

Új kolonna konfigurációk nyomásváltó szakaszos desztillációhoz

I. Megvalósíthatósági vizsgálatok

New column configurations for pressure swing batch distillation I. Feasibility Studies

Modla G., Láng P., Kopasz Á.

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészeti Eljárások Tanszék

Summary

Absztrakt: Megvalósíthatósági vizsgálatokat végeztünk különböző szakaszos kolonna konfigurációkra nyomásváltó desztillációra. A számításokat maximális szétválasztást feltételezve végeztük. A jól ismertek (rektifikáló, szakaszos sztripper, középső tartályos oszlop) vizsgálata mellett két új konfigurációra (kétkolonnás szakaszos rektifikáló és a kétkolonnás szakaszos sztripper) is javaslatot tettünk. Megvizsgáltuk a rektifikálás és sztipelés időben váltakozó alkalmazását is.

1. Bevezetés

A *desztilláció* az egyik leggyakrabban alkalmazott szétválasztó eljárás a vegyiparban, mely a folyadékelegy komponensei illékonyágának különbségén alapul. Két azeotropot képző komponens (*A* és *B*) szétválasztásához valamilyen speciális desztillációs eljárást kell alkalmaznunk, mint például nyomásváltó (NYVD), extraktív vagy heteroazeotrop desztillációt.

A *szakaszos desztilláció* (SZD) mindig is fontos szerepet játszott a szezonális, bizonytalan, alacsony kapacitású illetve nagy tisztaságú kémiai anyagok gyártásában. Ennek a műveletnek kulcsfontosságú szerepe van a gyógyszer és számos más iparban is, valamint a hulladék oldószer elegyek regenerálásában. A szakaszos desztilláció legfontosabb előnye a folyamattal szemben, hogy egy egyszerű berendezéssel is sokféle elegy kezelhető. Még többkomponensű rendszerek is szétválaszthatók egyetlen oszlopban.

Sok elegy képez azeotropokat, melyek összetétele eltolható a rendszer nyomásának megváltoztatásával, ezek a *nyomásérzékeny*

azeotropok. Lewis (1928) volt az első, aki javaslatot tett az azeotrop elegyek *nyomásváltó desztillációjára*. Ezt az eljárást ajánlotta még pl. Black(1980); Abu-Eshah és Luyben(1985); Chang és Shis(1989) is.

Knapp és munkatársai (1992) kifejlesztettek egy új eljárást, melyben a *nyomásváltó folyamatos desztillációt hordozó hozzáadásával* kombinálták. A hordozó alkalmazása nagymértékben megnöveli a művelettel szétválasztható binér azeotrop elegyek számát.

Repke és munkatársai (2006) egy minimális forrpontú homoazeotrop elegy (acetonitril-víz) szétválasztását vizsgálták nyomásváltó desztillációval szakaszos rektifikálás és sztipelés esetére. *Félüzemi mérések és részletes modellező számítások* eredményeit közölték. A szerzők célja sokkal inkább a nyomásváltó desztilláció kísérleti tanulmányozása volt, mint a művelet megvalósíthatóságának kimerítő elméleti vizsgálata. A fent említett szerzők egyike sem vizsgálta a maximális forrpontú azeotropok szétválasztását illetve a középtartályos oszlop (KTO) alkalmazását.

Munkánk célja a kétkomponensű homoazeotrop elegyek nyomásváltó desztillációval (NYVD) történő szétválasztása megvalósíthatóságának vizsgálata volt. A jól ismert konfigurációk (rektifikáló, sztripper, KTO) vizsgálata mellett két új konfigurációra is javaslatot teszünk, ezek a dupla oszlopos szakaszos rektifikáló (DOSZR), és a dupla oszlopos szakaszos sztripper (DOSZSZ).

2. Megvalósíthatósági vizsgálatok

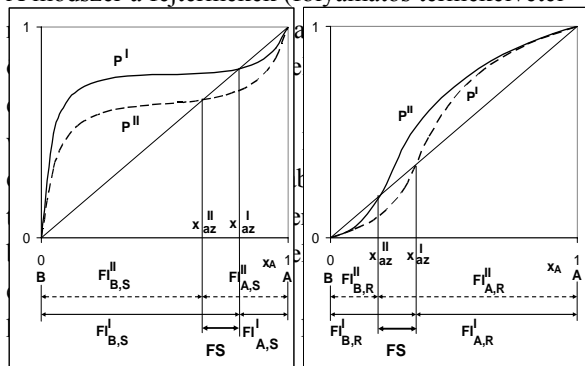
Először röviden ismertetjük a megvalósíthatóság vizsgálatára alkalmazott módszert, majd megvizsgáljuk a különböző kolonna konfigurációk megvalósíthatóságát.

2.1 A megvalósíthatósági módszer

A megvalósíthatósági vizsgálatok során feltételeztük a maximális (tökéletes) szétválasztást. Ez a következő feltevésekből áll:

- végtelen tányérszám,
- igen magas reflux- és visszaforralási arány,
- elhanyagolható folyadék hold-up a tányérokön,
- elhanyagolható gőz hold-up.

A módszer a fejtermékek (folyamatos termékérvétel



1. ábra A NYVD megvalósíthatósági tartományai

a, min. azeotrop b, max. azeotrop

Kétfajta megvalósíthatósági intervallumot különböztetünk meg:

-A *komponens megvalósíthatósági intervalluma* (FI_A vagy FI_B), minden olyan betáplálás összetétel (z), amelyből a megadott komponens - maximális szétválasztás mellett - tiszta (fej- vagy fenék-) terméként gyártható.

-A binér *szétválasztás megvalósíthatósági intervalluma* (FI): minden olyan betáplálási összetétel, amelyből - maximális szétválasztás mellett - mindkét komponens gyártható tiszta terméként az adott nyomáson, vagy nyomásváltást alkalmazva, azaz két különböző nyomáson. A binér szétválasztás megvalósíthatóságának szükséges és elégséges feltételei a következők: (i) a két megvalósíthatósági intervallumnak legyen közös része (a szétválasztás megvalósíthatósági intervalluma)

(ii) a betáplálás összetétele ebbe a közös intervallumba essen.

Megvalósíthatósági intervallumok különböző típusú elegyek esetében

a. Zeotrop elegy

Bármilyen összetételű kétkomponensű betáplálásból ($0 < z < 1$) gyártható tiszta A mint fej- és tiszta B mint fenéktermék. Az A (F^I_A) és B (F^I_B) komponensek megvalósíthatósági intervallumai megegyeznek, és hosszuk a lehető legnagyobb ($0 < z < 1$). Az A/B szétválasztás megvalósíthatósági intervalluma szintén $0 < z < 1$, tehát bármilyen összetételű betáplálás szétválasztható (a szétválasztás megvalósíthatósági intervalluma lefedi az egész betáplálási összetétel tartományt).

b. Minimális forrponitű azeotrop elegy

Fenéktermékként gyártható mindkét tiszta komponens (bármilyen nyomáson). Adott nyomáson (pl. P^I) a két komponens megvalósíthatósági intervallumát az azeotrop pont x_{az}^I választja el, tehát nincs közös részük (1. ábra):

$$FI^I_A: x_{az}^I < z < 1 \quad FI^I_B: 0 < z < x_{az}^I$$

Ha a nyomást P^II -re változtatjuk, mindkét komponens megvalósíthatósági intervalluma eltolódik:

$$FI^II_A: x_{az}^II < z < 1 \quad FI^II_B: 0 < z < x_{az}^II$$

Az x_{az}^I és x_{az}^II közötti intervallumnak most már van közös része (FS) az egyes komponensek megvalósíthatósági intervallumával. Ezért tiszta B és tiszta A gyártható fenéktermékként P^I és P^II nyomáson szakaszos sztrippel vagy folyamatos

üzemben. Szakaszos rektifikálással csak azeotrop összetételű folyadék nyerhető fejtermékként, valamelyik komponenst pedig az üstmaradék tartalmazza tiszta formában.

c. Maximális forrponú azeotrop elegy

Fejtermékként gyártható mindkét tiszta komponens (bármilyen nyomáson). Adott nyomáson (pl. P^I) a két komponens megvalósíthatósági intervallumát az azeotrop pont x_{az}^I , választja el, tehát nincs közös részük (1.b ábra):

$$FI_A^I: x_{az}^I < z < 1 \quad FI_B^I: 0 < z < x_{az}^I$$

Ha a nyomást P^{II} -re változtatjuk, mindkét komponens megvalósíthatósági intervalluma eltolódik:

$$FI_A^{II}: x_{az}^{II} < z < 1 \quad FI_B^{II}: 0 < z < x_{az}^{II}$$

Az x_{az}^I és x_{az}^{II} közötti intervallumnak most már van közös része (FS) a komponensek megvalósíthatósági intervallumával. Ezért tiszta **B** és tiszta **A** gyártható fejtermékként P^I és P^{II} nyomáson szakaszos rektifikálással vagy folyamatos üzemben. Szakaszos sztrippeléssel csak azeotrop összetételű folyadék vehető el, valamelyik komponenst pedig a felső tartály tartalmazza tisztán.

2.2 Különböző kolonna konfigurációk

A NYVD egy vagy kétkolonnás rendszerrel valósítható meg. Az azeotrop előfordulása miatt a két tiszta komponenst két különböző nyomáson kell gyártani.

2.2.1 Egy oszlopos rendszer

A nyomásváltás csak időben oldható meg, ezért, ahhoz hogy mindkét komponenst tisztán megkapjuk legalább két gyártási lépés szükséges. A két különböző nyomás alkalmazásához használhatjuk

a, ugyanazt a konfigurációt vagy

b, két különböző konfigurációt.

a, NYVD szakaszos rektifikálóban vagy szakaszos sztripperben

A betáplálást (sarzsot) az alsó (rektifikáló, 2.a ábra) vagy felső (sztripper, 2.b ábra) tartályba töltjük be. A terméket folyamatosan vesszük el felülről (rektifikáló) vagy alulról (sztripper) a termékgyűjtőbe.

2. ábra szakaszos

a, rektifikáló b, sztripper

A betáplálás összetételétől és az azeotrop típusától függően az első (és további) termék elvételénél tiszta **A**, tiszta **B** vagy azeotrop összetételű folyadékot kapunk (Függelék 1-2 (SZR) és 3-4 (SZSZ)). Ha valamelyik lépésben az elvett termék azeotrop, a következő lépés előtt ki kell üríteni a (táp)tartályt és az azeotrop terméket oda betölteni. Elmondható tehát, hogy minden eset megvalósítható: mind a minimális, mind a maximális forrponú azeotrop elvileg szétválasztható NYVD-val sztripper és rektifikáló alkalmazása mellett egyaránt, mivel mind a tiszta **A**, mind a tiszta **B** komponens gyártható mindkét konfigurációval.

Egy gyártási ciklus különböző nyomásokon (P^I és P^{II}) végrehajtott két rektifikálási (SZR) vagy két sztrippelési (SZSZ) lépésből áll. (Az első lépést alacsonyabb (P^L), a másodikat magasabb nyomáson (P^H) végrehajtva.) Maximális szétválasztás esetén a tiszta komponens *kinyerése* (egy ciklusra), függ:

-a betáplálási (z) és az azeotrop összetételektől (x_{az}^I és x_{az}^{II}),

-a ciklusban alkalmazott nyomások sorrendjétől (P^I , P^{II} vagy P^{II} , P^I).

A két tiszta komponens együttes mennyisége az első ciklusra 1mol betáplálásra vonatkoztatva a mérlegszabályból számítható:

$\frac{SW_A + SW_B}{F} = \frac{z - x_{az}^{II}}{1 - z} + \frac{z - x_{az}^I}{z - x_{az}^{II}}$ vagy $\frac{x_{az}^I - z}{z - x_{az}^{II}} + \frac{z - x_{az}^I}{z - x_{az}^{II}}$
A mindkét komponens *kinyerése* növekszik a ciklusok számának növelésével.

b. A rektifikálás és a sztrippelés kombinálása

Ha van egy olyan oszlopunk, mely két tartállyal rendelkezik, egyik a fejnél a másik pedig alul (3. ábra), kombinálni tudjuk a nyomásváltást a működési mód váltogatásával. A berendezés egy

oszloprészből (mely vagy rektifikáló vagy sztripper a műveleti lépéstől függően), visszaforralóból és kondenzátorból áll. A termék-gyűjtő rektifikálásnál a felső és a következő lépésben (sztrippelésnél) az alsó tartály.

3.ábra A rektifikálás és sztrippelés kombinációja

A szétválasztás csak abban az esetben megvalósítható, ha minden lépésben a folyamatosan elvett termék azeotrop. Minimális forrpontú azeotrop esetén a rektifikálás, maximális forrpontú azeotrop esetén a sztrippelés a kezdő lépés. *A* és *B* közül valamelyik a tartályban marad tiszta terméként, és onnan a következő lépés megkezdése előtt el kell távolítani.

2.2.2 Kétoszlopos konfigurációk

A különböző nyomáson üzemelő, két oszloprésszel megvalósított konfiguráció biztosítja azt a lehetőséget, hogy egyszerre gyártsuk a két tiszta komponenst. Először a középső tartályos oszlopot, majd a két új konfigurációt vizsgáljuk meg.

a, Középső tartályos kolonna

A betáplálást középső tartályba töltjük be (4. ábra). A termékeket folyamatosan vesszük el a fejről illetve a fenékről. A rektifikáló és sztrippelő szakaszokon különböző nyomást alkalmazunk.

4. ábra Középsőtartályos oszlop

A rektifikáló és sztrippelő szakaszok illetve a középső tartály nyomásától függően négy különböző megvalósítás lehetséges:

- | | |
|-----------------------|-------------|
| $\gg P_{MV} = P_{SS}$ | 1. P_{RS} |
| $= P_{MV} \gg P_{SS}$ | 2. P_{RS} |
| $= P_{MV} \ll P_{SS}$ | 3. P_{RS} |
| $\ll P_{MV} = P_{SS}$ | 4. P_{RS} |

A megvalósíthatóság szempontjából nincs jelentősége annak, hogy a tartály melyik kolonna

szakasz nyomásán üzemel, ezért gyakorlatilag nincs különbség az 1. és 2. eset, illetve a 3. és 4. eset között. A lehetséges termékeket és maradékokat a 5. és 6. Függelékben gyűjtöttük össze.

Megállapíthatjuk, hogy a szétválasztás nem megvalósítható, mivel minden esetben a termékek közül valamelyik azeotrop összetételű, tehát nem tudunk egyszerre tiszta *A* és *B* komponenst gyártani.

Egyértelmű, hogy a tartályban lévő összetétel alakulása erősen függ a két termék móláramának arányától. Ugyanakkor megállapítható az is, hogy addig nem kapunk tiszta *B* (vagy *A*) komponenst a (középső) tartályban, míg valamelyik termék elvétel tiszta *A* (vagy *B*).

Összefoglalva elmondható, hogy a KTO nem használható hatékonyan NYVD esetében.

2.3 Új szakaszos kolonna konfigurációk

A KTO két különböző (egy rektifikáló és egy sztrippelő) oszloprészből álló konfigurációja nem bizonyult megfelelőnek a binér NYVD-ra. Ezután két új konfiguráció NYVD-ra való alkalmasságát vizsgáljuk meg, melyek egy közös tartályból és két azonos funkciójú (különböző nyomáson üzemelő) oszloprészből állnak:

1. Dupla oszlopos szakaszos rektifikáló (DOSZR) maximális forrpontú azeotropokra.
2. Dupla oszlopos szakaszos sztripper (DOSZSZ) minimális forrpontú azeotropokra.

2.3.1 Dupla oszlopos szakaszos rektifikáló maximális forrpontú azeotropokra

A folyadékáramok lefelé haladnak a két rektifikáló oszlopban (5. ábra), és az alsó tartályban összekeverednek, mely a magasabb nyomáson (P^H) üzemel. Az alacsonyabb nyomáson (P) üzemelő kolonnából érkező folyadékot szivattyú juttatja a tartályba. A tartályt elhagyó folyadékot két részre osztjuk. Mindkét ágba a magasabb nyomáson (P^H) üzemelő hőcserélő található. Az alacsonyabb nyomású ágba elég csak részlegesen elpárologtatni a folyadékot, mivel a szelep miatti nyomásesés biztosítja a további (teljes) elpárologtatást. A nagy nyomású ágba totális elpárologtató van.

Maximális forrpontú azeotrop esetében a fejtermékek tiszta komponensek.

2.3.2 Dupla oszlopos szakaszos sztripper minimális forrpontú azeotropokra

A két sztripper kolonnából származó gőz kondenzátuma az alacsonyabb nyomáson üzemelő felső tartályban keveredik össze. A magasabb nyomáson üzemelő kolonnából érkező fejtő nyomását a kondenzátor előtt egy szeleppel csökkentjük le. A tartályt elhagyó folyadékot két ágra osztjuk szét. A magasnyomású kolonna refluxát szivattyú segítségével juttatjuk az oszlopba (a reflux mindig túlhűtött folyadék). Mindkét kolonna alatt egy folyadék-elosztó és egy totális elpárologtató található. Minimális forrpontú azeotrop esetén a fenéktermékek lehetnek tiszta komponensek.

Mindkét konfiguráció esetében a két tiszta komponens a két termék, ha a tartálybeli összetétel a két azeotrop pont közé esik (a szétválasztás megvalósíthatósági tartományába). Ez azt jelenti, hogy a tartálybeli összetételt a művelet során mindvégig két azeotrop összetétel között kell tartani. Ha a betáplálás összetétele ettől eltérő, egy olyan 0. lépés végzése is szükséges, melyben csak az egyik oszlopról veszünk el terméket addig, amíg a tartálybeli összetétel el nem éri a kívánt intervallumot. Olyan elvételi áramokat kell választanunk, hogy a tartálybeli összetétel ne változzon, és mindkét kolonna állandósult állapotban üzemeljen a gyártás alatt.

A bemutatott konfigurációk a következő előnyökkel bírnak:

- az A/B szétválasztás egyetlen gyártási lépéssel lehetséges,
- a két kolonna párhuzamosan üzemel, így termikusan integrálhatók,
- a két kolonna paraméterei (átmérő, tányérszám) különbözőek lehetnek (rugalmasság),
- mindkét kolonna állandósult állapotban üzemel, nincs időbeni nyomásváltás a folyamat során.

3. A megvalósítható konfigurációk eredményei

A következőkben a (fej/fenék) termék(ek) (x_w) és a (felső/alsó) tartály maradékok (x_{VR}) összetételének alakulását vizsgáljuk a különböző konfigurációknál. A maximális szétválasztás mellett azt feltételeztük még, hogy a termékáram(ok) és a reflux- ill. visszaforralási arány időben állandóak ($W=$ áll., R vagy $R_S=$ áll.), valamint a művelet kezdetén a betáplálás összetétele már a két azeotrop pont közé esik. Először a csak egy oszloprészt (SZR (max. azeotropokra) vagy SZSZ (min. azeotropokra), azután a kettő kombinációja), majd a két oszloprészt (DOSZR (max. azeotropokra) vagy DOSZSZ (min. azeotropokra)) tartalmazó konfigurációkat vizsgáljuk.

3.1 Szakaszos rektifikálás maximális vagy szakaszos sztripper minimális forrpontú azeotropok esetére

Ha egy maximális forrpontú azeotropot képző elegyet választunk szét SZR-ban vagy minimális forrpontú azeotropot SZSZ-ben, váltakozva tudjuk a tiszta komponenseket gyártani (7. ábra). Egy későbbi (k -adik) ciklusban -a lépések időtartama rövidül (az egy ciklusban gyártott tiszta komponensek mennyisége ($SW_{i,k}$) - ezzel arányosan- szintén csökken), -a tartály-összetétel két azeotrop pont közötti változása egyre gyorsabb lesz ($|dx_{VR}/dt|$ értéke nő), a tartály hold-up csökkenése miatt.

7. ábra A termék és a tartálybeli összetétel változása SZR (SZSZ), max. (min.) forrpontú azeotropra

3.2 A SZR és SZSZ kombinációja maximális és minimális forrpontú azeotropra

Ha a 2.2.1 b fejezetben leírt módszerrel választunk szét egy elegyet, a két különböző konfigurációt egymás után alkalmazzuk. Ez a módszer mind maximális, mind minimális forrpontú azeotropokra

alkalmazható. A kolonnákat elhagyó áramok (fejgőz (y_{TV}) és fenék-folyadék (x_{BL})) összetételének időbeni változása hasonló a két esetben (a 8. ábrán a minimális forrpontú azeotropok szétválasztását a zárójeles, dőltbetűs részek jelentik).

8. ábra A SZR-SZSZ fejgőz és fenék folyadék összetételek alakulása max. (min.) forrpontú azeotropokra.

Váltakozva tudjuk gyártani a két tiszta komponenst a fejen (fenéken)
-tartály maradékként a sztrippelő (rektifikáló) lépésekben,
-termékként folyamatosan a rektifikáló (sztrippelő) lépésekben.

A fenék-folyadék- (fejgőz-)összetétel a két azeotrop pont között marad:

-A sztrippelő (rektifikáló) lépésben állandó (megfelel valamelyik azeotrop összetételnek).
-A rektifikáló (sztrippelő) lépésben folyamatosan változik, és a lépés végén eléri az adott nyomásához tartozó azeotrop összetételt.

-A lépések időtartama rövidül (a ciklusban előállított tiszta termék mennyisége ($SW_{i,k}$, vagy $SR_{i,k}$) csökken).

-A tartály-összetétel két azeotrop pont közötti változása egyre gyorsabb lesz ($|dx_{VR} / dt|$ értéke nő), a szétválasztandó elegy mennyiségének (felső- és alsó-tartály hold-up) csökkenése miatt.

A felső tartályt minden sztrippelési lépés előtt fel kell tölteni (az első ciklusban a betáplálással, a későbbiekben az előző rektifikálási lépés maradékával), utána pedig le kell üríteni egy (az 1. lépés nyomásától függően **A** vagy **B** komponens tárolására szolgáló) termék-tartályba. A rektifikálási lépések során a desztillátumot folyamatosan gyűjtjük az (**A** vagy **B**) termék-tartályba.

3.3 DOSZR maximális, DOSZSZ minimális forrpontú azeotropokhoz

Folyamatosan gyárthatjuk a tiszta A és B komponenseket (9. ábra)

-DOSZR –val desztillátumként maximális forrpontú azeotrop elegyekből,

-DOSZSZ –rel fenéktermékként minimális forrpontú azeotrop elegyekből.

9. ábra A termék- és tartály-összetételek alakulása DOSZR (DOSZSZ) max. (min.) forrpontú azeotrop elegy esetén.

A tartály összetétel állandó értéken tartható, ezért a két kolonna állandósult állapotban üzemelhet. A művelet előrehaladtával a tartály hold-up folyamatosan csökken.

Mivel maximális szétválasztás a gyakorlatban nem valósítható meg, valóságos peremfeltételek mellett számításokat is végeztünk (Modla és társai, 2007).

4 Következtetések

Tökéletes szétválasztás feltételezése mellett, különböző szakaszos oszlop konfigurációkra a nyomásváltó desztilláció megvalósíthatóságát vizsgáltuk binér elegyek esetére. A különböző nyomásokat egymástól elválaszthatjuk:

- időben, egy oszloprészt (szakaszos rektifikáló és sztrippert), illetve

- térben, két oszloprészen (pl. KTO) alkalmazva. Megállapítottuk, hogy a középső tartályos oszlop (KTO) nem alkalmas a binér NYVD-ra.

Két új konfigurációt is javasoltunk: a kétoszlopos szakaszos rektifikálót (DOSZR) és a kétoszlopos szakaszos sztrippert (DOSZSZ). Ezeknek a új rugalmas konfigurációknak számos előnyük van:

-a két termék párhuzamosan gyártható, így csak egy gyártási lépés van,

-mindkét oszloprész állandósult állapotban üzemelhet, nincs időbeli nyomásváltás a folyamat során,

-a két oszlopot termikusan csatolni lehet.

Mind a maximális, mind a minimális forrpontú azeotropok szétválasztása lehetséges a sztrippelés és a rektifikálás felváltva történő alkalmazásával is.

Irodalom

- Abu-Eishah S. I., Luyben W. L. "Design and Control of Two-Column Azeotropic Column Azeotropic Distillation System", Ind. Eng. Chem. Process. Des. Dev. 24, 132-140 (1985).
- Black C. "Distillation Modelling of Ethanol Recovery and Dehydration Processes for Ethanol and Gasahol", Chem. Eng. Prog., 76, 78-85, (1980).
- Chang T., Shih T. T. "Development of an Azeotropic Distillation Scheme for Purification of Tetrahydrofuran", Fluid Phase Equilib., 52, 161, 161-168. (1989).
- Chemstations, "CHEMCAD User Guide" (2005).
- Knapp J. P. and M. F. Doherty "A new pressure swing-distillation process for separating homogeneous Azeotropic Mixtures", Ind. Eng. Chem. Res., 31, 346-357, (1992).
- Modla G. and P. Lang "New column configurations for pressure swing batch distillation II. Rigorous Simulation Results", DYCOPS2007.
- Perry R. H., D.W. Green, J.O. Maloney, "Perry's Chemical Engineer's Handbook" 7th edition, McGraw Hill, New York, (1997).
- Lewis W. K. "Dehydrating Alcohol and the Like", U.S. Patent, 1,676,700, July 10, (1928).
- Repke .J. U., Klein A., Bogle D., Wozny G., "Pressure Swing Batch Distillation for Homogenous Azeotropic Separation", D&A2006, London, 709-718.

Köszönetnyilvánítás:

Munkákat az Országos Tudományos Kutatási Alap (OTKA, T-049184) és a Gazdasági Versenyképesség Operatív Program (KPI, GVOP-3.1.1.-2004-05-0544/3) támogatta.

Függelék

A megvalósítható termékek és maradékok a különböző lépésekben.

1. Függelék. Szakaszos rektifikáló min. azeotropokhoz (Indulás P^I -en)

Lépések/Betá p	$0 < z < x^I_{az}$	$x^{II}_{az} < z < x^I_a$	$x^I_{az} < z < 1$
1. (P^I), 1.ciklus Fejtermék Üstmaradék	x^I_{az} B	x^I_{az} B	x^I_{az} A
*2. (P^{II}) Fejtermék Üstmaradék	x^{II}_{az} A	x^{II}_{az} A	x^{II}_{az} A
*1. (P^I), 2.ciklus Fejtermék Üstmaradék	x^I_{az} B	x^I_{az} B	x^I_{az} B

*Ebben a lépésben az előző lépés fejtermékét töltjük az alsó tartályba.

2. Függelék. Szakaszos rektifikáló min. azeotropokhoz

a. Indulás P^I -en

Lépések/Betá p	$0 < z < x^I_{az}$	$x^{II}_{az} < z < x^I_a$	$x^I_{az} < z < 1$
1. (P^I), 1.ciklus Fejtermék Üstmaradék	x^I_{az} B	x^I_{az} B	x^I_{az} A
2. (P^{II}) Fejtermék Üstmaradék	x^{II}_{az} A	x^{II}_{az} A	x^{II}_{az} A
1. (P^I), 2.ciklus Fejtermék Üstmaradék	x^I_{az} B	x^I_{az} B,	x^I_{az} B

b. Indulás P^{II} -n

Lépések/Betá p	$0 < z < x^I_{az}$	$x^{II}_{az} < z < x^I_a$	$x^I_{az} < z < 1$
1. (P^{II}), 1.ciklus Fejtermék Üstmaradék	x^{II}_{az} B	x^{II}_{az} A	x^{II}_{az} A
2. (P^I) Fejtermék Üstmaradék	x^I_{az} B,	x^I_{az} B	x^I_{az} B
1. (P^I), 2.ciklus Fejtermék Üstmaradék	x^{II}_{az} A	x^{II}_{az} A	x^{II}_{az} A

3. Függelék. Szakaszos sztripper min. azeotropokhoz

a. Indulás P^I -en

Lépések/Betá p	$0 < z < x^I_{az}$	$x^{II}_{az} < z < x^I_a$	$x^I_{az} < z < 1$
1. (P^I), 1.ciklus Fejtermék Üstmaradék	x^I_{az} B	x^I_{az} B	x^I_{az} A
2. (P^{II}) Fejtermék Üstmaradék	x^{II}_{az} A	x^{II}_{az} A	x^{II}_{az} A
1. (P^I), 2.ciklus Fejtermék Üstmaradék	x^I_{az} B	x^I_{az} B,	x^I_{az} B

b. Indulás P^{II} -n

Lépések/Betá p	$0 < z < x^I_{az}$	$x^{II}_{az} < z < x^I_a$	$x^I_{az} < z < 1$
1. (P^{II}), 1.ciklus Fejtermék Üstmaradék	x^{II}_{az} B	x^{II}_{az} A	x^{II}_{az} A
2. (P^I) Fejtermék Üstmaradék	x^I_{az} B	x^I_{az} B	x^I_{az} B
1. (P^I), 2.ciklus Fejtermék Üstmaradék	x^{II}_{az} A	x^{II}_{az} A	x^{II}_{az} A

4. Függelék. Szakaszos sztripper max. azeotropokhoz (Indulás P^I -n)

Lépések/Betá p	$0 < z < x^I_{az}$	$x^{II}_{az} < z < x^I_a$	$x^I_{az} < z < 1$
1. (P^I), 1.ciklus Fejtermék Üstmaradék	x^I_{az} B	x^I_{az} B	x^I_{az} A
*2. (P^{II}) Fejtermék Üstmaradék	x^{II}_{az} A	x^{II}_{az} A	x^{II}_{az} A
*1. (P^I), 2.ciklus Fejtermék Üstmaradék	x^I_{az} B	x^I_{az} B	x^I_{az} B

*Ebben a lépésben az előző lépés fejtermékét töltjük az alsó tartályba.

5. Függelék. KTO max. azeotropokhoz

a. $P_{SS} = P^I, P_{RS} = P^{II}$

Termék/Bet áp	$0 < z < x^{II}_{az}$	$x^{II}_{az} < z < x^I_a$	$x^I_{az} < z < 1$
fenék termék	x^{II}_{az}	x^{II}_{az}	x^{II}_{az}

fejtermék	B	A	A
-----------	----------	----------	----------

b. $P_{SS}=P^I, P_{RS}=P^I$

Termék/Bet áp	$0 < z < x^I_{az}$	$x^I_{az} < z < x^I_a$	$x^I_{az} < z < 1$
fenék termék	x^I_{az}	x^I_{az}	x^I_{az}
fejtermék	B	A	A

6. Függelék. KTO min. azeotropokhoz

a. $P_{SS}=P^I, P_{RS}=P^I$

Termék/Bet áp	$0 < z < x^I_{az}$	$x^I_{az} < z < x^I_a$	$x^I_{az} < z < 1$
fenék termék	B	A	A
fejtermék	x^I_{az}	x^I_{az}	x^I_{az}

b. $P_{SS}=P^I, P_{RS}=P^I$

Termék/Bet áp	$0 < z < x^I_{az}$	$x^I_{az} < z < x^I_a$	$x^I_{az} < z < 1$
fenék termék	B	B	A
fejtermék	x^I_{az}	x^I_{az}	x^I_{az}