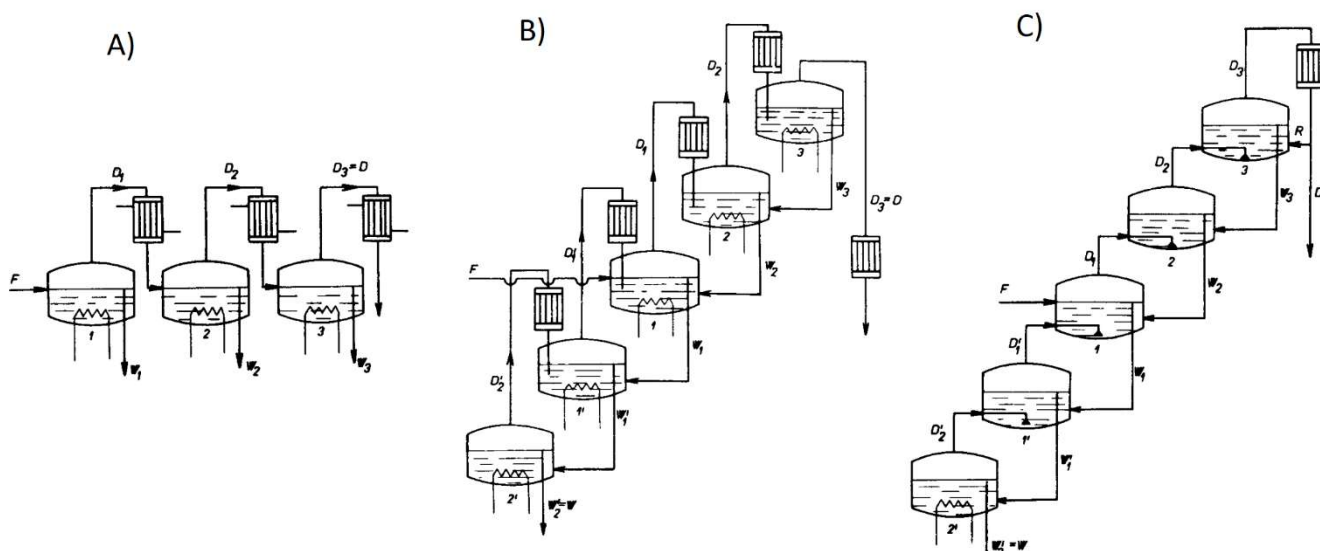


LABORATÓRNE CVIČENIA ZO SEPARAČNÝCH PROCESOV

Práca č.11
Diferenciálna rektifikácia v etážovej kolóne

V KOCKE

Destilácia je difúzny separačný proces, pomocou ktorého je možné oddeliť jednotlivé zložky homogénnej kvapalnej zmesi na základe ich rôznej teploty varu, respektíve rozdielnej prchavosti. Najstaršími destilačnými procesmi sú vsádzková, diferenciálna, destilácia a jednoduchá, kontinuálna, destilácia. V oboch prípadoch je možné dosiahnuť len obmedzené delenie. Uvedením destilátu do ďalšieho destilačného stupňa je možné dosiahnuť vyššiu čistotu výsledného destilátu Obr. 1 A). Negatívom takejto viacstupňových destilácie je pomerne nízky výťažok a vysoká energetická náročnosť, pretože ochladený kvapalný destilát sa musí opäť priviesť do varu a zmes čiastočne odpariť. Výťažok sa podarilo zvýšiť spätným využitím zvyšku (Obr. 1 B)) a energetická náročnosť sa znížila využitím energie (entalpie) pár z predchádzajúceho stupňa (Obr. 1 C)).



Obr. 1 A) Viacstupňová destilácia bez využitia zvyškov. B) Viacstupňová destilácia s využitím zvyškov. C) Viacstupňová destilácia s využitím zvyškov a entalpie pár = etážová rektifikácia.

Takúto viacstupňovú destiláciu s protiprúdom kvapaliny a pár nazývame rektifikáciou a zariadenie v ktorom sa uskutočňuje je rektifikačná kolóna. Energia potrebná na vytvorenie pár sa dodáva do varáku, na spodku rektifikačnej kolóny, a pary z vrchnej etáže kondenzujú v kondenzátore a časť z nich sa vracia ako spätný tok na vrchnú etáž.

Pri kontakte pár prúdiacich nahor na etáž a kvapaliny stekajúcej na dno kolóny, do varáka, dochádza k dvojsmernému prestupu látky, ktorý je sprevádzaný výmenou tepla a čiastočnou kondenzáciou prednostne menej prchavej zložky z pár do kvapaliny a čiastočným odparovaním prednostne prchavejšej zložky z kvapaliny do pár. Týmto dejom sa pary prechodom cez kolónu obohacujú o prchavejšiu zložku.

Účinné obohatenie pár prchavejšou zložkou vyžaduje intenzívny kontakt parnej a kvapalnej fázy. Na to, aby sme v kolóne dosiahli dostatočne intenzívne premiešanie fáz, slúžia rôzne typy zostavieb alebo náplní v rektifikačných kolón. Ak sú v kolóne umiestnené zostavby, intenzívny kontakt fáz prebieha len na určitých miestach v kolóne. V tom prípade hovoríme o

etážových rektifikačných kolónach. Jednotlivé etáže rektifikačnej kolóny zadržiavajú časť kvapalnej fázy (zádrž kvapaliny), cez ktorú prebubláva parná fáza (zádrž pár často považujem za zanedbateľnú). Kvapalina steká na nižšiu etáž cez prepádové rúrky, ktorých výška určuje zádrž kvapaliny na etáži. V praxi sú najrozšírenejšie klobúčikové, sitové, roštové a ventilové kolóny (Obr. 2).



Obr. 2 Etážová kolóna s rôznymi typmi zostav.

Kým pri etážových zariadeniach sa mení zloženie pár a kvapaliny „skokom“ z etáže na etáž, pri náplňových kolónach sa mení zloženie pár a kvapaliny spojit.

Zvýšením počtu etáží, resp. zvýšením výšky náplne rektifikačnej kolóny zvyšujeme aj jej separačnú účinnosť. Pri rektifikačných kolónach vieme účinnosť separácie ovplyvniť aj zmenou refluxného pomeru, ktorý vyjadruje podiel molového toku skondenovaných pár ktoré vraciam späť do kolóny (spätného toku) k molovému toku destilátu, ktorý z kolóny odoberáme.

Rektifikačné kolóny je možné navrhnuť na prietokové ale aj na polo-prietokové procesy. Pri prietokových rektifikačných kolónach sa surovina kontinuálne privádza do kolóny, nástrek suroviny do kolóny. Z hlavy kolóny (najvrchnejšia etáž) sa odvádza destilát a z varáku zvyšok, pričom ich zloženie a molový tok sa s časom nemení (sú v ustálenom stave). Pri poloprietokových rektifikáciách sa surovina jednorázovo nadáva do varáku, destilát sa odvádza z hlavy kolóny a zvyšok ostáva vo varáku. V takomto prípade sa jedná o diferenciálnu destiláciu, pretože sa s časom mení buď zloženie destilátu, alebo jeho tok. Ak počas diferenciálnej rektifikácie máme konštantný refluxný pomer, tak sa s časom bude meniť zloženie destilátu. Príkladom diferenciálnej rektifikácie s konštantným refluxným pomerom je destilácie alkoholov z prírodných zdrojov (napríklad agáve). Počas procesu sa odoberajú frakcie destilátov v stanovenom intervale teplôt destilácie, čomu zodpovedá určité zastúpenie destilovaných zložiek. Jednotlivé frakcie sa potom miešajú vo vhodnom pomere, aby vytvorili destiláty so žiadanými senzorickými vlastnosťami. Ak pri diferenciálnej rektifikácii

požadujeme konštantné zloženie destilátu, tak s časom musíme meniť refluxný pomer, čo z pohľadu riadenia procesu nie je najjednoduchšia požiadavka.

• TEÓRIA

Pary z prvej etáže rektifikačnej kolóny sa privádzajú do kondenzátora. Kondenzát sa potom rozdeľuje na dve časti, jedna sa odvádza ako produkt a druhá sa vracia naspäť do kolóny ako spätný tok kvapaliny (Obr. 3). Podiel látkového množstva spätného toku a látkového množstva destilátu sa nazýva refluxný pomer

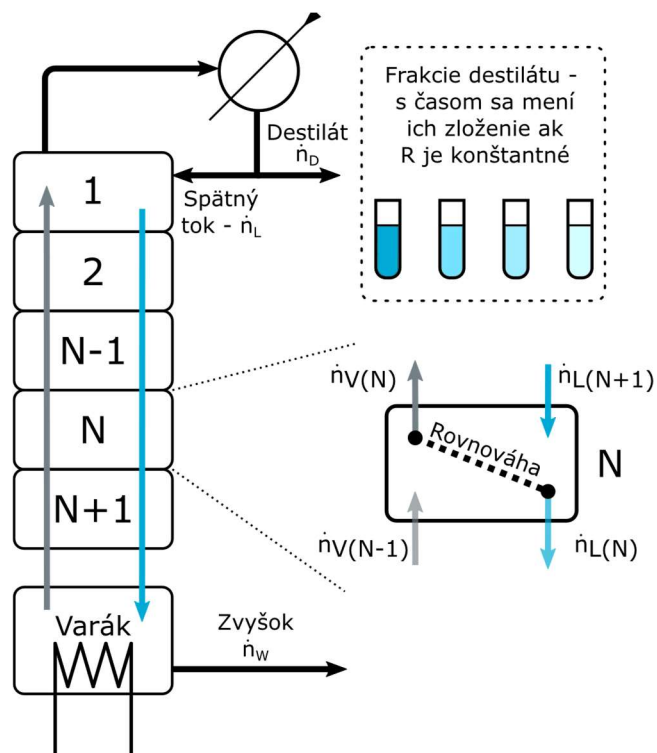
$$R = \frac{\dot{n}_L}{\dot{n}_D} \quad (1)$$

kde R je refluxný pomer, $\dot{n}_L$ je molový tok spätného toku a $\dot{n}_D$ je tok látkového množstva destilátu. Hodnota refluxného pomeru sa pohybuje v intervale $R \in \langle R_{\min}; \infty \rangle$.

$R_{\min}$, je minimálna hodnota refluxného pomeru, pri ktorej ešte dokážeme zo suroviny získať destilát s požadovaným obsahom prchavejšej zložky. Táto hodnota je však iba teoretický údaj, lebo na dosiahnutie požadovaného delenia suroviny by sme potrebovali nekonečne veľkú rektifikačnú kolónu. Znamená to, že na jednotlivých etážach rektifikačnej kolóny dochádza k nepatrnému obohateniu pár o prchavejšiu zložku a preto na dosiahnutie požadovaného delenia suroviny by sme potrebovali nekonečne veľa etáží.

Naopak, pri nekonečne veľkej hodnote refluxného pomeru, $R = \infty$, je obohatenie pár prchavejšou zložkou na jednotlivých etážach maximálne a na požadované rozdelenie suroviny postačuje kolóna s minimálnym počtom etáží. Aby sme dosiahli hodnotu refluxného pomeru $R = \infty$, v rovnici (1) musí mať menovateľ hodnotu 0, t.j. z rektifikačnej kolóny neodoberáme žiaden destilát.

Z uvedeného vyplýva, že hodnota refluxného pomeru ovplyvňuje deliacu účinnosť rektifikačnej kolóny. Čím väčšia je jeho hodnota, t.j. čím väčšie množstvo kondenzátu sa vracia späť do rektifikačnej kolóny ako spätný tok, tým vhodnejšie sú v kolóne podmienky na obohatenie pár prchavejšou zložkou.



Obr. 3 Prúdová schéma diferenciálnej etážovej kolóny. Na zväčšenine je zobrazená (N-1) etáž.

Počas nábehu diferenciálnej rektifikácie, kým sa kolóna nezohreje na pracovnú teplotu a neustáli sa jej režim (teploty, zádrž kvapaliny ja etážach), sa všetok kondenzát vracia späť do kolóny ako spätný tok, t.j. kolóna pracuje pri nekonečnom refluxnom pomere. Po ustálení podmienok v rektifikačnej kolóne sa začne odoberať časť kondenzátu ako destilát, produkt rektifikácie.

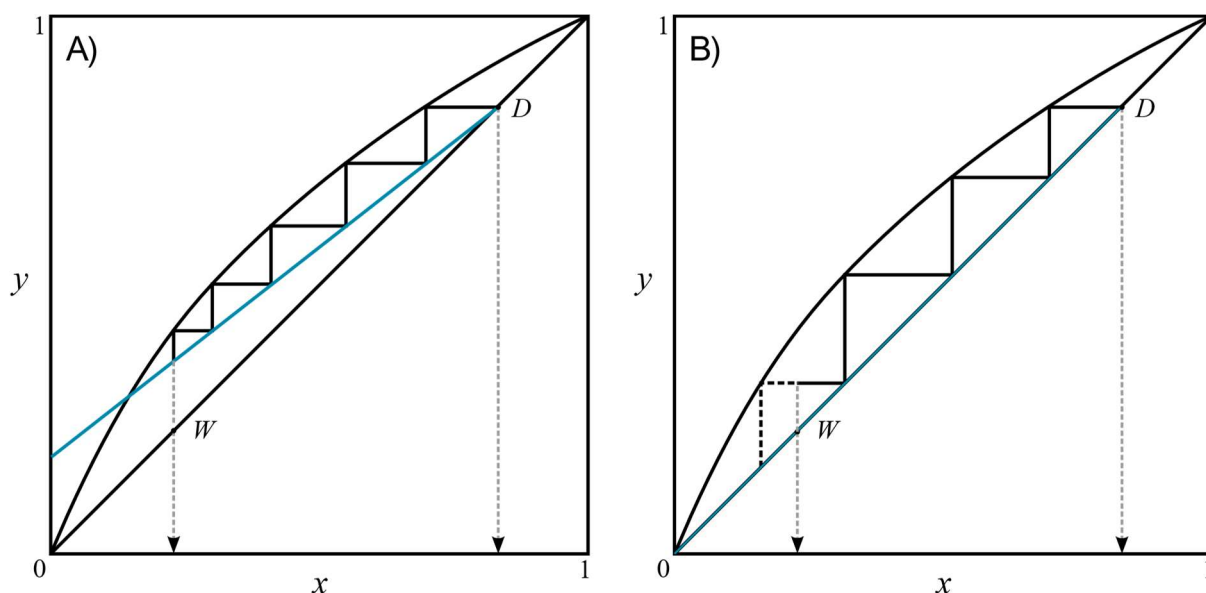
Stanovenie počtu etáží rektifikačnej kolóny, ktoré potrebujeme na dosiahnutie požadovaného delenia suroviny, je založené na sledovaní zmeny zloženia parnej a kvapalnej fázy pozdĺž rektifikačnej kolóny. Na zjednodušenie riešenia takéhoto problému sa používa predstava teoretickej etáže. Táto predstava vychádza z predpokladu dosiahnutia rovnováhy medzi kvapalnou a parnou fázou, ktoré opúšťajú priestor etáže (Obr. 3).

Vzťah medzi zložením parného prúdu, ktorý odchádza z etáže, a kvapaliny, ktorá na túto etáž steká, vyplýva z materiállovej a entalpiekej bilancie jednotlivých etáží rektifikačnej kolóny. Ak použijeme zjednodušenie, predpokladáme, že molové výparné entalpie a aj molové tepelné kapacity zložiek delenej zmesi majú rovnakú hodnotu a zanedbáme hodnotu zmiešavacej entalpie, za ustálených podmienok platí, že tok látkového množstva kvapalnej fázy pritekajúcej na etáž sa rovná toku látkového množstva kvapalnej fázy, ktorá z etáže odtieká. To isté platí aj pre tok látkového množstva parnej fázy. Na základe tohto predpokladu sa vzťah medzi zložením pár odchádzajúcich a kvapaliny pritekajúcej na určitú etáž obohacovacej časti rektifikačnej kolóny dá vyjadriť pomocou rovnice pracovnej čiary

$$y_N = \frac{R}{R+1}x_{N-1} + \frac{y_D}{R+1} \quad (2)$$

kde y a x sú molové zlomky prchavejšej zložky v parnej a kvapalnej fáze, R je refluxný pomer, index N označuje poradové číslo etáže v obohacovacej časti rektifikačnej kolóny a dolný index D zodpovedá destilátu. Etáže sú v kolóne číslované od hlavy po varák (zhora nadol).

Predpoklady, ktoré sme prijali pri odvodzovaní pracovnej čiary obohacovacej časti rektifikačnej kolóny umožňujú, aby sme mohli určiť počet teoretických etáží rektifikačnej kolóny pomocou McCabe-Thieleho metódy. Najskôr je potrebné zostrojiť y - x diagram, do ktorého znázorníme rovnovážnu závislosť pre zvolenú binárnu zmes $y = f(x)$ a uhlopriečku (Obr. 4).



Obr. 4 Grafický spôsob určenie počtu teoretických etáží rektifikačnej kolóny pomocou McCabe-Thieleho metódy. A) pre $R_{min} < R < \infty$; PPK = 5 B) pre $R = \infty$; PPK = 3,5

Na uhlopriečke vyznačíme zloženie suroviny, destilátu a zvyšku. Pomocou rovnice (2) zostrojíme pracovnú čiaru obohacovacej časti rektifikačnej kolóny. Predpokladáme, že etáže v kolóne sa správajú ako teoretické etáže a teda kvapalná fáza a parná fáza opúšťajúce túto etáž sú v rovnováhe. Zloženie parnej fázy stúpajúcej z etáže a kvapalnej fázy prichádzajúcej na túto etáž je dané rovnicou pracovnej čiary. Tieto vzťahy medzi zloženími prchavejšej zložky v oboch fázach na jednotlivých etážach vieme nakresliť do y - x diagramu a dostaneme pravouhlé kroky. Jeden pravouhlý krok potom reprezentuje prechod z jednej etáže na druhú. Posledný pravouhlý krok končí pri zložení zvyšku vo varáku. Počet teoretických etáží (PTE) potom zodpovedá počtu pravouhlých krokov (PPK) zmenšených o jeden, ktorý reprezentuje varák rektifikačnej kolóny. Pre kolónu pracujúcu pri nekonečnom refluxnom pomere, $R = \infty$, pracovná priamka obohacovacej časti splýva s uhlopriečkou a pri pretržitej rektifikácii do

kolóny neprivádzame žiadnu ďalšiu surovinu a teda nie je potrebné ani zloženie suroviny (Obr. 4 B)).

Predpoklad dosiahnutia rovnováhy na jednotlivých etážach (teoretické etáže) je v reálnych podmienkach zriedkakedy splnený. Informáciu o tom, do akej miery sa zloženie kvapalného a parného prúdu, ktoré opúšťajú reálnu etáž, priblížilo ku rovnováhe, vyjadruje účinnosť kolóny

$$\eta = \frac{PTE}{PSE} \times 100\% \quad (3)$$

kde η je účinnosť kolóny, PTE a PSE vyjadrujú počet teoretických a skutočných etáží rektifikačnej kolóny. Účinnosť rektifikačnej kolóny sa zisťuje experimentálne, porovnaním dosiahnutej a teoretickej ostrosti delenia. Vyjadruje tiež priemernú hodnotu účinnosti obohatenia pár prchavejšou zložkou na jednotlivých etážach kolóny.

Obohacovacia účinnosť n -tej etáže, E_N , je definovaná ako podiel miery dosiahnutého a teoretického obohatenia pár prchavejšou zložkou na tejto etáži

$$E_N = \frac{y_N - y_{N+1}}{y_N^{\text{rovn}} - y_{N+1}} \quad (4)$$

pričom y_N predstavuje zloženie pár (molový zlomok prchavejšej zložky v parnej fáze), ktoré opúšťajú N -tú etáž, a y_{N+1} zloženie pár prichádzajúcich z nasledujúcej nižšej etáže. Symbol y_N^{rovn} zodpovedá molovému zlomku prchavejšej zložky v parnej fáze, ktorá by bola v rovnováhe s kvapalinou stekajúcou z N -tej etáže.

V prípade, ak kolóna pracuje pri nekonečnom refluxnom pomere, za ustálených podmienok teplot platí, že zloženie kvapaliny stekajúcej z vyššej etáže na n -tú etáž, je rovnaké ako zloženie pár stúpajúcich z n -tej etáže

$$x_{N-1} = y_N \quad (5)$$

V tom prípade vieme obohacovaciu účinnosť n -tej etáže vyjadriť vzťahom

$$E_N = \frac{x_{N-1} - x_N}{y_N^{\text{rovn}} - x_N} \quad (6)$$

V literatúre sú uvedené empirické vzťahy na určenie obohacovacej účinnosti N -tej etáže. Jedným z nich je nasledovný vzťah

$$E_N = 0,492 (\alpha \mu_L)^{-0.245} \quad (7)$$

kde α predstavuje relatívnu prchavosť zložiek delenej zmesi pri teplote na etáži a μ_L (mPa s) je viskozita kvapalnej fázy na etáži.

Vzťah (7) zahŕňa len niektoré podmienky, ktoré majú vplyv na obohatenie pár prchavejšou zložkou. Popri teplote, zložení kvapalnej fázy a fázovej rovnováhe majú na obohacovaciu účinnosť etáže vplyv aj niektoré ďalšie fyzikálno-chemické vlastnosti delenej zmesi, hydrodynamické podmienky v kolóne a geometrický tvar etáže. Vplyv týchto faktorov na obohacovaciu účinnosť etáže kvantifikujeme zavedením korekcie, ktorú predstavuje koeficient K v nasledujúcom vzťahu

$$E_N = 0,492K(\alpha\mu_L)^{-0.245} \quad (8)$$

• CIELE PRÁCE

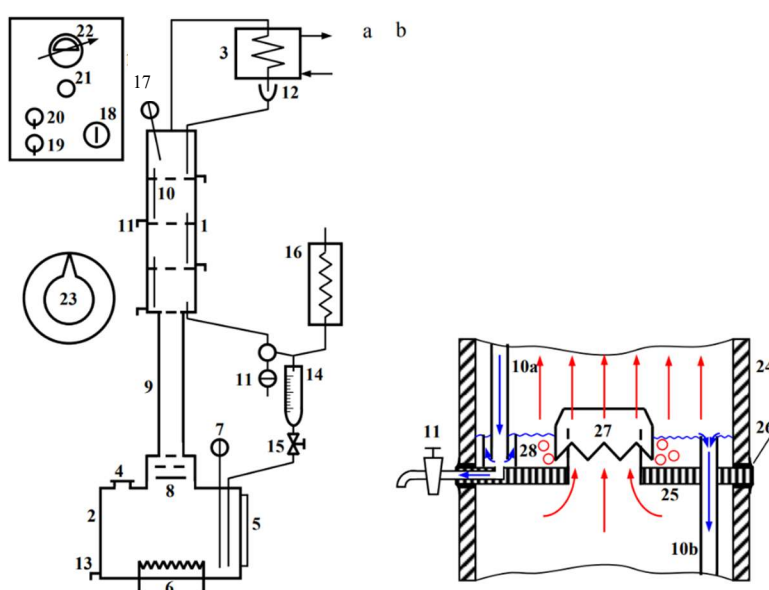
1. Určiť deliacu účinnosť etáží a varáka laboratórnej klobúčikovej rektifikačnej kolóny ako aj celkovú separačnú účinnosť obohacovacej časti kolóny.

• ZADANIE PRÁCE

Vykonajte diferenciálnu rektifikáciu binárnej zmesi metanol - izopropanol. Zistite hodnoty obohacovacej účinnosti etáží a varáka laboratórnej kolóny pracujúcej pri nekonečnom refluxnom pomere. Vypočítajte hodnotu korekčného koeficienta K . Vypočítajte účinnosť laboratórnej klobúčikovej kolóny η bez varáka. Vypočítajte rýchlosť prúdenia pary vo voľnom priereze laboratórnej kolóny w . Experimenty vykonajte pri nastavení 80 V a 120 V na regulačnom transformátore ohrevu varáka kolóny.

• OPIS ZARIADENIA

Experiment sa uskutočňuje v laboratórnej rektifikačnej kolóne



Obr. 5 Schéma zariadenia na diferenciálnu rektifikáciu v klobúčikovej kolóne (a) a detail klobúčikovej etáže (b).

Laboratórnu kolónu tvoria štyri etáže s klobúčikmi (1). Spodnou časťou je kolóna pripojená na varák (2). Pary z najvyššej (prvej) etáže kolóny sú vedené do kondenzátora s chladičom (3). Nádoba varáka s objemom 3 L sa plní surovinou cez otvor (4), výšku hladiny v nádobe indikuje stavoznak (5). Ohriatie suroviny a jej čiastočné odparovanie je zabezpečené ohrevným telesom (6). Teplota vo varáku sa meria pomocou teplomera (7). Pred vstupom do etážovej kolóny prechádzajú pary cez lapač kvapiek (8) a izolovaný úsek potrubia (9). Spätný tok kvapalnej fázy steká z etáže na etáž cez prepádové rúrky (10), vzorky kvapalnej fázy sa odoberajú pomocou kohútov (11). Teplotu pár na hlave kolóny meriame pomocou teplomera (17).

Rektifikačná kolóna pracuje pri atmosférickom tlaku pri nekonečnom refluxnom pomere, pričom celý kondenzát pár je cez lievik (12) usmerný ako spätný tok kvapalnej fázy do rektifikačnej kolóny. Z poslednej etáže steká spätný tok kvapalnej fázy cez odmernú nádobu (14) a uzatvárací ventil (15) do varáka. Odvzdušňovacia rúrka odmernej nádoby ústi do chladiča (16). Na ovládacom paneli sa nachádza hlavný vypínač (18), vypínače hlavného (19) a záložného (20) ohrevného telesa, kontrolná tlejivka (21) a ampérmeter (22) na kontrolu intenzity ohrevu, ktorá sa nastavuje pomocou regulačného transformátora (23) (1 dielik stupnice reprezentuje napätie 2 V).

● PRACOVNÝ POSTUP

BEZPEČNOSTNÉ OPATRENIA

2. Pred každým meraním skontrolujeme hladinu suroviny vo varáku. Hladina kvapaliny nesmie klesnúť pod úroveň 3 cm pod horným okrajom stavoznaku (5). Pri nízkej hladine kvapaliny vo varáku by mohlo nastať prehriatie až zničenie ohrevného telesa.
3. Pri vzorkovaní si treba uvedomiť, že pracujeme s vriacou kvapalinou. Navyše, pracujeme s horľavinami, ktorých pary sú zdraviu škodlivé.

PRÍPRAVA NA MERANIE

4. Oboznámime sa so zariadením a skontrolujeme jeho úplnosť. Pripravíme digitálny refraktometer na meranie.
5. Skontrolujeme množstvo suroviny vo varáku (2). Minimálna výška hladiny kvapaliny vo varáku musí byť vo výške 3 cm pod horným okrajom stavoznaku (5). Ak treba, surovinu doplníme cez plniaci otvor (4).
6. Skontrolujeme, či sú zatvorené všetky vzorkovacie kohúty (11).
7. Do kondenzátora (3) a chladiča (16) vpustíme chladiacu vodu.
8. Vyžiadame si povolenie na začiatok merania.

MERANIE

Poznámka: Všetky hodnoty parametrov zvýraznených **červenou** farbou zapíšte do Tab. 1 resp. Tab. 2

1. Zapneme hlavný vypínač (18). Ak je zariadenie pod prúdom, rozsvieti sa tlejivka (21). Zapneme vypínač ohrevného telesa (19), v prípade poruchy ohrevného telesa zapneme vypínač záložného ohrevného telesa (20). Na regulačnom transformátore nastavíme hodnotu vhodnú pre nábeh zariadenia (1 dielik stupnice reprezentuje napätie 2 V).
2. Po zohriatí rektifikačnej kolóny na prevádzkovú teplotu (z kondenzátora (3) vytekajú prvé kvapky kondenzátu), na regulačnom transformátore nastavíme prvé predpísané napätie.
3. Po ustálení teploty pár na hlave kolóny (po cca 15 min) začneme meranie.
4. Uzavrieme ventil (15) a súčasne zapneme stopky. Odmeriame čas (τ), za ktorý natečie zvolený objem spätného toku kvapalnej fázy (V_L) v odmernej nádobe (14). Otvoríme uzatvárací ventil (15). Na základe nameraných údajov vypočítame objemový prietok kvapalnej fázy zo štvrtej etáže ($\dot{V}_L$). Namerané údaje zapíšeme do riadku *Počiatkové*.
5. Po piatich minútach odoberieme vzorky kvapalnej fázy pomocou piatich vzorkovacích kohútov (11) a výpustného kohúta varáku (13). Vzorky berieme tak, že najskôr vypustíme do kadičky niekoľko kvapiek kvapalnej fázy. Potom do pripravenej skúmavky necháme natecť potrebné množstvo vzorky. Skúmavku ihneď uzavrieme gumenou zátkou.
6. Refraktometricky stanovíme index lomu (n_d) jednotlivých vzoriek kvapalnej fázy (Návod je v PRÍLOHE).
7. Pri rovnakom nastavení napätia na regulačnom transformátore (23) zopakujeme v päťminútových intervaloch vzorkovanie a analýzu vzoriek podľa bodov 3 a 4 ešte štyrikrát.
8. Zopakujeme meranie objemového prietoku kvapalnej fázy zo štvrtej etáže ($\dot{V}_L$) podľa bodu 4 (zapíšeme do riadku *Konečné*). Z počiatkového a konečného merania objemového prietoku kvapalnej fázy zo štvrtej etáže vypočítame jeho priemernú hodnotu.
9. Nastavíme druhú hodnotu napätia na regulačnom transformátore (23). Počkáme na ustálenie podmienok v rektifikačnej kolóne a následne uskutočníme meranie podľa bodov 3 až 8. Počas ušľachovania podmienok si zapíšeme hodnotu atmosférického tlaku (P_{atm}).
10. Každú nameranú hodnotu indexu lomu (n_d) prepočítame pomocou kalibračnej závislosti (PRÍLOHA) na molový zlomok prchavejšej zložky (x_i).
11. Pre jednotlivé odberné miesta a pre obe nastavenia napätia na regulačnom transformátore vypočítame aritmetický priemer molových zlomkov prchavejšej zložky v kvapalnej fáze ($\bar{x}$).

Poznámka: účinnosť delenia zložiek zmesi závisí aj od hydrodynamiky systému, zádrže kvapaliny na etážach. Preto je potrebné všímať si aká je po ustálení stavu kolóny zádrž na etážach, premiešavanie parnej a kvapalnej fázy, či môže dochádzať k unášaniu kvapiek zmesi z nižšej etáže na vyššiu a podobne a v diskusii dať do súvisu zistené účinnosti etáží a správania sa kvapalnej a parnej fázy na etážach.

UKONČENIE MERANIA

Regulačný transformátor (23) nastavíme na nulu. Vypneme vypínač ohrevu (19) a hlavný vypínač (18). Chladiacu vodu nevypíname. Obsah varáka nevypúšťame.

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

https://www.youtube.com/watch?v=0SPI M9cry_8&list=PL81QAQg818vjDK7pm9W O6tW36sdBpPGYa&index=3



• OTÁZKY – ČO SA VÁS MÔŽE OPÝTAŤ VYUČUJÚCI PRED EXPERIMENTOM

- Opíšte jednotlivé časti experimentálnej aparatury.
- Vysvetlite čo budete merať, ako a prečo.

• SPRACOVANIE NAMERANÝCH ÚDAJOV

Poznámka: Všetky hodnoty parametrov zvýraznených **červenou** farbou zapíšte do Tab. 3

1. Na základe rovnovážnych údajov (Chemicko inžinierske tabuľky) zostrojíme rovnovážny y–x diagram.
 2. Priemerné hodnoty zloženia kvapalnej fázy použijeme na výpočet obohacovacej účinnosti jednotlivých etáží (E_N) podľa rovnice (6). Rovnovážne zloženie parnej fázy, y_N^{rovn} , odčítame z rovnovážneho y–x diagramu.
 3. Z rovnice (8) vypočítame hodnotu koeficienta (K) pre jednotlivé etáže kolóny.
- Relatívna prchavosť (α_{AB}) prchavejšej zložky (A) vzhľadom na menej prchavú zložku (B) dvojzložkovej zmesi sa vypočíta ako

$$\alpha_{AB} = \frac{y_A x_B}{x_A y_B} \quad (9)$$

kde za x_A dosadíme priemernú hodnotu molového zlomku prchavejšej zložky ($\bar{x}$) na konkrétnej etáži. y_A určíme z rovnovážneho y–x diagramu. Molové zlomky y_B a x_B dorátame z väzbového pravidla.

- Dynamickej viskozity kvapalnej fázy (μ_L) na etáži počítame podľa vzťahu (10)

$$\mu_L = \mu_A^{x_A} \mu_B^{x_B} \quad (10)$$

dynamicckú viskozitu čistej prchavejšej (μ_A) a menej prchavej zložky (μ_B) vypočítame pomocou vzťahov uvedených v Chemicko inžinierskych tabuľkách pre teplotu na etáži.

Teplotu na etáži odčítame z $t-x,y$ diagramu (PRÍLOHA) pre priemernú hodnotu molového zlomku prchavejšej zložky ($\bar{x}$) na konkrétnej etáži.

4. Pre každé nastavenie napätia ohrevu na regulačnom transformátore (23) prepočítame priemernú hodnotu objemového prietoku pomocou hustoty zmesi (poznáme priemerné zloženie a teplotu na 4. etáži) na hmotnostný prietok a na základe mólovej hmotnosti na tok látkového množstva kvapalnej fázy v kolóne.

$$\dot{n}_L = \frac{\dot{m}_L}{M_L} = \frac{\dot{V}_L / \rho_L}{M_L} \quad (11)$$

5. Pri nekonečnom refluxnom pomere je molový prietok pár a kvapalnej fázy v kolóne rovnaký ($\dot{n}_V = \dot{n}_L$). Pomocou stavovej rovnice ideálneho plynu dokážeme z molového prietoku pár a hodnoty atmosférického tlaku (P_{atm}) vypočítať ich objemový prietok ($\dot{V}_V$) a následne rýchlosť prúdenia pár vo voľnom priereze 4. etáže (w)

$$w = \frac{\dot{V}_V}{A} = \frac{\dot{n}_V RT / P_{\text{atm}}}{A} \quad (12)$$

kde R je plynová konštanta, T je termodynamická teplota na štvrtej etáži a A je plocha voľného prierezu kolóny (*Poznámka: vnútorný priemer kolóny je 5 cm*).

6. V rovnovážnom $y-x$ diagrame zakreslíme medzi pracovnú čiaru a rovnovážnu závislosť pravouhlé kroky, ktoré zodpovedajú teoretickému počtu etáží (**PTE**) potrebných na dosiahnutie skutočného deliaceho účinku kolóny. Použitím rovnice (3) vypočítame obohacovaciu účinnosť kolóny (**η**) pre obe napätia nastavené na regulačnom transformátore.

• TABUĽKY

Tab. 1 Záznam nameraných údajov pre napätie na transformátore $U = \dots V$

	Meranie objemového prietoku												
	τ (s)	V_L (ml)	$\dot{V}_L$ (ml s ⁻¹)										
Počiatkové													
Konečné													
Priemer													
Meranie	Varák		4.etáž		3.etáž		2.etáž		1.etáž		Destilát		
	n_d	x_w	n_d	x_4	n_d	x_3	n_d	x_2	n_d	x_1	n_d	x_D	
1													
2													
3													
4													
5													
$\bar{x}$													

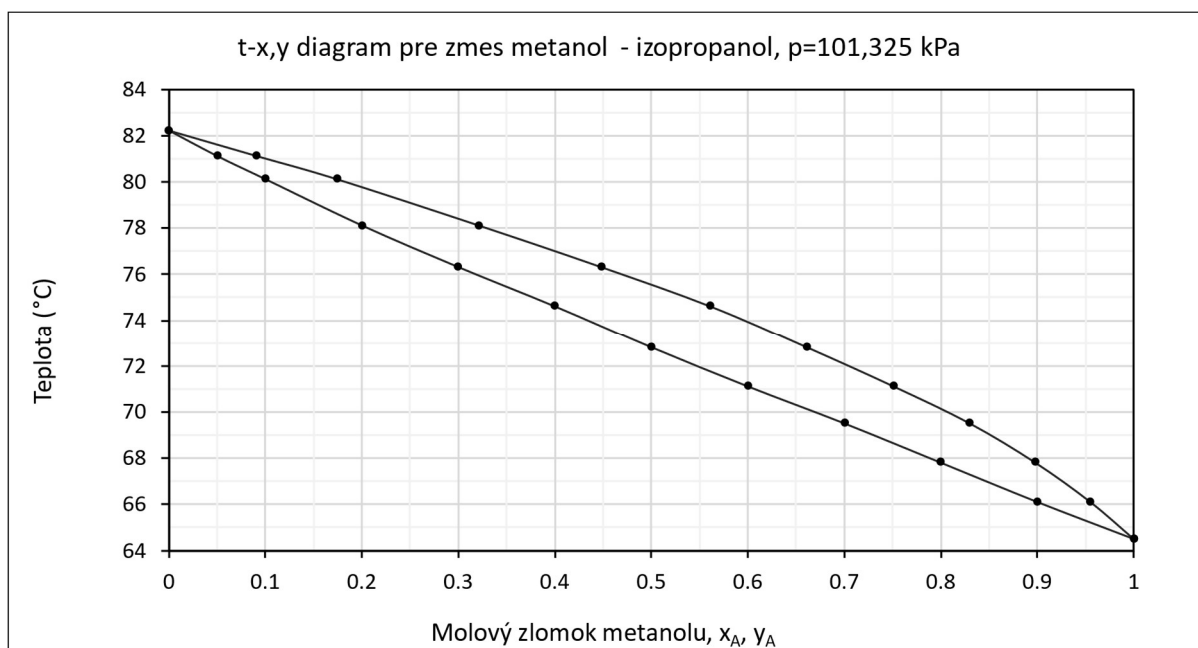
Tab. 2 Záznam nameraných údajov pre napätie na transformátore $U = \dots V$

	Teploty				Meranie objemového prietoku							
	t_l (°C)		t_{Var} (°C)		τ (s)		V_L (ml)		$\dot{V}_L$ (ml s ⁻¹)			
Počiatočné												
Konečné												
Priemer												
Meranie	Varák		4.etáž		3.etáž		2.etáž		1.etáž		Destilát	
	n_d	x_w	n_d	x_4	n_d	x_3	n_d	x_2	n_d	x_1	n_d	x_D
1												
2												
3												
4												
5												
$\bar{x}$												

Tab. 3 Výsledky vyhodnotenia nameraných údajov

Napätie	Parameter	Varák	4.etáž	3.etáž	2.etáž	1.etáž	w (ms ⁻¹)	PTE	η (%)
..... V	E_N								
	K								
..... V	E_N								
	K								

• 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.