

PROPÁN-PROPILEN ELEGY ELVÁLASZTÁSÁNAK VIZSGÁLATA VRC RENDSZERREL

INVESTIGATION OF THE SEPARATION OF PROPANE- PROPYLENE MIXTURE WITH VRC SYSTEM

Kállai Viktória *, Dr. Szepesi L. Gábor **

ABSTRACT

In this study a propane-propylene separation is investigated with traditional distillation column and with vapor recompression column (VRC). It is a very energy-intensive process, mainly because the boiling points of the components differ only slightly.

The systems with the same parameters of the feed are investigated with Unisim Design® process simulation software with SRK equation of state. The results show that in case of the traditional and VRC system the quality and quantity of the products are the similar, but the energy stream of the VRC system is much lower than the traditional column's.

During the study not only the energy consumption but also the costs of the utility streams are calculated. The traditional distillation column includes a reboiler and a condenser, while the VRC system has energy streams from a compressor and a condenser.

The calculation results show that the cost of the utility streams used in the VRC system is 15.5% of the costs of the utility streams in the conventional system.

1. BEVEZETÉS

A legtöbb vegyipari technológiában a kémiai reakciók mellett a termékek elválasztása a leggyakrabban alkalmazott művelet. Ezen folyamatokban az energia nagy része az elválasztási technológiák lejátszódásakor kerül felhasználásra. Több tanulmányban is kimutatták, hogy a vegyipar és a finomító ipar által felhasznált energia kb. 40-60%-a desztillációval történő szétválasztás megvalósításához szükséges. Habár a termodinamikai hatásfoka alacsony, még mindig a desztilláció a legelterjedtebben alkalmazott művelet különböző komponensek elválasztására. [1-3].

A hagyományos vagy egyszerű desztillációs rendszerek (amelyek egy betáplálással, fej- és fenéktermékkel, egy kondenzátorral és egy kiforralóval rendelkeznek) a legelterjedtebbek, de gyakran nem ezek a leghatékonyabb kialakítások. A folyamatok energiahatékonyságának javítása kihívást jelent az ipar

számára, különösen a növekvő energiaköltségek és környezetvédelmi aggályok miatt [4].

A műveletekben résztvevő összetevők jellemzői alapján több desztillációs eljárást is kifejlesztettek. Ezek közül az egyik változat az ún. gőz rekompresziós kolonna (VRC – vapor recompression column) alkalmazása [4, 5]. Több tanulmányban is bemutatták, hogy ez a változat közeli forráspontú komponensek által alkotott elegyek esetén alkalmazható a legelőnyösebben. A VRC rendszerekben a kolonna fejközét olyan nyomásra komprimálják (kihasználva ezáltal a rendszer látens hőjét), amelyen elég magas a hőmérséklete ahhoz, hogy hőforrásként szolgáljon a kolonna alján távozó és visszavezetésre kerülő folyadékfázis elforrálásához [6].

Alcántara-Avila és szerzőtársai [7] propán-propilén elválasztó rendszerek energiafogyasztását vizsgálták többféle konfigurációval. Az eredményeik azt mutatták, hogy a VRC rendszerek energiafelhasználása 64%-kal kevesebb, mint a hagyományos, nagy nyomású oszlopoké.

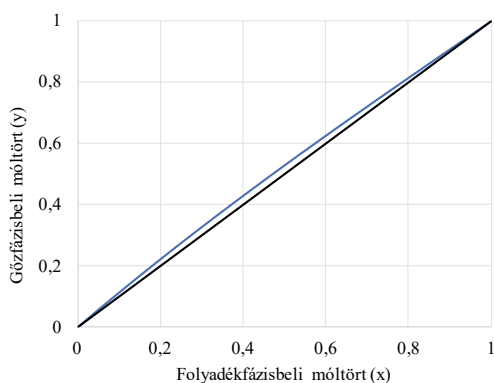
A nagy tisztaságú propilén a petrokémiai ipar nagyon fontos nyersanyaga. Alapanyaga többek között a polipropilénnek, kumolnak, akrilsavnak, propilén-oxidnak stb. A sokrétű felhasználása miatt fontos, hogy nagy mennyiségben és nagy tisztaságban elő tudják állítani [5, 8].

2. PROPÁN-PROPILEN KOMPONENSEK ELVÁLASZTÁSA

A propán és a propilén komponensek elválasztása egymástól különösen energiaigényes művelet, amely köszönhető annak, hogy 20 bar nyomáson a propán forráspontja 56,54°C, míg a propilén forráspontja 46,21°C. Az 1. ábrán látható a két komponens egyensúlyi diagramja 20 bar nyomáson, amelyen szintén látható, hogy az egyensúlyi diagram (x – y) közötti terület nagyon kicsi. Ebből arra lehet következtetni, hogy az egyes komponensek nagy tisztaságban történő elválasztásához sok fokozatra van szükség.

* adjunktus, Miskolci Egyetem Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet

** egyetemi tanár, Miskolci Egyetem Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet



1. ábra Propán-propilén elegy egyensúlyi diagramja 20 bar nyomáson

2.1. Hagyományos kolonna vizsgálata

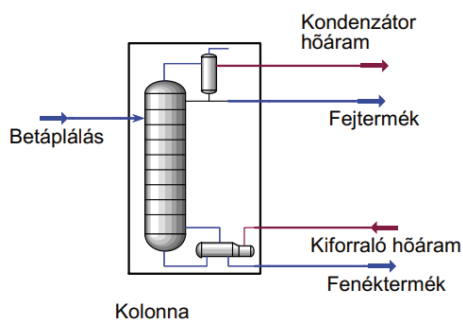
Jelen tanulmányban vizsgált propán-propilén elválasztó kolonna alapadatait egy korábbi tanulmányunkból [9] vettük át, amelyben a kolonna egyes paramétereinek érzékenységvizsgálatát végeztük el. A kolonnában 183 db szitatányér található és fentről lefelé számozva ezeket a 136. tányérra érkezik a betáplálás. A reflux arány értéke 16,4. A betáplálás paramétereit az 1. táblázat mutatja be.

1. táblázat A betáplálás paramétereit

| Paraméter | Érték |
|--------------------|--------|
| Hőmérséklet [°C] | 52,58 |
| Nyomás [bar] | 20,68 |
| Móláram [kmol/h] | 612,40 |
| Propilén móltörtje | 0,60 |
| Propán móltörtje | 0,40 |

A kolonnát Unisim Design® [10] folyamatszimulátor szoftverrel vizsgáltuk a Soave-Redlich-Kwong (SRK) [11-12] termodinamikai modell használatával. A hagyományos kolonna technológiai folyamatábráját

(PFD – Process flow diagram) Unisim Design® szoftverkörnyezetben a 2. ábra mutatja be.



2. ábra A hagyományos propán-propilén szétválasztó kolonna PFD-je

A 2. táblázatban láthatóak a fenéktermék és a fejtermék paramétereit a szimuláció lefuttatása után.

2. táblázat A hagyományos desztillációs rendszer fej- és fenéktermékének paramétereit

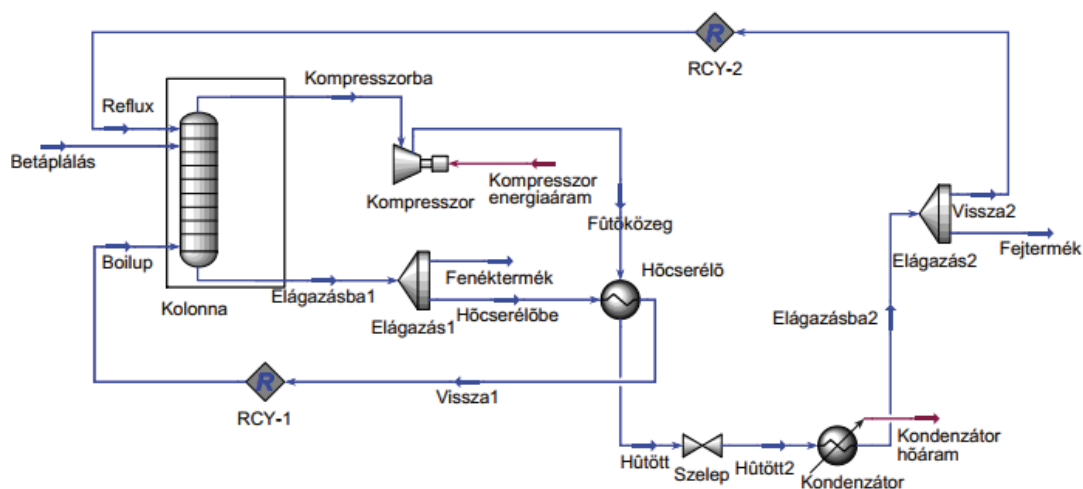
| Paraméter | Fejtermék | Fenéktermék |
|--------------------|-----------|-------------|
| Hőmérséklet [°C] | 46,65 | 57,29 |
| Nyomás [bar] | 19,31 | 20,68 |
| Móláram [kmol/h] | 351,50 | 260,90 |
| Propilén móltörtje | 0,9895 | 0,0751 |
| Propán móltörtje | 0,0105 | 0,9249 |

A kondenzátor szükséges hőárama 20,75 MW, míg a kiforráló szükséges hőárama 18,74 MW.

2.2. A VRC desztillációs rendszer vizsgálata

A VRC rendszerben a betáplálás, a kolonna tányérjaira vonatkozó és a reflux arány paramétereit megegyeztek a hagyományos rendszerben vizsgáltakal.

A 3. ábra mutatja be a VRC rendszer technológiai folyamatábráját Unisim Desing® szoftverkörnyezetben.



3. ábra Propán-propilén szétválasztó VRC rendszer PFD-je

A 3. táblázatban a szimuláció lefuttatása után a VRC rendszerben kapott fej- és fenéktermék paraméterek láthatóak.

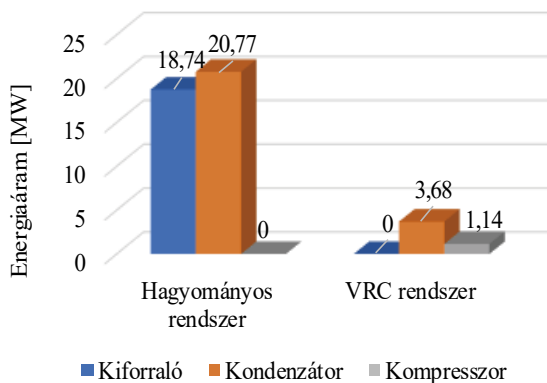
3. táblázat A VRC rendszer fej- és fenéktermékeinek paraméterei

| Paraméter | Fejtermék | Fenéktermék |
|--------------------|-----------|-------------|
| Hőmérséklet [°C] | 46,67 | 57,38 |
| Nyomás [bar] | 19,31 | 20,68 |
| Móláram [kmol/h] | 356,30 | 255,4 |
| Propilén móltörtje | 0,9864 | 0,0672 |
| Propán móltörtje | 0,0136 | 0,9328 |

A kolonnából kilépő fejtőzt a kompresszor 25 bar nyomásra komprimálja, így a kompresszor energiaárama 1,14 MW, a kondenzátor hőárama pedig 3,68 MW.

3. A HAGYOMÁNYOS ÉS VRC RENDSZER SEGÉDÁRAMAINAK KÖLTSÉGE

A desztillációs rendszerek energiafogyasztásának összehasonlítását mutatja be a 4. ábra.



4. ábra Az energiaáramok összehasonlítása a vizsgált rendszerekben

A kondenzátor hűtőközege 1 bar nyomású hűtővíz volt, amely tömegáramának meghatározása az (1) összefüggéssel történik, azaz a rendszer belső energiájának megváltozását leíró összefüggéssel.

$$\dot{m}_{\text{hűtővíz}} = \frac{Q_{\text{kondenzátor}}}{c_{\text{hűtővíz}} \cdot \Delta T} \quad (1)$$

ahol $\dot{m}_{\text{hűtővíz}}$ a hűtővíz tömegárama [kg/s], $Q_{\text{kondenzátor}}$ a kondenzátor hőárama [kW], $c_{\text{hűtővíz}}$ a hűtővíz középhőmérsékletén vett fajhő [kJ/(kg·K)], ΔT a hűtővíz be- és kilépő oldalának hőmérsékletkülönbsége [K].

A kiforraló fűtőközege telített állapotú, 6,9 bar nyomású vízgőz volt, amely tömegáramának meghatározása a (2) összefüggéssel történik.

$$\dot{m}_{\text{gőz}} = \frac{Q_{\text{kiforraló}}}{r} \quad (2)$$

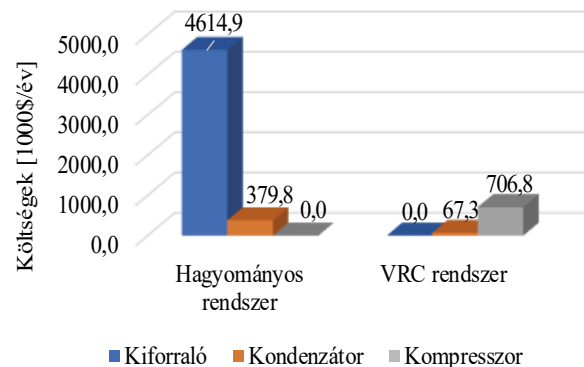
ahol $\dot{m}_{\text{gőz}}$ a fűtőgőz tömegárama [kg/s], $Q_{\text{kiforraló}}$ a kiforraló hőárama [kW], r a párolgáshő [kJ/kg].

A 4. táblázat a különböző segédáramok egységárait foglalja össze Kazemi és szerzőtársai tanulmánya alapján [1].

4. táblázat A segédáramok egységárai [1]

| Segédáram | Egységár |
|---------------------------|----------|
| Hűtővíz (\$/1000 kg) | 0,032 |
| Fűtőgőz (\$/1000 kg) | 17,7 |
| Villamos energia (\$/kWh) | 0,0775 |

Az (1) és a (2) összefüggések alkalmazásával, valamint a 4. táblázatban szereplő egységárakkal és évi 8000 órát figyelembevéve meghatározhatóak az egyes segédáramok költségei \$-ban egy évre vonatkozóan. A kapott eredmények az 5. ábrán láthatóak.



5. ábra A segédáramok költségeinek összehasonlítása a vizsgált rendszerekben

A hagyományos desztillációs rendszerben a segédáramok költsége összesen 4 994 723 \$/év, míg a VRC rendszerben 774 091 \$/év.

4. EREDMÉNYEK ÖSSZEGZÉSE

A tanulmányban propán-propilén szétválasztó hagyományos desztillációs és VRC rendszereket vizsgáltunk energiafelhasználás szempontjából Unisim Design® folyamatszimulátor szoftver segítségével. A vizsgálat során a folyamat megfelelő minőségben történő

lejátszódásához szükséges segédáramok mennyisége és árai is meghatározásra kerültek.

Az eredményekből látható, hogy hagyományos és VRC rendszerrel nagyon hasonló mennyiségű és minőségű termékek adódnak a szimulációs számítások során.

A hagyományos kolonnával rendelkező esetben a kondenzátor és a kiforráló hőáramából és a segédáramok üzemi paramétereinek ismeretében meghatározható azok szükséges tömegárama. Ezután az egységárak ismeretében kiszámolhatóak a költségeik.

A VRC rendszer esetén pedig a kondenzátor hőáramából meghatározható a szükséges hűtővíz mennyisége, továbbá a kompresszor energiaáramának ismeretében, szintén az egységárak figyelembevételével számíthatóak a segédáramok költségei.

A bemutatott költségszámítások nem fedik le a teljes költségeit a vizsgált rendszereknek, csak a segédáramok vonatkozásában történt a vizsgálatuk. A VRC rendszer beszerzési és telepítési költségei nagyobbak a hagyományos desztillációs oszlopétól. Jelen tanulmány nem terjed ki ezek számítására.

A segédáramok költségeinek számítási eredményeiből megállapítható, hogy a VRC rendszerben alkalmazott segédáramok költsége 15,5%-a a hagyományos rendszerben lévő segédáramok költségeinek.

5. IRODALOM

- [1] KAZEMI A., MEHRABANI-ZEINABAD A., BEHESHTI M.: *Distillation without hot utilities; development of novel distillation configurations for energy and costs saving for separation of propylene/propane mixture*, Chemical Engineering & Processing: Process Intensification, 123, (2018), pp. 158-167., <https://doi.org/10.1016/j.cep.2017.10.027>
- [2] WAHEED M., ONI A., ADEJUYIGBE S., ADEWUMI B., FADARE D.: *Performance enhancement of vapor recompression heat pump*, Applied Energy 114 (2014), pp. 69–79., <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.09.024>
- [3] GAO X., CHEM J., MA Z., YANG L.: *Simulation and optimization of distillation processes for separating a close-boiling mixture of n-butanol and isobutanol*, Industrial & Engineering Chemistry Research, Vol. 53, No. 37, (2014), pp. 14440-14445, <https://doi.org/10.1021/ie502695x>
- [4] FELBAB N., PATEL B., EL-HALWAGI M., HILDEBRANDT D., GLASSER D.: *Vapor recompression for efficient distillation: 1. A new synthesis perspective on standard configurations*, AIChE Journal, Vol. 59, (2013), pp. 2977-2992, DOI 10.1002/aic.14070
- [5] NAVARRO-AMORÓS M. A., RUIZ-FEMENIA R., CABALLERO J. A.: *A new technique for recovering energy in thermally coupled distillation using vapor recompression cycles*, AIChE Journal, Vol. 59, No. 10, (2013), pp. 3767-3781, <https://doi.org/10.1002/aic.14137>
- [6] ANAND A., KUMAR V., KAISTHA N.: *Vapor recompression C₃ splitter: Design and control*, IFAC PapersOnLine, Vol. 51, No. 1, (2020), pp. 117-122, 10.1016/j.ifacol.2020.06.020
- [7] ALCÁNTARA-AVILA, J. R., GÓMEZ-CASTRO, F. I., SEGOVIA-HERNÁNDEZ, J. G., SOTOWA, K.-I., HORIKAWA, T.: *Optimal design of cryogenic distillation columns with side heat pumps for the propylene/propane separation*. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, Vol. 82, (2014) pp. 112–122. doi:10.1016/j.cep.2014.06.006
- [8] AITANI A., M.: *Propylene production*, Encycl. Chem Process, (2006), pp. 2461-2466
- [9] KÁLLAI V., SZEPESI L. G.: *Propane/propylene separation's examination with simulation*, MultiScience - XXXII. microCAD International Multidisciplinary Scientific Conference, (2018), ISBN 978-963-358-162-9
- [10] UNISIM® Design User Guide, "User Guide.", 2009
- [11] 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 Equilibrium, Vol. 295, No. 1, (2010), pp. 26-37., <https://doi.org/10.1016/j.fluid.2010.03.037>
- [12] PU X., CAO R., LIU Y., HAO Y., JIANG W., WU L., BAI Z.: *Precise correlation of propylene-propane system and its analysis of relative volatility*, Fluid Phase Equilibria, Vol. 473, (2018), pp.192-200, <https://doi.org/10.1016/j.fluid.2018.06.016>