

Zadání pro 8. týden studia

## **„Termomechanika a Modelování“**

*Obsah*

1. Zadání cv. 8 – Termomechanika, př. 152
2. Příklad pro řešení úlohy 152
3. Zadání pro cv. 8 – Modelování
4. Tabulka vybraných hodnot fyzikálních vlastností  $\text{NH}_3$

## Termomechanika cvičení cv. 8 – Zadání a vstupní data příkladů

**Téma:** Přestup tepla – tepelné cykly

Cv. 8 - 12.11.2015

**Př. 152** Čpavkové chladicí zařízení s výkonem  $Q$  chladí solanku z teploty  $t_{s1}$  na teplotu  $t_{s2}$ . Teplota vypařování je  $t_o$  a kondenzace  $t_k$ . Výstupní teplota solanky bude  $t_{s2} = t_o + \Delta t_o$ . Vstupní teplota solanky bude  $t_{s1} = t_{s2} + \Delta t_s$ . Kondenzátor je chlazen vodou o teplotním spádu  $t_{v1}/t_{v2}$ . Výstupní teplota voda z kondenzátoru bude  $t_{v2} = t_k - \Delta t_k$ . Teplota vstupní vody do kondenzátoru bude  $t_{v1} = t_{v2} - \Delta t_v$ . Určete hmotnostní průtok chladiva  $m_c$  NH<sub>3</sub> okruhem, tok  $m_s$  solanky výparníkem, tepelný výkon  $Q_k$  kondenzátoru i odpovídající průtok  $m_v$  chladicí vody a chladicí faktor pro polytropický exponent  $n$ . Úlohu řešte zjednodušeně pro zadané hodnoty.

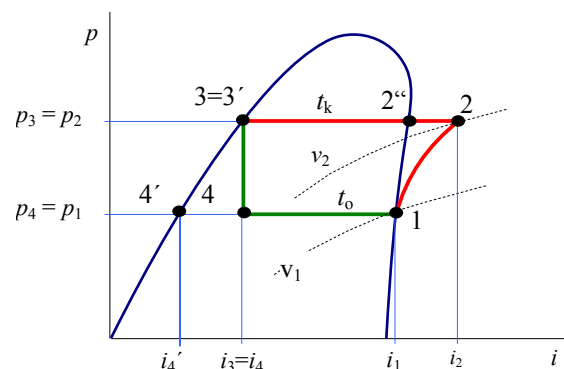
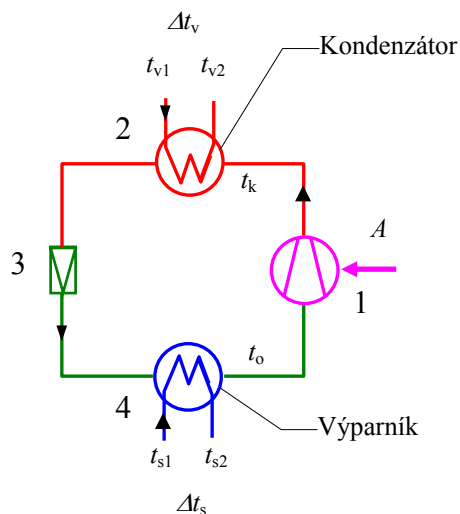
### Vstupní data

PC kontrola: - **FY152**

Cíl: Hmotnostní průtoky solanky a chladiva, chladicí faktor

	Veličina		Sk. 1-8 h	Sk. 2-10 h
1	Chladicí výkon $Q$	[kW]	66+2x	52+2x
2	Teplota vypařování $t_o$	[°C]	-20+0,5x	-15+0,5x
3	Teplota kondenzace $t_k$	[°C]	25+0,5x	20+0,5x
4	<b>Údaje pro liché pořad. číslo x</b> Rozdíl teplot „vypařování-výstup solanky“ Rozdíl teplot „kondenzace-výstup vody“ Teplotní spád solanky $\Delta t_s = t_{s2} - t_{s1}$ Teplotní spád vody $\Delta t_v = t_{v1} - t_{v2}$	[K]	$\Delta t_o = 7$ $\Delta t_k = 6$ $\Delta t_s = 5$ $\Delta t_v = 7$	$\Delta t_o = 6$ $\Delta t_k = 5$ $\Delta t_s = 5$ $\Delta t_v = 7$
5	<b>Údaje pro sudé pořad. číslo x</b> Rozdíl teplot „vypařování-výstup solanky“ Rozdíl teplot „kondenzace-výstup vody“ Teplotní spád solanky $\Delta t_s = t_{s2} - t_{s1}$ Teplotní spád vody $\Delta t_v = t_{v1} - t_{v2}$	[K]	$\Delta t_o = 5$ $\Delta t_k = 7$ $\Delta t_s = 6$ $\Delta t_v = 5$	$\Delta t_o = 6$ $\Delta t_k = 5$ $\Delta t_s = 5$ $\Delta t_v = 7$
6	Polytropický exponent $n$	[-]	1,2+0,01x	1,25+0,01x
7	Měrná tepelná kapacita solanky $c_s$	[J/kgK]	3400	3350
8	Měrná tepelná kapacita vody $c_v$	[J/kgK]	4186	4150
9	Výparné teplo NH <sub>3</sub> $l$	[kJ/kg]	$i'' - i'$	

**Řešení** – Aplikace úlohy z oblasti tepelných cyklů sledující prohloubení poznatků zejména předmětů BT02 - VZT1 a Chlazení.



Obr. 1 Schéma skladby zařízení a probíhajících dějů v tepelném diagramu

5.11.015

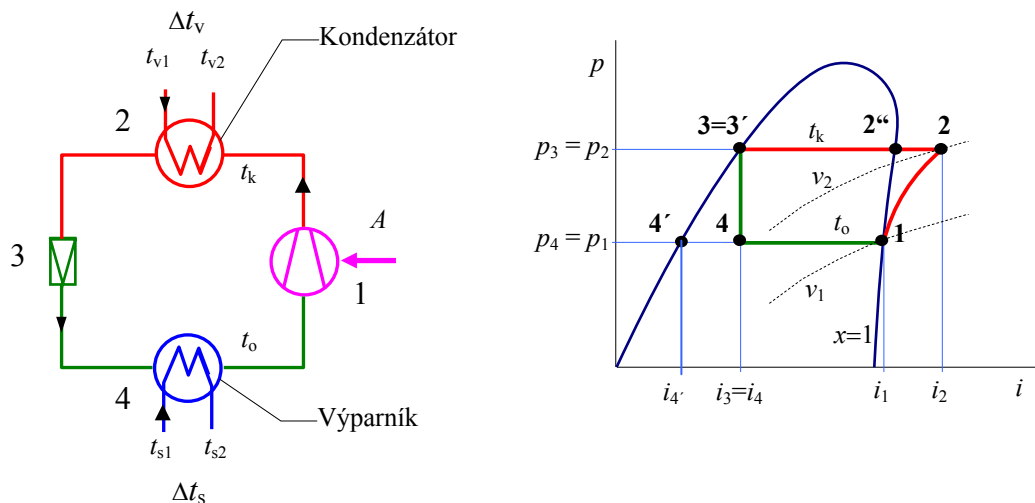
## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

## CT 07 – Termomechanika

## Téma: Tepelné cykly v oborech TZB

**Př. 1** Čpavkové chladicí zařízení s výkonem  $Q$  chladí solanku z teploty  $t_{s1}$  na teplotu  $t_{s2}$ . Teplota vypařování je  $t_o$  a kondenzace  $t_k$ . Kondenzátor je chlazen vodou o teplotním spádu  $t_{v1}/t_{v2}$ . Určete měrnou práci  $A$  kompresoru pro polytropický exponent  $n$ , průtok  $m_c$  chladiva  $\text{NH}_3$  okruhem, hmotnostní toky  $m_s$  solanky výparníkem, tepelný výkon  $Q_k$  kondenzátoru a odpovídající průtok  $m_v$  chladicí vody.

a. *Postata úlohy:* Řešení fyzikálních dějů probíhajících cyklicky v uzavřeném okruhu a přenášející teplo pomocí skupenských změn chladiva. Schéma sestavy zařízení a tepelných dějů a jsou na obr. 1. Úloha vyžaduje vyčíslení termodynamických dějů par pomocí grafických, tabelovaných, poloempirických či exaktních hodnot a vychází z jistých zjednodušení.



Obr. 1 Schéma skladby zařízení a probíhajících dějů v tepelném diagramu

b. Zadané vstupní hodnoty

$$Q_c = 50 \text{ kW}, \quad t_o = -15 \text{ }^\circ\text{C}, \quad t_k = 20 \text{ }^\circ\text{C}, \quad t_{s1} = -5 \text{ }^\circ\text{C}, \quad t_{s2} = -10 \text{ }^\circ\text{C}, \quad t_{v1} = 10 \text{ }^\circ\text{C}, \quad t_{v2} = 20 \text{ }^\circ\text{C}, \quad n = 1,25$$

c. *Předpoklady řešení* – základní poznatky tepelných oběhů, tabulky, grafy či aproximační funkce vlastností  $\text{NH}_3$  a vody

d. *Stavové a výpočtové veličiny* – hodnoty veličin lze určit z tabulek či pomocí aproximačních funkcí

Tepelné vlastnosti výpočtových stavů čpavku

stav 1  $t_1 = -15 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow p_1 = 236,4 \text{ Pa}, \quad v_1'' = 0,5068 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}, \quad i_1'' = 1363,14 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1},$

stav 2''  $t_2 = 25 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow p_2 = 1005 \text{ Pa}, \quad v_2'' = 0,12678 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}, \quad i_2'' = 1395,12 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1},$

stav 3  $t_3 = 25 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow p_3 = 1005 \text{ Pa}, \quad v_3 = 0,001659 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}, \quad i_3 = 241,03 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

stav 4'  $t_4' = -15 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow p_4' = 236,4 \text{ Pa}, \quad i_4' = 51,1 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1},$

rozdíl teplot ve výparníku  $\Delta t_o = t_o - t_{s2} = |-15 + 10| = 5 \text{ }^\circ\text{C}$  rozdíl teplot je reálný

rozdíl teplot v kondenzátoru  $\Delta t_k = t_k - t_{v2} = 25 - 20 = 5 \text{ }^\circ\text{C}$  rozdíl teplot je reálný

měrná tepelná kapacita solanky (předpok. konst.)  $c_{ps} = 3,5 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ,  $c_{ps} = f(\text{teploty, chem. složení})$   
 měrná tepelná kapacita vody (předpoklad konst.)  $c_v = 4186 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ,  $c_v = f(\text{teploty})$   
 výparné teplo  $l = i'' - i'$

e. Práce kompresoru

$$A = \frac{n}{n-1} \cdot p_1 \cdot v_1 \cdot \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] = \frac{1,25}{1,25-1} \cdot 236,4 \cdot 0,5068 \cdot \left[ \left( \frac{1000}{236,4} \right)^{\frac{0,25}{1,25}} - 1 \right] = 202,7 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

f. Stav páry chladiva ve stavu 2

měrná entalpie  $i_2 = i'_1 + A = 1363,1 + 202,7 = 1565,8 \text{ kJ.kg}^{-1}$

g. Hmotnostní chladivost  $q_m$

Výchozí pro hodnotu  $q_m$  je měrná vlhkost  $x_4$  vyčíslená pomocí entalpie  $i_4$  stavu 4  $\text{NH}_3$ .  
 Platí

$$i_4 = i_4' + x_4 \cdot l_4, \quad x_1 = 1 \Rightarrow$$

$$x_4 = \frac{i_4 - i_4'}{l_4} = \frac{241,0 - 51,1}{1363,14 - 51,1} = 0,1447 \text{ kg.kg}^{-1}$$

$$q_m = l_4 \cdot (x_1 - x_4) = 1312,0 \cdot (1 - 0,1447) = 1122,8 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

h. Hmotnostní tok  $\text{NH}_3$

$$m_c = \frac{Q_c}{q_m} = \frac{50}{1122,8} = 0,0445 \text{ kg.s}^{-1}$$

i. Hmotnostní tok solanky

$$m_s = \frac{Q_c}{c_{ps} \cdot (t_{s1} - t_{s2})} = \frac{50}{3,5 \cdot (-5 + 10)} = 2,857 \text{ kg.s}^{-1}$$

j. Výkon kondenzátoru

$$Q_k = Q_c + A \cdot m_c = 50 + 202,7 \cdot 0,0445 = 59,02 \text{ kW}$$

k. Hmotnostní tok vody

$$m_v = \frac{Q_k}{c \cdot (t_{k2} - t_{k1})} = \frac{59,02}{4,186 \cdot (20 - 10)} = 1,41 \text{ kg.s}^{-1}$$

l. Chladicí faktor

$$\varepsilon = \frac{q_m}{A} = \frac{1122,8}{202,7} = 5,54$$

m. Hodnocení

Výpočet dokumentuje numerické řešení základních cyklických dějů chladicího zařízení vyřešených pro idealizované předpoklady. Řešení lze ověřit grafickými přístupy či programovými prostředky, které umožní variantní a komplexní řešení s výstupem všech souvisejících veličin.

5.11.2015

## Modelování - cvičení 8

*Téma: Modelování skupenských změn*

*Př. 8* Ocelovým tepelně neizolovaným potrubím se nepřerušovaně přivádí říční voda pro technologický proces. Potrubí je uloženo ve volné krajině nad úrovní terénu. V reálném provozu je nutno předpokládat výpadek proudu, poruchy čerpadel ap.

Zpracujte simulační řešení k postižení změny stavu vody v potrubí v průběhu osmihodinové havarijní přestávky pro místní extrémní zimní klimatické poměry a varianty:

a: Voda bude vlivem poruchy v potrubí v klidu

b: **Nepovinné** - voda bude v potrubí proudit jen rychlostí  $w = 0,2$  m/s

*Základní hodnoty*

	Sk. 1 – 12 h	Sk. 2 – 16 h
Průměr potrubí $D$	$300+5.x$ mm	$250+10.x$ mm
Délka trasy $l$	$1,1 + 0,02.x$ km	$1,3 + 0,01.x$ km
Lokalita trasy	předměstí Prahy	předměstí Brna
Teplota říční vody $t_w$	$2 + 0,1.x$ °C	$3 + 0,1.x$ °C
Ostatní hodnoty	obvyklé meze	

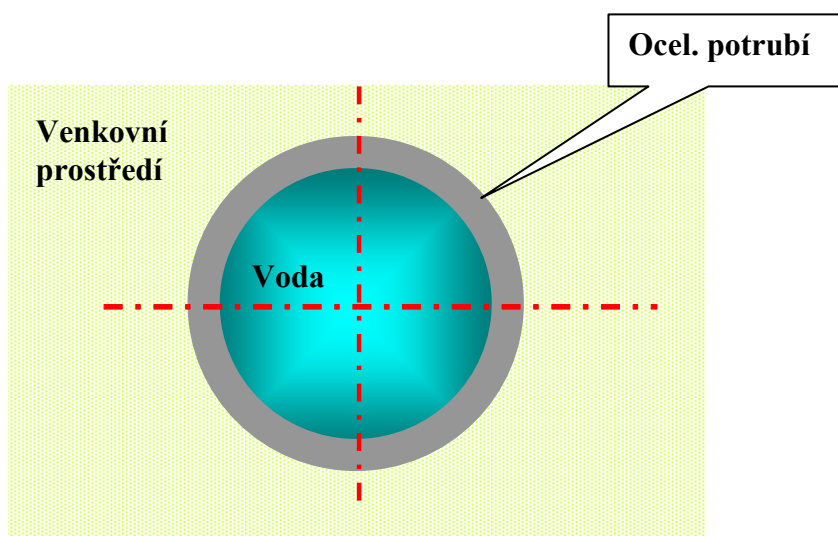
*Výstup řešení – elaborát zahrnující:*

- Zadání
- Zvolené vstupní hodnoty
- Algoritmus a předpoklady řešení
- Graf postihující stav vody v potrubí v průběhu havarijní přestávky
- Tabulka vybraných numerických hodnot

*Nástroj řešení:*

- teorie ochlazování látek se skupenskými změnami,
- programové prostředky umožňující řešit a modelovat chladnutí těles se skupenskými změnami,
- dostupný simulační produkt k verifikaci výstupů – nepovinné.

*Schéma:*



GG-4.11.015

### Vybrané veličiny NH<sub>3</sub> (hodnoty na mezních křivkách)

Teplota °C	Tlak MPa	Měrný objem		Měrná entalpie	
		m <sup>3</sup> /kg	m <sup>3</sup> /kg	kJ/kg	kJ/kg
<i>t</i>	<i>p</i>	<i>v'</i> .1000	<i>v''</i> .1000	<i>i'</i>	<i>i''</i>
-30	0,1194	1,475	968,49	-17,77	1343,02
-29	0,1253	1,478	920,63	-13,25	1344,48
-28	0,1315	1,481	880,04	-8,72	1345,92
-27	0,1379	1,484	841,57	-4,18	1347,36
-26	0,1445	1,486	805,11	0,87	1348,75
-25	0,1615	1,489	770,52	4,93	1350,15
-24	0,1586	1,492	737,7	9,5	1361,62
-23	0,1661	1,495	706,56	14,09	1352,88
-22	0,1738	1,498	676,97	18,68	1354,22
-21	0,1818	1,501	648,84	23,28	1356,56
-20	0,1902	1,508	622,14	27,89	1356,86
-19	0,1988	1,506	596,73	32,51	1358,15
-18	0,2077	1,509	572,67	37,14	1359,43
-17	0,2169	1,512	549,87	41,78	1360,68
-16	0,2265	1,515	527,68	46,43	1361,98
-15	0,2364	1,518	506,88	51,09	1363,14
-14	0,2466	1,521	486,96	56,75	1344,34
-13	0,2572	1,524	488,08	60,42	1365,53
-12	0,26	1,527	449,97	65,1	1366,69
-11	0,2794	1,53	432,75	69,79	1367,84
-10	0,2911	1,534	416,82	74,48	1368,96
-9	0,3031	1,537	400,63	79,18	1370,07
-8	0,3156	1,54	385,65	88,89	1371,16
-7	0,3284	1,548	371,85	88,61	1372,28
-6	0,3416	1,546	367,68	93,88	1373,87
-5	0,3553	1,549	344,41	98,05	1374,8
-4	0,3694	1,553	332,12	108,79	1375,81
-3	0,3839	1,558	320,17	107,58	1376,8
-2	0,3989	1,559	308,74	118,26	1377,27
-1	0,4143	1,563	297,79	117,01	1378,21
0	0,4301	1,566	287,31	121,76	1379,14
1	0,4465	1,569	277,28	126,52	1380,05
2	0,4633	1,573	267,66	131,27	1380,93
3	0,4807	1,576	258,45	136,03	1381,79
4	0,4985	1,58	249,61	140,8	1382,63
5	0,5168	1,583	241,14	145,57	1383,45
6	0,5356	1,587	233,02	150,33	1384,25
7	0,555	1,59	225,22	155,1	1385,03
8	0,5749	1,594	217,74	159,89	1385,78
9	0,5953	1,597	210,55	164,66	1386,52
10	0,6164	1,601	203,65	169,43	1387,23
11	0,637	1,605	197,02	174,21	1387,92
12	0,6601	1,608	190,65	178,99	1388,58
13	0,6828	1,612	184,53	183,76	1389,22
14	0,7061	1,616	178,64	188,54	1389,84

Teplota °C <i>t</i>	Tlak MPa <i>p</i>	Měrný objem		Měrná entalpie	
		m <sup>3</sup> /kg <i>v'</i> .1000	m <sup>3</sup> /kg <i>v''</i> .1000	kJ/kg <i>i'</i>	kJ/kg <i>i''</i>
15	0,7301	1,62	172,98	193,32	1390,44
16	0,7546	1,623	167,54	198,1	1391,02
17	0,7798	1,627	162,3	202,87	1391,57
18	0,8056	1,631	157,25	207,65	1392,09
19	0,8321	1,635	152,4	212,42	1392,6
20	0,8592	1,639	147,72	217,2	1393,08
21	0,887	1,643	143,22	221,97	1393,54
22	0,9155	1,647	138,88	226,74	1393,97
23	0,9447	1,651	134,69	231,5	1394,38
24	0,9745	1,655	130,66	236,27	1394,76
25	1,005	1,659	126,78	241,03	1395,12
26	1,036	1,663	123,03	245,79	1395,46
27	1,068	1,668	119,41	250,54	1395,77
28	1,101	1,672	115,92	255,29	1396,06
29	1,135	1,676	112,56	260,04	1396,32
30	1,169	1,681	109,3	264,79	1396,56
31	1,204	1,685	106,17	269,53	1396,78
32	1,24	1,689	103,13	274,27	1396,96
33	1,277	1,694	100,21	279	1397,13
34	1,314	1,699	97,376	283,73	1397,27
35	1,353	1,703	94,641	288,45	1397,38
36	1,392	1,708	91,998	293,17	1397,46
37	1,432	1,712	89,442	297,89	1397,53
38	1,472	1,717	86,97	302,6	1397,56
39	1,514	1,722	84,58	307,31	1397,57
40	1,557	1,727	82,266	312,01	1397,55
41	1,6	1,732	80,028	316,71	1397,51
42	1,645	1,736	77,861	321,4	1397,44
43	1,69	1,741	75,764	326,09	1397,35
44	1,736	1,746	73,733	330,77	1397,22
45	1,783	1,752	71,766	335,45	1397,08
46	1,831	1,757	69,86	340,12	1396,9
47	1,881	1,762	68,014	344,8	1396,7
48	1,931	1,767	66,225	349,47	1396,46
49	1,982	1,772	64,491	354,13	1396,21
50	2,034	1,778	62,809	358,79	1395,92
55	2,31	1,806	55,132	382,04	1394,06
60	2,613	1,836	48,518	405,23	1391,47
65	2,945	1,868	42,793	428,43	1388,11
70	3,307	1,902	37,814	451,7	1383,93