

# Karakteristike i regulabilnost vodenih ovlaživača

Mladen Imenšek, dipl. ing.,  
RO »Monter«, OOUR Projektni biro,  
41000 Zagreb,  
Spasićev prilaz 5

U članku su date informacije o ponašanju vodenih ovlaživača u eksploataciji, pri upotrebi različitih elemenata dvopoložajne i kontinuirane regulacije. Step en ovlaživanja se dovodi u vezu sa konstrukcijom ovlaživača i zaprljanošću sapnica i pri tome se naglašava kvalitet kontinualne regulacije ovlaživača moduliranjem pritiska na sapnicama.

Kontinuirana regulacija ovlaživača moduliranjem pritiska na sapnicama omogućuje i dobru kontrolu relativne vlage u prostoru, što je od posebnog značaja.

Konfiguracija klima-komore sadrži često sekciju za vodeno ovlaživanje. Usmerivač zraka na ulazu, jedan ili dva reda sapnica za rasprskavanje vode, odvajač kapljica te recirkulaciona pumpa, osnovni su konstrukcioni elementi svake sekcije za vodeno ovlaživanje i bitni za njeno pravilno funkcioniranje.

Recirkulaciona pumpa ostvaruje na sapnicama natpritisak rasprskavanja u rasponu od  $\Delta P_s = 1,5 - 3$  bar.

Spektar veličine kapljica ovisi o konstrukciji sapnice, odnosno konusu rasprskavanja i iznosi 0,2—0,5 mm. Oko 70% kapljica ima promjer od 0,3 mm.

Ispitivanja su pokazala da se optimalno zasićenje zraka vodom postiže pri natpritisaku na sapnici od:

$$\Delta P_{opt/s} = 2,5 \text{ bar,}$$

te propusnoj moći sapnice od:

$$W_s = 2,5 \text{ kg/min.}$$

Na sl. 1. prikazana je karakteristika sapnice s optimalnom radnom tačkom »R«, kao što je prije spomenuto.

Sapnica gubi sposobnost dobrog rasprskavanja pri reduciranoj količini vode ispod 50%. Time je određena granica rasprskavanja  $G-G$ , sa:

$$W_G = 1,25 \text{ kg/min,} \quad \Delta P_G = 0,6 \text{ bar}$$

kao što pokazuje sl. 1.

U slučaju adijabatskog ovlaživanja, koje je predmet ovog razmatranja, definiran je učin ovlaživača te izlazno stanje zraka iz ovlaživača pomoću *stepena djelovanja*, kako slijedi (sl. 2):

$$\eta_{ovl} = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_f} \approx \frac{X_2 - X_1}{X_F - X_1}$$

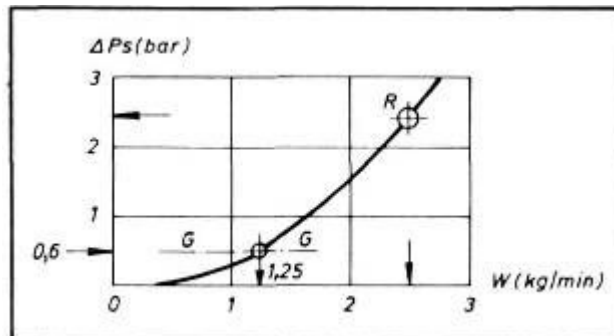
Stepen djelovanja, koji u stvari izražava dobrotu izmjene topline i mase u ovlaživaču, ovisi o nizu parametara i to: brzini strujanja zraka, dužini sekcije, smjeru rasprskavanja vode, natpritisaku na sapnici, broju sapnica i dr.

## 1. Brzina strujanja zraka $V_o$

Za uniformno polje brzina brine se usmjerivač na ulazu u sekciju ovlaživanja. Povećanje brzine strujanja zraka ( $V_o$ ) kroz ovlaživač smanjuje stepen djelovanja ( $\eta_{ovl}$ ), jer se skraćuje vrijeme kontakta zraka i vodenih kapljica. U praksi se brzina ( $V_o$ ) bira u rasponu od 2,5 m/s do 4,0 m/s, s tim da je normalno pogonsko stanje pri

$$V_{norm.} = 3,0 - 3,5 \text{ m/s}$$

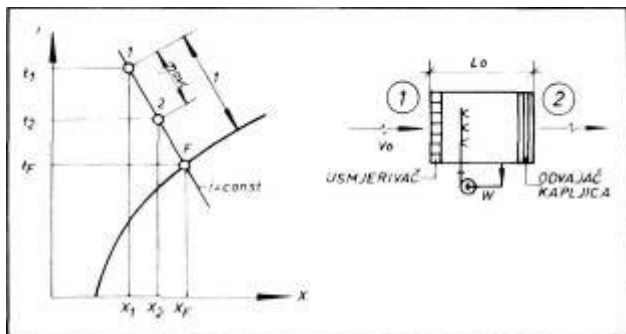
Sl. 1.



S tim u vezi se pad pritiska na zračnoj strani sa sapnicama u radu (vodeni zastor) kreće u rasponu od:

$$\Delta P_{ovl} = 100 - 240 \text{ Pa.}$$

Sl. 2.



## 2. Dužina sekcije $L_0$

Veća dužina sekcije *povećava* stepen djelovanja ( $\eta_{ovl}$ )» Jer produžuje kontaktno vrijeme zraka i vodenih kapljica. Sekcije se konstrukcijski grade s dužinom od 2 m odnosno 3 m.

## 3. Smjer rasprskivanja vode

Sapnice mogu biti u ovlaživaču tako orijentirane da vodu rasprskivaju suprotno ili u smjeru strujanja zraka. Rasprskivanje vode suprotno smjeru strujanja zraka *poboljšava* stepen djelovanja ovlaživača ( $\eta_{ovl}$ ), jer produžuje vrijeme kontakta zraka i kapljica.

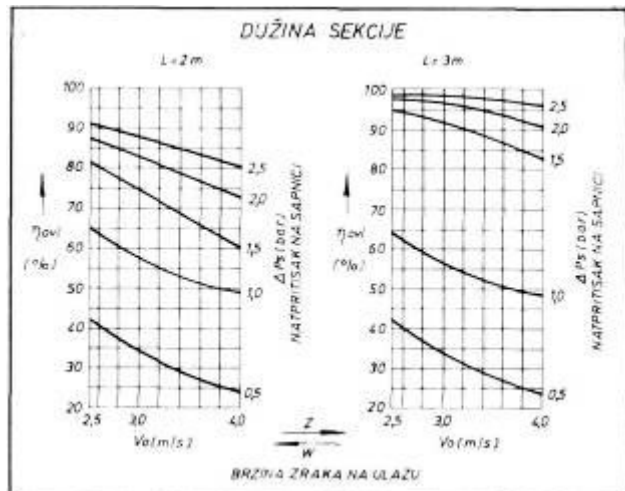
## 4. Natpritisak na sapnici $\Delta P_s$

Veći natpritisak na sapnici *povećava* stepen djelovanja ovlaživača ( $\eta_{ovl}$ ) iz dva razloga:

a) povećava se maseni odnos voda-zrak ( $m_v/m_z = \text{kg}_v/\text{kg}_z$ ) zbog povećane propusne moći sapnice pri većem  $\Delta P_s$ ;

b) povećava se kontaktna površina zraka i vode, zbog rasprskavanja uvećane količine vode na sapnici u mnogo sitnije kapljice.

Sl. 3.



## 5. Broj sapnica

Povećani broj sapnica također *uvećava* stepen djelovanja ovlaživača ( $\eta_{ovl}$ ) zbog uvećanog masenog odnosa voda-zrak ( $m_v/m_z$ ) te veće kontaktne površine zraka i kapljica. Ovlaživači se obično grade:

- sa 1 ili 2 reda sapnica,
- sa 30—35 kom. sapnica po  $\text{m}^2$  poprečnog presjeka sekcije,
- za maseni odnos voda-zrak u rasponu od 0,3 do 0,34  $\text{kg}_v/\text{kg}_z$ .

Tabela br. 1 daje informacije o stepenu djelovanja ovlaživača s 1 i 2 reda sapnica u smislu objašnjenja pod točkom 2, 3. i 5, uz konstantnu nastrujnu brzinu zraka od  $V_0 = 3,0 \text{ m/s}$ , te konstantan nadpritisak na sapnicama od  $\Delta P_s = 2,5 \text{ bar}$ .

Tabela 1.

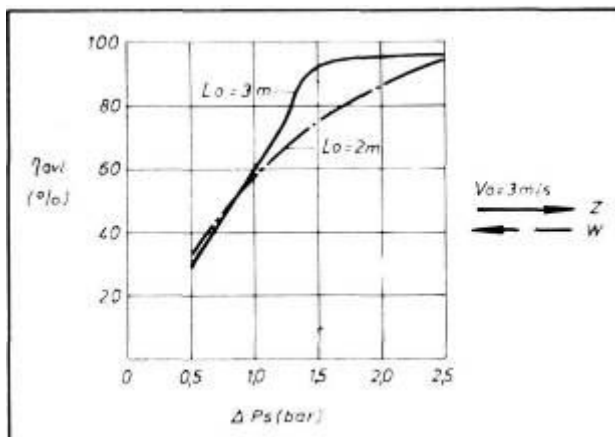
| Red sapnica | Smjer rasprskivanja voda / zrak           | Dužina 2 m | Sekcije ( $L_0$ ) 3 m |
|-------------|-------------------------------------------|------------|-----------------------|
| 1           | paralelno                                 | 70%        | 80%                   |
| 1           | protustrujno (sl. 4)                      | 86%        | 98%                   |
| 2           | paralelno                                 | 80%        | 95%                   |
| 2           | 1. red—paralelno<br>2. red — protustrujno | 87%        | 98%                   |

Međuzavisnosti opisane pod tač. 1. do 5. prikazane su i grafički na sl. 3. za sekciju ovlaživanja s *jednim* redom sapnica, koje rasprskavaju vodu u smjeru *suprotnom* strujanju zraka. Kao što se vidi, za optimalni natpritisak na sapnicama od 2,5 bar i dužinu sekcije od  $L_0 = 3 \text{ m}$ , postižu se vrlo visoki stepeni ovlaživanja (98%).

Kad je sekcija ovlaživača konstrukcijski određena svojom dužinom i poprečnim presjekom, pumpom, te brojem, rasporedom i orijentacijom sapnica, tada je za zadani protok zraka definiran i maksimalni stepen ovlaživanja ( $\eta_{ovl \text{ max}}$ ).

Proces u takvom ovlaživaču te izlazno stanje zraka moguće je *regulirati* samo preko stepena ovlaživanja i to promjenom masenog odnosa

Sl. 4.



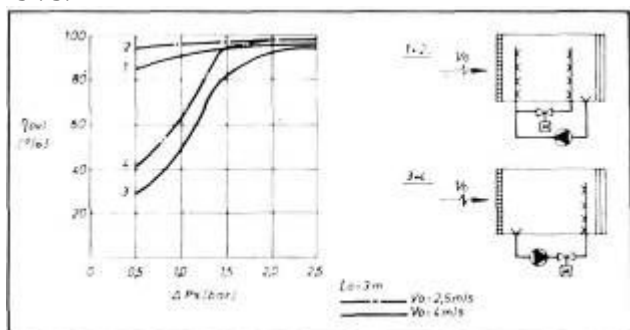
voda-zrak ( $m_v/m_z$ ) odnosno variranjem natpritiška na sapnicama u granicama 2,5 — 0,5 bar, kao što pokazuje i dijagram na sl. 4 (protustrujno rasprskivanje, brzinu strujanja zraka  $V_0 = 3$  m/s).

Zbog prethodno opisanih svojstava sapnica, vodeni ovlaživač je smanjivanjem pritiska na sapnicama moguće regulirati *kontinuirano* u rasponu od  $\eta_{ovl. maks.}$  (80% do 98%) do:

$$\eta_{ovl. min.} \approx 30\%,$$

a ne isključivo dvopoložajno (radi — ne radi), što je, usprkos slabijem kvalitetu dvopoložajne regulacije, u praksi vrlo čest slučaj.

Sl. 5.



Dijagram na sl. 5, sadrži rezultate ispitivanja firme »LTG« za sekciju ovlaživanja dužine  $L_0 = 3$  m, uz maseni odnos  $m_v/m_z = 0,263$ . Vidi se da izborom poprečnog presjeka klima komore, a time i sekcije ovlaživača, možemo preko  $V_0$  utjecati na minimalni stepen ovlaživanja  $\eta_{ovl. min.}$  odnosno raspon kontinuirane regulacije ovlaživača. Manji presjek i veća brzina zraka  $V_0$  omogućuju bolju regulabilnost (krivulja 3. i 4.), ali se to naravno plaća povećanim padom pritiska na zračnoj strani.

Krivulje 1. i 2. na sl. 5. odnose se na ovlaživač s dva reda suprotno orijentiranih sapnica. Sapnice s protustrujnim rasprskivanjem imaju kontinuirano reguliran  $\Delta P_s$ , dok sapnice s paralelnim rasprskivanjem rade s  $\Delta P_s = \text{const}$ . Step en ovlaživanja je pri ovakvoj konfiguraciji regulabilan samo u *vrlo uskoj* rasponu od oko 8%. Želimo li međutim i ovdje dostići minimalni stepen ovlaživanja, od cca 30%, treba oba reda sapnica opremiti regulacionim organom za kontinuiranu promjenu  $\Delta P_s$ .

Bilo da se vodeni ovlaživač regulira *posredno*, preko »točke rose«, ili *direktno* relativnom vlagom klimatiziranog prostora, o čemu će još biti riječi, kontinuirana promjena pritiska na sapnicama  $\Delta P_s$  izvodi se u praksi pomoću *skretnog* ili *prolaznog* ventila, kao što prikazuje sl. 6.

Recirkulaciona pumpa i regulacioni ventil dimenzioniraju se za protok vode od:

$$Q_p = Q_v = \frac{L \cdot \gamma_L \cdot \left( \frac{m_v}{m_L} \right)}{1000} \quad (\text{m}^3/\text{h})$$

( $L$  — protok zraka,  $\text{m}^3/\text{h}$ ).

Ventil treba birati s istoprocenatnom karakteristikom, dobrom regulabilnošću u donjem dijelu karakteristike, te padom pritiska na ventilu od  $\Delta P_v = 0,3$  f  $0,5$  bar u potpuno otvorenom stanju, kako bi se ostvario »autoritet« ventila u regulacionom krugu. Pumpa treba dakle ostvariti dobavni pritisak od  $P_p = \Delta P_s + \Delta P_v = 2,8 + 3,0$  bar ( $\Delta P_s = 2,5$  bar za optimalni rad sapnica).

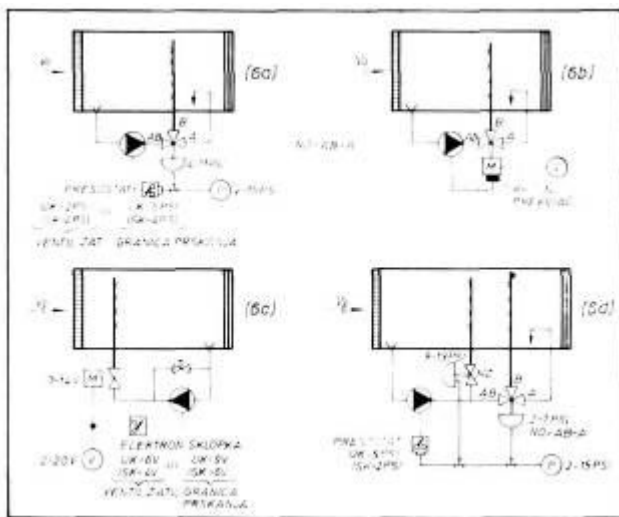
Za oko 40% hoda (otvorenosti) ventila dostiže se granica rasprskavanja na sapnicama koja odgovara  $\Delta P_s = 0,5 + 0,6$  bar (vidi sl. 1). To je momenat, kad je poželjno isključiti iz pogona pumpu ovlaživača i time uštedjeti energiju. Snaga ovih pumpi je iznad 1,1 kW već kod klima-komora srednjeg kapaciteta, pa to nije zanemariva ušteda. Ovisno o tipu primijenjene regulacije, startanje i isključivanje pumpe se u praksi izvodi:

a) nivoom regulacionog pritiska pri pneumatskoj regulaciji preko presostata (sl. 6a);

b) položajem krajnjih prekidača na servomotoru ventila pri elektromehaničkoj regulaciji (sl. 6b);

c) pragom napona pri elektronskoj regulaciji pomoću elektronske sklopke (sl. 6c).

Sl. 6.



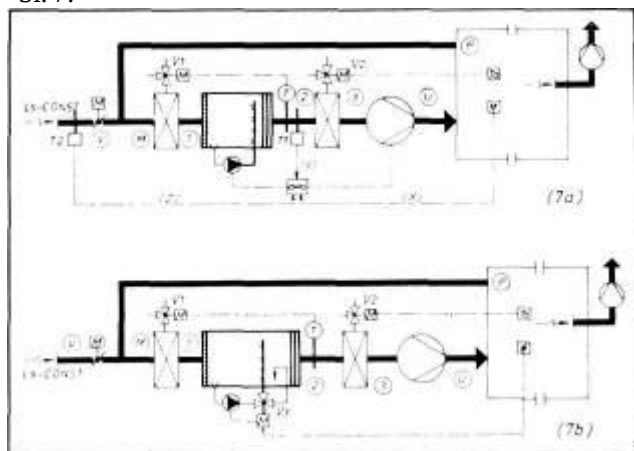
Primjena skretnih ventila (sl. 6a, 6b) dopušta startanje pumpe i kad je ventil u odnosu na sapnice u zatvorenom položaju (AB — B zatv). Istu mogućnost pruža i ophod (by pass) oko pumpe u slučaju prolaznog ventila (sl. 6c, uk. — 6V/isk. — 4V).

Zbog opisane karakteristike sapnica preferira se pokretanje pumpe *iznad* granice rasprskavanja, tj. kada je djelomično otvoren ventil (pneumatika B PSI, elektronika 9 V).

Ovlaživači s dva reda sapnica reguliraju se pomoću dva ventila *u kaskadi*, kao što u pneumatskoj varijanti predlaže sl. 6d. Na sl. 7. izvršena je usporedba dvopoložajno (7a) i kontinuirano (7b) reguliranog ovlaživača u sistemu s konstantnom količinom svježeg zraka  $L_s = \text{const}$ . Ovdje valja općenito naglasiti da se stanje prostora (P) u pogledu relativne vlage NE može birati proizvoljno kad je u pitanju vlaženje, već

ga diktiraju toplinska svojstva staklenih površina (K) i moguća pojava kondenzacije na njima pri niskim vanjskim temperaturama (npr. za dvostruko staklo,  $t_{st} \approx 8^\circ\text{C}$  i  $\phi_{PR} = 43\%$ , za  $t_v = -15^\circ\text{C}$ ).

Sl. 7.



U sistemu prikazanom na sl. 7a pumpa ovlaživača se aktivira istovremeno kada i tlačni ventilator. Dok je pumpa u pogonu, ona ostvaruje konstantan pritisak na sapnicama, pa ovlaživač radi s *maksimalnim* stepenom ovlaživanja ( $\eta_{ovl. maks.} = 85\%$ ). Proces ovlaživanja regulira se posredno preko »točke rose«, pri čemu proporcionalni termostatski (T) održava stanje (2) iza ovlaživača djelovanjem na ventil predgrijača (V1).

Prostorni proporcionalni termostatski ( $T_0$ ) održava željenu temperaturu prostora modulirajući ventil dogrijača V2.

Na i—x dijagramu (sl. 8) je vidljivo da ova regulacija ovlaživanja postaje neefikasna pri vanjskim temperaturama iznad  $0^\circ\text{C}$ . Pogon ovlaživača tada po naravi procesa pridonosi porastu relativne vlage u klimatiziranom prostoru (točke 2', 2''), a time i uvećanom utrošku (omekšane) vode W za nadopunjavanje ovlaživača:

$$W = L \cdot \gamma_L \cdot (x_2 - x_1), \quad \text{kg/h}$$

$$\Delta W = L \cdot \gamma_L \cdot (x_2' - x_2), \quad \text{kg/h.}$$

Pumpa ovlaživača se u toj situaciji isključuje iz pogona na jedan od tri načina prikazana na sl. 7a:

- (x) dvopoložajnim higrostatom (cp) iz prostora podešenim npr. na 50% rel. vlage;
- (y) dvopoložajnim termostatom ( $T_1$ ) iza ovlaživača na koji se postavlja gornja granična vrijednost točke rose (npr.  $10^\circ\text{C}$ );
- (z) dvopoložajnim vanjskim termostatom ( $T_2$ ), podešenim na  $5^\circ\text{C}$ .

Uvođenjem reguliranog ovlaživača u sistem (sl. 7b), postiže se superiorniji kvalitet regulacije, jer se relativna vlaga kontinuirano regulira *direktno* iz samog prostora, što je do sada bila uglavnom privilegija parnog ovlaživanja.

Termostatski (T) održava stanje (2) iza ovlaživača modulirajući ventil predgrijača (V1), dok prostorni termostatski ( $T_0$ ) održava željenu temperaturu prostora preko ventila dogrijača (V2).

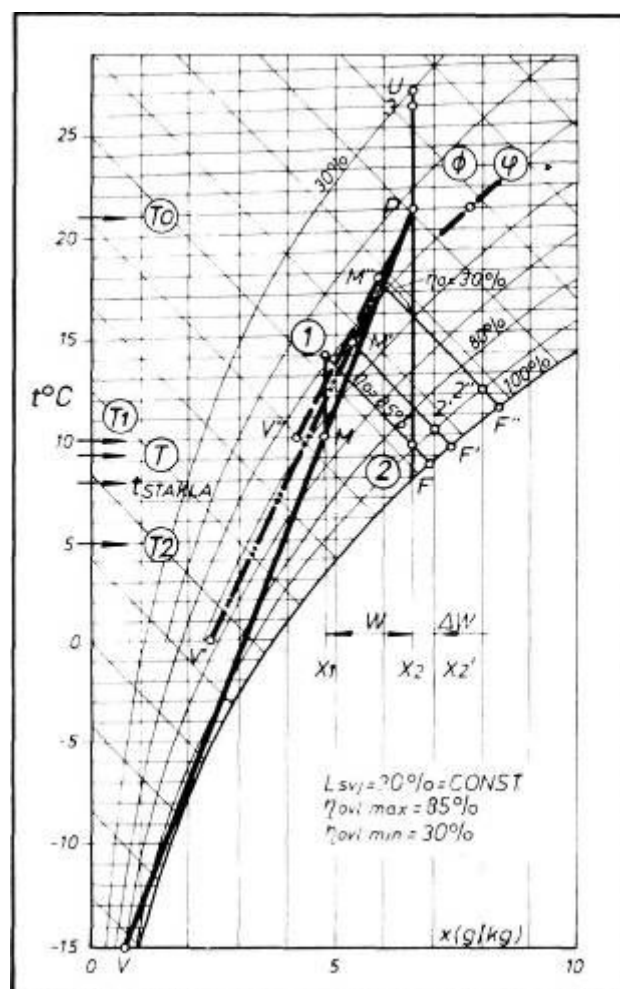
Porastom vanjske temperature, nakon zatvaranja ventila (V1) proporcionalni prostorni higrostat ( $\phi$ ) smanjuje pomoću (V3) pritisak na sapnicama i stepen ovlaživanja do  $\eta_{ovl. min.} = 30\%$ , održavajući precizno relativnu vlagu prostora do vanjskih temperatura od  $10^\circ\text{C}$ . Proces se odvija bez šokova, a nadopunjavanje ovlaživača omekšanom vodom je primjereno potrebama ovlaživanja (sl. 8, i—x dij.). Pumpa ovlaživača se isključuje iz pogona na jedan od načina predloženih na sl. 6.

Konceptcija s vodenim ovlaživačem i promjenljivom količinom svježeg zraka  $L_s \neq \text{const.}$  prikazana je na sl. 9. Uz udio svježeg zraka od cca 25% ili manje, predgrijač nije potreban, već njegovu ulogu preuzimaju žaluze za miješanje.

Na sl. 9a ovlaživač radi s konstantnim pritiskom na sapnicama, a time i *maksimalnim* stepenom ovlaživanja ( $\eta_{ovl. maks.}$ ).

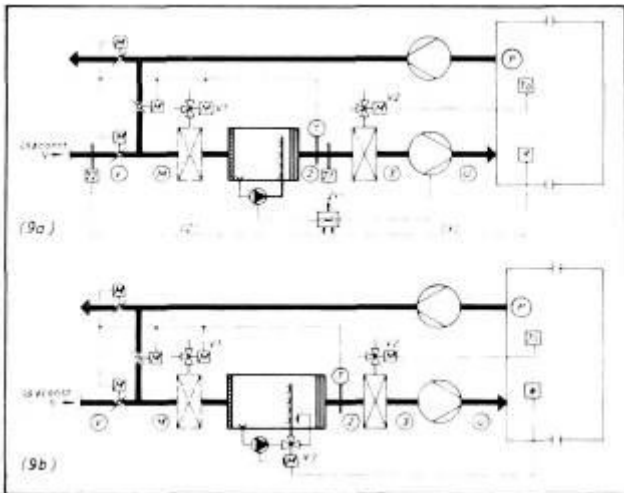
Proporcionalni termostatski (T) održava »točku rose«, tj. stanje (2) iza ovlaživača, moduliranjem žaluza za miješanje u smislu uvođenja u proces sve veće količine svježeg zraka s porastom vanjske temperature. Ova posredna regulacija procesa ovlaživanja limitirana je s oko  $12^\circ\text{C}$  vanjske temperature, kao što pokazuje i—x dijagram na sl. 10. Iznad spomenute temperature slijedi porast relativne vlage u prostoru, pa se pumpa ovlaživača isključuje iz pogona na jedan od tri prethodno opisana načina ( $\phi$ ,  $T_1$ ,  $T_2$ ).

Sl. 8.



Za veći udio svježeg zraka od 20% (točka *M* na sl. 10) neminovna je upotreba predgrijača, koji je tada reguliran u sekvenci sa žaluzama pomoću termostata »T«. Primjenom kontinuirane regulacije ovlaživača u ovoj konfiguraciji (sl. 9b) postiže se, osim kvalitativnog poboljšanja, i pomak granice dobre regulabilnosti sistema do 15°C vanjske temperature.

Sl. 9.



## Zaključak

1. Maksimalni stepen ovlaživanja vodenog ovlaživača određen je njegovom konstrukcijom.

2. Uz konstantan natpritisak na sapnicama ovlaživač radi uvijek s maksimalnim stepenom ovlaživanja, čime je jednoznačno određeno izlazno stanje na adijabati ovlaživanja.

3. Loše održavanje ovlaživača, naročito sapnica, nečistoće, te upotreba neomekšane vode za nadopunjavanje, pogoršavaju tokom vremena stepen ovlaživanja, jer začepljuju sapnice i smanjuju količinu vode na njima, što neposredno utječe na parametar relativne vlage u prostoru. Permanentno ispuštanje vode u količini od 2,2 —

— 2,5 l/h po 1 000 m<sup>3</sup>/h zraka, stabilizira tvrdoću neomekšane vode za ovlaživanje u pogonski prihvatljivim granicama.

4. Kontinuirana regulacija ovlaživača moduliranjem pritiska na sapnicama omogućuje dobru kontrolu relativne vlage u prostoru, ekonomizira s energijom pumpe i utroškom (omekšane) vode za dopunjavanje, te produžuje pogon vodenog ovlaživača od 0°C do 15°C vanjske temperature, što iznosi cca 170 dana godišnje.

Sl. 10.

