



UNIVERZA V MARIBORU
FAKULTETA ZA STROJNIŠTVO

Matjaž RAMŠAK

Zbirka rešenih izpitnih nalog pri predmetu
Klimatizacija (HVAC)
za študijsko leto 2018/2019



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

MARIBOR, oktober 2019

CIP – kataložni zapis o publikaciji
Univerzitetna knjižnica Maribor

[CIP številka]

Matjaž Ramšak
Zbirka rešenih izpitnih nalog pri
predmetu Klimatizacija (HVAC)
za študijsko leto 2018/2019/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 2018/2019
Avtor:	Matjaž Ramšak
Strokovni recenzenti:	Jure Marn, Matej Zadravec
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 31.01.2019	4
Kolokvij 10.05.2019	6
Izpit 04.07.2019	8
Izpit 10.09.2019	10

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

Rešeni izpiti

Izpit 31.01.2019	13
Kolokvij 10.05.2019	17
Izpit 04.07.2019	22
Izpit 10.09.2019	25

NAVODILO

Pričujoča zbirka rešenih izpitnih nalog je študentom v pomoč pri pripravi na pisni del izpita. V prvem delu gradiva so podane naloge, pripravljene za tiskanje in razvrščene po datumih izpita. V drugem delu gradiva so podane njihove rešitve.

Dovoljena literatura pri reševanju izpita je izključno strojniški priročnik. Diagram h-x je sestavni del izpitne pole.

Pri reševanju nalog vam želim veselja in uspeha.

asistent Matjaž Ramšak

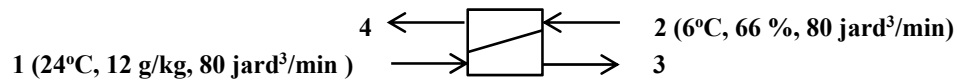
HVAC, 31. 01. 2019

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 rekuperator toplote na spodnji sliki. Rezultate zapišite v tabelo. Izkoristek prenosa senzibilne toplote je 91 %. 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]

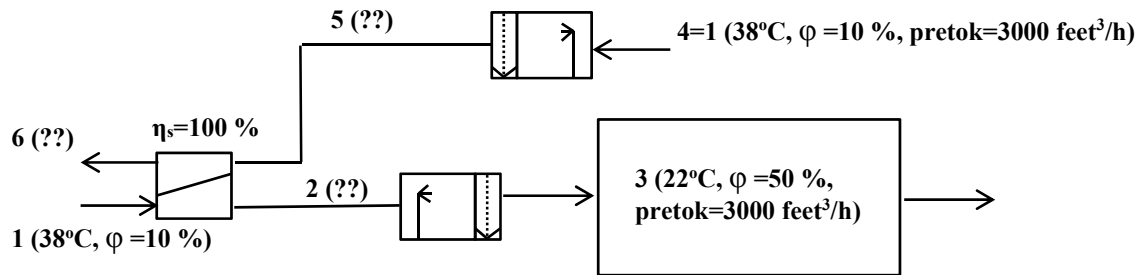
Toplotna moč rekuperatorja

_____ [kW]

HVAC, 31. 01. 2019

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

Do katere temperature (T_{min3}) bi bilo s to hladilno napravo možno ohladiti zrak na vstopu v objekt ne glede na vlažnost (stanje 3)? (+10 % bonus)



	$T[^\circ\text{C}]$	$\phi[\%]$	$X[\text{g/kg}]$	$h[\text{kJ/kg}]$
Tol +/-	0,6	3,	0,4	1,0
1				
2				
3				
4				
5				
6				

Količina vode 23 _____ [lb/h]

Količina vode 45 _____ [lb/h]

Moč rekuperatorja _____ [cal/s]

 T_{min3} _____ [$^\circ\text{C}$]

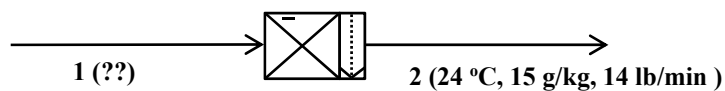
HVAC, 10. 05. 2019

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!**

Računsko s pomočjo tabel rešite hladilnik vlažnega zraka na sliki in rezultate zapišite v tabeli. Povprečna temperatura hladilnih površin v hladilniku je 6°C . Pretok hladilnega medija v hladilnih površinah je 22 litrov/min (snovske lastnosti hladilnega medija so: gostota 1.3 lb/liter, toplotna prevodnost 0.5 W/(foot K) , specifična toplota 1.1 kcal/(lb K) , kinematična viskoznost $10.7 \text{ inch}^2/\text{min}$). Hladilni medij se segreje za 4°F (Fahrenheit) in ne spremeni agregatnega stanja. Izračunajte tudi stopnjo razvlaževanja zraka. Predpostavite, da je sušilnik zraka toplotno izoliran od okolice. Entalpijo vode iz sušilnika smete zanemariti.



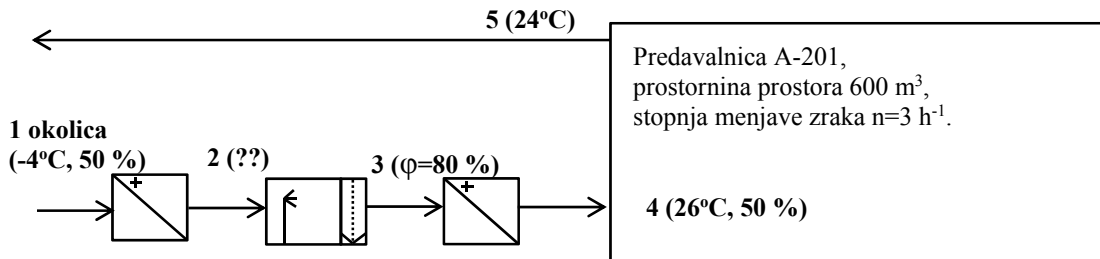
	T [$^{\circ}\text{C}$]	ϕ [%]	X [g/kg]	h [kJ/kg]	X _s [g/kg]
1					
2					

Količina izločene vode _____ [kg/h]

Stopnja sušenja _____ [%]

HVAC, 10. 05. 2019

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



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

Toplotne izgube prostora _____ [kW]

Značilnosti prezračevalne naprave:

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

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

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

Stopnja vlaženja 23 _____ [%]

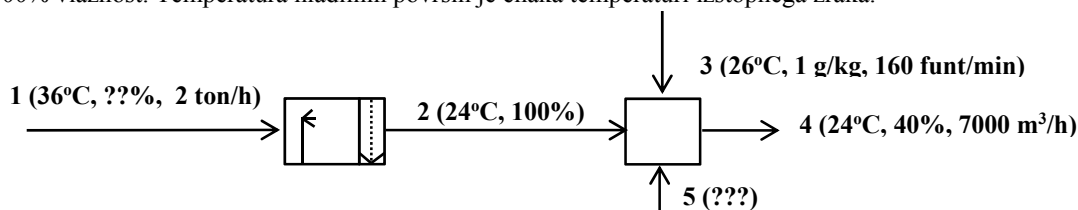
HVAC, 04. 07. 2019

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. Na izstopu iz hladilnika predpostavite 100% vlažnost. Temperatura hladilnih površin je enaka temperaturi izstopnega zraka.



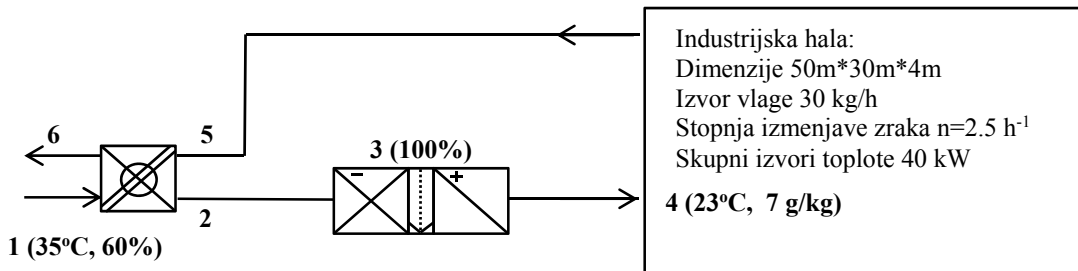
	T[°C]	ϕ [%]	X[g/kg]	h[kJ/kg]	Xs[g/kg]
1					
2					
3					
4					
5					

Količina vode 1-2 _____ [kg/h]

Pretok 5 _____ [kg/h]

HVAC, 04. 07. 2019

2. S pomočjo **h-x diagrama** rešite nalogo za klimatizacijsko napravo na sliki. Naprava vsebuje regenerator zraka z izkoristkom prenosa senzibilne toplote 80% (temperaturna učinkovitost) in latentne toplote 60%.



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

Značilnosti prezračevalne naprave:

Hladilna moč 2-3 _____ [kW]

Grelna moč 3-4 _____ [kW]

Toplotna moč reg. _____ [kW]

Rosišče stanja 1 _____ [°C]

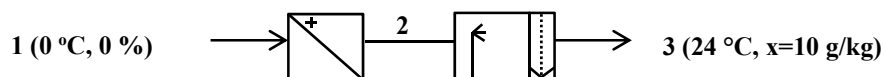
HVAC, 10. 9. 2019

50%	50%

Priimek in ime: _____ Vpisna številka: _____

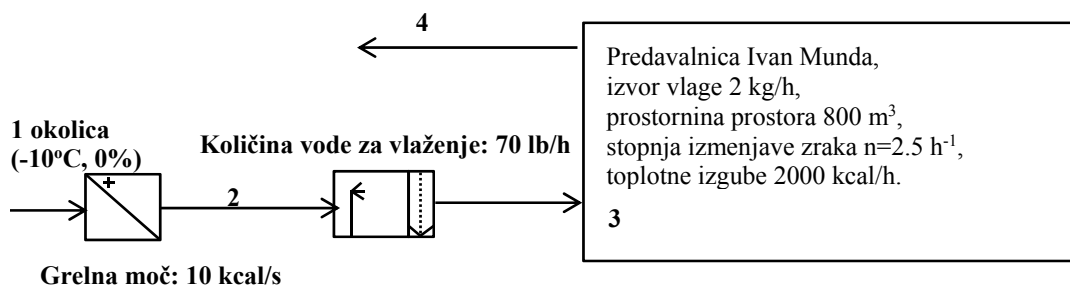
Ocenjujem pravilnost številskih rezultatov. Za pravilni postopek praviloma ne podeljujem procentov. Pri **računskih** nalogah zaokrožite števila na 4 pomembna mesta (npr.: $0.00123456=0.1235e-2$ ali $1.235kJ$). Rešitev je pravilna, če je znotraj ± 5 na 3 pomembnem mestu. **Grafično rešitev** vrišete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



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

HVAC, 10. 9. 2019

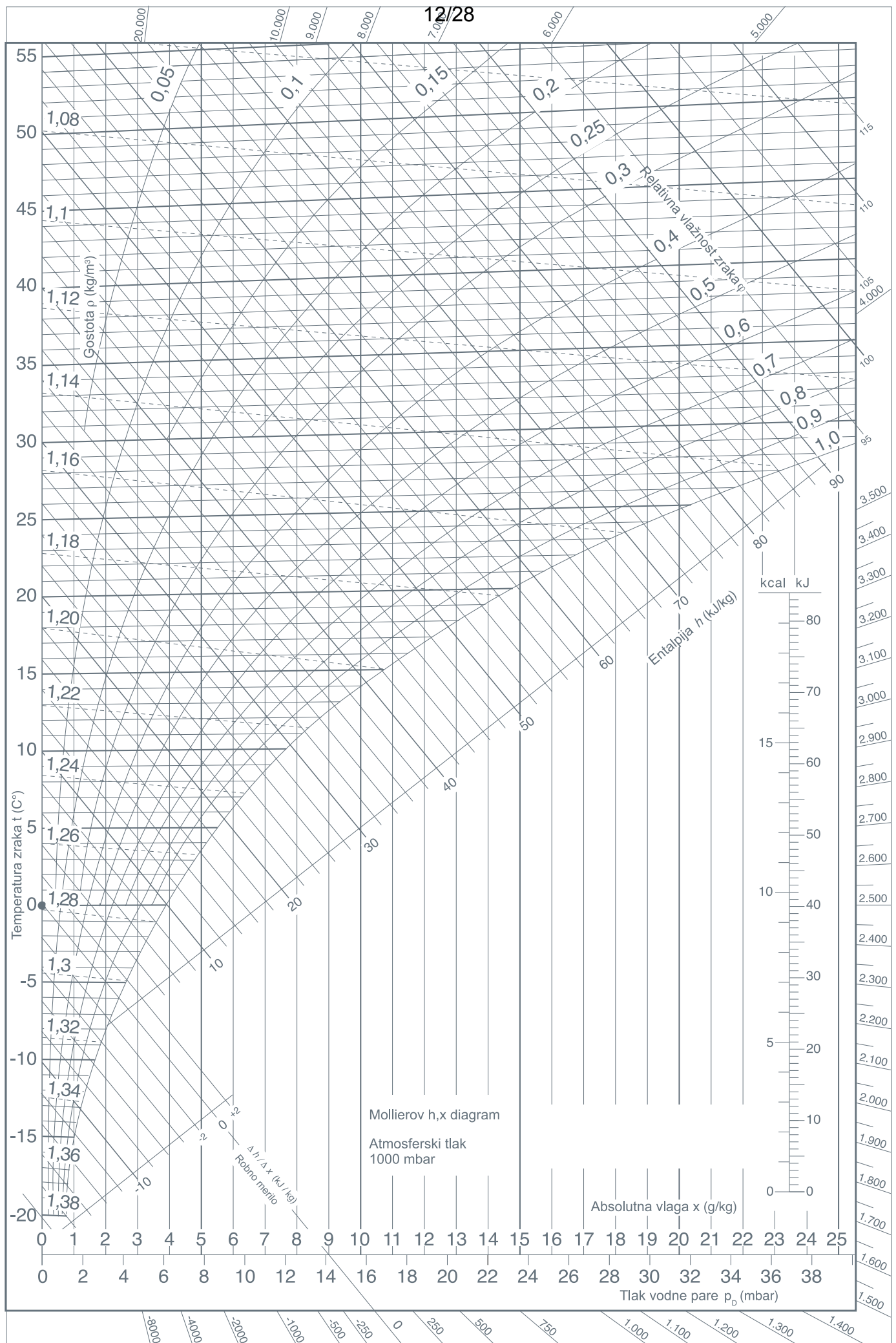
2. S pomočjo **h-x diagrama** rešite nalogo za klimatizacijsko napravo na sliki.

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

Stopnja vlaženja _____ [%]

Rosišče točke 4 _____ [°C]

Masni tok zraka _____ [kg/h]



HVAC, 31. 01. 2019

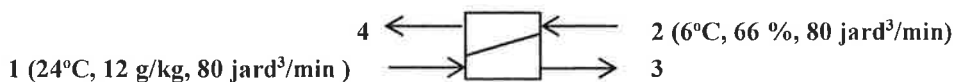
50%	50%

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 rekuperator toplote na spodnji sliki. Rezultate zapišite v tabelo. Izkoristek prenosa senzibilne toplote je 91 %. V primeru kondenzacije predpostavite 100 % vlažnost zraka na izhodu iz rekuperatorja.



	T[°C]	ϕ [%]	X[g/kg]	h[kJ/kg]	Xs[g/kg]	Količina izločene vode 10.72 [kg/h] (10) Toplotna moč rekuperatorja 21.85 [kW] (10)
1	24	62.76	12	54.67	19.12	
2	6	66	3.873	15.76	5.868	
3	13.43 (5)	100	9.741 (5)	38.09 (5)	9.741	
4	22.38 (5)	22.36	3.873	32.34 (5)	17.32 (5)	

$$(1) \phi_1 = \frac{12}{19.12} = 0.6276 \quad h_1 = 24 \times 1.005 + 12(0.001926 \cdot 24 + 2.5) = 54.67 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$(2) X = \phi \cdot X_s = 0.66 \cdot 5.868 = 3.873 \text{ g/kg}$$

$$h = 6 \cdot 1.005 + 3.873(0.001926 \cdot 6 + 2.5) = 15.76 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta t = \eta \cdot \Delta t_{\max} = 0.91(24 - 6) = 16.38^\circ\text{C} \quad \begin{cases} t_3 = 7.62^\circ\text{C} \\ t_4 = 22.38^\circ\text{C} \end{cases}$$

DIAGRAM: ROSIŠČE (24°C, 12 g/kg) = 16.7°C JE VEČJE OD 6°C, KONDENZACIJA JE!

$$\phi_3 = 100\% \quad t_3 = ?$$

$$(4) x = \text{konst} = 3.873 \text{ g/kg} ; X_s(22.38) = 16.88 + \frac{0.38}{2}(19.12 - 16.88) = 17.32 \text{ g/kg}$$

$$\phi_4 = \frac{3.873}{17.32} = 0.2236$$

$$h_4 = 1.005 \cdot 22.38 + 3.873(2.5 + 0.001926 \cdot 22.38) = 32.34 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{Q}_{13} = \dot{m}(\Delta h_{13}) = \dot{m}(\Delta h_{24}) = (32.34 - 15.76) = 16.58 \text{ kJ/kg}$$

$$h_3 = h_1 - \Delta h_{24} = 54.67 - 16.58 = 38.09 \text{ kJ/kg}$$

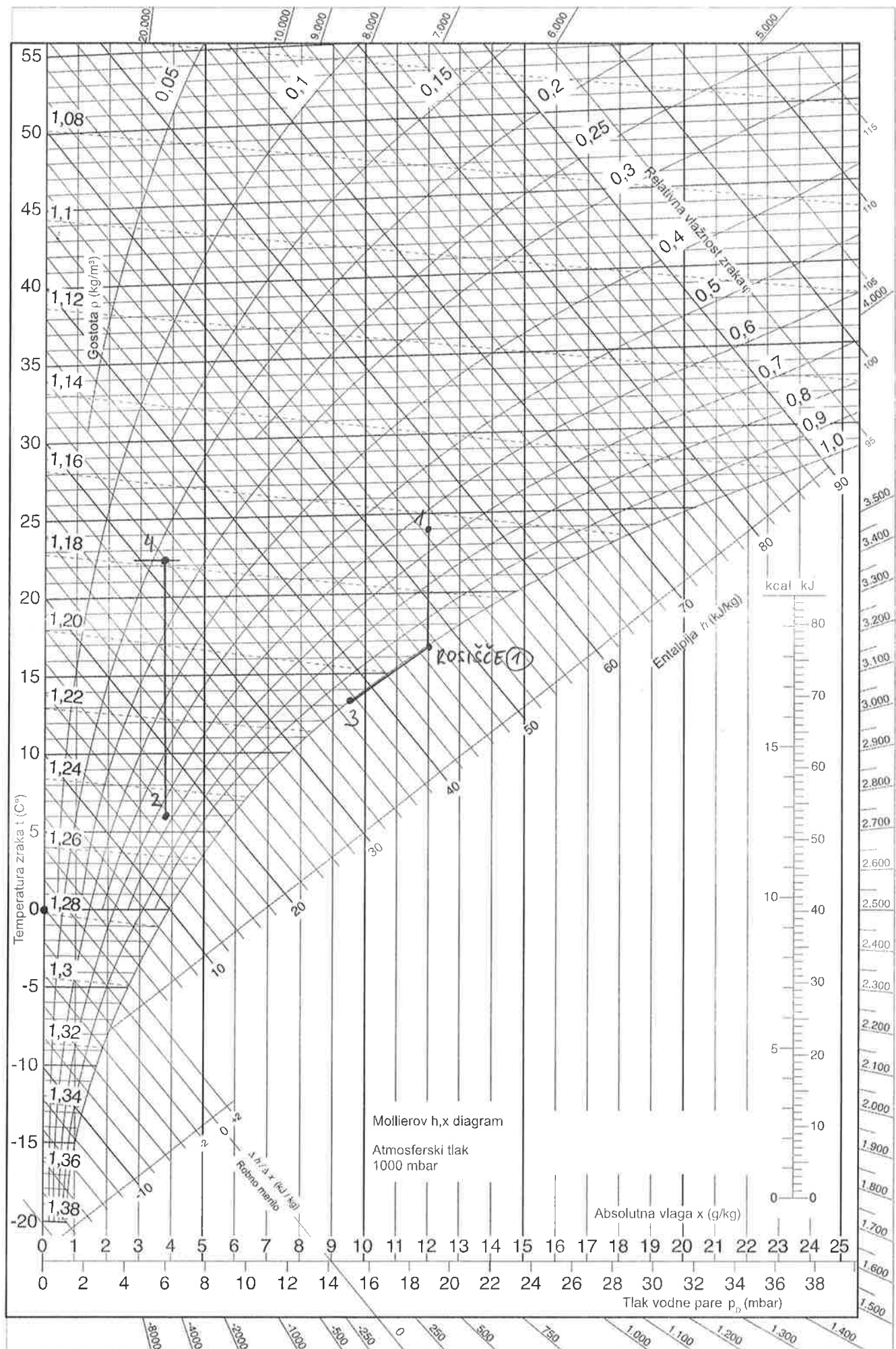
$$\dot{Q} = \dot{m} \Delta h = 1.318 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 16.58 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 21.85 \text{ kW}$$

$$(3) \begin{array}{cc} t & h_s \\ 12 & 34.36 \\ 14 & 39.58 \end{array} \quad \begin{array}{c} 38.09 \\ \epsilon = \frac{38.09 - 34.36}{39.58 - 34.36} = 0.7146 \end{array} \quad t_3 = 13.43^\circ\text{C}$$

$$X_s(13.43) = 8.841 + \epsilon(10.10 - 8.841) = 9.741 \text{ g/kg}$$

$$80 \frac{\text{yard}^3}{\text{min}} \left(\frac{0.9144 \text{ m}}{1 \text{ yard}} \right)^3 \frac{\text{min}}{60 \text{ s}} = 1.019 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad \dot{m} = \rho \cdot \dot{V} = 1.293 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1.019 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 1.318 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

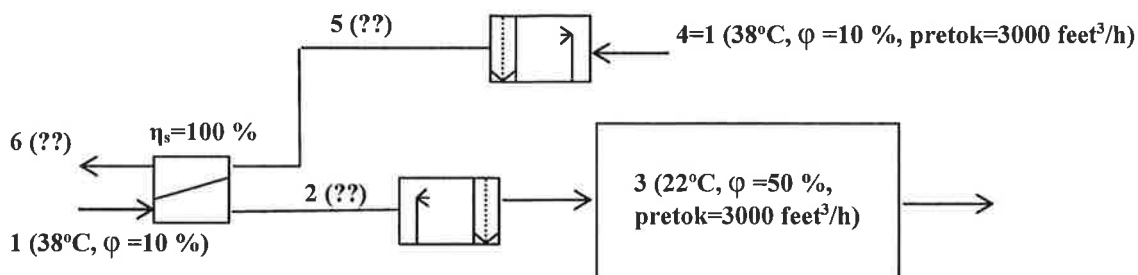
$$\dot{m}_{v13} = \dot{m} \cdot \Delta X_{13} = 1.318 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot (12 - 9.741) \frac{\text{g}}{\text{kg}} = 2.977 \frac{\text{g}}{\text{s}} = 10.72 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$



HVAC, 31. 01. 2019

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

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

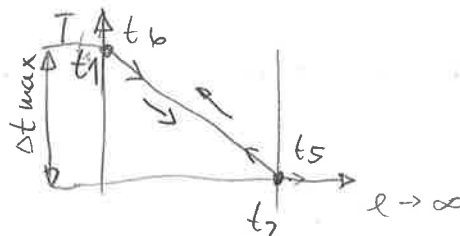


	T[°C]	φ[%]	X[g/kg]	h[kJ/kg]
Tol +/-	0,6	3,	0,4	1,0
1	38	10	4.2	48.6
2	32.7	13	4.2	43.0
3	22	50	8.3	43.0
4=1	38	10	4.2	48.6
5	32.7	21	6.3	48.6
6	38	15	6.3	54.0

Količina vode 23 0.9928 [lb/h] (5)
 Količina vode 45 0.5085 [lb/h] (5)
 Moč rekuperatorja 40.08 [cal/s] (10)
 T_{min3} 9.5 [°C] (10)

$$\eta = \frac{\Delta t}{\Delta t_{max}} = 100\% \quad \Delta t_{max} = \Delta t$$

$$\begin{aligned} t_1 &= t_6 \\ t_2 &= t_5 \end{aligned}$$



kontrola: $\dot{Q}_{12} = \dot{Q}_{56}$

$$\dot{m}_1 (\Delta h_{12}) = \dot{m}_5 \Delta h_{56}$$

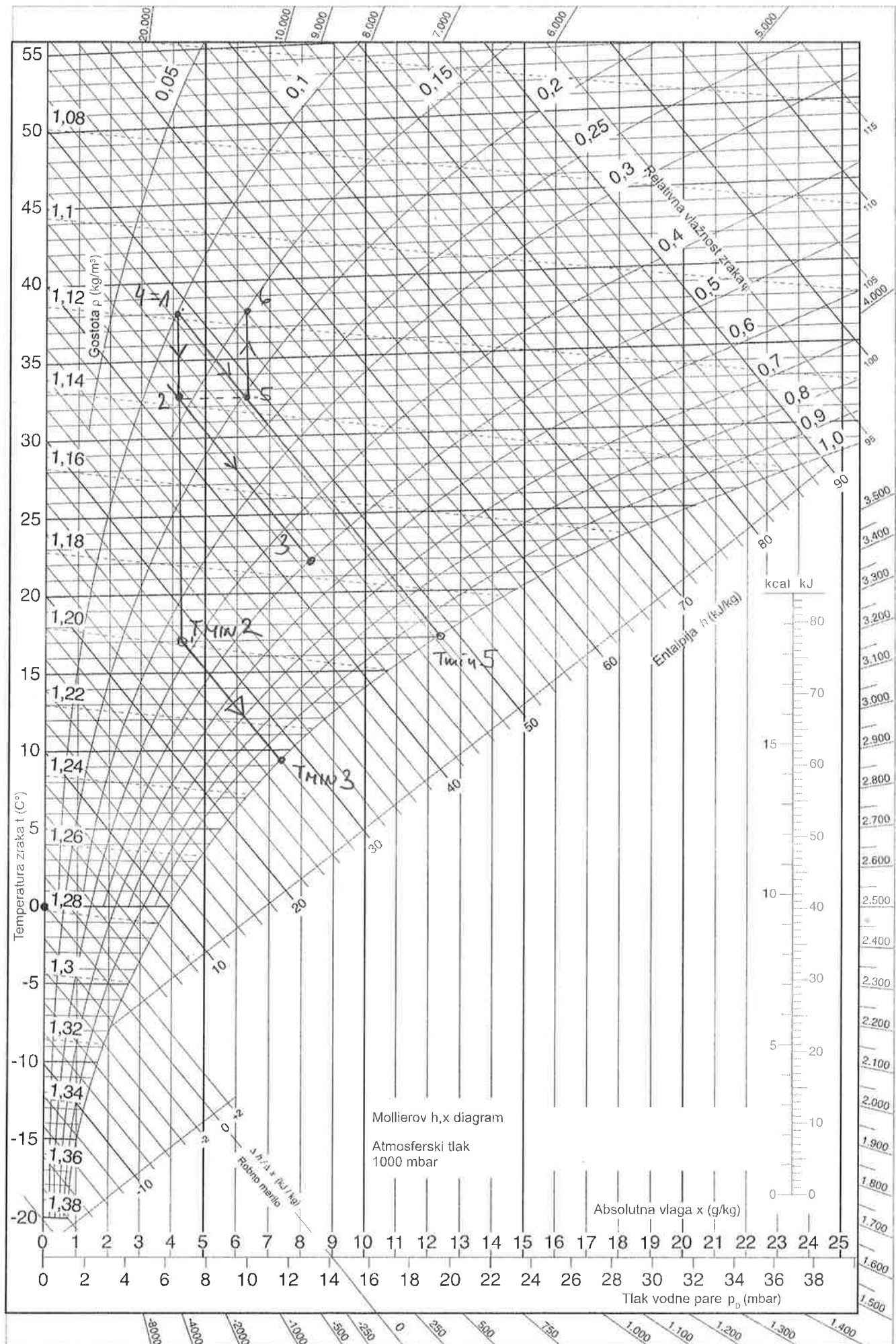
$$48.6 - 43 = 5.6 \quad \stackrel{?}{=} \quad 54.0 - 48.6 = 5.4 \quad \checkmark$$

$$\dot{V} = 3000 \frac{\text{ft}^3}{\text{h}} \cdot \left(\frac{0.3048 \text{ m}}{1 \text{ ft}} \right)^3 \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 0.02350 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad \dot{m}_{\text{re}} = 1.293 \cdot \dot{V} = 0.03051 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\begin{aligned} \dot{m}_{23} &= \dot{m} \cdot \Delta x_{23} = 0.03051 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot (8.3 - 4.2) \frac{\text{g}}{\text{kg}} = 0.1251 \frac{\text{g}}{\text{s}} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \cdot \frac{1 \text{ lb}}{453.6 \text{ g}} \\ &= 0.9928 \text{ lb/h} \end{aligned}$$

$$\dot{m}_{45} = (6.3 - 4.2) = 0.06407 \frac{\text{g}}{\text{s}} = 0.5085 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$$

$$\dot{Q} = \dot{m} \Delta h = 0.03051 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 5.5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 0.1678 \text{ kW} \cdot \frac{1000 \text{ W}}{4.187 \text{ W/kcal}} = 40.08 \frac{\text{cal}}{\text{s}}$$



HVAC, 10. 05. 2019

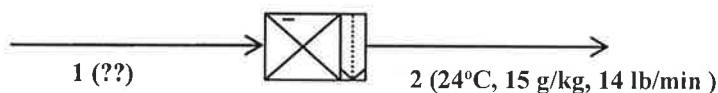
50%	50%

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.: $0.00123456 = 0.1235 \times 10^{-2}$ 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 $\pm 2 \text{ mm}$ 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!

Računsko s pomočjo tabel rešite hladilnik vlažnega zraka na sliki in rezultate zapišite v tabeli. Povprečna temperatura hladilnih površin v hladilniku je 6°C . Pretok hladilnega medija v hladilnih površinah je 22 litrov/min (snovske lastnosti hladilnega medija so: gostota 1.3 lb/liter , toplotna prevodnost 0.5 W/(foot K) , specifična toplota 1.1 kcal/(lb K) , kinematična viskoznost $10.7 \text{ inch}^2/\text{min}$). Hladilni medij se segreje za 4°F (Fahrenheit) in ne spremeni agregatnega stanja. Izračunajte tudi stopnjo razvlaževanja 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	43.97	40.44	25.14	108.4	62.17
2	24	78.45	15	62.31	19.12
(H)	6	100	5.868	20.77	5.868

Količina izločene vode 3.862 [kg/h]
 Stopnja sušenja 52.60 [%]

$$\dot{Q}_{\text{HLADILA}} = \dot{Q}_{12} \text{ (zrak)}$$

$$\dot{Q}_{\text{HLADILA}} = \dot{m} c_p \Delta T = 0.2162 \frac{\text{kg}}{\Delta} \cdot 10.15 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \cdot 2.222 \text{ K} = 4.876 \text{ kW}$$

$$\dot{m} = 1.3 \frac{\text{lb}}{\text{liter}} \cdot 22 \frac{\text{liter}}{\text{min}} \cdot \frac{0.4536 \text{ kg}}{1 \text{ lb}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \Delta} = 0.2162 \frac{\text{kg}}{\Delta}$$

$$c_p = 1.1 \frac{\text{kcal}}{\text{lb K}} \cdot \frac{1 \text{ Btu}}{0.4536 \text{ kg}} \cdot \frac{4.187 \text{ kJ}}{1 \text{ Btu}} = 10.15 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

$$\Delta T = 4^\circ\text{F} \cdot \frac{1 \text{ K}}{1.8^\circ\text{F}} = 2.222 \text{ K}$$

$$\dot{Q}_{12} = \dot{m} \Delta h \Rightarrow \Delta h = \frac{\dot{Q}_{12}}{\dot{m}} = \frac{4.876 \text{ kW}}{0.2162 \text{ kg/s}} = 22.55 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{m} = 14 \frac{\text{lb}}{\text{min}} \cdot \frac{0.4536 \text{ kg}}{1 \text{ lb}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \Delta} = 0.1058 \frac{\text{kg}}{\Delta}$$

$$h_1 = h_2 + \Delta h = 62.31 \text{ kJ/kg} + 22.55 \text{ kJ/kg} = 84.86 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta = \frac{\Delta h}{\Delta h_{\text{max}}} = \frac{22.55}{(108.4 - 20.77)} = 0.5260$$

• 1. NAČIN

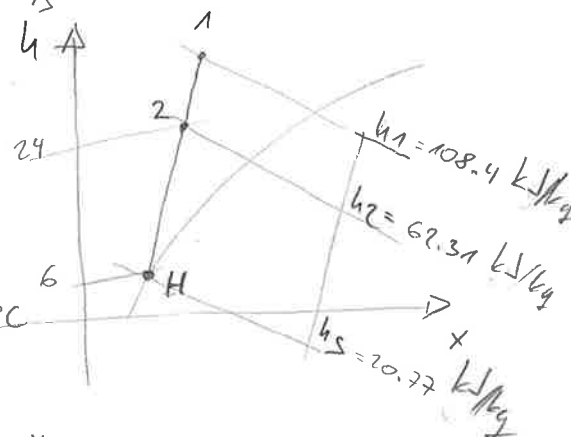
$$\eta = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_H} \Rightarrow \eta t_1 - \eta t_H = t_1 - t_2$$

$$t_1 - \eta t_1 = t_2 - \eta t_H \Rightarrow t_1 = \frac{t_2 - \eta t_H}{1 - \eta} = \frac{24 - 0.5260 \cdot 6}{1 - 0.5260} = 43.97^\circ\text{C}$$

$$X_1 = \frac{X_2 - \eta X_H}{1 - \eta} = \frac{15 - 0.5260 \cdot 5.868}{1 - 0.5260} = 25.14 \text{ g/kg}$$

$$X_s(43.97) = 55.55 + \frac{1.97}{2} (62.27 - 55.55) = 62.17 \text{ g/kg}$$

$$\dot{m}_v = \dot{m}_{\text{zr}} \cdot \Delta X = 0.1058 \frac{\text{kg}}{\Delta} \cdot (25.14 - 15) \frac{\text{g}}{\text{kg}} = 1.073 \frac{\text{kg}}{\Delta} = 3.862 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$



• 2. NÁČIN :

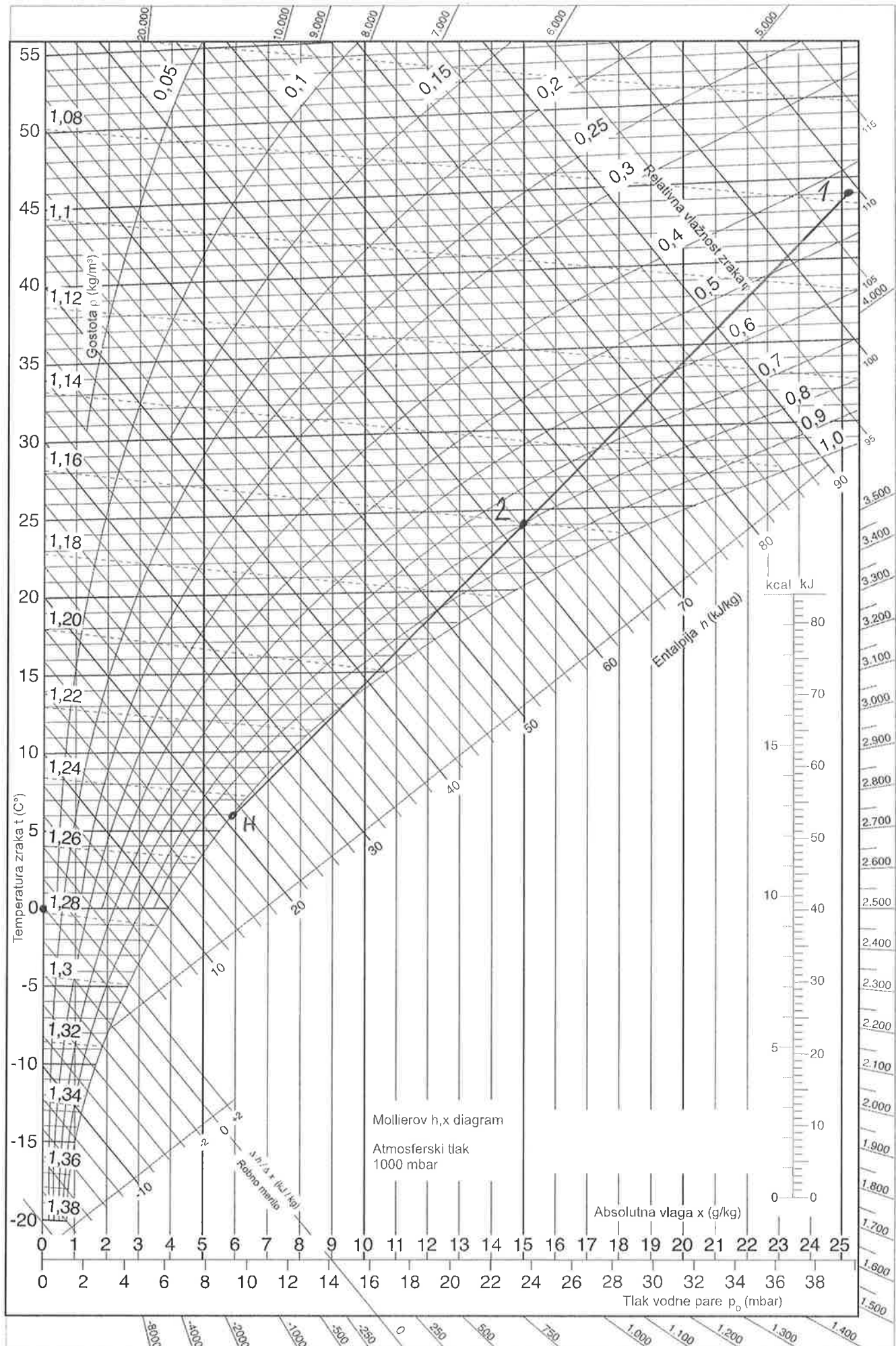
$$t_1 = \frac{h_1 - 2.5 \times 1}{1.005 + 0.001426 \cdot x} = \frac{108.4 - 2.5 \times 25.14}{1.005 + 0.001426 \cdot 25.14} = 43.24^\circ\text{C}$$

$$x_s(43.24^\circ\text{C}) = 55.55 + \frac{1.24}{2} (62.27 - 55.55) = 59.72 \text{ g/kg}$$

$$\varphi = \frac{25.14}{59.72} = 0.4210$$

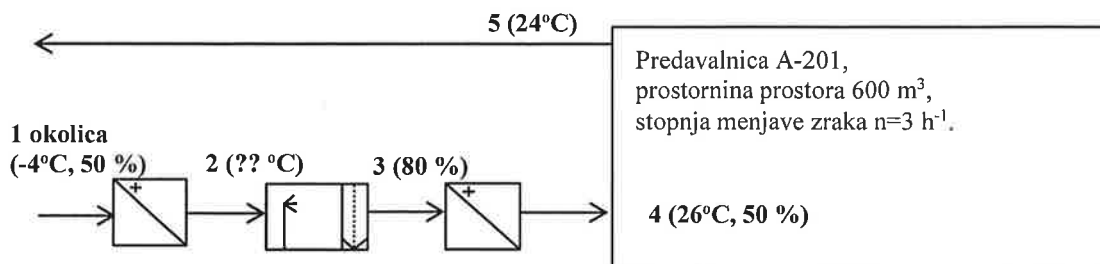
ohl.

	T	φ	x	h	x_s
1.	43.24	42.10	25.14	108.4	59.72



HVAC, 10. 05. 2019

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



	T[°C]	φ[%]	X[g/kg]	h[kJ/kg]
Tol +/-	0,6	3,	0,4	1,0
1	-4	50	1.3	-0.8
2	41.7	3	1.3	45.6
3	18.5	80	10.6	45.6
4	26	50	10.6	53.2
5	24	57	10.6	51.0
4'	26	7	1.3	29.3

Toplotne izgube prostora 1.422 [kW]

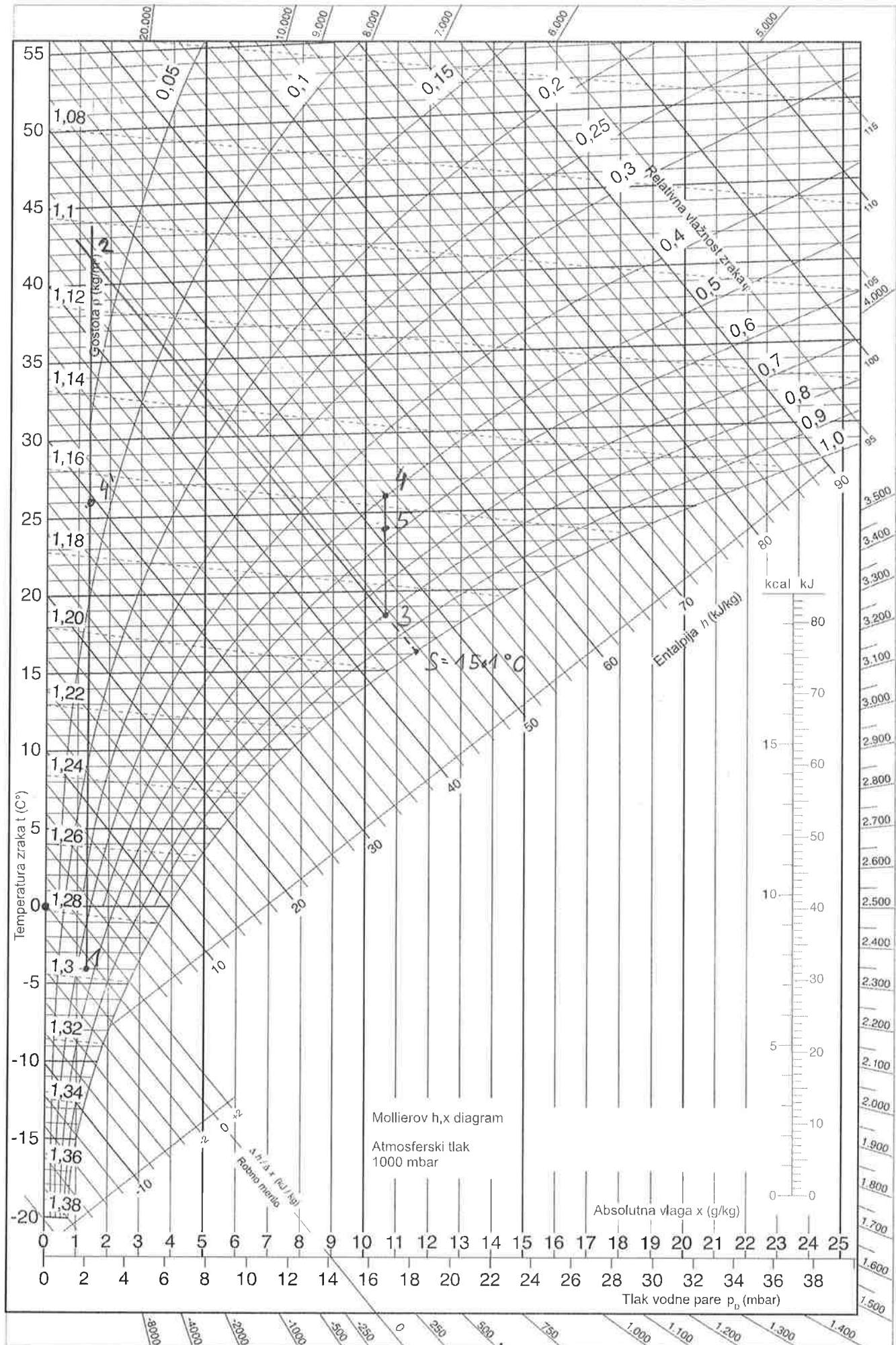
Značilnosti prezračevalne naprave:

Grelna moč 1-4 z vlažilnikom zraka 34.91 [kW]

Kol. vode za vlaženje 2-3 21.64 [kg/h]

Grelna moč 1-4' brez vlažilnika zraka
 $\eta = 87.22\%$ 19.46 [kW]

$\dot{m} = \dot{V} = 1.293 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{600 \cdot 3}{3600} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 0.6465 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$ sol. zrak
 izgube prostora: $\dot{Q}_{45} = \dot{m}_{\text{tr}} \cdot \Delta h_{45} = 0.6465 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot (53.2 - 51.0) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 1.422 \text{ kW}$
 $\dot{Q}_{14} \text{ z vlaženjem} = \dot{Q}_{12} + \dot{Q}_{34} = \dot{m}_{\text{tr}} (\Delta h_{12} + \Delta h_{34}) = 0.6465 \times (46.4 + (53.2 - 45.6)) = 34.91 \text{ kW}$
 $\dot{m}_{v23} = \dot{m}_{\text{tr}} \cdot \Delta X_{23} = 0.6465 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot (10.6 - 1.3) \frac{\text{g}}{\text{kg}} = 6.012 \frac{\text{g}}{\text{s}} = 21.64 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$
 $\dot{Q}_{14'} \text{ brez vlaženja} = \dot{m}_{\text{tr}} \cdot \Delta h_{14'} = 0.6465 (29.3 - (-0.8)) = 19.46 \text{ kW}$
 stopnja vlaženja $\eta = \frac{\Delta t}{\Delta t_{\text{max}}} = \frac{(41.7 - 18.5)}{(41.7 - 15.1)} = 0.8722$



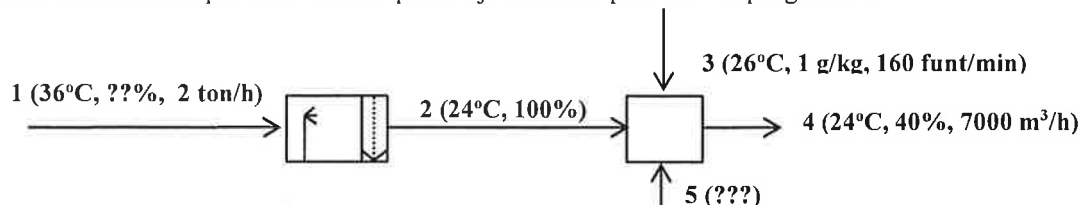
HVAC, 04. 07. 2019

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 $1.235 \cdot 10^{-3}$). 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. Na izstopu iz hladilnika predpostavite 100% vlažnost. Temperatura hladilnih površin je enaka temperaturi izstopnega zraka.



	T[°C]	ϕ [%]	X[g/kg]	h[kJ/kg]	Xs[g/kg]
1	36	36.28	14.25	72.80	39.28
2	24	100	19.12	72.80	19.12
3	26	46.25	1	28.68	21.62
4	24	40	7.648	43.59	19.12
5	20.81	62.92	9.880	46.01	15.69

Količina vode 1-2	2742 [kg/h] (5)
Pretok 5	2694 [kg/h] (5)

$$(2) \quad h_2 = 1.005 \cdot 24 + 19.12 (0.001926 \cdot 24 + 2.5) = 72.80 \text{ kJ/kg}$$

$$(1) \quad h_1 = h_2 = 1.005 \cdot t + x (0.001926 \cdot t + 2.5)$$

$$x = \frac{h_2 - 1.005 \cdot t}{0.001926 \cdot t + 2.5} = \frac{72.80 - 1.005 \cdot 36}{0.001926 \cdot 36 + 2.5} = 14.25 \text{ g/kg}$$

$$(5) \quad \dot{m}_1 = 2 \frac{\text{ton}}{\text{h}} \cdot \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 0.5556 \text{ kg/s} = \dot{m}_2$$

$$\dot{m}_3 = 160 \frac{\text{ft}^3}{\text{min}} \cdot \frac{0.4536 \text{ kg}}{1 \text{ lb}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 1.210 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_4 = 8.0 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 1.293 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 2.514 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_5 = \dot{m}_4 - (\dot{m}_2 + \dot{m}_3) = 2.514 - (0.5556 + 1.210) = 0.7484 \text{ kg/s}$$

$$X_4 \dot{m}_4 = X_2 \dot{m}_2 + X_3 \dot{m}_3 + X_5 \dot{m}_5 \Rightarrow X_5 = \frac{X_4 \dot{m}_4 - X_2 \dot{m}_2 - X_3 \dot{m}_3}{\dot{m}_5} = \frac{1}{0.7484} (7.648 \times 2.514 - 19.12 \times 0.5556 - 1 \times 1.210) = 9.880$$

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

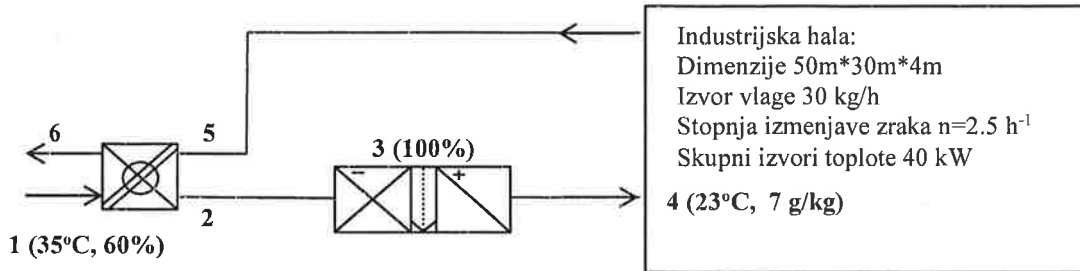
$$t_5 = \frac{46.01 - 9.880 \times 2.5}{1.005 + 9.880 \times 0.001926} = 20.81 \text{ °C}$$

$$X_5(20.81) = 14.88 + \frac{0.81}{2} (16.88 - 14.88) = 15.69 \text{ g/kg}$$

$$\dot{m}_{v12} = \dot{m}_{2R} \cdot \Delta X = 0.5556 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot (19.12 - 14.25) \frac{\text{g}}{\text{kg}} = 2.706 \frac{\text{g}}{\text{s}}$$

HVAC, 04. 07. 2019

2. S pomočjo **h-x diagrama** rešite nalogo za klimatizacijsko napravo na sliki. Naprava vsebuje regeneratore zraka z izkoristkom prenosa senzibilne toplote 80% (temperaturna učinkovitost) in latentne toplote 60%.



	T[°C]	φ[%]	X[g/kg]	h[kJ/kg]
Tol +/-	0,6	4,	0,4	1,0
1	35	60	21.8	91.0
2	28.36	58	13.85	63.9
3	8.6	100	7.0	26.2
4	23	40	7	40.8
5	26.7	39	8.547	48.22
6	33.34	52	16.53	75.8

Značilnosti prezračevalne naprave:

Hladilna moč 2-3 203.1 [kW]Grelna moč 3-4 78.66 [kW]Toplotna moč reg. 147.6 [kW]Rosišče stanja 1 26.0 [°C]

$$\dot{m}_{zr} = \rho \cdot \dot{V} = 1.293 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{15000 \text{ m}^3}{\text{h}} \cdot \frac{1}{3600 \text{ s}} = 5.388 \text{ kg/s}$$

$$\dot{V} = n \cdot V = 2.5 \frac{1}{\text{h}} \cdot (50 \times 30 \times 4) \text{ m}^3 = 15000 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_{zr} \cdot \Delta h \Rightarrow \Delta h_{45} = \frac{\dot{Q}_{45}}{\dot{m}_{zr}} = \frac{40 \text{ kW}}{5.388 \text{ kg/s}} = 7.424 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\Delta X_{45} = \frac{\dot{m}_v}{\dot{m}_{zr}} = \frac{30 \text{ kg/h}}{5.388 \text{ kg/s}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 1.547 \frac{\text{g}}{\text{kg}}$$

$$\Delta t = \eta_s \cdot \Delta t_{\text{max}} = 0.80 (35 - 26.7) = 6.640 \text{ °C} \quad \begin{cases} t_2 = 28.36 \text{ °C} \\ t_6 = 33.34 \text{ °C} \end{cases}$$

26.7 > 26 ⇒ KONDEZNACIJE NI

$$\Delta X = \eta_L \Delta X_{\text{max}} = 0.60 (21.8 - 8.547) = 7.952 \text{ g/kg}$$

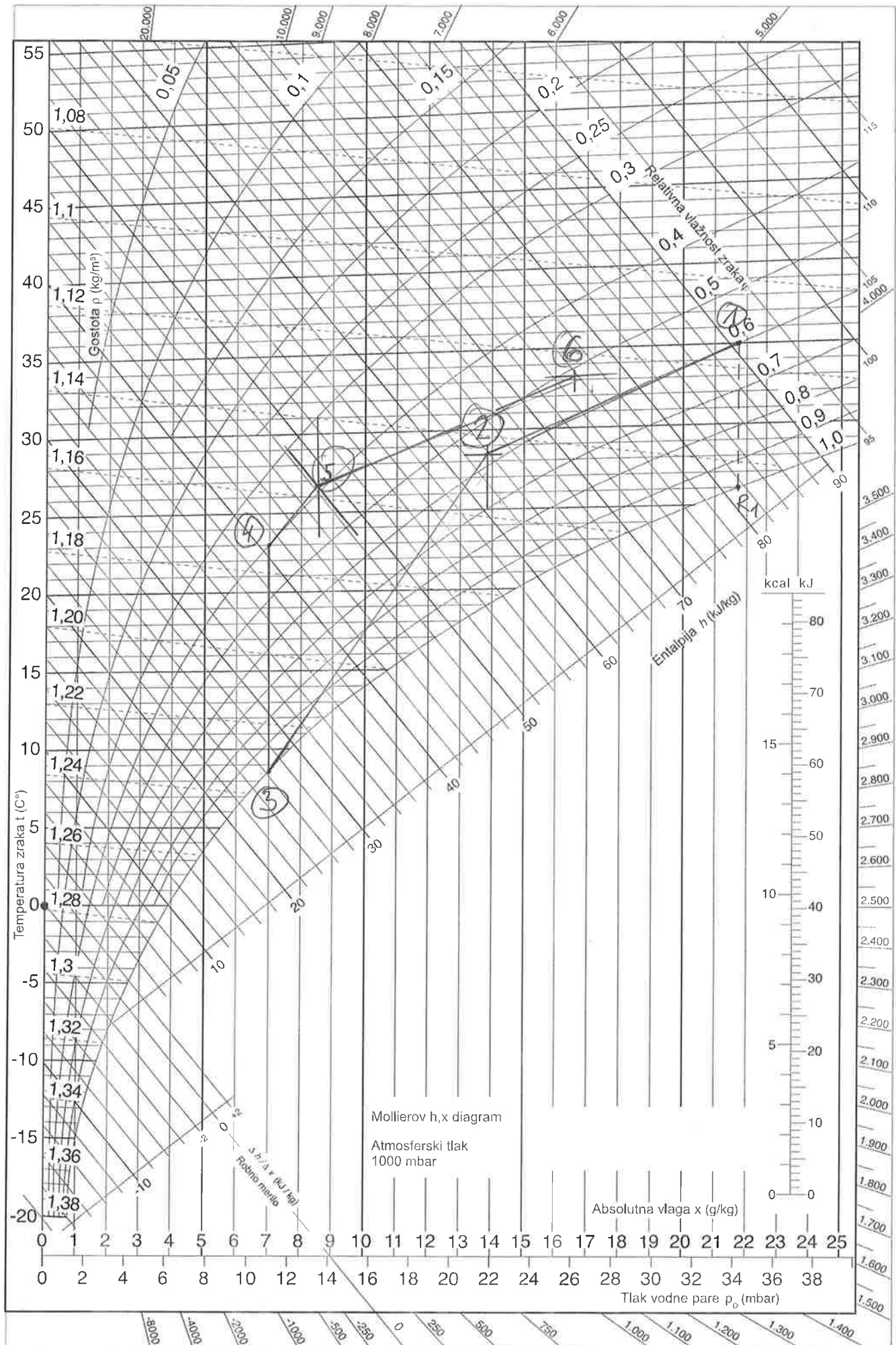
kontrola: $\Delta h_{12} = \Delta h_{51}$

$$27.1 \text{ kJ/kg} \approx 27.4 \text{ kJ/kg} \quad \checkmark; \quad \Delta h = 27.4 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{\text{REG}} = 27.4 \text{ kJ/kg} \cdot 5.388 \text{ kg/s} = 147.6 \text{ kW}$$

$$Q_{23} = \dot{m}_{zr} \cdot \Delta h_{23} = 203.1 \text{ kW}$$

$$Q_{34} = 78.66 \text{ kW}$$



HVAC, 10. 9. 2019

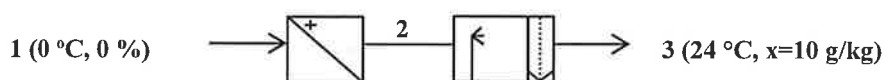
50%	50%

Priimek in ime: _____

Vpisna številka: _____

Ocenjujem pravilnost številskih rezultatov. Za pravilni postopek praviloma ne podeljujem procentov. Pri računskih nalogah zaokrožite števila na 4 pomembna mesta (npr.: 0.00123456=0.1235e-2 ali 1.235kJ). Rešitev je pravilna, če je znotraj +/-5 na 3 pomembnem mestu. Grafično rešitev vrišete na priloženi diagram. Odčitane vrednosti zapisujete na decimalna mesta, kot je prikazano v prvi vrstici tabele. Rezultat je pravilen, če je vaša vrednost znotraj +/- zapisane tolerance v drugi vrstici tabele, kar ustreza +/- 2 mm napake na h-x diagramu. Na razpolago je 90 minut časa za reševanje nalog. Pišite kar na ta list. Po potrebi dobite dodatni list. Pretoki zraka pomenijo pretok suhega zraka pri normalnih pogojih, Pazite na enote!

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



	T[°C]	φ[%]	X[g/kg]	h[kJ/kg]	Xs[g/kg]	Stopnja vlaženja
1	0	0	0	0	3.821	78.93 [%] (20)
2	49.33 (10)	φ	φ	49.58 (6)	84.38 (10)	
3	24	52.30	10	49.58	19.12	

(3.)

$$h_3 = 24 \cdot 1.005 + 10(0.001926 \cdot 24 + 2.5) = 49.58 \text{ kJ/kg}$$

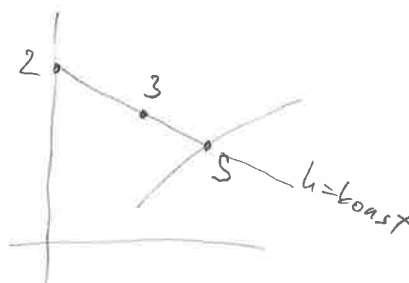
(2.)

$$t = \frac{49.58 - 0 \cdot 2.5}{1.005 + 0 \cdot 0.001926} = 49.33 \text{ °C}$$

$$X_s(49.33 \text{ °C}) = 78.15 + \frac{1.33}{2.0} (87.52 - 78.15) = 84.38 \text{ g/kg}$$

$$\eta = \frac{\Delta X}{\Delta X_{\max}} = \frac{X_3 - X_2}{X_s - X_2} = \frac{X_3}{X_s}$$

$$X_s(h = 49.58) = ?$$

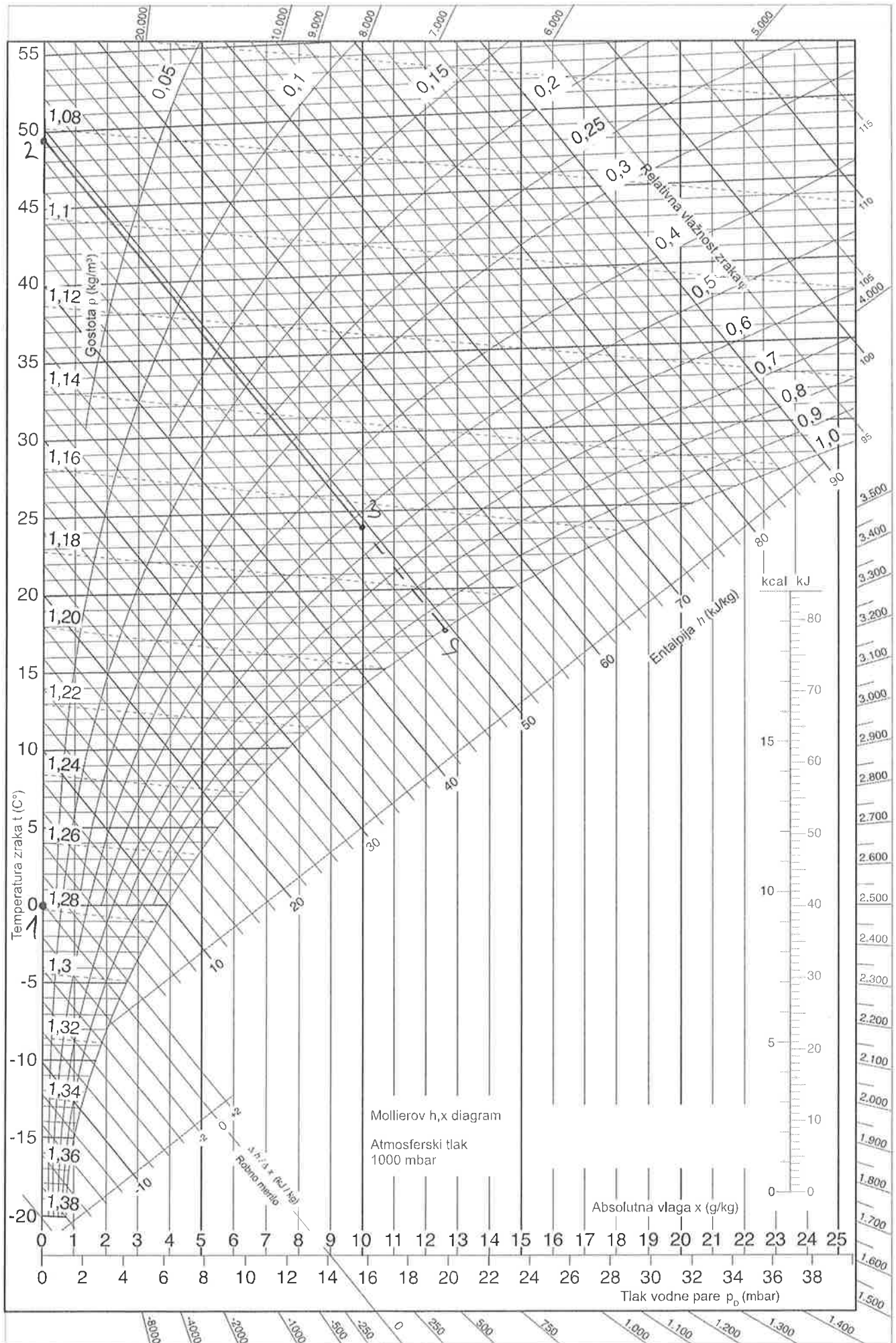


$$\frac{16}{18} \quad \varepsilon = \frac{49.58 - 45.20}{51.28 - 45.20} = 0.7204$$

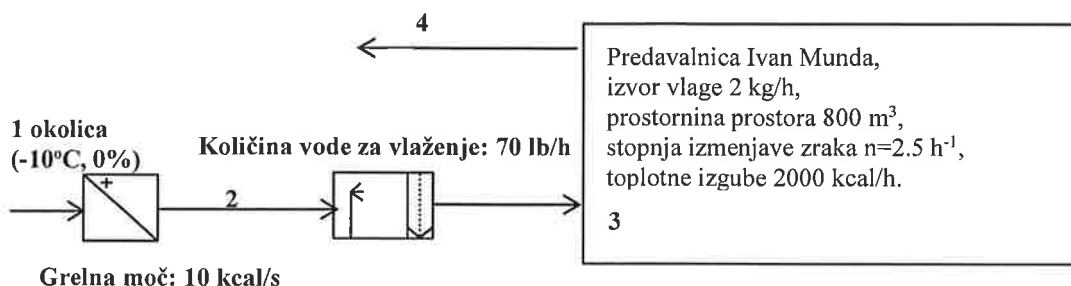
$$t = 16 + \varepsilon \cdot 2 = 17.44 \text{ °C}$$

$$X_s(17.44 \text{ °C}) = 11.51 + \varepsilon (13.10 - 11.51) = 12.66 \text{ g/kg}$$

$$\eta = \frac{10}{12.66} = 0.7899$$



HVAC, 10. 9. 2019

2. S pomočjo **h-x diagrama** rešite nalogo za klimatizacijsko napravo na sliki.

	T[°C]	φ[%]	X[g/kg]	h[kJ/kg]
tol	0,6	4,	0,4	1,0
1	-10	φ	φ	-10.0
2	48.3 (5)	φ	φ	+48.29 (5)
3	17.3 (5)	100 (5)	12.28 (5)	48.29 (5)
4	16.0 (5)	100 (5)	11.4 (5)	45.05 (5)

Stopnja vlaženja	100 [%]	(5)
Rosišče točke 4	18 [°C]	(5)
Masni tok zraka	2586 [kg/h]	

(3-4): $\dot{m}_{zr} = 8 \cdot \dot{V} = 1.293 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 2000 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 2586 \text{ kg/h} = 0.7183 \text{ kg/s}$

$\dot{V} = V \cdot n = 800 \text{ m}^3 \times 2.5 / \text{h} = 2000 \text{ m}^3/\text{h}$

$\dot{Q} = \dot{m}_{zr} \cdot \Delta h \Rightarrow \Delta h = \frac{\dot{Q}}{\dot{m}_{zr}} = \frac{2.326 \text{ kW}}{0.7183 \text{ kg/s}} = 3.238 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

$2000 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} \cdot \frac{1.163 \text{ W}}{\text{kcal/h}} = 2326 \text{ W}$

$\dot{m}_v = \dot{m}_{zr} \cdot \Delta x \Rightarrow \Delta x_{34} = \frac{2 \text{ kg}_v}{\text{h}} \cdot \frac{\text{h}}{2586 \text{ kg}_{zr}} = 0.7734 \frac{\text{g}_v}{\text{kg}_{zr}}$

(2) $\dot{m}_v = \frac{70 \text{ lb}}{\text{h}} + \frac{0.4536 \text{ kg}}{\text{lb}} = 31.75 \text{ kg/h}$

$\Delta x_{23} = \frac{\dot{m}_v}{\dot{m}_{zr}} = \frac{31.75 \text{ kg}_v}{2586 \text{ kg}_{zr}} = 12.28 \frac{\text{g}_v}{\text{kg}_z}$

(1-2) $10 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} \cdot \frac{4.187 \text{ kW}}{1 \text{ kcal/h}} = 41.87 \text{ kW}$

$\Delta h = \frac{\dot{Q}}{\dot{m}_{zr}} = \frac{41.87 \text{ kW}}{0.7183 \text{ kg/s}} = 58.29 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

$\eta = 100\%$

