

12. Noțiuni de proiectare

12.2. Bilanțul de materiale

Bilanțul de materiale stă la baza calculelor tehnologice, pentru evaluarea numărului și dimensiunii principalelor aparate necesare realizării unui proces, în condițiile unei capacități de producție, într-o linie de fabricație. Bilanțul de materiale se stabilește pe baza legii conservării materiei, conform relației (12.2.1.).

$$\Sigma m_{\text{intrate}} = \Sigma m_{\text{ieșite}} \quad (12.2.1.)$$

La procesele continue, masele se întocmesc cu debite masice (kg/h), iar la cele discontinue, masele se raportează la o șarjă (kg/șarjă). Pentru substanțele individuale sau amestecuri cu compoziție cunoscută, masele se pot exprima în moli (kmoli).

Bilanțul de materiale se întocmește în mod obișnuit în baza unei ecuații stoichiometrice. Calculele tehnice se întocmesc însă pe baza unui regulament de fabricație sau a unei rețete de fabricație. Bilanțul de materiale se întocmește pentru fiecare fază tehnologică sau operație unitară în care materialele intrate suferă o modificare cantitativă sau calitativă (a compoziției). În consecință, operațiile de încălzire – răcire, comprimare, destindere, transport sunt exceptate de la calculul bilanțului de materiale, echivalența maselor intrate/ieșite fiind evidentă.

Bilanțul de materiale se întocmește pentru toți compușii și toate etapele, obținându-se în acest caz bilanțul de materiale total, sau pentru un compus și toate etapele sau toți compușii pentru o singură fază, obținându-se în aceste cazuri bilanțuri de materiale parțiale.

Bilanțurile se prezintă analitic, sub formă de tabele (conform tabelului 12.2.1.) sau grafic sub forma unor diagrame la scară (diagrame Sankey) (figura 12.2.1.).

Tabelul 12.2.1. Bilanțul de materiale analitic

Nr. Crt	Denumirea materialului	Cantitatea			Vol. [l]	Observații
		Tehnic [kg]	Pur [kg]	kmol		
1	2	3	4	5	6	7
1.	<i>Materiale intrate</i> <i>Se scrie denumirea substanței, nu formula chimică</i>					<i>Se pot scrie masele molare, densitățile, compoziția, etc.</i>
	TOTAL	Σm_i				
1.	<i>Materiale ieșite</i> <i>Se scrie denumirea substanței, nu formula chimică</i>					
	TOTAL	Σm_e				$\Sigma m_i = \Sigma m_e$

În această diagramă, cantitățile din substanțele prezente se reprezintă în mod proporțional, prin lățimea săgeții fiecăreia în parte. Cantitatea de materiale ieșite trebuie să fie egală cu suma cantităților de materiale intrate.

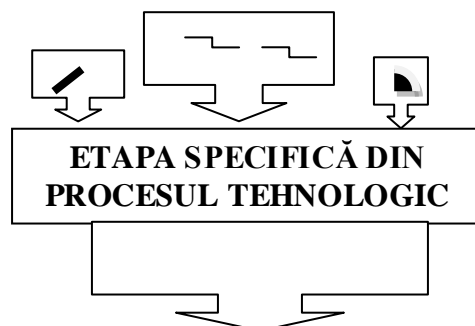


Fig.12.2.1. Exemplu de diagramă Sankey

12.3. Bilanțul termic

Bilanțul termic (BT) al unei instalații chimice are ca scop urmărirea fluxurilor termice, a consumurilor de agenți termici, determinarea randamentelor termice și dimensionarea aparatelor.

Bilanțul termic al reactoarelor chimice oferă informațiile necesare pentru determinarea suprafeței de transfer termic a aparatelor, alegerea materialelor de construcție și de izolație adecvate ale acestuia, alegerea unui agent termic potrivit pentru condițiile de lucru existente și avantajos ca preț, într-o cantitate corespunzătoare procesului tehnologic.

Bilanțul termic al reactorului chimic - expresie a legii conservării energiei - poate fi scris prin ecuația generală (12.3.1.) ca egalitate dintre suma căldurilor intrate (Q_i) și ieșite (Q_e)

$$\Sigma Q_i = \Sigma Q_e \quad (12.3.1.)$$

Explicitând termenii ecuației bilanțului termic pentru reactoarele în care au loc procesele fundamentale ale industriei organice de sinteză se obține forma generală din relația (12.3.2.).

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 \quad (12.3.2.)$$

unde:

- Q_1 - cantitatea de căldură intrată în aparat cu materiile prime
- Q_2 - cantitatea de căldură vehiculată de agentul termic
- Q_3 - efectul termic al procesului
- Q_4 - cantitatea de căldură conținută în produșii de reacție
- Q_5 - cantitatea de căldură consumată pentru încălzirea aparatului
- Q_6 - cantitatea de căldură pierdută în mediul înconjurător
- Q_7 - cantitatea de căldură a refluxului

Observații:

1) Q_3 - efectul termic al procesului cuprinde atât efectul termic al reacțiilor chimice, cât și efectul termic al proceselor fizice însoțitoare (evaporare, variații de concentrație, diluări de acizi, dizolvări, etc.), astfel încât estimarea sa pentru fiecare proces comportă anumite particularități.

2) În calculul bilanțului termic se consideră ca *necunoscută* cantitatea de căldură care trebuie introdusă sau îndepărtată într-o anumită fază (Q_2).

3) Unități de măsură pentru Q : kJ sau kcal; iar dacă avem debite de substanțe, se exprimă în kW.

Diagrama timp-temperatură

În diagrama timp-temperatură se reprezintă pe abscisă timpul în care are loc procesul, iar pe ordonată intervalul de temperatură corespunzător. Acest proces este reprezentat în schema din figura 12.3.3.

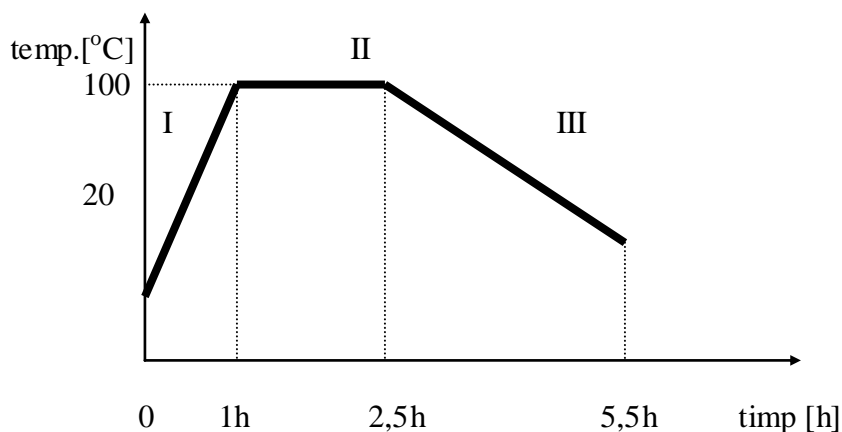


Fig.12.3.3. Diagrama timp-temperatură

12.4. Dimensionarea utilajelor

Pentru stabilirea necesarului de utilaje într-o instalație tehnologică, trebuie să se țină cont de următoarele aspecte: tipul utilajelor, capacitatea optimă, productivitatea, dimensiunile tehnologice și mecanice, etc.

Prin tema de proiectare se impune mărimea șarjei sau a capacității orare a instalației. Timpul de elaborare a unei șarje este dat de faza care durează cel mai mult în timp.

Calculul volumului reactorului. În cazul *proceselor discontinue*, pe baza bilanțului de materiale pentru operația (faza) respectivă, se stabilește volumul de materiale, V (m^3) care se utilizează în 24 ore. Se mai utilizează noțiunile: volumul total al unui reactor, V_t (m^3); volumul util al aparatului, V_u (m^3).

Gradul de umplere al aparatului, φ se calculează cu relația (12.4.1.).

$$\varphi = \frac{Vu}{vt} \quad (12.4.1.)$$

Gradul de umplere pentru procesele care nu produc spumă sau degajări masive de gaze are valorile cuprinse între: $0,7 \div 0,85$; iar pentru procesele însoțite de spumă sau creștere a nivelului prin fierbere are valorile cuprinse între: $0,4 \div 0,6$.

Numărul de șarje, n , care se execută într-un aparat în 24 ore se calculează cu relația (12.4.2.).

$$n = \frac{V}{Vu} \quad (12.4.2.)$$

Dacă τ este durata procesului (ore), numărul de șarje care se execută cu un singur aparat în 24 ore, m , va putea fi calculat cu relația (12.4.3.).

$$m = \frac{24}{\tau} \quad (12.4.3.)$$

Numărul de aparate care lucrează se poate calcula cu relația (12.4.4.).

$$N = \frac{n}{m} \quad (12.4.4.)$$

Iar numărul de aparate care se montează (Nm) pentru operația respectivă va fi atunci calculat cu relația (12.4.5.).

$$Nm = N\left(1 + \frac{d}{100}\right) \quad (12.4.5.)$$

în care: d - rezerva de capacitate, $10 \div 15$ %

La *procesele cu funcționare continuă*, dimensiunile reactorului se determină în funcție de debitul substanțelor care trec prin el, debit impus de bilanțul de materiale, pentru a asigura o anumită capacitate de producție. Dacă debitul volumetric al substanțelor din aparat este q (m^3/h), iar timpul necesar pentru efectuarea procesului este de τ (h) - determinat din considerente cinetice și termodinamice sau experimentale - volumul aparatului, V , (m^3) este dat de relația (12.4.6.):

$$V = q \cdot \tau \quad (12.4.6.)$$

În cazul în care se utilizează mai multe aparate în paralel, N , volumul unui aparat, V , (m^3) devine (12.4.7.).

$$V = \frac{q \cdot \tau}{N} \quad (12.4.7.)$$

Secțiunea aparatului, S , (m^2) se calculează cu relația (12.4.8.).

$$S = \frac{q \cdot 3600}{N \cdot w} \quad (12.4.8.)$$

în care: w - viteza de trecere prin aparat (m/s)

Pentru determinarea **puterii la agitare** în mediul lichid se utilizează criteriile adimensionale: K_P și Re_{ag} , din relațiile (12.4.9.)

$$Re_{ag} = \frac{\rho n d^2}{\eta} ; K_P = \frac{P}{\rho n^3 d^5} = \frac{c}{Re_{ag}^m} \quad (12.4.9.)$$

unde: P - puterea necesară agitatorului în regim de funcționare, W

ρ - densitatea lichidului, kg/m³

η - viscozitatea lichidului, Pa·s

n - turația agitatorului, rot/s

d - diametrul agitatorului

c, m - constante dependente de tipul constructiv al agitatorului și pentru regimul de amestecare

Puterea la pornire (P_p) este de 2÷3 ori puterea de regim: $P_p = 2 \cdot P$

Puterea instalată a electromotorului se calculează cunoscând că randamentul acestuia este de 0,95 și luând un plus de putere de 20%.

Dimensionarea termică. În urma efectuării bilanțului termic se asigură determinarea cu precizie a cantității de căldură schimbate în aparatele unui flux tehnologic. Suprafața de transfer termic (A) se calculează în funcție de cantitatea de căldură schimbată de un aparat, cunoscând ecuația generală a transferului de căldură (12.4.10.)

$$Q_{ced} = Q_{tr} = Q_{nec} \quad (12.4.10.)$$

unde: Q_{ced} - căldura cedată de agentul termic, W, care se poate calcula, în funcție de proces, cu una din relațiile (12.4.11.)

$$Q_{ced} = m_{ab} \cdot r_{ab}^p \quad \text{sau} \quad Q_{ced} = m_{apa \text{ răcire}} \cdot c_{p, apă} \cdot \Delta t_{apă} \quad (12.4.11.)$$

Q_{tr} - căldura transmisă prin suprafața de transfer termic, W, dată de relația (12.4.12.).

$$Q_{tr} = K \cdot A_{tr} \cdot \Delta t_{med} \quad (12.4.12.)$$

Q_{nec} - căldura necesară procesului (calculată din bilanțul termic = Q_2), W

K - coeficientul total de transfer termic, W/m²K

A_{tr} - suprafața de transfer termic, m²

Δt_{med} - diferența medie de temperatură între agentul cald și cel rece, °C

m_{ab} - debitul aburului (agentul termic), kg/s

r_{ab}^p - căldura latentă a aburului la presiunea p , kJ/kg

Pentru o suprafața plană, coeficientul total de transfer termic se determină cu relația (12.4.13.).

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \Sigma r + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (12.4.13.)$$

unde: α_1 și α_2 - coeficienți parțiali de transfer de căldură prin convecție, pentru cele două fluide, W/m^2K

Σr - suma tuturor rezistențelor termice, m^2K/W

Diferența medie de temperatură se calculează cu relația (12.4.14.).

$$\Delta t_{med} = \frac{\Delta t_M - \Delta t_m}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_M}{\Delta t_m}} \quad (12.4.14.)$$

unde: Δt_M , Δt_m - diferențele între temperaturile maxime, respectiv minime la capetele schimbătorului de căldură, $^{\circ}C$

Coeficienți parțiali de transfer de căldură prin convecție α_1 și α_2 se calculează pentru cazurile particulare în discuție, din criteriile de similitudine: Re , Nu , Pr , Ga , Gr .

Calculul unei pompe centrifuge. Puterea motorului pompei (P , kW) centrifuge se calculează cu relația (12.4.15.).

$$P = \frac{V \cdot \rho \cdot g \cdot H_m}{1000 \cdot \eta} = \frac{V \cdot \Delta p}{1000 \cdot \eta} \quad (12.4.15.)$$

unde: V - debitul volumic al pompei (debitul lichidului transportat), m^3/s ;

ρ - densitatea lichidului pompat, kg/m^3 ;

g - accelerația gravitațională, m/s^2 ;

H_m - înălțimea totală de ridicare a pompei, m

Δp - rezistența hidraulică totală a rețelei, Pa

η - randamentul total al instalației de pompare, care reprezintă produsul dintre randamentul pompei, randamentul transmisiei și randamentul motorului

Motorul instalat are o putere de instalare (P_{inst}) puțin mai mare decât cea calculată cu relația anterioară, pentru a dispune de o rezervă la o eventuală supraîncărcare (12.4.16.):

$$P_{inst} = \beta \cdot P \quad (12.4.16.)$$

unde: β - coeficientul de siguranță al puterii, care se alege, în funcție de valoarea calculată pentru P , din tabelul 12.4.1.

Tabelul 12.4.1. Valorile coeficientului de siguranță al puterii pompei
funcție de puterea calculată a motorului acesteia

P, kW	β
< 1	2 - 1,5
1 - 5	1,5 - 1,2
5 - 50	1,2 - 1,15
> 50	1,1

Rezistența hidraulică totală a rețelei (Δp) se poate calcula pe baza relațiilor (12.4.17. - 12.4.18.)

$$\Delta p = \frac{\rho w^2}{2} \cdot \left(1 + \lambda \cdot \frac{L}{d} + \Sigma \zeta \right) + \rho \cdot g \cdot H + (p_2 - p_1) \quad (12.4.17.)$$

sau

$$\Delta p = \frac{\rho w^2}{2} \cdot \left(1 + \lambda \cdot \frac{L+L_{ech}}{d} \right) + \rho \cdot g \cdot H + (p_2 - p_1) \quad (12.4.18.)$$

unde: w - viteza de circulație a lichidului prin conductă, m/s;

λ - coeficientul de frecare la trecerea lichidului prin conductă;

L - lungimea conductei, m;

$\Sigma \zeta$ - suma coeficienților rezistențelor locale date (se găsesc în tabele);

L_{ech} - lungimea echivalentă a unei conducte drepte cu aceeași rezistență hidraulică ca și rezistența locală dată, m

H - înălțimea geometrică de ridicare a pompei, m;

p_1, p_2 - presiunile din spațiul de aspirație, respectiv de refulare, Pa

Viteza de circulație a lichidului prin conductă, w , se calculează din debitul lichidului transportat (V), cu relația (12.4.19.)

$$w = \frac{V}{A} \quad (12.4.19.)$$

unde: A - secțiunea transversală a conductei, m^2

Coeficientul de frecare la trecerea lichidului prin conductă depinde de regimul de curgere (Re) și de raportul d_{ech}/e ,

unde: d_{ech} - diametrul echivalent al conductei, care se calculează cu relația (12.4.20.).

$$d_{ech} = \frac{4 \cdot A_{ud}}{P_{ud}} \quad (12.4.20.)$$

unde: A_{ud} - aria udată de fluid, m^2 ;

P_{ud} - perimetrul udat de fluid, m

Înălțimea manometrică sau înălțimea totală de ridicare a pompei, H_m , se calculează cu una din relațiile (12.4.21. - 12.4.22.).

$$H_m = \frac{p_2 - p_1}{\rho \cdot g} + H + h_p \quad (12.4.21.)$$

sau

$$H_m = \frac{p_{ref} - p_{asp}}{\rho \cdot g} + H_0 + \frac{w_{ref}^2 - w_{asp}^2}{2 \cdot g} \quad (12.4.22.)$$

unde: p_{ref} , p_{asp} - presiunile în conductele de refulare respectiv la aspirație ale pompei, Pa;
 H_0 - distanța pe verticală între punctele în care se măsoară p_{ref} și p_{asp} , m;
 w_{ref} , w_{asp} - vitezele lichidului în conductele de refulare respectiv de aspirație, m/s

Pentru calculele referitoare la **filtrare** se utilizează ecuațiile bilanțului de materiale (12.4.23.)

$$\begin{aligned} m_{susp} &= m_l + m_s \\ m_{susp} &= m_f + m_{pp\ um} \\ m_{pp\ um} &= m_s + m_{lr} \\ m_l &= m_f + m_{lr} \\ m_s &= x \cdot m_{susp} = (1 - u_m) \cdot m_{pp\ um} \end{aligned} \quad (12.4.23.)$$

unde: m_{susp} - masa de suspensie, kg;
 m_l - masa totală de lichid din suspensie, kg;
 m_s - masa solidului din suspensie, kg;
 m_f - masa de filtrat, kg;
 $m_{pp\ um}$ - masa precipitatului umed obținut în urma filtrării, kg;
 m_{lr} - masa lichidului reținut în precipitatul umed, kg;
 x - concentrația suspensiei raportată la faza solidă, % masă;
 u_m - umiditatea precipitatului umed, % masă lichid reținut

Ecuația filtrării este dată de relația (12.4.23.)

$$V^2 + 2 \cdot C \cdot V = K \cdot \tau_f \quad (12.4.23.)$$

unde: C - constanta pânzei filtrante, m^3/m^2 ;
 K - constanta precipitatului, m^2/s ;
 V - volumul specific de filtrat, m^3/m^2 ; $V = \frac{V_f}{A_f}$
 V_f - volumul de filtrat, m^3 ; $V_f = \frac{m_f}{\rho_f}$
 ρ_f - densitatea filtratului, kg/m^3 ;
 A_f - aria filtrării, m^2

În cazul unui filtru cu plăci și rame, care are n rame de dimensiunile $l \times l \times \delta$, aria de filtrare (A_f), respectiv volumul precipitatului umed ($V_{pp\ um}$) se determină cu relațiile (12.4.24.).

$$A_f = n \cdot l \cdot l \cdot 2 \qquad V_{pp\ um} = n \cdot l \cdot l \cdot \delta \quad (12.4.24.)$$

Viteza de filtrare - $dV/d\tau$, $m^3/(m^2 \cdot s)$ - se calculează cu relația (12.4.25.)

$$\frac{dV}{d\tau} = \frac{K}{2(C+V)} \quad (12.4.25.)$$

Viteza de spălare - $(dV/d\tau)_{sp}$ - la spălarea în contracurent este de 4 ori mai mică decât viteza de filtrare.

Timpul de spălare (τ_{sp}) se determină cu relația (12.4.26.)

$$\tau_{sp} = \frac{V_{apa\ sp}}{\left(\frac{dV}{d\tau}\right)_{sp}} \quad (12.4.26.)$$

unde: $V_{apa\ sp}$ - volumul apei de spălare, m^3