

ELVÁLASZTÁSI MŰVELETEK ÉS AZOK BERENDEZÉSEINEK VIZSGÁLATA

Kállai Viktória

PhD-hallgató, Miskolci Egyetem, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet
Vegyipari Gépészeti Intézeti Tanszék
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: kallai@uni-miskolc.hu

Szepesi L. Gábor

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

Absztrakt

A tanulmány célja alacsony szénatomszámú szénhidrogén elegyek desztillációs úton történő szétválasztásának vizsgálata és a gyakorlatban is alkalmazható megoldások keresése. Továbbá vizsgálatuk a nyomásvesztés értékét szita- és buboréksapkás tányérok alkalmazásakor. A kutatási időszakban a szimulációk készítéséhez a Unisim Design folyamatszimulátor szoftvert használtuk.

Kulcsszavak: desztilláció, kolonna, paramétervizsgálat, nyomásvesztés

Abstract

The goal of the study is to investigate the separation of low carbon contents hydrocarbon mixtures by distillation and find solution which can be used in practise. Furthermore, a study was performed on the pressure loss when using sieve and bubble cap trays. To achieve the results, we used Unisim Design process simulator software.

Keywords: distillation, column, parametric investigation, pressure drop

1. Bevezetés

Ezen tanulmányban az elválasztási műveletek közül a desztillációt és az abszorpciót vizsgáltuk. A desztilláció a vegyipar és gyógyszeripar egyik leggyakrabban alkalmazott technológiája, amely gyakran hatalmas energiaszükséglettel rendelkezik [1]. A desztillációs folyamat során komponensek egymástól való elválasztását hajtják végre, az összetevők illékonyágbeli különbségét kihasználva. Az abszorpció művelete esetén egy gázelegy valamely komponensét nyeletik el folyadékfázisban.

Desztillációhoz és abszorpcióhoz alkalmazott berendezés az úgynevezett kolonna (vagy oszlop, torony), amelyben az áramlási viszonyok a szerkezeti kialakítástól függenek, emiatt a berendezések átmérőjének és belső szerkezetének méretezése, ellenőrzése hidraulikai számításokon alapul. A számításokkal meghatározhatók a szükséges gőz- és folyadékkapacitások, azaz a terheletőségek, ezen túl ellenőrizhető, hogy az előzetesen kialakított belső elemek, azok elrendezése lehetővé teszi-e a kívánt szétválasztás megvalósítását [2].

A térségünkben található vegyipari komplexumokban is megtalálható technológiákat vizsgáltunk: elvégeztük az etán-etilén és propán-propilén szétválasztás paramétervizsgálatát, illetve különböző tányérkonstrukciók nyomásvesztésével foglalkoztunk.

2. Paramétervizsgálatok

A vizsgált műveletekben az etilén, illetve a propilén a fejtermékek, ezeket polimerizációs eljárásoknak vetik alá, és a műanyagok alapanyagaként alkalmazzák. A fenéktermékként kapott etán, illetve propán hűtőközegként alkalmazható, valamint a folyamat elején repirolizálás után felhasználásra kerülnek. [3] Az olefin üzemek termékeként kapott etilén és propilén esetén a további felhasználásnál meghatározó a minőségük, ezért a legtisztább fejtermék kihozatalokra kell törekedni és az elvégzett paramétervizsgálatoknak is ez a célja. Az alacsony szénatomszámú szénhidrogének ideális elegyeknek tekinthetők [4], a vizsgálatok során ezt a szakirodalmi megállapítást érvényesnek tekintettük.

A tanulmányban bemutatott vizsgálatok Unisim Design [5] folyamatszimulátor szoftver használatával készültek, SRK [6] anyagmodell alkalmazásával.

2.1. Etán-etilén elválasztás

Az etilén és etán elválasztáshoz legelterjedtebben alkalmazott szeparációs eljárás a rektifikálás [4]. A szétválasztandó komponensek alacsony forráspontja miatt nagynyomású, kriogén körülményeket szükséges alkalmazni, hogy a szétválasztás során megfelelő minőségű termékek álljanak rendelkezésre.

A vizsgált rektifikáló oszlop 45 db szitatányérral rendelkezik, amelyek között 0,4 m a tányértávolság és az oszlop 2 m átmérőjű. A betáplálás a kolonna 40. tányérjára (ha a tányérok számozása fentről lefelé történik) érkezik gőzfázisként. A kiindulási modellben a reflux arány értéke 3, a fejtermék mennyisége 20000 kg/h, amely technológiai alapadat. Az 1. táblázat tartalmazza a kolonnába belépő és onnan távozó anyagáramok paramétereit.

1. táblázat. Etán-etilén elválasztó kolonna betáplálásának és termékeinek paramétereit

Paraméterek	Betáplálás	Fejtermék	Fenéktermék
Hőmérséklet [°C]	-60,2	-70,92	-54,55
Nyomás [bar]	6	5	5
Tömegáram [kg/h]	30000	20000	10000
Összetétel [n/n%]			
Etilén	70	99,99	5,95
Etán	30	0,01	94,05

A vizsgálat célja maximális fejtermékbeli etilén tisztaság elérése minimális energia felhasználása mellett (mivel a fejtermék összetétele hatással van a kondenzátor energiaigényére). A betáplálás pozíciójának, a reflux arányának és a nyomás változtatásának hatását vizsgáltuk.

A betáplálás helyének változtatása esetén a szimuláció eredményeiből megállapítható, hogy a legnagyobb etilén tisztaság a fejtermékben a 38-39. tányérra történő betáplálással érhető el. Az is kiderült, hogy a 30-41 tartományba eső tányérok bármelyikére vezetve a betáplálási áramot a kívánt tisztaságú desztillátumot kapjuk.

Egy rektifikáló oszlop paramétereit közül a nyomás igen meghatározó paraméter. Megvizsgálva különböző nyomásértékeknél a kolonna más paramétereit megállapítható, hogy 3-6 bar nyomású betáplálás esetén érhető el az etilénben legtisztább fejtermék. A nyomás és hőmérséklet közötti kapcsolat miatt a nyomás növelésével csökkenni fog a kiforráló és a kondenzátor hőigénye.

Egy kolonna szintén jelentős paramétere a kihozatali termékek szempontjából a reflux arány, amelynek nagysága szoros kapcsolatban áll a kondenzátor teljesítményének és a kolonna átmérőjének nagyságával. Ha növeljük a reflux arányt, akkor a kondenzátor energia igénye és a kolonna átmérője is nőni fog. A vizsgálat elején meghatározott elérni kívánt etilén mólszázalék a fejtermékben 99,99% volt,

amely már 2,8-as reflux aránnyal is elérhető, így az optimális energiafelhasználás érdekében erre az értékre ajánlott beállítani a reflux arányt. Továbbá az is megállapítható, hogy ennél nagyobb reflux arány értékkel sem nő számottevő mértékben a fejtermék tisztasága, azonban a kondenzátor energiaigénye és a reflux arány értéke között lineáris kapcsolat van.

Az etán-etilén kolonnán végzett paramétervizsgálat eredményeiből meghatározhatóak a kolonna optimális paraméterei, azaz a betáplálás a 38. tányérra érkezzon, a nyomása 6 bar legyen és 2,8-as reflux arányt szükséges alkalmazni. Ebben az esetben 99,99% tisztaságú etilén nyerhető ki fejtermékként.

2.2. Propán-propilén elválasztás

A propán-propilén komponensek illékonyasága közötti különbség igen kicsi, ez abból adódik, hogy a forráspontjaik között a különbség csak 5,5 °C. Ezért az elválasztásuk rendkívül energiaigényes technológia [7]. Mivel szintén a vegyipar egyik jelentős alapanyagáról van szó, ezért ebben az esetben is nagy tisztaságú (és mennyiségű) fejtermék elérésére kell törekedni. A paramétervizsgálat célja ebben az esetben is a fejtermék szükséges minőségének elérése és az energiafelhasználás csökkentése.

Az elválasztáshoz nagy nyomású desztillációt alkalmaznak, a berendezés pedig közel 200 tányért tartalmazó kolonna. Mivel ez hatalmas oszlopot jelent, ezért a gyakorlatban fizikailag két külön kolonnát alkalmaznak, amelyek kialakításukat és a folyamat lejátszódását tekintve egyként kezelendők.

A kolonna kialakítását leíró geometriai és technológiai alapadatokat, valamint a betáplálás paramétereit a 2. táblázat foglalja össze.

2. táblázat. A kolonna és a betáp és termék áramok paraméterei

Kolonna			Betáp áram	Fejtermék	Maradék
Tányérok száma, típusa	183, szita	Hőmérséklet [°C]	52,58	46,65	57,29
Oszlopátmérő [m]	4,5	Nyomás [bar]	20,68	19,31	20,68
Tányértávolság [m]	0,45	Tömegáram [kmol/h]	612,4	351,5	260,9
Betáplálás helye*	136. tányér	Összetétel [n/n%]			
Reflux arány	16,4	Propilén	60	98,95	7,51
Kolonnanyomás [bar]	20	Propán	40	1,05	92,49

*: Ha a tányérok számozása fentről lefelé történik.

A szimuláció eredménye alapján a kondenzátornak 20,77 MW, míg a kiforralónak 18,74 MW az energiaigénye.

A paramétervizsgálat során a betáplálás helyének, a kolonnanyomásnak és a reflux arálynak a módosításából adódó változásokat vizsgáltuk.

Betáplálás pozíciójának változtatása esetén a szimulációk eredményeként megállapítható, hogy a 100. és 160. tányérok közé helyezve a betáplálási áramot, a legtisztább fejtermék érhető el, míg a kondenzátor energiaárama a 153. és 155. tányérok történő betáplálás esetén a legkisebb.

A kolonna nyomásának változtatását 1,5 és 25 bar értékek között végeztük. Az eredmények azt mutatják, hogy a kolonna nyomásának nincs jelentős befolyásoló hatása a fejtermék propilén móltörtjére, illetve a kondenzátor hőáramára. A hőmérséklet és nyomás közötti kapcsolat miatt, alacsonyabb nyomáson történő betáplálás esetén kriogén desztilláció játszódik le, amely a kiforralóban nagyobb energiaszükségletet okoz.

A reflux arány értékét 5 és 25 között változtattuk. A reflux arány és a kondenzátor hőárama között lineáris kapcsolat van. A szimulációk eredményei alapján megállapítható, hogy 15,2-nél nagyobb reflux arány esetén nem tapasztalható számottevő változás a fejtermék propilén móltörtjében, azonban a kondenzátor hőárama igen nagy mértékben megnő. 15,2 reflux arány esetén a fejtermékben 98,055 n/n%

propilén található, és a kondenzátor hőárama 19,35 MW. Ez a változás azt jelenti, hogy az eredeti rendszerhez képest a fejtermék propilén tisztasága 0,855 %-kal, míg a kondenzátor hőárama 1,43 MW-tal csökkent.

A paramétervizsgálat eredményeiből megállapítható, hogy kisebb módosításokkal elérhető egy kedvezőbb energia felhasználású, és közel azonos tisztaságú fejterméket adó rendszer. Ehhez vagy a betáplálás helyét vagy a reflux arányt szükséges módosítani. A fent említett változtatásokat és a vizsgált paraméterekre így kapott értékeket a 3. táblázat foglalja össze.

3. táblázat. A vizsgált paraméterek az eredeti és módosított modellek esetén

	Eredeti modell	Betáplálás helyének változtatása (155. fokozat)	Módosított reflux arány (15,2)
Propilén móltörtje a fejtermékben	0,9895	0,9813	0,98055
Kondenzátor hőárama [MW]	20,77	20,75	19,35

3. Tányér hidraulika

A működés során az oszlop mentén kialakul egy nyomásgradiens – különben a gőzfázis nem tudna felfelé áramolni. Ezt a nyomásgradienst általában tányéronkénti nyomáseséssel fejezik ki [8].

Egy tányér hidrodinamikai tervezése igen lényeges eleme a torony tervezésének. A kolonna, valamint a tányér is meghatározott működési tartománnyal rendelkeznek. A tartomány határain való átlépés a működés és az elválasztás hatásfokának drasztikus csökkenését okozza [9].

Túlfolyós tányéros kolonnákban a folyadék a gőzfázissal keresztáramban halad lefelé egyik tányérról a másikra, miközben a kevésbé illékony komponensben dúsul. A tányéron lévő folyadék magasságát a kilépő élen elhelyezett gát magassága szabja meg. A gőzfázis a folyadékfázisba buborékol a tányér perforációin keresztül szitatányér esetén. Míg buboréksapkás tányéroknál az ún. kéményen elhelyezett buboréksapka perforációin keresztül buborékol a gőz- vagy gázfázis a folyadékfázisba [9].

A tanulmány során két gyakran alkalmazott tányértípus vizsgálatára került sor: a szita - és buboréksapkás tányérok. Ezek a legrégebbi tányértípusok közé tartoznak és széleskörű alkalmazással rendelkeznek.

Egy tányér nyomásesése a tányér felett és alatt lévő gőzfázisok nyomása közötti különbséget jelenti. Egy kolonna teljes nyomásesése az egyes tányérokon kialakuló nyomáskülönbségek összegét jelenti. A nyomás a következő kolonna paramétereit befolyásolja:

- hőmérséklet profil,
- gőz-folyadék egyensúly,
- gőzterhelés, mivel a gőzsűrűsége függ a nyomástól és a hőmérséklettől.

Szem előtt kell tartani, hogy egy tányér nyomásesése kisebb kell, hogy legyen, mint a folyadékfázis statikus nyomása a túlfolyóban (lefolyóban), ellenkező esetben a gőzfázis vissza tudná nyomni a folyadékot a lefolyóban és az nem tudna lefelé haladni. [10], [11]

4. A vizsgált rendszer és a megalkotott modell

A vizsgált rendszer: ammóniával szennyezett levegő, amelyet vízzel kell megtisztítani. Az ammónia az egyik legjobban vízben oldódó gáz.

Mivel a gázok oldhatósága a hőmérséklet növelésével csökken, ezért minél alacsonyabb hőmérsékleten szükséges az abszorpció folyamatát végrehajtani. Ezen kívül a nagyobb nyomás kedvez az abszorpció lejátszódásának [12].

A szimulációk elkészítéséhez Unisim Design [5] szoftvert alkalmaztuk SourSRK [13], [14] anyagmodellel. Az oszlopban 10 darab tányér került beépítésre, az alkalmazott tányértávolság 500 mm, az oszlopátmérő pedig 0,8 m volt. A 4. táblázat tartalmazza a betáplálások és a kapott termékek paramétereit. A betáplált anyagáramok nyomása 6,2 bar volt. Megfigyelhető, hogy az ammónia vízben való oldódása hővel jár, azaz a közeg felmelegedett 15 °C-ról 27 °C-ra.

A számításokat a [15] irodalom alapján készítettük el. A számítás során nyomásveszteségek meghatározásához mindkét esetben direkt vagy indirekt módon szükség van a fokozatokra és a fokozatokról távozó anyagáramok sűrűség értékeire. A szitatányér esetén a gőzfázis sűrűsége a száraz nyomásveszteség kiszámításához alkalmazandó egyszeres hatvánnyal, míg a folyadék sűrűsége a tányér nyomásveszteség meghatározásához alkalmazott képlet második tagjában szerepel szintén egyszeres szorzóval. Buboréksapkás tányér esetén mindkét sűrűség tag szerepel a sapka parciális nyomásveszteségének meghatározásához szükséges képletben, a résnyitásból eredő nyomásveszteség képletében, valamint szükségesek még a folyadékgradiens meghatározásához is.

4. táblázat. A rendszer anyagáramainak paraméterei

Anyagáram neve	Víz	Ammónia + levegő	Tisztított levegő	Szennyezett víz
Hőmérséklet [°C]	15	10	15	27,04
Tömegáram [kg/h]	15000	7000	6581,8	15418,2
Összetétel [n/n]				
Víz	1	0	0,003	0,97
Levegő	0	0,9	0,997	0
Ammónia	0	0,1	0	0,03

Mivel tányérról-tányérra változik az összetétel ezért a sűrűség és a tömegáram is változni fog. A tányérok számozása az oszlopban fentről lefelé történik. A víz az első, a levegő és ammónia keverék pedig a tizedik tányérra érkezik.

Az eredményekből elmondható, hogy a számítás eredménye jól közelíti a szimuláció eredményét: egy tányér esetén maximum buboréksapkás tányér esetén 0,03, míg szitatányér esetén 0,006 különbség figyelhető meg. Továbbá az is látható, hogy a buboréksapkás tányérok adódó nyomásveszteségek körülbelül kétszeresei a szitatányéron eső nyomásveszteség értékeknek.

5. táblázat. Az oszlop teljes nyomásvesztesége a különböző esetekben

Tányértípus \ Nyomásveszteség	Számítás	Szimuláció
Buboréksapkás tányér	12,58 kPa	12,35 kPa
Szitatányér	5,22 kPa	5,27 kPa

Az 5. táblázatban összefoglalva láthatók a teljes kolonnára érvényes nyomásveszteségek számítás és szimuláció esetén mindkét tányértípusra. Az eredményekből látható, hogy a két módszer eredményei közötti különbség nem jelentős.

5. Összefoglalás

A paramétervizsgálatokból adódóan meghatározható a fejtermék tisztasága és a technológia energiafelhasználásának minimalizálása szempontjából egy optimális megoldás, amely a tanulmányban vizsgált üzemi paraméterek kismértékű változtatását jelenti és a gyakorlatban is megvalósítható.

A buboréksapkás tányér egy sokkal összetettebb konstrukció, mint a szitatányér. A számítások és szimulációk eredményeit összevetve megállapítható, hogy a szitatányérokon eső nyomásvesztés a folyamat során körülbelül fele akkora, mint a buboréksapkás tányérok esetén. A folyamat lejátszódása szempontjából mindkét tányértípusnál elérhető a kívánt levegő tisztaság értéke, azaz a víz képes az összes ammóniát elnyelni megtisztítva ezzel a levegőt.

6. Köszönetnyilvánítás

A cikkben 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] Annakou, O., Mizsey, P.: *Rigorous investigation of heat pump assisted distillation*, Heat Recover. Syst. CHP, vol. 15, no. 3, (1995) pp. 241-247. [https://doi.org/10.1016/0890-4332\(95\)90008-X](https://doi.org/10.1016/0890-4332(95)90008-X)
- [2] Fonyó, Z., Fábry, G.: *Vegyipari művelettan alapismeretek*, Nemzeti Tankönyvkiadó Rt., 2004.
- [3] Benali, M., Aydin, B.: *Ethane/ethylene and propane/propylene separation in hybrid membrane distillation systems: Optimization and economic analysis*, Sep. Purif. Technol., vol. 73, no. 3, (2010) pp. 377-390. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2010.04.027>
- [4] Soave, G. S., Gamba, S., Pellegrini, L. A., Bonomi, S.: *Feed-splitting technique in cryogenic distillation*, Ind. Eng. Chem. Res., vol. 45, no. 16, (2006) pp. 5761-5765. <https://doi.org/10.1021/ie051343e>
- [5] UniSim® Design User Guide, “User Guide.”
- [6] Jaubert, J. N., Privat, R.: *Relationship between the binary interaction parameters (kij) of the Peng-Robinson and those of the Soave-Redlich-Kwong equations of state: Application to the definition of the PR2SRK model*, Fluid Phase Equilib., vol. 295, no. 1, (2010) pp. 26-37. <https://doi.org/10.1016/j.fluid.2010.03.037>
- [7] Alcántara-Avila, J. R., Gómez-Castro, F. I., Segovia-Hernández, J. G., Sotowa, K.-I., Horikawa, T.: *Chemical Engineering and Processing : Process Intensification Optimal design of cryogenic distillation columns with side heat pumps for the propylene / propane separation*, Chem. Eng. Process. Process Intensif., vol. 82, (2014) pp. 112-122. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2014.06.006>
- [8] <http://facstaff.cbu.edu/rprice/lectures/distill.html>
- [9] Gamse, T.: *Hydrodynamic layout of columns*, Graz: Graz University of Technology, 2004.
- [10] Kafarov, V. V.: *Az anyagátadás alapjai*, Budapest, Műszaki Könyvkiadó, 1967.
- [11] Fábry, G.: *Vegyipari gépek és műveletek VII.*, Budapest, Tankönyvkiadó, 1980.
- [12] Rácz, I.: *Vizkémia II.*, Szent István Egyetem, 2011.
- [13] <https://www.pidesign.co.uk/>
- [14] <https://www.chemicalprocessing.com/assets/Media/MediaManager/thermo.pdf>
- [15] Dullien, F., Máthé, L., Paál, T., Vincze, L.: *Diffúziós műveletek*, Budapest, Vegyterv Műszaki Főosztálya, 1970.