4. HIDROCINEMATICA

Hidrocinematica studiază ***mişcarea fluidelor*** fără a lua în considerare cauzele care o produc, rezultatele ei fiind valabile atât pentru ***lichidele perfecte*** cât şi pentru cele ***vâscoase***.

Mişcarea fluidelor este mişcarea întregului sistem ***continuu*** de particule şi este raportată la ***două sisteme de reprezentare*** spaţială:

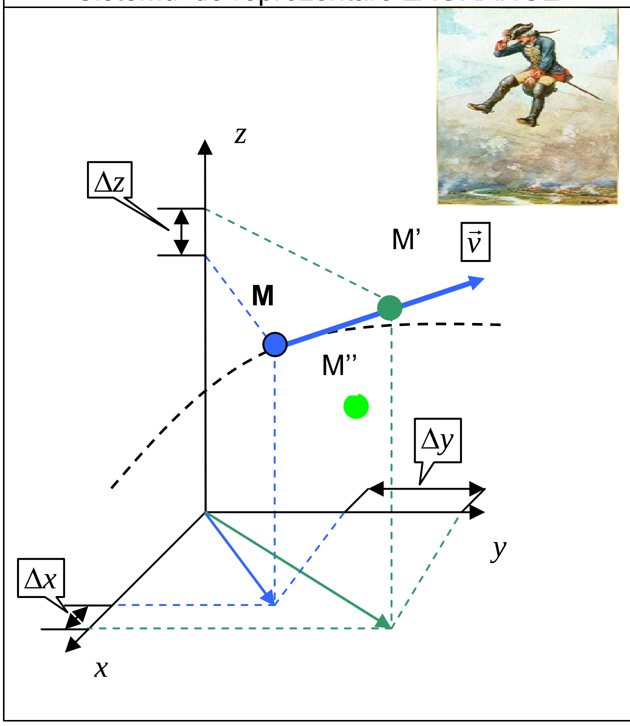
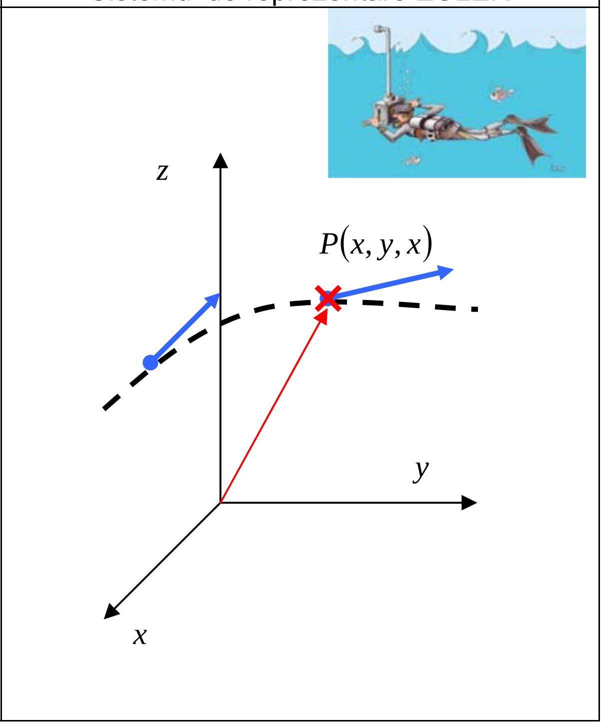
- ***sistemul de reprezentare Lagrange***
- ***sistemul de reprezentare Euler***

Descriptorii mişcării fluidelor sunt:

- ***linie de curent şi tub de curent***
- ***debit volumic, debit masic, debit de greutate***
- ***viteză***
- ***acceleraţie;***

Modelele matematice ale mişcării fluidelor respectă principiile findamentale ale ***conservării*** **masei** şi **energiei**, integrând în ecuaţii corelaţiile dintre : ***proprietăţile fluidelor***, ***descriptorii mişcării*** şi ***forţele*** care acţionează asupra fluidelor.

4.1. SISTEME DE REPREZENTARE A MISCARII FLUIDELOR

Sistemul de reprezentare LAGRANGE	Sistemul de reprezentare EULER
	

<table>
<tr>
<td colspan="2">Mărimile fizice cu care se descrie mişcarea (viteză, acceleraţie etc.) sunt ataşate particulelor de fluid (M).</td>
<td>Mărimile fizice cu care se descrie mişcarea (viteză, acceleraţie, presiune, densitate etc.) sunt ataşate punctelor (P) din domeniul de curgere.</td>
</tr>
<tr>
<td colspan="2">Variabilele independente :
x_0, y_0, z_0 - coordonatele particulei la momentul iniţial
t - timpul</td>
<td>Variabilele independente :
x, y, z - coordonatele punctelor din domeniul de curgere ;
t - timpul</td>
</tr>
<tr>
<td colspan="2">Variabilele dependente
x, y, z - coordonatele particulei la diverse momente
u, v, w - vitezele particulei la un anumit moment
a_x, a_y, a_z - acceleraţiile particulei la un moment dat
p - presiunea</td>
<td>Variabilele dependente :
v - viteza locală, egală cu viteza particulei care se află în punctul $P(x, y, z)$;
p - presiunea din punctul $P(x, y, z)$</td>
</tr>
<tr>
<td colspan="2">Exprimarea dependenţei funcţionale
$x = F_1(x_0, y_0, z_0, t)$
$y = F_2(x_0, y_0, z_0, t)$
$z = F_3(x_0, y_0, z_0, t)$
sau sub formă vectorială :
$\vec{r} = \vec{r}(\vec{r}_0, t)$ unde $\vec{r}_0 = x_0 \cdot \vec{i} + y_0 \cdot \vec{j} + z_0 \cdot \vec{k}$
$v_x = \frac{\partial x}{\partial t}; v_y = \frac{\partial y}{\partial t}; v_z = \frac{\partial z}{\partial t}$
$a_x = \frac{\partial^2 x}{\partial t^2}; a_y = \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}{'} a_z = \frac{\partial^2 z}{\partial t^2}$
$a_x = \frac{\partial v_x}{\partial t}; a_y = \frac{\partial v_y}{\partial t}{'} a_z = \frac{\partial v_z}{\partial t}$
$p = p(x, y, z)$</td>
<td>Exprimarea dependenţei funcţionale
(a vitezei particulelor care trec prin acelaşi punct fix din spaţiul ocupat de fluid)
$v_x = f_1(x, y, z, t)$
$v_y = f_2(x, y, z, t)$
$v_z = f_3(x, y, z, t)$
$p = p(x, y, z, t)$
Dacă se consideră traiectoria unei particule, în sistemul Euler, vitezele se determină ca derivate totale ale funcţiilor x, y, z, deoarece creşterile lui x, y, z, reprezentând deplasarea particulei sunt în funcţie de timp şi componentele vitezei:
$v_x = \frac{dx}{dt}; v_y = \frac{dy}{dt}; v_z = \frac{dz}{dt}$</td>
</tr>
<tr>
<td colspan="3">Relaţii de trecere de la sistemul de coordonate LANGRANGEAN la cel EULERIAN
$Dx = v_x \cdot dt$
$Dy = v_y \cdot dt$
$Dz = v_z \cdot dt$
în care Dx, Dy, Dz reprezintă componentele drumului elementar al particulei, x, y, z fiind coordonatele particulei din sistemul Lagrange, semnalat prin notaţia diferenţială D.</td>
</tr>
<tr>
<td>Acceleraţia LAGRANGEANA
$a_x = \frac{\partial^2 x}{\partial t^2}$</td>
<td colspan="2">Acceleraţia EULERIANA
Acceleraţia particulei care se află în punctul $P(x, y, z)$ nu poate fi calculată ca derivată totală a vitezei în raport cu timpul pentru că înainte şi după momentul t în punctul $P(x, y, z)$ este altă particulă cu</td>
</tr>
</table>

$$a_y = \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$$

$$a_z = \frac{\partial^2 z}{\partial t^2}$$

altă viteză $\vec{v}(\vec{r},t)$.

Soluția este introducerea ***derivatei substanțiale*** a vitezei locale (derivata totală) care se stabileşte astfel:

- Se scrie ***diferențiala totală*** a vitezei locale în punctul P:

$$d\vec{v} = \frac{\partial \vec{v}}{\partial t}dt + \frac{\partial \vec{v}}{\partial x}dx + \frac{\partial \vec{v}}{\partial y}dy + \frac{\partial \vec{v}}{\partial z}dz$$

în care

- primul termen, ***diferențiala temporală,*** reprezintă ***variația vitezei în timp***, aceeaşi pentru toate punctele din vecinătatea punctului P;
- următorii trei termeni, ***diferențiala direcțională***, reprezintă ***variația locală a vitezei***, în jurul lui P, la $t = const.$, după un drum oarecare, altul decât al particulei (***MM''***)

- în diferențiala totală se înlocuieşte ***variația locală*** a vitezei cu ***diferențiala direcțională*** în timpul dt după parcursul particulei M pe traseul MM', relație în care x, y, z reprezintă coordonatele particulei de fluid din sistemul lagrangean de reprezentare:

$$D\vec{v} = \frac{\partial \vec{v}}{\partial t}dt + \left(\frac{\partial \vec{v}}{\partial x}\cdot Dx + \frac{\partial \vec{v}}{\partial y}\cdot Dy + \frac{\partial \vec{v}}{\partial x}\cdot Dz\right)$$

- se face trecerea la variabilele Euler ținând seama de relațiile de mai sus, $Dx = v_x \cdot dt$, $Dz = v_z \cdot dt$ $Dy = v_y \cdot dt$ şi se obține derivata substanțială a vitezei locale cu două componente:

$$\vec{a} = \frac{D\vec{v}}{dt} = \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + v_x \cdot \frac{\partial \vec{v}}{\partial x} + v_y \cdot \frac{\partial \vec{v}}{\partial y} + v_z \cdot \frac{\partial \vec{v}}{\partial z}$$

- accelerația locală: $\vec{a}_l = \frac{\partial \vec{v}}{\partial t}$
- accelerația spațială: $\vec{a}_s = v_x \cdot \frac{\partial \vec{v}}{\partial x} + v_y \cdot \frac{\partial \vec{v}}{\partial y} + v_z \cdot \frac{\partial \vec{v}}{\partial z}$

cu cele trei componente:

- $a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{\partial v_x}{\partial t} + v_x \cdot \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \cdot \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \cdot \frac{\partial v_x}{\partial z}$
- $a_y = \frac{dv_y}{dt} = \frac{\partial v_y}{\partial t} + v_x \cdot \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \cdot \frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z \cdot \frac{\partial v_y}{\partial z}$
- $a_z = \frac{dv_z}{dt} = \frac{\partial v_z}{\partial t} + v_x \cdot \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \cdot \frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z \cdot \frac{\partial v_z}{\partial z}$

Accelerația poate fi scrisă mai compact utilizând operatorul nabla:

$$\vec{a} = \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v}\cdot\nabla)\vec{v}$$

4.2. DESCRIPTORI AI MIŞCARII FLUIDELOR

Descriptorii mşcării fluidelor descriu câmpul vectorial al mişcării particulelor de fluid.

Traiectorie a particulei, descriptor definit în sistemul de reprezentare lagrangean, este mulţimea punctelor prin care trece centrul de greutate al unei particule de fluid.

Traiectoria este descrisă de ecuaţia vectorială:

$$\vec{r} = \vec{r}(\vec{r}_0, t)$$

în care

$\vec{r}_0 = x_0 \cdot \vec{i} + y_0 \cdot \vec{j} + z_0 \cdot \vec{k}$ vectorul poziţiei iniţiale

t - timpul

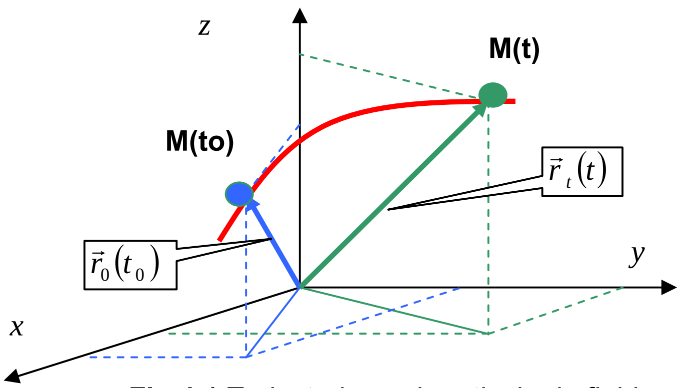


Fig.4.1. *Traiectoria unei particule de fluid*

Linie fluidă este o înşiruire continuă de particule care la o mişcare cu structură continuă îşi menţine în timp individualitatea.

Linie de curent este curba tangentă în fiecare punct al ei la vectorul viteză din acel punct şi reprezintă distribuţia vitezelor instantanee ale fluidului.

Conform definiţiei, dacă $d\vec{l}\,(dx, dy, dz)$ şi $\vec{v}(v_x, v_y, v_z)$ sunt ***elementul de arc al liniei de curent***, respectiv ***viteza fluidului*** într-un punct, ecuaţiile liniei de curent rezultă din condiţia de tangenţă:

$$\vec{v} \times d\vec{l} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ dx & dy & dz \\ v_x & v_y & v_z \end{vmatrix} = (v_z \cdot dy - v_y \cdot dz)\cdot \vec{i} + (v_x \cdot dz - v_z \cdot dx)\cdot \vec{j} + (v_y \cdot dx - v_x \cdot dy)\cdot \vec{k} = 0$$

şi sunt:

$$v_z \cdot dy = v_y \cdot dz; \qquad v_x \cdot dz = v_z \cdot dx; \qquad v_y \cdot dx = v_x \cdot dy \qquad \Leftrightarrow \qquad \frac{dx}{v_x} = \frac{dy}{v_y} = \frac{dz}{v_z}$$

Relaţia dintre ***traiectorie*** şi ***linie de curent*** este determinată de caracterul mişcării fluidului:

- ***traiectoria coincide cu linia de curent*** în cazul mişcării ***permanente*** şi ***semipermanente***, adică atunci când în timp viteza nu îşi schimba direcţia;
- ***traiectoria particulei este diferită de linia de curent*** în cazul mişcării ***nepermanente***, atunci când viteza îşi schimba direcţia în timp.

Familia liniilor de curent are următoarele proprietăţi:

- prin fiecare punct al domeniului de curgere trece o linie de curent, consecinţă a ipotezei continuităţii fluidului.

- Printr-un punct al domeniului, cu excepția ***punctelor singulare*** de viteză locală ***nulă*** sau ***infinită***, nu trece decât o singură linie de curent.

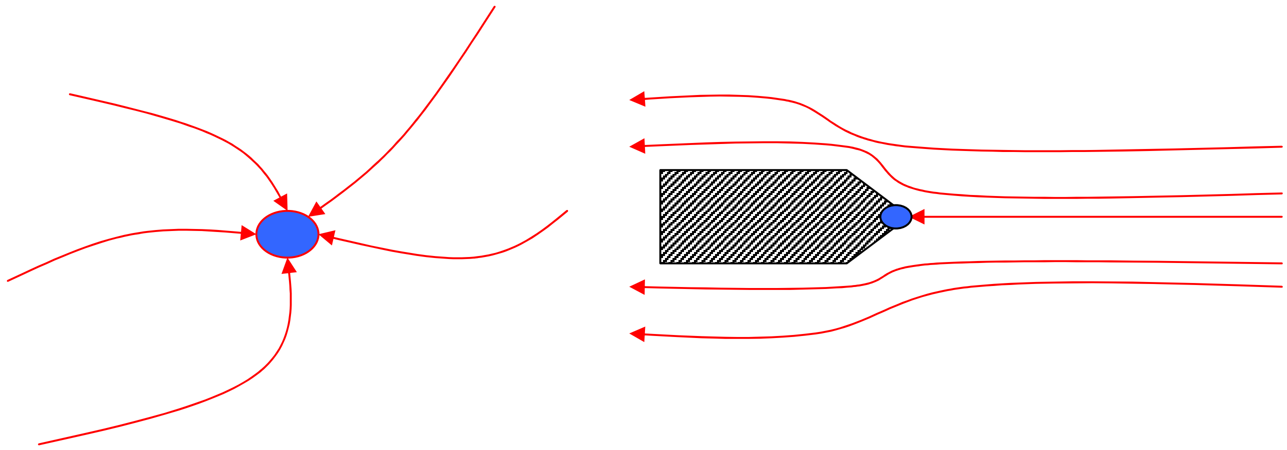


Fig.4.2.*Linii de curent în puncte singulare*

Tub de curent este suprafață formată de totalitatea liniilor de curent care trec prin punctele unei curbe închise C care nu este linie de curent

Fir de curent este linia fluidă din interiorul unui tub de curent la care secțiunea normală la axa tubului de curent are o arie infinitezimală. Cu alte cuvinte firul de curent materializează linia de curent.

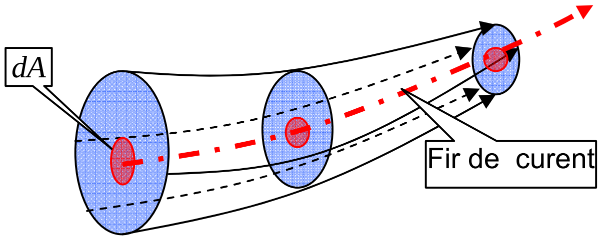


Fig.4.3.*Tub de curent şi* ***fir de curent***

Debitul este cantitatea de fluid care trece în unitatea de timp printr-o suprafață fixă S.
Volumul de lichid care trece prin suprafața elementară dS în intervalul de timp dt este:

$$dV = \int_S v_n \cdot dt \cdot dS = \int_S v \cdot \cos(\vec{v},\vec{n}) \cdot dt \cdot dS = dt \int_S \vec{v} \cdot \vec{n} \cdot dS$$

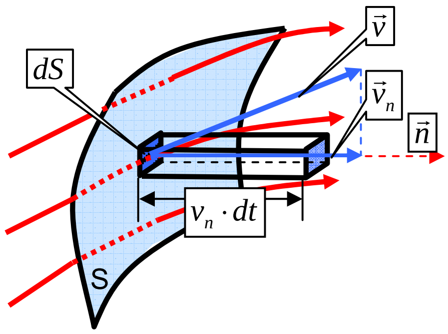


Fig.4.4.*Debitul printr-o suprafață fixă S*

Debitul poate fi exprimat în trei forme:

-***debit volumic***: $Q = \frac{dV}{dt} = \int_S \vec{v} \cdot \vec{n} \cdot dS$

-***debit masic***: $Q_m = \frac{dm}{dt} = \int_S \rho \cdot \vec{v} \cdot \vec{n} \cdot dS$

-***debit de greutate***: $Q_g = \frac{dG}{dt} = \int_S \gamma \cdot \vec{v} \cdot \vec{n} \cdot dS$

Dacă fluidul este ***omogen*** rezultă egalitățile :

$$Q_m = \rho \cdot Q; \quad Q_g = \gamma \cdot Q$$

Viteza medie într-o secțiune S a unui tub de curent este tangentă la axa tubului de curent, are sensul mişcării şi are modulul egal cu raportul dintre debitul volumic Q care trece prin S şi suprafața acesteia S:

$$\vec{v} = \frac{Q}{S} = \int_S \vec{v} \cdot \vec{n} \cdot \frac{dS}{S}$$

Accelerația mişcării fluidelor poate fi exprimată în două variante conform celor două sisteme de reprezentare:

-accelerația unei ***particule de lichid*** (sistem lagrangean):

$$a_x = \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} \quad a_y = \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \quad a_z = \frac{\partial^2 z}{\partial t^2}$$

-accelerația într-un ***punct al câmpului/domeniului*** de curgere (sistem eulerian) :

$$\vec{a} = \frac{D\vec{v}}{dt} = \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + v_x \cdot \frac{\partial \vec{v}}{\partial x} + v_y \cdot \frac{\partial \vec{v}}{\partial y} + v_z \cdot \frac{\partial \vec{v}}{\partial z}$$

cu cele două componete

-accelerația locală:

$$\vec{a}_l = \frac{\partial \vec{v}}{\partial t}$$

-accelerația spațială:

$$\vec{a}_s = v_x \cdot \frac{\partial \vec{v}}{\partial x} + v_y \cdot \frac{\partial \vec{v}}{\partial y} + v_z \cdot \frac{\partial \vec{v}}{\partial z}$$

4.3. PRINCIPII FUNDAMENTALE ALE MISCARII FLUIDELOR

Mişcarea fluidelor se face în condițiile respectării a două principiilor fundamentale care asigură:

- continuitatea fluidului (conservare ale ***masei***)
- echilibrul forțelor care actionează asupra fluifului (conservarea ***energiei***).

4.3.1. CONSERVAREA MASEI

Exprimarea principiului conservării masei într-o formă specifică hidraulicii necesită definirea ***sistemului lichid*** ca o cantitate de lichid formată pe toată durata curgerii din aceleaşi particule de lichid. Masa sistemului lichid nu variază în timp chiar dacă în evoluția sa sistemul lichid ocupă divese poziții şi are diferite forme.

Fie ***sistemul lichid*** dintr-un tub de curent mărginit de suprafața S care în momentul t ocupă spațiul delimitat de această suprafață şi ***secțiunile 1 şi 2*** (***Fig.4.8***). Deoarece vectorul viteză este tangent la S, prin suprafața S nu trece lichid şi sistemul lichid nu se poate deplasa decât de-a lungul tubului de curent într-o mişcare pe care o considerăm permanentă/semipermanentă (cele două tipuri de mişcări asigură stabilitatea formei suprafeței S în timp).

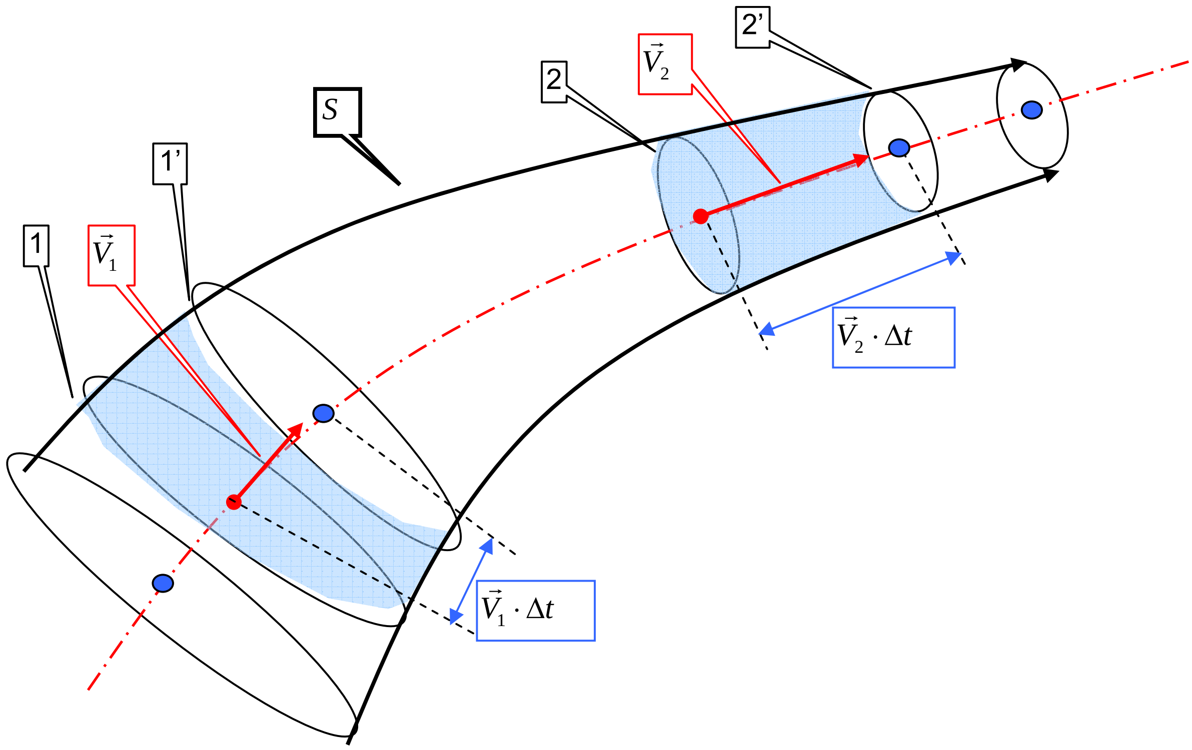


Fig. 4.8*.Conservarea masei într-un tub de curent*

La momentul $t+\Delta t$ sistemul lichid este mărginit de ***secțiunile 1' şi 2'*** şi ***principiul conservării masei*** se poate exprima prin relația:

$$m_{11'} + m_{1'2} = m_{1'2} + m_{22'} \Leftrightarrow m_{11'} = m_{22'}$$

în care
m_{ab} este masa de lichid cuprinsă între secțiunile a şi b ($a = 1,1',2;\quad b = 1',2,2'$)

Lichidul fiind omogen şi incompresibil relația poate fi exprimată prin ***volume*** (Vol), ***viteze medii***(V_1,V_2), ***secțiuni*** (A_1, A_2) sau ***debite*** (Q_1, Q_2) sub formele:

$$\rho \cdot Vol_{11'} = \rho \cdot Vol_{22'} \Leftrightarrow Vol_{11'} = Vol_{22'} \Leftrightarrow V_1 \cdot \Delta t \cdot A_1 = V_2 \cdot \Delta t \cdot A_2 \Rightarrow$$

$$V_1 \cdot A_1 = V_2 \cdot A_2 \Leftrightarrow Q_1 = Q_2$$

În cazul unui tub de curent ***ramificat*** (***Fig.4.9***) ecuația de continuitate ia forma:

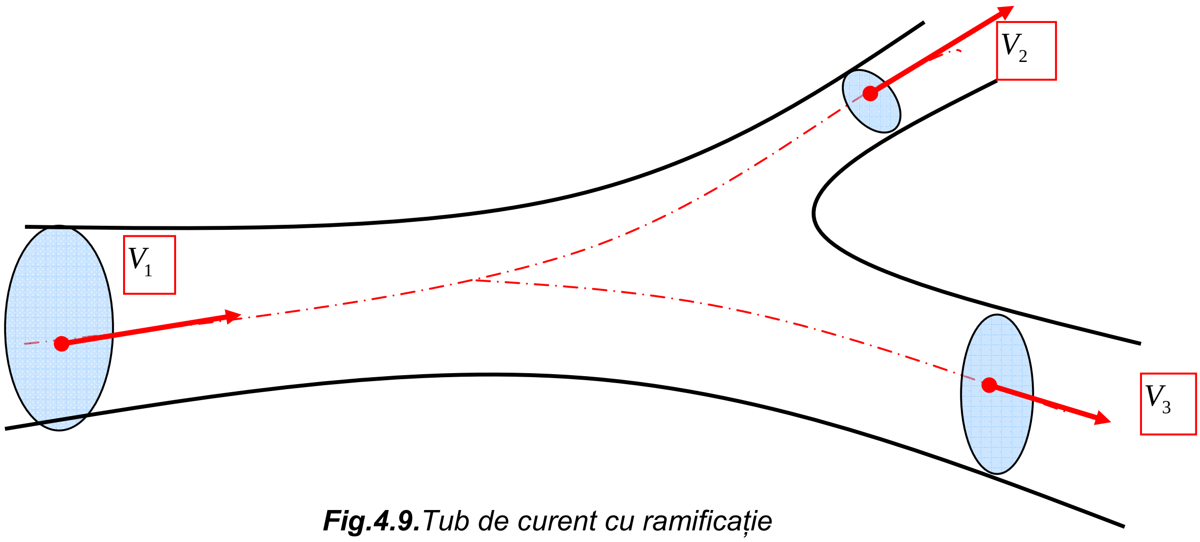


Fig.4.9. *Tub de curent cu ramificație*

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \Leftrightarrow \quad V_1 \cdot A_1 = V_2 \cdot A_2 + V_3 \cdot A_3$$

Ecuația conservării masei este numită şi ***ecuația continuității*** deoarece asigură întegritatea sistemului lichid pe tot parcursul curgerii, adică absența “golurilor” dihn lichid.

4.3.2. CONSERVAREA ENERGIEI

Exprimarea conservării energiei mecanice de-a lungul liniilor de curent permite calculul descriptorilor mişcării fluidelor, descriptori utilizaţi pentru pentru evaluarea cantitativă a mişcări acestora.

Legea conservării energiei mecanice se poate obţine aplicând ***teorema echivalenţei*** dintre ***lucrul mecanic*** efectuat de ***forţele exterioare*** şi variaţia ***energiei cinetice*** în timpul considerat, aplicată unei mase de fluid cuprinsă între secţiunile 1-1 şi 2-2 la un moment dat (***Fig.4.10***).

După un interval de timp dt, masa de fluid se va afla în poziţia 1'-1' şi 2'-2', iar ***lucrul mecanic*** efectuat de ***forţele exterioare*** are două componente:

- Lucrul mecanic al ***forţelor de greutate***:

$$dL_G = dG \cdot (z_1 - z_2) \text{ în care } dG = \gamma \cdot dA_1 \cdot v_1 \cdot dt = \gamma \cdot dA_2 \cdot v_2 \cdot dt$$

- Lucrul mecanic al ***forţelor de presiune***:

$$dL_p = p_1 \cdot dA_1 \cdot v_1 \cdot dt - p_2 \cdot dA_2 \cdot v_2 \cdot dt$$

Variaţia energiei cinetice a volumelor 2-2' şi 1-1' este:

$$dE_c = \frac{dm_2 \cdot v_2^2}{2} - \frac{dm_1 \cdot v_1^2}{2} = \frac{dG}{2 \cdot g}\left(v_2^2 - v_1^2\right)$$

deoarece $dm_1 = dm_2 = \dfrac{dG}{g}$ conform legii conservarea masei.

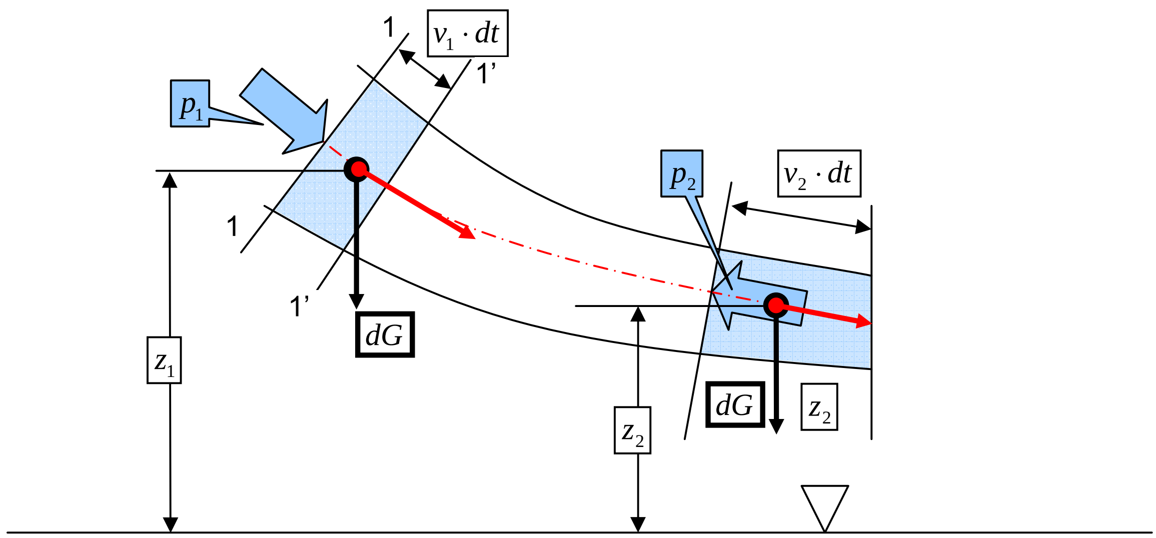


Fig.4.10. *Ecuaţia conservării energiei mecanice (ecuatia lui Bernoulli)*

Aplicând ***teorema echivalenței*** rezultă:

$$dL_G + dL_p = dE_c$$

care după înlocuirea termenilor devine:

$$dG(z_1 - z_2) + p_1 \cdot dA_1 \cdot v_1 \cdot dt - p_2 \cdot dA_2 \cdot v_2 \cdot dt = \frac{dG}{2g}\left(v_2^2 - v_1^2\right)$$

şi prin simplificare cu dG poate fi scrisă sub forma:

$$\boxed{z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2 \cdot g}}$$

Forma finală este ***ecuația fundamentală a lui Bernoulli*** pentru un fluid perfect (incompresibil şi fără vâscozitate) în care:

- z - ***energia specifică de poziție*** (energia potențială de poziție raportată la greutatea particulei):

$$z = \frac{dG \cdot z}{dG}$$

- $\frac{p}{\gamma}$ - ***energia specifică de presiune*** (energia care face ca o particulă de greutate dG, supusă unei presiuni p să se poată ridica într-un tub piezometric la înălțimea p/γ):

$$\frac{p}{\gamma} = \frac{dG \cdot \frac{p}{\gamma}}{dG}$$

- $\frac{v^2}{2 \cdot g}$ -***energia specifică cinetică:***

$$\frac{v^2}{2 \cdot g} = \frac{dm \cdot v^2}{2 \cdot dG} = \frac{dG \cdot v^2}{2 \cdot g \cdot dG}$$

Ecuația lui Bernoulli exprimă legea conservării energiei care spune că energia specifică totală a unei particule de fluid perfect aflat în mişcare permanentă este constantă pe o linie de curent.

Ecuația lui Bernoulli poate fi reprezentată grafic (***Fig.4.11***) deoarece formele de energie au dimensiuni de lungime:

- z -***cota punctului*** de pe linia de curent raportată la un plan de referință;
- $\frac{p}{\gamma}$ -***înălțimea piezometrică*** pusă în evidență într-un tub piezometric deschis;
- $\frac{v^2}{2 \cdot g}$ -***înălțimea cinetică***

Suma acestor componente exprimă ***sarcina hidrodinamică*** (H) şi pentru un fluid perfect este constantă pe o linie de curent:

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

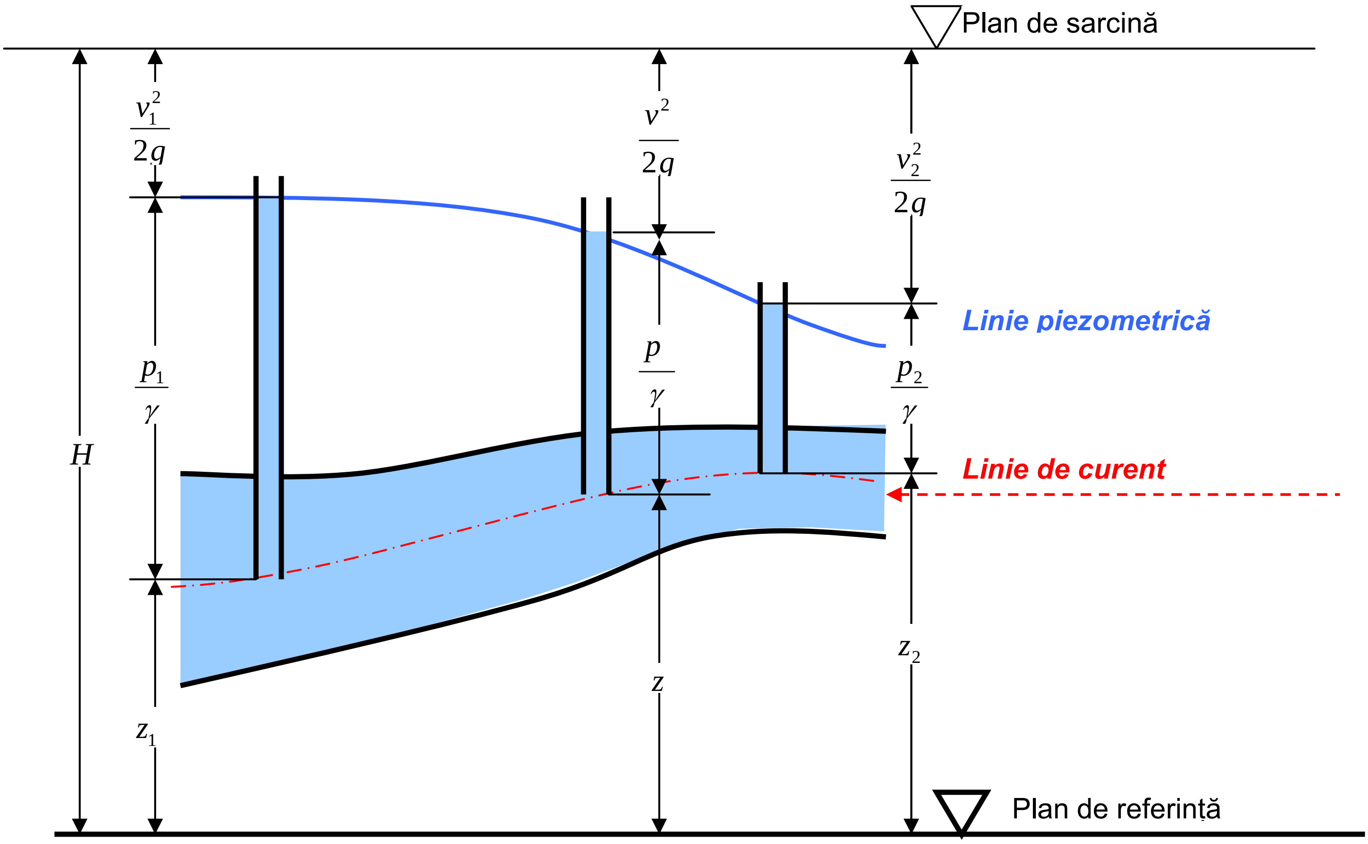


Fig.4.11.*Reprezentarea grafică a componentelor ecuației lui Bernoulli pentru un fluid perfect.*

4.4.DETERMINAREA DESCRIPTORILOR MIŞCĂRII FLUIDELOR

Determinarea descriptorilor mişcării fluidelor se realizează prin intermediul unui numar mare de dispozitive care furnizează informațiile necesare calculului descriptorilor. ***Debitul (viteza)***, ***presiunea*** (***viteza)*** sunt descriptori frecvent utilizați în descrierea mişcării fluidelor.

4.4.1. Debitul unei conducte sub presiune

Debitul unei conducte sub presiune se determină utilizând ***dispozitivul Venturi*** pentru măsurarea diferenței de ***presiune hidrostatică*** ($\Delta h = (p_1 - p_2)/\gamma$) dintre două tronsoane ale unei conducte cu diametre diferite (***Fig.4.12***.).

Relația de calcul pentru ***debit*** rezultă prin rezolvarea sistemului format din:

- ***ecuația lui Bernoulli*** (conservarea energiei)
- ***ecuația de continuitate (conservarea masei)***

scrise pentru secțiunile 1 şi 2, de ***suprafețe*** A_1 respectiv A_2 şi cu ***vitezele medii*** V_1 respectiv V_2:

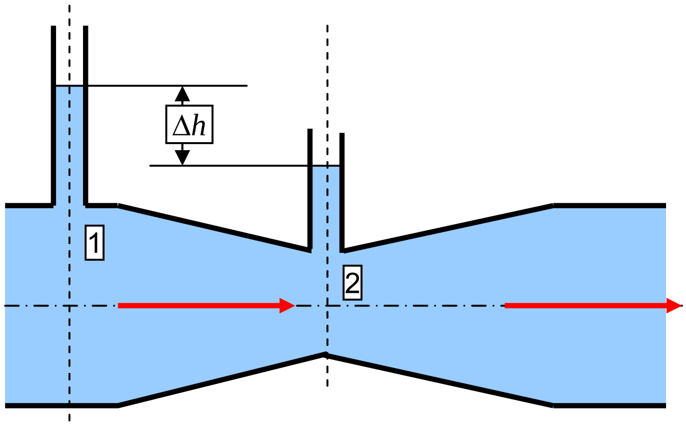


Fig.4.12. *Tub Venturi*

$$\begin{cases} \dfrac{p_1}{\gamma} + \dfrac{V_1^2}{2g} = \dfrac{p_2}{\gamma} + \dfrac{V_2^2}{2g} \\ V_1 \cdot A_1 = V_2 \cdot A_2 \end{cases} \Rightarrow \frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \frac{V_1^2}{2g}\left[\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 - 1\right] = \Delta h$$

Soluțiile sistemului sunt: $\boxed{V_1 = \sqrt{\dfrac{2g\Delta h}{\left[\left(\dfrac{A_1}{A_2}\right)^2 - 1\right]}}}$ şi $\boxed{Q = A_1 \cdot \sqrt{\dfrac{2g\Delta h}{\left[\left(\dfrac{A_1}{A_2}\right)^2 - 1\right]}}}$

Între secțiunile 1 şi 2 sunt ***pierderi de sarcină*** care reduc ***debitul real*** în raport cu debitul calculat (Q). Pentru corectarea acestei subestimări se introduc ***coeficienți de corecție*** (μ) care se determină experimental prin operațiunea de ***calibrare*** a dispozitivului.

Notând $\mu\sqrt{\dfrac{2g}{\left[\left(\dfrac{A_1}{A_2}\right)^2 - 1\right]}} = C$, formula debitului devine: $Q = C \cdot \sqrt{\Delta h}$

Constanta C este proprie fiecărui dispozitiv, ea fiind cea care se determină în operațiunea de calibrare.

4.4.2. Presiunea unui fluid în mişcare

Presiunea totală (p_0) a unui fluid în mişcare are două componente:

- ***Presiunea statică*** (p)
- ***Presiunea dinamică*** (impact/ stagnare); (p_d)

4.4.2.1. Presiunea statică

Într-o mişcare ***permanentă***, omogen ***uniformă*** a unui ***lichid perfect***, adică o mişcare în care ***liniile de curent*** sunt ***rectilinii şi paralele*** iar ***viteza*** este este aceeaşi în orice punct al domeniului de curgere şi constantă în timp, într-o secţiune plan orizontală (***Fig.4.13***), în orice punct al domeniului este aceeaşi ***presiune statică*** p .

Introducerea unui perete solid, plan vertical şi paralel cu liniile de curent ***nu perturbă***

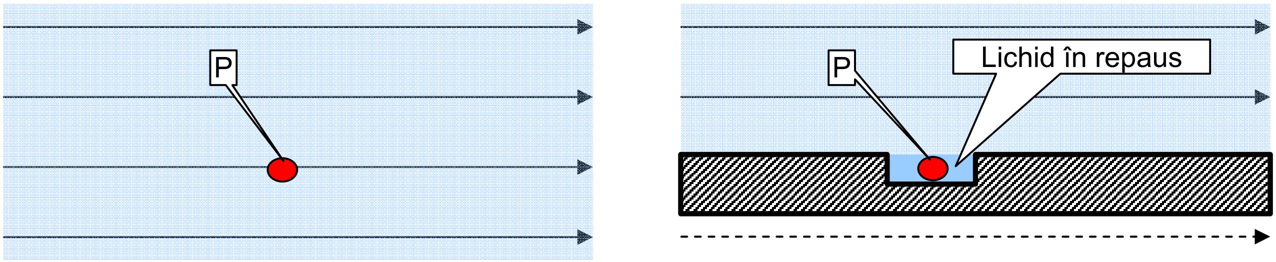


Fig.4.13.*Presiunea statică într-o mişcare permanentă şi uniformă*

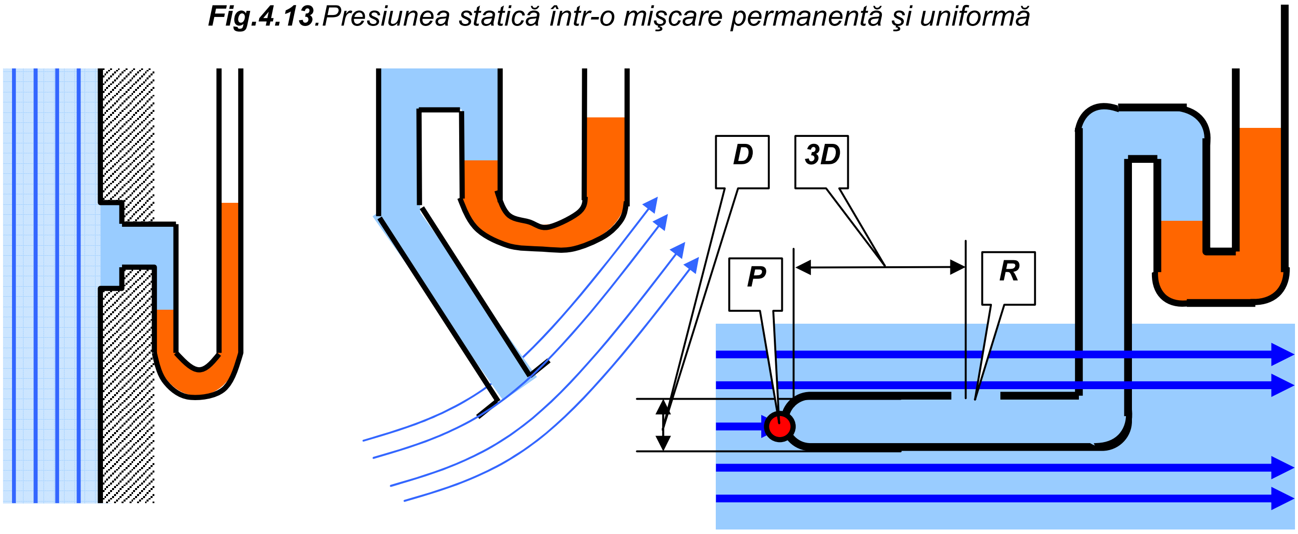


Fig.4.15. *Dispozitive pentru măsurat presiunea statică*

curgerea. În punctul P se practică o cavitate în care lichidul rămâne în repaus. Determinarea ***presiunii statice*** (p) în punctul P, aflat în cavitate, revine la determinarea presiunii lichidului aflat în ***repaus*** în cavitate.

Presiunea statică se măsoară în vecinătatea unui perete paralel cu liniile de curent, într-o cavitate realizată în perete respectiv (***priză de presiune statică***), cavitate care este racordată la un manometru (***Fig.4.15.a***). Măsurarea presiunii statice într-un punct oarecare al curentului de lichid, se realizează prin amplasarea în vecinătatea punctului respectiv a unui perete solid printr-un disc de dimensiuni reduse amplasat paralel cu liniile de curent şi prevăzut cu un orificiu aflat în legătură cu un manometru. (***discul cu Ser***; ***Fig.4.15.b***). O altă variantă este cea a ***sondei de presiune statică*** realizată dintr-un tub subţire, de diametru ***D***, îndoit în unghi drept, având o extremitate închisă şi de ***formă hidrodinamică*** şi celalaltă extremitate racordată la un manometru (***Fig.4.15.c***). Forma hidrodinamică reduce perturbaţiile produse în curentul de lichid de prezenţa tubului iar la trei diametre distanţa (***3D***) de capătul închis al tubului aceste perturbări sunt neglijabile. Extremitatea închisă a tubului este plasată în punctul ***P*** unde se doreşte măsurarea presiunii statice iar în punctul ***R***, plasat la ***3D,*** se execută un orificiu în peretele lateral al tubului. Datorită pătrunderii lichidului în tub prin orificiul R, manometrul măsoară presiunea statică din R, presiune care este identică cu presiunea din P în curentul neperturbat. Deoarece în ***regim neperturbat*** presiuea statică din R este identică cu presiunea statică din P rezultă că presiunea măsurată de manometru este ***presiunea statică din P.***

4.4.2.2. Presiunea totală

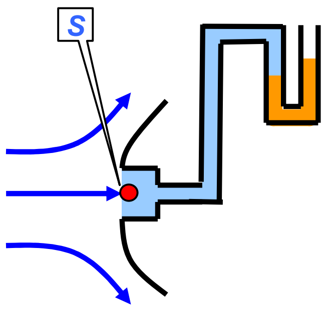


Fig.4.16. *Măsurarea presiunii totale*

Măsurarea ***presiunii totale*** într-un punct de stagnare ***S*** al unui obstacol se face prin realizarea unei cavităţi în obstacol şi racordarea acelei cavităţi la un manometru, realizându-se astfel o ***priză de presiune totală*** (***Fig.4.16.***). După pătrunderea lichidului în cavitate şi realizarea stării de echilibru, manometrul indică presiunea totală din S.

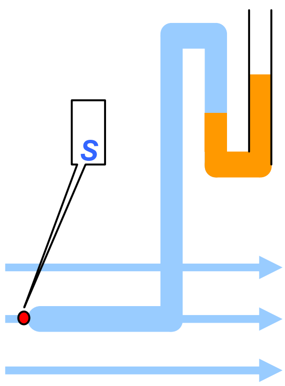


Fig.4.17.*Tubul Pitot*

Măsurarea ***presiunii totale*** într-un punct al unui curent de lichid se face cu ***tubul Pitot*** care transformă orice punct din domeniul de curgere într-un punct de stagnare(***S***). Tubul Pitot este un tub subţire îndoit în unghi drept cu o extremitate deschisă, îndreptată în sens contrar curentului şi cealaltă extremitate racordată la un manometru care măsoară presiunea totală (**Fig.4.17**).

Calulul ***vitezei*** într-un punct oarecare al unui curent de lichid se bazează pe ecuaţia

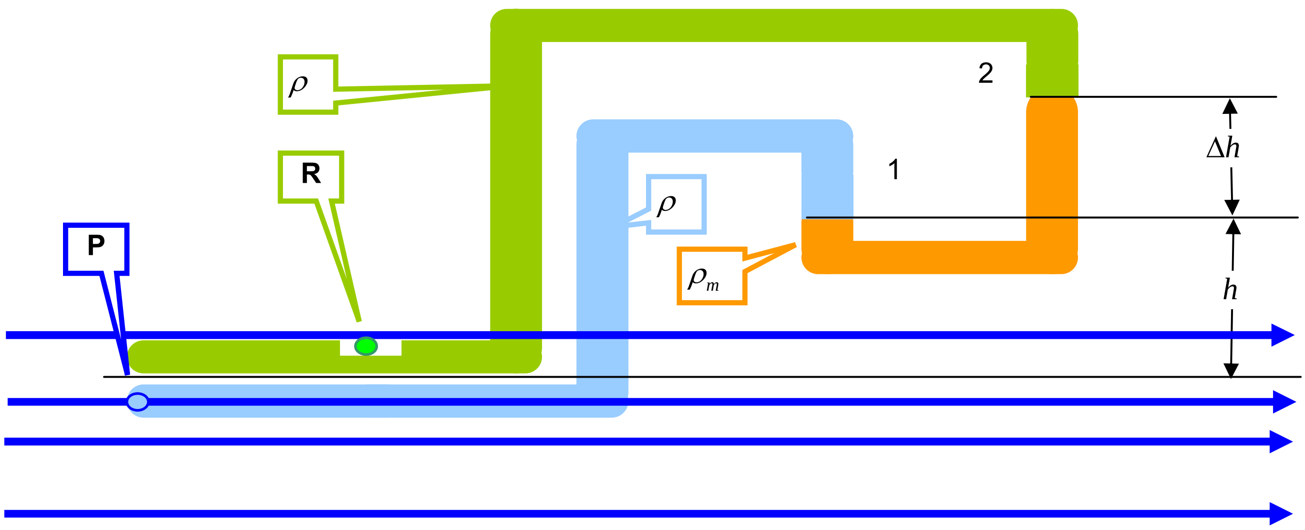


Fig.4.18.*Tubul Pitot-Prandtl*

fundamentală a lui Bernoulli iar dispozitivul utilizat este ***tubul Pitot-Prandtl*** ***Fig.4.18***), rezultat din reunirea într-un singur aparat a sondei de ***presiune statică*** şi a tubului Pitot de ***presiune totală*** (.

Considerând că ***P*** şi ***R*** au aceeaşi cotă (tuburile sunt foarte subţiri), se poate scrie:

$$\left.\begin{aligned} p_P &= p_1 + \gamma \cdot h \\ p_R &= p_2 + \gamma \cdot (h + \Delta h) \\ p_1 &= p_2 + \Delta h \cdot \gamma_m \end{aligned}\right\} \quad \text{din care rezultă că } p_P = p_R + (\gamma_m - \gamma) \cdot \Delta h$$

în care :

$p_P = p + p_d$ - ***presiunea totală*** din P (măsurată cu ***tubul Pitot***)

p -***presiunea statică***

p_d - ***presiunea dinamică***/de impact/de stagnare (***Fig.4.19***) a cărei relaţie de calcul rezultă din observaţia că presiunea în punctul A este mai mare dacât presiunea în punctul B (de stagnare) cu o valoare egala cu presiunea dinamică:

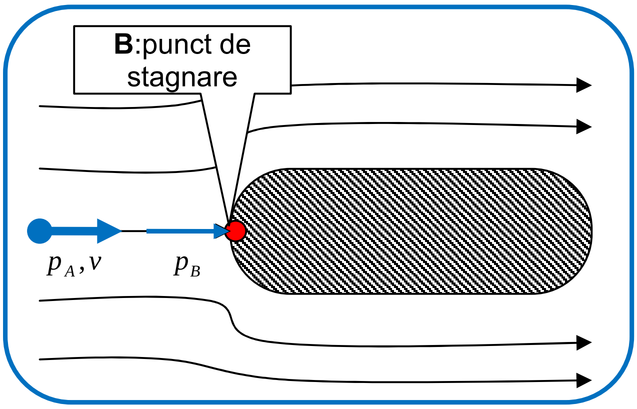


Fig.4.19. *Punct de stagnare*

$$\boxed{\frac{p_A}{\gamma} + \frac{v^2}{2 \cdot g} = \frac{p_B}{\gamma} \Rightarrow p_A - p_B = \rho \frac{v^2}{2} = p_d}$$

$p_R = p$ - ***presiunea statică*** din P (măsurată cu ***sonda de presiune statică***)

După înlocuiri rezultă:

$$v^2 = \frac{2}{\rho} \cdot (\gamma_m - \gamma) \cdot \Delta h = \frac{2}{\rho} \cdot (\rho_m \cdot g - \rho \cdot g) \cdot \Delta h = 2 \cdot g \cdot \left(\frac{\rho_m}{\rho} - 1 \right) \cdot \Delta h$$

ajungându-se în final la relaţia pentru determinarea ***vitezei de curgere*** a fluidului perfect aflat în mişcare ***permanentă***, omogen ***uniformă***, adică o mişcare în care ***liniile de curent*** sunt ***rectilinii şi paralele*** iar ***viteza*** este este aceeaşi în orice punct al domeniului de curgere şi constantă în timp, într-o secţiune plan orizontală:

$$\boxed{v = \sqrt{2 \cdot g \cdot \left(\frac{\rho_m}{\rho} - 1 \right) \cdot \Delta h}}$$