

Új kétoszlopos szakaszos nyomásváltó rektifikáló rendszer üzemeltetése és szabályzása

Operation and Control of a New PSBD System

Kopasz Á., Modla G., Láng P.

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszék

Abstract

When operating the DCBS (and DCBR) configuration(s) the liquid composition of the common vessel of the two columns must be kept between the two azeotropic compositions with affecting the flow rates of the two products. These can be varied by changing the reboil ratio and/or ratio of division of the liquid flow leaving the common vessel.

The goals of this paper:

- to propose and study a simple control scheme with PID parameters (providing good quality of control) for the new configuration,
- investigation of the influence of the liquid division ratio,
- determination of optimal value of liquid division ratio (providing the prescribed separation with minimal specific energy consumption).

The

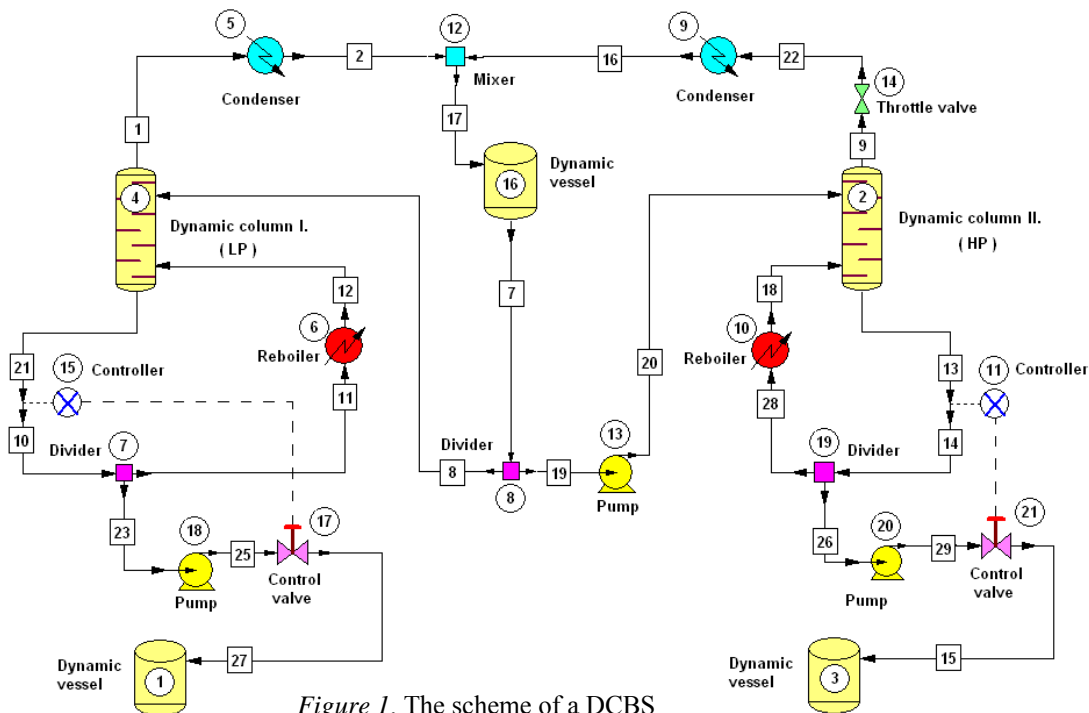


Figure 1. The scheme of a DCBS

calculations were made for a minimum (n-pentane - acetone) azeotropic mixture by using a professional dynamic simulator (CCDCOLUMN). By the aid of a PID controller we modified the flow rate of the bottom products (affecting the reboil ratios of the columns). We investigated the action of the control loops and the system for two different set points. In the first case the composition of the bottom products, in the second one – most common in the industry- the bottom temperatures were kept constant.

Keywords: batch rectification, pressure swing, minimum azeotrope, composition control

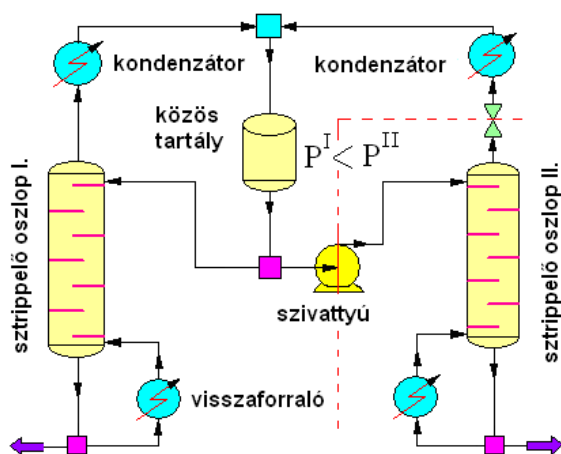
1. Bevezetés

Azeotropot képező komponensek (*A* és *B*) szétválasztásához valamilyen speciális desztillációs eljárást kell alkalmaznunk. A nyomásváltó (NYVD) desztillációt, amely nyomásérzékeny azeotropok szétválasztó ágens alkalmazása nélküli elválasztását teszi lehetővé, először Lewis [2] javasolta 1928-ban, folyamatos üzemmódban. 2000-ben Phimister és Seider vizsgálta először a nyomásváltó desztilláció szakaszos és félfolyamatos megvalósítását, szimulációval. A NYVD szakaszos alkalmazását vizsgálták Repke és mtársai [5] 2006-ben. Egy minimális forrponútú homoazeotrop elegy (acetonitril-víz) szétválasztását vizsgálták, szakaszos rektifikálás és sztrippelés esetére. Félüzemi mérések és részletes modellező számítások eredményeit közölték.

Modla és munkatársai [3] 2007-ben -maximális szétválasztás feltételezése mellett-, különböző szakaszos oszlop konfigurációkra a NYVD megvalósíthatóságát vizsgálták binér minimális és maximális forrponútú azeotrop elegyek esetére. A különböző nyomásokat egymástól elválaszthatjuk:

- időben, egy oszloprészt (szakaszos rektifikáló és sztrippert), illetve
- térben, két oszloprészt (pl. középső tartályos oszlop (KTO)) alkalmazva.

Megállapították, hogy a KTO nem alkalmas a binér NYVD-ra.



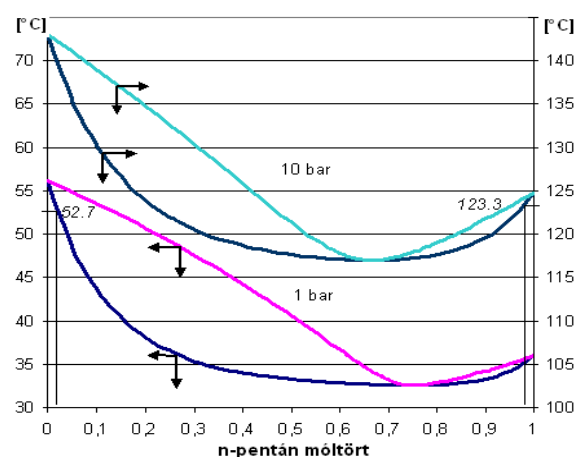
1.ábra A dupla oszlopos szakaszos sztrippert működési vázlatja

Két új konfigurációt is javasoltak: a dupla oszlopos szakaszos rektifikálót (DOSZR) és a dupla oszlopos szakaszos sztrippert (DOSZSZ), melyeknek számos előnyük van: például nincs időbeli nyomásváltás a folyamat során, és mindkét oszlop állandósult állapotban üzemelhet.

A rendszer megfelelő üzemeltetéséhez a közös tartályban lévő elegy összetételét a két különböző nyomáshoz tartozó azeotrop összetétel között kell tartani. Ezt a két fenéktermékáram arányának beállításával lehet biztosítani. A fenéktermékek áramát a visszaforralási arányok, illetve közös tartályt elhagyó folyadékáram két oszlop közötti-elosztási aránya befolyásolja. E munka céljai a következők:

- a duplaoszlopos szakaszos sztrippert (DOSZSZ) működésének vizsgálata egy minimális forrponútú azeotropra,
- egy egyszerű szabályzási séma alkalmazásának vizsgálata, mely biztosítja a követelményeknek megfelelő tisztaságú termék előállítását (összetétel- és hőmérséklet- alapjel vizsgálata),
- az optimális folyadék-elosztási arány meghatározása (minimális energia felhasználás célfüggvény mellett).

Számításainkat egy minimális forrponútú homoazeotrop elegyre végeztük a ChemCad professzionális folyamatszimulátor dinamikus moduljának segítségével (CCDCOLUMN).



2.ábra A n-pentán – aceton elegy T-x,y diagramja

Az egyensúlyi diagramokat és az azeotropok adatait a két különböző nyomáson a 2. ábra ill. az 1. táblázat tartalmazza.

Komp.	pentán(A)	aceton(B)
P [bar]	1.01	10
x_{az}	0.754	0.668
T_{az} [°C]	32.5	116.9
$T_{BP,A}$ [°C]	36.0	124.7
$T_{BP,B}$ [°C]	56.2	142.9

1. táblázat Azeotrop adatok

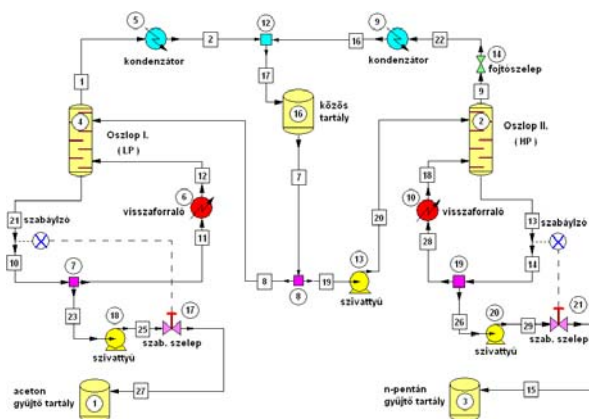
2. A szimulációs módszer

A következő egyszerűsítő feltételeket alkalmaztuk:

- elméleti tányérok,
- állandó térfogatú folyadék hold-up a tányérokon,
- elhanyagolható gőz hold-up.

A megoldandó modell egyenletek jól ismertek:

- nem-lineáris differenciál-egyenletek (anyag- és hőmérlegek),
- algebrai egyenletek (gőz-folyadék (VLE) egyensúlyi egyenletek, összegzési egyenletek, hold-up egyenértékűség, fizikai jellemzők modelljei).



3. ábra A szabályozott DOSZSZ modellje

A számításokhoz a Chemstations (2006, [1]) professzionális folyamatszimulátora dinamikusan modellező részét (CCDCOLUMN) használtuk, a következő modulokat alkalmazva:

- DYNCOLUMN (oszloprészek)
- DYNAMIC VESSEL (közös-, ill. termékgyűjtő tartályok)

-HEAT EXCHANGER, PUMP, VALVE (hőcserélők, szivattyúk, szelepek)

-MIXER, DIVIDER (keverők és elosztók)

- CONTROLLER, CONTROL VALVE

(szabályzók és beavatkozó szelepek)

A 3. ábrán a szabályozott DOSZSZ ChemCad modellje látható.

3. Szimulációs eredmények

Az elméleti tányérok száma minden oszloprészben 40 volt (kondenzátor és visszaforráló nélkül). A hold-up mennyisége $2 \text{ dm}^3/\text{tányér}$, az oszlopok nyomásai: $P^{LP}=1.013 \text{ bar}$ és $P^{HP}=10 \text{ bar}$. A művelet kezdetén a tányérokat forrponthőmérsékletű folyadékkal töltjük fel a sarzsból. A közös tartályt elhagyó folyadék térfogatarama $L_{0, teljes} = L_0^{LP} + L_0^{HP} = 6 \text{ m}^3/\text{h}$. A feldolgozott sarzs mennyisége $4,022 \text{ kmol}$ ($0,471 \text{ m}^3$), melynek 30 mol%-a n-pentán. A termék tisztaságát 98 mol%-nak írtuk elő. A visszaforrálás arányokat (R_s^{LP} és R_s^{HP}) egy PID szabályzó segítségével állítjuk be. E szabályzók a termék elvételi ágakba épített szabályzó szeleppel avatkoznak be a folyamatba, megszabva a termék térfogataramát (W^{LP} ill. W^{HP}). A művelet akkor fejeződik be, amikor a közös tartályban a folyadék mennyisége a kiindulásiénak 12,5%-a alá csökken.

3.1 A PID paraméterek beállítása

Első feladatunk egy olyan szabályozási paraméter készlet (A_p , T_I and T_D) meghatározása volt, mely az előírt terméktisztaságok mellett stabil és jó minőségű szabályozást biztosít a vizsgálni kívánt teljes elosztási arány ($\phi=L_0^{LP}/L_{0, teljes}$) tartományon belül. (Követelményeket írtunk elő a szabályozás minőségére vonatkozóan: maximális túllendülés, lengések száma, szabályzási idő)

A szabályzási követelmények teljesülésénél nem csak a szabályozott jellemzőt, hanem a szelepek állását (%-os nyitás) is figyelembe vettük, mivel a rendszerben lévő holtidő miatt a szelepállás sokkal gyorsabban változik, mint a szabályozott paraméter (hőmérséklet vagy összetétel).

A szabályozás jóságára a következő kritériumokat írtuk elő:

-maximális túllendülés:33 %

-a lengések maximális száma a szabályozási idő (T_s) alatt (± 5 %-os hibahatárral): 3 db

Kétféle szabályozást is vizsgáltunk (ugyanazon szabályzási séma esetén) az alapjeleként megadott paraméter szempontjából. Első vizsgálatunkat úgy végeztük, hogy alapjelként a fenéktermék összetételét vettük, és ennek értékét igyekeztünk a szabályzóköörökkel 98mol%-os tisztaság közelében tartani. Ezek után a fenéktermék 98mol%-os tisztaságához tartozó hőmérsékletet állítottuk be alapjelként. A két szabályozás eltérő dinamikát mutatott, és eltérő PID paraméter beállításokat követelt. (Az összetétel és hőmérséklet közötti kapcsolat nem-lineáris (2. ábra)).

Az alkalmazott PID paraméterek a (2. és 3. táblázatban) és a szabályzás minőségét (4. és 5. táblázat) jellemző értékek az alábbi táblázatokban találhatóak.

	PB, %	T_I , min	T_D , min	Set point
I. oszlop	80	2.5	0	0.982
II. oszlop	50	10	1	0.98

2. táblázat A PID szabályzó paraméterei (összetétel alapjel)

	PB, %	T_I , min	T_D , min	Set point
I. oszlop	45	13	0,5	52,7
II. oszlop	120	3	1	123

3. táblázat A PID szabályzó paraméterei (hőmérséklet alapjel)

	I.oszlop	II.oszlop
Max. túllendülés, %	8	11
T_s , min	20,5	15
Lengések száma	2	1

4. táblázat A szabályozás minősége (összetétel alapjel)

	I.oszlop	II.oszlop
Max. túllendülés, %	33	32
T_s , min	6,75	7,75
Lengések száma	1	1

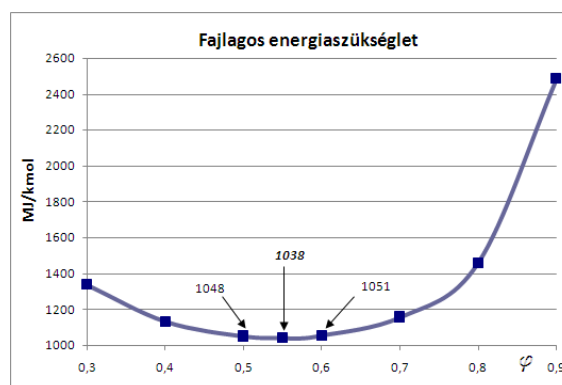
5. táblázat A szabályozás minősége (hőmérséklet alapjel)

3.2 A folyadék elosztási arány hatása

Ezek után megvizsgáltuk elosztás arány (ϕ) változtatásának hatását a folyamatra. ϕ optimális értékét a fajlagos energia felhasználás $(SQ^{LP} + SQ^{HP}) / (SW^{LP} + SW^{HP})$ minimális értéke alapján jelöltük ki. (SQ^{LP} és SQ^{HP} hőmennyiségek értékét a visszaforrálónál történő hőbevitelt és a kondenzátornál történő hőelvonást abszolút értékben összegezve értelmeztük.)

A közös tartályt elhagyó folyadék elosztási arányát 0,3-0,9 tartományban változtattuk 0,1-es lépésközökkel. A fajlagos energia felhasználás minimuma mindkét vizsgált alapjel fajta (összetétel és hőmérséklet alapjel) esetén $\phi=0,55$ esetén adódott.

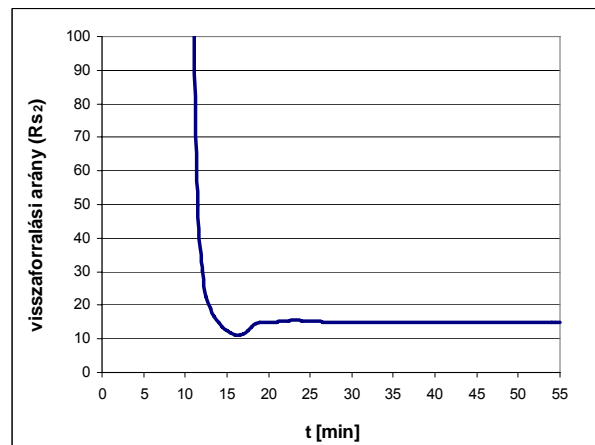
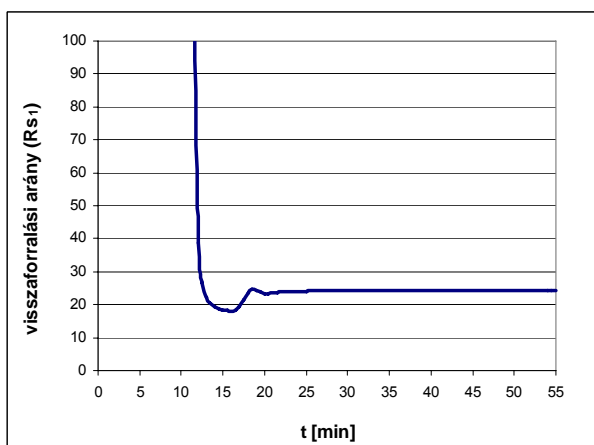
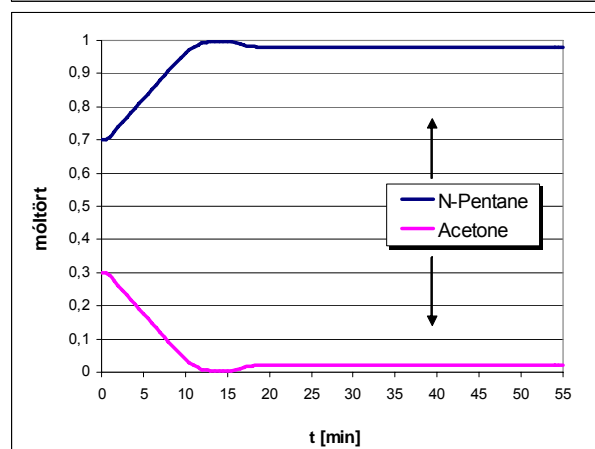
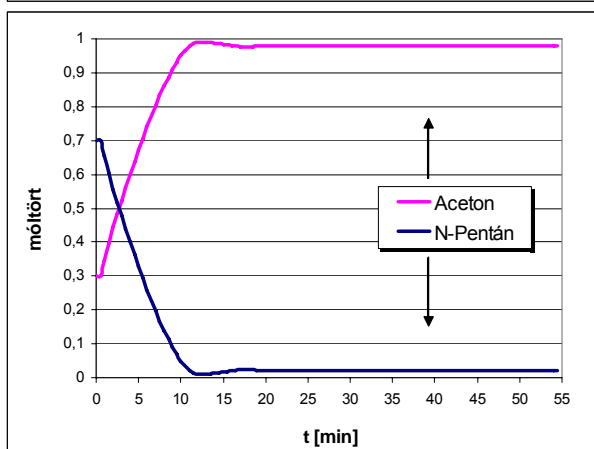
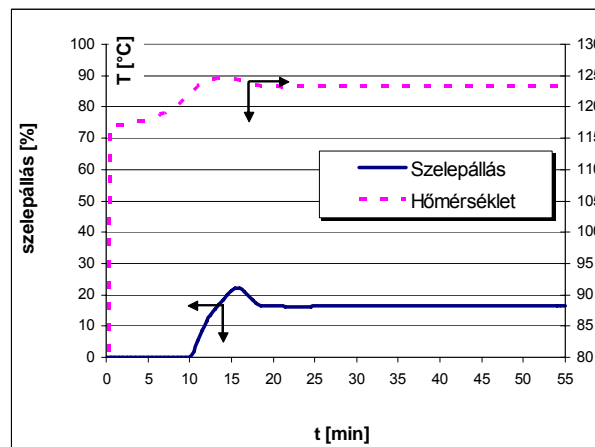
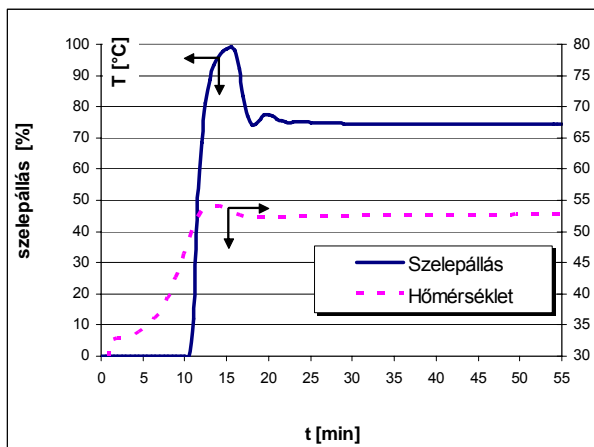
A 4. ábrán látható a fajlagos energiaszükséglet alakulása az elosztási arány függvényében hőmérséklet alapjel esetén.



4. ábra Az elosztási arány hatása a fajlagos energiaszükségletre ($SQ / (SW_A + SW_B)$)

Az előírt terméktisztaságokat sikerült teljesíteni jó kinyerés mellett. A 6. táblázat tartalmazza az optimális ϕ esetére a gyártás legfontosabb jellemzőit (termék tisztaság, kinyerés, energia felhasználás, művelet idő). Meg kell jegyeznünk, hogy a kinyerések növelhetők a közös tartályban maradó mennyiségének (12,5%) csökkentésével.

Vizsgálataink szerint a közös tartályt -a terméktisztaságok megtartása mellett- teljesen le is tudtuk üríteni. Ugyan akkor 12% alatt a szabályzó körök működése instabillá vált. Az 5. ábrán látható a szeleppállások, a fenékhőmérsékletek és fenékösszetételek valamint a visszaforrálási arányok időbeni változása $\phi = 0,55$ esetén.



I. oszlop (LP)

II.oszlop (HP)

5. ábra A szelepállások és a feínhőmérsékletek (a), a feínhősszetételek (b) és a visszaforralási arányok(c) időbeni változása (hőmérséklet alapjel, $\phi = 0,55$).

		összetétel	hőmérséklet
n-pentán kinyerés	%	86,5	75,32
aceton kinyerés	%	79,5	67,54
n-pentán tisztaság	mol %	98,65	98,20
acetone tisztaság	mol %	97,96	98,03
teljes energia szükséglet (SQ)	MJ	3517	3106
fajlagos energia szükséglet SQ/(SW _A + SW _B)	MJ/mol	1019	1038
műveleti idő	min	62,5	54

6.táblázat Fontosabb eredmények

Összefoglalás

Egy minimális forrponú azeotrop elegy (n-pentán – aceton) dupla oszlopos szakaszos sztripperben történő szétválasztását vizsgáltuk szimulációval, a ChemCad professzionális folyamat-szimulátor CCDCOLUMN moduljának alkalmazásával. Meghatároztuk a PID szabályozók egy lehetséges beállítási módját, melynél az előírt terméktisztaságok mellett a szabályzás jóságára előírt követelmények is teljesültek. Megvizsgáltuk a folyadékelosztási arány hatását a folyamatra, és megállapítottuk annak optimális értékét (a fajlagos

energiafelhasználás minimumát keresve). Mindkét vizsgált szabályozási alapjel (termékösszetétel és termék hőmérséklet) esetén hasonló eredményeket kaptunk a minimális energiafelhasználás számszerű értékére nézve.

Irodalom

- [1] Chemstations, "CHEMCAD User Guide" (2006).
- [2] Lewis W. K., "Dehydrating Alcohol and the Like", U.S. Patent, 1,676,700, July 10, (1928).
- [3] Modla G., Láng P., Kopasz Á. Új kolonna konfigurációk nyomásváltó szakaszos desztillációra I. Megvalósíthatósági vizsgálatok, MKN 2007
- [4] Perry R. H., D.W. Green, J.O. Maloney, "Perry's Chemical Engineer's Handbook" Seventh edition, McGraw Hill, New York, (1998)
- [5] Repke J. U., Klein A., Bogle D., Wozny G., "Pressure Swing Batch Distillation for Homogenous Azeotropic Separation", Proceedings of Distillation and Absorption 2006, London, 709-718.

Köszönetnyilvánítás

Munkákat az Országos Tudományos Kutatási Alap (OTKA, T-049184) és a Bolyai János Ösztöndíj Program támogatásával készítettük.