

Vegyipari műveletek III. MSc (2+1) (GEVGT-304M)  
Gépészmérnöki és Informatikai Kar

Hét	Előadás	Gyakorlat
1	Általános egyensúly leírása I.	Az előadáshoz kapcsolódóan
2	Általános egyensúly leírása II.	Az előadáshoz kapcsolódóan
3	Gőz folyadék rendszer szétválasztása I.	Az előadáshoz kapcsolódóan
4	Gőz folyadék rendszer szétválasztása II.	Az előadáshoz kapcsolódóan
5	Gőz folyadék rendszer szétválasztása III.	Az előadáshoz kapcsolódóan
6	Gőz folyadék rendszer szétválasztása IV.	Az előadáshoz kapcsolódóan
7	Abszorpció I.	Az előadáshoz kapcsolódóan
8	Abszorpció II.	Az előadáshoz kapcsolódóan
9	Extrakció I.	Az előadáshoz kapcsolódóan
10	Extrakció II.	Az előadáshoz kapcsolódóan
11	Kristályosítás	Az előadáshoz kapcsolódóan
12	Nedves anyag jellemzése	Az előadáshoz kapcsolódóan
13	Szárítás	Az előadáshoz kapcsolódóan
14	Számonkérés	Az előadáshoz kapcsolódóan

**Kreditpont megszerzésének feltételei:**

Az aláírás feltétele a 14. oktatási héten írt zárthelyi dolgozat sikeres megírása.

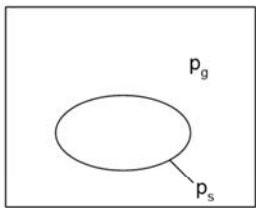
Egyéb feltételek: Lásd „Tantárgyak teljesítésének általános szabályai” részt, mely megtalálható a tanszéki honlapon illetve a tanszéki hirdetőtáblán.

1. Szárítás elméleti alapjai. Abszolút-relatív nedvességtartalom. Elméleti szárító.
2. Többkomponensű rendszerek gőz-folyadék egyensúlyának jellemzése. Raoult-Dalton törvények. Izoterm forrpon, izoterm harmatpont. Nem ideális esetek.
3. Ellenáramú abszorber, anyagmérleg ismertetése

MEGOLDÁS

1.

■ Szárítás elméleti alapjai



$p_g$ : a nedvesítő folyadék gőzének parciális nyomása a felület mentén  
 $p_s$ : a nedvesítő folyadék gőzének nyomása a szárító közegben

$p_g > p_s$  : szárítás     $p_s > p_g$  : nedvesítés

A szárító közeg általában a levegő. Levegő jellemzése: ideális gáztörvénnyel!

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad p \cdot \frac{V}{m} = \frac{R \cdot T}{M} \Rightarrow \frac{1}{\rho} = \frac{R \cdot T}{p \cdot M} \Rightarrow \rho = \frac{p \cdot M}{R \cdot T}$$

A levegő nyomása:

**Relatív nedvességtartalom:**

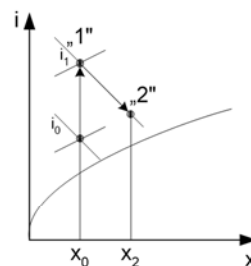
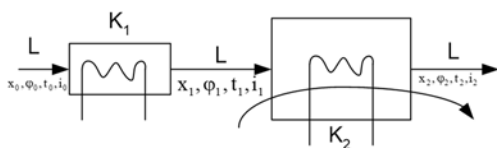
$$\varphi = \frac{\rho_g}{\rho_{gt}} = \frac{p_g \cdot M_{viz}}{R \cdot T} \cdot \frac{R \cdot T}{p_{gt} \cdot M_{viz}} = \frac{p_g}{p_{gt}}$$

**Abszolút nedvességtartalom: (1 kg száraz levegőben lévő nedvesség kg-ban)**

$(1+x) = 1 \text{ kg száraz levegő} + x \text{ kg nedves levegő}$

$$x = \frac{\rho_g}{\rho_1} = \frac{p_g \cdot M_{viz}}{R \cdot T} \cdot \frac{R \cdot T}{p_1 \cdot M_1} = \frac{M_{viz}}{M_{lev}} \frac{p_g}{p_1} = \frac{18}{29} \frac{p_g}{p - p_g} = 0,622 \frac{p_g}{p - p_g}$$

**Elméleti szárító**



**Anyagmérleg:**

$$L \cdot x_0 + \text{víz} = L \cdot x_2$$

$$\text{víz} = L \cdot (x_2 - x_0)$$

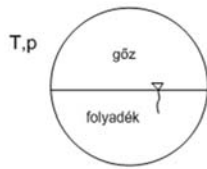
$$l = \frac{L}{\text{víz}} = \frac{1}{x_2 - x_0}$$

**Energiaszükséglet:**

$$Q = L \cdot (i_2 - i_0) = l \cdot \text{víz} \cdot (i_2 - i_0)$$

$$\frac{Q}{\text{víz}} = q = l \cdot (i_2 - i_0) = \frac{i_2 - i_0}{x_2 - x_0}$$

Alkalmazva az előbbi általános összefüggést Gáz-Folyadék fázisátmenetre:

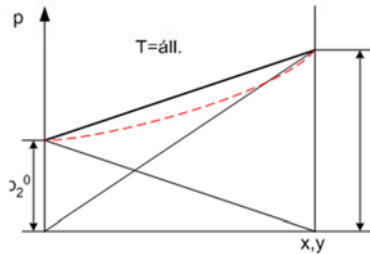


$y_1, y_2, \dots, y_k$

$x_1, x_2, \dots, x_k$

A gyakorlati számításoknál feltételezik, hogy a komponensek ideális elegyet képeznek, a parciális nyomásokra a Dalton törvény érvényes.

Gáz	Folyadék
tökéletes	ideális
tökéletes	nem ideális
reális	ideális
reális	nem ideális



$p_1^0$

$i$

Ideális folyadék: érvényes a Raoult törvény.

$$p_1 + p_2 + \dots = p_o \quad y_1 = \frac{p_1}{p_o}$$

$$p_1 = p_1^0 \cdot x_1$$

Izoterm forrpontgörbe:

$$p = p_2^0 + (p_1^0 - p_2^0) x_1$$

Izoterm harmatpontgörbe:

$$p = \frac{p_1^0 \cdot p_2^0}{p_2^0 - (p_1^0 - p_2^0) \cdot y_1}$$

### □ Gőz-folyadék egyensúly – eltérés az ideális és tökéletes állapottól

A tökéletes gázállapot kiterjedés nélküli molekulákat és a molekulák rugalmas ütközését jelenti. Nagy nyomáson és hőmérsékleten nem megfelelő a tökéletes gáz modell.

• van der Waals állapotegyenlet:  $p = \frac{n \mathcal{R}T}{v - nb} - \frac{an^2}{v}$   $a = \frac{0,42 \mathcal{R}^2 T_k^2}{p_k}$ ;  $b = \frac{0,125 \mathcal{R} T_k}{p_k}$

• Redlich-Kwong:  $p = \frac{\mathcal{R}T}{v - b} - \frac{a}{T^{1/2}(v^2 + av)}$   $a = \frac{0,42 \mathcal{R}^2 T_k^{2,5}}{p_k}$   $b = \frac{0,866 \mathcal{R} T_k}{p_k}$

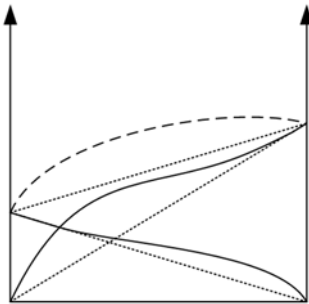
Nem ideális folyadék:

Aktivitási együttható bevezetése:

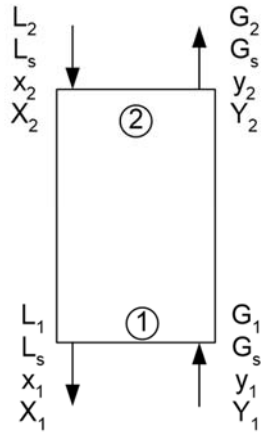
Kifejezi az oldatban lévő molekulák kölcsönhatását.

$$p_i = x_i p_i^0 \cdot \gamma_i$$

Margules-egyenlet:  $p_1 = p_1^0 x_1 e^{\beta x_2}$



### ■ Ellenáramú abszorber



Vezessük be az alábbi jelöléseket:

$$X = \frac{x}{1-x} \quad \text{abszorbeált / oldószer}$$

$$Y = \frac{y}{1-y} \quad \text{abszorbeálandó / iners}$$

$$G_S = G(1-y) \quad L_S = L(1-x)$$

$$G_S = G \frac{1}{1+Y} \quad L_S = L \frac{1}{1+X}$$

$G_1$ : belépő gázmennyiség;

$G_S$ : inert anyagmennyiség

$L_2$ : belépő folyadék mennyiség;

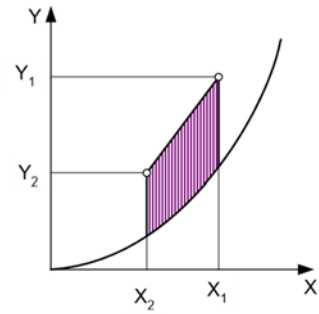
$L_S$ : tiszta oldószer mennyiség

Anyagmérleg:  $G_S(Y_1 - Y_2) = L_S(X_1 - X_2)$

Az oszlop egy tetszőleges pontjában:  $G_S(Y_1 - Y) = L_S(X_1 - X)$

Fajlagos locsolás:  $l = \frac{L_S}{G_S} = \frac{Y_1 - Y_2}{X_1 - X_2}$

Abszorpciós faktor:  $A = \frac{l}{m}$



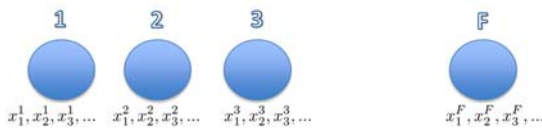
1. Egyensúlyok kvalitatív és kvantitatív jellemzése. A Clausius-Clapeyron egyenlet. Tiszta anyagok tenziója. (6 pont)
2. Rektifikálás alapjai. Egyensúlyi görbe, munkavonalak. Minimális tányérszám meghatározása. Minimális refluxarány meghatározása (szerkesztés, összefüggés). (8 pont)
3. Határozzuk meg flasheléssel, hogy a  $p=1$  bar-os,  $t=20^\circ\text{C}$ -os,  $x=0,3$  -al jellemzett benzol-toluol rendszer hogyan fog szeparálódni ha  $100^\circ\text{C}$ -ra felmelegítjük? (betáp mennyisége 100 kmol/h) (5 pont)

0-9: elégtelen; 10-11: elégséges; 12-13: közepes; 14-15; 16-17: jó; 18-19: jeles;

## MEGOLDÁS

1.

□ Egyensúlyok kvalitatív jellemzése:



Egyensúly esetén a kémiai potenciál azonos adott komponens esetén!

$$\mu_i^1 = \mu_i^2 = \dots = \mu_i^F \quad (F-1)K \text{ egyenlet}$$

Adott fázison belül az összetételre igaz, hogy  $\sum_{i=1}^k x_i = 1$  (ez  $F$  db egyenlet)

Szabadsági fok = ismeretlenek száma - egyenletek száma!

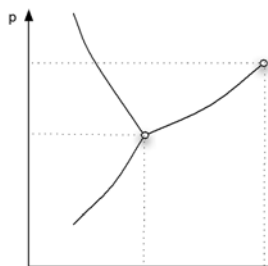
Ismeretlenek száma:  $2 + FK$

Egyenletek száma:  $(F - 1)K + F$

$$SZ = 2 + FK - ((F - 1)K + F)$$

Gibbsz-féle fázisszabály

$$F + SZ = K + 2$$



Az állapotmezők közötti válaszvonalak:

- Olvadási nyomásgörbe
- Gőznyomásgörbe
- Szublimálási nyomásgörbe

$$dG_{\text{egyensuly}} = 0$$

$$dG_{\text{egyensuly}} = dG_I - dG_{II} = 0$$

Ahol  $dG_I$  és  $dG_{II}$  az I. és II. fázis szabadentalpiájának anyagátmenettel okozott változása.

Reverzibilis állapotváltozásra igaz, hogy:

$$dG_I = -S_I dT + V_I dp = dG_{II} = -S_{II} dT + V_{II} dp$$

Két fázis egyensúlyi görbéjének  $dp/dT$  hajlását a következő módon számolhatjuk:

$$\frac{dp}{dT} = \frac{S_{II} - S_I}{V_{II} - V_I} = \frac{\Delta S}{\Delta V} \quad \Delta S = \frac{\Delta H}{T}$$

Így az előző egyenlet:

$$\frac{dp}{dT} = \frac{\Delta H}{T \Delta V} \quad \text{Általános érvényű Clausius-Clapeyron egyenlet}$$

Alkalmazva az előbbi általános összefüggést Gáz-Folyadék fázisátmenetre:

$$\frac{dp}{dT} = \frac{\Delta H_{f,g}}{T(V_{II} - V_I)}$$

Ha elhanyagoljuk a folyadék térfogatot ( $V_I$ ) – kritikus ponttól nagyobb távolságra megengedhető – és alkalmazzuk a gáztörvényt:

$$\frac{dp}{dT} = \frac{\Delta H_{f,g}}{\Re T^2} p$$

A fenti egyenletet változóik szerint szétválasztva és integrálva határok között:

$$\int_1^2 \frac{dp}{p} = \int_1^2 \frac{\Delta H_{f,g}}{\Re T^2} dT$$

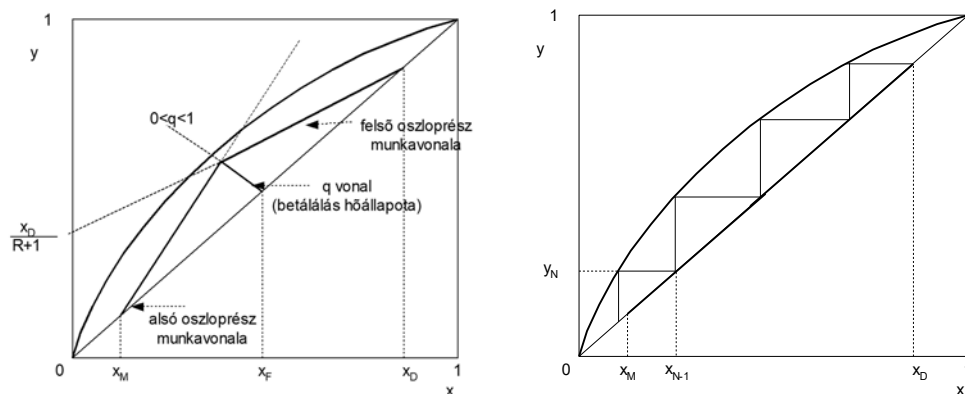
$$\ln \frac{p_2}{p_1} = \frac{\Delta H_{f,g}}{\Re} \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

Ez az egyenlet  $\ln p - 1/T$  koordinárendszerben egyenes. Csak tökéletes viselkedésű gázokra valamint nyomástól és hőmérséklettől független párolgási entalpiákra vonatkozik.

Gyakran használatosközelítés: Antoine egyenlet:

$$\ln p = A - \frac{B}{T} \qquad \ln p = A - \frac{B}{T + C}$$

2.



■ Minimális tányérszám meghatározása – Fenske egyenlet

$$\frac{y_2}{1 - y_2} = \alpha_2 \frac{x_2}{1 - x_2}$$

$$\frac{y_1}{1 - y_1} = \alpha_1 \frac{x_1}{1 - x_1}$$

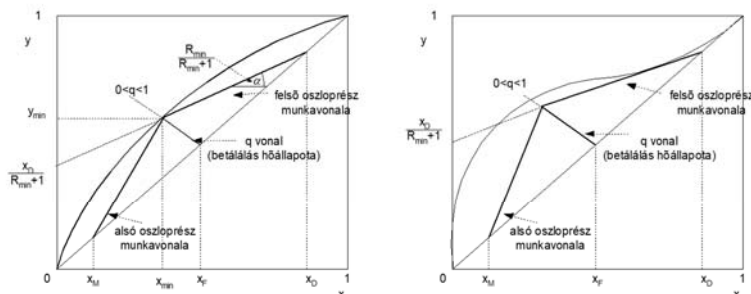
$$y_i = x_{i-1} \qquad y_1 = x_D$$

$$\frac{x_D}{1 - x_D} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \dots \alpha_N \frac{x_N}{1 - x_N}$$

$$\alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \dots \alpha_N = \bar{\alpha}^N$$

$$N_{min} = \frac{\lg \frac{x_D(1-x_M)}{(1-x_D)x_M}}{\lg \bar{\alpha}}$$

■ Minimális refluxarány meghatározása – grafikus úton



■ Minimális refluxarány meghatározása – Underwood összefüggés:

$$R_m = \frac{1}{\alpha - 1} \left( \frac{x_D}{x_F} - \alpha \frac{1 - x_D}{1 - x_F} \right)$$

3.

alapadatok

tömegáram	100	kmol/h	
benz összetétel		0,3	mol/mol
thőmérséklet	20	°C	
nyomás	1	bar	101325Pa

Antoine konstansok

$$\log(p) = A - B / (T + C)$$

	A	B	C	
benzol	15,64665	-3895,23		p = kPa T, K
toluol	15,69334	-4249,6		p = kPa T, K

t 100 °C 373 K

tiszta gőznyomások:

benz	181,9394844	kPa	181939,4844	Pa
toluol	73,72268173	kPa	73722,68173	Pa

benzol x	0,255064995	y	0,457995497
toluol 1-x	0,744935005	1-y	0,542004503
összny p	101325		

$$B = M + D$$

$$B \cdot x = M \cdot x_m + D \cdot y_d$$

Maradék	M	77,85694888	kmol/h
Desztill:	D	22,14305112	kmol/h