

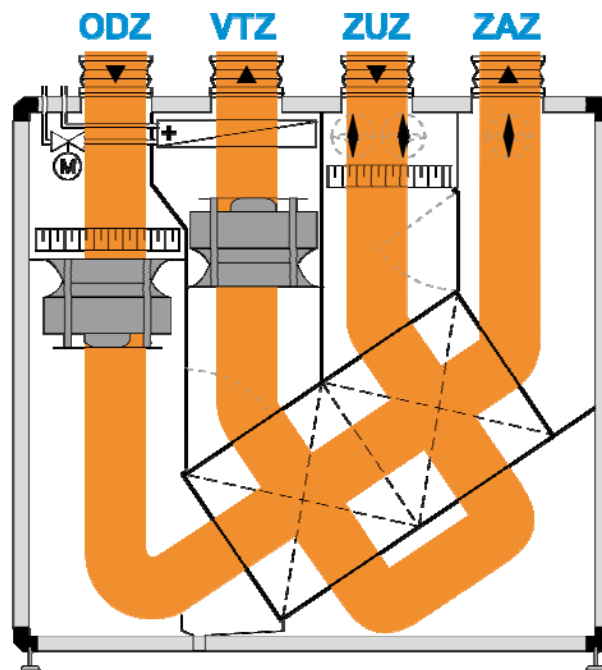


Fakulteta za strojništvo

UNIVERZA V MARIBORU
FAKULTETA ZA STROJNIŠTVO

Matjaž RAMŠAK

Zbirka rešenih izpitnih nalog pri predmetu
Klimatizacija (HVAC)
za študijsko leto 2015/2016



(vir: <http://www.menerga.si/>)

MARIBOR, oktober 2016

CIP – kataložni zapis o publikaciji
Univerzitetna knjižnica Maribor

[CIP številka]

Matjaž Ramšak
Zbirka rešenih izpitnih nalog pri
predmetu Klimatizacija (HVAC)
za študijsko leto 2015/2016/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 2015/2016
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://dk.um.si/...
Sistemske zahteve (e-pub):	računalnik, internetni dostop
Programske zahteve (e-pub):	internetni brskalnik, program Adobe Reader

KAZALO

Prazni izpiti za reševanje

Izpit 28.01.2016	4
Kolokvij 25.04.2016	6
Izpit 17.06.2016	8
Izpit 19.08.2016	10

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

Rešeni izpiti

Izpit 28.01.2016	13
Kolokvij 25.04.2016	17
Izpit 17.06.2016	22
Izpit 19.08.2016	26

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 nalog vam želim veselja in uspeha.

asistent Matjaž Ramšak

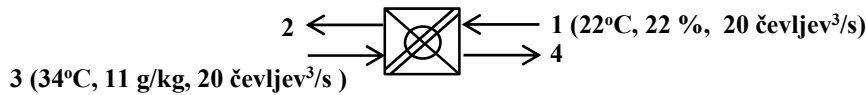
HVAC, 28.01.2016

50%	50%

Priimek in ime: _____ Vpisna številka: _____

Ocenjujem pravilnost številskih rezultatov. Za pravilni postopek praviloma ne podeljujem procentov. Pri **računskih** nalogah zaokrožite števila na 4 pomembna mesta (npr.: $0.00123456=0.1235e-2$ ali $1.235kJ$). Rešitev je pravilna, če je znotraj +/-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 +/- 2 mm napake na h-x diagramu. Čas reševanja 90 min. Pišite kar na ta list. Po potrebi dobite dodatni list. Pretoki zraka pomenijo pretok suhega zraka pri normalnih pogojih. Pazite na enote!

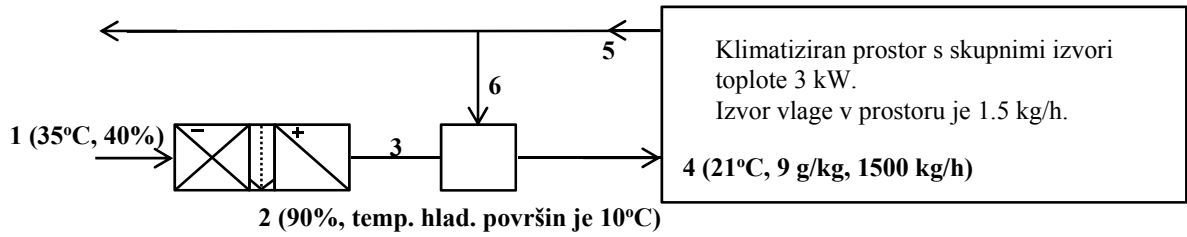
1. **Računsko** s pomočjo tabel rešite regenerator toplote na sliki in rezultate zapišite v tabelo. Učinkovitost vračanja senzibilne toplote je 85 % in latentne toplote 33 %. Preverite zakon ohranitve energije za regenerator toplote.



	T[°C]	ϕ [%]	X[g/kg]	h[kJ/kg]	Xs[g/kg]	
1						Toplotna moč regeneratorja _____ [kW]
2						
3						Napaka ohranitvenega zakona energije _____ [W]
4						

HVAC, 28.01.2016

2. S pomočjo h-x diagrama **grafično** rešite nalogo za klimatizacijsko napravo na sliki. Rezultat mešanja (točka 3) je potrebno določiti grafično iz diagrama.



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

Hladilna moč naprave: _____ [kW]

Količina izločene vode v napravi: _____ [kg/h]

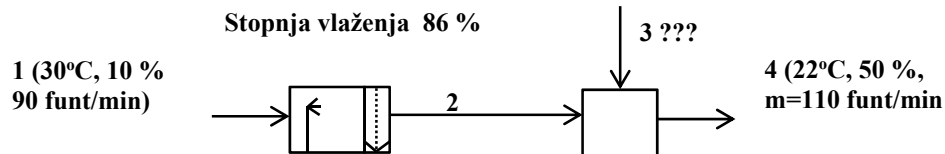
HVAC, 25.04.2016, kolokvij

50%	50%

Priimek in ime: _____ Vpisna številka: _____

Ocenjujem pravilnost številskih rezultatov. Za pravilni postopek praviloma ne podeljujem procentov. Pri računskih nalogah zaokrožite števila na 4 pomembna mesta (npr.: $0.00123456=0.1235e-2$ ali $1.235kJ$). Rešitev je pravilna, če je znotraj +/-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 dodatni list. Pretoki zraka pomenijo pretok suhega zraka pri normalnih pogojih. Pazite na enote.

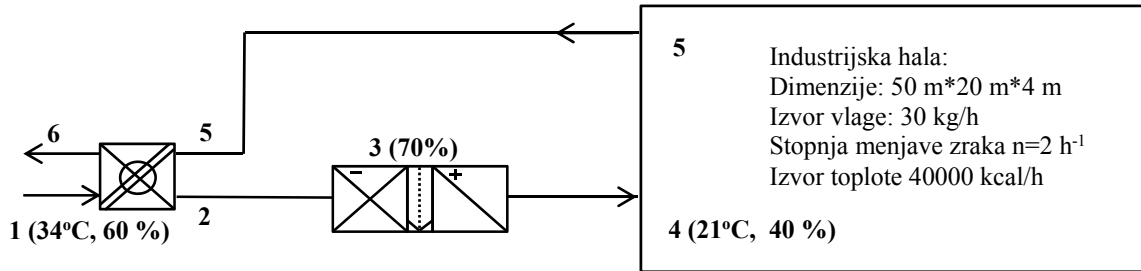
1. Računsko s pomočjo tabel rešite naslednjo napravo na sliki in rezultate zapišite v tabelo.



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

HVAC, 25.04.2016, kolokvij

2. S pomočjo **h-x diagrama** rešite nalogo za klimatizacijsko napravo na sliki. Naprava vsebuje regeneratorski zrak z izkoristkom izmenjave senzibilne toplote 65 % in latentne toplote 43 %.



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

Značilnosti prezračevalne naprave:

Hladilna moč 2-3 _____ [kW]

Grelna moč 3-4 _____ [kW]

Toplotna moč regeneratorskega zrakovalnika _____ [kW]

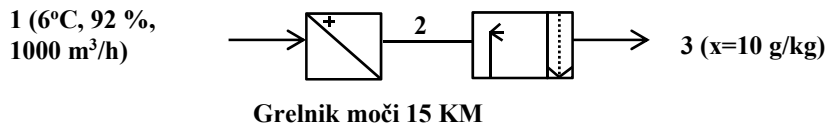
HVAC, 17.06.2016

50%	50%

Priimek in ime: _____ Vpisna številka: _____

Ocenjujem pravilnost številskih rezultatov. Za pravilni postopek praviloma ne podeljujem procentov. Pri **računskih** nalogah zaokrožite števila na 4 pomembna mesta (npr.: $0.00123456=0.1235e-2$ ali 1.235 kJ). Rešitev je pravilna, če je znotraj +/-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 +/- 2 mm napake na h-x diagramu. Čas reševanja 90 min. Pišite kar na ta list. Po potrebi dobite dodatni list. Pretoki zraka pomenijo pretok suhega zraka pri normalnih pogojih. Pazite na enote!

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

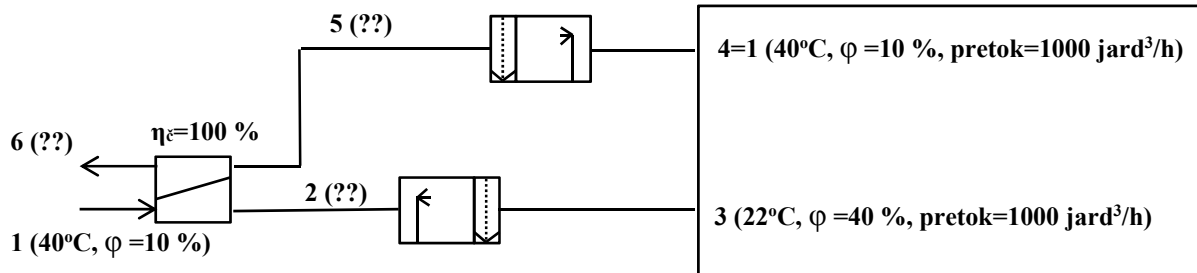


	T[°C]	φ[%]	X[g/kg]	h[kJ/kg]	X _s [g/kg]	
1						Količina razpršene vode v vlažilniku _____ [kg/h] Stopnja vlaženja _____ [%]
2						
3						

HVAC, 17.06.2016

2. S pomočjo **h-x diagrama** rešite nalogo za klimatizacijsko napravo na sliki. Osnovna ideja naloge je preveriti, če je možno doseči željeno temperaturo in vlažnost zraka na vstopu v objekt (stanje 3) samo s hlapilnim ohlajanjem. Temperaturna učinkovitost prenosa senzibilne toplote je 100 % (neskončno velik prenosnik toplote).

Do katere temperature (T_{min3}) bi bilo s to hladilno napravo možno ohladiti zrak na vstopu v objekt (stanje 3)?



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

Količina vode 23	_____	[kg/h]
Količina vode 45	_____	[kg/h]
Moč rekuperatorja	_____	[kW]
T_{min3}	_____	[°C]

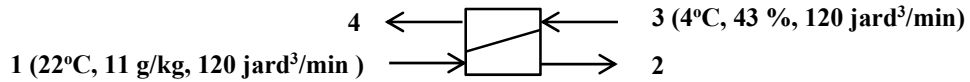
HVAC, 19.08.2016

50%	50%

Priimek in ime: _____ Vpisna številka: _____

Ocenjujem pravilnost številskih rezultatov. Za pravilni postopek praviloma ne podeljujem procentov. Pri **računskih** nalogah zaokrožite števila na 4 pomembna mesta (npr.: 0.00123456=0.1235e-2 ali 1.235kJ). Rešitev je pravilna, če je znotraj +/-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 +/- 2 mm napake na h-x diagramu. Čas reševanja 90 min. Pišite kar na ta list. Po potrebi dobite dodatni list. Pretoki zraka pomenijo pretok suhega zraka pri normalnih pogojih. Pazite na enote!

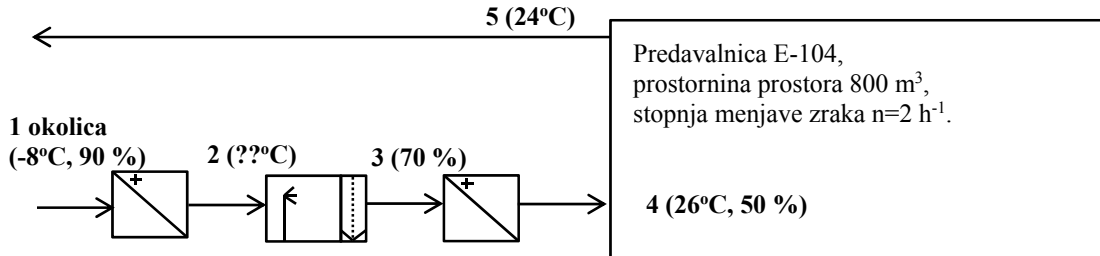
1. **Računsko** s pomočjo tabel rešite rekuperator toplote na spodnji sliki. Rezultate zapišite v tabelo. Izkoristek prenosa senzibilne toplote je 89 %. V primeru kondenzacije predpostavite 100 % vlažnost zraka na izhodu iz rekuperatorja.



	T[°C]	φ[%]	X[g/kg]	h[kJ/kg]	Xs[g/kg]	Količina izločene vode _____ [kg/h] Toplotna moč rekuperatorja _____ [kW]
1						
2						
3						
4						

HVAC, 19.08.2016

2. S pomočjo h-x diagrama rešite nalogo za klimatizacijsko napravo na sliki. Kolikšna bi bila skupna grelna moč, če ne bi imeli vlažilnika zraka (torej segrejemo zrak na 26°C, točka 4' v tabeli)?



	T[°C]	φ[%]	X[g/kg]	h[kJ/kg]
tol	0,6	4,	0,4	1,0
1				
2				
3				
4				
5				
4'				

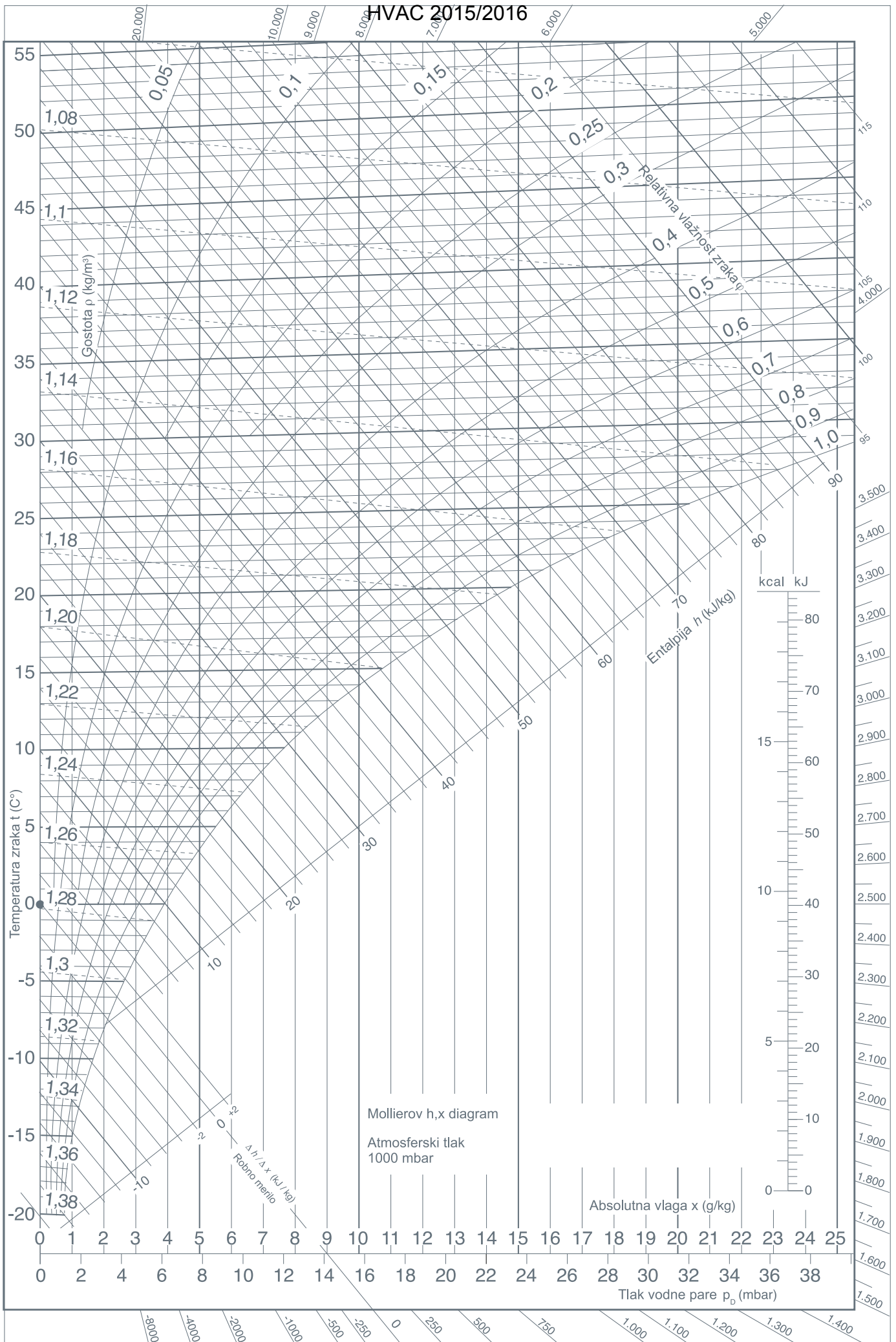
Toplotne izgube prostora _____ [kW]

Značilnosti prezračevalne naprave:

Grelna moč 1-4 z vlažilnikom zraka _____ [kW]

Kol. vode za vlaženje 2-3 _____ [kg/h]

Grelna moč 1-4' brez vlažilnika zraka _____ [kW]



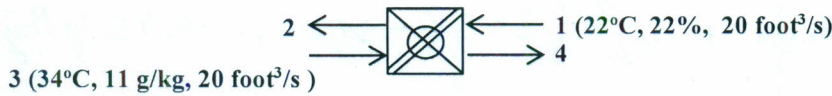
HVAC, 28.01.2016

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 regenerator toplote na sliki in rezultate zapišite v tabelo. Učinkovitost vračanja čutne toplote je 85% in latentne toplote 33%. Preverite zakon ohranitve energije za regenerator toplote. Pretoki zraka pomenijo pretok suhega zraka pri normalnih pogojih.



	T[°C]	φ[%]	X[g/kg]	h[kJ/kg]	Xs[g/kg]	Toplotna moč regeneratorja $Q_{12} = 12.07$ [kW] (10) $Q_{34} = 12.15$ kW Napaka ohranitvenega zakona energije 73.22 [W] (10)
(15) 1	22	22	3.714	31.55	16.88	
2	32.20	19.47	6.118	48.04	31.43	
3	34	31.48	11	62.39	34.94	
(15) 4	23.80	45.49	8.596	45.80	18.90	

$$x_1 = p_1 \cdot x_{s1} = 0.22 \cdot 16.88 = 3.714 \text{ g/kg}$$

$$h_1 = 1.005 \cdot 22 + 3.714 (2.5 + 0.001826 \cdot 22) = 31.55 \text{ kJ/kg}$$

$$p_2 = x/x_s = 11/34.94 = 0.3148$$

$$h_3 = 1.005 \cdot 34 + 11 (2.5 + 0.001826 \cdot 34) = 62.39 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_c = \frac{\Delta t}{\Delta t_{max}} \Rightarrow \Delta t = 0.85 (34 - 22) = 10.20 \text{ °C}$$

$$t_2 = t_1 + \Delta t = 32.20 \text{ °C}$$

$$t_4 = t_3 - \Delta t = 23.80 \text{ °C}$$

$$\eta_L = \frac{\Delta X}{\Delta X_{max}} \Rightarrow \Delta X = 0.33 (11 - 3.714) = 2.404 \text{ g/kg}$$

$$x_2 = x_1 + \Delta X = 6.118 \text{ g/kg}$$

$$x_4 = x_3 - \Delta X = 8.596 \text{ g/kg}$$

$$h_2 = 1.005 \cdot 32.20 + 6.118 (2.5 + 0.001826 \cdot 32.20) = 48.04 \text{ kJ/kg}$$

$$h_4 = 1.005 \cdot 23.80 + 8.596 (2.5 + 0.001826 \cdot 23.80) = 45.80 \text{ kJ/kg}$$

$$q_{12} = \Delta h_{21} = 16.49 \text{ kJ/kg}$$

$$q_{34} = \Delta h_{34} = 16.59 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta q = 0.10 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta Q = \dot{m}_{ze} \cdot \Delta q$$

\dot{m} :

$$\dot{V} = \frac{20 \text{ foot}^3}{\text{s}} \cdot \left(\frac{0.3048 \text{ m}}{\text{foot}} \right)^3 = 0.5663 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\dot{m} = \rho \cdot \dot{V} = 1.293 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0.5663 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 0.7322 \text{ kg/s}$$

$$\Delta Q = 0.7322 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 0.10 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 0.07322 \text{ kW} = 73.22 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{12} = \dot{m} \cdot q_{12} = 0.7322 \text{ kg/s} \cdot 16.49 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 12.07 \text{ kW}$$

$$x_{s2}(32.20^\circ\text{C}) = 31.04 + \frac{0.2}{2} (34.94 - 31.04) = 31.43 \text{ g/kg}$$

$$r_2 = \frac{6.118}{31.43} = 0.1947$$

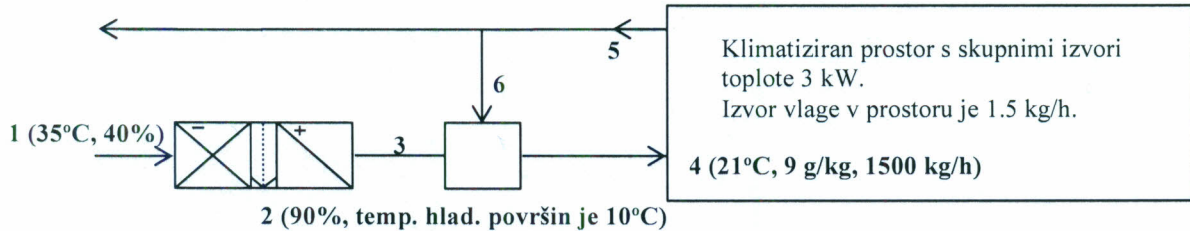
$$x_{s4}(23.80) = 16.88 + \frac{1.8}{2} (19.12 - 16.88) = 18.90 \text{ g/kg}$$

$$r_4 = \frac{8.596}{18.90} = 0.4549$$

$$\dot{Q}_{34} = \dot{m} \cdot q_{34} = 0.7322 \cdot 16.59 = 12.15 \text{ kW}$$

HVAC, 28.01.2016

2. S pomočjo h-x diagrama **grafično** rešite nalogo za klimatizacijsko napravo na sliki. Rezultat mešanja (točka 3) je potrebno določiti **grafično** iz diagrama. 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	71.0
2	13.1	90	8.4	34.3
3	18.6	63	8.4	40.0
4=M	21	58	9	44.0
5	25.8	48	10	51.2
6=5				

Hladilna moč naprave:	<u>9.787</u> [kW]	(15)
Kol. izločene vode v napravi:	<u>5.376</u> [kg/h]	(15)

točka 5:

$$\dot{Q}_{45} = \dot{m}_{zr} \cdot \Delta h_{45} \Rightarrow \Delta h_{45} = \frac{3 \text{ kW} \cdot 3600 \text{ s}}{1500 \text{ kg} \cdot \text{h}} = 7.200 \text{ kJ/kg}$$

$$h_5 = h_4 + \Delta h_{45} = 44.0 + 7.2 = 51.2 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{m}_{v45} = \dot{m}_{zr} \cdot \Delta X_{45} \Rightarrow \Delta X_{45} = \frac{1.5 \text{ kg} \cdot \text{h}}{1500 \text{ kg} \cdot \text{h}} = 1 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{kg}} = 1 \frac{\text{g}}{\text{kg}}$$

$$X_5 = X_4 + \Delta X_{45} = 9 + 1 = 10 \text{ g/kg}$$

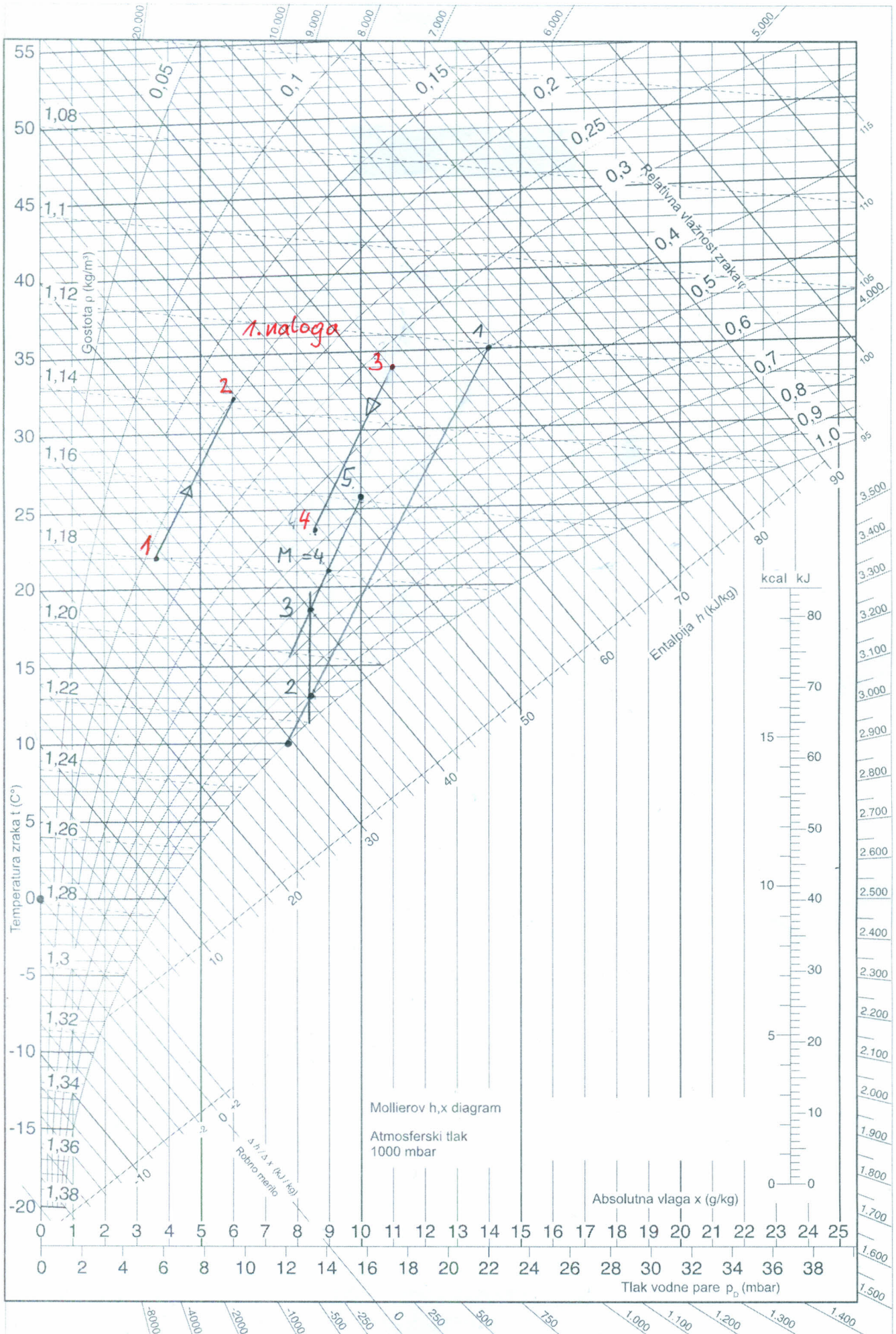
točka 3: $\frac{3M}{5M} = \frac{\dot{m}_6}{\dot{m}_3} = \frac{9 \text{ mm}}{16 \text{ mm}} = 0.5625 \Rightarrow \dot{m}_6 = 0.5625 \dot{m}_3$

$$\dot{m}_3 + \dot{m}_6 = \dot{m}_4 = 1500 \text{ kg/h} = 1.5625 \dot{m}_3$$

$$\dot{m}_3 = 960 \text{ kg/h} \quad \dot{m}_6 = 540 \text{ kg/h}$$

$$\dot{Q}_{12} = \dot{m}_3 \cdot \Delta h_{12} = 960 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot (71.0 - 34.3) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot \frac{1}{3600 \text{ s}} = 9.787 \text{ kW}$$

$$\dot{m}_{v12} = \dot{m}_3 \cdot \Delta X_{12} = 960 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot (14 - 8.4) \frac{\text{g}}{\text{kg}} = 5376 \frac{\text{g}}{\text{h}}$$

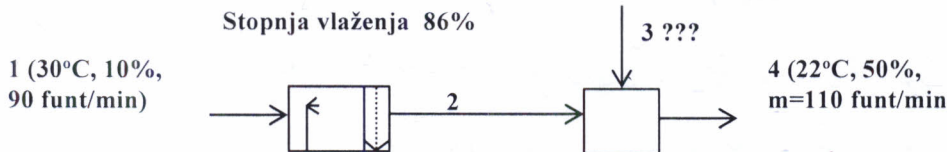


50%	50%

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). Rešitve je pravilna, če je znotraj +/-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. Pazite na enote.

1. Računsko s pomočjo tabel rešite naslednjo napravo na sliki in rezultate zapišite v tabelo.



	T[°C]	φ[%]	X[g/kg]	h[kJ/kg]	Xs[g/kg]
1	30	10	2.755	37.20	27.55
2	15.42	77.28	8.578	-	11.10
3	51.66	8.058	7.819	72.24	97.04
4	22	50	8.440	43.57	16.88

$$h_1 = 1.005 \cdot 30 + 2.755 (2.5 + 0.001926 \times 30) = 37.20 \text{ kJ/kg}$$

$$h_4 = 1.005 \cdot 22 + 8.440 (2.5 + 0.001926 \times 22) = 43.57 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta = \frac{\Delta X}{\Delta X_{MAX}}$$

$$\Delta X_{MAX} = (X_s - X_1)$$

$$X_s (h = 37.20 \text{ kJ/kg}) = ?$$

$$\epsilon = \frac{37.20 - 34.36}{39.58 - 34.36} = 0.5441$$

$$X_s = 8.841 + 0.5441(10.10 - 8.841) = 9.526 \text{ g/kg}$$

$$\Delta X = \eta \cdot \Delta X_{MAX} = 0.86 (9.526 - 2.755) = 5.823 \text{ g/kg}$$

$$X_2 = X_1 + \Delta X = 2.755 + 5.823 = 8.578 \text{ g/kg}$$

$$t_2 = \frac{37.20 - 8.578 \cdot 2.5}{1.005 + 8.578 \cdot 0.001926} = 15.42 \text{ °C}$$

$$X_s (15.42 \text{ °C}) = 10.10 + \frac{1.42}{2} (11.51 - 10.10) = 11.10 \text{ g/kg}$$

$$m_4 \cdot X_4 = X_2 m_2 + X_3 m_3 \Rightarrow X_3 = \frac{\dot{m}_4 \cdot X_4 - \dot{m}_2 \cdot X_2}{\dot{m}_3} =$$

$$= \frac{110 \frac{\text{funt}}{\text{min}} \cdot 8.440 - 90 \frac{\text{funt}}{\text{min}} \cdot 8.578}{20 \frac{\text{funt}}{\text{min}}} = 7.819 \text{ g/kg}$$

$$h_3 = \frac{\dot{m}_4 \cdot h_4 - \dot{m}_2 \cdot h_2}{\dot{m}_3} = \frac{110 \cdot 15.57 - 90 \cdot 37.20}{20} = 72.24 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$t_3 = \frac{72.24 - 7.819 \cdot 2.5}{1.005 + 7.819 \cdot 0.001926} = 51.66 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$x_3(51.66^\circ\text{C}) = 87.52 + \frac{1.66}{5} (116.2 - 87.52) = 97.04 \text{ g/kg}$$

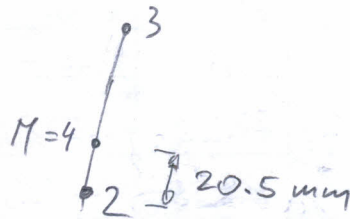
grafično: (kontrola)

$$\eta = \frac{\bar{M}_2}{\bar{M}_1} \Rightarrow \bar{M}_2 = 0.86 \cdot 66.5 \text{ mm} = 57.19 \text{ mm}$$

$$t_2 = 15.3^\circ\text{C}, x_2 = 8.4 \text{ g/kg}, \phi = 77\%$$

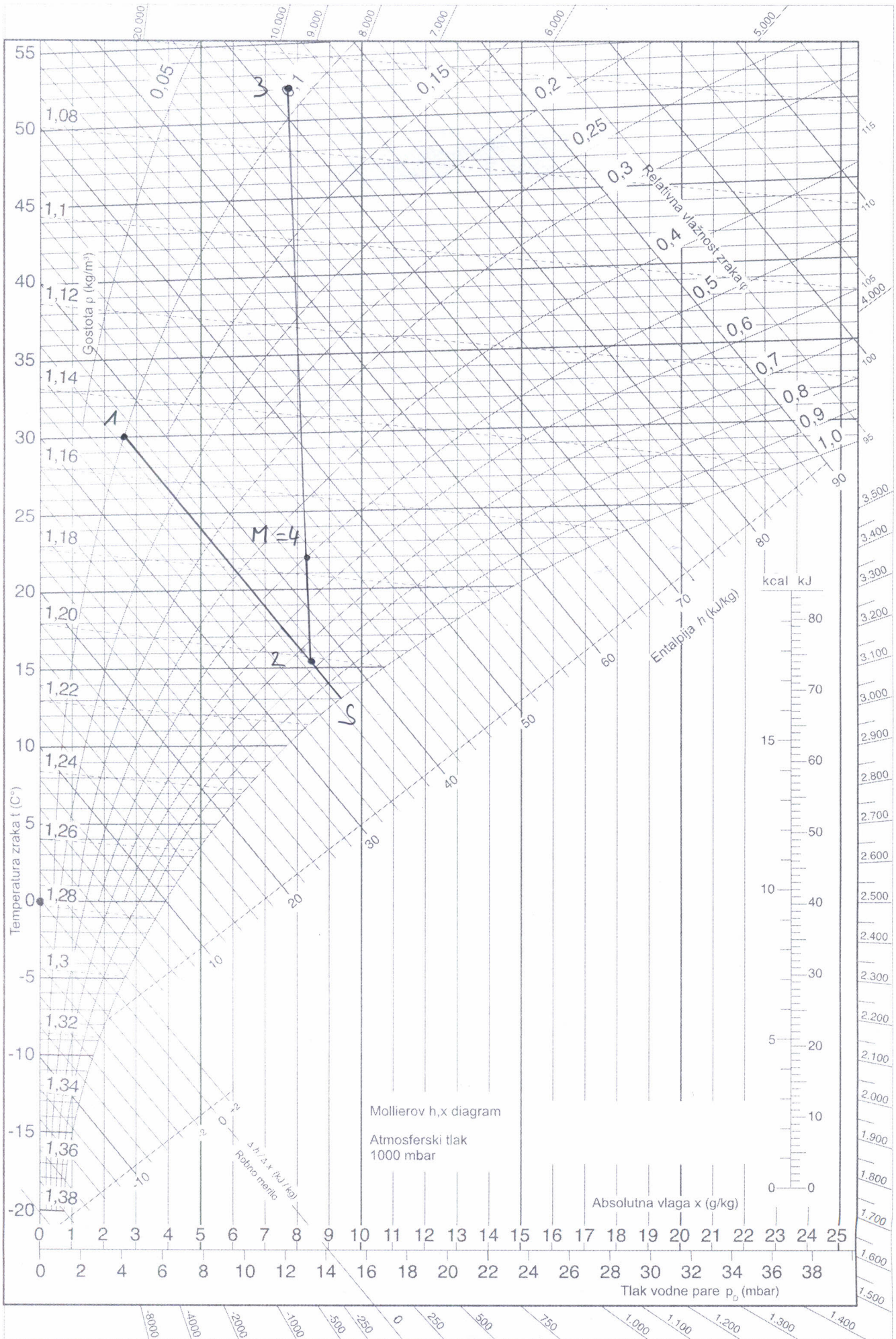
$4 = M$

$$\frac{\bar{M}_3}{\bar{M}_2} = \frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_3} = \frac{90}{20} = 4.5 \Rightarrow$$



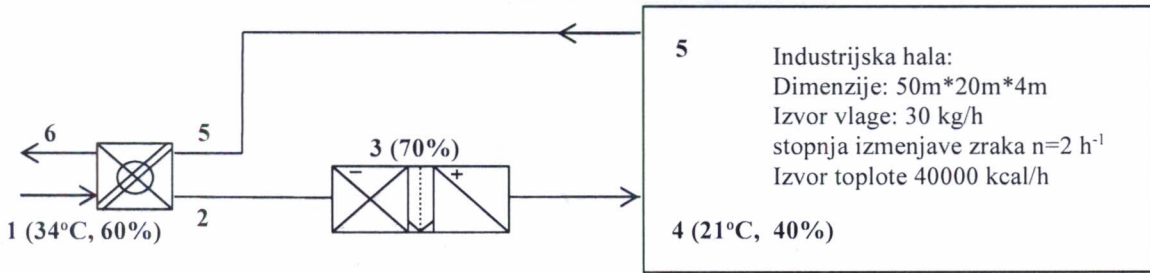
$$\bar{M}_3 = \bar{M}_2 \cdot 4.5 = 20.5 \times 4.5 = 92.25 \text{ mm}$$

$$t_3 = 52^\circ\text{C}, x_3 = 7.7 \text{ g/kg}, \phi_3 = 9\%, h_3 = 72.0 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$



HVAC, 25.04.2016, kolokvij

2. S pomočjo **h-x diagrama** rešite nalogo za klimatizacijsko napravo na sliki. Naprava vsebuje regenerator zraka z izkoristkom izmenjave čutne toplote 65% in latentne toplote 43%.



	T[°C]	φ[%]	X[g/kg]	h[kJ/kg]
Tol +/-	0,2	2,	0,2	0,5
1	34	60	20.4	86.4
⑤ 2	31.14	54	15.54	71.0
3	12.1	70	6.2	28.0
4	21	40	6.2	36.8
⑩ 5	29.6	36	9.101	52.99
⑤ 6	32.46	46	13.96	68.3

Značilnosti prezračevalne naprave:	
Hladilna moč 2-3	<u>123.5</u> [kW] ⑩
Grelna moč 3-4	<u>25.28</u> [kW] ⑩
Toplotna moč regenerotorja	<u>44</u> [kW] ⑩

$\dot{m}_z = g \cdot \dot{V} = 1.293 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot (50 \times 20 \times 4) \text{m}^3 \cdot 2 \frac{\text{h}}{\text{h}} = 2.873 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$
 $\dot{Q} = \dot{m}_z \cdot \Delta h \Rightarrow \Delta h = \frac{46.52 \text{ kJ}}{2.873 \frac{\text{kg}}{\text{s}}} = 16.19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$
 $40000 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \cdot \frac{1 \text{ kcal}}{4.187 \text{ kJ}} = 46.52 \text{ kW}$
 $\dot{m}_v = \Delta X \cdot \dot{m}_z \Rightarrow \Delta X = \frac{30 \text{ kg}}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{2.873 \text{ kg} \cdot 3600 \text{ s}} = 2.901 \frac{\text{g}}{\text{kg z}}$

• REGENERATOR

$\Delta T = \eta_c \cdot \Delta T_{\text{MAX}} = 0.65 (34 - 29.6) = 2.860^\circ\text{C}$

$\Delta X = \eta_L \cdot \Delta X_{\text{MAX}} = 0.43 (20.4 - 9.101) = 4.859 \text{ g/kg}$

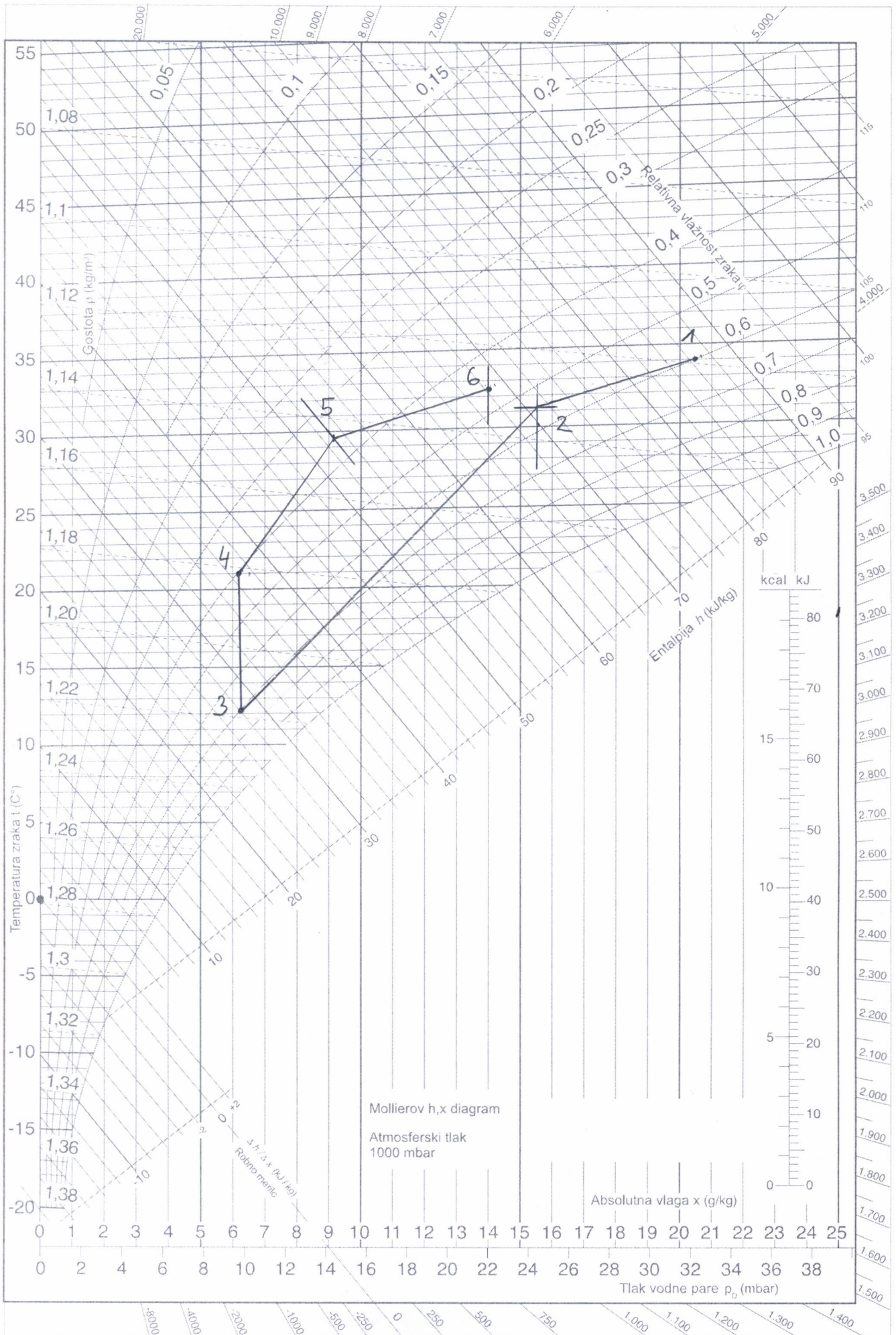
• $\dot{Q}_{23} = \dot{m}_z (h_2 - h_3) = 2.873 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (71.0 - 28.0) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 123.5 \text{ kW}$

• $\dot{Q}_{34} = \dot{m}_z (h_4 - h_3) = 2.873 (36.8 - 28.0) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 25.28 \text{ kW}$

• $\dot{Q}_{12} = \dot{m}_z (h_1 - h_2) = 2.873 (86.4 - 71.0) = 44.24 \text{ kW}$

$\dot{Q}_{56} = \dot{m}_z (h_6 - h_5) = 2.873 (68.3 - 52.99) = 43.98 \text{ kW}$

} 44 kW



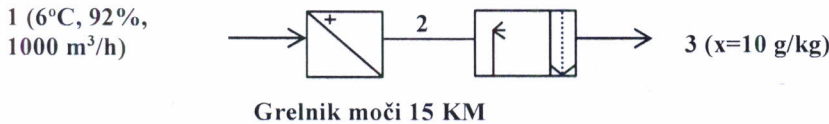
HVAC, 17.06.2016

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). Rešitve je pravilna, če je znotraj +/-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. Pazite na enote.

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	6	92	5.399	19.59	5.868	Količina razpršene vode v vlažilniku 5.951 [kg/h] (10) Stopnja vlaženja 61.83 [%] (20)
2	36.24	13.54	5.399	50.30	39.86	
3	24.70	50.00	10	50.30	20.00	

1. $x_1 = \varphi \cdot x_s = 0.92 \cdot 5.868 = 5.399 \text{ g/kg}$ po t: (62.18%)

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

2. $15 \text{ KM} \cdot \frac{0.7355 \text{ kW}}{\text{KM}} = 11.03 \text{ kW} = \dot{Q}_{12} = \dot{m}_z \cdot \Delta h$

$\dot{m}_z = \rho \cdot \dot{V} = 1.293 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{1000 \text{ m}^3}{\text{h}} \cdot \frac{1}{3600 \text{ s}} = 0.3592 \text{ kg/s}$

$\Delta h_{12} = \frac{\dot{Q}_{12}}{\dot{m}_z} = \frac{11.03 \text{ kJ/s}}{0.3592 \text{ kg/s}} = 30.71 \text{ kJ/kg}$

$t_2 = (50.30 - 5.399 \cdot 2.5) / (1.005 + 5.399 \cdot 0.001926) = 36.24 \text{ °C}$

$x_s(36.24 \text{ °C}) = 39.28 + \frac{0.24}{2} (44.12 - 39.28) = 39.86 \text{ g/kg}$

3. $t = (50.30 - 10 \cdot 2.5) / (1.005 + 10 \cdot 0.001926) = 24.70$

$x_s(24.70 \text{ °C}) = 19.12 + \frac{0.2}{2} (21.62 - 19.12) = 20.00$

$\dot{m}_v = \dot{m}_z \cdot \Delta x = 0.3592 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot (10 - 5.399) \frac{\text{g}}{\text{kg}} = 1.653 \frac{\text{g}}{\text{s}} = 5.951 \text{ kg/h}$

$\eta = \frac{\Delta x}{\Delta x_{\text{max}}} = \frac{x_2 - x_3}{x_2 - x_s}$

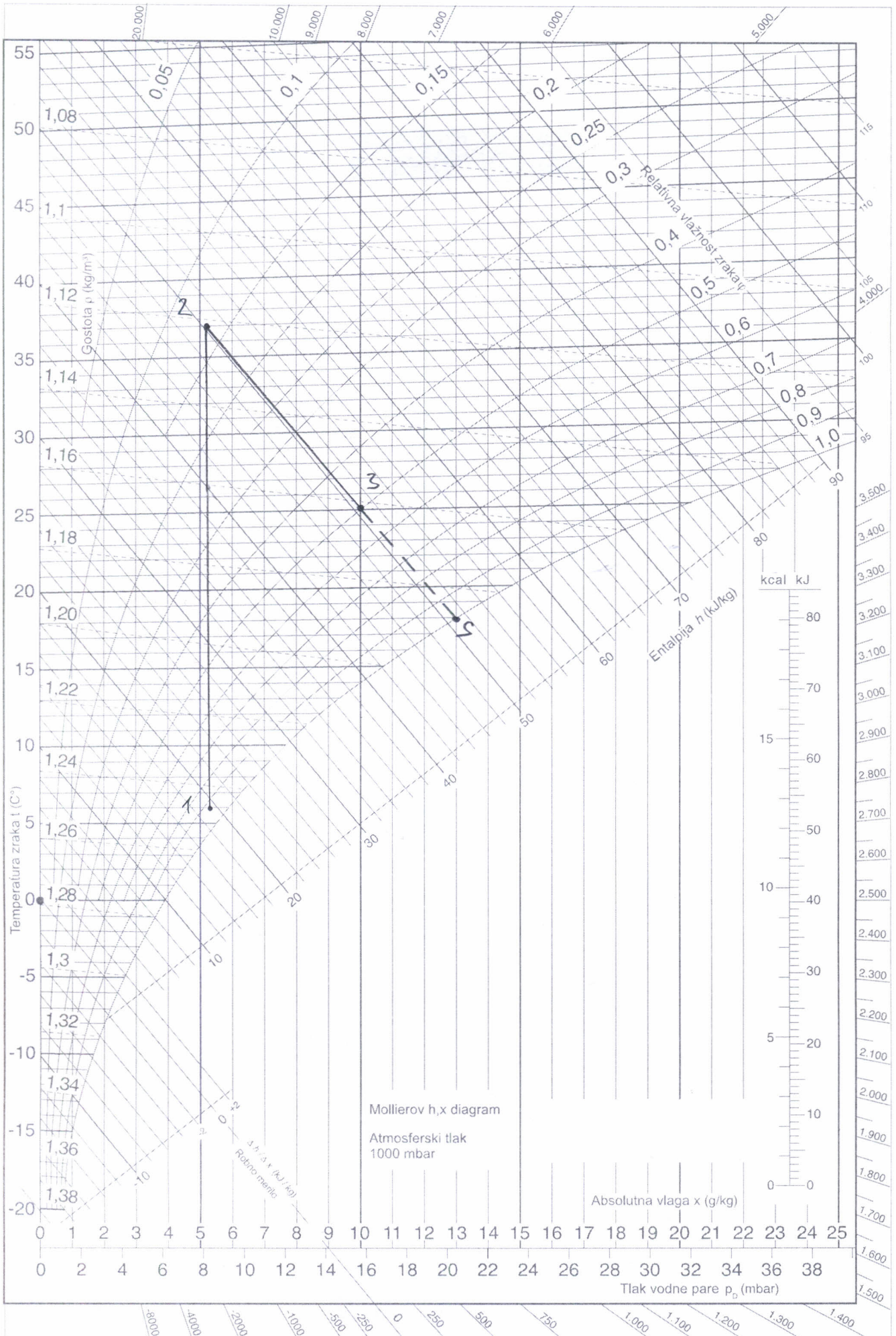
x_s (h = 50.30)	t	x_s	t_s
16	45.20	11.51	$t_s = 17.68$
18	51.28	13.10	$x_s = 12.84$

po xi

$\eta = \frac{(5.399 - 10)}{(5.399 - 12.84)} = 61.83 \%$

po t:

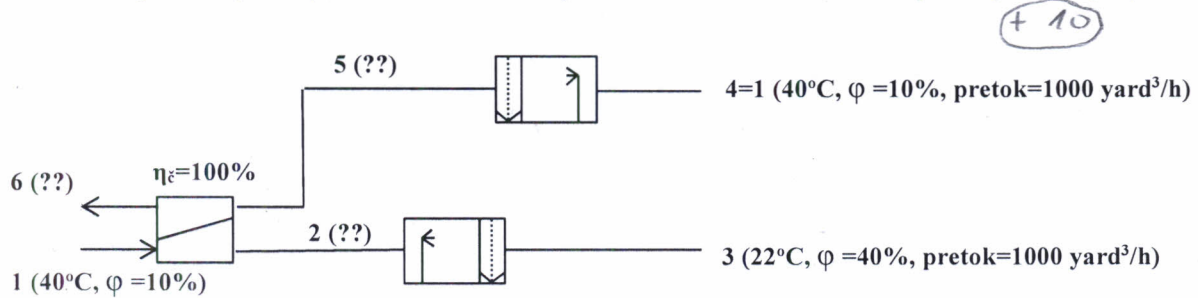
$\eta = \frac{\Delta t}{\Delta t_{\text{max}}} = \frac{36.24 - 24.70}{36.24 - 17.68} = 62.18 \%$



HVAC, 17.06.2016

2. S pomočjo **h-x diagrama** rešite nalogo za klimatizacijsko napravo na sliki. Osnovna ideja naloge je preveriti, če je možno doseči željeno temperaturo in vlažnost zraka na vstopu v objekt (stanje 3) samo s hlapilnim ohlajanjem. Temperaturna učinkovitost prenosa čutne toplote je 100% (neskončno velik prenosnik toplote).

Do katere temperature (T_{min3}) bi bilo s to hladilno napravo možno ohladiti zrak na vstopu v objekt (stanje 3)?



	T[°C]	φ[%]	X[g/kg]	h[kJ/kg]
Tol +/-	0,6	3,	0,4	1,0
1	40	10	4.6	51.8
2	27.1	21	4.6	38.8
3	22	40	6.6	38.8
4	40	10	4.6	51.8
5	27.1	43	9.7	51.8
6	40	22	9.7	65.0

Količina vode 23	1.977 [kg/h]	(10)
Količina vode 45	5.040 [kg/h]	(10)
Moč rekuperatorja	3.6 [kW]	(10)
T_{min3}	10.5 [°C]	(+10)

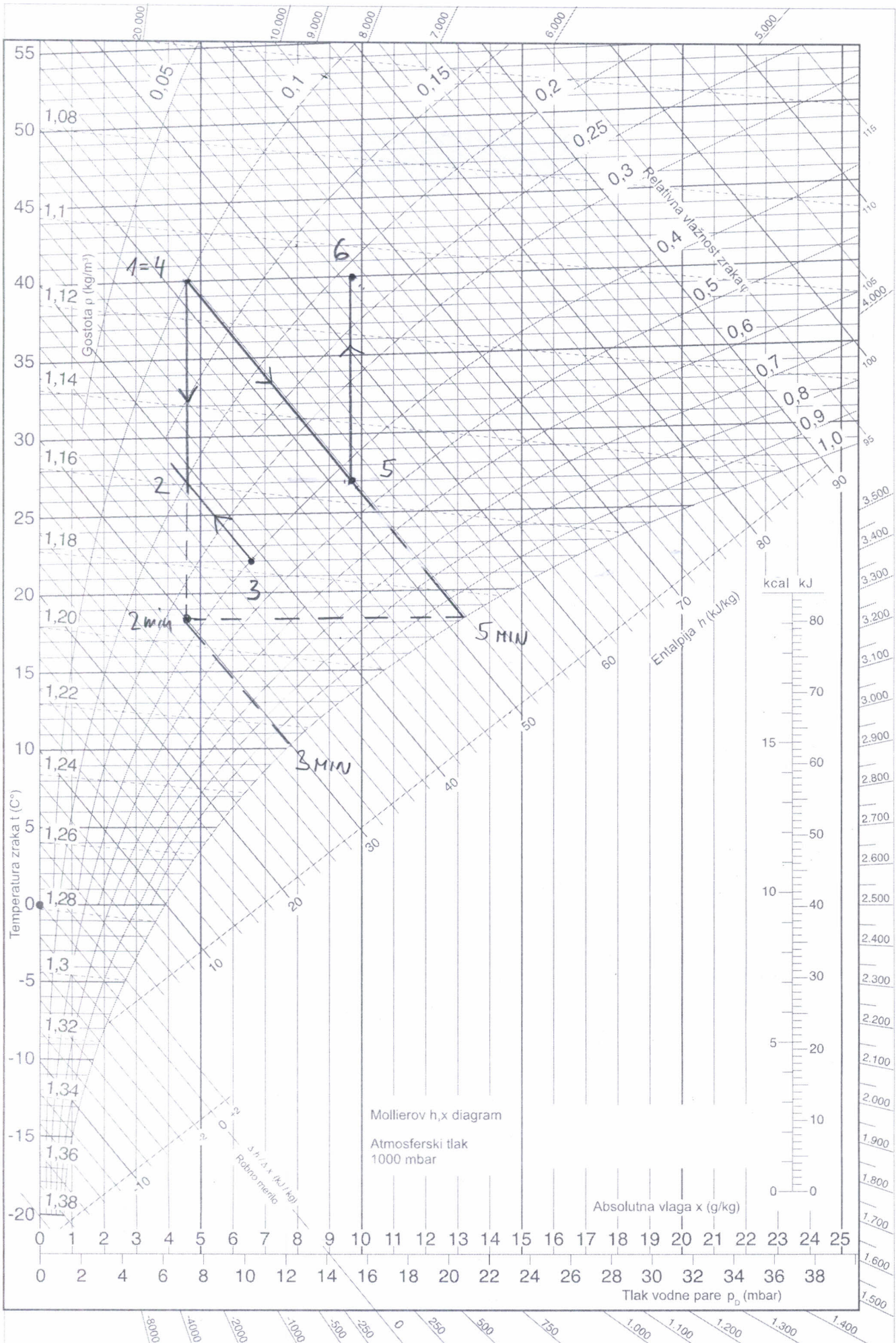
$$\dot{m}_z = \rho \cdot \dot{V} = 1.293 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{1000 \text{ yd}^3}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{ m}}{3600 \Delta} \cdot \left(\frac{0.9144 \text{ m}}{1 \text{ yd}} \right)^3 = 0.2746 \frac{\text{kg}}{\Delta}$$

$$\dot{m}_{v23} = \Delta X \cdot \dot{m}_z = (6.6 - 4.6) \frac{\text{g}}{\text{kg}} \cdot 0.2746 \frac{\text{kg}}{\Delta} = 0.5492 \frac{\text{g}}{\Delta} = 1.977 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_{v45} = \Delta X \cdot \dot{m}_z = (9.7 - 4.6) \cdot 0.2746 = 1.400 \frac{\text{g}}{\Delta} = 5.040 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\dot{Q}_{56} = \dot{m}_z \cdot \Delta h = 0.2746 \frac{\text{kg}}{\Delta} \cdot (65.0 - 51.8) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 3.625 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{12} = \quad = \quad (51.8 - 38.8) = 3.570 \text{ kW}$$

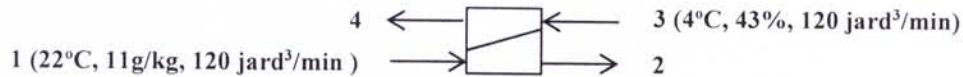


HVAC, 19.08.2016

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). Rešitve je pravilna, če je znotraj +/- 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. Pazite na enote.

1. Računsko s pomočjo tabel rešite rekuperator toplote. Rezultate zapišite v tabelo. Izkoristek prenosa čutne toplote je 89%. V primeru kondenzacije predpostavite 100% vlažnost zraka na izhodu iz rekuperatorja.



	T[°C]	φ[%]	X[g/kg]	h[kJ/kg]	Xs[g/kg]	
1	22	65.17	11	50.08	16.88	Količina izločene vode 16.08 [kg/h] (15)
2	11.82	100	8.740	33.92	8.740	
3	4	43	2.192	9.517	5.098	Toplotna moč rekup. 31.95 [kW] (15)
4	20.02	14.71	2.192	25.68	14.90	

① $\phi_1 = \frac{x_1}{x_s} = \frac{11}{16.88} = 0.6517$ $h_1 = 1.005 \times 22 + 11(2.5 + 0.001926 \cdot 22) = 50.08 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

③ $x_3 = 0.43 \times 5.098 = 2.192$ $h_3 = 4 \times 2.192$ $h_4 = 9.517 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

$\eta = \frac{\Delta t}{\Delta t_{\max}} \Rightarrow \Delta t = 0.89(22 - 4) = 16.02^\circ\text{C} \Rightarrow \begin{cases} t_2 = 5.98^\circ\text{C} \\ t_4 = 20.02^\circ\text{C} \end{cases}$

$x_s(6^\circ\text{C}) \approx 6 \text{ g/kg} \ll 11 \text{ g/kg} = x_1 \Rightarrow$ KONDENZACIJA JE
 Ali: ROŠIŠČE STANJA ① JE $\approx 15.5^\circ\text{C} > t_3 = 4^\circ\text{C}$ (DIAGRAM)

④ $h_2 = 1.005 \cdot 20.02 + 2.192(2.5 + 0.001926 \cdot 20.02) = 25.68 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

$x_s(20.02) = 14.88 + \frac{0.02}{2}(16.88 - 14.88) = 14.90 \text{ g/kg}$

$\phi_4 = \frac{2.192}{14.90} \approx 0.1471$

⑦ $\Delta h_{34} = (25.68 - 9.517) = 16.16 \text{ kJ/kg} = \Delta h_{12}$

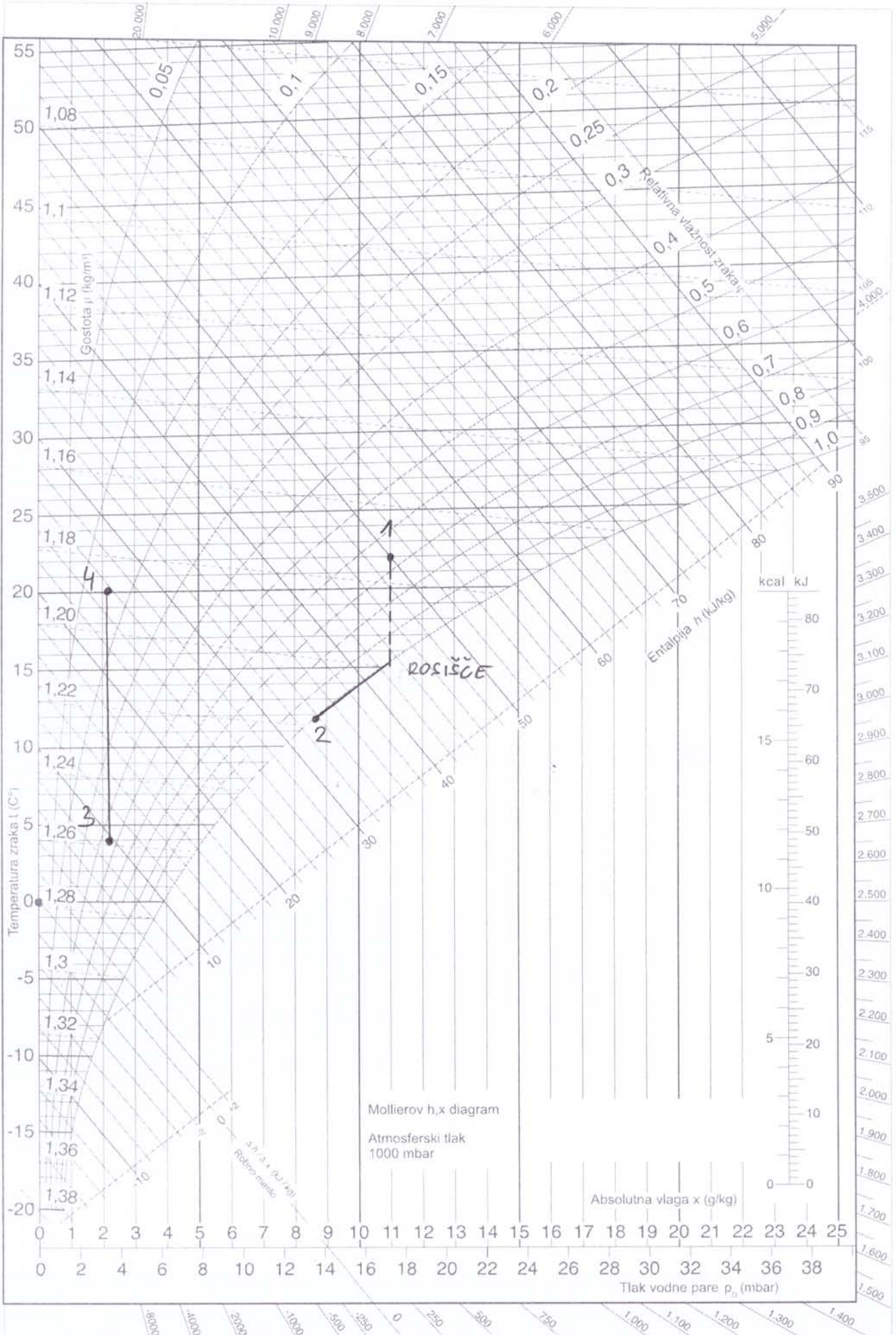
$h_2 = 50.08 - 16.16 = 33.92$

t	h _s	x _s		t = 11.82 °C
10	29.52	7.727	- 33.92; $\epsilon = \frac{33.92 - 29.52}{34.36 - 29.52} = 0.9091$	x _s = 8.740 $\frac{\text{g}}{\text{kg}}$
12	34.36	8.841		

$\dot{V} = 120 \frac{\text{jard}^3}{\text{min}} \cdot \left(\frac{0.9144 \text{ m}}{\text{jard}}\right)^3 \cdot \frac{\text{min}}{60 \text{ s}} = 1.529 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}; \dot{m} = 1.977 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$

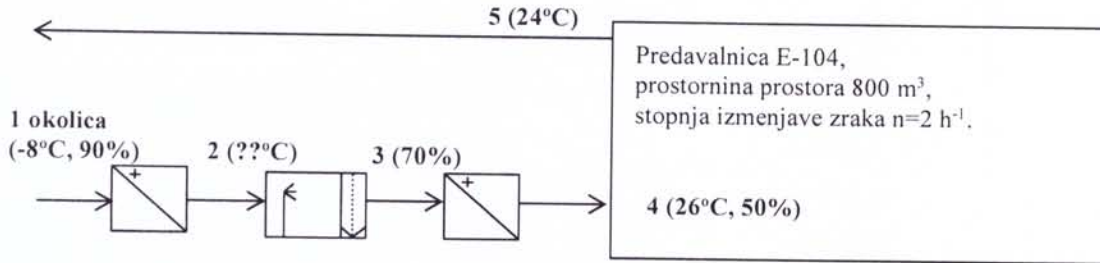
$\dot{m}_v = \dot{m}_{zr} \cdot \Delta x_{12} = 1.977 \cdot (11 - 8.740) = 4.468 \text{ g/s} = 16.08 \text{ kg/h}$

$\dot{Q} = \dot{m}_{zr} \cdot \Delta h = 1.977 \times 16.16 = 31.95 \text{ kW}$



HVAC, 19.08.2016

2. S pomočjo h-x diagrama rešite nalogo za klimatizacijsko napravo na sliki. Kolikšna bi bila skupna grelna moč, če ne bi imeli vlažilnika zraka (torej segrejem zrak na 26°C, točka 4' v tabeli)?



	T[°C]	φ[%]	X[g/kg]	h[kJ/kg]
tol	0,6	4,	0,4	1,0
1	-8	90	1.7	-3.5
2	43.0	3	1.7	47.5
3	20.3	70	10.7	47.5
4	26	50	10.7	53.2
5	24	57	10.7	51.0
4'	26	8	1.7	30.3

Toplotne izgube prostora 1.264 [kW] (5)

Značilnosti prezračevalne naprave:

Grelna moč 1-4 z vlažilnikom zraka 32.59 [kW] (5)

Kol. vode za vlaženje 2-3 18.62 [kg/h] (5)

Grelna moč 1-4' brez vlažilnika zraka 19.42 [kW] (5)

$$\dot{V} = n \cdot V = 2 \cdot 800 = 1600 \text{ m}^3/\text{h} = 0.4444 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\dot{m} = \rho \cdot \dot{V} = 1.293 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1600 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \frac{1}{3600 \text{ s}} = 0.5747 \text{ kg/s}$$

$$\dot{Q}_{45} = \dot{m} \cdot \Delta h_{45} = 0.5747 \cdot (53.2 - 51.0) = 1.264 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{12} = \dot{m} \cdot \Delta h_{12} = 0.5747 \cdot (47.5 + 3.5) = 29.31 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{34} = \dot{m} \cdot \Delta h_{34} = 0.5747 \cdot (53.2 - 47.5) = 3.276 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{14} = \dot{Q}_{12} + \dot{Q}_{34} = 32.59 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{14'} = \dot{m} \cdot \Delta h_{14'} = 0.5747 \cdot (30.3 - (-3.5)) = 19.42 \text{ kW}$$

$$\dot{m}_{v23} = \dot{m}_{72} \cdot \Delta X_{23} = 0.5747 \cdot (10.7 - 1.7) = 5.172 \text{ g/s} = 18.62 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

