

27308-7

2002

I. BÉPÁRLÁS

**BUDAPESTI MŰSZAKI EGYETEM
VEGYÉSZMÉRNÖKI KAR**

**VEGYIPARI MŰVELETI
SZÁMÍTÁSOK**

II.

Bepárlás, szárítás, extrakció

**Szerkesztő:
Dr. Manczinger József**

BME KÖZPONTI KÖNYVTÁRA



K 098 373

Műegyetemi Kiadó, 1994.

1. BEPÁRLÁS

1.1 Egytestes bepárló berendezés analitikus számítása

A bepárló berendezések számítása a berendezés anyag- és entalpiamérlege alapján történik.

A számítások során használt jelölések:

S_o a bepárlandó oldat mennyisége kg vagy kg/h

S_1 a bepárolt oldat mennyisége kg vagy kg/h

V a lehajtott oldószer mennyisége kg vagy kg/h

$b_o = \frac{B_o}{S_o}$ a bepárlandó oldat koncentrációja

$b_1 = \frac{B_1}{S_1}$ a bepárolt oldat koncentrációja

G a fűtőgőz mennyisége kg vagy kg/h

$B_o = B_1$ a szárazanyag mennyisége kg vagy kg/h

A fenti jelölésekkel a bepárló teljes anyagmérlege:

$$S_o = S_1 + V \quad (1-1)$$

A szárazanyagra felírt anyagmérleg:

$$B_o = B_1 \quad \text{ill.} \quad S_o b_o = S_1 b_1 \quad (1-2)$$

$$S_1 = S_o \cdot \frac{b_o}{b_1} \quad (1-3)$$

Az (1-1) egyenletből az (1-3) egyenlet felhasználásával a lehajtott oldószer mennyiségét kifejezve.

$$V = S_o \left[1 - \frac{b_o}{b_1} \right] \quad (1-4)$$

egyenlethez jutunk.

A bepárláshoz szükséges fűtőgőz mennyiségének számításához a bepárló entalpiamérlegét használjuk fel.

1.1.1 Fűtőgőz-szükséglet számítása Merkel-diagram felhasználásával

Ha a számításokhoz a bepárlandó oldat Merkel-féle entalpia-koncentráció diagramja áll rendelkezésünkre, a bepárló entalpiamérlege a következő formában írható fel:

$$G \cdot i''_g + S_o \cdot i_o = GK \cdot i'_\tau + S_1 \cdot i_1 + V \cdot i_V + Q_V \quad \begin{matrix} \text{kJ} \\ \text{vagy} \\ \text{kW} \end{matrix} \quad (1-5)$$

ahol:

- $GK = G$ a kondenzvíz mennyisége kg vagy kg/h
- i''_g a fűtőgőz entalpiája kJ/kg fűtőgőz
- i'_τ a kondenzvíz entalpiája kJ/kg fűtőgőz
- i_o a bepárlandó oldat entalpiája kJ/kg oldat
- i_1 a bepárolt oldat entalpiája kJ/kg oldat
- i_V a lehajtott pára entalpiája kJ/kg pára
- Q_V a hőveszteség kJ vagy kW

Az (1-5) egyenletről a fűtőgőz mennyisége számítható.

1.1.2 Fűtőgőzszükséglet számítása Mollier-diagram felhasználásával

Ha a számításokhoz a bepárlandó oldat Mollier-féle diagramja áll rendelkezésünkre, akkor az entalpiamérleget 1 kg vagy 1 kg/h szárazanyagra írjuk fel:

$$q + i_o = i_1 + \Delta x \cdot i_V + q_V \frac{\text{kJ}}{\text{kg (szárazanyag)}} \quad (1-6)$$

ahol:

- q 1 kg szárazanyagot tartalmazó oldat bepárlásához szükséges hőmennyiség kJ/kg szárazanyag vagy kW/kg szárazanyag
- i_o a bepárlandó oldat entalpiája kJ/kg szárazanyag
- i_1 a bepárolt oldat entalpiája kJ/kg szárazanyag

$\Delta x = x_o - x_1$ a lehajtott oldószer mennyisége 1 kg szárazanyagra vonatkoztatva, kg oldószer/kg szárazanyag

A szükséges fűtőgőz mennyisége a következő egyenletből fejezhető ki:

$$Q = B \cdot q = G \cdot (i''_3 - i'_\tau)$$

$$G = B \cdot \frac{q}{i''_3 - i'_\tau} \quad \text{kg vagy kg/h} \quad (1-7)$$

1.1.3. Fűtőgőz-szükséglet számítása az oldat fajhőjének ismeretében

A szükséges fűtőgőz mennyiségének fajhő segítségével történő meghatározását akkor alkalmazzuk, ha sem Merkel, sem Mollier-diagram nem áll rendelkezésünkre. Az entalpiamérleget ekkor a következő formában írjuk fel:

$$G \cdot i''_3 + S_o c_{p_o} t_o = GK \cdot i'_\tau + S_1 \cdot c_{p_1} t_1 + V \cdot i_V + Q_v \quad (1-8)$$

ahol

c_{p_o} a bepárlandó oldat fajhője $\frac{\text{kJ}}{\text{kg (oldat)} \cdot ^\circ\text{C}}$

c_{p_1} a bepárolt oldat fajhője $\frac{\text{kJ}}{\text{kg (oldat)} \cdot ^\circ\text{C}}$

t_o a bepárlandó oldat hőmérséklete $^\circ\text{C}$

t_1 a bepárolt oldat hőmérséklete $^\circ\text{C}$

$G = GK$ és legyen $Q_v = 0$

így

$$G (i''_3 - i'_\tau) = S_1 c_{p_1} t_1 + V \cdot i_V - S_o c_{p_o} t_o \quad (1-9)$$

Az (1-9) egyenletből kiszöböljük ki c_{p_1} -et a következő megfontolással:

A hig oldatot t_1 hőmérsékleten tekintjük t_1 hőmérsékletű tömény oldat és t_1 hőmérsékletű oldószer elegyének feltételezve, hogy az elegyítési hő nulla:

$$S_o c_{p_o} t_1 = S_1 c_{p_1} \cdot t_1 + V \cdot c_{p_A} t_1 \quad (1-10)$$

Ebből

$$S_1 c_{p_1} t_1 = S_0 c_{p_0} t_1 - V \cdot c_{p_A} t_1 \quad (1-11)$$

Ezt behelyettesítve az (1-9) egyenletbe:

$$G(i'_g - i'_\tau) = S_0 c_{p_0} (t_1 - t_0) + V(i_V - c_{p_A} t_1) \quad (1-12)$$

(1-12) egyenletből a lehajtott víz mennyiségét kifejezve:

$$V = G \cdot \frac{i'_g - i'_\tau}{i_V - c_{p_A} t_1} + S_0 c_{p_0} \cdot \frac{t_0 - t_1}{i_V - c_{p_A} t_1} \quad (1-13)$$

Az (1-13) egyenletben szereplő

$$\frac{i'_g - i'_\tau}{i_V - c_{p_A} t_1} = \alpha \text{ elpárolgatási együttható}$$

$$\frac{t_0 - t_1}{i_V - c_{p_A} t_1} = \beta \text{ önpárolgatási együttható}$$

Hideg betáplálás ($t_0 < t_1$) esetén $\beta < 0$

Forrásponti betáplálás ($t_0 = t_1$) esetén $\beta = 0$

Túlhevített folyadék betáplálás ($t_0 > t_1$) esetén $\beta > 0$

Az elpárolgatási és önpárolgatási együttható segítségével a lehajtott oldószer mennyiségét kifejezve:

$$V = G \cdot \alpha + S_0 \cdot c_{p_0} \cdot \beta \quad (1-14)$$

A bepárlás fűtőgőzsükséglete:

$$G = \frac{V - S_0 \cdot c_{p_0} \beta}{\alpha} \text{ kg vagy kg/h} \quad (1-15)$$

Élesgőzzel működő hőszivattyús bepárlás esetén az élesgőz (direkt gőz) szükségletet a számolt gőzsükségletből, az éles és páragőzre felírt anyag- és hőmérleg segítségével számítható ki.

1.2 Egytestes bepárló berendezések grafikus számítása

A szerkesztésekhez Merkel- vagy Mollier-diagramot használunk.

1.2.1 Műveletek Merkel-diagramon

1.2.1.1 Elegyítés Merkel-diagramon

Elegyítsünk S_1 kg. b_1 $\frac{\text{kg szárazanyag}}{\text{kg oldat}}$, i_1 kJ/kg oldat entalpiájú, t_1 °C hőmérsékletű oldatot (1.1 ábra ① pont) S_2 mennyiségű, b_2 összetételű, i_2 entalpiájú, t_2 °C hőmérsékletű oldattal (1.1 ábra ② pont). A kapott elegy mennyisége S_E , összetétele b_E , entalpiája i_E , és hőmérséklete t_E (1.1 ábra ③ pont). (Az oldatok állapotának a diagramon való jellemzéséhez az összetétel, entalpia, és hőmérséklet paraméterek közül kettő megadása elegendő!)

Az elegyítés teljes anyagmérlege:

$$S_1 + S_2 = S_E \quad (1-16)$$

Az oldott anyag anyagmérlege:

$$S_1 \cdot b_1 + S_2 \cdot b_2 = S_E \cdot b_E = S_1 \cdot b_E + S_2 \cdot b_E \quad (1-17)$$

Az elegyítés entalpiamérlege:

$$S_1 \cdot i_1 + S_2 \cdot i_2 = S_E \cdot i_E = S_1 \cdot i_E + S_2 \cdot i_E \quad (1-18)$$

Az (1-17) és (1-18) egyenletek átrendezésével, majd (1-18) egyenlet (1-17) egyenlettel való osztásával a következőt kapjuk:

$$\frac{i_E - i_1}{b_E - b_1} = \frac{i_2 - i_E}{b_2 - b_E} \quad (1-19)$$

Tehát az elegy állapotát jelző ③ pont az ① és ② pontokat összekötő egyenesen fekszik.

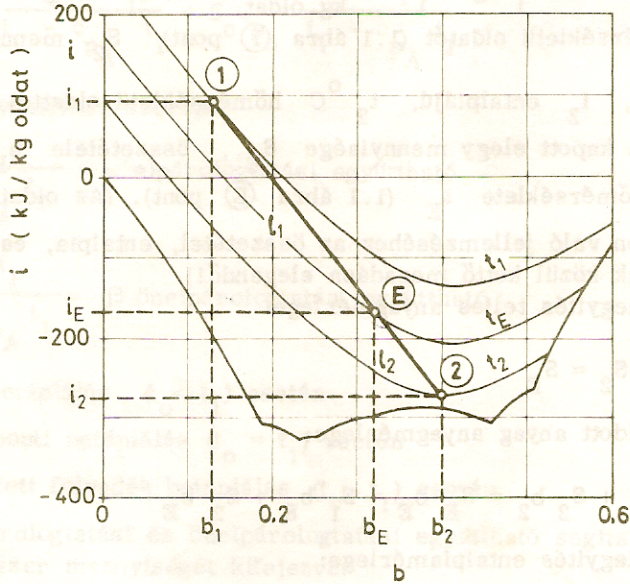
Jelöljük az 1.1 ábrán az $\overline{1E}$ távolságot $\overline{T_1}$ -gyel, az $\overline{E2}$ távolságot $\overline{T_2}$ -vel. Az ábrából következik, hogy

$$\frac{l_1}{l_1 + l_2} = \frac{b_E - b_1}{b_2 - b_1} \quad \text{és} \quad \frac{l_2}{l_1 + l_2} = \frac{b_2 - b_E}{b_2 - b_1} \quad (1-20)$$

Az (1-16) és (1-17) egyenletekből pedig:

$$\frac{S_2}{S_1 + S_2} = \frac{b_E - b_1}{b_2 - b_1} \quad \text{és} \quad \frac{S_1}{S_1 + S_2} = \frac{b_2 - b_E}{b_2 - b_1} \quad (1-21)$$

összefüggésekhez jutunk.



1.1 ábra
Elegyítés Merkel-diagramon

Az (1-20) és (1-21) egyenletek összevetésével:

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{l_2}{l_1} \quad (1-22)$$

az "emelőszabály" vagy "mérlegszabály" elnevezéssel ismert összefüggést kapjuk.

1.2.1.2 Higitás Merkel-diagramon

A Merkel-diagramon a tiszta oldószer állapotát jelző pont is ábrázolható, így a higitás az 1.2.1.1 pontban tárgyalt elegyítés szerint szerkeszthető.

1.2.1.3 Bepárlás Merkel-diagramon

Állandó P nyomáson S_0 kg/h b_0 koncentrációjú t_0 °C hőmérsékletű, i_0 entalpiájú oldatból bepárlással S_1 kg/h, b_1 koncentrációjú, t_1 hőmérsékletű, forrásponton levő oldatot akarunk előállítani. A kapott pára i_V entalpiájú, P nyomású, t_1 hőmérsékletű túlhevített gőz, melynek számértéke a vizgőztáblázatból határozható meg. A bepárolt oldat és a túlhevített gőz együttes elegypontját (E), az i_V pontot a (b_1, t_1) ponttal összekötő egyenesből (a gőzizotermából) a b_0 koncentrációhoz tartozó függőleges egyenes metszi ki (1.2 ábra). A bepárlás 1 kg hig oldatra vonatkoztatott hőszükségletét a

$$q = i_E - i_0 \quad (1-18)$$

entalpiakülönbség adja meg.

Jelöljük i'_0 -vel a P nyomáshoz tartozó, b_0 koncentrációjú telített oldat entalpiáját. Akkor az oldat 1 kg -jának forráspontra való melegítéséhez szükséges hőmennyiség:

$$q_F = i'_0 - i_0 \quad (1-19)$$

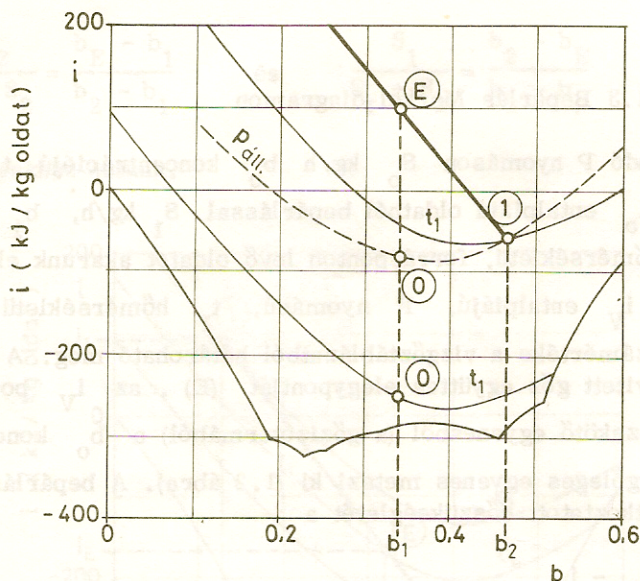
és a forrásponton levő oldat 1 kg -jának elpárologtatásához szükséges hőmennyiség:

$$q_V = i_E - i'_0 \quad (1-20)$$

egyenletekkel számítható.

Vizes oldatok bepárlásánál a víz igen nagy párolgáshő értéke miatt az i_V pont nagyon magasra kerül a diagramon, és ezért a szerkesztéshez igen nagy diagramra lenne szükség. Ennek kiküszöbölésére a diagram felső részére segéd diagramot szerkesztenek. (Pl. 1. melléklet.) A diagram (P, t_1) pontját a segéd diagram megfelelő (P, t_1) pontjával

összekötvé kapjuk a kívánt gőzizotermát és így a szerkesztés során nincs szükség a túlságosan magasan fekvő i_V pont ábrázolására.



1.2 ábra
Bepárlás Merkel-diagramon

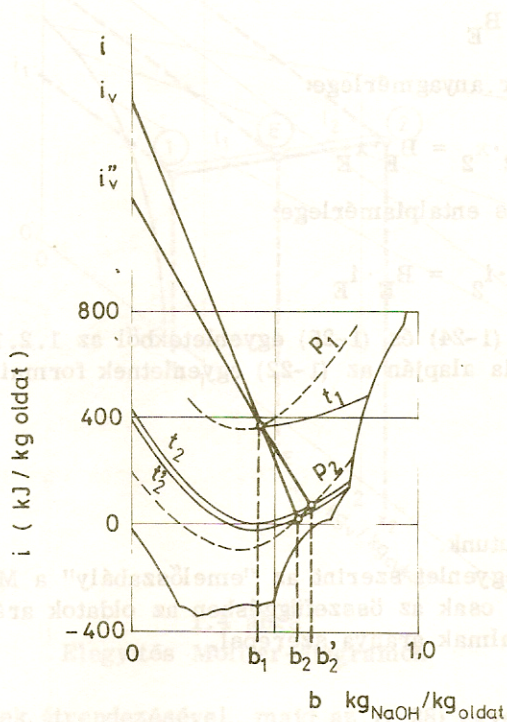
1.2.1.4 Fojtás Merkel-diagramon

Ha a P_1 nyomású, b_1 összetételű, t_1 hőmérsékletű, oldatot P_2 nyomásra expandáltatunk, akkor az oldatból önpárologatás révén oldószer távozik el és így az oldat koncentrációja nő. A kapott oldat b_2 koncentrációját iterálással határozhatjuk meg, mivel nem ismerjük a betöményedett oldat t_2 hőmérsékletét.

Az iterálás első lépéseként feltételezzük, hogy az oldatból P_2 nyomású telített gőz távozik i''_V entalpiával. Az ordinátán az i''_V értéket berajzoljuk, összekötjük a (P_1, t_1) ponttal és ennek az egyenesnek a P_2 izobárig történő meghosszabbítása megadja a t_2 hőmérséklet közelítő értékét (t'_2). A kapott közelítő t'_2 hőmérséklethez tartozó i_V

a túlhevített gőz közelítő entalpiája és ezzel a szerkesztés megismételhető. A szerkesztést addig folytatjuk, míg a t'_2 hőmérséklet változik.

Rendszerint egyszeri iterálás elegendő (1.3 ábra).



1.3 ábra

Fojtás Merkel-diagramon

1.2.2 Műveletek Mollier-diagramon

1.2.2.1 Elegyítés Mollier-diagramon

Elegyítsünk S_1 kg, B_1 kg szárazanyagot tartalmazó i_1 entalpiájú, t_1 hőmérsékletű,

x_1 $\frac{\text{kg oldószer}}{\text{kg szárazanyag}}$ koncentrációjú, oldatot S_2 kg, B_2 kg szárazanyagot tartalmazó i_2 entalpiájú, t_2 hőmérsékletű,