

1. Se consideră un decantor discontinuu de formă cilindrică, având $D = 1$ m și $H = 2$ m. În decantor se introduce 1 m^3 suspensie conținând particule de rășină schimbătoare de ioni, sferice, cu diametru variabil, având densitatea de $1,2 \text{ g/cm}^3$. Faza lichidă a suspensiei o constituie apa la temperatura de 20°C .
- Să se determine timpul necesar sedimentării particulelor de rășină a căror viteză de sedimentare este de cel puțin $0,2 \text{ m/s}$ (1 punct);
 - Să se determine valoarea criteriului Reynolds la sedimentarea particulelor de rășină având diametrul $d_p = 2 \text{ mm}$ (1 punct);
 - Să se calculeze valoarea vitezei de sedimentare a particulelor de rășină având $d_p = 0,1 \text{ mm}$, știind că sedimentarea acestora decurge în domeniul Stokes (1 punct).

REZOLVARE

a) Sedimentarea decurgând în regim discontinuu, timpul necesar pentru ca o particulă solidă care sedimentează cu viteza v_0 să ajungă de la suprafața suspensiei până pe stratul de sediment este dat de relația (Curs 07 Sedimentarea, slide 48):

$$t = \frac{H_S}{v_0} \quad (1)$$

în care:

t – timpul de sedimentare, s;

H_S – înălțimea suspensiei din decantor, m;

v_0 – viteza de sedimentare, m/s.

Singurul parametru care trebuia calculat era H_S , înălțimea stratului de suspensie. Aceasta se calculează știind volumul de suspensie introdus în decantor ($V_S = 1 \text{ m}^3$) și diametrul decantorului:

$$V_S = \frac{\pi D^2}{4} H_S \quad (2), \text{ de unde:}$$

$$H_S = \frac{4V_S}{\pi D^2} = \frac{4 \times 1}{\pi \times 1^2} = \frac{4}{\pi} = 1,27 \text{ m}$$

Înlocuind în ecuația (1):

$$t = \frac{1,27}{0,2} = 0,635 \text{ s}$$

Comentariu: Marea majoritate (99,99%) ați considerat că $H_S = H = 2$ m, ajungând la rezultatul (greșit) $t = 10$ s. Niciodată un rezervor, recipient, reactor, etc. nu este plin „ochi”. A se vedea „coeficientul de umplere”.

b) Criteriul Reynolds la sedimentarea unor particule solide sferice într-un lichid este dat de ecuația:

$$\text{Re} = \frac{\rho_l \cdot v_0 \cdot d_p}{\mu_l} \quad (\text{adimensional}) \quad (3)$$

în care:

ρ_l – densitatea lichidului, kg/m^3 ;

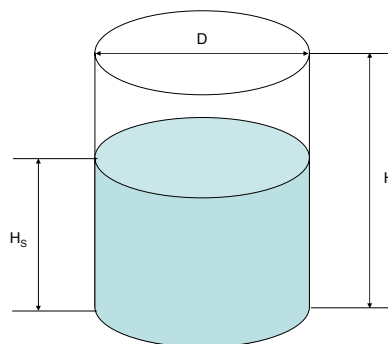
v_0 – viteza de sedimentare, m/s;

d_p – diametrul particulei solide, m;

μ_l – viscozitatea lichidului, Pa.s.

Lichidul fiind apa la $T = 20^\circ\text{C}$, din tabelele existente în manuale se găsesc: $\rho_l = 998 \text{ kg/m}^3$ și $\mu_l = 1.10^{-3}$ Pa.s. Diametrul particulelor care sedimentează este dat, $d_p = 2 \text{ mm} = 2.10^{-3}$ m. Singura mărime necunoscută în membrul drept al ecuației (3) este viteza de sedimentare.

Comentariu: Aici toți, dar absolut toți, ați aplicat în mod mecanic ecuația lui Stokes pentru calculul vitezei de sedimentare. Ori nu se specifică nicăieri (la acest punct) că sedimentarea decurge în domeniul lui Stokes. Ca să vedem în ce domeniu decurge sedimentarea, trebuie mai întâi determinat criteriul lui Re din ec. (3). Ori acesta nu se poate calcula pentru că nu avem valoarea vitezei de sedimentare, v_0 . Cum ieșim din acest cerc vicios?



Facem apel la criteriul lui Arhimede (**Curs 07 Sedimentarea, slide 29**):

$$Ar = Ga \cdot \frac{\Delta\rho}{\rho_m} = \frac{Re^2}{Fr} \cdot \frac{(\rho_p - \rho_m)}{\rho_m} = \frac{(\rho_p - \rho_l) \cdot \rho_l}{\mu_l^2} \cdot d_p^3 \cdot g \quad (\text{adimensional}) \quad (4)$$

Înlocuind mărimile cunoscute în ec. (4) se obține:

$$Ar = \frac{(\rho_p - \rho_l) \cdot \rho_l}{\mu_l^2} \cdot d_p^3 \cdot g = \frac{(1200 - 998) \times 998}{(1 \cdot 10^{-3})^2} \times (2 \cdot 10^{-3})^3 \times 9,81 = 15821,25 \approx 1,6 \cdot 10^4$$

Cu Ar astfel calculat, din diagrama Li-Ar, respectiv Re-Ar (**Curs 07 Sedimentarea, slide 32**) se determină fie direct criteriul Re (curba 6), fie criteriul Li (curba 1):

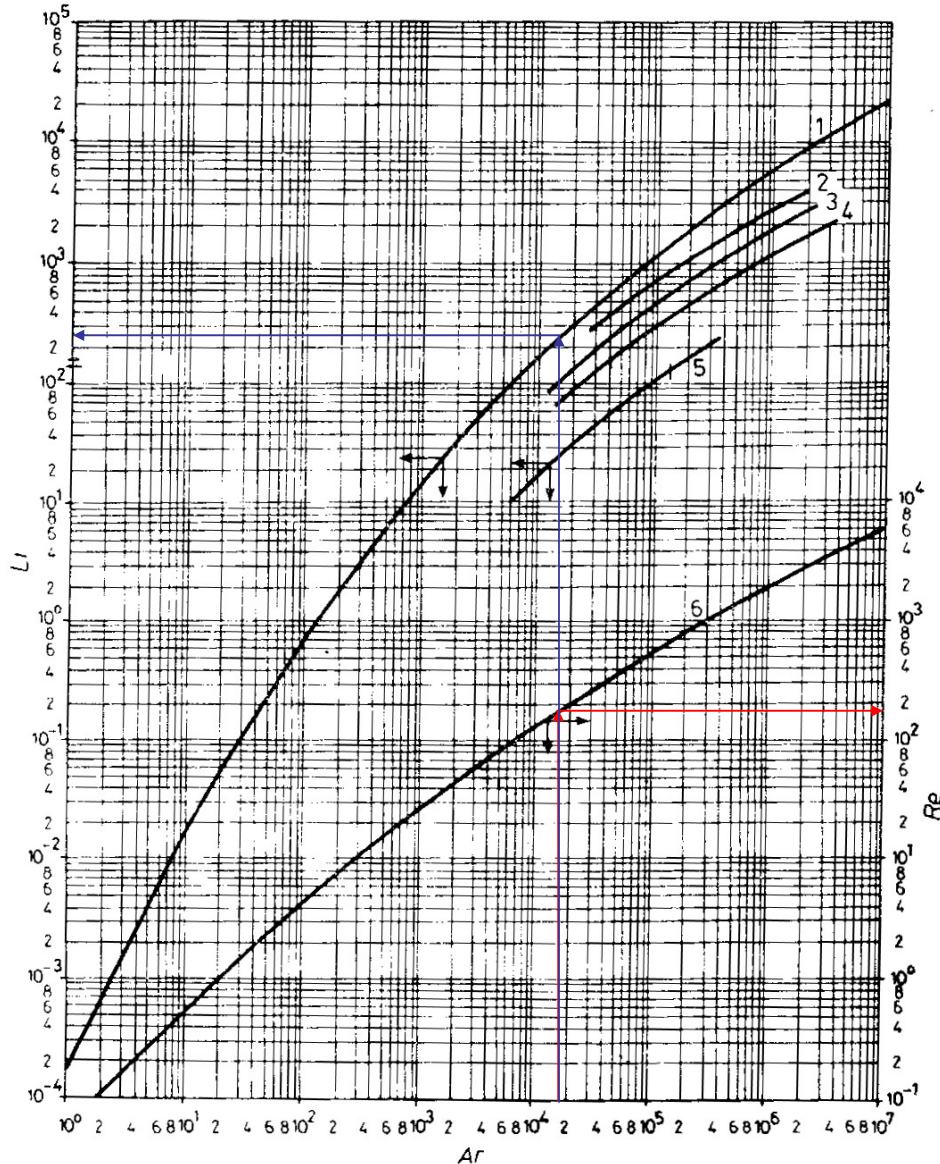


Fig. 3-1. Variația criteriilor Re și Li în funcție de criteriul Ar la sedimentarea particulelor individuale într-un mediu imobil :

1 și 6 - particule sferice ; 2 - rotunjite ; 3 - colțuroase ; 4 - alungite ; 5 - lamelare.

- din curba 6 → Re ~ 160;
- din curba 1 → Li ~ 230.

Cum:

$$Li = \frac{Re^2}{Ar} = \frac{Re \cdot Fr \cdot \rho_m}{\rho_p - \rho_m} = \frac{v_0^3 \cdot \rho_m^2}{\mu_m \cdot (\rho_p - \rho_m) \cdot g} \quad (\text{adimensional}) \quad (5)$$

Din (5):

$$Re = \sqrt{Li \times Ar} = \sqrt{230 \times 1,6 \cdot 10^4} = \sqrt{3,68 \cdot 10^6} = 1918$$

Ambele valori ($Re = 160$ și $Re = 1918$) sunt considerate corecte și se punctează.

Diferența dintre valorile obținute (un ordin de mărime) poate fi pusă pe imprecizia graficelor. În ambele situații $Re > 1$, ca urmare sedimentarea nu decurge în domeniul laminar (Stokes) și legea lui Stokes:

$$v_0 = \frac{1}{18} \cdot \frac{(\rho_p - \rho_l)}{\mu} \cdot d_p^2 \cdot g \quad (6)$$

nu poate fi utilizată pentru calculul vitezei de sedimentare.

c) Sedimentarea decurgând în domeniul Stokes, pentru calculul vitezei de sedimentare se poate utiliza legea lui Stokes:

$$v_0 = \frac{1}{18} \cdot \frac{(\rho_p - \rho_l)}{\mu} \cdot d_p^2 \cdot g = \frac{1}{18} \cdot \frac{(1200 - 998)}{1 \cdot 10^{-3}} \cdot (0,1 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 9,81 = 0,0011009 \text{ m/s} = 1,1 \text{ mm/s}$$

2. O pompă este echipată cu un motor de 30 kW. Pompa face parte dintr-o instalație prevăzută cu un rezervor din care aceasta aspiră, amplasat la nivelul solului, și un reactor în care refulează, amplasat la 10 m înălțime. Pompa vehiculează un debit de 10 L/s lichid cu densitatea de 2,0 g/cm³ și viscozitatea de 2000 cP (centiPoise), printr-o conductă nouă, confecționată din oțel inoxidabil ($\lambda = 17 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$), având diametrul exterior de 108 mm și grosimea peretelui de 0,4 cm. Randamentul total al agregatului de pompare este de 70%. Se consideră pierderile prin frecarea lichidului de contururile solide și pierderile prin rezistențe hidraulice locale ca fiind neglijabile. Diferența de presiune statică dintre reactorul în care pompa refulează și rezervorul din care aceasta aspiră este de 2 MN/m². În aceste condiții, se cere:

- Viteza fluidului prin conducta de refulare (0,5 puncte);
- Regimul de curgere al fluidului (0,5 puncte);
- Puterea instalată, știind că valoarea factorului de instalare este de 1,2 (0,5 puncte);
- În condițiile problemei, pompa aleasă poate face față solicitărilor impuse? Justificați răspunsul (1,5 puncte).

REZOLVARE

a) Viteza fluidului prin conductă se determină din ecuația debitului:

$$m_V = v \times S \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (1)$$

Secțiunea de curgere fiind circulară:

$$S = \frac{\pi d_{int}^2}{4} \quad (\text{m}^2) \quad (2)$$

Din (1) și (2) rezultă expresia vitezei de curgere:

$$v = \frac{m_V}{S} = \frac{4m_V}{\pi d_{int}^2} \quad (\text{m/s}) \quad (3)$$

în care:

m_V – debitul volumic de fluid = 10 L/s = 10 · 10⁻³ m³/s = 0,01 m³/s;

d_{int} – diametrul interior al conductei = $d_{ext} - 2\delta = (108 - 2 \times 4) \text{ mm} = 0,1 \text{ m}$

δ – grosimea peretelui conductei = 0,4 cm = 4 mm = 0,004 m.

Înlocuind în (3) se obține viteza fluidului în conducta de refulare:

$$v = \frac{m_V}{S} = \frac{4m_V}{\pi d_{int}^2} = \frac{4 \times 0,01}{\pi \times 0,1^2} = \frac{4 \times 0,01}{\pi \times 0,01} = \frac{4}{\pi} = 1,27 \text{ m/s}$$

b) Regimul de curgere al fluidului este dat de valoarea criteriului Reynolds. Valoarea criteriului Reynolds:

$$Re = \frac{\rho_l \cdot v \cdot d_{int}}{\mu_l} = \frac{2 \cdot 10^3 \times 1,27 \times 0,1}{2000 \times 10^{-3}} = \frac{1,27 \times 0,1}{10^{-3}} = 1,27 \times 0,1 \times 10^3 = 127$$

Deoarece $Re < 2300$, regimul este **laminar** (și nu laminat!!!).

c) Puterea instalată este dată de relația:

$$N_{instalată} = \beta \times N_{motor} \text{ (kW)} \quad (4)$$

Cum $N_{motor} = 30$ kW și $\beta = 1,2$, rezultă:

$$N_{instalată} = \beta \times N_{motor} = 1,2 \times 30 = 36 \text{ kW}$$

d) Puterea necesară este funcție de debitul volumic de lichid vehiculat (m_V), căderea totală de presiune (ΔP_T) și randamentul total al agregatului de pompare (η):

$$N_{necesar} = \frac{m_V \times \Delta P_T}{1000 \cdot \eta} \text{ (kW)} \quad (5)$$

Căderea totală de presiune include:

- pierderea de presiune datorată ridicării lichidului pe verticală, ΔP_G ;
- pierderea de presiune necesară pentru crearea vitezei lichidului, ΔP_D ;
- pierderea de presiune necesară compensării diferenței de presiune dintre recipientul de aspirație și cel de refulare, ΔP_S ;
- pierderea de presiune datorată frecării:
 - o pe porțiunile de conductă dreaptă, ΔP_{lin} ;
 - o prin rezistențe hidraulice locale, ΔP_{rhl} .

$$\Delta P_T = \Delta P_G + \Delta P_D + \Delta P_S + \Delta P_{lin} + \Delta P_{rhl} \text{ (Pa)} \quad (6)$$

$$\Delta P_G = \rho \times g \times Z = 2000 \times 9,81 \times 10 = 196200 \text{ Pa}$$

$$\Delta P_D = \frac{v^2}{2} \times \rho = \frac{1,27^2}{2} \times 2000 = 16129 \text{ Pa}$$

$$\Delta P_S = P_{ref} - P_{abs} = 2 \text{ MN/m}^2 = 2 \text{ MPa} = 2 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$\Delta P_{fr} = \Delta P_{lin} + \Delta P_{rhl} = 0 \text{ Pa}$$

Înlocuind în (6):

$$\Delta P_T = \Delta P_G + \Delta P_D + \Delta P_S + \Delta P_{lin} + \Delta P_{rhl} =$$

$$196200 + 16129 + 2000000 = 2212329 \text{ Pa}$$

Înlocuind în (5) puterea necesară va fi:

$$N_{necesar} = \frac{m_V \times \Delta P_T}{1000 \cdot \eta} = \frac{0,01 \times 2212329}{1000 \times 0,7} = 31,6 \text{ kW}$$

Deoarece $N_{nec} > N_{mots}$, pompa nu va putea face față condițiilor impuse.

Soluții:

- se alege un motor având puterea de min. 32 kW – metoda cea mai simplă;

Dacă tehnologia permite, există și alte soluții:

- se micșorează presiunea în reactorul de refulare sau se mărește presiunea în rezervorul de aspirație;
- se reduce distanța pe înălțime între rezervor și reactor;
- se micșorează debitul pompat;
- se mărește secțiunea de curgere (se înlocuiesc conductele cu unele de diametru mai mare),
- se îmbunătățește randamentul total al agregatului de pompare (dacă este posibil).

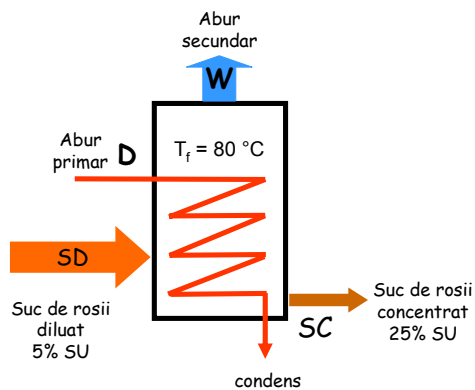
3. Într-o instalație de evaporare simplă se supun concentrării în regim continuu staționar 120 m³/h suc de roșii având un conținut de substanță uscată de 5% masice. La ieșire din instalație suc de roșii are concentrația de 25% masice substanță uscată. Concentrarea are loc sub un vid de 380 mm Hg, temperatura de fierbere a sucului de roșii fiind de 80 °C și independentă de concentrația acestuia. Sucul de roșii diluat se introduce și se evacuează în/din instalație la T = 80 °C. Ca agent termic se folosește abur saturat uscat la P = 4 ata. Să se calculeze:
- Debitul de apă evaporată din soluția supusă concentrării (0,5 puncte);
 - Debitul volumic de suc de roșii concentrat obținut (0,5 puncte);
 - Debitul teoretic necesar de agent termic (2 puncte).

Suc de roșii	Proprietăți termofizice la 80°C și vid de 380 mm Hg			
	Densitate [kg/m ³]	Viscozitate [mPa.s]	Conductivitate termică [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	Capacitate termică masică [J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]
5% s.u.	1010	1	0,64	3820
25% s.u.	1085	12	0,50	3540

Vapori de apă saturați	Presiune absolută [ata]	Temp. [°C]	Volum specific [m ³ /kg]	Densitate [kg/m ³]	Entalpie lichid saturat [kJ/kg]	Entalpie vapori saturați [kJ/kg]	Căldură latentă de vaporizare [kJ/kg]
	4,00	143	0,4718	2,1200	600	2744	2144
	0,50	80	3,3040	0,3027	339	2642	2303

REZOLVARE

Pentru calcul se face apel la bilanțul de masă și bilanțul termic al evaporării simple. Bilanțurile se întocmesc pe baza schemei de mai jos.



Bilanțul de masă:

- bilanțul componentului dizolvat (S.U.):

$$m_{SD} \cdot \bar{x}_{SU,SD} = m_{SC} \cdot \bar{x}_{SU,SC} \quad (1)$$

- bilanțul solventului (apei):

$$m_{SD} \cdot (1 - \bar{x}_{SU,SD}) = m_{SC} \cdot (1 - \bar{x}_{SU,SC}) + W \quad (2)$$

- bilanțul total:

$$m_{SD} = m_{SC} + W \quad (3)$$

Date cunoscute:

$$m_{SD, volumic} = 120 \text{ m}^3/\text{h} = \text{suc de roșii diluat}$$

$$\bar{x}_{SU,SD} = 5\% = 0,05 \text{ kg S.U./kg soluție}$$

$$\bar{x}_{SU,SC} = 25\% = 0,25 \text{ kg S.U./kg soluție}$$

- a) Debitul volumic de suc diluat trebuie transformat în debit masic (după cum știți, ecuațiile de bilanț de materiale se bazează pe **LEGEA CONSERVĂRII MASEI**):
Densitatea sucului diluat este raportul dintre debitul masic și cel volumic:

$$\rho_{SD} = \frac{m_{SD}}{m_{SD, volumic}} \quad (4)$$

de unde:

$$m_{SD} = m_{SD, volumic} \times \rho_{SD} = \frac{120}{3600} \times 1010 = 33,67 \text{ kg/s}$$

Din ecuația (1):

$$m_{SC} = m_{SD} \times \frac{\bar{x}_{SU,SD}}{\bar{x}_{SU,SC}} = 33,67 \times \frac{0,05}{0,25} = 6,734 \text{ kg/s}$$

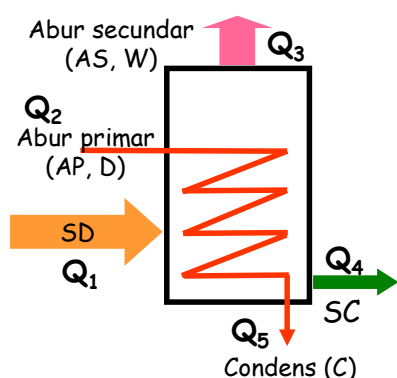
Înlocuind în ecuația (3):

$$W = m_{SD} - m_{SC} = 33,67 - 6,734 = 26,936 \text{ kg/s} = 96,97 \text{ t/h}$$

b) Debitul volumic de suc de roșii concentrat se determină din debitul masic de suc concentrat calculat cu ecuația (1) și densitatea sucului concentrat (1085 kg/m^3):

$$m_{SC, \text{volumic}} = \frac{m_{SC}}{\rho_{SC}} = \frac{6,734}{1085} = 0,062 \text{ m}^3/\text{s} = 22,34 \text{ m}^3/\text{h}$$

c) Pentru calculul debitului teoretic de agent termic este necesară întocmirea bilanțului termic. Necesarul de abur fiind teoretic, se consideră pierderile de căldură în mediul înconjurător nule.



$$Q_1 = m_{SD} \cdot c_{pSD} \cdot T_{SD}, \text{ kJ/s (kW)};$$

$$Q_2 = m_{AP} \cdot i''_{AP}, \text{ kJ/s (kW)};$$

$$Q_3 = m_{AS} \cdot i''_{AS}, \text{ kJ/s (kW)};$$

$$Q_4 = m_{SC} \cdot c_{pSC} \cdot T_{SC}, \text{ kJ/s (kW)};$$

$$Q_5 = m_{AP} \cdot i'_{AP}, \text{ kJ/s (kW)};$$

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4 + Q_5 \quad (5)$$

Regrupând termenii ecuației (5), se poate scrie:

$$Q_2 - Q_5 = m_{AP} \cdot (i''_{AP} - i'_{AP}) = m_{AP} \cdot r_{AP} = Q_3 + Q_4 - Q_1$$

sau:

$$m_{AP} = D = \frac{Q_3 + Q_4 - Q_1}{r_{AP}} \quad (6)$$

Efectuând calculele se obține:

$$Q_1 = m_{SD} \cdot c_{pSD} \cdot T_{SD} = 33,67 \times 3820 \times 80 = 10289552 \text{ W} = 10,29 \text{ MW}$$

$$Q_4 = m_{SC} \cdot c_{pSC} \cdot T_{SC} = 6,734 \times 3540 \times 80 = 1907069 \text{ W} = 1,91 \text{ MW}$$

$$Q_3 = m_{AS} \cdot i''_{AS} = 26,936 \times 2642 \cdot 10^3 = 71164912 \text{ W} = 71,2 \text{ MW}$$

Înlocuind în (9) de obține **debitul masic necesar de abur primar**:

$$m_{AP} = D = \frac{Q_3 + Q_4 - Q_1}{r_{AP}} = \frac{71164912 + 1907069 - 10289552}{2144 \cdot 10^3} = 29,28 \text{ kg/s} = 105418,25 \text{ kg/h}$$

$\approx 105,5 \text{ t/h (Mg/h)}$

Coefficientul de evaporare α se calculează cu relația (7):

$$\alpha = \frac{i''_{AP} - i'_{AP}}{i''_{AS} - c_{p\text{apa}}} = \frac{2744 - 600}{2642 - 4,18} = 0,813 \text{ kg apă evaporată / kg abur primar}$$

Coefficientul de autoevaporare β se calculează cu relația (8):

$$\beta = c_{pSD} \cdot \frac{T_{SD} - T_{SC}}{i''_{AS} - c_{p\text{apa}}} = 3540 \times \frac{80 - 80}{2642 \cdot 10^3 - 4,18 \cdot 10^3} = 0$$

Deoarece $T_{SD} = T_{SC}$, $\beta = 0$.

Cunoscând coeficienții α și β , debitul de abur primar poate fi calculat și cu relația (dedusă tot din bilanțul termic) (9):

$$D = \frac{W - \beta \cdot m_{SD}}{\alpha} = \frac{26,936 - 0 \times 33,67}{0,813} = 33,13 \text{ kg/s} = 119273,8 \text{ kg/h} \approx 119,3 \text{ t/h (Mg/h)}$$

Diferența între cele două valori obținute pentru debitul de abur primar se datorează faptului că în ecuația (9) s-a admis, pentru simplificare, aditivitatea capacităților termice masice. În ecuația (6) s-a lucrat cu capacitățile termice masice reale, atât pentru SD , cât și pentru SC (mărimi măsurate experimental).

Consumul specific de agent termic se calculează raportând debitul de abur primar la debitul de abur secundar (cantitatea de apă evaporată):

$$C_{s,AP} = \frac{D}{W} = \frac{1}{\alpha} \text{ [kg abur primar / kg abur secundar]} \quad (10)$$

$$C_{s,AP} = \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{0,813} = 1,23 \text{ [kg abur primar / kg abur secundar]}$$

$$C_{s,AP} = \frac{D}{W} = \frac{29,28}{26,936} = 1,087 \text{ [kg abur primar / kg abur secundar]}$$

$$C_{s,AP} = \frac{D}{W} = \frac{33,13}{26,936} = 1,23 \text{ [kg abur primar / kg abur secundar]}$$

Toate cele trei valori obținute sunt apropiate de unitate, verificându-se astfel afirmația enunțată în curs, conform căreia: **LA EVAPORAREA CU SIMPLU EFECT, CANTITATEA DE VAPORI SECUNDARI (W) REZULTATĂ PRIN EVAPORARE ESTE APROXIMATIV EGALĂ CU CANTITATEA DE ABUR PRIMAR (D) NECESARĂ PENTRU ÎNCĂLZIRE.**