

## Részletes szakmai jelentés a 49184 számú OTKA-projektről

**I. A kutatás célja:** Új szakaszos speciális desztillációs eljárások és konfigurációk kidolgozása, a meglévő eljárások tökéletesítése, optimalizálása (energiahatékonyabb, környezetbarátabb eljárások kidolgozása).

### II. A munkatervben vállalt kutatási feladatok:

1. Minimális és maximális forrpontú azeotrop elegyek szakaszos heteroazeotrop desztillációval (SZHAD) történő szétválasztásának vizsgálata megvalósíthatósági vizsgálatokkal és részletes modellezéssel.
2. A SZHAD különleges eseteinek elméleti és kísérleti vizsgálata (pl. kettőnél több folyadékfázis).
3. A szakaszos extraktív desztilláció (SZED) hibrid változatának (abszorpció + desztilláció) vizsgálata megvalósíthatósági vizsgálatokkal és részletes modellezéssel.
4. A SZED nem-hagyományos szakaszos kolonna-konfigurációkban (pl. középső tartályos oszlop) történő megvalósításának vizsgálata számítógépi modellezéssel.
5. A SZHAD nem-hagyományos szakaszos kolonna-konfigurációkban (pl. több tartályos oszlop) történő megvalósításának vizsgálata számítógépi modellezéssel.
6. A SZED és a SZHAD szabályozási, vezérlési kérdéseinek vizsgálata
7. A SZED és a SZHAD környezeti hatásainak vizsgálata életciklus-elemzéssel (esettanulmányok)
8. A kutatómunka eredményeinek és a projekt keretében beszerzésre kerülő programok, laboratóriumi desztilláló eszközök felhasználása az oktatás fejlesztésére.

### III. A szerződésben vállaltak teljesítése

A szerződésben vállalt témakörök mindegyikében sikerült lényegesen előre lépni. Az 1.-5. és 7. pontokat illetően rangos publikációk is születtek. A 6. pontbeli feladatok végrehajtását is elkezdtek (különböző szakaszos desztilláló konfigurációk szabályozásának szimulációja professzionális folyamatszimulátorral), de abban a SZED és SZHAD vonatkozásában még nem értünk el publikálható eredményeket (ellentétben a szakaszos kétnyomású desztillációval).

Ugyanakkor több olyan, a projekt céljának teljes mértékben megfelelő témában is értékes eredményeket sikerült produkálni, amely a munkatervben nem szerepelt, nevezetesen:

- A SZHAD optimalizálása.
- A SZHAD különböző konfigurációinak vizsgálata.
- A szakaszos kétnyomású desztilláció lehetséges konfigurációinak vizsgálata.
- A szakaszos kétnyomású desztilláció szabályozásának vizsgálata.

(Megjegyezzük még, hogy a projekt egy évi költségvetésének 10 %-a 2005-ben elvonásra került.)

### IV. A kidolgozott elméletek, módszerek, eljárások

A projekt keretében az alábbi fontosabb új módszereket, eljárásokat dolgoztuk ki:

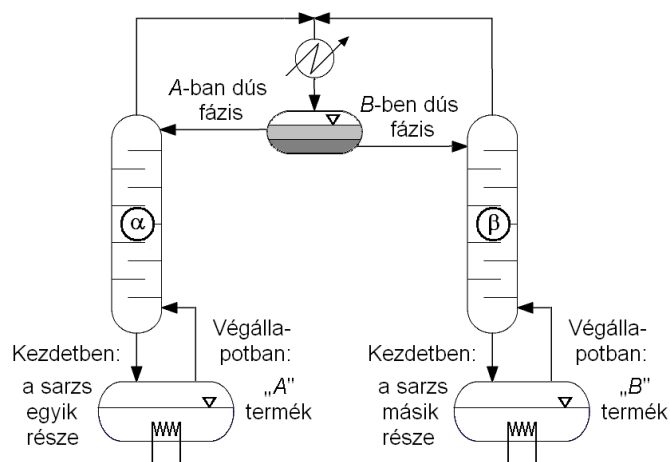
1. Általánosított módszer a SZHAD maradékgörbéinek és desztillációs tartományainak meghatározására.
2. Új kétkolonnás rendszer a SZHAD megvalósítására.
3. Módszer a szakaszos extraktív desztilláció (SZED) hibrid változatának (abszorpció + desztilláció) megvalósíthatósági vizsgálatára.
4. Új konfigurációk a szakaszos kétnyomású desztilláció megvalósítására
5. Eljárás a maximális forrpontú azeotropok SZED-val középső tartályos oszlopban történő elválasztására

IV.1 Általánosított módszer a szakaszos heteroazeotrop desztilláció (SZHAD) maradékgörbéinek és desztillációs tartományainak meghatározására [8].

A korábbi (Pham-Doherty) módszer nem volt alkalmas annak (a gyakorlat szempontjából fontos) esetnek a kezelésére, amikor a desztillátum-elvétel csak az egyik (pl. ágensben szegény) folyadékfázisból történik. Helytelen eredményt adott a szakaszos desztillációs tartományokra is minden olyan esetben, amikor a reflux és a desztillátum összetétele eltérő. Új módszerünk szerint, mely a Pham-Doherty módszer kiterjesztése, a heterogén kondenzátum bármelyik folyadékfázisának bármilyen hányada elvehető desztillátumként (ill. refluxálható). Az eredményeket többek között a legrangosabb európai szaklapban (*Chem. Eng. Sci.*) is közöltük.

#### IV.2. Új kétkolonnás rendszer a szakaszos heteroazeotrop desztilláció (SZHAD) megvalósítására [1].

Eddig a szakaszos heteroazeotrop desztillációt (SZHAD) az iparban kizárólag -dekanterrel felszerelt- szakaszos rektifikálóban (SZR) valósították meg. Ez a konfiguráció nyílt üzemmódú, azaz a desztillátum elvétele folyamatos. Az INP Toulouse egyetem munkatársaival együttműködve egy új, kétoszlopos rendszert (KOR, 1. ábra) javasoltunk a SZHAD-ra.



1. ábra: A kétoszlopos rendszer működése binér elegy esetén

Ez a konfiguráció zárt üzemmódban működik, azaz a gyártás közben nincs anyagelvétel a berendezésből. Míg a SZR esetében két műveleti lépésre van szükség (2.a ábra), addig a KOR-rel való gyártás csak egy lépésből áll, ami azt jelenti, hogy a termékeket egyszerre kapjuk meg (2.b ábra), külön-külön az egyes üstökben.

A KOR működését először megvalósíthatósági vizsgálatokkal (egyszerűsített modellt alkalmazva), majd a sokkal kevesebb egyszerűsítő feltételen alapuló részletes modellezéssel vizsgáltuk, és hasonlítottuk össze a SZR működésével. A megvalósíthatósági vizsgálat során a rendszer elemeire felírt anyag-mérlegegyenleteket, míg a részletes modellezés során a ChemCAD 6 professzionális folyamatszimulátor CC-DCOLUMN dinamikus szimulátor moduljával az anyag- és hőmérlegeket, a fázisegyensúlyokat leíró egyenleteket, az összegzési egyenleteket stb. oldottuk meg.

Célunk – a folyamat megvalósíthatóságának igazolása mellett – mindkét esetben első sorban a műveleti idő és a termékek, valamint a melléktermékek mennyiségének megállapítása volt.

A vizsgálatokhoz (eleinte) használt folyadékelegyek:

- binér elegy: 1-butanol – víz heteroazeotrop elegy (3 különböző összetételre),
- terner elegy: 2-propanol – víz + benzol.

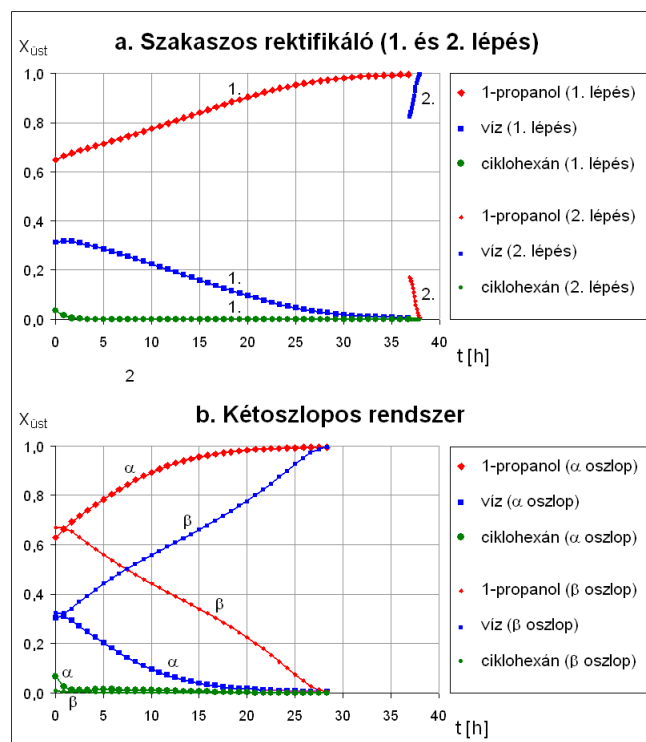
(A benzol helyett később a 2-propanol – víz elegy homoazeotrop szétválasztására a kevésbé veszélyes ciklohexánt alkalmaztuk hordozóként („entrainer”).)

Mindkét vizsgálat megmutatta, hogy a KOR-rel a vizsgált szétválasztások megvalósíthatók, ráadásul hatékonyabban, mint a SZR-val, különösen a terner elegyek esetén:

- rövidebb üzemidő (I. benzol esetén: 8%-kal, II. ciklohexán esetén: 25%-kal)
- nagyobb 2-propanol kinyerés (I.: 6%-kal, II: 17%-kal)
- kevesebb melléktermék (I.: 21%-kal, II.: 38%-kal)

A binér elegy esetében mindkét konfiguráció közel azonos teljesítményre volt képes.

A 2. ábrán a termékek szekvenciális (SZR) és szimultán (KOR) gyártása mellett látható, hogy az 2-propanol – víz – ciklohexán elegyre a művelet a KOR-rel jóval rövidebb ideig tart.



2. ábra: Az üst(ök)ben lévő folyadékok összetételének időbeni változása a. SZR, b. KOR (2-propanol – víz + ciklohexán)

A KOR legfőbb előnye, hogy működése során kevesebb melléktermék képződik, és hogy egyszerűbben működtethető, mivel csak egy lépésből áll a művelet. E tulajdonságai miatt a konfigurációt további vizsgálatokra alkalmasnak tartjuk, és működését szándékunkban áll kísérleti úton is tanulmányozni.

Az eddig elért eredményeket többek között az egyik rangos európai szaklapban (*Computers & Chemical Engineering*) is közzétük.

#### IV.3 Új módszer a szakaszos extraktív desztilláció (SZED) hibrid változatának (abszorpció + desztilláció) megvalósíthatósági vizsgálatára [7]

Korábban a SZED megvalósíthatóságának vizsgálatára kidolgozott módszerünket továbbfejlesztettük, alkalmassá téve a SZED hibrid változatának vizsgálatára, amelyet az egyik legutóbbi, igen széles körben elterjedt szakkönyvben (Stichlmair-Fair: Distillation) is ajánlanak (az általunk korábban kidolgozott SZED eljárás helyett).

A hibrid SZED művelet kritikus, az A-B minimális forrponú azeotrop komponenseit -ágens alkalmazásával- szétválasztó lépésében az oszlop reflux nélkül, abszorpciós oszlopként

üzemel. A szétválasztó ágenszt (szolvenst) az oszlop tetejére erősen túlhűtött állapotban vezetik be. Továbbfejlesztett megvalósíthatósági módszerünk már lehetővé teszi a szolvensbetáplálás (és SZED esetén a reflux) hőállapotának változtatását is. Meghatároztuk a hibrid művelet két legfontosabb paraméterének (szolvens-betáplálás árama ( $F$ ) és hőállapota ( $q$ )) lehetséges szélső értékeit ( $F_{min}$ ,  $F_{max}$ ,  $q_{min}$ ,  $q_{max}$ ), valamint a műveleti paraméterek adott értéke mellett elérhető maximális desztillátum-tisztaságot ( $x_{D,A,max}$ ). Megállapítottuk, hogy a hibrid művelet a SZED egy speciális esetének tekinthető, szabadsági foka kisebb. A hibrid műveletet a SZED-val részletes modellezéssel is összehasonlítva igazoltuk, hogy az csak abban az esetben lehet a SZED-val versenyképes, ha a kinyerni kívánt A komponens és a szolvens ( $E$ ) között az illékonyságkülönbség igen nagy, valamint az A komponens  $E$ -tartalmára vonatkozóan nincs szigorú követelmény. Az eredményeket többek között a legrangosabb európai szaklapban (*Chem. Eng. Sci.*) is közzeltük.

#### IV.4. Új konfigurációk a szakaszos kétnyomású desztilláció megvalósítására [5,3]

A nyomás-érzékeny azeotropok nyomásváltó desztillációval (NYVD) szétválasztó ágens alkalmazása nélkül elválasztását teszi lehetővé. A NYVD szakaszos megvalósítási lehetőségeit kutatva először a már ismert szakaszos rektifikáló (SZR) és szakaszos sztripper (SZSZ), majd a középső tartályos oszlop (KTO, "middle vessel column") konfigurációkat vizsgáltuk meg. A megvalósíthatósági vizsgálatok eredményeként megállapítottuk, hogy

- Az SZR és SZSZ konfigurációk alkalmazása esetén egy sarzs feldolgozása több lépést és többszöri nyomásváltást igényel.

- A KTO nem alkalmas a szakaszos NYVD céljaira.

Végül két új konfigurációt javasoltunk: a dupla oszlopos szakaszos rektifikálót (DOSZR) és a dupla oszlopos szakaszos sztripper (DOSZSZ), melyeknek számos előnyük van az ismert konfigurációkhoz képest:

- Az A/B szétválasztás egyetlen gyártási lépéssel lehetséges.

- Nincs szükség (időbeni) nyomásváltásra.

- Mindkét oszlop közel állandósult állapotban üzemeltethető

- A két oszlop termikusan csatlakozhat.

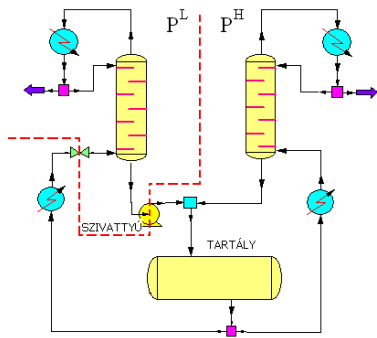
A két kolonna méretei (átmérő, tányérszám) különbözőek lehetnek (rugalmasság)

##### *Dupla oszlopos szakaszos rektifikáló maximális forrponú azeotropokra*

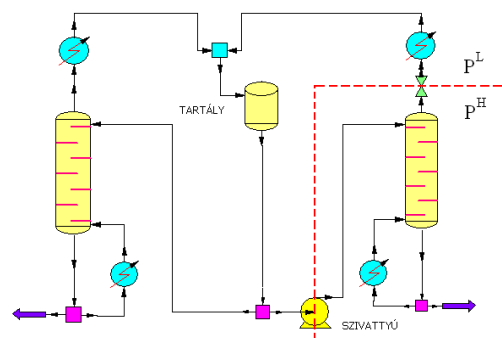
A két rektifikáló oszloprészből (3. ábra) lecsorgó folyadékáramokat a magasabb nyomáson ( $P^H$ ) üzemelő alsó, közös tartályban keverjük össze. Az alacsonyabb nyomáson ( $P^L$ ) üzemelő kolonnából érkező folyadékot szivattyú juttatja a tartályba. A tartályt elhagyó folyadékot két részre osztjuk. Az alacsonyabb nyomású ágban elég csak részlegesen elpárologtatni a folyadékot, mivel a szelep miatti nyomásesés biztosítja a további (teljes) elpárologtatást. A nagy nyomású ágban totális elpárologtató van. Maximális forrponú azeotrop esetében a fejtermékek tiszta komponensek lehetnek.

##### *Dupla oszlopos szakaszos sztripper minimális forrponú azeotropokra*

A két sztrippellő oszloprészből távozó gőz kondenzátuma az alacsonyabb nyomáson üzemelő közös felső tartályban keveredik össze (4. ábra). A magasabb nyomáson üzemelő kolonnából érkező feiggőz nyomását a kondenzátor előtt egy szeleppel csökkentjük le. A tartályt elhagyó folyadékot két részre osztjuk szét. A magasabb nyomású kolonna refluxát szivattyú segítségével juttatjuk az oszlopba (a reflux mindig túlhűtött folyadék). Mindkét oszloprész alatt egy folyadék-elosztó és egy totális elpárologtató található. Minimális forrponú azeotrop esetén a fenéktermékek tiszta komponensek lehetnek.



3. ábra Dupla oszlopos szakaszos rektifikáló



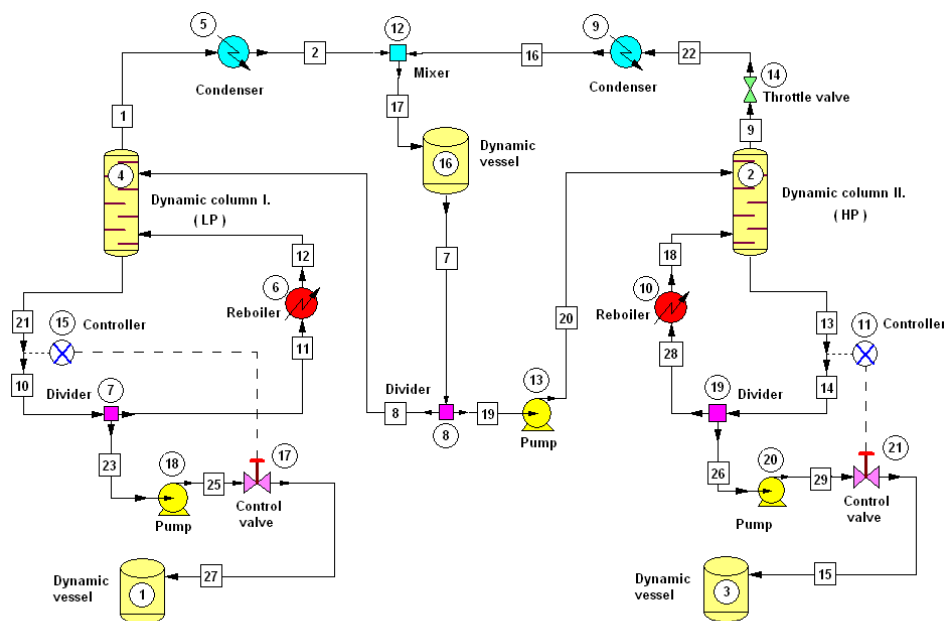
4. ábra Dupla oszlopos szakaszos sztripper

Mindkét konfiguráció esetén termékként tiszta komponens csak akkor gyártható, ha a közös tartálybeli folyadék összetétele a két azeotrop pont közé esik. Részletes modellezéssel megállapítottuk, hogy a két új konfiguráció fajlagos energiaszükséglete kisebb lehet, mint a SZR ill. a SZSZ konfigurációké.

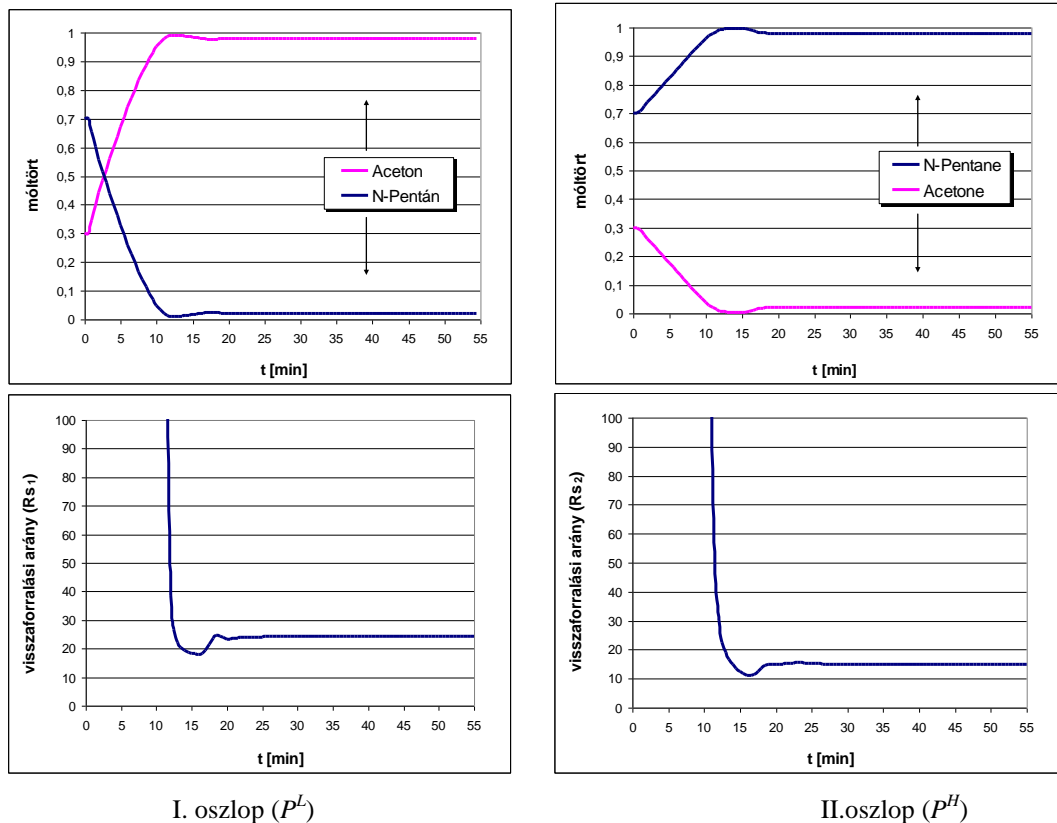
#### Az új konfigurációk működtetése és szabályozása

Az új konfigurációk helyes működéséhez a két oszlopból távozó *A* és *B* komponensek arányát kell megfelelően beállítanunk. Adott terméktisztasági követelmények mellett ez a termékáramok arányának megfelelő beállítását igényli, amit a reflux (DOSZR)- ill. visszaforralási (DOSZSZ) arányok, illetve közös tartályt elhagyó folyadékáram két oszlop közötti elosztási arányával befolyásolhatunk.

Egyszerű szabályozási sémát javasoltunk, melyet a DOSZSZ konfigurációra vizsgáltunk meg (5. ábra). A két oszlop termékének összetételét szabályozzuk (pl. hőmérséklet szabályozással), a visszaforralási arányok változtatása révén, ami a termékek áramába való beavatkozással valósul meg. Az alkalmazott PID szabályozókat behangoltuk, hogy azok - az előírt terméktisztaságok (pl. 98 mol%) mellett- stabil és jó minőségű szabályozást (maximális túllendülés, lengések száma, szabályozási idő) biztosítsanak a teljes elosztási arány tartományon belül. A 6. ábrán látható, hogy mindkét oszlop termékének tisztasága a végtelen visszaforralási arányok melletti felfutási szakasz (hossza kb. 10 perc) után elfogadható időn belül az előírt értéken stabilizálódik.



5. ábra A szabályozott DOSZSZ CHEMCAD modellje



6. ábra A termékösszetételek és visszaforralási arányok időbeni változása

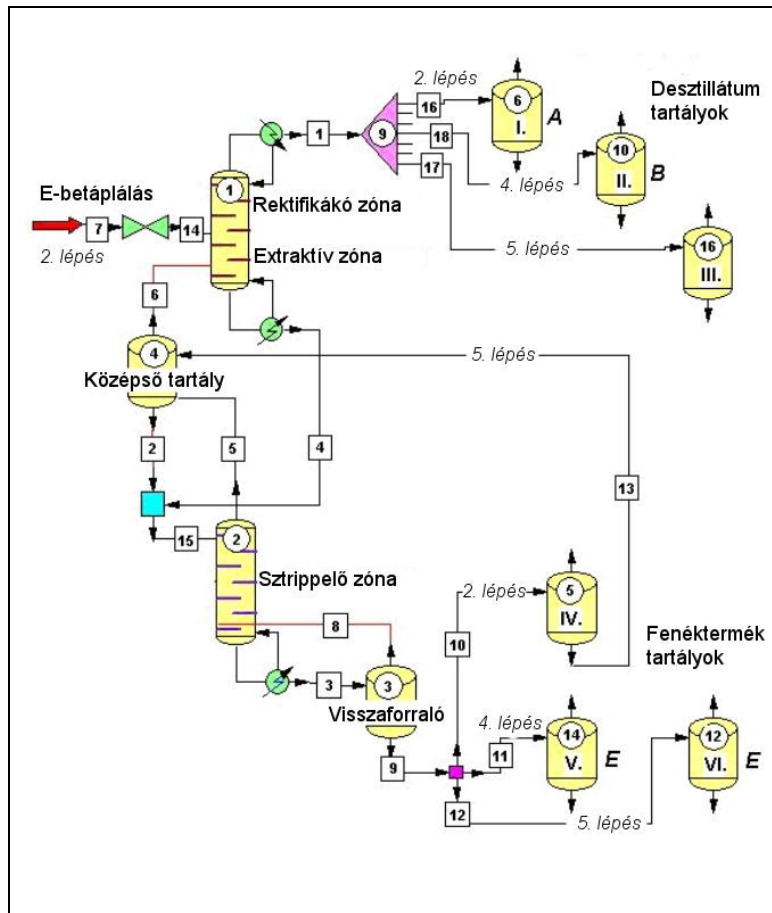
#### IV.5. Eljárás a maximális forrpointú azeotropok SZED-val közepső tartályos oszlopban (KTO) történő elválasztására [9]

Előbb egy minimális, majd egy maximális forrpointú azeotrop elegy a KTO folyadék by-pass változatában történő szétválasztását tanulmányoztuk, és az eredményeket összehasonlítottuk a szakaszos rektifikálóval kapottakkal. A vizsgálatokhoz a ChemCad dinamikus szimulátorát használva létrehoztuk a KTO modellt, melyet a maximális forrpointú acetone (A) – kloroform (B) + toluolt (E) azeotrop elegy szétválasztására a 7. ábra mutat.

A teljes szétválasztási ciklusra meghatároztuk a szétválasztás lépéseit. Egy ciklus az A és B komponensek előírt tisztaságban történő gyártását és a szolvens regenerálását tartalmazza. A maximális forrpointú azeotrop elegy SZED szétválasztásának lépései SZR-ra és KTO-ra:

0. Kis mennyiségű szolvens (E) hozzáadása az azeotrop sarzshoz.
1. Felfűtés termékélvétel és E-adagolás nélkül ( $R=\infty$ ,  $F=0$  és KTO esetén  $R_S=\infty$ ).
2. A-gyártás a desztillátumban folyamatos E-betáplálás mellett és folyamatos fenéktermék elvétellel ( $L_{MV}\approx D$ ,  $W=F$ ).
3. A desztillátum tisztítása  $R=\infty$  és  $F=0$  mellett ( $L_{MV}=0$ ,  $W=0$ ).
4. B-gyártás (a desztillátumban)  $R<\infty$  és  $F=0$  mellett ( $L_{MV}\approx D+W$ ).
5. A és B eltávolítása közbenső párlatként csökkentett R és  $F=0$  mellett.

(R – refluxarány,  $R_S$  – visszaforralási arány, F – szolvensbetáplálás árama,  $L_{MV}$  – a közepső tartányból kilépő folyadék árama, W – fenéktermék árama).



7. ábra. A KTO folyadék by-pass változatának modellje max. forrponú azeotrop elegy szétválasztására

## V. Az elért eredmények ismertetése

A projekt ideje alatt összesen 51 publikáció, dolgozat, előadás született (lásd Melléklet). Ezek között van 5 db cikk a szakterületünkön legrangosabb, magas impakt faktorú európai folyóiratokban. A témavezető megvédte akadémiai doktori értekezését (91 %-os eredménnyel). Emellett megvédésre került két PhD dolgozat (100 ill. 90 %-os eredménnyel). Készült 3 db kari I. és összesen 3 db II. ill. III. díjas TDK-dolgozat, valamint 11 cikk rangos külföldi konferenciák kiadványában.

Jelenleg folyik még két PhD munka, az egyik nemzetközi együttműködés keretében. Az utóbbin dolgozó PhD hallgató részére sikerült 3 hónapos franciaországi ösztöndíjat szerezni (kinti forrásból). A projekt ideje alatt 4 fiatal résztvevőnek sikerült rangos külföldi konferenciákon szóbeli előadási lehetőséget biztosítani. 2009. szeptemberben egy újabb PhD hallgató kezdte meg a munkát.

A projekt időszakára esett a szakaszos extraktív desztilláció második hazai ipari alkalmazása a Richter Gedeon Rt dorogi gyáregységében (aceton gyártások 2005-ben).

A témavezető meghívást kapott az EFCE „Fluid Separations” munkabizottságba és a rangos 4 évenként megrendezendő Distillation & Absorption világkonferenciák (London, 2006 ill. Eindhoven, 2010) tudományos bizottságába is.

A témavezető ipari partnereivel környezetvédelmi célú, oldószer-regenerálás témájú GVOP-AKF projektet nyert (2005-2007), amely tanszékén lényegesen javította a kísérleti feltételeket.

## **VI. Hivatkozások**

Szakaszos extraktív desztillációs kutatásainkra eddig (saját hivatkozások nélkül, főleg rangos angolszász folyóiratokban) 160 hivatkozást kaptunk 1995-től kezdve.

## **VII. A kutatási téma további lehetséges főbb irányai:**

1. Az új SZHAD konfiguráció kísérleti igazolása és vizsgálata nemzetközi együttműködés keretében
2. Az új nyomásváltó szakaszos desztillációs konfigurációk kísérleti igazolása és vizsgálata nemzetközi együttműködés keretében
3. Az új konfigurációk működési és szabályozási kérdéseinek további vizsgálata

## **VIII. Az eredmények hasznosításának lehetőségei**

A szakaszos extraktív desztillációs kutatások eredményeit a Richter Gedeon Rt dorogi gyáregységében (aceton gyártások 2005-ben) hasznosították is. Ugyanitt 2007-ben eljárást dolgoztunk ki, és sikeres laboratóriumi kísérleteket folytattunk THF 5 komponensű elegyből SZED-val ill. hibrid művelettel történő visszanyerésére is. Az eredmények további hasznosítása e műveletek újabb ipari alkalmazása során lehetséges. Erre az oldószervisszanyeréssel (is) foglalkozó ipari partnereinknél (Palota Kft., Egis, Richter Dorog) jó esélyt látunk.

## **IX. A kutatás megvalósításához kapott további támogatás**

A fiatalok külföldi konferenciákon és nyári egyetemen való részvételéhez elnyertünk Mecenatúra (összesen 1610 eFt), Magyar Kémikusok Egyesülete (150 eFt) és kari (50 eFt) támogatást. A 2005 és 2007 között futó GVOP-AKF projekt nagymértékben segítette a munka anyagi (pl. a témavezető részvétele külföldi konferenciákon) és kísérleti feltételeit.



## MELLÉKLET

### A projekt keretében született publikációk listája

#### a. Cikk nemzetközi folyóiratban:

1. Denes F., P. Lang, G. Modla, X. Joulia, New double column system for heteroazeotropic batch distillation, *Computers & Chemical Engineering*, 33 (2009), 1631-1643, IF:1,75
2. Denes F., P. Lang, X. Joulia, Heteroazeotropic batch distillation in a new double-column system, *Chemical Engineering Transactions*, 18, 713-718, (2009) ISBN 978-88-95608-04-4
3. Kopasz A., G. Modla, P. Lang, Operation and Control of a New Pressure Swing Batch Distillation System, *Chemical Engineering Transactions*, 18, 707-712, (2009)
4. Modla G., P. Lang, Separation of a ternary homoazeotropic mixture by pressure swing batch distillation, *Hungarian Journal of Industrial Chemistry*, Vol. 36 (1-2), pp. 89-94 (2008).
5. Modla G, Lang P: Feasibility of new pressure swing batch distillation methods, *Chem. Eng. Sci*, 63(11) 2856-2874 (2008).
6. Pommier S., S. Masseur, B. Kotai, P. Lang, O. Baudouin and V. Gerbaud, Heterogeneous Batch Distillation Processes: Real System Optimisation, *Chem. Eng. Proc.*, 47 (3), 408-419 (2008).
7. Kotai B., P. Lang, G. Modla: Batch Extractive Distillation as a Hybrid Process: Separation of Minimum Boiling Azeotropes, *Chem. Eng. Sci.*, 62, 6816-6826 (2007).
8. Lang P., G. Modla, Generalised method for the determination of heterogeneous batch distillation regions, *Chem. Eng. Sci.*, 61, 4262-4270 (2006).
9. Kotai B., P. Lang, „Separation of maximum azeotropes in a middle vessel column”, *Chem. Engng. Transactions*, Vol. 7, 333-338 (2005).
10. Lang P., G. Modla, „Generalised method for the calculation of the residue curves of batch heteroazeotropic distillation”, *Chem. Engng. Transactions*, Vol. 7, p. 681-686 (2005).

#### b. Értekezések:

1. Láng Péter: „Szakaszos extraktív desztilláció vizsgálata kísérletekkel és számításokkal”, MTA doktori értekezés, védés: 2005.jún. 30.
2. Modla Gábor: „Erősen nem-ideális elegyek elválasztása szakaszos heteroazeotróp rektifikálással”, PhD értekezés, védés: 2005 ápr. 26.
3. Kótai Barnabás: „Szakaszos extraktív és azeotrop desztilláció optimális tervezése”, PhD értekezés, 2009. febr. 11.

#### c. Cikk (fejezetek) konferenciakiadványokban

1. Kopasz A., G. Modla, P. Lang, Operation and Composition Control of a New Pressure Swing Batch Distillation System, PSE2009, Salvador-Bahia, 2009, 6 o. CD-n
2. G. Modla, A. Kopasz, P. Lang, Feasibility of separation of ternary mixtures by pressure swing batch distillation, PSE2009, Salvador-Bahia, 2009, 6 o. CD-n
3. Hégyes L., P. Láng: Investigation of Non-conventional Batch Distillation Column Configurations, Conference of Chemical Engineering '09, p. 123-128, Veszprém, 2009 ápr. 21-23., ISBN 978-963-9696-68-6
4. Kopasz A., G. Modla, P. Lang: Új kétszlopos szakaszos nyomásváltó rektifikáló rendszer üzemeltetése és szabályozása, Műszaki Kémiai Napok '09, p. 129-134, Veszprém, 2009 ápr. 21-23., ISBN 978-963-9696-68-6
5. Modla G., Láng P., Kopasz Á., Ternér elegyek szakaszos nyomásváltó desztillációs elválaszthatóságának vizsgálata, Műszaki Kémiai Napok '09, p. 143-149, Veszprém, 2009 ápr. 21-23., ISBN 978-963-9696-68-6

6. Lang P., F. Denes, X. Joulia: New Configuration for Heteroazeotropic Batch Distillation: I. Feasibility Studies, ESCAPE 18, Computer-Aided Chemical Engineering, 25, 115-120, ISBN 978 0 444 53227 5, ISSN 1570 7946 (2008)
7. Denes F., P. Lang, G. Modla, X. Joulia: New Configuration for Heteroazeotropic Batch Distillation: II. Rigorous Simulation Results, ESCAPE 18, Computer-Aided Chemical Engineering, 25, ISBN 978 0 444 53228 2, 6 oldal CD-n (2008)
8. Modla G., P. Lang P., A. Kopasz: Entrainer selection for pressure swing batch distillation, ESCAPE 18, Computer-Aided Chemical Engineering, 25, ISBN 978 0 444 53228 2, 6 oldal CD-n (2008)
9. Lang P., F. Denes, X. Joulia: New Configuration for Heteroazeotropic Batch Distillation: I. Feasibility Studies, Gépészet 2008, ISBN 978-963-420-947-8, *12 oldal CD-n* (2008).
10. Denes F., P. Lang, G. Modla: New Configuration for Heteroazeotropic Batch Distillation: II. Rigorous Simulation Results, Gépészet 2008, ISBN 978-963-420-947-8, *8 oldal CD-n* (2008).
11. Kopasz A., Modla G., Lang P., Simulation of a new pressure swing batch distillation system, Gépészet 2008, ISBN 978-963-420-947-8, *10 oldal CD-n* (2008)
12. Láng Péter, Dénes Ferenc, Xavier Joulia, Új szakaszos heteroazeotróp desztillációs konfiguráció megvalósíthatósági vizsgálata, Műszaki Kémiai Napok '08, Veszprém, ápr. 22-24, ISBN 978-963-9696-36-5, 77-83 (2008).
13. Láng Péter, Dénes Ferenc, Modla Gábor, Új szakaszos heteroazeotrop rektifikáló rendszer vizsgálata részletes modellezéssel, Műszaki Kémiai Napok '08, 312-318 (2008).
14. Modla Gábor, Láng Péter, Azeotropokat tartalmazó terner elegy elválasztása szakaszos nyomásváltó desztillációval, Műszaki Kémiai Napok '08, 71-76(2008).
15. Modla G., P. Lang: New column configurations for pressure swing batch distillation: I. Feasibility studies, DYCOPS2007, 105-110,.
16. Modla G., P. Lang: New column configurations for pressure swing batch distillation: II. Rigorous simulation calculations, DYCOPS2007, 361-366.
17. Modla G., Láng P., Kopasz Á.: Új kolonnakonfigurációk szakaszos nyomásváltó desztillációra. I. Megvalósíthatósági vizsgálatok, MKN'07, 338-345, ISBN 978-963-9696-15-0 (2007).
18. Modla G., Láng P., Kopasz Á.: Új kolonnakonfigurációk szakaszos nyomásváltó desztillációra. II. Részletes modellezési eredmények. MKN'07, 346-352 (2007).
19. Láng P, Kovács Gy, Kótai B, Gaálné Szilágyi J., Modla G., Vattamány A.: Új szakaszos extraktív desztillációs üzemviteli mód ipari alkalmazása, MKN'07, 353-358 (2007).
20. Kotai B., P. Lang, T. Balazs: Separation of Maximum Azeotropes in a Middle Vessel Column, *IChemE Symposium Series*, No. 152, 699-708, ISBN-10 0 85295 505 7, ISBN-13 978 0 85295 505 5 (2006).
21. Modla G. and P. Lang: New method for the determination of batch heteroazeotropic distillation regions, *IChemE Symposium Series*, No. 152, 440-449, ISBN-10 0 85295 505 7, ISBN-13 978 0 85295 505 7 (2006).
22. Lang P., Gy. Kovacs, B. Kotai, J. Gaal-Szilagyi, G. Modla: Industrial application of a new batch extractive distillation operational policy. *IChemE Symposium Series*, No. 152, 830-839, ISBN-10 0 85295 505 7, ISBN-13 978 0 85295 505 7 (2006).
23. Denes F., P. Lang, M. Lang-Lazi: Liquid-liquid-liquid equilibrium flash calculations, *IChemE Symposium Series*, No. 152, 877-890, ISBN-10 0 85295 505 7 (2006).

24. Lang P., G. Modla G, B. Kotai: Recovery of a Halogenated Hydrocarbon by Heterogeneous Batch Distillation, *Proceedings of 5-th Conference on Mechanical Engineering, BME OMIKK, ISBN 963 593 465 3*, 6 oldal CD-n (2006).
25. Kotai B., P. Lang, T. Balazs: Separation of Maximum Azeotropes in a Middle Vessel Column, *Proceedings of 5-th Conference on Mechanical Engineering, BME OMIKK, ISBN 963 593 465 3*, 6 oldal CD-n (2006).
26. Lang P., Gy. Kovacs, B. Kotai, J. Gaal-Szilagyi, G. Modla: Industrial application of a new batch extractive distillation operational policy, *Proceedings of 5-th Conference on Mechanical Engineering, BME OMIKK, ISBN 963 593 465 3*, 6 oldal CD-n (2006).

**d. Cikk hazai folyóiratban**

1. Brindza Zs., Pátzay Gy., Láng P.: Hulladék oldószerek kezelési módszereinek összehasonlítása- az életciklus elemzés, *Magyar Kémikusok Lapja*, 62, 177-185 (2007)

**d. Előadás belföldi konferencián:**

1. Dénes F., Láng-Lázi M., Láng P., Multiphase equilibrium flash calculations, 10th International Workshop on Chemical Engineering and Mathematics, Budapest, 2005. augusztus 19. (szóbeli)

**e. Előadások külföldi konferencián:**

1. Denes F., P. Lang, X. Joulia, Heteroazeotropic batch distillation in a new double-column system, PRES'09 Roma (szóbeli)
2. Kopasz A., G. Modla, P. Lang, Operation and Control of a New Pressure Swing Batch Distillation System, PRES'09 Roma (szóbeli)
3. Lang P., G. Modla, Generalised method for the calculation of the residue curves of batch heteroazeotropic distillation, PRES'05, Giardini di Naxos, Italy, May 15-18 (szóbeli ea.)
4. Kotai B., P. Lang, Separation of maximum azeotropes in a middle vessel column, (at PRES'05, Giardini di Naxos, Italy, May 15-18, (poszter)

**f. Tudományos diákköri dolgozatok**

1. Dénes Ferenc: Folyadék-folyadék-folyadék fázisegyensúlyi számítások, 2005 (kari I. díj)
2. Vattamány Attila: Új szakaszos extraktív desztillációs üzemviteli mód ipari alkalmazásának vizsgálata szimulációval, 2006 (kari I. díj)
3. Dénes Ferenc: Egyensúlyi számítások három folyadékfázist képező elegyekre, 2006 (kari II. díj)
4. Hégyes László: Új szakaszos desztilláló oszlop konfiguráció vizsgálata szimulációval, 2007 (kari III. díj)
5. Hégyes László: Nem-hagyományos szakaszos desztilláló oszlopkonfigurációk vizsgálata szimulációval, 2008 (kari I. díj)
6. Hégyes László: Metanol visszanyerés kapacitásnövelése, 2008 (kari III. díj)