

## Program cvičení z Chemického inženýrství II pro akademický rok 2018/2019

- Značení úloh CH1-UX.Y odpovídá skriptu L. Schreiberová a kol. *Chemické inženýrství I*, VŠCHT Praha 2011 (kapitoly 7,8,12,14,15) a značení CHI2-UX.Y skriptům M. Jahoda a kol. *Chemické inženýrství II*, VŠCHT Praha 2018 (kapitoly 1-7). Dodatečné úlohy značené modře **UX-Y** jsou převzaty ze starších skript Šnita a kol. *Příklady a úlohy z chemického inženýrství I*, VŠCHT Praha 2002.
- Skripta *Chemické inženýrství I* a *Chemické inženýrství II* jsou dostupná v tištěné formě.
- Podpůrné materiály (např. k bilancím entalpie s chemickou reakcí aj.) jsou dostupné ve formě pdf souborů na internetových stránkách ÚCHI na adrese: uchi.vscht.cz.
- Zadání dodatečných úloh ze skript *Příklady a úlohy z chemického inženýrství I* jsou přiložena k tomuto programu cvičení a rovněž jsou dostupná na uvedených internetových stránkách.

Týden <sup>1)</sup>	Úlohy řešené na cvičení	Úlohy doporučené k samostatnému řešení	Pozn.
1	Bilance entalpie bez ch.r. CHI1-U14.8 Bilance entalpie s ch.r. <b>U10-9</b>	<b>U10-22, U10-24</b>	
2	Bilance entalpie s ch.r. CHI1-U15.10 Usazování CHI2-U1.3, CHI2-U1.4	CHI2-U1.5, CHI2-U1.7	
3	Fluidace CHI2-U2.1, CHI2-U2.2 Tok tekutin zařízením CHI2-U3.4	CHI2-U2.4 CHI2-U3.1, CHI2-U3.3	
4	Reaktory CHI1-U15.6b <sup>2)</sup> , <b>U22-29b<sup>2)</sup></b>	CHI1-U15.12, CHI1-U15.13	TEST1
5	Reaktory <b>U22-20</b> , CHI1-U15.11, CHI1-U15.9, (CHI1-U15.4)	CHI1-U15.14, CHI1-U15.7	
6	Extrakce <b>U17-8</b> , CHI1-U12.13	CHI1-U12.11, CHI1-U12.12, CHI1-U12.14	
7	Sdílení tepla CHI1-U8.4, <b>U11-18</b> Sdílení hmoty CHI2-U4.4	CHI1-U8.8 CHI2-U4.2	
8	Sdílení hmoty CHI2-U4.9, CHI2-U4.10, CHI2- U4.11, (CHI2-U4.6)	CHI2-U4.7, CHI2-U4.8, CHI2-U4.12	
9	Absorpce CHI2-U5.11, CHI2-U5.10	CHI2-U5.4, CHI2-U5.5	TEST2
10	Absorpce CHI2-U5.7, CHI2-U5.9	CHI2-U5.6, CHI2-U5.8, CHI2-U5.2	
11	Membrány CHI2-U6.5, CHI2-U6.6, CHI2-U6.10	CHI2-U6.1, CHI2-U6.4, CHI2-U6.8	
12	Membrány CHI2-U6.14, CHI2-U6.13	CHI2-U6.16, CHI2-U6.11, CHI2-U6.17	
13	Krystalizace, CHI2-U7.4	CHI2-U7.2, CHI2-U7.8	TEST3

1) Ve dnech 28.9 (pátek, svátek), a 22.11. - 23.11. (čtvrtek a pátek, rektorské dny) nebude výuka, Přesun výuky: ve středu 21.11. je páteční výuka. Všechny kroužky tedy během semestru ztratí jeden týden a využijí rezervního 14. týdne

2) K řešení úkolu b) využijte výsledek úkolu a) uvedený v zadání.

### **Tématické okruhy testů**

**T1:** entalpické bilance, usazování, fluidace, charakter proudění v zařízení

**T2:** reaktory, extrakce, sdílení tepla a hmoty

**T3:** absorpce se stupňovým a se spojitým stykem fází, membránové procesy

**U10-9:** Spálením 1 kg uhlí se vyrobit 8 kg suché nasycené vodní páry tlaku 1,2 MPa. Teplota vody vstupující do kotle je 40 °C.

a) Kolik nasycené páry při tlaku 1,6 MPa by se získalo spálením 1 kg uhlí, kdyby voda přivedená do kotle měla teplotu 10 °C?

b) Spočítejte množství vyrobené páry za podmínek uvedených v zadání v bodu a) za předpokladů zanedbatelných ztrát odvodem tepla do okolí, přívodu 50% přebytku vzduchu, teploty vystupujících spalin 500°C a teploty vstupních proudů 25°C a porovnejte s údajem v zadání.

**Výsledek:** a) Spálením 1 kg uhlí by z vody 10 °C teplé vzniklo 7,6 kg rovnovážné páry o tlaku 1,6 MPa. b) Při uvedených podmínkách se v kotli uvolní  $2,38 \cdot 10^4$  kJ tepla, z něhož lze zahřátím a odpařením vody o teplotě 40 °C získat 9,1 kg syté páry o tlaku 1,2 MPa.

**U10-22:** Kolik tun suché, rovnovážné vodní páry o teplotě 120 °C lze teoreticky získat kvantitativním spálením 1 tuny síry v proudě stechiometricky potřebného množství vzduchu na oxid siřičitý. Teplota vstupující kapalné vody a páry síry je 25 °C, teplota vystupujícího plynu je 400 °C.

**Výsledek:** Teoreticky lze vyrobit 2,85 tun požadované vodní páry.

**U10-24:** Oxid dusnatý lze vyrábět parciální oxidací  $\text{NH}_3$  vzduchem. Do reaktoru vstupuje  $\text{NH}_3$  při 25 °C a vzduch předehřátý na 750 °C, konverze  $\text{NH}_3$  je 90%. Jestliže nemá teplota na výstupu z reaktoru přesáhnout 920 °C, vypočítejte, kolik energie je třeba odebrat na 1 mol vstupujícího  $\text{NH}_3$ , připadá-li 2,4 mol  $\text{O}_2$  na 1 mol  $\text{NH}_3$ . Molární reakční entalpie při 920 °C je  $\Delta h_r = -823 \text{ kJ mol}^{-1}$ .

**Výsledek:** Je třeba odebrat 637,8 kJ na 1 mol vstupujícího amoniaku.

**U22-29:** Hydrolýza acetanhydridu (A)  $\text{CH}_3\text{COOCOCH}_3 + \text{H}_2\text{O} = 2 \text{ CH}_3\text{COOH}$  se má provádět v kaskádě čtyř stejných ideálně míchaných průtočných reaktorů, které se budou provozovat při různých teplotách :

Reaktor	1	2	3	4
$T / \text{K}$	283	288	298	313
$k / 10^{-3} \text{ s}^{-1}$	0,96	1,34	2,63	5,22

Rychlostní vztah je  $r = kc_A$ . Vstupní koncentrace složky A do prvního reaktoru bude 0,9 kmol  $\text{m}^{-3}$ , objemový tok nástřiku  $1,67 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

a) Jaký je potřebný objem každého členu, jestliže požadovaná konverze je 91 % ?

b) Kolik těchto reaktorů by bylo zapotřebí, kdyby všechny pracovaly při teplotě 288 K ?

**Výsledek :** a) 0,6  $\text{m}^3$ , b) šest.

**U22-20:** Při výrobě polystyrenu se má zpracovat 500 t za rok směsi styrenu (složka S) a butadienu. Je k dispozici ideálně míchaný průtočný reaktor o objemu  $1,8 \text{ m}^3$  s chladicím hadem.

a) Jaká musí být pracovní teplota, má-li se pracovat s konverzí 30 % ?

b) Jaká musí být střední teplota chladicího media odpovídající pracovním podmínkám bodu a) ?

Data:  $r = kc_s^{3/2}$ ;  $k = A \exp(-E/RT)$ ;  $A = 3,3 \cdot 10^{11} \text{ m}^{1,5} \text{ kmol}^{-0,5} \text{ h}^{-1}$ ;  $E = 96,79 \text{ kJ mol}^{-1}$ ;

$\Delta h_r = -69,14 \text{ kJ mol}^{-1}$ ; 1 rok = 8000 h;  $c_p = 1,886 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ; molární zlomek styrenu na vstupu 0,92;  $T_0 = 308 \text{ K}$ ; teplosměnná plocha  $7,5 \text{ m}^2$ ; koeficient prostupu tepla

$84 \text{ kJ m}^{-2} \text{ h}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ; hustota směsi  $870 \text{ kg m}^{-3}$ .

**Výsledek:** a) 370 K, b) 363 K.

**U17-8:** Do každého stupně extraktoru přivádíme 7 kg diethyletheru. Extrahujeme 30 kg směsi obsahující 75 hmotn. % vody a 25 hmotn. % kyseliny octové a požadujeme, aby koncentrace kyseliny octové v rafinátu z posledního stupně byla nejvýše 11,5 hmotn. %. Zjistěte potřebný počet stupňů, je-li v každém stupni dosaženo rovnováhy, a spotřebu extrakčního činidla. Extrakce probíhá při 25 oC.

**Výsledek:** Počet potřebných stupňů je 4 a spotřeba extrakčního činidla 28 kg.

**U11-18:** Na horizontální trubce o vnějším průměru 20 mm a délce 1 m kondenzuje nasycená pára o tlaku  $p$ . Teplota stěny trubky je  $t_w$ . Vypočtěte koeficient přestupu tepla  $\alpha$  a hmotnost kondenzátu  $m$  vzniklého na trubce za 1 hodinu, je-li

a)  $p = 5 \text{ kPa}$ ,  $t_w = 27,1^\circ\text{C}$

b)  $p = 100 \text{ kPa}$ ,  $t_w = 90,4^\circ\text{C}$

**Výsledek:** a)  $\alpha = 1,13 \cdot 10^4 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ ;  $m = 6,12 \text{ kg}$

b)  $\alpha = 1,34 \cdot 10^4 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ ;  $m = 12,3 \text{ kg}$