

# Specifičnosti određivanja količina dovodnog vazduha i njegovog stanja u klimatizovanim prostorijama

Drago Goli, dipl. inž.,  
IMP — TOZD Projektivni biro,  
61000 Ljubljana, Titova 37

U radu su izložene specifičnosti određivanja količina dovodnog vazduha i njegovog stanja pri projektovanju klimatizacionih uređaja za pojedine prostorije. Date su i teorijske osnove određivanja toplotnog opterećenja i količina vazduha prema tome opterećenju.

Provera količine vazduha je izvršena s obzirom na otklanjanje mirisa, štetnih gasova, para i aerosola, a proračun je izveden numeričkom i analitičkom metodom. Na kraju rada je objašnjen i način grafičkog određivanja radne linije prostorije.

## 1. Uvod

Određivanje dovodnih količina vazduha za pojedine klimatizovane prostorije je veoma važno pri projektovanju klimatizacionih uređaja. Najčešće se ove količine izračunavaju veoma jednostavno. Posebno velike greške se čine kod uređaja sa konstantnom količinom vazduha pri povratnom izračunavanju stanja dovodnog vazduha pri delimičnom opterećenju, kad je dovodna količina vazduha već poznata. Postoji više razloga za netačne proračune, a jedan od glavnih uzroka su neprecizne vrednosti gustine vazduha. Gustina vazduha zavisi od temperature i vlažnosti. Ako uzmemo u obzir samo uticaj temperature, onda je već na primeru jednostavnog klimatizacionog uređaja (slika 1) uočljiva promena zapremine i mase protoka vazduha u zavisnosti od zahvata ventilatora duž kanalske mreže do prostorije koja se klimatizuje [1].

## 2. Teorijske osnove [2]

### 2.1. Najveće toplotno opterećenje prostorije

Pre nego što se pristupi izračunavanju dovodne količine, mora se poznavati najveće toplotno opterećenje prostorije.

Sa programima izvedenim pomoću računara, koji osim letnje transmisije uzima u obzir i toplotne dobitke svetiljki, živih bića i uređaja, moraju se izračunati i časovne vrednosti osetnog rashladnog opterećenja prostorija, koja se očekuju tokom dana u godini sa najvišim temperaturama okoline, kada je položaj sunca na horizontu najviši. Između njih se za taj vremenski period bira najveće opterećenje  $Q_{R \text{ sen max}}$ . Obično je to vreme kada je dan u godini najduži (jun za severnu i decembar za južnu poluloptu, ali to nije obavezno).

Za zimski period računamo grejno opterećenje pomoću računarskih programa samo s obzirom na transmisiju proračunske zimske temperature okoline, ne uzimajući u obzir toplotu svetlosnih izvora, živih bića i uređaja. Dobijeno grejno osetno opterećenje u apsolutnoj vrednosti često je manje od rashladne vrednosti.

Najveće latentno opterećenje, prostorije  $Q_{R \text{ lat max}}$  zavisi od izvora vodene pare u prostoriji. Najveće ukupno toplotno opterećenje prostorija iznosi:

$$Q_{R \text{ tot max}} = Q_{R \text{ sen max}} + Q_{R \text{ lat max}}$$

### 2.2. Radna linija prostorije

To je linija kod koje su pri određenom opterećenju i još nepoznatoj dovodnoj količini vazduha za određenu prostoriju moguća sva stanja. Opšta jednačina ove linije prema slici 2. glasi:

$$a = \frac{h_R - h_s}{x_R - x_s} \quad (1)$$

Iz ove jednačine dobijamo entalpiju dovodnog vazduha  $h_s$ :

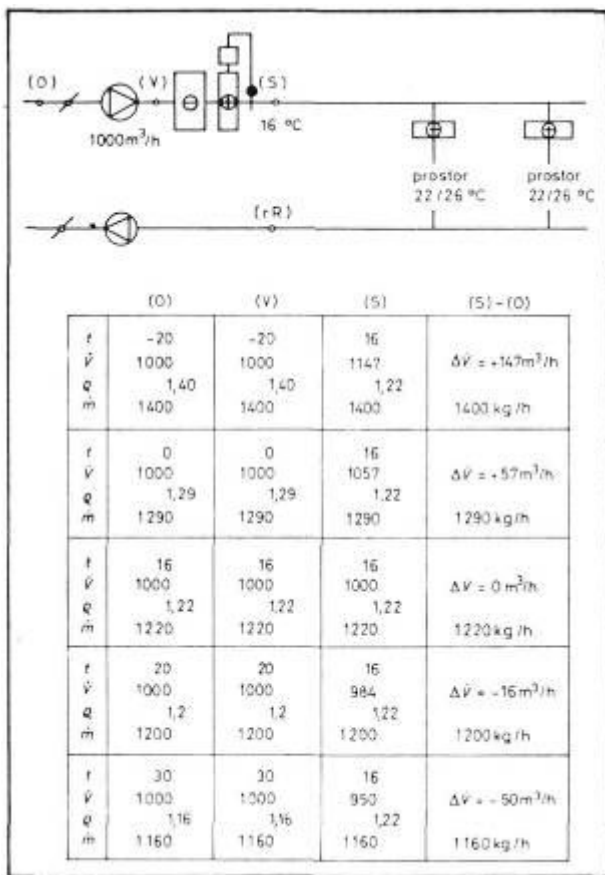
$$h_s = h_R + a(x_s - x_R) \quad (2)$$

Vrednost  $a$  je još nepoznata. Može biti pozitivna ili negativna i zavisi od izvora vodene pare  $m_{vp}$  u prostoriji, kao i od najvećeg (svakako istovremenog) toplotnog opterećenja prostorije

$$a = \frac{\dot{Q}_{R \text{ sen max}} + \dot{Q}_{R \text{ lat max}}}{\dot{m}_{vp}} = \frac{\dot{Q}_{R \text{ tot max}}}{\dot{m}_{vp}} \quad (3)$$

Molijerovi dijagrami  $h-x$  za vlažan vazduh za ove vrednosti imaju naročitu skalu (obično na ivici), a ukoliko ove skale nema, videti tačku 6.3.

Često se nalazi i skala vrednosti  $0_{\text{osef}}/Q_{\text{tot}}$ .



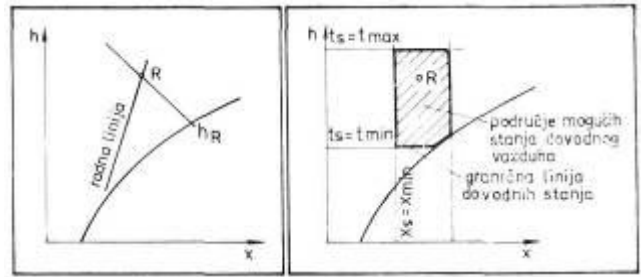
Sl. 1.

### 2.3. Granična linija dovodnih stanja u prostoriji

To je linija koja ograničava područje svih mogućih stanja dovodnog vazduha za određenu prostoriju. Određena je opštom jednačinom entalpije poznatom iz termodinamike

$$h_s = c_p t_s + X_w (r_w + c_{pw} t_s) \quad (4)$$

U jednačinu moramo staviti moguće granične vrednosti za  $t$  i  $x$  dovodnog vazduha, što se vidi



Sl. 2.

Sl. 3.

na slici 3. Na taj način dobijamo niz jednačina koje ograničavaju područja svih mogućih dovodnih stanja vazduha, što se takođe vidi na slici 3.

### 2.4. Stanje dovodnog vazduha u prostoriji

Najnepovoljnija stanja dovodnog vazduha u određenoj prostoriji nalaze se u preseku radne linije prostorije i granične linije dovodnih stanja, kao što se vidi na slici 4.

Kada je poznata temperatura dovodnog vazduha, spajanjem jednačina (2) i (4) dobijamo apsolutnu vlažnost dovodnog vazduha

$$x_s = \frac{h_R - a x_R - c_p t_s}{r_w + c_{pw} t_s - a} \quad (5)$$

### 3. Određivanje dovodne količine vazduha s obzirom na toplotna opterećenja

Određivanje količina dovodnog vazduha za određenu prostoriju ne zahteva učestale ili dugotrajne metode s obzirom da se ona dosta jednostavno izračunava, imajući u vidu samo ekstremne uslove koji se pojavljuju u prostoriji. Dovodnu količinu vazduha možemo izračunati tačno ili pojednostavljeno.

#### 3.1. Tačno određivanje dovodne količine [2]

Iz jednostavnog energetskog bilansa za najveće toplotno opterećenje prostorije  $Q_{R \text{ tot max}}$  (vidi tačke 2.1 i 4.5):

$$m_s \cdot (h_R - h_s) = Q_{R \text{ tot max}}, \quad (6)$$

možemo dobiti maseni protok suvog vazduha. Zaprinski protok vazduha, u odnosu na protok mase, zavisi još i od gustine i vlažnosti dovodnog vazduha (vidi 6.2.1), a ako uzmemo u obzir zavisnost gustine vazduha od pritiska, vlažnosti i temperature, konstante gasa suvog vazduha i vodene pare, dobićemo jednačinu za dovodnu količinu vazduha  $V_s = (1/\rho_s) \cdot m_s$ :

$$\dot{V}_s = (R + x_s R_w) \frac{t_s + 273}{p} \cdot m_s \quad (7)$$

Dobijena vrednost nije konačna i treba je proveriti još i za uslove opisane u tački 4. 0 praktičnom primeru proračuna videti tačku 6.1.

### 3.2. Pojednostavljeno određivanje dovodne količine [6]

S obzirom da odlučujuću ulogu ima jedino osetni deo toplotnog opterećenja i da se gustina vazduha menja u zavisnosti od temperature po Gej-Lisakovom zakonu (gustina vazduha na temperaturi od 20°C i pritisku od 1 bara iznosi 1,2 kg/m<sup>3</sup>), dobijamo:

$$\frac{\rho_s}{1,2} = \frac{293,15}{t_s + 273,15}$$

dakle za  $c_p = 1,006$  kJ/(kg • K) kada ubacimo  $Q$  [W] dobijamo jednačinu za zapreminski protok:

$$\dot{V}_s = 10,17 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\dot{Q}_{R \text{ sen max}}}{t_R - t_s} \cdot \frac{t_s + 273,15}{1}$$

Ukoliko uzmemo vrednost gustine vazduha  $\rho_s = 1,2$  kg/m<sup>3</sup> kao konstantnu vrednost, za  $Q$  (W) dobićemo sledeći oblik jednačine:

$$\dot{V}_s = 2965 \frac{\dot{Q}_{R \text{ sen max}}}{t_R - t_s} \quad (8)$$

U poslednjim jednačinama dovodnu količinu vazduha izračunavamo samo, s obzirom na osetno opterećenje prostorije, te je ove vrednosti potrebno proveriti imajući u vidu latentno opterećenje. Za slične postavke i kada uzmemo za gustinu vazduha  $\rho_s = 1,2$  kg/m<sup>3</sup>, vrednost  $r_w = 2500$  kJ/kg i ubacujemo  $Q$  (W) i  $x$  (g/kg), dobijamo:

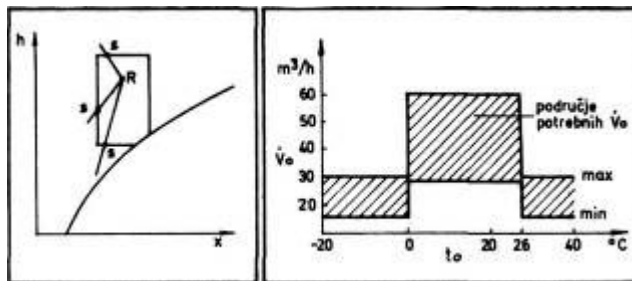
$$\dot{V}_s = 0,833 \frac{\dot{Q}_{R \text{ lat max}}}{x_R - x_s} \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (9)$$

Dobijena vrednost nije konačna i treba je, proveriti imajući u vidu uslove opisane u tački 4.

## 4. Provera dovodne količine vazduha

Može se desiti da dovodna količina vazduha izračunata na osnovu tačke 3. za prostoriju bude nedovoljna, pošto ona pored odvođenja najveće količine toplote iz prostorije, mora zadovoljavati još i sledeće uslove:

- da da dovoljnu količinu svežeg vazduha za disanje,
- da obezbedi kada je potrebno rastvaranje štetnih materija.



Sl. 4.

Sl. 5.

— da u prelaznom periodu omogućuje odvođenje toplote.

### 4.1. Provera promene [2]

Količina promene vazduha je odnos dovodne količine vazduha  $V_s$  i slobodne zapremine prostorije  $V$ . Najmanje vrednosti za različite namene prostorija nalaze se u raznim tabelama, ali ih treba oprezno koristiti, jer nije dovoljno poznavati samo slobodnu zapreminu, nego i podatke o visini i položaju prostorije. U slučaju da veličina promene nije dovoljna, potrebno je na odgovarajući način povećati dovodnu količinu vazduha. Za manje prostorije, koje se obično samo provetravaju (kuhinje), izračunavamo dovodnu količinu vazduha najčešće na taj način. Za VAV-uređaje [6, 7] potrebno je časovno proveravanje.

### 4.2. Provera količine svežeg vazduha s obzirom na potrebu za otklanjanjem mirisa

Potrebna količina svežeg vazduha dobija se množenjem broja živih bića u prostoriji  $n_l$  sa najmanjom potrebnom količinom svežeg vazduha za jedno živo biće  $v_o$ . Količina  $v_o$  zavisi od više činilaca. Približne vrednosti za  $v_o$  koje važe za prostorije u kojima se okuplja mnogo ljudi, po osobi iznose: za prostorije sa nepušačima 20 m<sup>3</sup>/h, a sa pušačima 30 m<sup>3</sup>/h, za kancelarije 50 do 100 m<sup>3</sup>/h, za skloništa 2,5 do 7,5 m<sup>3</sup>/h. Najmanja potrebna količina svežeg vazduha za životinje iznosi: za psa 85 m<sup>3</sup>/h, za mačku 14 m<sup>3</sup>/h, a za zeca i kokošku 3,5 m<sup>3</sup>/h [7] itd. Potrebna količina svežeg vazduha iznosi:

$$V_o = n_l v_o.$$

Ova količina mora biti manja od dovodne količine ili jednaka njoj. Odnos potrebne količine svežeg vazduha i dovedene količine vazduha za određen prostor

$$X_o = \frac{\dot{V}_o}{\dot{V}_s},$$

se menja tokom vremena, ukoliko se menja zauzetost prostorije [6, 7].

Sveži vazduh dodajemo cirkulacionom vazduhu obično u klimatizacionom sklopu odjednom za sve prostorije prema različitim potrebama [4]. Dodavanje vazduha treba da bude takvo da ono smanji grejna, rashladna i vlažeće-sušna opterećenja klimatizacionog sklopa. Tako se količina svežeg vazduha tokom godine menja od najmanje dozvoljene, do potpune količine. Odnos svežeg i cirkulacionog vazduha u klimatizacionom sklopu  $X_o$  na ovaj način dostiže vrednosti između

$$X_{o \min} < X_{oi} < 1.$$

Ukoliko ima više prostorija i ako želimo u svakoj prostoriji postići neki traženi odnos vazduha  $X_o$ , mora pri broju prostorija  $N$  u svakom trenutku biti udovoljeno uslovu

$$Y_{o \min} > x_{oi} \quad / \quad i=1,N$$

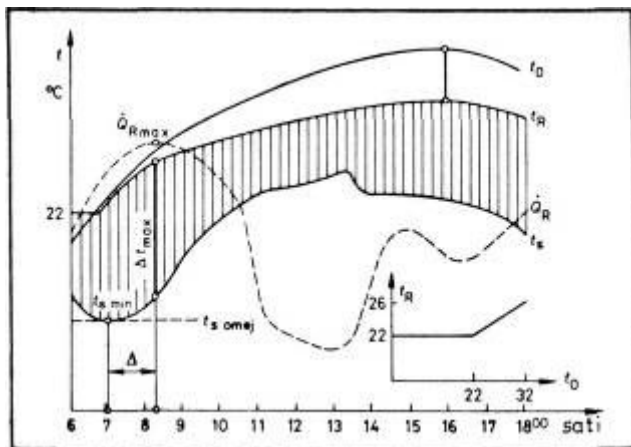
Može se pojaviti prostorija sa izrazito suviše velikim odnosom vazduha  $X_o$  u određenom vremenu. Ne bi bilo umereno zbog toga povećavati najmanji odnos klimatizacionog sklopa, te je pametnije onda toj prostoriji povećati  $V_s$  [3]. Propis DIN 1946, deo 2, odredba 6/79, u cilju energetske uštede predviđa promenljivu najmanju količinu svežeg vazduha po osobi  $v_o$  u toku godine, što se vidi na slici 5 [2].

Mirisi u vazduhu se osećaju vrlo različito u zavisnosti promene vlažnosti vazduha.

### 4.3. Provera količine svežeg vazduh s obzirom na razređenje štetnih gasova, pare i aerosola

U prostorijama su često štetni gasovi, pare ili aerosoli (dim i prašina), čija koncentracija ne sme preći najveću dozvoljenu granicu  $k_{\max}$ , u JUS-u Z.B0.001 označenu sa MDK (maksimalna dozvoljena koncentracija) i izračunatu u jedinicama  $\text{mg}/\text{m}^3$   $\text{cm}^3/\text{m}^3$  ili u ppm.

Dozvoljena količina dovodnog vazduha, potrebna živim bićima da ne dođe do trovanja (ova količina još uvek nije dovoljna za disanje ili sprečavanje neprijatnih mirisa) mora iznositi najmanje



Sl. 6.

$$\dot{V}_s \cong \frac{\dot{V}_s}{k_{\max} - k_s}$$

ITERACIJE ODREĐIVANJA UDUVANIH KOL. VAZDUHA			
DT	M3/H	I	TR/QRM/
7.8	434.0	1	25.8
5.5	616.8	1	25.8
4.7	699.4	2	22.7
4.7	699.4	2	22.7

Sl. 7.

U ovoj jednačini  $V_s$  predstavlja količinski izvor otrovnih materija u prostoriji u jedinici vremena,  $k_{\max}$  i koncentracije otrovnih materija u dovedenom vazduhu  $k_s$  (ova se javlja kod mešanja vazduha u klimatizacionom sklopu, a takođe i usled zagađenja spoljnog vazduha) moraju biti izmerene u  $\text{m}^3/\text{m}^3$ . Za uređaje VAV [6, 7] je potrebna časovna provera.

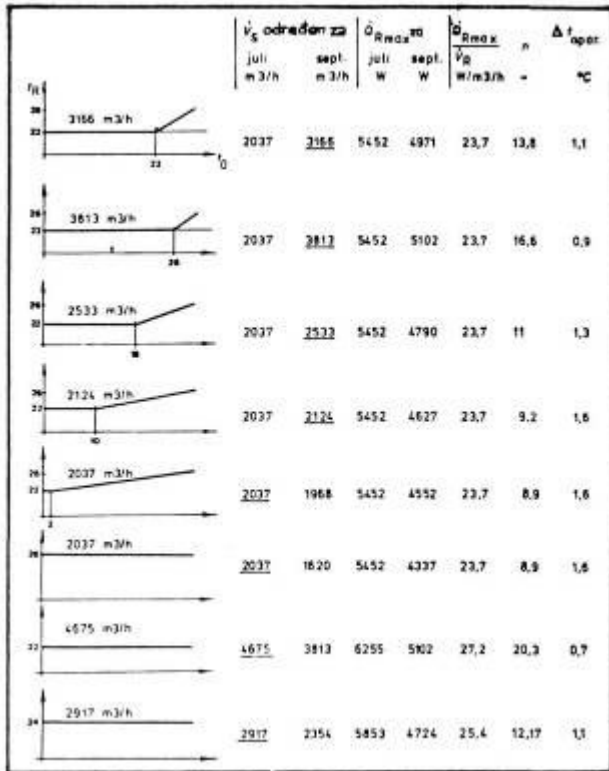
### 4.4. Provera najmanje dovedene količine temperature za pojedine prostorije [3]

Temperatura  $t_R$  u klimatizovanoj prostoriji je konstantna u toku cele godine ili se menja u zavisnosti od temperature  $t_o$ .

U prvom slučaju se najmanja dovodna temperatura javlja uvek u momentu najvećeg rashladnog opterećenja prostorije. Ovde se javlja takođe najveća temperaturna odnosno entalpijska razlika između stanja vazduha u prostoriji i uduvanog vazduha.

U slučaju kada se temperatura prostorije menja sa temperaturom okoline, nije više tako [4,5]. Na slici 6. se vidi da se najveća temperaturna razlika javlja u momentu uduvanja vazduha u prostoriju, kada je rashladno opterećenje najveće, dakle  $Q_{R \text{ sen max}}$  što nije obavezno, da se u tom trenutku pojavi najniža uduvana temperatura  $t_{s \text{ min}}$ . Ukoliko se pojavi  $t_s$  u drugo vreme i ista je niža od još uvek dozvoljene granične temperature  $t_{s \text{ gr}}$ , potrebno je uduvanu količinu vazduha toliko povećati da zadovoljava uslove  $t_{s \text{ min}} \geq t_{s \text{ gr}}$ .

Ovaj uslov možemo proveriti samo pomoću računara, tako da proveravamo proračun uduvane količine kod poznatih vremenskih opterećenja prostorija za svaki čas pojedinačno. Na slici 7. vidi se rezultat ovog postupka dobijen pomoću računara (opis slike vidi u tački 4.5). Uticaj programa temperature prostorije  $t_R$  i temperature okoline  $t_o$  na određivanje uduvane količine vazduha u određenu prostoriju vidi se na slici 8. Rezultati dobijeni su pomoću računara uzimajući u obzir tačke 4.4 i 4.5.



Sl. 8.

#### 4.5. Provera količine vazduha pri toplotnim opterećenjima prostorija u prelaznom periodu [4, 5]

Za prelazni period postoje godišnje doba, kada su temperatura okoline i položaj sunca na horizontu osetno niži od najvećih mogućih.

Usled nižeg položaja sunca može se dogoditi da je često prema jugu okrenuta strana zida, pogotovu ako je zastakljena, jače zračena u vreme najviših temperatura i položaja sunca na horizontu, može da ukazuje na najveća rashladna opterećenja prostora (vidi 2.1).

Usled nižih temperatura okoline, sa druge strane su u slučaju razmatrane temperature prostorija od okoline (vidi 4.4) temperature prostorije osetno niže u odnosu na visoke temperature okoline, što često prouzrokuje da se uduvana temperatura prostorije snizi ispod dozvoljene granične temperature  $t_s$ . (ova kod slabih uduvnih elemenata vazduha iznosi 18 C, kod boljih sa višim indukcionim odnosom može da bude niža).

Za prelazni period godine se najčešće uzima vreme ravnodnevnice (mart i septembar). U to doba nije potrebno obraćati pažnju da li se proračun odnosi na severnu ili južnu poluloptu sveta.

Primer ovog proračuna (ove provere) pomoću računara vidi se takođe na slici 7. Pri tome je DT dnevna temperaturna razlika između prostorija i uduvanog vazduha u momentu kada je op

terećenje prostorije  $Q_{R\ sen}$  najveće. M3/H znači odgovarajuću uduvanu količinu vazduha u m³/h, indeks I znači mesec (I = mesec jun, I = 2 mesec septembar). TR/QRM predstavlja temperaturu prostorije pri najvećem opterećenju prostorije

$Q_{R\ sen}$  Proračun se za svaki mesec radi dva puta: za prostoriju izračunatu na slici 7, uzećemo uduvanu količinu vazduha tokom septembra 699,4 m³/h, gde će u tom mesecu biti najveća temperaturna razlika između uduvanog vazduha i prostorije 4,7°C, a u mesecu junu ne više od 7,8°C ili 5,5°C, nego 4,8°C.

#### 4.6. Provera odnosa svežeg vazduha u klimatizacionom sklopu [3]

Bilo je već pomenuto, da se kod običnih klimatizacionih uređaja obično dodaje sveži vazduh cirkulacionom vazduhu za sve prostorije koje se centralno klimatizuju u klimatizacionom sklopu (klimatu), što se vidi na slici 9. Na slici 1. prikazan je poseban slučaj, gde uređaj radi samo na principu svežeg vazduha, što je u energetskom pogledu loše. Povratnog vazduha  $V_{rR}$  je skoro u svim uređajima manje od ukupno uduvanog  $V_s$  pošto je u određenim prostorijama poželjan potpritisak, ili čak da se deo vazduha lokalno odvodi u okolinu. Može se napisati odnos (vidi sliku 9):

$$K = \frac{\dot{V}_{rR}}{\dot{V}_s} \leq 1$$

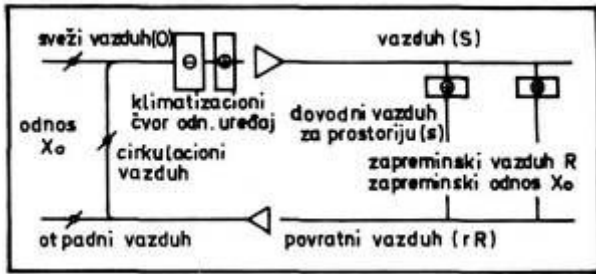
U uređaj je potrebno dovesti sa spoljne strane barem količinu vazduha potrebnu za naknadu razlike  $V_{rR}$  i  $V_s$ . Odnos svežeg vazduha u klimatizacionom sklopu mora biti dakle jednak ili veći od:

$$X_{o\ min} \geq \frac{\dot{V}_s - \dot{V}_{rR}}{\dot{V}_s} = 1 - K$$

U slučaju da je vrednost odnosa veća od pojedinih vrednosti u prostorijama, sve prostorije dobiće u odnosu na uduvane količine (ne sve podjednako) više svežeg vazduha, tako da će biti tačke 4.1 do 4.4 sa još većom sigurnošću zadovoljene; u suprotnom slučaju mora se povećati najmanji odnos klimatizacionog sklopa, ili povećati uduvanje količina vazduha u svim prostorijama. Kod uređaja VAV [6, 7] potrebna je časovna provera.

#### 5. Određivanje stanja dovodnog vazduha

Ovde je za tačno izračunavanje potrebno mnogo više napora nego pri određivanju uduvane količine vazduha. Odrediti moramo stanja uduvanog vazduha pri delimičnim toplotnim opterećenjima prostorije i to pri određenoj vremenskoj konstanti količine vazduha  $V_s$ . Poznate su tri metode — numerička, analitička i pojednostavljena



Sl. 9.

analitička (za približan proračun se može primeniti jednačina iz tačke 3.2).

### 5.1. Numerička metoda [2]

Ova metoda traži ponavljanje. Kao prvo, potrebno je pretpostaviti vrednosti za temperaturu i apsolutnu vlažnost dovodnog vazduha  $t_s$  i  $x_s$

tako da možemo odrediti protok mase  $m_s$

$$m_s = \dot{V}_s \frac{p}{(R + x_s R_w) \cdot (t_s + 273)} \quad (10)$$

Na osnovu jednačine (6) određuje se entalpija dovodnog vazduha:

$$h_s = h_R - \frac{Q_{R \text{ tot}}}{\dot{m}_s} \quad (11)$$

Na osnovu jednačine (1) određuje se apsolutna vlažnost vazduha:

$$x_s = x_R - \frac{h_R - h_s}{\dot{Q}_{R \text{ tot}}} \dot{m}_{vp} \quad (12)$$

a na osnovu jednačine (4) temperatura uduvanog vazduha

$$t_s = \frac{h_s - x_s r_w}{c_p + c_{pw} x_s} \quad (13)$$

Ako se dobijene vrednosti za  $x_s$  i  $t_s$  razlikuju od datih vrednosti, postupak se ponavlja sve dok se greška ne smanji u dozvoljene granice. Praktičan primer proračuna dat je u tački 6.2.1.

### 5.2. Analitička metoda

Kod ove metode ponavljanje proračuna nije potrebno. Ukoliko dobro razmotrimo jednačine (10) do (13), u četiri jednačine zapazićemo 4 nepoznate i to:  $m_s$ ,  $x_s$ ,  $t_s$  i  $h_s$ .

Iz jednačina (10) do (13) dobili smo neposredna rešenja za  $t_s$  i  $x_s$ :

$$m_s = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (14)$$

$$h_s = h_R - \frac{\dot{Q}_{R \text{ tot}}}{\dot{m}_s} \quad (15)$$

$$x_s = x_R + \frac{h_s - h_R}{\dot{Q}_{R \text{ tot}}} \dot{m}_{vp} \quad (16)$$

$$t_s = \frac{h_s - r_w x_s}{c_p + c_{pw} x_s} \quad (17)$$

Koeficijenti kvadratne jednačine potrebni za izračunavanje vrednosti  $m_s$  su:

$$a = AC + BD$$

$$b = AH - EC - FD$$

$$c = FG - EH$$

gde su:

$$A = R + R_w x_R = 287 + 461,5 x_R$$

$$B = 273 A = 273 A$$

$$C = h_R - r_w x_R = h_R - 2500 x_R$$

$$D = c_p + c_{pw} x_R = 1,006 + 1,86 x_R$$

$$E = R_w m_{vp} = 461,5 m_{vp}$$

$$F = 273 E + p V_s = 273 E + 10^5 V_s$$

$$G = c_{pw} m_{vp} = 1,86 m_{vp}$$

$$H = r_w m_{vp} - Q_{R \text{ tot}} = 2500 m_{vp} - Q_{R \text{ tot}}$$

Za određeno stanje vazduha u prostoriji i kod nepromenljivog  $m_{vp}$  od opterećenja prostorije zavisi samo član  $H$  što slučaj dosta pojednostavljuje.

Praktičan primer proračuna dat je u tački 6.2.2.

### 5.3. Pojednostavljena analitička metoda [6]

Ako se usvoji pretpostavka da je  $m_s = 1,2 V_s$ , oslobodimo se jednačine (10) u nizu jednačina od (10) do (13) možemo veoma jednostavno da odredimo vrednosti  $h_s$ ,  $x_s$  i  $t_s$ . Potrebno je poznavati stepen greške (vidi takođe tačku 3.2).

## 6. Računski primeri

Vrednosti konstanta  $c_p$ ,  $r_w$ ,  $c_{pw}$ ,  $R$ ,  $R_w$  (vidi tačku 5.2).

## 6.1. Određivanje dovodne količine vazduha [2]

Uzmimo letnji period, kada za proračun usvajamo najnižu vrednost temperature. Podaci za klimatizovanu prostoriju su:

$$\begin{aligned} t_R &= 26^\circ\text{C} \\ x_R &= 0,011 \text{ kg/kg} \\ h_R &= 54,19 \text{ kJ/kg} \\ Q_{R \text{ sen}} &= 11,220 \text{ kW} \\ Q_{R \text{ lat}} &= 3,780 \text{ kW} \\ m_{vp} &= 0,001 \text{ kg/s} \\ p &= 10^5 \text{ Pa} \end{aligned}$$

Proračun:

$$\begin{aligned} (3) \quad a &= 15\,000 \text{ kJ/kg} \\ (5) \quad x_s &= 0,01034 \text{ kg/kg} \\ (4) \quad h_s &= 44,31 \text{ kJ/kg} \\ (6) \quad m_s &= 1,518 \text{ kg/s} \\ (7) \quad V_s &= 1,28887 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

## 6.2. Određivanje stanja dovodnog vazduha [2]

### 6.2.1. Na osnovu numeričke metode iz tačke 5.1.

Uzmimo zimski period imajući u vidu da ventilator tokom godine dovodi  $4\,640 \text{ m}^3/\text{h} = 1,289 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Podaci za klimatizovanu prostoriju su:

$$\begin{aligned} t_R &= 20^\circ\text{C} \\ x_R &= 0,007 \text{ kg/kg} \\ h_R &= 37,88 \text{ kJ/kg} \\ Q_{R \text{ sen}} &= -7 \text{ kW} \\ m_{vp} &= 0,000701 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

Proračunom se dobija:

$$\begin{aligned} t_s &= 30,5^\circ\text{C} \\ x_s &= 0,006 \text{ kg/kg} \\ \rho_s &= f(t_s, x_s) = 1,16 \text{ kg/nrv} > \end{aligned}$$

$$\dot{m}_s = \dot{V}_s \frac{\rho_s}{1 + x_s} = 1,486 \text{ kg/s}$$

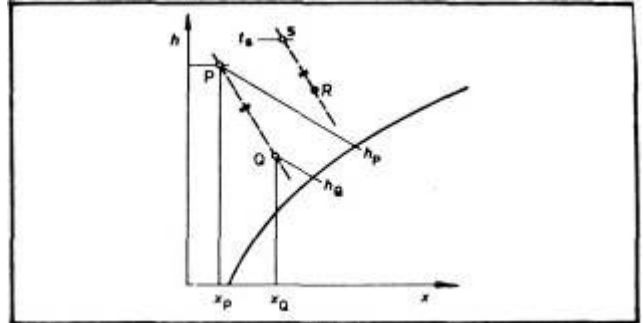
(pri određivanju  $V_s$ , bila je vrednost  $m_s = 1,518 \text{ kg/s}$ ):

$$\begin{aligned} (11) \quad h_s &= 42,59 \text{ kJ/kg} \\ (3) \quad a &= -9986 \text{ kJ/kg} \\ (12) \quad x_s &= 0,006528 \text{ kg/kg} \\ (13) \quad t_s &= 25,8^\circ\text{C} \end{aligned}$$

S obzirom na nove vrednosti  $x_s$  i  $t_s$ , možemo izabrati nove približne vrednosti za gustinu vazduha. Postupak ponavljamo sve dok ne izdvojimo grešku.

### 6.2.2. Na osnovu analitičke metode iz tačke 5.2 [3]

Uzmimo letnji period. Podaci za klimatizovanu prostoriju su:



Sl. 10.

$$\begin{aligned} t_R &= 26^\circ\text{C} \\ V_s &= 1,28887 \text{ m}^3/\text{s} \\ m_{vp} &= 0,001 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

Imajući u vidu različite zahteve za apsolutnu vlažnost prostorije (0,011 ili 0,004 kg/kg) i toplotno opterećenje prostorije (15 ili 5 kW), izrazito je prikazan uticaj uduvanog vazduha u sledećoj tabeli ( $h_R$  je entalpija vazduha u prostoru u kJ/kg).

$t_R$	26	26	26
$X$	0,011	0,011	0,004
$h_R$	54,19	54,19	36
$Q_{r \text{ tot}}$	15	5	15
$a$	89 596,86	89 596,86	87 424,76
$b$	-136 263,27	-136 263,27	-134 516,16
$c$	245,733	241,118	245,733
$m_s$	1,51904	1,519077	1,5368
$h_s$	44,32	50,90	26,24
$X_s$	0,01034	0,01034	0,003349
$t_s$	18,0	24,4	17,7

## 6.3. Grafičko određivanje radne linije prostorije

Uzmimo zimski period i primer kada Molijerov dijagram  $h - x$  nema dodatnu skalu  $\Delta h/\Delta x$  (vidi sliku 10):

$$\begin{aligned} a &= -9985 \text{ kJ} \approx -10\,000 \text{ kJ/kg} \\ t_R &= 20^\circ\text{C} \\ x_R &= 0,007 \text{ kg/kg} \end{aligned}$$

$$h_R = 37,88 \text{ kg/kg}$$

— izaberemo proizvoljnu tačku P,  $h_Q - h_p$   
— izaberemo tačku Q tako, da odnos  $\frac{h_Q - h_p}{x_Q - x_p}$

bude jednak Q.

Ako uzmemo za  $x_Q - x_p = 0,001$  možemo odrediti  $h_Q$

$$h_Q = a \cdot 0,001 + h_p = -10 + 30 = 20 \text{ kJ/kg}$$

Duž PQ određuje smer radne linije prostorije, koju treba samo uporedo pomeriti do stanja vazduha u prostoriji. Rešenje je moguće pomoću skale  $Q_{\text{sen}} / Q_{\text{tot}}$ , (SHF).

## 7. Zaključak

Sve metode proračuna uduvanih količina i stanja vazduha, opisane u ovom članku, nisu prikladne za ručno računanje, već za računanje pomoću džepnog ili većeg računara. Opisano je takođe nekoliko pojednostavljenih metoda za izračunavanje, koje se uopšte primenjuju i koje će se verovatno još uvek primenjivati za brzo donošenje ocena. Cilj članka je bio da se prikaže metoda koja je jedino tačna u računanju pojmova i skretanju pažnje na pojedine stavove pri pojednostavljenom proračunu.

Potrebno je napomenuti da se u članku ograničilo na klimatizacione uređaje koji dovode u prostorije konstantne količine vazduha, te se delimičnom opterećenju prilagođavaju samo promenom stanja dovodnog vazduha (KAV), kao i na uređaje koji kao glavne prenosnike toplote koriste isključivo vazduh. Za uređaje VAV, kombinovane uređaje

VAV i KAV [6, 7] i za kombinovane vodeno—vazdušne klimatizacione uređaje (npr. indukcione), bilo bi potrebno postupak proračuna prilagoditi i pri tome utvrditi vlažnost vazduha, pošto znamo da se za uređaje VAV pri smanjenoj dovodnoj količini vazduha smanjuju mogućnosti sušenja.

Ovde i uopšte za prostorije gde vlaga nije bitna, morali bismo obrnuto putem poznate vlažnosti dovodnog vazduha određivati stvarne vlažnosti u prostoriji. Slično, ali svakako bolje je stanje dvokanalnih i mnogozonskih uređaja, gde stanje dovodnog vazduha pripremamo mešanjem struje hladnog i toplog vazduha [7]. Odstupanja od planiranih  $t_R$  su takođe kod zonskih uređaja KAV.

## Literatura

- [1] GOLI, D.: *Ventilatori klimatizacionih uređaja, pravilan izbor i racionalno korišćenje*, »KGH«, br. 1/81, SMEITS, Beograd.
- [2] LEINER, W.: *Luftmengenbestimmung bei raumlufthechnischen Anlagen*, TAB, br. 1/81.
- [3] \*\*\*: proračun autora.
- [4] GOLI, D.: *Racionalna poraba energije v klimatizacijskih napravah*, Strojniški vestnik, Ljubljana, br. 1—6/1980.
- [5] GOLI, D.: *Načrtovanje klimatizacijskih sistemov z računalnikom glede na racionalno porabo energije*; poročilo o raziskovalni nalogi, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, 1978.
- [6] GOLI, D.: *Problemi ugradnje termostata u sisteme VAV*, KGH, br. 4/1978, SMEITS, Beograd.
- [7] GOLI, D.: *Variante klimatizacijskih sistemov s spremenljivim volumenskim tokom zraka*, diplomski rad, Ljubljana, 1975.
- [8] GOLI, D.: *Načrtovanje klimatizacijskih sistemov glede na najmanjšo porabo energije*, magistrski rad, Ljubljana, 1981.