

1. Prezentarea proiectului. Tema de proiectare: concentrarea soluțiilor diluate prin evaporarea cu efect multiplu

Să se proiecteze o instalație de evaporare care să concentreze $S_i =$ kg/h soluție apoasă de NaOH. Stația de evaporare este formată din trei corpuri de evaporare, un preîncălzitor de soluție diluată, condensator barometric, două pompe, din care una pentru introducerea soluției diluate în primul corp de evaporare, și una pentru evacuarea soluției din ultimul corp, două rezervoare, unul pentru soluția diluată, altul pentru soluția concentrată și o pompă.

Circulația soluției va fi naturală, atât în corpurile de evaporare, cât și între ele (circulând în echicurent). Soluția se va concentra de la concentrația $C_i =$ % (masă) până la $C_f =$ % (masă).

Din corpul 1 se va lua extraabur în cantitatea $E_1 = 90$ kg/h. În preîncălzitor, soluția se va preîncălzi de la temperatura $t_1 = 20$ °C până la o temperatură mai mică cu 10 °C decât temperatura de fierbere din evaporatorul 1.

Presiunea vaporilor de încălzire a primului corp de evaporare este $P = 8,8$ ata, vidul în ultimul corp fiind de 630 mmHg.

2. Variante tehnologice. Varianta tehnologică aleasă

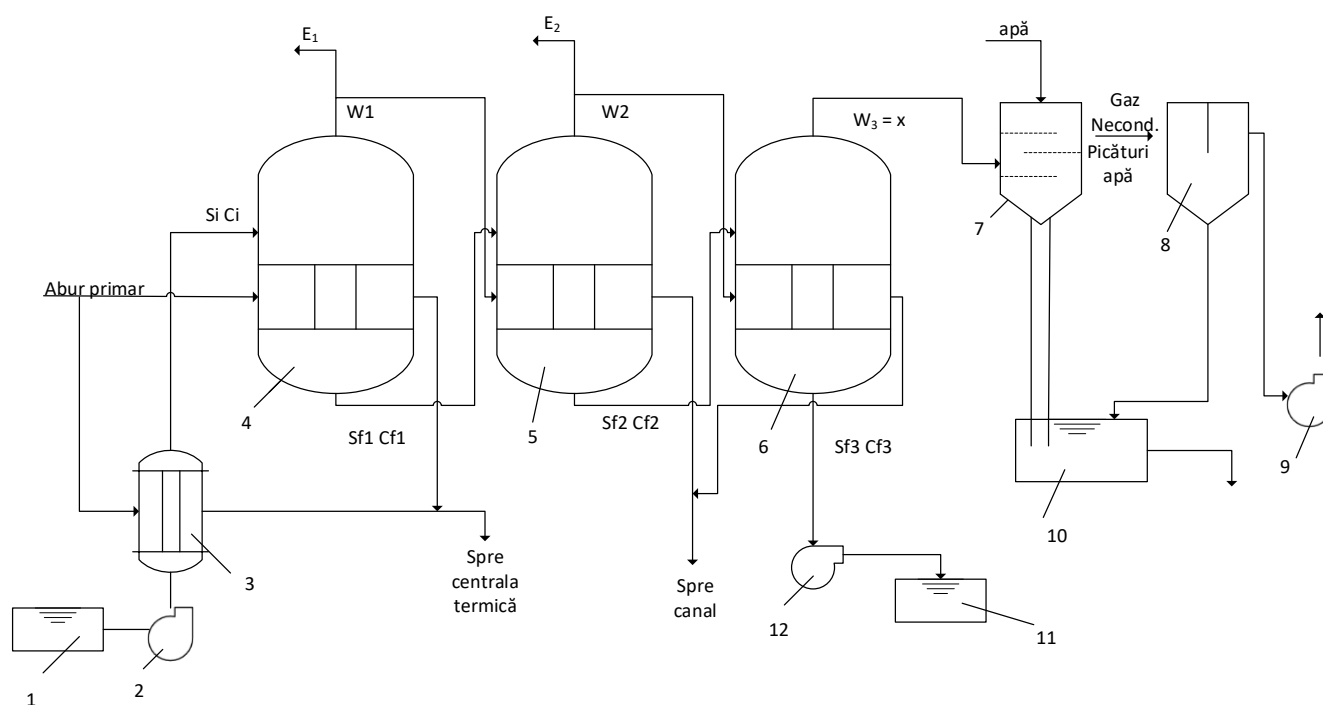
Concentrarea soluției prin:

- Evaporarea simplă – consumul de abur este mai mare comparativ cu celelalte metode
- Evaporarea cu pompă de căldură – consumă lucru mecanic pentru comprimarea vaporilor secundari iar utilajele de comprimare sunt complexe, necesită cheltuieli mari
- Evaporarea cu efect multiplu – consum de abur mult diminuat

Variante de evaporare cu efect multiplu în echicurent:

- Are siguranță în funcționare
- Consum energetic scăzut
- Nu necesită pompe pentru transportul între corpuri
- Costuri de investiție/ exploatare mici

3. Schița tehnologică a instalației de evaporare cu efect multiplu



- 1 - soluție diluată
- 2 – pompă pentru transportul soluției diluate
- 3 – preîncălzitor
- 4 – 5 – 6 – corpuri de evaporare
- 7 – condensator barometric
- 8 – separator de picături
- 9 – pompă de vid
- 10 – rezervor închis pentru lichid
- 11 – rezervor soluție concentrată
- 12 – pompă pentru transportul soluției concentrate

4. Bilanț de materiale. Repartiția pe corpuri a apei evaporate. Căderi de temperatură în evaporare

Apa evaporată pe întreaga instalație se poate determina luând în considerare două bilanțuri:

- Bilanțul global: Debitul de soluție inițială supusă concentrării este egal cu debitul de soluție finală rezultată în instalație + cantitatea de apă evaporată

$$S_i = S_f + W \quad (1)$$

- Bilanțul sării - cantitatea de substanță dizolvată rămâne aceeași pe tot parcursul evaporării:

$$S_i C_i = S_f C_f \quad (2)$$

Din relația (2) rezultă:

$$S_f = \frac{S_i C_i}{C_f}$$

$$(1) \Rightarrow W = S_i - S_f$$

$$W = S_i \left(1 - \frac{C_i}{C_f} \right), (\text{kg} / \text{h})$$

Repartiția apei pe corpurile de evaporare

Se face considerând ipoteza conform căreia 1kg abur evaporă 1kg apă din soluție. Datorită acestei ipoteze repartiția va fi inexactă.

Notăm cu x cantitatea de apă evaporată în corpul 3:

$$W_3 = x$$

Pe baza bilanțului de materiale se pot varia relații de legătură dintre aceasta și apa evaporată în celelalte corpuri.

$$W_2 = x + E_2$$

$$W_1 = x + E_2 + E_1$$

Însumând apa ce se evaporă din fiecare corp vom obține apa totală evaporată. Pentru ca aceasta este cunoscută, putem afla apa evaporată în corpul 3.

$$W_1 + W_2 + W_3 = 3x - 2E_2 + E_1$$

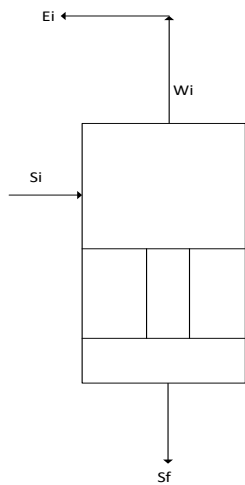
$$x = \frac{W - 2E_2 - E_1}{3}$$

Știm că $E_2 = 0$; $E_1 = 90$

$$x = \frac{W - E_1}{3}$$

Se calculează W_2 și W_1 cu ecuațiile de mai sus.

Aflarea concentrației soluției în corpuri



Conform bilanțului sării:

$$S_i C_i = S_{f_1} C_{f_1} \Rightarrow C_{f_1} = \frac{S_i C_i}{S_{f_1}}$$

Din bilanțul total pe corpul 1:

$$S_i = S_{f_1} + W_1$$

$$S_{f_1} = S_i - W_1 \Rightarrow C_{f_1} = \frac{S_i C_i}{S_i - W_1}$$

Se calculează concentrația medie în corpul 1:

$$C_{m_1} = \frac{C_i + C_{f_1}}{2}$$

Pentru a afla concentrația finală în evaporatorul 2 vom proceda la fel ca pentru corpul 1:

$$C_{f_2} = \frac{S_i C_i}{S_{f_2}}$$

$$S_i C_i = S_{f_1} C_{f_1}$$

$$C_{f_2} = \frac{S_i C_i}{S_i - W_1 - W_2} = \dots$$

$$C_{m_2} = \frac{C_{f_2} + C_{i_2}}{2} = \frac{C_{f_2} + C_{f_1}}{2} = \dots$$

Concentrația finală pe corpul 3:

$$C_{f_3} = \frac{S_i C_i}{S_{f_3}}$$

$$S_i C_i = S_{f_1} C_{f_1}$$

$$C_{f_3} = \frac{S_i C_i}{S_i - W_1 - W_2 - W_3} = \dots$$

$$Cm_3 = \frac{C_{f_3} + C_{i_3}}{2} = \frac{C_{f_3} + C_{f_2}}{2} = \dots$$

Căderi de temperatură în evaporare

În evaporare apar următoarele căderi de temperatură:

- Căderea totală de temperatură Δt_{total}
- Căderea utilă de temperatură $\sum \Delta t_{util}$
- Căderea neutilă de temperatură $\sum \Delta t_{neutil}$

Căderea totală de temperatură Δt_{total} este diferența între temperatura aburului care încălzește primul corp și cel care părăsește corpul 3:

$$\Delta t_{total} = t_{D_1} - t_{W_3}$$

Pentru a afla t_{W_3} , avem nevoie de presiunea din corpul 3. Din datele inițiale de proiectare, presiunea în corpul 3 este un vid de 630 mmHg, pentru a afla presiunea absolută (remanentă) folosim:

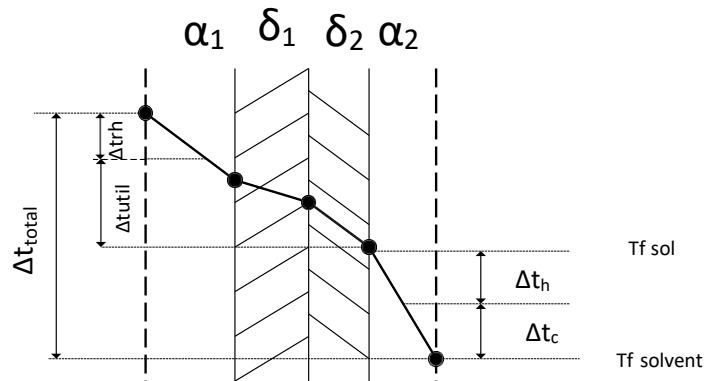
$$p_{remanentă} = p_0 - p_{vid} \rightarrow p_3 = \text{ mmHg}$$

Din tabelul LVII se citește t_{D_1} funcție de presiunea la temperatura aburului primar

$$t_{D_1} = \dots$$

$$t_{W_3} = \dots$$

Reprezentarea căderilor de temperatură:



$$\Delta t_{total} = \sum \Delta t_{util} + \sum \Delta t_{neutil}$$

$\sum \Delta t_{neutil}$ este dată de:

- Căderi de temperatură neutile datorate concentrației soluției ($\sum \Delta t_c$)
- Căderi de temperatură datorate efectului hidrostatic ($\sum \Delta t_h$)
- Căderi de temperatură datorate rezistenței hidraulice ($\sum \Delta t_{r.h.}$)

$$\sum \Delta t_{\text{neutil}} = \sum \Delta t_c + \sum \Delta t_h + \sum \Delta t_{r.h.}$$

Căderi de temperatură neutile datorate concentrației soluției

Vor fi date de suma căderilor de temperatură datorate concentrației soluției în fiecare corp de evaporare:

$$\sum \Delta t_c = \Delta t_{c_1} + \Delta t_{c_2} + \Delta t_{c_3}$$

Căderea de temperatură datorată concentrației pe corpul 1 va fi dată de:

$$\Delta t_{ci} = (t_{f_{sol,i}} - t_{f_{sol,v}}) C$$

$t_{f_{sol,i}}$ → tabel XXXVI funcție de concentrația finală a soluției în fiecare din cele 3 corpuri

$$t_{f_{\text{solvent}}} = 100 \text{ } ^\circ\text{C}$$

În tabel se dă dependența dintre presiunea și coeficientul de concentrație

⇒ trebuie aflată presiunea și apoi coeficientul de concentrație

De asemenea, e cunoscută p – presiunea aburului primar din primul corp:

$$\Delta p = \frac{p - p_3}{3}$$

$$p_3 = \dots$$

$$p_2 = p_3 + \Delta p$$

$$p_1 = p_2 + \Delta p$$

Se dă tabelul de dependență ce poate fi folosit până la 4 atm, pentru valori , se construiește dependența și se extrapolează:

p(ata)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	1	2	3	4
C	0,69	0,76	0,81	0,85	0,91	1	1,14	1,23	1,32

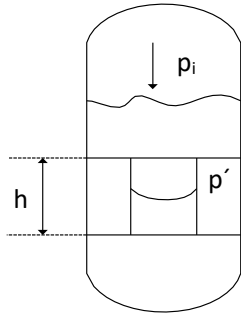
Dacă presiunea este mai mare în evaporator decât valorile tabelate, se reprezintă grafic C funcție de p, și se citește C pe graficul extrapolat.

Temperatura de fierbere pentru corpul 1 se ia la concentrația finală din corpul 1. Similar pentru corpurile 2 și 3.

Căderea de temperatură neutilă datorită efectului hidrostatic

Efectul hidrostatic constă în creșterea temperaturii de fierbere a soluției datorită faptului că are loc creșterea presiunii.

Corespunzător presiunii p avem temperatura t , iar lui p' îi corespunde t' :



$$p_i' = p_i + \rho g \frac{h}{2}$$

p_i' - presiunea în mijlocul țevilor

h - lungimea țevilor: se adoptă $h=1,4\text{m}$

ρ, g - densitatea și accelerația gravitațională

$$\Delta t_h = t' - t$$

cu t' și t citite din Tabelul cu vapori saturați (Pavlov, p. 529) la p' și respectiv p .

Temperaturile acestea se consideră pentru solvent deoarece pentru sare am ținut cont în căderile de temperatură datorită concentrației:

ρ - densitatea soluției variază cu temperatura și concentrația în fiecare corp, conform relației:

$$\frac{\rho_{sol}^t}{\rho_{sol}^0} = \frac{\rho_{apă}^t}{\rho_{apă}^0}$$

ρ_{sol}^{15} - densitatea soluției la temperatura de 15°C , citită pentru C_m (concentrația medie din evaporator)

$\rho_{apă}^{15}$ - densitatea apei la 15°C

ρ_{sol}^t - densitatea soluției la temperatura de la mijlocul țevii

$\rho_{apă}^t$ - densitatea apei la temperatura de la mijlocul țevii

$$\rho_{sol}^t = \frac{\rho_{sol}^{15} \cdot \rho_{apă}^t}{\rho_{apă}^{15}}$$

(t este temperatura solventului la presiunea p din evaporator)

ρ_{sol}^{15} se ia în funcție de concentrația medie în evaporatorul i . Se realizează același calcul pentru fiecare evaporator.

%NaOH	0,95	2,72	4,51	5,41	6,31	7,21	8,1	9	9,9	10,8	12,6
ρ	1010	1030	1050	1060	1070	1080	1090	1100	1110	1120	1140
%NaOH	15,32	20,73	25,28	29,9	30,84	31,75	32,74	33,7	34,66	35,64	36,62
ρ	1170	1230	1240	1330	1340	1350	1360	1370	1380	1390	1400

$$\sum \Delta t_h = \Delta t_{h_1} + \Delta t_{h_2} + \Delta t_{h_3}$$

Căderea de temperatură neutilă datorită rezistențelor hidrodinamice

La trecerea vaporilor dintr-un corp în altul are loc scăderea presiunii, ceea ce atrage după sine și scăderea temperaturii, vom avea cădere de temperatură la trecerea de la corpul 1 la corpul 2 a vaporilor și din corpul 2 în corpul 3.

$$\Delta t_{r.h.} = \Delta t_{r.h.} \underset{1-2}{+} \Delta t_{r.h.} \underset{2-3}{+} \Delta t_{r.h.} \underset{3-cond.}{+}$$

$$\text{Se adoptă } \Delta t_{r.h.} \underset{1-2}{=} \Delta t_{r.h.} \underset{2-3}{=} \Delta t_{r.h.} \underset{3-cond.}{=} = 1,5^\circ\text{C}$$

$$\sum \Delta t_{util} = \Delta t_{util} - \sum \Delta t_{neutil}$$

Se calculează temperatura de fierbere a soluției din fiecare evaporator prin adăugarea la temperatura de fierbere a solventului a căderilor de temperatură datorită concentrației și a celor datorate efectului hidrostatic. Temperatura solventului este egală cu temperatura vaporilor secundari, adică temperatura la presiunea existentă în fiecare corp:

$$t_{f sol,i} = t_{f solv} + \Delta t_{c,i} + \Delta t_{h,i}$$

Mărime	Unitatea măs.	Nr. coresp. evaporator		
		1	2	3
Presiunea vaporilor de încălzire	ata	8,8		
Temperatura vaporilor de încălzire	°C			
Entalpia vaporilor de încălzire	kJ/kg			
Presiunea vaporilor secundari	ata			
Temperatura vaporilor secundari	°C			
Entalpia vaporilor secundari	kJ/kg			
Căderea de temperatură datorată rezistențelor hidraulice	°C	1,5 x3		
Căderea de temperatură datorată concentrației	°C			
Căderea de temperatură datorată efectului hidrostatic	°C			

Bilanț termic. Consum abur primar.

Coeficient de evaporare și autoevapoare. Coeficient global de transfer termic.

Bilanțul termic se întocmește în vederea aflării necesarului de abur de încălzire și repartiția exactă a apei evaporate în fiecare corp.

$$1) \quad \sum Q_i - \sum Q_e = Q_p$$

$$\sum Q_i = \sum Q_e + Q_p$$

$$2) \quad \text{Căldura cedată} = \text{căldura primită} + \text{căldura pierdută}$$

Folosim varianta 1). Considerăm $Q_p = 0$.

Pentru corpul 1:

- Căldura aburului primar: $D_1 i_{D_1}$

- Căldura introdusă de soluția inițială: $S_1 C_{p_1} T_1$

Pt corp 2

$D_2 i_{D_2}$

$S_{f1} c_{p1} t_{f1}$

Pt corp 3:

$D_3 i_{D_3}$

$S_{f2} c_{p2} t_{f2}$

Analog pentru corpurile 2 și 3. Căldurile ieșite corespunzătoare soluțiilor:

$$\begin{aligned} & S_1 C_{p_1} T_{f_1} \\ & (S_i - W_1) C_{p_{f_2}} T_{f_2} \\ & (S_i - W_1 - W_2) C_{p_{f_3}} T_{f_3} \end{aligned}$$

Bilanț termic pentru corpul 3:

$$D_3 i_{D_3} + (S_i - W_1 - W_2) C_{p_{f_2}} T_{f_2} = D_3 i_{C_3} + W_3 i_{W_3} + (S_i - W_1 - W_2) C_{p_{f_3}} T_{f_3}$$

$$W_3 (i_{W_3} - C_{p_{f_3}} T_{f_3}) = D_3 (i_{D_3} - i_{C_3}) + (S_i - W_1 - W_2) (C_{p_{f_2}} T_{f_2} - C_{p_{f_3}} T_{f_3})$$

$$W_3 = D_3 \cdot \frac{i_{D_3} - i_{C_3}}{\underbrace{i_{W_3} - C_{p_{f_3}} T_{f_3}}_{\alpha_3}} + (S_i - W_1 - W_2) \cdot \frac{C_{p_{f_2}} T_{f_2} - C_{p_{f_3}} T_{f_3}}{\underbrace{i_{W_3} - C_{p_{f_3}} T_{f_3}}_{\beta_3}}$$

Similar se pot scrie pentru corpurile 1 și 2:

$$W_1 = D_1 \alpha_1 + S_1 C_{p_1} \beta_1 \quad W_2 = D_2 \alpha_2 + (S_1 C_{p_1} - W_1) \beta_2$$

$$W_3 = D_3 \alpha_3 + (S_i - W_1 - W_2) \beta_3$$

Pentru determinarea consumului de abur primar D_1 , se utilizează relația:

$$D_1 = \frac{W - S_i C_{p1} y + E_1 K_1 + E_2 K_2}{x}$$

W = cantitatea de apă evaporată în cele 3 corpuri

$$K_1 = 2 - \beta_3$$

$$K_2 = 0$$

C_{p1} – căldura specifică a soluției NaOH în Kcal / Kg · K

$$C_{p1} = \left(1 - \frac{C_i}{100}\right) C_p$$

Calculul coeficientului de evaporare, α

Este cantitatea de apă evaporată cu ajutorul energiei calorice eliberată de 1 Kg abur de încălzire:

Kg apă evaporată / 1 Kg abur primar

α este subunitar și ∈ (0,95 - 0,99)

Pentru corpul 1:

$$\alpha_1 = \frac{i_{D_1} - i_{C_1}}{i_{W_1} - C_{p_{f1}} t_{f1}}, \quad C_{p_{f1}} = 1 \text{ Kcal/Kg} \cdot K$$

i_{D₁} – entalpia aburului primar (la p)

i_{C₁} – entalpia condensului în corpul 1 (la p)

i_{W₁} – entalpia apei ce se evaporă în corpul 1 (la p1)

Toate entalpiile se exprimă în kcal/kg, iar C_{pf1} = 1 kcal/kgK.

C_{p_{f1}} – căldura molară a soluției din corpul 1

t_{f1} – temperatura soluției în corpul 1 (temperatura de fierbere)

Analog pentru celelalte corpuri. (în loc de indicele 1 folosim indicii 2 și 3)

C_{pf2}, C_{pf3} = 1 kcal/kgK

Calculul coeficientului de autoevaporare, β

β reprezintă cantitatea de apă evaporată cu ajutorul energiei calorice eliberată de 1 Kg d abur la trecerea dintr – un spațiu cu presiunea mai mare într – un spațiu cu presiunea mai mică.

De aceea β este subunitar, deoarece presiunea fiind mai mică, și temperatura va fi mai mică. În general, β este dat de relația:

$$\beta = \frac{t_{f_{sol\ n-1}} - t_{f_{sol\ n}}}{i_{W_1} - t_{f_{sol\ n}}}$$

Pentru corpul 1:

$$\beta_1 = \frac{t_{int.\ sol.} - t_{f_{sol_1}}}{i_{W_1} - t_{f_{sol_1}}}$$

Temperatura de intrare a soluției trebuie să fie mai mică decât temperatura de fierbere a soluției în corpul 1 cu 10 °C, conform datelor de proiectare:

$$t_{intrare\ soluție} = t_{f_{sol_1}} - 10\ ^\circ\text{C}$$

Coeficientul de evaporare în corpul 1 este negativ deoarece soluția la intrare are temperatura mai mică decât cea de fierbere în corpul 1, deci nu este posibilă autoevaporarea.

Coeficientul de autoevaporare pentru corpul 2 este dat de:

$$\beta_2 = \frac{t_{f_{sol_1}} - t_{f_{sol_2}}}{i_{W_2} - t_{f_{sol_2}}} \quad (\text{Pt corp 3, indicele 1 devine 2, indicele 2 devine 3})$$

Cunoscând β_1 , β_2 , și β_3 , se pot calcula x și y:

$$x = n - (n-1)\beta_2 - 2(n-2)\beta_3$$

$$n = 3$$

$$y = n\beta_1 + (n-1)\beta_2 + (n-2)\beta_3$$

Se calculează consumul de abur primar:

$$D_1 = \dots$$

Se pot determina cantitățile de apă evaporate în fiecare corp:

$$W'_1 = D_1\alpha_1 + S_i C_{p_i}\beta_1$$

$$W'_2 = D_2\alpha_2 + (S_i C_{p_i} - W'_1)\beta_2, \quad D_2 = W'_1 - E_1$$

$$W'_3 = D_3\alpha_3 + (S_i C_{p_i} - W'_1 - W'_2)\beta_3, \quad D_3 = W'_2 - E_2$$

Cantitatea totală de apă evaporată în cele 3 corpuri:

$$W' = W'_1 + W'_2 + W'_3$$

Se compară cantitatea de apă evaporată conform bilanțului de materiale și conform bilanțului termic:

$$\Delta W = W - W'$$

Se calculează diferența de apă evaporată pe cele 3 corpuri:

$$\begin{cases} W' \dots\dots \Delta W \\ W'_1 \dots\dots \Delta W'_1 = x \end{cases}$$

$\Delta W'_1$ – diferența față de bilanțul de materiale pe corpul 1

W' - cantitatea totală de apă evaporată din bilanțul termic

W'_1 – apa evaporată în corpul 1 din bilanț termic

Analog pentru celelalte corpuri.

W_1^c – cantitatea de apă evaporată în corpul 1 conform bilanțului termic

$$W_2^c = W'_2 + \Delta W'_2$$

$$W_3^c = \dots$$

Cantitatea totală de apă evaporată conform bilanțului termic:

$$W = W_1^c + W_2^c + W_3^c$$

Valorile ar trebui să fie egale (cele din bilanțul termic cu cele din bilanțul de materiale).

Calculul coeficientului global de transfer de căldură

Este necesar pentru calculul ariei evaporatorului:

$$S = \frac{Q}{K \cdot \Delta T_{\text{med}}}, \quad S = \pi d h \cdot n$$

Q – cantitatea de căldură transferată

S – suprafața de transfer de căldură

n – numărul de țevi

d – diametrul țevii (absolut)

h – înălțimea (se impune)

Se consideră diametrul țevelor din oțel aliat din corpurile 1 și 2:

$$\Phi_{1,2} = 34 \times 3 \text{ mm}$$

Iar pentru corpul 3: $\Phi_3 = 42 \times 3 \text{ mm}$ deoarece soluția este mai concentrată, deci circulația poate fi mai defectuoasă și Δp_p mai mari.

Se calculează K:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{OL}}{\lambda_{OL}} + \frac{\delta_p}{\lambda_p} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

Calculul α_1 :

Se alege ecuația criterială corespunzătoare:

$$\alpha_1 = 1,15 \cdot \sqrt[4]{\frac{\lambda^3 \rho^2 r g}{\eta \cdot \Delta t \cdot h}}$$

ρ, η, λ - proprietăți ale apei la $T_{\text{med film}} = \frac{t_{D_1} + t_{p_1}}{2}$

r – căldura latentă de condensare

h = 1,4 m, admisă anterior la calculul presiunii

Δt – căderea de temperatură prin filmul 1, pentru corpul 1:

$$\Delta t_1 = t_{D_1} - t_{p_1}$$

Δt – se admite - $\Delta t_1 = 4^\circ \text{C}$

Pentru corpul 2: $t_{\text{med film}} = \frac{t_{w_1} + t_{p_2}}{2} \rightarrow \alpha_1^{(2)}$

Pentru corpul 3: $t_{\text{med film}} = \frac{t_{w_2} + t_{p_3}}{2} \rightarrow \alpha_1^{(3)}$

Deoarece vaporii conțin apă necondensabilă este necesară corectarea acestui coeficient:

$$\alpha_1^c = \alpha_1 \cdot \varepsilon_g$$

ε_g – factor de corecție pentru gaze, citit funcție de concentrația în vapori a aerului (%)

Conc. în vapori a aerului (%)	0,5	1	1,5	2	2,5	3	4
ε_g	0,7	0,5	0,4	0,3	0,25	0,22	0,18

Concentrațiile în vapori se adoptă astfel: evap.1: 0,5%, evap. 2: 1%, evap. 3: 1,5%

Calculul coeficientului parțial de transfer de căldură α_2

Se referă la transmiterea căldurii prin convecție la fierberea lichidelor. La fierberea cu bule:

$$\alpha_2 = 2,72 \cdot \varphi \cdot p_{\text{abs}}^{0,4} \cdot q^{0,7}$$

p_{abs} – presiunea de lucru, ata

q – încărcarea termică specifică

ρ al soluției NaOH se asimilează cu ρ al soluției NaCl:

Conc. soluției de sare (%)	4	9	12	16	20	24	28	36
φ	0,9	0,86	0,79	0,72	0,7	0,62	0,55	0,42

Se citește φ corespunzător concentrației finale din fiecare corp.

q – încărcarea termică, trebuie să fie mai mică decât încărcarea termică critică

Se admite $q_1 = 0,08q_{\text{cr}}$; $q_2 = 0,07q_{\text{cr}}$; $q_3 = 0,06q_{\text{cr}}$;

$$q_{cr} = 0,133r\rho_v \left[\frac{\sigma g(\rho_t - \rho_v)}{\rho_v^2} \right]^{1/4}$$

σ - tensiunea superficială a apei, N/m = $58,9 \cdot 10^{-3}$

$$\rho_v = 0,597 \text{ kg / m}^3$$

$$\rho_l = 958 \text{ kg / m}^3$$

$$q_{cr} = 1,126 \cdot 10^6 \text{ W}$$

Se calculează K_1 , K_2 , K_3 .

Apoi se determină cantitatea de căldură transferată:

$$Q_1 = D_1 r_{D_1}$$

$$Q_2 = D_2 r_{D_2}$$

$$Q_3 = D_3 r_{D_3}$$

Dimensionarea evaporatoarelor:

- Suprafața de transfer de căldură a evaporatorului
- Diametrul și înălțimea lor
- Calculul izolației și a racordurilor

1. Suprafața de transfer de căldură

$$S_1 = \frac{Q}{K_1 \cdot \Delta t_1}$$

$$S_2 = \frac{Q}{K_2 \cdot \Delta t_2}$$

$$S_3 = \frac{Q}{K_3 \cdot \Delta t_3}$$

ΔT_1 , ΔT_2 , ΔT_3 nu se cunosc individual, dar pot fi determinate făcând repartitia căderii utile totale de temperatură pe corpuri de evaporare. Acest lucru se poate face în 2 variante:

1. Varianta suprafețelor egale: $S_1 = S_2 = S_3 = S$
2. Suma suprafețelor să fie minimă: $S_1 + S_2 + S_3 = S_{min}$

1. Varianta suprafețelor egale

$$S_1 = S_2 = S_3$$

$$\frac{Q_1}{K_1 \Delta t_1} = \frac{Q_2}{K_2 \Delta t_2} = \frac{Q_3}{K_3 \Delta t_3}$$

$$\frac{Q_1}{K_1} = \frac{Q_2}{K_2} = \frac{Q_3}{K_3} \Rightarrow \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{\underbrace{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3}_{\Delta t_{\text{util}}}}$$

$$\Delta t_1 = \frac{\frac{Q_1}{K_1} \Delta t_{\text{util}}}{\frac{Q_1}{K_1} + \frac{Q_2}{K_2} + \frac{Q_3}{K_3}}, \Delta t_2 = \frac{\frac{Q_2}{K_2} \Delta t_{\text{util}}}{\frac{Q_1}{K_1} + \frac{Q_2}{K_2} + \frac{Q_3}{K_3}}, \Delta t_3 = \frac{\frac{Q_3}{K_3} \Delta t_{\text{util}}}{\frac{Q_1}{K_1} + \frac{Q_2}{K_2} + \frac{Q_3}{K_3}}$$

2. Varianta suprafețelor minime

Se utilizează atunci când materialul de construcție e foarte scump.

$$\Delta t_1 = \frac{\sqrt{\frac{Q_1}{K_1}} \Delta t_{\text{util}}}{\sqrt{\frac{Q_1}{K_1}} + \sqrt{\frac{Q_2}{K_2}} + \sqrt{\frac{Q_3}{K_3}}}, \Delta t_2 = \frac{\sqrt{\frac{Q_2}{K_2}} \Delta t_{\text{util}}}{\sqrt{\frac{Q_1}{K_1}} + \sqrt{\frac{Q_2}{K_2}} + \sqrt{\frac{Q_3}{K_3}}}, \Delta t_3 = \frac{\sqrt{\frac{Q_3}{K_3}} \Delta t_{\text{util}}}{\sqrt{\frac{Q_1}{K_1}} + \sqrt{\frac{Q_2}{K_2}} + \sqrt{\frac{Q_3}{K_3}}}$$

- pt. varianta 1: $S_1 = \frac{Q_1}{K_1 \Delta t_1}, S_2 = \frac{Q_2}{K_2 \Delta t_2}, S_3 = \frac{Q_3}{K_3 \Delta t_3}$

$$S_1 + S_2 + S_3 = S$$

- pt. varianta 2: $S_1 = \frac{Q_1}{K_1 \Delta t_1}, S_2 = \frac{Q_2}{K_2 \Delta t_2}, S_3 = \frac{Q_3}{K_3 \Delta t_3}$

$$S_1 + S_2 + S_3 = S_{\text{min}}$$

Din varianta 1: $S = \text{aproximativ la fel} \rightarrow 3S = 3x \rightarrow S = \dots$

Dacă $S_{\text{min}} < 3S$ iar diferențele dintre cele 2 valori sunt mici, se alege varianta suprafețelor egale, aceasta prezentând avantajele:

- piesele de schimb sunt interschimbabile
- se pot executa în serie – proiectare redusă, spre deosebire de varianta suprafețelor totale minime, unde piesele de schimb sunt numai pentru unul din corpuri, iar proiectarea se realizează separat.

Condensatorul barometric

Condensarea unor vapori, cu un agent de răcire, se poate face fie într-un condensator de suprafață, dacă e necesară recuperarea condensului, fie într-un condensator de amestec, dacă vaporii rezultați nu sunt utili. Când condensul și gazele necondensabile sunt eliminate separat, condensul e eliminat printr-o coloană barometrică, iar gazele necondensabile cu ajutorul unei pompe.

De obicei, condensatorul barometric lucrează la presiune scăzută, fiind potrivit unei instalații de evaporare (vaporii își micșorează volumul de 1000 de ori).

Vaporii intră în corpul condensatorului pe la partea inferioară, apa pe la partea superioară. Aerul este eliminat pe la partea superioară, separându-se de picăturile de apă care se scurg printr-o coloană barometrică. Aerul uscat se evacuează cu pompa de vid iar lichidul format din apa de răcire și vaporii condensați este evacuată prin coloană la un bazin de colectare, prevăzut cu preaplin pentru a se realiza o închidere hidrostatică.

Bilanț termic condensator barometric

Se realizează pentru a calcula cantitatea de apă necesară în condensatorul barometric

$$\sum \text{căldurilor intrate} = \sum \text{căldurilor ieșite}$$

$$W_3 i_{w_3} + M m_{ap\grave{a}} C_{p_i} t_i = (W_3 + M_{ap\grave{a}}) C_{p_{ap\grave{a}}} t_f$$

$$M m_{ap\grave{a}} = \frac{W_3 (i_{w_3} - C_{p_{ap\grave{a}}} t_f)}{C_{p_{ap\grave{a}}} t_f - C_{p_i} t_i}$$

t_i – temperatura apei de alimentare (15°C)

t_f – cu 5 - 15° mai mare ca cea inițială (<50°C)

$$t_{med} = \frac{t_i + t_f}{2}$$

Dimensionarea corpului barometric

$$W_3 = \rho_{vap} \frac{\pi D^2}{4} v$$

Se admite $v = 30 - 40 \text{ m/s}$

Pentru siguranța în funcționare se majorează debitul cu 50%

Pentru calculul înălțimii se însumează distanțele dintre talere. Numărul de talere se stabilește dintr-un tabel funcție de gradul de încălzire.

$$f = \frac{t_f - t_i}{t_{w_{3vap}} - t_i}$$

Nr. șicane	Dist. dintre șicane (mm)	Gradul de încălzire		
		Diametrul găurilor		
		φ2	φ3	φ5
4	300	0,538	0,638	0,216
6	300	0,646	0,466	0,263
8	300	0,727	0,533	0,31
4	400	0,58	0,41	0,233
6	400	0,687	0,5	0,289
8	400	0,776	0,568	0,343

Se admite distanța de la partea de jos la prima șicană: $h_1 = 600\text{mm}$

$h_2 =$ valoarea citită din tabel

h_3 – se micșorează cu 50mm. Se procedează la fel până se ajunge la ultima distanță între șicane, dar nu mai mult (mai mic de 200mm)

Înălțimea totală va fi dată de: $H = h_1 + h_2 + \dots + h_6$

În vederea de sus vom observa că șicana nu ocupă toată secțiunea transversală a condensatorului.

b – lățimea șicanei

$$b = \frac{D}{2} + 50\text{mm}$$

Dimensionarea țevii barometrice

$$\frac{W_3 + Mm_{apă}}{\rho_{t_f} \cdot 3600} = \frac{\pi d^2}{4} \cdot v$$

v se adoptă 1-5m/s

Înălțimea țevii barometrice

Este dată de suma dintre:

- înălțimea coloanei de lichid h_0
- înălțimea de siguranță $h' = 0,5\text{m}$
- înălțimea de închidere hidrolică $h'' = 0,3\text{m}$

Pentru a afla înălțimea coloanei de lichid, aplicăm ecuația Bernoulli.

$$h_1 \rho g + \frac{\rho v_1^2}{2} + p_1 = h_2 \rho g + \frac{\rho v_2^2}{2} + p_2 + h_p \rho g$$

$$\underbrace{(h_1 - h_2)}_{h_0} = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} - \frac{v_2^2}{2g} + h_p, \quad v_2 \rightarrow 0$$

$$p_2 = p_0$$

$$p_1 = p_3$$

$$\Delta p_{fr} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{\rho v_1^2}{2}, \quad L = 9m$$

$$\left. \begin{array}{l} Re = \frac{\rho v d}{\eta} \\ e = 0,7mm \end{array} \right\} \rightarrow \lambda$$

v_1 – viteza de curgere a apei în piciorul barometric

$$h_{re} = \sum \zeta_{re} \cdot \frac{v_1^2}{2g}$$

Se află înălțimea țevii barometrice:

$$h = h_0 + h' + h''$$

$$h' = 0,5m$$

$$h'' = 0,3m$$

Cantitatea de gaze necondensabile

Gazele necondensabile provin din:

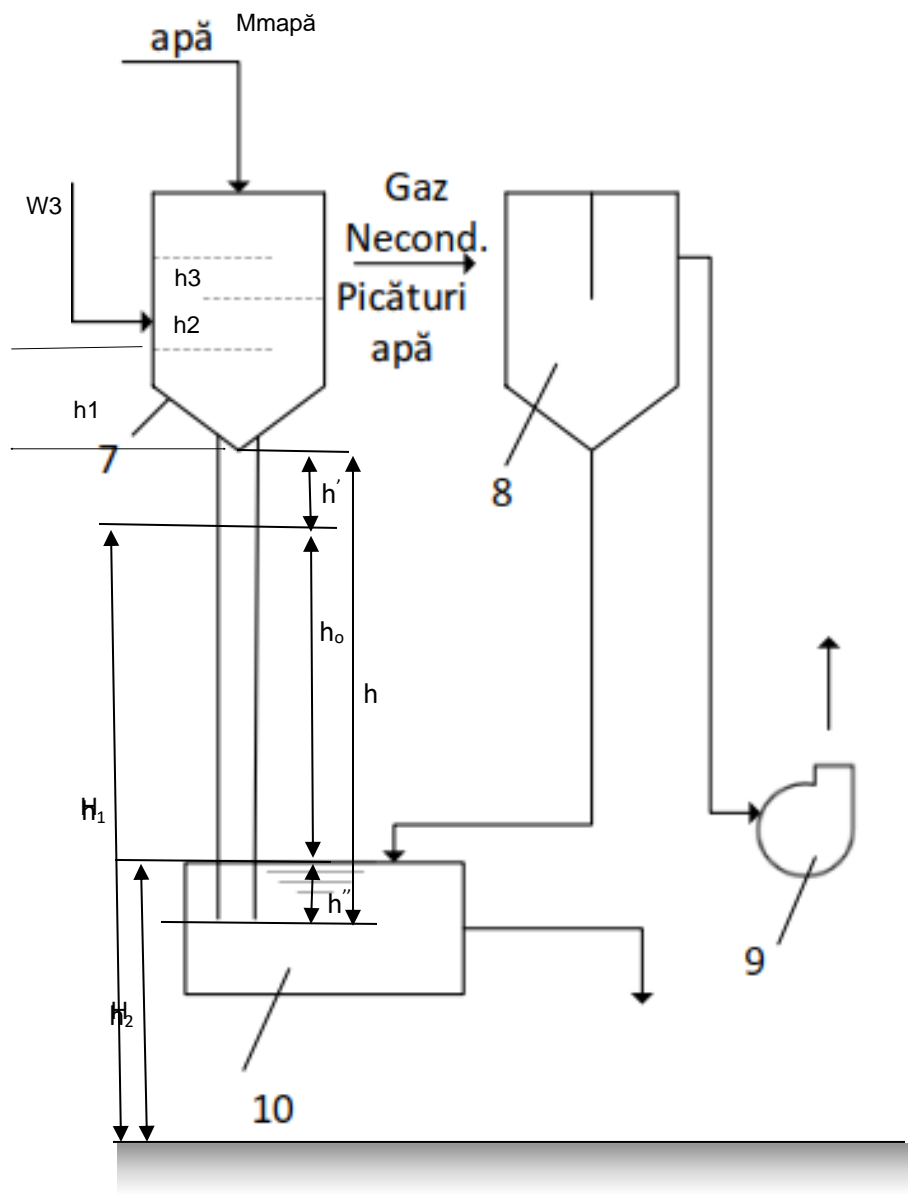
- apa de alimentare condensator
- vaporii ce intră în condens
- la flanșe sau alte coturi sudate

1 kg apă 0,000024kg aer

$Mm_{ap\acute{a}} \dots\dots\dots G_{n_1}$

$$G_{n_2} = 0,01 \cdot W_3$$

$$G_{n_3} = 0$$



Condensatorul barometric

Condensarea unor vapori, cu un agent de răcire, se poate face fie într-un condensator de suprafață, dacă e necesară recuperarea condensului, fie într-un condensator de amestec, dacă vaporii rezultați nu sunt utili. Când condensul și gazele necondensabile sunt eliminate separat, condensul e eliminat printr-o coloană barometrică, iar gazele necondensabile cu ajutorul unei pompe.

De obicei, condensatorul barometric lucrează la presiune scăzută, fiind potrivit unei instalații de evaporare (vaporii își micșorează volumul de 1000 de ori).

Vaporii intră în corpul condensatorului pe la partea inferioară, apa pe la partea superioară. Aerul este eliminat pe la partea superioară, separându-se de picăturile de apă care se scurg printr-o coloană barometrică. Aerul uscat se evacuează cu pompa de vid iar lichidul format din apa de răcire și vaporii condensati este evacuată prin coloană la un bazin de colectare, prevăzut cu preaplin pentru a se realiza o închidere hidrolică.

Bilanț termic condensator barometric

Se realizează pentru a calcula cantitatea de apă necesară în condensatorul barometric

$$\sum \text{căldurilor intrate} = \sum \text{căldurilor ieșite}$$

$$W_3 i_{w_3} + M m_{ap\grave{a}} C_{p_i} t_i = (W_3 + M_{ap\grave{a}}) C_{p_{ap\grave{a}}} t_f$$

$$M m_{ap\grave{a}} = \frac{W_3 (i_{w_3} - C_{p_{ap\grave{a}}} t_f)}{C_{p_{ap\grave{a}}} t_f - C_{p_i} t_i}$$

t_i – temperatura apei de alimentare (15°C)

t_f – cu $5 - 15^\circ$ mai mare ca cea inițială ($<50^\circ\text{C}$)

$$t_{med} = \frac{t_i + t_f}{2}$$

Dimensionarea corpului barometric

$$W_3 = \rho_{vap} \frac{\pi D^2}{4} v$$

Se admite $v = 30 - 40 \text{ m/s}$

Pentru siguranța în funcționare se majorează debitul cu 50%

Pentru calculul înălțimii se însumează distanțele dintre talere. Numărul de talere se stabilește dintr-un tabel funcție de gradul de încălzire.

$$f = \frac{t_f - t_i}{t_{w_{3vap}} - t_i}$$

Nr. șicane	Dist. dintre șicane (mm)	Gradul de încălzire		
		Diametrul găurilor		
		φ2	φ3	φ5
4	300	0,538	0,638	0,216
6	300	0,646	0,466	0,263
8	300	0,727	0,533	0,31
4	400	0,58	0,41	0,233
6	400	0,687	0,5	0,289
8	400	0,776	0,568	0,343

Se admite distanța de la partea de jos la prima șicană: $h_1 = 600\text{mm}$

$h_2 =$ valoarea citită din tabel

h_3 – se micșorează cu 50mm. Se procedează la fel până se ajunge la ultima distanță între șicane, dar nu mai mult (mai mic de 200mm)

Înălțimea totală va fi dată de: $H = h_1 + h_2 + \dots + h_6$

În vederea de sus vom observa că șicana nu ocupă toată secțiunea transversală a condensatorului.

b – lățimea șicanei

$$b = \frac{D}{2} + 50\text{mm}$$

Dimensionarea țevii barometrice

$$\frac{W_3 + Mm_{apă}}{\rho_{t_f} \cdot 3600} = \frac{\pi d^2}{4} \cdot v$$

v se adoptă 1-5m/s

Înălțimea țevii barometrice

Este dată de suma dintre:

- înălțimea coloanei de lichid h_0
- înălțimea de siguranță $h' = 0,5\text{m}$
- înălțimea de închidere hidrolică $h'' = 0,3\text{m}$

Pentru a afla înălțimea coloanei de lichid, aplicăm ecuația Bernoulli.

$$H_1 \rho g + \frac{\rho v_1^2}{2} + p_1 = H_2 \rho g + \frac{\rho v_2^2}{2} + p_2 + h_p \rho g$$

$$\underbrace{(H_1 - H_2)}_{h_0} = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} - \frac{v_1^2}{2g} + h_p, \quad v_2 \rightarrow 0$$

$$p_2 = p_0$$

$$p_1 = p_3$$

$$\Delta p_{fr} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{\rho v_1^2}{2}, \quad L = 9m$$

$$\left. \begin{array}{l} Re = \frac{\rho v_1 d}{\eta} \\ e = 0,7mm \end{array} \right\} \rightarrow \lambda$$

v_1 – viteza de curgere a apei în piciorul barometric

$$h_{re} = \sum \zeta_{re} \cdot \frac{v_1^2}{2g}$$

Se află înălțimea țevii barometrice:

$$h = h_0 + h' + h''$$

$$h' = 0,5m$$

$$h'' = 0,3m$$

Cantitatea de gaze necondensabile

Gazele necondensabile provin din:

- apa de alimentare condensator
- vaporii ce intră în condens
- la flanșe sau alte coturi sudate

1 kg apă 0,000024kg aer

$$Mm_{ap\acute{a}} \dots\dots\dots G_{n_1}$$

$$G_{n_2} = 0,01 \cdot W_3$$

$$G_{n_3} = 0$$

Calculul puterii pompelor

Se dimensionează pompa necesară transportului soluției diluate de la un rezervor la primul evaporator.

Puterea necesară pentru a acționa o pompă se calculează cu ecuația:

$$P = \frac{M_v \Delta p_t}{1000\eta}, \text{ kW}$$

în care - M_v este debitul volumic de lichid, m^3/s

Δp_t este energia necesară transportului unității de volum de fluid prin instalație

η este randamentul pompei, 0,6-0,8

Puterea instalată este ceva mai mare decât cea calculată, depinzând de un coeficient de siguranță, β , care se alege în funcție de puterea necesară calculată, din tabel Pavlov, Capitolul Pompe, pg.72, tabel 2-1.

Energia necesară transportului unității de volum de fluid prin instalație se calculează utilizând ecuația Bernoulli, ca o sumă a patru termeni, și anume căderea de presiune geometrică, Δp_g , căderea de presiune statică, Δp_{st} , căderea de presiune dinamică, Δp_d și pierderile de presiune, Δp_p :

$$\Delta p_t = \Delta p_g + \Delta p_{st} + \Delta p_d + \Delta p_p$$

Căderea de presiune geometrică:

$$\Delta p_g = \rho g h$$

unde ρ este densitatea soluției diluate, h este înălțimea măsurată pe verticală la care se face transportul, $h=6-8$ m.

Căderea de presiune statică,

$$\Delta p_{st} = p_2 - p_1$$

unde p_2 este presiunea în primul evaporator, p_1 este presiunea atmosferică din rezervorul cu soluție inițială (at -> Pa).

Căderea de presiune dinamică,

$$\Delta p_d = \frac{\rho v^2}{2}$$

Pierderile de presiune vor fi formate din pierderile de presiune prin frecare și prin rezistențe locale prin conductă și căderea de presiune pe schimbătorul de căldură, ultima adoptându-se

5000 Pa:

$$\Delta p_p = \left(\lambda \frac{L}{d} + \sum \xi \right) \frac{\rho v^2}{2} + \Delta p_{sch}$$

unde λ este coeficientul de frecare la curgerea prin conductă calculat funcție de $Re = \frac{\rho v d}{\eta}$ și rugozitatea conductei, e/d sau d/e (țevi vechi și ruginite, e , mm).

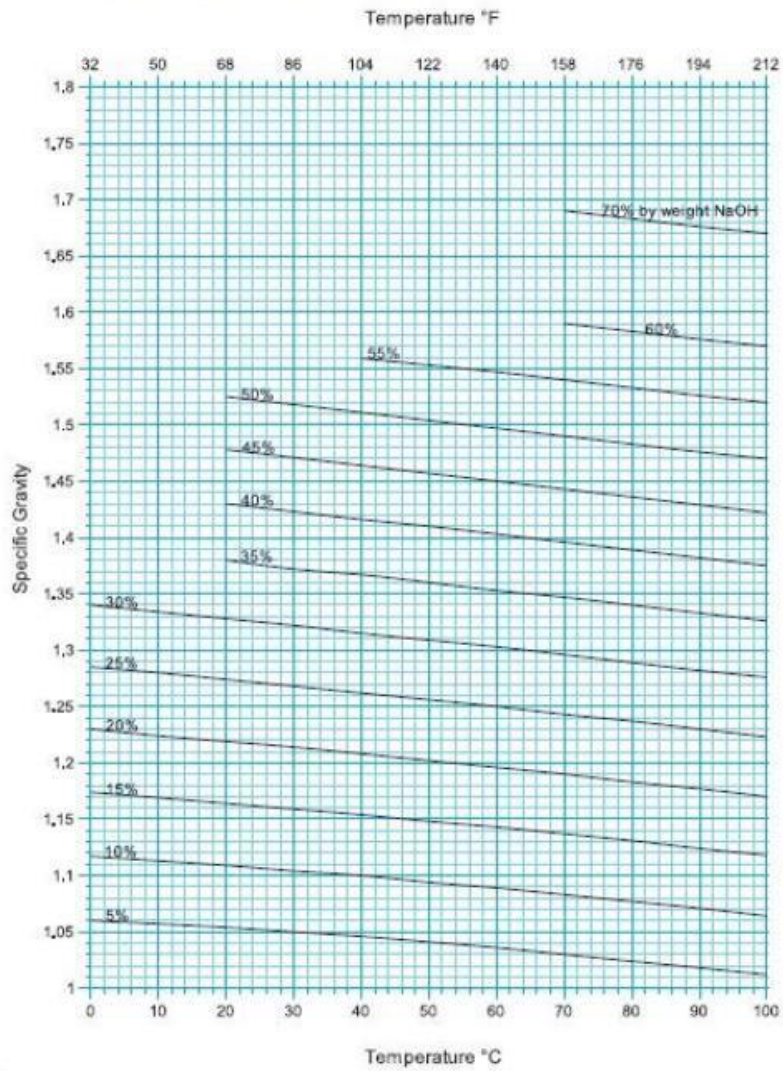
Se poate considera $d=35 \times 2,5$ mm, viteza de circulație prin conductă se calculează din debitul de soluție diluată care circulă prin aceasta. ρ , η trebuie luate la temperatura medie (între 20 °C și temperatura cu 10 °C mai mică decât temperatura de fierbere din I evaporator).

$L=20+6 \div 8$ m (se măsoară pe o schiță de amplasare).

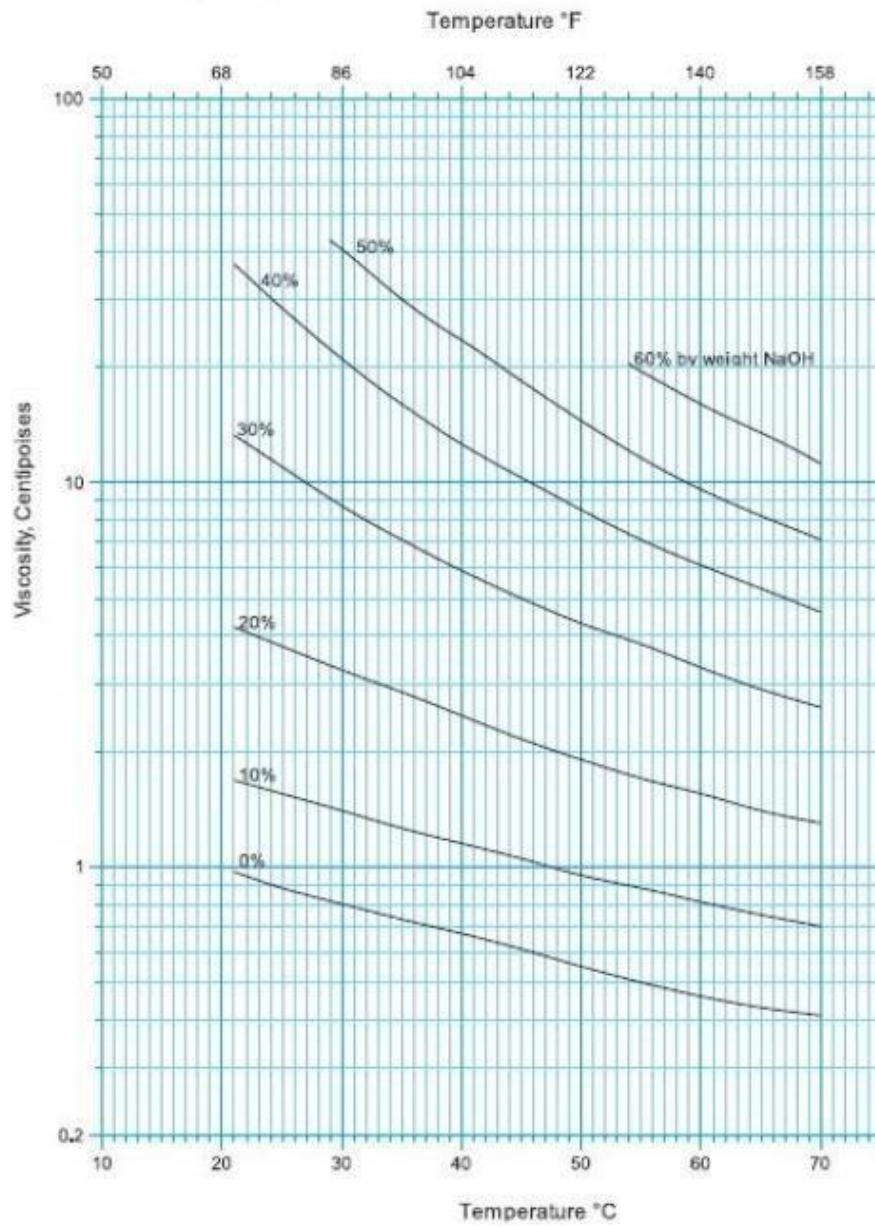
$$\sum \xi = \xi_i + \xi_e + n_{cot} \xi_{cot} + n_{rob} \xi_{robinet}$$

Densitatea soluției diluate se poate calcula cu relația din proiect (vezi și calculul rezervorului) sau se poate citi din graficul de mai jos.

Specific Gravity of Aqueous Caustic Soda Solutions



Viscosity of Aqueous Caustic Soda Solutions



$1\text{cP} = 10^{-3} \text{ Pa s}$