

## 1. Bevezetés, a kutatás előzményei, célkitűzések

A desztilláció a vegyiparban az egyik leggyakrabban alkalmazott művelet, melynek során a folyadékelegy szétválasztása a komponensek illékonyságának különbségén alapul. A művelet magas energiaigénye miatt nagy jelentősége van a desztilláló berendezések optimális tervezésének és üzemeltetésének. A vegyipari technológiák során nagy mennyiségben keletkező hulladék oldószer elegyek regenerálása mind gazdasági, mind környezetvédelmi szempontból igen fontos. Ezen elegyekből az értékes komponensek visszanyerése is általában desztillációval történik (pl. a gyógyszeriparban, a finom-vegyszergyártásban).

A hulladék oldószer elegyek igen gyakran az ideálistól erősen eltérő viselkedésűek, gyakran képeznek azeotro(ka)t, melynek szétválasztása hagyományos desztillációval nem lehetséges, vagy kis relatív illékonyságú elegyek, melyek elválasztása nem gazdaságos. Az ilyen elegyek hatékony, gazdaságos szétválasztása csak speciális desztillációs módszerekkel lehetséges, mint például az extraktív (homoazeotrop) és heteroazeotrop desztilláció. Mindkét esetben az eredetileg kétkomponensű elegyhez egy harmadik komponenst (szétválasztó ágens) adunk, mely elősegíti a hatékony elválasztást.

A desztilláció művelete lehet folyamatos vagy szakaszos üzemű. A szakaszos desztilláció előnyei közismertek - széleskörű alkalmazhatóság, több termék kinyerése egyetlen oszlopon, kis anyagmennyiségek szétválasztására alkalmas, és a betáplálás jellemzői gyakran változnak. Az ilyen esetekben a szakaszos desztilláció eredményesebben alkalmazható a folyamatos desztillációnál.

A szakaszos extraktív (homoazeotrop) desztilláció kutatásával a Budapesti Műszaki Egyetemen az INSA-Lyon (Franciaország) egyetemmel együttműködve 1991 óta foglalkoznak. Azóta a szakaszos extraktív desztillációval számos különböző elegy- és ágens típusra jelent meg tanulmány a közös munka eredményeképpen. Minimális és maximális forrpontú azeotropok elválasztását nehéz ágenssel Láng és mtársai (1994), Lelkes és mtársai (1998a, 1998b) és Láng, Modla és mtársai (2000a, 2000b), a minimális forrpontú azeotrop és könnyű ágens alkalmazását Lelkes és mtársai (1998c), Láng és mtársai (1999) és Modla (1997) tanulmányoztuk. Később a kutatást kis relatív illékonyságú elegy heteroazeotrop desztillációval történő elválasztásának vizsgálatával folytattuk (Modla és mtársai 2001, 2003a), majd további heteroazeotrop rendszereket is megvizsgáltunk (Modla és mtársai 2003b, Modla és mtársai 2004, Láng, Modla és mtársai 2004), mely vizsgálatok eredményei terjedelmi okokból nem kerülhettek be a dolgozatba.

A doktori munkám során célul tűztem ki, hogy a megvalósíthatósági módszert (Lelkes és mtársai 1998a) kiterjesszem heteroazeotrop desztillációs műveletek vizsgálatára is. A továbbfejlesztett módszerrel megvizsgáljam egy kis relatív illékonyságú elegy (diklór-metán (DKM)-aceton) elválaszthatóságát heteroazeotropot képező ágens (víz) segítségével, majd részletes modellező számításokkal igazoljam

és pontosítsam a megvalósíthatósági vizsgálattal kapott megállapításaimat, eredményeimet.

## 2. Alkalmazott vizsgálati módszerek

A szakaszos heteroazeotrop rektifikációs műveletek vizsgálatát számítógépes szimulációval a megvalósíthatósági és részletes modellező számításokkal végeztem el.

A megvalósíthatósági vizsgálat igen elterjedt, gyakran alkalmazott eljárás a desztillációs műveletek kutatásánál. Az általam alkalmazott módszer egy korábban publikált eljárásnak a kiterjesztése szakaszos heteroazeotrop rektifikációs műveletek vizsgálatához. A megvalósíthatósági vizsgálatoknál alkalmazott egyszerűsítő feltételezések a következők:

- elhanyagolható tányér holdup,
- állandó moláris párolgás,
- a kondenzátum szétválasztása két fázisra forrponton történik.

Napjainkban a desztillációs műveletek már jól modellezhetőek. A kutatásoknál és az iparban több különböző kereskedelmi folyamatszimulátort (ASPEN, HYSIS, CHEMCAD stb.) is használnak. A részletes modellező számításokat a CHEMCAD professzionális folyamatszimulátor CCBATCH moduljával végeztem a következő egyszerűsítő feltételeket figyelembe véve:

- elméleti tányérok,
- elhanyagolható gőz-holdup,
- állandó térfogati folyadék-holdup (tányérok, kondenzátor + dekanter),
- az anyagáramok változása pillanatszerűen történik.

A számításoknál egy tipikus félüzemi berendezés műszaki paramétereit vettem figyelembe és a műveleti paramétereknek az iparban is alkalmazott tartományát törekedtem vizsgálni.

## 3. Az új tudományos eredmények összefoglalása

### 3.1 Megvalósíthatósági módszer

#### 1. tézis - A megvalósíthatóság definíciója

Az irodalomban elsőként javasoltam a heteroazeotropot képező ágens folyamatos adagolását szakaszos rektifikálás műveleténél (Modla és mtársai 2001). A doktori munkám során Lelkes és mtársai (1998a) által ismertett megvalósíthatósági módszert kiterjesztettem szakaszos heteroazeotrop desztillációs műveletek vizsgálatára és definiáltam az „elválasztás pillanatnyi megvalósíthatóságát”.

*Def.:* Az elválasztás pillanatnyilag megvalósítható tetszőleges (akár végtelen) elméleti tányérszámú kolonnával (vagy annak megfelelő töltetes kolonnával), melynél a pillanatnyi üstösszetételből ( $x^o_s$ ) rögzített műveleti paraméterek mellett az előírt tisztaságú ( $x^o_{D,spec}$ ) termék elérhető. A pillanatnyi megvalósíthatóság szükséges és

elégéses feltétele az, hogy legyen egy kolonna profil, amely összeköti az üst-nyomvonal  $x_s$  pontját

- az  $x_{D,spec}^o$  ponttal, ha az a homogén területen van, vagy
- egy  $x_{D,spec}^o$  ponton átmenő folyadék-folyadék egyensúlyi vonallal, ha  $x_{D,spec}^o$  a heterogén területen van.

## 2. tézis - Profiltérképek alkalmazása, azok meghatározásához használt összefüggések

a. A szakaszos desztillációs műveletek profiltérképek alapján történő elemzését „megvalósíthatósági vizsgálatoknak” nevezzük. A profiltérképek a lehetséges kolonna profilokat tartalmazzák. A profiltérképek (rektifikáló (felső oszloprész), extraktív (alsó oszloprész)) részletes elemzéséből következtetni tudunk a vizsgált terner elegy szakaszos rektifikálásának folyamatára.

Ismertettem a rektifikáló és extraktív profiltérképeket leíró egyenleteket, összefüggéseket, és bemutattam a térképek alkalmazását szakaszos desztillációs műveletekre.

b. A lehetséges kolonna profilt meghatározó egyenleteket általános formában adtam meg, továbbá olyan alakját is levezettem, amelynél a betáplálás és a refluxáram hőállapota is figyelembevehető, így az egyszerűsítő feltételek száma csökkent. Ezzel alkalmassá vált a megvalósíthatósági módszer „hibrid” (Stichlmair 1998) műveletek vizsgálatára is, mely művelet vizsgálatát 2003-ban kezdtük meg (Láng és mtársai 2003) és jelenleg is folytatjuk (Kótai és mtársai 2004a,b,d,e).

A megvalósíthatósági vizsgálatoknál alkalmazott összefüggések:

*Munkavonal-egyenlet:*  $y = g(x^o)$

A munkavonal alakját befolyásoló paraméterek:  $x_{D,spec}^o, R, q_R, \frac{F}{V}, q_F, Z$

*A kolonna profil az alsó oszloprészre:*

$$\frac{dx^o}{dh} = \frac{1 - \frac{R}{R+1}(1 - q_R) - \frac{F}{V}(1 - q_F)}{\frac{R}{R+1}q_R + \frac{F}{V}q_F} (y^* - g(x^o))$$

*A kolonna profil a felső oszloprészre:*

$$\frac{dx^o}{dh} = \frac{1 - \frac{R}{R+1}(1 - q_R)}{\frac{R}{R+1}q_R} (y^* - g(x^o))$$

*Üst-nyomvonal:*

$$\frac{dx_s^o}{d\xi} = (x_s^o - x_{D,spec}^o) - (x_s^o - Z) \frac{F}{D}$$

ahol:

$D$  desztillátum áram [mol/s]

$dx^o/d\xi$  üst-összetételváltozás ( $\xi$ : dimenziómentes idő)

$dx^o/dh$	folyadékösszetétel változás a kolonnában ( $h$ : dimenziómentes magasság)
$F$	ágens betáplálási áram [mol/s]
$q_F$	betáplálás hőállapota
$q_R$	refluxáram hőállapota
$R$	refluxarány [mol/mol]
$V$	kolonna fejtő áram [mol/s]
$x^o$	tányérfolyadék bruttó összetétele [mol/mol]
$x^o_{D,spec}$	specifikált desztillátumösszetétel [mol/mol]
$x^o_S$	üstösszetétel [mol/mol]
$y^*$	egyensúlyi gőzösszetétel [mol/mol]
$z$	betáplálás (ágens) összetétele [mol/mol]

### 3. tézis - Elméleti tányérszám becslése

Módszert javasoltam elméleti tányérszám becslésére a diszkrét pontokon alapuló kolonna profilok (rektifikáló, extraktív) felhasználásával.

### 4. tézis - Rektifikáló és extraktív határvonalak végpontjainak meghatározása grafikusán

Egyszerű grafikus módszert javasoltam a rektifikáló és extraktív határvonalak kezdeti és végpontjainak meghatározására.

Rámutattam, hogy a végpontok megegyeznek a binér elegyek fázisegyensúlyi görbéje és a munkavonal metszéspontjával.

### 5. tézis - Megvalósíthatósági vizsgálatok eredményei

A kiterjesztett megvalósíthatósági módszerrel több elegyet megvizsgáltam (Modla 2003a, 2003b), melyek közül egy kis relatív illékonyságú elegy (DKM(A)-acetón(B)) elválaszthatóságát egy alacsonyabb forrponú heteroazeotropot képező ágens (víz(E)) alkalmazásával ismertettem.

**a.** A megvalósíthatósági módszerrel megvizsgáltam mind a szakaszos, mind a folyamatos ágensadagolású heteroazeotrop rektifikálást. Megállapítottam, hogy mindkét módszerrel megvalósítható az elválasztás, továbbá folyamatos ágensadagolásnál az elválasztás úgy is megvalósítható, hogy csak extraktív oszloprész van (az ágens betáplálása a legfelső tányérra történik (nincs rektifikáló oszloprész)).

b. A vizsgálatok során meghatároztam a műveleti paraméterek hatását, és azok lehetséges szélsőértékeit.

Szakaszos ágensadagolásnál a műveleti paramétereknek a következő szélső értékei lehetnek:

- minimális rektifikáló tényérszám ( $N_{r,min}$ ),
- minimális refluxarány ( $R_{min}$ ),
- minimális ágensmennyiség ( $SF_{0,min}$ ),
- maximális ágensmennyiség ( $SF_{0,max}$ ).

Megállapítottam továbbá, hogy:

- Nagyobb ágensmennyiség, nagyobb kinyerést eredményez.
- Csak vegyes fázisú refluxszal valósítható meg a művelet a vizsgált esetben.
- Várható optimális ágensmennyiség ( $SF_{0,opt}$ ).

Folyamatos ágensadagolásnál ( $SF_0=0$ ) a műveleti paramétereknek a következő szélső értékei lehetnek:

- minimális refluxarány ( $R_{min}$ ),
- minimális ágensáram ( $(F/V)_{min}$ ),
- maximális ( $(F/V)_{max}$ ).

Megállapítottam továbbá, hogy:

- További ágensmennyiség szakaszos hozzáadása (vegyes adagolás,  $SF_0>0$ ) javít a kinyerésen.

c. A megvalósíthatósági elemzés részeként meghatároztam a technológia lépéseit.

Szakaszos ágensadagolású heteroazeotrop rektifikálás esetén:

0. lépés: A teljes ágens mennyiség hozzáadása a binér kiindulási elegyhez.

1. lépés: Felfűtés teljes reflux mellett ( $R=\infty$ ).

2. lépés: Az A komponens gyártása kétfázisú refluxszal ( $R<\infty$ ; a desztillátum egyfázisú és Az' koncentrációjú).

3. lépés: B és E komponensek elválasztása.

Folyamatos (és vegyes) ágensadagolású heteroazeotrop rektifikálás esetén:

0. lépés: Az ágens egy kis mennyiségének hozzáadása a binér kiindulási elegyhez (opcionális: vegyes adagolás).

1. lépés: Felfűtés teljes reflux mellett ( $R=\infty, F=0$ ).

2. lépés: Az A komponens gyártása kétfázisú refluxszal, folyamatos ágensbetáplálás mellett ( $F>0, R<\infty$ ; a desztillátum egyfázisú és Az' koncentrációjú).

3. lépés: B és E komponensek elválasztása.

### **3.2 Részletes modellezés**

Részletes modellező számítási eredményeket mutattam be a DKM-aceton elegy szakaszos és folyamatos (és vegyes) ágensadagolású heteroazeotrop rektifikálással történő elválasztására, víz ágens alkalmazásával. A számításokat CHEMCAD professzionális szimulátorral végeztem.

#### **6. tézis - Határvonalak, kolonna holdup hatása**

Megállapítottam, hogy a megvalósíthatósági vizsgálatoknál bemutatott határvonalak (rektifikáló határvonal és extraktív határvonal) valóban léteznek, és részletes modellezéssel is meghatározhatók. Ezek a határvonalak korlátozzák az acetonekinyerést. Továbbá megállapítottam, hogy a határvonal helyzetét befolyásolja a kolonna holdup. A kolonna holdup növelése nagyobb ágensmennyiségeknél csökkenti a kinyerést.

#### **7. tézis - Műveleti paraméterek hatása**

Egy ipari elválasztási problémát elemeztem részletes modellező számításokkal, meghatározva a műveleti paraméterek optimális értékeit.

Binér szakaszos desztillációval a DKM eltávolítása nem lehetséges, mivel a relatív illékonyosság ( $\alpha_{A,B}$ ) nagyon közel esik az egységhez alacsony acetonekoncentrációknál, ezért ágenszt kell alkalmazni az elválasztás elősegítéséhez.

##### **a. Szakaszos ágensadagolás**

Először a hagyományos szakaszos ágensadagolású heteroazeotrop desztillációt tanulmányoztam. Megállapítottam, hogy kétfázisú refluxot kell alkalmazni, és hogy a kondenzátum szétválasztása dekantálással nem szükséges, mivel a szétválasztandó elegyben kicsi az acetonekoncentráció, így a fázis szétválasztás előnye elvesz a dekanter okozta holdup növekedéssel járó kedvezőtlen hatás miatt.

A vizsgált műveleti paraméterek a refluxarány és az ágens/sarzs arány. Megállapítottam, hogy magasabb ágens/sarzs arányoknál van optimális refluxarány.

##### **b. Folyamatos ágensadagolás**

Részletes modellező számítással igazoltam a megvalósíthatósági vizsgálatokból levont egyik következtetésemet, hogy az elválasztás megvalósítható csak extraktív oszloprészt (felső oszloprész nélkül) tartalmazó kolonnával is. A DKM/aceton elválasztás szemszögéből nézve minden esetben az optimális betáplálási hely a kolonna legfelső tányérja volt.

A reflux változásának hatásait különböző körülmények között vizsgáltam (pl.: állandó ágensfelhasználás és desztillátum mennyiség, illetve állandó ágens- és energiefelhasználás). Állandó ágens- és energiefelhasználásnál (a gyártási időt állandó értéken tartva) optimális refluxarányt állapítottam meg a DKM-kinyerést és acetonevesztéséget figyelembe véve.

## 8. tézis - Vegyes adagolás

Az irodalomban elsőként javasoltam a heterogén ágens vegyes adagolását, miszerint annak egy részét szakaszosan ( $SF_0$  lépésben;  $SF_0$ ), másik részét folyamatosan a gyártási szakaszban ( $SF_2$ ) alkalmazva. Bevezettem a heterogén ágensadagolási arány ( $SF_0/(SF_0+SF_2)$ ) fogalmát, meghatároztam annak optimumát állandó teljes ágens- és energiafelhasználásnál. Közepes ágensadagolási aránynál (pl.: 0,5 mol/mol) mind a DKM-kinyerés, mind az aceton-veszteség jelentősen kedvezőbb, mint a szélső értékeknél.

A szakaszos, a folyamatos és a vegyes ágensadagolást összehasonlítva állandó energia- és ágensfelhasználásnál a legjobb eredményt (a legmagasabb DKM-kinyerést és a legalacsonyabb aceton-veszteséget) a vegyes adagolással értem el.

### **4. Eredmények alkalmazása**

A kiterjesztett megvalósíthatósági módszer alkalmas nem csak a doktori értekezésben bemutatott kis relatív illékonyságú elegyek vizsgálatára, hanem azeotrop elegyekre is. A módszer továbbá alkalmas az úgynevezett „hibrid művelet” vizsgálatára is.

Az értekezésben egy ipari elválasztási probléma megoldására is javaslatot teszek, mely későbbiekben az iparban bevezetésre kerülhet.

A bemutatott heteroazeotrop rektifikációs eljárások más elegyek elválasztásánál is hasznosíthatók, elsősorban a gyógyszer- és finomvegyszer-gyártás területén. A már meglévő szakaszos rektifikáló berendezések könnyen, igen csekély költséggel alkalmassá tehetőek a folyamatos és vegyes adagolású szakaszos heteroazeotrop desztillációs eljárások alkalmazásához. (Ez mindössze egy betáplálási hely kialakítását, és egy adagoló szivattyú alkalmazását igényli.)

### **5. A kutatások folytatása**

A doktori értekezésemben egy kis relatív illékonyságú elegy szakaszos heteroazeotrop desztillációval (szakaszos és folyamatos ágensadagolású) történő elválasztását vizsgáltam. A későbbiekben további elegytípusok (minimális forrpontú és maximális forrpontú azeotrop elegyek) elválasztását is megvizsgáljuk.

A megvalósíthatósági módszerünket alkalmassá tettük az úgynevezett „hibrid művelet” vizsgálatára is, melynek részletes elemzését már megkezdtük.

Az utóbbi években igen gyakran vizsgálták a nem hagyományos kolonna konfigurációjú (középadagolású („middle-vessel”), többtartályos („multi-vessel”) rektifikáló berendezésben történő desztillációt, mely berendezések vizsgálatát a kutatócsoportunk (Láng és munkatársai) is megkezdte. Érdemes megvizsgálni e konfigurációkat a heteroazeotrop desztillációra való alkalmasság szempontjából.

## Publikációs jegyzék

### Idegen nyelvű publikációk

#### a. Külföldön megjelent idegen nyelvű folyóiratcikk

1. **Modla** G., P. Lang, B. Kotai, K. Molnar: „Batch Heteroazeotropic Rectification of a Low Relative Volatility Mixture under Continuous Entrainer Feeding”, *AIChE J.*, **49**, 2533-2552 (2003).
2. Lang P., B. Kotai, G. **Modla** et K. Molnar: „R ctification h t roaz otropique d’un m lange de volatilit  relative faible avec alimentation continue de l’entra neur“, *Journal of the Univ. of Chem. Tech. and Met.*, **37** (5), 135-140 (2002).
3. Lang P., G. **Modla**, B. Benadda, Z. Lelkes: „Homoazeotropic Distillation of Maximum Azeotropes in a Batch Rectifier with Continuous Entrainer Feeding: I. Feasibility studies”, *Comp. Chem. Eng.*, 1665-1671 (2000a).
4. Lang P., G. **Modla**, B. Kotai, Z. Lelkes, P. Moszkowicz: „Homoazeotropic Distillation of Maximum Azeotropes in a Batch Rectifier with Continuous Entrainer Feeding: II. Rigorous simulation results”, *Comp. Chem. Eng.*, 1429-1435 (2000b).
5. Lang P., Z. Lelkes, M. Otterbein, B. Benadda, G. **Modla**: „Feasibility Studies for Batch Extractive Distillation with a Light Entrainer”, *Comp. Chem. Engn.*, **23**, S93-96 (1999).

#### b. Nemzetk zi konferencia-kiadv nyban megjelent publik ci 

6. **Modla** G., P. Lang, B. Kotai and K. Molnar: „Batch Heteroazeotropic Rectification under Continuous Entrainer Feeding: I. Feasibility Studies”, *PSE2003, Computer Aided Chemical Engineering*, **15**, 974-977 (2004).
7. Lang P., G. **Modla**, B. Kotai: „Batch Heteroazeotropic Rectification under Continuous Entrainer Feeding: II. Rigorous Simulation Results”, *PSE2003, Computer Aided Chemical Engineering*, **15**, 906-909 (2004).
8. Kotai B., P. Lang, G. **Modla**: „Batch Extractive Distillation as a Hybrid Process: Separation of Azeotropes of Minimum Boiling Point”, *CHISA 2004 konf., megj. el tt* (2004b).
9. Kotai B., P. Lang, G. **Modla**: „Batch Heteroazeotropic Rectification under Continuous and Mixed Entrainer Feeding”, *CHISA 2004 konf., megjelen s el tt*, (2004c).
10. **Modla** G., P. Lang, K. Molnar: „Batch Heteroazeotropic Rectification of a Low Relative Volatility Mixture under Continuous Entrainer Feeding: Feasibility Studies”, *Proc. of 6-th World Congr. of Chem. Engng.*, Australia, (on CD, 10p), (2001).



11. Lang P., Z. Lelkes, M. Otterbein, G. **Modla**, B. Benadda: „Batch Extractive Distillation with a Low Boiling Separating Agent”, *Proceedings of 13<sup>th</sup> Int. Congr. of Chem. and Proc. Engng*, p64 (1998).

c. Magyarországon megjelent, idegen nyelvű publikációk

12. Kótai B., P. Lang, G. **Modla**: ”Batch Extractive Distillation as a Hybrid Process: Separation of Minimum Boiling Azeotropes”, *MicroCAD 2004, Int. Sci. Conf.*, ISBN 963-661-612, 71-76 (2004d).
13. Kótai B., P. Lang, G. **Modla**: ”Batch Extractive Distillation as a Hybrid Process: Separation of Minimum Boiling Azeotropes”, *CAPE Forum 2004*, megj. előtt, Veszprém, (2004e).
14. Láng P., Kótai B., **Modla** G., Molnár K.: „Batch Heteroazeotropic Rectification of a Low Relative Volatility Mixture under Continuous Entrainer Feeding“, *Mechanical Engineering*, Springer, **1**, 401-405 (2002).
15. P. Lang, Z. Lelkes, G. **Modla**: „Reverse Extractive Distillation”, *Mechanical Engineering*, Springer, **2**, 400-404 (2000).

**Magyar nyelvű publikációk**

16. **Modla** G., Láng P., Kótai B., Molnár K.: „Szakaszos heteroazeotrop rektifikálás az azeotropképző folyamatos adagolásával”, *Műszaki Kémiai Napok 03'*, ISBN-93-7172-99-8, 219-224 (2003a).
17. Láng P., Kótai B., **Modla** G.: „A szakaszos extraktív desztilláció, mint hibrid művelet: minimális forrponú azeotropok szétválasztása”, *Műszaki Kémiai Napok 03'*, ISBN-93-7172-99-8, 225-230 (2003).
18. Láng P., **Modla** G., Kótai B., Lelkes Z.: „Maximális forrponú azeotrop elegyek elválasztása szakaszos homoazeotrop desztillációval, nehéz szolvenssel”, *Műszaki Kémiai Napok 02'*, 420-421, (2002a).
19. Láng P., Kótai B., **Modla** G., Molnár K.: „Kis relatív illékonyágú elegyek szétválasztása szakaszos heteroazeotrop rektifikálással”, *Műszaki Kémiai Napok 02'*, 422-423, (2002b).
20. Láng P., Lelkes Z., P. Moszkowicz, M. Otterbein, **Modla** G.: „Egy új hatékony szétválasztó művelet: A szakaszos extraktív desztilláció“, *V. Vegyipari Gépészeti Konferencia 1999*, Előadásösszefoglaló 123-131, MKE Kiadványa, (1999a).
21. Láng P., **Modla** G., Kótai B.: „Maximális forrponú elegyek szétválasztása szakaszos extraktív desztillációval“, *V. Vegyipari Gépészeti Konferencia 1999.*, Előadásösszefoglaló 211-217, MKE Kiadványa, (1999b).

## **Nem publikáció értékű munkák**

### a. Szóbeli előadás

22. Láng P., Lelkes Z., **Modla** G.: „Szakaszos extraktív desztilláció műveleti politikái”, *MTA Vegyipari Műveleti Munkabizottsági ülés, MKN' 97* Veszprém

### b. Poszter

23. Láng P., **Modla** G. et al.: „Maximális forrpontú azeotrop elegyek elválasztása szakaszos homoazeotrop desztillációval”, *Ipari Nyílt Napok, BME, (2002).*

24. Kotai B., P. Lang, G. **Modla**: "Batch Extractive Distillation as a Hybrid Process: Separation of Minimum Boiling Azeotropes", *Gépészet 2004 konf., (2004a).*

### c. Egyéb

25. Láng P., **Modla** G., Kótai B.: „Szakértői jelentés metanol tartalmú aceton-víz elegy regenerálásának laboratóriumi kísérleteihez”, (2001).

## **Hivatkozások**

Lang P., **Modla** G., B. Benadda, Lelkes Z.: „Homoazeotropic Distillation of Maximum Azeotropes in a Batch Rectifier with Continuous Entrainer Feeding. I. Feasibility Studies”, *Comput. Chem. Eng. (Anglia, IF= 0,709), 24*, 1665-1672 (2000).

- 1) Guo Z, Ghufuran M, Lee JW Feasible products in batch reactive distillation  
*AICHE J* 49 (12): 3161-3172 DEC 2003
- 2) Cui XB, Yang ZC, Zhai YR, et al. "Batch extractive distillation in a column with a middle vessel" *Chinese J Chem Eng* 10 (5): 529-534 (2002).
- 3) Rodriguez-Donis I, Gerbaud V, Joulia X „Feasibility of heterogeneous batch distillation processes” *AICHE Journal* 48 (6): 1168-1178 (2002).
- 4) Rodriguez-Donis I., Gerbaud V., Joulia X. "Entrainer selection rules of azeotropic and close-boiling-temperature mixtures by homogeneous batch distillation process" *Ind. Eng. Chem. Res.*, 40, 2729-2741 (2001).

Lang P., **Modla** G., Kotai B., Lelkes Z., P. Moszkowicz: „Homoazeotropic Distillation of Maximum Azeotropes in a Batch Rectifier with Continuous

Entrainer Feeding. II. Rigorous Simulation Results”, *Comput. Chem. Eng.* (Anglia, IF= 0,709), 24, 1429-1436 (2000).

- 5) Cui XB, Yang ZC, Zhai YR, et al. “Batch extractive distillation in a column with a middle vessel” *Chinese J Chem Eng* 10 (5): 529-534 (2002).
- 6) Rodriguez-Donis, Gerbaud V, Joulia X „Feasibility of heterogeneous batch distillation processes” *AIChE Journal* 48 (6): 1168-1178 (2002).
- 7) Low KH, Sorensen E „Optimal operation of extractive distillation in different batch configurations” *AIChE Journal* 48 (5): 1034-1050 (2002).
- 8) Rodriguez-Donis I., Gerbaud V., Joulia X. "Entrainer selection rules of azeotropic and close-boiling-temperature mixtures by homogeneous batch distillation process" *Ind. Eng. Chem. Res.*, 40, 2729-2741 (2001).

Lang P., Lelkes Z., B. Benadda, M. Otterbein, **Modla** G.: „Feasibility Studies for Batch Extractive Distillation with a Light Entrainer”, *Comput. Chem. Engng.* (Anglia, IF= 0,709), 23, S93-96 (1999).

- 9) Rodriguez-Donis I, Gerbaud V, Joulia X „Feasibility of heterogeneous batch distillation processes” *AIChE Journal* 48 (6): 1168-1178 (2002).
- 10) Rodriguez-Donis I., Gerbaud V., Joulia X. "Entrainer selection rules of azeotropic and close-boiling-temperature mixtures by homogeneous batch distillation process" *Ind. Eng. Chem. Res.*, 40, 2729-2741 (2001).

**Modla** G., Lang P., Molnar K., „Batch Heteroazeotropic Rectification of a Low Relative Volatility Mixture under Continuous Entrainer Feeding: Feasibility Studies”. *6<sup>th</sup> World Congress of Chemical Engineering*, Melbourne, Australia, 1-10 (on CD), (2001).

- 11) Rodriguez-Donis Y., J. A. Equijarosa, V. Gerbaud and X. Joulia (2003). „Heterogeneous Batch Extractive Distillation of Minimum Boiling Azeotropic Mixtures”. *AIChE Journal*, 49 (12), 3074-3083 (2003).

## 6. Irodalmi hivatkozások a tézisfűzetben

26. Lang P., Yatim H., Moszkovicz P., Otterbein M., "Batch extractive distillation under constant reflux ratio", *Comp. Chem. Eng.*, 18, 1057, (1994).
27. Lelkes Z., Lang P., Moszkovicz P., Benadda B., Otterbein M., „Batch extractive distillation: the process and the operational policies”, *Chem. Eng. Sci.*, 53,1331, (1998a).

28. Lelkes Z., Lang P., Benadda B., Moszkovicz P., "Feasibility of Extractive Distillation in a Batch Rectifier", *AIChE J.*, 44, 810, (1998b).
29. Lelkes Z., Lang P., Otterbein M.: „Feasibility and Sequencing Studies for Homoazeotropic Distillation in a Batch Rectifier with Continuous Entrainer Feeding”, *Comput. Chem. Eng.*, 22, S653-656 (1998c).
30. Modla G., "Inverz Extraktív Szakaszos Sztrippelés modellezése", *Diplomamunka*, (1997).
31. Stichlmair J.G., J.R. Fair "Distillation Principles and Practices", *Wiley-VCH*, New York, ISBN: 0-471-25241-7, (1998).

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Doktori Tézisfüzetei

Gépészmérnöki Kar Doktori Tanácsa

Írta:

**Modla Gábor**

okleveles szervező-mérnök

**„Erősen nem-ideális elegyek elválasztása szakaszos heteroazeotrop  
rektifikálással”**

című témakörből,

amellyel a PhD fokozat elnyerésére pályázik

Budapest, 2004.