

LABORATÓRNE CVIČENIA ZO SEPARAČNÝCH PROCESOV

Práca č.8

Rovnovážna destilácia a rovnováha binárnych zmesí

V KOCKE

V prípade, že chceme od seba odseparovať dve látky, je vždy dôležité poznať ich fyzikálne a chemické vlastnosti, na základe ktorých vyberieme vhodnú separačnú metódu. Destilácia je difúzny separačný proces, ktorý slúži na oddelenie zložiek z homogénnej kvapalnej zmesi. Princíp separácie je založený rozdielných teplotách bodu varu oddeľovaných zložiek pri rovnakom tlaku (na základe rozdielnej prchavosti). Destilácia je výhodná najmä vtedy, ak teploty varu oboch látok sú dostatočne rozdielne. Destiláciu z prevádzkového hľadiska, rozdeľujeme na kontinuálnu a vsádzkovú. Pri vsádzkovej destilácii sa surovina jednorazovo nadáva do varáka destilačnej aparatury a počas destilácie sa mení teplota, zloženie destilátu a zvyšku. Takejto destilácii sa hovorí aj ako diferenciálna destilácia, viacej sa o tomto type destilácie dozvieme pri iných prácach. Naopak, pri kontinuálnej destilácii, ako to vyplýva z jej názvu, sa bude surovina kontinuálne privádzať do destilačnej aparatury, pričom výsledkom takejto destilácie sú dva prúdy, destilát a zvyšok, ktoré aparaturu opúšťajú v rovnováhe. Preto sa kontinuálna destilácia niekedy nazýva aj ako rovnovážna. Zloženie destilátu a zvyšku sa za ustáleného stavu počas jednoduchej rovnovážnej destilácie nemení. V prípade ak sa destilát nevracia do destilačného zariadenia, tak takýto typ rovnovážna destilácia dostáva ešte jeden prívlastok, jednoduchá. Nevýhoda jednoduchej, rovnovážnej destilácie je obmedzená separačná účinnosť. Ak sa požaduje vyššia miera delenia, tak je potrebné zaradiť ďalší destilačný stupeň, alebo sa používajú rektifikačné kolóny so spätným tokom destilátu, v ktorých je možné dosiahnuť temer úplne oddelenie separovaných zložiek. Ale to je opäť téma inej laboratórnej práce.

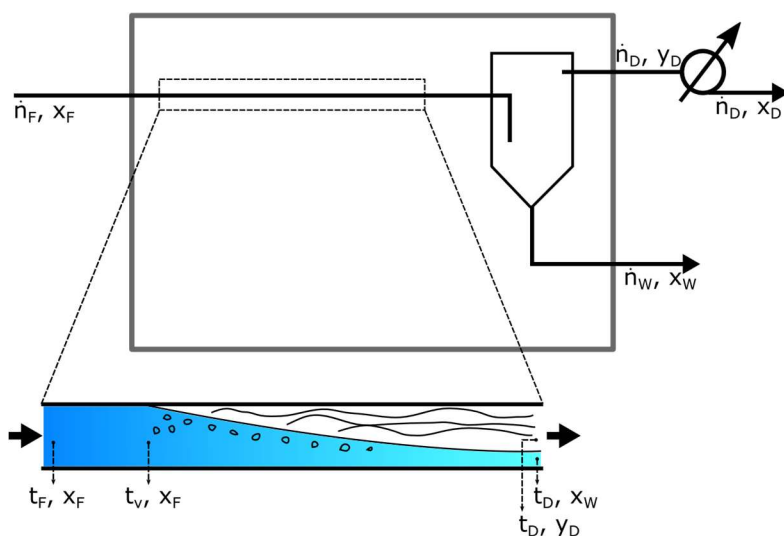
Slabá deliaca schopnosť jednoduchej rovnovážnej destilácia je jedným z dôvodov, prečo sa v priemysle pomerne málo používa. Jednoduchá destilácia sa najčastejšie uplatňuje pri spracovaní ropy, kde sa realizuje v tzv. rúrovej peci na prípravu nástreku do rektifikácie. Kvapalná surovina prúdi dlhou rúrou, ktorá je zahriata na určitú teplotu. Vznikajúca parokvapalná zmes, sa ako surovina ďalej vedie do rektifikačnej kolóny.

Rovnovážna destilácia má ale značné využitie pri meraní rovnovážnych údajov. Na tomto laboratórnom cvičení si ukážeme ako pomocou rovnovážnej destilácie namerať rovnovážne údaje a ako s nimi ďalej pracovať.

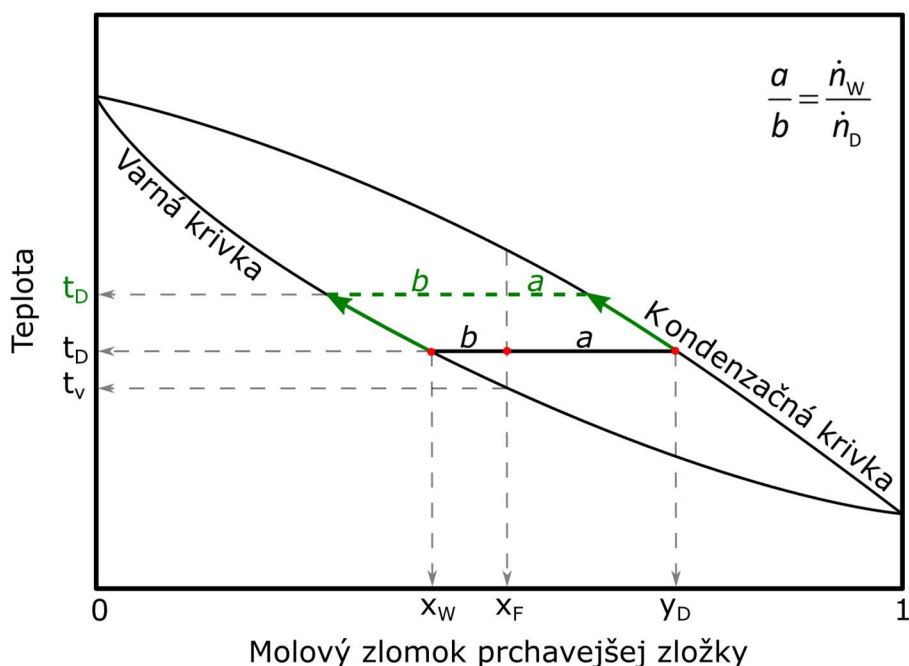
• TEÓRIA

Pri rovnovážnej destilácii sa do destilačnej aparatury kontinuálne privádza surovina o molovom toku $\dot{n}_F$ a s molovým zlomkom prchavejšej zložky x_F (Obr. 2). Vstupuje do výmenníka tepla, kde sa najprv ohreje na teplotu varu t_V a v závislosti od ohrevu sa v určitej časti výmenníka dosiahne požadovaná destilačná teplota t_D , kedy vzniká rovnovážna parokvapalná zmes. Tá ďalej postupuje do separátora, v ktorom sa oddeľujú pary s molovým tokom $\dot{n}_D$ a zložením y_D od kvapalnej fázy, zvyšku, s molovým tokom $\dot{n}_W$ a zložením x_W . Pary destilátu skondenzujú v kondenzátore a tvoria destilát. Ak sa použije totálny kondenzátor (skondenzuje všetka para) tak tok kvapalného destilátu a jeho zloženie sa v porovnaní s parami nemení ($y_D = x_D$).

Môžeme pozorovať, že v destiláte je v porovnaní s pôvodnou surovinou väčšie zastúpenie prchavejšej (nižšie vrúcej) zložky. Naopak, vo zvyšku, kleslo zastúpenie prchavejšej zložky ($y_D > x_F > x_W$). Rovnovážne zloženie destilátu a zvyšku závisí od destilačnej teploty a od tlaku v systéme, pri ktorom sa prebieha destilácia. V našom prípade je aparátúra otvorená do atmosféry, takže zloženie destilátu a zvyšku pre dané zloženie suroviny vieme ovplyvniť iba destilačnou teplotou. Destilačná teplota ale neovplyvňuje iba zloženie, ale aj toky destilátu a zvyšku. Hovorí o tom materiálová bilancia procesu, tzv. „pákové pravidlo“, ktoré dáva do rovnosti pomer veľkostí úsečiek „a“ a „b“ v T-x, y diagrame Obr. 2 a pomer toku destilátu a zvyšku. Na základe týchto poznatkov môžeme v jednej vete zhrnúť vplyv teploty destilácie na priebeh rovnovážnej destilácie: S narastajúcou destilačnou teplotou sa znižuje hodnota y_D a x_W , súčasne nám ale narastá tok destilátu a klesá tok zvyšku.



Obr. 1 Prúdová schéma rovnovážnej destilačnej aparátúry. Vo zväčšenine pozdĺžneho rezu výmenníka tepla je znázornené vytvorenie rovnovážnej paro-kvapalnej zmesi



Obr. 2 izobarický t-x,y diagram binárnej zmesi. Zelenou je znázornená zmena rovnovážneho stavu pri vyššej destilačnej teplote

Poznámka: v praxi sa okrem označenia y_D , prchavejšej zložky v parách, môžeme stretnúť aj s označením y_A . Takéto značenie je vhodnejšie na vyjadrenie väzbového pravidla dvojzložkovej zmesi: $1 = y_A + y_B$. Rovnaké tvrdenie platí aj pre značenie destilačného zvyšku.

Pre rovnovážnu destiláciu platia rovnice materiálovej bilancie (celková bilancia a bilancia pre prchavejšiu zložku) a rovnovážny vzťah.

$$\dot{n}_F = \dot{n}_D + \dot{n}_W \quad (1)$$

$$\dot{n}_F x_F = \dot{n}_D x_D + \dot{n}_W x_W \quad (2)$$

$$x_{iD} = K_i x_{iW} \quad i = A, B \quad (3)$$

V rovniciach (1) až (3) index A prislúcha prchavejšej zložke a index B menej prchavej zložke. K_i (-) je rovnovážny koeficient vyparovania zložky. Ak je hodnota rovnovážneho koeficienta zložky i väčšia ako 1, znamená to, že para sa obohacuje o prchavejšiu zložku.

Dôležitým parametrom je aj relatívna prchavosť α_{ij} (-), ktorej hodnota je mierou separovateľnosti zložky i od zložky j . Aby bola destilácia možná, relatívna prchavosť musí byť väčšia ako 1.

$$\alpha_{ij} = \frac{K_i}{K_j} \quad (4)$$

Pri podmienkach rovnovážnej destilácie realizovanej v laboratóriu (atmosférický tlak) budeme predpokladať približne ideálne správanie sa parnej fázy a neidealitu v kvapalnej fáze budeme kvantifikovať pomocou aktivitných koeficientov jednotlivých zložiek. Potom exaktná podmienka termodynamickej rovnováhy kvapalina-para, ktorou je rovnosť fugacít každej zložky v oboch fázach nadobudne nasledujúci tvar (podrobný postup odvodenia rovnice 8.5 nájdete v knihe Chemické inžinierstvo II (Dojčanský, Longauer) na strane 150 a 151).

$$y_i = \frac{P_i^0 x_i \gamma_{ix}}{P_{\text{atm}}} \quad i = A, B \quad (5)$$

kde y_i (-) je molový zlomok v plynnej a x_i (-) v kvapalnej fáze, P_i^0 (Pa) je tlak nasýtených pár čistej zložky (počíta sa pri teplote destilácie z Antoinevej rovnice), P_{atm} (Pa) je atmosférický tlak a γ_{ix} (-) je aktivitný koeficient zložky i v kvapalnej fáze pri koncentrácii x_i

Z rovnice (5) je zrejmé, že pre namerané rovnovážne hodnoty, známu teplotu destilácie a tlak v systéme môžeme vypočítať hodnoty aktivitných koeficientov γ_{ix} z experimentálnych údajov. Tieto aktivitné koeficienty pre jednotlivé zložky nie sú konštantné, ale sú funkciou zloženia.

Pre rôzne koncentrácie dvojzložkových zmesí sa tieto závislosti najčastejšie vyjadrujú van Laarovými alebo Margulesovými rovnicami.

- Rovnice van Laarove:

$$\log \gamma_{Ax} = \frac{A}{\left(1 + \frac{Ax_A}{Bx_B}\right)^2} \quad (6)$$

$$\log \gamma_{Bx} = \frac{B}{\left(1 + \frac{Bx_B}{Ax_A}\right)^2} \quad (7)$$

- Rovnice Margulesove:

$$\log \gamma_{Ax} = x_B^2 \left[A + 2x_A (B - A) \right] \quad (8)$$

$$\log \gamma_{Bx} = x_A^2 \left[B + 2x_B (A - B) \right] \quad (9)$$

Koeficienty A, B sú charakteristické pre daný roztok a pre naše účely ich budeme považovať za konštantné v celom rozsahu koncentrácií zložiek, nezávislé od teploty.

• CIELE PRÁCE

1. Určiť rovnovážne zloženie destilátu a zvyšku dvojzložkovej zmesi pri dvoch rôznych teplotách destilácie.
2. Vypočítať hodnoty aktivitných koeficientov a určiť optimálne hodnoty A a B pre van Laarove resp. Margulesove rovnice.
3. V t-x,y diagrame graficky porovnať rovnovážne krivky vypočítané pomocou vlastných hodnôt koeficientov A a B van Laarových resp. Margulesových rovníc s údajmi z literatúry.

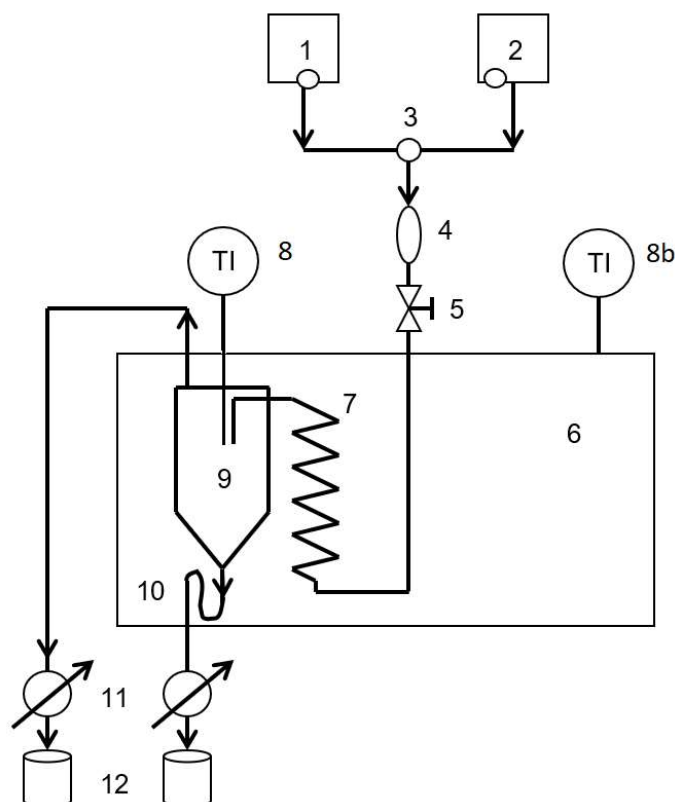
• ZADANIE PRÁCE

1. Namerajte rovnovážne zloženie x_A a y_A binárnej zmesi metanol-izopropanol
2. pre $x_F = \dots\dots\dots$ pri teplote kúpeľa $\dots\dots\dots^\circ\text{C}$
3. pre $x_F = \dots\dots\dots$ pri teplote kúpeľa $\dots\dots\dots^\circ\text{C}$
4. Určte z dvoch nameraných rovnovážnych dvojíc údajov x_A a y_A a z cca 8 ďalších hodnôt odčítaných v chemicko-inžinierskych tabuľkách koeficienty A, B van Laarových resp. Margulesových rovníc a vypočítajte ich strednú hodnotu.
5. Vypočítajte optimálne hodnoty koeficientov A, B van Laarových resp. Margulesových rovníc. Optimálne ako aj neoptimálne hodnoty koeficientov použite pre výpočet rovnovážneho t-x,y diagramu a graficky ho porovnajte s diagramom nakresleným na základe rovnovážnych údajov uvedených v chemicko-inžinierskych tabuľkách.
6. Graficky znázornite závislosť γ_{Ax} a γ_{Bx} od molového zlomku prchavejšej zložky x_A .

7. Pre hodnotu $x_A = \dots\dots$ podrobne uveďte výpočet rovnovážnej hodnoty y_A použitím optimálnych hodnôt koeficientov A, B .

• OPIS ZARIADENIA

Schéma aparatury na rovnovážnu destiláciu je znázornená na Obr. 2. Skladá sa z dvoch zásobných nádrží (1) a (2) v ktorých sa nachádza surovina. Trojcestným ventilom (3) sa určuje ktorá zo surovín sa počas experimentu bude privádzať do destilačnej aparatury. Regulačným ventilom (5) sa nastavuje prietok suroviny, prietok môžeme vizuálne kontrolovať cez sklenený priezor (4). Surovina ďalej postupuje špirálovitou rúrkou (7), ktorá je ponorená v temperovanom vodnom kúpeli termostatu (6). Prechodom cez rúрку sa surovina ohrieva, čiastočne odparuje pričom sa vytvára rovnovážna paro-kvapalná zmes. Destilačnú teplotu odčítavame na teplomere (8) (digitálny ukazovateľ teploty (8b) indikuje teplotu vodného kúpeľa). Rúrka vyúsťuje do separátora fáz (9) so sifónom (10), z ktorého odchádza kvapalný zvyšok. Pary prirodzene odchádzajú z hornej časti separátora a postupujú do kondenzátora (11), kde úplne skondenzujú. Destilačný zvyšok sa dochladzuje vo výmenníku tepla (11). K zariadeniu patria ešte vzorkovacie skúmavky a digitálny refraktometer.



Obr. 3 Schéma zariadenia na rovnovážnu destiláciu. 1, 2 – zásobníky, 3 – trojcestný ventil, 4 – priezor na počítanie kvapiek, 5 – regulačný ventil, 6 – termostát, 7 – výmenník tepla, 8 – teplomer, 9 – separátor, 10 – sifón, 11 – kondenzátor/chladič, 12- destilačné predlohy

• PRACOVNÝ POSTUP

BEZPEČNOSTNÉ OPATRENIA

1. Počas práce, najmä pri manipulácii so vzorkami, si treba počínať opatrne, lebo látky s ktorými sa pracuje sú horľaviny 1. triedy a metanol je nebezpečný jed !

PRÍPRAVA NA MERANIE

1. Oboznámime sa so zariadením a skontrolujeme jeho úplnosť podľa dokumentácie k práci. Od vedúceho cvičenia si vyžiadame zadanie práce a súhlas na začatie merania. Pripravíme digitálny refraktometer na meranie .
2. Do chladičov (11) vpustíme vodu na chladenia (primeraným prietokom) a zapneme termostat (6).
3. Najskôr otvoríme ventil na fľaši so surovinou (1) alebo (2) a potom trojcestný ventil (3) otočíme tak, aby surovina tiekla z nádže zvolenej na meranie. Prietok suroviny regulujeme ventilom 5 tak, aby v priezore 4 kvapkali 2 až 3 kvapky za sekundu. Tento prietok suroviny už nemeníme.
4. Teplota, nastavená na termostate v súlade so zadaním práce je len orientačná. Upravíme ju podľa aktuálneho prietoku destilátu a zvyšku tak, aby prietok destilátu bol o málo vyšší ako prietok zvyšku.

MERANIE

1. Z laboratórneho barometra odčítame hodnotu atmosférického tlaku P_{atm} a zapíšeme ju do Tab. 1
2. Po ustálení teploty v separátore 7 po dobu 5 až 10 minút začneme odoberať vzorky destilátu aj zvyšku do pripravených čistých skúmaviek. Destilát aj zvyšok odoberáme naraz.
3. Do skúmavky necháme natiecť cca 2 ml vzorky a refraktometrom odmeriame index lomu destilátu a zvyšku. Vzorkovanie a meranie indexu lomu opakujeme ešte 4-krát cca v 3-minútových intervaloch. Počas celého merania sledujeme, či sa nemení destilačná teplota, ktorú tiež zapíšeme do Tab. 1.
4. Využitím kalibračnej krivky (PRÍLOHA) určíme z nameraných indexov lomu molový zlomok prchavejšej zložky vo vzorke (y_D resp. x_w). Namerané hodnoty zapisujeme do pripravenej Tab. 1, rovnako ako vypočítané priemerné hodnoty destilačnej teploty a molového zlomku prchavejšej zložky v destiláte a vo zvyšku. Ak sa niektorá z nameraných hodnôt značne odlišuje od ostatných, príslušné meranie zopakujeme.
5. Trojcestným ventilom uzavrieme prívod suroviny z nádže a tým sa prvé meranie končí.
6. Rovnako si pripravíme aparaturu na nasledujúce meranie s druhou surovinou a postupujeme podľa bodov 1. až 5. Namerané údaje zapíšeme do Tab. 2.

UKONČENIE MERANIA

7. Zastavíme prívod suroviny trojcestným ventilom (3) a uzavrieme aj regulačný ventil (5). Vypneme termostat a zastavíme prívod vody do chladičov (11).

OPIS ZARIADENIA AKO AJ PRACOVNÝ POSTUP SI MÔŽETE POZRIEŤ AJ NA VIDEO:

<https://www.youtube.com/watch?v=yaxgR3zTAHA&list=PL81QAg818vjDK7pm9WO6tW36sdBpPGYa>



- **OTÁZKY – čo sa vás môže opýtať vyučujúci pred experimentom**

- Čo je rovnovážna destilácia?
- Opíšte jednotlivé časti zariadenia.
- Uveďte stručný opis merania, čo idete merať, ako budete postupovať?

- **SPRACOVANIE NAMERANÝCH ÚDAJOV**

STANOVENIE EXPERIMENTÁLNYCH A VYPOČÍTANÝCH AKTIVITNÝCH KOEFICIENTOV (TAB. 3)

1. Do prvých dvoch riadkov Tab. 3 zadáme stredné hodnoty experimentálne nameranej destilačnej teploty, molových zlomkov destilátu a zvyšku. Údaje ďalších osem riadkov doplníme z tabelovaných údajov (chemickoinžinierske tabuľky, strana 73) rovnováhy binárnej zmesi metanol-izopropanol, tak aby sme pokryli rozsah molových zlomkov od 0 po 1.
2. Pre každú teplotu vypočítate tlaky nasýtených pár metanolu a izopropanolu použitím Antoinovej rovnice:

$$P_i^0 = 10^{\left(A - \frac{B}{T+C}\right)} \quad i = A, B \quad (10)$$

3. Z rovnice (5) vypočítate pre každý rovnovážny údaj hodnotu aktivitných koeficientov γ_{Ax} resp. γ_{Bx} . Tieto hodnoty aktivitných koeficientov budete v ďalších výpočtoch považovať za experimentálne.
4. Následne pre každú dvojicu experimentálnych γ_{Ax} a γ_{Bx} vypočítame hodnoty koeficientov A a B pomocou upravených vzťahov van Laarových (11), (12) resp. v Margulesových rovniciach (13), (14).

- Rovnice van Laarove:

$$A = \log \gamma_{Ax} \left(1 + \frac{x_B}{x_A} \frac{\log \gamma_{Bx}}{\log \gamma_{Ax}} \right)^2 \quad (11)$$

$$B = \log \gamma_{Bx} \left(1 + \frac{x_A}{x_B} \frac{\log \gamma_{Ax}}{\log \gamma_{Bx}} \right)^2 \quad (12)$$

- Rovnice Margulesove:

$$A = \frac{x_B - x_A}{x_B^2} \log \gamma_{Ax} + \frac{2 \log \gamma_{Bx}}{x_A} \quad (13)$$

$$B = \frac{x_A - x_B}{x_A^2} \log \gamma_{Bx} + \frac{2 \log \gamma_{Ax}}{x_B} \quad (14)$$

5. Z vypočítaných hodnôt parametrov A a B urobíme priemerné hodnoty. Ich hodnoty prekopírujeme do riadku s názvom *Optimalizované*.
6. Prekopírované parametre A a B použijeme na výpočet aktivitných koeficientov, tentokrát ich však už vypočítame priamo z van Laarovej (6), (7) alebo Margulesovej rovnice (8), (9). Tieto hodnoty aktivitných koeficientov budeme považovať za vypočítané.
7. Pre každý riadok tabuľky vypočítame štvorec odchýlky vypočítaných a nameraných údajov aktivitných koeficientov.

$$\left(\gamma_{Ax}^{\text{EXP}} - \gamma_{Ax}^{\text{VYP}} \right)^2 + \left(\gamma_{Bx}^{\text{EXP}} - \gamma_{Bx}^{\text{VYP}} \right)^2 \quad (15)$$

8. V tom istom stĺpci nakoniec urobíme súčet štvorcov odchýlok vypočítaných a experimentálnych hodnôt aktivitných koeficientov. Túto bunku nazývame ako aj účelová funkcia.

$$UF = \sum_{j=1}^N \left(\gamma_{Ax}^{\text{EXP}} - \gamma_{Ax}^{\text{VYP}} \right)^2 + \left(\gamma_{Bx}^{\text{EXP}} - \gamma_{Bx}^{\text{VYP}} \right)^2 = \min \quad (16)$$

9. Nelineárnou optimalizačnou metódou optimalizujeme hodnoty koeficientov A a B tak, aby účelová funkcia nadobudla minimálnu hodnotu. Na optimalizáciu odporúčame použiť MS Excel:
 - V Exceli pod kartou „Údaje“ nájdeme funkciu „Riešiteľ“. Objaví sa okno „Parametre riešiteľa“. Do políčka „Nastavená cieľová bunka“ – vložíme súradnice bunky, ktorá zodpovedá účelovej funkcii. Ďalší riadok nazvaný „Rovná sa“ – zaklikneme „minimu“. V riadku „Meniť bunky“ – zaklikneme bunky optimalizovaných koeficientov A , B . Následne klikneme na „Vyhľadáť“. Výsledné parametre A a B budú optimalizované parametre rovníc.

10. Zostrojíme grafy závislosti γ_{Ax} resp. $\gamma_{Bx} = f(x_A)$ vypočítaných aktivitných koeficientov z van Laarovej alebo Margulesovej rovnice, od molového zlomku prchavejšej zložky vo zvyšku.

VÝPOČET ROVNOVÁŽNYCH ÚDAJOV KVAPALINA-PARA (TAB. 4)

1. V prvom stĺpci Tab. 4 si zvolíme 12 hodnôt x_A v rozsahu od 0 po 1 (môžeme použiť rovnaké hodnoty ako v tabuľkách, strana 73).
2. Dopočítame molový zlomok menej prchavej zložky $x_B = 1 - x_A$.
3. V ďalších krokoch budeme na výpočet potrebovať rovnovážne teploty. Ich hodnoty vopred nepoznáme, preto na odhad môžeme použiť údaje z tabuliek. Tieto teploty použijeme na výpočet tlakov nasýtených pár pre zložku A aj B.
4. Vypočítame hodnoty aktivitných koeficientov van Laarových (6), (7) resp. Margulesových (8), (9) rovníc. Pri ich výpočte používame optimalizované parametre A a B.
5. Hodnoty molových zlomkov v plynnej fáze y_A a y_B vypočítame z rovnice (5).
6. V poslednom stĺpci si pre každý riadok zadefinujeme účelovú funkciu:

$$UF = [1 - (y_A + y_B)]^2 = \min \quad (17)$$

7. Iteračným výpočtom budeme optimalizovať odhadnuté teploty tak, aby bola splnená účelová funkcia (17). Za týmto účelom opäť použijeme funkciu riešiteľa v programe MS Excel. Tento krát ju ale používame na každý riadok zvlášť.
8. V Exceli pod kartou „Údaje“ nájdeme funkciu „Riešiteľ“. Objaví sa okno „Parametre riešiteľa“. Do políčka „Nastavená cieľová bunka“ – vložíme súradnice bunky, ktorá zodpovedá účelovej funkcii. Ďalší riadok nazvaný „Rovná sa“ – zaklikneme „minimu“. V riadku „Meniť bunky“ – zaklikneme hodnotu teploty pre daný riadok. Následne klikneme na „Vyriešiť“ a dostaneme optimalizovanú hodnotu teploty. Výpočet opakujeme pre každý riadok zvlášť.
9. Výpočet z bodu 3 až 8 zopakujeme aj pre neoptimalizované priemerné hodnoty parametrov A a B.
10. Zostrojíme t-x,y diagram z tabelovaných hodnôt (strana 73), z vypočítaných hodnôt (Tab. 4) pri ktorých boli použité optimalizované ako aj neoptimalizované parametre A a B.

- **TABUĽKY**

Tab. 1 Namerané hodnoty pre zmes $x_{AF}=.....$

$P_{atm} =$ (Pa)					
Meranie	t (°C)	index lomu (w)	index lomu (D)	$x_W = x_{AW}$	$y_D = y_{AD}$
1					
2					
3					
4					
5					
Stred. hodn.					

Tab. 2 Namerané hodnoty pre zmes $x_{AF}=.....$

$P_{atm} =$ (Pa)					
Meranie	t (°C)	index lomu (w)	index lomu (D)	$x_W = x_{AW}$	$y_D = y_{AD}$
1					
2					
3					
4					
5					
Stred. hodn.					

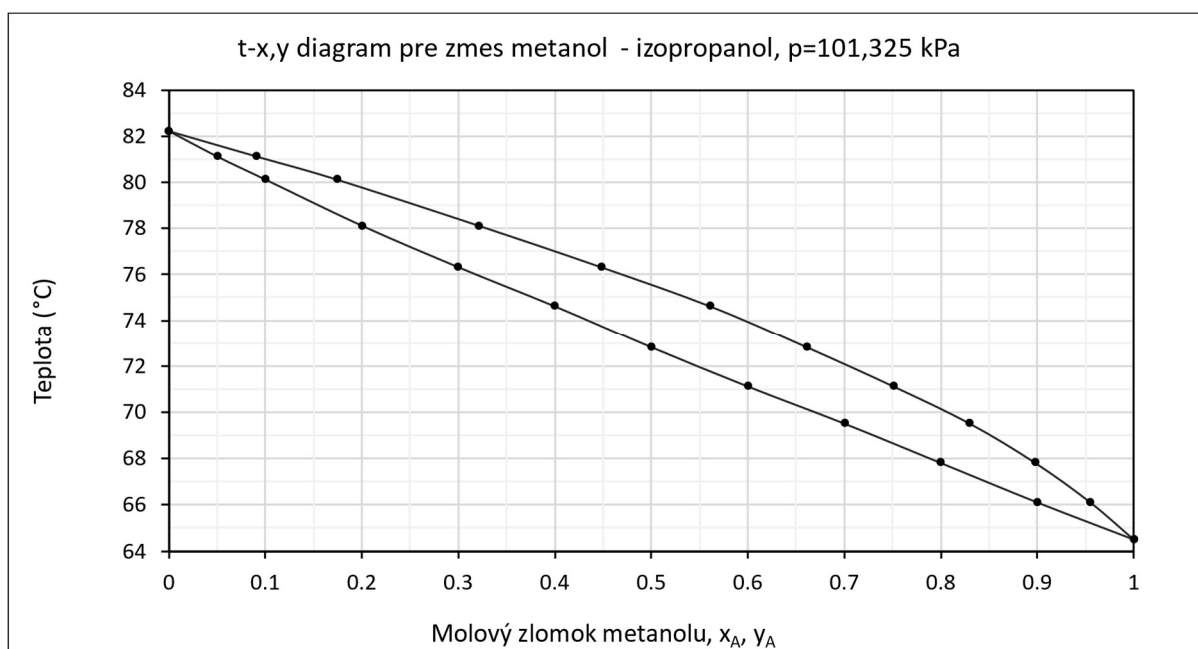
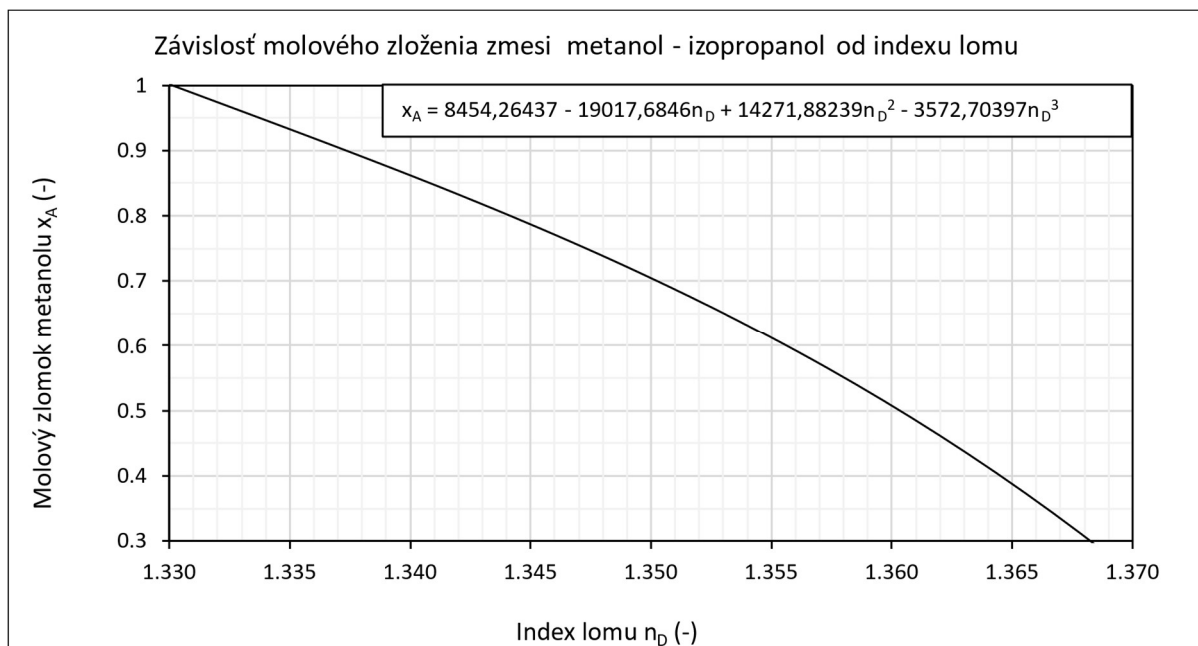
Tab. 3 Stanovenie experimentálnych a vypočítaných aktivných koeficientov (Poznámka: tabuľku si vytvorte v programe MS Excel)

						Experimentálne				Vypočítané		
Meranie	t (°C)	y_A	x_A	P_A^0 (kPa)	P_B^0 (kPa)	γ_{Ax}	γ_{Bx}	A	B	γ_{Ax}	γ_{Bx}	Odch.
1.												
2.												
3.												
4.												
5.												
6.												
8.												
9.												
10.												
						Priemer/neoptimal					UF	
						Optimalizované						

Tab. 4 Výpočet rovnovážnych údajov kvapalina-para (Poznámka: tabuľku si vytvorte v programe MS Excel)

N°	x_A	x_B	t (°C)	P_A^0 (kPa)	P_B^0 (kPa)	γ_{Ax}	γ_{Bx}	y_A	y_B	UF
1.										
2.										
3.										
4.										
5.										
6.										
7.										
8.										
9.										
10.										
11.										
12.										

• PRÍLOHY



NÁVOD NA POUŽITIE DIGITÁLNEHO REFRAKTOMETRA KRÜSS DR301-95

1. Pripojte prístroj do siete.
2. Stlačte tlačidlo ON/OFF.
3. Otvorte veko a vyčistite prizmu (ak je potrebné).
4. Na prizmu nakvapkajte cca 3-4 kvapky tak, aby celá plocha prizmy bola zakrytá kvapalinou, dávajte pozor na bublinky.
5. Zavrite veko.

6. Stlačte tlačidlo READ/ENTER.
7. Na displayi sa zobrazí index lomu.
8. Vyčistite a vysušte prizmu vatovou tyčinkou.
9. Prístroj je pripravený na ďalšie merania.
10. Po skončení vypnite refraktomer tlačidlo ON/OFF a odpojte prístroj zo siete.