



Fakulteta za strojništvo

UNIVERZA V MARIBORU
FAKULTETA ZA STROJNIŠTVO

Matjaž RAMŠAK

Zbirka rešenih izpitnih nalog pri predmetu
Klimatizacija (HVAC)
za študijsko leto 2020/2021



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

MARIBOR, oktober 2021

CIP – kataložni zapis o publikaciji
Univerzitetna knjižnica Maribor

[CIP številka]

Matjaž Ramšak
Zbirka rešenih izpitnih nalog pri
predmetu Klimatizacija (HVAC)
za študijsko leto 2021/2021/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 2021/2021
Avtor:	Matjaž Ramšak
Strokovni recenzenti:	Jure Marn, Matej Zadravec
Jezikovni recenzent:	Jerneja Lojen
Tehnični recenzenti:	Robi Kuserbanj
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://kepoi.fs.um.si/sl/p/matjaz-ramsak/klimatizacija-hvac-rezultati-in-reseni-izpiti
Sistemske zahteve (e-pub):	računalnik, internetni dostop
Programske zahteve (e-pub):	internetni brskalnik, program Adobe Reader

KAZALO

Prazni izpiti za reševanje

Izpit 5. 2. 2021	4
Kolokvij 2. 5. 2021	6
Izpit 17. 6. 2021	8
Izpit 3. 9. 2021	10

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

Rešeni izpiti

Izpit 5. 2. 2021	13
Kolokvij 20. 5. 2021	17
Izpit 17. 6. 2021	20
Izpit 3. 9. 2021	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 izpitov. 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 veliko veselja in uspeha.

Asistent Matjaž Ramšak

HVAC, 05. 02. 2021

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 $\pm$ 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 na h-x diagramu.

1 (30°C , rel. vlažnost= ??%,
200 $\text{čevljev}^3/\text{min}$)



2 (18°C , 60 %)

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

Stopnja razvlaževanja

_____ [%]

Hladilna moč

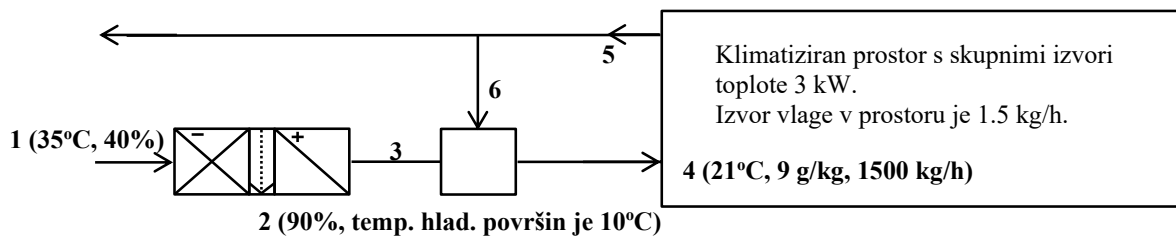
_____ [kW]

Količina izločene vode

_____ [kg/h]

HVAC, 05. 02. 2021

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]

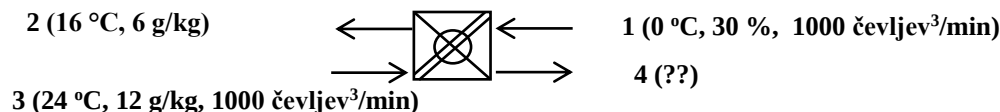
Količina izločene vode v napravi: _____ [kg/h]

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 $\pm$ 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 regenerator vlažnega zraka na spodnji sliki. Izračunajte učinkovitost vračanja senzibilne latentne toplote. V primeru kondenzacije, predpostavite 100 % vlažnost na izstopu iz regeneratorja. Rezultate zapišite v tabelo.



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

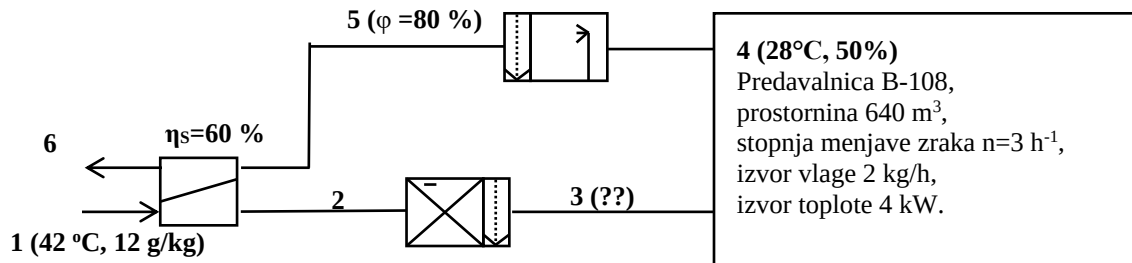
Toplotna moč regeneratorja

_____ [kW]

Učinkovitost vračanja senzibilne toplote _____ [%]

Učinkovitost vračanja latentne toplote _____ [%]

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 $\eta_s=60\%$.



	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]

Rosišče stanja 1 _____ [°C]

Temp. vlažnega termometra stanja 1
_____ [°C]

HVAC, 17. 06. 2021

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 $\pm$ 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!**

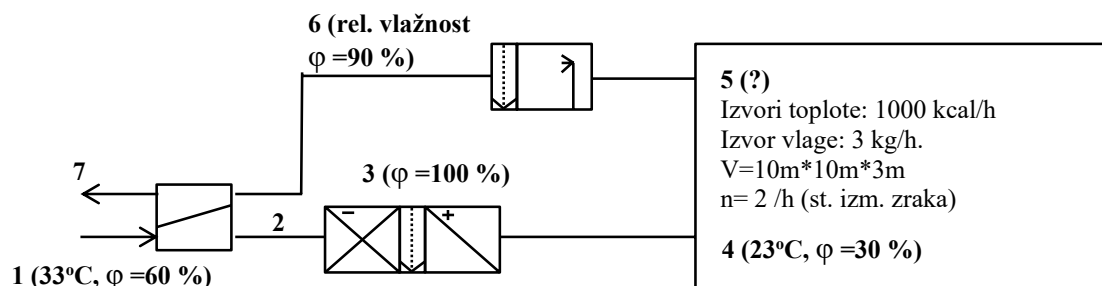
1. **Računsko** s pomočjo tabel rešite nalogo za napravo na spodnji sliki. Rezultate zapišite v tabelo.



	T[°C]	ϕ [%]	X[g/kg]	h[kJ/kg]	Xs[g/kg]	Stopnja vlaženja _____ [%]
1						
2						

HVAC, 17. 06. 2021

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				

Moč rekuperatorja _____ [kW]

Hladilna moč 2-3 _____ [kW]

Grelna moč 3-4 _____ [kW]

Količina vode 2-3 _____ [kg/h]

Količina vode 5-6 _____ [kg/h]

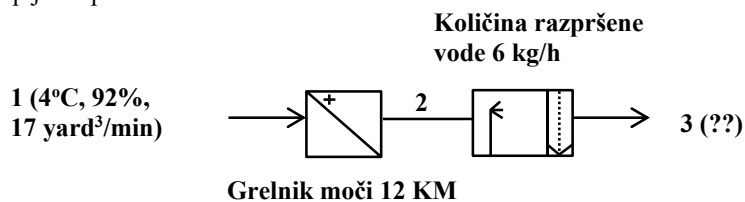
HVAC, 03. 09. 2021

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 $\pm$ 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!**

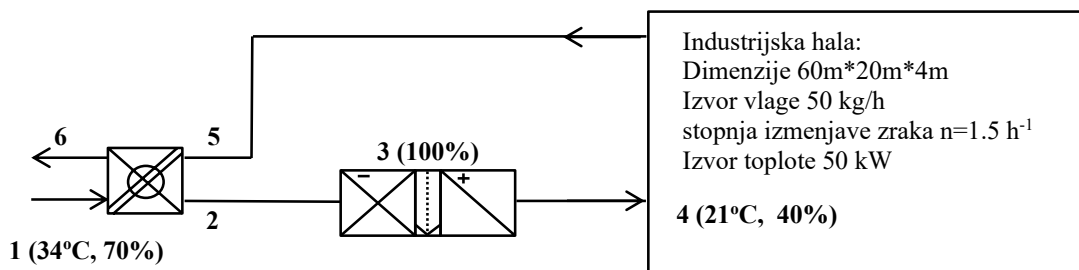
1. **Računsko** s pomočjo tabel rešite napravo na sliki in rezultate zapišite v tabelo. Pazite na enote (KM=konjska moč). Entalpijo razpršene vode smete zanemariti.



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

HVAC, 03. 09. 2021

2. S pomočjo **h-x diagrama** rešite nalogo za klimatizacijsko napravo na sliki. Naprava vsebuje regenerator zraka z izkoristkom prenosa senzibilne toplote 75% in latentne toplote 63%.



	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 regenerotorja _____ [kW]

HVAC, 05. 02. 2021

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 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 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 $\text{čevljev}^3/\text{min}$)2 (18°C , 60%)

	T[°C]	ϕ [%]	X[g/kg]	h[kJ/kg]	Xs[g/kg]
1	30	33.41	9.204	53.78	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	1.926 [kW]	10
Količina izločene vode	0.5908 [kg/h]	10

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

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

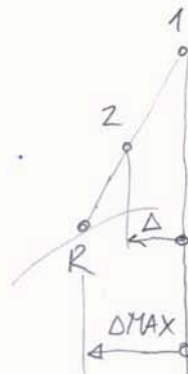
$$h_R = 1.005 \cdot 8 + 6.740 (2.5 + 0.001926 \cdot 8) = 24.99 \text{ kJ/kg}$$

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

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

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

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

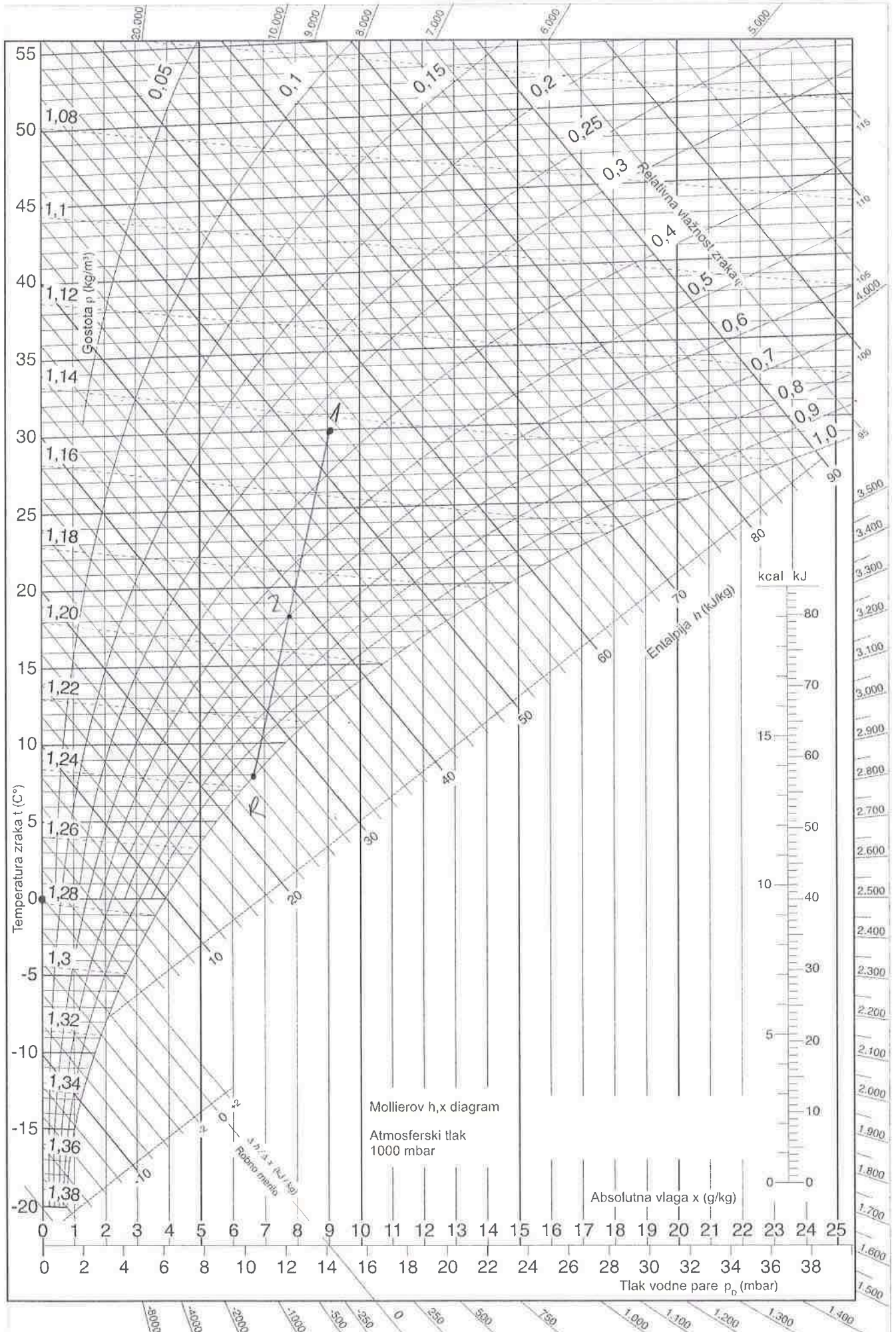


$$h_1 = 1.005 \cdot 30 + 9.240 (2.5 + 0.001926 \cdot 30) = 53.78 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{m}_{\text{zr}} = \phi \cdot \dot{V} = 1.293 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 200 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 4.31 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

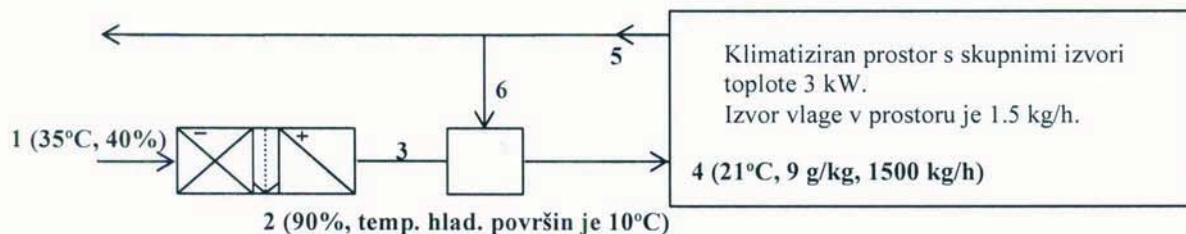
$$\dot{Q} = \dot{m}_{\text{zr}} \Delta h = 4.31 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot (53.78 - 38.01) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 1.926 \text{ kW}$$

$$\dot{m}_v = \dot{m}_{\text{zr}} \Delta X = 4.31 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot (9.204 - 7.860) \frac{\text{g}}{\text{kg}} = 0.1641 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$



HVAC, 05. 02. 2021

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: 9.787 [kW] (15)

Kol. izločene vode v napravi: 5.376 [kg/h] (15)

točka 5 :

$$\dot{Q}_{45} = \dot{m}_{72} \cdot \Delta h_{45} \Rightarrow \Delta h_{45} = \frac{3 \text{ kW} \cdot 3600 \text{ s}}{1500 \text{ kg} \cdot \text{h}} = 7.200 \text{ kJ/kg}$$

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

$$\dot{m}_{v45} = \dot{m}_{72} \cdot \Delta X_{45} \Rightarrow \Delta X_{45} = \frac{1.5 \text{ kg} \cdot \text{h}}{1500 \text{ kg} \cdot \text{h}} = 1 \text{ g/kg} = 1 \frac{\text{g}}{\text{kg}_{72}}$$

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

točka 3 :

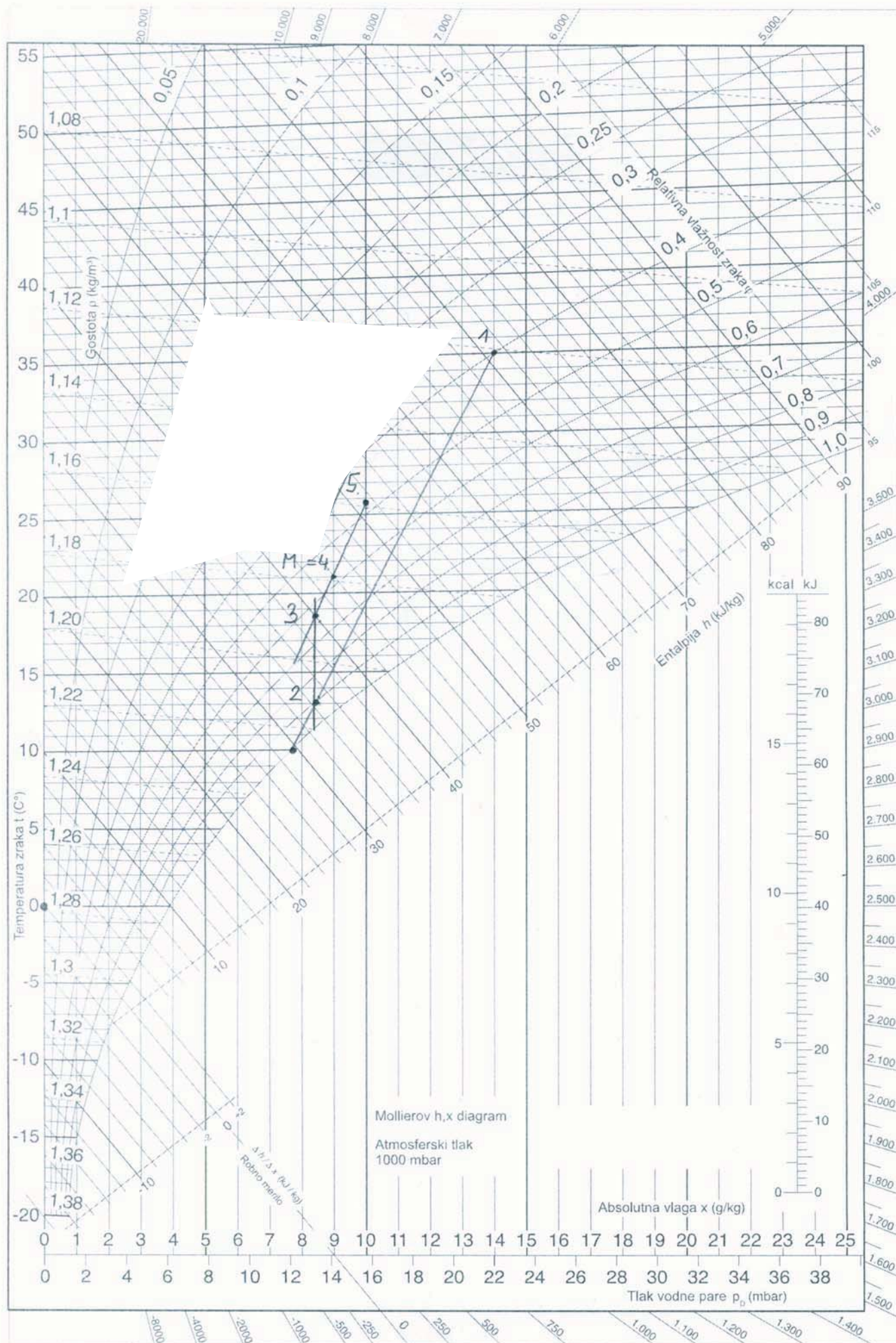
$$\frac{\overline{3M}}{\overline{5M}} = \frac{\dot{m}_6}{\dot{m}_3} = \frac{9 \text{ mm}}{16 \text{ mm}} = 0.5625 \Rightarrow \dot{m}_6 = 0.5625 \dot{m}_3$$

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

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

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

$$\dot{m}_{v12} = \dot{m}_3 \cdot \Delta X_{12} = 960 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot (14 - 8.4) \frac{\text{g}}{\text{kg}_{72}} = 5376 \frac{\text{g}}{\text{h}}$$



HVAC, kolokvij, 20.05.2021

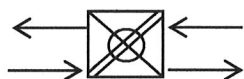
50%	50%

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 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. 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 regenerator vlažnega zraka na spodnji sliki. Izračunajte učinkovitost vračanja senzibilne latentne toplote. V primeru kondenzacije, predpostavite 100 % vlažnost na izstopu iz regeneratorja. Rezultate zapišite v tabelo.

2 (16 °C, 6 g/kg)

1 (0 °C, 30 %, 1000 čevljev³/min)3 (24 °C, 12 g/kg, 1000 čevljev³/min)

4 (??)

	T[°C]	φ[%]	X[g/kg]	h[kJ/kg]	Xs[g/kg]
1	0	30	1.146	2.866	3.821
2	16	52.13	6	31.26	11.51
3	24	62.76	12	54.67	19.12
4	8.570	100	7.021	26.28	7.021

Toplotna moč regeneratorja

17.33 [kW] (10)

Učinkovitost vračanja senzibilne toplote 66.67 [%] (5)

Učinkovitost vračanja latentne toplote 44.72 [%] (5)

$$\textcircled{1} \quad x = 0.30 \cdot 3.821 = 1.146 \text{ g/kg}$$

$$h = 1.146 \cdot 2.5 = 2.866 \text{ kJ/kg}$$

$$\textcircled{2} \quad \varphi = 6/11.51 = 0.5213$$

$$h = 1.005 \cdot 16 + 6(2.5 + 0.001926 \cdot 16) = 31.26 \text{ kJ/kg}$$

$$\textcircled{3} \quad \varphi = 12/19.12$$

$$h = 24 \cdot 1.005 + 12(2.5 + 0.001926 \cdot 24) = 54.67 \text{ kJ/kg}$$

④ ROSIŠČE ③: 16.8 °C >> T_H = 0 °C, KONDENZACIJA JE, φ₄ = 100 %

$$\Delta h_{12} = 28.39 \text{ kJ/kg} = \Delta h_{34}; \quad h_4 = h_3 - \Delta h_{34} = 54.67 - 28.39 = 26.28 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\begin{array}{c} h \\ 8 \quad 24.99 \\ 10 \quad 29.52 \end{array} \quad \varphi = \frac{26.28 - 24.99}{29.52 - 24.99} = 0.2848 \quad t = 8.570 \text{ °C}$$

$$x_s = \varphi(7.727 - 6.740) + 6.740 = 7.021 \text{ g/kg}$$

$$\eta_s = \frac{\Delta t}{\Delta t_{\max}} = \frac{16 - \phi}{24 - \phi} = 0.6667$$

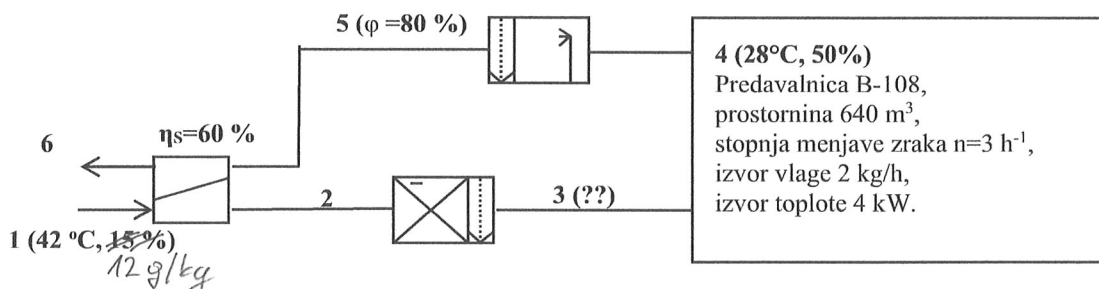
$$\eta_L = \frac{\Delta x}{\Delta x_{\max}} = \frac{6 - 1.146}{12 - 1.146} = 0.4472$$

$$1000 \frac{\text{foot}^3}{\text{min}} \cdot \frac{\text{min}}{60 \text{ s}} \cdot \frac{28.32 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{1 \text{ foot}^3} = 0.4720 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\dot{m} = \dot{V} \cdot \rho = 0.4720 \cdot 1.293 = 0.6103 \text{ kg/s}$$

$$\dot{Q} = \dot{m} \Delta h = 0.6103 \cdot 28.39 = 17.33 \text{ kW}$$

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 $\eta_s = 60\%$.



	T[°C]	φ[%]	X[g/kg]	h[kJ/kg]
tol	0,6	4,	0,4	1,0
1	42	23	12	73,0
2 (5)	30,60	44	—	61,4
3	24,2	59	11,19	53,00
4	28	50	12,0	58,8
5 (5)	23,0	80	14,0	—
6 (5)	34,40	42	—	70,2

Lastnosti razvlaževalnika:

hladilna moč 5,793 [kW] (5)

stopnja razvlaževanja 38,55 [%] (5)

temperatura hladilnih površin 14,0 [°C] (5)

Rosišče stanja 1 16,7 [°C] (5)

Temp. vlažnega termometra stanja 1 24,1 [°C] (5)

$$h_5 = h_4$$

REKUPERATOR : ROSIŠČE (42°C, 15%) = 16,7°C < t₅ = 23°C, KONDENZACIJE NI!

$$\Delta t = \eta_s \cdot \Delta t_{max} = 0,60 \times (42 - 23,0) = 11,4^\circ\text{C} \quad \left\{ \begin{array}{l} t_2 = 30,60^\circ\text{C} \\ t_6 = 34,40^\circ\text{C} \end{array} \right.$$

$$\text{kontrola} \quad \Delta h_{12} = 11,6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \approx \Delta h_{56} = 11,4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad \checkmark$$

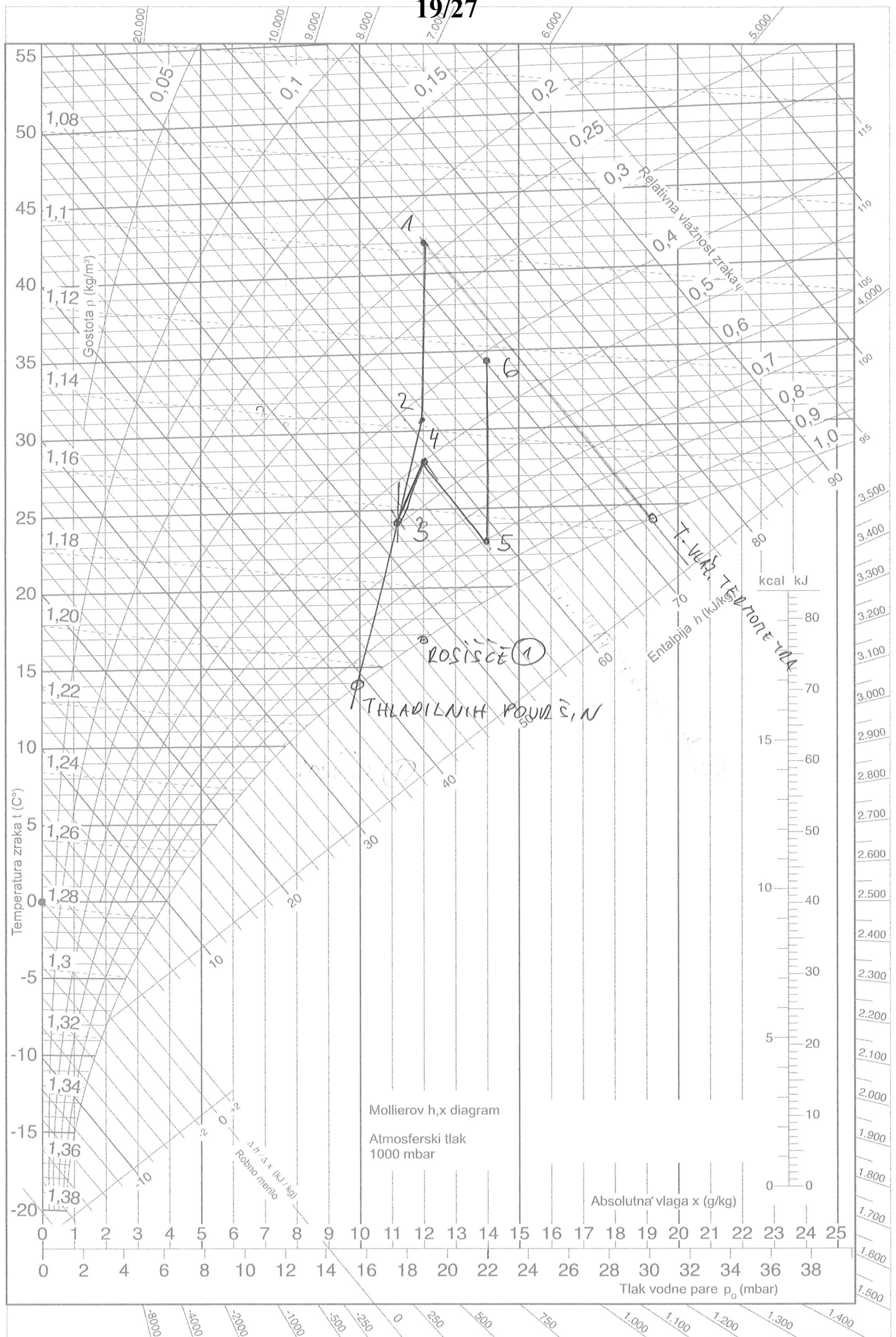
$$\dot{m}_{qr} = \rho \cdot \dot{V} = 1,293 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 640 \text{ m}^3 \cdot \frac{3}{h} \cdot \frac{1h}{3600s} = 0,6896 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_v = \Delta X \cdot \dot{m}_{qr} \Rightarrow \Delta X_{34} = \frac{\dot{m}_v}{\dot{m}_{qr}} = \frac{2 \text{ kg/h}}{0,6896 \text{ kg/s} \cdot 3600 \text{ s/h}} = 0,8056 \text{ g/kg}$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_{qr} \cdot \Delta h \Rightarrow \Delta h = \frac{\dot{Q}}{\dot{m}_{qr}} = \frac{4 \text{ kW}}{0,6896 \text{ kg/s}} = 5,800 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\eta_s = \frac{\Delta t}{\Delta t_{max}} = \frac{30,6 - 24,2}{30,6 - 14,0} = 0,3855$$

$$\dot{Q}_{23} = \dot{m}_{qr} \cdot \Delta h = 5,793 \text{ kW} = 0,6896 \cdot (61,4 - 53,0)$$



HVAC, 17. 06. 2021

50%	50%

Priimek in ime: _____

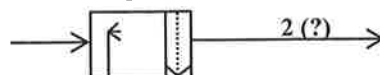
Vpisna številka: _____

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 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 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.

1 (32°C, 10 %
2000 m³/h)

Količina uparjene vode: 0.5 funt/min



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

$$(1) \quad X = \phi \cdot X_s = 3.104 \text{ g/kg}$$

$$h = 1.005 \cdot 32 + 3.104 (2.5 + 0.001926 \times 32) = 40.11 \text{ kJ/kg}$$

$$(1-2) \quad \dot{m}_v = \Delta X \cdot \dot{m}_{zR}$$

$$\dot{m}_v = 0.5 \frac{\text{funt}}{\text{min}} \cdot \frac{0.4536 \text{ kg}}{1 \text{ funt}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 0.00378 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{m}_{zR} = 2000 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \cdot 1.293 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 0.7183 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

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

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

$$h_2 = h_1$$

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

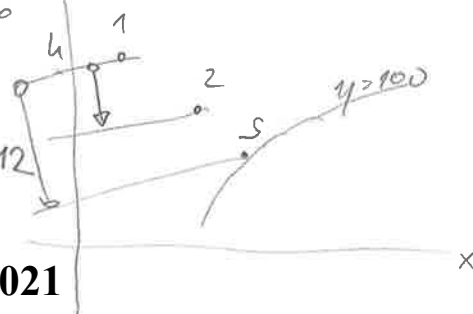
$$X_s(18.80^\circ \text{C}) = 13.10 + \frac{0.8}{2} (14.88 - 13.10) = 13.81 \text{ g/kg}$$

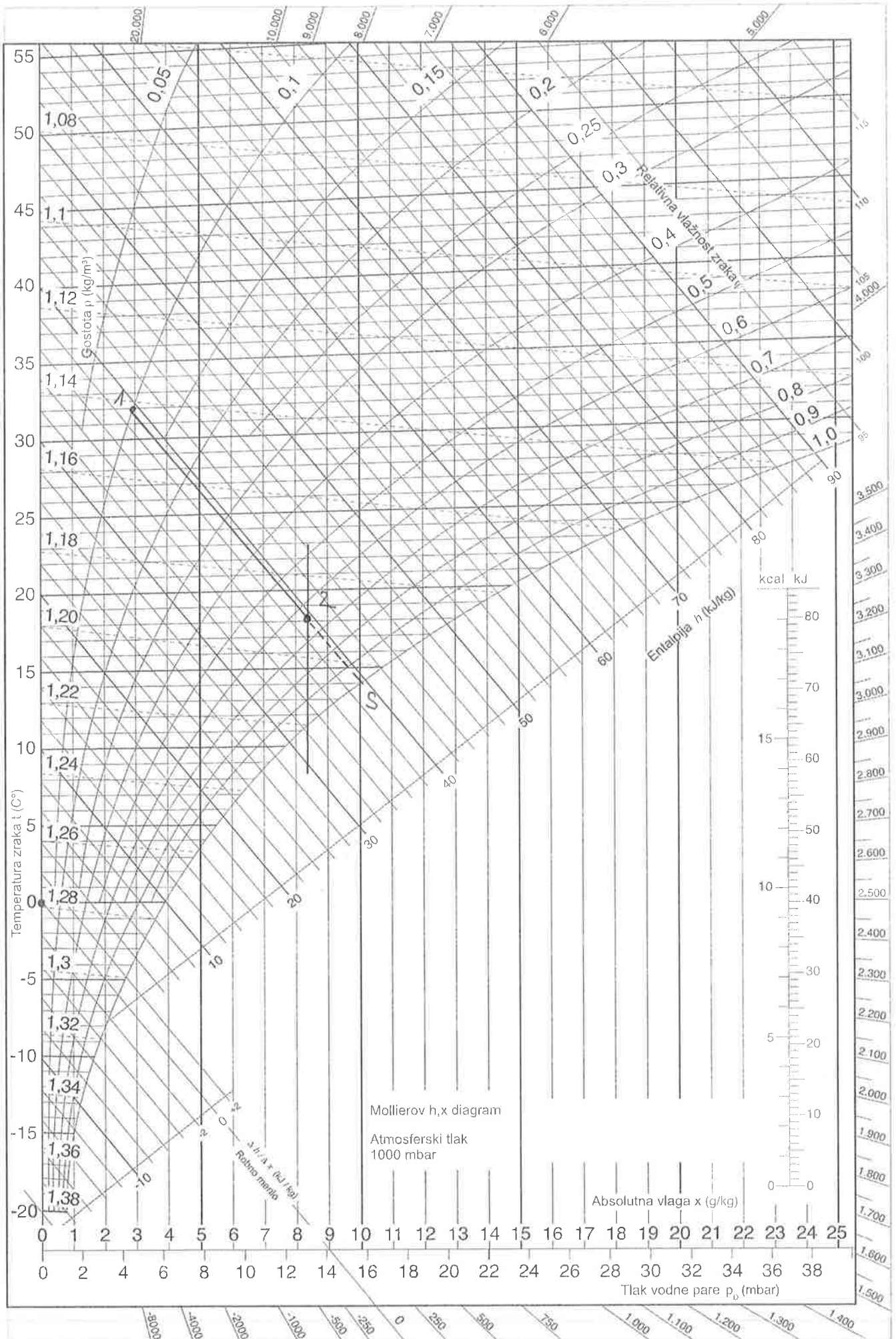
$$\phi = \frac{X}{X_s} = 0.6058$$

$$t_s(h_s = 40.11 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}) \Rightarrow \begin{matrix} h_s & t_s \\ 39.58 & 14 \\ 45.20 & 16 \end{matrix} \quad \epsilon = \frac{40.11 - 39.58}{45.20 - 39.58} = 0.09431$$

$$t_s = 14.19^\circ \text{C}$$

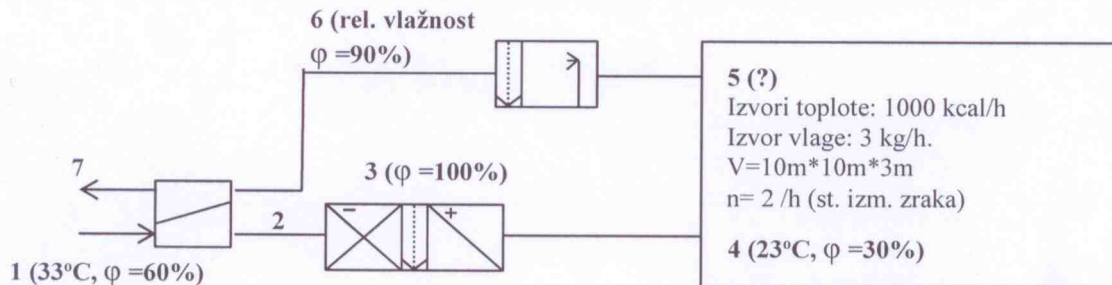
$$\eta = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_s} = \frac{32 - 18.80}{32 - 14.19} = 0.7412$$





HVAC, 17. 06. 2021

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

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

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

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

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

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

o REKUPERATOR:

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

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

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

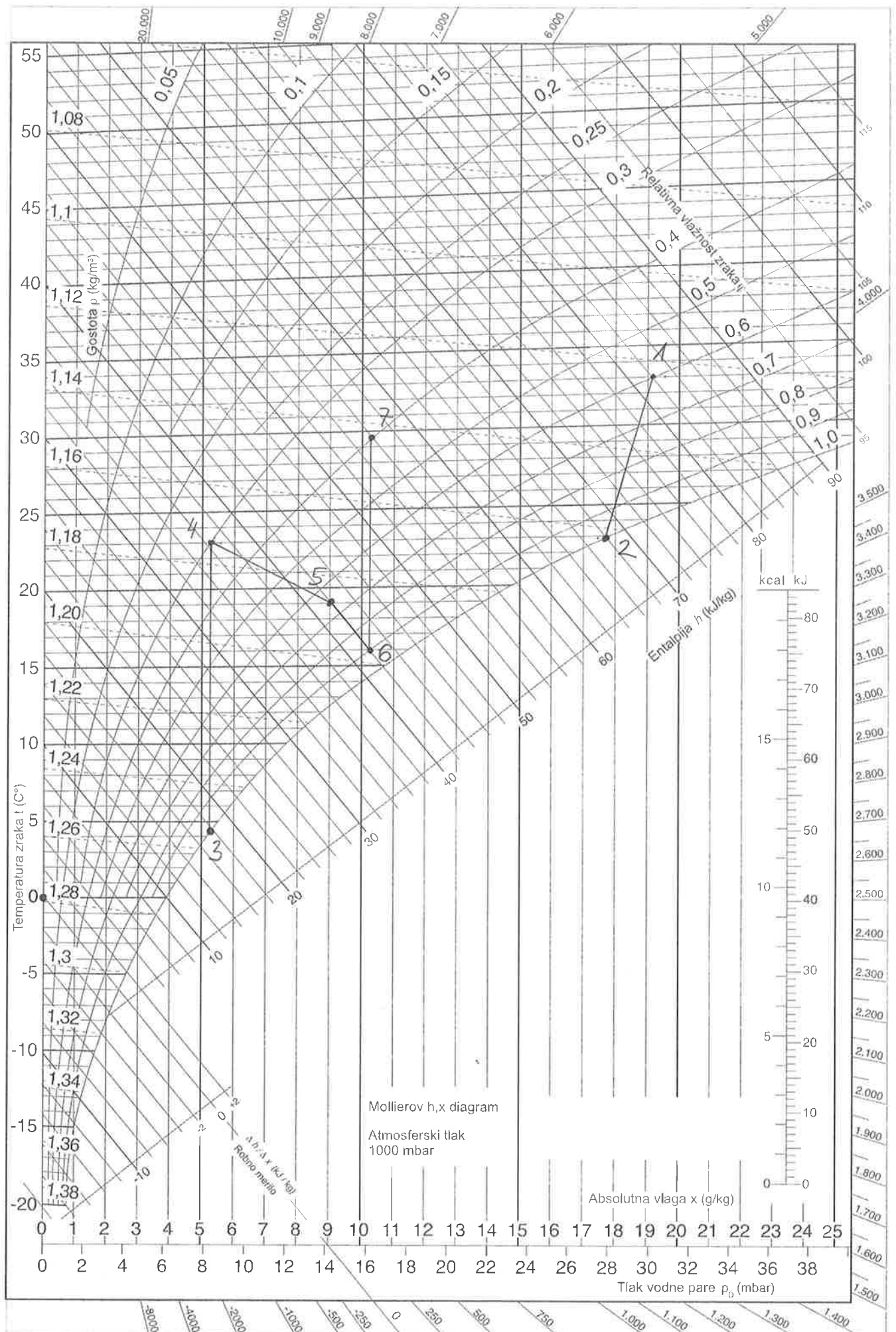
$$\dot{Q}_{12} = \Delta h_{12} \cdot \dot{m}_{zr} = 3.039 \text{ kW}$$

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

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

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

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



HVAC, 03. 09. 2021

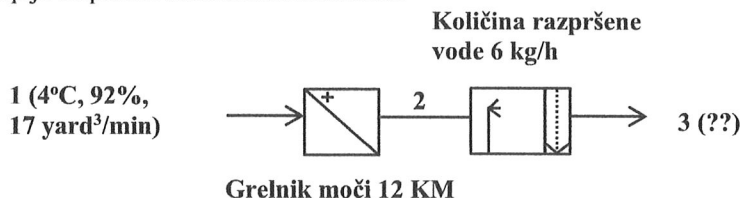
50%	50%

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.: $0.00123456 = 0.1235 \times 10^{-2}$ ali 1.235 kJ). Rešitev je pravilna, če je znotraj ± 5 na 3 pomembnem mestu. Grafično rešitev vrišete na priloženi diagram. Odčitane vrednosti 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. 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. Pazite na enote (KM=konjska moč). Entalpijo razpršene vode smete zanemariti.



	T[°C]	φ[%]	X[g/kg]	h[kJ/kg]	Xs[g/kg]
1	4	92	4.690	15.78	5.098
2	35.07	12.59	-11-	47.29	37.26
3	20.18	70.65	10.64	-11-	15.06

$$\dot{V} = 17 \frac{\text{yard}^3}{\text{min}} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{35.315 \text{ yard}^3} = 0.481 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\dot{m} = 0.481 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1.293 \text{ kg/m}^3 = 0.622 \text{ kg/s}$$

$$\Delta h_{12} = \frac{\dot{Q}}{\dot{m}} = \frac{5.355 \text{ kW}}{0.622 \text{ kg/s}} = 8.61 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{Q} = 12 \text{ KM} \cdot 0.7355 \text{ kW/KM} = 8.826 \text{ kW}$$

$$(1) \quad x = \phi \cdot X_s \quad ; \quad h = 1.005 \cdot t + 4.690 (0.001926 \cdot t + 2.5) = 15.78 \text{ kJ/kg}$$

$$(2) \quad h_2 = h_1 + \Delta h_{12} \quad t = \frac{47.29 - 4.690 \cdot 2.5}{1.005 + 4.690 \cdot 0.001926} = 35.07^\circ\text{C}$$

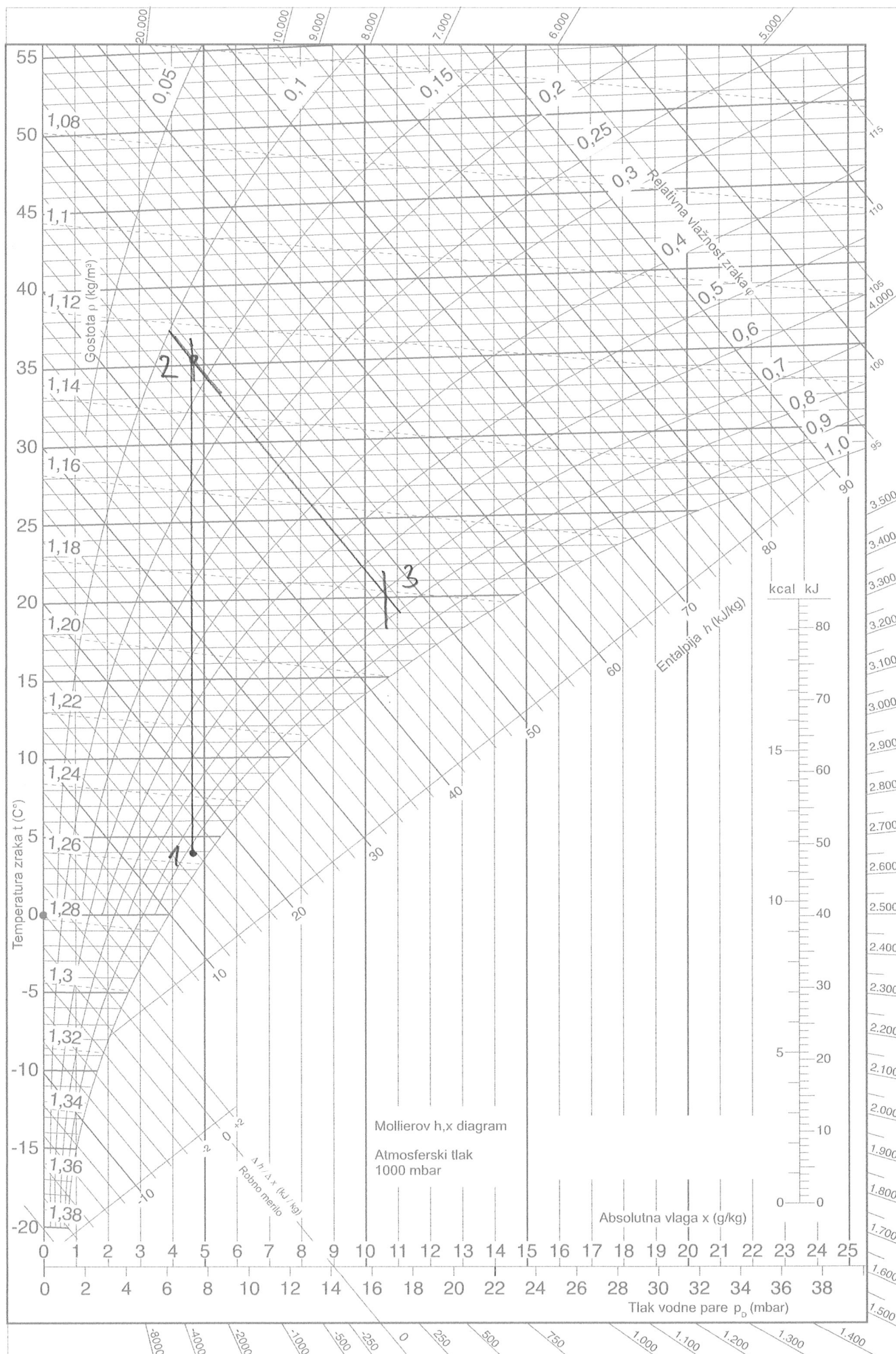
$$X_s(35.07^\circ\text{C}) = 34.94 + \frac{1.07}{2} (39.28 - 34.94) = 37.26 \text{ g/kg}$$

$$\Delta X_{23} = \dot{m}_v / \dot{m}_z = \frac{6 \text{ kg/h}}{1 \cdot 3600 \cdot 0.622 \text{ kg/s}} = 5.950 \text{ g/kg}$$

$$(3) \quad X_3 = X_2 + \Delta X_{23}$$

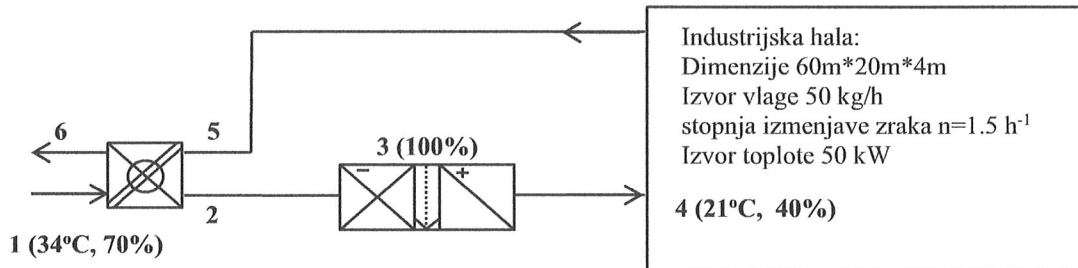
$$t = \frac{47.29 - 10.64 \cdot 2.5}{1.005 + 10.64 \cdot 0.001926} = 20.18^\circ\text{C}$$

$$X_s(20.18^\circ\text{C}) = 14.88 + \frac{0.18}{2} (16.88 - 14.88) = 15.06 \text{ g/kg}$$



HVAC, 03. 09. 2021

2. S pomočjo **h-x diagrama** rešite nalogo za klimatizacijsko napravo na sliki. Naprava vsebuje regenerator zraka z izkoristkom prenosa senzibilne toplote 75% in latentne toplote 63%.



	T[°C]	ϕ [%]	X[g/kg]	h[kJ/kg]
Tol +/-	0,6	4,	0,4	1,0
1	34	70	24,4	96,5
2	28,83	66	16,32	70,7
3	6,7	100	6,2	22,5
4	21	40	6,2	36,8
5	27,1	52	11,57	56,13
6	32,28	64	19,65	82,2

Značilnosti prezračevalne naprave:

Hladilna moč 2-3 124,6 [kW]Grelna moč 3-4 36,98 [kW]Toplotna moč regeneratorsja 67,24 [kW]3 x 10

$$\dot{V} = V \cdot n = (60 \times 20 \times 4) \text{ m}^3 \cdot 1.5 / \text{h} = 7200 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 2.0 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\dot{m} = \rho \cdot \dot{V} = 1.293 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 2 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 2.586 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\Delta X = \frac{4m_v}{m_z} = \frac{50 \text{ kg} \cdot \text{h}}{2.586 \text{ kg} \cdot 3600 \text{ s}} = 5.371 \frac{\text{g}}{\text{kg}_z}$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_z \cdot \Delta h \Rightarrow \Delta h = \frac{\dot{Q}}{\dot{m}_z} = \frac{50 \text{ kW} \cdot \text{A} \cdot \text{s}}{2.586 \text{ kg} \cdot \text{A}} = 19.33 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

REKUP.

$$\Delta t = \eta_s \cdot \Delta t_{\max} = 0.75 (34 - 27.1) = 5.175 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta X = \eta_L \cdot \Delta X_{\max} = 0.63 (24.4 - 11.57) = 8.083 \frac{\text{g}}{\text{kg}}$$

ROSIŠČE ① = 27.5 °C $\approx t_5 = 27.1$; KONDENZACIJA JE MOŽNA, PRAVILNA
KONTROLA: OBA PRISTOPA

$$\Delta h_{12} = 25.8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\Delta h_{56} = 26.1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{Q} = \Delta h \cdot \dot{m}_{zr} = 26.0 \cdot 2.586 = 67.24 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{23} = (70.7 - 22.5) 2.586 = 124.6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{Q}_{34} = (36.8 - 22.5) 2.586 = 36.98 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

