



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 2016/2017



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

MARIBOR, oktober 2017

CIP – kataložni zapis o publikaciji
Univerzitetna knjižnica Maribor

[CIP številka]

Matjaž Ramšak
Zbirka rešenih izpitnih nalog pri
predmetu Klimatizacija (HVAC)
za študijsko leto 2016/2017/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 2016/2017
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 10.02.2017	4
Kolokvij 21.04.2017	6
Izpit 06.07.2017	8
Izpit 24.08.2017	10

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

Rešeni izpiti

Izpit 10.02.2017	13
Kolokvij 21.04.2017	16
Izpit 06.07.2017	19
Izpit 24.08.2017	23

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

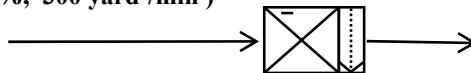
50%	50%

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!

1. **Računsko** s pomočjo tabel rešite nalogo za hladilnik vlažnega zraka na spodnji sliki za dve vrednosti temperature hladilnih površin: a) 24°C in b) 10°C. Rezultate zapišite v tabelo. Bonus 5 % dobite za pravilno grafično rešitev.

1 (34°C, 50 %, 300 yard³/min)

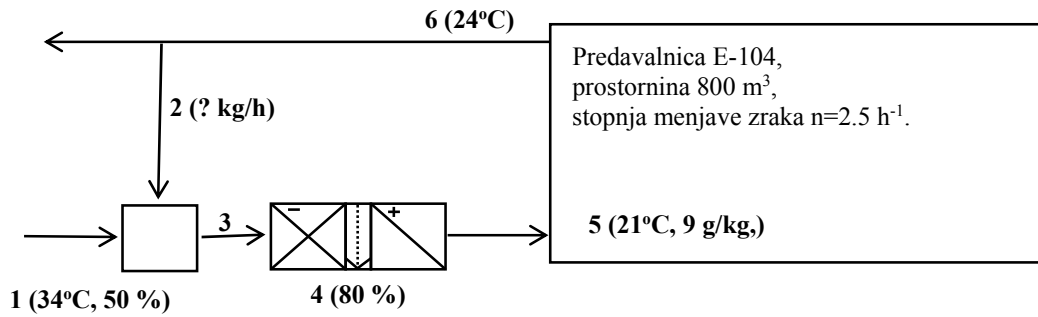


2a (rel. vlažnost 80 %)

2b (do enake temperature kot pri 2a)

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

2. S pomočjo h-x diagrama rešite nalogo za klimatizacijsko napravo na sliki. Temperatura hladilnih površin hladilnika vlažnega zraka je 10°C.



	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]

Masni pretok zraka 2

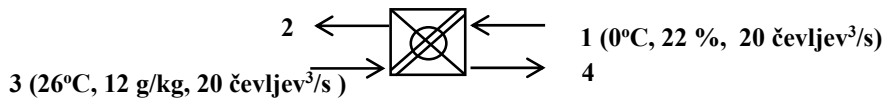
_____ [kg/h]

50%	50%

Priimek in ime: _____ Vpisna številka: _____

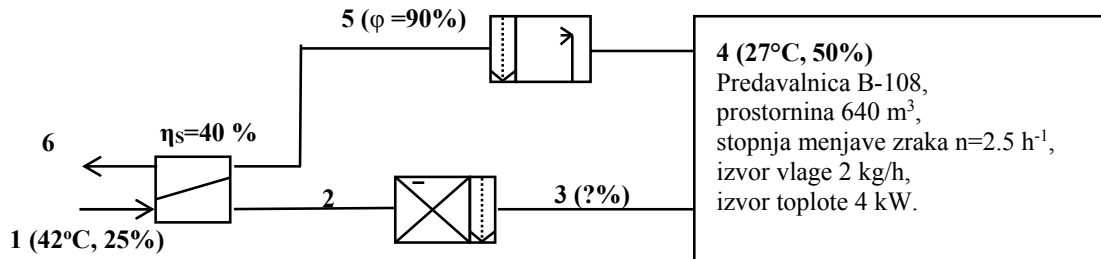
Ocenjujem pravilnost številskih rezultatov. Za pravilni postopek praviloma ne podeljujem procentov. Pri računskih nalogah zaokrožite števila na 4 pomembna mesta (npr.: $0.00123456=0.1235e-2$ ali $1.235kJ$). Rešitev je pravilna, če je znotraj +/-5 na 3 pomembnem mestu. Grafično rešitev vrišete na priloženi 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 nalogo za regeneratorski vlažni zrak na spodnji sliki. Učinkovitost vračanja senzibilne toplote je 73 % in latentne toplote 39 %. V primeru kondenzacije, predpostavite 100 % vlažnost na izstopu iz regeneratorskega zrak. Rezultate zapišite v tabelo.



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

2. S pomočjo h-x diagrama rešite nalogo za klimatizacijsko napravo na sliki. Določite temperaturo hladilnih površin v razvlaževalniku 2-3, ki je pod rosiščem. Relativna vlažnost v stanju 3 je manjša od 100 % (razvlaževanje + mešanje). V rekuperatorju toplote je izkoristek vračanja senzibilne toplote $\eta_s=40\%$. Kolikšna bi bila hladilna moč:
 a) brez rekuperatorja (bonus 5 %) in
 b) brez rekuperatorja in brez vlažilnika (bonus 5 %).



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

Lastnosti razvlaževalnika:
hladilna moč _____ [kW]
stopnja razvlaževanja _____ [%]
temperatura hladilnih površin _____ [°C]
Hladilna moč a) _____ [kW]
Hladilna moč b) _____ [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!

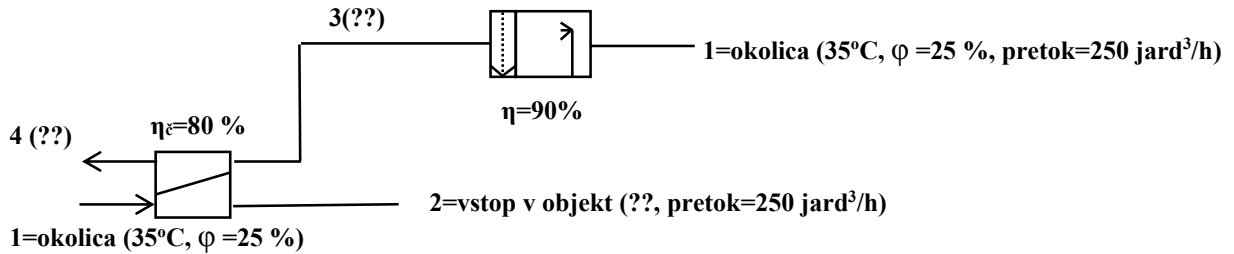
1. **Računsko** s pomočjo tabel rešite nalogo za hladilnik vlažnega zraka na spodnji sliki. Temperatura hladilnih površin je 8°C. Rezultate zapišite v tabelo. Bonus 5 % dobite za pravilno grafično rešitev.

Temperatura hladilnih površin: 8 °C

1 (30°C, rel. vlažnost= ??%, 200 čevljev³/min) →  → 2 (18°C, 60 %)

	T[°C]	φ[%]	x[g/kg]	h[kJ/kg]	Xs[g/kg]
1					
2					
R					

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 hlajenjem in rekuperatorjem pri stanju okolice 1. Temperaturna učinkovitost prenosa čutne toplote je 80 %. Stopnja vlaženja v vlažilniku zraka 1-3 je 90 %. Preverite na diagramu h-x, če pride v rekuperatorju toplote do kondenzacije (vrišite in zapišite pogoj).



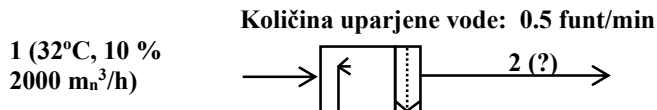
	T[°C]	φ[%]	x[g/kg]	h[kJ/kg]
Tol +/-	0,6	4,	0,4	1,0
1				
2				
3				
4				

50%	50%

Priimek in ime: _____ Vpisna številka: _____

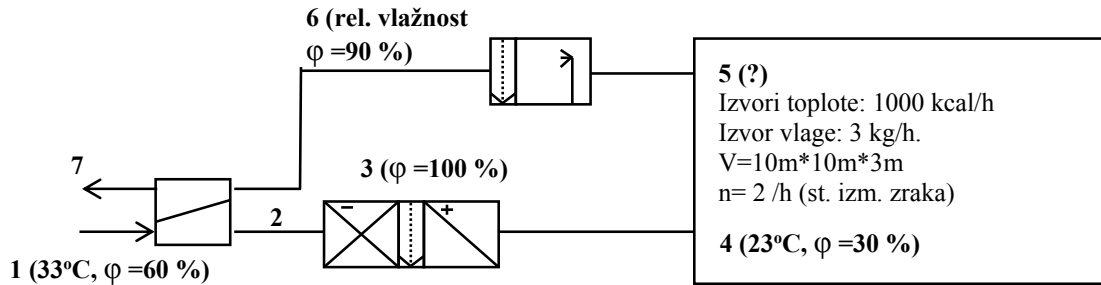
Ocenjujem pravilnost številskih rezultatov. Za pravilni postopek praviloma ne podeljujem procentov. Pri **računskih** nalogah zaokrožite števila na 4 pomembna mesta (npr.: $0.00123456=0.1235e-2$ ali $1.235kJ$). Rešitev je pravilna, če je znotraj +/-5 na 3 pomembnem mestu. **Grafično rešitev** vrišete 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 nalogo za napravo na spodnji sliki. Rezultate zapišite v tabelo.

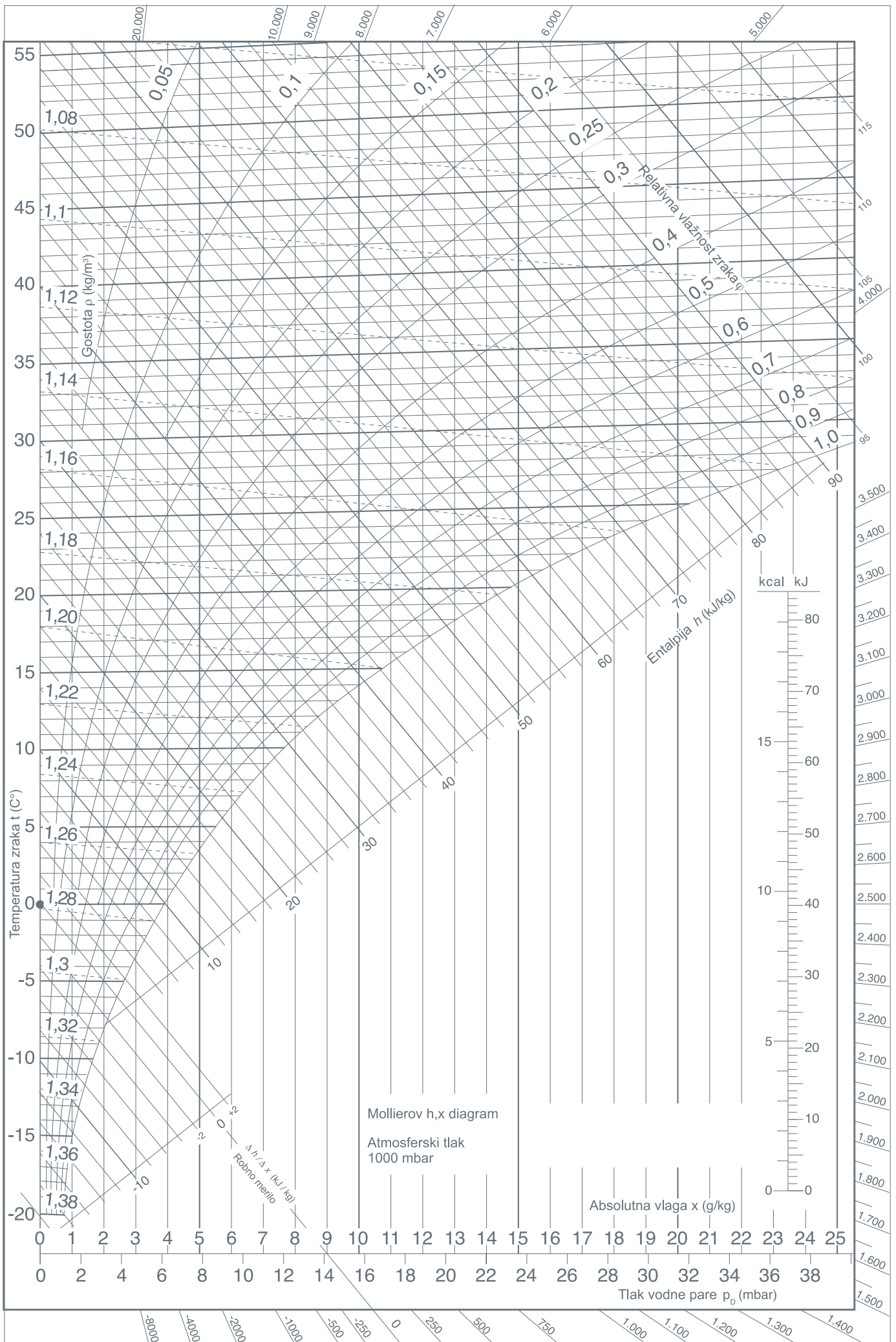


	T[°C]	φ[%]	x[g/kg]	h[kJ/kg]	X _s [g/kg]
1					
2					

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 80 % (temperaturna učinkovitost). Če nastane v rekuperatorju kondenzacija, predpostavite na izstopu 100 % 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				



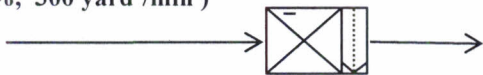
50%	50%

Priimek in ime: REŠITEV

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 hladilnik vlažnega zraka na spodnji sliki za dve vrednosti temperature hladilnih površin: a) 24°C in b) 10°C. Rezultate zapišite v tabelo. Bonus 5% dobite za pravilno grafično rešitev.

1 (34°C, 50%, 300 yard³/min)

2a (rel. vlažnost 80%)

2b (do enake temperature kot pri 2a)

	T[°C]	φ[%]	X[g/kg]	h[kJ/kg]	Xs[g/kg]
1	34	50	17.47	78.99	34.94
2a	26.16 ⁽¹⁰⁾	80	17.47	70.85	21.84 ⁽¹⁰⁾
2b	26.16	65.43	14.29 ⁽¹⁰⁾	62.74	21.84

Hladilna moč:

2a 40.24 [kW] ⁽¹⁰⁾2b 80.32 [kW] ⁽¹⁰⁾

$$X_1 = \phi \cdot X_s = 0.50 \cdot 34.94 = 17.47 \text{ g/kg}$$

$$h_1 = 1.005 \cdot 34 + 17.47 (2.5 + 0.001926 \cdot 26.34) = 78.99 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{V} = 300 \frac{\text{yard}^3}{\text{min}} \cdot \frac{\text{min}}{60 \text{ s}} \cdot \frac{0.76455 \text{ m}^3}{1 \text{ yard}^3} = 3.823 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\dot{m} = 1.293 \text{ kg/m}^3 \cdot 3.823 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 4.943 \text{ kg/s}$$

2a) $t_h = 24^\circ\text{C} > t_{\text{rosišča}} = 22^\circ\text{C}$ (diagram ali tabela X_s)
KONDENZACIJE NI, $x = \text{konst}$

$$\phi = \frac{X}{X_s} \Rightarrow X_s = \frac{X}{\phi} = \frac{17.47}{0.8} = 21.84 \text{ g/kg}$$

t	X_s	
26	21.62	$\leftarrow 21.84 \text{ g/kg}$
28	24.42	

$$\epsilon = \frac{21.84 - 21.62}{24.42 - 21.62} = 0.07857$$

$$t = 26 + 0.07857 \cdot (2) = 26.16^\circ\text{C}$$

$$h = 1.005 \cdot 26.16 + 17.47 (2.5 + 0.001926 \cdot 26.16) = 70.85 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{Q} = \dot{m} \Delta h = 4.943 \cdot (78.99 - 70.85) = 40.24 \text{ kW}$$

2b) $t_h = 10^\circ\text{C} \ll t_R$; KONDENZACIJA JE.

$$\text{STOPNJA RAZVLAŽEVANJA } \eta = \frac{\Delta t}{\Delta t_{\text{max}}} = \frac{34 - 26.16}{34 - 10} = 0.3267$$

$$\Delta X = \eta \Delta X_{\text{max}} = 0.3267 (17.47 - 7.727) = 3.183 \text{ g/kg}$$

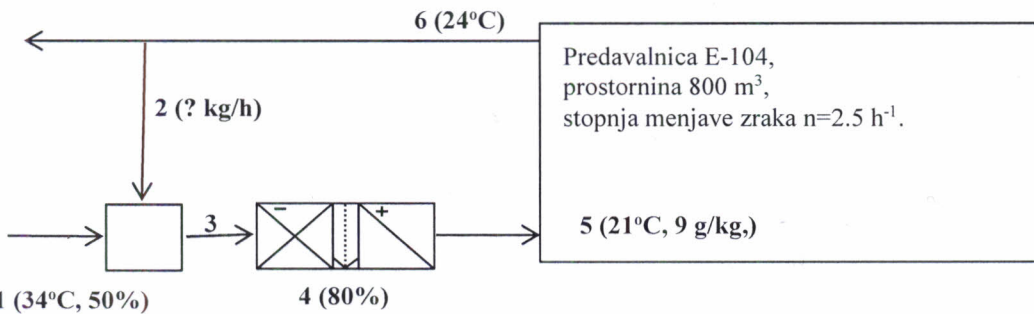
$$X = 17.47 - 3.183 = 14.29 \text{ g/kg}$$

$$\phi = \frac{X}{X_s} = \frac{14.29}{21.84} = 0.6543$$

$$h = 1.005 \cdot 26.16 + 14.29 (2.5 + 0.001926 \cdot 26.16) = 62.74 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{Q} = 4.943 \cdot (78.99 - 62.74) = 80.32 \text{ kW}$$

2. S pomočjo h-x diagrama rešite nalogo za klimatizacijsko napravo na sliki. Temperatura hladilnih površin hladilnika vlažnega zraka je 10°C.



	T[°C]	φ[%]	X[g/kg]	h[kJ/kg]
tol	0,6	4,	0,4	1,0
1	34	50	16.8	77.2
2=6	24	48	9	47.0
3=M	27.8	51	12.0	58.6
4	15.7	80	9	38.5
5	21	58	9	44.0
6	24	48	9	47.0

Hladilna moč naprave:
14.44 [kW] (10)
 Masni pretok zraka 2
1595 [kg/h] (20)

(10)
(10)

MEŠANJE $1 + 2 = 3 = M$

$$\dot{V}_3 = V \cdot n = 800 \text{ m}^3 \cdot 2.5 \frac{1}{\text{h}} = 2000 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 0.5556 \text{ m}^3/\Delta$$

$$\dot{m}_3 = 1.293 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0.5556 \frac{\text{m}^3}{\Delta} = 0.7184 \text{ kg}/\Delta$$

$$\dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3$$

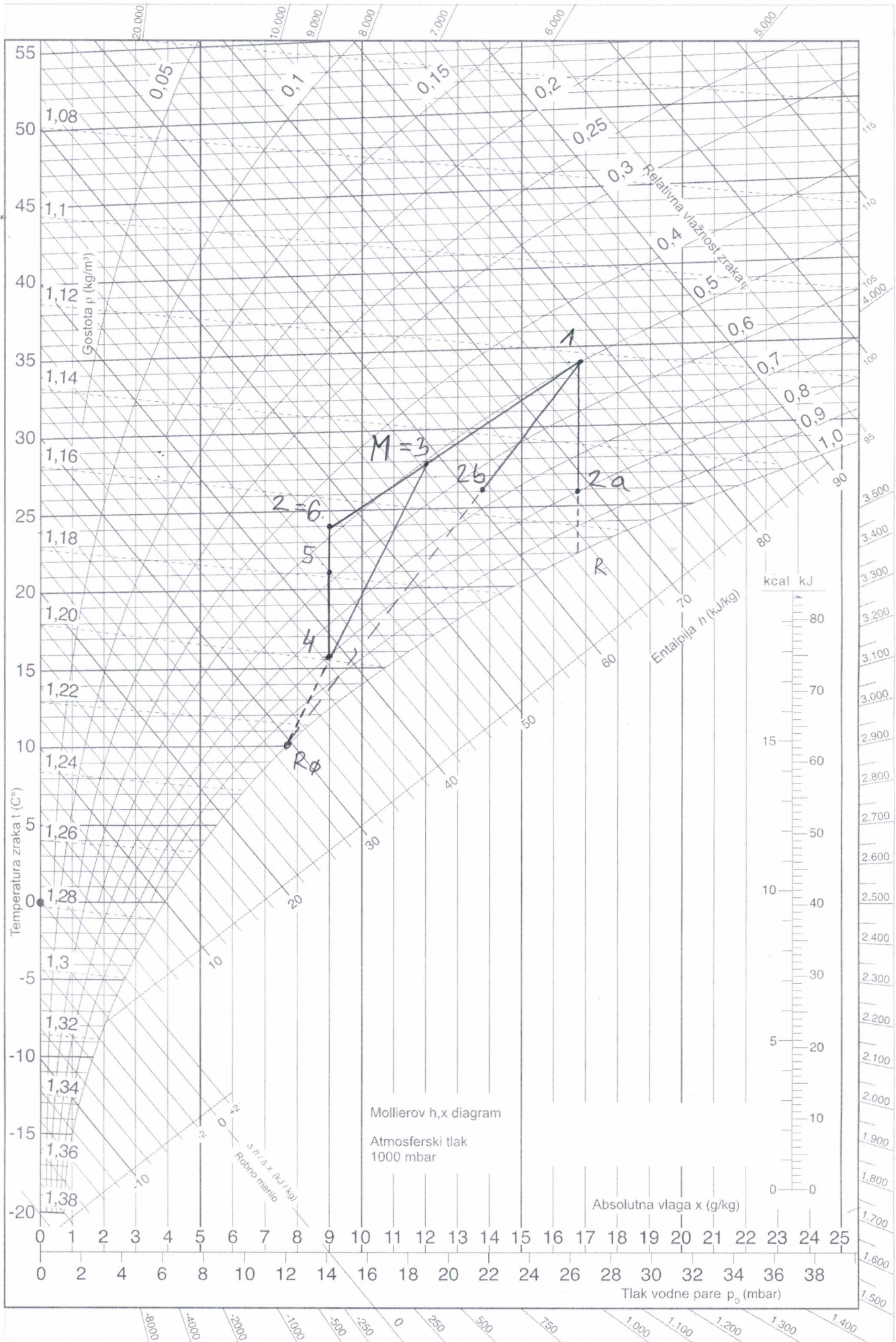
$$\frac{M1}{M2} = \frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_1} = \frac{37 \text{ mm}}{23 \text{ mm}} = 1.609 \Rightarrow \dot{m}_2 = 1.609 \dot{m}_1$$

$$\dot{m}_1 + 1.609 \dot{m}_1 = 0.7184 \text{ kg}/\Delta$$

$$\dot{m}_1 = \frac{0.7184}{2.609} = 0.2754 \text{ kg}/\Delta$$

$$\dot{m}_2 = 1.609 \cdot 0.2754 = 0.4431 \text{ kg}/\Delta = 1595 \text{ kg/h}$$

$$\dot{Q}_{34} = \dot{m} \Delta h = 0.7184 \frac{\text{kg}}{\Delta} \cdot (58.6 - 38.5) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 14.44 \text{ kW}$$

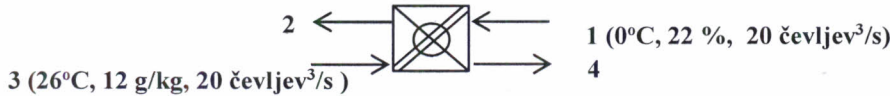


50%	50%

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. 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 regeneratorski vlažnega zraka na spodnji sliki. Učinkovitost vračanja senzibilne toplote je 73 % in latentne toplote 39 %. V primeru kondenzacije, predpostavite 100% vlažnost na izstopu iz regeneratorskega. Rezultate zapišite v tabelo.



	T[°C]	φ[%]	X[g/kg]	h[kJ/kg]	Xs[g/kg]
1	0	22	0.8406	2.102	3.821
2	18.98 ⁽⁵⁾	37.17 ⁽⁵⁾	5.193 ⁽⁵⁾	32.25 ⁽⁵⁾	13.97
3	26	55.50	12	56.73	21.62
4	8.702 ⁽¹⁰⁾	100	7.086 ⁽¹⁰⁾	26.58 ⁽⁵⁾	7.086

Toplotna moč regeneratorskega
(5) 22.08 [kW]

$$x_1 = \phi_1 \cdot x_s(0^\circ\text{C}) = 0.22 \times 3.821 = 0.8406 \text{ g/kg}$$

$$h_1 = x(2.5) = 0.8406 \times 2.5 = 2.102 \text{ kJ/kg}$$

$$\phi_3 = x/x_s = 12/21.62 = 0.5550 [-]$$

$$h_3 = 1.005 \times 26 + 12(2.5 + 0.001926 \cdot 26) = 56.73 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta t = \eta_s \cdot \Delta t_{\text{max}} = 0.73(26 - \phi) = 18.98^\circ\text{C} \quad \left\{ \begin{array}{l} t_2 = 18.98^\circ\text{C} \\ t_4 = 7.020^\circ\text{C} \end{array} \right. \times$$

$$\Delta x = \eta_L \cdot \Delta x_{\text{max}} = 0.39(12 - 0.8406) = 4.352 \text{ g/kg} \quad \left\{ \begin{array}{l} x_2 = 5.193 \text{ g/kg} \\ x_4 = 7.648 \text{ g/kg} \end{array} \right. \times$$

$$x_{s4}(7.020^\circ\text{C}) = 5.868 + \frac{1.02}{2}(6.740 - 5.868) = 6.313 \text{ g/kg}$$

$$x_4 > x_{s4} \Rightarrow \text{KONDENZIRA!} \Rightarrow \phi_4 = 100\%$$

$$x_{s2}(18.98^\circ\text{C}) = 13.10 + \frac{0.98}{2}(14.88 - 13.10) = 13.97 \text{ g/kg}$$

$$\phi_2 = x_2/x_{s2}; \quad h_2 = 1.005 \times 18.98 + 5.193(2.5 + 0.001926 \cdot 18.98) = 32.25 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\Delta h_{12} = h_2 - h_1 = 32.25 - 2.102 = 30.15 = \Delta h_{34} = h_3 - h_4$$

$$h_4 = h_3 - \Delta h_{12} = 56.73 - 30.15 = 26.58 \text{ kJ/kg}; \quad t_s(h_s = 26.58 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}) = ?$$

$$h_s \quad t$$

24.99	8
29.52	10

$$\epsilon = \frac{26.58 - 24.99}{29.52 - 24.99} = 0.3510; \quad t_4 = 8.702^\circ\text{C}$$

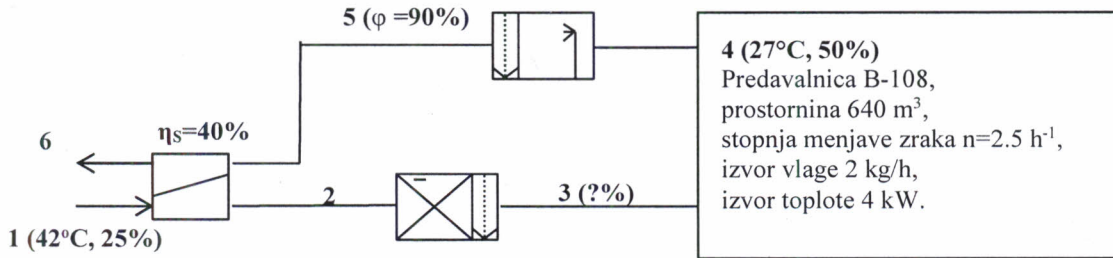
$$x_s(8.702^\circ\text{C}) = 6.740 + \epsilon(7.727 - 6.740) = 7.086 \text{ g/kg}$$

$$\dot{m}_{zr} = 20 \frac{\text{čevljev}^3}{\text{s}} \cdot \frac{28,32 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{1 \text{ čevljev}^3} \cdot 1.293 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 0.7324 \text{ kg/s}$$

$$\dot{Q}_{12} = \dot{Q}_{34} = \dot{m}_{zr} \cdot \Delta h_{12} = 0.7324 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 30.15 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 22.08 \text{ kW}$$

2. S pomočjo h-x diagrama rešite nalogo za klimatizacijsko napravo na sliki. Določite temperaturo hladilnih površin v razvlaževalniku 2-3, ki je pod rosiščem. Relativna vlažnost v stanju 3 je manjša od 100% (razvlaževanje+mešanje). V rekuperatorju toplote je izkoristek vračanja senzibilne toplote $\eta_s=40\%$. Kolikšna bi bila hladilna moč:

a) brez rekuperatorja (bonus 5%) in
 b) brez rekuperatorja in brez vlažilnika (bonus 5%).



	T[°C]	φ[%]	X[g/kg]	h[kJ/kg]
tol	0,6	4,	0,4	1,0
1	42	25	12.9	75.1
⑤ 2	33.48	40	11.2	66.5
⑤ 3	22.3	63	10.43	49.04
4	27	50	11.4	56.0
⑤ 5	20.7	90	13.8	-11-
⑤ 6	29.22	54	-11-	64.5

Lastnosti razvlaževalnika:	
hladilna moč	10.03 [kW] (10)
stopnja razvlaževanja	52.55 [%] (10)
temperatura hladilnih površin	11.0 [°C] (10)
Hladilna moč a)	14.98 [kW] (Rφ +5)
Hladilna moč b)	14.98 [kW] (+5)

⑤ h4=h5

②⑥ REKUPERATOR, ROSIŠČE (42°C, 25%) = 18°C < t5, NI KOND. x > xcomat
 $\Delta t = \eta_s \cdot \Delta t_{max} = 0.40 (42 - 20.7) = 8.520 \left\{ \begin{array}{l} t_2 = 33.48^\circ\text{C} \\ t_6 = 29.22^\circ\text{C} \end{array} \right.$
 kontrola: $\Delta h_{12} = 8.6 \text{ kJ/kg}$ $\Delta h_{56} = 8.5 \text{ kJ/kg}$ ✓ OK.

③ $\dot{m}_{zr} = \dot{V} \cdot \rho = 640 \text{ m}^3 \cdot \frac{2.5}{h} \cdot 1.293 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 0.5747 \text{ kg/s}$
 $\dot{Q}_{34} = \dot{m}_{zr} \cdot \Delta h_{34} \Rightarrow \Delta h_{34} = \frac{\dot{Q}_{34}}{\dot{m}_{zr}} = \frac{4 \text{ kW}}{0.5747 \text{ kg/s}} = 6.961 \text{ kJ/kg}$
 $\dot{m}_{v34} = \dot{m}_{zr} \cdot \Delta x_{34} \Rightarrow \Delta x_{34} = \frac{\dot{m}_v}{\dot{m}_{zr}} = \frac{2 \text{ kg/h}}{0.5747 \text{ kg/s} \cdot 3600 \text{ s/h}} = 0.9667 \frac{\text{g}}{\text{kg}}$
 $\dot{Q}_{23} = \dot{m}_{zr} \cdot \Delta h_{23} = 0.5747 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot (66.5 - 49.04) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 10.03 \text{ kW}$

a) $\dot{Q}_{23} = \dot{m}_{zr} \cdot \Delta h_{13} = 0.5747 (75.1 - 49.04) = 14.98 \text{ kW}$

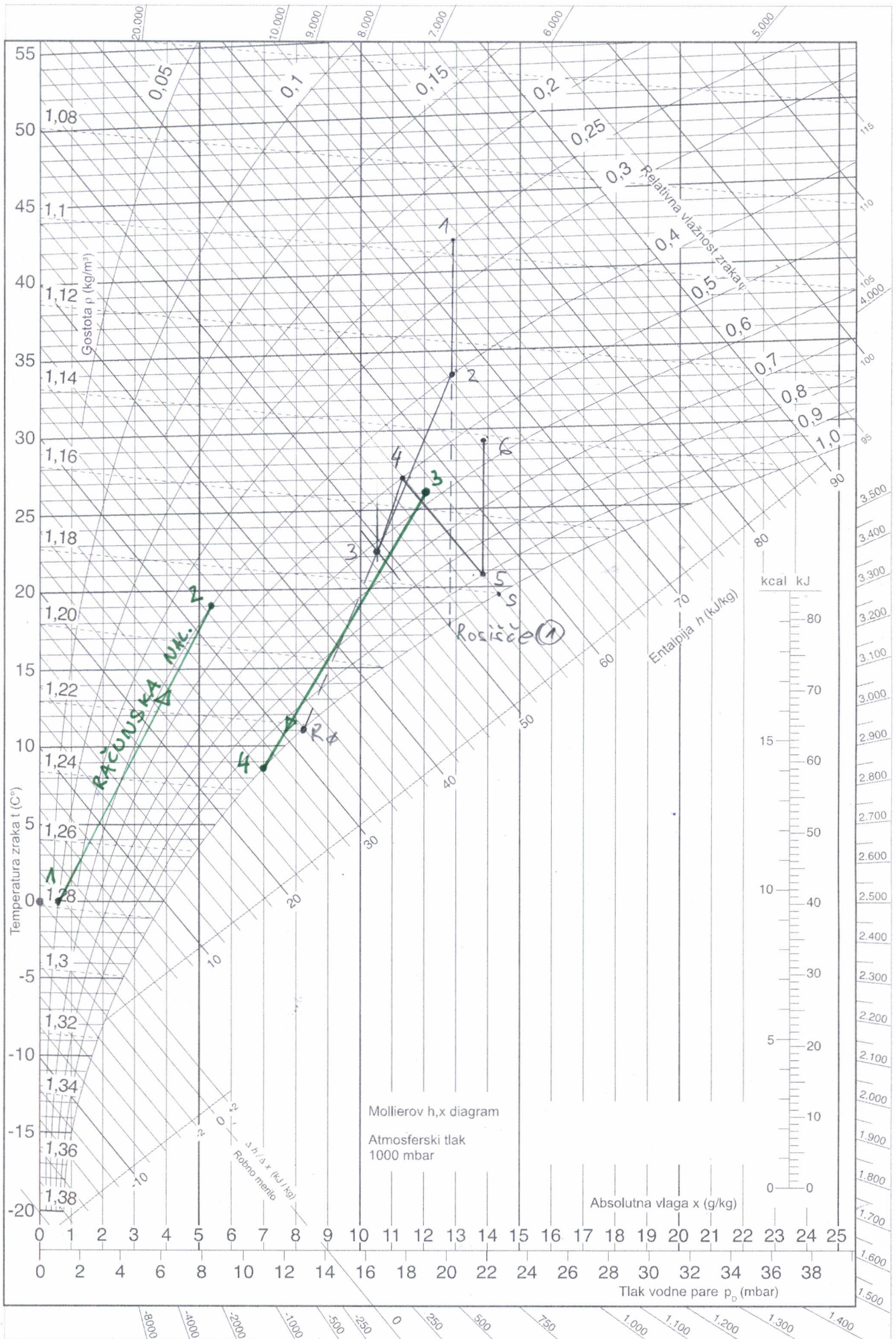
b) enako :-)

$\eta_{23} = \frac{\Delta X}{\Delta X_{MAX}} = \frac{(12.9 - 10.43)}{(12.9 - 8.2 (R\phi))} = 0.5255$

$\dot{m}_v = 0.5747 \left(\frac{12.9 - 10.43}{\frac{\text{kg}}{\text{kg}}} \right) = 1.470 \frac{\text{g}}{\text{h}} = 5.110 \text{ kg/h}$

$\eta_{45} = \frac{\Delta X}{\Delta X_{MAX}} = \frac{(13.8 - 11.4)}{(14.4 - 11.4)} = 0.8000$

$\dot{m}_v = 0.5747 (13.8 - 11.4) = 4.9651 \text{ kg/h}$



50%	50%

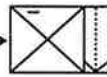
Priimek in ime: _____ Vpisna številka: _____

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. 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 hladilnik vlažnega zraka na spodnji sliki. Temperature hladilnih površin je 8°C. Rezultate zapišite v tabelo. Bonus 5% dobite za pravilno grafično rešitev.

Temperatura hladilnih površin: 8 °C

1 (30°C, rel. vlažnost= ??%,
200 čevljev³/min)



2 (18°C, 60%)

	T[°C]	φ[%]	X[g/kg]	h[kJ/kg]	Xs[g/kg]
1	30	33.41	9.204 ¹⁰	53.69 ¹⁰	27.55
2	18	60	7.860	38.01	13.10
R	8	100	6.740	24.99	6.740

Stopnja razvlaževanja

54.55 [%] 10

Hladilna moč

1.945 [kW] 10

Količina izločene vode

0.5908 [kg/h] 10

$$X_2 = \phi \cdot X_s = 0.60 \cdot 13.10 = 7.860 \text{ g/kg}$$

$$h_2 = 1.005 \cdot 18 + 7.860 (2.5 + 0.001926 \cdot 18) = 38.01 \text{ kJ/kg}$$

$$h_R = 1.005 \cdot 8 + 6.740 (2.5 + 0.001926 \cdot 8) = 24.99 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta = \frac{\Delta T}{\Delta T_{\max}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1 - T_R} = \frac{30 - 18}{30 - 8} = 0.5455$$

$$\eta = \frac{\Delta X}{\Delta X_{\max}} = \frac{X_1 - X_2}{X_1 - X_R}$$

$$X_1 = \frac{X_2 - \eta X_R}{1 - \eta} = \frac{7.860 - 0.5455 \cdot 6.740}{1 - 0.5455} = 9.204 \text{ g/kg}$$

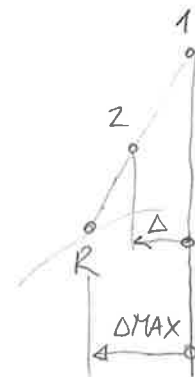
$$X_1 = 9.204 \text{ g/kg}$$

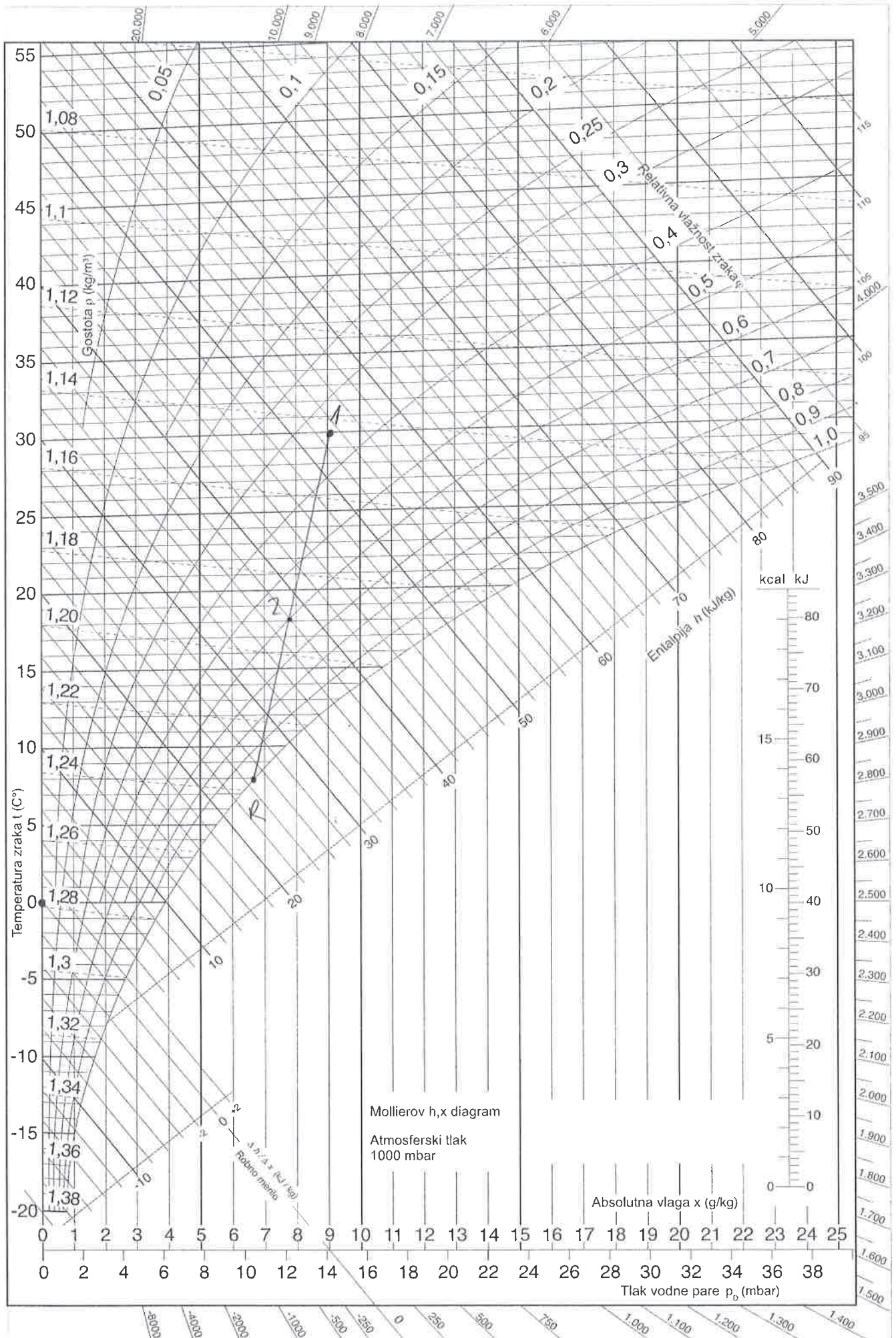
$$h_1 = 1.005 \cdot 30 + 9.204 (2.5 + 0.001926 \cdot 30) = 53.69 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{m}_{zr} = \phi \cdot \dot{V} = 1.293 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 200 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \cdot \frac{\text{min}}{60\text{s}} \cdot \frac{28.32 \cdot 10^{-3} \text{m}^3}{\text{m}^3} = 0.1221 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

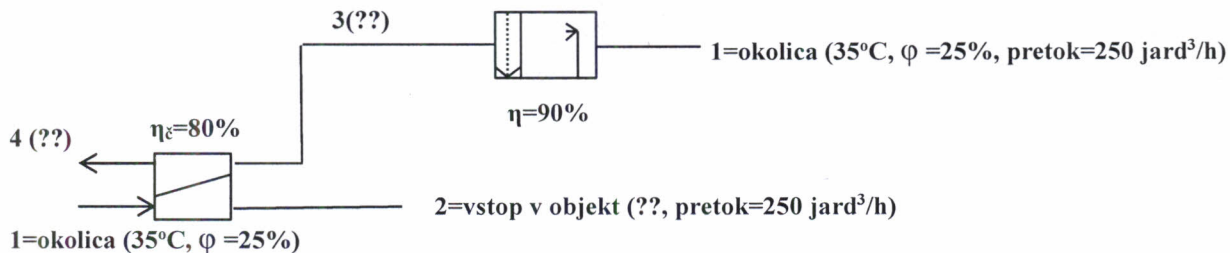
$$\dot{Q} = \dot{m}_{zr} \Delta h = 0.1221 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot (53.69 - 38.01) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 1.945 \text{ kW}$$

$$\dot{m}_v = \dot{m}_{zr} \Delta X = 0.1221 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot (9.204 - 7.860) \frac{\text{g}}{\text{kg}} = 0.1641 \frac{\text{g}}{\text{s}}$$





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 prenosa čutne toplote je 80%. Stopnja vlaženja v vlažilniku zraka 1-3 je 90%. Preverite na diagramu h-x, če pride v rekuperatorju toplote do kondenzacije (vrišite in zapišite pogoj).



Bonus

10
10
10

	T[°C]	φ[%]	X[g/kg]	h[kJ/kg]
Tol +/-	0,6	4,	0,4	1,0
1	35	25	8,8	57,5
2	24,2	46	8,8	46,8
3	21,5	88	14,1	57,5
4	32,3	47	14,1	68,5
S	20	100		

Kondenzacija v rekuperatorju?	NE	+5
Moč rekuperatorja	~0,74 [kW]	10
Količina vode 1-3	1,310 [kg/h]	10

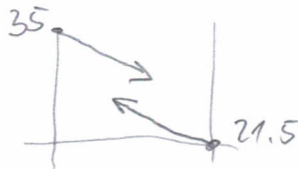
• VLAŽILNIK

$$\eta_{13} = \frac{\Delta T}{\Delta T_{max}} \Rightarrow \Delta T = 0,90 (35 - 20) = 13,5^\circ\text{C}$$

$$T_3 = T_1 - \Delta T = 35 - 13,5 = 21,5^\circ\text{C}$$

$$h_3 = h_1$$

• REKUPERATOR



$$\eta_c = \frac{\Delta T}{\Delta T_{max}} \Rightarrow \Delta T = 0,80 (35 - 21,5) = 10,8^\circ\text{C}$$

$$T_2 = T_1 - \Delta T = 24,2^\circ\text{C}$$

$$T_4 = T_3 + \Delta T = 32,3^\circ\text{C}$$

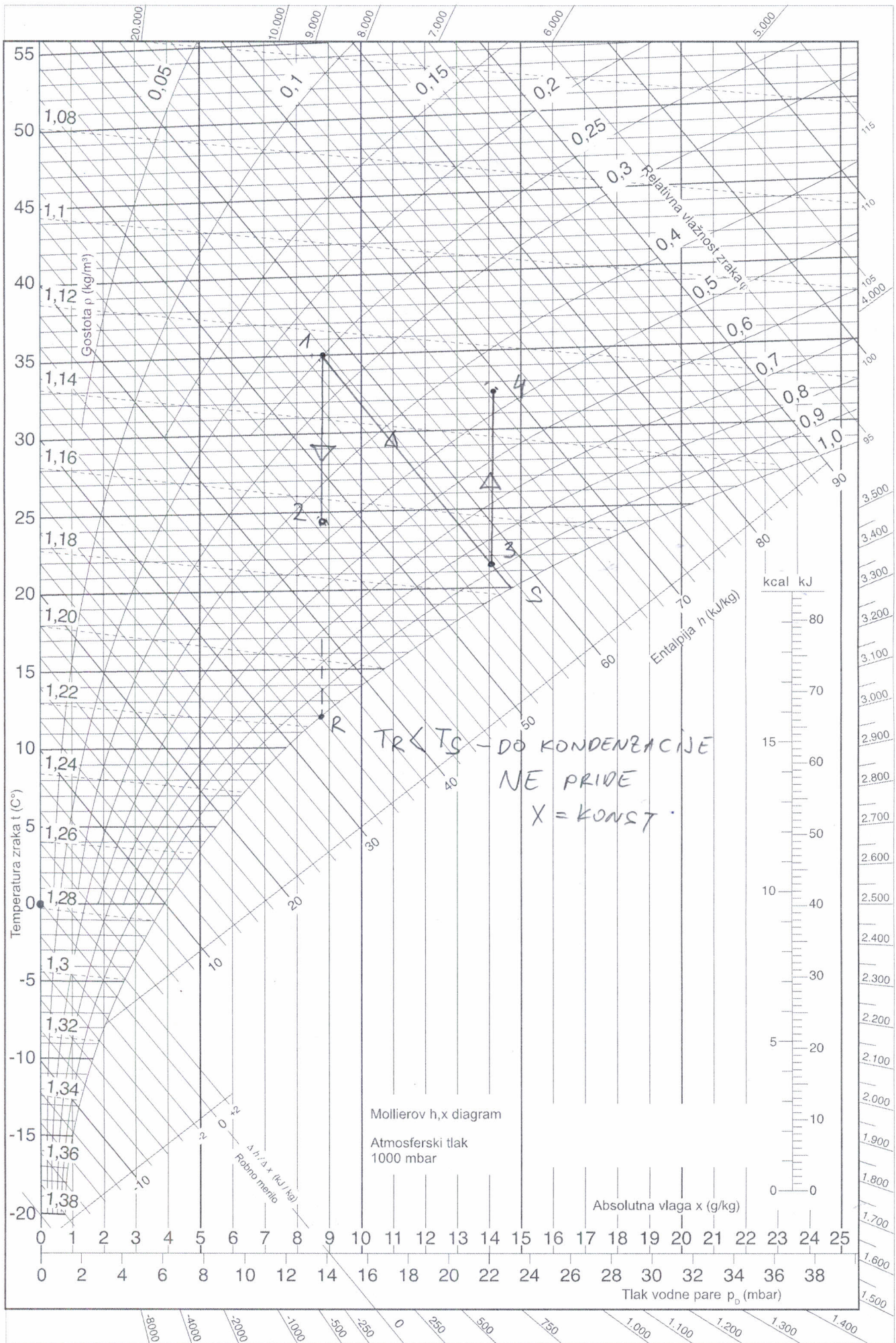
• MOČI:

$$\dot{m}_{zr} = \rho \cdot \dot{V} = 1,293 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 250 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \frac{1\text{h}}{3600\text{s}} \cdot \frac{0,9646\text{m}^2}{1\text{m}^2} = 0,06865 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{m}_{v13} = \dot{m}_{zr} \Delta X = 0,06865 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot (14,1 - 8,8) \frac{\text{g}}{\text{kg}} = 0,3638 \frac{\text{g}}{\text{s}}$$

$$\dot{Q}_{12} = \dot{m}_{zr} \Delta h_{12} = 0,06865 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot (57,5 - 46,8) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 0,7346 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{34} = \dot{m}_{zr} \Delta h_{34} = 0,06865 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot (68,5 - 57,5) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 0,7552 \text{ kW}$$



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.: $0.00123456 = 0.1235 \cdot 10^{-2}$ ali 1.235 kJ). Rešitev je pravilna, če je znotraj ± 5 na 3 pomembnem mestu. Grafično rešitev vrišete na priloženi diagram. Odčitane vrednosti zapisujte 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 dodatni list. Pretoki zraka pomenijo pretok suhega zraka pri normalnih pogojih. Pazite na enote!

1. Računsko s pomočjo tabel rešite napravo na spodnji sliki. Rezultate zapišite v tabelo.



	T[°C]	ϕ [%]	X[g/kg]	h[kJ/kg]	X _s [g/kg]	Stopnja vlaženja 20 <u>74.12</u> [%]
1	32	10	3.104	40.11	31.04	
2	18.80 ¹⁰	60.58 ¹⁰	8.366 ¹⁰	40.11	13.81	

1. $X = \phi \cdot X_s = 3.104 \text{ g/kg}$
 $h = 1.005 \cdot 32 + 3.104 (2.5 + 0.001926 \times 32) = 40.11 \text{ kJ/kg}$

1-2 $\dot{m}_v = \Delta X \cdot \dot{m}_{zR}$
 $\dot{m}_v = 0.5 \frac{\text{funt}}{\text{min}} \cdot \frac{0.4536 \text{ kg}}{1 \text{ funt}} \cdot \frac{\text{min}}{60 \text{ s}} = 0.00378 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$
 $\dot{m}_{zR} = 2000 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \cdot 1.293 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 0.7183 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$

$\Delta X = \frac{0.00378 \text{ kg v/s}}{0.7183 \text{ kg z/s}} = 5.262 \text{ g v/kg z}$

2. $X_2 = X_1 + \Delta X = 8.366 \text{ g/kg}$

$h_2 = h_1$

$t_2 = \frac{40.11 - 8.366 \cdot 2.5}{1.005 + 8.366 \cdot 0.001926} = 18.80 \text{ °C}$

$X_s(18.80 \text{ °C}) = 13.10 + \frac{0.8}{2} (14.88 - 13.10) = 13.81 \text{ g/kg}$

$\phi = \frac{X}{X_s} = 0.6058$

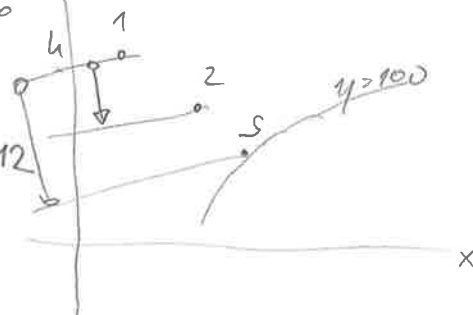
$t_s(h_s = 40.11 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}) \Rightarrow$

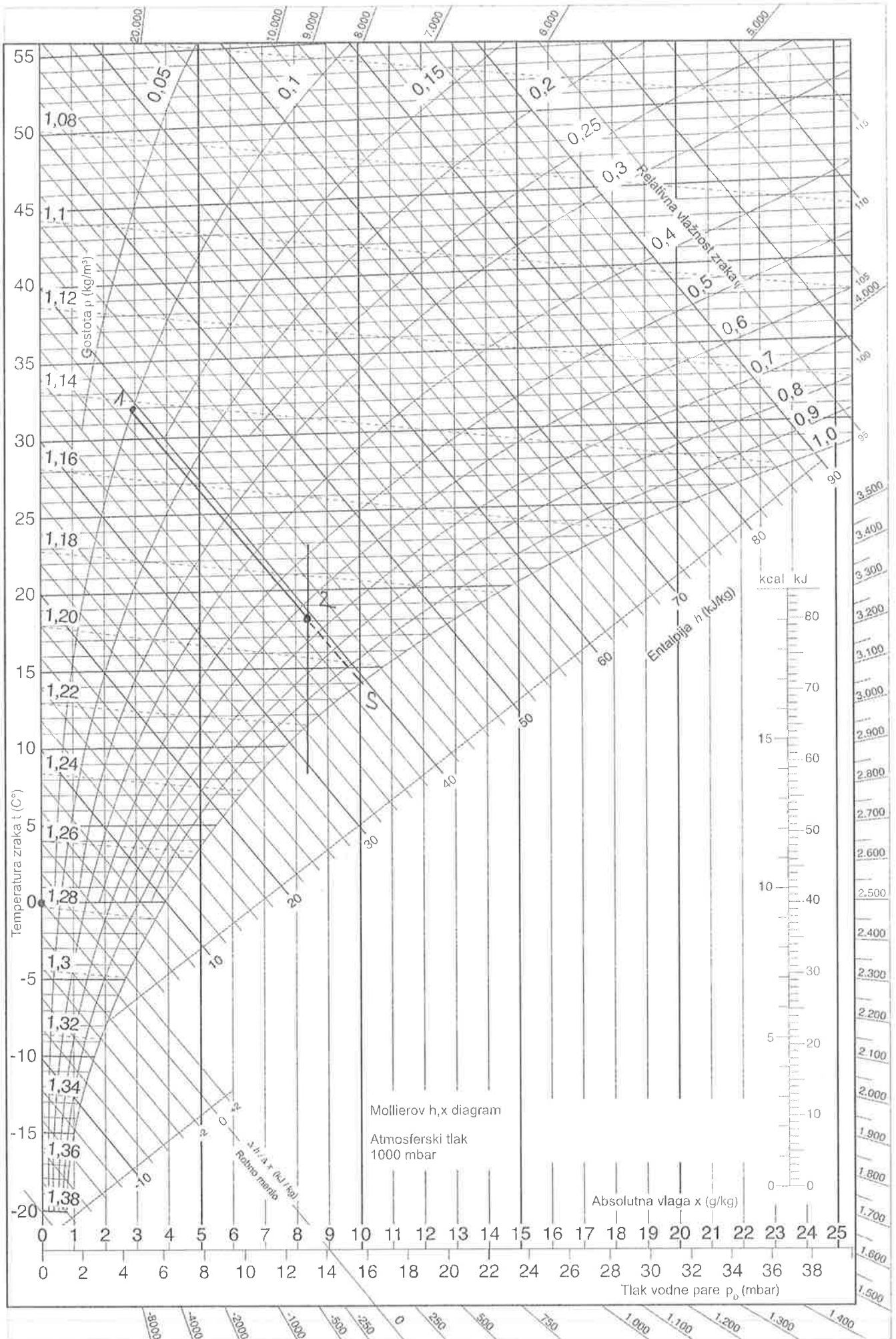
h_s	t_s
39.58	14
45.20	16

$\epsilon = \frac{40.11 - 39.58}{45.20 - 39.58} = 0.09431$

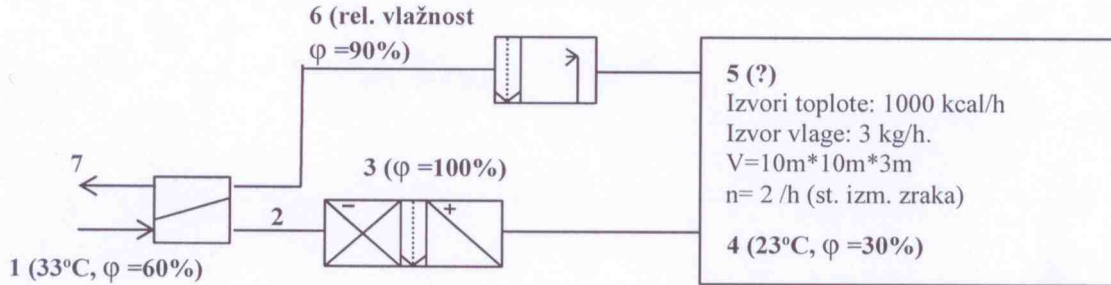
$t_s = 14.19 \text{ °C}$

$\eta = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_s} = \frac{32 - 18.80}{32 - 14.19} = 0.7412$





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 80% (temperaturna učinkovitost). Če nastane v rekuperatorju kondenzacija, predpostavite na izstopu 100% vlažnost.



	T[°C]	φ[%]	X[g/kg]	h[kJ/kg]
Tol +/-	0,6	4,	0,4	1,0
1	33	60	19.1	82.0
2	22.9	100	17.7	67.9
3	4.5	100	5.2	17.8
4	23	30	5.2	36.5
5	19.0	66	9.067	41.90
6	16.0	90	10.3	41.90
7	29.6	40	10.3	56.0

5x5%

Moč rekuperatorja	<u>3.039</u> [kW]
Hladilna moč 2-3	<u>10.80</u> [kW]
Grelna moč 3-4	<u>4.030</u> [kW]
Količina vode 2-3	<u>9.698</u> [kg/h]
Količina vode 5-6	<u>0.9565</u> [kg/h]

$$\dot{Q}_{45} = 1000 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} \cdot \frac{4.187 \text{ kJ}}{1 \text{ kcal}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 1.163 \text{ kW}$$

$$\dot{V} = V \cdot n = 10 \times 10 \times 3 \text{ m}^3 \cdot 2 / \text{h} = 600 \text{ m}^3 / \text{h}$$

$$\dot{m}_{zr} = \dot{V} \cdot \rho = 600 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \cdot 1.293 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 0.2155 \text{ kg/s}$$

$$\Delta X_{45} = \frac{\dot{m}_v}{\dot{m}_{zr}} = \frac{3 \text{ kg}_v \cdot \text{h}}{\text{h} \cdot 3600 \text{ s} \cdot 0.2155 \text{ kg}_z} = 3.867 \frac{\text{g}_v}{\text{kg}_z}$$

$$\Delta h_{45} = \frac{\dot{Q}_{45}}{\dot{m}_{zr}} = \frac{1.163 \text{ kJ/s}}{0.2155 \text{ kg/s}} = 5.397 \text{ kJ/kg}_z$$

o REKUPERATOR:

$$T_{\text{rosišče}}(1) = 24^\circ\text{C} > T_6 \Rightarrow \text{KONDENZIRA}$$

$$\Delta T = \eta \Delta T_{\text{max}} = 0.80 \cdot (33 - 16.0) = 13.6^\circ\text{C} \Rightarrow T_7 = 29.6^\circ\text{C}$$

$$\Delta h_{67} = 14.1 \text{ kJ/kg} = \Delta h_{12} \Rightarrow h_2 = 67.9 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{Q}_{12} = \Delta h_{12} \cdot \dot{m}_{zr} = 3.039 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{23} = \Delta h_{23} \cdot \dot{m}_{zr} = 10.80 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{34} = \Delta h_{34} \cdot \dot{m}_{zr} = 4.030 \text{ kW}$$

$$\dot{m}_{v23} = \Delta X_{23} \cdot \dot{m}_{zr} = 2.694 \frac{\text{g}_v}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_{v56} = \Delta X_{56} \cdot \dot{m}_{zr} = 0.2657 \frac{\text{g}_v}{\text{h}}$$

