

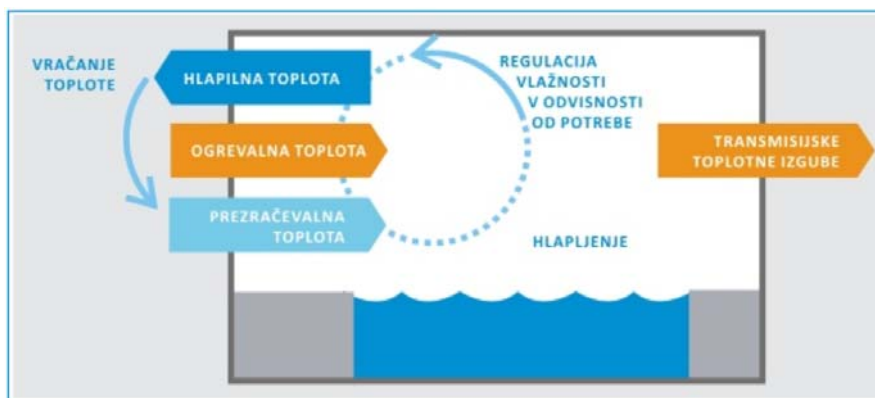


Fakulteta za strojništvo

UNIVERZA V MARIBORU
FAKULTETA ZA STROJNIŠTVO

Matjaž RAMŠAK

Zbirka rešenih izpitnih nalog pri predmetu
Klimatizacija (HVAC)
za študijsko leto 2013/2014



(vir: www.menerga.si)

MARIBOR, oktober 2014

CIP – kataložni zapis o publikaciji
Univerzitetna knjižnica Maribor

[CIP številka]

Matjaž Ramšak
Zbirka rešenih izpitnih nalog pri
predmetu Klimatizacija (HVAC)
za študijsko leto 2013/2014/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 2013/2014
Avtor:	Matjaž Ramšak
Strokovni recenzenti:	Jure Marn, Matej Zadavec
Jezikovni recenzenti:	
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:	[31.12.2014]
Različica (e-pub):	R [številka]
URL (e-pub):	http://dkum.uni-mb.si/...
Sistemske zahteve (e-pub):	računalnik, internetni dostop
Programske zahteve (e-pub):	internetni brskalnik, program Adobe Reader

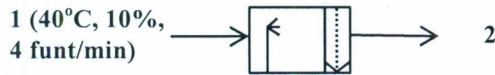
KAZALO

Izpit 07.02.2014	4
Kolokvij 09.06.2014	7
Izpit 16.06.2014	10
Izpit 11.07.2014	14
Izpit 11.09.2014	18

50%	50%

Priimek in ime: _____ Vpisna številka: _____
 Ocenjujem pravilnost številskih rezultatov. Za pravilni postopek praviloma ne podeljujem procentov. Prosim, pri računskih nalogah zaokrožite števila na 4 pomembna mesta (npr.: 0.0012345678=0.1235e-2 ali 1.235kJ). Natančnost rešitve mora biti +/- na 3 pomembnem mestu. Grafično rešitev vrišete na priloženi diagram. Čas reševanja 90 min. Pišite kar na ta list. Po potrebi dobite dodaten list.

1. Računsko s pomočjo tabel rešite naslednjo napravo na sliki in rezultate zapišite v tabelo. Nalogo rešite za dve stopnji vlaženja: a) stopnja vlaženja 100% in b) stopnja vlaženja 60%. Entalpijo razpršene vode zanemarite.



Stopnja vlaženja

$$\eta = \frac{\Delta x}{\Delta x_{max}}$$

a) Stopnja vlaženja 100%

	T[°C]	φ[%]	X[g/kg]	h[kJ/kg]	Xs[g/kg]
1	40	10	4,953	52,96	49,53
2	18,51	100	13,55	-11-	13,55

Količina razpršene vode:

0,9360 [kg/h]

10

15

b) Stopnja vlaženja 60%

	T[°C]	φ[%]	X[g/kg]	h[kJ/kg]	Xs[g/kg]
1	40	10	4,953	52,96	49,53
2	27,02	43,86	10,11	-11-	23,05

Količina razpršene vode:

0,5615 [kg/h]

10

15

a) $h = c_{pT} \cdot t + x(c_{pp} \cdot t + r) = 1,005 \cdot 40 + 4,953(2,5 + 0,001926 \cdot 40) = 52,96 \frac{kJ}{kg}$

linearna interpolacija

$$\epsilon = \frac{52,96 - 51,28}{52,87 - 51,28} = 0,2549$$

$$t_2 = 18 + \epsilon(20 - 18) = 18,51^\circ C$$

$$X_s(18,51^\circ C) = 13,104 \epsilon(14,88 - 13,10) = 13,55 \text{ g/kg}$$

$$\Delta X_{max} = X_2 - X_1 = 13,55 - 4,953 = 8,597 \text{ g/kg}$$

$$\dot{m}_v = \dot{m}_{ar} \cdot \Delta X = 0,2600 \frac{g}{s} = 0,9360 \frac{kg}{h}$$

b) $\Delta X = \eta \cdot \Delta X_{max} = 0,60 \cdot (8,597) = 5,158 \text{ g/kg}$
 $X_2 = X_1 + \Delta X = 4,953 + 5,158 = 10,11 \text{ g/kg}$

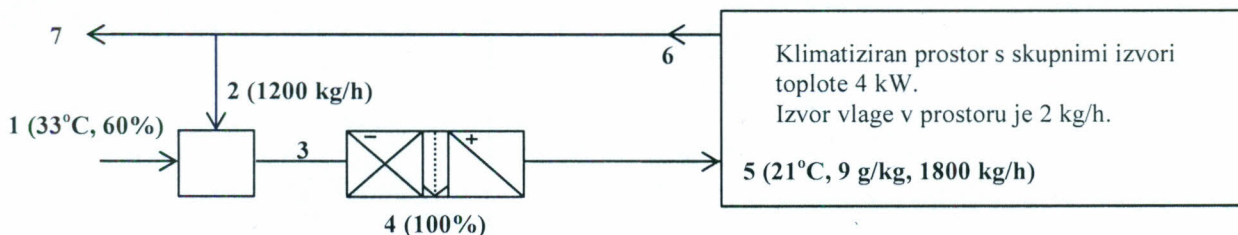
$$t_2 = \frac{h - X \cdot r}{c_{pT} + X c_{pp}} = \frac{52,96 - 10,11 \cdot 2,5}{1,005 + 10,11 \cdot 0,001926} = 27,02^\circ C$$

$$X_{2s}(27,02^\circ C) = 21,62 + \frac{27,02 - 26}{28 - 26} \cdot (24,42 - 21,62) = 23,05 \text{ g/kg}$$

pretok $\dot{m}_{ar} = 4 \frac{fpm}{min} \cdot \frac{0,4536 \text{ kg}}{1 \text{ fpm}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 0,03024 \text{ kg/s}$

$$\dot{m}_v = \dot{m}_{ar} \cdot \Delta X = 0,03024 \frac{kg}{s} \cdot 5,158 \frac{g}{kg} = 0,1560 \frac{g}{s} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{h} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} = 0,5615 \text{ kg vode/h}$$

2. S pomočjo h-x diagrama **grafično** rešite nalogo za klimatizacijsko napravo na sliki. Rezultat mešanja (točka 3) je potrebno določiti grafično iz diagrama. Na izstopu iz hladilnika zraka predpostavimo 100% relativno vlažnost. 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.



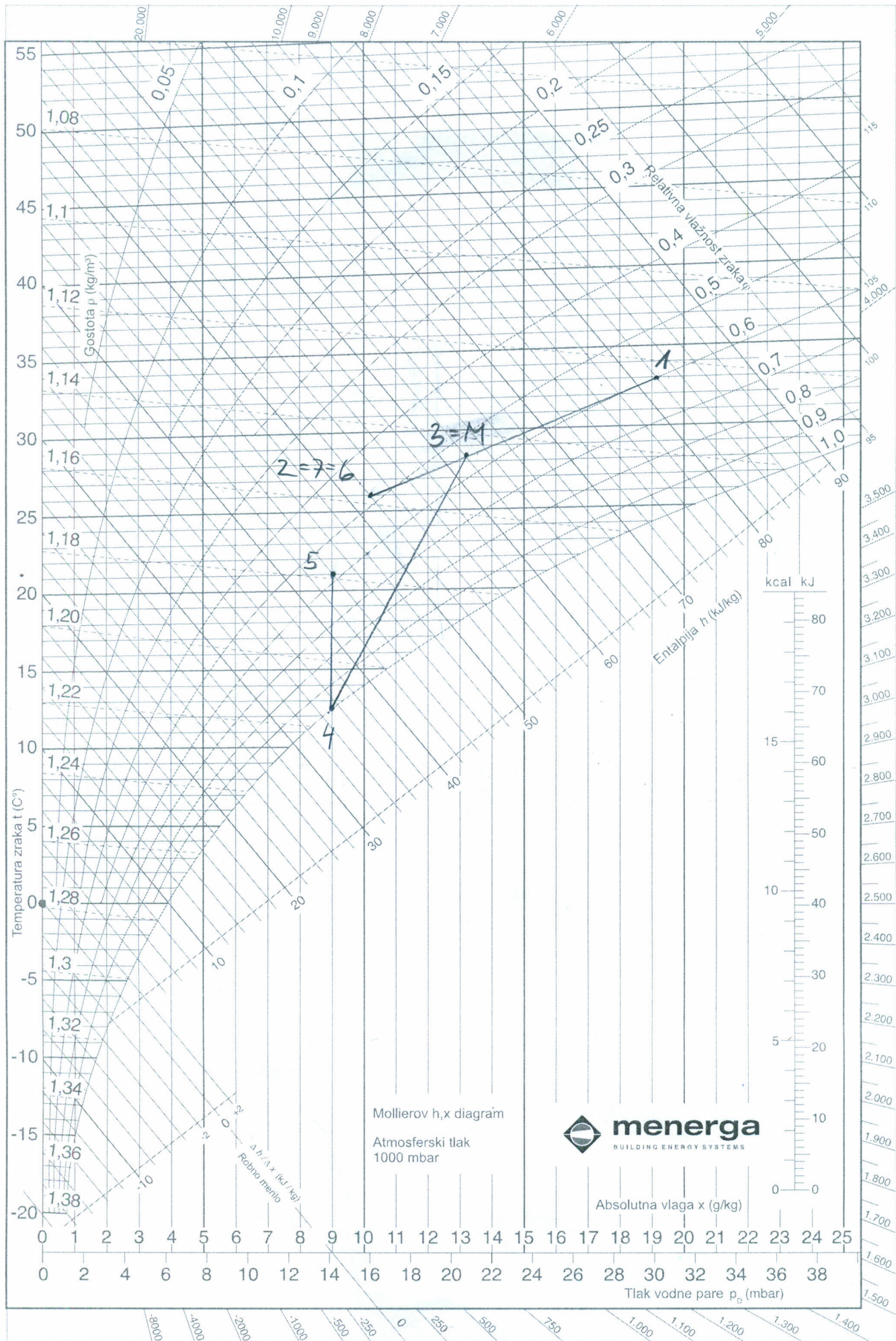
	T[°C]	φ[%]	X[g/kg]	h[kJ/kg]
toler	0,2	2,	0,2	0,3
1	33	60	19.2	82.0
2	26.0	48	10.11	52.0
3	28.3	55	13.2	62.0
4	12.5	100	9.0	35.1
5	21	58	9	44.0
6	26.0	48	10.11	52.0
7	-11-	-11-	-11-	-11-

Hladilna moč naprave: 18.29 [KM] (5)
 Kol. izločene vode v napravi: 7.560 [kg/h] (5)
 Hladilna moč naprave, če ne bi imeli mešanja (torej hladimo zunanji zrak direktno):
31.88 [KM] (5)

IZVOR VLAGE V PROSTORU: $\Delta X_{56} = \frac{\dot{m}_v}{\dot{m}_{zr}} = \frac{2 \text{ kg vode/h}}{1800 \text{ kg zraka/h}} = 1.111 \frac{\text{g}}{\text{kg zr}}$
 $X_6 = X_5 + \Delta X_{56} = 9.0 + 1.111 = 10.11 \text{ g/kg}$
 $\dot{Q}_{56} = \dot{m}_{zr} \Delta h \Rightarrow \Delta h = \frac{\dot{Q}_{56}}{\dot{m}_{zr}} = \frac{4 \text{ kW} \cdot 3600 \text{ s}}{1800 \text{ kg/h}} = 8.0 \frac{\text{kJ}}{\text{kg zr}}$
 $h_6 = h_5 + \Delta h = 44.0 + 8.0 = 52.0 \text{ kJ/kg}$

MEŠANJE 1-2
 $\frac{\dot{M}_2}{\dot{M}_1} = \frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_2} = \frac{600}{1200} = \frac{1}{2} \Rightarrow \dot{M}_1 = 2\dot{M}_2$
 $\dot{M}_1 + \dot{M}_2 = 61 \text{ mm} = 2\dot{M}_2 + \dot{M}_2 = 3\dot{M}_2$
 $\dot{M}_2 = 20.33 \text{ mm}$

$\dot{Q}_{34} = \dot{m}_{zr} (h_3 - h_4) = 0.5 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (62.0 - 35.1) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 13.45 \text{ kW} \cdot \frac{\text{KM}}{0.7355 \text{ kW}} = 18.29 \text{ KM}$
 $\dot{m}_{v34} = \dot{m}_{zr} (X_3 - X_4) = 0.5 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (13.2 - 9.0) \frac{\text{g}}{\text{kg}} = 2.1 \frac{\text{g}}{\text{kg}} = 7.560 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$
 $\dot{Q}_{14} = \dot{m}_{zr} (h_1 - h_4) = 0.5 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (82.0 - 35.1) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 23.45 \text{ kW} = 31.88 \text{ KM}$

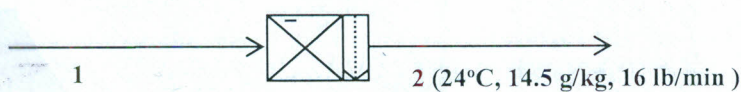


50%	50%

Priimek in ime: _____ Vpisna številka: _____

Ocenjujem pravilnost številskih rezultatov. Za pravilni postopek praviloma ne podeljujem procentov. Prosim, pri računskih nalogah zaokrožite števila na 4 pomembna mesta (npr.: 0.00123456=0.1235e-2 ali 1.235kJ). Natančnost rešitve mora biti +/-5 na 3 pomembnem mestu. **Grafično rešitev** vrišete na priloženi diagram. Čas reševanja 90 min. Pišite kar na ta list. Po potrebi dobite dodaten list.

1. **Računsko** s pomočjo tabel rešite naslednjo napravo na sliki in rezultate zapišite v tabelo. Stopnja razvlaževanja (sušenja) je 30%. Temperatura hladilnih površin je 10C. Pretok hladilnega medija v hladilnih površinah je 50 l/min (snovske 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 inch²/min). Predpostavite, da je sušilnik zraka toplotno izoliran od okolice. Entalpijo vode iz sušilnika smete zanemarit.



	T[°C]	φ[%]	X[g/kg]	h[kJ/kg]	Xs[g/kg]
1	30.00	63.16	17.40	74.66	27.55
2	24	75.84	14.5	61.04	19.12

(20)

Hladilni medij se segreje v hladilnih površinah za	0.3279 [C]
Količina izločene vode	1.263 [kg/h]

(15)

(15)

$$h_2 = 1.005 \cdot 24 + 14.5 (2.5 + 0.001926 \cdot 24) = 61.04 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta = \frac{\Delta X}{\Delta X_{MAX}} = \frac{\Delta t}{\Delta t_{MAX}} = \frac{x_1 - x_2}{x_1 - x_R} \quad x_R(10^\circ\text{C}) = 7.727 \text{ g/kg}$$

$$x_1 = \frac{x_2 - \eta x_R}{1 - \eta} = \frac{14.5 - 0.3 \cdot 7.727}{1 - 0.3} = 17.40 \text{ g/kg}$$

$$t_1 = \frac{t_2 - \eta t_R}{1 - \eta} = \frac{24 - 0.3 \cdot 10}{1 - 0.3} = 30.00 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$h_1 = 1.005 \cdot 30 + 17.40 (2.5 + 0.001926 \cdot 30) = 74.66 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{m}_{zr} = \frac{16 \text{ lb}}{\text{min}} \cdot \frac{0.4536 \text{ kg}}{1 \text{ lb}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 0.1210 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_v = \dot{m}_{zr} (x_1 - x_2) = 0.1210 (17.40 - 14.5) = 0.3509 \text{ g/s} = 1.263 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

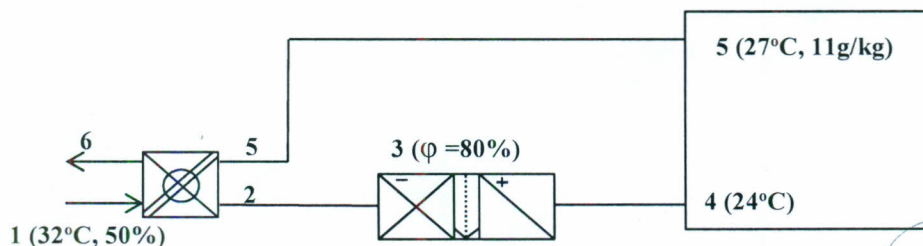
$$\dot{Q}_{12} = \dot{m}_{zr} \cdot \Delta h = 0.1210 \cdot (74.66 - 61.04) = 1.648 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{12} = \dot{m} c_p \cdot \Delta T \Rightarrow \Delta T = \frac{\dot{Q}_{12}}{\dot{m} c_p} = \frac{1.648}{0.4536 \cdot 11.08} = 0.3279 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\dot{m} = \dot{v} \cdot \rho = 50 \frac{\text{L}}{\text{min}} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \cdot 1.2 \frac{\text{lb}}{\text{L}} \cdot \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ lb}} \cdot \frac{0.4536 \text{ kg}}{1 \text{ lb}} = 0.4536 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$c_p = 1.2 \frac{\text{kcal}}{\text{lb} \cdot \text{K}} \cdot \frac{4187 \text{ J}}{\text{kcal}} \cdot \frac{1 \text{ lb}}{0.4536 \text{ kg}} = 11.08 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

2. S pomočjo h-x diagrama rešite nalogo za klimatizacijsko napravo na sliki. Naprava vsebuje regenerator toplote in vlage. Izkoristek izmenjave čutne toplote je 90%, latentne toplote pa 60%. Masni pretok suhega zraka na vstopu v napravo je 10000 funtov na uro. V prostoru je izvor vlage 6 kg/h. Odčitane vrednosti zapisujete na decimalna mesta kot je prikazano v prvi vrstici tabele. Rezultat je pravilen če je vaša vrednost znotraj +/- zapisane tolerance v drugi vrstici tabele, kar ustreza +/- 2mm napake na h-x diagramu.



	T[°C]	φ[%]	X[g/kg]	h[kJ/kg]
Tol +/-	0,6	3,	0,4	1,0
1	32	50	15.0	70.3
⑤ 2	27.50	56	12.60	60.0
⑤ 3	17.0	80	9.677	41.8
⑤ 4	24	52	9.677	48.8
5	27	48	11	55.1
⑤ 6	31.50	46	13.40	66.0

Izvor toplote v prostoru	<u>7.938</u> [kW]
Hladilna moč 2-3	<u>22.93</u> [kW]
Grelna moč 3-4	<u>8.820</u> [kW]
Toplotna moč regeneratorja	<u>12.98</u> [kW]
Kol. izločene vode 2-3	<u>13.26</u> [kg/h]
T hladilnih površin v hlad. 2-3	<u>10</u> [C]

$$\Delta X_{45} = \frac{\dot{m}_v}{\dot{m}_{zr}} = \frac{6 \text{ kg}_v/\text{h}}{3600 \text{ s} \cdot 1.260 \text{ kg}_{zr}} = 1.323 \text{ g/kg}$$

$$\dot{m}_{zr} = 10000 \frac{\text{funt}}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \cdot \frac{0.4536 \text{ kg}}{\text{funt}} = 1.260 \text{ kg/s}$$

$$\Delta t = 0.90(32 - 27) = 4.5 \text{ C} \quad \begin{cases} t_2 = 27.5 \text{ C} \\ t_6 = 31.5 \text{ C} \end{cases}$$

$$\Delta X = 0.60(15 - 11) = 2.4 \text{ g/kg} \quad \begin{cases} X_2 = 12.60 \text{ g/kg} \\ X_6 = 13.40 \text{ g/kg} \end{cases}$$

kontrola:

$$\omega_{h12} = 10.3 \text{ kJ/kg} \approx \omega_{h56} = 10.9 \text{ kJ/kg} \quad \checkmark$$

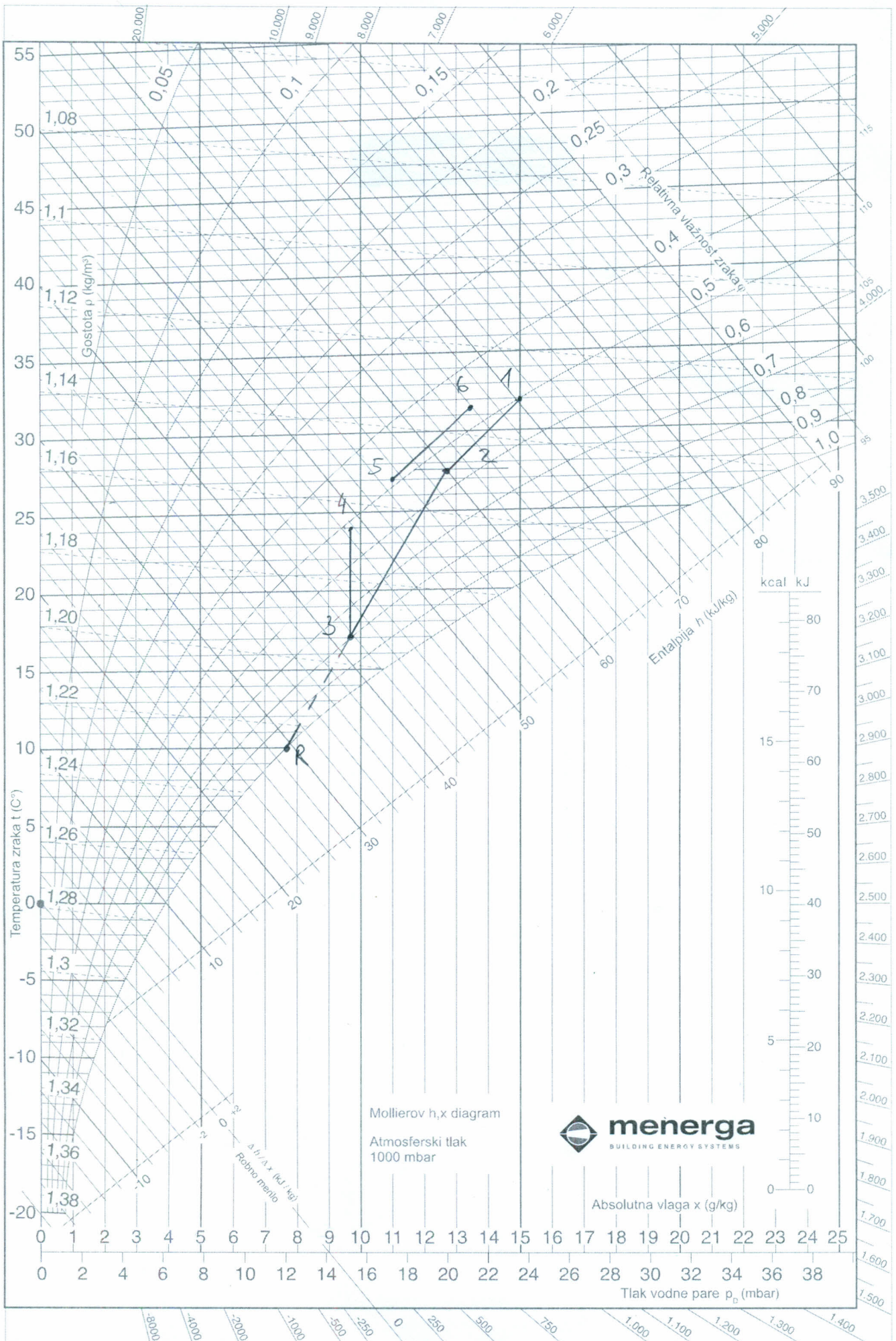
$$\dot{Q}_{45} = \dot{m} \Delta h = 1.260 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (55.1 - 48.8) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 7.938 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{23} = 22.93 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{34} = 8.820 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{12} = 12.98 \text{ kW}$$

$$\dot{m}_{v23} = 1.260 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (12.60 - 9.677) \frac{\text{g}}{\text{kg}} = 3.683 \frac{\text{g}}{\text{s}} = 13.26 \text{ kg/h}$$

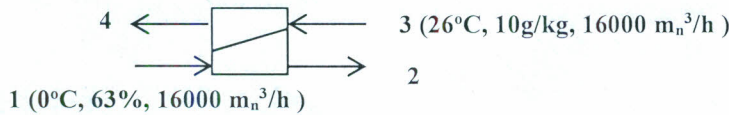


50%	50%

Priimek in ime: _____ Vpisna številka: _____

Ocenjujem pravilnost številskih rezultatov. Za pravilni postopek praviloma ne podeljujem procentov. Prosim, pri računskih nalogah zaokrožite števila na 4 pomembna mesta (npr.: 0.00123456=0.1235e-2 ali 1.235kJ). Natančnost rešitve mora biti +/-5 na 3 pomembnem mestu. Grafično rešitev vrišete na priloženi diagram. Odčitane vrednosti zapisujete na decimalna mesta kot je prikazano v prvi vrstici tabele. Rezultat je pravilen če je vaša vrednost znotraj +/- zapisane tolerance v drugi vrstici tabele, kar ustreza +/- 2mm napake na h-x diagramu. Čas reševanja 90 min. Pišite kar na ta list. Po potrebi dobite dodaten list.

1. Računsko s pomočjo tabel rešite rekuperator toplote. Rezultate zapišite v tabelo. Izkoristek izmenjave čutne toplote je 83%. V primeru kondenzacije predpostavite 100% vlažnost kondenzirajočega zraka na izhodu iz rekuperatorja.



	T[°C]	φ[%]	X[g/kg]	h[kJ/kg]	Xs[g/kg]
1	0	63	2.407	6.018	3.821
2	21.58	14.62	-	27.81	16.46
3	26	46.25	10	51.63	21.62
4	10.13	100	7.801	29.84	7.801

Količina izločene vode 45.50 [kg/h] 15
 Toplotna moč rekup. 125.2 [kW] 15

10

10

$$x_1 = 0.63 \cdot 3.821 = 2.407 \text{ g/kg}$$

$$h_1 = 1.005 \cdot 0 + 2.407 (2.5 + 0) = 6.018 \text{ kJ/kg}$$

$$t_3 = \frac{10}{21.62} = 0.4625$$

$$h_3 = 1.005 \cdot 26 + 10(2.5 + 0.001926 \cdot 26) = 51.63 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta t = 0.83(26 - 0) = 21.58 \text{ }^\circ\text{C} \quad \left\{ \begin{array}{l} t_2 = 21.58 \text{ }^\circ\text{C} \checkmark \\ X_{t_2} = 4.420 \text{ }^\circ\text{C} < t_2 = 14 \text{ }^\circ\text{C, kond.} \end{array} \right.$$

$$h_2 = 1.005 \cdot 21.58 + 2.407(2.5 + 0.001926 \cdot 21.58) = 27.81 \text{ kJ/kg}$$

$$x_s(21.58) = 14.88 + \frac{1.58}{2} (16.88 - 14.88) = 16.46 \text{ g/kg}$$

$$r_2 = \frac{x_1}{x_s} = \frac{2.407}{16.46} = 0.1462$$

- ZAKON O OHRANITVI ENERGIJE: $|\Delta h_{12}| = |\Delta h_{34}|$

$$h_4 = h_3 - \Delta h_{12} = 51.63 - (27.81 - 6.018) = 29.84 \text{ kJ/kg}$$

h_5	t_5	
29.52	10	-29.84
34.36	12	

$$\epsilon = \frac{29.84 - 29.52}{34.36 - 29.52} = 0.06612$$

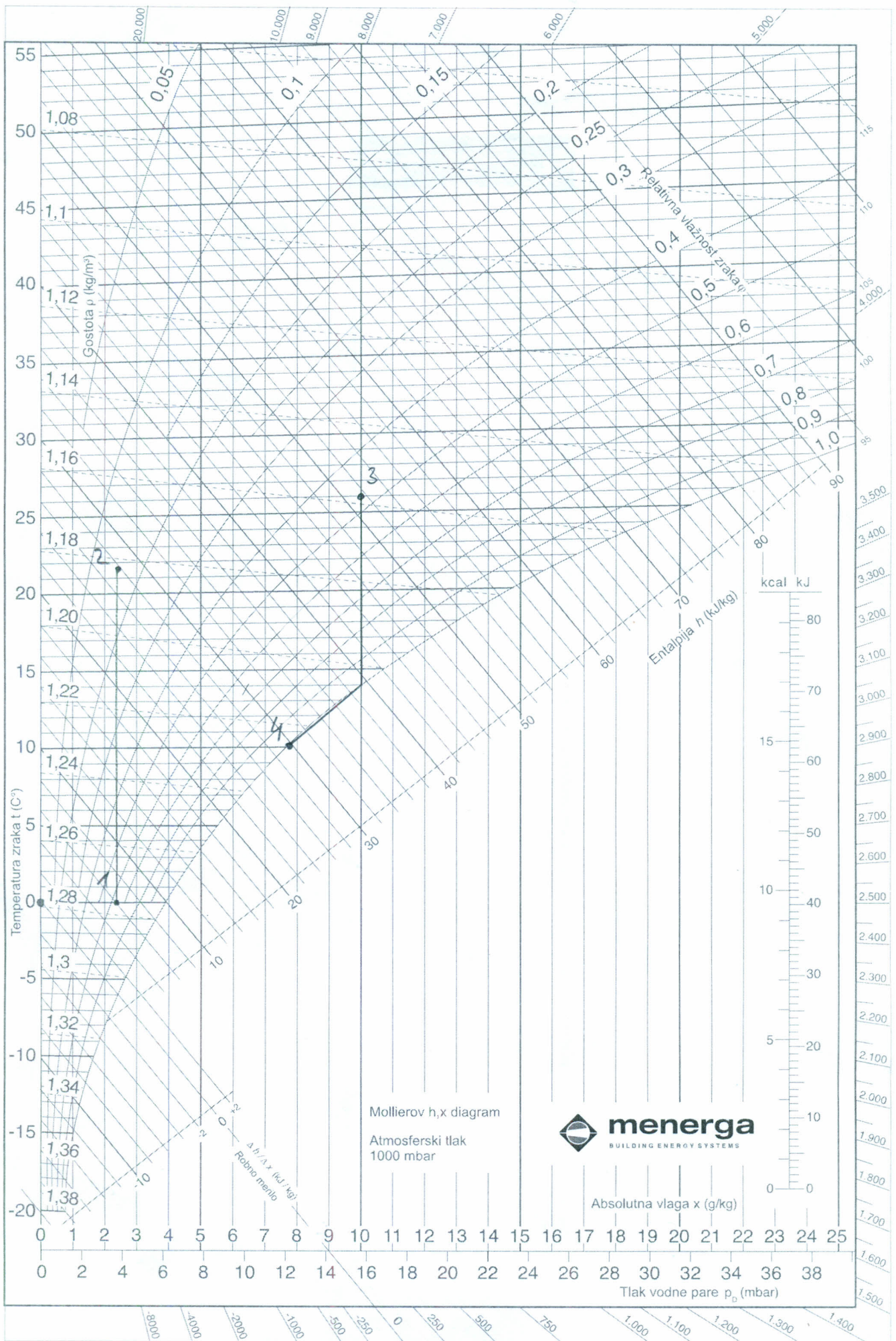
$$t_4 = 10 + \epsilon(12 - 10) = 10.13$$

$$x_s(10.13) = 7.727 + 0.06612(8.841 - 7.727) = 7.801$$

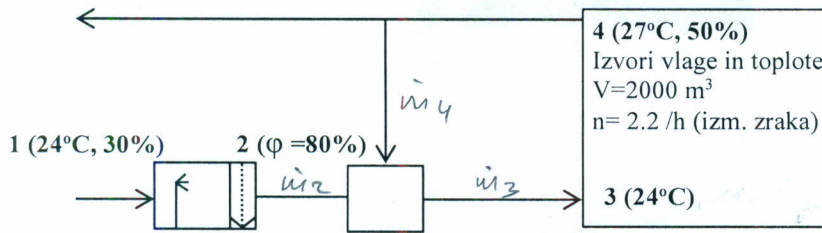
$$\dot{m}_{7K} = 1293 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 16000 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 5.747 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_{V34} = 5.747 (10 - 7.801) = 12.64 \text{ g/s} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{\text{h}} \cdot \frac{\text{kg}}{1000 \text{ g}} = 45.50 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\dot{Q}_{12} = 5.747 (27.81 - 6.018) = 125.2 \text{ kW}$$



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	3,	0,4	1,0
1	24	30	5.6	38.1
2	15.5	80	8.9	-11-
3	24	57	10.7	51.2
4	27	50	11.3	56.0

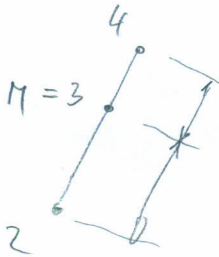
Izvor toplote v prostoru	7.586 [kW]	5
Izvor vlage v prostoru	3.413 [kg/h]	5
Kol. vode 1-2	4.990 [kg/h]	10
Pretok suhega zraka 1	1169 [m³/h]	20

$$\dot{V}_3 = V \cdot n = 2000 \text{ m}^3 \cdot 2.2 \frac{1}{h} = 4400 \text{ m}^3/h$$

$$\dot{m}_{34} = \rho \cdot \dot{V}_3 = 1.293 \text{ kg/m}^3 \cdot \frac{4400 \text{ m}^3}{3600 \text{ s}} = 1.580 \text{ kg/s}$$

$$\dot{Q}_{34} = \dot{m}_{34} \cdot \Delta h = 1.580 (56.0 - 51.2) = 7.586 \text{ kW}$$

$$\dot{m}_{v34} = \dot{m}_{34} \cdot \Delta X = 1.580 (11.3 - 10.7) = 0.9480 \frac{\text{g}}{\text{s}} = 3.413 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$



$$\frac{M_4}{M_2} = \frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_4} = \frac{10.5 \text{ mm}}{29 \text{ mm}} = 0.3621 \Rightarrow \dot{m}_2 = c \cdot \dot{m}_4$$

($\frac{1}{0.3621} = 2.762$)

$$\dot{m}_2 + \dot{m}_4 = 1.580 \text{ kg/s}$$

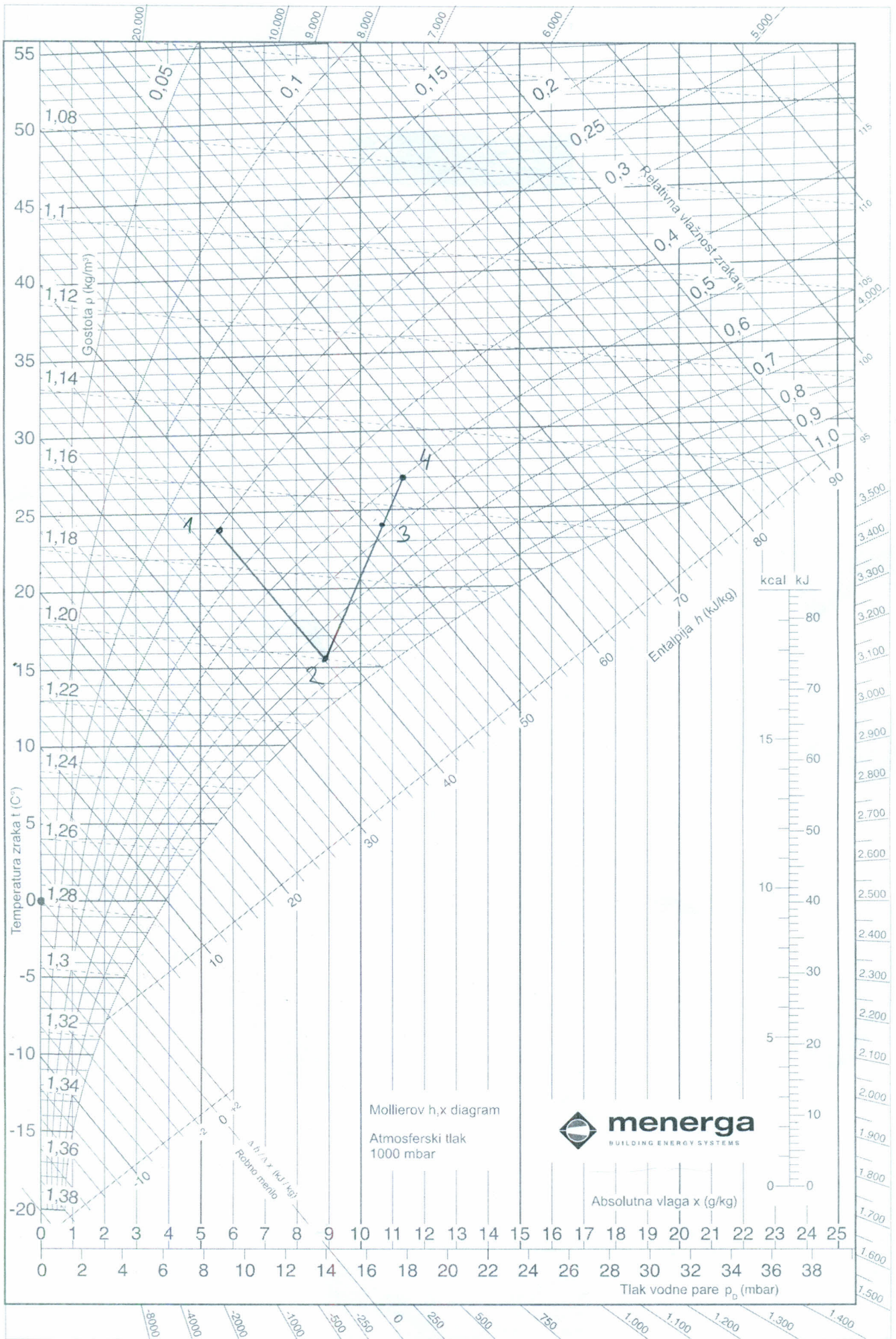
$$\dot{m}_4 (c+1) = \dots$$

$$\dot{m}_4 = \frac{1.580}{1 + 0.3621} = 1.160 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_2 = 0.4200 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_{v12} = 0.4200 (8.9 - 5.6) = 1.386 \text{ g/s} = 4.990 \text{ kg/h}$$

$$\dot{V}_1 = \frac{\dot{m}_1}{\rho} = \frac{0.4200 \text{ kg/s}}{1.293 \text{ kg/m}^3} = 0.3248 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 1169 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$



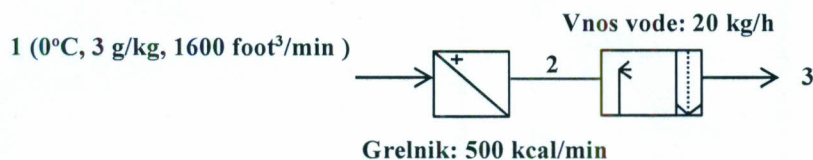
50%	50%

Priimek in ime: _____

Vpisna številka: _____

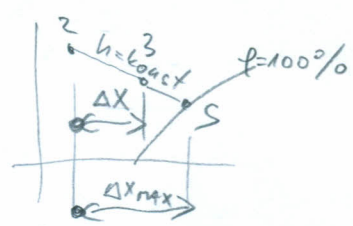
Ocenjujem pravilnost številskih rezultatov. Za pravilni postopek praviloma ne podeljujem procentov. Prosim, pri računskih nalogah zaokrožite števila na 4 pomembna mesta (npr.: 0.00123456=0.1235e-2 ali 1.235kJ). Natančnost rešitve mora biti +/- 5 na 3 pomembnem mestu. Grafično rešitev vrišete na priloženi diagram. Odčitane vrednosti zapisujete na decimalna mesta kot je prikazano v prvi vrstici tabele. Rezultat je pravilen če je vaša vrednost znotraj +/- zapisane tolerance v drugi vrstici tabele, kar ustreza +/- 2mm napake na h-x diagramu. Čas reševanja 90 min. Pišite kar na ta list. Po potrebi dobite dodaten list.

1 Računsko s pomočjo tabel rešite naslednjo napravo na sliki in rezultate zapišite v tabelo. Pazite na enote! Pri procesu vlaženja zanemarite entalpijo vstopajoče vode. Pretok v točki 1 pomeni pretok suhega zraka pri normalnih pogojih.



	T[°C]	φ[%]	X[g/kg]	h[kJ/kg]	Xs[g/kg]	Stopnja vlaženja 2-3 70.96 [%]
1	0	78.51	3	7.500	3.821	
2	35.36	7.918	- -	43.24	37.89	(20)
3	21.05	54.56	8.691	- -	15.93	(20)

(10)



1) $h = 1.005 \cdot \phi + 3(2.5 + 0.001926 \cdot \phi) = 7.5$

2) $\dot{Q}_{12} = 500 \frac{\text{kcal}}{\text{min}} \cdot \frac{4.187 \text{ kJ}}{1 \text{ kcal}} \cdot \frac{\text{min}}{60 \text{ s}} = 34.89 \text{ kW}$

$\dot{V} = 1600 \frac{\text{foot}^3}{\text{min}} \cdot \left(\frac{0.3048 \text{ m}}{1 \text{ foot}}\right)^3 \cdot \frac{\text{min}}{60 \text{ s}} = 0.7551 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

$\dot{m} = \dot{V} \cdot \rho = 0.7551 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 1.293 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 0.9763 \text{ kg/s}$

$\Delta h_{12} = \frac{\dot{Q}_{12}}{\dot{m}} = \frac{34.89 \text{ kW}}{0.9763 \text{ kg/s}} = 35.74 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

$h_2 = h_1 + \Delta h_{12} = 7.5 + 35.74 = 43.24 \text{ kJ/kg}$

$t_2 = \frac{43.24 - 3 \times 2.5}{1.005 + 3 \times 0.001926} = 35.36 \text{ °C}$

$x_s(35.36 \text{ °C}) = 34.94 + \frac{1.36}{2} (39.28 - 34.94) = 37.89 \text{ g/kg}$

3) $\dot{m}_v = 20 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot \frac{1000 \text{ g}}{\text{kg}} \cdot \frac{\text{h}}{3600 \text{ s}} = 5.556 \text{ g/s}$

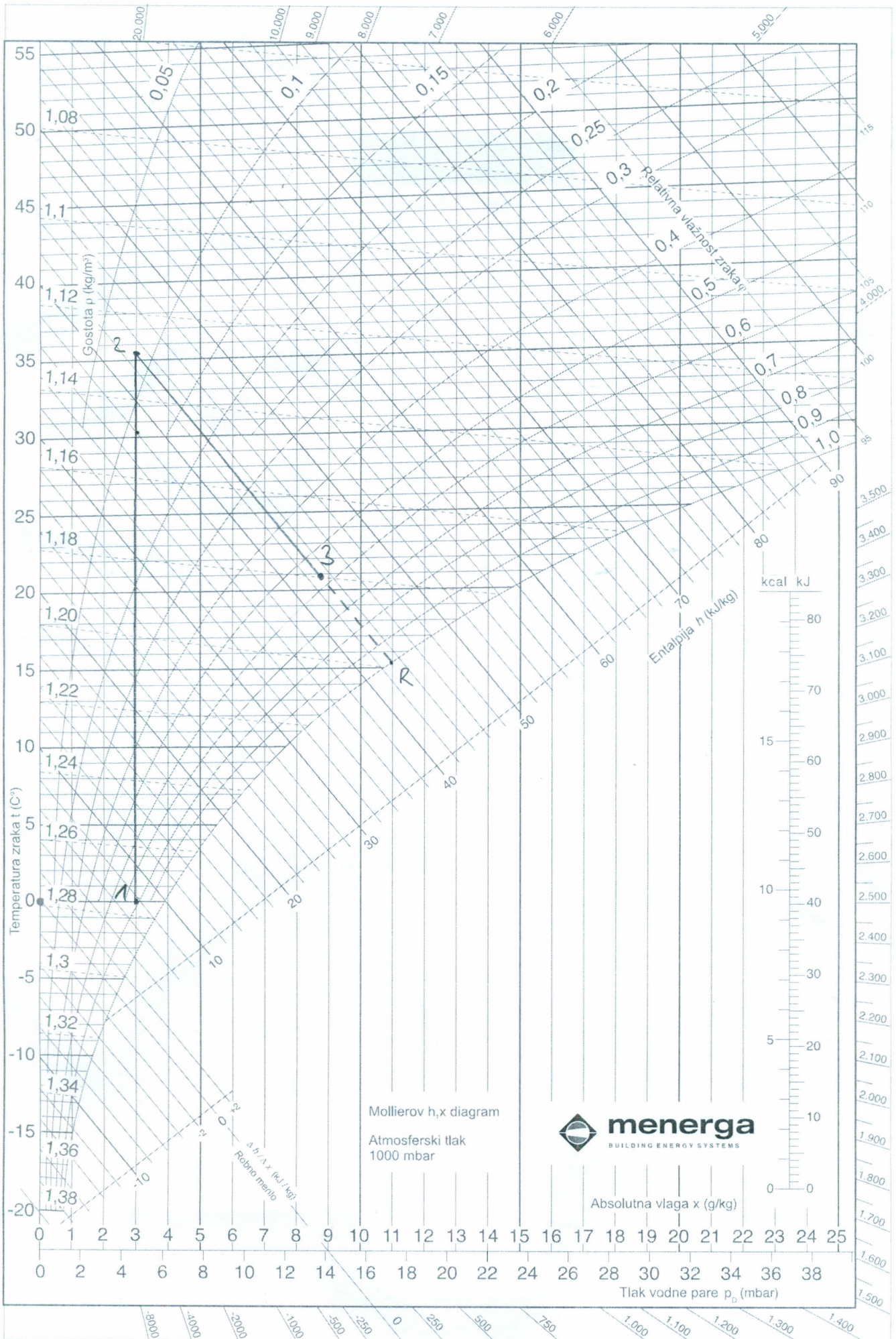
$\Delta X = \frac{\dot{m}_v}{\dot{m}_{\text{zr}}} = \frac{5.556 \text{ g/s}}{0.9763 \text{ kg/s}} = 5.691 \frac{\text{g}}{\text{kg zr}}$

$t_3 = \frac{43.24 - 8.691 \times 2.5}{1.005 + 8.691 \times 0.001926} = 21.05 \text{ °C}$

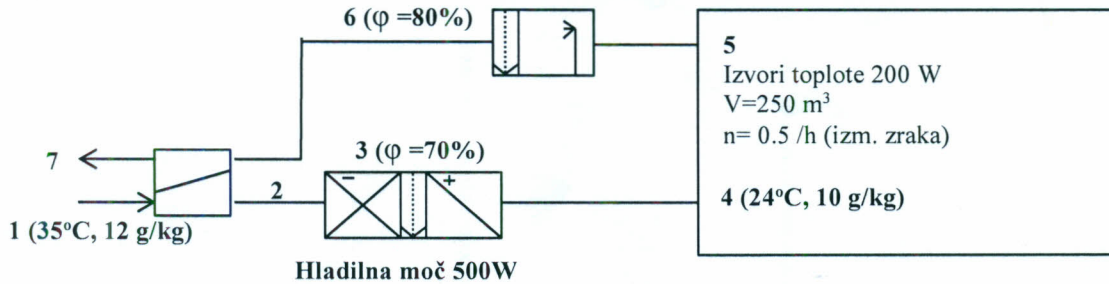
$x_s(21.05 \text{ °C}) = 14.88 + \frac{1.05}{2} (16.88 - 14.88) = 15.93 \text{ g/kg}$

$\eta_{23} = \frac{\Delta X_{23}}{\Delta X_{\text{max}}} = \frac{3 - 8.691}{3 - 11.02} = \frac{x_2 - x_3}{x_2 - x_s(h_3 = h_2 = h_3)} = 0.7096$

$x_s(h_3 = 43.24 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}) = \left(\frac{43.24 - 39.58}{45.20 - 39.58}\right) \cdot (11.51 - 10.10) + 10.10 = 11.02 \text{ g/kg}$



2. S pomočjo h-x diagrama rešite nalogo za klimatizacijsko napravo na sliki. V hladilniku 2-3 je temperatura hladilnih površin pod rosiščem.



	T[°C]	φ[%]	X[g/kg]	h[kJ/kg]
Tol +/-	0,6	3,	0,4	1,0
1	35	34	12	65.8
2	25.6	58	12	56.14
3	19.5	70	10	45.0
4	24	53	10	49.5
5	28.3	42	-11-	53.96
6	21.4	80	12.8	-11-
7	30.9	46	12.8	63.62

Grelna moč 3-4 0.2020 [kW] 5
 Kol. vode 5-6 0.4525 [kg/h] 5
 Izkoristek rekuperatorja (čutne toplote) 69.12 [%] 20
 Temp. hladilnih površin 2-3 _____ [°C]

5
5
5
5
5

t1 in t4 podatki

$$\dot{V} = V \cdot n = 250 \text{ m}^3 \cdot 0.5 = 125.0 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 0.03472 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\dot{m} = 1.293 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0.03472 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 0.04489 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\Delta h_{45} = \frac{\dot{Q}_{izvor}}{\dot{m}} = \frac{0.200 \text{ kW}}{0.04489 \text{ kg/s}} = 4.455 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_5 = h_4 + \Delta h_{45} = 49.5 + 4.455 = 53.96 \text{ kJ/kg}$$

t(6) φ = 80%, h6 = h5

t(3) x3 = x4, φ3 = 70%

t(1-2): rosišče (35°C, 12 g/kg) ≈ 17°C, t6 = 21.4, DO KONDENZACIJE NE PRIDE

$$x_2 = x_1$$

$$\Delta h_{23} = \frac{\dot{Q}_{23}}{\dot{m}_{23}} = \frac{0.500 \text{ kW}}{0.04489 \text{ kg/s}} = 11.14 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_2 = h_3 + \Delta h_{23} = 45.0 + 11.14 = 56.14$$

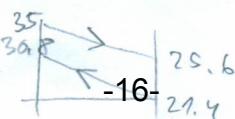
$$\Delta h_{67} = \Delta h_{12} = 65.8 - 56.14 = 9.66 \text{ kJ/kg}$$

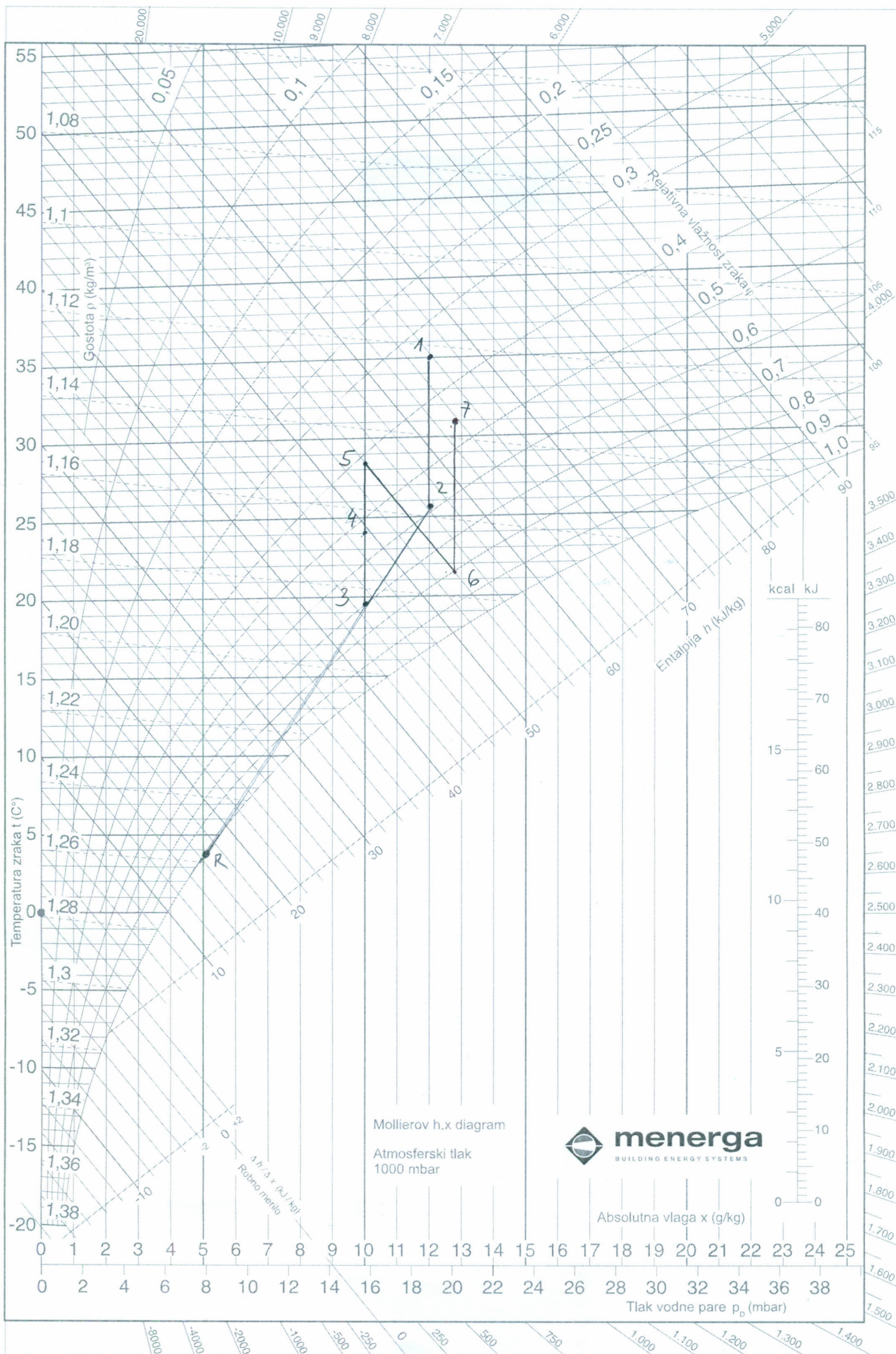
$$h_7 = h_6 + \Delta h_{67} = 21.4 + 9.66 = 31.06$$

$$\dot{Q}_{34} = \dot{m} \Delta h_{34} = 0.04489 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot (45.0 - 21.4) = 1.045 \text{ kW}$$

$$\dot{m}_{v56} = \dot{m} \Delta x_{56} = 0.04489 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot (12.8 - 10) = 0.1257 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 0.4525 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\eta = \frac{\Delta t}{\Delta t_{max}} = \frac{35 - 25.6}{35 - 21.4} = 0.6912$$



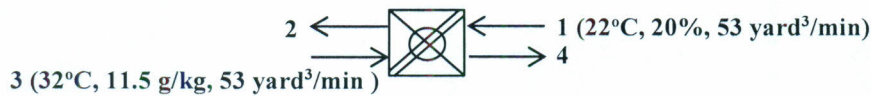


50%	50%

Priimek in ime: _____ Vpisna številka: _____

Ocenjujem pravilnost številskih rezultatov. Za pravilni postopek praviloma ne podeljujem procentov. Prosim, pri računskih nalogah zaokrožite števila na 4 pomembna mesta (npr.: 0.00123456=0.1235e-2 ali 1.235kJ). Natančnost rešitve mora biti +/-5 na 3 pomembnem mestu. Grafično rešitev vrišete na priloženi diagram. Odčitane vrednosti zapisujete na decimalna mesta kot je prikazano v prvi vrstici tabele. Rezultat je pravilen če je vaša vrednost znotraj +/- zapisane tolerance v drugi vrstici tabele, kar ustreza +/- 2mm napake na h-x diagramu. Čas reševanja 90 min. Pišite kar na ta list. Po potrebi dobite dodaten list.

1 Računsko s pomočjo tabel rešite regeneratorski proces na sliki in rezultate zapišite v tabelo. Učinkovitost vračanja čutne toplote je 93% in latentne toplote 43%. Preverite zakon ohranitve energije za regeneratorski proces. Pretoki pomenijo pretok suhega zraka pri normalnih pogojih.



	T[°C]	φ[%]	X[g/kg]	h[kJ/kg]	Xs[g/kg]	
1	22	20	3.376	30.69	16.88	Toplotna moč regeneratorskega procesa $\dot{Q}_{12} = 16.03$ [kW] (15)
2	31.30	23.03	6.869	49.04	29.82	
3	32	37.05	11.5	61.62	31.04	Napaka ohranitvenega zakona energije 78.60 [W] (15)
4	22.70	45.34	8.007	43.18	17.66	

$$X_1 = 0.20 \cdot 16.88 = 3.376 \text{ g/kg}$$

$$h_1 = 1.005 \cdot 22 + 3.376 (2.5 + 0.001826 \cdot 22) = 30.69 \text{ kJ/kg}$$

$$h_3 = 32 + 11.5 = 61.62 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta t = \eta_c \cdot \Delta t_{max} = 0.93 (32 - 22) = 9.300 \text{ }^\circ\text{C}$$

{ 22 → 31.3 °C
32 → 22.7 °C

$$\Delta X = \eta_L \cdot \Delta X_{max} = 0.43 (11.5 - 3.376) = 3.493 \text{ g/kg}$$

11.5 → 8.007 g/kg, 3.376 → 6.869 g/kg

$$h_2 = 1.005 \cdot 31.30 + 6.869 (2.5 + 0.001826 \cdot 31.30) = 49.04 \text{ kJ/kg}$$

$$h_4 = 22.70 + 8.007 = 43.18 \text{ kJ/kg}$$

$$X_s(31.30) = 27.55 + \frac{1.3}{2} (31.04 - 27.55) = 29.82 \text{ g/kg}$$

$$X_s(22.70) = 16.88 + \frac{0.7}{2} (19.12 - 16.88) = 17.66 \text{ g/kg}$$

Zakon o ohranitvi energije: $h_2 - h_1 = h_3 - h_4$

$$h_2 - h_1 = 49.04 - 30.69 = 18.35 \text{ kJ/kg}$$

$$h_3 - h_4 = 61.62 - 43.18 = 18.44 \text{ kJ/kg}; \text{ napaka} = 0.09 \text{ kJ/kg}$$

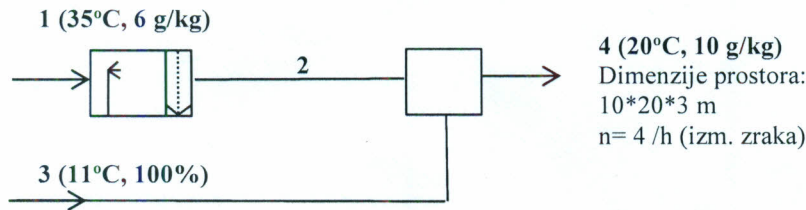
$$\dot{V} = 53 \frac{\text{yard}^3}{\text{min}} \cdot \left(\frac{0.9144 \text{ m}}{\text{yard}}\right)^3 \cdot \frac{\text{min}}{60 \text{ s}} = 0.6754 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\dot{m} = 1.293 \text{ kg/m}^3 \cdot 0.6754 \text{ m}^3/\text{s} = 0.8733 \text{ kg/s}$$

$$\dot{Q}_{12} = \Delta h_{12} \cdot \dot{m} = 18.35 \text{ kJ/kg} \cdot 0.8733 \text{ kg/s} = 16.03 \text{ kW}$$

$$\text{napaka} = 0.09 \text{ kJ/kg} \cdot 0.8733 \text{ kg/s} = 0.07860 \text{ kW}$$

2. S pomočjo h-x diagrama rešite nalogo za klimatizacijsko napravo na sliki. Pretoki zraka pomenijo pretok suhega zraka pri normalnih pogojih.



	T[°C]	φ[%]	X[g/kg]	h[kJ/kg]
Tol +/-	0,6	3,	0,4	1,0
1	35	17	6	50.3
2	23.2	60	10.6	-11-
3	11	100	8.2	31.8
4	20	68	10	45.5

Pretok 1	<u>1771</u> [m³/h]	(10)
Pretok 3	<u>629.0</u> [m³/h]	(10)
Pretok 4	<u>2400</u> [m³/h]	φ
Kol. vode 1-2	<u>10.53</u> [kg/h]	(10)

$$\dot{V}_4 = (10 \cdot 20 \cdot 3) \text{ m}^3 \cdot \frac{4}{\text{h}} = 2400 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\frac{\dot{M}_2}{\dot{M}_3} = \frac{\dot{m}_3}{\dot{m}_2} = \frac{\dot{V}_3}{\dot{V}_2} = \frac{11 \text{ mm}}{31 \text{ mm}} = 0.3548 \Rightarrow \dot{V}_3 = 0.3548 \dot{V}_2$$

$$\dot{V}_2 + \dot{V}_3 = \dot{V}_4 = 2400 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\dot{V}_2 + 0.3548 \dot{V}_2 = 1.3548 \dot{V}_2 = 2400 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\dot{V}_2 = 1771 \text{ m}^3/\text{h}, \quad \dot{V}_3 = 629.0 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\dot{m}_2 = 1.293 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1771 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 2290 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_{v12} = \Delta X_{12} \cdot \dot{m}_2 = (10.6 - 6) \frac{\text{g}}{\text{kg}} \cdot 2290 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 10534 \frac{\text{g}}{\text{h}}$$

