



Fakulteta za strojništvo

UNIVERZA V MARIBORU
FAKULTETA ZA STROJNIŠTVO

Matjaž RAMŠAK

Zbirka rešenih izpitnih nalog pri predmetu
Klimatizacija (HVAC)
za študijsko leto 2017/2018



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

MARIBOR, oktober 2018

CIP – kataložni zapis o publikaciji
Univerzitetna knjižnica Maribor

[CIP številka]

Matjaž Ramšak
Zbirka rešenih izpitnih nalog pri
predmetu Klimatizacija (HVAC)
za študijsko leto 2017/2018/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 2017/2018
Avtor:	Matjaž Ramšak
Strokovni recenzenti:	Jure Marn, Matej Zadavec
Jezikovni recenzent:	Zvezdana Sabol Golob
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 1.02.2018	4
Kolokvij	6
Izpit 22.06.2018	8
Izpit 31.08.2018	10

h-x diagram	12
-------------	----

Rešeni izpiti

Izpit 1.02.2018	13
Kolokvij	17
Izpit 22.06.2018	22
Izpit 31.08.2018	25

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. Diagram h-x je sestavni del izpitne pole.

Pri reševanju nalog vam želim veselja in uspeha.

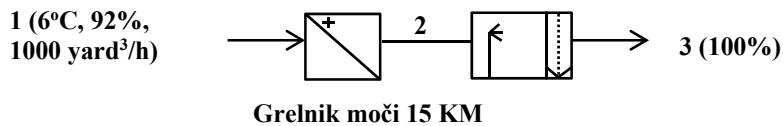
asistent Matjaž Ramšak

50%	50%

Priimek in ime: _____ Vpisna številka: _____

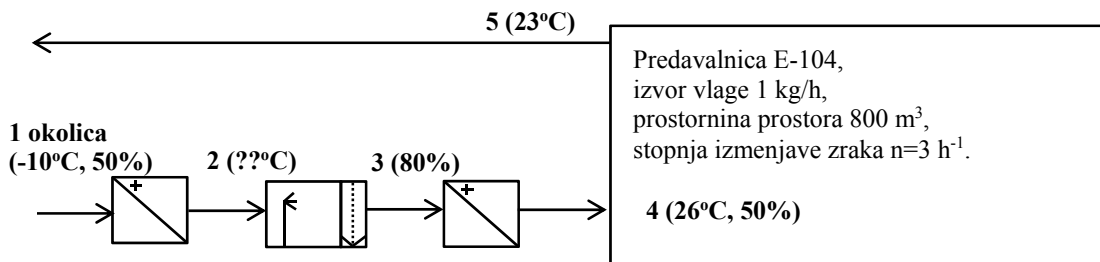
Ocenjujem pravilnost številskih rezultatov. Za pravilni postopek praviloma ne podeljujem procentov. Pri **računskih** nalogah zaokrožite števila na 4 pomembna mesta (npr.: 0.00123456=0.1235e-2 ali 1.235kJ). Rešitev je pravilna, če je znotraj +/-5 na 3 pomembnem mestu. **Grafično rešitev** vrišete na 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. Na razpolago je 90 minut časa za reševanje nalog. Pišite kar na ta list. Po potrebi dobite dodatni list. Pretoki zraka pomenijo pretok suhega zraka pri normalnih pogojih. Pazite na enote!

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						

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				

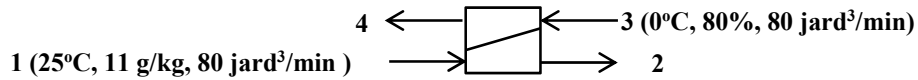
Toplotne izgube prostora _____ [kW]
 Značilnosti prezračevalne naprave:
 Grelna moč 1-2 _____ [kW]
 Kol. vode za vlaženje 2-3 _____ [kg/h]
 Grelna moč 3-4 _____ [kW]

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. Na razpolago je 90 minut časa za reševanje nalog. Pišite kar na ta list. Po potrebi dobite dodatni list. Pretoki zraka pomenijo pretok suhega zraka pri normalnih pogojih. Pazite na enote!

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]	X _s [g/kg]
1					
2					
3					
4					

Količina izločene vode

_____ [kg/h]

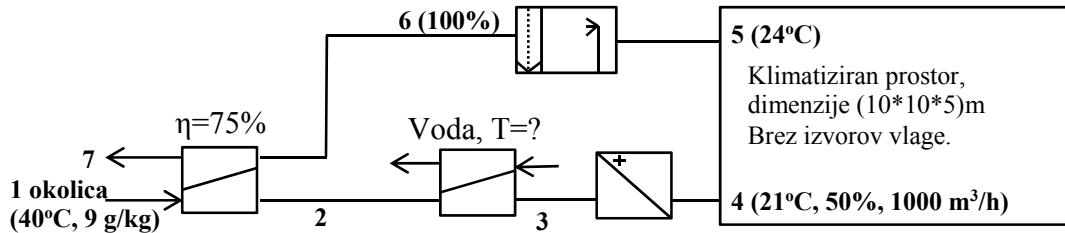
Toplotna moč rekuperatorja

_____ [kW]

Rosišče stanja 1: _____ [°C]

HVAC, kolokvij 2018

S pomočjo **h-x diagrama** rešite nalogo za klimatizacijsko napravo na sliki. V prenosniku toplote 2-3 predpostavite konstantno temperaturo vode in 100% temperaturno učinkovitost (izstopni zrak ima enako temperaturo kot voda). Če v rekuperatorju toplote 1-2 pride do kondenzacije, predpostavite 100% izstopno vlažnost.



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

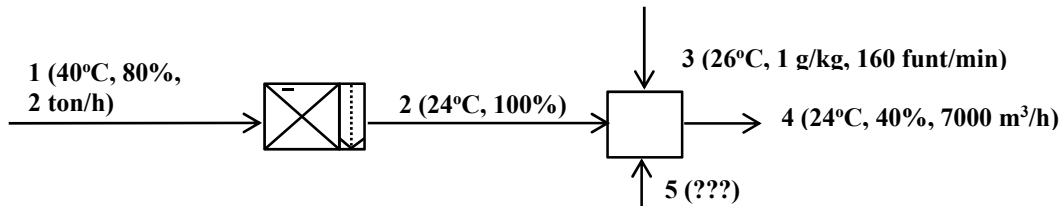
Toplotni izvori prostora	_____ [kW]
Urna izmenjava zraka n	_____ [h ⁻¹]
Grelna moč (3-4)	_____ [kW]
Kol. razpršene vode (5-6)	_____ [kg/h]
Temp. hladilne vode (2-3)	_____ [°C]

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. Na razpolago je 90 minut časa za reševanje nalog. Pišite kar na ta list. Po potrebi dobite dodatni list. Pretoki zraka pomenijo pretok suhega zraka pri normalnih pogojih. Pazite na enote!

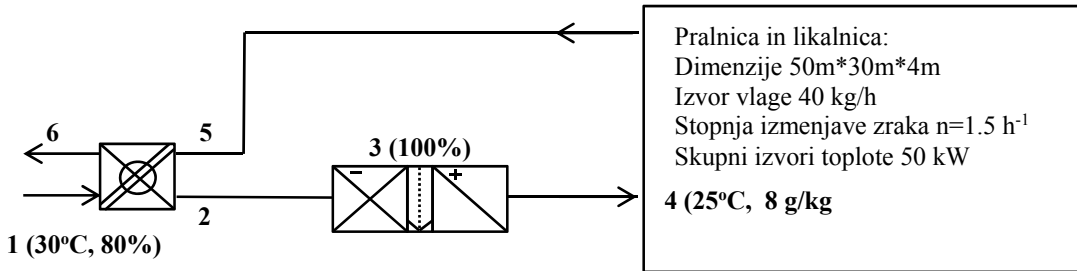
1. Računsko s pomočjo tabel rešite napravo na sliki in rezultate zapišite v tabelo. Na izstopu iz hladilnika predpostavite 100% vlažnost.



	T[°C]	φ[%]	X[g/kg]	h[kJ/kg]	Xs[g/kg]
1					
2					
3					
4					
5					

Hladilna moč 1-2	_____ [kW]
Količina kondenzata 1-2	_____ [kg/h]
Stopnja razvlaževanja 1-2	_____ [%]
Pretok 5	_____ [kg/h]

2. S pomočjo **h-x diagrama** rešite nalogo za klimatizacijsko napravo na sliki. Naprava vsebuje regenerator zraka z izkoristkom prenosa senzibilne toplote 90% (temperaturna učinkovitost) in latentne toplote 70%.



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

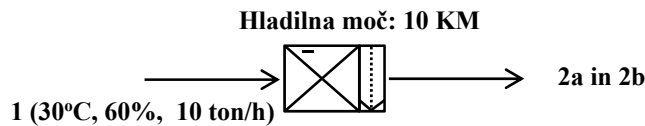
Značilnosti prezračevalne naprave:	
Hladilna moč 2-3	_____ [kW]
Grelna moč 3-4	_____ [kW]
Toplotna moč reg.	_____ [kW]

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. Na razpolago je 90 minut časa za reševanje nalog. Pišite kar na ta list. Po potrebi dobite dodatni list. Pretoki zraka pomenijo pretok suhega zraka pri normalnih pogojih. Pazite na enote!

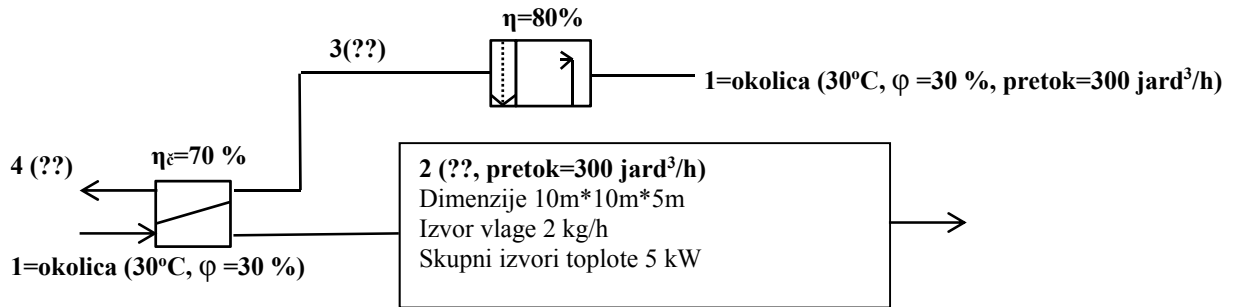
1. Računsko s pomočjo tabel rešite napravo na sliki in rezultate zapišite v tabelo. Temperatura hladilnih površin je v **a** primeru 24°C in **b** 16°C. Entalpijo izločenega kondenzata smete zanemariti.



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

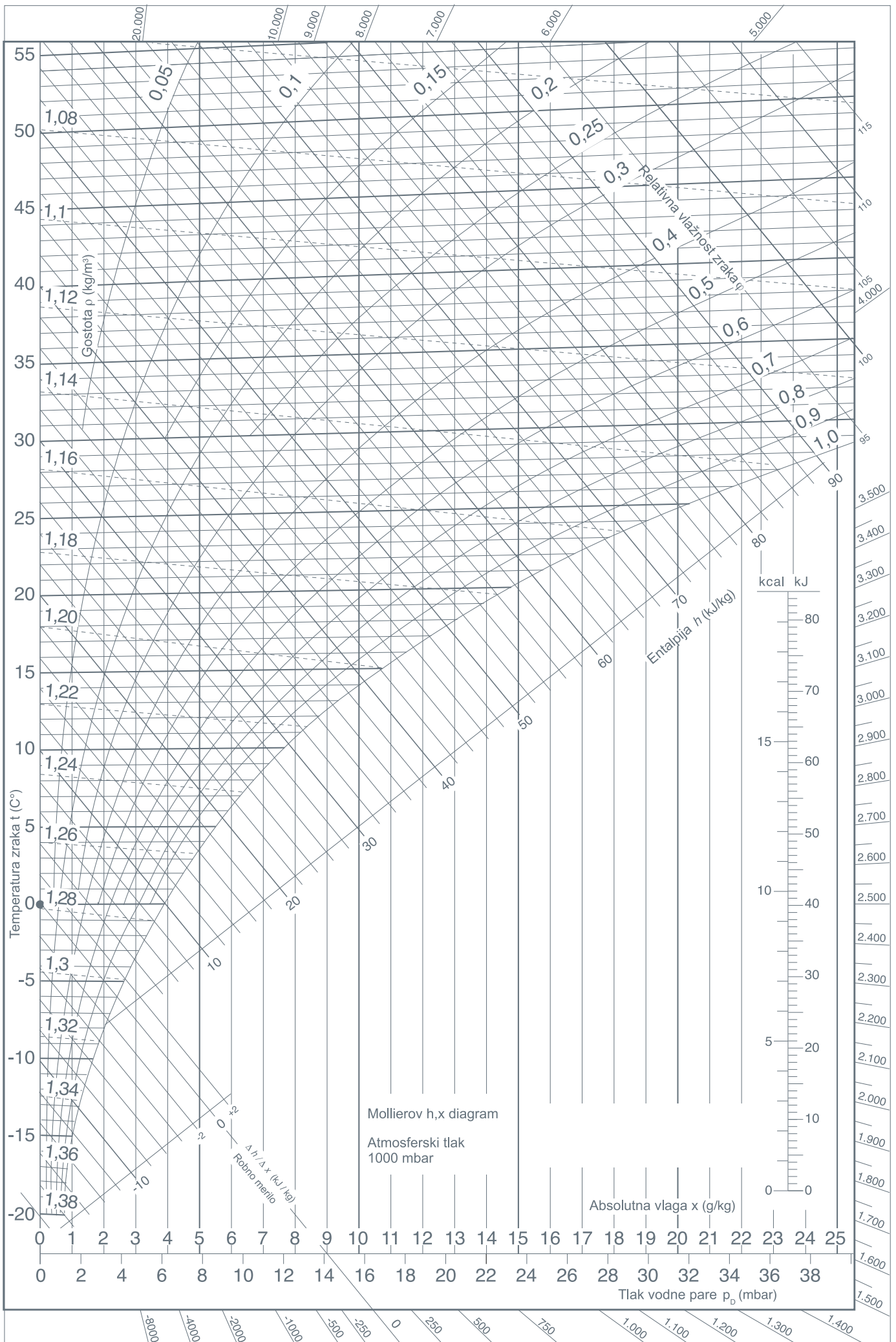
Količina kondenzata a) _____ [kg/h]
Količina kondenzata b) _____ [kg/h]

2. S pomočjo **h-x diagrama** rešite nalogo za klimatizacijsko napravo na sliki. Osnovna ideja naloge je preveriti, kakšno temperaturo in vlažnost zraka je možno doseči na vstopu v objekt (stanje 2) samo s hlapilnim ohlajanjem in rekuperatorjem pri stanju okolice 1. Temperaturna učinkovitost rekuperatorja je 70%. Stopnja vlaženja v vlažilniku zraka 1-3 je 80%. Preverite na diagramu h-x, če pride v rekuperatorju toplote do kondenzacije (vrišite in zapišite pogoj).



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

Kondenzacija v rekuperatorju? _____
Moč rekuperatorja _____ [kW]
Količina vode 1-3 _____ [kg/h]
Stopnja izmenjave zraka _____ [h ⁻¹]

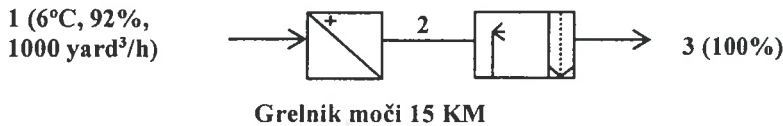


50%	50%

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

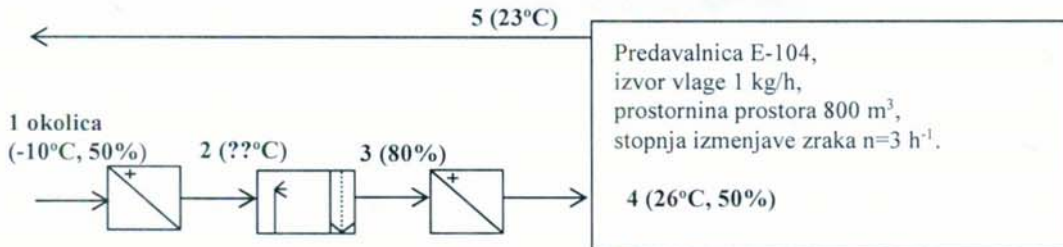
$$t_3 = 20 + \epsilon \cdot (2) = 20.53^\circ\text{C}$$

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

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

HVAC, 01. 02. 2018

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%

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

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

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

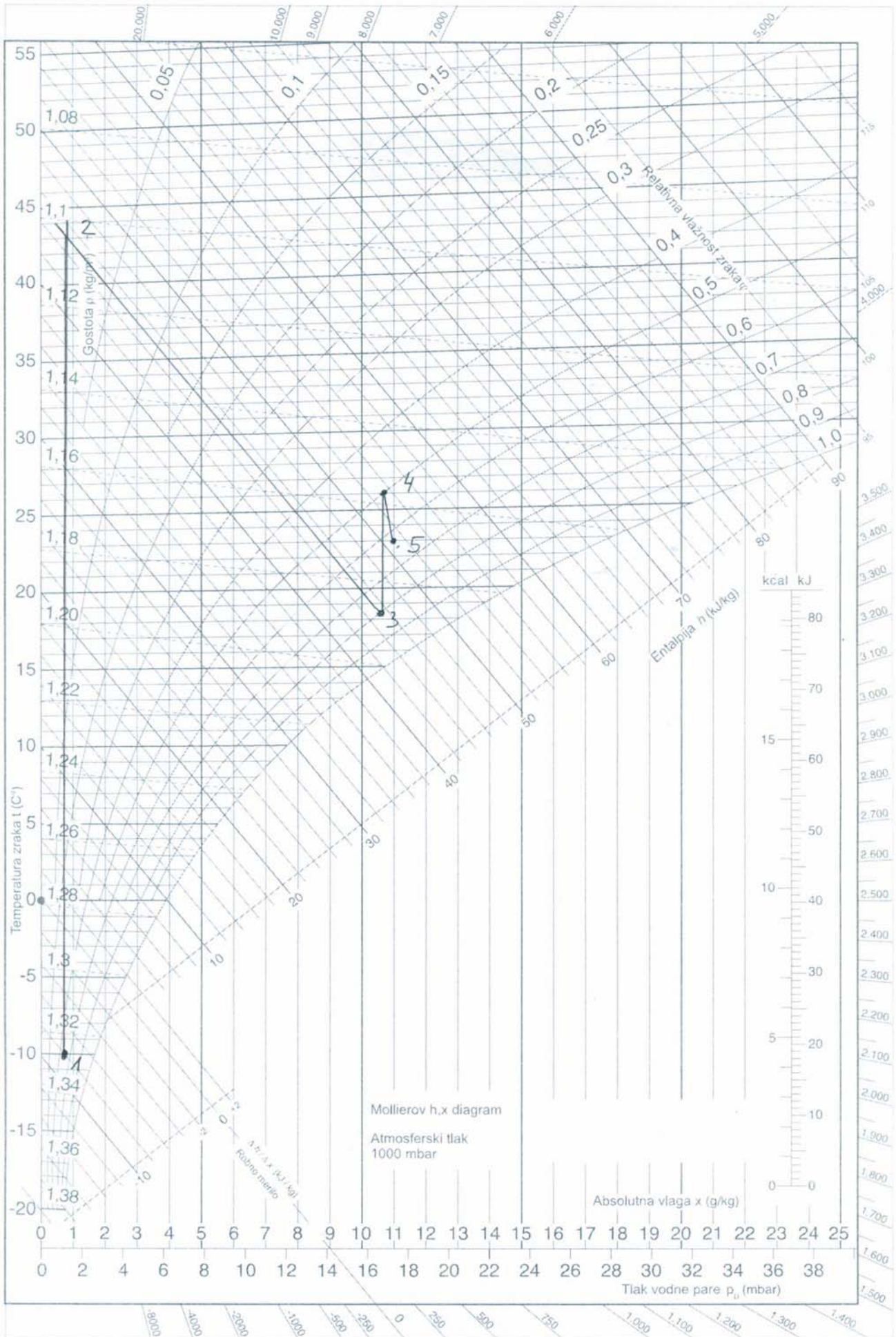
$$x_5 = x_4 + \frac{\dot{m}_{v45}}{\dot{m}_{zR}} = 10.7 + \frac{1 \text{ kg}}{0.8620 \text{ kg} \cdot 3600 \text{ s}} \cdot 1000 \text{ g} = 11.02 \frac{\text{g}}{\text{kg}}$$

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

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

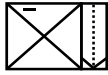
$$\dot{m}_{v23} = \dot{m}_{zR} (x_3 - x_2) = 0.8620 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (10.7 - 0.7) \frac{\text{g}}{\text{kg}} = 8.620 \frac{\text{g}}{\text{s}}$$

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

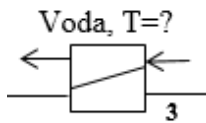


Pojasnila kolokvija 14. 06. 2018

Najpogostejša napaka pri 2. (grafični) nalogi je napačna določitev točke 3. Namreč, namesto običajnega simbola za hladilnik



sem narisal simbol za običajni prenosnik toplote s 100 % temperaturno učinkovitostjo (izstopni zrak ima enako temperaturo kot voda).



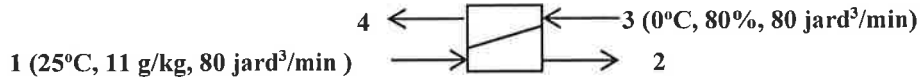
Oba primera se računata popolnoma enako. Ker je zahtevana vlažnost 4 manjša od vstopne vlažnosti svežega zraka 2, **je potrebno** razvlaževanje. Torej izstopna relativna vlažnost 3 je **100 %**, **ker je podana 100 % temperaturna učinkovitost hladilnika**. Če ste naredili to napako, ste bili prikrajšani za 15 %.

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. Na razpolago je 90 minut časa za reševanje nalog. Pišite kar na ta list. Po potrebi dobite dodatni list. Pretoki zraka pomenijo pretok suhega zraka pri normalnih pogojih. Pazite na enote!

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]
1	25	54.00	11	53.15	20.37
2	10.47	100	7.989	30.66	7.989
3	0	80	3.057	7.642	3.821
4	22.25	17.81	3.057	30.13	17.16

Količina izločene vode	14.29 [kg/h]	10
Toplotna moč rekuperatorja	29.64 [kW]	10
Rosišče stanja 1:	15.28 [°C]	10

10
10

$$\Delta t = \eta \Delta t_{max} = 0.89 (25 - 0) = 22.25^\circ C$$

$$t_2 = 2.75 \ll T_R(1) \approx 15.5^\circ C \Rightarrow \text{KONDENZACIJA JE!}$$

$$t_4 = 22.25^\circ C \checkmark$$

$$h_4 = 1.005 \cdot t_4 + x_4 (2.5 + 0.001926 \cdot t_4) = 30.13 \text{ kJ/kg}$$

$$X_5(22.25^\circ C) = 16.88 + \frac{0.25}{2} (19.12 - 16.88) = 17.16 \text{ g/kg}$$

$$t_2 = ? \quad \Delta h_{12} = \Delta h_{43} = 22.49 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = h_1 - \Delta h_{12} = 53.15 - 22.49 = 30.66 \text{ kJ/kg}$$

INTERPOLACIJA MED

t	h _s
10	29.52
12	34.36

$$\epsilon = \frac{30.66 - 29.52}{34.36 - 29.52} = 0.2355$$

$$t = 10 + \epsilon \cdot 2 = 10.47^\circ C$$

$$X_5(10.47) = 7.727 + \epsilon (8.841 - 7.727) = 7.989 \text{ g/kg}$$

$$\dot{V} = 80 \frac{\text{jrd}^3}{\text{min}} \cdot \frac{\text{min}}{60\text{s}} \cdot \left(\frac{0.9144\text{m}}{\text{jrd}}\right)^3 = 1.019 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\dot{m} = 1.293 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1.019 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 1.318 \text{ kg/s}$$

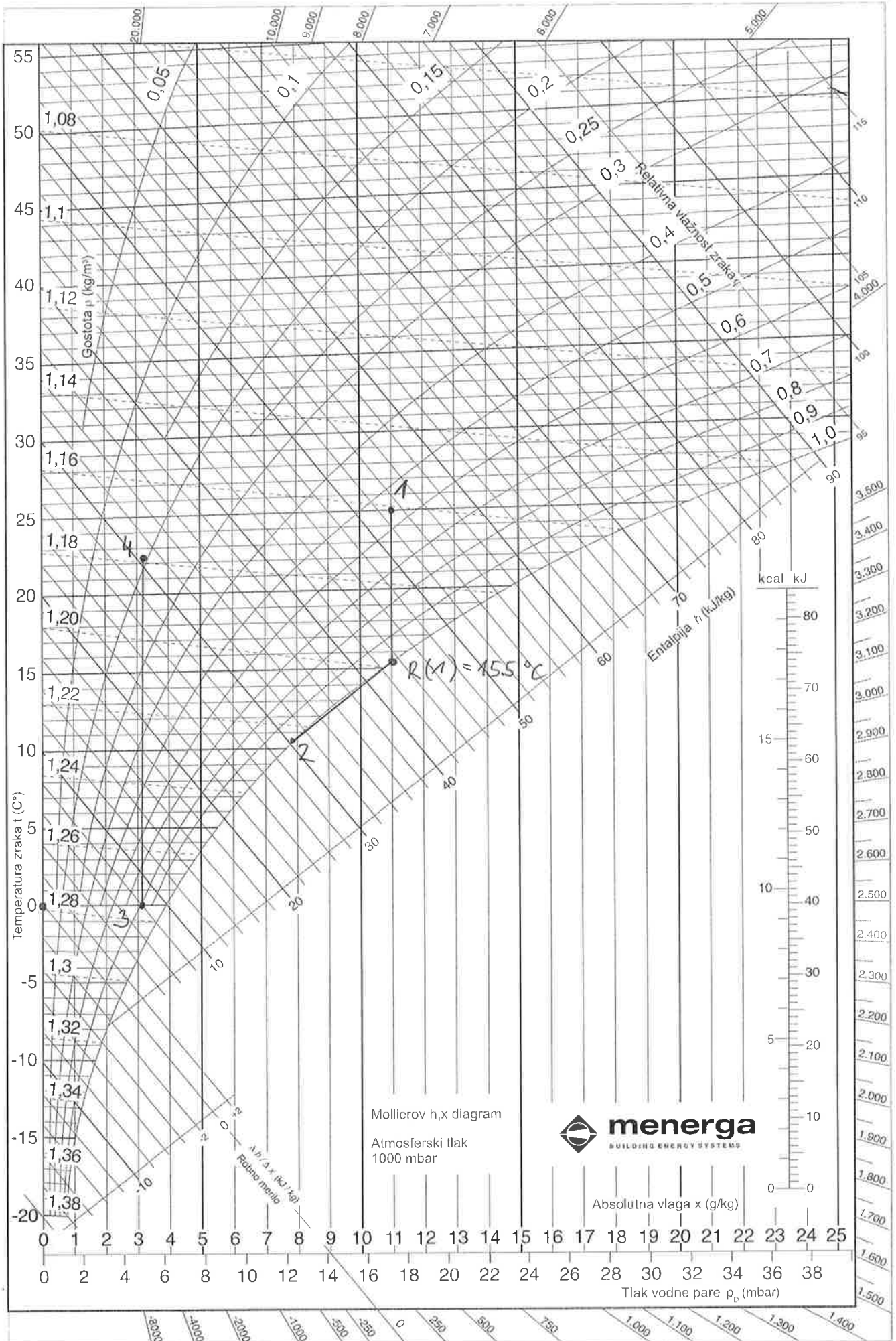
$$\dot{Q}_{12} = \Delta h \cdot \dot{m} = 22.49 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 1.318 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 29.64 \text{ kW}$$

$$\dot{m}_v = \Delta X \cdot \dot{m} = (11 - 7.989) \frac{\text{g}}{\text{kg}} \cdot 1.318 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 3.968 \frac{\text{g}}{\text{s}} = 14.29 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

ROSIŠČE (1):

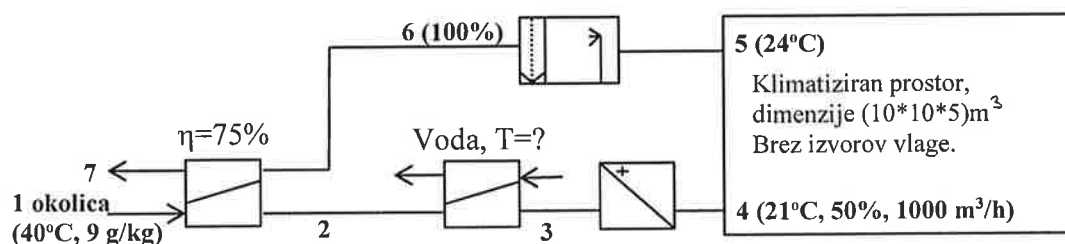
t	X
14	10.10
16	11.51

$$\frac{11 - 10.10}{11.51 - 10.10} = 0.6383 \quad t_r = 15.28^\circ C$$



HVAC, kolokvij 2018

S pomočjo **h-x diagrama** rešite nalogo za klimatizacijsko napravo na sliki. V prenosniku toplote 2-3 predpostavite konstantno temperaturo vode in 100% temperaturno učinkovitost (izstopni zrak ima enako temperaturo kot voda). Če v rekuperatorju toplote 1-2 pride do kondenzacije, predpostavite 100% izstopno vlažnost.



pravilni diagram (5)

	T[°C]	φ[%]	X[g/kg]	h[kJ/kg]
Tol +/-	0,6	4,	0,4	1,0
1	40	19	9	63.2
2	21.7	56	9.0	44.8
3	10.1	100	7.7	29.7
4	21	50	7.7	40.5
5	24	42	7.7	43.6
6	15.6	100	11.1	43.6
7	33.9	35	11.1	62.2

Toplotni izvori prostora	1.114 [kW]	(5)
Urna izmenjava zraka n	2 [h ⁻¹]	(5)
Grelna moč (3-4)	3.879 [kW]	(5)
Kol. razpršene vode (5-6)	4.397 [kg/h]	(5)
Temp. hladilne vode (2-3)	10.1 [°C]	(5)

ROSIŠČE (1) = 12.5 °C < t₆ = 15.6 ; KONDENZACIJE NI !

$$\Delta t = \eta \Delta t_{\max} = 0.75 (40 - 15.6) = 18.3 \text{ °C} \begin{cases} t_2 = 21.7 \text{ °C} \\ t_7 = 33.9 \end{cases}$$

kontrola: $\Delta h_{12} = \Delta h_{67}$
 $18.4 \approx 18.6 \text{ [kJ/kg]} \checkmark$

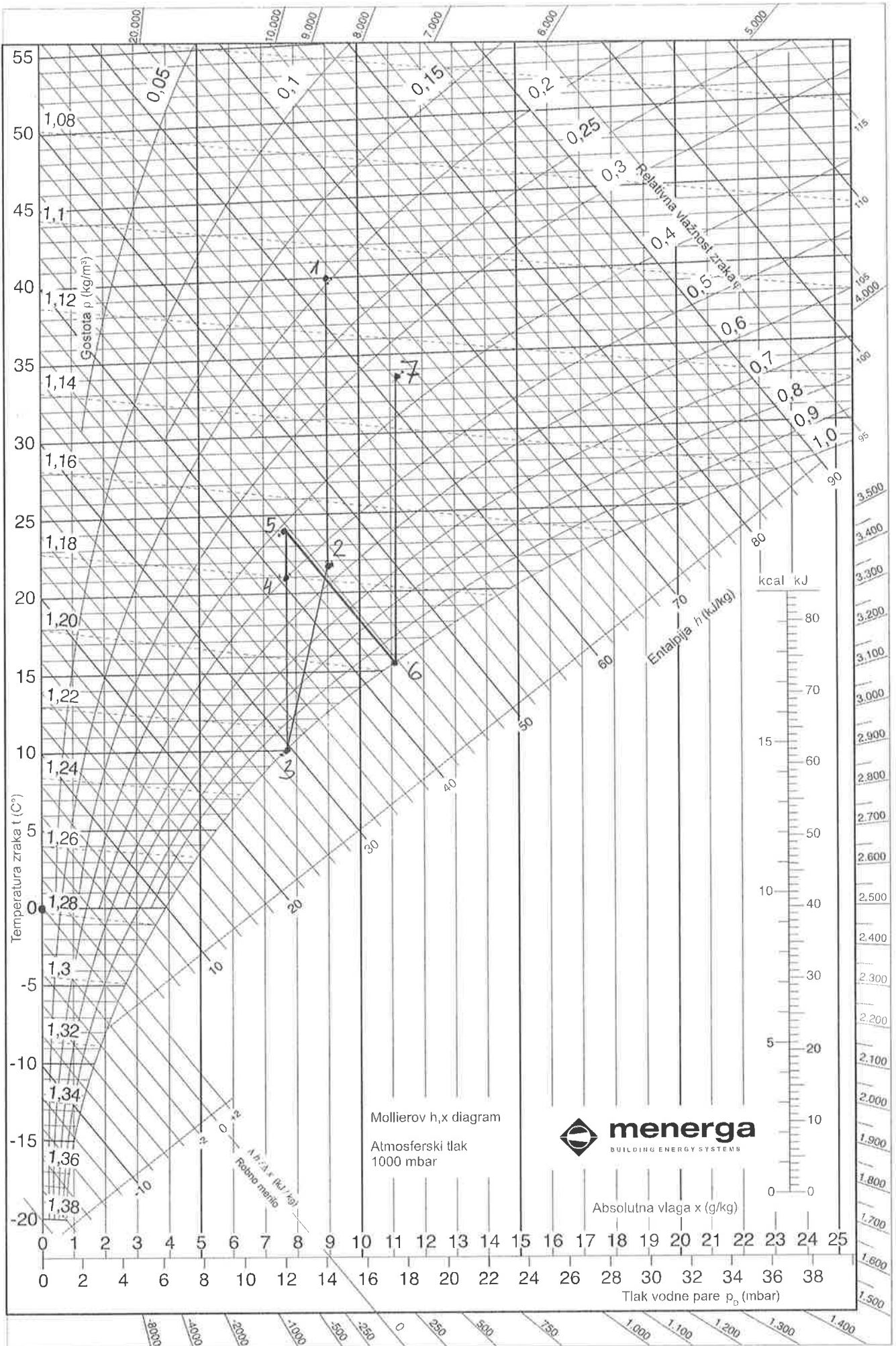
$$\dot{V} = (10 \times 10 \times 5) \text{ m}^3, n = 1000 \text{ m}^3/\text{h} \Rightarrow u = \frac{1000}{500} \text{ h}^{-1} = 2 \text{ 1/h}$$

$$\dot{m} = \dot{V} \cdot \rho = 1000 \cdot 1.293 = 1293 \text{ kg/h} = 0.3592 \text{ kg/s}$$

$$\dot{Q}_{45} = \Delta h \cdot \dot{m}_{\text{zr}} = (43.6 - 40.5) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 0.3592 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 1.114 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{34} = \Delta h \cdot \dot{m} = (40.5 - 29.7) \cdot 0.3592 = 3.879 \text{ kW}$$

$$\dot{m}_{\text{v56}} = \Delta x \cdot \dot{m} = (11.1 - 7.7) \cdot 0.3592 = 1.221 \frac{\text{g}}{\text{s}} = 4.397 \text{ kg/h}$$

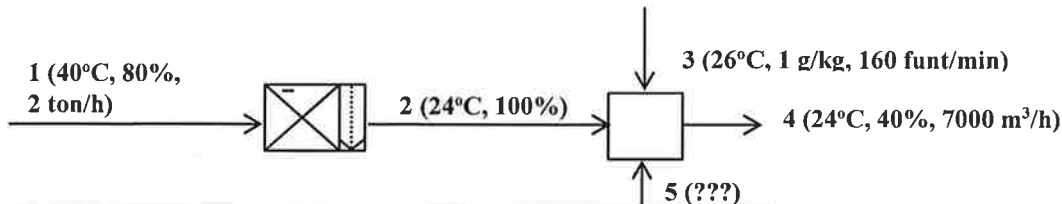


50%	50%

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. Na razpolago je 90 minut časa za reševanje nalog. 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. Na izstopu iz hladilnika predpostavite 100% vlažnost.



	T[°C]	φ[%]	X[g/kg]	h[kJ/kg]	Xs[g/kg]	
1	40	80	39.62	142.3	49.53	Hladilna moč 1-2 <u>38.61</u> [kW] (5)
2	24	100	19.12	72.80	19.12	Količina kondenzata 1-2 <u>41.00</u> [kg/h] (5)
3	26	4.625	1	28.68	21.62	Stopnja razvlaževanja 1-2 <u>100</u> [%]
4	24	40	7.648	43.59	19.12	Pretok 5 <u>2694</u> [kg/h]
5	<u>20.81</u> ¹⁰	<u>62.97</u> ¹⁰	<u>9.880</u> ¹⁰	<u>46.01</u> ¹⁰	<u>15.69</u>	

$$\dot{m}_1 = \frac{2 \text{ t}}{\text{h}} \cdot \frac{1000 \text{ kg}}{\text{t}} \cdot \frac{4}{3600 \text{ s}} = 0.5556 \text{ kg/s} = \dot{m}_2$$

$$\dot{m}_3 = 160 \frac{\text{funt}}{\text{min}} \cdot \frac{\text{min}}{60 \text{ s}} \cdot \frac{0.4536 \text{ kg}}{\text{funt}} = 1.210 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_4 = 8 \cdot V = 1.793 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 7000 \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \frac{4}{3600 \text{ s}} = 2.514 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_5 = \dot{m}_4 - \dot{m}_3 - \dot{m}_2 = 0.7484 \text{ kg/s}$$

$$\dot{Q}_{12} = \dot{m}_2 \Delta h = 38.61 \text{ kW}, \quad \dot{m}_{12} = \dot{m}_2 \Delta x = 11.39 \text{ g/s}$$

$$\dot{m}_4 \cdot h_4 = \dot{m}_2 \cdot h_2 + \dot{m}_3 \cdot h_3 + \dot{m}_5 \cdot h_5$$

$$h_5 = \frac{1}{\dot{m}_5} (\dot{m}_4 \cdot h_4 - \dot{m}_2 \cdot h_2 - \dot{m}_3 \cdot h_3) = \frac{1}{0.7484} (2.514 \cdot 43.59 - 0.5556 \cdot 72.80 - 1.210 \cdot 28.68) = 46.01 \text{ kJ/kg}$$

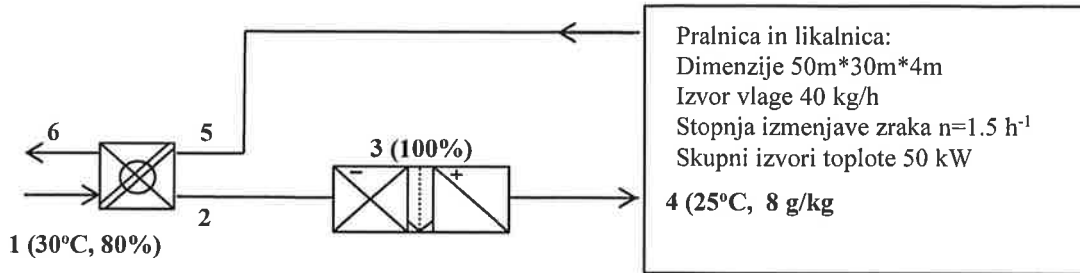
$$X_5 = \frac{1}{\dot{m}_5} (\dot{m}_4 \cdot X_4 - \dot{m}_2 \cdot X_2 - \dot{m}_3 \cdot X_3) =$$

$$= \frac{1}{0.7484} (2.514 \cdot 7.648 - 0.5556 \cdot 19.12 - 1.210 \cdot 1) = 9.880 \text{ g/kg}$$

$$t_5 = \frac{46.01 - 9.880 \cdot 2.5}{1.005 + 0.001926 \cdot 9.880} = 20.81 \text{ °C}$$

$$X_s(20.81) = 14.88 + \frac{0.81}{2} \cdot 2 = 15.69 \text{ g/kg}$$

S pomočjo **h-x diagrama** rešite nalogo za klimatizacijsko napravo na sliki. Naprava vsebuje regenerator zraka z izkoristkom prenosa senzibilne toplote 90% (temperaturna učinkovitost) in latentne toplote 70%.



	T[°C]	φ[%]	X[g/kg]	h[kJ/kg]
Tol +/-	0,6	4,	0,4	1,0
1	30	80	21.9	86.0
2	31.35	51	14.58	68.7
3	10.7	100	8	31.0
4	25	41	8	45.3
5	31.5	40	11.44	60.77
6	30.15	68	18.76	78.1

Značilnosti prezračevalne naprave:	
Hladilna moč 2-3	<u>121.9</u> [kW]
Grelna moč 3-4	<u>46.23</u> [kW]
Toplotna moč reg.	<u>55.93</u> [kW]

10
5
10
10

5
5
5

$$V = 50 \times 30 \times 4 = 6000 \text{ m}^3 \quad \dot{V} = V \cdot n = 6000 \times 1.5 = 9000 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_i = \rho \cdot \dot{V} = 1.1637 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9000 = 10473.3 \text{ kg/h} = 2.91 \text{ kg/s}$$

$$\Delta h_{45} = \frac{\dot{Q}_{45}}{\dot{m}_i} = \frac{50 \text{ kW}}{2.91 \text{ kg/s}} = 17.18 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta x_{45} = \frac{\dot{m}_v}{\dot{m}_{7R}} = \frac{40 \text{ kg/h}}{2.91 \text{ kg/s} \cdot 3600 \text{ s/h}} = 3.83 \frac{\text{g}}{\text{kg}}$$

REG:

$$\Delta t = \eta_s \cdot \Delta t_{\text{max}} = 0.90 (31.5 - 30) = 1.35 \text{ K}$$

KONDENZACIJE NI

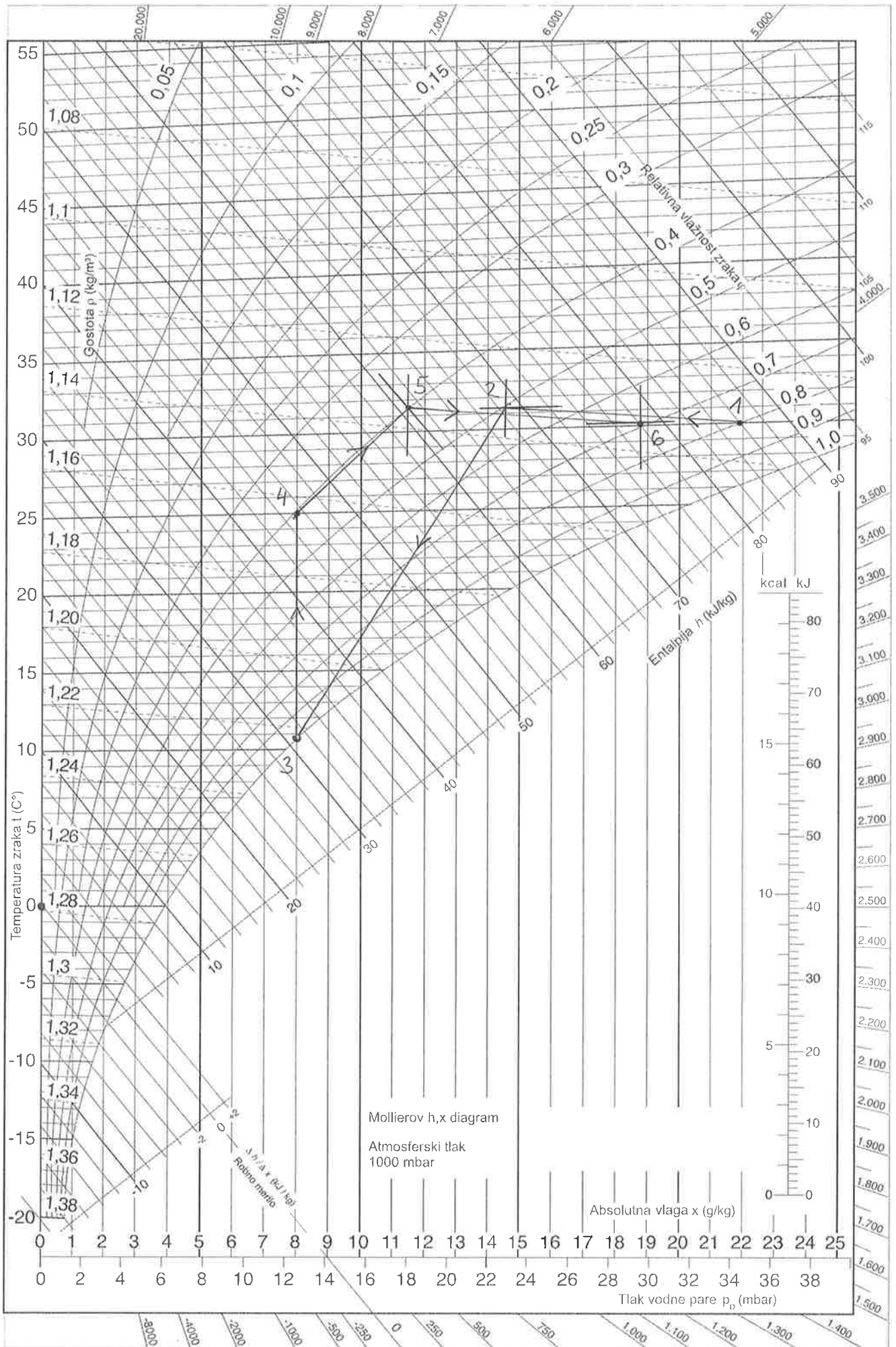
$$\Delta x = \eta_L \cdot \Delta x_{\text{max}} = 0.70 (21.9 - 11.44) = 7.322 \text{ g/kg}$$

kontrola: $\Delta h_{12} = \Delta h_{56}$
 $17.3 = 17.3 \checkmark$

$$\dot{Q}_{23} = \dot{m}_i \Delta h_{23} = 2.91 (68.7 - 31.0) = 108.8 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{34} = \dot{m}_i \Delta h_{34} = 46.23 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{56} = \dot{m}_i \Delta h_{56} = 55.93 \text{ kW}$$

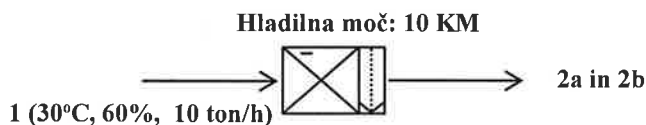


50%	50%

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. Na razpolago je 90 minut časa za reševanje nalog. 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. Temperatura hladilnih površin je v a primeru $24^{\circ}C$ in b $16^{\circ}C$. Entalpijo izločenega kondenzata smete zanemariti.



	T[°C]	φ[%]	X[g/kg]	h[kJ/kg]	X _s [g/kg]	
1	30	60	16.53	72.43	27.55	Količina kondenzata a) \emptyset [kg/h] 5
2a	27.445	69.92 ⁵	16.53 ⁵	69.78 ⁵	23.64	Količina kondenzata b) <u>4.900</u> [kg/h] 5
2b	28.645	63.10 ⁵	16.04 ⁵	69.78 ⁵	25.42	

1. $X = f \cdot X_s$; $h = 1.005 \cdot t + x(2.5 + 0.001926 \cdot t)$

$$\dot{m} = 10 \frac{\text{ton}}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{3600 \text{ s}} \cdot \frac{1000 \text{ kg}}{\text{ton}} = 2.778 \frac{\text{kg}}{\text{s}} ; 10 \text{ KM} \cdot \frac{0.7355 \text{ kW}}{\text{KM}} = 7.355 \text{ kW}$$

$$\dot{Q} = \dot{m} \Delta h \Rightarrow \Delta h = \frac{\dot{Q}}{\dot{m}} = \frac{7.355 \text{ kW}}{2.778 \text{ kg/s}} = 2.648 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

2a) $h_2 = h_1 - \Delta h$

ROSIŠČE od ① = $21^{\circ}C < 24^{\circ}C$; KONDENZACIJE NI ; $x = \text{konst}$

$$t = \frac{69.78 - 16.53 \cdot 2.5}{1.005 + 16.53 \cdot 0.001926} = 27.44^{\circ}C$$

$$X_s(27.44^{\circ}C) = 21.62 + \frac{1.44}{2} (24.42 - 21.62) = 23.64 \text{ g/kg} ; f = \frac{x}{X_s}$$

2b) $16^{\circ}C < 22^{\circ}C$; KONDENZACIJA JE , $x \neq \text{konst}$

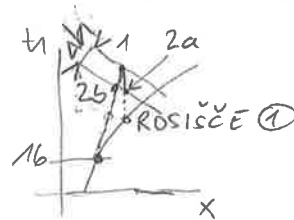
$$\eta = \frac{\Delta h}{\Delta h_{\text{MAX}}} = \frac{2.648}{72.43 - 45.20} = 0.09725$$

$$\Delta t = \eta \Delta t_{\text{MAX}} = 0.09725 (30 - 16) = 1.362^{\circ}C$$

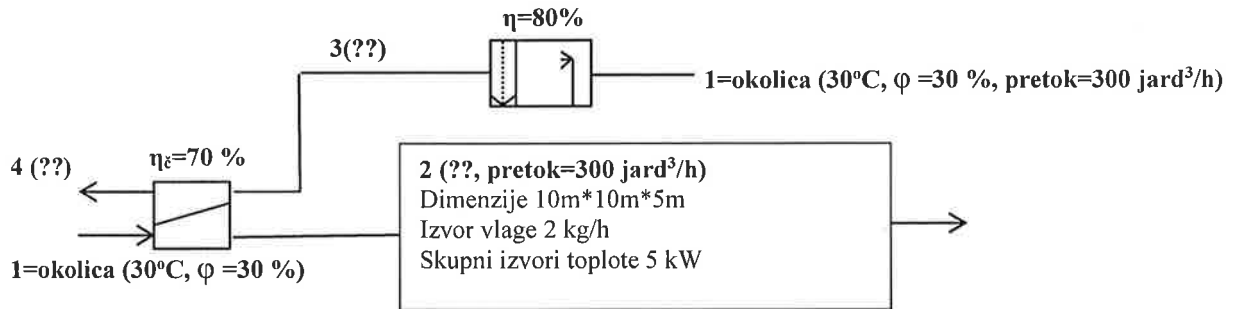
$$\Delta X = \eta \Delta X_{\text{MAX}} = 0.09725 (16.53 - 11.51) = 0.4882 \text{ g/kg}$$

$$X_s(28.64^{\circ}C) = 24.42 + \frac{0.64}{2} (27.55 - 24.42) = 25.42 \text{ g/kg}$$

$$\dot{m}_V = \dot{m}_z \cdot \Delta X = 2.778 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot (16.53 - 16.04) \frac{\text{g}}{\text{kg}} = 1.361 \frac{\text{g}}{\text{s}} = 4.900 \text{ kg/h}$$



2. S pomočjo **h-x diagrama** rešite nalogo za klimatizacijsko napravo na sliki. Osnovna ideja naloge je preveriti, kakšno temperaturo in vlažnost zraka je možno doseči na vstopu v objekt (stanje 2) samo s hlapilnim ohlajanjem in rekuperatorjem pri stanju okolice 1. Temperaturna učinkovitost rekuperatorja je 70%. Stopnja vlaženja v vlažilniku zraka 1-3 je 80%. Preverite na diagramu h-x, če pride v rekuperatorju toplote do kondenzacije (vrišite in zapišite pogoj).



	T[°C]	φ[%]	X[g/kg]	h[kJ/kg]
Tol +/-	0,6	4,	0,4	1,0
1	30	30	8,0	50,5
2	23,17 5	45	8,0	43,8 5
3	20,24 5	80	11,9 5	50,5
4	27,07 5	53	11,9	57,2 5

Kondenzacija v rekuperatorju?	<u>NE</u>	5
Moč rekuperatorja	<u>0,5519</u> [kW]	5
Količina vode 1-3	<u>1,157</u> [kg/h]	5
Stopnja izmenjave zraka	<u>0,4588</u> [h ⁻¹]	5

• 1-3 VLAŽENJE

$$\Delta t = \eta \Delta t_{max} = 0,80 (30 - 17,8) = 9,760 \text{ } ^\circ\text{C} ; t_3 = t_1 - \Delta t$$

$$300 \frac{\text{jard}^3}{\text{h}} \cdot \frac{1\text{K}}{3600\text{s}} \left(\frac{0,9144\text{m}}{1\text{jard}}\right)^3 = 0,06371 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 229,4 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\dot{m}_{zr} = 0,08238 \text{ kg/s}$$

$$n = \frac{\dot{V}}{V} = \frac{229,4 \text{ m}^3/\text{h}}{500 \text{ m}^3} = 0,4588 \text{ h}^{-1}$$

$$\dot{m}_v = \Delta X \cdot \dot{m}_{zr} = 3,9 \frac{\text{g}}{\text{kg}} \cdot 0,08238 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 1,157 \text{ kg/h}$$

• REKUPERACIJA

$$\Delta t = \eta \Delta t_{max} = 0,70 (30 - 20,24) = 6,832 \text{ } ^\circ\text{C} \left\{ \begin{array}{l} t_2 = 23,17 \text{ } ^\circ\text{C} \\ t_4 = 27,07 \text{ } ^\circ\text{C} \end{array} \right.$$

kontrola: $\Delta h_{12} \stackrel{?}{=} \Delta h_{34}$

$$6,7 = 6,7 \quad \checkmark$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_{zr} \cdot \Delta h = 0,5519 \text{ kW}$$

