

# Analiza rashladnog opterećenja hladnjaka u sistemima klimatizacije i mogućnost uštede energije

A. Janković \*

U sistemima klimatizacije u letnjem režimu rada hladnjak predstavlja najvitalniji deo opreme, jer od njegovog učinka zavisi efikasnost celog postrojenja, tj. postizanje željenog rashlađivanja i odvlaživanja vazduha. Isto tako hladnjak troši osnovni deo rashladne energije, pa je stoga neophodna brižljiva analiza rashladnog učinka hladnjaka. Svaka ušteda na hladnjaku je dragocena za ukupnu potrošnju energije rashladnog postrojenja.

U ovom tekstu će biti obrađen način uštede energije za hladnjak primenom obilaznog voda oko hladnjaka.

## 1. OSNOVNI PROCES HLAĐENJA BEZ DOGREJAČA

U jednom sistemu klimatizacije, uobičajeno je da se u letnjem režimu koristi minimalna količina svežeg vazduha određena iz uslova ventilacije, a ostatak vazduha je recirkulacija, tj. pripremljen i ohlađen vazduh koji se odsisava iz klimatizovanog prostora. Takva jedna instalacija prikazana je na slici 1, a proces hlađenja na slici 4.

Stanja vazduha su:

- O — spoljni vazduh,
- R — sobni vazduh,
- M — stanje mešavine,
- B — stanje na izlazu iz hladnjaka,
- ADP — temperatura tačke rose hladnjaka,
- S — vazduh na ulazu u prostoriju (potrebno stanje).

Rashladni kapacitet hladnjaka u ovom slučaju iznosi:

$$Q_{HL} = m (i_M - i_B) \text{ [kW]}$$

gde su:

$m$  — protok vazduha [kg/s],

$i$  — entalpija vazduha [kJ/kg],

pri čemu odvedena osjetljiva toplota iznosi:

$$Q_s = m \cdot C_p \cdot \Delta t \text{ [kW]},$$

a odvedena latentna toplota:

$$Q_l = m (X_R - X_B) \cdot r_o \text{ [kW]}$$

gde je:

$$C_p = 1,02 \text{ [KJ/kg}^\circ\text{C]},$$

$$r_o = 2450 \text{ KJ/kg.}$$

Samo u izuzetnim slučajevima ovaj proces može da se odvija bez primene dogrejača, jer obično je zbog potrebnog odvlaživanja ( $\Delta X = X_R - X_B$ ) temperatura vazduha na kraju procesa neprihvatljivo niska.

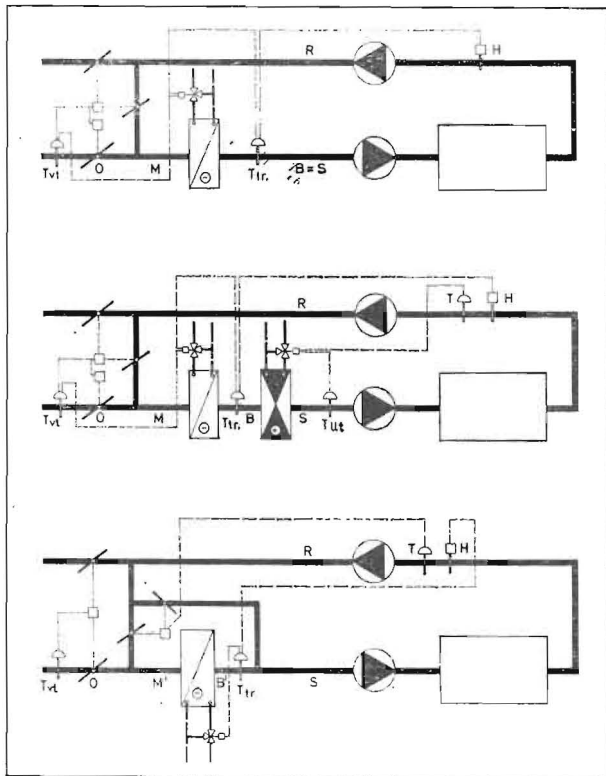
U slučaju da je izlazna temperatura vazduha iz hladnjaka niža od temperature tačke rose vazduha u prostoriji, neophodna je primena dogrejača. Isto tako u mnogim sistemima klimatizacije ubacena temperatura vazduha diktirana je tehnologijom da je neophodno vršiti dogrevanje.

## 2. PROCES HLAĐENJA SA UPOTREBOM DOGREJAČA

Slika 2. prikazuje instalaciju sa primenom dogrejača, a na sl. 5. prikazan je proces hlađenja i dogrevanja. Odvedena toplota na hladnjaku:

\*Aleksandar Janković, dipl. ing., *Energoprojekt — OOUR za urbanizam i arhitekturu*, 11070 Beograd, Bulevar Lenjina 12

Sl. 1—3:  $T_{vl}$  — senzor temperature po vlažnom termometru;  $T_{ir}$  — senzor temperature tačke rose;  $T_{iH}$  — senzori sobnih uslova (temperatura, vlažnost vazduha);  $T_{lir}$  — granični termostat najviše ubacne temperature.



$$Q_{HL} = m (i_M - i_B)$$

Rashladno opterećenje od svežeg vazduha:

$$Q_v = m (i_M - i_R)$$

Rashladno opterećenje od latentnih dobitaka u prostoru:

$$Q_{RS} = m (i_R - i_X)$$

Rashladno opterećenje od osetljivih dobitaka u prostoru:

$$Q_{RL} = m (i_X - i_S)$$

Dogrevanje:

$$Q_{dg} = m (i_S - i_B)$$

Stvarni rashladni učinak u sistemu iznosi:

$$Q_R = m (i_M - i_S)$$

Ukupno uložena energija iznosi:

$$Q = m (i_M - i_B) + m (i_S - i_B)$$

Očigledno da je ovaj proces u energetskom smislu veoma neekonomičan.

Da bi se izbegla upotreba dogrejača i dodatno trošenje energije, potrebno je kod većih rashladnih kapaciteta predvideti obilazni vod iznad hladnjaka i pogodnim odnosom mešanja izbeći upotrebu dogrejača.

### 3. PROCES HLADENJA OBILAZNIM VODOM OKO HLADNJAKA (BEZ DOGREJAČA)

Rashladno opterećenje hladnjaka sada iznosi:

$$Q_{HL} = m (i_M - i_S)$$

s obzirom da je izbačen dogrejač.

Upotrebom obilaznog voda u radu maseni protok kroz hladnjak iznosi:

$$\frac{m \text{ SR}}{B'R}$$

Novo rashladno opterećenje iznosi:

$$\frac{m \text{ SR}}{B'R} (i_M' - i_B')$$

Ovakvim načinom rada hladnjaka uštedi se u rashladnoj energiji i do 40% u odnosu na proces hlađenja 2 (sa upotrebom dogrejača).

Slika 3. prikazuje šematski ovu instalaciju, a na sl. 6. prikazan je proces koji se odvija u ovom slučaju.

S obzirom da se udeo svežeg vazduha ne menja u odnosu na prethodni slučaj, važi sledeća relacija:

ventilacionni deo rashladnog opterećenja

$$Q_{vent} = m (i_M - i_R) = m' (i_M' - i_R)$$

Jasno je da se u ovom slučaju smanjuje protok vazduha kroz hladnjak zbog korišćenja obilaznog voda oko hladnjaka, tako da važi i sledeća relacija:

$$Q_{rash.} = m (i_R - i_S) = m' (i_R - i_S')$$

Na osnovu ove relacije dobija se protok kroz hladnjak  $m'$  a zatim i rashladni kapacitet sa novim protokom vazduha.

$$Q'_{hl} = m' (i_M' - i_B') \text{ (KW)}$$

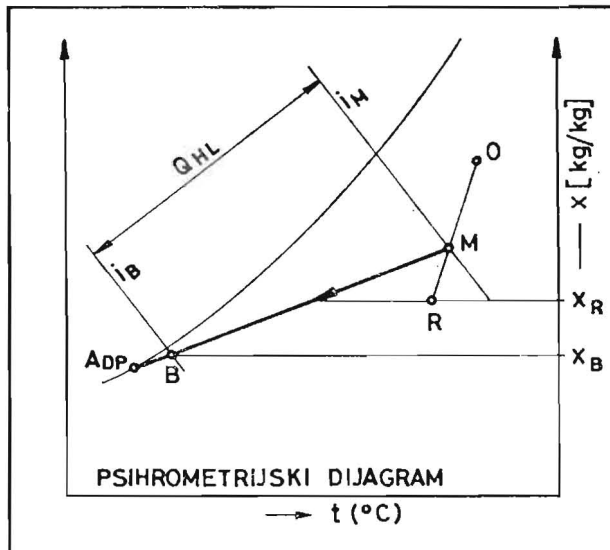
Kao provera mogu da posluže relacije:

$$i_M' = i_R + (i_O - i_R) \frac{m_O}{m'}$$

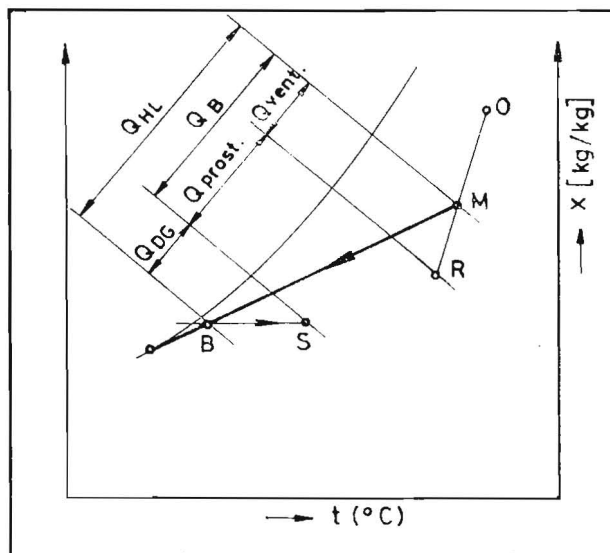
$$i_S = i_B' + \frac{m_R}{m_{tot.}} (i_R - i_B') = i_R - \frac{m_B'}{m_{tot.}} (i_R - i_B')$$

Očigledne prednosti ovog sistema mogu se videti iz sledećih primera:

Sl. 4:  $Q_{HL} = m (i_M - i_B)$  (kW)



Sl. 5: hladnjak:  $Q_{HL} = m (i_M - i_B)$ , dogrejač  $Q_{DG} = m (i_S - i_B)$ , stvarni rashladni učinak  $Q_R = m (i_M - i_S)$ ,  $Q_{vent.} = m (i_M - i_R) = m_{SV} (i_O - i_R)$ ,  $Q_{prost.} = m (i_R - i_S)$



**Primer 1:**

Spoljni uslovi:  $t_o = 34^\circ$   $\phi = 40\%$   
 Unutrašnji uslovi:  $t_o = 25^\circ$   $\phi = 50\%$   
 Dobici senzibilne toplote:  $Q_{oset} = 50$  kW  
 Dobici latentne toplote:  $Q_{lat} = 18$  kW  
 Ubacna temperatura:  $t_s = 18^\circ\text{C}$

Svež vazduh iznosi 20% od ukupne količine vazduha.

**Rešenje:**

Protok vazduha se dobija iz relacije:  
 $Q_{oset.} = mcp (t_R - t_s)$

$$m = \frac{Q_{oset.}}{cp(t_R - t_s)} = \frac{50}{1,02(25 - 18)} = 7,00 \text{ kg/S}$$

$m = 25\,200 \text{ kg/h}$ ;  $25\,200 \times 1,2 = 30\,240 \text{ m}^3/\text{h}$ .  
 količina svežeg vazduha je 20%;  $m_{sv} = 1,4 \text{ kg/S}$   
 Latentni dobici toplote  $Q_l = m\Delta x_r$ .

$$\Delta x = \frac{15}{7,00 \times 2450} = 0,875 \text{ g/kg}$$

**a) Proces bez upotrebe obilaznog voda**

Rashladno opterećenje hladnjaka iznosi:

$$Q_{bl} = m (i_M - i_B) = 7,00 (54,5 - 35) = 136,5 \text{ kW}$$

(ovde je usvojen faktor efikasnosti hladnjaka 0,85, za definisanje izlaznog stanja tj. kontakt faktor)

Kapacitet dogrejača:

$$Q_{dg} = mcp (t_s - t_b)$$

$$Q_{dg} = 7,00 \times 1,02 (18 - 13,5) = 32,13 \text{ kW}$$

**b) Proces sa upotrebom obilaznog voda oko hladnjaka**

Osnovna relacija je:

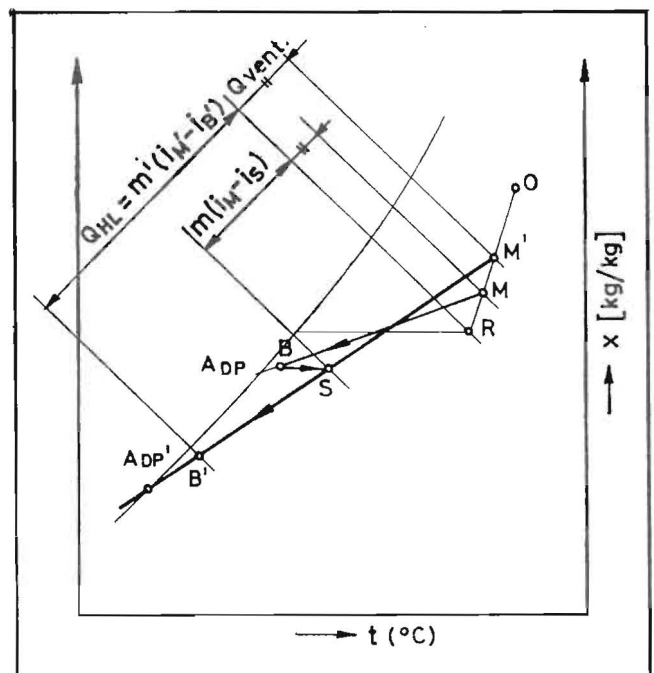
$$m (i_R - i_S) = m' (i_R - i_B')$$

Protok vazduha kroz hladnjak u ovom slučaju iznosi:

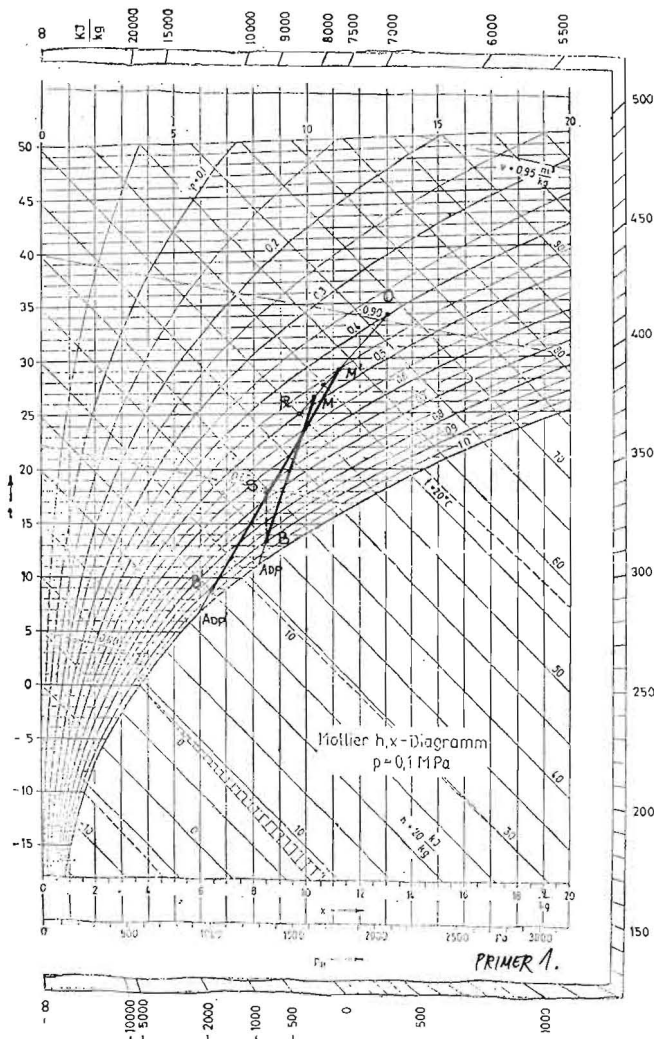
$$m' = m \frac{i_R - i_S}{i_R - i_B'} = 7,00 \frac{50,5 - 40}{50,5 - 26,5} = 3,06 \text{ kg/s}$$

Količina svežeg vazduha u oba slučaja je ista — 20% od ukupne količine vazduha:  $0,2 \times 7,00 = 1,4 \text{ kg/s}$ .  
 U ovom slučaju odnos:

Sl. 6: opterećenje od svežeg vazduha  $m (i_M - i_R) = m' (i_M - i_R) = m_{sv} (i_O - i_R)$ ,  $m =$  protok vazduha kroz hladnjak (bez obilaznog voda) (kg/s),  $m' =$  protok vazduha kroz hladnjak (u slučaju potrebe za obilaznim vodom),  $m_{sv} =$  protok svežeg vazduha isti u oba slučaja,  $m' < m$



Sl. 7.



$$\frac{m_{sv}}{m'} = \frac{1,4}{3,06} = 0,46 \text{ tj. } 46\%$$

tako da se u dijagramu dobija nova tačka mešanja M.

Rashladno opterećenje hladnjaka sa obilaznom vodom iznosi:

$$Q'_{hl} = m' (i_M - i_B) = 3,06 (59,5 - 26,5) = 100,98 \text{ kW}$$

Ušteda u odnosu na proces sa upotrebom dogrejača iznosi:

$$136,5 \text{ kW} - 100,98 = 35,52 \text{ kW}$$

**Primer 2:**

- Spoljni uslovi:  $t_{db} = 28^\circ\text{C}$ ,  $t_{wb} = 20^\circ\text{C}$
- Unutrašnji uslovi:  $t = 21^\circ\text{C}$ ,  $\phi = 50\%$
- Ubacna temperatura vazduha iznosi  $16^\circ\text{C}$
- Udeo svežeg vazduha iznosi 20%
- Dobici toplote u prostoru  $Q_{\text{oset.}} = 50 \text{ kW}$
- $Q_{\text{lat}} = 8 \text{ kW}$

**Rešenje:**

Protok vazduha  $m = 9,8 \text{ kg/s}$ ,  $x = 0,327 \text{ g/kg}$

**a) Proces bez obilaznog voda**

Rashladni kapacitet:

$$Q_{hl} = 9,8 (44,26 - 28,74) = 152,3 \text{ kW}$$

Kapacitet dogrejača:

$$Q_{dg} = 9,8 (35,14 - 28,75) = 62,6 \text{ kW}$$

**b) Proces sa obilaznim vodom oko hladnjaka**

Protok vazduha kroz hladnjak dobijen iz relacije:

$$9,8 (41,08 - 35,14) = m' (41,08 - 26,4)$$

$$m' = 3,99 \text{ kg/s}$$

Rashladni kapacitet:

$$Q' = m' (i_M - i_B) = 3,99 (48,9 - 26,4) = 89,6 \text{ kW}$$

Ušteda iznosi:

$$Q = 152,3 - 89,6 = 62,7 \text{ kW (41\%)}$$

**LITERATURA**

- [1] JONES, W. P.: *Air Conditioning Engineering*, Edward Arnold, Glasgow, 1973.
- [2] KRAFT: *Lehrbuch der Heizungs, Lüftungs und Klimatechnik*, Dresden, 1976.
- [3] \*\*\* *Handbook of air conditioning system design*, Carrier, Mc Graw Hill Book Company, 1965