

# A tányérszám hatása szakaszos desztilláció feldolgozó kapacitására egy- és kétkolonnás műveletek esetén

## Influence of number of trays on the processing capacity of batch distillation with a single and two columns

NÉMETH Bence Gábor, Dr. HÉGELY László, egyetemi docens

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszék, Magyarország, H-1111, Budapest, Műegyetem rkp. 3., +3614632633, [benceanemeth@gmail.com](mailto:benceanemeth@gmail.com), [hegely.laszlo@gpk.bme.hu](mailto:hegely.laszlo@gpk.bme.hu), <https://epget.bme.hu/index.php>

### Abstract

*The influence of varying the number of trays in the first, smaller column of a two-column batch distillation process was studied for the recovery of acetone from its aqueous mixtures with very different feed compositions by simulation. The goal was to maximise the processing capacity by genetic algorithm. The two-column process was compared to a single-column one, where only the larger column was used, and its number of trays was unchanged or increased to the total number of trays of the two-column process.*

**Keywords:** two-column process, acetone regeneration, processing capacity, genetic algorithm, optimisation

### Kivonat

*Kétkolonnás szakaszos desztillációs művelet első, kisebb oszlopának tányérszáma változtatásának hatását vizsgáltuk szimulációval aceton visszanyerésére jelentősen eltérő összetételű aceton-víz elegyekből. Célunk a feldolgozó kapacitás maximalizálása volt genetikus algoritmussal. A kétkolonnás műveletet összehasonlítottuk egy olyan egykolonnás művelettel, amikor a szétválasztáshoz a nagyobb kolonnát használtuk változatlan vagy a kétkolonnás művelet össz-tányérszámára megnövelt tányérszámmal.*

**Kulcsszavak:** kétkolonnás művelet, aceton regenerálás, feldolgozó kapacitás, genetikus algoritmus, optimalizálás

## 1. BEVEZETÉS

Folyadékelegyek szétválasztására napjaink egyik legelterjedtebb szétválasztó művelete a desztilláció, mely az elegyet alkotó komponensek forráspontkülönbségén alapul. A művelet lehet folyamatos és szakaszos is, utóbbit a finomkémiai és a gyógyszeripar alkalmazza a leggyakrabban, mert ott változó mennyiségű és összetételű elegyek feldolgozása a leginkább jellemző [1]. Általában az elválasztást egyetlen desztilláló kolonnában valósítják meg, azonban a feldolgozó kapacitás növelhető egy másik, akár lényegesen kisebb kolonna alkalmazásával a nagyobbik előtt, azzal sorba kapcsolva [2]. Amennyiben egy meglévő kolonna feldolgozó kapacitása már maximális (optimálisan üzemel), de további növelésre van igény, akkor a növelés legegyszerűbb módja egy, a meglévővel azonos méretű kolonna építése, és a két kolonna párhuzamos üzemeltetése. Egy ilyen kolonna építése azonban jelentős beruházási költséget jelent, éppen ezért sokkal előnyösebb, ha egy másik, már meglévő, akár lényegesen kisebb, kolonnát használnak a nagyobbikkal sorba kötve előfrakcionálóként (KOL1).

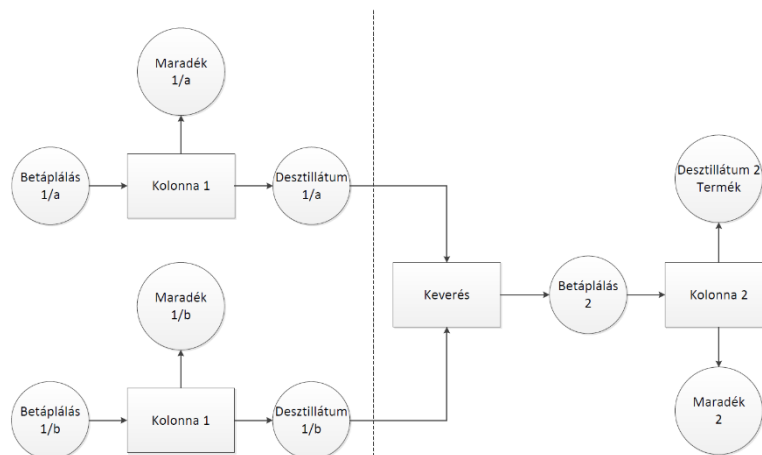
Jelen munkában az előfrakcionáló méretváltoztatásának (tányérszám-változtatásának) hatását vizsgáltuk a feldolgozó kapacitásra különböző összetételű aceton(A)-víz(B) elegyek ( $x_F=20-50-80$  tömeg% A) szétválasztására. Az elválasztást megvalósítottuk egyedül a nagyobb kolonnában (KOL2) is, ahol annak elméleti tányérszáma ( $N_2=22$ , kondenzátor és üst nélkül) a meglévő oszlopé (MÓDIa), illetve a kétkolonnás művelet össz-tányérszámára megnövelt volt (MÓDIb). A kétkolonnás műveletet (MÓDII) genetikus algoritmussal (GA) optimalizáltuk különböző előfrakcionáló tányérszámok ( $N_1=5$  és 22) mellett: a cél a feldolgozó kapacitás maximalizálása adott minimum aceton kinyerés ( $\eta_{\min}$ ) mellett (ami az adott összetételhez tartozó egykolonnás művelet kinyerése MÓDIa esetén). Az aceton termék előírt tisztasága 99,7 tömeg% volt.

## 2. MŰVELETI LEÍRÁS ÉS A MUNKAMÓDSZER

Az acetone tangens azeotrópot képez vízzel nagy acetone koncentrációknál, ami az acetone tisztítását megnehezíti. Az elegy gőz-folyadék egyensúlyát a UNIQUAC modellel írtuk le [3].

A szétválasztást először a nagyobbik kolonnában valósítottuk meg  $N_2=22$  mellett (MÓDIa). A sarzs térfogata  $10 \text{ m}^3$  ( $25 \text{ °C}$ -on), a holtidő pedig 1,6 óra. Az üstben közölt hőáram  $720 \text{ MJ/h}$ . A totális kondenzátor hűtési és a kolonna kapacitását mindig elegendőnek tételezzük fel. A kolonna nyomásesése  $0,4 \text{ kPa}$ , a kondenzátor hold-up  $5 \text{ dm}^3$ , a kolonnáé  $3 \text{ dm}^3/\text{tányér}$ . A desztilláció egy lépésből áll (szabad változó a refluxarány (R)), ami során a terméket desztillátumként vesszük el. A kapacitás maximalizálásához érzékenységvizsgálatot végeztünk a refluxarányra.

A kétkolonnás műveletben (MÓDIi) az előfrakcionáló (KOL1) desztillátumát átvisszük további feldolgozásra a nagyobbik kolonnába (KOL2), a művelet vázlata az 1. ábrán látható. Az optimalizálási változók:  $N_1$ , a két kolonna refluxarányai ( $R_1$  és  $R_2$ ), illetve az első kolonna leállási kritériuma, ami a termék acetone koncentrációja ( $\bar{x}_{D1,A}$ ), ami meghatározza a KOL2-be átvitt anyagmennyiséget. Mivel KOL1 üsttérfogata kisebb, mint KOL2 üstjéé, így KOL1-ben több sarzs is feldolgozható, mielőtt megtelne KOL2 üstje (max. sarzstérfogat  $10 \text{ m}^3$ ) az átvitt desztillátummal. A KOL1-ben feldolgozott sarzsok számát ( $n$ ) úgy határoztuk meg, hogy a KOL2-be átvitt anyagmennyiség éppen ne lépje túl a  $10 \text{ m}^3$ -t. Minden kiindulási összetétel esetén két különböző KOL1 tányérszám mellett végeztünk számításokat:  $N_1=5$  és  $22$ .  $N_1=5$  esetén KOL1-re a sarzstérfogat  $5 \text{ m}^3$ , a fűtési teljesítmény  $360 \text{ MJ/h}$ , a hold-up  $5 \text{ dm}^3$  (kondenzátor) és  $3 \text{ dm}^3/\text{tányér}$  (kolonna), a nyomásesés  $0,3 \text{ kPa}$  és a holtidő  $3,5$  óra.  $N_1$  növelésével arányosan növeltük a sarzs térfogatát, illetve a fűtési teljesítményt. A kétkolonnás művelet optimalizálására genetikus algoritmust (GA) használtunk, ami Excelben fut: az Excel átadja a kiindulási adatokat a ChemCAD szimulátornak, ami a szimuláció elvégzése után visszaadja az eredményeket az Excelnek. GA paraméterek: az egyedek száma  $30$ , a mutáció valószínűsége  $5\%$ , a keresztezések valószínűsége  $70\%$ , és a generációk száma  $100$ .



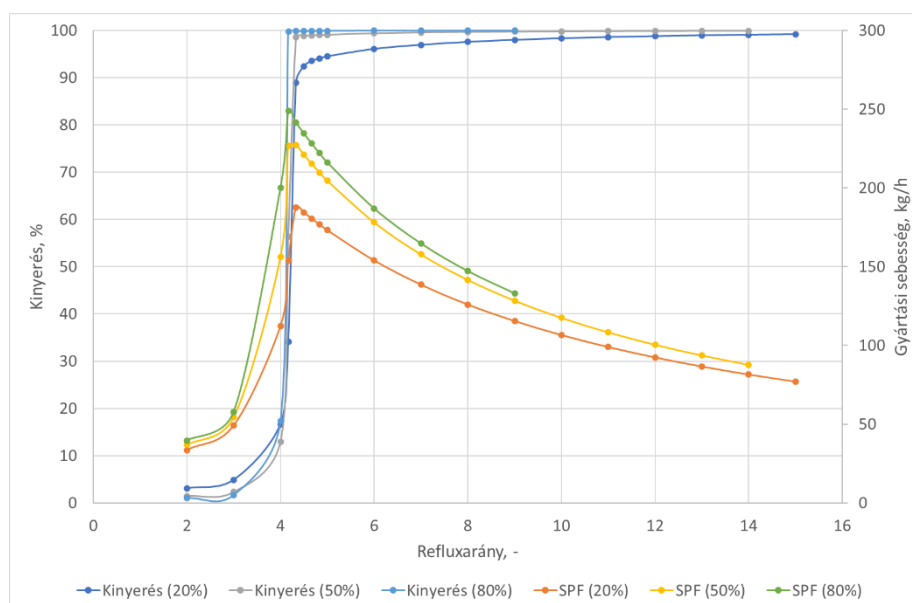
1. ábra. Kétkolonnás desztilláció sémája ( $n=2$ : a és b)

MÓDIb esetén (az egyedüli KOL2-re  $N_1$ -gyel megnövelt tányérszámokkal számoltunk:  $N_{\text{total}}=27$  és  $44$ ). Ebben az esetben az üstméretet MÓDIa-hoz hasonlóan  $10 \text{ m}^3$ -nek, a fűtési teljesítményt pedig a MÓDIi kolonnák teljesítményének összegének vettük. A kapacitás maximalizálásához érzékenységvizsgálatot végeztünk a refluxarányra.

A feldolgozó kapacitást (Cap) úgy számítottuk egy kolonna esetén, hogy a betáplálás teljes mennyiségét a művelet összeidejére vonatkoztattuk. Kétkolonnás esetben ugyanezt a két kolonna hosszabb műveleti idejére vonatkoztattuk, figyelembe véve a holtidőket és a KOL1-ben feldolgozott sarzsok számát. A kinyerést ( $\eta$ ) úgy számoltuk, hogy a termékben (MÓDIi esetén KOL2 desztillátuma) lévő acetone mennyiségét vonatkoztattuk a betáplálásbelire.

## 3. EREDMÉNYEK

MÓDIa-ra érzékenységvizsgálatot végeztünk. Minden R-hez kiszámoltuk a gyártási sebességet (a termékben lévő acetone mennyisége a műveleti időre vonatkoztatva) és a kinyerést ( $\eta$ ), amit a további számításoknál is tartani kell (2. ábra).

2. ábra. Kinyerés és gyártási sebesség  $R$  függvényében MÓDIa-ra ( $N=22$ )

$R=4$  közelében a  $\eta$  hirtelen növekszik, míg a gyártási sebességnek (SPF) maximuma van. A maximum után  $R$  növelésével SPF csökken, mert onnantól a műveleti idő ( $t$ ), amely tartalmazza a holt időt is, nagyobb mértékben növekszik, mint  $\eta$ .  $x_F$  növelésével (adott  $R$  mellett) viszont kicsit nagyobb SPF érhető el. Továbbá minél nagyobb  $x_F$ , annál kisebb  $R$  is elegendő a szétválasztáshoz (adott  $\eta$  mellett). A további számításokhoz ezek alapján a következő minimális kinyeréseket határoztuk meg rendre  $x_F=20, 50$  és  $80$  tömeg% esetén:  $94,50$  %,  $98,08$  % és  $99,92$  %.

Az egykolonnás műveletekre a fontosabb eredményeket az 1. táblázatban foglaltuk össze.

MÓDIa és MÓDIb fontosabb eredményei

1. táblázat

	$x_F=0,2$			$x_F=0,5$			$x_F=0,8$		
$N, -$	22	27	44	22	27	44	22	27	44
$R, -$	5	4,8	3,7	5	4,6	3,5	5	5	4
$t, h$	10,4	7,3	5,2	21,5	14,1	9,2	30,8	21,1	12,2
$\eta, \%$	94,50	94,65	94,88	99,08	99,23	99,08	99,92	99,94	99,93
Cap, t/nap	21,989	40,083	63,465	9,917	17,050	28,042	6,494	10,241	16,369

Egykolonnás művelet esetén a tányérszám növelésével (adott  $x_F$  mellett) jelentősen nő a feldolgozó kapacitás (Cap):  $R$  csökken, ami miatt  $t$  is csökken. Adott tányérszám mellett ( $N=22$  felett)  $x_F=0,5$ -nél a refluxarányának minimuma van. Ugyanakkor  $x_F$  növelésére  $t$  monoton nő, Cap pedig csökken, mert egyre nagyobb anyagmennyiséget kell átdestillálni. Továbbá a kiindulási elegy sűrűségváltozása is kissé mértékben befolyásolja a kapacitáscsökkenést:  $x_F=0,2$  esetén a legnagyobb a sűrűség, ezért nagyobb tömegű kiindulási elegy dolgozható fel.

MODII esetén  $x_F$  növelésére (adott  $N_1$  mellett) a KOL1-ben feldolgozott sarzsok száma ( $n$ ) csökken, mivel KOL1 desztillátumának mennyisége egyre nagyobb (2. táblázat). KOL1 leállási kritériuma ( $\bar{x}_{D1,A}$ ) csak kis mértékben változik  $x_F$  és  $N_1$  változásával.  $N_1=22$  esetén KOL1 refluxaránya ( $R_1$ ) jelentősen növekszik  $x_F$  növelésével, ami miatt KOL2 refluxaránya ( $R_2$ ) csökken (kisebb refluxarány is elegendő az előírt kinyerés tartásához)  $x_F=0,2$  és  $0,5$  esetén. Hasonlóan MÓDIa és Ib-hez, MÓDII esetén is csökken a feldolgozó kapacitás  $x_F$  növelésével.  $N_1$  növelésére (adott  $x_F$  mellett)  $R_1$  növekszik, ami miatt csökken  $R_2$ , ezáltal nő Cap, azonban a kapacitáscsökkenés mértéke csökken, majd  $x_F=0,8$ -nál  $N_1=22$  esetén alacsonyabb a kapacitás, mint  $N_1=5$  esetén. Ennek oka, hogy ekkor nagyon magas kinyerést kell teljesíteni, ami  $N_1=22$  esetén azért teljesíthető

nehezebben, mert a nagyobb kolonna nagyobb hold-upjában az aceton veszteség is nagyobb, ami csak magasabb refluxarányal, tehát hosszabb műveleti idővel kompenzálható. Továbbá mindkét tányérszámnál 10-10 m<sup>3</sup> kiindulási anyagot dolgoztunk fel, mert a tányérszám növekedéssel nőtt a sarzsméret is.

MÓDII fontosabb eredményei

2. táblázat

	$x_F=0,2$		$x_F=0,5$		$x_F=0,8$	
$N_1, -$	5	22	5	22	5	22
$R_1, -$	0,38	0,64	0,01	1,44	0,01	2,54
$R_2, -$	9,39	4,91	4,6	4,34	4,3	4,54
$\bar{x}_{D1,A}, wt$	0,82	0,86	0,86	0,84	0,86	0,88
$n, -$	7	3	3	1	2	1
$t_1 / t_2, h$	56,6 / 49,2	24,9 / 25,2	29,6 / 28,5	18,9 / 18,9	23,94 / 27,26	30,44 / 28,42
$\eta, \%$	94,58	95,76	99,08	99,90	99,92	99,95
Cap, t/nap	14,120	27,252	10,810	11,282	7,330	6,560

MÓDII-vel (azonos össz-tányérszám mellett) a várakozásoknak megfelelően nem érhető el magasabb feldolgozó kapacitás MÓDIb-nél egyik összetételnél sem. Ugyanakkor MÓDIa-hoz képest  $x_F=0,5$  és  $0,8$  esetén is nagyobb kapacitás érhető el akár már  $N_1=5$  esetén is. MÓDIa-hoz képest  $x_F=0,2$  esetén  $N_1=5$ -nél nem, de  $N_1=22$ -nél már nagyobb kapacitás érhető el. MÓDII  $N_1=5$  esetén a nagy számú feldolgozandó sarzs ( $n=7$ ) okozta nagy holtidő ( $t_H=24$  h) miatt eredményez lényegesen alacsonyabb kapacitást, mint MÓDIa vagy Ib.

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

Különböző összetételű acetón(A)-víz(B) elegyek ( $x_F=20-50-80$  tömeg% A) szakaszos desztillációs szétválasztását vizsgáltuk különböző üzemeltetési módokkal. Az elválasztás történt

- egyetlen kolonnában az adott tányérszámmal (MÓDIa),
- két megnövelt, a kétkolonnás (MÓDII) művelet össz-tányérszámával megegyező tányérszámmal (MÓDIb),
- két sorba kötött kolonnában, melyek közül az elsőnek (előfracionáló) változtattuk a tányérszámát (MÓDII).

Megállapítottuk, hogy bármely összetételnél MÓDIb-nek nagyobb a feldolgozó kapacitása, mint MÓDII-nek ( $x_F=0,2$  és  $N_1=5$  esetén a legnagyobb az eltérés: 183%). MÓDII-nek azonban  $x_F=0,5$  és  $0,8$  esetén (8, illetve 11%-kal) nagyobb a feldolgozó kapacitása, mint MÓDIa-nak,  $x_F=0,2$  esetén ez csak a nagyobbik tányérszám esetén igaz. Továbbá mindegyik üzemeltetési mód esetén  $x_F$  növelésével csökken a kapacitás.

#### KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány alapjául szolgáló kutatás a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj és az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-21-5 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

#### IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Mujtaba I.M., *Batch distillation: design and operation*, Imperial College Press, London, UK, 2004.
- [2] Nemeth B., Lang P., Hegely L., *Optimisation of solvent recovery in two batch distillation columns of different size*. Journal of Cleaner Production. Elsevier, 2020, 275, 122746.
- [3] Nemeth B., Hegely L., Lang P., *Investigating the processing capacity of batch distillation by applying a second, smaller column*. Separation and Purification Technology. Elsevier, 2022, 280, 119883.