

**VENTILACIJA I KLIMATIZACIJA**, postupci dovođenja i odvođenja zraka te održavanje željenoga stanja zraka u zatvorenom prostoru. *Ventilacija* (vjetrenje, provjetravanje) jest odvođenje istrošenog zraka iz zatvorenog prostora i dovođenje svježeg zraka prirodnim ili prisilnim putem radi ugodnijeg, sigurnijeg i neškodljivog boravka osoba ili za potrebe nekog procesa. *Klimatizacija* (kondicioniranje) jest održavanje željene temperature i vlažnosti zraka u zatvorenom prostoru, koje uz ventilaciju obuhvaća i čišćenje, grijanje ili hlađenje te ovlaživanje ili sušenje zraka. Obradba zraka koja obuhvaća samo neke od navedenih postupaka često se također naziva klimatizacijom, što se poglavito odnosi na hlađenje zraka. Svrha je klimatizacije prostora osiguranje ugodne okoline za boravak i rad ljudi te održavanje željenog stanja zraka u prostorijama sa skupljenim predmetima i osjetljivim aparaturnama ili zbog zahtjeva proizvodnog procesa.

Loženje vatre u ljudskim nastambama i s tim povezano odvođenje dimnih plinova kroz slobodni otvor u krovu ili, kasnije, kroz građeni dimnjak predstavljalo je ujedno i prvobitnu ventilaciju. Pretpovijesni rudnici, kakvi su otkriveni u mnogim europskim i sjevernoafričkim zemljama, imali su, radi osiguranja prirodne ventilacije, zračna okna na dijelu potkopa i dubljeg rudarskog hodnika. Poslije se ventilacija rudarskih jama pospješivala uzgonskim djelovanjem stvorenim paljenjem vatre ili spuštanjem *vatrenih kotlova* u okna. Ventilacija vezana uz rudarstvo vjerojatno je najstariji oblik osiguranja određenih uvjeta u čovjekovoj radnoj okolini.

Krajem XV. st. za ventilaciju rudnika upotrebljavale su se i *lutne*, drveni kanali pravokutnog presjeka kojima se zrak ubacivao u rudarske hodnike, tjeran mješovitima s ušća potkopa. Knjiga o rudarstvu i metalurgiji G. Agricole *De re metallica libri XII* (1556) sadrži prikaz različitih uređaja za ventilaciju. Na izvanrednim su crtežima prikazani i drveni, rukom pokretani ventilatori za prisilnu ventilaciju rudnika izrađeni u obliku kola u kućištu.

Najstariji uređaji za ventilaciju kuća pojavljuju se u krajevima s vrućom klimom. U arapskim se zemljama rabe posebni tornjevi kroz koje se djelovanjem vjetra zrak potiskuje, a zatim se prolaskom kroz kanal u zemlji hladi prije uvođenja u kuću.

Rimske kupke (terme) bile su opremljene otvorima za ventilaciju u zidu ispod krova. Ventilacija je služila za odvođenje vlažnog zraka i održavanje željene temperature u kupkama.

U novije doba sustavni pristup ventilaciji prostora započinje u Engleskoj. Engleski graditelj C. Wren uvodi poslije 1666. ventilaciju u zgradu parlamenta u Londonu. Sustav je izmijenjen i poboljšan 1723. uvođenjem *malih vatri*, odnosno ventilacije djelovanjem uzgona. Poslije su provedene nove izmjene i postavljeni ventilatori s ručnim pogonom, a engleski liječnik D. B. Reid postavlja 1836. u posebnu prostoriju vodeni ovlaživač zraka. Tako je bilo omogućeno ovlaživanje i hlađenje (adijabatsko), a zrak se također grijao i filtrirao prolaskom kroz filtre od gaze. Reidov se sustav, premda u potpunosti ne odgovara strogoj definiciji klimatizacije, može smatrati prvim izgrađenim klimatizacijskim uređajem. Hlađenje i odvlaživanje zraka uporabom mehanički pokretanog rashladnog stroja s ekspanzijom zraka ostvario je 1884. američki liječnik J. Gorrie. U svojim radovima on iznosi pogodnosti uporabe odvlaženog i ohlađenog zraka u bolnicama, ali i u stanovima, što je bila klimatizacija u užem smislu. Hlađenje zraka pomoću rashladnog stroja počinje se primjenjivati na prijelazu stoljeća, otkada i počinje pravi razvoj klimatizacije.

Tijekom XIX. st. ispitivala se čistoća, vlažnost i sastav zraka (udio ugljičnog dioksida), te broj izmjena zraka u prostorijama i njihov utjecaj na ljude. U početku su istraživanja bila vezana uz uvjete u bolnicama. Njemački higijeničar M. von Pettenkofer iznosi svoja iskustva u knjizi objavljenoj 1858. pod naslovom *Über den Luftwechsel in Wohngebäuden*. Važnija istraživanja na tom području provode i engleski kemičar H. E. Roscoe i francuski fizičar Pécelet. Određuju se osnovne ventilacijske potrebe u skladu s postavkom da ventilacija treba biti dovoljno obilna, tako da kakvoća zraka u prostoriji zadovoljava komfor i higijenske potrebe, te potrebe osiguranja dobre radne okoline. Te postavke vrijede i danas.

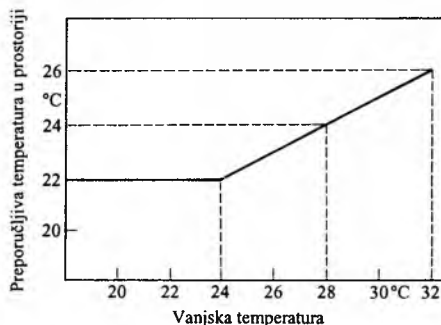
Šira primjena klimatizacije, a time i razvoj industrije uređaja i opreme, započinje u SAD početkom XX. stoljeća. Opći industrijski razvoj i bogatstvo, ali i klimatski uvjeti u južnim i istočnim zemljama pogodovali su uvođenju klimatizacije u radnu okolinu i javne objekte te konačno i u stambene zgrade. Ocem klimatizacije industrijskog doba smatra se W. H. Carrier (1876–1950), osnivač istoimene tvrtke, poznatoga svjetskog proizvođača uređaja za klimatizaciju. Za hlađenje zraka rabe se rashladni strojevi s amonijakom ili ugljičnim dioksidom. Razvijaju se elementi za regulaciju temperature i vlažnosti zraka. Središnju klimatizacijsku jedinicu predstavlja zidana komora. Poslije 1920. pojavljuju se komore od lima, a od 1930. komore se izrađuju i u obliku ormara. Izrađuju se također klimatizacijski uređaji sa svim elementima za pripremu zraka, smještenima u zajedničko kućište. Proizvode se prozorski klimatizatori. U primjenu ulaze *freoni* kao rashladno sredstvo. Gospodarski oporavak nakon Drugoga svjetskog rata daje novi zamah i klimatizacijskoj tehnici. Zapadnoeuropske zemlje i Japan razvijaju vlastitu industriju klimatizacijskih uređaja. Počinje primjena visokotlačne klimatizacije, a uvode se i novi uređaji: dvokanalni, indukcijski, s promjenljivim protokom i drugi.

Osjećaj ugodnosti u fizičkom smislu prilikom boravka u nekom zatvorenom prostoru ovisi u prvom redu o toplinskoj ugodnosti, koja je uvjetovana toplinskom ravnotežom tijela s okolinom. Osnovni su čimbenici koji utječu na toplinsku ugodnost temperatura zraka u prostoriji, srednja temperatura zračenja, vlažnost zraka i brzina strujanja zraka. Osim toga, velik utjecaj imaju i razina tjelesne aktivnosti i toplinski otpor odjeće. Istu ili sličnu razinu ugodnosti pri promjeni jednog čimbenika moguće je održati samo uz promjenu drugoga, a pojedini se čimbenici

mogu mijenjati u međuzavisnim rasponima koji određuju područje ugodnosti.

**Temperatura zraka** mjeri se u visini glave na udaljenosti od najmanje 1m od zidova. Ugodnost boravka u prostoriji ovisi o ujednačenosti te temperature, poglavito u zoni boravka.

Za srednjoeuropsko se područje u zimskom razdoblju preporuča temperatura prostorije od 20–21 °C, te 22 °C za prostorije s prisilnim strujanjem zraka. Preporučena je temperatura prostorije za ljetno razdoblje viša zbog nošenja laganije odjeće i iznosi 22–24 °C. Navedene su temperature prikladne za prostorije u kojima se dugotrajno boravi, sjedi i ne obavlja tjelesni rad. Za prostorije u kojima se boravi kraće i u koje se ulazi neposredno izvana preporučljive su temperature prikazane na slici 1. Za vrućih ljetnih dana, kada je vanjska temperatura viša od 28 °C, prevelika temperaturna razlika može uzrokovati temperaturni šok. Za komforne uvjete ta temperaturna razlika ne smije biti veća od 6 °C.



Sli. 1. Ovisnost preporučljive ljetne temperature zraka u prostoriji o vanjskoj temperaturi

U prostorijama u kojima se obavlja tjelesni rad optimalna je temperatura to niža što je rad naporniji.

**Srednja temperatura zračenja.** Površinska temperatura ploha koje omeđuju prostoriju različita je od površinske temperature ljudskog tijela. Zbog toga nastaje izmjena topline zračenjem i poremećaj toplinske ravnoteže tijela, što utječe na ugodnost. Srednja temperatura zračenja svih ploha u prostoriji određuje se prema izrazu

$$t_z = \frac{\sum A_i t_i}{\sum A_i} \quad (1)$$

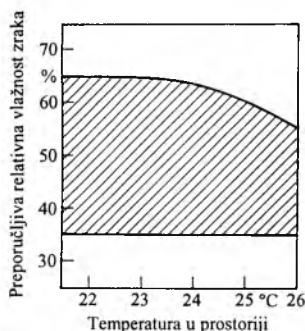
gdje je  $A_i$  površina zida, prozora, radijatora itd. ( $m^2$ ), a  $t_i$  temperatura tih površina (°C). Srednja temperatura zračenja koja je npr. za 1°C niža ili viša od temperature prostorije odražava se na toplinsku ugodnost isto kao kad bi se promijenila temperatura prostorije za 1°C. Da bi se održala ista razina ugodnosti u takvoj prostoriji, potrebno je smanjiti ili povećati srednju temperaturu zraka za 1°C. Navedene vrijednosti temperatura prostorije stoga vrijede kada je srednja temperatura zračenja jednaka ili bliska temperaturi prostorije.

**Vlažnost zraka** pri preporučenoj temperaturi prostorije i srednjoj temperaturi zračenja nema bitnog utjecaja na ugodnost. Pri navedenim temperaturama veoma je malen udio topline koju tijelo izmijeni s okolinom isparivanjem preko kože, pa se promjenom vlažnosti zraka ne remeti bitnije toplinska ravnoteža tijela, a time ni toplinska ugodnost. Na slici 2 dan je raspon preporučljivih vrijednosti za relativnu vlažnost zraka (v. *Sušenje*, TE 12, str. 451; v. *Termodinamika*) prema temperaturi prostorije.

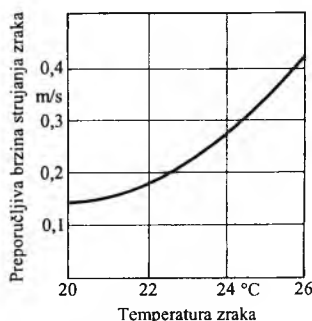
Relativna vlažnost zraka niža od 35% može uzrokovati popratne pojave koje utječu na ugodnost, makar nisu neposredno vezane za toplinsku ugodnost. *Suhi zrak* pospješuje stvaranje čestica koje potječu s površine kože, odjeće, namještaja i posoblja. Pouglenjenjem dijela tih čestica na ogrjevnim površinama stvaraju se plinovi koji iritiraju dišne organe. Suhi zrak također uzrokuje električno nabijanje nekih materijala. Pri relativnoj vlažnosti zraka u prostoriji višoj od 65% može nastati rošenje na hladnijim površinama i stvaranje plijesni.

Poveća li se temperatura prostorije toliko da više ne odgovara kriterijima toplinske ugodnosti, vlažnost zraka postaje bitna za ugodnost. S povećanjem temperature raste i udio topline koju ti-

jelo oslobađa isparivanjem preko kože. Ako se taj proces uspori zbog prevelike vlažnosti zraka, nastaje znojenje. Da bi se održala gornja granica ugodnosti, potrebna je niža vlažnost zraka pri višim temperaturama.



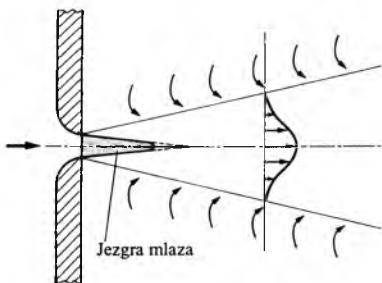
Sl. 2. Područje preporučljivih vrijednosti relativne vlažnosti zraka u ovisnosti o temperaturi prostorije



Sl. 3. Ovisnost najveće preporučljive brzine strujanja zraka o temperaturi

**Brzina strujanja zraka** uz površinu ljudskog tijela utječe na izmjenu topline konvekcijom i isparivanjem te može remetiti toplinsku ravnotežu tijela i okoline, a time i ugodnost. Taj utjecaj ovisi o brzini i smjeru strujanja zraka, te o razlici temperature zraka i površine tijela. Ugodnost se posebno može poremetiti kada zrak niže temperature od temperature prostorije neprekidno struji iz određenog pravca, pogotovo na stražnji dio glave ili na noge, što se često opisuje kao *propuh*. Pri nižim temperaturama već i mala brzina zraka može djelovati neugodno, dok se pri višim temperaturama i uz veće brzine zraka može uspostaviti prihvatljiva ugodnost. Za normalne temperature od 20...22°C preporučljiva brzina zraka iznosi 0,15...0,25 m/s za prostorije u kojima se ne obavlja tjelesni rad i uz frontalno usmjereno strujanje zraka (sl. 3). Uz nepovoljnije uvjete brzina zraka ne bi trebala prelaziti 0,15 m/s. Za temperaturu i brzinu zraka u nekoj prostoriji uzimaju se srednje vrijednosti izmjerene u zoni boravka. Dobri uređaji za ventilaciju ili klimatizaciju daju prostorno i vremenski ujednačene vrijednosti.

**Raspodjela zraka u prostoru.** Osiguranje komfornih uvjeta u prostoru podrazumijeva održavanje temperature i vlažnosti zraka unutar određenih granica, ali i ispunjenje ostalih uvjeta za toplinsku ugodnost, u prvom redu vremensku i prostornu ujednačenost temperature i brzine strujanja zraka u zoni boravka.

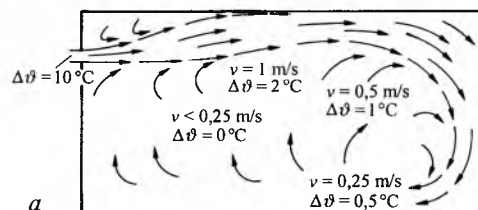


Sl. 4. Slobodni izotermni zračni mlaz

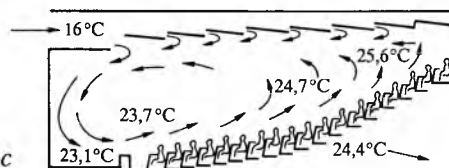
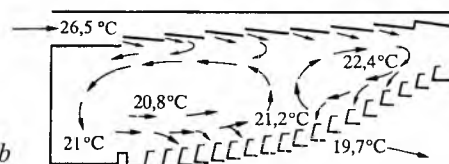
Već prema toplinskom opterećenju, u prostoriju se dovodi zrak s temperaturom jednakom temperaturi prostorije ili različitom od njezine temperature. Ulaženje zraka jednake temperature koje je neometano okolnim zidovima, podom ili stropom odgovara istrujavanju *slobodnog izotermnog zračnog mlaza* (sl. 4). Iza otvora se oblikuje jezgra u kojoj početna brzina mlaza ostaje nepromijenjena. Oko jezgre nastaje pojava koja se naziva *indukcija*, tj. povlačenje okolnog zraka i miješanje ubačenog zraka sa zrakom u prostoriji. Mlaz se dalje slobodno širi, pri čemu se kut širenja ne mijenja. Uzduž putanja mlaza raste ukupna količina zraka koji struji, dok se brzina strujanja smanjuje. Početna kinetička energija mlaza, zbog turbulencije i miješanja s okolnim zrakom, postupno opada s udaljenošću od otvora. Duljina jezgre mlaza i kut širenja ovisi o obliku otvora. Pri istrujavanju iz okruglog otvora duljina jezgre iznosi ~4 promjera otvora, a kut širenja mlaza oko 24°. Uski izduljeni otvor stvara kraću jezgru i veći kut širenja mlaza (~33°). Indukcijski omjer (omjer pokrenute količine zraka prema ubačenoj količini) veći je za izduljene nego za okrugle otvore.

Ako se zrak ubacuje u prostoriju kroz otvor smješten ispod stropa ili iza zid, na strani mlaza uz površinu stropa ili zida indukcija je ograničena. Zbog toga se neposredno iza otvora na strani mlaza uz površinu stvara područje smanjenog tlaka, te mlaz pranja uz površinu. Mlaz se povija prema području gdje postoji smetnja slobodnom strujanju i širenju mlaza.

Ulaženjem zraka kojemu je temperatura viša ili niža od temperature zraka u prostoriji stvara se neizotermni zračni mlaz. Vodravni *slobodni neizotermni zračni mlaz*, temperature više od temperature prostorije, podiže se zbog uzgonskog djelovanja. Ako je temperatura dovedenog zraka niža od temperature prostorije, os mlaza se spušta. Podizanje ili spuštanje mlaza ovisi o brzini strujanja na izlaznom otvoru, veličini i obliku otvora, te o temperaturnoj razlici dovedenog zraka i zraka u prostoriji. Pri ubacivanju toplog zraka odozdo nagore i hladnog zraka odozgo nadolje uzgonsko i inercijsko djelovanje imaju isti smjer, a pri istrujavanju toplog zraka sa stropa ili hladnog zraka s poda uzgonsko i inercijsko djelovanje suprotno su smjera.



Sl. 5. Strujanje zraka i raspodjela temperatura unutar prostorije. a) manja prostorija, b) grijanje, c) hlađenje



Dovođenjem zraka nastoji se postići takva raspodjela zraka koja omogućuje njegovu izmjenu u što većem dijelu prostorije, bez stvaranja zona stagnacije. Na stvarnu sliku strujanja u nekoj prostoriji, osim izmjera, tipa i rasporeda otvora za ulaženje zraka, utječu također oblik, izmjere i oprema prostorije, unutrašnji izvori topline i dr. (sl. 5).

## VENTILACIJA

Ventilacijom se vanjski zrak u prostoriju uvodi neposredno ili se prethodno obrađuje tako da postigne stanje koje ima zrak u prostoriji.

**Potrebna količina svježeg zraka** za ventilaciju prostorije određuje se prema namjeni prostorije, njezinoj veličini ili radnom procesu koji se u njoj provodi. Količina zraka za ventilaciju izražava se brojem izmjena svježeg zraka na sat (tabl. 1) ili količinom svježeg zraka na sat po osobi (tabl. 2).

Količinu zraka za ventilaciju prostorija u kojima se zbiva neki radni proces koji troši zrak (npr. pneumatski transport, izgaranje, odsisavanje para i sl.) određuje tehnološka potreba za zrakom i ona je redovito veća od vrijednosti u tablicama 1 i 2. Ventilacija je potrebna i onda kad se tijekom radnog procesa razvijaju štetni plinovi, pare ili prašina. Tada se potreban protok svježeg zraka određuje na osnovi najvećega dopuštenog stupnja onečišćenja zraka u prostoriji prema izrazu

$$\dot{V} = \frac{K}{k_i - k_a}, \quad (2)$$

gdje je  $K$  količina nastalih štetnih plinova, para ili prašine ( $m^3/h$  ili  $mg/h$ ),  $k_1$  najveća dopuštena količina štetnih sastojaka u zraku prostorije ( $m^3/m^3$  ili  $mg/m^3$ ), a  $k_2$  količina štetnih tvari u zraku koji se dovodi u prostoriju ( $m^3/m^3$  ili  $mg/m^3$ ).

Tablica 1  
PREPORUČLJIVE VRIJEDNOSTI BROJA IZMJENA ZRAKA NA SAT ZA RAZLIČITE PROSTORIJE

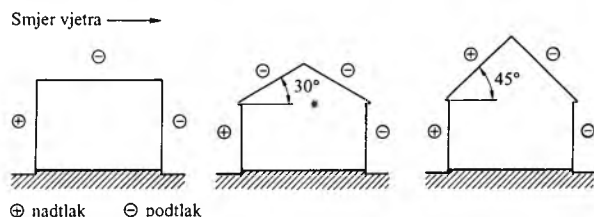
Namjena prostorije	Broj izmjena zraka na sat
Bazeni	3...4
Knjižnice	3...5
Radne prostorije bez posebnog onečišćenja zraka	3...6
Škole	3...6
Garaže	4...5
Uredi	4...8
Trgovine	4...8
Ugostiteljske prostorije	4...8
Kazališne i kinodvorane	4...8
Sanitarne prostorije	4...8
Konferencijske dvorane	6...8
Kuhinje: velike	8...12
srednje	10...20
male	15...30

Ventilacijom se u prvom redu osigurava kakvoća zraka u prostoriji. Pri ulasku u prostoriju ne smije se osjetiti da je zrak ustajao. Izmjena zraka obavlja se *prirodnom* ili *prisilnom ventilacijom* prostorije.

Tablica 2  
PREPORUČLJIVE VRIJEDNOSTI DOBAVE ZRAKA VENTILACIJOM

Obujam prostorije po osobi $m^3$	Količina svježeg zraka po osobi $m^3/h$		
	najmanja	preporučljiva	
		prostorije za nepušače	prostorije za pušače
3	40	60	80
6	25	40	50
9	20	30	40
12	15	20	30

**Prirodna ventilacija** nastaje zbog djelovanja vjetera i razlike gustoće zraka u prostoriji i izvan prostorije. Zrak ulazi u prostoriju, odnosno izlazi iz nje, kroz otvore u građevinskoj konstrukciji. Prozori, vrata ili posebni ventilacijski otvori, koji se mogu otvoriti ili namjestiti, omogućuju kontroliranu prirodnu ventilaciju. Izmjena zraka koja se zbiva nekontrolirano, kroz procjepe na prozorima i vratima, naziva se *infiltracija*.



Sl. 6. Strujanje zraka i tlačno polje oko zgrada različita oblika

Vjeter oko neke zgrade stvara tlačno polje koje je teško definirati zbog utjecaja mnogih čimbenika, kao što su oblik i visina zgrade, vrsta fasade, raspored i oblik susjednih objekata i drugi (sl. 6). Na strani zgrade koja je izložena vjetru stvara se polje povišenog, a na ostalim stranama polje sniženog tlaka. Zbog razlike tlaka kroz otvore na fasadi i unutar zgrade struji zrak. Osim vjetera, na izmjenu zraka djeluje i razlika gustoće zraka u prostoriji i izvan prostorije. U prostoriji koja se zimi grije topliji i lakši zrak diže se pod strop, dok se pri podu uspostavlja pojas hladnijeg zraka, što uzrokuje nadtlak u gornjem i podtlak u donjem dijelu prostorije. U središnjem se dijelu uspostavlja tlačno neutralan pojas. Zbog razlike tlaka hladniji vanjski zrak ulazi u prostoriju kroz otvore ispod neutralnog pojasa, a topliji zrak

izlazi iz prostorije kroz otvore iznad tog pojasa. Ako je unutrašnja temperatura niža od vanjske, proces je obrnut. Izmjena je zraka to izraženija što je veća temperaturna i visinska razlika između otvora. U prostoriji koja nema posebne ventilacijske otvore prirodna se ventilacija obavlja kroz procjepe na prozorima i vratima. Za većinu je stambenih prostorija izmjena zraka kroz procjepe, uz povremenu kratkotrajnu ventilaciju otvaranjem prozora, dovoljna za održavanje povoljnog stanja zraka. U zimskim se uvjetima kroz procjepe obavi 0,3...1 izmjena zraka na sat, već prema veličini i konstrukciji prozora.

Prirodna se ventilacija prostorije pospješuje ugradnjom ventilacijskog okna u gornjem dijelu prostorije. Tako se neutralni pojas pomiče naviše i u cijeloj je prostoriji podtlak (efekt dimnjaka). Uz povoljnu temperaturnu razliku i otvore za dovod zraka pri dnu prostorije, može se postići učinkovita izmjena zraka. Postavljanjem aspiratora (cijevnih produžetaka) na izlazu okna za stvaranje podtlaka dodatno se iskorištava i djelovanje vjetera. Tvorničke hale, ljevaonice, energane i drugi industrijski i gospodarski objekti (v. *Gospodarsko graditeljstvo*, TE 6, str. 154) često imaju prirodnu ventilaciju. Na ravnom ili blago skošenom krovu postavlja se niz kratkih okana ili se izvode otklopni svjetlarnici, razni proizvođači sa žaluzijama i sl.

Učinkovitost prirodne ventilacije ovisi o temperaturnoj razlici unutrašnjeg i vanjskog zraka, te o vjetru. Njezin je učinak promjenljiv, a najmanji je za toplih ljetnih dana, kad je obilna ventilacija obično najpotrebnija. Stoga se prirodna ventilacija primjenjuje u specifičnim slučajevima, obično u prostorijama s velikim unutrašnjim izvorima topline.

**Prisilna ventilacija** temelji se na izmjeni zraka ventilatorom, a razlikuje se odsisna, tlačna i odsisno-tlačna prisilna ventilacija. Odsisnom se ventilacijom zrak odsisava iz prostorije i neposredno ili preko zračnih kanala ventilatorom izbacuje u atmosferu. Zbog nastalog podtlaka u prostoriju ulazi okolni zrak ili zrak iz susjednih prostorija kroz vrata, prozore ili ventilacijske otvore. Takva se ventilacija primjenjuje za manje prostorije. Zbog stvaranja podtlaka posebno je pogodna za prostorije u kojima nastaju neugodni mirisi, pare ili se onečišćava zrak, npr. u kuhinjama, praonicama, garderobama, akumulatorskim stanicama i sl. Tako se uspješno sprečava i širenje nečistog zraka u susjedne prostorije.

Tlačnom se ventilacijom zrak ventilatorom ubacuje u prostoriju. U njoj se stvara nadtlak zbog kojeg unutrašnji zrak istodobno izlazi kroz vrata, prozore ili ventilacijske otvore u susjedne prostorije ili u atmosferu. Tlačnom se ventilacijom sprečava prodor zraka iz susjednih prostorija.

Istodobnom upotrebom ventilatora za ubacivanje i ventilatora za odsisavanje zraka ostvaruje se tlačno-odsisna ventilacija. Primjenjuje se za veće prostorije, pri čemu se prikladnim izborom kapaciteta ventilatora može u prostoriji održavati podtlak ili nadtlak. Osim ventilatora, postavljaju se i kanali za razvođenje zraka s istrujnim i odsisnim otvorima.

Prisilna ventilacija podrazumijeva rad ventilacijskog sustava tijekom cijele godine. Zimi, kad je vanjska temperatura niska, samom ventilacijom ulazio bi u prostoriju hladni, vanjski zrak i remenio ugodnost. Stoga se u tom razdoblju vanjski zrak zagrijava na temperaturu prostorije. Također se po potrebi zrak pročišćava, ovlažuje ili na koji drugi način obrađuje. Grijač zraka, filter za zrak, ventilator i drugi uređaji za obradu zraka sastavni su dijelovi *ventilacijske komore*.

### TOPLINSKO OPTEREĆENJE PROSTORIJE

Toplinsko opterećenje prostorije predstavlja toplinski tok ( $\dot{Q}$ , toplina u jedinici vremena) koji je potrebno dovesti u prostoriju ili odvesti iz nje kako bi stanje zraka u prostoriji ostalo nepromijenjeno. Ono ovisi o vanjskim klimatskim uvjetima i unutrašnjim izvorima topline. Klimatske uvjete određuju vanjska temperatura zraka, brzina vjetera i Sunčevo zračenje, a unutrašnji su izvori topline rasvjeta, uređaji i ljudi. U zimskom razdoblju, kada je za održavanje temperature prostorije potrebno grijanje, toplinsko se opterećenje prostorije određuje prema standardnom proračunu potrebne *topline za grijanje* (v. *Grijanje*, TE 6, str. 277). Na osnovi proračunane potrebne topline u jednom satu biraju se ogrjevna tijela ili određuju karakteristike grijača zraka u pojedinom

sustavu zračnog grijanja, odnosno klimatizacije. U ljetnom je razdoblju iz prostorije potrebno odvoditi toplinu pomoću ohlađenog zraka, pa se za tu toplinu u jedinici vremena upotrebljava i izraz *rashladno opterećenje prostorije*.

Točan proračun toplinskog opterećenja moguće je provesti pomoću jednadžbi toplinske ravnoteže za sve unutrašnje i vanjske plohe prostorije i za zrak u prostoriji. Jednadžbama se obuhvaća izmjena topline konvekcijom, zračenjem i provođenjem za sve plohe prostorije. Točan proračun zahtijeva poznavanje mnogih podataka i praktički je provediv samo uz uporabu računala.

Proračun rashladnog opterećenja pri projektiranju mnogo je jednostavniji i daje približan rezultat, pa se rashladno opterećenje prostorije određuje u prihvatljivim granicama točnosti. U različitim su zemljama prihvaćeni kao norme ili kao preporuke različiti postupci proračuna rashladnog opterećenja. Zajedničko im je to da se rashladno opterećenje prostorije određuje na temelju pojedinačnih doprinosa zbog vanjskih i unutrašnjih toplinskih poremećaja. Posebno se daju podaci o rashladnom opterećenju prostorije zbog provođenja topline kroz osunčani krov, zidove i prozore, zbog Sunčeva zračenja koje prolazi kroz staklo i ulazi u prostoriju, te od vanjskog zraka i unutrašnjih izvora topline (rasvjeta, uređaji, ljudi).

#### Rashladno opterećenje od ravnog krova i vanjskih zidova.

Izmjena topline između vanjske, ravne površine zida ili krova i okolnog prostora posljedica je njihove temperaturne razlike, gibanja zraka, Sunčeva zračenja i međusobnog zračenja. Iz bilance topline (v. *Termodinamika, prijelaz topline*) na vanjskoj površini, zbog izmijenjene topline, gustoća toplinskog toka (toplinski tok po jedinici površine) iznosi

$$\dot{q} = \alpha(\vartheta_v - \vartheta_{pov}) + a_s I - \Delta R, \quad (3)$$

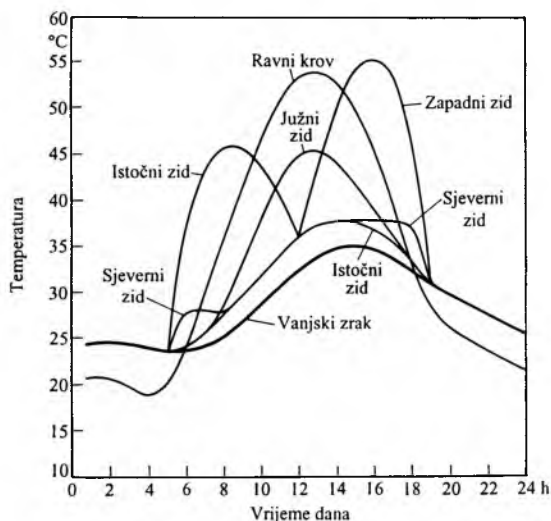
gdje je  $\alpha$  ukupni koeficijent prijelaza topline,  $\vartheta_v$  temperatura vanjskog zraka,  $\vartheta_{pov}$  temperatura vanjske površine zida,  $a_s$  koeficijent apsorpcije površine za Sunčevo zračenje,  $I$  gustoća toplinskog toka Sunčeva zračenja, a  $\Delta R$  gustoća toplinskog toka zbog topline izmijenjene zračenjem između površine i okolnog prostora. Ista se gustoća toplinskog toka može predočiti uvođenjem fiktivne temperature zraka, tzv. *kombinirane vanjske temperature* ( $\vartheta_{kv}$ ), tako da je

$$\dot{q} = \alpha(\vartheta_{kv} - \vartheta_{pov}). \quad (4)$$

Izjednačenjem jednadžbi (3) i (4) dobije se

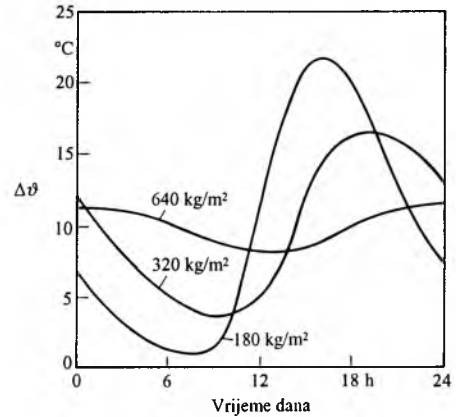
$$\vartheta_{kv} = \vartheta_v + \frac{a_s I}{\alpha} - \frac{\Delta R}{\alpha}. \quad (5)$$

Kombinirana vanjska temperatura predstavlja ujedinjenu funkciju utjecaja Sunčeva zračenja, temperature zraka, zatim vjetra, zračenja između površine i okolnog prostora te karakteristike



Sl. 7. Kombimirana vanjska temperatura tijekom dana za različito orijentirane i svijetlo obojene površine (za 40° sjeverne geografske širine, dana 21. lipnja, koeficijent prijelaza topline na vanjskoj površini 17 W/m²K⁻¹)

površine. Određuje se na osnovi meteoroloških podataka, a njezinim uvođenjem jedinstveno se definiraju događaji na vanjskoj površini zida ili krova i smanjuje se broj ulaznih podataka potrebnih za točan proračun rashladnog opterećenja od krova i vanjskih zidova (sl. 7).



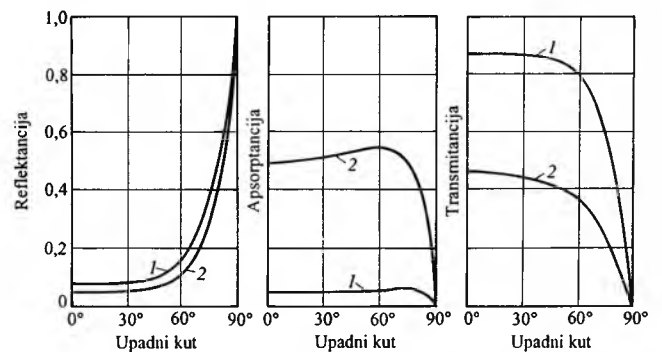
Sl. 8. Temperaturna razlika rashladnog opterećenja za južni zid različite mase po jedinici površine

Za potrebe proračuna pri projektiranju rashladno se opterećenje prostorije određeno točnim proračunom svodi na temperaturnu razliku. To je obično tzv. *temperaturna razlika rashladnog opterećenja* ili *ekvivalentna temperaturna razlika*. Ona se uzima iz standardnih tablica u ovisnosti o koeficijentu prolaza topline, masi krova ili zida, svedenoj na jediničnu površinu, ili o obomu. Periodična promjena temperature na vanjskoj površini zida prenosi se na unutrašnju stranu zida sa smanjenom amplitudom i faznim pomakom. Smanjenje amplitude i fazni pomak ovise o toplinskim svojstvima i masi zida (sl. 8). Prema tome, rashladno opterećenje prostorije zbog toplinskih dobitaka kroz vanjske zidove i krov određuje se za neku prosječnu konstrukciju prema izrazu

$$\dot{Q} = k A \Delta\vartheta, \quad (6)$$

gdje je  $k$  koeficijent prolaza topline,  $A$  površina zida ili krova, a  $\Delta\vartheta$  temperaturna razlika, koja definira rashladno opterećenje određenog zida ili krova.

**Rashladno opterećenje od prozora** može se pojednostavnjeno razložiti na rashladno opterećenje zbog temperaturne razlike vanjskog zraka i prostorije i rashladno opterećenje zbog Sunčeva zračenja. Dobitak topline kroz prozore zbog temperaturne razlike određuje se jednako kao i za vanjski zid ili krov.



Sl. 9. Ovisnost reflektancije, apsorptancije i transmitancije o upadnom kutu Sunčeva zračenja za obično (1) i apsorptivno staklo (2)

Sunčevo zračenje na vanjsku površinu stakla dijelom se reflektira od stakla, dijelom se apsorbira u njemu, a dijelom prolazi kroza nj u prostoriju (v. *Optika*, TE 9, str. 656), što ovisi o svojstvima stakla i upadnom kutu Sunčeva zračenja (sl. 9). Dio Sunčeva zračenja koji se apsorbira u staklu, a zatim prenosi konvekcijom i zračenjem u prostoriju, te dio koji neposredno ulazi kroz staklo u prostoriju mogu se u obliku gustoće toplinskog toka izračunati pomoću izraza

$$\dot{q} = I f, \quad (7)$$

gdje je  $I$  gustoća toplinskog toka Sunčeva zračenja na vanjsku površinu prozora, a  $f$  koeficijent toplinskog dobitka (omjer dobitka topline prostorije zbog Sunčeva zračenja i topline od ukupnoga Sunčeva zračenja na prozor), što je karakteristika pojedinog tipa prozora. Toplinski dobitak može se također odrediti pomoću tabličnih podataka za neki referentni prozor (npr. prozor s jednostrukim običnim staklom), koji se množe s faktorom zasjenjenja ili faktorom propuštanja pojedinog tipa prozora.

Tako određeni toplinski dobitak prostorije zbog Sunčeva zračenja na prozor nije ujedno i rashladno opterećenje prostorije. Sunčevo se zračenje apsorbira u prvom redu na površini poda, a tek zatim poraste temperatura podne površine i progrijava se podna konstrukcija. Rashladno opterećenje prostorije mijenja se, dakle, s vremenskim pomakom i određuje množenjem dobitka topline s faktorom rashladnog opterećenja ili koeficijentom akumulacije za Sunčevo zračenje.

**Rashladno opterećenje od vanjskog zraka.** I vanjski zrak, koji ventilacijom ili infiltracijom ulazi u prostoriju, utječe na rashladno opterećenje prostorije. Razlikuju se osjetna i latentna toplina zraka. *Osjetna toplina* potječe od toga što je temperatura vanjskog zraka veća od temperature zraka u prostoriji, a tzv. *latentna toplina* potječe od toga što je vlažnost vanjskog zraka veća od vlažnosti zraka u prostoriji, pa je to, zapravo, toplina koju treba potrošiti na sušenje zraka. Prema tome, rashladno opterećenje zbog osjetne topline iznosi

$$\dot{Q}_{os} = \dot{V} c_p \rho (\vartheta_v - \vartheta_p), \quad (8)$$

a zbog latentne topline

$$\dot{Q}_l = \dot{V} p r (x_v - x_p), \quad (9)$$

gdje je  $\dot{V}$  objamni protok zraka koji se unosi u prostoriju,  $c_p$  specifični toplinski kapacitet zraka,  $\rho$  gustoća zraka,  $\vartheta_v$  i  $\vartheta_p$  temperatura vanjskog zraka i zraka u prostoriji,  $r$  toplina isparivanja vode, a  $x_v$  i  $x_p$  apsolutna vlažnost vanjskog zraka i zraka u prostoriji (maseni omjer vode i zraka).

**Rashladno opterećenje od rasvjete.** Energija rasvjete pretvara se u toplinu. Rashladno opterećenje prostorije od rasvjete jednako je umnošku snage rasvjete i faktora rashladnog opterećenja za rasvjetu. Toplina od rasvjete prenosi se na okolinu konvekcijom i zračenjem. Toplina u jedinici vremena prenijeta konvekcijom na okolni zrak trenutno je rashladno opterećenje prostorije, dok se ona predana zračenjem apsorbira na okolnim površinama (pod, zidovi, namještaj) i akumulira u konstrukciji, pa povećava rashladno opterećenje s vremenskim pomakom. Rasvjetna tijela ugrađena u otvore za odsis zraka iz prostorije mogu znatno smanjiti rashladno opterećenje prostorije od rasvjete.

**Rashladno opterećenje od uređaja.** Mnogi uređaji u radu proizvode i šire konvekcijom i zračenjem osjetnu toplinu, a neki proizvode i latentnu toplinu, pa ona trenutno i s vremenskim pomakom povećava rashladno opterećenje prostorije.

**Rashladno opterećenje od ljudi** ovisi o dobi, masi, odjeći, razini aktivnosti i stanju okoline u kojoj osoba boravi (tabl. 3).

Tablica 3

PROSJEČNA PREDANA TOPLINA KAO POSLJEDICA AKTIVNOSTI LJUDI

Aktivnost*	Ukupna predana toplina W	Osjetna toplina W	Latentna toplina W
Sjedenje	105	70	35
Sjedenje i lagan rad	115	70	45
Lagan rad: u prodavaonici	130	75	55
u banci	145	75	70
u tvornici	220	80	140
Ples	250	90	160
Rad uz stroj	295	110	185
Teži rad	425	170	255
Vrlo težak rad	470	185	285
Šport	525	210	315

\*temperatura prostorije 24 °C

Razlikuje se osjetna toplina predana konvekcijom i zračenjem s površine tijela, te latentna toplina predana okolini ishlapljivanjem preko kože i disanjem.

**Ukupno rashladno opterećenje prostorije** zbroj je pojedinačnih rashladnih opterećenja u pojedinom razdoblju dana. Za dimenzioniranje sustava kojim se održava određeno stanje u prostoriji potrebno je odrediti vrijeme u kojem se javlja najveće ukupno rashladno opterećenje prostorije te njegov iznos. Unutrašnji izvori topline rade poglavito u dnevnim ciklusima koji su približno jednaki tijekom cijele godine. Stoga su za određivanje vremena u kojem nastaje najveće rashladno opterećenje većinom mjerodavni vanjski izvori topline.

U našim je krajevima najveće rashladno opterećenje tijekom ljetnih mjeseci (lipanj, srpanj, kolovoz), a za neke lokacije i specifične objekte također u svibnju i rujnu. Proračun kapaciteta uređaja temelji se na procijenjenom najvećem rashladnom opterećenju određene prostorije tijekom jednog sata za odabrani mjesec. Ako isti uređaj služi za više različitih prostorija, kapacitet uređaja ovisi o najvećem zbroju pojedinačnih trenutnih rashladnih opterećenja svih prostorija.

**Potrebna količina i parametri zraka za reguliranje stanja u prostoriji.** Količina zraka potrebna za reguliranje osjetnog toplinskog opterećenja prostorije određuje se iz izraza

$$\dot{V} = \frac{\dot{Q}_{os}}{c_p \rho \Delta \vartheta}, \quad (10)$$

gdje je  $\Delta \vartheta$  razlika temperature zraka u prostoriji i zraka koji se uvodi u prostoriju ventilacijom ili klimatizacijom, a ostale su oznake kao u izrazu (8). Očito je da količina zraka bitno ovisi o razlici temperature uvedenog zraka i zraka u prostoriji. Veća temperatura razlika znači manju količinu zraka, a time i manje izmjere uređaja i instalacije, i obrnuto. Ako se u prostoriju ubaci manja količina zraka uz veću temperaturnu razliku, može se uvelike poremetiti ugodnost, jer će se ljeti hladna zračna struja u zoni boravka spuštati, a zimi će se topla zračna struja podizati iznad zone boravka. Ako se u prostoriju ubaci veća količina zraka uz manju temperaturnu razliku, može se uzrokovati prejako strujanje zraka u zoni boravka. Stoga se izbor odgovarajuće temperaturne razlike provodi u skladu s izmjerama prostorije te razmještajem i karakteristikama elemenata za strujanje zraka. Preporučljiva temperaturna razlika za ljetno razdoblje iznosi 6...8 °C, a za zimsko i do 30 °C, pa se potrebna količina zraka određuje prema ljetnim uvjetima. Proračunana ukupna količina zraka ne smije biti manja od količine potrebne za ventilaciju prostorije.

Količinom i odgovarajućom temperaturom zraka koji se uvodi u prostoriju regulira se temperatura prostorije. Za istodobnu regulaciju vlažnosti zraka u prostoriji potrebno je ovlažiti ili odvlažiti zrak koji se uvodi, kako bi se kompenzirao utjecaj latentnog opterećenja prostorije. Apsolutna vlažnost tog zraka iznosi

$$x = x_p - \frac{\dot{Q}_l}{\dot{V} p r}, \quad (11)$$

gdje je  $x$  apsolutna vlažnost zraka koji se uvodi u prostoriju ventilacijom ili klimatizacijom, a ostale su oznake kao u izrazu (9).

### UREĐAJI ZA OBRADBU ZRAKA

Uređaji za obradbu zraka jesu uređaji za transport, čišćenje, zagrijavanje, hlađenje, vlaženje i sušenje zraka. Ti su uređaji, ili samo neki od njih, sastavni elementi ventilacijskih i klimatizacijskih sustava.

**Uređaji za transport zraka** kroz ventilacijski ili klimatizacijski sustav jesu ventilatori (v. *Ventilator*). Ventilator može biti i jedini element ventilacijskog sustava.

**Uređaji za čišćenje zraka.** Za čišćenje zraka u ventilacijskim i klimatizacijskim sustavima služe elektrofiltri i mehanički filtri za zrak (v. *Čišćenje plinova*, TE 3, str. 115) te adsorberi s aktivnim ugljenom (v. *Adsorpcija*, TE 1, str. 1). Najčešće se upotrebljavaju mehanički vlaknasti filtri izrađeni od staklenih, polimernih, mineralnih, celuloznih ili metalnih vlakana ili vlakana od metalnih oksida. Filtri mogu biti u obliku ravnih ploča, vreća ili s



višestruko presavijenim filtarskim materijalom. Od filtarskog materijala postavljenog u okvir izrađuju se filtarske ćelije standardnih izmjera, a njihovim slaganjem nastaju zidni, stropni ili kanalni filtri. Automatski filtri sastoje se od filtarskog materijala u obliku trake koja se premata s jednog valjka na drugi u određenim vremenskim intervalima ili u ovisnosti o padu tlaka u filtru.

**Izmjenjivači topline** koji služe za grijanje i hlađenje zraka najčešće su oni s unakrsnim strujanjem (v. *Rashladna tehnika*, TE 11, str. 460; v. *Termodinamika, prijenos topline*). Sastoje se od jednog ili više redova cijevi s lamelama (rebrima). Zrak struji između lamela i oko cijevi kojima prolazi sredstvo za grijanje ili hlađenje zraka. Sredstvo za grijanje je para, vrela ili topla voda te proizvodi izgaranja (dimni plinovi), a upotrebljavaju se i električni grijači zraka. Rashladno je sredstvo najčešće voda, a za temperature niže od 0°C mješavina glikola i vode ili solna otopina (rasolina).

Pri prolazu kroz grijač povećava se temperatura zraka, dok udio vlage u zraku ostaje nepromijenjen. Hlađenje zraka zbiva se na isti način ako je površinska temperatura hladnjaka viša od rosišta zraka na ulazu u hladnjak. Međutim, kad je površinska temperatura hladnjaka niža od rosišta zraka na ulazu u hladnjak, pri hlađenju se izdvaja vlaga. Po ulasku u hladnjak temperatura zasićenja i početak rošenja vodene pare sadržane u zraku dostiže samo dio zraka koji struji neposredno uz hladne površine izmjenjivača. Daljim prolaskom kroz hladnjak sve veći dio zraka dostiže temperaturu zasićenja.

**Ovlaživači zraka** povećavaju vlažnost zraka posrednim dovođenjem vlage ishlaplivanjem vode ili neposrednim unošenjem vodene pare.

**Ovlaživači s ishlapljivanjem.** Ovlaživanje zraka ishlapljivanjem vode ostvaruje se raspršivanjem vode ili prevođenjem zraka preko površine vode, odnosno ovlažene čvrste površine. Pritom voda najčešće cirkulira kroz uređaj i vraća se u spremnik.

Voda se raspršuje na sapnicama pomoću pumpe ili komprimiranog zraka te centrifugalnim raspršivačima s rotirajućim diskom, a izrađuju se i ultrazvučni raspršivači vode. Prevođenjem zraka preko površine vode ili ovlažene čvrste površine voda ishlapljuje na kontaktnoj površini (*kontaktne ovlaživači*). Voda se obično slijeva ili prska po poroznom materijalu ili se ovlaživač sastoji od kapilarno ovlaženih ploča uronjenih u vodu, te diskova ili bubnjeva koji se sporo okreću. Radi boljeg ishlapljivanja voda se može grijati.

Zbog gubitka topline potrebne za ishlapljivanje voda se postupno hladi. Kad je temperatura vode u spremniku niža od početne temperature zraka, ovlaživanjem se zrak i hladi jer toplina sa zraka prelazi na vodu. Temperatura vode smanjuje se do stanja u kojem količina topline prenesena sa zraka na vodu odgovara upravo latentnoj toplini potrebnoj za ishlapljivanje. Voda u spremniku ovlaživača s recirkulacijom vode postiže u stacionarnom stanju temperaturu granice hlađenja, odnosno temperaturu vlažnog termometra. Entalpija zraka ostaje u takvu procesu ovlaživanja nepromijenjena, pa se radi o *adijabatskom vlaženju* (v. *Sušenje*, TE 12, str. 453). Takvo se ovlaživanje katkad primjenjuje i samo za hlađenje zraka.

Ovlaživanje se može provesti i dovođenjem na sapnice hladne ili tople vode. Tada se ovlaživanje razlikuje od adijabatskog procesa, a stanje zraka na izlazu ovlaživača ovisi i o ulaznoj temperaturi vode. Isti učinak moguće je postići i u ovlaživaču s recirkulacijom vode ako se voda iz spremnika provede kroz izmjenjivač topline u kojem se hladi ili grije.

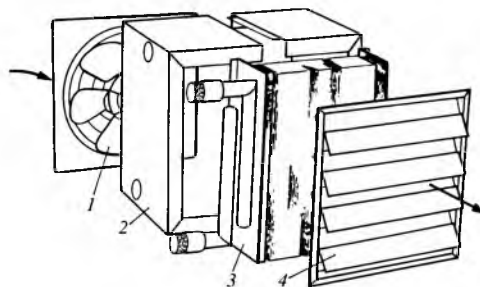
Osim vodom, zrak se ovlažuje i neposrednim dodavanjem vodene pare proizvedene u kotlu ili u posebnim uređajima koji služe samo za potrebe ovlaživanja. Ovlaživanje parom primjenjuje se kada zrak treba biti vrlo čist, npr. u bolnicama.

**Odvlaživači zraka** služe za smanjenje udjela vlage u zraku, a rade na principu hlađenja zraka s izdvajanjem vlage (v. *Sušenje*, TE 12, str. 453) ili sušenja zraka pomoću tekućih higroskopskih tvari (v. *Apsorpcija plinova*, TE 1, str. 324) ili čvrstih higroskopskih tvari kao što je silika-gel (v. *Adsorpcija*, TE 1, str. 1). U neprekidnom procesu sušenja higroskopska se tvar regenerira grijanjem.

**Uređaj za grijanje zraka i ventilaciju** sastoji se od grijača zraka i ventilatora s elektromotorom, a već prema tipu uređaja i namjeni može imati i dodatne elemente. Pod grijanjem zraka razu-

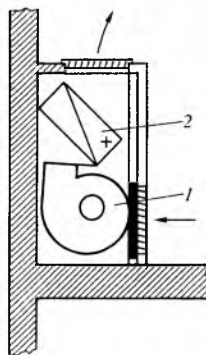
mijeva se grijanje samo optočnog zraka, bez dodavanja vanjskog zraka. Uzimanjem vanjskog zraka samo dijelom ili u potpunosti te njegovim zagrijavanjem ostvaruje se zračno grijanje i ventilacija. Rad uređaja s vanjskim zrakom bez grijanja, npr. rad u prijelaznom i ljetnom razdoblju, osigurava ventilaciju prostorije. Uređaj se može izgraditi tako da služi samo za zračno grijanje ili tako da omogućuje grijanje i ventilaciju prostorije. Od takvih su uređaja poznati kalorifer, ventilokonvektor, termogen te središnja jedinica za zračno grijanje i ventilaciju.

**Kalorifer** služi za zračno grijanje i ventilaciju radionica, skladišta i sličnih prostorija industrijske namjene (sl. 10). Postavlja se na zid ili strop. Sredstvo za grijanje može biti para, vrela i topla voda ili se zagrijava električnom energijom. Na izlazu kalorifera prigraduju se elementi za raspodjelu i usmjeravanje zraka, kako bi se osigurali potreban domet mlaza i prikladna brzina strujanja zraka u zoni boravka. Na ulaznoj se strani postavljaju nastavci za uzimanje zraka iz prostorije ili izvana, kutije za miješanje vanjskog i unutrašnjeg zraka, filter za zrak i drugi elementi.

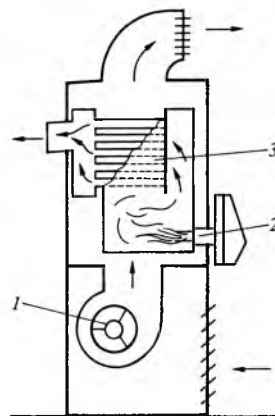


Sl. 10. Kalorifer. 1 ventilator s elektromotorom, 2 kućište, 3 grijač, 4 izlazna rešetka

**Ventilokonvektor** se rabi za zračno grijanje i ventilaciju ureda, hotela, škola, restorana i sl. Sredstvo za grijanje obično je topla voda. Izrađuje se kao stojeći, za ugradnju na pod, ili ležeći, za ugradnju pod strop, te s vlastitim kućištem ili bez njega (sl. 11). Uređaj bez kućišta posebno se *maskira* ugradnjom u elemente za unutrašnje uređenje prostorije ili u spuštenu strop te izradbom posebnog kućišta prilagođenog prostoru. U ventilokonvektor ugrađuje se ventilator niskog šuma sa stupnjevitom promjenom brzine vrtnje. Stojeća izvedba osigurava temperiranje prostora i bez rada ventilatora zbog uzgona i konvekcijskog zagrijavanja zraka.



Sl. 11. Stojeći ventilokonvektor. 1 ventilator, 2 grijač



Sl. 12. Termogen. 1 ventilator, 2 plamenik, 3 izmjenjivač topline

**Termogen** sadrži uljni ili plinski grijač zraka. Gorivo izgara u tlačnom plameniku s ventilatorom, a u uređajima manjeg kapaciteta plin izgara i u atmosferskom plameniku. Proizvodi izgaranja goriva prolaze kroz cijevi izmjenjivača topline, a zrak koji se zagrijava struji poprečno na cijevi (sl. 12). Termogen služi za grijanje i ventilaciju hala, dvorana, radionica i sl. Obično se postavlja samostalno u prostoriju s istrujavanjem zraka kroz rešetke ili se spaja na kanalni razvod zraka.

**Središnja jedinica za zračno grijanje i ventilaciju** izrađuje se kao ormarasti i modularni uređaj. Elementi su ormarastog uređaja

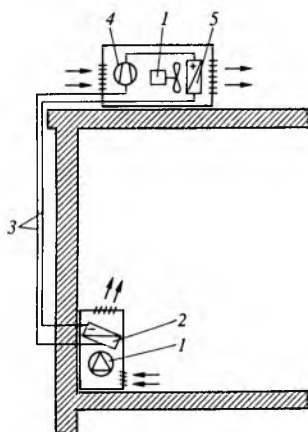
kućište s ventilatorom, grijač, filter i upravljački sklop, a može se ugraditi i ovlaživač. Izrađuje se za veće protoke zraka do 20 000 m<sup>3</sup>/h. Postavlja se slobodno u prostoriju ili se spaja na kanalni razvod zraka.

Modulni se uređaj sastoji od pojedinačnih elemenata koji se slažu u cjelinu. Sklopljena cjelina naziva se *komora* (za ventilaciju, za zračno grijanje itd.). Komore se izrađuju za protoke zraka do 100 000 m<sup>3</sup>/h. Za veće se kapacitete pojedinačni elementi smještaju u posebnu *zidanu komoru*. Komora može biti stojeća i ležeća te s priključcima za spajanje na kanalni razvod zraka.

**Uređaj za hlađenje zraka i ventilaciju** sastoji se od hladnjaka zraka te ventilatora s elektromotorom, a već prema tipu i namjeni može se opremiti i drugim elementima. Sredstvo je za hlađenje hladna voda ili radna tvar u isparivaču (hladnjaku s neposrednim isparivanjem). Razlikuju se dvije skupine takvih uređaja. U prvoj su skupini oni u kojima rashladni stroj nije dio nerazdvojne funkcionalne cjeline, a u drugoj su uređaji sa čvrsto ugrađenim rashladnim strojem.

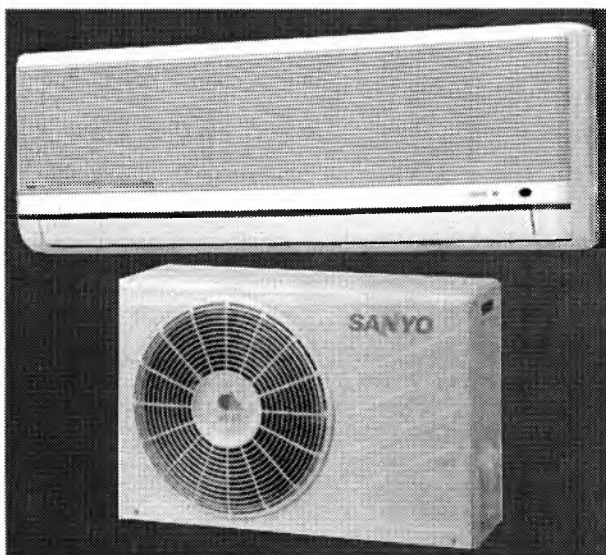
Uređaji prve skupine jesu ventilokonvektor i središnja jedinica za hlađenje zraka i ventilaciju (ormar i komora), u koje je ugrađen hladnjak ili u kojima promjenom sredstva grijač postaje hladnjakom. Također, svaki uređaj za grijanje zraka u koji je osim grijača ugrađen i hladnjak ujedno je i uređaj za hlađenje zraka.

Uređaji za hlađenje zraka i ventilaciju s ugrađenim rashladnim strojem jesu prozorski klimatizator, dvodijelni rashladni uređaj, ormar za hlađenje zraka i krovna centrala.



Sl. 13. Dvodijelni rashladni uređaj. 1 ventilator, 2 isparivač, 3 cijevi za rashladno sredstvo, 4 kompresor, 5 kondenzator

*Prozorski klimatizator* sastoji se od kompresora, isparivača i zrakom hlađenog kondenzatora (v. *Električni kućanski strojevi*, TE4, str. 86), te dvaju ventilatora sa zajedničkim ili posebnim elektromotorima. Ugrađuje se u prozor ili zid tako da je dio kućišta s kompresorom, kondenzatorom i jednim ventilatorom iz-

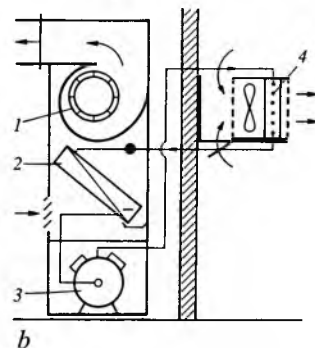
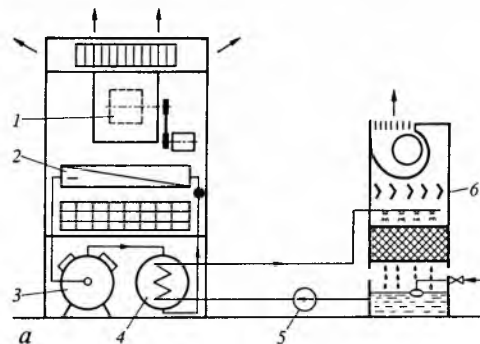


Sl. 14. Unutrašnja i vanjska jedinica zidnog dvodijelnog rashladnog uređaja

van, a dio s isparivačem i drugim ventilatorom unutar prostorije. Sličan je i uređaj koji se cio postavlja u prostoriju i spaja pomoću savitljive dvostrukre cijevi na otvor u prozoru ili zidu. Kroz cijev se uzima i izbacuje zrak za hlađenje kondenzatora. Prozorski klimatizator može služiti i za grijanje ako se opremi električnim grijačem zraka ili izvede kao dizalica topline.

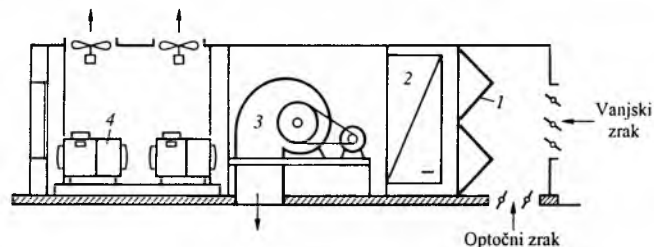
*Dvodijelni rashladni uređaj* sastoji se od vanjske jedinice s kompresorom i zrakom hlađenim kondenzatorom, te jedinice koja se postavlja u prostoriju s ventilatorom i isparivačem (sl. 13 i 14). Unutrašnja je jedinica po izgledu i načinu postavljanja slična ventilokonvektoru. Na vanjsku se jedinicu može spojiti i više unutrašnjih jedinica.

*Rashladni ormar* sadrži u gornjem dijelu ventilator s elektromotorom i isparivač, a u donjem dijelu kompresor. Uz kompresor se postavlja i kondenzator kada za odvođenje topline služi voda iz vodovoda ili optočna voda koja se hladi u posebnom uređaju. Zrakom hlađeni kondenzator s posebnim ventilatorom također se može ugraditi u rashladni ormar ili se postavlja zajedno s ventilatorom izvan ormara (sl. 15). Rashladni se ormar može opremiti i grijačem zraka, ovlaživačem, filtrom i drugim elementima.



Sl. 15. Rashladni ormar s kondenzatorom hlađenim vodom (a) i hlađenim zrakom (b). 1 ventilator, 2 isparivač, 3 kompresor, 4 kondenzator, 5 pumpe, 6 uređaj za hlađenje rashladne vode (rashladni toranj)

*Krovna centrala* za hlađenje zraka i ventilaciju izrađuje se u modulnoj ili blokovskoj izvedbi s posebnom zaštitom, tako da se može postaviti na ravni krov, a na nju se spaja kanalni razvod zraka unutar objekta. Kondenzator se obično hladi zrakom (sl. 16). Kao i drugi uređaji, i krovne se centrale mogu opremiti tako da omogućuju grijanje zraka, ovlaživanje i dr.



Sl. 16. Krovna centrala za hlađenje zraka i ventilaciju. 1 filter, 2 isparivač, 3 ventilator, 4 kompresor

**Uređaj za klimatizaciju** omogućuje dobavu, pročišćavanje i obradbu zraka grijanjem, hlađenjem, ovlaživanjem ili odvlaživanjem. Tako se održava željena temperatura i vlažnost zraka te osigurava ventilacija prostorije. Uređaj za klimatizaciju izrađuje se kao klimatizacijski ormar, klimatizacijska komora i klimatizacijska krovna centrala.

## KLIMATIZACIJSKI SUSTAVI

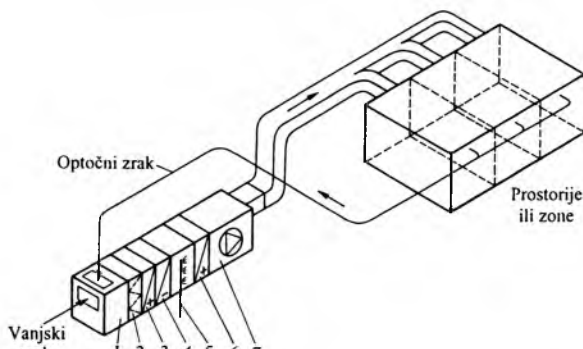
Klimatizacijski sustav obuhvaća uređaje i pomoćne elemente koji povezani u funkcionalnu cjelinu služe za održavanje stanja zraka u nekom prostoru unutar zadanih granica. Osim uređaja za transport i pročišćavanje zraka, sustav svakako sadrži i uređaje za četiri osnovna postupka pripreme zraka: grijanje, hlađenje, ovlaživanje i odvlaživanje. Često se u klimatizacijske sustave svrstavaju i sustavi za djelomičnu klimatizaciju koji omogućuju provedbu samo dvaju ili triju osnovnih postupaka za pripremu zraka.

Klimatizacijski se sustavi mogu klasificirati prema nekoj karakteristici uređaja, broju kanala za zrak, tlaku koji stvara ventilator, mogućnosti promjene protoka zraka, no najčešća je podjela prema sredstvu kojim se održava stanje zraka u prostoriji, i to na zračni, zračno-vodeni i vodeni sustav.

**Zračni sustav** regulira ukupno (osjetno i latentno) toplinsko opterećenje i održava željeno stanje u nekom prostoru promjenom stanja ili količine zraka koji se u nj ubacuje. Zračni sustav može biti *jednokanalni* i *dvokanalni*. U jednokanalnom se zrak priprema prolaskom kroz grijač i hladnjak koji su postavljeni u seriju, a zatim se dovodi jednim kanalom do pojedinih prostorija, pa je stanje zraka jednako pred svakom prostorijom. U dvokanalnom se sustavu grijač i hladnjak postavljaju usporedno, pa se topli i hladni zrak razvode posebnim kanalima, a miješaju se pred svakom prostorijom. Varijanta je dvokanalnog sustava *višezonski sustav*. Struje hladnog i toplog zraka miješaju se posebno za svaku prostoriju na izlazu središnje komore za pripremu zraka, a zatim se zrak razvodi do pojedine prostorije jednim kanalom.

Jednokanalni i dvokanalni sustavi mogu se dalje razvrstati na *sustave sa stalnim* i *s promjenljivim protokom zraka*.

**Jednokanalni sustav sa stalnim protokom zraka.** Ventilator dobavlja stalnu količinu zraka, koji se zatim priprema u središnjoj komori i razvodi jednim kanalom do jedne ili više prostorija (sl. 17). Promjena stanja zraka kojim se regulira stanje u prostoriji zbiva se u središnjoj komori na osnovi promjene stanja zraka u prostoriji ili promjene stanja povratnog zraka. Stanje zraka pripremljenog u komori jednako je za cijeli prostor, te je održavanje nepromijenjenog stanja u prostoru koji se sastoji od više prostorija moguće samo kada je toplinsko opterećenje prostorija stalno ili kada se ono u svim prostorijama mijenja na isti način, npr. ako su prostorije iste orijentacije ili su to unutrašnje prostorije u nekom objektu. Takve prostorije s istim karakterom promjene toplinskog opterećenja tvore u tom smislu jednu zonu.



Sl. 17. Jednokanalni zračni klimatizacijski sustav sa stalnim protokom zraka. 1 jedinica za miješanje, 2 filter, 3 predgrijač, 4 hladnjak, 5 ovlaživač, 6 dogrijač, 7 ventilator

Količina zraka u sustavu određena je rashladnim opterećenjem i najvećom dopuštenom razlikom između temperature zraka koji ulazi u prostoriju i temperature prostorije. Za standardne uvjete ta razlika iznosi  $6 \dots 9^\circ\text{C}$ , što traži relativno veliku količinu zraka.

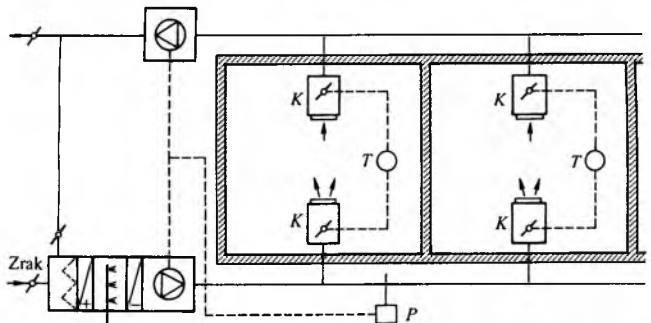
Regulacija stanja zraka na izlazu središnje komore jednozonskog sustava može se ostvariti na mnogo načina. U funkcionalnom se smislu rad sustava može predstaviti tipičnim djelovanjem u zimskim i ljetnim uvjetima. Zimi, padom temperature vanjskog zraka na vrijednost nižu od neke određene vrijednosti ili padom temperature smjese vanjskog i optoćnog zraka ispred predgrijača na manje od  $+5^\circ\text{C}$  uključuje se predgrijač. Time se predgrijač i ostali elementi komore štite od smrzavanja. Djelovanje dogrijača ovisi o temperaturi povratnog zraka, odnosno o temperaturi pro-

storije. Padom te temperature uključuje se dogrijač i povećava temperaturu zraka na izlazu komore. Smanjenjem relativne vlažnosti povratnog zraka aktivira se ovlaživač i prema potrebi predgrijač, ali održavanje temperature ima prednost pred održavanjem relativne vlažnosti. Pokretne žaluzije na ulazu za vanjski i optoćni zrak postavljaju se u položaj koji propušta najmanju količinu vanjskog zraka potrebnu za ventilaciju.

Isti je položaj žaluzija i ljeti, kada su predgrijač, dogrijač i ovlaživač izvan funkcije. Održavanje temperature prostora osigurava hladnjak na osnovi temperature povratnog zraka. U prijelaznom se razdoblju, već prema vanjskoj temperaturi, mijenja položaj žaluzija za vanjski i optoćni zrak. Komora radi u režimu slobodnog hlađenja. Udio je vanjskog zraka u rasponu od 100% do najmanje vrijednosti potrebne za ventilaciju. Kad se dostigne ta najmanja vrijednost, ulazi se u zimski ili ljetni režim rada. Temperatura zraka u prostoru održava se unutar granica od  $\pm 1^\circ\text{C}$ , a relativna vlažnost unutar  $\pm 10\%$ .

**Jednokanalni sustav s promjenljivim protokom zraka** održava temperaturu prostorije promjenom količine zraka uz njegovu stalnu temperaturu. Takav sustav najčešće regulira samo rashladno opterećenje, a po potrebi se kombinira s nekom drugom vrstom grijanja. Sustav služi za klimatizaciju više prostorija kojima se rashladno opterećenje ne mijenja na isti način. Podjela prostorija po zonama nije potrebna jer svaka prostorija ima zasebnu mogućnost održavanja temperature promjenom količine dovedenog zraka. U nekom skupu prostorija koje imaju npr. različite orijentacije, najveće rashladno opterećenje, a time i najveća potrebna količina zraka, neće se za sve prostorije pojavljivati u isto vrijeme. Zato je ukupna količina zraka manja od zbroja najvećih potrebnih količina zraka svih prostorija. U usporedbi sa sustavom sa stalnim protokom zraka, znatno se smanjuje potrebna količina zraka koju dobavlja ventilator. Količina se zraka može nadalje smanjiti primjenom otvora koji dopuštaju ubacivanje zraka s većom temperaturnom razlikom. Osim što se smanjuje ukupna količina zraka, koja je mjerodavna za dimenzioniranje, sustav je ekonomičan zbog uštede energije za pogon ventilatora.

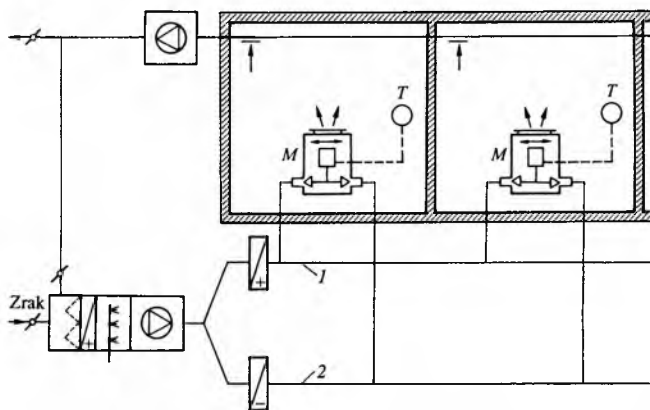
Zrak pripremljen u središnjoj komori ima u ljetnom razdoblju temperaturu  $\sim 15^\circ\text{C}$ , ili se samo ograničuje donja granica temperature nakon prolaska kroz hladnjak. Količina zraka koja se dovodi i odvodi iz prostorije ovisi o rashladnom opterećenju pojedine prostorije, a regulira se pomoću osjetnika temperature koji se nalazi u prostoriji (sl. 18). Zbog promjene ukupne količine zraka u sustavu mijenja se i statički tlak u razvodnim kanalima. Količina zraka može se promijeniti zakretanjem lopatica aksijalnog ventilatora ili promjenom broja okretaja ventilatora. Postoji i mogućnost prigušivanja na tlačnoj ili usisnoj strani ventilatora, ali se time smanjuje ekonomičnost sustava.



Sl. 18. Jednokanalni zračni klimatizacijski sustav s promjenljivim protokom zraka. T osjetnik temperature, P osjetnik tlaka, K prigušna kutija

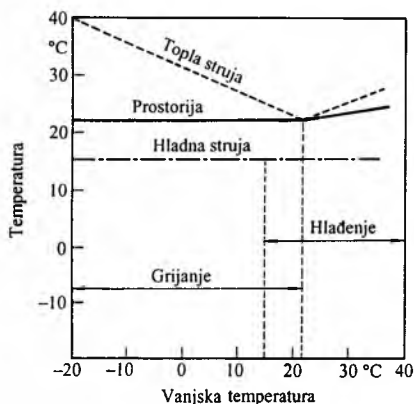
**Dvokanalni sustav** također je prikladan za održavanje stanja zraka u prostorijama s različitim toplinskim opterećenjem. Do svake prostorije vode dva dovodna kanala, jedan s toplim, a drugi s hladnim zrakom. Zrak se miješa u kutiji za miješanje, a miješanjem se upravlja pomoću osjetnika temperature u svakoj prostoriji (sl. 19). Tako se zrak priprema za svaku prostoriju posebno, prema njezinu toplinskom opterećenju. Temperatura tople struje određuje se prema vanjskoj temperaturi, dok je temperatura hladne struje stalna i iznosi  $\sim 15^\circ\text{C}$  (sl. 20). U najtoplijem razdoblju u prostorije s najvećim rashladnim opterećenjem ubacuje





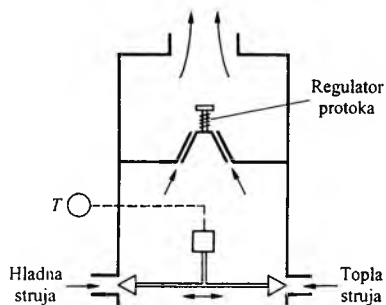
Sl. 19. Dvokanalni zračni klimatizacijski sustav. 1 kanal s toplim zrakom, 2 kanal s hladnim zrakom, M kutija za miješanje, T osjetnik temperature

se zrak samo iz kanala s hladnim zrakom, dok se zimi u prostorije koje pokazuju najveću potrebu za grijanjem ubacuje zrak samo iz toplog kanala.



Sl. 20. Dijagram temperatura dvokanalnoga klimatizacijskog sustava

Protok zraka u toplom i hladnom kanalu mijenja se prema trenutnim potrebama prostorija spojenih na sustav, a time se mijenja i tlak u oba kanala. Promjenom tlaka u kanalima remeti se odnos tople i hladne struje u kutiji za miješanje. Stoga se u većim dvokanalnim sustavima sa stalnim protokom zraka u kutije za miješanje ugrađuje regulator protoka (sl. 21).



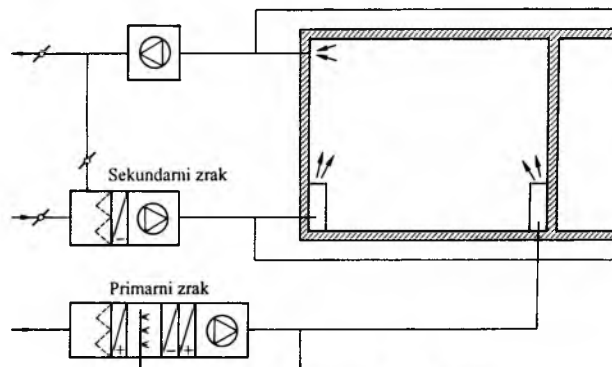
Sl. 21. Kutija za miješanje s regulatorom protoka, T osjetnik temperature

Kanali za topli i hladni zrak dimenzioniraju se prema istodobnom najvećem toplinskom opterećenju priključenih prostorija, pa je presjek kanala velik. Za paralelno razvođenje dvaju kanala po objektu do svake prostorije obično je potreban velik instalacijski prostor. Zbog velike količine zraka veći su i pogonski troškovi, pa je dvokanalni zračni sustav sa stalnim protokom zraka manje ekonomičan od drugih sustava.

Dvokanalni zračni sustavi mogu biti i s promjenljivim protokom. Tada imaju dva ventilatora za dovod zraka: po jedan za topli i za hladni zrak. Dobava svakog ventilatora regulira se posebno

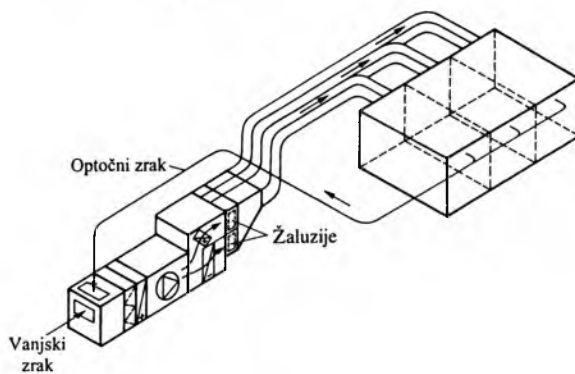
prema promjeni statičkog tlaka u odgovarajućem kanalu, a moguća je i regulacija protoka na kutijama za miješanje.

Dvokanalni dvokomorni sustav ima potpuno razdvojene struje toplog i hladnog zraka. Zrak se priprema u posebnim komorama, odvojeno razvodi do pojedinih prostorija i ubacuje kroz zasebne otvore kao primarni (topli) i sekundarni (hladni) zrak. Topli i hladni zrak miješaju se slobodno u samoj prostoriji (sl. 22). Primarna struja zraka ima stalni protok i promjenljivu temperaturu, što ovisi o vanjskoj temperaturi. Primarnim se zrakom pokrivaju transmisijski gubitci prostorije (v. Grijanje, TE 6, str. 277) zimi i u prijelaznom razdoblju. Ljeti je temperatura primarnog zraka stalna i nešto viša od temperature sekundarnog zraka. Sekundarni je zrak stalne temperature, ~15°C, i promjenljiva protoka. Dvokomorni je sustav kombinacija sustava sa stalnim i sustava s promjenljivim protokom, pa je ekonomičniji.



Sl. 22. Dvokanalni dvokomorni zračni sustav

Višezonski zračni sustav. Zrak se u središnjoj višezonskoj komori razdvaja na toplu i hladnu struju, koje se pomoću pokretnih protuhodnih žaluzija miješaju za svaku prostoriju posebno. Nakon miješanja zrak se razvodi jednokanalnim zračnim razvodom do prostorija ili zona (sl. 23).



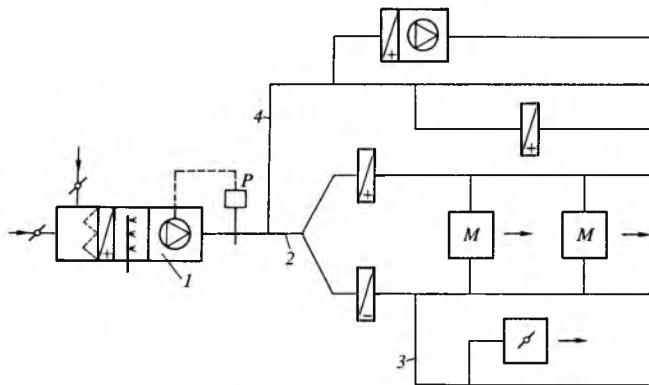
Sl. 23. Višezonski zračni sustav

Višezonski je sustav, zbog miješanja tople i hladne struje, varijanta dvokanalnog sustava, a može biti sa stalnim ili s promjenljivim protokom zraka. Može se također izvesti i iz jednozonskog jednokanalnog sustava ako se središnja priprema zraka obavlja u jednozonskoj komori, od koje se zrak razvodi jednokanalnim razvodom do prostorija ili zona. Pred svakom se prostorijom ili zonom zrak naknadno priprema, najčešće samo grije ili dogrijava. Zrak se može dogrijavati i na izlazu komore, i to posebno za svaku zonu, te razvoditi jednokanalnim razvodom.

Kombinirani zračni sustav nastaje kao kombinacija pojedinačnih sustava pri rješavanju specifičnih potreba pojedinog objekta (sl. 24). Pritom je presudno smanjenje investicijskih i eksploatacijskih troškova te ušteda energije.

Razvod zračnog sustava obuhvaća sve tlačne i odsisne kanale klimatizacijskog sustava. Transport zraka kroz sustav omogućuje ventilator koji svladava otpore strujanju zraka kroz filter, izmjenjivače topline, rešetke itd. Otpori strujanju i potreban tlak ventilatora ovisi o brzini strujanju zraka kroz kanale i druge elemente sustava. S obzirom na brzinu strujanju zraka u tlačnim kanalima

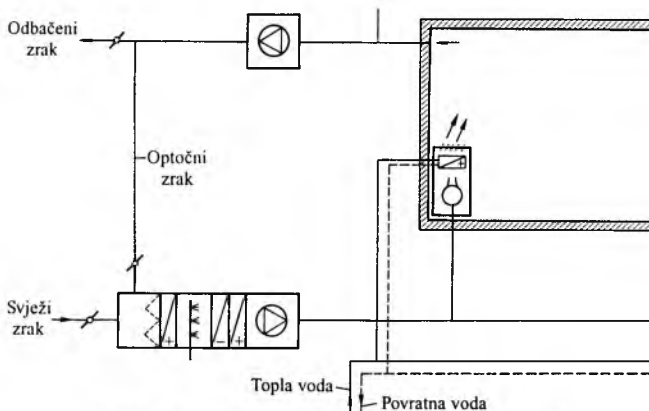
i na statički tlak ventilatora, razvodni se sustavi dijele na *niskotlačne* i *visokotlačne*. U niskotlačnim je razvodnim sustavima brzina zraka  $<10$  m/s, a nadtlak  $<1250$  Pa, pa se primjenjuju za manje klimatizacijske sustave s jednostavnim i kraćim kanalnim razvodom. U visokotlačnim je razvodnim sustavima brzina zraka  $>10$  m/s, a nadtlak  $<2500$  Pa. Zbog veće brzine zraka visokotlačni razvod ima manje izmjere zračnih kanala. Na krajevima ograna visokotlačnog razvoda, pred zonom ili prostorijom u koju se dovodi zrak, postavljaju se ekspanzijske kutije pomoću kojih se postiže prikladan tlak i brzina strujanja zraka pred otvorom za ubacivanje. Indukcijske jedinice i kutije za miješanje u dvokanalnim sustavima ujedno su i ekspanzijske kutije. Visokotlačni razvod prikladan je za klimatizacijske sustave većeg kapaciteta i složenijega kanalnog razvoda, te za indukcijske klimatizacijske sustave. Odsisni razvodni sustav izvodi se kao niskotlačni razvod zraka.



Sl. 24. Kombinirani zračni sustav. 1 središnja komora s promjenljivim protokom, 2 dvokanalni sustav, 3 jednokanalni sustav s promjenljivim protokom, 4 višezonski jednokanalni sustav s dogrijavanjem i dodatnim ventilatorom, P osjetnik tlaka, M kutija za miješanje

Tlačni i odsisni kanali za zrak izrađuju se od pocinčanog čeličnog lima, crnog lima, aluminijskog lima, poli(vinil-klorida) i dr. Veliki kanali mogu biti od opeka ili betona. Presjek je kanala pravokutan ili okrugao. Za visokotlačne razvodne sustave uzimaju se kanali okruglog presjeka.

**Zračno-vodeni sustav.** Karakteristika je zračno-vodnog klimatizacijskog sustava da kao sredstvo za održavanje stanja u prostoru služe i zrak i voda. Osim kanalnoga zračnog razvoda, kojim se zrak dovodi u prostorije od središnje komore za pripremu zraka, postavlja se i cijevni razvod vode do izmjenjivača topline u svakoj prostoriji. Zračno-vodeni sustavi mogu se svrstati na sustave s dogrijavanjem i indukcijske sustave.

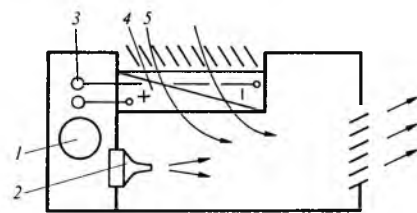


Sl. 25. Zračno-vodeni klimatizacijski sustav s dogrijavanjem

**Sustav s dogrijavanjem.** Tijekom cijele godine zrak se u središnjoj komori priprema na temperaturu od  $12 \dots 15$  °C, a zatim se jednokanalnim jednozonskim sustavom sa stalnim protokom dovodi u grijaću jedinicu koja se nalazi u svakoj prostoriji (sl. 25). U njoj se zrak u izmjenjivaču topline dogrijava na potrebnu temperaturu. Svaka prostorija ima mogućnost nezavisnog održavanja temperature. U grijačkoj se jedinici zrak samo dogrijava i nema

vlažnih površina (npr. hladnjak) pogodnih za razvoj bakterija i taloženje prašine. Stoga je sustav s dogrijavanjem prikladan za primjenu u bolnicama, laboratorijima i sl. Stanje primarnog zraka jednako je za sve prostorije, a mora se omogućiti reguliranje rashladnog opterećenja najnepovoljnije prostorije. U drugim prostorijama može istodobno postojati potreba za dogrijavanjem zraka. Sustav s dogrijavanjem ima mnogo veće pogonske troškove nego sustav s promjenljivim protokom ili indukcijski sustav.

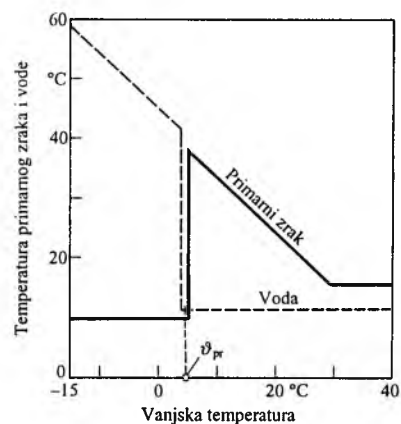
**Indukcijski sustav.** U središnjoj se komori vanjski (primarni) zrak grije i ovlažuje ili hladi i suši, a zatim se visokotlačno razvodi do indukcijskih jedinica koje se nalaze u svakoj prostoriji. U njima zrak struji velikom brzinom kroz sapnice, pa se unutar indukcijske jedinice stvara podtlak koji povlači zrak iz prostorije. Taj inducirani ili sekundarni zrak prolazi preko izmjenjivača topline kroz koji prolazi voda, miješa se s primarnim zrakom i struji u prostoriju (sl. 26). Omjer protoka primarnog i sekundarnog zraka (indukcijski omjer) iznosi obično  $0,5 \dots 0,25$ . Količina primarnog zraka odgovara potrebama ventilacije prostorija spojenih na sustav, pa su stoga protok zraka, središnja komora i razvod zraka relativno maleni. Protok primarnog zraka iznosi tek  $20 \dots 25\%$  od protoka odgovarajućeg zračnog sustava.



Sl. 26. Indukcijska jedinica. 1 dovod primarnog zraka, 2 sapnica, 3 dovod i odvod vode, 4 izmjenjivač topline, 5 sekundarni zrak

Prema broju cijevi za vodu (do izmjenjivača indukcijske jedinice) indukcijski se sustav može podijeliti na dvocijevni, trocijevni i četverocijevni. U dvocijevnom se sustavu voda jednom cijevi dovodi u izmjenjivač, a drugom odvodi iz njega. Sustav u kojem se promjenom temperature vode zrak po potrebi grije ili hladi jest indukcijski sustav s prekretanjem, a sustav u kojem se temperatura vode ne mijenja jest indukcijski sustav bez prekretanja.

**Dvocijevni indukcijski sustav s prekretanjem** ima stalan protok primarnog zraka. U zimskom i ljetnom razdoblju temperatura primarnog zraka drži se također stalnom. Tijekom prijelaznog razdoblja, u jesen i proljeće, temperatura primarnog zraka mijenja se prema vanjskoj temperaturi.



Sl. 27. Primjer dijagrama temperatura za dvocijevni indukcijski sustav s prekretanjem,  $\vartheta_{pr}$  prekretna temperatura

Na slici 27 prikazan je karakteristični dijagram promjene temperature primarnog zraka i vode u ovisnosti o vanjskoj temperaturi u dvocijevnom indukcijskom sustavu s prekretanjem. Tijekom ljeta primarni se zrak hladi i ovlažuje u središnjoj komori, te razvodi do indukcijskih jedinica u svakoj prostoriji. Kroz izmjenjivač topline indukcijske jedinice struji hladna voda stalne temperature, koja je veća od rosišta zraka u prostoriji. Tako se

sekundarni zrak hladi bez izdvajanja vlage. Primarnim se zrakom pokriva dio osjetnoga i ukupno latentno opterećenje prostorije. Smanjenjem vanjske temperature ili rashladnog opterećenja smanjuje se pomoću termostata i rashladni učinak izmjenjivača indukcijske jedinice. S daljim padom vanjske temperature postupno se povećava temperatura primarnog zraka, kako se prostorije s malim rashladnim opterećenjem ne bi pothladile. Kad se dostigne određena vanjska temperatura, tzv. *prekretna temperatura*, u izmjenjivaču indukcijske jedinice dolazi topla voda s temperaturom ovisnom o vanjskoj temperaturi, dok primarni zrak prima stalnu temperaturu, nižu od temperature prostorije. Tada primarni zrak u zimskom razdoblju preuzima odvođenje topline prostorije koja potječe od Sunčeva zračenja i unutrašnjih izvora topline. Prekretna temperatura jest ona vanjska temperatura uz koju toplinski dobitci prostorije mogu biti odvedeni kombinacijom hladnoga primarnog zraka i transmisijских gubitaka. Količina i temperatura primarnog zraka moraju se stoga tako izabrati da zrak svojom toplinom nadomješta transmisijске gubitke topline prostorije, dok voda odvodi toplinu koja potječe od Sunčeva zračenja i unutrašnjih izvora topline. Računa se omjer protoka primarnog zraka u prostoriji i transmisijских gubitaka topline pri jediničnoj temperaturnoj razlici. Taj se omjer određuje za sve prostorije uz najmanju količinu primarnog zraka potrebnu za ventilaciju, odnosno za regulaciju vlažnosti zraka u prostoriji. Za sve prostorije spojene na određeni sustav određuje se isti omjer, izabran prema najvećem proračunanom omjeru. Proračunom, odnosno izborom omjera, određuje se i promjena temperature primarnog zraka u prijelaznom razdoblju i prekretna temperatura sustava. Na temperaturi nižoj od prekretne nije više potrebno hladiti primarni zrak ili vodu.

*Dvocijevni indukcijski sustav bez preketanja* sastoji se od istih elemenata kao i sustav s preketanjem, a radi s jednostavnijim temperaturnim režimom primarnog zraka i sekundarne vode. Voda je u izmjenjivaču hladna i stalne temperature tijekom cijele godine. Temperatura primarnog zraka je stalna ljeti, dok u prijelaznom razdoblju i zimi raste, već prema vanjskoj temperaturi i omjeru protoka primarnog zraka i transmisijских gubitaka. Taj se sustav primjenjuje u područjima s blagom zimom ili za prostorije s velikim zimskim osunčanjem.

*Trocijevni indukcijski sustav* radi s hladnim primarnim zrakom iste temperature tijekom cijele godine. Do izmjenjivača svake indukcijske jedinice vode tri cijevi: za dovod tople i hladne vode i za zajednički povrat vode. Topla i hladna voda istodobno su na raspolaganju, što daje mogućnost grijanja ili hlađenja sekundarnog zraka tijekom cijele godine. Taj se sustav danas vrlo rijetko primjenjuje, jer je miješanje tople i hladne sekundarne vode u zajedničkom povratnom vodu energetski nepovoljno.

*Četverocijevni indukcijski sustav* ima polazne i povratne cijevi za toplu i hladnu vodu. Primarni je zrak hladan i iste je temperature cijele godine. Indukcijska jedinica obično ima dva odvojena izmjenjivača topline: grijač spojen na krug tople vode i hladnjak spojen na krug hladne vode. Tijekom cijele godine svaka indukcijska jedinica, nezavisno od ostalih, može grijati ili hladiti sekundarni zrak. Četverocijevni sustav ne zahtijeva dimenzioniranje prema omjeru protoka primarnog zraka i transmisijских gubitaka, pa nije potrebno povećavati količinu primarnog zraka u pojedinim prostorijama kao u dvocijevnom sustavu.

Toplinski učinak indukcijske jedinice u svih se indukcijskih sustava regulira na izmjenjivaču topline promjenom protoka vode kroz izmjenjivač pomoću ventila ili promjenom protoka induciranog zraka pomoću zaklopaca.

U zračno-vodene klimatizacijske sustave, osim sustava s dogrijavanjem i indukcijskih sustava, može se svrstati i ventilokonvektorski sustav u kombinaciji s uvođenjem primarnog zraka. Primarni se zrak uvodi u prostoriju izravno ili pomoću ventilokonvektora, te uz ventilaciju preuzima dio osjetnog opterećenja i ukupno latentno opterećenje prostorije. Zrak se u središnjoj komori priprema i razvodi na isti način kao i u indukcijskom sustavu, a kroz izmjenjivač topline u ventilokonvektoru struji, već prema potrebi, hladna ili topla voda.

Zračno-vodeni sustavi primjenjuju se za klimatizaciju vanjskih prostorija u objektima s velikim brojem prostorija, npr. u hotelima ili administrativnim zgradama. Budući da su investicij-

ski troškovi veliki, nije opravdana primjena tog sustava u manjim objektima.

**Vodeni klimatizacijski sustav** održava željeno stanje u prostoriji samo pomoću vode koja struji kroz izmjenjivač topline. U svaku se prostoriju postavlja jedinica s ventilatorom i izmjenjivačem topline, obično ventilokonvektor, pa se često pod nazivom vodeni sustav razumijeva ventilokonvektorski sustav. Ventilokonvektor može imati jedan ili dva odvojena izmjenjivača topline. Ako ima samo jedan izmjenjivač topline, potreban je dvocijevni razvod vode. U ljetnom razdoblju voda je hladna i preko izmjenjivača preuzima osjetno i latentno opterećenje prostorije. Izmjenjivač radi kao hladnjak s izdvajanjem vlage, pa se postavlja poseban cijevni razvod do svake jedinice radi odvođenja kondenzata. U zimskom razdoblju cjevovodom cirkulira topla voda. Za ventilokonvektorsku jedinicu s dva izmjenjivača potreban je četverocijevni razvod vode. Svaka prostorija ima tada, nezavisno od drugih prostorija, mogućnost grijanja ili hlađenja tijekom cijele godine.

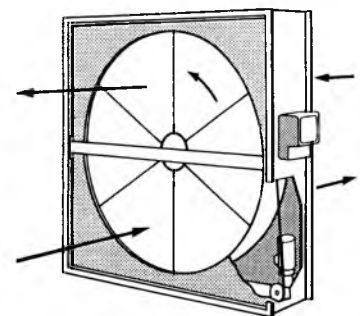
Ventilacija prostorija u vodenom sustavu provodi se odvojeno. Osim jednostavne ventilacije povremenim otvaranjem prozora, postoji i mogućnost spajanja ventilokonvektora na otvor u vanjskom zidu kroz koji se uzima zrak za ventilaciju. Nedostatak je tog rješenja mogućnost smrzavanja izmjenjivača zimi, utjecaj vjetrova, prodor buke i ulazak prašine. Ventilacija je moguća i pomoću posebnog zračnog sustava. Vanjski se zrak priprema u središnjoj komori i razvodi do svake prostorije. Zrak se u komori obično priprema na stanje prostorije, tako da je toplinski neutralan.

## POVRAT ENERGIJE U KLIMATIZACIJSKIM SUSTAVIMA

Svakim se ventilacijskim i klimatizacijskim sustavom dobavlja svježi zrak za ventilaciju prostorija. Energija potrebna za pripremu tog zraka, odnosno za dovođenje vanjskog zraka na traženo stanje prostorije, gubi se iz sustava s otpadnim zrakom. Međutim, iskorištavanjem energije otpadnog zraka mogu se ostvariti znatne uštede energije. Stoga toplina otpadnog zraka prelazi na svježi zrak, i to ili samo osjetna toplina (rekuperacija topline) ili i osjetna i latentna toplina (regeneracija topline). Djelotvornost nekog uređaja za povrat energije određena je *stupnjem korisnosti*, koji je funkcija masenih protoka vanjskog i otpadnog zraka te karakteristika prijenosa energije (v. *Termodinamika, prijenos topline*), pa je za svaki tip uređaja potrebno posebno utvrditi uvjete rada.

Za povrat energije u klimatizacijskim se sustavima upotrebljavaju različiti uređaji kao što je rotacijski, lamelni i pločasti izmjenjivač, izmjenjivač s toplinskim cijevima i dr.

**Rotacijski izmjenjivač topline** (izmjenjivač s rotirajućom akumulacijskom masom) sastoji se od rotirajućeg bubnja s ispunom velike površine u obliku sača kroz koje struji zrak. Za povrat samo osjetne topline stavlja se nehigroskopna ispuna, a za povrat ukupne topline ona treba biti higroskopna. Otpadni i svježi zrak prolaze u protustruji, svaki jednom polovicom bubnja koji se polako okreće (sl. 28).

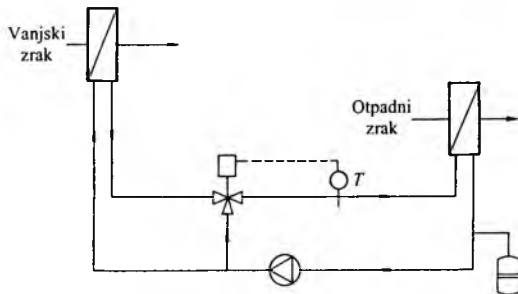


Sl. 28. Rotacijski izmjenjivač topline

Ispuna akumulira osjetnu toplinu toplije struje i predaje ju hladnijoj struji. Latentna se toplina prenosi rošenjem vlage iz struje veće vlažnosti te ishlapljivanjem u struji manje vlažnosti.

Takav se proces povrata energije ostvaruje i u uređaju s tekućom higroskopskom tvari (vođena otopina litijeva klorida), koja se pumpom kontinuirano prebacuje i prska po ispuni.

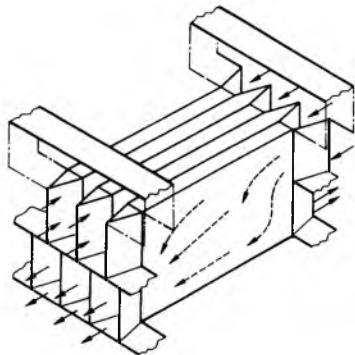
**Lamelni izmjenjivač topline.** Povrat energije moguće je ostvariti i postavljanjem lamelnih izmjenjivača topline u struju otpadnog i svježeg zraka, koji su međusobno povezani cirkulacijom vode ili smjese vode i nekog sredstva za sniženje leđišta (sl. 29). Takvim se uređajima s cirkulacijom vode redovito prenosi osjetna toplina. Da bi se spriječilo stvaranje inja i zaleđivanje izmjenjivača u struji otpadnog zraka u zimskim uvjetima, cirkulacijski se krug oprema troputnim ventilom, pomoću kojeg se osigurava da temperatura sredstva na ulazu u izmjenjivač s otpadnim zrakom ne padne ispod zadane vrijednosti.



Sl. 29. Povrat energije cirkulacijom vode kroz lamelne izmjenjivače,  $T$  osjetnik temperature

**Izmjenjivač topline s toplinskim cijevima** sastoji se od orebrenih toplinskih cijevi, koje se tako postavljaju da se svakoj jedan kraj nalazi u struji otpadnog, a drugi u struji svježeg zraka. Otpadni i svježi zrak prolaze u protustruji, svaki jednom polovicom izmjenjivača. Toplinska je cijev obično ispunjena nekim rashladnim sredstvom. U dijelu cijevi preko kojeg struji toplija struja sredstvo se isparuje, dok se u drugom dijelu, preko kojeg struji hladnija struja, ukapljuje. Unutar cijevi uspostavlja se cirkulacija pare i kapljevine faze, a time i prijelaz topline s toplije na hladniju zračnu struju.

**Pločasti izmjenjivač topline** sastoji se od niza paralelnih tankih ploča od aluminijskog ili čeličnog lima, polimernog materijala i dr. Ploče se postavljaju na malom razmaku ( $5 \cdot 10$  mm) i tvore niz uskih kanala (sl. 30), a strujanje otpadnog i svježeg zraka može biti istosmjerno, protusmjerno ili unakrsno. Pločasti izmjenjivač topline rekuperativni je izmjenjivač i služi za prijelaz osjetne topline. U zimskim uvjetima može prelaziti i latentna toplina ako je temperatura dovoljno niska da uzrokuje rošenje na strani otpadnog zraka. Pritom, kao i pri povratu energije cirkulacijom vode, treba otkloniti mogućnost zaleđivanja izmjenjivača.



Sl. 30. Pločasti izmjenjivač topline

Poseban se način povrata energije u klimatizacijskim sustavima ostvaruje uporabom dizalice topline (v. *Rashladna tehnika*, TE 11, str. 433).

LIT.: D. J. Crome, B. M. Roberts, *Airconditioning and Ventilation of Buildings*. Pergamon Press, Oxford 1981. – Recknagel, Sprenger, Hönnmann, *Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik*. R. Oldenbourg Verlag, München 1985. – ASHRAE Handbook; Fundamentals, HVAC Systems and Equipment, HVAC Applications. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning, Atlanta 1991–1993.

I. Galaso

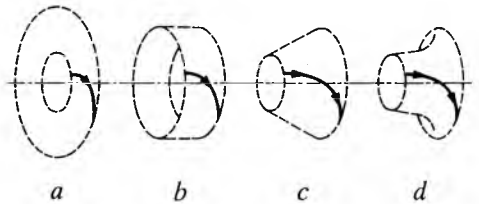
**VENTILATOR**, stroj za transport plinova i para s malom razlikom izlaznog i ulaznog tlaka. Mehanička energija dovedena ventilatoru predaje se plinovitom fluidu pomoću rotora (okretnog kola) s lopaticama i pretvara dijelom u *potencijalnu* (povećanje tlaka fluida), a dijelom u *kinetičku* energiju (povećanje brzine fluida). Naziv ventilator potječe od latinske riječi *ventilare*, vijati, mahati.

Ventilatori se grade za prirast tlaka od nekoliko desetaka paskala do  $\sim 25$  kPa, no obično je gornja granica  $\sim 10$  kPa. Dobava je plina u rasponu od 0,01 do više od  $1000$  m<sup>3</sup>/s.

Ventilator se upotrebljava za provjetravanje prostorija i rudnika, uklanjanje praha (usisaci prašine, piljevine, strugotine itd.), odvođenje štetnih i otrovnih plinova i para, zračno grijanje i klimatizaciju, dopremu zraka za izgaranje (kotlovi), hlađenje strojeva i postrojenja, zračni (pneumatski) transport itd.

**Vrste ventilatora.** Prema smjeru gibanja čestica plina kroz rotor ventilatora razlikuju se *radijalni* ili *centrifugalni*, *aksijalni* ili *vijčani* i *kombinirani* ventilatori. U rotor radijalnog ventilatora čestica plina ulazi aksijalno, ali se zatim giba u ravnini okomitoj na os rotacije (sl. 1a). U aksijalnom se ventilatoru čestica giba po plaštu valjka (sl. 1b), dok u ventilatorima kombinirane konstrukcije čestica putuje po plaštu stošca (sl. 1c), odnosno tijela koje nastaje rotacijom ravninske krivulje (sl. 1d). Prema dobavnom tlaku razlikuju se niskotlačni (do 1 kPa), srednjotlačni ( $1 \cdot 3$  kPa) i visokotlačni ventilatori (više od 3 kPa).

Sl. 1. Strujanje u radijalnim (a), aksijalnim (b) i kombiniranim ventilatorima (c) i (d)



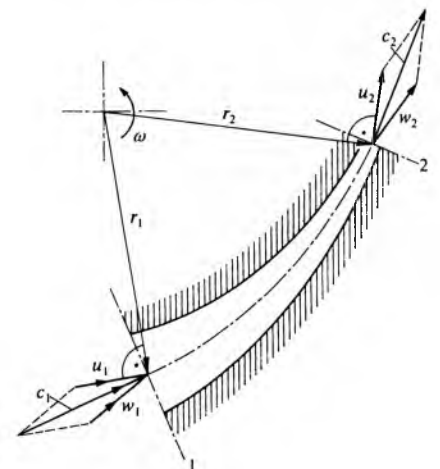
Ventilator može biti na početku, u sredini ili na kraju cjevovoda kojim se transportira plin. Ventilator koji je smješten na kraju cjevovoda tako da usisava plin iz sustava i tlačí ga u atmosferu često se naziva *ekshaustorom*.

Ventilatori se obično izrađuju od čeličnog lima, a u posebnim se okolnostima (agresivni plinovi i pare) upotrebljavaju nehrđajući čelik, aluminij, drvo, polimerni materijali i sl.

Pogon je ventilatora najčešće izravan; osovina je pogonskog stroja (obično elektromotora) čvrsto spojena s osovinom ventilatora ili se rotor ventilatora nalazi izravno na osovini pogonskog stroja. Ako takav pogon nije moguć zbog različite brzine vrtnje strojeva ili iz kojeg drugog razloga, upotrebljava se indirektni pogon remenom, zupčanicima i sl.

**Teorijske osnove rada ventilatora.** U rotoru fluid prima energiju od rotirajućeg kanala. Apsolutna se brzina  $c$  čestice fluida sastoji od relativne brzine  $w$  i obodne brzine  $u = r\omega$ , gdje je  $r$  udaljenost čestice od osi rotacije, a  $\omega$  brzina vrtnje kanala (sl. 2).

Sl. 2. Paralelogrami brzina na ulazu i izlazu elementarnog rotorskog kanala



Osnovna jednačba strujanja nestlačivog idealnog fluida (promjena je gustoće fluida pri strujanju kroz ventilator zanemariva) kroz rotirajući kanal glasi