

## TÁNYÉR HIDRAULIKA VIZSGÁLATA REKTIFIKÁLÁS ÉS ABSZORPCIÓ ESETÉN: TÁNYÉR ELLENÁLLÁS MEGHATÁROZÁSA

**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](mailto: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](mailto:szepesi@uni-miskolc.hu)

### **Absztrakt**

*A tanulmányban ammóniával szennyezett levegő tisztításának megvalósíthatósága került bemutatásra. A számításokban alapvető cél az volt, hogy a nyomásvesztés minimálisra csökkenthető legyen, ehhez két típusú kolonna konstrukció vizsgálata történt meg. A számítások során felhasználásra kerültek a buboréksapkás, valamint a szitatányéros oszlopok számítására vonatkozó, szakirodalomban megtalálható összefüggések. A kapott eredmények összevetésre kerültek a Unisim Design folyamatszimulátor szoftver által kapott eredményekkel.*

**Kulcsszavak:** nyomásvesztés, buboréksapkás tányér, szitatányér, kolonna

### **Abstract**

*The feasibility of cleaning ammonia-contaminated air was presented in the study. The basic goal in the calculations was to minimize the pressure loss, for which two types of column construction were investigated. The correlations found in the literature for the calculation of bubble cap and sieve plate columns were used in the calculations. The results were compared with the results of the Unisim Design process simulator software.*

**Keywords:** pressure drop, bubble cap tray, sieve tray, column

## **1. Bevezetés**

Az oszlopszerkezetek széles körben alkalmazott berendezések a kőolaj- és vegyiparban desztillációs és abszorpciós folyamatok során. A kolonnákat két nagy részre lehet osztani: tányéros és töltelékes. Összehasonlítva a kettőt, a tányéros kolonnák fő előnyei a széleskörű működés, továbbá a nagy kapacitás [1].

Ebben a tanulmányban egy, az iparban gyakran alkalmazott technológia kerül bemutatásra: ammóniával szennyezett levegő tisztítása vízzel egy abszorber toronyban. Mivel a víz nagy mértékben képes elnyelni az ammóniát, ezért megfelelő a levegő megtisztítására.

A tanulmányban elemzésre került a probléma szita és buboréksapkás tányér alkalmazásával továbbá folyamatszimulátor szoftverben modellalkotással.

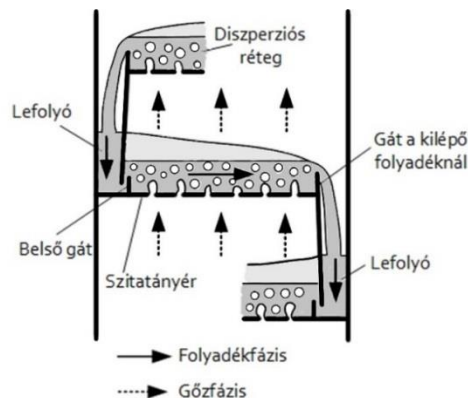
## **2. Tányér hidraulika**

Egy kolonnában az áramlási viszonyok a szerkezeti kialakítástól függenek, emiatt a berendezések átmérőjének és belső szerkezetének méretezése, továbbá ellenőrzése hidraulikai számításokon alapul.

Ezen számítások az oszlopok megfelelő méreteinek kialakítását szolgálják. A hidrodinamikai méretezéssel biztosíthatóak a szükséges gőz- és folyadékkapacitások, azaz a terhelehetőségek, ezen túl ellenőrizhető, hogy az előzetesen kialakított belső elemek, azok elrendezése lehetővé teszi-e a kívánt szétválasztás megvalósítását [2].

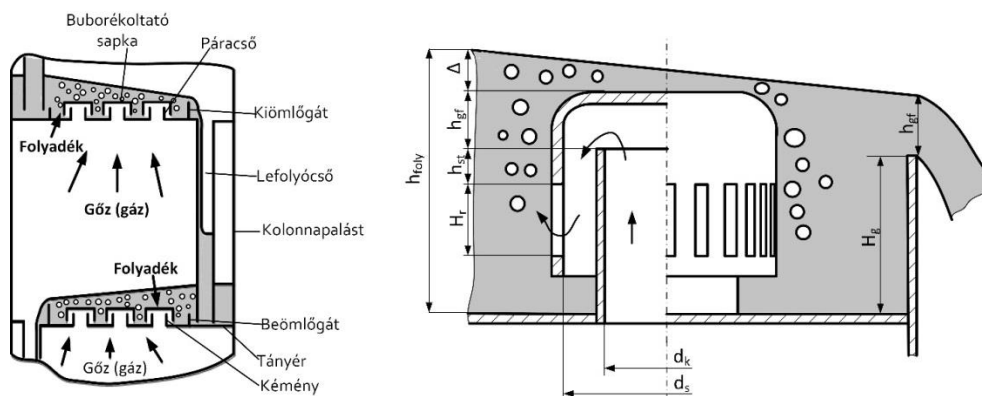
A működés során az oszlop mentén kialakul egy nyomásgradiens – különben a gőzfázis nem tudna felfelé áramolni. Ezt a nyomásgradienst általában tányéronkénti nyomáseséssel fejezik ki [3].

Egy tányér hidrodinamikai tervezése igen lényeges pontja 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 [4].



1. ábra. Szitatányér [4]

Túlfolyós tányéros kolonnákban a folyadék keresztáramban a gőzfázissal szemben halad lefelé egyik tányérról a másikra, miközben a kevésbé illékony komponensben dúsul. A tányéron lévő folyadék magasságát a kilépési pontnál elhelyezett gát magassága szabja meg. A gőzfázis a folyadékfázisba buborékol a tányér perforációin keresztül szitatányér esetén (1. ábra). Míg buboréksapkás tányéroknál az ún. kéményen elhelyezett buboréksapka perforációin keresztül buborékol a gőz- vagy gázfázis a folyadékfázisba (2. ábra) [4].



2. ábra. Buboréksapkás tányér és buboréksapka ábrázolása [5, 6]

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.

### Nyomásésés

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

- hőmérséklet profil,
- gőz-folyadék egyensúly,
- gőzterhelés, mivel a gőzsűrűsége függ a nyomástól és a hőmérséklettől [5, 6].

Szem előtt kell tartani, hogy egy tányér nyomásésése 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 [5, 6].

A nyomásésésnek a vákuum desztilláció esetén van a legnagyobb befolyásoló hatása. Egy kolonna teteje és alja közötti nagy nyomáskülönbség esetén alacsonyabb vákuum alkalmazása szükséges.

Száraz tányér ellenállás ( $\Delta p_{sz}$ ): a gőzfázis száraz, azaz folyadék nélküli tányéron történő átáramlása során jelentkezik [4].

### 3. A folyamat bemutatása

A vizsgált rendszer: ammóniával szennyezett levegő, amelyet vízzel kell megtisztítani. Az ammónia vízben nagyon jól 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 [7]. A 3. ábra szemlélteti az ammónia vízben való oldhatóságát a víz hőmérsékletének függvényében. [8].

#### A vizsgált rendszer és a megalkotott modell

A folyamat végrehajtásához abszorber oszlopot alkalmaztunk. A szoftver adatbázisában megtalálható a levegő, mint összetett komponens, de a pontosabb termékbeli összetételek meghatározása céljából 79 térfogat% nitrogénnel és 21 térfogat% oxigénnel helyettesítettük.

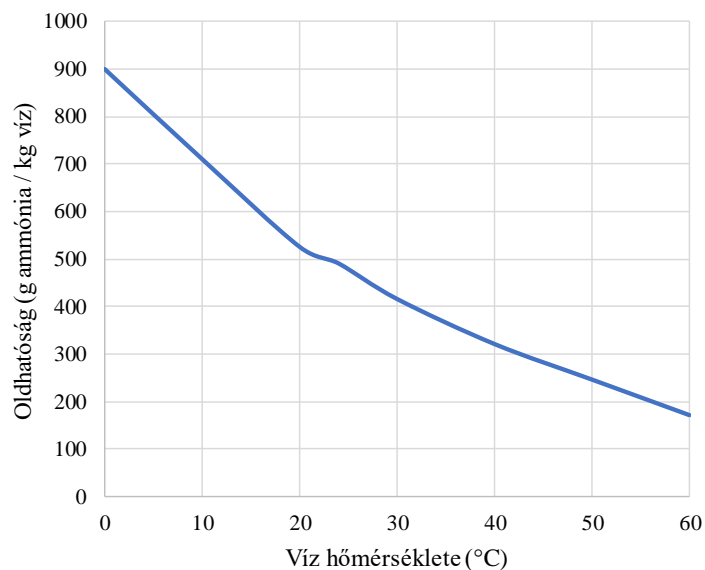
1. táblázat. A rendszer anyagáramainak paraméterei

Anyagáram neve	Víz	Ammónia + levegő	Tisztított levegő	Szennyezett víz
Hőmérséklet [°C]	15	10	15	27,04
Tömegáram [kg/h]	15000	7000	6581,77	15418,2
<b>Összetétel [n/n]</b>				
Víz	1	0	0,003	0,97
Ammónia	0	0,1	0	0,03
Oxigén	0	0,17	0,187	0,000002
Nitrogén	0	0,73	0,81	0,00003

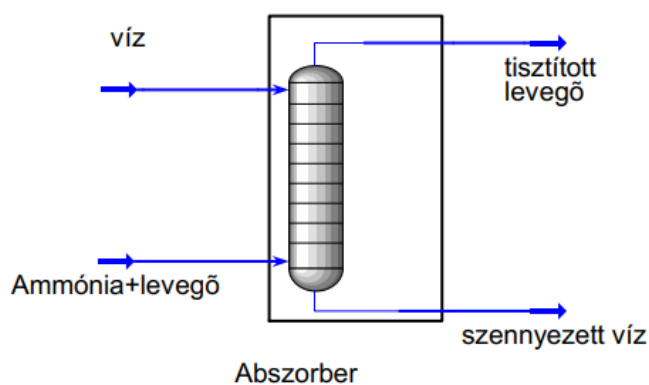
Az 4. ábra a Unisim Design [9] szoftverben felépített modellt mutatja be, amely megalkotásához a Sour SRK [10], [11] anyagmodell került alkalmazásra. Az oszlopban 10 darab tányér került beépítésre,

az alkalmazott tányértávolság 500 mm, az oszlopátmérő pedig 0,8 m volt. Az 1. táblázat tartalmazza a betáplálások és a kapott termékek paramétereit; az anyagáramok elnevezése az 4. ábrának megfelelően történt. 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.



3. ábra. Ammónia vízben való oldhatósága [8]



4. ábra. Unisim Design szoftver környezetben létrehozott modell

A szimuláció eredményeiből azt mondhatjuk, hogy a víz az összes ammónián kívül 0,06785 kg/h oxigént és 0,6403 kg/h nitrogént nyel el. Azaz az oxigén 0,0049%-át és a nitrogén 0,01233%-át. Tehát a nitrogént jobban képes elnyelni a víz, mint az oxigént.

#### 4. A nyomásveszteség meghatározása

A számításban alkalmazott szakirodalomból átvett összefüggések tapasztalati képletek, melyekben mértékegység szerinti nem egyezőség figyelhető meg, azonban ezeket a képletekben szereplő konstansokkal korrigálták. Buboréksapkás tányér össznyomásveszteségének kiszámításához az anyagáramok, valamint a tányér és buboréksapkák geometriai paramétereit kell ismerni. Az össznyomásveszteség meghatározására vonatkozó összefüggés [12]:

$$h_t = h_{ps} + h_r + h_{st} + h_{gf} + \frac{1}{2} \Delta \quad (1)$$

ahol  $h_t$ : tányér nyomásvesztesége [kPa],  
 $h_{ps}$ : sapka parciális nyomásvesztesége [kPa],  
 $h_r$ : résnyitásból eredő nyomásveszteség [kPa],  
 $h_{st}$ : statikus zárból adódó nyomásveszteség (a sapkarés teteje és gát teteje közötti rész) [kPa],  
 $h_{gf}$ : gátfeletti folyadékmagasság nyomásvesztesége [kPa],  
 $\Delta$ : folyadékgradiens [kPa].

A képletben szereplő részveszteségek meghatározása sorrendben a következő [12]. A kémény és forduló okozta nyomásveszteség:

$$h_{ps} = 274 \cdot K \cdot \frac{\rho_G}{\rho_F - \rho_G} \cdot \frac{V_g}{A_K} \quad (2)$$

ahol  $K$ : állandó:  $\frac{\text{gyűrű km.}}{\text{kémény km.}}$ , kiáramlási együttható, normál típusú buboréksapkákra:  $K = 1,33$ ;  
 $\rho_G$ : gőz sűrűsége [ $\text{kg/m}^3$ ],  
 $\rho_F$ : folyadék sűrűsége [ $\text{kg/m}^3$ ],  
 $V_g$ : gőzmennyiség [ $\text{m}^3/\text{s}$ ],  
 $A_K$ : kéménykeresztmetszet egy tányéron [ $\text{m}^2$ ].

Résnyitásból eredő nyomásveszteség:

$$h_r = 7,55 \cdot \left( \frac{\rho_G}{\rho_F - \rho_G} \right)^{1/3} \cdot H_r^{2/3} \cdot \left( \frac{V_g}{A_r} \right)^{2/3} \quad (3)$$

ahol  $H_r$ : résmagasság [mm],  
 $A_r$ : buboréksapka résterülete egy tányéron [ $\text{m}^2$ ].

Statikus zárból eredő nyomásveszteség:

$$h_{st} = H_g - (s + H_r) \quad (4)$$

ahol  $H_g$ : gátmagasság [mm],  
 $s$ : sapka szerelési magassága [mm].

Gátfeletti folyadékmagasságból eredő nyomásveszteség:

$$h_{gf} = 2,84 \cdot E_\phi \left( \frac{V_f}{L_g} \right)^{2/3} \quad (5)$$

ahol  $V_f$ : folyadékmennyiség [ $\text{m}^3/\text{h}$ ],  
 $L_g$ : gáthossz [m],  
 $E_\theta$ : állandó, buboréksapkás tányér gát korrekciós tényezője [-],  
 $D_r$ : toronyátmérő [m].

Folyadékgradiens okozta nyomásvesztés:

$$\Delta \leq (h_{ps} + h_r) \cdot 0,5 \quad (6)$$

értéküre szükséges felvenni.

Tűlfolyóval rendelkező szitatányér esetén az egy fokozatra eső össznyomásvesztés meghatározása Sterbacek szerint [12]:

$$h_t = \Delta p_{sz} + \rho_F \cdot h_{foly} \cdot g + \Delta p_\sigma \quad (7)$$

ahol  $h_t$ : tányér nyomásvesztése [kPa],  
 $\Delta p_{sz}$ : száraz nyomásvesztés [kPa],  
 $\rho_F$ : folyadék sűrűsége [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ],  
 $h_{foly}$ : tiszta folyadékmagasság a tányéron [m],  
 $g$ : nehézségi gyorsulás [ $\text{m}/\text{s}^2$ ],  
 $\Delta p_\sigma$ : felületi feszültség okozta nyomásvesztés [kPa].

A képletben szereplő részvesztések meghatározása sorrendben a következő [12]. Száraz nyomásvesztés:

$$\Delta p_{sz} = \left( \frac{1}{K \cdot F_0} - 1 \right)^2 \cdot \frac{v_g^{1,78} \cdot \rho_g}{2} \quad (8)$$

ahol  $K$ : kiáramlási együttható [-],  $K = f(s_f/d_f)$   
 ahol  $s_f$ : tányérlemezvastagsága [mm],  
 $d_f$ : furatátmérő [mm],  
 $F_0$ : tányér szabad keresztmetszete [ $\text{m}^2/\text{m}^2$ ],  
 $v_g$ : gőzsebesség [m/s],  
 $\rho_g$ : gáz sűrűsége [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ].

Felületi feszültség okozta nyomásvesztés:

$$\Delta p_\sigma = \frac{4\sigma}{d_f} \quad (9)$$

ahol  $\sigma$ : felületi feszültség [ $\text{kg}/\text{s}^2$ ].

A nyomásvesztések 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 nyomásvesztés kiszámításához alkalmazandó egyszeres hatvánnyal, míg a folyadék sűrűsége a tányér nyomásvesztés meghatározásához alkalmazott képlet második tagjában szerepel szintén egyszeres szorzóval. Buboréksapkás tányér esetén mindkét sűrűség tag szerepel a

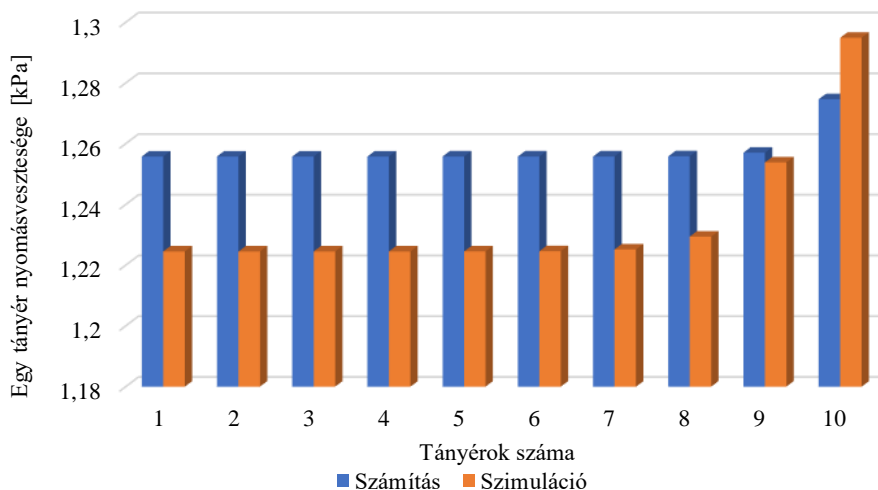
sapka parciális nyomásvesztésének meghatározásához szükséges képletben, a résnyitásból eredő nyomásvesztés képletében, valamint szükségesek még a folyadékgradiens meghatározásához is.

Mivel tányérról-tányérra változik az összetétel ezért a sűrűség és a tömegáram is változni fog. A 2. táblázat az egyes tányérokra lévő folyadék- és gázfázisok tömegáramát, valamint sűrűségét mutatja be. A tányérok számozása az oszlopban fentről lefelé történik. A víz az első, a levegő és ammónia keverék pedig a tizedik tányérra érkezik.

2. táblázat. Belső anyagáramok tömegárama és sűrűsége

Tányér-szám	Folyadékfázis tömegárama [kg/h]	Gázfázis tömegárama [kg/h]	Folyadékfázis sűrűsége [kg/m <sup>3</sup> ]	Gázfázis sűrűsége [kg/m <sup>3</sup> ]
1	150000	6581,77	997,98	7,48
2	15000	6581,80	997,98	7,48
3	15000	6581,80	997,98	7,48
4	15000	6581,80	997,98	7,48
5	15000	6581,80	997,98	7,48
6	15000,1	6581,80	997,98	7,48
7	15000,3	6581,83	997,98	7,48
8	15002,5	6582,05	997,96	7,48
9	15033,8	6583,24	997,08	7,48
10	15418,2	6615,61	981,05	7,53

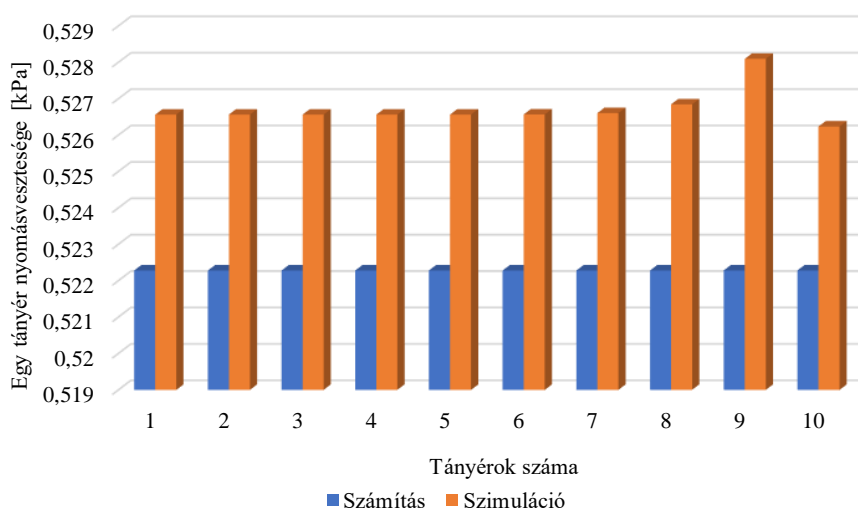
Az 5. és 6. ábrák szemléltetik a számítás és szimuláció eredményeit. Elmondható, hogy a számítás eredménye jól közelíti a szimuláció eredményét: egy tányér esetén buboréksapkás tányértípusnál maximum 0,03, míg szitatányér esetén 0,006 különbség figyelhető meg. Továbbá az is látható, hogy a buboréksapkás tányérokra adódó nyomásvesztések körülbelül kétszeresei a szitatányérokra eső nyomásvesztés értékeknek.



5. ábra. Buboréksapkás tányér számított és szimulált nyomásvesztései

A 2. táblázatban lévő értékekből látható, hogy minimális az eltérés az egyes tányérok elhagyó anyagáramok vizsgált paraméterei között, ezért tapasztalható a számítás során körülbelül konstans érték buboréksapkás tányér esetén 9 tányérnál. Mivel az alkalmazott számítási módszert szitatányér esetén nem befolyásolják a belső anyagáramok tömegáramai csak a sűrűség értékek, ezért ott még kisebb különbség tapasztalható az egyes fokozatok között.

A 3. táblázatban összefoglalva láthatók a teljes kolonnára érvényes nyomásvesztése számítás és szimuláció esetén mindkét tányértípusra.



6. ábra. Szitatányér számított és szimulált nyomásvesztései

3. táblázat. Az oszlop teljes nyomásvesztése a különböző esetekben

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

## 5. Összefoglalás

Kialakításából adódóan a buboréksapkás tányér egy sokkal összetettebb konstrukció, mint a szitatányér. Rajta a gőz/gáz csak bonyolultabb útvonalon tud keresztül haladni, ebből adódóan a nyomásvesztése is nagyobb lesz. 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 a kívánt mennyiségű ammóniát elnyelni.



## 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] Tang, M., Zhang, S., Wang, D., Liu, Y., Wang, L., Liu, C. Experimental study and modeling development of pressure drop in concurrent gas-liquid columns with a tridimensional rotational flow sieve tray. Chem. Eng. Sci. 2018, 191:383–397. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2018.06.080>
- [2] Fonyó, Z., Fábry, G. Vegyipari művelettani alapismeretek. Nemzeti Tankönyvkiadó Rt., 2004.
- [3] <http://facstaff.cbu.edu/rprice/lectures/distill.html>
- [4] Gamse, T. Hydrodynamic Layout of Columns. Graz: Graz University of Technology, 2004.
- [5] Kafarov, V.V. Az anyagátadás alapjai. Budapest: Műszaki Könyvkiadó, 1967.
- [6] Fábry, G. Vegyipari gépek és műveletek VII. Budapest: Tankönyvkiadó, 1980.
- [7] Rácz, I. Vízkémia II. Szent István Egyetem, 2011.
- [8] [https://www.engineeringtoolbox.com/gases-solubility-water-d\\_1148.html](https://www.engineeringtoolbox.com/gases-solubility-water-d_1148.html)
- [9] UniSim® Design User Guide, “User Guide
- [10] <https://www.pidesign.co.uk/>
- [11] <https://www.chemicalprocessing.com/assets/Media/MediaManager/thermo.pdf>
- [12] Dullien, F., Máthé, L., Paál, T., Vincze, L. Diffúziós műveletek. Budapest: Vegyterv Műszaki Főosztálya, 1970.