

1 GREJANJE I KLIMATIZACIJA – UVODNI POJMOVI

Grejanje i klimatizacija su grane tehnike i naučne discipline koje se bave ostvarivanjem i održavanjem pogodnih uslova za boravak čoveka u zatvorenom prostoru. Strogo uzevši, navedena definicija odnosi se na komfornu klimatizaciju gde se uslovi ugodnosti prilagođavaju prvenstveno ljudima koji tu borave. Za razliku od komforne klimatizacije, osnovni zadatak industrijske klimatizacije je stvaranje pogodnih uslova za optimalno odvijanje tehnološkog procesa. Naravno, ti uslovi sredine moraju biti prihvatljivi i za čoveka. Na primer, u pojedinim pogonima tekstilne industrije i pojedinim fazama prerade duvana potrebno je održavati visoku relativnu vlažnost vazduha (i do 90%) što čovek može da podnese, mada je za njega idealna vrednost oko 50%.

Za razliku od sistema grejanja koji ostvaruju funkciju zagrevanja prostora i delimičnog provetravanja, sistemi klimatizacije ostvaruju daleko veći broj funkcija u cilju postizanja uslova ugodnosti tokom cele godine. Osnovne funkcije klimatizacionih postrojenja su:

- zagrevanje prostora u zimskom periodu;
- hlađenje prostora u letnjem periodu;
- ventilacija;
- održavanje relativne vlažnosti vazduha: vlaženje vazduha u zimskom periodu i sušenje (odvlaživanje) u letnjem;
- održavanje potrebnog nivoa čistoće vazduha.

1.1 RAZVOJ TEHNIKE GREJANJA I KLIMATIZACIJE

Postrojenja za centralno grejanje imaju niz prednosti u poređenju sa lokalnim uređajima. Centralno grejanje podrazumeva centralni izvor toplote, u kome se vrši sagorevanje goriva na jednom mestu, odakle se toplota dalje distribuira do prostorija koje se greju. To omogućava bolju kontrolu procesa sagorevanja i veće iskorišćenje goriva. Istovremeno je izbegnuto raznošenje goriva i skupljanje pepela na više mesta i umanjuje se opasnost od pojave požara. Kod centralnih sistema je omogućeno postavljanje grejnih tela uz spoljne zidove, što obezbeđuje povoljnu raspodelu temperatura i bolje uslove ugodnosti, a grejna tela zauzimaju manje korisnog prostora. Ekonomičnost centralnih sistema naročito dolazi do izražaja kod onih postrojenja kod kojih je ostvarena dobra regulacija. Međutim, sve dobre strane centralnog grejanja mogu doći u pitanje ako postrojenje nije projektovano i izvedeno na odgovarajući način. Postrojenja za centralno grejanje imaju niz prednosti u poređenju sa lokalnim uređajima. U istoriji čovečanstva je bio dug put dok se došlo do današnjih sistema za grejanje i klimatizaciju. Pri tome su se nagoveštaji modernih sistema javljali u davnim vremenima, ali je bilo potrebno da se stvore tehnički uslovi da bi grejanje dobilo današnji izgled preciznost i kvalitet. Početak klimatizacije vezuje se za 20-te godine prošlog veka u Americi. Vremenom su razvijeni različiti sistemi klimatizacije tako da se željeni uslovi ugodnosti praktično mogu postići u svim slučajevima.

Energetska kriza 70-tih godina prošlog veka uticala je na celokupan život čoveka, pa i na sisteme grejanja i klimatizacije. Međutim, primena sistema u skoro svim sferama života nije zaustavljena, ali je došlo do modifikacije i razvoja novih tehničkih rešenja grejnih i klimatizacionih postrojenja. Osnovni cilj je da se projektuju i izvedu energetske efikasne sisteme grejanja i klimatizacije.

Kako bi se pospešila efikasnost grejnih sistema, razvijani su niskotemperaturni sistemi panelnog grejanja, primena obnovljivih izvora (biomase, Solarne energije, kao i energije tla, podzemnih voda i spoljnog vazduha) i usavršeni su sistemi automatske regulacije rada sistema. U cilju štednje energije u klimatizacionim sistemima smanjen je broj izmena svežeg vazduha na sat,

ali se tada javio problem lošeg kvaliteta vazduha u klimatizovanim prostorijama (IAQ – *Indoor Air Quality*). Snižena je unutrašnja temperatura u zimskom, a povišena u letnjem periodu. Povećane su tolerancije dozvoljene vrednosti relativne vlažnosti vazduha u klimatizovanim prostorima. Niža dozvoljena vlažnost vazduha u zimskom, a viša u letnjem periodu dovode do znatnih ušteda energije u procesu pripreme vazduha. Korišćenje otpadne toplote iz klimatizacionih sistema postalo je standardno tehničko rešenje. Sve ove mere su uticale da se smanji jedinična potrošnja energije u klimatizacionim postrojenjima uz zadovoljavanje termičkih uslova ugodnosti.

Savremeni način gradnje, sve gušća naseljenost u gradovima, sve veće zagađenje okoline i sve izraženiji zahtevi za komforom i kvalitetom vazduha u zatvorenom prostoru, usloveli su sve više zahteva za uvođenjem klimatizacije u objektima različite namene. Perspektive primene klimatizacije su sve veće. Sve je više oblasti gde se ne može zamisliti boravak bez adekvatne klimatizacije:

- veliki poslovni objekti i tzv. “blokirane” prostorije;
- luksuzni objekti (hoteli visoke kategorije, poslovni apartmani,...);
- proizvodni pogoni (farmaceutske, hemijske, prehrambene, elektronske industrije);
- objekti opšte i javne namene (kongresni centri, pozorišta, bolnice, trgovinsko-poslovni centri, itd.);
- život pod morem, pod zemljom, u svemiru.

1.2 ODAVANJE TOPLOTE ČOVEKA

U čovekovom telu se neprekidno odvijaju fizičko-hemijski procesi koji se nazivaju metabolizam. Pri tim procesima razvija se toplota koju čovek neprekidno mora da odaje okolini da bi ostvario stanje termičke ravnoteže, odnosno da bi održao stalnu temperaturu tela. Količina proizvedene i odate toplote zavisi od: fizičke aktivnosti, odevenosti, temperature okoline, pola, uzrasta, mase tela, psihičko-zdravstvenog stanja, aklimatizovanosti na podneblje, ishrane, individualnosti, itd.

Toplotu stvorenu metabolizmom čovek odaje okolini na više načina – to su tzv. mehanizmi odavanja toplote. Tako se razlikuje:

- SUVA (osetljiva, osetna) toplota, koju čovek odaje preko površine kože – konvekcijom, zračenjem i kondukcijom i
- LATENTNA (vlažna) toplota, koju čovek odaje oslobađanjem vlage putem disanja i znojenja.

Srednja temperatura kože utiče na odatu suhu toplotu sa tela na okolinu, ali i diktira količinu isparavanja sa tela pod određenim uslovima koji vladaju u okolini (kao što su: parcijalni pritisak vodene pare u okolnom vazduhu, temperatura okolnog vazduha, brzina strujanja vazduha oko tela). Temperatura kože na celoj površini tela nije jednaka, a temperaturske razlike između telesnog jezgra i površine kože variraju. Ove varijacije na pojedinim delovima tela najizraženije su u uslovima hladne sredine, kada mogu da dostignu vrednosti do 10°C. Sa porastom temperature okoline, različiti delovi tela i površine kože se nejednako zagrevaju, tako da je telu na temperaturi okolnog vazduha od 32°C temperatura kože gotovo ujednačena. Opseg u kome varira temperatura kože kreće se od 15°C do 42°C, što se može dešavati samo u kraćem vremenskom periodu, jer inače dolazi do štetnih posledica po zdravlje čoveka.

Unutrašnja telesna temperatura predstavlja reakciju tela na toplotno opterećenje metaboličkog porekla. Telesna temperatura je određena nivoom toplotne metaboličke produkcije i prenosom toplote sa čoveka u okolinu. Normalna telesna temperatura u mirovanju i za ugodne

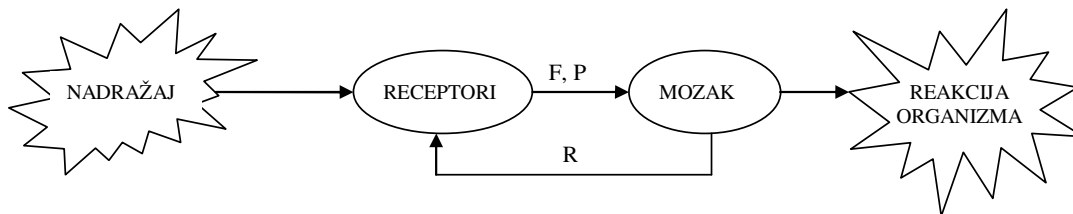
uslove okoline je relativno konstantna vrednost, i kreće se u uskim granicama od 36,1°C do 37,4°C. Ova temperatura, osim što zavisi od metabolizma i drugih navedenih uticaja, varira i tokom dana, pri čemu je minimalna u ranim jutarnjim, a maksimalna u kasnim večernjim satima.

Znojenje je karakteristična termoregulaciona reakcija organizma za tople uslove okoline kao i uslove povećane fizičke aktivnosti. Tada se znojenje javlja kao mehanizam rashlađivanja tela putem isparavanja vlage. Isparavanje vlage se neprekidno odvija i u plućima, tokom disanja. Gubitak vode sa površine kože je difuzijski proces uzrokovan razlikom parcijalnog pritiska zasićenja vodene pare na koži i parcijalnog pritiska vodene pare u okolnom vazduhu. S obzirom da se proces disanja i znojenja odvija stalno i pri normalnim uslovima, ovakav ukupni pasivni gubitak toplote u vidu oslobađanja vlage naziva se „latentno odavanje toplote“. U mirovanju i ugodnim uslovima okoline čovek ovim procesom izgubi oko 40g/h vode. Aktivno znojenje počinje tek kada uobičajeno odavanje suve i latentne toplote padne ispod nivoa potrebnog za održavanje telesne temperature. To se obično javlja kao posledica boravka u toplim sredinama i višeg stepena fizičke aktivnosti. Putem znojenja čovek uspeva da poveća odavanje toplote ka okolini na taj način što se toplota potrebna za isparavanje znoja (latentna toplota promene faze iz tečne u gasovitu) oduzima od tela. U slučaju kada je intenzitet isparavanje vlage sa kože dovoljno visok, znoj isparava direktno iz pora u koži, površina kože ostaje suva, pa se pojačano znojenje neće ni osetiti i neće se stvoriti neprijatan subjektivan osećaj. Intenzivno isparavanje vlage sa kože zavisi od parametara vazduha okoline.

Znoj osim vlage sadrži i mineralne sastojke, pa prekomerno znojenje može imati negativan uticaj na čovekovo zdravlje, s obzirom da se gube i velike količine soli, što se mora nadoknaditi, kao i izgubljena voda.

Prijem toplotnih nadražaja se odvija preko kože, koja predstavlja jedinstven omotač čovekove organske unutrašnjosti. U koži su smešteni termo-receptori, koji primaju toplotni nadražaj, transformišu ga u seriju nervnih impulsa koji se prenose nervnim sistemom do mozga. Primljena informacija se prosleđuje do hipotalamusa, centra koji predstavlja osnovni regulator telesne temperature. Nakon obrađene informacije, javlja se odgovor na nadražaj okoline u vidu odgovarajuće reakcije. Međutim, pored fiziološke komponente F, reakcija organizma određena je i psihološkom komponentom P, kao i povratnim dejstvom R.

Psihološka komponenta formira se na osnovu mentalnog stanja osobe, prethodnog iskustva sa određenim nadražajem, vrstom aktivnosti kojom se bavi, itd. Povratna komponenta može se javiti kao posledica kratkotrajne ili dugotrajne adaptacije organizma na određeni nadražaj. Na slici 1.1 je dat šematski prikaz reakcije organizma na toplotne nadražaje.



Slika 1.1 Reakcija organizma na toplotne nadražaje

Na odavanje toplote čoveka utiču dve vrste parametara, a to su:

1. Uticaj sredine – TERMIČKI PARAMETRI SREDINE

- * temperatura vazduha (ϑ_{air}),
- * temperatura okolnih površina (ϑ_r),
- * realtivna vlažnost vazduha (φ) i
- * brzina strujanja vazduha (w)

2. Lični (subjektivni) uticaji

- * stepen fizičke aktivnosti,
- * odevenost,
- * zdravstveno stanje,
- * uzrast (starosna dob),
- * pol,
- * telesna težina, itd.

Najznačajniji lični uticaji su stepen fizičke aktivnosti i odevenost.

1.3 TERMIČKI PARAMETRI SREDINE

Termički parametri sredine koji utiču na uslove ugodnosti ljudi u zatvorenom prostoru su:

1.3.1 Temperatura vazduha utiče na odavanje suve toplote *konvekcijom*, proporcionalno razlici temperatura tela i vazduha:

$$Q_{conv} = A_{Du} \cdot f_{cl} \cdot h_c (\vartheta_{cl} - \vartheta_{air}) \quad (1.1)$$

gde su

Q_{conv} – toplota koju čovek odaje konvekcijom [W],

A_{Du} – spoljna površina telesnog omotača (prema Dubois-u),

f_{cl} – stepen odevenosti koji predstavlja odnos površine odevenog tela prema površini nagog tela,

h_{cl} – koeficijent prelaza toplote sa površine odeće na vazduh,

ϑ_{cl} – temperatura površine odeće i

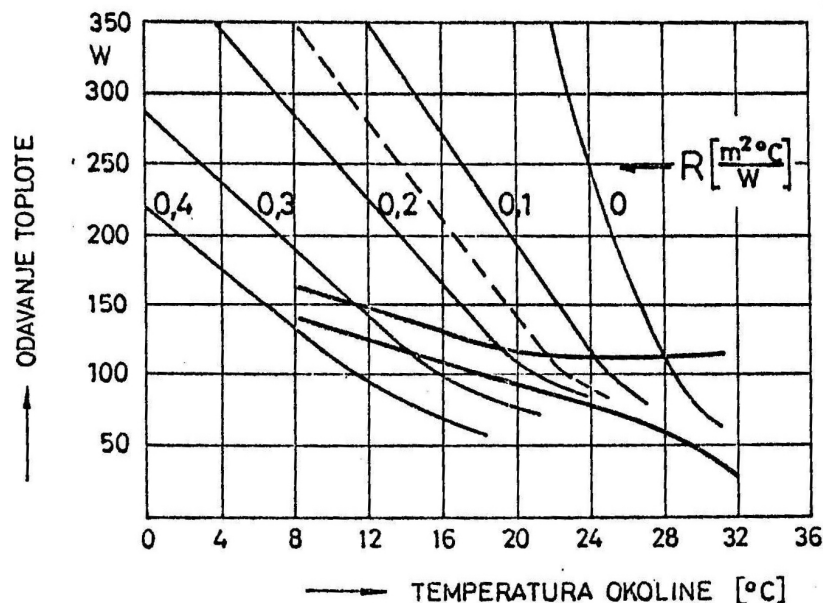
ϑ_v – temperatura okolnog vazduha.

Za čoveka prosečne visine ($h = 1,73\text{m}$) i težine ($m = 70\text{ kg}$) vrednost spoljne površine telesnog omotača iznosi $A_{Du} = 1,8\text{ m}^2$. Odeća utiče na smanjenje odavanja toplote čoveka time što povećava otpor provođenju toplote od tela ka okolini. Temperatura površine odeće je niža od temperature tela, ali je površina razmene toplote (konvekcijom i zračenjem) nešto veća. Kada je koža prekrivena odećom, onda se javlja složeni prenos toplote sa kože na spoljnu površinu odeće, koji obuhvata unutrašnje procese zračenja i konvekcije u sloju iza kože i odeće, kao i kondukciju kroz sloj odeće. Zbog lakšeg definisanja ovog načina prenosa toplote uvedena je bezdimenzionalna veličina R_{cl} , kao odnos ukupnog otpora prolazu toplote sa površine kože do spoljne površine odeće prema toplotnom otporu odeće od $0,155\text{ m}^2\text{K/W}$. Jedinica ovog bezdimenzionalnog otpora prolazu toplote kroz odeću je $1\text{ clo} = 0,155\text{ m}^2\text{K/W}$ (jedan klo). U tablici 1.1 prikazane su neke vrednosti otpora prolazu toplote kroz odeću R_{cl} i stepena odevenosti f_{cl} za pojedine kompletne odeće.

Tabela 1.1 Vrednosti toplotnog otpora odeće i stepena odevenosti

Vrsta odeće	R_{cl} (clo)	f_{cl} (-)
Naga osoba	0,0	1,00
Šorts	0,1	1,00
Veoma laka odeća (šorts, laka košulja – kratak rukav, lake pamučne čarape i sandale)	0,3-0,4	1,05
Laka radna odeća (laki pamučni donji veš, tanke pantalone, pamučna košulja, pamučne ili vunene čarape i lake cipele)	0,6	1,10
Tipično poslovno odelo (Pamućni donji veš, košulja, pantalone, sako, kravata, čarape i cipele)	1,0	1,15
Tipično poslovno odelo sa lakim kaputom	1,5	1,15
Teška vunena odeća sa jaknom (polarna)	3,0-4,0	1,30-1,50

Na slici 1.2 prikazan je uticaj odevenosti na odavanje toplote čoveka i postizanje termičke ravnoteže. Očito je da se pri određenoj fizičkoj aktivnosti čoveka, stanje termičke ravnoteže uspostavlja pri nižim temperaturama okoline ukoliko je čovek više odeven.



Slika 1.2 Odavanje toplote čoveka u zavisnosti od odevenosti i temperature vazduha

Jedan deo toplote koji se odaje **disanjem**, takođe predstavlja suhu toplotu, koja se javlja kao posledica razlike temperatura između izdahnutog i udahnutog vazduha. Ova količina toplote još zavisi od ventilacionog masenog protoka vazduha tokom disanja, i upravo je proporcionalna razlici temperatura i masenom protoku vazduha:

$$Q_{sd} = f(m_d, t_{iz}, t_{ud}) \quad (1.2)$$

Latentno odavanje toplote (vlage) čoveka odvija se putem disanja i znojenja. Disanjem, vodena para sa sluzokože disajnih organa prenosi se na udahnut vazduh, koji se u plućima dodatno obogaćuje vodenom parom. Izdisanjem, vazдушna masa struji kroz respiratorni trakt, gde se određena količina pare kondenzuje i vraća telu. I pored toga, izdahnut vazduh je topliji i vlažniji od udahnutog. Prema tome, odata latentna toplota disanjem proporcionalna je razlici sadržaja vlage izdahnutog i udahnutog vazduha, kao i masenom protoku vazduha prilikom disanja:

$$Q_{ld} = f(m_d, x_{iz}, x_{ud}) \quad (1.3)$$

Prilikom znojenja se takođe odaje latentna toplota. Jedan deo te toplote se odaje usled difuzije vodene pare kroz kožu i proporcionalan je razlici pritiska zasićenja vodene pare na temperaturi kože i parcijalnog pritiska vodene pare u vazduhu:

$$Q_{lz, dif} = f(p_s, p_d) \quad (1.4)$$

Drugi deo latentne toplote koji se predaje vazduhu sa površine kože usled znojenja jeste toplota odata isparavanjem znoja. Ova veličina zavisi od stepena fizičke aktivnosti, odnosno unutrašnje produkcije toplote, temperature i vlažnosti okolnog vazduha.

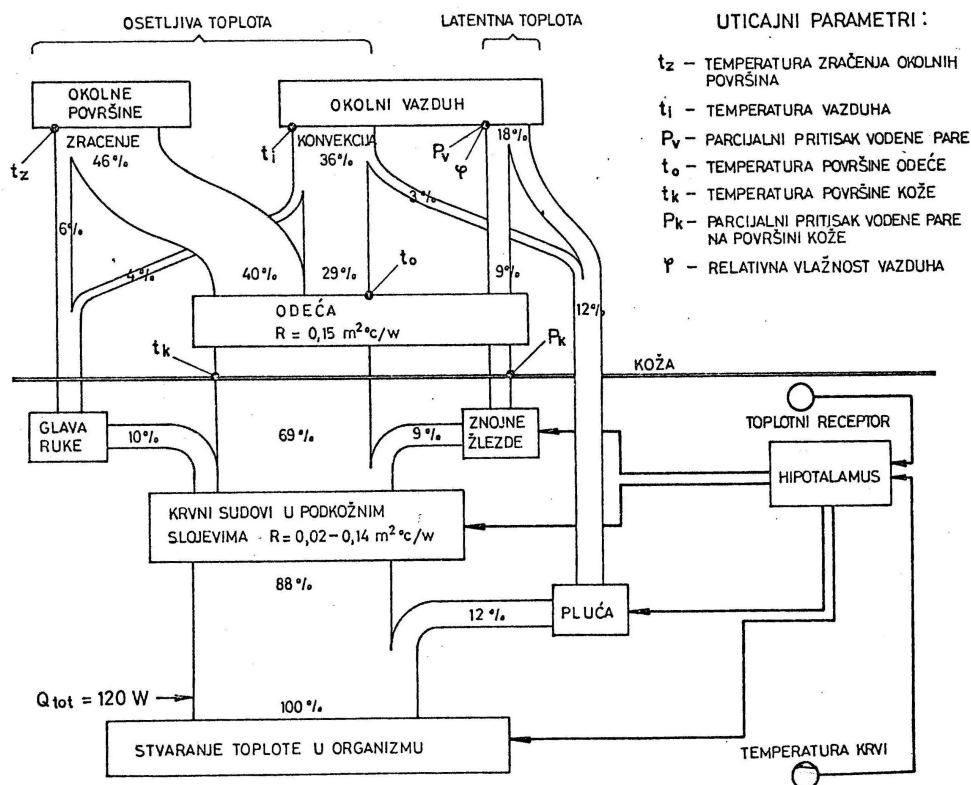
Kao mera fizičke aktivnosti čoveka uvedena je jedinica *met* i ona odgovara odavanju toplote čoveka od $58,2 \text{ W/m}^2$ površine tela. Prosečna površina kože odraslog čoveka iznosi $1,8 \text{ m}^2$. U tabeli 1.2 prikazane su prosečne vrednosti odavanja toplote odraslog čoveka pri različitim aktivnostima.

Tabela 1.2 Odavanje toplote čoveka

Aktivnost	Odavanje toplote	
	met	W
spavanje	0,7	75
sedenje	1,0	105
hodanje brzinom 3,2 km/h	2,0	210
hodanje brzinom 6,4 km/h	3,8	400
kancelarijski rad	1,0 – 1,4	105 – 150
spremanje kuće	2,0 – 3,4	210 – 355
plesanje	2,4 – 4,4	250 – 460
košarka	5,0 – 7,6	580 – 800
maksimalna (kratkotrajna)	11,5	1200

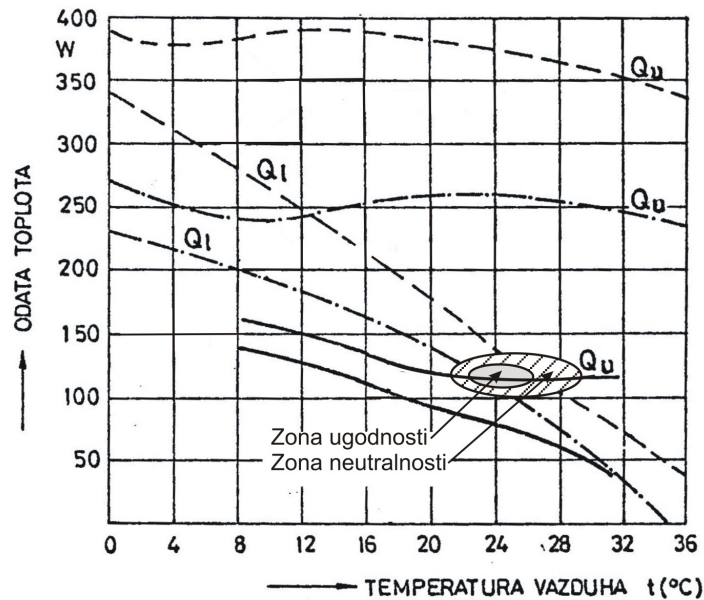
Toplotu stvorenu metabolizmom čovek odaje okolini koristeći više osnovnih mehanizama prenosa toplote. Suva (osetljiva) toplota predaje se uglavnom preko kože i odeće konvekcijom i zračenjem, a manjim delom kondukcijom i zagrevanjem vazduha u plućima. Latentna (vlažna) toplota predaje se u plućima i preko kože. Pri tome treba razlikovati da li je koža suva ili okvašena (oznojana).

Šema odavanja toplote čoveka različitim mehanizmima prenosa toplote prikazana je na slici 1.3. Navedene procentualne vrednosti važe samo za određene uslove (fizička aktivnost, odevenost, termički parametri okoline). Za druge uslove, procentualne vrednosti odavanja toplote pojedinim mehanizmima prenosa toplote mogu biti sasvim različite.



Slika 1.3 Odavanje toplote čoveka

Na slici 1.4 prikazan je dijagram odavanja toplote ljudi u funkciji temperature vazduha za različite fizičke aktivnosti.



Slika 1.4 Odavanje toplote čoveka u zavisnosti od temperature vazduha

Odavanje toplote čoveka (i ukupno, a posebno suve toplote) opada sa porastom temperature vazduha. U jednom intervalu temperatura okoline, ukupno odavanje toplote čoveka se ne menja i ta oblast se naziva **zona neutralnosti**. Unutar zone neutralnosti, i to pomerenom ka oblasti nižih temperatura okoline gde je odavanje suve toplote veće a latentne umereno, nalazi se **zona ugodnosti**. To je oblast koju pokušavamo da ostvarimo radom klimatizacionih uređaja.

1.3.2 Temperatura okolnih površina t_o

Temperatura okolnih površina (unutrašnje površine zidova, prozora, poda i tavanice) utiče na razmenu toplote zračenjem. Toplota razmenjena zračenjem proporcionalna je razlici četvrtih stepena apsolutne temperature tela i srednje vrednosti temperature okolnih površina:

$$Q_R = A_{ef} \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot [(T_{tela})^4 - (T_o)^4] \quad (1.5)$$

gde su:

- A_{ef} – efektivna površina zračenja (m^2), $A_{ef} = f_{ef} \cdot f_{cl} \cdot A_{Du}$
- f_{ef} – efektivni faktor zračenja površine koji predstavlja odnos između efektivne površine odeće i ukupne spoljne površine odeće, zavisi od položaja tela,
- ε – koeficijent emisije zračenja spoljne površine odeće,
- σ – Štefan-Bolcmanova konstanta, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} (W/m^2K^4)$,
- T_{tela} – temperatura tela (K),
- T_o – temperatura okolnih površina (K).

S aspekta uslova ugodnosti čoveka, najbolje je kada je zračenje što ravnomernije u svim pravcima, tj. kada temperatura svih okolnih površina malo odstupa od srednje vrednosti. Međutim, u praksi je čest slučaj da su pojedine površine u prostoriji različitih temperatura, pa se može dogoditi da čovek jednim delom tela prima toplotu zračenjem, a drugim odaje (tzv. asimetrično zračenje). Ukoliko se čovek ne kreće, asimetrično zračenje je vrlo neugodno. Na primer, kada čovek sedi jednom stranom okrenut peći na unutrašnjem zidu, a drugom stranom ka termički loše izolovanom prozoru.

Mada temperatura vazduha i temperatura okolnih površina utiču na različite mehanizme odavanja toplote čoveka, s obzirom da se radi o istim fizičkim veličinama, uvedena je **rezultujuća temperatura** koja objedinjuje obe ove karakteristične temperature.

$$t_{rez} = A \cdot t_v + B \cdot t_o \quad (1.6)$$

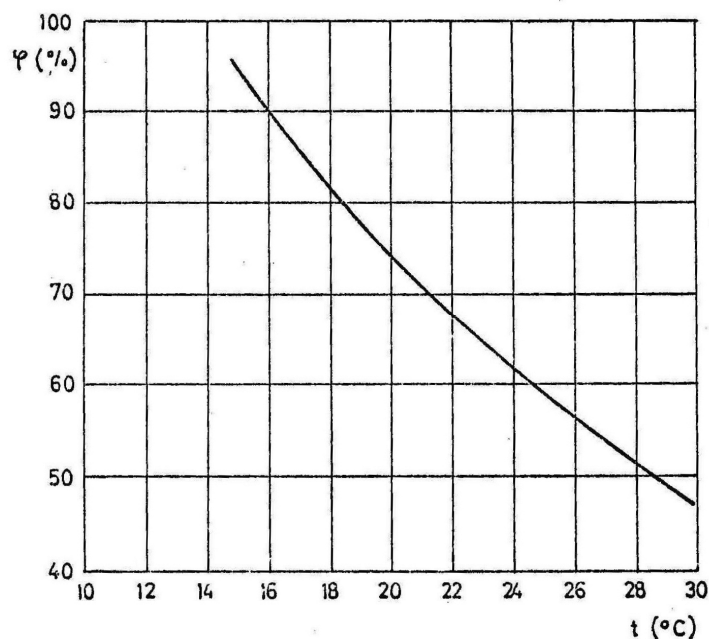
Različiti autori navode različite vrednosti konstanti A i B. Najčešće se smatra da su sličnog uticaja pa se usvaja $A=B=1/2$. Generalni je stav da što je niža srednja temperatura okolnih površina, potrebna je viša temperatura vazduha (i obrnuto) za isti osećaj ugodnosti. Najbolje je kada su obe karakteristične temperature približno jednake.

1.3.3 Relativna vlažnost vazduha ϕ

Relativna vlažnost vazduha utiče, pre svega, na odavanje latentne toplote. Odavanje latentne toplote čoveka proporcionalno je razlici parcijalnog pritiska zasićenja za temperaturu površine tela i parcijalnog pritiska vodene pare u okolnom vazduhu. Naime, uobičajeno se smatra da je vazduh u neposrednom dodiru sa površinom kože, usled znojenja čoveka, primio maksimalno moguću količinu vodene pare, tj. da je zasićen.

Uticaj relativne vlažnosti na osećaj ugodnosti čoveka treba posmatrati u “sadejstvu” sa temperaturom vazduha. Pri visokim temperaturama visoka relativna vlažnost nije dobra jer onemogućava odavanje latentne toplote (znojenjem) što je najvažniji način hlađenja tela pri visokom temperaturama okoline (slika 1.5).

Visoka relativna vlažnost vazduha nije dobra ni pri niskim temperaturama, jer izaziva vlaženje odeće čime se smanjuje otpor provođenju toplote i povećava odavanje toplote čoveka što nije ugodno pri niskim temperaturama okoline. Zbog toga se ograničava maksimalno dozvoljena vrednost relativne vlažnosti u funkciji temperature okolnog vazduha (slika 1.5). Sa dijagrama se može uočiti da mnogo značajniji uticaj relativne vlažnosti pri višim temperaturama okoline, pa su tada dozvoljene niže vrednosti ϕ .



Slika 1.5 Maksimalno dozvoljene vrednosti relativne vlažnosti vazduha

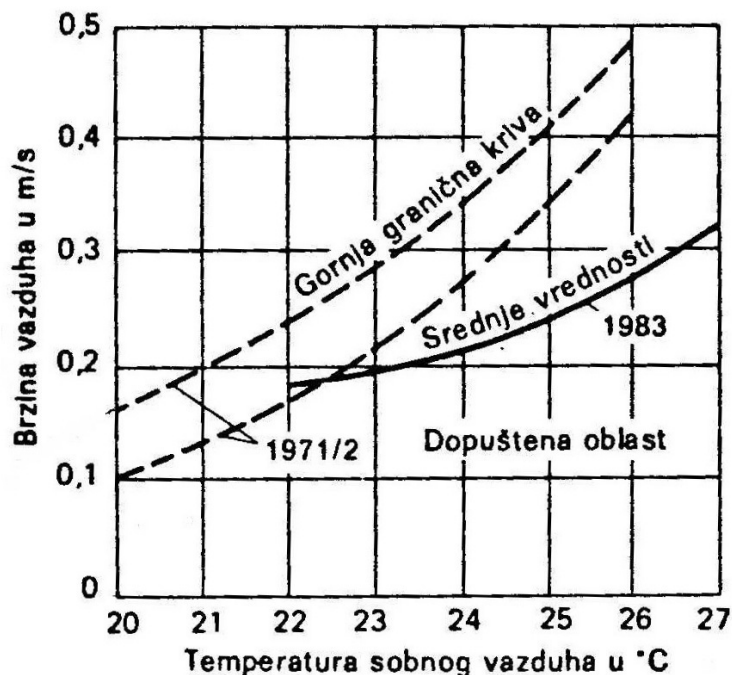
Ni preniska vlažnost vazduha nije ugodna za čoveka jer može izazvati preterano sušenje (isušivanje) kože i naročito sluzokože (očiju i disajnih puteva). Zato se propisuje i minimalna dozvoljena vlažnost vazduha (30%, a u poslednje vreme, zbog štednje energije, i 20%). Smatra se da je u opsegu uobičajenih temperatura vazduha, optimalna vlažnost vazduha za čoveka 50%. Za zadovoljavajuće uslove ugodnosti, granice relativne vlažnosti vazduha treba da budu:

$$(30) \ 35 \leq \varphi \leq 65 \ (70) \ %$$

1.3.4 Brzina strujanja vazduha w

Brzina strujanja vazduha utiče na prenos toplote konvekcijom i odavanje latentne toplote. Povećanjem brzine kretanja vazduha raste koeficijent prelaza toplote, pa se time povećava i količina toplote predata konvekcijom. Takođe, intenzivira se i odavanje latentne toplote jer se pri većoj brzini vazduha pospešuje isparavanje sa kože time što se zasićen vazduh koji je u dodiru s površinom kože brže odvodi a na njegovo mesto dolazi okolni suvlji vazduh.

Veće brzine vazduha mogu izazvati neprijatan osećaj naročito kada se radi o struji hladnog vazduha. Zbog toga se propisuju maksimalne brzine strujanja vazduha u zoni boravka ljudi (slika 1.6). Na dijagramu na slici 1.6 može se uočiti da su dozvoljene brzine vrlo male, ali treba napomenuti da se radi o brzinama strujanja vazduha neposredno pored ljudi (u zoni njihovog boravka). Preporučuje se da u komfornoj klimatizaciji ta brzina ne prelazi 0,25 m/s, dok se u industrijskoj klimatizaciji i brzina vazduha od 0,35 m/s smatra prihvatljivom. Dalje od zone boravka ljudi (na primer na mestima ubacivanja vazduha u klimatizovani prostor) brzine strujanja vazduha mogu imati znatno veće vrednosti.



Slika 1.6 Maksimalne dozvoljene brzine strujanja vazduha u zoni boravka ljudi

1.3.5 Mera termičke ugodnosti

Kada se govori o termičkoj ugodnosti ljudi ne postoji adekvatan način da se ona deterministički odredi, već se obično procenjuje na osnovu **osećaja** većeg broja ljudi. Istraživanja se odvijaju tako što se grupa ljudi izloži dejstvu nekih termičkih uslova, i posle određenog perioda

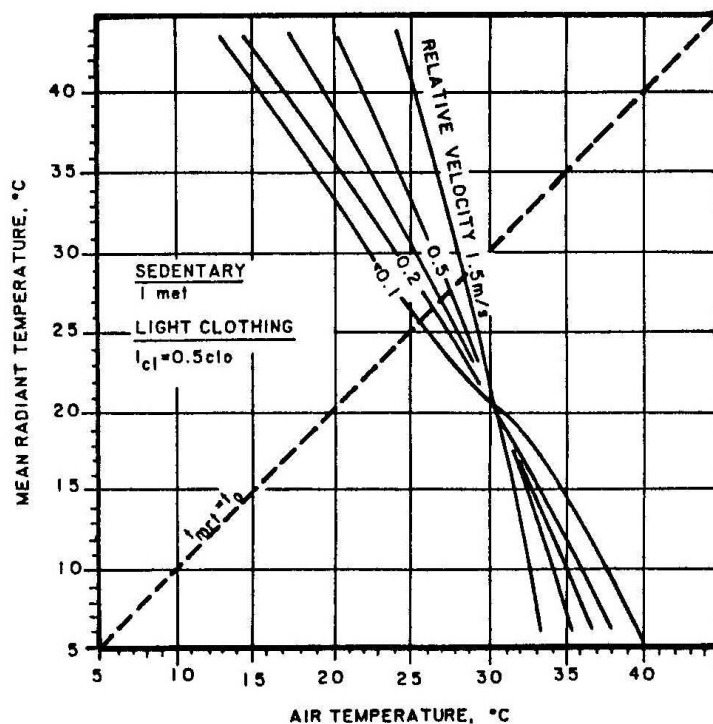
aklimatizacije beleži se njihova reakcija i ocena ugodnosti boravka u tim uslovima. Kasnije se vrši statistička obrada tih podataka i zaključuje pri kojim uslovima sredine najveći broj ljudi se ugodno oseća. Ovaj metod daje dobre rezultate kada se varira jedan uticajni parametar (na primer promena temperature: 18, 20, 22, 24°C). Međutim, problem je mnogo složeniji, jer na osećaj ugodnosti deluje više parametara pri čemu je njihovo dejstvo interaktivno (međuzavisno).

Bilo je mnogo pokušaja da se uvede jedna veličina kao pokazatelj termičkih uslova sredine:

- kata broj;
- efektivna temperatura "ET";
- standardna efektivna temperatura "SET";
- operativna temperatura po vlažnom termometru " t_{oh} ";
- indeks okvašenosti kože, itd.,

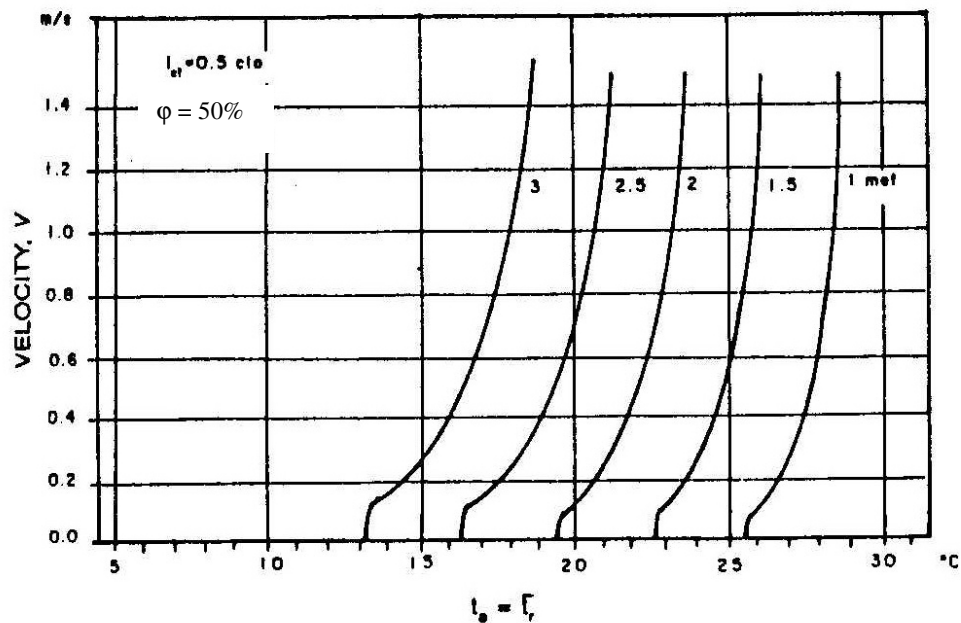
međutim bez mnogo uspeha, jer makakva bila relacija između pojedinih relevantnih parametara (temperature vazduha, srednje temperature okolnih površina, vlažnosti i brzine strujanja vazduha, fizičke aktivnosti i odevenosti): linearna, eksponencijalna, stepena, logaritamska,... uvek se kombinacijom ekstremnih vrednosti pojedinih parametara može dobiti idealan (umeren) opšti pokazatelj uslova termičke ugodnosti.

S obzirom da je teško odrediti jedan pokazatelj nivoa termičke ugodnosti, u cilju boljeg sagledavanja kombinovanog uticaja više parametara, sprovedena su mnogobrojna istraživanja koja proučavaju uslove termičkog komfora pri promeni (variranju) više uticajnih parametara. Iz tih istraživanja proistekli su mnogobrojni nomogrami, od kojih su dva prikazana na slikama 1.7 i 1.8.



Slika 1.7 Termički uslovi ugodnosti u zavisnosti od brzine strujanja vazduha

Nomogram na slici 1.7 pokazuje međuzavisnost temperature vazduha, srednje temperature okolnih površina i brzine strujanja vazduha na uslove ugodnosti u klimatizovanom prostoru. Ovo istraživanje se odnosi na lako odevene ljude (0,5 clo) u sedećem položaju (aktivnost 1 met) pri relativnoj vlažnosti vazduha 50%.



Slika 1.8 Termički uslovi ugodnosti u zavisnosti od fizičke aktivnosti

Na slici 1.7 prikazani su uslovi ugodnosti u zavisnosti od temperature i brzine strujanja vazduha za različite stepene fizičke aktivnosti. Pri ovim eksperimentima ljudi su bili lako odeveni (odevenost 0,5 clo), relativna vlažnost vazduha je bila 50%, a srednja temperatura okolnih površina bila je jednaka trenutnoj temperaturi vazduha.

Generalni je stav da pri određivanju prihvatljivih termičkih uslova sredine treba težiti da svaki parametar bude u “razumnim” granicama za datu namenu objekta (određena aktivnost ljudi i uobičajena odevenost). Pri tome se treba pridržavati nekoliko osnovnih principa:

- što je viša temperatura vazduha, relativna vlažnost vazduha treba da je niža;
- što je niža temperatura vazduha, brzina strujanja vazduha treba da je manja;
- što je srednja temperatura okolnih površina viša u zimskom periodu, temperatura vazduha treba (može) da bude niža.

Osnovni zadatak postrojenja za grejanje i klimatizaciju je da, bez obzira na poremećaje (spoljašnje i unutrašnje), postigne i održava u zatvorenom prostoru zadate vrednosti termičkih parametara sredine. To se može postići različitim sistemima, a zadatak projektanta je da odabere ono tehničko rešenje koje najbolje odgovara zahtevima i mogućnostima investitora.

I čovek ima sopstveni mehanizam termoregulacije kojim reaguje na promene termičkih parametara okoline (širenje/skupljanje perifernih krvnih sudova, intenziviranje metabolizma, pojačano znojenje, drhtanje i dr.), ali su mogućnosti samoregulacije relativno ograničene. Tada u “pomoć” stupa tehnika (u ovom slučaju klimatizacija) koja u potpunosti ili delimično neutrališe te poremećaje i smanjuje opseg variranja termičkih parametara sredine, tako da termoregulacija čoveka može da ih savlada u skladu sa individualnim potrebama.

1.3.6 Unutrašnja projektna temperatura

Unutrašnja projektna temperatura se određuje prema nameni prostorija. Namena prostorije govori o tome kojom se aktivnosti bave ljudi u određenoj prostoriji i kakva je njihova odevenost. Pod unutrašnjom projektnom temperaturom se obično podrazumeva temperatura vazduha merena u sredini prostorije na određenoj visini od poda, praktično u zoni boravka ljudi (kod nas – na

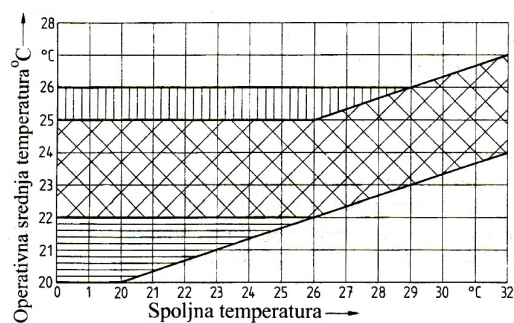
polovini visine). Termometar kojim se meri temperatura vazduha mora biti zaštićen od uticaja zračenja. Međutim, danas postoje tendencije da se unutrašnja projektna temperatura računa kao rezultujuća temperatura – što više odgovara uslovima ugodnosti. Unutrašnja projektna temperatura ima različite vrednosti za zimski i letnji period za istu prostoriju u zgradi. Tokom zimskog perioda (trajanja grejne sezone) odevenost ljudi je prilagođena spoljnim uslovima, a tokom boravka u zatvorenom prostoru uglavnom ima vrednost koja odgovara približno 1 clo. Za letnji period, kada je potrebno hlađenje prostora, unutrašnja projektna temperatura ima višu vrednost, u odnosu na period grejanja, i takođe je prilagođena spoljnim uslovima i manjom odevenošću koja se kreće oko vrednosti od 0,5 clo.

Za stambene i poslovne objekte uobičajena vrednost unutrašnje projektne temperature za period grejanja i za naše klimatsko podneblje, kreće se od 18 do 22°C. Na primer:

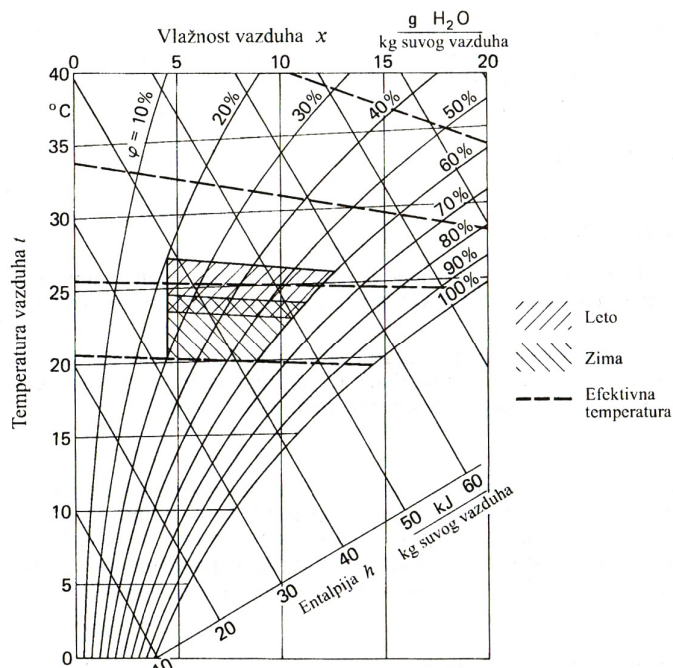
- sobe, predsoblja, kuhinje, kancelarije $t_u = 20^\circ\text{C}$,
- kupatila i WC-i $t_u = 22 - 24^\circ\text{C}$,
- hodnici i stepeništa, čekaonice $t_u = 15 - 18^\circ\text{C}$,
- magacini, arhive, ostave $t_u = 10 - 12^\circ\text{C}$.

U literaturi i standardima postoje podaci i preporuke za izbor unutrašnje projektne temperature za prostorije raznih namena (bolnice, škole, vrtići, pozorišta, bioskopi, hoteli...).

U posebno toplim letnjim danima, kada spoljna temperatura prelazi vrednosti od 30°C i kada je čovek lako obučen, sobna temperatura u opsegu 18-22 °C će mu biti previše niska. Za letnji period vrednost unutrašnje projektne temperature kreće se u opsegu od 22-27 °C, što je uslovljeno namenom prostorije, ali i kretanjem spoljne temperature vazduha. Na slici 1.9 prikazane su vrednosti dopuštene unutrašnje temperature u funkciji spoljne temperature vazduha, a na slici 1.10. je predstavljena zona ugodnosti u h-x dijagramu za vlažan vazduh (prema ASHRAE) koja važi za lakši kancelarijski rad u sedećem položaju i brzini strujanja vazduha manjoj od 0,2 m/s.



Slika 1.9 Granice unutrašnje temperature vazduha u prostoriji



Slika 1.10 Zona ugodnosti za boravak ljudi i efektivna temperatura

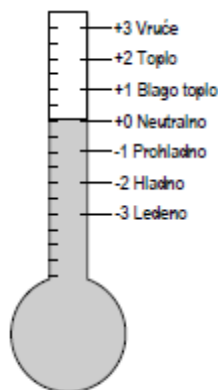
1.3.7 Model toplotne ravnoteže

Prema standardu SRPS EN ISO 7730 uvode se indeksi kojima se ocenjuje ugodnost boravka u prostoriji. PMV indeks (engl. *Predicted Mean Vote*) predviđa kako će grupa ljudi oceniti ugodnost boravka u prostoriji. Kod određivanja PMV indeksa fiziološki odziv termoregulacionog sistema osobe povezan je sa statističkim vrednovanjem termičke ugodnosti glasovima prikupljenim od najmanje 1300 ispitanika. Njegovo predviđanje je relativno složen matematički postupak, koji se sprovodi prema jednačinama datim u pomenutom standardu. Jednostavniji način određivanja PMV indeksa je očitavanjem vrednosti iz tablica za relativnu vlažnost vazduha 50% i različite temperature vazduha, brzine strujanja, nivoa fizičke aktivnosti i odevenosti. Nivo ugodnosti vrednuje se na skali od 7 tačaka. Grupa ispitanika određuje brojevima na skali prikazanoj na slici 1.11a svoj subjektivan osećaj termičke ugodnosti. Osobe koje su se izjasnile brojevima ± 2 ili ± 3 spadaju u grupu nezadovoljnih stanjem u prostoriji.

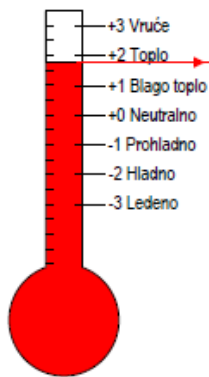
Kada je poznat PMV indeks, moguće je odrediti PPD (engl. *Predicted Percentage of Dissatisfied*) indeks koji predviđa procenat nezadovoljnih osoba u nekoj prostoriji. Određuje se pomoću jednostavnog matematičkog izraza kao funkcija od PMV indeksa:

$$PPD = 100 - 95^{-e^{(0,03353PMV^4 + 0,2179PMV^2)}} [\%] \quad (1.7)$$

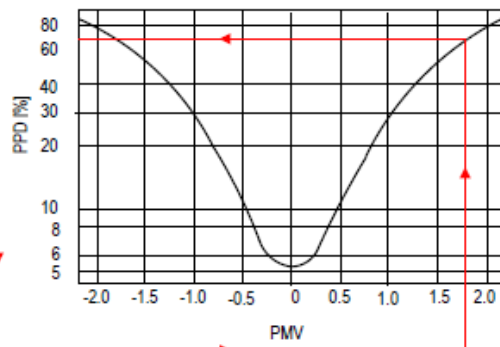
S obzirom da su PMV i PPD indeksi međusobno zavisni, moguće je napraviti dijagram prikazan na slici 1.11b. Pomoću takvog dijagrama jednostavno se grafički odredi PPD indeks ako je već poznat PMV indeks.



Slika 1.11a Skala ugodnosti prema PMV indeksu



Slika 1.11b Međusobna zavisnost PMV i PPD indeksa



U tabeli 1.3 prikazane su različite kategorije termičkog komfora prema kriterijumima PMV i PPD indeksa, kao i oblast osetne temperature tokom zimskog i letnjeg perioda.

Tabela 1.3 Kriterijum ugodnosti prema PMV i PPD za standardne prostore

Kategorija	Kriterijum ugodnosti		Raspon osetne temperature	
	PPD [%]	PMV [-]	Zima (1,0 clo i 1,2 met) [°C]	Leto (0,5 clo i 1,2 met) [°C]
A	< 6	-0,2 < PMV < +0,2	22 ± 1,0	24,5 ± 1,0
B	< 10	-0,5 < PMV < +0,5	22 ± 2,0	24,5 ± 1,5
C	< 15	-0,7 < PMV < +0,7	22 ± 3,0	24,5 ± 2,5

1.4 KLIMATSKE KARAKTERISTIKE PODNEBLJA

Postrojenja za grejanje i klimatizaciju podešavaju se prvenstveno uslovima ugodnosti ljudi pa je, prema tome, čovek osnovni faktor od koga zavisi i veličina postrojenja i njegove karakteristike. Međutim, ako je čovek osnovni činilac, spoljna klima sa svojim meteorološkim parametrima, uz termičke karakteristike objekta, je svakako najuticajniji faktor.

Klima bitno varira od mesta do mesta, utiče direktno na investicione i eksploatacione troškove postrojenja, pa je zato važno da tu oblast projektant poznaje, da bi bio u stanju da uticaj klime uzme u obzir na odgovarajući način.

Šta remeti termičke uslove sredine?

Spoljni meteorološki parametri – "spoljna" klima, koja se definiše preko sledećih osnovnih parametara:

1. Temperatura spolnog vazduha t_s ,
2. Vlažnost vazduha ϕ ,
3. Brzina vetra w ,
4. Sunčevo zračenje – insolacija.

Osim navedenih, tu su još: oblačnost, visina oblaka, vazdušni pritisak i padavine. Meteorološki parametri spoljne klime su promenljivi, kako tokom dana tako i u toku godine, i značajno zavise od karakteristika posmatrane lokacije, kao što su:

- * geografska širina,
- * nadmorska visina i
- * konfiguracija terena (zaklonjenost, blizina vodenih površina, itd.)

Prema tome, potrebe za grejanjem zgrada su različite za različite krajeve sveta. Ovde će biti stavljen akcenat na uslove grejanja za naše klimatsko podneblje – 45° SGŠ, ali će biti predstavljeni osnovni principi zagrevanja zgrada koji su primenljivi svuda. Objekti smešteni na lokacijama sa izrazito različitim klimatskim karakteristikama mogu imati svoje specifičnosti kada je u pitanju postrojenje za grejanje.

U tehnici grejanja, od svih klimatskih i meteoroloških parametara, uzimaju se u obzir temperatura spolnog vazduha i brzina vetra, dok se uticaj sunčevog zračenja uopštava i obuhvata korektnim faktorima. Za razliku od grejanja, kod projektovanja vazdušnih postrojenja (klimatizacija, ventilacija, vazdušno grejanje) obuhvata se i uticaj relativne vlažnosti spolnog vazduha, kao i željena vrednost relativne vlažnosti unutrašnjeg vazduha. Kod sistema klimatizacije, koji radi i tokom letnjeg perioda, obavezno se uzima u obzir uticaj sunčevog zračenja na toplotno opterećenje prostorije.

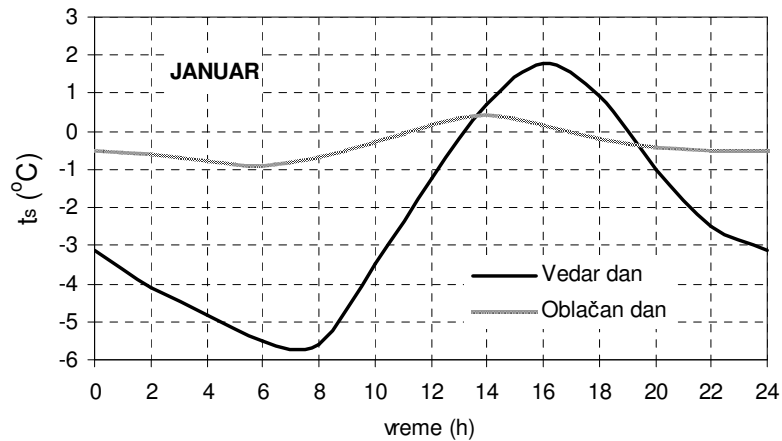
1.4.1 Temperatura spolnog vazduha je sa aspekta grejanja najuticajniji parametar. Spoljni vazduh zagreva energija Sunčevog zračenja, indirektno preko površinskih slojeva zemlje. S obzirom na promenu uslova zračenja Sunca, usled rotacije i kretanja Zemlje oko Sunca, vrednosti temperature vazduha se periodično menjaju u toku dana i godine. Ta periodičnost promene može često da varira usled promene oblačnosti, promene količine padavina, kao i mešanja vazdušnih masa različitih temperatura.

U meteorološkim osmatranjima posebno se mere i izračunavaju srednje dnevne temperature, max i min. dnevne temperature, srednje mesečne, srednje godišnje, kao i maksimalne odnosno minimalne godišnje temperature. Srednja dnevna temperatura se dobija kao aritmetička sredina vrednosti temperatura izmerenih svakog sata u toku 24 časa. Pošto je takav način skup i

komplikovan, srednja dnevna vrednost se često računa na osnovu temperatura izmerenih u 7, 14 i 21 čas, po sledećem obrascu:

$$t_m = \frac{t_7 + t_{14} + 2 \cdot t_{21}}{4} \quad (1.8)$$

Rezultati srednje dnevne temperature dobijeni na ovaj način veoma dobro se poklapaju sa aritmetičkom sredinom časovnih vrednosti.



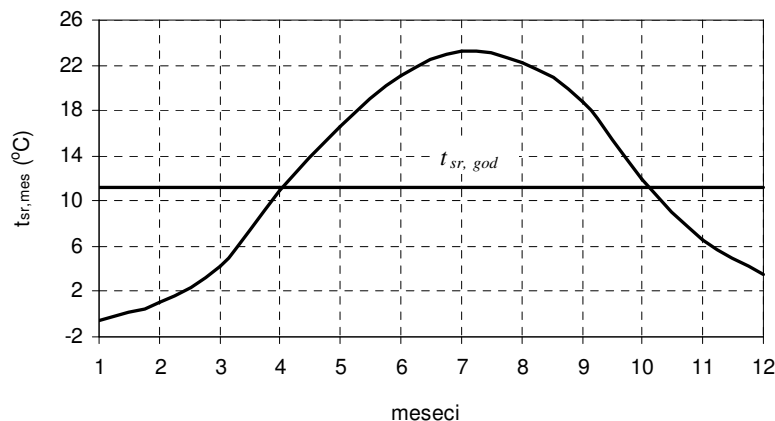
Slika 1.12 Promena dnevne temperature u Beogradu za vedar i oblačan dan u januaru

Na osnovu srednjih dnevnih temperatura računaju se srednje mesečne temperature:

$$t_{sr,mes} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{m,i}}{n}, \quad n - \text{broj dana u mesecu.} \quad (1.9)$$

Srednja godišnja temperature računa se na osnovu srednjih mesečnih temperatura:

$$t_{sr,god} = \frac{\sum_{i=1}^{12} t_{sr,mes,i}}{12}. \quad (1.10)$$



Slika 1.13 Godišnji tok temperature u Beogradu

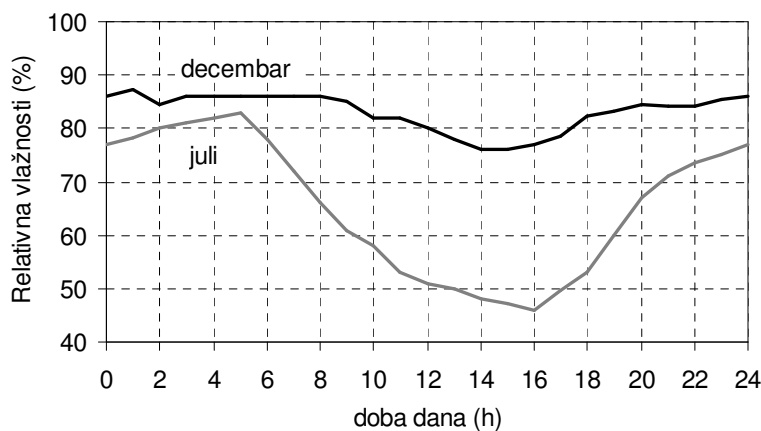
Dnevni tok spoljne temperature utiče na trenutno odavanje toplote sistema za grejanje. Najniže dnevne temperature se obično javljaju u ranim jutarnjim časovima, kada se i uključuje sistem centralnog grejanja, koji, u tim trenucima, mora da zagreje zgradu koja se u toku noći ohladila (period uzgrevanja) i dodatno da nadoknadi trenutne gubitke toplote kroz omotač zgrade.

Godišnja promena temperature određuje dužinu grejnog perioda, odnosno broj radnih dana sistema za grejanje. Spoljna temperatura vazduha u korelaciji sa dužinom grejnog perioda utiče na godišnju potrebnu toplotu za grejanje, a time i na potrošnju goriva (eksploatacione troškove). Granice perioda grejanja određene su onom srednjom dnevnom temperaturom pri kojoj treba početi, odnosno prekinuti sa grejanjem. Temperatura granice grejanja je u vezi sa uslovima ugodnosti ljudi i iznosi 12°C. Prema tome, grejni period nekog mesta obuhvata broj dana čije su srednje dnevne temperature niže od temperature granice grejanja. Grejna sezona u Beogradu počinje 15. oktobra, a završava se 15. aprila, ali i tu može biti odstupanja u zavisnosti od toka spoljne temperature vazduha.

1.4.2 Vlažnost spoljnog vazduha neprekidno varira u zavisnosti od količine vodene pare koja isparava sa površine zemlje. Pri višim temperaturama vazduha on može da primi više vlage, pa sa povećanjem sadržaja vlage raste i parcijalni pritisak vodene pare p_d , sve do dostizanja pritiska zasićenja p_s na posmatranoj temperaturi. Kada je dostignut $p_s(t)$ tada vazduh na posmatranoj temperaturi sadrži maksimalnu količinu vodene pare, i tada je vrednost relativne vlažnosti 100%. Dakle, relativna vlažnost vazduha se definiše kao:

$$\varphi = \frac{p_d}{p_s}. \quad (1.11)$$

Tokom zimskog perioda, zbog niskih temperatura, sadržaj vlage (apsolutna vlažnost) u vazduhu je manja, a vrednosti relativne vlažnosti su više. Tokom letnjeg perioda se javlja suprotna situacija – niže vrednosti relativne vlažnosti i više vrednosti apsolutne vlažnosti vazduha. Na dijagramu na slici 1.14 prikazan je dnevni tok relativnih vlažnosti vazduha u Beogradu za jedan zimski (decembar) i jedan letnji (juli) mesec.

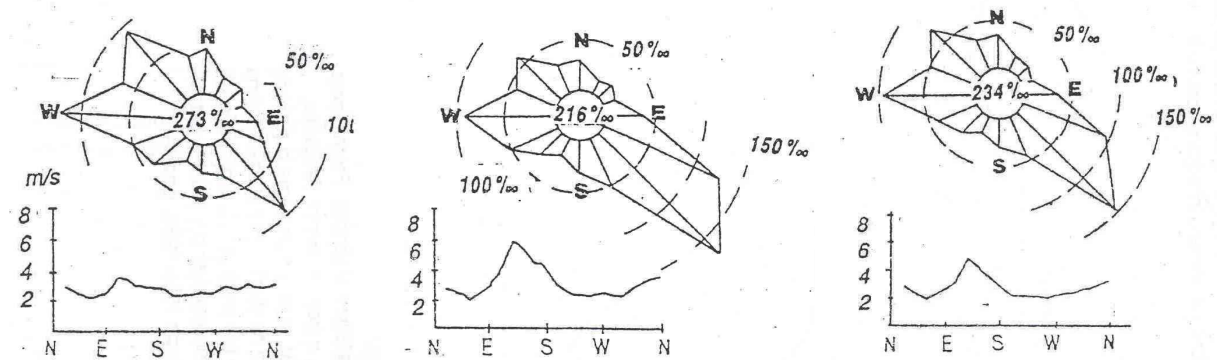


Slika 1.14 Dnevni tok relativne vlažnosti u Beogradu za decembar i juli mesec

1.4.3 Brzina vetra je stohastička veličina. U atmosferi, usled nejednakog zagrevanja zemljine površine dolazi do stvaranja temperaturskih razlika i razlika pritisaka u susednim vazдушnim masama, što prouzrokuje njihovo kretanje u svim pravcima. Strujanje vazduha u pretežno horizontalnom pravcu naziva se vetar, koji predstavlja meteorološki element definisan pravcem i brzinom strujanja.

Statističkom obradom podataka došlo se do dijagrama koji se naziva RUŽA VETROVA, dge se prikazuje pravac i učestanost. Pravac je predstavljen u obliku duži koja je u srazmeri sa učestanošću duvanja i ima odgovarajući pravac prema strani sveta. Uz ružu vetrova daje se i dijagram sa prosečnim brzinama vetra za različite pravce. U centralnom krugu, u promilima, upisan je podatak o trajanju tišine, tj. o dužini perioda bez vetra.

Dominantni zimski vetrovi za Beograd su Košava (jugoistočni vetar) i Severac, koji je dominantan po jačini, ali je zapadni vetar učestaliji.



Slika 1.15 Ruže vetrova za Beograd – za letnji, zimski i celogodišnji period

1.4.4 Sunčevo zračenje

Sunce zrači energiju kao crno telo čija je temperatura površine 6000°C , dok je u centru Sunca, prema teorijskim proračunima, temperatura reda veličine $40 \cdot 10^6^{\circ}\text{C}$. Sunčevo zračenje na ulazu u Zemljinu atmosferu nazivamo ekstraterestijalnim zračenjem. Kako se udaljenost Zemlje od Sunca menja tokom godine i ekstraterestijalno zračenje (iradijansa) se menja od najmanje vrijednosti 1321 W/m^2 do najveće 1412 W/m^2 .

Ekstraterestijalno zračenje za srednju udaljenost Zemlje od Sunca naziva se Sunčeva (Solarna) konstanta. Utvrđivanje Sunčeve konstante i njene moguće promenljivosti počelo je na prelazu u XX. vek. Nakon nekoliko decenija satelitskih merenja, može se utvrditi da Sunčeva konstanta nije konstanta, već se menja kako se i Sunčeva aktivnost menja. Sunčeva aktivnost ima u proseku 11-godišnji ciklus (tzv. Schwabe-ov ciklus), a na zračenje utiču i drugi fenomeni, kao što je 27-dnevna diferencijalna rotacija Sunca oko svoje ose, Sunčeve pege, prominencije i erupcije. Svetska meteorološka organizacija je 1981. godine standardizovala Sunčevu konstantu čija vrednost iznosi $I_0 = 1367 \text{ W/m}^2$.

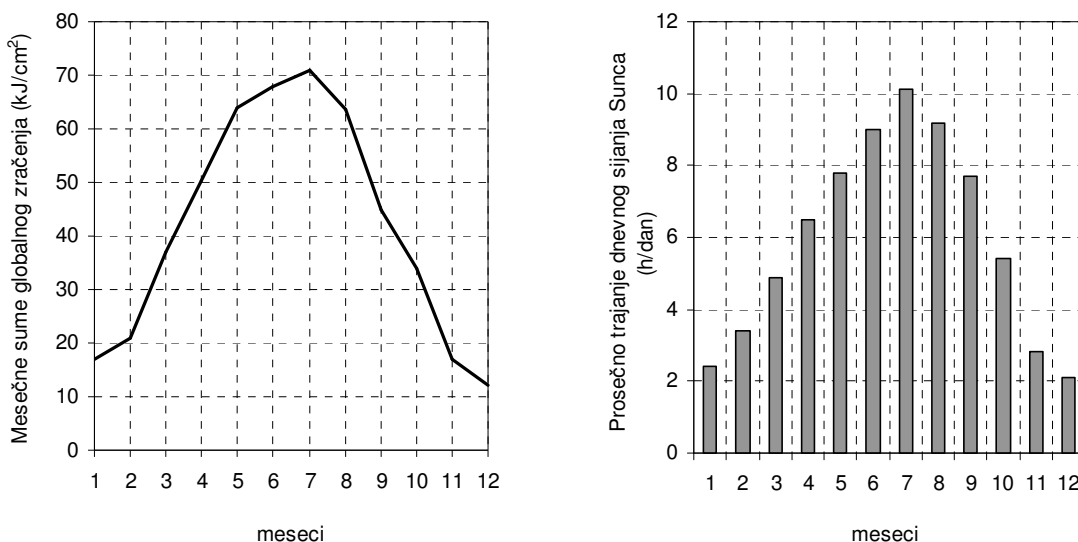
Na putu kroz zemljinu atmosferu Sunčevo zračenje slabi zbog sudaranja zraka sa česticama prašine i zbog apsorpcije od strane troatomnih i višeatomnih molekula gasova.

Sunčevo zračenje koje dospeva na zemljinu površinu sastoji se od **direktnog** i **difuznog**:

$$I_{uk} = I_{DIR} + I_{dif} \quad (1.12)$$

Ako se posmatra ukupno Sunčevo zračenje koje dospeva na horizontalnu površinu, onda se ono još naziva **globalno** zračenje.

$$I_{uk,HOR} = I_{GL} \quad (1.13)$$



Slika 1.16 Srednje mesečne sume globalnog zračenja Sunca u Beogradu (levo) i prosečno trajanje dnevnog sijanja Sunca za Beograd (desno)

Intenzitet Sunčevog zračenja na površini Zemlje zavisi od geografske širine i nadmorske visine za određenu lokaciju, a takođe se menja tokom dana i tokom godine.

Zbog deklinacije Zemlje (ugla nagiba ose rotacije Zemlje u odnosu na putanju oko Sunca) tokom godine se menjaju uglovi položaja Sunca na nebu, kao i putanja Sunčevih zraka do površine Zemlje. Samim tim, značajno se razlikuje intenzitet Sunčevog zračenja leti i zimi.

Sunčevo zračenje koje dospe na površinu fasadnog zida zgrade zagreva ga, na taj način smanjujući količinu toplote koju treba zimi dovesti za grejanje. S druge strane, Sunčevo zračenje značajno doprinosi toplotnom opterećenju prostorija u zgradi tokom letnjeg perioda, posebno komponenta koja potiče od prodora Sunčevih zraka kroz transparentni deo omotača.

1.5 SPOLJNA PROJEKTNJA TEMPERATURA

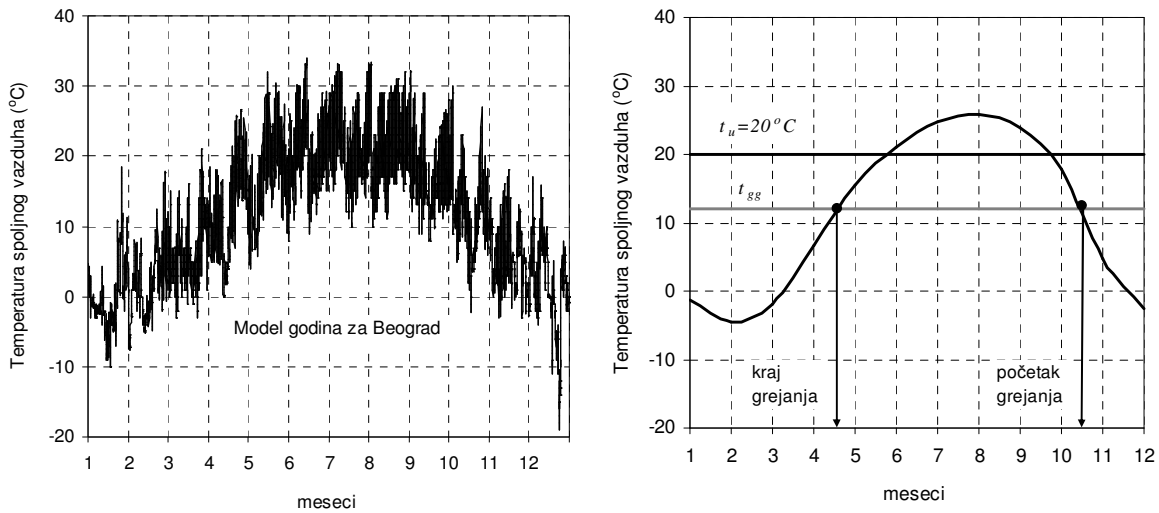
Grejanje zgrada počinje kada spoljna temperatura padne ispod neke određene granice, koju obično nazivamo temperaturom **granice grejanja** (t_{gg}). Koja će to temperatura biti zavisi od:

- * termičkih karakteristika objekta i
- * individualnih zahteva korisnika.

Za **spoljnu projektnu temperaturu** t_{sp} nekog mesta ne uzima se najniža temperatura koja se javila u nekom periodu u posmatranom mestu, jer se ona javlja jako retko i kratko vremenski traje. Postrojenje za grejanje, koje bi bilo projektovano na osnovu takvog **apsolutnog** minimuma, bilo bi predimenzionisano – investiciono skupo i eksploataciono neekonomično, jer bi jako retko radilo punim kapacitetom. Zato se za vrednost spoljne projektne temperature usvaja neka viša vrednost, ali „**dovoljno niska**“. Spoljna projektna temperatura za Beograd iznosi -15°C .

Kada je $t_s > t_{sp}$ – sistem mora da zadovolji ostvarivanje željene unutrašnje temperature;

Kada je $t_s < t_{sp}$ – sistem ne mora da održava željenu unutrašnju temperaturu, ali obično može – forsiranim radom, bez noćnog prekida.



Slika 1.17 Godišnji tok spoljne temperature i granica grejanja

Postoji više grupa metoda za određivanje spoljne projektne temperature. One se uglavnom zasnivaju na statističkoj obradi spoljnih temperatura u dužem vremenskom periodu – 20 godina ili duže od toga. Ovde će biti reči o 3 različite grupe metoda za određivanje t_{sp} .

I GRUPA $\Rightarrow$ **Metode na bazi različitih kombinacija minimalnih godišnjih temperatura.**

$$1. \quad t_{sp} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{GOD, \min, i}}{n}, \text{ gde je } n - \text{ broj godina (20, 30...)} \quad (1.14)$$

Po ovoj metodi je definisana spoljna projektna temperatura po ranijem Nemačkom normativu 4701, da bi u danas važećem normativu uveo novi način njenog određivanja.

2. Formula Rusa Čaplina

$$t_{sp} = 0,4 \cdot t_{sr, mes} + 0,6 \cdot t_{aps, \min} \quad (1.15)$$

gde su: $t_{sr, mes}$ – srednja temperatura najhladnijeg meseca u godini i

$t_{aps, \min}$ – „apsolutni“ minimum za posmatrani vremenski period.

II GRUPA $\Rightarrow$ **Metode na bazi časovnih vrednosti spoljne temperature.**

Razvojem meteorološke službe i primene računara, počelo je redovno praćenje i beleženje časovnih vrednosti temperatura spoljnog vazduha.

Tako je uveden kriterijum: *procenat pojavljivanja* časovne vrednosti temperature vazduha iznad neke referentne vrednosti u dužem vremenskom periodu. Ta referentna temperatura je spoljna projektna temperatura.

Ovaj metod je široko prihvaćen u Americi. Prema Američkim propisima (ASHRAE) postoje dva različita kriterijuma: 99% i 97,5% časovnih vrednosti temperatura tokom 3 najhladnija meseca (decembar, januar i februar – 2160 h/god) kada je temperatura spoljnog vazduha jednaka ili viša od referentne. To praktično znači da primena kriterijuma 99% dozvoljava da samo u 1% slučajeva spoljna temperatura vazduha bude niža od spoljne projektne. Kriterijum

99% je strožiji i njegovom primenom dobija se vrednost spoljne projektne temperature koja je za 1-2°C niža u odnosu na vrednost dobijenu promenom kriterijuma 97,5%. Ovo su stari ASHRAE kriterijumi, ali se u mnogim publikacijama mogu naći vrednosti t_{sp} za neko mesto izračunate prema ovoj metodi.

U izdanju *ASHRAE Fundamentals* iz 1997. navode se novi kriterijumi za određivanje t_{sp} :

- * „Oštriji“ kriterijum je 99,6%, ali računato prema časovnim vrednostima za celu godinu (8760 h), a ne za 3 najhladnija meseca, a to znači da je u 35 h/god spoljna temperatura niža od t_{sp} , što približno odgovara ranijem kriterijumu 99%.
- * „Blaži“ kriterijum je 99% računato prema časovnim vrednostima za celu godinu, a to znači da je u 88 h/god spoljna temperatura niža od t_{sp} , što približno odgovara ranijem kriterijumu 97,5%.

U ASHRAE postoje podaci o t_{sp} za oko 1500 gradova širom sveta. Spoljne projektne temperature su računane za periode od 12 ili 25 godina, zavisno od raspoloživih meteoroloških podataka.

III GRUPA ⇔ *Metode na bazi dinamičkog ponašanja zgrada u termičkom smislu.*

Umesto izdvojenih časovnih temperatura analiziraju se nizovi sa sukcesivnim vrednostima spoljne temperature – onako kako su se stvarno pojavile u prirodi. Suština je u tome da se temperatura vazduha u prostoriji održava kroz određeni period daleko duži od 1 h, što je posledica akumulacione sposobnosti zgrade (toplota se akumulira u masi zidova prostorije, tako da je toplotna inercija izražena).

Po ovoj metodi je definisana spoljna projektna temperatura po novom Nemačkom normativu. Kao projektna se usvaja srednja dvodnevna temperatura, koja je u poslednjih 20 godina bila dostignuta ili podbačena 10 puta.

2 PRENOS TOPLOTE KROZ OMOTAČ ZGRADE

U toku zimskog perioda, kada je spoljna temperatura vazduha niža od željene temperature u prostorijama zgrade, dolazi do odavanja toplote prostorije kroz građevinski omotač zgrade. Odata količina toplote okolini **nadoknađuje** se sistemom za grejanje. Potrebna količina toplote za grejanje se dovodi prostoriji da bi se u njoj održala **željena temperatura** unutrašnjeg vazduha ($t_{un} = \text{const}$).

Potrebna količina toplote za grejanje **jednaka** je odatoj toploti u okolinu. Ta količina toplote se u terminologiji koja se koristi u praksi inženjera termotehnike naziva GUBICI TOPLOTE ili TOPLOTNI GUBICI.

Dakle, zadatak projektanta postrojenja centralnog grejanja je da izračuna toplotne gubitke prostorija u zgradi. Toplotni gubici se menjaju tokom **grejne sezone**, ali i tokom dana, zbog stalnih promena spoljne temperature i brzine strujanja vetra. Međutim, postrojenje za centralno grejanje treba da bude dimenzionisano tako da zadovolji potrebe za grejanjem i u najnepovoljnijim uslovima, o čemu je bilo reči o izboru spoljne projektne temperature. Prema tome, za potrebe tehnike grejanja, toplotni gubici se računaju za tzv. PROJEKTNE USLOVE.

Najpre će biti razmatrane fizičke osnove proračuna toplotnih gubitaka, a kasnije će biti reči o metodama koje se primenjuju za proračun.

2.1 PRENOS TOPLOTE TRANSMISIJOM (PROLAZOM TOPLOTE)

Prenos toplote transmisijom (ili samo **transmisija**) podrazumeva razmenu toplote kroz građevinski omotač zgrade mehanizmom **prolaza toplote**, koji se karakteriše preko **koeficijenta prolaza** (prolaženja) **toplote** U ($\text{W/m}^2\text{K}$).

Prolaz toplote obuhvata mehanizme **provođenja** i **prelaza** toplote. **Provođenje** toplote (ili **kondukcija**) je mehanizam razmene toplote kroz čvrste materije, prilikom čega je toplotni fluks usmeren od toplije ka hladnijoj strani. Karakteriše se preko **toplotne provodljivosti** λ (W/mK), koja predstavlja termo-fizičku osobinu materijala.

Prelaz (ili **prelaženje**) toplote je mehanizam prenosa toplote koji nastaje prilikom **strujanja** (**konvekcije**) nekog fluida preko čvrste površine. Pri tome se razlikuju dva slučaja: kada toplota prelazi sa toplog fluida na hladniju čvrstu površinu i kada toplota prelazi sa toplije čvrste površine na hladniji fluid koji preko nje struji. Ovaj mehanizam razmene toplote se karakteriše preko koeficijenta **prelaza toplote** α ($\text{W/m}^2\text{K}$).

Transmisioni gubici kroz građevinski omotač prostorije (zid, pod, tavanica, prozor, vrata) računaju se preko jednačine:

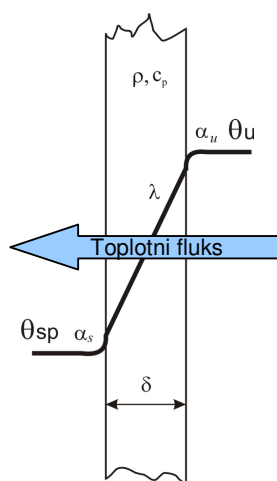
$$Q_{TRANS} = Q_T = U \cdot A \cdot (\theta_u - \theta_{sp}), \quad (2.1)$$

kada je u pitanju jedna pregrada; transmisioni gubici za celu prostoriju su:

$$Q_T = \sum_{i=1}^n U_i \cdot A_i \cdot (\theta_u - \theta_{sp}), \quad (2.2)$$

gde je n broj pregrada posmatrane prostorije kojima se ona graniči sa okolinom.

Grafički prikaz prenosa toplote transmisijom (prolaz toplote) kroz jednoslojnu pregradu predstavljen je na slici 2.1



Slika 2.1 Transmisija toplote kroz jednoslojni spoljni zid

Prilikom proračuna gubitaka toplote u zimskom periodu uvode se sledeće pretpostavke:

1. Stacionarni uslovi prenosa toplote

- * smatra se da spoljna projektna temperatura θ_{sp} vlada dovoljno dugo da se uspostavi stacionarni prenos toplote,
- * temperatura vazduha u prostoriji θ_u je uniformna po celoj zapremini prostorije.

2. Jednodimenzioni prenos toplote

- * smatra se da je toplotni fluks usmeren u pravcu maksimalnog gradijenta temperature, tj. njegov pravac je normalan na posmatranu pregradu.

3. Sve fizičke veličine su konstantne

- * smatra se da se fizičke osobine materijala pregrada (ρ , λ , $c = \text{const}$) ne menjaju u zavisnosti od temperature materijala, kao i da je materijal homogen, tako da u svakoj svojoj tački ima nepromenljivu vrednost fizičkih osobina.

2.1.1 Koeficijent prolaza toplote - U ($\text{W/m}^2\text{K}$)

Prolaz (prolaženje) toplote je kombinacija dva osnovna mehanizma prenosa toplote:

prolaz = prelaz + provođenje + prelaz

Ukupan otpor prenosu toplote koji se javlja prilikom prolaza toplote sastoji se od:

$$R = R_u + R_k + R_s, \quad (2.3)$$

gde su:

R_u – otpor prelazu toplote sa unutrašnjeg vazduha na unutrašnju površinu spoljnog zida,

R_k – otpor provođenju toplote kroz zid i

R_s – otpor prelazu toplote sa spoljašnje površine zida na spoljni vazduh.

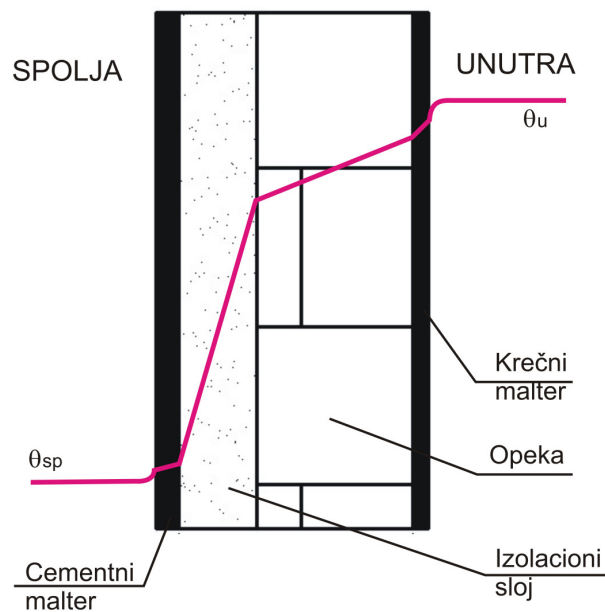
$$R = \frac{1}{U} = \frac{1}{\alpha_u} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_s} \quad (2.4)$$

Koeficijent prolaza toplote za jednoslojnu pregradu:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_u} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_s}} \quad (2.5)$$

Koeficijent prolaza toplote za višeslojnu pregradu:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_u} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_s}} \quad (2.6)$$



Slika 2.2 Temperatursko polje po poprečnom preseku višeslojnog spoljnog zida

2.1.2 Koeficijent prelaza toplote - α (W/m²K)

Količina toplote koja se razmeni prelazom toplote je:

$$Q_k = \alpha \cdot A \cdot (\theta_{zid} - \theta_{fluid}), \quad (2.7)$$

Koeficijent prelaza toplote zavisi od:

- * temperaturskog polja,
- * brzinskog polja,
- * termo-fizičkih svojstava fluida (λ , ν , ρ , c , β),
- * geometrijskih faktora (oblika čvrste površine i načina strujanja fluida preko nje),

- * hrapavosti površine.

Koeficijent prelaza toplote određuje se preko Nuseltovog broja :

- * Lokalna vrednost
$$Nu_x = \frac{\alpha \cdot x}{\lambda_{fluida}},$$

- * Srednja vrednost
$$Nu_{sr} = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda_{fluida}},$$

gde su x i l karakteristične dužine za konkretne uslove i geometriju strujanja.

$$Nu = K \cdot Re^a \cdot Pr^b \cdot Gr^c, \quad (2.8)$$

gde su:

$$Re - \text{Rejnoldsov broj, } (Re = \frac{w \cdot l}{\nu})$$

$$Pr - \text{Prandtlov broj, } (Pr = \frac{\nu}{a}, \quad a = \frac{\lambda}{c_p \cdot \rho})$$

$$Gr - \text{Grashofov broj } (Gr = \frac{\beta \cdot g \cdot l^3 \cdot \Delta T}{\nu^2}) \text{ i}$$

K, a, b, c – konstante koje se određuju eksperimentalno za konkretne uslove strujanja.

Na unutrašnjoj strani fasadnog zida preovlađuje prirodna konvekcija, pa je:

$$Nu = K \cdot Pr^b \cdot Gr^c = C \cdot Ra^n, \quad (2.9)$$

gde je Ra – Rejljev broj.

Vrednosti eksponenta n su u funkciji režima strujanja, pa je $n = 1/4$ za laminarno i $n = 1/3$ za turbulentno strujanje, dok vrednost konstante C zavisi od geometrije.

U tehnici grejanja koriste se srednje vrednosti koeficijenata prelaza toplote – jedna vrednost važi za jednu stranu pregrade prostorije, a neka druga vrednost za drugu stranu. Pri tome se razlikuju slučajevi u zavisnosti od položaja pregrade – da li je u pitanju horizontalna (pod, tavanica) ili vertikalna površina (zid, prozor, vrata), i usmerenosti toplotnog fluksa – da li je usmeren naviše ili naniže.

U standardima za proračun gubitaka toplote date su projektne vrednosti koeficijenata prelaza toplote za određene slučajeve, i mada se nazivaju koeficijentima prelaza toplote, oni ustvari obuhvataju dve komponente: komponentu usled prelaza toplote i komponentu usled razmene toplote zračenjem.

Na spoljašnjoj strani fasadnog zida se javlja:

- * mešovita konvekcija (prirodna + prinudna) u slučajevima kada je brzina vetra manja od 3m/s ($w < 3$ m/s). Tada je $Nu = K \cdot Re^a \cdot Pr^b \cdot Gr^c$, odnosno
- * prinudna konvekcija, kada je brzina vetra veća od 3m/s ($w > 3$ m/s). Tada je $Nu = C \cdot Re^n$.

Najčešće se smatra da sa spoljašnje strane zgrade zbog uticaja vetra prevladava prinudna konvekcija. U literaturi, Kimura na osnovu merenja vršenih na fasadama zgrada daje izraz za α u funkciji brzine vazduha i pri tome pravi razliku između neporemećene brzine vetra W i brzine vazduha u neposrednoj blizini fasade w . Za vetrom napadnute fasade (kada su vektor brzine vetra i normala na površinu fasadnog zida kolinearni): za $W > 2w$ $w = 0.25W$, a za $W \leq 2w$ $w = 0.5$. Za vetrom nenapadnutne fasade $w = 0.3 + 0.05W$. Koeficijent prelaza toplote je:

$$\alpha_s = 3.5 + 5.6 \cdot w. \quad (2.10)$$

Prilikom razmatranja mehanizma prenosa toplote konvekcijom u prostoriji, može se zaključiti da na unutrašnjoj strani omotača prostorije preovladava prirodna konvekcija. Postoji čitav niz izraza različitih autora koji su konstante izraza za Nuseltov broj odredili za karakterističnu geometriju i tip strujanja. U literaturi¹ je analiziran čitav niz izraza različitih autora za uslove strujanja koji odgovaraju prirodnoj konvekciji sa horizontalne površine i došlo se do osrednjene vrednosti za α pri prirodnoj konvekciji sa horizontalne površine, kada vektor toplotnog fluksa i sile zemljine teže zaklapaju ugao od 0° :

$$\alpha_h = 0.74 \cdot |t_v - t_z|^{0.229}. \quad (2.11)$$

Za slučaj prirodne konvekcije sa horizontalne površine, kada vektor toplotnog fluksa i sile zemljine teže zaklapaju ugao od 180° :

$$\alpha_h = 1.41 \cdot |t_v - t_z|^{0.326}. \quad (2.12)$$

U literaturi² je analiziran niz izraza za prirodnu konvekciju sa vertikalne površine što odgovara slučaju konvekcije sa unutrašnje strane zidova i prozora. Ovde izabran je izraz Alamdari i Hammond-a koji važi za opseg $10^4 < Gr \cdot Pr < 10^{12}$ i koji je izveden za uslove koji najbliže odgovaraju razmeni toplote u grejanim i klimatizovanim prostorijama:

$$\alpha_v = \left\{ \left[1.5(\Delta t / h)^{1/4} \right]^6 + \left[1.23(\Delta t)^{1/3} \right]^6 \right\}^{1/6}. \quad (2.13)$$

U tabeli 2.1 dat je pregled projektnih vrednosti koeficijenata prelaza toplote.

Tabela 2.1 Koeficijenti prelaza toplote α ($W/m^2 K$)

Unutrašnji koeficijent prelaza toplote	Za zidove i unutrašnje prozore, kao i za podove i tavanice pri prelazu toplote odozdo naviše	8
	Za podove i tavanice pri prelazu toplote odozgo naniže	6
	Za spoljne prozore	12
Spoljni koeficijent prelaza toplote	Pri srednjoj brzini vetra	25
	Za slučaj dodatnih visećih fasada, kao i za ravan krov	11

2.1.3 Toplotna provodljivost – λ (W/mK)

Toplotna provodljivost predstavlja termo-fizičku osobinu materijala – to je svojstvo materijala i bitno se razlikuje za različite materijale, što je prikazano u tabeli 2.2.

¹ Zimmerman, M.B.; Huang, Y.J.: *A Joint US-China Demonstration Energy Efficient Office Building*, Proc. 2000 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, Pacific Grove, California, August 2000.

² Živković, B.; Kozić, Đ.; Varagić, M.: *Koeficijenti prelaza toplote sa horizontalnih površina u grejanim prostorijama*, Zbornik radova 26. kongresa KGH, SMEITS, Beograd, 1995.

Tabela 2.2 Okvirne vrednosti toplotne provodljivosti za različite materijale

Materijal	λ (W/mK)
Metal (aluminijum)	203
Beton	1 do 2
Opeka	0,5 do 0,8
Drvo	0,15 do 0,2
Toplotna izolacija	0,032 do 0,041

Koliko će iznositi ukupan otpor provođenju toplote R_k zavisi od vrednosti toplotne provodljivosti i debljine sloja materijala kroz koji se toplota provodi δ (cm).

Ukupan koeficijent prolaza toplote U za višeslojnu pregradu je dat izrazom (2.6) i obuhvata prelaz toplote sa obe površine zida na vazduh i obrnuto, kao i provođenje toplote kroz zid.

2.1.4 Koeficijenti prolaza toplote za transparentne površine

Koeficijenti prolaza toplote za prozore zavise od:

- materijala rama prozora (drvo, aluminijum, plastika),
- konstrukcije rama (prekid toplotnih mostova ili ne),
- vrste ostakljenja (jednostruko, dvostruko, trostruko staklo, niskoemisiono staklo, razmak između stakala, ispuna međuprostora...)

Konkretno vrednosti koeficijenata prolaza toplote za prozore dobijaju se od proizvođača prozora, ali se za neke tipске prozore mogu naći u priručnicima. Slično važi i za vrata, kako spoljašnja, tako i za unutrašnja.

Koeficijent prolaza toplote transparentnog građevinskog elementa (spoljna građevinska stolarija: spoljni prozori i balkonska vrata; krovni prozori), U_w [W/(m²·K)], određuje se proračunom, saglasno standardu SRPS EN ISO 10077-1:

$$U_w = \frac{A_g \times U_g + A_f \times U_f + l_g \times \psi_g}{A_g + A_f} \quad (2.14)$$

Proračunske vrednosti U_g (staklo), U_f (okvir) i ψ_g (faktor korekcije temperature – spoj staklo / okvir), navedene su u tabelama 2.3, 2.4, 2.5, 2.6 i 2.7.

Ove vrednosti se mogu odrediti i na sledeći način:

- proračunom, u skladu sa standardima SRPS EN ISO 10077-2 (okvir), SRPS EN 410 (staklo) i SRPS EN 673 (staklo), ili
- ispitivanjem prozora istog sastava i mera, u skladu sa važećim standardima i propisima.

Vrednosti U_g (staklo) i U_f (okvir) odnose se na koeficijent prolaza toplote bez uticaja toplotnog mosta. Toplotni mostovi u transparentnim građevinskim elementima se dodatno obračunavaju i potiču od: spoja staklo-staklo u termoizolacionom staklu (različita rešenja: aluminijumska spojnica, sintetička spojnica, specijalno termički poboljšana spojnica); spoja staklo-okvir; spoja okvir-građevinska konstrukcija (ugradnja).

Vrednosti koeficijenata prolaza toplote prozora bez termoizolacionog stakla („staklopaketi“) usvajaju se sa vrednostima: $U_w = 3,5$ W/(m²·K) (za prozore krilo na krilo); $U_w = 5,0$ W/(m²·K) (za prozore sa jednostrukim staklom).

Tabela 2.3 – Toplotna svojstva transparentnih građevinskih elemenata - STAKLO

Tip stakla	U_g W/(m ² ·K)	g
jednostruko, 6 mm	5,8	0,83
2-struko, prozirno, 6-8-6 mm	3,2	0,71
2-struko, prozirno, 4-12-4 mm	3,0	0,71
2-struko, prozirno, 6-12-6 mm	2,9	0,71
2-struko, prozirno, 6-16-6 mm	2,7	0,72
3-struko, prozirno, 6-12-6-12-6 mm	1,9	0,63
2-struko, niskoemisiono, 4-12-4 mm (vazduh)	1,6	0,63
2-struko, niskoemisiono, 4-16-4 mm (vazduh)	1,5	0,61
2-struko, niskoemisiono, 4-15-4 mm (Ar)	1,3	0,61
2-struko, niskoemisiono, 4-12-4 mm (Kr)	1,1	0,62
2-struko, niskoemisiono, 4-12-4 mm (Xe)	0,9	0,62
3-struko, niskoemisiono, 4-8-4-8-4 mm (Kr)	0,7	0,48
3-struko, niskoemisiono, 4-8-4-8-4 mm (Xe)	0,5	0,48
2-struko, reflektujuće, 6-15-6 mm (Ar)	1,3	0,25 – 0,48
2-struko, reflektujuće, 6-12-4 mm (Ar)	1,4	0,27 – 0,44

Tabela 2.4 – Koeficijent prolaza toplote okvira – drveni okvir

debljina d_f mm	U_f W/(m ² ·K)	
	meko drvo (500 kg/m ³), $\lambda = 0,13$ W/(m·K)	tvrd drvo (700 kg/m ³), $\lambda = 0,18$ W/(m·K)
30	2,3	2,7
50	2,0	2,4
70	1,8	2,0
90	1,6	1,8
110	1,4	1,6

Tabela 2.5 – Koeficijent prolaza toplote okvira – PVC-okvir

Materijal	Tip okvira - profil	U_f W/(m ² ·K)
PVC-šuplji profili	2-komorni	2,2
	3-komorni	1,7 - 1,8
	5-komorni	1,3 - 1,5
	6-komorni	1,2 – 1,3

Tabela 2.6 – Koeficijent prolaza toplote okvira – metalni okvir

Vrsta metalnog okvira	U_f W/(m ² ·K)
čelični, sa termičkim prekidom	4,0
čelični, bez termičkog prekida	6,0
aluminijumski, sa termičkim prekidom	2,8 - 3,5
aluminijumski, poboljšani	1,4 – 1,5
specijalni sistemi profila za pasivne kuće	0,7 – 0,8

Tabela 2.7 – Koeficijenti korekcije – faktor korekcije temperature za toplotne mostove između okvira i stakla

	Koeficijent korekcije, ψ_g	
	2-struko i višestruko staklo, bez sloja za poboljšanje	2-struko i višestruko staklo, sa slojem za poboljšanje
Drveni i PVC –okviri	0,04	0,06
Metalni okviri, sa prekinutim toplotnim mostom	0,06	0,08
Metalni okviri, bez prekinutog toplotnog mosta	0,00	0,02

2.2 DIFUZIJA VODENE PARE

Difuzija vodene pare izračunava se za spoljne građevinske konstrukcije i konstrukcije koje se graniče sa negrejanim prostorijama, osim za konstrukcije koje se neposredno graniče sa terenom (pod na tlu, ukopani zidovi, ukopane tavanice). Sve građevinske konstrukcije zgrade moraju biti projektovane i izgrađene na način da se vodena para u projektnim uslovima na njihovim površinama ne kondenzuje.

Zgrada mora biti projektovana i izgrađena na način da se kod namenskog korišćenja vodena para koja zbog difuzije prodire u građevinsku konstrukciju, ne kondenzuje. U slučaju da dođe do kondenzacije vodene pare u konstrukciji, ona se nakon računskog perioda isušivanja mora sasvim osloboditi iz građevinske konstrukcije. Vлага koja se kondenzuje u konstrukciji ne sme dovesti do oštećenja građevinskih materijala (na primer korozija, pojava buđi, mehanička oštećenja izazvana smrzavanjem kondenzata, itd).

Za izračunavanje higrotermičkih karakteristika građevinskih elemenata i konstrukcija, difuzije vodene pare, kondenzacije i isušivanja, kao i opasnosti od površinske kondenzacije (orošavanje), primenjuje se standard SRPS EN ISO 13788, u opcijama:

- 1) složeni godišnji kumulativni proračun;
- 2) *Glaser*-ov postupak.

Ukoliko se proračun vrši na osnovu *Glaser*-ovog postupka, koristi se metod proračuna prema SRPS U.J5.520.

Higrotermičke karakteristike materijala usvajaju se prema tabelama datim u literaturi za građevinske materijale.

Proračuni fizičkih veličina i parametara kojima se proverava difuzija vodene pare građevinskog elementa sastavni su deo Elaborata EE koji se izrađuje prema Pravilniku o energetske efikasnosti zgrada (Sl. glasnik 61/2011), a koji predstavlja deo projektne dokumentacije koja se prilaže radi izdavanja građevinske dozvole.

2.2.1 Dozvoljena temperatura unutrašnje površine

Dozvoljena temperatura unutrašnje površine spoljne građevinske konstrukcije na bilo kom mestu (i na mestima toplotnih mostova) mora da bude veća od temperature tačke rose, θ_s [°C], za date projektne uslove (temperatura i relativna vlažnost vazduha u prostoriji).

Minimalna toplotna otpornost za sprečavanje orošavanja unutrašnje površine, $R_{\min}$ [m²K/W], građevinske konstrukcije izvan zone toplotnog mosta (osnovni deo građevinskog elementa) izračunava se za uslove perioda grejanja (zimski period), na sledeći način:

$$R_{\min} \geq R_{si} \cdot \frac{\theta_i - \theta_e}{\theta_i - \theta_s} - (R_{si} - R_{se}) \quad (2.15)$$

pri čemu je otpor prelazu toplote sa spoljne strane $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$, a vrednost otpora prelazu toplote sa unutrašnje strane R_{si} se, zbog mogućnosti pojave sprečenog strujanja vazduha (nameštaj, zakloni i sl.) usvaja sa (najmanje) $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$. Za transparentne građevinske elemente primenjuje se uobičajena vrednost: $R_{si} = 0,17 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Na mestima toplotnih mostova za ocenu opasnosti od orošavanja merodavna je temperature tačke rose, θ_s [$^{\circ}\text{C}$], određena prema tabeli 2.8 pri vrednosti $\theta_{si,crit} = \theta_s$.

Tabela 2.8 - Temperature tačke rose, θ_s [$^{\circ}\text{C}$], u zavisnosti od relativne vlažnosti vazduha, ϕ_i [%], i temperature vazduha θ_i [$^{\circ}\text{C}$]

θ_i [$^{\circ}\text{C}$]	θ_s [$^{\circ}\text{C}$]													
	ϕ_i [%]													
	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
30	10,5	12,9	14,9	16,8	18,4	20,0	21,4	22,7	23,9	25,1	26,2	27,2	28,2	29,1
29	9,7	12,0	14,0	15,9	17,5	19,0	20,4	21,7	23,0	24,1	25,2	26,2	27,2	28,1
28	8,8	11,1	13,1	15,0	16,6	18,1	19,5	20,8	22,0	23,2	24,2	25,2	26,2	27,1
27	8,0	10,2	12,2	14,1	15,7	17,2	18,6	19,9	21,1	22,2	23,3	24,3	25,2	26,1
26	7,1	9,4	11,4	13,2	14,8	16,3	17,6	18,9	20,1	21,2	22,3	23,3	24,2	25,1
25	6,2	8,5	10,5	12,2	13,9	15,3	16,7	18,0	19,1	20,3	21,3	22,3	23,2	24,1
24	5,4	7,6	9,6	11,3	12,9	14,4	15,8	17,0	18,2	19,3	20,3	21,3	22,3	23,1
23	4,5	6,7	8,7	10,4	12,0	13,5	14,8	16,1	17,2	18,3	19,4	20,3	21,3	22,2
22	3,6	5,9	7,8	9,5	11,1	12,5	13,9	15,1	16,3	17,4	18,4	19,4	20,3	21,2
21	2,8	5,0	6,9	8,6	10,2	11,6	12,9	14,2	15,3	16,4	17,4	18,4	19,3	20,2
20	1,9	4,1	6,0	7,7	9,3	10,7	12,0	13,2	14,4	15,4	16,4	17,4	18,3	19,2
19	1,0	3,2	5,1	6,8	8,3	9,8	11,1	12,3	13,4	14,5	15,5	16,4	17,3	18,2
18	0,2	2,3	4,2	5,9	7,4	8,8	10,1	11,3	12,5	13,5	14,5	15,4	16,3	17,2
17	-0,6	1,4	3,3	5,0	6,5	7,9	9,2	10,4	11,5	12,5	13,5	14,5	15,3	16,2
16	-1,4	0,5	2,4	4,1	5,6	7,0	8,2	9,4	10,5	11,6	12,6	13,5	14,4	15,2
15	-2,2	-0,3	1,5	3,2	4,7	6,1	7,3	8,5	9,6	10,6	11,6	12,5	13,4	14,2
14	-2,9	-1,0	0,6	2,3	3,7	5,1	6,4	7,5	8,6	9,6	10,6	11,5	12,4	13,2
13	-3,7	-1,9	-0,1	1,3	2,8	4,2	5,5	6,6	7,7	8,7	9,6	10,5	11,4	12,2
12	-4,5	-2,6	-1,0	0,4	1,9	3,2	4,5	5,7	6,7	7,7	8,7	9,6	10,4	11,2
11	-5,2	-3,4	-1,8	-0,4	1,0	2,3	3,5	4,7	5,8	6,7	7,7	8,6	9,4	10,2
10	-6,0	-4,2	-2,6	-1,2	0,1	1,4	2,6	3,7	4,8	5,8	6,7	7,6	8,4	9,2

2.2.2 Dozvoljene vrednosti upijanja vlage – spoljni završni slojevi

Dozvoljene vrednosti upijanja vlage spoljašnjeg završnog sloja građevinske konstrukcije – zaštitno-dekorativnih nanosa debljine manje od 0,005 m, određene preko vrednosti ekvivalentne debljine, r [m], iznose: $r = d \cdot \mu \leq 2$, gde je d [m] debljina, a μ [-] relativni koeficijent difuzije vodene pare zaštitno-dekorativnog nanosa.

2.2.3 Dozvoljene vrednosti vlage usled difuzije i kondenzacije

Ukupna količina kondenzovane vlage ne sme preći vrednost od 1 kg/m^2 u opštem slučaju; $0,5 \text{ kg/m}^2$ ukoliko se kondenzacija dešava u slojevima – materijalima koji nemaju svojstvo kapilarnog upijanja odnosno oslobađanja vlage; u slučaju kondenzacije u sloju drveta, najveći dopušteni porast sadržaja vlage za 5% u odnosu na početni maseni sadržaj vlage; u slučaju kondenzacije u materijalima na bazi drveta, najveći dopušteni porast sadržaja vlage iznosi 3% u odnosu na početni maseni sadržaj vlage.

2.2.4 Proračun difuzije vodene pare i proračun isušenja

Za potrebe pojednostavljenog proračuna (*Glaser-ov* postupak) usvajaju se sledeće vrednosti:

Za period kondenzacije:

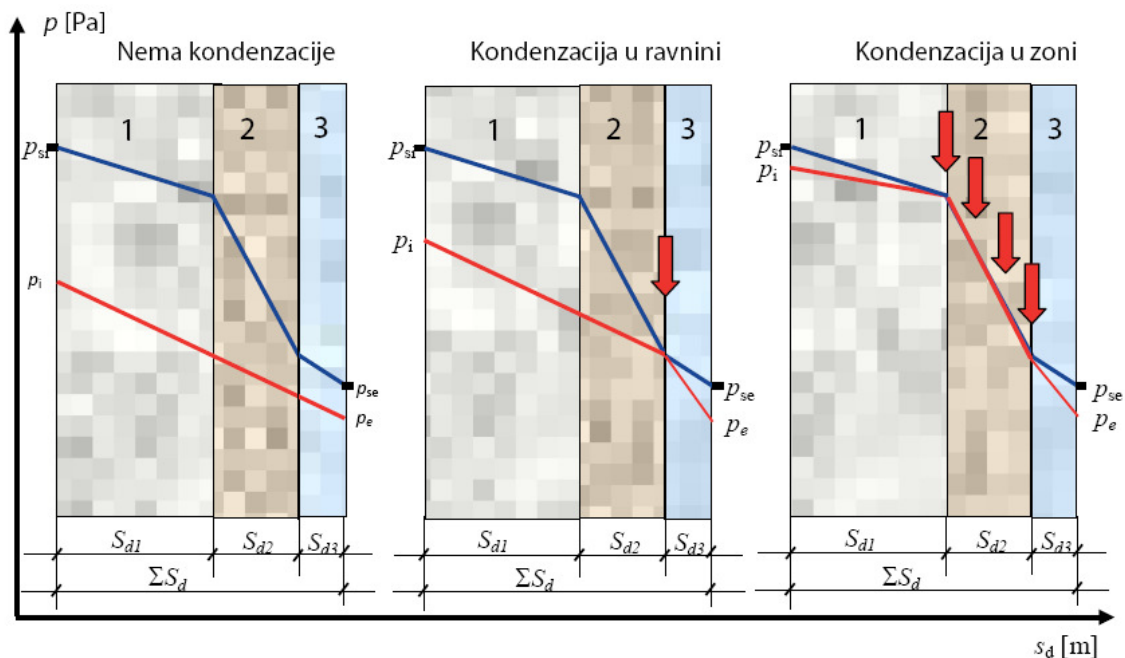
Zona A – obuhvata mesta za koja je spoljna projektna temperatura (period grejanja) iznosi do $\theta_{sp} = -15 \text{ }^{\circ}\text{C}$, temperatura spoljnog vazduha za proračun kondenzacije iznosi $\theta_e = -5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, relativna vlažnost spoljnog vazduha iznosi $\varphi_e = 90\%$, relativna vlažnost i temperatura unutrašnjeg vazduha usvaja se prema projektnim uslovima s obzirom na namenu objekta / prostorije, ili sa vrednošću $\varphi_i = 55\%$,

Zona B – obuhvata mesta za koja je spoljna projektna temperatura (period grejanja) niža od $\theta_{sp} = -15 \text{ }^{\circ}\text{C}$, temperatura spoljnog vazduha iznosi $\theta_e = -10 \text{ }^{\circ}\text{C}$, relativna vlažnost spoljnog vazduha iznosi $\varphi_e = 90\%$, relativna vlažnost i temperatura unutrašnjeg vazduha usvaja se prema projektnim uslovima s obzirom na namenu objekta / prostorije, ili sa vrednošću $\varphi_i = 55\%$, trajanje perioda kondenzacije iznosi 60 dana.

Za period isušenja: dozvoljeno trajanje isušenja iznosi 90 dana za mesta koja pripadaju *Zoni A*, a 60 dana za mesta koja pripadaju *Zoni B*. Temperature i relativne vlažnosti vazduha iznose $\theta_i = \theta_e = 18 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $\varphi_i = \varphi_e = 65\%$.

Za zgrade sa klimatizacijom ili sa većim oslobađanjem vodene pare dozvoljeno vreme isušenja određuje se na osnovu karakteristika procesa – unutrašnjih mikroklimatskih uslova, ali ne sme da bude duže od: 90 dana (u *Zoni A*), odnosno 60 dana (u *Zoni B*).

Za utvrđivanje pojave kondenzacije najpre je potrebno odrediti temperatursko polje unutar zida (u karakterističnim tačkama – na granici slojeva), a zatim raspodelu parcijalnih pritisaka vodene pare p_e , kao i raspodelu pritisaka zasićenja za datu temperaturu p_{se} po preseku zida. Na mestima gde parcijalni pritisak (prikazan crvenom linijom na slici 2.3) dostiže vrednosti pritiska zasićenja (prikazan plavom linijom na slici 2.3), doći će do pojave kondenzacije. Kondenzacija se može javiti u ravni ili u zoni. U koliko po celom preseku zida parcijalni pritisak ne dostiže vrednost pritiska zasićenja, kondenzacija se neće javiti.



Slika 2.3 Različiti slučajevi pojave kondenzacije unutar građevinskog elementa

2.3 PRORAČUN TRANSMISIONIH GUBITAKA TOPLOTE

U velikom broju zemalja postoje standardi i norme koji propisuju metode za proračun gubitaka toplote, što podrazumeva njihovu obaveznu primenu. Neki od najpoznatijih standarda su:

- NEMAČKA DIN 4701 (iz 1959. i 1983.) DIN 12831
- ENGLJESKA CIBSE Guide iz 1986., BS EN 12831:2003
- SAD ASHRAE iz 1993.
- RUSIJA SNIP
- HOLANDIJA NEN 5066 iz 1988.
- BELGIJA NBN B62-003 iz 1986.
- ŠVAJCARSKA, ŠVEDKA, DANSKA...

Kod nas ne postoji SRPS standard koji propisuje metodu za proračun gubitaka toplote, pa je preporuka da se koristi neki svetski poznat standard; to je najčešće DIN 4701. DIN 4701 ima staru i novu verziju. Godine 1975. je kod nas sačinjen predlog našeg standarda JUS M.E6.010 "Proračun potrebne količine toplote za grejanje", koji se bazirao na tada važećem DIN 4701 standardu iz 1959. Međutim, taj standard nikada nije postao važeći, jer se u to vreme očekivalo objavljivanje novog DIN standarda, pa se težilo da se te izmene uvedu i u naš standard. Kada je konačno objavljen novi DIN 4701 (što je usledilo tek 1983. umesto 1978.) izazvao je različita mišljenja i polemike u našoj tehničkoj branši. Tada je potpuno zaustavljen proces postavljanja zvaničnog JUS standarda.

2.3.1 DIN 4701 iz 1959.

Proračun transmisionih gubitaka toplote:

$$Q_{TRANS} = U \cdot A \cdot (\theta_u - \theta_{sp}), \quad (2.16)$$

$$Q_{TRANS} + Q_{DODATNO} = Q_{TRANS} \cdot (1 + Z) \quad (2.17)$$

Dodacima se obuhvata dejstvo onih faktora koji nisu uzeti u obzir pri proračunu gubitaka toplote, a iskustvo je pokazalo da utiču na potrebnu količinu toplote za grejanje. Ta količina toplote, koja se uzima u obzir preko dodatka, zapravo je procentualni deo transmisivnih gubitaka toplote:

$$Q_{DODATNO} = Q_{TRANS} \cdot Z, \quad (2.18)$$

DODATAK ZBOG PREKIDA U ZAGREVANJU Z_u

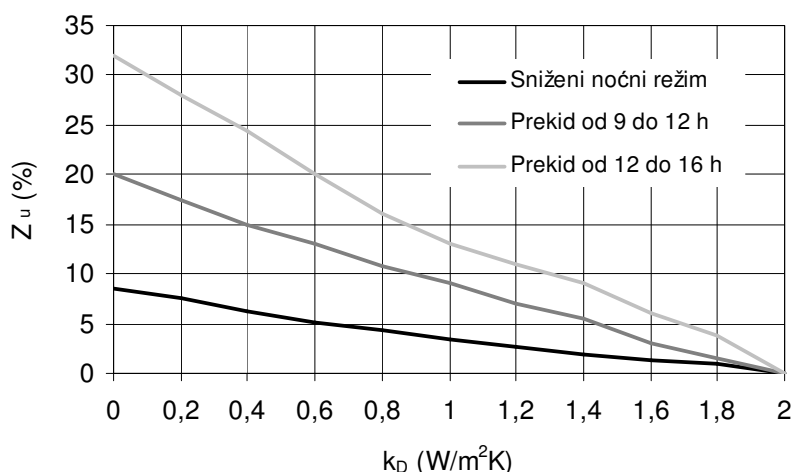
Ovaj dodatak ima smisla samo ukoliko postoji dnevni prekid u radu postrojenja centralnog grejanja. Taj prekid se obično dešava noću, tako da dolazi do hlađenja prostorije (i zidova i vazduha) jer su gubici neprekidni. Zbog toga, da bi se po startu sledećeg jutra ponovo dostigla unutrašnja projektna temperatura, potrebno je dovesti veću količinu toplote nego što su trenutni gubici – zbog uzgrevanja.

Dodatak Z_u zavisi od:

- dužine prekida u zagrevanju i
- akumulacione sposobnosti prostorije (koja se ocenjuje na osnovu **Krišerove vrednosti** k_D – koja predstavlja srednji koeficijent prolaza toplote za posmatranu prostoriju):

$$k_D = \frac{Q_T}{(\theta_u - \theta_{sp}) \cdot \sum A_i} \quad (2.19)$$

Na slici 2.4 prikazana je zavisnost Z_u od dužine trajanja prekida grejanja i vrednosti k_D .



Slika 2.4 Vrednosti dodatka Z_u

DODATAK NA UTICAJ HLADNIH OKOLNIH POVRŠINA Z_a

Unutrašnje površine spoljnih zidova i prozora imaju nižu temperaturu od temperature vazduha u prostoriji, pa to izaziva osećaj "hladnog zračenja" (čovek odaje toplotu zračenjem ka tim površinama, što stvara osećaj nelagodnosti). Ovaj uticaj se kompenzuje na taj način što se dovodi veća količina toplote za grejanje i povišava temperatura vazduha u prostoriji. Vrednost ovog dodatka se takođe daje u funkciji Krišerove vrednosti, pa se često spaja sa dodatkom Z_u , iako ovi dodaci nemaju isti fizički smisao. Vrednosti za Z_a se daju tablearno ili grafički. U tabeli 2.9 date su vrednosti dodatka Z_D .

$$Z_D = Z_u + Z_a \quad (2.20)$$

U novijim standardima nekih evropskih zemalja uticaj hladnih spoljnih površina se ne kompenzuje preko dodatka transmisijonim gubicima, već se vrednosti koeficijenata prolaza toplote za spoljne površine uvećavaju. Smisao je isti, samo je način računanja različit.

Tabela 2.9 Vrednosti dodatka Z_D

Za k_D (W/m ² K)	< 0,35	0,35-0,80	0,80-0,75	> 1,75
1. Neprekidan rad sa ograničenjima u grejanju noću	0,07	0,07	0,07	0,07
2. Prekid rada 9-12 h dnevno	0,20	0,15	0,15	0,15
3. Prekid rada 12-16 h dnevno	0,30	0,25	0,20	0,15

DODATAK NA VISINU PROSTORIJE Z_h

Kod prostorija čija je visina veća od 4m javlja se stratifikacija – raslojavanje toplijih i hladnijih zona vazduha u prostoriji – topliji vazduh je lakši, tako da u višim zonama prostorije dolazi do pojave viših temperatura vazduha. Kao posledica se javljaju: veći gubici toplote u gornjoj zoni prostorije, veća infiltracija vazduha i niža temperatura vazduha u zoni boravka ljudi.

Za svaki metar visine prostorije iznad 4m dodaje se dodatak $Z_h = 0,025$ (na primer: ako je visina prostorije 7 m, onda je $Z_h = 0,075$), pri čemu je maksimalna vrednost $Z_{h,max} = 0,2$.

DODATAK NA STRANU SVETA Z_s

Ovaj dodatak, na neki način, uzima u obzir uticaj Sunčevog zračenja. Zidovi koji su češće osunčani su suvlji, pa je njihov koeficijent prolaza toplote manji od računskog, koji je računat za srednju vrednost vlažnosti građevinskih materijala. Obrnut je slučaj za zidove koji su malo osunčani ili stalno u senci. Kao što mu i samo ime kaže, ovaj dodatak se usvaja prema orijentaciji prostorije ka nekoj strani sveta.

Merodavna orijentacija prostorije se određuje na sledeći način:

- jedan spoljni zid – orijentacija tog spoljnog zida,
- dva susedna spoljna zida – orijentacija ugla u kome se sučeljavaju spoljni zidovi,
- tri ili četiri spoljna zida – usvaja se maksimalan dodatak, nezavisno od orijentacije.

Tabela 2.10 Vrednosti dodatka Z_s

Orijentacija	Z_s (-)
Jug, Jugo-istok, Jugo-zapad	-0,05
Istok, Zapad	0
Sever, Severo-istok, Severo-zapad	+0,05

2.3.2 DIN 4701 iz 1983.

U osnovi, novi DIN 4701 iz 1983. je sličan starom standardu, ali je dopunjen savremenim saznanjima koja su proistekla iz prakse, eksperimenata i primene računarske tehnike, koja je vremenom napredovala. Izvrešno je prilagođavanje savremenim arhitektonsko-građevinskim rešenjima zgrada i materijalima koji se u izgradnji koriste.

DIN 4701 iz 1983. se primenjuje za standardne slučajeve gradnje, dok su posebni slučajevi izdvojeni, i za njih je data posebna metodologija, a to su:

- prostorije koje se retko greju (povremeno se koriste),
- prostorije veoma masivne konstrukcije,
- hale velike visine,
- staklene bašte.

Standardni (normalni) slučajevi:

standardni spoljni uslovi $\longrightarrow$ standardna pot. toplota (Q_N) $\longrightarrow$ standardni unutr. uslovi

$$Q_{TRANS} = \sum U_N \cdot A \cdot (\theta_{uN} - \theta_{spN}), \quad (2.21)$$

U_N – standardni (nominalni) koeficijent prolaza toplote ($W/m^2 K$),

$\theta_{uN}, \theta_{spN}$ – standardna unutrašnja, odnosno spoljna projektna temperatura ($^{\circ}C$).

Spoljna projektna temperatura je određena prema novom kriterijumu: to je najniža dvodnevna srednja temperatura koja je u periodu od 20 godina 10 puta dostignuta ili podbačena. Za gradove u Srbiji na ovaj način još nije određena spoljna projektna temperatura.

Još jedna novina je uvedena što se tiče spoljne projektne temperature, a to je da ona, pored klimatskih karakteristika, zavisi i od **akumulacione mase** zgrade, pa se vrši korekcija:

$$\theta_{sp} = \theta_{spN} + \Delta\theta_s, \text{ gde je } \Delta\theta_s = f\left(\frac{M}{\sum A_s}\right) \text{ i važi} \quad (2.22)$$

- za laki tip gradnje $\left(\frac{M}{\sum A_s}\right) < 600 \text{ kg/m}^3 \Rightarrow \Delta\theta_s = 0^{\circ}C$,

- za srednje teški tip $\left(\frac{M}{\sum A_s}\right) \leq 1400 \text{ kg/m}^3 \Rightarrow \Delta\theta_s = 2^{\circ}C$,

- za teški tip $\left(\frac{M}{\sum A_s}\right) > 1400 \text{ kg/m}^3 \Rightarrow \Delta\theta_s = 4^{\circ}C$.

Akumulaciona masa prostorije:

$$M = \sum (0,5 \cdot m_c + 2,5 \cdot m_D + m_o)_s + \frac{1}{2} \sum (0,5 \cdot m_c + 2,5 \cdot m_D + m_o)_u \quad (2.23)$$

m_c – masa čelika,

m_D – masa drveta,

m_o – masa ostalih materijala.

Odnos $\left(\frac{M}{\sum A_s}\right)$ se računa za najnepovoljniju prostoriju u zgradi, sa maksimalno dva

spoljna zida i usvaja se za celu zgradu.

Standardna unutrašnja projektna temperatura obuhvata suhu temperaturu vazduha u prostoriji i uzima u obzir srednju temperaturu okolnih površina. Ovako definisana temperatura, nažalost ne može da se izmeri na objektu, već se može samo proveriti računski. Vrednosti t_{uN} date su tabelarno u zavisnosti od namene prostorija.

Za tipične negrejane prostorije date su preporuke za vrednosti unutrašnjih projektnih temperatura, dok se za netipične negrejane prostorije temperatura računa iz toplotnog bilansa prema izrazu:

$$\theta_x = \frac{\sum (U \cdot A \cdot \theta)_u + \sum (U \cdot A \cdot \theta)_s + 0,36 \cdot V_x \cdot n \cdot \theta_s}{\sum (U \cdot A)_u + \sum (U \cdot A)_s + 0,36 \cdot V_x \cdot n}, \quad (2.24)$$

Koeficijent prolaza toplote:

$U_N = U + \Delta U_a + \Delta U_s$, gde je $\Delta U_a = f(U \text{ spolj elemnta}) > 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}) = 0,1 - 0,3$ i

$\Delta U_s = f(\text{propustljivost za Sunčevo zračenje } g_v) = -0,35 \text{ g}_v$.

2.3.3 SRPS EN ISO 13789:2007

Ukupan transmisioni gubitak kroz termički omotač sa računa tako što se prvo odredi koeficijent transmisionog gubitka, a on se zatim množi razlikom temperatura unutrašnjeg i spoljnog vazduha (u projektnim uslovima).

Koeficijent transmisionog gubitka toplote zgrade (ili dela zgrade), H_T [W/K], izračunava se po obrascu:

$$H_T = \sum_i (F_{xi} \cdot U_i \cdot A_i) + H_{TB} \quad (2.25)$$

gde je

F_{xi} - faktor korekcije temperature za i -ti građevinski element, koji se usvaja prema Tabeli 2.11;

U_i [W/(m²·K)] - koeficijent prolaza toplote i -tog građevinskog elementa, površine A_i [m²].

Tabela 2.11 – Otpori prelazu toplote i korekcija temperature

Toplotni protok ka spoljnoj sredini, preko građevinskog elementa određenog tipa	Otpor prelazu toplote, u m ² .K/W			Faktor korekcije temperature, F_{xi}
	R_{si}	R_{se}	$R_{si} + R_{se}$	
<i>Građevinski elementi koji se graniče sa spoljnim vazduhom</i>				
Spoljni zid				
neventilisan	0,13	0,04	0,17	1,0
ventilisan	0,13	0,13	0,26	1,0
Ravni krovovi:				
neventilisano	0,10	0,04	0,14	1,0
ventilisano	0,10	0,10	0,20	1,0
Međuspratna konstrukcija iznad otvorenog prolaza:				
neventilisano	0,17	0,04	0,21	1,0
ventilisano	0,17	0,17	0,34	1,0
Kosi krovovi:				
neventilisani	0,10	0,04	0,14	1,0
ventilisani	0,10	0,10	0,20	1,0
<i>Građevinski elementi koji se graniče sa negrejanim prostorima</i>				
Zid ka negrejanom prostoru	0,13	0,13	0,26	0,5
Međuspratna konstrukcija ka negrejanom krovnom prostoru	0,10	0,10	0,20	0,8
Međuspratna konstrukcija iznad negrejanog prostora	0,17	0,17	0,34	0,5
Zid ka negrejanom zimskoj bašti (stakleniku), sa spoljnim zastakljenjem zimske bašte:	0,13	0,13	0,26	
Jednostruko staklo, $U > 2,5 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$				0,7
Izolaciono staklo, $U \leq 2,5 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$				0,6
Poboljšano staklo, $U \leq 1,6 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$				0,5

Tabela 2.11 – nastavak

Građevinski elementi u kontaktu sa tlom				
Zid u tlu, ili delimično ukopan	0,13	0,0	0,13	0,6
Pod na tlu	0,17	0,0	0,17	0,5
Međuspratna konstrukcija u tlu	0,10	0,0	0,10	0,6
Građevinski elementi između dva grejana prostora različite temperature				
Zid između zgrada, zid koji razdvaja prostore različitih korisnika, ili zid ka grejanom stepeništu	0,13	0,08	0,21	0,8
Međuspratna konstrukcija koja razdvaja prostor između različitih korisnika	0,10	0,08	0,18	0,8

Transmisioni toplotni gubitak zgrade (ili dela zgrade) usled uticaja toplotnih mostova u termičkom omotaču zgrade (ili dela zgrade), H_{TB} [W/K], iznosi:

$$H_{TB} = \Delta U_{TB} \cdot A \quad (2.26)$$

gde je A [m²] zbirna površina spoljnih građevinskih elemenata (termički omotač objekta – spoljne mere).

Usvaja se vrednost $\Delta U_{TB} = 0,10$ W/(m²·K).

Ukoliko je uticaj toplotnih mostova već uzet u obzir pri proračunu koeficijenta prolaza toplote U , građevinskog elementa, granična površina kroz koju se toplota prenosi A , kod uvažavanja uticaja toplotnog mosta može se umanjiti za površinu građevinskog elementa za koji je koeficijent prolaza toplote na taj način određen. Transmisioni toplotni gubitak usled uticaja toplotnog mosta, H_{TB} [W/K], tada iznosi:

$$H_{TB} = \Delta U_{TB} \cdot A_{cor} \quad (2.27)$$

gde je A_{cor} [m²] zbirna površina spoljnih građevinskih elemenata (spoljni omotač objekta), umanjena za površine građevinskih elemenata za koje su izračunati koeficijenti prolaza toplote sa uključenim toplotnim mostovima.

2.3.3.1 Specifični transmisioni gubitak toplote zgrade, H'_T [W/(m²·K)]

Specifični transmisioni gubitak toplote zgrade (ili dela zgrade), H'_T [W/(m²·K)], izračunava se po obrascu:

$$H'_T = \frac{H_T}{A} \quad (2.28)$$

Najveći dopušteni specifični transmisioni toplotni gubitak kroz termički omotač zgrade, H'_T [W/(m²·K)], usvaja se prema tabeli 2.12.

Tabela 2.12 – Najveće dopuštene vrednosti specifičnih transmisionih gubitaka toplote, $H'_{T,max}$ [W/(m²·K)], u zavisnosti od faktora oblika zgrade (ili dela zgrade)

Faktor oblika A/V_e (m ⁻¹)	Nestambene zgrade sa udelom transparentnih površina ≤ 30% i stambene zgrade H'_T (W/m ² K)	Nestambene zgrade sa udelom transparentnih površina > 30% H'_T (W/m ² K)
≤ 0.2	1.05	1.55
0.3	0.80	1.15
0.4	0.68	0.95
0.5	0.60	0.83
0.6	0.55	0.75
0.7	0.51	0.69
0.8	0.49	0.65
0.9	0.47	0.62
1.0	0.45	0.59
>1.05	0.44	0.58

2.4 PRORAČUN VENTILACIONIH GUBITAKA TOPLOTE

Količina toplote potrebna da se vazduh, koji u prostoru dospe **infiltracijom**, zagreje od spoljne temperature do unutrašnje predstavlja **ventilacione gubitke toplote**. Spoljni vazduh infiltracijom prodire u prostoriju kroz procepe (fuge) prozora i vrata i/ili kroz posebne otvore namenjene za prirodnu ventilaciju (provetravanje).

Da bi se toplota prenela sa jednog tela na drugo potrebno je da postoji razlika temperatura (termička neravnoteža). Da bi došlo do strujanja vazduha potrebno je da postoji razlika pritiska (mehanička neravnoteža). Razlika pritiska može da proistekne iz dva uzroka:

1. DEJSTVO VETRA

Zaustavni pritisak proporcionalan je kvadratu brzine vetra:

$$p_{\text{VET}} = K_p \cdot \frac{w^2 \cdot \rho}{2}, \quad (2.29)$$

gde su:

K_p – koeficijent pritiska, koji se određuje eksperimentalno i zavisi od strujne slike oko zgrade,

w – srednja brzina vetra i

ρ – srednja gustina vazduha.

2. RAZLIKA U GUSTINI VAZDUHA prouzrokovana razlikom temperatura unutrašnjeg i spoljnog vazduha

Kako je

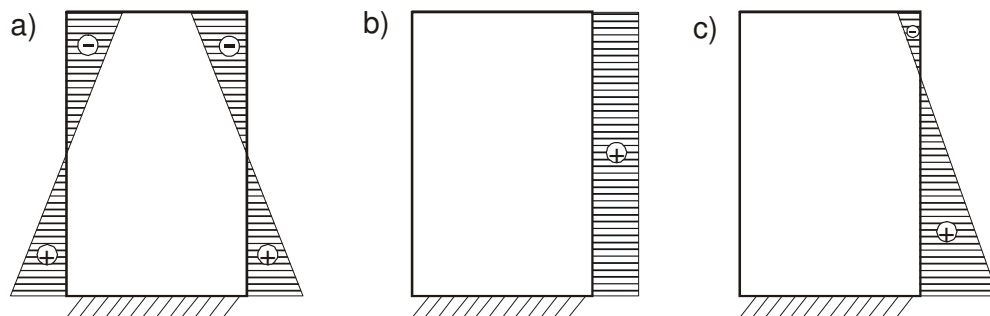
$$\theta_u > \theta_s \Rightarrow \rho_u < \rho_s, \quad (2.30)$$

sledi da je razlika pritiska

$$\Delta p = h \cdot g \cdot \Delta \rho. \quad (2.31)$$

Navedena dva uticaja, koja izazivaju mehaničku neravnotežu, mogu se javiti istovremeno (slika 2.5), pri čemu njihovi uticaji mogu da se:

- sabiraju (superponiraju) ili
- potiru (da imaju suprotno dejstvo).



Slika 2.5 Uticaji nastanka razlike pritiska: a) usled razlike gustine vazduha, b) usled dejstva vetra i c) usled kombinovanog uticaja razlike gustine i dejstva vetra

Količina vazduha u jedinici vremena koja dospe u prostoriju iznosi:

$$\dot{V} = K \cdot (\Delta p)^n \text{ [m}^3\text{/s]}, \quad (2.32)$$

gde su:

K – koeficijent strujanja – pokazuje količinu vazduha koja prodre u prostoriju pri razlici pritiska od 1Pa,

Δp – razlika pritisa između vazduha u prostoriji i spoljnog vazduha,

n – eksponent koji zavisi od vrste (režima) strujanja, i njegove vrednosti su:

- * $n = 1$ za turbulentno strujanje,
- * $n = 0,5$ za laminarno strujanje,
- * $n = 2/3$ za strujanje vazduha kroz procepe prozora i vrata.

Potrebna količina toplote za zagrevanje vazduha koji je infiltracijom dospeo u prostoriju:

$$Q_V = \dot{V} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (\theta_u - \theta_{sp}). \quad (2.33)$$

2.4.1 Ventilacioni gubici prema DIN 4701

U praksi se ventilacioni gubici toplote prema DIN 4701 računaju kao:

$$Q_V = \sum_s (a \cdot l)_s \cdot R \cdot H \cdot (\theta_u - \theta_{sp}) \cdot Z_E, \quad (2.34)$$

a – propustljivost procepa spoljnih prozora i vrata [$\text{m}^3/\text{mhPa}^{2/3}$],

l – dužina procepa [m],

R – karakteristika prostorije [-],

H – karakteristika zgrade [$\text{WhPa}^{2/3}/\text{m}^3\text{K}$],

θ_u – temperatura unutrašnjeg vazduha [$^{\circ}\text{C}$],

θ_{sp} – spoljna projektna temperatura [$^{\circ}\text{C}$],

Z_E – dodatak za prozore na uglu dva spoljna zida [-].

Propustljivost procepa pokazuje količinu vazduha u jedinici vremena koja prođe kroz procep dužine 1m, pri razlici pritisa od 1Pa. Njegova vrednost zavisi od materijala okvira prozora i garantovanja zaptivenosti od strane proizvođača.

Dužina procepa zavisi od konstrukcije vrata i prozora i računa se na sledeći način:

VRATA: $l = 2a + 2h$ (a – širina, h – visina),

JEDNOKRILNI PROZOR: $l = 2a + 2h$,

DVOKRILNI PROZOR: $l = 2a + 3h$,

TROKRILNI PROZOR: $l = 2a + 5h$.

Karakteristika prostorije zavisi od odnosa propustljivosti procepa kroz koje vazduh ulazi u prostoriju i propustljivosti procepa kroz koje vazduh izlazi iz prostorije. Na neki način R predstavlja faktor „produvanja“ prostorije:

$$R = \frac{1}{\frac{\sum (a \cdot l)_s}{\sum (a \cdot l)_u} + 1}. \quad (2.35)$$

Tabela 2.13 Karakteristika prostorije R

Prozori	Unutrašnja vrata	A_s/A_u	R
Drveni prozori i prozori od veštačkih materijala	nezaptivena	< 3	0,9
	zaptivena	$< 1,5$	
	nezaptivena	< 6	
	zaptivena	$< 2,5$	
Drveni prozori i prozori od veštačkih materijala	nezaptivena	od 3 do 9	0,7
	zaptivena	od 1,5 do 3	
	nezaptivena	od 6 do 20	
	zaptivena	od 2,5 do 6	

Za stambene zgrade i tipične poslovne objekte R se kreće u relativno uskim granicama, pa se ne računa za svaku prostoriju, već se u zavisnosti od odnosa spoljnih i unutrašnjih prozora i vrata usvaja vrednost 0,7 ili 0,9.

Karakteristika zgrade H u sebi sadrži brzinu vetra, koja je uzrok infiltraciji vazduha. Za razliku od spoljne projektne temperature, **projektana brzina vetra nije propisana**, pa se ostavlja projektantu da proceni koja brzina vetra je merodavna za proračun. Brzina vetra se kreće u granicama od 2 do 10 m/s.

Prema DIN 4701 date su preporuke za izbor karakteristike zgrade u zavisnosti od:

1. Vetrovitosti predela (normalan ili vetrovit),
2. Položaja zgrade (zatvoren, otvoren ili izrazito otvoren) i
3. Tipa zgrade (zgrade u bloku ili pojedinačna gradnja).

Tabela 2.14 Karakteristika zgrade H [$\text{WhPa}^{2/3}/\text{m}^3\text{K}$]

Predeo	Položaj zgrade	H [$\text{WhPa}^{2/3}/\text{m}^3\text{K}$]	
		Blokovska gradnja	Pojedinačne zgrade
Normalni predeli	Zaklonjen	1,28	1,81
	Otvoren	2,18	3,09
	Izrazito otvoren	3,19	4,47
Vetroviti predeli	Zaklonjen	2,18	3,09
	Otvoren	3,19	4,47
	Izrazito otvoren	4,36	6,01

2.4.2 Ventilacioni gubici prema SRPS EN ISO 13789:2007

Slično kao kod proračuna ukupnih transmisivnih gubitaka toplote, i ovde se prvo pristupa proračunu koeficijenta ventilacionog gubitka, koji se zatim množi razlikom temperatura unutrašnje i spoljašnje sredine.

Koeficijent ventilacionog gubitka toplote zgrade (ili dela zgrade), H_V [W/K], izračunava se po obrascu:

$$H_V = \rho_a \cdot c_p \cdot V \cdot n \quad (2.36)$$

gde je

V – zapremina grejanog prostora [m^3];

n – broj izmena vazduha na čas [h^{-1}]

$\rho_a \cdot c_p = 0,33$ [$\text{Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$] ($\rho_a \cdot c_p = 1200$ [$\text{J}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$])

Tabela 2.15 – Broj izmena vazduha na čas u zavisnosti od zaklonjenosti i klase zaptivenosti zgrade (prema SRPS EN ISO 13789) – Stambene zgrade sa više stanova i prirodnom ventilacijom

	Broj izmena vazduha n [h^{-1}]			Broj izmena vazduha n [h^{-1}]		
	Više od jedne fasade			Samo jedna fasada		
Zaptivenost	Loša	Srednja	Dobra	Loša	Srednja	Dobra
Otvoren položaj zgrade	1,2	0,7	0,5	1,0	0,6	0,5
Umereno zaklonjen položaj	0,9	0,6	0,5	0,7	0,5	0,5
Veoma zaklonjen položaj	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Tabela 2.16 – Broj izmena vazduha na čas u zavisnosti od zaklonjenosti i klase zaptivenosti zgrade (prema SRPS EN ISO 13789) – Pojedinačne porodične kuće sa prirodnom ventilacijom

Zaptivenost	Broj izmena vazduha n [h^{-1}]		
	Loša	Srednja	Dobra
Otvoren položaj zgrade	1,5	0,8	0,5
Umereno zaklonjen položaj	1,1	0,6	0,5
Veoma zaklonjen položaj	0,76	0,5	0,5

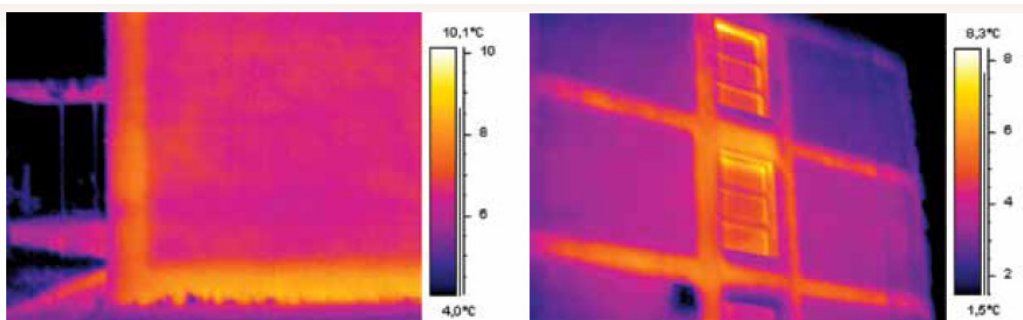
2.4.3. Ukupni zapreminski gubici toplote unutar termičkog omotača, q_v [W/m^3]

Ukupni zapreminski gubici toplote unutar termičkog omotača, q_v [W/m^3], transmisioni i ventilacioni, izračunavaju se po obrascu:

$$q_v = \frac{H_T + H_V}{V_e} \quad [\text{W}/\text{m}^3] \quad . \quad (2.37)$$

2.5 PRIMERI TOPLOTNIH MOSTOVA

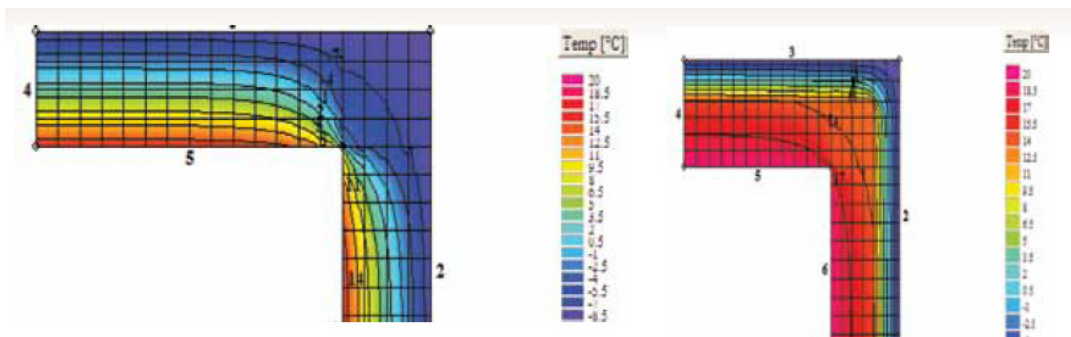
Toplotni most je mesto smanjenog otpora prolazu toplote u odnosu na konstrukciju u kojoj se nalazi, odnosno mesto u termičkom omotaču na kome se javlja povećani toplotni fluks. Pojava toplotnih mostova može značajno uticati na povećanje transmisivnih gubitaka toplote zgrade.



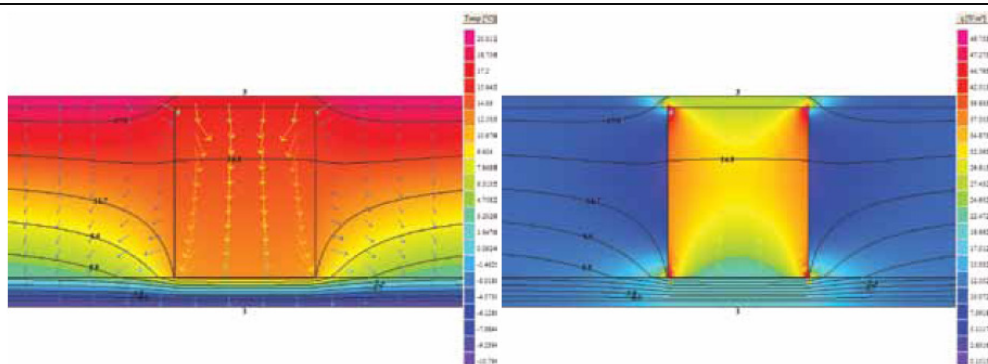
Slika 2.6 Prikaz termovizijskog snimka fasade na kome se uočava toplotni most

U zavisnosti od toga šta prouzrokuje pojavu toplotnog mosta, razlikujemo:

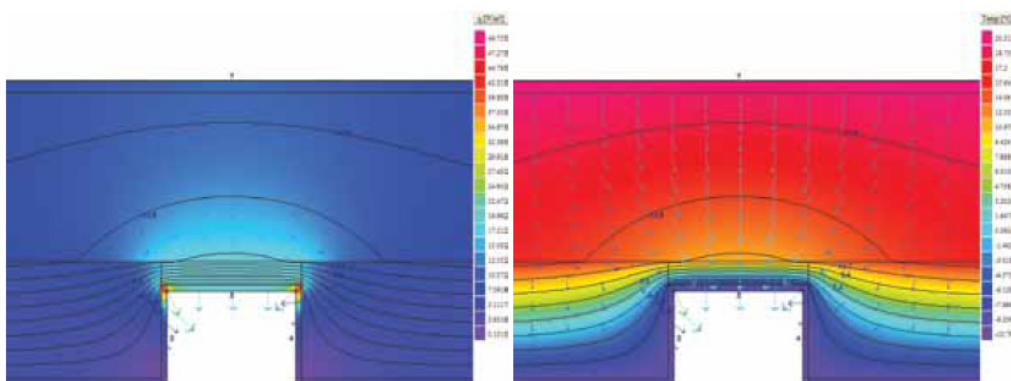
- konstruktivni toplotni most (promena vrste materijala u konstrukciji, kao na sl.2.6)
- geometrijski toplotni most (promena oblika konstrukcije, na primer uglovi, žljebovi, ispupčenja...)



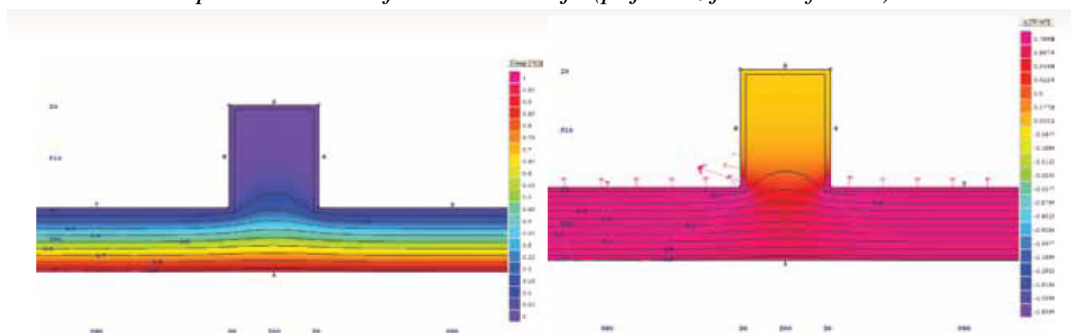
Slika 2.7 Geometrijski toplotni most na uglu kada nema toplotne izolacije (levo) i saniran toplotni most ugradnjom izolacije sa spoljne strane (desno)



Slika 2.8 Temperatura (levo) i toplotni fluks (desno) u preseku toplotnog mosta prouzrokovanog promenom materijala



Slika 2.9 Temperatura (levo) i toplotni fluks (desno) u preseku toplotnog mosta prouzrokovanog promenom debljine konstrukcije (pojava žljeba na fasadi)



Slika 2.10 Temperatura (levo) i toplotni fluks (desno) u preseku toplotnog mosta prouzrokovanog promenom geometrije konstrukcije (kod ispupčenja na fasadi)

Toplotni mostovi prouzrokuju povećane gubitke toplote, pojavu kondenzacije na unutrašnjoj površini spoljnog zida, kao i unutar same konstrukcije. Posledice koje se javljaju zbog pojave toplotnih mostova su: oštećenja konstrukcije usled pojave vlage i buđi, mehanička oštećenja materijala zida i toplotne izolacije usled pojave smrzavanja kondenzata, narušavanje mehaničke stabilnosti konstrukcije.

Proračun toplotnih mostova moguće je izvršiti na nekoliko načina:

- paušalnim dodatkom na koeficijent transmisijonog gubitka toplote;
- pojednostavljenim metodama prema SRPS EN ISO 14683:2008 (katalog)
- detaljnim proračunom prema SRPS EN ISO 10211:2008.

3 SISTEMI CENTRALNOG GREJANJA

3.1 UREĐAJI ZA GREJANJE

Potrebna količina toplote za grejanje se u prostoriju dovodi preko uređaja za grejanje (ili sistemom za grejanje, ukoliko je u pitanju centralno snabdevanje toplotom). Trenutni toplotni gubici prostorije se nadoknađuju radaom uređaja za grejanje.

Osnovna podela grejnih uređaja za grejanje zgrada je na:

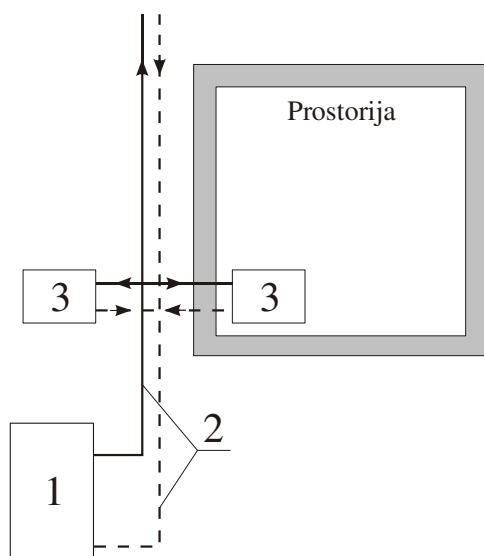
- POJEDINAČNE (lokalne) uređaje za zagrevanje pojedinačnih prostorija i
- POSTROJENJA ZA CENTRALNO GREJANJE.

Kada su u pitanju podele sistema centralnog grejanja, onda se one mogu napraviti prema:

1. Nosiocu toplote (grejnom fluidu) na vodene, parne ili vazdušne sisteme;
2. Vrsti goriva na sisteme na čvrsto, tečno ili gasovito gorivo;
3. Načinu odavanja toplote na konvektivno, zračno i kombinovano;
4. Vrsti izvora toplote na konvencijalne i nekonvencijalne sisteme.

Osnovna karakteristika **lokalnih grejnih uređaja** je da se nalaze u samoj prostoriji koja se greje. U grejnom uređaju se odvija proces sagorevanja goriva (čvrstog, tečnog ili gasovitog) ili pretvaranje nekog drugog oblika energije u toplotu. Nastala toplota u grejnom uređaju predaje se prostoriji u kojoj se uređaj nalazi. Postoje i rešenja kada se jedan lokalni uređaj može koristiti i za grejanje dve prostorije (npr. kada se uređaj postavi u zidu dve susedne prostorije), ali je kod uređaja za lokalno zagrevanje ipak uobičajeno: jedan uređaj – jedna prostorija.

Kod **postrojenja za centralno grejanje** je karakteristično to što se na jedan **izvor toplote** vezuje veći broj **grejnih tela**. Pošto se loženje odvija na jednom mestu – centralizovano – onda se i takvi sistemi nazivaju sistemi za centralno grejanje. Postrojenje za centralno grejanje ima tri osnovna elementa (i veći broj pomoćnih uređaja bez kojih ne bi moglo da radi), a to su: izvor toplote, distribucija toplote i grejna tela (slika 3.1)



Osnovni elementi sistema za centralno grejanje:

- 1 – IZVOR TOPLOTE (kotao na čvrsto, tečno ili gasovito gorivo; obično toplovodni, a može i parni kotao)
- 2 – DISTRIBUCIJA TOPLOTE (ili razvod toplote, cevni razvod, cevna mreža koja služi da se grejni fluid razvede od izvora toplote do grejnih tela i da se obezbedi povratak grejnog fluida u kotao – zatvoreni sistem)
- 3 – GREJNA TELA (čija je funkcija odavanje toplote i zagrevanje prostorije; postoje različite vrste i konstrukcije grejnih tela)

Slika 3.1 Osnovni elementi sistema za centralno grejanje zgrada

Danas je u upotrebi veliki broj različitih sistema za centralno grejanje. Svaki od sistema ima određene prednosti i nedostatke i stvar je korisnika, da uz pomoć projektanta i izvođača radova odabere onaj sistem koji najbolje odgovara njegovim potrebama i mogućnostima.

Kada se govori o kvalitetu uređaja za grejanje, poređenje se može izvršiti prema različitim kriterijumima. Kriterijumi na snovu koji se ocenjuje kvalitet grejnog uređaja mogu se svesti na šest osnovnih kategorija i to su:

1. Funkcionalnost (najvažniji kriterijum)
2. Ekonomičnost
3. Higijenski uslovi
4. Estetika
5. Bezbednost i
6. Ekologija

Funkcionalnost grejnog uređaja podrazumeva da uređaj može da zadovolji toplotne potrebe objekta u svim eksploatacionim uslovima. Pod dobrom funkcionalnošću se takođe smatra i dobra regulacija toplotnog učinka na način da odavanje toplote uređaja odgovara trenutnim gubicima toplote u cilju održavanja konstantne zadate temperature vazduha u prostoriji.

Ekonomičnost je karakteristika koja se uvek uzima u obzir. Grejanje je trošak za korisnika koji teži da taj trošak bude što manji, pri čemu se smatra da je zadovoljena funkcionalnost. Troškovi grejanja se dele na investicione i eksploatacione. Investicioni troškovi podrazumevaju cenu izgradnje samog postrojenja za grejanje, dok se eksploatacioni troškovi odnose na cenu utrošenog goriva/energije (radne snage, održavanja, osiguranja...) tokom grejne sezone. Razvijene su veoma složene metode za ocenu **rentabilnosti** investicije, koje mogu biti statičke i dinamičke. Često se radi i tehno-ekonomska analiza koja pokazuje **isplativost** određene investicije. Isplativost se ocenjuje preko **perioda otplate** konkretne investicije (npr. ukoliko se želi unapređenje sistema za grejanje ugradnjom opreme koja će doprineti uštedi u potrošnji energije sistema, onda se period otplate računa kao količnik cene godišnje uštede energije i cene koštanja dodatne opreme koja omogućuje uštedu. Smatra se da je investicija isplativa ukoliko je period otplate manji od 5 godina).

Higijenski uslovi obuhvataju:

- postizanje zone ugodnosti za ljude koji borave u prostoriji – ravnomerno zagrevanje prostorije po visini i dubini;
- povoljan odnos toplote predate zračenjem i konvekcijom;
- kvalitet (čistoća) vazduha u prostoriji (podrazumeva da je u prostoriji osim termičkih parametara, obezbeđeno i provetranje, da nema produkata sagorevanja i da nema podizanja prašine usled intenzivnijeg strujanja vazduha).

Prva dva navedena uslova mogu se podvesti i pod funkcionalnost grejnog uređaja.

Estetika podrazumeva da se uređaji za grejanje dobro uklapaju u enterijer. Smatra se da uređaji za grejanje nisu „ukras“ prostorije, već „nužno zlo“, tako da što manje traba da remete unutrašnji izgled prostorije. Od uređaja za grejanje se, u tom smislu zahteva da zauzimaju što manje korisnog prostora u prostoriji i da se uklapaju u unutrašnju arhitekturu objekta (po izgledu, boji, a ponekad se i maskiraju ukoliko se ne mogu uklopiti u enterijer).

Estetski izgled uređaja za grejanje ponekad može biti odlučujući parametar pri izboru. Maskiranje grejnih uređaja, u načelu je termički loše rešenje i primenjuje se samo kada su estetski razlozi dominantni. U slučajevima strogih zahteva u izgledu prostorije, kada se uobičajeni grejni

uređaji ne uklapaju u enterijer, bolje je orjentisati se na klimatizaciju (vazdušno grejanje), koja se može odlično maskirati (kanali vođeni u spuštеноj tavanici) i elementi za ubacivanje vazduha se lepo uklapaju u enterijer.

Bezbednost uređaja za grejanje jeste njihova odlika koja se odnosi na odsustvo opasnosti koje se mogu javiti prilikom njihovog korišćenja. Opasnosti su: požar, prodor dimnih gasova u prostoriju, eksplozija sudova pod pritiskom (kotla, peći, rezervoara), pucanje instalacije (izlivanje vode). Današnji uređaji za grejanje su na takvom tehničkom nivou da pružaju izuzetno dobru bezbednost. Pri projektovanju svih centralnih sistema za grejanje postoje posebni propisi koji se odnose na zaštitu od požara i koji se moraju primeniti u projektu. Pre izvođenja instalacije, projekat obavezno, pored ostalih saglasnosti, mora dobiti saglasnost protivpožarne policije.

Ekologija, odnosno ekološki aspekti uređaja za grejanje podrazumevaju da uređaj što manje narušava životnu sredinu. Elementi važni za ekologiju su:

- izbor goriva,
- kvalitet sagorevanja i kontrola rasejavanja produkata sagorevanja,
- filtriranje produkata sagorevanja pre izbacivanja u atmosferu,
- lokacije deponija šljake, itd.

Imajući u vidu svih 6 navedenih kriterijuma, generalni stav je da u urbanim sredinama (gusto naseljenim) centralno grejanje zgrada ima niz prednosti u odnosu na pojedinačne uređaje za grejanje. Prednosti su:

- bolji (ravnomerniji) raspored temperature vazduha po prostoriji;
- mogućnost grejanja sporednih prostorija;
- veći kotlovi imaju bolji stepen korisnosti – bolje iskorišćenje goriva i bolju regulaciju rada kotla, što rezultuje ujedno i manjim zagađenjem okoline;
- rad velikih kotlova nadgleda kvalifikovano osoblje;
- manje prljanje stanova i zgrade;
- manja opasnost od požara;
- manji broj dimnjaka u zgradi;
- manji transportni troškovi goriva;
- manje angažovanje korisnika prostorija...

Nedostaci centralnog grejanja u odnosu na lokalne uređaje za grejanje su:

- veći investicioni troškovi;
- lošija lokalna regulacija, pogotovu ukoliko se isključi grejanje u pojedinim stanovima.

Zbog svih navedenih prednosti sistema centralnog grejanja u odnosu na lokalne uređaje za grejanje, danas je primena postrojenja za centralno grejanje (uključujući i daljinsko grejanje kao najširi pojam centralnog grejanja) veoma rasprostranjena, naročito u većim gradovima.

3.2 POJEDINAČNI (LOKALNI) UREĐAJI ZA GREJANJE

Osnovna podela lokalnih uređaja za grejanje je prema vrsti goriva/energije:

- peći na čvrsto gorivo;
- peći na tečno gorivo;
- peći na gasovito gorivo;
- uređaji za grejanje koji koriste električnu energiju.

PEĆI NA ČVRSTO GORIVO

- Kamini,
- Zidane peći,
- Metalne peći (bunkerske i trajnožareće)

Kamin predstavlja ognjište koje je otvoreno prema prostoriji (slika 3.2) što dovodi do povećane opasnosti od pojave požara i prodora dimnih gasiva u prostoriju. Toplota se predaje uglavnom zračenjem otvorenog plamena visoke temperature. Akumulaciona sposobnost kamina nije velika, tako da ubrzo po gašenju plamena prestaje i grejanje. U kaminima se kao gorivo koristi drvo, pa je stepen korisnosti jako mali ($\eta = 10-30\%$). Kamini zadovoljavaju estetski kriterijum – jako se lepo mogu uklopiti u prostor, čak mogu biti i ukras u prostoriji. U našim klimatskim uslovima klasični kamini se mogu koristiti samo kao dopunski izvor grejanja. Međutim, kao i većina uređaja, i kamini su tehnički unapređivani, tako da moderni kamini imaju veći stepen korisnosti, kontrolu intenziteta sagorevanja, veće akumulacione sposobnosti kroz izradu masivnih livenih ložišta, povećano odavanje toplote konvekcijom, itd. Takođe se konstruišu „kotlovski“ kamini, čije je ložište sa spoljne strane obloženo cevnim zmijama kroz koje struju grejni fluid, i koji se koristi u drugim grejnim telima.



Slika 3.2 Izgled različitih konstrukcija kamina

Zidane peći su bile jako rasprostranjene tokom 60-ih i 70-ih godina prošlog veka.

Najpoznatije su kaljeve peći (slika 3.3). Ove peći imaju znatnu sposobnost akumulacije toplote. Sa unutrašnje strane su obložene šamotnim pločama, tako da mogu grejati i veći broj sati (12-16h) nakon što se prekine loženje. Kao gorivo u ovim pećima se može koristiti drvo i ugalj. Stepenn iskorišćenja goriva se kreće oko 50% (max 80%). Karakteristika ovih peći je da imaju povoljan odnos odavanja toplote konvekcijom i zračenjem. Estetski uslovi su takođe zadovoljeni i ove peći mogu jako lepo izgledati i biti izrađene od kaljeva različitih boja i teksture.



Slika 3.3 Izgled kaljevih peći

Metalne peći su kod nas uglavnom poznate kao „bubnjare“ ili „kraljice peći“ (slika 3.4). Ove peći umesto akumulacije toplote imaju akumulaciju goriva – mogu se napuniti gorivom, koje će postepeno sagorevati – sloj po sloj. Sagorevanje je uglavnom potpuno. Stepenn iskorišćenja goriva kod ovih peći se kreće u granicama od 60-70%. Mana ovih peći je njihova visoka temperatura površine, koja može dostići i 200°C, što je nepovoljno iz više razloga: bezbednost (ljudi se mogu opeći), sagorevanje materija koje se nalaze na površini peći i veoma intenzivnu razmenu toplote zračenjem, koja je nugalodna za čoveka.



Slika 3.4 Izgled metalnih peći

Trajnožareće peći su kod nas uglavnom bile Kreka Vesso peći (slika 3.5). Ove peći ispod metalnog kućišta imaju šamotni ozid, pa je na taj način povećana akumulacija toplote i snižena temperatura površine peći. Na taj način je značajno poboljšan odnos količine toplote odate konvekcijom i zračenjem. Akumulacija goriva je takođe prisutna kod ovih peći, tako da njihovo loženje ne zahteva veliko angažovanje – dovoljno je ubaciti gorivo u peć jednom do dva puta u toku dana. Imaju dobro i potpuno sagorevanje, pa se stepenn iskorišćenje goriva kod njih reće od 75 do 85%.



Slika 3.5 Trajnožareće peći

Svaka peć mora biti vezana za dimnjak. Pravilo je: jedna peć – jedna dimna cev. Dimnjaci odu biti zidani ili montažni. Zidani dimnjaci su uglavnom od opeke i poželjni je da njihova nutrašnjost bude glatka (jer je manji otpor strujanju gasova i manje prljanje površina pepelom) li neomalterisana, jer se malter kruni i otpada na visokim temperaturama. Montažni dimanjaci se zrađuju od šamota – obično su kružnog poprečnog preseka ($\phi 12$, $\phi 14$, $\phi 16$, $\phi 18$, $\phi 20$...)

PEĆI NA TEČNO GORIVO se kod nas često nazivaju „nafta peći“, mada ustvari koriste kstra lako ulje za loženje. Odavanje toplote se pretežno odvija kovektivnim putem, jer je etalno ložište obavijeno i metalnim kućištem (uglavnom iz higijenskih i estetskih razloga). Kod ovih peći

je, za razliku od uređaja koji koriste čvrsto gorivo, mnogo bolja regulacija. Stepenn korisnosti se kreće oko 80%. Mana ovih peći je prisutnost nepoželjnih mirisa koji se javljaju usled isparenja iz rezorvoara, prodiranja dimnih gasova ili usled prosipanja goriva pri punjenju.

PEĆI NA GASOVITO GORIVO mogu da koriste prirodni (zemni) gas ili tečni gas (propan-butan) iz boca (Slika 3.6). Kod ovih peći odnos odate toplote konvekcijom i zračenjem može biti veoma različit, u zavisnosti od konstrukcije peći (reflektorske, sa usijanim elementima, sa cevničim grejačima vazduha...). Zajednička karakteristika je visok stepen iskorišćenja goriva od oko 85%, kao i dobra regulacija. Pri potpunom sagorevanju prirodnog gasa produkti sagorevanja su CO₂ i vodena para. Zbog toga se dozvoljava da se peći manjeg kapaciteta (2-3,5 kW) mogu postaviti u prostoriju bez povezivanja na dimnjak. Za peći većeg kapaciteta obavezno je povezivanje na dimnjak. Osnovna funkcija dimnjaka je prvo dovodenje vazduha potrebnog za sagorevanje, pa tek onda odvođenje produkata sagorevanja. Prednosti ovih uređaja su: čistoća u radu, jednostavnost rukovanja, dobra regulacija. Nedostaci su: opasnost od požara i eksplozije i opasnost od trovanja gasom.



Slika 3.6 Gasne peći

UREĐAJI ZA GREJANJE KOJI KORISTE ELEKTRIČNU ENERGIJU su:

- grejalice,
- kaloriferi,
- termoakumulacione peći,
- klimatizeri (split sistemi, toplotne pumpe).

Električni uređaji se bitno razlikuju u mnogim elementima od uređaja za grejanje koji rade sagorevanjem konvencionalnog goriva. Prednosti su:

- mogu se postaviti na termički povoljnije mesto u prostoriji,
- mogu da greju i sporedne prostorije,
- laka je regulacija odavanja toplote,
- veoma komforno korišćenje sa aspekta korisnika,
- ekološki prihvatljivo za urbane sredine...

Nedostaci:

- visoka cena energije (kod nas nije toliko koliko je to izraženo u razvijeni zapadnim zemljama)
- sa aspekta društva u celini, veoma je neracionalno koristiti električnu energiju za grejanje:

$\eta_{peći} \sim 50 - 80\%$, $\eta_{kotla} \sim 70 - 85\%$

$\eta_{TE, \max} \sim 25 - 35\%$

$\eta_{el. \text{ en}} \rightarrow \text{toplota} = 1$

gorivo $\rightarrow$ toplota $\rightarrow$ vodena para $\rightarrow$ meh. rad $\rightarrow$ el. energija $\rightarrow$ toplota

Racionalno korišćenje električne energije za svrhu grejanja je jedino pomoću toplotne pumpe, koje imaju koeficijent grejanja $\epsilon_g = 2,5 - 3$. Tada je:

$$\eta = (2,5 - 3) \times (25 - 30\%) \sim 70 - 90\%.$$

Električne grejalice koriste efekat zagrevanja provodnika (usled otpora provođenju električne energije). Toplota se pretežno odaje zračenjem i ovi uređaji nemaju nikakvu sposobnost akumulacije toplote, tako da iz mreže „vuku“ struju onda kada je grejanje potrebno, a špicevi potrošnje električne energije i toplote se često podudaraju, što je nepovoljno (visoka tarifa). Izgled različitih tipova električnih grejalica i kvarcnih peći je prikazan na slici 3.7.



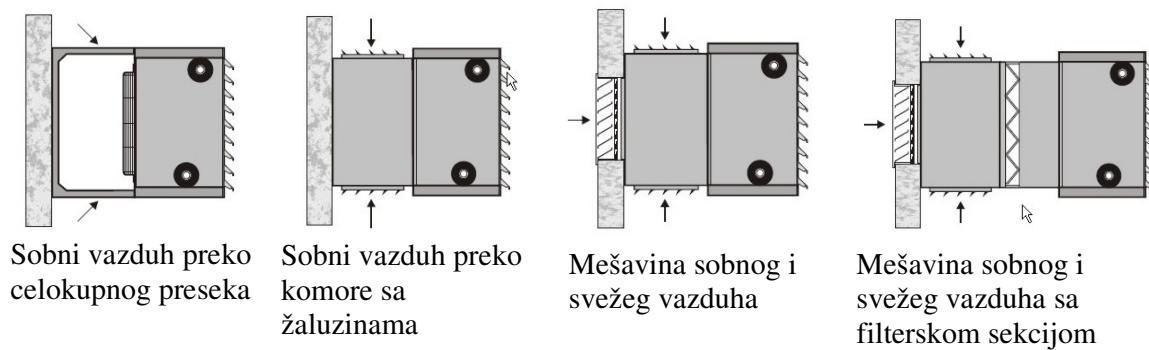
Slika 3.7 Električne grejalice

Kaloriferi su uređaji za grejanje koji imaju ugrađen ventilator kojim se ostvaruje prinudno strujanje sobnog vazduha preko električnog grejača, i time se pospešuje prelaz toplote (Slika 3.8). Odaju toplotu konvektivnim putem. Nemaju mogućnost akumulacije toplote. U odnosu na grejalice imaju nepovoljnije higijenske aspekte, je usled prinudnog strujanja vazduha dolazi do podizanja prašine u prostoriji.



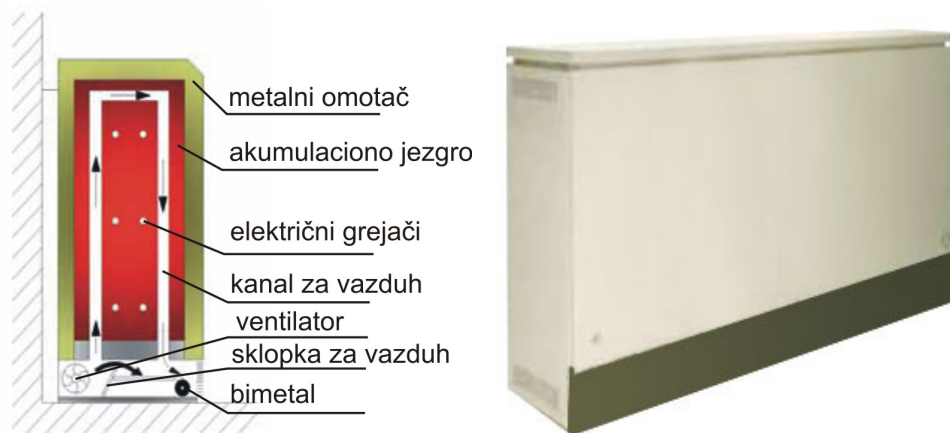
Slika 3.8 Kaloriferi

Osim električnih, kaloriferi mogu imati i toplovodne grejače. Kaloriferi mogu da rade i sa udelom svežeg vazduha, ako se montiraju na spoljni zid prostorije, što je povoljnije sa aspekta kvaliteta vazduha, ali nepovoljnije sa aspekta instalisanog kapaciteta grejača. Načini montaže kalorifera su prikazani na slici 3.9.



Slika 3.9 Različiti načini postavljanja kalorifera

Termoakumulacione peći (Slika 3.10) imaju ispunu od magnezijumskih opeka između električno grejača i metalnog kućišta, tako da imaju veliku moć akumulacije toplote. Peć se „puni“ tokom noći, u doba jeftinije tarife električne energije, a toplotu odaje preko dana, kada postoje potrebe za grejanjem.



Slika 3.10 Izgled termoakumulacione peći

U sebi sadrže i ventilatore, kojima se pospešuje odavanje toplote konvektivnim putem. Osim pretežnog odavanja toplote konvekcijom, jedan deo se predaje i zračenjem, koje veoma povoljno utiče na čoveka koji boravi u prostoriji.

Klimatizeri (toplotne pumpe) kao prvenstvenu ulogu imaju zadatak hlađenja tokom leta, ali mogu da rade i u režimu toplotne pumpe tokom hladnijih dana, kada greju (slika 3.11).



Slika 3.11 Klimatizer – „split“ sistem

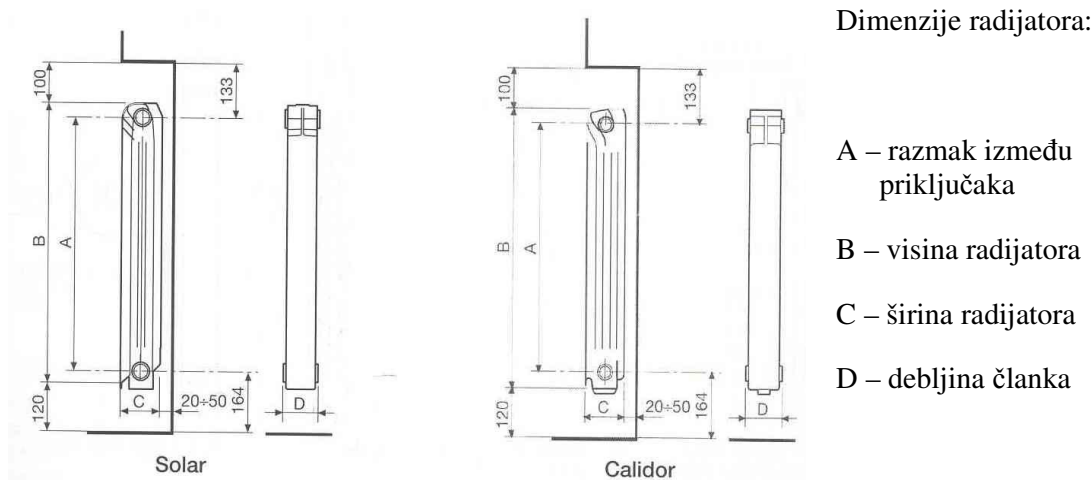
Naziv „split“ sistem potiče od engleske reči sa značenjem „podeljen“, jer se uređaj sastoji iz dve jedinice: spoljne i unutrašnje. Po svojoj koncepciji – to je rashladni uređaj koji se sastoji od kompresora, kondenzatora, isparivača i prigušnog ventila. Radni fluid je freon. Kompresorsko-kondenzatorska jedinica je spoljna jedinica, dok se isparivač nalazi u unutrašnjoj jedinici. Kondenzator je vazduhom hlađeni kondenzator. U režimu hlađenja, tokom leta, freon se kondenzuje u kondenzatoru predajući toplotu spoljnom vazduhu, a isparava u isparivaču i toplotu isparavanja oduzima od vazduha u prostoriji. Vazduh iz prostorije se uvodi u unutrašnju jedinicu sa čone strane, a ubacuje nazad u prostoriju sa donje strane uređaja. U režimu grejanja, kondenzator i isparivač menjaju uloge – u unutrašnjoj jedinici se vrši kondenzacija freona i toplota kondenzacije se predaje vazduhu u prostoriji, dok se isparavanje odvija u spoljnoj jedinici. Ovi uređaji ne mogu da rade pri jako niskim temperaturama spoljnog vazduha (nižim od -50°C), jer dolazi do stvaranja inja na spoljnoj jedinici i sprečavanja razmene toplote. S obzirom da su potrebe za grejanjem najveće tokom najnižih spoljnih temperatura, ovi uređaji se mogu koristiti za dogrevanje u prelaznim periodima, na početku i na kraju grejne sezone. Klasični klimatizeri rade tako što zagrevaju ili hlade sobni vazduh. Dakle, nije u pitanju kompletna klimatizacija jer se u prostorije ne uvodi svež spoljni vazduh. Međutim, ima i izvedbi ovih uređaja koji mogu raditi sa delom svežeg vazduha. Takođe su razvijeni i tzv. Multi split sistemi, kada se želi klimatizovati više prostorija u zgradi, pa se na jednu spoljnu jedinicu povezuje veći broj unutrašnjih jedinica.

3.3 GREJNA TELA – VRSTE I NAČINI ODAVANJA TOPLOTE

Grejna tela predstavljaju jedan od osnovnih elemenata postrojenja za centralno grejanje. Zadatak grejnog tela je da prostoriji preda određenu količinu toplote, koja je jednaka trenutnim gubicima toplote. Toplota koja se proizvodi u kotlu, sistemom cevi se razvodi do prostorija, a grejno telo zatim dovedenu toplotu predaje prostoriji. Ima više vrsta grejnih tela, od kojih su u sistemima centralnog grejanja najviše zastupljeni radijatori.

3.3.1 Radijatori

Radijatori su člankasta grejna tela, čija konstrukcija omogućava postizanje željene površine grejnog tela kroz spajanje određenog broja članaka. Spajanje članaka se vrši pomoću posebnih elemenata – nazuvica. Označavanje radijatora se obično vrši na sledeći način: $n-A/C$, gde je n – broj članaka, A – razmak između priključaka i C – širina radijatora (slika 3.12)



Slika 3.12 Dimenzije radijatora i način postavljanja u prostoriji

Kada se radijatori postavljaju u nišu ispod prozora, tada je neophodno ostaviti od 70 do 120 mm slobodnog vazdušnog prostora iznad radijatora, kao i ispod radijatora, kako bi se

obezbedilo opstrujavanje radijatora sobnim vazduhom. Ukoliko nema niše ispod prozora, tada visina radijatora ne sme prelaziti visinu parapetnog zida. Takođe je potrebno ostaviti 20 do 50 mm praznog prostora između radijatora i spoljnog zida.

Maskiranje radijatora – postavljanje maske preko njega zbog estetskih ili zaštitnih razloga – loše je termičko rešenje, jer je u tom slučaju odavanje toplote radijatora smanjeno za 10 do 30%.

Oblik članaka zavisi od materijala od koga se radijator izrađuje, a to mogu biti:

- liveno gvožđe,
- čelični lim i
- Al – legure.

Kada se govori o kvalitetu radijatora, poređenje se može izvršiti prema različitim kriterijumima. Kriterijumi na osnovu kojih se ocenjuje kvalitet radijatora su sledeći:

1. Trajnost (otpornost na koroziju) LG, Al, Č ➡
2. Inertnost (veća masa i veći sadržaj vode – veća inertnost) LG, Č, Al ➡
3. Veličina (specifično odavanje toplote – $W/\text{č}$) Al, Č, LG ➡
4. Težina (veća težina – skuplja montaža) LG, Č, Al ➡
5. Izgled (estetski kriterijum – individualno – stvar ukusa pojedinca) Al, LG, Č ➡
6. Cena Č, Al, LG ➡

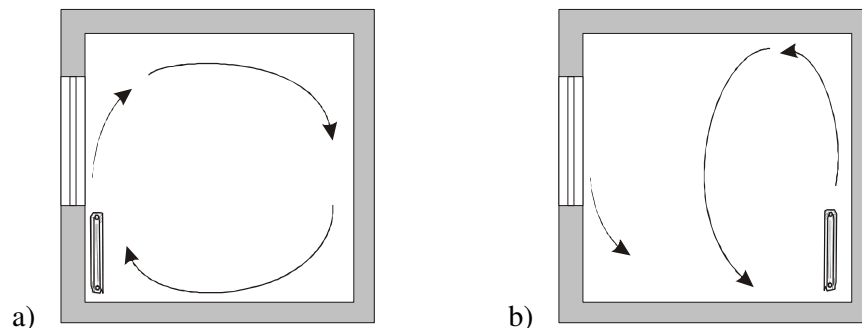
Način odavanja toplote

Radijatori su dobili naziv po želji konstruktora da odaju toplotu zračenjem. Međutim, oni mnogo više odaju toplotu koncekcijom zbog oblika članaka, dok se odavanje toplote zračenjem kreće u granicama od 10 – 30%. Radiator predstavlja dobro rešenje sa aspekta uslova ugodnosti, pogotovo kada je niži temperaturni režim grejanja i ukoliko su dobro postavljeni u prostoriji.

Položaj radijatora u prostoriji

Najbolje je postaviti radijator uz hladnu površinu (slika 3.13) – na mestu gde su najveći gubici toplote u prostoriji, a to su mesta:

- ispod prozora,
- uz spoljni zid.
-



Slika 3.13 Položaj radijatora u prostoriji – a) dobri termički uslovi, b) loši termički uslovi

Fiksiranje (vešanje) radijatora može biti:

- na konzole i držače (češće primenjavano rešenje) i
- na nožice (ređe se primenjuje, npr. kada se radijator postavlja uz staklenu površinu).

3.3.2 Pločasta grejna tela

Pločasta grejna tela se uglavnom izrađuju od čeličnog lima. Njihova osnovne karakteristike su mala debljina i velike glatke ili profilisane grejne površine.

Po pitanju toka vode i načinu odavanja toplote slični su radijatorima, pa ih često zbog toga nazivaju pločastim radijatorima. Međutim, pločasta grejna tela nemaju članke kao radijatori, pa samim tim ni mogućnost dobijanja željene površine za odavanje toplote – sklapanjem na samom objektu, već se isporučuju u fiksnim dimenzijama. Izrađuju se u standardnim veličinama – dužina x visina x debljina – i u zavisnosti od toga zavisi njihov toplotni učinak – odavanje toplote.

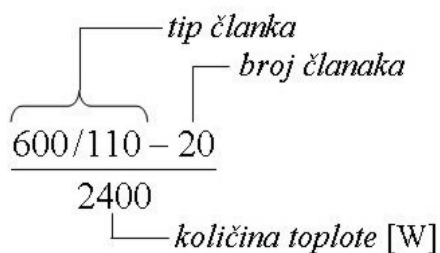
Po pitanju dimenzija, trajnosti, montaže i inertnosti pri odavanju toplote gotovo su identični kao i radijatori od čeličnog lima (slika 3.14). Njihova prednost u odnosu na čelične radijatore je estetika – lepše izgledaju, a zbog svoje male debljine skoro da ne zauzimaju koristan prostor u prostoriji.



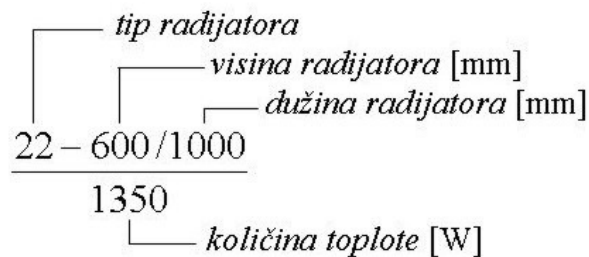
Slika 3.14 Pločasti radijator

Označavanje radijatora:

ČLANKASTI RADIJATORI



PLOČASTI RADIJATORI



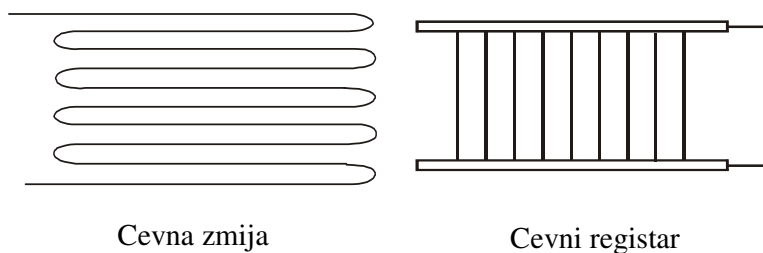
3.3.3 Cevna grejna tela

Cevna grejna tela su sastavljena od više redova cevi, koje su slobodno izložene sobnom vazduhu, kome predaju toplotu pretežno konvektivnim putem.

Cevna grejna tela se koriste u prostorijama koje imaju male gubitke toplote, ako što su kupatila, WC, hodnici, blokirane prostorije (bez spoljnih zidova i prozora)...

Materijal za izradu cevnih grejnih tela je uglavnom čelik, odnosno sama grejna tela se izrađuju spajanjem čeličnih cevi, na različite načine (slika 3.15).

Prednosti cevnih grejnih tela je lako održavanje čistoće (higijenski uslovi), kao i lep izgled površine: mogu da se farbaju, nikluju, plastificiraju...



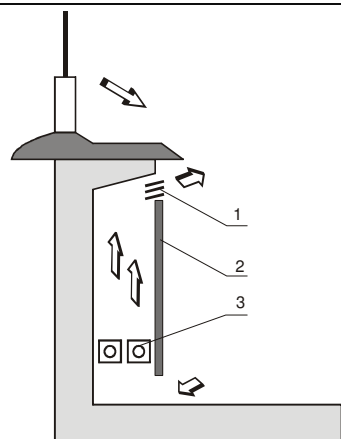
Slika 3.15 Različite konstrukcije cevnih grejnih tela

U cilju **povećanja** odavanja toplote cevna grejna tela mogu da se **orebravaju**: s obzirom da koeficijent prelaza toplote sa čvrstih tela na vazduh ima nižu vrednost od koeficijenta prelaza toplote sa vode na čvrsto telo (zid cevi), povećanjem spoljne površine cevi putem orebrenja postiže se bolje odavanje toplote. Međutim, kod orebrenih površina se javlja problem čišćenja, pa su narušeni higijenski uslovi u prostoriji.

3.3.4 Konvektori

Konvektori su lamelasti zagrejači vazduha koji se izrađuju od orebrenih cevi (čeličnih cevi sa čeličnim rebrima ili bakarnih cevi sa aluminijumskim rebrima). Sam zagrejač vazduha (razmenjivač toplote) je smešten u posebno kućište, koje je konstruisano tako da se pospešuje **prirodna** konvekција (slika 3.16). Visina kućišta, odnosno razmak između gornjeg i donjeg otvora na kućištu direktno utiče na uzgonsku silu koja ostvaruje cirkulaciju vazduha kroz konvektor. Odavanje toplote se odvija isključivo konvekcijom (pa su tako i dobili naziv).

Toplotni učinak konvektora, odnosno odavanje toplote, zavisi kako od broja osnovnih cevi razmenjivača toplote, tako i od visine kućišta. Podešavanja grejnog kapaciteta se može vršiti i sa „vodene“ i sa „vazdušne“ strane. Regulacija sa „vodene“ strane se ostvaruje preko regulacionog ventila obično kvalitativno – promenom temperature vode koja struji kroz zagrejač (regulacija može biti i kvalitativna – ostvaruje se promenom protoka grejnog fluida). Sa „vazdušne“ strane regulacija se vrši pomoću žaluzina koje se nalaze na izlaznom otvoru za vazduh (na ovaj način se ne menja hidraulički režim u cevnoj mreži).



Elementi konvektora:

- 1 – Kanal za strujanje vazduha sa žaluzinama i uspostavljanje uzgonskog efekta
- 2 – Kućište konvektora
- 3 – Konvektorsko telo – zagrejač vazduha izrađen od orebrenih cevi

Slika 3.16 Konstrukcija konvektora

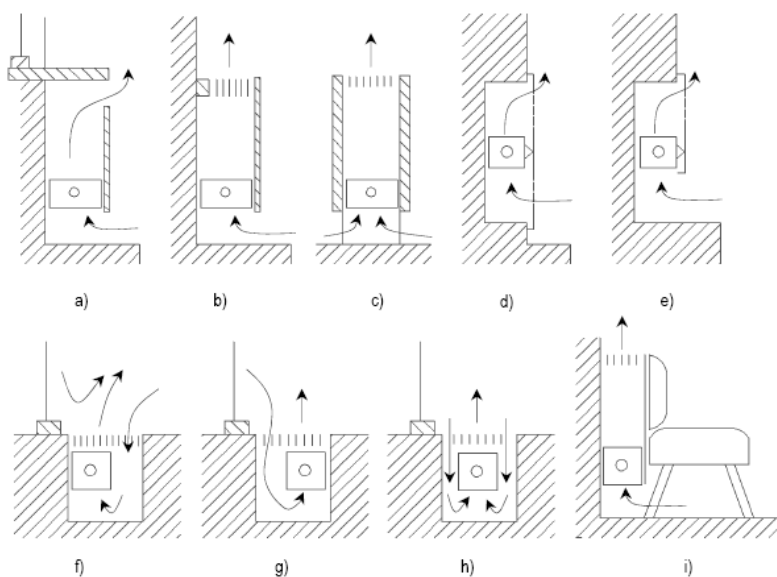
Prednosti konvektora u odnosu na radijatore:

1. Kompaktniji su (lakši, manje materijala, jeftiniji)
2. Estetski lepši (lepa maska koja se može uklopiti u svaki eneterijer)
3. Manja inercija (brže stupaju u dejstvo od radijatora)
4. Pored centalne regulacije sa „vodene“ strane postoji i lokalna regulacija u samoj prostoriji – sa „vazdušne“ strane
5. Mogu da izdrže veće pritiske (što se javlja u visokom zgradama gde je velika vrednost statičkog pritiska)

Nedostaci konvektora:

1. Loši higijenski uslovi (teško održavanje čistoće – taloženje prašine i njeno podizanje pri radu konvektora)
2. Nema odavanja toplote zračenjem

Najviše iz higijenskih razloga se konvektori danas više ne koriste za stambene objekte, a vrlo retko i za poslovne objekte i objekte opšte i javne namene. Njihova primena se danas javlja samo u objektima koji se povremeno greju, kada je potrebno ostvariti brzo zagrevanje prostora. Međutim, i u tom segmentu ih ima sve manje jer ih potiskuju kaloriferi i vazdušno grejanje.



Slika 3.17 Mogući načini postavljanja konvektora: a) ispod prozora; b) pored zida; c) slobodno postavljen; d), e) ugrađen u zidu; f), g), h) u podu; i) iza klupe

3.3.5 Panelna grejna tela

Panelna grejna tela (ili samo paneli) su grejna tela sastavljena od neorebrenih cenih zmija, koje se postavljaju u građevinsku konstrukciju prostorije (slika 3.17). Cevi se mogu postaviti slobodno u podnoj ploči (oko njih je manji sloj vazduha koji se zgreva) ili ulivene u beton. Ukoliko se cevi panela ulivaju u beton važno je da koeficijent temperaturskog širenja cevi i betona bude približno isti, kako ne bi dolazilo do pucanja građevinske konstrukcije i samih cevi.

Cevi od kojih se izrađuju paneli mogu biti čelične (što je jako retko), bakarne i plastične (poletilenske, polipropilenske...). U zavisnosti od toga u koji građevinski element prostorije se ugrađuju paneli razlikuje se: podno (najčešće), zidno i plafonsko grejanje.

Panel prekriva ceo građevinski element ili njegov veći deo, pa tako kod podnog grejanja – pod predstavlja grejno telo.

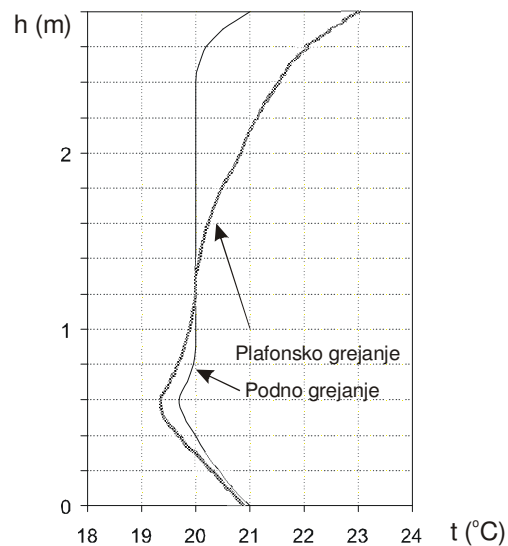
Panelna grejna tela odaju toplotu:

- zračenjem na okolne površine u prostoriji (kod podnog grejanja oko 55%, dok kod plafonskog grejanja može dostići i 90%) i
- konvekcijom na sobni vazduh (kod podnog oko 45%, a kod plafonskog znatno manje).

Panelna grejanja se uvek izvode kao niskotemperaturna grejanja – pošto je povećana površina za razmenu toplote, onda se može ići na nižu temperaturski razliku između grejnog fluida i vazduha u prostoriji.

Podno grejanje je najčešće primenjivano panelno grejanje. Kod ovog sistema je znatno bolja raspodela temperatura vazduha po visini prostorije u odnosu na plafonsko grejanje (slika 3.18) zbog težnje da zagrejan vazduh struji naviše. Udeo konvektivnog prenosa toplote je veći nego kod plafonskog i kreće se u granicama od 40-45%. Koeficijent prelaza toplote pri konvekciji kreće se u granicama $\alpha = 3,2 - 4,8 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Slično kao i kod plafonskog grejanja, zbog veličine panela, kapacitet ovakve vrste grejanja je limitiran površinom poda prostorije u čijem se delu postavlja panel. Za razliku od plafonskog grejanja, za podno grejanje se ne može uvek koristiti cela površina poda, već samo onaj deo koji nije pokriven nameštajem.

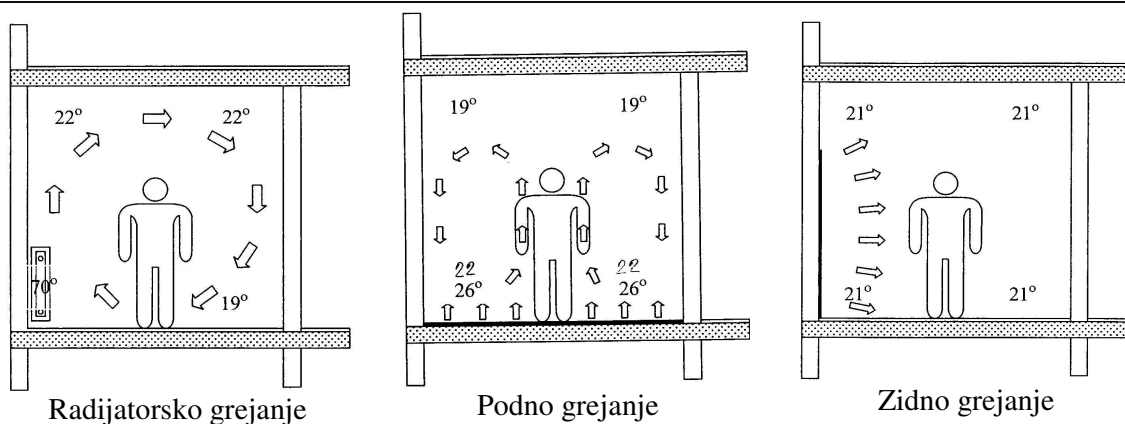


Slika 3.18 Raspodela temperatura vazduha po visini prostorije

Temperatura poda diktirana je higijenskim uslovima i zaštite nogu od preteranog zagrevanja. Na osnovu iskustva limitirane su maksimalne temperature poda za podno grejanje:

- 25°C – u radnim prostorijama u kojima se dugo boravi stojeći;
- 28°C – u stambenim i kancelarijskim prostorijama;
- 30°C – u izložbenim i sličnim halama;
- 32°C – u kupatilima i plivačkim bazenima;
- 35°C – u prosorijama u kojima se kratko boravi ili kroz koje se samo prolazi.

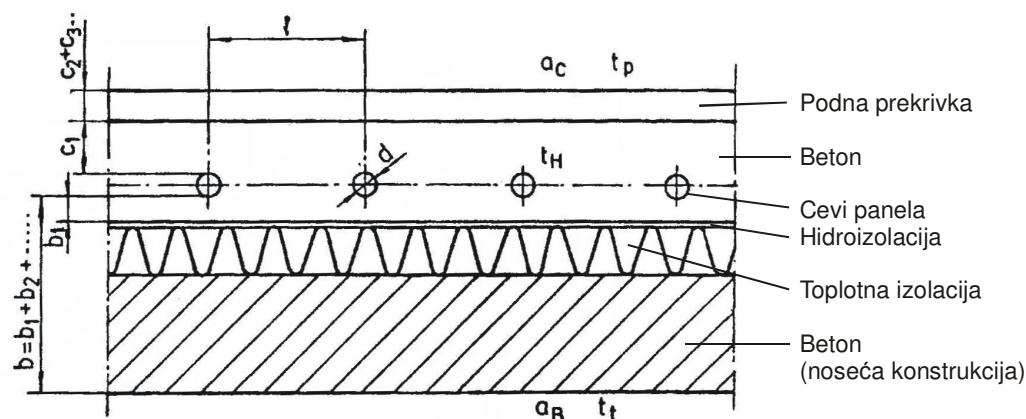
Na slici 3.19 prikazano je poređenje rasporeda temperatura po zapremini prostorije za radijatorsko i panelno grejanje.



Slika 3.19 Rasporeda temperatura po zapremini prostorije

3.3.5.1 Podni paneli

Na slici 3.20 prikazan je izgled tipičnog podnog panela. Prilikom zalivanja cevi veoma je važno da materijal cevi i materijal kojim se cev zaliva imaju približno isti koeficijent temperaturnog širenja, kako ne bi došlo do pucanja prilikom temperaturnih dilatacija.



Slika 3.20 Tipični podni panel

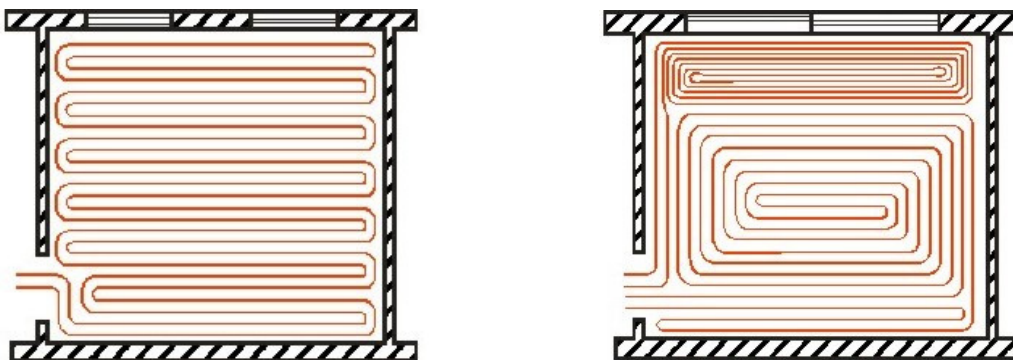
3.3.5.2 Načini izvođenja panelnog grejanja

Postoji veliki broj tehničkih rešenja za izvođenje panelnog grejanja. neka od tih rešenja su patentirana, ali se generalno sva rešenja mogu podeliti u dve grupe:

1. Cevi su zalivene u beton i direktno predaju toplotu kondukcijom građevinskom elementu;
2. Cevi su unutar građevinskog elementa, ali su slobodne – oko njih je sloj vazduha. Na taj način zagreva se vazduh, a toplota se građevinskom elementu predaje posredno – konvekcijom i zračenjem.

Načini polaganja cevi su takođe različiti i prikazani su na slici 3.21. Dva osnovna tipa su:

- u vidu serpentina (cevnih zmijsa – sl. 3.21 levo) – prednost: viša temperatura panela u spoljnoj zoni;
- u vidu puža (spiralno – sl. 3.21 desno) – prednost: ravnomernija temperatura panela.

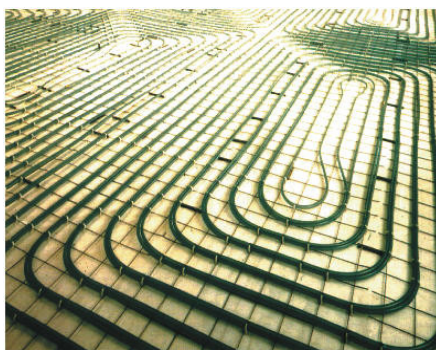


Slika 3.21 Načini polaganja cevi u panelu

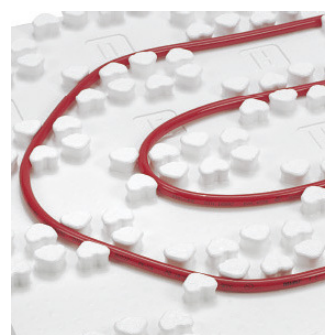
Cevi koje se polažu u građevinsku konstrukciju moraju biti učvršćene.

Fiksiranje cevi se vrši:

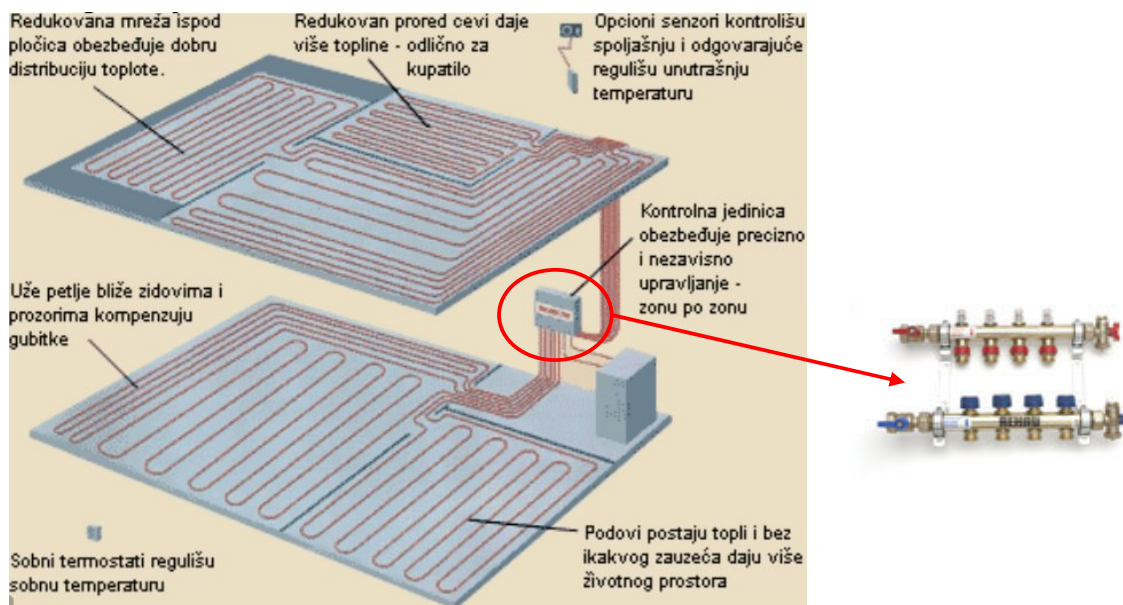
- pomoću vešaljki (kod plafonskog grejanja),
- pomoću armature od čelične žice (slika 3.22),
- pomoću specijalnih plastičnih držača (slika 3.23).



Slika 3.22 Armatura od čelične žice



Slika 3.23 Plastični držači



Slika 3.24 Načini povezivanja panelnog grejanja (levo) i izgled razdelnika i sabirnika

Prednosti panelnog grejanja u odnosu na radijatorsko grejanje:

1. Povoljnija raspodela temperatura po zapremini prostorije (podno grejanje).
2. Povoljniji uslovi ugodnosti za boravak ljudi zbog niskotemperaturnog zračenja.
3. Nema podizanje prašine.
4. Mogućnost korišćenja alternativnih izvora energije (OIE – solarne i geotermalne).
5. Niža temperatura vazduha za iste uslove ugodnosti – ušteda energije.
6. Nema vidnih grejnih tela u prostoriji – nema narušavanja enterijera.
7. Mogućnost korišćenja za hlđenje tokom leta (plafonski paneli).

Nedostaci panelnog grejanja u odnosu na radijatorsko grejanje:

1. Inertan sistem, pa je otežana regulacija.
2. Visoki investicioni troškovi, ukoliko se instalacija ne izvodi tokom građenja objekta.
3. Velika materijalna šteta ukoliko dođe do pucanja cevi.

3.4 UTICAJ TEMPERATURE GREJNOG FLUIDA NA TOPLOTNI UČINAK

Kada su u pitanju sistemi toplovodnog grejanja izbor *temperaturnog režima* je jako bitan sa aspekta uslova ugodnosti, toplotnog učinka grejnih tela i ekonomičnosti postrojenja. Zahtevi za postizanje odgovarajućih higijenskih i uslova ugodnosti i izvođenje ekonomičnog postrojenja često su u suprotnosti, pa je potrebno naći kompromis, tj. optimalno rešenje. Povišenje temperature grejnog fluida nepovoljno je sa aspekta uslova ugodnosti, jer visoka temperatura grejnog tela male površine izaziva neprijatan osećaj dovodeći do “asimetričnog zračenja”, uzrokuje pojačano strujanje vazduha i podizanje prašine u prostoriji, a takođe može doći do sagorevanja načistoća na površini grejnog tela i stvaranja neprijatnih mirisa. S druge strane, visoka temperatura grejnog tela znači manju potrebnu površinu (manji broj članaka radijatora) za isti grejni učinak, što rezultuje nižom cenom postrojenja (niži investicioni troškovi).

Radijator predstavlja vrstu razmenjivača toplote, mada malo specifičan razmenjivač. Sa jedne strane, unutar radijatora, imamo GREJNI fluid - vodu, a sa druge strane GREJANI fluid - vazduh u prostoriji, kome se predaje toplota radi neutralisanja gubitaka toplote. Grejni fluid ima temperaturu koja se kreće u opsegu od θ_{raz} na ulasku u grejno telo do θ_{pov} na izlazu iz grejnog tela. Nominalnim temperaturnim režimom smatra se režim 90/70°C, tj. temperatura grejnog fluida se kreće u granicama od 70 do 90°C u projektnim uslovima; primenjuju se i drugi temperaturni režimi, kao što su npr. 80/60°C ili 75/55°C. Temperatura vazduha u prostoriji se smatra konstantnom i jednakom po celoj zapremini prostorije.

Razmenjena količina toplote u radijatoru može se izraziti na dva načina:

$$Q_{RAD} = U \cdot A \cdot \Delta\theta_m, \quad (3.1)$$

gde su:

- U - koeficijent prolaza toplote kroz radijator, koji zavisi od tipa grejnog tela, visine i širine grejnog tela (karakteristične dimenzije),
- A - površina grejnog tela i
- $\Delta\theta_m$ - srednja temperaturna razlika između grejnog i grejanog fluida.

Srednja temperaturna razlika, termodinamički gledano, za suprotnosmerno strujanje u razmenjivaču toplote izražava se na sledeći način:

$$\Delta\theta_m = \frac{\Delta\theta_{ul} - \Delta\theta_{iz}}{\ln \frac{\Delta\theta_{ul}}{\Delta\theta_{iz}}}, \quad (3.2)$$

ali se iz praktičnih razloga gornji izraz daje u pojednostavljenoj formi:

$$\Delta\theta_m = \frac{\theta_{raz} + \Delta\theta_{pov}}{2} - \theta_{vaz}, \quad (3.3)$$

što je moguće, jer je $\Delta\theta_w$ mala razlika temperatura, a temperatura vazduha, kao grejanog fluida se smatra konstantnom, $\theta_{vaz} = \text{const}$.

Bilans toplote izražen sa "vodene" strane je:

$$Q_{RAD} = \dot{m}_w \cdot c_w \cdot (\theta_{raz} - \theta_{pov}), \quad (3.4)$$

gde su:

- $\dot{m}_w$ - maseni protok vode kroz radijator,
- c_w - specifični toplotni kapacitet vode (srednji - zadati opseg temperatura),
- θ_{raz} - temperatura razvodne vode i
- θ_{pov} - temperatura povratne vode.

Prilikom dimenzionisanja radijatora zapravo se određuje njihova grejna površina. To podrazumeva da je prvo potrebno usvojiti određeni tip i visinu radijatora, koji odgovara konkretnoj zgradi (visina parapeta u sobama, namena), npr. aluminijumski radijator sa rastojanjem između priključaka 800 mm. Zatim se bira konkretan proizvođač i iz kataloga proizvoda se uzimaju podaci o izabranom modelu radijatora. **Cilj dimenzionisanja** radijatora je **određivanje broja članaka** svakog grejnog tela u zgradi na takav način da svako grejno telo u projektnim uslovima može da nadoknadi gubitke toplote za koje je predviđeno.

I način - preko površine jednog članka:

Nakon što se odredi površina radijatora preko jednačine (7.6), što predstavlja ukupnu površinu potrebnog grejnog tela, broj članaka se računa tako što se ukupna površina podeli površinom jednog članka:

$$n = \frac{A}{f} \quad (3.5)$$

gde su:

- n - broj članaka radijatora,
- A - ukupna površina radijatora (m^2) i
- f - površina jednog članka (m^2).

Površina članka radijatora je katalogska vrednost koju daje proizvođač radijatora.

II način - preko odavanja toplote jednog članka:

Ovaj način dimenzionisanja radijatora je mnogo češći u praksi. Odavanje toplote jednog članka q takođe se daje u katalogu proizviđača (za određeni tip i veličinu radijatora), ali je ovde potreban još jedan dodatni podatak. Osim odavanja toplote članka mora se dati i temperaturski režim toplovodnog grejanja, kao i srednja temperaturska razlika (npr. režim 90/70°C i $\theta_u = 20^\circ\text{C}$, što znači da je $\Delta\theta_m = 60^\circ\text{C}$). Broj članaka radijatora je:

$$n = \frac{Q_{GUB.TOPL}}{q} \quad (3.6)$$

gde su:

$Q_{GUB.TOPL}$ - gubici toplote koje radijator treba da nadoknađi (W) i

q - odavanje toplote jednog članka (W/č).

S obzirom da radijator odaje toplotu i konvekcijom i zračenjem, odavanje toplote (tzv. grejni učinak grejnog tela) se ne menja linearno sa promenom temperaturskih uslova, već po eksponencijalnoj zavisnosti:

$$q = q_N \left(\frac{\Delta\theta_m}{60} \right)^m, \quad (3.7)$$

gde su:

q_N - nominalno odavanje toplote po članku (W/č),

$\Delta\theta_m$ - srednja temperaturska razlika između grejnog i grejanog fluida ($^\circ\text{C}$),

$\Delta\theta_{mN} = 60^\circ\text{C}$ što je srednja temperaturska razlika za nominalni režim i

m - termička karakteristika grejnog tela – zavisi od vrste GT i određuje se eksperimentalno.

U tabeli 3.1 su date vrednosti termičkih karakteristika grejnih tela u zavisnosti od vrste grejnog tela.

Tabela 3.1 Termičke karakteristike grejnih tela

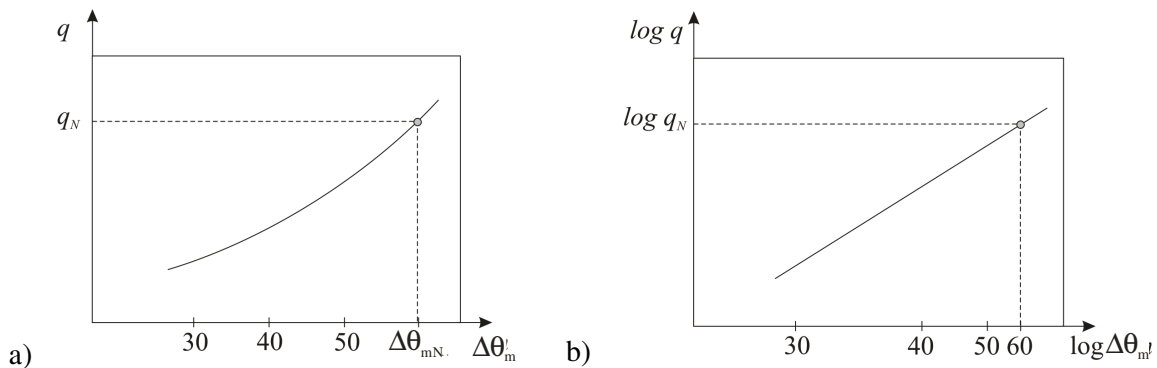
Vrsta grejnog tela		m
Člankasta grejna tela	Liveni radijatori	4/3
	Aluminijumski radijatori	1,25 – 1,33
Cevna grejna tela (cevni registri)		1,25
Konvektori		1,35 – 1,45

Odavanje toplote grejnog tela u zavisnosti od srednje razlike temperatura prikazano je na slici 3.25. Dijagram na slici levo (a) dat je u formatu gde su vrednosti na osama linearne, dok je dijagram na slici desno (b) dat u dvostrukom logaritamskom dijagramu, kako bi se eksponencijalna kriva odavanja toplote svela na linearnu karakteristiku:

$$\log q = \log q_N + m \cdot \log \frac{\Delta t_m}{60}$$

$$\log q = \log q_N + m \cdot \log \Delta t_m - m \cdot \log 60$$

$$\log q = C + m \cdot \log \Delta t_m$$



Slika 3.25 Odavanje toplote grejnog tela u zavisnosti od srednje razlike temperatura – a) dijagram sa linearnim osama i b) dijagram u dvostrukom logaritamskom sistemu

3.5 CENTRALNA I LOKALNA REGULACIJA TOPLOTNOG UČINKA

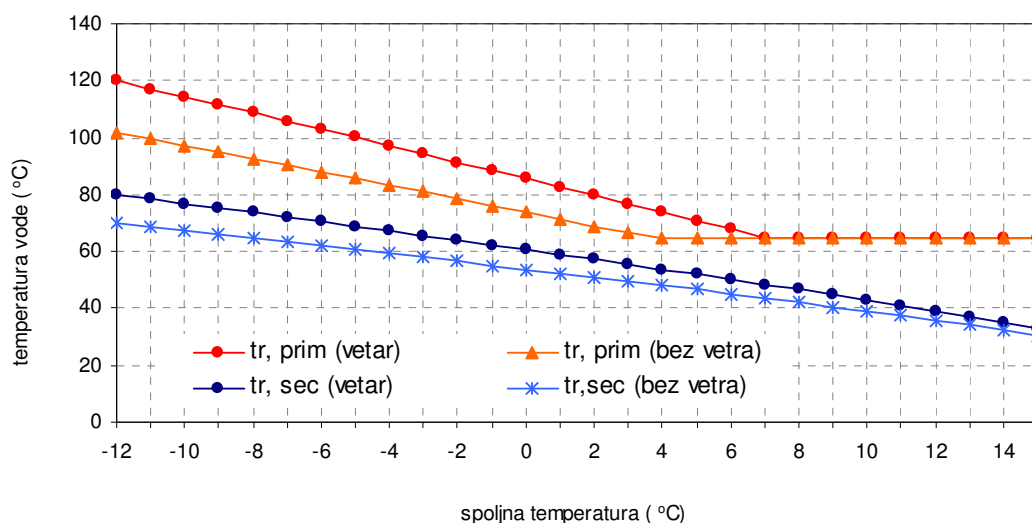
Tokom rada centralnih sistema grejanja, zbog promene klimatskih uticaja (prevashodno temperature spoljnog vazduha i brzine vetra) toplotne potrebe se stalno menjaju. Isporuka toplote iz kotla stalno mora da se prilagođava trenutnim toplotnim potrebama potrošača. Toplotne potrebe se menjaju i u toku dana i u toku grejne sezone. Postavlja se pitanje: Kako sistem centralnog grejanja treba da prati te potrebe?

Usled dnevnih i godišnjih promena u potrebama za toplotom potrošača u sistemu daljinskog grejanja potrebno je uskladiti dinamiku isporuke toplote iz toplane. Centralna regulacija količine toplote koja se isporuči u jedinici vremena može se ostvariti na sledeće načine:

1. Promenom temperature razvodne vode $\theta_r \neq \text{const}$, pri konstantnom protoku $\dot{m} = \text{const}$;
2. Promenom protoka vode $\dot{m} \neq \text{const}$, pri konstantnoj temperaturi razvoda $\theta_r = \text{const}$;
3. Kombinovano, promenom oba parametra $\theta_r \neq \text{const}$ i $\dot{m} \neq \text{const}$.

Prvi način regulacije omogućava smanjenje isporučene količine toplote snižavanjem temperature razvodne i povratne vode, što je povoljno sa aspekta smanjenih gubitaka toplote u transportu (cevovodu). Osim toga, pri održavanju konstantnog protoka povoljna je raspodela toplote u sistemu (pod uslovom da je cevna mreža dobro izbalansirana) - svaki potrošač dobija onu količinu toplote koja mu je potrebna, u skladu sa trenutnim gubicima (Klizini dijagram promene temperature razvodne vode u funkciji spoljne temperature i vetra dat je na slici 3.26. Po ovom dijagramu vrši se centralna regulacija toplotnog učinka u Beogradskim elektranama). Nedostatak ovog načina regulacije je što kroz sistem cirkuliše nepotrebno velika količina vode tokom cele sezone, pa su veći troškovi za pogon cirkulacionih pumpi. Ovaj način regulacije se primenjuje kod nas i u velikom broju evropskih zemalja.

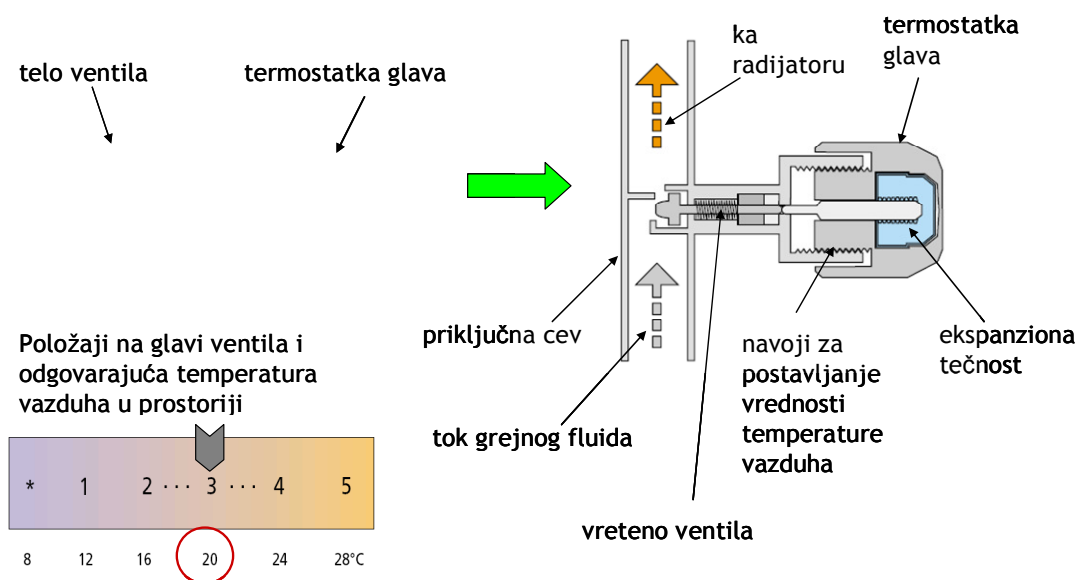
Smanjenjem protoka vode takođe je moguće ispratiti smanjenje toplotnog konzuma. Primenom ovog načina regulacije dolazi do smanjenja brzina strujanja cevovodu, pa je pad pritiska usled trenja i lokalnih otpora manji, što dovodi do manjeg napora pumpe i značajno manje potrošnje električne energije za pogon pumpi (električna snaga pumpe se menja sa trećim stepenom u odnosu na promenu protoka). S druge strane, nedostatak ovakvog načina regulacije su povećani gubici toplote u transportu.



Slika 3.26 Klizni dijagram

Kombinovana regulacija promenom protoka i temperature razvodne vode je najpovoljniji način regulacije - nedostaci prva dva načina su umanjeni.

Lokalna regulacija podrazumeva održavanje željene unutrašnje temperature vazduha u pojedinim prostorijama u zgradi. Zbog svojih međusobnih razlika u orijentaciji, nameni, broju ljudi koji u njima boravi i dobitaka toplote od osvetljenja i drugih električnih uređaja, prostorije koje se greju iz istog izvora toplote imaju različite potrebe za isporučenom toplotom. Kada ne postoji lokalna regulacija toplotnog učinka, prostorije orijentisane ka jugu i velikim dobicima od unutrašnjih izvora se “pregrevaju”, pa korisnici često primenjuju “regulaciju” čestim provetravanjem otvaranjem prozora. Najčešći način primene lokalne regulacije je postavljanje sobnog termostata ili radijatorskih ventila sa termostatskim glavama. Na slici 3.27 je prikazan princip rada termostatskog radijatorskog ventila.



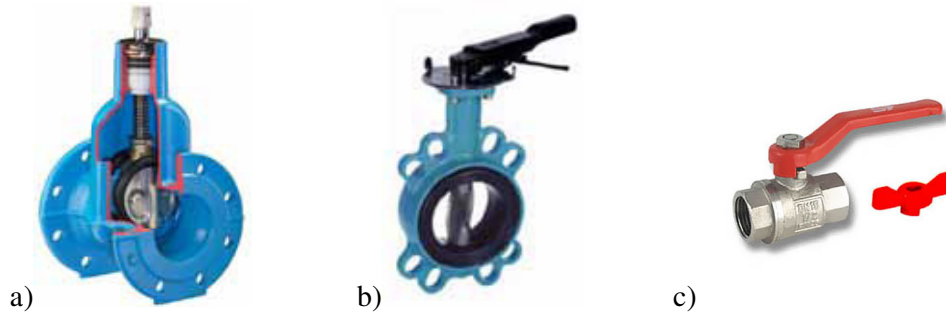
Slika 3.27 Radijatorski ventil sa termostatskom glavom - princip rada

3.6 ARMATURA U SISTEMIMA CENTRALNOG GREJANJA

U zavisnosti od funkcije koju treba da obavlja u sistemu, postoji sledeća podela armature:

- **zaporna** (ima funkciju ON/OFF, tj. postavlja se u položaj otvoreno/zatvoreno;
- **balansna** (ima funkciju pri balansiranju sistema prilikom puštanja u rad)
- **regulaciona** (ima funkciju regulacije toplotnog učinka tokom grejne sezone) i
- **sigurnosna** (ima zaštitnu funkciju – obično štiti elemente sistema od previsokog pritiska).

Zaporna armatura mogu biti različite vrste zasuna i slavina (slika 3.28)



Slika 3.28 Zaporna armatura: a) Zasun, b) leptir slavin, c) kuglasta slavin

Balansna armatura su različite vrste ventila, najčešće sa kosim sedištem zbog oprega prigušenja koji se postužu (slika 3.29). To su ventili na kojima se preko priključaka za merni instrument može meriti protok i koji se može postaviti na projektnu vrednost.



Slika 3.29 Balansni ventili za regulaciju protoka

Regulaciona armatura ima ulogu podešavanja određenih parametara sistema na osnovu signala o uticajnoj izmerenoj veličini. Na primer, na osnovu izmerene temperature u razvodu i postavljene vrednosti u regulatoru, šalje se signal pogonu ventila koji pokreće vreteno i po potrebi zatvara ili otvara ventil. Pogoni ventila mogu biti ručni, magnetni, pneumatski ili elektro-motorni.



Slika 3.30 Regulacioni ventili: a) ručni regulacioni ventil, b) regulator protoka sa motornim pogonom, c) sigurnosni ventil sa oprugom

4 UREĐAJI I OPREMA SISTEMA CENTRALNOG GREJANJA

4.1 KOTLOVI ZA CENTRALNO GREJANJE

Kotlovi su uređaji u kojima se vrši sagorevanje goriva i pretvaranje hemijske energije goriva u toplotu. Dobijena toplota se predaje radnom fluidu, koji može biti voda, vodena para, vazduh ili termalno ulje. Bitno se razlikuju kotlovi za vodu – tzv. **toplovodni** i **vrelvodni** kotlovi od kotlova za paru – tzv. **parni** kotlovi.

Ako je radni fluid vazduh, kao što je to slučaj sa vazдушnim grejanjem, onda je zagrevanje vazduha obično indirektno, preko razmenjivača toplote, a ako je direktno, onda se češće koriste peći za zagrevanje vazduha nego kotlovi. Vazduh je loš kao radni medijum, jer ima malu vrednost specifičnog toplotnog kapaciteta u odnosu na vodu. Ako bi došlo do kratkotrajnog prekida u protoku (prestanka strujanja vazduha), temperatura vazduha u kotlu bi naglo porasla, pa bi moglo doći do pregrevanja i oštećenja matrijala kotla.

U tehnici grejanja, u postrojenjima za centralno i daljinsko grejanje, mnogo češće se koriste toplovodni i vrelvodni kotlovi nego parni, jer se danas skoro isključivo primenjuje centralno toplovodno grejanje. Kotlovi koji se koriste u sistemima centralnog grejanja mogu biti jako različite veličina i kapaciteta. Za male instalacije često se koriste i električni toplovodni kotlovi, čiji se kapaciteti kreću od 6 do 24 kW – za etažno grejanje stanova i manjih porodičnih kuća. Kotlovi na čvrsto i tečno gorivo kapaciteta od 20-30 kW uglavnom se koriste za grejanje porodičnih kuća, a u gradskim toplanama, u sistemima daljinskog grejanja koriste se kotlovi kapaciteta do 50 MW. U poslednje vreme se puno radi na povećanju stepena korisnosti kotla, i to na sledeći način:

- usavršavaju sekonstrukciona rešenja,
- rade se precizniji proračuni,
- koriste se novi materijali i tehnologije za izradu elemenata kotla.

Kako bi se što bolje iskoristila energija sadržana u gorivu, neophodno je da kotao bude **u potpunosti prilagođen gorivu**. To ne znači samo poznavanje vrste goriva – čvrsto, tečno ili gasovito, već i specifičnosti svake od vrsta goriva – toplotnu moć, hemijski sastav, udeo jalovine, itd. Osim toga, ukoliko je u pitanju čvrsto gorivo – potrebno je poznavati vrstu uglja (lignit, kameni, mrki ugalj ili briketi i pelete od biomase) kao i način sagorevanja u ložištu (u sloju - na rešetki – nepokretnoj ili pokretnoj; u prahu – specijalni gorionici i mlinovi za ugljeni prah, kao dodatna oprema; u fluidizovanom sloju – materijal ispune sloja, veličina čestica uglja, itd.)

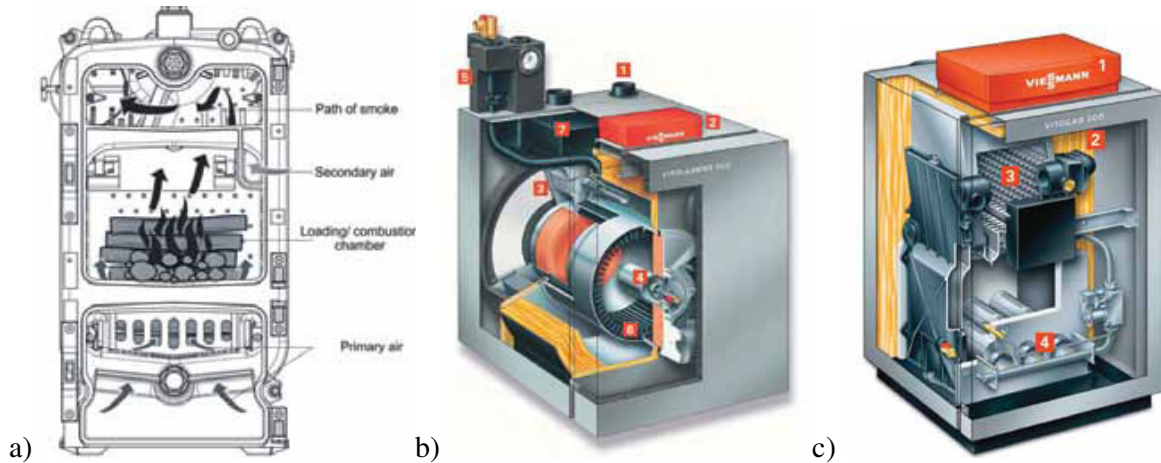
S druge strane, korisnici kotla bi želeli da imaju što fleksibilniji kotao, u kome bi mogli da sagorevaju različito gorivo – npr. ono koje je trenutno najjeftinije ili ono koje je dostupno na tržištu. Proizvođači kotlova obično deklarišu da se njihov kotao može koristiti za sva goriva – ukoliko je u pitanju sagorevanje čvrstog goriva na rešeci, a za tečno i gasovito gorivo se mogu naknadno ugraditi odgovarajući gorionici. Jasno je da takav kotao ne može imati visok stepen korisnosti, jer je konstrukcija kotla za čvrsto i tečno gorivo jako različita.

Svaki kotao je prilagođen određenoj vrsti goriva i samo tada ima max η !

Specifičnosti goriva određuju specifičnosti konstrukcije kotla, kao na primer:

- za goriva sa visokim procentom volatila (isparljivih gorivih materija) potrebno je dovoditi sekundarni vazduh radi potpunijeg sagorevanja,
- kvalitetni ugljevi (koks, antracit i kameni) mogu dobro i potpuno da sagorevaju u sloju

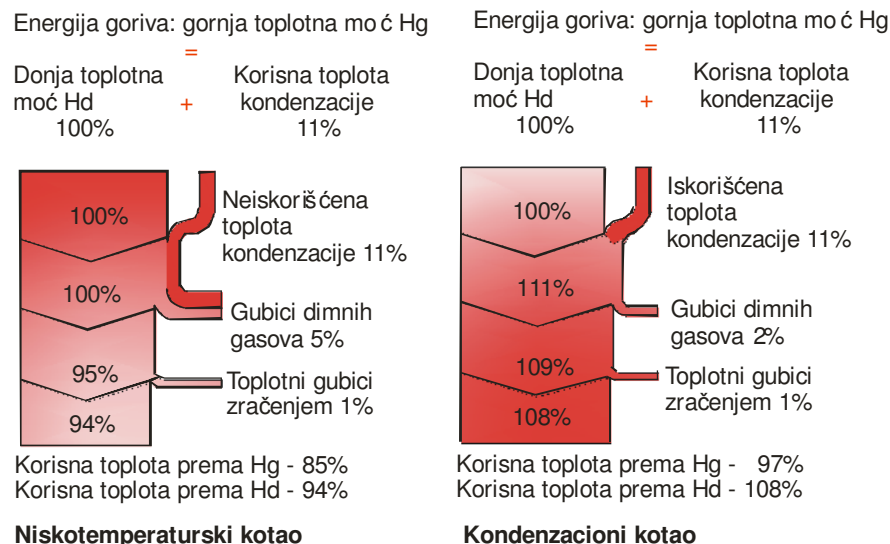
- kotlovi na tečno i gasovito gorivo mogu selakše regulisati, pa su i prekidi u radu kod njih mnogo jednostavniji,
- razlikuju se gorionici za tečno i gasovito gorivo,
- električni kotlovi su potpuno različiti od kotlova na konvencijalno gorivo – više su nalik bojlerima, nego kotlovima za sagorevanje goriva.



Slika 4.1 Kotlovi za centralno grejanje: a) kotao od livenog gvožđa za sagorevanje sečke i uglja u sloju; b) čelični kondenzacioni kotao na lako lož-ulje, c) niskotemperaturni kotao sa atmosferskim gorionikom na gas

Kondenzacioni kotlovi su kotlovi kod kojih se toplota sadržana u vodenoj pari i dimnim gasovima koristi putem kondenzacije.

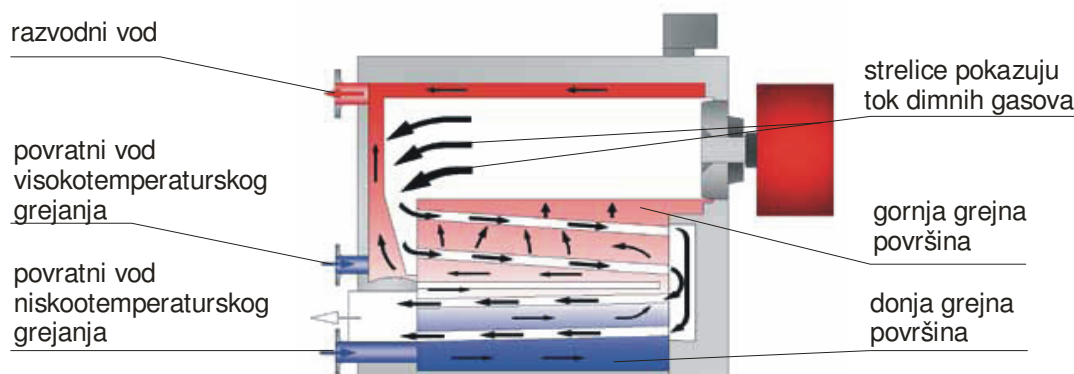
Donja toplotna moć goriva H_d je toplota oslobođena procesom sagorevanja goriva bez dodatnog iskorišćenja toplote kondenzacije vodene pare (dimni plinovi su svedeni na standardno stanje, a vodena para se ne kondenzuje). Kod goriva koja u sastavu sadrže vodonik, pa iz tog razloga u dimnim gasovima sadrže vodenu paru, razlikuje se gornja toplotna moć od donje toplotne moći. Gornja toplotna moć predstavlja toplotu oslobođenu procesom sagorevanja goriva s dodatnim iskorišćenjem toplote kondenzacije vodene pare (dimni plinovi su svedeni na standardno stanje, a vodena para se kondenzuje). Gornja toplotna moć veća je od donje za količinu toplote kondenzacije vodene pare sadržane u dimnim gasovima.



Slika 4.2 Poređenje stepena korisnosti niskotemperaturnog i kondenzacionog kotla

Pored vode nastale sagorevanjem vodonika, i vlaga znatno utiče na toplotnu moć. Iskorišćenje toplote kondenzacije moguće je i opravdano kod goriva koja sadrže vodonik (npr. gasovita goriva), ali je povezano sa problemima sumporne korozije u slučaju kada goriva sadrže i sumpor (lož ulje).

Na slici 4.3. prikazana je funkcionalna šema jednog kondenzacionog kotla, dok je u tabeli 4.1 dat pregled uobičajenih vrednosti stepena korisnosti kotlova (u odnosu na donju toplotnu moć) u zavisnosti od vrste goriva, konstrukcije kotla i načina regulacije.



Slika 4.3 Funkcionalna šema prolaza tople vode i dimnih gasova kod kondenzacionog kotla

Tabela 4.1 Pregled stepena korisnosti kotlova

Kotlovi		
Čvrsto gorivo	Kotlovi bez regulacije	0,65
	Kotlovi do 50 kW sa ručnom regulacijom	0,68
	Kotlovi preko 50 kW sa dobrom ručnom regulacijom	0,72
	Kotlovi do 175 kW sa mehaničkom regulacijom	0,75
	Kotlovi preko 175 kW sa dobrom mehaničkom regulacijom	0,83
	Kotlovi na različitu biomasu	0,82 – 0,92
Tečno gorivo	Kotlovi do 50 kW sa ručnom regulacijom	0,81 – 0,85
	Kotlovi preko 50 kW sa automatskom regulacijom	0,83 – 0,90
Gasovito gorivo	Kotlovi do 100 kW sa prirodnim promajom	0,80 – 0,88
	Kotlovi preko 100 kW sa prinudnom promajom	0,88 – 0,94
	Niskotemperaturni kotlovi	0,95 – 0,98
	Kondenzacioni kotlovi	do 1,08

4.2 CEVNA MREŽA

Cevna mreža u sistemima centralnog grejanja ima funkciju povezivanja izvora toplote sa grejnim telima u u sistemu. Postoje različiti sistemi povezivanja instalacije grejanja, kao na primer: dvocevni sistemi sa gornjim i donjim razvodom, jednocevni sistemi – horizontalni i vertikalni, sa kratkom vezom i bez nje, itd. Svaka cevna mreža u sistemima centralnog grejanja čini jedan **zatvoreni strujni krug**, odnosno povezuje izvor toplote sa grejnim telima čineći **zatvoren sistem**. Sačinjena je od cevi koje mogu biti od različitih materijala, i svaka cev u strujnom krugu istog prečnika i protoka fluida naziva se **deonicom**.

Cevna mreža se može podeliti na dve celine:

- razvodnu i
- povratnu cevnu mrežu.

Kod grejanja parom niskog pritiska kroz razvodnu cevnu mrežu struji vodena para, koja se, nakon kondenzovanja u grejnom telu, kao kondenzat vraća do kotla povratnom – kondenznom mrežom. Prečnici cevnih vodova razvodne cevne mreže kod parnog grejanja veći su od prečnika kondenznih vodova.

Kod toplovodnog grejanja, grejni fluid je voda koja kroz razvodnu cevnu mrežu struji na temperaturi t_r (90, 80°C), a vraća se ohlađena povratnom mrežom, na temperaturi t_p (70, 60°C), nakon predaje toplote u grejnom telu. Prečnici odgovarajućih deonica razvodne i povratne cevne mreže kod toplovodnog grejanja približno su jednaki.

U zavisnosti od toga da li je strujanje vode u sistemu prirodno ili prinudno, razlikuje se:

- gravitaciono i
- pumpno grejanje.

Kod gravitacionog grejanja cirkulacija vode u sistemu se odvija prirodnim putem, pod uticajem zemljine teže zahvaljujući različitim gustinama vode u razvodnom i povratnom delu cevne mreže. Kada se u cevovod postavlja pumpa koja omogućava strujanje fluida u sistemu, onda se koristi naziv pumpno grejanje.

Cevna mreža se može podeliti i prema položaju cevi u sistemu, i to na:

- **Glvni usponski vod**, koji spaja kotao i horizontalnu razvodnu mrežu; analogno glavnom usponskom vodu postoji i **glavni povratni vod**, koji spaja horizontalnu povratnu mrežu sa kotlom;
- **Horizontalna razvodna mreža** se prostire od korena svih vertikalna u sistemu i uvek se vodi pod nagibom od 3 ‰ (kako bi se mogao izdvojiti vazduh i odvesti iz sistema); analogno razvodnoj postoji i povratna horizontalna mreža;
- **Usponski vodovi** – vertikalne su cevi koje se vode od horizontalne mreže, vertikalno po visini objekta, i koje prolaze u blizini grejnih tela. Vertikalne se mogu voditi vidno duž spoljnih zidova, ili skriveno u žljebovima u zidu;
- **Prikljuci** – razvodni i povratni – povezuju grejna tela sa vertikalom; i priključci se izvode pod nagibom.

Postoje i delovi cevne mreže koji ne služe za osnovnu funkciju – cirkulaciju grejnog fluida, ali imaju svoju ulogu i predstavljaju sastavni deo sistem za centralno grejanje:

- Sigurnosni vodovi – razvodna i povratna sigurnosna cev, koje su povezane sa ekspanzionim sudom; nekada ulogu razvodne sigurnosne cevi može da preuzme i glavni usponski vod, ali ako ispunjava određene zahteve propisane za sigurnosne cevi;
- Vazдушna mreža u sistemu centralnog grejanja služi za odvođenje vazduha iz instalacije, tj. ima ulogu odzračivanja; njenu ulogu delom mogu da preuzmu i vertikalne i horizontalne mreže u sistemu sa gornjim razvodom;
- Drenažna mreža postoji u sistemima parnog grejanja;
- Obilazni vodovi (by-pass).

4.2.1 Materijali za izradu cevne mreže

U tehnici grejanja koriste se cevi od sledećih materijala:

- čelika (čelične šavne i bešavne cevi),
- bakra i
- plastike (razne vrste plastičnih cevi).

Najčešće su u primeni crne čelične cevi: bešavne i šavne. Obe vrste cevi se izrađuju u veličinama prečnika od 10 do 1000 mm.

Označavanje cevi standardnih veličina:

- prema nazivnom prečniku ND ili DN – u „col“-ima ili mm (npr. 3/8" ili 10 mm),
- prema nazivnoj veličini NV – što odgovara više prečnika cevi u mm,
- prema nazivnom orvori NO – (npr. DN 10 je NO12,5 mm; DN 15 je NO 15,75mm).

Takođe se propisuje i nazivni pritisak – što odgovara maksimalnom radnom pritisku za koji je određena cev predviđena:

- za kućne instalacije – NP6 (pritisak od 6 bar),
- za primarnu mrežu toplovoda – NP25.

U novije vreme često su u kućnim instalacijama zastupljene bakarne cevi, koje mogu biti savitljive i krute, a mogu biti neizolovane ili izolovane plastikom. Standardni prečnici su $\phi 12$, $\phi 14$, $\phi 15$, $\phi 16$, $\phi 18$, $\phi 20$, itd.

Bakarne savitljive cevi koriste se za podno grejanje, kao i plastične cevi, koje se izrađuju do standardnog prečnika $\phi 300$. Plastične cevi većih prečnika ($\phi 110$, $\phi 200$, $\phi 300$) često se koriste umesto kanala za razvod vazduha u pojedinim sistemima. U tehnici hlađenja su bakarne cevi jako zastupljene, zbog svoje otpornosti na koroziju i koriste se već od prečnika 6mm.

Cevi od veštačkih materijala:

Termoplastične cevi od materijala:

- PVC – polivinil hlorid,
- PB – polibutilen,
- PE – polipropilen (LDPE i HDPE),
- PP – polipropilen,
- ABS – akrilonitril butadien stiren,
- PVDF – poliviniliden fluorid.

Termostabilne cevi:

- Epoksi-staklo
- Poliester-staklo.

Višeslojne cevi kao kombinacija metal-plastika (PE+Al+PE) imaju dobre osobine i plastičnih i metalnih cevi. Kao plastične cevi, višeslojne cevi imaju prednosti:

- otpornost prema koroziji,
- otpornost na hemikalije,
- zvučna izolovanost,
- termička izolovanost,
- glatka površina (mali pad pritiska usled trenja)
- mala težina i
- brza i laka montaža.

Kao metalne cevi, višeslojne cevi imaju i sledeće dobre osobine:

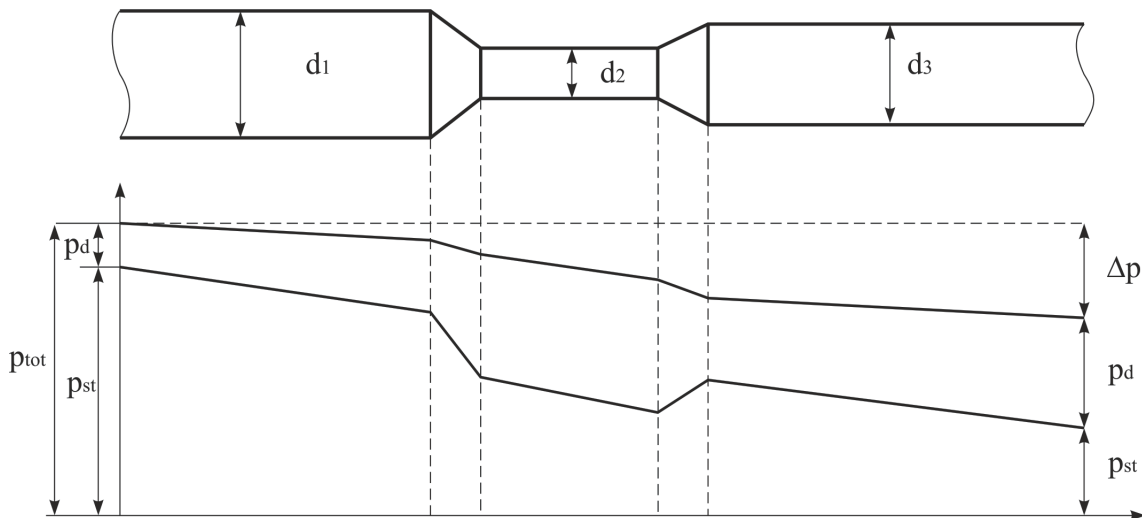
- nepropustive su za kiseonik,
- mali koeficijent temperaturnog širenja,
- veća mehanička čvrstoća,
- otpornost na više temperature i pritiske.

Primena višeslojnih cevi je široka:

1. Razvod sanitarne i pijaće vode (hladna i topla PTV),
2. Grejanje (podno i radijatorsko, $\theta_{max} = 110^{\circ}\text{C}$, $p_{max} = 10 \text{ bar}$),
3. Hlađenje (klizališta, ledena dvorane, $\theta_{min} = -50^{\circ}\text{C}$),
4. Procesna industrija.

4.2.2 Pad pritiska pri strujanju fluida kriz cevi

Pri svakom stujanju realnog fluida (a voda je realni fluid) dolazi do određenog pada pritiska prilikom strujanja fluida kroz cevi (usled trenja, vrtloženja, itd.). Pad pritiska zapravo predstavlja svojevrsan gubitak u sistemu Δp_{GUB} . U svakom zatvorenom sistemu, kao što su i sistemi centralnog grejanja, potrebno je da gubitak pritiska bude jednak ili manji od raspoloživog napora. **Raspoloživi napor** H_{RASP} je zapravo neophodan pritisak koji omogućava cirkulaciju grejnog fluida.



Slika 4.4 Pad pritiska pri strujanju realnog fluida

Prilikom idealnog strujanja (bez trenja fluida orilikom strujanja kroz cev) totalni (ukupni pritisak) je jednak zbiru dinamičkog i statičkog:

$$p_{tot} = p_d + p_{st} \quad (4.1)$$

Međutim, pri realnom strujanju dolazi do pada totalnog pritiska usled trenja fluida o zid cevi i vrtloženja pri promeni pravca strujanja, pa je:

$$p_{tot} = p_d + p_{st} + \Delta p \quad (4.2)$$

dge je dodatni član gubitak koji se javlja.

Iz praktičnih razloga, sa aspekta inženjerske prakse i lakšeg proračuna pada pritiska koji se javlja u sistemu cevovoda, pad pritiska pri strujanju fluida se deli na dva dela:

$$\Delta p = p_{TR} + p_{L} \quad (4.3)$$

gde je:

Δp – ukupni pad pritiska (Pa),

p_{TR} – pad pritiska usled trenja (Pa) i

p_L – pad pritiska usled lokalnih otpora (Pa).

Pad pritiska usled trenja u pravim deonicama cevovoda se računa kao:

$$\Delta p_{TR} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2} = R \cdot l, \quad (4.4)$$

gde su:

- λ – koeficijent trenja,
- l – dužina deonice,
- d – prečnik deonice,
- ρ – gustina vode,
- w – brzina strujanja i
- R – jedinični pad pritiska usled trenja.

Koeficijent trenja je funkcija brzine strujanja, odnosno Rejnoldsovog broja Re i relativne hrapavosti ε :

$$\lambda = f(Re, \varepsilon) \text{ i} \quad (4.5)$$

$$\varepsilon = \frac{\delta}{d}, \quad (4.6)$$

gde su:

- d – prečnik deonice,
- δ – apsolutna hrapavost.

U zavisnosti od režima strujanja (koje može biti laminarno, prelazni ili turbulentno – što pokazuje vrednost Rejnoldsovog broja) i relativne hrapavosti cevovoda ε , cevi se mogu ponašati kao:

- hidraulički glatke $\lambda = f(Re)$,
- hidraulički hrapave $\lambda = f(Re, \varepsilon)$ i
- hidraulički potpuno hrapave $\lambda = f(\varepsilon)$.

Za određivanje koeficijenta trenja najčešće su u upotrebi sledeće formule:

$$\text{Formula Kolbruka: } \frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} \cdot \frac{\varepsilon}{3,71} \right) \quad (4.7)$$

$$\text{Formula Alštula: } \lambda = 0,11 \cdot \left(\varepsilon \cdot \frac{68}{Re} \right)^{0,25} \quad (4.8)$$

U tehnici grejanja se pad pritiska usled trenja ne računa prema gornjim izrazima pri proračunima cevne mreže, niti se svaki put ispituje režim strujanja u cevima. Jedinični padovi pritiska usled trenja R su izračunati za različite vrste cevi i dati tabelarno u zavisnosti od protoka i prečnika cevovoda, tako da se njihove vrednosti pri dimenzionisanju cevne mreže direktno očitavaju iz tablice. U tablicama je dato:

- Q (W) – toplotni protok (umesto masenog protoka fluida),
- R (Pa/m) – jedinični pad pritiska,
- d (mm) – nazivni prečnik deonice i
- w (m/s) – brzina strujanja fluida.

Od date 4 veličine dve su nezavisno promenljive, dok su ostale zavisne funkcije: na primer, prilikom dimenzionisanja deonice poznat je *toplotni protok* Q kroz deonicu i željena *brzina strujanja* w (prema preporučenim vrednostima se usvaja u određenim granicama) – na osnovu ove dve veličine očitavaju se jedinični pad pritiska usled trenja R i prečnik deonice d .

Pad pritiska usled lokalnih otpora (svaka promena pravca strujanja grejnog fluida uslovaljava dodatni pad pritiska; u lokalne otpore spadaju kolena, suženja, proširenja, račve, ventili, blende...) računa se kao:

$$\Delta p_L = Z = \xi \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2}, \quad (4.9)$$

gde je

ξ - koeficijent lokalnog otpora, koji se određuje eksperimentalno jer zavisi od mnogo uticajnih parametara, kao što je geometrija lokalnog otpora, vrsta fluida, režim strujanja, itd.

U tehnici grejanja se koriste osrednjene vrednosti koeficijenata lokalnih otpora, koje se daju tabelarno u zavisnosti od geometrije i protoka kroz pripadajuće deonice.

Prilikom dimenzionisanja cevne mreže sistema centralnog grejanja proračun se sprovodi za **svaki strujni krug** (zatvoreni strujni krug svakog grejnog tela). Deonice koje su zajedničke za više strujnih krugova i jednom dimenzionisane, ne dimezionišu se ponovo za sledeći strujni krug, već se samo sabira pad pritiska kroz već dimenzionisane zajedničke deonice. Zbog toga se proračun cevne mreže obično započinje sa najnepovoljnijim strujnim krugom (najudaljenijeg grejnog tela od kotla), a zatim se ide na kraće strujne krugove.

4.2.3 Izolacija cevovoda

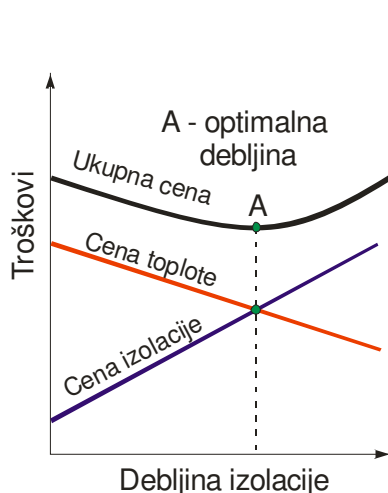
Zadatak izolacije je da se gubici toplote svedu na minimalne vrednosti ili da se iz drugih razloga ograniči površinska temperatura cevi. Ugrađuje se na kotlovima, rezervoarima tople vode, cevovodima, armaturi, razmenjivačima toplote i uređajima smeštenim u negrejanim prostorima.

Dimenzionisanje debljine izolacije može biti izvršeno po različitim kriterijimima:

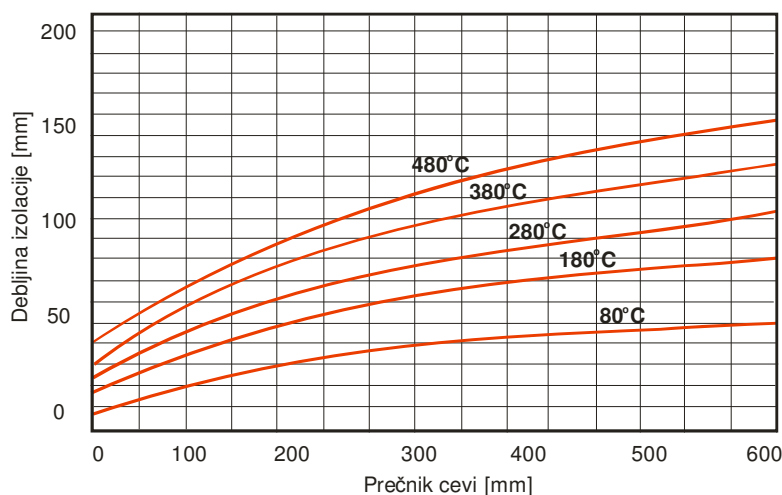
- da se ostvari ekonomski optimalno snabdevanje toplotom (ulaganja u izolaciju trebaju biti opravdana uštedom na toploti u toku vremenu rada postrojenja),
- da se osigura promena temperature grejnog fluida u odgovarajućim granicama,
- da se ograniči uticaj na okolinu (npr. ograničeno zračenje, ograničena površinska temperatura - dodir).

Optimalna debljina izolacije

Rast cena energije nameće potrebu da se vodi računa o ekonomičnosti. S povećanjem debljine izolacije rastu i troškovi izvođenja, a troškovi usled gubitaka toplote se smanjuju (slika 4.5). Najekonomičnija debljina izolacije je ona kod koje je suma za obe vrste troškova najniža. Optimalna debljina zavisi od cene energije, ali i od cene izolacionog materijala sa ugradnjom. Problem kod izbora može predstavljati činjenica da optimalnu debljinu izolacije treba odrediti za duži vremenski period nakon ugradnje, uz nepoznate tržišne uslove u budućnosti. Često se u različitim priručnicima, katalozima i sl. pronalaze podaci takve vrste. Jedan primer prikazan je na slici 4.6.



Slika 4.5 Optimalna izolacija u funkciji ukupne cene



4.6 Optimalna izolacija u zavisnosti od nazivnog prečnika cevi i temperature fluida koji se transportuje

U tabeli 4.2 prikazane su ekonomski opravdane debljine izolacije za cevi nazovnog prečnika do DN 40, koje važe za današnje cene energije i izolacije.

Tabela 4.2 - Ekonomski opravdane debljine izolacije za različite tipove cevi do DN 40

Navojne čelične cevi		-	-	DN10	DN15	DN20	-	DN25	DN32	-	DN40
Šavne čelične cevi		-	-	-	-	-	DN25	-	DN32	-	DN40
Bakrene cevi*		12	15	18	22	-	28	35	-	44	-
POTREBNA DEBLJINA IZOLACIJE CEVI u [mm]											
Toplotna provodljivost λ [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

* Spoljni prečnik cevi

4.3 PUMPE U SISTEMIMA CENTRALNOG GREJANJA

Strujanje vode u sistemima centralnog grejanja može se ostvariti prirodnim i prinudnim putem. U prvom slučaju gravitacioni napor je taj koji stvara tok vode od kotla ka grejnim telima i nazad. Kod pumpnog grejanja, u rad se uključuje pumpa koja prenosi mehaničku energiju na tečnost i time se ostvaruje strujanje.

Prednosti pumpnog sistema u odnosu na gravitacioni su:

- veći raspoloživi napor, što kao rezultat daje cevnu mrežu sa manjim prečnicima cevi, pa je samim tim cevna mreža jeftinija (uključujući i pripadajuću armaturu);
- manja inertnost sistema (veće brzine strujanja vode u instalaciji; s obzirom da su manji prečnici cevni deonice, u instalaciji ima manje vode pa je zato i uzgrevanje brže).

Nedostaci pumpnog sistema u odnosu na gravitacioni su:

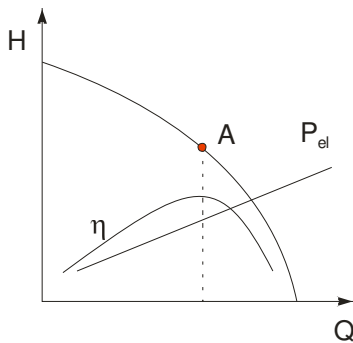
- pumpa troši električnu energiju za pogon;

- problem u radu sistema ukoliko dođe do prekida u snabdevanju električnom energijom (kada je izvor toplote kotao na čvrsto gorivo, čija je regulacija sporija, pa je teško trenutno smanjiti kapacitet – može doći do pregrevanja);
- buka u sistemu – kada su brzine strujanja velike stvara se buka usled strujanja; za prigušenje buke koriste se elastične veze između pumpe i cevovoda, kako bi se smanjilo prenošenje vibracija sa pumpe na cevnu mrežu.

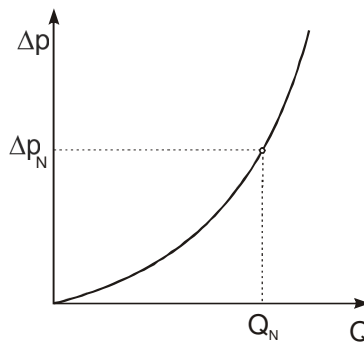
Pumpno grejanje je danas skoro isključivo u primeni kada su u pitanju toplovodni sistemi centralnog grejanja. Primena pumpi u sistemima omogućava projektovanje i izvođenje velikih razgranatih mreža. Takođe, u pumpnim sistemima moguće je imati "potopljena" grejna tela (koja se nalaze na manjoj koti u odnosu na kotao, npr. u podrumskim prostorijama ili etažama ispod podruma). Kod pumpnog grejanja napor pumpe je taj koji ostvaruje cirkulaciju vode u sistemu. Zato se pumpe u sistemima centralnog grejanja nazivaju cirkulacionim pumpama.

4.3.1 Karakteristika pumpe i radna tačka

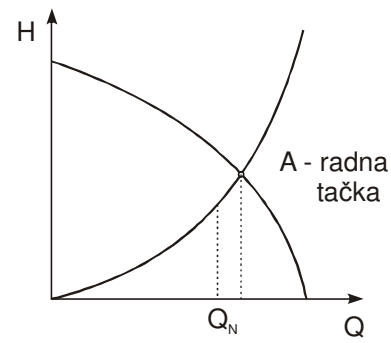
Krive koje predstavljaju odnos između napora, protoka, snage i stepena korisnosti pumpe nazivaju se karakterističnim krivama (slika 4.7). Kriva koja pokazuje odnos napora i protoka koji pumpa ostvaruje naziva se karakteristikom pumpe (Q-H kriva). Napor se može dati u sledećim jedinicama: [Pa] ili [kPa] i [mmH₂O], a protok u [l/h], [l/s] ili [m³/h]. Za tačku A na dijagramu prikazanom na slici 4.7 pumpa ima najvišu vrednost stepena korisnosti i ona definiše uslove za koje je pumpa konstruisana, pa treba težiti da se za takve uslove i primenjuje. Pri svakoj promeni uslova stepen korisnosti će biti lošiji.



Slika 4.7 Karakteristika pumpe



Slika 4.8 Karakteristika cevovoda



Slika 4.9 Sprega pumpe i cevovoda

Radna tačka pumpe dobija se kombinacijom karakteristike pumpe i karakteristike cevovoda, koja je prikazana na slici 4.8. Karakteristika cevovoda je kriva drugog stepena u pravouglom sistemu, gde je na ordinati vrednost pada pritiska kroz cevovod, a na apscisi vrednost protoka:

$$\Delta p = \Delta p_{tr} + \Delta p_{lok} = \lambda \frac{l}{d} \frac{w^2 \rho}{2} + (\xi_1 + \xi_2 + \dots) \frac{w^2 \rho}{2} = \left(\lambda \frac{l}{d} + \xi_1 + \xi_2 + \dots \right) \frac{w^2 \rho}{2}, \text{ tj.} \quad (4.10)$$

$$\Delta p = \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \xi \right) \frac{w^2 \rho}{2}. \quad (4.11)$$

gde su:

- λ – koeficijent trenja,
- l – dužina deonice,
- d – prečnik deonice,
- ρ – gustina vode,

w – brzina strujanja fluida,

ξ – koeficijent lokalnog otpora.

Kako je protok kroz cev:

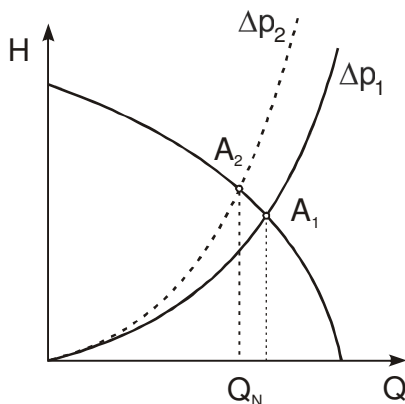
$$Q = w \frac{d^2 \pi}{4} \Rightarrow w = \frac{4Q}{d^2 \pi} \quad (4.12)$$

sledi zavisnost pada pritiska i protoka kroz cevovod:

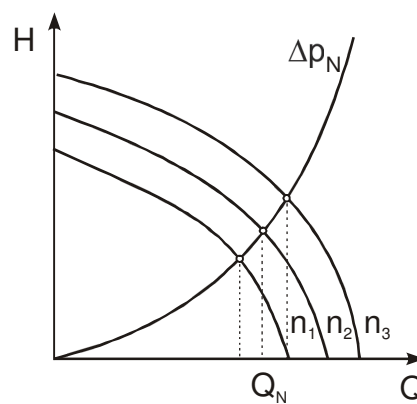
$$\Delta p = \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \xi \right) \frac{8 \cdot \rho}{d^4 \cdot \pi^2} \cdot Q^2 = k \cdot Q^2. \quad (4.13)$$

Sprega pumpe i cevovoda prikazana je na slici 4.9. Pri tome se stvarni protok kroz instalaciju Q može razlikovati od nominalnog protoka Q_N .

Svođenje stvarnog protoka na nominalni može se izvršiti na dva načina (koji su prikazani na slikama 4.10 i 4.11). Prvi način je "**prigušenjem**", odnosno povećanjem otpora strujanja u instalaciji (npr. smanjenjem otvorenosti balansnog ventila), tako da karakteristika cevovoda bude strmija u odnosu na prethodni slučaj. Na taj način se dobija radna tačka A_2 u preseku karakteristika tako da je protok kroz instalaciju je sveden na nominalni. Drugi način je **promenom broja obrtaja pumpe** – postoje pumpe koje mogu raditi sa više brzina (obično 3) ili koje imaju kontinualnu promenu broja obrtaja.



Slika 4.10 Svođenje na nominalni protok "prigušenjem"



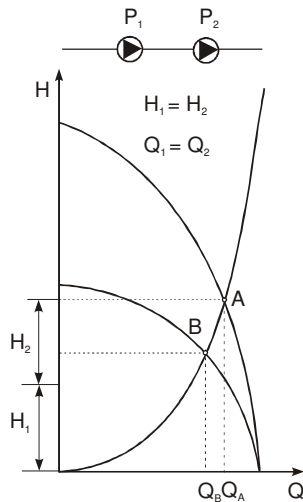
Slika 4.11 Svođenje na nominalni protok promenom broja obrtaja

Pumpe sa kontinualnom promenom broja obrtaja koriste se kod sistema koji rade sa promenljivim protokom grejnog fluida. Promena protoka, napora i snage pumpe (koju preuzima iz elektro mreže) sa promenom broja obrtaja kreću se na sledeći način:

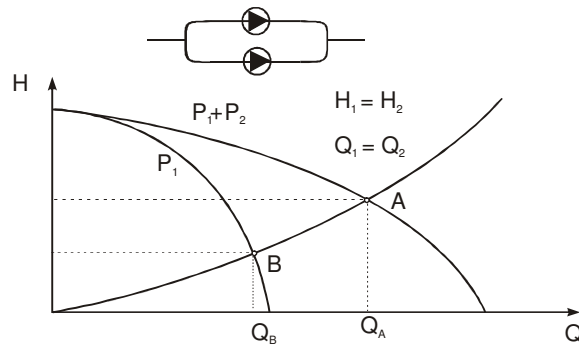
$$\begin{aligned} Q &= Q_N \cdot \left(\frac{n}{n_N} \right) \\ H &= H_N \cdot \left(\frac{n}{n_N} \right)^2 \\ P &= P_N \cdot \left(\frac{n}{n_N} \right)^3 \end{aligned} \quad (4.14)$$

4.3.2 Sprega dve pumpe

Redna sprega dve pumpe podrazumeva da su one postavljene na cevovodu jedna iza druge (slika 4.12). Paralelna veza dve pumpe ostvorena je ako su pumpe postavljene u paralelnim vodovima koji se završavaju vezom sa jednom cevi, kao što je prikazano na slici 4.13. Pri tome se, u oba slučaja, radna tačka A odnosi na slučaj kada rade obe pumpe, a radna tačka B kada radi samo jedna pumpa. Takođe, u navedenim primerima obe pumpe u sprezi su jednakih karakteristika (dve iste pumpe). Sa dijagrama se jasno može uočiti kako se menjaju protok i napor u zavisnosti od vrste sprege. Kod redne veze druga pumpa doprinosi značajnijem povećanju napora, dok je povećanje protoka neznatno. U slučaju paralelne veze ostvaruje se značajnije povećanje protoka kroz cevovod, dok je povećanje napora znatno manje. Zato se često kaže: "Redna veza je za veći napor, a paralelna za veći protok".

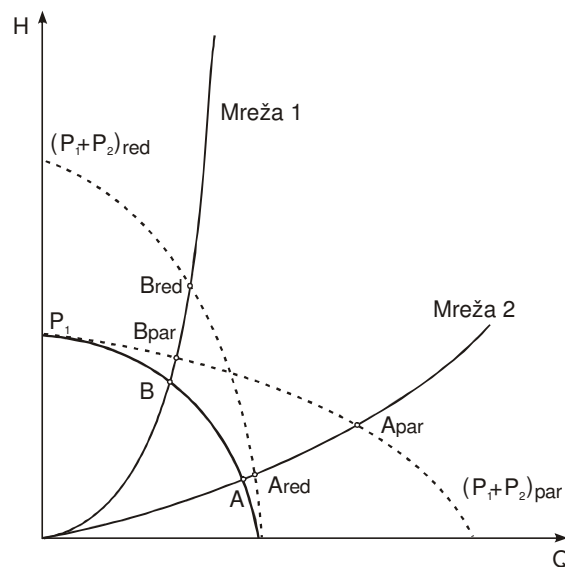


Slika 4.12 Redna veza dve jednake pumpe



Slika 4.13 Paralelna veza dve jednake pumpe

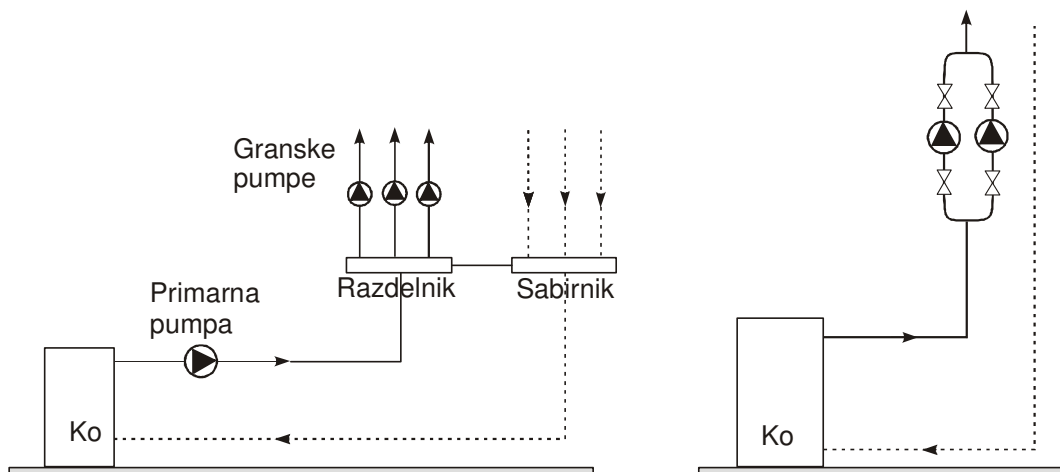
Međutim, izbor načina sprezanja pumpi isključivo zavisi od karakteristike cevovoda, odnosno položaja radne tačke, što je prikazano na slici 4.14. Ukoliko je karakteristika cevovoda strma – bolja je redna veza, a ako je karakteristika cevovoda položena bolja je paralelna veza.



Slika 4.14 Sprega pumpi u zavisnosti od položaja radne tačke

U praksi je veoma čest slučaj da pumpe koje se nalaze u cevovodu nisu istih veličina. Tada treba voditi računa da ne dođe do nepravilnog sprežanja pumpi, što može da ima jako loše posledice. Bilo da se radi o rednoj ili paralelnoj vezi, ukoliko je karakteristika cevovoda takva da ne odgovara sprezi (radna tačka se ne nalazi na karakteristici sprege), može se desiti da druga pumpa samo stvara dodatni otpor strujanju u cevovodu, a ne doprinosi povećanju napora ili protoka.

Na slici 4.15 prikazana su dva česta primera iz prakse.



Slika 4.15 Razgranata mreža sa primarnom i sekundarnim pumpama (levo) i način postavljanja "radne" i "rezervne" pumpe (desno)

Prvi se odnosi na velike, razgranate sisteme, u kojima osim primarne pumpe, postoje tzv. granske pumpe – svaka za po jednu granu cevne mreže. Ako je jedna od granskih pumpi previše "jaka" i ne priguši se – može doći do prekida strujanja kroz drugu granu, ili čak do strujanja u suprotnom smeru. Drugi prikazani primer odnosi se na postavljanje "radne" i "rezervne" cirkulacione pumpe. U ovom slučaju ne radi se o sprezi – već ove dve pumpe rade alternativno – u slučaju otkaza "radne", uključuje se "rezervna", koja radi dok se "radna" ne servisira ili zameni novom.

4.4 SIGURNOSNI UREĐAJI I ARMATURA VODENIH KOTLOVA

Sigurnosni uređaj vodenih kotlova je ekspanzioni sud. Prilikom zagrevanja vode od temperature okoline do radne temperature, njena zapremina se povećava, stvarajući tzv. „višak vode“, koji prima upravo ekspanzioni sud.

Fukcije ekspanzionog suda u sistemu su:

- omogućavanje širenja vode prilikom zagrevanja (primanje viška vode),
- održavanje hidrostatičkog pritiska i
- ispuštanje vazduha iz instalacije grejanja (samo kod otvorenog ekspanzionog suda)

4.4.1 Otvoreni ekspanzioni sud

Otvoreni ekspanzioni sud je najčešće cilindričnog oblika (slika 4.16) i postavlja se u najvišoj tački u sistemu centralnog grejanja (obično na tavanu).

Potrebna zapremina otvorenog ekspanzionog suda izračunava se na sledeći način:

$$V = \beta \cdot (\theta_{\max} - \theta_{\min}) \cdot V_w \quad (4.15)$$

gde su:

β - koeficijent zapreminskog širenja vode (1/K)

$\theta_{max}, \theta_{min}$ – maksimalna i minimalna temperatura vode u sistemu ($^{\circ}\text{C}$)

V_w – zapremina vode u sistemu centralnog grejanja (kotao, cevna mreža i grejna tela) (m^3).

Zapreminsko širenje vode u temperaturskom opsegu od $4 - 100^{\circ}\text{C}$ iznosi oko 4,3%, pa se zbog toga usvaja pojednostavljeni način određivanja zapremine otvorenog ekspanzionog suda:

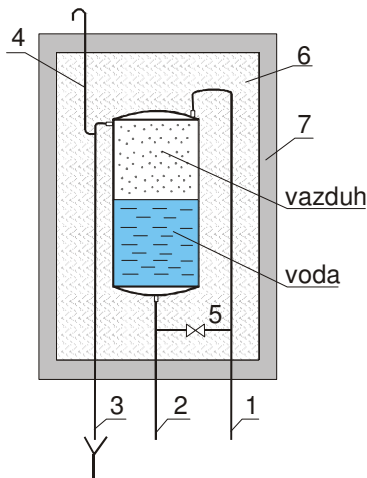
$$V = 0,045 \cdot V_w \quad (4.16)$$

Međutim, i ovako pojenostavljen izraz nije u praktičnoj primeni, jer je jako veliki posao određivanje ukupne zapremine vode u sistemu, pa je određivanje zapremine suda iskustveno prilagođeno prema toplotnom kapacitetu Q_{GT} (W) i vrsti instalacije za grejanje:

$$V = 1,2 - 1,5 \cdot Q_{GT} \cdot 10^{-3} \quad \text{- za radijatorsko grejanje} \quad (4.17)$$

$$V = 1,5 - 2,0 \cdot Q_{GT} \cdot 10^{-3} \quad \text{- za podno grejanje} \quad (4.18)$$

$$V = 0,5 - 0,8 \cdot Q_{GT} \cdot 10^{-3} \quad \text{- za konvektorsko grejanje} \quad (4.19)$$



Osnovni elementi otvorenog ekspanzionog suda:

1 – Razvodna sigurnosna cev

2 – Povratna sigurnosna cev

3 – Prelivna cev

4 – Odzračna cev

5 – Kratka veza (zbog obezbeđenja cirkulacije vode)

6 – Izolacija

7 – Kućište

Slika 4.16 Šematski prikaz otvorenog ekspanzionog suda

Dimezije sigurnosnih vodova:

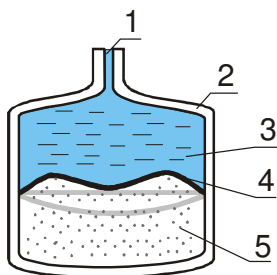
$$\text{Sigurnosna razvodna cev: } d_r = 15 + 1,4 \cdot \sqrt{Q_k} \quad (4.20)$$

$$\text{Sigurnosna povratna cev: } d_p = 15 + 0,93 \cdot \sqrt{Q_k} \quad (4.21)$$

4.4.2 Zatvoreni ekspanzioni sud

Zatvoreni ekspanzioni sud se koristi kada nema tehničkih mogućnosti za postavljanje otvorenog ekspanzionog suda i sve češće je u primeni. Takođe se koristi kada je potrebno održavati viši pritisak u sistemu. Postoje različite vrste i konstrukcije ekspanzionih sudova, u zavisnosti od veličine samog sistema centralnog grejanja. Kada su u pitanju manje instalacije, najčešće je u primeni ekspanzioni sud sa membranom (slika 4.17).

Pri zagrevanju vode u kotlu, voda se širi i kroz sigurnosnu cev ulazi u vodeni deo suda. Voda potiskuje membranu ka vazdušnom delu, tako da dobija prostor za ekspanziju. Membrana potiskuje vazduh i pritisak u vazdušnom delu se neznatno povišava. Kada grejanje prestane, voda se hladi, smanjuje zapreminu, pa pritisak vode opada. Tada pritisak vazduha iz vazdušnog dela suda potiskuje vodu nazad u sistem.



Osnovni elementi ekspanzionog suda sa membranom:

- 1 – Priključak na toplovodnu mrežu
- 2 – Metalni omotač
- 3 – Vodeni deo
- 4 – Membrana
- 5 – Vazdušni deo

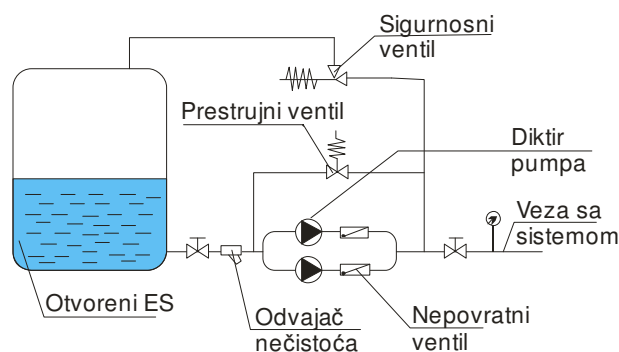
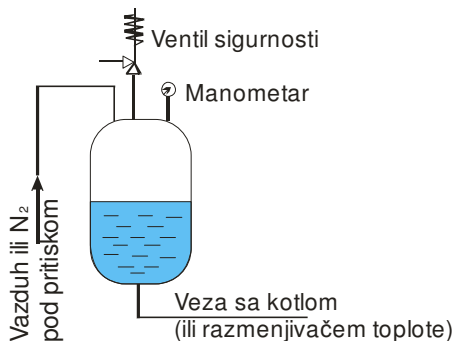
Slika 4.17 Izgled i šematski prikaz zatvorenog ekspanzionog suda sa membranom

Zapremina ekspanzionog suda sa membranom određuje se na osnovu:

$$V_s = V \cdot \frac{P_{\max}}{P_{\max} - P_{\min}} \quad (4.22)$$

Kada u sistemima grejanja sa otvorenim ekspanzionim sudom dođe do prekomernog povišenja pritiska (širenja vode), višak vode se preko prelivne cevi izbaci iz sistema, tako da uvek ima prostora za dalje širenje vode i nema opasnosti od prskanja suda ili instalacije. Kod zatvorenih ekspanzionih sudova ne postoji mogućnost preliivanja vode, već bi usled prekomernog širenja vode došlo do prskanja membrane, suda ili dela instalacije. U cilju zaštite zatvorenih sistema centralnog grejanja obavezno se na ekspanzioni sud ili sigurnosni vod postavlja **sigurnosni ventil**. Ukoliko se pritisak povisi iznad dozvoljenog, ventil se otvara i propušta deo vode van sistema, čime se snižava pritisak.

U većim sistemima, pritisak vazduha u vazdušnom delu zatvorenog ekspanzionog suda se održava pomoću kompresora. Zbog izbegavanja pojave korozije, zatvoreni ekspanzioni sudovi se često ispunjavaju azotom umesto vazduhom. Održavanje pritiska se može rešiti i sistemom sa diktir pumpom (slika 4.18).



Slika 4.18 Održavanje pritiska: ekspanzioni sud sa gasnim jastukom (levo) i diktir sistem (desno)

Armatura vodenih kotlova:

- slavina za punjenje i pražnjenje kotla,
- manometar za praćenje pritiska u sistemu (napunjenosti sistema vodom),
- termometar u razvodnom i povratnom vodu,
- regulator sagorevanja ili regulator promaje (koristi se kod kotlova na čvrsto gorivo).

4.4.3 Određivanje potrebnog kapaciteta kotla

Potreban kapacitet kotla u sistemu centralnog grejanja određuje se kao:

$$Q_k = Q_{GT} \cdot (1 + a + b) \quad (4.23)$$

gde su:

Q_{GT} – ukupan toplotni učinak grejnih tela (W)

a – dodatak za toplotne gubitke kotla i cevne mreže i zavisi od sledećih pokazatelja:

- da li je cevna mreža izolovana ili ne,
- da li je cevna mreža razgranata ili ne,
- da li su vertikale duž spoljnih zidova ili su postavljene u žljebove;

b – dodatak zbog prekida u zagrevanju (koji se usvaja samo ako postoji prekid u zagrevanju i pri najnižim spoljnim temperaturama)

4.4.4 Kotlarnica

Kotlarnica je prostorija u koju se smešta kotao za centralno grejanje, kao i sva prateća oprema. Kotlarnica po svom položaju u zgradi mogu biti podrumске i krovne (retko, u slučajevima kada se koristi gasovito gorivo).

Dimenzije kotlarnice moraju biti takve da mogu da obezbede:

- pravilnu montažu kotla i opreme,
- lako rukovanje i pristup kotlu,
- nesmetane popravke i rad na održavanju.

Pod u kotlarnici se obično izvodi kao „plivajući“ temelj, betonski fundament koji je odvojen od zidova, kako se ne bi prenosila buka kroz objekat. U zavisnosti od veličine postrojenja, različiti su i zahtevi za opremljenost kotlarnice u smislu:

- dovoda vode,
- nivoa osvetljenosti,
- ventilacije kotlarnice,
- hemijske pripreme vode,
- pomoćne prostorije,
- opreme za gašenje požara, itd.

Ukoliko je kotao na čvrsto gorivo, onda uz kotlarnicu obično ide i skladište uglja (ugljara) i deponija šljake. Ako je kotao malog kapaciteta, onda je ugljara u samoj zgradi i to veoma blizu kotlarnice (najčešće susedna prostorija). Kada su u pitanju kotlovi većeg kapaciteta, onda je pogodno da pod ugljare bude u nivou plafona kotlarnice, kako bi se obezbedilo lakše dopremanje uglja u kotlarnicu. U velikim sistemima – toplanama, skladišta uglja su van samog objekta u kome su smešteni kotlovi. Ako se radi o kotlovima na tečno gorivo, onda je potreban rezervoar za gorivo, koji može biti dnevni (kod većih sistema) ili sezonski (koji mora da obezbedi rezerve goriva za najmanje dva meseca ili celu grejnu sezonu). U rezervoarima za mazut mora postojati zagrevanje mazuta, kako bi se pri niskim temperaturama mogao transportovati do kotlarnice.

Dimnjak predstavlja obavezni element u svim kotlarnicama na konvencionalana goriva. Kada su u pitanju manje kotlarnice, primenjuje se orijentacioni proračun za izračunavanje potrebnog poprečnog preseka dimnjaka:

$$F = \frac{a \cdot Q_k}{\sqrt{h}} \quad (4.24)$$

gde su:

F – površina poprečnog preseka dimnjaka (cm²),

a – empirijski faktor srazmernosti koji uzima u obzir količinu produkata sagorevanja koju proizvodi određeno gorivo ($a = 0,017$ za tečno i $a = 0,034$ za čvrsto gorivo),
 Q_k – kapacitet kotla (kW) i
 h – visina od ložišta kotla do vrha dimnjaka (m).

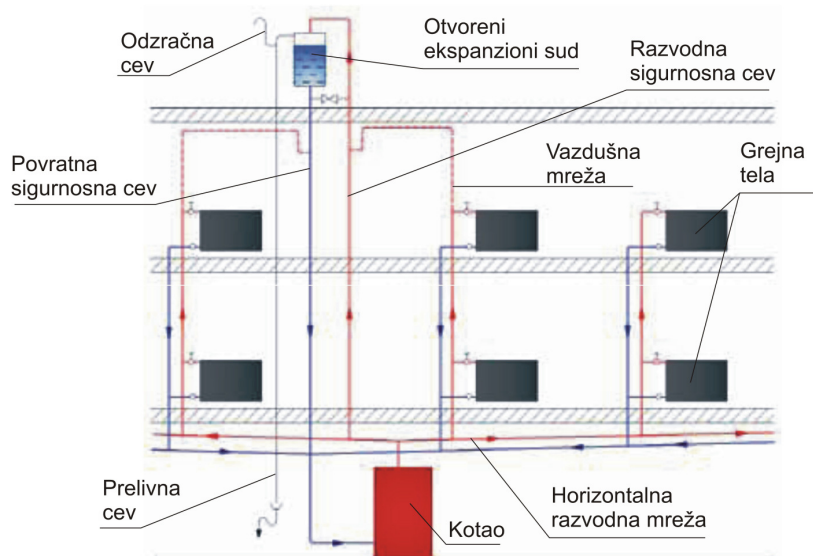
4.5 SISTEMI TOPLOVODNOG GREJANJA

Sistemi toplovodnog grejanja rade sa toplom vodom kao nosiocem toplote do maksimalne temperature 110°C . Voda se zagreva u kotlovima i kroz cevnu mrežu se dovodi do grejnih tela u prostorijama, gdje se hladi, a zatim se ponovno vraća u kotao na zagrevanje.

Podele se mogu napraviti na bazi različitih kriterijuma:

- Prema sili koja osigurava cirkulaciju vode: gravitaciona i pumpna;
- Prema načinu vođenja cevovoda: jednocevna i dvocevna;
- Prema položaju razvodne horizontalne cevne mreže: s gornjim i donjim razvodom
- Prema vezi s atmosferom: otvorena i zatvorena toplovodna grejanja.

U sistemu **gravitacionog grejanja** strujanje vode kroz cevnu mrežu ostvaruje se usled uzgonske sile, prirodnim putem, odnosno bez utroška mehaničke energije. Sva grejna tela na istom nivou (istom spratu) nalaze se na istoj visinskoj razlici u odnosu na kotao, pa prema tome imaju i isti raspoloživi napor H_{rasp} . Međutim, dužina cevne mreže kojom je grejno telo povezano sa kotlom (strujni krug) razlikuje se za skoro svako grejno telo. Izborom odgovarajućeg prečnika cevi deonica u strujnom krugu teži se ka tome da ukupan pad pritiska (usled trenja i usled lokalnih otpora) bude jednak raspoloživom naporu – to važi za sve strujne krugove. **Strujni krug** čine sve deonice cevne mreže od kotla do grejnog tela i od grejnog tela nazad do kotla – čime je formiran jedan zatvoreni krug u kome struji grejni fluid. Na slici 4.19 prikazana je šema sistema gravitacionog grejanja sa donjim razvodom.

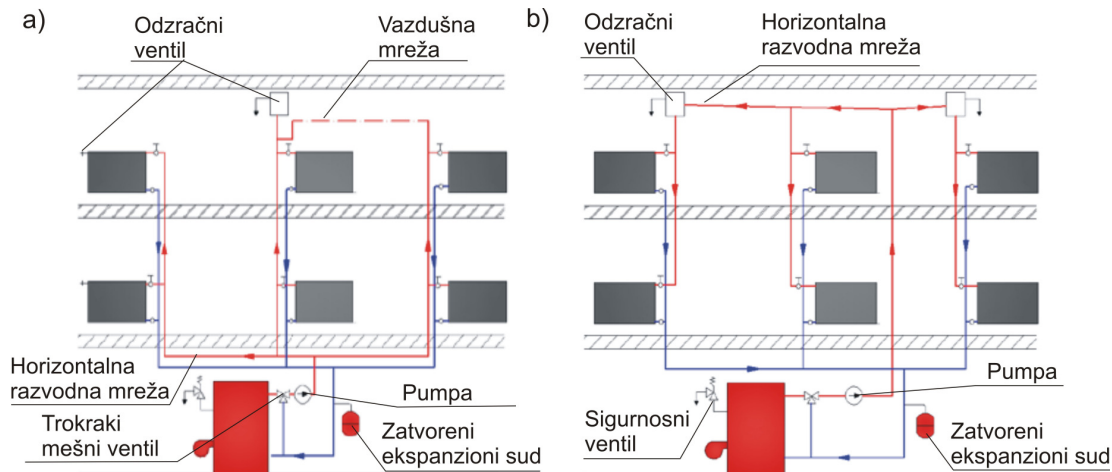


Slika 4.19 Šema sistema otvorenog gravitacionog grejanja sa donjim razvodom

Donji razvod podrazumeva da se horizontalna cevna mreža vodi ispod tavanice podrumskih prostorija, odnosno na nivou ispod grejnih tela. Sve horizontalne deonice cevne mreže se izvode pod nagibom od 5% , što je neophodno zbog pražnjenja cevne mreže i odzračivanja instalacije (odvođenja vazduha iz sistema pri samom punjenju instalacije vodom, ali i kasnije – u toku rada, ukoliko se u sistemu javi mehurići vazduha). Horizontalne cevi u mreži su

postavljene tako da omogućavaju kretanje vazduha u smeru naviše (s obzirom da je vazduh lakši od vode). Cevna mreža se u svojim najvišim tačkama (na vrhovima svih usponskih vodova) povezuje sa vazdušnom mrežom (na crtežima u projektu se obično prikazuje linijom crta – tačka – crta). Vazdušna mreža je povezana sa otvorenim ekspanzionim sudom preko razvodne sigurnosne cevi, tako da se izbacivanje vazduha van sistema vrši preko odzračne cevi na otvorenom ekspanzionom sudu. Na samoj vazdušnoj mreži su izvedene cevne petlje, koje omogućavaju prolaz vazduha naviše i stvaranje "vazdušnih čepova" radi sprečavanja eventualnog strujanja vode kroz vazdušnu mrežu.

Na slici 4.20 prikazane su šeme sistema pumpnog grejanja sa donjim, odnosno gornjim razvodom.



Slika 4.20 Šema sistema grejanja sa prinudnom cirkulacijom: a) donji razvod i b) gornji razvod

Cirkulaciona pumpa je na šemama postavljena u glavni razvodni vod, iza kotla, što obezbeđuje nadpritisak u većem delu instalacije. Pumpa se može postaviti i u glavni povratni vod, pa se tada veći deo instalacije nalazi u "potpritisaku". Izgled polja pritiska u mreži zavisi od mesta povezivanja ekspanzionog suda sa instalacijom.

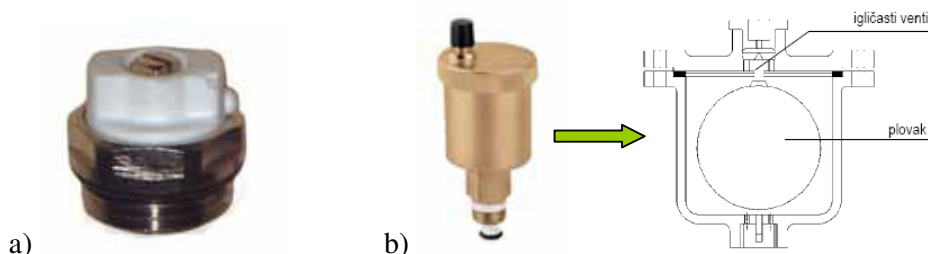
Radijatorski ventili su postavljeni na razvodnim priključcima grejnih tela i imaju ulogu smanjenja protoka kroz grejno telo ili potpuno zatvaranje – isključivanje grejnog tela iz sistema.

Radijatorski navijci se postavljaju na povratnim priključcima grejnih tela. Slično kao i regulacioni ventili na vertikalama, i radijatorski navijci mogu imati dvostruku ulogu: zatvaranje – odvajanje grejnog tela od mreže ukoliko se želi izvršiti bilo kakva intervencija na grejnom telu ili njegova zamena (u paru se zatvaraju sa radijatorskim ventilima) i regulisanje – kada se vrši balansiranje mreže, pa je potrebno izvršiti prigušenje na grejnom telu (povećati otpor strujanju u strujnom krugu posmatranog grejnog tela). Kod velikih sistema ovo je veoma važna funkcija.

Trokraki mešni ventil je regulacioni ventil koji ima ulogu centralne regulacije rada sistema. Mešanjem povratne i razvodne vode u pogodnom odnosu snižava se temperatura razvodne vode i time se ostvaruje kvalitativna centralna regulacija rada sistema.

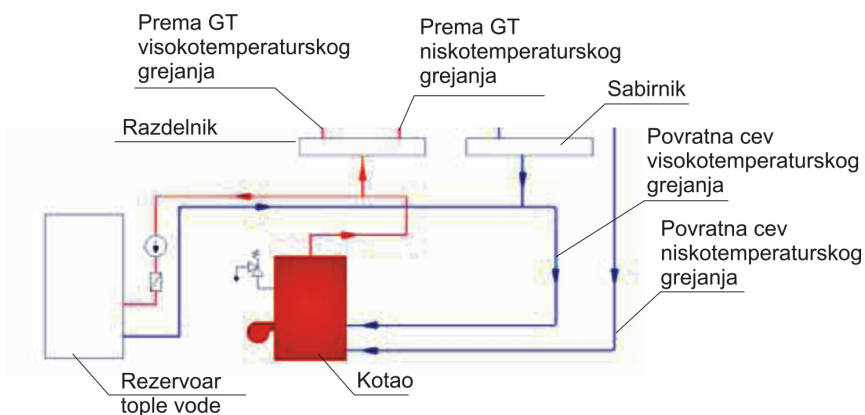
Vazdušna mreža se vodi na isti način kao i kod gravitacionog grejanja kada je u pitanju otvoren sistem, ali nema cevni petlji, već se na vertikale postavljaju ventili, koji su sasvim malo otvoreni. Razlog za to je veći nadpritisak u sistemu pumpnog u odnosu na gravitaciono grejanje. Drugi način odzračivanja, koji je takođe često u primeni je postavljanje odzračnih ventila (radijatorskih) na sva grejna tela, kao što je prikazano na šemi sistema sa donjim razvodom i

zatvorenim ekspanzionim sudom (slika 4.20 a). Kod takvog načina odzračivanja sistema nagib razvodnih priključaka grejnih tela je suprotan (ka grejnom telu). Odzračni ventili (automatski) u sistemu sa zatvorenim ekspanzionim sudom mogu se postaviti i na vrhu vertikalala (slika 4.20). U tom slučaju nagib razvodnih priključaka je kao i u slučaju postavljanja vazdušne mreže. Dakle, odzračni ventil se uvek postavlja u najvišoj tački (tačkama) instalacije, pri čemu cevna mreža mora imati takvu konfiguraciju (u pogledu nagiba) da ne postoje mesta sa kontra nagibom u kojima bi se mogli formirati vazdušni čepovi. Odzračni ventili prikazani su na slici 4.21.



Slika 4.21 Odzračni ventili: a) radijatorski i b) automatski sa plovkom

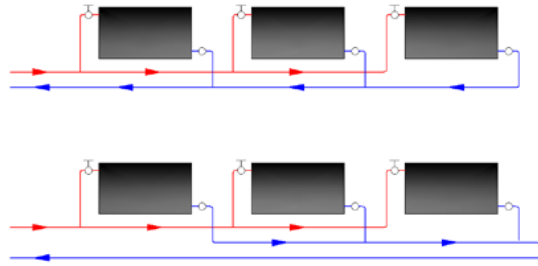
Kada su u pitanju velike zgrade i razgranate cevne mreže koje se vode kroz zgradu, u kotlarnici se postavljaju razdelnik i sabirnik, odnosno snabdevanje toplotom se deli na zone na način da ka svakoj zoni ide po jedna grana – glavna razvodna cev, koja kreće iz razdelnika. Paralelno sa njom vodi se i povratna grana. Obično se, kod velikih sistema, u svaku razvodnu granu postavlja posebna cirkulaciona pumpa koja se naziva granska pumpa i ona obezbeđuje potreban napor i protok u grani. Nekada se iz istog izvora toplote mogu snabdevati različiti potrošači, koji se razlikuju po temperaturnom režimu (na primer: sistem radijatorskog grejanja, sistem podnog grejanja, sistem centralne pripreme tople sanitarne vode, itd.). U tom slučaju, svaki sistem ima svoje glavne grane i cirkulacione pumpe. Na slici 4.22 prikazana je šema povezivanja kondenzacionog kotla sa potrošačima toplote koji rade u različitim temperaturnim režimima.



Slika 4.22 Šema povezivanja kondenzacionog kotla sa različitim potrošačima

Kod zgrada male spratnosti a velike površine, razgranatost cevne mreže je dominantna u horizontalnom pružanju. Tada se povezivanje grejnih tela kod dvocevnih sistema može vršiti na način prikazan na slici 4.23. Radijatori na slici 4.23 gore povezani su sa horizontalnom mrežom na način tako da najudaljenije grejno telo ima najveću dužinu strujnog kruga, a najbliže ima najmanju dužinu deonice. Na taj način, pad pritiska do najudaljenijeg grejnog tela prilikom strujanja vode u mreži je najveći, dok je u ostalim strujnim krugovima potrebno praviti prigušenja. Na slici 4.23 dole radijatori su povezani u Tiechermann-ov strujni krug. Karakteristika Tiechermann-ovog kruga je da je ukupna dužina deonice (razvodni i povratni) od razdelnika do

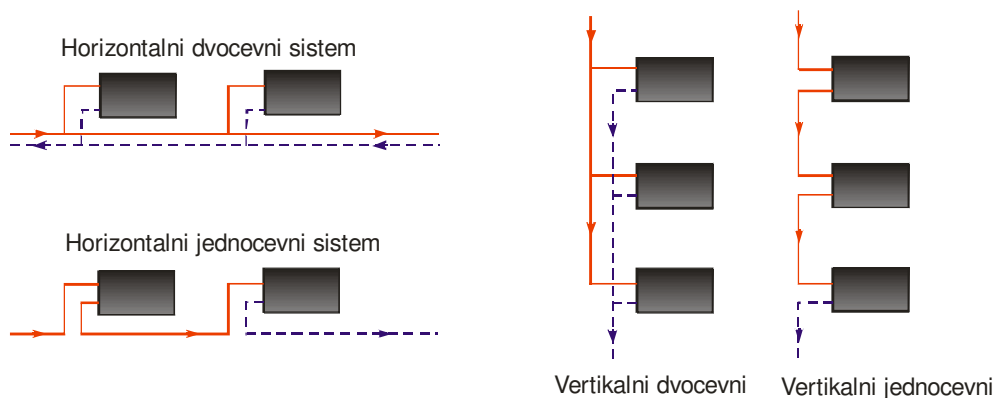
svakog grejnog tela ista, pa su hidraulički otpori ujednačeni a mogućnost balansiranja mreže bolja.



Slika 4.23 Horizontalni dvocevni razvod: običan (gore) i Tiechelman-ov (dole)

Dvocevni sistemi toplovodnog centralnog grejanja imaju poseban cevovod za razvod vode, tako da svako grejno telo dobija vodu iste temperature θ_p . Povratna voda temperature θ_p se skuplja posebnim cevovodom – povratnom mrežom, i vraća nazad u kotao. Cevna mraža kod dvocevnog sistema ima promenljiv prečnik, pri čemu se u razvodnom cevovodu poprečni presek deonice smanjuje, a u povratnom povećava u smeru strujanja vode. Takva cevna mreža zahteva više posla oko montaže i vođenje po dve cevi kroz zgradu, što može biti otežano kada se grejanje naknadno uvodi u već postojeću zgradu.

Jednocevni sistemi ublažavaju navedene nepovoljne efekte dvocevnih sistema, kod kojih su razvodna i povratna mreža jedinstven cevovod. Kod jednocevnog razvoda, bez obzira na broj grejnih tela, ima isti prečnik i isti protok. Voda koja prođe kroz jedno grejno telo zatim ulazi u sledeće i tako redom, pri čemu u svako sledeće grejno telo voda ulazi sa nižom temperaturom nego u prethodno, sve dok ne izađe iz poslednjeg grejnog tela sa temperaturom koja odgovara temperaturi povratne vode celog sistema t_p . Prema tome, temperaturski pad u svakom grejnom telu kod jednocevnih sistema manji je nego kod dvocevnih sistema, a srednja temperatura vode u grejnim telima opada u smeru strujanja vode, tako da se njihova površina povećava. Grejna tela u jednocevnom sistemu koja su bliže kotlu imaju manju površinu (jer je srednja temperatura vode u njima viša), a ona koja su dalje imaju veću površinu u odnosu na dvocevne sisteme. Ukupna površina grejnih tela kod jednocevnih sistema je ipak nešto veća u odnosu na ukupnu površinu dvocevnih grejnih sistema. Poređenje dvocevnih i jednocevnih sistema prikazano je na slici 4.24.

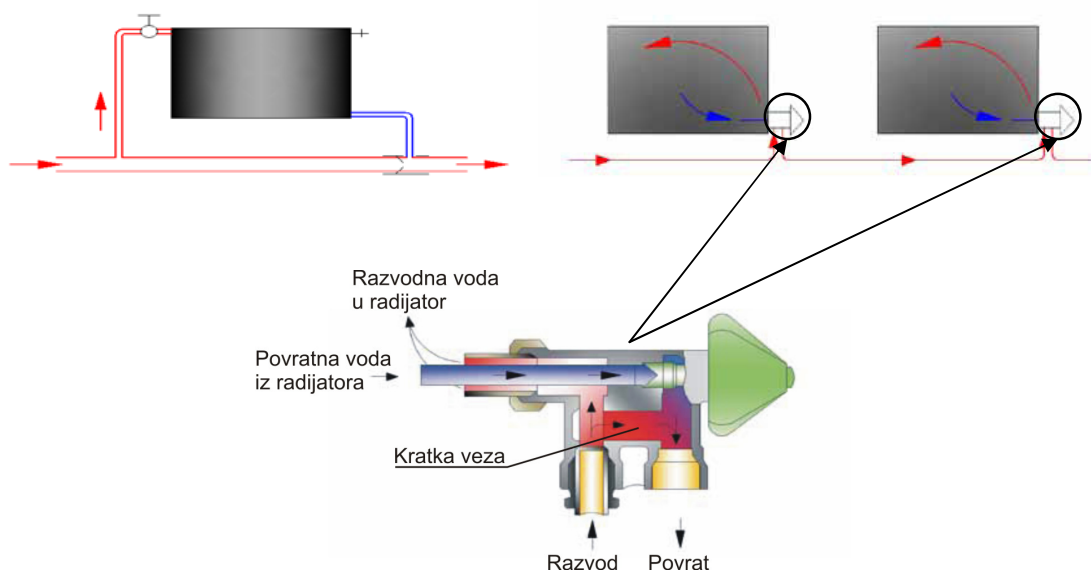


Slika 4.24 Horizontalni (levo) i vertikalni (desno) dvocevni i jednocevni sistem

Prednosti jednocevnih sistema u odnosu na dvocevne:

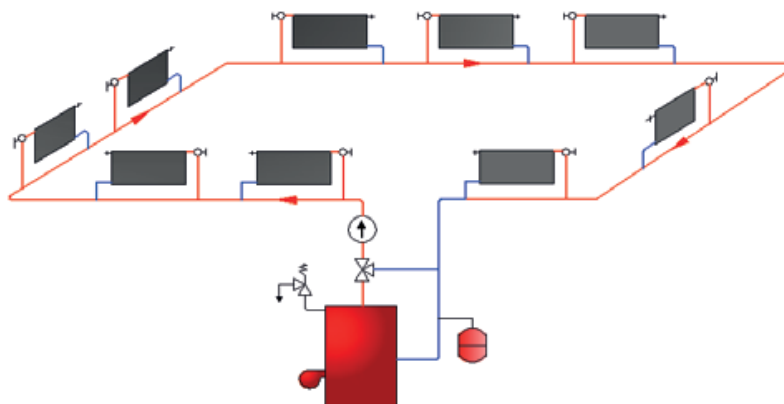
- kraća cevna mreža (manja dužina cevovoda – niža cena),
- bolje i lakše uravnoteženje mreže (uregulisanje),
- jednostavnije merenje potrošnje toplote (pogotovo kod horizontalnih sistema).

Na slici 4.24 su prikazani jednocevni sistemi bez razdeljivanja protoka kroz grejna tela i mrežu, i bez lokalne regulacije. Opciono je moguće postaviti regulacione ventile na vertikalama ili horizontalnim granama. Mana ovakvog sistema je loša lokalna regulacija zbog nepostojanja mogućnosti "razdeljivanja" protoka, već ukupan protok kroz vertikalu, odnosno granu odgovara protoku kroz sva grejna tela. Jednocevni sistem bez kratke veze kod nas nisu u primeni. Razdeljivanje protoka moguće je ostvariti drugačijim povezivanjem (slika 4.25 levo) ili postavljanjem kratke veze između razvodnog i povratnog priključka radijatora, što je, u novije vreme, obezbeđeno ugradnjom posebnih radijatorskih ventila za jednocevno grejanje (slika 4.25 desno). Na slici 4.25 dole prikazan je presek kroz radijatorski ventil za jednocevno grejanje.



Slika 4.25 Razdeljivanje protoka kroz grejno telo: načinom povezivanja i kratkom vezom

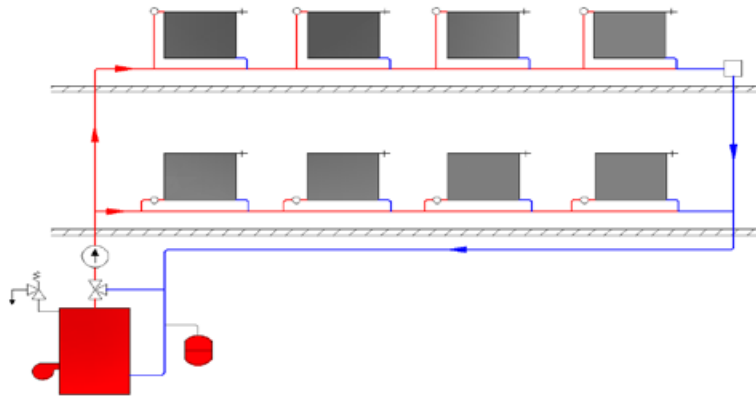
Jednocevno grejanje je jako povoljno za primenu za etažno grejanje (slika 4.26).



Slika 4.26 Jednocevni sistem – etažno grejanje

Horizontalni jednocevni sistemi imaju znatno veću primenu od vertikalnih sistema. Kod horizontalnih sistema grejna tela se naizmenično vezuju formirajući horizontalne cirkulacione grane. Svaka grana zagreva po deo grejane površine zgrade na jednom spratu, tako da ih na jednom nivou može biti i više. U ovakvom sistemu sa horizontalnim granama skraćuje se, u poređenju sa vertikalnim sistemima, dužina vertikalnog i horizontalnog dela. Broj vertikalnih deonica je manji.

Vertikale za horizontalne grane se postavljaju u pomoćnim prostorijama zgrade (stepeništa, šahtovi). Horizontalne deonice se uglavnom vode kroz samu konstrukciju poda prostorija koje se greju (nisu vidno postavljene), pa se u prostoriji vide samo cevi priključaka radijatora. Na slici 4.27 prikazan je horizontalni sistem razvoda kod jednocevnog grejanja sa zatvorenim ekspanzionim sudom i zajedničkim vertikalama.



Slika 4.27 Horizontalni sistem razvoda kod jednocevnog grejanja sa zajedničkim vertikalama

Primena jednocevnih sistema u velikim zgradama omogućava izdvajanje svakog stana (ili posebne zone jednog korisnika ili vlasnika) u poseban horizontalni cirkulacioni krug, čime je omogućeno jednostavno i precizno merenje utrošene toplote za grejanje. U razvijenim zemljama je već godinama praksa da se račun za grejanje (kod stanova i poslovnih prostora povezanih na sistem daljinskog grejanja) plaća prema stvarno potrošenoj količini toplote, a ne paušalno – prema površini stana.

Ukoliko na jednom spratu zgrade ima više stanova, postavlja se razvodni orman sa razdelnikom i sabirnikom, kako bi svaki stan imao svoj zaseban cirkulacioni krug. Ravodni orman predstavlja vezu između glavnih usponskih vodova i strujnih krugova stanova na posmatranom spratu zgrade. Merilo utrošene toplote – kalorimetar – postavlja se na ulazu cevi u svaki stan. Meri se protok vode, temperatura razvodne i temperatura povratne vode, pa se na osnovu toga dobija podatak o utrošenoj toploti za grejanje.

4.6 DALJINSKO GREJANJE

Terminom *daljinsko grejanje* označavamo *centralizovano snabdevanje toplotom većeg broja potrošača tzv. niskotemperaturske toplote*. Potrošači toplote u sistemu daljinskog grejanja mogu biti postrojenja centralnog grejanja, provetravanja, klimatizacije, postrojenja za pripremu tople sanitarne vode, kao i različiti uređaji u industriji koji koriste toplotu.

U praksi se još sreće termini *toplifikacija*, koji nije odgovarajući. Najkorektniji izraz bi bio *daljinsko snabdevanje toplotom* (jer osim potreba za grejanjem postoje i drugi potrošači toplote), ali je uobičajen izraz daljinsko grejanje.

Podela sistema daljinskog grejanja (DG) može se izvršiti prema nekoliko osnova:

Podela sistema DG prema nameni:

- komunalni sistemi (stambene, poslovne, javne zgrade)
- industrijski sistemi (razne fabrike – potrebe grejanja i tehnološki procesi)

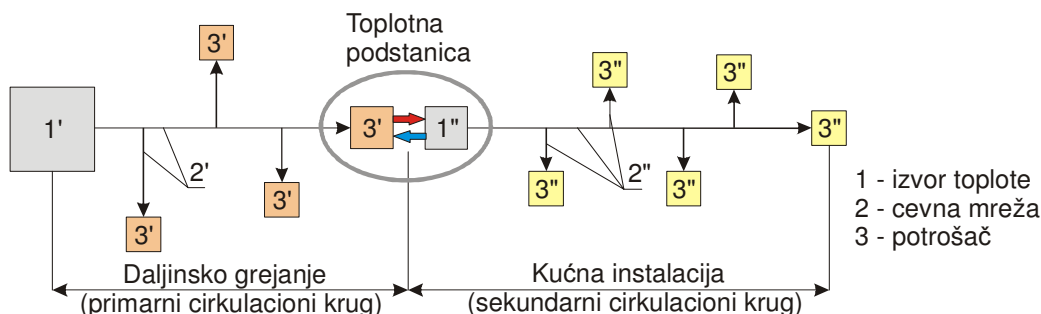
Podela prema području snabdevanja toplotom:

- blokovski (određeni broj zgrada na manjoj gradskoj teritoriji)
- reonski ili gradski (manji gradovi ili veća gradska područja)
- oblasni ili regionalni (grad i okolna naselja)

Podela prema nosiocu toplote:

- vodeni sistemi,
- parni sistemi.

Slično kao i kod sistema centralnog grejanja, kod daljinskog grejanja postoje tri osnovna elementa sistema (slika 4.28):



Slika 4.28 Osnovni elementi u sistemu daljinskog grejanja

1. element za proizvodnju toplote (toplotni izvor – toplana, kotlovi);
2. element za transport nosioca toplote (cevna mreža – toplovod);
3. element za predaju toplote potrošačima (priključna stanica, predajna stanica, toplotna podstanica ili samo podstanica)

Izvor toplote su obično parni ili vrelovodni kotlovi na čvrsto, tečno ili gasovito gorivo. Za transport nosioca toplote (radnog fluida) koristi se posebna cevna mreža – toplovod (ili parovod), koja se najčešće izvodi kao podzemna. Cevi toplovoda ili parovoda moraju biti dobro termički izolovane kako bi se sprečili (sveli na najmanju meru) gubici toplote od izvora do potrošača. Toplotna podstanica je element sistema u kome se vrši primopredaja toplote između sistema daljinskog grejanja i kućne instalacije.

Voda je danas osnovni nosilac toplote u sistemima DG gde se uglavnom primenjuju vrelovodni sistemi ($\theta_r > 110^\circ\text{C}$). Toplota koju voda prenosi je direktno proporcionalna masenom protoku i razlici temperatura razvodne i povratne vode. Izbor temperatura vode u razvodu i povratu je od velikog značaja. Da bi toplovod bio jeftiniji (manjih prečnika) i da bi snaga pumpe i utrošeni rad bili manji, potrebno je da maseni protok bude manji, a to znači da razlika temperatura razvodne i povratne vode treba da bude što veća. Ovo je naročito važno kada su u pitanju veće dužine transporta. Kada je u pitanju spregnuta proizvodnja toplote i električne energije, pri porastu θ_r raste i toplota odvedena iz parne turbine, pa se smanjuje proizvodnja električne energije, tako da opada faktor dobijanja toplote. Takođe, sa porastom temperature razvodne vode raste i njen pritisak (kako bi se sprečilo ključanje). Prema tome, potrebno je optimizirati vrednost θ_r zajedno sa toplotnim izvorom i načinom regulisanja toplotnog konzuma (kvantitativno, kvalitativno ili kombinovano). Projektni parametri treba da daju najbolje rezultate za celogodišnji rad sistema DG. S druge strane, svakako treba težiti da temperatura povratne θ_p vode bude što niža, ali je ona ograničena temperaturom povratne vode u kućnoj instalaciji.

U našoj zemlji se u sistemima DG uglavnom koriste toplane za proizvodnju toplote i koriste se sledeći temperaturski režimi:

- 110/70°C; 130/70°C; 140/70°C i 150/70°C za direktne sisteme i
- 110/75°C; 130/75°C; 140/75°C i 150/75°C za indirektno sisteme.

4.6.1 Mreže daljinskog grejanja

Podela mreža daljinskog grejanja može se izvršiti na nekoliko načina:

Prema konfiguraciji (slika 4.29), postoje:

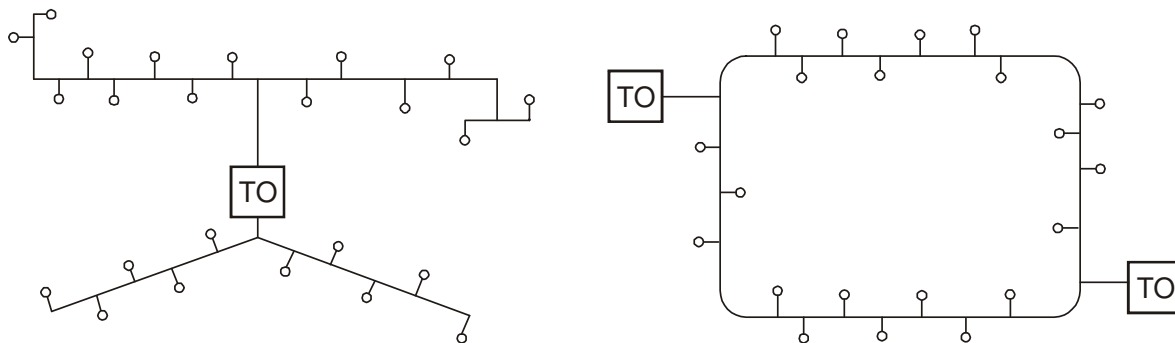
- zrakaste i
- prstenaste mreže.

Prema broju cevi:

- jednocevne (za transport pare bez povratka kondenzata - neekonomično);
- dvocevne (najčešće primjenjivane);
- trocevne (dve razvodne sa različitim θ_r i jena povratna).

Prema načinu polaganja cevi:

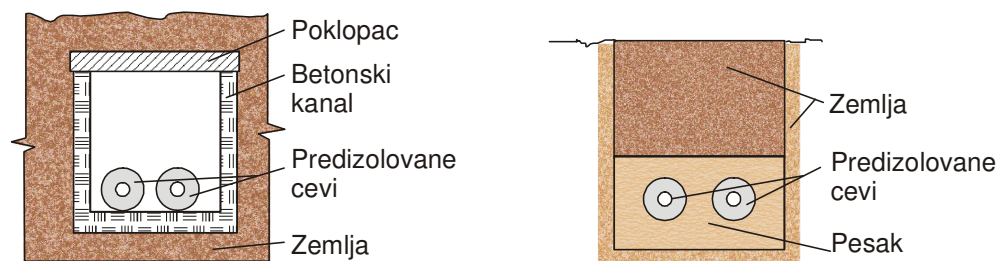
- nadzemne (jeftinije, primenjuje se u industrijskim kompleksima) i
- podzemne (cevi u kanalima ili beskanalno polaganje u zemlju - slika 4.30).



Slika 4.29 Konfiguracija mreža daljinskog grejanja - zrakasta (levo) i prstenasta mreža (desno)

Problemi koji se javljaju prilikom postavljanja toplovoda su: odgovarajuća toplotna i hidroizolacija, čvrstoća cevovoda - načini oslanjanja, temperaturske dilatacije i zaštita od korozije. Hidraulički proračun mreže daljinskog grejanja je sličan proračunu cvne mreže u kućnoj instalaciji (kod toplovoda je znatno manji udeo lokalnih otpora nego kod kućne instalacije).

Za transport toplote se koriste *predizolovane* cevi, prikazane na slici 4.31.



Slika 4.30 Načini polaganja toplovoda - u betonskom kanalu (levo) i beskanalno (desno)



Slika 4.31 Predizolovane cevi

4.6.2 Toplotne podstanice

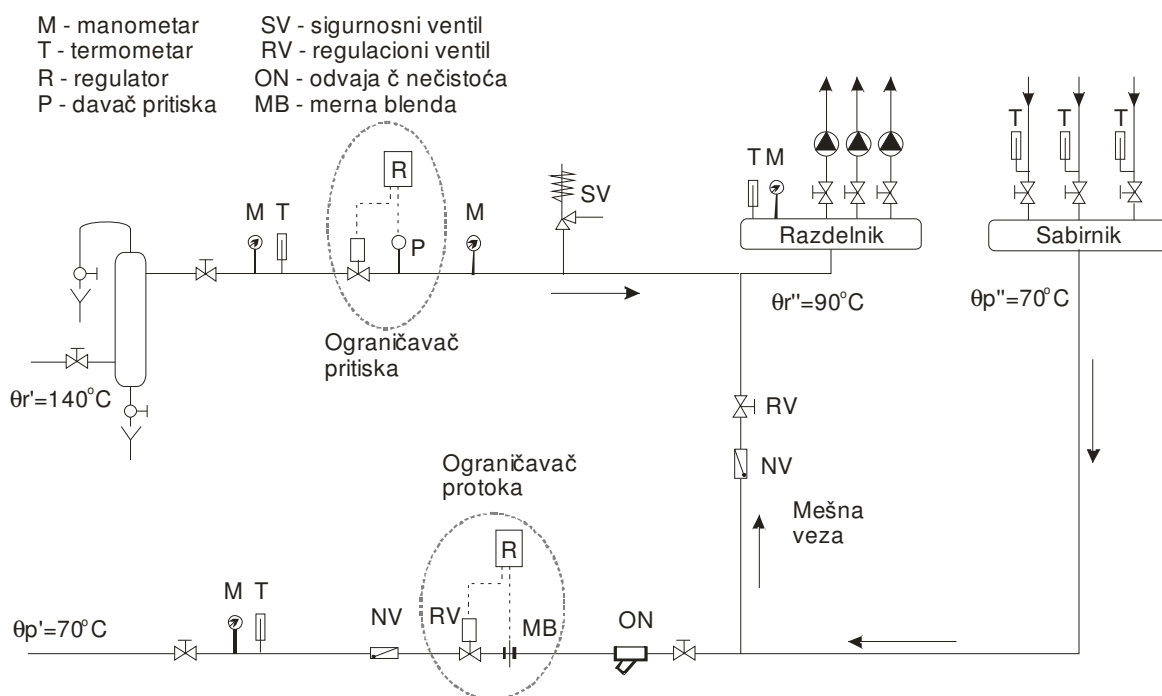
Postoje dva osnovne tipa toplotnih podstanica (šeme prikazane na slikama 4.32 i 4.33):

- sa direktnim priključkom i
- sa indirektnim priključkom.

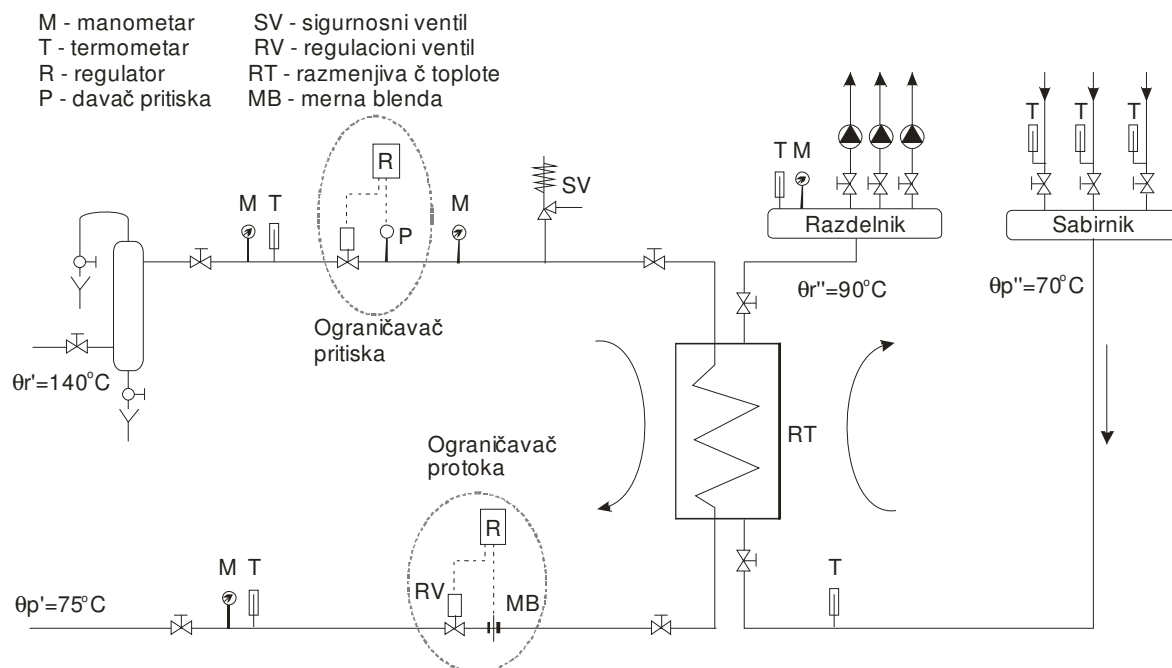
Kod sistema sa direktnim priključkom sistem daljinskog grejanja i kućna instalacija predstavljaju jedinstven hidraulički (cirkulacioni) krug. Ovo rešenje je jednostavnije, jeftinije i ekonomičnije. U ovom sistemu je temperatura povratne vode primara niža i jednaka je temperaturi povratne vode u sekundaru (kućnoj instalaciji) $\theta_p' = \theta_p''$. Međutim, ovakav sistem nije uvek primenljiv, zbog pritiska koji je potrebno održavati u mreži daljinskog grejanja. Nepovoljnost predstavlja i jedinstven cirkulacioni krug, pa se nečistoće iz kućne instalacije prenose u instalaciju daljinskog grejanja. Zbog toga se obavezno postavlja odvajač nečistoća na povratnoj grani cevovoda kućne instalacije.

Indirektan priključak podrazumeva postojanje razmenjivača toplote, koji služi za razmenu toplote između vode primara i sekundara i on hidraulički razdvaja cirkulacione krugove sistema DG i kućne instalacije. Prednost ovakve podstanice je što je pritisak u kućnoj instalaciji nezavisan od pritiska u toplovodu. Takođe, nema mešanja vode iz kućne instalacije sa vodom iz sistema DG.

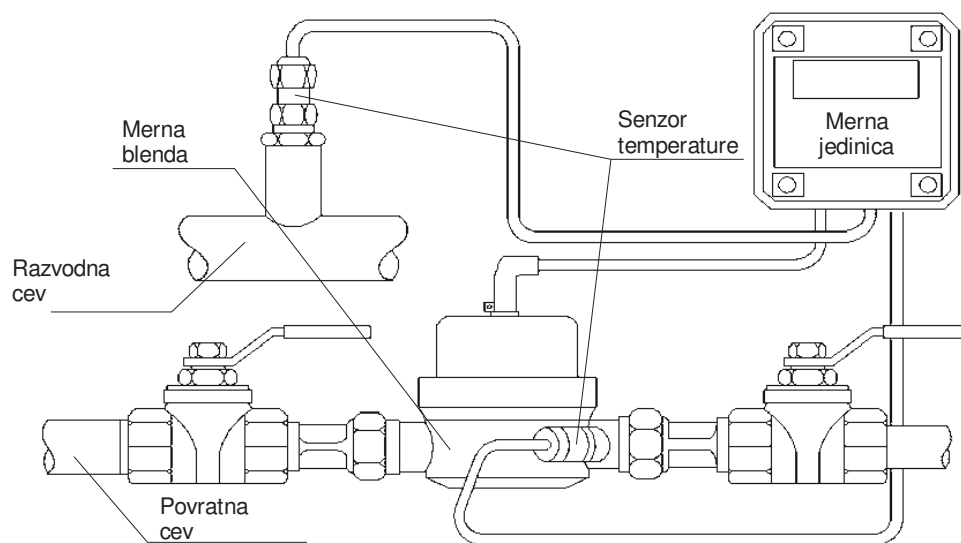
U razvodu primara se obavezno postavlja ograničavač pritiska (regulacioni ventil povezan sa davačem pritiska) čime se instalacija štiti. Iza njega sledi sigurnosni ventil, koji reaguje u slučaju prekoračenja pritiska. U povratu primara se postavlja ograničavač protoka (regulacioni ventil u sprezi sa mernom blendom koja meri protok), čija je uloga da ograniči maseni protok vode na maksimalnu (projektnu) vrednost, kako određeni potrošači (oni bliži toplani) ne bi dobijali veći protok, ostavljajući neke druge potrošače sa manjim protokom. Ovo je naročito izraženo u periodima uzgrevanja instalacije, nakon prekida u radu. Na razdelniku kućne instalacije postavlja se termo-manometar, dok se temperatura vode meri na svakoj grani povratne mreže kućne instalacije koja ulazi u sabirnik. Temperatura i pritisak se mere i na razvodu i povratu primara. Utrošenu toplotu potrošača računa računska jedinica na osnovu merenja masenog protoka, temperature u razvodu i temperature u povratu sekundara (slika 4.34).



Slika 4.32 Toplotna podstanica - direktan priključak



Slika 4.33 Toplotna podstanica - indirektan priključak



Slika 4.34 Merenje potrošnje utrošene toplote

5 GODIŠNJA POTROŠNJA ENERGIJE ZA GREJANJE

5.1 PARAMETRI KOJI UTIČU NA POTROŠNJU ENERGIJE

Najvažniji uticajni parametri na potrošnju energije termotehničkih sistema u zgradi (sistema grejanja, ventilacije i klimatizacije) mogu se podeliti u pet grupa:

1. Klimatski faktori, koji su određeni lokacijom na kojoj se zgrada nalazi;
2. Termički omotač i geometrija zgrade,
3. Karakteristike KGH sistema, izvora energije i nivoa automatske regulacije,
4. Režim korišćenja i održavanja zgrade i tehničkih sistema i
5. Eksploatacioni troškovi, odnosno cene energenata i energije.

Klimatski faktori, kao što je godišnje kretanje temperature vazduha i relativne vlažnosti, insolacija i dozračenosti intenzitet sunčevog zračenja, vetrovitost, i drugo, odlika su lokacije na kojoj se zgrada nalazi. Prema tome, prilikom projektovanja zgrade i tehničkih sistema u njoj, neophodno je poznavati klimatske karakteristike podneblja, koje se, na određen način, uzimaju kao ulazni podaci za proračune. Kada su u pitanju KGH (Klimatizacija, Grejanje, Hlađenje) sistemi, neophodni ulazni podaci su: podaci o termičkom omotaču (koeficijenti prolaza toplote građevinskih elemenata, zaptivenost prozora i vrata), spoljna projektna temperatura za zimu i leto, dužina perioda grejanja i hlađenja, vetrovitost predela, položaj i orijentacija zgrade, itd. Zgrade iste namene, a koje se nalaze u bitno različitim klimatskim podnebljima, veoma se razlikuju, kako po arhitekturi i primenjenim materijalima, tako i po tehničkim rešenjima instalacija u njima.

Termički omotač, geometrija zgrade, njen položaj u odnosu na izloženost Suncu i vetrovima direktno utiču na energetske potrebe zgrade. Što je bolja termička izolacija i zaptivenost prozora i vrata, a manji faktor oblika, potrebna instalisana snaga sistema za grejanje će biti manja. Dobra zaptivenost prozora može značajno umanjiti ventilacione gubitke toplote. Podatak o specifičnom potrebnom instalisanom kapacitetu grejnih tela q (W/m^2) govori o tome koja vrsta sistema za grejanje se može primeniti u zgradi. Način postavljanja termičke izolacije i korišćenje toplotne inercije zgrade takođe je važan podatak. Veličina prozora i korišćenje dnevnog svetla utiče na veštačko osvetljenje, potrošnju električne energije i dobitke toplote od unutrašnjih izvora. Načini zaštite od Sunčevog zračenja tokom leta u velikoj meri mogu sniziti toplotno opterećenje zgrade, kao i instalisani kapacitet rashladnog postrojenja. Raspored prostorija unutar zgrade, atrijumski prostori i galerije mogu imati značajan uticaj prilikom korišćenja prirodnog provetravanja zgrade.

Pažljivim i stručnim izborom KGH sistema, izvora snabdevanja energijom i nivoa automatske regulacije moguće je ostvariti značajne uštede energije koju ovi sistemi troše tokom godine. Dve zgrade „bliznakinje“, koje su identične po nameni, geometriji i energetskim potrebama, mogu imati značajno različitu potrošnju energije u zavisnosti od vrste izvedenih tehničkih sistema u njima. Samo prilikom formiranja konceptualnog rešenja neophodno je uzeti veliki broj ulaznih podataka u razmatranje. Namena, režim korišćenja, geometrija, termička zaštita zgrade, kao i klimatski podaci samo su deo ulaznih parametara. Potrebno je razmotriti prostor za smeštaj uređaja i opreme, načine vođenja instalacija kroz zgradu i uklapanje u enterijer, raspoložive načine snabdevanja energijom, primenu obnovljivih izvora energije, integraciju rada različitih sistema, kao i potreban nivo nadzora i upravljanja sistemima u zgradi. Kod složenih i velikih zgrada, velikih investicionih vrednosti, često se razmatraju varijantna rešenja, na kojima rade multidisciplinarni timovi – arhitekte, mašinski i inženjeri elektrotehnike.

Kako bi zgrada, tokom svog životnog veka, imala zadovoljavajuće energetske performanse, potrebno je redovno i pravilno održavanje zgrade i sistema u njoj. Ukoliko izostane redovno održavanje a ne naruši se u potpunosti funkcionalnost sistema, gotovo redovno se javlja slučaj neracionalne potrošnje energije. Osnovni primeri su: oštećenje ili potpuno uklanjanje termičke izolacije uređaja, cevovoda i kanala za vazduh, što za posledicu ima povećane gubitke toplote sistema, kondenzaciju vlage iz vazduha i oštećenja uređaja i enterijera; zaprljanje distributivne mreže i elemenata opreme, što rezultuje povećanim naporima pumpi i ventilatora a dovodi do veće potrošnje električne energije za njihov pogon; uklanjanje zaprljanih filtera za vazduh umesto njihove zamene dovodi do lošeg kvaliteta vazduha; prestanak funkcije regulacione armature ili opreme, osim pogoršanja termičkih parametara sredine (pregrevanja zimi ili pothlađivanja leti) neminovno utiče na povećanu potrošnju energije, dok u ekstremnim slučajevima može izazvati havarijska oštećenja sistema i veliku štetu, a ponekad ugroziti i ljudske živote. Koliko je važno dobro projektovati i izvesti sisteme u zgradi, od jednake je važnosti njihovo održavanje i pravilno gazdovanje, kako bi oni mogli da pruže svoj maksimum.

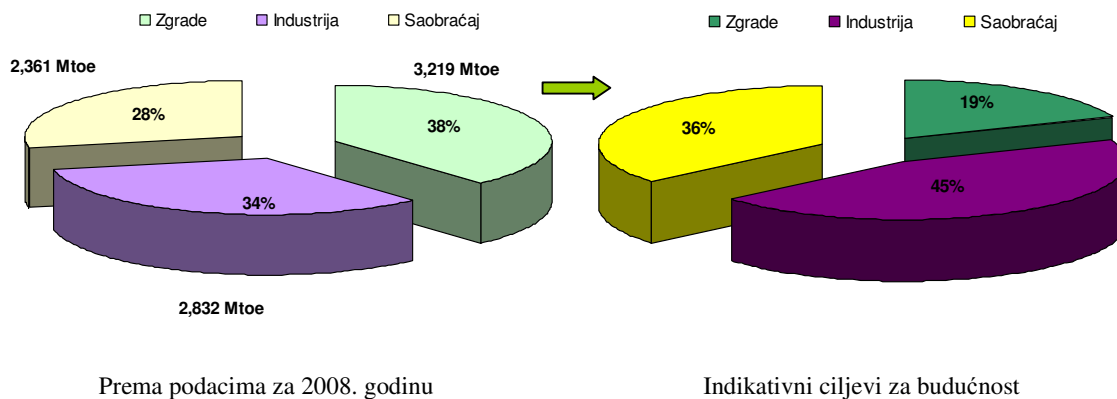
Prilikom projektovanja novih sistema, a češće prilikom izvođenja projekata rekonstrukcije postojećih, sastavni deo procedura je sprovođenje tehno-ekonomske analize, odnosno sagledavanja investicionih i eksploatacionih troškova kroz životni vek projekta. Međutim, ne može se uvek sa dovoljnom preciznošću predvideti na duži rok kretanje cena energije i energenata. Ukoliko postoji disparitet cena na tržištu, doći će do pojave neracionalne potrošnje energije. Osnovna motivacija korisnika jeste cena koju plaćaju za grejanje, odnosno klimatizaciju. Ekstremni primer je paušalna naplata troškova grejanja zgrada koje se toplotom snabdevaju iz sistema daljinskog grejanja. Fiksni mesečni trošak za grejanje nije uslovljen potrošenom energijom, pa samim tim ne postoji motiv korisnika da se racionalno odnosi prema potrošnji energije. Isto važi za ponašanje korisnika poslovnih zgrada u kojima sam korisnik ne plaća račune, već to čini vlasnik. Niska cena pojedinog energenta usloviće neracionalnu potrošnju jer je ona jeftinija nego sprovođenje mera koje bi doprinele uštedama.

5.2 MERE UNAPREĐENJA ENERGETSKE EFIKASNOSTI ZGRADA

Kada je u pitanju korišćenje energetske resursa, danas su u primeni brojna tehnička rešenja koja doprinose efikasnom sagorevanju fosilnih goriva, uz smanjenje gubitaka i povećanje stepena korisnosti. Međutim, na početku trećeg milenijuma, uz velike tehničke i tehnološke prodore u mnogim oblastima, čovečanstvo se suočava sa sve većim problemima iscrpljenja resursa energije i sirovih materijala, posebno minerala, oštećenjem i zagađenjem životne sredine - vazduha, vode, zemlje i sve bržim smanjivanjem šumskih i obradivih poljoprivrednih površina. Interes za iskorišćavanjem prirodnih resursa u uslovima intenzivnog tehničkog i ekonomskog razvoja je u porastu, a cilj je dostići održivost, odnosno, zadovoljiti potrebe danas, ne dovodeći u opasnost mogućnost budućih generacija da zadovolje svoje potrebe za energijom. Pored racionalizacije potrošnje energije unapređenjem energetske efikasnosti u svim oblastima, danas se teži razvijanju što nezavisnijeg, vitalnijeg i elastičnijeg sistema energetike u kome primena obnovljivih izvora energije može da ima važnu ulogu u zadovoljavanju energetske potrebe. U tom smislu, intenzivirano je korišćenje alternativnih i obnovljivih izvora energije, kao što su: solarna energija (aktivni i pasivni sistemi), energija vetra, energija biomase, geotermalna energija, hidroenergija, kao i korišćenje "otpadne" toplote.

Analize i studije energetike Beograda i drugih gradova u Srbiji su pokazale da se samo na toplotne svrhe (grejanje, klimatizacija, priprema tople sanitarne vode) kod nas odnosi čak 38% ukupnih potreba za energijom, obuhvatajući sve objekte, kako stambene, tako javne i industrijske (slika 5.1³). Pri tome se najveći deo energije koristi za grejanje.

³ Prema Energetskom bilansu RS za 2008. i Nacionalnom akcionom planu za energetske efikasnost RS



Prema podacima za 2008. godinu

Indikativni ciljevi za budućnost

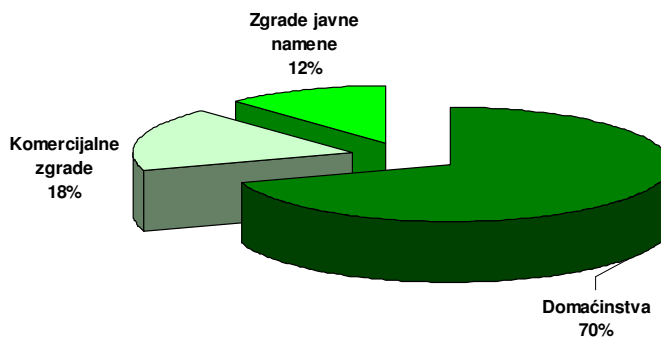
5.1 Potrošnja energije u Republici Srbiji i ciljevi za budućnost

Potrošnju energije u zgradama potrebno je minimizirati na način tako da ne dođe do narušavanja uslova komfora, što znači da je neophodno, tokom cele godine, održavati termičke parametre unutrašnje sredine, kvalitet vazduha, potreban nivo osvetljenosti, dovoljnu količinu tople sanitarne vode. Tehnički sistemi u zgradi, koji obezbeđuju uslove komfora jesu porošači energije. Primenom različitih mera moguće je poboljšati energetska efikasnost, pri čemu treba voditi računa o finansijskim efektima primenjenih mera.

Od ukupne potrošnje energije u zgradama 70% se troši u domaćinstvima i stambenim zgradama, 18% u komercijalnim, dok se u zgradama javne namene potroši oko 12% energije (slika 5.2).

Grejanje stanova u Srbiji:

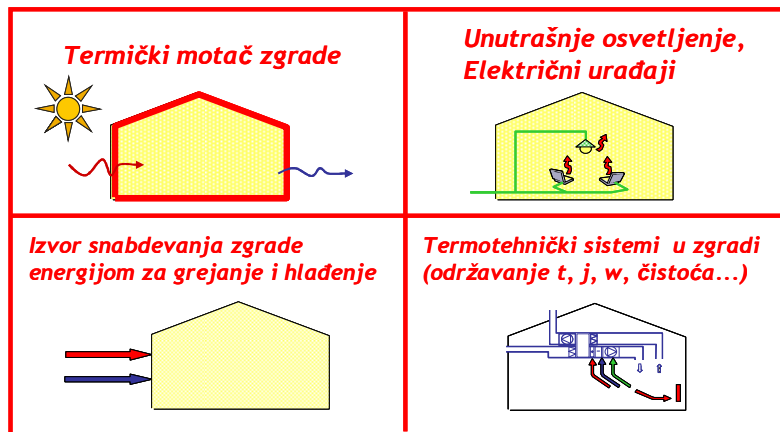
- pomoću individualnih sistema (električna energija, gas, drva i ugalj) 45%,
- kotlarnica 28% i
- mreža daljinskog grejanja 27% (najviše u Novom Sadu i Beogradu).



5.2 Potrošnja energije u Republici Srbiji i ciljevi za budućnost

Mere koje se primenjuju za poboljšanje energetske efikasnosti u zgradama mogu se podeliti u tri osnovne grupe (slika 5.3):

1. **Mere poboljšanja karakteristika same zgrade** kroz smanjenje potreba za grejanjem u zimskom i hlađenja u letnjem periodu (termička izolovanosti i zaptivenost, zaštita od Sunčevog zračenja leti);
2. **Mere unapređenja termotehničkih instalacija** kroz primenu opreme i uređaja sa visokim stepenom korisnosti, korišćenje otpadne toplote i obnovljivih izvora energije (bolje iskorišćenje primarne energije);
3. **Mere optimizacije eksploatacije tehničkih sistema** kroz uvođenje automatskog upravljanja rada instalacija grejanja, hlađenja, ventilacije i veštačkog osvetljenja (termički parametri sredine se održavaju na željenom nivou samo u periodu korišćenja prostorija u zgradi).



5.3 Mere za unapređenje energetske efikasnosti zgrada

Prilikom analize primene mera unapređenja energetske performansi važno je problemu pristupiti određenim redosledom, počevši sa grupom mera poboljšanja karakteristika same zgrade, preko mera smanjenja gubitaka toplote pri proizvodnji i distribuciji toplote, do grupe mera koje podrazumevaju zamenu uređaja i opreme sistema za grejanje, klimatizaciju i pripremu sanitarne tople vode ili sistema osvetljenja, uz uvođenje regulacije rada sistema.

Primena svake pojedinačne mere zavisi od namene zgrade, kao i od trenutnog ukupnog stanja u kome se zgrada nalazi. Ako je zgrada građena u periodu kada nije bilo propisa o termičkoj zaštiti, čest je slučaj da su spoljni zidovi, krov, kao i konstrukcije ka negrejanim prostorima izvedeni bez termičke izolacije. Takođe je važno razmatrati efekte svake primenjene mere pojedinačno, a zatim zbirni efekat nekoliko primenjenih mera, u težnji da se postigne zadovoljavajući period otplate investicije.

Redosled analize mera za unapređenje energetske efikasnosti zgrade:

- I grupa: poboljšanje termičke izolovanosti i zaptivenosti zgrade uz primenu pasivnih mera zaštite od Sunčevog zračenja (rezultat: smanjenje potrebnog kapaciteta izvora toplote, instalisane snage grejnih tela i ukupnih toplotnih potreba zgrade; smanjenje potreba za hlađenjem i poboljšanje termičkog komfora)
- II grupa: izolacija toplovoda i dela cevne i kanalske mreže (rezultat: smanjenje gubitaka u distribuciji toplote i potrebne primarne energije)
- III grupa: zamena izvora / energenta (rezultat: povećanje ukupnog stepena korisnosti postrojenja)
- IV grupa: centralna regulacija sistema grejanja - kvalitativna regulacija prema spoljnoj temperaturi (rezultat: smanjenje pregrevanja prostorija - 1°C viša temperatura unutrašnjeg vazduha dovodi do povećanja potrošnje toplote za cca. 6%)
- V grupa: lokalna regulacija - termostatski ventili i cirkulacione pumpe sa promenljivim brojem obrtaja (kod zgrada sa više zona i različitog režima korišćenja)
- VI grupa: uvođenje CSNU sistema (kod zgrada sa složenim termotehničkim sistemima: grejanje, ventilacija, STV, klimatizacija; mogućnost povezivanja ostalih servisa: osvetljenje, protivprovalni...)
- VII grupa: primena OIE (npr. PSE za pripremu STV - rezultat: smanjenje potrebne primarne energije i emisije CO₂; toplotna pumpa u kombinaciji sa niskotemperaturnim sistemom grejanja - rezultat: visok stepen korisnosti; mogućnost sniženja unutrašnje projektne temperature; mogućnost korišćenja za potrebe hlađenja)
-Korišćenje otpadne toplote i tehnike noćne ventilacije.....

5.3 FINALNA I PRIMARNA ENERGIJA

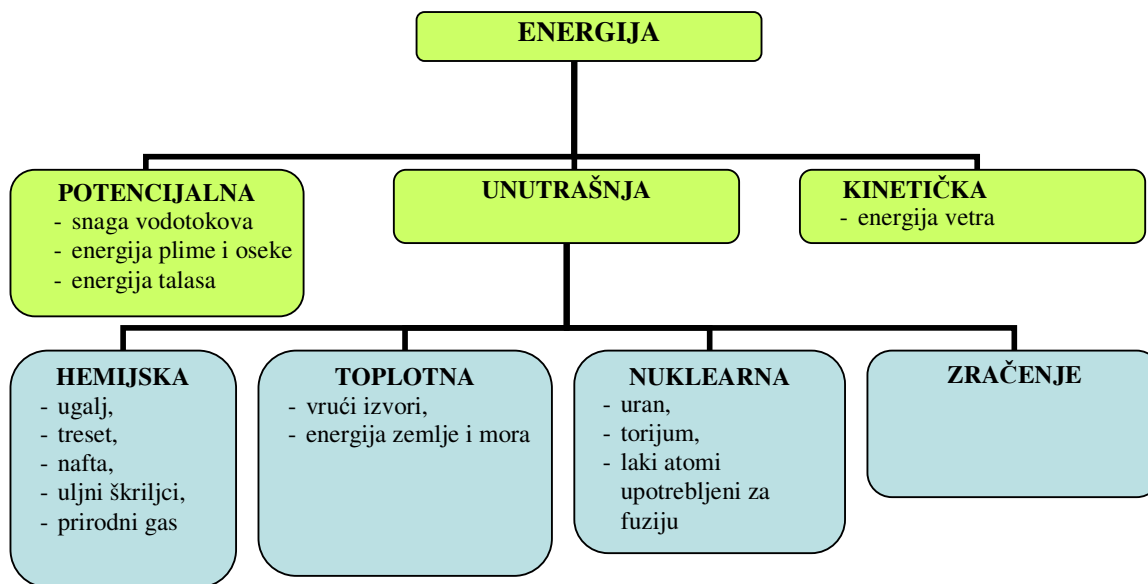
Sva iskoristiva energija potiče iz tri osnovna izvora energije: energije Sunca, energije iz Zemlje i energije gravitacije.

Energija Sunca nastaje procesima termonuklearne fuzije vodika koji se odvijaju u središtu Sunca. Produkti fuzije su helijum i velika količine energije koja se prenosi prema površini Sunca, prosečne temperature 5760 K. Sa površine Sunca energija se emituje u svemir elektromagnetskim talasima. Iako samo vrlo mali deo ukupne Sunčeve energije dolazi do površine Zemlje, na nju tokom jedne godine dospe veća količina energije od one sadržane u ukupnim rezervama uglja i nafte. Energija Sunčevog zračenja na Zemlji pretvara se u druge oblike energije procesima fotosinteze, isparivanja i strujanja.

Energija iz Zemlje posledica je toplote Zemljinog jezgra koja se iz unutrašnjosti provodi prema površini. Zemlja se od svojih početaka, kada je postojala kao kugla užarene mase, hladi i stvara čvrsti deo Zemljine kore koji je deo do 50 km. Prosečna dnevna količina energije koja se iz središta Zemlje dovodi površini iznosi $5,4 \text{ MJ/m}^2$ (gustina toplotnog fluksa $0,063 \text{ W/m}^2$), što je niska vrednost i nije pogodna za tehničko iskorišćenje. Toplotni gradijent po dubini Zemljine kore može biti mestimično vrlo različit, a on je merodavan za iskorišćenje toplote iz Zemlje. Energija iz Zemlje se najčešće koristi kao toplota izvora vruće vode ili pare i kao toplotni izvor za rad toplotnih pumpi.

Energija gravitacije posledica je gravitacionih sila između Sunca, Meseca i Zemlje. Gravitacione sile uzrokuju promene nivoa mora i time promenu potencijalne energije morske vode. Amplituda plime i oseke mestimično varira, a može iznositi od nekoliko centimetara do šesnaest metara.

Izvori energije su prikazani dijagramom na slici 5.4

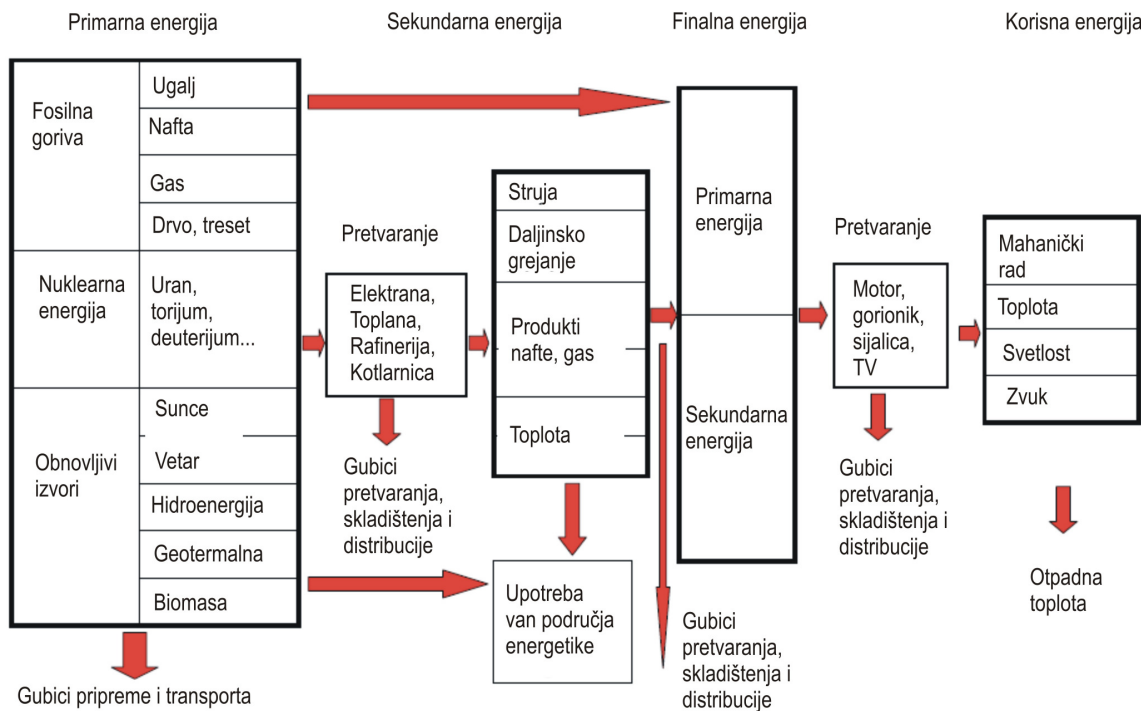


5.4 Izvori energije

Zakon o održanju energije: Energija se ne stvara niti uništava. U svim realnim (nepovratnim) procesima energija se pretvara iz jednog oblika u drugi, pri čemu gubitak predstavlja deo koji se pretvara u neiskoristivu energiju. Zbir svih energija na ulazu u neki sistem jednak je zbiru energija na izlazu iz njega.

Pretvaranje (transformacija) energije: prirodni oblici energije mogu se direktno koristiti ili se preko uređaja za transformaciju mogu pretvarati u korisne oblike, najčešće u mehaničku ili toplotnu energiju. Tu se može govoriti o primarnoj, sekundarnoj, finalnoj i korisnoj energiji.

Primarnom energijom se smatra ona energija koja je sadržana u energentu (nosiocu energije, kao što je hemijska energija goriva). Sekundarna energija je dobijena energetskom transformacijom iz primarne energije i predstavlja primarnu energiju umanjenu za gubitke pretvaranja (npr. električna energija proizvedena sagorevanjem goriva u termoelektrani). Finalna (ili neposredna) energija je ona energija koja dolazi do krajnjeg korisnika (sekundarna energija umanjena za gubitke pripreme i transporta). Konačno, korisna energija je ona koja je utrošena za zadovoljavanje potreba krajnjih korisnika (konačna energija umanjena za gubitke pretvaranja kod korisnika). Šematski prikaz tokova energije i međusobni odnosi navedenih oblika prikazani su na slici 5.5



5.5 Oblici energije i načini pretvaranja u sekundarnu i finalnu energiju

5.4 METODE PRORAČUNA GODIŠNJE POTROŠNJE TOPLOTE

5.4.1 Metod stepen dana

Sam pojam STEPEN-DAN, koji je ključni element ove metode, predstavlja, na neki način, pokazatelj kretanja spoljne temperature vazduha u nekom mestu tokom perioda grejanja.

Ako sa q označimo potrebnu količinu toplote za grejanje pri jediničnoj temperaturskoj razlici (temperatura vazduha spolja i unutra), onda se može napisati:

$$q = \frac{Q_{GUB}}{\theta_u - \theta_{s p}} \text{ [W/K]}, \quad (5.1)$$

onda je potrebna količina toplote za grejanje po danima:

$$Q_1 = q \cdot (\theta_u - \theta_{s1}) \cdot 24 \text{ [Wh/dan]} \quad (5.2)$$

$$Q_2 = q \cdot (\theta_u - \theta_{s2}) \cdot 24 \text{ [Wh/dan]}$$

$$Q_3 = q \cdot (\theta_u - \theta_{s3}) \cdot 24 \text{ [Wh/dan]}$$

...

$$Q_n = q \cdot (\theta_u - \theta_{sn}) \cdot 24 \text{ [Wh/dan]}$$

pa je energija potrebna za ceo grejni period, odnosno celu grejnu sezonu:

$$Q_g = \sum_{n=1}^Z Q_n = 24 \cdot q \cdot \sum_{n=1}^Z (\theta_u - \theta_{sn}) \text{ [Wh/god]}, \quad (5.3)$$

gde je Z – broj dana u grejnoj sezoni.

Broj STEPEN-DANA je:

$$SD = \sum_{n=1}^Z (\theta_u - \theta_{sn}), \quad (5.4)$$

pa izraz (5.2) ima oblik:

$$Q_g = \sum_{n=1}^Z Q_n = 24 \cdot q \cdot SD \text{ [Wh/god]}, \quad (5.5)$$

Ako se uvede pojam **srednje temperature grejnog perioda** θ_g , onda se broj stepen-dana može napisati u obliku:

$$SD = Z \cdot (\theta_u - \theta_g), \quad (5.6)$$

Ako se dodatno usvoji (što je odgovara realnim uslovima i zadatku sistema za grejanje) da je temperatura vazduha u prostoriji – unutrašnja temperatura – konstantna vrednosti, onda se može napisati:

$$SD = Z \cdot \theta_u - \sum_{n=1}^Z \theta_{sn}, \quad (5.7)$$

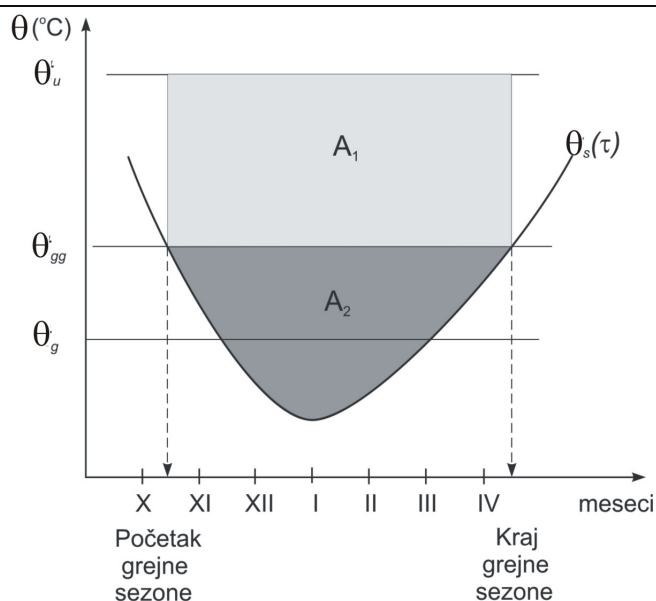
Ovde se uvodi još jedan pojam: **temperatura granice grejanje** θ_{gg} , što predstavlja temperaturu spolnog vazduha pri kojoj počinje i pri kojoj se završava grejna sezona. Ako se ima u vidu da je grejna sezona ograničena temperaturom granice grejanja, onda se može napisati izraz za broj stepen dana u sledećem obliku:

$$SD = Z \cdot (\theta_u - \theta_{gg}) + \sum_{n=1}^Z (\theta_{gg} - \theta_{sn}), \quad (5.8)$$

Izraz (5.8) se koristi za praktično izračunavanje broja SD, što je grafički prikazano na slici 5.6.

Kada se računa broj stepen-dana, polazi se od sledećih pretpostavki:

- srednja unutrašnja temperatura vazduha u prostorijama iznosi $t_u = 19^\circ\text{C}$ (u većini prostorija je unutrašnja temperatura 20°C , ali tu su i sporedne prostorije, čija je temperatura vazduha niža, pa se za prosečnu vrednost usvaja 19°C);
- temperatura granice grejanje iznosi $\theta_{gg} = 12^\circ\text{C}$.



Slika 5.6 Grafički prikaz broja stepen-dana

Ono što se razlikuje od mesta do mesta jeste:

- tok spoljne temperature vazduha $\theta_s = \theta_s(\tau)$,
- srednja temperatura grejnog perioda θ_g i
- dužina trajanja grejne sezone, odnosno broj dana u grejnoj sezoni Z .

Tabela 5.1 Broj stepen-dana SD , broj dana Z i srednja temperatura θ_g za gradove u Srbiji

MECTO	SD	Z	θ_g	MESTO	SD	Z	θ_g
Aleksinac	2517	176	5,7	Leskovac	2625	181	5,5
Beograd	2520	175	5,6	Požarevac	2588	181	5,7
Bečej	2797	184	4,8	Negotin	2818	183	4,6
Bor	3100	200	4,5	Niš	2613	179	5,4
Valjevo	2784	192	5,5	Novi Sad	2679	181	5,2
Vranje	2675	182	5,3	Pančevo	2712	182	5,1
Vršac	2556	180	5,8	Pirot	2610	180	5,5
Gornji Milanovac	3078	208	5,2	Prokuplje	2604	186	6
Divčibare	3839	243	4,2	Senta	2824	187	4,9
Zaječar	2880	192	5	Smederevo	2610	180	5,5
Zlatibor	3728	239	4,4	Sombor	2850	190	5
Zrenjanin	2748	182	4,9	Sremski Karlovci	2496	177	5,9
Jagodina	2599	178	5,4	Sremska Mitrovica	2738	185	5,2
Kikinda	2763	183	4,9	Užice	3015	201	5
Kopaonik	5349	311	2,8	Čačak	2755	190	5,5
Kragujevac	2610	180	5,5	Čuprija	2380	163	5,4
Kraljevo	2628	180	5,4	Šabac	2588	181	5,7
Kruševac	2654	183	5,5	Šid	2686	184	5,4

Proračun godišnje potrošnje energije za grejanje metodom broja stepen-dana određuje se na sledeći način:

$$Q_g = \frac{24 \cdot Q_{GUB} \cdot SD}{\theta_u - \theta_{sp}} \cdot y \cdot e \text{ [Wh/god]}, \quad (5.9)$$

gde su:

- y – korekcionni faktor jednovremenosti, koji uzima u obzir činjenicu da se svi nepovoljni uticaji (velika brzina vetra, visoka oblačnost...) ne javljaju istovremeno, a pri proračunu gubitaka toplote su uzeti u obzir (Tabela 5.2),
- e – korekcionni faktor koji uzima u obzir prekid u zagrevanju (smatra se da u toku 24 časa dolazi do prekida u zagrevanju tokom noći od oko 8 časova), tako da postoji njegov uticaj na smanjenje potrošnje energije:

$$e = e_t \cdot e_b, \quad (5.10)$$

gde su:

- e_t – faktor **temperaturskog ograničenja**, koji uzima u obzir ograničeno zagrevanje tokom noći kada se ne troši gorivo za grejanje. Noćni prekid u zagrevanju utiče na sniženje unutrašnje temperature u odnosu na projektnu vrednost i izražava se na sledeći način:

$$e_t = \frac{\theta_{um} - \theta_g}{\theta_u - \theta_g}, \quad (5.11)$$

gde je:

θ_{um} – snižena unutrašnja temperatura tokom noći.

Međutim, računski je jako teško odrediti θ_{um} , jer ona zavisi od više uticajnih faktora, tako da se faktor e_t određuje empirijski i usvaja se u zavisnosti od namene zgrade, odnosno dnevnog korišćenja postrojenja za grejanje u zgradi;

- e_b – faktor **eksploatacionog ograničenja**, koji uzima u obzir prekid u zagrevanju (ili ograničeno zagrevanje) tokom vikenda, praznika, raspusta ili kolektivnog odmora, i sl.

I ovaj korekcionni faktor se određuje empirijski i zavisi od namene objekta.

Tabela 5.2 Koeficijent jednovremenosti

Koeficijent y	vrednost
normalno vetroviti predeli i zaklonjen položaj	0,63
normalno vetroviti predeli i otvoren položaj	0,60
vetroviti predeli i zaklonjen položaj	0,58
vetroviti predeli i otvoren položaj	0,55

Tabela 5.3 Koeficijent temperaturskog ograničenja e_t

Vrsta zgrade	e_t
Bolnice i zgrade slične namene	1,00
Stambene zgrade sa grejanjem svih prostorija	0,95
Stambene zgrade sa noćnim ograničenjem u zagrevanju, administrativne zgrade, trgovine i drugi slični objekti velikih akumulacionih sposobnosti u područjima umerene klime	0,90
Administrativne zgrade sa manjom akumulacionom sposobnosti u području oštre klime	0,85
Škole sa jednom smenom nastave i velikom akumulacionom sposobnošću	0,80
Škole sa jednom smenom nastave i malom akumulacionom sposobnošću	0,75

Tabela 5.4 Koeficijent temperaturskog ograničenja e_b

Vrsta zgrade	e_b
Stalno grejani objekti (stambene zgrade, bolnice)	1,00
Stambene zgrade sa noćnim ograničenjem u zagrevanju subotom, nedeljom i praznicima (kancelarije, administrativne zgrade, banke, trgovine i sli.)	0,90
Škole	0,75

5.4.2 Proračun metodom potpuno definisanog mesečnog modela

Godišnja potrebna toplota za grejanje, $Q_{H,nd}$ se prema SRPS EN ISO 13790, za sisteme koji rade bez prekida u zagrevanju, računa po sledećoj formuli:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn} \quad [\text{kWh/a}] \quad (5.12)$$

gde su:

$Q_{H,ht}$ - Godišnja potrebna toplota za nadoknadu gubitaka toplote [kWh/a]

$\eta_{H,gn}$ - Faktor iskorišćenja dobitaka toplote za period grejanja

$Q_{H,gn}$ - Godišnja količina toplote koja potiče od unutrašnjih dobitaka toplote i dobitaka usled sunčevog zračenja [kWh/a]

Specifična godišnja potrebna toplota za grejanje, $Q_{H,an}$ predstavlja količnik godišnje potrebne toplote za grejanje i korisne površine zgrade:

$$Q_{H,an} = \frac{Q_{H,nd}}{A_f} \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})] \quad (5.13)$$

gde je:

A_f – korisna površina zgrade [m^2]

Godišnja potrebna toplota za nadoknadu gubitaka toplote obuhvata toplotu koja je potrebna za nadoknadu transmisionih Q_T i ventilacionih gubitaka toplote Q_v :

$$Q_{H,ht} = Q_T + Q_v \quad [\text{kWh/a}] \quad (5.14)$$

Godišnja količina toplote koja potiče od unutrašnjih dobitaka toplote i dobitaka usled sunčevog zračenja:

$$Q_{H,gn} = Q_{\text{int}} + Q_{\text{sol}} \quad [\text{kWh/a}] \quad (5.15)$$

gde su:

Q_{int} - Godišnja količina toplote koja potiče od unutrašnjih dobitaka toplote [kWh/a]

Q_{sol} - Godišnja količina toplote koja potiče od dobitaka usled Sunčevog zračenja [kWh/a]

pa se godišnja potrebna toplota za grejanje može izraziti na sledeći način:

$$Q_{H,nd} = (Q_T + Q_v) - \eta_{H,gn} \cdot (Q_{int} + Q_{sol}) \quad [\text{kWh/a}] \quad (5.16)$$

Godišnja potrebna toplota za nadoknadu gubitaka toplote računa se po formuli:

$$Q_{H,ht} = (H_T + H_V) \cdot 24 \cdot HDD \cdot 10^{-3} \quad [\text{kWh/a}] \quad (5.17)$$

gde su:

H_T - Koeficijent transmisijonog gubitka toplote [W/K]

H_V - Koeficijent ventilacionog gubitka toplote [W/K]

HDD - broj stepen dana za lokaciju zgrade (HDD - **Heating Degree Days** - Tabela 5.1)

Koeficijent transmisijonog gubitka toplote:

$$H_T = H_D + H_g + H_U + H_A \quad [\text{W/K}] \quad (5.18)$$

gde su:

H_D – Koeficijent transmisijonog gubitka toplote za površine u dodiru sa spoljnim vazduhom;

H_g – Koeficijent transmisijonog gubitka toplote za površine u dodiru sa tlom;

H_U – Koeficijent transmisijonog gubitka toplote za površine u dodiru sa negrejanim prostorom;

H_A – Koeficijent transmisijonog gubitka toplote za površine u dodiru sa susednom zgradom.

Koeficijent transmisijonog gubitka toplote za površine u dodiru sa spoljnim vazduhom računa se prema Proračunu transmisijonih gubitaka usled toplotnih mostova prema SRPS ISO 10211:

$$H_D = \sum_i A_i \cdot U_i + \sum_k l_k \cdot \psi_k + \sum_j \chi_j \quad [\text{W/K}] \quad (5.19)$$

gde su:

A_i [m²] - površina i-tog elementa omotača zgrade

U_i [W/(m²·K)] - koeficijent prolaza toplote i-tog elementa omotača zgrade

l_k [m] - dužina k-tog linijskog toplotnog mosta

ψ_k [W/m·K] - linijski koeficijent prolaza toplote k-tog linijskog toplotnog mosta

χ_j [W/K] - tačkasti koeficijent prolaza toplote j-tog tačkastog toplotnog mosta

Za proračun se može koristiti i uprošćeni metod uticaja toplotnih mostova dat u poglavlju 2 (jednačine 2.25 – 2.27 i korišćenjem tabele 2.11 za korekciju temperature).

Srednja vrednost koeficijenta prolaza toplote za zgradu:

$$H_T' = \frac{H_T}{A_f} \quad [\text{W/(m}^2\text{K)}] \quad (5.20)$$

gde su:

H_T - Koeficijent transmisijonog gubitka toplote [W/K]

A_f – površina termičkog omotača zgrade [m²]

Koeficijent ventilacionog gubitka toplote:

$$H_V = \rho_a \cdot c_p \cdot \sum_i V_i \cdot n_i \quad [\text{W/K}] \quad (5.21)$$

gde su:

V – zapremina grejanog prostora [m^3]

n – broj izmena vazduha na čas [h^{-1}]

$$\rho_a \cdot c_p = 1200 \left[\frac{\text{J}}{\text{m}^3 \text{K}} \right]$$

ρ_a – gustina vazduha [kg/m^3]

c_p – specifični toplotni kapacitet vazduha pri konstantnom pritisku [J/kgK]

Broj izmena vazduha na čas se određuje u zavisnosti od zaklonjenosti i klase zaptivenosti zgrade (prema SRPS EN ISO 13789) prema tabelama 5.5 i 5.6:

Tabela 5.5. – Broj izmena vazduha na čas u zavisnosti od zaklonjenosti i klase zaptivenosti zgrade (prema SRPS EN ISO 13789) – Stambene zgrade sa više stanova i prirodnom ventilacijom

	Broj izmena vazduha n [h^{-1}]			Broj izmena vazduha n [h^{-1}]		
Izloženost fasade vetru	Više od jedne fasade			Samo jedna fasada		
Zaptivenost	Loša	Srednja	Dobra	Loša	Srednja	Dobra
Otvoren položaj zgrade	1,2	0,7	0,5	1,0	0,6	0,5
Umereno zaklonjen položaj	0,9	0,6	0,5	0,7	0,5	0,5
Veoma zaklonjen položaj	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Tabela 5.6. – Broj izmena vazduha na čas u zavisnosti od zaklonjenosti i klase zaptivenosti zgrade (prema SRPS EN ISO 13789) – Pojedinačne porodične kuće sa prirodnom ventilacijom

	Broj izmena vazduha n [h^{-1}]		
Zaptivenost	Loša	Srednja	Dobra
Otvoren položaj zgrade	1,5	0,8	0,5
Umereno zaklonjen položaj	1,1	0,6	0,5
Veoma zaklonjen položaj	0,76	0,5	0,5

Faktor iskorišćenja dobitaka toplote za period grejanja računa se pomoću sledeće formule:

$$\eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{(a_H+1)}} \quad (5.22)$$

gde su:

γ_H - bezdimenzioni odnos toplotnog bilansa

a_H - bezdimenzioni numerički parametar koji zavisi od vrednosti vremenske konstante

Bezdimenzioni odnos toplotnog bilansa predstavlja odnos godišnje količine toplote koja potiče od unutrašnjih dobitaka toplote i dobitaka usled sunčevog zračenja i godišnje potrebne toplote za nadoknadu gubitaka toplote:

$$\gamma_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}} \quad (5.23)$$

Bezdimenzioni numerički parametar a_H zavisi od vrednosti vremenske konstante τ i računa se prema formuli:

$$a_H = a_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,0}} \quad (5.24)$$

gde je:

τ - vremenska konstanta [h]

i računa se kao odnos dinamičkog toplotnog kapaciteta i zbira koeficijenata transmisijih i ventilacionih gubitaka toplote:

$$\tau = \frac{C_m / 3600}{H_T + H_V} \quad (5.25)$$

C_m - dinamički toplotni kapacitet [J/K]

Prosečne vrednosti faktora iskorišćenja dobitaka toplote za period grejanja (za sezonski ili mesečni metod) se usvajaju prema tipu gradnje, prema sledećim preporukama:

$\eta_{H,gn} = 1,00$ - Teški tip gradnje;

$\eta_{H,gn} = 0,98$ - Srednje-teški tip gradnje;

$\eta_{H,gn} = 0,90$ - Laki tip gradnje.

Godišnja količina toplote koja potiče od unutrašnjih dobitaka toplote i dobitaka usled sunčevog zračenja:

$$Q_{H,gn} = Q_{int} + Q_{sol} \quad [\text{kWh/a}] \quad (5.26)$$

Godišnja količina toplote koja potiče od unutrašnjih dobitaka toplote predstavlja zbir dobitaka toplote od ljudi i električnih uređaja (Tabela 5.8) i računa se prema:

$$Q_{int} = A_f \cdot (q_p + q_E) \quad [\text{kWh/a}] \quad (5.27)$$

gde su:

A_f – korisna površina zgrade [m^2]

q_p - dobiti toplote od ljudi

q_E - dobiti toplote od električnih uređaja

Tabela 5.7 Srednje mesečne temperature vazduha, srednje mesečne sume zračenja i broj stepen dana za svaki mesec grejne sezone (SD=HDD)

Mesec		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Zima
Средња месечна температура (°C)		0,9	3,0	7,3	12,5	17,6	20,6	22,3	22,0	17,7	12,7	7,2	2,6	5,6
Сунчево зрачење	XOP (kWh/m ²)	42,75	60,35	103,86	133,65	170,43	181,23	192,83	170,43	127,58	88,94	45,50	33,87	398
	J (kWh/m ²)	64,25	76,98	96,43	86,73	86,28	81,43	90,31	99,43	107,38	109,22	66,52	52,80	455
	И, 3 (kWh/m ²)	32,57	55,35	79,80	96,05	112,90	116,78	125,22	114,37	91,32	67,21	34,67	25,53	310
	C (kWh/m ²)	17,42	22,38	36,04	44,64	55,69	56,88	58,27	52,83	38,78	29,16	17,93	14,31	145
	HDD = 2520	585	458	370	102	0	0	0	0	0	101	373	531	

Tabela 5.8 – Dobici toplote od ljudi i električnih uređaja (prema SRPS EN ISO 13790)

Tip zgrade	1	2	3	4	5	6	7	8	9) Ostale zgrade				Jedini- ca
Ulazni podaci	Stambena zgrada sa jednim stanom	Stambena zgrada sa više stanova	Poslovna zgrada	Zgrade namenjene obrazovanju	Bolnice	Restorani	Trgovinski centri	Sportski centri	Sale za sastanke i prezentacije	Industrijske zgrade	Skladišta	Unutrašnji bazeni	
Unutrašnja projektna temperatura za zimski period	20	20	20	20	22	20	20	18	20	18	18	28	°C
Unutrašnja projektna temperatura za letnji period	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	28	°C
Površina po osobi (zauzetost)	60	40	20	10	30	5	10	20	5	20	100	20	m ² /per
Odavanje toplote po osobi	70	70	80	70	80	100	90	100	80	100	100	60	W/per
Odavanje toplote ljudi po jedinici površine	1,2	1,8	4,0	7,0	2,7	20	9,0	5,0	16	5,0	1,0	3,0	W/m ²
Prisutnost tokom dana (prosečno mesečno)	12	12	6	4	16	3	4	6	3	6	6	4	h
Godišnja potrošnja električne energije po jedinici površine grejanog prostora	20	30	20	10	30	30	30	10	20	20	6	60	kWh/m ²
Protok svežeg vazduha po jedinici površine grejanog prostora	0,7	0,7	0,7	0,7	1,0	1,2	0,7	0,7	1,0	0,7	0,3	0,7	m ³ /(h·m ²)
Protok svežeg vazduha po osobi (obrok po osobi)	42	28	14	7	30	6	7	14	5	14	30	14	m ³ /(h·per)
Toplota potrebna za pripremu STV po jedinici površine grejanog prostora	10	20	10	10	30	60	10	80	10	10	1,4	80	kWh/m ²

Godišnja količina toplote koja potiče od dobitaka usled Sunčevog zračenja:

$$Q_{sol} = F_{sh} \cdot A_{sol} \cdot I_{sol} \cdot \tau_{sol} \quad [\text{kWh/a}] \quad (5.28)$$

gde su:

F_{sh} - faktor osenčenosti zgrade (iz Tabela 2.4, 2.5 i 2.6):

$$F_{sh} = F_{hor} \cdot F_{ov} \cdot F_{fin} \quad (5.29)$$

gde su F_{hor} , F_{ov} , F_{fin} korekcionni faktori za 45° SGŠ prema tabelama 2.4, 2.5 i 2.6.

Za staklene spoljne površine:

$$A_{sol,gl} = g_{gl} \cdot (1 - F_F) \cdot A_W, \quad (5.30)$$

gde su:

g_{gl} - faktor propustljivosti Sunčevog zračenja u zavisnosti od vrste stakla (Tabela 2.7);

F_F - faktor rama;

A_W - površina prozora (građevinskog otvora)

Za spoljne zidove:

$$A_{sol,C} = \alpha_{s,C} \cdot R_{s,C} \cdot U_C \cdot A_C \quad (5.31)$$

$\alpha_{s,C}$ - emisivnost spoljne površine zida (kratkotalasno zračenje Sunca);

$\alpha_{s,C} = 0,6$ - vrednost za svetlije boje fasade i mermer

$R_{s,C} = \frac{1}{h_e}$ - otpor prelazu toplote za spoljnu stranu zida [m^2K / W]

Srednja vrednost otpora prelazu toplote za spoljnu stranu zida: $R_{s,C} = \frac{1}{25}$ [$m^2 \cdot K / W$]

$I_{sol} \cdot \tau_{sol}$ [kWh/m^2] - vrednosti date u tabeli 1.4

Tabela 5.9 - Faktor osenčenosti zgrade usled okolnih objekata

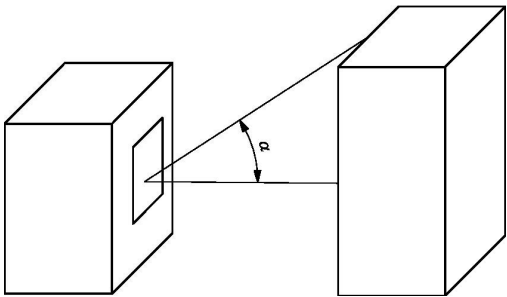
Korekциони faktor F_{hor} za 45° SGŠ				
Ugao [°]	J	I,Z	S	
0	1,00	1,00	1,00	
10	0,97	0,95	1,00	
20	0,85	0,82	0,98	
30	0,62	0,70	0,94	
40	0,46	0,61	0,90	

Tabela 5.10 - Faktor osenčenosti zgrade usled nastrešica

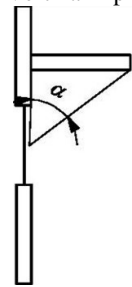
Korekциони faktor F_{ov} za 45° SGŠ				Vertikalni presek 
Ugao [°]	J	I,Z	S	
0	1,00	1,00	1,00	
30	0,90	0,89	0,91	
45	0,74	0,76	0,80	
60	0,50	0,58	0,66	

Tabela 5.11 - Faktor osenčenosti zgrade usled vertikalnih ispusta na fasadi

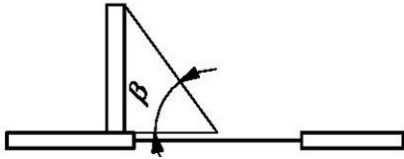
Korekcionni faktor F_{fin} za 45° SGŠ				Horizontalni presek 
Ugao [°]	J	I,Z	S	
0	1,00	1,00	1,00	
30	0,94	0,92	1,00	
45	0,84	0,84	1,00	
60	0,72	0,75	1,00	

Tabela 5.12 - Faktor propustljivosti Sunčevog zračenja u zavisnosti od vrste stakla

Vrsta zastakljenja	g_{gl}
Jednosrtno obično staklo	0,85
Dvostruko obično staklo	0,75
Dvostruko staklo sa selektivnim niskoemisionim premazom	0,67
Trostruko obično staklo	0,7
Trostruko staklo sa dva selektivna niskoemisiona premaza	0,5
Dupli prozor	0,75

Godišnja potrebna toplota za grejanje za sisteme koji rade sa prekidom:

$$Q_{H,nd,interm} = a_{H,red} \cdot Q_{H,nd} \quad [\text{kWh/a}] \quad (5.32)$$

gde su:

 $Q_{H,nd,interm}$ - Godišnja potrebna toplota za grejanje za sisteme koji rade sa prekidom [kWh/a] $a_{H,red}$ - bezdimenzijski faktor redukcije u zagrevanju;

Bezdimenzijski faktor redukcije u zagrevanju računa se kao:

$$a_{H,red} = 1 - 3 \left(\frac{\tau_{H,0}}{\tau} \right) \cdot \gamma_H \cdot (1 - f_{H,hr}) \quad (5.33)$$

gde je:

 $f_{H,hr}$ - odnos broja sati rada sistema za grejanje u toku nedelje prema ukupnom broju sati u nedelji. γ_H - bezdimenzioni odnos toplotnog bilansa i računa se po formuli (5.23) $\tau_{H,0}, \tau$ - vremenske konstante [h]**5.5 FINANSIJSKI ASPEKTI PRIMENE MERA UNAPREĐENJA ENERGETSKE EFIKASNOSTI ZGRADA**

Primenom različitih mera moguće je poboljšati energetska efikasnost, pri čemu treba voditi računa o finansijskim efektima primenjenih mera. Svaka zgrada, bilo nova ili postojeća, može se dovesti na nivo koji je blizak “nultoj” potrošnji, ali su često investiciona ulaganja visoka i nisu ekonomski isplativija. Zato je poreban sistematičan pristup prilikom izbora mera koje će

dovesti do smanjenja potrošnje energije u zgradi na godišnjem nivou, a sa druge strane biti isplativije i imati “razuman” period povraćaja investicije.

Primena svake pojedinačne mere zavisi od namene zgrade, kao i od trenutnog ukupnog stanja u kome se zgrada nalazi. Ako je zgrada građena u periodu kada nije bilo propisa o termičkoj zaštiti, čest je slučaj da su spoljni zidovi, krov, kao i konstrukcije ka negrejanim prostorima izvedeni bez termičke izolacije. U tim slučajevima obavezno se razmatra poboljšanje termičke izolovanosti omotača zgrade, kao i sanacija ili zamena prozora u cilju smanjenja transmisivnih i ventilacionih gubitaka objekta. Ukoliko se analizom obuhvati i zamena izvora toplote i rekonstrukcija sistema grejanja, onda će predviđena mera poboljšanja omotača rezultovati manjim kapacitetom novog izvora toplote i manjom površinom grejnih tela u zgradi.

Takođe je važno razmatrati efekte svake primenjene mere pojedinačno, a zatim zbirni efekat nekoliko primenjenih mera, u težnji da se postigne zadovoljavajući period otplate investicije.

Tehnički vek projekta utvrđuje se na osnovu fizičkog trajanja opreme neophodne za određenu meru ili projekat. Kod projekata, koji su sastavljeni od više mera sa različitim fizičkim trajanjem, mora se izračunati potrebno ponavljanje mera sa kraćim tehničkim vekom, da bi se pokrilo vreme trajanja mera sa najdužim tehničkim vekom. Ekonomski vek projekta predstavlja period u kome projekat donosi profit (uštete), koji je planiran i unet u studiju opravdanosti projekta. Ekonomski vek se koristi za ocenu finansijske isplativosti i ekonomske opravdanosti mera i projekta energetske efikasnosti.

Neto uštete u tekućim troškovima za svaku godinu, koje su nastale kao rezultat investicionih ulaganja u mere i projekat EE izražavaju se kao [6]:

$$B = \sum_{t=1}^n (B_t \cdot P_e - \Delta C_e) \quad (5.34)$$

gde su:

- B ukupne godišnje uštete,
- B_t ušteta energije za jednu godinu ($t = 1$ do n),
- P_e cena energije za jednu godinu,
- ΔC_e promena eksploatacionih troškova u odnosu na situaciju pre primene projekta.

Prost period povraćaja investicije pokazuje vreme potrebno da se iz budućih prihoda (ostvarenih ušteta) naplate ukupna investiciona ulaganja [6]:

$$PBP = \frac{I}{B} \quad (5.35)$$

gde su:

- PBP prost period povraćaja investicije,
- I ukupno investiciono ulaganje,
- B godišnji neto prihod projekta (neto uštete).

Dinamički period povraćaja investicije pokazuje vreme potrebno da se iz budućih prihoda projekta svedenih na sadašnju vrednost, naplate investiciona ulaganja u početnom trenutku. Za njegov obračun potrebno je izvršiti diskontovanje projektovanih budućih prihoda projekta. Dinamički period povraćaja investicije računa se kao [6]:

$$POP = \frac{\ln(1 - d \cdot PBP)}{\ln(1 + d)}, \quad (5.36)$$

gde je:

d - realna diskontna stopa.

Neto sadašnja vrednost dobija se kada se od sadašnje vrednosti prihoda projekta oduzme sadašnja vrednost ukupnih investicionih troškova projekta:

$$NPV = \frac{B_0}{(1+d)^0} + \frac{B_1}{(1+d)^1} + \frac{B_2}{(1+d)^2} + \dots + \frac{B_n}{(1+d)^n} - PVI \quad (5.37)$$

gde su:

n ekonomski vek projekta u izražen u godinama,

B neto priliv projekta u posmatranoj godini,

d diskontna stopa,

PVI sadašnja vrednost ukupnih investicionih troškova projekta.

Projekat je rentabilan kada je neto sadašnja vrednost veća od nule, odnosno kada su svedene uštede tokom ekonomskog veka projekta veće od ukupnih svedenih investicija. U protivnom, nema smisla ulagati u takav projekat.

Interna stopa rentabilnosti je diskontna stopa, pri kojoj su izjednačene sadašnja vrednost prihoda od ušteta i sadašnja vrednost ukupnih troškova projekta, odnosno diskontna stopa pri kojoj je neto sadašnja vrednost projekta jednaka nuli:

$$\frac{B_0}{(1+d)^0} + \frac{B_1}{(1+d)^1} + \frac{B_2}{(1+d)^2} + \dots + \frac{B_n}{(1+d)^n} = PVI ; IIR = d \quad (5.38)$$

gde je:

$IIR = d$ interna stopa rentabilnosti,

B neto prihod u n -toj godini,

n rok trajanja projekta u godinama.

IRR projekta treba da bude veća ili najmanje jednaka diskontnoj stopi, koja odražava cenu sredstva za finansiranje projekta. IRR izabrane opcije projekta, mora biti viša ili bar jednaka IRR ostalih analiziranih opcija projekta ili mogućeg ulaganja sredstava.

5.6 PRIMERI PRIMENE MERA UNAPREĐENJA ENERGETSKE

5.6.1 Unapređenje sistema grejanja

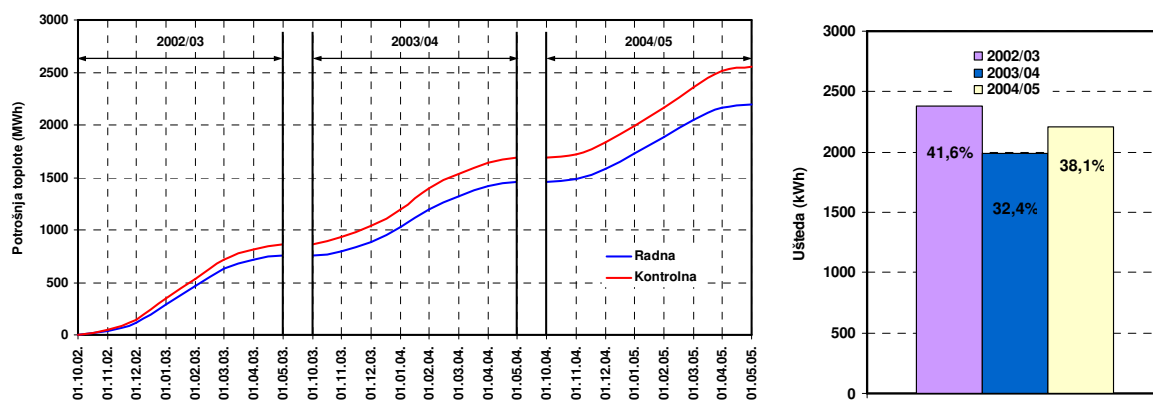
Merenja potrošnje toplote za grejanje u zgradi koja se nalazi na Novom Beogradu (slika 5.7) i koja je povezana na sistem daljinskog grejanja, započela su sa grejnom sezonom 2002/03, nakon rekonstrukcije toplotne podstanice. Podstanica je rekonstruisana u potpunosti uz ugradnju cirkulacionih pumpi sa promenljivim brojem obrtaja koje rade sa promenljivim protokom grejnog fluida i ugrađeno je merilo urošene toplote. Sva grejna tela kućne instalacije opremljena su radijatorskim ventilima sa termostatskim glavama i deliteljima toplote. Na taj način je omogućena lokalna regulacija toplotnog učinka, kao i praćenje potrošnje toplote za grejanje na svakom grejnom telu, odnosno u svakom stanu. Stambena zgrada je blokovskog tipa gradnje, iz 80-tih godina prošlog veka, sastoji se iz 5 lamela (sa zasebnim ulazima), spratnosti P+5+Pot, sa 135 stambenih jedinica i ukupne korisne površine stambenog prostora od 6580 m².

Izmerena potrošnja toplote za grejanje u reprezentativnoj zgradi, koja je tokom projekta nazvana „radna“ poređena je sa potrošnjom u zgradi blizakinji, u kojoj nije vršena nikakva rekonstrukcija, osim ugradnje merila utrošene toplote („kontrolna“ zgrada), i na taj način je omogućeno praćenje ušteta koje su postignute rekonstrukcijom grejnog sistema.



Slika 5.7 Reprezentativna zgrada na Novom Beogradu na kojoj su vršena merenja

Prosečna godišnja ostvarena ušteda u potrošnji energije se kreće na nivou od 10%. Na dijagramu prikazanom na slici 5.8 levo vidi se uporedna kumulativna potrošnja toplote radne i kontrolne zgrade. Ušteda električne energije za pogon cirkulacionih pumpi sa promenljivim brojem obrtaja je značajna i iznosi oko 2 MWh na godišnjem nivou odnosno oko 40% (slika 5.8.desno).



Slika 5.8 Kumulativna potrošnja toplote za grejanje u radnoj i kontrolnoj zgradi tokom 3 grejne sezone (levo) i ušteda električne energije za pogon cirkulacionih pumpi (desno)

5.6.2 Unapređenje termičkog omotača

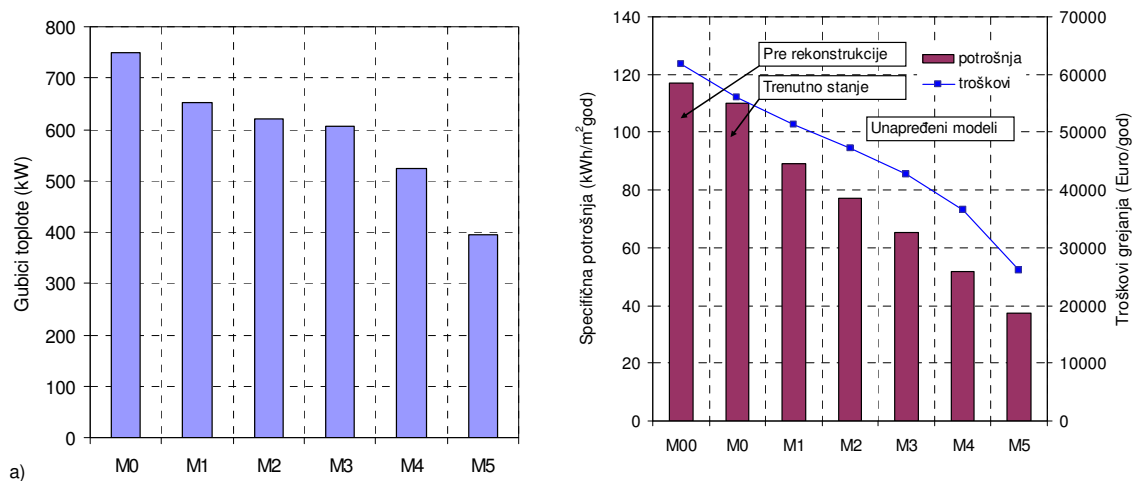
Za istu zgradu, na kojoj se prati potrošnja toplote iz godine u godinu, urađena je simulacija mera poboljšanja termičkog omotača. Osnovni model zgrade M0 postavljen je za trenutno stanje zgrade, dok su unapređeni modeli označeni kao M1 do M5, kao što je prikazano u tabeli. Dodatno, model M00 je takođe uzet u razmatranje, i odnosi se na stanje zgrade pre rekonstrukcije sistema grejanja 2002. godine.

Kao mere unapređenja razmatrano je poboljšanje termičke izolovanosti spoljnih zidova (dve različite debljine i vrste termičke izolacije), izolacija krova mineralnom vunom, zamena prozora i balkonskih vrata, kao i zbirni uticaj predloženih mera.

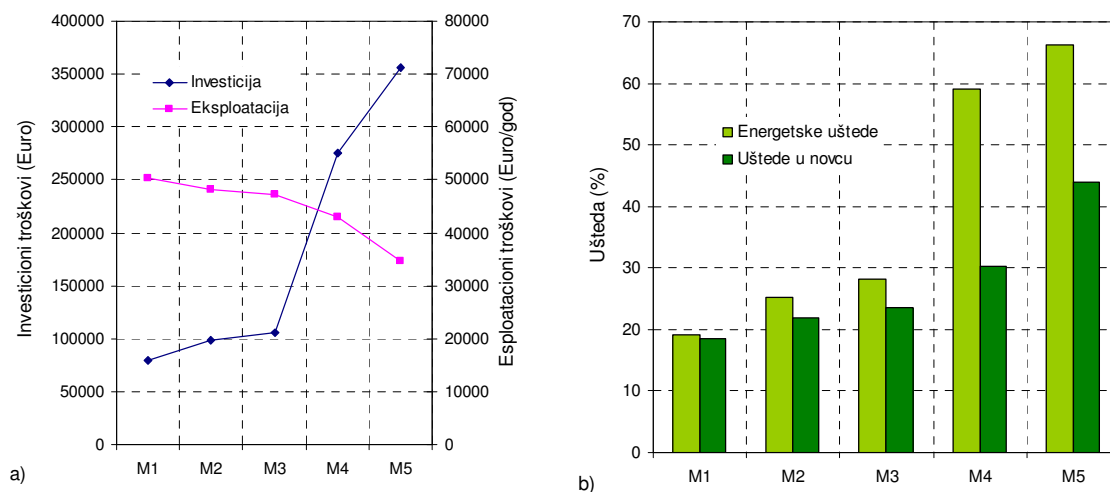
Model	Mere unapređenja
M00	Stanje pre rekonstrukcije 2002 (bez lokalne regulacije)
M0	Postojeće stanje
M1	Izolacija spoljnih zidova: 5 cm stiropor ($\lambda=0.037$ W/mK)

M2	Izolacija spoljnih zidova: 8 cm neopor ($\lambda=0.031$ W/mK)
M3	Izolacija spoljnih zidova: 8 cm neopor + Izolacija krova: 10 cm mineralna vuna ($\lambda=0.041$ W/mK)
M4	Zamena drvenih prozora i balkonskih vrata ($U=2.9$ W/m ² K) novim PVC prozorima i balkonskim vratima ($U=1.1$ W/m ² K)
M5	Izolacija spoljnih zidova: 8 cm neopor + Zamena drvenih prozora i balkonskih vrata

Dijagramima prikazanim na slikama 5.9 i 5.10 dati su rezultati analize primene mera unapređenja termičkog omotača zgrade.



Slika 5.9 Uticaj mera na gubitke toplote zgrade (a) i na specifičnu potrošnju toplote za grejanje i troškove grejanja (b)

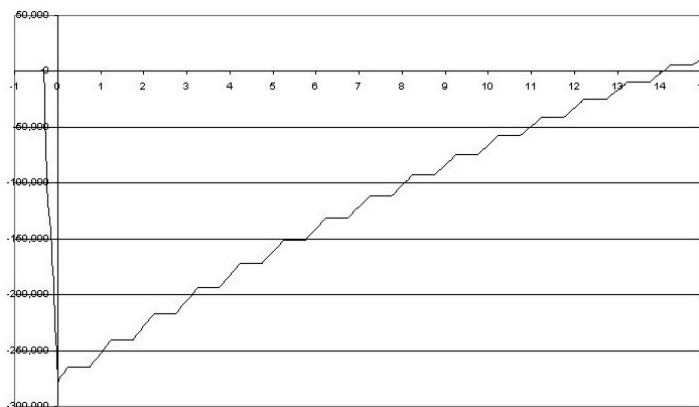


Slika 5.10 Investicioni i eksploatacioni troškovi (a) i uštede u energiji i novcu (b)

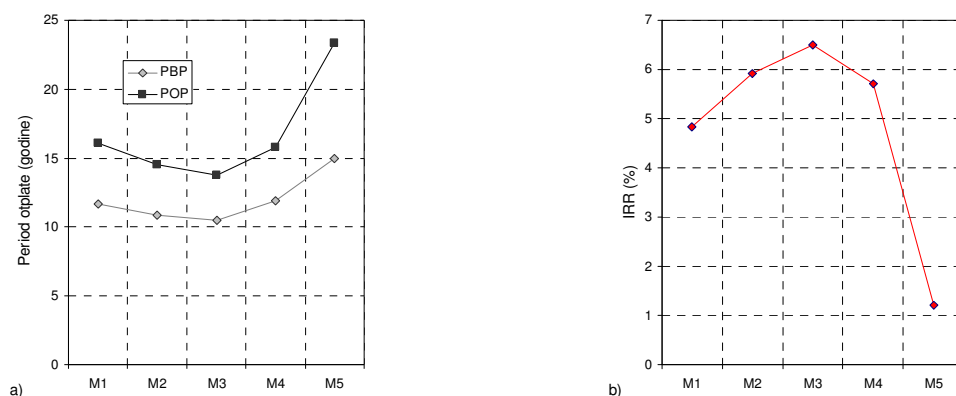
Sa energetskeg aspekta najbolji je model M5, međutim, ozimajući u obzir finansijske aspekte, najisplativije je rešenje koje nudi model M3, jer je period povraćaja investicije najkraći.

5.6.2.1 Finansijski pokazatelji i analiza osetljivosti

Za predložene setove mera unapređenja energetske efikasnosti zgrade (modeli od M1 do M5) sprovedena je analiza isplativosti i finansijske opravdanosti projekta unapređenja. Životni vek projekta procenjen je na 20 godina. Na dijagramima koji slede (slika 5.11 i 5.12) prikazan je kumulativni tok novca (za model M4), kao i prost i dinamički period povraćaja investicije i interna stopa rentabilnosti za sve modele.

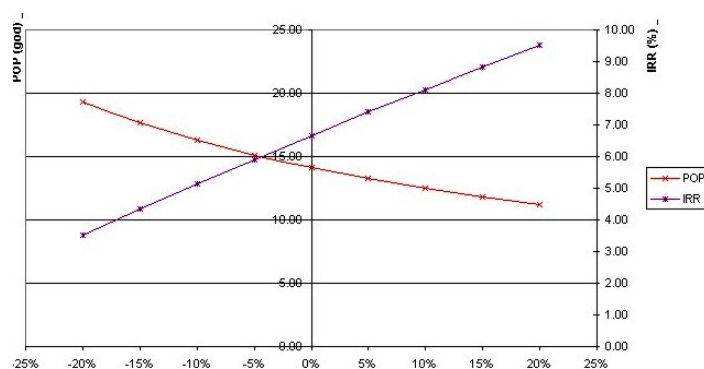


Slika 5.11 Kumulativni tok novca od trenutka ulaganja u unapređenje

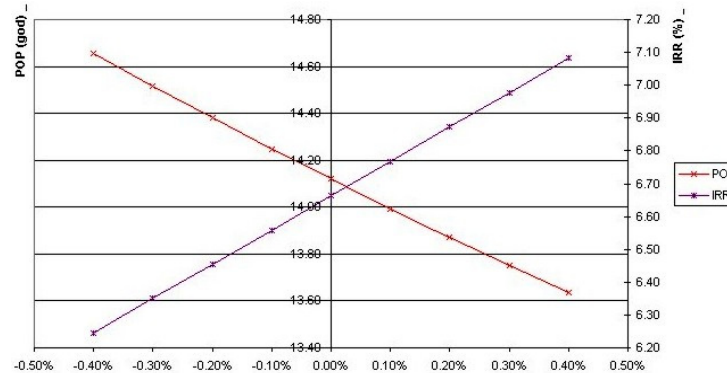


Slika 5.12 Period povraćaja investicije (a) i interna stopa rentabilnosti (b)

Na dijagramima 5.13 i 5.14 prikazana je analiza osetljivosti, odnosno promena finansijskih pokazatelja (POP i IIR) u funkciji promene cene energije i promene stope inflacije.



Slika 5.13 Uticaj promene cene energije na dinamički period otplate investicije i internu stopu rentabilnosti



Slika 5.14 Uticaj promene stope inflacije na dinmički period otplate investicije i internu stopu rentabilnosti

5.6.3 Zamena prozora i uštede u funkciji izvora snabdevanja toplotom

Za istu zgradu, na kojoj se prati potrošnja toplote iz godine u godinu, urađena je simulacija mera zamene prozora i to:

M1. Drveni dvostruki prozori obično staklo (postojeće stanje) $U_w = 2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$

M2. PVC trokomorni dvostruko zastakljeni, ispunjeni vazduhom $U_w = 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$

M3. Al PVC petokomorni, dvostruko Low E staklo, argon $U_w = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$

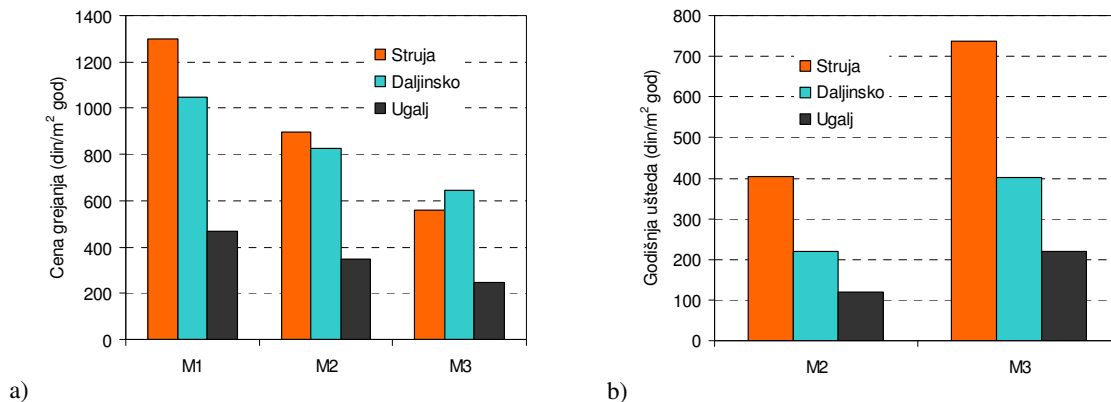
Potrošnja toplote za grejanje na godišnjem nivou po kvadratu stana:

M1. 137 kWh/m^2

M2. 92 kWh/m^2 ušteda u toploti za grejanje od **45 kWh/m^2** ili **32,8%**

M3. 55 kWh/m^2 ušteda u toploti za grejanje od **82 kWh/m^2** ili **59,8%**

Na slici 5.15 prikazani su godišnji troškovi za grejanje zgrade, kao i uštede u novcu u funkciji vrste izvora toplote.



Slika 5.15 Eksploatacioni troškovi (a) i uštede u novcu (b)

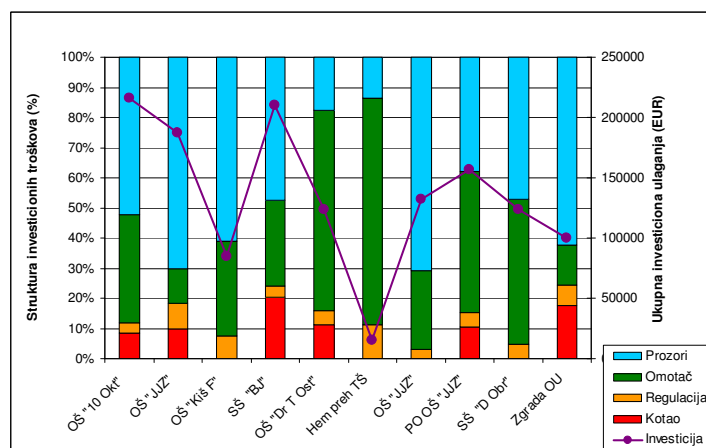
5.6.4 Setovi mera unapređenja i finansijski pokazatelji

Kao primer je korišćeno deset postojećih zgrada na teritoriji opština Kanjiža, Čoka i Novi Kneževac, za koje je sprovedena analiza potrošnje energije i primena mera unapređenja energetske efikasnosti. Na osnovu postojećeg stanja zgrada koje su obuhvaćene analizom unapređenja energetske efikasnosti pristupilo se primeni sledećih mera:

- izolacija spoljnih zidova mineralnom vunom debljine 10 mm;

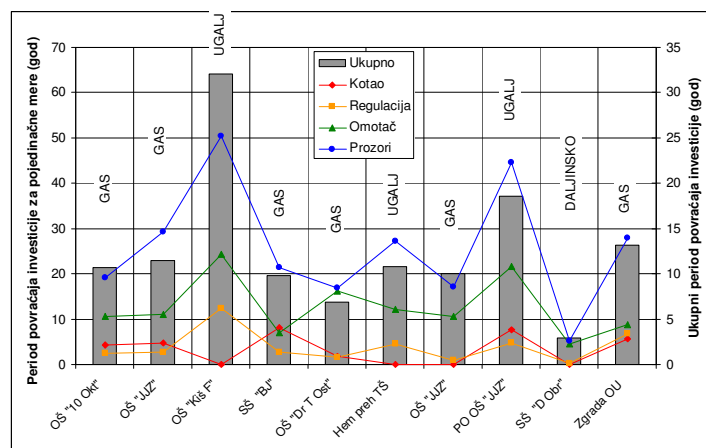
- zamena prozora sa drvenim ramom novim PVC prozorima sa dvostrukim staklom ili zaptivanje postojećih prozora;
- uvođenje centralne regulacije rada sistema centralnog grejanja;
- ugradnja radijatorskih ventila sa termostatskim glavama i novih cirkulacionih pumpi kod sistema grejanja koji ne koriste čvrsto gorivo;
- zamena starih kotlova novim, bez promene energenta.

Dijagramom na slici 5.16 prikazani su ukupni investicioni troškovi primene mera unapređenja energetske efikasnosti zgrada po strukturi. Ušteda u potrebnoj toploti za grejanje koja se postiže na godišnjem nivou razlikuje se u zavisnosti od stanja zgrade i termotehničkih instalacija u njoj, koje je zatečeno pre rekonstrukcije. Većina zgrada nije imala nikakvu izolaciju spoljnih zidova i krova, dok su kotlarnice i kotlovi bili u prilično nezavidnom stanju. Zbirnom primenom navedenih mera ukupni gubici u zgradama smanjeni su za preko 30%, osim u hemisko-prehrambenoj srednjoj školi, gde su ulaganja minimalna i odnosila su se samo na izolaciju dela termičkog omotača i zaptivanje postojećih prozora. Zaptivanje prozora, umesto kompletne zamene predviđeno je i u O.Š. „Tihomir Ostojić“ u Čoki. U kotlarnicama dve škole nije predviđena zamena postojećeg kotla, dok srednja škola „Dositej Obradović“ ima toplotnu podstanicu i vezu sa daljinskim sistemom grejanja.



Slika 5.16 Struktura investicionih troškova mera unapređenja za deset postojećih zgrada

Dijagramom na slici 5.17 prikazan je period povraćaja investicije za svaku od primenjenih mera pojedinačno, kao i zbirni period povraćaja investicije za sve primenjene mere.



Slika 5.17 Period povraćaja investicionih ulaganja za pojedinačne mere i zbirni period povraćaja investicionih troškova

Kada se analizira mera unapređenja sistema grejanja, kroz zamenu postojećeg kotla i uvođenje automatske regulacije rada sistema, može se zaključiti da je ova mera izuzetno značajna sa aspekta racionalnog korišćenja energije, povećanja stepena korisnosti, sprečavanja pregrevanja prostorija, kao i njihovo grejanje u periodima kada se ne koriste, kao što su časovi tokom noći i tokom vikenda. To se jasno uočava kroz period povraćaja investicije. Ulaganje u termičku izolaciju i zamenu prozora značajno umanjuje toplotne gubitke zgrade, naročito kod zgrada čiji su spoljni zidovi izvedeni bez izolacije. Najveći uticaj na period povraćaja investicije ima vrsta energenta koji se koristi u sistemu centralnog grejanja. S obzirom da je cena uglja značajno niža od cene gasa, zgrade kod kojih se koristi ugalj kao energent imaju jako nepovoljan period povraćaja investicionih ulaganja u sanaciju termičkog omotača zgrade.

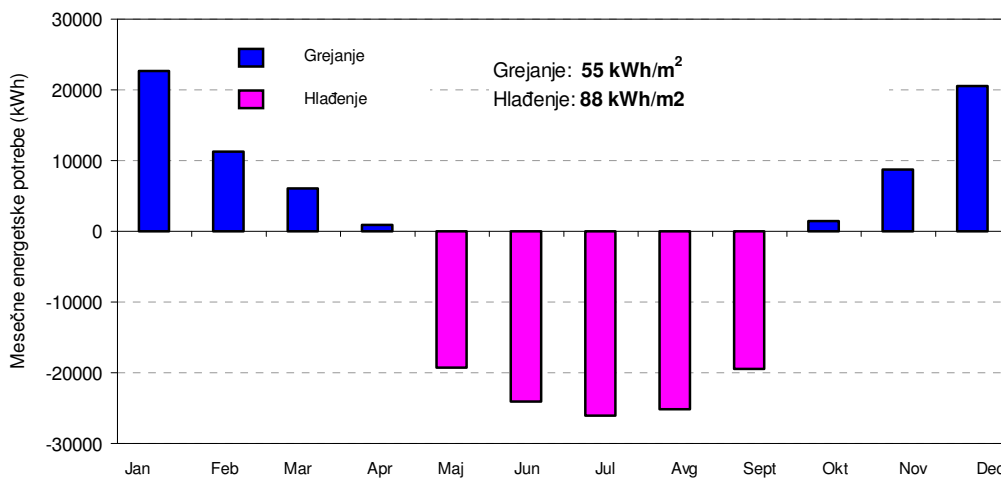
5.6.5 Uticaj izbora izvora snabdevanja energijom za novu zgradu

Zgrada koja se koristi u ovom primeru je novo projektovana zgrada u centru Beograda. U pitanju je stambeno poslovni objekat ukupne korisne površine 1300m^2 . Termički omotač zgrade je projektovan sa dobrom termičkom zaštitom ($U = 0.37\text{ W/m}^2\text{K}$ za spoljne zidove), i prosečnim kvalitetom prozora ($U_w = 1.8\text{ W/m}^2\text{K}$, $a = 0.4\text{ m}^3/\text{mhPa}^{2/3}$). Model zgrade je prikazan na slici 5.18.



Slika 5.18 3D model zgrade u Cvijićevoj ulici u Beogradu

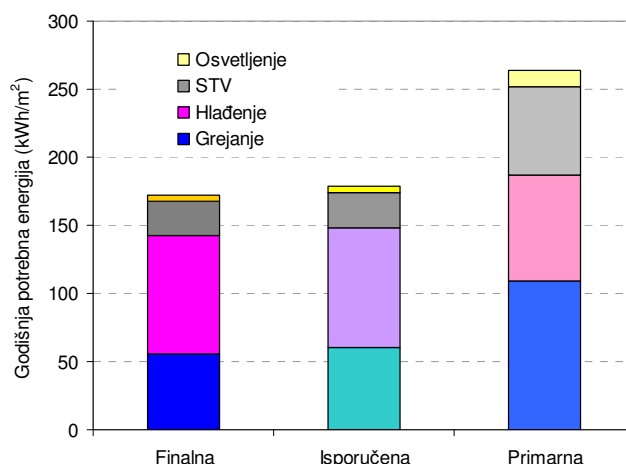
Na slici 5.19 prikazana je potrebna finalna energija za grejanje i hlađenje zgrade tokom godine, a na slici 5.20 struktura potrebne finalne i primarne energije - za bazni model M0.



Slika 5.19 Potrebna finalna energija za grejanje i hlađenje – model M0

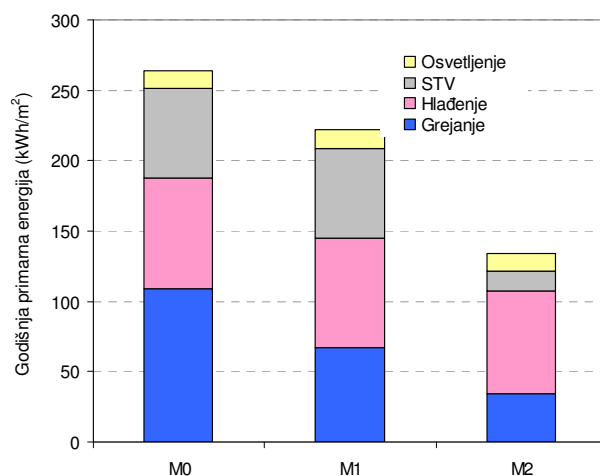
- **Osnovni model (M0):** Priključak na daljinsko grejanje, Lokalni klimatizeri (split-sistemi), individualna priprema STV po stanovima kotišćenjem električnih bojlera;

- **Model M1:** lokalna kotlarnica na gas, Lokalni klimatizeri (multi split sistemi) za svaki stan, individualna priprema STV po stanovima kotišćenjem električnih bojlera;
- **Model M2:** geotermalna toplotna pumpa sa tлом kao izvorom toplote, koja se koristi i u režimu hlađenja, centralni solarni sistem sa rezervoarom za pripremu STV i dodatnim električnim grejačem.



Slika 5.20 Potrebena finalna i primarna energija – model M0

Na slici 5.21 dat je prikaz potrebne primarne energije za funkcionisanje tehničkih sistema u zgradi na godišnjem nivou, u zavisnosti od različitih izvora snabdevanja energijom, uz poređenje osnovnog modela M0, sa unapređenim modelima M1 i M2.



Slika 5.21 Potrebena primarna energija za modele M0, M1 i M2

6 TOPLOTNO OPTEREĆENJE I KLIMATIZACIJA

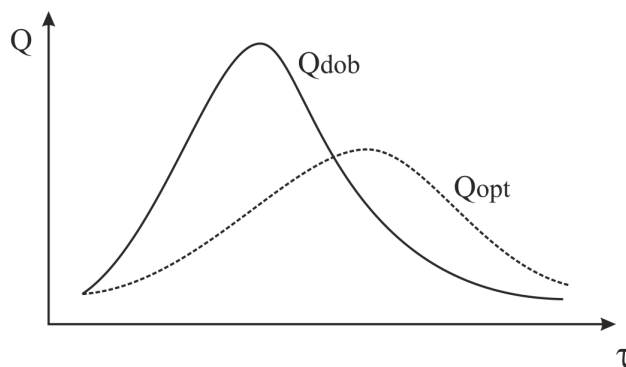
6.1 UVODNA RAZMATRANJA

Analiza prenosa toplote kroz građevinski omotač zgrade ima za cilj da se što realnije izračunaju potrebe za grejanjem i hlađenjem unutrašnjeg prostora i da se prema tim potrebama odrede merodavni grejni i rashladni kapaciteti elemenata opreme termotehničkih instalacija.

U zimskom periodu se u prostorijama u kojima borave ljudi održava temperatura vazduha koja je viša od spoljne, pa zgrada „gubi“ toplotu. U cilju održavanja konstantne temperature vazduha u prostoriji na nivou koji odgovara uslovima ugodnosti, potrebno je nadoknaditi toplotu koja se odaje okolini, tj. nadoknaditi gubitke toplote. Gubici toplote, prema tome, predstavljaju količinu toplote u jedinici vremena koju prostorija *odaje* okolini. Kada je u pitanju letnji period, temperatura spoljnog vazduha je visoka, dani su pretežno dugi i vedri, sa velikim uticajem Sunčevog zračenja. U zgradu dospeva značajna količina toplote, koju je potrebno eliminisati, kako bi se u prostorijama održavala niža temperatura vazduha od spoljne. **Dobici toplote** predstavljaju količinu toplote u jedinici vremena koju prostorija *prima* (bilo od spoljnih ili unutrašnjih izvora toplote).

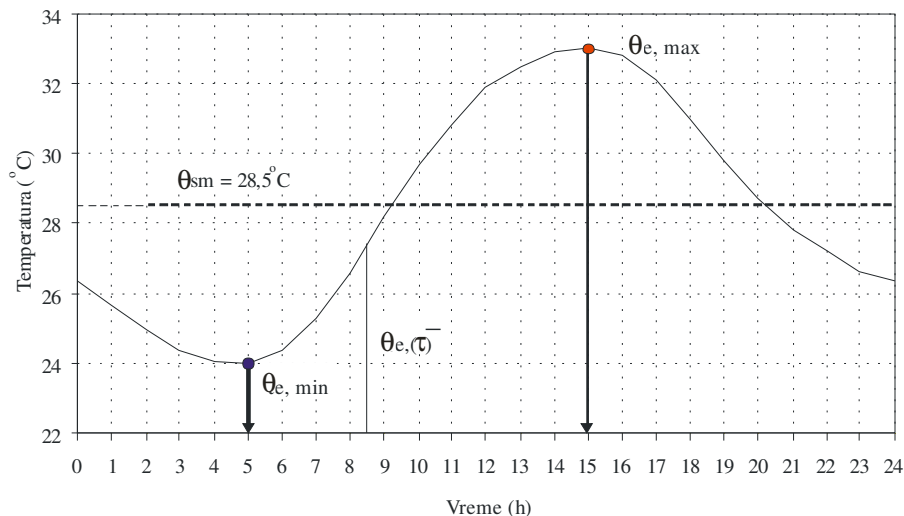
Klimatizacija se obično vezuje za letnji period, odnosno za hlađenje vazduha, međutim sistem za klimatizaciju radi tokom cele godine, što znači da se u našim klimatskim uslovima vrši i zagrevanje vazduha zimi i hlađenje vazduha tokom leta.

U zimskim uslovima izračunata količina toplote koju prostorija gubi pri projektnim uslovima (gubici toplote) odgovara količini toplote koju treba da nadoknadi sistem za grejanje. Proračun se vrši za stacionarne uslove razmene toplote prostorije sa okolinom, jer je razlika između maksimalne i minimalne temperature spoljnog vazduha tokom dana mala, zatim je uticaj variranja spoljne temperature ublažen efektom akumulacije toplote u omotaču prostorije, a uticaj Sunčevog zračenja je jako mali - dani su kratki i često sa povećanom oblačnošću. Za letnji period se takođe definišu projektni uslovi, ali se proračun potrebne količine toplote koju je potrebno eliminisati ne može vršiti za stacionarne uslove, pre svega jer je: razlika ekstremnih dnevnih temperatura znatna i intenzitet Sunčevog zračenja je veliki i promenljiv tokom dana u veoma širokim granicama. Osim toga, zbog izražene nestacionarnosti tokom leta, pojave različitih izvora toplote i akumulacione sposobnosti zidova prostorije, dobitak toplote ne odgovara količini toplote koju treba eliminisati iz prostorije. Količina toplote u jedinici vremena, koju je tokom leta potrebno odvesti iz prostorije naziva se toplotno opterećenje. **Toplotno opterećenje** obuhvata svu količinu toplote koja zagreva isključivo sobni vazduh, pa na taj način ima direktnog uticaja na temperaturu vazduha u prostoriji i na kapacitet rashladnog postrojenja.



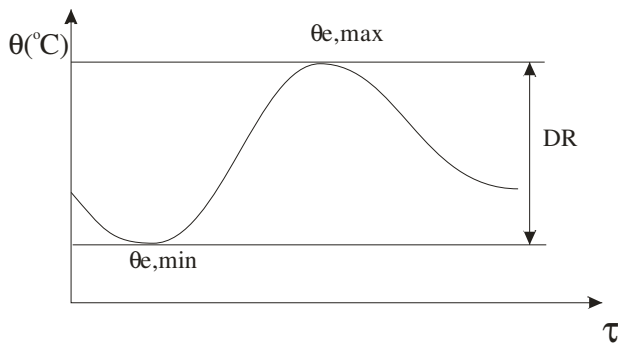
Slika 6.1 Razlika između toplotnog opterećenja i dobitaka toplote

Promenljivosti spoljne temperature vazduha se može pratiti tokom letnjeg perioda. Postavlja se pitanje kako definisati projektne uslove za leto. Za zimski period se usvaja spoljna projektna temperatura, dok se za letnje definiše **letnji projektni dan**. Letnji projektni dan sačinjavaju časovne vrednosti temperatura spoljnog vazduha tokom 24 časa (slika 6.2). Spoljna projektna temperatura za leto je maksimalna temperatura koja se javlja u toku letnjeg projektnog dana. Za Beograd letnja projektna temperatura iznosi 33°C .

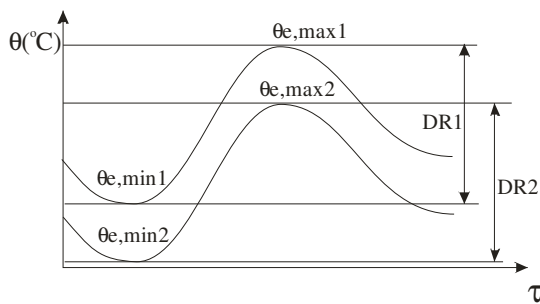


Slika 6.2 Letnji projektni dan za Beograd

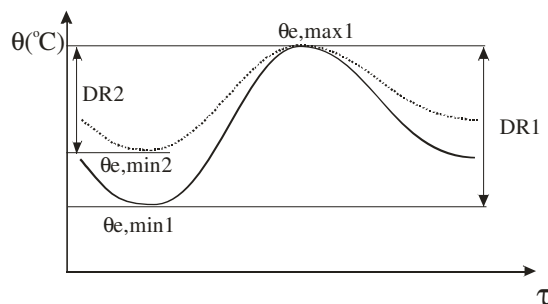
U Americi se letnji projektni dan definiše preko spoljne projektne temperature za leto $\theta_{e,max}$ i razlike između ekstremnih temperatura tokom dana, koja se naziva *Daily Range* ($DR = \theta_{e,max} - \theta_{e,min}$), što je prikazano na slici 6.3a.



a) Način određivanja DR



b) Letnji projektni dan za dva mesta sa istim DR i različitim $\theta_{e,max}$



c) Letnji projektni dan za dva mesta sa različitim DR i istim $\theta_{e,max}$

Slika 6.3 Letnji projektni dan, spoljna projektna temperatura i Daily Range

Definiše se funkcija raspodele spoljne temperature u toku jednog dana $P(\tau)$, koja zapravo predstavlja procenatno odstupanje trenutne spoljne temperature od maksimalne vrednosti. Funkcija raspodele temperature je univerzalna funkcija koja se koristi za određivanje letnjeg projektnog dana za sve gradove u Americi:

$$\theta_e(\tau) = \theta_{e,\max} - \frac{P(\tau)}{100} \cdot DR \quad (6.1)$$

Potrebno je poznavati spoljnu projektну temperaturu za neko mesto i DR i na osnovu toga je moguće odrediti tok temperature za letnji projektni dan.

Kada je u pitanju određivanje spoljne projektne temperature za leto ($\theta_{e,\max}$), postoji nekoliko kriterijuma:

Stari kriterijum je obuhvatao samo letnje mesece - od juna do septembra, ukupno 2928 h i spoljna projektна temperatura je određivana kao temperatura koja se određeni broj časova dostigne ili prebaci:

1. Kriterijum 1% - $\theta_e \geq \theta_{e, \text{proj}}$ - 29 h/god,
2. Kriterijum 2,5% - $\theta_e \geq \theta_{e, \text{proj}}$ - 73 h/god,
3. Kriterijum 5% - $\theta_e \geq \theta_{e, \text{proj}}$ - 146 h/god.

Novi kriterijum se zasniva na bazi godišnjih časovnih vrednosti temperatura spoljnog vazduha i obuhvata 8760 h/god:

1. Kriterijum 0,4% - $\theta_e \geq \theta_{e, \text{proj}}$ - 35 h/god,
2. Kriterijum 1% - $\theta_e \geq \theta_{e, \text{proj}}$ - 88 h/god,
3. Kriterijum 2% - $\theta_e \geq \theta_{e, \text{proj}}$ - 175 h/god.

Dakle, prilikom proračuna toplotnog opterećenja, promenljivost temperature spoljnog vazduha se uzima u obzir preko časovnih vrednosti za letnji projektni dan, ali se ne sme zaboraviti intenzitet Sunčevog zračenja koji dospeva na površinu fasadnog zida, koji je takođe promenljiv tokom dana i koji utiče na temperatursko polje u zidu, a samim tim i na transmisiju toplote kroz njega. Taj problem se rešava uvođenjem sunčano-vazdušne temperature. Sunčano-vazdušna temperatura predstavlja fiktivnu temperaturu koju bi trebalo da ima spoljni vazduh da bi se prouzrokovao toplotni fluks na površinu zida jednak onom toplotnom fluksu koji potiče od zbirnog uticaja Sunčevog zračenja i spoljne temperature vazduha. Zatim se uvodi pojam ekvivalentne temperaturske razlike, pomoću koje se izračunava toplotni fluks prilikom prolaza toplote kroz spoljni zid prostorije. Drugi, opštiji model koji služi za proračun toplotnog opterećenja kroz spoljne zidove (prolaz toplote kroz zid pri nestacionarnim uslovima) je Metoda prenosnih funkcija (*Transfer Function Method*). On polazi od trouglastog delovanja impulsa temperature na spoljnoj površini i reakcije (odziva) na unutrašnjoj površini. Koriste se Laplasove transformacije i veoma složen matematički aparat. Kada se primenjuju Laplasove transformacije gubi se fizikalnost problema, pa je prilikom njegove primene potrebno dobro poznavanje fizikalnosti procesa razmene toplote. Prema nemačkim normativima koristi se metod proračuna preko ekvivalentnih temperaturskih razlika.

Osim što Sunčevo zračenje zagreva spoljnu površinu fasadnih zidova i krova objekta, ono prodire u prostoriju kroz transparentne površine (stakla prozora i vrata). Predata toplota od Sunčevog zračenja zagreva masu zidova i poda prostorije i kada temperatura unutrašnjih površina omotača prostorije poraste iznad temperature vazduha u prostoriji, zidovi i pod predaju određenu količinu toplote vazduhu u prostoriji, i na taj način povećavaju vrednost toplotnog opterećenja. Da bismo mogli da proračunamo toplotno opterećenje neophodno je da znamo koliki se udeo toplote koji u prostoriju prodire Sunčevim zračenjem predaje vazduhu u prostoriji, a koliki udeo se

akumuliraju u masi zidova i poda prostorije. Iz navedenog razloga, u proračun toplotnog opterećenja se uvode koeficijenti akumulacije toplote.

Toplotno opterećenje, kao i dobici toplote mogu se podeliti prema izvorima toplote i to na:

- spoljne:
 - kroz spoljne zidove (krov) prostorije,
 - kroz prozore (transmisijom i od Sunčevog zračenja),
 - infiltracijom spoljnog vazduha kroz procepe.
- unutrašnje:
 - od osvetljenja u prostoriji,
 - od električnih uređaja, mašina i aparata (disipacije toplote)
 - od ljudi koji borave u prostoriji,
 - od susednih neklimatizovanih prostorija,
 - od tehnoloških procesa koji se odvijaju u prostoriji.

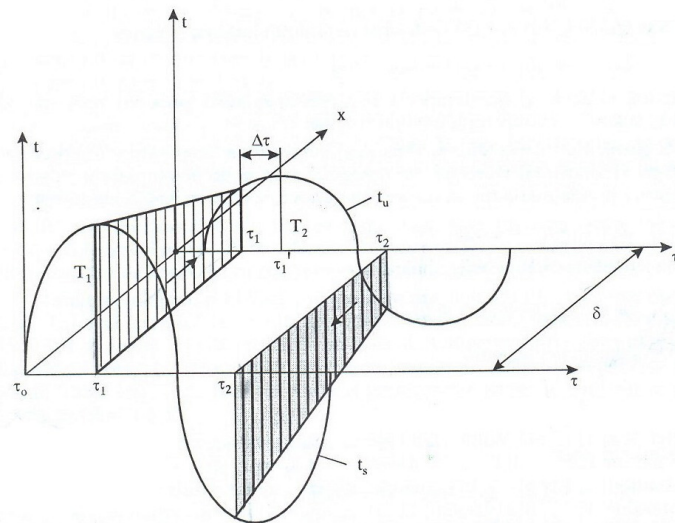
6.2 PRORAČUN TOPLOTNOG OPTEREĆENJA

6.2.1 Toplotno opterećenje transmisijom kroz zidove

Količina toplote koja prolazi kroz spoljni zid prostorije je promenljiva veličina, jer odavanje toplote spoljašnjih izvora varira u toku dana. Spoljna temperatura je stohastička veličina, ali se za letnji projektni dan ona može predstaviti odgovarajućom trigonometrijskom funkcijom. Posmatrajmo njen uticaj na prolaz toplote kroz spoljni zid debljine δ (slika 6.4):

1. Usled akumulacije toplote u zidu javlja se:

- fazno zakašnjenje toka količine toplote,
- smanjenje amplitude oscilacije temperature na unutrašnjoj površini zida u odnosu na spoljnu površinu zida.



Slika 6.4 Transport toplote kroz spoljni zid

Vremensko kašnjenje $\Delta\tau$ javlja se na unutrašnjoj strani zida u odnosu na spoljnu stranu. Faktor smanjenja amplitude oscilacije temperature je Δf . U dva vremenska trenutka (τ_1 i τ_2) obeleženi su tokovi temperaturnih promena (šrafirane površine) kako bi se videla promena temperaturnog gradijenta $\frac{\partial t}{\partial x}$:

τ_1 - toplotni fluks sa spoljne strane je usmeren ka unutrašnjoj i

τ_2 - toplotni fluks sa unutrašnje strane je usmeren ka spoljašnjoj strani.

Odnos amplituda temperatura krivih na spoljnoj i unutrašnjoj strani zida A_s/A_u zove se faktor prigušenja amplitude:

$$\frac{A_s}{A_u} = \frac{1}{\Delta f^2}.$$

Na osnovu toplotne provodljivosti i debljine zida može se izračunati vremensko kašnjenje temperaturske oscilacije na unutrašnjoj strani zida u odnosu na spoljnu. Prolaz toplote je nestacionaran, ali periodično promenljiv proces. Može se napisati izraz za toplotni fluks kroz zid jedinične površine (specifični toplotni fluks, po jedinici površine fasadnog zida):

$$q(\tau) = \alpha_i (\theta_{zi}(\tau) - \theta_i) = \alpha_i [(\theta_{zi}(\tau) - \theta_{zm}) + (\theta_{zm} - \theta_i)] \quad [\text{W/m}^2], \quad (6.2)$$

gde je:

α_i - koeficijent prelaza toplote sa unutrašnje strane zida,

θ_{zi} - trenutna temperatura unutrašnje strane zida,

θ_{zm} - srednja temperatura unutrašnje površine zida,

θ_i - temperatura vazduha u prostoriji.

S obzirom na periodičnost promene temperature, ceo nestacionaran slučaj posmatra se kao kombinacija stacionarnog i nestacionarnog prenosa toplote. Stacionaran prenos je posledica razlike srednje temperature spoljnog vazduha i unutrašnje strane zida. Temperaturske oscilacije spoljnog vazduha u odnosu na srednju dnevnu temperaturu predstavljaju se trigonometrijskom funkcijom:

$$(\theta_e(\tau) - \theta_{em}) = T_0 \cdot \cos[\omega(\tau - \tau_0)], \quad (6.3)$$

gde je:

$\theta_e(\tau)$ - trenutna spoljna temperatura,

θ_{em} - srednja dnevna spoljna temperatura,

T_0 - amplituda spoljne temperature,

τ - vreme za koje se računa toplotno opterećenje,

τ_0 - vreme javljanja maksimuma spoljne temperature,

ω - ugaona brzina temperaturskih oscilacija.

Oscilacije temperature na unutrašnjoj strani zida prema srednjoj temperaturi zida tokom 24h:

$$(\theta_{zi}(\tau) - \theta_{zm}) = T_0 \cdot f_i \cdot \cos[\omega(\tau - \tau_0) - \omega\tau_i], \quad (6.4)$$

gde je:

f_i - faktor smanjenja amplitude usled akumulacione sposobnosti zida,

τ_i - vremensko zakašnjenje na unutrašnjoj strani zida.

Iz jednačina (6.3) i (6.4) dobija se veza između spoljne temperature i temperature unutrašnje strane zida:

$$(\theta_{zi}(\tau) - \theta_{zm}) = f_i \cdot (\theta_e(\tau - \tau_i) - \theta_{em}). \quad (6.5)$$

Iz jednačina (6.2) i (6.5) dobija se toplotni fluks u trenutku τ :

$$q(\tau) = \alpha_i [f_i (\theta_e(\tau - \tau_i) - \theta_{em}) + (\theta_{zm} - \theta_i)]. \quad (6.6)$$

Da bi se eliminisala nepoznata temperatura θ_{zm} posmatra se stacionaran prenos toplote:

$$q_{stac} = \alpha_i (\theta_{zm} - \theta_i) = U \cdot (\theta_{em} - \theta_i), \quad (6.7)$$

gde je:

U - koeficijent prolaza topline kroz zid.

Iz jednačina (6.6) i (6.7) eliminiše se nepoznata θ_{zm} :

$$q(\tau) = \alpha_i f_i (\theta_e (\tau - \tau_i) - \theta_{em}) + U \cdot (\theta_{em} - \theta_i). \quad (6.8)$$

Ako se uvede korigovani koeficijent $f = \frac{\alpha_i \cdot f_i}{k}$, onda je konačan izraz za nestacionaran prenos toplote:

$$q(\tau) = U \cdot [f \cdot (\theta_e (\tau - \tau_i) - \theta_{em}) + (\theta_{em} - \theta_i)]. \quad (6.9)$$

Svaka promena uslova razmene toplote na graničnim površinama građevinske konstrukcije (bilo promena temperature okoline, bilo promena intenziteta razmene toplote: vetar, sunčevo zračenje) izazvaće nestacionarnost u temperaturnoj raspodeli i u vrednosti toplotnog fluksa koji se razmenjuje na površini elementa. Dinamičke karakteristike građevinske konstrukcije opisuju vremenski odgovor nekog građevinskog elementa na toplotnu promenu iz njegove okoline. Proračun se sprovodi prema standardu SRPS EN ISO 13786.

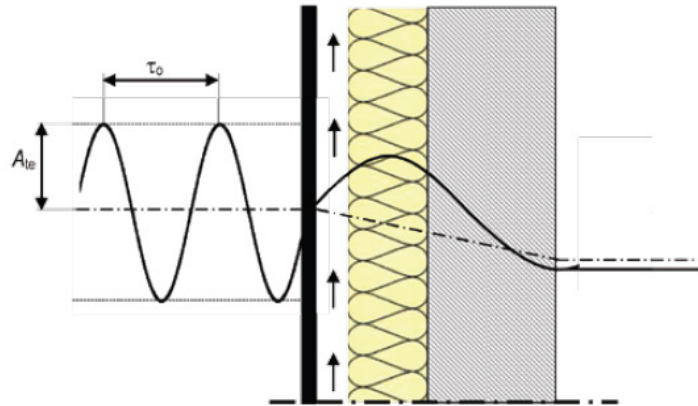
Svojstva koja određuju dinamičke karakteristike građevnog elementa su: toplotna provodljivost λ , W/(mK), specifični toplotni kapacitet c , J/(kg · K) i gustina materijala ρ , (kg/m³). Veličina koja povezuje ova svojstva je toplotna difuzivnost ili temperaturska provodljivost a , m²/s. Ova veličina određuje toplotnu inerciju objekta, odnosno definiše brzinu kojom objekat reaguje promenom svoje temperature po celoj zapremini na pobudu iz okoline.

Relativno velike dnevne promene temperature spoljnog vazduha (ili ekvivalentne temperature za slučaj delovanja i sunčevog zračenja) karakteristične su za letnji period, tako da je u proračunu to potrebno uzeti u obzir. Iz tog razloga se pred građevinski element postavlja dodatni zahtev – toplotna stabilnost elementa. Pod toplotnom stabilnošću spoljnog građevinskog elementa podrazumeva se njegovo svojstvo očuvanja relativno ustaljene temperature na svojoj unutrašnjoj površini tokom periodičnih promena temperature spoljnog vazduha, odnosno toplotnog fluksa koji prolazi kroz posmrtni element.

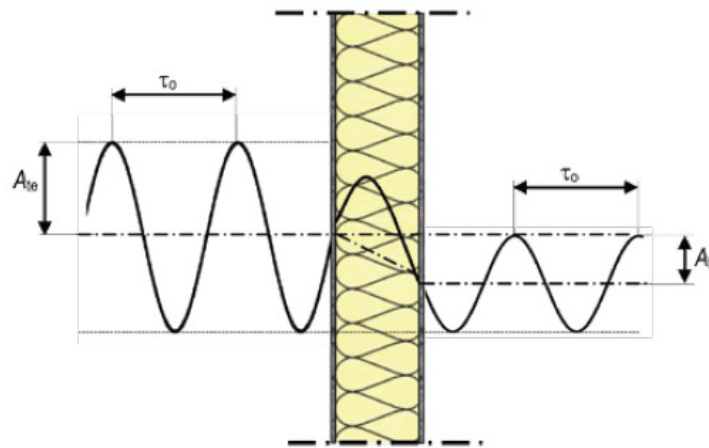
U teoriji toplotne stabilnosti pretpostavka je da se temperatura spoljnog vazduha (odnosno ekvivalentna temperatura) i toplotni fluks kroz površinu spoljnog građevinskog elementa menjaju (osciliraju) po zakonu kosinusoide. Promena temperature unutrašnje površine građevinskog elementa zahteva određeno vremensko razdoblje koje je potrebno za transport toplote od spoljne površine. Zato se promena temperature spoljne površine građevinskog elementa neće trenutno odraziti na temperaturu unutrašnje površine.

Za zgradu je povoljno da je prigušenje temperaturnih oscilacija što veće i da je što veći fazni pomak. To osigurava vremenski ujednačenu temperaturu unutrašnje površine prostorija u zgradi. Letnja stabilnost građevinskog elementa podrazumeva da do zagrevanja unutrašnjih prostorija dolazi što kasnije (kada na fasadi već dolazi do pada temperature, u večernjim satima). Za letnju stabilnost je tako povoljnije postavljanje toplotne izolacije sa spoljne strane (sprečava se zagrevanje masivnih elemenata konstrukcije i time uslovljena akumulacija toplote).

Provetravana fasada u smislu letnje toplotne stabilnosti ima prednosti u odnosu na klasične konstrukcije jer je montažna obloga, zbog sloja provetravanog vazduhom, odličan izolator od Sunčevaog zračenja tako da ne treba proračunavati letnju stabilnost. Na slikama 6.5 i 6.6 prikazana je promena oscilacije temperature kroz građevinski element sa provetranom fasadom i laku građevinsku konstrukciju.



Slika 6.5 Promena temperaturske oscilacije i kašnjenje toplotnog fluksa za građevinski element sa provetravanom fasadom



Slika 6.6 Promena temperaturske oscilacije i kašnjenje toplotnog fluksa za laku građevinsku konstrukciju

Sunčano-vazдушna temperatura

Već je ranije bilo reči o sunčano-vazdušnoj temperaturi. Po definiciji, sunčano-vazдушna temperatura predstavlja fiktivnu temperaturu koju bi trebalo da ima spoljni vazduh da bi se prouzrokovao toplotni fluks na površinu zida jednak onom toplotnom fluksu koji potiče od zbirnog uticaja Sunčevog zračenja i spoljne temperature vazduha.

Jednačina toplotnog bilansa za spoljnu površinu zida glasi:

$$\alpha_e \cdot (\theta_s - \theta_{ze}) = \alpha_e \cdot (\theta_e - \theta_{ze}) + a \cdot I, \quad (6.10)$$

gde je:

$$\theta_s = \theta_e + \frac{a \cdot I}{\alpha_e} + \frac{e \cdot \Delta R}{\alpha_e} - \text{sunčano-vazдушna temperatura,}$$

α_e - koeficijent prelaza toplote sa spoljnog vazduha na spoljnu površinu zida,

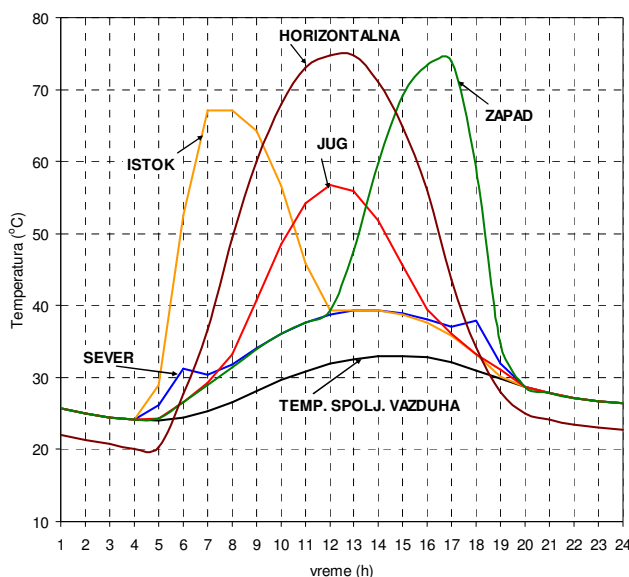
θ_e - temperatura spoljnog vazduha,

θ_{ze} - temperatura spoljne površine zida,

a - apsorptivnost Sunčevog zračenja sa spoljne strane zida,

I - intenzitet Sunčevog zračenja,

- e - emisivnost površine,
 ΔR - razlika između dozračenog dugotalasnog zračenja na površinu i emitovanog zračenja apsolutno crnog tela na temperaturi površine zida.



Slika 6.7 Tok sunčano- vazdušnih temperatura za juli mesec i 45° SGŠ

Maksimalne vrednosti intenziteta Sunčevog zračenja i spoljne temperature ne javljaju se istovremeno. Sunčano-vazdušna temperatura nije maksimalno zabeležena temperatura (kao što ni spoljna projektna nije maksimalna temperatura spoljnog vazduha), već su to one časovne vrednosti koje mogu biti prevaziđene samo u 5% slučajeva, u periodu od više godina za koje je vrešeno posmatranje i proračun. Na slici 6.7 je prikazan tok sunčano-vazdušnih temperatura za juli mesec, 45° SGŠ i različite orijentacije zidova.

Ekvivalentna temperaturska razlika

Kada u jednačinu (6.10) uvedemo umesto trenutne spoljne temperature sunčano-vazdušnu temperaturu, dobija se izraz:

$$q(\tau) = U \cdot [f \cdot (\theta_s(\tau - \tau_i) - \theta_{sm}) + (\theta_{sm} - \theta_i)] \quad (6.11)$$

Kako bi bilo moguće da se nestacionaran prolaz toplot računa kao kvazi-stacionaran, uvodi se fiktivna temperatura:

$$t_{f\tau} = f(\theta_s(\tau - \tau_i) - \theta_{sm}) + \theta_{sm} \quad (6.12)$$

Sada se može definisati ekvivalentna temperaturska razlika, koja se koristi pri proračunu toplotnog opterećenja:

$$\Delta\theta_{ekv}(\tau) = f(\theta_s(\tau - \tau_i) - \theta_{sm}) + \theta_{sm} - \theta_i \quad (6.13)$$

Ekvivalentna temperaturska razlika je fiktivna razlika temperatura koja obuhvata:

- fizička svojstva zidova ($\delta, \lambda, \rho, c_p, \epsilon \dots$)
- sve posledice osobina zidova (akumulaciju toplote, vremensko kašnjenje transporta toplote, smanjenje amplitude temperaturske oscilacije)
- spoljne izvore toplote (spoljnu temperaturu i Sunčevo zračenje, koje zavisi od orijentacije zida),
- unutrašnje uslove (željenu temperaturu vazduha u prostoriji).

Toplotno opterećenje koje nastaje prilikom nestacionarnog prolaza toplote kroz zid računa se za svaki sat preko časovnih vrednosti ekvivalentne temperaturske razlike:

$$Q_z(\tau) = A \cdot U \cdot \Delta\theta_{ekv}(\tau). \quad (6.14)$$

Časovne vrednosti ekvivalentnih temperaturskih razlika daju se tabelarno za različite vrste i različite orijentacije zidova.

Ukoliko se tablične vrednosti koriste pri drugačijim uslovima (različita temperatura vazduha u prostoriji, drugačija zamućenost atmosfere, različita srednja dnevna temperatura spoljnog vazduha ili neki drugi mesec u godini), neophodna je korekcija tabličnih vrednosti:

$$\Delta\theta_{ekv} = \left[\Delta\theta_{ekv,T} + (\theta_{em} - 28,5) + (26 - \theta_i) + a_T \right] \cdot \frac{I_{\max}}{I_{\max, \text{juli}}}. \quad (6.15)$$

6.2.2 Sunčevo zračenje

Sa aspekta klimatizacije prostorija, Sunčevo zračenje u letnjem periodu je štetno, zato što prouzrokuje prekomerno zagrevanje prostorija, tako da je potreban utrošak energije za hlađenje kako bi se eliminisala toplota koja potiče od Sunčevog zračenja. Svako korišćenje energije, osim troškova koji su neizbežni, izaziva i određene ekološke probleme.

6.2.2.1 O suncu kao izvoru toplote

Sunce je zvezda patuljak - velika užarena gasovita lopta prečnika 1,391 miliona km. Zemlja se vrti oko Sunca po eliptičnoj putanji sa vrlo malim ekscentricitetom ($e=0,017$) tako da se udaljenost Zemlje i Sunca menja vrlo malo tokom godine. Srednja udaljenost Zemlje i Sunca je 149,68 miliona km. U perihelu (tačka eliptične putanje najbliža fokusu), početkom januara, Zemlja je 1,67% bliža, a u afelu (tačka eliptičke putanje najudaljenija od fokusa), početkom jula, Zemlja je 1,67 % udaljenija od Sunca. Kako se Sunčevo zračenje menja s kvadratom udaljenosti, Zemlja u januaru prima 6,9 % više Sunčeve energije nego u julu. Prema tome januarske temperature bi trebalo da budu više od julskih, zima na severnoj polulopti bi trebalo da bude toplija nego na južnoj, a leto na južnoj polulopti toplije od leta na severnoj. U stvarnosti je sve upravo suprotno jer postoji deklinacija Zemlje (nagnutost ose Zemlje u odnosu na putanju), a i odnosi u atmosferi značajno zavise i od drugih faktora.

Sunce se sastoji se uglavnom od vodonika (80%) i helijuma (19%). U unutrašnjosti Sunca vodonik se nuklearnim reakcijama fuzije pretvara u helijum, što rezultira oslobađanjem velikih količina energije:

$$\sim 600 \cdot 10^6 t / s \text{ } H_2 \Rightarrow 596 \cdot 10^6 t / s \text{ } He, \text{ pa sledi da je } \Delta m \sim 4 \cdot 10^6 t / s$$

Prema Ajnštajnovoj teoriji sledi količina energije koju Sunce oslobađa:

$$E = \Delta m \cdot c^2 \cong 360 \cdot 10^{24} W$$

Usled tih reakcija temperatura u unutrašnjosti Sunca premašuje 20 miliona K. Međutim, to nije temperatura koja određuje elektromagnetska svojstva Sunčevog zračenja, jer zračenje iz unutrašnjosti u velikom delu apsorbira sloj negativnih vodonikovih jona blizu površine, pa je temperatura površine Sunca oko 5500°C, a spektar Sunčevog zračenja približno odgovara spektru crnog tela na temperaturi od 5760 K. Prema tome, temperatura od 5760 K se može uzeti kao efektivna temperatura Sunčeve površine, a iz nje je primenom Plankovog zakona moguće proračunati energijski spektar Sunčevog zračenja. Snaga zračenja koje Sunce zrači sa svoje površine iznosi oko $95 \cdot 10^{24} W$ i to se zračenje sastoji od različitih talasnih dužina. Većina (99%) Sunčevog zračenja nalazi se u spektru od 0,275 do 4,6 mm. Maksimum Sunčevog zračenja je na

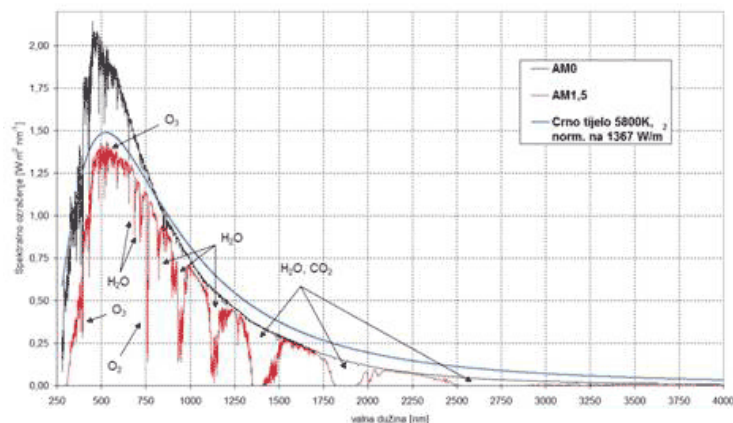
talasnoj dužini od 0,48mm i sastoji se od ultraljubičastog (0,12-0,4 mm), vidljivog (0,4-0,75 mm) i infracrvenog dela (>0,75 mm). Ultraljubičasti deo iznosi oko 9%, vidljivi oko 41,5% i infracrveni oko 49,5% ukupne energije Sunčevog zračenja (slika 6.8).

Sunčevo zračenje na ulazu u Zemljinu atmosferu nazivamo ekstraterestijalnim zračenjem. Kako se udaljenost Zemlje od Sunca menja tokom godine i ekstraterestijalno zračenje (iradijansa) se menja od najmanje vrijednosti 1321 W/m^2 do najveće 1412 W/m^2 .

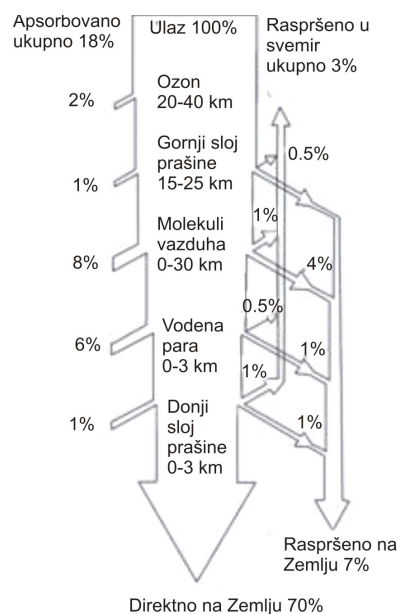
Ekstraterestijalno zračenje upravno na Sunčeve zrake za srednju udaljenost Zemlje od Sunca naziva se Sunčeva (Solarna) konstanta. Na osnovu satelitskih merenja, utvrđeno je da *Solarna konstanta* nije konstanta, već se menja kako se i Sunčeva aktivnost menja. Sunčeva aktivnost ima u proseku 11-godišnji ciklus (tzv. Schwabe-ov ciklus), a na zračenje utiču i drugi fenomeni, kao što je 27-dnevna rotacija Sunca oko svoje ose, Sunčeve pege, prominencije i erupcije. Svetska meteorološka organizacija je 1981. godine standardizovala Sunčevu konstantu čija vrednost iznosi $I_0=1367 \text{ W/m}^2$.

Pri prolasku kroz zemljinu atmosferu Sunčevo zračenje slabi u zavisnosti od dužine puta zraka do površine Zemlje (što je funkcija geografske širine, doba godine, doba dana, nadmorske visine i zamućenosti atmosfere). Intenzitet Sunčevog zračenja kreće se u granicama od 100 - 1000 W/m^2 . Na slici 6.9 prikazano je slabljenje Sunčevog zračenja pri prolasku kroz atmosferu.

Najveći intenzitet Sunčevog zračenja javlja se u delu talasne dužine zračenja koja odgovara vidljivom zračenju u oblasti zelene boje - 0,48 μm .



Slika 6.8 Spektar Sunčevog zračenja



Slika 6.9 Slabljenje Sunčevog zračenja pri prolasku kroz atmosferu

6.2.2.2 Solarna geometrija

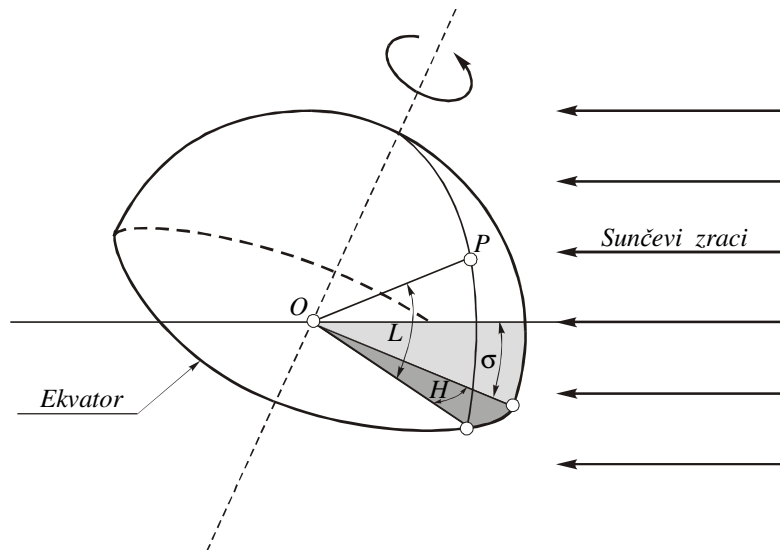
Intenzitet Sunčevog zračenja koji dospeva na površinu Zemlje zavisi od mesta, odnosno položaja posmatrane lokacije. Osa oko koje Zemlja rotira nagnuta je prema ravni njene ekliptike (putanje oko Sunca) za $23,5^\circ$. Zbog nagiba ose rotacije, Zemlja ima 5 klimatskih pojaseva. Položaj nekog mesta na Zemljinoj površini određen je geografskom širinom, časovnim uglom i deklinacijom (slika 6.10). Deklinacija Zemlje σ predstavlja ugao između linije koja povezuje centar Sunca i Zemlje i njene projekcije na ekvatorijalnu ravan. Časovni ugao H predstavlja ugao koji se meri u ekvatorijalnoj ravni između projekcije linije koja spaja centar zemlje sa tačkom P (posmatrane lokacije) na ekvatorijalnu ravan i projekcije na ekvatorijalnu ravan linije koja

povezuje centar Sunca i Zemlje. Geografska širina L je ugao između linije koja povezuje centar zemlje i tačku P i njene projekcije na ekvatorijalnu ravan.

U tabeli 6.1 prikazana je deklinacija Zemlje tokom godine.

Tabela 6.1 Deklinacija zemlje u pojedinim mesecima tokom godine.

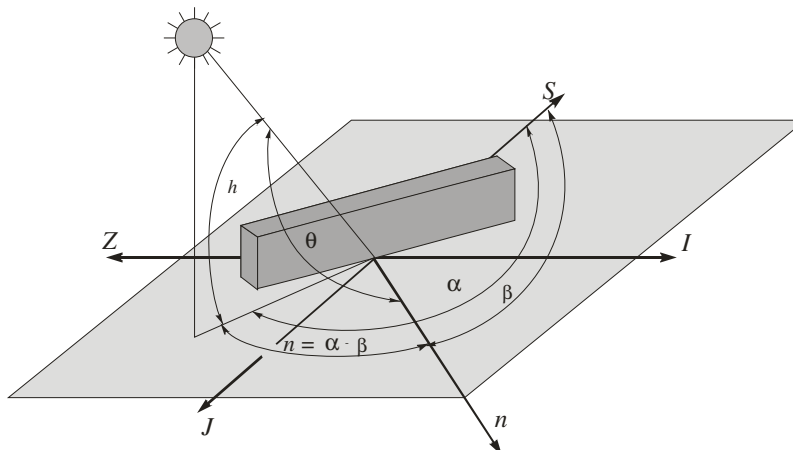
mesec	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
σ [°]	-20.0	-10.8	0.0	11.6	20.0	23.4	20.6	12.3	0.0	-10.5	-19.8	-23.4



Slika 6.10 Deklinacija Sunca, časovni ugao i geografska širina

6.2.2.3 Uglovi položaja sunca

Trenutni položaj Sunca prema nekoj tački na Zemlji određuje se pomoću dva ugla: ugla visine Sunca h i azimuta Sunca α (slika 6.11).

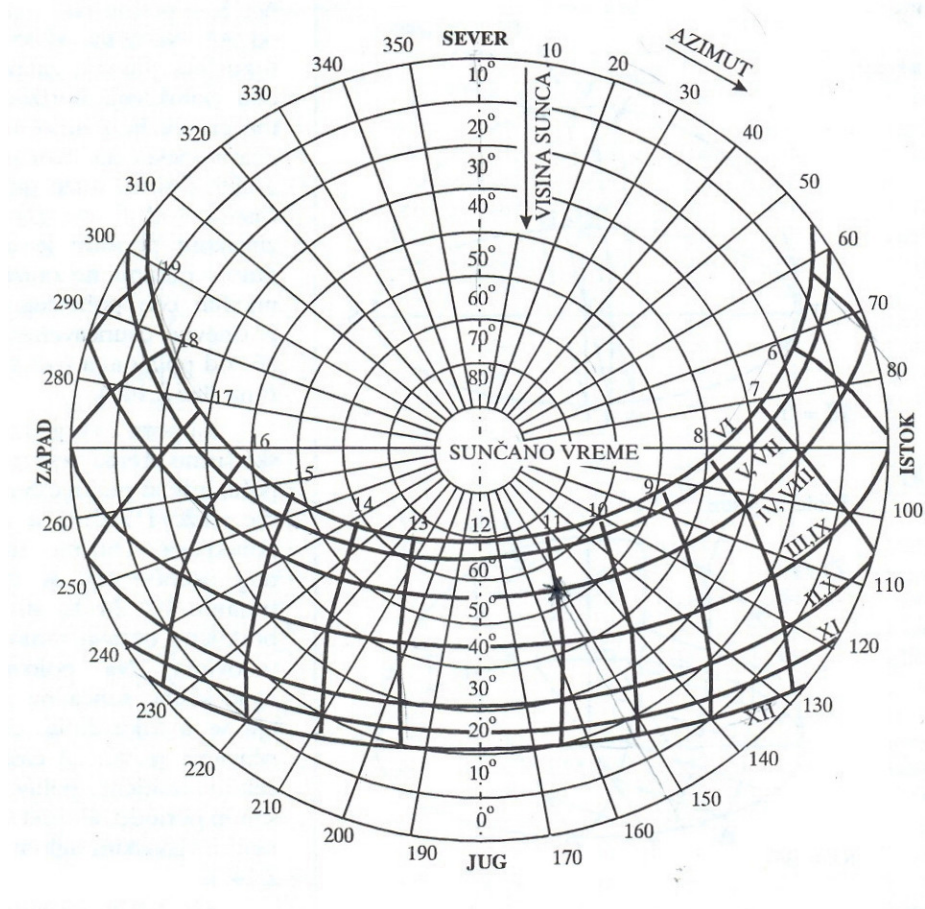


Slika 6.11 Uglovi položaja Sunca : upadni ugao θ , azimut Sunca α , ugao visine Sunca h i azimut površine β

Ugao visine Sunca je ugao između direktnog Sunčevog zraka i njegove horizontalne projekcije. Meri se u vertikalnoj ravni. Azimut Sunca je ugao između pravca severa i horizontalne projekcije Sunčevog zraka i meri se u horizontalnoj ravni. Upadni gao je ugao koji direktan Sunčev zrak zaklapa sa normalom na posmatranu vertikalnu površinu. Azimut površine je ugao

između pravca severa i normale na posmatranu vetrikalnu površinu - meri se u horizontalnoj ravni, kao i azimut Sunca.

Za različite proračune, kao i za proračun toplotnog opterećenja koje potiče od prodora direktnog Sunčevog zračenja kroz staklo, koristi se dijagram putanje Sunca, koji se konstruiše za određenu geografsku širinu. Na slici 6.12 prikazan je dijagram putanje Sunca (odakle se mogu očitati uglovi položaja Sunca) se severnu geografsku širinu od 45° .



Slika 6.12 Dijagram putanje Sunca za 45° SGŠ

6.2.2.4 Sunčevo zračenje i fizička svojstva atmosfere

Propustljivost atmosfere za Sunčevo zračenje zavisi od njene zamućenosti, usled čega dolazi do gubitka u energiji **direktnog** Sunčevog zračenja. Gubici nastaju usled:

- sudara Sunčevih zraka sa molekulima O_2 , N_2 , vodene pare i česticama prašine (kada najviše oslabe zraci manjih talasnih dužina - ultraljubičasto zračenje),
- selektivne apsorpcije Sunčevih zraka od strane troatomnih gasova (najviše CO_2 i vodene pare H_2O , kada slabe ili se potpuno gube zraci iz crvenog dela spektra vidljivog zračenja i infracrvenog dela spektra).

Ovi gubici su veći ukoliko zraci prolaze duži put kroz atmosferu (npr. kada je Sunce bliže horizontu). Deo energije Sunca koji je apsorbovan u atmosferi dolazi opet do Zemlje u vidu difuznog zračenja neba. Difuzno zračenje varira u toku dana i zavisi od:

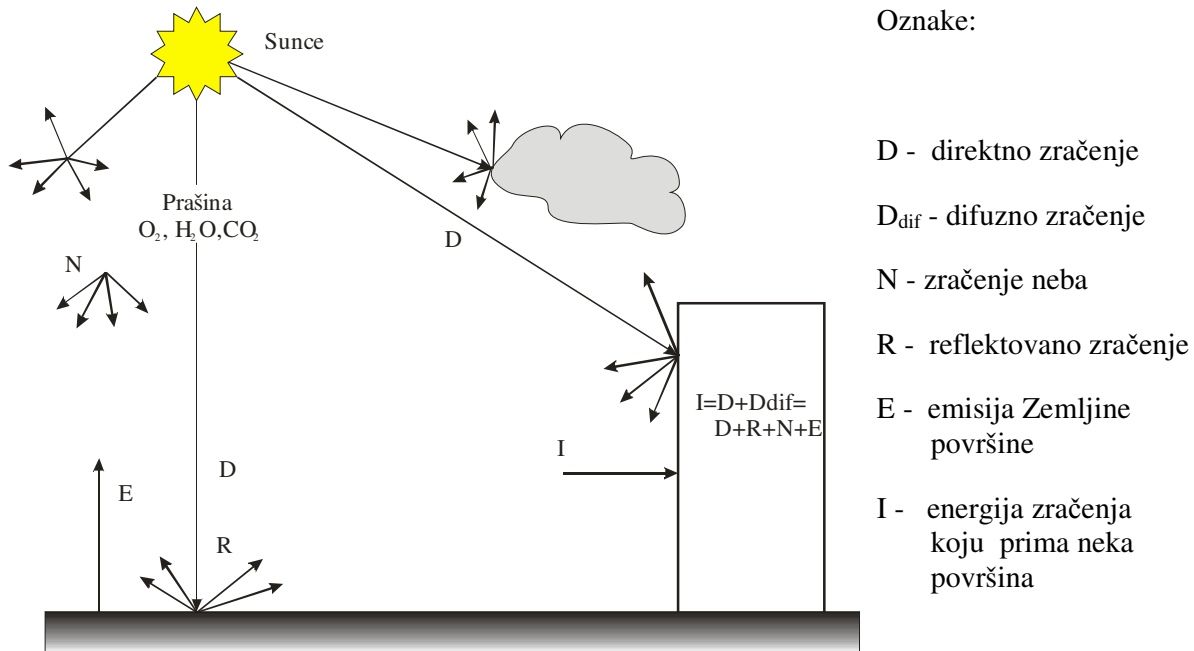
- visine Sunca,
- vremenskih prilika,

- intenziteta oblačnosti i
- zagađenosti vazduha česticama nečistoća.

Globalnim zračenjem se naziva zbir direktnog i difuznog Sunčevog zračenja koje dospeva na Zemljinu površinu na horizontalnu ravan.

Šematski prikaz prolaza Sunčevog zračenja kroz atmosferu je prikazan na slici 6.13.

Refleksija Sunčevih zraka na površini Zemlje nastaje od ukupnog zračenja koje dospe na zemljinu površinu. Jedan deo se apsorbira, a jedan deo se reflektuje. Odnos zračenja koji se reflektuje i energije koja dospeva na zemlju naziva se ALBEDO. Najveće vrednosti albeda imaju površina snega i mirna vodena površina.



Slika 6.13 Šematski prikaz prolaza Sunčevog zračenja kroz atmosferu

Linke uvodi faktor zamućenosti atmosfere i koristi pojam vazdušne mase. Pod jedinicom vazdušene mase podrazumeva se debljina vazdušnog sloja koja odgovara zenitalnom položaju Sunca u mestu na nivou morske površine. Određena vrednost vazdušne mase označava dužinu puta koji treba da pređu Sunčevi zraci kroz atmosferu, u odnosu na jediničnu masu, koja odgovara najkraćem mogućem putu. Vrednost vazdušne mase na nivou morske površine zavisi od:

- ugla visine Sunca,
- geografske širine i
- doba dana.

Međutim, vrednost vazdušne mase zavisi i od nadmorske visine mesta, pa tako planinski predeli imaju manje vrednosti vazdušne mase.

Po Linkeu, faktor zamućenosti atmosfere pokazuje koliko puta treba uvećati dužinu puta koji Sunčevi zraci treba da pređu kroz sasvim čistu i suhu atmosferu, da bi oslabili onoliko koliko oslabe pri prolasku kroz stvarnu, zamućenu atmosferu. Zamućenost atmosfere se menja tokom godine. Leti je najveća, jer je veće isparavanje vode sa Zemljine površine, ima više prašine u vazduhu i izraženija su verzikalna strujanja vazduha, koja prašinu podižu u više slojeve atmosfere. Faktor zamućenosti daje se pomesecima u godini za neko mesto. Za Beograd se vrednosti kreću od 4,5 u julu mesecu do 3 u decembru (srednje mesečne vrednosti).

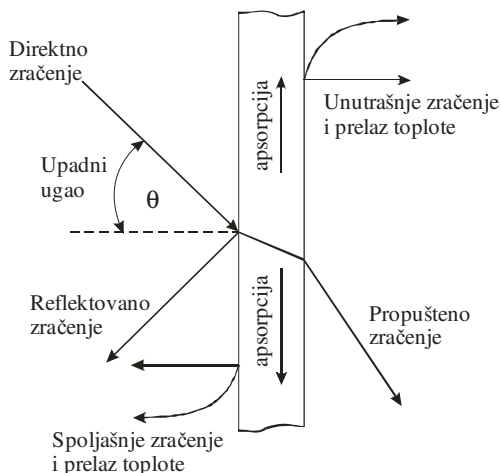
6.2.3 Toplotno opterećenje usled prodora Sunčevih zraka kroz staklo

Sunčev zrak koji dospeva na spoljnu površinu stakla prozora se delimično reflektuje, apsorbuje i propušta:

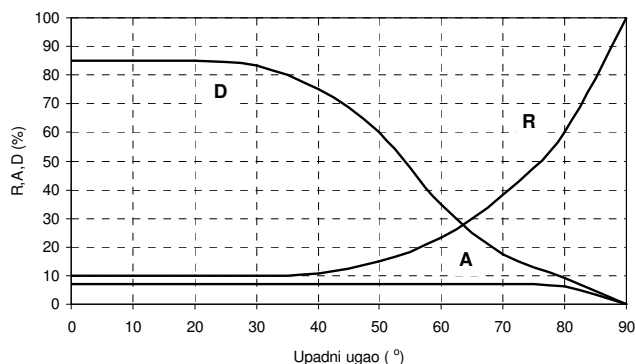
$$r + a + d = 1 \quad (6.16)$$

Odnos energija zračenja koje se reflektuje, apsorbuje i propusti zavisi od:

1. Upadnog ugla Sunčevih zraka i
2. Vrste stakla.



Slika 6.14 Bilans toplote Sunčevog zračenja za prozorsko staklo



Slika 6.15 Odnos propustljivosti D, apsorpcije A i refleksije R direktnog Sunčevog zračenja za obično staklo debljine 3 mm

Upadni ugao se menja za određenu geografsku širinu i zavisi od:

- doba godine,
- doba dana i
- orijentacije prozora.

Za upadne uglove koji su manji od 40°, propustljivost D je skoro konstantna i iznosi 87%. apsorbovani deo energije skoro i da ne zavisi od upadnog ugla i iznosi oko 6%. U unutrašnjost prostorije se konvekcijom i zračenjem prenosi 1/3 apsorbovane energije.

Za difuzno zračenje propustljivost, apsorpcija i refleksija su konstantne veličine koje ne zavise od upadnog ugla (difuzno zračenje je raspršeno zračenje i prostire se u svim pravcima) i iznose: $D = 0,79$, $A = 0,06$ i $R = 0,15$.

Za specijalna ostakljenja (apsorpciono, refleksiono staklo) oblik krivih na slici 12 može biti potpuno drugačiji. Poznatiji proizvođači stakla imaju ovakav tip dijagrama za svoja stakla.

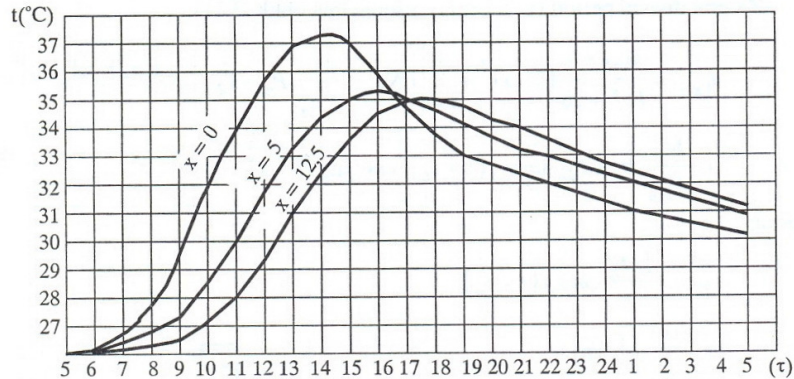
6.2.3.1 Akumulacija toplote u zidovima

Sunčevi zraci koji prodru u prostoriju kroz staklo prozora i dospeju na zidove se delimično apsorbuju (aI) i delimično reflektuju (rI). Apsorbovani deo energije zagreva površinu zida, tako da dolazi do:

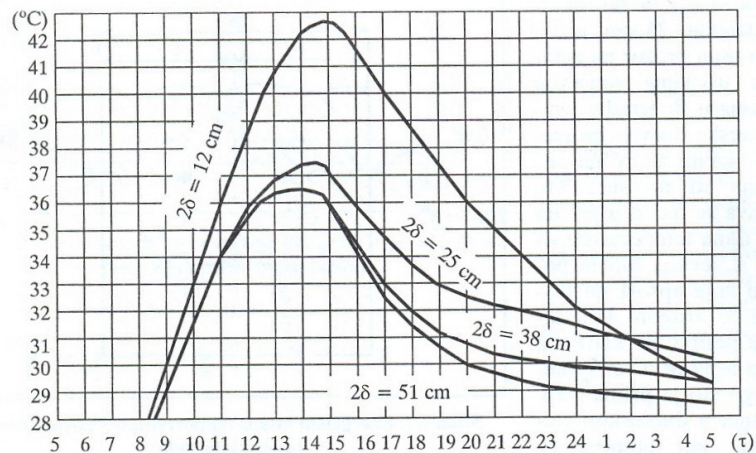
- konvektivnog prelaza toplote na sobni vazduh i
- provođenje toplote u unutrašnjost zida.

Deo energije Sunčevog zračenja koji se provodi ka unutrašnjosti zida nazivamo **akumulisanom toplotom**, dok deo koji se preda vazduhu prostorije usled konvekcije predstavlja **toplotno opterećenje** od Sunčevog zračenja koje je potrebno eliminisati iz prostorije.

Na slici 6.16 je prikazana temperatura zida na površini ($x=0$) i u unutrašnjim slojevima, a na slici 19 temperatura površina zidova različitih debljina.



Slika 6.16 Temperatura zida na površini ($x=0$) i u unutrašnjim slojevima



Slika 6.17 Temperatura površina zidova različitih debljina

Za unutrašnje slojeve zida je karakteristično:

1. Maksimalna temperatura se javlja kasnije - fazni pomeraj i
2. Maksimum temperature u unutrašnjosti je manji - smanjenje amplitude.

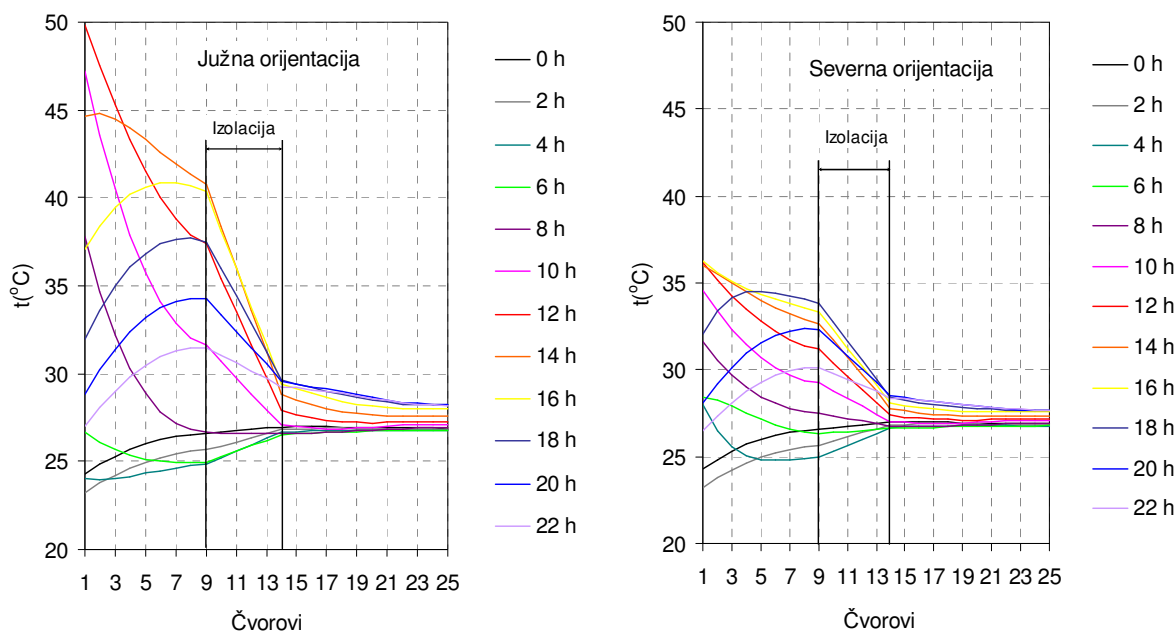
Što je unutrašnji zid deblji temperatura na površini zida je niža jer je izraženija akumulacija toplote, odnosno više se toplote provodi ka unutrašnjosti zida. S obzirom da toplotno opterećenje obuhvata samo onu količinu toplote koja zagreva sobni vazduh, potrebno je rešenja Furijeove jednačine naći na površini zida, pa je onda toplotno opterećenje prostorije od propuštenog Sunčevog zračenja:

$$q(\tau) = \alpha \cdot (\theta_{x=0} - \theta_i) \quad (6.17)$$

Rešenje Furijeove jednačine daje tačne vrednosti temperatura zida u toku dana, ali je potrebno znati:

1. Količinu Sunčeve energije koja dospeva na zid,
2. Tačno određen koeficijent apsorpcije zida i
3. Termo-fizičke karakteristike zida.

Na slici 6.18 prikazana je promena temperaturskog polja unutar fasadnog zida u toku jednog dana, za južnu i severnu orijentaciju model-prostorije (klimatizovane prostorije) dobijena simulacionim programom. Sistem za klimatizaciju, u ovom slučaju, radi bez prekida, a osvetljenje u prostoriji nije uključeno. Sa dijagrama se može uočiti dnevna promena temperature spoljne i unutrašnje površine zida: spoljašnja strana fasadnog zida izložena je uticaju spoljašnjeg vazduha, kako u zavisnosti od temperature, tako i u zavisnosti brzine strujanja vazduha (uticaj vetra), zatim uticaju zračenja nebeskog svoda i tla i izložena je Sunčevom zračenju; kao što se može videti sa dijagrama, dominantan uticaj na promenu temperature spoljnjše površine zida, prostorije orijentisane ka jugu, ima direktno Sunčevo zračenje, tako da temperatura površine fasadnog zida južno orijentisane prostorije dostiže čak 50°C , dok za severnu orijentaciju zagrevanje spoljašnje površine zida ide do 36°C , gde je manje izražen uticaj Sunčevog zračenja. Izolacioni sloj od mineralne vune, postavljen je između dva sloja opeke i mogu se uočiti “prelomne” tačke na linijama temperature na granicama izolacionog sloja. Temperatura unutrašnje strane fasadnog zida menja se u opsegu od 27.5°C do 28.5°C , za južnu orijentaciju, dok je dnevna promena temperature unutrašnje površine fasadnog zida prostorije orijentisane ka severu, još manja.



Slika 6.18 Promena temperaturskog polja unutar fasadnog zida u toku dana za južnu i severnu orijentaciju prostorije (letnji projektni dan)

Koeficijenti akumulacije toplote

Kada su u pitanju dobici toplote, njih je relativno lako odrediti (izračunati), ali je mnogo teže odrediti toplotno opterećenje prema kome se dimenzioniše postrojenje za klimatizaciju. Dobici toplote, koji predstavljaju polazni podatak za računanje toplotnog opterećenja, zavise od mnogo veličina u samoj prostoriji (mase zidova i poda, materijala zidova, geometrije prostorije, itd.) S obzirom da je preračunavanje dobitaka toplote u toplotno opterećenje prilično matematički složeno i obimno, nije pogodno da se vrši za svaki konkretan slučaj proračuna. Zato se problem rešava uvođenjem koeficijenata akumulacije toplote.

Po definiciji koeficijent akumulacije toplote je odnos između trenutnog toplotnog opterećenja i maksimalne vrednosti dobitaka toplote:

$$s(\tau) = \frac{Q_{opt}(\tau)}{Q_{dob,max}} \quad (6.18)$$

Za određene, **karakteristične** tipove prostorija određene su složenim detaljnim matematičkim modelom krive toplotnog opterećenja za zadatu krivu dobitaka toplote i na osnovu tih proračunasu određeni koeficijenti akumulacije toplote za određene tipične slučajeve.

Strogo uzevši, naziv **koeficijent akumulacije toplote** je potpuno pogrešan, jer on ne pokazuje akumulisanu toplotu, već sasvim suprotno - deo toplotnog dobitka koji predstavlja trenutno **toplotno opterećenje**. Naziv potiče od striktnog prevoda sa nemačkog i engleskog jezika (*wärmespeicher*, *heat storage factor*), mada se u novijoj američkoj literaturi nalazi naziv faktor toplotnog opterećenja (*cooling load factor*) što i jeste njegova fizikalna suština.

Domen promene koeficijenta akumulacije toplote za referentni slučaj najviše zavisi od tipa gradnje; tako se vrednosti koeficijenta akumulacije uzimaju iz tablica za najpribližniji slučaj i računa se toplotno opterećenje:

$$Q_{opt}(\tau) = Q_{dob,max} \cdot s(\tau). \quad (6.19)$$

Ovaj koncept koriste skoro sve u svetu poznate metode proračuna toplotnog opterećenja klimatizovanih prostorija, izuzev TFM (*Transfer Function Method*), ali ga koriste čak i metode koje su izvedene iz TFM, kao i najnovije metode bazirane na bilansu toplote za svaku površinu u prostoriji.

Toplotno opterećenje od sunčevog zračenja kroz prozor računa se prema jednačini:

$$Q(\tau) = Q_{dob,max} \cdot s(\tau) = [F_{os} \cdot I_{max} \cdot a + (F - F_{os}) \cdot I_{dif,max}] \cdot b \cdot s(\tau), \quad (6.20)$$

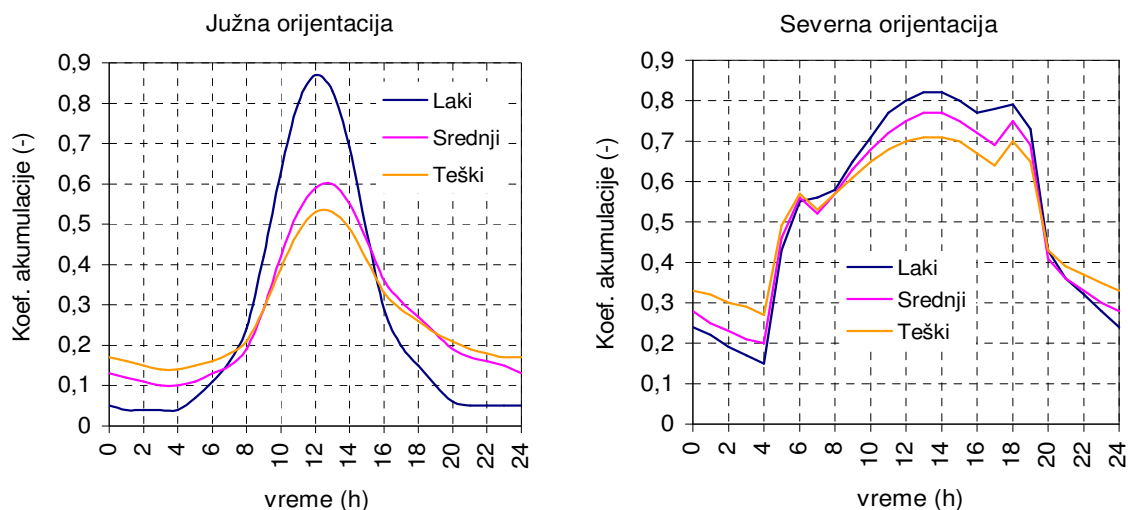
gde je:

- F_{os} - osunčana površina stakla prozora,
- F - ukupna površina stakla prozora,
- I_{max} - ukupni intenzitet Sunčevog zračenja za posmatranu orijentaciju propušten kroz jednostruko obično staklo debljine 3mm,
- $I_{dif,max}$ - intenzitet difuznog Sunčevog zračenja propušten kroz jednostruko obično staklo debljine 3mm,
- a - koeficijent korekcije za zamućenost atmosfere,
- b - koeficijent propustljivosti stakla prozora i zastora za Sunčevo zračenje u odnosu na jednostruko obično staklo,
- $s(\tau)$ - koeficijent akumulacije toplote od Sunčevog zračenja.

Koeficijent akumulacije toplote od Sunčevog zračenja bira se u odnosu na:

- vrste gradnje (akumulacione sposobnosti zidova prostorije),
- orijentacije prozora,
- doba godine i
- doba dana.

Na slici 6.19 prikazani su koeficijenti akumulacije toplote od Sunčevog zračenja za različite tipove gradnje i dve orijentacije prostorije.



Slika 6.19 Uticaj tipa gradnje na koeficijente akumulacije toplote od Sunčevog zračenja

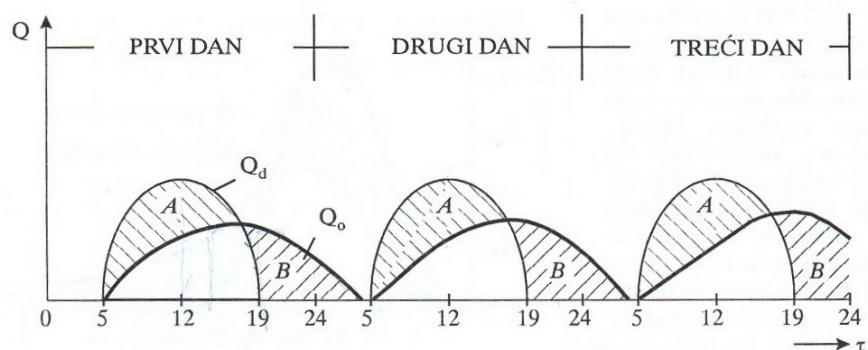
6.2.3.2 Toplotno opterećenje sa produženim efektom akumulacije

Za analizu produženog efekta akumulacije toplote posmatračemo neki prosečan dan iz dužeg perioda rada klimatizacionog postrojenja. Razlikujemo dva slučaja:

- a) Masa zidova prostorije je mala, pa se akumulisana toplota brzo oslobađa i nema uticaja na toplotno opterećenje narednog dana (slika 6.20).

A - akumulisana količina toplote

B - oslobođena količina toplote



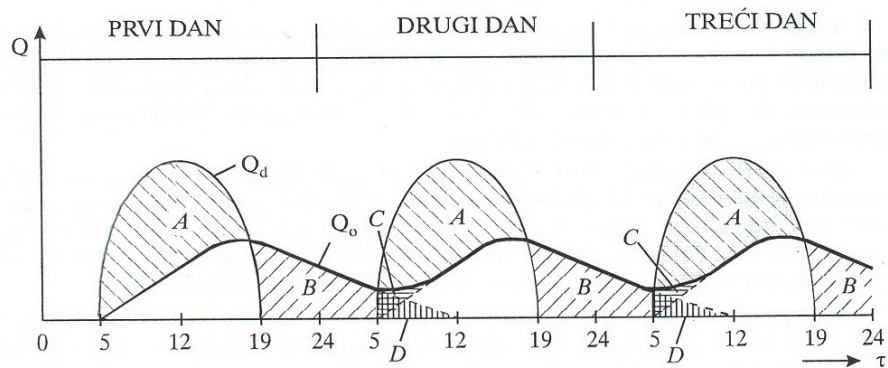
Slika 6.20 Tok dnevnih toplotnih opterećenja pri malom efektu akumulacije

- b) Masa zidova prostorije ima veći stepen akumulacije, pa akumulisana toplota ostaje duži period vremena u zidovima prostorije i utiče na povećanje toplotnog opterećenja narednog dana (slika 6.21).

A - akumulisana količina toplote

B - oslobođena količina toplote

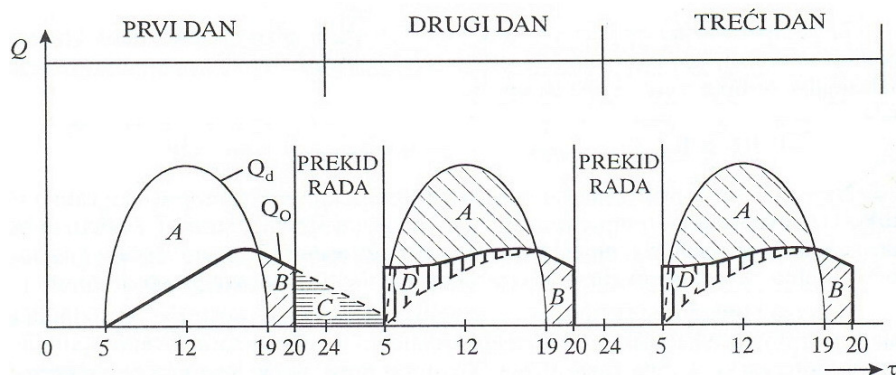
C,D - ostaci akumulisane toplote od prethodnog dana



Slika 6.21 Tok dnevnih toplotnih opterećenja pri većem efektu akumulacije

Još izraženiji uticaj akumulacije javlja se u prostorijama gde klimatizacija radi sa dnevnim prekidima (kao što su poslovne prostorije - npr. uključuje se ujutro u 6h a isključuje u 20h) što je prikazano na slici 6.22.

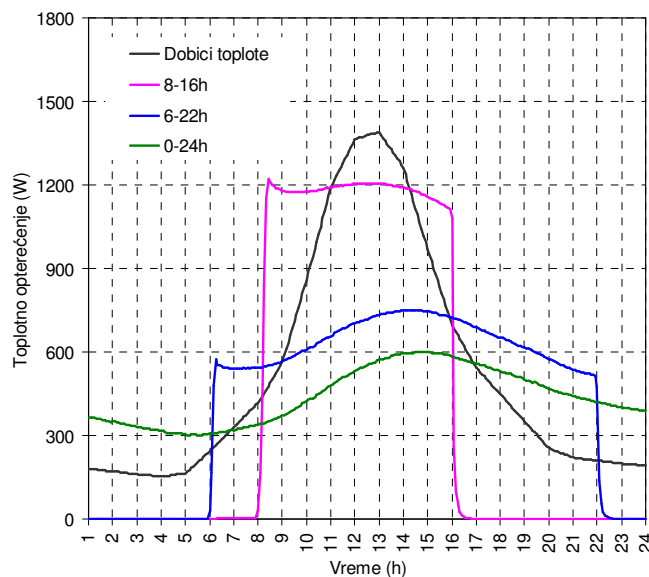
- A - akumulirana količina toplote
- B - oslobodena količina toplote
- C - toplota koja ostaje akumulirana u toku prekida rada postrojenja
- D - prethodno akumulirana toplota koja se oslobađa narednog dana



Slika 6.22 Tok dnevnih toplotnih opterećenja pri radu klimatizacionog postrojenja sa prekidom

Kada se postrojenje isključi, temperatura vazduha u prostoriji brzo poraste, pa više na postoje uslovi za razmenu toplote pri konvekciji, tako da akumulirana toplota u zidovima tu ostaje sve do ponovnog uključivanja postrojenja narednog dana, kada se snižava temperatura vazduha u prostoriji i ponovo uspostavljaju uslovi za prelaz toplote sa površine zidova na vazduh u prostoriji. Narednog dana, prilikom uključivanja postrojenja za klimatizaciju, osim zaostale akumulirane toplote javljaju se novi dobici i novo toplotno opterećenje. Sve to rezultuje povećanim toplotnim opterećenjem u trenutku uključivanja klimatizacionog postrojenja narednog dana.

Na slici 6.23. prikazan je tok toplotnog opterećenja prostorije orijentisane ka jugu za različite režime rada klimatizacije - bez prekida i sa različitom dužinom prekida uporedo sa dobicima toplote koji potiču od spoljnih izvora (transmisije kroz zidove i prozor i Sunčevog zračenja).



Slika 6.23 Tok dnevnih toplotnih opterećenja pri različitim režimima rada klimatizacionog postrojenja

6.2.4 Toplotno opterećenje transmisijom toplote kroz prozor

S obzirom da su prozori sačinjeni pretežno od tankih staklenih površina i da imaju mali otpor provođenju toplote, smatra se da ne postoji akumulacija toplote u prozorima i da je prolaz toplote kroz prozore trenutni. Zbog toga se toplotno opterećenje transmisijom toplote kroz prozor računa za posmatrani vremenski trenutak sa trenutnom razlikom temperatura spoljnog i unutrašnjeg vazduha:

$$Q(\tau) = U_w \cdot F \cdot (\theta_e(\tau) - \theta_i), \quad (6.21)$$

gde je:

- U_w - koeficijent prolaza toplote kroz prozor,
- F - površina prozora (građevinskog otvora),
- $\theta_e(\tau)$ - temperatura spoljnog vazduha,
- θ_i - temperatura vazduha u prostoriji.

Infiltracija spoljnog vazduha

Infiltracija spoljnog vazduha je u klimatizovanim prostorijama, po pravilu, znatno manja nego u prostorijama koje imaju neki od uobičajenih sistema grejanja. Čest je slučaj klimatizovanih zgrada u kojima su prozori fiksni i ne otvaraju se - tada je propustljivost procepa zanemarljiva.

U slučaju kada dolazi do infiltracije spoljnog vazduha, posebno se računa latentno i suvo toplotno opterećenje usled infiltracije:

$$Q_{INF,s} = \dot{V} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (\theta_e(\tau) - \theta_i) \quad (6.22)$$

$$Q_{INF,lat} = \dot{V} \cdot \rho \cdot r \cdot (x_e(\tau) - x_i). \quad (6.23)$$

6.2.5 Toplotno opterećenje od unutrašnjih izvora

Toplotno opterećenje koje potiče od unutrašnjih izvora toplote često može nadmašiti toplotno opterećenje od spoljnih izvora. Unutrašnji izvori toplote su:

- ljudi,
- osvetljenje,
- mašine i aparati,
- susedne neklimatizovane prostorije,
- tehnološki procesi (u industriji).

6.2.5.1 Toplota koju odaju ljudi

Toplotno opterećenje od ljudi je uvek prisutno, s obzirom da se komforna klimatizacija uvek uvodi zbog prisustva ljudi u prostorijama, kako bi se obezbedili uslovi ugodnosti. Toplota koju odaju ljudi može biti jako značajna kada se radi o prostorijama u kojima boravi veliki broj ljudi, kao što su: bioskopi, pozorišta, sportske dvorane, itd.

$Q_{lj} = \sum_1^n q_{lj,n}$ odnosno, razdvaja se osetna (suva) i latentna toplota koju ljudi odaju:

$$Q_{lj,s} = n \cdot q_{lj,s} \text{ i}$$

$$Q_{lj,lat} = n \cdot q_{lj,lat}, \quad (6.24)$$

gde je:

- n - broj ljudi koji boravi u prostoriji i
 q_{lj} - količina toplote koju odaje jedan čovek pri datim uslovima.

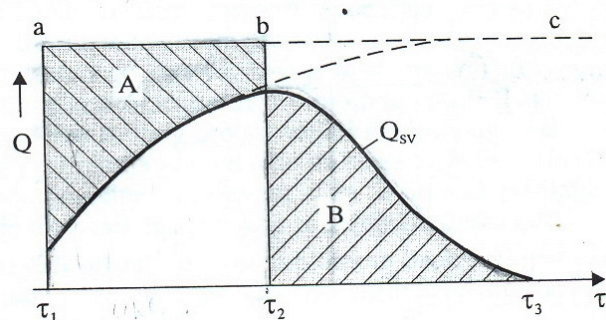
Prema većini metoda ne uzima se koeficijent akumulacije toplote od ljudi, već se toplota koju odaje čovek smatra toplotnim opterećenjem, odnosno smatra se da se celokupno odata suva toplota predaje vazduhu prostorije. Po novom ASHRAE standardu usvaja se koeficijent toplotnog opterećenja od ljudi CLF (*Cooling Load Factor*), što ima smisla kada u prostoriji boravi mali broj ljudi koji predaju toplotu zračenjem prema okolnim površinama u prostoriji. Međutim, kada u prostoriji boravi veći broj ljudi, onda bi trebalo uzeti u obzir međusobno razmenjenu toplotu zračenjem između ljudi.

6.2.5.2 Toplotno opterećenje od osvetljenja

Svetiljke odaju toplotu zračenjem i prelazom toplote na vazduh u prostoriji. Usled predaje toplote zračenjem javlja se efekat akumulacije toplote u podu i zidovima prostorije, slično kao kod Sunčevog zračenja.

Dobici toplote od osvetljenja su konstanti sve vreme rada osvetljenja, od trenutka uključenja τ_1 do trenutka isključenja τ_2 . Površina A na dijagramu predstavlja akumulisanu toplotu u zidovima i podu prostorije, a površina B je naknadno odata toplota, koja se odaje od trenutka isključenja osvetljenja τ_2 pa sve do nekog trenutka τ_3 . Ukoliko prethodno akumulisana toplota (površina A) uspe da se u potpunosti oslobodi pre ponovnog uključenja osvetljenja, onda je naknadno oslobođena toplota (površina B) koja predstavlja toplotno opterećenje po isključenju osvetljenja jednaka prethodno akumulisanoj toploti ($A = B$, iz bilansa toplote).

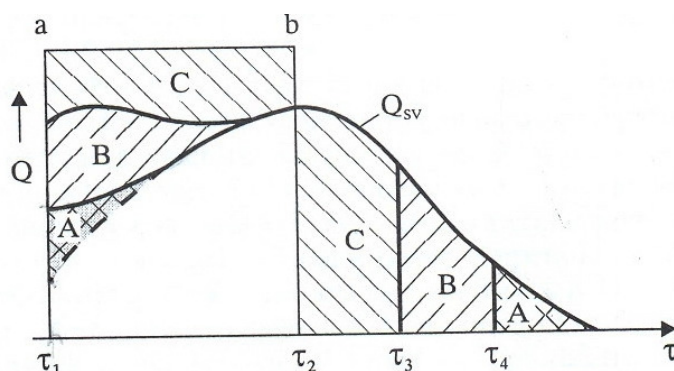
Na slici 6.24 prikazan je tok toplotnog opterećenja od osvetljenja za neprekidan rad klimatizacionog postrojenja.



Slika 6.24 Tok toplotnog opterećenja od osvetljenja za neprekidan rad klimatizacionog postrojenja

Ako je osvetljenje neprekidno uključeno, dobici toplote i toplotno opterećenje se izjednačavaju i tada je i toplotno opterećenje konstantno, i tada efekat akumulacije toplote ne dolazi do izražaja.

Kada klimatizaciono postrojenje radi sa prekidom, onda se sva akumulisana toplota ne prenosi na sobni vazduh, već deo akumulisane toplote ostaje u zidovima i oslobađa se narednog dana, kada se toplotno opterećenje povećava (slika 6.25).



Slika 6.25 Tok toplotnog opterećenja od osvetljenja u slučaju rada klimatizacionog postrojenja sa prekidom

Ako se klimatizacija isključi u trenutku τ_4 , onda se akumulisani deo toplote A ne može preneti na sobni vazduh, pa dolazi do produženog efekta akumulacije toplote i povećanja toplotnog opterećenja sledećeg dana, kada se klimatizaciono postrojenje ponovo uključuje.

Ako se klimatizacija ranije isključi, npr. u trenutku τ_3 , onda veća količina toplote (A+B) podleže efektu produžene akumulacije toplote.

Praktično izračunavanje toplotnog opterećenja od osvetljenja vrši se pomoću koeficijenata akumulacije:

$$Q_B(\tau) = Q_{dob, max} \cdot s_B(\tau), \text{ odnosno} \quad (6.25)$$

$$Q_B(\tau) = P \cdot l_1 \cdot l_2 \cdot s_B(\tau), \quad (6.26)$$

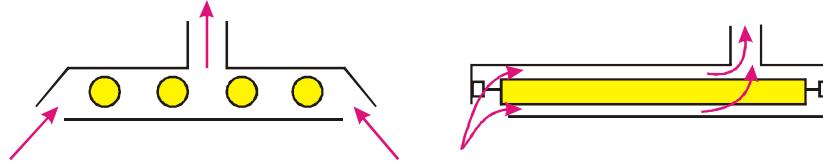
gde je:

P - ukupna instalisana snaga svetiljki u prostoriji,

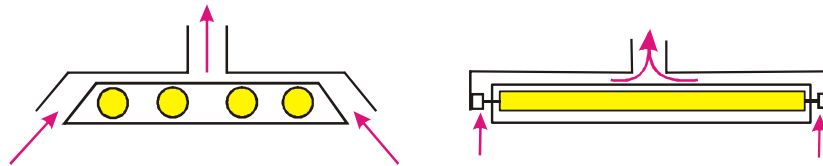
- l_1 - koeficijent jednovremenosti uključjenja osvetljenja (u saradnji sa projektantom električnih instalacija)
- l_2 - koeficijent ostatka toplote kod provetravanih svetiljki (kod neprovetravanih je $l_2=1$) i
- $s_B(\tau)$ - koeficijent akumulacije toplote od osvetljenja.

Koeficijent l_2 pokazuje koji deo instalisane snage svetiljke opterećuje vazduh prostorije pri stalnom uključjenju osvetljenja. Prema VDI normama, razlikuju se tri osnovna načina provetravanja svetiljki:

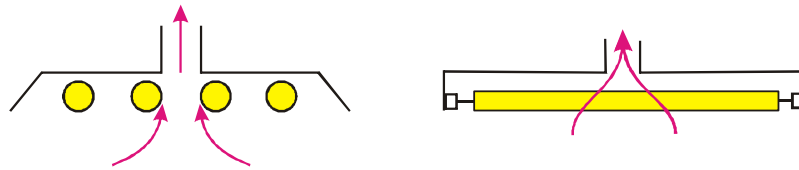
1. Provetravanje kroz svetiljku – vazduh opstrujava svetiljku po celoj dužini;



2. Provetravanje cirkulacijom vazduha oko svetiljke – vazduh opstrujava zatvoreno telo svetiljke. Cev svetiljke se ne hladi direktno vazduhom za provetravanje;



3. Delimično provetravanje kroz svetiljku – na gornjoj strani svetiljke se nalazi otvor za izvlačenje vazduha. Samo deo cevi svetiljke koji se nalazi u blizini otvora biće prinudno opstrujavan vazduhom za provetravanje.



Osim od načina provetravanja svetiljki, koeficijent l_2 zavisi i od:

- protoka vazduha za provetravanje (m^3/h) i
- načina odvođenja vazduha iz prostorije (kroz plenum, neizolovane ili izolovane kanale).

Koeficijent akumulacije toplote od osvetljenja uzima u obzir da svetiljke nisu uključene 24 h tokom dana. Što je vreme uključivosti svetla kraće efekat akumulacije toplote je izraženiji.

Koeficijenti akumulacije toplote zavise od:

- mase zidova i poda prostorije;
- položaja svetiljki, koji utiče na količinu toplote koja se preda pri konvekciji – svodi se na dva slučaja: slobodno obešene svetiljke i svetiljke u plafonu ili ugrađene na samom plafonu;
- vremenskog perioda uključivosti osvetljenja; sa porastom dužine trajanja uključivosti, vrednosti koeficijenata akumulacije toplote od osvetljenja se približavaju jedinici. Usvaja se $s_B = 1$ kada je osvetljenje uključeno 20 ili više časova u toku dana.

6.2.5.3 Toplotno opterećenje od mašina u prostoriji

Obično se u praksi smatra da je disipacija toplote od rada mašine jednaka instalisanoj snazi mašine i da se predaje vazduhu prostorije, tako da čini toplotno opterećenje:

$$Q_M = P_{el} \cdot \quad (6.27)$$

Ako se u prostoriji nalazi više mašina, onda se toplotno opterećenje opterećenje računa kao:

$$Q_M = \sum \left(\frac{N_i}{\eta \cdot a_1} \right) \cdot a_2, \quad (6.28)$$

gde je:

- N_i - instalisana snaga i -te mašine,
- η - srednji stepen iskorišćenja motora,
- a_1 - koeficijent opterećenja i -te mašine u posmatrano vreme,
- a_2 - koeficijent jednovremenosti uključenosti mašina.

6.2.5.4 Toplotno opterećenje od susednih prostorija

Toplota koja se transmisijom prenese u prostoriju od susednih neklimatizovanih prostorija (kroz pod, zidove, tavanicu, vrata...) predstavlja toplotno opterećenje od susednih prostorija:

$$Q_R = \sum U_i \cdot F_i \cdot \Delta\theta_i, \quad (6.29)$$

gde je:

- U_i - koeficijent prolaza toplote kroz i -tu pregradu,
- F_i - površina posmatrane pregrade,
- $\Delta\theta_i$ - razlika temperatura vazduha neklimatizovane prostorije i vazduha klimatizovane prostorije.

Ukupno toplotno opterećenje prostorije je zbir toplotnih opterećenja od svih izvora toplote:

$$Q_{ukup} = Q_e + Q_i = Q_Z + Q_S + Q_T + Q_{LJ} + Q_B + Q_M + Q_R + Q_G. \quad (6.30)$$

6.3 ZAŠTITA OD SUNČEVOG ZRAČENJA

U ukupnom energetsom bilansu zgrade važnu ulogu igraju i toplotni dobici od Sunca. U savremenoj arhitekturi puno pažnje se posvećuje korišćenju energije Sunca, ali i zaštiti od preteranog osunčanja, jer se i pasivni dobici toplote moraju regulisati i optimizirati u zadovoljavajuću celinu. Sistemi za zaštitu od Sunčevog zračenja usklađeni s spoljnim promenama osiguravaju dobre uslove rada i boravka u zgradi. Ako se kontroliše njihova primena (mobilnost, automatika rada) onda je omogućen prilagodljivo propuštanje Sunčevog zračenja u zgradu. Na taj način je moguće potrošnju energije za hlađenje leti i grejanje zimi značajno smanjiti i koristiti, ili izbegavati dobitke od Sunca.

Za efikasnu zaštitu od intenzivnog osvetljenja (blještanja) primenjuju se sledeća rešenja:

- arhitektonska geometrija: zelenilo, tremovi, nadstrešnice, balkoni
- elementi spoljne zaštite od Sunca: pokretni i nepokretni brisoleji, spoljne žaluzine
- roletne, tende, savremena ostakljenja i dr.

- elementi unutrašnje zaštite od Sunca: roletne, žaluzine, rolo i obične zavese i dr.
- elementi unutar stakla za zaštitu od Sunca i usmeravanje svetla - hologramski elementi, reflektirajuća stakla i folije, staklene prizme i dr.
- višefunkcionalni konstruktivni elementi zgrada.

Elementi mogu biti fiksirani ili pokretni, klizni, rolo i uz to automatizovani. Mogu biti postavljeni kao pojedinačni vertikalni ili horizontalni elementi ili kao ploče, u oba slučaja spolja ili unutra. Elementi treba da budu lagani, a postavljaju se na potkonstrukciju koja je odmaknuta od noseće konstrukcije zgrade.

Materijali od kojih se izrađuju elementi zaštite od Sunca su :

- aluminijum (ekstrudiran, peskaren)
- drvo (otporno na spoljne uslove)
- tkanine (fiberglas, impregnirani ili prirodni materijali).

Korisni elementi zaštite od Sunca su nadstrešnice ili tremovi određene dubine na južnom zidu koje sprečavaju upad Sunčevog zračenja leti, a propuštaju ga zimi. Po pravilu se na južnoj strani postavljaju horizontalni elementi jer leti, na južnoj strani, Sunčevo zračenje upada pod velikim uglom, pa ga horizontalna ploča može odbiti. Zimi Sunčevo zračenje upada pod blagim uglom i prolazi kroz horizontalne elemente u prostor. Na zapadnoj i istočnoj strani se postavljaju vertikalni elementi koji mogu raspršiti zrake, s obzirom da Sunčevo zračenje uvek upada pod blagim uglom.

Dodatno, moguće je upotrebom mobilnih i automatizovanih elemenata optimizirati korišćenje dobitaka od Sunčevog zračenja za pojedine prostore prema trenutnoj potrebi.

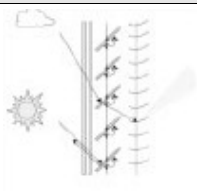
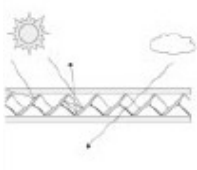
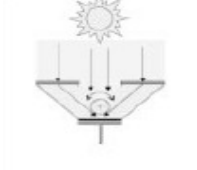
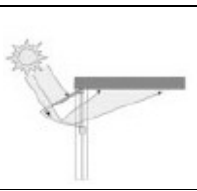
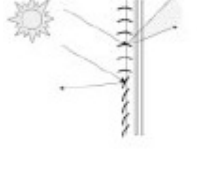
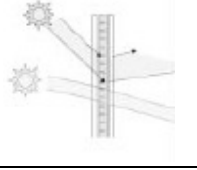
Ipak, zaštiti od Sunca najviše doprinosi pravilna orijentacija zgrade, odnosno grupisanje prostorija po nameni prema uslovima pojedine orijentacije.

Način postavljanja zaštite od Sunca i odnos prema konstrukcijama otvora i zidova mora biti takav da omogući kvalitetno zasenčenje, sa što manjim ograničavanjem pogleda kroz otvore. Potrebno je sprečiti stvaranje džepova toplog vazduha ispod ili iza konstrukcija za zaštitu od Sunca, jer lokalnim povećanjem temperature iza takvih konstrukcija se transmisijom i ventilacionim dobicima anuliraju smanjeni dobitci usled zračenja. Povećanje temperature kod određenih oblika konstrukcija za zaštitu od insolacije može se koristiti za dodatno povećanje brzine strujanja vazduha i povećano provetravanje zgrada.



Slika 6.26 Primeri spoljnih elemenata za zaštitu od Sunčevog zračenja

Tabela 6.2 Pregled sistema za zaštitu od Sunčevog zračenja

Kat.	Tip	Skica	Klima	Mesto postavljanja	Potencijal za uštedu
1A	Usmeravajuće žaluzine		Umerena klima	Vertikalne zastakljene površine	DA
1A	Ogledala za zaštitu od Sunca		Umerena klima	Zastakljeni krovovi	NE
1A	Hologramski optički element		Sve klime	Vertikalne i horizontalne zastakljene površine	DA
1B	Zasenčenja sa usmeravanjem svetla		Tople klime sa visokom insolacijom	Vertikalne zastakljene površine (gornji deo)	Zavisi
1B	Pokretne žaluzine		Sve klime	Vertikalne zastakljene površine	DA
1B	Staklo sa refletujućim elementima		Umerena klima	Vertikalne zastakljene površine	Zavisi
2A	Svetleće police		Umerena klima i mala insolacija	Vertikalne zastakljene površine	Zavisi
2B	Staklo-paneli sa povoljnim odnosom r/d		Sve klime	Vertikalne zastakljene površine	DA

1A – Primarno korišćenje dnevnog difuznog svetla

1B – Primarno korišćenje direktnog Sunčevog zračenja

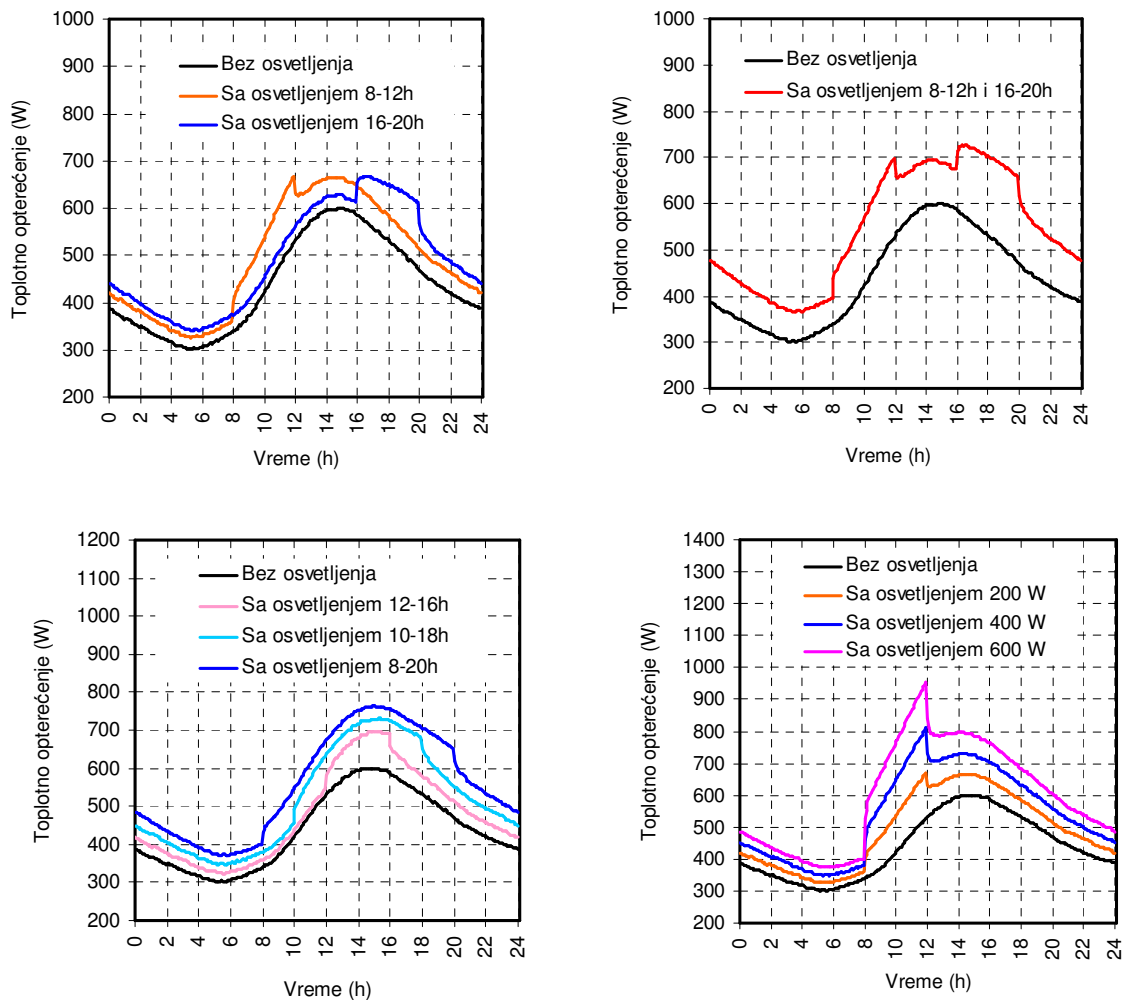
2A – Sistemi za usmeravanje difuznog svetla

2B – Sistemi za usmeravanje i propuštanje direktnog Sunčevog zračenja

6.4 UTICAJ POJEDINIH FAKTORA NA TOPLOTNO OPTEREĆENJE

6.4.1 Uticaj režima rada osvetljenja u prostoriji

Na slici 6.27 prikazani su tokovi toplotnog opterećenja južno orijentisane prostorije sa različitim režimima i intenzitetom veštačkog osvetljenja u prostoriji. Uključenost osvetljenja u prostoriji varirana je i vremenski i po intenzitetu. Razmatrane su tri dužine perioda trajanja veštačkog osvetljenja: 4, 8 i 12 časova (jedan ili dva perioda uključenosti tokom dana). Pri tome je varirano vreme tokom dana kada osvetljenje radi. Intenzitet svetiljke je tokom ovih simulacija bio konstantan i iznosio je 200W. Na kraju je variran intenzitet osvetljenja u prostoriji.

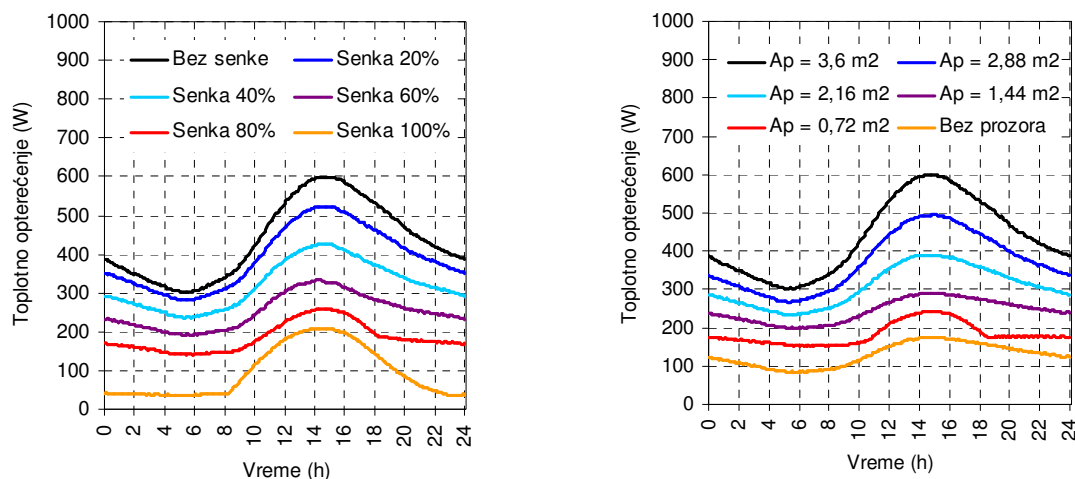


Slika 6.27 Uticaj različitog režima rada osvetljenja – dužine trajanja i instalisane snage svetiljki

6.4.2 Uticaj zastora i veličine prozora

Veličina senke na prozoru takođe je jedna od veličina koje mogu varirati. U ovom slučaju smatra se da senka koja postoji, bilo da je u pitanju vrsta zastora ili neki spoljašnji objekat koji pravi senku, u potpunosti sprečava prodor Sunčevog zračenja u prostoriju, kako direktnog, tako i difuznog. U zavisnosti od veličine senke smanjuju su dobici toplote od Sunčevog zračenja, a samim tim i ukupno toplotno opterećenje prostorije. Na slici 6.28 levo prikazan je tok toplotnog opterećenja južno orijentisane prostorije tokom letnjeg projektnog dana za različite veličine senke na prozoru uporedo sa referentnim slučajem kada senka ne postoji.

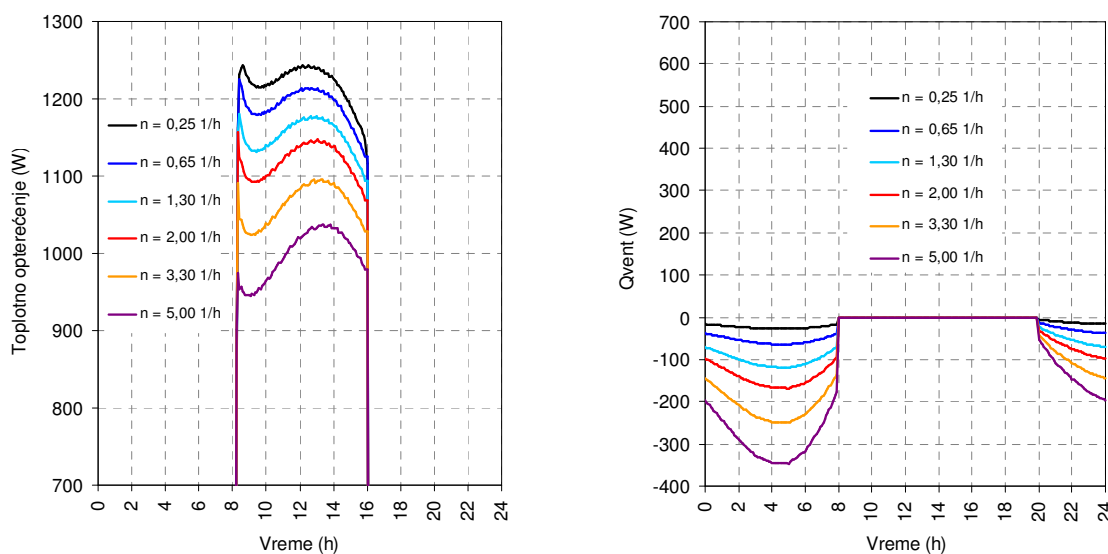
U cilju praćenja uticaja veličine prozora na toplotno opterećenje prostorije, dimenzije prozora su varirane tako da je površina prozora proporcionalno umanjivana za po 20% u odnosu na referentni prozor površine 3.6 m^2 , na isti način kako je varirana veličina senke. Na taj način je omogućena dodatna analiza transmisije toplote kroz zid i staklo prozora. Na slici 6.28 desno prikazan je tok toplotnog opterećenja južno orijentisane prostorije tokom letnjeg projektnog dana za različite dimenzije prozora uporedo sa referentnim slučajem i slučajem kada nema prozora na fasadnom zidu.



Slika 6.28 Uticaj veličine senke na prozoru i veličine prozora

6.4.3 Uticaj prirodnog provetravanja tokom noći

Na slici 6.29 levo prikazana su toplotna opterećenja prostorije pri različitom broju izmena vazduha tokom prirodne noćne ventilacije, a na slici 6.29 desno količina toplote koja se odvodi iz prostorije provetravanjem spoljnim vazduhom. Sa dijagrama se jasno može uočiti da sa povećanjem intenziteta ventilacije tokom noći opada toplotno opterećenje prostorije, jer spoljašnji vazduh u toku noći ima nižu temperaturu od unutrašnjeg vazduha, tako da se hlade zidovi prostorije.



Slika 6.29 Uticaj prirodne ventilacije tokom noćnih sati (od 20 do 8 h ujutro)

7 SISTEMI VENTILACIJE I KLIMATIZACIJE

Kao nosilac toplote (radni fluid) u vazдушnim sistemima javlja se vazduh. Vazduh se zagreva u grejaču ili hladi, vlaži ili suši, filtrira i, pripremljen na odgovarajući način, ubacuje se direktno u prostoriju. U prostoriji se ubačen vazduh meša sa sobnim i na taj način se postiže željena temperatura i vlažnost vazduha u prostoriji. Za razliku od vodenih sistema, kod kojih se prenos toplote odvija zračenjem i prirodnom konvekcijom, kod vazдушnih sistema je prisutna prinudna konvekcija – vazduh se u prostoriju ubacuje određenom brzinom, koja je veća nego kod prirodne konvekcije. Brzina strujanja vazduha u zoni boravka ljudi je ograničena, kako se ne bi stvorili nepogodni uslovi za boravak ljudi (promaja).

Prednosti vazдушnih sistema u odnosu na vodene su:

- mala inertnost sistema – vrlo brzo stupaju u dejstvo;
- dobra centralna i lokalna regulacija rada;
- mogućnost obavljanja funkcije provetravanja (ventilacije) prostora;
- "curenje" radnog fluida ne predstavlja problem (kao curenje vode).

Nedostaci vazdušnog grejanja su:

- podizanje prašine u prostoriji (ukoliko su brzine strujanja neprilagođene);
- nedostatak razmene toplote zračenjem;
- velike dimenzije kanala u poređenju sa dimenzijama cevi za toplu vodu (problem smeštanja u objektu).

Vazduh, kao grejni fluid, u termičkom pogledu je lošiji od vode:

- mali specifični toplotni kapacitet ($c_v = 1005 \text{ J/kgK}$; $c_w = 4186 \text{ J/kgK}$) i
- mala gustina vazduha ($1 \text{ m}^3 \text{ vode} \rightarrow 1000 \text{ kg} \rightarrow \text{oko } 4 \times 10^6 \text{ J/K}$;
 $1 \text{ m}^3 \text{ vazd.} \rightarrow 1,2 \text{ kg} \rightarrow \text{oko } 10^3 \text{ J/K}$)

Kada se uzmu u obzir gore navedeni podaci poređenja vazduha i vode kao grejnih fluida, dolazi se do zaključka da je voda bolji radni fluid od vazduha, i to oko 4000 puta! Odnosno, da bi se prenela (dovela prostoriji) ista količina toplote, za vazdušne sisteme je potreban kanal dimenzija 400x500 mm, a za vodene cev prečnika $\phi 25 \text{ mm}$.

Međutim, bez obzira na ovu manu, postoje slučajevi gde su vazdušni sistemi nezamenljivi, a pre svega zbog mogućnosti ventilacije prostora, dobrog uklapanja u enterijer i dobre regulacije. Vazdušni sistemi se često koriste u postrojenjima za grejanje, a u klimatizaciji su nezamenljivi. Klimatizacija je mnogo širi pojam od grejanja, jer se, pre svega, može koristiti cele godine – zimi za grejanje, a ljeti za hlađenje. Osim obezbeđenja željene temperature u klimatizovanom prostoru (npr. zimi 20°C , a ljeti 26°C) uloga sistema za klimatizaciju je i obezbeđenje:

- odgovarajuće relativne vlažnosti vazduha,
- odgovarajuće količine svežeg vazduha za ventilaciju,
- potrebnog nivoa čistoće vazduha (eliminacija mehaničkih nečistoća, neprijatnih mirisa, štetnih gasova, itd.)

Prema svojoj strukturi (načinu izvođenja) osnovna podela vazдушnih sistema je na:

- lokalne sisteme i
- centralne vazdušne sisteme klimatizacije.

U lokalne sisteme vazdušnog grejanja spadaju svi oni uređaji koji su locirani u samim prostorijama koje se greju. Tu spadaju: kaloriferi, vazdušne zavese i "split" sistemi (u izvedbi kao toplotna pumpa vazduh-vazduh).

7.1 VENTILACIONI SISTEMI

Ventilacioni sistem podrazumeva zamenu vazduha u prostoriji spoljnim vazduhom. Uobičajen je naziv **svež vazduh** za spoljni vazduh koji se u prostoriju uvodi centralnim sistemom.

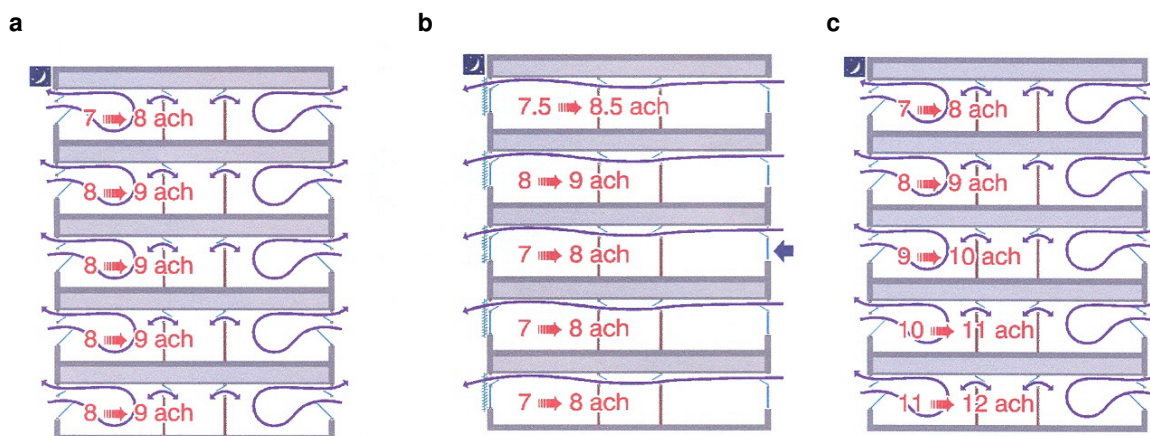
Ventilacioni sistemi se mogu podeliti na:

- sisteme sa prirodnom ventilacijom i
- sisteme mehaničke (prinudne) ventilacije.

Prirodno provetravanje moguće je ostvariti kroz procepe (fuge) spoljnih prozora i vrata, otvaranjem prozora ili kroz posebne ventilacione otvore. Provetravanje prirodnim putem je moguće usled dejstva vetra ili uzgonske sile, što nekada nije dovoljno u odnosu na zahteve koji se postavljaju za određene prostore, bilo da je u pitanju boravak većeg broja ljudi ili neki proces koji se obavlja u posmatranoj prostoriji.

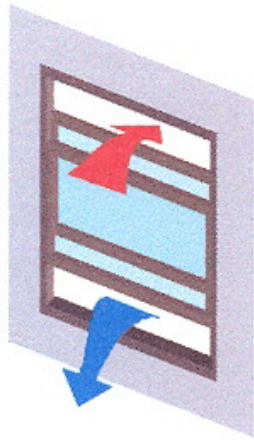
Kada se primenjuje prirodna ventilacija svakako treba uzeti u obzir brzinu i smer vetra, kao i izbor odgovarajućeg mesta na fasadi zgrade gde će biti postavljeni otvori za ventilaciju. Na taj način se može uticati na količinu spoljašnjeg vazduha koji će prirodnim putem prodirati u zgradu i ventilirati prostoriju. Protok vazduha je slučajno promenljiva veličina koja zavisi od temperaturske razlike, brzine i smera vetra, kao i razlike pritisaka unutrašnje i spoljašnje sredine. Broj izmena vazduha na čas jako varira, i može se kretati od 0,3 (već samom infiltracijom spoljašnjeg vazduha kroz procepe prozora i vrata) do čak 20 (kada su prozori širom otvoreni). Prilikom korišćenja prirodne ventilacije neophodno je uzeti u razmatranje više uticajnih faktora – od geometrije zgrade, rasporeda protorija, orijentacije zgrade u odnosu na dominantne vetrove, kao i načine uvođenja spoljnog vazduha. Prirodna ventilacija najčešće se ostvaruje otvaranjem otvora na fasadi i može se postići:

- ventilacija cirkulacijom vazduha u prostoriji (*single-sided ventilation*) ili
- ventilacija prostrujavanjem vazduha (*cross-ventilation*)



Slika 7.1 Količine vazduha za prirodnu ventilaciju za različite slučajeve uticaja vetra: a) zgrada je zaklonjena od vetra, b) pravac vetra je upravan na otvore za ventilaciju, c) pravac vetra je paralelan sa površinom otvora za ventilaciju

Kontrolom otvorenosti prozora na opisan način postiže se prosečan broj izmena vazduha od oko 8 izmena na čas, što je prikazano na slici 7.1.



Slika 7.2 Efikasan otvor za prirodnu ventilaciju

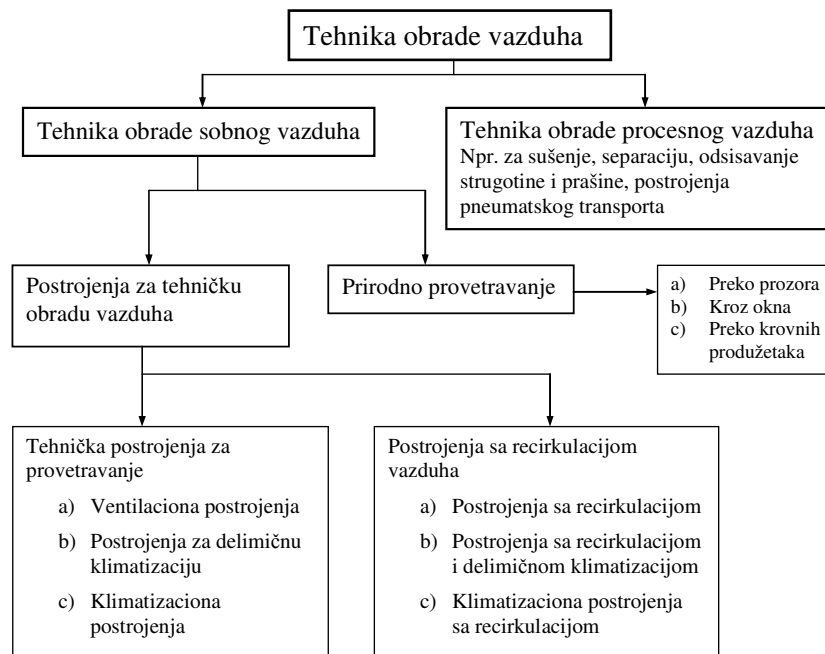
Simulacije za različite položaje otvora koji se koriste za prirodnu ventilaciju, pri tome ne menjajući ukupnu površinu otvora pokazale su da se efekat može poboljšati uvođenjem efikasnih otvora na fasadi. Izgled efikasnog otvora prikazan je slici 7.2.

Efikasnost samog otvora procenjena je preko ostvarenog broja izmena vazduha na čas. Najbolji efekti dobijeni su za slučaj kada je otvor podeljen na gornji i donji, tako da kroz donji vazduh prodire u prostoriju, a kroz gornji istrujava iz nje. Ovakvi otvori daju dobre rezultate kod tehnike sa cirkulacijom vazduha u prostoriji. Što je veća visinska razlika između ova otvora to je bolji efekat indukcije spoljašnjeg vazduha. Kada je u pitanju tehnika ventilacije prestrujavanjem vazduha, neohodno je da spoljašnji otvori budu postavljeni na većoj visini – u visini unutrašnjeg otvora iznad vrata prostorije.

Prema nameni, ventilacioni sistemi mogu biti:

- za komforne uslove ili
- industrijski sistemi ventilacije.

Na slici 7.3 dat je prikaz pripreme vazduha u zavisnosti od namene vazdušnog sistema:



Slika 7.3 Tehnike obrade vazduha u zavisnosti od namene sistema

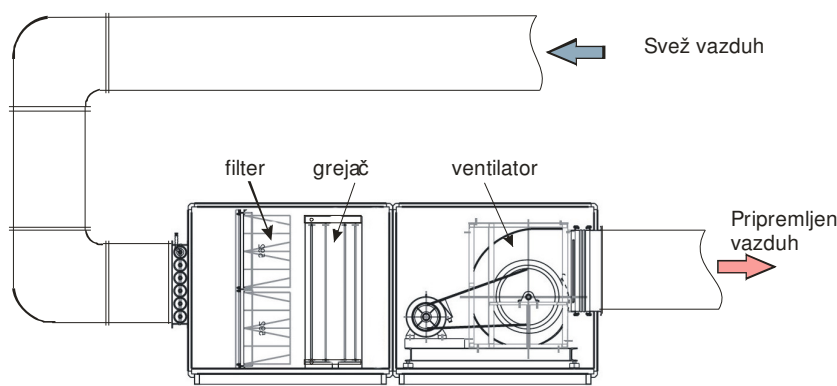
Mehaničkom (prinudnom) ventilacijom se uz pomoć ventilatora (aksijalnog ili centrifugalnog) prinudno dovodi potrebna količina svežeg vazduha u prostoriju. Postrojenja za mehaničku ventilaciju se najčešće izvide kao centralni sistem vazdušnog grejanja, mada to nije obavezno.

Kod centralnih sistema priprema vazduha se obavlja centralno – na jednom mestu, a zatim se pripremljen vazduh razvodi do pojedinih prostorija.

Centralna priprema vazduha se obavlja u KOMORI za pripremu vazduha (najčešće se koriste pojmovi *ventilaciona komora* i *klima komora*). Šematski prikaz jedne ventilacione komore koja radi samo sa svežim vazduhom tokom zimskog perioda dat je na slici 7.4. Vazduh se u komori filtrira, zagreva do sobne temperature i zatim distribuira do ventilisanih prostorija. Grejači u komorama mogu biti:

- toplovodni,
- parni ili
- električni.

Filter koji se nalazi u komori služi za izdvajanje čestica nečistoća iz vazduha (obično je to filter srednje klase izdvajanja EU2-EU3). Konstrukcije filterskih sekcija u komorama mogu biti različite: ravanski, kasetni, vrećasti, itd.



Slika 7.4 Ventilaciona komora za rad sa svežim vazduhom

7.2 ODREĐIVANJE KOLIČINE VAZDUHA ZA KLIMATIZACIJU

U vazдушnim sistemima klimatizacije, u kojima je vazduh jedini radni fluid, količina vazduha koja se koristi za klimatizaciju prostorija određuje se na osnovu tri kriterijuma:

- gubitaka toplote u zimskom periodu;
- toplotnog opterećenja u letnjem periodu;
- potrebne količine vazduha za provetravanje (ventilaciju).

Provetravanje (ventilacija) obavlja se svežim (spoljnim) vazduhom. Potrebna količina svežeg vazduha diktirana je uslovima obezbeđivanja kvaliteta vazduha u zatvorenim prostorijama. U komfornoj klimatizaciji zadatak klimatizacionog postrojenja je da ostvari povoljne uslove za disanje i eliminiše stvorene mirise i nečistoće. Količina svežeg vazduha može se odrediti jednim od sledećih načina:

- preko “obroka” po čoveku;
- preko dozvoljene koncentracije zagađivača;
- preko broja izmena vazduha na sat.

7.2.1 Obrok svežeg vazduha po čoveku

Ovaj metod primenjuje se u komfornoj klimatizaciji gde su ljudi osnovni, a često i jedini zagađivači. Zadatak ventilacije je da se obezbede odgovarajući uslovi za disanje, odnosno, u širem smislu, povoljni uslovi za ugodan boravak ljudi u zatvorenom prostoru. Preporučene vrednosti svežeg vazduha po čoveku iznose:

- 20 do 30 m³/h ako se u prostoriji ne puši;
- 30 do 40 m³/h ako je u prostoriji dozvoljeno pušenje ili ima drugih zagađivača.

Navedene vrednosti obroka svežeg vazduha po čoveku su minimalne. Ako se ima u vidu da je osnovni zadatak klimatizacije da stvori povoljne klimatske uslove u kojima će se ljudi ugodno osećati, razumljivo je da su prethodno navedene količine svežeg vazduha često bile uvećavane. Treba imati na umu da količina svežeg vazduha direktno utiče i na investicione i na eksploatacione troškove. Posle energetske krize 70-tih godina prošlog veka, kao jedna od efikasnih mera za smanjenje potrošnje energije u klimatizacionim postrojenjima bila je smanjenje količine svežeg vazduha. U traganju za minimalno potrebnom količinom svežeg vazduha, ponekad se išlo u drugu krajnost, pa je u praksi bilo klimatizovanih objekata sa vrlo lošim kvalitetom vazduha. Nedovoljan kvalitet vazduha izazivao je niz zdravstvenih problema (glavobolja, mučnina, alergija, osećaj suvoće u disajnim putevima, crvenilo očiju i dr.). Čak je uveden i poseban termin za stanje ovih zgrada - "sindrom bolesnih zgrada" (*Sick Building Syndrom*). Urađen je i veliki broj istraživačkih projekata na temu kvaliteta unutrašnjeg vazduha (*Indoor Air Quality*) tako da se može konstatovati da je ovaj problem rešen.

U izvesnim slučajevima može dosta da se odstupa od prethodno navedenih preporučenih vrednosti za obrok svežeg vazduha po čoveku:

- u skloništima se računa sa količinom svežeg vazduha 6 m³/h po čoveku u normalnom režimu korišćenja, a 2,5 m³/h po čoveku u zaštitnom režimu rada;
- kancelarije modernih poslovnih zgrada obično se rade sa 50 m³/h svežeg vazduha po čoveku;
- u hotelima visoke kategorije radi se sa 100 i više m³/h svežeg vazduha po čoveku.

7.2.2 Maksimalna dozvoljena koncentracija zagađivača – MDK

Ovaj kriterijum za određivanje količine svežeg vazduha za ventilaciju obično se primenjuje u industrijskim objektima u kojima su definisani izvori zagađenja (po vrsti zagađivača i intenzitetu zagađivanja). Ventilacijom treba obezbediti onu koncentraciju štetnih materija u vazduhu koja neće štetno delovati na čoveka, tj. neće izazvati trovanje, eksploziju ili požar. Otpadnim vazduhom izvlače se zagađivači iz prostora, a ubacivanjem svežeg vazduha koncentracija zagađivača u vazduhu se smanjuje dok ne bude manja od maksimalno dozvoljene – MDK.

Potrebna količina vazduha za ventilaciju određuje se iz bilansa zagađivača:

$$V \cdot k_s + K = V \cdot k_{\max} \quad (7.1)$$

gde je:

- | | |
|--|---|
| V [m ³ /h] | – potrebna količina svežeg vazduha za ventilaciju |
| k _s [m ³ /m ³] | – koncentracija određenog zagađivača (zbog koga se vrši ventilacija) u svežem vazduhu |
| k _{max} [m ³ /m ³] | – maksimalna dozvoljena koncentracija (MDK) određenog zagađivača u ventilisanoj (klimatizovanoj) prostoriji |
| K [m ³ /h] | – časovno zagađenje od izvora u prostoriji |

Minimalan časovni protok svežeg vazduha za ventilaciju iznosi:

$$V = \frac{K}{k_{\max} - k_s} \quad (7.2)$$

Jedinice za merenje i izražavanje koncentracije zagađivača su mg/m³ ili ppm (parts per million = cm³/m³). Maksimalne dozvoljene koncentracije zagađivača (MDK) usvajaju se prema preporukama Instituta za zaštitu zdravlja (tabela 7.1). Navedene vrednosti su podložne

promenama, i pri svakoj promeni, po pravilu, Zakonodavac ih pooštrava u cilju bolje zaštite zdravlja radnika.

Tabela 7.1 MDK vrednosti

Zagađivač	ppm	mg/m ³
aceton	1000	2400
amonijak	50	35
fluor	0,1	0,2
hlor	0,5	1,5
naftalin	10	50
nikotin	0,07	0,5
ozon	0,1	0,2
sumpordioksid	2	5
ugljendioksid	5000	
ugljenmonoksid	50	

Vrednosti navedene u tabeli 1 predstavljaju tzv. maksimalno dozvoljene trajne koncentracije kojima radnici mogu biti izloženi tokom celokupnog radnog vremena. Postoje i kratkotrajne dozvoljene koncentracije zagađivača na radnom mestu, ali je njihovo vreme trajanja ograničeno.

7.2.3 Broj izmena vazduha na sat

Broj časovnih izmena vazduha u prostoriji predstavlja odnos količine svežeg vazduha koja se uvodi u prostoriju u toku jednog sata i zapremine prostorije:

$$n = \frac{\dot{V}_{vazd}}{V_{prost}} \quad [1/h] \quad (7.3)$$

Preporučeni broj izmena vazduha na sat zavisi od:

- namene prostorije;
- vrste zagađivača;
- veličine (zapremine) prostorije.

Određivanje količine svežeg vazduha za klimatizaciju (ventilaciju) prema broju izmena vazduha na sat koristi se kadgod izvori zagađenja nisu dovoljni definisani. Takođe, koristi se i kao kontrolni metod kada se količina svežeg vazduha za ventilaciju određuje nekim drugim metodom. Preporučene vrednosti broja izmena vazduha za tipične namene prostorija date su u tabeli 7.2.

Tabela 7.2 Broj izmena vazduha na sat

Namena objekta	n [1/h]
toaleti (u stanovima, ustanovama, javni)	4 – 6 – 15
kupatila	4 – 6
biblioteke	3 – 5
kancelarije	3 – 6
farbare	5 – 15
lakirnice (prostorije za prskanje bojom)	20 – 50
garaže	4 – 5
robne kuće	4 – 6
bolnice (zavisno od odeljenja)	3 – 20
laboratorije	8 – 15 (25)
komercijalne kuhinje	15 – 20
zatvoreni bazeni	3 – 6

Treba napomenuti da se broj izmena vazduha na sat često navodi ne prema količini svežeg vazduha, nego prema ukupnoj količini vazduha koja se izvlači ili ubacuje u prostoriju (svež +

recirkulacioni). Broj izmena vazduha u prostoriji definisan na ovaj način ukazuje na kvalitet ispiranja prostorije pripremljenim vazduhom. Broj izmena vazduha na sat određen prema ukupnoj količini vazduha koji se dovodi klimatizovanoj prostoriji može biti višestruko veći od broja izmena svežeg vazduha. Na primer, u prostorijama sa laminarnom ventilacijom, ukupan broj izmena vazduha može biti i do 600 1/h.

7.2.4 Određivanje količine vazduha prema zimskom režimu

Potrebna količina vazduha za zimske projektne uslove:

$$V_z = \frac{3600 \cdot Q_g}{C_p \cdot \rho \cdot (\theta_{ub} - \theta_{un})} = \frac{3600 \cdot Q_g}{C_p \cdot \rho \cdot \Delta\theta_z} \quad (7.4)$$

gde je:

V_z [m ³ /h]	– količina vazduha za klimatizaciju (zapreminski protok)
Q_g [W]	– toplotni gubici prostorije
C_p [J/kgK]	– specifični toplotni kapacitet vazduha
ρ [kg/m ³]	– gustina vazduha
θ_{ub} [°C]	– temperatura vazduha koji se ubacuje u klimatizovani prostor
θ_{un} [°C]	– temperatura u prostoriji
$\Delta\theta_z$ [°C]	– razlika temperature ubacnog i vazduha u prostoriji

Temperatura vazduha, koji se u zimskom periodu ubacuje u klimatizovani prostor, zavisi od:

- namene prostorije;
- visine prostorije;
- predviđenog sistema klimatizacije.

U komfornoj klimatizaciji obično se usvaja temperatura vazduha 30 do 40°C, dok u industrijskoj može da bude i viša (do 50°C).

7.2.5 Određivanje količine vazduha prema letnjem režimu

Potrebna količina vazduha za letnje projektne uslove:

$$V_L = \frac{3600 \cdot Q_{t,opt.}}{C_p \cdot \rho \cdot (\theta_{un} - \theta_{ub})} = \frac{3600 \cdot Q_{t,opt.}}{C_p \cdot \rho \cdot \Delta\theta_L} \quad (7.5)$$

gde je:

V_L [m ³ /h]	– količina vazduha za klimatizaciju
$Q_{t,opt.}$ [W]	– toplotno opterećenje prostorije
C_p [J/kgK]	– specifični toplotni kapacitet vazduha
ρ [kg/m ³]	– gustina vazduha
θ_{ub} [°C]	– temperatura vazduha koji se ubacuje u klimatizovani prostor
θ_{un} [°C]	– temperatura u prostoriji
$\Delta\theta_L$ [°C]	– razlika temperature vazduha u prostoriji i ubacnog vazduha

Temperatura klimatizovanih prostorija leti obično se usvaja 22 do 28°C, pri čemu u našim klimatskim uslovima najčešće se projektuje na 26°C. Radi postizanja odgovarajućih uslova ugodnosti, uobičajeno se usvaja da je $\Delta\theta_L = 4$ do 12°C. Na izbor projektne temperature ubacnog vazduha leti najviše utiče izabrani sistem klimatizacije. Što je manja temperaturska razlika između temperature u prostoriji i temperature vazduha koji se ubacuje u klimatizovani prostor, termički uslovi ugodnosti biće bolji, ali se povećava količina vazduha koja mora da se dovodi u prostoriju.

7.2.6 Usvajanje ukupne količine vazduha

Merodavna količina vazduha za klimatizaciju u vazдушnim sistemima je najveća vrednost količine vazduha određena prema zimskim i letnjim projektnim uslovima, kao i za potrebe ventilacije:

$$V_{uk} = \max\{V_z, V_L, V_{sv}\}$$

Ukoliko je od ove tri količine vazduha najveća količina svežeg vazduha, onda se usvaja da je ukupna količina vazduha za klimatizaciju prostorije jednaka količini (protoku) svežeg vazduha. U tom slučaju sistem radi sa 100% svežim vazduhom. Takođe, potrebno je izvršiti korekciju temperature ubacivanja vazduha u letnjem i zimskom režimu rada jer je povećana količina vazduha u odnosu na minimalno potrebnu da bi se eliminisalo toplotno opterećenje leti, odnosno nadoknadili gubici toplote zimi (i $\Delta\theta_z$ i $\Delta\theta_L$ će se smanjiti u odnosu na prvobitno usvojene veličine).

Ukoliko je najveća količina vazduha određena prema letnjem periodu, onda se usvaja da je $V_{uk} = V_L$. U ovom slučaju sistem klimatizacije će raditi sa količinom svežeg vazduha V_{sv} dok će ostatak činiti recirkulacioni vazduh jer se tako postiže ušteda energije tokom eksploatacije postrojenja, a niži su i investicioni troškovi. Količina recirkulacionog vazduha jednaka je:

$$V_{rec} = V_{uk} - V_{sv} \quad (7.6)$$

Naravno, i u ovom slučaju potrebno je korigovati temperaturu ubacnog vazduha u zimskom periodu jer je povećana količina vazduha, pa će $\Delta\theta_z$ biti manje od prvobitno usvojenog.

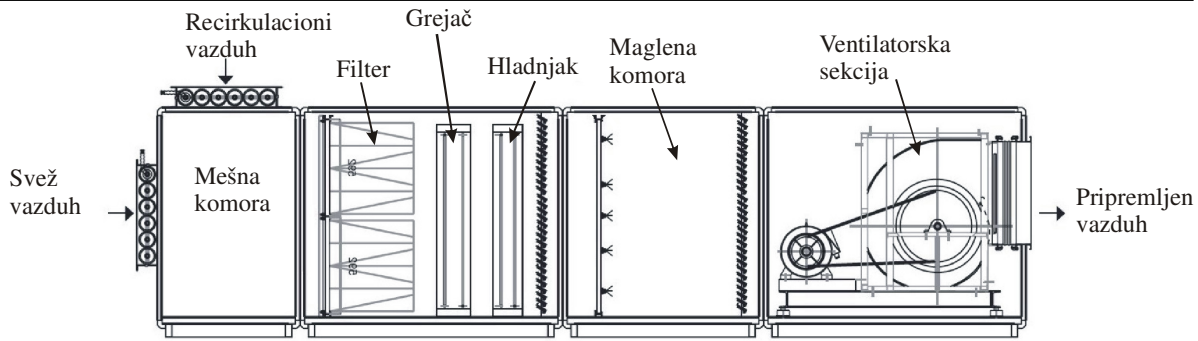
Analogan postupak sprovodi se i u slučaju kada je najveća količina vazduha određena prema zimskim projektnim uslovima.

7.3 ELEMENTI KLIMA KOMORE

Na slici 7.5 je dat šematski prikaz jedne horizontalne klima komore, koja radi sa mešavinom svežeg i recirkulacionog vazduha. Konstrukcija klima komore i broj i vrsta elemenata koje komora sadrži zavise od namene samog sistema za klimatizaciju (npr. da li se želi rad samo sa svežim vazduhom, da li se želi samo hlađenje tokom letnjeg perioda, da li je potrebno vlaženje vazduha, da li se želi korišćenje otpadne toplote, da li je potrebno prigušivanje buke i vibracija, itd.).

Osnovni elementi klima komore su:

- **mešna sekcija** (kao opcija, ako se vrši recirkulacija sobnog vazduha),
- **filterska sekcija** (za prečišćavanje vazduha koji se uvodi u sistem),
- **grejač** (koji može biti podeljen na predgrejač i dogrejač – što je čest slučaj kada se vrši vlaženje vodom,
- **hladnjak** (koji najčešće u klimatizaciji koristi hladnu vodu kao radni fluid),
- **maglena komora** za vlaženje vazduha vodom,
- **ventilatorska sekcija** (najčešće su u pitanju centrifugalni ventilatori).



Slika 7.5 Šematski prikaz klima komore

GREJAČ služi za zagrevanje vazduha u zimskom i prelaznim periodima (mada se nekad i tokom leta može koristiti). Zagrevanje vazduha se kreće u granicama od -20°C do $+50^{\circ}\text{C}$. U sistemu klimatizacije može postojati jedan ili više grejača, što zavisi od izbora samog sistema klimatizacije. Mesto ugradnje grejača može biti:

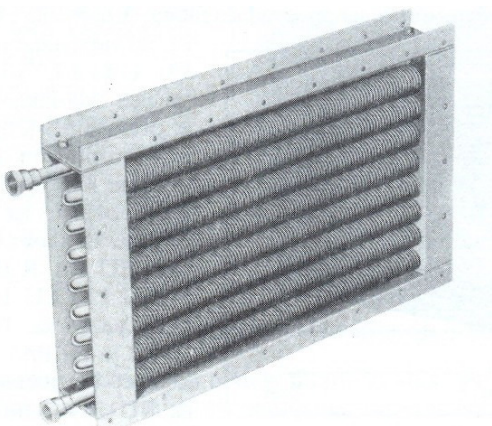
- klima komora (jedan grejač ili predgrejač i dogrejač),
- kanal pripremljenog vazduha (kanalski grejač, koji je najčešće dogrejač kod zonskih sistema),
- uređaj u prostoriji (najčešće dogrejač kod vodenih ili vazdušno-vodenih sistema; tada se u prostoriji nalaze aparati kao što je ventilator-konvektor (*fan-coil*) ili indukcioni aparat).

Kao radni fluid u grejaču najčešće se koristi topla voda. Mogu se koristiti različiti temperaturni režimi ($90/70^{\circ}\text{C}$, $80/60^{\circ}\text{C}$, $60/45^{\circ}\text{C}$ u kanalskim dogrejačima...). Grejni fluidi takođe može biti i vodena para niskog pritiska.

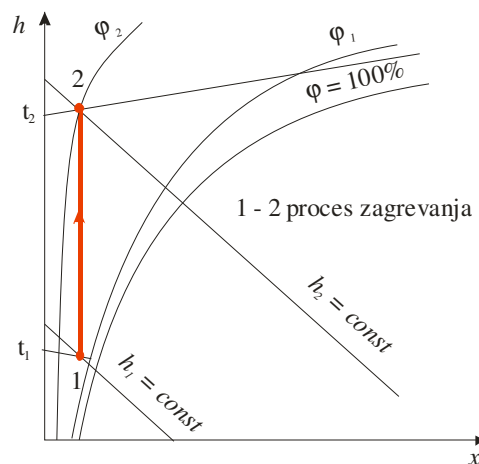
Zahtevi koje mora da ispuni grejač su:

- da bude kompaktan (što veće odavanje toplote po jedinici zapremine grejača),
- da ima što manji pad pritiska sa vazdušne strane (brzina vazduha po fasadnom preseku se kreće u granicama $w = 2 \div 4 \text{ m/s}$),
- da ima što manji pad pritiska sa vodene strane (brzina vode u cevima se kreće u granicama $w = 0,5 \div 1 \text{ m/s}$).

Na slici 7.6 je prikazan izgled grejača klima komore.

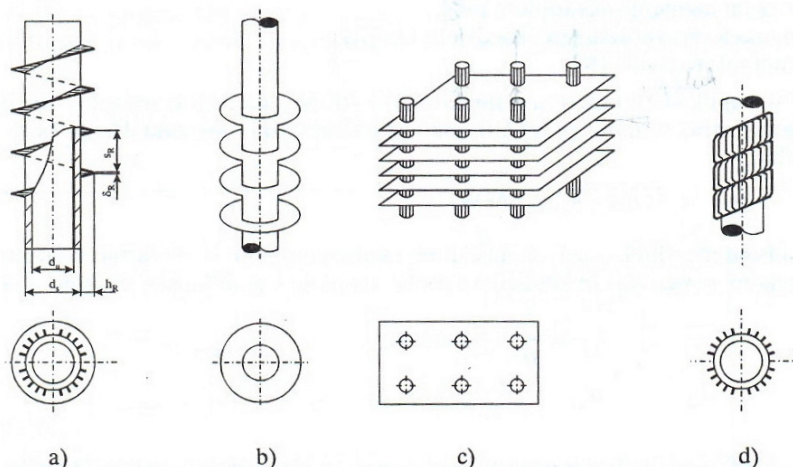


Slika 7.6a Spoljni izgled grejača sa spiralnim rebrima koji se postavlja u klima komoru



Slika 7.6b Priprema vazduha u h-x dijagramu

Kada je u pitanju konstrukcija grejača, oni se najčešće izrađuju od orebrenih cevi, kako bi se povećala razmena toplote pri konvekciji sa strane vazduha. Koeficijent prelaza toplote sa vodene strane – sa tople vode na zid cevi je reda veličine 100 puta veći u odnosu na koeficijent prelaza toplote sa zida cevi na vazduh ($\alpha_{un} \sim 10^3 \text{ W/m}^2\text{K}$, $\alpha_{sp} \sim 10 \text{ W/m}^2\text{K}$). Zbog toga je neophodno povećanje površine za razmenu toplote sa strane vazduha. Na slici 7.7 prikazane su konstrukcije grejača za vazduh i različita orebrenja cevi.



Slika 7.7 Vrste orebrenja cevi grejača za vazduh – a) spiralno orebrenje, b) kružne lamele, c) lamelasta rebra sa koridornim rasporedom cevi, d) orebrenje od žice

Određivanje grejne površine grejača:

$$Q = k \cdot F_s \cdot \Delta\theta_m, \quad (7.7)$$

gde je:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_s} + \left[\frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_u} \right] \cdot \frac{F_s}{F_u} - \text{otpor prolazu toplote sa grejnog fluida na vazduh}$$

$$\Delta\theta_m = \frac{\Delta\theta_{ul} - \Delta\theta_{iz}}{\ln \frac{\Delta\theta_{ul}}{\Delta\theta_{iz}}} - \text{srednja temperaturska razlika grejnog i grejanog fluida.}$$

Srednja temperaturska razlika zavisi od tipa strujanja koji može biti:

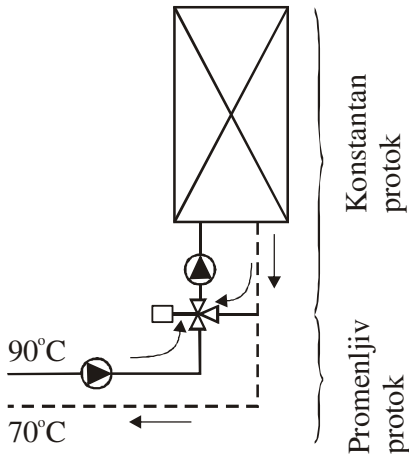
1. Istosmerni tok,
2. Suprotnosmerni tok i
3. Unakrsni tok.

Kod grejača se javlja kombinacija suprotnosmerno-unakrsnog toka grejnog i grejanog fluida, Tačna vrednost koeficijenta prolaza toplote može se odrediti samo eksperimentalno. Zbog navedenih razloga projektanti ne vrše proračun površine grejača, već taj podatak daje proizvođač na osnovu sledećih podataka:

- protoka vazduha kroz grejač,
- temperature vazduha na ulazu i izlazu iz grejača
- temperaturskog režima grejnog fluida.

Na bazi datih podataka, odnosno uslova u kojima grejač mora da radi, proizvođač određuje:

- površinu grejača,
- maseni protok grejnog fluida,
- pad pritiska sa vodene i vazdušne strane
- brzinu strujanja vazduha kroz grejač.

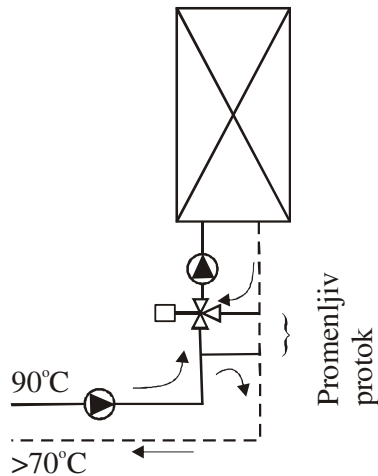


Slika 7.8 a Regulacija pomoću mešnog trokrakog ventila

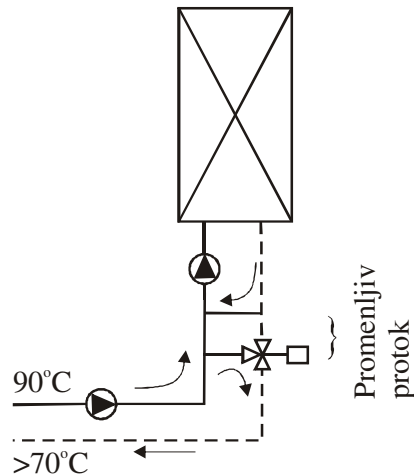
Regulacija odavanja toplote grejača je **kvalitativna** – maseni protok grejnog fluida ostaje konstantan, dok se menja temperatura tople vode na ulazu u grejač:

$$\dot{m}_w = \text{const}, \theta_{w,ul} \neq \text{const}$$

Regulacija se vrši pomoću trokrakog ventila koji je smešten u razvodnom vodu grejača i koji radi kao mešni – u potrebnom odnosu meša razvodnu i povratnu toplu vodu i na taj način se dobija željena temperatura vode na ulazu u grejač (slika 4a). Trokraki ventil može biti postavljen i u povratnom vodu, spojen kratkom vezom sa razvodnim (slika 4c).



Slika 7.8 b Regulacija pomoću mešnog trokrakog ventila i kratkom vezom



Slika 7.8 c Regulacija pomoću trokrakog ventila u povratnom vodu

HLADNJAK služi za hlađenje vazduha u letnjem i prelaznim periodima. Konstruktivno se ne razlikuje od grejača. I hladnjaci su, kao i grejači izrađeni od orebrenih cevi. Mogu se izrađivati od bakarnih cevi, što je dobro zbog otpornosti na koroziju. Rebra bakarnih cevi se izrađuju od aluminijuma ili bakra. Takođe se mogu izrađivati od čeličnih cevi sa čeličnim orebrenjem. Oblik rebara može biti pravougaoni, kružni ili spiralni.

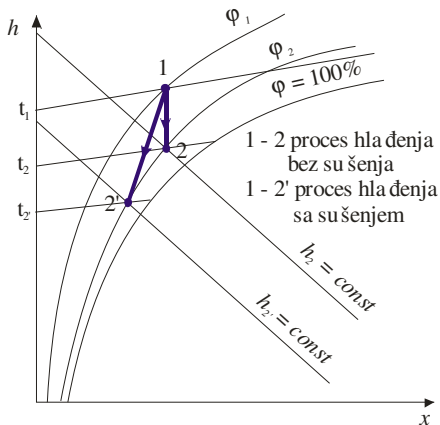
Kod hladnjaka se, u odnosu na grejač, razlikuju uslovi razmene toplote:

- manja je temperaturska razlika između vazduha i površine hladnjaka
- $$\Delta\theta_{HL} = (\theta_{V,sr} - \theta_{W,sr})_{HL} < (\theta_{W,sr} - \theta_{V,sr})_{GR} = \Delta\theta_{GR}$$

~16 ~25 ~9 < ~80 ~10 ~70, što ima za posledicu:

$F_{HL} > F_{GR}$, tj. površina hladnjaka je veća od površine grejača;

- uz hlađenje se obično vrši i sušenje vazduha, tj. dolazi do izdvajanja vlage iz vazduha koji se hladi i stvaranja kondenzata na površini hladnjaka. To ustvari znači da se u hladnjaku odvodi i *suva* i *latentna* toplota.



Da li će doći do izdvajanja vlage prilikom hlađenja vazduha zavisi od:

- stanja vazduha koji struji preko površine hladnjaka (temperature tačke rose θ_{TR})
- temperature površine hladnjaka θ_{PH} .

Kada je : $\theta_{TR} > \theta_{PH}$ doći će do izdvajanja vlage iz vazduha prilikom hlađenja, što je prikazano na slici 7.9

Slika 7.9 Proces hlađenja u h-x dijagramu

Da li će doći do izdvajanja vlage prilikom hlađenja vazduha zavisi od:

- stanja vazduha koji struji preko površine hladnjaka (temperature tačke rose θ_{TR})
- temperature površine hladnjaka θ_{PH} .

Kada je : $\theta_{TR} > \theta_{PH}$ doći će do izdvajanja vlage iz vazduha prilikom hlađenja.

Prema vrsti rashladnog fluida hladnjaci se mogu podeliti na:

- Hladnjake sa direktnim isparavanjem**, kada je radni fluid neki od rashladnih fluida (freon, amonijak, CO_2 ...). Tada je isparivač rashladne mašine hladnjak u klima komori i tada je površina hladnjaka na konstantnoj temperaturi koja odgovara temperaturi isparavanja;
- Protočne hladnjake**, kada je radni fluid hladna voda (ili vodeni rastvor antifrizu ako su potrebne niže temperature radnog fluida). U ovom slučaju temperatura površine hladnjaka nije konstantna, već se menja kako se voda zagreva od temperature na ulazu u hladnjak do temperature na izlazu iz hladnjaka. Danas se u klima komora pretežno koristi ovaj tip hladnjaka (sa sekundarnim rashladnim fluidom). Voda potrebna za hlađenje celog objekta se priprema u rashladnoj mašini. Na ovaj način se izbegava opasnost od curenja freona u klima komori i obezbeđuje centralna priprema hladne vode, čime je smanjena količina primarnog rashladnog fluida u sistemu. Međutim, rad sa sekundarnim rashladnim fluidom je termodinamički nepovoljniji zbog dodatnog posrednika u predaji toplote.

Prema mestu ugradnje hladnjaci se mogu podeliti na:

- Hladnjake u klima komori**, kada je hladnjak jedna od sekcija klima komore
- Hladnjake u elementima** za doradu ili ubacivanje vazduha u prostoriju; tada se obično u hladnjacima vrši samo odvođenje suve toplote bez izdvajanja vlage.

HLADNJACI KOJI RADE SA VODOM kao rashladnim fluidom obavezno koriste suprotnosmerno-unakrsno strujanje rashladnog i hlađenog fluida jer je tada veći efekat razmenjene količine toplote.

Uobičajene temperature koje se javljaju prilikom procesa hlađenja su:

$$\text{VAZDUH : } \theta_{V,ul} = 26 \div 35^{\circ} C ,$$

$$\theta_{V,iz} = 10 \div 15^{\circ} C ;$$

$$\text{VODA : } \theta_{W,ul} = 5 \div 6^{\circ} C ,$$

$$\theta_{W,iz} = 11 \div 12^{\circ} C ; \text{ što daje uobičajenu vrednost } \Delta\theta_w = 5 \div 6^{\circ} C .$$

Efekat hlađenja nekog hladnjaka može tačno da se odredi jedino eksperimentalnim putem. Ipak postoje izrazi za jedan približan, krajnje uprošćen proračun, koji pokazuje uticaj pojedinih parametara na razmenjenu količinu toplote.

Ukupno odvedena toplota u hladnjaku jednaka je zbiru suve i latentne:

$$Q = Q_s + Q_l \quad (7.8)$$

$$Q_s = \alpha_s \cdot F \cdot \Delta\theta_m \quad (7.9)$$

$$Q_l = \sigma \cdot F \cdot r \cdot \Delta x_m \quad (7.10)$$

gde su:

α_s - koeficijent prelaza suve toplote sa vazduha na površinu hladnjaka,

F - površina hladnjaka,

$\Delta\theta_m$ - srednja temperautska razlika rashladnog i hlađenog fluida,

$\sigma = \frac{\alpha_s}{c_p}$ - Luisov broj,

r - toplota promene faze (kondenzacije vlage)

Δx_m - razlika apsolutnih vlažnosti vazduha koji se hladi i zasićenog vazduha na t_{PH} ,

Korišćenjem Luisovog zakona dobija se izraz:

$$Q = \alpha_s \cdot F \cdot \left(\Delta\theta_m + \frac{r \cdot \Delta x_m}{c_p} \right) = \frac{\alpha_s \cdot F \cdot \Delta h_m}{c_p}, \quad (7.11)$$

gde je:

Δh_m - srednja razlika entalpija vazduha koji se hladi i zasićenog vazduha na θ_{PH} .

Ako se uvede neki fiktivni, korigovani koeficijent prelaza toplote α_k , koji obuhvata prelaz i suve i latentne toplote, onda se može napisati:

$$\alpha_k \cdot F \cdot \Delta\theta_m = \frac{\alpha_s \cdot F \cdot \Delta h_m}{c_p}, \text{ odakle sledi:}$$

$$\alpha_k = \alpha_s \cdot \frac{\Delta h_m}{c_p \cdot \Delta\theta_m}, \text{ odnosno sledi da je } \alpha_k > \alpha_s .$$

U projektantskoj praksi potrebnu veličinu hladnjaka određuje proizvođač na osnovu sledećih podataka koje dostavlja projektant:

- protoka vazduha kroz hladnjak,
- stanja vazduha na ulazu i izlazu iz hladnjaka (temperature i vlažnosti)

- temperaturskog režima hladne vode.

Na bazi datih podataka, odnosno uslova u kojima hladnjak radi, proizvođač određuje:

- površinu hladnjaka,
- maseni protok rashladnog fluida (vode),
- pad pritiska sa vodene i vazdušne strane i
- brzinu strujanja vazduha kroz hladnjak.

HLADNJACI SA DIREKTNIM ISPARAVANJEM rade sa primarnim rashladnim fluidom. Toplota potrebna za isparavanje rashladnog fluida oduzima se od vazduha koji struji kroz hladnjak. Smer strujanja nije bitan kao kod vodenih hladnjaka, jer je temperatura površine hladnjaka konstantna. Temperatura isparavanja rashladnog fluida (a samim tim i pritisak isparavanja) određuje se iz uslova hlađenja vazduha. Analizom potrebnog hlađenja vazduha u "h-x" dijagramu određuje se i usvaja temperatura površine hladnjaka, dok se za temperaturu isparavanja usvaja vrednost koja je za oko 3°C niža.

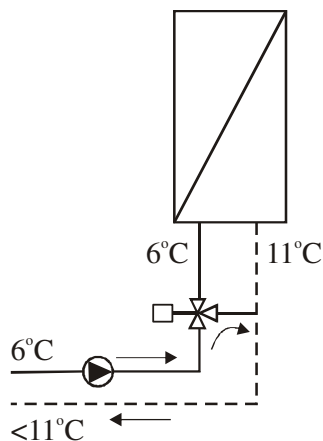
Temperatura isparavanja mora biti iznad 0°C, inače bi došlo do smrzavanja izdvojene vlage iz vazduha, što prouzrokuje:

- smanjenje poprečnog preseka za strujanje vazduha kroz hladnjak,
- smanjenje kapaciteta hladnjaka, jer se povećava otpor provođenju toplote zbog naslage leda,
- prekid rada postrojenja zbog otapanja leda.

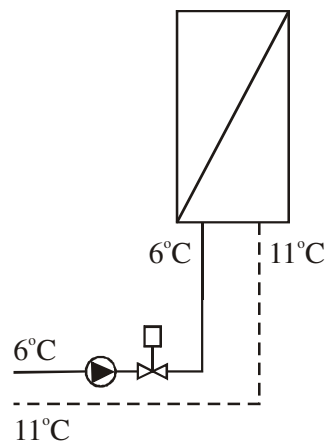
Regulacija rashladnog učinka hladnjaka vrši se *kvantitativno*, promenom protoka rashladnog fluida, dok temperatura na ulazu u hladnjak ostaje nepromenjena:

$$\dot{m}_w \neq const, \theta_{w,ul} = const.$$

Zbog malih razlika temperatura vode na ulazu i izlazu iz hladnjaka kvalitativna regulacija nije dobra - bila bi jako gruba - povišenjem temperature vode u razvodu za samo 1°C rezultovalo bi smanjenjem rashladnog učinka hladnjaka za 17%. Na slici 7.10 prikazani su načini kvantitativne regulacije hladnjaka.



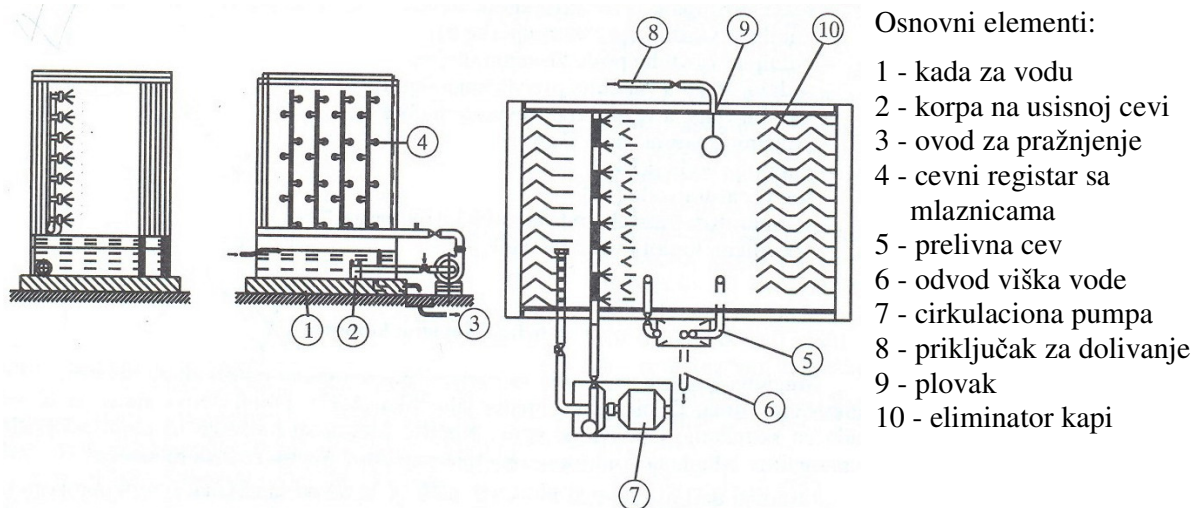
Slika 7.10 a Regulacija pomoću trokutakog ventila koji radi kao razdelni



Slika 7.10 b Regulacija pomoću prigušnog ventila -povećanje prigušenja smanjuje protok

MAGLENA KOMORA je deo klima komore u kome se vrši vlaženje vazduha vodom. Maglena komora se sastoji od kućišta od pocinkovanog lima ili nekog veštačkog materijala (plastike). Donji deo maglene komore je kada za skupljanje i dopunu vode. Na jednoj strani maglene komore nalaze se mlaznice čija je uloga raspršivanje vode u što sitnije kapi. Da bi se

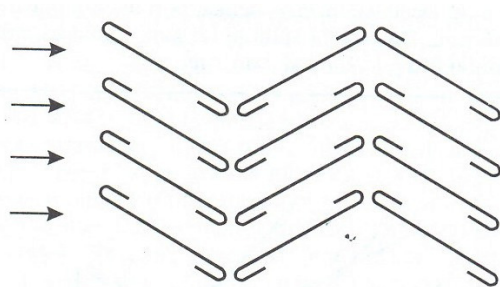
intenzivirao proces razmene materije (ostvarilo bolje vlaženje), potrebno je da raspršene kapi vode budu jako sitne, u cilju povećanja površine kontakta između vode i vazduha. Šematski prikaz maglene komore u 3 projekcije (sa strane, frontalno i odozgo) prikazan je na slici 7.11.



Slika 7.11 Maglena komora sa osnovnim elementima

Većina mlaznica za raspršivanje vode je sa unutrašnje strane obrađena u obliku spirale, pa struja vode dobija rotaciju i postiže se bolje raspršivanje. Mlaznica je vezana za cevni registar (verikalne cevi koje su povezane sa horizontalnim razdelnikom). Često se stavlja zaštitna mrežica kako bi se sprečio prodor nečistoća koje mogu da zapuše mlaznicu. Mlaznice se izrađuju od mesinga, bronz, čelika, porcelana, plastičnih materijala, otvora $1\div 5$ mm. Veličina raspršenih kapi vode kreće se od $0,01\div 1$ mm u prečniku.

Kadica ima priključak za dolivanje vode, sa ventilom koji je povezan sa plovkom za regulisanje nivo vode u kadi. Kada nivo vode u kadi opadne, otvara se ventil na priključku za dolivanje. Na kadi se nalazi i prelivna cev, kao i cev za pražnjenje, koja je vezana za dno kade. U kadu je potopljen usisni deo cevovoda koji je zaštićen mrežom za sprečavanje prodora nečistoća. Cirkulaciona pumpa usisava vodu iz kade i šalje je u cevni registar.



Slika 7.12 Eliminator kapi

Izlazni presek (a nekada i ulazni) snabdeven je eliminatorom kapi, čija je uloga da izdvoji iz stuje vazduha kapi vode koje nisu isparile. Eliminator kapi je sačinjen od paralelnih ploča u koje udaraju kapljice vode i slivaju se u kado, dok struja vazduha prolazi kroz eliminator (slika 7.12). Ploče eliminatora mogu biti izrađene od pocinkovanog lima ili od nekog veštačkog materijala. Važno je da je materijal eliminatora kapi otporan na koroziju.

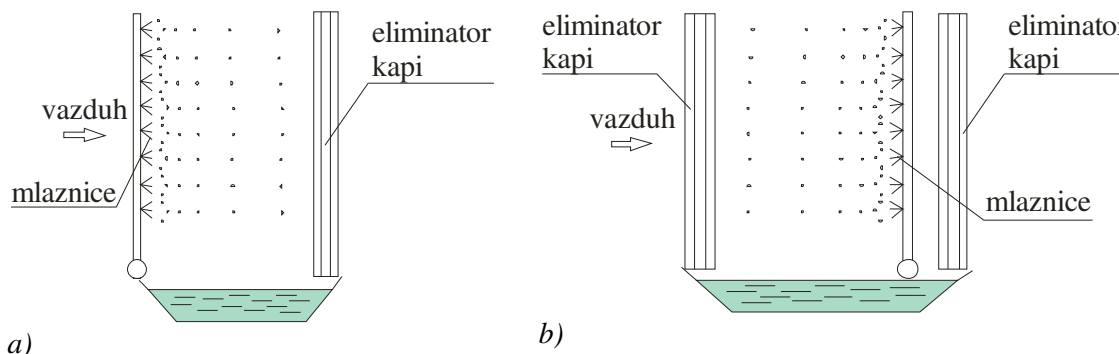
Dužina maglene komore je od $1\div 2$ m, a brzina strujanja vazduha je $2\div 3$ m/s, tako da je vreme kontakta između vode i vazduha nešto ispod 1s. Voda u maglenoj komori se, po pravilu, termički ne obrađuje – niti se zagreva, niti se hladi.

Regulacija vlaženja se može vršiti na dva načina:

1. Uključivanjem i isključivanjem pumpe (ON/OFF sistem)

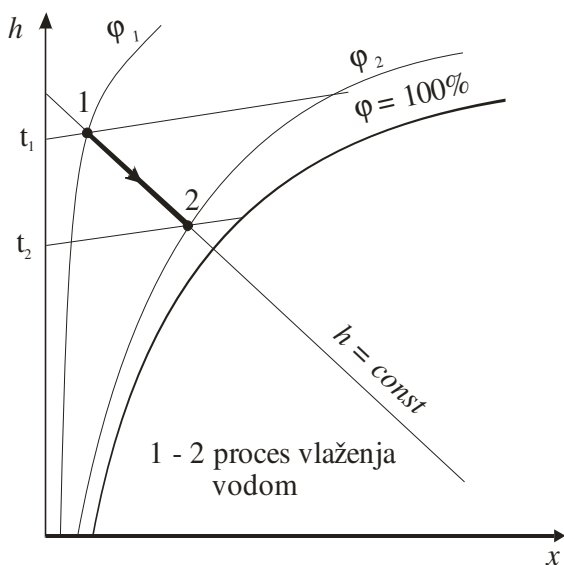
2. Delovanjem na ventil na dovodnoj cevi – prigušivanjem (pritvaranjem ventila) smanjuje se protok vode koji dolazi do mlaznica.

Smer strujanja vazduha kroz maglenu komoru može biti istosmeran ili suprotnosmeran (slika 7.13). Pri suprotnosmernom strujanju vazduha, u odnosu na pravac raspršivanja vode, ostvaruje se bolji efekat vlaženja.



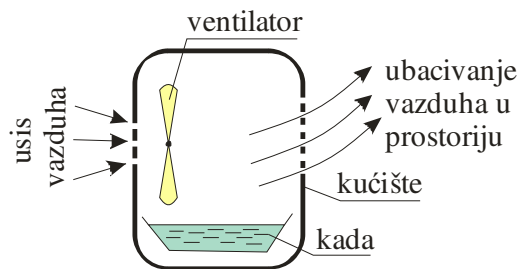
Slika 7.13 Smerovi strujanja vazduha kroz maglenu komoru: a) istosmerni, b) suprotnosmerni

Proces vlaženja vodom u magleni komori smatra se izentalpskim procesom ($h = \text{const}$) jer je entalpija vode zanemarljivo mala ($h_w = c_w \cdot \theta_w = 4,19 \cdot 10 \approx 40 \text{ kJ/kg}$) i ne utiče bitno na pravac promene stanja prilikom vlaženja (slika 7.14).



Slika 7.14 Proces vlaženja u h-x dijagramu

Pored maglene komore postoje i lokalni ovlaživači vazduha sa vodom, koji se postavljaju u prostoriji. Oni su veoma jednostavne konstrukcije: u kućištu, koje je uglavnom lepo oblikovano, nalazi se posuda sa vodom (rezervoar) i mali aksijalni ventilator kojim se ostvaruje cirkulacija vazduha kroz aparat (sl. 7.15).



Slika 7.15 Lokalni ovlaživač vazduha

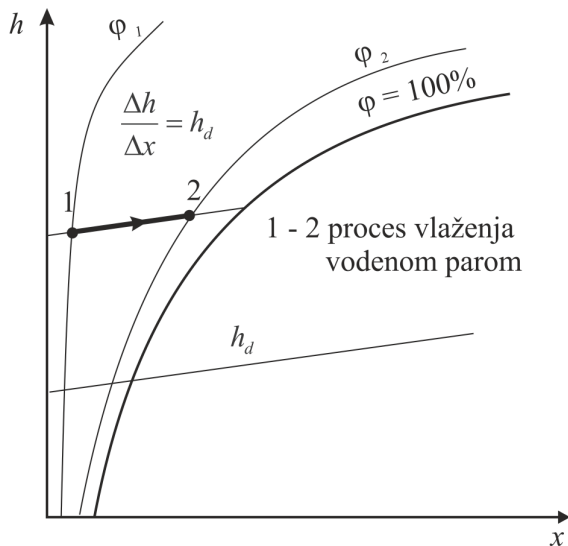
S obzirom da se pri procesu vlaženja vodom vazduh hladi (što se vidi sa dijagrama na slici 7.14), često se dešava da proizvođači lokalnih ovlaživača reklamiraju svoje uređaje kao ekološke uređaje za hlađenje leti, koji troše jako malo energije (potrebne za rad ventilatora, koji je obično jako male instalisane snage), bez kompresora i freona! Njihov efekat i efikasnost su za diskusiju - tačno je da hlade vazduh, ali i povećavaju vlažnost; nekada je mnogo ugodnije imati nižu relativnu vlažnost pri višoj temperaturi, nego obrnuto.

Često se može naći u literaturi ili čuti u praksi za pojam **adijabatsko hlađenje**, što nije ništa drugo nego izentalpsko vlaženje vodom.

VLAŽENJE VAZDUHA VODENOM PAROM

Uporeba vode za vlaženje vazduha povlači zauzimanje znatnog prostora u klima komori, kao i cirkulisanje veće količine vode od one koja ispari. Pri tome dolazi do snižavanja temperature vazduha u procesu vlaženja, pa je porebno imati ukupno veću površinu grejača (ili dva stupnja zagrevanja vazduha - predgrejač i dogrejač). Ako se tome dodaju i problemi higijenske prirode - povoljni uslovi za razvoj bakterija i mikroorganizama u toploj i vlažnoj atmosferi maglene komore, onda ima dovoljno razloga da se ovakav način vlaženja izbegava.

Uvođenje vodene pare direktno u struju vazduha znatno je jeftiniji i jednostavniji način vlaženja vazduha, koji pruža znatno bolje mogućnosti za regulaciju. Zbog toga se u praksi mnogo češće koriste parni ovlaživači, pogotovo kada su u pitanju objekti u kojima su strogi zahtevi po pitanju održavanja relativne vlažnosti u određenim granicama, npr. elektronska industrija, računski centri, farmacija, bolnice, muzeji, itd.



Slika 7.16 Proces vlaženja u h-x dijagramu

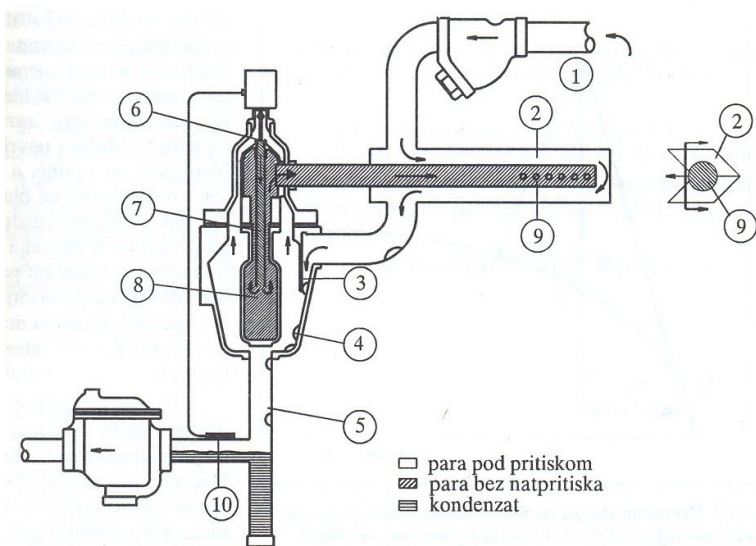
Neophodno je da se proces vlaženja obavlja suvom parom, pošto vlažna para i kondenzat mogu dovesti do pojave neprijatnih mirisa, kao i do mogućnosti razvoja algi i bakterija u kondenzatu. Uvođenjem suve pare u struju vazduha dolazi do mešanja vlažnog vazduha i pare, pa se iz bilansa mešanja dolazi do izraza:

$$\frac{h_2 - h_1}{x_2 - x_1} = \frac{\Delta h}{\Delta x} = h_d,$$

koji određuje pravac procesa vlaženja parom. Pravac promene stanja prilikom vlaženja parom je određen entalpijom pare kojom se vrši vlaženje, što je prikazano na dijagramu na slici 7.16. U zavisnosti od entalpije vodene pare h_d , temperatura vazduha nakon vlaženja može da poraste.

Postoji više proizvođača uređaja za vlaženje parom. Jedan od njih je Armstrong, čiji je uređaj prikazan na slici 7.17. Uređaj se najčešće postavlja iza klima komore u kanal dovodnog vazduha koji služi za distribuciju vazduha do klimatizovane prostorije. Ovaj uređaj koristi paru proizvedenu u centralnom izvoru i povezan je sa cevovodom za dovod pare (1) na kome se nalazi odvajač nečistoća. Para se uvodi u dvostruku cev (2) kroz omotač glavne perforirane cevi, koja je postavljena u kanal kroz koji struji vazduh koji se vlaži. Iz cevi-omotača para ulazi u sud veće zapremine (4) u kome se izdvaja kondenzat koji se formirao u toku strujanja pare kroz cevni omotač perforirane cevi (9). Da bi izdvajanje kondenzata bilo efikasno, na ulazu u sud nalazi se ploča u vidu brane (3). Kondenzat zajedno sa nečistoćama odvodi se kroz odvajač kondenzata na dnu uređaja. Nečistoće odlaze sa kondenzatom ili se talože u delu cevovoda koji služi za pražnjenje. Iz suda (4) para prolazi kroz regulacioni ventil (6) i kroz cev (7) ulazi u komoru za naknadno isparavanje (8) u kojoj praktično vlada atmosferski pritisak. U komori dolazi do sniženja pritiska i eventualnog naknadnog isparavanja, dok u sudu oko komore vlada viši pritisak i viša temperatura pare. Na taj način je obezbeđeno da suva para ulazi u perforiranu cev (9) odakle ističe u struju vazduha. Kondenzacija u perforiranoj cevi je takođe sprečena, pošto se ona zagreva parom višeg pritiska koja se uvodi u aparat kroz omotač (2).

Regulisanje količine pare koja se ubrizgava u struju vazduha (regulacija relativne vlažnosti vazduha koji se vlaži) vrši se preko regulacionog ventila (6), koji može imati pneumatski ili električni pogon. Higrostat koji upravlja radom regulacionog ventila može biti postavljen u prostoriju ili u kanal dovodnog vazduha. Za početni period rada, kada su cevovodi i sam aparat još hladni, sigurnosni termostat (10) drži regulacioni ventil (6) u zatvorenom položaju.



Slika 7.17 Parni ovlaživač za vazduh firme Armstrong

Postoje i uređaji za vlaženje parom koji imaju električni grejač za proizvodnju vodene pare (ne koriste paru iz centralnog izvora). Jedan od tih uređaja je i HYGROMATIC, koji se sastoji od:

- parnog cilindra, u kome se pomoću električnog grejača proizvodi vodena para; cilindar je rastavljiv, tako da može lako da se čisti;
- električnog grejača koji se nalazi u cilindru; ima elektrode od nerđajućeg čelika velike površine;
- pumpe za odmuljivanje cilindra, s obzirom da se isparavanjem vode u cilindru povećava koncentracija soli i nečistoća u preostaloj vodi, pa se povremeno izbacuje jedan deo vode, kako bi se sprečilo taloženje kamenca;
- solenoidnog ventila na cevovodu za dovod vode, radi dopunjavanja cilindra.

Ovaj uređaj ima potpuno automatizovan i fleksibilan rad. Izrađuju se u više nivoa automatske regulacije:

1. "L" regulator, koji se obično koristi kod manjih aparata i koji radi na principu ON/OFF;
2. "EM" regulator, koji ima proporcionalnu regulaciju proizvodnje pare, tj. vlaženja vazduha;
3. "MP" regulator, koji u sebi sadrži mikroprocesor, standardni interfejs i može se povezati sa centralnim sistemom za nadzor i upravljanje.

7.4 FILTRIRANJE VAZDUHA

Pored održavanja termičkih uslova sredine, zadatak klimatizacionih postrojenja je i održavanje čistoće vazduha. Ovo je posebno značajno u današnje vreme sve veće zagađenosti okoline i sve strožim zahtevima za čistoćom vazduha u mnogim oblastima i granama industrije.

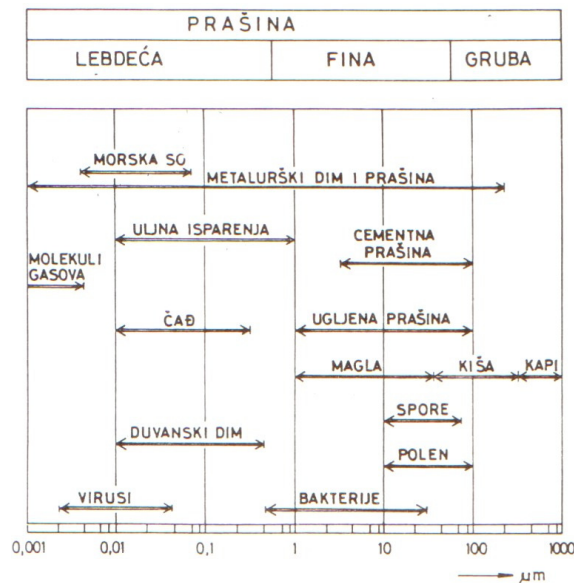
Prečišćavanje vazduha (eliminisanje čvrstih, tečnih i gasovitih nečistoća) može se ostvariti na više načina:

- filtriranjem;
- apsorpcijom;
- otprašivanjem.

Filtriranjem se iz vazduha odstranjuju čvrste (i tečne) čestice, i to je proces prečišćavanja koji se obavezno primenjuje u klimatizacionim postrojenjima. Izdvajanje gasovitih primesa apsorpcijom vrši se u skruberima. Pod otprašivanjem se podrazumeva izdvajanje prašine veće koncentracije. Poslednja dva navedena načina prečišćavanja vazduha primenjuju se u industrijskoj klimatizaciji.

Zagađenost vazduha izazivaju čestice različitog porekla, materijala i veličine (biljnog, životinjskog i mineralnog). Na slici 7.18 prikazane su prosečne veličine najčešćih zagađivača vazduha. Podela prašine prema veličini:

- gruba prašina 50 do 500 μm – lako se taloži;
- fina prašina 0,5 do 50 μm – lagano se talože;
- lebdeća prašina manja od 0,5 μm – ne taloži se već lebdi u vazduhu.



Slika 7.18 Zagađivači vazduha

Ne postoji univerzalni filter koji efikasno izdvaja čestice prašine svih dimenzija. Filteri se proizvode za odstranjivanje čestica određene veličine, pa je u skladu sa dimenzijama prašine i osnovna podela filtera:

- filter za grubu prašinu;
- filter za finu prašinu;
- filter visokog učinkaza finu prašinu;
- apsolutni filter.

Da bi se kvalitet pojedinih filtera mogao realno porediti, bilo je potrebno razviti i standardizovati metodologiju za ispitivanje efikasnosti tih filtera. Metod ispitivanja filtera zavisi od veličine čestica prašine za koju je namenjen.

Filteri za grubu i finu prašinu ispituju se pomoću veštačke probne prašine koja se sastoji od 72% kamenog brašna, 25% čađi i 3% pamuka. Meri se gravimetrijski stepen izdvajanja (efikasnosti) definisan na sledeći način:

$$\eta = \left(1 - \frac{c_{iza}}{c_{ispred}}\right) \cdot 100\% \quad (7.12)$$

gde je:

c_{iza} – koncentracija prašine iza filtera (posle filtriranja)

c_{ispred} – koncentracija prašine ispred filtera (pre filtriranja)

Za ispitivanje visokoučinskih filtera za finu prašinu koristi se prirodno zagađeni vazduh. U struju vazduha, ispred i iza filtera koji se ispituje, postavi se visokokvalitetni filter papir i meri se vreme za koje se svaki papir zaprlja (dostigne određenu zacrtnjenost). Upoređivanjem ovih vremena dobija se stepen korisnosti filtera E_m .

Podela filtera i osnovne karakteristike prikazane su u tabeli 7.3.

Tabela 7.3 Klasifikacija filtera za vazduh

Klasa filtera	Efikasnost filtera η	Stepen korisnosti filtera E_m	Stara oznaka	Naziv filtera
EU1	$\eta < 65$		A	za grubu prašinu
EU2	$65 \leq \eta < 80$		B ₁	za finu prašinu
EU3	$80 \leq \eta < 90$		B ₂	
EU4	$90 \leq \eta$			
EU5		$40 \leq E_m < 60$	C ₁	visokoučinski filter za finu prašinu
EU6		$60 \leq E_m < 80$	C ₂	
EU7		$80 \leq E_m < 90$		
EU8		$90 \leq E_m < 95$	C ₃	
EU9		$95 \leq E_m$	–	Apsolutni filter (filter za lebdeću prašinu)
EU10	85		Q	
EU11	95		R	
EU12	99,5		S	
EU13	99,95			
EU14	99,995		ST	
EU15	99,9995		T	
EU16	99,99995		U	
EU17	99,999995		V	
EU18	99,9999995		–	

Apsolutni filteri ispituju se DOP testom. Naziv metode ispitivanja potiče od hemijske supstance koja se koristi – di-okti-ftalat. Pri stvaranju aerosola ove supstance dobijaju se čestice približno istog prečnika (0,3 μm).

EFEKTI FILTRIRANJA VAZDUHA

U zavisnosti od veličine čestica prašine, u tehnici klimatizacije primenjuju se različiti efekti za odstranjivanje zagađivača iz vazduha:

- prosejavanje;

- taloženje;
- inercija;
- difuzija;
- intercepcija.

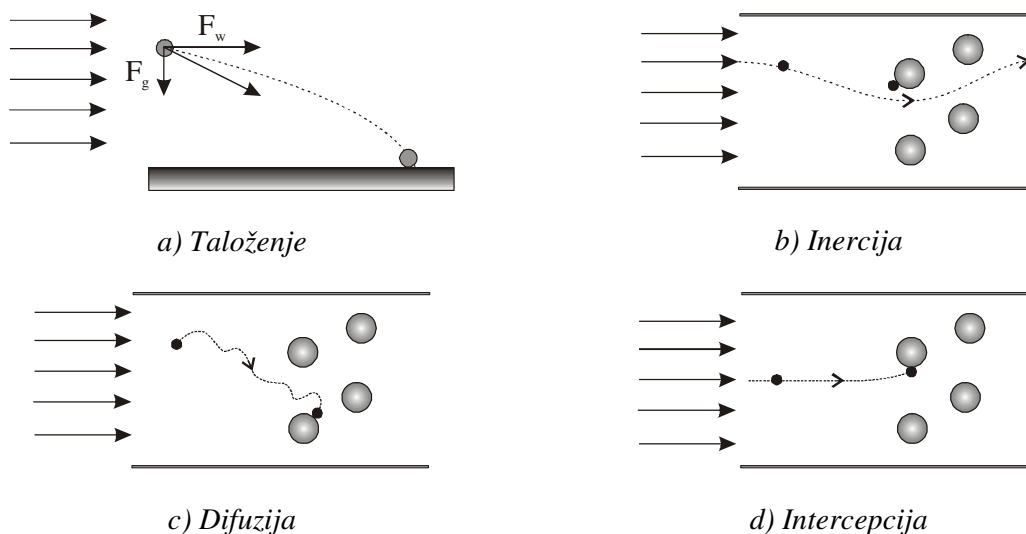
Efekat prosejavanja se koristi za izdvajanje najkrupnijih čestica prašine. Kada je prečnik čestice nečistoće veći od otvora filtera, ta čestica ne može da prođe i zadržava se na filteru.

Efekat taloženja je takođe karakterističan za čestice prašine veće mase. Na svaku česticu koja se kreće deluju dve sile. Pored sile koja izaziva kretanje čestice u struji vazduha, na česticu deluje i sila zemljine teže koja uslovljava taloženje pre svega krupnijih čestica (slika 7.19a).

Efekat inercije je takođe karakterističan za čestice prašine veće mase, ali manje nego u prethodna dva slučaja. Pri strujanju kroz filtersku masu, zbog prirode materijala od kog je filter izrađen, vazduh mora često da menja pravac strujanja. Čestice prašine zbog inercije teško mogu da prate ove česte promene pravca strujanja, pa se sudaraju s vlaknima filtera, “lepe se” i ostaju na njima (slika 7.19b).

Efekat difuzije karakterističan je za čestice prašine vrlo male mase (prečnika manjeg od $0,1 \mu\text{m}$). Nastaje usled Braunovog kretanja molekula. Usled neravnomernog sudara molekula i submikronskih čestica dolazi do haotičnog kretanja, nezavisno od smera strujanja vazduha (slika 7.19c). Kada čestica prašine dospe blizu filterskog vlakna, ona “trpi” veći broj udara sa suprotne strane, pa se usmerava ka vlaknu, sudara s njim i ostaje na njemu.

Efekat intercepcije nastaje kada čestica prašine prolazi pored filterskog vlakna na rastojanju manjem od poluprečnika čestice. Usled dejstva elektrostatičkih sila, čestica se “lepi” za vlakno (slika 7.19d). Efekat intercepcije naziva se i efekat kačenja.



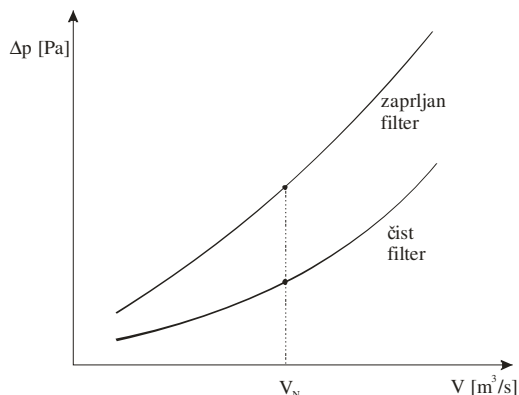
Slika 7.19 Efekti filtiranja

Ne koristi svaki filter za vazduh sve navedene efekte izdvajanja čestica prašine, ali se često istovremeno koristi više efekata filtriranja. Efikasnost filtera zavisi od:

- vrste filterske mase;
- veličine čestica;
- brzine strujanja vazduha kroz filter.

Pri strujanju vazduha kroz filter dolazi do pada pritiska. Vrednost pada pritiska na filteru u klimatizacionim postrojenjima može da se kreće u vrlo širokom opsegu: od 20 Pa za grube filtere do 500 Pa za apsolutne. Tokom rada filter se prlja. Čestice prašine koje se lepe na filterska vlakna

smanjuju svetli presek za strujanje vazduha, pa se pad pritiska u filteru povećava. Na slici 7.20 prikazane su krive pada pritiska u funkciji protoka (odnosno brzine strujanja vazduha za filter date geometrije) za čist i zaprljan filter. Za nominalni (projekttni) protok vazduha kroz čist filter, pad pritiska je $\Delta p_{N\phi}$. Tokom rada, usled izdvajanja čestica prašine na filterskim vlaknima, pad pritiska se povećava i kada se dostigne granična vrednost koja odgovara maksimalno zaprljanom filteru, na kontrolnoj tabli uključuje se alarm koji upozorava rukovaoca postrojenja da je potrebno da zameni ili opere filter.



Slika 7.20 Pad pritiska pri stujanju vazduha kroz filter

MATERIJALI ZA FILTERE

Materijali za izradu filtera treba da ispune sledeće zahteve:

- velika sposobnost akumulacije lestica prašine u filterskoj masi;
- dobra propustljivost vazduha (što manji pad pritiska pri strujanju)
- dobra fizička svojstva (mehanička čvrstoća, otpornost na habanje, savitljivost, postojanost na visokim temperaturama, itd.);
- da nije higroskopan;
- da zadržava svoje osobine pri obradi.

Materijali od kojih se izrađuju filteri:

- prirodni (pamuk, vuna, celuloza,...)
- veštački (poliamid, poliestar, polipropilen, polietilen, fiber vlakna, teflon,...)

Postoje različite vrste i konstrukcije filtera koji se koriste u tehnici ventilacije i klimatizacije:

- **Žičani filter** – izrađuje se od isprepletane žice. Broj otvora po cm^2 može biti različit zavisno od veličine čestica koje treba da izdvoji. Ovo su vrlo grubi filteri i uglavnom imaju zaštitnu funkciju.
- **Kasetni filter** – u metalni ram postavlja se filterski materijal (slika 7.21). Često se koriste u klimatizaciji. Zauzimaju malo prostora u klima komori.
- **Vrećasti filter** – izrađuje se od istog materijala kao i kasetni. Za isti poprečni presek ima znatno veću površinu od kasetnog filtera, tako da može da izdvoji mnogo više prašine (duži period između zamene filtera), ali zauzima više mesta u klima komori (slika 7.21). Ovo je danas najčešće korišćeni tip filtera u klima komorama.
- **Filter sa pokretnom trakom**, tzv. rol filter – koristi se uglavnom u industriji. Filterska masa može biti i nauljena.
- **Elektrofilteri** – imaju vrlo visok stepen izdvajanja prašine. Izrađuju se u širokom opsegu veličina: od najmanjih za primenu u kućnim klima uređajima do najvećih za prečišćavanje dimnih gasova u termoelektranama.

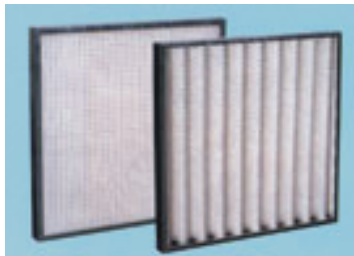
- **Filer s aktivnim ugljem** – koristi se za izdvajanje gasovitih zagađivača iz vazduha (slika 7.21).



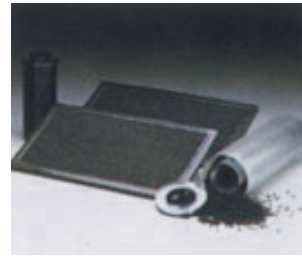
Vrećasti filteri



Vrećasti filter sa 4 ćelije



Kasetni filteri



Filteri sa aktivnim ugljem

Slika 7.21 Vrste filtera

7.5 ELEMENTI ZA DISTRIBUCIJU VAZDUHA

Kod vazdušnih sistema se transport pripremljenog vazduha do mesta ubacivanja vrši kanalskom mrežom, koja se deli na razvodnu i povratnu. U klimatizacionim sistemima, u kojima je vazduh radni fluid, neophodno je izvršiti distribuciju vazduha od mesta na kome se priprema do mesta koje se klimatizuje. Vazduh cirkuliše kroz sistem kanala - kanalsku mrežu, a razliku pritisaka za njegovo stujanje obezbeđuju ventilatori. Kanalska mreža koja povezuje klima komoru sa klimatizovanim prostorom, kroz koju struji pripremljen vazduh naziva se razvodnom kanalskom mrežom. Pored razvodne kanalske mreže postoji i sistem kanala za odvođenje vazduha iz klimatizovanog prostora, kojim se odvodi otpadni vazduh i koji se naziva odsisna ili odvodna kanalska mreža.

Zadatak kanlske mreže je:

- dovođenje vazduha do svake klimatizovane prostorije što kraćim putem;
- da proizvede i/ili prenese što manje šumova (dozvoljeni nivo buke);
- da obezbeđuje lako održavanje (tokom eksploatacije kanali se prljaju, pa ih je potrebno s vremena na vreme očistiti);
- da gubici i dobici toplote budu svedeni na minimum;
- dobro uklapanje u arhitektonsko-građevinsku celinu objekta;
- da investicioni i eksploatacioni troškovi budu minimalni.

Materijali koji se koriste za izradu kanala su čelični, pocinkovani, aluminijumski i crni lim, zatim azbestni cement, beton, sintetički materijali, plastične i fleksibilne cevi. Ti materijali moraju ispunjavati sledeće uslove:

- unutrašnje površine kanala treba da su glatke (manji pad pritiska usled trenja pri strujanju);

- kanali moraju biti otporni na koroziju i moraju biti nezapaljivi;
- kanali ne treba da proizvode šumove, a treba da apsorbiraju one koji potiču od klima komore;
- da proizvodnja i montaža kanala bude što jeftinija;
- da težina kanala bude mala;
- da ne smeju biti higroskopni;
- da budu dugotrajni i da se lako čiste.

Najpogodniji materijal za izradu kanala je čelični lim, koji se koristi u preko 90% slučajeva. Lim može biti pocinkovan ili češće premazan zaštitnim slojem. Crni lim, koji je otporan na visoke temperature koristi se za kanale za izvlačenje vazduha iz kuhinja.

Kanali mogu biti kružnog poprečnog preseka (manje dimenzije) i kvadratnog ili pravougaonog poprečnog preseka. Debljina lima od koga se kanali izrađuju zavisi od prečnika kanala, što je važno zbog ukrućenja i širenja buke. Sa povećanjem prečnika kanala raste i debljina lima od koga su kanali izrađeni.

Postoji veliki broj različitih elemenata za ubacivanje pripremljenog vazduha u prostoriju. Neki od njih su prikazani na slici 7.22. U zavisnosti od geometrije prostorije, položaja mesta za ubacivanje i izvlačenje (odsisavanje) vazduha i željene strujne slike projektant bira odgovarajuće elemente.

Najčešće se primenjuju anemostati i rešetke. Anemostati su predviđeni za plafonsku ugradnju i imaju fiksne proreze kroz koje vazduh prostrujava. Rešetke za ubacivanje vazduha se mogu postavljati na plafonu, zidovima i podu. U zavisnosti od željenog načina usmeravanja vazduha koji se ubacuje mogu imati jedan ili dva reda usmeravajućih žaluzina. Ukoliko se želi postići veći domet mlaza vazduha (kada su u pitanju prostorije velikih gabarita) koriste se difuzori. Brzina struje vazduha prilikom ubacivanja difuzorom je znatno veća u odnosu na rešetke i anemostate, ali se vodi računa da u zoni boravka ljudi ona bude u odgovarajućim granicama.



Slika 7.22 Elementi za ubacivanje vazduha

Svaki element za ubacivanje vazduha može se isporučiti sa odgovarajućim regulatorom protoka, ako se želi regulacija na svakom mestu ubacivanja. Regulatori protoka mogu biti i kanalski, kada je kanalska mreža razgranata, pa je potrebno balansiranje sistema.

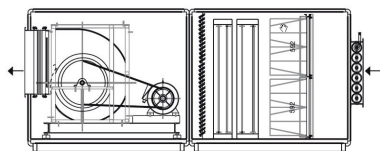


Slika 7.23 Elementi za regulaciju protoka – na rešetki (levo) i kanalski (desno)

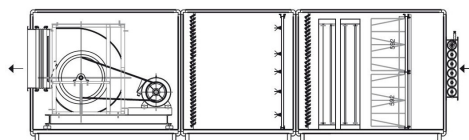
Postoje različite vrste komora, koje po svojoj strukturi odgovaraju zahtevanom procesu pripreme vazduha. Komore se proizvode u standardnim veličinama u zavisnosti od protoka vazduha i modularnog su tipa – to znači da se sastvaljaju iz sekcija (slika 7.24). Postoje čisto ventilacione komore, koje se sastoje samo od ventilatorskih sekcija (kao što je spratna komora prikazana na slici 7.24 gore). Ventilacione komore najčešće imaju i filtersku sekciju, koja sprečava unošenje nečistoća iz spoljašnje sredine. U koliko je prostorija namenjena za boravak ljudi, ne može se dozvoliti ubacivanje termički nepripremljenog vazduha – pogotovo zimi pri niskim spoljnim temperaturama. Takve komore imaju obavezni grejačku sekciju, tako da se u prostoriju ubacuje vazduh na temperaturi prostorije (kao što je komora na slici 7.24 gore levo). Ukoliko se želi vazdušno grejanje, odnosno da sistem nadoknadi i gubitke toplote prostorije, kapacitet grejača mora biti veći i u prostoriju se ubacuje vazduh temperature više od one u prostoriji. Kada je potrebno održavati relativnu vlažnost vazduha na datom nivo, komora može imati i sekciju za vlaženje – tzv. maglenu komoru. Ukoliko je propisan određen nivo buke u ventiliranom prostoru dodaje se sekcija prigušivača buke. Komora može imati i mešnu sekciju, ukoliko se (zbog uštede energije za grejanje) može raditi sa određenim udelom svežeg i recirkulacionog vazduha.

Na slici 7.25 prikazane su dve spratne komore, koje pored navedenih sekcija imaju ugrađen razmenjivač toplote vazduh-vazduh. Ovi razmenjivači toplote (koji su posebno prikazani na slici 7.26) imaju ulogu korišćenja otpadne toplote, odnosno imaju za cilj uštedu energije.

Horizontalne komore

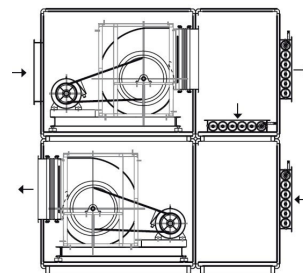


Ventilaciona komora za rad sa SV
(žaluzine, filter, grejač, hladnjak, ventilator)



Ventilaciona komora za rad sa SV (žaluzine, filter, grejač, hladnjak, maglena komora za vlaženje, ventilator)

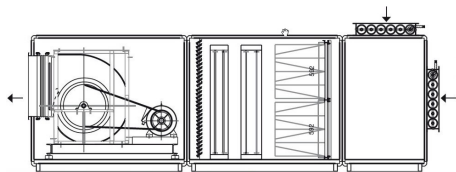
Spratne komore



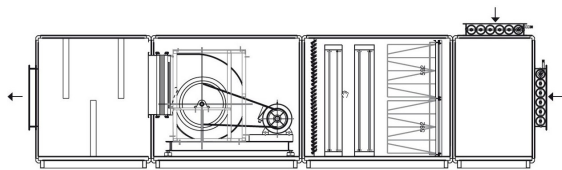
Ventilaciona komora za rad sa SV i RV
(žaluzine, mešna sekcija MS, potisni ventilator PV i odsisni ventilator OV)

Slika 7.24a Ventilacione komore za rad sa svežim vazduhom

Horizontalne komore

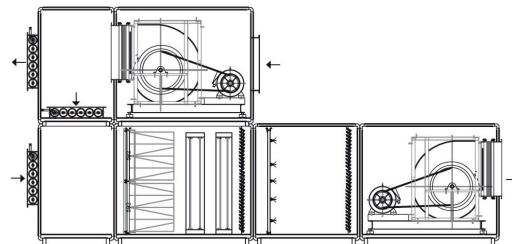


Ventilaciona komora za rad sa SV i RV (žaluzine, mešna sekcija, filter, grejač, hladnjak, ventilator)



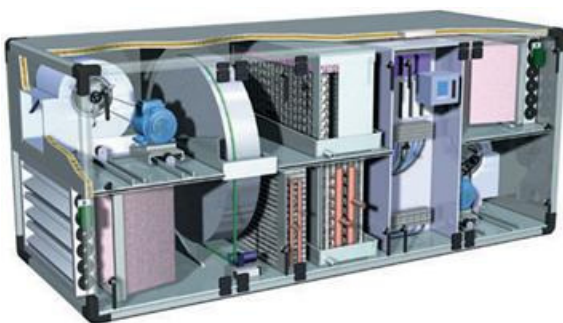
Ventilaciona komora za rad sa SV i RV (žaluzine, mešna sekcija, filter, grejač, hladnjak, ventilator, prigušivač buke)

Spratne komore



Ventilaciona komora za rad sa SV i RV (MS, F, GR, HL, MK, PV i OV)

Slika 7.24b Ventilacione komore za rad sa svežim i recirkulacionim vazduhom



Slika 7.25 Izgled komora sastavljenih od različitih sekcija

Vazduh koji se izvlači iz prostorije, pre nego što se izbaci van objekta kao **otpadni vazduh**, vraća se nazad u komoru, prolazi kroz razmenjivač i predaje toplotu hladnom spoljnom vazduhu. Na taj način, kapacitet grejača u komori je manji, odnosno stepen zagrevanja svežeg vazduha je manji, pa se na taj način štedi energija za grejanje. Otpadni vazduh izlazi iz sistema ohlađen. Rotacioni razmenjivači imaju veći stepen efikasnosti (oko 75-85%) dok je on nešto manji kod pločestih unakrsnih razmenjivača (60-70%). Međutim, unakrsni razmenjivači su pouzdaniji u radu, jer nemaju pokretnih delova. U oba slučaja potrebno je dobro održavanje sistema.



Slika 7.26 Razmenjivači toplote vazduh/vazduh – rotacioni (levo) i unakrsni pločasti (desno)

8 PRIPREMA SANITARNE TOPLE VODE

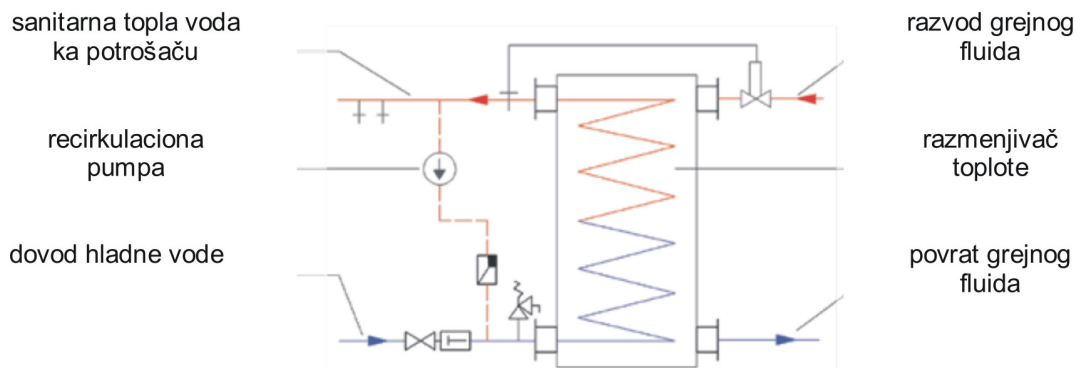
8.1 SISTEMI ZA PRIPREMU SANITARNE TOPLE VODE

U zgradama namenjenim boravku i radu ljudi neophodan tehnički sistem, pored sistema grejanja, hlađenja, ventilacije i klimatizacije, jeste i sistem za pripremu sanitarne tople vode. U zavisnosti od namene zgrade razlikuje se i poreba za potrošnjom tople vode, što utiče i na izbor samog sistema. Osnovna podela ovih sistema, slično kao kod sistema grejanja i klimatizacije, jeste na lokalne i centralne sisteme. Ostale podele mogu se formirati u zavisnosti od načina pripreme – na protočne i akumulacione sisteme, zatim, u zavisnosti od vrste grejača – na sisteme sa električnim grejačima, toplovodnim ili parnim grejačima, i konačno, u zavisnosti od izvora snabdevanja toplotnom energijom – na sisteme koji koriste konvencijalna goriva i sisteme sa obnovljivim izvorima energije.

8.1.1 Konvencionalni sistemi za pripremu sanitarne tople vode

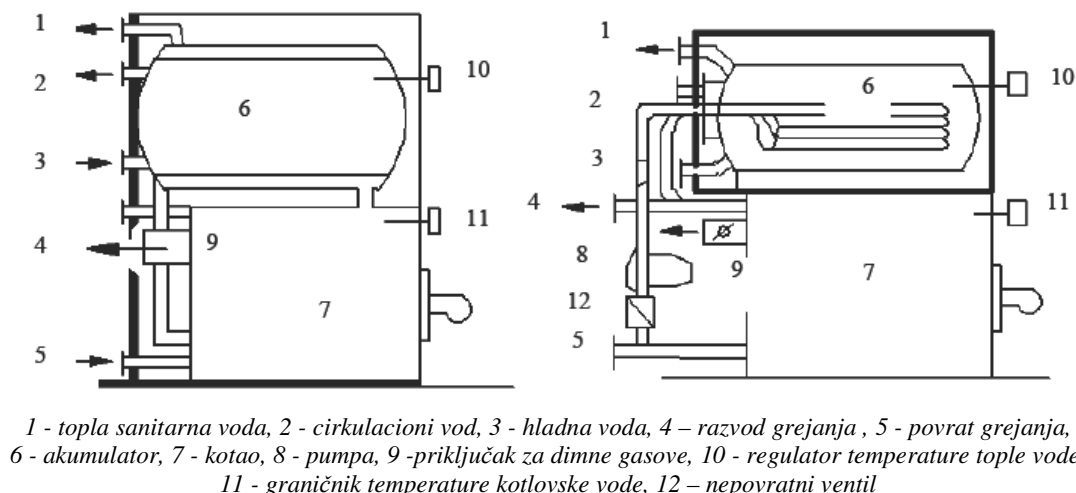
Zagrevanje sanitarne potrošne vode može se izvesti lokalnim (decentralizovanim) ili centralnim sistemima. Decentralizovano grejanje potrošne vode koristi se za pojedinačne potrošače, npr. za jedno potrošno mesto, pa se tu zbog niže potrošnje vode, a time i manjeg potrebnog toplotnog učinka za njeno grejanje, mogu koristiti protočni električni zagrejači vode. Ako se radi o grupi potrošača, mogu se koristiti protočni plinski grejači vode ili akumulacioni električni bojleri manje zapremine. Lokalni uređaji za pripremu sanitarne tople vode često su u primeni u stambenim zgradama sa manjim brojem stambenih jedinica.

Zagrejači vode mogu se izvesti kao protočni ili akumulacioni. Kod protočnog zagrejača njegov učinak treba biti takav da svu količinu vode koja se u određenom trenutku troši, može zagrejati na željenu temperaturu. Zbog potrebnih većih učinaka primena ovih zagrejača češća je za manje, pojedinačne potrošače. Cevni grejač u protočnom uređaju treba da ima dovoljnu površinu da zagreje svu potrošnu vodu koja kroz njega protiče, dok sanitarna topla voda (STV) unutar omotača bojlera osigurava određenu akumulaciju, u zavisnosti od zapremine bojlera. Centralna priprema sanitarne tople vode protočnim grejačem uobičajena je u slučaju kad se koristi tzv. kombinovani gasni kotao, namenjen za grejanje i pripremu STV, koji ima dovoljan toplotni učinak da osigura grejanje potrošne vode i kod istovremenog rada više potrošača. Na slici 8.1 prikazan je protočni sistem za zagrevanje STV.



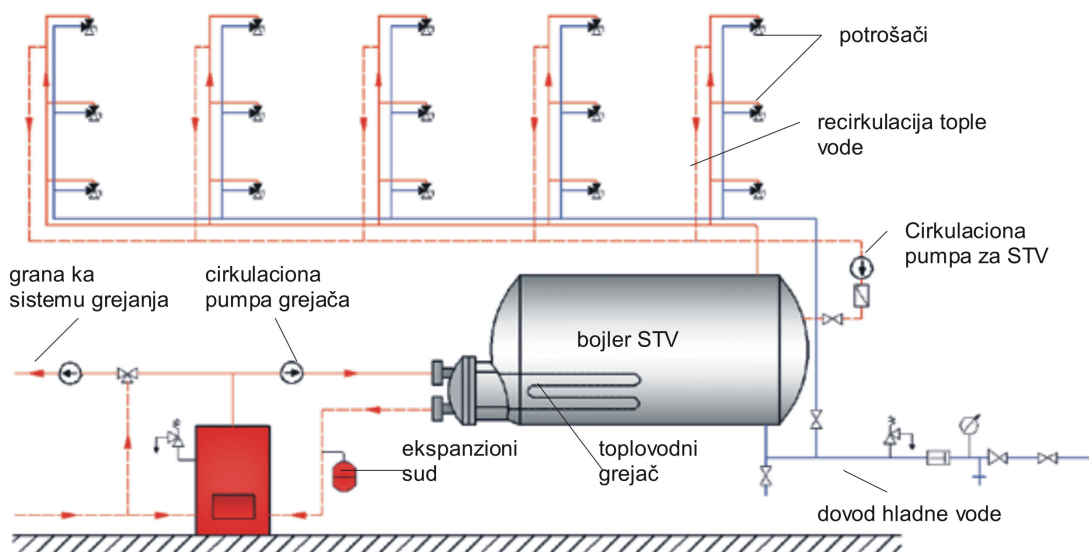
Slika 8.1 Šema protočnog sistema za pripremu sanitarne tople vode

Akumulaciono zagrevanje koristi se za centralne sisteme, kod kojih je potrošnja veća i može se računati s faktorima istovremenosti potrošnje. Bojler kod manjih sistema može biti sastavni deo kotla (slika 8.2). U bojleru može biti ugrađen cevni grejač (desno) ili kompletan bojler može biti uronjen u kotlovsku vodu (levo), pri čemu se razmena toplote između kotlovske i potrošne vode odvija preko omotača bojlera.



Slika 8.2 Bojleri za centralno zagrijavanje potrošne tople vode ugrađeni na kotlu

U praksi je ipak češće zastupljen sistem centralne pripreme STV kod kojih se bojler (sa akumulacijom tople vode) ugrađuje nezavisno od kotla. Od kotla se vodi posebna grana namenjena grejaču STV, a posebne grane se vode ka drugim potrošačima toplote u zgradi (to mogu biti grejna tela, grejači u ventilacionim ili klima komorama, itd). Na slici 8.3 prikazana je šema centralnog sistema za zagrevanje sanitarne vode sa posebnim rezervoarom (bojlerom) za toplu vodu.



Slika 8.3 Centralni sistem pripreme potrošne tople vode s izdvojenim rezervoarom (bojlerom)

Centralni sistemi za pripremu potrošne vode smešteni su obično u kotlarnici ili toplotnoj podstanici. U sistemu centralnog snabdevanja toplotom je kotao (odnosno razmenjivač toplote,

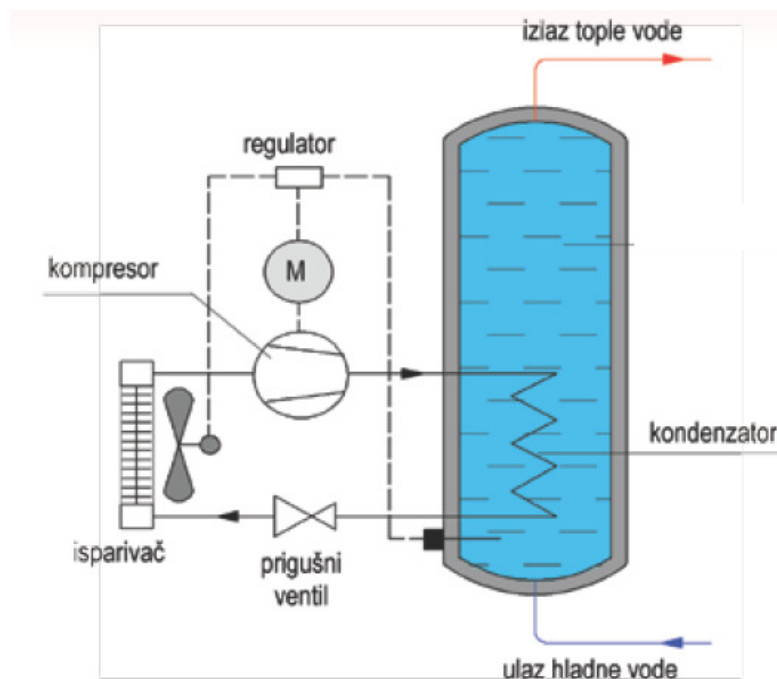
ukoliko se radi o sistemu daljinskog grejanja) namenjen i za zadovoljenje grjenog učinka za grejanje zgrade, pumpa grejača STV, rezervoar tople vode (bojler sa grejačem), razvodni cevovodi tople i hladne vode sa sigurnosnom, zapornom i regulacionom armaturom, cirkulacioni cevovod tople vode s cirkulacionom pumpom. Kotao je najčešće toplovodni, a kao gorivo se mogu koristiti čvrsta, tečna ili gasovita goriva. Najčešće su u rezervoru (bojleru) tople vode nalazi i dodatni električni grejač, koji se koristi: za dogrevanje vode u ekstremnim periodima povećane potrošnje toplote i sanitarne vode, za rad sistema za pripremu STV tokom letnjeg perioda kada kotao ne radi i u režimu zaštite od legionele.

Cirkulaciona pumpa za STV ugrađuje se kako bi se na udaljenim mestima potrošnje osigurala topla voda odmah nakon otvaranja slavine. Nije poželjno da je cirkulaciona pumpa uvek uključena, pa se njeno uključivanje reguliše vremenskim programom u zavisnosti od potrošnje tople vode u zgradi, ili što je još bolje, na osnovu temperature vode na povratu recirkulacionog voda u bojler. Razvodni cevovodi tople vode i cirkulacioni cevovodi, po pravilu, treba da budu toplotno izolovani kako bi se sprečili gubici toplote u okolinu, kao i zbog obebeđivanja potrebne temperature potrošne vode na mestima potrošnje. Razvodni cevovodi hladne vode takođe treba da budu izolovani zbog sprečavanja smrzavanja vode, kao i zbog sprječavanja rošenja na cevima usled kondenzacije vlage iz prostora.

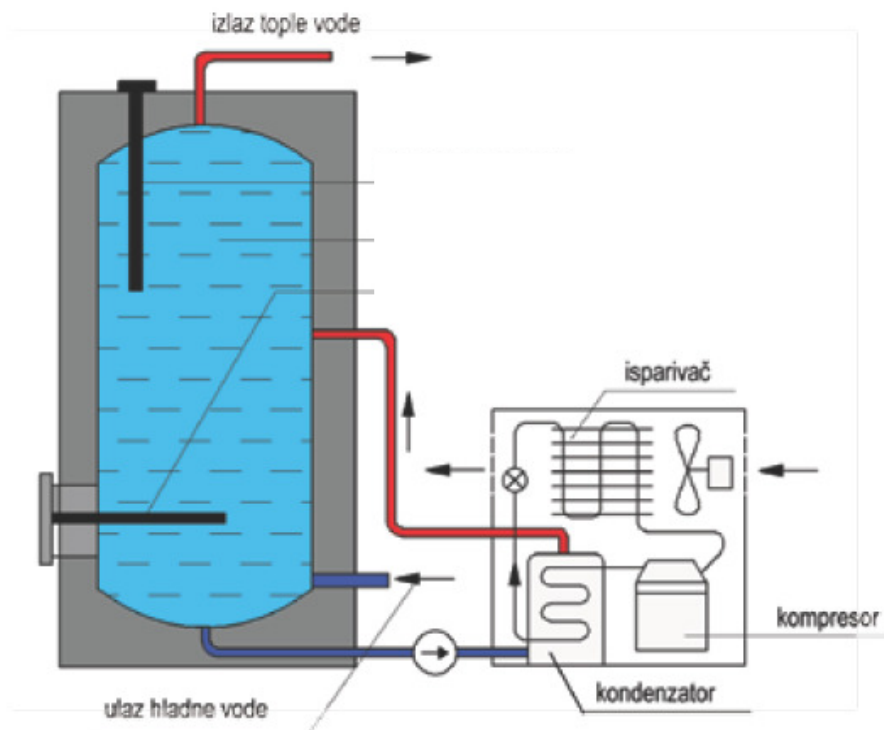
8.1.2 Nekonvencionalni sistemi za pripremu sanitarne tople vode

8.1.2.1 Toplotne pumpe za pripremu sanitarne vode

Za zagrevanje sanitarne vode mogu se koristiti i toplotne pumpe, kao nekonvencionalni izvor toplote. Njihovom primenom mogu se očekivati uštede na troškovima grejanja, s obzirom da kompresorske toplotne pumpe koriste toplotnu energiju iz okoline i uz utrošak mehaničkog rada, dobija se pogodna temperatura (koristi se toplota kondenzacije rashladnog fluida u toplotnoj pumpi) za grejanje. Izvedbe mogu biti raznovrsne, pa kondenzator toplotne pumpe može biti ugrađen u obliku cevnog grejača u samom bojleru sanitarne tople vode (slika 8.4) ili potrošna voda iz bojlera može pomoću pumpe cirkulisati kroz kondenzator toplotne pumpe (slika 8.5).



Slika 8.4 Funkcionalna šema rada toplotne pumpe za pripremu STV



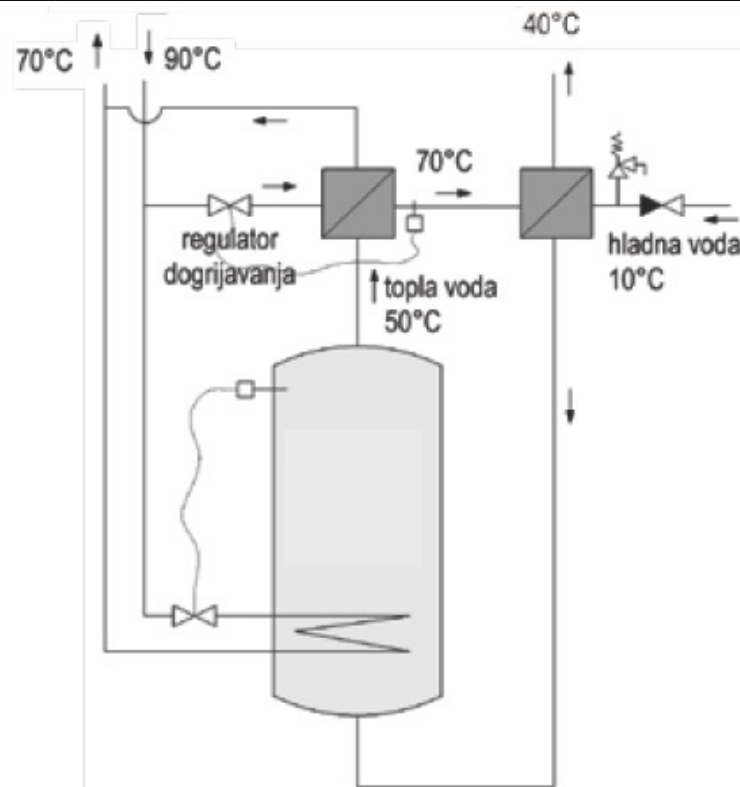
Slika 8.5 Toplotna pumpa za zagrevanje STV

Pri izboru toplotne pumpe za grejanje sanitarne tople vode, treba voditi računa o potrebi celogodišnjeg rada na vrlo promenljivim temperaturama toplotnog izvora (ako je to vazduh, temperatura može tokom godine varirati od oko -18°C pa do oko $+35^{\circ}\text{C}$). Iz toga razloga toplotna pumpa treba da bude posebno prilagođena takvom načinu rada. Pored toga, toplotne pumpe koje rade s jednostepenom kompresijom i danas uobičajenim rashladnim fluidima (najčešće freonima), mogu ostvariti temperature vode do oko 50°C , što nije dovoljno za obezbeđenje potrebne temperature vode u nekim slučajevima. Tada treba primeniti toplotne pumpe sa dvostepenom kompresijom ili toplotne pumpe koje rade po transkritičnom procesu sa CO_2 i koje mogu postići značajno više temperature sanitarne vode.

Za potrošnju energije važan je izbor temperature potrošne vode, koji zavisi ne samo od vrste potrošača, već je ograničen i uslovima zaštite od legionele. Legionele su bakterije koje izazivaju tzv. legionarsku bolest (jednu vrstu upale pluća), koja može biti smrtonosna. Legionele se razmnožavaju na temperaturama između 32°C i 42°C , a uništavaju se na temperaturama od oko 60°C do 70°C . U akumulacionim sistemima potrebno je barem na kratko, uglavnom u noćnom periodu postići takve temperature, kako bi došlo do uništavanja legionele (termička dezinfekcija). Termičku dezinfekciju potrebno je izvršiti jednom nedeljno u trajanju od oko sat vremena. To se obično može sprovesti vremenskim programom za rad sistema, tako što se, na primer, podesi povišenje temperature u rezervoaru na 70°C od 3 do 4h ujutro svake subote (ili nekog drugog dana u nedelji).

Moguća je i dezinfekcija ultraljubičastim zrakama. U centralnim sistemima moguće je ugrađenim dodatnim električnim grejačem povremeno zagrejati vodu na višu temperaturu.

Jedan od mogućih načina ostvarenja povišene temperature radi termičke dezinfekcije prikazan je i na slici 8.6.



Slika 8.6 Sistem za zaštitu od legionele

8.1.2.1 Solarni sistemi za pripremu sanitarne vode

Solarni sistemi se generalno mogu podeliti na aktivne i pasivne. Pasivni solarni sistemi podrazumevaju da se ne koristi nikakav dodatni uređaj ili element u sistemu koji bi trošio dodatnu energiju za rad sistema. U pitanju su uglavnom različita arhitektonsko-građevinska rešenja koja imaju ulogu boljeg prikupljanja Sunčeve energije, njene akumulacije i korišćenja u svrhu grejanja. U okviru ovog poglavlja pažnju ćemo posvetiti aktivnim solarnim sistemima.

Osnovni uređaj aktivnog solarnog sistema je *prijemnik sunčeve energije (PSE)* ili, kako se još često naziva *solarni kolektor*. Po svojoj konstrukciji prijemniki može biti:

- ravan PSE,
- cevni ili
- parabolični.

RAVAN PSE može imati različite konstrukcije, tehničke detalje i većina proizvođača ima patentom zaštićeno svoje tehničko rešenje. U principu, svi ravni PSE imaju iste osnovne elemente (slika 8.7), a to su kućište, prekrivka koja propušta Sunčevo zračenje, izolacija sa donje strane koja sprečava gubitke toplote i - apsorber, koji predstavlja srce uređaja.

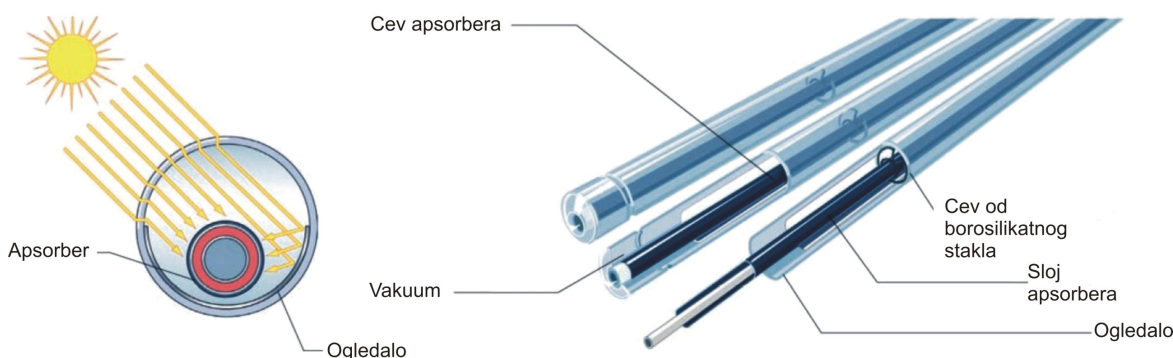
Apsorber je element PSE koji ima ulogu intenzivnog apsorbovanja Sunčeve energije i provođenja toplote do radnog fluida. Izrađen je od specijalnih materijala ili prevučen selektivnim premazima koji pospešuju apsorpciju Sunčevih zraka. Obično je crne ili tamne boje. Kod ravnih PSE apsorber je izveden u obliku ploče u koju su utisnute cevi kroz koje protiče radni fluid. Radni fluid je često voda, a ako se sistem koristi kao zatvoren, sa posebnim strujnim krugom, radni fluid može biti i neki drugi fluid. Prekrivka je obično od specijalnog stakla, čija je uloga da propusti Sunčevo zračenje do apsorbera, spreči propuštenje infracrvenog (toplotnog) zračenja u okolinu i smanji gubitke toplote. Kao i kod apsorbera i za prekrivke postoje različita rešenja – izbor vrste

stakla (obično silikatna stakla), broj slojeva, itd. Termička izolacija se postavlja sa tamne strane (na poleđini) PSE, kako bi se sprečilo odavanje toplote sa apsorbera ka okolini i smanjili gubici toplote.



Slika 8.7 Ravan prijemnik Sunčeve energije

CEVNI PSE se sastoje od staklenih cevi u kojima se nalaze uski metalni apsorberi. Prostor između staklene cevi i apsorbera je obično vakuumiran – izvučen je vazduh. Na taj način je sprečeno odavanje toplote konvektivnim putem. Sa donje strane cevi, ispod apsorbera postavlja se visokoreflektujuća folija (ogledalo) koja omogućuje refleksiju Sunčevih zraka i njihovo dospevanje do apsorbera (slika 8.8), čime se povećava efikasnost prijemnika. Stepenn korisnosti cevni PSE je veći nego kod ravnih, ali je i cena znatno viša.



Slika 8.8 Cevni prijemnik Sunčeve energije

Termička efikasnosti prijemnika Sunčeve energije određuje se kao:

$$\eta = \frac{\dot{Q}_k}{I \cdot A}, \quad (8.1)$$

dge su:

$\dot{Q}_k$ - korisno predata toplota radnom fluidu (W),
 I - dozračeni intenzitet ukupnog Sunčevog zračenja (W/m²),
 A - površina prijemnika Sunčeve energije (m²).

Prijemnici Sunčeve energije se obično postavljaju na krov zgrade (bilo da je krov ravan ili kos), ali se mogu postaviti i na drugim dostupnim mestima – terase, dvorišta, itd. Ugao nagiba pod kojim se postavlja PSE zavisi od geografske širine i perioda korišćenja solarnog sistema (tokom leta ili tokom cele godine). U svakom slučaju se teži da se PSE postavi tako da upadni zraci Sunca sa površinom prijemnika zaklapaju ugao od 90° veći deo vremena. Obično su orijentisani ka jugu, jer je tada najveći stepen iskorišćenja Sunčevog zračenja. Ukoliko se sistem koristi cele godine, ugao nagiba kolektora se može promeniti u zavisnosti od sezone.

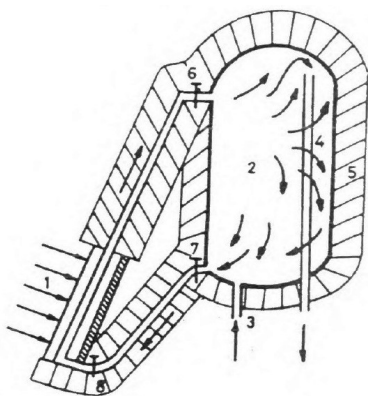


AKTIVNI SOLARNI SISTEMI

Za naše klimatsko podneblje solarni sistemi se uglavnom koriste za pripremu tople sanitarne vode. Kada su u pitanju sistemi grejanja, veoma je teško izvesti solarni sistem koji može da pokriva gubitke toplote tokom cele grejne sezone bez nekog dopunskog izvora toplote. Postoji i varijanta sprege solarnih kolektora i toplotne pumpe, kada se mogu dobiti nešto više temperature grejnog fluida, ali je i u tom slučaju potreban dodatni izvor toplote – u periodima jako malih intenziteta zračenja Sunca i veoma niskih temperatura spoljnog vazduha. U nastavku će biti reči o nekoliko najčeće primenjivanih solarnih sistema. Solarni sistemi za pripremu STV mogu biti sa prirodnom ili prinudnom cirkulacijom vode, i mogu biti direktni i indirektni.

Direktni sistem sa prirodnom cirkulacijom fluida

Na slici 8.9 prikazan je sistem za pripremu PTV sa protočnim rezervoarom i prirodnom cirkulacijom radnog fluida.



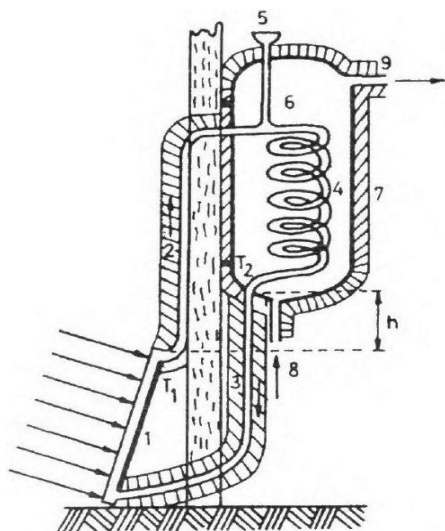
- 1 – ravni solarni vodeni kolektor;
- 2 – rezervoar (protočni bojler);
- 3 – cev za dovod hladne vode;
- 4 – cev za odvod tople vode ka potrošaču;
- 5 – izolacija;
- 6, 7 – slavine za ručnu regulaciju cirkulacije vode između apsorbera i rezervoara;
- 8 – slavina za pražnjenje.

Slika 8.9 Protočni solarni bojler sa prirodnom cirkulacijom fluida

Kroz cevi u apsorberu protiče voda koja se zagreva i prirodnim putem struji u rezervoar, dok hladna voda sa donje strane ulazi u PSE. Ventili 6 i 7 se zatvaraju kada zračenje Sunca slabi ili ga nema, i na taj način, prekidom cirkulacije, sprečava se hlađenje vode u rezervoaru. Ceo sistem je kompaktan i izolovan.

Indirektni sistem sa prirodnom cirkulacijom fluida

Kod indirektnog sistema radni fluid koji protiče kroz prijemnik struji u posebnom zatvorenom cirkulacionom krugu. U bojleru tople vode (rezervoaru, skladišniku toplote) toplota se sa zagrejanog radnog fluida, koji struji kroz spiralnu cev razmenjivača toplote prenosi na potrošnu toplu vodu. Ovaj sistem je prikazan na slici 8.10.

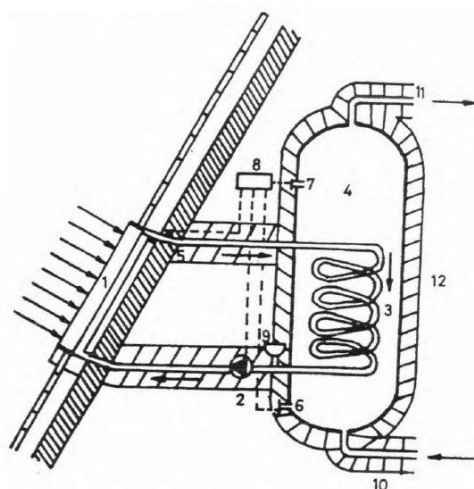


- 1 – ravni solarni vodeni kolektor;
- 2,3 – cevi u primarnom cirkulacionom krugu kroz koje protiče radni fluid;
- 4 – razmenjivač toplote;
- 5 – ekspanzioni sud;
- 6 – rezervoar za toplu vodu;
- 7 – termička izolacija;
- 8 – cev za dovod hladne vode;
- 9 – cev za odvod tople vode ka potrošaču.

Slika 8.10 Indirektni solarni bojler sa prirodnom cirkulacijom fluida

Indirektni sistem sa prinudnom cirkulacijom fluida

Za razliku od sistema sa prirodnom cirkulacijom, strujanje radnog fluida od apsorbera do razmenjivača toplote u rezervoaru obavlja se prinudnim putem, uz pomoć pumpe (slika 8.11). Pomoću senzora temperature meri se temperatura vode u rezervoaru i temperatura radnog fluida.



- 1 – ravni solarni vodeni kolektor;
- 2 – cirkulaciona pumpa;
- 3 – razmenjivač toplote;
- 4 – rezervoar za toplu vodu (bojler);
- 5,6,7 – senzori temperature;
- 8 – regulator;
- 9 – ekspanzioni sud;
- 10 – cev za dovod hladne vode;
- 11 – cev za odvod tople vode ka potrošaču;
- 12 – termička izolacija.

Slika 8.11 Indirektni solarni bojler sa prinudnom cirkulacijom fluida

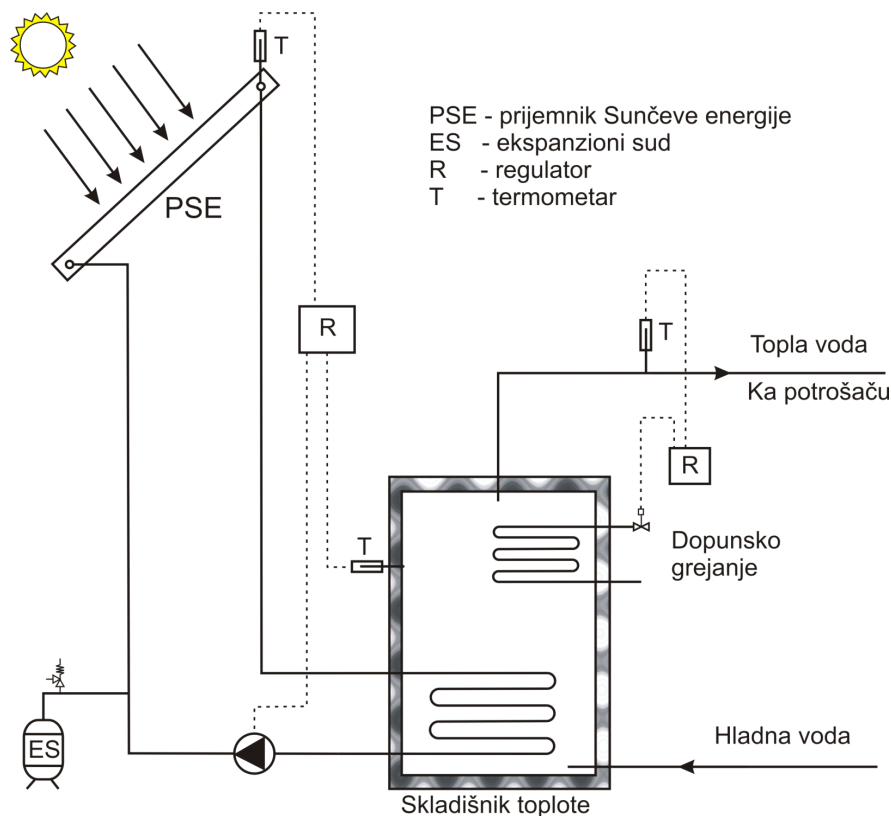
Regulator za automatsku regulaciju rada sistema upoređuje temperaturu vode u rezervoaru i temperaturu radnog fluida. Kada je temperatura radnog fluida viša od temperature vode u rezervoaru, regulator šalje signal i pumpa se uključuje. Kada se ova temperaturna razlika smanji na minimalnu vrednost, regulator šalje impuls koji isključuje pumpu i zaustavlja cirkulaciju radnog fluida u primarnom krugu. Na taj način se sprečava hlađenje vode u rezervoaru u periodima kada nema Sunčevog zračenja.

Sva prethodno navedena rešenja su kompaktni sistemi kod kojih se rezervoar tople vode nalazi u neposrednoj blizini prijemnika. Ovi sistemi su manjeg kapaciteta i niže cene, povoljni za pripremu STV za stanove i manje individualne porodične kuće. Kod većih sistema, rezervoar tople vode je smešten u samom objektu.

Indirektni sistem sa prinudnom cirkulacijom fluida, jednim rezervoarom i dopunskim izvorom toplote

Često su potrebe za sanitarnom toplom vodom nepredvidive, stohastički se menjaju u vremenu, pogotovo kada su u pitanju komercijalni i poslovni objekti. Tada se može desiti da se u određenom trenutku jave veće potrebe za toplom vodom od onih koje može da obezbedi solarni sistem. U tim slučajevima se postavlja dodatni izvor za grejanje STV, koji može biti električni grejač ili toplovodni (što je slučaj kod sistema koji rade preko cele godine).

Na slici 8.12 prikazana je šema solarnog sistema sa jednim rezervoarom i dopunskim grejanjem.



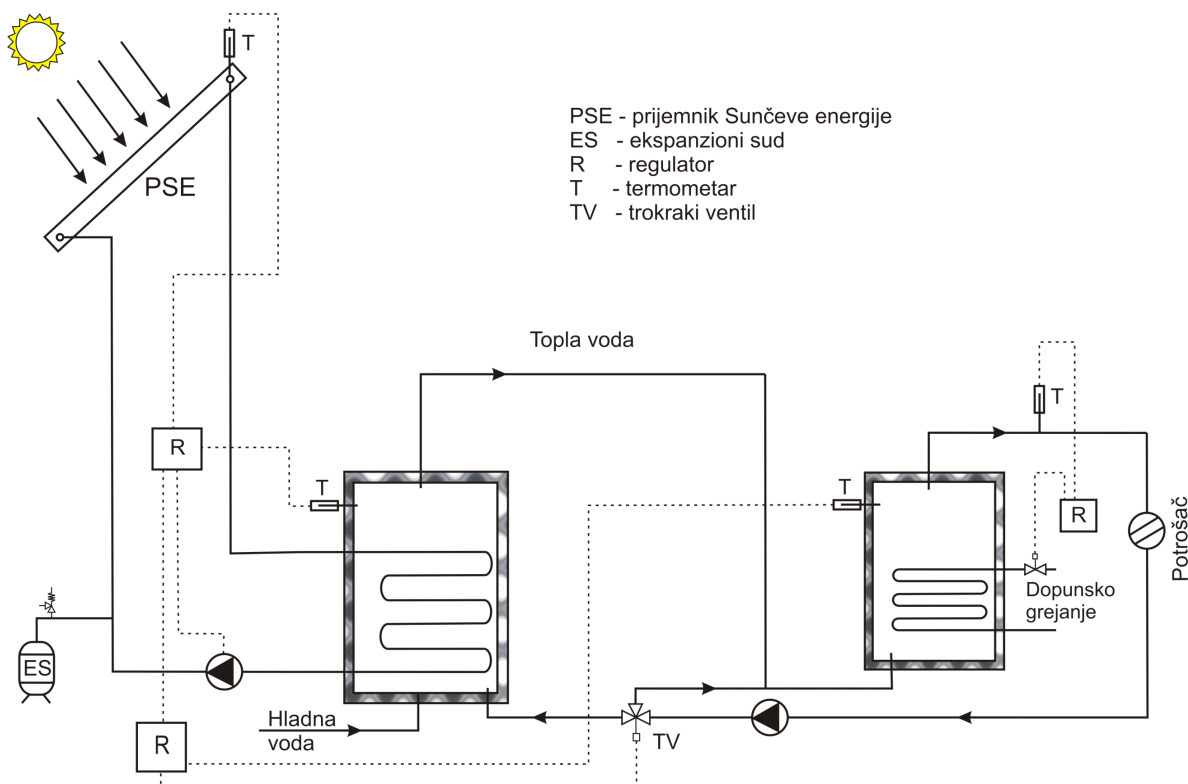
Slika 8.12 Sistem sa PSE i jednim skladišnikom toplote i dopunskim izvorom za grejanje

Regulator koji dobija signale o temperaturi radnog fluida i vode u rezervoaru šalje impuls za uključivanje, tj. isključivanje cirkulacione pumpe primarnog kruga. Sa druge strane, meri se temperatura potrošne tople vode koja ide ka potrošačima; ukoliko se temperatura STV snizi ispod

dozvoljene, regulator koji prima signal o ovoj vrednosti temperature, šalje impuls za uključivanje dodatnog izvora za grejanje vode u rezervoaru. Kada temperatura PTV poraste, regulator isključuje dodatni izvor toplote.

Indirektni sistem sa prinudnom cirkulacijom fluida, dva rezervoara i dopunskim izvorom toplote

Na slici 8.13 prikazan je solarni sistem sa dva rezervoara tople vode. Pri tome se u prvom rezervoaru vrši zagrevanje vode solarnim sistemom. Temperatura vode u prvom rezervoaru zavisi od dozačenog intenziteta Sunčeve energije i regulator na osnovu signala o vrednostima temperatura radnog fluida i vode u rezervoaru održava ovu temperaturu na maksimalnom nivou. Zagrejana voda iz prvog rezervoara se transportuje u drugi, odakle ide direktno ka potrošačima. U drugom rezervoaru se nalazi dodatni izvor za grejanje. Usled oscilacija u potrošnji tople vode i raspoložive Sunčeve energije za grejanje, dolazi do oscilacija u vrednostima temperatura vode u rezervoarima. Ukoliko je temperatura u prvom rezervoaru niska, trokraki ventil će otvoriti gornji krak i cirkulacija vode će se odvijati u cirkulacionom krugu drugog rezervoara. Suprotno tome, trokraki ventil će otvoriti krak ka prvom rezervoaru, šaljući ohlađenu vodu na dogrevanje pomoću PSE. Ovakav sistem je ekonomičniji od sistema sa jednim rezervoarom.

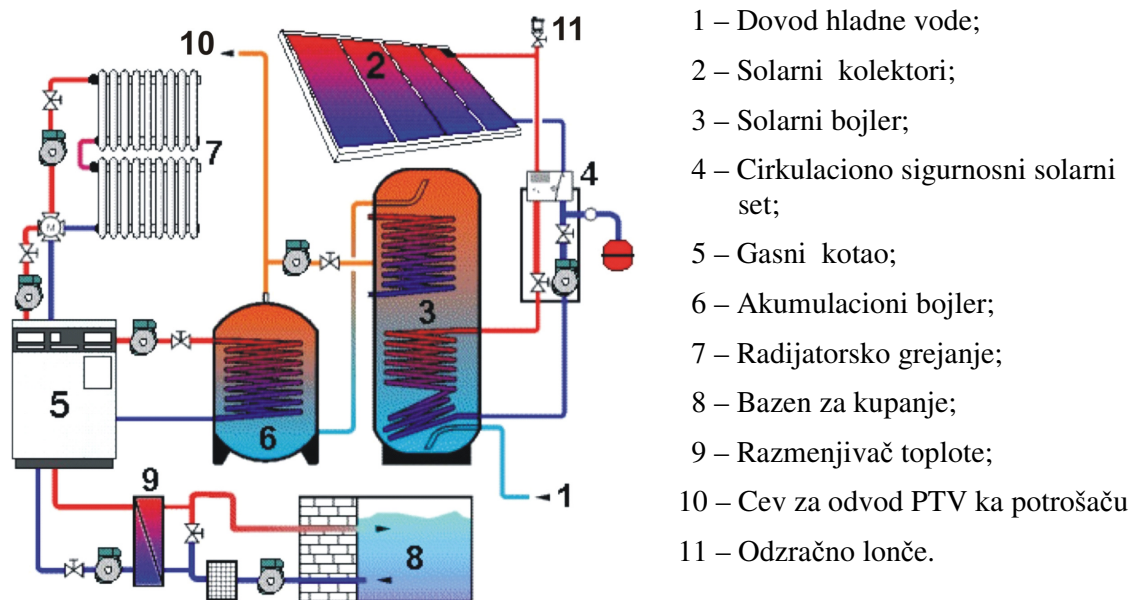


Slika 8.13 Sistem sa PSE i dva skladišnika toplote

Kombinovani indirektni sistem sa prinudnom cirkulacijom fluida, dva rezervoara, dopunskim izvorom toplote i različitim potrošačima

Složeni kombinovani sistem prikazan na slici 8.14 namenjen je za pripremu STV, radijatorsko grejanje i grejanje vode u plivačkom bazenu. Pored solarnog rezervoara u sistemu se nalazi i akumulacioni bojler sa dodatnim izvorom toplote za grejanje - gasnim kotlom. Primarni sistem za zagrevanje STV je solarni sistem, a za dogrevanje se koristi toplovodni grejač sa svojom cirkulacionom pumpom. Kao izvor toplote za radijatorsko grejanje koristi se gasni kotao. Zagrevanje bazenske vode izvedeo je preko razmenjivača toplote, zbog nižeg potrebnog

temperaturnog režima. Tokom leta je moguće grejati bazensku vodu pomoću solarnog sistema, ali je za te potrebe potrebno drugačije povezivanje instalacije - solarni bojler se povezuje vodovima, preko trokrakih ventila sa instalacijom za grejanje vode u bazenu. Uloga trokrakih ventila je prebacivanje: u jednom položaju voda se greje radom gasnog kotla, a u drugom položaju voda se greje uz pomoć solarnog sistema.



Slika 8.14 Složeni sistem za grejanje sa PSE i gasnim kotlom

8.2 PROJEKTNI USLOVI I DINAMIKA POTROŠNJE STV

Kod projektovanje centralnih sistema za pripremu sanitarne tople vode, važno je poznavati njenu ukupnu potrošnju, kao i dnevnu dinamiku potrošnje. Vrednosti potrošnje i temperatura za različite potrošače prikazane su u tabelama 8.1, 8.2 i 8.3.

Tabela 8.1 Potrošnja i temperatura STV za različite zgrade

Zgrada	Potrebna količina vode	Temperatura vode [°C]
Bolnica	100 - 300 l/dnevno krevet	60
Kasarna	30 - 50 l/dnevno osoba	45
Poslovna zgrada	10 - 40 l/dnevno osoba	45
Spa centar/banjsko lečilište	200 - 400 l/dnevno osoba	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 osoba	45
Frizerski salon	150 -200 l/dnevno osoba	45
Perionica veša	250 - 300 l/100 kg veša	75

Tabela 8.2 Potrošnja i temperatura STV za ugostiteljske objekte

Potrošno mesto	Dnevna potrošnja po osobi [l/dnevno]	
	60°C	45°C
Restorani po gostu	8 – 20	12 - 30
Hoteli - sobe s kupatilom i kadom	100 – 150	140 - 220
Hoteli - sobe s tušem	50 -100	70 - 120
Hoteli - sobe s umivaonikom	10 – 15	15 - 20
Odmarališta i pansioni	25 – 50	35 - 70

Tabela 8.3 Potrošnja i temperatura STV za stambene zgrade

Potrošno mesto	Količina pri jednom uzimanju [l]	Temperatura vode [°C]	Trajanje [min]
Ispusni ventil			
DN10 poluotvoren	5	40	1
DN10 potpuno otvoren	10	40	1
DN15 poluotvoren	10	40	1
DN15 potpuno otvoren	18	40	1
DN20 poluotvoren	25	40	1
DN20 potpuno otvoren	45	40	1
Sudopera			
jednodelna	30	55	5
dvodelna	50	55	5
Umivaonik			
samo pranje ruku	5	35	1.5
umivaonik, mali	10	35	2
umivaonik jednodelni	15	40	3
umivaonik dvodelni	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 sedenje	50	40	5
Bide	25	40	8
Ukupna dnevna potrošnja za domaćinstva			
Manji zahtevi	10 - 20 l/dnevno osoba		
Srednji zahtevi	20 - 40 l/dnevno osoba		
Veliki zahtevi	40 - 80 l/dnevno osoba		

Prema Pravilniku o energetskej efikasnosti zgrada, prilikom proračuna potrebne finalne energije za pripremu STV, kada se primenjuje pojednostavljeni sezonski ili mesečni metod proračuna, potrebna toplota za pripremu STV može se usvojiti iz tabele date u prilogu 6, a u zavisnosti od kategorije zgrade. Preporučene vrednosti date su u tabeli 8.4.

Tabela 8.4 Vrednosti godišnje potrebne toplote za pripremu STV prema kategoriji zgrade

Tip zgrade	1	2	3	4	5	6	7	8	9) Ostale zgrade				Jedini- nica
Ulazni podaci	Stambena zgrada sa jednim stanom	Stambena zgrada sa više stanova	Poslovna zgrada	Zgrade namenjene obrazovanju	Bolnice	Restorani	Trgovinski centri	Sportski centri	Sale za sastanke i prezentacije	Industrijske zgrade	Skladišta	Unutrašnji bazeni	
Toplota potrebna za pripremu STV po jedinici površine grejanog prostora	10	20	10	10	30	60	10	80	10	10	1,4	80	kWh/m ²

Godišnja potrebna energija za pripremu STV se izračunava preko jednačine, a prema standardu SRPS EN 15316:

$$Q_W = \rho_W \cdot c_W \cdot V_W \cdot (\theta_W - \theta_o) \text{ [kWh/a]}, \quad (8.2)$$

gde je:

V_W - godišnja potrošnja vode [m³/a],

θ_W - temperatura vode u rezervoaru [°C],

θ_o - temperatura vode iz vodovoda [°C],

$\rho_W \cdot c_W = 1,16 \text{ [kWh/(m}^3\text{K)]}$.

Godišnji toplotni gubici sistema za pripremu sanitarne tople vode određuju se kao:

$$Q_{W,ls} = Q_{W,dis,ls} + Q_{W,st,ls} + Q_{W,gen,ls} \text{ [kWh/a]}, \quad (8.3)$$

gde je:

$Q_{W,dis,ls}$ - gubici toplote u cevnoj mreži razvoda tople vode prema 15316-3-2 [kWh/a],

$Q_{W,st,ls}$ - gubici toplote pri skladištenju u rezervoaru prema 15316-3-3 [kWh/a],

$Q_{W,gen,ls}$ - gubici toplote pri proizvodnji ili pripremi tople vode prema 15316-3-3 [kWh/a].

Ukupna godišnja potrebna toplota za pripremu sanitarne tople vode je:

$$Q_H = Q_W + Q_{W,ls} \text{ [kWh/a]}. \quad (8.4)$$

Naravno, ne koristi se voda na svim potrošnim mestima istovremeno, pa je potreban učinak za koji se projektuju centralni sistemi za pripremu sanitarne tople vode manji. Zato se u obzir uzima faktor jednovremenosti koji zavisi od broja potrošača povezanih na zajednički

centralni sistem. Pretpostavlja se da je dnevna potrošnja vode ograničena na razdoblje od z_A sati, pri čemu je realna pretpostavka da ova vrednost varira $z_A = 0,5 - 2,5$ h. U tabeli 8.5 date su vrednosti faktora jednovremenosti u zavisnosti od broja stanova, kao i potrebni kapaciteti kotlova i zapremine rezervoara (bojlera) za toplu vodu.

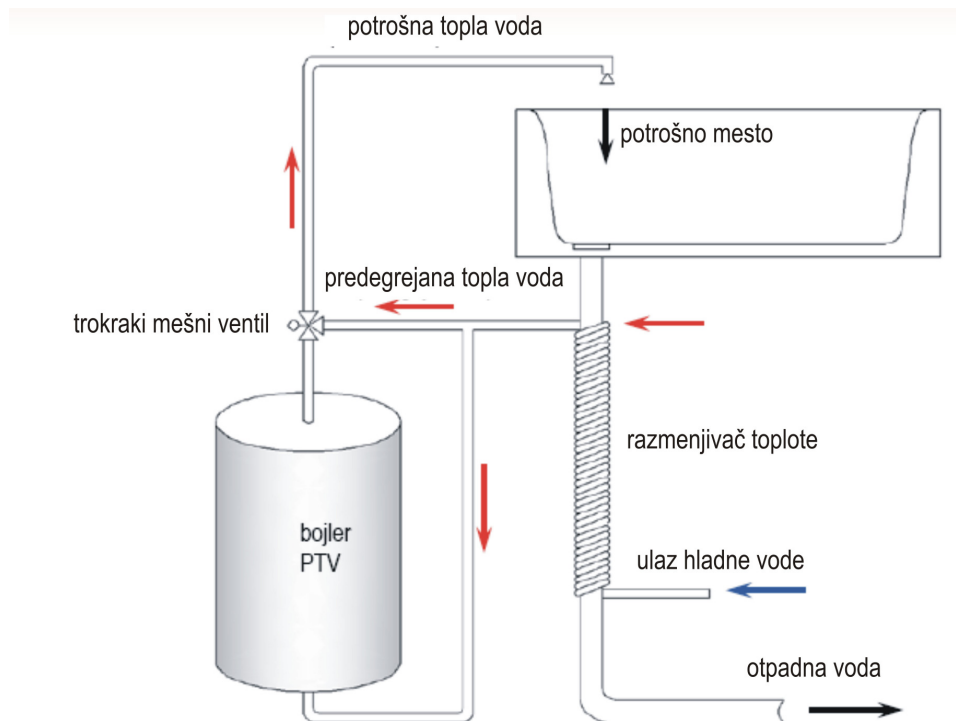
Tabela 8.5 Vrednosti faktora jednovremenosti, kapaciteti kotla i veličina bojlera

Broj stanova	Faktor jednovremenosti	Kapacitet kotla Qk [kW] pri z _A [h]			Veličina bojlera V _s [m ³] za z _A [h]					
					0,5		1		2,5	
		θ _w – θ _o [K]								
n	φ	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	7	450	300	750	450	1200	750
6	0,56	40	34	22	600	400	1000	600	1600	950
8	0,50	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	0,40	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	11100	6700
100	0,28	336	281	186	4800	2900	7100	4800	13300	8000
120	0,27	389	326	215	5600	3400	9400	5600	15400	9300
150	0,26	468	392	260	6700	4100	11300	6700	18600	11200
200	0,25	600	502	333	8600	5200	14400	8600	23900	14300

Zapremina bojlera za pripremu potrošne tople vode značajna je i za potrošnju energije. Suviše mala zapremina bojlera za potrošnu vodu često se u korišćenju kompenzuje povišenjem temperature vode, kako bi se mešanjem sa hladnom vodom na mestu potrošnje došlo do željene temperature, a predviđena akumulacija zadovoljila kapacitetom. Povišena temperatura vode ima za posledicu veće toplotne gubitke u bojleru i mreži, gubitke vode vezane za ostvarenje željene temperature na potrošaču mešanjem (veće kod primene dvoručnih nego kod primene jednoručnih slavina) i u nepovoljnim rasponima temperature povećano taloženje kamenca u bojleru i na grejnim površinama grejača. Za potrošnju energije takođe je važno osigurati merenje potrošnje sanitarne tople vode. Praćenjem potrošnje mogu se utvrditi odstupanja od uobičajenih vrednosti ili neracionalno trošenje, a uz dodatno merenje temperature i udeo toplote za pripremu sanitarne tople vode u energetskom bilansu zgrade.

8.3 KORIŠĆENJE OTPADNE TOPLOTE SANITARNE VODE

Oko 80% toplote utrošene za pripremu sanitarne tople vode neiskorišćeno odlazi u kanalizaciju. Ako se odvodi vode iz kada, tuševa i umivaonika izvedu odvojeno od fekalne kanalizacije, moguće je ostvariti povraćaj toplote otpadne vode od umivanja i tuševa, kao što je prikazano na slici 8.15. To je prikladno projektovati i izvoditi za veće potrošače (npr. hoteli, velike stambene zgrade i sl.), a instalacija ovakvih uređaja jeftinija je u novogradnjama nego što je to slučaj za postojeće zgrade. Važno je da sistem bude izveden tako da osigurava pouzdan rad imajući u vidu da otpadna voda sadrži nečistoće i masnoću.



Slika 8.15 Sistem za povraćaj otpadne toplote sanitarne vode

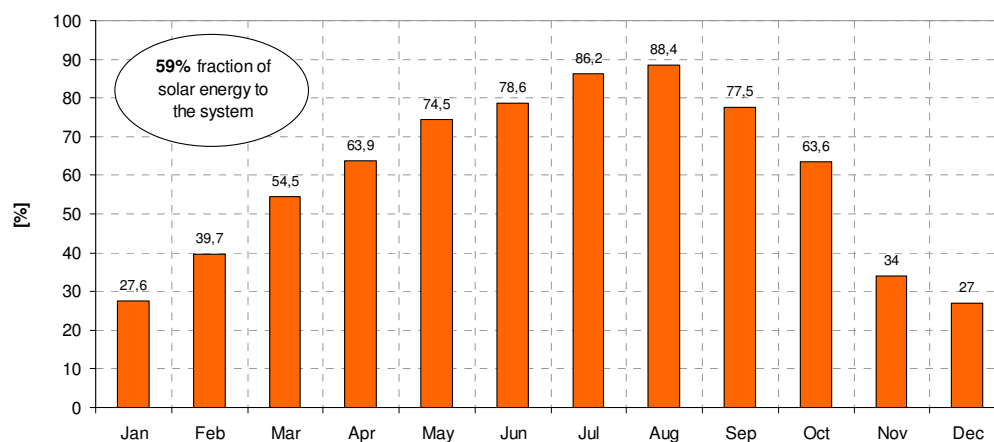
8.4 PRIMER PRIMENE SOLARNOG SISTEMA ZA PRIPREMU STV

Zgrada koja se koristi u ovom primeru je novo projektovana zgrada u centru Beograda. U pitanju je stambeno poslovni objekat ukupne korisne površine 1300m². Termički omotač zgrade je projektovan sa dobrom termičkom zaštitom, a slika zgrade je data u poglavlju 5 (sl. 5.18).

Umesto individualnih električnih bojlera za pripremu STV predviđen je kombinovani solarni sistem sa dodatnim električnim i toplovodnim grejačem. Tokom zimskog perioda, kao dopunski izvor koristi se toplovodni grejač, dok se tokom letnjeg perioda za dogrevanje koristi električni grejač. Prijemnici solarne energije smešteni su na krovu zgrade i zauzimaju površinu od 31 m². Korišćeni su ravni PSE ukupnog efikasnosti 78,5%.

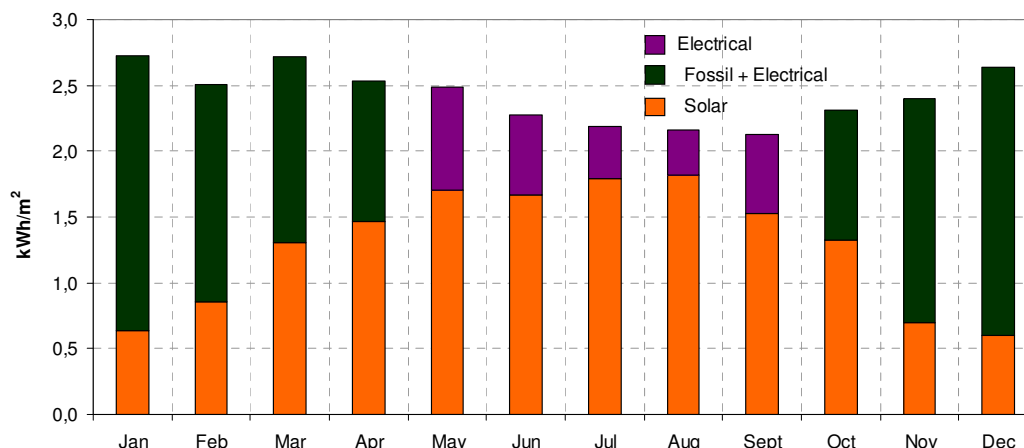
Na slici 8.16 prikazan je dijagram koji pokazuje udeo pokrivanja ukupnih potreba potrošača STV iz solarnog sistema tokom godine za projektne uslove. Sa dijagrama se vidi da tokom letnjih meseci sistem pokriva oko 88% potreba za toplom vodom. Na ovaj način se izbegava predimenzionisanje sistema, kao i režimi u kojima može doći do pregrevanja, kada je potrebno rasterećenje sistema. U realnim uslovima eksploatacije sistema, u zavisnosti od broja sunčanih sati tokom dana i potrošnje tople vode, javiće se periodi kada sistem može da zadovolji 100% potreba za toplom vodom. Čak i u najhladnijim zimskim mesecima, solarni sistem

nadoknađuje preko četvrtine potreba za zagrevanjem sanitarne vode. Tokom godine, ovako projektovan solarni sistem može pokriti 59% potrebne toplote za zagrevanje STV.



Slika 8.16 Udeo solarnog sistema u pripremi STV tokom 12 meseci

Na slici 8.17. prikazan je odnos količine toplote potrebne za pripremu STV iz različitih izvora tokom godine.



Slika 8.17 Odnos udela u pripremi STV iz različitih izvora

Poređenjem potrebne primarne energije potrebne za rad centralnog sistema za pripremu STV u odnosu na lokalnu pripremu sa električnim bojlerima, dolazi se do podatka o uštedi od 78%, odnosno smanjenje potrebe za primarnom energijom sa 64 kWh/m^2 a na svega 14 kWh/m^2 . Period otplate ovakve investicije za primenu na novoprojektovanim zgradama kreće se od 1,7 do 3 godine, što pokazuje veoma dobru ekonomsku opravdanost primene solarnih sistema.

9 RASHLADNI UREĐAJI I TOPLOTNE PUMPE

9.1 MAŠINE ZA HLAĐENJE

Zadatak mašina za hlađenje jeste da ohlade izvesna tela ili predmete do temperature niže od temperature okoline i da ih na toj temperaturi održavaju.

Hlađenjem se naziva proces pri kome se od nekog tela (*hlađeni objekat*) odvođi toplota i predaje nekom drugom telu (*toplotni ponor*). Ako se pri tome hlađenom objektu ne dovodi tehnički rad, njegova entalpija će opadati, a kada nema ni promene faze⁴ opadaće i njegova temperatura.

Toplota odvedena od hlađenog tela naziva se *toplotom hlađenja* (J ili kJ), a odvedena toplota hlađenja u jedinici vremena naziva se *rashladnim učinkom* (W ili kW).

Pošto se trajno hlađenje može obezbediti jedino ponorom beskonačnog toplotnog kapaciteta, najpre će biti razmotren slučaj kada je *okolina* toplotni ponor. Ako je temperatura θ_h hlađenog objekta viša od temperature θ_{ok} okoline proces se može odvijati spontano (sam od sebe), tj. bez utroška rada i bez ikakvih promena na telima van sistema hlađeni objekat - okolina (toplotni ponor). Takvo hlađenje naziva se *prirodnim hlađenjem*; kako se ono odvija samo od sebe, ono se jedino može ubrzavati (intenziviranjem razmene toplote) ili usporavati (npr. postavljanjem toplotne izolacije između hlađenog objekta i toplotnog ponora).

Međutim, kada je $\theta_h < \theta_{ok}$, iz iskustva je poznato da hlađenje ne može biti spontano, tj. ne može se odvijati samo od sebe⁵, već se mora uključiti u neki pogodan *kompensacioni proces*.

Kada kompensacioni proces obavlja neka radna materija, prelaz toplote sa izvora niže na ponor više temperature se može *trajno* (neprekidno) odvijati jedino ako se ta radna materija periodički vraća u početno stanje, tj. ako mašina obavlja *kružni kompensacioni proces*.

Kompensacioni proces je najčešće neki od klasičnih levokretnih kružnih procesa (levokretnih ciklusa) sa utroškom *mehaničkog rada*. Po takvim ciklusima rade tzv. *kompresorske mašine*; one prema vrsti radne materije mogu biti *gasne* (kada radna materija tokom kružnog procesa ne menja agregatno stanje) ili *parne kompresorske mašine* (čiji se ciklus najvećim delom odvija u području vlažne pare). Ako se u kompensacionom procesu koristi toplota, rashladna mašina radi po nekom *kombinovanom (integrisanom) ciklusu*, koji u stvari predstavlja spregu desnokretnog i levokretnog ciklusa. Po kombinovanim ciklusima rade *ejektorske i sorpcione mašine*.

Kao kompensacioni proces se može iskoristiti i otvoreni proces kod koga se smanjenje entropije hlađenog objekta usled odvođenja toplote u potpunosti kompenzuje porastom entropije usled trajne promene fizičkog stanja i/ili hemijske strukture neke materije (tzv. rashladne smese). Pošto je za odvijanje otvorenog procesa potrebno potrošiti određene količine takve rashladne materije, otvoreni procesi se još nazivaju i potrošnim procesima.

Razmatranja slična prethodnim se mogu sprovesti i kada nekom telu (*grejani objekat*) treba dovoditi toplotu iz nekog izvora toplote. Ako je temperatura izvora viša od temperature

⁴ Ako ne nastaje kondenzacija, odnosno desublimacija ili očvršćavanje (zaleđivanje).

⁵ Ova iskusvena spoznaja predstavlja jedan od iskaza II zakona Termodinamike.

grejanog objekta, proces grejanja se odvija spontano, tj. sam od sebe; takvo je npr. tradicionalno grejanje kada su toplotni izvor produkti sagorevanja fosilnih goriva ili biomase.

Međutim, ako se za grejanje želi koristiti termodinamički bezvredna toplota iz okoline, pri čemu je temperatura grejanog objekta viša od temperature okoline, u takvo grejanje se mora uključiti u neki pogodan kompenzacioni proces (npr. levokretni) sa utroškom rada. Uređaji pomoću kojih se to ostvaruje nazivaju se **toplotnim pumpama**.

Dakle, sve toplotne mašine koje rade po nekom levokretnom ciklusu odvođe toplotu (rashladni učinak $\dot{Q}_H$) od izvora niže temperature (T_H) i predaju toplotu (grejni učinak $\dot{Q}_G$) ponoru više temperature ($T_G > T_H$).

Ako je pri tome ponor okolina ($T_G = T_{ok}$), njoj se predaje termodinamički bezvredna toplota, pa po rashladnom učinku Φ_H , koji je jedino koristan, mašina se naziva **rashladnom mašinom**, a izvor **hladenim objektom**.

Analogno tome, ako je izvor okolina ($T_H = T_{ok}$), od nje se uzima termodinamički bezvredna toplota, koristan je grejni učinak $\dot{Q}_G$ i mašina se po njemu naziva **toplotnom pumpom**, a ponor **grejanim objektom**.

9.1.1 Fizičke osnove hlađenja

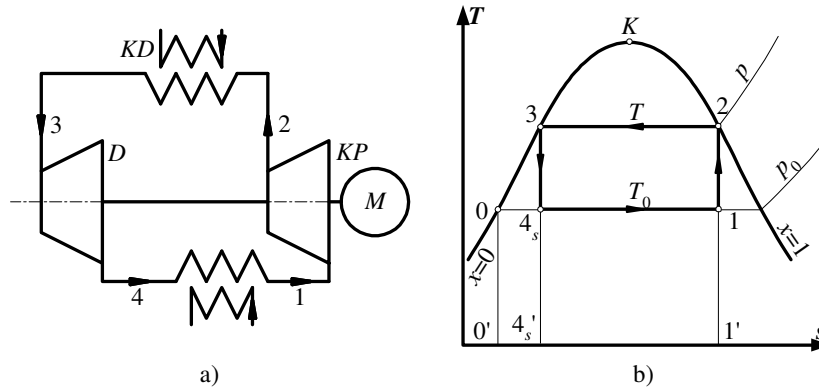
Odvođenje toplote od hladenog objekta moguće je samo njegovim dovodenjem u termički kontakt sa nekom radnom materijom niže temperature. Najvažniji procesi koji su našli značajniju primenu za postizanje niskih temperatura u praksi su:

- Ekspanzija gasova i para (sa odvođenjem rada). Najveće snižavanje temperature pri ekspanziji od datog početnog do datog krajnjeg pritiska se postiže u slučaju kada je ta ekspanzija adijabatska i kvazistatička (tj. **izentropska**).
- Ekspanzija bez odvođenja rada (adijabatsko prigušivanje);
- Termoelektrični efekat (propuštanjem električne struje kroz spoj dva različita provodnika u pogodnom smeru može se postići hlađenje tog spoja);
- Efekat rastvaranja (rashladne smeše) (pri adijabatskom mešanju dve materije, temperatura rastvora može biti i znatno niža od početne temperature komponenata).

9.1.2 Levokretni procesi sa utroškom rada

Levokretni ciklusi sa utroškom rada su kompenzacioni procesi koji omogućavaju trajno prebacivanje toplote iz izvora niže u ponor više temperature. Kada su i izvor i ponor beskonačnih toplotnih kapaciteta, promene stanja izvora i ponora su izotermske. Povratan ciklus u tom slučaju može biti levokretni ciklus Carnot koji sačinjavaju dve izentrope i dve izoterme.

Procese izotermskog dovodenja odnosno odvođenja toplote levokretnog ciklusa *Carnot* je relativno lako ostvariti kada se radi o vlažnoj pari jednokomponentne radne materije. Tada se ti procesi poklapaju sa izobarskim procesima isparavanja, odnosno kondenzacije. Šema parne kompresorske mašine koja radi po levokretnom ciklusu *Carnot* i ciklus u $T-s$ dijagramu prikazani su na sl. 9.1.a i sl. 9.1.b; mašina se sastoji od kompresora (proces 1-2), kondenzatora (proces 2-3), ekspanzione mašine (proces 3-4) i isparivača (proces 4-1).



Sl. 9.1. Parna kompresorska mašina koja radi po ciklusu **Carnot**:
a) šema (KP - kompresor; KD - kondenzator; D – detander; R - isparivač); b) T-s dijagram

Po definiciji, koeficijent hlađenja rashladnog ciklusa je

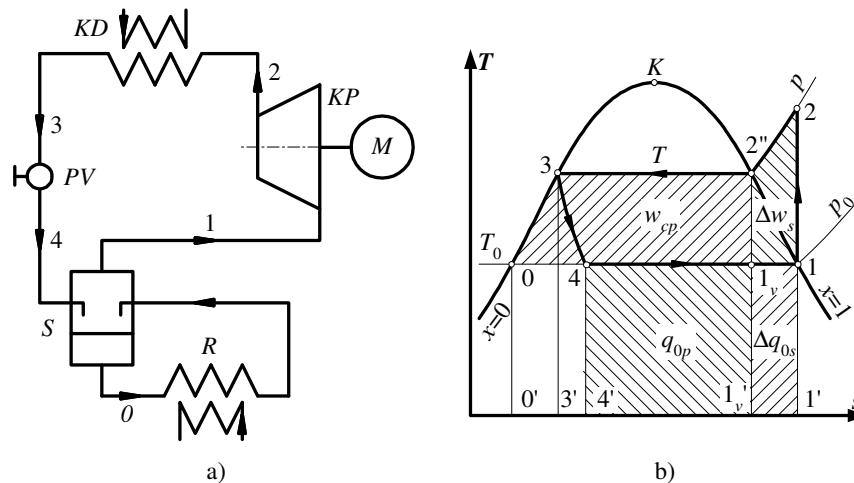
$$\varepsilon_h(EER) = \frac{q_0}{w} = \frac{q_0}{w_c - w_d} = \frac{q_0}{q - q_0} \quad (9.1)$$

i predstavlja toplotu hlađenja (odvedenu od hlađenog objekta) po jedinici utrošenog rada.

Iako nema problema pri izotermskoj razmeni toplote ciklus **Carnot** sa vlažnom parom nije pogodan za praktičnu primenu jer ima tehničkih problema pri sabijanju i ekspanziji. Zato se ciklus tehnički pojednostavljuje na sledeći način:

1) detander se zamenjuje neuporedivo jeftinijim prigušnim ventilom, tj. izentropska ekspanzija se zamenjuje adijabatskim prigušivanjem (sl. 9.2); pošto je to izentalpski proces ($h=const$) biće $h_3 = h_4 > h_{4s}$;

2) da bi se izbegli problemi usled usisavanja vlažne pare uvodi se tzv. suvo usisavanje; tj. kompresor usisava suvozasićenu paru stanja 1 (sl. 9.2b), koja, nakon izentropskog sabijanja, u kondenzator ulazi kao pregrejana para stanja 2, kondenzuje se i u prigušni ventil ulazi kao ključala tečnost stanja 3; posle adijabatskog prigušivanja iz prigušnog ventila izlazi vlažna para stanja 4.

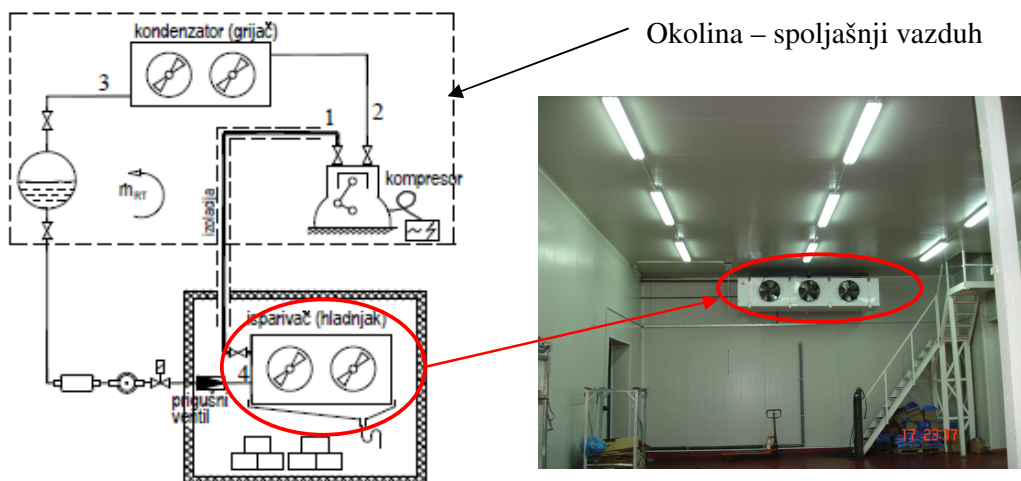


Sl. 9.2 Parna kompresorska mašina sa prigušnim ventilom i suvim usisavanjem: a) šema mašine (S - separator); b) ciklus u „T-s“ dijagramu

Opisani ciklus sa prigušivanjem i suvim usisavanjem pri umerenim razlikama temperature kondenzacije i isparavanja je tehnički izvodljiv i često ima prihvatljiv koeficijent hlađenja. Stoga se on koristi i kao uporedni ciklus sa čijim se koeficijentom hlađenja upoređuju koeficijenti hlađenja drugih modifikovanih ciklusa.

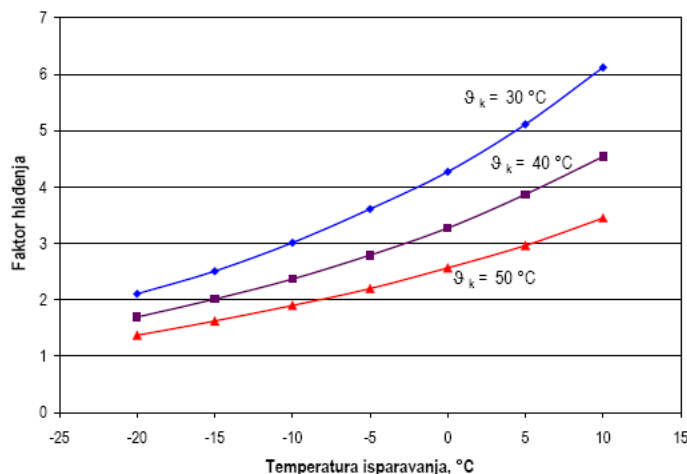
Sa porastom razlike između temperatura kondenzacije i isparavanja dolaze sve više do izražaja osnovni nedostaci uporednog ciklusa (prigušivanje i razmena toplote pri konačnim razlikama temperature kod hlađenja pregrejane pare u kondenzatoru, padovi pritiska pri strujanju rashladnog fluida. itd.), pa se primenjuju određene mere u cilju povećanja koeficijenta hlađenja. One se mogu svrstati u tri kategorije:

- prehlađivanje kondenzata;
- višestepeno prigušivanje;
- višestepeno sabijanje sa međuhlađenjem.



Slika 9.3 Šema kompresorske rashladne instalacije i izgled hlađenog prostora sa isparivačem (hladnjakom)

U zavisnosti od temperatura isparavanja i kondenzacije rashladnog fluida, kao i karakteristika rashladnog kompresora i samog ciklusa, razlikuju se vrednosti koeficijenta hlađenja.



Slika 9.4 Zavisnost koeficijenta hlađenja u funkciji temperature isparavanja i kondenzacije za rashladni fluid R134a

Koeficijent hlađenja postiže vrednosti 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. Vrednosti koeficijenta hlađenja u graničnim slučajevima mogu biti manje od jedan, ali i veće od 6. Na slici 9.4 prikazana je zavisnost koeficijenta hlađenja u funkciji temperature isparavanja i kondenzacije za rashladni fluid R134a.

Primene veštačkog hlađenja se razvrstavaju u tri grupe :

- za održavanje kvaliteta materijala, tj. za usporavanje nepoželjnih promena hemijskih, biohemijskih strukturnih karakteristika raznih proizvoda, u prvom redu za konzervisanje namirnica;
- za stvaranje i održavanje karakteristika ambijenta, tj. da bi se ostvarila klimatizacija prostora u kojima se živi, radi i/ili obavljaju razne proizvodne aktivnosti;
- kada veštačko hlađenje predstavlja glavni ili sporedni proces pri ostvarivanju neke aktivnosti (proizvodnja, istraživanje, lečenje, sport itd.).

9.1.3 Rashladni fluidi

Radna materija koja u rashladnoj mašini ili toplotnoj pumpi obavlja levokretni ciklus naziva se primarni rashladni fluid, ili, kraće, rashladni fluid. Sekundarni rashladni fluid je fluid koji oduzima toplotu hlađenja od hlađenog objekta (izvora toplote) i predaje je (obično isparavajućem) primarnom rashladnom fluidu. Pri tome sekundarni rashladni fluid kruži kao posrednik, u zatvorenom toku, između hlađenog objekta i rashladne mašine (npr: rastvori raznih soli ili etilen glikola u vodi).

Uvođenjem u upotrebu halogenih derivata parafinskih ugljovodonika (poznatih pod široko prihvaćenim zajedničkim komercijalnim nazivom “**freoni**”), tridesetih godina prošlog veka, broj rashladnih fluida silno se povećao; za freone je (najpre u SAD) uveden sistem trocifrenih brojevanih oznaka iza zajedničke oznake **F** (“**Freon**”); kasnije, taj sistem je međunarodno prihvaćen, prilagođen je za sve rashladne fluide, a oznaka **F** zamenjena je novom opštom oznakom **R** („refrigerant”).

U novije vreme se ponekad u literaturi umesto oznake **R** koristi grupa od dva do četiri velika slova koja ukazuju na to koji su elementi zastupljeni u molekulu, tj. ukazuje na tzv. “tip” jedinjenja. Npr. **HC** (ugljovodonici), **CFC** (potpuno halogenizovani hlorofluorouglenici), **HCFC** (delimično halogenizovani hidrochlorofluorouglenici), **FC** (potpuno halogenizovani fluorouglenici) i **HFC** (delimično halogenizovani hidrofluorouglenici). Ovakav sistem označavanja, pored toga što pruža očigledniju informaciju o sastavu, ima dodatnog opravdanja u slučajevima kad se jedno te isto jedinjenje koristi u različite svrhe (kao rashladni fluid, ispenjivač izolacije, rastvarač, itd.).

Neki primeri označavanja rashladnih fluida:

- Brojevima od 400 do 499 označavaju se razne zeotropske smeše.
- Brojevima od 500 do 599 označavaju se razne azeotropske smeše.
- Brojevima od 600-699 obeležavaju se po proizvoljnom redosledu razna organska jedinjenja, koja se koriste ili mogu da se iskoriste kao rashladni fluidi. Tako npr. Za n-butan i izobutan koriste se oznake R 600 odnosno 600a.

Brojevima od 700 pa nadalje označavaju se neorganski rashladni fluidi, tako što se posle prve cifre (7) koja ukazuje da se radi o neorganskom rashladnom fluidu dodaju još dve cifre koje

pokazuju njegovu relativnu molekulsku masu. Npr. amonijak (NH_3) ima oznaku R 717, ugljendioksid (CO_2) ima oznaku R 744 itd.

Brojni rashladni fluidi štetno deluju na razgradnju ozonskog omotača. Ozonski omotač je važan jer upija ultraljubičasto (UV) zračenje sa Sunca, sprečavajući da većina UV zraka dopre do Zemljine površine. UV zračenje talasnih dužina između 280 i 315 nm naziva se UV-B, a štetno je za gotovo sve oblike života. Upijajući većinu UV-B zračenja pre nego što ono dopre do Zemljine površine ozonski omotač štiti našu planetu od štetnih uticaja tog zračenja. Ozon je prisutan i u nižim slojevima atmosfere (tj. u troposferi), ali u nižim koncentracijama nego u stratosferi.

Hlorofluorogljici (CFC) su materije koje imaju najveći uticaj na razgradnju ozona. CFC su se od vremena njihove sinteze (1928. godine) koristili na različite načine: kao radne materije u hladnjacima i klimatizacionim uređajima, kao potisni gas u limenkama aerosola, kao sredstvo za ekspaniranje u proizvodnji fleksibilnih pena za jastuke i madrace, i kao sredstvo za čišćenje u elektronskoj industriji.

Delimično halogenizovani hlorofluorogljikovodoni (HCFC) su slični CFC-ima, pa su se u velikoj meri proizvodili kao zamena u uređajima za hlađenje i za ekspaniranje. HCFC-i manje uništavaju ozon od CFC-a, jer ih atom vodonika čini manje stabilnim i podložnijim razgradnji u donjim slojevima atmosfere, sprečavajući da većina njihovog hlora dospe do stratosfere. Freoni iz grupe fluorogljenika (HFC i FC) ne sadrže hlor i nemaju štetan uticaj na razgradnju ozonskog omotača.

Potencijal razgradnje ozona - ODP

Potencijal razgradnje ozona, ODP (*engl. Ozone Depletion Potential*) zavisi od sposobnosti oslobađanja hlora (Cl) i broma (Br), kao i od vremenske postojanosti u atmosferi. Kao jedinična (referentna) vrednost uzeto je delovanje freona R-11. Ovaj faktor je posledica svih potencijalnih delovanja na ozon koja traju do potpune razgradnje (vrijeme raspada) za ozon štetne materije. Vodonik u molekulama HCFC smanjuje njihovu postojanost u atmosferi na 2 do 20 godina. HFC ne sadrže hlor, pa zato ne razaraju ozon, pa je njihov ODP=0.

Potencijal globalnog zagrevanja - GWP

Atmosfera poput stakla uglavnom propušta kratkotalasno Sunčevo zračenje, ali je slabo propusna za dugotalasno zračenje kojim zrači Zemljina površina. Zato deo energije koja je dozračena u sistem Zemlja-atmosfera ostaje u njemu kao u stakleniku i pretvara se u toplotu. Ovaj efekat se naziva efektom staklene bašte. Potencijal globalnog zagrevanja, GWP (*engl. Global Warming Potential*) neke materije je relativni uticaj te materije na efekt staklene bašte u odnosu na uticaj CO_2 . Kao referentna vrednost uzeto je delovanje CO_2 jer se u atmosferu emituje u najvećim količinama. CO_2 trajno ostaje u atmosferi, pa je zato uvek potrebno navesti za koje je vremensko razdoblje GWP izražen (20, 100 ili 500 godina). Najznačajniji gasovi staklene bašte su: CO_2 , CH_4 , N_2O , HFC-i, PFC-i i SF_6 .

Iako rashladni fluidi iz grupe HFC-a nemaju uticaja na razgradnju ozonskog omotača (ODP = 0), svi halogenizovani ugljovodoni, pa tako i materije iz grupe HFC-a su gasovi staklene bašte sa velikim GWP potencijalom.

U tabeli 9.1 date su vrednosti ODP i GWP za različite rashladne fluide

Tabela 9.1 Vrednosti ODP i GWP za različite rashladne fluide

Rashladni fluid	ODP	GWP		
		20 god	100 god	500 god
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

9.1.4 Osnovne komponente rashladnih mašina

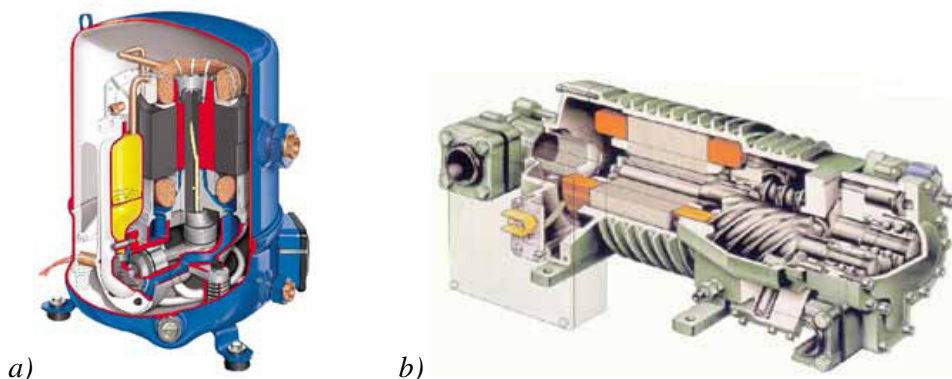
Kompresori su osnovni elementi onih rashladnih mašina čiji se kompenzacioni proces zasniva na utrošku mehaničkog rada. U njima se radna materija (rashladni fluid) sabija kako bi se dostigli i u neophodnoj meri premašili: temperatura ponora i pritisak koji vlada u razmenjivaču toplote sa ponorom.

Rashladni kompresori mogu da se podele prema principu rada, veličini rashladnog učinka, načinu hermetizacije, broju stupnjeva sabijanja, vrsti rashladnog fluida i tako dalje.

Prema principu rada kompresori mogu biti:

Kompresori zapreminskog dejstva u kojima se usisana para (odn. gas) sabija usled smanjivanja zatvorene radne zapremine (tzv. “ćelije”) u kojoj se para nalazi. Prema načinu formiranja (odn. obliku) ćelija i kinematskim karakteristikama koje iz toga proizilaze, ovi kompresori se dele na:

- (klasične) klipne kompresore sa translatorskim kretanjem klipova,
- rotacione kompresore, kod kojih se radna zapremina formira između (jednog ili više) rotora i zidova cilind(a)ra (kućišta), i
- spiralne kompresore, kod kojih se radne zapremine formiraju između spregnutih cilindričnih spiralnih površi u zahvatu, pri čemu pokretna spirala ne rotira već orbitira unutar nepokretne spirale.



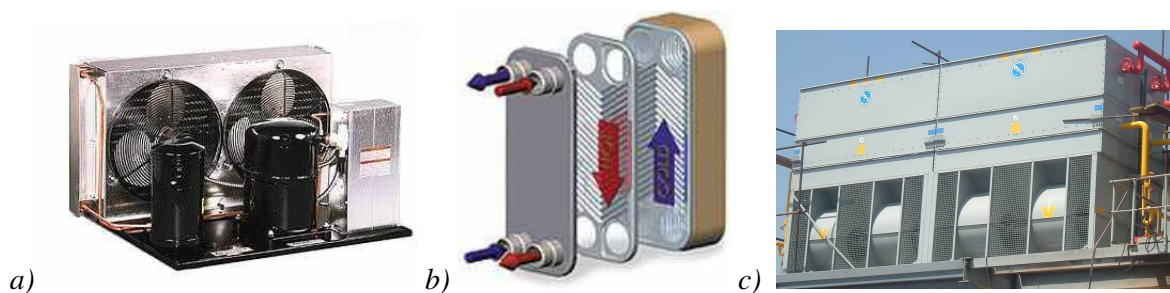
Slika 9.5 Izgled kompresora: a) klipni, b) spiralni (vijčani)

Strujni kompresori, kod kojih je porast pritiska rezultat razmene energije pri opstrujavanju lopatica turbomašine (turbokompresori) ili pri mešanju sa radnom parom koja sa velikom brzinom dolazi iz mlaznika (parni ejektorski kompresori odn. parni ejektori).

Prema veličini rashladnog učinka kompresori se dele na male (do 10 kW), srednje (od 10 do 50 kW) i velike (od 50 do 500 kW i više).

Kondenzatori parnih kompresorskih rashladnih mašina su razmenjivači toplote u kojima se rashladni fluid kondenzuje predajući toplotu sredstvu za hlađenje kondenzatora. U zavisnosti od konstrukcije kondenzatora i pregrejanja pare na ulazu, u kondenzatoru se, osim zone kondenzacije zasićene pare, (ponekad) mogu uočiti i zone hlađenja i kondenzacije pregrejane pare, kao i zona prehlađivanja kondenzata.

Kod uobičajenih rashladnih instalacija kondenzatori se hlade vazduhom i/ili vodom, pri čemu se kod kombinovanog hlađenja koristi efekat vetrenja (ishlapljivanja) vode u vazduh – evaporativni kondenzatori. Kondenzatori toplotnih pumpi namenjenih grejanju, hlade se najčešće vodom ili vazduhom, dok se kod specijalnih toplotnih pumpi kondenzatori hlade onim fluidom čijem je zagrevanju toplotna pumpa namenjena.



Slika 9.6 Izgled kondenzatora: a) vazduhom hlađeni, b) vodom hlađeni - pločasti, c) evaporativni

Isparivači parnih rashladnih mašina su razmenjivači toplote u kojima se isparavajućem rashladnom fluidu dovodi toplota, bilo neposredno od hlađenog objekta, bilo posredno - od sekundarnog rashladnog fluida. Zbog raznovrsne primene rashladnih uređaja, postoji i veliki broj razolikih konstrukcija isparivača.

Klasifikacija (podela) isparivača se obično vrši **prema nameni** (vrsti hlađenog objekta), rashladnom fluidu i prema konstrukciji, dok su ostale klasifikacije najčešće od manjeg značaja. Međutim, imajući u vidu da namena i rashladni fluid u mnogome predodređuju konstrukciju, te podele se dobrim delom podudaraju, i zato je najpogodnija opšta podela prema nameni sa potpodelama prema konstrukciji i vrsti rashladnog fluida (gde je to svrsishodno):

Isparivači za hlađenje tečnosti: Isparivači za hlađenje tečnosti se najčešće izrađuju kao *dobošasti isparivači* sa cevnom snopom unutar doboša, kao *pločasti isparivači*, ili kao *potopljeni bazenski isparivači*; postoje još i specijalne konstrukcije isparivača namenjene za hlađenje tečnosti preko zida suda u kome se ona nalazi; to su obično isparivačke cevne zmijske ili plaštovi oko hlađenog suda.

Isparivači za hlađenje gasova (najčešće vazduha) izrađuju se od orebrenih cevi. Rashladni fluid isparava unutar cevi; orebranje je sa strane vazduha, a rebra su tanka i visoka, pa su koeficijenti orebravanja dosta veliki (obično između 8 i 15). Zbog velike visine (reda veličine prečnika cevi), rebra se najčešće izrađuju posebno, od lima ili limene trake, pa se nakon toga navlače odnosno namotavaju na cevi i na pogodan način fiksiraju na zadatom međusobnom rastojanju;

Specijalni isparivači - pored navedenih, u praksi se koriste i isparivači specijalne namene: za proizvodnju ljuspičastog leda, za brzu proizvodnju leda u kalupima (tzv. “rapid-ice” uređaji) itd.

Veoma važna podela isparivača je prema količini rashladnog fluida koja im se dovodi:

- *suvi*, kada se u isparivač dovodi onoliko tečnosti koliko u njemu može da ispari (u stvari, zbog nesavršenosti regulisanja protoka, dovodi se neznatno manje, tako da iz njega izlazi vrlo malo pregrejane para), ili
- *preplavljeni* (kada im se dovodi višestruko više tečnosti); pri tome se koeficijent cirkulacije n (odnos količine dovedene prema količini isparene tečnosti rashladnog fluida) bira u zavisnosti od vrste hlađenog objekta. Cirkulacija tečnosti kroz preplavljene isparivače može biti pumpna ili gravitaciona.



Slika 9.7 Izgled isparivača za hlađenje vazduha

Pomoćni aparati

Za razliku od glavnih elemenata instalacije, u kojima se ostvaruju osnovne promene stanja koje karakterišu ciklus rashladnog fluida (npr. isparavanje, sabijanje, kondenzacija...), pomoćni aparati su opcionalni elementi rashladne mašine čiji je zadatak da poboljšaju njene termodinamičke i/ili eksploatacione karakteristike.

Prvu grupu pomoćnih aparata sačinjavaju razni razmenjivači toplote (spoljašnji i unutrašnji prehladivači kondenzata, međuhladnjaci, hladnjaci ulja i sl.), prigušni separatori i/ili njihove kombinacije koje omogućavaju modifikovanje ciklusa u cilju povećanja učinka i/ili koeficijenta hlađenja.

Drugu grupu sačinjavaju razni pomoćni aparati čiji je osnovni zadatak da spreče neželjene režime rada, ublaže ili eliminišu posledice usled nesavršenosti konstrukcije i/ili postupaka montaže i time omoguće dugotrajan i nesmetan rad, kao i lakše opsluživanje (npr. odvajači ulja, odvajači vazduha, filteri, sušači...). Pri tome, pojedini pomoćni aparati iz ove grupe doprinose i uštedi energije, zato što, intenzivirajući razmenu toplote, omogućavaju povoljnije temperaturske režime rada.

Cevovodi povezuju sve relevantne komponente u jedinstvenu rashladnu instalaciju, odnosno toplotnu pumpu.

Pri strujanju u cevovodima, eksergija rashladnog fluida opada zbog trenja (odnosno pada pritiska) i razmene toplote pri konačnim razlikama temperatura. Međutim, pad eksergije rashladnog fluida i investicioni troškovi nisu jedini parametri o kojima treba voditi računa pri izboru brzine strujanja (čime se u stvari određuje unutrašnji prečnik cevi): u nekim slučajevima brzina strujanja mora biti dovoljno velika da obezbedi transport tečne faze ili ulja i time spreči njihovo nagomilavanje u cevovodu, dok je u drugim ograničena dopuštenim padom pritiska (npr. u usisnim vodovima prema kompresorima). Zbog toga, pri optimizaciji brzine u cevovodima,

postoje ograničenja u izboru brzine koja nameću zahtevi za nesmetanim funkcionisanjem instalacije u svim relevantnim režimima rada

Automatika rada rashladnih instalacija

Pouzdan, ekonomičan i energetski efikasan rad rashladne instalacije podrazumeva stalan nadzor, održavanje relevantnih parametara u zadatim granicama, kao i blagovremene intervencije u cilju otklanjanja nepogodnih radnih režima koji mogu prouzrokovati opasnosti po ljude, okolinu, uskladištene proizvode i/ili samu instalaciju. Bez automatizacije, ostvarivanje tih ciljeva je neekonomično ili čak nemoguće.

Za automatizaciju rada rashladnih instalacija koriste se:

Uređaji za automatski nadzor i signalizaciju, koji služe za merenje, pokazivanje i beleženje relevantnih parametara rada mašine ili hlađenog objekta. Za prikazivanje radnog stanja instalacije i objekta koristi se se često tzv. sinoptička šema instalacije na kojoj se lampicama raznih boja označava pogonsko stanje elemenata instalacije.

Uređaji automatske zaštite i/ili upozoravanja, koji automatski isključuju iz rada pojedine delove ili celokupnu instalaciju i/ili aktiviraju odgovarajući zvučni i/ili svetlosni alarm ako neki od relevantnih parametara rada izađe iz predviđenog opsega, te može da uzrokuje oštećenje ili havariju mašine, opasnost po zdravlje ljudi ili hlađene proizvode i/ili izazove ekološke posledice. Kao zaštitni uređaji se najčešće koriste termostati i presostati; to su termometri, odnosno manometri, sa električnim prekidačem, koji automatski prekidaju rad štice mašine kada predmetna temperatura ili pritisak dobiju neželjene vrednosti;

Uređaji za automatsku regulaciju, koji služe za održavanje relevantnih parametara rada rashladnog postrojenja i hlađenog objekta, najčešće u unapred zadatim granicama ili (ređe) po unapred zadatom programu. U novije vreme raste trend primene tzv. optimalnih regulatora kod kojih je zadata vrednost regulisane veličine funkcija izmerenih vrednosti jednog ili više uticajnih parametara i određuje se računarom po zadatom, prethodno unetom programu.

Merenje relevantnih parametara

Najznačajniji relevantni parametri rada rashladne instalacije su pritisci i temperature rashladnog fluida ili ulja, protoci fluida i nivoi tečnosti (rashladnog fluida ili ulja) u sudovima; kod klimatizovanih objekata, koji se hlade (ili greju), najznačajniji su temperatura i vlažnost vazduha, a kod ostalih objekata temperatura, protok, pritisak i/ili nivo tečnosti fluida koji se hladi (ili greje).

Za merenje temperature koriste se stakleni termometri sa tečnošću (živa, alkohol ili neka druga tečnost, zavisno od temperaturskog područja), električni termometri (najčešće otpornički, termoelektrični termometri (sa pojedinačnim ili redno vezanim termoparovima) ili, znatno ređe, bimetalni ili gasni termometri).

Za merenje pritiska koriste se najčešće manovakuometri (sa burdonovom cevi, sa pijezelektričnim davačima, ili membranski); Pošto u području vlažne pare postoji jednoznačna veza između temperature i pritiska, manovakuometri za rashladni fluid su opremljeni i sa temperaturskom funkcionalnom skalom koja pokazuje ravnotežnu temperaturu zasićenja za izmereni pritisak.

Za merenje vlažnosti vazduha se najčešće koriste električni higrometri bazirani na principu merenja elektroprovodnosti rastvora neke higroskopne soli (najčešće vodeni rastvor LiCl) u

ravnoteži sa vazduhom čija se vlažnost meri. Za merenje vlažnosti koriste se i psihrometri, kao i razne vrste indikatora tačke rose;

Za merenje protoka koriste se uglavnom razni rotametri, standardne prigušnice ili mlaznice kao i razni protokomeri sa obrtnim kolom; u novije vreme se koriste i protokomeri koji se baziraju na **Doppler**-ovom efektu;

Za merenje nivoa tečnosti koriste se davači sa plovkom i kapacitivne sonde.

Regulisani parametri i pripadajući regulatori

Najvažniji relevantni parametri od čijeg uspešnog kontrolisanja bitno zavisi ispravan rad mašine i/ili spregnutog objekta (grejanja i/ili hlađenja) su:

- Temperatura hlađenog objekta;
- Protok rashladnog fluida kroz suve isparivače
- Pritisak (temperatura) isparavanja
- Pritisak (temperatura) kondenzacije
- Temperatura pare na potisu kompresora
- Nivo tečnosti rashladnog fluida u preplavljenim isparivačima ili separatorima

Vrste regulatora

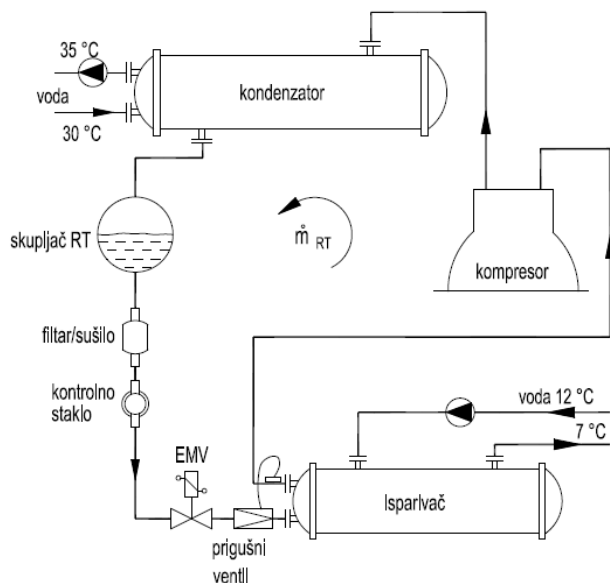
U rashladnim instalacijama primenjuju se, kako regulatori direktnog dejstva (bez pojačivača), kod kojih se regulišući organ pokreće neposredno od strane davača, tako i regulatori posrednog dejstva, koji imaju pojačavač i kod kojih regulišući organ radi u servo sprezi (za njegovo pokretanje se obično koristi pritisak rashladnog fluida ispred regulatora) ili pak pomoćna energija dovedena od spolja (elektromagnetni, elektromotorni, pneumatski ili kombinovani regulatori); pri tome regulatori mogu biti bilo kontinualnog, bilo pozicionog dejstva (najčešće dvopozicioni, tzv. “on-off” regulatori).

Potrebna tačnost regulisanja je obično takva da dopušta primenu statičkih regulatora (tzv. **Proporcionalni**, ili P regulatori). Astatički regulatori (tzv. **Integrirajući**, ili, I regulatori), kod kojih je *brzina promene regulišuće veličine srazmerna odstupanju regulisane veličine od zadate vrednosti*, su u principu savršeniji i tačniji, ali su složeniji i skuplji, pa se zato znatno ređe primenjuju. Ostali, još složeniji tipovi regulatora (npr.: PD, PI i PID), koji imaju stabilizirajuće naprave pomoću kojih se skraćuju prelazni procesi i smanjuju dinamička odstupanja, se, zbog svoje visoke cene, samo izuzetno koriste pri automatizaciji rashladnih uređaja.

9.1.5 Indirektni sistemi hlađenja

Kod direktnih sistema hlađenja isparivač rashladne mašine je ujedno i hladnjak koji se koristi za odvođenje toplote od hlađenog objekta. Međutim, kada se želi izbeći kontakt rashladnog fluida i hlađenog objekta ili smanjenje količine rashladnog fluida u instalaciji (i njegovog cevnog razvoda kroz objekat), primenjuju se sekundarni rashladni fluidi u indirektnim sistemima. Kao što je već bilo pomenuto, sekundarni rashladni fluid kruži kao posrednik, u zatvorenom toku, između hlađenog objekta i rashladne mašine – hladi se u isparivaču rashladne mašine, a zagreva u hladnjaku, oduzimajući toplotu hlađenom objektu. Kada su u pitanju relativno visoke temperature hlađenja (iznad 0°C), kao što je slučaj u komfornoj klimatizaciji, kao sekundarni rashladni fluid se koristi voda. U cilju sniženja temperature mržnjenja sekundarnog rashladnog fluida, prilikom primene za niže temperaturske režime, mogu se koristiti vodeni rastvori glikola i soli. Rashladne mašine koje se koriste za pripremu hladne vode nazivaju se čilerima. Uobičajeni temperaturski

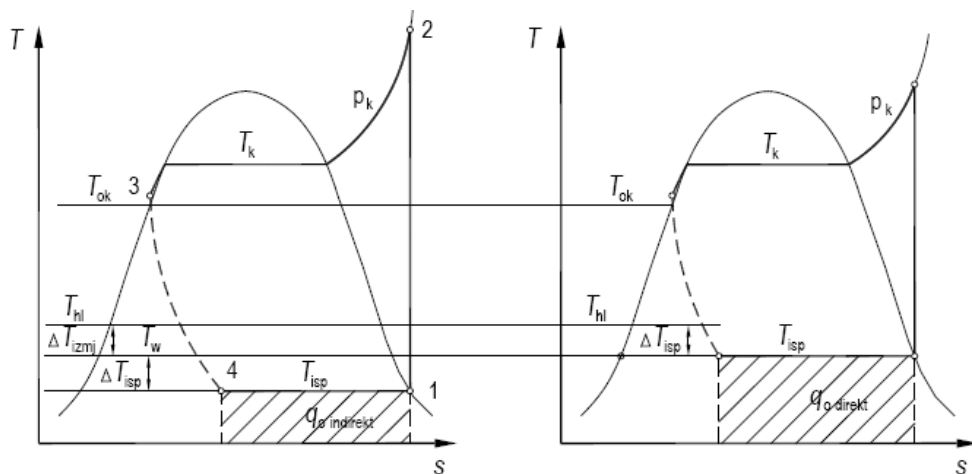
režim hladne vode za klimatizacione sisteme je $7/12^{\circ}\text{C}$. Na slici 9.8 prikazana je šema čilera sa vodom hlađenim kondenzatorom.



Slika 9.8 Šema čilera sa vodom hlađenim kondenzatorom

Hladna voda pripremljena u čileru vodi se do hladnjaka u uređajima za klimatizaciju, a to mogu biti hladnjaci u klima komorama ili hladnjaci koji se nalaze u klimatizovanim prostorijama (kao što su ventilator konvektori ili cevne zmijske panela ugrađenih u tavanice ili zidove prostorija koje se hlade). Ukoliko se izvodi sistem panelnog hlađenja, temperaturski režim hladne vode je viši nego u drugim slučajevima, jer se mora izbeći kondenzacija vlage iz vazduha na rashladnim površinama (tzv. visokotemperatursko hlađenje).

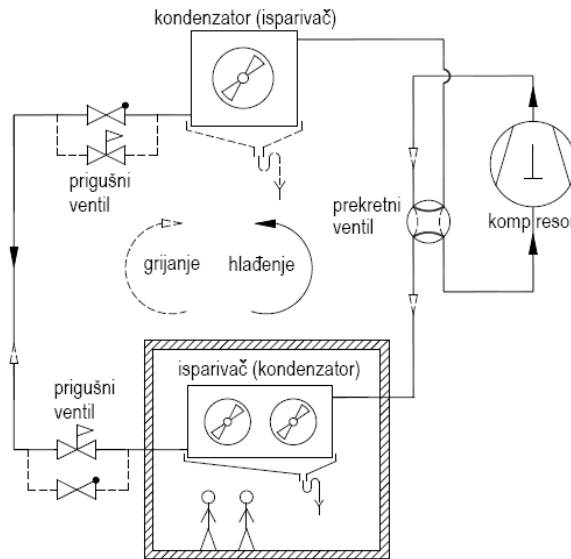
Termodinamički gledano direktni sistem hlađenja je u prednosti u odnosu na indirektni sistem. S obzirom da indirektni sistem sadrži jedan razmenjivač više, postiže niže temperature isparavanja u odnosu na direktni, (poređenje ciklusa je dato na slici 9.9). Time je za isti rashladni učinak potrebno sistemu dovesti veću pogonsku snagu, što za posledicu ima manji koeficijent hlađenja indirektnih sistema.



Slika 9.9 Prikaz poređenja indirektnog i direktnog sistema hlađenja

9.2 TOPLOTNE PUMPE

Toplotne pumpe su rashladni uređaji koji rade po levokretnom ciklusu, ali se kod njih toplota kondenzacije (koja je kod rashladnih mašina termodinamički beskorisna toplota koja se odvodi u okolinu) koristi za zagrevanje objekta, a toplota potrebna za isparavanje rashladnog fluida se oduzima od okoline (koja se kod rashladne mašine oduzima od hladnog prostora). Okolina (spoljni vazduh, podzemne i nadzemne vode ili tlo) predstavljaju toplotni izvor. Prema tome, jedna instalacija sa mašinom koja radi po levokretnom ciklusu može se koristiti i u svrhu hlađenja i u svrhu grejanja. Na slici 9.10 dat je prikaz rada rashladnog uređaja u režimu toplotne pumpe.



Slika 9.10 Prikaz rada rashladnog uređaja u režimu toplotne pumpe

Opravdanost primene toplotnih pumpi u svrhe grejanja prostora je velika. Toplotne pumpe se smatraju obnovljivim izvorom energije, jer se koristi raspoloživa toplota iz okoline. Efikasnost toplotne pumpe izražava se koeficijentom grejanja ε_g ili *COP* (engl. *Coefficient of Performance*), koji predstavlja odnos dobijene toplote i uloženog rada (električne energije za pogon kompresora):

$$\varepsilon_g (COP) = \frac{q_{kond}}{w} = \frac{\dot{Q}_{kond}}{P_{komp}} \quad (9.2)$$

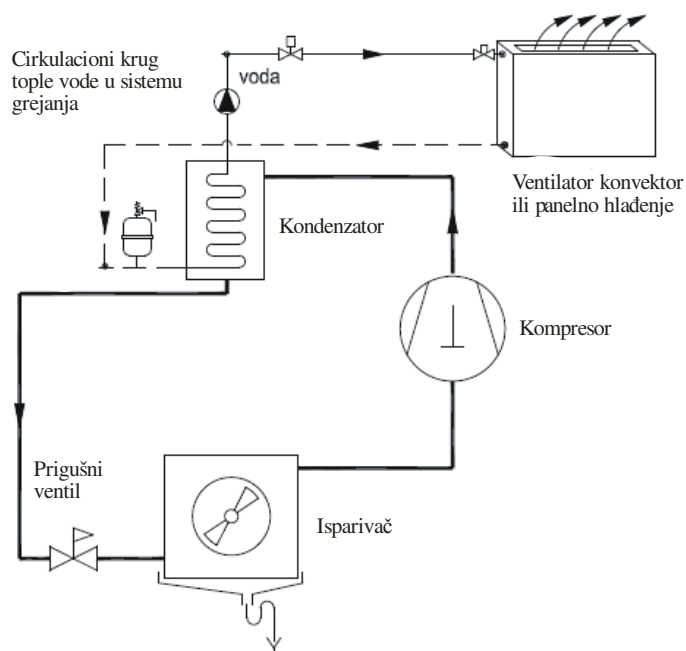
9.2.1 Izvori toplote toplotnih pumpi

Za postrojenje toplotne pumpe od najvećeg su značaja svojstva toplotnog izvora. Može se reći da je postrojenje za grejanje sa toplotnom pumpom onoliko dobro, koliko je dobar njegov toplotni izvor. Kao niskotemperaturski toplotni izvori koriste se voda (rečna, jezerska, morska i podzemna), vazduh, otpadna toplota, Sunce ili se isparivač zakopava u zemlju, pri čemu tlo predstavlja izvor toplote. Da bi se osigurao ekonomičan rad toplotne pumpe, za izvor toplote se postavlja niz zahteva, među kojima su najvažniji sledeći:

- toplotni izvor treba da osigura potrebnu količinu toplote u svako doba i na što višoj temperaturi,
- troškovi za priključenje toplotnog izvora na toplotnu pumpu treba da budu što niži,
- energija za transport toplote od izvora do isparivača treba biti što manja.

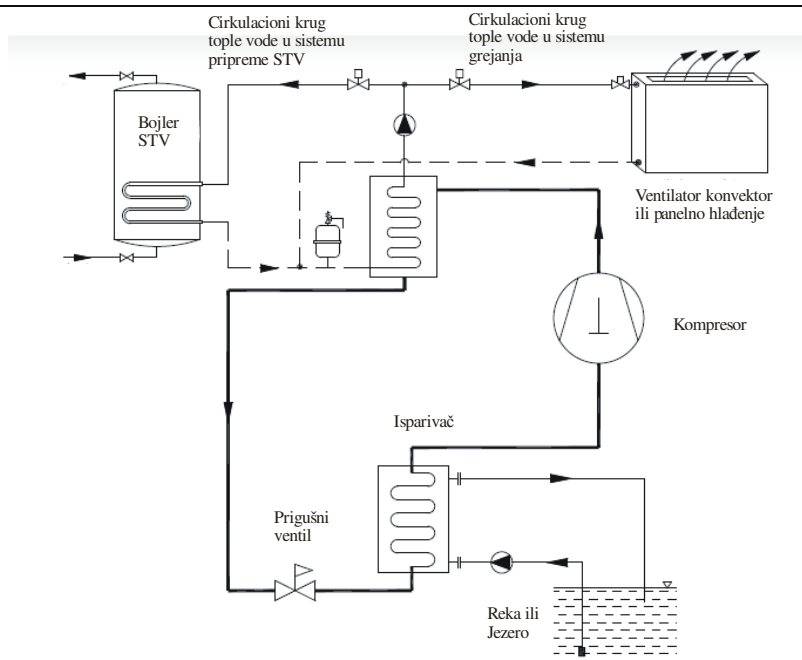
Vazduh kao izvor toplote toplotne pumpe je jako povoljan sa aspekta raspoloživosti i pristupačnosti. Orebreni razmenjivač toplote sa prinudnom cirkulacijom vazduha koristi se za razmenu toplote između vazduha i rashladnog fluida (slika 9.11). Razlika temperature spoljnog vazduha, kao izvora toplote i rashladnog fluida kreće se od 6 do 10°C. Kod izbora ovakve izvedbe toplotne pumpe, potrebno je voditi računa o sledeće dve stvari: temperaturi spoljnog vazduha za posmatranu lokaciju i stvaranjuinja i leda na orebrenim sekcijama isparivača.

Loša strana vazduha kao izvora toplote su varijacije njegove temperature, što znatno utiče na koeficijent grejanja. Snižavanjem temperature okoline smanjuje se i grejni učinak toplotne pumpe. Ovi uređaji se ne dimenzionišu na puno opterećenje, odnosno za najnepovoljniju radnu tačku, jer bi u najvećem delu godine sistem bio predimenzionisan. U zavisnosti od temperaturi spoljnog vazduha, koeficijent grejanja se kreće od 2,5 do 3,5. Nedostatak toplotnih pumpi koje rade s spoljnim vazduhaom kao izvorom toplote su visoka buka i velika količina vazduha koja je potrebna zbog male vrednosti specifičnog toplotnog kapaciteta. Hlađenjem vazduha za 6 do 8°C dobijaju se optimalni odnosi između: količine vazduha, veličine ventilatora, veličine isparivača i koeficijenta grejanja. Važno je primetiti da ugradnjom četvorokrakog ventila uređaj u tokom leta može raditi u režimu hlađenja.



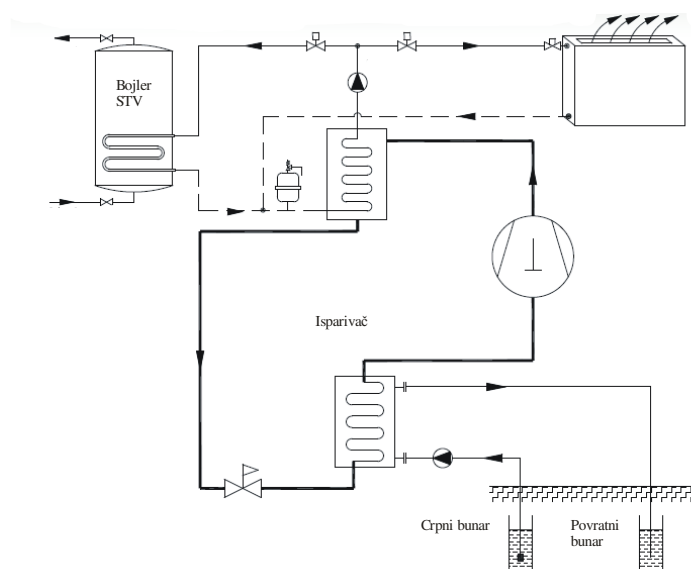
Slika 9.11 Šema toplotne pumpe sa vazduhom kao izvorom toplote

Nadzemne vode kao izvor toplote u mnogim slučajevima su pristupačne i jeftine za primenu (slika 9.12). Takve vode se mogu uobičajeno koristiti pri temperaturama višim od +4°C. Na osnovu iskustva i proračuna, temperaturska razlika vode ohlađene u isparivaču ne bi trebala biti manja od 4°C (npr. od 4 do 6°C). Korišćenje toplotne pumpe sa ovakvim izvorima toplote ekonomski je opravdano kod spoljnih temperatura iznad granice od 0°C. Pri tome veliku ulogu imaju položaj i veličina reke ili jezera. Nedostatak ovog izvora je ograničenost njegove primene samo na mali broj potrošača koji leže uz samo jezero. Za potrošače koji su udaljeni od jezera investicioni i pogonski troškovi za crpljenje i povratak vode u jezero su preveliki.



Slika 9.12 Šema toplotne pumpe sa površinskom vodom kao izvorom toplote

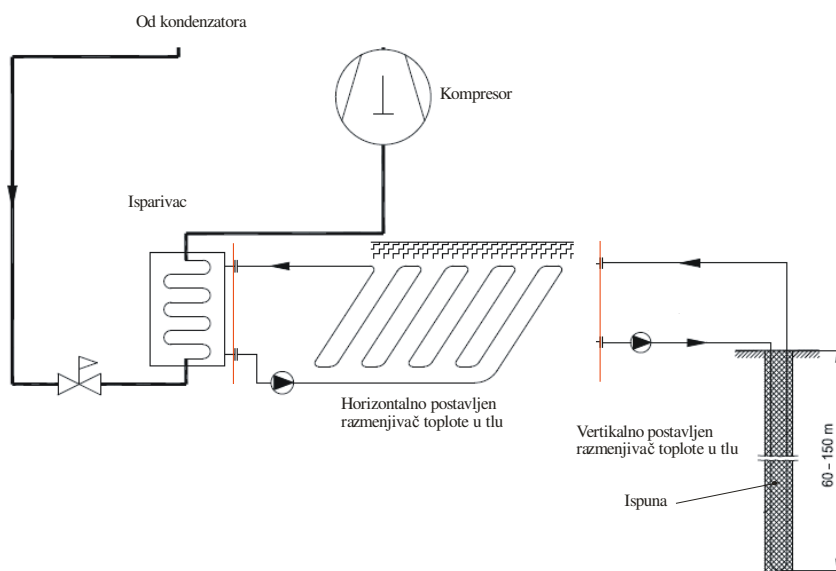
Podzemne vode kao izvor toplote su povoljne za primenu zbog visoke i relativno ujednačene temperature, koja u većini slučajeva iznosi između 8 i 12°C, što zavisi od dubine sa koje se crpi. Za crpljenje podzemne vode potrebna su dva bunara, crpni i povratni (slika 9.13). Razmak između ovih bunara treba biti što je moguće veći, a po mogućnosti ne manji od 10 m. Crpni bunar treba da daje u svim vremenima pogona dovoljnu količinu vode, odnosno izdašnost crpnog bunara je najvažnija za projektovanje ove toplotne pumpe. Potopljena crpna pumpa se ugrađuje obično do dubine 15 m kako bi se smanjili pogonski troškovi pumpe. Ispod pumpe, ostavlja se slobodna visina bunara koja omogućuje nakupljanje peska i nečistoća. Prečnik bunara je obično 220 mm ili veći. Protok pumpe za vodu proračunava se na tempersturskoj razlici vode na isparivaču od 4 do 5°C.



Slika 9.13 Šema toplotne pumpe sa podzemnom vodom kao izvorom toplote

Tlo kao izvor toplote predstavlja ogroman toplotni izvor koji se može koristiti kako za grejanje tako i za hlađenje prostora. Iako se hlađenje može ostvariti neposrednim korišćenjem razmenjivača toplote u tlu, u svrhu grejanja je po pravilu potrebno upotrebiti toplotnu pumpu. Ugradnjom četvorokrakog ventila, toplotna pumpa se načelno zimi može koristiti za grejanje, a leti za hlađenje. Glavna prednost zemlje kao izvora ili ponora toplote je u relativno konstantnoj temperaturi već na dubini od 2 m (od 7 do 13°C), koja omogućuje rad u optimalnoj projektnoj tački, bez dnevnih i sezonskih varijacija.

Horizontalna izvedba razmenjivača toplote (slika 9.14) zahteva nešto niže investicione troškove, ali zbog nedostatka potrebne slobodne površine često nije primenljiva, osim u ruralnim područjima. Potrebna slobodna površina je otprilike dvostruko veća od grejane površine objekta. Najčešće se razmenjivač toplote polaže u tlo u obliku snopa vodoravnih cevi na dubini od 1,2 do 1,5 m, sa međusobnim razmakom cevi od 0,5 do 1 m, u zavisnosti od sastava i vrste tla. Približno na svaki m² grejanog prostora treba u zemlju položiti 1,5 do 2 m cevi. Razmenjivačke sekcije koje se paralelno spajaju, treba da budu podjednake dužine radi lakšeg balansiranja razmenjivača. Dužina jedne razmenjivačke sekcije iznosi do 100 m. Prečnik polietilenske cevi uglavnom iznosi 25 ili 32 mm. Učinak razmenjivača, kreće se u granicama od 15 do 35 W/m², pri čemu se najbolja efikasnost dobija za glineno tlo i tlo sa podzemnim vodama.



Slika 9.14 Šema toplotne pumpe sa tлом kao izvorom toplote

Vertikalna izvedba razmenjivača do dubina od 60 do 150 m (200 m) često je prihvatljiva u gusto naseljenim područjima, pogotovo na mestima gde je prostor uređen, pri čemu dolazi do minimalnih promena spoljnog izgleda okoline. Ovakvi su sistemi široko prihvaćeni u razvijenom svetu, u čemu prednjače Švedska, SAD, Austrija, Nemačka, Švajcarska, Francuska. Koliko se toplote može oduzeti tlu zavisi od njegovog sastava i vlažnosti, kao i od mesta polaganja cevi. Do sada sprovedena istraživanja, kao i u praksi instalirani sistemi 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. Razmenjivač (fabrički predmontiran) se u tlo polaže u dve osnovne izvedbe: kao dvostruka U cev ili kao koaksijalna cev pri čemu kroz unutrašnju PE cev struji hladni fluid (voda + glikol), dok se kroz spoljnu metalnu cev zagrejani fluid vraća na isparivač.

9.3 GODIŠNJA POTREBNA ENERGIJA ZA HLAĐENJE

Godišnja potrebna energija za hlađenje izračunava se prema standardu SRPS EN ISO 13790, analogno potrebnoj finalnoj energiji za grejanje, pri čemu se mogu primeniti sezonski (tj. mesečni) model ili časovni model proračuna. Potrebna godišnja energija za hlađenje je zapravo količina toplote koju tokom letnjeg perioda treba odvesti iz zgrade kako bi se održavala željena temperatura unutrašnjeg vazduha. Za razliku od zimskog perioda, tokom leta je značajno više izražena nestacionarnost razmene toplote sa okolinom, pa je od velike važnosti uzeti pravilno u obzir akumulaciona svojstva zgrade kroz odgovarajuće dinamičke parametre.

Godišnja potrebna energija za hlađenje izračunava se kao:

$$Q_{C,nd} = (Q_{int} + Q_{sol}) - \eta_{C,ls} \cdot (Q_T + Q_V) \quad [\text{kWh/a}], \quad (9.3)$$

gde su:

$Q_{C,nd}$ - Godišnja potrebna energija za hlađenje [kWh/a]

$Q_{int} + Q_{sol}$ - Godišnja količina toplote koja potiče od unutrašnjih dobitaka toplote i dobitaka usled sunčevog zračenja [kWh/a]

$\eta_{C,ls}$ - Faktor iskorišćenja gubitaka toplote za period hlađenja

$Q_{H,gn}$ - Godišnja količina toplote koja potiče od transmisionih i ventilacionih gubitaka toplote [kWh/a]

Specifična godišnja potrebna toplota za hlađenje, $Q_{C,an}$ predstavlja količnik godišnje potrebne toplote za hlađenje i korisne površine zgrade:

$$Q_{C,an} = \frac{Q_{C,nd}}{A_f} \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})], \quad (9.4)$$

gde je:

A_f – korisna površina zgrade [m^2].

Ukupna godišnja energija za hlađenje, osim finalne, obuhvata i gubitke u sistemu za hlađenje, koji se odnose na proizvodnju rashladne energije, gubitke u transformaciji ili predaji toplote i gubitke u transportu do potrošača:

$$Q_C = Q_{C,nd} + Q_{C,ls} \quad (9.5)$$

10 OPTIMIZACIJA RADA KLIMATIZACIONIH SISTEMA

10.1 MERE OPTIMIZACIJE RADA SISTEMA

Kada je bilo reči o uticajnim parametrima na potrošnju energije KGH sistema, pomenuto je da veliki uticaj na potrošnju energije za rad sistema tokom godine ima izbor projektnog rešenja samog sistema, izvora energije, režima korišćenja i nivoa automatske regulacije. Kako bi bilo moguće pravilno projektovati sistem i integrisati ga u zgradu, potrebno je poznavati mogućnosti primene određenih tehničkih rešenja koja značajno mogu doprineti energetske performansama sistema, uštedama energije za pogon tokom godine i smanjenju eksploatacionih troškova. Ova grupa mera jesu mere optimizacije eksploatacije tehničkih sistema.

Neke od mera koje se mogu primeniti kod klimatizacionih postrojenja, o kojima će biti reči, su:

- primena cirkulacionih pumpi i ventilatora sa promenljivim brojem obrtaja;
- korišćenje otpadne toplote vazduha, kako u letnjem tako i u zimskom režimu;
- primena indirektnog adijabatskog hlađenja;
- korišćenje otpadne toplote kondenzacije rashladnih uređaja i
- primena tehnike noćne ventilacije zgrada.

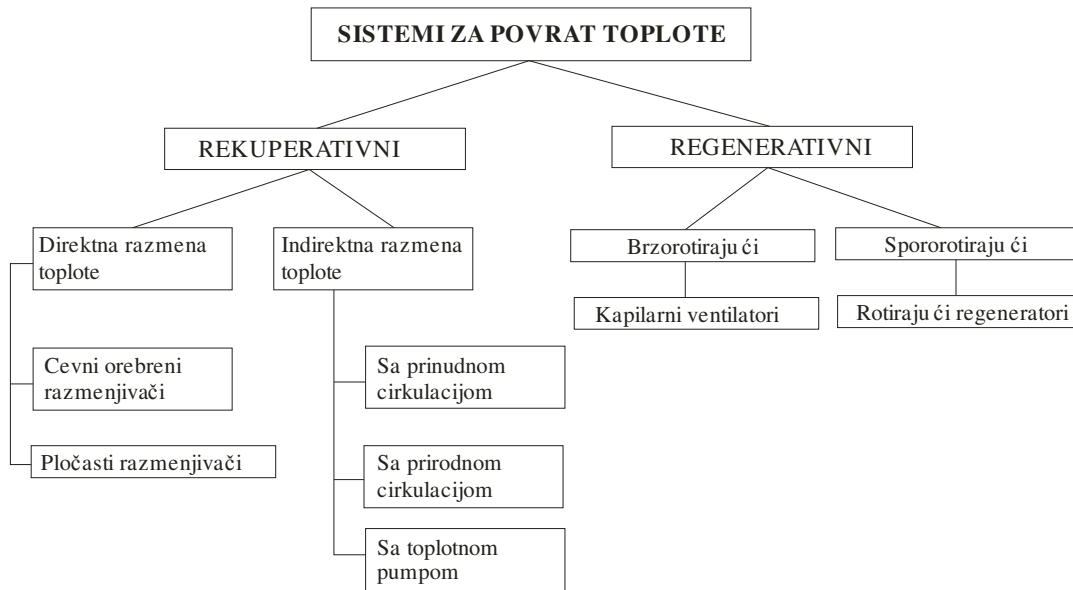
O primeni cirkulacionih pumpi sa kontinualno promenljivim brojem obrtaja, koje omogućavaju kvantitativnu regulaciju rada sistema, bilo je reči u poglavlju 5, kada su razmatrane mere unapređenja sistema toplovodnog grejanja. U praksi se pokazalo da, osim smanjenja gubitaka prilikom rada sistema pravilnom regulacijom, pumpe sa varijabilnim protokom znatno štede električnu energiju za pogon, i to od oko 40% godišnje, u poređenju sa pumpama koje rade sa konstantnim brojem obrtaja. Isto važi za ventilatore, kada se radi o vazдушnim sistemima klimatizacije koji rade sa varijabilnom količinom vazduha - VAV sistemi (*engl. Variable Air Volume*).

10.1.1 Korišćenje otpadne toplote vazduha

Generalno, povratom otpadne toplote iz otpadnih medijuma koristi se toplotna energija sadržana u njima, koja bi se inače neiskorišćena bacila u okolinu. Na taj način se smanjuju pogonski troškovi: ušteda goriva i električne energije, smanjuje se instalisana snaga i gabariti opreme i doprinosi se očuvanju životne sredine. Zbog toga, pitanje koje se nameće nije da li je potrebno koristiti sisteme povrata otpadne toplote, već kada i kako ih koristiti. Odgovori na ovo pitanje zavise od niza uticajnih parametara, pa je za svaki slučaj ponaosob potrebno sprovesti analizu isplativosti. Svakako, za velike sisteme je isplativo koristiti otpadnu toplotu. Kada su u pitanju vazdušni sistemi centralne klimatizacije, korišćenje otpadne toplote vazduha je gotovo obavezno kod sistema koji imaju protok spoljnog vazduha preko 3000 m³/h.

Sistem povrata toplote u vazдушnim klimatizacionim sistemima funkcioniše po principu razmene toplote prilikom strujanja otpadnog i svežeg vazduha. Proces razmene toplote između svežeg i otpadnog vazduha može se koristiti i u letnjem i u zimskom režimu, pri čemu se leti svež vazduh predhlađuje, a zimi predgreva strujanjem kroz razmenjivač toplote. Za ocenu efikasnosti povrata toplote koriste se veličine kao što su: stepen povrata toplote, stepen povrata vlage i dodatni pad pritiska pri strujanju svežeg vazduha kroz razmenjivač toplote. Razmenjivač toplote u kome se koristi otpadna toplota predstavlja dodatni otpor za strujanje vazduha i ne sme značajno povećati napor i snagu potisnog ventilatora u sistemu.

Na slici 10.1 prikazana je podela sistema za korišćenje otpadne toplote vazduha.



Slika 10.1 Podela sistema za korišćenje otpadne toplote vazduha

Stepen povrata toplote definiše se kao toplote koja se predala svežem vazduhu i toplote koja se baca u okolinu:

$$\eta = \frac{Q_P - Q_S}{Q_R - Q_{SV}} \quad (10.1)$$

Kada dolazi do razmene samo osetne toplote (u rekuperativnim razmenjivačima) onda se stepen rekuperacije može definisati preko odnosa promene temperatura vazduha koji struje kroz razmenjivač toplote, i to:

- na strani otpadnog vazduha:

$$\eta_t = \frac{\theta_C - \theta_D}{\theta_C - \theta_A} \quad (10.2)$$

- na strani svežeg vazduha:

$$\eta_t = \frac{\theta_B - \theta_A}{\theta_C - \theta_A} \quad (10.3)$$

gde su temperature vazduha:

A – svež vazduh na ulazu u rekuperator,

B – svež vazduh na izlazu iz rekuperatora,

C – recirkulacioni vazduh (odvodni vazduh iz prostorije) i

D – otpadni vazduh.

Kod regenerativnih razmenjivača dolazi do prenosa ukupne količine toplote – suve i latentne, tj, razmenjuje se i toplota i vlaga. Tada se stepen povrata toplote mora definisati preko odnosa promene entalpija vazduha:

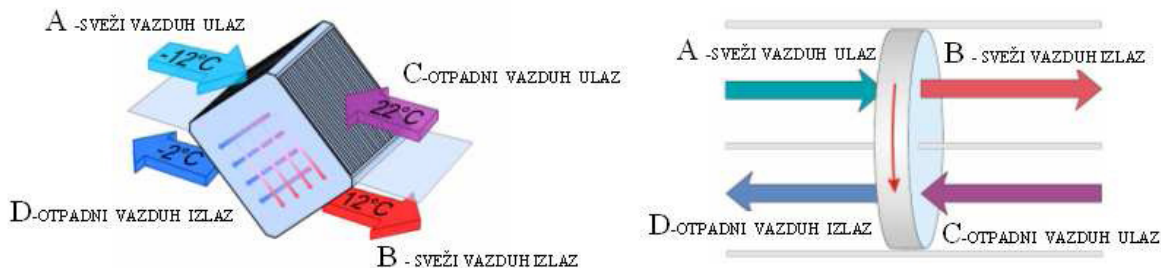
- na strani otpadnog vazduha:

$$\eta = \frac{h_C - h_D}{h_C - h_A}, \quad (10.4)$$

- na strani svežeg vazduha:

$$\eta = \frac{h_B - h_A}{h_C - h_A}. \quad (10.5)$$

Na slici 10.2 dat je šematski prikaz strujanja vazduha kroz pločasti rekuperativni razmenjivač toplote i rotacioni regenerativni razmenjivač toplote.



Slika 10.2 Šematski prikaz strujanja vazduha kroz pločasti rekuperativni razmenjivač toplote (levo) i rotacioni regenerativni razmenjivač toplote (desno)

Rekuperativni razmenjivači omogućavaju razmenu osetne toplote preko ploča ili cevi bez međusobnog dodira dve struje vazduha. Prednost ovakvih razmenjivača je što su struje otpadnog vazduha (koji može biti zagađen) i svežeg vazduha potpuno odvojene i nema mogućnosti mešanja. Nedostaci su manji stepen povrata toplote, veći pad pritiska za strujanje svežeg i otpadnog vazduha, kao i veći prostor za ugradnju u poređenju sa regenerativnim razmenjivačima. Izvedba klima komore sa razmenjivačima toplote koji koriste otpadnu toplotu su spratne komore, pa je potrebno obezbediti dovoljno prostora u mašinskim salama za smeštaj opreme i kanala za vazduh.

Na slici 10.3 dat je izgled pločastog rekuperatora i procesi promene stanja svežeg (crvena linija) i otpadnog vazduha (zelena linija) prilikom stujanja kroz rekuperator (zimski režim).



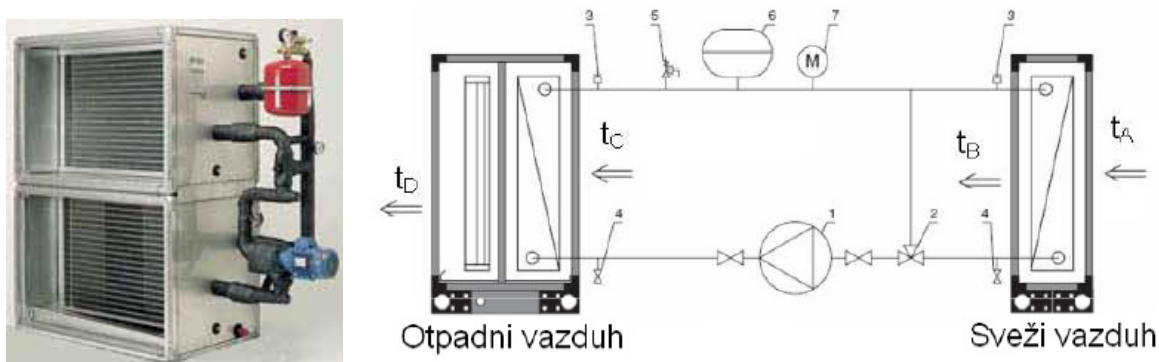
Slika 10.3 Pločasti rekuperator i promena stanja svežeg i otpadnog vazduha

Ako struja otpadnog vazduha ima veći sadržaj vlage, tj. stanje čija je temperatura tačke rose iznad temperature spoljnog vazduha, doći će do pojave kondenzacije u rekuperatoru na strani otpadnog vazduha. Zato se rekuperator izводи sa kadicom i mogućnošću odvoda kondenzata. Pri

jako niskim temperatura spoljnog vazduha može doći do pojave leda na površini razmenjivača, a to negativno utiče na razmenu toplote i može dovesti do začepljenja kanala za stujanje vazduha. kako bi se ova pojava izbegla, postavlja se obilazni vod oko rekuperatora ili električni predgrejač spoljnog vazduha.

Pločasti rekuperatori se izrađuju od aluminijumskog lima, nerđajućeg čelika ili plastike. Debljina ploča je oko 1mm, a razmak između njih je od 5 do 10 mm. Širina razmenjivača može ići i do 3 m za komore protoka vazduha do 100 000 m³/h. Stepenn povrata toplote pločastih rekuperatora kreće se od 50 do 75% uz brzine strujanja vazduha od 2 do 3 m/s.

U indirektno rekuperatore (sa posrednim medijumom između struja vazduha) spada zatvoreni kružni sistem sa glikolnim razmenjivačima toplote. Ovaj sistem ima dva razmenjivača vazduh-glikol (najčešće rastvor glikola, jer se voda izbegava zbog mogućnosti smrzavanja). Razmenjivači su lamelastog tipa, od bakarnih cevi sa aluminijumskim rebrima na strani vazduha ili čeličnih cevi sa rebrima od čeličnog lima. Glikol je posrednik koji cirkuliše kroz razmenjivače koji su povezani cevovodom. U zimskom režimu, otpadni vazduh zagreva glikol u prvom razmenjivaču, a onda se tako zagrejan glikol dovodi u drugi razmenjivač, gde predaje toplotu svežem vazduhu. Ovakva izvedba je povoljna kada su mesta dovoda svežeg vazduha i odvoda otpadnog vazduha udaljena. Razmenjivači se obično sastoje od 2 do 8 redova cevi. Na slici 10.4 prikazan je izgled glikolnog rekuperatora i šema povezivanja.



Slika 10.4 Glikolni rekuperator sa prinudnom cirkulacijom

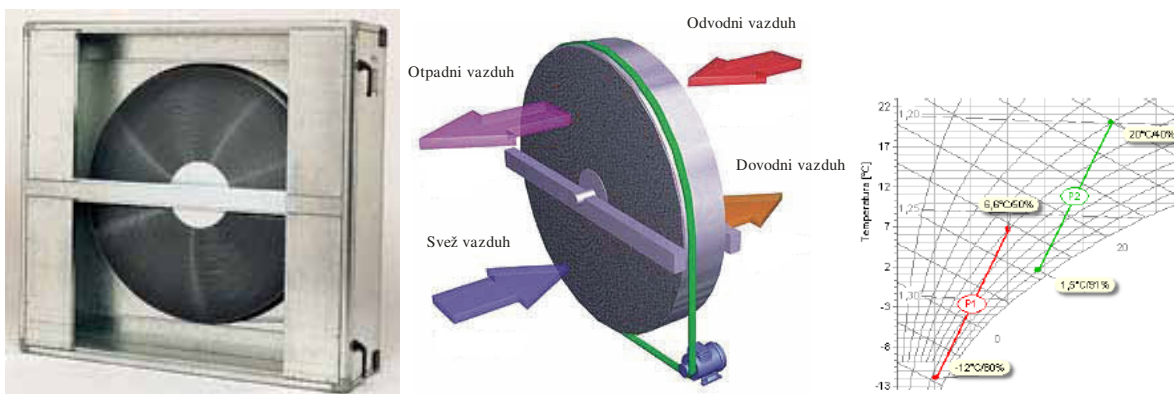
Stepenn povrata toplote glikolnih rekuperatora kreće se od 40 do 60% uz brzine strujanja vazduha od 2 do 3 m/s.

Regenerativni razmenjivači toplote omogućavaju razmenu suve i latentne toplote na taj način što se razmena toplote odvija preko akumulacione mase, uz međusovni direktni kontakt struja vazduha. Prednost je mogućnost povrata vlage i veći stepenn povrata toplote, kao i kompaktnija izvedba u poređenju sa rekuperatorima. Nedostatak je nemogućnost potpunog razdvajanja otpadnog i svežeg vazduha. Takođe, ukoliko izostane redovno održavanje ili nastupi kvar motora za pogon rotacionog razmenjivača, on nije u funkciji i ne koristi se otpadna toplota.

Kod rotirajućeg regeneratora (slika 10.5), toplota se između struja vazduha prenosi rotirajućom akumulacijskom masom u obliku saća izrađenog najčešće od aluminijuma i smeštenog u čelično kućište. Pola regeneratora nalazi se u jednoj, a druga polovina u drugoj struji vazduha, međusobno različitih temperatura. Strujanje u uređaju je protvstrujno i koristi se za prenos toplote između gasova temperatura do 200°C. Prečnik rotora je do 6 m, brzina rotacije 5 do 20 min⁻¹ s protocima gasa do 150 000 m³/h. Sistemom je moguće ostvariti stepenn povrata toplote i stepenn povrata vlage od 65 do 85%.

Dve osnovne izvedbe rotirajućeg regeneratora su sorpcijska i kondenzaciona izvedba. Kod sorpcijskog regeneratora površina saća presvučena je higroskopnim materijalom (npr. silikagel), pa higroskopna ispunna preuzima vlagu iz vlažne struje gasa i predaje je suvoj struji. Sistem se može koristiti za povrat osetne i latentne toplote zimi, te hlađenje i odvlaživanje ljeti. Kondenzacijski regenerator ima glatku površinu saća izrađenu od aluminija ili čelika čime je omogućen povrat latentne toplote samo zimi, tj. samo u slučaju hlađenja ispod temperature tačke rose stanja otpadnog vazduha, pri čemu vlaga kondenzuje u toploj a isparava u hladnoj struji.

Problemi koji nastaju pri radu rotirajućeg regeneratora su opasnost od smrzavanja pri niskim spoljnim temperaturama, što dovodi do smanjenja stepena povrata toplote i vlage i porasta pada pritiska. Osim toga, dolazi do mešanja povratnog i svežeg vazduha u iznosu 2 do 5%. Mešanje se može smanjiti zaptivanjem, čime se mešanje smanjuje na manje od 0,5%. Sprečavanje smrzavanja i regulacija učinka rešavaju se promenom brzine rotacije.



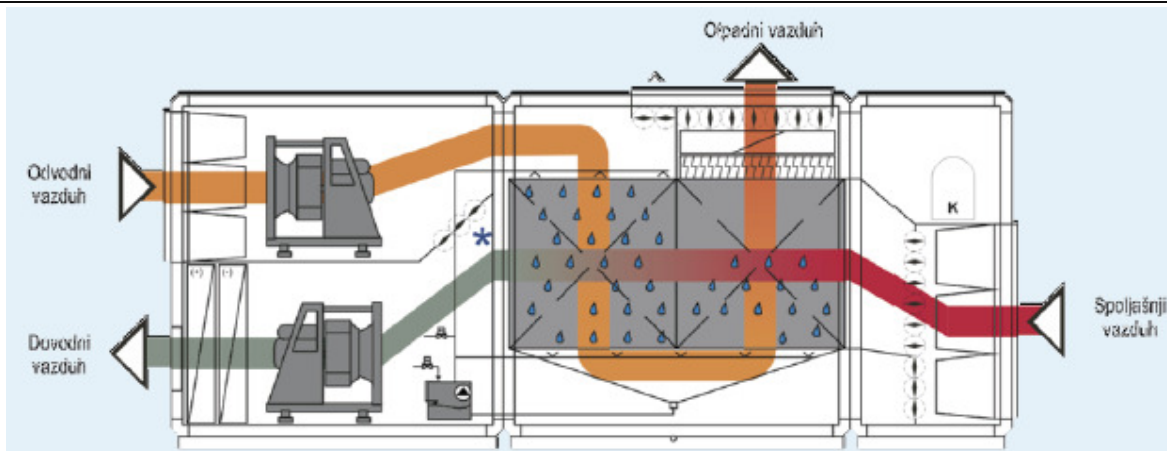
Slika 10.5 Rotacioni regenerativni razmenjivač toplote i promena stanja u h-x dijagramu

Analize i praksa pokazuju kako su sistemi povrata toplotne energije po pravilu isplativi, a za optimalan izbor tipa sistema, potrebno je sprovesti celovitu analizu za konkretan slučaj ugradnje uključujući i investicione i eksploatacione troškove, troškove održavanja i uštedu energije. Analiza sistema se bazira na radnim uslovima sistema klimatizacije, dužine korišćenja, geografskoj lokaciji i nameni zgrade.

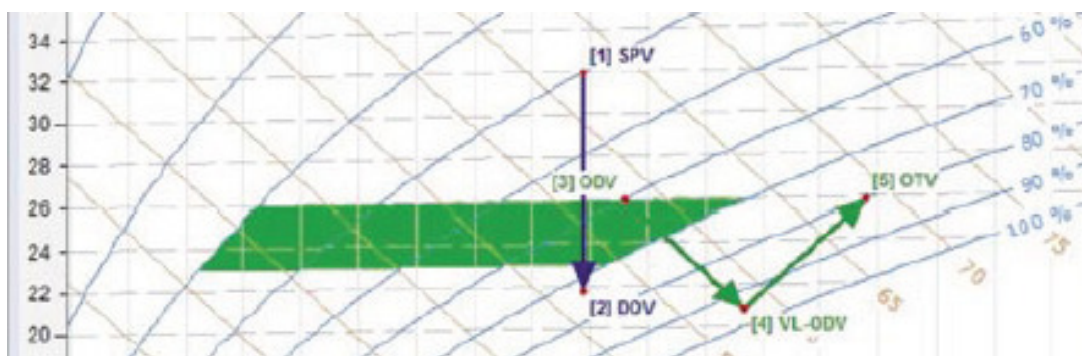
10.1.2 Primena indirektnog adijabatskog hlađenja

Jedna od posebnih izvedbi (slika 10.6) je postavljanje dva pločasta rekuperatora jedan iza drugog, uz raspršivanje vode sa strane otpadnog vazduha u letnjem režimu. Tako se u letnjem režimu rada korišćenjem evaporativnog hlađenja postiže stepen povrata toplote hlađenja do 90%. Na slici 10.7 prikazan je proces promene stanja vazduha u h-x dijagramu (plava linija pokazuje hlađenje svežeg vazduha, dok zelena linija prikazuje proces adijabatskog vlaženja otpadnog vazduha i njegovo zagrevanje).

Promena stanja pri vlaženju odvodnog vazduha odvija se duž linije entalpije odvodnog vazduha ($h = \text{const}$), pri istovremenom sniženju temperature sve do relativne vlažnosti od 90% do 95%. U nastavku se u razmenjivaču toplote, u koji s jedne strane ulazi spoljašnji topli vazduh a sa druge ohlađeni odvodni vazduh, ekvivalentno temperaturskom stepenu povrata toplote, spoljašnji vazduh hladi, a na drugoj strani odvodni vazduh zagreva. Obe promene stanja, adijabatsko vlaženje vazduha i prenos toplote moguće je izvoditi istovremeno.



Slika 10.6 Klima komora sa indirektnim adijabatskim hlađenjem



Slika 10.7 Proces promena stanja prilikom indirektnog adijabatskog hlađenja u rekuperatoru

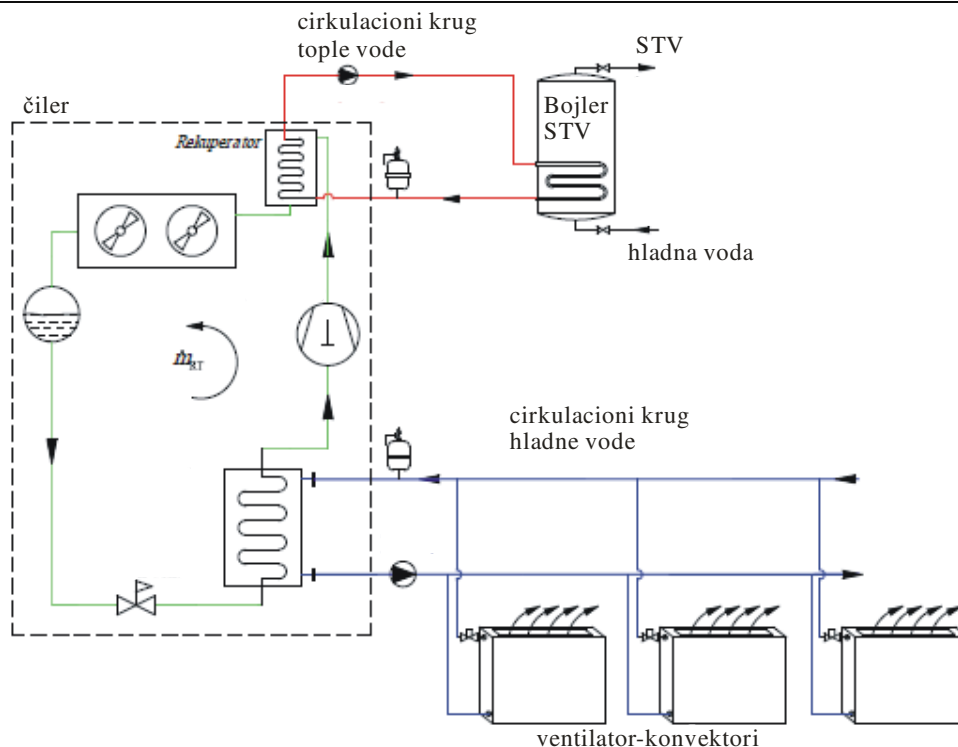
10.1.3 Korišćenje otpadne toplote kondenzacije

U praksi je čest slučaj da se istovremeno javlja potreba za hlađenjem i grejanjem. U takvim slučajevima je pogodno koristiti otpadnu toplotu kondenzacije za predgrevanje ili zagrevanje radnog fluida koji se koristi kao grejni fluid.

Instalacija rashladnog sistema se može izvesti sa vodom hlađenim kondenzatorom, tako da se zagrejana voda, koja je primila toplotu kondenzacije, može direktno koristiti u zatvorenom krugu grejanja (npr. u predgrejaču ili grejaču bojlera STV).

Ukoliko se koristi čiler za pripremu hladne vode za sistem hlađenja ili klimatizacije koji ima vazduhom hlađeni kondenzator, može se koristiti dodatni razmenjivač toplote (rekuperator vazduh - voda) za korišćenje otpadne toplote kondenzacije, kao što je prikazano na slici 10.8.

U praksi je sve veći broj jedinica koji delimično ili potpuno koriste toplotu kondenzacije za zagrevanje sanitarne tople vode. Najviše su u primeni rashladni fluidi R407C i R410A.



Slika 10.8 Šema sistema za korišćenje otpadne toplote kondenzacije

10.1.4 Primena noćne ventilacije

Hlađenje prostorija uvođenjem noćne ventilacije, tokom letnjeg perioda kada je temperatura spoljašnjeg vazduha niža od temperature vazduha u prostoriji, ključna je tehnika za smanjenje toplotnog opterećenja i eliminaciju akumulisane toplote u masi zidova prostorije. Samim tim, dolazi i do smanjenja potrošnje energije za pripremu vazduha za klimatizaciju prostorije tokom dana. Energetski uticaj uvođenja noćne ventilacije ogleda se u smanjenju dnevnog toplotnog opterećenja, kao i u smanjenju dnevnog vršnog opterećenja. Efikasnost noćne ventilacije najviše zavisi od temperature spoljašnjeg vazduha tokom noći, načina uvođenja vazduha u prostoriju (prirodna ili mehanička ventilacija), količine vazduha, načina strujanja vazduha u prostoriji (cirkulacijom ili prostrujavanjem – promajom), kao i od građevinske mase zidova posmatrane prostorije.

Za efikasnu primenu noćne ventilacije ključni parametar je temperatura spoljašnjeg vazduha tokom noći. Taj parametar određuje u kojoj meri spoljašnja okolina objekta može da preuzme ulogu toplotnog ponora i primi određenu količinu toplote koja se akumulirala u masi zidova zgrade tokom dana. Učinak pomenutog toplotnog ponora određen je, dakle, razlikom između temperatura unutrašnjeg i spoljašnjeg vazduha. Drugi veoma bitan parametar je protok vazduha za noćnu ventilaciju. Efikasnost hlađenja primenom noćne ventilacije uglavnom je bazirana na vrednosti protoka vazduha za ventilaciju. U zavisnosti od protoka vazduha koji se koristi za noćnu ventilaciju, postoje tri osnovna koncepta:

- Prirodna ventilacija tokom noći kroz otvore na fasadi objekta,
- Mehanička ventilacija korišćenjem ventilatora za ubacivanje i izvlačenje vazduha i
- Kombinovana tehnika, korišćenjem prirodne i mehaničke ventilacije.

Kada se primenjuje prirodna ventilacija svakako treba uzeti u obzir brzinu i smer vetra, kao i izbor odgovarajućeg mesta na fasadi zgrade gde će biti postavljeni otvori za ventilaciju. Na taj način se može uticati na količinu spoljašnjeg vazduha koji će prirodnim putem prodirati u zgradu i ventilirati prostoriju. Protok vazduha je slučajno promenljiva veličina koja zavisi od temperaturske razlike, brzine i smera vetra, kao i razlike pritisaka unutrašnje i spoljašnje sredine. Broj izmena vazduha na čas jako varira, i može se kretati od 0,3 (već samom infiltracijom spoljašnjeg vazduha kroz procepe prozora i vrata) do čak 20 (kada su prozori širom otvoreni).

Mehanička ventilacija podrazumeva puštanje u pogon ventilatora za ubacivanje i izvlačenje vazduha iz prostorije. Ventilator za ubacivanje vazduha obezbeđuje konstantan protok i cirkulaciju vazduha u prostoriji. Odsisni ventilator je takođe u funkciji, kako bi se sprečio prekomeran nadpritisak u prostoriji, koji ujedno utiče na sniženje efikasnosti ventilatora. Primenom mehaničke ventilacije protok vazduha se tačno može odrediti, ovom veličinom se može upravljati, odnosno, protok se može povećavati u cilju efikasnije ventilacije. Korišćenje mehaničke ventilacije je u tom smislu pogodnije, ali je neophodan utrošak električne energije za pogon ventilatora. Proces mehaničke noćne ventilacije obično se reguliše korišćenjem termostatskih regulatora, koji puštaju u pogon ventilatore i postavljaju žaluzine spoljašnjeg vazduha u maksimalno otvoren položaj kada je temperatura spoljašnjeg vazduha niža od unutrašnje, i obrnuto. Mehanička noćna ventilacija se može i vremenski upravljati, podešavanjem programa za uključivanje ventilacije tokom noći.

Kombinovana tehnika noćne ventilacije podrazumeva korišćenje ventilatora i fasadnih otvora na zgradi u isto vreme. U ovom slučaju koristi se samo ventilator za ubacivanje ili ventilator za odsisavanje vazduha, dok otvori na fasadi imaju ulogu izbacivanja, odnosno ubacivanja vazduha, u zavisnosti od toga koji je ventilator u pogonu. I u ovom slučaju regulacija procesa se može izvesti pomoću termostatskih regulatora koji će uključivati i isključivati ventilator u funkciji razlike unutrašnje i spoljašnje temperature vazduha.

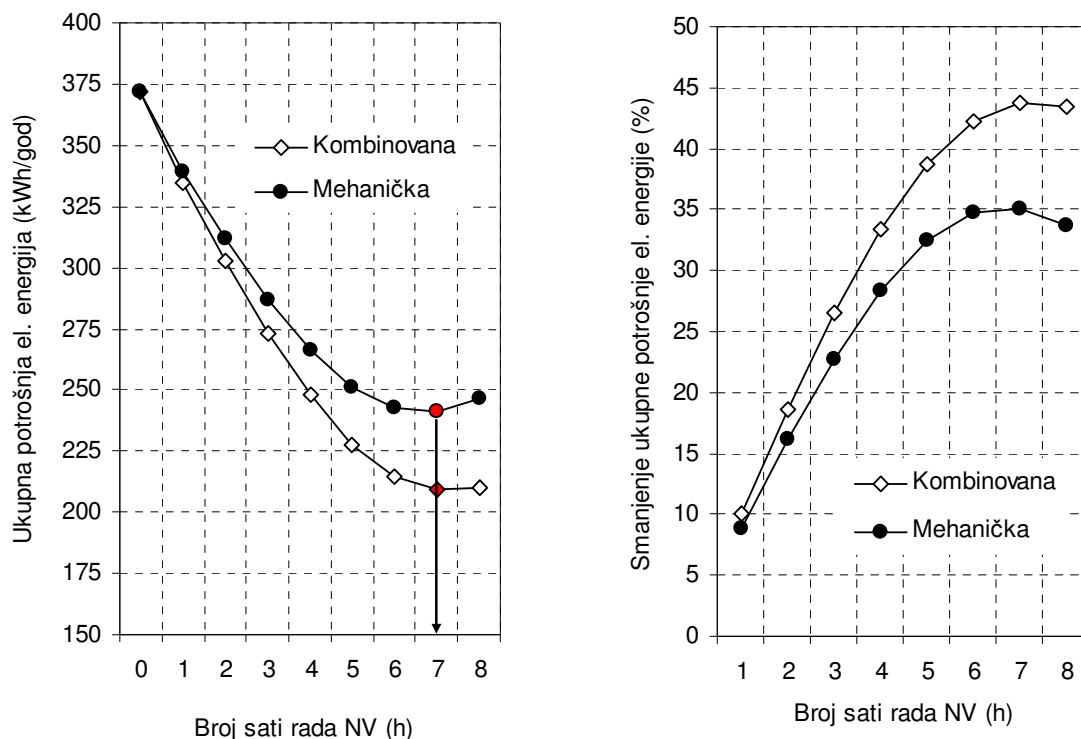
Na osnovu rezultata ispitivanja primene noćne ventilacije iz raznih zemalja Evrope (Engleska, Holandija, Nemačka, Belgija, Francuska i Grčka) i Kalifornije u Americi, može se zaključiti sledeće:

- Primena noćne ventilacije značajno doprinosi smanjenju potrošnje energije za hlađenje poslovnih zgrada tokom dana,
- Procenat uštede koja se može postići zavisi od više uticajnih parametara (kao što su tip gradnje objekta, tehnika i dužina trajanja noćne ventilacije, protok vazduha, itd.),
- Smanjenje efikasnosti tehnike javlja se u urbanim, gusto naseljenim zonama, kao i u periodima visokih temperatura spoljašnjeg vazduha tokom noći,
- Sniženje željene temperature unutrašnjeg vazduha dovodi do smanjenja efikasnosti tehnike noćne ventilacije,
- Orijentacija prostorija u zgradi zanemarljivo utiče na efikasnost tehnike ventilacije,
- Klimatske karakteristike podneblja utiču na efikasnost tehnike noćne ventilacije,
- Uslovi za prirodnu ventilaciju nisu uvek ostvarivi i protok vazduha tokom ventilacije varira, što utiče na efikasnost tehnike,
- Potrebna su dodatna ulaganja za izvođenje efikasnih otvora za prirodnu ventilaciju.

Na osnovu dinamičke simulacije tipične klimatizovane prostorije, koja je uključila režime rada bez primene i sa uvođenjem mehaničke noćne ventilacije, dobijeni su rezultati koji pokazuju koliko se energije za rad klimatizacionog sistema može uštedeti za klimatsko podneblje Brograda.

Simulacije su obuhvatile period od pet meseci (maj- septembar) a korišćeni su časovne vrednosti meteoroloških podataka za tipičnu meteorološku godinu za Beograd.

Dijagramima na slici 10.9 prikazan je uticaj dužine trajanja noćne ventilacije na smanjenje potrošnje električne energije za rad sistema.



Slika 10.9 Uticaj dužine trajanja NV na smanjenje potrošnje električne energije za kombinovanu i mehaničku noćnu ventilaciju

Električna energija potrebna za rad sistema troši se za pogon rashladnog agregata za eliminaciju toplotnog opterećenja i pripremu spoljnog vazduha, kao i za pogon ventilatora tokom rada klimatizacije i mehaničke noćne ventilacije:

$$P(\tau) = \int_0^{\tau} Q_{OPT}(\tau) \cdot d\tau + \int_0^{\tau} Q_{SV}(\tau) \cdot d\tau + \int_0^{\tau} p_{FAN}(\tau) \cdot d\tau. \quad (10.6)$$

Energija potrebna za hlađenje vazduha, bilo da se radi o svežem ili recirkulacionom vazduhu, svedena je na jedinicu električne energije, tako što je toplotno opterećenje podeljeno sa koeficijentom hlađenja EER (*Energy Efficiency Ratio*) kako bi bilo moguće sabiranje sva tri člana u jednačini (10.6). Trenutno toplotno opterećenje prostorije računa se iz toplotnog bilansa i predstavlja količinu toplote koju vazduh u prostoriji primi u posmatranom trenutku:

$$Q_{OPT}(\tau) = \left(\sum_{i=1}^n \alpha_i [t_i(\tau) - t_{UV}(\tau)] + b_{ST} Q_{SU}(\tau) \right) \cdot \frac{1}{EER}. \quad (10.7)$$

gde je $i = 1, \dots, n$ broj unutrašnjih površina prostorije sa kojih se konvekcijom predaje toplota vazduhu u prostoriji, a b_{ST} konvektivni udeo odavanja toplote sijalice.

Količina toplote potrebna za pripremu svežeg vazduha zavisi od udela svežeg vazduha u ukupnoj količini vazduha za klimatizaciju i od razlike spoljne i željene unutrašnje temperature vazduha u prostoriji:

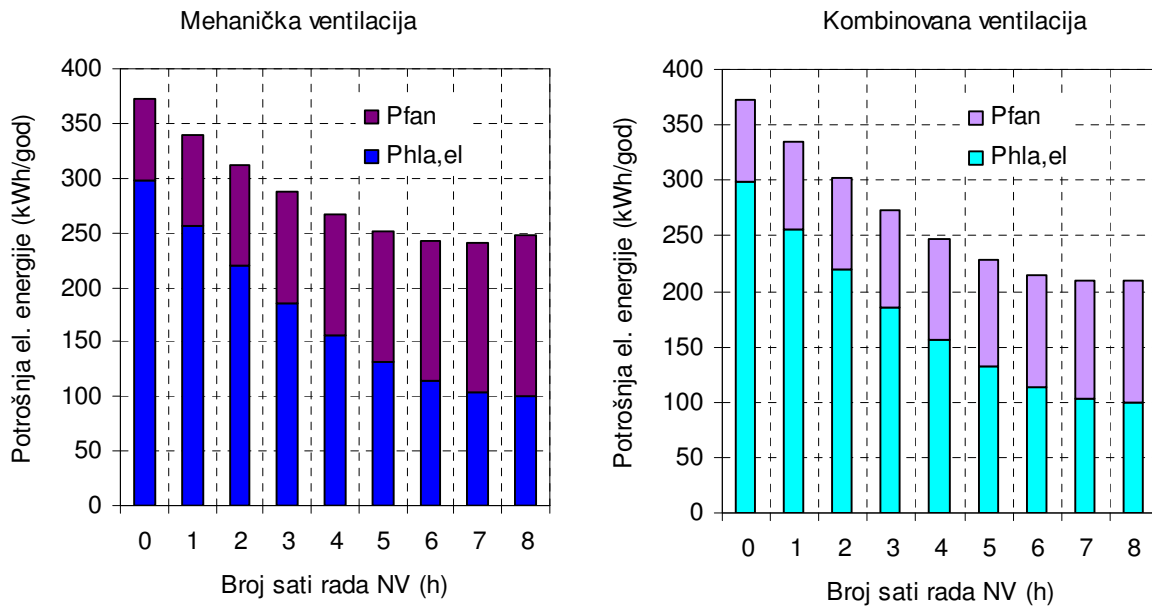
$$Q_{SV}(\tau) = \left[m_{SV} \cdot \dot{V} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (t_{SV}(\tau) - t_{UV}(\tau)) \right] \cdot \frac{1}{EER} \quad (10.8)$$

Potrošnja električne energije za pogon ventilatora računa se kao proizvod angažovane snage elktromotora za pogon ventilatora i vremena rada:

$$P_{FAN}(\tau) = p_{EL} \cdot \tau \quad (10.9)$$

Ukoliko bi se za noćnu ventilaciju koristio samo jedan od ventilatora klima komore (kombinovana ventilacija), odnos potrošnje energije za hlađenje i rad ventilatora tokom sedmočasovne ventilacije gotovo je izjednačen (slika 10.9 desno). Dakle, kada je u pitanju rad sistema tokom letnje sezone optimalan režim je onaj koji uključuje noćnu ventilaciju od ponoći do 7 časova ujutro, bez obzira na to da li je u funkciji jedan ili oba ventilatora. Ušteda koja se postiže korišćenjem kombinovane ventilacije u odnosu na mehaničku iznosi 32 kWh/god, odnosno oko 13.3%.

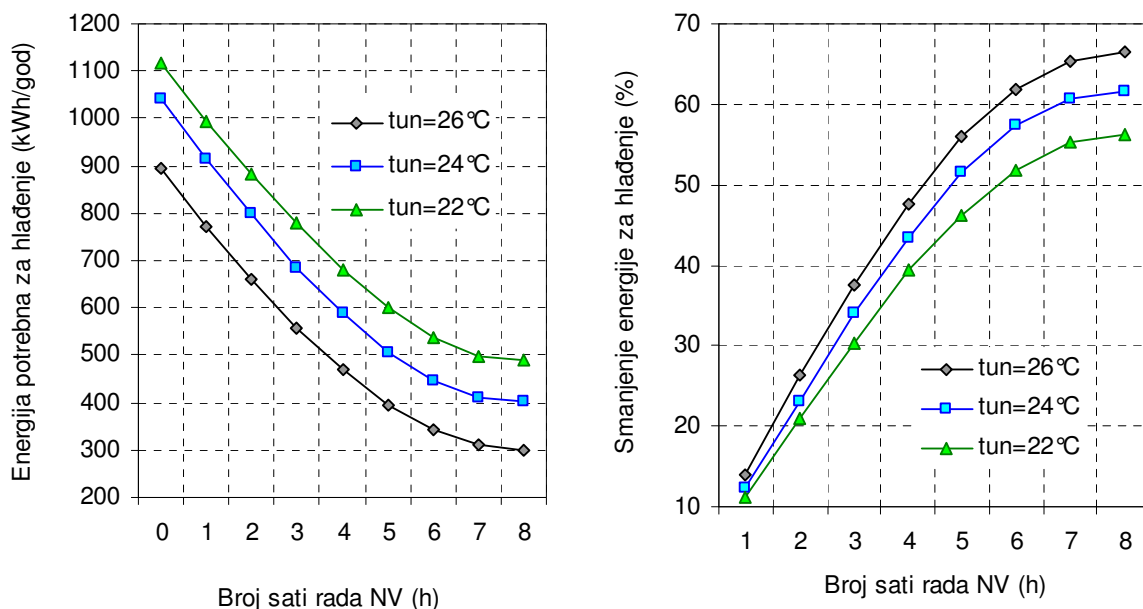
Dijagramima na slici 10.10. prikazana je potrošnja električne energije potrebne za hlađenje svežeg i recirkulacionog vazduha i za pogon ventilatora u zavisnosti od dužine trajanja NV i primenjene tehnike noćne ventilacije.



Slika 10.10 Potrošnja električne energije potrebne za hlađenje i za pogon ventilatora u zavisnosti od dužine trajanja NV i primenjene tehnike noćne ventilacije

Takođe su ispitivani i režimi rada postojećeg sistema koji radi sa nižim vrednostima željene temperature vazduha, sa ciljem da se dobije podatak o tome koliko će sistem više utrošiti energije. Simulirani su režimi za celu letnju sezonu sa postavljenim vrednostima unutrašnje temperature vazduha od 24°C i 22°C (unutrašnja projektna temperatura za leto je 26 °C). Na slici 10.11 levo prikazana je ukupna godišnja količina toplote koju treba odvesti sistemom za

klimatizaciju u zavisnosti od željene unutrašnje temperature i broja sati rada noćne ventilacije, a na dijagramu desno je dat prikaz doprinosa noćne ventilacije smanjenju energije koja je potrebna za hlađenje.

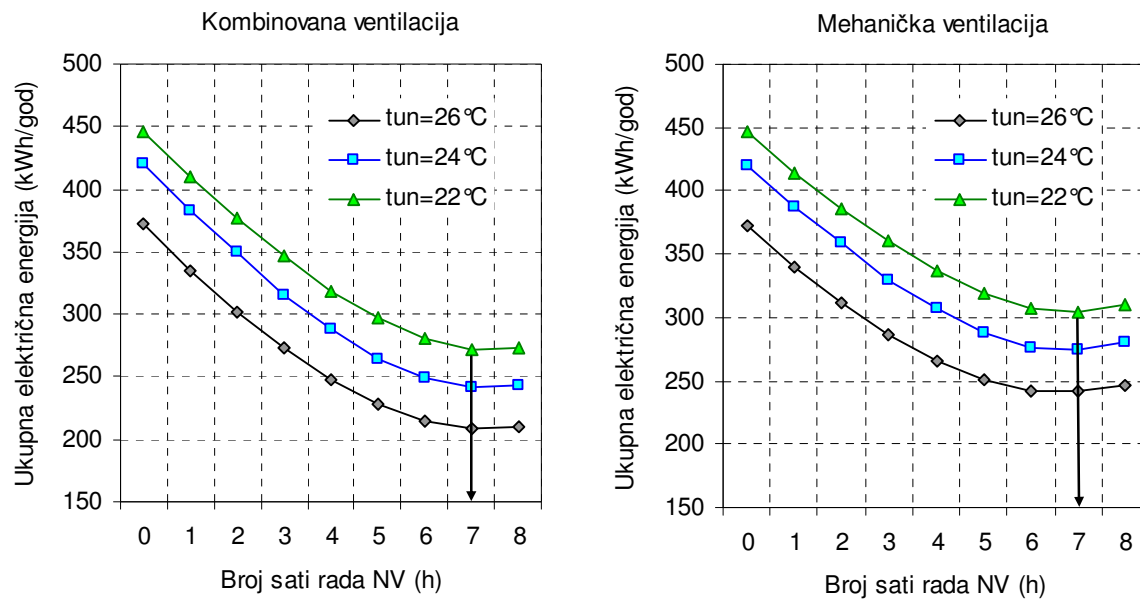


Slika 10.11 Godišnja potrebna finalna energija za hlađenje (levo) i njeno procentualno smanjenje (desno) u funkciji broja sati rada ventilacije tokom noći i različite željene unutrašnje temperature

Ukoliko se zadata temperatura unutrašnjeg vazduha snizi na vrednost od 24°C , godišnja potrebna energija za hlađenje uvećava se za 16.2% u režimu bez noćne ventilacije, a u odnosu na režim kada se zahteva unutrašnja temperatura od 26°C . Pri tome, postojeći sistem uspeva da tokom cele sezone održava unutrašnju temperaturu vazduha na zatom nivou od 24°C . Kada se primeni noćna ventilacija dolazi do smanjenja efikasnosti hlađenja tokom noći od 1.8% do 5% u odnosu na slučaj kada sistem održava unutrašnju temperaturu na nivou od 26°C , a u zavisnosti od dužine trajanja noćne ventilacije (slika 10.11 desno).

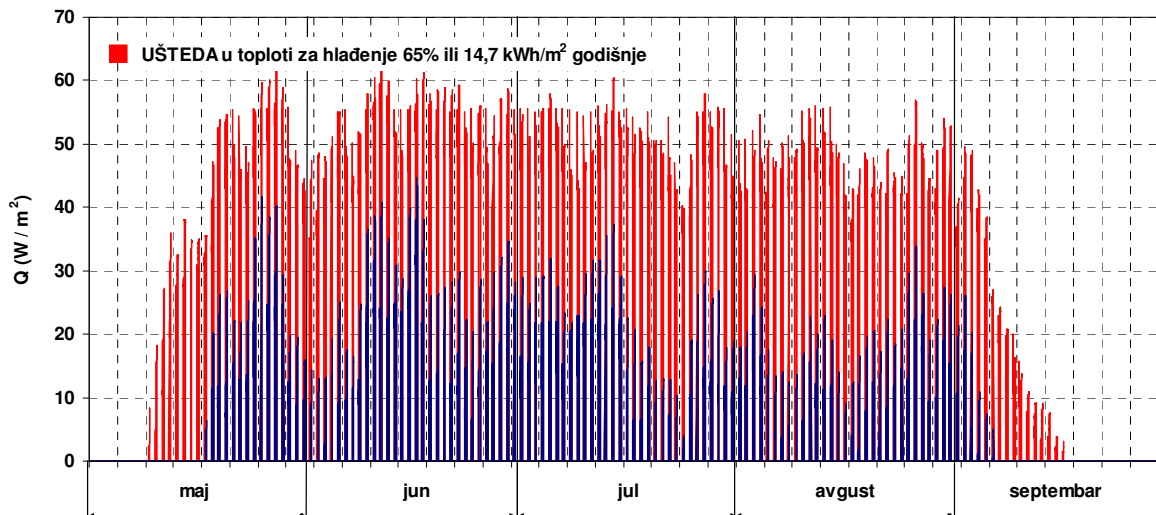
Sa dodatnim sniženjem vrednosti unutrašnje temperature na 22°C , godišnja potrebna energija za hlađenje poraste za 25% u odnosu na režim kada se održava 26°C , kada se ne primenjuje noćna ventilacija, ali postojeći sistem ne uspeva tokom celog letnjeg perioda da održava temperaturu vazduha na zatom nivou. U periodima pojave nekoliko uzastopnih toplih dana, zbog ograničenja temperature ubacnog vazduha, temperatura vazduha u prostoriji kreće se od 22.11°C do 22.83°C . Takvih toplijih dana tokom cele sezone (153 dana) ima ukupno 23. Dakle, kada bi se želela održavati stalno temperatura od 22°C u prostoru, bilo bi potrebno sniziti temperaturu ubacnog vazduha ili povećati ukupni protok vazduha ili produžiti vreme rada klimatizacije. U svakom slučaju, količina toplote koju treba odvesti bila bi veća, i taj porast bi se kretao oko 32% u odnosu na režim sa željenom temperaturom od 26°C . U slučajevima kada se primenjuje noćna ventilacija, broj dana kada sistem ne uspeva da održi unutrašnju temperaturu na nivou od 22°C se smanjuje, tako da pri sedmočasovnoj noćnoj ventilaciji sistem uspeva da tokom celog letnjeg perioda održava zadamu vrednost unutrašnje temperature. Kada se uporede procenti doprinosa noćne ventilacije sniženju potrebne energije za hlađenje, vidi se da dolazi do sniženja efikasnosti primene noćne ventilacije od 3 do 10.3% u odnosu na režim kada je zadata temperatura unutrašnjeg vazduha 26°C .

Na slici 10.12 predstavljena je ukupna godišnja potrošnja električne energije za rad sistema u zavisnosti od željene vrednosti unutrašnje temperature.



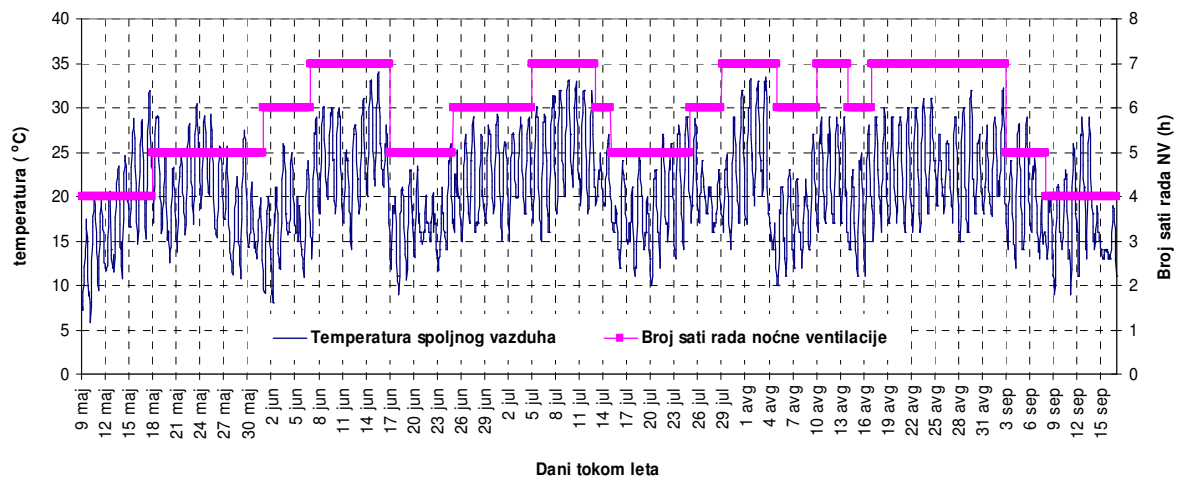
Slika 10.12 Uticaj željene unutrašnje temperature vazduha na izbor optimalnog režima rada sistema pri kombinovanoj (levo) i mehaničkoj (desno) noćnoj ventilaciji

Prikaz potrebne toplote hlađenja tokom cele letnje sezone za režime bez noćne ventilacije i sa primenom mehaničke noćne ventilacije dat je uporedo na slici 10.13. Primenjivan je režim vremenski vođene noćne ventilacije (od ponoći do 7 h ujutro). Ušteda ukupne energije potrebne za rad sistema iznosi 35% ili $6,52 \text{ kWh/m}^2$ godišnje.



Slika 10.13. Ušteda u finalnoj energiji za hlađenje tokom godine kada se primenjuje mehanička noćna ventilacija

Kako se tokom letnje sezone smenjuju topliji i hladniji periodi, tako se menja i dnevno toplotno opterećenje klimatizovanog prostora. U manje toplim periodima, sa oblačnim danima, smanjeno je toplotno opterećenje od spoljnih izvora toplote, manja je akumulacija toplote u građevinskim elementima zgrade. Iz tog razloga, umanjuje se efekat noćne ventilacije, pa je tada povoljnije da noćna ventilacija radi kraći vremenski period. Na osnovu vremenske prognoze, moguće je tokom letnjeg perioda postaviti nedeljne rasporede rada noćne ventilacije, sa različitom dužinom trajanja, što je prikazano dijagramom na slici 10.14.



Slika 10.14 Vremenski vođena mehanička noćna ventilacija sa predviđanjem