustava *j* (toplinski dio) koji se mogu rekuperirati (iskoristiti) za grijanje prostora
- $Q_{i,j,aux,rbl}$  - pomoćna energija podsustava *j* koja se može rekuperirati (iskoristiti)
- $Q_{i,j,th,nrbl}$  - toplinski gubici podsustava *j* (toplinski dio) koji se ne mogu rekuperirati (iskoristiti) i
- $Q_{i,j,aux,nrbl}$  - pomoćna energija podsustava *j* koja se ne može rekuperirati (iskoristiti).

Za termotehnički sustav grijanja gubici toplinske energije i potrebna pomoćna energija najčešće se računaju za podsustave izmjene topline u prostoru, podsustav razvoda i podsustav proizvodnje (u koji može biti uključen i podsustav spremika) prema slici 11.23.



Slika 11.23- Najčešća podjela podsustava termotehničkog sustava grijanja



**Slika 11.24 - Najčešća podjela podsustava termotehničkog sustava za pripremu potrošne tople vode**

Za termotehnički sustav pripreme potrošne tople vode gubici toplinske energije i potrebna pomoćna energija najčešće se računaju za podsustave razvoda, spremnika, primarnog razvoda i proizvodnje prema slici 11.24. Podsustav spremnika može biti integriran u podsustav proizvodnje. Neki od ovih podsustava ne moraju biti prisuti, ovisno o konfiguraciji sustava za pripremu potrošne tople vode (npr. podsustav proizvodnje može biti integriran u podsustav proizvodnje iz sustava grijanja, podsustav primarnog razvoda ne mora postojati ako se voda direktno grije u kotlu i sl.). Gubici termotehničkog sustava za pripremu potrošne tople vode obično se računaju za podsustave razvoda, spremnika i eventualno primarnog razvoda.

Za svaki podsustav izračunava se njegov toplinski gubitak  $Q_{H,Is}$  i pridodaje toplinskoj energiji koju taj sustav odaje prostoru ili predaje sljedećem podsustavu, da bi se dobila potrebna ulazna energija u podsustav. Pomoćna energija  $W_{H,aux}$  proračunava se odvojeno (ako postoji) i ona doprinosi ukupnim gubicima energije podsustava. Pri tome nisu svi toplinski gubici sustava nepovratno izgubljeni, nego postoji i dio toplinskih gubitaka koji se mogu iskoristiti (rekuperirati) unutar zgrade te dio toplinskih gubitaka koji se iskorištavaju izravno u podsustavu. Svi oni umanjuju ukupne toplinske gubitke podsustava.

Dio toplinskih gubitaka koji se može rekuperirati unutar zgrade i iskoristiti za grijanje, predstavlja ulazni podatak u proračun korisne energije potrebne za grijanje zgrade (prema HRN EN ISO 13790). Ovi rekuperirani toplinski gubici uzimaju se u obzir kao dio unutarnjih izvora topline te tako smanjuju potrebnu korisnu energiju za grijanje. Pri tome treba razlikovati toplinske gubitke koji se teoretski mogu rekuperirati i one koji se stvarno i rekuperiraju (iskoriste unutar zgrade).

Primjer rezultata proračuna potrebne toplinske energije, toplinskih gubitaka i potrebne dodatne energije za sustav grijanja s električnom pripremom potrošne tople vode dan je u tablici 11.23.

Dio toplinskih gubitaka koji se iskorištavaju izravno unutar podsustava (rekuperacija topline) poboljšavaju stupanj djelovanja podsustava (npr. rekuperacija toplinskih gubitaka u dimnjaku predgrijavanjem zraka za izgaranje ili cirkulacijske crpke hladene vodom koja se koristi u sustavu grijanje i sl.) Prije proračuna toplinskih gubitaka koji se mogu rekuperirati iz sustava grijanja, potrebno je proračunati ukupnu potrebnu korisnu energiju za grijanje bez uključivanja iskoristivih toplinskih gubitaka u proračun unutarnjih toplinskih izvora. Izračunata korisna energija ulazni je podatak za proračun toplinskih gubitaka koji se mogu rekuperirati, a kada se oni odrede, može se pristupiti ponovnom proračunu ukupne korisne energije za grijanje (druga iteracija) s uključenim, sada poznatim, iskoristivim toplinskim gubicima termotehničkog sustava grijanja.

**Tablica 11.23 - Primjer izračuna potrebne toplinske energije, toplinskih gubitaka i potrebne dodatne energije te iskoristivih gubitaka i pomoćne energije za zgradu sa sustavom grijanja i električnom pripremom potrošne tople vode**

		Grijanje			Priprema potrošne tople vode		
Potrebna korisna energija		$Q_H$			$Q_W$		
	kWh/period	100			20		
Gubici sustava		Toplinski gubici sustava $Q_{H,i,ls}$	Pomoćna energija $W_{H,i,aux}$	Iskoristivi toplinski gubici $Q_{H,i,ls,rbl}$	Toplinski gubici sustava $Q_{W,i,ls}$	Pomoćna energija $W_{W,i,aux}$	Iskoristivi toplinski gubici $Q_{W,i,ls,rbl}$
Podsustav izmjene u prostoru (emisije) $i=em$	kWh/period	10	2	2	0	0	0
Ulazna energija u podsustav izmjene	kWh/period	110	2	2	20	0	0
Podsustav razvoda $i=dis$	kWh/period	15	4	10	10	2	5
Ulazna energija u podsustav razvoda	kWh/period	125	6	12	30	2	5
Podsustav spremnika $i=st$	kWh/period	-	0	0	10	1	6
Ulazna energija u podsustav spremnika	kWh/period	125	6	12	40	3	11
Podsustav proizvodnje $i=gen$	kWh/period	25	1	16	0	0	0
Ulazna energija u podsustav izvora (konačna energija)	kWh/period	150	7	28	40	3	11

Za proračun gubitaka energije (kako toplinske tako i pomoćne) svakoga podsustava, može se koristiti različita razina detaljnosti proračuna u ovisnosti o suvremenim tehničkim spoznajama i dostupnim normama te potrebnoj razini točnosti određivanja energetske gubitaka. Pritom se razlikuju četiri stupnja u detaljnosti pristupa proračunu:

Razina A: Gubici i stupnjevi iskoristivosti dani su tablično za cijeli sustav grijanja i/ili sustav za pripremu potrošne tople vode. Odabir podataka vrši se temeljem poznavanja osnovnih karakteristika cijelog sustava.

Razina B: Vrijednosti toplinskih gubitaka i pomoćna energija dani su tablično za svaki podsustav. Odabir podataka vrši se temeljem poznavanja karakteristika svakog od podsustava.

Razina C: Posebno se proračunavaju vrijednosti toplinskih gubitaka i pomoćna energija za svaki podsustav. Proračun se vrši na temelju poznavanja dimenzija sustava, učina, opterećenja, sati rada i ostalih podataka za koje se pretpostavlja da su konstantne u proračunskom razdoblju.

Razina D: Gubici i stupnjevi korisnosti se proračunavaju dinamičkom simulacijom rada sustava, uzimajući u obzir vremensku promjenu ulaznih parametara (npr. vanjskih temperatura, potrebne temperature potrošne tople vode itd.)

Za različite podsustave unutar jednog termotehničkog sustava mogu biti primijenjene različite razine detaljnosti proračuna.

Ako drugačije nije zahtijevano detaljni proračuni prema razinama C i D koriste se za nove zgrade s novo projektiranim sustavima grijanja i pripreme potrošne tople vode te za postojeće zgrade s novim instalacijama sustava za pripremu potrošne tople vode. Proračun se vrši na bazi mjesečnog vremenskog koraka, pri čemu se može odstupiti od ovog pravila kod proračuna nekih podsustava ako je to napomenuto kod opisa proračuna za pojedine podsustave. Izlazni podaci proračuna gubitka energije su: potrebna ulazna energija u podsustav kao zbroj isporučene toplinske energije i gubitaka toplinske energije, gubici toplinske energije, gubici toplinske energije koji se mogu iskoristiti i potrebna pomoćna (električna) energije.

Na proračun potrebne korisne energije za grijanje utječe podatak o iskorištenim toplinskim gubicima raznih podsustava unutar zgrade jer oni čine dio isporučene energije termotehničkog sustava. Iskorištene toplinske gubitke sustava u proračunu potrebne korisne energije za grijanje zgrade uzimamo u obzir kao dio unutarnjih izvora topline (prema HRN EN ISO 13790). Kada se u prvom prolazu izračunaju iskoristivi toplinski gubici u drugoj iteraciji, treba ponoviti proračun potrebne korisne energije za grijanje  $Q_{H,nd}$  a nakon nje, ponovno izračunati gubitke svih tehničkih sustava. Ovaj cjelokupni postupak treba provesti u barem dvije opisane iteracije.

#### 11.5.4.2. Dijagrami toka energije za primjere proračuna u režimu grijanja

##### Režim grijanja - jednostavan slučaj

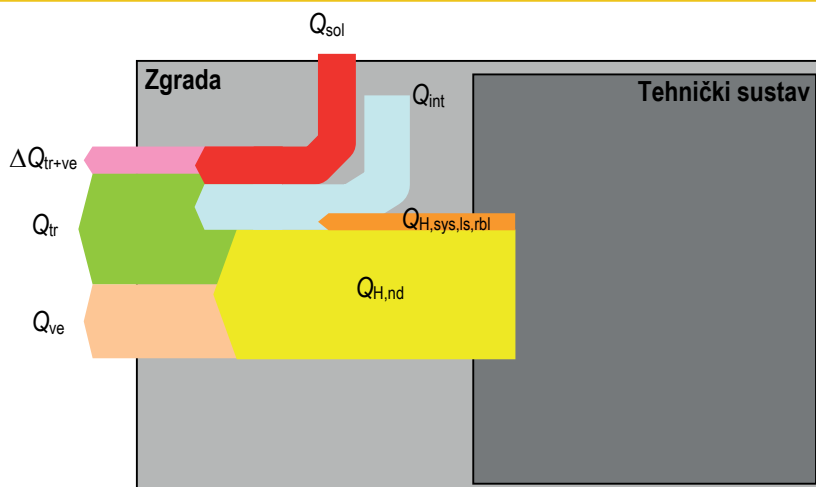
Kao što je ranije rečeno, bilancu energije treba provesti na dvije razine: na razini zgrade kojom se određuje potrebna korisna energija za grijanje te na razini termotehničkog sustava kojom se određuje potrebna konačna energija koju je potrebno dovesti za pogon sustava.

##### a) Bilanca na razini zgrade

Tokovi energije bilance topline na razini zgrade prikazani su na slici 11.25.

Potrebna korisna energija za grijanje zgrade izračunava se kao razlika između toplinskih gubitaka (transmisijom i ventilacijom) i dijela toplinskih dobitaka (unutarnjih i toplinskih dobitaka od Sunčeva zračenja). Bilanca vrijedi za veće proračunsko razdoblje (npr. mjesec dana ili sezona grijanja). Gubici topline transmisijom i ventilacijom ( $Q_{ht} = Q_{tr} + Q_{ve}$ ) izračunati su na temelju unutarnje postavne temperature zraka. Međutim, stvarna prosječna unutarnja temperatura prostora može biti i viša, zbog povremenih pregrijavanja. Time su i stvarni gubici topline veći nego oni izračunati na temelju unutarnje postavne temperature. Ti stvarni gubici topline veći su za iznos  $\Delta Q_{tr+ve}$ . U mjesečnoj i sezonskoj metodi proračuna  $\Delta Q_{tr+ve}$  ustvari predstavlja neiskorišteni dio toplinskih dobitaka koji je definiran faktorom iskorištenje toplinskih dobitaka pri grijanju:  $(1 - \eta_{H,gn}) \cdot Q_{H,gn} = \Delta Q_{tr+ve}$ . To je u skladu s izrazom za izračunavanje potrebne korisne topline za grijanje:  $Q_{H,d} = Q_{H,b} - \eta_{H,g} \cdot Q_{H,gn}$ .

U okviru bilance topline na razini zgrade na slici 11.25, prikazan je dio toplinskih gubitaka termotehničkog sustava koji se iskorištava unutar zgrade i ubraja se u unutarnje dobitke topline.

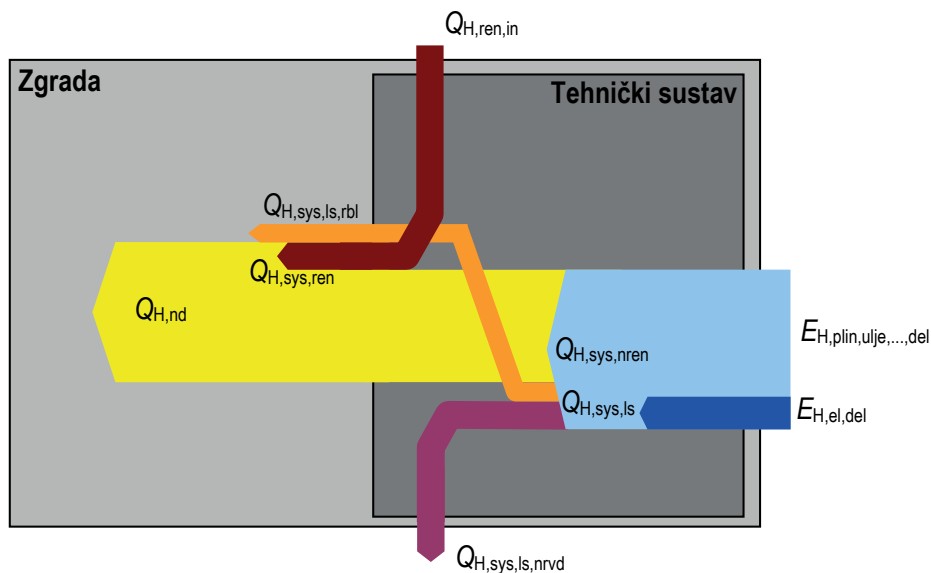


Slika 11.25 - Bilanca topline na razini zgrade za režim grijanja - jednostavan slučaj



## b) Bilanca na razini sustava

Tokovi energije u okviru bilance topline na razini termotehničkog sustava, prikazani su na slici 11.26. Vidljivo je da se potrebna korisna energija za grijanje zgrade ( $Q_{H,nd}$ ) namiruje jednim dijelom energijom koji daje sustav grijanja i drugim dijelom energijom prikupljenom sustavom sunčevih kolektora ( $Q_{H,sys,ren}$ ). Dio toplinskih gubitaka sustava iskorištava se unutar zgrade ( $Q_{H,sys,ls,rbl}$ ). Dio toplinskih gubitaka sustava koji se iskorištava unutar samog sustava, nije prikazan na slici (mogao bi biti prikazan kao kružni tok unutar termotehničkog sustava - dio toplinskih gubitaka koji izlazi i s druge strane ponovno ulazi u sustav). Energija dovedena sustavu (konačna) može se sastojati od energije dovedene različitim energentima i svaka mora biti izračunata posebno. Eksplicitno je prikazana električna energija koja se gotovo uvijek dovodi sustavu kao posebni izvor energije (najčešće kao pomoćna energija).



Slika 11.26 - Bilanca topline na razini termotehničkog sustava za režim grijanja - jednostavan slučaj

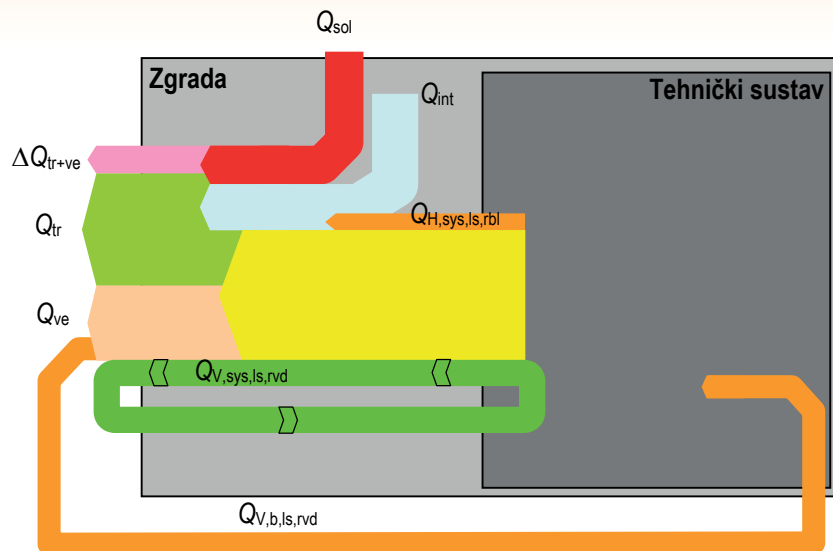
## Režim grijanja - složeni slučaj

## a) Bilanca na razini zgrade

Tokovi energije bilance topline na razini zgrade prikazani su na slici 11.27.

U odnosu na bilancu topline jednostavnog slučaja dodana su još dva elementa koja su posljedica toplinskog međudjelovanja zgrade i sustava:

- iskorištena (rekuperirana) toplina ventilacijskih gubitaka ( $Q_{V,sys,ls,rvd}$ ) - dio ventilacijskih toplinskih gubitaka koji je iskorišten u rekuperativnom izmjenjivaču topline ventilacijskog sustava i
- u rjeđem slučaju, dio toplinskih gubitaka topline zgrade koji se iskorištava u sustavu ventilacije ( $Q_{V,b,ls,rvd}$ ) kao toplina iskorištena u građevinskim elementima zgrade (npr. trombeov zid ili dinamička toplinska izolacija, ako su priključeni na ventilacijski sustav)



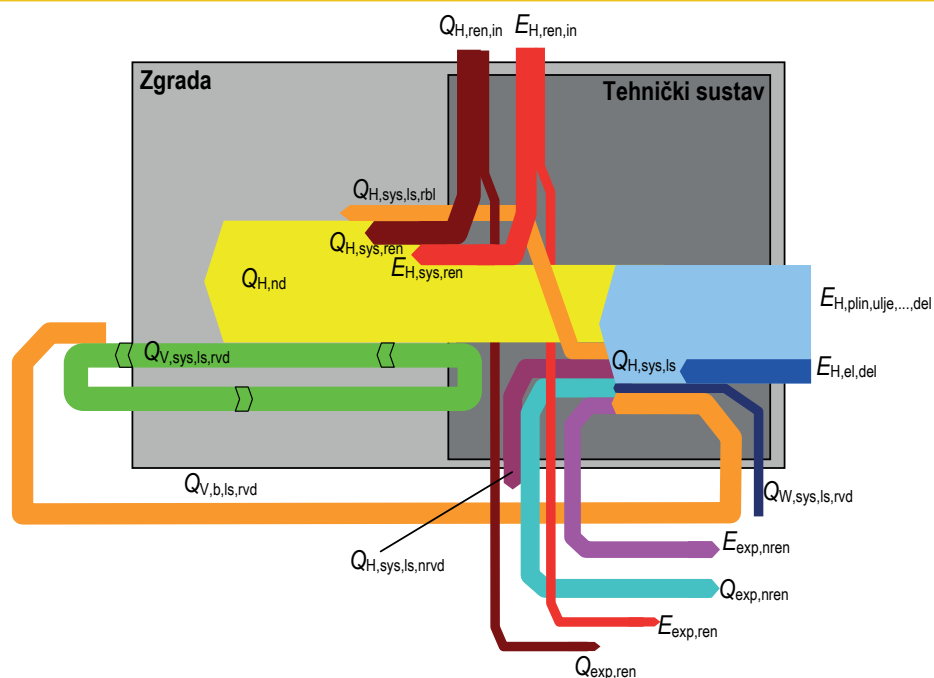
Slika 11.27 - Bilanca topline na razini zgrade za režim grijanja - složeni slučaj

## b) Bilanca na razini sustava

Tokovi energije u okviru bilance topline na razini termotehničkog sustava prikazani su na slici 10.28. Dodana su ista dva elementa kao i u bilanci na razini zgrade, koji opisuju toplinsko međudjelovanje zgrade i sustava.

U odnosu na jednostavan slučaj prikazano je još nekoliko elemenata više i to:

- električna energija dobivena iz obnovljivih izvora energije npr. za korištenje kao pomoćna energija sustava
- predana električna i toplinska energija proizvedene u sustavu (iz obnovljivih i neobnovljivih izvora) nekim drugim potrošačima izvan zgrade te
- iskorišteni dio toplinskih gubitaka ostalih sustava u zgradi (npr. sustava za pripremu PTV  $Q_{w,sys,ls,rvd}$ ) koji se iskorištavaju unutar sustava grijanja. Kao i ranije, dio toplinskih gubitaka sustava koji se iskorištava unutar samog sustava nije prikazan na slici (mogao bi biti prikazan kao kružni tok unutar termotehničkog sustava - dio toplinskih gubitaka koji izlazi i s druge strane ponovno ulazi u sustav).



Slika 11.28 - Bilanca topline na razini termotehničkog sustava za režim grijanja - složeni slučaj

## 11.5.5. Godišnji toplinski gubici sustava grijanja $Q_{H,ls}$ prema HRN EN 15316

### 11.5.5.1. Ukupni gubici sustava grijanja

Godišnji toplinski gubici termotehničkog sustava grijanja predstavljaju gubitke toplinske energije koji se tijekom jedne godine radom sustava ne iskoriste za održavanje unutarnje temperature grijane zone. Postupak određivanja toplinskih gubitaka sustava grijanja temelji se na analizi sljedećih podsustava termotehničkog sustava grijanja:

- podsustava izmjene toplinske energije u prostoru
- podsustava razvoda (distribucije) toplinske energije i
- podsustava izvora (proizvodnje) toplinske energije.

Podsustav spremnika (ako postoji) uključuje se u proračun podsustava izvora toplinske energije.

Ukupni godišnji toplinski gubici sustava grijanja izračunavaju se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{H,ls} = Q_{H,em,ls} + Q_{H,dis,ls} + Q_{H,gen,ls} \quad [\text{kWh}] \quad (11.114)$$

gdje su:

- $Q_{H,em,ls}$  - gubitak toplinske energije podsustava izmjene toplinske energije u prostoru [kWh]
- $Q_{H,dis,ls}$  - gubitak toplinske energije podsustava razvoda (distribucije) toplinske energije [kWh] i
- $Q_{H,gen,ls}$  - gubitak toplinske energije podsustava izvora (proizvodnje) toplinske energije [kWh].

Gubici podsustava spremnika (ako postoji)  $Q_{H,st,ls}$  uključuju se u gubitke podsustava izvora  $Q_{H,gen,ls}$ .

Jedan dio ovih toplinskih gubitaka može se iskoristiti za grijanje prostora, a ti iskoristivi toplinski gubici sustava grijanja iznose:

$$Q_{H,ls,rbl} = Q_{H,em,ls,rbl} + Q_{H,dis,ls,rbl} + Q_{H,gen,ls,rbl} \quad [\text{kWh}] \quad (11.115)$$

gdje su:

- $Q_{H,em,ls,rbl}$  - iskoristivi gubitak toplinske energije podsustava izmjene toplinske energije u prostoru [kWh]
- $Q_{H,dis,ls,rbl}$  - iskoristivi gubitak toplinske energije podsustava razvoda (distribucije) toplinske energije [kWh] i
- $Q_{H,gen,ls,rbl}$  - iskoristivi gubitak toplinske energije podsustava izvora (proizvodnje) toplinske energije [kWh].

Proračun pojedinih gubitaka toplinske energije i potrebne pomoćne energije podsustava, kao i određivanje dijela gubitaka koji se mogu ponovno iskoristiti vrši se prema normama kako slijedi:

- za proračun podsustava izmjene topline koristi se postupak opisan u HRN EN 15316-2-1 (*Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava – Dio 2-1: Sustavi za grijanje prostora zračenjem topline*)
- za proračun podsustava razvoda koristi se postupak opisan u HRN EN 15316-2-3:2007 (*Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava – Dio 2-3: Razvodi sustava grijanja prostora*)
- za proračun podsustava izmjene topline koriste se postupci opisani u normama HRN EN 15316-4-X (*Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava*) i to u ovisnosti o vrsti podsustava proizvodnje, odnosno izvoru energije:

dio 4-1: Sustavi za proizvodnju topline izgaranjem (kotlovi)

dio 4-2: Sustavi za proizvodnju topline, sustavi dizalica topline

dio 4-3: Sustavi za proizvodnju topline, toplinski sustavi Sunčevog zračenja

dio 4-4: Sustavi za proizvodnju topline, sustavi kogeneracije uklopljeni u zgradu

dio 4-5: Sustavi za proizvodnju topline za grijanje prostora, pokazatelji i kvaliteta daljinskog grijanja i sustava velikih volumena

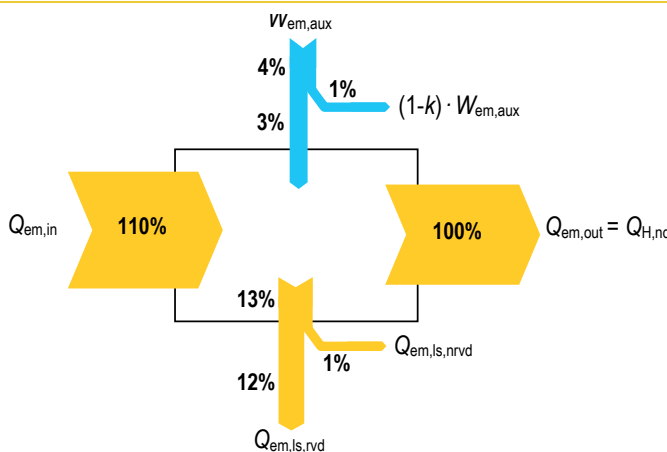
dio 4-6: Sustavi za proizvodnju topline, fotonaponski sustavi te

dio 4-7: Sustavi za proizvodnju topline izgaranjem biomase.

Ako u konfiguraciji sustava grijanja postoji podsustav spremnika ("pufer"), on može biti uključen u podsustav izvora (proizvodnje) toplinske energije. U navedenim normama HRN EN 15316-4-X podrazumijeva se da je podsustav spremnika uključen u podsustav izvora.

### 11.5.5.2 Toplinski gubici podsustava izmjene toplinske energije u prostoru

Proračun toplinskih gubitaka podsustava izmjene toplinske energije definiran je normom HRN EN 15316-2-1:2007 *Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava – Dio 2-1: Sustavi za grijanje prostora zračenjem topline*. Norma sadrži metodologiju proračuna toplinskih gubitaka podsustava izmjene topline (ogrjevna tijela), pomoćne energije za pogon elemenata podsustava (regulacija, pumpe, ventilatori itd.) te metodu proračuna iskoristivih toplinskih gubitaka podsustava. Pri proračunu toplinskih gubitaka proračunava se i unos toplinske energije u podsustav kao zbroj potrebne izlazne energije (potrebne korisne toplinske energije za grijanje  $Q_{H,em,out} = Q_{H,nd}$ ) i toplinskih gubitaka podsustava, prema bilanci podsustava prikazanoj na slici 11.29.



Slika 11.29 - Osnovna bilanca energije podsustava izmjene topline u prostoru

Značenje oznaka na slici 11.29 je sljedeće:

- $Q_{em,in}$  - ulaz toplinske energije u podsustav izmjene topline
- $Q_{em,out}$  - izlaz toplinske energije iz podsustava izmjene topline (koja je jednaka potrebnoj korisnoj energiji za grijanje prostora)
- $W_{em,aux}$  - potrebna pomoćna energija podsustava izmjene topline (električna energija)
- $k$  - udio iskoristive pomoćne energije u podsustavu izmjene topline
- $Q_{em,ls,rnd}$  - gubici toplinske energije podsustava izmjene topline koji su iskorišteni za grijanje prostora (ne unutar podsustava nego unutar zgrade) te
- $Q_{em,ls,nrvd}$  - gubici toplinske energije podsustava izmjene topline koji nisu iskorišteni za grijanje prostora.

Gubici energije podsustava emisije s regulacijom unutarnje temperature ovise o:

- potrebnoj korisnoj energiji za grijanje zgrade (zone)
- neravnomjernoj raspodjeli temperatura u svakoj kondicioniranoj zoni (stratifikacija, ogrjevna tijela udaljeno od vanjskih zidova i/ili prozora i sl.)
- smještaju ogrjevnih tijela koja su ugrađena u strukturu zgrade koja graniči s negrijanim prostorom ili okolinom
- načinu regulacije operativne temperature i
- potrošnji dodatne energije.

Proračun gubitaka energije stoga mora uzeti u obzir izmjenu energije između ogrjevnih tijela (radijatori, ventilatorski konvektori, podno, zidno, stropno grijanje i hlađenje) i unutarnjeg prostora, tip upravljanja i regulacije opreme te o smještaju ogrjevnih tijela. Ulazni podaci u proračun su:

- toplinska energija koju podsustav odaje zgradi u proračunskom razdoblju  $Q_{H,em,out} = Q_{H,nd}$  (prema HRN EN ISO 13790)
- položaj i značajke ogrjevnih tijela, energetska povezanost ogrjevnih tijela i grijanog prostora te
- regulacijska strategija i oprema u proračunskoj zoni.

Izlazni podaci proračuna su:

- toplinski gubici podsustava
- pomoćna energija koja se koristi u podsustavu te
- iznos toplinskih gubitaka podsustava koji se može iskoristiti (rekuperirati).

Norma HRN EN 15316-2-1 omogućuje izbor jednog od dva pristupa (metode) izračuna toplinskih gubitaka podsustava izmjene topline i to:

- metode sa stupnjem korisnosti sustava  $\eta_{em}$  (temeljene na njemačkom standardu DIN 18599-6, pri čemu se godišnji toplinski gubici podsustava izmjene topline izračunavaju zbrajanjem mjesečnih vrijednosti) i
- metode s ekvivalentnim porastom unutrašnje temperature prostora (temeljene na francuskom propisu RT2005).

Za potrebe energetskog certifikiranja može se koristiti metoda sa stupnjem korisnosti sustava na bazi izračuna mjesečnih vrijednosti toplinskih gubitaka podsustava izmjene topline  $Q_{H,em,ls}$  prema izrazu:

$$Q_{H,em,ls} = \left( \frac{f_{hydr} f_{im} f_{rad}}{\eta_{em}} - 1 \right) Q_{H,em,mls} \quad [\text{kWh}] \quad (11.116)$$

gdje su:

- $Q_{H,nd}$  - potrebna korisna toplinske energije za grijanje za proračunski mjesec [kWh]
- $f_{hydr}$  - faktor za hidrauličko uravnoteženje
- $f_{im}$  - faktor za nekontinuirani pogon
- $f_{rad}$  - faktor zračenja (samo za sustave grijanja zračenjem) i
- $\eta_{em}$  - ukupni stupanj korisnosti sustava izmjene topline u prostoru.

Ukupni stupanj korisnosti sustava računa se prema izrazu:

$$\eta_{em} = \frac{1}{4 - (\eta_{str} + \eta_{ctr} + \eta_{emb})} \quad (11.117)$$

gdje su:

- $\eta_{str}$  - stupanj korisnosti za vertikalni profil temperature
- $\eta_{ctr}$  - stupanj korisnosti za regulaciju temperature i
- $\eta_{emb}$  - stupanj korisnosti za specifične gubitke ugrađenih sustava.

Vrijednosti potrebne za proračun određuju se uz pomoć tabličnih podataka iz HRN EN ISO 15316-2-1 (dodatak A), a oni vrijede za:

- standardne visine prostora (do 4 m)
- stambene i nestambene zgrade
- pojedinačni prostor
- kontinuirani pogon i
- različite razine toplinske zaštite.

Godišnji toplinski gubici podsustava izmjene topline dobiju se zbrajanjem mjesečnih vrijednosti prema izrazu:

$$Q_{H,em,ls} = \sum_{m=1}^{12} Q_{H,em,ls} \quad [\text{kWh/a}] \quad (11.118)$$

Pomoćna energija podsustava računa se prema postupku opisanom u Dodatku C predmetne norme. U svrhu proračuna pomoćne energije podsustava izmjene topline u prostoru, potrebno je za svaki električni pomoćni uređaj odrediti potrošnju električne energije, trajanje pogona i dio električne energije koja je pretvorena u toplinu i predana grijanom prostoru.

Pomoćna energija za podsustav izmjene topline za proračunsko razdoblje izračunava se prema izrazu:

$$W_{em,aux} = W_{ctr} + W_{others} \quad [\text{kWh}] \quad (11.119)$$

gdje su:

- $W_{ctr}$  - pomoćna energija potrebna za rad sustava regulacije (u proračunskom razdoblju) [kWh], a  
 $W_{others}$  - pomoćna energija potrebna za rad ventilatora i dodatnih pumpi (u proračunskom razdoblju) [kWh].

Proračun navedenih veličina vrši se prema podacima iz Dodatka C predmetne norme.

Godišnja potrebna pomoćna energija podsustava izmjene topline dobije se zbrajanjem mjesečnih vrijednosti prema izrazu:

$$W_{em,aux} = \sum_{m=1}^{12} W_{em,aux} \quad [\text{kWh/a}] \quad (11.120)$$

### 11.5.5.3. Toplinski gubici podsustava razvoda sustava grijanja

Proračun toplinskih gubitaka podsustava razvoda definiran je normom HRN EN 15316-2-3:2007 *Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava – Dio 2-3: Razvodi sustava grijanja prostora*. Norma sadrži metodologije proračuna toplinskih gubitaka podsustava razvoda sustava grijanja (cijevi), proračuna pomoćne energije za pogon elemenata podsustava (pumpe), proračuna iskoristivih toplinskih gubitaka podsustava te metodologiju proračuna iskoristive pomoćne energije (energije za pogon pomoćne opreme).

Prema normi proračun navedenih veličina može se provesti detaljnim ili pojednostavljenim postupkom. Za potrebe energetskog certificiranja može se koristiti pojednostavljeni postupak. Pojednostavljeni postupak određivanja potrebne pomoćne energije i iskoristive pomoćne energije, opisan je u Dodatku A1 norme, a pojednostavljeni postupak za određivanje ukupnih toplinskih gubitaka i iskoristivih toplinskih gubitaka, opisan je u dodatku A3 norme.

Osnovni ulazni podaci u proračun jesu:

- projektni toplinski učinak sustava grijanja u proračunskoj zoni određen prema EN 12831
- projektni temperaturni režim ogrjevnog medija u podsustavu razvoda
- unutarnja projektna temperatura u proračunskoj zoni
- duljina cjevovoda
- projektni pad tlaka cirkulacijskog kruga u proračunskoj zoni
- pomoćna energija za pogon elemenata podsustava (pumpe) u proračunskom razdoblju
- broj sati grijanja godišnje te
- dužinski koeficijenti prolaza topline cjevovoda.

Izlazni podaci:

- toplinski gubici podsustava razvoda
- potrebna pomoćna energija za podsustav razvoda
- iznos toplinskih gubitaka podsustava koji se može iskoristiti (rekuperirati) i onih koji se ne mogu iskoristiti
- iznos pomoćne energije koja se može iskoristiti unutar podsustava te
- iznos pomoćne energije koja se može iskoristiti za grijanje prostora.

#### Proračun potrebne pomoćne energije podsustava razvoda

Kako bi se izvršila procjena potrošnje pomoćne energije za podsustav razvoda, provodi se pojednostavljeni hidraulički proračun potrebne hidrauličke energije za cirkulaciju ogrjevnog medija kroz razvod.

Godišnja potrebna pomoćna energija za podsustav razvoda (električna energija za pogon cirkulacijskih crpki) izračunava se prema izrazu:

$$W_{H,dis,aux,an} = W_{H,dis,hydr,an} \cdot e_{dis} \quad [\text{kWh/a}] \quad (11.121)$$

gdje su:

- $W_{H,dis,aux,an}$  - godišnja potrebna pomoćna energija za podsustav razvoda [kWh/a]  
 $W_{H,dis,hydr,an}$  - godišnja potrebna hidraulička energija za podsustav razvoda [kWh/a]  
 $e_{dis}$  - faktor potrošnje energije za rad cirkulacijske crpke.

Godišnje potrebna hidraulička energija  $W_{H,dis,hydr,an}$  i faktor potrošnje  $e_{dis}$  određuju se prema Dodatku A1 norme.

Dio pomoćne energije (električne energije) za pogon cirkulacijske crpke razvoda grijanja pretvara se u toplinsku energiju. Jedan dio te toplinske energije iskorištava se unutar samog podsustava razvoda u obliku topline koja se predaje vodi, a drugi dio se može iskoristiti za neposredno grijanje prostora kao npr. toplina predana od površine crpke na okolni zrak.

Iskorišteni dio godišnje pomoćne energije unutar samog podsustava razvoda, izračunava se prema izrazu:

$$Q_{H,dis,aux,rvd} = f_{aux,rbl} \cdot W_{H,dis,aux,an} \quad [\text{kWh/a}] \quad (11.122)$$

Dio godišnje pomoćne energije podsustava razvoda koji se može iskoristiti za grijanje iznosi:

$$Q_{H,dis,aux,rbl} = (1 - f_{aux,rbl}) \cdot W_{H,dis,aux,an} \quad [\text{kWh/a}] \quad (11.123)$$

gdje su:

$W_{H,dis,aux,an}$  - godišnja potrebna pomoćna energija za podsustav razvoda [kWh/a] i

$f_{aux,rbl}$  - faktor povrata pomoćne energije ( $f_{aux,rbl}=0,75$  za toplinski neizoliranu crpku,  $f_{aux,rbl}=0,90$  za toplinski izoliranu crpku).

#### Proračun godišnjih gubitaka toplinske energije podsustava razvoda

Općenito, toplinski gubici podsustava razvoda za sve cijevi "j" u proračunskom razdoblju mogu se izraziti sljedećim izrazom:

$$Q_{H,dis,ls,an} = \sum_j \Psi_j (\theta_m - \theta_{i,j}) L_j t_{op,an} \quad [\text{kWh/a}] \quad (11.124)$$

gdje su:

$\Psi$  - dužinski koeficijent prolaza topline [W/(mK)]

$\theta_m$  - srednja proračunska temperatura ogrjevnog medija [°C]

$\theta_i$  - temperatura zraka oko cijevi [°C]

$L$  - duljina cijevi [m]

$j$  - indeks cijevi s jednakim rubnim uvjetima te

$t_{op,an}$  - trajanje grijanja u satima godišnje [h/a].

Pri korištenju pojednostavljenog postupka duljine cijevi se određuju iz vanjskih dimenzija zgrade kako je to opisano u Dodatku A3 norme. Određivanje ostalih veličina također je opisano u istom izvoru.

Prethodni izraz za proračun toplinskih gubitaka podsustava razvoda može se kraće prikazati sljedećim izrazom:

$$Q_{H,dis,ls,an} = \sum_j q_{H,dis,ls,an,j} L_j t_{op,an} \quad [\text{kWh/a}] \quad (11.125)$$

gdje je:

$q_{H,dis,ls,an,j}$  - specifični toplinski gubitak podsustava po dužnom metru cijevi u kWh/(m·a), a ovisi o veličinama parametara  $\Psi$ ,  $\theta_m$  i  $\theta_i$ .

Ako cijevi prolaze unutar grijanih prostora, toplinski gubici podsustava razvoda mogu biti iskorišteni za grijanje prostora i predstavljaju iskoristivi dio toplinskih gubitaka podsustava. U negrijanim prostorima toplinski gubitak cijevi razvoda čini neiskoristivi gubitak topline.

Iskoristivi toplinski gubici podsustava razvoda (za dio cijevi u grijanim prostorima) može se odrediti pomoću izraza:

$$Q_{H,dis,ls,nrbl,an} = \sum_j q_{H,dis,ls,u,an,j} L_{ls,j} t_{op,an} \quad [\text{kWh/a}] \quad (11.126)$$

gdje su:

$q_{H,dis,ls,an,j}$  - specifični toplinski gubitak podsustava po dužnom metru cijevi "j" unutar grijanog prostora [kWh/(m·a)]

$L_{rbl,j}$  - duljina cijevi unutar grijanog prostora [m] i

$t_{op,an}$  - trajanje grijanja u satima godišnje [h/a].

Neiskoristivi toplinski gubici podsustava razvoda (za cijevi u negrijanim prostorima) određuju se izrazom:

$$Q_{H,dis,ls,nrbl,an} = \sum_j q_{H,dis,ls,u,an,j} L_{rbl,j} t_{op,an} \quad [\text{kWh/a}] \quad (11.127)$$

gdje su:

- $q_{H,dis,ls,u,an,j}$  - specifični toplinski gubitak podsustava po dužnom metru cijevi "j" izvan grijanog prostora [kWh/(m·a)]  
 $L_{ls,j}$  - duljina cijevi izvan grijanog prostora [m] i  
 $t_{op,an}$  - trajanje grijanja u satima godišnje [h/a].

Ukupni godišnji toplinski gubici podsustava razvoda zbroj su iskoristivih i neiskoristivih toplinskih gubitaka te iznose:

$$Q_{H,dis,ls} = Q_{H,dis,ls,rbl,an} + Q_{H,dis,ls,nrbl,an} \quad [\text{kWh/a}] \quad (11.128)$$

#### 11.5.5.4 Toplinski gubici podsustava izvora (proizvodnje) toplinske energije

Proračun toplinskih gubitaka podsustava izvora (proizvodnje) toplinske energije sustava grijanja, definiran je normom HRN EN 15316 *Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava*. U bilanci energije podsustava izvora energije uključene su potrebna toplinska energija koja se daje u podsustav razvoda, potrebna toplinska energija za podsustav razvoda potrošne tople vode, toplinski gubici na strani dimnih plinova i toplinski gubici kroz oplatu kotla.

Proračunski korak je jedan mjesec, a godišnje vrijednosti se dobivaju zbrajanjem mjesečnih vrijednosti. Proračunom se dobivaju sljedeći izlazni podaci:

- potrebna toplinska energija koju treba dovesti gorivom (potrošnja goriva)
- ukupni toplinski gubici podsustava izvora toplinske energije
- iskoristivi toplinski gubici podsustava te
- potrebna pomoćna energija podsustava.

Način proračuna ovisi o vrsti podsustava proizvodnje, odnosno izvoru energije i opisan je u različitim dijelovima norme HRN EN 15316.

#### Sustavi za proizvodnju topline izgaranjem (kotlovi) prema HRN EN 15316-4-1

Proračun daje sljedeće izlazne podatke:

- potrebnu toplinsku energiju iz goriva
- ukupne toplinske gubitke izvora topline
- iskoristive toplinske gubitke i
- potrebnu pomoćnu energiju podsustava.

Norma opisuje tri pristupa za proračun toplinskih gubitaka podsustava izvora:

- metodu sezonske pogonske značajke kotla
- metodu specifične korisnosti kotla i
- cikličku metodu.

Proračunsko razdoblje je jedan mjesec, a godišnje vrijednosti se dobiju zbrajanjem mjesečnih vrijednosti. U svhu energetske certificiranja može se koristiti metoda specifične korisnosti kotla, opisana u navedenoj normi te se temelji na Direktivi *Boiler Efficiency Directive 92/42/EEC*. Ova metoda predviđa izračun korisnosti izvora toplinske energije za tri režima rada: pri nazivnom učinku (100 %), pri djelomičnom učinku te u mirovanju – "stand by" (0%). Proračun za pojedini izvor topline provodi se linearnom interpolacijom rezultata za navedena tri režima pogona.

#### *Toplinski gubici pri nazivnom učinku (100%)*

Korigirani stupanj korisnosti kotla za temperaturu kotlovske vode različite od 70°C izračunava se prema sljedećem izrazu:

$$\eta_{gen,PN,cor} = \eta_{gen,PN} + f_{PN,cor} (\theta_{gen,PN} - \theta_{gen,w}) \quad (11.129)$$

gdje su:

- $\eta_{gen,PN}$  - stupanj korisnosti toplinskog izvora pri nazivnom učinku  
 $f_{PN,cor}$  - faktor korekcije koji uzima u obzir promjenu stupnja korisnosti s promjenom temperature  
 $\theta_{gen,PN}$  - normna srednja temperatura kotlovske vode pri nazivnom učinku (70°C) i  
 $\theta_{gen,w}$  - stvarna srednja temperatura kotlovske vode pri nazivnom učinku [°C].



Korigirani toplinski tok gubitaka izvora topline za temperaturu kotlovske vode različitu od 70°C izračunavaju se prema sljedećem izrazu:

$$\Phi_{H,gen,PN,Is,cor} = \Phi_{PN} \frac{1 - \eta_{gen,PN,cor}}{\eta_{gen,PN,cor}} \quad [W] \quad (11.130)$$

gdje je:

-  $\Phi_{PN}$  - nazivni učin kotla [W].

*Toplinski gubici pri djelomičnom učinku  $\Phi_{H,gen,Pint,Is,cor}$  - 30% (ponuđena vrijednost za loženje na plin i ulje)*

Korigirani stupanj korisnosti kotla za temperaturu kotlovske vode različite od 50°C (klasični kotao), za temperaturu kotlovske vode različite od 40°C (niskotemperaturni kotao) i za temperaturu kotlovske vode različite od 30°C (kondenzacijski kotao) te korigirani toplinski tok gubitaka izvora topline, određuju se analogno kao i za nazivni učin.

*Toplinski gubici pri mirovanju - 0% (standby)*

Korigirani toplinski tok gubitaka izvora topline u fazi mirovanja izračunava se prema sljedećem izrazu:

$$\Phi_{H,gen,P0,Is,cor} = \Phi_{gen,P0,Is} \left( \frac{\theta_{gen,w} - \theta_{brm}}{\Delta\theta_{gen,P0}} \right) \quad [W] \quad (11.131)$$

gdje su:

- $\Phi_{gen,P0,Is}$  - toplinski tok gubitaka kotla u mirovanju pri normnoj razlici temperatura  $Dq_{gen,P0}$  [W]
- $\Delta\theta_{gen,P0}$  - normna razlika temperatura između kotlovske vode i prostora [°C]
- $\theta_{gen,w}$  - srednja temperatura kotlovske vode u pogonskim uvjetima [°C] te
- $\theta_{brm}$  - stvarna temperatura u kotlovnici [°C].

Kao ulazni podaci za ovaj proračun mogu se koristiti podaci proizvođača ako su kotlovi ispitani prema normama EN 297, EN 303-5, EN 304, EN 656, EN 15034, EN 15035 i EN 15456.

Proračunski učin kotla za određivanje toplinskih gubitaka izračunava se pomoću sljedećeg izraza:

$$\Phi_{PX} = \Phi_{PN} \beta_{gen} \quad [W] \quad (11.132)$$

gdje je  $\beta_{gen}$  faktor učina kotla i definiran je kao:

$$\beta_{gen} = \frac{Q_{H,gen}}{\Phi_{PN} t_{gen}} \quad (11.133)$$

gdje su:

- $Q_{H,gen}$  - ukupna toplinska energija za grijanje i pripremu PTV predana podsustavu razvoda [kWh]
- $\Phi_{PN}$  - nazivni učin kotla [kW] i
- $t_{gen}$  - ukupno vrijeme trajanja pogona u proračunskom razdoblju [h].

Ako je  $0 < F_{PX} \leq F_{Pint}$  toplinski tok gubitaka izvora topline određuju se prema izrazu:

$$\Phi_{H,gen,PX,Is} = \frac{\Phi_{PX}}{\Phi_{Pint}} (\Phi_{H,gen,Pint,Is,cor} - \Phi_{H,gen,P0,Is,cor}) + \Phi_{H,gen,P0,Is,cor} \quad [W] \quad (11.134)$$

Ako je  $F_{Pint} < F_{PX} \leq F_{PN}$  toplinski gubici izvora topline određuju se prema izrazu:

$$\Phi_{H,gen,PX,Is} = \frac{\Phi_{PX} - \Phi_{Pint}}{\Phi_{PN} - \Phi_{Pint}} (\Phi_{H,gen,PN,Is,cor} - \Phi_{H,gen,Pint,Is,cor}) + \Phi_{H,gen,Pint,Is,cor} \quad [W] \quad (11.135)$$

gdje su:

- $\Phi_{PN}$  - proračunski učin kotla za određivanje toplinskih gubitaka [kW]
- $\Phi_{Pint}$  - proračunski učin kotla za određivanje toplinskih gubitaka [kW]
- $\Phi_{gen,Pint,Is,cor}$  - korigirani toplinski tok gubitaka kotla pri djelomičnom učinku za stvarne temperature [W]
- $\Phi_{gen,P0,Is,cor}$  - korigirani toplinski tok gubitaka kotla u mirovanju za stvarne temperature [W] i
- $\Phi_{gen,PN,Is,cor}$  - korigirani toplinski tok gubitaka kotla za nominalni učin i za stvarne temperature [W].

Ukupni toplinski gubici izvora topline tijekom proračunskog razdoblja iznose:

$$Q_{H,gen,Is} = \Phi_{H,gen,PX,Is} \cdot t_{gen} \quad [kWh] \quad (11.136)$$

Ukupna unesena toplinska energija (dovedena gorivom) u podsustav izmjene topline u proračunskom razdoblju jednaka je izlaznoj količini energije (koja se predaje u podsustav razvoda), uvećanoj za ukupne toplinske gubitke podsustava i umanjena za iskorišteni dio pomoćne energije za pogon elemenata podsustava, tj.:

$$Q_{H,gen,in} = Q_{H,gen,out} - f_{rvd} W_{gen,aux} + Q_{H,gen,ls} \quad [\text{kWh}] \quad (11.137)$$

gdje su:

- $Q_{H,gen,out}$  - izlazna energija iz podsustava izvora toplinske energije [kWh]
- $f_{rvd}$  - udio iskoristive pomoćne energije u podsustavu izvora energije
- $W_{gen,aux}$  - pomoćna energija za podsustav izvora toplinske energije [kWh] te
- $Q_{H,gen,ls}$  - ukupni toplinski gubici podsustava izvora toplinske energije [kWh].

Izlazna toplinska energija iz podsustava izvora energije jednaka je ulaznoj toplinskoj energiji u podsustav razvoda.

Ako je podsustav izvora toplinske energije neki drugi toplinski izvor ili uređaj na raspolaganju su postupci proračuna opisani u ostalim dijelovima norme HRN EN 15416-4-X. U nastavku su dane smjernice za uporabu metoda opisanih u navedenim dijelovima norme.

#### Sustavi dizalica topline (prema HRN EN 15316-4-2)

Proračun u normi opisan je za tri vrste dizalica topline: dizalice topline s električnim kompresorom, dizalice topline s plinskim motorom i apsorpcijske dizalice topline. Proračun obuhvaća sustave dizalice topline sa sljedećim kombinacijama toplinskih spremnika: zrak - zrak, zrak - voda, voda - voda, rasolina - voda i direktna ekspanzija - voda. Proračunom se određuju potrebna energija (električna ili kemijska energija goriva) za sustav grijanja i pripreme PTV, ukupni toplinski gubici podsustava izvora, iskoristivi toplinski gubici te potrebna pomoćna energija.

Od dva opisana proračunska postupka, za potrebe energetskog certificiranja, može se koristiti detaljni postupak proračuna (tzv. "bin" metoda). Proračun prema "bin" metodi podrazumijeva podjelu sezone grijanja na temperaturne intervale (binove) jer učinkovitost dizalice topline znatno ovisi o temperaturi vanjskog zraka koji služi kao ogrjevni spremnik. Za određivanje trajanja pojedinih temperaturnih intervala treba imati satne podatke o vanjskoj temperaturi za promatrani zemljoisni položaj u formatu testne referentne godine (TRY). Alternativno, iz srednjih mjesečnih vrijednosti temperature može se generirati satna razdioba vanjske temperature pomoću odgovarajućeg računalnog programa po priznatoj metodi proračuna.

#### Toplinski sustavi Sunčevog zračenja prema (HRN EN 15316-4-3)

Proračun opisan u normi uključuje izračun potrebne topline za podsustav razvoda ogrjevnog medija, toplinskih gubitaka spremnika vode, iskoristivih toplinskih gubitaka spremnika, potrebne pomoćne energije te iskoristivu povratnu energiju. Metoda nudi proračune za različito vremensko razdoblje te dvije vrste postupaka (A i B). Za potrebe energetskog certificiranja može se koristiti mjesečna metoda proračuna i to prema opisanoj B metodi. Proračun prema metodi B temelji se na priznatoj "f-chart" metodi. Osnovni ulazni podatak je potrebna toplina za sustav grijanja i pripreme potrošne tople vode uvećana za gubitak podsustava razvoda. Proračun uključuje podjelu potrebne topline na dio za grijanje i dio za pripremu potrošne tople vode preko računske podjele površine kolektora i podjele volumena spremnika (ako je samo jedan spremnik u sustavu).

#### Sustavi kogeneracije uklopljeni u zgradu prema (HRN EN 15316-4-4)

Proračun opisan u normi uključuje izračun potrebne toplinske energije za podsustav razvoda ogrjevnog medija te toplinskih gubitaka podsustava izvora. Kod sustava kogeneracije unutar zgrade usvaja se da su potrebna pomoćna energija podsustava izvora i iskoristivi toplinski gubici jednaki nuli. Kao jedinično vremensko razdoblje proračuna odabire jedan mjesec, godišnje vrijednosti dobivaju se zbrajanjem mjesečnih vrijednosti. Za potrebe energetskog certificiranja, a u ovisnosti o režimu korištenja kogeneracijskog sustava, postupak proračuna može se provesti prema dvjema metodama:

- a) Metodi djelomičnog doprinosa - koristi se ako kogeneracija pokriva temeljnu potrebu zgrade za toplinskom energijom i veći dio godine radi s nazivnim učinkom. Pri tome vršno opterećenje pokriva dodatni toplinski izvor.
- b) Metodi s profilom godišnjeg opterećenja - koristi se ako kogeneracija pokriva kompletnu potrebu zgrade za toplinskom energijom bez dodatnog toplinskog izvora. Pri tome se podsustav prilagođava toplinskoj bilanci zgrade i radi u različitim režimima pogona.

Sustavi za proizvodnju topline za grijanje prostora, pokazatelji i kvaliteta daljinskog grijanja i sustava velikih volumena (prema HRN EN 15316-4-5)

Proračunom su obuhvaćeni podsustav daljinskog grijanja do toplinske podstanice u zgradi i toplinska podstanica zgrade. Tako se podsustav izvora (proizvodnje) toplinske energije dijeli na vanjski dio - izvan zgrade (izvor i razvod) i na unutarnji dio - unutar zgrade (primarni krug toplinske podstanice). Za proračun toplinske energije koristi se godišnja (sezonska) metoda proračuna. Pretpostavlja se da je pomoćna energija toplinske podstanice jednaka nuli, a iskoristivi toplinski gubici čitavog podsustava daljinskog grijanja jednaki su nuli, ako se podstanica ne nalazi u grijanom prostoru. Proračun se može provesti prema dvjema metodama:

- a) na temelju rezultata mjerenja (postojeći sustavi s manjkavim projektnim podacima) i
- b) na temelju projektne dokumentacije (novi sustavi s cjelovitim projektnim podacima).

Fotonaponski sustavi (prema HRN EN 15316-4-6)

Norma opsuje proračun kojim se određuje isporučena električna energija koju fotonaponski sustav predaje za pogon tehničkih sustava zgrade. Proračun se provodi po metodi određivanja godišnje isporučene električne energije. Kod ovakvih podsustava izvora energije, ulazna energija za pogon podsustava, pomoćna energija, isporučena toplotina i toplinski gubici jednaki su nuli.

Sustavi za proizvodnju topline izgaranjem biomase prema (HRN EN 15316-4-7)

Proračun podsustava izvora toplinske energije izgaranjem biomase prema ovoj normi daje potrebnu toplinsku energiju koju treba dovesti gorivom, ukupne toplinske gubitke podsustava (gubitke na strani dimnih plinova, kroz oplatu kotla i one kroz oplatu spremnika), iskoristive toplinske gubitke, potrebnu pomoćnu energiju te iskoristivu pomoćnu energiju. Za provođenje proračuna potrebno je poznavati: tip, značajke i položaj ugradnje kotla, vrstu i značajke goriva, vrstu i veličinu spremnika, tip regulacije, konfiguraciju sustava, meteorološke podatke, potrebnu toplinsku energiju za zgradu te isporučena toplinu podsustavu razvoda.

Norma nudi proračun na mjesečnoj i godišnjoj bazi, a za potrebe energetske certificiranja proračun se može provesti na bazi mjesečnih vrijednosti. Ovisno o načinu loženja u podsustavu, izračun se može provesti na dva načina: proračunom za kotlove s automatskim loženjem i proračunom za kotlove s ručnim loženjem. Proračun za kotlove s automatskim loženjem dijeli gubitke na tri režima pogona: gubitke za nazivni učinak (100%), gubitke za djelomično opterećenje (prema odredbi proizvođača) te gubitke pri mirovanju (0% - "stand by"). Proračun za kotlove s ručnim loženjem dijeli gubitke na tri drugačija režima pogona: razdoblje zagrijavanja, razdoblje pogona i razdoblje hlađenja.

Oba prethodna načina proračuna mogu uzeti u obzir sustav uravnoteženja učinka (s "pufer" spremnikom) ako je podsustav izvora njime opremljen. Toplinski gubici zbog pepela i pomoćna energija za pogon regulacije jednaki su nuli.

Za ulazne podatke koji nisu određeni normom koriste se podaci proizvođača te podaci iz normi EN 303 i EN ISO 12241.

## 11.5.6. Godišnji toplinski gubici sustava za pripremu potrošne tople vode (PTV) $Q_{W,ls}$ prema HRN EN 15316

### 11.5.6.1. Općenito o toplinskim gubicima sustava za pripremu potrošne tople vode

Toplinski gubici sustava pripreme PTV-a upisuju se u energetska certifikat i predstavljaju jedan dio godišnje konačne energije za grijanje  $Q_{HT}$  odnosno godišnje isporučene energije zgradi  $E_{del}$ .

Postupak određivanja toplinskih gubitaka sustava za pripremu PTV-a, temelji se na analizi sljedećih podsustava:

- podsustava razvoda PTV-a (prema HRN EN 15316-3-2)
- podsustava spremnika PTV-a (prema HRN EN 15316-3-3),
- podsustava primarnog razvoda PTV-a (prema HRN EN 15316-3-2) te
- podsustava izvora (proizvodnje) toplinske energije (prema HRN EN 15316-3-3).

Ukupni dnevni toplinski gubici sustava za zagrijavanje PTV-a izračunavaju se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{W,ls,dan} = Q_{W,dis,ls} + Q_{W,st,ls} + Q_{W,p,ls} + Q_{W,gen,ls} \quad [\text{kWh}] \quad (11.138)$$

gdje su:

- $Q_{W,dis,ls}$  - dnevni gubici toplinske energije podsustava razvoda PTV-a [kWh]  
 $Q_{W,st,ls}$  - dnevni gubici toplinske energije podsustava spremnika PTV-a [kWh]  
 $Q_{W,p,ls}$  - dnevni gubici toplinske energije podsustava primarnog razvoda za pripremu PTV-a [kWh] te  
 $Q_{W,gen,ls}$  - dnevni gubici toplinske energije podsustava izvora (proizvodnje) toplinske energije za pripremu PTV-a [kWh].

Ukupni mjesečni i godišnji toplinski gubici sustava za pripremu PTV -adobiju se zbrajanjem vrijednosti kako slijedi:

$$Q_{W,ls,mjesecc} = \sum_{dan=1}^{broj\ dana} Q_{W,ls,dan} \quad [kWh] \quad (11.139)$$

$$Q_{W,ls} = \sum_{mjesecc=1}^{12} Q_{W,ls,mjesecc} \quad [kWh] \quad (11.140)$$

Jedan dio ovih toplinskih gubitaka može se iskoristiti. Ukupni godišnji iskoristivi toplinski gubici sustava pripreme PTV –a izračunavaju se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{W,ls,rbl} = Q_{W,dis,ls,rbl} + Q_{W,st,ls,rbl} + Q_{W,p,ls,rbl} + Q_{W,gen,ls,rbl} \quad [kWh] \quad (11.141)$$

gdje su:

- $Q_{W,dis,ls,rbl}$  - iskoristivi gubici toplinske energije podsustava razvoda PTV-a [kWh]  
 $Q_{W,st,ls,rbl}$  - iskoristivi gubici toplinske energije podsustava spremnika PTV-a [kWh]  
 $Q_{W,p,ls,rbl}$  - iskoristivi gubici toplinske energije podsustava primarnog razvoda za pripremu PTV-a [kWh] te  
 $Q_{W,gen,ls,rbl}$  - iskoristivi gubici toplinske energije podsustava izvora (proizvodnje) energije za pripremu PTV-a [kWh].

### 11.5.6.2. Toplinski gubici podsustava razvoda potrošne tople vode

Proračun toplinskih gubitaka podsustava razvoda potrošne tople vode definiran je normom: HRN EN 15316-3-2 *Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava – Dio 3-2: Sustavi za pripremu potrošne tople vode, razvod*. Norma donosi metodu proračuna ukupnih toplinskih gubitaka podsustava razvoda PTV-a, potrebne pomoćne energije za pogon elemenata podsustava (recirkulacijske crpke) te metodu proračuna iskoristivih toplinskih gubitaka podsustava. Za proračun su potrebni sljedeći ulazni podaci:

- dnevna toplinska energija za pripremu PTV-a  $Q_{W,d}$  (određena prema HRN EN 15316-3-1) [kWh/dan]
- projektni temperaturni režim ogrjevnog medija u podsustavu razvoda  $\theta_{W,del}$  [°C]
- unutarnja projektna temperatura u proračunskoj zoni  $\theta_{amb}$  [°C]
- duljina cjevovoda  $L$  [m]
- volumen vode u cijevima  $V_w$  [m<sup>3</sup>]
- specifični toplinski kapacitet materijala cijevi  $c_p$  [kJ/(kgK)]
- masa pojedinih dionica cijevi  $m_{p,i}$  [kg]
- dužinski koeficijenti prolaza topline cjevovoda  $U_w$  [W/(mK)]
- broj otvaranja na izljevnim mjestima tijekom dana  $n_{tap}$
- dnevno trajanje pogona recirkulacijske pumpe  $t_w$  [h/dan] te
- broj pogonskih ciklusa recirkulacijske crpke tijekom jednog dana  $n_{norm}$ .

Pri proračunu toplinskih gubitaka podsustava razvoda PTV-a, razvod se dijeli na pojedinačne vodove PTV-a do izljevnih mjesta i na recirkulacijski cjevovod (ako postoji). Za te dijelove razvoda odvojeno se računaju toplinski gubici te se zbrajaju kako bi se dobili dnevni gubici podsustava razvoda prema izrazu:

$$Q_{W,dis,ls} = \sum_{ind} Q_{W,dis,ls,ind} + Q_{W,dis,ls,col} \quad [kWh] \quad (11.142)$$

gdje je:

- $Q_{W,dis,ls,ind}$  - dnevni gubici toplinske energije za pojedinačne vodove do izljevnih mjesta podsustava razvoda PTV-a [kWh] i  
 $Q_{W,dis,ls,col}$  - dnevni gubici toplinske energije za recirkulacijski vod podsustava razvoda PTV-a [kWh].

*Pojedinačni vodovi do izljevni mjesta*

Norma HRN EN 15316-3-2 omogućuje više pristupa proračunu toplinskih gubitaka podsustava razvoda PTV-a za pojedinačne cijevi, kako slijedi:

- proračun prema stambenoj površini zgrade (provedivo uz odgovarajuće nacionalne propise)
- proračun prema duljini cijevi i broju otvaranja izljevni mjesta u jednom danu (dodatak A norme)
- proračun prema duljini cijevi i učinkovitosti razvoda (dodatak B norme)
- proračun prema duljini cijevi i profilu potrošnje (dodatak C norme) te
- detaljan proračun prema duljini cijevi i prosječnoj temperaturi PTV-a (dodatak D norme).

Svi ovi proračuni temelje se na dnevnim potrebama za zagrijavanje PTV-a. Ovisno o raspoloživim ulaznim podacima, za potrebe energetskog certificiranja zgrada može se koristiti:

- proračun prema duljini cijevi i broju otvaranja izljevni mjesta u jednom danu te
- proračun prema duljini cijevi i učinkovitosti razvoda.

*a) metoda proračuna prema duljini cijevi i broju otvaranja izljevni mjesta*

Dnevni toplinski gubici polaznih vodova PTV-a pojedinih dijelova podsustava prema duljini cijevi i broju otvaranja izljevni mjesta izračunavaju se prema sljedećem izrazu (prema dodatku A norme):

$$Q_{W,dis,ls,ind} = \left( 1,16V_{W,dis} + \frac{c_p m_{p,dis}}{3600} \right) (\theta_{W,dis,nom} - \theta_{amb}) n_{tap} \quad [\text{kWh}] \quad (11.143)$$

gdje su:

- $V_{W,dis}$  - volumen vode u cijevima [ $\text{m}^3$ ]  
 $c_p$  - specifični toplinski kapacitet materijala cijevi [ $\text{kJ}/(\text{kg K})$ ]  
 $\theta_{W,dis,nom}$  - nominalna temperatura tople vode u cijevima [ $^{\circ}\text{C}$ ]  
 $\theta_{W,amb}$  - srednja temperatura u okolini cijevi [ $^{\circ}\text{C}$ ] i  
 $n_{tap}$  - broj izljevanja vode iz cijevi u jednom danu.

*b) metoda proračuna prema duljini cijevi i učinkovitosti razvoda*

Dnevni toplinski gubici polaznih vodova PTV-a pojedinih dijelova podsustava proračunati prema duljini cijevi i učinkovitosti razvoda (dodatak B norme) računaju se prema izrazu:

$$Q_{W,dis,ls,ind} = Q_{W,d} \frac{1 - \eta_{pipe}}{\eta_{pipe}} \quad [\text{kWh}] \quad (11.144)$$

gdje su:

- $Q_{W,d}$  - dnevna toplinska energija za pripremu PTV-a [ $\text{kWh}$ ] i  
 $\eta_{pipe}$  - stupanj korisnosti podsustava razvoda PTV-a (način izračuna detaljno je prikazan u dodatku B navedene norme).

*Recirkulacijski cjevovod PTV-a*

Norma HRN EN 15316-3-2 nudi dva moguća pristupa proračunu toplinskih gubitaka podsustava razvoda PTV-a za recirkulacijske cjevovode, kako slijedi:

- fizikalni pristup (detaljni pristup) te
- proračun prema duljini cijevi uz fiksnu vrijednost gubitaka.

*a) fizikalni pristup*

Dnevni toplinski gubici recirkulacijskih cjevovoda PTV-a pojedine dionice podsustava prema fizikalnom pristupu tijekom razdoblja cirkulacije izračunavaju se prema izrazu:

$$Q_{W,dis,ls,col,a} = \frac{1}{1000} U_W L_W (\theta_{W,dis,avg} - \theta_{amb}) t_W \quad [\text{kWh}] \quad (11.145)$$

gdje su:

- $U_W$  - dužinski koeficijent prolaza topline [ $\text{W}/\text{mK}$ ]  
 $L_W$  - duljina cijevi [ $\text{m}$ ]  
 $\theta_{W,dis,avg}$  - srednja temperatura tople vode u cijevima [ $^{\circ}\text{C}$ ]  
 $\theta_{W,d}$  - srednja temperatura okoline [ $^{\circ}\text{C}$ ] i  
 $t_W$  - trajanje recirkulacije tijekom dana [ $\text{h}/\text{dan}$ ].

Dnevni toplinski gubici recirkulacijskih cjevovoda PTV-a pojedine dionice podsustava prema fizikalnom pristupu izvan razdoblja cirkulacije:

$$Q_{W,dis,ls,col,off} = 1,16 V_{W,dis} (\theta_{W,dis,avg} - \theta_{amb}) n_{norm} \quad [kWh] \quad (11.146)$$

gdje su:

- $V_{W,dis}$  - volumen vode u promatranom cjevovodu [ $m^3$ ] te  
 $n_{norm}$  - broj ciklusa rada cirkulacijske pumpe tijekom dana.

Ukupni dnevni toplinski gubici recirkulacijskih cjevovoda PTV-a iznose

$$Q_{W,dis,ls,col} = Q_{W,dis,ls,col,on} + Q_{W,dis,ls,col,off} \quad [kWh] \quad (11.147)$$

#### b) proračun prema duljini cijevi i fiksnoj vrijednosti gubitaka

Kada nije dostupna projektna dokumentacija, podaci o razvodu PTV-a i debljini izolacije, tada se usvaja vrijednost gubitaka od 40 W/m. Duljine cjevovoda, ako nisu poznate iz projektna dokumentacije, procjenjuju se prema dimenzijama zgrade, odnosno prostorije (prema dodatku D norme).

Proračun potrebne pomoćne energije za rad podsustava razvoda PTV-a uključuje proračun energije za elektrootpornu traku za grijanje cijevi i energiju za pogon recirkulacijske crpke. Za proračun dijela pomoćne energije za pogon recirkulacijske crpke može se koristiti pojednostavljeni postupak (za kontinuirani pogon crpke) ili detaljni postupak, koji su oba opisani u normi. Iskoristivi dnevni toplinski gubici sustava za pripremu PTV-a, budući da faktori povrata topline nisu definirani u nacionalnom dodatku norme, smatraju se jednakima nuli ( $Q_{W,dis,ls,rbl} = 0$ ).

### 11.5.6.3. Toplinski gubici podsustava spremnika i podsustava izvora (produkcije) toplinske energije za pripremu potrošne tople vode

Metoda proračuna toplinskih gubitaka podsustava spremnika PTV-a definirana je normom HRN EN 15316-3-3 *Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava – Dio 3-3: Sustavi za pripremu potrošne tople vode, zagrijavanje*. Norma opisuje metode proračuna toplinskih gubitaka podsustava zagrijavanja PTV –a  $Q_{W,st,ls}$ , proračuna pomoćne energije za pogon elemenata podsustava (regulacija, pumpe) te metodu proračuna iskoristivih toplinskih gubitaka podsustava. Pri tome se razlikuju dvije izvedbe sustava pripreme PTV-a i to:

- sustav s indirektno grijanim spremnikom potrošne tople vode i
- sustav s direktno grijanim spremnikom potrošne tople vode.

#### Postupak određivanja toplinskih gubitaka za indirektno grijani spremnik PTV-a

Postupak je detaljnije opisan u normi EN 12897, a temelji se na izmjerenom toplinskom gubitku tijekom mirovanja s korekcijom na trenutnu razliku temperatura. Dnevni gubitak topline spremnika tada se izračunava prema izrazu:

$$Q_{W,st,ls} = \frac{(\theta_{W,st,avg} - \theta_{amb,avg})}{\Delta\theta_{W,st,sby}} Q_{W,st,sby} \quad [kWh] \quad (11.148)$$

gdje su:]

- $\theta_{W,st,avg}$  - srednja temperatura vode u spremniku [ $^{\circ}C$ ]  
 $\theta_{amb,avg}$  - srednja temperatura zraka u prostoru gdje je smješten spremnik [ $^{\circ}C$ ]  
 $\Delta\theta_{W,st,sby}$  - razlika temperatura prilikom ispitivanja ohlađivanja spremnika u mirovanju [ $^{\circ}C$ ] i  
 $Q_{W,st,sby}$  - izmjereni dnevni toplinski gubitak prilikom ispitivanja spremnika [kWh] (postupak detaljno opisan u normi EN 12897).

Tjedne, mjesečne i godišnje vrijednosti dobiju se množenjem gore izračunate vrijednosti s odgovarajućim brojem dana.

#### Postupak određivanja toplinskih gubitaka za direktno grijani spremnik PTV-a ložen plinom ili loživim uljem

Dnevni toplinski gubitak ovakvog uređaja za zagrijavanje PTV-a izračunava se posebno za razdoblja kada uređaj radi i kada uređaj miruje prema izrazu:

$$Q_{W,st,ls} = Q_{W,st,ls,on} + Q_{W,st,ls,sby} \quad [\text{kWh}] \quad (11.149)$$

gdje su:

- $Q_{W,st,ls}$  - ukupni dnevni toplinski gubitak iz spremnika [kWh],  
 $Q_{W,st,ls,on}$  - toplinski gubitak spremnika tijekom dnevnog razdoblja zagrijavanja [kWh] i  
 $Q_{W,st,ls,sby}$  - toplinski gubitak spremnika tijekom dnevnog razdoblja mirovanja [kWh].

Toplinski gubitak direktno grijanog spremnika tijekom dnevnog razdoblja zagrijavanja izračunava se prema izrazu:

$$Q_{W,st,ls,on} = \left[ \left( 1 - \frac{H_i}{H_s} \right) \eta_{st,nom,Hi} \right] Q_{st,out} \quad [\text{kWh}] \quad (11.150)$$

gdje su:

- $H_i$  - donja ogrjevna moć goriva (kWh/kg) ili (kWh/m<sup>3</sup>)  
 $H_s$  - gornja ogrjevna moć goriva (kWh/kg) ili (kWh/m<sup>3</sup>)  
 $\eta_{st,nom,Hi}$  - stupanj djelovanja spremnika PTV-a pri nominalnom učinku, izražen za  $H_i$  i  
 $Q_{st,out}$  - toplinski učin spremnika PTV-a.

Toplinski gubitak direktno grijanog spremnika tijekom dnevnog razdoblja mirovanja izračunava se pomoću izraza:

$$Q_{W,st,ls,sby} = Q_{W,gen,sby,meas} \frac{(\theta_{W,gen,avg} - \theta_{sp,avg})}{(70 - 20)} (24 - t_{W,gen,nom}) \quad [\text{kWh}] \quad (11.151)$$

gdje su:

- $Q_{W,gen,sby,meas}$  - dnevni toplinski gubitak spremnika PTV-a temperature 70°C pri temperaturi prostora od 20°C [kWh]  
 $\theta_{W,gen,avg}$  - srednja temperatura spremnika PTV-a tijekom razdoblja hlađenja [°C]  
 $\theta_{sp,avg}$  - srednja temperatura prostora [°C] i  
 $t_{W,gen,nom}$  - dnevno trajanje zagrijavanja PTV-a pri nominalnom učinku [h].

*Toplinski gubici podsustava izvora (proizvodnje) toplinske energije za pripremu PTV-a*

Toplinski gubici podsustava izvora energije za pripremu PTV-a  $Q_{W,gen,ls}$  mogu se izračunati za četiri različita tipa sustava:

- kotao s plinskim ili uljnim loženjem (prema Dodatku A norme)
- spremnik PTV-a s direktnim plinskim loženjem (prema Dodatku B norme)
- spremnik PTV-a sa stalno uključenim električnim grijačem (prema Dodatku C norme) i
- spremnik PTV-a s vremenski upravljanim električnim grijačem (prema Dodatku D norme).

Iskoristivi toplinski gubici podsustava izvora (proizvodnje) toplinske energije, mogu se izračunati prema izrazu:

$$Q_{W,gen,ls,rbl} = Q_{W,gen,ls} \cdot f_{W,gen,ls,rbl} + W_{W,gen,aux} \cdot f_{W,gen,aux,rbl} \quad [\text{kWh}] \quad (11.152)$$

gdje su:

- $Q_{W,gen,ls}$  - toplinski gubici podsustava izvora (proizvodnje) toplinske energije za pripremu PTV-a  
 $W_{W,gen,aux}$  - potrebna pomoćna energija podsustava izvora (proizvodnje) toplinske energije za pripremu PTV-a  
 $f_{W,gen,ls,rbl}$  - faktor povrata toplinskih gubitaka podsustava izvora (proizvodnje) toplinske energije za pripremu PTV-a i  
 $f_{W,gen,aux}$  - faktor povrata pomoćne energije podsustava izvora (proizvodnje) toplinske energije za pripremu PTV-a.

Budući da faktori povrata toplinskih gubitaka i pomoćne energije nisu definirani nacionalnim dodatkom norme, smatra se da su iskoristivi gubici podsustava izvora jednaki nuli ( $Q_{W,gen,ls,rbl} = 0$ ).

*Toplinski gubici podsustava primarnog razvoda za grijanje spremnika potrošne tople vode*

U sustavima u kojima se potrošna topla voda priprema u indirektno zagrijavanom spremniku, toplinska se energija dovodi iz posebnog izvora. Spremnik PTV-a može biti udaljen od izvora toplinske energije te se u tom slučaju pojavljuju gubici u primarnom cirkulacijskom cjevovodu - između izvora toplinske energije i spremnika PTV-a. Gubici podsustava primarnog razvoda za pripremu PTV-a računaju se kao i toplinski gubici podsustava razvoda prema normi HRN EN 15316-3-2.

#### 11.5.6.4. Ukupna toplinska energija iz toplinskog izvora za zagrijavanje PTV-a

Toplinski izvor za pripremu potrošne tople vode mora osigurati potrebnu toplinsku energiju za zagrijavanje potrošne tople

vode i za namirenje toplinskih gubitaka svih podsustava unutar sustava pripreme PTV-a pa slijedi ukupna toplinska energija iz toplinskog izvora (na izlazu iz podsustava izvora energije) za zagrijavanje PTV-a:

$$Q_{W,gen,out} = Q_W + Q_{W,dis,ls} + Q_{W,st,ls} + Q_{W,p,ls} \quad [kWh] \quad (11.153)$$

gdje su:

- $Q_W$  - potrebna energija za pripremu PTV-a [kWh] - prema HRN EN 16316-3-1
- $Q_{W,dis,ls}$  - gubici toplinske energije podsustava razvoda PTV-a [kWh] - prema HRN EN 16316-3-1
- $Q_{W,st,ls}$  - gubici toplinske energije podsustava spremnika PTV-a (ako postoji) [kWh] i
- $Q_{W,p,ls}$  - gubici toplinske energije podsustava primarnog razvoda za pripremu PTV-a (ako postoji) [kWh].

Potrebna toplina koja se mora gorivom dovesti u podsustav toplinskog izvora predstavlja ulaznu energiju u podsustav  $Q_{W,gen,in}$  a time i u cjelokupni sustav pripreme PTV-a te iznosi:

$$Q_{W,gen,in} = Q_{W,gen,out} + Q_{W,gen,ls} = Q_W + Q_{W,dis,ls} + Q_{W,st,ls} + Q_{W,p,ls} + Q_{W,gen,ls} \quad [kWh] \quad (11.154)$$

gdje je:

- $Q_{W,gen,ls}$  - gubici toplinske energije podsustava izvora toplinske energije za pripremu PTV-a [kWh].

Ako se isti podsustav izvora (proizvodnje) toplinske energije koristi i za grijanje prostora i za pripremu PTV-a, proračun rada podsustava treba se provesti odvojeno (vodeći računa o pripadajućim parametrima pogona) za ljetno razdoblje kada sustav služi samo za grijanje PTV-a i za zimsko razdoblje kada sustav ima dvojnju funkciju.

#### 11.5.6.5. Godišnja potrebna toplinska energija $Q_H$

Prema *Pravilniku o energetska certificiranju zgrada* (NN 36/10) godišnja potrebna toplinska energija za grijanje (konačna energija) - definirana je kao zbroj godišnje potrebne toplinske energije za grijanje i pripremu potrošne tople vode te godišnjih toplinskih gubitaka sustava za grijanje i sustava za pripremu potrošne tople vode u zgradi. Izračunava se prema sljedećem izrazu:

$$Q_H = Q_{H,nd} + Q_W + Q_{H,ls} + Q_{W,ls} \quad [kWh] \quad (11.155)$$

gdje su:

- $Q_{H,nd}$  - godišnja potrebna korisna energija za grijanje [kWh]
- $Q_W$  - godišnja potrebna korisna energija za pripremu potrošne tople vode [kWh]
- $Q_{H,ls}$  - godišnji toplinski gubici sustava grijanja [kWh] i
- $Q_W$  - godišnji toplinski gubici sustava za pripremu potrošne tople vode [kWh].

Specifična vrijednost izražena po jedinici korisne površine iznosi:

$$\frac{Q_H}{A_K} \quad [kWh/m^2] \quad (11.156)$$

gdje je:

- $A_K$  - ploština korisne površine zgrade [m<sup>2</sup>].



### 11.5.7. Godišnje potrebna energija za hlađenje $Q_{C,nd}$ prema HRN EN ISO 13790

#### 11.5.7.1. Općenito

Godišnja potrebna energija za hlađenje kod kontinuiranog hlađenja računa se prema izrazu:

$$Q_{C,nd} = Q_{C,nd,cont} = Q_{C,gn} - \eta_{C,ls} \cdot Q_{C,ht} \quad [J] \quad (11.157)$$

gdje su:

- $Q_{C,ht}$  - ukupna izmijenjena toplina u razdoblju hlađenja [J]
- $Q_{C,nd,cont}$  - ukupna potrebna korisna energija za hlađenje zone pri kontinuiranom hlađenju [J]
- $Q_{C,gn}$  - ukupni toplinski dobitci zgrade u razdoblju hlađenja [J] i
- $\eta_{H,gn}$  - faktor iskorištenja toplinskih gubitaka pri hlađenju.

Navedeni izraz (11.157) vrijedi za kontinuirano ili kvazikontinuirano hlađenje (kada razlika postavnih vrijednosti unutarnje temperature u normalnim razdobljima hlađenja u odnosu na razdoblja reduciranog hlađenja, nije veća od 3°C). Pri kvazikontinuiranom hlađenju za postavnu vrijednost željene unutarnje temperature, uzima se prosječna vrijednost postavnih vrijednosti temperature određena na način kao pri kvazistacionarnom grijanju.

Kod nekontinuiranog pogona hlađenja potrošnja energije za hlađenje pri nekontinuiranom (intermitentnom) pogonu računa se prema izrazu:

$$Q_{C,d} = Q_{C,nd,interm} = a_{C,red} \cdot Q_{C,nd,cont} \quad [J] \quad (11.158)$$

gdje je:

- $a_{C,red}$  - bezdimenzijski redukcijski faktor za nekontinuirano hlađenje određen prema HRN EN ISO 13790.

Bezdimenzijski redukcijski faktor koji uzima u obzir utjecaj nekontinuiranog hlađenja izračunava se prema izrazu:

$$a_{C,red} = 1 - 3 \cdot \left( \frac{\tau_{C,0}}{\tau} \right) \cdot \gamma_C \cdot (1 - f_{C,day}) \quad (11.159)$$

gdje su:

- $f_{C,day}$  - udio broja dana u tjednu tijekom kojih, barem preko dana, hlađenje radi s normalnom postavnom vrijednošću unutarnje temperature (npr. ako hlađenje radi samo pet dana u tjednu slijedi  $5/7 = 0,71$ )
- $\tau$  - vremenska konstanta zone zgrade (h)
- $\tau_{C,0}$  - referentna vremenska konstanta za hlađenje (h) - za mjesečni proračun iznosi  $\tau_{C,0} = 15$  h i
- $\gamma_C$  - odnos toplinskih dobitaka i ukupno izmijenjene topline transmisijom i ventilacijom u režimu hlađenja

$$\gamma_C = \frac{Q_{C,gn}}{Q_{C,ht}} \quad (11.160)$$

Bezdimenzijski redukcijski faktor  $a_{C,red}$  može imati najmanju vrijednost  $a_{C,red} = f_{C,day}$  i najveću vrijednost  $a_{C,red} = 1$ .

Vremenska konstanta zgrade računa se kao kod proračuna potrebne energije za grijanje.

#### 11.5.7.2. Ukupna izmijenjena toplina u režimu hlađenja

Ukupna izmijenjena toplina proračunske zone u režimu hlađenja, kada se zgrada sastoji samo od jedne zone ili u slučaju više zona kada je razlika temperatura u susjednim zonama manja od 5 K, za promatrano vremensko razdoblje (mjesec) računa se prema izrazu:

$$Q_{C,ht} = Q_{tr} + Q_{ve} \quad [J] \quad (11.161)$$

gdje su:

- $Q_{tr}$  - izmijenjena toplina transmisijom za proračunsku zonu [J] i
- $Q_{ve}$  - izmijenjena toplina ventilacijom za proračunsku zonu [J].

Izmijenjena toplina proračunske zone u režimu hlađenja kada se zgrada sastoji od više zona čija je razlika unutarnjih temperatura među zonama z i y veća ili jednaka 5 K, za promatrano vremensko razdoblje (mjesec), računa se prema izrazu:

$$Q_{C,ht} = Q_{tr} + Q_{ve} + Q_{tr,zy} + Q_{ve,z \rightarrow y} \quad [J] \quad (11.162)$$

gdje su:

- $Q_{tr}$  - izmijenjena toplina transmisijom za zonu z prema vanjskom okolišu [J]
- $Q_{ve}$  - izmijenjena toplina ventilacijom za zonu z prema vanjskom okolišu [J]
- $Q_{tr,zy}$  - izmijenjena toplina transmisijom iz zone z prema zoni y [J] i
- $Q_{ve,z \rightarrow y}$  - izmijenjena toplina ventilacijom iz zone z prema zoni y [J].

Izmijenjena toplina transmisijom prema vanjskom okolišu za zonu z računa se za svaki mjesec i to prema izrazu:

$$Q_{tr} = H_{tr,adj} \cdot (\theta_{int,C} - \theta_e) \cdot t \quad [J] \quad (11.163)$$

gdje su:

- $H_{tr,adj}$  - koeficijent transmisijske izmjene topline proračunske zone sveden na razliku temperatura vanjskog i unutarnjeg zraka (prema HRN EN ISO 13789) (W/K)
- $\theta_{int,C}$  - unutarnja postavna temperatura u režimu hlađenja [°C]
- $\theta_e$  - srednja vanjska temperatura za proračunsko razdoblje (mjesecna) [°C] i
- $t$  - proračunsko vremensko razdoblje [s].

Izmijenjena toplina ventilacijom prema vanjskom okolišu za zonu z računa se za svaki mjesec i to prema izrazu:

$$Q_{tr} = H_{tr,adj} \cdot (\theta_{int,C} - \theta_e) \cdot t \quad [J] \quad (11.164)$$

gdje su:

- $H_{ve,adj}$  - koeficijent ventilacijske izmjene topline proračunske zone sveden na razliku temperatura vanjskog i unutarnjeg zraka (prema HRN EN ISO 13789) (W/K)
- $\theta_{int,C}$  - unutarnja postavna temperatura u režimu hlađenja [°C]
- $\theta_e$  - srednja vanjska temperatura za proračunsko razdoblje (mjesecna) [°C] i
- $t$  - proračunsko vremensko razdoblje [s].

Za slučaj kada se zgrada sastoji od dvije ili više zona čija je razlika unutarnjih postavnih temperatura veća ili jednaka 5 K, računa se transmisijska i ventilacijska izmjena topline među zonama. Izmijenjena toplina transmisijom iz zone z prema zoni y iznosi:

$$Q_{tr,zy} = H_{tr,zy} \cdot (\theta_{z,C} - \theta_{y,mn}) \cdot t \quad [J] \quad (11.165)$$

gdje su:

- $H_{tr,zy}$  - koeficijent transmisijske izmjene topline između zona z i y (W/K)
- $\theta_{z,C}$  - unutarnja postavna temperatura grijane zone z [°C]
- $\theta_{y,mn}$  - aktualna srednja temperatura u susjednoj zoni y uključujući pregrijanje ili pothlađivanje [°C] i
- $t$  - proračunsko vremensko razdoblje [s].

Izmijenjena toplina ventilacijom iz zone z prema zoni y iznosi:

$$Q_{ve,z \rightarrow y} = H_{ve,z \rightarrow y} \cdot (\theta_{z,C} - \theta_{y,mn}) \cdot t \quad [J] \quad (11.166)$$

gdje su:

- $H_{ve,z \rightarrow y}$  - koeficijent ventilacijske izmjene topline između zona z i y (W/K)
- $\theta_{z,C}$  - unutarnja postavna temperatura grijane zone z [°C]
- $\theta_{y,mn}$  - aktualna srednja temperatura u susjednoj zoni y uključujući pregrijanje ili pothlađivanje [°C] i
- $t$  - proračunsko vremensko razdoblje [s].

Aktualna srednja temperatura susjedne zone računa se prema izrazu (Dodatak B norme):

$$\theta_{y,mn} = \frac{Q_{C,gn} - Q_{C,nd} + \sum_k (H_{C,ht,k} \cdot \theta_{a,k} / b_{tr,k}) \cdot t}{\sum_k (H_{C,ht,k} / b_{tr,k}) \cdot t} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (11.167)$$

gdje su:

- $b_{tr,k}$  - fakto prilagodbe,  $b_{tr,k} \neq 1$ , ako je temperatura s druge strane građevinskog elementa različita od vanjske temperature zraka
- $Q_{C,nd}$  - mjesečna potrebna korisna energija za hlađenje susjedne zone  $y$  [J]
- $H_{C,ht,k}$  -  $k$ -ti element unutar ukupnog koeficijenta izmjene topline susjedne zone  $y$  za slučaj hlađenja, sveden na razliku temperatura vanjskog i unutarnjeg zraka [W/K]
- $Q_{C,gn}$  - mjesečni ukupni toplinski dobici zgrade u režimu hlađenja [J]
- $\theta_{a,k}$  - za  $k$ -ti element transmisijske izmjene topline: temperatura s vanjske strane građevinskog elementa  $q_{e,k}$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]  
- za  $k$ -ti element ventilacijske izmjene topline: temperatura dobavnog zraka  $q_{a,sup,k}$  [ $^{\circ}\text{C}$ ] te
- $t$  - vremenski korak proračuna – mjesec [s].

Kod zgrada s više zona, čija je razlika unutarnjih postavnih temperatura veća ili jednaka 5 K, proračun potrebne korisne energije za hlađenje zone vrši se u koracima, tj. iterativno (najčešće u dvije ili tri iteracije) prema sljedećem algoritmu:

- 1) u početku se usvaja da je aktualna srednja temperatura svake zone jednaka postavnoj vrijednosti unutarnje temperature određenoj na sličan način kao u poglavlju 11.4.2.5
- 2) izračunavaju se potrebne energije za hlađenje svake zone uzimajući u obzir transmisijsku i ventilacijsku izmjenu topline među zonama na gore opisani način
- 3) na temelju netom dobivenih potrebnih energija hlađenja izračunavaju se aktualne srednje temperature zone prema prethodnom izrazu (11.167)
- 4) ako se nova izračunata aktualna srednja temperatura razlikuje od pretpostavljene za više od 0,5 $^{\circ}\text{C}$ , postupak se ponavlja od koraka 2), a u protivnom iteracijski postupak proračuna je okončan

Koeficijenti transmisijske  $H_{tr}$  i ventilacijske izmjene topline  $H_{ve}$  određuju se na način kako je to opisano kod proračuna potrebne energije za grijanje.

### 11.5.7.3. Toplinski dobici u režimu hlađenja

Toplinski dobici proračunske zone za promatrano vremensko razdoblje (mjesec) u režimu hlađenja izračunavaju se prema izrazu:

$$Q_{C,gn} = Q_{int} + Q_{sol} \quad [J]$$

gdje su:

- $Q_{int}$  - unutarnji toplinski dobici u proračunskom mjesecu [J] i
- $Q_{sol}$  - toplinski dobici od sunčeva zračenja u proračunskom mjesecu [J].

Unutarnji toplinski dobici i toplinski dobici od Sunčeva zračenja izračunavaju se na isti način kao kod proračuna potrebne energije za grijanje, vodeći računa o vrijednosti unutarnje postavne temperature koja se u ovom slučaju uzima za razdoblje hlađenja

### 11.5.7.4. Faktor iskorištenja toplinskih gubitaka za hlađenje

Faktor iskorištenja toplinskih dobitaka za hlađenje  $\eta_{C,ls}$  je bezdimenzijski faktor koji definira koliki se udio ukupnih toplinskih gubitaka iskorištava kao korisna energija za hlađenje. Računa se posebno za svaku proračunsku zonu i za svaki mjesec. Funkcija je omjera toplinskih dobitaka i ukupno izmijenjene topline u razdoblju hlađenja te toplinske inercije zgrade (koja se opisuje parametrom  $a_c$ ).

Definiran je sljedećim izrazima:

$$\eta_{C,ls} = \frac{1 - \gamma_C^{-a_C}}{1 - \gamma_C^{-(a_C+1)}} \quad \text{za } \gamma_C > 0 \text{ i } \gamma_C \neq 1 \quad (11.169)$$

$$\eta_{C,ls} = \frac{a_C}{a_C + 1} \quad \text{za } \gamma_C = 1 \quad (11.170)$$

$$\eta_{C,ls} = \frac{a_C}{a_C + 1} \quad \text{za } \gamma_C = 1 \quad (11.171)$$

gdje su:

- $a_C$  - bezdimenzijski numerički parametar koji uzima u obzir utjecaj toplinske inercije i  
 $\gamma_H$  - odnos toplinskih dobitaka i ukupne izmijenjene topline transmisijom i ventilacijom u režimu hlađenja

$$\gamma_H = \frac{Q_{C,gn}}{Q_{C,ht}} \quad (11.172)$$

Bezdimenzijski numerički parametar koji uzima u obzir utjecaj toplinske inercije funkcija je vremenske konstante zgrade prema izrazu:

$$a_C = a_{C,0} + \frac{\tau}{\tau_{C,0}} \quad (11.173)$$

gdje je za mjesečni proračun  $a_{C,0} = 1$  i  $\tau_{C,0} = 15$  h.

Vremenska konstanta zgrade  $t$  izračunava se na isti način kao kod proračuna potrebne korisne energije za grijanje.

#### 11.5.7.5. Godišnje potrebna energija za hlađenje

Godišnje potrebna energija za hlađenje u (kWh/a) izračunava se kao zbroj mjesečnih vrijednosti potrebne energije za hlađenje:

$$Q_{C,nd} = \frac{1}{3,6 \cdot 10^6} \sum_{m=1}^{12} Q_{C,nd,m} \quad [\text{kWh/a}] \quad (11.174)$$

gdje su:

- $Q_{C,nd}$  - ukupna godišnja potrebna korisna energija za hlađenje [kWh/a] i  
 $Q_{C,nd,m}$  - mjesečna potrebna korisna energija za hlađenje [J].

Specifična vrijednost izražena po jedinici korisne površine iznosi:

$$\frac{Q_{C,nd}}{A_K} \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2)\text{a}] \quad (11.175)$$

gdje je:

- $A_K$  - ploština korisne površine zgrade [ $\text{m}^2$ ] - ukupna neto podna ploština zgrade koja odgovara namjeni uporabe zgrade, računa se prema točki 5.1.7 HRN EN ISO 9836.

#### 11.5.7.6. Dijagrami toka energije za primjer proračuna u režimu hlađenja

Bilancu energije treba provesti na dvije razine: na razini zgrade kojom se određuje potrebna korisna energija za hlađenje te na razini termotehničkog sustava kojom se određuje potrebna konačna energija koju je potrebno dovesti za pogon sustava hlađenja.

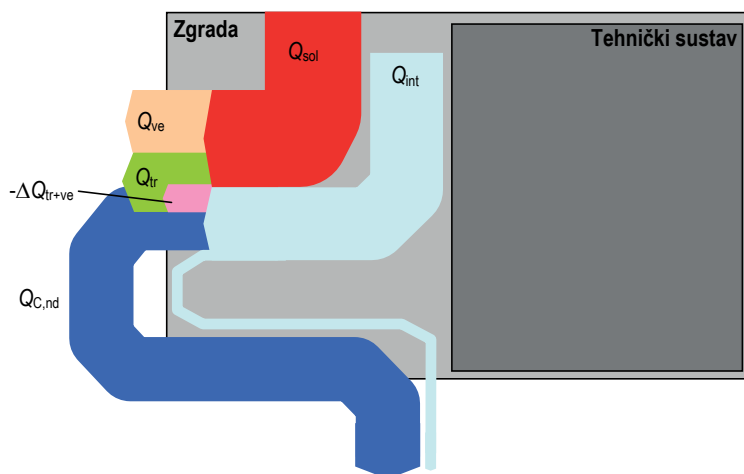
a) Bilanca na razini zgrade

Tokovi energije bilance topline na razini zgrade prikazani su na slici 11.30. Budući da se radi o hlađenju prostora, strelica koja označava potrebnu korisnu energiju za hlađenje usmjerena je prema vani te prikazuje toplinu koja je odvedena iz zgrade posredstvom sustava hlađenja.

Potrebna korisna energija za hlađenje zgrade izračunava se kao razlika između izmijenjene topline kroz ovojnicu zgrade (toplinskih gubitaka transmisijom i ventilacijom) i toplinskih dobitaka (unutarnjih i toplinskih dobitaka od Sunčeva zračenja). Bilanca vrijedi za veće proračunsko razdoblje (npr. mjesec dana ili za cijelu sezonu hlađenja). Izmjena topline transmisijom i ventilacijom ( $Q_{ht} = Q_{tr} + Q_{ve}$ ) izračunata je na temelju unutarnje postavne temeperature zraka. Međutim, stvarna prosječna unutarnja temperatura prostora može biti i niža, zbog povremenih pothlađivanja prostora. Time je i stvarna izmijenjena toplina manja nego ona izračunata na temelju unutarnje postavne temeperature. Ta stvarna izmijenjena toplina manja je za iznos  $\Delta Q_{tr+ve}$ . U mjesečnoj i sezonskoj metodi proračuna  $\Delta Q_{tr+ve}$  ustvari predstavlja neiskorišteni dio toplinskih gubitaka koji je definiran faktorom iskorištenja toplinskih gubitaka pri hlađenju:  $\eta_{C,ls} \cdot Q_{ht} = \Delta Q_{tr+ve}$ . To je u skladu s izrazom za izračunavanje potrebne korisne energije za hlađenje:

$$Q_{C,nd} = Q_{gn} - \eta_{C,ls} \cdot Q_{ht} \quad (11.176)$$

U okviru bilance topline na razini zgrade na slici 11.30, prikazan je dio toplinskih gubitaka termotehničkog sustava koji se iskorištava unutar zgrade. Hladni dijelovi razvoda sustava mogu predstavljati toplinske ponore te se kao negativne vrijednosti uključuju u proračun unutarnjih toplinskih dobitaka.

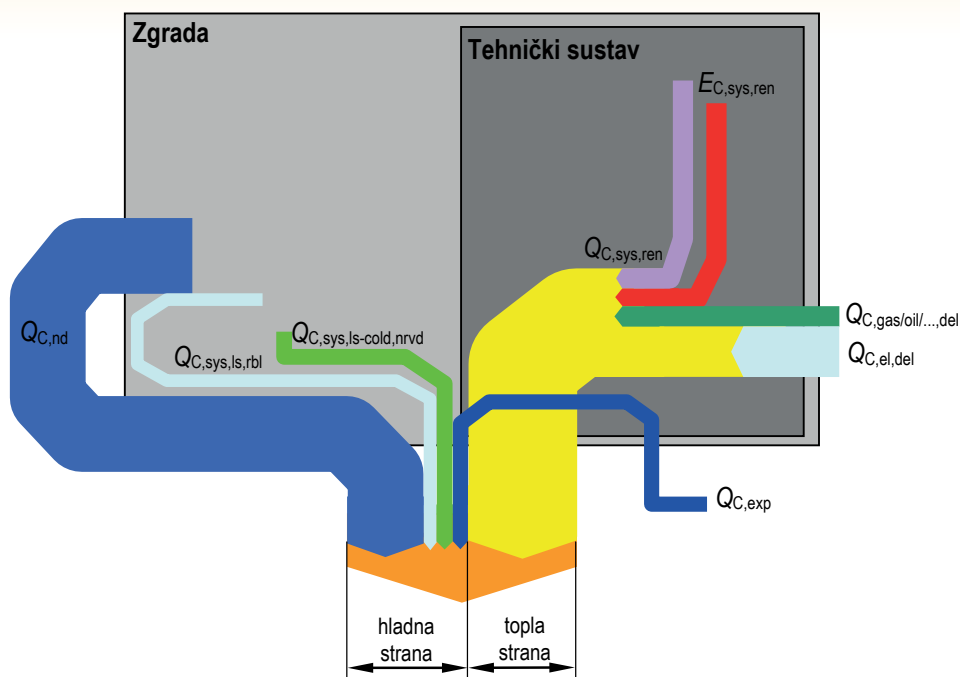


Slika 11.30 - Bilanca topline na razini zgrade za režim hlađenja

#### b) Bilanca na razini sustava

Tokovi energije u okviru bilance topline na razini termotehničkog sustava, prikazani su na slici 11.31. Tokovi energije na strani sustava dijele se na "topele" prikazane crvenom bojom i "hladne" tokove energije prikazane plavom bojom. Sustav mora dati energiju za namirivanje potrebne korisne energije za hlađenje prostora, zatim za namirivanje neiskoristivih toplinskih gubitaka i iskoristivih toplinskih gubitaka unutar zgrade te za namirivanje eventualnog rashladnog učina koji se koristi u izvan zgrade. Energija koju sustav predaje potrošačima može biti toplinska energija (iz obnovljivih ili konvencionalnih izvora) ili električna energija (također iz obnovljivih ili konvencionalnih izvora).

Energija dovedena sustavu (konačna) može se sastojati od energije dovedene različitim energentima ( $E_{C,gas/oil/...del}$ ) i svaka mora biti iskazana posebno. Eksplicitno je prikazana električna energija ( $E_{C,el,del}$ ) koja se gotovo uvijek dovodi sustavu kao posebni izvor energije (najčešće kao pomoćna energije).



Slika 11.31 - Bilanca topline na razini termotehničkog sustava za režim hlađenja

## 11.5.8. Godišnji gubici sustava hlađenja $Q_{C,ls}$ prema HRN EN 15243

### 11.5.8.1. Općenito

Određivanje gubitaka sustava hlađenja vrši se u sklopu proračuna potrebne konačne energije za sustav klimatizacije. Opći pristup postupku proračuna potrebne konačne energije i gubitaka sustava opisan je u normi HRN EN 15243: *Ventilacija u zgradama - Proračun temperatura, opterećenja i energije u prostorijama zgrada sa sustavima klimatizacije prostora*. Pored proračuna godišnje konačne energije za tehničke sustave hlađenja i klimatizacije (članci 13-14) norma daje i proračun potrebnog učinka sustava (članci 1-12). Za potrebe energetskog certificiranja koristi se dio norme koji se odnosi na proračun godišnje energije jer je u njega uključen i proračun gubitaka sustava.

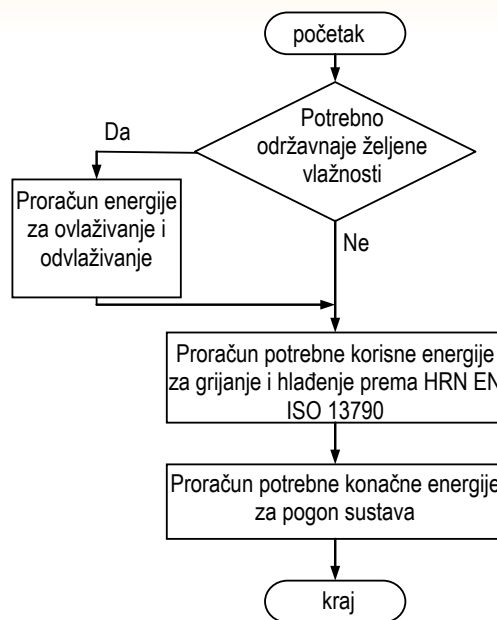
Potrebna korisna energija za grijanje i hlađenje određena je ranije postupkom opisanim u normi HRN EN ISO 13790. To predstavlja ulazni podatak za proračun potrebne konačne energije za pogon sustava, uključujući proračun gubitaka sustava i potrebne pomoćne energije sustava. Ako je u zgradi ugrađen sustav klimatizacije i postoji potreba za održavanjem željene vlažnosti zraka u prostoru, potrebno je, prije proračuna ukupne konačne energije sustava, dodatno provesti proračun potrebne energije za ovlaživanje i odvlaživanje.

Kod proračuna energije za ovlaživanje i odvlaživanje odabire se metoda bez uzimanja u obzir akumulacije vlage u dijelovima zgrade i namještaju. U tom slučaju bilanca vlage uključuje:

- vlagu koja ulazi ili izlazi iz prostorije
- vlagu iz unutarnjih izvora te
- vlagu koja kondenzira na rashladnim izmjenjivačima unutar prostora.

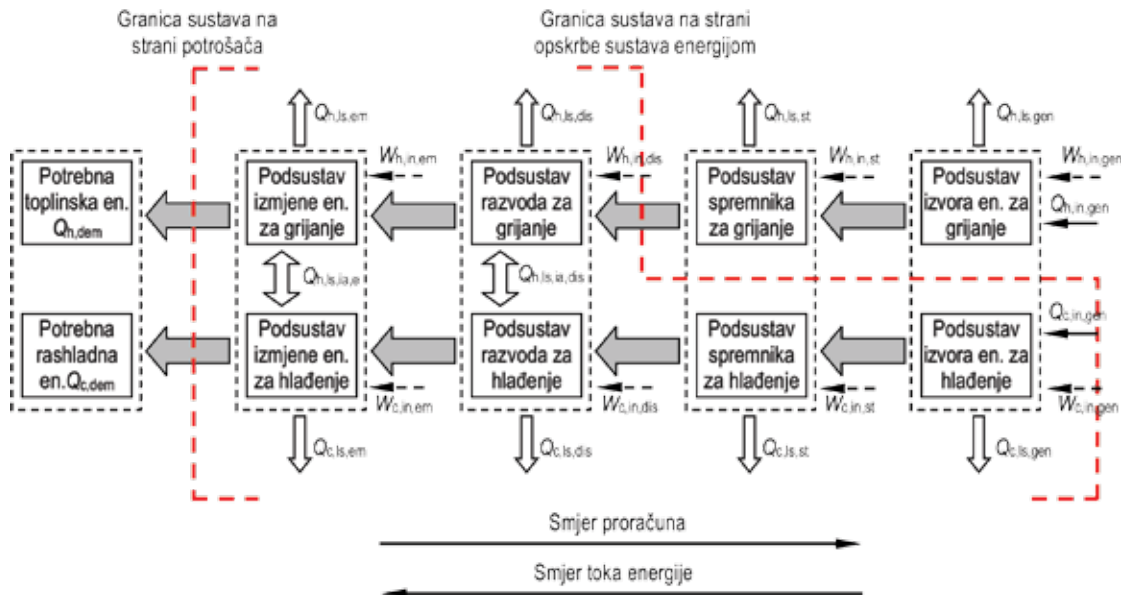
Odvlaživanje na rashladnim izmjenjivačima unutar prostora može biti namjerna ili nenamjerna posljedica hlađenja. Za proračun ovlaživanja i odvlaživanja na rashladnim izmjenjivačima u prostoru, može se koristiti postupak opisan u Dodatku H norme HRN EN 15243. Postupak proračuna ovlaživanja i odvlaživanja u centralnim jedinicama - klima komorama opisan je u HRN EN 15241.

Opći tijek proračuna potrebne konačne energije, toplinskih gubitaka sustava i pomoćne energije sustava hlađenja odvija se prema dijagramu toka na slici 11.32.



**Slika 11.32 - Postupak proračuna potrebne konačne energije, toplinskih gubitaka sustava i pomoćne energije sustava hlađenja**

Opća struktura i tokovi energije sustava za klimatizaciju s podjelom na podsustave prikazana je na slici 11.33. Dijelovi sustava klimatizacije namijenjeni grijanju i hlađenju, u pravilu, imaju paralelnu strukturu. Sama funkcija grijanja i hlađenja može se odvijati kombinirano, i to jednim dijelom u podsustavu koji služe za izmjenu topline u prostoru (ventilatorskim konvektorima) i drugim dijelom u podsustavu distribucije (kanali) sustava ili pak u samom podsustavu izvora (proizvodnje) energije (split sustavi za grijanje i hlađenje). U većini sustava distribucija toplinske i rashladne energije vrši se vodom i/ili zrakom kao nosiocima toplinske energije. Toplina se od vode predaje zraku izmjenjivačima topline unutar klimatizacijskih komora ili u uređajima za izmjenu topline u samome prostoru.



**Slika 11.33 - Opća struktura i tokovi energije sustava za grijanje, hlađenje, klimatizaciju i ventilaciju s podjelom na podsustave.**

Granice sustava za proračun prema ovoj normi naznačene su na slici 11.33. Granica na strani potrošača je između prostorije i elemenata za izmjenu topline u prostoru. Granica na desnoj strani za sustav hlađenja je ulaz u podsustav izvora (proizvodnje) energije. Desna granica za sustav grijanja može biti na raznim mjestima u ovisnosti o konfiguraciji cijelog sustava. Podsustav izvora energije i podsustav spremnika uvijek su izvan granica ovog proračuna za sustav grijanja. Također za sustav grijanja, izvan granica ovog proračuna su podsustav razvoda potrošne tople vode i podsustav izmjene topline u prostoru (radijatori). Jedino su komponente podsustava izmjene topline i razvoda za klimatizacijsku komoru uključene u granice proračuna. U proračun je također uključena i izmjena topline u vidu toplinskih gubitaka između komponenata podsustava razvoda i komponenata podsustava izmjene topline za grijanje i hlađenje.

Pri tome je moguć velik broj različitih konfiguracija sustava od kojih su osnovni nabrojani u tablici 11.24. Pregled različitih konfiguracija sustava, granice proračuna i tokovi energije za svaki tip sustava opisane su u Dodatku C norme HRN EN 15243.

**Tablica 11.24 - Pregled različitih kombinacija sustava (prema Dodatku C norme HRN EN 15243)**

Oznaka	Opis sustava
<b>A</b>	<b>Sustavi sa zrakom</b>
A1	Sustav s jednim kanalom
A2	Sustav s dvostrukim kanalom
A3	Sustav s jednim kanalom, dogrijavanje na izlazu zraka
A4	Konstantni protok zraka (s odvojenim grijanjem)
A5	Promjenjivi protok zraka (s odvojenim grijanjem)
<b>B</b>	<b>Sustavi s vodom</b>
B1	Sustav ventilatorskih konvektora, 2 cijevi
B2	Sustav ventilatorskih konvektora, 3 cijevi
B3	Sustav ventilatorskih konvektora, 4 cijevi
B4	Sustav s indukcijom, 2 cijevi, bez prebacivanja režima
B5	Sustav s indukcijom, 2 cijevi, s prebacivanjem režima
B6	Sustav s indukcijom, 3 cijevi
B7	Sustav s indukcijom, 3 cijevi
B8	Paneli za površinsko hlađenje s 2 cijevi
B9	Paneli za površinsko hlađenje s 4 cijevi
B10	Površinsko hlađenje (podno, zidno ili stropno)
B11	Stropni sustav s aktivnim klimatizacijskim gredama
B12	Sustavi s krugom dizalice topline
<b>C</b>	<b>Kompaktne jedinice za klimatizaciju</b>
C1	Sobne jedinice
C2	Pojedinačni split sustav s izravnom ekspanzijom
C3	Multi split sustav s izravnom ekspanzijom (uključujući sustave s promjenjivim protokom radne tvari)



### 11.5.8.2. Proračun potrebne konačne energije, toplinskih gubitaka sustava i pomoćne energije

Postupak proračuna sastoji se iz određivanja:

- potrebe konačne energije za napajanje sustava kao zbroj isporučene toplinske energije sustava i svih toplinskih gubitaka sustava i
- potrebne pomoćne energije za rad sustava (napajanje pumpi, ventilatora i sl.).

Potrebna korisna energija za pogon sustava klimatizacije (ulazna energija u podsustav izvora-proizvodnje energije koju treba dovesti gorivom) u pogonu grijanja iznosi:

$$Q_{h,in,g} = Q_{h,dem} + Q_{h,loss,e} + Q_{h,loss,ia,e} + Q_{h,loss,d} + Q_{h,loss,ia,d} + Q_{h,loss,s} + Q_{h,loss,g} \quad [\text{kWh}] \quad (11.177)$$

gdje su:

- $Q_{h,dem}$  - potrebna korisna energija za grijanje prostora [kWh]
- $Q_{h,loss,e}$  - toplinski gubici podsustava izmjene topline [kWh]
- $Q_{h,loss,ia,e}$  - toplinski gubici podsustava izmjene topline zbog međudjelovanja sa sustavom hlađenja [kWh]
- $Q_{h,loss,d}$  - toplinski gubici podsustava razvoda [kWh]
- $Q_{h,loss,ia,d}$  - toplinski gubici podsustava razvoda zbog međudjelovanja sa sustavom hlađenja [kWh]
- $Q_{h,loss,s}$  - toplinski gubici podsustava spremnika [kWh] te
- $Q_{h,loss,g}$  - toplinski gubici podsustava izvora (proizvodnje) energije [kWh].

Potrebna korisna energija za pogon sustava klimatizacije (ulazna energija u podsustav izvora-proizvodnje energije koju treba dovesti gorivom) u pogonu hlađenja iznosi:

$$Q_{c,in,g} = Q_{c,dem} + Q_{c,loss,e} + Q_{c,loss,ia,e} + Q_{c,loss,d} + Q_{c,loss,ia,d} + Q_{c,loss,s} + Q_{c,loss,g} \quad [\text{kWh}] \quad (11.178)$$

gdje su:

- $Q_{c,dem}$  - potrebna korisna energija za hlađenja prostora [kWh]
- $Q_{c,loss,e}$  - toplinski gubici podsustava izmjene topline [kWh]
- $Q_{c,loss,ia,e}$  - toplinski gubici podsustava izmjene topline zbog međudjelovanja sa sustavom grijanja [kWh]
- $Q_{c,loss,d}$  - toplinski gubici podsustava razvoda [kWh]
- $Q_{c,loss,ia,d}$  - toplinski gubici podsustava razvoda zbog međudjelovanja sa sustavom grijanja [kWh]
- $Q_{c,loss,s}$  - toplinski gubici podsustava spremnika [kWh] te
- $Q_{c,loss,g}$  - toplinski gubici podsustava izvora (proizvodnje) energije [kWh].

Toplinski gubici sustava u pogonu hlađenja iznose:

$$Q_{c,in,g} = Q_{c,dem} + Q_{c,loss,e} + Q_{c,loss,ia,e} + Q_{c,loss,d} + Q_{c,loss,ia,d} + Q_{c,loss,s} + Q_{c,loss,g} \quad [\text{kWh}] \quad (11.179)$$

Specifična vrijednost gubitaka izražena po jedinici korisne površine iznosi:

$$\frac{Q_{c,loss}}{A_K} \quad [\text{kWh/m}^2] \quad (11.180)$$

gdje je:

- $A_K$  - ploština korisne površine zgrade ( $\text{m}^2$ ).

Ako se isporučena toplinska energija dobiva korištenjem različitih energenata (plin, loživo ulje, električna energija), tada treba provesti odvojeni proračun za svaki energent, a na kraju zbrojiti rezultate u sveukupnu potrebnu toplinsku energiju.

Potrebne količine pomoćne energije (električna energija) za pogon pomoćnih uređaja sustava u pogonu grijanja i u pogonu hlađenja iznose:

$$W_{h,in,tot} = W_{h,in,e} + W_{h,in,d} + W_{h,in,s} + W_{h,in,g} \quad [\text{kWh}] \quad (11.181)$$

$$W_{c,in,tot} = W_{c,in,e} + W_{c,in,d} + W_{c,in,s} + W_{c,in,g} \quad [\text{kWh}] \quad (11.182)$$

gdje su:

$W_{h,in,e}$	- potrebna pomoćna energija za podsustav izmjene topline (emisije) kod grijanja [kWh]
$W_{h,in,d}$	- potrebna pomoćna energija za podsustav razvoda kod grijanja [kWh]
$W_{h,in,s}$	- potrebna pomoćna energija za podsustav spremnika kod grijanja [kWh],
$W_{h,in,g}$	- potrebna pomoćna energija za podsustav izvora (proizvodnje) topline kod grijanja [kWh]
$W_{h,in,e}$	- potrebna pomoćna energija za podsustav izmjene topline (emisije) kod hlađenja [kWh]
$W_{h,in,d}$	- potrebna pomoćna energija za podsustav razvoda kod hlađenja [kWh]
$W_{h,in,s}$	- potrebna pomoćna energija za podsustav spremnika kod hlađenja [kWh] i
$W_{h,in,g}$	- potrebna pomoćna energija za podsustav izvora (proizvodnje) topline kod hlađenja [kWh].

Postupak proračuna potrebne konačne energije za sustav klimatizacije općenito uključuje postupke uključene u druge norme kao što su:

- proračun zračnih sustava ventilacije i klimatizacije (dio proračuna prema HRN EN 15241 i HER EN 15242)
- proračun zasebnih sustava grijanja (prema HRN EN 15316-2-1)
- proračun sustava s ventilacijom noću (protoci zraka prema HRN EN 15242) te
- proračun panelnih sustava hlađenja (prema HRN EN 15377-3).

Norma navodi dva načina na koji se može provesti proračun i to:

- pojednostavljenu ili implicitnu metodu - pri kojoj se koriste usrednjeni parametri tehničkog sustava kroz dulje vremensko razdoblje (dan, mjesec) i
- detaljnu ili eksplicitnu metodu - koja koristi algoritam za direktno povezivanje toplinske bilance zgrade i funkcije tehničkog sustava uz najčešće satne vrijednosti kroz cijelu godinu.

Za potrebe energetskog certificiranja može se koristiti **pojednostavljena metoda proračuna**. Pojednostavljeni proračun potrebne konačne energije, gubitaka sustava te pomoćne energije uključuje određivanje:

- toplinskih gubitaka izmjene topline (tablični podaci u Dodatku G norme)
- pomoćne energije za podsustav izmjene topline (postupak proračuna za ventilatore opreme u prostoriji u Dodatku L norme)
- toplinskih gubitaka razvoda topline (postupak proračuna i tablični podaci u Dodatku K norme)
- pomoćne energije za podsustav razvoda topline (postupak proračuna za pumpe razvoda hladne vode u Dodatku J norme)
- toplinske energije za ovlaživanje i odvlaživanje (proračun energije za ovlaživanje i odvlaživanje u centralnoj klimatizacijskoj jedinici prema HRN EN 15241, proračun pomoćne energije za ovlaživanje u Dodatku J.4.3 norme HRN EN 12243) te
- toplinske energije za hlađenje iz izvora rashladne energije - rashladnika (proračun toplinske energije u Dodatku I proračun pomoćne energije za opremu za odbacivanje viška topline u Dodatku M, norme).

Dodatak E norme sadrži tri različita primjera pojednostavljene metode proračuna i to su: "nizozemski prijedlog" metode, "njemački prijedlog" metode te mjesečni proračun energije za hlađenje prema metodi stupanj dana hlađenja.

Za potrebe energetskog certificiranja može se koristiti "njemački prijedlog" metode proračuna ili proračun prema metodi stupanj dana hlađenja.

#### **Njemački prijedlog metode proračuna** (na temelju godišnje bilance)

Njemački prijedlog metode dijeli sustav u energetskom smislu na temeljni (koji osigurava potrebnu ventilaciju prostorije) i vršni (koji osigurava pokrivanje toplinskog opterećenja ljeti). Prijedlog ove metode uključuje:

- podjelu promatranog geografskog područja (Njemačke) na klimatske zone s karakterističnim meteorološkim podacima
- podjelu tehničkih sustava klimatizacije u 46 karakterističnih varijanti sustava
- tablične podatke s energetskim indeksima za svaku karakterističnu varijantu sustava za cijelu godinu dobivene temeljem satnih simulacija i
- troškove razvoda zraka određene na temelju odgovarajućih fizikalnih jednadžbi.

Tablični podaci dani su za jednu geografsku lokaciju (Wurzburg) za temperaturu dobavnog zraka 18 °C i za 12 h pogona dnevno. Podatke iz tablica moguće je linearno interpolirati za raspon temperatura dobavnog zraka 14 do 22 °C i dnevno trajanje pogona od 8 do 24 h. Primjer je prikazan u Dodatku E.2 norme. U njemačkom nacionalnom dodatku navodi se korištenje proračunskih metoda prema normama DIN V 18599 (svi dijelovi), a posebno DIN V 18599-3, DIN V 18599-6 i DIN V 18599-7.

### Proračun prema metodi stupanj dana hlađenja

Proračun prema metodi stupanj dana hlađenja temelji se na proračunima i dostupnim ulaznim podacima predstavljenim u *ASHRAE Handbook of Fundamentals 2005* i predstavlja godišnju metodu proračuna u jednom prolazu. Primjer je prikazan u Dodatku E.3 norme.

### 11.5.9. Godišnja potrebna energija za hlađenje $Q_C$

Prema *Pravilniku o energetskom certificiranju zgrada* (NN 36/10) godišnja potrebna energija za hlađenje (konačna energija) - definira se kao zbroj godišnje potrebne energije za hlađenje i godišnjih toplinskih gubitaka sustava za hlađenje. Izračunava se prema sljedećem izrazu:

$$Q_C = Q_{C,nd} + Q_{C,ls} \quad [\text{kWh}] \quad (11.183)$$

gdje su:

- $Q_{C,nd}$  - godišnja potrebna korisna energija za hlađenje [kWh] i  
 $Q_{C,ls}$  - godišnji toplinski gubici sustava hlađenja [kWh].

Specifična vrijednost izražena po jedinici korisne površine iznosi:

$$\frac{Q_C}{A_K} \quad [\text{kWh/m}^2] \quad (11.184)$$

gdje je:

- $A_K$  - ploština korisne površine zgrade [ $\text{m}^2$ ].

### 11.5.10. Godišnja potrebna energija za ventilaciju u sustavu prisilne ventilacije, djelomične klimatizacije i klimatizacije $Q_{ve}$ , uključujući gubitke prema HRN EN ISO 13790, HRN EN 15241, HRN EN 15243

Potrebna konačna energija i gubici topline sustava ventilacije određuju se prema normama HRN EN 15241 i HRN EN 15243, a okvirni tijek proračuna dan je u normi HRN EN ISO 13790 (poglavlje 14.3.3). Gubici energije u sustavu ventilacije sastoje se od sljedećih elemenata:

- toplinskih gubitaka zbog propuštanja u slučaju korištenja ventilacijskih kanala
- potrebne konačne energije za predgrijanje i prethlađenje ako se koristi centralno predgrijanje i prethlađenje te
- potrebne energije za ventilatore i regulaciju (energija za pogon ventilatora, energija za razleđivanje jedinice za rekuperaciju topline).

Godišnja potrebna konačna energija za centralno predgrijanje računa se prema izrazu:

$$Q_{V,sys,pre-heat,an} = \frac{1}{3,6 \cdot 10^6} \sum_m \left( \frac{f_{H,m} \cdot Q_{V,pre-heat,m}}{\eta_{V,sys,pre-heat}} \right) \quad [\text{kWh}] \quad (11.185)$$

gdje su:

- $f_{H,m}$  - dio mjeseca "m" koji pripada sezoni grijanja (određen prema postupku u poglavlju 5.2.6)  
 $Q_{V,pre-heat,m}$  - mjesečna korisna energija potrebna za predgrijanje (određena prema postupku u poglavlju 5.2.7) [J] i  
 $\eta_{V,sys,pre-heat}$  - iskoristivost sustava pregrijanja koji uključuje utjecaj svih gubitaka sustava za predgrijanje (prema HRN EN 15243).

Godišnja potrebna konačna energija za centralno prethlađenje računa se prema izrazu:

$$Q_{V,sys,pre-cool,an} = \frac{1}{3,6 \cdot 10^6} \sum_m \left( \frac{f_{C,m} \cdot Q_{V,pre-cool,m}}{\eta_{V,sys,pre-cool}} \right) \quad [\text{kWh}] \quad (10.186)$$

gdje su:

- $f_{c,m}$  - dio mjeseca "m" koji pripada sezoni hlađenja (određen prema postupku u poglavlju 5.2.6)  
 $Q_{V,pre-cool,m}$  -mjesečna korisna energija potrebna za prethlađenje (određena prema postupku u poglavlju 5.2.7 [J] i  
 $\eta_{V,sys,pre-cool}$  -iskoristivost sustava prethlađenja koji uključuje utjecaj svih gubitaka sustava za predgrijanje (prema HRN EN 15243).

Ukupna godišnja konačna energija potrebna za ventilaciju (uključujući gubitke) iznosi:

$$Q_{Ve} = Q_{duct-leak} + Q_{V,sys,pre-heat,an} + Q_{V,sys,pre-cool,an} + Q_{fan} \quad [\text{kWh}] \quad (11.187)$$

gdje su:

- $Q_{duct-leak}$  - godišnji toplinski gubici zbog propuštanja ventilacijskih kanala [kWh]  
 $Q_{V,sys,pre-heat,an}$  - godišnja potrebna konačna energija za centralno predgrijanje [kWh]  
 $Q_{V,sys,pre-cool,an}$  - godišnja potrebna konačna energija za centralno prethlađenje [kWh] te  
 $Q_{prop}$  - godišnja potrebna energija za ventilatore i regulaciju [kWh].

### 11.5.11. Godišnja potrebna energija za rasvjetu $E_l$ prema HRN EN 15193

Norma HRN EN 15193 opisuje način određivanja potrebne električne energije za rasvjetu zgrade i to određivanjem dva parametra:

- $E_l$  (u normi označen kao  $W_{light}$ ) - ukupne godišnje potrebne energije za rasvjetu, uključujući osvjetljenje prostora i dodatnu energiju za napajanje protupanične rasvjete i regulacije rasvjete u razdobljima mirovanja te
- LENI* broječni indikator rasvjete koji je predstavljen omjerom ukupne potrebne godišnje energije za rasvjetu i ukupne korisne površine zgrade.

Električna energija potrebna za rasvjetu može se odrediti mjerenjima ili proračunom. Mogući načini određivanja potrebne godišnje električne energije za rasvjetu prikazani su tablici 11.25.

**Tablica 11.25 - Mogući načini određivanja potrebne godišnje električne energije za rasvjetu**

Određivanje energije za rasvjetu		
Mjerenjima	Proračunom	
	Pojednostavljeni proračun	Opsežni proračun
	- na godišnjoj bazi - ne uzima u obzir zemljopisni položaj zgrade	- na mjesečnoj bazi - uzima u obzir zemljopisni položaj zgrade

Metode određivanja ukupne električne energije za rasvjetu mjerenjem opisani su u članku 5 s primjerom u dodatku A norme. Instalirana snaga rasvjete i pripadajuća parazitska snaga za novu i postojeću rasvjetu (kada nema dostupne tehničke dokumentacije), mogu se odrediti prema dodatku B norme. Pri određivanju potrebne energije za rasvjetu proračunom na raspolaganju su dva načina proračuna:

- pojednostavljeni proračun (temeljen na godišnjim podacima za tipične vrste zgrada i ne uzima u obzir zemljopisni položaj zgrade) i
- opsežni proračun (za preciznije određivanje energije koji uzima u obzir zemljopisni položaj zgrade te služi izračunavanju energetskih potreba za kraće vremensko razdoblje, npr. mjesec dana).

Ponuđene vrijednosti proračunskih faktora za pojednostavljeni postupak dane su za tipične vrste zgrada u Dodacima E, F i G. Ponuđene vrijednosti proračunskih faktora za opsežni postupak dane su za nekoliko geografskih područja u aneksima C, D i E. U Dodatku C prikazan je postupak vrjednovanja utjecaja dnevnog svjetla na osvjetljenost prostora i potrebnu električnu energiju za rasvjetu.

U dodatku F dan je tablični prikaz referentnih vrijednosti instalirane snage, vremenskih razdoblja uključenosti, LENI indikatora i drugih proračunskih faktora za rasvjetu za tipične vrste zgrada. Prilikom korištenja opsežnog postupka proračuna, podaci za Lyon (F) mogli bi se uzeti kao ulazni podaci za kontinentalnu Hrvatsku, a podaci za Atenu (GR) mogli bi se uzeti kao ulazni podaci za primorsku Hrvatsku.

### 11.5.12. Godišnja potrebna energija za pogon pomoćnih sustava $Q_{aux}$ prema HRN EN 15316, HRN EN 15241, HRN EN 15243

Osim toplinske energije koja se dovodi gorivom sustavi za grijanje, hlađenje, ventilaciju i pripremu potrošne tople vode trebaju i energiju za pogon pomoćnih uređaja. Ta pomoćna energija, u pravilu električna energija, omogućuje rad sustava regulacije i upravljanja, omogućuje cirkulaciju radnih medija i izmjenu toplinske energije, tj. služi za pogon ventilatora, crpki, kompresora i sl.

Proračun potrebne energije pomoćnih sustava  $Q_{aux}$  provodi se prema normama HRN EN 15316, HRN EN 15241 i HRN EN 15243 za svaki podsustav posebno. Opis načina proračuna potrebne pomoćne energije podsustava nalazi se na mjestima gdje se opisuju i gubici toplinske energije pojedinih sustava i podsustava. Ukupna potrebna energija za pogon pomoćnih sustava je zbroj potrebnih količina pomoćne energije za sve sustave:

$$Q_{aux} = W_{H,aux} + W_{C,aux} + W_{Ve,aux} \quad [\text{kWh}] \quad (11.188)$$

gdjesu:

- $W_{H,aux}$  - godišnja potrebna pomoćna energija za sustav grijanja [kWh]
- $W_{C,aux}$  - godišnja potrebna pomoćna energija za sustav hlađenja [kWh] i
- $W_{Ve,aux}$  - godišnja potrebna pomoćna energija za sustav hlađenja [kWh].

Tako će se za sustav grijanja, energija pomoćnih sustava izračunati posebno za podsustav izmjene toplinske energije u prostoru ( $W_{H,em,aux}$ ), podsustav razvoda toplinske energije ( $W_{H,dis,aux}$ ) te podsustav izvora (proizvodnje) toplinske energije, ( $W_{H,gen,aux}$ ). U podsustavu izmjene toplinske energije u prostoru, energija pomoćnih sustava koristi se najčešće u obliku električne energije za pogon ventilatora koji omogućuju izmjenu topline (u ventilatorskim konvektorima), pogon ventila i sustava regulacije, dok u podsustavu razvoda potrebna energija pomoćnih sustava služi najčešće za pogon cirkulacijskih crpki. Ukupna potrebna energija za podsustav grijanja ( $W_{H,aux}$ ) bit će zbroj izračunatih pomoćnih energija ovih podsustava.

Jedan dio pomoćne energije sustava, kao što je to i s dijelom toplinskih gubitaka sustava, može se rekuperirati i iskoristiti za grijanje i/ili pripremu potrošne tople vode. Pritom se rekuperirana energija može podijeliti na dio pomoćne energije koji se može iskoristiti za grijanje prostora unutar zgrade i dio pomoćne energije koji se iskorištava neposredno u pripadajućem podsustavu (npr. toplina koju proizvodi crpka u podsustavu razvoda iskorištava se dijelom za grijanje vode u cijevima podsustava, a dijelom se s površine crpke odaje na zrak u prostoru). Iznos pomoćne energije koja se može iskoristiti unutar zgrade potrebno je ubrojiti u unutarnje toplinske dobitke zgrade, nakon čega treba ponoviti proračun potrebne godišnje korisne toplinske energije za grijanje, kako je to već opisano u poglavlju koje govori o proračunu potrebne toplinske energije za grijanje i pripremu PTV-a (prema HRN EN ISO 13790).

### 11.5.13. Godišnja isporučena energija zgradi $E_{del}$ prema HRN EN 15316, HRN EN 15241, HRN EN 15243

Prema *Pravilniku o energetska certificiranju zgrada* (NN 36/11) godišnja isporučena energija zgradi definirana je kao energija dovedena tehničkim sustavima zgrade tijekom jedne godine za pokrivanje energetskih potreba za grijanje, hlađenje, ventilaciju, pripremu potrošne tople vode, rasvjetu i pogon pomoćnih sustava.

Izračunava se prema sljedećem izrazu:

$$E_{\text{del}} = Q_H + \frac{Q_C}{COP} + Q_{Ve} + E_L + Q_{\text{aux}} - E_{\text{obnov}} - E_{\text{pov}} \quad [\text{kWh}] \quad (11.189)$$

gdje su:

- $Q_H$  - godišnja potrebna toplinska energija za grijanje i pripremu PTV [kWh]
- $Q_C$  - godišnja potrebna energija za hlađenje [kWh]
- $Q_{Ve}$  - godišnja potrebna energija za ventilaciju [kWh]
- $E_L$  - godišnja potrebna energija za rasvjetu [kWh]
- $Q_{\text{aux}}$  - godišnja potrebna energija za rad pomoćnih sustava [kWh]
- $E_{\text{obnov}}$  - toplinska energija iz obnovljivih izvora dovedena odgovarajućim sustavom (npr. sunčanim kolektorima) [kWh]
- $E_{\text{pov}}$  - toplinska energija vraćena sustavom za regeneraciju/rekuperaciju [kWh] i
- $COP$  - faktor (orijentacijski  $COP \approx 3$ ).

Specifična vrijednost izražena po jedinici korisne površine iznosi:

$$\frac{E_{\text{del}}}{A_K} \quad [\text{kWh/m}^2] \quad (11.190)$$

gdje je:

- $A_K$  - ploština korisne površine zgrade [ $\text{m}^2$ ].

#### 11.5.14. Godišnja primarna energija $E_{\text{prim}}$

Prema *Pravilniku o energetska certificiranju zgrada* (NN 36/10) godišnja primarna energija dovedena zgradi jest računski određena količina energije za potrebe zgrade tijekom jedne godine koja nije podvrgnuta nijednom postupku pretvorbe i računa se za svaki pojedini izvor energije koji se dovodi zgradi. Godišnja primarna energija izračunava se uz pomoć faktora pretvorbe koji uzima u obzir vrstu izvora energije prema sljedećem izrazu:

$$E_{\text{prim}} = \sum_i E_i e_{p_i} \quad [\text{kWh}] \quad (11.191)$$

gdje su:

- $E_i$  - godišnja isporučena energija od i-tog izvora energije [kWh] i
- $e_{p_i}$  - faktor primarne energije za pojedini i-ti izvor energije prema tablici 11.24, uzima u obzir sve gubitke energije prilikom pretvorbe i transporta energije izvan zgrade.

**Tablica 11.26 - Faktori primarne energije prema *Pravilniku o energetska certificiranju zgrada* (NN 36/10)**

Izvor energije		Faktor primarne energije $e_p$
<b>Gorivo</b>	Lako loživo ulje	1,1
	Zemni plin	1,1
	Ukapljeni plin	1,1
	Kameni ugljen	1,1
	Mrki ugljen	1,2
	Drvo	0,2
<b>Lokalna/daljinska toplina iz kogeneracije</b>	Obnovljiva goriva	0
	Fosilno gorivo	0,7
<b>Lokalna/daljinska toplina iz kotlovnice</b>	Obnovljiva goriva	0,1
	Fosilno gorivo	1,3
<b>Struja</b>		3,0 (2,0 pri korištenju akumulacijskih sustava grijanja)

### 11.5.15. Godišnja emisija CO<sub>2</sub>

Godišnja emisija CO<sub>2</sub>, izračunava se koristeći faktore emisije CO<sub>2</sub> prema *Pravilniku o energetskom certificiranju zgrada* (NN 36/10) tako da se godišnja potrošnja pojedinog goriva ili količina energije dobivena od pojedinog izvora energije ,pomnoži s pripadajućim faktorom emisije (tablica 11.27).

**Tablica 11.27 - Faktori emisije CO<sub>2</sub> u ovisnosti o izvoru energije prema *Pravilniku o energetskom certificiranju zgrada* (NN 36/10)**

Izvor energije	Po jedinici goriva	Po jedinici energije
Zemni plin	1,9 kg/m <sup>3</sup> *	0,20 kg/kWh
Ukapljeni naftni plin	2,9 kg/kg	0,215 kg/kWh
Ekstra lako loživo ulje	2,6 kg/l	0,265 kg/kWh
Lako loživo ulje	3,2 kg/kg	0,28 kg/kWh
Daljinsko grijanje	0,33 kg/kWh	0,33 kg/kWh
Električna energija	0,53 kg/kWh	0,53 kg/kWh
Mrki ugljen (domaći)	1,5 kg/kg	
Mrki ugljen (strani)	1,88 kg/kg	
Lignit (domaći)	1,0 kg/kg	

\* Volumen plina pri temperaturi 15 °C i tlaku 1,01325 bar.

## Reference

- [11.1] Petrić, H., *KOGEN – Program kogeneracije*, EIHP 1998.
- [11.2] LifeCroCHP *Sustainable development of Croatian capacity in CHP sector*, <http://powerlab.fsb.hr/lifecrochp>, CTT – FSB, Zagreb, 2004.
- [11.3] Boyce, M. P., *Handbook for Cogeneration and Combined Cycle Power Plants*, ASME 2001.
- [11.4] Suttor, W., *Blockheizkraftwerke – Ein Leitfaden für den Anwender*, 7. Auflage, FIZ Karlsruhe 2009.
- [11.5] Pehnt, M., Cames, M., et al., *Micro Cogeneration - Towards Decentralized Energy Systems*, Springer 2006.
- [11.6] *Catalog of CHP Technologies, US EPA – CHP Partnership*, [www.epa.gov/chp/basic/catalog.html](http://www.epa.gov/chp/basic/catalog.html), 2008.
- [11.7] HEGEL project, *Developing, demonstrating and comparing three high efficiency micro-polygeneration plants - The benefits of cogeneration*, [www.hegelproject.eu](http://www.hegelproject.eu), 2009.
- [11.8] Kerr, T., *Cogeneration and District Energy: Sustainable energy technologies for today...and tomorrow*, IEA eport, [www.iea.org](http://www.iea.org), 2009.





## 12. TERMOGRAFIJA

### 12.1. Termodinamičke osnove

#### 12.1.1. Toplinsko zračenje

Svako tijelo čija je temperatura iznad apsolutne nule, odašilje (emitira) elektromagnetske valove koji nastaju uslijed titranja elektrona oko jezgre atoma. Prijenos energije zračenjem odvija se u izuzetno malim, nedjeljivim iznosima energije koji se nazivaju fotoni ili kvanti. Zbog toga što se energija prenosi u tako malim iznosima, može je se promatrati kao kontinuirani spektar elektromagnetskih valova koje tijelo emitira.

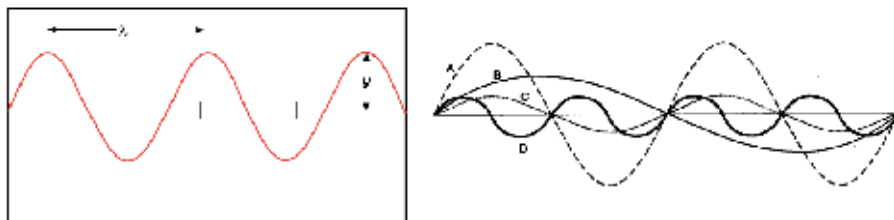
Za širenje elektromagnetskih valova, nije potreban nikakav materijalni posrednik (za razliku od mehaničkih valova). To je osnovna razlika između prijenosa energije zračenjem i druga dva mehanizma prijenosa energije: provođenjem i konvekcijom. Naime, i provođenje i konvekcija mogu se odvijati isključivo uz postojanje materijalnog posrednika - tvari. Priroda je elektromagnetskih valova dualna: valna (prema Maxwellovoj teoriji) i čestična (prema Planckovoj teoriji). Svaki val može se opisati frekvencijom, amplitudom, valnom duljinom, brzinom itd. Brzina širenja vala ovisi o njegovoj valnoj duljini i frekvenciji i računa se prema jednadžbi:

$$c = \lambda \cdot \nu \quad [\text{m/s}] \quad (12.1)$$

pri čemu je:

- $c$  - brzina vala, m/s
- $\lambda$  - valna duljina, m
- $\nu$  - frekvencija, 1/s

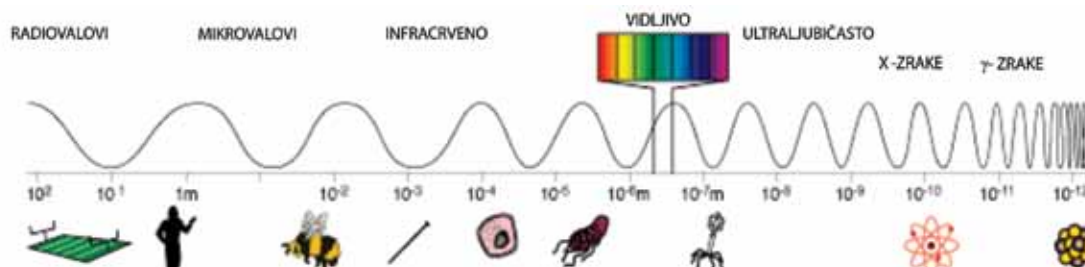
Za valnu duljinu se u literaturi kao mjerna jedinica češće upotrebljava jedinica mikrometar,  $\mu\text{m}$ .



Slika 12.1 - Lijevo - karakteristike vala; desno - valovi različitih valnih duljina i amplituda

Brzina širenja vala ovisna je o mediju kroz koji se val širi, te je time i promjenljiva veličina. Frekvencija vala neovisna je o vrsti medija i ona je konstantna. Brzina širenja vala u vakuumu jednaka je brzini širenja svjetlosti i iznosi  $2,998 \cdot 10^8$  m/s.

Prijenos energije zračenjem odvija se na svim valnim duljinama, tj. na cijelom spektru. Na slici 12.2. prikazan je elektromagnetski spektar s valnim duljinama izraženim u metrima.



Slika 12.2 - Elektromagnetski spektar

Toplinski efekti uglavnom su vezani za područje valnih duljina od približno  $0,1 \mu\text{m}$  do oko  $100 \mu\text{m}$ . Dakle, onaj dio spektra koji je vezan za izmjenu topline obuhvaća djelomično ultraljubičasto i u potpunosti vidljivo i infracrveno zračenje. Granice između pojedinih područja u literaturi se mogu razlikovati kao i nazivlje za pojedina područja elektromagnetskog spektra.

### 12.1.1.1. Vidljivi i infracrveni dio spektra

Vidljiva svjetlost je elektromagnetski val. Područje vidljivog dijela spektra proteže se na valnim duljinama od  $0,4$  do  $0,7 \mu\text{m}$  (na slici od  $400$  do  $700$  nanometara). Svjetlost različitih frekvencija/valnih duljina ljudsko oko raspoznaje kao različite boje.



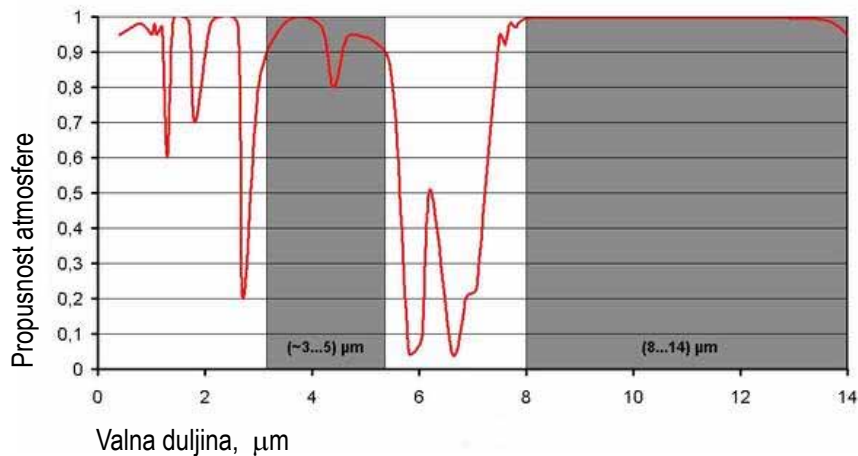
Slika 12.3 - Vidljivi dio spektra

Područje infracrvenog dijela spektra nalazi se odmah pored vidljivog dijela spektra. Područje infracrvenog zračenja može se podijeliti na nekoliko dijelova s posebnim nazivima:

- blisko infracrveno:  $0,7 - 1,1 \mu\text{m}$
- kratkovalno infracrveno:  $1,1 - 2,5 \mu\text{m}$  (SWIR – engl. *Short Wave Infra Red*)
- srednjovalno infracrveno:  $2,5 - 7,0 \mu\text{m}$  (MWIR – Medium Wave Infra Red)
- dugovalno infracrveno:  $7,0 - 15 \mu\text{m}$  (LWIR – Long Wave Infra Red)
- vrlo daleko dugovalno infracrveno:  $>15 \mu\text{m}$  (VLWIR – Very Long Wave Infra Red).

U termografskim uređajima najčešće se koriste dva područja IC dijela spektra: SW - područje kratkih valova (blisko infracrveno zračenje) i LW - područje dugih valova (daleko infracrveno zračenje).

Zašto se koriste upravo ova dva područja, vidljivo je ako se analizira slika 12.4. Propusnost atmosfere je u području ovih valnih duljina relativno dobra. U području između  $5$  i  $8$  mikrometara propusnost je jako slaba, pa termografska kamera koja bi radila u ovom području, ne bi zabilježila zračenje ciljanog objekta, nego zračenje atmosfere između objekta i kamere.



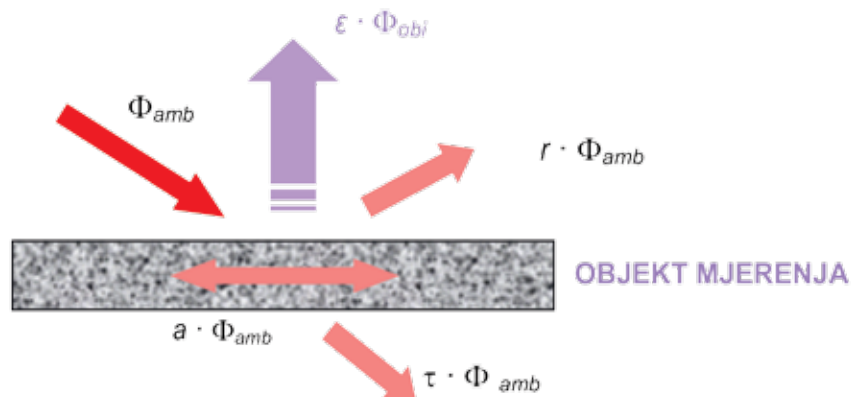
Slika 12.4 - Propusnost atmosfere za infracrveno zračenje u odabranom dijelu spektra

### 12.1.1.2. Svojstva tijela značajna za zračenje

U općem slučaju sveukupno zračenje koje dolazi s površine tijela može se sastojati od reflektiranog i propuštenog zračenja (izvor toga zračenja su objekti u okolini) i vlastitog emitiranog zračenja (izvor zračenja je promatrano tijelo). Određivanje iznosa pojedinih zračenja zahtijeva prije svega poznavanje značajki tijela bitnih za zračenje.

Toplinsko zračenje ( $\Phi_{amb}$ ) koje iz okoline dopijeva na površinu objekta djelomično će se reflektirati ( $r \cdot \Phi_{amb}$ ), djelomično apsorbirati ( $a \cdot \Phi_{amb}$ ), a djelomično propustiti ( $d \cdot \Phi_{amb}$ ).

#### OBJEKTI U OKOLINI OBJEKTA MJERENJA - AMBIJENT



Slika 12.5 - Raspodjela upadnog zračenja

Prema zakonu o održanju energije (I. zakon termodinamike) slijedi:

$$\Phi_{amb} = a \cdot \Phi_{amb} + r \cdot \Phi_{amb} + d \cdot \Phi_{amb} \quad [W] \quad (12.2)$$

pri čemu je:

- $\Phi_{amb}$  - zračenje iz okoliša koje prispijeva na promatrani objekt, W
- $a$  - faktor apsorpcije (upijanja),
- $r$  - faktor refleksije,
- $d$  - faktor dijatermije (propusnosti).

Dijeljenjem jednadžbe s iznosom dozračene energije ( $\Phi_{amb}$ ) slijedi:

$$1 = a + r + d \quad (12.3)$$

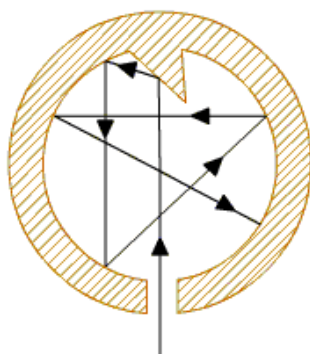
Faktor apsorpcije  $a$  govori o tome koliki se dio od energije dozračene na površinu tijela apsorbira (upija), faktor refleksije  $r$  govori o tome koliki se dio s površine tijela reflektira, a faktor dijatermije  $d$  kaže koliki se dio dozračene energije propusti kroz tijelo. Zračenje koje tijelo emitira samo uslijed svoje temperature - vlastito emitirano zračenje ( $\epsilon \cdot \Phi_{obj}$ ) ovisi samo o promatranom tijelu i ne ovisi o stanju njegove okoline. Izračunavanje vlastitog emitiranog zračenja počiva na temeljnim zakonima zračenja.

### 12.1.1.3. Crno tijelo

Za bolje razumijevanje izmjene topline zračenjem između realnih tijela u razmatranje se uvodi koncept crnog tijela. Pod pojmom crnog tijela podrazumijeva se idealizirano tijelo koje služi kao etalon pri analizi ponašanja realnih tijela. Za energijsku analizu su značajna sljedeća svojstva crnog tijela:

- crno tijelo u potpunosti apsorbira cjelokupno upadno zračenje svih valnih duljina i svih smjerova
- pri odabranoj temperaturi i valnoj duljini nijedno tijelo ne može emitirati više zračenja nego crno tijelo
- intenzitet zračenja crnog tijela neovisan je o smjeru, tj. crno tijelo je difuzni emiter.

Premda u prirodi ne postoji crno tijelo, neke se tvari po svojim svojstvima približavaju svojstvima crnog tijela. To su na primjer karborundum, crno zlato i inje. Za potrebe kalibracije uređaja za infracrvenu termografiju, moguće je umjetno napraviti tijelo koje će po svojstvima biti blisko svojstvima idealnog crnog tijela. Primjer takvog tijela je otvor izotermne šupljine.



Slika 12.6 - Otvor izotermne šupljine kao crno tijelo

Zračenje iz okoliša, koje kroz otvor uđe u izotermnu šupljinu, će, uslijed vrlo velikog broja refleksija (a svaka refleksija istovremeno znači i djelomičnu apsorpciju) unutar šupljine, biti gotovo u potpunosti apsorbirano. To znači da će zračenje koje napušta otvor izotermne šupljine biti isključivo vlastito emitirano zračenje, odnosno da je refleksija jednaka nuli.

#### Apsorpcija crnog tijela

Da bi otvor izotermne šupljine bio u skladu s prethodno definiranim svojstvima crnog tijela, unutar šupljine treba omogućiti što veći broj refleksija upadne toplinske zrake. Veliki broj refleksija znači i veliki broj uzastopnih djelomičnih apsorpcija, te će konačno intenzitet toplinske zrake koja nakon niza refleksija i apsorpcija napušta otvor izotermne šupljine, biti približno jednak nuli. Pri tome treba voditi računa o geometrijskim značajkama same izotermne šupljine: što je otvor šupljine manji u odnosu na njezinu dubinu, bit će veći i broj refleksija te će intenzitet reflektirane zrake kroz otvor šupljine težiti nuli ( $a = 1$ ,  $r = 0$ ).

#### Emisija crnog tijela

Pod prethodno opisanim uvjetima zračenje će koje napušta otvor izotermne šupljine biti isključivo funkcija temperature izotermne šupljine i odgovarat će zračenju crnog tijela za tu temperaturu.

### 12.1.1.4. Realna tijela

Realna tijela se svojim ponašanjem razlikuju od ponašanja crnog tijela. Za realna tijela u općem slučaju vrijedi jednačba (12.3). To znači da su faktori apsorpcije, refleksije i propusnosti realnih tijela uvijek veći ili jednaki nuli i manji od 1. Za većinu realnih tijela može se uzeti da je faktor propusnosti za toplinsko zračenje približno jednak nuli, što jednačbu (12.3) svodi na oblik:

$$1 = a + r \quad (12.4)$$

Ovi faktori su za realna tijela ovisni o stanju njihove površine, temperaturi i valnoj duljini.

### 12.1.1.5. Osnovni zakoni zračenja

Planckova raspodjela intenziteta zračenja crnog tijela

Intenzitet vlastitog emitiranog zračenja (spektralna raspodjela) crnog tijela ( $\text{W/m}^3$ ) funkcija je apsolutne temperature i valne duljine i izražava se poznatom Planckovom jednačbom:

$$I_{\lambda,c} = \frac{2 \cdot h \cdot c_0^2}{\lambda^5 \cdot [\exp(h \cdot c_0 / \lambda \cdot k \cdot T) - 1]} \quad [\text{W/m}^3] \quad (12.5)$$

u kojoj su  $h = 6,6256 \cdot 10^{-34}$  Js i  $k = 1,3805 \cdot 10^{-23}$  J/K Planckova, odnosno Boltzmannova konstanta,  $c_0 = 2,998 \cdot 10^8$  m/s brzina svjetlosti u vakuumu, a  $T$  apsolutna ili termodinamička temperatura crnog tijela (K).

S obzirom da je zračenje crnog tijela difuzno, nakon integracije za čitavi poluprostor dobiva se:

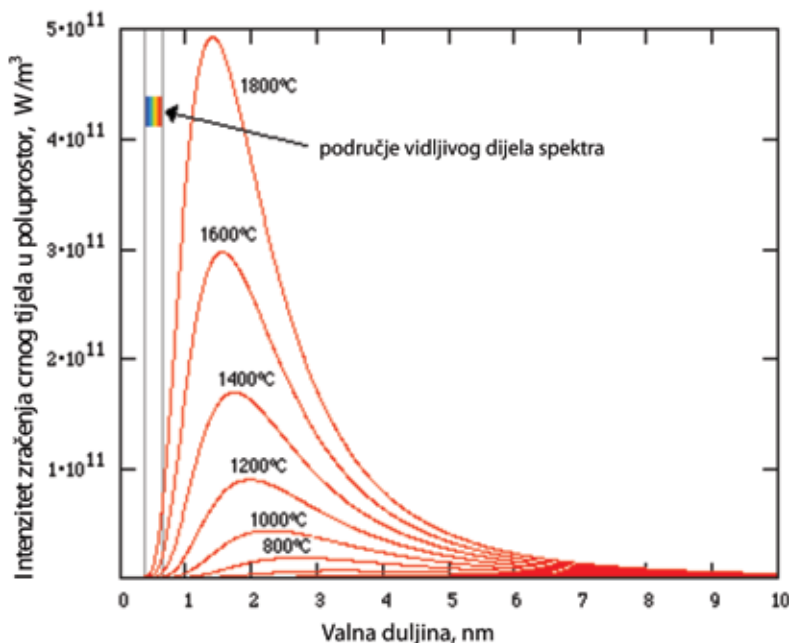
$$E_{\lambda,c} = \frac{C_1}{\lambda^5 \cdot [\exp(C_2 / \lambda \cdot T) - 1]} \quad [\text{W/m}^3] \quad (12.6)$$

pri čemu su:

$$C_1 = 2 \cdot \pi \cdot h \cdot c_0^2 = 3,742 \cdot 10^8 \quad [\text{Wmm}^4/\text{m}^2]$$

$$C_2 = h \cdot c_0 / k = 1,439 \cdot 10^4 \quad [\text{mm K}]$$

prva i druga konstanta zračenja. Jednačba (12.6) poznata je kao Planckova raspodjela, grafički prikaz na slici 12.7.



Slika 12.7 - Spektralna raspodjela emisije crnog tijela

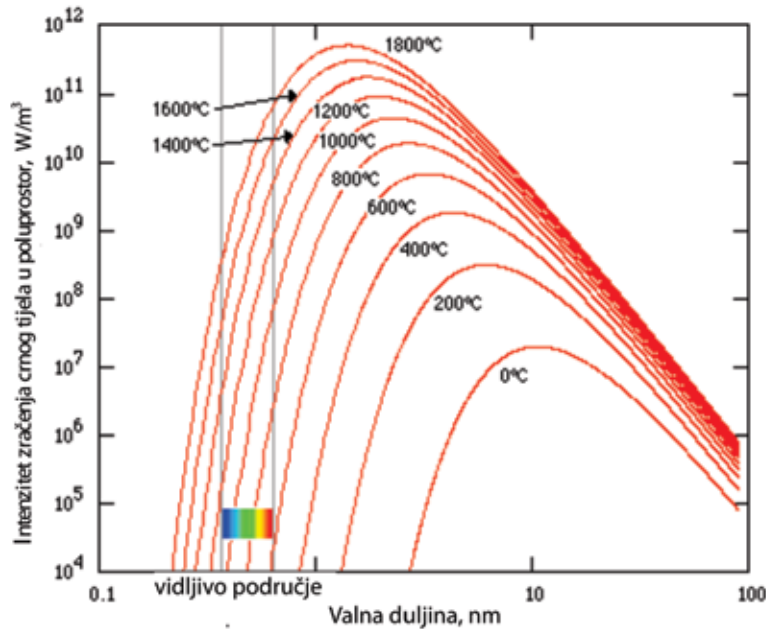
Vlastito emitirano zračenje crnog tijela za odabranu temperaturu ovisno je o valnoj duljini i kontinuirano se mijenja kroz cijeli spektar. S porastom temperature tijela raste i intenzitet emitiranog zračenja.

### Wienov zakon pomaka

Glavnina emitiranog zračenja se s porastom temperature pomiče prema području kraćih valnih duljina. Za svaku odabranu temperaturu može se uočiti lokalni maksimum na odgovarajućoj valnoj duljini  $\lambda_m$ . Određivanje te valne duljine  $\lambda_m$  slijedi iz nužnog uvjeta postojanja ekstrema funkcije  $E_{\lambda,c}$  (Planckova jednadžba), nakon čega se sređivanjem dobiva:

$$\lambda_m = \frac{C_3}{T} = \frac{2897,8}{T}, [\mu\text{m}] \quad (12.7)$$

pri čemu je iznos konstante  $C_3$  (treće konstante zračenja) 2897,8  $\mu\text{m} \cdot \text{K}$ . Ova jednadžba predstavlja Wienov zakon pomaka.



Slika 12.8 - Wienov zakon pomaka

Zanimljivo je uočiti da maksimum zračenja Sunca, ako ga se aproksimira crnim tijelom temperature oko 5800 K, pada u područje vidljivog dijela spektra. Prema jednadžbi (12.7) slijedi da je maksimum  $\lambda_m = 0,517 \text{ mm}$ , točno u sredini vidljivog dijela spektra.

### Stefan-Boltzmannov zakon

Vlastita emitirana energija crnog tijela ovisi samo o njegovoj temperaturi i može se izračunati integracijom jednadžbe (12.6):

$$E_c = \sigma \cdot T^4 \quad [\text{W}/\text{m}^3] \quad (12.8)$$

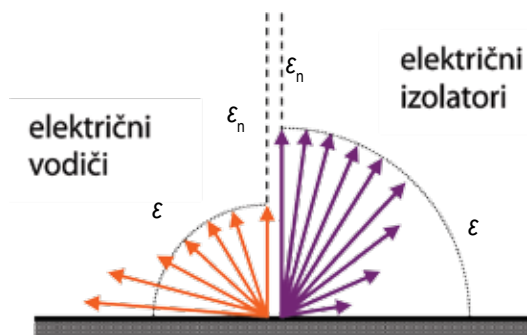
pri čemu je  $\sigma$  Boltzmannova konstanta i iznosi  $5,667 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$ , a  $T$  je apsolutna temperatura u Kelvinima. Ova se jednadžba zove Stefan-Boltzmannov zakon. Realna tijela ne ponašaju se prema zakonima koji vrijede za crno tijelo. Za zadanu temperaturu realno tijelo će emitirati manje zračenja od crnog tijela. Emitirano zračenje realnog tijela računa se prema Stefan-Boltzmannovom zakonu za realna tijela:

$$E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad [\text{W}/\text{m}^3] \quad (12.9)$$

pri čemu je  $\varepsilon$  emisijski faktor površine realnog tijela i ima vrijednost između 0 i 1. Stavljanjem u odnos jednadžbi (12.8) i (12.9) slijedi da je emisijski faktor realnog tijela omjer vlastite emitirane energije realnog tijela pri odabranoj temperaturi i vlastite emisije crnog tijela pri toj istoj temperaturi:

$$\varepsilon = \frac{E(T)}{E_c(T)} \quad (12.10)$$

U literaturi se mogu pronaći vrijednosti emisijskog faktora ovisno o vrsti materijala, stanju njegove površine, temperaturi i području valnih duljina. Osim toga, realna tijela pokazuju ovisnost emisijskog faktora o kutu zračenja plohe.



Slika 12.9 - Ovisnost emisijskog faktora o kutu za električne vodiče i izolatore

Podaci koji se navode u tablicama najčešće se odnose na vrijednost emisijskog faktora u smjeru normale,  $\epsilon_n$ . U tom slučaju se prosječna vrijednost emisijskog faktora (srednja vrijednost za sve smjerove) dobije množenjem vrijednosti navedene u tablicama s korekcijskim faktorom na način prikazan jednadžbama (12.11), (12.12) i (12.13).

$$\epsilon = 1,2 \cdot \epsilon_n \quad \text{za sjajne metalne površine} \quad (12.11)$$

$$\epsilon = 0,95 \cdot \epsilon_n \quad \text{za glatke nemetalne površine} \quad (12.12)$$

$$\epsilon = 0,98 \cdot \epsilon_n \quad \text{za hrapave nemetalne površine} \quad (12.13)$$

Vlastita emisija realnih tijela je funkcija i temperature tijela i emisijskog faktora. Porastom temperature i/ili emisijskog faktora raste iznos vlastite emitirane energije i obrnuto. U tablici 12.1 prikazane su vrijednosti emisijskog faktora za neke karakteristične građevinske materijale.



Tablica 12.1 - Emisijski faktori za neke karakteristične građevinske materijale

Vrsta materijala		Temperatura °C	Emisijski faktor $\varepsilon_n$ (9)
Drvo:	bukva	70	0,935
	hrastovina	40	0,9
	smrekovina	100	0,82
Građevni materijali:	azbestne ploče	40	0,96
	asfalt, pločnik	40	0,85 - 0,93
	beton, hrapava površina	0 - 100	0,92 - 0,97
	granit	40	0,44
	sadra, gips	40	0,9
	mramor - polirani - brušeni	40 -	0,93 0,545
	žbuka	40	0,93
Guma:	tvrd, crna	40	0,95
	mekana siva	40	0,86
Krovni materijali:	alumijske površine	40	0,22
	azbestni cement	1400	0,65
	bitumenski filc	1400 - 2800	0,89
	pokrovne ploče: smeđe zelene	1400 1400	0,8 0,87
Opeka:	žuta, vatrootporna	540 1100	0,94 0,98
	pročeljna, crvena	20	0,92
	pročeljna, žuta	20	0,72
	vatrootporna	17	0,87
	P.V.C.		0,91 - 0,93
Staklo:	glatko, ravno	0 - 200	0,92 - 0,95
	polirane ploče	20	0,94

### Kirchhoffov zakon

Faktor apsorpcije ovisi o temperaturi promatranog tijela i stanju njegove površine, ali i o valnoj duljini toplinske zrake (zapravo intervalu valnih duljina) koja upada na površinu tijela. Faktor apsorpcije pokazuje koliki će dio zračenja koje upada na površinu tijela (izvor je zračenja neko tijelo iz okoliša temperature  $T'$ ) apsorbirati strano promatrano tijelo (temperature  $T$ ). Može se dokazati da su faktori apsorpcije i faktori emisije međusobno jednaki, ako se radi o vremenski nepromjenljivoj temperaturi tijela (stacionarno stanje), tj.:

$$a = \varepsilon \quad (12.14)$$

Jednadžba (12.14) opisuje Kirchhoffov zakon toplinskog zračenja. On iskazuje da su materijali koji su dobri emiteri toplinskog zračenja ujedno i dobri apsorberi i obrnuto.

## 12.2. Temperatura i mjerenje temperature

### 12.2.1. Uvod

Temperatura je fizikalna veličina koja odražava termodinamičko stanje materije. Molekularna teorija temperaturu dovodi u vezu s brzinom gibanja atoma i molekula, tj. višoj temperaturi odgovara veća prosječna kinetička energija čestica i obrnuto. Prema međunarodnom sustavu jedinica (SI) mjerna jedinica za temperaturu je Kelvin (K). Definira se kao 273,16-ti dio termodinamičke temperature trojne točke vode. Na toj jedinici temelji se osnovna temperaturna mjerna skala koja započinje s tzv. apsolutnom nulom (0 K), pri kojoj prema molekularnoj teoriji zamire svako gibanje čestica. Razlike temperature mjere se stupnjevima Celzija (°C) na Celzijevoj temperaturnoj skali. Jedan stupanj Celzija po iznosu je jednak Kelvinu.

Temperatura je izuzetno važno svojstvo o kojemu ovisi većina događaja u okolini. Tjelesna temperatura živih organizama uvjetuje njihove životne funkcije, temperatura prostorije određuje osjećaj lagodnosti, a temperatura atmosfere vremenske prilike, temperatura je presudan parametar odvijanja mnogih kemijskih i fizikalnih procesa itd. Stoga je jasno da je mjerenje temperature važna metrološka disciplina, koja omogućuje praćenje tih događaja, a često i njihovu kontrolu.

### 12.2.2. Mjerenje temperature

Iako je temperatura jedna od najčešće mjerenih fizikalnih vrijednosti, izravno mjerenje temperature nije moguće. Ono se može temeljiti na termodinamičkoj definiciji toplinske ravnoteže koja nastupa izjednačavanjem temperature. Pri tome se koriste instrumenti za mjerenje temperature čiji se osjetnik stavlja u dodir s mjerenim objektom kako bi s njime došao što bliže toplinskoj ravnoteži, te se tada na pokaznom dijelu instrumenta očitava neka mjerna veličina koju se dovodi u vezu s temperaturom. To može, npr. biti duljina stupca žive u živinom termometru nastala rastezanjem (povećanjem volumena) žive u osjetniku termometra, ili veličine električnog otpora u otporničkom termometru. U oba slučaja je mjerena veličina uspostavljena približnim izjednačavanjem temperatura osjetnika i objekta. Treba naime naglasiti da do potpunog izjednačavanja temperature ne može teorijski doći u konačnom vremenu, no u praktičnoj primjeni bit će dovoljno približiti se u što boljoj mjeri stanju toplinske ravnoteže. Opisane okolnosti vrijede za metode tzv. kontaktnog mjerenja temperature. Temperaturu je, međutim, moguće mjeriti i bez kontakta s mjerenim objektom. Takve se metode mjerenja najčešće temelje na mjerenju energije zračenja površine tijela, ali ima i drugih poput, npr. akustičke, gdje se mjeri brzina širenja zvuka koja je ovisna o temperaturi medija. Kod beskontaktnih metoda mjerenja temperature, načelno nije potrebno postizati toplinsku ravnotežu mjernog objekta i osjetnika mjernog instrumenta.

#### 12.2.2.1. Kontaktno i beskontaktno mjerenje temperature

Kako je upravo spomenuto, razlikuju se dva načelno različita pristupa mjerenju temperature:

- Kontaktno mjerenje temperature
- Beskontaktno mjerenje temperature.

Oba načina danas su u širokoj praktičnoj primjeni. Pri tome su egzaktna kontaktna metoda znatno starije i započinju Galilejevim izumom termometra, dok se beskontaktna metoda mjerenja energije zračenja temelje na istraživanjima Herschela, Boltzmannova i Plancka. Oba načina imaju svoje područje primjene, a odlikuju se izvjesnim prednostima i nedostacima.

Kontaktno mjerenje temperature, kako to sam naziv pokazuje, temelji se na uspostavi dodira između mjerenog objekta i osjetnika temperature mjernog uređaja. Već sama ta činjenica upućuje na ograničenje primjene takvih mjernih metoda na objekte kojima je moguće pristupiti. U nekim situacijama to neće biti moguće zbog fizičke nedostupnosti objekta ili zbog opasnosti pri dodiru (npr. visoki napon). Kontaktno mjerenje načelno podrazumijeva mjerenje temperature ograničenog područja na mjernom objektu. Ako se ne može smatrati da je objekt jednolike temperature, bit će potreban veći broj mjerenja ili nekoliko mjernih osjetnika da bi se odredila raspodjela temperature ili njezina srednja vrijednost.

U vezi s već spomenutom potrebom za uspostavom toplinske ravnoteže između mjerenog objekta i osjetnika temperature, javlja se nekoliko poteškoća. Točnost mjerenja ovisit će o postignutom stupnju toplinske ravnoteže, a on je ovisan o mnogim

faktorima, prije svega o toplinskim kapacitetima objekta i osjetnika i kvaliteti njihova kontakta. U idealnom slučaju toplinski kapacitet mjerenog objekta je beskonačno velik u odnosu na mjerni osjetnik. Tada će pri dodiru temperatura osjetnika težiti temperaturi objekta, tj. postići će se najtočnije mjerenje. To je razlog da uvijek treba nastojati da masa osjetnika temperature bude zanemariva u odnosu na masu objekta. Ako to nije tako, u dodiru s osjetnikom temperature neminovno dolazi do remećenja toplinskog stanja objekta, a time i do promjene njegove temperature, što rezultira pogrešnim rezultatom mjerenja. Kvaliteta kontakta osjetnika i objekta također ima važnu ulogu pri mjerenju temperature. U tome smislu može se razlikovati kontakt uranjanjem u mjereni objekt i površinski kontakt. Uranjanje načelno daje pouzdanije rezultate, ako se može smatrati da je objekt jednolike temperature, dok se kod mjerenja temperature površine mogu javiti poteškoće, ako osjetnik ne prijanja dovoljno dobro uz mjerni objekt. Iz izloženog je jasno da je kontaktnim mjerenjem moguće određivati kako temperaturu površine nekog objekta, tako i njegove unutrašnjosti, ako je dopušteno uroniti osjetnik temperature.

Zaključno treba reći da unatoč navedenim ograničenjima, kontaktno mjerenje temperature daje pouzdane rezultate u mnogim primjenama gdje su izbjegnute spomenute poteškoće. Upravo se kontaktnim mjernim metodama baždare etalonski termometri kakvi služe za umjeravanje svih vrsta uređaja za mjerenje temperature. Pri takvim baždarnim postupcima može se računati s pouzdanostima unutar nekoliko tisućinki Kelvina, što nije niti približno moguće postići beskontaktnim metodama mjerenja temperature.

Beskontaktno mjerenje temperature služi određivanju temperature objekata bez fizičkog kontakta s njima. Ovdje će biti riječi samo o uređajima čiji se rad temelji na određivanju intenziteta zračenja objekata kao što su bolometri, pirometri i termografski uređaji. Oni omogućuju mjerenje temperature na proizvoljno udaljenim objektima, ako su ispunjeni određeni uvjeti, od kojih je najvažniji onaj da objekt mjerenja mora biti "vidljiv" osjetniku mjernog uređaja.

Na rezultat beskontaktnog mjerenja temperature utjecat će neki faktori koje kod kontaktnog mjerenja nije trebalo uzimati u obzir, a to su emisijska svojstva objekta (emisija, refleksija, propusnost), svojstva medija koji se nalazi između objekta i mjernog uređaja (atmosfera, prozirni zasloni itd.) i utjecaje okoline. Samo točnim uzimanjem u obzir tih parametara, moći će se dobiti pouzdan rezultat mjerenja temperature. I u tom slučaju će točnost mjerenja temperature (razlika mjerene i stvarne vrijednosti) kod beskontaktnog mjerenja, rijetko kada biti bolja od desetinke Kelvina jer to ne mogu osigurati svojstva samog mjernog uređaja.

Beskontaktno mjerenje temperature logično je ograničeno samo na mjerenje temperature površine mjerenog objekta, dok će se o temperaturi unutrašnjosti objekta podaci moći eventualno izračunati ako su poznata potrebna svojstva materijala objekta i njegova toplinska interakcija s okolinom.

Uređaji za beskontaktno mjerenje temperature prihvaćaju elektromagnetsko zračenje iz svoga vidnog polja i svojom optikom usmjeravaju ga na osjetnik u kojemu se stvara mjerni signal. Pri tome veličina vidnog polja ovisi o svojstvima optike i udaljenosti mjernog objekta. Stoga će mjerni signal odgovarati prosječnoj vrijednosti energije zračenja površine vidnog polja, a time će i izmjerena vrijednost temperature biti prosječna temperatura površine vidnog polja ako na njemu temperatura nije jednoliko raspoređena. Poseban slučaj predstavljaju termografski uređaji, koji vidno polje pretražuju po segmentima (pikselima) te mjere zračenje, odnosno određuju temperaturu svakog segmenta posebno, pa je stoga mjerni rezultat termografskog mjerenja razdioba temperature na površini objekata u vidnom polju termografskog uređaja.

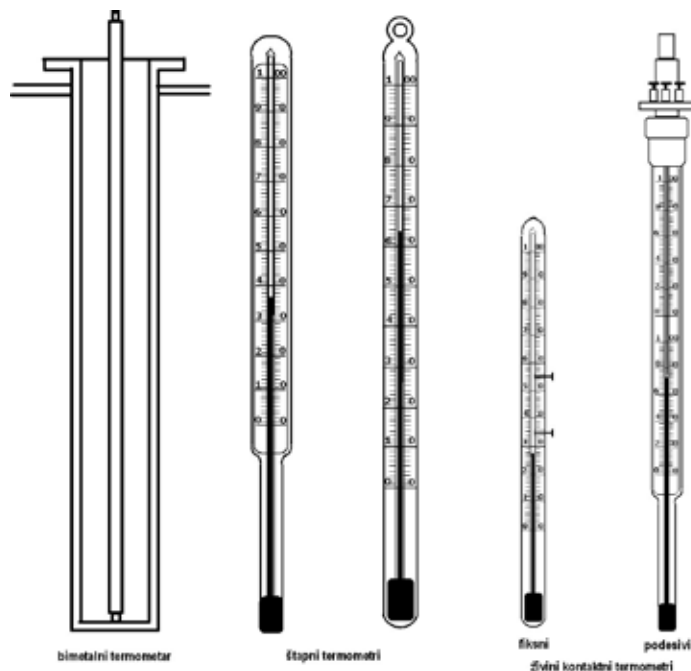
#### 12.2.2.2. Vrste termometara

Termometrom u širem smislu treba smatrati svaki uređaj za mjerenje temperature, no u užem smislu se termometrom može nazvati instrument za kontaktno mjerenje temperature. Tada se može razlikovati sljedeće vrste termometara:

- termometri rastezanja
- termoparovi
- otpornički termometri
- poluvodički termometri.

### Termometri rastezanja

Termometri rastezanja koriste efekt promjene duljine ili volumena neke tvari u ovisnosti o temperaturi. Neki primjeri termometara rastezanja prikazani su na sl. 12.10.



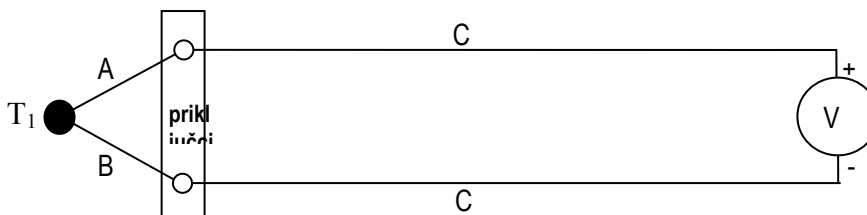
Slika 12.10 - Primjeri termometara rastezanja

Bimetalni termometri za prikaz mjerne veličine koriste razliku u linearnom koeficijentu rastezanja dvaju različitih metala. Mogu biti izvedeni u obliku ravnih ili spiralnih traka koje doživljavaju deformaciju prilikom promjene temperature ili npr. kao štap u cijevi, kako je to prikazano na sl. 12.10. Deformacija bimetala prikazuje se kazaljkom na temperaturnoj skali.

Štapni termometri građeni su redovito od stakla. Osjetnik temperature spremnik je ispunjen mjernom tekućinom (živa, alkohol ili sl.) na koji se nastavlja kapilara s temperaturnom skalom. Promjena temperature osjetnika uzrokuje promjenu volumena mjerne tekućine koja se očituje u promjeni duljine stupca u kapilari što se mjeri na temperaturnoj skali. Štapni termometri punjeni živom ili nekim drugim tekućim metalom ili slitinom, mogu poslužiti i kao tzv. kontaktni termometri za kontrolu signalnih ili regulacijskih strujnih krugova. Ovdje treba spomenuti da je u Europskoj uniji, ali i u nekim drugim zemljama, zabranjena uporaba termometara i drugih instrumenata punjenih živom, pa se umjesto nje koriste slitine drugih metala, npr. galinstan što je legura galija, indija i kositra.

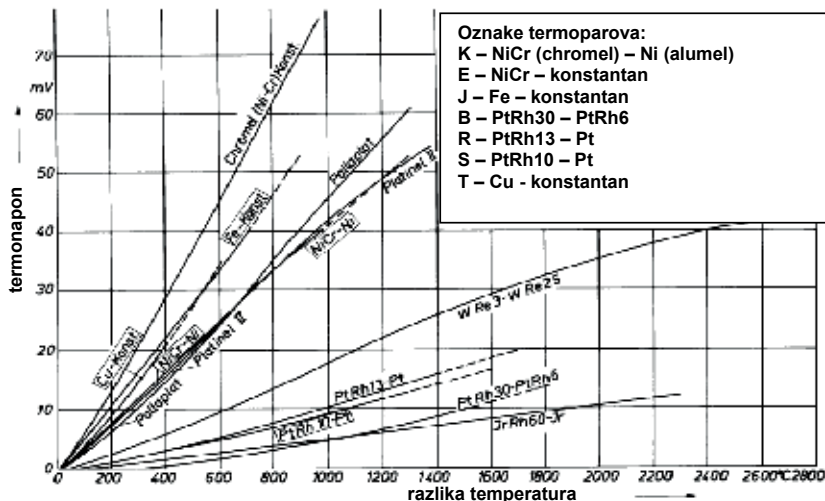
### Termoparovi

Termoparovi svoju funkciju u mjerenju temperature ispunjavaju u skladu sa Seebeckovim efektom prema kojemu se u dva različita materijala A i B generira električni napon, ovisan o razlici temperature  $T_1$ , njihovog spoja i usporedbene temperature  $T_2$  prema sl. 12.11.



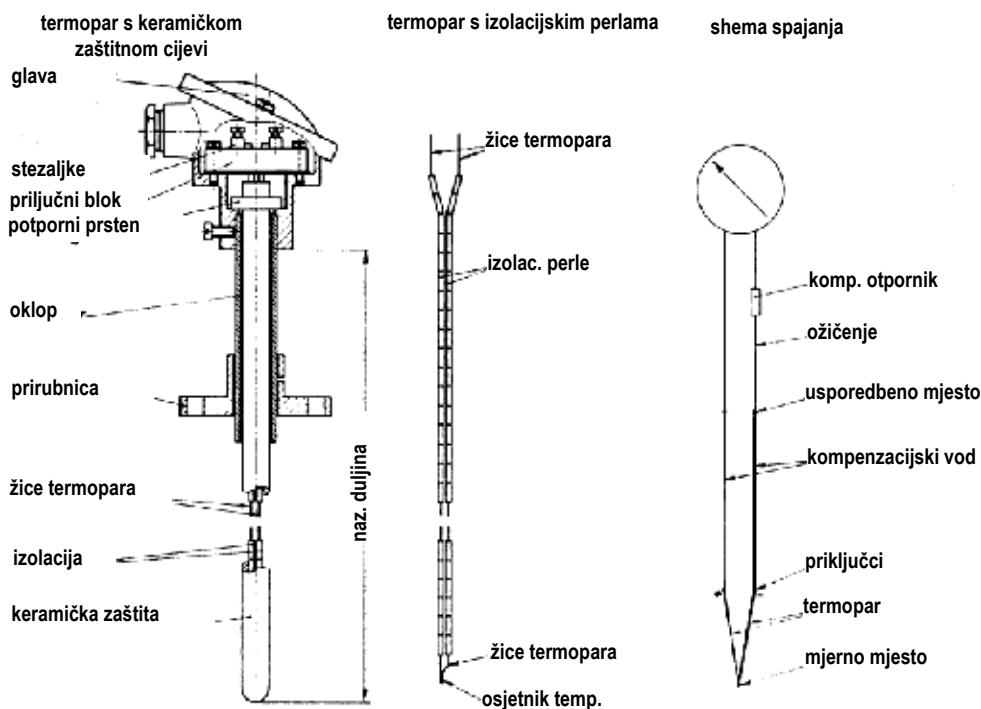
Slika 12.11 - Shema spajanja termopara

Napon se mjeri voltmetrom V, spojenim kompenzacijskim vodovima C i koji je uobičajeno već opskrbljen temperaturnom skalom. Ovisnost termonapona o razlici temperatura i približno temperaturno područje primjene prikazano je u dijagramu na sl. 12.12 za uobičajene vrste termoparova.



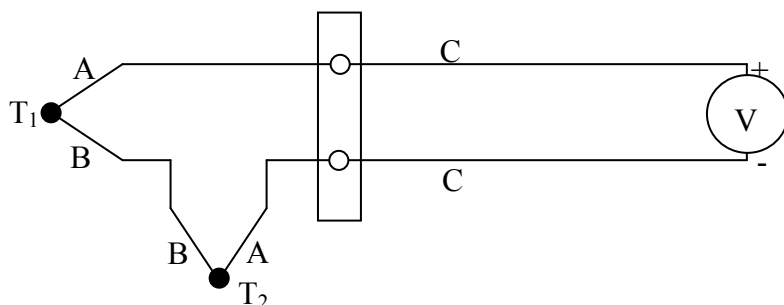
Slika 12.12 - Karakteristike odziva nekih termoparova

Vidi se da su iznosi termonapona vrlo skromni. Najjači odziv daju termoparovi u kojima je jedan krak izrađen od konstantana (slitina bakra, nikla i mangana), i to oko 0,05 mV/K, dok oni za visoke temperature, npr. na bazi platine, daju svega oko 0,015 mV/K. Stoga su za iole preciznija mjerenja potrebni vrlo osjetljivi milivoltmetri. Povećanje termonapona, može se postići povezivanjem istovrsnih termoparova u seriju. Na taj način se dobivaju tzv. termopajlovi (engl.: termopile), kakvi se mogu koristiti za kontaktno mjerenje temperature, a služe i u bolometrima za beskontaktno mjerenje temperature, u mjerilima toplinskog toka itd.



Slika 12.13 - Termometri s termoparom

Na slici 12.13 prikazane su moguće izvedbe termometara s termoparovima. Lijevo je industrijski termometar u zaštitnoj cijevi za visoke temperature, kakav bi se koristio npr. za mjerenje temperature vrućih dimnih plinova. U sredini je jednostavan termopar čije su žice zaštićene samo keramičkim perlama. Takvi se termometri polažu u razna procesna i slična postrojenja na teško dostupna mjesta. Lijevo je shema spajanja termopara za mjerenje pri većoj udaljenosti pokaznog instrumenta od mjernog mjesta. Za mjerenje temperature na površini objekata termoparovi se grade u obliku trake, a za mjerenja u cjevovodima termoparovi se ugrađuju u cijevne uloške. Kod mjerenja koja zahtijevaju veliku točnost, koristi se spoj prema sl. 12.14 s usporedbenom temperaturom  $T_2$  koja je strogo kontrolirana, npr. ledena kupka u kojoj vlada  $0^\circ\text{C}$ .



Slika 12.14 - Shema spajanja termopara s usporedbenom temperaturom

### Otpornički termometri

Otpornički termometri su druga skupina električnih termometara kod kojih se koristi svojstvo materijala da mijenjaju električni otpor u ovisnosti o temperaturi. Promjena otpora s temperaturom nije potpuno linearna, pa se ovisno o potrebnoj točnosti i mjernom opsegu za izračun temperature na temelju izmjerenog otpora, koriste polinomi tipa:

$$R(T) = R_0(1 + AT + BT^2 + C(T - 100)T^3) \quad (12.15)$$

gdje  $R_0$  referentni otpor pri zadanoj temperaturi, a koeficijenti  $A$ ,  $B$  i  $C$  konstante ovisne o vrsti materijala otporničkog osjetnika temperature. Danas se u tehničkoj praksi najčešće koriste otpornički termometri s osjetnikom izrađenim od platine, tako da im je pri  $0^\circ\text{C}$  otpor  $R_0 = 100 \Omega$ . Oznaka takvog termometra je Pt 100. U sljedećoj tablici dane su vrijednosti otpora pri nekim karakterističnim temperaturama za Pt 100 termometar.

Tablica 12.2 - Vrijednosti električnog otpora Pt 100 otporničkog termometra

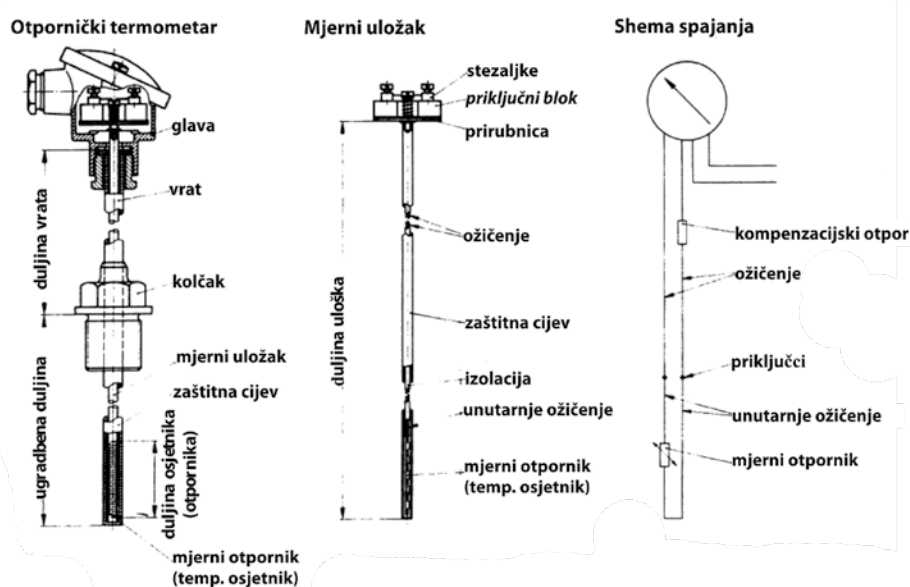
Temperatura, $^\circ\text{C}$	-50	0	20	40	60	80	100	150	200
El. otpor, $\Omega$	80,31	100,00	107,79	115,54	123,24	130,89	138,50	157,31	175,84

Iz vrijednost prema Tablici 12.2 proizlaze konstante polinoma za Pt 100:

$$R_0 = 100 \Omega, A = 3,9083 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}, B = -5,775 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2} \text{ i } C = -4,183 \cdot 10^{-12} \text{ } ^\circ\text{C}^{-4}$$

Prikazani brojevi pokazuju da je promjena otpora kod Pt 100 osjetnika oko  $0,4 \Omega/^\circ\text{C}$ , što znači da su potrebni vrlo precizni mjerni instrumenti za mjerenje električnog otpora da bi se postiglo dobro i pouzdano razlučivanje malih razlika temperatura. Stoga se za preciznija mjerenja mogu koristiti i otpornički termometri većeg referentnog otpora. Takav je npr. Pt 1000, koji dakle, ima 10 puta veći otpor, a time i toliko veći odziv po jediničnoj promjeni temperature.

Na sl. 12.15 prikazana je konstrukcija otporničkog termometra za industrijske primjene. Lijevo je sastavljeni termometar s priključnim, pričvrstnim i zaštitnom elementima, u sredini je sam mjerni uložak, a desno shema spajanja otporničkog termometra.

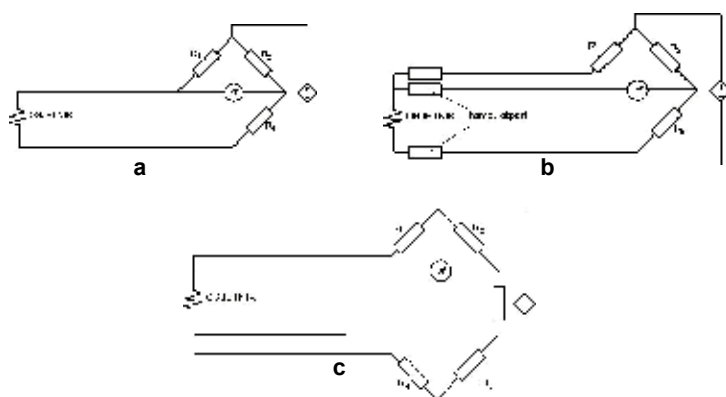


Slika 12.15 - Konstrukcija otporničkog termometra

Kako otpornički termometar radi na osnovi mjerenja električnog otpora, potrebno je da pri mjerenju kroz njega teče električna struja, odnosno mjerni strujni krug treba napajati strujom. Tada mjerni instrument mjeri ukupni otpor strujnog kruga, dakle i priključnog ožičenja. Otpor ožičenja se pri tome pribraja otporu osjetnika pa donosi pogrešku mjerenja ako se ne provede kompenzacija. Na sl. 12.16 prikazane su tri osnovne mogućnosti spajanja osjetnika. Kod spoja s dvije žice prema sl.12.16 a, gdje je mjerni otpornik sastavni dio mjernog mosta, potrebno je pri očitavanju na pokaznom instrumentu oduzeti otpor vodova za priključak osjetnika. Točnije mjerenje daje trožilni priključak prema sl. 12.16 b, a potpuna kompenzacija otpora priključaka dana je četirižilnim spojem prema sl. 12.16 c.

### Poluvodički termometri (termistori)

Promjena električnog otpora s promjenom temperature, može imati dvojak karakter, pa se razlikuju materijali s pozitivnim i negativnim temperaturnim koeficijentom. Metalima električni otpor raste s porastom temperature te oni, dakle imaju pozitivni temperaturni koeficijent (PTC – positive temperature coefficient). Takva je npr. platina u već opisanim otporničkim termometrima. Nasuprot tome poluvodiči mogu imati pozitivni ali i negativni temperaturni koeficijent, pa se kod ovih drugih govori o negativnom temperaturnom koeficijentu (NTC – negative temperature coefficient). Upravo su takve karakteristike većine poluvodičkih termometara, koji se po analogiji s tranzistorima nazivaju i termistori. Postoje termistori i s pozitivnim temperaturnim koeficijentom. Njih ponekad nazivaju pozistorima.



Slika 12.16 - Sheme spajanja otporničkog termometara

### Svojstva električnih termometara

Otpornički termometri smatraju se najtočnijim električnim uređajima za mjerenje temperature pa se upravo oni obično koriste kao sekundarni etaloni za umjeravanje drugih termometara. Za industrijska mjerenja može se kod otporničkih termometara očekivati točnost unutar jednog stupnja celzija. Zbog svoje konstrukcije, koja zahtijeva određenu masu osjetnika, oni su nešto sporijeg odziva od npr. termoparova, koje se stoga može koristiti kada je potrebna veća brzina mjerenja. Otpornički termometri karakteristično se koriste za temperature do 600°C, a iznad toga postaju osjetljivi na onečišćenja iz materijala u koji su smješteni (keramika). Za više temperature može se primijeniti otpornike u staklu. Termoparovi su manje precizni, ali se mogu minijaturizirati pa postižu znatno veće brzine odziva. Primjena im seže i do 1800 °C (tip B: PtRh30 – PtRh6).

Komercijalni termistori imaju stabilnu temperaturnu karakteristiku do oko 130°C, ali se mogu izraditi u znatno manjim dimenzijama od otporničkih pa su stoga i odgovarajuće bržeg odziva.

### 12.2.2.3. Uređaji za beskontaktno mjerenje temperature

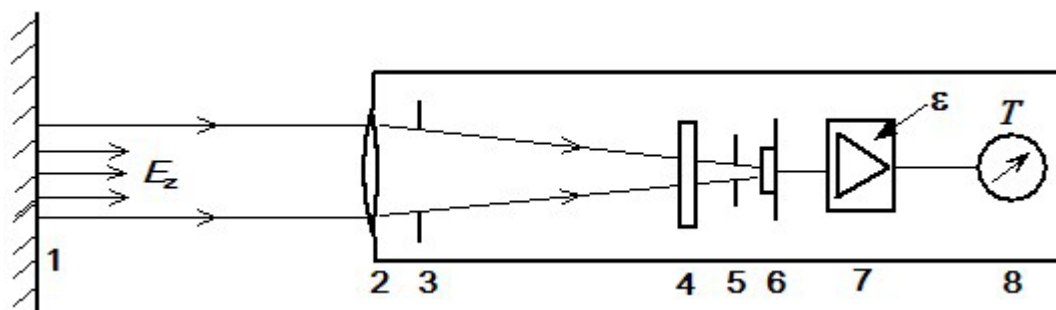
Kako je već spomenuto, rad uređaja za beskontaktno mjerenje temperature može se temeljiti na različitim fizikalnim načelima. Najčešće se međutim koriste metode registriranja i/ili mjerenja zračenja tijela koje je prema Stefan-Boltzmannovom zakonu razmjerno četvrtoj potenciji apsolutne temperature. Uređaji za takva mjerenja nazivaju se pirometrima ili bolometrima. Pri tome se pod pirometrima uobičajeno podrazumijevaju instrumenti za mjerenje visokih temperatura, dok bolometri mogu mjeriti kako niske tako i visoke temperature.

#### Pirometri

Pirometri u užem smislu riječi optički su instrumenti za mjerenje temperature objekata koji zrače u vidljivom dijelu spektra, dakle onih čija je temperatura površine viša od 500 °C. Pri toj temperaturi, naime tijela počinju zračiti i vidljivu svjetlost, počevši s tamno crvenom bojom koja s povišenjem temperature postaje sve svjetlija te iznad 1000 °C prelazi u žute tonove, da bi iznad 1500 °C boja postala praktički bijela. Objekt se promatra kroz optički sustav u kojemu se nalazi žarna nit čija se boja uspoređuje s bojom objekta. Boja žarne niti mijenja se regulacijom struje napajanja. Skala potenciometra je baždarena u temperaturnim jedinicama. Kada se boje žarne niti i objekta izjednače (žarna nit postane nevidljiva), na potenciometru se očitava temperatura. Takvi instrumenti se sve manje koriste jer im razlučivanje temperature nije dobro, a u posljednjih tridesetak godina na tržištu su se pojavili bolometri znatno veće točnosti i većeg raspona mjerenja.

#### Bolometri

Rad bolometara temelji se na mjerenju energije zračenja površina objekata. Ovisno o osjetljivosti instrumenta, moguće je mjeriti i vrlo niske temperature, a komercijalni bolometri obično su namijenjeni mjerenju temperatura od -50°C do 1000°C. Elektromagnetska zračenja tijela pri tim temperaturama pretežno pripadaju infracrvenom dijelu spektra pa se bolometre svrstava u infracrvene beskontaktno termometre. Bolometar se sastoji od optičkog dijela, osjetnika zračenja, pretvarača signala i pokaznog dijela. Shematski prikaz dan je slikom 12.17.



Slika 12.17 - Shema bolometra

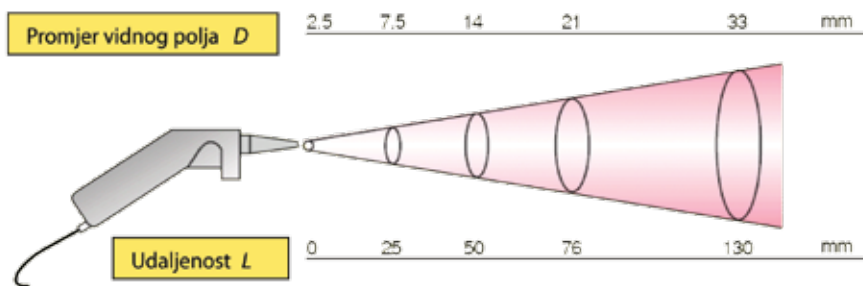


Mjereni objekt 1 sa svoje površine odzračuje energiju gustoće  $E_z$  u skladu sa Stefan-Boltzmannovim zakonom (usp. jedn. 12.9):

$$E = \varepsilon \sigma T^4, [\text{W/m}^2] \quad (12.16)$$

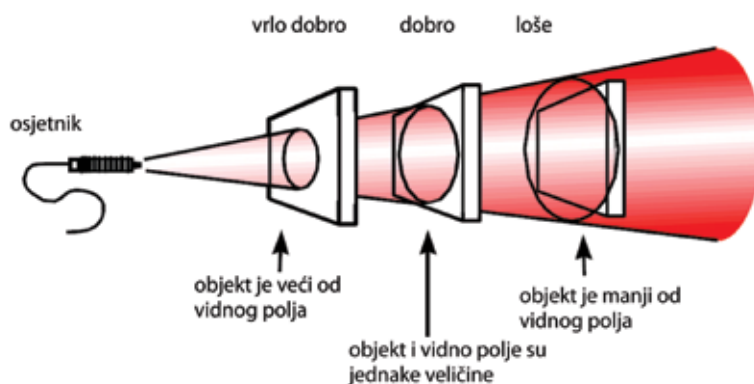
Zračenje prolazi kroz objektiv bolometra 2, zaslon 3, filter 4, zaslon osjetnika 5 i dopijeva na osjetnik zračenja 6. Osjetnik proizvodi mjerni signal razmjernan primljenoj energiji te ga šalje u pretvarač signala s pojačalom 7 koji obrađeni mjerni signal provodi na pokazni instrument bolometra 8. Pri tome bolometar mora od prihvaćenog zračenja oduzeti onaj dio koji ne pripada zračenju samog objekta, nego je reflektirano zračenje objekata iz okoline mjernog objekta. To je moguće učiniti unošenjem podatka o emisijskom faktoru površine objekta  $\varepsilon$  u računsku jedinicu pojačala instrumenta. Neki bolometri omogućuju podjelu svojega ukupnog mjernog opsega u podpodručja podesivim zaslonima 3 i 6, a filter 4 može imati različite funkcije. To npr. može biti selektivni spektralni filter za eliminaciju zračenja valnih duljina koje mjereni objekt propušta.

Osjetnik zračenja u bolometrima je neka vrsta električnog termometra i to najčešće termopajl (serijski spoj termoparova) ili otpornički termometar. Infracrveno zračenje usmjereno optičkim sustavom instrumenta, dopijeva na osjetnik te mu mijenja temperaturu, a time i termonapon, odnosno električni otpor. Taj se električni signal tada pomoću elektronike instrumenta i uz korekciju temeljem unesenog emisijskog faktora objekta, pretvara u podatak o temperaturi na pokaznom instrumentu, kod modernih uređaja obično na zaslonu. Izmjerena temperatura je srednja temperatura površine unutar vidnog polja (obično kružnog oblika) bolometra. Ako je temperaturna razdioba unutar vidnog polja nehomogena, to može dovesti do pogrešnih ili nepotpunih mjernih podataka. Kao i kod svih optičkih instrumenata, vidno polje bolometra povećava se s udaljenošću objekta. Stoga će za svaki bolometar biti važan podatak o tzv. optičkom ili prostornom razlučivanju, određen omjerom udaljenosti  $L$  i pripadnog promjera vidnog polja  $D$  prema prikazu na sl. 12.18.



Slika 12.18 - Ovisnost promjera vidnog polja o udaljenosti

U prikazanom slučaju je taj odnos oko 3,5, što znači da će vidno polje na udaljenosti od 1 m imati promjer  $D = 1/3,5 \approx 28$  cm te će se tada mjerena temperatura odnositi na prosjek temperatura površine toga promjera. Stoga treba pri mjerenju paziti da mjereni objekt bude veći od vidnog polja instrumenta na danoj udaljenosti. U suprotnome će osjetnik instrumenta registrirati zračenje koje dolazi iz pozadine objekta koja može imati potpuno drugačiju temperaturu pa će mjerni rezultat biti pogrešan u skladu s prikazom na sl. 12.19.



Slika 12.19 - Pogreške mjerenja bolometrom uslijed neodgovarajućeg vidnog polja

Kako bi se izbjeglo pogreške u mjerenju, većina suvremenih bolometara je opskrbljena ciljničkim uređajima, uglavnom s laserskim zrakama. Najjednostavniji je ciljnik s jednom zrakom koja označava sredinu vidnog polja. Pri tome mjeritelj mora znati koliki je promjer na danoj udaljenosti kako bi mogao ocijeniti ispravnost mjerenja. Bolji su ciljnici s laserskim snopom koji se širi kao i vidno polje instrumenta. Takvi ciljnici imaju ograničen domet. Postoje i izvedbe s tri laserske zrake od kojih dvije označavaju rub vidnog polja, a treća središte.

Infracrveni bolometri su vrlo praktični instrumenti za mjerenje površinskih temperatura. Odlikuju se velikom brzinom odziva koja je karakteristično 500 ms, a točnost im je obično oko 1% od očitavanja ili  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ . Pri tome se mora računati s nepovoljnijim podatkom, pa je pri očitavanju  $30^{\circ}\text{C}$  stvarna vrijednost između  $29$  i  $31^{\circ}\text{C}$ , a kod npr.  $600^{\circ}\text{C}$  između  $597$  i  $603^{\circ}\text{C}$ .

Iz iznesenoga postaje razvidno da do sada opisani uređaji za mjerenje temperature, kako kontaktni tako i beskontaktni, mogu dati podatak samo o temperaturi u pojedinoj točki mjernog objekta ili o prosječnoj temperaturi ograničenog volumena ili površine objekta. Želimo li dobiti podatak o razdiobi temperature po promatranom objektu, bit će potrebno načiniti veliki broj mjerenja pomoću odgovarajućeg broja termometara istodobno ili s jednim termometrom višekratnim mjerenjima. Takav instrumentacijski i/ili vremenski zahtjevan zadatak neusporedivo je lakše ispuniti uporabom termografije.

## 12.3. Termografski sustavi

### 12.3.1. Uvod

Termografija je beskontaktna metoda mjerenja i bilježenja toplinskog zračenja i njegove raspodjele na površinama objekata. Izraz potječe od grčkih riječi *therme* – toplina i *grafein* – pisati. To znači da termografija podrazumijeva da nakon mjerenja ostaje trajan zapis o izmjeranim veličinama. Taj se zapis zove termogram. Suvremeni termografski uređaji umjesto podataka o izmjeranom intenzitetu zračenja kao izlazni podatak redovito daju vrijednost odgovarajuće temperature. U kojoj će mjeri prikazane vrijednosti temperature odgovarati stvarnima, ovisit će o mnogim utjecajnim parametrima, koji će biti razloženi u poglavljima koja slijede. Termografska mjerenja je moguće vršiti u različitim područjima elektromagnetskog spektra. U svakodnevnoj praksi to se čini infracrvenom termografijom, dakle termografijom kojom se bilježi zračenje površina objekata u određenom području infracrvenog spektra.



Slika 12.20 - Termografska kamera



Slika 12.21 - Termogram

Na slici 12.20 prikazana je suvremena termografska kamera, a na slici 12.21 termogram pročelja crkve. U ovom slučaju je temperaturna raspodjela po površini fasade kodirana sivim tonovima tako da su tamne površine najhladnije, dok su mjesta s najvišom temperaturom bijele boje. Termogrami su danas najčešće kodirani bojenim tonovima.

### 12.3.2. Svojstva termografije i termografskih uređaja

Termogram je dakle dvodimenzijaska slika raspodjele intenziteta zračenja s površine objekata u vidnom polju kamere, a to znači da se iz njega mogu dobiti temperature proizvoljnijih točaka te površine. Takav bi rezultat bilo vrlo mukotrpno tražiti klasičnim termometrima, jer bi to zahtijevalo na tisuće uzastopnih mjerenja jednim termometrom ili pak na tisuće termometara koji bi istodobno mjerili temperaturu po površini promatranog objekta. Izvanredno svojstvo svakoga suvremenoga termografskog sustava je rad i dobivanje rezultata u realnom vremenu. To prije svega znači da se termografskim snimanjem rezultat dobiva praktično odmah, ali isto tako da se termografijom može pratiti dinamičke pojave promjene temperature, pri čemu rezultat više nije pojedinačni termogram, već niz termograma koje se može promatrati i analizirati poput filma.

Tri istaknuta svojstva termografije: beskontaktnost, dvodimenzionalnost i brzina, glavne su prednosti te mjerne metode pred ostalim načinima mjerenja temperature. Korisnike treba međutim upoznati i s mogućim nedostacima termografskog mjerenja. Termografija daje uvid samo u temperaturu površine promatranih objekata. Temperaturu u unutrašnjosti može se odrediti samo računskim metodama na temelju dinamičkog ponašanja površinske temperature i poznavanja svojstava materijala objekta.

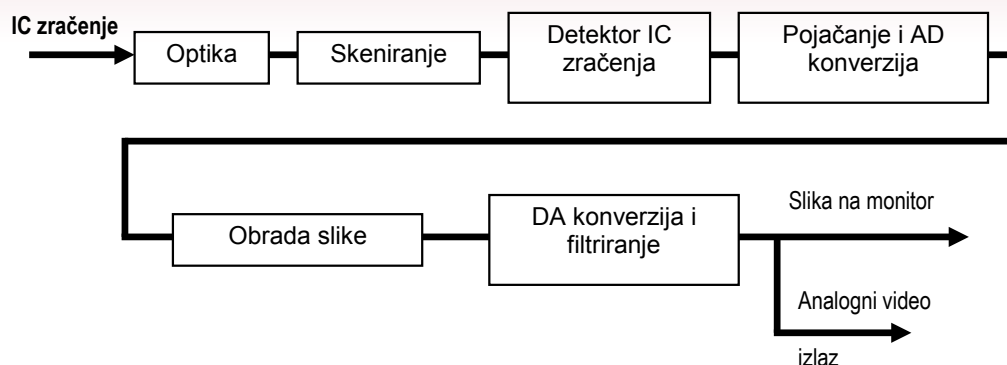
Kako se termografija temelji na snimanju infracrvenog zračenja tijela, rezultat mjerenja bit će povezan s nekim posebnim fizikalnim svojstvima promatrane površine. Zračenje tijela se naime, načelno može sastojati od vlastitog zračenja, koje je ovisno o temperaturi tijela, ali i od reflektiranog i propuštenog zračenja drugih objekata u okolini promatranog objekta. Stoga će za točnu interpretaciju mjernog rezultata morati biti poznati podaci o svojstvima površine i temperaturi okolnih objekata. Nadalje će na rezultat termografskog mjerenja imati utjecaja i atmosfera i/ili prozirni objekti između termografske kamere i promatranog objekta. Ti mediji u većoj ili manjoj mjeri zadržavaju jedan dio infracrvenog zračenja te na taj način mijenjaju dobivenu toplinsku sliku. Samo uvažavanjem svih navedenih prednosti i ograničenja termografije omogućit će dobivanje kvalitetnog rezultata.

### 12.3.3. Načela rada termografskog uređaja

Termografski uređaj služi snimanju, prikazivanju, zapisivanju (pamćenju) i obradi, te po potrebi i ispisu termograma. Suvremene termografske kamere objedinjuju uređaje za snimanje, prikaz i privremeno pamćenje podataka, a većina ih omogućuje i neke zahvate obrade snimke. Detaljna obrada i evaluacija podataka vrši se redovito pomoću posebnih programskih paketa na računalu koje preuzima snimljene podatke. Prikaz termograma na zaslonu termografske kamere je skromnih dimenzija pa zaslon računala pruža znatno bolje mogućnosti pregleda. Ispis termograma i popratnih podataka slijedi putem pisača uz računalo.

#### 12.3.3.1. Obrada signala u termografskoj kameri

Bez obzira na vrstu termografskog uređaja, signal infracrvenog zračenja objekta koji se treba registrirati na termogramu kao podatak o temperaturi, načelno prolazi kroz proces obrade kakav je prikazan na sl. 12.22. Zračenje objekta najprije prolazi kroz optički dio kamere te se nekim sustavom skeniranja dovodi do osjetnika zračenja koji proizvodi izlazni električni signal, razmjern primljenom zračenju. Karakter odziva u načelu nije linearan pa se osim pojačavanja signala u računskoj jedinici sustava provodi interpretacija signala i njegova analogno-digitalna konverzija kako bi se moglo provesti kodiranje signala u tonove sivog ili bojene tonove, izabranog načina prikaza termograma. Izlazna jedinica kamere obavlja ponovnu digitalno-analognu konverziju za prikaz slike, pri čemu je redovito potrebna i eliminacija elektroničkog šuma i drugih smetnji filtriranjem signala koji se konačno upućuje na zaslon ili drugi uređaj za prikaz termograma, odnosno memorijsku jedinicu sustava.



Slika 12.22 - Put infracrvenog signala kroz termografski uređaj

### 12.3.3.2. Vrste termografskih uređaja

Termografski uređaji mogu se svrstavati u različite kategorije prema pojedinim svojstvima. Osnovna podjela može se učiniti prema

- načinu skeniranja (pregledavanja) vidnog polja
- vrstama osjetnika zračenja.

#### Linijski skeneri

Osnovno svojstvo termografskog snimanja je pružanje dvodimenzijske slike razdiobe zračenja, odnosno temperature površine promatranog objekta. Prvo veliko dostignuće, koje je omogućilo komercijalnu primjenu termografije, bilo je uvođenje uređaja za skeniranje vidnog polja kamere. Prvi termografski uređaji bili su tzv. linijski skeneri, koji su pretraživali objekt samo po jednoj liniji te ih je za dobivanje dvodimenzijske slike trebalo micati uzduž promatranog objekta. To se je postizavalo, npr. snimanjem iz zrakoplova ili satelita, što je zadovoljavalo mnoge vojne potrebe, ali je za civilne svrhe bilo uglavnom neprimjenjivo jer se snimanje najčešće treba obaviti iz veće blizine mirujućim uređajem na tlu.

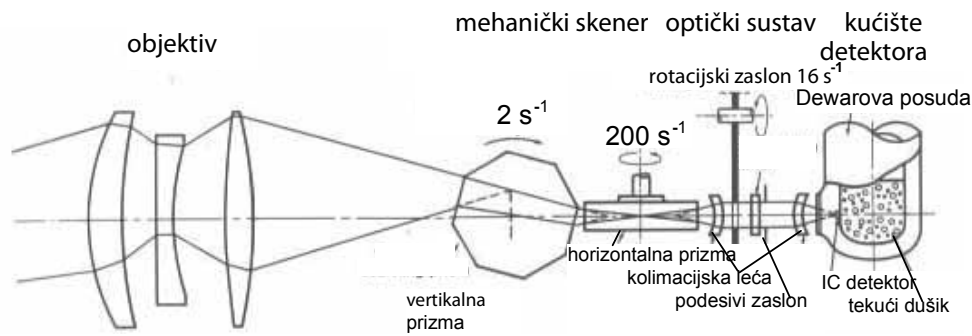


Slika 12.23 - Linijski skener za snimanje iz zrakoplova

#### Mehaničko dvodimenzijnsko skeniranje

Stoga je za stacionarne termografske sustave bilo potrebno razviti poseban uređaj za skeniranje koji će u mirujućoj kameri stvoriti dvodimenzijnsku sliku. Prvi takvi "skeneri" sastojali su se od dva ogledala od kojih je svako osciliralo u sinkroniziranom ritmu oko međusobno okomitih osi. Na taj je način postignuto da na osjetnik infracrvenog zračenja kamere dopijevaju redom signali s pojedinih susjednih područja vidnog polja optičkog sustava, tvoreći termogram. Osnovni nedostatak skenera s oscilirajućim ogledalima bio je u ograničenoj brzini pretraživanja vidnog polja, uvjetovanoj tromašću ogledala, te je za stvaranje termograma bilo potrebno i nekoliko minuta, a kod najsavršenijih sustava nekoliko sekundi. Na taj način nije bilo moguće pratiti dinamičke pojave, bilo na pokretnim objektima, bilo na mirujućim kod kojih se u vremenu mijenja temperaturna slika.

Snimanje termograma u realnom vremenu omogućio je patent skenera s rotirajućim prizmama kakav je shematski prikazan na slici 12.24, a razvila ga je švedska tvrtka AGA. Temeljem te slike moguće je ukratko objasniti i način rada termografske kamere s mehaničkim skeniranjem. Radi se o dvije brzo rotirajuće osmerostrane prizme koje se okreću na međusobno okomitim vratilima. Prva prizma rotira oko horizontalne osi i obavlja skeniranje po vertikalnim linijama vidnog polja, a druga prizma skenira po horizontalnim linijama pri rotaciji oko vertikalne osi. Njihova je vrtnja tako sinkronizirana da se vidno polje skenira 16 puta u sekundi, tvoreći termogram s 210 linija i 140 točaka po liniji. Suvremenim rječnikom rečeno: termogram ima  $210 \times 140 = 29400$  piksela, odnosno upravo toliko podataka o zračenju vidnoga polja, od kojih se svaki očitava 16 puta u sekundi. U današnjim mjerilima to je vrlo skromna prostorna i vremenska razlučivost, ali je na taj je način bilo moguće pratiti relativno brze promjene temperature na promatranom površini, pa su takvi sustavi propagirani kao prvi koji rade u realnom vremenu (real time thermography). Frekvencija obnove slike je kod ovakvih sustava ograničena dvama faktorima: čvrstoćom mehaničkih elemenata sustava za skeniranje i brzinom odziva osjetnika IC zračenja. Rotirajuće prizme ne mogu se okretati brže nego što to dopuštaju mehanička svojstva njihova materijala, ali još veće ograničenje predstavlja potrebna brzina odziva osjetnika, koja u opisanom sustavu mora biti gotovo 2 ms (dvije milijuntinke sekunde), jer osjetnik na svakom od 29400 piksela zračenje mora očitati 16 puta u sekundi.



**Slika 12.24 - Termografski sustav s mehaničkim skeniranjem AGA**

Infracrveno zračenje s vidnog polja najprije prolazi kroz optički sustav leća objektivna kamere. Te leće, kao i svi ostali elementi sustava kroz koje zračenje prolazi, moraju biti što bolje propusne za IC zračenje, barem u području osjetljivosti sustava. Najčešći materijal za leće je germanij (Ge), koji je proziran za zračenja valne duljine veće od 2 mm, a to znači da je neproziran u vidljivom dijelu spektra. Koriste se i cinkov sulfid (ZnS) i cinkov selenid (ZnSe), safir i kvarc (po kemizmu isti spojevi  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) te magnezij (Mg), djelomice prozirni i u vidljivom spektru, te silicij (Si). Nasuprot tome, oni elementi optičkog sustava koji moraju reflektirati zračenje, kao ogledala ili zaslone sustava za skeniranje, ne smiju biti prozirni za zračenje valnih duljina osjetljivosti osjetnika. Tome zahtjevu odlično odgovaraju visokopolirani metalni dijelovi (nehrđajući čelik, eloksirani aluminij i sl.).

Nakon prolaska kroz sustav za skeniranje, zrake se kolimacijskom lećom dovode u paralelni snop, te prolaze kroz otvore rotirajućeg zaslona i podesivog zaslona (blende), a drugom kolimacijskom lećom snop se fokusira na IC osjetnik. Rotirajući zaslon je ploča od poliranog aluminija, koja rotira sinkronizirano s vertikalnom prizmom. Zrake vidnog polja prolaze kroz otvor zaslona s prekidima, a tijekom prekida IC osjetnik "vidi" vlastiti odraz u ploči zaslona i na taj način dobiva podatak o referentnoj temperaturi s kojom uspoređuje temperaturu objekta. Podesivi zaslon, poput onoga na fotografskom aparatu, služi za ograničavanje količine zračenja koja će doći na osjetnik, pa se na taj način određuje temperaturno područje termograma. Objekti više temperature emitiraju i odgovarajuće više zračenja (u skladu sa Stefan-Boltzmannovim zakonom, razmjerno četvrtoj potenciji apsolutne temperature) pa se smanjivanjem otvora podesivog zaslona može količina zračenja, koja dolazi na osjetnik, održavati u željenim granicama koje optimalno odgovaraju rasponu temperatura na promatranom objektu. Zračenje, konačno, kroz drugu kolimacijsku leću biva fokusirano na osjetnik infracrvenog zračenja, u kojemu se u skladu s intenzitetom zračenja promatranog segmenta vidnog polja – piksela (ovisno o njegovoj temperaturi) stvara električni signal odgovarajuće jakosti. Taj se signal pretvaračem i pojačalom prenosi na uređaj za prikaz termograma – u ovom slučaju na katodnu cijev odvojenog monitora sustava. Suvremene termografske kamere dakako imaju LCD zaslone integrirane u samu kameru.

Opisani sustav za skeniranje ima točkasti osjetnik na koji se redom dovode signali zračenja, preuzeti s pojedinih piksela vidnog polja. Na taj način termogram nastaje temeljem jedinstvene odzivne karakteristike osjetnika, a to predstavlja važnu prednost

pred tzv. matičnim osjetnicima koji za svaki piksel termograma imaju poseban osjetnik zračenja, čije odzivne karakteristike nikad nisu u potpunosti jednake. Zato se mehaničko skeniranje s jediničnim osjetnikom koristi još i danas za termografske sustave od kojih se očekuje visoka točnost, a ne i velika brzina skeniranja.

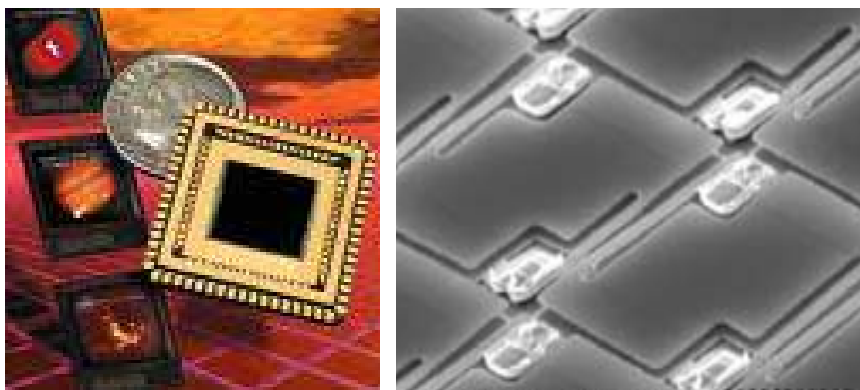
Termografski sustavi s mehaničkim skeniranjem pokazuju značajne nedostatke, koji se mogu svesti na dva osnovna:

- brzina skeniranja koja je ograničena brzinama skenirajućih elemenata i brzinom odziva osjetnika te ne dopušta velike frekvencije obnavljanja slike (do nekih 20 Hz) te na taj način takvi sustavi ne omogućuju snimanje brzih promjena temperaturnog polja ili brzo pokretnih objekata.
- težina i glomaznost mehaničkih skenera pa su i termografske kamere koje ih sadrže odgovarajuće velike i teške, što ih čini manje pogodnima za terensku uporabu.

Sustav za mehaničko skeniranje na sl. 12.24 pokazuje još jednu osobitost, a to je činjenica da je osjetnik zračenja smješten u plašt posude s tekućim dušikom koji služi za njegovo hlađenje. To je potrebno jer se kod mehaničkog skeniranja zahtijeva velika brzina odziva osjetnika, kakvu mogu dati samo tzv. fotonski osjetnici zračenja. Njihove će značajke biti opisane kasnije, a ovdje je dovoljno reći da oni za svoj ispravan rad zahtijevaju vrlo niske temperature, kakve je moguće postići upravo tekućim dušikom koji pri atmosferskom tlaku ima temperaturu  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Tako niska temperatura okoline osjetnika nadalje ga štiti i od smetnji koje nastaju uslijed zračenja okoline u samoj kameri, koje dakako, također dolazi na osjetnik u obliku difuznog zračenja. Ako je ta okolina ohlađena na nisku temperaturu, njeno se zračenje može zanemariti u odnosu na ono koje dolazi kroz optički sustav s puno većom gustoćom zračenja, a potječe od objekata znatno više temperature. Hlađenje tekućim dušikom donosi još jednu poteškoću. Spremnik za dušik mora biti otvoren kako bi uvijek bio na atmosferskom tlaku i tako održavao stalnu temperaturu. To rezultira velikim ograničenjima u pokretljivosti kamere kako pri naginjanju ne bi došlo do izlivanja dušika. Zato takve kamere moraju uvijek biti postavljene na stativ koji ne omogućava nagibanje kamere za više od npr.  $45^{\circ}$ .

### Matrično skeniranje

Nedostaci mehaničkih dvodimenzijskih skenera bili su poticaj za rad na razvoju sustava s jednostavnijim i bržim načinom pretraživanja slike, naročito u civilnoj i komercijalnoj primjeni termografije. Rezultat je postignut razvojem mikroelektronike, koji je među ostalim omogućio izradu tzv. FPA (Focal Plane Array) osjetnika. Radi se o mikročipu pravokutnog oblika, na kojega je nanosena matrica velikog broja zasebnih IC osjetnika. Ovisno o području spektralne osjetljivosti, FPA osjetnici se ugrađuju u razne optičke instrumente, uključujući i digitalne fotoaparate i kinokamere. Za snimanje je ovdje dovoljan optički sustav za usmjeravanje upadnog zračenja na žarišnu ravninu kamere. Na taj način FPA osjetnik "vidi" cijelo vidno polje objektiva kamere odjednom, pa nije potreban poseban sustav za skeniranje. Slika 12.25 prikazuje izvedbu FPA osjetnika i mikroskopom uvećanu strukturu njegove površine na kojoj se razaznaje nekoliko elementarnih osjetnika u matrici čipa. Dimenzije pojedinačnih osjetnika u suvremenim čipovima su na razini  $50\text{ x }50\text{ mm}$  s tendencijom daljnjeg smanjivanja.



Slika 12.25 - FPA osjetnik: lijevo – prikaz dimenzija, desno – detalj površine

FPA osjetnici donose znatne prednosti u području termografskih sustava:

- povećana brzina obnove slike – karakteristično oko 30 Hz, ali i znatno više kod posebnih tipova – isključivo je funkcija elektronskog sustava prijenosa i prikaza slike, jer je brzina odziva samog osjetnika zahvaljujući minijaturizaciji vrlo velika i iznosi od milisekunde na niže
- povećana razlučivost – karakteristično  $320 \times 240 = 76800$  piksela, a kod skupljih sustava i do četiri puta više
- minijaturizacija kamere koja postaje lako prenosiva i uporabiva za terensku primjenu.

### Hlađenje osjetnika zračenja

FPA osjetnici mogu kao i točkasti biti zasnovani na različitim fizikalnim efektima, pri čemu neki od njih zahtijevaju hlađenje na niske temperature, a kod nekih je dovoljno hlađenje kao zaštita od pregrijavanja u radu i termostatisanje sa svrhom održavanja odzivne karakteristike. U slučaju osjetnika zračenja koji zahtijevaju održavanje na niskim temperaturama, još se i danas ponekad koristi tekući dušik ili neki drugi ukapljeni plin jer se time postižu određena izvanredna svojstva poput velike točnosti ili velike brzine mjerenja, na račun svih spomenutih nedostataka. Daljnjim razvojem tehnike omogućeno je hlađenje na dovoljno niske temperature pomoću minijaturnih mehaničkih rashladnih uređaja koji rade na osnovi lijevokretnog Stirlingovog procesa. Takvi su rashladni uređaji izloženi velikim mehaničkim opterećenjima pa im je radni vijek relativno kratak. Sam rashladni uređaj, unatoč svojim malim dimenzijama, ipak znatno povećava masu kamere i šumnost pri radu, a masu dodatno uvećavaju i baterije potrebne za otprilike jedan sat autonomnog rada. Većina suvremenih komercijalnih modela termografskih kamera ima osjetnike zračenja koji ne zahtijevaju hlađenje na niskim temperaturama, već ih je dovoljno održavati na nekoj stalnoj temperaturi, obično blizu okolišnje. Takvi osjetnici se hlade Peltierovim člancima kakvi su dovoljni da odvedu toplinu privedenu zračenjem kroz optiku kamere i eventualne toplinske gubitke, uzrokovane radom osjetnika. Potrošak energije za hlađenje je u takvim kamerama puno manji nego kod kamera hlađenih Stirlingovim strojem pa su one pogodnije i za terenski rad, zbog manje težine i veće autonomije baterijskog pogona.

### Vrste osjetnika infracrvenog zračenja

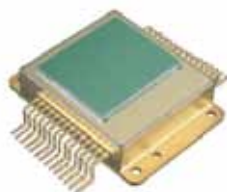
Dvije su osnovne skupine IC osjetnika: kvantni osjetnici (također nazvani fotonskim detektorima) i toplinski osjetnici IC zračenja.

*Kvantni osjetnici* (foto diode ili foto rezistori) građeni su od poluvodičkih materijala. Na njih izravno djeluju upadni fotoni te pri tome tvore parove nositelja naboja, tj. naponski signal. To zahtijeva materijal koji za pobudu treba vrlo malu energiju upadnih kvantova zračenja. Za vidljivu svjetlost za to je pogodan silicij, dok je za IC zračenje, koje ima veću valnu duljinu i time manju energiju, potreban materijal s nižom energijom pobude. Osjetljivost kvantnih detektora je jako ovisna o temperaturi te se oni moraju u radu držati na niskim temperaturama (karakteristično između  $-50^{\circ}\text{C}$  i  $-200^{\circ}\text{C}$ ) kako bi se postiglo optimalno temperaturno razlučivanje. S obzirom na fizikalnu pozadinu principa rada kvantnih osjetnika, jasno je da će vrijeme odziva biti vrlo kratko te se ono mjeri mikrosekundama.

*Toplinski detektori*, poput onih u bolometrima i pirometrima, zbog upadnog zračenja mijenjaju temperaturu, a to izaziva promjenu neke električne karakteristike. I za termografske potrebe toplinski osjetnici su ili otpornički ili pak termopajlski, pa je tada signal strujni (promjena otpora) ili naponski (termonapon). Toplinski su osjetnici, zbog potrebnog zagrijavanja, znatno sporiji od kvantnih. Stoga su vremena odziva toplinskih osjetnika mjeriva u milisekundama. Za razliku od kvantnih detektora zračenja, toplinski detektori međutim mogu raditi pri sobnim temperaturama pa je hlađenje potrebno samo u svrhu osiguravanja radiometrijske točnosti. Oba tipa osjetnika mogu se koristiti u točkastoj i matričnoj konfiguraciji.

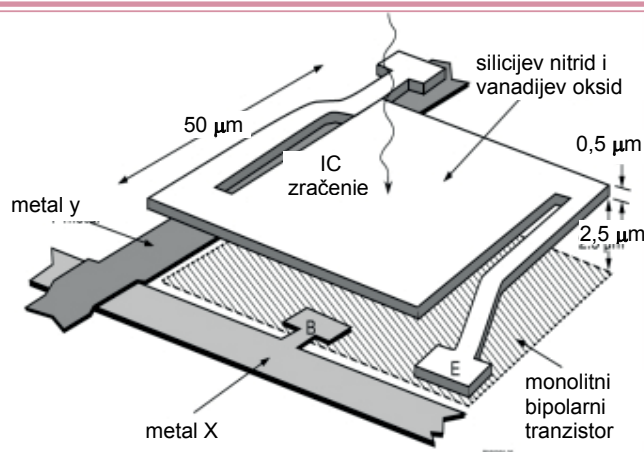
### Mikrobolometarski detektori

Matrični bolometarski osjetnici često se nazivaju mikrobolometrima zbog minijaturizacije kojom se postiže traženi veliki broj piksela.



Slika 12.26 - Mikrobolometarski detektor

Svaki pojedini piksel osjetnika je električni otpornik koji je toplinski izoliran prema svojoj podlozi. On apsorbira upadno IC zračenje te pri tome doživljava promjenu temperature koja se mjeri temeljem odgovarajuće promjene otpora. Kako bi se postigla visoka toplinska osjetljivost, materijal osjetnika mora imati visok temperaturni koeficijent otpora, a osim toga se mora odlikovati dobrim apsorpcijskim faktorom i optimalnim omjerom toplinske provodnosti i toplinskog kapaciteta te mora imati dovoljnu mehaničku stabilnost pri potrebnoj minijaturizaciji. Dodatno, materijal mora biti obradiv standardnim postupcima u poluvodičkoj tehnologiji da bi se izbjeglo dodatne proizvodne troškove. Podesni materijali takvih svojstava su vanadijev oksid ( $\text{VO}_x$ ) i amorfni silicij (a-Si). Ustrojstvo jednog elementa osjetnika IC zračenja, čiji je detalj površine prikazan na slici 12.25, vidljivo je na slici 12.27.



Slika 12.27 - Element mikrobolometarskog osjetnika

Prva generacija mikrobolometara imala je izmjere (tzv. pitch) elemenata oko 50mm, a suvremeni trend ide k 35mm, 25mm itd. Za razliku od kvantnih detektora, mikrobolometarski osjetnici načelno imaju osjetljivost neovisnu o valnoj duljini jer njihovo ponašanje ovisi pretežno o apsorbiranom IC zračenju na bolometarskom elementu. U slučaju silicija, koji je djelomice proziran za IC zračenje, značajno povišenje apsorpcije postiže se efektima interferencije s podlogom elementa detektora koja se za tu svrhu smješta na točno određenoj udaljenosti. Mikrobolometarski osjetnici nisu elementi vrhunskih karakteristika, ali za većinu namjena imaju dovoljno dobra svojstva uz prihvatljivu cijenu i integraciju u sustav, pa su stoga najčešće korišteni tipovi detektora za široko područje primjene.

### Kvantni detektori

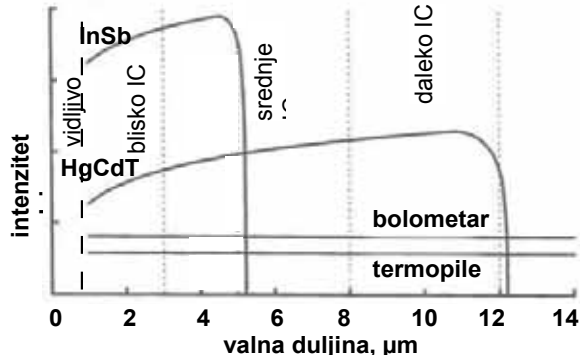
U usporedbi s toplinskim, kvantni detektori imaju znatno bolje karakteristike (npr. bolja osjetljivost, manja vremenska konstanta), ali su pri tome znatno skuplji, trebaju hlađenje pa su time glomazniji i teži, te im je integracija u sustav puno zahtjevnija. Koriste se stoga karakteristično u stacionarnim uređajima s najvišim zahtjevima na razlučivost i brzinu.

Najčešći materijali kvantnih detektora su živin kadmijev telurid (zvan također MCT [mercury cadmium telluride] ili CMT [za cadmium mercury telluride]) i indijev antimonid (InSb). Oni većinom imaju spektralnu karakteristiku s monotonim porastom osjetljivosti koja međutim na određenoj valnoj duljini naglo pada na potpunu neosjetljivost. Pri tome je npr. InSb ograničen samo na blisko i srednjovalno IC područje, dok se trokomponentni živin-kadmijev telurid može primjenjivati kako za srednjovalno, tako i za dugovalno IC područje u ovisnosti o stehiometrijskom sastavu materijala. Karakteristike odziva pojedinih vrsta kvantnih i toplinskih detektora su prikazane na slici 12.28. Ovisno o području osjetljivosti, detektori će registrirati zračenje u skladu s Planckovom razdiobom, a to znači da će biti najpogodniji za mjerenje temperature u području najvećeg intenziteta zračenja. Tako npr. osjetnik od indijevog antimonida ima najveći odziv na zračenje valne duljine oko 4 mm, a toj valnoj duljini prema Wienovom zakonu odgovara maksimalni intenzitet zračenja tijela temperature oko 700 K ili 400°C. Nasuprot tomu osjetnik od živina kadmijeva telurida bit će najosjetljiviji na zračenja koja potječu s tijela sobne temperature, jer valnoj duljini njegove najveće osjetljivosti od oko 11 mm odgovara temperatura od 0°C. To dakako ne znači da ti osjetnici neće moći registrirati i zračenja tijela drugih temperatura, jer prema Planckovoj razdiobi svako tijelo zrači u području svih valnih duljina.

Razvoj osjetnika IC zračenja rezultirao je međutim i vrstama koje imaju vrlo uski „prozor“ osjetljivosti kakav ima npr. galijev arsenid (GaAs). Takvi su tzv. QWIP (quantum well infrared photodetector) osjetnici. To je posebna vrsta fotonskih detektora



čiju je osjetljivost u proizvodnji moguće podesiti na poželjni dio spektra. Time se omogućuje detekcija zračenja objekata koji emitiraju baš s tom valnom duljinom. Tehnologija izrade QWIP osjetnika zračenja vrlo je zahtjevna pa se oni primjenjuju samo u kamerama najviše kvalitete, namijenjenim posebnim potrebama i zahtjevima, npr. za laboratorijska mjerenja.



Slika 12.28 - Odziv osjetnika IC zračenja

### 12.3.3.3. Utjecajni parametri termograma

Termogram je prema definiciji vidljiva slika raspodjele infracrvenog zračenja koje dolazi s površine promatranog objekta. Temeljem termograma moguće je odrediti temperaturu pojedinih, po želji odabranih mjesta na površini objekta. Točnost i razlučivost toga očitavanja bit će, međutim, uvjetovana mnogim parametrima. Ti će parametri jednom biti vezani uz sam termografski sustav (kameru, osjetnik, zaslon itd.), drugi put uz svojstva promatranog objekta (geometrijske karakteristike, emisijska i transmisivna svojstva materijala i sl.), a treći put uz utjecaje okoline (zračenje trećih tijela, zagađenost atmosfere, udaljenost objekta).

#### Utjecaj termografske kamere

Termografska kamera svojim karakteristikama bitno utječe na mogućnosti očitavanja termograma.

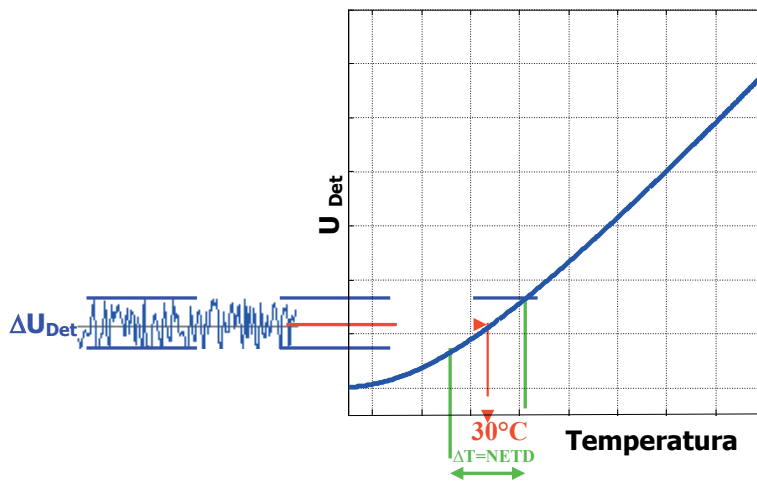
Osnovni parametri termografske kamere su sljedeći:

- područje mjerenja temperature
- razlučivost temperaturnih razlika
- prostorna razlučivost
- točnost
- brzina obnove slike (brzina skeniranja).

Područje mjerenja temperature prvenstveno ovisi o vrsti IC osjetnika kamere, tj. njegovom području osjetljivosti. Kamere namijenjene mjerenju u području niskih temperatura, koriste će osjetnike s osjetljivošću u području većih valnih duljina zračenja (srednje i daleko IC područje -  $\lambda > 5 \mu\text{m}$ ), dok će one namijenjene višim temperaturama imati detektor s osjetljivošću u području kraćih valnih duljina (blisko IC područje). Standardne komercijalne termografske kamere najčešće su opremljene detektorima za dugovalno IC zračenje (one skuplje npr. fotonski detektor od HgCdTe, a one jeftinije bolometarske detektore) te imaju relativno široko područje mjerenja, karakteristično od  $-50^{\circ}\text{C}$  do  $500^{\circ}\text{C}$ , koje se uz posebne dodatke može proširiti i do  $1500^{\circ}\text{C}$  i više. Kod većine termografskih kamera moguće je birati između nekoliko užih područja mjerenja temperature izborom odgovarajućeg otvora zaslona objektivna. Smanjenjem otvora zaslona smanjuje se naime i količina dozračenosti energije pa će se na taj način područje mjerenja pomicati prema višim temperaturama.

Razlučivost temperaturnih razlika na termogramu je važno svojstvo sustava koja kazuje koja je najmanja razlika temperatura koju će registrirati kamera. Ona ovisi o sposobnosti sustava da izdvoji signal od šuma (smetnji). U literaturi se obično označava s NETD (Noise Equivalent Temperature Difference). Smetnje imaju izvor u okolini, prije svega u samoj kameri te su karakterizirane sobnom temperaturom. Stoga se razlučivost kamere specifikira pri sobnoj temperaturi ili blizu nje. Suvremene termografske kamere imaju razlučivost  $0,1^{\circ}\text{C}$ , a posebne izvedbe namijenjene, npr. istraživanju i razvoju, omogućuju detekciju temperaturnih

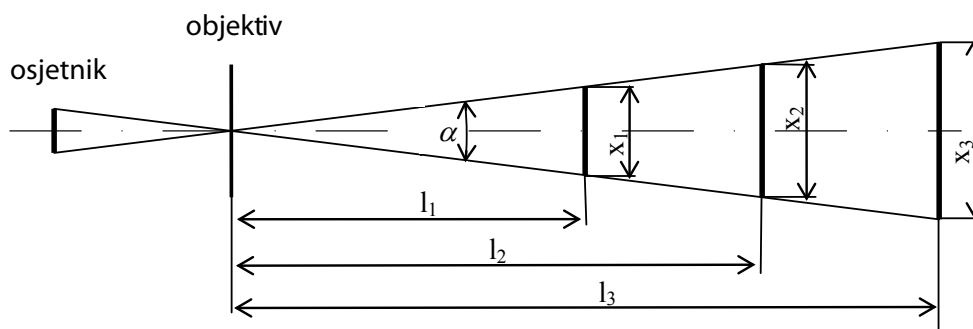
razlika i do  $0,01^{\circ}\text{C}$ . Na slici 12.29 je prikazana odzivna karakteristika osjetnika u ovisnosti o temperaturi s pripadnim šumom pri  $30^{\circ}\text{C}$ . Iz slike je vidljivo da će s obzirom na karakter krivulje koja postaje strmija za više temperature, jednaki šum pri višim temperaturama davati manje pogreške očitavanja temperature. To je razlog da se podatak za temperaturnu razlučivost standardno daje za  $30^{\circ}\text{C}$ .



Slika 12.29 - Uz definiciju temperaturne razlučivosti termografske kamere

Temperaturnu razlučivost treba strogo razlikovati od točnosti mjerenja. Podatak da neka kamera ima razlučivost od npr.  $0,08^{\circ}\text{C}$  ne znači da ona može jamčiti i točnost očitavanja temperature u tim granicama.

*Prostorna ili geometrijska razlučivost* je podatak koji govori o veličini najmanjeg objekta kojega je moguće identificirati na termogramu. Ona je prvenstveno ovisna o finoći skeniranja vidnog polja, odnosno o broju osjetnika u matrici FPA detektora i o udaljenosti objekta, pa se iskazuje vidnim kutom, najčešće u miliradianima (kut od  $360^{\circ}$  odgovara  $2\pi = 6,28$  radijana). Značenje prostorne razlučivosti prikazano je shemom na slici 12.30.



Slika 12.30 - Uz pojam prostorne razlučivosti

Ako je  $\alpha$  prostorna razlučivost u radianima, moguće je odrediti najmanju visinu objekta  $x$  koju će na udaljenosti  $l$  raspoznati osjetnik kamere kao:

$$x = 2 \cdot l \cdot \text{tg}(\alpha / 2) \quad (12.16)$$

Kako je  $\alpha$  vrlo malen kut (karakteristično oko jednog miliradiana – tisućinke radijana ili  $0,057^{\circ}$ ), vrijedi  $\text{tg} \alpha = \alpha$ . Na taj je način lako odrediti najmanju raspoznatljivu veličinu objekta. Za prostornu razlučivost  $\alpha$  od npr.  $1,5 \text{ mrad} = 0,0015 \text{ rad}$ , bit će za  $l = 1 \text{ m}$ :  $x = 2 \cdot 1 \cdot \text{tg}(\alpha / 2) = 2 \cdot 1 \times \alpha / 2 = l \cdot \alpha = 1 \times 0,0015 = 0,0015 \text{ m} = 1,5 \text{ mm}$

Za dvostruku udaljenost, najmanji prepoznatljivi objekt bit će dva puta veći itd. Proizlazi da prostorna razlučivost u miliradianima daje podatak o najmanjem razlučivom elementu vidnog polja u milimetrima, na udaljenosti od jednog metra. Podatak o prostornoj razlučivosti u literaturi označava se s IFOV (Instantaneous Field Of View).

Točnost kamere je podatak koji govori o pouzdanosti kvantifikacije temperature iz termograma uz uvjet da su sva podešenja sustava optimalna i u skladu sa stvarnim stanjem objekta i okoline. Ona se izražava rasponom dopuštenog odstupanja temperature (i/ili postotkom očitane vrijednosti temperature) od stvarne vrijednosti. Uobičajena vrijednost točnosti je ispod  $\pm 1$  °C, a kod skupljih kamera namijenjenih istraživanjima i razvoju, očekuje se točnost bolja od 0,2 °C.

Brzinom (frekvencijom) obnove slike određena je i brzina promjena temperature ili drugih parametara promatranog objekta koju će moći pratiti termografska kamera. Kako je već naglašeno, stariji sustavi s mehaničkim skeniranjem u tome su pogledu bili relativno ograničeni jer se je skeniranje vidnog polja moglo ponavljati do nekih 20 puta u sekundi, dok moderne kamere obnavljaju sliku najmanje s frekvencijom od 30 Hz, a posebne izvedbe i znatno brže.

#### Utjecaj objekta

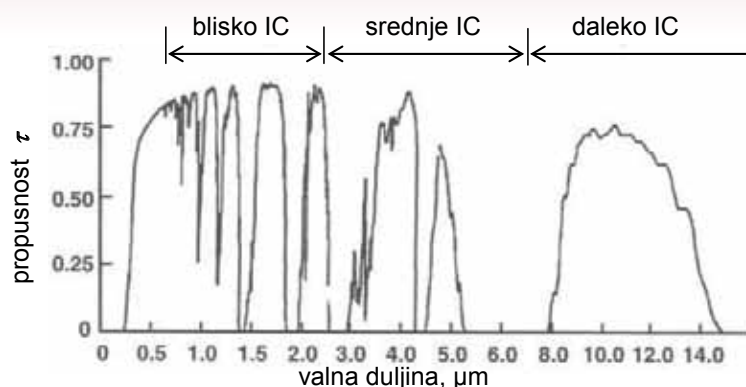
Svojstva promatranog objekta imaju presudan utjecaj na kvalitetu podataka dobivenih termografskim snimanjem. Možda najvažnije svojstvo pri tome je emisijski faktor  $\epsilon$  promatrane površine. Uz pretpostavku da je promatrani objekt neproziran za IC zračenje u području valnih duljina koje registrira kamera ( $t = 0$ ), njegovo će se zračenje sastojati od onoga koje je svojstveno njegovoj vlastitoj temperaturi i od reflektiranog zračenja, pripadnog tijelima u okolini. Udio vlastitog zračenja razmjerni je emisijskom faktoru  $\epsilon$  površine tijela, dok je ostatak zračenja proporcionalan koeficijentu refleksije objekta  $r = 1 - \epsilon$ . U slučaju da promatrano tijelo propušta IC zračenje, energiji koju registrira osjetnik kamere pridružuje se i propušteno zračenje razmjerno koeficijentu propusnosti  $t$ . U takvim situacijama ( $\epsilon \neq 1$ ) bit će potrebno na kameri izvršiti potrebna podešenja kako bi se dobilo točne podatke o temperaturi.

Suvremene termografske kamere redovito pružaju mogućnost podešavanja emisijskog faktora i temperature okoline pa je na taj način moguća kvantifikacija temperature površine s onim stupnjem točnosti s kojim je poznat emisijski faktor. To je povremeno povezano s poteškoćama, npr. kada emisijski faktor varira po površini.

Kod snimanja tijela koja su prozirna za IC zračenje, potrebno je u svrhu točnog određivanja temperature, propušteno zračenje eliminirati uporabom odgovarajućeg filtra u optici kamere. Većina materijala naime ne propušta cjelokupni IC spektar nego samo neke raspone valnih duljina. Tada se pred detektor zračenja postavlja filter koji je nepropustan upravo za te valne duljine. Utjecaj na točnost određivanja temperature može imati i oblik promatranog tijela. Nije naime svejedno vidi li kamera površinu pod pravim kutem ili iskosa. Neke površine, ovisno o vrsti materijala, zrače s najvećim intenzitetom u smjeru normale, dok intenzitet zračenja pada s odstupanjem od toga kuta (nemetali) i obrnuto (metali), kako je to opisano slikom 12.9. Jača odstupanja koeficijenta emisije nastupaju pri kutu gledanja većem od 50°. Stoga, npr. pri snimanju cilindričnih tijela, treba očekivati lažne podatke o temperaturi bokova tijela.

#### Utjecaj okoline

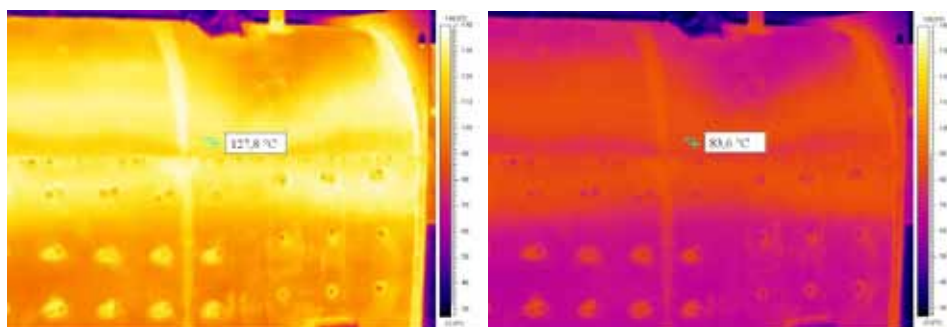
Utjecaj okoline je treći skup parametara koje treba uzeti u obzir pri analizi termograma. Srećom, suvremene termografske kamere uglavnom omogućuju automatsku kompenzaciju nekih od tih utjecaja, dok se druge treba kompenzirati ručnim podešavanjem. Pri termografskom snimanju potrebno je uzeti u obzir udaljenost snimanog objekta. Jedan će naime dio zračenja objekta na putu do kamere apsorbirati medij koji se nalazi između objekta i kamere. Najčešće je to zrak okoline pa su u sustav za obradu slike kamere uneseni podaci o apsorpcijskim svojstvima standardne atmosfere. Na slici 12.31 je prikazana propusnost  $\tau$  standardne atmosfere, što uključuje uobičajene koncentracije vodene pare, prašine i drugih onečišćenja. Dijagram vrijedi za sloj atmosfere debljine 1000 m. Podaci dakako variraju s debljinom sloja, koncentracijom onečišćenja i donekle temperaturom. Dijagram jasno pokazuje široke "prozore" valnih duljina u kojima je propusnost dobra, ali valja istaknuti da naročito u srednjovalnom području IC zračenja postoji značajno smanjenje propusnosti.



Slika 12.31 - Propusnost sloja standardne atmosfere debljine 1 km

Termografske kamere, opremljene optikom s podešavanjem udaljenosti (izoštavanjem), pri obradi termograma, automatski računavaju podatke o umanjenom intenzitetu zračenja zbog apsorpcije atmosfere na temelju podešene udaljenosti objekta. Ako se snimanje odvija u jako zagađenoj atmosferi ili se snima kroz druge medije (dimni plinovi i sl.), potrebno je to uzeti u obzir pri obradi rezultata. Isto, dakako, vrijedi i pri snimanju kroz različite materijale (staklo i sl.) kojima mogu biti iz različitih razloga zaklonjeni objekti termografskog snimanja.

Kako je već spomenuto u prethodnom odjeljku, jedan od najvažnijih utjecaja na izgled termograma i podatke koji se iz njega iščitavaju ima emisijski faktor površine promatranog objekta. Samo "crna tijela", za koja je  $\varepsilon = 1$ , zrače IC zračenje, isključivo temeljem vlastite temperature. Sva ostala (realna tijela - tzv. „siva tijela“), uz emitiranu energiju razmjernu emisijskom faktoru  $\varepsilon$  i četvrtoj potenciji vlastite apsolutne temperature, reflektiraju zračenje objekata iz okoline, i to razmjerno koeficijentu refleksije  $r = 1 - \varepsilon$  promatrane površine i četvrtoj potenciji apsolutne temperature tijela u okolini. U tom se slučaju signal koji dolazi na osjetnik termografske kamere sastoji od dviju komponentata: one uslijed emitiranog zračenja promatrane površine i one uslijed reflektiranog zračenja objekata u okolini. Stoga će podatak o temperaturi objekta biti lažan, ako se kamera ne podesi na ispravnu veličinu emisijskog faktora i temperaturu okoline. Načelno će očitane temperature realnih tijela biti više od stvarnih, ako su tijela u susjedstvu objekata više temperature i obrnuto, očitane temperature bit će niže od stvarnih, ako je temperatura susjednih tijela niža od temperature promatranog realnog tijela. Drugim riječima, realno tijelo se ponaša kao ogledalo u kojemu se djelomično ogleda okolina, a termografska kamera ne razlikuje sliku samog tijela od odraza okoline. Taj se odraz međutim može ukloniti, ako se kamera podesi unošenjem podatka o emisijskom faktoru promatranog tijela. To doduše može biti popraćeno s poteškoćama ako cijeli promatrani objekt nema jednolik emisijski faktor po cijeloj površini. Tada će naime, biti potrebno pri analizi termograma za svako područje ili točku, unositi odgovarajuću vrijednost emisijskog faktora. Stvari se dodatno kompliciraju za tijela koja su djelomično propusna za IC zračenje, kako je to opisano u prethodnom odjeljku.



Slika 12.32 - Utjecaj emisijskog faktora na očitane temperature

Na slici 12.32 prikazani su termogrami istog objekta – neizolirane oplata vrelovodnog kotla, snimljeni s istim postavama kamere: raspon temperatura 27 °C do 140 °C i udaljenost objekta 2,5 m, temperatura okoline 25 °C, ali s dva različita emisijska faktora. Pri snimanju lijevog termograma odabrana je emisija crnog tijela,  $\varepsilon = 1$ , a za desni je odabrano  $\varepsilon = 0,5$ . Kako je stvarni

emisijski faktor objekta blizak jedinici jer se radi o crnom limu, može se podatke s lijevog termograma smatrati točnima, dok su oni s desnog termograma lažni. Unošenjem niskog emisijskog faktora, sustav obrade slike kamere prisiljen je načiniti korekciju podataka te je, obračunavši utjecaj okoline od 25°C koji u ovom slučaju snizuje temperaturu objekta, on te temperature povisio. To se dobro vidi na indikaciji temperature proizvoljno odabrane točke na površini oplata, koja iznosi 83,6°C, a za  $\varepsilon = 0,5$  kamera joj je dodijelila vrijednost 127,8°C. Pri tome je računalni sustav kamere povisio temperaturu kako bi eliminirao utjecaj hladnije okoline koja se ogleda na površini sivog tijela.

#### 12.3.3.4. Termografske metode

Pristup termografskom snimanju može biti raznolik s obzirom na svrhu potrebne analize i prirodu pojave, odnosno objekta koji se ispituje. U tome smislu razlikuje se kvalitativna od kvantitativne termografije i aktivna od pasivne termografije.

*Kvalitativna termografija* primjenjuje se u svim onim slučajevima kada nije potrebno određivati brojčane vrijednosti temperature ili razlike temperatura, već se na promatranom objektu ustanovljava područja ili pojedine točke s neuobičajenim pregrijanjima ili podhlađenjima. Takva termografska ispitivanja obično se rade u svrhu dobivanja osnovnih informacija o toplinskom stanju objekta, a prikazane anomalije se provjeravaju i njihove eventualne uzroke ustanovljava se naknadnim detaljnim ispitivanjima termografskim ili drugim metodama mjerenja. U tome se slučaju do rezultata dolazi brzo ili čak trenutačno, a snimanje nije povezano sa zadovoljavanjem složenih preduvjeta, kao što je određivanje emisijskih svojstava, stanja okoline itd. Pri tome dakako treba biti oprezan i zaključke temeljiti na iskustvu, jer anomalije mogu biti posljedica neočekivanih nehomogenosti razdiobe emisijskog faktora, koncentriranih izvora toplinskog zračenja i tome slično. Kvalitativnom se termografijom također služe službe za nadzor objekata kao npr. granica ili za čuvanje imovine. Termografijom se vrlo efikasno prikazuje pokrete osoba i u potpunom mraku, a u navedenim slučajevima kamera obično nije niti opremljena za kvantifikaciju temperature. U toj primjeni termografija često nosi naziv „termovizija“.

*Kvantitativna termografija* za razliku od kvalitativne, podrazumijeva određivanje brojčane vrijednosti temperature. Pri tome kvantifikacija zahtijeva poznavanje svih utjecajnih parametara, prije svega emisijskog faktora objekta i stanja okoline. O točnosti tih podataka bitno ovisi i točnost dobivenih vrijednosti temperature, koja dakako nikad ne može biti veća od točnosti termografskog sustava. Kvantifikacija se pri tome može odnositi na temperaturu pojedinih točaka na termogramu ili na srednju temperaturu odabranih područja. Tada će točnost izmjerene veličine ovisiti i o točnosti kamere. Ako se kvantificira samo razlika temperatura između točaka ili područja termograma, točnost podataka je načelno neovisna o točnosti sustava, već ovisi samo o točnosti ulaznih podataka. Za kvantitativnu termografiju potrebno je obično više priprema što zahtijeva određeno vrijeme, iako suvremeni termografski sustavi pružaju mogućnosti računalnih obrada koje to vrijeme mogu znatno skratiti, a termografske kamere više kategorije dopuštaju podešavanje najvažnijih utjecajnih parametara već prilikom snimanja termograma.

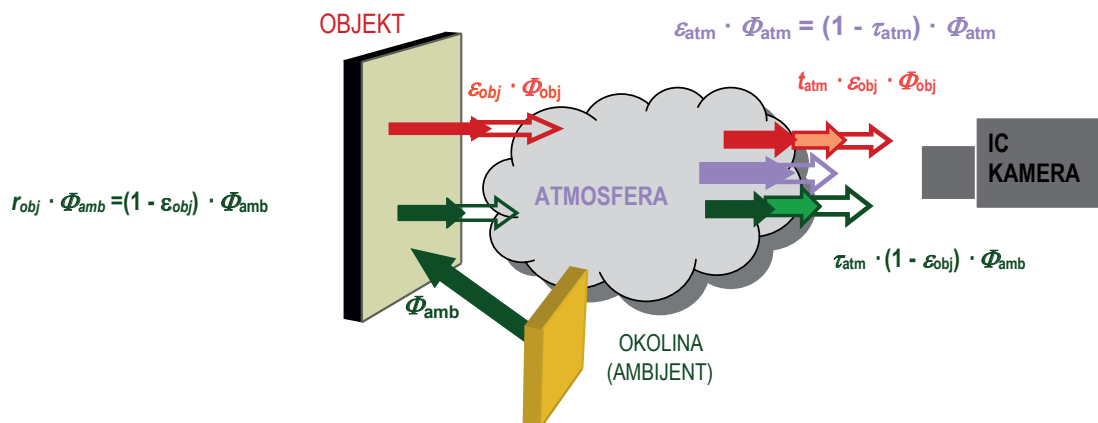
*Pasivna termografija* je metoda termografskog snimanja objekta u ustaljenom (stacionarnom) temperaturnom stanju kakvo je postignuto duljim boravljenjem toga objekta u okolini, čija se temperatura ne mijenja. Ako je zračenje odašiljano s površine objekta različito od zračenja koje odašilje njegova okolina, on će na termogramu biti vidljiv. Kaže se da objekt daje toplinski kontrast.

*Aktivna termografija* je metoda dobivanja toplinskog kontrasta objekta koji je na istoj temperaturi kao i njegova okolina te stoga nije vidljiv na termogramu bez intervencije izvana. Radi se o različitim načinima toplinske pobude objekta dovođenjem ili odvođenjem topline. Pri tome će objekt mijenjati temperaturu te će postati vidljiv termografskoj kameri, tj. moći će se odrediti njegova trenutačna temperatura. Aktivna se termografija, međutim obično provodi sa svrhom određivanja svojstava objekta ispod njegove površine. Tako se npr. snimanjem termograma u određenim vremenskim razmacima nakon pobude dobiva podatke iz kojih je moguće računski određivati neka svojstva materijala objekta kao što je debljina, nehomogenosti, pukotine i sl. Pasivna termografija je u većini slučajeva kvalitativna, dok se aktivna primjenjuje u kvantitativne svrhe, najčešće u laboratorijskim uvjetima pri istraživačkim i razvojnim disciplinama.

## 12.4. Analiza termograma

### 12.4.1. Svjetloća površine - odašiljano zračenje

Pod svjetloćom površine se podrazumijeva sveukupno zračenje koje dolazi s površine promatranog tijela, bez obzira je li izvor zračenja promatrano tijelo ili njegova okolina.



Slika 12.33 - Toplinsko zračenje usmjereno s površine objekta prema termografskoj kameri

U općem slučaju se svjetloća površine promatranog objekta sastoji od vlastitog emitiranog zračenja – izvor zračenja je promatrani objekt, reflektiranog zračenja – izvor zračenja su objekti u okolini koji se nalaze ispred promatranog objekta i propuštenog zračenja – izvor zračenja su objekti koji se nalaze iza promatranog objekta. Samo vlastita emisija promatranog objekta ovisi o njegovoj temperaturi i emisijskom faktoru. Ostala dva zračenja ne ovise o temperaturi promatranog objekta, već o temperaturi i emisijskom faktoru izvora reflektiranog, odnosno propuštenog zračenja.

Većina je realnih tijela već na dubini od nekoliko mikrometara nepropusna za toplinsko zračenje, pa se može uzeti  $\tau = 0$ . Jednadžba (12.2) se tada svodi na oblik:

$$\varepsilon + r = 1 \quad (12.17)$$

Kada se radi o termografskom mjerenju temperature djelomično propusnih tijela, potrebno je, ako je to moguće, propušteno zračenje eliminirati uporabom odgovarajućeg filtra koji je nepropustan za valne duljine zračenja koje promatrani objekt propušta.

### 12.4.2. Termografski prikaz - termogram

Termogram je prikaz raspodjele intenziteta zračenja koje dolazi s površina promatranih objekata. U tom smislu, poistovjetiti raspodjelu zračenja s raspodjelom temperatura na tim površinama bilo bi posve krivo. Zračenje koje dolazi na osjetnik infracrvene kamere sastoji se od vlastitog emitiranog zračenja (izvor zračenja je promatrani objekt) i od reflektiranog zračenja (izvor zračenja su objekti u okolišu). Osim toga, toplinsko zračenje odaslano s površine objekta prolazi kroz atmosferu (različite propusnosti) pa može biti umanjeno za određeni iznos (apsorpcija atmosfere), ali može u sebi sadržavati i pridodano zračenje same atmosfere (najčešće vodena para i ugljik-dioksid). Zato se pri analizi termograma koristi pojam "prividne temperature". Prividnom se temperaturom naziva očitavanje temperatura termografskom kamerom bez prethodno provedene ikakve obrade. U tom je očitavanju temperatura površine određena iz ukupnog zračenja koje je prispjelo na osjetnik infracrvene kamere, bez obzira na izvor zračenja.

Termogram će uvijek biti prikaz prividnih temperatura (izuzetak je naravno slučaj kada je u vidnom polju kamere samo površina jednolikog emisijskog faktora s ispravno unesenim parametrima objekta i okoline). Prividna se temperatura razlikuje od stvarne temperature - one koja je povezana s gibanjem molekula i atoma tijela. Dobivanje prave temperature iz "prividne" slijedi nakon uvažavanja brojnih utjecajnih faktora. Uzimanje u obzir svih utjecajnih faktora provodi se tako da se pri mjerenju u termografski sustav unose podaci o objektu mjerenja i njegovom okolišu, koji se jednim imenom zovu - parametri objekta. Svi termografski sustavi dopuštaju unos barem nekih parametara objekta. Način unošenja podataka i njihove oznake mogu se razlikovati od sustava do sustava. Nakon unošenja ovih podataka, infracrvena kamera će vidjeti isto što i prije, prikaz na kameri se neće promijeniti jer raspodjela intenziteta zračenje ostaje ista. Ono što će se promijeniti pri promjeni parametara objekta je iznos očitanih temperatura!



Analysis	Position	$\epsilon_r$	Obj. Par	Image
Label	Value [°C]	Min	Max	Max - Min
Image		-9,3	119,5	128,8
SP01	102,8			
SP02	94,8			

Parametri objekta: emisijski faktor 0,2; temperatura ambijenta 0°C



Analysis	Position	$\epsilon_r$	Obj. Par	Image
Label	Value [°C]	Min	Max	Max - Min
Image		-2,0	34,9	36,9
SP01	29,1			
SP02	26,3			

Parametri objekta: emisijski faktor 0,98; temperatura ambijenta 10°C

**Slika 12.34 - Termografski prikazi istog objekta s različitim postavkama parametara objekta**

Slika 12.34 zorno pokazuje utjecaj dva bitna faktora: emisijskog faktora i zračenja koje je došlo iz okoliša, a koje je promatrana površina reflektirala i koje je zajedno s vlastitom emisijom odaslano prema termografskoj kameri. Zračenje koje objekti iz okoliša šalju prema promatranoj površini, i koje se onda s te površine reflektira, uzima se u obzir preko "reflektirane prividne temperature" ili "temperature ambijenta" ( $T_{amb}$ ). Pri tome je važno naglasiti da se radi o prividnoj, dakle ne o stvarnoj temperaturi objekata u okolišu, te da se ta temperatura ne odnosi na temperaturu zraka (atmosfera u kojoj se obavlja mjerenje)!

Osim ovih faktora, ovisno o kvaliteti obrade infracrvenog prikaza i mogućnostima termografskog uređaja kojim se obavlja mjerenje, u obzir se može uzeti stanje atmosfere preko temperature zraka, njegove relativne vlažnosti i udaljenosti objekta promatranja od termografske kamere, moguća djelomična prozračnost atmosfere uslijed prisustva lebdećih čestica u zraku, temperatura kamere i utjecaj njezinog vlastitog zračenja na osjetnik kamere itd.

S obzirom na utjecaj pojedinih faktora u nastavku će biti obrađena dva osnovna faktora: emisijski faktor površine i "reflektirana prividna temperatura".

#### 12.4.2.1. Emisijski faktor površine

Vrlo je važno naglasiti razliku u ponašanju površina niske emisivnosti i površina visoke emisivnosti. Prividne će temperature

površina koje imaju visoke vrijednosti emisijskih faktora po vrijednosti bili vrlo blizu stvarnim vrijednostima temperatura. Naime, u ukupno odaslanoj energiji zračenja, površina visoke emisivnosti prevladava vlastita emisija u odnosu na reflektirano zračenje. Nasuprot tomu, prividne temperature površina koje imaju niske vrijednosti emisijskih faktora, će biti po vrijednostima bliske temperaturama okolišnih objekata. Te će se vrijednosti temperatura bitno razlikovati od njihovih stvarnih temperatura. Površine niske emisivnosti imat će jaku refleksiju zračenja iz okoliša, te će uvijek izgledati temperaturno bliže okolišu.

Primjerice: ako je promatrani objekt na temperaturi višoj od okolišnih objekata, on će izgledati hladniji nego što stvarno jest. Ako je pak na temperaturi nižoj od okolišnih objekata, izgledat će topliji nego što stvarno jest. U svakom slučaju površine niske emisivnosti uvijek prikivaju svoju stvarnu temperaturu.

Primjer termograma tijela dobre emisivnosti i utjecaj točnosti unosa emisijskog faktora u termografsku kameru prikazan je primjerom na slici 12.34.

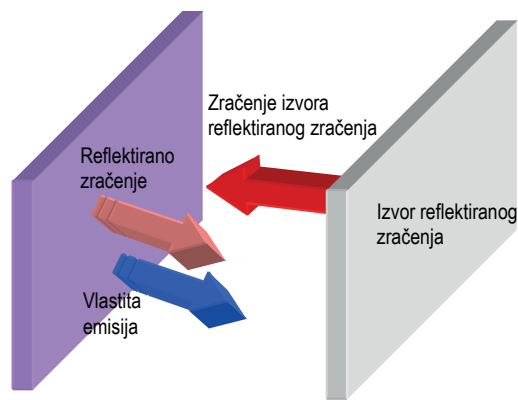
Kvalitetna i ispravna analiza termograma zahtijeva točno poznavanje emisijskog faktora. U tom se smislu preporučuje koristiti pouzdane izvore iz literature ili provesti postupak određivanja emisijskog faktora na promatranoj površini prije samog mjerenja. Za određivanje emisijskog faktora površine može se pri tome koristiti jedna od uobičajenih metoda (s neprozirnom trakom, lakom, šupljinom i slično).

#### 12.4.2.2. Reflektirana prividna temperatura

Drugi utjecajni parametar je temperatura objekata iz okoliša čije će zračenje promatrani objekt reflektirati, jer mu je faktor refleksije različit od nule. Kako to zračenje iz okoliša ne nosi nikakvu informaciju o temperaturi objekta mjerenja, potrebno je kompenzirati i utjecaj ovog parametra. Pod nazivom "reflektirana prividna temperatura" podrazumijeva se prividna temperatura objekata koji se nalaze u okolišu promatranog objekta, a čije se zračenje reflektira s površina promatranog objekta - cilja termografskog mjerenja.

Sam naziv "reflektirana prividna temperatura" u sebi objedinjuje tri važne činjenice:

- Radi se o prividnoj temperaturi, što znači da ova veličina zapravo ima energijski karakter i ne predstavlja stvarnu temperaturu objekata iz okoliša.
- Vezana je na objekte u okolišu
- Izvor refleksije nalazi se pod određenim kutom prema objektu promatranja. Njihov međusobni položaj je takav da omogućuje da zračenje izvora refleksije bude reflektirano s površina promatranog objekta i kao dio ukupnog zračenja dođe na osjetnik infracrvene kamere. Ako je površina promatranog objekta svojstva sličnih zrcalu, bit će relativno jednostavno otkriti izvor refleksije. Međutim, ako je promatrana površina difuzna, ona može primati i reflektirati zračenje u svim smjerovima. U tom će slučaju refleksija biti raspršena.



Slika 12.35 - Uz određivanje reflektirane prividne temperature

Za dobivanje stvarne vrijednosti temperature promatranog objekta, potrebno je iz ukupnog zračenja koje je prispjelo na osjetnik kamere, izdvojiti samo njegovu vlastitu emisiju. Program za obradu podataka u kameri će, koristeći podatke o faktoru



refleksije objekta ( $1 - \epsilon$ ) i podatak o iznosu reflektirane prividne temperature, od ukupnog zračenja oduzeti dio koji predstavlja reflektirano zračenje. Ako je teško odrediti izvor refleksije ili se radi o velikom broju točkastih refleksija, objekt mjerenja treba zaslonom zaštititi od refleksija iz okoliša.

Neke termografske kamere imaju mogućnost unošenja podataka o parametrima stanja atmosfere oko objekta mjerenja. To može biti značajno za slučajeve mjerenja na velikim udaljenostima od objekta mjerenja i za slučajeve kada se radi o relativno prljavoj atmosferi. Prisustvo različitih lebdećih čestica u atmosferi, kao i velika relativna vlažnost zraka, utječu na propusnost atmosfere, a u tim slučajevima može biti prisutna i vlastita emisija komponenata iz same atmosfere.

Emisijski faktor i reflektirana prividna temperatura mogu, ali ne moraju, biti jednoliki za cijeli termografski prikaz. U tom slučaju izmjerene vrijednosti temperatura odnose se samo na pojedine dijelove termograma za koje vrijede postavljene vrijednosti za  $\epsilon$  i  $T_{amb'}$ , ali ne i za ostatak termograma.

### 12.4.3. Tehnike analize termografskog prikaza

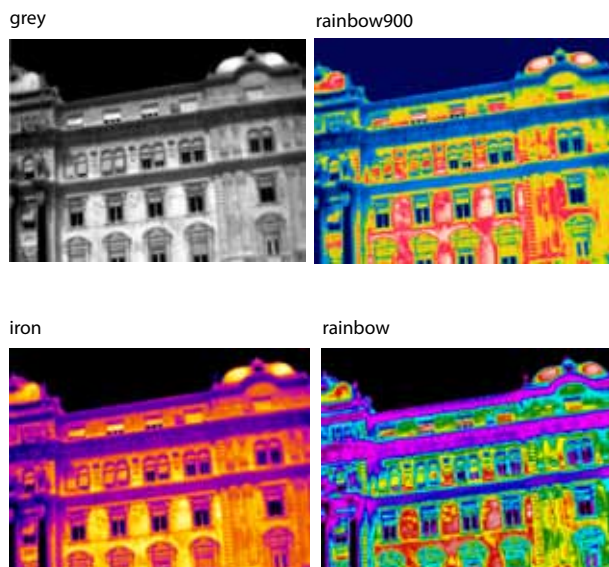
Pod analizom termograma podrazumijeva se analiza temperaturnog uzorka na prikazu dobivenom s infracrvene kamere. Infracrvene kamere raspolažu s alatima koji se mogu primijeniti u dvije svrhe: poboljšanje vidljivosti/uočljivosti temperaturnog uzorka i kvantitativnu analizu termografskog prikaza.

Alati koji se koriste za poboljšanje uočljivosti temperaturnog uzorka na termogramu su: izbor odgovarajuće temperaturne razine (level) i temperaturnog raspona (span), prikaz pomoću izoterma te izbor najpogodnije palete boja.

Temperaturno podešavanje je prilagodba temperaturne skale prikaza prema objektu analize, u cilju postizanja optimalnog kontrasta. Infracrvena kamera pruža mogućnost izbora temperaturne razine (srednja temperatura – level) i temperaturnog raspona (span).

Pod nazivom izoterma na termografskoj kameri podrazumijeva se odabrani interval "prividnih" a ne stvarnih temperatura. Korištenjem alata "izoterma" odabranom se bojom (najčešće izraženog kontrasta) osjenčuje područje (interval) prividnih temperatura.

Vrlo koristan alat pri analizi termograma je izbor palete boja. Njime se omogućuje da se različite boje pridruže određenim razinama "prividnih temperatura". Izabrana paleta boja može dati manje ili više izražen kontrast, ovisno o bojama koje sadržava.



Slika 12.36 - Različite palete boja s različitim kontrastima

Alati koji se najčešće koriste pri kvantitativnoj analizi termograma su:

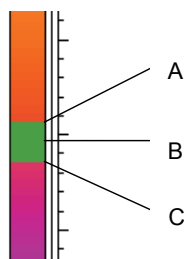
- izoterma (isotherm)
- točka (spot)
- područje (area)
- profil (profile).

Ovi se alati mogu primjenjivati kod obrade termograma i na infracrvenoj kameri i u pripadajućem softveru.

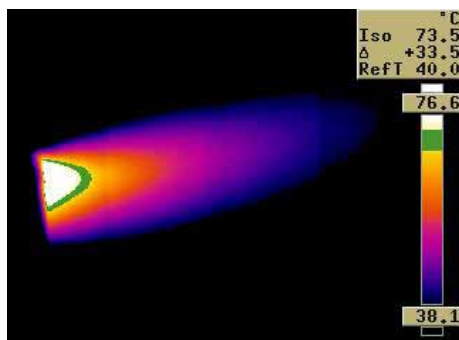
#### 12.4.3.1. Izoterma (isotherm)

Pod izotermom se na termografskom prikazu podrazumijeva odabrani interval prividnih, a ne stvarnih temperatura. Izoterma zapravo predstavlja područja na promatranom objektu koja odašilju toplinsko zračenje intenziteta unutar odabranih granica. Izoterma je kao alat vrlo pogodna za provedbu analize na mjestu mjerenja zato što se osim iznosa temperatura na pojedinim mjestima može dobiti i raspodjela toga izabranog temperaturnog intervala na promatranom objektu. Na taj se način može vrlo jednostavno provesti usporedba temperaturnih razina na pojedinim dijelovima termografskog prikaza. Prikaz i upotreba izoterme u Izvješćima o provedenim mjerenjima treba biti ispravna i jasna. U protivnom prikazi izoterme mogu navesti na krive zaključke osobe koje nisu dovoljno upoznate s infracrvenom termografijom kao metodom.

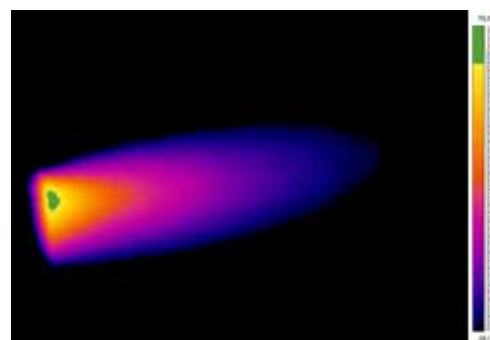
Prikaz na slici 12.37 je prikaz izoterme tipa "interval". Širina se odabrane izoterme proteže u području vrijednosti temperatura, od temperature A do temperature C i izražava se u stupnjevima - širinom pojasa izoterme. S obzirom da se širina pojasa izoterme može izabrati po volji, nužno je za pojedine kamere proučiti kako se definira postupak mjerenja uz pomoć izoterme. Najčešće se kao početna vrijednost (na termogramu navedena "temperatura" izoterme) uzima temperatura A, premda kod nekih kamera za početnu vrijednost temperature može biti odabrana vrijednost srednje temperature B. Postavke treba provjeriti u priručniku koji dolazi uz svaku kameru!



Slika 12.37 - Način definiranja izoterme na temperaturnoj skali



Slika 12.38 - Izoterma interval - upotreba alata na kameri



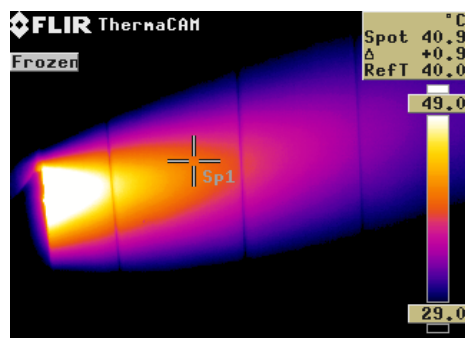
Slika 12.39 - Lociranje mjesta najviše temperature upotrebom alata "isotherm above"

Na nekim kamerama izotermu se može definirati i tako da je samo jedna od granica intervala pomična. Takve se izoterme nazivaju "isotherm above", odnosno "isotherm below". Kod primjene ovih izoterma na termogramu će biti kontrastnom bojom (bojom izoterme) označeni oni dijelovi termograma koji se nalaze iznad, odnosno ispod postavljene temperature. Korištenjem izoterme tipa "above" vrlo se jednostavno mogu pronaći mjesta najviše temperature, slika 12.39.

Mjesto najviše temperature može se detaljnije analizirati ako se upotrijebi vizualno povećanje - korištenjem zoom faktora. Međutim, korištenjem zooma može se optički povećati samo ono što kamera već vidi, ali se time ne može promijeniti niti se može poboljšati prostorna razlučivost kamere! Većina kamera dopušta definiranje izoterma samo unutar područja temperatura prikazanih na temperaturnoj skali uz termogram. Ako se izoterma definira izvan područja temperaturne skale, na termografskom se prikazu neće dogoditi nikakva promjena i izoterma neće biti prikazana.

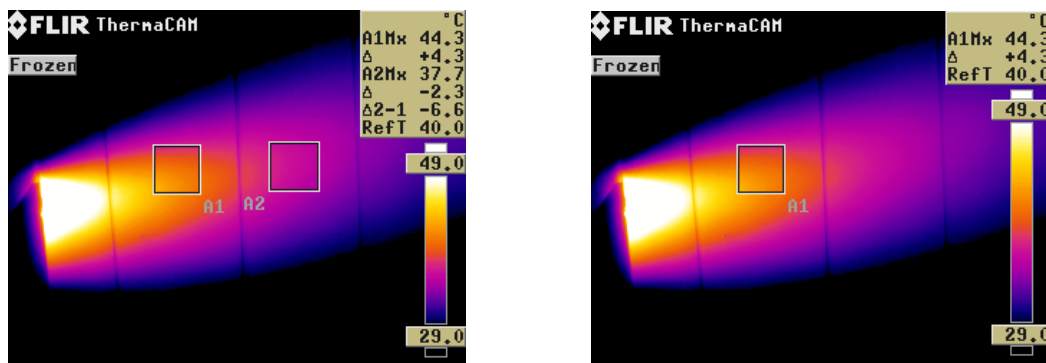
#### 12.4.3.2. Mjerna točka (spot)

Marker u obliku križa označava mjesto mjerne točke za očitavanje temperature. Većina kamera ima marker za točku koji je ujedno i pokazatelj koliko je veliko područje mjerne točke. To je područje unutar unutrašnjih rubova markera mjerne točke (krug upisan unutar presjecišta linija). Nije moguće ispravno mjeriti temperaturu objekta (ili područja) koje bi bilo manje od veličine mjerne točke. Pri pisanju izvješća o obavljenom mjerenju dobro je poslužiti se ovim alatom jer je vrlo jasan, označava mjesto mjerenja, daje vrijednost temperature te je lako razumljiv.



Slika 12.40 - Korištenje alata mjerna točka

#### 12.4.3.3. Područje (area)

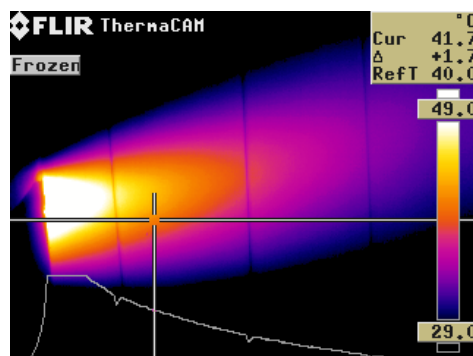


Slika 12.41 - Primjena alata "područje" na kameri

Primjenom alata područje (area) na termogramu se mogu označiti i analizirati pojedini dijelovi termograma, unutar (najčešće) pravokutnika ili kruga. Pri tome, kao rezultati mogu biti prikazani podaci o minimalnoj, maksimalnoj i/ili prosječnoj temperaturi odabranog područja.

Ako se pojedini objekti na termogramu razlikuju po stanjima svoje površine (različite vrijednosti emisijskih faktora) ili po udaljenosti u odnosu na termografsku kameru, moguće je za te objekte tijekom naknadne obrade termograma na računalo primjenom alata *područje* definirati odgovarajuće parametre objekta (emisijski faktor i udaljenost) koji se razlikuju u odnosu na ostatak termograma. Računalni program za obradu podataka dobivenih termografskim mjerenjem će za te parametre i te dijelove termograma izračunati i prikazati odgovarajuće vrijednosti temperatura.

#### 12.4.3.4. Profil (profile)



Slika 12.42 - Temperaturni profil na odabranoj vodoravnoj liniji

Primjenom alata "profil" dobiva se raspodjela temperatura duž odabrane linije na termografskom prikazu. Na kameri se temperaturni profil najčešće može dobiti samo za vertikalno ili horizontalno postavljenu liniju, ali tijekom naknadne obrade termograma na računalo, linija može biti postavljena bilo kako, a može biti i razlomljena.

Pri analizi termograma moguće je za odabranu liniju (kao i za odabrano područje) na termogramu definirati parametre objekta drugačije od ostatka termograma, a softver u kameri za te će vrijednosti izračunati iznos odgovarajućih temperatura.

Ono što bi svakako trebalo naglasiti u zaključku ovoga dijela jest i potreba jasnog i optički dobro izoštrenog termografskog prikaza, kao osnove za ispravnu analizu termograma. Korištenje bilo kojega od prethodno spomenutih alata neće dati dobre rezultate ako parametri promatranog objekta i njegovog okoliša nisu ispravno unijeti, te ako promatrani objekt nije optički dobro izoštren.

## 12.5. Primjena termografije u zgradarstvu

Termografija se u zgradarstvu najčešće primjenjuje s ciljem ustanovljavanja trenutnog stanja toplinske izolacije (eventualnih oštećenja ili propusta prilikom njezinog postavljanja), za procjenu stanja objekta prije poduzimanja poslova sanacije (procjena opsega radova i troškova), pronalaženje mjesta prodora vlage (uzrok pojave plijesni i oštećenja građevnog dijela uslijed vlage, analiza šteta izazvanih vlagom), za pronalaženje skrivenih elemenata u građevinskom dijelu ispod sloja vanjske žbuke te u održavanju spomeničke baštine.

### 12.5.1. Značajke transporta topline kroz građevinske elemente

Transport topline kroz promatrani građevinski element odvija se provođenjem (najčešće se radi o višeslojnim građevinskim elementima). Izmjena topline na površini građevinskog dijela obuhvaća konvekciju na okolišni zrak i zračenje. Intenzitet izmjene topline provođenjem kroz stijenku objekta ovisi o debljinama pojedinih slojeva i o njihovima svojstvima. Svojstva se slojeva navode preko vrijednosti toplinske vodljivosti ili toplinskog otpora materijala sloja. Neke karakteristične vrijednosti toplinske vodljivosti građevinskih materijala su navedene u Tablici 12.3.

**Tablica 12.3 - Toplinska provodnost nekih građevinskih materijala**

Materijal	Toplinska provodnost $\lambda$ W/mK
puna cigla (1600 kg/m <sup>3</sup> )	0,733
šuplja cigla (800 kg/m <sup>3</sup> )	0,33
normalni beton	0,837
gipsana žbuka	0,35
gips ploče	0,21
keramika	1,2
guma	0,1570
mineralna vlakna	0,034 - 0,04
poliuretan	0,02 - 0,03
pjenobeton	0,19
smreka, jela	0,13
smreka, jela, uzduž vlakana	0,17
čelik	59,3
plemeniti čelik	30
bakar	386

Toplinska vodljivost građevinskih materijala ovisi o njihovoj gustoći i vlažnosti. Stoga vrijednosti iz Tablice 12.3. treba smatrati prosječnima.

Konvektivni transport topline s površine građevinskog dijela na okolni zrak opisuje se koeficijentom prijelaza topline koji u bitnome ovisi o geometriji promatranog elementa, načinu strujanja zraka oko njega, temperaturi zraka i temperaturi građevnog dijela, te ponajviše o brzini strujanja zraka. Koeficijent konvektivnog prijelaza topline ne može se odrediti termografskim mjerenjima. Uobičajeno se kod proračuna građevinskih elemenata uzima da je vrijednost koeficijenta prijelaza topline na vanjskim stjenkama zgrade 23 W/m<sup>2</sup>K, a na unutarnjim ploham (u prostorijama) 8 W/m<sup>2</sup>K.

Transport topline zračenjem uglavnom se odnosi na zagrijavanje vanjskih stijenki objekta izravnim sunčevim zračenjem. Uslijed

nestacionarnosti koje se događaju tijekom zagrijavanja objekta, sva se vanjska kvantitativna termografska mjerenja moraju provoditi kada građevinski element nije pod izravnim utjecajem sunčevog zračenja, uobičajeno ujutro prije izlaska Sunca ili navečer nakon zalaska Sunca. Toplinska svojstva građevinskog dijela se najčešće opisuju koeficijentom prolaska topline  $U$ ,  $W/m^2K$ . Važno je naglasiti da se vrijednost koeficijenta prolaska topline ne može odrediti termografskim mjerenjem.

### 12.5.2. Termografska mjerenja u zgradarstvu

Termografska mjerenja u zgradarstvu provode se u razdobljima kada je objekt u stacionarnom ili kvazistacionarnom stanju. Svaka je nestacionarnost uvijek vezana uz toplinsku tromost objekta. Primjena infracrvene termografije za pronalaženje i analizu mjesta s toplinskim nedostacima ili oštećenjima u tim uvjetima, ne bi dala pouzdane i ispravne podatke. Uvjeti izmjene topline na vanjskim stijenkama građevine razlikuju se od uvjeta koji vladaju na unutarnjim stijenkama i najčešće ih je teško obuhvatiti i definirati. Iz toga razloga je kvantitativna infracrvena termografija uglavnom vezana na mjerenja koja se obavljaju unutar objekta, a termografska mjerenja obavljena na objektu s vanjske strane uglavnom se odnose na kvalitativnu termografiju.

Vanjska termografija pruža širi pregled objekta i omogućuje sagledavanje objekta kao cjeline, te se sve nepravilnosti u temperaturnoj raspodjeli lakše uočavaju. Ako prostorni uvjeti oko objekta dopuštaju, moguće je promijeniti kut snimanja i objekt promatrati iz različitih pozicija što je nekad vrlo korisno radi uklanjanja smetnji iz okoliša. Međutim, ako je prostor oko građevnog objekta skučen, snimanje će biti teško provedivo uslijed male udaljenosti do objekta, te će i kut snimanja biti loš. Poteškoće kod mjerenja može uzrokovati pokrivenost fasade zelenilom i sjenom drveća. Osim toga, vanjska je termografija izrazito ovisna o vremenskim uvjetima prije i tijekom obavljanja mjerenja.

Kod unutarnje termografije vremenski uvjeti nemaju izravnog utjecaja, pa se ona može provesti tijekom cijelog dana. Poteškoće se mogu pojaviti u slučajevima kada je za mjerenje pristupačan samo dio površina i kada je u prostorijama prisutan namještaj. Unutarnja termografija obično zahtijeva više vremena za provedbu mjerenja, a nužno je odobrenje i razumijevanje korisnika prostora u kojem se odvija mjerenje.

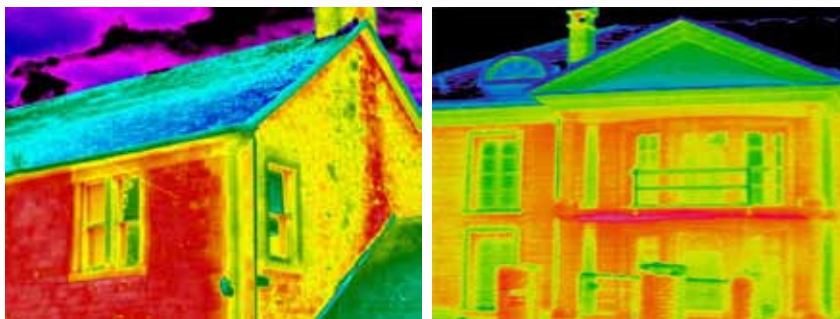
#### 12.5.2.1. Toplinski mostovi

Pod toplinskim se mostom označuje dio građevinske konstrukcije kroz koji se izmjenjuje toplinski tok po iznosu veći nego kroz susjedna područja. S obzirom na to da je na tom dijelu intenzivnija izmjena topline i temperaturna se raspodjela razlikuje od susjednih područja.

U osnovi se razlikuje nekoliko vrsta toplinskih mostova:

- geometrijski toplinski mostovi: područja čija sama geometrija predodređuje temperaturnu raspodjelu koja se razlikuje od susjednih područja (vanjski uglovi zgrada, istaci i parapeti)
- konstrukcijski: područja koja su predodređena konstrukcijom same građevine (npr. čelična konstrukcija u zidovima drvenih objekata)
- materijalom uvjetovani toplinski mostovi: žbukana fuga u zidu građevine
- toplinski mostovi uvjetovani protokom medija različite temperature: mjesta postavljanja toplinskih instalacija
- toplinski mostovi uvjetovani okolinom: prisustvo drugih objekata u neposrednoj blizini promatranog građevnog objekta.

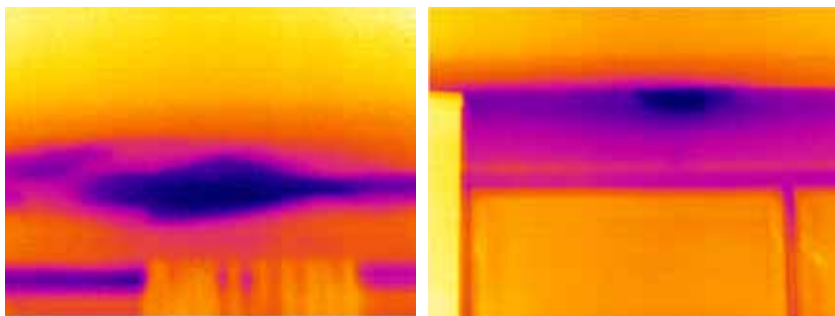
Otkrivanje toplinskih mostova primjenom infracrvene termografije treba provoditi isključivo u razdobljima kada se promatrani objekt nalazi u stacionarnom ili kvazistacionarnom stanju.



Slika 12.43 - Toplinski mostovi

### 12.5.2.2. Pojava vlage

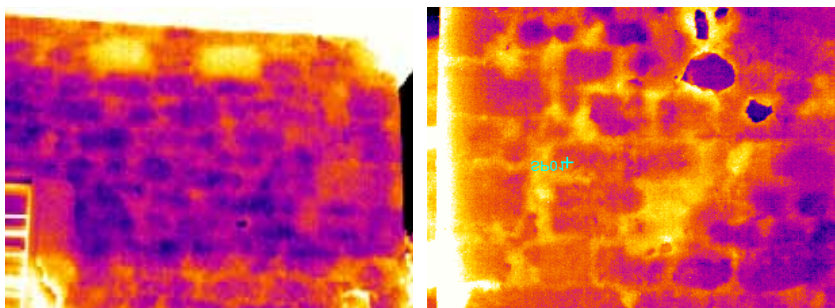
Prisustvo vlage u strukturi građevinskog objekta uobičajeno se pokazuje kao šareno i rašireno područje bez većih temperaturnih razlika unutar područja. Vлага povećava toplinsku provodnost materijala građevinskog elementa/sloja, a prisutan je i procesa ishlapljivanja vlage. Zato se kod unutarnje termografije vlažna područja na termogramu pokazuju kao hladnija.



Slika 12.44 - Pojava vlage na stropu i iznad prozora

### 12.5.2.3. Otkrivanje strukture vanjskog građevinskog elementa ispod sloja žbuke

Različito svojstava građevinskih materijala upotrijebljenih u izgradnji objekta pri termografskom mjerenju očituje se u različitoj temperaturnoj raspodjeli na površini objekta, na temelju koje se može dobiti informacija o stanju i vrsti materijala ispod sloja vanjske žbuke. Ovo je osobito pogodno kada se radi o objektima koji spadaju u kategoriju spomeničke baštine.

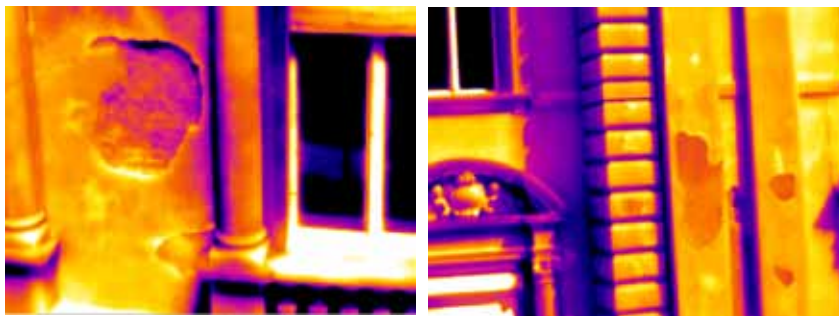


Slika 12.45 - Otkrivanje strukture ispod sloja vanjske žbuke

#### 12.5.2.4. Utvrđivanje stupnja oštećenja fasade

Osim pojave vlage i oštećenja izolacijskog sloja vanjske stijene građevinskog objekta, termografskim se mjerenjem može otkriti i procijeniti stupanj oštećenja fasade uslijed odvajanja vanjskog sloja žbuke od podloge. Odvajanjem sloja žbuke nastaju zračni džepovi koji ispod sloja žbuke djeluju kao izolacijski slojevi. Stvarni stupanj oštećenja fasade je teško procijeniti samo vizualnim pregledom zbog skrivenih rubova zračnih džepova.

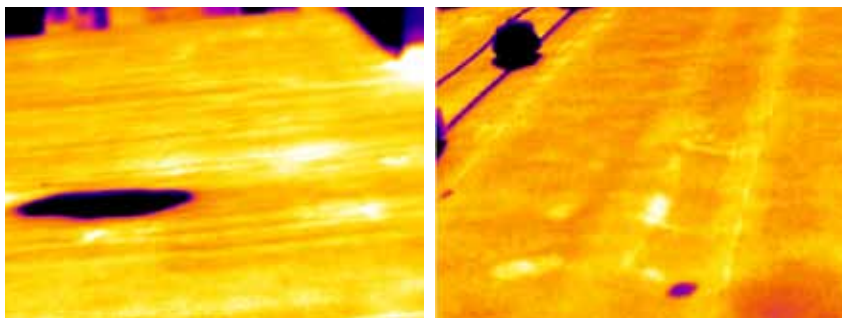
Termografskim se mjerenjima mogu uočiti i mjesta na kojima je došlo do odvajanja vanjskog sloja žbuke od podloge bez izvana vidljivog oštećenja žbuke.



Slika 12.46 - Utvrđivanje stupnja oštećenja ovojnice vanjske žbuke zgrade

#### 12.5.2.5. Kontrola ravnih krovova

Termografskim mjerenjem ravnih krovova prisustvo vlage ili sloja zraka ispod sloja bitumenske ljepenke može se utvrditi preko mjesta sniženih/povišenih temperatura, ovisno o vremenu u kojemu se obavlja mjerenje (ujutro ili navečer).



Slika 12.47 - Vlaga - hladnije područje i zrak - toplije područje ispod bitumenskog sloja na ravnom krovu

Na slici 12.47 je prikazano termografsko mjerenje obavljeno na ravnom krovu objekta u jutarnjim satima. Područja s prisutnim kondenzatom ispod bitumenskog sloja se, zbog velikog toplinskog kapaciteta vode, u razdoblju zagrijavanja krova pokazuju hladnijima. Obrnuto je za zračne džepove. Kako tanki zračni sloj djeluje kao izolacijski sloj ispod sloja bitumenske ljepenke (mala toplinska provodnost zraka) u razdoblju zagrijavanja krova, ta se područja s prisutnim zrakom pokazuju kao toplija.



### 12.5.3. Postupak pripreme i provedbe termografskog mjerenja na objektu

Termografska mjerenja na građevinskom objektu može obavljati samo osoba koja je za to osposobljena odgovarajućim stupnjem izobrazbe i koja posjeduju odgovarajuću potvrdu (certifikat) izdanu od ovlaštenog tijela.

Mjerenja su uglavnom ograničena na hladniji dio godine, preporučuje se zimsko razdoblje. Uvjeti koje bi trebalo ostvariti za kvalitetnu provedbu termografskog mjerenja su:

- razlika temperatura zraka unutar i izvan objekta treba iznositi minimalno 10°C tijekom najmanje 12 sati
- promjena temperatura tijekom navedenog razdoblja ne bi smjela prijeći 30%;
- ako se radi vanjska termografija, mjerenje treba obaviti prije izlaska Sunca
- ako se radi unutrašnja termografija, treba osigurati jednoliku temperaturu unutar objekta
- brzina vjetra ne smije biti veća od 1 m/s kod vanjske kvantitativne termografije
- mjerenja raditi bez prisustva ikakvih padalina (kod kvantitativne termografije često se traži razdoblje od barem jednog dana bez padalina do trenutka provedbe mjerenja)
- na površinama na kojima se obavlja termografsko mjerenje ne smije biti prisutna voda (kiša ili rosa).

Prije provedbe samoga mjerenja, preporučuje se napraviti plan provedbe mjerenja. Korisno je upoznati objekt mjerenja ili temeljem fotografija ili tijekom predmjerenja. Korisno je ispitati pristupačnost objekta koji se mjeri radi definiranja potrebne optike i izrade prostornog i vremenskog plana provedbe mjerenja. Za prostorni je plan korisno postaviti koordinate i izraditi plan kretanja po objektu, napraviti plan označavanja pojedinih termograma i odrediti broj termograma koje treba napraviti s određene pozicije.

Prije mjerenja je dobro definirati potrebnu dodatnu mjernu opremu koja će služiti tijekom mjerenja (temperatura i vlažnost zraka, brzina vjetra i slično) i provjeriti njezinu točnost. Također, provjeriti potrebu za primjenom zaštitne opreme za osobu koja provodi termografsko mjerenje ili za termografski uređaj. Nadalje, definirati očekivane tipove pogrešaka na objektu, informirati se o toplinskim izvorima unutar objekta. Prije samog početka mjerenja, potrebno je ispravno odrediti parametre objekta (emisijski faktor i reflektiranu prividnu temperaturu).

Tijekom mjerenja je potrebno kontrolirati promjenljivost uvjeta okoliša i bilježiti u vremenskim razmacima svaku promjenu stanja (temperatura zraka, vlažnost, brzina vjetra).

Temperaturna razina (level) i temperaturni raspon (span) bi po prilici trebali ostati konstantni za cijeli objekt. Ako je moguće, uvijek je dobro napraviti proračun očekivanih vrijednosti temperatura s obzirom na nametnute uvjete izmjene topline, te napraviti potvrdu rezultata mjerenja (razoriti dio građevinskog elementa ako je moguće).

U izvješću se može, ako termografist ima odgovarajući stupanj izobrazbe, spomenuti i neka od mogućih rješenja za nedostatke na objektu uočene tijekom termografskog mjerenja.

### 12.5.3.1. Posebni zahtjevi na termografske kamere za primjenu u zgradarstvu

Primjena termografskih metoda ispitivanja u svrhu određivanja toplinskih značajki građevinskih objekata podrazumijeva i neka specifična svojstva termografskog sustava koji se pri tome koristi. Njemačko savezno udruženje za primijenjenu termografiju (VATH) donijelo je preporuku o tim svojstvima prema sljedećoj tablici.

**Tablica 12.4 - Preporučena svojstva termografskog sustava za primjenu u zgradarstvu**

<b>Spektralno područje, <math>\mu\text{m}</math></b>	2 do 5, 7 do 12
<b>Mjerno područje temperature, <math>^{\circ}\text{C}</math></b>	-30 do 100
<b>Radno područje temperature, <math>^{\circ}\text{C}</math></b>	-10 do 40
<b>Objektivi</b>	primjereno zadaći
<b>Temperaturna razlučivost NETD, K/30 <math>^{\circ}\text{C}</math></b>	0,1
<b>Prostorna razlučivost, IFOV, mrad</b>	2
<b>Točnost (apsolutna), K</b>	3
<b>Min. frekvencija obnove slike, Hz</b>	1
<b>Preporučene funkcije kamere</b>	izoštavanje, zoom, zamrzavanje slike, c/b i bojeni prikaz, izoterma, mjerne funkcije, unos: emisivnosti, udaljenosti, temperature okoline, rel. vlažnosti atmosfere, vizualizacija na zaslonu ili monitoru, pohrana podataka (npr. disketa, PCMCIA kartica, CF kartica ili sl.), baterijski (autonomni) pogon min. 1 h, kalibriranje: tvorničko (min. svake 3 godine) i unutarnje automatsko, software za obradu slike.

## Reference

- [12.1] Michalcki, L., Eckersdorf, K., McGhee, J.: *Temperature measurement*, J. Wiley, New York 1991.
- [12.2] Andrassy, M., Boras, I., Svaic, S.: *Osnove termografije s primjenom*, Kigen, Zagreb 2008.
- [12.3] Gruenberger, T. et al.: *Skripta - kvalifikacijski tecaj - IT stupanj i prema EN 473*, FSB - CTT, Zagreb 2009.

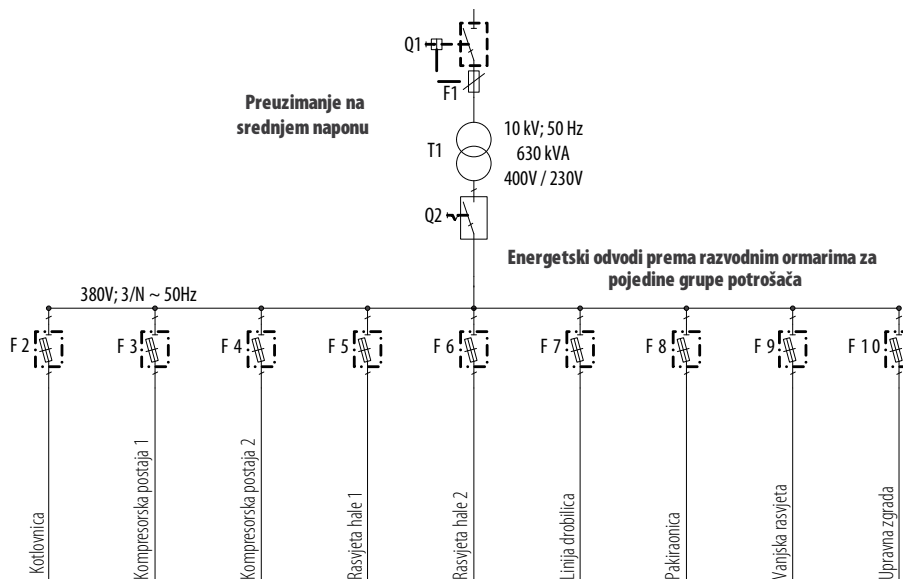




## 13. ELEKTRIČNA ENERGIJA U ZGRADARSTVU

### 13.1. Općenito o elektroenergetskom sustavu u zgradama

Pod elektroenergetskim sustavom u zgradama podrazumijevamo komponente i uređaje koji se nalaze iza mjesta preuzimanja električne energije u zgradi [13.1]. Primjer pojednostavljene jednopolne sheme elektroenergetskog sustava u nekoj zgradi nalazi se na slici 13.1. Osnovno pravilo za poboljšanje efikasnosti uređaja koji se koriste električnom energijom može se sažeti u rečenici: *"Isključi uređaj kada ga ne koristiš!"*



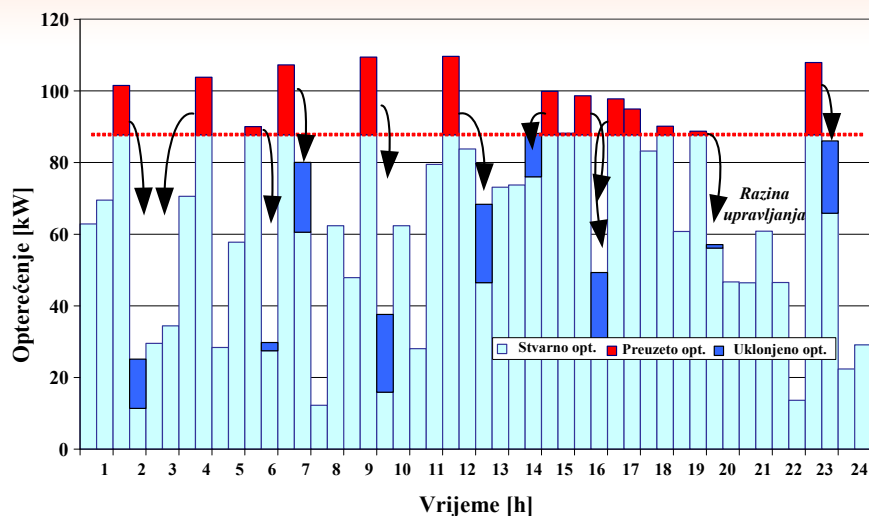
**Slika 13.1 - Primjer pojednostavljene jednopolne sheme elektroenergetskog sustava u zgradarstvu [13.2]**

U traženju poboljšanja efikasnosti elektroenergetskog sustava u zgradama, potrebno je držati se već spomenutog sustavnog pristupa, tj. poboljšanja je potrebno tražiti i na strani opskrbe (transformatori, kompenzacija jalove snage, upravljanje vršnim opterećenjem, kvaliteta električne energije) i na strani finalne potrošnje (elektromotorni pogoni, rasvjeta, ostali uređaji).

Na lokacijama gdje se električna energija preuzima na sredjenaponskoj razini, čest je slučaj da su u transformatorskoj postaji instalirana dva transformatora, tzv. radni i pričuvni. Iako je jedan transformator dostatan za pokrivanje potreba, najčešće su u pogonu oba. Primjera radi za transformator od 1.000 kVA prosječni gubici (ovisno o opterećenju) iznose oko 10 kW što za poduzeće čiji je transformator u pogonu oko 8.700 h/god. znači nepotrebne gubitke u iznosu od 87.000 kWh/god. Ovi se gubici mogu izbjeći jednostavnim isključivanjem jednog od transformatora (pričuve).

Analizom prikupljenih računa za potrošnju električne energije može se vidjeti postoje li za zgradu izdaci pod stavkom prekomjerno preuzeta jalova energija i na taj način utvrditi postoji li kompenzacija jalove snage te je li ispravno dimenzionirana. Ako u zgradi nema nikakvih kondenzatora za kompenzaciju jalove snage, za očekivati je prosječni  $\cos\varphi$  u rasponu od 0,6 do 0,8. Dodavanjem kondenzatora potrebno je podignuti  $\cos\varphi$  iznad 0,95 i na taj način izbjeći dodatne troškove za jalovu energiju.

Rezanje vrhova ili smanjenje vršnog opterećenja klasični je način upravljanja potrošnjom, a provodi se pravovremenim isključenjem trošila koja nisu nužna u zadanom trenutku, s ciljem smanjivanja vršnog opterećenja i uz to vezanih troškova. Na tržištu postoji oprema koja se podešava prema značajkama aktivnosti u zgradi te u slučaju da postoji opasnost prekoračenja zadane razine vršnog opterećenja, isključuje predefiniрана trošila. Primjer upravljanja vršnim opterećenjem prikazan je na slici 13.2.



Slika 13.2 - Primjer upravljanja vršnim opterećenjem [13.2]

Prilikom analize mogućnosti upravljanja vršnim opterećenjem, potrebno je provesti istovremeno mjerenje potrošnje električne energije i angažirane snage na svim energetskim odvodima prema razdjelnim ormarima u objektu te na taj način utvrditi stvarne mogućnosti za smanjenje vršnog opterećenja [13.1].

## 13.2. Električna rasvjeta

U većini je zgrada električna rasvjeta vrlo značajan potrošač te nudi značajne potencijale za uštede [13.3]. Izborom odgovarajućeg, visokoefikasnog izvora svjetlosti, uz energetske uštede, povećava se i ugodnost boravka u prostoru. Prilikom izbora izvora svjetlosti potrebno je voditi računa i o zakonskim normama te potrebnoj osvjetljenosti radnih mjesta. Primjera radi, razina osvjetljenosti radnih mjesta u zatvorenom prostoru propisana je normom Osvjetljenost radnih mjesta u zatvorenom prostoru (HRN ISO/CIE 8995:2003).

### 13.2.1. Općenito o svjetlu – svjetlosne veličine

Čovjek prvenstveno skuplja informacije vidom, jer je njegova okolina vizualni svijet. Oko je najvažnije osjetilo i dobiva 80% svih informacija koje čovjek prima [13.4]. Bez svjetla ovo ne bi bilo moguće – svjetlo je medij koji omogućuje vizualnu percepciju. Brzina prijenosa informacija vidom gotovo je 10 puta veća nego sluhom.

Svjetlost utječe i na raspoloženje te osjećaj sigurnosti. Rasvjetljenost i boja, utjecaj sjene i izmjena svjetla i tame utječu na trenutne osjećaje i određuju ritam života. Nedovoljno svjetlosti ili potpuni izostanak, stvaraju osjećaj nesigurnosti – nedostatak informacija. Prosječan Europljanin provede 90% svog vremena u zatvorenom, pa je zbog toga važnost umjetne rasvjete nenadoknadiva [13.4].

A što je zapravo svjetlost? Svjetlost je elektromagnetsko zračenje valnih duljina od  $10^{-7}$  m do  $10^{-3}$  m koje nadražuje mrežnicu u čovječjem oku i time u organizmu izaziva osjet vida. Taj dio zračenja naziva se optičko zračenje.

A što je elektromagnetsko zračenje? Elektromagnetsko zračenje je oblik energije, a spektar takvog zračenja daje informaciju o njegovom sastavu. Kompletan spektar elektromagnetskog zračenja obuhvaća od X-zraka na visokoenergetskom, kratkovalnom području do radio valova na niskoenergetskom, dugovalnom području.

Vrlo često se u običnom govoru koristi termin *svjetlo* čime se označava svako zračenje koje uzrokuje neposredno vidljivo opažanje. Inače, svjetlost se može promatrati na dva načina, i to u:

- fizikalnom smislu (prijenos energije u obliku elektromagnetskih valova – gornja definicija)
- osjetilnom smislu (modeliranje dijelova ljudskog oka).

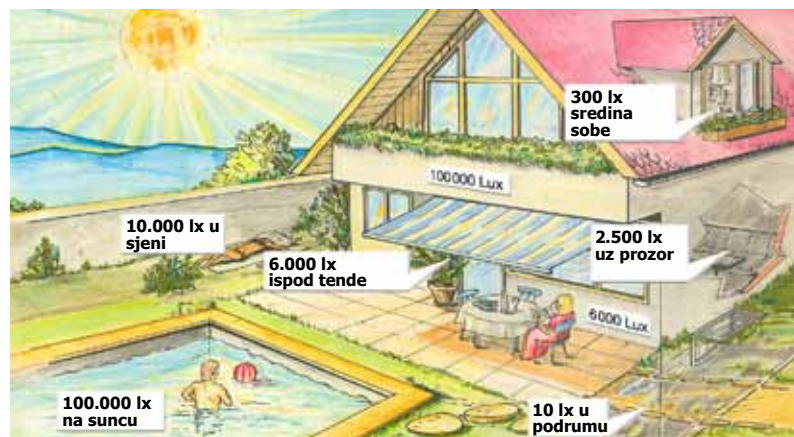
Osnovna svjetlosna veličina je kandela [cd] koja je definirana kao monokromatsko zračenje svjetlosti frekvencije  $540,015 \times 10^{12}$  Hz i snage  $1/683$  W po jediničnom prostornom kutu. U kandelama se izražava intenzitet (često se koristi i termin jakost) svjetlosti i to je osnovna SI jedinica.

Svjetlosni tok predstavlja snagu zračenja koju emitira izvor svjetla u svim smjerovima. Jedinica za svjetlosni tok je lumen [lm]. To je izvedena jedinica SI sustava - točkasti izvor svjetla ima svjetlosni tok od 1 lm kada u prostorni kut od 1 sr zrači jakošću svjetlosti od 1 cd. Primjera radi svjetlosni tok standardne žarulje sa žarnom niti snage 100 W iznosi 1.380 lm, a kvalitetne fluorescentne cijevi snage 18 W iznosi 1.350 lm.

Rasvjetljenost je mjerilo za količinu svjetlosnog toka koja pada na određenu površinu. Jedinica za rasvjetljenost je luks [lx] i to je izvedena jedinica SI sustava. Lx je definiran kao rasvjetljenost jednog kvadratnog metra na koju pada ravnomjerno raspodijeljen svjetlosni tok od 1 lm. Nekoliko primjera razine rasvjetljenosti nalazi se u tablici 13.1., odnosno na slici 13.3. Dakle, sve što se želi vidjeti mora biti osvijetljeno, jer je sama svjetlost nevidljiva. Za sunčana dana rasvjetljenost je do 100.000 lx, u hladu drveta 10.000 lx, a pri mjeseci samo 0,25 lx. Ipak, prilagodljivost oka dopušta da vidimo u svim ovim uvjetima.

**Tablica 13.1. Primjeri razine rasvjetljenosti [13.4]**

Primjer	Rasvjetljenost [lx]
Rasvjeta operacijskog stola	20.000 - 120.000
Sunčan ljetni dan	60.000 - 100.000
Oblačan ljetni dan	20.000
Oblačan zimski dan	3.000
Dobro rasvjetljeno radno mjesto	500 – 750
Pješačka zona	5 – 100
Noć s punim mjesecom	0,25
Noć s mladim mjesecom	0,01



**Slika 13.3 - Primjeri razine rasvjetljenosti [13.4]**



Svjetlosna iskoristivost izvora svjetlosti definira se kao omjer dobivenog svjetlosnog toka izvora svjetlosti i uložene snage:

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \text{ [lm/W]} \quad (13.1.)$$

gdje je:

- $\Phi$  - svjetlosni tok mjereno u lm  
 $P$  - električna snaga mjerena u W

Svjetlosna iskoristivost pokazuje iskoristivost kojom se uložena električna energija pretvara u svjetlost. Teoretski maksimum iskoristivosti, pri kojem se sva energija pretvara u vidljivo svjetlo, iznosi 683 lm/W. U stvarnosti vrijednosti su puno manje i iznose između 10 i 150 lm/W. Svjetlosna iskoristivost predstavlja jedan od osnovnih parametara za ocjenu ekonomičnosti rasvjetnog sustava. Čovječje oko ne opaža vidljivo zračenje samo po jačini svjetlosti već i po bojama. Taj se osjećaj naziva podražaj boja. Pri tome je svejedno radi li se o zračenju izvora (boja svjetlosti) ili osvjetljenom objektu (boja predmeta), jer je upravo svjetlost jedini izvor boje na svijetu. Svjetlost je uvijek obojena, a zastupljenost pojedinih boja može se odrediti analizom pojedinih valnih duljina. Svjetlost ne može proizvesti nikakvu boju koje nema u spektru te svjetlosti (primjetno kod monokromatskih izvora svjetlosti). Teorija tri boje (crvene, zelene i plave), koje nadražuju pojedine čepićaste receptore u oku, te superponiranjem svih podražaja stvaraju zapažanje boje, osnova je kolorimetrije. Kolorimetrija ili mjerenje boja je znanost koja se bavi kvantitativnim vrjednovanjem boja.

Za označavanje boje nekog izvora svjetlosti uz tzv. trikromatski dijagram koristi se i pojam temperature boje. Temperatura boje mjeri se u kelvinima [K] i označava boju izvora svjetlosti usporedbom s bojom svjetlosti koju zrači idealno crno tijelo. Temperatura idealnog crnog tijela u Kelvinima, pri kojoj ono emitira svjetlost kao mjereno izvor, naziva se temperatura boje toga izvora svjetlosti.

Zbog standardizacije, temperature boja izvora svjetlosti podijeljene su u tri grupe:

- dnevno svjetlo (> 5000 K)
- neutralno bijelo (3500 – 5000 K)
- toplo bijelo (< 3500 K).

Ovisno o primjeni, umjetno svjetlo treba omogućiti da se boje vide kao da su obasjane prirodnim svjetlom. Ova kvaliteta izvora svjetla naziva se uzvrat boje i izražava se faktorom uzvrata boje (tzv. Ra faktorom). Uzvrat boje nije povezan s temperaturom boje, te se ne može na osnovu temperature boje izvoditi zaključak o kvaliteti svjetla. Primjer dobrog i lošeg uzvrata boje nalazi se na slici 13.4. Što je Ra faktor izvora niži, to je uzvrat boje toga izvora lošiji. Referentni Ra iznosi 100.



Slika 13.4 - Primjer dobrog (lijevo) i lošeg (desno) uzvrata boje [13.4]

Uz navedena svojstva izvora svjetlosti (svjetlosni tok, jakost svjetlosti, uzvrat boje, temperature boja, svjetlosna iskoristivost) promatraju se i sljedeća svojstva koja su međusobno višestruko povezana:

- Kompaktnost
  - zahtjevi za prostorom
  - veličina svjetiljke
  - utjecaj na arhitekturu
  - usmjernost svjetla
  
- Uporaba
  - jednostavnost
  - komfor korisnika (temperatura i uzvrat boje)
  - regulabilnost
  - jednostavnost zamjene
  
- Ekonomičnost
  - svjetlosna iskoristivost
  - vijek trajanja
  - cijena
  - trošak zamjene
  
- Utjecaj na okoliš
  - potrošnja energije
  - potrošnja prirodnih resursa
  - zbrinjavanje.

### 13.2.2. Izvori svjetlosti

Prije 400.000 godina čovjek je počeo koristiti vatru kao izvor svjetla i topline. Oko 70.000 godina prije naše ere izumljena je prva svjetiljka. Šuplja stijena ili čahura bile bi napunjene mahovinom (ili sličnim materijalom) natopljenom životinjskom mašću i zapaljene. U 7. stoljeću prije naše ere Grci počinju izrađivati tzv. *terra cotta* svjetiljke kao zamjenu za baklje. U 18. stoljeću naše ere koristile su se uljne svjetiljke, što je ujedno prvi pokušaji regulacije jakosti svjetlosti, dok u 19. stoljeću postaju popularne plinske svjetiljke. Prelomni trenutak u razvoju rasvjete dogodio se 1879. godine kada je Thomas Alva Edison, koristeći usavršenu ugljenu nit, te uvodeći vakuum unutar žarulje, uspješno demonstrirao njezin rad [13.4]. Unatrag nekoliko desetaka godina, razvoj izvora svjetlosti i svjetiljaka izuzetno je dinamičan, te uključuje najnovije tehnologije, nove optičke sustave, nove materijale i posebno u zadnje vrijeme – brigu prema okolišu.

Izvore svjetlosti prvenstveno dijelimo prema načinu generiranja svjetlosti – princip termičkog zračenja (žarulje sa žarnom niti) i princip luminiscencije (žarulje na izboj). Također, često spominjana je i podjela na prirodne i umjetne izvore svjetlosti.

Svjetlost Sunca spada u grupu termičkih isijavanja. Tijekom evolucije ljudsko oko se posebno prilagodilo spektru zračenja Sunca, koje prolazi kroz atmosferu u dovoljnoj količini i jednoličnosti. Sunčevo zračenje odgovara temperaturi crnog tijela od 5.800 K. Specifična energija zračenja iznosi izvan atmosfere 1.374 W/m<sup>2</sup>. Na morskoj površini energija je 60-70% ove vrijednosti. Atmosfera propušta samo zračenje između 350 i 2.500 nm. Stoga u Sunčevu zračenju nema UV-C i IR-C zračenja. Dnevno svjetlo mješavina je izravnog i neizravnog zračenja, te ovisi o vremenskim uvjetima.

U sektoru zgradarstva najčešće se upotrebljavaju fluorescentne žarulje (cijevi), fluokompaktne i standardne tzv. obične žarulje sa žarnom niti te u manjem opsegu halogene žarulje.

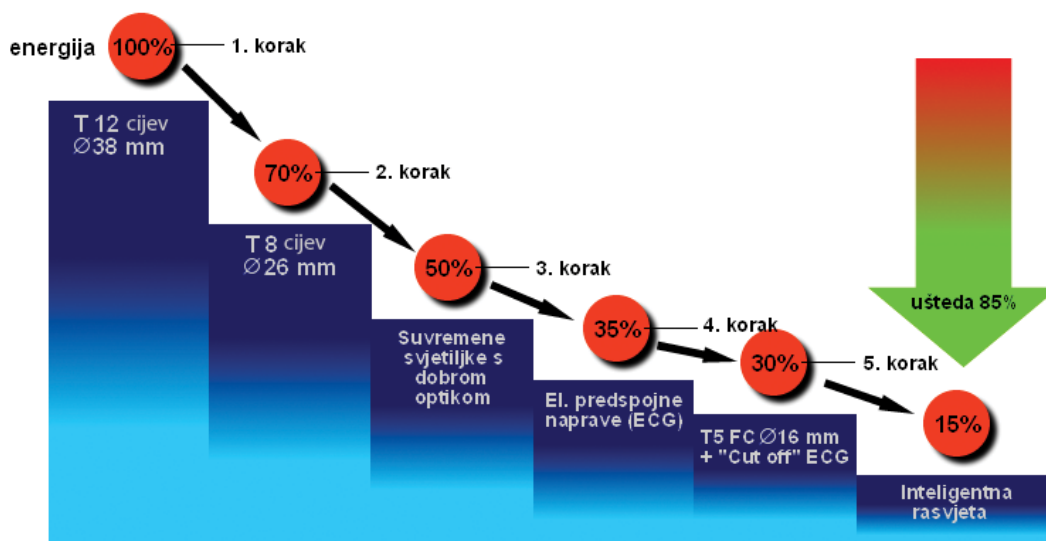
### 13.2.2.1 Fluorescentne žarulje

Fluorescentne žarulje pripadaju grupi niskotlačnih izvora na izboj. Svjetlost se generira izbojem u živinim parama visoke luminoznosti, pri čemu se stvara uglavnom nevidljivo ultraljubičasto zračenje, koje se fosfornim slojem na unutrašnjoj stijenci cijevi pretvara u vidljivo svjetlo. Ovaj princip generiranja svjetlosti naziva se fotoluminiscencija. U običnom govoru često ih se naziva i *neonkama* što je potpuno krivi naziv jer u njima nema neona! Neonske cijevi najčešće se koriste za obojene svjetlosne natpise (reklame) i nikako ih ne treba miješati s fluorescentnim žaruljama (cijevima).

Spektar zračenja koji daje fluorescentna cijev dosta je složen, a uporabom različitih fluorescentnih materija moguće je dobiti drukčije karakteristike – temperature boje, faktora uzvrata i svjetlosne iskoristivosti. Odlikuje ih dosta dugi vijek trajanja, prosječno gledano i preko 15.000 sati.

Postoje i okrugle i fluorescentne cijevi U-oblika. Promjer cijevi smanjuje se, čime se postiže veća iskoristivost svjetlosnog sustava (izvor svjetlosti je bliži točkastom). Danas se najčešće koriste cijevi promjera 26 mm (T8 – 8/8”), a cijevi nove generacije imaju promjer od 16 mm (T5). Postoje i 38 mm (T12) i 7 mm (T2) cijevi.

Kao i sve žarulje na izboj, fluorescentne cijevi ne mogu se priključiti direktno na mrežni napon, već trebaju prigušnicu, te kod starije generacije prigušnica i starter (pri paljenju trebaju viši napon nego u pogonu – koristi se samo uz magnetske prigušnice). Magnetske prigušnice su induktiviteti koji se spajaju u seriju s izvorom svjetlosti. Suvremeni rasvjetni sustavi sve se više koriste i elektroničkim prigušnicama. Primjenom modernih tehnologija i metoda, mogućnosti za uštede energije su dosta velike, vidi sliku 13.5.



Slika 13.5 - Mogućnosti za uštede korištenjem dostignuća suvremene rasvjete [13.4]

Dakle, fluorescentne cijevi predstavljaju značajan potencijal za uštede električne energije. Primjera radi samo se zamjenom magnetske prigušnice elektroničkom može ostvariti i do 25% ušteda električne energije, dodatno se produljuje radni vijek fluorescentne cijevi, dobiva se rad bez treperenja koje se javlja uz magnetsku prigušnicu, niži su troškovi održavanja te se dodatno popravljaju  $\cos \varphi$ . Studije s područja ergonomije potvrdile su da je latentno treperenje svjetla stresni faktor za osobe koje su mu izložene, a pogotovo pri radu s računalom. Rezultati ove vrste stresa su povećani umor, nedostatak koncentracije i pogreške pri obradi/unosu teksta. Također, unutar Direktive Europske unije, oznaka 2000/55/EC, od studenog 2005. godine, zabranjeno je koristiti magnetske prigušnice u svim novim instalacijama fluorescentne rasvjete.

Vrijedi istaknuti da se 70% umjetne rasvjete proizvodi u fluorescentnim cijevima te da je njihova zastupljenost u poslovnim objektima vrlo velika. Također, bitno je naglasiti da sve žarulje na izboj, koje sadrže živu (dakle i fluorescentne cijevi), pripadaju grupi proizvoda koji se tretiraju kao opasan otpad, te se ne mogu odlagati u obične kontejnere za smeće, njihovo prikupljanje i daljnja prerada je organizirana (preradom, tj. recikliranjem bave se specijalne tvrtke).

**Primjer 13.1: Kolika je isplativost ulaganja u modernizaciju električne rasvjete? [13.2]****TREKUTNO STANJE**

- Na lokaciji su trenutno instalirane 302 svjetiljke s opalnom kapom i s po dvije fluorescentne cijevi snage 58 W.



- Koristi se magnetska prigušnica te trenutna instalirana snaga ( $P_{ccg}$ ) po svjetiljci uz uključenu predspojnu napravu iznosi **142 W**.
- Godišnja potrošnja električne energije u sustavu električne energije ( $E_{el.en.}$ ) iznosi **85.768 kWh/god.**
- Postojeći sustav električne rasvjete ne zadovoljava uvjete propisane normom Osvjetljenost radnih mjesta u zatvorenom prostoru (HRN ISO/CIE 8995:2003).

**OPIS MJERE**

- Kompletna sanacija rasvjetnog sustava s ciljem postizanja uvjeta zadanih normom Osvjetljenost radnih mjesta u zatvorenom prostoru (HRN ISO/CIE 8995:2003) i ostvarivanja ušteda u energiji.

**INVESTICIJA**

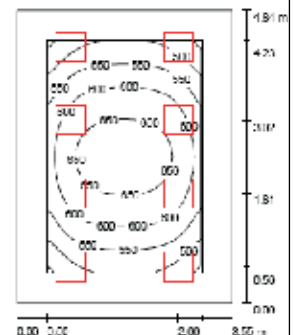
Temeljem dobivenih ponuda od strane mogućih izvođača radova određena je visina investicije u iznosu od **437.900 KN**.

Stavke investicije:

- Demontaža i zbrinjavanje postojećih svjetiljki.
- Projektiranje novog sustava električne rasvjete.
- Nabava i ugradnja novih svjetiljki s parabolik odsijačem te ugrađenom elektroničkom prigušnicom i 2x55 W T5 cijevima.

**PRORAČUNSKE PRETPOSTAVKE**

- Godišnje vrijeme rada ( $t_{god}$ ) rasvjetnog sustava na lokaciji iznosi oko **2.000 h**.
- Služba održavanja vrlo ažurno radi svoj posao tako da se svi kvarovi na rasvjetnom sustavu otklanjaju odmah kako se pojave.
- Rasvjetni sustav koristi se isključivo tijekom više dnevne tarife za preuzimanje električne energije.
- Na lokaciji je ugovoren tzv. crveni poduzetnički tarifni model za preuzimanje električne energije na niskom naponu te cijena energije iznosi **0,52 kN/kWh** a angažirane snage **70,97 kN/kW mjesečno**.
- Procijenjen je faktor istovremenosti ( $f_i$ ) za sudjelovanje električne rasvjete u vršnom opterećenju na 0,8.
- Instalirana snaga novog sustava po svjetiljci ( $P_{ecg}$ ) iznosi **110 W**.
- Svjetlotehničkim je proračunom za karakteristične prostorije potvrđeno da predloženo rješenje sanacije rasvjetnog sustava zadovoljava uvjete propisane normom Osvjetljenost radnih mjesta u zatvorenom prostoru (HRN ISO/CIE 8995:2003).



**Primjer 13.1: Kolika je isplativost ulaganja u modernizaciju električne rasvjete? [13.2] - nastavak****UŠTEDE**

- **Ušteda u energiji ( $S_E$ ):**  $S_E = \text{Potrošnja električne energije stari sustav}(E_{\text{el.en.ccg}}) - \text{Potrošnja električne energije novi sustav}(E_{\text{el.en.ecg}}) = 302 \times t_{\text{god.}} \times (P_{\text{ccg}} - P_{\text{ecg}}) = \mathbf{19.328 \text{ kWh/god.}}$
- **Ušteda u angažiranoj snazi – vršnom opterećenju ( $S_S$ ):**  $S_S = \text{Angažirana snaga stari sustav}(P_{\text{el.en.ccg}}) - \text{Angažirana snaga novi sustav}(P_{\text{el.en.ecg}}) = 302 \times (P_{\text{ccg}} - P_{\text{ecg}}) \times f_i = \mathbf{7,7 \text{ kW/mjesečno}}$
- **Ušteda u novcu ( $S_N$ ):**  $S_N = \text{Ušteda u energiji} + \text{Ušteda u angažiranoj snazi} = S_E \times 0,52 \text{ KN/kWh} + S_S \times 70,79 \text{ KN/kW}$  mjesečno  $\times 12$  mjeseci = **16.600 KN/god.**
- **Uštede u emisijama  $\text{CO}_2$  ( $S_{EM}$ ):**  $S_{EM} = \text{Ušteda u emisiji } \text{CO}_2 \text{ kao posljedica smanjenja potrošnje električne energije} = \mathbf{5,35 \text{ t } \text{CO}_2/\text{god.} (19.328 \text{ kWh/god} \times 276,75 \text{ g } \text{CO}_2/\text{kWh}) [13.5]}$
- **Jednostavno razdoblje povrata investicije (JPP): 26,38 god.**

**Napomena:** Isplativost ove investicije ne smije se gledati samo iz kuta energetske efikasnosti jer se predloženim rješenjem sanacije rasvjetnog sustava postiže zadovoljavanje uvjeta zadanih normom Osvijetljenost radnih mjesta u zatvorenom prostoru (HRN ISO/CIE 8995:2003) što prije nije bio slučaj.

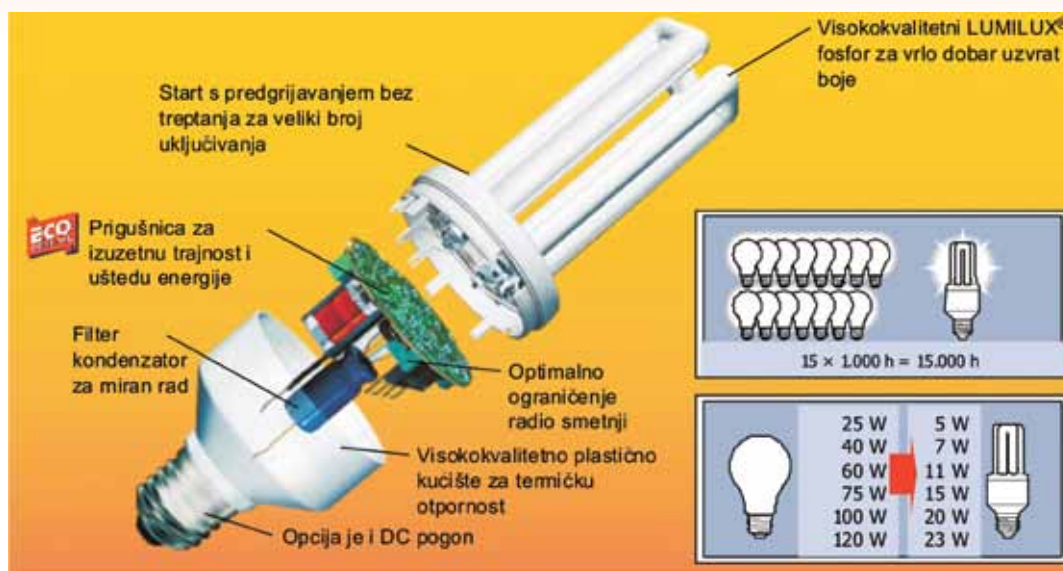
**13.2.2.2. Fluokompaktne žarulje i štedne žarulje**

Fluokompaktne žarulje su zapravo savinute fluorescentne cijevi, čime se postižu manje ukupne dimenzije izvora svjetlosti, dok se zadržavaju sve karakteristike rada fluorescentnih cijevi. Naziv dolazi od engleskog izvornika *Compact Fluorescent Lamps* pa se za njih vrlo često koristi i skraćenica CFL žarulje. Fluokompaktne žarulje pripadaju grupi niskotlačnih žarulja na izboj, pri čemu se svjetlost generira principom fotoluminiscencije. Izboj se događa između elektroda u živinim parama, pri tlaku od oko 1,07 Pa (tlak para tekuće žive pri temperaturi od 40°C). Osim žive u punjenju se obično nalazi i neki inertni plin, kao pomoć pri startanju (argon, kripton, neon, ksenon, itd.). Količina žive se bitno smanjuje i iznosi 5-10 mg u kvalitetnijim cijevima. Kao i većina žarulja na izboj, fluokompaktne žarulje moraju u pogonu imati u seriju spojenu napravu za ograničavanje električne struje. Ova predspojna naprava, koja se naziva prigušnica, ograničava pogonsku struju na vrijednost za koju je žarulja napravljena, te osigurava potreban startni i pogonski napon.

Temperaturu boje svjetla koju daju fluokompaktne žarulje moguće je kontrolirati fosfornim omotačem, kao i kod fluorescentnih cijevi. Standardno se koriste trokomponentni fosfori. Zahvaljujući svojim kompaktnim dimenzijama fluokompaktne žarulje razvijene su prvenstveno kao zamjena za standardne žarulje snaga od 25 do 200 W, ali se zahvaljujući konstantnom razvoju njihovo područje primjene znatno proširilo, te danas predstavljaju jedan od **najpopularnijih izvora svjetlosti**, jer spajaju visoku iskoristivost fluorescentnih cijevi i kompaktne dimenzije.

Fluokompaktne žarulje proizvode se u snagama od 3 do 70 W. Postoje izvedbe s integriranom elektroničkom prigušnicom i standardnim grlom E27 i E14, koje mogu zamijeniti gotovo svaku standardnu žarulju, ostvarujući pri tome uštedu energije od gotovo 80%. Kao što je već navedeno, za ovakvu izvedbu fluokompaktnih žarulja koristi se naziv - **štedne žarulje**. Primjer štedne žarulje prikazan je na slici 13.6. Ušteda uvođenjem novog rasvjetnog sustava sa štednim žaruljama sastoji se od nekoliko elementa (neki su dosta teško mjerljivi):

- ušteda električne energije zbog smanjene potrošnje rasvjetnog sustava
- ušteda na troškovima nabave zbog duljeg vijeka trajanja žarulje
- ušteda električne energije zbog smanjenja dodatnog zagrijavanja prostora uzrokovanog rasvjetom (ušteda na hlađenju prostora)
- povećana udobnost i sigurnost zbog veće pouzdanosti rasvjetnog sustava
- smanjenje opterećenja napojnih vodova
- manja osjetljivost sustava o pogonskom naponu i
- uporaba ekološki prihvatljivijeg izvora svjetlosti (npr. smanjenje emisije  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  itd.)



Slika 13.6 - Primjer štedne žarulje (OSRAM DULUX EL LONGLIFE E27) s oznakom snaga za zamjenu odgovarajućih standardnih žarulja [13.4]

**Primjer 13.2:** Za koliko će se vremena manjem poslovnom subjektu/objektu isplatiti investicija zamjene standardne žarulje sa žarnom niti, snage 100 W odgovarajućom štednom žaruljom, ako se uzme u obzir godišnje vrijeme rada od 1.100 sati? Pretpostavka: Poslovni subjekt ima ugovoren plavi tarifni model za preuzimanje električne energije. Kolika je isplativost ulaganja u modernizaciju električne rasvjete?

Iz kataloga proizvođača štednih žarulja odabrana je npr. žarulja OSRAM DULUX EL ECONOMY, štedna štapićasta, grlo E27, **snaga 21W**, vijek trajanja 8.000 h, napon 220-240V, boja 827 LUMILUX INTERNA, 1.200 lumena. Godišnja potrošnja električne energije uz korištenje standardne žarulje iznosi **110 kWh (100W × 1.100 h)**. Godišnja potrošnja električne energije uz korištenje odabrane štedne žarulje (OSRAM DULUX EL ECONOMY) iznosi **23,1 kWh (21W × 1.100 h)**. Izračunata godišnja ušteda u električnoj energiji iznosi **86,9 kWh (110 kWh – 23,1 kWh)**. Cijena električne energije prema tzv. plavom tarifnom modelu za kućanstva iznosi **0,79 KN/kWh** (bez PDV).

Izračunata novčana ušteda: **68,65 KN/god.** Cijena nove štedne žarulje iznosi **38,20 KN** (bez PDV) Jednostavno vrijeme povrata investicije iznosi **0,56 godina** ili **6,7 mjeseci** uz naznaku da nova žarulja ima **8 puta duži vijek trajanja** od standardne žarulje sa žarnom niti. Na ovaj način učinjen je i korak u smanjenju emisija CO<sub>2</sub> u iznosu od **24 kg/god. (86,9 kWh/god × 276,75 g CO<sub>2</sub>/kWh)** [13.5]

Na osnovu svega iznesenog u ovom poglavlju sasvim je jasno da se isplati ugrađivati štedne žarulje. Prilikom kupovine novih štednih žarulja kupci svakako trebaju voditi računa o deklariranom vijeku trajanja žarulje jer se na mjestima gdje se rasvjeta puno koristi isplati ugrađivati žarulje s dužim vijekom trajanja i obrnuto.

### 13.2.2.3. Standardne (obične) žarulje

Standardne žarulje spadaju u kategoriju žarulja sa žarnom niti te generiraju svjetlost principom termičkog zračenja. Svjetlost nastaje tako što električna struja prolazi kroz žarnu nit od wolframa i ugrijava (usijava) je na temperaturu od 2.600 do 3.000 K. Većina zračenja emitira se u infracrvenom dijelu spektra. Na osnovna svojstva standardne žarulje – svjetlosna iskoristivost i vijek trajanja – najviše utječe temperatura žarne niti. Što je ona viša, svjetlosna iskoristivost je veća, a vijek trajanja kraći. Vijek trajanja se smanjuje zbog naglog porasta broja atoma wolframa koji se odvajaju sa žarne niti pri porastu temperature. Ovaj proces ne

samo da proizvodi tamni sloj na unutrašnjoj strani staklenog balona (što dovodi do smanjenja svjetlosnog toka), već i dovodi do pucanja žarne niti – pregaranja žarulje. Ovaj proces može se bitno ublažiti dodavanjem inertnog plina (argon, kripton ili ksenon) u punjenje balona, čime se podiže temperatura žarne niti (time i iskoristivost) i smanjuje isparavanje wolframa. Danas standardno punjenje čine plinovi argon i dušik, a kripton ili ksenon dodaju se zbog poboljšanja iskoristivosti.

Daljnji korak u poboljšanju iskoristivosti je način motanja spirale – dvostrukim motanjem spirale smanjuje se površina isijavanja, a time i gubici. Primjera radi za standardnu žarulju snage 100 W potrebno je 1 m wolframa debljine niti kose, a duljina žarne niti je oko 3 cm. Na slici 13.7 prikazan je spektar zračenja i shematski prikaz standardne žarulje sa žarnom niti.



Slika 13.7 - Spektar zračenja i shematski prikaz standardne žarulje sa žarnom niti [13.4]

Svjetlosna iskoristivost standardnih žarulja sa žarnom niti snage 25 – 500W iznosi 9 – 17 lm/W. U svjetlost se pretvara 5-10% uložene električne energije dok se ostatak pretvara u toplinu. Vijek trajanja standardne žarulje sa žarnom niti u normalnim pogonskim uvjetima (nazivni napon, sobna temperatura i bez izloženosti vibracijama) iznosi 1.000 sati. Ove žarulje imaju vrlo dobar uzvrat boje (oznaka 1A, Ra > 90) a temperatura boje kreće se u granicama od 2.600 do 2.800 K [13.1].

Brojne pogonske karakteristike žarulje sa žarnom niti ovise o naponu (svjetlosni tok je ovisan o naponu – koristi se kod regulacije). Snižavanjem pogonskog napona smanjuje se svjetlosni tok, ali se povećava vijek trajanja žarulje. Također, povišenjem pogonskog napona povećava se svjetlosni tok, ali se smanjuje vijek trajanja žarulje. Ove promjene su dosta drastične pa se recimo snižavanjem pogonskog napona za oko 10%, svjetlosni tok u odnosu na referentni smanji za skoro 30%, ali se zato radni vijek učestvostruči. Isto vrijedi i za promjenu u suprotnom smjeru, tj. povišenjem pogonskog napona za oko 10% u odnosu na referentni, raste svjetlosni tok za oko 30%, dok se vijek trajanja smanji za oko četiri puta. Zbog trošenja žarne niti svjetlosni tok se smanjuje u pogonu i obično na kraju iznosi 15% manje od nazivnog. Zbog izražene temperaturne ovisnosti otpora wolframove niti, struja uključivanja je bitno veća od nazivne struje (za 100W žarulju 14 puta, prijelazna pojava traje 56 ms).

#### 13.2.2.4. Halogene žarulje

Halogene žarulje su također žarulje sa žarnom niti, te koriste princip termičkog zračenja pri generiranju svjetlosti. Dodatak halogenida (brom, klor, flor i jod) plinskom punjenju gotovo potpuno sprječava crnjenje balona žarulje, čime se održava gotovo konstantan svjetlosni tok kroz cijeli vijek trajanja. Upravo zbog zadnje navedenog moguće je napraviti balon puno manjih dimenzija, s višim pritiskom plinskog punjenja, čime se dodatno povećava iskoristivost inertnih plinova u punjenju – kriptonu i ksenonu. Također, moguće je žarnu nit zagrijati na puno višu temperaturu, čime se podiže svjetlosna iskoristivost (ovo nije bilo moguće kod standardne žarulje zbog pojačanog isparavanja wolframa pri višim temperaturama).

Glavna karakteristika halogenih žarulja je halogeni kružni proces. Naime, wolfram koji isparava sa žarne niti odlazi prema stijenci balona, gdje se pri temperaturi < 1400 K spaja s halogenidima. Termičko strujanje odvodi ovaj spoj bliže prema žarnoj niti, gdje se pri temperaturi > 1400 K razgrađuje, a atom wolframa se ponovno vraća na žarnu nit. Pri tome on ne dolazi na staro mjesto, tako da ipak dolazi do pucanja žarne niti na kraju vijeka trajanja. Pri ovome procesu temperatura žarne niti doseže i do 3.000 K, a stakla i do 520 K (250°C). Zbog toga se mora koristiti balon od kvarcnog stakla, koje je specijalno dotirano tako da ujedno i zadržava štetno UV zračenje.

Osnovne prednosti halogene žarulje u odnosu na standardnu žarulju su:

- viša svjetlosna iskoristivost (do 25 lm/W)
- dulji vijek trajanja (do 4.000 sati)
- optimalna kontrola svjetla
- male dimenzije
- konstantan svjetlosni tok kroz vijek trajanja i
- viša temperatura boje – sjajno, bijelo svjetlo.

Kao i standardna žarulja sa žarnom niti, halogena žarulja jako je osjetljiva na promjene pogonskog napona. Pogotovo kod niskonaponskih žarulja (12 V AC), do izražaja dolazi osjetljivost vijeka trajanja o naponu. Zbog toga povećanje pogonskog napona od samo 5% (12,6 V) donosi smanjenje vijeka trajanja za 40%!!! Do ovakve drastične promjene dolazi zbog toga što se halogeni kružni proces odvija samo u strogim temperaturnim (naponskim) granicama, te prestaje pri većim odstupanjima, čime se automatski znatno smanjuje vijek trajanja. Do povećanja napona dolazi uglavnom zbog neodgovarajućih transformatora (magnetski transformatori imaju nelinearnu karakteristiku, pa pri rasterećenju dolazi do rasta napona). Zbog toga suvremeni rasvjetni sustavi koriste elektroničke transformatore. Pri smanjenju napona dolazi do blagog povećanja vijeka trajanja, ali ne takvog kao kod standardnih žarulja. Halogene žarulje se u zgradarstvu najčešće koriste kao dodatni izvor svjetlosti na radnom stolu ili kao dekorativna rasvjeta. Naime, zbog malih su dimenzija halogene žarulje jako pogodne za dekorativnu rasvjetu.



13.8. Halogena žarulja [13.4]

### 13.2.3. Regulacija – upravljanje rasvjetom, ovisnost o dnevnom svjetlu

Osnovni postulat za uštede električne energije u sustavu električne rasvjete glasi:

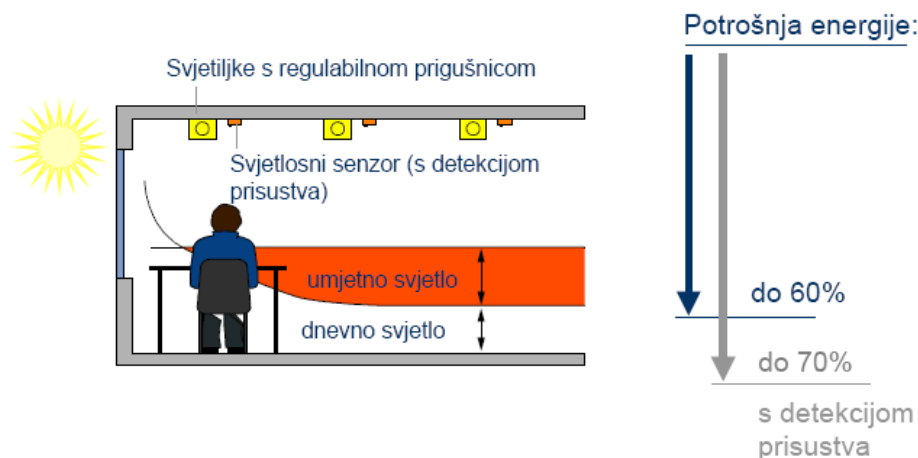
**Kada ne trebaš rasvjetu nemoj je ni koristiti!!!**

Naime, čest je slučaj da je rasvjeta uključena u prostoriji u kojoj nema nikoga ili da prilikom izlaska iz prostorije nije isključena rasvjeta jer se dotična osoba planira *vrlo brzo* vratiti u tu prostoriju. U ovom slučaju nije bitno niti to da je instalirana najštedljivija moguća žarulja jer i ona radi bez ikakve potrebe.

Energetski najučinkovitija mjera za poboljšanje svjetlosne udobnosti boravka u zatvorenom prostoru je u što većoj mjeri koristiti dnevno svjetlo. Dnevno svjetlo osigurava zdravije klimatske uvjete u prostorijama, omogućava veće standarde vizualne udobnosti, čini prostorije vedrijima i ugodnijima za boravak, štedi energiju i novac, smanjuje emisije štetnih plinova u atmosferu i štedi ograničene globalne izvore energije. Zbog svih tih razloga, trebalo bi maksimizirati mogućnosti korištenja dnevnog svjetla. Međutim, kako je dnevno svjetlo često nedovoljno, koristi se umjetna rasvjeta s naznakom da je razina rasvijetljenosti propisana standardom. Dakle, nikako ne treba štedjeti na način da se zbog slabe rasvijetljenosti ugrožava vid i normalni uvjeti za život i rad. Na ovaj način ostvarene uštede u energiji nemaju smisla. Nedostatna rasvjeta osim ugrožavanja vida izaziva stres koji se očituje povećanim umorom i rastresenošću. Isto tako niti prekomjerna rasvijetljenost nije dobra i ugrožava zdravlje. Pri opremanju poslovnog prostora, stana ili kuće pravilan izbor i raspored rasvjetnih tijela u funkcionalnom ali i dekorativnom smislu, jednako je značajan kao i izbor namještaja ili boja za zidove. Na žalost, čest je slučaj da se ovom segmentu posvećuje premalo pozornosti pa tako rasvjetna tijela s pripadajućim električnim instalacijama *po izboru projektanta (linijom najmanjeg mogućeg otpora)* završe na sredini sobe uz nekoliko nasumice raspoređenih utičnica po zidovima.



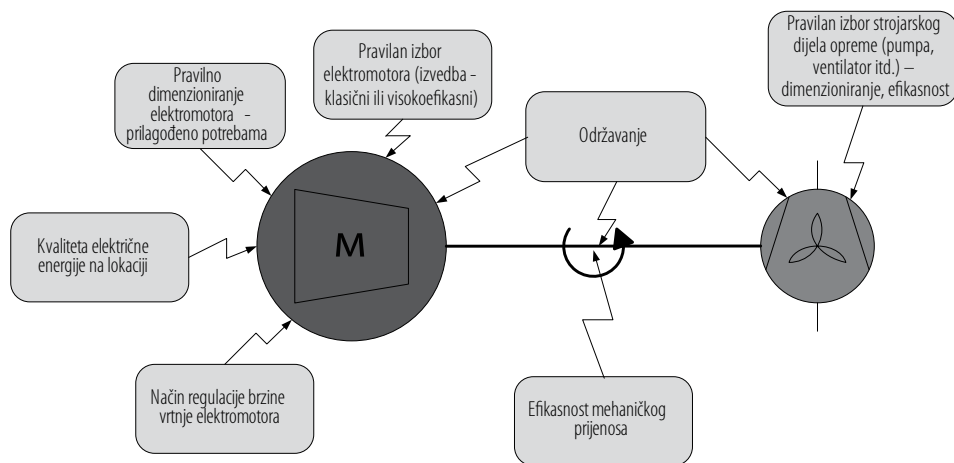
Na sreću, danas su sustavi automatske regulacije rasvjete u ovisnosti o dnevnom svjetlu postali praksa u novoizgrađenim uredskim prostorima u Hrvatskoj. Dobivene uštede u električnoj energiji za uredske prostore opravdavaju početnu investiciju. Naime, ugrađeni sustavi sukladno zadanim postavkama, podešavaju rasvjetu u prostoru ovisno o doprinosu dnevnog svjetla i na taj način štede energiju, vidi sliku 13.9. Sustav prikazan na slici 13.9 automatski održava zadanu razinu rasvijetljenosti u prostoru.



Slika 13.9 - Princip rada i mogućnosti za uštede primjenom modernog sustava regulacije rasvjete u prostoru, ovisno o dnevnom svjetlu [13.4]

### 13.3. Elektromotorni pogoni u zgradarstvu

Elektromotorni su pogoni prisutni u većini modernih zgrada. Uobičajeno se radi o većem broju jedinica koje su razmještene na različitim mjestima (elektromotori za pogon crpki, ventilatori, dizala i sl.). U upotrebi su najrašireniji asinkroni elektromotori koji se koriste u 2/3 svih elektromotornih pogona [13.1]. Na slici 13.10 istaknute su značajke o kojima ovisi efikasnost elektromotornog pogona.

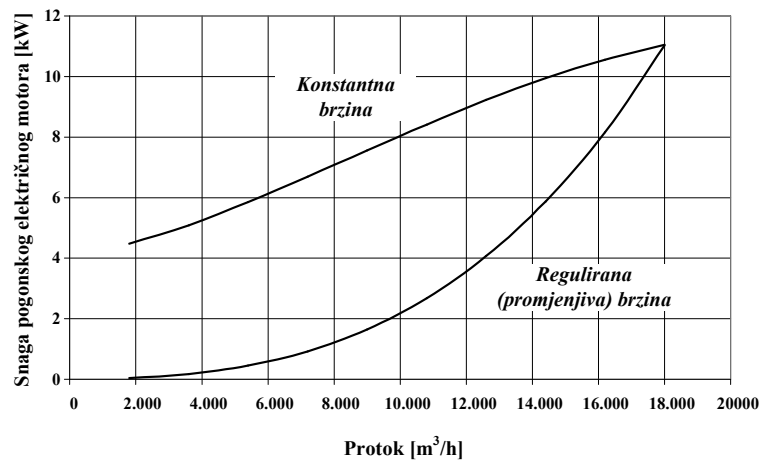


Slika 13.10 - Značajke o kojima ovisi efikasnost elektromotornog pogona [13.2]

Na efikasnost dobro održavanog elektromotornog pogona najznačajnije utječe dimenzioniranost i izvedba elektromotora. Negativni utjecaji zbog predimenzioniranosti elektromotora vide se u:

- Većim početnim izdacima zbog kupovine elektromotora veće snage
- Većim početnim izdacima u svu ostalu prateću opremu (kabeli, sklopke itd.)
- Većim izdacima u dodatnu opremu za kompenzaciju jalove snage zbog lošeg faktora snage koji je posljedica nižeg opterećenja te
- Većim izdacima za električnu energiju tijekom cijelog životnog vijeka elektromotora zbog slabije efikasnosti koja je posljedica predimenzioniranosti.

Također, jedan od vrlo često primjenjivanih načina poboljšanja efikasnosti elektromotornih pogona koje karakterizira promjenjivost opterećenja, jest ugradnja uređaja za frekventnu regulaciju brzine vrtnje elektromotora. Prednost ovoga načina regulacije najočitija je kod pumpnih postrojenja, gdje se u usporedbi s regulacijom protoka fluida prigušenjem u cjevovodu korištenjem frekventnih regulatora brzine vrtnje elektromotora, a time i promjene protoka, ostvaruju i najveće uštede, slika 13.11.



**Slika 13.11 - Primjer mogućih dobitaka adekvatnim reguliranjem elektromotornog pogona [13.2]**

Ako se na lokaciji nalaze elektromotorni pogoni koje karakterizira veliki broj radnih sati i konstantno opterećenje kroz godinu, potrebno je analizirati korištenje visokoeffikasnih elektromotora. Visokoeffikasni su elektromotori zbog izbora materijala koji se koriste u njihovoj proizvodnji teži i skuplji za 10 do 30 %.

Iako je konkretna primjena elektromotornih pogona u zgradarstvu (npr. ventilacija i klimatizacija uredskog prostora) detaljnije obrađena na drugom mjestu, u ovom priručniku još jednom vrijedi istaknuti da su u svim slučajevima korištenja elektromotornih pogona dominantni troškovi tijekom njihovog životnog vijeka upravo troškovi za energiju (troškovi za energiju čine približno 85% svih troškova tijekom životnog vijeka dobro održavanog elektromotornog pogona). Dakle, početni izbor elektromotornog pogona mora biti u skladu sa stvarnim potrebama na lokaciji, tj. ne isplati se prilikom izbora veličine elektromotornog pogona računati s rezervom za eventualno, moguće buduće stanje koje se može pojaviti nakon 10 godina korištenja pogona.

## 13.4. Ostala oprema i sustavi

Najveći potencijali za poboljšanja u efikasnosti potrošnje električne energije za rad uredske, kuhinjske i ostale opreme leže u odgovornom ponašanju korisnika. Kod izbora opreme za kuhinje potrebno je voditi računa o tome da se umjesto električnih koriste pećnice, štednjaci i kuhala na prirodni ili ukapljeni naftni plin. Također, kod nabavke nove opreme, potrebno je voditi računa o deklariranom razredu energetske efikasnosti jer se isplati kupovati energetski efikasnije uređaje.

### Primjer 13.3: Isplati li se kupovati električne uređaje višega razreda energetske efikasnosti?

U manjoj tvrtki su u dilemi hoće li za čajnu kuhinju kupiti hladnjak npr. KONČAR, model HC 360, razreda energetske učinkovitosti A ili npr. model KONČAR HCB 60 330.BV razreda energetske učinkovitosti B. Hladnjak model HC 360 je nešto većeg volumena iako troši manje energije. Vizualno su oba hladnjaka jako slična. Pretpostavka: Tvrtka ima ugovoren plavi tarifni model za preuzimanje električne energije.

Iz kataloga proizvođača KONČAR očitana je za hladnjak HC 360 E godišnja potrošnja električne energije u iznosu od **346 kWh** te cijena hladnjaka u iznosu **2.400 KN** (bez PDV).

Iz kataloga proizvođača KONČAR očitana je za hladnjak HCB 60 330.BV godišnja potrošnja električne energije u iznosu od **449 kWh** te cijena hladnjaka u iznosu **2.200 KN** (bez PDV).

Izračunata godišnja ušteda u električnoj energiji iznosi **103 kWh** (449 kWh – 346 kWh).

Cijena električne energije prema tzv. plavom tarifnom modelu za kućanstva iznosi **0,79 KN/kWh** (bez PDV).

Izračunata novčana ušteda: **81,37 KN/god.** (103 kWh × 0,79 KN/kWh)

Jednostavno vrijeme povrata investicije iznosi **2,46 god.** (200 KN / 81,37 KN/god.)

Na ovaj način učinjen je i korak u smanjenju emisija CO<sub>2</sub> u iznosu od **28,5 kg/god.** (103 kWh/god × 276,75 g CO<sub>2</sub>/kWh) [13.5]

## 13.5. Sustavi za inteligentno upravljanje u zgradarstvu – inteligentne zgrade

Svakako da je težnja prema poboljšanju kvalitete življenja bila glavna ideja vodilja napretka čovječanstva. Sasvim prirodnom se čini težnja da čovjek sebi i svojoj obitelji pokuša pružiti maksimalan komfor i sigurnost. Jadan od načina za postizanje gore navedenih ciljeva je i korištenje tzv. *sustava za inteligentno upravljanje u zgradarstvu*. Često se i u žargonu objekti u kojima se primjenjuju ovakvi sustavi nazivaju *inteligentni objekti* (stanovi, kuće, zgrade).

U kontekstu inteligentnih objekata često se spominju sustavi inteligentnih električnih instalacija, koji će daljnjim razvojem tehnologije gotovo sigurno u potpunosti zamijeniti tradicionalne električne instalacije te pružiti mogućnost korisniku da sebi na najbolji način prilagodi svoj životni prostor. Novi inteligentni sustavi preuzimaju brigu i kontrolu nad svim funkcijama u stanu, obiteljskoj kući i svakom drugom objektu namijenjenom za boravak ljudi. Tehničkih ograničenja nema, u smislu opsega sustava ili zagušenja protoka informacija, tj. ograničenja ovise isključivo o kreativnosti projektanta i željama korisnika.

Sustavi za inteligentno upravljanje mogu biti složeniji ili jednostavniji, veći ili manji, o čemu će ovisiti broj komponenti integriranih u sustav. Sustav funkcionira kao skup određenog broja komponenti smještenih u prostoru od kojih svaka vrši funkciju za koju je namijenjena. Sve komponente međusobno su povezane komunikacijskom opremom i međusobno komuniciraju. Općenito govoreći komponente sustava grubo se mogu podijeliti u dvije osnovne kategorije:

- komponente za prikupljanje vanjskih informacija i njihovo slanje u sustav (senzori pokreta, dima, plina, vode, senzori temperature, termostati itd.)
- izvršne komponente koje na osnovu informacija dobivenih u sustav odrađuju funkciju za koju su namijenjene (regulacije i upravljanje rasvjetom, upravljači prozorima i roletama, upravljači ventilokonvektorima itd.).

Inteligentni se sustavi programiraju tako da na osnovu podatka prikupljenih u sustav šalju nalog određenoj komponenti da obavi svoju funkciju. Sustav inteligentnih instalacija primjenjiv je na svim objektima, bez obzira na namjenu. Inteligentna

instalacija prvenstveno će podići komfor prostora koji pokriva sigurnost ljudi i materijalnih dobara, racionalizirati utrošak električne energije i drugih energenata. Prije izrade projekta električnih instalacija poslovne zgrade ili obiteljske kuće, potrebno je definirati funkcije koje se žele staviti pod nadzor inteligentnog sustava. Upravo o ovim zahtjevima ovisit će kompleksnost te cijena inteligentne instalacije. Najčešće funkcije inteligentnih sustava u zgradarstvu su:

- upravljanje unutarnjom rasvjetom (upravljanje unutarnjom rasvjetom odabrano je u ovisnosti o namjeni prostorije)
- upravljanje vanjskom rasvjetom (vanjska rasvjeta uklapa se samo u trenutku kad je to potrebno)
- regulacija grijanja i hlađenja (na osnovu zadanih režima rada)
- upravljanje roletama, zavjesama, prozorima
- otvaranje i zatvaranje svih vrsta vrata
- zaštita od požara, poplave, curenja plina itd. (dojava na mobitel, telefon)
- alarm – SOS tipkalo.

U Hrvatskoj su ovakva rješenja najčešće u primjeni kod izgradnje novih poslovnih prostora te luksuznih vila ili stanova. Daljnjim razvojem tehnologije, prvenstveno njenim pojeftinjenjem, te povećanjem životnog standarda, ovakvi će sustavi sigurno naći svoje mjesto i u većem broju objekata.

## 13.6. Zaključak

Najjednostavniji ali i najuniverzalniji savjet za učinkovito gospodarenje električnom energijom u zgradarstvu može se sažeti u sljedeću rečenicu:

**Isključite električne uređaje kada ih ne koristite jer i najučinkovitija žarulja bespotrebno troši električnu energiju ako nema razloga za njen rad!!!**

Pravilnim izborom opreme i racionalnim ponašanjem mogu se ostvariti značajne uštede električne energije. Potrebno je pravilno protumačiti podatke s energetske oznake jer su one ključne za pravilan izbor većine uredskih uređaja. Temeljni princip prilikom izbora novog uređaja svakako treba biti njegova funkcionalnost a ne dizajn.

## Reference

- [13.1] Morvaj, Zoran; Gvozdenac, Dušan: *Applied Industrial Energy and Environmental Management*, John Wiley & Sons, UK & IEEE Press, USA, 2008.
- [13.2] Morvaj, Zoran et al: *Priručnik za provedbu energetskeg pregleda u zgradarstvu*, UNDP – GEF Project No. CRO/00/G31/A/1G/99, Zagreb, 2010.
- [13.3] *United Kingdom: The Carbon Trust – Good Practice Guides (GPG) and Good Practice Case Studies (GPCS)* – dostupno na <http://www.carbontrust.co.uk/publications> (11.10.2010.)
- [13.4] Debrecin, Nenad et al: *Predavanja sa stručnog studija energetske učinkovitosti i zaštite okoliša*, FER, Zagreb, 2004/05.
- [13.5] *GHG Project Monitoring and Verification Protocol*, UNDP – GEF Project No. CRO/00/G31/A/1G/99, Zagreb, 2007.





## PRILOG 1

### -DIREKTIVE, ZAKONI, PRAVILNICI, NORME

#### Direktive:

**DIRECTIVE 2010/31/EU** OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast), (Official Journal L 153, 18/06/2010)

**Direktiva 2006/32/EC** o energetske učinkovitosti i energetskim uslugama / Directive 2006/32/EC of the European Parliament and of the Council of 5 April 2006 on energy end-use efficiency and energy services and repealing Council Directive 93/76/EEC (Official Journal L 114, 27/04/2006 P. 0064 – 0085)

**Direktiva 2005/32/EC** o uspostavi okvira za utvrđivanje zahtjeva za ekološki dizajn proizvoda koji koriste energiju/Directive 2005/32/EC of the European Parliament and of the Council of 6 July 2005 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-using products and amending Council Directive 92/42/EEC and Directives 96/57/EC and 2000/55/EC of the European Parliament and of the Council / Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-related products (recast)

**Direktiva 2004/101/EC** o uspostavi sustava trgovanja dozvolama za emitiranje stakleničkih plinova, s obzirom na primjenu mehanizama Protokola iz Kyota / Directive 2004/101/EC of the European Parliament and of the Council of 27 October 2004 amending Directive 2003/87/EC establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community, in respect of the Kyoto Protocol's project mechanisms (Official Journal L 338/18, 13/11/2004)

**Direktiva 2004/8/EC** o promociji kogeneracije bazirane na korisnim toplinskim potrebama na unutrašnjem tržištu energije / Directive 2004/8/EC of the European Parliament and of the Council of 11 February 2004 on the promotion of cogeneration based on a useful heat demand in the internal energy market and amending Directive 92/42/EEC (Official Journal L 52/50, 21/02/2004)

**Direktiva 2003/87/EC** o uspostavi sustava trgovanja dozvolama za emitiranje stakleničkih plinova unutar EU / Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council of 13 October 2003 establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community and amending Council Directive 96/61/EC (Official Journal L 275/32, 25/10/2003)

**Direktiva 2002/91/EC** o energetskim svojstvima zgrada / Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings (Official Journal L 001,04/01/2003)

**Direktiva 93/76/EEC** o ograničavanju emisija ugljičnog dioksida kroz povećanje energetske učinkovitosti / Council Directive 93/76/EEC of 13 September 1993 to limit carbon dioxide emissions by improving energy efficiency (SAVE) (Official Journal L 237, 22/09/1993)

**Direktiva 92/75/EEC** o obveznom označavanju energetske učinkovitosti kućanskih uređaja /Council Directive 92/75/EEC of 22 September 1992 on the indication by labelling and standard product information of the consumption of energy and other resources by household appliances(Official Journal L 297, 13/10/1992) Commission Directive 2003/66/EC of 3 July 2003 amending Directive 94/2/EC implementing Council Directive 92/75/EEC with regard to energy labelling of household electric refrigerators, freezers and their combinations (Official Journal L 170, 09/07/2003 P. 0010 – 0014)

**Direktiva 89/106/EEC** o usklađivanju zakonskih i upravnih propisa država članica o građevnim proizvodima / Council Directive 89/106/EEC of 21 December 1988 on the approximation of laws, regulations and administrative provisions of the Member States relating to construction products (Official Journal L40/12of1989-02-11)

#### Zakoni:

Zakon o prostornom uređenju i gradnji, **NN 76/07 i 38/09**

Zakon o učinkovitom korištenju energije u neposrednoj potrošnji, **NN 152/08**

Zakonu o energiji, **NN 68/01 i 177/04**

Zakon o proizvodnji, distribuciji i opskrbi toplinskom energijom, **NN 42/05**

Zakon o tehničkim zahtjevima za proizvode i ocjenu sukladnosti, **NN 158/03**

Zakon o gradnji, **NN 175/03 i 100/04**



**Pravilnici:**

Pravilnik o energetska certificiranju zgrada, **NN 36/10**

Pravilnik o uvjetima i mjerilima za osobe koje provode energetske preglede i energetska certificiranje zgrada, **NN 113/08**

Pravilnik o izmjenama i dopunama Pravilnika o uvjetima i mjerilima za osobe koje provode energetske preglede i energetska certificiranje zgrada, **NN 89/09**

Pravilnik o zahtjevima za stupnjeve djelovanja novih toplovodnih kotlova na tekuće i plinovito gorivo, **NN 135/05**

Pravilnik o tehničkim normativima za ventilacijske ili klimatizacijske sisteme, **NN 53/91 i 69/97**

**Odluke:**

Odluka o popisu normi bitnih za primjenu Tehničkog propisa za prozore i vrata, **NN 69/06**

**Tehnički propisi:**

Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti zgrada, **NN 110/08**

Tehnički propis o izmjeni Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, **NN 89/09**

Tehnički propis o sustavima grijanja i hlađenja zgrada, **NN 110/08**

Tehnički propis o uštedi toplinske energije i toplinskoj zaštiti zgrada, **NN 79/05, 155/05 i 74/06**

Tehnički propis o sustavima ventilacije, djelomične klimatizacije i klimatizacije zgrada, **NN 03/07**

Tehnički propis za prozore i vrata, **NN 69/06**

Tehnički propis za dimnjake u građevinama, **NN 03/07**

**Akcijski plan:**

Akcijski plan za implementaciju EPBD u hrvatsko zakonodavstvo, Vlada Republike Hrvatske, ožujak/travanj 2008.

Akcijski plan Europske komisije o energetska učinkovitosti – ušteda za 20 posto do 2020. godine / Action plan for energy efficiency: Realising the potential - saving 20% by 2020.

**Metodologije:**

Metodologija provođenja energetska pregleda zgrada

**Strategije:**

Strategija energetska razvitka RH, **NN 38/02**

Nacionalna strategija zaštite okoliša, **NN 46/02**

**Dokumenti:**

**TR 15615:** Explanation of the general relationship between various European standards and the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) - Umbrella document.

**Norme:**

Toplinski proračun:

**HRN U.J5.600:1987** Tehnički uvjeti za projektiranje i građenje zgrada u dijelu projektnih vanjskih temperatura

**HRN EN 1745:2003** – Zidovi i proizvodi za zidanje -- Metode određivanja računskih toplinskih vrijednosti (EN 1745:2002)

**HRN EN ISO 6946:20XX** Građevni dijelovi i građevni dijelovi zgrada -- Toplinski otpor i koeficijent prolaska topline -- Metoda proračuna (ISO 6946:2007; EN ISO 6946:2007)

**HRN EN ISO 10077-1:2002** – Toplinske značajke prozora, vrata i zaslona -- Proračun koeficijenta prolaska topline -- 1. dio: Pojednostavnjena metoda (ISO 10077-1:2000; EN ISO 10077-1:2000)

- HRN EN ISO 10077-2:2004** – Toplinske značajke prozora, vrata i zaslona – Proračun koeficijenta prolaska topline – 2. dio: Numerička metoda za okvire (ISO 10077-2:2003; EN ISO 10077-2:2003)
- HRN EN ISO 10456:20XX** – Toplinska izolacija -- Građevni materijali i proizvodi -- Određivanje nazivnih i projektnih toplinskih vrijednosti (ISO 10456:2007; EN ISO 10456:2007)
- HRN EN ISO 10211-1:20XX** – Toplinski mostovi u zgradarstvu -- Toplinski tokovi i površinske temperature – Detaljni proračuni (ISO 10211:2007; EN ISO 10211:2007)
- HRN EN ISO 12412-2:2004** – Toplinske značajke prozora, vrata i zaslona -- Određivanje koeficijenta prolaska topline metodom vruće komore -- 2. dio: Okviri (EN 12412-2:2003)
- HRN EN 12524:2002** – Građevni materijali i proizvodi -- Svojstva s obzirom na toplinu i vlagu -- Tablice projektnih vrijednosti (EN 12524:2000)
- HRN EN ISO 12567-1:2002** – Toplinske značajke prozora i vrata -- Određivanje prolaska topline metodom vruće komore -- 1. dio: Prozori i vrata u cjelini (ISO 12567-1:2000; EN ISO 12567-1:2000)
- HRN EN ISO-12567-2** – Termička svojstva prozora vrata i zaslona – Laboratorijsko ispitivanje prolaza topline pomoću vruće kutije – 2. Dio – krovni prozori
- HRN EN ISO - 12657-1** – Termička svojstva prozora vrata i zaslona – Laboratorijsko ispitivanje prolaza topline pomoću vruće kutije – 1. Dio – gotovi prozori i vrata
- HRN EN 13363-1: 2008/Ispr. 1:2008** – Naprave za zaštitu od sunca u kombinaciji s ostakljenjem – Proračun sunčanog i svjetlosnog prolaska – 1. dio: Pojednostavljena metoda
- HRN EN 13363-2: 2008** – Naprave za zaštitu od sunca u kombinaciji s ostakljenjem -- Proračun ukupnog propuštanja sunčeve energije i propuštanja svjetlosti -- 2 dio: Detaljna metoda proračuna
- HRN EN ISO 13370:20XX** – Toplinske značajke zgrada -- Prijenos topline preko tla -- Metode proračuna (ISO 13370:2007; EN ISO 13370:2007)
- HRN EN ISO 13786:2008** Toplinska svojstva građevnih dijelova zgrade – Dinamičke toplinske značajke – Metode proračuna
- HRN EN ISO 13788:2002** – Značajke građevnih dijelova i građevnih dijelova zgrada s obzirom na toplinu i vlagu -- Temperatura unutarnje površine kojom se izbjegava kritična vlažnost površine i unutarnja kondenzacija -- Metode proračuna (ISO 13788:2001; EN ISO 13788:2001)
- HRN EN ISO 13789:2000** Toplinske značajke zgrada Koeficijent (transmisijskih) prijenosnih toplinskih gubitaka Metoda proračuna (ISO 13789:1999; EN ISO 13789:1999)
- HRN EN ISO 13789:20XX** – Toplinske značajke zgrada -- Koeficijent (transmisijskih) prijenosnih toplinskih gubitaka -- Metoda proračuna (ISO 13789:2007; EN ISO 13789:2007)
- HRN EN ISO 13790:2008** Energetska svojstva zgrada Proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora (ISO 13790:2008, EN ISO 13790:2008)
- HRN EN ISO 13791:2008** Toplinska svojstva zgrada – Proračun unutrašnjih sobnih temperatura u ljetnom razdoblju bez mehaničkog hlađenja – Opći kriteriji i postupci provjeravanja
- HRN EN ISO 13792:2008** Toplinska svojstva zgrada – Proračun unutrašnjih sobnih temperatura u ljetnom razdoblju bez mehaničkog hlađenja – Pojednostavljene metode
- HRN EN 13829:2002** – Toplinske značajke zgrada -- Određivanje propusnosti zraka kod zgrada -- Metoda razlike tlakova (ISO 9972:1996, preinačena; EN 13829:2000)
- HRN EN 13947:2008** Toplinska svojstva oviješanih fasada – Proračun koeficijenta prolaska topline
- HRN EN ISO 14683: 20XX** – Toplinski mostovi u zgradarstvu -- Linearni koeficijent prolaska topline -- Pojednostavljena metoda i utvrđene vrijednosti (ISO 14683:2007; EN ISO 14683:2007)
- HRN EN 15193:2008** Energetska svojstva zgrada – Energetski zahtjevi za rasvjetu
- HRN EN 15217:2007** Energetska svojstva zgrada – Metode za izražavanje energetskog svojstva zgrada i za certifikaciju zgrada s obzirom na energiju
- HRN EN 15232:2008** Energetska svojstva zgrada -- Utjecaj automatizacije zgrada, nadzor i upravljanje zgradama
- HRN EN 15251:2008** Ulazni mikroklimatski parametri za projektiranje i ocjenjivanje energijskih značajka zgrada koji se odnose na kvalitetu zraka, toplinsku lagodnost, osvjetljenje i akustiku

**HRN EN 15255:2008** Energetska svojstva zgrada - Proračun opterećenja primjetnog ohlađivanja prostora -- Opći kriteriji i postupci provjeravanja

**HRN EN 15265:2008** Energetska svojstva zgrada - Proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora upotrebom dinamičkih metoda -- Opći kriteriji i postupci provjeravanja

**HRN EN 15459:2008** Energetska svojstva zgrada – Postupak ekonomske ocjene energetskih sustava u zgradama

**HRN EN 15603:2008** Energetska svojstva zgrada – opća uporaba energije i definicija energetskih razreda

**HRN EN ISO 15927-1** Značajke zgrada s obzirom na toplinu i vlagu – Proračun i prikaz klimatskih podataka – 1. dio: Prosječne mjesečne vrijednosti pojedinih meteoroloških elemenata

**HRN EN ISO 15927-4** Značajke zgrada s obzirom na toplinu i vlagu -- Proračun i prikaz klimatskih podataka -- 4. dio: Vrijednosti po satu, za procjenu godišnje potrošnje energije za grijanje i hlađenje

**HRN EN ISO 15927-5** Značajke zgrada s obzirom na toplinu i vlagu -- Proračun i prikaz klimatskih podataka -- 5. dio: Podaci za proračun toplinskog opterećenja za grijanje prostora

**HRN EN ISO 15927-6** Značajke zgrada s obzirom na toplinu i vlagu -- Proračun i prikaz klimatskih podataka -- 6. dio: Akumulirana toplinska razlika ( stupanj – dan )

Vrata, prozori i staklo u graditeljstvu:

**HRN EN 179:2001** – Građevni okovi – Dijelovi izlaza za nuždu s kvakom ili pritiskom pločom -- Zahtjevi i metode ispitivanja (EN 179:1997+A1:2001)

**HRN EN 179/A1/AC:2003** – Građevni okovi – Dijelovi izlaza za nuždu s kvakom ili pritiskom pločom – Zahtjevi i metode ispitivanja (EN 179:1997/A1:2001/AC:2002)

**HRN EN 410:2003** Staklo u graditeljstvu -- Određivanje svjetlosnih i sunčanih značajka ostakljenja (EN 410:1998)

**HRN EN 673:2003** Staklo u graditeljstvu -- Određivanje koeficijenta prolaska topline (U vrijednost) -- Proračunska metoda (EN 673:1997+A1:2000+A2:2002)

**HRN EN 674:2005** Staklo u graditeljstvu – Određivanje koeficijenta prolaska topline (U-vrijednost) -- Metoda sa zaštićenom vrućom pločom (EN 674:1997)

**HRN EN 947** – Zaokretna i okretna vrata -- Određivanje otpornosti na vertikalno opterećenje (EN 947:1998)

**HRN EN 948** – Zaokretna i okretna vrata -- Određivanje otpornosti na statičku torziju (EN 948:1999)

**HRN EN 949** – Prozori i ovješene fasade, vrata, rebrenice i zasloni -- Određivanje otpornosti na udar mekoga i Teškoga tijela (EN 949:1998)

**HRN EN 950** – Vratna krila -- Određivanje otpornosti na udar tvrdim tijelom (EN 950:1999)

**HRN EN 1026:2001** – Prozori i vrata -- Propusnost zraka -- Metoda ispitivanja (EN 1026:2000)

**HRN EN 1027** – Prozori i vrata -- Vodonepropusnost -- Metoda ispitivanja (EN 1027:2000)

**HRN EN 1121** – Vrata -- Ponašanje između dva različita klimatska uvjeta -- Metoda ispitivanja (EN 1121:2000)

**HRN EN 1125:2003** – Građevni okovi – Dijelovi izlaza za nuždu s pritiskom šipkom – Zahtjevi i ispitne metode (EN 1125:1997+A1:2001)

**HRN EN 1125/A1/AC:2005** – Građevni okovi – Naprave izlaza za nuždu s pritiskom horizontalnom šipkom – Zahtjevi i ispitne metode (EN 1125:1997/A1:2001/AC:2002)

**HRN EN 1191** – Prozori i vrata -- Otpornost na uzastopno otvaranje i zatvaranje -- Metoda ispitivanja (EN 1191:2000)

**HRN EN 1192:2001** – Vrata – Razredba zahtjeva čvrstoće (EN 1192:1999)

**HRN EN 1529:2001** – Vratna krila – Visina, širina, debljina i pravokutnost – Razredba dopuštenih odstupanja (EN 1529:1999)

**HRN EN 1530:2001** – Vratna krila – Opća i lokalna ravnost – Razredba dopuštenih odstupanja (EN 1530:1999)

**HRN EN 12046-1** – Sile otvaranja i zatvaranja -- Ispitne metode -- 1. dio: Prozori (EN 12046-1:2003)

**HRN EN 12046-2** – Sile otvaranja i zatvaranja -- Metoda ispitivanja -- 1. dio: Vrata (EN 12046-2:2000)

**HRN EN 12207:2001** – Prozori i vrata -- Propusnost zraka -- Razredba (EN 12207:1999)

**HRN EN 12208:2001** – Prozori i vrata -- Vodonepropusnost -- Razredba (EN 12208:1999)

- HRN EN 12210:2001** – Prozori i vrata – Otpornost na opterećenje vjetrom – Razredba (EN 12210:1999)
- HRN EN 12210/AC:2005** – Prozori i vrata – Otpornost na opterećenje vjetrom – Razredba (EN 12210:1999/AC:2002)
- HRN EN 12211** – Prozori i vrata -- Otpornost na opterećenje vjetrom -- Metoda ispitivanja (EN 12211:2000)
- HRN EN 12217:2005** – Vrata – Sile otvaranja i zatvaranja – Zahtjevi i razredba (EN 12217:2003)
- HRN EN 12219:2001** – Vrata – Klimatski utjecaji – Zahtjevi i razredba (EN 12219:1999)
- HRN EN 12608:2003** – Profili od neomekšanog polivinil-klorida (PVC-U) za proizvodnju prozora i vrata – Razredba, zahtjevi i ispitne metode (EN 12608:2003)
- HRN EN 13115:2001** – Prozori – Razredba mehaničkih svojstava – Vertikalno opterećenje, torzija i sile otvaranja i zatvaranja (EN 13115:2001)
- HRN EN 14351-1:2006** – Prozori i vrata – norma za proizvod, izvedbene značajke – 1. dio: Prozori i vanjska pješačka vrata bez otpornosti na požar i/ili propuštanje dima (EN 14351-1:2006)

Toplinska izolacija:

- HRN EN ISO 7345** – Toplinska izolacija -- Fizikalne veličine i definicije
- HRN EN ISO 9251:2002** – Toplinska izolacija -- Uvjeti prijenosa topline i svojstva materijala – Rječnik
- HRN EN ISO 9288: 1998** – Toplinska izolacija -- Prijenos topline zračenjem -- Fizikalne veličine i definicije
- HRN EN ISO 12569:2002** – Toplinska izolacija zgrada -- Određivanje izmjene zraka u zgradama -- Metoda s plinom kao indikatorom

Toplinsko – izolacijski materijali:

- HRN EN 13162:2002** – Toplinsko-izolacijski proizvodi za zgrade -- Tvornički izrađeni proizvodi od mineralne vune (MW) -- Specifikacija (EN 13162:2001)
- HRN EN 13162/AC:2007** – Toplinsko-izolacijski proizvodi za zgrade -- Tvornički izrađeni proizvodi od mineralne vune (MW) -- Specifikacija (EN 13162:2001/AC:2005)
- HRN EN 13163:2002** – Toplinsko-izolacijski proizvodi za zgrade -- Tvornički izrađeni proizvodi od ekspaniranog polistirena (ESP) -- Specifikacija (EN 13163:2001)
- HRN EN 13163/AC:2007** – Toplinsko-izolacijski proizvodi za zgrade -- Tvornički izrađeni proizvodi od ekspaniranog polistirena (ESP) -- Specifikacija (EN 13163:2001/AC:2005)
- HRN EN 13164:2002** – Toplinsko-izolacijski proizvodi za zgrade -- Tvornički izrađeni proizvodi od ekstrudirane polistirenske pjene (XPS) -- Specifikacija (EN 13164:2001)
- HRN EN 13164/A1:2004** – Toplinsko-izolacijski proizvodi za zgrade -- Tvornički izrađeni proizvodi od ekstrudirane polistirenske pjene (XPS) -- Specifikacija (EN 13164:2001/A1:2004)
- HRN EN 13164/AC:2007** – Toplinsko-izolacijski proizvodi za zgrade -- Tvornički izrađeni proizvodi od ekstrudirane polistirenske pjene (XPS) -- Specifikacija (EN 13164:2001/AC:2005)
- HRN EN 13165:2002** – Toplinsko-izolacijski proizvodi za zgrade -- Tvornički izrađeni proizvodi od tvrde poliuretanske pjene (PUR) -- Specifikacija (EN 13165:2001)
- HRN EN 13165/A1:2004** – Toplinsko-izolacijski proizvodi za zgrade -- Tvornički izrađeni proizvodi od tvrde poliuretanske pjene (PUR) -- Specifikacija (EN 13165:2001/A1:2004)
- HRN EN 13165/A2:2004** – Toplinsko-izolacijski proizvodi za zgrade -- Tvornički izrađeni proizvodi od tvrde poliuretanske pjene (PUR) -- Specifikacija (EN 13165:2001/A2)
- HRN EN 13165/AC:2007** – Toplinsko-izolacijski proizvodi za zgrade -- Tvornički izrađeni proizvodi od tvrde poliuretanske pjene (PUR) -- Specifikacija (EN 13165:2001/AC:2005)
- HRN EN 13166:2002** – Toplinsko izolacijski proizvodi za zgrade -- Tvornički izrađeni proizvodi od fenolne pjene (PF) -- Specifikacija (EN 13166:2001)
- HRN EN 13166/A1:2004** – Toplinsko izolacijski proizvodi za zgrade -- Tvornički izrađeni proizvodi od fenolne pjene (PF) -- Specifikacija (EN 13166:2001/A1:2004)

**HRN EN 13166/AC:2007** – Toplinsko izolacijski proizvodi za zgrade -- Tvornički izrađeni proizvodi od fenolne pjene (PF) -- Specifikacija (EN 13166:2001/AC:2005)

**HRN EN 13167:2002** – Toplinsko-izolacijski proizvodi za zgrade -- Tvornički izrađeni proizvodi od ćelijastog (pjenastog) stakla (CG) -- Specifikacija (EN 13167:2001)

**HRN EN 13167/A1:2004** – Toplinsko-izolacijski proizvodi za zgrade -- Tvornički izrađeni proizvodi od ćelijastog (pjenastog) stakla (CG) -- Specifikacija (EN 13167:2001/A1:2004)

**HRN EN 13167/AC:2007** – Toplinsko-izolacijski proizvodi za zgrade -- Tvornički izrađeni proizvodi od ćelijastog (pjenastog) stakla (CG) -- Specifikacija (EN 13167:2001/AC:2005)

**HRN EN 13168:2002** – Toplinsko-izolacijski proizvodi za zgrade -- Tvornički izrađeni proizvodi od drvene vune (WW) -- Specifikacija (EN 13168:2001)

**HRN EN 13168/A1:2004** – Toplinsko-izolacijski proizvodi za zgrade -- Tvornički izrađeni proizvodi od drvene vune (WW) -- Specifikacija (EN 13168:2001/A1:2004)

**HRN EN 13168/AC:2007** – Toplinsko-izolacijski proizvodi za zgrade -- Tvornički izrađeni proizvodi od drvene vune (WW) -- Specifikacija (EN 13168:2001/AC:2005)

**HRN EN 13169:2002** – Toplinsko-izolacijski proizvodi za zgrade -- Tvornički izrađeni proizvodi od ekspaniranog perlita (EPB) -- Specifikacija (EN 13169:2001)

**HRN EN 13169/A1:2004** – Toplinsko-izolacijski proizvodi za zgrade -- Tvornički izrađeni proizvodi od ekspaniranog perlita (EPB) -- Specifikacija (EN 13169:2001/A1:2004)

**HRN EN 13169/AC:2007** – Toplinsko-izolacijski proizvodi za zgrade -- Tvornički izrađeni proizvodi od ekspaniranog perlita (EPB) -- Specifikacija (EN 13169:2001/AC:2005)

**HRN EN 13170:2002** – Toplinsko-izolacijski proizvodi za zgrade -- Tvornički izrađeni proizvodi od ekspaniranog pluta (ICB) -- Specifikacija (EN 13170:2001)

**HRN EN 13170/AC:2007** – Toplinsko-izolacijski proizvodi za zgrade -- Tvornički izrađeni proizvodi od ekspaniranog pluta (ICB) -- Specifikacija (EN 13170:2001/AC:2005)

**HRN EN 13171:2002** – Toplinsko-izolacijski proizvodi za zgrade -- Tvornički izrađeni proizvodi od drvenih vlakana (WF) -- Specifikacija (EN 13171:2001)

**HRN EN 13171/A1:2004** – Toplinsko-izolacijski proizvodi za zgrade -- Tvornički izrađeni proizvodi od drvenih vlakana (WF) -- Specifikacija (EN 13171:2001/A1:2004)

**HRN EN 13171/AC:2007** – Toplinsko-izolacijski proizvodi za zgrade -- Tvornički izrađeni proizvodi od drvenih vlakana (WF) -- Specifikacija (EN 13171:2001/AC:2005)

**HRN EN 13172:2002** – Toplinsko-izolacijski proizvodi -- Vrednovanje sukladnosti (EN 13172:2001)

**HRN EN 13172/A1:2005** – Toplinsko-izolacijski proizvodi -- Vrednovanje sukladnosti (EN 13172:2001/A1:2005)

**HRN EN 13500:2004** – Toplinsko-izolacijski proizvodi za primjenu u zgradarstvu -- Povezani sustavi za vanjsku toplinsku izolaciju (ETICS) na osnovi mineralne vune -- Specifikacija (EN 13500:2003)

**HRN EN 13499:2004** – Toplinsko-izolacijski proizvodi za primjenu u zgradarstvu -- Povezani sustavi za vanjsku toplinsku izolaciju (ETICS) na osnovi ekspaniranog polistirena -- Specifikacija (EN 13499:2003)

Sustavi grijanja, ventilacije i klimatizacije u građevinama

**HRN U.C2.200:1971** Provjetravanje prostorija bez vanjskih prozora kroz vertikalne i horizontalne kanale prirodnim putem. Sistemi pojedinačnih kanala

**HRN U.C2.201:1971** Provjetravanje prostorija bez vanjskih prozora pomoću vertikalnih i horizontalnih kanala na prirodni način. Sistemi sabirnih kanala

**HRN U.C2.202:1971** Provjetravanje prostorija bez vanjskih prozora pomoću ventilatora

**HRN EN 1505:2003** Ventilacija u zgradama Metalni kanali i spojni dijelovi pravokutnog presjeka za razdiobu zraka Dimenzije (EN 1505:1997)

**HRN EN 1506:2003** Ventilacija u zgradama Metalni kanali i spojni dijelovi okruglog presjeka za razdiobu zraka Dimenzije (EN 1506:1997)

- HRN CR 1752:2004** Ventilacija u zgradama Projektni kriteriji za unutrašnjost (CR 1752:1998)
- HRN ENV 12097:2003** Ventilacija u zgradama Zračni kanali Zahtjevi za zračne kanale i njihove sastavne dijelove u cilju osiguravanja njihovog održavanja (ENV 12097:1997)
- HRN EN 12098-1:2003** - Regulacija sustava grijanja - 1. dio: Uređaji za kontrolu sustava toplovodnog grijanja s kompenzacijom prema vanjskoj temperaturi (EN 12098-1:1996)
- HRN EN 12098-2:2003** - Regulacija sustava grijanja - 2. dio: Uređaji za optimalnu kontrolu uključivanja toplovodnog sustava grijanja (EN 12098-2:2001)
- HRN EN 12098-3:2003** - Regulacija sustava grijanja - 3. dio: Uređaji za kontrolu sustava električnog grijanja s kompenzacijom prema vanjskoj temperaturi (EN 12098-3:2002)
- HRN EN 12098-4:2008** - Regulacija sustava grijanja - 1. dio: Uređaji za optimalnu kontrolu uključivanja za električne sustave (EN 12098-4:2005)
- HRN EN 12170:2004** – Sustavi grijanja u građevinama – Postupak pripreme dokumenata za rad, održavanje i uporabu – Sustavi grijanja koji zahtijevaju obučenog rukovatelja (EN 12170:2002)
- HRN EN 12171:2004** – Sustavi grijanja u građevinama – Postupak pripreme dokumenata za rad, održavanje i uporabu – Sustavi grijanja koji ne zahtijevaju obučenog rukovatelja (EN 12171:2002)
- HRN EN 12237:2004** Ventilacija u zgradama Kanali Čvrstoća i propuštanje okruglih limenih kanala (EN 12237:2003)
- HRN EN 12599:2004** Ventilacija u zgradama Ispitni postupci i mjerne metode za primopredaju izvedenih sustava ventilacije i klimatizacije (EN 12599:2000+AC:2002)
- HRN EN 12792:2006** Ventilacija u zgradama Simboli, nazivlje i grafički simboli (EN 12792:2003)
- HRN EN 12828:2003** Sustavi grijanja u zgradama Izvedba sustava toplovodnog grijanja (en 12828:2003)
- HRN EN 12831:2004** Sustavi grijanja u zgradama Postupak proračuna normiranoga toplinskog opterećenja (EN 12831:2003)
- HRN EN 13180:2004** Ventilacija u zgradama Kanali Dimenzije i mehanički zahtjevi za gibljive kanale (EN 13180:2001)
- HRN EN 13182:2004** Ventilacija u zgradama Zahtjevi za instrumente za mjerenja brzina strujanja u ventiliranim prostorima (EN 13182:2002)
- HRN EN 13403:2004** Ventilacija u zgradama Kanali iz nemetala Kanali izrađeni od izolacijskih ploča (EN 13403:2003)
- HRN EN 13465:2004** Ventilacija u zgradama Postupci proračuna za određivanje provjetravanja u stambenim zgradama (EN 13465:2004)
- HRN EN 13779:2008** Ventilacija u nestambenim zgradama Zahtjevi za sustave ventilacije i klimatizacije (EN 13779:2004)
- HRN EN 14134:2004** Ventilacija u zgradama Ispitivanje značajki i provjera instalacije za stambene ventilacijske sustave (EN 14134:2004)
- HRN EN 14336:2005** – Sustavi grijanja u građevinama – Ugradnja i preuzimanje sustava toplovodnog grijanja (EN 14336:2004)
- HRN EN 14337:2008** Sustavi grijanja u zgradama Projektiranje i ugradnja sustava neposrednog električnog grijanja prostorija (EN 14337:2005)
- HRN EN 15239:2008** Ventilacija u zgradama -- Energetske značajke zgrada -- Smjernice za provjeru ventilacijskih sustava
- HRN EN 15240:2008** Ventilacija u zgradama -- Energijske značajke zgrada -- Smjernice za provjeru sustava pripreme zraka
- HRN EN 15241:2008** Ventilacija u zgradama Metode proračuna energijskih gubitaka zbog ventilacije i infiltracije u poslovnim zgradama (EN 15241:2007)
- HRN EN 15242:2008** Ventilacija u zgradama Metode proračuna za određivanje protoka zraka u zgradama uključujući infiltraciju (EN 15242: 2007)
- HRN EN 15243:2008** Ventilacija u zgradama Proračun temperatura, opterećenja i energije u prostorijama zgrada sa sustavima klimatizacije prostora (EN 15243: 2007)
- HRN EN 15316:2008** Sustavi grijanja u zgradama – Metode proračuna energetskih zahtjeva i učinkovitosti sustava
- HRN EN 15316-1:2008** Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energetskih zahtjeva i učinkovitosti sustava – 1. dio: Općenito
- HRN EN 15316-2-1** Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energetskih zahtjeva i učinkovitosti sustava – Dio 2-1: Sustavi za grijanje prostora zračenjem topline

**HRN EN 15316-2-3** Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energetske zahtjeva i učinkovitosti sustava – Dio 2-3: Razvodi sustava grijanja prostora

**HRN EN 15316-3** Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energetske zahtjeva i učinkovitosti sustava – Sustavi za pripremu potrošne tople vode

**HRN EN 15316-3-1** Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energetske zahtjeva i učinkovitosti sustava - Dio 3-1: Sustavi za pripremu potrošne tople vode, pokazatelji potreba prema izljevnome mjestu

**HRN EN 15316-3-2** Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energetske zahtjeva i učinkovitosti sustava - Dio 3-2: Sustavi za pripremu potrošne tople vode, razvod

**HRN EN 15316-3-3** Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energetske zahtjeva i učinkovitosti sustava - Dio 3-3: Sustavi za pripremu potrošne tople vode, zagrijavanje

**HRN EN 15316-4:2008** Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energetske zahtjeva i učinkovitosti sustava

**HRN EN 15316-4-1:2008** Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energetske zahtjeva i učinkovitosti sustava – Dio 4-1: Sustavi za proizvodnju topline izgaranjem (kotlovi)

**HRN EN 15316-4-2:2008** Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energetske zahtjeva i učinkovitosti sustava – Dio 4-2: Sustavi za proizvodnju topline, sustavi dizalica topline

**HRN EN 15316-4-3:2008** Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energetske zahtjeva i učinkovitosti sustava – Dio 4-3: Sustavi za proizvodnju topline, toplinski sustavi sunčevog zračenja

**HRN EN 15316-4-4:2008** Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energetske zahtjeva i učinkovitosti sustava – Dio 4-4: Sustavi za proizvodnju topline, sustavi kogeneracije uklopljeni u zgradu

**HRN EN 15316-4-5:2008** Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energetske zahtjeva i učinkovitosti sustava – Dio 4-5: Sustavi za proizvodnju topline za grijanje prostora, pokazatelji i kvaliteta daljinskog grijanja i sustava velikih volumena

**HRN EN 15316-4-6:2008** Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energetske zahtjeva i učinkovitosti sustava – Dio 4-6: Sustavi za proizvodnju topline, fotonaponski sustavi

**HRN EN 15316-4-7:2008** Sustavi grijanja u zgradama – Metoda proračuna energetske zahtjeva i učinkovitosti sustava – Dio 4-7: Sustavi za proizvodnju topline izgaranjem biomase

**HRN EN 15378:2008** Sustavi grijanja u zgradama -- Nadzor nad kotlovima i sustavima grijanja učinkovitosti sustava – Dio 4-6: Sustavi za proizvodnju topline, fotonaponski sustavi

**HRS CEN/TS 15379:2008** – Upravljanje zgradama – Nazivlje i opseg usluga (CEN/TS 15379:2006)

**HRN EN 15377-1:2008** Sustavi grijanja u zgradama -- Projektiranje ugradbenih sustava površinskog grijanja i hlađenja vodom -- 1. dio: Određivanje učinka grijanja i hlađenja

**HRN EN 15377-2:2008** Sustavi grijanja u zgradama -- Projektiranje ugradbenih sustava površinskog grijanja i hlađenja vodom -- 2. dio: Projektiranje, dimenzioniranje i ugradnja

**HRN EN 15377-3:2008** Sustavi grijanja u zgradama -- Projektiranje ugradbenih sustava površinskog grijanja i hlađenja vodom -- 3. dio: Optimiranje uporabe obnovljivih izvora energije

**HRN EN ISO 16484-2:2004** – Sustavi kontrole i automatizacije zgrade (GVK)– 2. dio: Oprema za kontrolni sustav (ISO 16484-2:2004; EN ISO 16484-2:2004)

#### **Uređaji i oprema za izmjenu topline:**

**HRN EN 307:2004** Izmjenjivači topline Smjernice za izradu uputa za ugradnju, rukovanje i održavanje radi održanja radnih značajki pojedinih tipova izmjenjivača topline (EN 307:1998)

**HRN EN 4421:20XX** Radijatori i konvektori 1 dio: Tehničke specifikacije i zahtjevi (EN 442-1:1995+A1:2003)

**HRN EN 13229:2004** Kamini za ugradnju i otvoreni kamini na kruta goriva Zahtjevi i metode ispitivanja (EN 13229:2001)

**HRN EN 13240:2004** Grijalice prostora na kruto gorivo Zahtjevi i metode ispitivanja (EN 13240:2001)

**HRN EN 14037-1:2004** – Stropno ugradive zračeće grijače ploče punjene vodom temperature niže od 120 °C – 1. dio: Tehničke značajke i zahtjevi (EN 14037-1:2003)

**Plinski uređaji:**

**HRN EN 416-1:2004** Plinske ovjesne nekućanske tamno-zračeće grijalice s jednim plamenikom s ventilatorom 1. dio: Sigurnost (EN 416-1:1999+A1:2000+A2:2001+A3:2002)

**HRN EN 419-1:2004** Plinske ovjesne nekućanske svjetlo-zračeće grijalice s plamenikom bez ventilatora 1. dio: Sigurnost (EN 419-1:1999+A1:2000+A2:2001+A3:2002)

**HRN EN 437:2004** – Ispitni plinovi – Ispitni tlakovi – Kategorije uređaja (EN 437:2003)

**HRN EN 777-1:2004** Plinski ovjesni nekućanski tamno-zračeći cijevni sustavi grijanja s više plamenika s ventilatorima 1. dio: Sustav D, sigurnost (EN 777-1:1999+A1:2001+A2:2001+A3:2002)

**HRN EN 777-2:2004** Plinski ovjesni nekućanski tamno-zračeći cijevni sustavi grijanja s više plamenika s ventilatorima 2. dio: Sustav E, sigurnost (EN 777-2:1999+A1:2001+A2:2001+A3:2002)

**HRN EN 777-3:2004** Plinski ovjesni nekućanski tamno-zračeći cijevni sustavi grijanja s više plamenika s ventilatorima 3. dio: Sustav F, sigurnost (EN 777-3:1999+A1:2001+A2:2001+A3:2002)

**HRN EN 777-4:2004** Plinski ovjesni nekućanski tamno-zračeći cijevni sustavi grijanja s više plamenika s ventilatorima 4. dio: Sustav H, sigurnost (EN 777-4:1999+A1:2001+A2:2001+A3:2002)

**Dimnjaci:**

**HRN EN 1443:2003** Dimnjaci Opći zahtjevi (EN 1443:2003)

**HRN EN 1457:2003** Dimnjaci Glinene/keramičke dimovodne cijevi Zahtjevi i ispitne metode (EN 1457:1999+AC:1999+A1:2002)

**HRN EN 1806:2003** Dimnjaci Glineni/keramički dimovodni elementi za dimnjake s jednom stijenkom Zahtjevi i ispitne metode (EN 1806:2000)

**HRN EN 1856-1:2003** Dimnjaci Zahtjevi za metalne dimnjake 1. dio: Proizvodi sustava dimnjaka (EN 1856-1:2003)

**HRN EN 1856-2:2004** Dimnjaci Zahtjevi za metalne dimnjake 2. dio: Metalne cijevi i priključne dimovodne cijevi (EN 1856-2:2004)

**HRN EN 1857:2003** Dimnjaci Dijelovi Betonske dimovodne cijevi (EN 1857:2003)

**HRN EN 1858:2003** Dimnjaci Dijelovi Betonski elementi dimnjaka (EN 1858:2003)

**HRN EN 1859:2003** Dimnjaci Metalni dimnjaci Ispitne metode (EN 1859:2000)

**HRN EN 12391-1:2004** Dimnjaci Norma za izvedbu metalnih dimnjaka 1. dio: Dimnjaci za nebrtvljene zatvorene sustave za loženje (EN 12391-1:2003)

**HRN EN 12446:2003** Dimnjaci Dijelovi Elementi betonskog plašta (EN 12446:2003)

**HRN EN 13063-1:2006** Dimnjaci Sustavni dimnjaci s glinenim/keramičkim dimovodnim cijevima 1. dio: Zahtjevi i ispitne metode za otpornost na požar čađe (EN 13063-1:2005)

**HRN EN 13063-2:2006** Dimnjaci Sustavi dimnjaka s glinenim/keramičkim dimovodnim cijevima 2. dio: Zahtjevi i ispitne metode u vlažnim uvjetima (EN 13063-2:2005)

**HRN EN 13069:2005** Dimnjaci Glineni/keramički vanjski plaštevci za sustave dimnjaka Zahtjevi i ispitne metode (EN 13069:2005)

**HRN EN 13216-1:2004** Dimnjaci Ispitne metode za sustave dimnjaka 1. dio: Opće ispitne metode (EN 13216-1:2004)

**HRN EN 13384-1:2003** Dimnjaci Metode toplinskog proračuna i proračuna dinamike fluida 1. dio: Dimnjaci s jednim uređajem za loženje (EN 13384-1:2002)

**HRN EN 13384-1/AC:2004** Dimnjaci Metode toplinskog proračuna i proračuna dinamike fluida 1. dio: Dimnjaci s jednim uređajem za loženje (EN 13384-1:2002/AC:2003)

**HRN EN 13384-2:2003** Dimnjaci Metode toplinskog proračuna i proračuna dinamike fluida 2. dio: Dimnjaci s više uređaja za loženje (EN 13384-2:2003)

**HRN EN 13502:2004** Dimnjaci Zahtjevi i ispitne metode za glinene/keramičke izlazne nastavke (EN 13502:2002)

**HRN DIN 18160-1:2003** Dimnjaci 1. dio: Projektiranje i izvedba (DIN 18160-1:2001)

**HRN DIN 18160-5:2003** Dimnjaci 5. dio: Naprave za pristup dimnjaku Zahtjevi, projektiranje i izvedba (DIN 18160-5:1998)



Uređaji za hlađenje, klimatizaciju i dizalice topline:

**HRN EN 3781:2004** Rashladni sustavi i dizalice topline Sigurnosni i ekološki zahtjevi 1. dio: Osnovni zahtjevi, definicije, razredbeni kriteriji i odabir (EN 378-1:2000)

**HRN EN 3782:2004** Rashladni sustavi i dizalice topline Sigurnosni i ekološki zahtjevi 2. dio: Projektiranje, izvedba, ispitivanje, označivanje i dokumentacija (EN 378-2:2000)

**HRN EN 3783:2004** Rashladni sustavi i dizalice topline Sigurnosni i ekološki zahtjevi 3. dio: Mjesto instalacije i osobna zaštita (EN 378-3:2000)

**HRN EN 3784:2004** Rashladni sustavi i dizalice topline Sigurnosni i ekološki zahtjevi 4. dio: Postupanje, održavanje, popravak i uporaba (EN 378-4:2000)

**HRN ISO/R 916:2004** – Ispitivanje rashladnih sustava (ISO/R 916:1968)

**HRN EN 1736:2004** – Rashladni sustavi i dizalice topline – Savitljivi elementi cjevovoda, izolatori vibracija i ekspanzijski spojevi – Zahtjevi, oblikovanje i ugradba (EN 1736:2000)

**HRN EN 1861:2004** Rashladni sustavi i dizalice topline Dijagram toka sustava i dijagrami cjevovoda i opreme Raspored i oznake (EN 1861:1998)

**HRN EN 12263:2004** Rashladni sustavi i dizalice topline Sigurnosno preklopni uređaji za ograničenje tlaka Zahtjevi i ispitivanja (EN 12263:1998)

**HRN EN 12284:2004** Rashladni sustavi i dizalice topline Ventili Zahtjevi, ispitivanje i označivanje (EN 12284:2003)

**HRN EN 13136:2004** Rashladni sustavi i dizalice topline Tlačni prestrujni uređaji i pripadajući cjevovodi Metode proračuna (EN 13136:2001)

**HRN EN 13313:2004** – Rashladni sustavi i dizalice topline – Osposobljenost osoblja (EN 13313:2001)

**HRN EN 14511-1:2006** Klimatizacijski uređaji, uređaji za hlađenje kapljevina i dizalice topline s kompresorima na električni pogon za grijanje i hlađenje prostora 1. dio: Nazivi i definicije (EN 14511-1:2004)

#### Kakvoća zraka:

**HRN EN 12341:2006** Kakvoća zraka Određivanje PM10 frakcije po veličini lebdećih čestica Referentna metoda i terensko ispitivanje u svrhu dokazivanja jednakovaljanosti mjernih metoda (EN 12341:1998)

**HRN ISO 18144:2004** Okolinski duhanski dim Procjena udjela čestica koje se udišu Metoda zasnovana na solanesolu (ISO 18144:2003)

#### Akustika:

**HRN EN ISO 140-3** Akustika – Mjerenje razine zvuka u zgradama i elementima zgrada – 3. Dio 3 – Laboratorijska mjerenja

**HRN EN ISO 717-1** – Akustika – Određivanje razine zvuka u zgradama

**HRN ISO 1996-1:2004** – Akustika – Opis, mjerenje i utvrđivanje buke okoliša – 1. dio: Osnovne veličine i postupci utvrđivanja (ISO 1996-1:2003)

**HRN ISO 1996-2:2000** – Akustika – Opisivanje i mjerenje buke okoliša – 2. dio: Prikupljanje podataka u vezi s namjenom prostora (ISO 1996-2:1987+Amd 1:1998)

**HRN ISO 1996-3:2000** – Akustika – Opisivanje i mjerenje buke okoliša – 3. dio: Primjena na granice buke (ISO 1996-3:1987)

**HRN EN ISO 3740:2001** Akustika Određivanje razina zvučne snage izvora buke Smjernice za uporabu temeljnih normi (ISO 3740:2000; EN ISO 3740:2000)

**HRN EN ISO 9612:2000** Akustika Smjernice za mjerenje i utvrđivanje izloženosti buci u radnoj okolini (ISO 9612:1997)

**HRN EN ISO 11200:1998** Akustika Buka koju emitiraju strojevi i oprema Smjernice za korištenje temeljnih normi za određivanje zvučnog tlaka emisije na radnome mjestu i na drugim specificiranim mjestima (ISO 11200:1995+Cor 1:1997; EN ISO 11200:1995+AC:1997)

**HRN EN ISO 11201:1998** Akustika Buka koju emitiraju strojevi i oprema Mjerenje razine zvučnog tlaka emisije na radnome mjestu i na drugim specificiranim mjestima Inženjerska metoda za potpuno slobodno polje na reflektirajućoj ravnini (ISO 11201:1995+Cor 1:1997; EN ISO 11201:1995+AC:1997)

**HRN ENV 12102:2004** – Klimatizacijski uređaji, dizalice topline i odvlaživači zraka s kompresorima na električni pogon – Mjerenje buke koja se prenosi zrakom – Utvrđivanje razine zvučne snage (ENV 12102:1996)

**Mehaničke vibracije i udari:**

**HRN ISO 2631-1:1999** Mehaničke vibracije i udari Ocjenjivanje izloženosti ljudi vibracijama cijeloga tijela 1. dio: Opći zahtjevi (ISO 2631-1:1997)

**HRN ISO 2631-2:1999** Ocjenjivanje izloženosti ljudi vibracijama cijeloga tijela 2. dio: Trajne vibracije i vibracije inducirane udarom na građevinama (1 do 80 Hz) (ISO 2631-2:1989)

**Zaštita od požara:**

**HRN EN 1366-1:2002** Ispitivanja otpornosti na požar instalacija 1. dio: Kanali (EN 1366-1:1999)

**HRN EN 1366-2:2002** Ispitivanja otpornosti na požar instalacija 2. dio: Protupožarne zaklopke (EN 1366-2:1999)

**Ostalo:**

**HRN M.E7.201** – Sigurnosnotehnička oprema postrojenja za grijanje toplom vodom, s temperaturom razvodne vode do 110°C

**HRN M.E7.202** – Sigurnosnotehnička oprema postrojenja za grijanje toplom vodom, s temperaturom razvodne vode do 110°C, učinka do 360 kW, s termostatskim osiguranjem

**HRN M.E6.203** – Zahtjevi sigurnosti postrojenja za grijanje vrelom vodom s temperaturom razvodne vode iznad 110° i radnim pritiskom do 0,5 bar

**HRN EN ISO 7730:2003** Umjerene toplinske okoline Određivanje vrijednosti predvidive srednje izjave (PSI) i predvidivog postotka nezadovoljstva (PPN) uvjeta toplinske udobnosti (ISO 7730:1994; EN ISO 7730:1995)

**HRN ENV 13154-1:2004** – Razmjena podataka za primjenu u GVK sustavima – Mreža u polju – 1. dio: Ciljevi (ENV 13154-1:2000)

**HRN ENV 13154-2:2004** – Razmjena podataka za primjenu u GVK sustavima mreže u polju – 2. dio: Protokoli (ENV 13154-2:1998)

**HRN EN 13187:2000** Toplinske značajke zgrada - Kvalitativno otkrivanje toplinskih mostova u obodnim konstrukcijama zgrada -- Metoda infracrvenog snimanja

**HRN ISO/CIE 8995:2003** - Osvjetljenje radnih mjesta u zatvorenom prostoru

