5.2.2. Mişcarea permanentă în conducte sub presiune

Calculul conductelor sub presiune este necesar pentru conductele care servesc la transportul unui lichid în mişcare permanentă. Se admit următoarele ipoteze simplificatoare pentru această mişcare:

- temperatura este constantă;
- densitatea este constantă
- vâscozitatea este constantă
- gazele în soluţie şi particulele solide în suspensie sunt în cantităţi neglijabile.

Problema esenţială a evaluării mişcării permanente în conducte sub presiune este determinarea ***pierderilor de sarcină hidrodinamică*** a căror cunoaştere permite evaluarea ***presiunilor*** în orice punct al traseului utilizând ***ecuaţia lui Bernoulli*** şi cunoscând ***debitele*** transportate.

Pierderile de sarcină hidraulică se clasifică în două categorii:

- ***pierderi de sarcină hidrodinamică distribuite uniform***, de-a lungul unei conducte rectilinii, cu secţiune constantă şi de construcţie uniformă;
- ***pierderi de sarcină hidrodinamică locale***, provocate de variaţiile de secţiune şi care se concentrează pe distanţe scurte

Schema geometrică a distribuţiei pierderilor de sarcină hidrodinamică conţine următoarele elemente (***Fig.5.6.***):

- Linia energiilor sau ***planul de sarcină***, orizontal, la partea superioară, care reprezintă suma energiilor şi pierderilor pe orice verticală;
- Linia pierderilor de sarcină longitudinale cumulate;
- Linia pierderilor de sarcină totale (longitudinale şi locale), numită şi linie energetică
- Linia presiunilor sau piezometrică
- Axa conductei proiectată în plan vertical
- Linia planului orizontal de referinţă
- Proiecţia axei conductei în plan orizontal

Calculul pierderilor de sarcină se face considerând mişcarea pe ***firul axial al conductei***, cu viteze egale cu ***viteza medie*** în secţiunile respective.

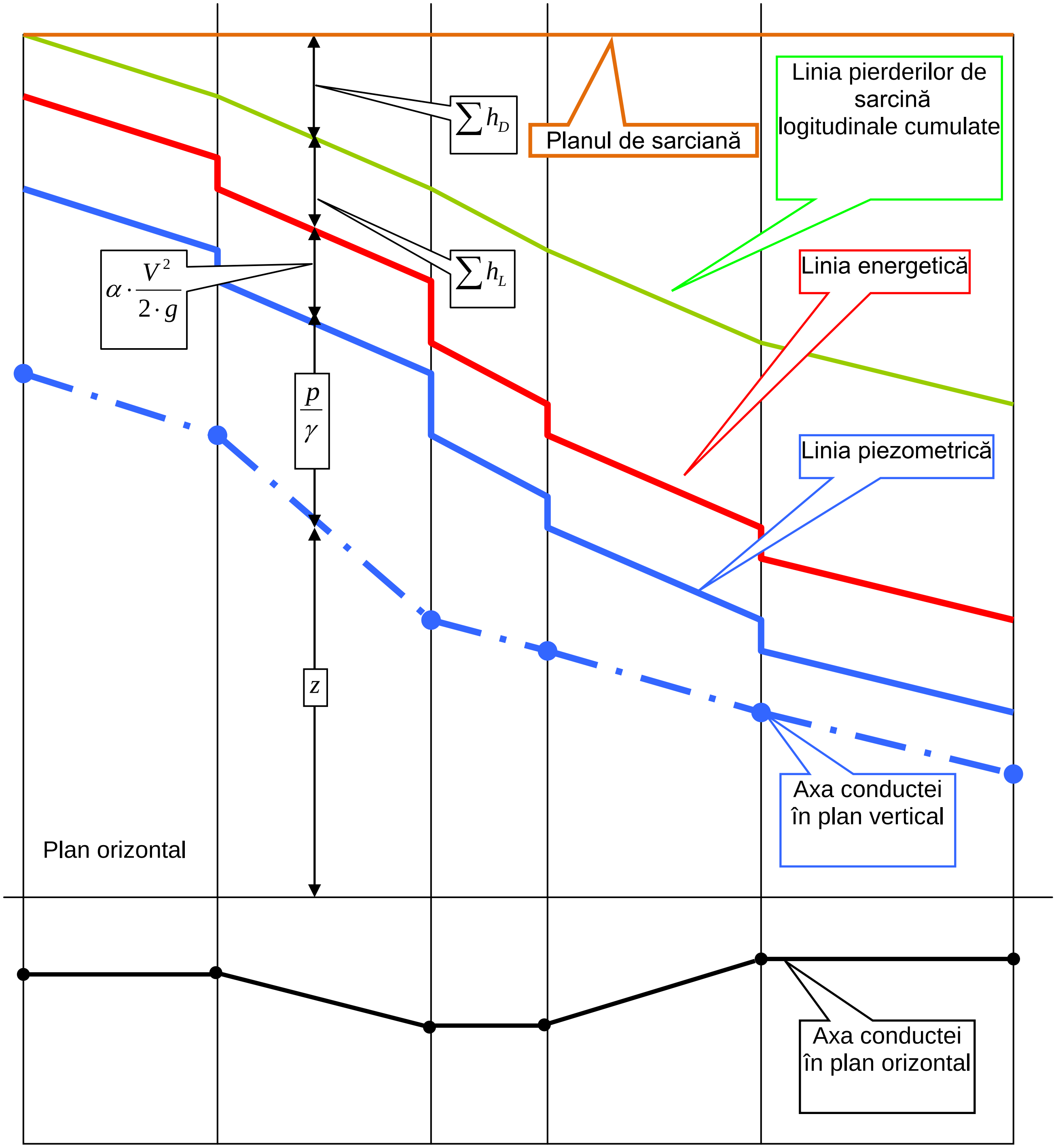

***Fig.5.6**.Schematizarea geometrică a pierderilor de sarcină pentru o conductă sub presiune (dupa C.Mateescu, 1963)*

5.2.2.1. Extensia ecuaţiei lui Bernoulli la curenţi cu secţiuni finite

Ecuaţia lui Bernoulli în forma

$$H = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

este elaborată pentru un ***fir de curent*** şi pentru a fi utilizată în calculul conductelor sub presiune trebuie extinsă la ***secţiunea finită*** a acestora.

Distribuţia vitezelor şi a presiunilor în mişcare permanentă variază neliniar în aceeaşi secţiune transversală cât şi de la o secţiune la alta, chiar şi la lichidele perfecte, datorită curburii liniilor de curent şi a forţelor centrifuge generate.

Pentru un curent cu ***secţiune finită*** (Ω) format din tuburi subţiri de curent, paralele şi rectilinii cu ***curbură redusă***, termenul $\left(z + \frac{p}{\gamma}\right)$ este constant în orice punct al secţiunii finite iar ***viteza medie*** în această secţiune este:

$$V = \frac{\int_{\Omega} v \cdot d\Omega}{\Omega}$$

în care v este viteza locală pe un fir de curent.

Energia specifică totală pentru un fir de curent mediu se calculează cu media (H^*):

$$H^* = \frac{\int_{\Omega} \left(z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2 \cdot g}\right) \cdot dQ}{Q}$$

şi poate fi pusă sub forma sumei celor ***trei*** forme de energie (de pozitie, de presiune şi cinetică) cu ajutorul unui ***coeficient*** α introdus şi calculat de ***Coriolis*** pentru diferite tipuri de mişcări, de forma:

$$\int_{\Omega} \frac{v^2}{2} \cdot \rho \cdot dQ = \alpha \cdot \frac{V^2}{2} \cdot \rho \cdot Q$$

formă care permite exprimarea sumei energiilor cinetice ale debitelor de masă elementară în funcţie de energia cinetică a întregii mase de fluid care traversează secţiunea Ω. Dacă α este cunoscut şi $\rho - const.$ rezultă că :

$$\int_{\Omega} \frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot dQ = \alpha \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \cdot Q$$

şi deoarece $\left(z + \frac{p}{\gamma}\right)$ nu depinde de dQ rezultă că ecuaţia lui Bernoulli pentru curenţi cu secţiuni finite este:

$$H^* = z + \frac{p}{\gamma} + \alpha \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} = const.$$

Coeficientul lui Coriolis, determinat pentru diferite tipuri de mişcări are valori cuprinse între ***1,05*** şi ***1,1***, valoarea lui ***maximă*** fiind ***2*** în cazul unor diagrame foarte neuniforme de distribuţie a vitezelor.

Între două secţiuni 1 şi 2 ale unui curent de fluid ideal/real cu secţiune finită, utilizând coeficientul lui Coriolis şi întroducând pierderile de energie datorate rezistenţelor dintre cele două secţiuni introduse de vâscozitatea fluidului real sunt valabile ecuaţiile (*Fig.5.7.*):

- $z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2 \cdot g}$ pentru fluidul ideal

şi

- $z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \alpha_1 \cdot \frac{V_1^2}{2 \cdot g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \alpha_2 \cdot \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + h_d$ pentru fluidul real

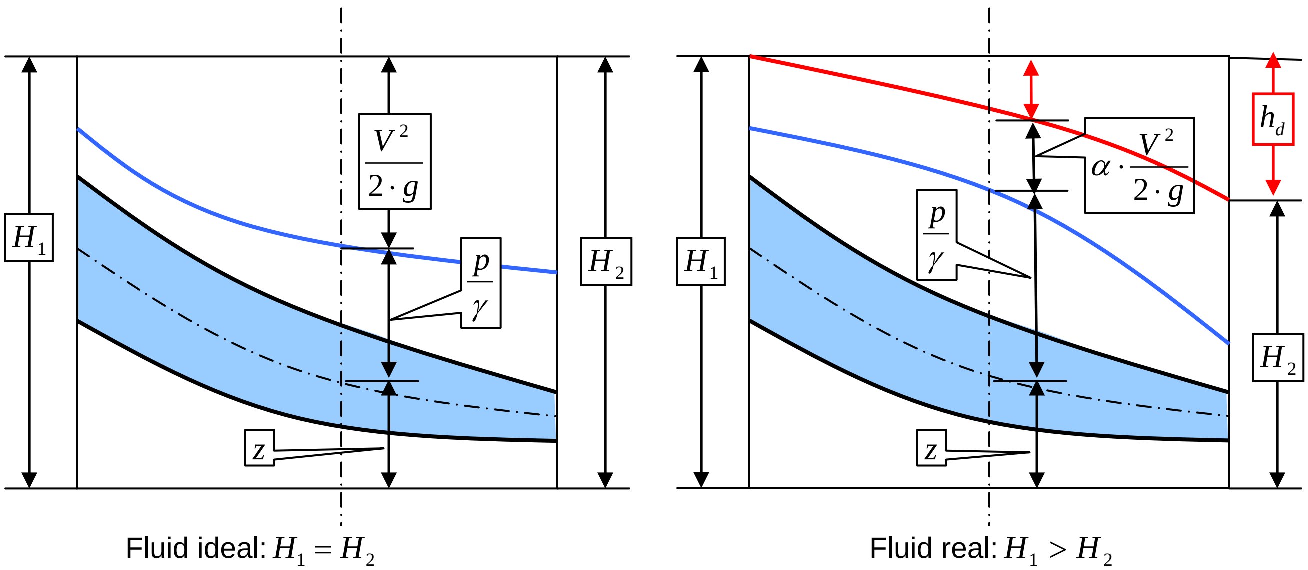

Fig.5.7. Extensia ecuaţiei lui Bernoulli la un curent de fluid real cu secţiune finită

5.2.2.2. Pierderea de sarcină longitudinală

Pierderea de sarcină longitudinală/distribuită (h_D), preponderent de natură cinetică, are aceeaşi distribuţie de-a lunul curentului de fluid atâta timp cât factorii care o condiţionează nu se modifică.

Cercetări experimentale realizate pe o instalaţie sub presiune (*Fig.5.8*.) au identificat principalii factori care determină valoarea pierderilor de sarcină longitudinală/distribuită:

- diametrul conductei (D)
- lungimea conductei (L)
- viteza medie în secţiunea curentului de fluid (V)
- rugozitatea pereţilor (k)
- vâscozitatea fluidului (ν)
- densitatea fluidului (ρ)

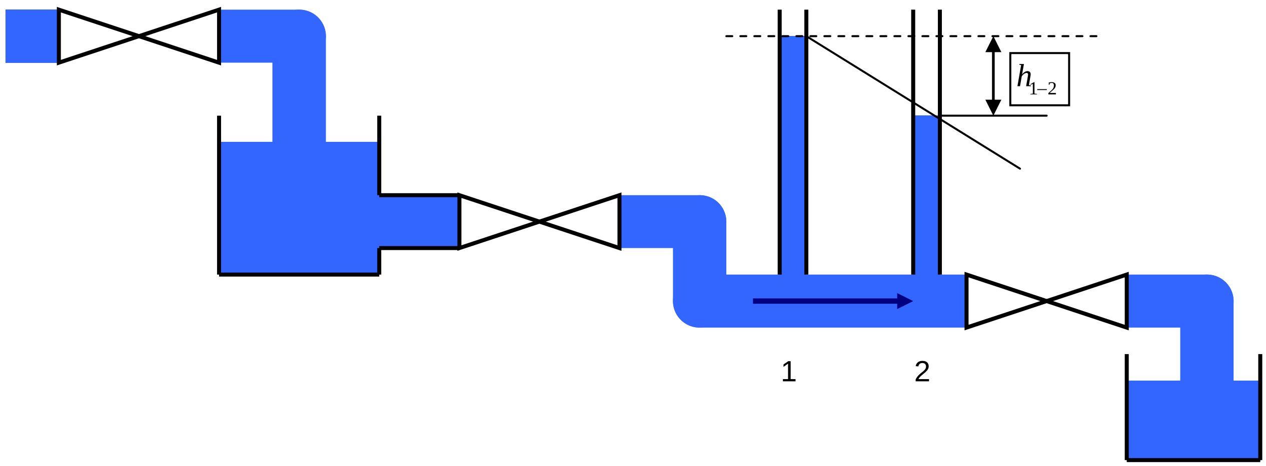

Fig.5.8. Instalaţie pentru măsurarea pierderilor de sarcină distribuite/longitudinale (E.Trofin, 1974)

Corelaţia dintre ***pierderea de sarcină longitudinală*** (h_D) şi ceilalţi factori s-a stabilit pe baza măsurătorile realizate de Henry Darcy (1805) şi are forma:

$$h_D = \lambda \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g \cdot D} \cdot L$$

în care λ este un ***coeficient de rezistenţă*** adimensional, stabilit în funcţie de:

- numărul Reynolds (Re):

$$\mathrm{Re} = \frac{V \cdot D}{\nu}$$

- rugozitate (k)-înălţimea absolută a asperităţilor
- raza hidraulică (R_h) (*Fig.5.9*):

$$R_h = \frac{\Omega}{P}$$

în care

Ω -secţiunea de curgere;
P -perimetrul udat de fluid;
r_0 -raza conductei
D -diametrul conductei:

$$D = 2 \cdot r_0$$

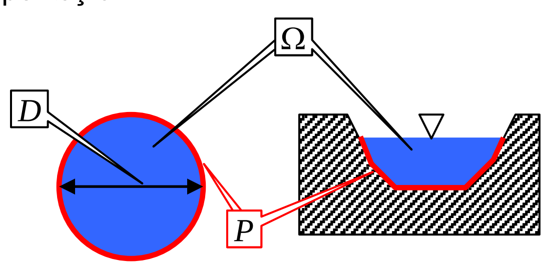

Fig.5.9. Raza hidraulică pentru o conductă cu secţiunea circulară sub presiune şi un canal deschis.

Pierderea de sarcină longitudinală/ distribuită este condiţionată de coeficientul de rezistenţă adimensional λ, coeficient determinat experimental în diferite condiţii de curgere.

5.2.2.3. *Coeficientul de rezistenţă* λ

Valorile ***coeficientului de rezistenţă*** (λ), în corelaţie cu factorii semnalaţi s-au stabilit pe baza cercetărilor experimentale sistematice realizate de A. Nikuradze (1932) şi A.P. Zegjda (1938).

Rezultatele, obţinute pe conducte cu rugozitate artificială, rugozitate realizată cu particule sferice de diametru constant, sunt sintetizate într-o diagramă cu patru zone distincte (***Fig.5.10***):

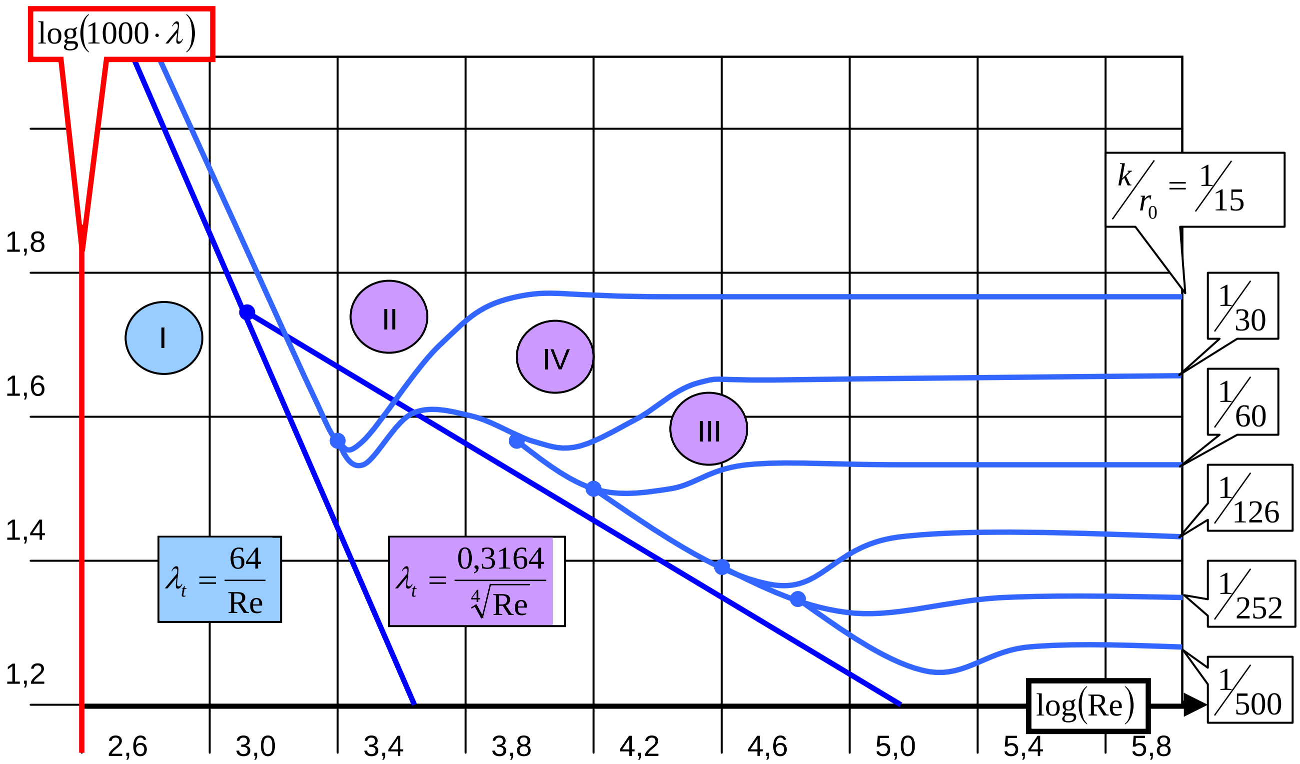

Fig.5.10. *Diagrama lui NIKURADZE*

- ***ZONA I***, corespunde ***regimului laminar*** de curgere ($\mathrm{Re} \le 2300$) iar λ este independent de rugozitatea pereţilor conductei şi depinde numai de ***numărul Reynolds***, iar pentru conducte cilindrice se calculează cu relaţia:

$$\lambda = \frac{64}{\mathrm{Re}}$$

În aceste condiţii, pierderea de sarcină distribuită este proporţională cu viteza medie de mişcare a fluidului:

$$h_D = \frac{64}{\frac{V \cdot D}{\nu}} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g \cdot D} \cdot L = \frac{32 \cdot V \cdot \nu}{g \cdot D^2} \cdot L$$

- ***ZONA II*** corespunde ***mişcării turbulente***, cu pereţii conductei ***netezi*** (***grosimea filmului laminar*** $\delta = \frac{30 \cdot D}{\mathrm{Re} \cdot \sqrt{\lambda}}$ depăşeşte grosimea asperităţilor), iar coeficientul de rezistenţă λ depinde numai de numărul Reynolds şi se estimează cu:
  - Formula lui H.Blasius:

$$\lambda = \frac{0,316}{\mathrm{Re}^{1/4}}$$

  - Formula lui L.Prandtl:

$$\lambda = \frac{1}{(1,8 \cdot \log \mathrm{Re} - 1,64)^2}$$

- ***ZONA III*** corespunde mişcării ***turbulente*** şi este o zonă de ***tranziţie*** între mişcarea turbulentă în conducte cu ***pereţi netezi*** şi cea cu ***pereţi rugoşi***. Coeficientul de rezistenţă λ este în funcţie de ***numărul Reynolds*** şi de ***rugozitatea relativă*** (k / r_0) iar relaţia de calcul recomandată este relaţia Colebrook-White (1939):

$$\frac{1}{\lambda} = -2 \cdot \log\left(\frac{2,5}{\mathrm{Re}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3,7 \cdot D} \right)$$

- ***ZONA IV*** corespunde mişcării ***turbulente*** în conducte cu ***pereţi rugoşi***. Coeficientul de rezistenţă λ nu depinde de numărul Reynolds şi poate fi evaluat cu formula:

$$\lambda = \frac{1}{4\left[\log\left(\frac{3,71 \cdot D}{k}\right)\right]^2}$$

Pierderea de sarcină longitudinală/distribuită este în acest caz proporţională cu pătratul vitezei şi din acest motiv ZONA I se numeşte şi ***zona pătratică***.

5.2.2.4. Panta hidraulică şi debitul conductelor

Local, pierderile de sarcină longitudinale/ distribuite se caracterizează prin panta hidraulică/ pierderea de sarcină unitară (J):

$$J = \frac{dh_D}{dL} \quad \text{sau} \quad J = \frac{h_D}{L} = \frac{\lambda}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

Panta hidraulică, pentru o conductă cu secţiunea circulară, poate fi exprimată în funcţie de raza hidraulică (R_h):

$$R_h \cdot J = \frac{\lambda}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \cdot R_h = \frac{\lambda}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \cdot \frac{D}{4} = \frac{\lambda \cdot V^2}{8 \cdot g}$$

relaţie din care se evaluează viteza medie a curentului de fluid:

$$V = \sqrt{\frac{8 \cdot g}{\lambda}} \cdot \sqrt{R_h \cdot J}$$

în care

$$\sqrt{\frac{8 \cdot g}{\lambda}} = C$$

constantă a conductei, numit ***coeficientul de rezistenţă hidraulică al lui Chezy***, valabil atât pentru conducte ***sub presiune*** cât şi pentru mişcarea uniformă a curenţilor cu ***suprafaţă liberă*** (**Fig.5.9**).

Debitul curentului de fluid real cu secţiune finită, în aceste condiţii poate fi exprimat în funcţie de panta hidraulică, sub forma:

$$Q = V \cdot \Omega = C \cdot \Omega \cdot \sqrt{R_h \cdot J} = C \cdot \Omega \cdot \sqrt{R_h} \cdot \sqrt{J} = K \cdot \sqrt{J}$$

$K = C \cdot \Omega \cdot \sqrt{R_h}$ este numit ***modul de debit*** sau ***capacitatea de curgere a conductei***, are semnificaţia unui ***debit specific al secţiunii***, fiind o constantă pentru conducta considerată.

Modulul de debit (K) exprimă debitul ce trece prin conducta sau canalul considerat la o pantă hidraulică egală cu unitatea ($Q = K \cdot \sqrt{J}$).
Valorile modulului de debit depind de geometria secţiunii de curgere şi de rugozitatea conductei sau albiei (***tabelul 5.1 fig.5.11***).

Tabelul 5.1. *Valori ale modulului de debit (K)*

D[mm]	Ω [m^2]	K[litru/sec]		
		Conducte curate	Condiţii normale	Conducte murdare
		$C_0 = \frac{1}{n} = 90$	$C_0 = \frac{1}{n} = 80$	$C_0 = \frac{1}{n} = 70$
		$(n = 0{,}011)$	$(n = 0{,}01250)$	$(n = 0{,}0143)$
50	0,00196	9,624	8,46	7,403
75	0,00445	28,37	24,94	21,83
100	0,00785	61,11	53,72	47,01
125	0,01227	110,80	97,40	85,23
150	0,01767	180,20	158,40	138,60
175	0,02405	271,80	238,90	209,60
200	0,03142	388,00	341,10	298,50
225	0,03976	531,20	467,00	408,60
250	0,04909	703,50	618,50	541,20
300	0,07068	1144,00	1006,00	880,00
350	0,09621	1726,00	1517,00	1327,00
400	0,12566	2464,00	2166,00	1895,00
450	0,15904	3373,00	2965,00	2595,00
500	0,19635	4467,00	3927,00	3436,00
600	0,28274	7264,00	6386,00	5587,00
700	0,38465	10960,00	9632,00	8428,00
750	0,44179	13170,00	11580,00	10130,00
800	0,50266	15640,00	13750,00	12030,00
900	0,63617	21420,00	18830,00	16470,00
1000	0,78540	28360,00	24930,00	21820,00
1200	1,13090	46120,00	40550,00	35480,00
1400	1,53940	69570,00	61160,00	53520,00
1600	2,01060	99330,00	87320,00	76410,00
1800	2,54470	136000,00	119500,00	10460,00
2000	3,14160	180100,00	158300,00	138500,00

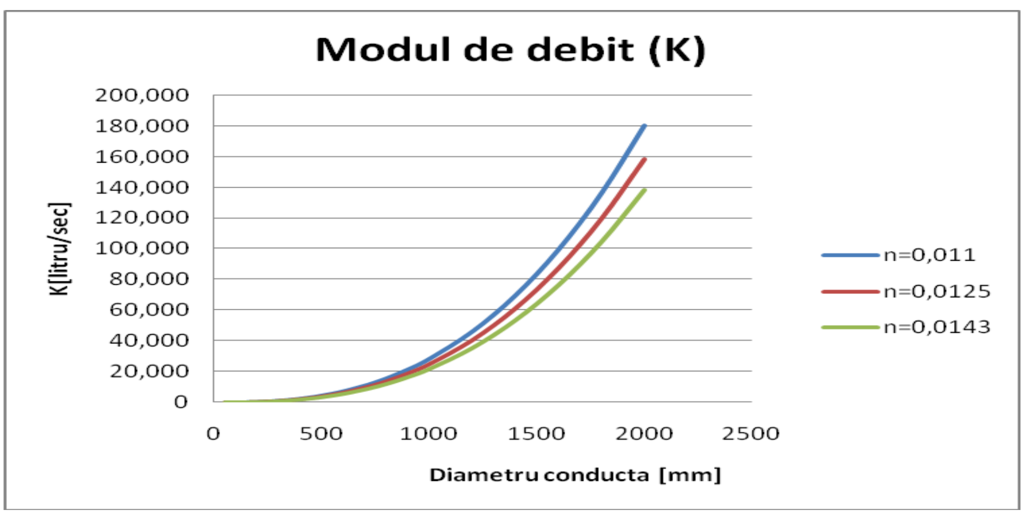

Fig. 5.11. Valori ale modulului de debit pentru conducte circulare din fontă şi oţel

Ţinând seamă de relaţia de definiţie a pantei hidraulice rezultă că:

$$h_D = \frac{Q^2}{K^2} \cdot L$$

Coeficientul lui Chezy poate fi calculat cu :

- Formula lui MANNING (1890):

$$C = \frac{1}{n} \cdot R_h^{1/6}$$

- Formula lui PAVLOVSKI (1925):

$$C = \frac{1}{n} \cdot R_h^y$$

formule în care:
n - coeficientul adimensional de rugozitate (***Tabelul 5.2***);
R_h - raza hidraulică;

$$y = 2{,}5 \cdot \sqrt{n} - 0{,}13 - 0{,}75 \cdot \sqrt{R_h} \cdot \left(\sqrt{n} - 0{,}1\right)$$

Tabelul 5.2. *Coeficienţi de rugoziate (n)*

Nr. crt.	Natura pereţilor conductei	n [-]
1	Suprafeţe acoperite cu email sau smalţ	0,009
2	Tencuială din ciment curat	0,010
3	Conducte din ceramică, ţevi de fontă şi fier îmbinate corect	0,011
4	Conducte de apă normale; conducte de scurgere foarte curate	0,012
5	Canale acoperite cu un strat gros şi stabil de mâl	0,018
6	Canale în pamânt, aflate în condiţii bune de întreţinere	0,023
7	Râuri şi pâraie în condiţii favorabiel (curgere liberă, fără vegetaţie)	0,025
8	Canale şi râuri parţial acoperite cu ierburi acvatice şi bolovani	0,030
9	Canale şi râuri în condiţii rele (ierburi, bolovani, prabuşiri de maluri)	0,035
10	Canale şi râuri în condiţii rele, bucăţi de stâncă în albie, rădăcini.	0,040

5.2.2.5. Pierderile de sarcină hidraulică locale

Pierderile de sarcină hidraulică locală (h_L) se produc pe ***distanţe scurte***, la mişcările sub presiune, datorită schimbărilor de secţiune, schimbărilor de direcţie, ramificaţiilor curentului de fluid, şi se calculează cu formula:

$$h_L = \zeta \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

în care

ζ este coeficientul de rezistenţa locală care se dermină ca şi coeficientul de rezistenţă adimensională λ pe cale experimentală şi în puţine cazuri pe cale analitică.

Coeficientul de rezistenţa locală depinde de caracteristicile geometrice ale elementului care produce rezistenţa hidraulică locală şi de rugozitate:

- ***lărgirea bruscă a secţiunii de curgere***: (***Fig.5.12***.)

$$\zeta = \left(\frac{\Omega_2}{\Omega_1} - 1 \right)^2$$

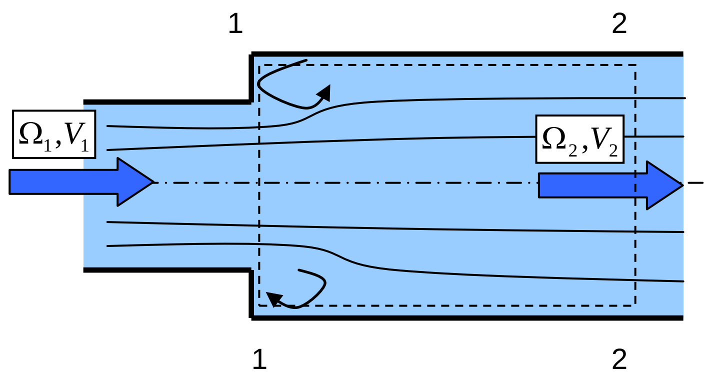

Fig.5.12. Lărgire bruscă a secţiunii de curgere

- ***îngustarea bruscă a secţiunii de curgere***:

$$\zeta = 0{,}5 \cdot \left(1 - \frac{\Omega_2}{\Omega_1} \right)$$

- ***intrare în rezervor cu dimensiuni mari*** se face prin disiparea totală a ***energiei cinetice*** astfel încât:

$$\zeta = \alpha$$

în care

α -coeficientul Coriolis

- ***ieşirea din rezervor de dimensiuni mari în conductă***:

$\zeta = 0{,}5$ pentru muchii ascuţite

$\zeta = 0{,}2$ pentru muchii rotunjite

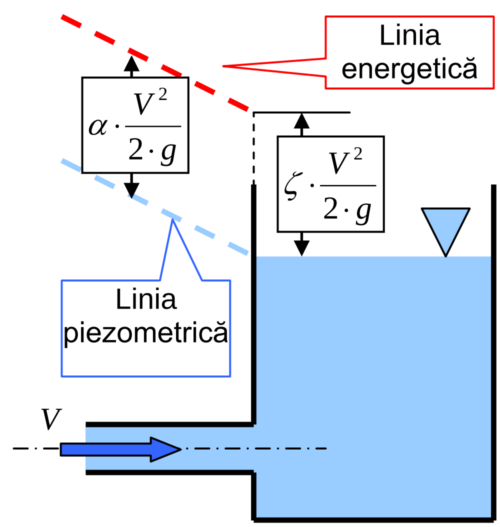

Fig.5.13.*Intrarea în rezervor mare*

- ***curbe de conducte***

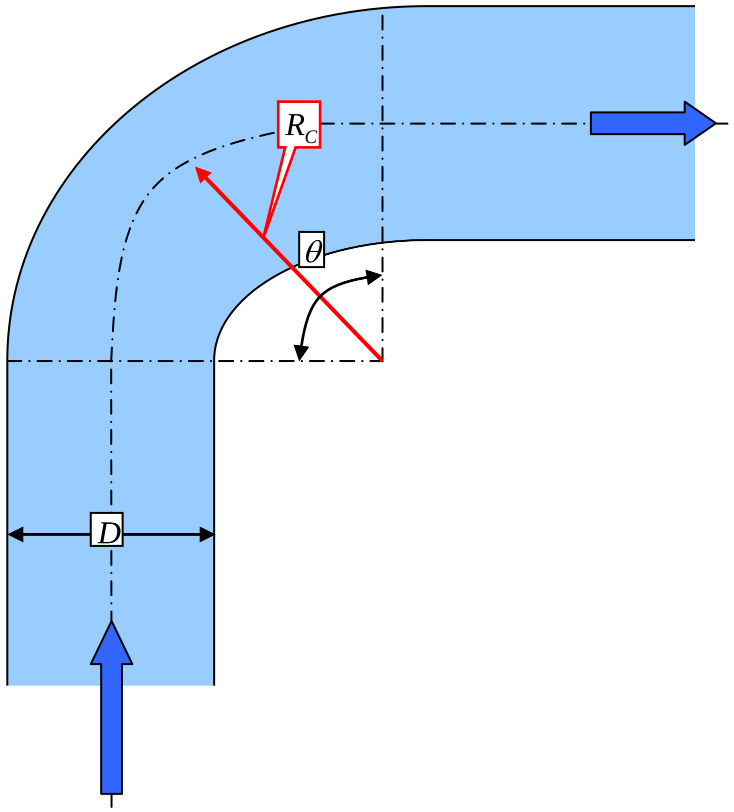

Fig.5.14 *Curbă de conductă*

Datorită curenţilor transversali, pierderile locale se amplifică amplifică şi valorile rezistenţelor locale se estimează cu relaţiile:

$$\zeta_\theta = \zeta_{90} \cdot \sqrt{\frac{\theta}{R_C}}$$

în care

$$\zeta_{90} = 0{,}13 + 0{,}16 \cdot \left(\frac{D}{R_C}\right)^{3.5}$$

5.2.2.6. Şocul hidraulic (lovitura de berbec)

Şocul hidraulic este variaţia rapidă a presiunii care apare în conductele sub presiune ca rezultat al manevrării vanelor:

- ***Şoc pozitiv***, la închiderea vanelor, presiunea creşte în amonte de vană şi scade în aval de aceasta;
- ***Şoc negativ***, la deschiderea vanelor, presiunea scade în amonte de vană şi creşte în aval de aceasta.

Cauza variaţiei presiunilor este transformarea energiei cinetice a fluidului din conductă în lucru mecanic. Variaţia rapidă de presiune se propagă sub forma unei ***unde de presiune***, a cărei viteză de propagare (c) este determinată de compresibilitatea fluidului şi elasticitatea pereţilor conductei, fiind viteza de propagare a sunetului în fluid.

Creşterea de presiune (δp) care apare la închiderea bruscă a unei vane amplasate pe o conductă sub presiune se stabileşte folosind teorema impulsului (N.E.Jukovski) şi are formula de calcul:

$$\delta p = \rho \cdot c \cdot (u_0 - u)$$

în care

ρ - densitatea fluidului;

c - viteza de propagare a undei de presiune (viteza de propagare a sunetului în fluid);

u_0 - viteza iniţială a fluidului;

u - viteza fluidului după închiderea vanei

Viteza de propagare a undei de presiune (c) pentru conductele circulare cu pereţi din material omogen se calculează cu formula:

$$c = \sqrt{\frac{E_f}{\rho}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{E_f}{E_C} \cdot \frac{D}{G_C}}}$$

în care

E_f, E_C - modulii de delasticitate ai fluidului şi ai materialului din care sunt construiţi pereţii conductei;

D - diametrul interior al conductei;

G_C - grosimea pereţilor conductei

Pentru conductele cu ***pereţi rigizi*** ($E_C \to \infty$) se obţine pentru ***apă***, o viteză de propagare a undei de presiune:

$$c = \sqrt{\frac{E_{apa}}{\rho_{apa}}} = \frac{1}{\sqrt{\beta_{apa} \cdot \rho_{apa}}} = 1425 m/\sec$$

5.2.2.7. Conducte neramificare cu diametru variabil

Conducta simplă este o conductă, cu diametru variabil, fără ramificaţii, în care curgerea se conformează ecuaţiei lui Bernoulli:

$$z + \frac{p}{\gamma} + \alpha \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} + h_T = const.$$

unde

h_T -pierderea de sarcină rezultată din însumarea a două categorii de pierderi de sarcină hidraulică:

- ***pierderile de sarcină distribuite*** pe cele n tronsoane de diametre diferite(h_D):

$$h_D = \sum_{i=1}^{i=n} \lambda_i \cdot \frac{V_i^2}{2 \cdot g \cdot D_i} \cdot L_i$$

- ***pierderile de sarcină locale*** din cele m poziţii cu pierderi locale (h_L)

$$h_L = \sum_{j=1}^{j=m} \zeta_j \cdot \frac{V_j^2}{2 \cdot g}$$

adică:

$$h_T = \sum_{i=1}^{i=n} \lambda_i \cdot \frac{V_i^2}{2 \cdot g \cdot D_i} \cdot L_i + \sum_{j=1}^{j=m} \zeta_j \cdot \frac{V_j^2}{2 \cdot g}$$

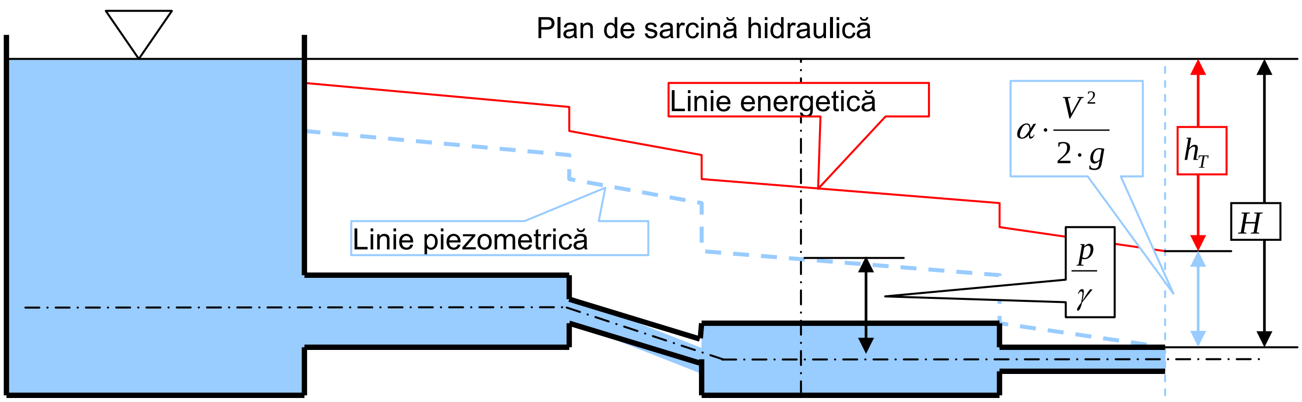

Fig.5.15. *Elementele pierderilor de sarcină la o conductă simplă neramificată*

Probleme principale care se pun la calculul unei conducte simple sunt:

- Verificarea capacităţii de transport a debitului (Q) pentru o conductă de diametru (D) şi lungime (L), la o diferenţă de nivel (H) cunoscută;
- Determinarea diferenţei de nivel (H) necesară pentru transportul unui anumit debit (Q) printr-o conductă de un anumit diametru (D) şi lungime (L);
- Determinarea diametrului unei conducte (D) care să transporte un anumit debit (Q) la o diferenţă de nivel dată (H) pe o lungime dată (L).

Relaţiile utilizate sunt:

$$h_D = \frac{Q^2}{K^2} \cdot L \qquad K = C \cdot \Omega \cdot \sqrt{R_h} \qquad \sqrt{\frac{8 \cdot g}{\lambda}} = C$$

$$h_D = \lambda \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g \cdot D} \cdot L \qquad h_L = \zeta \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

5.2.3.8. Conducte legate în paralel

Curgerea apei într-o reţea de conducte legate în paralel (***Fig.5.16.***) se face pe baza aceleiaşi diferenţe de nivel :

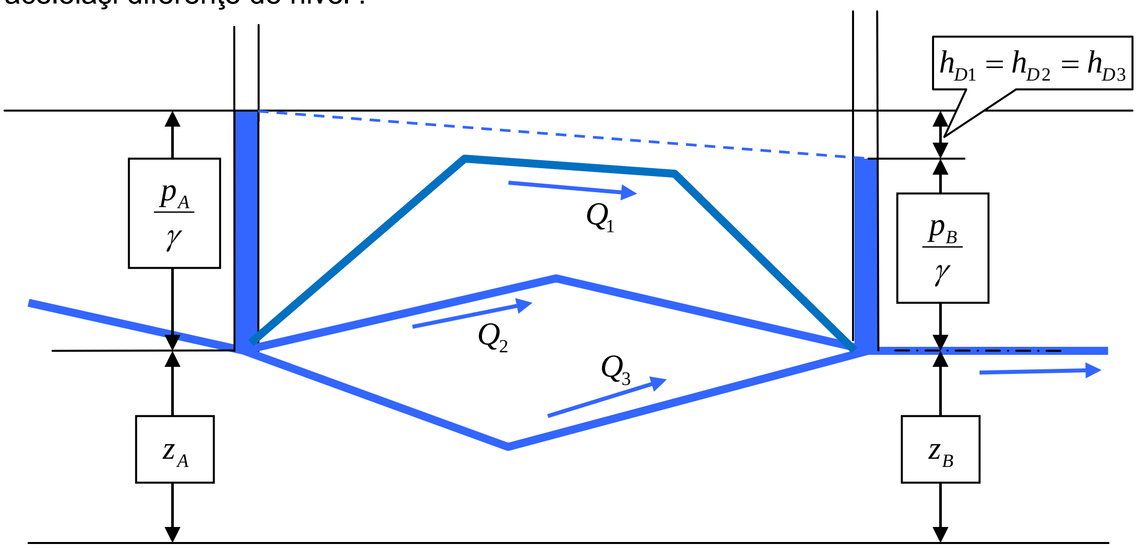

Fig.5.16. *Conducte în paralel*

$$h_{D1} = h_{D2} = h_{D3} = \left(z_A + \frac{p_A}{\gamma}\right) - \left(z_B + \frac{p_B}{\gamma}\right)$$

sau exprimată în funcţie de debitul total şi modul de debit:

$$\frac{Q_1^2}{K_1^2} \cdot L_1 = \frac{Q_2^2}{K_2^2} \cdot L_2 = \frac{Q_3^2}{K_3^2} \cdot L_3 = H_{A-B}$$

Relaţia dintre debitele conductelor(Q_1, Q_2, Q_3) şi debitul total (Q), conform principiului conservării masei de debit, este:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

Ecuaţiile (), () şi () permit determinarea debitelor celor trei conducte pe baza elementelor geometrice ale conductelor şi cea debitului total (Q)

5.2.2.9. Conducte ramificate

Sistemul de conducte ramificate (***Fig.5.17***.) se calculează pe baza:

- ***ecuaţiei de continuitate*** care stabileşte relaţiile dintre debitele care curg prin conducte:

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 + Q_4$$

- ***ecuaţiilor energetice*** pentru fiecare ramificaţie:

$$H_2 = \frac{Q_1^2}{K_1^2} \cdot L_1 + \frac{Q_2^2}{K_2^2} \cdot L_2$$

$$H_3 = \frac{Q_1^2}{K_1^2} \cdot L_1 + \frac{Q_3^2}{K_3^2} \cdot L_3$$

$$H_4 = \frac{Q_1^2}{K_1^2} \cdot L_1 + \frac{Q_4^2}{K_4^2} \cdot L_4$$

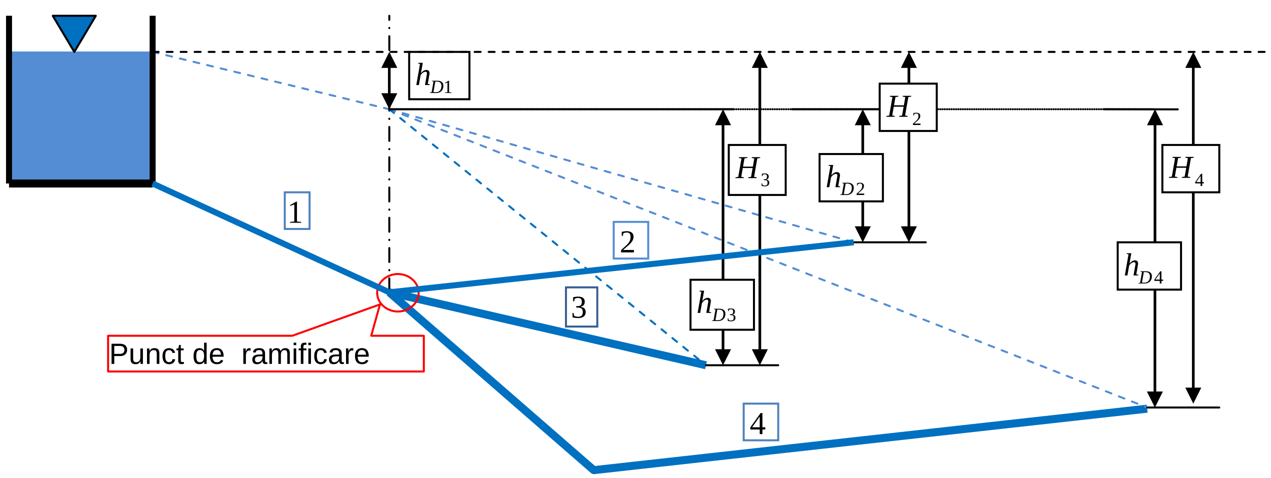

Fig.5.17. *Conductă ramificată*

5.2.2.10. Conducta cu debit distribuit

Conducta cu debit distribuit este o conductă în care ***punctele de consum*** sunt foarte apropiate şi aproximativ egale ca debit (***Fig.5.18***.). În aceste condiţii se admite că din conductă se consumă un ***debit uniform distribuit*** (q). Linia piezometrică este o curbă cu concavitatea în sus pentru că debitul descreşte în sensul curgerii.

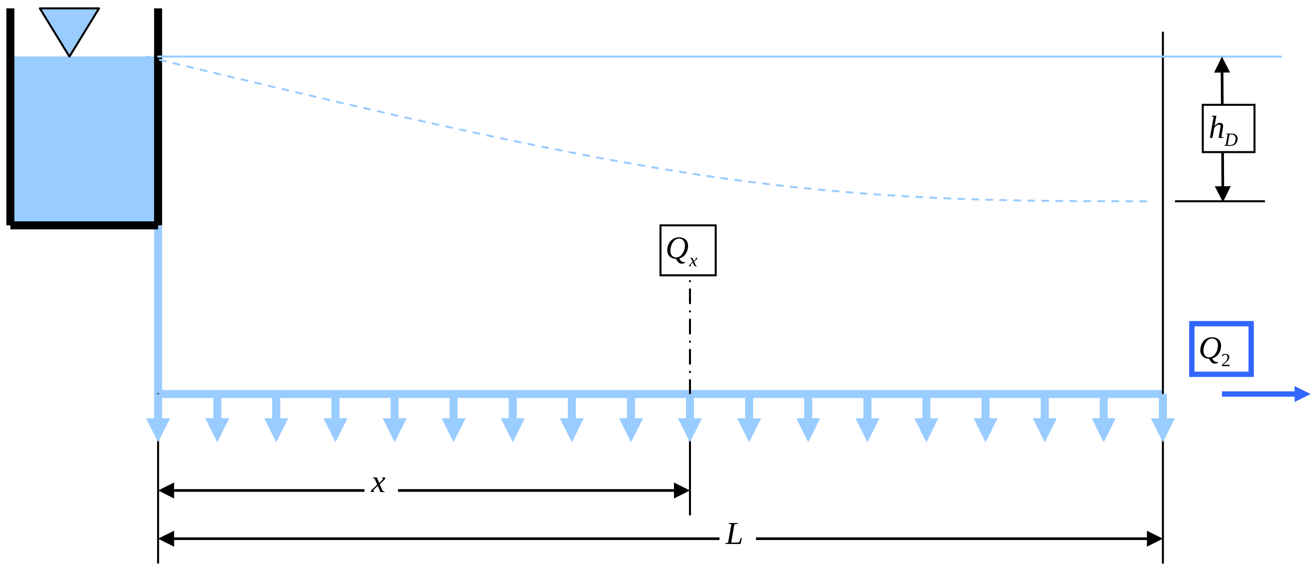

Fig.5.18. *Conductă cu debit uniform distribuit*

Pierderea de sarcină distribuită pe lungimea unei conducte (L) pe care se consumă debitul uniform distribuit (q) este în funcţie de:

- modulul de debit al conductei (K)
- debitul uniform distribuit (q):

$$q = \frac{Q_1}{L}$$

Q_1 - debitul consumat pe lungimea L a conductei ($Q_1 = q \cdot L$)

- variaţia debitului total de-a lungul conductei (Q_x)

$$Q_x = Q_1 + Q_2 - q \cdot x; \quad x \in [0; L]$$

Q_2 - debitul care trece mai departe

- pierderea de sarcină specifică (J_x):

$$J_x = \frac{Q_x^2}{K^2} = \frac{dh_D}{dx}$$

Pierderea de sarcină hidraulică de-a lungul conductei de lungime L se obţine prin integrarea pe lungimea conductei a pierderii de sarcină specifică :

$$h_D = \int_0^L J_x \cdot dx = \int_0^L \frac{Q_x^2}{K^2} \cdot dx = \int_0^L \frac{(Q_1 + Q_2 - q \cdot x)^2}{K^2} \cdot dx$$

expresie care după efectuarea calculelor devine:

$$h_D = \frac{\left(Q_2^2 + \frac{1}{3} \cdot Q_1^2 + Q_1 \cdot Q_2\right)}{K^2} \cdot L$$

Dacă debitul consumat este nul ($Q_1 = 0$) se ajunge la formula generală de calcul a pierderii de sarcină hidraulică distribuită pentru o conductă simplă, sub presiune, cu diametru constant:

$$h_D = \frac{Q_2^2}{K^2} \cdot L$$