



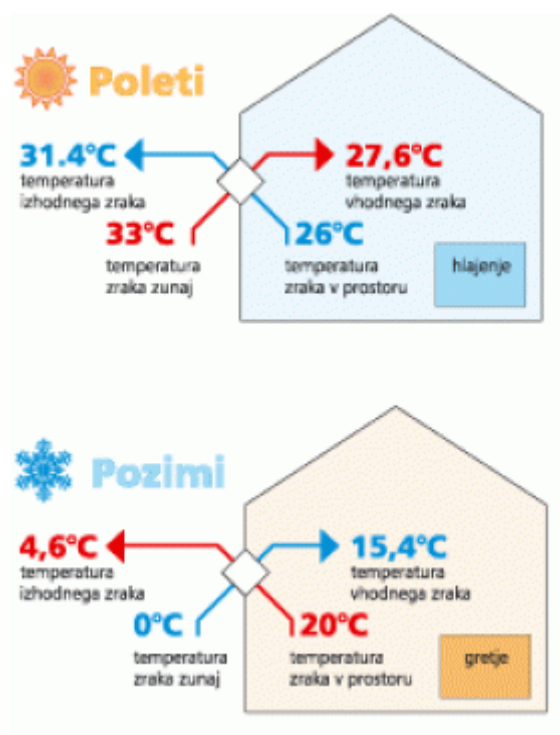
Univerza v Mariboru

Fakulteta za strojništvo

UNIVERZA V MARIBORU
FAKULTETA ZA STROJNIŠTVO

Matjaž RAMŠAK

Zbirka rešenih izpitnih nalog pri predmetu
Klimatizacija (HVAC)
za študijsko leto 2014/2015



(vir: www.toplotna-crpalka.si)

MARIBOR, oktober 2015

CIP – kataložni zapis o publikaciji
Univerzitetna knjižnica Maribor

[CIP številka]

Matjaž Ramšak
Zbirka rešenih izpitnih nalog pri
predmetu Klimatizacija (HVAC)
za študijsko leto 2014/2015/Ramšak M,
Maribor, FS Maribor]

[ISBN]

[Naslov knjižne zbirke in ISSN številka]

[COBISS-ID]

| | |
|-------------------------------|---|
| Naslov: | Zbirka rešenih izpitnih nalog pri predmetu Klimatizacija (HVAC) za študijsko leto 2014/2015 |
| Avtor: | Matjaž Ramšak |
| Strokovni recenzenti: | Jure Marn, Matej Zadavec |
| Jezikovni recenzenti: | |
| Tehnični recenzenti: | Janez Čep |
| Računalniški prelom: | |
| Oblikovanje slik: | |
| Oblikovanje ovitka: | |
| Tipologija/vrsta publikacije: | e-študijsko gradivo |
| Založnik: | Fakulteta za strojništvo |
| Kraj založbe: | Maribor |
| Datum izida: | [] |
| Različica (e-pub): | R [številka] |
| URL (e-pub): | http://dkum.uni-mb.si/... |
| Sistemske zahteve (e-pub): | računalnik, internetni dostop |
| Programske zahteve (e-pub): | internetni brskalnik, program Adobe Reader |

KAZALO

Prazni izpiti za reševanje

| | |
|---------------------|----|
| Izpit 13.02.2015 | 4 |
| Kolokvij 11.05.2015 | 6 |
| Izpit 09.07.2015 | 8 |
| Izpit 27.08.2015 | 10 |

| | |
|------------|----|
| hx-diagram | 12 |
|------------|----|

Rešeni izpiti

| | |
|---------------------|----|
| Izpit 13.02.2015 | 13 |
| Kolokvij 11.05.2015 | 17 |
| Izpit 09.07.2015 | 21 |
| Izpit 27.08.2015 | 24 |

NAVODILO

Pričujoča zbirka rešenih izpitnih nalog je študentom v pomoč pri pripravi na pisni del izpita. V prvem delu gradiva so podane naloge pripravljene za tiskanje in razvrščene po datumih izpita. V drugem delu gradiva so podane njihove rešitve.

Dovoljena literatura pri reševanju izpita je izključno strojniški priročnik. h-x diagram je sestavni del izpitne pole.

Pri reševanju izpita vam želim veselja in uspeha.

asistent Matjaž Ramšak

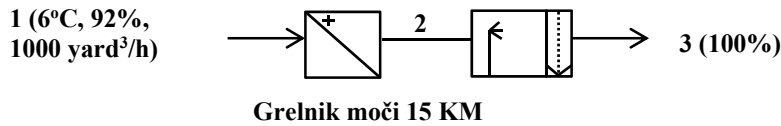
HVAC izpit, 2015 02 13

| | |
|-----|-----|
| 50% | 50% |
| | |

Priimek in ime: _____ Vpisna številka: _____

Ocenjujem pravilnost številskih rezultatov. Za pravilni postopek praviloma ne podeljujem procentov. Prosim, pri **računskih** nalogah zaokrožite števila na 4 pomembna mesta (npr.: 0.00123456=0.1235e-2 ali 1.235kJ). Natančnost rešitve mora biti +/-5 na 3 pomembnem mestu. **Grafično rešitev** vrišete na priloženi diagram. Odčitane vrednosti zapisujete na decimalna mesta kot je prikazano v prvi vrstici tabele. Rezultat je pravilen če je vaša vrednost znotraj +/- zapisane tolerance v drugi vrstici tabele, kar ustreza +/- 2mm napake na h-x diagramu. Čas reševanja 90 min. Pišite kar na ta list. Po potrebi dobite dodaten list. Pretoki zraka pomenijo pretok suhega zraka pri normalnih pogojih.

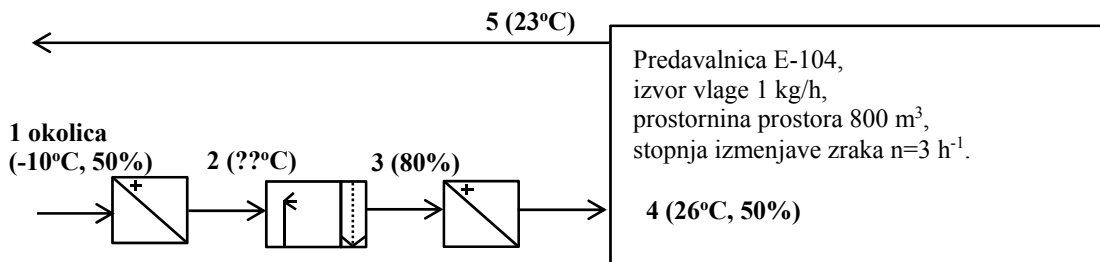
Računsko s pomočjo tabel rešite napravo na sliki in rezultate zapišite v tabelo. Pazite na enote (KM=konjska moč).



| | T[°C] | φ[%] | X[g/kg] | h[kJ/kg] | Xs[g/kg] | Količina razpršene vode v vlažilniku _____ [kg/h] |
|---|-------|------|---------|----------|----------|--|
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |

HVAC izpit, 2015 02 13

S pomočjo h-x diagrama rešite nalogo za klimatizacijsko napravo na sliki.



| | T[°C] | φ[%] | X[g/kg] | h[kJ/kg] |
|-----|-------|------|---------|----------|
| tol | 0,2 | 2, | 0,2 | 0,3 |
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |
| 4 | | | | |
| 5 | | | | |

Toplotne izgube prostora _____ [kW]
 Značilnosti prezračevalne naprave:
 Grelna moč 1-2 _____ [kW]
 Kol. vode za vlaženje 2-3 _____ [kg/h]
 Grelna moč 3-4 _____ [kW]

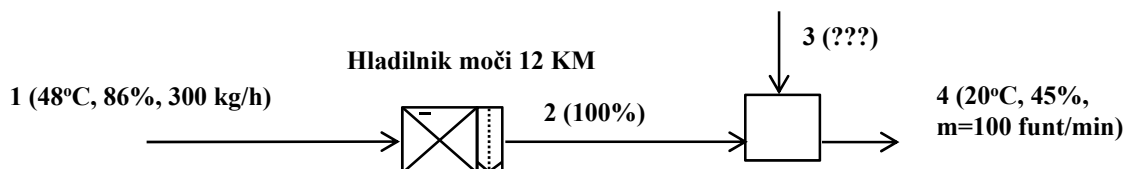
HVAC kolokvij, 2015 05 11

| | |
|-----|-----|
| 50% | 50% |
| | |

Priimek in ime: _____ Vpisna številka: _____

Ocenjujem pravilnost številskih rezultatov. Za pravilni postopek praviloma ne podeljujem procentov. Prosim, pri računskih nalogah zaokrožite števila na 4 pomembna mesta (npr.: 0.00123456=0.1235e-2 ali 1.235kJ). Natančnost rešitve mora biti +/-5 na 3 pomembnem mestu. **Grafično rešitev** vrišete na priloženi diagram. Odčitane vrednosti zapisujete na decimalna mesta kot je prikazano v prvi vrstici tabele. Rezultat je pravilen če je vaša vrednost znotraj +/- zapisane tolerance v drugi vrstici tabele, kar ustreza +/- 2mm napake na h-x diagramu. Čas reševanja 90 min. Pišite kar na ta list. Po potrebi dobite dodaten list. Pretoki zraka pomenijo pretok suhega zraka pri normalnih pogojih.

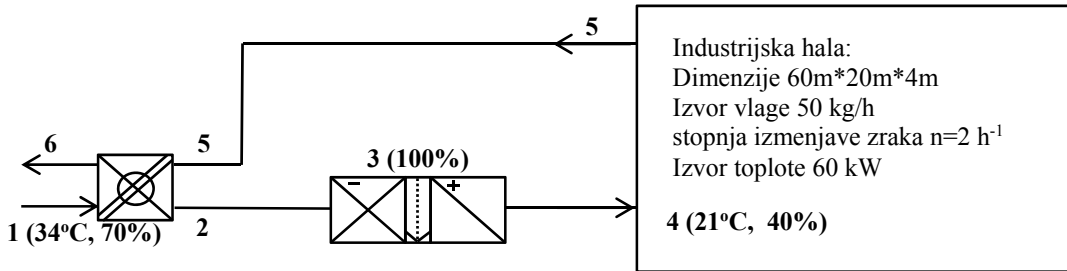
1. Računsko s pomočjo tabel rešite napravo na sliki in rezultate zapišite v tabelo. Pazite na enote (KM=konjska moč).



| | T[°C] | φ[%] | X[g/kg] | h[kJ/kg] | Xs[g/kg] | Količina kondenzirane vode v hladilniku _____ [kg/h] |
|---|-------|------|---------|----------|----------|--|
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |
| 4 | | | | | | |

HVAC kolokvij, 2015 05 11

2. S pomočjo h-x diagrama rešite nalogo za klimatizacijsko napravo na sliki. Naprava vsebuje regeneratore zraka z izkoristkom izmenjave čutne toplote 85% in latentne toplote 73%.



| | T[°C] | ϕ [%] | X[g/kg] | h[kJ/kg] |
|---------|-------|------------|---------|----------|
| Tol +/- | 0,2 | 2, | 0,2 | 0,5 |
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |
| 4 | | | | |
| 5 | | | | |
| 6 | | | | |

Značilnosti prezračevalne naprave:

Hladilna moč 2-3 _____ [kW]

Grelna moč 3-4 _____ [kW]

Toplotna moč regenerotorja _____ [kW]

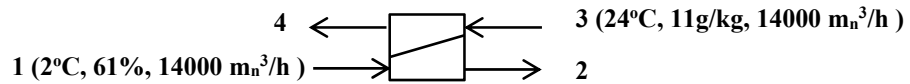
HVAC, 7. 9. 2015

| | |
|-----|-----|
| 50% | 50% |
| | |

Priimek in ime: _____ Vpisna številka: _____

Ocenjujem pravilnost številskih rezultatov. Za pravilni postopek praviloma ne podeljujem procentov. Prosim, pri **računskih** nalogah zaokrožite števila na 4 pomembna mesta (npr.: 0.00123456=0.1235e-2 ali 1.235kJ). Natančnost rešitve mora biti +/-5 na 3 pomembnem mestu. **Grafično rešitev** vrišete na priloženi diagram. Odčitane vrednosti zapisujete na decimalna mesta kot je prikazano v prvi vrstici tabele. Rezultat je pravilen če je vaša vrednost znotraj +/- zapisane tolerance v drugi vrstici tabele, kar ustreza +/- 2mm napake na h-x diagramu. Čas reševanja 90 min. Pišite kar na ta list. Po potrebi dobite dodaten list. Pretoki zraka pomenijo pretok suhega zraka pri normalnih pogojih.

1. **Računsko** s pomočjo tabel rešite rekuperator toplote. Rezultate zapišite v tabelo. Izkoristek izmenjave čutne toplote je 93%. V primeru kondenzacije predpostavite 100% vlažnost zraka na izhodu iz rekuperatorja.

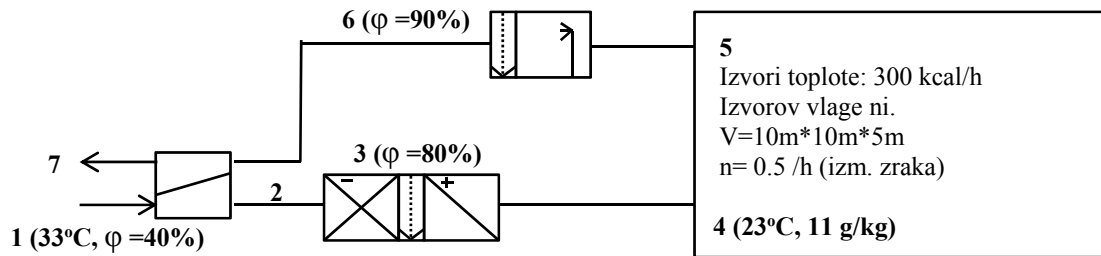


| | T[°C] | φ[%] | X[g/kg] | h[kJ/kg] | X _s [g/kg] |
|---|-------|------|---------|----------|-----------------------|
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |

| |
|-------------------------------------|
| Količina izločene vode _____ [kg/h] |
| Toplotna moč rekup. _____ [kW] |

HVAC, 7. 9. 2015

2. S pomočjo **h-x diagrama** rešite nalogo za klimatizacijsko napravo na sliki. V hladilniku 2-3 je temperatura hladilnih površin pod rosiščem. Rekuperator toplote ima učinkovitost vračanja čutne toplote 90% (temperaturna učinkovitost). Če nastane v rekuperatorju kondenzacija, predpostavite na izstopu 100% vlažnost.



| | T[°C] | ϕ [%] | X[g/kg] | h[kJ/kg] |
|---------|-------|------------|---------|----------|
| Tol +/- | 0,6 | 3, | 0,4 | 1,0 |
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |
| 4 | | | | |
| 5 | | | | |
| 6 | | | | |
| 7 | | | | |

| | |
|-------------------|------------|
| Hladilna moč | _____ [kW] |
| Grelna moč | _____ [kW] |
| Moč rekuperatorja | _____ [kW] |

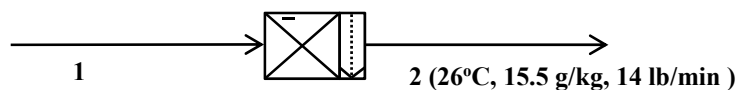
HVAC, 27.08.2015

| | |
|-----|-----|
| 50% | 50% |
| | |

Priimek in ime: _____ Vpisna številka: _____

Ocenjujem pravilnost številskih rezultatov. Za pravilni postopek praviloma ne podeljujem procentov. Prosim, pri **računskih** nalogah zaokrožite števila na 4 pomembna mesta (npr.: $0.00123456=0.1235e-2$ ali $1.235kJ$). Natančnost rešitve mora biti ± 5 na 3 pomembnem mestu. **Grafično rešitev** vrišete na priloženi diagram. Odčitane vrednosti zapisujete na decimalna mesta kot je prikazano v prvi vrstici tabele. Rezultat je pravilen če je vaša vrednost znotraj \pm zapisane tolerance v drugi vrstici tabele, kar ustreza ± 2 mm napake na h-x diagramu. Čas reševanja 90 min. Pišite kar na ta list. Po potrebi dobite dodaten list. Pretoki zraka pomenijo pretok suhega zraka pri normalnih pogojih.

1. **Računsko** s pomočjo tabel rešite hladilnik vlažnega zraka na sliki in rezultate zapišite v tabelo. Povprečna temperatura hladilnih površin v hladilniku je $10^{\circ}C$. Pretok hladilnega medija v hladilnih površinah je 20 litrov/min (snovske lastnosti hladilnega medija so: gostota 1.2 lb/liter, toplotna prevodnost $0.4 W/(foot K)$, specifična toplota $1.2 kcal/(lb K)$, kinematična viskoznost $10.7 inch^2/min$). Hladilni medij se segreje za $3^{\circ}F$ (Fahrenheit) in ne spremeni agregatnega stanja. Izračunajte tudi stopnjo sušenja zraka. Predpostavite, da je sušilnik zraka toplotno izoliran od okolice. Entalpijo vode iz sušilnika smete zanemariti.



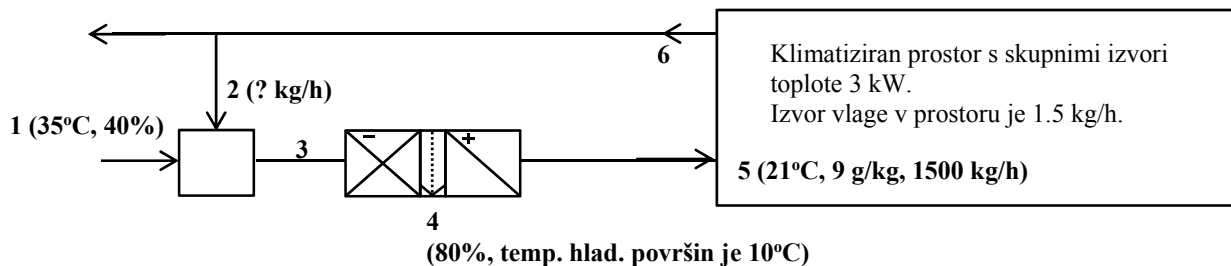
| | T[$^{\circ}C$] | ϕ [%] | X[g/kg] | h[kJ/kg] | X _s [g/kg] |
|---|------------------|------------|---------|----------|-----------------------|
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |

Količina izločene vode _____ [kg/h]

Stopnja sušenja _____ [%]

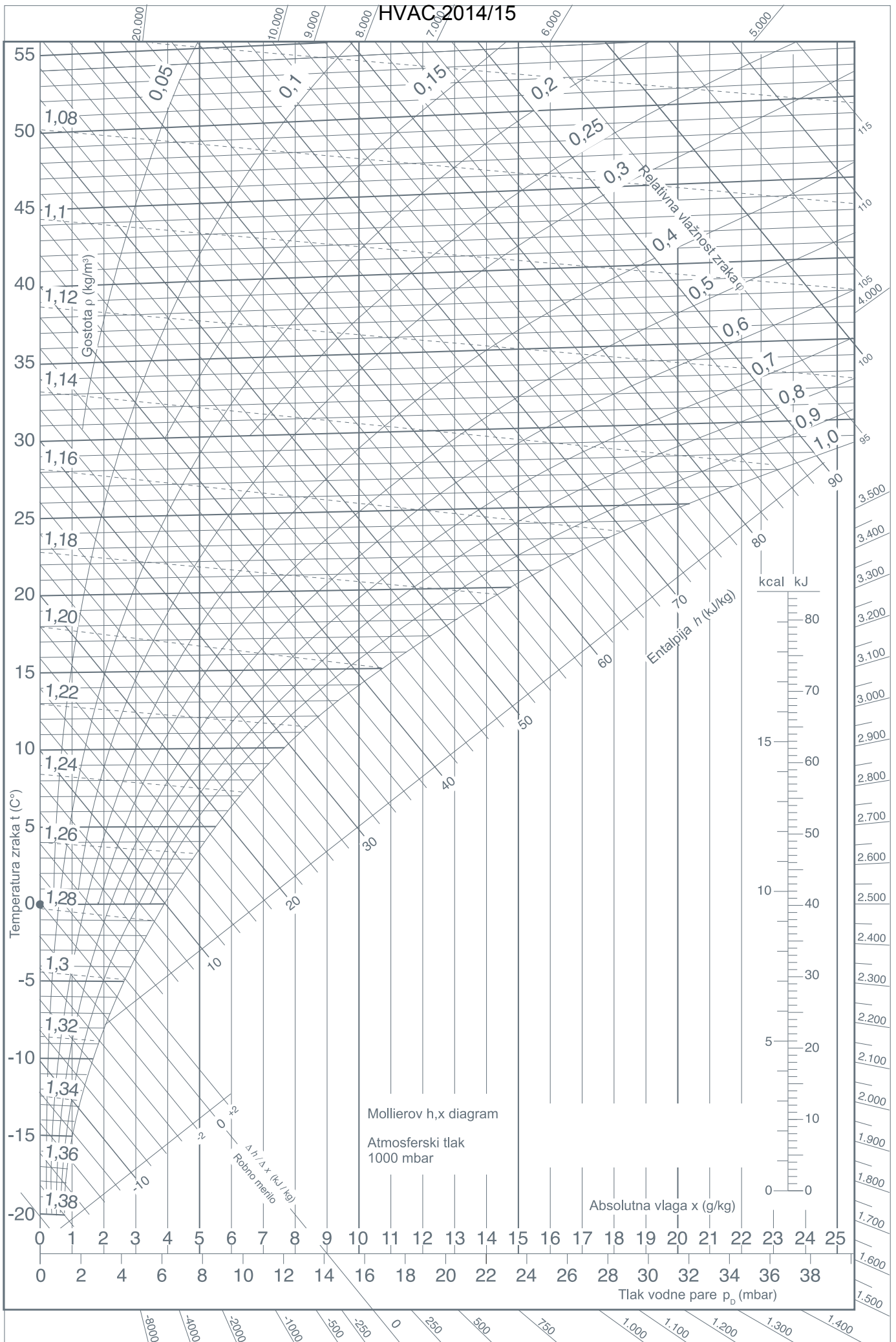
HVAC, 27.08.2015

2. S pomočjo h-x diagrama **grafično** rešite nalogo za klimatizacijsko napravo na sliki. Rezultat mešanja (točka 3) je potrebno določiti grafično iz diagrama. Temperatura hladilnih površin v hladilniku zraka je 10°C. Na izstopu iz hladilnika zraka predpostavimo 80% relativno vlažnost zraka. Z masnimi pretoki je označen pretok suhega zraka. Odčitane vrednosti zapisujete na decimalna mesta kot je prikazano v prvi vrstici tabele. Rezultat je pravilen če je vaša vrednost znotraj +/- zapisane tolerance v drugi vrstici tabele, kar ustreza +/- 2mm odčitane vrednosti na diagramu. Pazite na enote.



| | T[°C] | ϕ [%] | X[g/kg] | h[kJ/kg] |
|-------|-------|------------|---------|----------|
| toler | 0,6 | 3, | 0,4 | 1,0 |
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |
| 4 | | | | |
| 5 | | | | |
| 6 | | | | |

| | |
|---|--------------|
| Hladilna moč naprave: | _____ [kW] |
| Masni pretok zraka 2 | _____ [kg/h] |
| Hladilna moč naprave, če ne bi imeli mešanja. Hladimo celotno potrebno količino okoliškega zraka na stanje 4 | _____ [kW] |

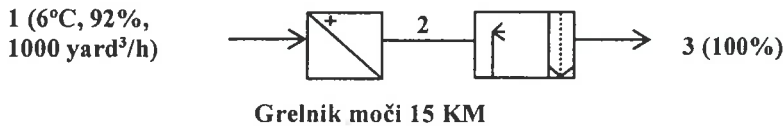


| | |
|-----|-----|
| 50% | 50% |
| | |

Priimek in ime: _____ Vpisna številka: _____

Ocenjujem pravilnost številskih rezultatov. Za pravilni postopek praviloma ne podeljujem procentov. Prosim, pri računskih nalogah zaokrožite števila na 4 pomembna mesta (npr.: 0.00123456=0.1235e-2 ali 1.235kJ). Natančnost rešitve mora biti +/-5 na 3 pomembnem mestu. Grafično rešitev vrišete na priloženi diagram. Odčitane vrednosti zapisujete na decimalna mesta kot je prikazano v prvi vrstici tabele. Rezultat je pravilen če je vaša vrednost znotraj +/- zapisane tolerance v drugi vrstici tabele, kar ustreza +/- 2mm napake na h-x diagramu. Čas reševanja 90 min. Pišite kar na ta list. Po potrebi dobite dodaten list. Pretoki zraka pomenijo pretok suhega zraka pri normalnih pogojih.

Računsko s pomočjo tabel rešite napravo na sliki in rezultate zapišite v tabelo. Pazite na enote (KM=konjska moč).



20
20

| | T[°C] | φ[%] | X[g/kg] | h[kJ/kg] | Xs[g/kg] | Količina razpršene vode v vlažilniku 9.896 [kg/h] 10% |
|---|-------|-------|---------|----------|----------|---|
| 1 | 6 | 92 | 5.399 | 19.59 | 5.868 | |
| 2 | 45.56 | 7.926 | -11- | 59.76 | 68.12 | |
| 3 | 20.53 | 100 | 15.41 | -11- | 15.41 | |

$$x_1 = \phi_1 \cdot x_s = 0.92 \cdot 5.868 = 5.399 \text{ g/kg}$$

$$h_1 = 1.005 \cdot 6 + 5.399(2.5 + 0.001926 \cdot 6) = 19.59 \text{ kJ/kg}$$

• 1-2: $Q_{12} = \dot{m} \cdot \Delta h_{12}$

$$\dot{m} = \rho(0^\circ\text{C}, 1.013 \text{ b}) \cdot \dot{V} = 1.293 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0.2124 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 0.2746 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{V} = 1000 \frac{\text{yd}^3}{\text{h}} \cdot \frac{0.9144^3 \text{ m}^3}{\text{yd}^3} \cdot \frac{1}{3600 \text{ s}} = 0.2124 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$h_2 = h_1 + \frac{Q_{12}}{\dot{m}} = 19.59 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + \frac{11.03 \text{ kW}}{0.2746 \text{ kg/s}} = 59.76 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q_{12} = 15 \text{ KM} \cdot \frac{0.7355 \text{ kW}}{1 \text{ KM}} = 11.03 \text{ kW}$$

$$t_2 = \frac{59.76 - 5.399 \cdot 2.5}{1.005 + 5.399 \cdot 0.001926} = 45.56^\circ\text{C}$$

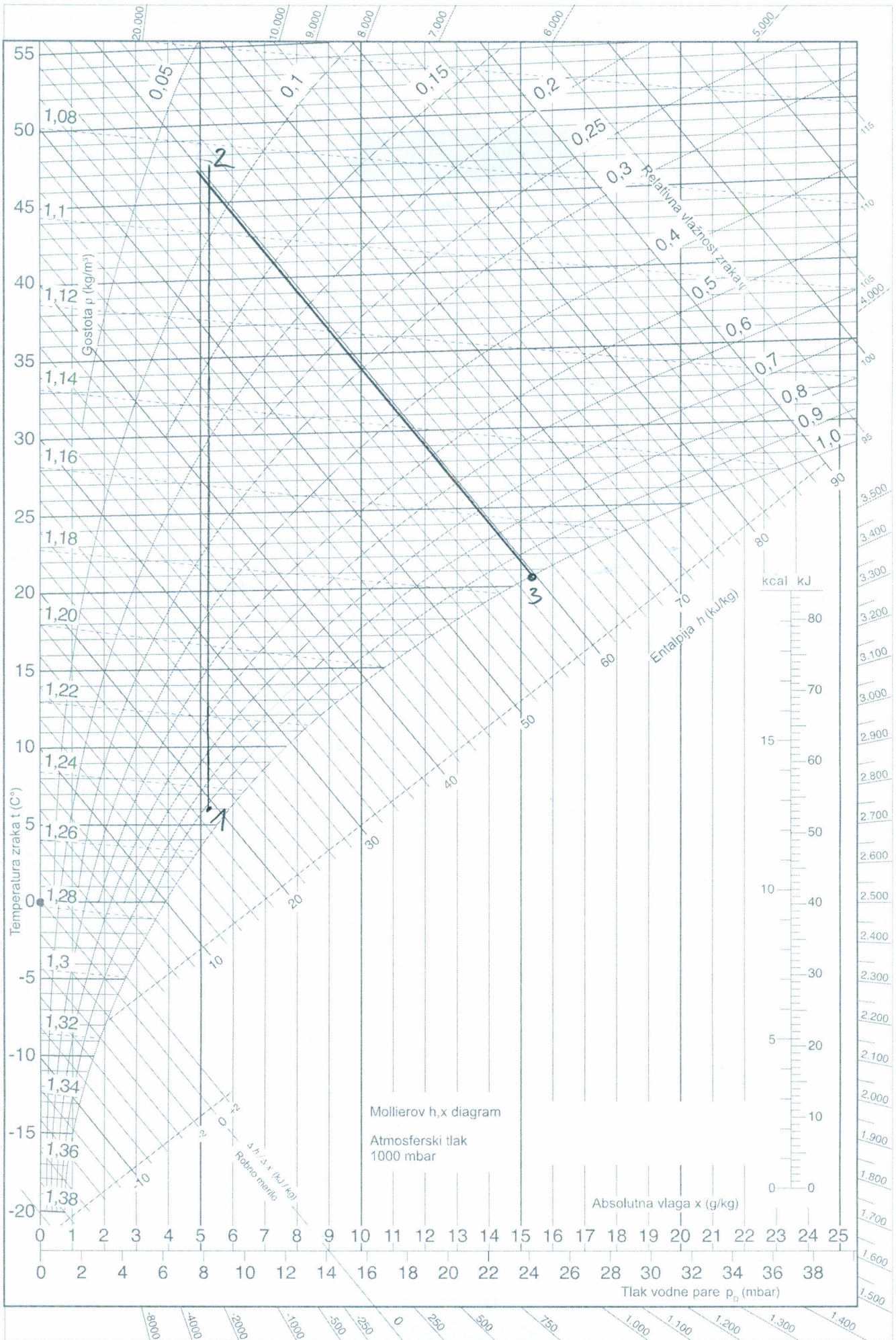
$$x_s(45.56^\circ\text{C}) = 62.27 + \frac{1.56}{2} (69.77 - 62.27) = 68.12 \text{ g/kg}$$

• 2-3 ; $h = k_{\text{air}} t$; $\epsilon = \frac{h - h_s(20^\circ)}{h_s(22^\circ) - h_s(20^\circ)} = \frac{59.76 - 57.87}{65.01 - 57.87} = 0.2647$

$$t_3 = 20 + \epsilon \cdot (2) = 20.53^\circ\text{C}$$

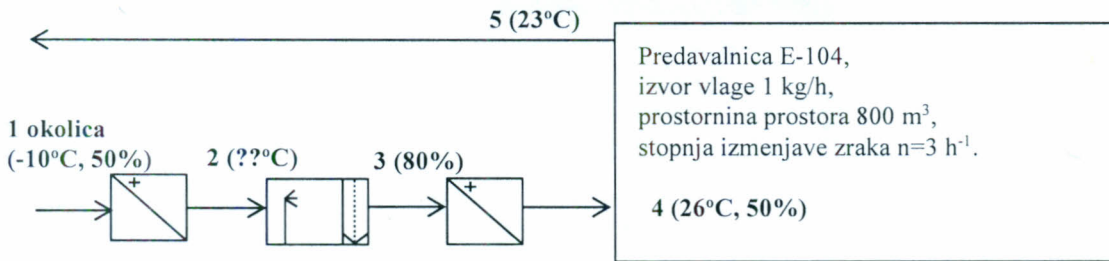
$$x_s(20.53^\circ\text{C}) = 14.88 + \epsilon (16.88 - 14.88) = 15.41 \text{ g/kg}$$

$$\dot{m}_{\text{vz3}} = \dot{m}_{\text{zr}} (x_3 - x_2) = 0.2746 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (15.41 - 5.399) \frac{\text{g}}{\text{kg}} = 2.749 \frac{\text{g}}{\text{s}} = 9.896 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$



HVAC izpit, 2015 02 13

S pomočjo h-x diagrama rešite nalogo za klimatizacijsko napravo na sliki.



| | T[°C] | φ[%] | X[g/kg] | h[kJ/kg] |
|-----|-------|------|---------|----------|
| tol | 0,2 | 2, | 0,2 | 0,3 |
| 1 | -10 | 50 | 0,7 | -8,0 |
| 2 | 43,1 | 2 | 0,7 | 45,4 |
| 3 | 18,3 | 80 | 10,7 | 45,4 |
| 4 | 26 | 50 | 10,7 | 53,2 |
| 5 | 23 | 63 | 11,02 | 51,0 |

| | |
|------------------------------------|--------------|
| Toplotne izgube prostora | 1.896 [kW] |
| Značilnosti prezračevalne naprave: | |
| Grelna moč 1-2 | 46.03 [kW] |
| Kol. vode za vlaženje 2-3 | 31.03 [kg/h] |
| Grelna moč 3-4 | 6.724 [kW] |

4x 10%

10%

$$\dot{m}_{v45} = \frac{1 \text{ kg}}{h} = (x_5 - x_4) \cdot \dot{m}_{zr}$$

$$\dot{m}_{zr} = \rho_{zr}(0^\circ, 1.0135) \cdot \dot{V}_{zr} = 1.293 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0.6667 \frac{\text{m}^3}{\Delta} = 0.8620 \text{ kg}/\Delta$$

$$\dot{V}_{zr} = n \cdot V = 3 \frac{1}{h} \cdot 800 \text{ m}^3 = 2400 \frac{\text{m}^3}{h} \cdot \frac{1h}{3600s} = 0.6667 \frac{\text{m}^3}{\Delta}$$

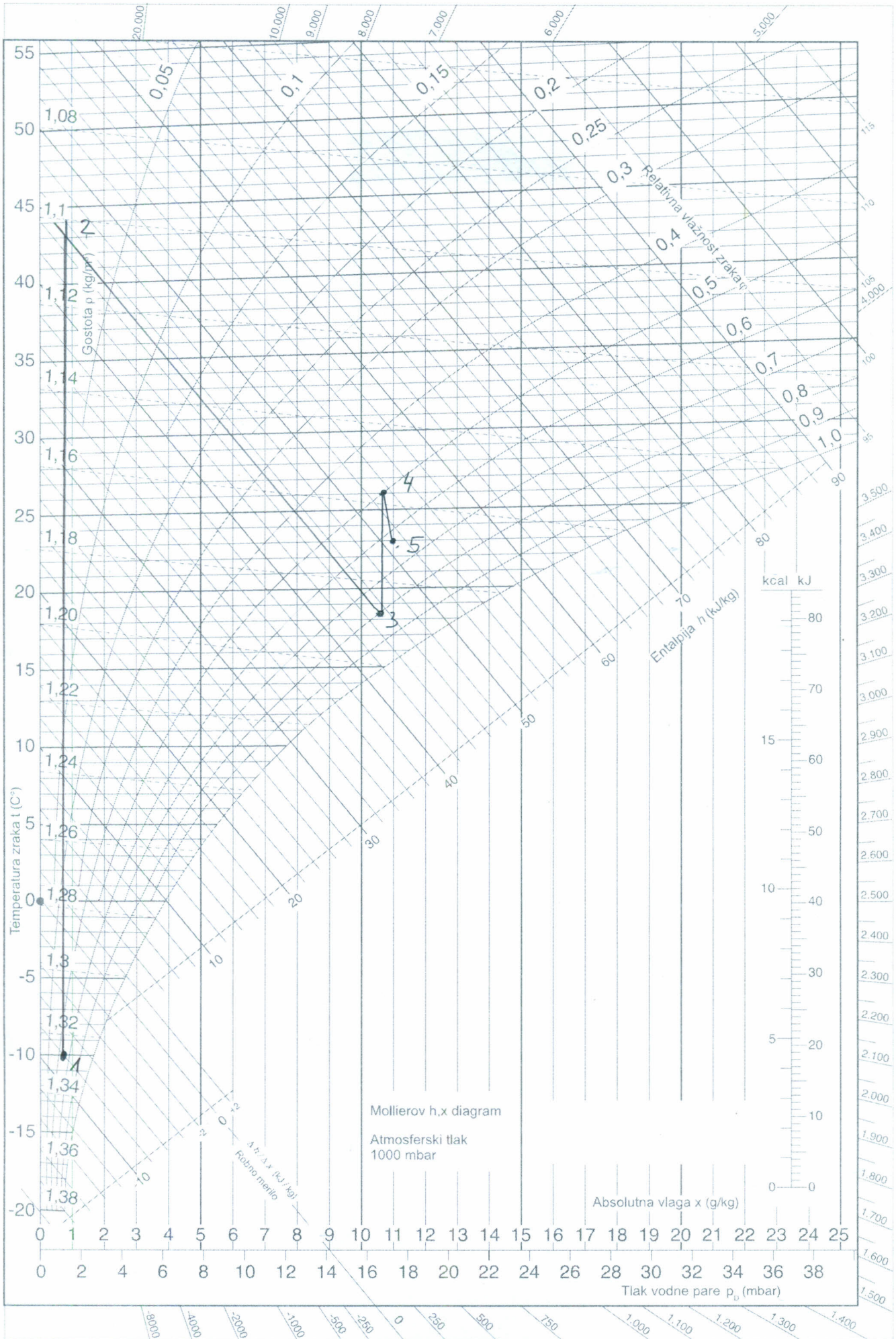
$$x_5 = x_4 + \frac{\dot{m}_{v45}}{\dot{m}_{zr}} = 10.7 + \frac{1 \text{ kg}}{h} \cdot \frac{h}{0.8620 \text{ kg}} \cdot \frac{1000g}{3600s} = 11.02 \frac{g}{\Delta}$$

$$\dot{Q}_{45} = \dot{m}_{zr} (h_4 - h_5) = 0.8620 \frac{\text{kg}}{\Delta} \cdot (53.2 - 51.0) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 1.896 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{12} = \dot{m}_{zr} (h_2 - h_1) = 0.8620 (45.4 - (-8.0)) = 46.03 \text{ kW}$$

$$\dot{m}_{v23} = \dot{m}_{zr} (x_3 - x_2) = 0.8620 \frac{\text{kg}}{\Delta} (10.7 - 0.7) \frac{g}{\Delta} = 8.620 \frac{g}{\Delta}$$

$$\dot{Q}_{34} = \dot{m}_{zr} (h_4 - h_3) = 0.8620 (53.2 - 45.4) = 6.724 \text{ kW}$$



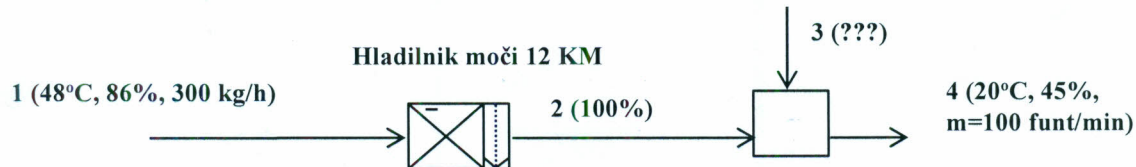
| | |
|-----|-----|
| 50% | 50% |
| | |

Priimek in ime: REŠITEV

Vpisna številka: _____

Ocenjujem pravilnost številskih rezultatov. Za pravilni postopek praviloma ne podeljujem procentov. Prosim, pri računskih nalogah zaokrožite števila na 4 pomembna mesta (npr.: $0.00123456=0.1235 \cdot 10^{-2}$ ali 1.235 kJ). Natančnost rešitve mora biti ± 5 na 3 pomembnem mestu. Grafično rešitev vrišete na priloženi diagram. Odčitane vrednosti zapisujete na decimalna mesta kot je prikazano v prvi vrstici tabele. Rezultat je pravilen če je vaša vrednost znotraj \pm zapisane tolerance v drugi vrstici tabele, kar ustreza $\pm 2 \text{ mm}$ napake na h-x diagramu. Čas reševanja 90 min. Pišite kar na ta list. Po potrebi dobite dodaten list. Pretoki zraka pomenijo pretok suhega zraka pri normalnih pogojih.

1. Računsko s pomočjo tabel rešite napravo na sliki in rezultate zapišite v tabelo. Pazite na enote (KM=konjska moč).



| | T[°C] | ϕ [%] | X[g/kg] | h[kJ/kg] | Xs[g/kg] |
|---|---------------------|---------------------|---------|---------------------|----------|
| 1 | 48 | 86 | 67.21 | 222.5 | 78.15 |
| 2 | 32.83 ₁₀ | 100 | 32.65 | 116.6 | 32.65 |
| 3 | 18.33 ₁₀ | 26.00 ₁₀ | 3.481 | 27.25 ₁₀ | 13.39 |
| 4 | 20 | 45 | 6.696 | 37.10 | 14.88 |

Količina kondenzirane vode v hladilniku 10.37 [kg/h] **10%**

$$\textcircled{1} x_1 = \phi \cdot x_s(\phi) = 0.86 \cdot 78.15 = 67.21 \text{ g/kg}$$

$$h = 1.005 \cdot 48 + 67.21(2.5 + 0.001926 \cdot 48) = 222.5 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{m} = 300 \text{ kg/h} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 0.08333 \text{ kg/s}$$

$$\textcircled{2} \dot{Q}_{12} = \dot{m} \Delta h \Rightarrow \Delta h = \frac{\dot{Q}_{12}}{\dot{m}} = \frac{8.826 \text{ kW}}{0.08333 \text{ kg/s}} = 105.9 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{Q}_{12} = 12 \text{ KM} \cdot \frac{735.5 \text{ W}}{\text{KM}} = 8.826 \text{ kW}$$

$$h_2 = h_1 - \Delta h = 116.6 \text{ kJ/kg}$$

| | | | |
|-------|-------|-----|---|
| x_s | h_s | t | |
| 31.04 | 111.6 | 32 | ; |
| 34.94 | 123.7 | 34 | |

$$\epsilon = \frac{116.6 - 111.6}{123.7 - 111.6} = 0.4132$$

$$t = 32 + 2(0.4132) = 32.83^\circ \text{C}$$

$$x_s(32.83) = 31.04 + 0.4132(34.94 - 31.04) = 32.65 \text{ g/kg}$$

$$\textcircled{3} \dot{m}_4 = 100 \frac{\text{funt}}{\text{min}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \cdot \frac{0.4536 \text{ kg}}{\text{funt}} = 0.7560 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 - \dot{m}_2 = 0.7560 - 0.08333 = 0.6727 \text{ kg/s}$$

$$m_4 \cdot x_4 = m_2 \cdot x_2 + m_3 \cdot x_3 \Rightarrow$$

$$x_3 = \frac{m_4 \cdot x_4 - m_2 \cdot x_2}{m_3} = \frac{0.7560 \cdot 6.696 - 0.08333 \cdot 32.65}{0.6727} = 3.481 \text{ g/kg}$$

$$h_3 = \frac{m_4 \cdot h_4 - m_2 \cdot h_2}{m_3} = \frac{0.7560 \cdot 37.10 - 0.08333 \cdot 116.6}{0.6727} = 27.25 \text{ kJ/kg}$$

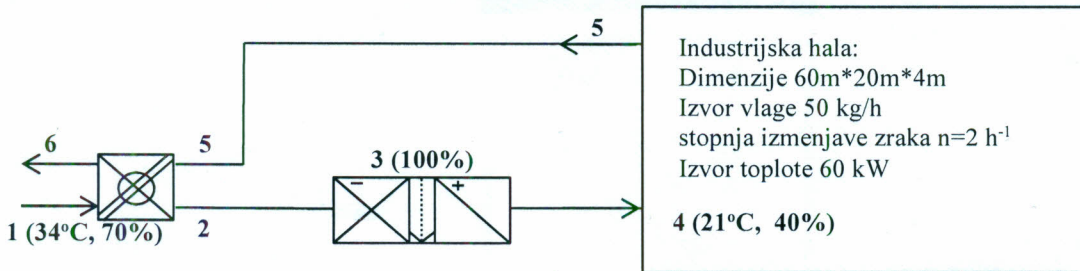
$$t_3 = \frac{27.25 - 3.481 \cdot 2.5}{1.005 + 3.481 \cdot 0.001926} = 18.33^\circ \text{C}$$

$$X_s(18.33^\circ\text{C}) = 13.10 + \frac{0.33}{2} (14.88 - 13.10) = 13.39 \text{ g/kg}$$

$$\begin{aligned} \dot{m}_{v12} &= \dot{m}_{ze} \cdot \Delta X = 0.08333 \frac{\text{kg}}{\Delta} \cdot (67.21 - 32.65) \frac{\text{g}}{\text{kg}} = \\ &= 2.880 \frac{\text{g}}{\Delta} \cdot \frac{\text{kg}}{1000 \text{ g}} \frac{3600 \text{ s}}{\text{h}} = 10.37 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

HVAC kolokvij, 2015 05 11

2. S pomočjo h-x diagrama rešite nalogo za klimatizacijsko napravo na sliki. Naprava vsebuje regeneratore zraka z izkoristkom izmenjave čutne toplote 85% in latentne toplote 73%.



| | T[°C] | φ[%] | X[g/kg] | h[kJ/kg] |
|---------|-------|------|---------|----------|
| Tol +/- | 0,2 | 2, | 0,2 | 0,5 |
| 1 | 34 | 70 | 24.4 | 96.5 |
| 2 | 28.9 | 57 | 14.06 | 64.5 |
| 3 | 6.8 | 100 | 6.2 | 22.7 |
| 4 | 21.0 | 40 | 6.2 | 36.7 |
| 5 | 28.0 | 44 | 10.23 | 54.10 |
| 6 | 33.1 | 63 | 20.57 | 86.0 |

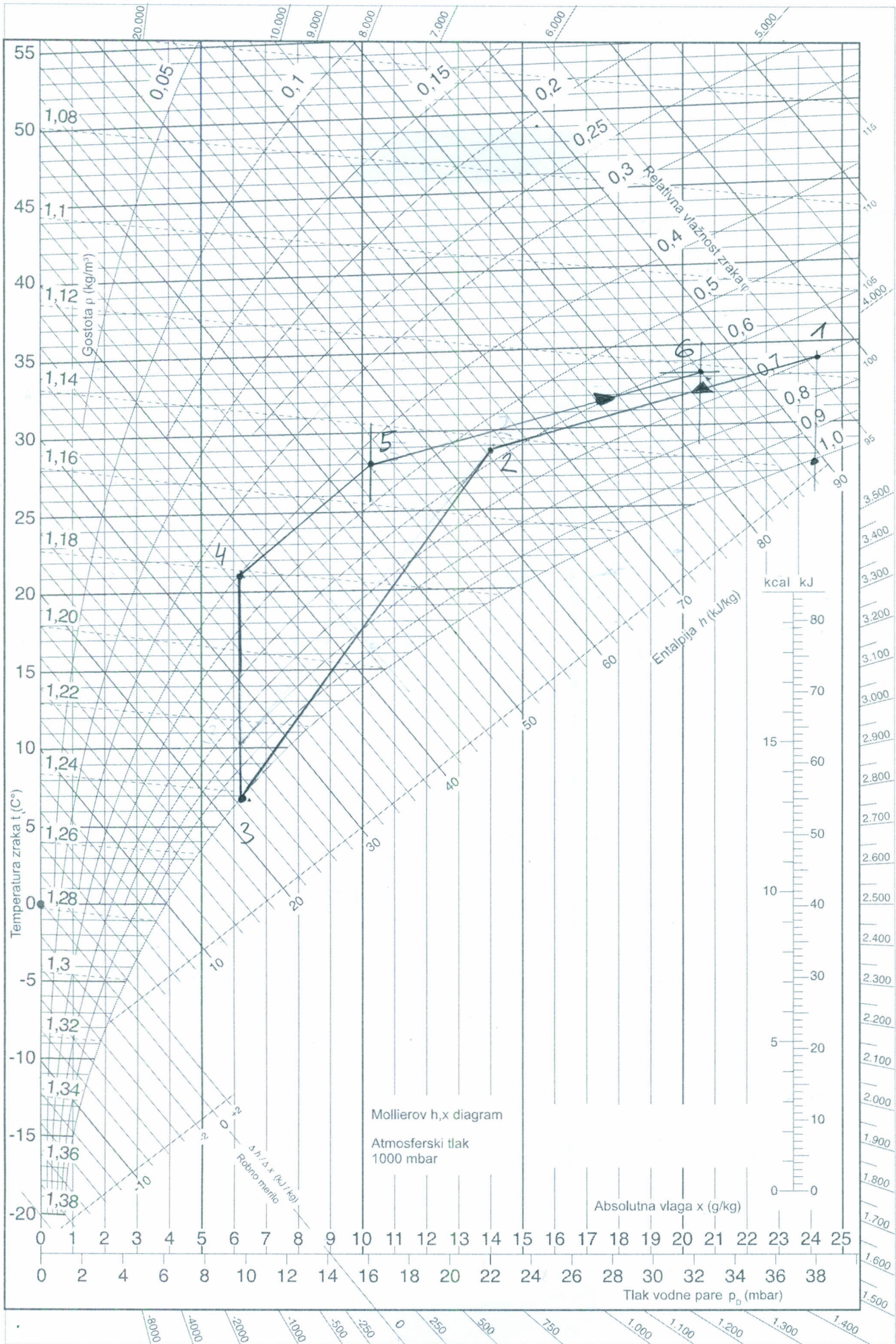
| Značilnosti prezračevalne naprave: | |
|--|------------|
| Hladilna moč 2-3 | 144.1 [kW] |
| Grelna moč 3-4 | 48.27 [kW] |
| Toplotna moč rekuperatorja ^{REGENERATORJA} | 110.2 [kW] |

10
10
10

10
φ
10

$V = 60 \times 20 \times 4 = 4800 \text{ m}^3$, $\dot{V} = 4800 \text{ m}^3 \cdot \frac{2}{h} = 9600 \text{ m}^3/h$
 $\dot{m}_{zr} = 1.293 \text{ kg/m}^3 \cdot 9600 \frac{\text{m}^3}{h} \cdot \frac{1}{3600 \text{ s}} = 3.448 \text{ kg/s}$
 $\dot{Q}_{45} = \dot{m}_{zr} \cdot \Delta h_{45} \Rightarrow \Delta h_{45} = \frac{60 \text{ kW}}{3.448 \text{ kg/s}} = 17.40 \text{ kJ/kg}$
 $\dot{m}_{v45} = \dot{m}_{zr} \cdot \Delta X_{45} \Rightarrow \Delta X_{45} = \frac{50 \text{ kg/h} \cdot \frac{1}{3600 \text{ s}}}{3.448 \text{ kg/s}} = 4.028 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$
 $h_5 = h_4 + \Delta h_{45} = 36.7 + 17.40 = 54.10 \text{ kJ/kg}$
 $X_5 = X_4 + \Delta X_{45} = 6.2 + 4.028 = 10.23 \text{ g/kg}$

• Regenerator: $\Delta t = \eta_c \cdot \Delta t_{max} = 0.85 (34 - 21) = 5.100 \text{ }^\circ\text{C}$
 $\Delta X = \eta_L \cdot \Delta X_{MAX} = 0.73 (24.4 - 10.23) = 10.34 \text{ g/kg}$
 kontrola: $\Delta h_{12} = 96.5 - 64.5 = 32.0 \text{ kJ/kg}$
 $\Delta h_{56} = 86.0 - 54.10 = 31.9 \text{ kJ/kg}$ ✓
 $\dot{Q}_{456} = \dot{m}_{zr} \cdot \Delta h = 3.448 \text{ kg/s} \cdot 31.95 \text{ kJ/kg} = 110.2 \text{ kW}$
 $\dot{Q}_{23} = \dot{m}_{zr} \cdot \Delta h_{23} = 3.448 \text{ kg/s} (64.5 - 22.7) \text{ kJ/kg} = 144.1 \text{ kW}$
 $\dot{Q}_{34} = \dot{m}_{zr} \cdot \Delta h_{34} = 3.448 \text{ kg/s} (36.7 - 22.7) \text{ kJ/kg} = 48.27 \text{ kW}$



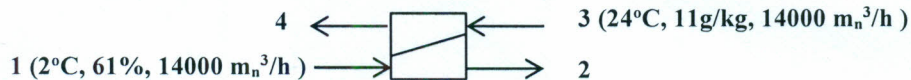
9.7.
HVAC, 7.9. 2015

| | |
|-----|-----|
| 50% | 50% |
| | |

Priimek in ime: _____ Vpisna številka: _____

Ocenjujem pravilnost številskih rezultatov. Za pravilni postopek praviloma ne podeljujem procentov. Prosim, pri računskih nalogah zaokrožite števila na 4 pomembna mesta (npr.: $0.00123456=0.1235e-2$ ali $1.235kJ$). Natančnost rešitve mora biti ± 5 na 3 pomembnem mestu. Grafično rešitev vrišete na priloženi diagram. Odčitane vrednosti zapisujete na decimalna mesta kot je prikazano v prvi vrstici tabele. Rezultat je pravilen če je vaša vrednost znotraj \pm zapisane tolerance v drugi vrstici tabele, kar ustreza $\pm 2mm$ napake na h-x diagramu. Čas reševanja 90 min. Pišite kar na ta list. Po potrebi dobite dodaten list. Pretoki zraka pomenijo pretok suhega zraka pri normalnih pogojih.

1. Računsko s pomočjo tabel rešite rekuperator toplote. Rezultate zapišite v tabelo. Izkoristek izmenjave čutne toplote je 93%. V primeru kondenzacije predpostavite 100% vlažnost zraka na izhodu iz rekuperatorja.



| | T[°C] | ϕ [%] | X[g/kg] | h[kJ/kg] | X _s [g/kg] |
|---|-------|------------|---------|----------|-----------------------|
| 1 | 2 | 61 | 2.696 | 8.760 | 4.419 |
| 2 | 22.46 | 15.49 | - | 29.43 | 17.40 |
| 3 | 24 | 57.53 | 11 | 52.13 | 19.12 |
| 4 | 10.80 | 100 | 8.173 | 31.46 | 8.173 |

Količina izločene vode 51.17 [kg/h] (15)

Toplotna moč rekup. 103.9 [kW] (15)

$$x_1 = \phi_1 \cdot x_{s1} = 0.61 \times 4.419 = 2.696 \text{ g/kg}$$

$$h_1 = 1.005 \times 2 + 2.696 (2.5 + 0.001926 \cdot 2) = 8.760 \text{ kJ/kg}$$

$$\phi_3 = x_3 / x_s = 11 / 19.12 = 57.53 \%$$

$$h_3 = 1.005 \times 24 + 11 (2.5 + 0.001926 \cdot 24) = 52.13 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta t = \eta_c \cdot \Delta t_{\max} = 0.93 (24 - 2) = 20.46 \text{ }^\circ\text{C} \quad \left\{ \begin{array}{l} t_4 = 3.54^\circ\text{C} < t_{\text{ikond.}} \\ t_2 = 22.46^\circ\text{C} \end{array} \right.$$

$$h_2 = 1.005 \times 22.46 + 2.696 (2.5 + 0.001926 \times 22.46) = 29.43 \text{ kJ/kg}$$

$$x_s(22.46^\circ\text{C}) = 16.88 + \frac{0.46}{2} (19.12 - 16.88) = 17.40$$

$$\phi_2 = x_2 / x_s = 2.696 / 17.40 = 10.154\%$$

- zakon o ohranitvi energije: $\dot{m}_1 \cdot |\Delta h_{12}| = \dot{m}_3 \cdot |\Delta h_{34}|$

$$h_4 = h_3 - |\Delta h_{12}| = 52.13 - (29.43 - 8.760) = 31.46 \text{ kJ/kg}$$

$$\epsilon = \frac{31.46 - 29.52}{34.36 - 29.52} = 0.4008$$

$$t_4 = 10 + 0.4008 \times 2 = 10.80^\circ\text{C}$$

$$x_s(10.80) = 7.727 + 0.4008 (8.841 - 7.727) = 8.173 \text{ g/kg}$$

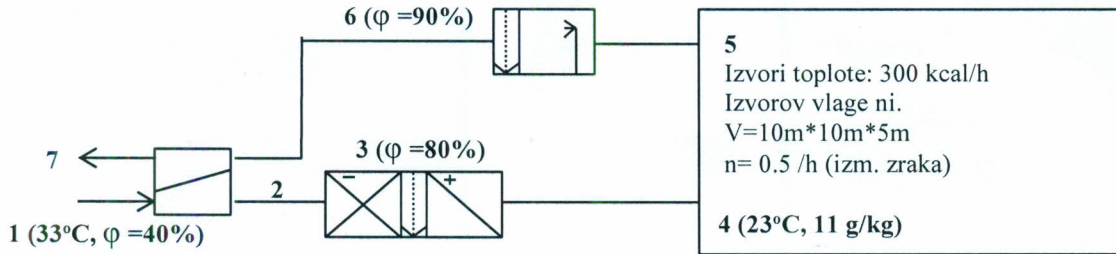
$$\dot{m}_{\text{zr}} = 1.293 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 14000 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \frac{\text{h}}{3600 \text{ s}} = 5.028 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_{\text{vzr}} = \dot{m}_{\text{zr}} \Delta x_{34} = 5.028 (11 - 8.173) = 14.21 \text{ g/s} = 51.17 \text{ kg/h}$$

$$\dot{Q}_{12} = \dot{m}_{\text{zr}} \Delta h_{12} = 5.028 (29.43 - 8.760) = 103.9 \text{ kW}$$

9.7.
HVAC, 7.9. 2015

2. S pomočjo **h-x diagrama** rešite nalogo za klimatizacijsko napravo na sliki. V hladilniku 2-3 je temperatura hladilnih površin pod rosiščem. Rekuperator toplote ima učinkovitost vračanja čutne toplote 90% (temperaturna učinkovitost). Če nastane v rekuperatorju kondenzacija, predpostavite na izstopu 100% vlažnost.



| | T[°C] | φ[%] | X[g/kg] | h[kJ/kg] |
|---------|-------|------|---------|----------|
| Tol +/- | 0,6 | 3, | 0,4 | 1,0 |
| 1 | 33 | 40 | 12.6 | 65.1 |
| 2 | 21.48 | 78 | 12.6 | 53.2 |
| 3 | 19.0 | 80 | 11 | 47.0 |
| 4 | 23 | 63 | 11 | 50.8 |
| 5 | 26.8 | 49 | 11 | 54.69 |
| 6 | 20.2 | 90 | 13.6 | 54.69 |
| 7 | 31.72 | 47 | 13.6 | 66.5 |

| | | |
|-------------------|-------------|------|
| Hladilna moč | 0.5567 [kW] | (10) |
| Grelna moč | 0.3412 [kW] | |
| Moč rekuperatorja | 1.065 [kW] | (10) |

$$V = 10 \times 10 \times 5 = 500 \text{ m}^3, \quad \dot{V} = n \cdot V = 250 \text{ m}^3/\text{h}$$

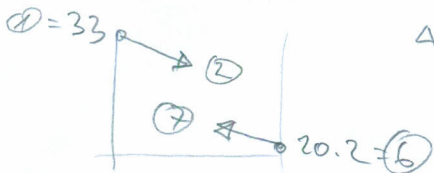
$$\dot{m} = 1.293 \text{ kg/m}^3 \cdot 250 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \frac{\text{h}}{3600 \text{ s}} = 0.08979 \text{ kg/s}$$

$$\dot{Q}_{45} = 300 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} \cdot \frac{1.163 \text{ W}}{1 \text{ kcal/h}} = 0.3489 \text{ kW} = \dot{m} \Delta h$$

$$\Delta h = \frac{\dot{Q}_{45}}{\dot{m}} = \frac{0.3489 \text{ kJ/s}}{0.08979 \text{ kg/s}} = 3.886 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_5 = h_4 + \Delta h = 50.8 + 3.886 = 54.69 \text{ kJ/kg}$$

• REKUPERATOR



$$\Delta T = \eta_c \cdot \Delta T_{\text{max}} = 0.9 (33 - 20.2) = 11.52^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 21.48 > T_{\text{r}} = 17.5^\circ\text{C}, \text{ KONDENZ. NI}$$

$$T_7 = 31.72$$

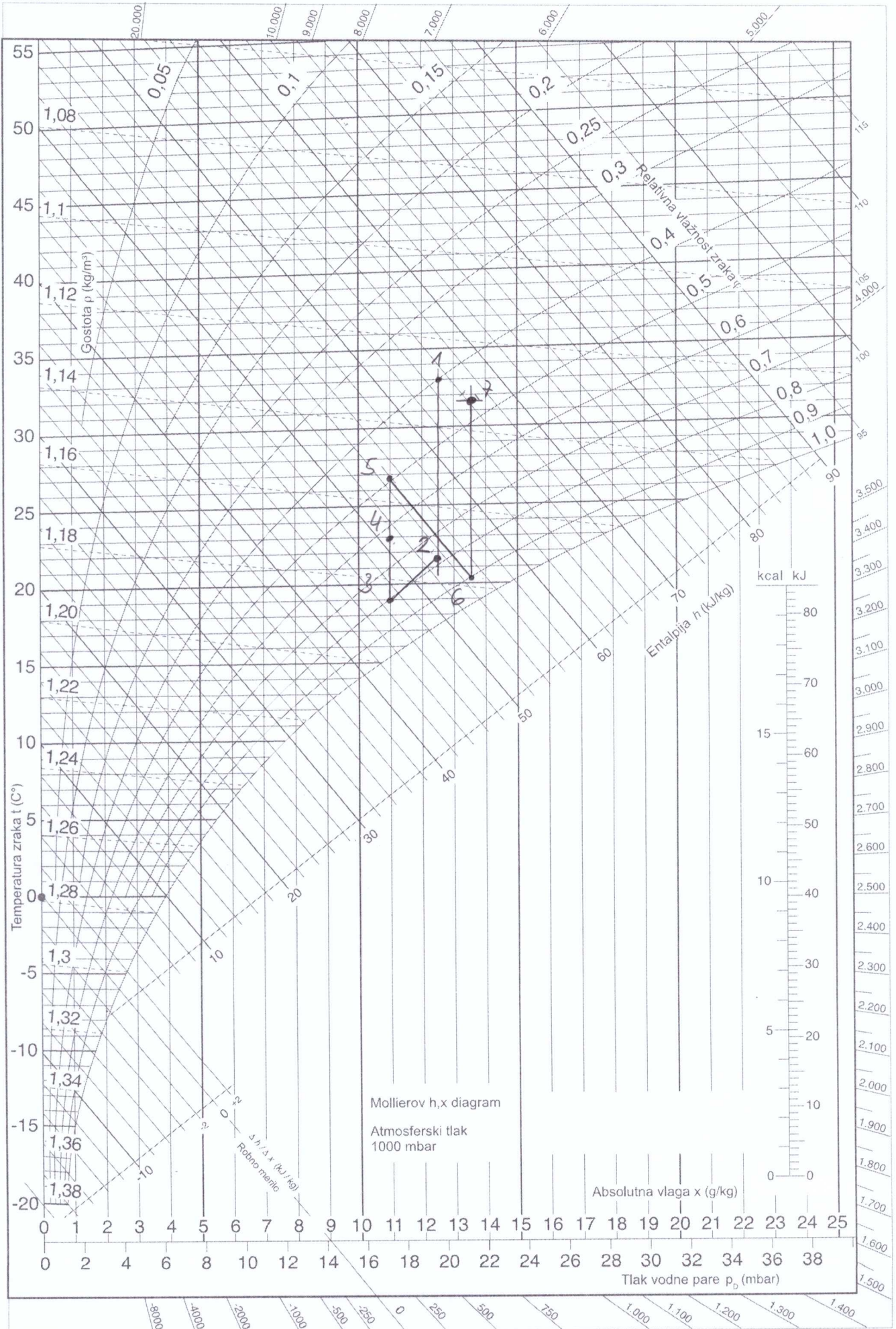
$$\Delta h_{12} = 65.1 - 53.2 = 11.9 \text{ kJ/kg} \quad \Delta \bar{h} = 11.86 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta h_{67} = 66.5 - 54.69 = 11.81 \text{ kJ/kg}$$

$$P_R = \dot{m} \Delta \bar{h} = 0.08979 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 11.86 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 1.065 \text{ kW}$$

$$P_{123} = \dot{Q}_{23} = \dot{m} \Delta h_{23} = 0.08979 \cdot (53.2 - 47.0) = 0.5567 \text{ kW}$$

$$P_{34} = \dot{Q}_{34} = \dot{m} \Delta h_{34} = 0.08979 \cdot (50.8 - 47.0) = 0.3412$$



HVAC, 27.08.2015

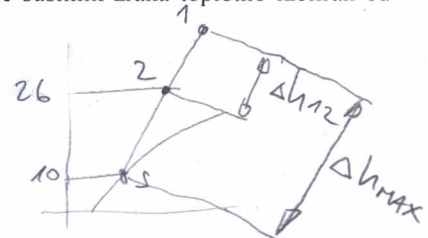
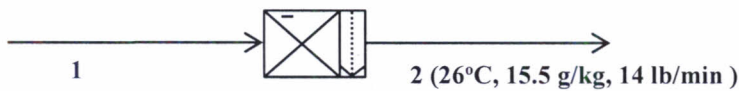
| | |
|-----|-----|
| 50% | 50% |
| | |

Priimek in ime: _____

Vpisna številka: _____

Ocenjujem pravilnost številskih rezultatov. Za pravilni postopek praviloma ne podeljujem procentov. Prosim, pri računskih nalogah zaokrožite števila na 4 pomembna mesta (npr.: 0.00123456=0.1235e-2 ali 1.235kJ). Natančnost rešitve mora biti +/-5 na 3 pomembnem mestu. Grafično rešitev vrišete na priloženi diagram. Odčitane vrednosti zapisujete na decimalna mesta kot je prikazano v prvi vrstici tabele. Rezultat je pravilen če je vaša vrednost znotraj +/- zapisane tolerance v drugi vrstici tabele, kar ustreza +/- 2mm napake na h-x diagramu. Čas reševanja 90 min. Pišite kar na ta list. Po potrebi dobite dodaten list. Pretoki zraka pomenijo pretok suhega zraka pri normalnih pogojih.

1. Računsko s pomočjo tabel rešite hladilnik vlažnega zraka na sliki in rezultate zapišite v tabelo. Povprečna temperatura hladilnih površin v hladilniku je 10°C. Pretok hladilnega medija v hladilnih površinah je 20 litrov/min (snovske lastnosti hladilnega medija so: gostota 1.2 lb/liter, toplotna prevodnost 0.4 W/(foot K), specifična toplota 1.2 kcal/(lb K), kinematična viskoznost 10.7 inch²/min). Hladilni medij se ohladi za 3°F (Fahrenheit) in ne spremeni agregatnega stanja. Izračunajte tudi stopnjo sušenja zraka. Predpostavite, da je sušilnik zraka toplotno izoliran od okolice. Entalpijo vode iz sušilnika smete zanemariti.



| | T[°C] | φ[%] | X[g/kg] | h[kJ/kg] | Xs[g/kg] |
|---|-------|-------|---------|----------|----------|
| 1 | 40.02 | 44.99 | 22.31 | 97.33 | 49.59 |
| 2 | 26 | 71.69 | 15.5 | 65.66 | 21.62 |

| | | |
|------------------------|--------------|----|
| Količina izločene vode | 2.594 [kg/h] | 10 |
| Stopnja sušenja | 46.70 [%] | 10 |

② $p_2 = \frac{x}{x_s} = \frac{15.5}{21.62} = 0.7169$ $\dot{m}_{zr} = 14 \frac{lb}{min} \cdot \frac{0.4536 kg}{lb} \cdot \frac{min}{60s} = 0.1058 \frac{kg}{s}$

$h_2 = 1.005 \cdot 26 + 15.5 (2.5 + 26 \cdot 0.001926) = 65.66 \text{ kJ/kg}$

1-2 $\dot{Q}_{12} = \dot{m} c_p \cdot \Delta t = 0.1814 \frac{kg}{s} \cdot 11.08 \frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot 1.667 K = 3.351 \text{ kW}$

$\dot{m} = \rho \cdot \dot{V} = \frac{1.2 lb}{liter} \cdot \frac{20 liter}{min} \cdot \frac{0.4536 kg}{lb} \cdot \frac{min}{60s} = 0.1814 \frac{kg}{s}$

$c_p = 1.2 \frac{kcal}{lb \cdot K} \cdot \frac{4.187 kJ}{kcal} \cdot \frac{lb}{0.4536 kg} = 11.08 \frac{kJ}{kg \cdot K}$

$\Delta t = 3^\circ F \cdot \frac{1^\circ K}{1.8^\circ F} = 1.667 K$

$\dot{Q}_{12} = \dot{m}_{zr} \cdot \Delta h_{12} \Rightarrow \Delta h_{12} = \frac{3.351 \text{ kW}}{0.1058 \frac{kg}{s}} = 31.67 \text{ kJ/kg}$

① $h_1 = \Delta h_{12} + h_2 = 31.67 + 65.66 = 97.33 \text{ kJ/kg}$

$t = 10^\circ C, h_s = 29.52 \text{ kJ/kg}, x_s = 7.727 \text{ g/kg}$

$\eta = \frac{\Delta h_{12}}{h_1 - h_s} = \frac{31.67}{97.33 - 29.52} = 0.4670 = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_s}$ $\eta(t_1 - t_s) = t_1 - t_2$

$t_1 = \frac{t_2 - \eta t_s}{1 - \eta} = \frac{26 - 0.4670 \cdot 10}{1 - 0.4670} = 40.02^\circ C$ $\eta t_1 - t_1 = \eta t_s - t_2$

$x_1 = \frac{x_2 - \eta x_s}{1 - \eta} = \frac{15.5 - 0.4670 \cdot 7.727}{1 - 0.4670} = 22.31 \text{ g/kg}$ $t_1 = \frac{\eta t_s - t_2}{\eta - 1}$

kontrola: $t_1 = \frac{h_1 - x_1 \cdot r}{c_{pz} + x_1 \cdot c_{pp}} = \frac{97.33 - 22.31 \cdot 2.5}{1.005 + 22.31 \cdot 0.001926} = 39.65^\circ C \checkmark$

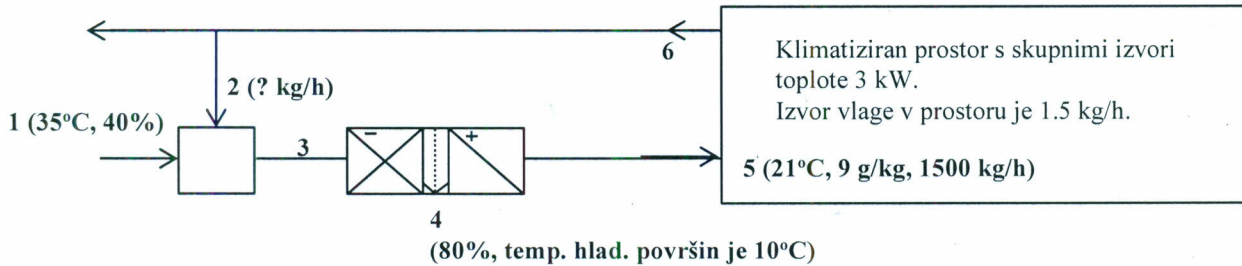
$$x_s(40.02^\circ\text{C}) = 49.53 + \frac{0.02}{2} (55.55 - 49.53) = 49.59 \text{ g/kg}$$

$$p_1 = \frac{x_1}{x_s} = \frac{22.31}{49.59} = 0.4499$$

$$\begin{aligned} \dot{m}_{v12} &= \dot{m}_{zk} \cdot \Delta x_{12} = 0.1058 \frac{\text{kg}}{\Delta} \cdot (22.31 - 15.5) \frac{\text{g}}{\text{kg}} = 0.7205 \frac{\text{g}}{\Delta} \\ &= 2.594 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

HVAC, 27.08.2015

2. S pomočjo h-x diagrama **grafično** rešite nalogo za klimatizacijsko napravo na sliki. Rezultat mešanja (točka 3) je potrebno določiti grafično iz diagrama. Temperatura hladilnih površin v hladilniku zraka je 10°C. Na izstopu iz hladilnika zraka predpostavimo 80% relativno vlažnost zraka. Z masnimi pretoki je označen pretok suhega zraka. Odčitane vrednosti zapisujete na decimalna mesta kot je prikazano v prvi vrstici tabele. Rezultat je pravilen če je vaša vrednost znotraj +/- zapisane tolerance v drugi vrstici tabele, kar ustreza +/- 2mm odčitane vrednosti na diagramu. Pazite na enote.



| | T[°C] | φ[%] | X[g/kg] | h[kJ/kg] |
|-------|-------|------|---------|----------|
| toler | 0,6 | 3, | 0,4 | 1,0 |
| 1 | 35 | 40 | 14.0 | 70.8 |
| 2 = 6 | | | | |
| ⑩ 3 | 31.9 | 43 | 12.7 | 64.2 |
| 4 | 15.8 | 80 | 9.0 | 38.7 |
| 5 | 21 | 58 | 9.0 | 44.0 |
| ⑩ 6 | 25.6 | 48 | 10.00 | 51.20 |

Hladilna moč naprave: ⑩ 10.63 [kW]
 Masni pretok zraka 2 ⑩ 480.8 [kg/h]
 Hladilna moč naprave, če ne bi imeli mešanja. Hladimo celotno potrebno količino okoliškega zraka na stanje 4 ⑤ 13.38 [kW]

$$\dot{m}_{zr5} = 1500 \text{ kg/h} \cdot \frac{1}{3600 \text{ s}} = 0.4167 \text{ kg/s}$$

$$\dot{Q}_{14} = \dot{m}_{zr5} \cdot (h_1 - h_4) = 0.4167 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (70.8 - 38.7) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 13.38 \text{ kW}$$

$$\textcircled{6} \Delta h_{56} = \frac{\dot{Q}_{56}}{\dot{m}_{zr5}} = \frac{3 \text{ kW}}{0.4167 \text{ kg/s}} = 7.199 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\Delta X_{56} = \frac{\dot{m}_{v56}}{\dot{m}_{zr5}} = \frac{1.5 \text{ kg v/h}}{1500 \text{ kg zr/h}} = 1.000 \frac{\text{g v}}{\text{kg zr}}$$

$$\frac{M1}{M2} = \frac{12.5 \text{ mm}}{26.5 \text{ mm}} = 0.4717 = \frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_1} \Rightarrow \dot{m}_2 = 0.4717 \cdot \dot{m}_1$$

$$\dot{m}_1 + \dot{m}_2 = 1500 \text{ kg/h} = (1 + 0.4717) \cdot \dot{m}_1$$

$$\dot{m}_1 = 1019 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_2 = 480.8 \text{ kg/h}$$

$$\dot{Q}_{34} = \dot{m}_{zr5} \cdot \Delta h_{34} = 0.4167 (64.2 - 38.7) = 10.63 \text{ kW}$$

