

7 SISTEMI VENTILACIJE I KLIMATIZACIJE

Kao nosilac toplote (radni fluid) u vazдушnim sistemima javlja se vazduh. Vazduh se zagreva u grejaču ili hladi, vlaži ili suši, filtrira i, pripremljen na odgovarajući način, ubacuje se direktno u prostoriju. U prostoriji se ubačen vazduh meša sa sobnim i na taj način se postiže željena temperatura i vlažnost vazduha u prostoriji. Za razliku od vodenih sistema, kod kojih se prenos toplote odvija zračenjem i prirodnom konvekcijom, kod vazдушnih sistema je prisutna prinudna konvekcija – vazduh se u prostoriju ubacuje određenom brzinom, koja je veća nego kod prirodne konvekcije. Brzina strujanja vazduha u zoni boravka ljudi je ograničena, kako se ne bi stvorili nepogodni uslovi za boravak ljudi (promaja).

Prednosti vazдушnih sistema u odnosu na vodene su:

- mala inertnost sistema – vrlo brzo stupaju u dejstvo;
- dobra centralna i lokalna regulacija rada;
- mogućnost obavljanja funkcije provetravanja (ventilacije) prostora;
- "curenje" radnog fluida ne predstavlja problem (kao curenje vode).

Nedostaci vazdušnog grejanja su:

- podizanje prašine u prostoriji (ukoliko su brzine strujanja neprilagođene);
- nedostatak razmene toplote zračenjem;
- velike dimenzije kanala u poređenju sa dimenzijama cevi za toplu vodu (problem smeštanja u objektu).

Vazduh, kao grejni fluid, u termičkom pogledu je lošiji od vode:

- mali specifični toplotni kapacitet ($c_v = 1005 \text{ J/kgK}$; $c_w = 4186 \text{ J/kgK}$) i
- mala gustina vazduha ($1 \text{ m}^3 \text{ vode} \rightarrow 1000 \text{ kg} \rightarrow \text{oko } 4 \times 10^6 \text{ J/K}$;
 $1 \text{ m}^3 \text{ vazd.} \rightarrow 1,2 \text{ kg} \rightarrow \text{oko } 10^3 \text{ J/K}$)

Kada se uzmu u obzir gore navedeni podaci poređenja vazduha i vode kao grejnih fluida, dolazi se do zaključka da je voda bolji radni fluid od vazduha, i to oko 4000 puta! Odnosno, da bi se prenela (dovela prostoriji) ista količina toplote, za vazdušne sisteme je potreban kanal dimenzija 400x500 mm, a za vodene cev prečnika $\phi 25 \text{ mm}$.

Međutim, bez obzira na ovu manu, postoje slučajevi gde su vazdušni sistemi nezamenljivi, a pre svega zbog mogućnosti ventilacije prostora, dobrog uklapanja u enterijer i dobre regulacije. Vazdušni sistemi se često koriste u postrojenjima za grejanje, a u klimatizaciji su nezamenljivi. Klimatizacija je mnogo širi pojam od grejanja, jer se, pre svega, može koristiti cele godine – zimi za grejanje, a leti za hlađenje. Osim obezbeđenja željene temperature u klimatizovanom prostoru (npr. zimi 20°C , a leti 26°C) uloga sistema za klimatizaciju je i obezbeđenje:

- odgovarajuće relativne vlažnosti vazduha,
- odgovarajuće količine svežeg vazduha za ventilaciju,
- potrebnog nivoa čistoće vazduha (eliminacija mehaničkih nečistoća, neprijatnih mirisa, štetnih gasova, itd.)

Prema svojoj strukturi (načinu izvođenja) osnovna podela vazдушnih sistema je na:

- lokalne sisteme i
- centralne vazdušne sisteme klimatizacije.

U lokalne sisteme vazdušnog grejanja spadaju svi oni uređaji koji su locirani u samim prostorijama koje se greju. Tu spadaju: kaloriferi, vazdušne zavese i "split" sistemi (u izvedbi kao toplotna pumpa vazduh-vazduh).

7.1 VENTILACIONI SISTEMI

Ventilacioni sistem podrazumeva zamenu vazduha u prostoriji spoljnim vazduhom. Uobičajen je naziv **svež vazduh** za spoljni vazduh koji se u prostoriju uvodi centralnim sistemom.

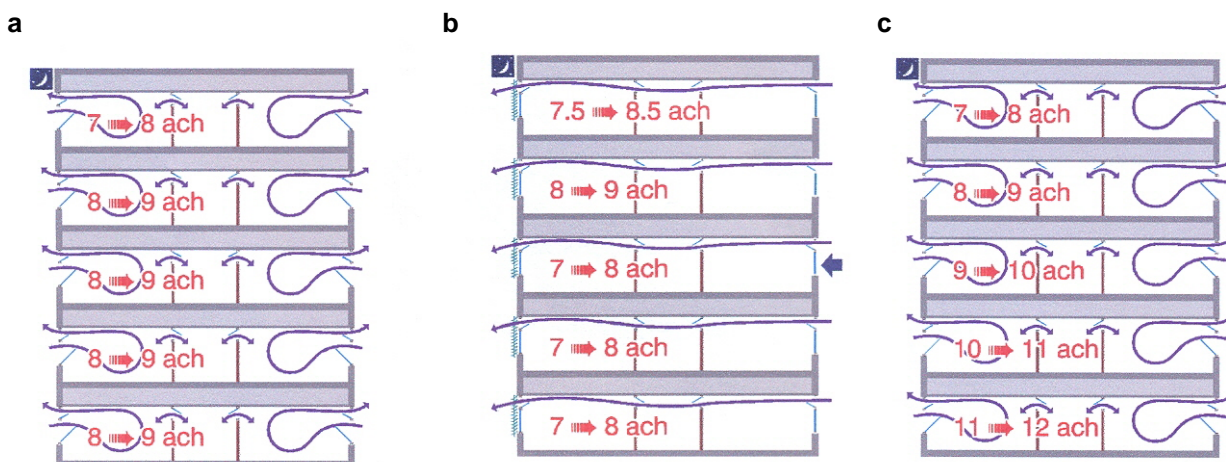
Ventilacioni sistemi se mogu podeliti na:

- sisteme sa prirodnom ventilacijom i
- sisteme mehaničke (prinudne) ventilacije.

Prirodno provetravanje moguće je ostvariti kroz procepe (fuge) spoljnih prozora i vrata, otvaranjem prozora ili kroz posebne ventilacione otvore. Provetravanje prirodnim putem je moguće usled dejstva vetra ili uzgonske sile, što nekada nije dovoljno u odnosu na zahteve koji se postavljaju za određene prostore, bilo da je u pitanju boravak većeg broja ljudi ili neki proces koji se obavlja u posmatranoj prostoriji.

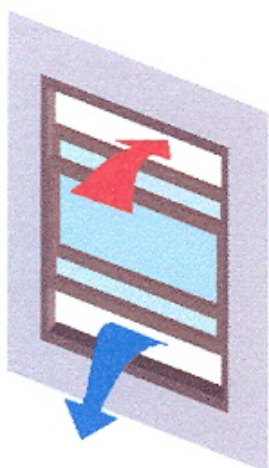
Kada se primenjuje prirodna ventilacija svakako treba uzeti u obzir brzinu i smer vetra, kao i izbor odgovarajućeg mesta na fasadi zgrade gde će biti postavljeni otvori za ventilaciju. Na taj način se može uticati na količinu spoljašnjeg vazduha koji će prirodnim putem prodirati u zgradu i ventilirati prostoriju. Protok vazduha je slučajno promenljiva veličina koja zavisi od temperaturske razlike, brzine i smera vetra, kao i razlike pritisaka unutrašnje i spoljašnje sredine. Broj izmena vazduha na čas jako varira, i može se kretati od 0,3 (već samom infiltracijom spoljašnjeg vazduha kroz procepe prozora i vrata) do čak 20 (kada su prozori širom otvoreni). Prilikom korišćenja prirodne ventilacije neophodno je uzeti u razmatranje više uticajnih faktora – od geometrije zgrade, rasporeda protorija, orijentacije zgrade u odnosu na dominantne vetrove, kao i načine uvođenja spoljnog vazduha. Prirodna ventilacija najčešće se ostvaruje otvaranjem otvora na fasadi i može se postići:

- ventilacija cirkulacijom vazduha u prostoriji (*single-sided ventilation*) ili
- ventilacija prostrujavanjem vazduha (*cross-ventilation*)



Slika 7.1 Količine vazduha za prirodnu ventilaciju za različite slučajeve uticaja vetra: a) zgrada je zaklonjena od vetra, b) pravac vetra je upravan na otvorene prozore za ventilaciju, c) pravac vetra je paralelan sa površinom otvora za ventilaciju

Kontrolom otvorenosti prozora na opisan način postiže se prosečan broj izmena vazduha od oko 8 izmena na čas, što je prikazano na slici 7.1.



Slika 7.2 Efikasan otvor za prirodnu ventilaciju

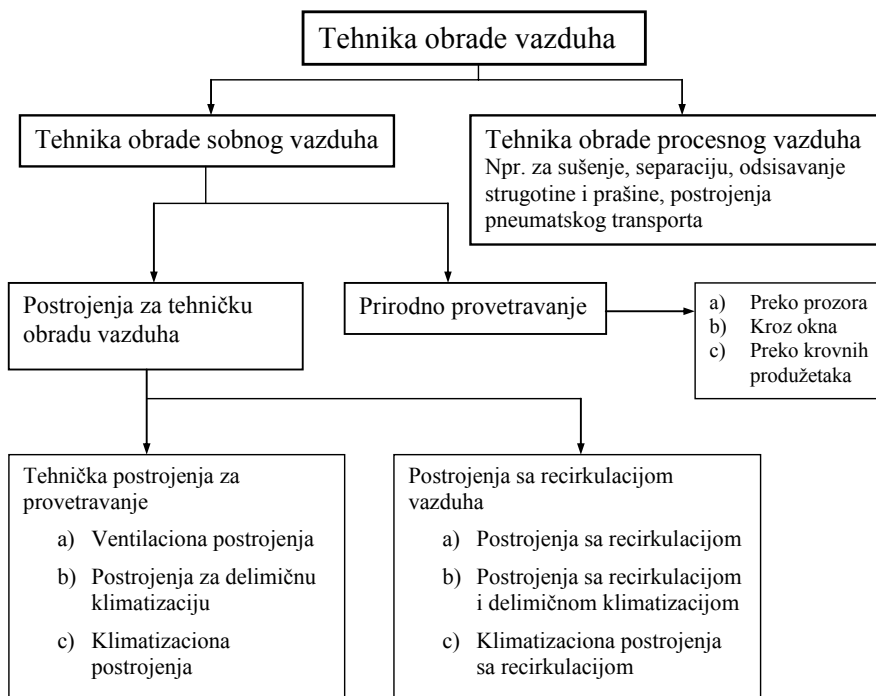
Simulacije za različite položaje otvora koji se koriste za prirodnu ventilaciju, pri tome ne menjajući ukupnu površinu otvora pokazale su da se efekat može poboljšati uvođenjem efikasnih otvora na fasadi. Izgled efikasnog otvora prikazan je slici 7.2.

Efikasnost samog otvora procenjena je preko ostvarenog broja izmena vazduha na čas. Najbolji efekti dobijeni su za slučaj kada je otvor podeljen na gornji i donji, tako da kroz donji vazduh prodire u prostoriju, a kroz gornji istrujava iz nje. Ovakvi otvori daju dobre rezultate kod tehnike sa cirkulacijom vazduha u prostoriji. Što je veća visinska razlika između ova otvora to je bolji efekat indukcije spoljašnjeg vazduha. Kada je u pitanju tehnika ventilacije prestrujavanjem vazduha, neohodno je da spoljašnji otvori budu postavljeni na većoj visini – u visini unutrašnjeg otvora iznad vrata prostorije.

Prema nameni, ventilacioni sistemi mogu biti:

- za komforne uslove ili
- industrijski sistemi ventilacije.

Na slici 7.3 dat je prikaz pripreme vazduha u zavisnosti od namene vazdušnog sistema:



Slika 7.3 Tehnike obrade vazduha u zavisnosti od namene sistema

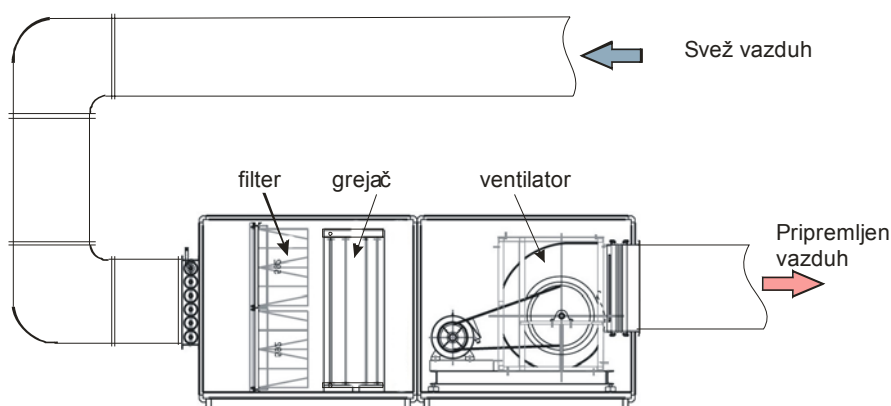
Mehaničkom (prinudnom) ventilacijom se uz pomoć ventilatora (aksijalnog ili centrifugalnog) prinudno dovodi potrebna količina svežeg vazduha u prostoriju. Postrojenja za mehaničku ventilaciju se najčešće izvode kao centralni sistem vazdušnog grejanja, mada to nije obavezno.

Kod centralnih sistema priprema vazduha se obavlja centralno – na jednom mestu, a zatim se pripremljen vazduh razvodi do pojedinih prostorija.

Centralna priprema vazduha se obavlja u KOMORI za pripremu vazduha (najčešće se koriste pojmovi *ventilaciona komora* i *klima komora*). Šematski prikaz jedne ventilacione komore koja radi samo sa svežim vazduhom tokom zimskog perioda dat je na slici 7.4. Vazduh se u komori filtrira, zagreva do sobne temperature i zatim distribuira do ventilisanih prostorija. Grejači u komorama mogu biti:

- toplovodni,
- parni ili
- električni.

Filter koji se nalazi u komori služi za izdvajanje čestica nečistoća iz vazduha (obično je to filter srednje klase izdvajanja EU2-EU3). Konstrukcije filterskih sekcija u komorama mogu biti različite: ravanski, kasetni, vrećasti, itd.



Slika 7.4 Ventilaciona komora za rad sa svežim vazduhom

7.2 ODREĐIVANJE KOLIČINE VAZDUHA ZA KLIMATIZACIJU

U vazдушnim sistemima klimatizacije, u kojima je vazduh jedini radni fluid, količina vazduha koja se koristi za klimatizaciju prostorija određuje se na osnovu tri kriterijuma:

- gubitaka toplote u zimskom periodu;
- toplotnog opterećenja u letnjem periodu;
- potrebne količine vazduha za provetranje (ventilaciju).

Provetranje (ventilacija) obavlja se svežim (spoljnim) vazduhom. Potrebna količina svežeg vazduha diktirana je uslovima obezbeđivanja kvaliteta vazduha u zatvorenim prostorijama. U komfornoj klimatizaciji zadatak klimatizacionog postrojenja je da ostvari povoljne uslove za disanje i eliminiše stvorene mirise i nečistoće. Količina svežeg vazduha može se odrediti jednim od sledećih načina:

- preko “obroka” po čoveku;
- preko dozvoljene koncentracije zagađivača;
- preko broja izmena vazduha na sat.

7.2.1 Obrok svežeg vazduha po čoveku

Ovaj metod primenjuje se u komfornoj klimatizaciji gde su ljudi osnovni, a često i jedini zagađivači. Zadatak ventilacije je da se obezbede odgovarajući uslovi za disanje, odnosno, u širem smislu, povoljni uslovi za ugodan boravak ljudi u zatvorenom prostoru. Preporučene vrednosti svežeg vazduha po čoveku iznose:

- 20 do 30 m³/h ako se u prostoriji ne puši;
- 30 do 40 m³/h ako je u prostoriji dozvoljeno pušenje ili ima drugih zagađivača.

Navedene vrednosti obroka svežeg vazduha po čoveku su minimalne. Ako se ima u vidu da je osnovni zadatak klimatizacije da stvori povoljne klimatske uslove u kojima će se ljudi ugodno osećati, razumljivo je da su prethodno navedene količine svežeg vazduha često bile uvećavane. Treba imati na umu da količina svežeg vazduha direktno utiče i na investicione i na eksploatacione troškove. Posle energetske krize 70-tih godina prošlog veka, kao jedna od efikasnih mera za smanjenje potrošnje energije u klimatizacionim postrojenjima bila je smanjenje količine svežeg vazduha. U traganju za minimalno potrebnom količinom svežeg vazduha, ponekad se išlo u drugu krajnost, pa je u praksi bilo klimatizovanih objekata sa vrlo lošim kvalitetom vazduha. Nedovoljan kvalitet vazduha izazivao je niz zdravstvenih problema (glavobolja, mučnina, alergija, osećaj suvoće u disajnim putevima, crvenilo očiju i dr.). Čak je uveden i poseban termin za stanje ovih zgrada - "sindrom bolesnih zgrada" (*Sick Building Syndrom*). Urađen je i veliki broj istraživačkih projekata na temu kvaliteta unutrašnjeg vazduha (*Indoor Air Quality*) tako da se može konstatovati da je ovaj problem rešen.

U izvesnim slučajevima može dosta da se odstupa od prethodno navedenih preporučenih vrednosti za obrok svežeg vazduha po čoveku:

- u skloništima se računa sa količinom svežeg vazduha 6 m³/h po čoveku u normalnom rešimu korišćenja, a 2,5 m³/h po čoveku u zaštitnom režimu rada;
- kancelarije modernih poslovnih zgrada obično se rade sa 50 m³/h svežeg vazduha po čoveku;
- u hotelima visoke kategorije radi se sa 100 i više m³/h svežeg vazduha po čoveku.

7.2.2 Maksimalna dozvoljena koncentracija zagađivača – MDK

Ovaj kriterijum za određivanje količine svežeg vazduha za ventilaciju obično se primenjuje u industrijskim objektima u kojima su definisani izvori zagađenja (po vrsti zagađivača i intenzitetu zagađivanja). Ventilacijom treba obezbediti onu koncentraciju štetnih materija u vazduhu koja neće štetno delovati na čoveka, tj. neće izazvati trovanje, eksploziju ili požar. Otpadnim vazduhom izvlače se zagađivači iz prostora, a ubacivanjem svežeg vazduha koncentracija zagađivača u vazduhu se smanjuje dok ne bude manja od maksimalno dozvoljene – MDK.

Potrebna količina vazduha za ventilaciju određuje se iz bilansa zagađivača:

$$V \cdot k_s + K = V \cdot k_{\max} \quad (7.1)$$

gde je:

- V [m³/h] – potrebna količina svežeg vazduha za ventilaciju
- k_s [m³/m³] – koncentracija određenog zagađivača (zbog koga se vrši ventilacija) u svežem vazduhu
- k_{\max} [m³/m³] – maksimalna dozvoljena koncentracija (MDK) određenog zagađivača u ventilisanoj (klimatizovanoj) prostoriji
- K [m³/h] – časovno zagađenje od izvora u prostoriji

Minimalan časovni protok svežeg vazduha za ventilaciju iznosi:

$$V = \frac{K}{k_{\max} - k_s} \quad (7.2)$$

Jedinice za merenje i izražavanje koncentracije zagađivača su mg/m³ ili ppm (parts per million = cm³/m³). Maksimalne dozvoljene koncentracije zagađivača (MDK) usvajaju se prema

preporukama Instituta za zaštitu zdravlja (tabela 7.1). Navedene vrednosti su podložne promenama, i pri svakoj promeni, po pravilu, Zakonodavac ih pooštrava u cilju bolje zaštite zdravlja radnika.

Tabela 7.1 MDK vrednosti

Zagađivač	ppm	mg/m ³
acetone	1000	2400
amonijak	50	35
fluor	0,1	0,2
hlor	0,5	1,5
naftalin	10	50
nikotin	0,07	0,5
ozon	0,1	0,2
sumpordioksid	2	5
ugljendioksid	5000	
ugljenmonoksid	50	

Vrednosti navedene u tabeli 1 predstavljaju tzv. maksimalno dozvoljene trajne koncentracije kojima radnici mogu biti izloženi tokom celokupnog radnog vremena. Postoje i kratkotrajne dozvoljene koncentracije zagađivača na radnom mestu, ali je njihovo vreme trajanja ograničeno.

7.2.3 Broj izmena vazduha na sat

Broj časovnih izmena vazduha u prostoriji predstavlja odnos količine svežeg vazduha koja se uvodi u prostoriju u toku jednog sata i zapremine prostorije:

$$n = \frac{\dot{V}_{vazd}}{V_{prost}} \quad [1/h] \quad (7.3)$$

Preporučeni broj izmena vazduha na sat zavisi od:

- namene prostorije;
- vrste zagađivača;
- veličine (zapremine) prostorije.

Određivanje količine svežeg vazduha za klimatizaciju (ventilaciju) prema broju izmena vazduha na sat koristi se kadgod izvori zagađenja nisu dovoljni definisani. Takođe, koristi se i kao kontrolni metod kada se količina svežeg vazduha za ventilaciju određuje nekim drugim metodom. Preporučene vrednosti broja izmena vazduha za tipične namene prostorija date su u tabeli 7.2.

Tabela 7.2 Broj izmena vazduha na sat

Namena objekta	n [1/h]
toaleti (u stanovima, ustanovama, javni)	4 – 6 – 15
kupatila	4 – 6
biblioteke	3 – 5
kancelarije	3 – 6
farbare	5 – 15
lakirnice (prostorije za prskanje bojom)	20 – 50
garaže	4 – 5
robne kuće	4 – 6
bolnice (zavisno od odeljenja)	3 – 20
laboratorije	8 – 15 (25)
komercijalne kuhinje	15 – 20
zatvoreni bazeni	3 – 6

Treba napomenuti da se broj izmena vazduha na sat često navodi ne prema količini svežeg vazduha, nego prema ukupnoj količini vazduha koja se izvlači ili ubacuje u prostoriju (svež + recirkulacioni). Broj izmena vazduha u prostoriji definisan na ovaj način ukazuje na kvalitet ispiranja prostorije pripremljenim vazduhom. Broj izmena vazduha na sat određen prema ukupnoj količini vazduha koji se dovodi klimatizovanoj prostoriji može biti višestruko veći od broja izmena svežeg vazduha. Na primer, u prostorijama sa laminarnom ventilacijom, ukupan broj izmena vazduha može biti i do 600 1/h.

7.2.4 Određivanje količine vazduha prema zimskom režimu

Potrebna količina vazduha za zimske projektne uslove:

$$V_z = \frac{3600 \cdot Q_g}{C_p \cdot \rho \cdot (\theta_{ub} - \theta_{un})} = \frac{3600 \cdot Q_g}{C_p \cdot \rho \cdot \Delta\theta_z} \quad (7.4)$$

gde je:

- V_z [m³/h] – količina vazduha za klimatizaciju (zapreminski protok)
- Q_g [W] – toplotni gubici prostorije
- C_p [J/kgK] – specifični toplotni kapacitet vazduha
- ρ [kg/m³] – gustina vazduha
- θ_{ub} [°C] – temperatura vazduha koji se ubacuje u klimatizovani prostor
- θ_{un} [°C] – temperatura u prostoriji
- $\Delta\theta_z$ [°C] – razlika temperature ubacnog i vazduha u prostoriji

Temperatura vazduha, koji se u zimskom periodu ubacuje u klimatizovani prostor, zavisi od:

- namene prostorije;
- visine prostorije;
- predviđenog sistema klimatizacije.

U komfornoj klimatizaciji obično se usvaja temperatura vazduha 30 do 40°C, dok u industrijskoj može da bude i viša (do 50°C).

7.2.5 Određivanje količine vazduha prema letnjem režimu

Potrebna količina vazduha za letnje projektne uslove:

$$V_L = \frac{3600 \cdot Q_{t,opt.}}{C_p \cdot \rho \cdot (\theta_{un} - \theta_{ub})} = \frac{3600 \cdot Q_{t,opt.}}{C_p \cdot \rho \cdot \Delta\theta_L} \quad (7.5)$$

gde je:

- V_L [m³/h] – količina vazduha za klimatizaciju
- $Q_{t,opt.}$ [W] – toplotno opterećenje prostorije
- C_p [J/kgK] – specifični toplotni kapacitet vazduha
- ρ [kg/m³] – gustina vazduha
- θ_{ub} [°C] – temperatura vazduha koji se ubacuje u klimatizovani prostor
- θ_{un} [°C] – temperatura u prostoriji
- $\Delta\theta_L$ [°C] – razlika temperature vazduha u prostoriji i ubacnog vazduha

Temperatura klimatizovanih prostorija leti obično se usvaja 22 do 28°C, pri čemu u našim klimatskim uslovima najčešće se projektuje na 26°C. Radi postizanja odgovarajućih uslova ugodnosti, uobičajeno se usvaja da je $\Delta\theta_L = 4$ do 12°C. Na izbor projektne temperature ubacnog vazduha leti najviše utiče izabrani sistem klimatizacije. Što je manja temperaturska razlika između

temperature u prostoriji i temperature vazduha koji se ubacuje u klimatizovani prostor, termički uslovi ugodnosti biće bolji, ali se povećava količina vazduha koja mora da se dovodi u prostoriju.

7.2.6 Usvajanje ukupne količine vazduha

Merodavna količina vazduha za klimatizaciju u vazдушnim sistemima je najveća vrednost količine vazduha određena prema zimskim i letnjim projektnim uslovima, kao i za potrebe ventilacije:

$$V_{uk} = \max \{V_z, V_L, V_{sv}\}$$

Ukoliko je od ove tri količine vazduha najveća količina svežeg vazduha, onda se usvaja da je ukupna količina vazduha za klimatizaciju prostorije jednaka količini (protoku) svežeg vazduha. U tom slučaju sistem radi sa 100% svežim vazduhom. Takođe, potrebno je izvršiti korekciju temperature ubacivanja vazduha u letnjem i zimskom režimu rada jer je povećana količina vazduha u odnosu na minimalno potrebnu da bi se eliminisalo toplotno opterećenje leti, odnosno nadoknadili gubici toplote zimi (i $\Delta\theta_z$ i $\Delta\theta_L$ će se smanjiti u odnosu na prvobitno usvojene veličine).

Ukoliko je najveća količina vazduha određena prema letnjem periodu, onda se usvaja da je $V_{uk} = V_L$. U ovom slučaju sistem klimatizacije će raditi sa količinom svežeg vazduha V_{sv} dok će ostatak činiti recirkulacioni vazduh jer se tako postiže ušteda energije tokom eksploatacije postrojenja, a niži su i investicioni troškovi. Količina recirkulacionog vazduha jednaka je:

$$V_{rec} = V_{uk} - V_{sv} \quad (7.6)$$

Naravno, i u ovom slučaju potrebno je korigovati temperaturu ubacnog vazduha u zimskom periodu jer je povećana količina vazduha, pa će $\Delta\theta_z$ biti manje od prvobitno usvojenog.

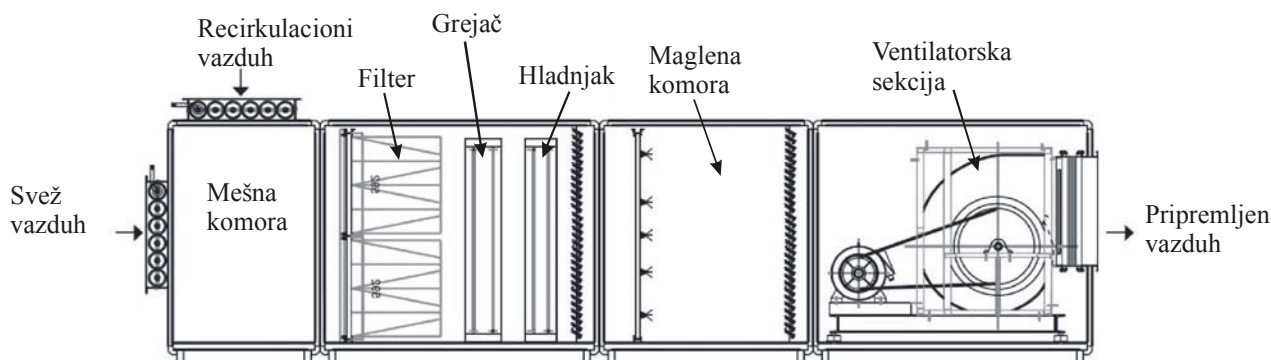
Analogan postupak sprovodi se i u slučaju kada je najveća količina vazduha određena prema zimskim projektnim uslovima.

7.3 ELEMENTI KLIMA KOMORE

Na slici 7.5 je dat šematski prikaz jedne horizontalne klima komore, koja radi sa mešavinom svežeg i recirkulacionog vazduha. Konstrukcija klima komore i broj i vrsta elemenata koje komora sadrži zavise od namene samog sistema za klimatizaciju (npr. da li se želi rad samo sa svežim vazduhom, da li se želi samo hlađenje tokom letnjeg perioda, da li je potrebno vlaženje vazduha, da li se želi korišćenje otpadne toplote, da li je potrebno prigušivanje buke i vibracija, itd.).

Osnovni elementi klima komore su:

- **mešna sekcija** (kao opcija, ako se vrši recirkulacija sobnog vazduha),
- **filterska sekcija** (za prečišćavanje vazduha koji se uvodi u sistem),
- **grejač** (koji može biti podeljen na predgrejač i dogrejač – što je čest slučaj kada se vrši vlaženje vodom,
- **hladnjak** (koji najčešće u klimatizaciji koristi hladnu vodu kao radni fluid),
- **maglena komora** za vlaženje vazduha vodom,
- **ventilatorska sekcija** (najčešće su u pitanju centrifugalni ventilatori).



Slika 7.5 Šematski prikaz klima komore

GREJAČ služi za zagrevanje vazduha u zimskom i prelaznim periodima (mada se nekad i tokom leta može koristiti). Zagrevanje vazduha se kreće u granicama od -20°C do $+50^{\circ}\text{C}$. U sistemu klimatizacije može postojati jedan ili više grejača, što zavisi od izbora samog sistema klimatizacije. Mesto ugradnje grejača može biti:

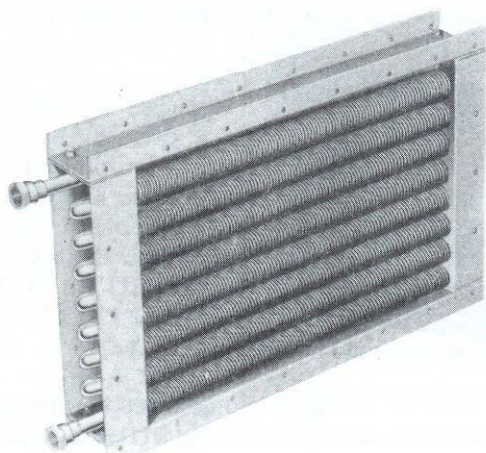
- klima komora (jedan grejač ili predgrejač i dogrejač),
- kanal pripremljenog vazduha (kanalski grejač, koji je najčešće dogrejač kod zonskih sistema),
- uređaj u prostoriji (najčešće dogrejač kod vodenih ili vazdušno-vodenih sistema; tada se u prostoriji nalaze aparati kao što je ventilator-konvektor (*fan-coil*) ili indukcioni aparat).

Kao radni fluid u grejaču najčešće se koristi topla voda. Mogu se koristiti različiti temperaturni režimi ($90/70^{\circ}\text{C}$, $80/60^{\circ}\text{C}$, $60/45^{\circ}\text{C}$ u kanalskim dogrejačima...). Grejni fluidi takođe može biti i vodena para niskog pritiska.

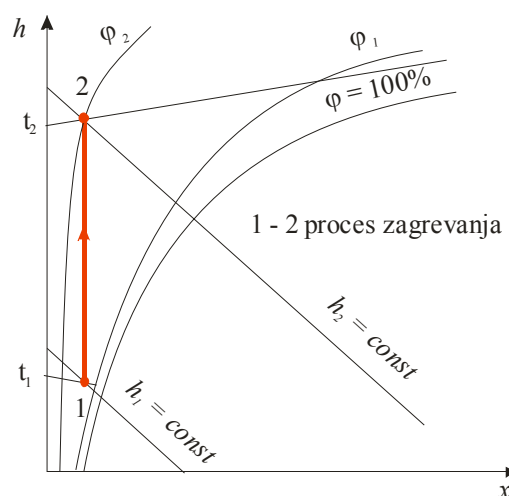
Zahtevi koje mora da ispuni grejač su:

- da bude kompaktan (što veće odavanje toplote po jedinici zapremine grejača),
- da ima što manji pad pritiska sa vazdušne strane (brzina vazduha po fasadnom preseku se kreće u granicama $w = 2 \div 4$ m/s),
- da ima što manji pad pritiska sa vodene strane (brzina vode u cevima se kreće u granicama $w = 0,5 \div 1$ m/s).

Na slici 7.6 je prikazan izgled grejača klima komore.

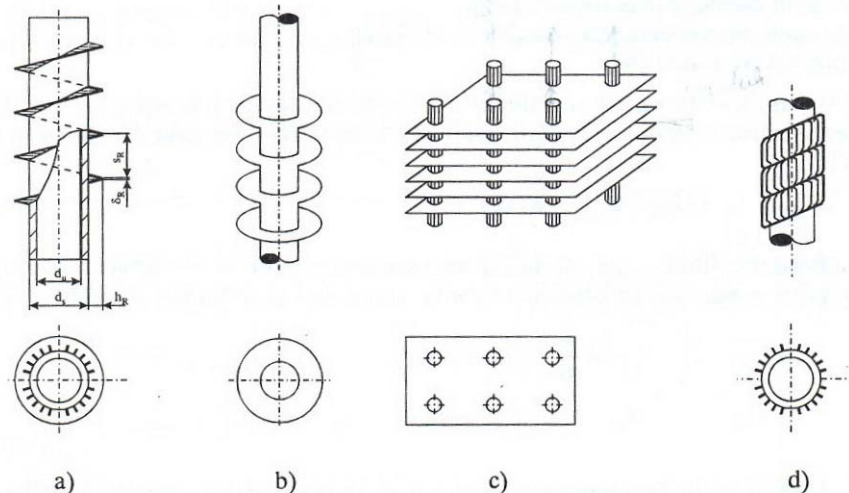


Slika 7.6a Spoljni izgled grejača sa spiralnim rebrima koji se postavlja u klima komoru



Slika 7.6b Priprema vazduha u h-x dijagramu

Kada je u pitanju konstrukcija grejača, oni se najčešće izrađuju od orebrenih cevi, kako bi se povećala razmena toplote pri konvekciji sa strane vazduha. Koeficijent prelaza toplote sa vodene strane – sa tople vode na zid cevi je reda veličine 100 puta veći u odnosu na koeficijent prelaza toplote sa zida cevi na vazduh ($\alpha_{un} \sim 10^3 \text{ W/m}^2\text{K}$, $\alpha_{sp} \sim 10 \text{ W/m}^2\text{K}$). Zbog toga je neophodno povećanje površine za razmenu toplote sa strane vazduha. Na slici 7.7 prikazane su konstrukcije grejača za vazduh i različita orebrenja cevi.



Slika 7.7 Vrste orebrenja cevi grejača za vazduh – a) spiralno orebrenje, b) kružne lamele, c) lamelasta rebra sa koridornim rasporedom cevi, d) orebrenje od žice

Određivanje grejne površine grejača:

$$Q = k \cdot F_s \cdot \Delta\theta_m, \quad (7.7)$$

gde je:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_s} + \left[\frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_u} \right] \cdot \frac{F_s}{F_u} - \text{otpor prolazu toplote sa grejnog fluida na vazduh}$$

$$\Delta\theta_m = \frac{\Delta\theta_{ul} - \Delta\theta_{iz}}{\ln \frac{\Delta\theta_{ul}}{\Delta\theta_{iz}}} - \text{srednja temperaturska razlika grejnog i grejanog fluida.}$$

Srednja temperaturska razlika zavisi od tipa strujanja koji može biti:

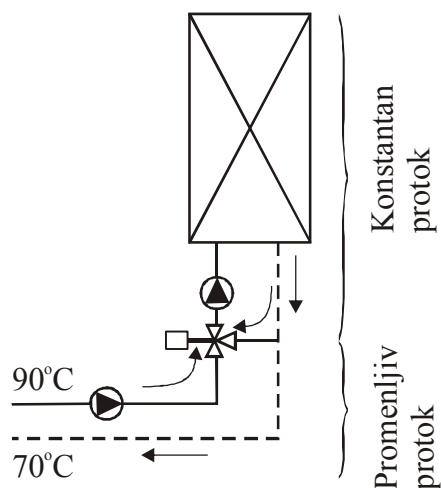
1. Istosmerni tok,
2. Suprotnosmerni tok i
3. Unakrsni tok.

Kod grejača se javlja kombinacija suprotnosmernog-unakrsnog toka grejnog i grejanog fluida, Tačna vrednost koeficijenta prolaza toplote može se odrediti samo eksperimentalno. Zbog navedenih razloga projektanti ne vrše proračun površine grejača, već taj podatak daje proizvođač na osnovu sledećih podataka:

- protoka vazduha kroz grejač,
- temperature vazduha na ulazu i izlazu iz grejača
- temperaturnog režima grejnog fluida.

Na bazi datih podataka, odnosno uslova u kojima grejač mora da radi, proizvođač određuje:

- površinu grejača,
- maseni protok grejnog fluida,
- pad pritiska sa vodene i vazdušne strane
- brzinu strujanja vazduha kroz grejač.

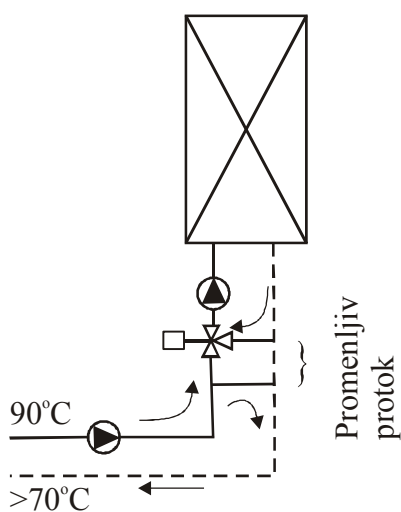


Slika 7.8 a Regulacija pomoću mešnog trokrakog ventila

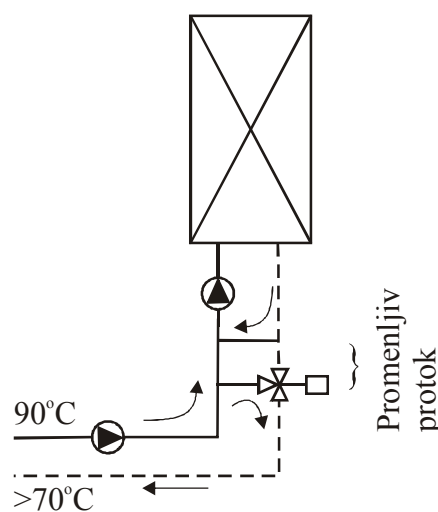
Regulacija odavanja toplote grejača je **kvalitativna** – maseni protok grejnog fluida ostaje konstantan, dok se menja temperatura tople vode na ulazu u grejač:

$$\dot{m}_w = const, \theta_{w,ul} \neq const$$

Regulacija se vrši pomoću trokrakog ventila koji je smešten u razvodnom vodu grejača i koji radi kao mešni – u potrebnom odnosu meša razvodnu i povratnu toplu vodu i na taj način se dobija željena temperatura vode na ulazu u grejač (slika 4a). Trokraki ventil može biti postavljen i u povratnom vodu, spojen kratkom vezom sa razvodnim (slika 4c).



Slika 7.8 b Regulacija pomoću mešnog trokrakog ventila i kratkom vezom



Slika 7.8 c Regulacija pomoću trokrakog ventila u povratnom vodu

HLADNJAK služi za hlađenje vazduha u letnjem i prelaznim periodima. Konstruktivno se ne razlikuje od grejača. I hladnjaci su, kao i grejači izrađeni od orebrenih cevi. Mogu se izrađivati od bakarnih cevi, što je dobro zbog otpornosti na koroziju. Rebra bakarnih cevi se izrađuju od aluminijuma ili bakra. Takođe se mogu izrađivati od čeličnih cevi sa čeličnim orebrenjem. Oblik rebara može biti pravougaoni, kružni ili spiralni.

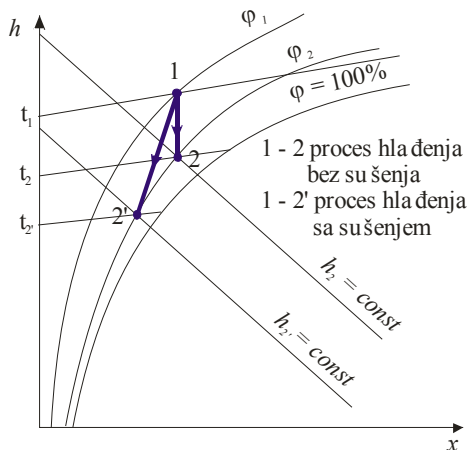
Kod hladnjaka se, u odnosu na grejač, razlikuju uslovi razmene toplote:

- manja je temperaturska razlika između vazduha i površine hladnjaka
 $\Delta\theta_{HL} = (\theta_{V,sr} - \theta_{W,sr})_{HL} < (\theta_{W,sr} - \theta_{V,sr})_{GR} = \Delta\theta_{GR}$

~16 ~25 ~9 < ~80 ~10 ~70 , što ima za posledicu:

$F_{HL} > F_{GR}$, tj. površina hladnjaka je veća od površine grejača;

- uz hlađenje se obično vrši i sušenje vazduha, tj. dolazi do izdvajanja vlage iz vazduha koji se hladi i stvaranja kondenzata na površini hladnjaka. To ustvari znači da se u hladnjaku odvodi i **suva** i **latentna** toplota.



Da li će doći do izdvajanja vlage prilikom hlađenja vazduha zavisi od:

- stanja vazduha koji struji preko površine hladnjaka (temperature tačke rose θ_{TR})
- temperature površine hladnjaka θ_{PH} .

Kada je : $\theta_{TR} > \theta_{PH}$ doći će do izdvajanja vlage iz vazduha prilikom hlađenja, što je prikazano na slici 7.9

Slika 7.9 Proces hlađenja u h-x dijagramu

Da li će doći do izdvajanja vlage prilikom hlađenja vazduha zavisi od:

- stanja vazduha koji struji preko površine hladnjaka (temperature tačke rose θ_{TR})
- temperature površine hladnjaka θ_{PH} .

Kada je : $\theta_{TR} > \theta_{PH}$ doći će do izdvajanja vlage iz vazduha prilikom hlađenja.

Prema vrsti rashladnog fluida hladnjaci se mogu podeliti na:

- Hladnjake sa direktnim isparavanjem**, kada je radni fluid neki od rashladnih fluida (freon, amonijak, CO₂...) Tada je isparivač rashladne mašine hladnjak u klima komori i tada je površina hladnjaka na konstantnoj temperaturi koja odgovara temperaturi isparavanja;
- Protočne hladnjake**, kada je radni fluid hladna voda (ili vodeni rastvor antifrizna ako su potrebne niže temperature radnog fluida). U ovom slučaju temperatura površine hladnjaka nije konstantna, već se menja kako se voda zagreva od temperature na ulazu u hladnjak do temperature na izlazu iz hladnjaka. Danas se u klima komora pretežno koristi ovaj tip hladnjaka (sa sekundarnim rashladnim fluidom). Voda potrebna za hlađenje celog objekta se priprema u rashladnoj mašini. Na ovaj način se izbegava opasnost od curenja freona u klima komori i obezbeđuje centralna priprema hladne vode, čime je smanjena količina primarnog rashladnog fluida u sistemu. Međutim, rad sa sekundarnim rashladnim fluidom je termodinamički nepovoljniji zbog dodatnog posrednika u predaji toplote.

Prema mestu ugradnje hladnjaci se mogu podeliti na:

- Hladnjake u klima komori**, kada je hladnjak jedna od sekcija klima komore
- Hladnjake u elementima** za doradu ili ubacivanje vazduha u prostoriju; tada se obično u hladnjacima vrši samo odvođenje suve toplote bez izdvajanja vlage.

HLADNJACI KOJI RADE SA VODOM kao rashldnim fluidom obavezno koriste suprotnosmerno-unakrsno strujanje rashladnog i hlađenog fluida jer je tada veći efekat razmenjene količine toplote.

Uobičajene temperature koje se javljaju prilikom procesa hlađenja su:

$$\text{VAZDUH : } \theta_{V,ul} = 26 \div 35^{\circ} C ,$$

$$\theta_{V,iz} = 10 \div 15^{\circ} C ;$$

$$\text{VODA : } \theta_{W,ul} = 5 \div 6^{\circ} C ,$$

$$\theta_{W,iz} = 11 \div 12^{\circ} C ; \text{ što daje uobičajenu vrednost } \Delta\theta_W = 5 \div 6^{\circ} C .$$

Efekat hlađenja nekog hldnjaka može tačno da se odredi jedino eksperimentalnim putem. Ipak postoje izrazi za jedan približan, krajnje uprošćen proračun, koji pokazuje uticaj pojedinih parametara na razmenjenu količinu toplote.

Ukupno odvedena toplota u hladnjaku jednaka je zbiru suve i latentne:

$$Q = Q_s + Q_l \quad (7.8)$$

$$Q_s = \alpha_s \cdot F \cdot \Delta\theta_m \quad (7.9)$$

$$Q_l = \sigma \cdot F \cdot r \cdot \Delta x_m \quad (7.10)$$

gde su:

α_s - koeficijent prelaza suve toplote sa vazduha na površinu hladnjaka,

F - površina hladnjaka,

$\Delta\theta_m$ - srednja temperautska razlika rashladnog i hlađenog fluida,

$\sigma = \frac{\alpha_s}{c_p}$ - Luisov broj,

r - toplota promene faze (kondenzacije vlage)

Δx_m - razlika apsolutnih vlažnosti vazduha koji se hladi i zasićenog vazduha na t_{PH} ,

Korišćenjem Luisovog zakona dobija se izraz:

$$Q = \alpha_s \cdot F \cdot \left(\Delta\theta_m + \frac{r \cdot \Delta x_m}{c_p} \right) = \frac{\alpha_s \cdot F \cdot \Delta h_m}{c_p}, \quad (7.11)$$

gde je:

Δh_m - srednja razlika entalpija vazduha koji se hladi i zasićenog vazduha na θ_{PH} .

Ako se uvede neki fiktivni, korigovani koeficijent prelaza toplote α_k , koji obuhvata prelaz i suve i latentne toplote, onda se može napisati:

$$\alpha_k \cdot F \cdot \Delta\theta_m = \frac{\alpha_s \cdot F \cdot \Delta h_m}{c_p}, \text{ odakle sledi:}$$

$$\alpha_k = \alpha_s \cdot \frac{\Delta h_m}{c_p \cdot \Delta\theta_m}, \text{ odnosno sledi da je } \alpha_k > \alpha_s .$$

U projektantskoj praksi potrebnu veličinu hladnjaka određuje proizvođač na osnovu sledećih podataka koje dostavlja projektant:

- protoka vazduha kroz hladnjak,
- stanja vazduha na ulazu i izlazu iz hladnjaka (temperature i vlažnosti)
- temperaturnog režima hladne vode.

Na bazi datih podataka, odnosno uslova u kojima hladnjak radi, proizvođač određuje:

- površinu hladnjaka,
- maseni protok rashladnog fluida (vode),
- pad pritiska sa vodene i vazdušne strane i
- brzinu strujanja vazduha kroz hladnjak.

HLADNJACI SA DIREKTNIM ISPARAVANJEM rade sa primarnim rashladnim fluidom. Toplota potrebna za isparavanje rashladnog fluida oduzima se od vazduha koji struji kroz hladnjak. Smer strujanja nije bitan kao kod vodenih hladnjaka, jer je temperatura površine hladnjaka konstantna. Temperatura isparavanja rashladnog fluida (a samim tim i pritisak isparavanja) određuje se iz uslova hlađenja vazduha. Analizom potrebnog hlađenja vazduha u "h-x" dijagramu određuje se i usvaja temperatura površine hladnjaka, dok se za temperaturu isparavanja usvaja vrednost koja je za oko 3°C niža.

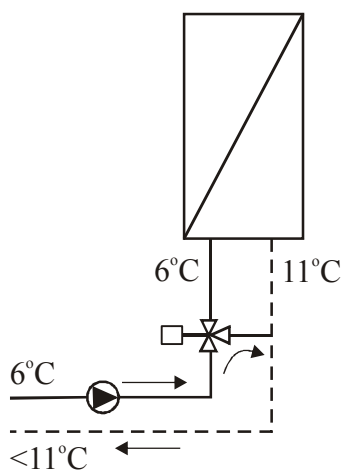
Temperatura isparavanja mora biti iznad 0°C, inače bi došlo do smrzavanja izdvojene vlage iz vazduha, što prouzrokuje:

- smanjenje poprečnog preseka za strujanje vazduha kroz hladnjak,
- smanjenje kapaciteta hladnjaka, jer se povećava otpor provođenju toplote zbog naslage leda,
- prekid rada postrojenja zbog otapanja leda.

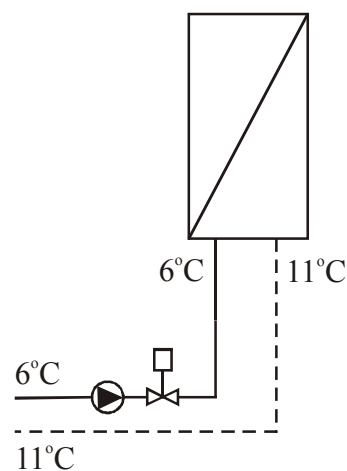
Regulacija rashladnog učinka hladnjaka vrši se *kvantitativno*, promenom protoka rashladnog fluida, dok temperatura na ulazu u hladnjak ostaje nepromenjena:

$$\dot{m}_w \neq const, \theta_{w,ul} = const.$$

Zbog malih razlika temperatura vode na ulazu i izlazu iz hladnjaka kvalitativna regulacija nije dobra - bila bi jako gruba - povišenjem temperature vode u razvodu za samo 1°C rezultovalo bi smanjenjem rashladnog učinka hladnjaka za 17%. Na slici 7.10 prikazani su načini kvantitativne regulacije hladnjaka.

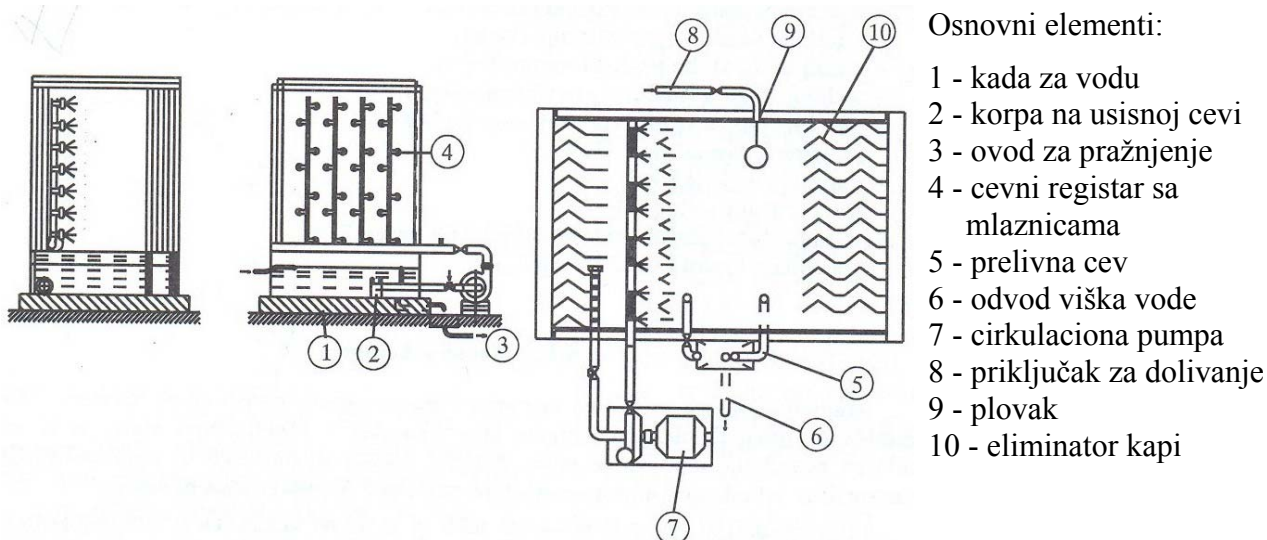


Slika 7.10 a Regulacija pomoću trokutakog ventila koji radi kao razdelni



Slika 7.10 b Regulacija pomoću prigušnog ventila -povećanje prigušenja smanjuje protok

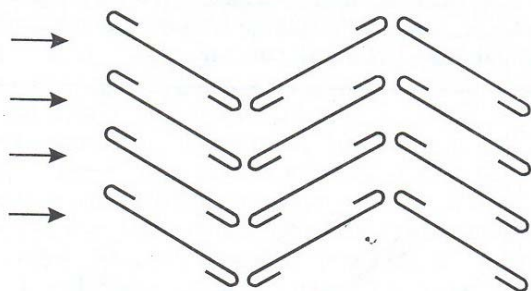
MAGLENA KOMORA je deo klima komore u kome se vrši vlaženje vazduha vodom. Maglena komora se sastoji od kućišta od pocinkovanog lima ili nekog veštačkog materijala (plastike). Donji deo maglene komore je kada za skupljanje i dopunu vode. Na jednoj strani maglene komore nalaze se mlaznice čija je uloga raspršivanje vode u što sitnije kapi. Da bi se intenzivirao proces razmene materije (ostvarilo bolje vlaženje), potrebno je da raspršene kapi vode budu jako sitne, u cilju povećanja površine kontakta između vode i vazduha. Šematski prikaz maglene komore u 3 projekcije (sa strane, frontalno i odozgo) prikazan je na slici 7.11.



Slika 7.11 Maglena komora sa osnovnim elementima

Većina mlaznica za raspršivanje vode je sa unutrašnje strane obrađena u obliku spirale, pa struja vode dobija rotaciju i postiže se bolje raspršivanje. Mlaznica je vezana za cevni registar (verikalne cevi koje su povezane sa horizontalnim razdelnikom). Često se stavlja zaštitna mrežica kako bi se sprečio prodor nečistoća koje mogu da zapeše mlaznicu. Mlaznice se izrađuju od mesinga, bronz, čelika, porcelana, plastičnih materijala, otvora 1÷5 mm. Veličina raspršenih kapi vode kreće se od 0,01÷1 mm u prečniku.

Kadica ima priključak za dolivanje vode, sa ventilom koji je povezan sa plovkom za regulisanje nivo vode u kadi. Kada nivo vode u kadi opadne, otvara se ventil na priključku za dolivanje. Na kadi se nalazi i prelivna cev, kao i cev za pražnjenje, koja je vezana za dno kade. U kadu je potopljen usisni deo cevovoda koji je zaštićen mrežom za sprečavanje prodora nečistoća. Cirkulaciona pumpa usisava vodu iz kade i šalje je u cevni registar.



Slika 7.12 Eliminator kapi

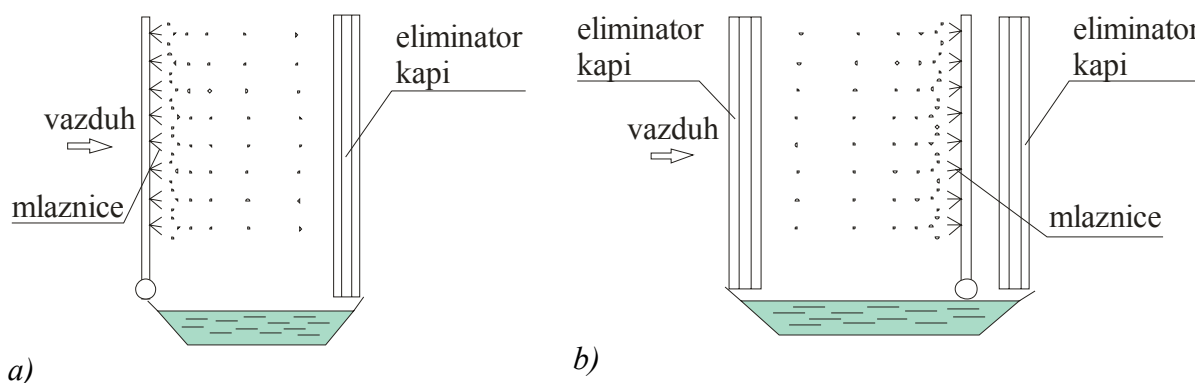
Izlazni presek (a nekada i ulazni) snabdeven je eliminatorom kapi, čija je uloga da izdvoji iz stuje vazduha kapi vode koje nisu isparile. Eliminator kapi je sačinjen od paralelnih ploča u koje udaraju kapljice vode i slivaju se u kadu, dok struja vazduha prolazi kroz eliminator (slika 7.12). Ploče eliminatora mogu biti izrađene od pocinkovanog lima ili od nekog veštačkog materijala. Važno je da je materijal eliminatora kapi otporan na koroziju.

Dužina maglene komore je od 1÷2 m, a brzina strujanja vazduha je 2÷3 m/s, tako da je vreme kontakta između vode i vazduha nešto ispod 1s. Voda u maglenoj komori se, po pravilu, termički ne obrađuje – niti se zagreva, niti se hladi.

Regulacija vlaženja se može vršiti na dva načina:

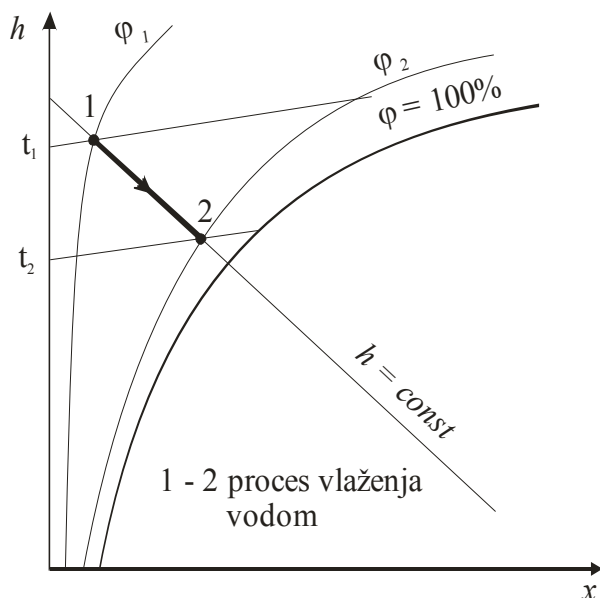
1. Uključivanjem i isključivanjem pumpe (ON/OFF sistem)
2. Delovanjem na ventil na dovodnoj cevi – prigušivanjem (pritvaranjem ventila) smanjuje se protok vode koji dolazi do mlaznica.

Smer strujanja vazduha kroz maglenu komoru može biti istosmeran ili suprotnosmeran (slika 7.13). Pri suprotnosmernom strujanju vazduha, u odnosu na pravac raspršivanja vode, ostvaruje se bolji efekat vlaženja.



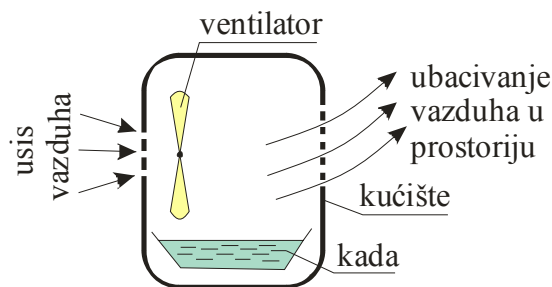
Slika 7.13 Smerovi strujanja vazduha kroz maglenu komoru: a) istosmerni, b) suprotnosmerni

Proces vlaženja vodom u maglenoj komori smatra se izentalpskim procesom ($h = \text{const}$) jer je entalpija vode zanemarljivo mala ($h_w = c_w \cdot \theta_w = 4,19 \cdot 10 \approx 40 \text{ kJ/kg}$) i ne utiče bitno na pravac promene stanja prilikom vlaženja (slika 7.14).



Slika 7.14 Proces vlaženja u h-x dijagramu

Pored maglene komore postoje i lokalni ovlaživači vazduha sa vodom, koji se postavljaju u prostoriji. Oni su veoma jednostavne konstrukcije: u kućištu, koje je uglavnom lepo oblikovano, nalazi se posuda sa vodom (rezervoar) i mali aksijalni ventilator kojim se ostvaruje cirkulacija vazduha kroz aparat (sl. 7.15).



Slika 7.15 Lokalni ovlaživač vazduha

S obzirom da se pri procesu vlaženja vodom vazduh hladi (što se vidi sa dijagrama na slici 7.14), često se dešava da proizvođači lokalnih ovlaživača reklamiraju svoje uređaje kao ekološke uređaje za hlađenje leti, koji troše jako malo energije (potrebne za rad ventilatora, koji je obično

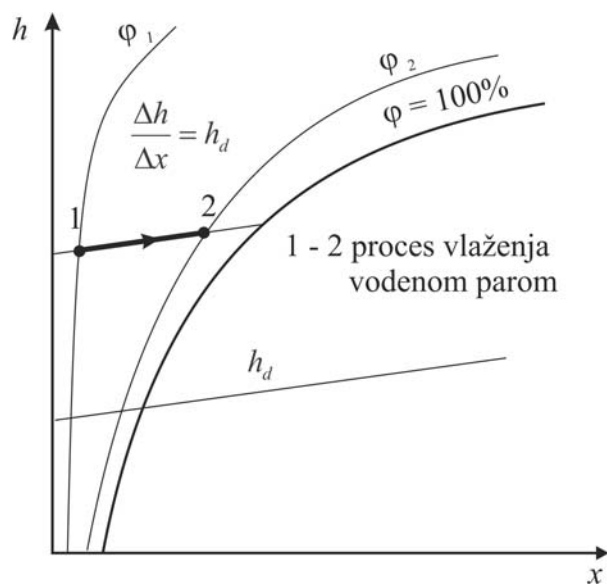
jako male instalisane snage), bez kompresora i freona! Njihov efekat i efikasnost su za diskusiju - tačno je da hlade vazduh, ali i povećavaju vlažnost; nekada je mnogo ugodnije imati nižu relativnu vlažnost pri višoj temperaturi, nego obrnuto.

Često se može naći u literaturi ili čuti u praksi za pojam **adijabatsko hlađenje**, što nije ništa drugo nego izentalpsko vlaženje vodom.

VLAŽENJE VAZDUHA VODENOM PAROM

Uporeba vode za vlaženje vazduha povlači zauzimanje znatnog prostora u klima komori, kao i cirkulisanje veće količine vode od one koja ispari. Pri tome dolazi do snižavanja temperature vazduha u procesu vlaženja, pa je porebno imati ukupno veću površinu grejača (ili dva stupnja zagrevanja vazduha - predgrejač i dogrejač). Ako se tome dodaju i problemi higijenske prirode - povoljni uslovi za razvoj bakterija i mikroorganizama u toploj i vlažnoj atmosferi maglene komore, onda ima dovoljno razloga da se ovakav način vlaženja izbegava.

Uvođenje vodene pare direktno u struju vazduha znatno je jeftiniji i jednostavniji način vlaženja vazduha, koji pruža znatno bolje mogućnosti za regulaciju. Zbog toga se u praksi mnogo češće koriste parni ovlaživači, pogotovo kada su u pitanju objekti u kojima su strogi zahtevi po pitanju održavanja relativne vlažnosti u određenim granicama, npr. elektronska industrija, računski centri, farmacija, bolnice, muzeji, itd.



Slika 7.16 Proces vlaženja u h-x dijagramu

Neophodno je da se proces vlaženja obavlja suvom parom, pošto vlažna para i kondenzat mogu dovesti do pojave neprijatnih mirisa, kao i do mogućnosti razvoja algi i bakterija u kondenzatu. Uvođenjem suve pare u struju vazduha dolazi do mešanja vlažnog vazduha i pare, pa se iz bilansa mešanja dolazi do izraza:

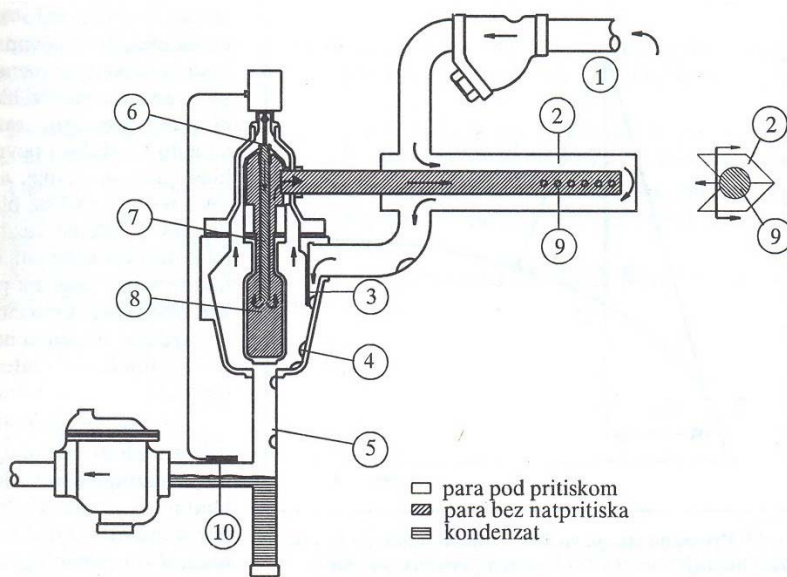
$$\frac{h_2 - h_1}{x_2 - x_1} = \frac{\Delta h}{\Delta x} = h_d,$$

koji određuje pravac procesa vlaženja parom. Pravac promene stanja prilikom vlaženja parom je određen entalpijom pare kojom se vrši vlaženje, što je prikazano na dijagramu na slici 7.16. U zavisnosti od entalpije vodene pare h_d , temperatura vazduha nakon vlaženja može da poraste.

Postoji više proizvođača uređaja za vlaženje parom. Jedan od njih je Armstrong, čiji je uređaj prikazan na slici 7.17. Uređaj se najčešće postavlja iza klima komore u kanal dovodnog vazduha koji služi za distribuciju vazduha do klimatizovane prostorije. Ovaj uređaj koristi paru proizvedenu u centralnom izvoru i povezan je sa cevovodom za dovod pare (1) na kome se nalazi odvajač nečistoća. Para se uvodi u dvostruku cev (2) kroz omotač glavne perforirane cevi, koja je postavljena u kanal kroz koji struji vazduh koji se vlaži. Iz cevi-omotača para ulazi u sud veće zapremine (4) u kome se izdvaja kondenzat koji se formirao u toku strujanja pare kroz cevni omotač perforirane cevi (9). Da bi izdvajanje kondenzata bilo efikasno, na ulazu u sud nalazi se ploča u vidu brane (3). Kondenzat zajedno sa nečistoćama odvodi se kroz odvajač kondenzata na dnu uređaja. Nečistoće odlaze sa kondenzatom ili se talože u delu cevovoda koji služi za pražnjenje. Iz suda (4) para prolazi kroz regulacioni ventil (6) i kroz cev (7) ulazi u komoru za

naknadno isparavanje (8) u kojoj praktično vlada atmosferski pritisak. U komori dolazi do sniženja pritiska i eventualnog naknadnog isparavanja, dok u sudu oko komore vlada viši pritisak i viša temperatura pare. Na taj način je obezbeđeno da suva para ulazi u perforiranu cev (9) odakle ističe u struju vazduha. Kondenzacija u perforiranoj cevi je takođe sprečena, pošto se ona zagreva parom višeg pritiska koja se uvodi u aparat kroz omotač (2).

Regulisanje količine pare koja se ubrizgava u struju vazduha (regulacija relativne vlažnosti vazduha koji se vlaži) vrši se preko regulacionog ventila (6), koji može imati pneumatski ili električni pogon. Higrostat koji upravlja radom regulacionog ventila može biti postavljen u prostoriju ili u kanal dovodnog vazduha. Za početni period rada, kada su cevovodi i sam aparat još hladni, sigurnosni termostat (10) drži regulacioni ventil (6) u zatvorenom položaju.



Slika 7.17 Parni ovlaživač za vazduh firme Armstrong

Postoje i uređaji za vlaženje parom koji imaju električni grejač za proizvodnju vodene pare (ne koriste paru iz centralnog izvora). Jedan od tih uređaja je i HYGROMATIC, koji se sastoji od:

- parnog cilindra, u kome se pomoću električnog grejača proizvodi vodena para; cilindar je rastavljiv, tako da može lako da se čisti;
- električnog grejača koji se nalazi u cilindru; ima elektrode od nerđajućeg čelika velike površine;
- pumpe za odmuljivanje cilindra, s obzirom da se isparavanjem vode u cilindru povećava koncentracija soli i nečistoća u preostaloj vodi, pa se povremeno izbacuje jedan deo vode, kako bi se sprečilo taloženje kamenca;
- solenoidnog ventila na cevovodu za dovod vode, radi dopunjavanja cilindra.

Ovaj uređaj ima potpuno automatizovan i fleksibilan rad. Izrađuju se u više nivoa automatske regulacije:

1. "L" regulator, koji se obično koristi kod manjih aparata i koji radi na principu ON/OFF;
2. "EM" regulator, koji ima proporcionalnu regulaciju proizvodnje pare, tj. vlaženja vazduha;
3. "MP" regulator, koji u sebi sadrži mikroprocesor, standardni interfejs i može se povezati sa centralnim sistemom za nadzor i upravljanje.

7.4 FILTRIRANJE VAZDUHA

Pored održavanja termičkih uslova sredine, zadatak klimatizacionih postrojenja je i održavanje čistoće vazduha. Ovo je posebno značajno u današnje vreme sve veće zagađenosti okoline i sve strožim zahtevima za čistoćom vazduha u mnogim oblastima i granama industrije.

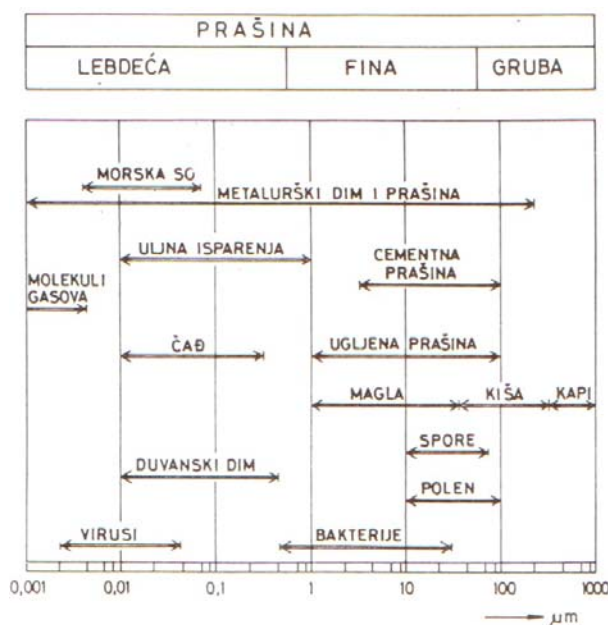
Prečišćavanje vazduha (eliminisanje čvrstih, tečnih i gasovitih nečistoća) može se ostvariti na više načina:

- filtriranjem;
- apsorpcijom;
- otprašivanjem.

Filtriranjem se iz vazduha odstranjuju čvrste (i tečne) čestice, i to je proces prečišćavanja koji se obavezno primenjuje u klimatizacionim postrojenjima. Izdvajanje gasovitih primesa apsorpcijom vrši se u skruberima. Pod otprašivanjem se podrazumeva izdvajanje prašine veće koncentracije. Poslednja dva navedena načina prečišćavanja vazduha primenjuju se u industrijskoj klimatizaciji.

Zagađenost vazduha izazivaju čestice različitog porekla, materijala i veličine (biljnog, životinjskog i mineralnog). Na slici 7.18 prikazane su prosečne veličine najčešćih zagađivača vazduha. Podela prašine prema veličini:

- gruba prašina 50 do 500 μm – lako se taloži;
- fina prašina 0,5 do 50 μm – lagano se talože;
- lebdeća prašina manja od 0,5 μm – ne taloži se već lebdi u vazduhu.



Slika 7.18 Zagađivači vazduha

Ne postoji univerzalni filter koji efikasno izdvaja čestice prašine svih dimenzija. Filteri se proizvode za odstranjivanje čestica određene veličine, pa je u skladu sa dimenzijama prašine i osnovna podela filtera:

- filter za grubu prašinu;
- filter za finu prašinu;
- filter visokog učinkaza finu prašinu;
- apsolutni filter.

Da bi se kvalitet pojedinih filtera mogao realno porediti, bilo je potrebno razviti i standardizovati metodologiju za ispitivanje efikasnosti tih filtera. Metod ispitivanja filtera zavisi od veličine čestica prašine za koju je namenjen.

Filteri za grubu i finu prašinu ispituju se pomoću veštačke probne prašine koja se sastoji od 72% kamenog brašna, 25% čađi i 3% pamuka. Meri se gravimetrijski stepen izdvajanja (efikasnosti) definisan na sledeći način:

$$\eta = \left(1 - \frac{c_{iza}}{c_{ispred}}\right) \cdot 100\% \quad (7.12)$$

gde je:

c_{iza} – koncentracija prašine iza filtera (posle filtriranja)

c_{ispred} – koncentracija prašine ispred filtera (pre filtriranja)

Za ispitivanje visokoučinskih filtera za finu prašinu koristi se prirodno zagađeni vazduh. U struju vazduha, ispred i iza filtera koji se ispituje, postavi se visokokvalitetni filter papir i meri se vreme za koje se svaki papir zaprlja (dostigne određenu zacrtnjenost). Upoređivanjem ovih vremena dobija se stepen korisnosti filtera E_m .

Podela filtera i osnovne karakteristike prikazane su u tabeli 7.3.

Tabela 7.3 Klasifikacija filtera za vazduh

Klasa filtera	Efikasnost filtera η	Stepen korisnosti filtera E_m	Stara oznaka	Naziv filtera
EU1	$\eta < 65$		A	za grubu prašinu
EU2	$65 \leq \eta < 80$		B ₁	za finu prašinu
EU3	$80 \leq \eta < 90$		B ₂	
EU4	$90 \leq \eta$			
EU5		$40 \leq E_m < 60$	C ₁	
EU6		$60 \leq E_m < 80$	C ₂	
EU7		$80 \leq E_m < 90$		
EU8		$90 \leq E_m < 95$	C ₃	
EU9		$95 \leq E_m$	–	
EU10	85		Q	Apsolutni filter (filter za lebdeću prašinu)
EU11	95		R	
EU12	99,5		S	
EU13	99,95			
EU14	99,995		ST	
EU15	99,9995		T	
EU16	99,99995		U	
EU17	99,999995		V	
EU18	99,9999995		–	

Apsolutni filteri ispituju se DOP testom. Naziv metode ispitivanja potiče od hemijske supstance koja se koristi – di-okti-ftalat. Pri stvaranju aerosola ove supstance dobijaju se čestice približno istog prečnika (0,3 μm).

EFEKTI FILTRIRANJA VAZDUHA

U zavisnosti od veličine čestica prašine, u tehnici klimatizacije primenjuju se različiti efekti za odstranjivanje zagađivača iz vazduha:

- prosejavanje;
- taloženje;
- inercija;
- difuzija;
- intercepcija.

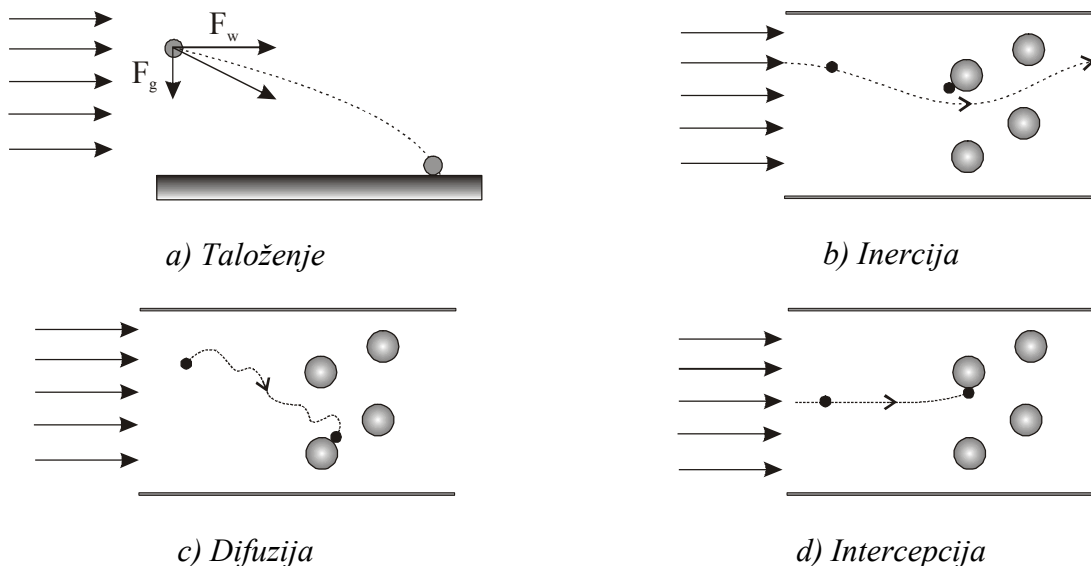
Efekat prosejavanja se koristi za izdvajanje najkrupnijih čestica prašine. Kada je prečnik čestice nečistoće veći od otvora filtera, ta čestica ne može da prođe i zadržava se na filteru.

Efekat taloženja je takođe karakterističan za čestice prašine veće mase. Na svaku česticu koja se kreće deluju dve sile. Pored sile koja izaziva kretanje čestice u struji vazduha, na česticu deluje i sila zemljine teže koja uslovljava taloženje pre svega krupnijih čestica (slika 7.19a).

Efekat inercije je takođe karakterističan za čestice prašine veće mase, ali manje nego u prethodna dva slučaja. Pri strujanju kroz filtersku masu, zbog prirode materijala od kog je filter izrađen, vazduh mora često da menja pravac strujanja. Čestice prašine zbog inercije teško mogu da prate ove česte promene pravca strujanja, pa se sudaraju s vlaknima filtera, “lepe se” i ostaju na njima (slika 7.19b).

Efekat difuzije karakterističan je za čestice prašine vrlo male mase (prečnika manjeg od $0,1 \mu\text{m}$). Nastaje usled Braunovog kretanja molekula. Usled neravnomernog sudara molekula i submikronskih čestica dolazi do haotičnog kretanja, nezavisno od smera strujanja vazduha (slika 7.19c). Kada čestica prašine dospe blizu filterskog vlakna, ona “trpi” veći broj udara sa suprotne strane, pa se usmerava ka vlaknu, sudara s njim i ostaje na njemu.

Efekat intercepcije nastaje kada čestica prašine prolazi pored filterskog vlakna na rastojanju manjem od poluprečnika čestice. Usled dejstva elektrostatičkih sila, čestica se “lepi” za vlakno (slika 7.19d). Efekat intercepcije naziva se i efekat kačenja.



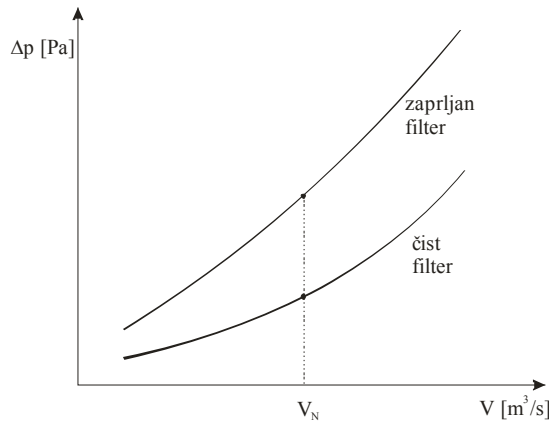
Slika 7.19 Efekti filtriranja

Ne koristi svaki filter za vazduh sve navedene efekte izdvajanja čestica prašine, ali se često istovremeno koristi više efekata filtriranja. Efikasnost filtera zavisi od:

- vrste filterske mase;
- veličine čestica;
- brzine strujanja vazduha kroz filter.

Pri strujanju vazduha kroz filter dolazi do pada pritiska. Vrednost pada pritiska na filteru u klimatizacionim postrojenjima može da se kreće u vrlo širokom opsegu: od 20 Pa za grube filtere

do 500 Pa za apsolutne. Tokom rada filter se prlja. Čestice prašine koje se lepe na filterska vlakna smanjuju svetli presek za strujanje vazduha, pa se pad pritiska u filteru povećava. Na slici 7.20 prikazane su krive pada pritiska u funkciji protoka (odnosno brzine strujanja vazduha za filter date geometrije) za čist i zaprljan filter. Za nominalni (projektni) protok vazduha kroz čist filter, pad pritiska je $\Delta p_{N\check{c}}$. Tokom rada, usled izdvajanja čestica prašine na filterskim vlaknima, pad pritiska se povećava i kada se dostigne granična vrednost koja odgovara maksimalno zaprljanom filteru, na kontrolnoj tabli uključuje se alarm koji upozorava rukovaoca postrojenja da je potrebno da zameni ili opere filter.



Slika 7.20 Pad pritiska pri stujanju vazduha kroz filter

MATERIJALI ZA FILTERE

Materijali za izradu filtera treba da ispune sledeće zahteve:

- velika sposobnost akumulacije lestica prašine u filterskoj masi;
- dobra propustljivost vazduha (što manji pad pritiska pri strujanju)
- dobra fizička svojstva (mehanička čvrstoća, otpornost na habanje, savitljivost, postojanost na visokim temperaturama, itd.);
- da nije higroskopan;
- da zadržava svoje osobine pri obradi.

Materijali od kojih se izrađuju filteri:

- prirodni (pamuk, vuna, celuloza,...)
- veštački (poliamid, poliestar, polipropilen, polietilen, fiber vlakna, teflon,...)

Postoje različite vrste i konstrukcije filtera koji se koriste u tehnici ventilacije i klimatizacije:

- **Žičani filter** – izrađuje se od isprepletane žice. Broj otvora po cm^2 može biti različit zavisno od veličine čestica koje treba da izdvoji. Ovo su vrlo grubi filteri i uglavnom imaju zaštitnu funkciju.
- **Kasetni filter** – u metalni ram postavlja se filterski materijal (slika 7.21). Često se koriste u klimatizaciji. Zauzimaju malo prostora u klima komori.
- **Vrećasti filter** – izrađuje se od istog materijala kao i kasetni. Za isti poprečni presek ima znatno veću površinu od kasetnog filtera, tako da može da izdvoji mnogo više prašine (duži period između zamene filtera), ali zauzima više mesta u klima komori (slika 7.21). Ovo je danas najčešće korišćeni tip filtera u klima komorama.
- **Filter sa pokretnom trakom**, tzv. rol filter – koristi se uglavnom u industriji. Filterska masa može biti i nauljena.

- **Elektrofilteri** – imaju vrlo visok stepen izdvajanja prašine. Izrađuju se u širokom opsegu veličina: od najmanjih za primenu u kućnim klima uređajima do najvećih za prečišćavanje dimnih gasova u termoelektranama.
- **Filer s aktivnim ugljem** – koristi se za izdvajanje gasovitih zagađivača iz vazduha (slika 7.21).



Vrećasti filteri



Vrećasti filter sa 4 ćelije



Kasetni filteri



Filteri sa aktivnim ugljem

Slika 7.21 Vrste filtera

7.5 ELEMENTI ZA DISTRIBUCIJU VAZDUHA

Kod vazдушnih sistema se transport pripremljenog vazduha do mesta ubacivanja vrši kanalskom mrežom, koja se deli na razvodnu i povratnu. U klimatizacionim sistemima, u kojima je vazduh radni fluid, neophodno je izvršiti distribuciju vazduha od mesta na kome se priprema do mesta koje se klimatizuje. Vazduh cirkuliše kroz sistem kanala - kanalsku mrežu, a razliku pritisaka za njegovo stujanje obezbeđuju ventilatori. Kanalska mreža koja povezuje klima komoru sa klimatizovanim prostorom, kroz koju struji pripremljen vazduh naziva se razvodnom kanalskom mrežom. Pored razvodne kanalske mreže postoji i sistem kanala za odvođenje vazduha iz klimatizovanog prostora, kojim se odvodi otpadni vazduh i koji se naziva odsisna ili odvodna kanalska mreža.

Zadatak kanlske mreže je:

- dovođenje vazduha do svake klimatizovane prostorije što kraćim putem;
- da proizvede i/ili prenese što manje šumova (dozvoljeni nivo buke);
- da obezbeđuje lako održavanje (tokom eksploatacije kanali se prljaju, pa ih je potrebno s vremena na vreme očistiti);
- da gubici i dobici toplote budu svedeni na minimum;
- dobro uklapanje u arhitektonsko-građevinsku celinu objekta;
- da investicioni i eksploatacioni troškovi budu minimalni.

Materijali koji se koriste za izradu kanala su čelični, pocinkovani, aluminijumski i crni lim, zatim azbestni cement, beton, sintetički materijali, plastične i fleksibilne cevi. Ti materijali moraju ispunjavati sledeće uslove:

- unutrašnje površine kanala treba da su glatke (manji pad pritiska usled trenja pri strujanju);
- kanali moraju biti otporni na koroziju i moraju biti nezapaljivi;
- kanali ne treba da proizvode šumove, a treba da apsorbiraju one koji potiču od klima komore;
- da proizvodnja i montaža kanala bude što jeftinija;
- da težina kanala bude mala;
- da ne smeju biti higroskopni;
- da budu dugotrajni i da se lako čiste.

Najpogodniji materijal za izradu kanala je čelični lim, koji se koristi u preko 90% slučajeva. Lim može biti pocinkovan ili češće premazan zaštitnim slojem. Crni lim, koji je otporan na visoke temperature koristi se za kanale za izvlačenje vazduha iz kuhinja.

Kanali mogu biti kružnog poprečnog preseka (manje dimenzije) i kvadratnog ili pravougaonog poprečnog preseka. Debljina lima od koga se kanali izrađuju zavisi od prečnika kanala, što je važno zbog ukrućenja i širenja buke. Sa povećanjem prečnika kanala raste i debljina lima od koga su kanali izrađeni.

Postoji veliki broj različitih elemenata za ubacivanje pripremljenog vazduha u prostoriju. Neki od njih su prikazani na slici 7.22. U zavisnosti od geometrije prostorije, položaja mesta za ubacivanje i izvlačenje (odsisavanje) vazduha i željene strujne slike projektant bira odgovarajuće elemente.

Najčešće se primenjuju anemostati i rešetke. Anemostati su predviđeni za plafonsku ugradnju i imaju fiksne proreze kroz koje vazduh prostrujava. Rešetke za ubacivanje vazduha se mogu postavljati na plafonu, zidovima i podu. U zavisnosti od željenog načina usmeravanja vazduha koji se ubacuje mogu imati jedan ili dva reda usmeravajućih žaluzina. Ukoliko se želi postići veći domet mlaza vazduha (kada su u pitanju prostorije velikih gabarita) koriste se difuzori. Brzina struje vazduha prilikom ubacivanja difuzorom je znatno veća u odnosu na rešetke i anemostate, ali se vodi računa da u zoni boravka ljudi ona bude u odgovarajućim granicama.



Slika 7.22 Elementi za ubacivanje vazduha

Svaki element za ubacivanje vazduha može se isporučiti sa odgovarajućim regulatorom protoka, ako se želi regulacija na svakom mestu ubacivanja. Regulatori protoka mogu biti i kanalski, kada je kanalska mreža razgranata, pa je potrebno balansiranje sistema.

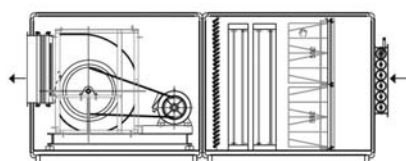


Slika 7.23 Elementi za regulaciju protoka – na rešetki (levo) i kanalski (desno)

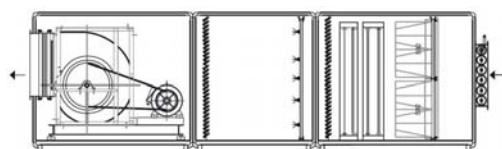
Postoje različite vrste komora, koje po svojoj strukturi odgovaraju zahtevanom procesu pripreme vazduha. Komore se proizvode u standardnim veličinama u zavisnosti od protoka vazduha i modularnog su tipa – to znači da se sastavljaju iz sekcija (slika 7.24). Postoje čisto ventilacione komore, koje se sastoje samo od ventilatorskih sekcija (kao što je spratna komora prikazana na slici 7.24 gore). Ventilacione komore najčešće imaju i filtersku sekciju, koja sprečava unošenje nečistoća iz spoljašnje sredine. U koliko je prostorija namenjena za boravak ljudi, ne može se dozvoliti ubacivanje termički nepripremljenog vazduha – pogotovo zimi pri niskim spoljnim temperaturama. Takve komore imaju obavezni grejačku sekciju, tako da se u prostoriju ubacuje vazduh na temperaturi prostorije (kao što je komora na slici 7.24 gore levo). Ukoliko se želi vazdušno grejanje, odnosno da sistem nadoknadi i gubitke toplote prostorije, kapacitet grejača mora biti veći i u prostoriju se ubacuje vazduh temperature više od one u prostoriji. Kada je potrebno održavati relativnu vlažnost vazduha na datom nivo, komora može imati i sekciju za vlaženje – tzv. maglenu komoru. Ukoliko je propisan određeni nivo buke u ventiliranom prostoru dodaje se sekcija prigušivača buke. Komora može imati i mešnu sekciju, ukoliko se (zbog uštede energije za grejanje) može raditi sa određenim udelom svežeg i recirkulacionog vazduha.

Na slici 7.25 prikazane su dve spratne komore, koje pored navedenih sekcija imaju ugrađen razmenjivač toplote vazduh-vazduh. Ovi razmenjivači toplote (koji su posebno prikazani na slici 7.26) imaju ulogu korišćenja otpadne toplote, odnosno imaju za cilj uštedu energije.

Horizontalne komore

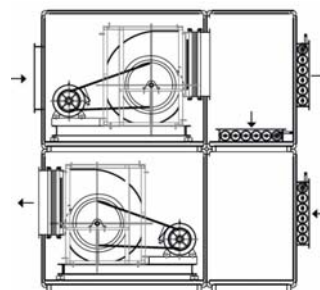


Ventilaciona komora za rad sa SV
(žaluzine, filter, grejač, hladnjak, ventilator)



Ventilaciona komora za rad sa SV (žaluzine, filter, grejač, hladnjak, maglena komora za vlaženje, ventilator)

Spratne komore

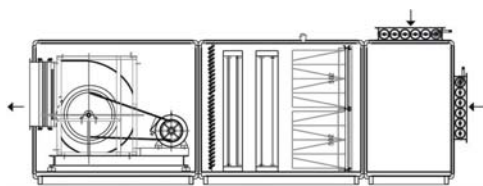


Ventilaciona komora za rad sa SV i RV
(žaluzine, mešna sekcija MS, potisni ventilator PV i odsisni ventilator OV)

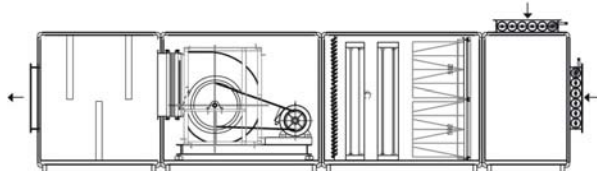
Slika 7.24a Ventilacione komore za rad sa svežim vazduhom

Horizontalne komore

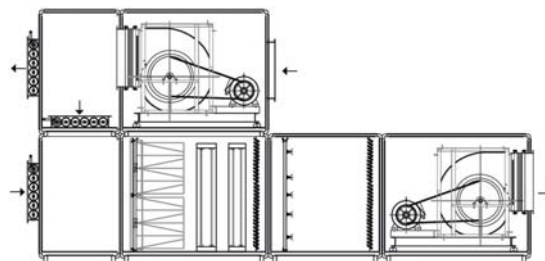
Spratne komore



Ventilaciona komora za rad sa SV i RV (žaluzine, mešna sekcija, filter, grejač, hladnjak, ventilator)

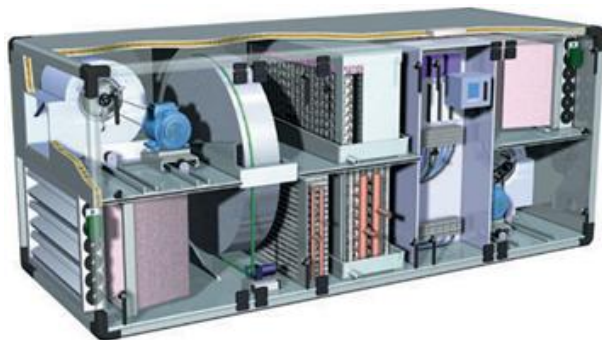


Ventilaciona komora za rad sa SV i RV (žaluzine, mešna sekcija, filter, grejač, hladnjak, ventilator, prigušivač buke)



Ventilaciona komora za rad sa SV i RV (MS, F, GR, HL, MK, PV i OV)

Slika 7.24b Ventilacione komore za rad sa svežim i recirkulacionim vazduhom



Slika 7.25 Izgled komora sastvaljenih od različitih sekcija

Vazduh koji se izvlači iz prostorije, pre nego što se izbacii van objekta kao **otpadni vazduh**, vraća se nazad u komoru, prolazi kroz razmenjivač i predaje toplotu hladnom spoljnom vazduhu. Na taj način, kapacitet grejača u komori je manji, odnosno stepen zagrevanja svežeg vazduha je manji, pa se na taj način štedi energija za grejanje. Otpadni vazduh izlazi iz sistema ohlađen. Rotacioni razmenjivači imaju veći stepen efikasnosti (oko 75-85%) dok je on nešto manji kod pločestih unakrsnih razmenjivača (60-70%). Međutim, unakrsni razmenjivači su pouzdaniji u radu, jer nemaju pokretnih delova. U oba slučaja potrebno je dobro održavanje sistema.



Slika 7.26 Razmenjivači toplote vazduh/vazduh – rotacioni (levo) i unakrsni pločasti (desno)