

$$dQ_2 = k \cdot F(\vartheta - t) \cdot di = r dV \quad (1-68)$$

Az (1-4) egyenletet deriválva, figyelembe véve, hogy b_1 szakaszos bepárlás során változik (ezért helyébe $b - t$ írunk), dV -re a következő összefüggést nyerjük:

$$dV = \frac{S_o \cdot b_o}{b^2} db \quad (1-69)$$

Ezt (1-68) egyenletbe behelyettesítve, majd a kapott egyenletet integrálva az elpárologtatás időszükségletére a következő összefüggés adódik:

$$i_2 = \frac{S_o \cdot b_o}{F} \int_{b_o}^{b_1} \frac{r}{k(\vartheta - t)b^2} db \quad (1-70)$$

Az egyenletben szereplő integrál értéke grafikusan határozható meg.

1.5 Feladatok

1. Bepárlással 20 t/h 20% cukortartalmú oldatot 40%-osra akarunk betöményíteni.

Mennyi a bepárlóba belépő és abból kilépő cukor mennyisége?

$$B = 20 \cdot 0,2 = 4,0 \text{ (t/h)}$$

Mennyi a bepárlóból kilépő 40%-os oldat mennyisége?

$$B = S_o \cdot b_o = S_1 \cdot b_1$$

$$\text{ahonnan } S_1 = S_o \frac{b_o}{b_1} = 20,0 \frac{0,2}{0,4} = 10,0 \text{ (t/h)}$$

Mennyi vizet kell a bepárlóban elpárologtatni?

$$V = S_o - S_1 = 20,0 - 10,0 = 10,0 \text{ (t/h)}$$

2.

A bepárlásnál a koncentrációt úgy is ki szokták fejezni, hogy megadják az 1 kg szárazanyag mellett jelenlevő oldószermennyiséget. Az 1 kg szárazanyagra vonatkoztatott számolás azért célszerű, mert a szárazanyag mennyisége a bepárlás folyamán nem változik.

Pl.	tömeg%	tömegviszony	tömeg%	tömegviszony
100	$\frac{V}{B} = \frac{0}{100} = 0$		8	$\frac{100-8}{8} = 11,5$
50	$\frac{V}{B} = \frac{50}{50} = 1$		12	$\frac{100-12}{12} = 7,33$
25	$\frac{V}{B} = \frac{75}{25} = 3$		15	$\frac{100-15}{15} = 5,67$
20	$\frac{V}{B} = \frac{80}{20} = 4$		18	$\frac{100-18}{18} = 4,56$
10	$\frac{V}{B} = \frac{90}{10} = 9$		30	$\frac{100-30}{30} = 2,33$
5	$\frac{V}{B} = \frac{95}{5} = 19$		40	$\frac{100-40}{40} = 1,5$

A tömegviszonyból tömeg%-ba való átszámítás:

tömegviszony	tömeg%	tömegviszony	tömeg%
$\frac{V}{B}$	$\frac{B}{V+B} = \frac{\frac{B}{B}}{\frac{V}{B} + \frac{B}{B}}$	2,5	$\frac{1}{1+2,5} = 0,286=28,6\%$
0,5	$\frac{1}{0,5+1} = 0,667=66,7\%$	3	$\frac{1}{1+3} = 0,25=25\%$
1	$\frac{1}{1+1} = 0,5 = 50\%$	3,5	$\frac{1}{1+3,5} = 0,222=22,2\%$
1,5	$\frac{1}{1+1,5} = 0,4 = 40\%$	4	$\frac{1}{1+4} = 0,20=20\%$
2	$\frac{1}{1+2} = 0,333 = 33,3\%$	5	$\frac{1}{1+5} = 0,1666=16,67\%$

3. Az elpárolgatatandó víz mennyisége a szárazanyagra vonatkoztatott tömegviszonnyal igen egyszerűen fejezhető ki. Az 1. példa adatai: a belépő oldat x_0 koncentrációja:

$$20\% \quad x_0 = \frac{100 - 20}{20} = 4 \text{ (kg víz/kg cukor)}$$

A kilépő oldat x_1 koncentrációja:

$$40\% \quad x_1 = \frac{100 - 40}{40} = 1,5 \text{ (kg víz/kg cukor)}$$

Az eltávolítandó víz mennyisége:

$$x_0 - x_1 = 4 - 1,5 = 2,5 \text{ (kg víz/kg cukor)}$$

Az összes eltávolítandó víz mennyisége:

$$V = B(x_0 - x_1) = 4000(4 - 1,5) = 10\,000 \text{ (kg/h)}$$

$$V = 10 \text{ t/h}$$

4. 20 t/h 15% -os NaOH oldatot 25%-osra kell betöményíteni. A betáplálási hőmérséklet 20°C . Számítsuk ki a fűtőgőzsükségletet az entalpiakoncentráció diagram segítségével és a fűtőfelületet. A bepárlás 1 bar nyomáson történik, a hővesztés becslést értéke 230 kW. A fűtőgőz 133°C -os, nedvességet nem tartalmaz. A látszólagos hőátbocsátási együttható $900 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$.

Megoldás:

a) Az elpárolgatatandó víz mennyisége:

$$V = S_0 - S_1 \quad \text{és} \quad S_0 \cdot b_0 = S_1 \cdot b_1$$

innen

$$V = S_0 - S_0 \frac{b_0}{b_1} = 20 \left(1 - \frac{15}{25} \right) = 8,0 \text{ (t/h)}$$

b) A szükséges hőmennyiséget számítással és grafikusán is meg lehet határozni.

Számítással:

$$G i''_3 + S_0 \cdot i_0 = G i'_1 + S_1 \cdot i_1 + V i''_V + Q_V$$

i''_V = az 1 bar nyomáson távozó telített gőz entalpiája;
 $i''_V = 2675 \text{ kJ/kg}$ (táblázatból)

i_0 = -100 kJ/kg diagramból

i_1 = 125 kJ/kg diagramból

$$Q_V = 230 \cdot 3600 = 8,28 \cdot 10^5 \text{ (kJ/h)}$$

$$\begin{aligned} G (i''_3 - i'_1) &= S_1 \cdot i_1 - S_0 \cdot i_0 + V i''_V + Q_V = \\ &= (2 \cdot 10^4 - 0,8 \cdot 10^4) \cdot 125 - 2 \cdot 10^4 (-100) + 0,8 \cdot 10^4 \cdot 2675 + 8,28 \cdot 10^5 = \\ &= 2,57 \cdot 10^7 \text{ (kJ/h)} \end{aligned}$$

$$Q = 7,15 \text{ MW}$$

Szerkesztéssel:

A grafikus szerkesztésnél figyelembe vesszük, hogy az elpárolgatóskor először túlhevített gőz keletkezik. A gőz 111 °C -on távozik (diagramból).

Mivel a diagram nem elég hosszú ahhoz, hogy az 1 bar nyomású, 111 °C -os gőz entalpiáját is le lehessen róla olvasni, felső részén egy segédskála van; mi az 1 bar jelzésű segédskálán a 111 értékhez tartozó vonalon át szerkesztjük a gőzizotermát.

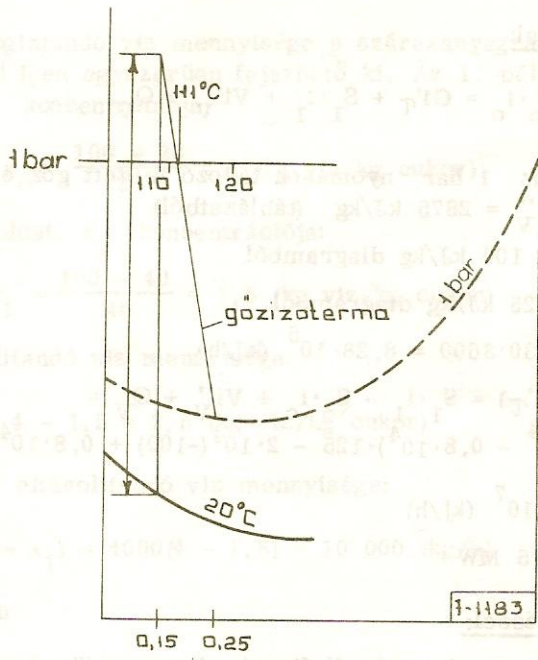
A gőzizoterma tulajdonképpen a két "szételegyedő" fázist összekötő egyenes: egyik végpontja a bepárlás eredményeképpen keletkező oldat, másik végpontja a keletkező pára állapotát ábrázoló pont.

Szerkesztése: a 25% -os, 1 bar nyomáson forrponton levő oldatnak megfelelő pontot összekötjük az 1 bar segédskálán 111 °C -hoz tartozó ponttal.

Ahol ez az egyenes metszi az S_0 pontból emelt függőlegest, az az elegypont. Az elegypont entalpiája és a kiindulási oldat entalpiája közti különbség (q) az a hőmennyiség, amit 1 kg kiindulási oldattal közölni kell.

Diagramból: $q = 1240 \text{ kJ/kg}$

$$Q = S_0 \cdot q + Q_V = 20 \cdot 1240 \cdot 10^3 + 8 \cdot 10^5 = 2,56 \cdot 10^7 \text{ (kJ/h)} = 7,11 \text{ (MW)}$$



1.8 ábra

c) A gőzszükséglet:

A 133 °C-os telített gőz párolgáshője 2165 kJ/kg

$$G = \frac{Q}{r_{\text{g}}} = \frac{2,56 \cdot 10^7}{2165} = 1,18 \cdot 10^4 \text{ (kg/h)} = 11,8 \text{ (t/h)}$$

d) A fűtőfelület:

A fűtőfelületen a hőveszteség nem megy át:

$$Q_1 = 6,88 \text{ MW}$$

A látszólagos hőfokkülönbség:

$$\Delta t = 133 - 100 = 33 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

A látszólagos hőátbocsátási együttható: $900 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$

$$F = \frac{Q_1}{k \Delta t} = \frac{6,88 \cdot 10^6}{900 \cdot 33} = 232 \text{ (m}^2\text{)}$$

5. Egy folyamatos bepárlóból, mely 410 mbar nyomáson üzemel, óránként 500 kg/h 68%-os sűrített cukoroldatot és $V = 1500$ kg/h párákat kapunk.

A betáplálás

a) 30 °C-on

b) 100 °C-on túlhevítve történik.

Mennyi a gőzfogyasztás (kg/h), ha a készülék hővesztesége $36,1$ kW és a fűtés $1,48$ bar nyomású gőzzel történik? (Használjuk a Mollier-diagramot.)

Mi a forrpoint a készülékben?

Milyen nagyságú fűtőfelület szükséges, ha

$$k_{\text{corr}} = 1,16 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

Mennyi sarjugőz keletkezik a kondenzvizből?

p(bar)	t °C	r $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	i'' $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$
0,41	76	2318	2636
1,01	100	2257	2676
1,48	111	2227	2693

Megoldás:

a)

$$b_o = \frac{S_1 \cdot b_1}{S_o} = \frac{500 \cdot 68}{2000} = 17\%$$

$$x_o = \frac{83}{17} = 4,88 \quad i_o = 1760 \text{ kJ/kg cukor}$$

$$x_1 = \frac{32}{68} = 0,47 \quad i_1 = 1380 \text{ kJ/kg cukor}$$

$$S_o \cdot b_o = 0,68 \cdot 500 = 340 \text{ (kg/h)}$$

$$Q_V = 36,1 \cdot 3,6 \cdot 10^3 = 1,3 \cdot 10^5 \text{ (kJ/h)}$$

A gőzszükséglet számítása:

$$340 \cdot 1760 + Q = 340 \cdot 1380 + 1500 \cdot 2636 + 1,3 \cdot 10^5$$

$$Q = 3,95 \cdot 10^6 \text{ kJ/h} = 1,10 \text{ MW} \quad \left| \quad G = \frac{3,95 \cdot 10^6}{2227} = 1770 \text{ (kg/h)} = 1,77 \text{ (t/h)} \right.$$

A fűtőfelület:

$$F = \frac{1,1 \cdot 10^6}{10^3 (111-79)} = 34,4 \text{ (m}^2\text{)}$$

A keletkező sarjugóz mennyisége:

$$1770 \cdot 466 = x \cdot 2676 + (1770 - x) \cdot 419$$

$$2257 x = 83 \ 190$$

$$x = 36,9 \text{ kg/h}$$

Az oldat forráspontja (a diagram kinagyított részletéről): $79 \text{ }^\circ\text{C}$

b) $i_0 = 3350 \text{ kJ/kg}$

$$340 \cdot 3350 + Q = 340 \cdot 1380 + 1500 \cdot 2636 + 1,3 \cdot 10^5$$

$$Q = 3,41 \cdot 10^6 \text{ kJ/h} = 947 \text{ kW}$$

$$G = \frac{3,41 \cdot 10^6}{2227} = 1530 \text{ (kg/h)} = 1,53 \text{ (t/h)}$$

$$F = \frac{9,47 \cdot 10^5}{1,16 \cdot 10^3 \cdot (111 - 79)} = 25,5 \text{ m}^2$$

$$1530 \cdot 466 = x \cdot 2676 + (1530 - x) \cdot 419$$

$$2257 x = 7,19 \cdot 10^4$$

$$x = 31,9 \text{ kg/h}$$

6.

Egytestes bepárlóban 20 t/h 14,1% -os NaOH oldatot 24,1%-osra kell bepárolni. A bepárlás 1,01 bar nyomáson történik, a fűtőgőz hőmérséklete $\vartheta = 150 \text{ }^\circ\text{C}$, kondenzátumának hőmérséklete ugyanennyi. A bepárló hőveszteségét elhanyagoljuk. Számítsuk ki a fűtőgőz-szükségletet, ha az oldat

- forráspontjára előmelegítve
- $20 \text{ }^\circ\text{C}$ -on,
- $150 \text{ }^\circ\text{C}$ -on érkezik a bepárlóba.

Szükséges adatok:

150 °C-os telített gőz entalpiája: $i''_g = 2747 \text{ kJ/kg}$
24,1%-os NaOH oldat forráspontemelkedése: 11 °C
A hidrosztatikai nyomás folytán fellépő forráspontemelkedés: 2 °C
A szilárd NaOH fajhője $1,31 \text{ kJ/kg °C}$.

Megoldás:

$$t_1 = 100 + 11 + 2 = 113 \text{ (°C)}.$$

1,01 bar nyomású vizgőz entalpiája: $i''_v = 2676 \text{ kJ/kg}$
Elpárologatandó vízmennyiség:

$$V = S_o \cdot \left(1 - \frac{b_o}{b_1}\right) = 20\,000 \cdot \left(1 - \frac{14,1}{24,1}\right) = 8300 \text{ (kg/h)} = 8,3 \text{ (t/h)}$$

a) Mivel $t_o \neq t_1$ (1-13) egyenletből a szükséges gőzmennyiség:

$$G = V \frac{i''_v - c_{pA} \cdot t_1}{i''_g - i'_T} = 8300 \cdot \frac{2676 - 474}{2747 - 632} = 8640 \text{ (kg/h)} = 8,64 \text{ (t/h)}$$

Vagy:

$$\alpha = \frac{i''_g - i'_T}{i''_v - c_{pA} \cdot t_1} = \frac{2747 - 632}{2676 - 474} = 0,960 \quad \frac{\text{kg viz elp.}}{\text{kg függőgőz}}$$

$$G = \frac{V}{\alpha} = \frac{8300}{0,960} = 8640 \text{ (kg/h)} = 8,64 \text{ (t/h)}$$

b) Az oldat nem forrásponton, hanem 20 °C-on érkezik a bepárlóba.
Az oldat fajhőjét additive számítjuk:

A 14,1% -os NaOH oldat fajhője:

$$c_p = 0,141 \cdot 1,306 + 0,859 \cdot 4,187 = 3,781 \text{ (kJ/kg °C)}$$

$$\text{A gőzszükséglet számítása: } V = G \cdot \alpha + S_o \cdot c_{p_o} \cdot \beta$$

ahol $\alpha = 0,960$ (nem változott)

$$\beta = \frac{t_o - t_1}{i''_v - c_{pA} \cdot t_1} = \frac{20 - 113}{2676 - 474} = -0,042$$

Innen a gőzszükséglet:

$$G = \frac{V - S_o \cdot c_{po} \cdot \beta}{\alpha} = \frac{8300 - 20\,000 \cdot 3,781 \cdot (-0,042)}{0,960} = 11\,970 \text{ (kg/h)}$$

c) Az oldat 150°C -on lép be a bepárlóba.

$$\alpha = 0,96 \text{ (nem változott)}$$

$$\beta = \frac{t_o - t_1}{i^* - C_{pA} \cdot t_1} = \frac{150 - 113}{2676 - 474} = 0,017$$

Tehát

$$G = \frac{8300 - 20\,000 \cdot (3,781 \cdot 0,017)}{0,960} = 7310 \text{ (kg/h)}$$

7.

Elegyítés: 100 kg 20°C -os NaOH -t oldunk 400 kg 20°C -os vízben. Mi lesz a keletkező oldat összetétele, entalpiája, hőmérséklete?

$$b = \frac{B}{A + B} = \frac{100}{500} = 0,2 = 20\%$$

A keletkező oldat állapota a komponensek állapotát összekötő egyenesen fekszik.

$$t = 80^\circ\text{C}, \quad i = 70 \text{ kJ/kg}$$

Mennyi az oldáshő? (20°C -os oldat entalpiája: -144 kJ/kg).

Az oldáshő: $-155 - 70 = -225 \text{ (kJ/kg)}$.

8.

a) Leolvasás gyakorlása:

Pl. 50%-os cukoroldat forráspontja 0,4 bar nyomáson: 78°C .
entalpiája forrponton: 1570 kJ/kg cukor; 50%-os cukoroldat entalpiája 20°C -on: 1170 kJ/kg cukor.

Mennyi hó szükséges a 20°C -ról forrpontra történő melegítéshez?

$$1570 - 1170 = 400 \text{ (kJ/kg cukor)}$$

b) Telítettségi görbe:

50°C -on milyen töménységnél van a cukoroldat telítve? 71%, viz-tartalom $0,4 \text{ kg/kg}$ cukor.

c) Keverés:

100 kg 50%-os, 50 °C-os cukoroldatot elegyítsünk 100 kg 25%-os, 100 °C-os cukoroldattal. Mi lesz a keverék állapota?

$$b_1 = 50\% \quad x_1 = \frac{50}{50} = 1 \text{ kg/kg cukor} \quad B_1 = 50 \text{ kg cukor}$$

$$b_2 = 25\% \quad x_2 = \frac{75}{25} = 3 \text{ kg/kg cukor} \quad B_2 = 25 \text{ kg cukor}$$

$$B_E = B_1 + B_2 = 75 \text{ kg cukor}$$

A távolságok aránya a $\overline{12}$ egyenesen: $\overline{1E} : \overline{E2} = 25 : 50$

$$b_e = 37,5\% ; \quad x_e = 1,67 \text{ kg/kg cukor}, \quad t_e = 78 \text{ }^\circ\text{C}$$

d) Elegyítés vízzel:

1. 100 kg 50%-os 50 °C-os cukoroldatot 100 kg 50 °C-os vízzel $i_A = 209 \text{ kJ/kg}$ elegyítünk.

Mi lesz az elegy állapota?

(Szerkesztés: az $x_1 = 1$, $t = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ pontból a segédskálán a 209 kJ/kg -nak megfelelő pontból, a 0 pontig húzott egyenessel párhuzamost rajzolunk.)

$$A + B_1 \cdot x_1 = B_1 \cdot x_e$$

$$x_e = \frac{100 + 50 \cdot 1}{50} = 3 \text{ (kg víz/kg cukor)}$$

Diagramból:

$$t_e = 50 \text{ }^\circ\text{C} ; \quad i_e = 1800 \text{ kJ/kg}$$

2. Elegyítsünk 50 kg 0 °C-os jéggel (1-10. ábra) ;

$$A + B \cdot x_1 = 50 + 50 \cdot 1 = 100 \text{ kg}$$

$$x_e = \frac{A}{B} = \frac{100}{50} = 2 \text{ (kg/kg cukor)}$$

$i_A = -330 \text{ kJ/kg}$ (a 0 °C-os jég entalpiája). Ezzel az iránnyal húzunk párhuzamost az $x_1 = 1$; $t_1 = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ pontból.