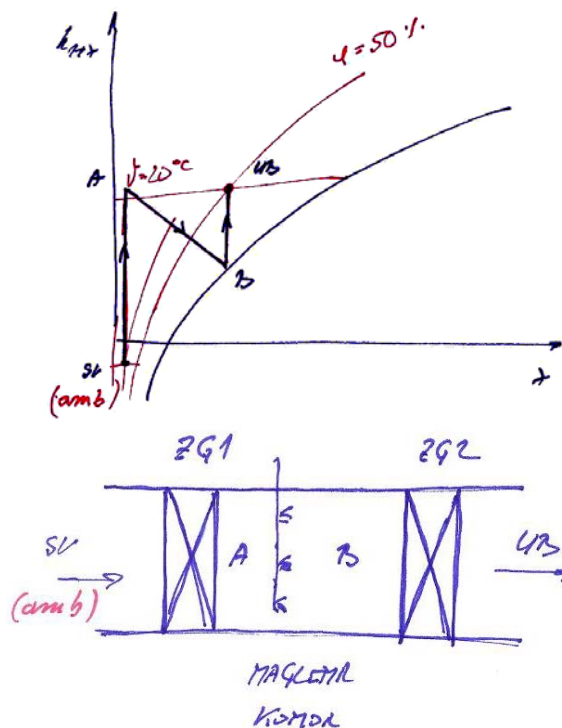


7.3.5 Termodinamička analiza rada postrojenja za pripremu vlažnog vazduha

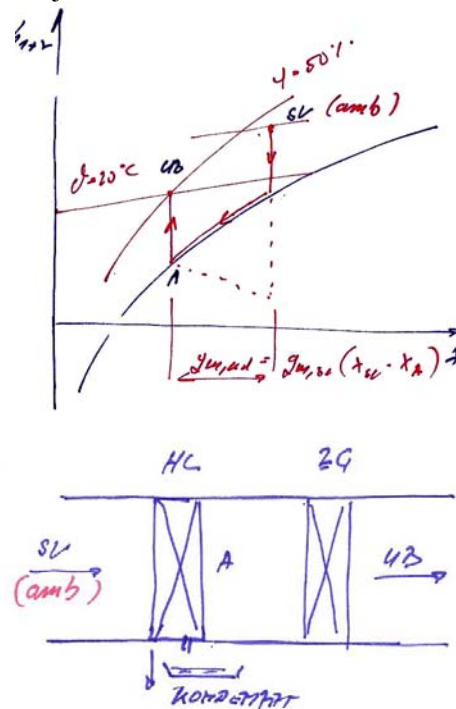
7.3.5.1 Termodinamička analiza rada postrojenja za pripremu vlažnog vazduha za klimatizovanje prostora (osnovno)

- Klimatizacija vazduha u nekom prostoru podrazumava konteolisano održavanje na zahtevanim vrednostima
 - temperature vazduha
 - vlažnost vazduha
- Uobičajeni termini:
 - „ubacni“ vazduh (ub) – pripremljen vazduh koji se ubacuju u prostor koji se klimatizuje
 - spoljašnji (svež) vazduh (sv), (amb)
 - uslovi udobnosti – (npr. $\varphi = 50\%$, $\vartheta = 20^\circ\text{C}$)

Zimski režim



Letnji režim

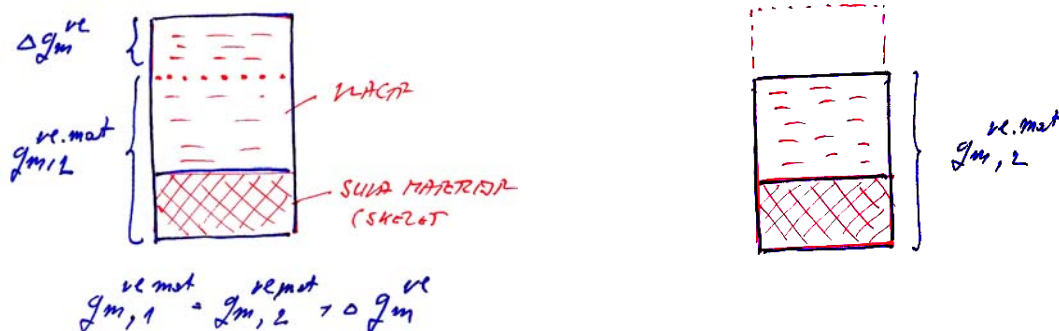


7.3.5.2 Termodinamička analiza rada konvektivnih sušara

Sušenje vlažnih materijala

Vlažan materijal – pre procesa sušenja –
(pre ulaska u sušaru)

Osušen (vlažan) materijal – po završetku procesa
sušenja – (na izlasku iz sušare)



Načini zadavanja (definisanja) vlažnosti vlažnog materijala - osnovno

1. Maseni udeo vlage u vlažnom materijalu (vlažnost po „vlažnoj osnovi“)

$$w = \frac{m_{\text{vlage}}}{m_{\text{vlažnog materijala}}} = \frac{m_{\text{vlage}}}{m_{\text{vlage}} + m_{\text{suvog materijala}}}$$

$$w = \frac{m_{\text{vl}}}{m_{\text{vl.mat}}} = \frac{m_{\text{vl}}}{m_{\text{sm}} + m_{\text{vl}}} \left[\frac{\text{kg vl.}}{\text{kg vl.mat.}} \right]$$

2. Maseni odnos vlage i suvog materijala (vlažnost po „suvoj osnovi“)

$$w' = \frac{m_{\text{vlage}}}{m_{\text{suvog materijala}}} = \frac{m_{\text{vl}}}{m_{\text{sm}}} \left[\frac{\text{kg vl.}}{\text{kg suv.mat.}} \right]$$

$$m_{\text{vl.mat}} = m_{\text{sm}} + m_{\text{vl}}$$

- Sušenjem materijala smanjuje mu se vlažnost:

$$w_1 \rightarrow w_2 \quad (w_1 > w_2) \text{ ili}$$

$$w'_1 \rightarrow w'_2 \quad (w'_1 > w'_2),$$

tj. njegova masa se umanjuje za Δm_{vl} vlage.

- Zavisno od načina definisanja vlažnosti vlažnog materijala važe relacije:

$$\Delta m_{\text{vl}} = \Delta m_{\text{vl.mat,1}} \left(\frac{w_1 - w_2}{1 - w_2} \right)$$

ili

$$\Delta m_{\text{vl}} = \Delta m_{\text{vl.mat,1}} \left(\frac{w'_1 - w'_2}{1 + w'_2} \right)$$

Određivanje mase vlage koju treba predati vlažnom vazduhu $\Delta m_{\text{vlage}} = \Delta m_{\text{vl}}$ prilikom sušenja nekog vlažnog materijala - detaljno

Slučaj 1 – „Maseni udeo“

Poznata je polazna masa vlažnog materijala $m_{\text{vl.mat.}}$ (ili $m_{\text{vl.mat,1}}$), njegova polazna vlažnost w_1 i vrednost vlažnosti w_2 do koje materijal treba osušiti (koju materijal treba da dostigne procesom njegovog sušenja). Treba da se odredi masa vlage $\Delta m_{\text{vlage}} = \Delta m_{\text{vl}}$ koju tom prilikom, sušenjem, treba odstraniti iz vlažnog materijala i predati vlažnom vazduhu.

Dakle, masa vlage koju u ovom slučaju treba odstraniti jeste:

$$\Delta m_{\text{vl}} = m_{\text{vl.mat,1}} - m_{\text{vl.mat,2}} = m_{\text{vl,1}} - m_{\text{vl,2}} \quad (1)$$

Iz definicije masenog udela vlage u vlažnom materijalu:

$$w = \frac{m_{\text{vl}}}{m_{\text{vl.mat.}}} = \frac{m_{\text{vl}}}{m_{\text{vl}} + m_{\text{suv.mat.}}} \Rightarrow m_{\text{vl}} = \frac{w \cdot m_{\text{suv.mat.}}}{1 - w},$$

odnosno:

$$m_{\text{vl,1}} = \frac{w_1 \cdot m_{\text{suv.mat.}}}{1 - w_1} \quad (2)$$

i

$$m_{\text{vl,2}} = \frac{w_2 \cdot m_{\text{suv.mat.}}}{1 - w_2}. \quad (3)$$

Zamenom (2) i (3) u (1), može se dobiti:

$$\begin{aligned} \Delta m_{\text{vl}} &= \Delta m_{\text{vl,1}} - \Delta m_{\text{vl,2}} = \frac{w_1 \cdot m_{\text{suv.mat.}}}{1 - w_1} - \frac{w_2 \cdot m_{\text{suv.mat.}}}{1 - w_2} \\ \Delta m_{\text{vl}} &= m_{\text{suv.mat.}} \left(\frac{w_1}{1 - w_1} - \frac{w_2}{1 - w_2} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

Kako se polazna masa vlažnog materijala $m_{\text{vl.mat,1}}$, može izraziti i kao:

$$m_{\text{vl.mat,1}} = m_{\text{vl,1}} + m_{\text{suv.mat.}} = w_1 \cdot m_{\text{vl.mat,1}} + m_{\text{suv.mat.}}$$

to se može pisati:

$$m_{\text{suv.mat.}} = m_{\text{vl.mat,1}}(1 - w_1) \quad (5)$$

Smenom izraza (5) u (4):

$$\Delta m_{\text{vl}} = m_{\text{vl.mat,1}}(1 - w_1) \left(\frac{w_1}{1 - w_1} - \frac{w_2}{1 - w_2} \right)$$

može se dobiti izraz, u kome je tražena vrednost Δm_{vl} izražena samo u funkciji početno zadatih parametara procesa ($m_{\text{vl.mat,1}}$, w_1 i w_2):

$$\boxed{\Delta m_{\text{vl}} = m_{\text{vl.mat,1}} \left(\frac{w_1 - w_2}{1 - w_2} \right)}$$

Slučaj 2 – „Maseni odnos“

Poznata je polazna masa vlažnog materijala $m_{vl.mat,1}$, njegova polazna vlažnost w'_1 i vrednost vlažnosti w'_2 do koje materijal treba osušiti (koju materijal treba da dostigne procesom njegovog sušenja). Treba da se odredi masa vlage $\Delta m_{vlage} = \Delta m_{vl}$ koju tom prilikom, sušenjem, treba odstraniti iz vlažnog materijala i predati vlažnom vazduhu.

I u ovom slučaju masa vlage koju treba izdvojiti je:

$$\Delta m_{vl} = m_{vl.mat,1} - m_{vl.mat,2} = m_{vl,1} - m_{vl,2} \quad (6)$$

ali sad iz definicije masenog odnosa vlage i suvog materijala sledi da je:

$$w' = \frac{m_{vl}}{m_{suv.mat.}} \Rightarrow m_{vl} = w' \cdot m_{suv.mat.}$$

odnosno:

$$m_{vl,1} = w'_1 \cdot m_{suv.mat.} \quad (7)$$

i

$$m_{vl,2} = w'_2 \cdot m_{suv.mat.} \quad (8)$$

Smenom (7) i (8) u (6). može se dobiti:

$$\Delta m_{vl} = w'_1 \cdot m_{suv.mat.} - w'_2 \cdot m_{suv.mat.} = m_{suv.mat.} (w'_1 - w'_2) \quad (9)$$

Kako je u ovom slučaju:

$$m_{vl.mat,1} = m_{vl,1} + m_{suv.mat.} = w'_1 \cdot m_{suv.mat.} + m_{suv.mat.}$$

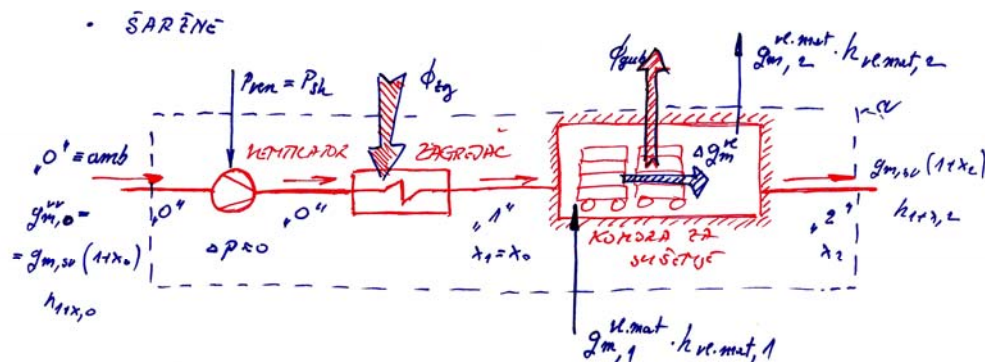
$$\Rightarrow m_{suv.mat.} = \frac{m_{vl.mat,1}}{1 + w'_1} \quad (10)$$

te se smenom izraza (10) u (9) može se dobiti izraz, u kome je tražena vrednost Δm_{vl} izražena samo u funkciji unapred zadatih parametara procesa ($m_{vl.mat,1}$, w'_1 i w'_2):

$$\Delta m_{vl} = m_{vl.mat,1} \left(\frac{w'_1 - w'_2}{1 + w'_1} \right)$$

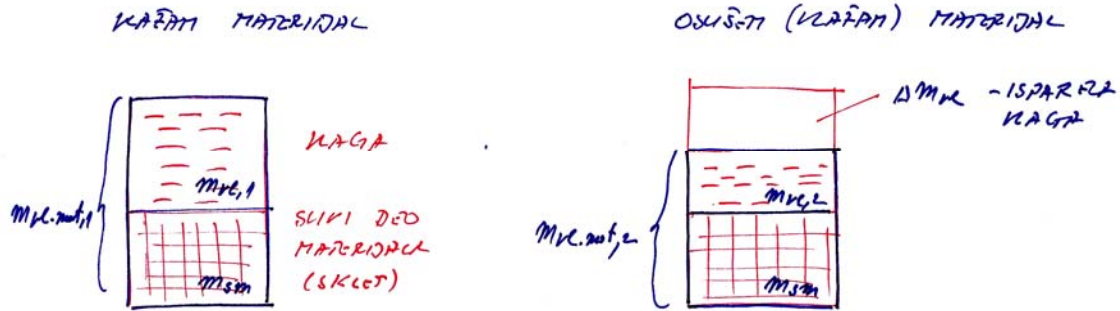
Termodinamička analiza rada konvektivnih sušara

- tunelske (protočne)
- šaržne



Vlažan materijal na ulazu u sušaru 1

Osušen materijal na izlazu iz sušare 2



Masa vlažnog materijala pre procesa sušenja može da se izrazi i kao:

$$q_{m,1}^{vl.mat.} = q_{m,2}^{vl.mat.} + \Delta q_m^{vl}$$

Energija koja u jedinici vremena sa vlažnim materijalom (stanja 1) unosi komoru za sušenje:

$$q_{m,1}^{vl.mat.} \cdot h_{vl.mat,1} = q_{m,2}^{vl.mat.} \cdot h_{vl.mat,1} + \Delta q_m^{vl} \cdot h_{vl.mat,1} = q_{m,2}^{vl.mat.} \cdot \bar{c}_{vl.mat.} \cdot \vartheta_{mat,1} + \Delta q_m^{vl} \cdot \bar{c}_{vl.mat.} \cdot \vartheta_{mat,1}$$

Energija koja u jedinici vremena sa osušenim materijalom (stanja 2) iznosi iz komore za sušenje

$$q_{m,2}^{vl.mat.} \cdot h_{vl.mat,2} = q_{m,2}^{vl.mat.} \cdot \bar{c}_{vl.mat.} \cdot \vartheta_{mat,2}$$

Bilans mase za celo postrojenje konvektivne sušare (za ustaljene uslove)

$$\underbrace{q_{m,sv} (1 + x_0) + q_{m,1}^{vl.mat.}}_{\text{ulaz}} = \underbrace{q_{m,sv} (1 + x_2) + q_{m,2}^{vl.mat.}}_{\text{izlaz}}$$

Masni protok vlage sa vlažnog materijala na vlažan vazduh

$$\Delta q_m^{vl} = q_{m,1}^{vl.mat.} - q_{m,2}^{vl.mat.}$$

$$\Delta q_m^{vl} = q_{m,sv} (x_2 - x_0) = q_{m,sv} (x_2 - x_1)$$

Bilans energije za celo postrojenje konvektivne sušare (za ustaljene uslove)

$$\underbrace{q_{m,sv} \cdot h_{1+x,0} + P_{ven} + \Phi_{zg} + q_{m,1}^{vl.mat.} \cdot h_{vl.mat,1} + \dot{E}_{tran.sred,1}}_{\text{ulaz}} = \underbrace{q_{m,sv} \cdot h_{1+x,2} + \Phi_{gub} + q_{m,2}^{vl.mat.} \cdot h_{vl.mat,2} + \dot{E}_{tran.sred,2}}_{\text{izlaz}}$$

$$q_{m,sv} \cdot h_{1+x,0} + P_{ven} + \Phi_{zg} + q_{m,1}^{vl.mat.} \cdot \bar{c}_{vl.mat.} \cdot \vartheta_1 + \Delta q_m^{vl} \cdot c_{vl} \cdot \vartheta_{mat,1} + \dot{E}_{tran.sred,1} = q_{m,sv} \cdot h_{1+x,2} + \Phi_{gub} + q_{m,2}^{vl.mat.} \cdot \bar{c}_{vl.mat.} \cdot \vartheta_{mat,2} + \dot{E}_{tran.sred,2}$$

Teorijska konvektivna sušara

- Predpostavke

- Uobičajene

$$P_{\text{ven.}} \approx 0, \Phi_{\text{gub}} \approx 0, g_{\text{mat},1} = g_{\text{mat},2}$$

$$(\dot{E}_{\text{tran.sred.,1}} = \dot{E}_{\text{tran.sred.,2}} = 0)$$

- Posebna

$$g_{\text{mat},1} = 0^\circ\text{C} \Rightarrow g_{\text{mat},1} = g_{\text{mat},2} = 0^\circ\text{C}$$

Iz bilansa energije za celo postrojenje

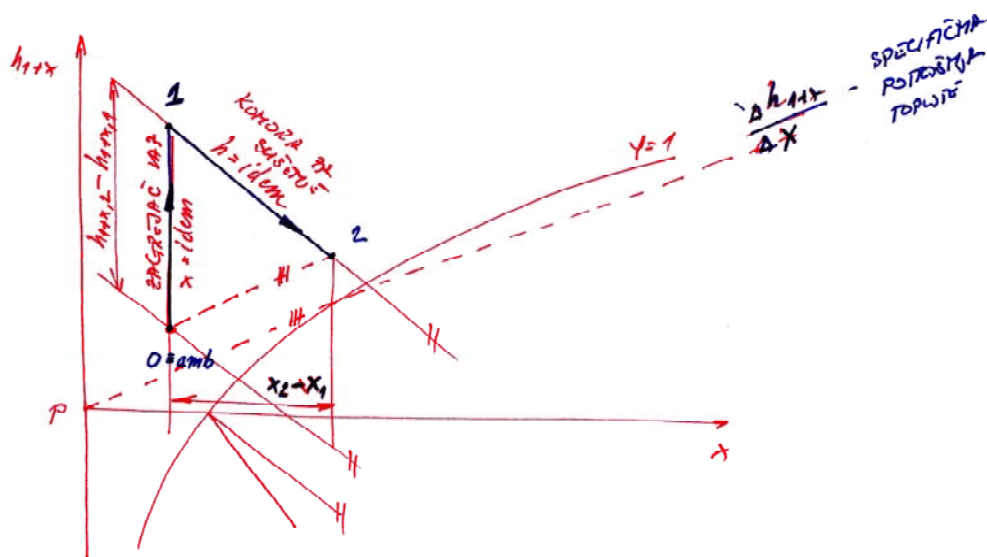
$$\Phi_{\text{zg}} = q_{\text{m,sv}} (h_{1+x,2} - h_{1+x,0})$$

Iz bilansa energije samo za zagrejač

$$\Phi_{\text{zg}} = q_{\text{m,sv}} (h_{1+x,1} - h_{1+x,0})$$

\Rightarrow za teorijsku konvektivnu sušaru važi

$$h_{1+x,2} = h_{1+x,1}$$

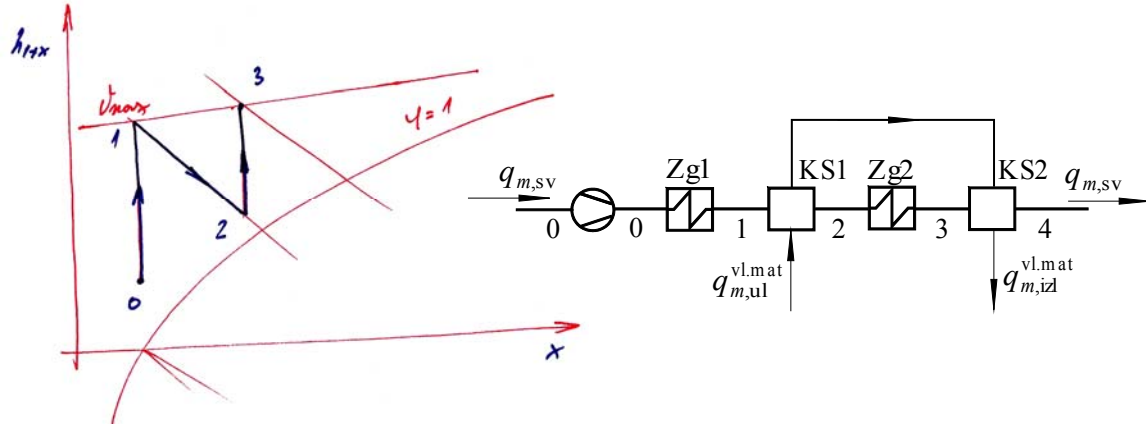


Specifična potrošnja toplote

$$\frac{\Phi_{\text{zg}}}{\Delta q_m^{\text{vl}}} = \frac{q_{\text{m,sv}} (h_{1+x,2} - h_{1+x,1})}{q_{\text{m,sv}} (x_2 - x_1)} = \frac{\Delta h_{1+x}}{\Delta x}$$

Višestepene (teorijske) sušare

- Ograničenje maksimalne temperature vazduha
- Dvostepena sušara



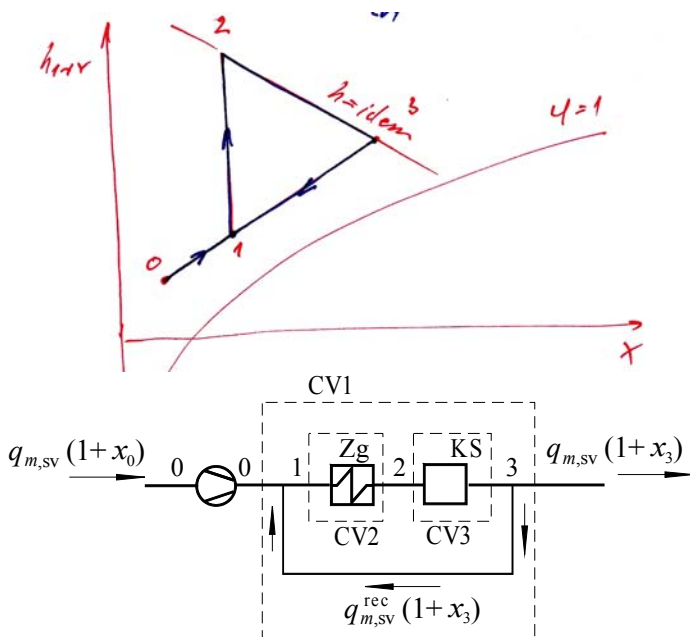
- Toplotna snaga prvog (stepena) zagrejača vazduha

$$\Phi_{zg,1} = q_{m,sv} (h_{1+x,1} - h_{1+x,0})$$
- Toplotna snaga drugog (stepena) zagrejača vazduha

$$\Phi_{zg,2} = q_{m,sv} (h_{1+x,3} - h_{1+x,2})$$
- Maseni protok vlade sa vlažnog metrijala na vlažan vazduh

$$\Delta q_m^{vl} = q_{m,sv} [(x_2 - x_1) + (x_4 - x_3)]$$

(Teorijske) sušare sa reciklacijom vazduha



- Toplotna snaga zagrejača vazduha

$$\Phi_{zg} = (q_{m,sv} + q_{m,sv}^{rec}) (h_{1+x,2} - h_{1+x,1})$$

ili

$$\Phi_{zg} = q_{m,sv} (h_{1+x,3} - h_{1+x,0})$$

- Maseni protok vlade sa vlažnog metrijala na vlažan vazduh

$$\Delta q_m^{vl} = (q_{m,sv} + q_{m,sv}^{rec}) (x_3 - x_2)$$

ili

$$\Delta q_m^{vl} = q_{m,sv} (x_3 - x_0)$$