

DETERMINAREA COEFICIENTULUI DE REZISTENȚĂ HIDRAULICĂ LINIARĂ

6.1 Considerații teoretice

O instalație care asigură transportul și distribuția fluidelor (lichide, gaze) între o sursă și un consumator poartă denumirea de circuit hidraulic.

Datorită proprietăților pe care le au fluidele, circuitele hidraulice sunt nelipsite în multe instalații industriale (chimice, siderurgice) a mașinilor unelte, a instalațiilor de încălzire și ventilare, a consumatorilor de gaz, de aer etc. Pentru a realiza proiectarea și exploatarea acestor circuite în cele mai bune condiții, se impune cunoașterea amănunțită a tuturor fenomenelor hidraulice care intervin în mișcarea unui fluid și a pierderilor de energie care se produc la parcurgerea circuitului de către fluid.

Traseul pe care îl străbate un fluid, între sursă și consumator, este format dintr-o serie de piese și organe funcționale, cum ar fi elemente de conductă, organe de închidere-deschidere, dispozitive de reglaj, aparate de măsură și control, elemente care în același timp opun o oarecare rezistență în calea fluidului și datorită acestui fapt toate aceste elemente, care intră în componența unui circuit, au fost numite rezistențe hidraulice.

După forma lor geometrică, după mărimile hidraulice care le caracterizează, rezistențele hidraulice se împart în două categorii:

- a) Rezistențe liniare, care cuprind porțiunile de traseu de secțiune constantă (conducele).
- b) Rezistențe locale, în care intră porțiunile de traseu formate din elemente de trecere de la o secțiune la alta, elemente pentru schimbarea direcției, elemente de reglaj, de măsură, dispozitive de închidere etc.

Aceste rezistențe, pe care fluidul le întâlnește în calea sa, fac ca o parte din energia acumulată de către fluid, să se consume pentru învingerea acestor obstacole. Acest fenomen poartă denumirea de pierdere de energie sau sarcină, iar efectul practic al acestui consum de energie este o scădere a presiunii în sensul deplasării fluidului.

Mecanismul disipării energiei în fiecare din cele două categorii de rezistențe este diferit și de aceea sunt diferite și relațiile de calcul a energiei pierdute de către fluid pe rezistența respectivă.

O conductă dreaptă de lungime L și diametru constant D , prin care trece un fluid, din punct de vedere hidraulic este o rezistență liniară (Figura 6.1.). Datorită frecării straturilor de fluid între ele și cu pereții conductei, are loc o pierdere de energie.

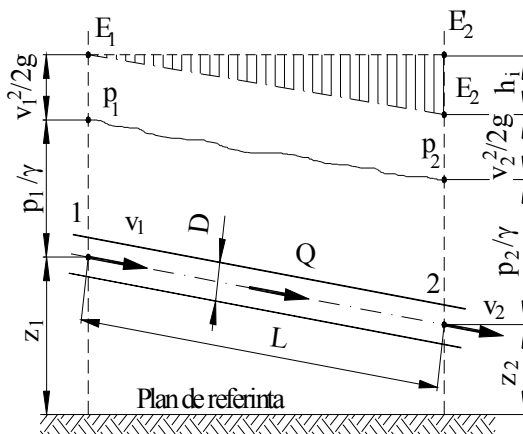


Figura 6.1 Determinarea rezistențelor hidraulice liniare

Studiile teoretice și experimentale au pus în evidență faptul că pierderile de energie în rezistențele liniare, care se notează cu h_l , depind de numeroși factori printre care și viteza fluidului, regimul de mișcare (laminar sau turbulent), natura fluidului, rugozitatea pereților conductei și dimensiunile conductei (diametru, lungime), încât se poate scrie:

$$h_l = f(v, D, \rho, \eta, L, \Delta). \quad (6.1)$$

Relația de dependență (6.1), exprimă un fenomen fizic și folosind metoda analizei dimensionale (metoda π) s-a putut stabili formula pentru calculul pierderii de energie, și anume:

$$h_l = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}, \quad (6.2)$$

unde:

λ este coeficientul de rezistență hidraulică liniară, care mai poartă numele de coeficientul lui Darcy;

L – lungimea rezistenței hidraulice;

D – diametrul conductei;

v – viteza fluidului prin conductă.

Din relația (6.2) rezultă:

$$\lambda = h_l \frac{D}{L} \cdot \frac{2g}{v^2}, \quad (6.3)$$

Scopul lucrării de laborator este determinarea coeficientului de rezistență liniară λ .

Prin urmare, așa cum reiese din relația (6.3), măsurând pierderile hidraulice h_l care apar pe o conductă dreaptă de lungime L și de diametru D cunoscute, conducta prin care trece un fluid cu viteza v , se poate calcula coeficientul λ .

Pentru măsurarea pierderii de energie h_l , se vor folosi ecuația lui Bernoulli, care aplicată de-a lungul firului mijlociu al conductei între secțiunile 1 și 2 (Figura 6.1) arată că:

$$\left(Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} \right) - \left(Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} \right) = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + h_l. \quad (6.4)$$

Considerând conducta orizontală $Z_1=Z_2$ și deoarece diametrul conductei este constant pe toată lungimea, rezultă că $v_1=v_2=v$, iar relația (6.4) devine:

$$\frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \frac{\Delta p}{\gamma} = h_l. \quad (6.5)$$

Această relație arată că, pentru $Z_1=Z_2$ și $v_1=v_2$, diferența de presiune, $p_1-p_2=\Delta p$ ($p_1>p_2$), este o măsură a pierderii de energie și deci, măsurând presiunile statice între două puncte situate la distanța L pe conductă, se poate stabili pierderea de energie h_l .

În ceea ce privește măsurarea vitezei fluidului, există mai multe metode, fiecare impusă de posibilitatea de aplicare, de precizie etc. Deoarece conducta folosită pe stand este de secțiune mică, viteza fluidului se va stabili cu ajutorul debitului.

Debitul care trece prin conductă are valoarea:

$$Q = Av = \frac{\pi D^2}{4} v, \quad (6.6)$$

din care rezultă:

$$v = \frac{4Q}{\pi D^2}, \quad (6.7)$$

în care Q , este debit volumetric (L^3T^{-1}).

Înlocuind în relațiile (6.5) și (6.7), formula (6.3), care exprimă valoarea coeficientului de rezistență, λ , aceasta devine:

$$\lambda = \frac{\Delta p}{\gamma} \frac{D}{L} \frac{2g\pi^2 D^4}{16Q^2}, \quad (6.8)$$

sau în final

$$\lambda = 1.232 \cdot \frac{\Delta p}{\gamma} \frac{D^5}{L} \frac{g}{Q^2} \quad (6.9)$$

în care:

Δp este diferența de presiune între două puncte de pe conductă situate la distanța L pe conductă;

D – diametrul conductei;

L – distanța între cele două prize care măsoară presiunea;

g – accelerația gravitațională;

Q – debitul volumetric.

În relația (6.9) unele mărimi cum ar fi: greutatea specifică λ , diametrul D , lungimea L și accelerația gravitațională, sunt mărimi cunoscute și care se dau, iar altele ca diferența de presiune Δp și debitul Q trebuie măsurate. De aceea înainte de începerea măsurătorilor, formula pentru calculul lui λ poate fi adusă la forma:

$$\lambda = C \frac{\Delta p}{Q^2}, \quad (6.10)$$

unde C , reprezintă valoarea mărimilor (γ , D , L , g) cunoscute și constante pentru aceeași conductă.

Dimensiunile și unitățile de măsură ale coeficientului de rezistență liniară λ :

$$[\lambda] = \frac{FL^{-2}}{FL^{-3}} \cdot \frac{L^5}{L} \cdot \frac{LT^{-2}}{L^6 T^{-2}} = 1, \quad (6.11)$$

deci λ este o mărime adimensională. Calculul ei însă, se efectuează utilizând pentru marimile care intervin în relația (6.9), un sistem unitar de unități de măsură.

Analiza mai amănunțită a coeficientului de rezistență λ , a cărei cunoaștere este indispensabilă pentru calculul pierderilor de sarcină liniare, a pus în evidență dependența

$$\lambda = f\left(\text{Re}, \frac{\Delta}{D}\right), \quad (6.12)$$

unde:

- Re - este numărul lui Reynolds, care indică natura regimului de curgere;
- Δ - rugozitatea peretilor conductei.
- $\frac{\Delta}{D}$ - rugozitatea relativă.

Relația (6.12) suportă o interpretare rezultată din cercetările experimentale:

- Dacă regimul de curgere este laminar ($\text{Re} \leq 2300$), coeficientul de rezistență hidraulică liniară se calculează (în cazul conductelor de secțiune circulară) cu relația:

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}}; \quad (6.13)$$

- Dacă mișcarea este turbulentă, dar $\text{Re} < 10^5$ există regimuri de curgere pentru care coeficientul de frecare depinde doar de numărul lui Reynolds nu și de rugozitatea relativă. Conductele în care există un astfel de regim se numesc hidraulic netede iar pentru calculul lui λ se utilizează, în acest caz, o formulă de aproximare, numită relația lui Blasius:

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt[4]{\text{Re}}} = \frac{0.3164}{\sqrt[4]{\text{Re}}}; \quad (6.14)$$

- Dacă mișcarea turbulentă are loc la valori ale lui $\text{Re} > 10^5$, numărul lui Reynolds depinde doar de rugozitatea relativă, conductele în care există astfel de regimuri de curgere numindu-se conducte hidraulic rugoase; în acest caz, pentru calculul lui λ se pot utiliza o

serie de relatii empirice, cum ar fi relatia stabilita de Karman si verificata experimental de experientele lui Nicuradse:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \cdot \lg \frac{D}{\Delta} + 1.14. \quad (6.15)$$

Se poate observa ca aceeasi conducta poate fi, in functie de regimul de curgere atit hidraulic rugoasa, cit si hidraulic neteda.

6.2 Obiectivele lucrării

1. Determinarea pierderilor hidraulice datorate frecarii care apar la curgerea apei in regim laminar si turbulent printr-un tronson de conducta dreapta de sectiune constanta
2. Determinarea coeficientilor de rezistenta hidraulica liniara λ aferenti

6.3 Metoda utilizată

Masurarea diferentei de presiune (caderea de presiune) dintre doua puncte situate la distanta $L=0.5$ m pe conducta dreapta verticala de sectiune constanta, avind diametrul $D = 3$ mm.

Utilizarea relatiilor de calcul prezentate in partea de consideratii teoretice, cu datele rezultate in urma masuratorilor efectuate

6.4 Descrierea aparaturii

Echipamentul utilizat pentru determinarea pierderilor hidraulice si a coeficientilor de rezistenta liniara consta din: unitatea hidraulica de baza (centralina) furnizata de firma Armfield, la partea superioara a careia se va aseza modulul pentru determinarea pierderilor hidraulice prin rezistente liniare, produs de aceeaasi firma (Figura 6.2).

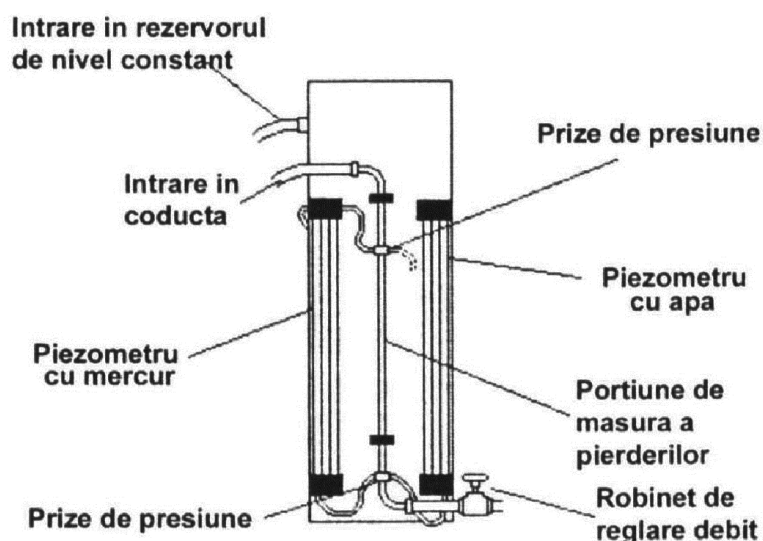


Figura 6.2 Modulul pentru determinarea pierderilor hidraulice in rezistente hidraulice liniare

Modulul Armfield destinat determinarii pierderilor hidraulice prin rezistente liniare are in componenta sa un cilindru din plastic, prevazut la partea superioara cu un rezervor de nivel constant si o conducta de sectiune constanta avind diametrul $D=3$ mm, fixata, in pozitie verticala pe peretele exterior al cilindrului.

Conducta poate fi alimentata cu apa in doua moduri, functie de regimul de miscare pentru care se urmareste a se efectua masuratorile. Astfel:

- pentru regimul laminar (debite mici) – alimentarea se face din rezervorul de nivel constant, intrarea in conducta fiind legata printr-un furtun flexibil cu iesirea de la baza rezervorului in timp ce intrarea in rezervorul de nivel constant este legata, printr-un alt tub flexibil, la racordul pentru mufa rapida aflat in canalul unitatii hidraulice de baza.
- pentru regimul turbulent (debite mari) – alimentarea se face direct de la centralina, conectind printr-un tub flexibil intrarea in conducta la racordul pentru mufa rapida aflat in canalul unitatii hidraulice de baza.

Debitul prin conducta se regleaza cu ajutorul unui robinet, aflat la capatul inferior al conductei. Un furtun flexibil, atasat acestui robinet, va fi utilizat pentru a asigura scurgerea apei in cilindru gradat in unitati de volum, care va fi folosit pentru determinarea debitului.

La fiecare din capetele tronsonului drept care constituie portiunea de conducta (“rezistenta hidraulica”) pentru care se masoara pierderile si care are lungimea $L=0.5$ m, se gasesc cite doua prize de presiune statica. Cite o priza de la fiecare capat este racordata prin intermediul unor tuburi flexibile de legatura la piezometrul cu apa-aer (utilizat la masurarea diferentelor mici de presiune care apar in cazul regimurilor laminare) respectiv la piezometrul cu apa peste mercur (utilizat pentru masurarea diferentelor de presiune mari care apar in cazul regimurilor turbulente). Functie de regimul de miscare pentru care se efectueaza masuratori, tuburile flexibile de legatura intre piezometrul care nu e utilizat si prizele de presiune statica se obtureaza cu ajutorul unor cleme Hoffman.

6.5 Modul de desfasurare a lucrarii

1. Se aseaza modulul pentru determinarea pierderilor hidraulice liniare peste canalul aflat in partea superioara a unitatii hidraulice de baza, asigurandu-se atit orizontalitatea modulului cit si posibilitatea scurgerii apei din conducta dreapta in cilindru gradat utilizat pentru determinarea debitului.
2. *Eliminarea aerului din intreaga instalatie. Pentru aceasta:*
 - se obtureaza cu cleme Hoffman tuburile flexibile de legatura intre prizele de presiune si ambele piezometre

- se conecteaza direct, printr-un tub flexibil, intrarea in conducta dreapta cu racordul pentru cupla rapida din canalul superior al unitatii hidraulice de baza.
- cu pompa unitatii hidraulice oprita, se deschide robinetul de reglare a debitului de la partea inferioara a conductei drepte.
- se porneste pompa unitatii hidraulice si apoi se deschide treptat robinetul de control al centralinei
- se lasa sa curga apa pina cind tot aerul din instalatie este eliminat.
- se desfac clemele Hoffman de la piezometrul cu mercur si se elimina aerul cu grija, prin punctele de drena de la partea superioara a manometrului cu mercur
- dupa eliminarea aerului, se string din nou clemele Hoffman clampindu-se toate tuburile de legatura intre prizele de presiune si cele doua piezometre
- se inchide robinetul de control al centralinei, se opreste pompa acesteia, se inchide robinetul de reglare a debitului si se desfac clemele Hoffman de la piezometrul cu apa si aer
- se deconecteaza alimentarea directa a conductei avind grija sa ridicam tubul flexibil astfel incit sa-l mentinem plin
- se trece la alimentarea conductei de la rezervorul de nivel constant
- se va face intii legatura intre racordul pentru cupla rapida din canalul superior al centralinei si intrarea in rezervorul de nivel constant.
- se porneste pompa pompa unitatii hidraulice de baza, se deschide robinetul de control al acesteia. Cind apa incepe sa curga prin racordul de iesire din rezervorul de nivel constant se face legatura intre acesta si conducta dreapta testata, evitindu-se astfel introducerea de aer in sistem
- cind apa curge peste preaplinul rezervorului cilindric si incepe sa se scurga prin tubul flexibil de la baza cilindrului in canalul pentru colectarea evacuarii din partea inferioara a centralinei, se deschide robinetul de reglare a debitului
- se deschide cu grija surubul de eliminare a aerului din partea superioara a piezometrului cu apa si se lasa aerul sa intre, pina cind coloanele de apa din tuburile piezometrice sint citibile, Daca e nevoie se racordeaza apoi pompa de aer si se pompeaza de citeva ori, pina cind cele doua coloane de apa sint citibile pe scara gradata in mm, dupa care se inchide surubul de eliminare a aerului.

3. *Efectuarea masuratorilor pentru regimul laminar.*

- cu robinetul de reglare a debitului complet deschis, se masoara diferenta de presiune $\Delta h = h_1 - h_2$, unde h_1 este inaltimea coloanei de apa data de presiunea statica de la intrarea

in tronsonul de conducta testat iar h_2 este inaltimea coloanei de apa data de presiunea statica de la iesirea din tronson.

- se cronometreaza timpul t in care un volum de apa V se scurge intr-unul din cilindrii gradati aflati in dotare
- se masoara temperatura apei pentru stabilirea viscozitatii cinematice, din tabelul 1 al anexei A
- se repeta masuratorile pentru alte 7-8 valori ale debitului, reglat cu ajutorul robinetului destinat

4. *Pentru efectuarea masuratorilor in regim turbulent:*

- se trece pe alimentarea directa a conductei (vezi punctul 2) si apoi se desfac clemenele Hoffman de la piezometrul cu mercur si se pun la racordurile de presiune ale piezometrului cu apa, pentru a evita o curgere paralela cu cea din conducta dreapta
- se inchide complet robinetul de reglare a debitului si se masoara denivelarea din piezometrul cu mercur la debit zero
- se deschide robinetul de reglaj a debitului si se stabilesc 8 regimuri de curgere, pentru fiecare din acestea masurandu-se diferenta de presiune $\Delta h = h_1 - h_2$ data de piezometrul cu mercur si se cronometreaza timpul in care un volum precizat de apa se aduna in cilindrul gardat.

6.6 Prelucrarea rezultatelor

Pentru fiecare regim de curgere stabilit, debitul Q se determina cu relatia: $Q = \frac{\Delta V}{\Delta t}$

Viteza v din conducta dreapta se calculeaza cu relatia: $v = \frac{4Q}{\pi D^2}$

Numarul Reynolds se calculeaza cu relatia: $Re = \frac{v \cdot D}{\nu}$

in care viscozitatea cinematica ν corespunzatoare temperaturii apei, se alege din tabelul din Anexa 1.

Pentru regimurile laminare $Re \leq 2320$, coeficientul de rezistenta hidraulica liniara λ va fi dat de relatia (6.13).

Pentru regimurile turbulente se admite ipoteza conductei hidraulic netede si coeficientul de rezistenta hidraulica liniara λ se va calcula cu relatia (6.14).

Se va completa tabelul cu datele obtinute prin masuratori si cu cele calculate

Se vor trasa graficele $\ln \lambda = f(Re)$.

Tabel Masuratori si Rezultate

Volum colectat ΔV [m ³]	Timp [s]	Inaltime lichid h_1 [m]	Inaltime lichid h_2 [m]	Dif. de pres. Δh [m]	Debit Q [m ³ /s]	Viteza v [m/s]	Nr. Reynolds Re	Coef. λ
Lungimea conductei								
Diametrul conductei								
Temperatura lichidului								
Vascozitatea cinem. a lichidului								