

ETÁN-ETILÉN KOLONNA VIZSGÁLATA ÉS OPTIMALIZÁLÁSA

Bokros Mátyás

*hallgató, Miskolci Egyetem Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: matyi.bokros@gmail.com*

Szepesi L. Gábor

*PhD, egyetemi docens, Miskolci Egyetem Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: szepesi@uni-miskolc.hu*

Absztrakt

Az etán-etilén szétválasztás a vegyipari benzin feldolgozása során az egyik jelentős feladat. A szeparációhoz nagy mennyiségű hideg és meleg energia szükséges, ezért az energiafelhasználás csökkentésének lehetősége manapság is aktívan kutatott terület. Jelen cikk témája egy adott tányérszámú etán-etilén kolonna vizsgálata folyamat szimulációs szoftverrel. A vizsgálatnak két fő célja van, adott mennyiségű betáp mellett a maximális fejtermék biztosítása és a folyamat lefutásához szükséges energiamennyiség minimalizálása. A rendszer energiaszükséglete meghatározható a kiforráló, a kondenzátor és a betáp hőáramának összegével.

Kulcsszavak: *rektifikálás, szimuláció, optimalizálás*

Abstract

This paper studies an ethane-ethylene separation column using a process simulation software. The study has two main goals, the first one is to find the parameters that will produce maximum overhead product, the second is to minimize the required energy. This required energy is calculated by the heat flow of the reboiler, the condenser and the inlet.

Keywords: *rectification, simulation, optimization*

1. Általánosan a rektifikálásról

A hagyományos desztilláció eredményeként kapott termékek összetételének a betápláláshoz tartozó gőz-folyadék fázisegyensúly szab határt. Az illékonyabb komponens koncentrációját viszont tovább növelhetjük, ha az eddigi egyetlen ún. egyensúlyi fokozat helyett továbbiakat alkalmazunk. Ez úgy valósítható meg, hogy az első fokozatból kapott gőzt a második fokozatba betáplálva tovább dúsítjuk, és az eljárást többszörösen ismétljük. Ilyen módon az egyensúlyi desztillációt többszörösen ismételve tetszőleges koncentrációig juthatunk el. Gyakorlatilag ez azt jelenti, hogy a képződő gőzárásokat hűtéssel részlegesen lekondenzáltatjuk. Hasonlóképpen járhatunk el az első egyensúlyi egységből távozó folyadékkal is, amelyet illékonyabb komponensben való szegényítés céljából részlegesen elpárologtatunk, és az így kapott gőz koncentrációja kisebb lesz az első egységből távozóénál [1].

2. A folyamat bemutatása

2.1 Az etán etilén szétválasztásáról általánosan

Jelenleg a könnyű szénhidrogén binárisok (ebben az esetben egy etán-etilén elegy) szétválasztásának folyamata szinte mindig kriogenikus desztillációval történik. Azonban ez a folyamat magas energiafelhasználással jár a komponensek közeli illékonyaság értéke miatt, mely megköveteli, hogy növelt refluxarányt és tányérszámot alkalmazzunk. Ezek a követelmények a kondenzátor és a kiforráló megnövekedett energia fogyasztását is előidézik [2].

2.2 Szakirodalmi előzmények

Ennek a folyamatnak számítógépes szoftver segítségével történő optimalizálásával már több különböző cikkben foglalkoztak, általában más-más megközelítéssel:

- A refluxarány, nyomás és a betáplálás helyének változtatásának hatását vizsgálja az energiafelhasználásra, a fejtermék mennyiségére és a kolonna hőmérsékletére [3].
- A refluxarány, nyomás és az alkalmazott tányértípus változtatásának hatását vizsgálja az energiafelhasználásra és a fejtermék mennyiségére [4].
- Az eddig is használt berendezések újszerű elrendezésével kíván alacsonyabb energiafogyasztást elérni [5].
- A kolonnában található összes tányérra vizsgálja a nyomás és a móltört alakulását különböző refluxarány értékek és betáplálási helyek mellett [6].

2.3 A vizsgálat paraméterei

A vizsgálatok UniSim Design folyamat szimulációs környezetben történtek, amelyben a Peng-Robinson termodinamikai modellt alkalmaztam. Ez a modell megfelelő szénhidrogének magas nyomáson és alacsony hőmérsékleten történő vizsgálatára [7, 8].

A vizsgált kolonna 8 bar (800 kPa) nyomás alatt üzemel. A betáplált elegy 80% etilént és 20% etánt tartalmaz, amely 703,4 kmol/h moláris árammal kerül bevezetésre a rektifikáló kolonnába. A cél 99%-os tisztaságú etilén előállítás. A kondenzátor és kiforráló nyomásvesztését elhanyagoljuk. A vizsgált kolonna 80 db szelepes tányérral működik.

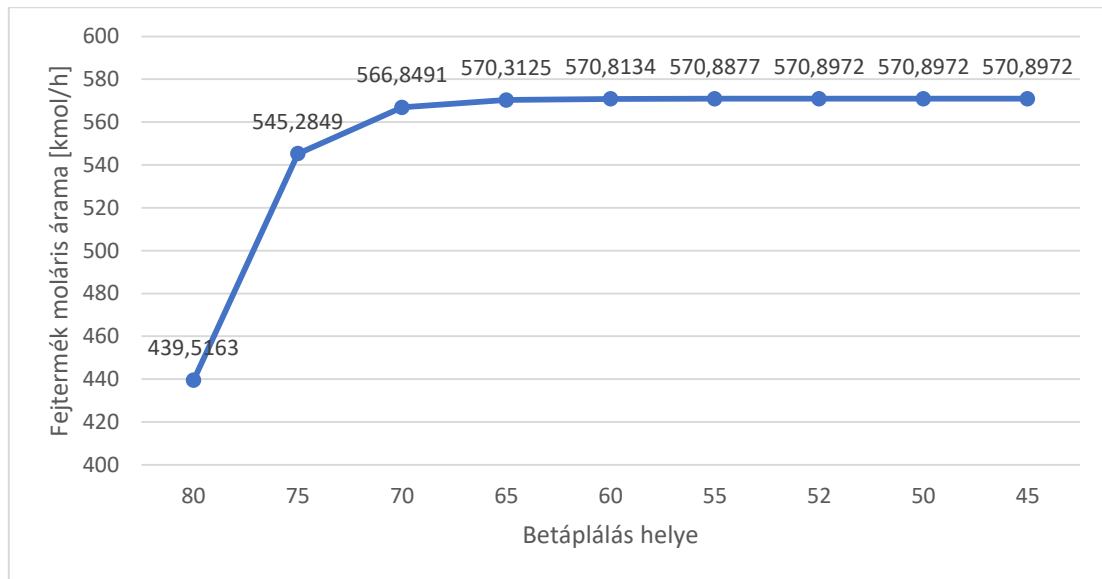
3. Kísérleti beállítások

3.1 Első kísérleti beállítás: maximális fejtermék keresése

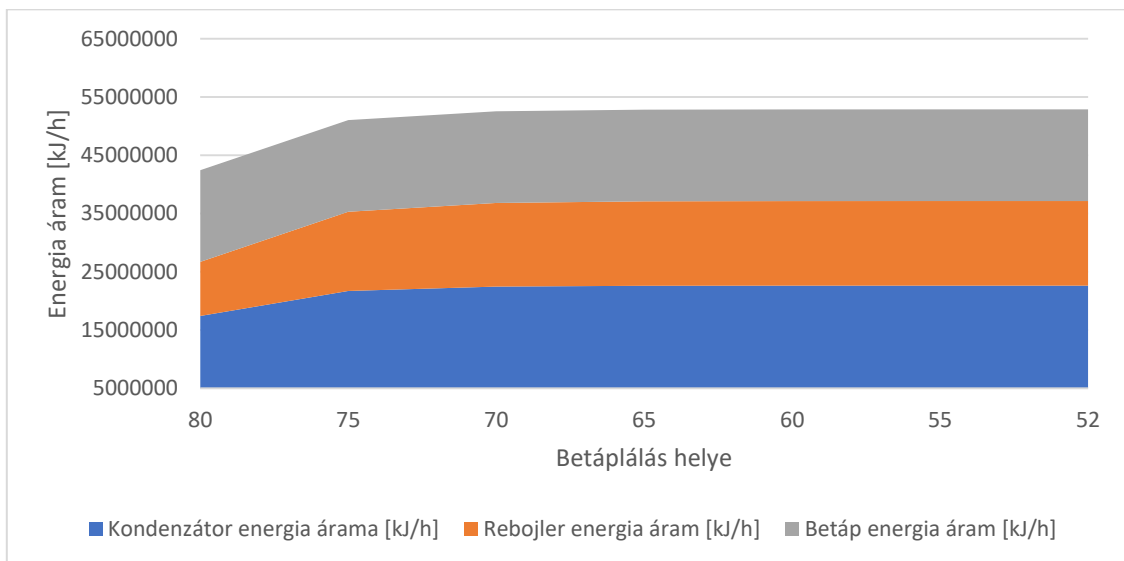
Betáplálás helyének változtatása adott 2,5-ös refluxarány mellett, a fejtermék moláris áramára és a rendszer energiafelhasználására gyakorolt hatásának vizsgálata. A rendszer által felhasznált energiát a kondenzátor, a kiforráló és a betáp hőárama adja.

Az 1. ábrán megfigyelhető, hogy adott refluxarány esetén a betáplálás helyének növelésével el lehet érni az elméleti maximális fejtermék mennyiséget, mely jelen esetben 570,8972 kmol/h és az 52. tányérra történő betáplálásnál érhető el. Viszont, ahogy a 2. ábrán látható ezzel egy időben növekszik a rendszer energiafelhasználása.

A maximális teljesítmény mellett meg kell próbálni a folyamat során felmerülő költségeket minimalizálni, melynek egyik leghatásosabb módja a rendszer energiafelhasználásának csökkentése, ami a következő kísérleti beállítások során ezen tanulmány célja is lesz.



1. ábra. A betáplálás helyének változtatás és hatása a fejtermék mennyiségére



2. ábra. A betáplálás helyének változtatás és hatása a rendszer energiafelhasználására

3.2 Második kísérleti beállítás: energiafelhasználás csökkentése

Az energiafelhasználás csökkentésére a refluxarány csökkentése jelenti a legkézenfekvőbb megoldást. A következő beállítás során a refluxarány csökkenésének hatását fogom vizsgálni a korábban már meghatározott 52. tányérra történő betáplálással.

1. táblázat A refluxarány változtatása adott tényérszámon

Reflux arány	Fejtermék moláris árama [kmol/h]	Fenektermék tömegtört		Kondenzátor	Kiforráló
		etán	etilén	energia áram [GJ/h]	energia áram [GJ/h]
2,45	570,89	0,9999	0,0001	22,2	14,19
2,4	570,87	0,9998	0,0002	21,96	13,87
2,35	a folyamat nem megy végbe				

Az 1. táblázatban megfigyelhető, hogy a refluxarány csökkentésével az előállított fejtermék aránya is csökken (habár csak igen kis százalékban). Viszont elérve a 2,35 refluxarányt a folyamat nem képes végbe menni tehát további csökkentés csak abban az esetben érhető el, ha a refluxarányt és a betáplálás helyét egyszerre változtatjuk.

2. táblázat A betáplálás helyének igazítása a refluxarányhoz

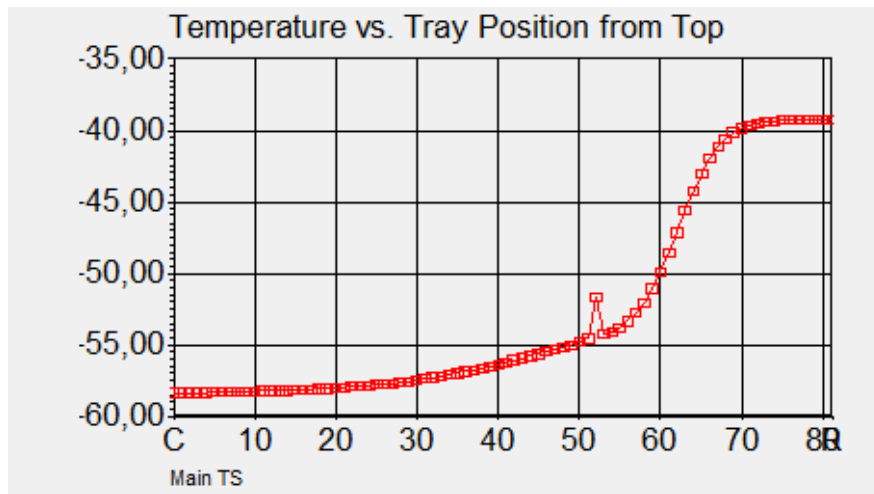
Betáplálási tényér	Reflux arány	Fejtermék moláris árama [kmol/h]	Fenektermék tömegtört		Kondenzátor	Visszaforraló
			etán	etilén	energia áram [GJ/h]	energia áram [GJ/h]
52	2,6	570,9	1	0	23,26	15,16
52	2,55	570,89	1	0	22,93	14,84
52	2,5	570,89	1	0	22,61	14,52
52	2,45	570,89	0,9999	0,0001	22,29	14,19
52	2,4	570,87	0,9998	0,0002	21,96	13,87
54	2,35	570,76	0,999	0,001	21,64	13,54
57	2,3	569,6	0,991	0,009	21,27	13,18
62	2,25	559,46	0,9206	0,0794	20,57	12,48

Ezen a kísérleti beállításon (lásd 2. táblázat) is megfigyelhető, hogy a refluxarány további csökkentése mellett már nem lehetséges tartani a 100% etánt tartalmazó fenékterméket és ennek eredményeképpen nem lehet elérni a maximális fejtermék mennyiséget. Viszont ezen beállításokon csökken mind a kondenzátor mind a kiforráló energiafelhasználása.

A 2,45-ös és 2,4-es refluxarányok egyértelmű javulást eredményeznek, akár több százezer kJ energia megtakarítható óránként néhány mol fejtermék elvesztése árán. Viszont ahogyan haladunk az egyre alacsonyabb refluxarányok felé az energiafogyasztás csökkenése közel konstans marad azonban a fejtermék mennyisége exponenciálisan csökken.

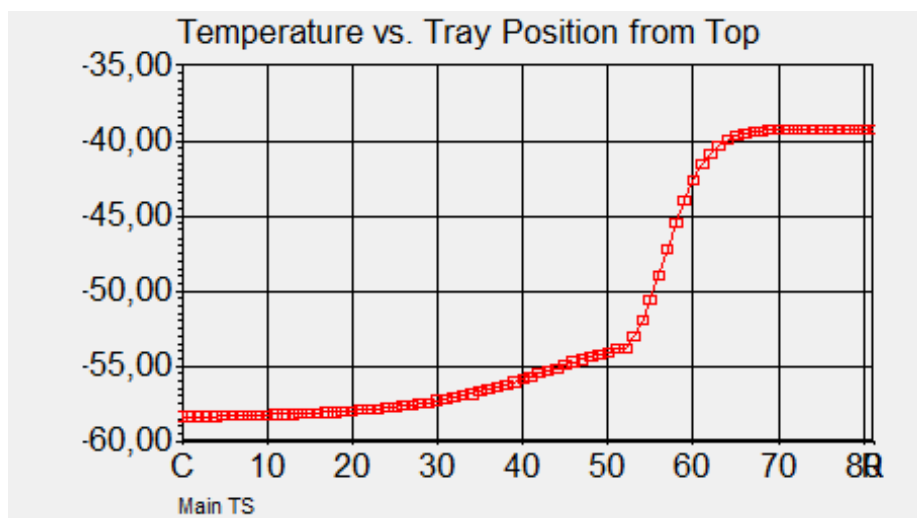
3.3 Kolonna hőmérsékletének vizsgálata

A szoftver segítségével lehetséges még az kolonna üzemeléséhez szükséges hőmérséklet leolvasása, mely vizsgálata szintén segíthet az energiafelhasználás csökkentésében.



3. ábra. A hőmérséklet alakulása tányérokra lebontva az 52. tányérra való betáplálás esetén

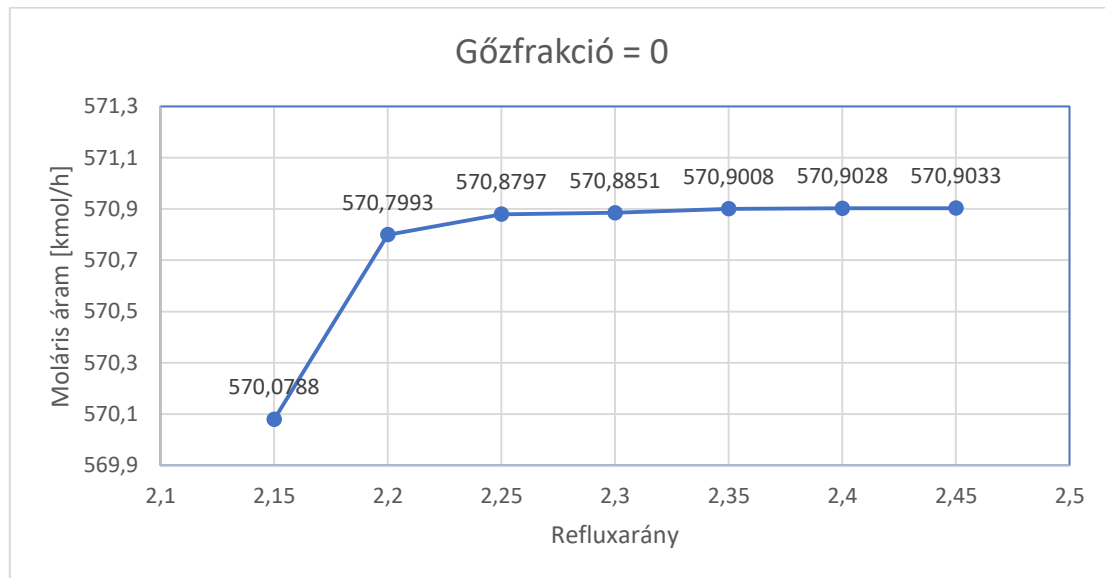
A 3. ábrán látható, hogy a betáplálás helyén éles kiugrás figyelhető meg a hőmérséklet diagramon, az ilyen magas hőmérsékletváltozásokat általában próbáljuk kerülni a kolonnában. Viszont a modell minden szabadsági foka le van kötve tehát a hőmérséklet direkt módon történő befolyásolására nincs lehetőség. Indirekt módon a nyomás vagy a gőzfrakció változtatásával érhetünk el más hőmérsékletet. A nyomás változtatása az egész rendszer hőmérsékletét befolyásolja, mely nem kínál megoldást a problémánkra (ezen felül csökkenti az elérhető fejtermék mennyiségét adott refluxarány és betáplálási tányér esetén). A betáplálás gőzfrakciója = 0 beállítás viszont kedvező eredményeket ad. Ebben az esetben nem található éles kiugrás a hőmérséklet diagramon (lásd 4.ábra).



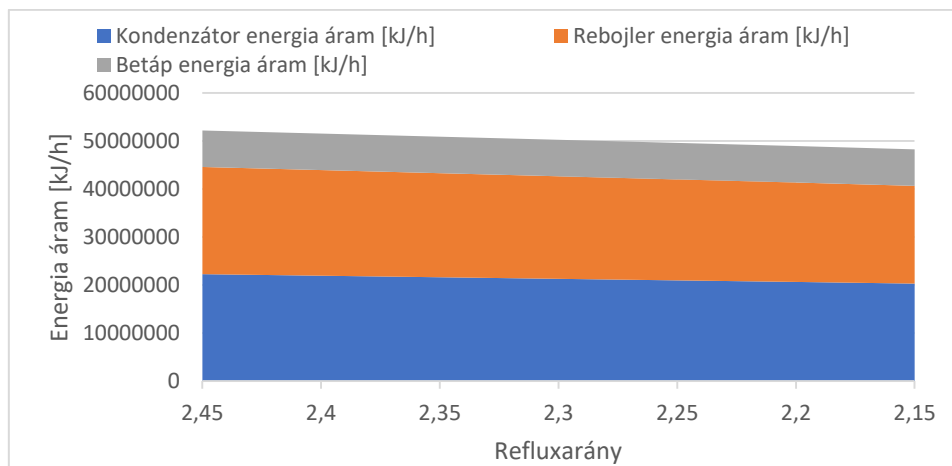
4. ábra. A hőmérséklet alakulás változtatott gőzfrakció mellett a 52. tányéron

3.4 Gőzfrakció változásának hatása

Ahogy a 4. ábrán láthatjuk, megszűnt a betáplálás helyén tapasztalható kiugrás, viszont ez nem feltétlenül jelenti azt, hogy a folyamat energiafelhasználása javult. A továbbiakban a 0 értékű gőzfrakció hatásának vizsgálata látható.



5. ábra. Fejtermék mennyiségének alakulása gőzfrakció=0 esetén



6. ábra. Energiafelhasználás alakulása gőzfrakció=0 esetén

Az 5. és 6. ábrán látható, hogy a reflux csökkentésével itt is csökken az energiafelhasználás és a fejtermék mennyisége (fenéktermékben egyre több etilén jelenik meg). Ezt csak igen minimális mértékben engedhető meg, ezért azokat az eredményeket, ahol 0,0005 tömegszázaléknál több etilént tartalmaz nem megfelelő megoldásnak tekinthető.

A 3. és 4. táblázat alapján látható, hogy az elegy gőzként való betáplálása egyértelműen javítja a folyamatot, csökkentett energiafelhasználás árán képes ugyanazt a moláris áramot tartani. Közel egyenlő fejtermék mennyiség (570,87 és 570,87 kmol/h) esetén gőz fázisú betáplálás energiaárama 19,4 GJ/h-val kevesebb mint folyadék fázis esetén.

4. Összegzés

Az elvégzett szimulációk alapján jól látható, hogy szerkezeti beavatkozás nélkül is jelentős javulást lehet elérni. A javulást okozó paraméterek megtalálása viszont rengeteg paraméter vizsgálatát követeli meg. Ekkora mennyiségű számítás elvégzése hagyományos módszerekkel igen nehézkes és magában hordozza az emberi hiba lehetőségét. Ezért ajánlatos a cikkben bemutatott vagy ahhoz hasonló folyamat szimulátor szoftver alkalmazása mely nagyban megkönnyíti az ilyen típusú feladatok elvégzését.

3. táblázat Összehasonlítás gőzfrakció=1 esetén

Gőzfrakció = 1					
Betáplálási tényér	Reflux arány	Fejtermék moláris árama [kmol/h]	Fenektermék tömegtört		Teljes energiaáram [GJ/h]
			etán	etilén	
52	2,45	570,89	0,9999	0,0001	52,21
52	2,4	570,87	0,9998	0,0002	51,56
54	2,35	570,76	0,999	0,001	50,91
57	2,3	569,69	0,991	0,009	50,18
62	2,25	559,46	0,9206	0,0794	48,78

4. táblázat Összehasonlítás gőzfrakció=0 esetén

Gőzfrakció = 0					
Betáplálási tényér	Reflux arány	Fejtermék moláris árama [kmol/h]	Fenektermék tömegtört		Teljes energiaáram [GJ/h]
			etán	etilén	
40	2,45	570,90	1	0	52,21
42	2,4	570,90	1	0	51,56
44	2,35	570,90	1	0	50,91
46	2,3	570,88	0,9999	0,0001	50,27
50	2,25	570,87	0,9998	0,0002	49,62
55	2,2	570,79	0,9992	0,0008	48,97
59	2,15	570,07	0,9938	0,0062	48,27

5. Köszönetnyilvánítás

"A cikkben/előadásban/tanulmányban ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg."

Irodalom

- [1] Fonyó, Zs., Fábry, Gy. Vegyipari művelettechnológiai alapismeretek. Nemzeti Tankönyvkiadó
- [2] Orga, A.C., Modestus, O.A., Obibuenyi, J.I., Chigoziri, N. Saving Energy and Tray Numbers in Ethylene-Ethane Distillation Towers by Vapor Permeation Membrane Load Sharing. *Chemical and Process Engineering Research* 2016, 42:32-43.
- [3] Kállai, V., Szepesi, L. G. Etán-etilén szétválasztó kolonna paramétervizsgálata szimulációval. *Jelenkori társadalmi és gazdasági folyamatok* 2017, 12(4):41-48. <https://doi.org/10.14232/jtgf.2017.4.41-48>.
- [4] Kállai, V., Kerezsi, J., Mizsey, P., Szepesi, L. G. Ethane-Ethylene Rectification Column's Parametric Examination. *Chemical Engineering Transactions* 2018, 70:1477-1482.
- [5] Soave, G., Pellegrini, L., Barbatti, D., Susani, N., Bonomi, S. Energy saving in distillation columns: the Linde column revisited. *Computer Aided Chemical Engineering* 2006, 21:645-650. [https://doi.org/10.1016/S1570-7946\(06\)80118-5](https://doi.org/10.1016/S1570-7946(06)80118-5).
- [6] Saeed, S., Azeem, S., Saeed, S., Ashraf, M. Simulation and Analysis of Ordinary Distillation of Close Boiling Hydrocarbons Using ASPEN HYSYS. *International Journal of Innovation and Applied Studies* 2016, 16(4):805-813.
- [7] Némethné Sóvágó, J. A vegyipari szimulációs programok működéséhez alkalmazható termodinamikai modellek. Elérhető: <http://midra.uni-miskolc.hu/document/14220/6475.pdf>. Letöltve: 2020.04.24.
- [8] Jaubert, J.-N., Privat, R. Relationship between the binary interaction parameters (k_{ij}) of the Peng–Robinson and those of the Soave–Redlich–Kwong equations of state: Application to the definition of the PR2SRK model. *Fluid Phase Equilibria* 2010, 295:26-37. <https://doi.org/10.1016/j.fluid.2010.03.037>.