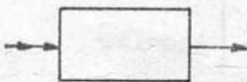
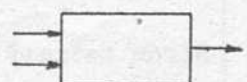
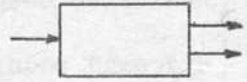
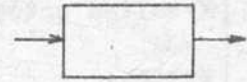


3. Látková bilancia fyzikálních procesov

Procesy chemických a potravinárskych technológií sa uskutočňujú v súbore strojov a zariadení, ktoré sú vzájomne pospájané dopravnými linkami - potrubiami.

Rozoznávame 4 typy strojov a zariadení tak, ako sú uvedené v tab. 3.1.

Tabuľka 3.1

Č.	Stroje a zariadenia na:	Príklady procesov	Bloková schéma stroja a zariadenia
1.	ÚPRAVU FYZIKÁLNYCH VLASTNOSTÍ LÁTKO	sekanie, drvenie, mletím granulácia, pelletizácia, zmena skupenstva (topenie, vyparovanie, sublimácia, kondenzácia, tuhnutie), zohrievanie, chladenie atď.	
2.	ZMIEŠAVANIE - ROZPÚŠŤANIE	zmiešavanie tuhých látok, vytváranie roztokov (g), (l) a (s)	
3.	DELENIE - SEPARÁCIA LÁTKO	delenie fáz - filtrácia, odstreďovanie; delenie zložiek z kvapaliny - destilácia, absorpcia, kryštalizácia, sušenie	
4.	CHEMICKÉ REAKTORY	chlorácia, hydrolýza, hydrogenácia, oxidácia atď.	

Dôležitú skupinu tvoria separačné procesy. V tab. 3.2 sú uvedené rôzne skupiny separačných procesov.

Skupina separ. procesov - operácie	Hnacia sila separačného procesu	Vlastnosť separačnej zmesi	Separáčny proces - operácia
I. MECHANICKÉ	Gravitačná sila Odstredivá sila Tlaková sila	Heterogénne	<ol style="list-style-type: none"> 1. Triedenie látok podľa druhu (s) - (s) 2. Oddelovanie kslu usadzováním (s) - (l) 3. Flotácia tuhých častíc z kvapaliny (s) - (l) 4. Filtrácia tuhých častíc z kvapaliny (s) - (l) 5. Lisovanie kvapaliny z vlhkých látok (s) - (l) 6. Oddelovanie tuhých častíc od kvapaliny, príp. od plynu v hydro-, príp. aerocyklone (s) - (l), (s) - (g) 7. Triedenie tuhých častíc: <ol style="list-style-type: none"> a) sitovaním (s) - (s) b) triedenie v prúde plynov (s) - (g) c) triedenie v prúde kvapaliny (s) - (l)
II. MEMBRÁNOVÉ	Tlaková sila Elektrické pole Koncentračný spád	Heterogénne Homogénne	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ultrafiltrácia (s) - (l) 2. Reverzná osmóza - hyperfiltrácia (s) - (l) 3. Dialýza (l) - (l) 4. Jednosmerná osmóza (l) - (l) 5. Difúzia plynov (g) - (g)
III. ELEKTRICKÉ	Elektrické pole	Heterogénne Homogénne	<ol style="list-style-type: none"> 1. El. osmóza (s) - (l) 2. El. odlučovanie prachu (s) - (g)
IV. MAGNETICKÉ	Magnetické pole		<ol style="list-style-type: none"> 1. Magnetická separácia tuhých častíc (s) - (s)
V. TERMODYNAMICKÉ - TEPELNO-DIFÚZNE	Koncentračný spád Tepelný spád	Homogénna	<ol style="list-style-type: none"> 1. Destilácia (l) - (l) 2. Parciálna kondenzácia (g) - (l) 3. Absorpcia plynov a pár (g) - (l) 4. Adsorpcia plynov a pár (g) - (s), (g) - (l) 5. Desorpcia (s) - (g) 6. Extrakcia (l) - (l) 7. Vylúhovanie (l) - (s) 8. Chromatografia (g) - (g), (l) - (l) 9. Sublimácia (s) - (g) 10. Kryštalizácia (l) - (s) 11. Zonálne tavenie (s) - (l) - (s) 12. Sušenie (s) - (g) 13. Termodifúzia (g) - (g), (l) - (l)

Výpočty látkových bilancií sú prvým predpokladom presného určenia kapacity výrobného zariadenia, hodnotenia jeho ekonómie alebo kontroly jeho činnosti. Látkové - materiálové bilancie počítame buď pre celú výrobu, alebo len pre určitý výrobný úsek (operáciu). Cieľom je získať prehľad o množstvách látok, ktoré do výroby vo zvolenom čase vstupujú, z výroby vystupujú, prípadne sa akumulujú.

Látkové bilancie sú výpočty založené na zákone zachovania hmotností.

Pre otvorenú sústavu (bez chemickej reakcie) pre každú zložku sústavy možno napísať nasledujúcu bilančnú rovnicu

$$\left(\sum_j \dot{m}_{i,j} \right)_{\text{VSTUP}} = \left(\sum_j \dot{m}_{i,j} \right)_{\text{VÝSTUP}} + \left(\frac{d m_i}{dt} \right)_{\text{AKUM}} \quad (3.1)$$

Celková bilančná rovnica sa získa súčtom všetkých zložkových bilančných rovníc

$$\left(\sum_i \sum_j \dot{m}_{i,j} \right)_{\text{VSTUP}} = \left(\sum_i \sum_j \dot{m}_{i,j} \right)_{\text{VÝSTUP}} + \left(\frac{d \sum_i m_i}{dt} \right)_{\text{AKUM}} \quad (3.2)$$

Pre sústavu ustálenú - stacionárnu - akumulčný člen v rovnici (3.1) a (3.2) sa rovná nule, takže bilancia zložky i je

$$\left(\sum_j \dot{m}_{i,j} \right)_{\text{VSTUP}} = \left(\sum_j \dot{m}_{i,j} \right)_{\text{VÝSTUP}} \quad (3.3)$$

V uzavretom systéme sa proces uskutočňuje za neustálených podmienok. Vstup a výstup je počas procesu nulový. V takom prípade sa bilancuje látka medzi východiskovým a konečným stavom, t.j. pre čas $t = 0$ a čas $t = t_f$.

Bilancia zložky i je

$$\left(\frac{d m_i}{dt} \right)_{\text{AKUM}} = 0 \quad (3.4)$$

Na začiatku procesu hmotnosť zložky i je tzv. počiatočná, t.j. $t = 0$

$$m_i = m_{i0} \quad (3.5)$$

Teda, ak bilancujeme látku i v uzavretom systéme medzi začiatkom (o) a koncom procesu (f), bilančnú rovnicu možno vyjadriť jednoduchou rovnicou

$$m_{i0} = m_{if} \quad (3.6)$$

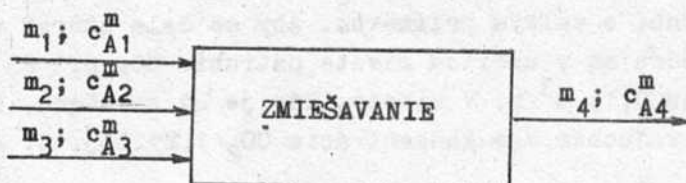
Bilancie spracujeme spravidla tabelárne. Do tabuľky napíšeme pod seba všetky prítomné zložky a ku každej z nich priradíme ich množstvá vo vstupujúcich a vystupujúcich prúdoch.

Príklad 3.1

Aké množstvo roztoku R_1 s 50 hm. % zložky A, R_2 s 40 hm. % zložky A a R_3 s 30 hm. % zložky A treba zmiešať, aby sme získali 200 kg roztoku R_4 s 35 hm. % zložky A?

Riešenie

Schéma zmiešavania



Základ výpočtu $m_4 = 200$ kg roztoku R_4 .

Bilančná tabuľka

[kg]

Zložka i	VSTUP			VÝSTUP
	R_1	R_2	R_3	R_4
A	0,5 m_1	0,4 m_2	0,3 m_3	70
B	0,5 m_1	0,6 m_2	0,7 m_3	130
Σ	m_1	m_2	m_3	200

Bilančné rovnice priamo vyplývajú z tabuľky:

$$\text{Bilancia zložky A: } 0,5 m_1 + 0,4 m_2 + 0,3 m_3 = 70 \quad (1)$$

$$\text{Celková bilancia: } m_1 + m_2 + m_3 = 200 \quad (2)$$

V sústave máme 3 neznáme. Na riešenie máme k dispozícii len dve lineárne nezávislé rovnice (lát. rovnica pre zložku B je lineárne závislá rovnica). Riešenie vyžaduje voľbu hmotnosti jedného roztoku, pričom táto voľba nemôže byť ľubovoľná.

Najprv si vypočítame vzájomný vzťah medzi m_1 a m_2 . Z rovnice (2) vyjadríme m_3

$$m_3 = 200 - m_1 - m_2$$

a dosadíme do rovnice (1)

$$0,5 m_1 + 0,4 m_2 + 0,3 (200 - m_1 - m_2) = 70$$

$$0,2 m_1 = 10 - 0,1 m_2$$

$$m_1 = 50 - 0,5 m_2 \quad (3)$$

Z rovnice (3) vidieť, že $m_1 + m_2 < 100$ kg. Pre $m_2 = 100$ kg je $m_1 = 0$, pre $m_1 > 50$ kg bude m_2 záporné, čo, prirodzene, nemá fyzikálny zmysel.

Keď si zvolíme napr. $m_2 = 40$ kg, potom je $m_1 = 30$ kg a $m_3 = 130$ kg.

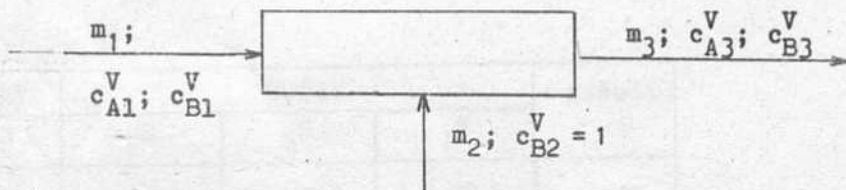
Kontrola výpočtu: $0,5 \cdot 30 + 0,6 \cdot 40 + 0,7 \cdot 130 = 130$

Príklad 3.2

Horúci vzduch, ktorý obsahuje 0,15 obj. % CO_2 teploty 125°C a pri tlaku $121,59$ kPa prúdi v potrubí s veľkým priemerom. Aby sa dala zmerať rýchlosť prietoku vzduchu, privádza sa v určitom mieste potrubia CO_2 pri 25°C , tlaku $1,6212$ MPa rýchlosťou $0,15$ m^3/h . V mieste, kde je už zaručené, že CO_2 sa dokonale zmiešal so vzduchom, je koncentrácia CO_2 1,25 obj. %. Aký je prietok vzduchu v m^3/h .

Riešenie

Schéma sústavy.



Zložky: VZDUCH ... A
 CO_2 B

Za základ výpočtu si zvolíme čas $\tau = 1$ h a látkové množstvo 10^3 mol. Výpočet uskutočníme v moloch, aby sme nemuseli uvažovať so zmenou stavu.

Vypočítame látkové množstvo v prúde 1 mol/h a potom prepočítame na m^3/h .

Látky v prúde 1 (vysoká teplota, pomerne nízky tlak) možno považovať za ideálny plyn, kým v prúde 2 za reálny plyn (vzhľadom na vysoký tlak).

Tabuľka látkovej bilancie

Zložky i		VSTUP		VÝSTUP
		\dot{n}_{i1}	\dot{n}_{i2}	\dot{n}_{i3}
VZDUCH	A	\dot{n}_A	-	\dot{n}_A
CO_2	B	$0,0015 \dot{n}_1$	\dot{n}_B	$0,0125 \dot{n}_3$
Σ		\dot{n}_1	\dot{n}_2	\dot{n}_3

[mol/h]

Pretože v sústave je 5 neznámych, na riešenie musíme zostaviť 5 nezávislých rovníc:

$$\text{Množstvo vstup. CO}_2 \text{ v prúde 2: } \dot{n}_2 = \frac{P_2 \dot{V}_2}{zRT_2}; \quad z = f(T_r, P_r) \quad (\text{pozri kap. 5}).$$

Pre CO₂ kritické veličiny: $T_k = 304,2 \text{ K}; P_k = 7380 \text{ kPa}$

$$T_r = \frac{273,15 + 25}{304,2} = 0,9801 \quad P_r = \frac{1,6212 \cdot 10^6}{7380 \cdot 10^3} = 0,2197$$

Pre T_r, P_r z G.K.D $z = 0,92$

$$\text{Množstvo CO}_2 \text{ v prúde 2: } \dot{n}_B = \dot{n}_2 = \frac{1,6212 \cdot 10^6 \cdot 0,15}{0,92 \cdot 8,314 \cdot 298,15} \frac{\text{mol}}{\text{h}} = 106,63 \text{ mol/h}$$

$$\text{Bilancia CO}_2: 0,0015 \dot{n}_1 + 106,63 = 0,0125 \dot{n}_3$$

$$\text{Celková bilancia: } \dot{n}_1 + 106,63 = \dot{n}_3$$

Riešením daných rovníc určíme \dot{n}_1 a \dot{n}_3

$$\begin{aligned} 0,0015 \dot{n}_1 + 106,63 &= 0,0125 (\dot{n}_1 + 106,63) & \dot{n}_1 &= 9572,47 \text{ mol/h} \\ 0,011 \dot{n}_1 &= 105,297 & \dot{n}_3 &= 9679,10 \text{ mol/h} \end{aligned}$$

Množstvo vzduchu vypočítame z bilančnej rovnice prúdu 1.

$$\dot{n}_A = \dot{n}_1 - 0,0015 \cdot \dot{n}_1 = 9572,47 \cdot 0,9985 \frac{\text{mol}}{\text{h}} = 9558,11 \frac{\text{mol}}{\text{h}}$$

Objemový tok vzduchu v potrubí je

$$\dot{V}_1 = \dot{n}_1 \frac{RT_1}{P_1} = 9558,11 \cdot \frac{8,314 \cdot 398,15}{121,59 \cdot 10^3} \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 260,21 \text{ m}^3/\text{h}$$

Výsledok: Objemový tok vzduchu v potrubí je 260 m³/h.

Príklad 3.3

NaCl s vodou pri 65 °C tvorí nasýtený roztok s koncentráciou 6,37 mol NaCl/kg H₂O. Pri teplote 15 °C rozpustnosť NaCl vo vode je 6,12 mol/kg H₂O. Vypočítajte množstvo vylúčených kryštálov NaCl po ochladení roztoku zo 65 na 15 °C, ak počiatkové množstvo roztoku je 2000 kg.

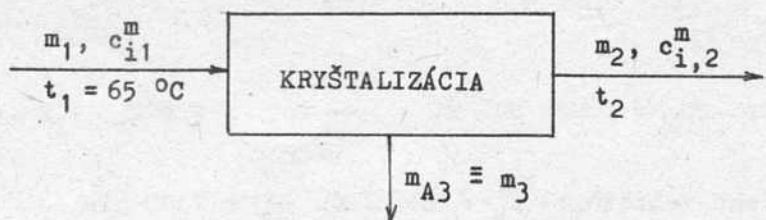
Riešenie

Označenie látok: NaCl ... A; H₂O ... B

Molová hmotnosť: $M_A = 58,443 \text{ kg/kmol}$

$M_B = 18,015 \text{ kg/kmol}$

Schéma sústavy



Najprv si prepočítame koncentráciu NaCl v stave nasýtenia na absolútne hmotnostné zlomky.

Koncentrácia pri 65 °C

$$c_{A1}^m = \frac{c_{A1}^{nm} \cdot M_A}{M_A c_{A1}^{nm} + 1} = \frac{6,37.58,443 \cdot 10^{-3}}{6,37.58,443 \cdot 10^{-3} + 1} = 0,2713 \quad c_{B1}^m = 1 - c_{A1}^m = 0,7287$$

Koncentrácia pri 15 °C

$$c_{A2}^m = \frac{c_{A2}^{nm} \cdot M_A}{c_{A2}^{nm} \cdot M_A + 1} = \frac{6,12.58,443 \cdot 10^{-3}}{6,12.58,443 \cdot 10^{-3} + 1} = 0,263445 \quad c_{B2}^m = 0,736555$$

Za základ výpočtu si zvolíme 2000 kg vstupujúceho roztoku.

Známe, ako i neznáme veličiny, ktoré vystupujú pri bilančnom opise sústavy, sú zapísané v bilančnej tabuľke.

[kg]

Zložka	VSTUP		VÝSTUP	
	m_{i1}	m_{i2}	m_{i3}	
A	2000.0,2713	$m_2 \cdot 0,2634$	m_{A3}	
B	2000.0,7287	$m_2 \cdot 0,7366$	-	
Σ	2000	m_2	m_3	

Pre dve neznáme (m_2 , m_3) možno napísať dve nezávislé bilančné rovnice:

Bilancia zložky B: $2000 \cdot 0,7287 = m_2 \cdot 0,7366$ (a)

Celková bilancia: $2000 = m_2 + m_3$ (b)

Z rovnice (a) $m_2 = 1978,55$ kg a z rovnice (b) $m_3 = 21,45$ kg.

Bilančnú rovnicu pre zložku A (ktorá je lineárne závislá rovnica) využijeme na kontrolu výpočtu

$$m_{A3} = m_3 = 2000 \cdot 0,2713 - 1978,55 \cdot 0,2634 = 21,45 \text{ kg}$$

Úlohu možno riešiť aj inou metódou. V sústave je voda tzv. spojovacou látkou (počas procesu sa nemení jej množstvo), na ktorú sú priamo zvolené rozpustnosti NaCl v moloch.

Množstvo vylúčených kryštálov NaCl v moloch na 1 kg H₂O je

$$\Delta C_A^{nm} = C_{A1}^{nm} - C_{A2}^{nm} = (6,37 - 6,12) \frac{\text{mol}}{\text{kg}} = 0,25 \frac{\text{mol NaCl}}{\text{kg H}_2\text{O}}$$

Hmotnosť vylúčených kryštálov bude

$$m_{A3} = \Delta C_A^{nm} \cdot M_A \cdot m_B = 0,25 \cdot 58,443 \cdot 10^{-3} \cdot 1457,4 \text{ kg} = 21,29 \text{ kg}$$

Diferencia medzi výsledkom podľa 1. a 2. metódy vznikla zaokrúhlením absolútnych hmotnostných zlomkov na 4 desatinné miesta.

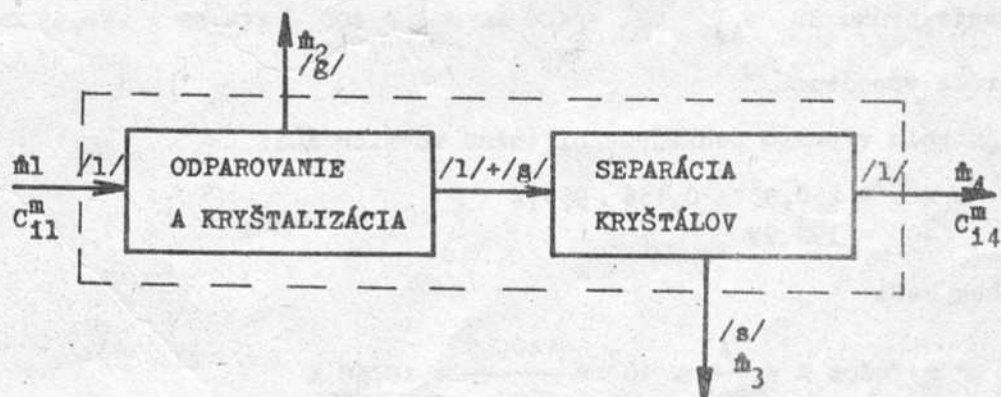
Príklad 3.4

Vodný roztok, ktorý obsahuje 15 hm. % NaCl a 20 hm. % KCl sa zahusťuje odparovaním vody, pričom časť NaCl a KCl vykryštalizuje z roztoku. Sústava pracuje kontinuálne za ustálených podmienok. Nástrek vodného roztoku soli do odparky je 2000 kg/h. Kryštalizačný lúh po oddelení kryštálov obsahuje 15,8 hm. % NaCl a 15,6 hm. % KCl. Koľko kg/h H₂O treba odpariť, aby sa vylúčilo 400 kg/h soli? Aký je výťažok kryštálov NaCl?

Riešenie

Označenie látok: NaCl ... A, KCl ... B, H₂O ... C

Schéma sústavy



Za základ výpočtu si zvolíme 2000 kg/h roztoku soli vstupujúceho do sústavy. Známe i neznáme veličiny zapíšeme do bilančnej tabuľky.

kg/h

Zložka i		VSTUP m_{i1} (l)	VÝSTUP		
			m_{i2} (g)	m_{i3} (s)	m_{i4} (l)
NaCl	A	300	-	m_{A3}	$0,158 m_4$
KCl	B	400	-	m_{B3}	$0,156 m_4$
H ₂ O	C	1300	m_2	-	$0,686 m_4$
Σ		2000	m_2	400	m_4

V bilančnej tabuľke sú 4 neznáme, pre ktoré možno zostaviť 4 lineárne nezávislé rovnice:

$$\text{Bilancia H}_2\text{O: } 1300 = m_2 + 0,686 m_4$$

$$\text{Celková bilancia: } 2000 = m_2 + 400 + m_4$$

Získali sme 2 rovnice o 2 neznámých. Riešením týchto rovníc vypočítame množstvo odparenej vody a množstvo kryštalizačného lúhu:

$$1300 = 1600 - m_4 + 0,686 m_4 \Rightarrow \underline{m_4} = \frac{300}{0,314} = \underline{\underline{955,4 \text{ kg/h}}}$$

$$\underline{m_2} = 1600 - m_4 \Rightarrow \underline{m_2} = 1600 - 955,4 = \underline{\underline{644,6 \text{ kg/h}}}$$

Ďalšie rovnice pre výpočet m_{A3} a m_{B3} :

$$\text{Bilancia NaCl: } 300 = m_{A3} + 0,158 m_4 \Rightarrow m_{A3} = 300 - 150,95 = 149,05 \text{ kg/h}$$

$$\text{Bilancia prúdu 3: } m_{A3} + m_{B3} = 400 \Rightarrow m_{B3} = 400 - 149,05 = 250,95 \text{ kg/h}$$

Kontrola výpočtu:

Na kontrolu výpočtu použijeme bilančnú rovnicu KCl:

$$400 = 250,95 + 0,156 \cdot 955,4$$

$$400 \doteq 399,99$$

Výťažok NaCl:

$$\text{výťažok \%} = \frac{m_{A3}}{300} \cdot 10^2 = \frac{149,05}{300} = \underline{\underline{49,68 \text{ \%}}}$$

Množstvo odparenej vody je 644,6 kg/h a výťažok NaCl je 49,68 %.

Príklad 3.5

Soľanka, ktorá obsahuje 26 hm. % NaCl a zvyšok vody sa odparuje v trojčlennej odparke. Voda odparená v 1. člene kondenzuje vo vyhrievacom telese 2. člene, para z 2. člene vyhrieva 3. člen odparky. Po odparení sa vylučujú

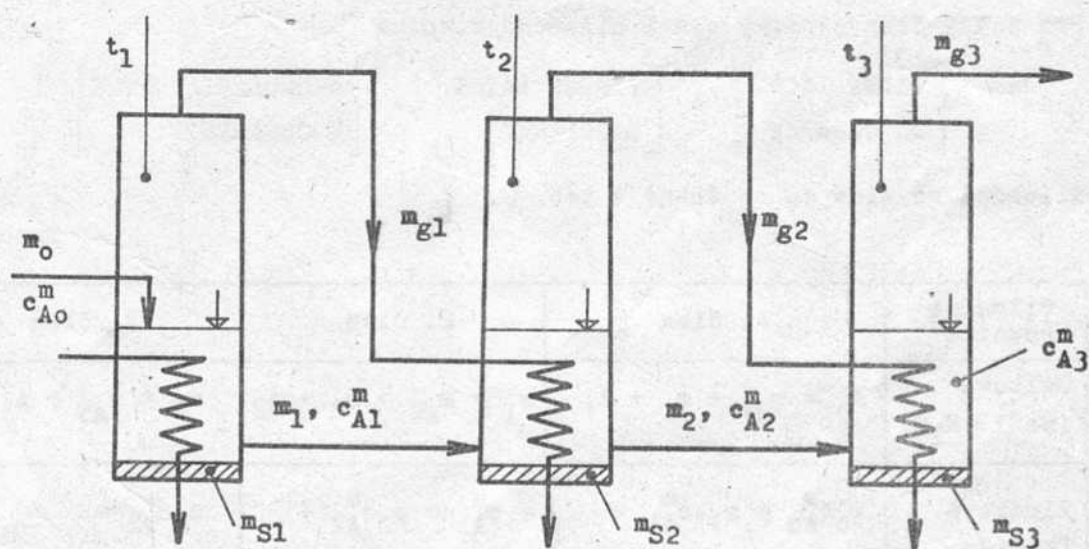
kryštály NaCl, ktoré sa usadzujú na dne odparky. Roztok postupuje z 1. člena na 2. a odtiaľ do 3. člena. Činnosť odparky bola určitý čas sledovaná a boli zaznamenané tieto hodnoty fyzikálnych veličín, tab. 1.

Tabuľka 1

Veličiny	NaCl ... A	Členy odparky		
		1.	2.	3.
Prítok soľanky m_0	[kg]	29 000	-	-
Teplota t	[°C]	110	86	58
Rozpustnosť NaCl $c_A^m \cdot 10^2$	[hm. %]	29	27,9	27
Hustota kryštálov ρ_A	[kg/m ³]	2 150	2 150	2 150
Hmotnosť odparanej vody m_g	[kg]	12 600	11 700	?
Úbytok objemu roztoku poklesom hladiny ΔV	[m ³]	3,42	4,1	2,74
Hustota nasýteného roztoku ρ_j	[kg/m ³]	1 140	1 145	1 150

Vypočítajte, koľko NaCl vykryštalizovalo v každom člene odparky a koľko vody sa odparilo z 3. člena.

Schéma trojčlennej odparky:



Riešenie

Neznáme veličiny, ktoré treba vypočítať, sú na schéme trojčlennej odparky vyznačené. Ide o hmotnosť roztoku, ktorý vystupuje z 1. a 2. člena a hmotnosť odparanej vody v 3. člene odparky, ako aj hmotnosti vylúčených kryštálov NaCl v 1., 2. a 3. člene odparky.

Zavedené označenia: A ... NaCl; B ... H₂O,
 m_g - hmotnosť pary H₂O,
 m_s - hmotnosť kryštálov NaCl,
 c_A^m - absolútny hmotnostný zlomok NaCl.

V sústave existuje akumulácia, t.j. v každom člene odparky počas pozorovania sa zmenil objem roztoku, a teda tým aj hmotnosť látok.

Akumuláciu v jednotlivých členoch vypočítame:

- z úbytku objemu roztoku poklesom hladiny,
- z vylúčenia kryštálov z roztoku (zmenšenie množstva kryštalizačného lúhu),
- z hmotnosti samotných kryštálov.

Akumulácia v 1. člene: $A_1 = -\Delta V_1 \rho_1 - \frac{m_{s1}}{\rho_A} \cdot \rho_1 + m_{s1}$

v 2. člene: $A_2 = -\Delta V_2 \rho_2 - \frac{m_{s2}}{\rho_A} \cdot \rho_2 + m_{s2}$

v 3. člene: $A_3 = -\Delta V_3 \rho_3 - \frac{m_{s3}}{\rho_A} \cdot \rho_3 + m_{s3}$

Pre každý člen odparky platí bilančná rovnica

$$\left[\begin{array}{l} \text{VSTUP LÁTOK} \\ \text{DO ODPARKY} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{VÝSTUP LÁTOK} \\ \text{Z ODPARKY} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{AKUMULÁCIA LÁTOK} \\ \text{V ODPARKE} \end{array} \right]$$

Bilančné rovnice sú zapísané v tab. 2.

Tabuľka 2

Bilančná rovnica	1. člen	2. člen	3. člen
Celková (NaCl + H ₂ O)	$m_o = m_{g1} + m_1 + A_1$	$m_1 = m_{g2} + m_2 + A_2$	$m_2 = m_{g3} + A_3$
Zložková (NaCl)	$m_o c_{Ao}^m = m_1 \cdot c_{A1}^m +$ $+ \left(-\Delta V_1 \rho_1 - \frac{m_{s1} \rho_1}{\rho_A} \right) +$ $+ m_{s1}$	$m_1 c_{A1}^m = m_2 c_{A2}^m +$ $+ \left(-\Delta V_2 \rho_2 - \frac{m_{s2} \rho_2}{\rho_A} \right) + m_{s2}$	$m_2 c_{A2}^m =$ $= + \left(-\Delta V_3 \rho_3 - \frac{m_{s3}}{\rho_A} \rho_3 \right) + m_{s3}$

Pre 6 neznámych sme získali 6 lineárne nezávislých rovníc. Postupným riešením bilančných rovníc pre jednotlivé členy odparky získame hodnoty hľadovaných veličín.

Pre kontrolu výpočtu možno použiť bilančnú rovnicu celej sústavy, t.j. trojčlennej odparky (lineárne závislá rovnica)

$$m_o = m_{g1} + m_{g2} + m_{g3} + A_1 + A_2 + A_3$$

Vyčíslenie rovníc (bilančná jednotka [t]):

1. člen odparky: $A_1 = -3,42 \cdot 1140 \cdot 10^{-3} - \frac{1140}{2150} m_{s1} + m_{s2} =$

$$= -3,90 + 0,4698 m_{s1}$$
$$29 = 12,6 + m_1 - 3,9 + 0,4698 m_{s1}$$
$$29 \cdot 0,26 = m_1 \cdot 0,29 + (3,9 - 0,53 m_{s1}) \cdot 0,29 + m_{s1}$$
$$\left. \begin{aligned} m_1 + 0,4698 m_{s1} &= 20,3 \\ 0,29 m_1 + 0,8463 m_{s1} &= 8,67 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{aligned} m_1 &= 18,458 \text{ t} \\ m_{s1} &= 3,920 \text{ t} \end{aligned}$$

2. člen odparky: $A_2 = -4,1 - 1145 \cdot 10^{-3} - \frac{1145}{3150} m_{s2} + m_{s2} =$

$$= -4,695 + 0,4674 m_{s2}$$
$$18,458 = 11,7 + m_2 - 4,695 + 0,4674 m_{s2}$$
$$18,458 \cdot 0,29 = m_2 \cdot 0,279 + (-0,695 - 0,6744 m_{s2}) \cdot 0,279 + m_{s2}$$
$$m_2 = 9,143 \text{ t}$$
$$m_{s2} = 4,941 \text{ t}$$

3. člen odparky: $A_3 = -2,74 \cdot 1150 \cdot 10^{-3} - \frac{1150}{2150} m_{s3} + m_{s3} =$

$$= -3,151 + 0,4651 m_{s3}$$
$$9,143 = m_{g3} - 3,151 - 0,4651 m_{s3}$$
$$9,143 \cdot 0,279 = (-3,151 - 0,5349) \cdot 0,27 + m_{s3}$$
$$m_{g3} = 10,4448 \text{ t}$$
$$m_{s3} = 3,976 \text{ t}$$

Kontrola výpočtu:

$$m_o = m_{g1} + m_{g2} + m_{g3} + A_1 + A_2 + A_3$$
$$29 = 12,6 + 11,7 + 10,445 - (3,9 + 4,695 + 3,151) + 0,4698 \cdot 3,92 +$$
$$+ 0,4674 \cdot 4,941 + 0,4651 \cdot 3,976$$
$$29 \doteq 28,999$$

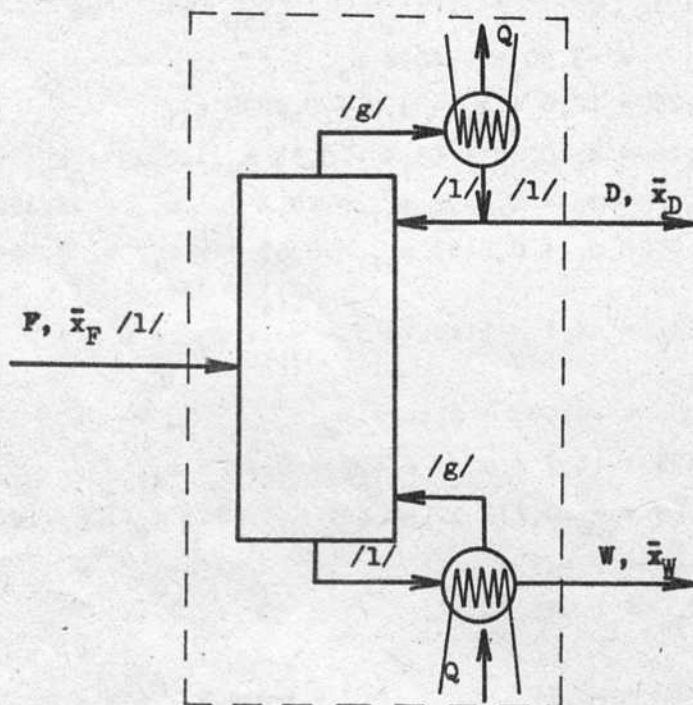
Výpočet je správny. Hmotnosť odparenej vody v 3. člene je 10,445 t. Hmotnosť vylúčených kryštálov NaCl v 1. člene 3,92 t, v 2. člene 4,941 t a v 3. člene 3,976 t.

Príklad 3.6

V kontinuálnej rektifikačnej kolóne sa odstraňuje metanol (CH_3OH) z vody. Nástriek do kolóny je roztok metanolu vo vode v množstve 500 kg/h so zložením 19 hm. % CH_3OH . Vypočítajte množstvo destilátu a destilačného zvyšku, keď vyžadované zloženie destilátu je 99 hm. % CH_3OH a zloženie destilačného zvyšku 0,05 hm. % CH_3OH .

Riešenie

Schéma sústavy



Označenie látok: A ... CH_3OH (prchavejšia zložka),
 B ... H_2O (menej prchavá zložka),
 F - nástriek [kg/h],
 D - destilát [kg/h],
 W - dest. zvyšok [kg/h],
 $\bar{x}_F, \bar{x}_D, \bar{x}_W$ - abs. hmot. zlomky prchavejšej látky (CH_3OH)
 v nástrieku, destiláte a v destilačnom zvyšku.

Za základ výpočtu si zvolíme zadané množstvo nástrieku $F = 500$ kg/h.
 Do bilančnej tabuľky si zapíšeme známe a neznáme veličiny.

Tabuľka 1 [kg/h]

Zložka i	Nástriek F_i	Destilát D_i	Dest. zvyšok W_i
A	500.0,19	D.0,99	W.0,005
B	500.0,81	D.0,01	W.0,995
Σ	500	D	W

Pre dve neznáme možno napísať dve bilančné rovnice:

$$\text{Bilancia zložky A: } 500 \cdot 0,19 = 0,99 \cdot D + 0,005 \cdot W$$

$$\text{Celková bilancia: } 500 = D + W$$

$$\text{Riešením rovnice dostaneme: } D = 93,91 \text{ kg/h}$$

$$W = 406,09 \text{ kg/h}$$

Množstvo jednotlivých zložiek látok v nástreku, destiláte a destilačnom zvyšku je zapísané v tab. 2.

Tabuľka 2

[kg/h]

Zložka i	Nástrek F_i	Destilát D_i	Dest. zvyšok W_i
CH ₃ OH	95	92,97	2,03
H ₂ O	405	0,94	404,06
Σ	500	93,91	406,09

Príklad 3.7

Kvapalný roztok uhľovodíkov so zložením 20 mol. % etánu (C₂H₆), 40 mol % propánu (C₃H₈) a 40 mol. % n-butánu (C₄H₁₀) je delený rektifikáciou na dvoch kolónach. Do 1. kolóny sa nasťrekuje nástrek 100 kmol/h roztoku uvedeného zloženia. Hore na kolóne sa odoberá ako produkt etánová frakcia. Spodný odber z 1. kolóny sa nasťrekuje do 2. kolóny. Horný odber z 2. kolóny je propánová frakcia a spodný odber je butánová frakcia. Zloženie jednotlivých frakcií (produktov) je takéto:

[mol. %]

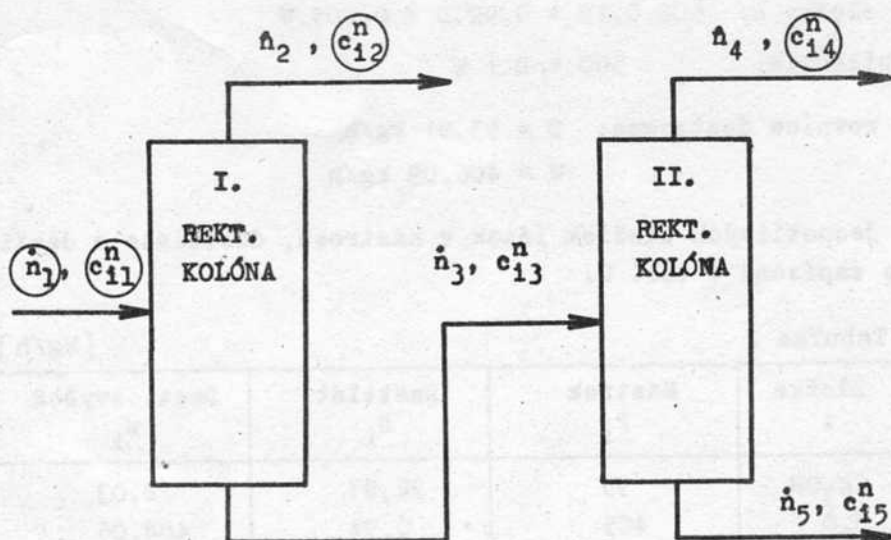
Produkt	Zložky i		
	Etán C ₂ H ₆	Propán C ₃ H ₈	n-Bután C ₄ H ₁₀
Etánová frakcia	95	4	1
Propánová frakcia	0	99	1
Butánová frakcia	0	8,4	91,6

Vypočítajte zloženie spodného odberu z 1. kolóny a molové toky jednotlivých frakcií.

Riešenie

Označenie látok: C₂H₆ ... A, C₃H₈ ... B, C₄H₁₀ ... C.

Schéma sústavy



Známe veličiny sú na schéme zakružkované. Neznáme sú toky látok v prúde 2, 3, 4, 5 a koncentrácia látok v 3. prúde, t.j. v sústave je 7 neznámych veličín, ktoré treba určiť.

Bilanciu urobíme postupne pre 1. kolónu a potom pre 2. kolónu.

Základom výpočtu je 100 kmol/h nástreku do 1. kolóny. Bilancia látok v 1. kolóne je zapísaná v tab. 1.

Tabuľka 1

Zložky i	kmol/h		
	VSTUP	VÝSTUP	
	1	2	3
A	0,2 · 100	0,95 · \dot{n}_2	-
B	0,4 · 100	0,04 · \dot{n}_2	$c_{B3}^n \cdot \dot{n}_3$
C	0,4 · 100	0,01 · \dot{n}_2	$c_{C3}^n \cdot \dot{n}_3$
Σ	100	\dot{n}_2	\dot{n}_3

Z bilančnej tabuľky vyplývajú pre 4 neznáme nasledujúce bilančné rovnice: Tri zložkové bilančné rovnice (pre zložky A, B, C) a jedna rovnica, ktorá vyjadruje bilanciu 3. prúdu. Celková bilančná rovnica je lineárne závislá rovnica, ktorú však využijeme na kontrolu výpočtu.

$$20 = 0,95 \dot{n}_2 \quad (1)$$

$$40 = 0,04 \dot{n}_2 + c_{B3}^n \cdot \dot{n}_3 \quad (2)$$

$$40 = 0,01 \dot{n}_2 + c_{C3}^n \cdot \dot{n}_3 \quad (3)$$

$$1 = c_{B3}^n + c_{C3}^n \quad (4)$$

Vyčíslenie neznámych v rovniciach (1) až (4):

Z rovnice (1):

$$\dot{n}_2 = \frac{20}{0,95} = \underline{\underline{21,053 \text{ kmol/h}}}$$

Z rovnice (2) a (3):

$$40 = 0,04 \cdot 21,053 + c_{B3}^n \cdot \dot{n}_3$$

$$40 = 0,01 \cdot 21,053 + c_{C3}^n \cdot \dot{n}_3$$

$$80 = 0,05 \cdot 21,053 + 1 \cdot \dot{n}_3 \Rightarrow \dot{n}_3 = 80 - 1,053 = \underline{\underline{78,947 \text{ kmol/h}}}$$

Absolútne molové zlomky v prúde 3.:

$$c_{B3}^n = \frac{40 - 0,04 \cdot \dot{n}_2}{\dot{n}_3} = \frac{40 - 0,04 \cdot 21,053}{78,947} = \underline{\underline{0,496}}$$

$$c_{C3}^n = 1 - c_{B3}^n = \underline{\underline{0,504}}$$

Kontrola výpočtu:

$$100 = \dot{n}_2 + \dot{n}_3$$

$$100 = 21,053 + 78,947$$

$$100 = 100$$

Bilancia látok v 2. kolóne je zapísaná v tab. 2.

Tabuľka 2

kmol/h

Zložky i	VSTUP	VÝSTUP	
	3	4	5
A	-	-	-
B	39,158	0,99 \dot{n}_4	0,084 \dot{n}_5
C	40,789	0,01 \dot{n}_4	0,916 \dot{n}_5
Σ	78,947	\dot{n}_4	\dot{n}_5

Bilancia zložky B:

$$39,158 = 0,99 \dot{n}_4 + 0,084 \dot{n}_5 \quad (5)$$

$$78,947 = \dot{n}_4 + \dot{n}_5 \quad (6)$$

Riešením rovníc (5) a (6) dostaneme:

$$\dot{n}_4 = \underline{\underline{35,901 \text{ kmol/h}}}$$

$$\dot{n}_5 = \underline{\underline{43,046 \text{ kmol/h}}}$$

Celková kontrola: $\dot{n}_1 = \dot{n}_2 + \dot{n}_4 + \dot{n}_5$
 $100 = 21,053 + 35,901 + 43,046$
 $100 = 100$

Výsledok: Zloženie spodného odberu 1. kolóny je 49,6 mol. % propánu a 50,4 mol. % n-butánu.

Molové toky jednotlivých prúdov sú:

$\dot{n}_2 = 21,053 \text{ kmol/h}; \dot{n}_3 = 78,947 \text{ kmol/h}$
 $\dot{n}_4 = 35,901 \text{ kmol/h}; \dot{n}_5 = 43,046 \text{ kmol/h}$

Príklad 3.8

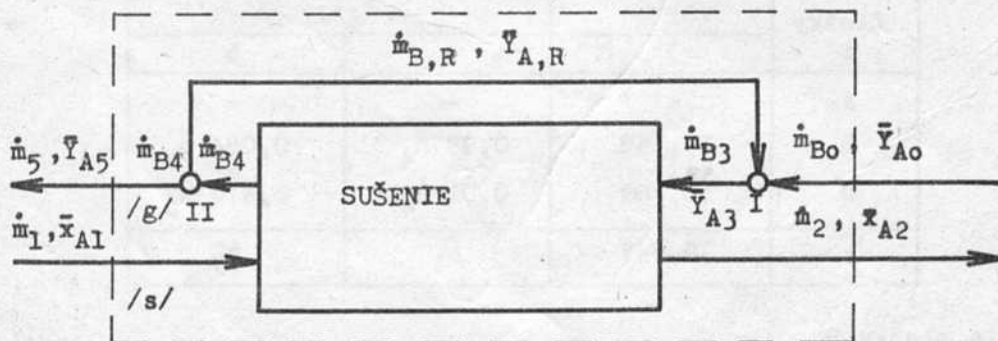
V protiprúdovej sušiarne sa vysúša materiál s obsahom vlhkosti 20 hm. % na vlhkosť 3 hm. %. Prúd vlhkého materiálu vstupuje do sušiarne s hmotnostným tokom 100 kg/min. Protiprúdovo postupuje horúci vzduch s relat.hmotnostným zlomkom 0,025 (kg H₂O/kg suchého vzduchu). Tento vzduch je zmesou čerstvého vzduchu s relat. hmot. zlomkom 0,015 a recirkulovaného vzduchu s relat. hmot. zlomkom 0,055. Vypočítajte:

- množstvo odparenej vody za minútu,
- prietok suchého čerstvého vzduchu m³/min pri teplote 0 °C a tlaku 101,325 kPa,
- recirkulačný pomer vzduchu.

Riešenie

Označenie látok: H₂O - A, suchý vzduch - B, tuhá fáza - C.

Schéma sústavy



Vlhký materiál na vstupe do sušiarne obsahuje 80 kg tuhej fázy a 20 % H₂O. Tuhá fáza a suchý vzduch v sústave sú tzv. spojovacie látky, pretože ich množstvá počas sušenia sú konštantné.

Bilancia sušenia cez čiarkovene vyznačené hranice:

Množstvo odparenej vody z vlhkého materiálu

$$\dot{m}_C \cdot (\bar{X}_{A1} - \bar{X}_{A2}) = \Delta \dot{m}_A \quad (1)$$

Odparená voda zvýši vlhkosť sušiacceho vzduchu, t.j.

$$\Delta \dot{m}_A = \dot{m}_{BO} (\bar{Y}_{A5} - \bar{Y}_{A0}) \quad (2)$$

Z rovnice (1) a (2) vypočítame množstvo odparenej vody a relatívny hmotnostný zlomok vody vo vzduchu, ktorý opúšťa bilančný systém.

Pred riešením rovníc treba prepočítať absolútne hmotnostné zlomky H_2O vo vlhkom materiáli na relatívne hmotnostné zlomky

$$\bar{x}_{A1} = \frac{\bar{x}_{A1}}{1 - \bar{x}_{A1}} = \frac{0,2}{0,8} = 0,25; \quad \bar{x}_{A2} = \frac{0,03}{0,97} = 0,0309$$

Množstvo tuhej fázy je

$$\dot{m}_C = \dot{m}_1 \cdot (1 - \bar{x}_{A1}) = 100 \cdot 0,8 \text{ kg/min} = 80 \text{ kg/min}$$

Množstvo odparenej vody za minútu určíme z rovnice (1)

$$\Delta \dot{m}_A = 80 (0,25 - 0,0309) \frac{\text{kg}}{\text{min}} = 17,53 \text{ kg/min}$$

Vzhľadom na to, že poznáme relat. hmotnostné zlomky vody vo vstupujúcom a vystupujúcom vzduchu \bar{Y}_{A0} , \bar{Y}_{A5} , z rovnice (2) vypočítame množstvo vstupujúceho suchého vzduchu

$$\dot{m}_{BO} = \frac{\Delta \dot{m}_A}{\bar{Y}_{A0} - \bar{Y}_{A5}} = \frac{17,53}{0,055 - 0,015} \frac{\text{kg}}{\text{min}} = \underline{\underline{438,2 \text{ kg/min}}}$$

Objemový tok suchého vzduchu pri teplote 0°C a tlaku $101,325 \text{ kPa}$ určíme zo stavovej rovnice ideálneho plynu

$$\dot{V}_{BO} = \frac{\dot{m}_{BO}}{M_B} \cdot \frac{RT_0}{P_0} = \frac{438,2 \cdot 8,314 \cdot 273,15}{28,85 \cdot 10^{-3} \cdot 101,325 \cdot 10^3} \frac{\text{m}^3}{\text{min}} = \underline{\underline{340,46 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}}}$$

Recirkulačný pomer určíme z bilančnej rovnice vody v uzle I

$$\dot{m}_{BO} \bar{Y}_{A0} + \dot{m}_{BR} \bar{Y}_{A5} = (\dot{m}_{BO} + \dot{m}_{BR}) \bar{Y}_{A3}$$

Recirkulačný pomer

$$r = \frac{\dot{m}_{BR}}{\dot{m}_{BO}} = \frac{\bar{Y}_{A3} - \bar{Y}_{A0}}{\bar{Y}_{A5} - \bar{Y}_{A3}} = \frac{0,025 - 0,015}{0,055 - 0,025} = \underline{\underline{0,333}}$$

Množstvo recirkulovaného suchého vzduchu

$$\dot{m}_{BR} = 0,333 \cdot \dot{m}_{BO} = 0,333 \cdot 438,25 \frac{\text{kg}}{\text{min}} = \underline{\underline{146,08 \frac{\text{kg}}{\text{min}}}}$$

Výsledok: Množstvo odparenej vody je 17,53 kg/min; objemový prietok suchého vzduchu je 340,46 m³/min a recirkulačný pomer je 0,333.

Príklad 3.9

Vo výrobe kyseliny solnej sa získa plyn, ktorý obsahuje 25 obj. % HCl a 75 % vzduchu. Plyn sa vedie cez absorpčnú kolónu, v ktorej sa zachytí 98 % HCl zo vstupujúceho množstva. Plyn do absorpčnej kolóny vstupuje pri teplote 49 °C a tlaku 98,925 kPa a vystupuje pri teplote 27 °C a tlaku 98,392 kPa.

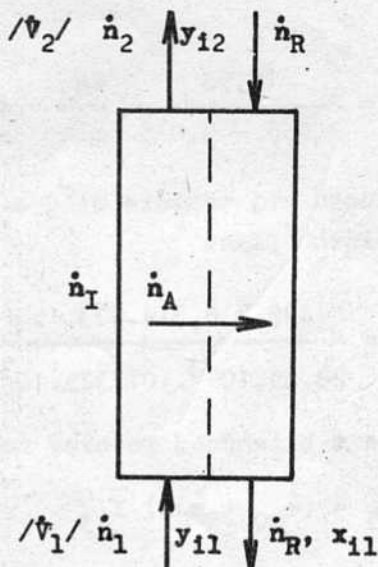
Vypočítajte:

- a) objem vystupujúceho plynu na 100 m³/min vstupujúceho plynu,
- b) zloženie vystupujúceho plynu v mol. %,
- c) hmotnosť HCl absorbovaného do H₂O na 100 m³/min vstupujúceho plynu.

Riešenie

Označenie: HCl	A absorbovaná látka	$M_A = 36,461 \text{ kg/kmol}$
vzduch ...	I inert	$M_{VZ} = 28,85 \text{ kg/kmol}$
H ₂ O	R absorbent	$M_{H_2O} = 18,015 \text{ kg/kmol}$

Schéma sústavy



Plyny pri daných podmienkach možno považovať za stavovo ideálne.

Molový tok HCl na vstupe do absorpčnej kolóny vypočítame zo stavovej rovnice ideálneho plynu, keď objemový tok $V_{A1} = 25 \text{ m}^3/\text{min}$

$$\dot{n}_{A1} = \frac{P_1 \dot{V}_{A1}}{RT_1} = \frac{98,925 \cdot 10^3 \cdot 25}{8,314 \cdot (273,15+49)} \frac{\text{mol}}{\text{min}} = 923,37 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

Molový tok vstupujúceho plynu

$$\dot{n}_1 = \frac{P_1 V_1}{RT_1} = \frac{08,925 \cdot 10^3 \cdot 100}{8,314 \cdot 322,15} = 3693,5 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

a molový tok inertu

$$\dot{n}_I = \dot{n}_1 - \dot{n}_{A1} = 2770,13 \text{ mol/min}$$

Vzduch v sústave je inertom, a preto ho zvolíme za spojovaciu látku.

Absorbované množstvo HCl zo vstupujúceho množstva je 98 %, t.j.

$$\Delta \dot{n}_A = \dot{n}_{A1} \cdot \psi_A = 923,37 \cdot 0,98 = 904,903 \text{ mol/min}$$

Úbytok HCl z plynu absorpciou do vody spôsobí zníženie koncentrácie HCl vo vystupujúcom plyne. Túto koncentráciu vypočítame z bilančnej rovnice HCl

$$\dot{n}_I \cdot (Y_{A1} - Y_{A2}) = \Delta \dot{n}_A$$

resp.

$$Y_{A2} = Y_{A1} - \frac{\Delta \dot{n}_A}{\dot{n}_I}$$

Relatívny molový zlomok HCl na vstupe do kolóny je

$$Y_{A1} = \frac{y_{A1}}{1 - y_{A1}} = \frac{0,25}{0,75} = 0,3333$$

a

$$Y_{A2} = 0,3333 - \frac{904,903}{2770,13} = 6,669 \cdot 10^{-3} \text{ resp. } y_{A2} = 6,62 \cdot 10^{-3}$$

Množstvo vystupujúceho plynu z kolóny bude

$$\dot{n}_2 = \dot{n}_1 - \Delta \dot{n}_2 = 2788,6 \text{ mol/min}$$

a objemový tok pri daných podmienkach

$$\dot{V}_2 = \dot{n}_2 \cdot \frac{RT_2}{P_2} = \frac{2788,6 \cdot 8,314 \cdot 300,15}{98,392 \cdot 10^3} \frac{\text{m}^3}{\text{min}} = 70,73 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

Hmotnosť absorbovaného HCl za minútu

$$\dot{m}_A = \Delta \dot{n}_A \cdot M_A = 904,9 \cdot 36,461 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{min}} = \underline{\underline{33 \text{ kg/min}}}$$

Výsledok: Objem vystupujúceho vzduchu $70,73 \text{ m}^3/\text{min}$.

Abs. molový zlomok HCl vo výstup. vzduchu $6,62 \cdot 10^{-3}$ a hmotnosť absorb. HCl 33 kg/min na 100 m^3 výstup. plynu.

Úlohy

- 3.1 Sú dané dva roztoky R_1 a R_2 s absolútnymi hmotnostnými zlomkami rozpustnej zložky A: $c_{A1}^m = 0,78$ a $c_{A2}^m = 0,48$. Treba z nich pripraviť 150 kg roztok R_3 so 66 hm. % zložky A. Vypočítajte hmotnosť roztoku R_1 a R_2 .
- ($m_1 = 90$ kg; $m_2 = 60$ kg)

- 3.2 Z 2400 kg roztoku, ktorý obsahuje ⁶⁰ 68 hm. % H_2SO_4 , ³⁰ 22 hm. % HNO_3 a 10 hm. % H_2O treba pripraviť 4000 kg roztoku, ktorý má obsahovať 63 hm. % H_2SO_4 , 28 hm. % HNO_3 a 9 hm. % H_2O . Vypočítajte hmotnosť pridaných roztokov, keď je k dispozícii vodný roztok HNO_3 s obsahom 82 hm. % HNO_3 , H_2SO_4 obsahujúca 100 hm. % H_2SO_4 a čistá voda.
- ($m_1 = 487,8$ kg; $m_{H_2SO_4} = 1080$ kg; $m_{H_2O} = 32,2$ kg)

- 3.3 Farbivo F pozostáva zo zmesi farbív A, B a C. Analýzy udávajú pre jednotlivé farbivá nasledujúce hmotnostné percentá síry a dusíka:

	Farbivo			
	F	A	B	C
N	4,38	8,2	-	2,8
S	1,06	-	2,4	1,0

Vypočítajte hmotnosť jednotlivých farbív A, B a C v 100 kg farbiva F.

($m_A = 50$ kg; $m_B = 40$ kg; $m_C = 10$ kg) ✓

- 3.4 Roztok síranu sodného (Na_2SO_4) vo vode je nasýtený pri teplote 40 °C. Vypočítajte hmotnosť kryštálov $Na_2SO_4 \cdot 10 H_2O$ a percentuálny výťažok, ktorý sa dosiahne, keď ochladíme 100 kg roztoku na teplotu 5 °C. Rozpustnosť Na_2SO_4 pri 40 °C je 32,6 hm. % a pri 5 °C je 5,75 hm. % Na_2SO_4 .
- ($m_{Na_2SO_4 \cdot 10 H_2O} = 70,039$ kg; výťažok = 94,7 %) ✓

- 3.5 Vodný roztok síranu sodného (Na_2SO_4) je nasýtený pri 32,5 °C. Pri tejto teplote rozpustnosť Na_2SO_4 v roztoku je 0,4815 kg Na_2SO_4 /kg H_2O . Vypočítajte zloženie kryštalizačného lúhu, ak 60 % Na_2SO_4 vykryštalizuje vo forme $Na_2SO_4 \cdot 10 H_2O$.
- ($c_{Na_2SO_4}^m = 0,233$) ✓

- 3.6 Roztok chloridu železitého ($FeCl_3$) vo vode obsahuje 64,1 hm. % $FeCl_3$. Vypočítajte, aké % $FeCl_3$ vykryštalizuje vo forme $FeCl_3 \cdot 6 H_2O$ pri teplote 27 °C, keď rozpustnosť $FeCl_3$ pri danej teplote je 68,3 hm. % $FeCl_3$.
- (47 %)

- 3.7 Nasýtený roztok sírenu meďnatého CuSO_4 sa ochladzuje počas kryštalizácie zo 100 na 20 °C. Určite množstvo vylúčených kryštálov modrej skalice $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ z 3000 kg roztoku CuSO_4 . Rozpustnosť CuSO_4 pri 100 °C je 75 g/100 g H_2O a pri 20 °C je $20,7$ g/100 g H_2O .

$$(m_{\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}} = \frac{1351,08}{1649} \text{ kg})$$

- 3.8 Po kryštalizácii roztok obsahuje 62 kg chloridu vápenatého (CaCl_2) na 100 kg H_2O . Vypočítajte hmotnosť roztoku, ktorý je potrebný na rozpustenie 250 kg $\text{CaCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ pri teplote 25 °C. Rozpustnosť CaCl_2 pri teplote 25 °C je $7,38$ mol CaCl_2 na 1 kg H_2O .

$$(m_1 = 208,21 \text{ kg})$$

- 3.9 Vodný roztok dvojchrómanu draselného ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) obsahuje 13 hm. % $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$. Z 1000 kg roztoku sa odparí 640 kg vody. Zvyšujúci roztok sa ochladí na 20 °C. Vypočítajte hmotnosť kryštálov a výťažok $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, keď rozpustnosť dvojchrómanu draselného pri 20 °C je $0,39$ mol na 1 kg vody.

$$(m_{\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7} = 102,35 \text{ kg; výťažok } 78,73 \%)$$

- 3.10 Chlorid sodný (NaCl) pri teplote 65 °C tvorí s vodou nasýtený roztok s koncentráciou $27,13$ hm. % NaCl . Pri teplote 15 °C rozpustnosť NaCl je $26,34$ hm. %. Vypočítajte hmotnosť vylúčených kryštálov NaCl z 2000 kg roztoku, ak teplotu znížime z teplota 65 na teplotu 15 °C.

$$(m_{\text{NaCl}} = 21,45 \text{ kg})$$

- 3.11 Rozpustnosť dusičnanu sodného (NaNO_3) pri teplote 40 °C je $51,4$ hm. % a pri teplote 10 °C je $44,5$ hm. % NaNO_3 . Vypočítajte:

a) Koľko NaNO_3 treba pridať do roztoku s koncentráciou 49 hm. % NaNO_3 pri teplote 40 °C, aby vznikol nasýtený roztok.

b) Hmotnosť vylúčených kryštálov z 1000 kg nasýteného roztoku, keď teplotu roztoku znížime zo 40 na 10 °C.

c) Výťažok NaNO_3 .

$$(a) 4,92 \text{ kg } \text{NaNO}_3/100 \text{ kg roztoku; } b) m_{\text{NaNO}_3} = 124,32 \text{ kg; } c) 24,19 \%)$$

- 3.12 Rostok dusičnanu sodného (NaNO_3) vo vode obsahuje 100 g NaNO_3 na 1 kg H_2O . Vypočítajte hmotnosť vykryštalizovanej vody po ochladiení 1000 kg roztoku na teplotu -15 °C. Rozpustnosť NaNO_3 pri teplote -15 °C je $6,2$ mol NaNO_3 na 1 kg H_2O .

$$(m_{\text{H}_2\text{O}} = 736,6 \text{ kg})$$

- 3.13 Do odparky vstupuje 9 t/h vodného roztoku dusičnanu amónneho obsahujúceho 54 hm. % NH_4NO_3 . Po odparení určitej časti vody z odparky vystupuje $5,21$ t/h roztoku. Vypočítajte hmotnosť odparenej vody a koncentráciu NH_4NO_3 vo vystupujúcom roztoku z odparky.

$$(m_{\text{H}_2\text{O}} = 2,79 \text{ t/h; } C_{\text{NH}_4\text{NO}_3}^m = 0,7409)$$

3.14 Do absorpčnej kolóny vstupuje $1000 \text{ m}^3/\text{h}$ plynu pri teplote $20 \text{ }^\circ\text{C}$ a tlaku $101,325 \text{ kPa}$. Plyn obsahuje $8,5 \text{ mol. \%}$ acetónu ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$) a zvyšok je vzduch. Absorpciou sa má odstrániť 90 \% acetónu vstupujúceho plynu. Na absorpciu sa použije čistá voda v množstve 400 kg/h . Vypočítajte množstvo absorbovaného acetónu a koncentráciu acetónu vo vystupujúcich prúdoch z absorbéra

$$(\dot{n}_{\text{C}_3\text{H}_6\text{O}}^{\text{abs}} = 3,18 \text{ kmol/h; } y = 0,0092; \bar{x} = 0,3159)$$

3.15 Plyn, ktorý odchádza z koksových pecí, má nasledujúce obj. %:

Zložka i	H ₂	N ₂	CO	CO ₂	CH ₄	C ₆ H ₆	C ₇ H ₈
%	38	4	6	5	35	6	6

Plyn opúšťa pec pri $400 \text{ }^\circ\text{C}$ a pri tlaku 140 kPa s objemovým tokom $30 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{h}$. Po ochladení na teplotu $35 \text{ }^\circ\text{C}$ sa z plynu úplne odstráni benzén (C_6H_6) a toluén (C_7H_8) absorpciou. Vypočítajte hmotnosť vystupujúceho plynu z pece a hmotnosť absorbovaného benzénu a toluénu.

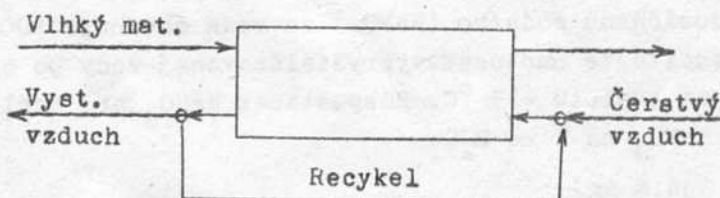
$$(\dot{m}_g = 16,208 \text{ t/h; } \dot{m}_{\text{C}_6\text{H}_6} = 3,517 \text{ t/h; } \dot{m}_{\text{C}_7\text{H}_8} = 4,149 \text{ t/h})$$

3.16 Vzduch pri teplote $25 \text{ }^\circ\text{C}$ a tlaku 98 kPa relatívnej vlhkosti 90 \% sa suší v kolóne. Vzduch sa uvedie do styku s vodným roztokom H_2SO_4 s koncentráciou $92 \text{ hm. \% H}_2\text{SO}_4$ v množstve 150 kg/h . Vyžadovaná relatívna vlhkosť vzduchu po vysušení je 15 \% . Vypočítajte hmotnosť oddelenej vody a koncentráciu H_2SO_4 na výstupe z kolóny.

$$(\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} = 3,58 \text{ kg/h; } c_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{m}} = 0,8986)$$

3.17 Vlhký materiál, ktorý obsahuje $1,562 \text{ kg H}_2\text{O}$ na 1 kg sušiny sa suší na vlhkosť s relatívnou hmotnostnou koncentráciou $0,099$. Na každý kg sušiny prechádza cez sušiareň $52,5 \text{ kg}$ suchého vzduchu. Vzduch opúšťa sušiareň s absolútnym hmotnostným zlomkom $0,0525$. Čerstvý vzduch obsahuje $15,2 \text{ g H}_2\text{O}$ na 1 kg vlhkého vzduchu. Vypočítajte percento suchého vzduchu, ktorý recirkuluje v sušiarňi.

Schéma sušiarne



$$29,2 \text{ (26,4 \%)}$$

3.18 V kontinuálnej rektifikačnej kolóne sa koncentruje zriedený etylalkohol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$). Nástrek zriedeného etylalkoholu do kolóny obsahuje $15 \text{ mol \% C}_2\text{H}_5\text{OH}$ a $85 \text{ mol. \% H}_2\text{O}$. Na hlave kolóny sa odoberá produkt -

destilát zloženia 89,43 mol. % C_2H_5OH a na spodku kolóny sa odoberá destilačný zvyšok zloženia 0,5 mol. % C_2H_5OH a 99,5 mol. % H_2O . Destilát sa znovu použije v technologickom procese a destilačný zvyšok je odpad. Vypočítajte, aké hm. % C_2H_5OH sa stráca vo zvyšku vzhľadom na vstupujúci etylalkohol do kolóny.

(2,79 %)

- 3.19 Z tuhého materiálu, ktorý obsahuje 50 hm. % uhličitanu sodného (Na_2CO_3) a 50 hm. % uhličitanu vápenatého ($CaCO_3$) sa vodou vylúhuje Na_2CO_3 tak, že sa rozplaví s vodou v hmotnostnom pomere 1:5. Po rozplavení tuhej fázy vo vode sa všetok Na_2CO_3 rozpustí. Usadzovaním sa oddelí nerozpustný $CaCO_3$. Po oddelení číreho roztoku uhličitanu sodného vo vode v usadzovacej nádobe zostal nerozpustný $CaCO_3$ s koncentráciou 40 hm. %. Vypočítajte, aké % Na_2CO_3 sa získa vylúhovaním zo 100 kg materiálu.

(86,36 %)

- 3.20 V kolóne sa kontinuálne destiluje 100 kg/h nástreku obsahujúceho benzén, toluén a inert (tuhá látka rozptýlená v nástreku ako suspenzia). Z hlavy kolóny sa odoberá 60 kg/h pár benzénu a toluénu, ktoré vstupujú do kondenzátora. Kvapalina z kondenzátora sa rozdeľuje na reflux (spätný tok), ktorý sa privádza späť na hlavu kolóny a na destilát so zložením 80 hm. % benzénu a 20 hm. % toluénu. Zo spodku kolóny sa odoberá 100 kg/h zmesi benzénu, toluénu a inertu. Táto zmes sa privádza do varáka. Pary z varáka sa privádzajú späť do spodku kolóny ako reflux a suspenzia vystupujúca z varáka sa odoberá ako destilačný zvyšok. Zloženie destilačného zvyšku je 8,4 hm. % benzénu, 62,8 hm. % benzénu, 62,8 hm. % toluénu a 28,6 hm. % inertu. Množstvá refluxu v kg/h na hlave a na spodku kolóny sú rovnaké. Vypočítajte:

- množstvá refluxu na hlave a na spodku kolóny,
- zlomok benzénu v destilačnom zvyšku vzhľadom na vstupujúci benzén v nástreku,
- zloženie nástreku.

($\dot{m}_R = 30$ kg/h; 0,2005; 30,02 hm. % benzénu, 49,96 hm. % toluénu; 20,02 hm. %)