

A VEGYÉSZMÉRNÖKI TUDOMÁNY ALAPJAI III.

Vegyipari készülékek geometriai leírása

BENEDEK PÁL*

A Magyar Kémikusok Lapja előző számában megjelent cikkünkben [1] egyebek között a hiperszorpció és rektiszorpció morfológiájáról is szó volt és bemutattuk, hogy e műveletek kiviteli módját illetően milyen nagy változatosságra van lehetőség. E változatosság más diffúziós műveleteknél éppígy fellelhető. Tudomásunk szerint még senki sem kísérelte meg a diffúziós egyedi műveletek morfológiai rendszertanát elkészíteni, s bár egy ilyen rendszerező munka sok érdekes analógiát tárna fel, s ennek nyomán új megoldásokhoz vezethetne, mi magunk sem kezdünk ilyen irányban tevékenykedni. Egyelőre még az általános vonások felvázolásán sem jutottunk túl.

Az mindenesetre kézenfekvő, hogy a diffúziós műveletekkel csupán kiviteli módozatuktól, szerkezeti kiképzésüktől függetlenül foglalkozni nem elégséges, mert hiszen e műveleteket berendezések, készülékek nélkül megvalósítani nem lehet, és így előbb-utóbb a kiviteli módozatok, a szerkezeti kiképzések problematikája is előtérbe kerül. A konkrét szerkezeti kiképzés aztán visszahat a szóban forgó diffúziós művelet szabadsági fokára is.

A stacionárius műveleti egységek szabadsági fokáról szólva ui. az előző közleményekben [2] hangsúlyoztuk, hogy ez a szabadsági fok mindig csak jól meghatározott s körülírt szempontból értelmezhető. Példaképpen megemlítjük, hogy kéttermékes lepárló oszlop szabadsági fokáról igazoltuk:

$$F = m + 2(p + q) + 8 \quad (1)$$

Ez akkor érvényes megállapítás, ha adott (rögzített p és q) lepárlóoszlopról van szó, vagyis ha p és q nem technológiai paraméter, hanem megváltozhatatlan technológiai adottság és nem vagyunk tekintettel az oszlop szerkezeti kiképzésére, a fázisok mozgására stb.... Azt is megmutattuk viszont, hogyha p és q technológiai paraméter, vagyis megválasztható leíró adata a lepárlóoszlopnak, akkor az oszlop szabadsági foka kettővel megnő, mert hiszen e két adat beiktatása a leíró technológiai paraméterek közé nem változtatja meg a leíró adatok között fennálló összefüggések számát.

Itt rögtön meg kell jegyezni, hogy a kéttermékes lepárlóoszlop szabadsági fokát egyszerűbb formában is meg lehet adni, akkor ti. ha p -t és q -t egyáltalában nem vesszük számba (tehát sem adott, sem választható) leíró adatként. Ez esetben a szabadsági fok kifejezése a következő alakra egyszerűsödik [3]:

$$F = m + 5 \quad (2)$$

Ez a formula célszerűen használható üzemi megfontolásoknál vagy szabályozási kér-

* Veszprémi Vegyipari Egyetem.

dések eldöntésénél, mert hiszen figyelmen kívül hagyja mindazokat a hatásokat, amelyek p vagy q konkrét értékétől függenek.

Az eddigi megfontolásoknál nem szerepelt a leíró adatok között egyetlen olyan sem, amely az oszlop geometriai méretére vonatkozik. Nyilvánvaló azonban, hogy a geometriai adatok igen fontosak, mert hiszen a lepárlást vagy bármely más diffúziós műveletet valamiféle konkrét szerkezeti anyagból megépített meghatározott méretű berendezésben lehet csak megvalósítani. Mindenesetre azonban a geometriai leíró adatok között lesznek olyanok, amelyeknek a diffúziós művelet lefolyása szempontjából nincsen semmiféle jelentősége (így pl. annak, hogy a részekből összeállított torony egyes szakaszait milyen méretű peremek fogják össze, nincs közvetlen jelentősége a falvastagságnak stb. . .). A diffúziós művelet lefolyása szempontjából jelentőséggel bíró geometriai adatokat a berendezés „főméreteinek” nevezi a mérnöki gyakorlat és ezeknek megadása a berendezés méretezése során a vegyészmérnök feladatkörébe tartozik. (A berendezés kivitelezése szempontjából való további tervezés viszont gépészmérnöki feladat.)

A főméretek meghatározása azért „par excellence” vegyészmérnöki feladat, mert ezek a méretek meghatározzák a berendezés kapacitását és ezzel kapcsolatban teljesítőképességét minőségi szempontból, általában működését minden technológiai vonatkozásban (és ennek következtében javarészt gazdaságossági vonatkozásban is). Mindazok a geometriai adatok tartoznak ezek szerint a főméretek közé, amelyek a művelet lefolyása szempontjából jelentőséggel bírnak. Emellett nagymértékben függ a műveleti egység konkrét kiképzési módjától, a fázisok mozgásától és elhelyezkedésétől is, hogy milyen geometriai méretek bírnak ilyen jelentőséggel.

Lepárlás üres csőben

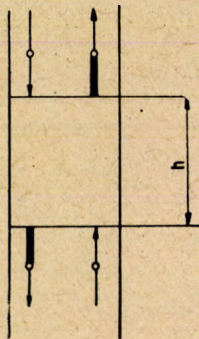
Az itt kifejtett gondolat megvilágítására egyelőre a következő egyszerű esetet tárgyaljuk: ismeretes, hogy a lepárlást végre lehet hajtani semmiféle tányért sem tartalmazó üres csőben. Az ilyen művelet elméletét illetően lásd *Westhaver* munkáját [4]. Kézenfekvő dolog, hogy egy ilyen lepárló oszlop jellemzésére geometriai szempontból négy adat elegendő: az oszlop L_f és L_a magassága, valamint r_f és r_a sugara, a betáplálás helye felett és alatt. A kérdés mármost az, hogy milyen kapcsolat van a geometriai főméretek és a berendezés technológiai működése között?

Ha L_f magasságú és r_f átmérőjű felső toronyszakaszban p elméleti tányérnak megfelelő elválasztás realizálódik adott üzemi körülmények

között (hogy ez mit jelent, arról előző közleményünkben már volt szó), akkor az adott üzemi körülmények között egy elméleti tányérnak megfelelő átlagos magasság a toronyban :

$$\bar{h} = \frac{L_I}{p} \quad (3)$$

vagyis a torony magassága mentén bárhol vett folyadékminta és felette h távolságra vett gőz minta koncentrációja olyan, mintha ez a folyadék és gőzminta egymással fázisegyensúlyban volna (1. ábra). Hasonló megfontolás érvényes a betá-



1. ábra

lás alatti szakaszra is. Ezért szokás a (3) egyenlettel definiált \bar{h} mennyiséget elméleti tányérmagasságnak nevezni (az angol szakirodalomban használatos elnevezés height equivalent to one theoretical plate, szokásos rövidítése HETP). A toronyméretezést kényelmessé és lehetségessé teszi, ha ismerjük az elméleti tányérmagasságnak a működési viszonyoktól való függését. Az itt tárgyalt esetben pl. Westhaver elméleti úton levezette, hogy tetszés szerinti elméleti tányérmagassága :

$$h_i = \frac{11}{48} \frac{v r_i^2}{D} \quad (4)$$

(A gőz diffúziós állandója, D , anyagi állandó, tehát az adott esetre vonatkozóan nem technológiai paraméter.)

Itt megjegyezzük, hogy a mérnöki gyakorlatban rendszerint a (3) egyenlettel definiált átlagos tányérmagassággal dolgoznak és nyilván

$$\bar{h} = \frac{1}{p} \sum_1^p h_i$$

Másfelől, mindaddig amíg a toronyban felfelé szálló gőz áramlása lamináris, érvényes a Poiseuille egyenlet, s az elméleti tányérmagasságon fellépő nyomásesésre írhatjuk.

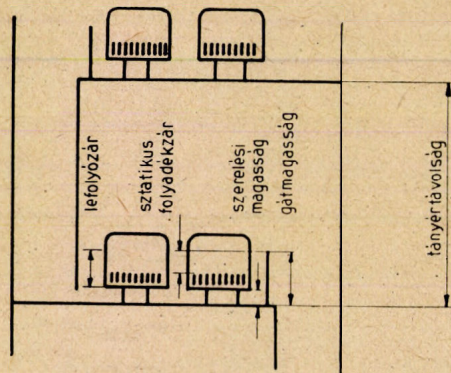
$$\Delta P_i = \frac{32 v \mu h_i}{4 r_i^2} \quad (5)$$

A gőz viszkozitása μ , anyagi állandó, tehát az adott esetre vonatkozóan nem technológiai paraméter. A (4) és (5) egyenletben szerepel a gőz v lineáris áramlási sebessége. Ez azonban a tányérről felfelé szálló gőz mennyiségével a következő kapcsolatban van :

$$v = \frac{G'_i}{r_i^2 \pi} \quad (6)$$

ha G'_i a felfelé áramló gőz mennyiségét térfogat/idő dimenziójú, adekvát mértékegységgel adjuk meg. A v gőzsebesség tehát egy intermedier — kiküszöbölhető — leíró adat.

Ez előzetes megfontolások után határozzuk meg a szokásos módon egy geometriai adataival is leírt elméleti tányér (2. ábra) szabadsági fokát (1. táblázat).



2. ábra

1. táblázat

I. A leíró adatok	
jellege	száma
1. A be és kilépő áramok viszonylagos mennyisége	3
2. A be és kilépő áramok termodinamikai állapota	4(m + 1)
3. A viszonylagos hóforgalom	1
4. Az elméleti tányérmagasság, h_i	1
5. A torony sugara, r_i	1
Ez összesen	4m + 10
II. A megkötések	
jellege	száma
1. Specifikus tömegmérleg	m
2. Entalpiamérleg	1
3. Egyensúlyi feltétel	m + 2
4. A h_i tányérmagasság Westhaver szerint (4)	1
5. A ΔP_i nyomásesés (5) egyenlete ...	1
Ez összesen	2m + 5

A geometriai adataival is leírt elméleti tányér szabadsági foka tehát :

$$F = 2m + 5 \quad (7)$$

vagyis ugyanannyi, mint a geometriai adataival nem jellemzett elméleti tányéré. Ebből következik, hogy az egész oszlopra érvényes (1) egyenlet is változatlanul érvényes.

Megfontolásaink tehát arra az eredményre vezetnek, hogy ha a leparlást egyébként már rögzített technológiai feltételek mellett üres csőből

álló toronyban akarjuk megvalósítani, akkor a torony geometriai méreteinek megválasztására nincs mód, ami annak a következménye, hogy a műveleti egységnek nincs az (1) egyenletben kifejezethez képest újabb szabadsági foka.

Hangsúlyozzuk, hogy ez a megállapítás a példaképpen tárgyalt speciális esetre vonatkozik.

Lepárlás forgóbetétes oszlopban

Az adott lepárlási feladatot természetesen nemcsak üres csőből álló berendezésben lehet megvalósítani, hanem egyéb, így pl. forgóbetétes rektifikáló oszlopban [5] is.

A (4) egyenletünkéből rögtön látszik — noha a levezetés lamináris gőzáramlásra vonatkozik —, hogy az üres cső rektifikáló hatásosságát a forgóbetét megnöveli, mert hiszen egyébként azonos feltételek mellett a betét forgatása a nevezőben szereplő diffúziós „állandó”-ra hat, pontosabban ilyenkor (4) egyenlet nevezőjébe a diffúziós állandó helyére egy effektív diffúziós állandót kell helyettesíteni. Ez azonban az anyagi állandón kívül egy olyan tagot is tartalmaz, amelynek értéke a betét fordulatszámával növekszik:

$$h_i = K \frac{G}{D + f(n)} \quad (8)$$

Hasonlóképpen a nyomásesés (5) egyenlete helyébe egy

$$\Delta P = \lambda \frac{h_i v^2}{4 r_i 2 g} d \quad (9)$$

egyenlet lép, amely λ -ban ugyancsak tartalmazza a betét n fordulatszámát.

A megfontolásokból rögtön látható, hogy az ilyen — forgóbetétes lepárló oszlopnak szabadsági foka eggyel nagyobb az eddig tárgyalt üres csövekhez képest, mert hiszen a leíró technológiai paraméterek száma eggyel növekedett (fordulatszám); míg az összefüggések száma továbbra is változatlan marad.

Az itt ismertetett két egyszerű, habár nem triviális példa rámutat arra, hogy miképpen kell diffúziós műveletek szabadsági fokát akkor meghatározni, ha a leíró adatok között a berendezés főméretei is szerepelnek és ismerjük az elméleti tányérmagasság és az üzemeltetési paraméterek közötti összefüggést.

Tányérhatásfok

Harmadik példaképpen — ugyancsak a lepárlás esetén — maradva, vegyük szemügyre a buborékolósapkás tányérből felépített toronyokat.

A tapasztalás azt mutatja, hogy a buboréksapkás toronyokban bizonyos meghatározott elválasztás eléréséhez a valóságban több tényleges tányért kell létesíteni, mint amennyi az elméleti tányérok száma. Ebből kiindulva definiálni lehet az átlagos tányérhatásfokot [3]:

$$E_{au} = \frac{\text{elméleti tányérok száma}}{\text{tényleges tányérok száma}} \quad (10)$$

A tányérhatásfok meghatározására megfelelő összefüggések szerepelnek az irodalomban,

amelyeket itt nem célunk ismertetni. Mindenesetr, azonban megemlíthetjük, hogy egy ilyen buborékolósapkás toronynál a tányérok számán és a toronyátmérőn kívül még legalábbis a következő geometriai méretek szerepelnek: lefolyóár, sztatikus folyadékzár, szerelési magasság, tányértávolság (2. ábra).

Mindezek a geometriai adatok kisebb-nagyobb mértékben befolyásolják az átlagos tányérhatásfokot és a tányéron kialakuló nyomásesést (a részleteket illetően lásd *Nyul Gyula* idézett könyvének [3] 403—405. lapját) és nagymértékben megnövelik az oszlop szabadsági fokát, mert hiszen a leíró geometriai adatok száma növekedik, de a tányérhatásfokra és a nyomásesésre továbbra is csak egy-egy egyenlet marad mérvadó.

Tányérszám számítás

Ritkán van lehetőség arra — a tudomány mai állása szerint —, hogy az elméleti tányérmagasságot a technológiai paraméterek függvényeként elméleti levezetéssel adjuk meg. A mai mérnöki gyakorlat az elméleti tányérmagasságot legtöbbször kísérleti úton határozza meg. Az ilyen mérést rendszerint kényelmes olyan berendezésben végrehajtani, amely teljes refluxszal működik, amelyben tehát adott anyagmennyiséget folytonos mozgásban tartunk anélkül, hogy betáplálást vagy elvételt eszközölnénk.

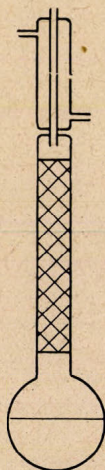
A stacionárius állapotot rendszerint nem túlságosan hosszú idő alatt lehet elérni. Ha egyszerű rektifikálásról van szó (mondjuk töltött oszlopban) berendezésünk olyan lehet, mint a 3. ábrán látható: a rektifikáló oszlopot tehát felül totálkondenzátor, alul forraló edény zárja le. Rendszerint egyszerű cseppszámlálással meghatározható az oszlop anyagforgalma s ebből a gőzsebesség egyszerű úton kiszámítható, s egyébként a forraló edény fűtésével szabályozható; a szétválasztás mértékét pedig a reflux és a forraló edény összetételének analitikai vizsgálatával állapítjuk meg. Ha ugyanis egyszerűség kedvéért olyan binér elegyet rektifikálunk teljes refluxszal, amelynek elválasztási tényezője ismert, akkor az ismert geometriai mérettel (L, r_0) rendelkező oszlopban az elméleti tányérok száma [6]:

$$p = \frac{1}{\ln \alpha} \ln \frac{\left(\frac{N_1}{N_2}\right)_1}{\left(\frac{N_1}{N_2}\right)_p} + 1 \quad (11)$$

A tányérszám ismeretében a h elméleti tányérmagasság (3)-ból következik.

Elméleti tányér magasság hiperszorber toronyban

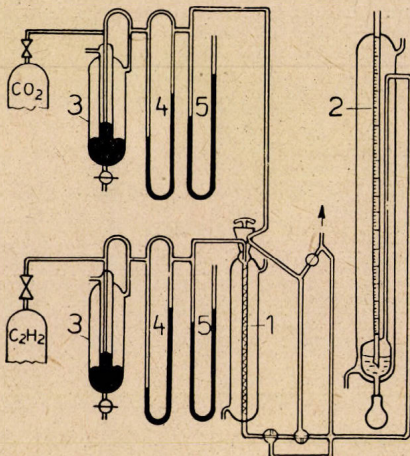
A szerző ezt a teljesen kézenfekvő vizsgálati módot alkalmazta hiperszorber oszlopban kialakuló tányérmagasság mérésére. A teljes analógia azt követelte volna, hogy mozgó adszorbens



3. ábra

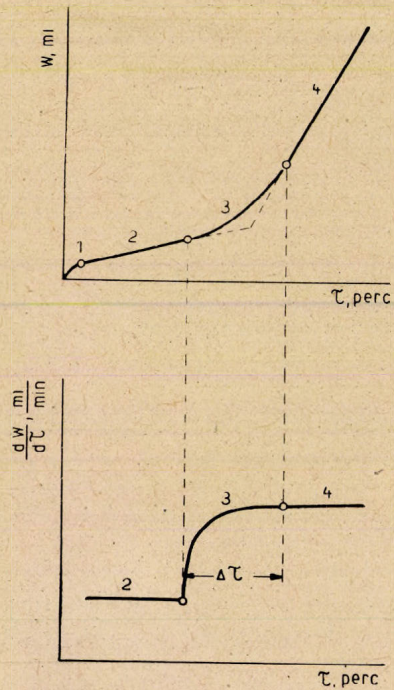
ágyon dolgozzunk, de ez felesleges technikai bonyodalmakhoz vezet. Ezért a következő egyszerű berendezést használtuk (4. ábra). Egy kellőképpen hosszú ismert átmérőjű üvegcsövet NUXIT AL márkájú aktív szénrel töltöttünk meg, majd széndioxid gázzal addig öblítettük, amíg az aktív szén a vizsgálat hőmérsékletén (20 C°-on) és a légköri nyomáson a széndioxiddal telítette vált. Ezután szabályozott és ismert sebességű acetilén gáz áramra váltottunk át (azonos hőmérsékleten és nyomáson). Az acetilén — lévén adszorpciós kapacitása nagyobb a széndioxidénál — fokozatosan kiszorítja az oszlopból a széndioxidot. Az oszlopból kilépő gáz térfogatát az ismert szappanhártyás sebességmérővel vizsgáltuk. A kilépő sebesség indikálja a széndioxid kiszorításának lefolyását, mert hiszen — mint az imént említettük, — egy-egynyi aktív szén mennyiségen adszorbeált acetilén, ill. széndioxid mennyisége különböző, az említett körülmények között rendre: 60,69, ill. 39,34 Ncm³/g.

Minden egyes kísérletben felvett mérési adatokat gáztérfogat-idő koordináta-rendszerben rajzoltunk fel. Az 5. ábra egy ilyen diagramot ábrázol. A kísérleti görbén négy szakaszt különböztetünk meg. Az első szakasz az adszorbensoszlop előtti holtterbe, illetve az acetilénnek az adszorbens oszlopba való behatolásával és a működő réteg kialakulásával kapcsolatos. Működő rétegnek nevezzük az adszorbensoszlopnak azt a hosszát, amelyen a széndioxidnak acetilénnel való kiszorítása gyakorlatilag teljesen (vagyis a felhasznált indikációs módszer teljesítőképességének határait figyelembe véve) megvalósul. (Adott esetben indikálható a széndioxid.) A második szakasz egyenes, ami bizonyítja, hogy a kialakult működő réteg változatlan alakú és egyenletes sebességgel halad előre az oszlopban. A harmadik szakasz a működő réteg megjelenése az oszlop végén: a kijövő gáz térfogatsebessége állandóan nő, amíg eléri a 4. szakaszt, amikor már az acetilén minden CO₂-t kiszorított az adszorbensről, tehát tiszta acetilén halad keresztül az oszlopon, s ezért a gáz áramlási sebessége megegyezik az acetilén betáplálási sebességével.



4. ábra

- 1 Adszorbens, 2 Áramlásmérő (termosztálva), 3 Áramlásszabályozó,
4 Differenciálmánométer, 5 Manométer



5. ábra

A működő réteg hosszának meghatározása szempontjából a harmadik szakasz a lényeges. A harmadik lineáris szakasz kezdetének és végének időkoordinátája közti különbség azt az időtartamot képviseli, amely alatt az acetilén koncentrációja az oszlopon 5—95%-ig változik. Ez az idő jól mérhető: $\Delta\tau$ (perc). Ha az acetilén betáplálási sebessége w (Ncm³/min), akkor a működő réteg által elfoglalt térfogat Ncm³-ban

$$V = w \Delta\tau$$

és a működő réteg hossza cm-ben:

$$l = \frac{V}{l_e}$$

A működő réteg hosszának meghatározására az 5a ábra harmadik szakaszát kinagyítottuk. A nagyítás elvét az 5b ábrán mutatjuk be: a diagramon a 10 sec alatt az oszlopról eltávozó ml-k számát, vagyis a kilépő gáz térfogatsebességét ábrázoltuk az idő függvényében az átütést megelőző, állandó sebességű szakasztól az átütést követő, ugyancsak állandó sebességű szakaszáig. Az ábrából kivehető, hogy a kiszorítás folyamata exponenciális lecsengésű.

A működő réteghossz meghatározására három különböző átmérőjű csőben különböző áramlási sebességeknél végeztünk kísérleteket. E három kísérletsorozat adatait foglalja össze a 2. táblázat.

Mindhárom keresztmetszetenél az tapasztalható, hogy a működő réteg hossza mind a betáplálási sebesség, mind pedig a keresztmetszet növekedtével rohamosan nő.

Ez a megállapítás vonatkozik az elméleti tényérmagasságra is, amelyet a működő réteg hosszából a (11) képlet segítségével számíthatunk

2. táblázat

0,5 cm ² átmérőjű csőben		1,0 cm ² átmérőjű csőben		2,0 cm ² átmérőjű csőben	
Áramlási sebesség, <i>w</i> , Ncm ³ /min.	Működő réteg hossza, <i>l</i> , cm	Áramlási sebesség, <i>w</i> , Ncm ³ /min.	Működő réteg hossza, <i>l</i> , cm	Áramlási sebesség, <i>w</i> , Ncm ³ /min.	Működő réteg hossza, <i>l</i> , cm
6,2	0,8	50,4	4,1	29	2
49,7	6	84,0	10,1	99	10,9
72,5	13	105,6	14,3	112,4	13,3
102,4	24			156,0	22,4
115,8	28			204,9	33,1
152,7	43				
250,0	141				

ki, ha korábbi feltevéstünknek megfelelően a

$$\left(\frac{N_1}{N_2}\right)_1 = \frac{0,95}{0,05} = 19 \text{ és } \left(\frac{N_1}{N_2}\right)_p = \frac{0,05}{0,95} = 0,056$$

helyettesítést végezzük el.

A képletben szereplő α adszorpciós elválasztási tényezőt a szerző már régebben meghatározta [7] és azt találta, hogy átlagértéke az adott körülmények között $\alpha = 3,11$.

Ebből az adódik, hogy a működő réteg hosszán durván 6 (hat) elméleti tányérnak megfelelő elválasztás valósul meg, vagyis az elméleti tányérmagasság a működő réteg hosszának kerekén egyhatoda.

Az elméleti tányérmagasság ezek szerint adott hőmérsékleti és nyomásviszonyokat tekintve, a választott aktív szénen a lineáris áramlási sebesség és a csőátmérő függvénye. Másrészt a nyomásesés ugyanezen az aktív szénen *Ergun* ismert képletével [8] jól leírható. E képlet szerint a nyomásesés ugyancsak az áramlási sebesség és a csőátmérő függvénye. Ebből az következik, hogy — ugyanazzal a megfontolással élve, amellyel az első példában operáltunk — a hiperszorberben geometriai adataival is leírt elméleti tányér szabadsági foka adott töltet esetén ugyanakkora, mint a geometriai adataival nem jellemzett elméleti tányéré. A hiperszorberoszlop geometriai főméretei tehát a technológiai paraméterek megválasztásával kiadódnak. Ez a megállapítás azt a feltételezést is magában foglalja, hogy egyébként változatlan feltételek mellett, az álló szénágyról a csúszó ágyra való áttérés nincs befolyással az elméleti tányérmagasságra.

Megkísérrelhetnénk most az elméleti tányér magasságnak az áramlási sebességtől és a csőátmérőtől való függését elméleti úton meghatározni. Már jeleztük, hogy az ilyesmi a mérnöki gyakorlatban ritkán sikerül, de egy ilyenféle kísérlet mindenestre azt követeli, hogy a lejátszódó folyamat mechanizmusára valamiféle kiinduló és matematikailag megfogalmazható elképzeléssel rendelkezünk. Erre azonban egy későbbi cikkünkben kerül sor, az anyagátadásra vonatkozó ismeretek megalapozása után.

Jelölések:

- d* az áramló gőz fajsúlya
- D* a gőz diffúziós állandója
- E_{átv.}* az átlagos tányérhatásfok
- F* a szabadsági fok
- g* a nehézségi gyorsulás
- G, G'* a felfelé áramló gőz mennyisége
- h* az elméleti tányérmagasság
- \bar{h} az elméleti tányérnak megfelelő átlagos magasság
- h_i* a tetszés szerinti elméleti tányér magassága
- K* konstans
- l* a működő réteg hossza
- l_e* az egységnyi hosszúságú adszorbensen megkötött acetilén mennyisége (cm³/cm)
- L, L_a* az oszlop magassága a betáplálás alatt
- L_f* az oszlop magassága a betáplálás felett
- m* a komponensek száma
- n* a fordulatszám
- N₁* az egyik komponens moltörtje
- N₂* a másik komponens moltörtje
- p* az elméleti tányérok száma a betáplálás felett
- ΔP a nyomásesés
- ΔP_i az elméleti tányérmagasságon fellépő nyomásesés
- q* az elméleti tányérok száma a betáplálás alatt
- r_a* az oszlop sugara a betáplálás alatt
- r_f* az oszlop sugara a betáplálás felett
- r_i* a tetszés szerinti tányér sugara
- r₀* az oszlop sugara
- v* a felfelé áramló gőz lineáris sebessége
- V* a működő réteg által elfoglalt térfogat
- w* a betáplálási sebesség
- α az elválasztási tényező
- μ a gőz viszkozitása
- λ fordulatszámától függő tényező
- π a Ludolf-féle szám ($\approx 3,14$)
- $\Delta \tau$ időtartam

Indexek:

- l* a lombikra vonatkozik
- p* az oszlop tetejére vonatkozik

IRODALOM

- [1]. Benedek P.: Magyar Kémikusok Lapja 15 2 (1960).
- [2]. Benedek P.: Magyar Kémikusok Lapja 15 355 (1960).
- [3]. Nyul Gy.: A lepárlás 184 o. Műszaki Könyvkiadó Budapest, (1956).
- [4]. Westhaver: Ind. Eng. Chem. 34 126. (1942).
- [5]. Kerényi—Börzsönyiné: Forgóbetétes rektifikáló berendezések. MÁFKI 209. kiadvány, Veszprém, (1960).
- [6]. Rossini, F. D.: Chemical Thermodynamics. 461. old. John Wiley, New York, (1960).
- [7]. Benedek P.—Szepes L.: Acta Chim. Hung. 14. 31. (1958).
- [8]. Ergun: Chem. Eng. Progr. 48 89, (1952).