A VEGYÉSZMÉRNÖKI TUDOMÁNY ALAPJAI III.

Diffúziós műveletek szabadsági foka

BENEDEK PÁL*

A diffúziós egyedi műveletek nagy szerepet játszanak a vegyi nagyiparban, minthogy a többkomponensű folyadék- és gázelegyek kívánt mértékű szétválasztására mindig az ilyen stacionárius diffúziós műveletek egyikét vagy másikát, avagy ilyenek sorozatát használják.

Többkomponensű elegyek szétválasztásának alapja az a megfigyelés, mely szerint ha két fázis között minden komponens számára biztosíva van a diffúzió útján való szabad közlekedés, akkor a diffúzió (anyagátadás) mindaddig tart, amíg egyensúlyi helyzet nem alakul ki. Az egyensúlyi helyzetet minden egyes komponensre a két fázis közötti megoszlása jellemzi és az egyensúlyra szigorú termodinamikai törvények érvényesek.

Ezt a megfigyelést az egyedi diffúziós műveletek nagyipari megvalósításakor úgy hasznosítják, hogy az érintkező két fázist ellenáramban mozgatják. Ez azt eredményezi, hogy az elválasztásban lévő anyag az egyensúlyi fokozatok egész sorozatán megy keresztül és az egyensúlyi fokozatok számát úgy állapítják meg, hogy az egyes komponensek feldúsulása — illetőleg elszegényedése — az egyik vagy másik fázisban az előírt mértéket elérje.

Az egyes komponensek koncetrációváltozását a műveletben termodinamikai egyensúlyi kritériumok határozzák meg, az egyensúlyi helyzet időbeli beállását pedig a diffúzió törvényei. Ilyenformán a diffúziós műveletek tárgyalását két részre lehet bontani : stacionárius diffúziós műveletek egyensúlytanára és dinamikájára.

Jelen tárgyalásból az utóbbi problematikát egyelőre kirekesztjük, és az egyensúlytant a diffúziós műveletek szabadsági fokának szemszögéből tárgyaljuk. Az ilyen tárgyalási módnak tudomásunk szerint kevés irodalmi előzménye van.

E. R. Gilliland és *C. E. Reed* 1942-ben többkomponensű abszorpciós és rektifikáló oszlopok szabadsági fokának meghatározási módszerét dolgozták ki. Erre azért volt szükség, hogy ellenőrizzék az említett berendezések méretezésére mások által ajánlott számítási eljárásokat abból a szempontból, hogy vajon a szerzők e számítási eljárásokban szabatosan állapították-e meg a rögzített paraméterek számát vagy sem, mert mint írták : ,,The major difficulties encountered in these calculations arise from the practical necessity of ,,fixing" more variables then are independent in order to expedite the process design as a whole"(1).**

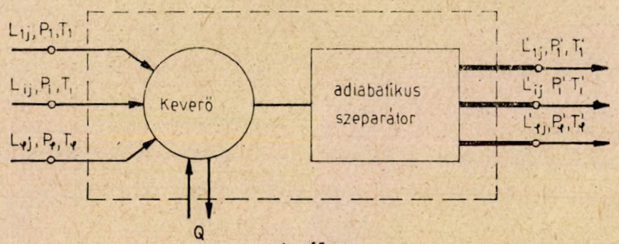
A gyakorlati vegyészmérnöki tervező munka a problémát valóban felveti. Felveti a méretezésen kívül a szabályozó és automatizáló rendszerek tervezésénél is. Adott rendszer üzemvitele ugyancsak megköveteli — legalábbis elvben — a rendszer rögzíthető paraméterei számának ismeretét.

A probléma tehát általános, mert a tervezésre és az üzemvitelre egyaránt érvényes, de általános abban az értelemben is, hogy a vegyipari üzemek valamennyi készülékére, így például a reaktorokra és az egész üzemre mint egységre is kiterjed.

Két, bennünket speciálisan érdeklő eset kapcsán olyan eljárást találtunk, amely a Gillilandék által használt megfontolásokat általánosítva, egyszerűvé és áttekinthetővé teszi stacionárius egyensúlyi műveletek szabadsági fokának számítását.

A stacionárius egyensúlyi egység fogalma és szabadsági foka

Előző cikkünkben már meghatároztuk a stacionárius műveleti egység fogalmát. Jelen tárgyalásunk olyan stacionárius műveleti egységre vonatkozik, amelyet speciálisan az jellemez, hogy a belőle távozó homogén fázist alkotó anyagáramok egymással fázisegyensúlyban vannak. Egy ilyen sokkomponensű stacionárius egyensúlyi egység technológiai folyamatábráját az 1. ábrán tüntettük fel. A kis körök az anyagáramok azon pontjait jelentik a be-, ill. kilépés helyén, ahol az anyagáramok mennyiségét és termodinamikai állapotát le kell írni. Megvastagítottuk azokat a nyilakat, amelyek az egymással fázisegyensúlyban elvő anyagáramok útját jelzik. Az egyensúllyal



1. ábra

kapcsolatban új mozzanat nem a leíró adatok számában, hanem a megkötések számában lép fel, t. i. a stacionárius egyensúlyi egységből távozó anyagáramok fázisegyensúlya folytán egy-egy komponens kémiai potenciálja valamennyi fázisban azonos (2). Emellett az egyensúlyi fázisok hőmérséklete és nyomása is megegyezik.

Ez az az új megkötés, amelyet az előző közleményben (3) is felhasználtakon kívül stacionárius *egyensúlyi* egység szabadsági fokának meghatározásakor figyelembe kell venni. Célszerűnek mu-

* Veszprémi Vegyipari Egyetem.

** ,,Az ezekben a számításokban rejlő főbb nehézségek abból erednek, hogy a gyakorlatban több független változó ,rögzítése' szükséges abból a célból, hogy lehetségessé váljék az eljárásnak, mint egésznek a tervezése."

tatkozik emellett egy további megkötést tenni, azaz az egyik anyagáram $\sum_i^m L_{ij}$ mennyiségét egységnek választani. Így a be- és kilépő áramok relatív mennyiségeivel dolgozhatunk. Ilyenformán az 1. ábrán jelzett műveleti egység technológiai rezsimjét leíró egyenletrendszer (az ábra jelöléseit használva) a következő alakot veszi fel :

$$\left.\begin{aligned} &\sum_i L_{ij} - \sum_{i'} L_{ij} = 0 \\ &\sum_j L_{1j} = 1 \\ &Q = \sum_i H_i (P_i, T_i, L_{ij}) - \sum_i H_i (P_i', T_i', L_{ij}') \\ &T_1' = T_2' = \ldots = T_\varphi' \\ &P_1' = P_2' = \ldots = T_\varphi' \end{aligned}\right\} j = 1, 2, 3 \ldots m \qquad (1)$$

$$\mu_{1,j}'(P_1', T_1', L_{1,j}') = \mu_{2,j}' (P_2', T_2', L_{2,j}') = \ldots =$$

$$= \mu_{\varphi j}' (P_\varphi', T_\varphi', L_{\varphi j}')$$

Ezek az egyenletek L_{ij}, L_{ij}', P_i, P_i', T_i, T_i', Q változók között kifejezik a tömegmegmaradás, az energiamegmaradás és az eltávozó áramok közötti fázisegyensúly feltételeit. Az egyenletrendszer változóinak száma : $(\varphi + \varphi')(m + 2) + 1$, egyenleteinek száma : $m + 2 + (\varphi' - 1)(m + 2)$. Ezért tehát az egyenletrendszer, vagyis a stacionárius egyensúlyi műveleti egység szabadsági foka :

$$\boxed{F = \varphi (m + 2) + 1} \qquad (2)$$

A mérnöki gyakorlat szempontjából talán kényelmesebb a stacionárius egyensúlyi egység szabadsági fokát a következő szkéma szerint számolni, amely következetes továbbvitele az előző cikkben ajánlott számolási szkémának. Ebben a szkémában a tömeg- és hőforgalmat már eleve

1. táblázat

I. A leíró adatok

jellege	száma
1. A be- és kilépő áramok *viszonylagos* mennyisége	$\varphi + \varphi' - 1$
2. A be- és kilépő áramok termodinamikai állapota	$(\varphi + \varphi')(m + 1)$
3. *Viszonylagos* hőforgalom	1
Ez összesen	$(\varphi + \varphi')(m + 2)$

II. A megkötések

jellege	száma
1. Specifikus tömegmérleg	m
2. Entalpiamérleg	1
3. Egyensúlyi feltétel $(\varphi' - 1)$ fázishatáron minden komponensre, a hőmérsékletre és nyomásra $(m + 2)$	$(\varphi' - 1)(m + 2)$
Ez összesen	$\varphi'(m + 2) - 1$

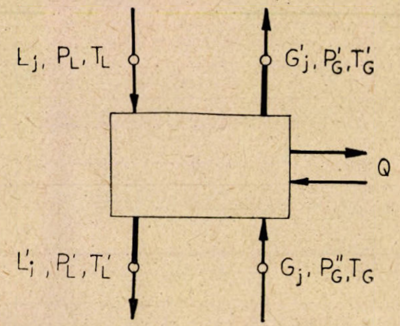
viszonylagos mennyiségekkel írjuk le és a fázisegyensúly feltételi egyenleteinek számát (1)-ből állapítottuk meg. (1. táblázat.)

A stacionárius egyensúlyi egység szabadsági foka ezek szerint ugyancsak :

$$F = \varphi (m + 2) + 1 \qquad (2)$$

Figyelemre méltó, hogy a szabadsági fok képletében φ', az eltávozó egyensúlyi fázisok száma, nem is szerepel.

Már említettük, hogy az egyedi diffúziós műveletek során két érintkező fázist ellenáramban mozgatunk, ami azt eredményezi, hogy az elválasztásban levő anyag az egyensúlyi fokozatok sorozatán megy keresztül. Így hát bármelyik egyedi diffúziós műveletet az ellenáramba kapcsolt stacioner egyensúlyi egységek sorozataként kezelhetünk. Két ellenáramban haladó fázis lévén, egy-egy ilyen műveleti egységbe (2. ábra) két



2. ábra

anyagáram érkezik és kettő távozik onnan, amelyek mindegyike m komponenst tartalmaz. Egyensúlyi egységekről van szó, tehát a két (ellenkező irányban) távozó áram fázis-egyensúlyban van. Ezt a speciális stacionárius egyensúlyi egységet a vegyi művelettanban szerkezeti megoldásától és kiképzésétől függetlenül *elméleti tányérnak* hívják. Az elméleti tányér szabadsági foka (2) alkalmazásával

$$\boxed{F = 2\,m + 5} \qquad (3)$$

[Tanulságos lesz e helyen Gilliland és Reed eredeti gondolatmenetét is reprodukálni, amellyel az elméleti tányér szabadsági fokának meghatározásához jutottak :

1. Az elméleti tányérra két egyensúlyban nem levő anyagáram érkezik. Ezek állapotát $2\,(m + 1)$ adat írja le.

2. Az elméleti tányérról két egyensúlyban levő anyagáram távozik s ilyenformán ezekre érvényes a Gibbs-féle fázisszabály :

$$F = m - \varphi' + 2$$

Minthogy a fázisok száma (φ' =) kettő, kézenfekvő, hogy a két egyensúlyban levő áram állapotának leírására m adat szükséges és elégséges.

3. A mennyiségi arányok : $(G/L,\ G'/L,\ L'/L,\ Q/L)$ száma láthatólag éppen négy.

Ilyenformán a leíró adatok száma összesen :

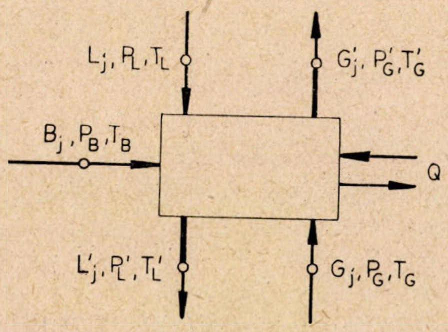
$$2\,(m + 1) + m + 4 = 3\,m + 6$$

A leíró adatok között a következő megkötések állnak fenn :

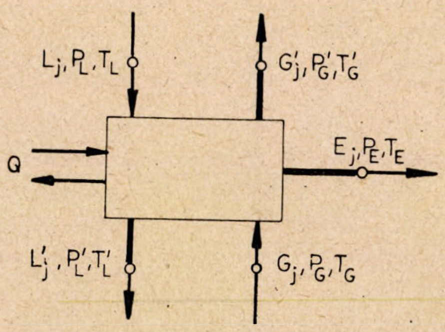
1. Minden komponensre egy-egy specifikus tömegmérleg, m számú.

2. A tányér hőforgalmával kapcsolatban egyetlen entalpiamérleg.

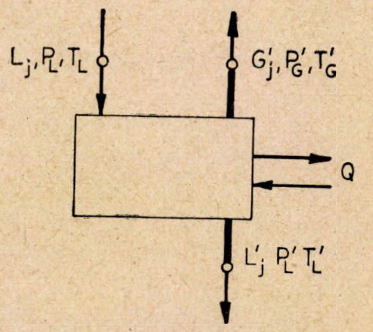
Az összes megkötések száma tehát : $m + 1$.



3. ábra



4. ábra



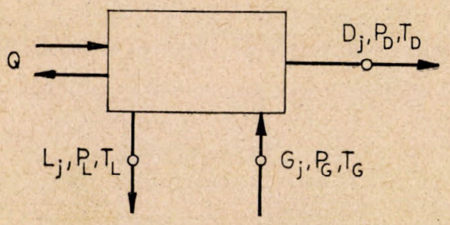
5. ábra

Ezek szerint az elméleti tányér szabadsági foka:

$$F = (3m + 6) - (m + 1) = 2m + 5$$

vagyis Gilliland és Reed ugyanarra az eredményre jutnak az elméleti tányérra vonatkozó közvetlen gondolatmenettel mint mi, ha (2) általános egyenletünket az elméleti tányér speciális esetére alkalmazzuk.]

Célszerűbbnek tartjuk saját elgondolásunkat, mert hiszen a különböző diffúziós egyedi műveletek végrehajtására alkalmas ellenáramú tornyok a most tárgyalt elméleti tányérokon kívül még más speciális célokat szolgáló stacionárius egyensúlyi egységeket is tartalmaznak s ezek mindegyikének szabadsági fokát, nehézség nélkül megkapjuk (2) alkalmazásával. Ilyen speciális egységek: a betápláló tányér (3. ábra), az elvételi tányér (4. ábra), a visszaforraló (5. ábra). Az előbbi kettőből esetleg több is szerepelhet ugyanabban a toronyban. Az ábrákon megadtuk ezeknek a különleges stacionárius egyensúlyi egységeknek technológiai folyamatábráját és szabadsági fokát, amelyet (2) általános egyenletünk alkalmazásával számítottunk ki.

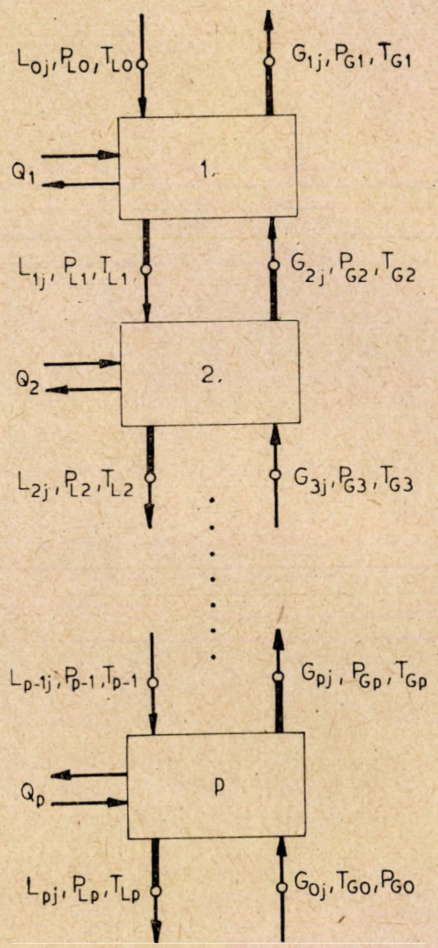


6. ábra

A teljesség kedvéért megemlítjük, hogy valamely egyedi műveletben szerepelhet olyan stacionárius műveleti egység is, amelynél a távozó áram nincs egyensúlyi állapotban. Ilyen például a 6. ábrán látható totálkondenzátor, amelynek számítására az előző cikkben mondottak mérvadók, mivel az nem egyéb, mint egy hőforgalmat is lebonyolító elágazás.

Diffúziós egyedi műveletek szabadsági fokának meghatározása a felépítéses módszerrel

A 7. ábrán p számú ellenáramba kapcsolt elméleti tányér technológiai folyamatábráját látjuk. Az előbbiekben is használt eljárással és szkéma alapján nem nehéz megállapítani egy ilyen p-



7. ábra

tányéros ellenáramú stacionárius egyensúlyi egység szabadsági fokát (2. táblázat.)

Ezek szerint a p-tányéros stacionárius egyensúlyi egység szabadsági foka:

$$\boxed{F = 2\,m + 2\,p + 3} \qquad (4)$$

(A $p = 1$ eset az előbb már tárgyalt elméleti tányért jelenti és valóban:

$$F = 2m + 2 \cdot 1 + 3 = 2m + 5$$

amint az imént két független úton is levezettük.)

A p-tányéros stacionárius egyensúlyi egység szabadsági fokának itt bemutatott számítása példa lehet arra, hogy miképpen lehet összetett

2. táblázat

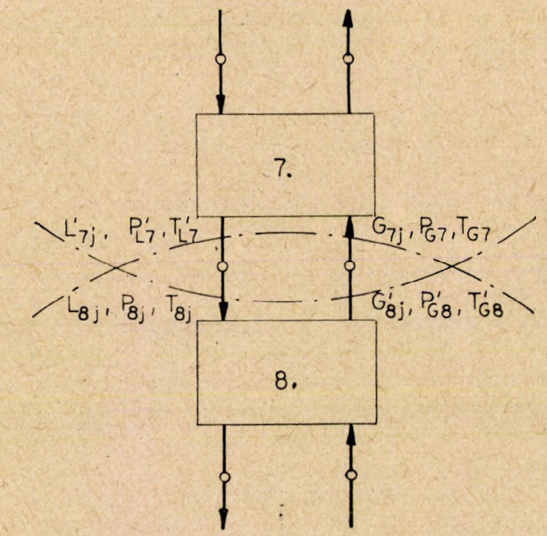
I. A leíró adatok	
jellege	száma
1. A be- és kilépő, valamint az intermedier pontokon az anyagáram viszonylagos mennyisége	$2p + 1$
2. A be- és kilépő, valamint az intermedier pontokon az anyagáram állapota egyenként $(m + 1)$ adattal jellemezhető	$(2p + 2)\ (m + 1)$
3. Valamennyi tálcán van hőforgalom	p
Ez összesen	$2pm + 2m + 5p + 3$
II. A megkötések	
jellege	száma
1. Minden elméleti tányéron m specifikus tömegmérleg	pm
2. Minden elméleti tányéron egyetlen entalpiamérleg	p
3. Minden tányérról két egyensúlyi fázis távozik. Az egyensúlynak tehát minden tányéron $(m + 2)$ feltétele van	$p\ (m + 2)$
Ez összesen	$2pm + 3p$

műveleti egységek szabadsági fokát meghatározni. A tapasztalat mégis azt mutatja, hogy ilyesmi adott esetben nehezen áttekinthető helyzethez vezet. Felvetődik az a kérdés, nem lehetséges-e ilyen esetekben egyszerű ismert szabadsági fokú részek összesítésével bonyolultabb műveleti egységek szabadsági fokát meghatározni. A most elemzett esetben például nem lehetséges-e az elméleti tányér ismert szabadsági fokára alapozni a számítást ?

Ha p tányérról van szó, az elméleti tányér szabadsági fokát a tányérszámmal szorozva : $p\,(2\,m + 5)$, nyilván hibás eredményhez jutunk. A hibás és az előbb levezetett helyes eredmény különbsége :

$$p\,(2\,m + 5) - (2\,m + 2\,p + 3) =$$
$$= (p - 1)\ (2\ m + 3)$$

azt mutatja, hogy az elméleti tányérok minden érintkezési tartományában [ilyen ugyanis $(p - 1)$ van], $(2\ m + 3)$ szabadsági fokkal többet vettünk figyelembe, mint amennyi ténylegesen van (8. ábra). Ez különben teljesen érthető, mert hiszen minden érintkezési tartományban mind a két intermedier ponton az áramló anyag állapotát kétszer írtuk le a $p\,(2\ m + 5)$ szorzás elvégzésekor és külön vonatkozási alapot választottunk minden tányéron. Márpedig minden érintkezési tartományban (ezt egyszerűség kedvéért most az önkényesen kiválasztott 7. és 8. elméleti tányér érintkezési tartományára fogjuk igazolni a 8. ábra

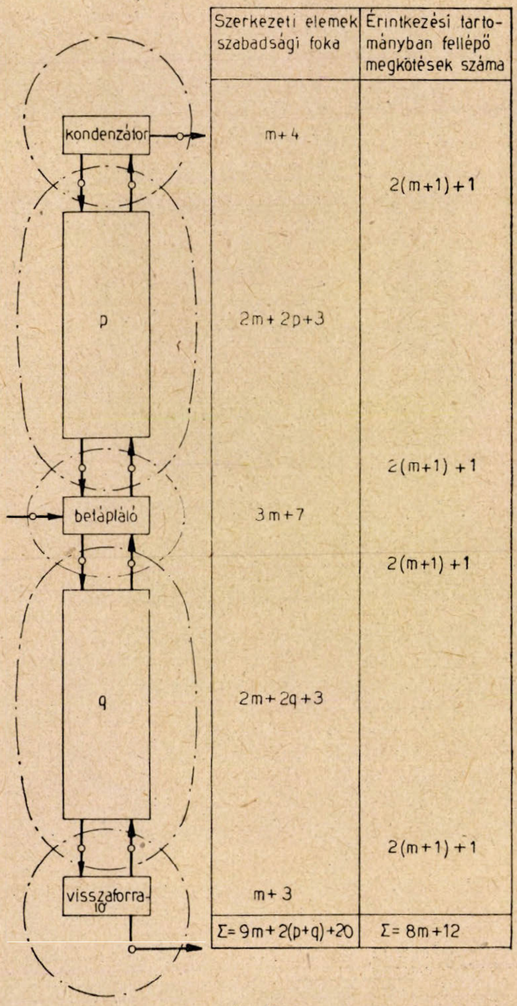


8. ábra

jelöléseivel) fennállnak a következő egyenlőségek :

$$G_{7j} = G'_{j8} \qquad L'_{7j} = L_{8j}$$
$$P_{G7} = P'_{G8} \qquad P'_{L7} = P_{L8}$$
$$P_{G7} = T'_{G8} \qquad T'_{L7} = T_{L8}$$

ami összesen $2\,(m + 2)$ egyenletet jelent. Másfelől



9. ábra

azonban nem állhat fenn egyidejűleg a következő két egyenlőség (azaz nem választhatunk mindkét szomszédos tányér mindegyikére önálló vonatkozási alapot) :

$$\sum_j L_{7j} = 1 \qquad \sum_j L_{8j} = 1$$

hanem a kettő közül csak az egyik. Ebből következik, hogy minden egyes érintkezési tartományban : $2\,(m+2) - 1$ megkötés lép fel.

Az elemi egységekből való felépítés módszere tehát akkor vezet helyes eredményre, ha az érintkezési tartományokban fellépő megkötéseket figyelembe vesszük. Tetszés szerinti számú elemi egyensúlyi egységből felépített egyedi diffúziós művelet szabadsági foka tehát a következő módon számítható :

$$\boxed{F = \sum_{i=1}^{i=p} F_i - (p-1)\,(2\,m+3)} \qquad (5)$$

ahol p az elemi egyensúlyi egységek száma,
F_i az i-ik elemi egyensúlyi egység szabadsági foka.

Ennek a felépítéses számítási módnak alkalmazását egy kéttermékes lepárló oszlopra a 9. ábrán mutatjuk be. A számítási eljárás egyszerűsége szembetűnő. A folyamatosüzemű kéttermékes lepárlási művelet szabadsági foka, a betáplálás alatt q és fölött p számú tányér esetére :

$$\boxed{F = 2\,m + 2\,(p+q) + 8} \qquad (6)$$

Diffúziós műveletek technológiai (üzemtani) vizsgálata a szabadsági fok alapján

A folyamatosüzemű kéttermékes lepárlás egyszerű és közismert példáján bemutatjuk, hogyan végezzük el valamely diffúziós művelet üzemtani vizsgálatát szabadsági fokának ismeretében.

Rögzítsük ezért a szabadsági fokok terhére a következő változókat :

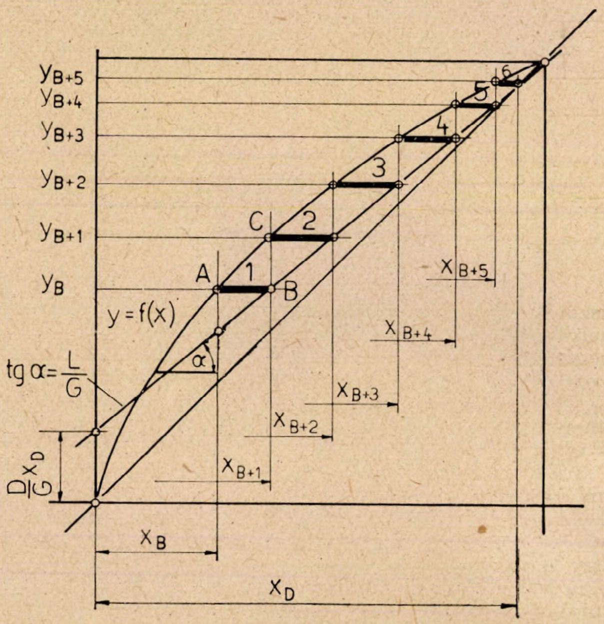
3. táblázat

A rögzített változók	
jellege	száma
1. Betáplálás összetétele és állapota	$m+1$
2. Minden tányéron a nyomás és hőforgalom	$2\,(p+q+1)$
3. A kondenzátor és a visszaforraló hőforgalma	2
4. A nyomás a kondenzátorban és a visszaforralóban	2
5. A refluxarány (vagyis a $\frac{L+D}{D}$ hányados)	1
Ez összesen	$m+2\,(p+q)+8$

Ezért tehát az oszlopnak nincs további szabadsági foka, a termékek összetételére vonatkozóan semmiféle további kikötést nem lehet tenni.

Az itt leírt üzemi feltételek mellett csakis úgy tehetünk a két termék összetételére vonatkozólag kikötést, ha változtatjuk a két tányérszámot, p-t és q-t. Ilyen módon meg lehet találni a p és q adott üzemi körülményekhez és kívánt termékminőséghez tartozó legkisebb értékét. Ez a tennivaló a vegyészmérnöki tervezőmunka során.

Ha viszont p és q változtatására nincs lehetőség (nem tervezésről van szó, hanem arról, hogy adott berendezésben kell előírt termékminőséget elérni), akkor az üzemi körülményeken kell változtatást eszközölni. Ezt a gondolatot a kétkomponensű ideális elegyek lepárlásának példáján jól lehet követni.



10. ábra

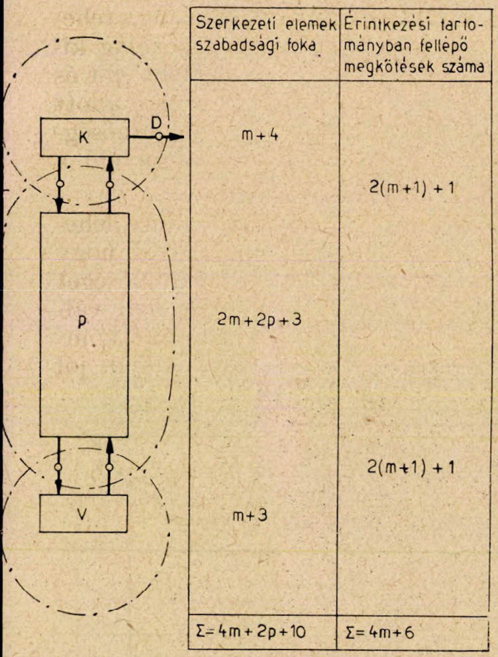
Kétkomponensű elegy fázisegyensúlyát az x—y diagramon (10. ábra) szokás ábrázolni. Ezen a diagramon az egyik — konvencionálisan a könnyebben illó — komponens folyadékfázisbeli moltörtjének (x) függvényében a vele egyensúlyban levő gőzfázis ugyanezen komponensének (y) moltörtjét ábrázoljuk. A diagramon felrajzolt $y = f(x)$ görbe egyértelműen leírja adott konstans nyomáson az egyensúlyi fázisok összetételi viszonyait.

A fejtermék minőségét, x_D értékét rögzíthetjük, s akkor ugyanezen a diagramon ábrázolhatjuk az előző cikkben (3) levezetett (7c) egyenletet, amely ez esetben a könnyebben illó komponens tömegmérlegét fejezi ki. Ez akkor lesz egyenes egyenlete, ha

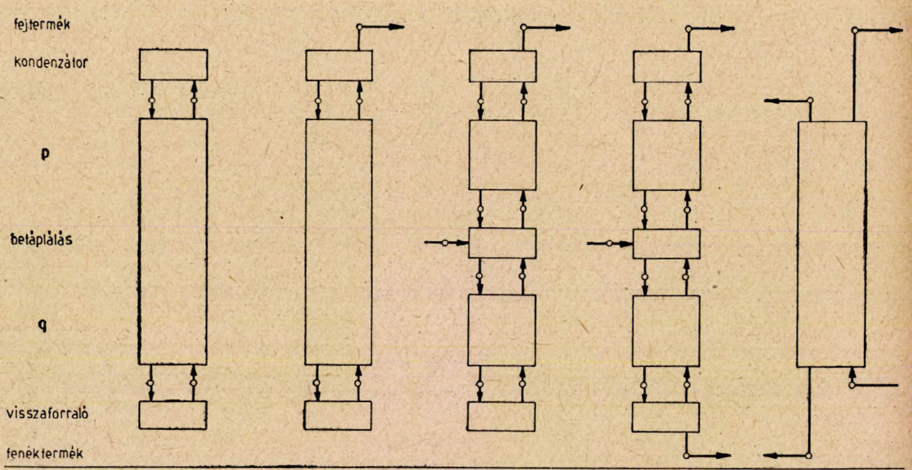
$$\frac{L}{L+D} \quad \text{és} \quad \frac{D}{L+D}$$

a tányérszámtól független konstans, ami olyan feltevés, amely ideális elegyek esetén meg is valósul. Ilyenkor az egyenest berajzolhatjuk a diagramba, mert hiszen ordinatametszete: $\frac{D}{L+D}x_D$ és iránytangense : $\frac{L}{L+D}$ a már rögzített műveleti paraméterekből adódik. Rögtön látható, hogy ez az egyenes — amelyet egyébként munkavonalnak neveznek — az x_D abszcisszájú helyen metszi a diagram diagonálisát.

Ha a betáplált anyag forráspontján levő folyadék, (összetételét x_B által rögzítettük) és a betápláló tálcán is ilyen összetételű folyadék van, akkor a tálcáról felfelé szálló gőz fázisegyensúlyban van a tálcáról lefelé haladó folyadékkal. A betápláló tálca fölötti tálcáról lefelé haladó folyadék x_{B+1} összetételét



11. ábra



szabadsági fok	2p+3	2p+4	(m+1)+2(p+q)+7	(m+1)+2(p+q)+5	2(m+1)+2p+1
betáplálás	szakaszos	szakaszos	kvázi folyamatos	folyamatos	mindkettő folyamatos
fejtermék	nincs	kvázi folyamatos	kvázi folyamatos	folyamatos	folyamatos
fenéktermék	nincs	szakaszos	szakaszos	folyamatos	folyamatos
reflux	teljes	véges	véges	véges	nincs
visszaforralás	teljes	teljes	teljes	véges	nincs

12. ábra

viszont a (7c) tömegmérleg-egyenletből kapjuk meg, melyet jelen esetben a munkavonal képvisel. Ennek megfelelően x_{B+1} lesz az abszcisszája a munkavonal azon B pontjának, melynek ordinátája a már ismert y_B. Nem nehéz megkapni az egyensúlyi görbén x_{B+1} ismeretében y_{B+1} értékét (C pont) és ebből x_{B+1-t} és így tovább.

Ezt a grafikus számolási műveletet, amelyet most ismertettünk, a mérnöki szaknyelv „lelépcsőzésnek" nevezte el. Világos, hogy minden lépcső egy-egy tányérnak felel meg, s mindössze azt kell megszámlálni, hogy hány lépcsőt lehet elhelyezni a diagramon, míg x_D-ig vagy éppen föléje jutunk, mert hiszen ugyanannyi elméleti tányér szükséges a lepárló oszlop betápláló tányér feletti szakaszán ahhoz, hogy a már rögzített működési paraméterek mellett, a kívánt fejtermék összetételét megkapjuk. Ez a lepárló oszlopok tervezésénél az elméleti tányérszám meghatározásának egyik szokásos módja.

Meglehet, hogy adott tányérszámú meglevő oszlopon kell a kívánt x_D fejtermék tisztaságát elérni. Ha p nem elegendő, a működési paramétereket úgy kell megválasztani, hogy a munkavonal meredekebb legyen. A 10. ábrán levő diagramból látható, hogy ilyenkor az előírt terméktisztaság kevesebb „lépcsővel" azaz kisebb tányérszámmal is elérhető.

A szakaszosüzemű diffúziós műveletek szabadsági foka

A szakaszos üzemű diffúziós műveletek a stacionárius működés feltételeinek nem felelnek meg és a stacionárius műveleti egységek szabadsági fokának számítására imént adott utasítás általában nem alkalmazható reájuk.

Tekintsük azonban a 11. ábrát. Ha a D/L arány nagyon kicsiny, akkor a rendszer anyagkészlete nagyon lassan csökken, állapota valamely tetszés szerinti pontján nagyon lassan változik, s ezért az elméleti tányérokról távozó áramokat egymással egyensúlyban levőknek lehet tekinteni. Éppen ezért az ilyen műveleti egységet működésének bármelyik rövid szakaszán stacionárius műveleti egységnek tekinthetjük és alkalmazhatjuk az előzőekben ismertetett felépítési módszert szabadsági fokának számítására.

Az ábrán látható műveleti egység — vagyis a szakaszos üzemű lepárlás — szabadsági foka ebből kifolyólag :

$$F = 2\,p + 4 \tag{7}$$

Diffúziós műveletek különféle megvalósítási módozatainak folyamatábráját a megfelelő szabadsági fokkal együtt a 12. ábrán tüntettük fel.

A felsorolás nem teljes és elsősorban a felépítéses módszer illusztrálására szolgál. Az a benyomásunk azonban, hogy ezen az úton ki lehetne dolgozni a diffúziós műveletek teljesen következetes rendszertanát, amely egy átfogó technológiai (üzemtani) elmélet kiindulásául szolgálhatna.

*

Ebben a cikkben olyan diffúziós műveletekről volt szó, amelyekben minden komponens mindkét fázisban szerepelt. Vannak olyan diffúziós műveletek is, amelyekre éppen az jellemző, hogy az elválasztásra kerülő folyadék vagy gázelegy komponenseinek két fázis közötti megoszlását (és ennek folyományaképpen elválasztását) egy olyan idegen anyag bevitele útján érjük el vagy tesszük hatásosabbá, amely csak az egyik fázisban fordul elő. Ilyen műveletekről a következő közleményünkben lesz szó.

IRODALOM

(1) *Gilliland, E. R.* és *Reed, C. E.* : Ind. Eng. Chem. *34*, 551 (1942).
(2) *Erdey-Grúz Tibor* : A fizikai kémia alapjai, Budapest, Műszaki Kiadó 1958. 349. lap.
(3) *Benedek Pál* : Magyar Kémikusok Lapja *15*, 000 (1960). 8. sz.