

## 7. SISTEMI HLAĐENJA, VENTILACIJE I KLIMATIZACIJE

### 7.1 RASHLADNI UREĐAJI

Zadatak mašina za hlađenje jeste da ohlade izvesna tela ili predmete do temperature niže od temperature okoline i da ih na toj temperaturi održavaju.

Hlađenjem se naziva proces pri kome se od nekog tela (*hlađeni objekat*) odvodi toplota i predaje nekom drugom telu (*toplotni ponor*). Ako se pri tome hlađenom objektu ne dovodi tehnički rad, njegova entalpija će opadati, a kada nema ni promene faze<sup>1</sup> opadaće i njegova temperatura.

Toplota odvedena od hlađenog tela naziva se *toplotom hlađenja* (J ili kJ), a odvedena toplota hlađenja u jedinici vremena naziva se *rashladnim učinkom* (W ili kW).

Pošto se trajno hlađenje može obezbediti jedino ponorom beskonačnog toplotnog kapaciteta, najpre će biti razmotren slučaj kada je *okolina* toplotni ponor. Ako je temperatura  $\theta_h$  hlađenog objekta viša od temperature  $\theta_{ok}$  okoline proces se može odvijati spontano (sam od sebe), tj. bez utroška rada i bez ikakvih promena na telima van sistema hlađeni objekat - okolina (toplotni ponor). Takvo hlađenje naziva se *prirodnim hlađenjem*; kako se ono odvija samo od sebe, ono se jedino može ubrzavati (intenziviranjem razmene toplote) ili usporavati (npr. postavljanjem toplotne izolacije između hlađenog objekta i toplotnog ponora).

Međutim, kada je  $\theta_h < \theta_{ok}$ , iz iskustva je poznato da hlađenje ne može biti spontano, tj. ne može se odvijati samo od sebe<sup>2</sup>, već se mora uključiti u neki pogodan *kompensacioni proces*.

Kada kompensacioni proces obavlja neka radna materija, prelaz toplote sa izvora niže na ponor više temperature se može *trajno* (neprekidno) odvijati jedino ako se ta radna materija periodički vraća u početno stanje, tj. ako mašina obavlja *kružni kompensacioni proces*.

Kompensacioni proces je najčešće neki od klasičnih levokretnih kružnih procesa (levokretnih ciklusa) sa utroškom *mehaničkog rada*. Po takvim ciklusima rade tzv. *kompresorske mašine*; one prema vrsti radne materije mogu biti *gasne* (kada radna materija tokom kružnog procesa ne menja agregatno stanje) ili *parne kompresorske mašine* (čiji se ciklus najvećim delom odvija u području vlažne pare). Ako se u kompensacionom procesu koristi toplota, rashladna mašina radi po nekom *kombinovanom (integrisanom) ciklusu*, koji u stvari predstavlja spregu desnokretnog i levokretnog ciklusa. Po kombinovanim ciklusima rade *ejektorske i sorpcione mašine*

Kao kompensacioni proces se može iskoristiti i otvoreni proces kod koga se smanjenje entropije hlađenog objekta usled odvođenja toplote u potpunosti kompenzuje porastom entropije usled trajne promene fizičkog stanja i/ili hemijske strukture neke materije (tzv. rashladne smese). Pošto je za odvijanje otvorenog procesa potrebno potrošiti određene količine takve rashladne materije, otvoreni procesi se još nazivaju i potrošnim procesima.

Razmatranja slična prethodnim se mogu sprovesti i kada nekom telu (*grejani objekat*) treba dovoditi toplotu iz nekog izvora toplote. Ako je temperatura izvora viša od temperature grejanog objekta, proces grejanja se odvija spontano, tj. sam od sebe; takvo je npr. tradicionalno grejanje kada su toplotni izvor produkti sagorevanja fosilnih goriva ili biomase.

---

<sup>1</sup> Ako ne nastaje *kondezacija*, odnosno *desublimacija* ili *очвршћавање (залеђивање)*.

<sup>2</sup> Ова искуствена спознаја представља један од исказа *II закона Термодинамике*.

Međutim, ako se za grejanje želi koristiti termodinamički bezvredna toplota iz okoline, pri čemu je temperatura grejanog objekta viša od temperature okoline, u takvo grejanje se mora uključiti u neki pogodan kompenzacioni proces (npr. levokretni) sa utroškom rada. Uređaji pomoću kojih se to ostvaruje nazivaju se *toplotnim pumpama*.

Dakle, sve toplotne mašine koje rade po nekom levokretnom ciklusu odvođe toplotu (*rashladni učinak*  $\dot{Q}_H$ ) od *izvora* niže temperature ( $T_H$ ) i predaju toplotu (*grejni učinak*  $\dot{Q}_G$ ) *ponoru* više temperature ( $T_G > T_H$ ).

Ako je pri tome ponor okolina ( $T_G = T_{ok}$ ), njoj se predaje termodinamički bezvredna toplota, pa po rashladnom učinku  $\Phi_H$ , koji je jedino koristan, mašina se naziva *rashladnom mašinom*, a izvor *hlađenim objektom*.

Analogno tome, ako je izvor okolina ( $T_H = T_{ok}$ ), od nje se uzima termodinamički bezvredna toplota, koristan je grejni učinak  $\dot{Q}_G$  i mašina se po njemu naziva *toplotnom pumpom*, a ponor *grejanim objektom*.

### 7.1.1 Fizičke osnove hlađenja

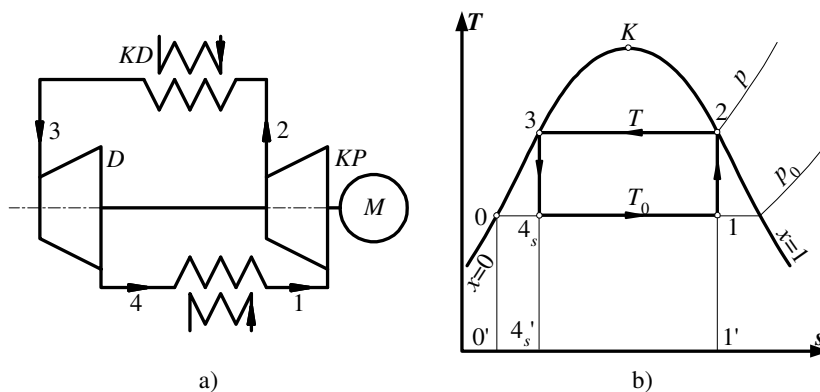
Odvođenje toplote od hlađenog objekta moguće je samo njegovim dovođenjem u termički kontakt sa nekom radnom materijom niže temperature. Najvažniji procesi koji su našli značajniju primenu za postizanje niskih temperatura u praksi su:

- Ekspanzija gasova i para (sa odvođenjem rada). Najveće snižavanje temperature pri ekspanziji od datog početnog do datog krajnjeg pritiska se postiže u slučaju kada je ta ekspanzija adijabatska i kvazistatička (tj. *izentropska*).
- Ekspanzija bez odvođenja rada (adijabatsko prigušivanje);
- Termoelektrični efekat (propuštanjem električne struje kroz spoj dva različita provodnika u pogodnom smeru može se postići hlađenje tog spoja);
- Efekat rastvaranja (rashladne smeše) (pri adijabatskom mešanju dve materije, temperatura rastvora može biti i znatno niža od početne temperature komponenata).

### 7.1.2 Levokretni procesi sa utroškom rada

Levokretni ciklusi sa utroškom rada su kompenzacioni procesi koji omogućavaju trajno prebacivanje toplote iz izvora niže u ponor više temperature. Kada su i izvor i ponor beskonačnih toplotnih kapaciteta, promene stanja izvora i ponora su izotermske. Povratan ciklus u tom slučaju može biti levokretni ciklus Carnot koji sačinjavaju dve izentropie i dve izoterme.

Procese izotermskog dovođenja odnosno odvođenja toplote levokretnog ciklusa *Carnot* je relativno lako ostvariti kada se radi o vlažnoj pari jednokomponentne radne materije. Tada se ti procesi poklapaju sa izobarskim procesima isparavanja, odnosno kondenzacije. Šema parne kompresorske mašine koja radi po levokretnom ciklusu *Carnot* i ciklus u  $T-s$  dijagramu prikazani su na sl. 7.1.a i sl. 7.1.b; mašina se sastoji od kompresora (proces 1-2), kondenzatora (proces 2-3), ekspanzione mašine (proces 3-4) i isparivača (proces 4-1).



Sl. 7.1. Parna kompresorska mašina koja radi po ciklusu **Carnot**:  
a) šema (KP - kompresor; KD - kondenzator; D – detander; R - isparivač); b) T-s dijagram

Po definiciji, koeficijent hlađenja rashladnog ciklusa je

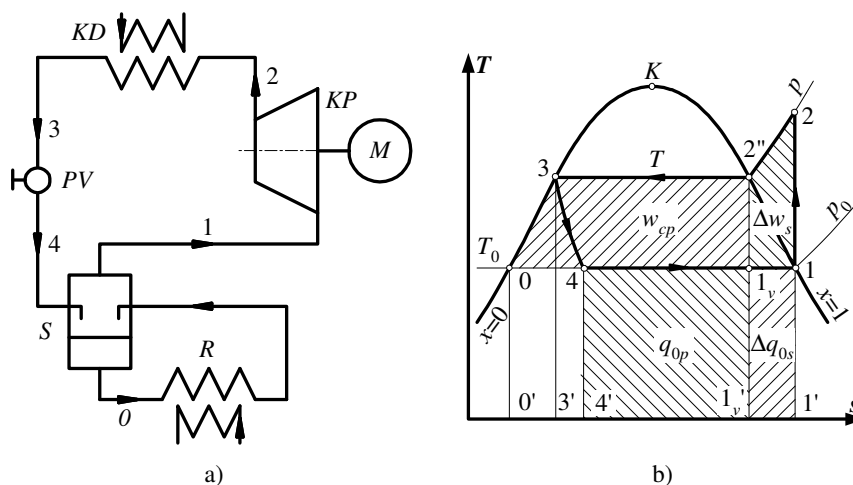
$$\varepsilon_h (EER) = \frac{q_0}{w} = \frac{q_0}{w_c - w_d} = \frac{q_0}{q - q_0} \quad (7.1)$$

i predstavlja toplotu hlađenja (odvedenu od hlađenog objekta) po jedinici utrošenog rada.

Iako nema problema pri izotermskoj razmeni toplote ciklus **Carnot** sa vlažnom parom nije pogodan za praktičnu primenu jer ima tehničkih problema pri sabijanju i ekspanziji. Zato se ciklus tehnički pojednostavljuje na sledeći način:

1) detander se zamenjuje neuporedivo jeftinijm prigušnim ventilom, tj. izentropska ekspanzija se zamenjuje adijabatskim prigušivanjem (sl. 7.2); pošto je to izentalpski proces ( $h=const$ ) biće  $h_3 = h_4 > h_{4s}$ ;

2) da bi se izbegli problemi usled usisavanja vlažne pare uvodi se tzv. *suvo usisavanje*; tj. kompresor usisava suvozasićenu paru stanja 1 (sl. 7.2b), koja, nakon izentropskog sabijanja, u kondenzator ulazi kao *pregrejana* para stanja 2, kondenzuje se i u prigušni ventil ulazi kao *ključala tečnost* stanja 3; posle adijabatskog prigušivanja iz prigušnog ventila izlazi *vlažna para* stanja 4.

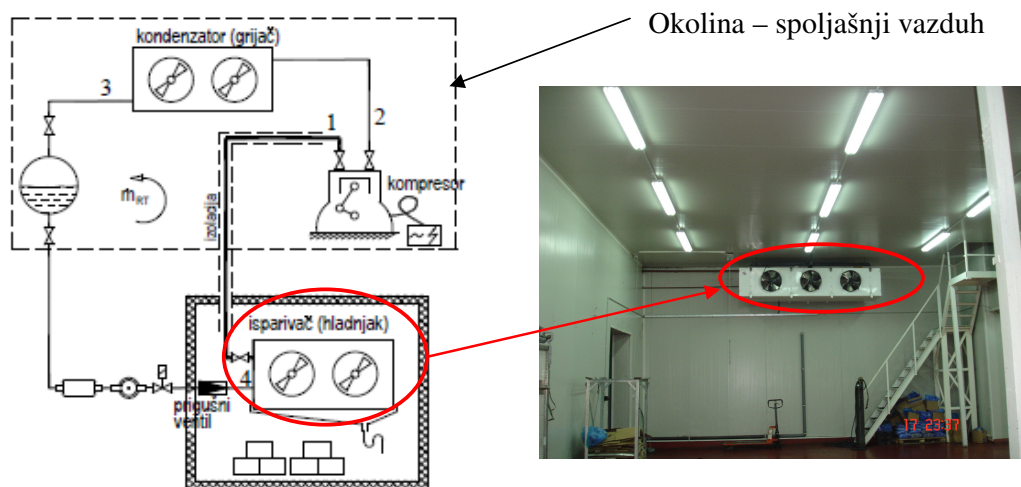


Sl. 7.2 Parna kompresorska mašina sa prigušnim ventilom i suvim usisavanjem: a) šema mašine (S - separator); b) ciklus u „T-s“ dijagramu

Opisani ciklus sa prigušivanjem i suvim usisavanjem pri umerenim razlikama temperature kondenzacije i isparavanja je tehnički izvodljiv i često ima prihvatljiv koeficijent hlađenja. Stoga se on koristi i kao *uporedni ciklus* sa čijim se koeficijentom hlađenja upoređuju koeficijenti hlađenja drugih modifikovanih ciklusa.

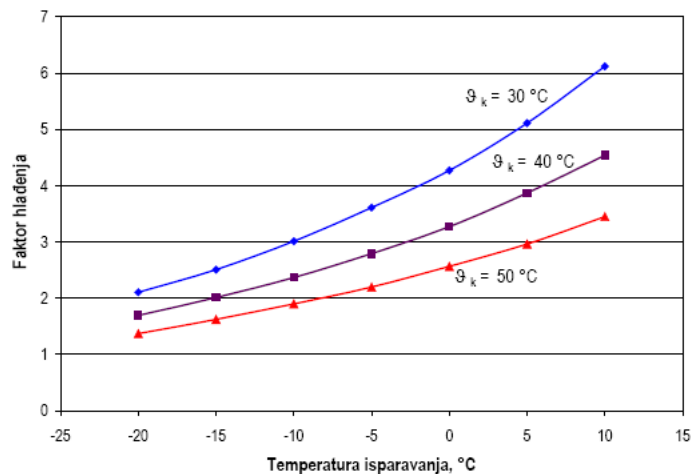
Sa porastom razlike između temperatura kondenzacije i isparavanja dolaze sve više do izražaja osnovni nedostaci uporednog ciklusa (*prigušivanje i razmena toplote pri konačnim razlikama temperature kod hlađenja pregrejane pare u kondenzatoru, padovi pritiska pri strujanju rashladnog fluida. itd.*) pa se primenjuju određene mere u cilju povećanja koeficijenta hlađenja. One se mogu svrstati u tri kategorije:

- prehlađivanje kondenzata;
- višestepeno prigušivanje;
- višestepeno sabijanje sa međuhlađenjem.



Slika 7.3 Šema kompresorske rashladne instalacije i izgled hlađenog prostora sa isparivačem (hladnjakom)

U zavisnosti od temperatura isparavanja i kondenzacije rashladnog fluida, kao i karakteristika rashladnog kompresora i samog ciklusa, razlikuju se vrednosti koeficijenta hlađenja.



Slika 7.4 Zavisnost koeficijenta hlađenja u funkciji temperature isparavanja i kondenzacije za rashladni fluid R134a

Koeficijent hlađenja postiže vrednosti od 1,5 (kod rashladnih uređaja koji se koriste za duboko zamrzavanje robe), do 3,5 i više kod rashladnih uređaja koji se koriste za komforno hlađenje. Vrednosti koeficijenta hlađenja u graničnim slučajevima mogu biti manje od jedan, ali i veće od 6. Na slici 7.4 prikazana je zavisnost koeficijenta hlađenja u funkciji temperature isparavanja i kondenzacije za rashladni fluid R134a.

Primene veštačkog hlađenja se razvrstavaju u tri grupe :

- za održavanje kvaliteta materijala, tj. za usporavanje nepoželjnih promena hemijskih, biohemijskih strukturnih karakteristika raznih proizvoda, u prvom redu za konzervisanje namirnica;
- za stvaranje i održavanje karakteristika ambijenta, tj. da bi se ostvarila klimatizacija prostora u kojima se živi, radi i/ili obavljaju razne proizvodne aktivnosti;
- kada veštačko hlađenje predstavlja glavni ili sporedni proces pri ostvarivanju neke aktivnosti (proizvodnja, istraživanje, lečenje, sport itd.).

### 7.1.3 Rashladni fluidi

Radna materija koja u rashladnoj mašini ili toplotnoj pumpi obavlja levokretni ciklus naziva se *primarni rashladni fluid*, ili, kraće, *rashladni fluid*. *Sekundarni rashladni fluid* je fluid koji oduzima toplotu hlađenja od hlađenog objekta (izvora toplote) i predaje je (obično isparavajućem) primarnom rashladnom fluidu. Pri tome sekundarni rashladni fluid kruži kao posrednik, u zatvorenom toku, između hlađenog objekta i rashladne mašine (npr: rastvori raznih soli ili etilen glikola u vodi).

Uvođenjem u upotrebu halogenih derivata parafinskih ugljovodonika (poznatih pod široko prihvaćenim zajedničkim komercijalnim nazivom "*freoni*"), tridesetih godina prošlog veka, broj rashladnih fluida silno se povećao; za freone je (najpre u SAD) uveden sistem trocifrenih brojevanih oznaka iza zajedničke oznake **F** ("*Freon*"); kasnije, taj sistem je međunarodno prihvaćen, prilagođen je za sve rashladne fluide, a oznaka **F** zamenjena je novom opštom oznakom **R** („refrigerant”).

U novije vreme se ponekad u literaturi umesto oznake **R** koristi grupa od dva do četiri velika slova koja ukazuju na to koji su elementi zastupljeni u molekulu, tj. ukazuje na tzv. "tip" jedinjenja. Npr. **HC** (ugljovodonici), **CFC** (potpuno halogenizovani hlorofluorouglenici), **HCFC** (delimično halogenizovani hidrohlorofluorouglenici), **FC** (potpuno halogenizovani fluorouglenici) i **HFC** (delimično halogenizovani hidrofluorouglenici). Ovakav sistem označavanja, pored toga što pruža očigledniju informaciju o sastavu, ima dodatnog opravdanja u slučajevima kad se jedno te isto jedinjenje koristi u različite svrhe (kao rashladni fluid, ispenjivač izolacije, rastvarač, itd.).

Neki primeri označavanja rashladnih fluida:

- Brojevima od 400 do 499 označavaju se razne *zeotropne smeše*.
- Brojevima od 500 do 599 označavaju se razne *azeotropne smeše*.
- Brojevima od 600-699 obeležavaju se po proizvoljnom redosledu razna *organska jedinjenja*, koja se koriste ili mogu da se iskoriste kao rashladni fluidi. Tako npr. Za n-butan i izobutan koriste se oznake R 600 odnosno 600a.

Brojevima od 700 pa nadalje označavaju se *neorganski rashladni fluidi*, tako što se posle prve cifre (7) koja ukazuje da se radi o neorganskom rashladnom fluidu dodaju još dve cifre koje pokazuju njegovu relativnu molekulsku masu. Npr. amonijak (NH<sub>3</sub>) ima oznaku R 717, ugljendioksid (CO<sub>2</sub>) ima oznaku R 744 itd.

Brojni rashladni fluidi štetno deluju na razgradnju ozonskog omotača. Ozonski omotač je važan jer upija ultraljubičasto (UV) zračenje sa Sunca, sprečavajući da većina UV zraka dopre do Zemljine površine. UV zračenje talasnih dužina između 280 i 315 nm naziva se UV-B, a

štetno je za gotovo sve oblike života. Upijajući većinu UV-B zračenja pre nego što ono dopre do Zemljine površine ozonski omotač štiti našu planetu od štetnih uticaja tog zračenja. Ozon je prisutan i u nižim slojevima atmosfere (tj. u troposferi), ali u nižim koncentracijama nego u stratosferi.

Hlorofluorogljici (CFC) su materije koje imaju najveći uticaj na razgradnju ozona. CFC su se od vremena njihove sinteze (1928. godine) koristili na različite načine: kao radne materije u hladnjacima i klimatizacionim uređajima, kao potisni gas u limenkama aerosola, kao sredstvo za ekspaniranje u proizvodnji fleksibilnih pena za jastuke i madrace, i kao sredstvo za čišćenje u elektronskoj industriji.

Delimično halogenizovani hlorofluorogljivodoni (HCFC) su slični CFC-ima, pa su se u velikoj meri proizvodili kao zamena u uređajima za hlađenje i za ekspaniranje. HCFC-i manje uništavaju ozon od CFC-a, jer ih atom vodonika čini manje stabilnim i podložnijim razgradnji u donjim slojevima atmosfere, sprečavajući da većina njihovog hlora dospe do stratosfere. Freoni iz grupe fluorogljjenika (HFC i FC) ne sadrže hlor i nemaju štetan uticaj na razgradnju ozonskog omotača.

### Potencijal razgradnje ozona - ODP

Potencijal razgradnje ozona, ODP (*engl. Ozone Depletion Potential*) zavisi od sposobnosti oslobađanja hlora (Cl) i broma (Br), kao i od vremenske postojanosti u atmosferi. Kao jedinična (referentna) vrednost uzeto je delovanje freona R-11. Ovaj faktor je posledica svih potencijalnih delovanja na ozon koja traju do potpune razgradnje (vrijeme raspada) za ozon štetne materije. Vodonik u molekulama HCFC smanjuje njihovu postojanost u atmosferi na 2 do 20 godina. HFC ne sadrže hlor, pa zato ne razaraju ozon, pa je njihov ODP=0.

### Potencijal globalnog zagrevanja - GWP

Atmosfera poput stakla uglavnom propušta kratkotalasno Sunčevo zračenje, ali je slabo propusna za dugotalasno zračenje kojim zrači Zemljina površina. Zato deo energije koja je dozračena u sistem Zemlja-atmosfera ostaje u njemu kao u stakleniku i pretvara se u toplotu. Ovaj efekat se naziva efektom staklene bašte. Potencijal globalnog zagrevanja, GWP (*engl. Global Warming Potential*) neke materije je relativni uticaj te materije na efekt staklene bašte u odnosu na uticaj CO<sub>2</sub>. Kao referentna vrednost uzeto je delovanje CO<sub>2</sub> jer se u atmosferu emituje u najvećim količinama. CO<sub>2</sub> trajno ostaje u atmosferi, pa je zato uvek potrebno navesti za koje je vremensko razdoblje GWP izražen (20, 100 ili 500 godina). Najznačajniji gasovi staklene bašte su: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFC-i, PFC-i i SF<sub>6</sub>.

U tabeli 7.1 date su vrednosti ODP i GWP za različite rashladne fluide

Tabela 7.1 Vrednosti ODP i GWP za različite rashladne fluide

Rashladni fluid	ODP	GWP		
		20 god	100 god	500 god
R-11	1	4500	3400	1400
R-12	1	7100	7100	4100
R-502	0.34	-	4300	-
R-22	0.055	4200	1700	540
R-134a	0	3100	1300	-
R-404a	0	-	3800	-
R-407C	0	-	1600	-
R410A	0	-	1725	-
R-717	0	0	0	0

Iako rashladni fluidi iz grupe HFC-a nemaju uticaja na razgradnju ozonskog omotača (ODP = 0), svi halogenizovani ugljovodonici, pa tako i materije iz grupe HFC-a su gasovi staklene bašte sa velikim GWP potencijalom.

#### 7.1.4 Osnovne komponente rashladnih mašina

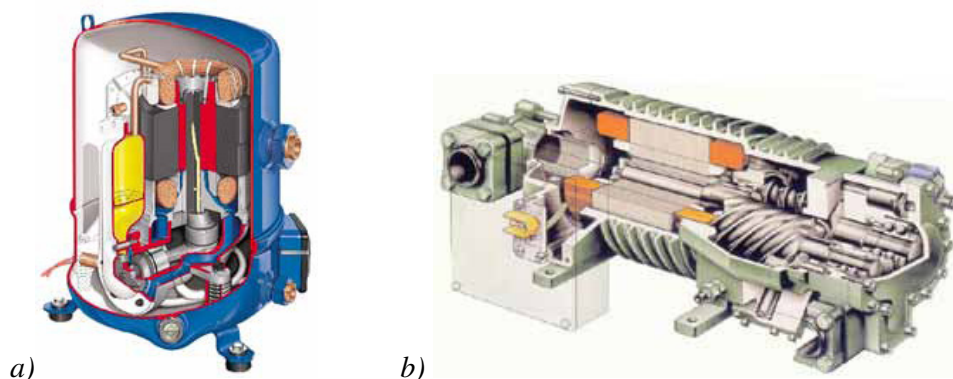
**Kompresori** su osnovni elementi onih rashladnih mašina čiji se kompenzacioni proces zasniva na utrošku mehaničkog rada. U njima se radna materija (rashladni fluid) sabija kako bi se dostigli i u neophodnoj meri premašili: temperatura ponora i pritisak koji vlada u razmenjivaču toplote sa ponorom.

Rashladni kompresori mogu da se podele prema principu rada, veličini rashladnog učinka, načinu hermetizacije, broju stupnjeva sabijanja, vrsti rashladnog fluida i tako dalje.

Prema principu rada kompresori mogu biti:

**Kompresori zapreminskog dejstva** u kojima se usisana para (odn. gas) sabija usled smanjivanja zatvorene radne zapremine (tzv. “čelije”) u kojoj se para nalazi. Prema načinu formiranja (odn. obliku) čelija i kinematskim karakteristikama koje iz toga proizilaze, ovi kompresori se dele na:

- (klasične) *klipne kompresore* sa translatorskim kretanjem klipova,
- *rotacione kompresore*, kod kojih se radna zapremina formira između (jednog ili više) *rotora* i zidova cilind(a)ra (kućišta), i
- *spiralne kompresore*, kod kojih se radne zapremine formiraju između spregnutih cilindričnih spiralnih površi u zahvatu, pri čemu pokretna spirala ne rotira već *orbitira* unutar nepokretne spirale.



Slika 7.5 Izgled kompresora: a) klipni, b) spiralni (vijčani)

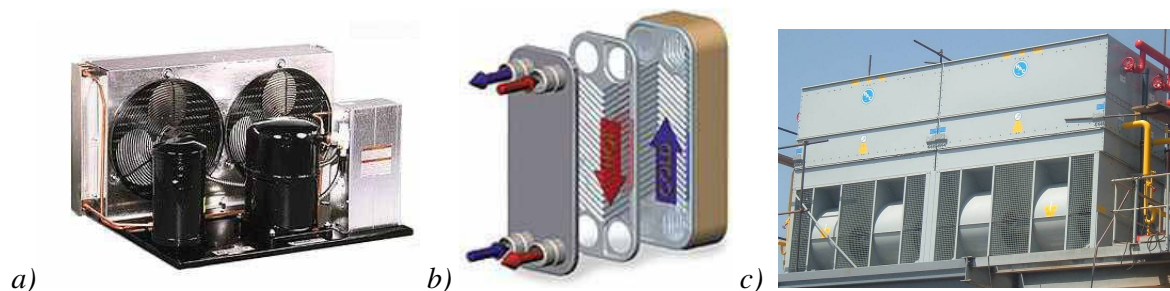
**Strujni kompresori**, kod kojih je porast pritiska rezultat razmene energije pri opstrujavanju lopatica turbomašine (turbokompresori) ili pri mešanju sa radnom parom koja sa velikom brzinom dolazi iz mlaznika (parni ejektorski kompresori odn. parni ejektori).

Prema veličini rashladnog učinka kompresori se dele na male (do 10 kW), srednje (od 10 do 50 kW) i velike (od 50 do 500 kW i više).

**Kondenzatori** parnih kompresorskih rashladnih mašina su razmenjivači toplote u kojima se rashladni fluid kondenzuje predajući toplotu sredstvu za hlađenje kondenzatora. U zavisnosti od konstrukcije kondenzatora i pregrevanja pare na ulazu, u kondenzatoru se, osim zone kondenzacije zasićene pare, (ponekad) mogu uočiti i zone hlađenja i kondenzacije pregrevane pare, kao i zona prehlađivanja kondenzata.

Kod uobičajenih rashladnih instalacija kondenzatori se hlade vazduhom i/ili vodom, pri čemu se kod kombinovanog hlađenja koristi efekat vetrenja (ishlapljivanja) vode u vazduh –

evaporativni kondenzatori. Kondenzatori toplotnih pumpi namenjenih grejanju, hlade se najčešće vodom ili vazduhom, dok se kod specijalnih toplotnih pumpi kondenzatori hlade onim fluidom čijem je zagrevanju toplotna pumpa namenjena.



Slika 7.6 Izgled kondenzatora: a) vazduhom hlađeni, b) vodom hlađeni - pločasti, c) evaporativni

**Isparivači** parnih rashladnih mašina su razmenjivači toplote u kojima se isparavajućem rashladnom fluidu dovodi toplota, bilo neposredno od hlađenog objekta, bilo posredno - od sekundarnog rashladnog fluida. Zbog raznovrsne primene rashladnih uređaja, postoji i veliki broj raznolikih konstrukcija isparivača.

Klasifikacija (podela) isparivača se obično vrši **prema nameni** (vrsti hlađenog objekta), rashladnom fluidu i prema konstrukciji, dok su ostale klasifikacije najčešće od manjeg značaja. Međutim, imajući u vidu da namena i rashladni fluid u mnogome predodređuju konstrukciju, te podele se dobrim delom podudaraju, i zato je najpogodnija opšta podela prema nameni sa potpodelama prema konstrukciji i vrsti rashladnog fluida (gde je to svrsishodno):

*Isparivači za hlađenje tečnosti:* Isparivači za hlađenje tečnosti se najčešće izrađuju kao *dobošasti isparivači* sa cevnom snopom unutar doboša, kao *pločasti isparivači*, ili kao *potopljeni bazenski isparivači*; postoje još i specijalne konstrukcije isparivača namenjene za hlađenje tečnosti preko zida suda u kome se ona nalazi; to su obično isparivačke cevne zmijske ili plaštovi oko hlađenog suda.

*Isparivači za hlađenje gasova (najčešće vazduha)* izrađuju se od orebrenih cevi. Rashladni fluid isparava unutar cevi; orebranje je sa strane vazduha, a rebra su tanka i visoka, pa su koeficijenti orebravanja dosta veliki (obično između 8 i 15). Zbog velike visine (reda veličine prečnika cevi), rebra se najčešće izrađuju posebno, od lima ili limene trake, pa se nakon toga navlače odnosno namotavaju na cevi i na pogodan način fiksiraju na zadatom međusobnom rastojanju;

Specijalni isparivači - pored navedenih, u praksi se koriste i isparivači specijalne namene: za proizvodnju ljustičastog leda, za brzu proizvodnju leda u kalupima (tzv. "rapid-ice" uređaji) itd.

**Veoma važna podela** isparivača je prema količini rashladnog fluida koja im se dovodi:

- *suvi*, kada se u isparivač dovodi onoliko tečnosti koliko u njemu može da ispari (u stvari, zbog nesavršenosti regulisanja protoka, dovodi se neznatno manje, tako da iz njega izlazi vrlo malo pregrejana para), ili
- *preplavljeni* (kada im se dovodi višestruko više tečnosti); pri tome se *koeficijent cirkulacije  $n$*  (odnos količine dovedene prema količini isparene tečnosti rashladnog fluida) bira u zavisnosti od vrste hlađenog objekta. Cirkulacija tečnosti kroz preplavljene isparivače može biti *pumpna* ili *gravitaciona*.



Slika 7.7 Izgled isparivača za hlađenje vazduha

### **Pomoćni aparati**

Za razliku od glavnih elemenata instalacije, u kojima se ostvaruju osnovne promene stanja koje karakterišu ciklus rashladnog fluida (npr. isparavanje, sabijanje, kondenzacija...), pomoćni aparati su *opcionalni elementi* rashladne mašine čiji je zadatak da poboljšaju njene termodinamičke i/ili eksploatacione karakteristike.

Prvu grupu pomoćnih aparata sačinjavaju razni razmenjivači toplote (spoljašnji i unutrašnji prehladivači kondenzata, međuhladnjaci, hladnjaci ulja i sl.), prigušni separatori i/ili njihove kombinacije koje omogućavaju *modifikovanje ciklusa* u cilju *povećanja učinka i/ili koeficijenta hlađenja*.

Drugu grupu sačinjavaju razni pomoćni aparati čiji je osnovni zadatak da spreče neželjene režime rada, ublaže ili eliminišu posledice usled nesavršenosti konstrukcije i/ili postupaka montaže i time omoguće dugotrajan i nesmetan rad, kao i lakše opsluživanje (npr. odvajajući ulja, odvajajući vazduha, filteri, sušaći...). Pri tome, pojedini pomoćni aparati iz ove grupe doprinose i uštedi energije, zato što, intenzivirajući razmenu toplote, omogućavaju povoljnije temperaturske režime rada.

**Cevovodi** povezuju sve relevantne komponente u jedinstvenu rashladnu instalaciju, odnosno toplotnu pumpu.

Pri strujanju u cevovodima, eksergija rashladnog fluida opada zbog trenja (odnosno pada pritiska) i razmene toplote pri konačnim razlikama temperatura. Međutim, pad eksergije rashladnog fluida i investicioni troškovi nisu jedini parametri o kojima treba voditi računa pri izboru brzine strujanja (čime se u stvari određuje unutrašnji prečnik cevi): u nekim slučajevima brzina strujanja mora biti dovoljno velika da obezbedi transport tečne faze ili ulja i time spreči njihovo nagomilavanje u cevovodu, dok je u drugim ograničena dopuštenim padom pritiska (npr. u usisnim vodovima prema kompresorima). Zbog toga, pri optimizaciji brzine u cevovodima, postoje *ograničenja u izboru brzine* koja nameću zahtevi za nesmetanim funkcionisanjem instalacije u svim relevantnim režimima rada

### **Automatika rada rashladnih instalacija**

Pouzdan, ekonomičan i energetska efikasan rad rashladne instalacije podrazumeva stalan nadzor, održavanje relevantnih parametara u zadatim granicama, kao i blagovremene intervencije u cilju otklanjanja nepogodnih radnih režima koji mogu prouzrokovati opasnosti po ljude, okolinu, uskladištene proizvode i/ili samu instalaciju. Bez automatizacije, ostvarivanje tih ciljeva je neekonomično ili čak nemoguće.

**Za automatizaciju rada** rashladnih instalacija koriste se:

Uređaji za automatski nadzor i signalizaciju, koji služe za merenje, pokazivanje i beleženje relevantnih parametara rada mašine ili hlađenog objekta. Za prikazivanje radnog stanja instalacije i objekta koristi se se često tzv. sinoptička šema instalacije na kojoj se lampicama raznih boja označava pogonsko stanje elemenata instalacije.

**Uređaji automatske zaštite i/ili upozoravanja**, koji *automatski isključuju iz rada* pojedine delove ili celokupnu instalaciju i/ili aktiviraju odgovarajući zvučni i/ili svetlosni alarm ako neki od relevantnih parametara rada izađe iz predviđenog opsega, te može da uzrokuje oštećenje ili havariju mašine, opasnost po zdravlje ljudi ili hlađene proizvode i/ili izazove ekološke posledice. Kao zaštitni uređaji se najčešće koriste termostati i presostati; to su termometri, odnosno manometri, sa električnim prekidačem, koji automatski prekidaju rad štice mašine kada predmetna temperatura ili pritisak dobiju neželjene vrednosti;

**Uređaji za automatsku regulaciju**, koji služe za *održavanje relevantnih parametara rada* rashladnog postrojenja i hlađenog objekta, najčešće u unapred zadatim granicama ili (ređe) po unapred zadatom programu. U novije vreme raste trend primene tzv. optimalnih regulatora kod kojih je zadata vrednost regulisane veličine funkcija izmerenih vrednosti jednog ili više uticajnih parametara i određuje se računom po zadatom, prethodno unetom programu.

### **Merenje relevantnih parametara**

Najznačajniji relevantni parametri rada rashladne instalacije su pritisci i temperature rashladnog fluida ili ulja, protoci fluida i nivoi tečnosti (rashladnog fluida ili ulja) u sudovima; kod klimatizovanih objekata, koji se hlade (ili greju), najznačajniji su temperatura i vlažnost vazduha, a kod ostalih objekata temperatura, protok, pritisak i/ili nivo tečnosti fluida koji se hladi (ili greje).

Za *merenje temperature* koriste se *stakleni termometri sa tečnošću* (živa, alkohol ili neka druga tečnost, zavisno od temperaturnog područja), *električni termometri* (najčešće *otpornički*, *termoelektrični termometri* (sa pojedinačnim ili redno vezanim termoparovima) ili, znatno ređe, *bimetalni* ili *gasni termometri*.

Za *merenje pritiska* koriste se najčešće *manovakuometri* (sa burdonovom cevi, sa pijezelektričnim davačima, ili membranski); Pošto u području vlažne pare postoji jednoznačna veza između temperature i pritiska, manovakuometri za rashladni fluid su opremljeni i sa *temperaturnom funkcionalnom skalom* koja pokazuje ravnotežnu temperaturu zasićenja za izmereni pritisak.

Za *merenje vlažnosti vazduha* se najčešće koriste električni higrometri bazirani na principu merenja elektroprovodnosti rastvora neke higroskopne soli (najčešće vodeni rastvor LiCl) u ravnoteži sa vazduhom čija se vlažnost meri. Za merenje vlažnosti koriste se i *psihrometri*, kao i razne vrste *indikatora tačke rose*;

Za *merenje protoka* koriste se uglavnom razni *rotametri*, *standardne prigušnice* ili *mlaznice* kao i razni *protokomeri sa obrtnim kolom*; u novije vreme se koriste i protokomeri koji se baziraju na *Doppler*-ovom efektu;

Za *merenje nivoa tečnosti* koriste se *davači sa plovkom* i *kapacitivne sonde*.

### **Regulisani parametri i pripadajući regulatori**

Najvažniji *relevantni parametri* od čijeg uspešnog kontrolisanja bitno zavisi ispravan rad mašine i/ili spregnutog objekta (grejanja i/ili hlađenja) su:

- Temperatura hlađenog objekta;
- Protok rashladnog fluida kroz suve isparivače
- Pritisak (temperatura) isparavanja
- Pritisak (temperatura) kondenzacije
- Temperatura pare na potisu kompresora
- Nivo tečnosti rashladnog fluida u preplavljenim isparivačima ili separatorima

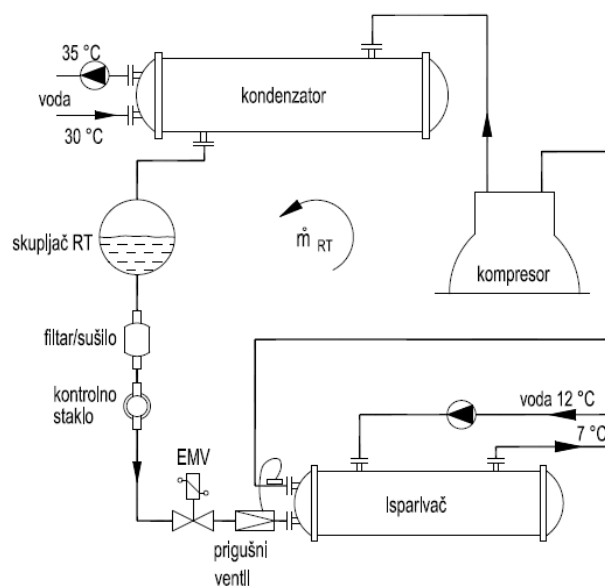
### **Vrste regulatora**

U rashladnim instalacijama primenjuju se, kako *regulatori direktnog dejstva* (bez pojačivača), kod kojih se regulišući organ pokreće neposredno od strane davača, tako i *regulatori posrednog dejstva*, koji imaju pojačavač i kod kojih regulišući organ radi u servo sprezi (za njegovo pokretanje se obično koristi pritisak rashladnog fluida ispred regulatora) ili pak pomoćna energija dovedena od spolja (elektromagnetni, elektromotorni, pneumatski ili kombinovani regulatori); pri tome regulatori mogu biti bilo *kontinualnog*, bilo *pozicionog* dejstva (najčešće *dvopozicioni*, tzv. “on-off” regulatori).

Potrebna tačnost regulisanja je obično takva da dopušta primenu *statičkih regulatora* (tzv. **Proporcionalni**, ili *P regulatori*). *Astatički regulatori* (tzv. **Integrirajući**, ili, *I regulatori*), kod kojih je *brzina promene regulišuće veličine srazmerna odstupanju regulisane veličine od zadate vrednosti*, su u principu savšeniji i tačniji, ali su složeniji i skuplji, pa se zato znatno ređe primenjuju. Ostali, još složeniji tipovi regulatora (npr.: *PD*, *PI* i *PID*), koji imaju stabilizirajuće naprave pomoću kojih se skraćuju prelazni procesi i smanjuju dinamička odstupanja, se, zbog svoje visoke cene, samo izuzetno koriste pri automatizaciji rashladnih uređaja.

### 7.1.5 Indirektni sistemi hlađenja

Kod direktnih sistema hlađenja isparivač rashladne mašine je ujedno i hladnjak koji se koristi za odvođenje toplote od hlađenog objekta. Međutim, kada se želi izbeći kontakt rashladnog fluida i hlađenog objekta ili smanjenje količine rashladnog fluida u instalaciji (i njegovog cevnog razvoda kroz objekat), primenjuju se sekundarni rashladni fluidi u indirektnim sistemima. Kao što je već bilo pomenuto, sekundarni rashladni fluid kruži kao posrednik, u zatvorenom toku, između hlađenog objekta i rashladne mašine – hladi se u isparivaču rashladne mašine, a zagreva u hladnjaku, oduzimajući toplotu hlađenom objektu. Kada su u pitanju relativno visoke temperature hlađenja (iznad  $0^{\circ}\text{C}$ ), kao što je slučaj u komfornoj klimatizaciji, kao sekundarni rashladni fluid se koristi voda. U cilju sniženja temperature mržnjenja sekundarnog rashladnog fluida, prilikom primene za niže temperaturske režime, mogu se koristiti vodeni rastvori glikola i soli. Rashladne mašine koje se koriste za pripremu hladne vode nazivaju se čilerima. Uobičajeni temperaturski režim hladne vode za klimatizacione sisteme je  $7/12^{\circ}\text{C}$ . Na slici 7.8 prikazana je šema čilera sa vodom hlađenim kondenzatorom.

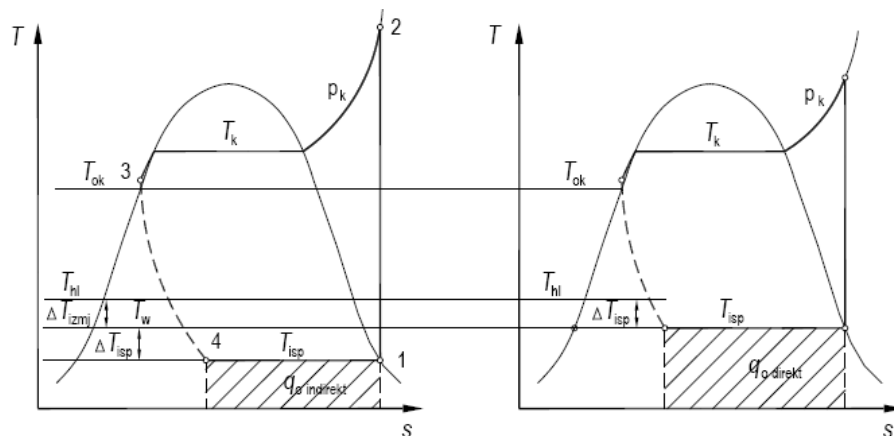


Slika 7.8 Šema čilera sa vodom hlađenim kondenzatorom

Hladna voda pripremljena u čileru vodi se do hladnjaka u uređajima za klimatizaciju, a to mogu biti hladnjaci u klima komorama ili hladnjaci koji se nalaze u klimatizovanim prostorijama (kao što su ventilator konvektori ili cevne zmijske panela ugrađenih u tavanice ili zidove prostorija

koje se hlade). Ukoliko se izvodi sistem panelnog hlađenja, temperaturski režim hladne vode je viši nego u drugim slučajevima, jer se mora izbeći kondenzacija vlage iz vazduha na rashladnim površinama (tzv. visokotemperatursko hlađenje).

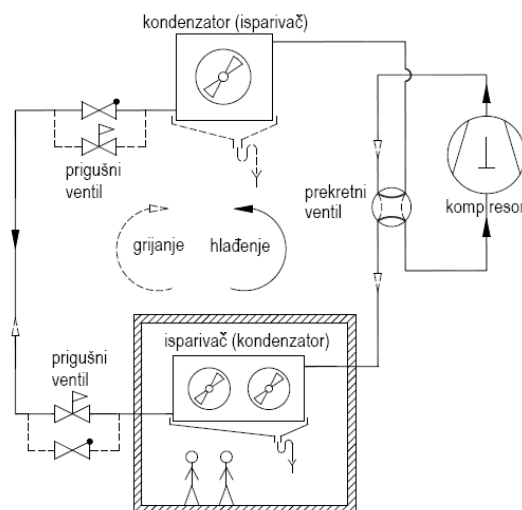
Termodinamički gledano direktni sistem hlađenja je u prednosti u odnosu na indirektni sistem. S obzirom da indirektni sistem sadrži jedan razmenjivač više, postiže niže temperature isparavanja u odnosu na direktni, (poređenje ciklusa je dato na slici 7.9). Time je za isti rashladni učinak potrebno sistemu dovesti veću pogonsku snagu, što za posledicu ima manji koeficijent hlađenja indirektnih sistema.



Slika 7.9 Prikaz poređenja indirektnog i direktnog sistema hlađenja

## 7.2 TOPLOTNE PUMPE

Toplotne pumpe su rashladni uređaji koji rade po levokretnom ciklusu, ali se kod njih toplota kondenzacije (koja je kod rashladnih mašina termodinamički beskorisna toplota koja se odvodi u okolinu) koristi za zagrevanje objekta, a toplota potrebna za isparavanje rashladnog fluida se oduzima od okoline (koja se kod rashladne mašine oduzima od hlađenog prostora). Okolina (spoljni vazduh, podzemne i nadzemne vode ili tlo) predstavljaju toplotni izvor. Prema tome, jedna instalacija sa mašinom koja radi po levokretnom ciklusu može se koristiti i u svrhu hlađenja i u svrhu grejanja. Na slici 7.10 dat je prikaz rada rashladnog uređaja u režimu toplotne pumpe.



Slika 7.10 Prikaz rada rashladnog uređaja u režimu toplotne pumpe

Opravdanost primene toplotnih pumpi u svrhe grejanja prostora je velika. Toplotne pumpe se smatraju obnovljivim izvorom energije, jer se koristi raspoloživa toplota iz okoline. Efikasnost toplotne pumpe izražava se koeficijentom grejanja  $\varepsilon_g$  ili *COP* (engl. *Coefficient of Performance*), koji predstavlja odnos dobijene toplote i uloženog rada (električne energije za pogon kompresora):

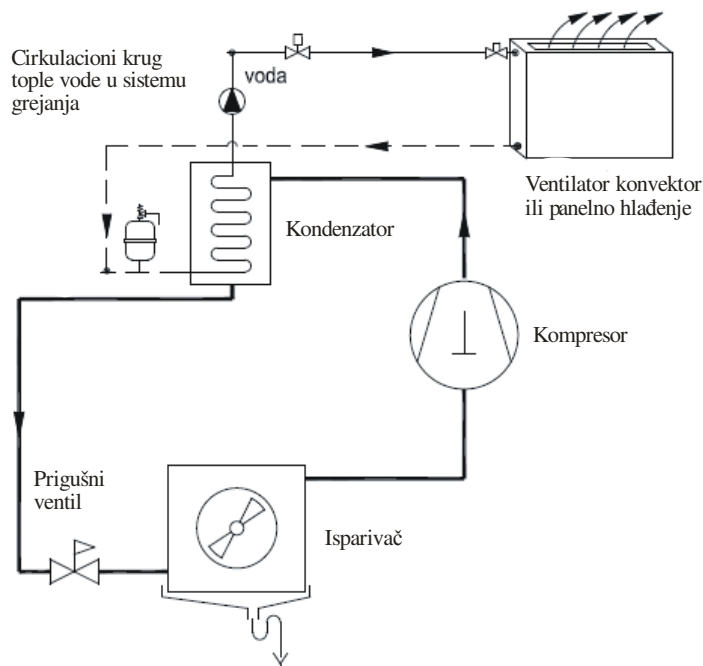
$$\varepsilon_g (COP) = \frac{q_{kond}}{w} = \frac{\dot{Q}_{kond}}{P_{komp}} \quad (7.2)$$

### 7.2.1 Izvori toplote toplotnih pumpi

Za postrojenje toplotne pumpe od najvećeg su značaja svojstva toplotnog izvora. Može se reći da je postrojenje za grejanje sa toplotnom pumpom onoliko dobro, koliko je dobar njegov toplotni izvor. Kao niskotemperaturski toplotni izvori koriste se voda (rečna, jezerska, morska i podzemna), vazduh, otpadna toplota, Sunce ili se isparivač zakopava u zemlju, pri čemu tlo predstavlja izvor toplote. Da bi se osigurao ekonomičan rad toplotne pumpe, za izvor toplote se postavlja niz zahteva, među kojima su najvažniji sledeći:

- toplotni izvor treba da osigura potrebnu količinu toplote u svako doba i na što višoj temperaturi,
- troškovi za priključenje toplotnog izvora na toplotnu pumpu treba da budu što niži,
- energija za transport toplote od izvora do isparivača treba biti što manja.

**Vazduh kao izvor toplote** toplotne pumpe je jako povoljan sa aspekta raspoloživosti i pristupačnosti. Orebreni razmenjivač toplote sa prinudnom cirkulacijom vazduha koristi se za razmenu toplote između vazduha i rashladnog fluida (slika 7.11). Razlika temperature spoljnog vazduha, kao izvora toplote i rashladnog fluida kreće se od 6 do 10°C. Kod izbora ovakve izvedbe toplotne pumpe, potrebno je voditi računa o sledeće dve stvari: temperaturi spoljnog vazduha za posmatranu lokaciju i stvaranju inja i leda na orebrenim sekcijama isparivača.

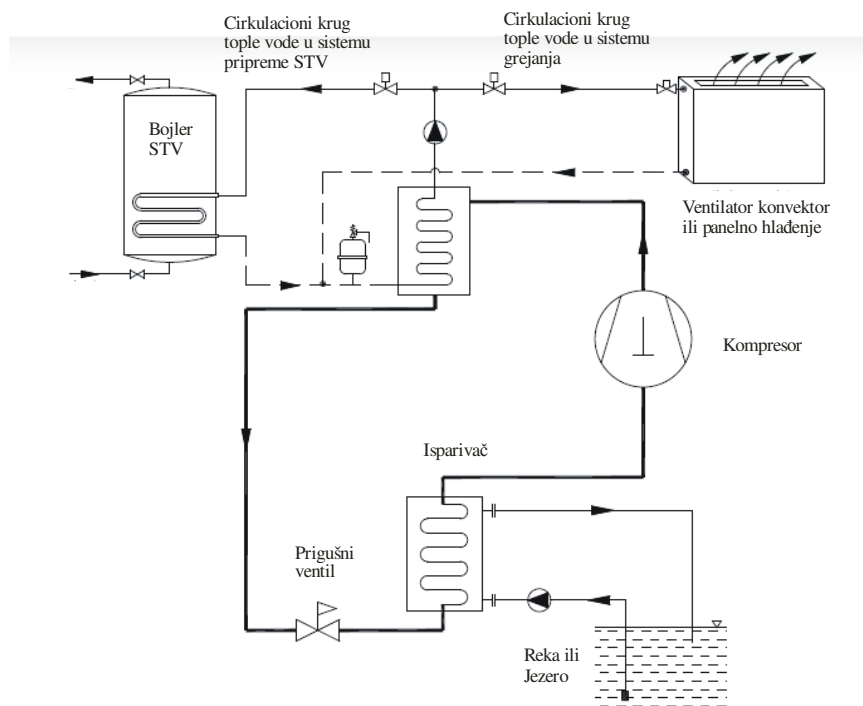


Slika 7.11 Šema toplotne pumpe sa vazduhom kao izvorom toplote

Loša strana vazduha kao izvora toplote su varijacije njegove temperature, što znatno utiče na koeficijent grejanja. Snižavanjem temperature okoline smanjuje se i grejni učinak toplotne

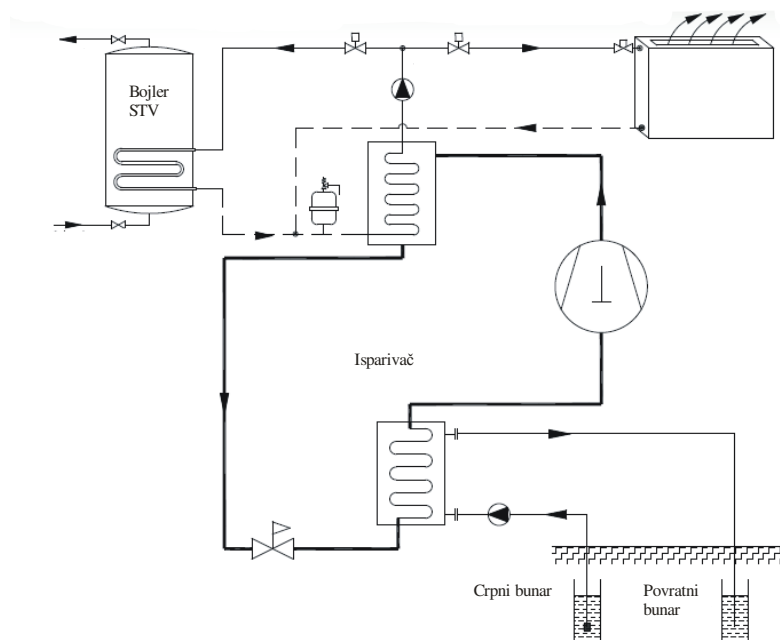
pumpe. Ovi uređaji se ne dimenzionišu na puno opterećenje, odnosno za najnepovoljniju radnu tačku, jer bi u najvećem delu godine sistem bio predimenzionisan. U zavisnosti od temperaturi spoljnog vazduha, koeficijent grejanja se kreće od 2,5 do 3,5. Nedostatak toplotnih pumpi koje rade s spoljnim vazduhom kao izvorom toplote su visoka buka i velika količina vazduha koja je potrebna zbog male vrednosti specifičnog toplotnog kapaciteta. Hlađenjem vazduha za 6 do 8°C dobijaju se optimalni odnosi između: količine vazduha, veličine ventilatora, veličine isparivača i koeficijenta grejanja. Važno je primetiti da ugradnjom četvorokrakog ventila uređaj u tokom leta može raditi u režimu hlađenja.

**Nadzemne vode kao izvor toplote** u mnogim slučajevima su pristupačne i jeftine za primenu (slika 7.12). Takve vode se mogu uobičajeno koristiti pri temperaturama višim od +4°C. Na osnovu iskustva i proračuna, temperaturna razlika vode ohlađene u isparivaču ne bi trebala biti manja od 4°C (npr. od 4 do 6°C). Korišćenje toplotne pumpe sa ovakvim izvorima toplote ekonomski je opravdano kod spoljnih temperatura iznad granice od 0°C. Pri tome veliku ulogu imaju položaj i veličina reke ili jezera. Nedostatak ovog izvora je ograničenost njegove primene samo na mali broj potrošača koji leže uz samo jezero. Za potrošače koji su udaljeni od jezera investicioni i pogonski troškovi za crpljenje i povratak vode u jezero su preveliki.



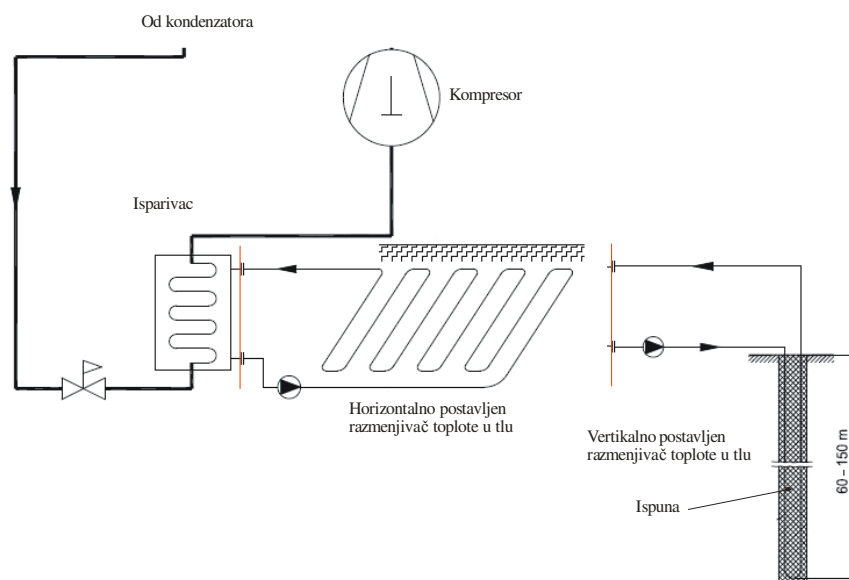
Slika 7.12 Šema toplotne pumpe sa površinskom vodom kao izvorom toplote

**Podzemne vode kao izvor toplote** su povoljne za primenu zbog visoke i relativno ujednačene temperature, koja u većini slučajeva iznosi između 8 i 12°C, što zavisi od dubine sa koje se crpi. Za crpljenje podzemne vode potrebna su dva bunara, crpni i povratni (slika 7.13). Razmak između ovih bunara treba biti što je moguće veći, a po mogućnosti ne manji od 10 m. Crpni bunar treba da daje u svim vremenima pogona dovoljnu količinu vode, odnosno izdašnost crpnog bunara je najvažnija za projektovanje ove toplotne pumpe. Potopljena crpna pumpa se ugrađuje obično do dubine 15 m kako bi se smanjili pogonski troškovi pumpe. Ispod pumpe, ostavlja se slobodna visina bunara koja omogućuje nakupljanje peska i nečistoća. Prečnik bunara je obično 220 mm ili veći. Protok pumpe za vodu proračunava se na temperaturnoj razlici vode na isparivaču od 4 do 5°C.



Slika 7.13 Šema toplotne pumpe sa podzemnom vodom kao izvorom toplote

**Tlo kao izvor toplote** predstavlja ogroman toplotni izvor koji se može koristiti kako za grijanje tako i za hlađenje prostora. Iako se hlađenje može ostvariti neposrednim korišćenjem razmjenjivača toplote u tlu, u svrhu grijanja je po pravilu potrebno upotrebiti toplotnu pumpu. Ugradnjom četvorokrakog ventila, toplotna pumpa se načelno zimi može koristiti za grijanje, a ljeti za hlađenje. Glavna prednost zemlje kao izvora ili ponora toplote je u relativno konstantnoj temperaturi već na dubini od 2 m (od 7 do 13°C), koja omogućuje rad u optimalnoj projektnoj tački, bez dnevnih i sezonskih varijacija.



Slika 7.14 Šema toplotne pumpe sa tlom kao izvorom toplote

**Horizontalna izvedba razmjenjivača** toplote (slika 7.14) zahteva nešto niže investicione troškove, ali zbog nedostatka potrebne slobodne površine često nije primenljiva, osim u ruralnim područjima. Potrebna slobodna površina je otprilike dvostruko veća od grejane površine objekta.

Najčešće se razmenjivač toplote polaže u tlo u obliku snopa vodoravnih cevi na dubini od 1,2 do 1,5 m, sa međusobnim razmakom cevi od 0,5 do 1 m, u zavisnosti od sastava i vrste tla. Približno na svaki m<sup>2</sup> grejanog prostora treba u zemlju položiti 1,5 do 2 m cevi. Razmenjivačke sekcije koje se paralelno spajaju, treba da budu podjednake dužine radi lakšeg balansiranja razmenjivača. Dužina jedne razmenjivačke sekcije iznosi do 100 m. Prečnik polietilenske cevi uglavnom iznosi 25 ili 32 mm. Učink razmenjivača, kreće se u granicama od 15 do 35 W/m<sup>2</sup>, pri čemu se najbolja efikasnost dobija za glineno tlo i tlo sa podzemnim vodama.

**Vertikalna izvedba razmenjivača** do dubina od 60 do 150 m (200 m) često je prihvatljiva u gusto naseljenim područjima, pogotovo na mestima gde je prostor uređen, pri čemu dolazi do minimalnih promena spoljnog izgleda okoline. Ovakvi su sistemi široko prihvaćeni u razvijenom svetu, u čemu prednjače Švedska, SAD, Austrija, Nemačka, Švajcarska, Francuska. Koliko se toplote može oduzeti tlu zavisi od njegovog sastava i vlažnosti, kao i od mesta polaganja cevi. Do sada sprovedena istraživanja, kao i u praksi instalirani sistemi pokazuju da je temperatura tla na dubini od 2 m otprilike 7 do 10°C, a na dubini do 100 m temperatura tla se kreće između 12 i 15°C. Razmenjivač (fabrički predmontiran) se u tlo polaže u dve osnovne izvedbe: kao dvostruka U cev ili kao koaksijalna cev pri čemu kroz unutrašnju PE cev struji hladni fluid (voda + glikol), dok se kroz spoljnu metalnu cev zagrejani fluid vraća na isparivač.

### 7.3 GODIŠNJA POTREBNA ENERGIJA ZA HLAĐENJE

Godišnja potrebna energija za hlađenje izračunava se prema standardu SRPS EN ISO 13790, analogno potrebnoj finalnoj energiji za grejanje, pri čemu se mogu primeniti sezonski (tj. mesečni) model ili časovni model proračuna. Potrebna godišnja energija za hlađenje je zapravo količina toplote koju tokom letnjeg perioda treba odvesti iz zgrade kako bi se održavala željena temperatura unutrašnjeg vazduha. Za razliku od zimskog perioda, tokom leta je značajno više izražena nestacionarnost razmene toplote sa okolinom, pa je od velike važnosti uzeti pravilno u obzir akumulaciona svojstva zgrade kroz odgovarajuće dinamičke parametre.

Godišnja potrebna energija za hlađenje izračunava se kao:

$$Q_{C,nd} = (Q_{int} + Q_{sol}) - \eta_{C,ls} \cdot (Q_T + Q_V) \quad [\text{kWh/a}], \quad (7.3)$$

gde su:

- $Q_{C,nd}$  - Godišnja potrebna energija za hlađenje [kWh/a]
- $Q_{int} + Q_{sol}$  - Godišnja količina toplote koja potiče od unutrašnjih dobitaka toplote i dobitaka usled sunčevog zračenja [kWh/a]
- $\eta_{C,ls}$  - Faktor iskorišćenja gubitaka toplote za period hlađenja
- $Q_{H,gn}$  - Godišnja količina toplote koja potiče od transmisionih i ventilacionih gubitaka toplote [kWh/a]

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

$$Q_{C,an} = \frac{Q_{C,nd}}{A_f} \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})], \quad (7.4)$$

gde je:

$A_f$  – korisna površina zgrade [m<sup>2</sup>].

Ukupna godišnja energija za hlađenje, osim finalne, obuhvata i gubitke u sistemu za hlađenje, koji se odnose na proizvodnju rashladne energije, gubitke u transformaciji ili predaji toplote i gubitke u transportu do potrošača:

$$Q_C = Q_{C,nd} + Q_{C,ls} \quad (7.5)$$

#### 7.4 VAZDUŠNI SISTEMI

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  $20^\circ\text{C}$ , a leti  $26^\circ\text{C}$ ) 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).

#### 7.4.1 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:

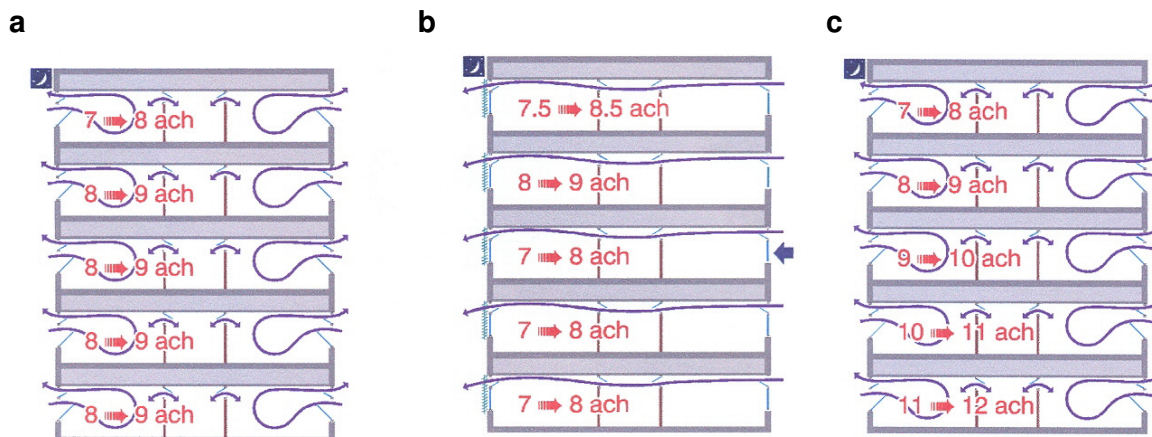
- sisteme sa prirodnom ventilacijom i
- sisteme mehaničke (prinudne) ventilacije.

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.

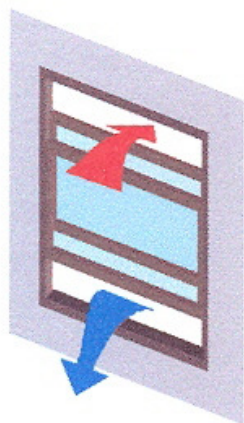
Kada se primenjuje prirodna ventilacija svakako treba uzeti u obzir brzinu i smer vetra, kao i izbor odgovarajućeg mesta na fasadi zgrade gde će biti postavljeni otvori za ventilaciju. Na taj način se može uticati na količinu spoljašnjeg vazduha koji će prirodnim putem prodirati u zgradu i ventilirati 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*)

Kontrolom otvorenosti prozora na opisan način postiže se prosečan broj izmena vazduha od oko 8 izmena na čas, što je prikazano na slici 7.15.



Slika 7.15 Količine vazduha za prirodnu ventilaciju za različite slučajeve uticaja vetra: a) zgrada je zaklonjena od vetra, b) prava vetra je upravna na otvore za ventilaciju, c) prava vetra je paralelna sa površinom otvora za ventilaciju



Slika 7.16 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 7.16.

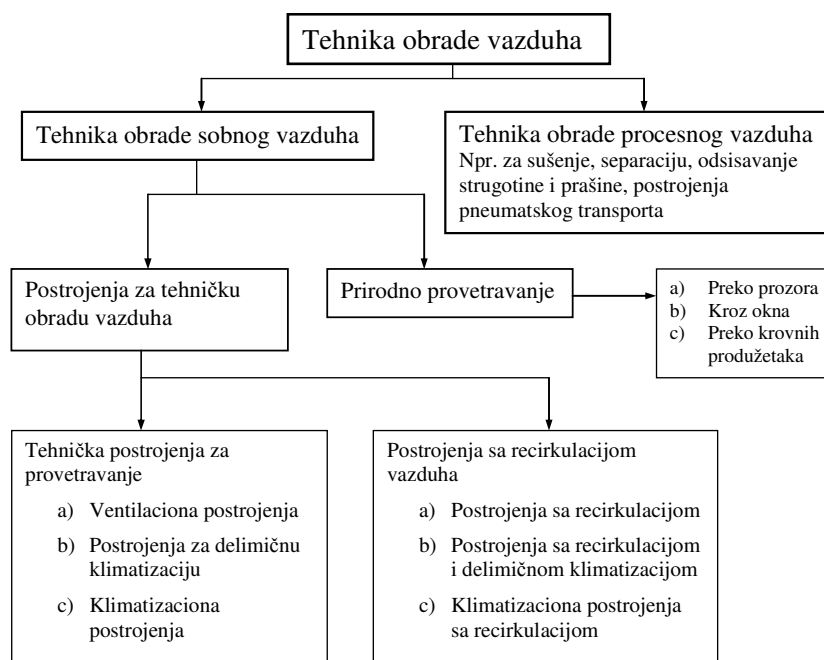
Efikasnost samog otvora procenjena je preko ostvarenog broja izmena vazduha na čas. Najbolji efekti dobijeni su za slučaj kada je otvor podeljen na gornji i donji, tako da kroz donji vazduh prodire u prostoriju, a kroz gornji istrujava iz nje. Ovakvi otvori daju dobre rezultate kod tehnike sa cirkulacijom 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 7.17 dat je prikaz pripreme vazduha u zavisnosti od namene vazdušnog 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.



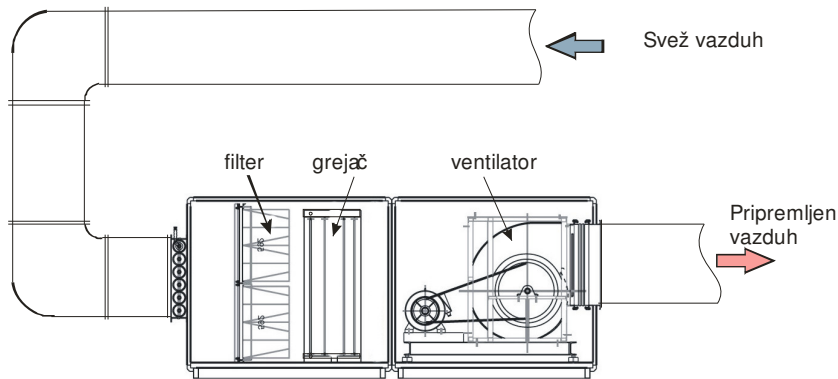
Slika 7.17 Tehnike obrade vazduha u zavisnosti od namene sistema

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 7.18. 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 7.18 Ventilaciona komora za rad sa svežim vazduhom

#### 7.4.2 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.

##### 7.4.2.1 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 m<sup>3</sup>/h ako se u prostoriji ne puši;
- 30 do 40 m<sup>3</sup>/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 Syndrome*). 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 m<sup>3</sup>/h po čoveku u normalnom režimu korišćenja, a 2,5 m<sup>3</sup>/h po čoveku u zaštitnom režimu rada;
- kancelarije modernih poslovnih zgrada obično se rade sa 50 m<sup>3</sup>/h svežeg vazduha po čoveku;
- u hotelima visoke kategorije radi se sa 100 i više m<sup>3</sup>/h svežeg vazduha po čoveku.

#### 7.4.2.2 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:

$$V \cdot k_s + K = V \cdot k_{\max} \quad (7.6)$$

gde je:

- $V$  [m<sup>3</sup>/h] – potrebna količina svežeg vazduha za ventilaciju
- $k_s$  [m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>] – koncentracija određenog zagađivača (zbog koga se vrši ventilacija) u svežem vazduhu
- $k_{\max}$  [m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>] – maksimalna dozvoljena koncentracija (MDK) određenog zagađivača u ventilisanoj (klimatizovanoj) prostoriji
- $K$  [m<sup>3</sup>/h] – časovno zagađenje od izvora u prostoriji

Minimalan časovni protok svežeg vazduha za ventilaciju iznosi:

$$V = \frac{K}{k_{\max} - k_s} \quad (7.7)$$

Jedinice za merenje i izražavanje koncentracije zagađivača su mg/m<sup>3</sup> ili ppm (parts per million = cm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>). Maksimalne dozvoljene koncentracije zagađivača (MDK) usvajaju se prema

preporukama Instituta za zaštitu zdravlja (tabela 7.2). Navedene vrednosti su podložne promenama, i pri svakoj promeni, po pravilu, Zakonodavac ih pooštrava u cilju bolje zaštite zdravlja radnika.

Tabela 7.2 MDK vrednosti

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

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

#### 7.4.2.3 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:

$$n = \frac{\dot{V}_{vazd}}{V_{prost}} \quad [1/h] \quad (7.8)$$

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 7.3.

Tabela 7.3 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.

#### 7.4.2.4 Određivanje količine vazduha prema zimskom režimu

Potrebna količina vazduha za zimske projektne uslove:

$$V_z = \frac{3600 \cdot Q_g}{C_p \cdot \rho \cdot (\theta_{ub} - \theta_{un})} = \frac{3600 \cdot Q_g}{C_p \cdot \rho \cdot \Delta\theta_z} \quad (7.9)$$

gde je:

- $V_z$  [m<sup>3</sup>/h] – količina vazduha za klimatizaciju (zapreminski protok)
- $Q_g$  [W] – toplotni gubici prostorije
- $C_p$  [J/kgK] – specifični toplotni kapacitet vazduha
- $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] – gustina vazduha
- $\theta_{ub}$  [°C] – temperatura vazduha koji se ubacuje u klimatizovani prostor
- $\theta_{un}$  [°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).

#### 7.4.2.5 Određivanje količine vazduha prema letnjem režimu

Potrebna količina vazduha za letnje projektne uslove:

$$V_L = \frac{3600 \cdot Q_{t,opt.}}{C_p \cdot \rho \cdot (\theta_{un} - \theta_{ub})} = \frac{3600 \cdot Q_{t,opt.}}{C_p \cdot \rho \cdot \Delta\theta_L} \quad (7.10)$$

gde je:

- $V_L$  [m<sup>3</sup>/h] – količina vazduha za klimatizaciju
- $Q_{t,opt.}$  [W] – toplotno opterećenje prostorije
- $C_p$  [J/kgK] – specifični toplotni kapacitet vazduha
- $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] – gustina vazduha
- $\theta_{ub}$  [°C] – temperatura vazduha koji se ubacuje u klimatizovani prostor
- $\theta_{un}$  [°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 temperaturna

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.

#### 7.4.2.6 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:

$$V_{rec} = V_{uk} - V_{sv} \quad (7.11)$$

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.

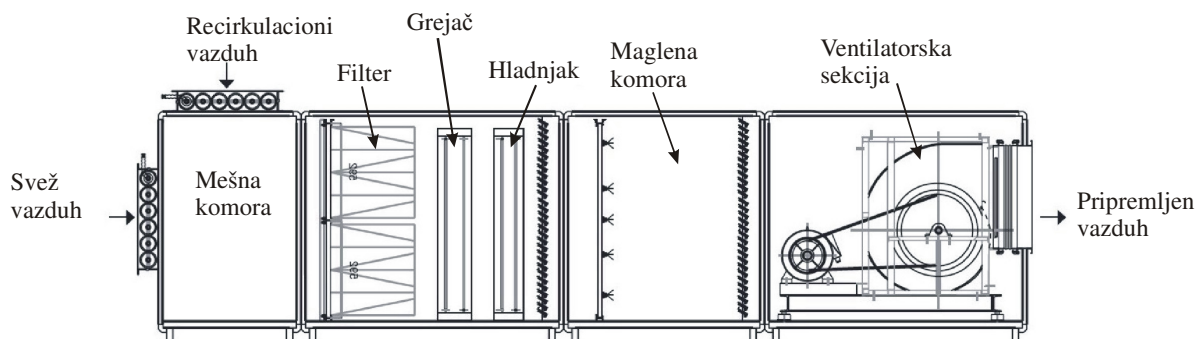
Analogan postupak sprovodi se i u slučaju kada je najveća količina vazduha određena prema zimskim projektnim uslovima.

#### 7.4.3 Elementi klima komore

Na slici 7.19 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 7.19 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  $-20^{\circ}\text{C}$  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:

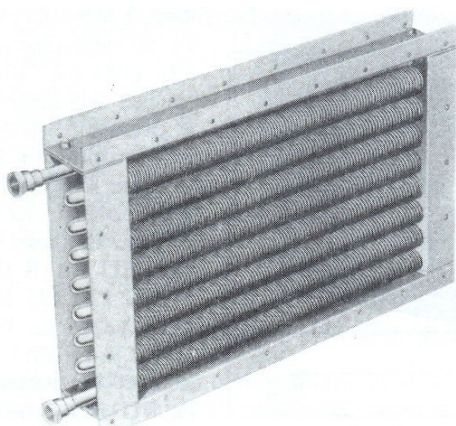
- klima komora (jedan grejač ili predgrejač i dogrejač),
- kanal pripremljenog vazduha (kanalski grejač, koji je najčešće dogrejač kod zonskih sistema),
- uređaj u prostoriji (najčešće dogrejač kod vodenih ili vazdušno-vodenih sistema; tada se u prostoriji nalaze aparati kao što je ventilator-konvektor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

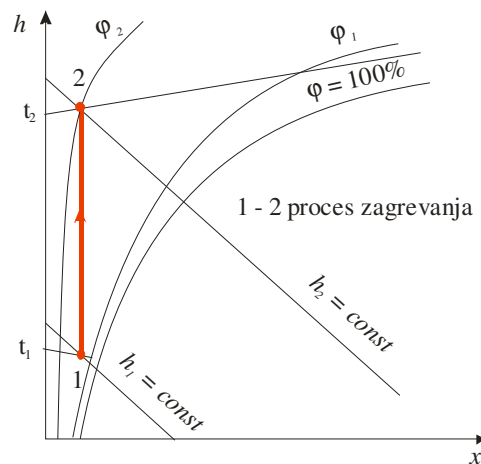
Zahtevi koje mora da ispuni grejač su:

- 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 7.20 je prikazan izgled grejača klima komore.

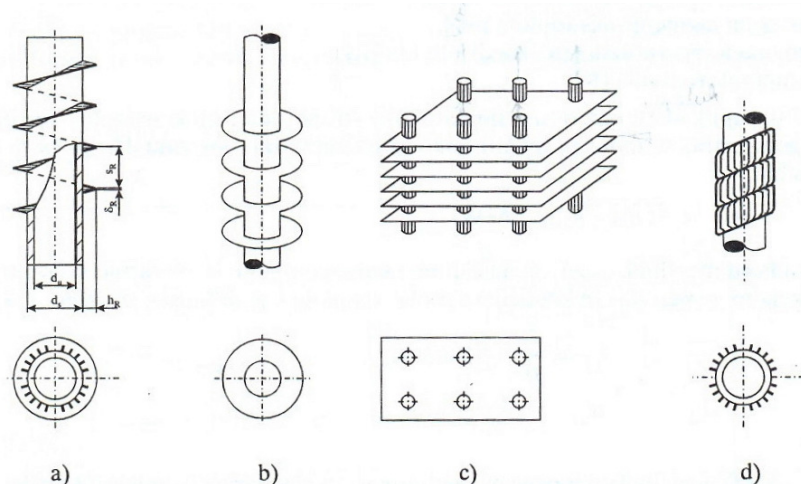


Slika 7.20a Spoljni izgled grejača sa spiralnim rebrima koji se postavlja u klima komoru



Slika 7.20b 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 7.21 prikazane su konstrukcije grejača za vazduh i različita orebrenja cevi.



Slika 7.21 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:

$$Q = k \cdot F_s \cdot \Delta\theta_m, \quad (7.12)$$

gde je:

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

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

Srednja temperaturska razlika zavisi od tipa strujanja koji može biti:

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

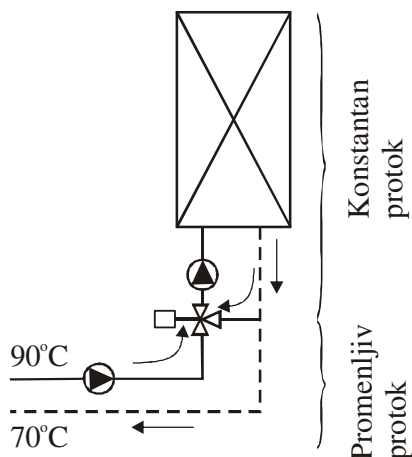
Kod grejača se javlja kombinacija suprotnosmerno-unakrsnog toka grejnog i grejanog fluida, Tačna vrednost koeficijenta prolaza toplote može se odrediti samo eksperimentalno. Zbog navedenih razloga projektanti ne vrše proračun površine grejača, već taj podatak daje proizvođač na osnovu sledećih podataka:

- protoka vazduha kroz grejač,
- temperature vazduha na ulazu i izlazu iz grejača
- 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.

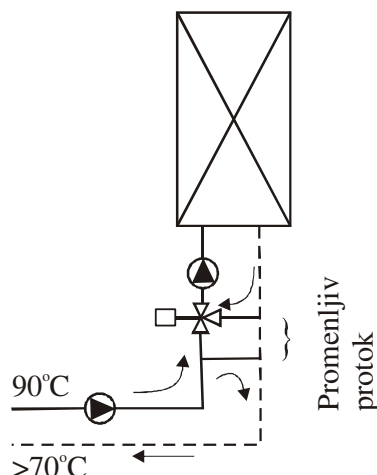


Slika 7.22 a Regulacija pomoću mešnog trokrakog ventila

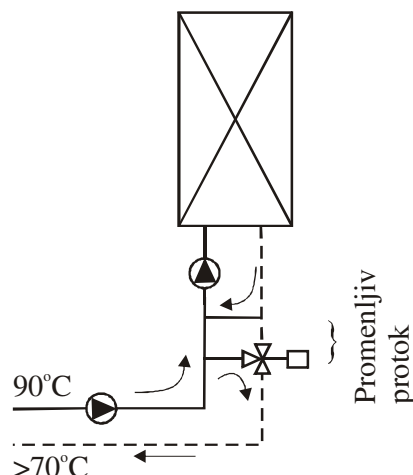
Regulacija odavanja toplote grejača je **kvalitativna** – maseni protok grejnog fluida ostaje konstantan, dok se menja temperatura tople vode na ulazu u grejač:

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

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 7.22a). Trokraki ventil može biti postavljen i u povratnom vodu, spojen kratkom vezom sa razvodnim (slika 7.22c).



Slika 7.22 b Regulacija pomoću mešnog trokrakog ventila i kratkom vezom



Slika 7.22 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:

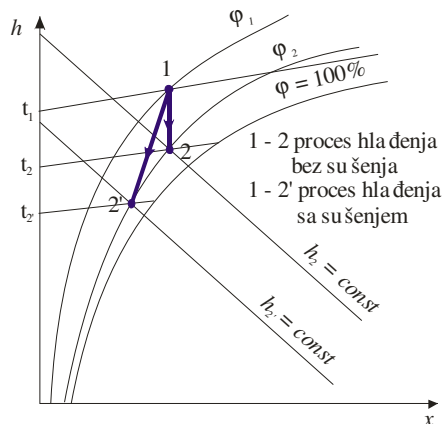
- manja je temperaturska razlika između vazduha i površine hladnjaka

$$\Delta\theta_{HL} = (\theta_{V,sr} - \theta_{W,sr})_{HL} < (\theta_{W,sr} - \theta_{V,sr})_{GR} = \Delta\theta_{GR}$$

~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  $\theta_{TR}$ )
- temperature površine hladnjaka  $\theta_{PH}$ .

Kada je :  $\theta_{TR} > \theta_{PH}$  doći će do izdvajanja vlage iz vazduha prilikom hlađenja, što je prikazano na slici 7.23

Slika 7.23 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  $\theta_{TR}$ )
- temperature površine hladnjaka  $\theta_{PH}$ .

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

Prema vrsti rashladnog fluida hladnjaci se mogu podeliti na:

- Hladnjake sa direktnim isparavanjem**, kada je radni fluid neki od rashladnih fluida (freon, amonijak, CO<sub>2</sub>...) 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 rashladnim fluidom obavezno koriste suprotnosmerno-unakrsno strujanje rashladnog i hlađenog fluida jer je tada veći efekat razmenjene količine toplote.

Uobičajene temperature koje se javljaju prilikom procesa hlađenja su:

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

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

$$\begin{aligned} \text{VODA :} \quad \theta_{W,ul} &= 5 \div 6^\circ C, \\ \theta_{W,iz} &= 11 \div 12^\circ C ; \text{ što daje uobičajenu vrednost } \Delta\theta_w = 5 \div 6^\circ C. \end{aligned}$$

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

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

$$Q = Q_s + Q_l \quad (7.13)$$

$$Q_s = \alpha_s \cdot F \cdot \Delta\theta_m \quad (7.14)$$

$$Q_l = \sigma \cdot F \cdot r \cdot \Delta x_m \quad (7.15)$$

gde su:

$\alpha_s$  - 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)

$\Delta x_m$  - razlika apsolutnih vlažnosti vazduha koji se hladi i zasićenog vazduha na  $t_{PH}$ ,

Korišćenjem Luisovog zakona dobija se izraz:

$$Q = \alpha_s \cdot F \cdot \left( \Delta\theta_m + \frac{r \cdot \Delta x_m}{c_p} \right) = \frac{\alpha_s \cdot F \cdot \Delta h_m}{c_p}, \quad (7.16)$$

gde je:

$\Delta h_m$  - srednja razlika entalpija vazduha koji se hladi i zasićenog vazduha na  $\theta_{PH}$ .

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

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

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

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

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

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

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

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

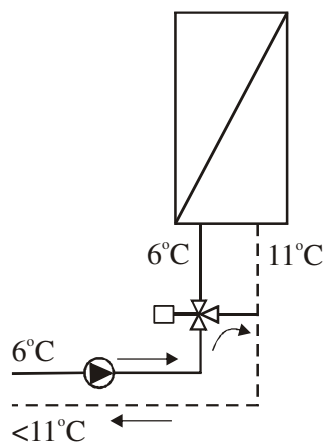
Temperatura isparavanja mora biti iznad 0°C, inače bi došlo do smrzavanja izdvojene vlage iz vazduha, što prouzrokuje:

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

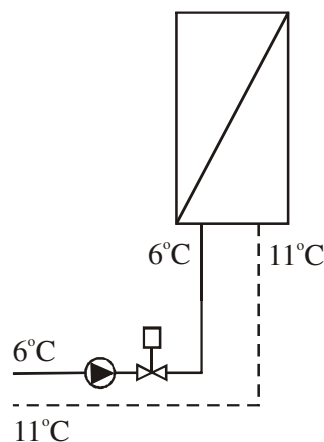
Regulacija rashladnog učinka hladnjaka vrši se *kvantitativno*, promenom protoka rashladnog fluida, dok temperatura na ulazu u hladnjak ostaje nepromenjena:

$$\bullet \quad m_w \neq const, \theta_{w,ul} = const.$$

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 7.24 prikazani su načini kvantitativne regulacije hladnjaka.

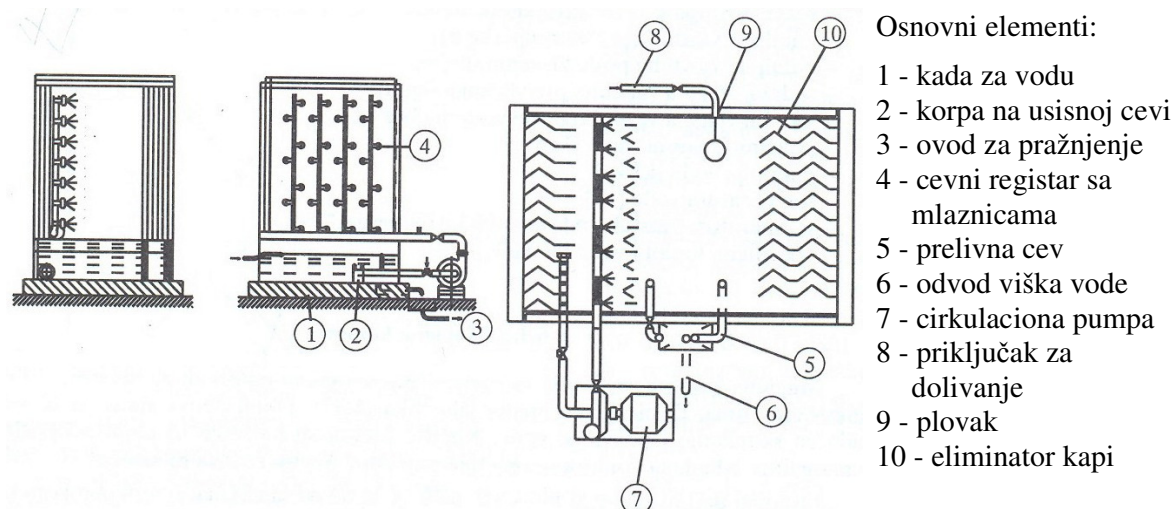


Slika 7.24 a Regulacija pomoću trokutastog ventila koji radi kao razdelni



Slika 7.24 b Regulacija pomoću prigušnog ventila -povećanje prigušenja smanjuje protok

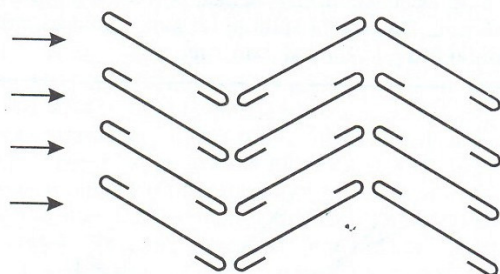
**MAGLENA KOMORA** je deo klima komore u kome se vrši vlaženje vazduha vodom. Maglena komora se sastoji od kućišta od pocinkovanog lima ili nekog veštačkog materijala (plastike). Donji deo maglene komore je kada za skupljanje i dopunu vode. Na jednoj strani maglene komore nalaze se mlaznice čija je uloga 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 7.25.



Slika 7.25 Maglena komora sa osnovnim elementima

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

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



Slika 7.26 Eliminators kapi

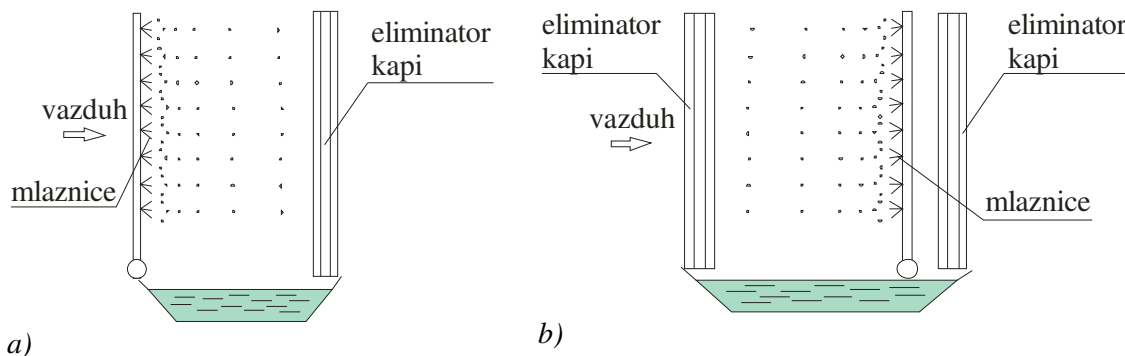
Izlazni presek (a nekada i ulazni) snabdeven je eliminatorom kapi, čija je uloga da izdvoji iz stuje vazduha kapi vode koje nisu isparile. Eliminators kapi je sačinjen od paralelnih ploča u koje udaraju kapljice vode i slivaju se u kadu, dok struja vazduha prolazi kroz eliminators (slika 7.26). Ploče eliminators mogu biti izrađene od pocinkovanog lima ili od nekog veštačkog materijala. Važno je da je materijal eliminators kapi otporan na koroziju.

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

Regulacija vlaženja se može vršiti na dva načina:

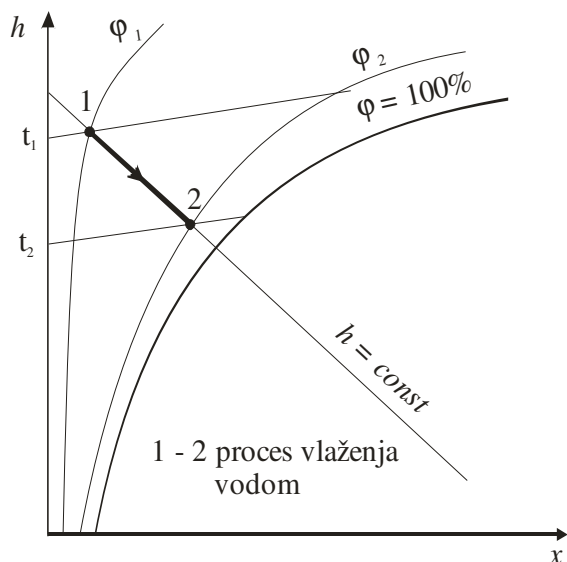
1. Uključivanjem i isključivanjem pumpe (ON/OFF sistem)
2. Delovanjem na ventil na dovodnoj cevi – prigušivanjem (pritvaranjem ventila) smanjuje se protok vode koji dolazi do mlaznica.

Smer strujanja vazduha kroz maglenu komoru može biti istosmeran ili suprotnosmeran (slika 7.27). Pri suprotnosmernom strujanju vazduha, u odnosu na pravac raspršivanja vode, ostvaruje se bolji efekat vlaženja.



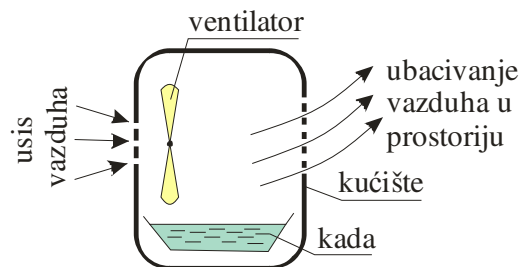
Slika 7.27 Smerovi strujanja vazduha kroz maglenu komoru: a) istosmerni, b) suprotnosmerni

Proces vlaženja vodom u maglenoi 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 7.28 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. 7.29).



Slika 7.29 Lokalni ovlaživač vazduha

S obzirom da se pri procesu vlaženja vodom vazduh hladi (što se vidi sa dijagrama na slici 7.28), 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.

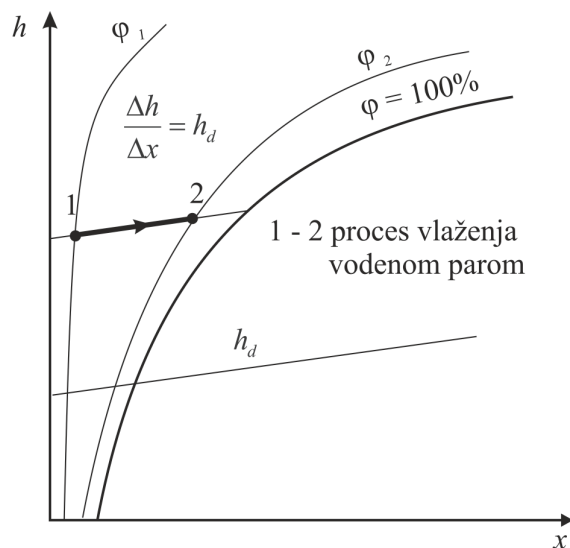
### VLAŽENJE VAZDUHA VODENOM PAROM

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.

Postoji više proizvođača uređaja za vlaženje parom. Jedan od njih je Armstrong, čiji je uređaj prikazan na slici 7.31. 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).



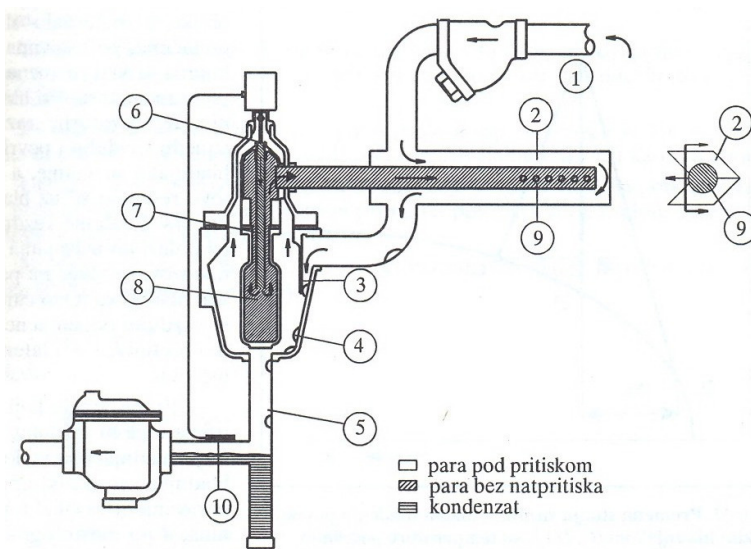
Slika 7.30 Proces vlaženja u h-x dijagramu

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 7.30. U zavisnosti od entalpije vodene pare  $h_d$ , temperatura vazduha nakon vlaženja može da poraste.

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 7.31 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, i solenoidnog ventila na cevovodu za dovod vode, radi dopunjavanja cilindra.

### 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.

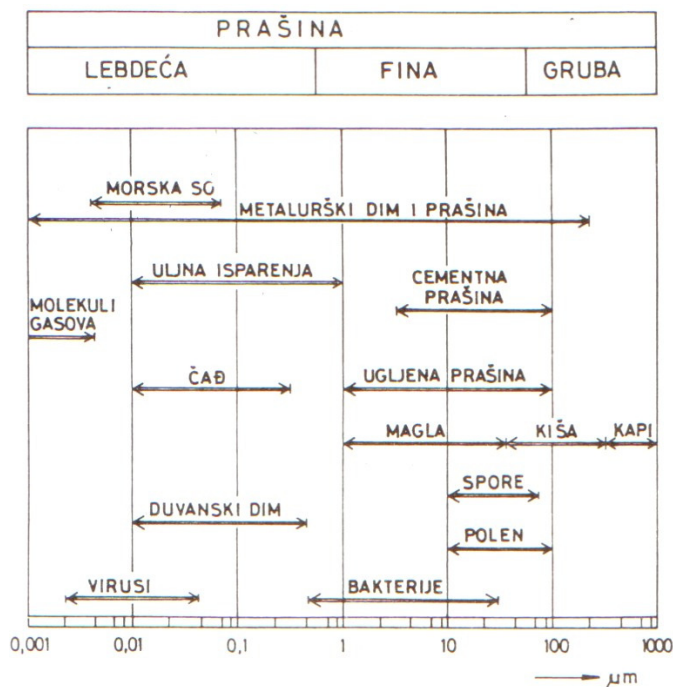
Prečišćavanje vazduha (eliminisanje čvrstih, tečnih i gasovitih nečistoća) može se ostvariti na više načina:

- 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 7.32 prikazane su prosečne veličine najčešćih zagađivača vazduha. Podela prašine prema veličini:

- gruba prašina 50 do 500  $\mu\text{m}$  – lako se taloži;
- fina prašina 0,5 do 50  $\mu\text{m}$  – lagano se talože;
- lebdeća prašina manja od 0,5  $\mu\text{m}$  – ne taloži se već lebdi u vazduhu.



Slika 7.32 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:

$$\eta = \left(1 - \frac{c_{iza}}{c_{ispred}}\right) \cdot 100\% \quad (7.17)$$

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 7.4.

Tabela 7.4 Klasifikacija filtera za vazduh

Klasa filtera	Efikasnost filtera $\eta$	Stepen korisnosti filtera $E_m$	Stara oznaka	Naziv filtera
EU1	$\eta < 65$		A	za grubu prašinu
EU2	$65 \leq \eta < 80$		B <sub>1</sub>	za finu prašinu
EU3	$80 \leq \eta < 90$		B <sub>2</sub>	
EU4	$90 \leq \eta$			
EU5		$40 \leq E_m < 60$	C <sub>1</sub>	visokoučinski filter za finu prašinu
EU6		$60 \leq E_m < 80$	C <sub>2</sub>	
EU7		$80 \leq E_m < 90$		
EU8		$90 \leq E_m < 95$	C <sub>3</sub>	
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  $\mu\text{m}$ ).

#### 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.

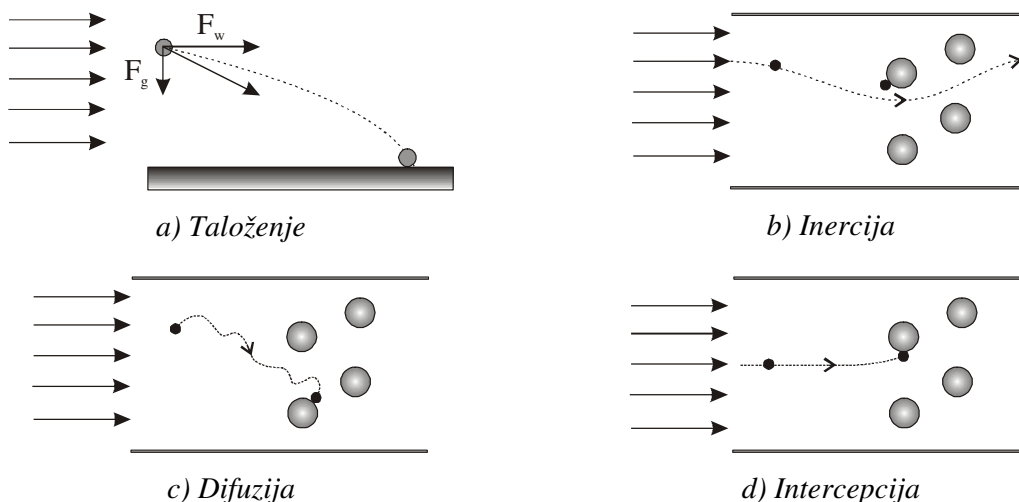
Efekat prosejavanja se koristi za izdvajanje najkrupnijih čestica prašine. Kada je prečnik čestice nečistoće veći od otvora filtera, ta čestica ne može da prođe i zadržava se na filteru.

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 7.33a).

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 7.33b).

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 7.33c). 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 7.33d). Efekat intercepcije naziva se i efekat kačenja.

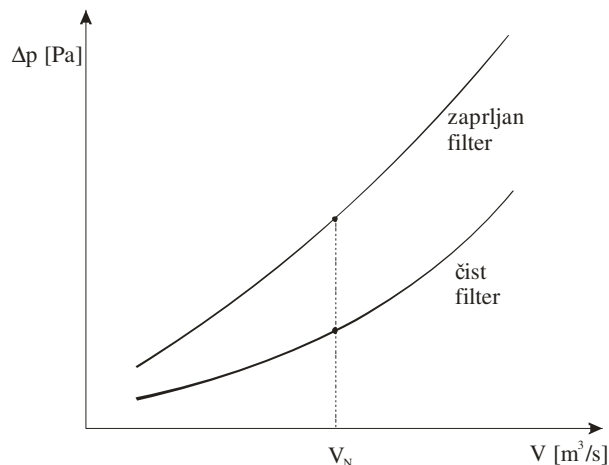


Slika 7.33 Efekti filtriranja

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 7.34 prikazane su krive pada pritiska u funkciji protoka (odnosno brzine strujanja vazduha za filter date geometrije) za čist i zaprljan filter. Za nominalni (projekt)ni 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 7.34 Pad pritiska pri strujanju 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 izvedbe filtera koji se koriste u tehnici ventilacije i klimatizacije:

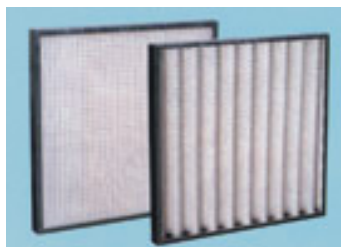
- **Žičani filter** – izrađuje se od isprepletane žice. Broj otvora po  $\text{cm}^2$  može biti različit zavisno od veličine čestica koje treba da izdvoji. Ovo su vrlo grubi filteri i uglavnom imaju zaštitnu funkciju.
- **Kasetni filter** – u metalni ram postavlja se filterski materijal (slika 7.35). 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 7.35). 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.
- **Filter s aktivnim ugljem** – koristi se za izdvajanje gasovitih zagađivača iz vazduha (slika 7.35).



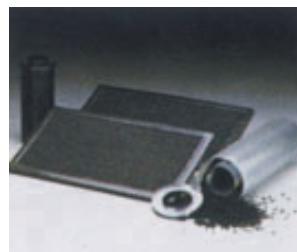
Vrećasti filteri



Vrećasti filter sa 4 ćelije



Kasetni filteri



Filteri sa aktivnim ugljem

Slika 7.35 Vrste filtera

#### 7.4.4 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 pritiska 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 kanalske 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 apsorbuju 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 7.36. 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 7.36 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.



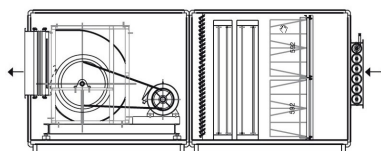
*Slika 7.37 Elementi za regulaciju protoka – na rešetki (levo) i kanalski (desno)*

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 7.38). Postoje čisto ventilacione komore, koje se sastoje samo od ventilatorskih sekcija (kao što je spratna komora prikazana na slici 7.38 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 7.38 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.

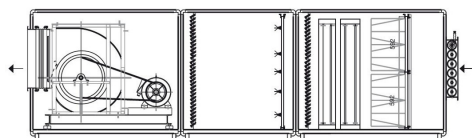
Na slici 7.39 prikazane su dve spratne komore, koje pored navedenih sekcija imaju ugrađen razmenjivač toplote vazduh-vazduh. Ovi razmenjivači toplote (koji su posebno

prikazani na slici 7.40) imaju ulogu korišćenja otpadne toplote, odnosno imaju za cilj uštedu energije.

Horizontalne komore

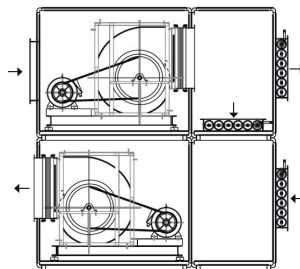


Ventilaciona komora za rad sa SV  
(žaluzine, filter, grejač, hladnjak, ventilator)



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

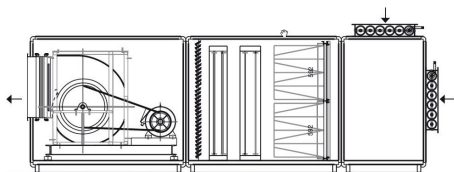
Spratne komore



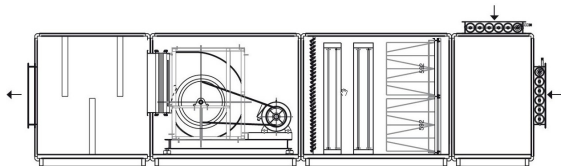
Ventilaciona komora za rad sa SV i RV  
(žaluzine, mešna sekcija MS, potisni ventilator PV i odsisni ventilator OV)

Slika 7.38a Ventilacione komore za rad sa svežim vazduhom

Horizontalne komore

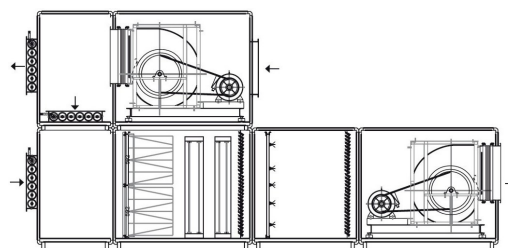


Ventilaciona komora za rad sa SV i RV  
(žaluzine, mešna sekcija, filter, grejač, hladnjak, ventilator)



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

Spratne komore



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

Slika 7.38b Ventilacione komore za rad sa svežim i recirkulacionim vazduhom

Vazduh koji se izvlači iz prostorije, pre nego što se izbací 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 7.39 Izgled komora sastavljenih od različnih sekcija*



*Slika 7.40 Razmenjivači toplote vazduh/vazduh – rotacioni (levo) i unakrsni pločasti (desno)*