

1 RASPODELA VAZDUHA U PROSTORIJI

Raspodela vazduha u klimatizovanom prostoru je jedna od najbitnijih stvari za pravilno funkcionisanje sistema klimatizacije. Najvažnija stvar za projektanta je da pravilno odredi mesta za ubacivanje i izvlačenje vazduha, i time obezbedi dobru distribuciju vazduha u prostoriji. Čak i kada su svi ostali elementi klima postrojenja dobro odabrani, ako je raspodela vazduha u klimatizovanom prostoru loša, korisnici se žale na rad klimatizacije.

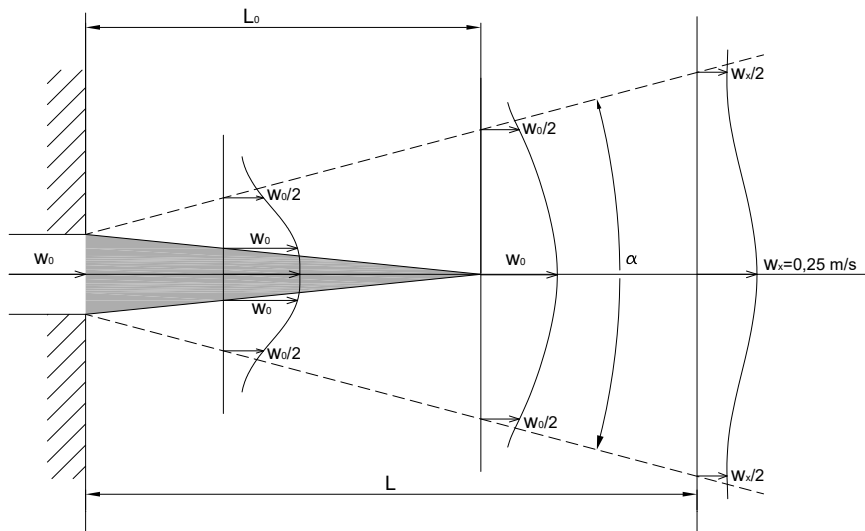
Osnovni zahtevi u klimatizovanom prostoru su:

- u celoj prostoriji (u svim njenim delovima) treba izvršiti zamenu vazduha tako da se ne jave „mrtve zone“, a ako ne mogu da se izbegnu, onda ne smeju biti u zoni boravka ljudi;
- svež vazduh treba dovesti u zonu boravka ljudi (da bi se ostvarila funkcija provetravanja);
- u zoni boravka ljudi brzina vazduha ne sme da pređe dozvoljenu vrednost ($v_{\max} = 0,25 \text{ m/s}$ u komfornoj, odnosno $0,35 \text{ m/s}$ u industrijskoj klimatizaciji) inače se javlja neugodan osećaj promaje, pogotovo kada se ubacuje vazduh niže temperature;
- ne sme se dozvoliti širenja zagađenja iz lokalnog izvora po celoj prostoriji (primeniti lokalno odsisavanje).

Kombinacijom mesta za ubacivanje i izvlačenje vazduha, kao i načina ubacivanja vazduha (pravac, brzina, stepen indukcije, i dr.) mogu se postići različite strujne slike u prostoriji. Ne postoji generalno najbolje rešenje. Zadatak projektanta je da u zavisnosti od zahteva i tehnoloških uslova (geometrija prostora, položaj izvora toplote i zagađenja, vrste aktivnosti ljudi i dr.) odabere najbolje rešenje.

1.1 Slobodan izotermni mlaz

Kada mlaz vazduha (temperature jednake temperaturi vazduha u prostoriji) istrujava kroz mali otvor u slobodnu sredinu (prostoriju dovoljno velike zapremine), tada se usled viskoznosti stvaraju vrtlozi na granici između mlaza i mirnog okolnog vazduha. Ovi vrtlozi usporavaju kretanje mlaza i doprinose povećanju mase vazduha koja se kreće.



Slika 1.1 Slobodan izotermni mlaz

U svakoj tački jezgra mlaza dužine L_0 (slika 1.1), vazduh ima istu brzinu (početnu brzinu strujanja w_0) kao i jednake sve ostale fizičke parametre.

Domet mlaza L predstavlja rastojanje od otvora (ubacnog elementa) do mesta gde brzina u osi mlaza dostiže određenu vrednost ($w = 0,25 \text{ m/s}$).

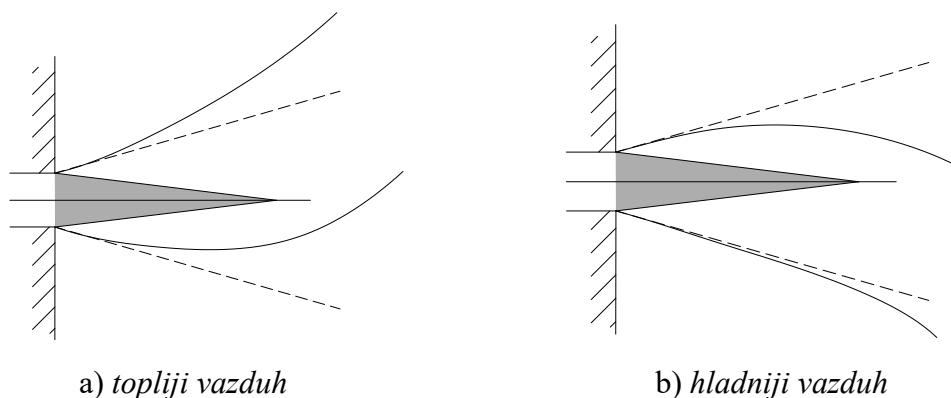
Ugao širenja („rasipanja“) mlaza α dobija se spajanjem tačaka u kojima brzina strujanja vazduha ima vrednost polovine brzine u osi mlaza u tom preseku.

Oblik otvora (geometrija i ugao ubacivanja) i brzina ubacivanja vazduha (zavisi od pritiska) utiču na domet mlaza L , ugao širenja α i stepen indukcije.

Slobodan izotermni mlaz može se matematički opisati, međutim to za praksu klima tehnike nema većeg značaja jer se slobodan izotermni mlaz retko sreće i klimatizovanim prostorima.

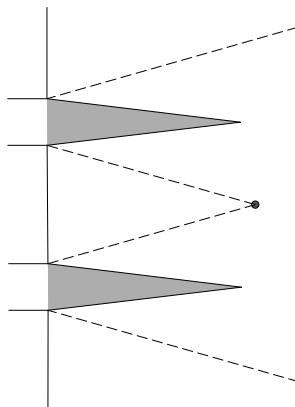
Mnogo su češći sledeći slučajevi:

a) Slobodan neizotermni mlaz. Usled razlike temperature između jezgra mlaza (i uopšte celog mlaza) i vazduha u prostoriji, javlja se Arhimedova uzgonska sila i ona dovodi do devijacije mlaza.



Slika 1.2 Slobodan neizotermni mlaz:

b) Međudejstvo dva ili više mlazeva



Slika 1.3 Sudar dva mlaza

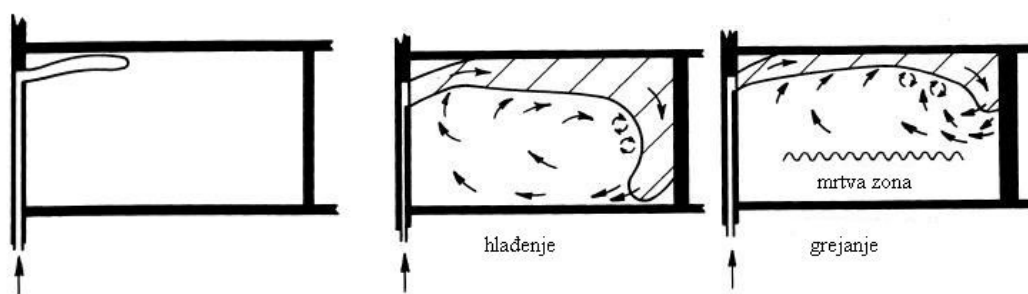
c) Prostorija je konačne veličine i u zavisnosti od mesta ubacivanja mlaz vazduha često udara o pregradu (zid ili tavanicu), pa se ne može govoriti o slobodnom mlazu.

d) Uticaj izvlačenja vazduha iz prostorije takođe utiče na formiranje mlaza i njegov oblik.

1.2 Raspodela vazduha u prostoriji

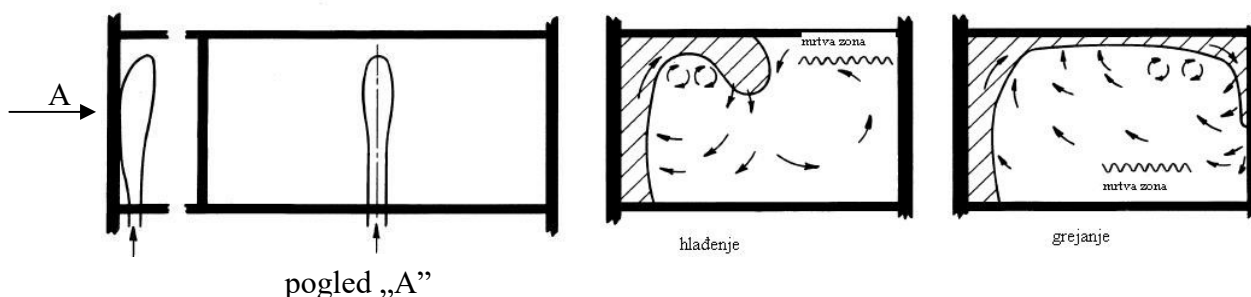
Proizvođači elemenata za ubacivanje vazduha mnogo ulažu u eksperimentalno ispitivanje strujnih slika u prostoriji. Radi ilustracije, prikazani su rezultati opsežnih istraživanja koja su obavljena u SAD pod pokroviteljstvom Američkog društva za grejanje, hlađenje i klimatizaciju (ASHRAE). Prema načinu formiranja mlaza, svi istrujni elementi mogu se podeliti u 5 grupa:

GRUPA A – otvor za ubacivanje je na tavanici ili blizu nje, a vazduh se ubacuje horizontalno



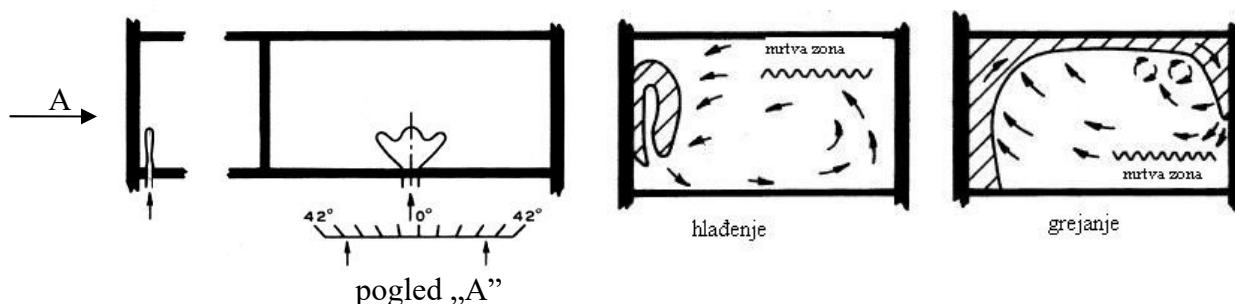
Slika 1.4 Horizontalno ubacivanje sa tavanice

GRUPA B – otvor za ubacivanje je u podu ili blizu poda, a vazduh se ubacuje vertikalno, pri čemu se mlaz ne širi



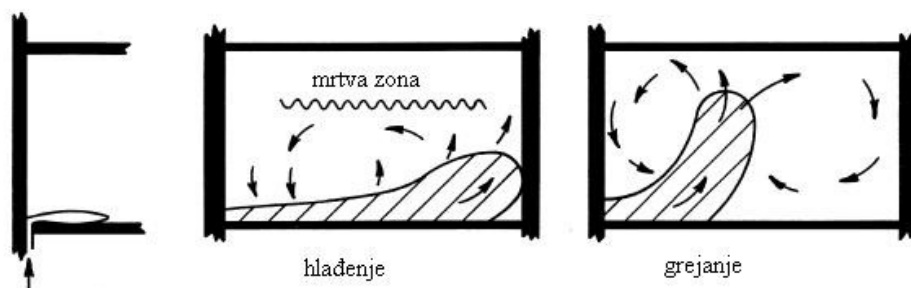
Slika 1.5 Vertikalno ubacivanje sa poda

GRUPA C – otvor za ubacivanje je u podu ili blizu poda, a vazduh se ubacuje vertikalno, ali se mlaz širi



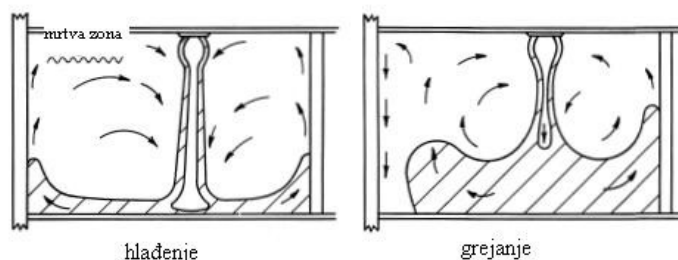
Slika 1.6 Vertikalno ubacivanje sa poda pri čemu se mlaz širi

GRUPA D – otvor za ubacivanje je u podu ili blizu poda, a vazduh se ubacuje horizontalno



Slika 1.7 Horizontalno ubacivanje sa poda

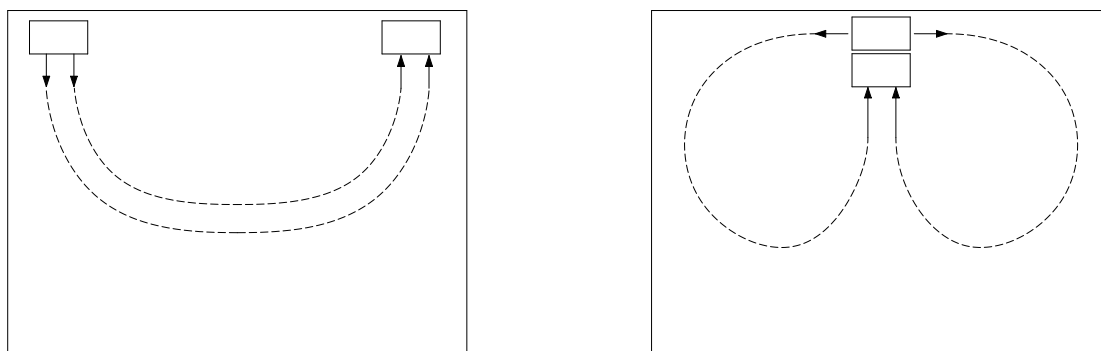
GRUPA E – otvor za ubacivanje je na tavanici ili blizu nje, a vazduh se ubacuje vertikalno



Slika 1.8 Vertikalno ubacivanje sa tavanice

Slike 1.4 do 1.8 prikazuju razvoj mlaza kada nema izvlačenja vazduha. Položaj mesta za izvlačenje vazduha može bitno da promeni strujnu sliku (drastičan primer „kratka veza“ između mesta za ubacivanje i izvlačenje vazduha).

Postoji više kombinacija položaja otvora za ubacivanje i izvlačenje vazduha. Najčešće se elementi za ubacivanje i izvlačenje vazduha postavljaju u blizini tavanice, jer se kanali, po pravilu, vode ispod tavanice i maskiraju spuštеноm tavanicom (slika 1.9).



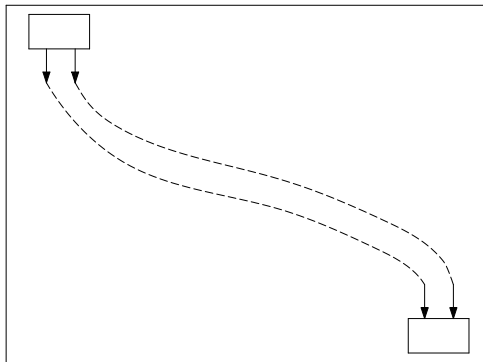
Slika 1.9. Ubacivanje i izvlačenje vazduha odozgo

Vazduh može da se ubacuje u delu ispod tavanice a da se izvlači pri podu (slika 1.10). Na slici je kanal otpadnog vazduha nacrtan u zoni poda prostorije što se praktično retko može izvesti. Otpadni kanal je češće ispod međuspratne konstrukcije (na spratu ispod), dok priključci prolaze kroz pod.

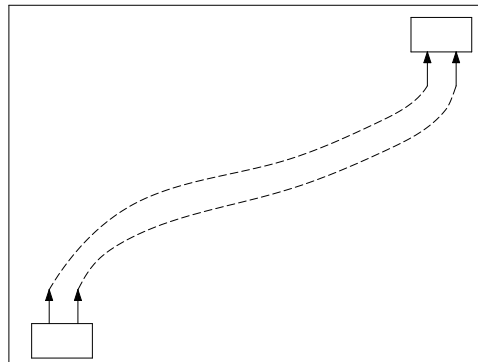
Mogući nedostaci ubacivanja vazduha odozgo su:

- “lepljenje” tople struje vazduha po tavanici;
- “propadanje” hladne struje vazduha.

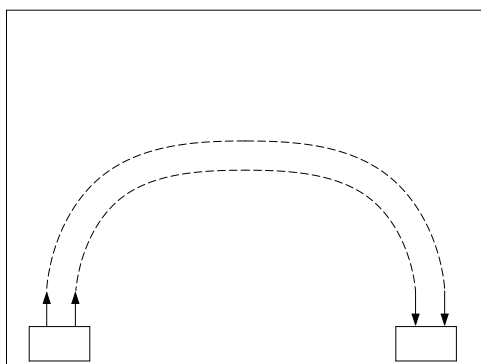
Vazduh može da se ubacuje odozdo (sa poda) a da se izvlači pod tavanicom (slika 1.10 i 1.11) ili pri podu (slika 1.12).



Slika 1.10 Gore ubacivanje, dole izvlačenje



Slika 1.11 Dole ubacivanje, gore izvlačenje



Slika 1.12 Ubacivanje i izvlačenje vazduha odozdo

Mogući problemi pri ubacivanju vazduha odozdo:

- podizanje prašine u prostoriji;
- pojava većih brzina vazduha u zoni boravka ljudi.

1.3 Elementi za ubacivanje i izvlačenje vazduha

1. Rešetke za ubacivanje i izvlačenje vazduha

Rešetke mogu da budu sa fiksnim ili pokretnim lamelama (žaluzinama). Sa pokretnim lamelama izvode se kao jednoreдне i dvoredne. Jednoreдне rešetke mogu da budu sa horizontalnim ili vertikalnim lamelama, dok dvoredne imaju i vertikalne i horizontalne lamele. Lamele služe za usmeravanje struje vazduha u horizontalnom i vertikalnom pravcu, dok se regulacija količine vazduha vrši regulatorom protoka. Mogu se postavljati u tavanicu, zid ili pod (slika 1.13). Rešetke mogu da budu ugrađene sa regulatorom protoka (slika 1.14), ili bez njega.



Slika 1.13 Izgled rešetki za vazduh – dvoredna zidna, plafonska i podna



Slika 1.14 Elementi za regulaciju protoka – na rešetki (levo) i kanalski (desno)

Rešetke se izrađuju od aluminijumskog lima, čeličnog lima, a mogu da budu i plastificirane u boji po želji korisnika.

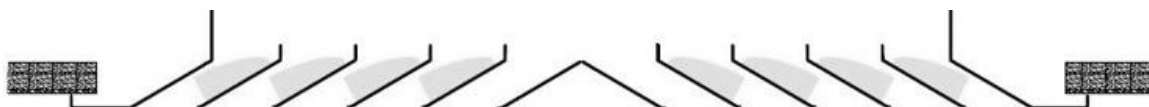
2. Anemostati

Ugrađuju se u spuštenu tavanicu. Ubacivanje vazduha je horizontalno (tangencijalno). Anemostati se izrađuju kvadratnog oblika (izbacuju vazduh na 4 strane, mada postoje i rešenja sa ubacivanjem vazduha u dva ili tri pravca) ili kružni.

Izrađuju se od istih materijala kao i rešetke. Takođe, mogu da se ugrade sa regulatorom protoka ili bez njega.



Slika 1.15 Izgled anemostata kvadratnog i kružnog oblika



Slika 1.16 Presek anemostata

<i>Vrsta ubacivanja</i>	<i>4 strane</i>	<i>3 strane</i>	<i>2 strane</i>	<i>1 strana</i>
<i>Kvadratni</i>				
<i>Pravougaoni</i>				

Slika 1.17 Moguća istrujavanja vazduha kod anemostata

3. Mlaznice

Ubacuju vazduh velikom brzinom tako da imaju veliki domet. Primjenjuju se u objektima velikih dimenzija: sportske hale, aerodromske zgrade, železničke stanice, šalter sale i sl.

Mlaznice mogu biti fiksne ili zglobne, sa promenljivim uglom ubacivanja.



Slika 1.18. Izgled mlaznica

4. Linijski difuzori

Širine su 50-100 mm i dužine nekoliko metara. Ugrađuju se u spuštene tavanice ili podove. Imaju visok stepen indukcije okolnog vazduha.



Slika 1.19. Izgled linijskog difuzora

5. Vrtložni difuzori

Imaju elemente kojima se ubacni vazduh vrtloži i spiralno ubacuje u prostoriju. Step en indukcije je veoma veliki tako da se ubacni vazduh brzo meša sa okolnim vazduhom. Vrtložni difuzori primenjuju se u prostorima male visine.



Slika 1.20 Vrtložni difuzori

2 ELEMENTI ZA RAZVOĐENJE VAZDUHA - KANALI

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 koja se naziva odvodna kanalska mreža.

Zadatak kanalske mreže je:

- dovođenje vazduha do svake klimatizovane prostorije što kraćim putem;
- da proizvede i 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 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;
- 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 je obično pocinkovan ili premazan zaštitnim slojem. Crni lim, koji je otporan na visoke temperature koristi se za kanale za izvlačenje vazduha iz kuhinja.

Kanali mogu biti:

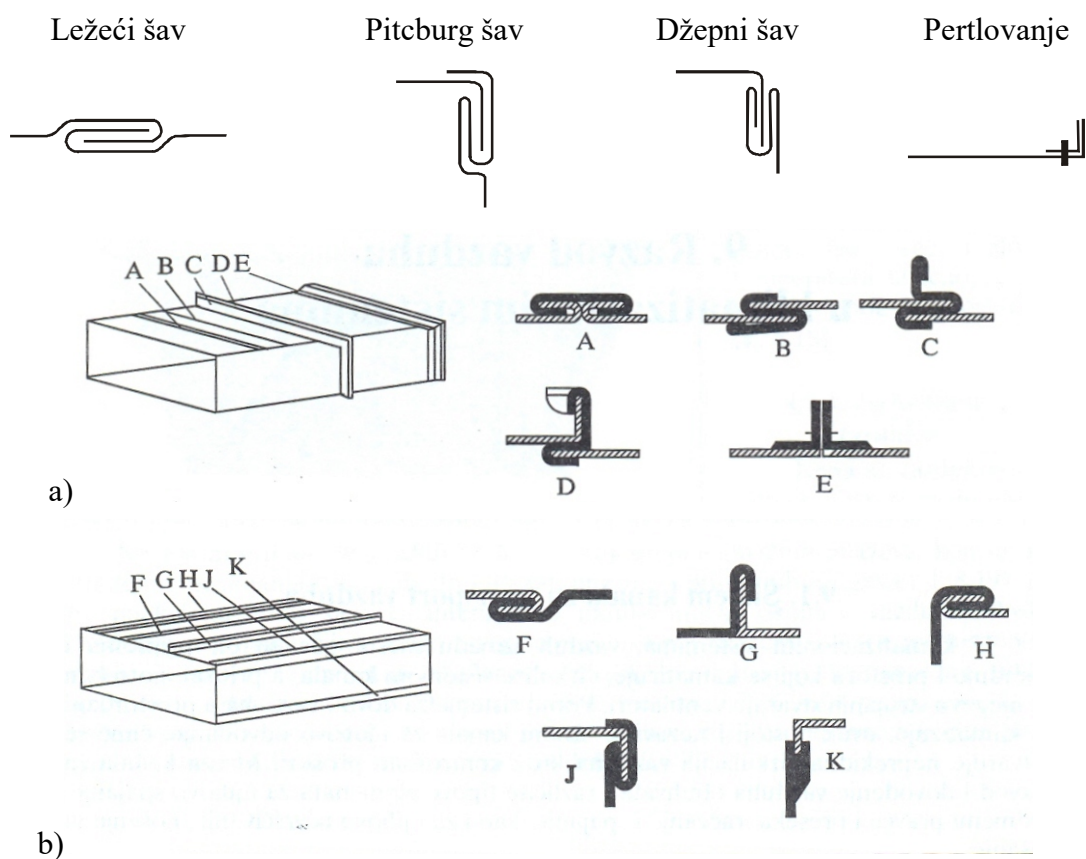
- kružnog poprečnog preseka (manje dimenzije) i
- kvadratnog ili pravougaonog poprečnog preseka.

Debljina lima od koga se kanali izrađuju zavisi od prečnika kanala, što je važno zbog ukrućenja i stvaranja i širenja buke. Sa povećanjem prečnika kanala raste i debljina lima od koga su kanali izrađeni (vrednosti u tabeli 1 važe za sisteme niskog pritiska).

Tabela 2.1 Debljina lima u zavisnosti od prečnika (a - dimenzija duže stranice kanala)

a [mm]	δ [mm]
do 250	0,5
500	0,62
990	0,75
1490	0,88
1990	1
2490	1,13
preko 2500	1,25

Formiranje kanala od lima vrši se savijanjem i zatim spajanjem ivica lima po dužini kanala (falcovanje) koje se vrši mašinski. Postoji više vrsta šavova prilikom spajanja:



Slika 2.1. Načini spajanja limova a) po širini i b) po dužini kanala

Spajanje kanala po širini vrši se pomoću "L" profila, na taj način što se profil spaja za lim kanala pomoću zakovica (nitni), a kraj kanala se savija preko profila - tzv. pertlovanje.

Ako se zahteva garantovana zaptivenost kanala (ne sme se dozvoliti curenje), kanali se spajaju zavarivanjem ili lemljenjem.

Kada je reč o "curenju" vazduha iz kanala, onda se ono bitno razlikuje od slučaja kada je voda radni fluid, tako da se često mala "curenja" tolerišu. U sistemima visokog pritiska curenje vazduha može da stvara problem - zbog pojave buke - "zviždanja" vazduha. Zbog toga su propisane klase zaptivenosti kanala. Klase zaptivenosti definišu koliko pri određenom pritisku u kanalu može da bude propuštanje vazduha u okolinu:

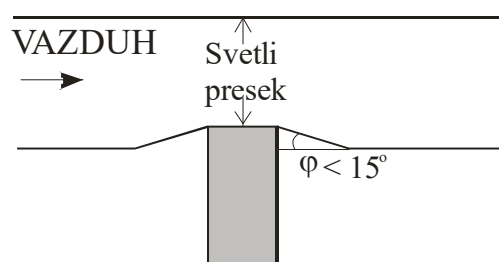
$$Q_{PROP} = C \cdot \Delta p^N [l/s m^2].$$

Za standardne klimatizovane objekte, gde se primenjuju sistemi niskog pritiska, obično se ne traži klasa zaptivenosti, jer i najniža klasa zadovoljava potrebe. Međutim, u objektima koji imaju strože zahteve, projektom se može propisati zahtevana klasa zaptivenosti kanala.

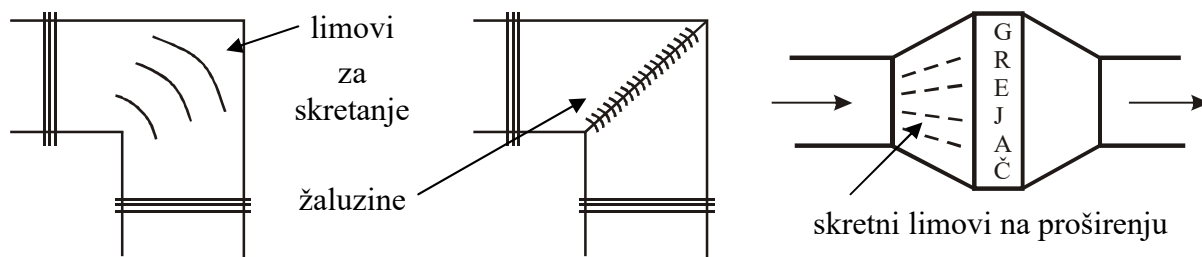
2.1 Izvođenje kanala – montaža na objektu

Horizontalna kanalska mreža se najčešće izvodi na taj način što se vodi ispod tavanice u objektu. Kanali se obično vešaju pomoću obujmica, vešaljki i držača, ili se postavljaju na konzole. Kanali nisu cilj u nekom objektu - oni su "nužno zlo". Ipak, oni zahtevaju određeni prostor za smeštaj u objektu, pa je zato neophodno da u arhitektonsko-građevinskom projektu bude predviđen prostor za njih. U svakom slučaju, kanali treba da zauzmu što manje prostora, jer svaki prostor ima određenu cenu.

Ako se na trasi kanala nalazi neka betonska greda ili čelični nosač koji ne može da se zaobiđe, onda je to moguće prevazići prelaznim komadom - suženjem. U tom slučaju, suženje mora biti izvedeno tako da "svetli presek" suženja bude najmanje 2/3 prethodnog poprečnog preseka kanala. Ugao pod kojim se suženje pravi treba da bude manji od 15° , kako bi se izbeglo vrtloženje i smanjili gubici koji nastaju usled vrtloženja.



Pri skretanju kanala postavljaju se fazonski komadi - kolena. U cilju smanjenja pada pritiska usled vrtloženja u kolenu se mogu postaviti skretni limovi ili žaluzine. Ako je potrebno postaviti grejač u kanal (a bolje je da je grejač veći i tanji zbog otpora stujanju) onda je potrebno proširenje kanala. Tada se postavljaju skretni limovi u delu proširenja, kako bi se obezbedilo ravnomernije opterećenje površine grejača.



Slika 2.2 Postavljanje skretnih limova i žaluzina kod fazonskih komada

2.2 Dimenzionisanje kanala

Pri proračunu strujanja u kanalskoj mreži koriste se jednačina kontinuiteta i zakon o održanju energije - Bernulijeva jednačina.

Jednačina kontinuiteta:

$$\dot{m} = \text{const},$$

$$A \cdot w \cdot \rho = \text{const}.$$

Zbog relativno male brzine i niskog pritiska koji vlada u kanalima može se smatrati da se vazduh ponaša kao nestišljiv fluid ($\rho = \text{const}$), tako da važi:

$$A \cdot w = \text{const}, \text{ odnosno: } A_1 \cdot w_1 = A_2 \cdot w_2.$$

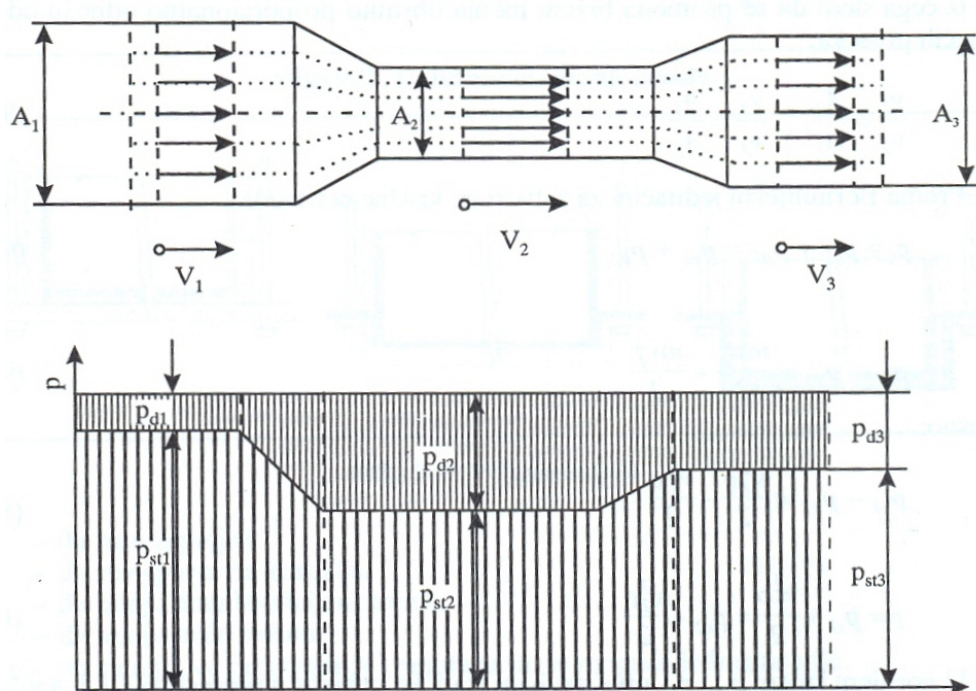
Bernulijeva jednačina za idealno stujanje:

$$Z \cdot \rho \cdot g + p + \frac{w^2 \cdot \rho}{2} = \text{const}.$$

S obzirom da su visinske razlike kanala male, kao i vrednost gustine vazduha, može se zanemariti geodezijska visina, pa Bernulijeva jednačina za idealan fluid ima oblik:

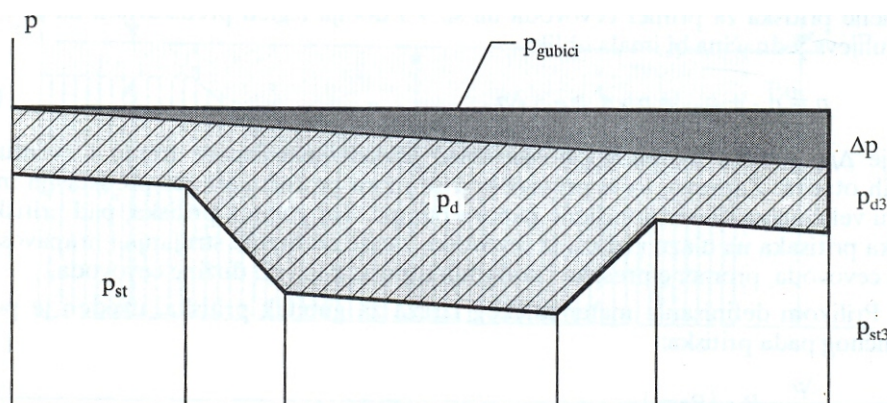
$$p + \frac{w^2 \cdot \rho}{2} = \text{const}, \text{ odnosno: } p_{\text{tot}} = p_{\text{st}} + p_{\text{din}} = \text{const}.$$

Kada ne bi postojalo trenja u kanalima, onda bi sa povećanjem brzine strujanja dolazilo do porasta dinamičkog pritiska, na račun smanjenja statičkog pritiska i obrnuto (slika 3).



Slika 2.3 Strujanje idealnog fluida kroz kanal promenljivog poprečnog preseka

U praksi dolazi do pada pritiska (gubitka energije) zbog trenja u pravim deonicama i zbog vrtloženja koje se neminovno javlja pri promeni pravca strujanja (usled lokalnih otpora), što je prikazano na slici 2.4.



Slika 2.4 Strujanje realnog fluida kroz kanal promenljivog poprečnog preseka

Za realan fluid, Bernulijeva jednačina se proširuje dodatnim članom, koji obuhvata gubitke energije:

$$p_1 + \frac{w_1^2 \cdot \rho}{2} = p_2 + \frac{w_2^2 \cdot \rho}{2} + \Delta p.$$

Potrebna snaga ventilatora je:

$$P = \frac{V \cdot \Delta p}{\eta} \cdot 1,2 [\text{W}],$$

gde je:

$V[\text{m}^3/\text{s}]$ - zapreminski protok vazduha,

$\Delta p [\text{Pa}]$ - pad pritiska u sistemu;

$\eta [-]$ - stepen korisnosti ventilatora,

1,2 [-] - stepen sigurnosti zbog mogućih odstupanja od projekta pri montaži kanala.

2.3 Pad pritiska u kanalima

Član koji označava pad pritiska u Bernulijevoj jednačini može se podeliti na dva dela:

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2 \cdot \rho}{2} + \xi \cdot \frac{w^2 \cdot \rho}{2} = R \cdot l + \xi \cdot \frac{w^2 \cdot \rho}{2} = R \cdot l + Z$$

Prvi član u izrazu za pad pritiska potiče usled trenja u pravim deonicama kanlske mreže i zavisi od koeficijenta trenja λ . Koeficijent trenja zavisi od Rejnoldsovog broja i relativne hrapavosti kanala:

$$\lambda = f(\text{Re}, \varepsilon).$$

Relativna hrapavost se definiše kao:

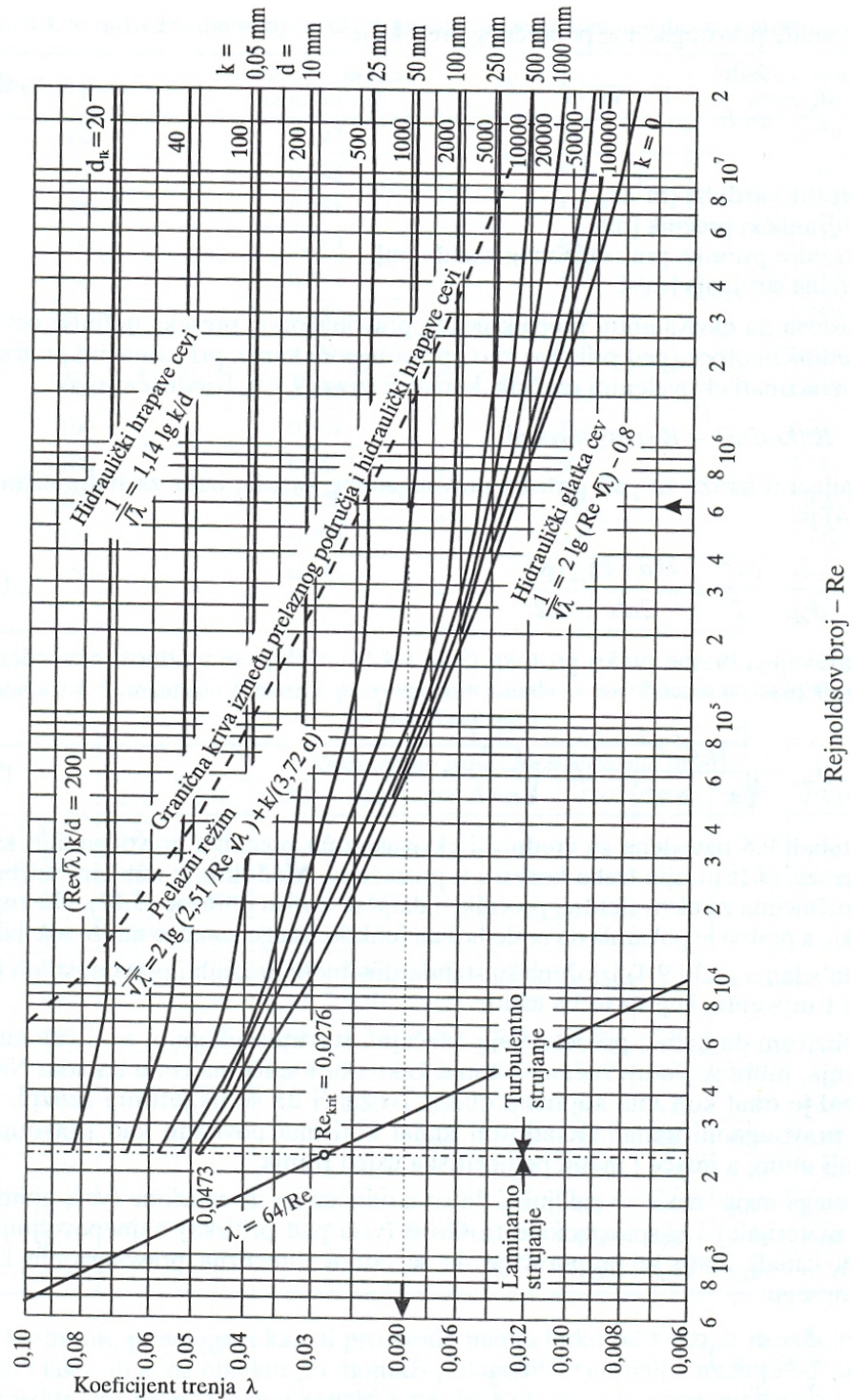
$$\varepsilon = \frac{\delta}{d}, \text{ gde je } \delta - \text{apsolutna hrapavost unutrašnje površine kanala.}$$

Ne postoji analitički izraz za koeficijent trenja λ za ceo opseg strujanja fluida, već se vrši podela na oblasti karakterističnih strujanja:

$$1. \text{ Laminarna oblast - hidraulički glatka cev} \quad \rightarrow \quad \lambda = \frac{64}{\text{Re}},$$

2. Prelazna oblast - nestabilno strujanje → Zajčenko,
3. Turbulentna oblast - hidraulički glatka cev → Prandtl,
4. Turbulentna oblast - hidraulički hrapava cev → Kolbruk,
5. Turbulentna oblast - hidraulički potpuno hrapava → von Karman.

Na slici 2.5 je prikazan Mudijev dijagram za određivanje koeficijenta trenja.



Slika 2.5 Mudijev dijagram za određivanje koeficijenta trenja

Najopštijom se smatra formula Kolbruka:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3,71} + \frac{2,51}{\text{Re} \sqrt{\lambda}} \right).$$

U Kolbrukovoj formuli prvi član teži nuli za hidraulički glatke cevi, dok za hidraulički potpuno hrapave cevi drugi član teži nuli. Ovaj izraz se mora rešavati iterativnim postupkom.

Da bi se izbegle iteracije, često se koristi izraz Ruso i Smita:

$$\lambda = \frac{1,325}{\left[\ln \left(\frac{\varepsilon}{3,71} + \frac{5,74}{\text{Re}^{0,9}} \right) \right]^2}.$$

Takođe je u primeni i formula Alštula:

$$\lambda' = 0,11 \left[\varepsilon + \frac{68}{\text{Re}} \right]^{1/4}, \quad \begin{aligned} \lambda' \geq 0,018 &\rightarrow \lambda = \lambda' \\ \lambda' < 0,018 &\rightarrow \lambda = 0,85\lambda' + 0,0028 \end{aligned}$$

Za limene kanale često se koristi izraz Braktea:

$$\lambda = 0,0072 + \frac{0,61}{\text{Re}^{0,35}} + \frac{2,9 \cdot 10^{-5}}{d} \cdot \text{Re}^{0,108},$$

pri čemu se poslednji član izraza zanemaruje kod malih vrednosti Rejnoldsovog broja, odnosno za hidraulički glatke cevi. Ovaj izraz važi za uobičajenu hrapavost čeličnog lima, dok se za druge materijale mora vršiti korekcija. Korekcionni faktori za određivanje koeficijenta trenja kod različitih materijala dati su u tabeli 2.2.

Tabela 2.2 Faktori za određivanje koeficijenta trenja u zavisnosti od materijala

Materijal za izradu kanala	Korekcionni faktor
Čelični lim sa jenom prirubnicom po 1m	1,0
Čelični lim bez prirubnica	0,85
Aluminijumski limovi	0,9
Posebno hrapavi zidovi (cigla)	2
Očišćeni zidovi	1,6
Azbest - cement	1,5
Drvo, rabic	1,25
Plastične mase	1,0

Prilikom dimenzionisanja kanala potrebno je odrediti prečnik kanala d , kada su u pitanju kanali kružnog poprečnog preseka. Ako kanal nije kružnog poprečnog preseka, onda se uvodi pojam **hidrauličkog prečnika** d_h :

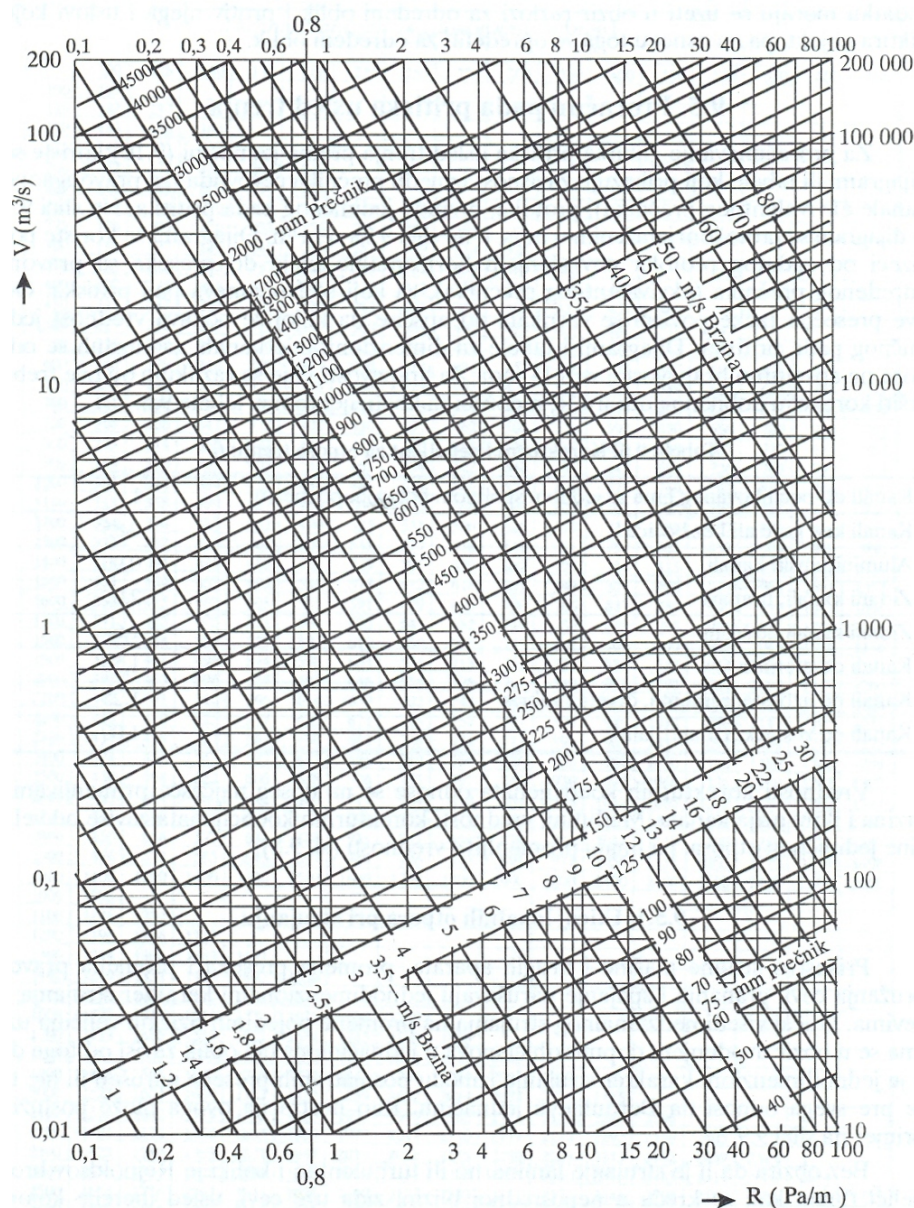
$$d_h = \frac{4A}{O},$$

gde je A površina poprečnog preseka, a O obim kanala.

Na taj način se dobija izraz za hidrulički prečnik kanala pravougaonog oblika:

$$d_h = \frac{2 \cdot B \cdot H}{(B + H)}, \text{ gde je } B \text{ širina, a } H \text{ visina pravougaonog kanala.}$$

Prilikom dimenzionisanja cevne mreže kod toplovodnih i sistema koji koriste paru niskog pritiska kao radni fluid, koriste se tabele za odgovarajuću vrstu materijala cevi, iz kojih se, na osnovu dve poznate veličine (Q i w) dobijaju prečnik d i jedinični pad pritiska usled trenja R . Na sličan način, pri dimenzionisanju kanala postoje dijagrami u kojima su date 4 promenljive, od kojih dve nezavisno i dve zavisno promenljive (zapreminski protok vazduha, brzina strujanja, prečnik kanala i jedinični pad pritiska) - slika 2.6.



Slika 2.6 Dijagram pada pritiska usled trenja za atmosferski pritisak, temperaturu vazduha od 20°C, gustinu vazduha od 1,204 kg/m³ i apsolutnu hrapavost od 0,15 mm

Kako je od značaja da kroz kanal različitog oblika poprečnog preseka od kružnog, bude isti protok, a ne isti jedinični pad pritiska usled trenja, uveden je pojam **ekvivalentnog prečnika** d_{ekv} , koji se razlikuje od hidrauličkog prečnika:

$$d_{ekv} = 1,27 \frac{(B \cdot H)^{0,6}}{(B + H)^{0,2}}.$$

Hojbšerov izraz za ekvivalentni prečnik:

$$d_{ekv} = 1,3 \frac{(B \cdot H)^{0,625}}{(B + H)^{0,25}}.$$

Danas se teži standardizaciji dimenzija kanala. Uveden je evropski standard EUROVENT.

Kružni kanali imaju standardne dimenzije:

φ 63 mm, φ 71 mm, φ 80 mm, φ 90 mm...

Pravougaoni kanali imaju standardne dimenzije:

100 mm, 150 mm, 200 mm, 250 mm, 300 mm...+100 mm,...., +200 mm.

Standardizacija dimenzija kanala je neophodna zbog fabričke izrade kanala. Kod nas se kanali uglavnom izrađuju za svaki pojedinačni objekat, pa se ne poštuju standardne dimenzije kanala, tako da je moguće sresti dimenzije kao što su 635x285 mm.

LOKALNI OTPORI su sva mesta kanalske mreže u kojima dolazi do skretanja struje vazduha: suženja, proširenja, kolena, račve, grejač/hladnjak, itd. Pri promeni pravca strujanja dolazi do vrtloženja koje uzrokuje određeni gubitak strujne energije. Pad pritiska usled lokalnih otpora računa se kao:

$$\Delta p = \xi \cdot \frac{w^2 \cdot \rho}{2} = \xi \cdot p_{din},$$

gde je:

ξ (-) - koeficijent lokalnog (mesnog) otpora,

w (m/s) - brzina stujanja fluida i

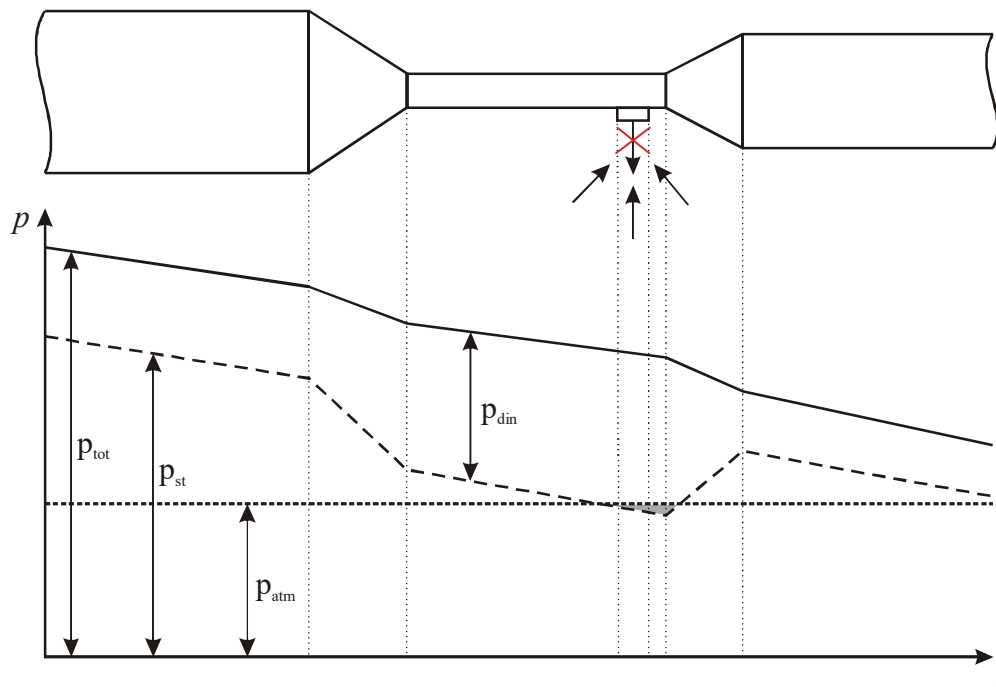
ρ (kg/m³) - gustina fluida.

Koeficijenti lokalnih otpora određeni su eksperimentalno i njihove vrednosti se daju tabelarno. U tabeli 2.3 su date okvirne vrednosti pada pritiska pri strujanju vazduha kroz određene elemente sistema za klimatizaciju.

Tabela 2.3 Pad pritiska usled lokalnog otpora

Element	Δp [Pa]
Vazdušni filter	40 – 80
Filter visokog dejstva	100 – 150
Apsolutni filter	do 500
Grejač	20 – 80
Hladnjak	50 – 100
Žaluzine	10 – 30
Prigušivač buke	20 – 40
Maglena komora	80 – 150

Prilikom dimenzionisanja kanala potrebno je voditi računa o izboru mesta za ubacivanje vazduha u prostoriju, odnosno mora se paziti da p_{st} u kanalu ne padne ispod atmosferskog pritiska p_{atm} na mestu otvora. Ukoliko bi se otvor za ubacivanje vazduha predvideo kao na slici 2.7, onda bi došlo do **usisavanja** vazduha iz prostorije, umesto da se vazduh u nju ubacuje.



Slika 2.7 Primer nepravilno postavljenog mesta za ubacivanje vazduha

3 METODE ZA PRORAČUN KANALA

Metode koje se koriste za proračun, odnosno dimenzionisanje kanala su:

1. Metoda smanjivanja brzina;
2. Metoda konstantnog pada pritiska;
3. Metoda povraćaja statičkog pritiska i
4. Metoda ukupnog pada pritiska.

Prve dve metode se primenjuju za proračun kanala u sistemima klimatizacije niskog, a druge dve u sistemima visokog pritiska. Bez obzira o kojoj metodi se radi potrebno je voditi računa o dozvoljenom nivou buke i ukupnom padu pritiska u kanalskoj mreži. Naime, sa porastom brzine povećava se nivo šuma u kanalima, a pored toga i otpor strujanju (zavisi od kvadrata brzine) koji rezultira većim naporom ventilatora, odnosno većom snagom ventilatora.

3.1 Metoda smanjenja brzine

Metoda smanjenja brzine predstavlja najjednostavniju metodu za proračun kanala u sistemima niskog pritiska. Brzine vazduha u delovima kanalske mreže se usvajaju na osnovu iskustvenih podataka - preporučenih brzina iz literature. Brzina strujanja vazduha najveća je iza

potisnog ventilatora i opada kako se kanali približavaju prostoriji. Brzina na kraju kanala, na mestu ubacivanja vazduha, prilagođava se potrebnom dometu mlaza vazduha koji se ubacuje u prostoriju. Orijentacione vrednosti preporučenih brzina date su tabeli 3.1.

Tabela 3.1 Preporučene brzine strujanja vazduha u kanalima sistema niskog pritiska

Brzina (m/s) Vrsta objekta	Glavni kanal	Srednji deo i ogranci
Stambene zgrade, hoteli	5,0 7,5	3,0 6,5
Pozorišta, bioskopi, kancelarije	6,5 10,0	5,0 8,0
Restorani, bolnice	10,0 7,5	8,0 6,5

Prednosti ove metode:

1. Potrebana površina poprečnog preseka se lako određuje ($A = \frac{\dot{V}}{w}$);
2. Izbor brzina je vezan za preporučene vrednosti, pa se na taj način ne izaziva prekoračeni nivo buke pri radu sistema;
3. Način proračuna je jednostavan i lak.

Nedostaci:

1. Ova metoda je primenljiva samo za jednostavne sisteme;
2. Padovi pritiska u pojedinim deonicama mreže su neujednačeni, pa je kanalska mreža loše uravnotežena (obavezno je postavljanje regulacionih elemenata i naknadno uregulisanje mreže);
3. Moguća je pojava mesta u mreži u kojima je statički pritisak niži od atmosferskog,

$$p_{st} < p_{atm}$$

3.2 Metoda konstantnog pada pritiska ($R = \text{const}$)

Ovaj način proračuna daje bolje rezultate u odnosu na metodu smanjenja brzine jer se postiže ravnomernije strujanje vazduha. Prema ovoj metodi prečnik kanala se tako usvaja da deonice kanala imaju isti jedinični pad pritiska usled trenja. U prvoj (glavnoj) deonici od klima komore, brzina se bira prema preporukama, kako ne bi došlo do pojave prevelikih šumova. Kada se prema usvojenoj brzini i protoku vazduha dimenzioniše prva deonica, odredi se vrednost jediničnog pada pritiska R [Pa/m] i teži se da ova vrednost bude konstantna za celu kanalsku mrežu.

Ova metoda daje dobre rezultate za simetrične kanalske mreže. Često se koristi za sisteme za izvlačenje vazduha. Postoji sličnost ove metode sa prethodnom, jer održavanjem $R = \text{const}$ dolazi do smanjenja brzine strujanja od mesta iza komore do ubacnog elementa. U praksi je čest slučaj da se metoda smanjenja brzina i konstantnog pada pritiska kombinuju prilikom proračuna.

3.3 Metoda povraćaja statičkog pritiska

Ovom metodom obezbeđuje se približno konstantan statički pritisak u celom sistemu, ili se ostvaruje veoma blagi pad statičkog pritiska.

Prilikom strujanja vazduha kroz kanale, usled trenja i lokalnih otpora dolazi do pada ukupnog, tj. totalnog pritiska. Ako je brzina strujanja konstantna, onda se ne menja ni dinamički pritisak, što znači da dolazi do opadanja statičkog pritiska. Suština ove metode je da se pad statičkog pritiska potpuno ili delimično nadoknadi na račun sniženja dinamičkog pritiska. Smanjenje pada statičkog pritiska obezbeđuje se opadanjem dinamičkog pritiska, odnosno smanjenjem brzine strujanja vazduha.

Ključna jednačina:

$$k \cdot \frac{\rho}{2} \cdot (w_1^2 - w_2^2) = R \cdot l,$$

gde su:

k - faktor povraćaja statičkog pritiska (koji može biti manji, veći ili jednak jedinici),

w_1 i w_2 - brzine strujanja vazduha,

R - jedinični pad pritiska usled trenja i

l - dužina deonice (korektnije je da bude l_2 , ali je teže za računanje; jednostavnije je l_1).

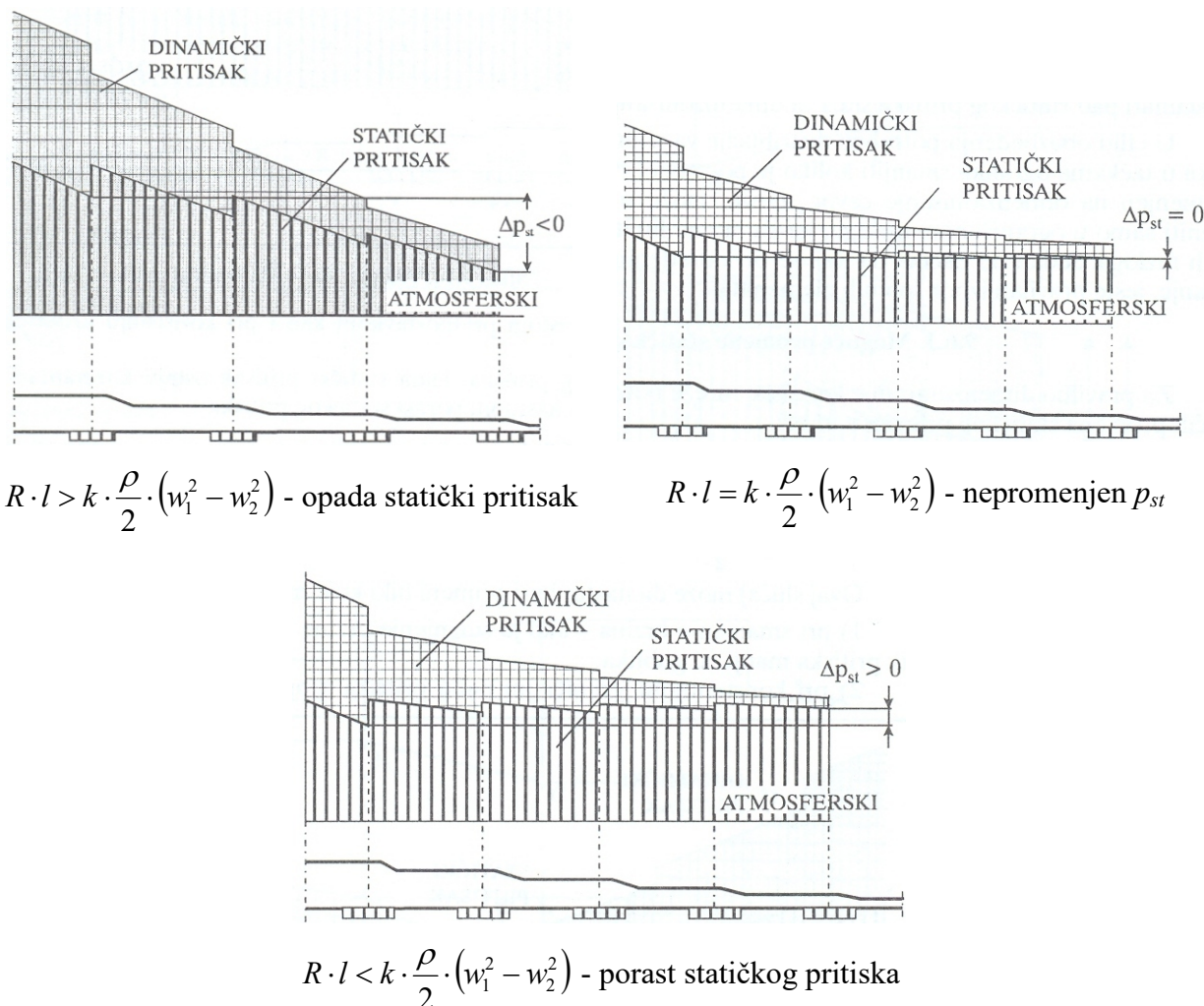
Ova metoda se primenjuje za sisteme visokog pritiska, jer je tu početna brzina dovoljno velika, pa postoji mogućnost za pretvaranje dinamičkog u statički pritisak. Visok statički pritisak je neophodan u sistemima visokog pritiska zbog načina ubacivanja vazduha - kako bi se postigla indukcija vazduha. Metoda daje najbolje rezultate za relativno duge, prave mreže sistema visokog pritiska sa dosta odvajanja (ali da nema mnogo lokalnih otpora, jer su padovi pritiska zbog velikih brzina veliki, pa se ne mogu nadoknaditi na račun smanjenja brzine).

Metoda povraćaja statičkog pritiska može se koristiti i za dimenzionisanje kanalske mreže sistema niskog pritiska. Polazna jednačina je:

$$k \cdot \frac{\rho}{2} \cdot (w_1^2 - w_2^2) = \left(\lambda_2 \frac{l_2}{d_2} + \sum \xi_2 \right) \frac{\rho}{2} \cdot w_2^2.$$

U sistemima niskog pritiska obično je pad pritiska usled lokalnih otpora veći nego usled trenja, pa se prethodna jednačina može uprostiti i na osnovu nje se mogu dobiti dijagrami za praktična računanja poprečnih preseka kanala.

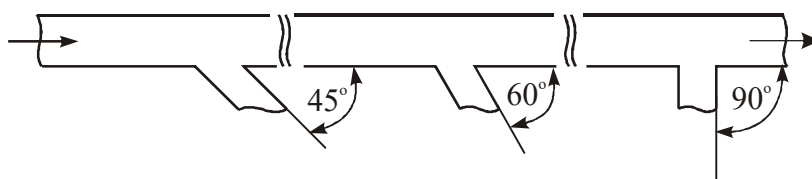
Na slici 3.1 prikazani su dijagrami promene statičkog i dinamičkog pritiska u zavisnosti od vrednosti faktora povraćaja statičkog pritiska k .



Slika 3.1 Promena statičkog i dinamičkog pritiska

3.4 Metoda ukupnog pada pritiska

Ova metoda koristi se za proračun kanala u sistemima visokog pritiska. Suština metode je da pad totalnog pritiska u svim deonicama mreže od klima komore do svakog mesta ubacivanja vazduha u prostoriju bude približno jednak (što je slična filozofija kao pri dimensionisanju cevne mreže kod toplovodnih sistema). Primenom različitog ugla odvajanja ogranka moguće je menjati pad pritiska u ogranku (slika 3.2). Cilj je da ukupni pad pritiska u kanalima i ogranku bude približno isti, odnosno da raspoloživi pritisak na ulazu u svaki element za ubacivanje vazduha bude približno isti.



Slika 3.2 Način izvođenja ogranka u kanalskoj mreži sistema visokog pritiska u cilju promene pada pritiska u ogranku

Proračun se započinje od ogranka i ide ka klima komori. Postupak proračuna se vrši iz više prolaza, tako da se isključivo radi uz pomoć računara.

Metoda ukupnog pada pritiska daje dobru uravnoteženost kanlaske mreže, tako da su eventualna balansiranja (prigušenja) potrebna samo zato što se radi sa standardizovanim dimenzijama kanala.

Tabela 3.2 Izbor debljine lima u zavisnosti od dimenzija kanala

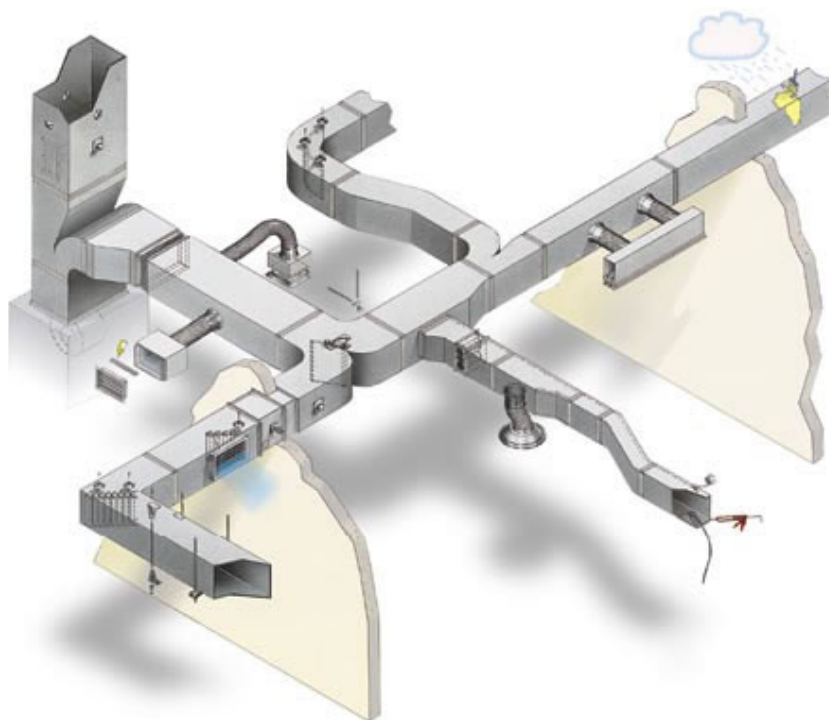
A \ B	100	125	150	175	200	225	250	275	300	350	400	450	500	600	700	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
100																						
125																						
150																						
175																						
200																						
225																						
250																						
275																						
300																						
350																						
400																						
450																						
500																						
600																						
700																						
800																						
1000																						
1200																						
1400																						
1600																						
1800																						
2000																						



Slika 3.3 Fazonski komadi



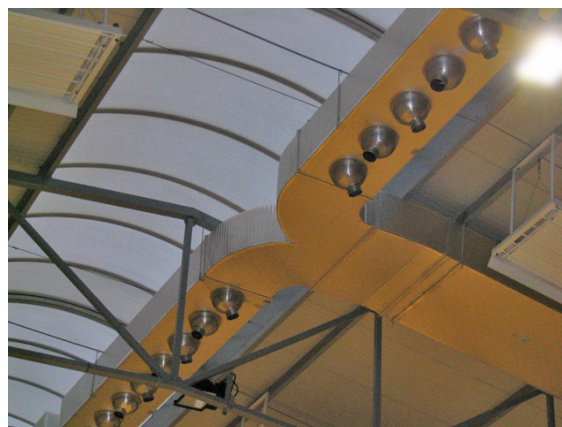
Slika 3.4 Proizvodnja kanala



Slika 3.5 Izgled dela kanalske mreže



Slika 3.6 Pribor za vešanje kanala



Slika 3.7 Primeri delova izvedenih kanalskih mreža

4. SISTEMI KLIMATIZACIJE

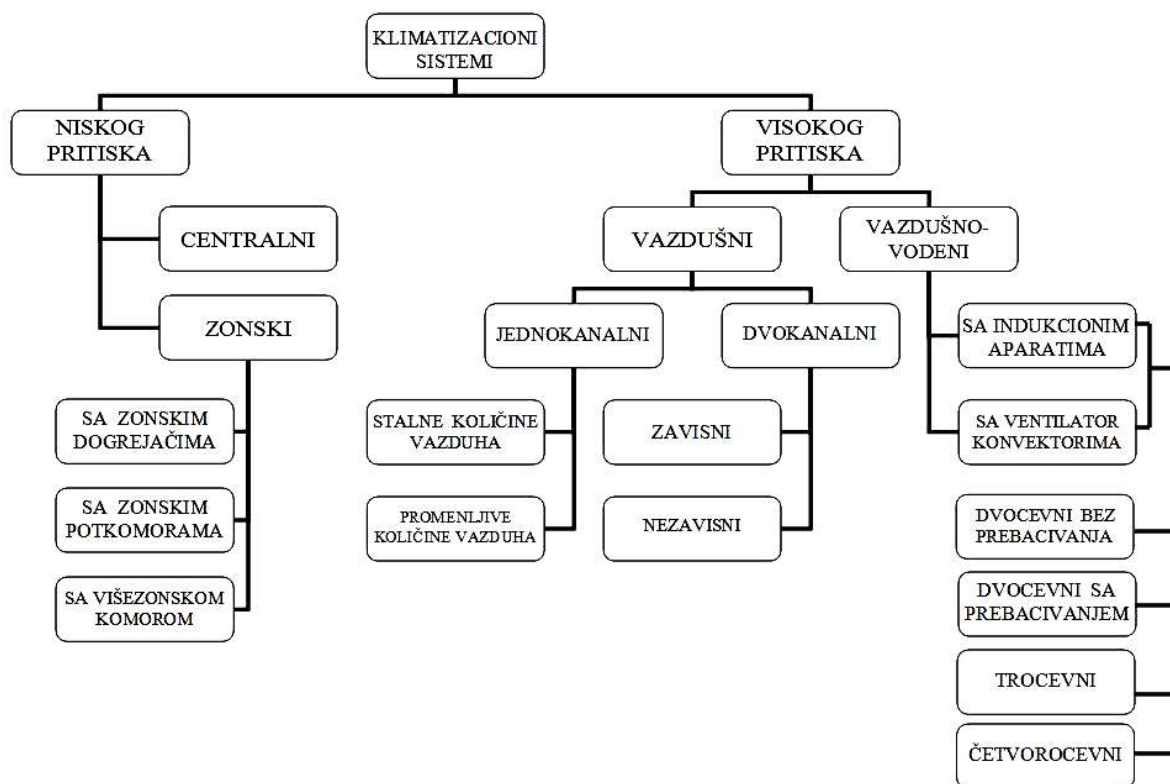
Klimatizaciono postrojenje je tehnički sistem kojim se u klimatizovanom prostoru postižu i održavaju zahtevani termički uslovi sredine. Sastoji se iz niza uređaja i elemenata spojenih u jednu funkcionalnu celinu.

Različiti zahtevi za održavanje unutrašnje klime u pojedinim objektima (građevinski, tehnološki, energetski, ekološki, ekonomski, estetski,...) doveli su do razvoja velikog broja klimatizacionih sistema. Svaki od tih sistema ima svoje prednosti i nedostatke, što određuje njihov domen primene. Sagledavajući sve relevantne parametre, na projektantu je da odabere najracionalnije, ili tačnije najprihvatljivije rešenje u datim uslovima, jer usvojeno tehničko rešenje je često stvar kompromisa, a ne rezultat optimizacije koju sprovodi projektant.

Podela sistema klimatizacije može se izvršiti prema različitim kriterijumima:

- Prema radnom fluidu
 - vazdušni sistemi (samo vazduh je nosilac toplote do klimatizovanih prostorija)
 - vazdušno-vodeni sistemi
 - vodeni sistemi – NISU pravi sistemi klimatizacije
 - sa rashladnim fluidom (obično freonom) – NISU pravi sistemi klimatizacije
- Prema brzini strujanja vazduha kroz kanale
 - sistemi niskog pritiska (maksimalna brzina strujanja vazduha u kanalu je manja od 12 m/s)
 - sistemi visokog pritiska ($w > 12 \text{ m/s}$ – može da ima vrednost 25 do 30 m/s)
- Prema broju kanala
 - jednokanalni
 - dvokanalni
- Prema količini vazduha
 - sa konstantnom količinom vazduha
 - sa promenljivom količinom vazduha – varijabilni sistemi
- Prema broju cevi u sistemu
 - dvocevni
 - trocevni
 - četvoroccevni

Na slici 4.1 dat je šematski prikaz i podela osnovnih sistema klimatizacije. Svaki od tih sistema može se izvesti na različite načine (podvarijante osnovnih sistema klimatizacije).



Slika 4.1. Klasifikacija klimatizacionih sistema

5. CENTRALNI JEDNOKANALNI SISTEM NISKOG PRITISKA SA KONSTANTNOM KOLIČINOM VAZDUHA

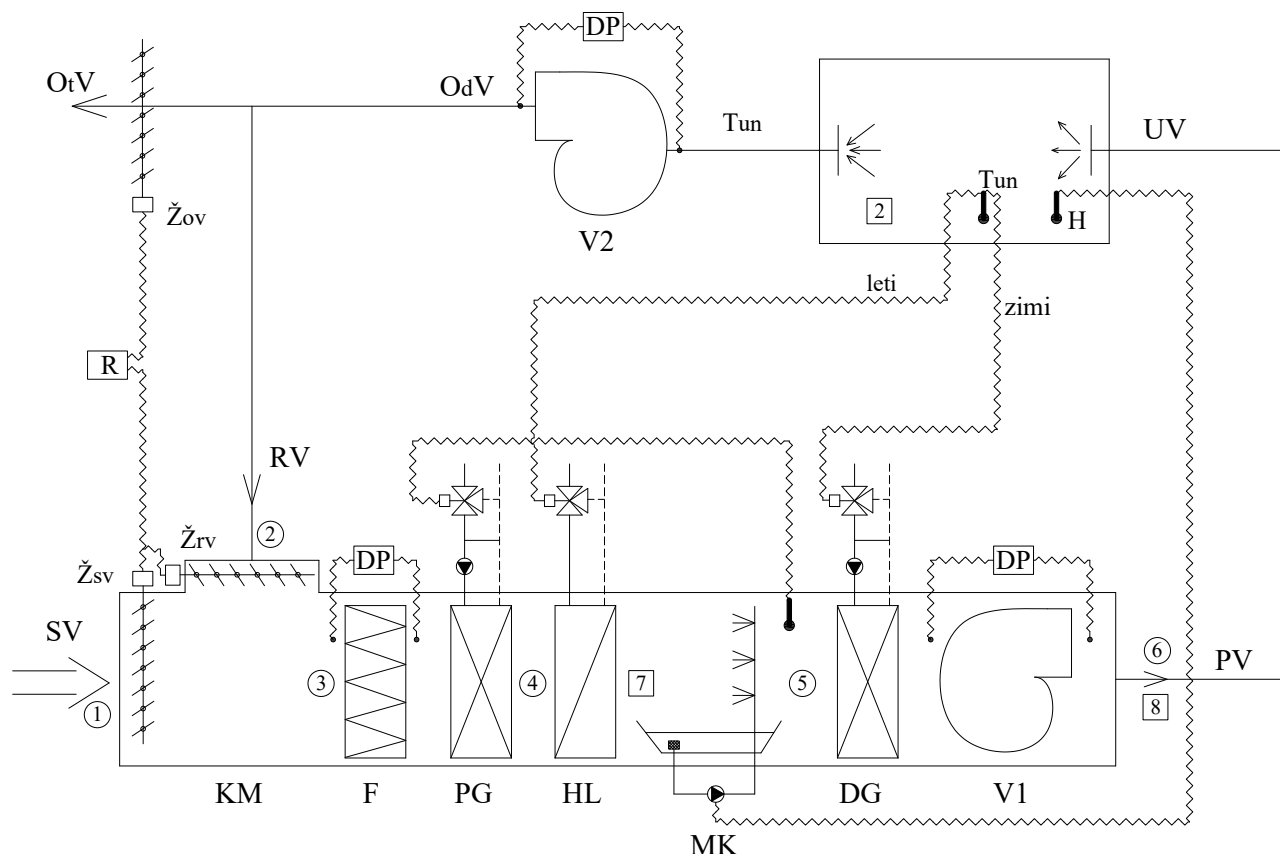
Centralni jednokanalni sistem niskog pritiska je osnovni i najjednostavniji sistem klimatizacije. To je čisto vazdušni sistem – radni fluid je samo vazduh. Vazduh se priprema na jednom mestu, u centralnoj klima komori, a zatim se kroz razvodne kanale dovodi u prostorije koje treba klimatizovati. Ako se zanemari hlađenje/zagrevanje vazduha pri razvođenju kanalskom mrežom, u sve prostorije dolazi pripremljeni vazduh istih parametara (temperatura, vlažnost vazduha).

U klima komori se uvek priprema konstantna količina vazduha, pri čemu je jedino moguće menjati odnos između količine svežeg i recirkulisanog vazduha (u mešnoj komori). Žaluzine otpadnog, recirkulacionog i svežeg vazduha su uvek spregnute i to na način da je otvorenost žaluzina za svež i otpadni vazduh uvek ista, a otvorenost žaluzina za recirkulacioni vazduh je obrnuto proporcionalna otvorenosti žaluzina za svež vazduh.

Na slici 5.1 prikazana je šema jedne klima komore koja radi i u zimskom i u letnjem režimu rada. To je jedno od mogućih, kod nas često primenjivanih sistema klimatizacije. Inače, moguća su i druga rešenja centralnog jednokanalnog sistema. Filter klase EU-2 do EU-5 prečišćava vazduh za ubacivanje u klimatizovane prostorije, a u isto vreme i štiti elemente klima komore od zaprljanja.

Grejač je podeljen na predgrejač i dogrejač i povezan na razdelnik tople vode. Ovo rešenje je uobičajeno kada se vlaženje vazduha ostvaruje maglenom komorom. Vlaženje

vazduha u maglenoj komori je izentalpski proces, prilikom koga dolazi do isparavanja kapljica vode. Toplota promene faze (toplota isparavanja) oduzima se od vazduha, tako da pri ovom procesu opada temperatura vazduha koji se vlaži. Kada se vlaženje vazduha vrši parnim ovlaživačem, ili se vazduh uopšte ne vlaži, dovoljan je jedan grejač u klima komori. Hladnjak ima funkciju hlađenja i sušenja vazduha i povezan je sa rashladnim agregatom, odnosno razdelnikom hladne vode.



Slika 5.1. Šema klima komore centralnog jednokanalnog sistema

SV – svež vazduh
 KM – komora za mešanje
 F - filter
 PG – predgrejač
 HL – hladnjak
 MK – maglena komora
 DG – dogrejač
 V1 – ubacni (potisni) ventilator
 PV – pripremljen vazduh
 UV – ubacni (dovodni) vazduh

T - termometar
 H - higrostat
 V2 – odsisni (odvodni) ventilator
 OdV – odvodni vazduh
 OtV – otpadni vazduh
 Žrv – žaluzina recirkulacionog vazduha
 Žsv – žaluzina svežeg vazduha
 Žov – žaluzina otpadnog vazduha
 DP – diferencijalni presostat
 RV – recirkulacioni (optičajni) vazduh

Stanja vazduha:



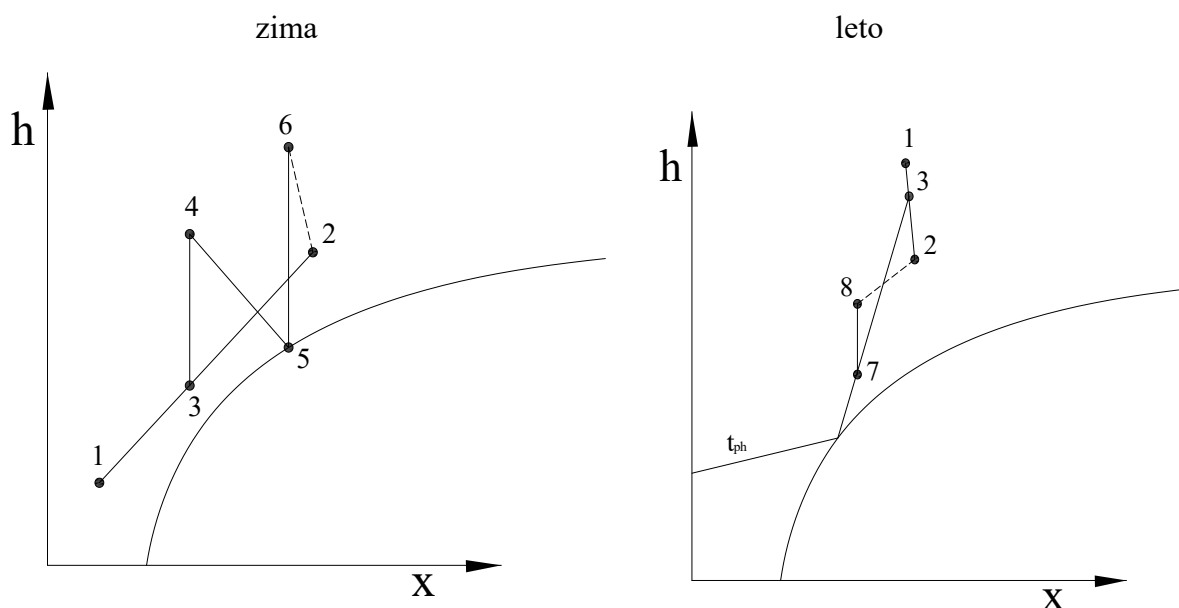
zima



leto

U zimskom periodu, svež vazduh stanja 1 adijabatski se meša u komori za mešanje sa recirkulacionim vazduhom stanja 2 (slika 5.2). Mešavina stanja 3 zagreva se u predgrejaču do stanja 4, a zatim vlaži u maglenoj komori do stanja 5. U zimskom režimu rada hladnjak je van funkcije. Ovlaženi vazduh se u dogrejaču zagreva do stanja 6 koje predstavlja pripremljeni vazduh, i ukoliko je kanalska mreža relativno kratka, onda je to u isto vreme i stanje ubacnog vazduha (vazduha koji se uvodi u klimatizovanu prostoriju).

U letnjem periodu, mešavina svežeg i recirkulisanog vazduha stanja 3 hladi se i suši (vazduh se odvlažuje) u hladnjaku čija je temperatura površine t_{ph} do stanja 7. Vazduh se zagreva u dogrejaču do potrebne temperature ubacnog vazduha (stanje 8). Vazduh se pothlađuje u hladnjaku da bi se odvela potrebna količina vlage. Ovo rešenje se primenjuje kada je potrebna striktna regulacija vlage u letnjem režimu. U letnjem periodu, predgrejač i maglena komora su van funkcije.

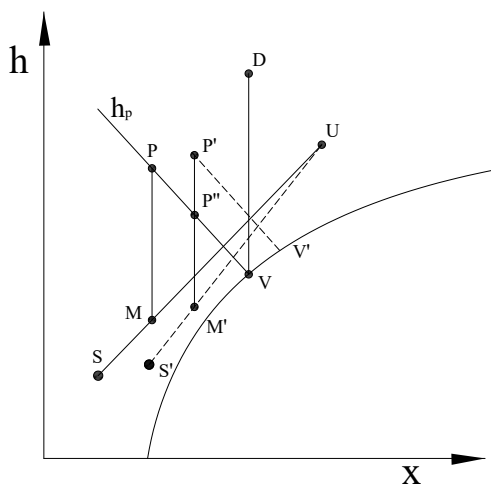


Slika 5.2. Proces pripreme vazduha u zimskom i letnjem periodu u h - x dijagramu

5.1 Regulacija elemenata u klima komori

Predgrejač se uobičajeno reguliše preko temperature tačke rose (termostat se postavlja na izlazu iz maglene komore). Predgrejač se dimenzioniše prema projektnim uslovima (svež vazduh stanja S, a zagrevanje u predgrejaču od stanja mešavine M do tačke P na entalpiji adijabatskog vlaženja po liniji $h_p = \text{const}$).

Kada se stanje spoljnog vazduha promeni (stanje S' na slici 5.3) mešavina prelazi u stanje M' i pri nepromenjenom protoku i temperaturi vode na ulazu u predgrejač, stanje vazduha na izlazu iz predgrejača je P'. Posle vlaženja temperatura vazduha je t_v (stanje V') i termostat iza maglene komore (slika 5.1) utvrđuje da je temperatura posle vlaženja viša od



Slika 5.3 Regulacija predgrejača preko temperature tačke rose

zadate (željene, postavne) vrednosti t_v . Termostat šalje signal elektromotornom pokretaču trokrakog ventila da smanji protok vode iz razdelnika tople vode (a proporcionalno poveća protok povratne vode iz predgrejača) čime se snižava temperatura na ulazu u predgrejač sve dok se na izlazu iz maglene komore ne dobije zasićen vazduh temperature t_v , odnosno stanja V.

Regulacija **dogrejača i hladnjaka** je prema temperaturi vazduha u prostoriji. Češće se meri temperatura vazduha u odvodnom kanalu, jer realnije reprezentuje termičko stanje u prostoriji.

Postoji više mogućih načina za regulisanje **žaluzina**. Signali za vođenje pokretača žaluzina mogu se dobiti na osnovu sledećih kriterijuma:

1. Konstantna temperatura mešavine (termostat na izlazu iz komore za mešanje)
2. Zavisnost količine svežeg vazduha od spoljne temperature – „trapezni“ dijagram otvaranja žaluzina (postoji i senzor spoljašnje temperature)
3. Količina svežeg vazduha se određuje u zavisnosti od temperature spoljnog vazduha i temperature odvodnog vazduha tako da se troši najmanje energije za zagrevanje ili hlađenje vazduha u klima komori (procesorska jedinica određuje optimalan položaj žaluzina).
4. Entalpijsko regulisanje – slično kao 3. s razlikom što se, osim temperature, meri i vlažnost vazduha, pa se troši najmanje energije za pripremu vazduha.

Oko **filtera** se postavlja diferencijalni presostat, koji meri pad pritiska i kada se dostigne određena vrednost koju propisuje proizvođač filtera, signalizira se da treba zameniti ili očistiti zaprljani filter.

Diferencijalni presostat je postavljen i oko **ventilatora**, i on pokazuje indikaciju rada ventilatora.

Pumpa **maglene komore** povezana je sa higrostatom (meri vlažnost) u prostoriji ili u kanalu odvodnog vazduha i poredi je sa zadatom vrednošću.

Prednosti centralnih jednokanalnih sistema:

- najmanje složen sistem
- investiciono najjeftiniji, relativno niski eksploatacioni troškovi
- moguća kombinacija sa radijatorskim grejanjem

Nedostaci:

- nema individualne, lokalne regulacije
- radi sa velikim količinama vazduha

Ovo je sistem koji se u praksi najčešće koristi. Primenjuje se kada prostorije imaju sličnu dinamiku promene toplotnog opterećenja (obično kada je veliki uticaj spoljašnjih, a relativno mali unutrašnjih dobitaka toplote). Naravno, primenjuje se uvek kada se radi o jednoj velikoj prostoriji (sportska dvorana, hala, magacin i sl.).

5.2 UŠTEDA ENERGIJE U KLIMATIZACIONIM SISTEMIMA

Klimatizaciona postrojenja su veliki potrošači energije. Posle energetske krize sedamdesetih godina prošlog veka, cilj je da se određenim tehničkim rešenjima i načinom eksploatacije sistema smanji specifična potrošnja energije (potrošnja energije po m² klimatizovanog prostora). Na tome se u svetu veoma mnogo radi i postižu rezultati. Međutim, treba konstatovati da neka rešenja (neke mere za smanjenje potrošnje energije) idu na uštrb komfora (kvaliteta vazduha, temperature u prostoriji i dr.), što je u suprotnosti sa osnovnim zadatkom klimatizacije. Praksa pokazuje da treba da postoji i mera za štednju energije. Najčešće korišćene mere za energetske efikasnost klimatizacionih postrojenja su:

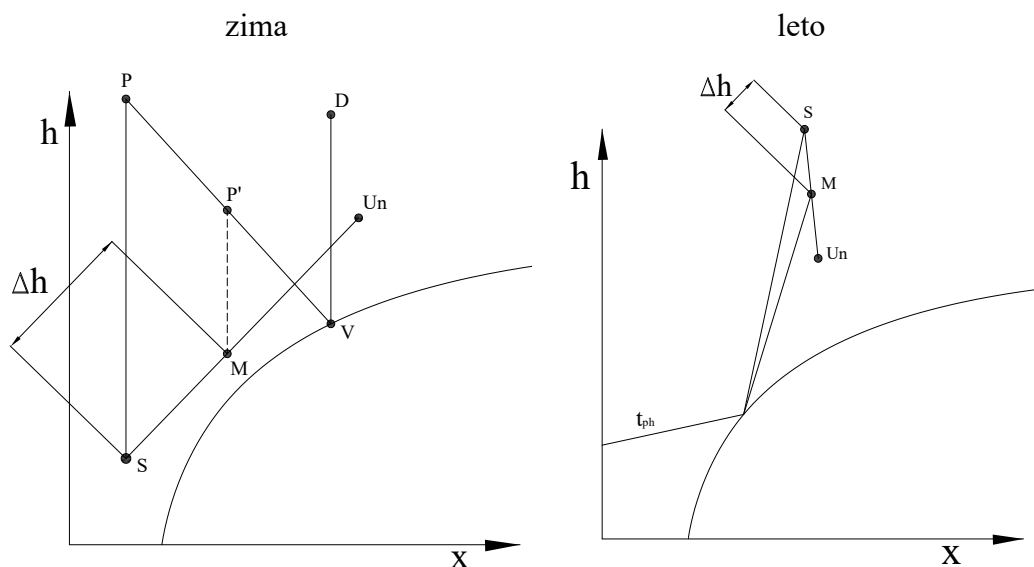
5.2.1 Korišćenje recirkulacionog vazduha

Ukupna količina vazduha \dot{V}_{UK} obično se određuje na osnovu toplotnog opterećenja prostorije \dot{Q}_{dob} , u našim klimatskim uslovima ređe na osnovu gubitaka toplote \dot{Q}_{gub} , dok količinu svežeg vazduha \dot{V}_{SV} određujemo iz uslova ventilacije.

Količina recirkulacionog vazduha može se odrediti kao razlika između ukupne količine vazduha i neophodnog minimuma količine svežeg vazduha:

$$\dot{V}_R = \dot{V}_{UK} - \dot{V}_{SV}$$

Uvođenjem recirkulacionog vazduha smanjuje se potrošnja energije za pripremu klimatizovanog vazduha, naročito kada je spoljna temperatura bliska spoljnoj projektnoj temperaturi (slika 5.4).



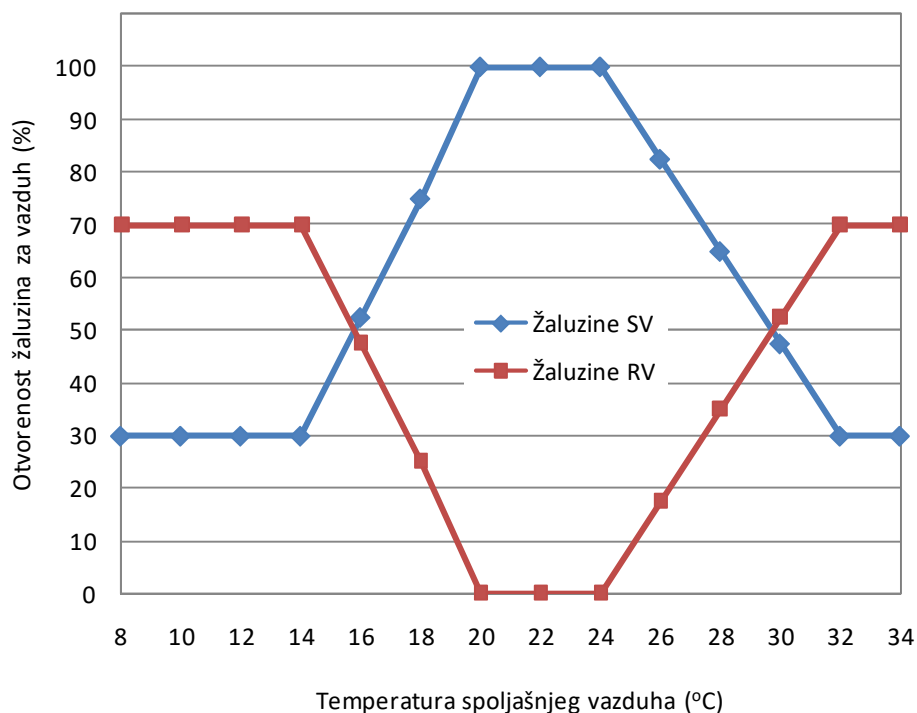
Slika 5.4 Ušteda energije za grejanje i hlađenje korišćenjem recirkulacionog vazduha

Promena količine svežeg vazduha u sistemu

a) Povećavanje udela svežeg vazduha \dot{V}_{SV}

Kao što je prethodno navedeno, u cilju uštede energije sistem za klimatizaciju obično radi sa minimalno potrebnom količinom svežeg vazduha, ali ne smeta da se udeo svežeg vazduha poveća u određenim situacijama. Kada je spoljna temperatura 16 ÷ 18°C, a objekat treba da se

hladi zbog unutrašnjih dobitaka toplote ili Sunčevog zračenja, racionalno je povećati udeo svežeg vazduha i time eliminisati potrebu za uključivanjem rashladne mašine. Ovo korišćenje spoljnog vazduha čija je temperatura niža od temperature u objektu naziva se „free cooling“ (u našem jeziku koriste se termini: slobodno hlađenje, besplatno hlađenje, a ako se primenjuje van radnog vremena objekta i noćna ventilacija). U prelaznim periodima, između režima grejanja i hlađenja, racionalno je povećati udeo svežeg vazduha u sistemu, a da se ne utiče na energiju potrebnu za pripremu vazduha. Dijagram upravljanja žaluzinama prikazan je na slici 5.5.



Slika 5.5 Dijagram upravljanja žaluzinama za svež i recirkulacioni vazduh u funkciji spoljne temperature vazduha

b) Ukidanje \dot{V}_{SV} , odnosno privremeni rad samo sa recirkulacionim vazduhom

Kod objekata koji rade sa prekidom (npr. pozorišta) posle prekida rada potrebno je uzgrevanje (ili pothlađivanje) objekta, i to se može uraditi sa recirkulacionim vazduhom. Pre početka ulaska ljudi u objekat, sistem klimatizacije prebacuje se u rad sa potrebnom količinom svežeg vazduha.

5.2.2 Dozvoljena veća tolerancija unutrašnje temperature i vlažnosti

Zimi je uobičajeno u klimatizovanim prostorima:

$$t_{unz} = 22 \pm 1^{\circ}\text{C} \quad \Rightarrow \quad 21 \div 23^{\circ}\text{C}$$

U cilju štednje energije sve češće se dozvoljava veći opseg varijacije unutrašnje temperaturame:

$$t_{unz} = 22 \pm 2^{\circ}\text{C} \quad \Rightarrow \quad 20 \div 24^{\circ}\text{C}$$

Sa uobičajenom automatikom koja se koristi u klima postrojenjima, moguće je temperaturu održavati u nižem opsegu dozvoljenih varijacija. Sa svakim stepenom niže

temperature u zimskom periodu, u našim klimatskim uslovima ostvaruje se ušteda energije od približno 6%.

Slično se događa i leti:

$$t_{unl} = 26 \pm 1^\circ\text{C} \quad \text{a sve češće se dozvoljava } t_{unl} = 26 \pm 2^\circ\text{C}$$

Još je veći uticaj odstupanja relativne vlažnosti vazduha na potrošnju energije. Nekada je zahtevana vlažnost vazduha bila:

$$\varphi = 50 \pm 5\% \quad \Rightarrow \quad \varphi = 45 \div 55\%,$$

što je relativno teško održavati s maglenom komorom (lakše je parnim ovlaživačima).

Kasnije se taj uslov promenio na $\varphi = 50 \pm 10\%$, dok je danas $\varphi = 50 \pm 20\%$, a vrlo često se i ne zadaje minimalna vlažnost vazduha u zimskom periodu.

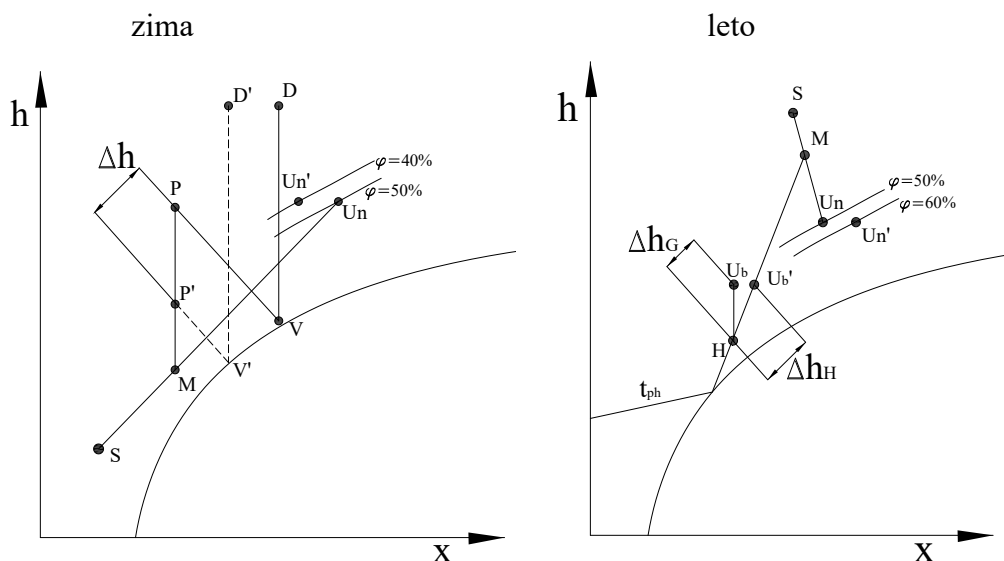
S aspekta termičke ugodnosti, za čoveka je prirodnije da je u prostoriji zimi viša relativna vlažnost a leti niža, dok je sa energetskog stanovništa povoljnije obrnuto (slika 5.6).

Zima:

- dopuštamo nižu vlažnost u prostoriji – stanje U_N'
- ubacuje se vazduh stanja D' zagrejan u dogrejaču
- dovoljno je zagrejati vazduh u predgrejaču do stanja $P' \Rightarrow$ (umesto do P) ušteda Δh

Leto:

- danas se vazduh više ne suši pa dogreva, već se proces zaustavlja u stanju U_b' , usled čega se povisava relativna vlažnost u prostoriji, ali se ostvaruje ušteda i u grejaču i u hladnjaku - Δh_G i Δh_H . Stanje vazduha u prostoriji se pomera sa U_n na U_N'



Slika 5.6. Ušteda energije pri odstupanju relativne vlažnosti vazduha

5.2.3 Korišćenje otpadne toplote

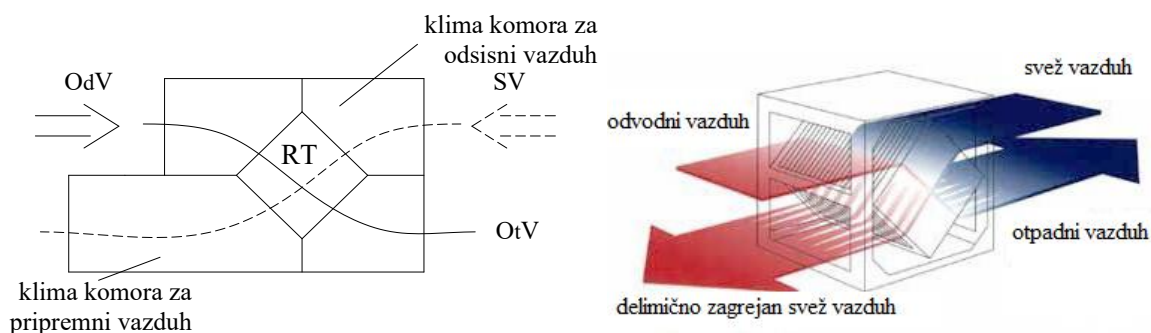
Kada iz nekog razloga ne može da se radi sa recirkulacionim vazduhom (zbog vraćanja zagađivača sadržanih u recirkulacionom vazduhu), toplota sadržana u otpadnom vazduhu može se iskoristiti za zagrevanje/hlađenje svežeg vazduha pomoću nekog razmenjivača toplote.

U slučaju kada se koriste razmenjivači za povrat otpadne toplote vazduha, konstrukcija klima komore je spratna.

a) **Rekuperativni pločasti razmenjivač toplote** sa unakrsnim strujanjem

U zimskom periodu svež vazduh se greje na osnovu hlađenja odvodnog vazduha čija je temperatura jednaka temperaturi vazduha u klimatizovanoj prostoriji. U letnjem periodu spoljni vazduh se hladi na račun zagrevanja odvodnog vazduha. Svež vazduh prima samo suhu toplotu, dok se odvodnom vazduhu može u zimskom periodu pored suve oduzeti i deo latentne toplote.

Klima komora za pripremu klimatizovanog vazduha i odsisna komora moraju se postaviti jedna na drugu kako bi se mogao ugraditi pločasti razmenjivač toplote. Ispred razmenjivača toplote ugrađuje se filter kako se uzani prostori između ploča RT ne bi zaprljali i začepili. Pri dimenzionisanju ventilatora u klima komorama mora se uzeti u obzir i pad pritiska u pločastom RT. Šematski prikaz pločastog rekuperativnog razmenjivača toplote prikazan je na slici 5.7, a njegov izgled i promena stanja vazduha u zimskom režimu na slici 5.8.



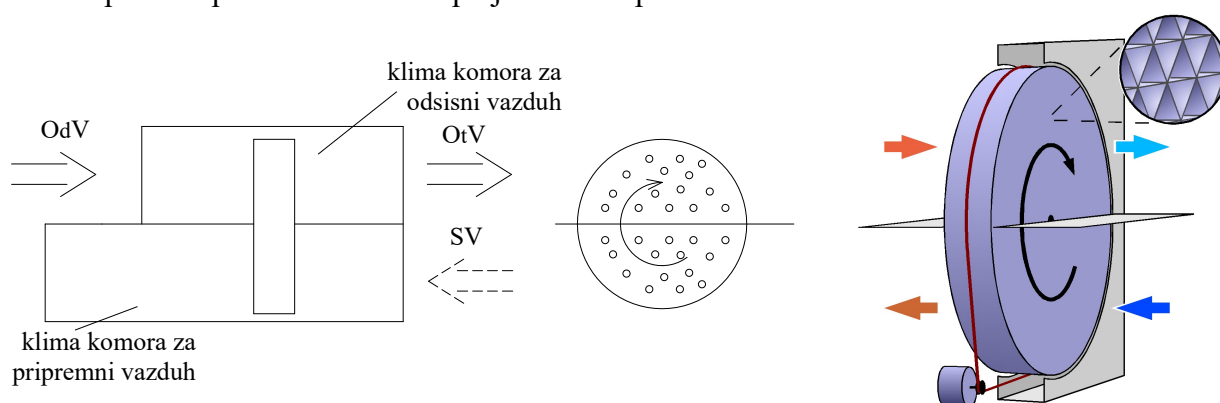
Slika 5.7. Ušteda energije korišćenjem rekuperativnog pločastog RT



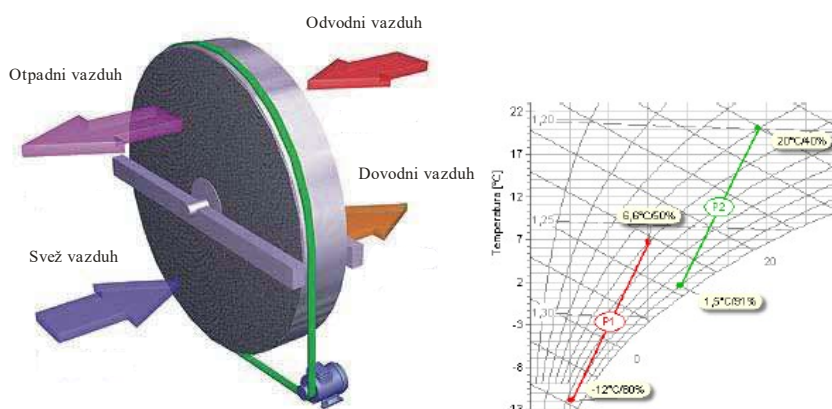
Slika 5.8 Pločasti rekuperator i promena stanja svežeg i otpadnog vazduha

b) Regenerativni rotacioni razmenjivač toplote

U zimskom periodu, topao odvodni vazduh struji kroz saće izrađeno obično od aluminijumske folije i zagreva ga. Kada usled rotiranja taj deo razmenjivača toplote dospe u struju hladnog svežeg vazduha, toplota prelazi sa saća RT na svež vazduh i zagreva ga. Ovim uređajem može da se iskoristi suva toplota, ali ako je saće premazano higroskopskim slojem može da se vrati deo i suve i latentne toplote, čime se postiže bolji stepen iskorišćenja otpadne toplote. U letnjem periodu odvodni vazduh hladi saće RT, koje kada dođe u struju svežeg vazduha prima toplotu i time hladi spoljni vazduh pre ulaska u klima komoru.



Slika 5.9 Primena regenerativnog rotacionog RT

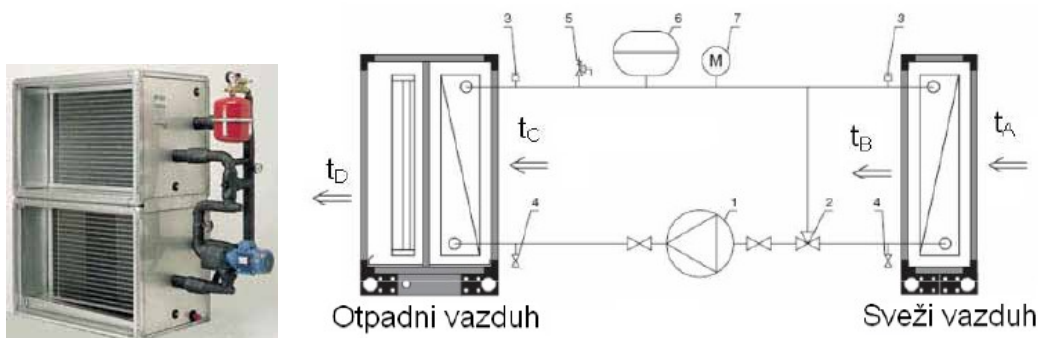


Slika 5.10 Rotacioni regenerativni razmenjivač toplote i promena stanja u h-x dijagramu

Ovaj tip razmenjivača toplote ima izvanredan stepen iskorišćenja toplote iz otpadnog vazduha – oko 90%. U nekim situacijama problem može da bude, kao i u prethodnom slučaju, što otpadni vazduh mora da se dovede do mašinske sale, jer klima komora za pripremu vazduha i odsisna komora moraju da budu smeštene jedna pored druge. Takođe, zbog dodatnog pada pritiska u razmenjivaču toplote, ventilatori moraju da imaju veći napor, a time i povećanu potrošnju električne energije.

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. 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.

c) Razmenjivači toplote sa glikolom



Slika 5.11 Razmenjivači toplote sa glikolom

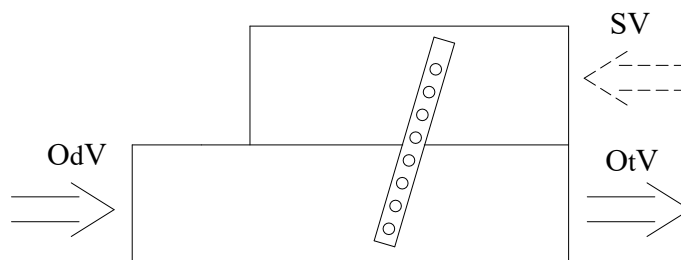
Kada je tehnički teško izvodljivo da se otpadni vazduh pre izbacivanja u atmosferu dovede do mašinske sale, u cilju korišćenja otpadne toplote primenjuje se rešenje sa dva razmenjivača toplote spojena cevovodom (slika 5.11). U zimskom periodu jedan RT oduzima toplotu od odvodnog vazduha, a drugi tu toplotu prenosi na svež vazduh pre ulaska u klima komoru. S obzirom da temperatura spoljnog vazduha može biti ispod 0°C , u cilju zaštite instalacije od zamrzavanja u instalaciji se umesto vode obično koristi mešavina vode i glikola. U letnjem periodu, toplota se oduzima svežem vazduhu i drugim RT predaje odvodnom.

Stepen rekuperacije toplote iz otpadnog vazduha je oko 50%.

d) Toplotna cev

I u ovom slučaju odvodni i svež vazduh moraju da se dovedu u neposrednu blizinu, odnosno klima komora za pripremu vazduha i odsisna komora moraju biti jedna pored druge (slika 5.12). Toplotna cev se delom nalazi u jednoj, a delom u drugoj komori. U cevi se nalazi lako isparljiva tečnost.

- Zimi topli odvodni vazduh dovodi do isparavanja tečnosti, koja kao lakša odlazi u gornji deo cevi, dok hladni svež vazduh kondenzuje tu paru i nastala tečnost se pod uticajem gravitacije spušta u donji deo toplotne cevi.
- Stepenn iskorišćenja $>50\%$



Slika 5.12 Korišćenje otpadne toplote pomoću toplotne cevi

6. ZONSKI SISTEMI

Zonski sistemi se primenjuju kada prostorije imaju različitu dinamiku toplotnog opterećenja. Toplotno opterećenje različito varira, tako da centralnom regulacijom nije moguće ostvariti zahtevane uslove u svakoj prostoriji. Kod zonskih sistema vazduh se zajednički obrađuje do određenog nivoa, a finalna priprema vazduha pre ubacivanja u prostoriju vrši se pojedinačno, prema potrebama svake zone (jedna ili grupa sličnih prostorija).

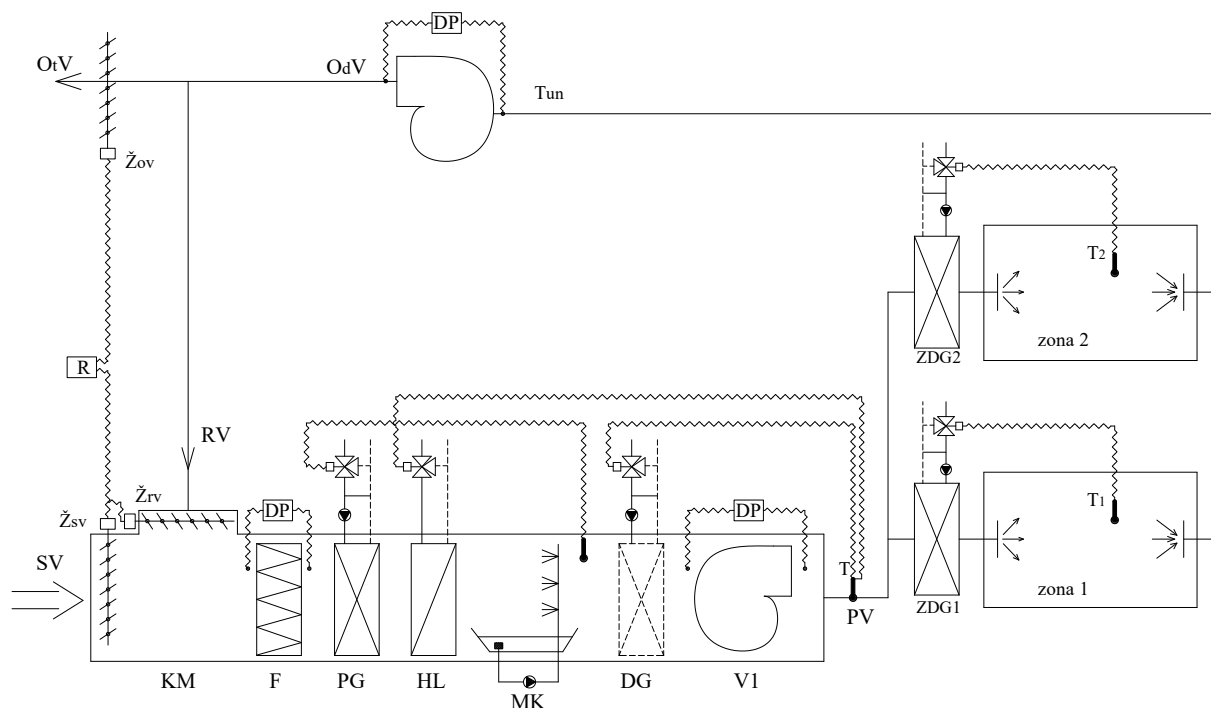
U praksi se mogu sresti tri osnovne varijante zonskih sistema:

- sa zonskim dogrejačima,
- sa višezonskom komorom i
- sa zonskim potkomorama.

Svi zonski sistemi su vazdušni sistemi niskog pritiska sa konstantnom količinom vazduha.

6.1 Sistem sa zonskim dogrejačima

Ovaj sistem je vrlo sličan centralnom jednokanalnom sistemu klimatizacije, samo što se vrši dogrevanje vazduha po zonama, uz zonsku regulaciju (slika 6.1).



Slika 6.1 Šema jednokanalnog sistema sa zonskim dogrejačima

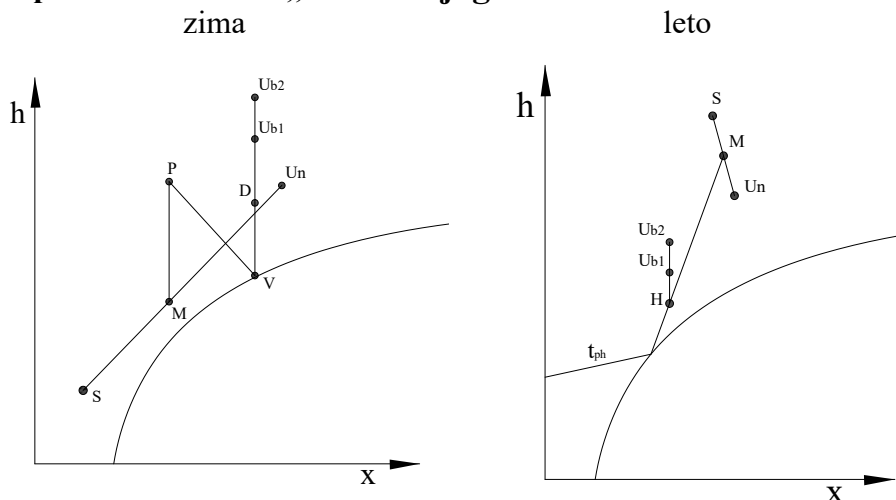
Zajednička priprema vazduha:

- stanje Un – vazduh u prostoriji
- stanje M – iza mešne komore
- stanje D – ako postoji dogrejač u klima komori, a ako nema dogrejača vazduh stanja V ulazi u zonske dogrejače.

Bolja varijanta je kada postoji dogrejač u komori za zajedničku pripremu vazduha, jer ako vazduh stanja V zimi prolazi kroz kanale koji se vode kroz negrejanje prostore, može doći do kondenzacije vlage unutar kanalske mreže.

Zimi ovaj sistem sasvim dobro funkcioniše (nema gubitaka kod stepenastog zagrevanja), dok su leti veliki gubici energije zbog pothlađivanja i dogrevanja vazduha do temperature za zone. Leti se vazduh prvo hladi (do stanja H), pa zatim dogreva do odgovarajuće temperature za svaku zonu, i time troši više energije.

Priprema vazduha u „h – x“ dijagramu:



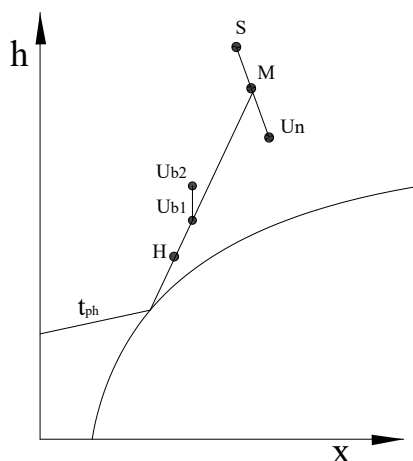
Slika 6.2 Proces pripreme vazduha u zimskom i letnjem periodu

Automatika je slična kao kod jednokanalnih sistema:

- žaluzine mogu da se vode prema jednom od 4 kriterijuma
- filter – presostat za registrovanje zaprljanja
- ventilator – presostat za indikaciju rada
- predgrejač – preko temperature tačke rose
- hladnjak i dogrejač – prema temperaturi u kanalu na izlazu iz komore $t = const$

Regulaciju temperature u svakoj zoni preuzima termostat u zoni (ili još bolje preko temperature vazduha u odvodnom kanalu) koji deluje na elektromotorni pogon trokrakog ventila ispred zonskog dogrejača ZDG.

Ekonomičniji pogon u letnjem periodu moguće je ostvariti ukoliko imamo senzore spoljne temperature, senzore temperature u prostorijama i mikroprocesorsku jedinicu (slika 6.3).



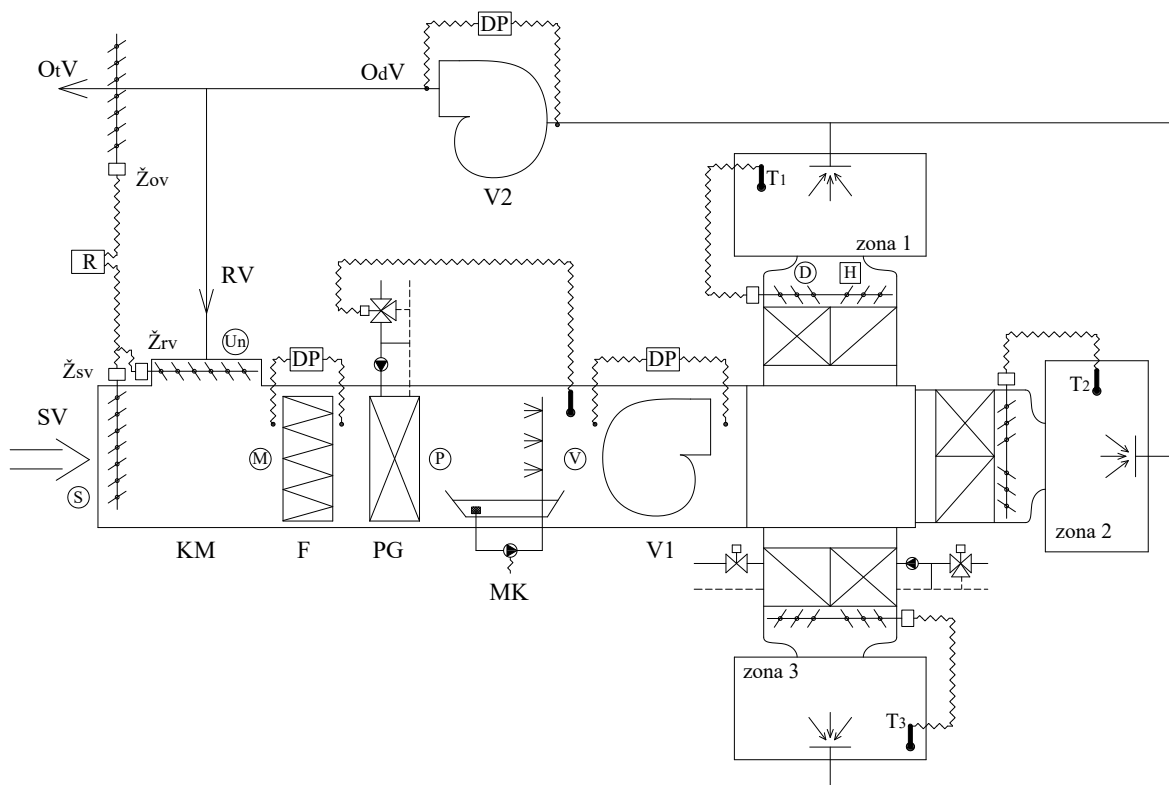
Proces hlađenja prekidamo u stanju Ub1, tako da za tu zonu nemamo gubitke mešanja (nema pothlađivanja pa dogrevanja), a za ostale zone je potrebno manje dogrevanje nego kad bi hlađenje išlo do stanja H.

Slika 6.3 Ekonomičniji proces pripreme vazduha u letnjem periodu

Nedostaci sistema sa zonskim dogrejačima:

- nije ekonomičan sistem ako treba dugo da radi u režimu hlađenja, zbog gubitaka usled pothlađivanja i naknadnog dogrevanja;
- loša kontrola relativne vlažnosti vazduha u prostoriji;
- javlja se problem mešanja mirisa i zagađivača, s obzirom da se u sistem vraća recirkulacioni vazduh iz svih zona zajedno.

6.2 SISTEM SA VIŠEZONSKOM KOMOROM

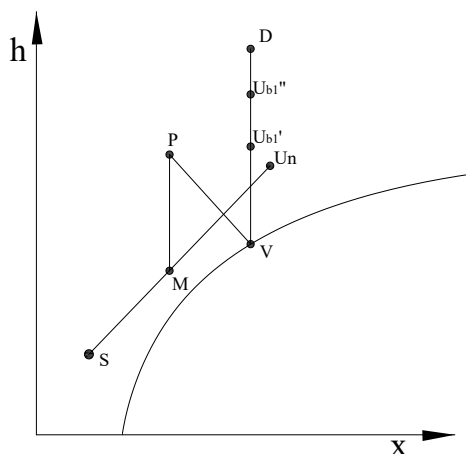


Slika 6.4 Šema sistema sa višezonskom komorom

Klima komora ima više kanalskih priključaka (izlaza iz KK). U svakom se nalazi grejač i hladnjak, tako da svaka zona ima svoj grejač i hladnjak (slika 6.4). Ovi sistemi predstavljaju preteču dvokanalnih sistema.

Ako zimi nije potrebno maksimalno zagrevanje u zoni, deo vazduha prelazi preko hladnjaka koji ne radi, a kada je potrebno maksimalno zagrevanje žaluzina hladnjaka je zatvorena, a žaluzina zonskog dogrejača potpuno otvorena. Slično, ako je leti maksimalno toplotno opterećenje, žaluzine grejača su zatvorene, a žaluzine hladnjaka potpuno otvorene.

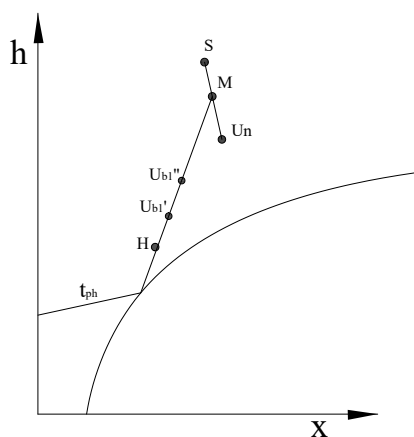
Priprema vazduha u „h – x“ dijagramu:



Stanje D odgovara projektnim uslovima kada ukupna količina vazduha prolazi kroz zonski dogrejač.

Za blaže uslove, deo vazduha stanja V prelazi preko hladnjaka (kao obilaznim vodom), pa se mešanjem sa vazduhom koji je prošao kroz dogrejač dobija vazduh stanja U_{b1}' , U_{b1}'' ,...

Slika 6.5 Proces pripreme vazduha u zimskom periodu



Stanje H odgovara projektnim uslovima kada ukupna količina vazduha prolazi kroz zonski hladnjak.

Za blaže uslove, deo vazduha stanja M prelazi preko grejača (koji je van funkcije), pa se mešanjem dobija vazduh stanja U_{b1}' , U_{b1}'' ,...

Slika 6.6 Proces pripreme vazduha u letnjem periodu

Automatika:

- žaluzine se vode prema jednom od 4 kriterijuma
- filter – presostat za registrovanje zaprljanja
- ventilator – presostat za indikaciju rada
- predgrejač – preko temperature tačke rose

Svaka **zona** ima nezavisno regulisanje:

- regulacija sa vazdušne strane (najčešće) – termostati T1 deluje na položaj žaluzina
- regulacija sa vodene strane (promenom temperature ili protoka vode)
- kombinovana regulacija (gruba sa vodene strane, fina sa vazdušne)

Prednosti sistema sa višezonskom komorom:

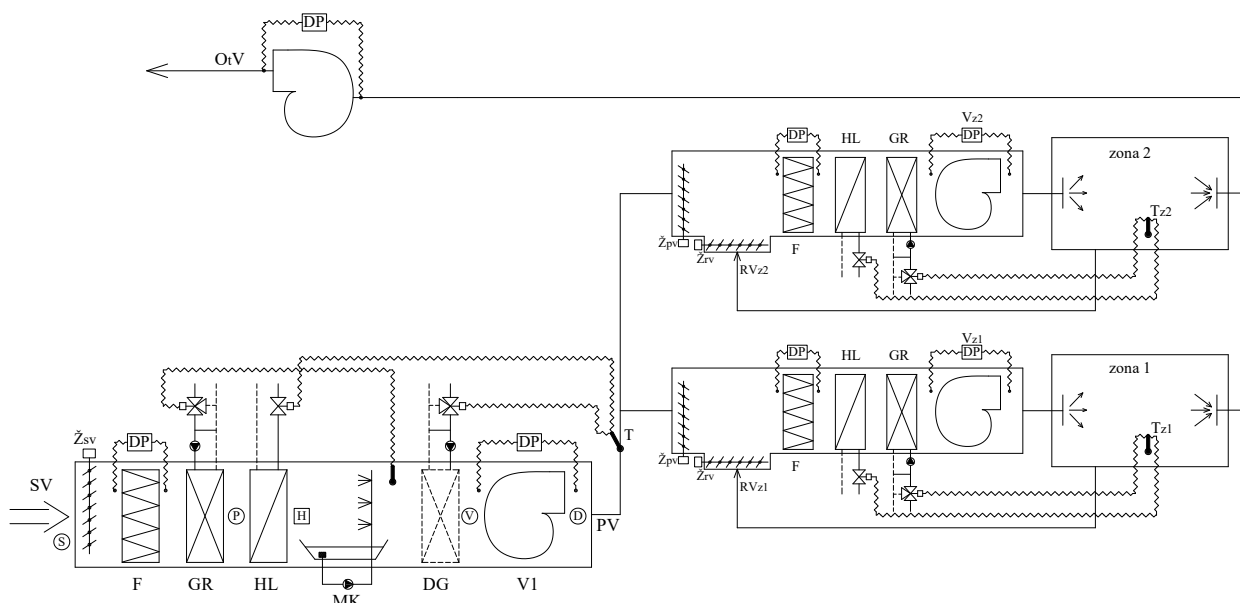
- dobar sistem sa aspekta lokalnog regulisanja,
- fleksibilan u pogonu – zone mogu da imaju različitu dinamiku toplotnog opterećenja,
- nema energetskih gubitaka – nema mešanja toplog i hladnog vazduha.

Nedostaci:

- zahteva više prostora u mašinskoj sali,
- zahteva više automatike,
- nije pogodan za primenu ako jednu zonu treba grejati, a drugu hladiti.

6.3 SISTEM SA ZONSKIM POTKOMORAMA

U zajedničkoj (centralnoj) klima komori priprema se samo svež vazduh, koji se razvodi do svake zonske potkomore u kojoj se meša sa recirkulacionim vazduhom i po potrebi dodatno termički obrađuje (slika 6.7). Iz svake zone, deo vazduha se vraća u zonsku potkomoru kao recirkulacioni vazduh, a deo se izbacuje u atmosferu kao otpadni.



Slika 6.7 Šema sistema sa zonskim potkomorama

Žaluzina svežeg vazduha u centralnoj klima komori je stalno otvorena. Služi da zatvori dovod vazduha samo u ekscenim situacijama.

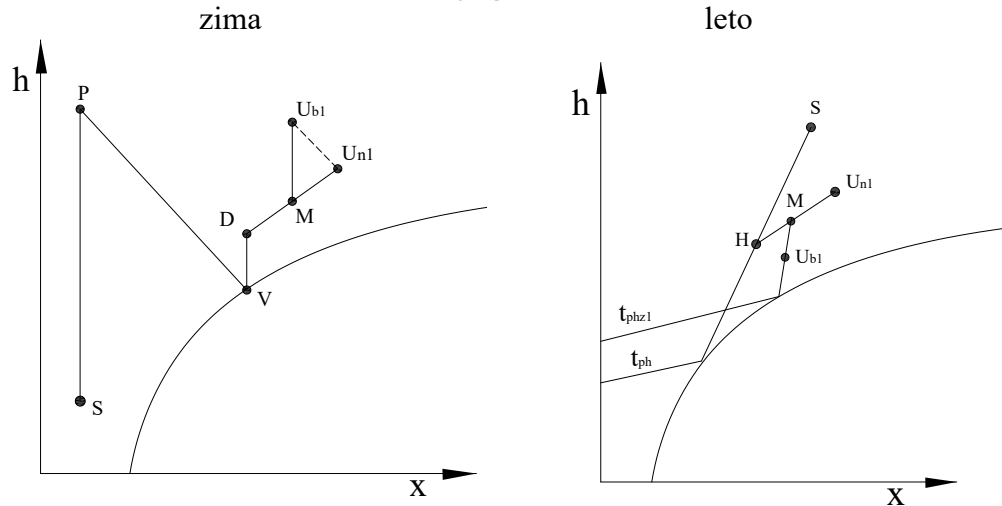
Žaluzina recirkulacionog vazduha ima fiksni položaj u normalnom režimu rada. Postoji mogućnost zatvaranja dovoda svežeg vazduha u periodu uzgreivanja zone.

Ovaj sistem ima sve mogućnosti kao i sistem sa višezonskom komorom, ali i niz prednosti:

- može se ostvariti da se jedna zona greje, a druga hladi,
- nema mešanja vazduha između zona – značajno na primer u farmaceutskoj industriji (ne prenosi se zagađenje),

- primarna komora radi sa manjom količinom vazduha pa je manjih dimenzija, a manji je i poprečni presek kanala za vazduh, ali je zato potreban dodatni prostor za smeštaj zonskih potkomora.

Priprema vazduha u „h – x“ dijagramu:



Slika 6.8 Proces pripreme vazduha u zimskom i letnjem periodu

7. SISTEMI VISOKOG PRITISKA

To su sistemi u kojima je brzina vazduha bar u jednoj deonici kanala $w > 12 \text{ m/s}$, a najčešće su brzine u glavnom kanalu $25 \div 30 \text{ m/s}$.

Prednosti:

- veća brzina strujanja vazduha \Rightarrow manji poprečni presek kanala, što je posebno značajno kod velikih poslovnih objekata sa mnogo staklenih površina, u kojima je teško pronaći prostor za vođenje kanala

Nedostaci:

- zbog veće brzine strujanja vazduha \Rightarrow veći pad pritiska \Rightarrow veći ventilator \Rightarrow veća potrošnja energije \Rightarrow veći pogonski troškovi
- velika brzina strujanja \Rightarrow veća buka

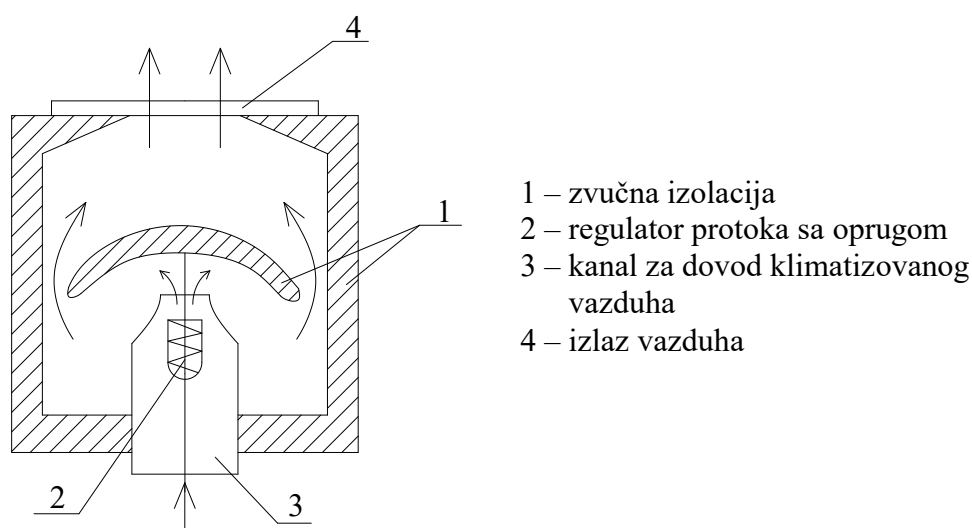
Jednokanalni sistemi visokog pritiska mogu biti:

- sa konstantnom količinom vazduha
- sa promenljivom količinom vazduha

7.1 Sistemi visok pritiska sa konstantnom količinom vazduha

Ovi sistemi su u suštini isti kao centralni jednokanalani sistemi niskog pritiska, samo što zbog veće brzine strujanja vazduha u kanalima pad pritiska je veći, pa se ugrađuje ventilator većeg napora.

Kod sistema niskog pritiska vazduh se u prostoriju obično ubacuje kroz anemostate ili rešetke, dok se kod sistema visokog pritiska ubacuje kroz **kutije za rasterećenje** (rasteretne kutije – slika 7.1).



Slika 7.1 Kutija za rasterećenje

Kutija za rasterećenje obezbeđuje konstantan protok vazduha iz kanala visokog pritiska ka klimatizovanoj prostoriji. Regulator protoka sa oprugom radi bez pomoćne energije. Željeni protok vazduha, oblik suženja kanala i karakteristike opruge su međusobno usaglašeni. Ako se iz nekog razloga pritisak u kanalu povisi, sila pritiska na donji deo regulatora sabija oprugu i pomera telo regulatora naviše čime se smanjuje poprečni presek za istrujavanje vazduha i održava konstantan protok vazduha. Kada pritisak u kanalu opadne, opruga vraća telo regulatora u donji položaj. Regulator sa oprugom deluje u velikom opsegu pritiska: $p_{kan} = 200 \div 2000 \text{ Pa}$ $\Delta \dot{V} = 3\%$.

Funkcije rasteretne kutije:

- snižavanje statičkog pritiska
- održavanje konstantnog protoka
- prigušenje buke

7.2 Sistemi visokog pritiska sa promenljivom količinom vazduha

Varijabilni sistemi – VAV (Variable Air Volume)

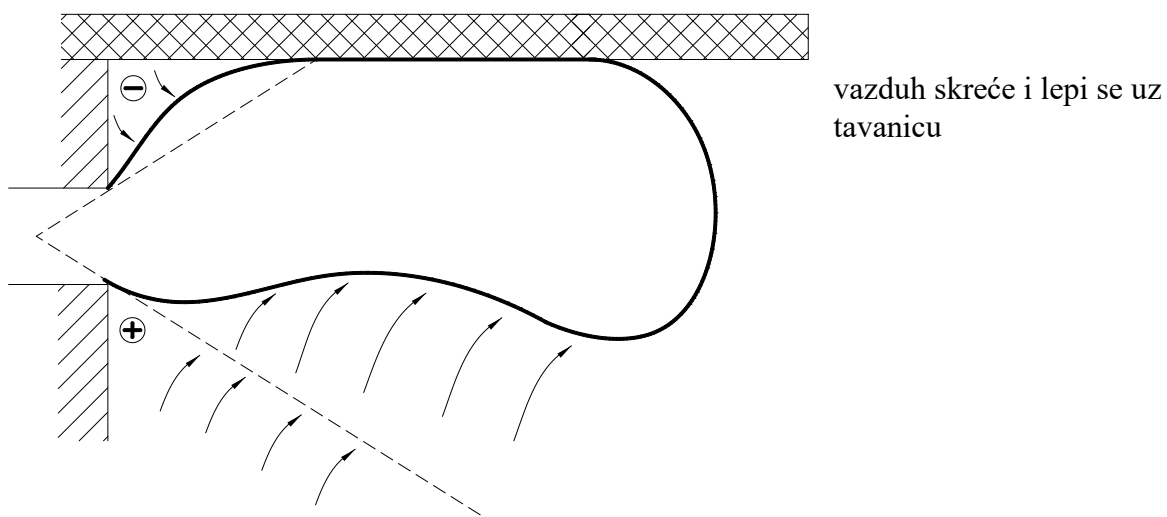
Regulacija vazдушnih sistema:

- | | | |
|---|--------------------------|-------------------------|
| • kvalitativna regulacija | $\dot{V} = \text{const}$ | $t_{UB} = \text{var}$ |
| • kvantitativna regulacija | $\dot{V} = \text{var}$ | $t_{UB} = \text{const}$ |
| • kvalitativno-kvantitativna regulacija | $t_{UB} = \text{var}$ | $\dot{V} = \text{var}$ |

Samo u projektnim uslovima varijabilni sistemi rade sa maksimalnom količinom vazduha, koja je ista kao kod sistema sa konstantnom količinom vazduha.

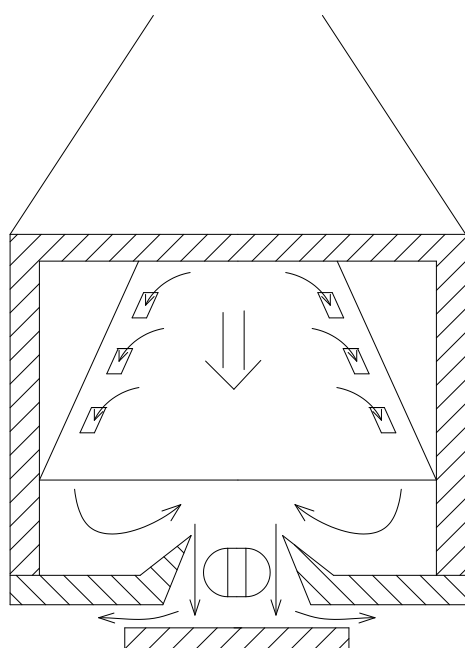
Kod sistema sa konstantnom količinom vazduha imamo dobru distribuciju ubačenog vazduha u svim eksploatacionim uslovima. Pitanje je kakav će biti domet vazdušnog mlaza ukoliko smanjimo količinu ubačenog vazduha. Taj problem se kod varijabilnih sistema rešava posebnim načinom ubacivanja vazduha – duž neke čvrste površine, uz koju vazduh prijanja („lepi se“) i tako ima veći domet u prostoriji. Ovaj fenomen naziva se Koanda efekat (slika 7.2).

Usled trenja, mlaz povlači miran okolni vazduh za sobom i povećava se masa vazduha koja se kreće. U gornjoj zoni (neposredno uz tavanicu) javlja se potpritisak u odnosu na donju zonu mlaza, pa se struja vazduha „lepi“ uz tavanicu i domet mlaza se povećava. Ova pojava je posebno izražena pri ubacivanju mlaza toplog vazduha u prostoriju.



Slika 7.2 Koanda efekat pri ubacivanju vazduha u blizini tavanice

Kako bi se Koanda efekat što bolje iskoristio (jer on omogućava bolju distribuciju vazduha i pri smanjenom protoku) koristi se poseban element za ubacivanje vazduha (slika 7.3) koji se postavlja u spuštenu tavanicu a vazduh ubacuje tangencijalno (duž tavanice).

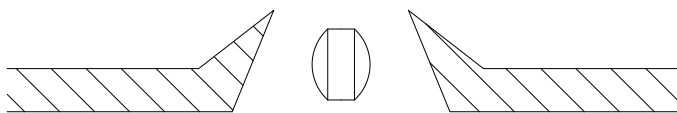


- tangencijalno ubacivanje vazduha – omogućava Koanda efekat

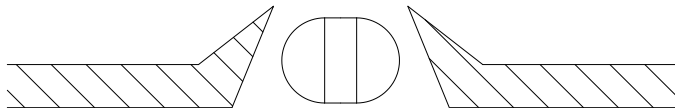
Slika 7.3 Uređaj za ubacivanje vazduha kod varijabilnih sistema („VAV box“)

Regulator protoka ima telo oblika valjka presvučenog elastičnom oblogom. Kada je potrebno da se smanji protok klimatizovanog vazduha, iz pneumatskog sistema regulisanja dovodi se vazduh u gumenu opnu koja se širi i smanjuje poprečni presek za istrujavanje vazduha iz kanala (slika 7.4).

a) Kada je potreban veliki protok



b) Kada je potreban mali protok



Slika 7.4 Regulator protoka u graničnim slučajevima

Funkcije regulatora protoka:

- ubacivanje određene (promenljive) količine vazduha,
- obezbeđivanje potrebnog dometa mlaza,
- snižavanje statičkog pritiska,
- prigušenje buke.

Regulisanje klima komore:

- grejač i hladnjak su vođeni prema temperaturi u kanalu ubacnog vazduha (te temperature – letnja i zimska – mogu biti konstantne ili se menjati zavisno od spoljašnje temperature
- temperatura u prostoriji se reguliše promenom protoka vazduha koji se ubacuje u svaku klimatizovanu prostoriju

Prednosti varijabilnih sistema:

- manji investicioni troškovi (u odnosu na sisteme klimatizacije sa lokalnim regluisanjem)
- manji eksploatacioni troškovi (u odnosu na vazdušne sisteme) – najmanji utrošak električne energije za pogon ventilatora

Nedostaci:

- lošija raspodela vazduha pri smanjenom protoku vazduha. To se delimično koriguje primenom kvalitativno-kvantitativne regulacije (u letnjem periodu temperatura ubacnog vazduha se povišava kako bi se protok manje smanjivao).

8. VAZDUŠNO-VOĐENI SISTEMI

Svi prethodno razmatrani sistemi klimatizacije su vazdušni sistemi kod kojih je samo vazduh nosilac toplote između klima komore u mašinskoj sali i klimatizovanih prostorija. Kod vazdušno-vodenih sistema dva radna fluida dovode se do svake prostorije. Vazduh ima funkciju provetravanja, pa klima komora radi samo sa svežim vazduhom. Ne koristi se recirkulacioni vazduh, tako da su kanali za vazduh manjih dimenzija. Voda nadoknađuje toplotne gubitke zimi i eliminiše toplotno opterećenje leti.

Zašto je odabrana kombinacija radnih fluida voda-vazduh? Voda je mnogo efikasniji radni fluid (veći toplotni kapacitet po zapremini fluida), a vazduh je neophodan zbog provetravanja.

Poređenje vode i vazduha kao nosilaca toplote:

Specifični toplotni kapacitet:

$$\begin{array}{ll} c_v = 1000 \text{ J/kgK} & \frac{\dot{Q}_w}{\dot{Q}_v} \approx 4,2 \text{ po masi fluida} \\ c_w = 4200 \text{ J/kgK} & \end{array}$$

Gustina fluida:

$$\begin{array}{ll} \rho_v = 1,2 \text{ kg/m}^3 & \frac{\dot{Q}_w}{\dot{Q}_v} \approx 3500 \text{ po zapremini fluida} \\ \rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3 & \end{array}$$

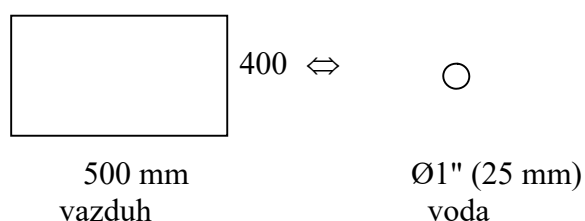
Uobičajena razlika temperatura radnog fluida:

$$\Delta t_w \approx \Delta t_v$$

Srednja brzina strujanja fluida:

$$\begin{array}{ll} w_v \approx 10 \text{ m/s} & \frac{\dot{Q}_w}{\dot{Q}_v} \approx 300 \div 400 \text{ po poprečnom preseku kanala/cevi} \\ w_w \approx 1 \text{ m/s} & \end{array}$$

Ako je radni fluid vazduh, da bi se u prostoriju dovela ili iz nje odvela određena količina toplote potreban je na primer kanal poprečnog preseka 500 x 400 mm. Ista ta količina toplote može se transportovati vodom kroz cev prečnika 25 mm.



Prednosti vazdušno-vodenih sistema:

- znatno manji prečnici kanala
- ekonomičan pogon, manja potrošnja energije
- dobro lokalno regulisanje.

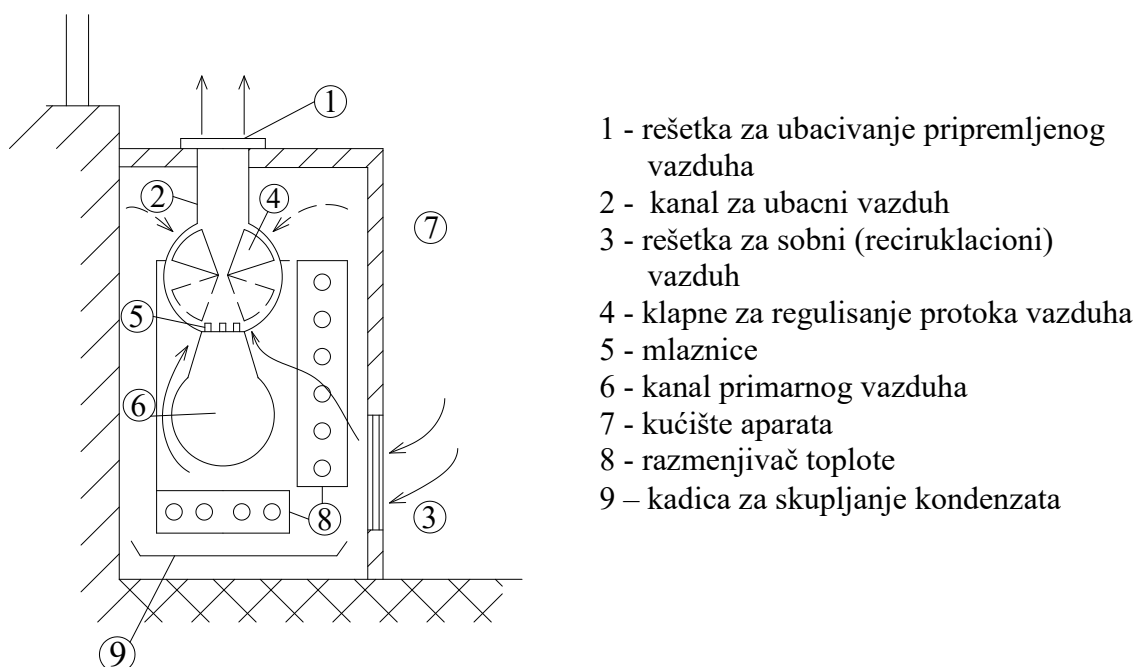
Nedostaci:

- do svake prostorije dovode se i vazduh i voda.

Vazdušno-vodeni sistemi primenjuju se za klimatizaciju velikih poslovnih zgrada sa velikim udelom staklenih površina u fasadnim zidovima, hotela, bolnica, i uopšte objekata sa velikim brojem prostorija koje imaju različitu dinamiku toplotnog opterećenja, pa je za postizanje i održavanje termičkih uslova ugodnosti neophodna lokalna regulacija.

8.1 Indukcioni aparat

Finalna termička obrada vazduha u samoj prostoriji vrši se u indukcionim aparatima. Uređaj je dobio naziv po efektu koji se u njemu koristi. Pripremljeni vazduh u klima komori (primarni vazduh) se sistemom kanala visokog pritiska dovodi do svake klimatizovane prostorije i u indukcioni aparat ubacuje kroz mlaznice (slika 8.1). Iz mlaznica vazduh istrujava velikom brzinom, usled čega raste dinamički pritisak \Rightarrow opada statički pritisak, što uslovljava indukovanje, povlačenje sobnog vazduha.

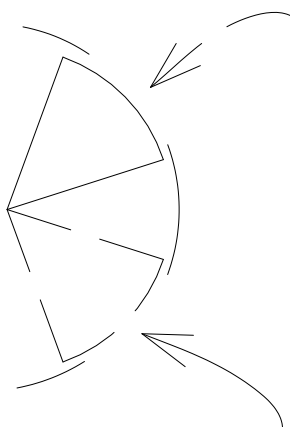


Slika 8.1 Parapetni indukcioni aparat

Vazduh iz prostorije se usisava kroz rešetku (3), pa zatim struji ili preko razmenjivača toplote ili pored njega (granični slučaj) ili delom kroz razmenjivač toplote a delom pored njega, posle čega se meša sa primarnim vazduhom koji izlazi kroz mlaznice (6). Termički obrađen vazduh u indukcionom aparatu ubacuje se u prostoriju kroz izlaznu rešetku (1).

Ukoliko je pri strujanju hladne vode kroz indukcioni aparat temperatura površine razmenjivača toplote niža od temperature tačke rose, na površini RT dolazi do kondenzacije vlage iz okolnog vazduha i kapi vode padaju u kadicu za skupljanje kondenzata (9). Kućište indukcionog aparata je zvučno izolovano (7) kako bi se sprečilo širenje buke u prostoriji.

Regulacija sa vazdušne strane:



Kada je klapna u položaju prikazanim punom linijom (gornji položaj) gornji otvor je zatvoren a donji otvoren, pa indukovani vazduh iz prostorije prolazi kroz razmenjivač toplote (greje se ili hladi), nakon čega se meša sa primarnim vazduhom (kretanje recirkulisanog vazduha prikazano je punom linijom). Kada je položaj klapne prikazan isprekidanom linijom (donji položaj) indukovani vazduh struji pored razmenjivača toplote i termički neobrađen meša se s primarnim vazduhom (isprekidana linija).

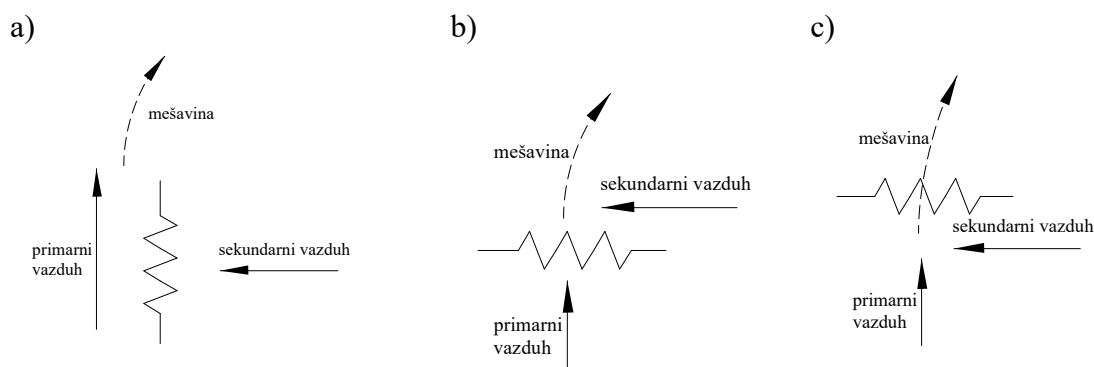
Slika 8.2 Položaj regulacionih klapni

Regulacija sa vodene strane:

- promenom protoka vode – radom ventila na dovodu vode u razmenjivač toplote indukcionog aparata upravlja termostatski uređaj u prostoriji.

Postoji više različitih konstrukcija indukcionih aparata:

- sekundarni vazduh struji preko razmenjivača toplote, pa se nakon termičke obrade indukuje (meša s primarnim) – slika 8.3a
- primarni vazduh struji preko razmenjivača toplote, pa se zatim meša sa vazduhom iz prostorije – slika 8.3b
- primarni vazduh prvo indukuje sobni vazduh, pa zatim mešavina struji preko razmenjivača toplote i zagreva se, odnosno hladi – slika 8.3c



Slika 8.3 Položaj razmenjivača toplote u indukcionim aparatima

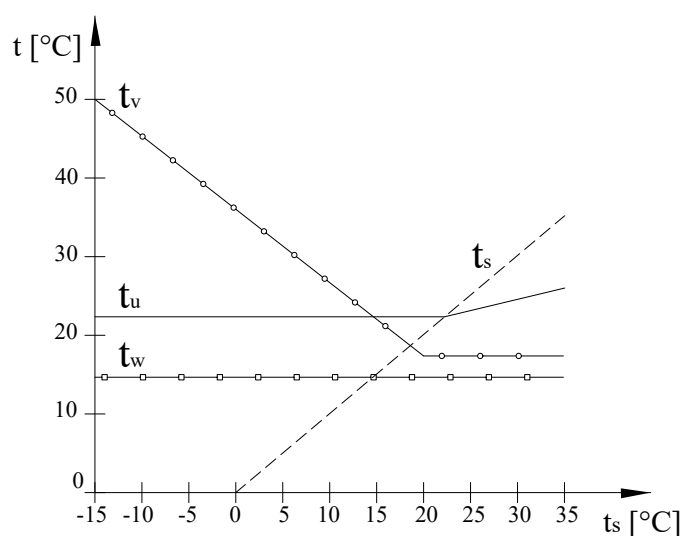
U zavisnosti od cevne mreže koja se vodi do RT svakog indukcionog aparata, vazdušno-vodeni sistemi mogu biti:

- dvocevni bez prebacivanja
- dvocevni sa prebacivanjem
- trocevni
- četvoroccevni.

8.2 Dvocevni sistem bez prebacivanja

Osnovna karakteristika ovog sistema je da kroz cevnu mrežu (i razmenjivače toplote indukcionih aparata) prolazi cele godine ili topla ili hladna voda. Ovaj sistem je dobar za izrazito hladna ili izrazito topla područja.

Dvocevni sistem bez prebacivanja nije dobro rešenje za objekte u mestima sa kontinentalnom ili umerenokontinentalnom klimom. Ako bi se iz nekog razloga ovaj sistem koristio u našoj zemlji, onda bi voda bila hladna cele godine. U zimskom periodu vazduh je topao i on ima funkciju zagrevanja prostorija, dok je uloga hladne vode eliminisanje trenutnih dobitaka toplote (slika 8.4). **Zimi** se vazduh zagreva prema potrebnoj količini toplote. U uslovima maksimalne potrebe za grejanjem, hladna voda se ne koristi u indukcionim aparatima.



Slika 8.4. Dijagram promene temperature vazduha i vode u zavisnosti od spoljne temperature

Leti su i voda i vazduh na nižoj temperaturi od vazduha u prostoriji (slika 8.4):

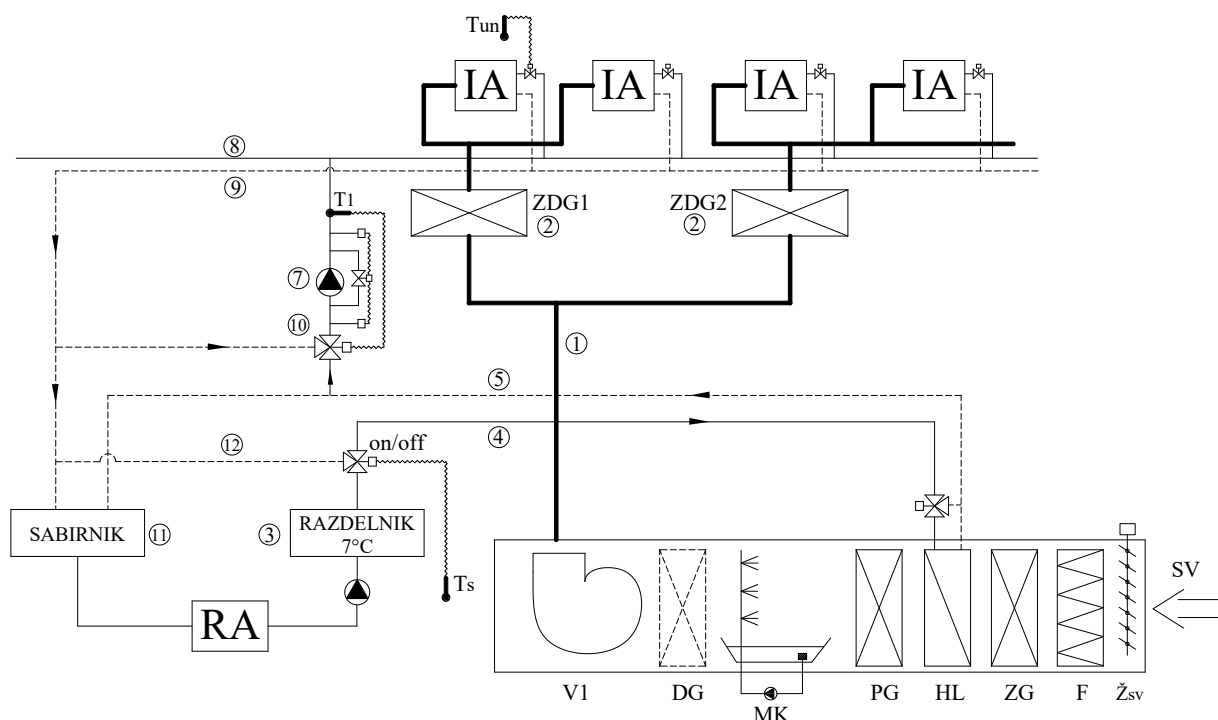
- hladan primarni vazduh eliminiše stalne i malo promenljive dobitke toplote (transmisione)
- hladna voda eliminiše trenutne dobitke toplote (ljudi, osvetljenje, Sunčevo zračenje kroz prozore i sl.)

Na slici 8.5 data je šema dvocevnog sistema bez prebacivanja. Primarni vazduh se priprema u klima komori kao kod klasičnih vazdušnih sistema.

Često je rešenje da u hladnjak klima komore ulazi voda niže temperature nego u razmenjivače toplote indukcionih aparata. Time se ostvaruje sušenje vazduha samo u klima komori, dok se u indukcionim aparatima vazduhu odvodi samo suva toplota (nema kondenzacije vlage iz vazduha niti potrebe za odvođenjem kondenzata). Naravno, ukoliko su izraženi latentni dobici toplote u prostoriji, vazduh se može sušiti i u indukcionim aparatima.

Na slici 8.5 prikazano je rešenje sa zonskim dogrejačima, koje je opciono. Ovo rešenje omogućava da temperatura primarnog vazduha t_v (slika 8.4) bude različita za pojedine zone.

Dogrejač u klima komori nacrtan je isprekidanom linijom, jer je i to opciono rešenje. Njegovu funkciju mogu da preuzmu zonski dogrejači.

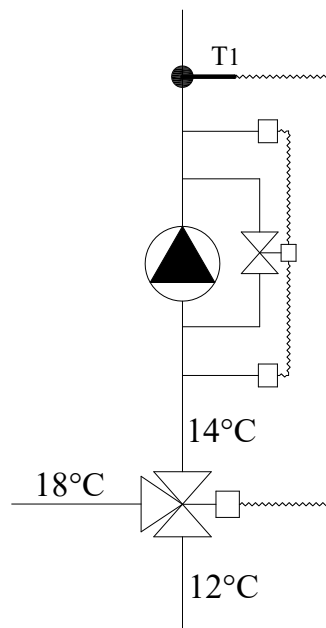


- ZG – zaštitni grejač
 1 – razvodni kanal primarnog vazduha
 2 – zonski dogrejači
 3 – razdelnik hladne vode
 4 i 5 – primarna mreža hladne vode
 6 – ventil za pripremu sekundarne hladne vode
 7 – pumpa sekundarne hladne vode
 8 i 9 – sekundarna mreža hladne vode
 10 – kratka veza za pripremu sekundarne hladne vode
 11 – sabirnik
 12 – kratka veza za prebacivanje na zimske uslove rada

Slika 8.5. Šema dvocevnog sistema bez prebacivanja

U zimskom periodu kada je temperatura spoljašnjeg vazduha niža od temperature vode u indukcionom aparatu (slika 8.4), sekundarna voda može da se hladi u hladnjaku klima komore. U tom režimu rada rashladno postrojenje je isključeno, a hlađenjem vode u hladnjaku zagreva se i svež vazduh koji se obrađuje u klima komori. Zbog toga postoji kratka veza (12) na slici 8.5 i ventil za prebacivanje („on-off“ ventil). Radom ovog ventila upravlja spoljni termostat. Da u zimskom periodu ne bi došlo do smrzavanja vode u hladnjaku, ugrađuje se zaštitni grejač ispred hladnjaka. I ovo tehničko rešenje besplatnog hlađenja sekundarne vode je opciono.

S obzirom da ventili ispred razmenjivača toplote u indukcionim aparatima mogu da budu zatvoreni (kada nema potrebe za dodatnim hlađenjem prostorije), pritisak u cevnoj mreži (8 i 9) bi mogao da poraste iznad određene vrednosti, pa se kao jedna od zaštitnih mera može da koristi obilazni vod. Ventil na obilaznom vodu otvara diferencijalni presostat (slika 8.6). Ovo rešenje se često koristilo kod cirkulacionih pumpi sa konstantnim brojem obrtaja. Naravno, kada se primenjuje pumpa sa elektronski regulisanim brojem obrtaja, obilazni vod oko pumpe nije potreban.



Slika 8.6. Obilazni vod oko pumpe sa diferencijalnim presostatom

Regulisanje elemenata sistema:

- hladnjak – prema temperaturi iza hladnjaka
- predgrejač – prema temperaturi tačke rose
- dogrejač – prema temperaturi u kanalu
- zonski dogrejači – prema temperaturi primarnog vazduha za zonu (u zavisnosti od spoljnje temperature)
- ventil ispred indukcionog aparata vodi termostat u prostoriji

10 – kratka veza za pripremu sekundarne hladne vode

- meša se povratna voda iz primarnog kruga i povratna voda iz sekundarnog kruga i uvodi u indukcionu aparat. Tako se povišava temperatura hladnjaka i izbegava sušenje vazduha u indukcionim aparatima.

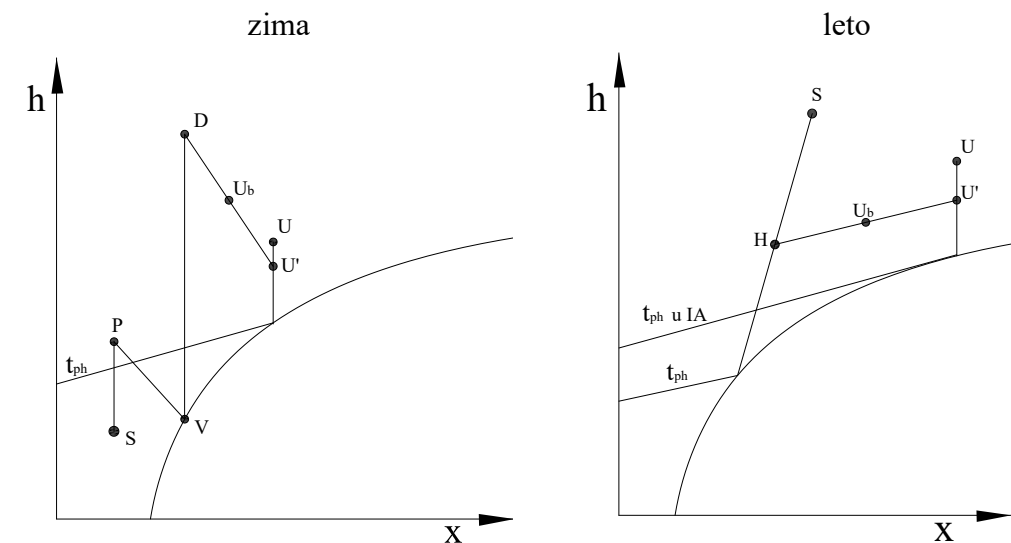
12 – kratka veza za prebacivanje na zimske uslove rada

- pri zimskim uslovima isključuje se rashladna instalacija. Zatvara se donji krak ventila za prebacivanje, a otvara bočni. Hlađenje vode je preko vazdušnog hladnjaka klima komore.

Na slici 8.5 nije ucrtan sistem automatske regulacije grejača u klima komori, jer je isti kao kod ostalih vazdušnih sistema.

Priprema vazduha

Na slici 8.7 prikazan je uobičajeni proces pripreme vazduha. Deo termičke obrade vazduha obavlja se u klima komori (primarni vazduh), a finalna obrada u skladu sa lokalnim potrebama vrši se u indukcionim aparatima.



U – vazduh u prostoriji
U' – vazduh ohlađen u indukcionom aparatu

Slika 8.7. Proces pripreme vazduha u „h-x“ dijagramu

8.3 Dvocevni sistem sa prebacivanjem

Osnovna karakteristika dvocevnog sistema sa prebacivanjem je da je primarni vazduh hladan tokom cele godine, a kroz razmenjivače toplote indukcionih aparata zimi struji topla voda, a leti hladna. Zimi topla voda nadoknađuje toplotne gubitke, dok vazduh eliminiše trenutno toplotno opterećenje. Osim toga, voda služi i za zagrevanje primarnog vazduha kada nema dobitaka toplote. Leti i vazduh i voda hlade prostoriju. U letnjem režimu ovaj sistem radi kao i prethodno opisani dvocevni sistem bez prebacivanja.

Prebacivanje sa zimskog na letnji režim rada, tj. prebacivanje sa tople na hladnu vodu vrši se pri određenoj spoljnoj temperaturi – temperaturi prebacivanja, koja se određuje iz bilansa toplote i zavisi od rashladnog kapaciteta vazduha i gubitaka i dobitaka toplote objekta.

$$Q_{t,opt.} - GT_j \cdot (t_{un} - t_{preb}) = PV \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{un} - t_{pv})$$

$$t_{preb} = t_{un} - \frac{Q_{t,opt.} - PV \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{un} - t_{pv})}{GT_j}$$

pri čemu su:

$Q_{t,opt.}$ - toplotno opterećenje od dobitaka toplote

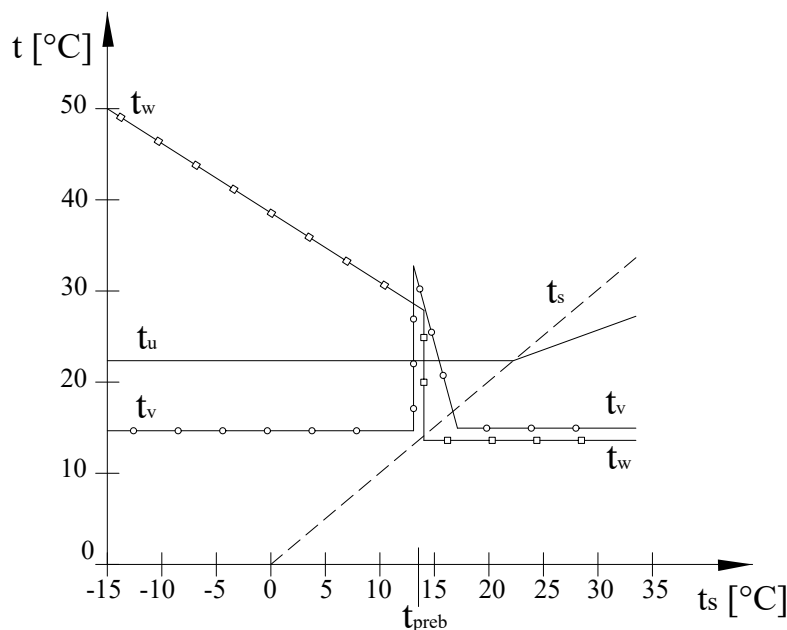
GT_j - transmisioni gubici toplote pri jediničnoj razlici spoljašnje i unutrašnje temperature

t_{preb} - spoljašnja temperatura pri kojoj se vrši prebacivanje

PV - protok primarnog vazduha

c - specifični toplotni kapacitet vazduha

t_{pv} - temperatura primarnog vazduha



Slika 8.8 Dijagram promene temperature vazduha i vode u zavisnosti od spoljne temperature

Zimi hladan primarni vazduh (14 do 16°C) neutrališe trenutne toplotne dobitke, a topla voda nadoknađuje potrebnu količinu toplote za grejanje i zagreva primarni vazduh na temperaturu prostorije ukoliko nema dobitaka toplote. **Leti** primarni vazduh eliminiše transimisione dobitke toplote, a hladna voda trenutne.

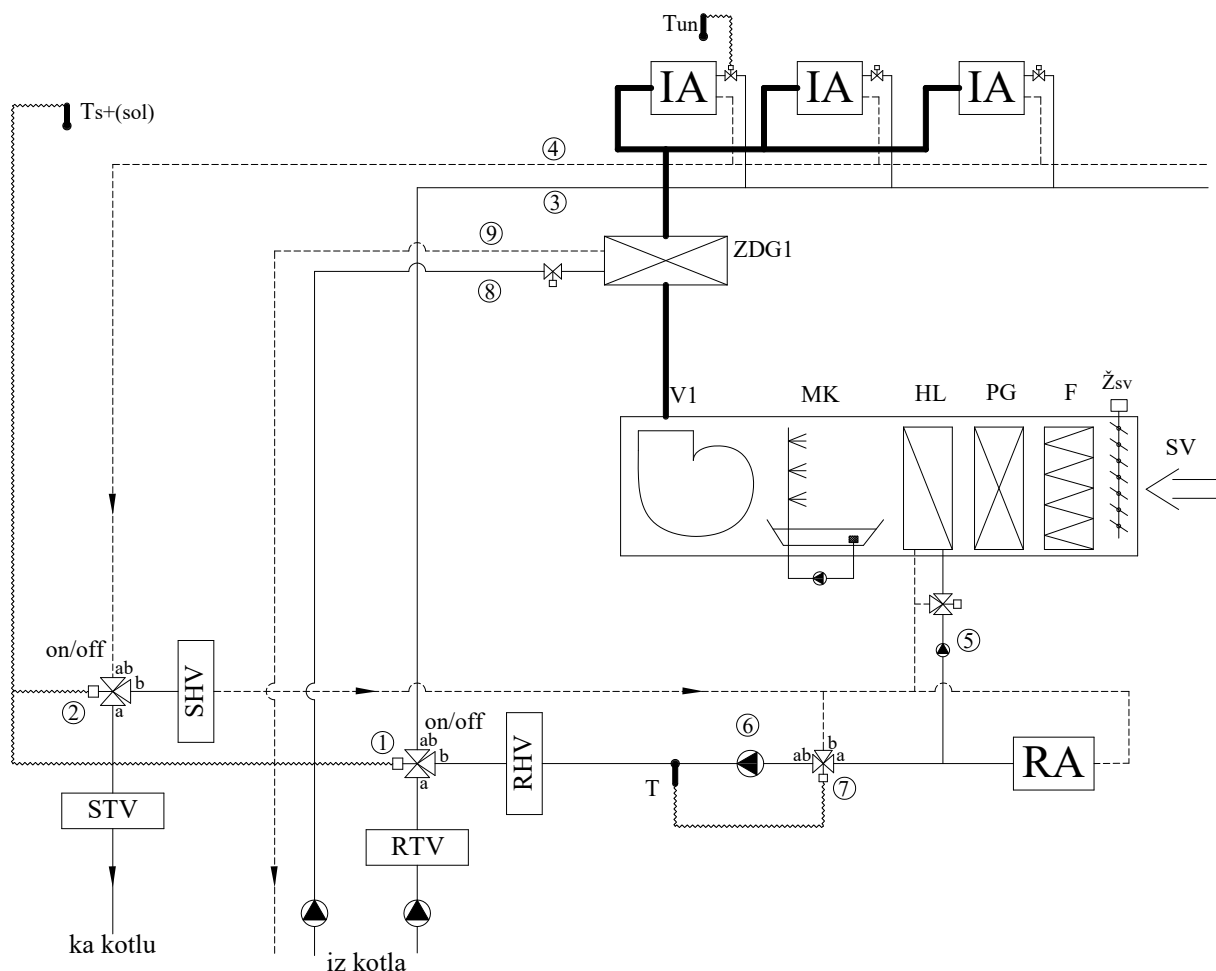
U prelaznom periodu spoljna temperatura može često da varira, pa bi se javila česta potreba za prebacivanjem s tople na hladnu vodu i obrnuto. To nije dobro rešenje jer zahteva često prebacivanje rada s kotla na rashladni agregat i obrnuto. Zbog toga se u prelaznom periodu zagreva primarni vazduh i on preuzima funkciju zagrevanja prostorije kada spoljna temperatura opadne, dok eventualno hlađenje prostorije preuzima hladna voda (slika 8.8). Ovim se znatno povećava fleksibilnost i funkcionalnost sistema, ali javljaju energetske gubitke (gubici toplote usled „mešanja“).

U zonama u kojima je veći uticaj Sunčevog zračenja, prebacivanje može da se vrši i pri nižim temperaturama spoljnog vazduha. U istom sistemu klimatizacije može da bude više krivih promene temperature primarnog vazduha i sekundarne vode u zavisnosti od toplotnih potreba zona.

Uprošćena šema docevog sistema sa prebacivanjem prikazana je na slici 9. Prikazano je rešenje s jednom zonom. U ovom slučaju nije potrebno da postoji zonski dogrejač (što je nacrtano na slici) – potrebno zagrevanje vazduha može se ostvariti i dogrejačem u klima komori. Kada postoji više zona u objektu (što je čest slučaj u praksi) bolje je rešenje da svaka zona ima svoj zonski dogrejač.

Trokrakim ventilima (1 i 2 na slici 8.9) vrši se prebacivanje sa hladne na toplu vodu i obrnuto. To nisu regulacioni ventili, već „on-off“ ventili koji u sekundarnu mrežu puštaju ili toplu ili hladnu vodu. Njihovim radom upravlja spoljašnji senzor temperature koji može biti i u sprezi sa solarimetrom, ali je i često rešenje u praksi da se prebacivanje vrši ručno (obično dva puta godišnje).

Trokraki regulacioni ventil (7) meša povratnu hladnu vodu iz sekundara sa vodom iz primara da bi se postigla željena temperatura razvodne vode u sekundarnoj mreži (ka indukcionim aparatima) pri kojoj ne dolazi do izdvajanja vlage iz vazduha u prostoriji.



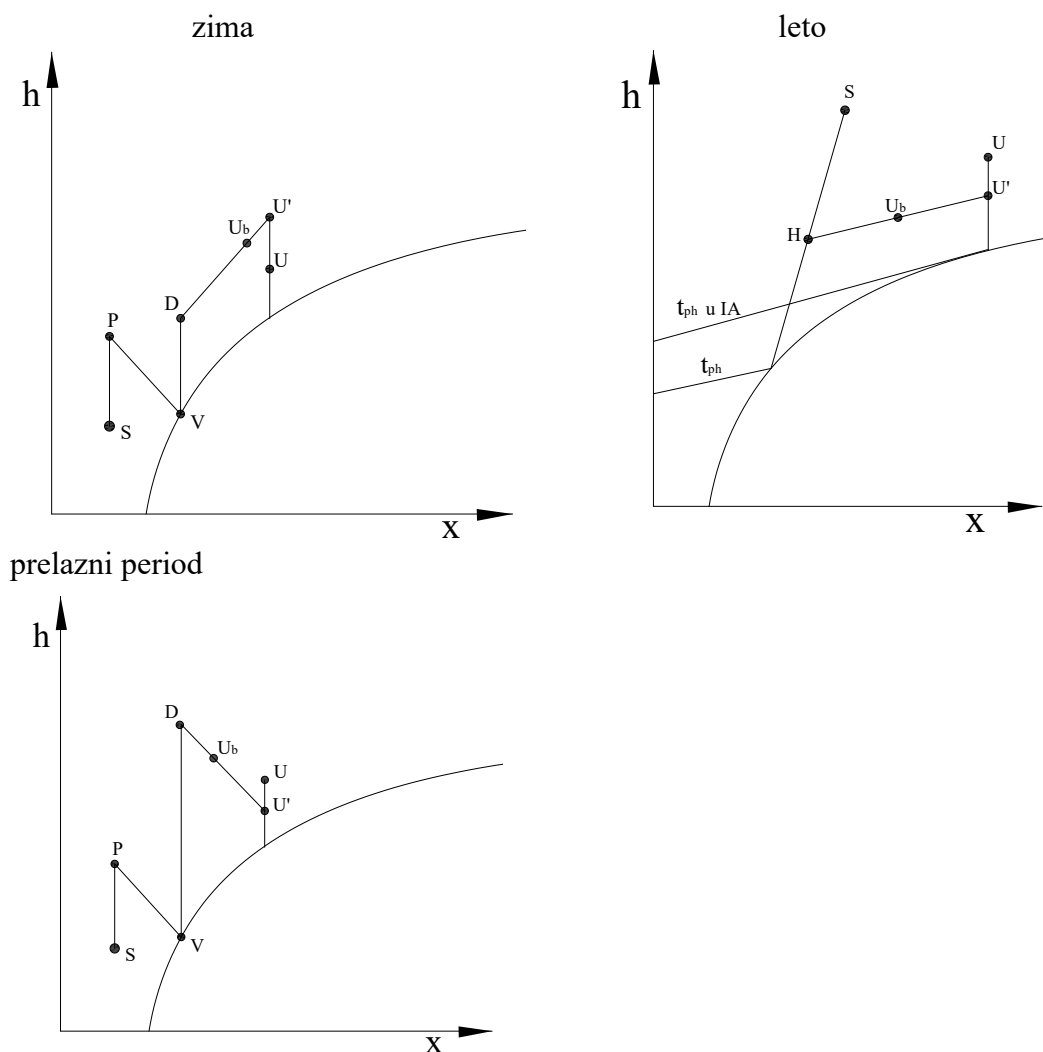
- 1 i 2 – ventili za prebacivanje sa tople na hladnu vodu i obrnuto
- 3 i 4 – mreža sekundarne vode (topla ili hladna)
- 5 – pumpa primarne hladne vode za hladnjak u klima komori
- 6 – pumpa sekundarne hladne vode
- 7 – ventil za mešanje (postiže se odgovarajuća temperatura sekundarne hladne vode)
- 8 i 9 – mreža tople vode za zonske dogrejače

Slika 8.9. Šema dvocevnog sistema sa prebacivanjem

Priprema vazduha

Na slici 8.10 prikazan je proces pripreme vazduha koji odgovara šemi sistema na slici 9. Deo termičke obrade vazduha obavlja se u klima komori (primarni vazduh), a finalna obrada, u skladu sa lokalnim potrebama u prostorijama, vrši se u indukcionim aparatima kao i kod sistema bez prebacivanja.

Važan element pri proračunu vazdušno-vodenih sistema je odnos količine primarnog vazduha (PV) i jediničnih transmisivnih gubitaka toplote (GT_j). U zavisnosti od odnosa PV/GT_j za karakterističnu prostoriju određuje se kapacitet zonskog dogrejača.



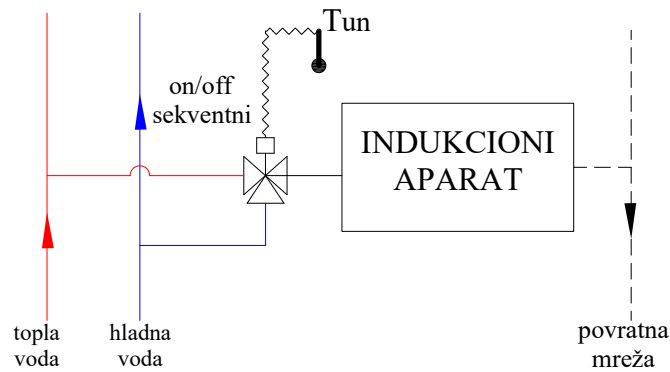
Slika 8.10 Proces pripreme vazduha u „h-x“ dijagramu

8.4 Višecevni sistemi

Dvocevni sistemi sa prebacivanjem su investiciono skuplji od dvocevni sistema bez prebacivanja, ali su jeftiniji u eksploataciji i u našim klimatskim uslovima funkcionalniji. Kod dvocevni sistema sa prebacivanjem javlja se problem regulisanja u prelaznom periodu. Ovaj problem se rešava primenom trocevni i četvoroccevni sistema. U razmenjivač toplote indukcionog aparata može u svakom trenutku da se pusti ili topla ili hladna voda.

8.4.1 Trocevni sistem

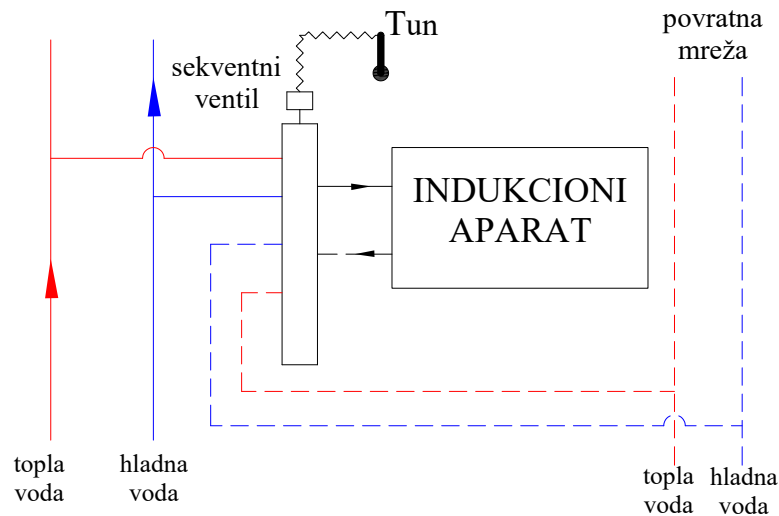
Postoje dve razvodne mreže: tople i hladne vode. Razmenjivač toplote u indukcionom aparatu povezan je sa razvodnim mrežama preko sekventnog „on-off“ ventila (slika 8.11). Ovaj ventil, zavisno od toplotnih potreba prostorije, pušta u indukcioni aparat ili toplu ili hladnu vodu. Radom sekventnog ventila upravlja termostat u prostoriji. Povratak vode iz indukcionog aparata je zajedničkom povratnom mrežom. To mešanje tople i hladne vode (iz pojedinih indukcioni aparata u različitim prostorijama) predstavlja energetski gubitak, i zato se ovaj sistem više ne koristi.



Slika 8.11. Šema povezivanja indukcionog aparata na trocevni sistem

8.4.2 Četvorocevni sistem

Postoje dve razvodne i dve povratne mreže tako da nema mešanja, pa samim tim ni gubitaka mešanja, tople i hladne vode. Sekventni ventil ispred svakog indukcionog aparata propušta ili toplu ili hladnu vodu u razmenjivač toplote. Radom sekventnog ventila upravlja termostatski uređaj u prostoriji (slika 8.12).



Slika 8.12 Šema povezivanja indukcionog aparata na četvorocevni sistem

Postoji i rešenje sa dva nezavisna razmenjivača toplote u indukcionom aparatu (jedan za toplu, a drugi za hladnu vodu). U tom slučaju, ispred indukcionog aparata nije potreban sekventni ventil, već po jedan prolazni ili trokraki ventil ispred svakog razmenjivača toplote.

Četvorocevni sistem je investiciono najskuplji, ali je eksploatacioni najbolji. U današnje vreme se često primenjuje, posebno u hotelima visoke kategorije, bolnicama i poslovnim objektima sa visokim zahtevima komfora.

9. VODENI SISTEMI

Radni fluid kod ovih sistema je samo voda. Nema centralne pripreme vazduha u klima komori, pa ovaj sistem nije pravi sistem klimatizacije jer nedostaju sledeće funkcije:

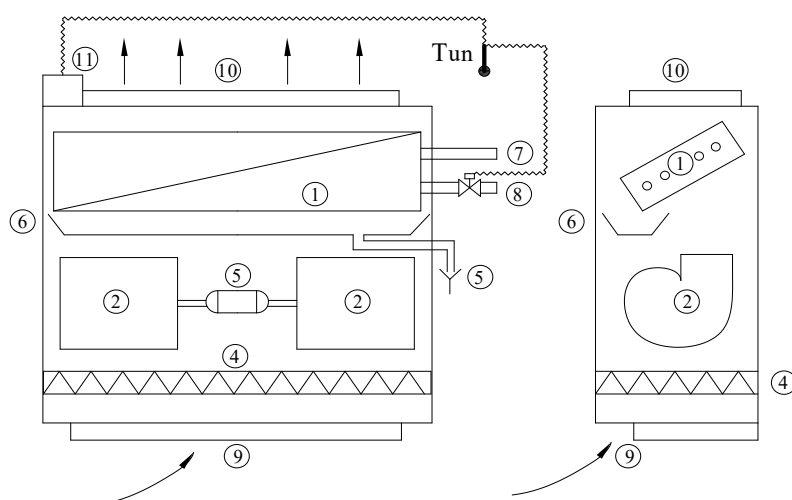
- provetravanje
- regulacija vlažnosti zimi.

Vodeni sistem ostvaruje sledeće funkcije:

- grejanje u zimskom periodu
- filtriranje vazduha
- hlađenje + sušenje vazduha leti.

Vodeni sistemi su se prvobitno primenjivali pri rekonstrukciji postojećih objekata bez klimatizacije, i kada nije moguće razvući kanale za vazduh kroz objekat. Primenuju se i u objektima koji nemaju stroge zahteve za komforom.

Za pripremu vazduha u svakoj prostoriji koristi se poseban uređaj koji se naziva ventilator-konvektor, mada se u praksi često koristi engleska reč „fen-koil“ (*fan coil*, skraćeno FC). Izgled jednog parapetnog ventilator-konvektora prikazan je na slici 9.1.



- 1 – razmenjivač toplote (Cu-cevi, Al-rebra)
- 2 – ventilator (obično centrifugalni)
- 3 – zajednički elektromotor
- 4 – filter
- 5 – odvod kondenzata
- 6 – kadica za skupljanje kondenzata
- 7 – dovod vode (tope ili hladne)
- 8 – povrat vode
- 9 – ulaz vazduha iz prostorije
- 10 – izlaz obrađenog vazduha
- 11 – kontrolni panel za podešavanje rada

Slika 9.1. Parapetni ventilator-konvektor

Ventilator usisava sobni vazduh kroz usisnu rešetku. Vazduh prolazi kroz filter, a zatim kroz razmenjivač toplote kroz koji se propušta topla ili hladna voda. Prečišćen i termički obrađen sobni vazduh udvava se u prostoriju kroz isturjnu rešetku.

Ventilator-konvektori imaju veoma dobru regulaciju:

- sa vazdušne strane – izborom brzine ventilatora (obično su trobrzinski). Ovakva regulacija je jeftinija, ali se češće pokreće ventilator.
- sa vodene strane – menja se protok vode kroz razmenjivač toplote pomoću ventila čijim radom upravlja termostat u prostoriji.

Slično kao i indukcioni aparati, ventilator-konvektori mogu biti povezani na:

- dvocevni sistem bez prebacivanja
- dvocevni sistem sa prebacivanjem
- trocevni sistem
- četvorocevni sistem.

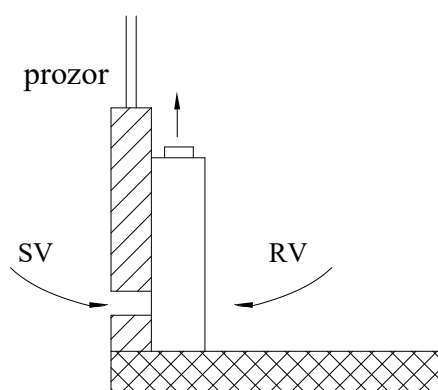
Ventilator-konvektori se izrađuju kao:

- vertikalni (parapetni) tip – postavljaju se na pod, obično ispod prozora.
- horizontalni tip – postavljaju se ispod tavanice.

9.1 Vodeni sistemi u kombinaciji s provetravanjem

S obzirom da su se ventilator-konvektori pokazali veoma dobri u praksi, razvijena su različita tehnička rešenja njihove primene u kombinaciji sa sistemima provetravanja tako da funkcionišu kao vazdušno-vodeni sistemi, odnosno pravi sistemi klimatizacije. Sve te modifikacije koje omogućavaju i funkciju provetravanja mogu se grupisati u 4 kategorije:

1. Na fasadi se pravi otvor za uzimanje svežeg vazduha (slika 9.2). Ventilator-konvektor usisava svež vazduh, meša ga sa recirkulacionim i posle termičke obrade ubacuje u prostoriju. U prostoriji se stvara natpritisak i višak vazduha isturjava kroz prozorske fuge u okolinu.

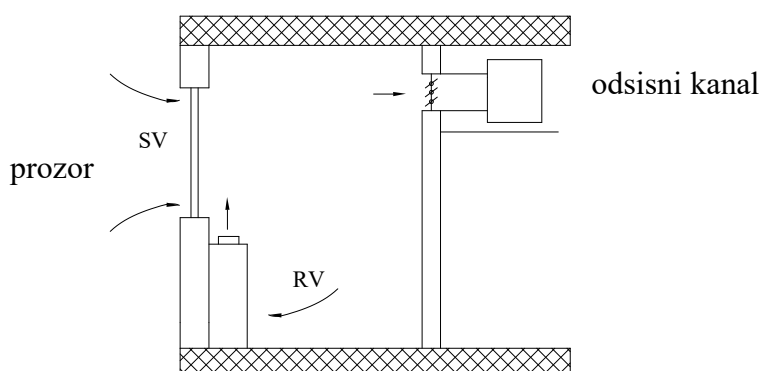


Slika 9.2. Uzimanje svežeg vazduha na fasadi preko ventilator-konvektora

Uređaj radi sa maksimalno 25% svežeg vazduha, pri čemu se i svež recirkulisani vazduh filtriraju.

Ovo rešenje ima dosta nedostataka:

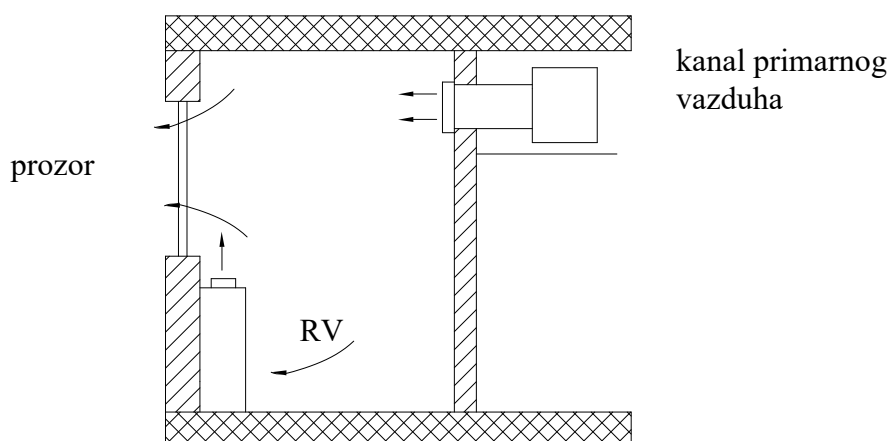
- pri udarima vetra ulazi mnogo više vazduha nego što je predviđeno
 - kiša kvasi otvor pa može doći do prodora vlage u prostoriju
 - otvor u zidu je idealno mesto za ulaz insekata i sitnijih životinja
 - zimi može da dođe do zamrzavanja vode u razmenjivaču toplote kad sistem ne radi
2. Radom sistema za izvlačenje vazduha (lokalnog ili češće centralnog) stvara se potpritisak u prostoriji, pa vazduh ulazi infiltracijom kroz procepe vrata i pozora. Taj vazduh se meša sa sobnim vazduhom pre nego što ga ventilator-konvektor usisa, filtrira i termički obradi (slika 9.3).



Slika 9.3. Ventilator-konvektor u kombinaciji sa sistemom za izvlačenje vazduha

Osnovni nedostatak ovog tehničkog rešenja je što se u prostoriju uvlači prašina iz okoline.

3. Postoji i varijanta ubacivanja pripremljenog (primarnog) vazduha u prostoriju (slika 9.4).

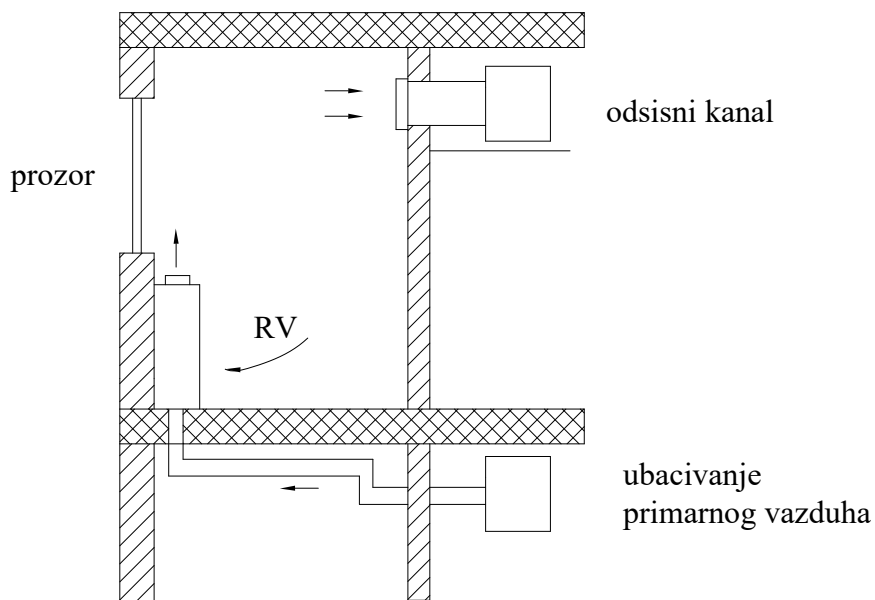


Slika 9.4. Ventilator-konvektor u kombinaciji sa sistemom za ubacivanje vazduha

Spoljni vazduh se priprema u centralnoj klima komori i sistemom kanala za primarni vazduh dovodi do svake prostorije (slika 9.4). U prostoriji se stvara natpritisak i vazduh izlazi

kroz procepe vrata i prozora. Primarni vazduh ostvaruje funkciju provetravanja i regulisanja vlažnosti u zimskom periodu, tako da se ovaj sistem može smatrati pravim (potpunim) sistemom klimatizacije.

4. Postoje i dovod primarnog vazduha i odsisni kanal



Slika 9.5. Vazdušno-vodeni sistem s ventilator-konvektorima

Ovo rešenje je konceptijski vrlo slično i ima sve iste funkcije kao i klasičan vazdušno-vodeni sistem s indukcionim aparatima. Kod indukcionog aparata stalno se ubacuje primarni vazduh (što izaziva i stalnu indukciju sobnog vazduha), dok ventilator-konvektor može po potrebi da isključi ventilator, pa nema recirkulacije sobnog vazduha. Ventilator-konvektori imaju bolje regulisanje, pa se češće koriste od indukcionih aparata, mada svaki sistem ima svojih prednosti.

10. LOKALNI KLIMA UREĐAJI

Poslednjih 20-tak godina ovi sistemi su doživeli pravi „bum“ na tržištu. Razlog takvoj ekspanziji je njihova niska specifična cena. Niska cena je posledica činjenice da se lokalni klimatizatori proizvode ne serijski, nego masovno.

Lokalni klima uređaji su autonomne klima mašine. Sastoje se iz:

- rashladne mašine (kompresora, isparivača i kondenzatora)
- ventilatora i elektromotora
- filtera
- pomoćne opreme i automatike.

U procesu hlađenja, lokalni klima uređaji i suše vazduh (izdvajaju vlagu). Uglavnom rade samo sa sobnim (recirkulacionim) vazduhom.

Prednosti lokalnih klima uređaja su:

- mali investicioni troškovi
- kompaktan i lep izgled
- jednostavna mogućnost prenošenja i zamene
- lako i jednostavno rukovanje.

Nedostaci – to ipak nije prava klimatizacija:

- nema provetravanja vazduha (mada postoje rešenja s ograničenim dovodenjem vazduha)
- nema regulisanja relativne vlažnosti vazduha zimi
- ograničene mogućnosti grejanja prostora.

Lokalni klima uređaji se izrađuju kao:

- kompaktni klima uređaji
- razdvojeni klima uređaji:
 - manjeg kapaciteta zovu se split sistemi
 - većeg kapaciteta zovu se klima ormani.

10.1 Kompaktni klima uređaji

To su klima uređaji u kojima su svi elementi smešteni u jednom, zajedničkom kućištu. To su i najmanji uređaji za klimatizaciju (tačnije hlađenje uz delimično sušenje vazduha). Najrasprostranjeniji kompaktni klima uređaj je prozorski klimatizer, ili kako se kod nas popularno zvao erkondišn.

Kompaktni klima uređaj se ugrađuje u prozor ili spoljašnji zid (slika 10.1). Prednji deo uređaja se nalazi u klimatizovanoj prostoriji, dok se zadnja strana uređaja nalazi van prostorije. Prozorski klima uređaj ima mogućnost rada sa delom svežeg vazduha (obično je to oko 10% ukupne količine vazduha). Filtrira se i spoljni i sobni vazduh filterom klase B1 ili B2. Rashladni učinak (kapacitet hlađenja) prozorskih klimatizera je obično 2-3 kW, mada može biti i do 5 kW. Protok vazduha je uobičajeno 300 do 500 m³/h.



Slika 10.1 Izgled kompaktnih klima uređaja

Prozorski klimatizeri su prvobitno bili namenjeni samo za hlađenje prostorija. Kasnije se uvidelo da lako mogu da se prilagode i za režim grejanja, posebno u prelaznim periodima kada nisu veliki zahtevi za grejanjem. Funkcija grejanja je ostvarivana na jedan od dva načina:

- dodavanjem elektrootpornog grejača obično snage 2 kW (prozorski klimatizer radi kao električni kalorifer uz filtriranje vazduha i mogućnost delimičnog ubacivanja spoljašnjeg vazduha)
- obrtanjem radnog ciklusa tako da uređaj radi kao toplotna pumpa vazduh/vazduh. U tom režimu, toplota se predaje grejanoj prostoriji uz koeficijent grejanja cca 3. To znači da se preuzimanjem 1 kWh električne energije iz mreže, prostoriji predaje 3 kWh toplote (preostala 2 kWh toplote oduzimaju se okolnom vazduhu kao izvoru toplote).

Nedostaci prozorskih klimatizera:

- ograničen izbor mesta za postavljanje uređaja u prostoriji (zadnji deo uređaja mora biti izvan prostorije)
- mogućnost prodora spoljašnjeg vazduha u prostoriju kada je uređaj van pogona.
- bučnost (u kućištu, koje je u prostoriji, nalaze se kompresor, ventilator).

10.2 Split sistemi

Sva tri prethodno navedena nedostatka prozorskih klimatizera značajno se prevazilaze primenom razdvojenih lokalnih klima uređaja, tzv. split sistema. Kompaktni klima uređaj se razdvaja na dva dela: unutrašnji i spoljašnji uređaj koji su povezani s dve bakarne cevi.

Spoljašnji uređaj, ili kako se u praksi češće naziva – spoljašnja jedinica, sadrži:

- hermetički kompresor
- vazduhom hlađeni kondenzator s aksijalnim ventilatorom
- pomoćnu opremu i potrebnu automatiku.

Unutrašnji uređaj (unutrašnja jedinica) sadrži:

- isparivač s tangencijalnim ventilatorom
- filter za vazduh
- potrebnu automatiku.

Kada radi u režimu hlađenja (što je osnovna funkcija klima uređaja) spoljašnja jedinica predstavlja stranu visokog pritiska, dok je unutrašnja jedinica na strani niskog pritiska. Kada klima uređaj radi kao toplotna pumpa isparivač i kondenzator zamenjuju svoje funkcije.

Spoljašnja jedinica može da se postavi na zidu, krovu, dvorištu, itd. Lokacija treba da zadovolji sledeće uslove:

- da ima dovoljna količina spoljnog vazduha za hlađenje kondenzatora
- da nema direktnog Sunčevog zračenja
- da nema prašine i peska
- da bude lak pristup radi servisiranja
- da je što bliže unutrašnjoj jedinici.



Slika 10.2 Spoljašnja jedinica split sistema

Postoji veliki izbor unutrašnjih jedinica različitog oblika i dizajna, tako da je lako naći model koji se dobro uklapa u enterijer (slika 10.3). Osnovni tipovi unutrašnjih jedinica su:

- zidni (najčešće se primenjuje)
- plafonski (vidljivo postavljen u prostoriji uz tavanicu)
- parapetni (podni)
- kasetni
- kanalski

Prva tri modela se postavljaju vidno i oni nemaju mogućnost dovođenja svežeg vazduha. Kasetni i kanalski tip se postavljaju u spuštenu tavanicu i oni imaju mogućnost dovođenja svežeg vazduha za potrebe ventilacije prostorija.



Zidni



Plafonski



Kanalski



Parapetni



Kasetni

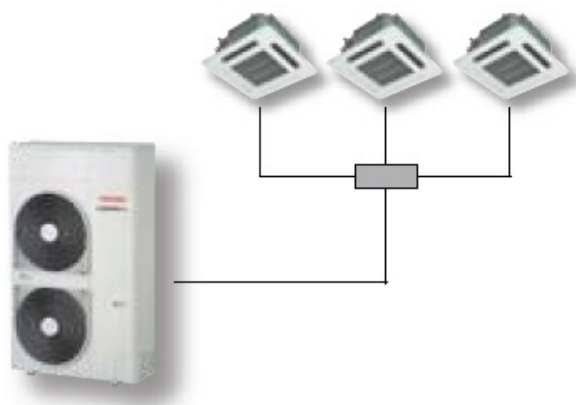
Slika 10.3 Osnovni tipovi unutrašnjih jedinica

Mnogo se radi na usavršavanju klima uređaja u split izvedbi, tako da imaju sve više mogućnosti (funkcija):

- dostignuto je savršenstvo u tehnici prečišćavanja vazduha. Pojedini lokalni klima uređaji imaju i 7 različitih filtera (standardni filter, filter s aktivnim ugljem, elektrostatički filter za mikro prašinu, polenov prah, spore i bakterije, specijalni filteri koji i osvežavaju vazduh, itd.)
- razvijeni su takoreći bešumni tangencijalni ventilatori za unutrašnje jedinice
- dostignuta je visoka ekonomičnost pogona u svim režimima rada uređaja (automatska kontinualna promena kapaciteta kompresora, promena broja obrtaja ventilatora, izbor optimalnog režima rada, zaštita uređaja, itd.
- postignut je visok nivo komunikacije između korisnika i uređaja (daljinski upravljač, izbor postavnih vrednosti, programski sat – nedeljni tajmer, itd.).

10.3 Multi split sistemi

Osnovna karakteristika ovih sistema je da se na jednu spoljašnju jedinicu može vezati više unutrašnjih jedinica (slika 10.4). Svaka unutrašnja jedinica povezana je parom bakarnih cevi sa spoljašnjom jedinicom. Svaka unutrašnja jedinica ima sopstvenu regulaciju. Osnovna prednost u primeni ovih sistema u odnosu na klasične split sisteme je što je lakše pronaći mesto (na fasadi, krovu ili terasi) za smeštaj jedne spoljašnje jedinice nego više njih.



Slika 10.4 Multi split sistem s 3 unutrašnje jedinice

U početku razvoja multi split sistema bio je zahtev da sve unutrašnje jedinice rade u istom režimu (ili grejanje ili hlađenje) s tim da je svaka unutrašnja jedinica mogla da menja svoj učinak (kapacitet) u zavisnosti od toplotnih potreba prostorije. Kasnije je ovaj zahtev prevaziđen, pa deo unutrašnjih jedinica može da radi u režimu grejanja, dok ostale rade u režimu hlađenja. Ti sistemi su se zvali super multi split sistemi. Do svake unutrašnje jedinice dolazile su 3 bakarne cevi (za tečnost rashladnog fluida, za paru niskog pritiska i za paru visokog pritiska).

10.4 Sistemi sa promenljivim protokom rashladnog fluida

To su autonomni sistemi hlađenja koji se približavaju konceptu centralnih sistema klimatizacije. U praksi se zovu:

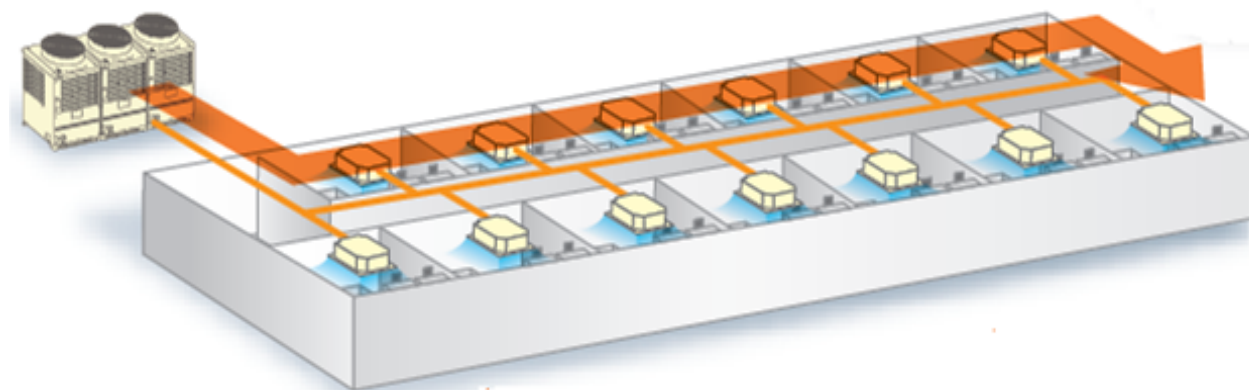
- **VRV** sistemi (variable refrigerant volume) ili
- **VRF** sistemi (variable refrigerent flow).

Na jednu spoljašnju jedinicu može da se veže veliki broj unutrašnjih jedinica (i do 128). Spoljašnje jedinice su obično modularnog tipa, tako da se potreban rashladni učinak dobija povezivanjem više modula (slika 10.5). Takva koncepcija omogućava da se kombinacijom relativno malo, po snazi različitih spoljašnjih jedinica, može postići relativno veliki opseg rashladnih kapaciteta. Spoljašnje jedinice se obično postavljaju na krovu velikih poslovnih zgrada.



Slika 10.5 Spoljašnje jedinice VRV sistema

Kao unutrašnje jedinice mogu se koristiti svi tipovi prikazani na slici 10.2. Nema ograničenja po pitanju sprežanja tipova i veličina unutrašnjih jedinica, tako da je broj mogućih rešenja praktično neograničen i lako se može prilagoditi svim zahtevima korisnika. Naravno, postoje određena ograničenja u pogledu visinske razlike između spoljašnje i unutrašnjih jedinica, u dužini cevovoda do najudaljenije unutrašnje jedinice, u ukupnoj dužini cevovoda za rashladni fluid i sl., ali se te granice neprekidno pomeraju.



Slika 10.6 Primer primene VRV sistema

Sistemi s promenljivim protokom rashladno fluida su vrlo ekonomični u pogonu (postiže se veća efikasnost iskorišćenja energije u odnosu na čilere). Danas su vrlo konkurentni sistemima sa čilerima i vantilator-konvektorima.