



Fakulteta za strojništvo

UNIVERZA V MARIBORU
FAKULTETA ZA STROJNIŠTVO

Matjaž RAMŠAK

Zbirka rešenih izpitnih nalog pri predmetu
Klimatizacija (HVAC)
za študijsko leto 2021/2022



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

MARIBOR, oktober 2022

CIP – kataložni zapis o publikaciji
Univerzitetna knjižnica Maribor

[CIP številka]

Matjaž Ramšak
Zbirka rešenih izpitnih nalog pri
predmetu Klimatizacija (HVAC)
za študijsko leto 2022/2022/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 2021/2022
Avtor:	Matjaž Ramšak
Strokovni recenzenti:	Jure Marn, Matej Zadravec
Jezikovni recenzent:	Tanja Sukič iz TAIA INT d. o. o.
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 27. 1. 2022	4
Izpit 5. 5. 2022	6
Izpit 16. 6. 2022	8
Izpit 8. 9. 2022	10

Diagram h-x	12
-------------	----

Rešeni izpiti

Izpit 27. 1. 2022	13
Izpit 5. 5. 2022	17
Izpit 16. 6. 2022	21
Izpit 8. 9. 2022	25

NAVODILO

Ta 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, 27. 1. 2022

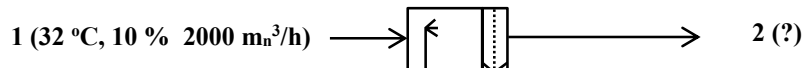
Priimek in ime: _____ Vpisna številka: _____

50 %	50 %

Ocenjujem pravilnost številskih rezultatov. Za pravilni postopek praviloma ne podeljujem odstotkov. Pri **računskih** nalogah zaokrožite števila na 4 pomembna mesta (npr.: $0.00123456 = 0.1235 \text{ e-2}$ ali 1.235 kJ). Rešitev je pravilna, če je znotraj ± 5 na 3 pomembnem mestu. **Grafično rešitev** vrišete na priloženi diagram. Odčitane vrednosti zaokrožite na toliko decimalnih mest, 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 diagramu h-x. Za reševanje nalog imate 90 minut časa. Pišite kar na to polo. 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.

Količina uparjene vode: 0.5 funt/min



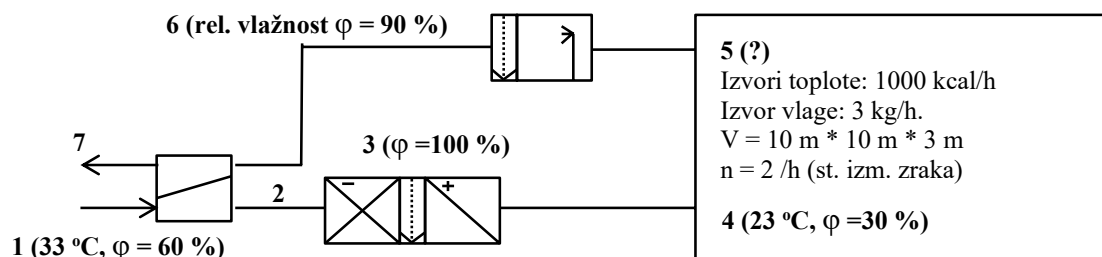
	T [°C]	φ [%]	X [g/kg]	h [kJ/kg]	X _s [g/kg]
1					
2					

Stopnja vlaženja

_____ [%]

HVAC, 27. 1. 2022

2. S pomočjo diagrama h-x **grafično** 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]

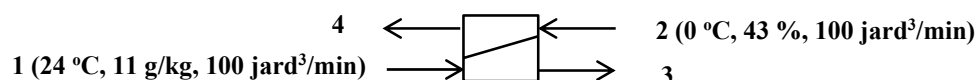
HVAC, 5. 5. 2022

Priimek in ime: _____ Vpisna številka: _____

50 %	50 %

Ocenjujem pravilnost številskih rezultatov. Za pravilni postopek praviloma ne podeljujem odstotkov. Pri **računskih** nalogah zaokrožite števila na 4 pomembna mesta (npr.: $0.00123456 = 0.1235 \text{ e-2}$ ali 1.235 kJ). Rešitev je pravilna, če je znotraj ± 5 na 3 pomembnem mestu. **Grafično rešitev** vrišete na priloženi diagram. Odčitane vrednosti zaokrožite na toliko decimalnih mest, 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 diagramu h-x. Za reševanje nalog imate 90 minut časa. Pišite kar na to polo. 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.

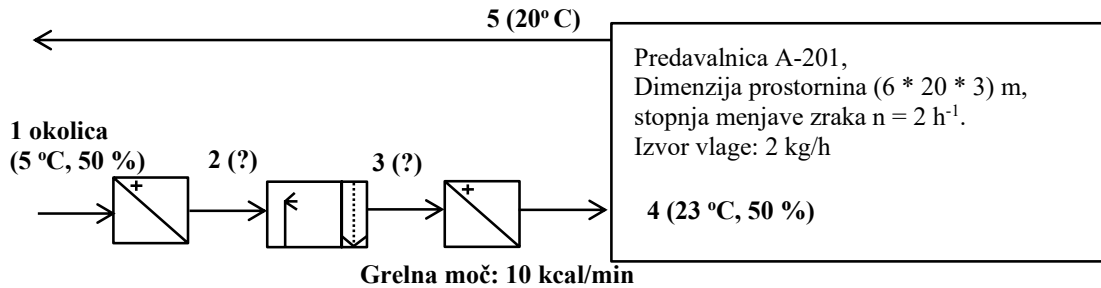


	T [°C]	ϕ [%]	X [g/kg]	h [kJ/kg]	Xs [g/kg]
1					
2					
3					
4					

Količina izločene vode _____ [kg/h]
 Toplotna moč _____ [kW]
 Temperaturna učinkovitost _____ [%]

HVAC, 5. 5. 2022

2. S pomočjo diagrama h-x **grafično** rešite nalogo za klimatizacijsko napravo na sliki. Kolikšna bi bila skupna grelna moč, če ne bi imeli vlažilnika zraka (torej segrejemo zrak na temperaturo 23 °C, točka 4' v tabeli)?



	T [°C]	ϕ [%]	X [g/kg]	h [kJ/kg]	Toplotne izgube prostora _____ [kW]
tol	0,6	4,	0,4	1,0	Značilnosti prezračevalne naprave:
1					Grelna moč 1 - 4 _____ [kW]
2					Kol. vode za vlaženje 2 - 3 _____ [kg/h]
3					Grelna moč 1 - 4' brez vlažilnika zraka _____ [kW]
4					
5					
4'					

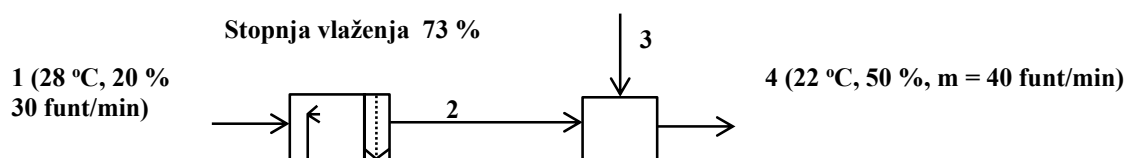
HVAC, 16. 6. 2022

Priimek in ime: _____ Vpisna številka: _____

50 %	50 %

Ocenjujem pravilnost številskih rezultatov. Za pravilni postopek praviloma ne podeljujem odstotkov. Pri **računskih** nalogah zaokrožite števila na 4 pomembna mesta (npr.: $0.00123456 = 0.1235 \text{ e-2}$ ali 1.235 kJ). Rešitev je pravilna, če je znotraj ± 5 na 3 pomembnem mestu. **Grafično rešitev** vrišete na priloženi diagram. Odčitane vrednosti zaokrožite na toliko decimalnih mest, 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 diagramu h-x. Za reševanje nalog imate 90 minut časa. Pišite kar na to polo. Po potrebi dobite dodatni list. Pretoki zraka pomenijo pretok suhega zraka pri normalnih pogojih. **Pazite na enote!**

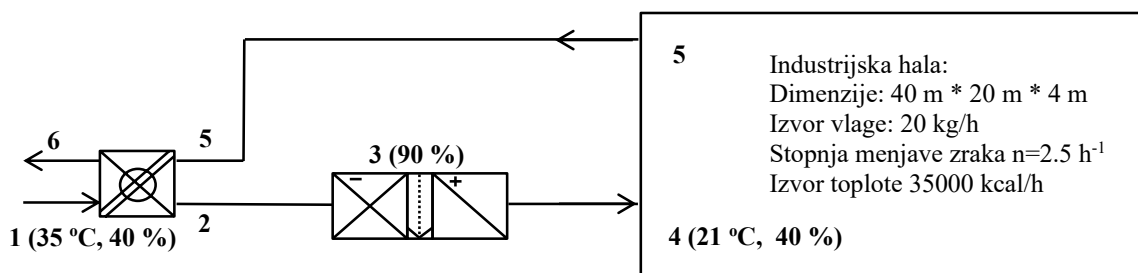
1. **Računsko** s pomočjo tabel rešite naslednjo napravo na sliki in rezultate zapišite v tabelo.



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

HVAC, 16. 6. 2022

2. S pomočjo diagrama h-x **grafično** rešite nalogo za klimatizacijsko napravo na sliki. Naprava vsebuje regeneratorski zrak z izkoristkom izmenjave senzibilne toplote 70 % in latentne toplote 60 %. V primeru



	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]

Temp. hladilnih površin 2 - 3 _____ [°C]

Toplotna moč reg. _____ [kW]

Rosišče stanja 1 (*) _____ [°C]

Temp. vlažnega termometra stanja 1 (*)
_____ [°C]

(*) v primeru nepravilnega rezultata, negativni odstotki -10% za vsak nepravilen rezultat

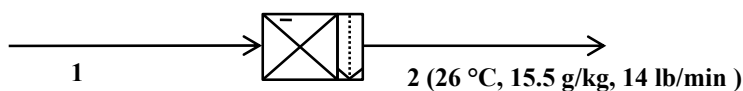
HVAC, 8. 9. 2022

Priimek in ime: _____ Vpisna številka: _____

50 %	50 %

Ocenjujem pravilnost številskih rezultatov. Za pravilni postopek praviloma ne podeljujem odstotkov. Pri **računskih** nalogah zaokrožite števila na 4 pomembna mesta (npr.: $0.00123456 = 0.1235 \text{ e-2}$ ali 1.235 kJ). Rešitev je pravilna, če je znotraj ± 5 na 3 pomembnem mestu. **Grafično rešitev** vrišete na priloženi diagram. Odčitane vrednosti zaokrožite na toliko decimalnih mest, 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 diagramu h-x. Za reševanje nalog imate 90 minut časa. Pišite kar na to polo. Po potrebi dobite dodatni list. Pretoki zraka pomenijo pretok suhega zraka pri normalnih pogojih. **Pazite na enote!**

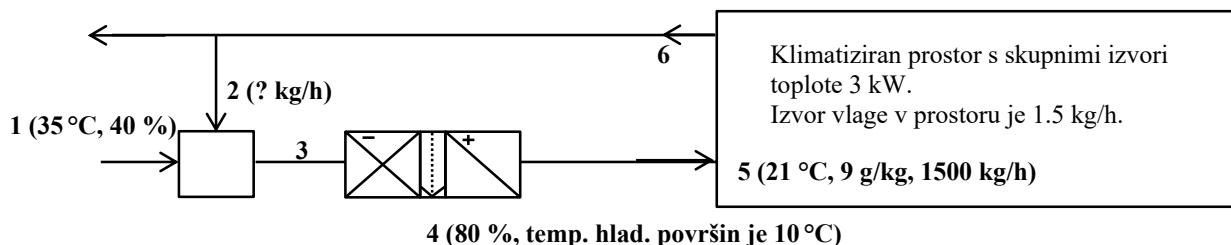
1. **Računsko** s pomočjo tabel rešite naslednjo napravo na sliki in rezultate zapišite v tabelo. Povprečna temperatura hladilnih površin v hladilniku je 10°C . Pretok hladilnega medija v hladilnih površinah je 20 litrov/min (snovne lastnosti hladilnega medija so: gostota 1.2 lb/liter , toplotna prevodnost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



	T [$^\circ\text{C}$]	ϕ [%]	X [g/kg]	h [kJ/kg]	Xs [g/kg]	Količina izločene vode _____ [kg/h] Stopnja sušenja _____ [%]
1						
2						

HVAC, 8. 9. 2022

2. S pomočjo diagrama h-x **grafično** rešite nalogo za klimatizacijsko napravo na sliki. Rezultat mešanja (točka 3) je treba določiti grafično iz diagrama. Temperatura hladilnih površin v hladilniku zraka je 10 °C. Na izstopu iz hladilnika zraka predpostavimo 80 % relativno vlažnost zraka.



	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]

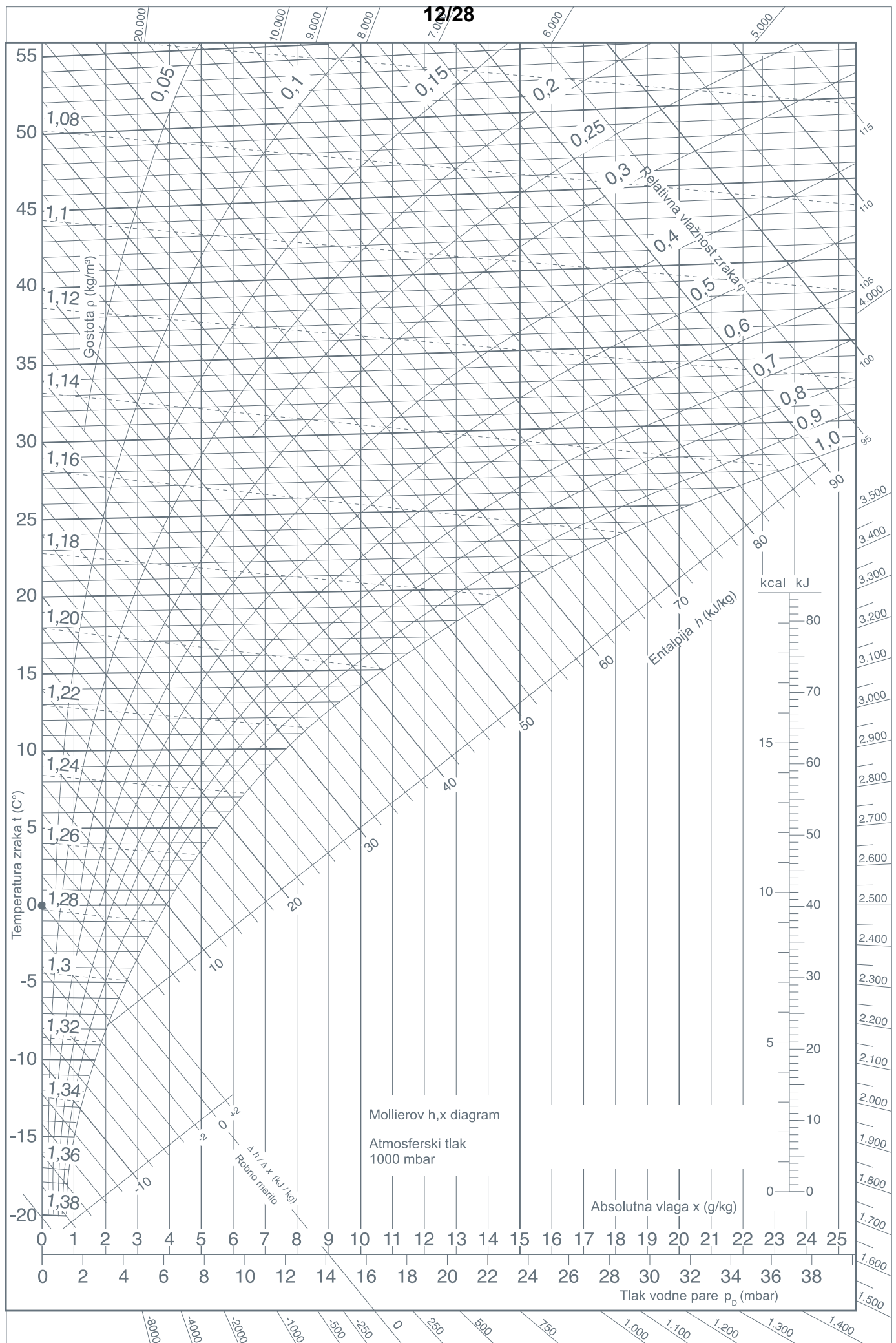
Hladilna moč naprave, če ne bi imeli mešanja.
Hladimo celotno potrebno količino okoliškega
zraka na stanje 4

_____ [kW]

Rosišče stanja 1 (*) _____ [°C]

Temp. vlažnega termometra stanja 1 (*)
_____ [°C]

(*) v primeru nepravilnega rezultata, negativni odstotki -10 % za vsak nepravilen rezultat



HVAC, 27. 1. 2022

50%	50%

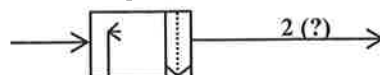
Priimek in ime: _____ Vpisna številka: _____

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 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	

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

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

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

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

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

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

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

$$h_2 = h_1$$

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

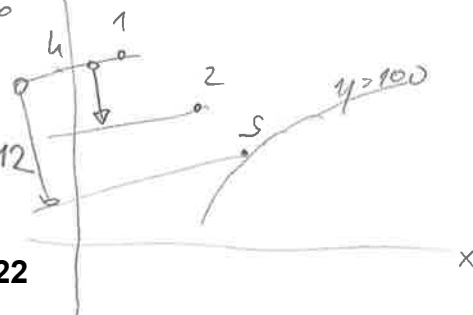
$$X_s(18.80^\circ \text{C}) = 13.10 + \frac{0.8}{2} (14.88 - 13.10) = 13.81 \text{ g/kg}$$

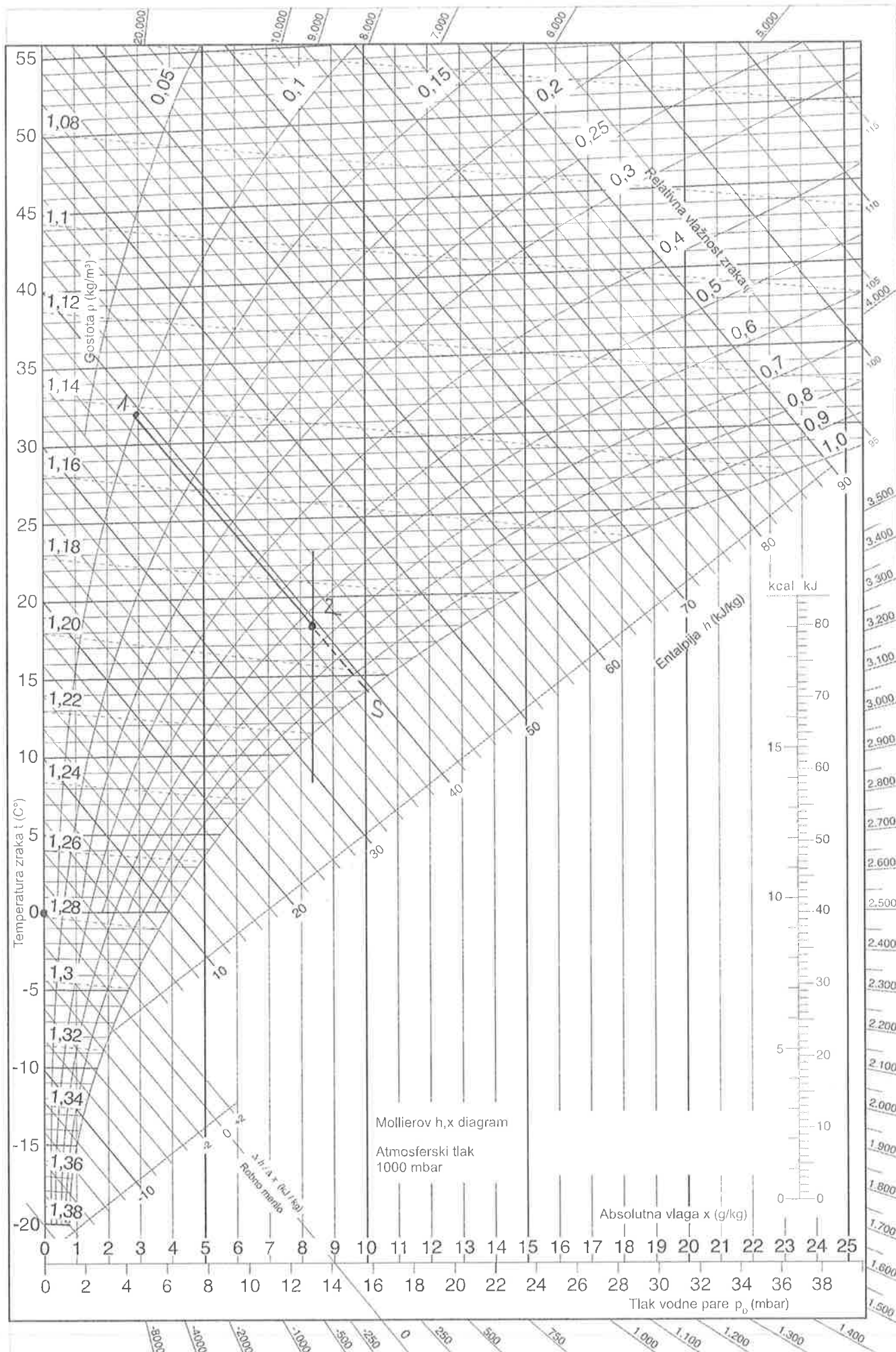
$$\phi = \frac{X}{X_s} = 0.6058$$

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

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

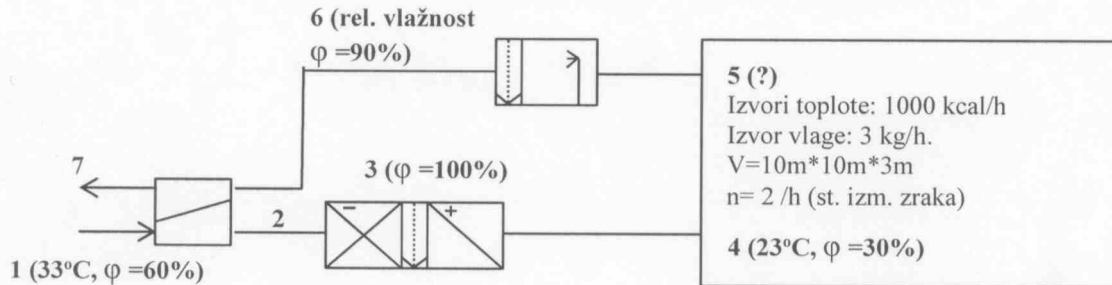
$$\eta = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_s} = \frac{32 - 18.80}{32 - 14.19} = 0.7412$$





HVAC, 27. 1. 2022

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	9.0675	41.905
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]

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

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

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

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

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

o REKUPERATOR:

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

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

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

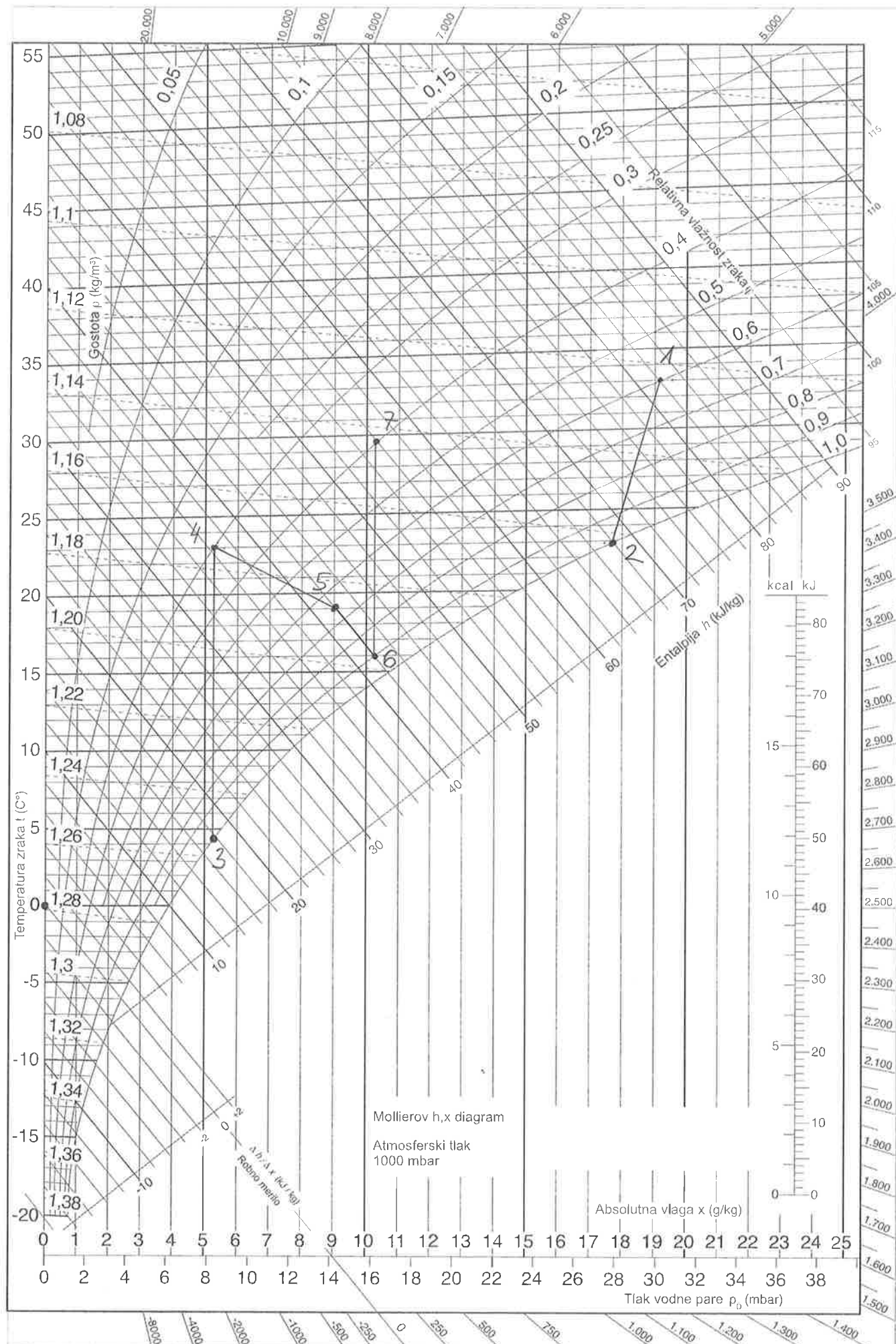
$$\dot{Q}_{12} = \Delta h_{12} \cdot \dot{m}_{\text{zr}} = 3.039 \text{ kW}$$

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

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

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

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



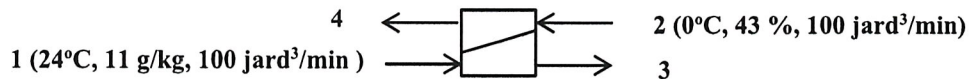
HVAC, 5. 5. 2022

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.: $0.00123456 = 0.1235 \times 10^{-3}$ ali 1.235 kJ). Rešitev je pravilna, če je znotraj ± 5 na 3 pomembnem mestu. Grafično rešitev vrišete na priloženi diagram. Odčitane vrednosti zaokrožite na toliko decimalnih mest, 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. Za reševanje nalog imate 90 minut časa. Pišite kar na to polo. 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]
1	24	57.53	11	52.13	19.12
2	0	43	1.643	4.108	3.821
3	10.45	100	7.976	30.60	7.976
4	21.36	10.12	1.643	25.64	16.24

Količina izločene vode 17.94 [kg/h] 10
 Toplotna moč 35.48 [kW] 10
 Temperaturna učinkovitost 89 [%]

$$\dot{m} = \frac{100 \text{ l/s}}{\text{min}} \cdot \frac{0.7646 \text{ m}^3}{\text{l}} \cdot \frac{\text{min}}{60 \text{ s}} \cdot 1.293 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1.648 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$h_1 = 1.005 \cdot 24 + 11 (0.001926 \cdot 24 + 2.5) = 52.13 \text{ kJ/kg}$$

KONDENZACIJA JE (DIAGRAM) ROZIŠČE ① = 15.5 > 0°C

$$\Delta t = \eta_s \cdot \Delta t_{\max} = 0.89 (24 - 0) = 21.36^\circ\text{C} \Rightarrow t_4 = 21.36^\circ\text{C}$$

$$h_4 = 21.36 \cdot 1.005 + 1.643 (0.001926 \cdot 21.36 + 2.5) = 25.64 \text{ kJ/kg}$$

$$X_{s4}(21.36) = 14.88 + \frac{1.36}{2} (16.88 - 14.88) = 16.24 \text{ g/kg}$$

$$\Delta h_{13} = \Delta h_{24} = (25.64 - 4.108) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 21.53 \text{ kJ/kg}; h_3 = 30.60 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

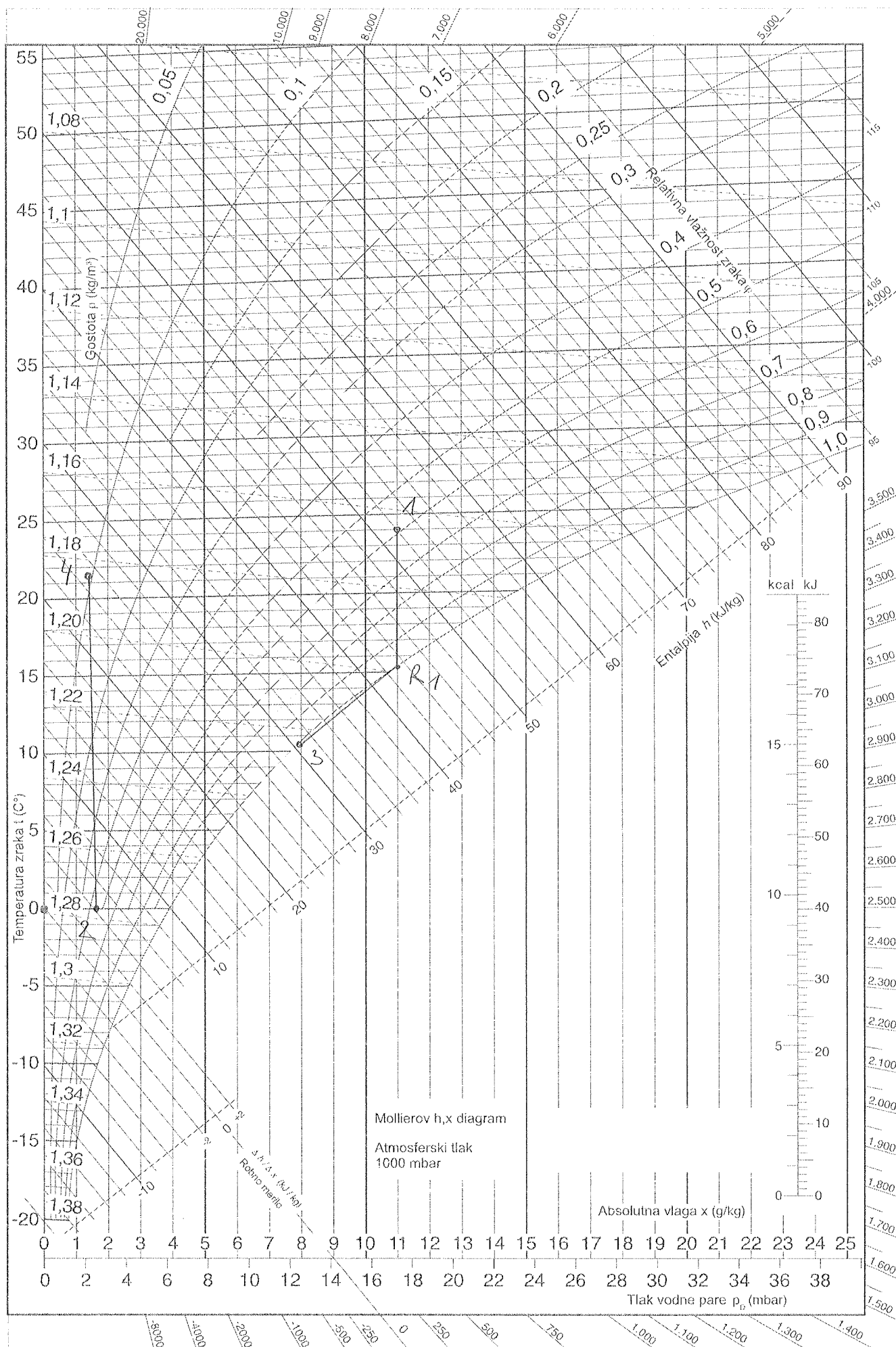
$$\epsilon = \frac{30.60 - 29.52}{34.36 - 29.52} = 0.2231$$

$$t_s = 10.45 \quad X_s = 7.727 + \epsilon (8.841 - 7.727) = 7.976 \frac{\text{g}}{\text{kg}}$$

$$\dot{m}_v = \dot{m}_{tr} \Delta X_{13} = 1.648 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot (11 - 7.976) \frac{\text{g}}{\text{kg}} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} = 17.94 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

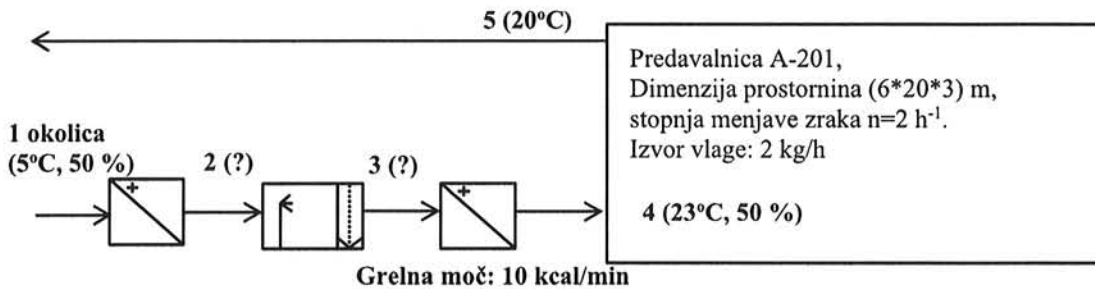
$$\dot{Q} = 1.648 \times 21.53 = 35.48 \text{ kW}$$

$$\eta_s = \frac{\Delta t}{\Delta t_{\max}} = 0.89$$



HVAC, 5. 5. 2022

2. S pomočjo h-x diagrama **grafično** rešite nalogo za klimatizacijsko napravo na sliki. Kolikšna bi bila skupna grelna moč, če ne bi imeli vlažilnika zraka (torej segrejemo zrak na temperaturo 23°C, točka 4' v tabeli)?



4x5%

	T [°C]	ϕ [%]	X [g/kg]	h [kJ/kg]	
tol	0,6	4,	0,4	1,0	Toplotne izgube prostora <u>0.6206</u> [kW]
1	5	50	2.7	11.8	Značilnosti prezračevalne naprave:
2	36.0	7	2.7	42.80	Grelna moč 1-4 <u>8.717</u> [kW]
3	20.5	58	8.8	42.80	Kol. vode za vlaženje 2-3 <u>5.679</u> [kg/h]
4	23	50	8.8	45.5	Grelna moč 1-4' brez vlažilnika zraka
5	20	75	10.95	47.9	<u>4.681</u> [kW]
4'	23	13	2.7	29.9	

$$10 \frac{\text{kcal}}{\text{min}} \cdot \frac{4.187 \text{ kJ}}{\text{kcal}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 0.6978 \text{ kW}$$

$$\dot{m} = 1.293 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 360 \text{ m}^3 \cdot \frac{2}{3600 \text{ s}} = 0.2586 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\Delta h_{34} = \frac{\dot{Q}_{34}}{\dot{m}} = \frac{0.6978 \text{ kJ/s}}{0.2586 \text{ kg/s}} = 2.698 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta X_{45} = \frac{\dot{m}_v}{\dot{m}} = \frac{2 \text{ kg/h}}{0.2586 \text{ kg/s} \cdot 3600 \text{ s/h}} = 2.148 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}_v}{\text{kg}_z} = 2.148 \frac{\text{g}_v}{\text{kg}_z}$$

$$\dot{Q}_{45} = \dot{m} \Delta h_{45} = 0.2586 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot (47.9 - 45.5) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 0.6206 \text{ kW}$$

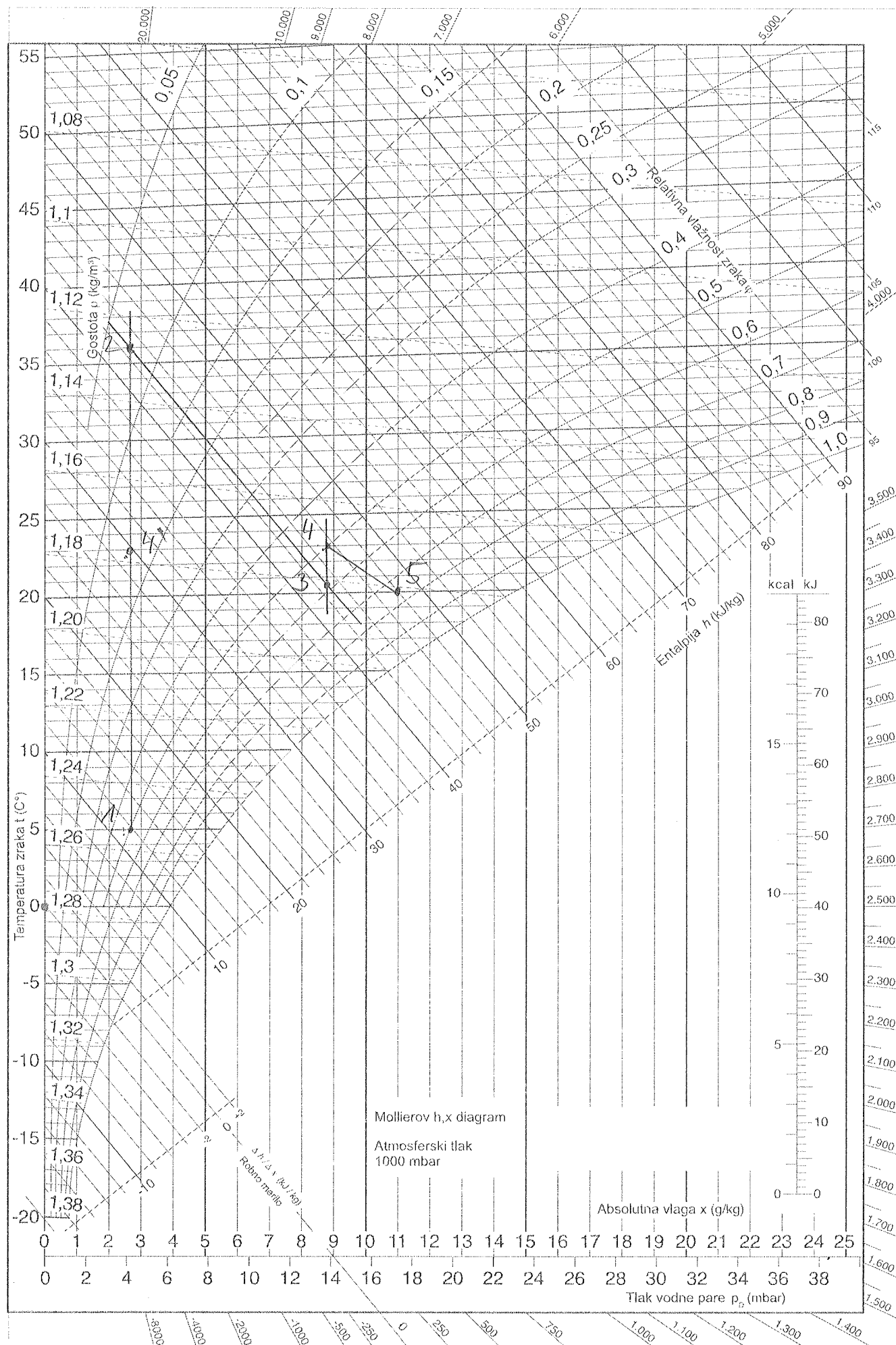
$$\dot{Q}_{12} = 0.2586 (42.80 - 11.8) = 8.017 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{14} = \dot{Q}_{12} + \dot{Q}_{34} = 8.717 \text{ kW}$$

$$= 5.679 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_{v23} = \dot{m} \Delta X = 0.2586 \frac{\text{kg}_z}{\text{s}} \cdot (8.8 - 2.7) \frac{\text{g}_v}{\text{kg}_z} = 1.577 \frac{\text{g}_v}{\text{s}} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{\text{h}} \cdot \frac{\text{kg}_v}{1000 \text{ g}_v}$$

$$\dot{Q}_{14'} = 0.2586 (29.9 - 11.8) = 4.681 \text{ kW}$$



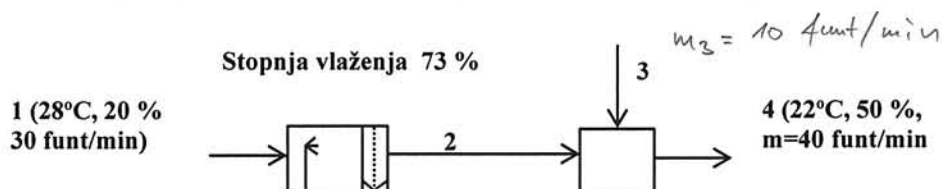
HVAC, 16. 6. 2022

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 zaokrožite na toliko decimalnih mest, 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. Za reševanje nalog imate 90 minut časa. Pišite kar na to polo. 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]	Količina vbrizgane vode
1	28	20	4.884	40.61	24.42	3.263 [kg/h] 5
20=2	18.01 ⁵	67.75 ⁵	8.881 ⁵	40.61	13.11 ⁵	
25=3	34.02 ⁵	20.35 ⁵	7.117 ⁵	52.45 ⁵	34.98 ⁵	
4	22	50	8.440	43.57	16.88	
25	14.37	100	10.36	40.61	10.36	

$$h_1 = 1.005 \cdot 28 + 4.884 (28 \cdot 0.001926 + 2.5) = 40.61 \text{ kJ/kg}$$

$$\begin{array}{l} t \\ h_s \\ 14 \quad 39.58 \\ 16 \quad 45.20 \end{array}$$

$$\epsilon = \frac{40.61 - 39.58}{45.20 - 39.58} = 0.1839 \quad t_s = 14.37^\circ\text{C}$$

$$X_s = 10.10 + \epsilon (11.51 - 10.10) = 10.36 \text{ g/kg}$$

$$\Delta X = \eta \cdot \Delta X_{\max} = 0.73 (10.36 - 4.884) = 3.997 \text{ g/kg}$$

$$X_2 = X_1 + \Delta X = 8.881 \text{ g/kg}$$

$$t_2 = \frac{40.61 - 8.881 \cdot 2.5}{1.005 + 8.881 \cdot 0.001926} = 18.01^\circ\text{C}$$

$$X_s(18.01) = 13.10 + \frac{0.01}{2} (14.88 - 13.10) = 13.11 \text{ g/kg}$$

$$30 \frac{\text{fpm}}{\text{min}} \cdot \frac{0.4536 \text{ kg}}{\text{fpm}} \cdot \frac{\text{min}}{60 \text{ s}} = 0.2268 \text{ kg/s} \quad \Delta X = \frac{\dot{m}_v}{\dot{m}_z}$$

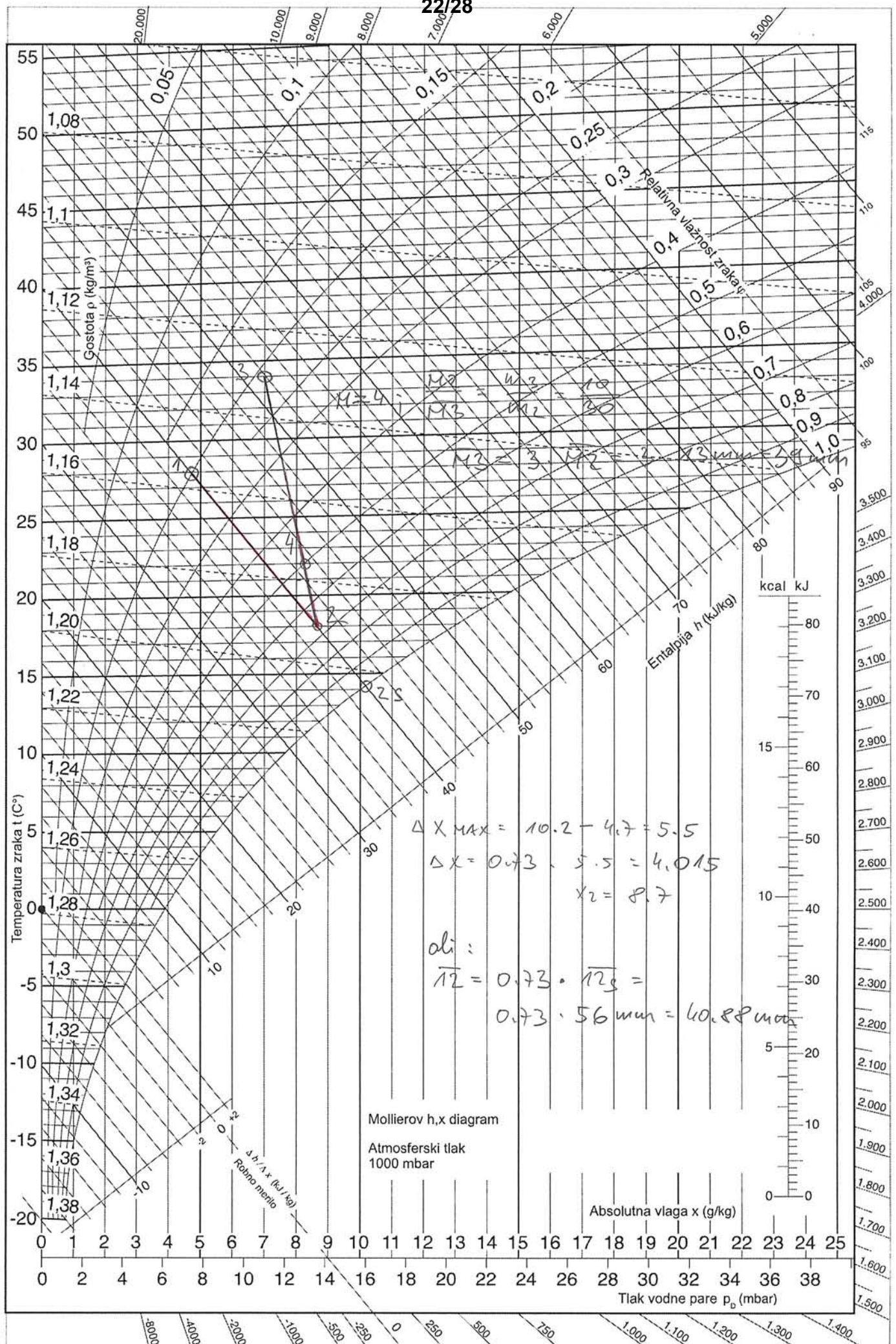
$$\dot{m}_v = \dot{m}_z \cdot \Delta X = 0.2268 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot (8.881 - 4.884) \frac{\text{g}}{\text{kg}} = 0.9065 \frac{\text{g}}{\text{s}}$$

$$m_2 \cdot X_2 + m_3 \cdot X_3 = m_4 \cdot X_4 \Rightarrow X_3 = \frac{m_4 \cdot X_4 - m_2 \cdot X_2}{m_3} = \frac{40 \cdot 8.440 - 30 \cdot 8.881}{10} = 7.117 \text{ g/kg}$$

$$h_3 = \frac{m_4 \cdot h_4 - m_2 \cdot h_2}{m_3} = \frac{40 \cdot 43.57 - 30 \cdot 40.61}{10} = 52.45 \text{ kJ/kg}$$

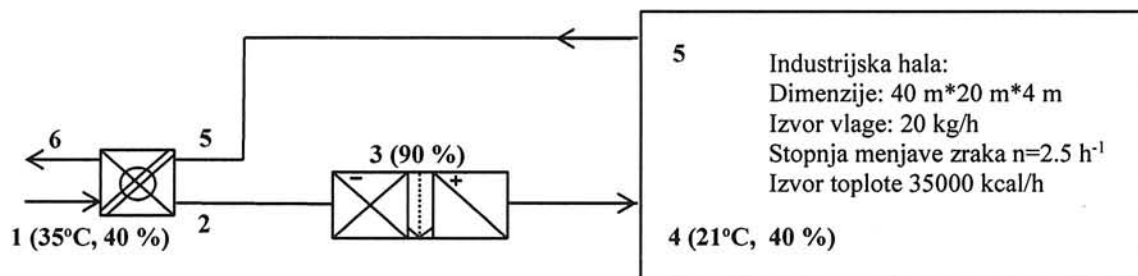
$$t_3 = \frac{52.45 - 7.117 \cdot 2.5}{1.005 + 7.117 \cdot 0.001926} = 34.02^\circ\text{C}$$

$$X_s(34.02^\circ\text{C}) = 34.94 + \frac{0.02}{2} (39.28 - 34.94) = 34.98 \text{ g/kg}$$



HVAC, 16. 6. 2022

2. S pomočjo h-x diagrama **grafično** rešite nalogo za klimatizacijsko napravo na sliki. Naprava vsebuje regeneratorski zrak z izkoristkom izmenjave senzibilne toplote 70 % in latentne toplote 60 %. V primeru



	T [°C]	φ [%]	X [g/kg]	h [kJ/kg]
tol	0,6	4,	0,4	1,0
1	35	40	14.0	70.8
2	31.50	37	10.48	58.6
3	8.8	90	6.2	24.7
4	21	40	6.2	36.6
5	30.0	31	8.134	50.77
6	33.5	36	11.65	63.1

Značilnosti prezračevalne naprave:

Hladilna moč 2-3 97.39 [kW]Temp. hladilnih površin 2-3 5.0 [°C]Toplotna moč reg. 35.25 [kW]Rosišče stanja 1 (*) 19.2 [°C]Temp. vlažnega termometra stanja 1 (*) 23.7 [°C]

(*) v primeru nepravilnega rezultata, negativni procenti -10% za vsak nepravilen rezultat

$$\dot{m}_{zr} = \rho \cdot \dot{V} = 1.293 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot (40 \times 20 \times 4) \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 2.5 \frac{1}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 2.873 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\Delta h_{45} = \frac{\dot{Q}}{\dot{m}} = \frac{4071 \text{ kJ/s}}{2.873 \text{ kg/s}} = 14.17 \text{ kJ/kg}$$

$$35000 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} \cdot \frac{4.187 \text{ kJ}}{\text{kcal}} \cdot \frac{1}{3600 \text{ s}} = 4071 \text{ kW}$$

$$\Delta X_{45} = \frac{\dot{m}_v}{\dot{m}_{zr}} = \frac{20 \text{ kg/h}}{4 \cdot 3600 \text{ s} \cdot 2.873 \text{ kg/s}} = 1.934 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}_v}{\text{kg}_z}$$

REGENERATOR:

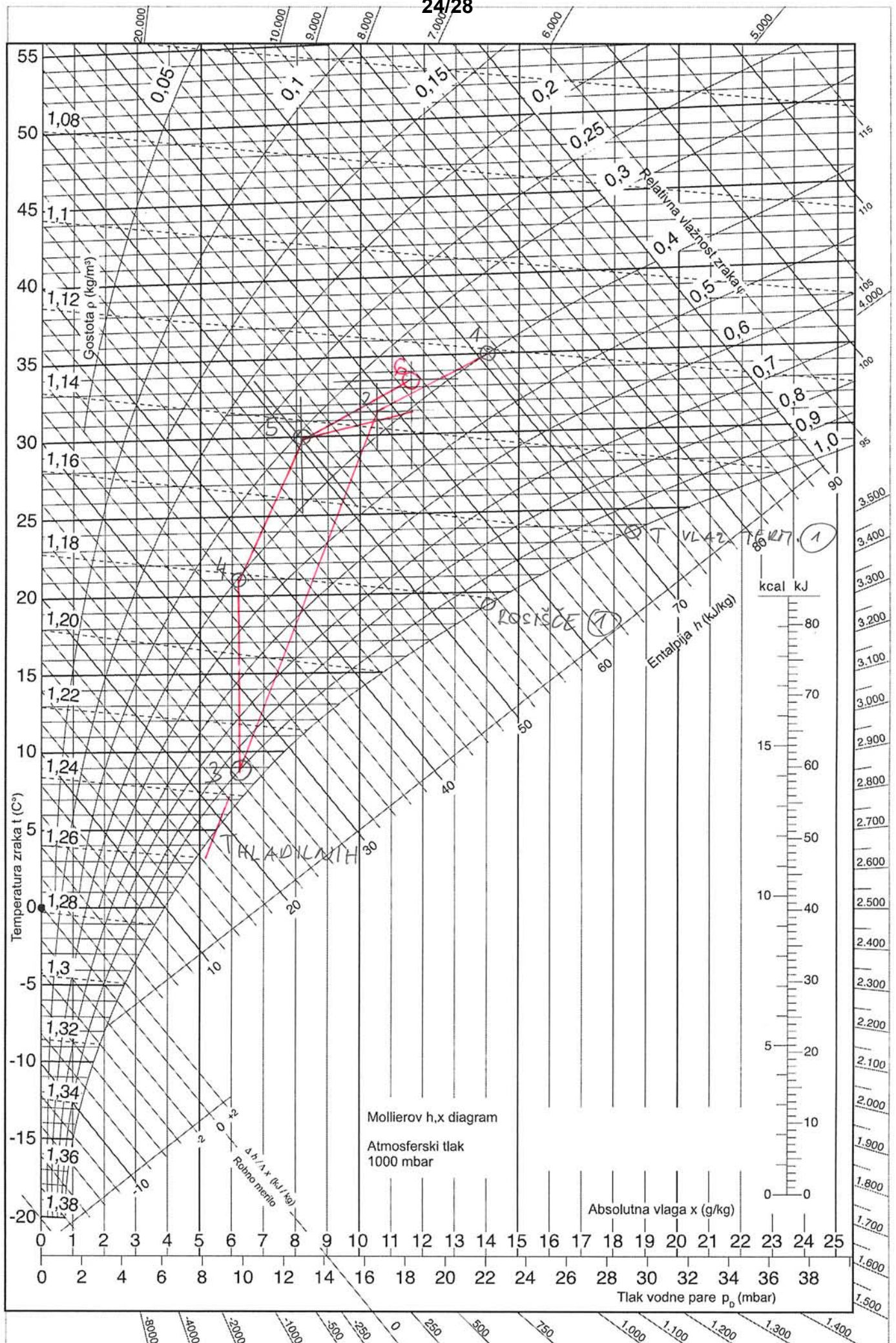
$$\Delta t = \eta_s \Delta t_{\text{MAX}} = 0.70 (35 - 30.0) = 3.500^\circ\text{C}$$

$$\Delta X = \eta_L \Delta X_{\text{MAX}} = 0.60 (14 - 8.134) = 3.520 \text{ g/kg}$$

kontrola: $\Delta h_{12} \stackrel{?}{=} \Delta h_{56}$
 $12.2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \stackrel{?}{=} 12.33 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \checkmark$

$$\dot{Q}_{\text{REG}} = \dot{m}_z \cdot \Delta h = 2.873 \cdot 12.27 = 35.25 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{23} = \dot{m}_{zr} \Delta h = 2.873 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot (58.6 - 24.7) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 97.39 \text{ kW}$$



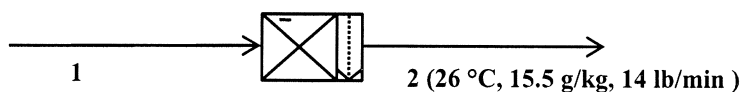
HVAC, 8. 9. 2022

Priimek in ime: REŠITEV Vpisna številka: _____

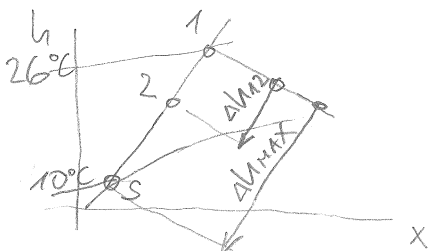
50 %	50 %

Ocenjujem pravilnost številskih rezultatov. Za pravilni postopek praviloma ne podeljujem procentov. Pri računskih nalogah zaokrožite števila na 4 pomembna mesta (npr.: $0.00123456 = 0.1235 \cdot 10^{-3}$ ali 1.235 kJ). Rešitev je pravilna, če je znotraj ± 5 na 3 pomembnem mestu. Grafično rešitev vrišete na priloženi diagram. Odčitane vrednosti zaokrožite na toliko decimalnih mest, 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. Za reševanje nalog imate 90 minut časa. Pišite kar na to polo. 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. Povprečna temperatura hladilnih površin v hladilniku je 10°C . Pretok hladilnega medija v hladilnih površinah je 20 litrov/min (snovne lastnosti hladilnega medija so: gostota 1.2 lb/liter , toplotna prevodnost 0.4 W/(foot K) , specifična toplota 1.2 kcal/(lb K) , kinematična viskoznost $10.7 \text{ inch}^2/\text{min}$). Hladilni medij se segreje za 3°F (Fahrenheit) in ne spremeni agregatnega stanja. Izračunajte tudi stopnjo sušenja zraka. Predpostavite, da je sušilnik zraka toplotno izoliran od okolice. Entalpijo vode iz sušilnika smete zanemariti.



	T [°C]	ϕ [%]	X [g/kg]	h [kJ/kg]	Xs [g/kg]	
1	40.02	44.99	22.31	97.33	49.59	Količina izločene vode 2.594 [kg/h]
2	26	71.69	15.5	65.66	21.62	Stopnja sušenja 46.70 [%]



② $p_2 = \frac{X}{X_s} = \frac{15.5}{21.62} = 0.7169$ $\dot{m}_{ze} = 14 \frac{\text{lb}}{\text{min}} \cdot \frac{0.4536 \text{ kg}}{\text{lb}} \cdot \frac{\text{min}}{60 \Delta} = 0.1058 \frac{\text{kg}}{\Delta}$

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\eta = \frac{\Delta h_{12}}{h_1 - h_5} = \frac{31.67}{97.33 - 29.52} = 0.4670 = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_5}$$

$$\eta(t_1 - t_5) = t_1 - t_2$$

$$t_1 = \frac{t_2 - \eta t_5}{1 - \eta} = \frac{26 - 0.4670 \cdot 10}{1 - 0.4670} = 40.02^\circ\text{C}$$

$$\eta t_1 - t_1 = \eta t_5 - t_2$$

$$t_1 = \frac{\eta t_5 - t_2}{\eta - 1}$$

$$x_1 = \frac{x_2 - \eta x_5}{1 - \eta} = \frac{15.5 - 0.4670 \cdot 7.727}{1 - 0.4670} = 22.31 \text{ g/kg}$$

✓ 17.42

✓ 17.42

$$\text{kontrola: } t_1 = \frac{h_1 - x_1 \cdot r}{c_{p2} + x_1 \cdot c_{pp}} = \frac{97.33 - 22.31 \cdot 2.5}{1.005 + 22.31 \cdot 0.001926} = 39.65^\circ\text{C} \checkmark$$

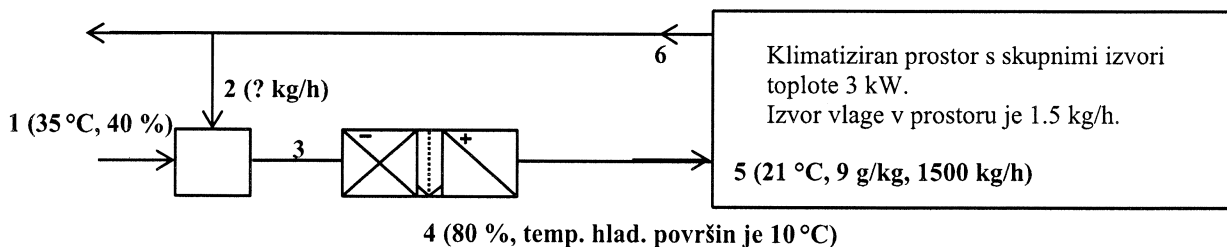
$$x_s(40.02^\circ\text{C}) = 49.53 + \frac{0.02}{2} (55.55 - 49.53) = 49.59 \text{ g/kg}$$

$$\varphi_1 = \frac{x_1}{x_s} = \frac{22.31}{49.59} = 0.4499$$

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

HVAC, 8. 9. 2022

2. S pomočjo h-x diagrama **grafično** rešite nalogo za klimatizacijsko napravo na sliki. Rezultat mešanja (točka 3) je potrebno določiti grafično iz diagrama. Temperatura hladilnih površin v hladilniku zraka je 10°C. Na izstopu iz hladilnika zraka predpostavimo 80% relativno vlažnost zraka.



	T [°C]	φ [%]	X [g/kg]	h [kJ/kg]
tol	0,6	4,	0,4	1,0
1	35	40	14.0	70.8
2=6				
3	31.9	43	12.7	64.2
4	15.8	80	9.0	38.7
5	2.1	58	9.0	44.0
6	25.6	48	10.00	51.20

Hladilna moč naprave: 10.63 [kW] (5)

Masni pretok zraka 2 480.8 [kg/h] (10)

Hladilna moč naprave, če ne bi imeli mešanja.
Hladimo celotno potrebno količino okoliškega zraka na stanje 4 13.38 [kW] (5)

Rosišče stanja 1 (*) 19.1 [°C] (5)

Temp. vlažnega termometra stanja 1 (*) 23.7 [°C] (5)

(*) v primeru nepravilnega rezultata, negativni procenti -10% za vsak nepravilen rezultat

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

$$\dot{Q}_{45} = \dot{m}_{zr5} \cdot (h_1 - h_4) = 0.4167 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (70.8 - 38.7) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 13.38 \text{ kW}$$

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

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

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

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

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

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

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

