

II.2.1.3. Fluide viscoase nenewtoniene

Pentru o valoare a vitezei de forfecare, raportul dintre tensiune si viteza de forfecare defineste viscozitatea aparenta a fluidului nenewtonian:

$$\eta_a = \frac{\tau_{yx}}{\dot{\gamma}_{yx}} \quad (II.43)$$

La astfel de fluide viscozitatea in conditii izoterme depinde si de parametrii sollicitarilor astfel incat relatia dintre tensiuni si gradientii de viteza este mult mai complexa fiind neliniara.

Abaterea de la comportarea newtoniana a fost constatata la diverse tipuri de corpuri fluide:

- la *sisteme omogene* macroscopic in care unitatile de curgere sunt anizodimensionale si sub actiunea tensiunilor de forfecare sufera orientari. Exemple: *solutii si topituri de polimeri, uleuri minerale cu viscozitate ridicata, etc.*

- *la sisteme bifazice* la care faza dispersa sufera modificari structurale – exemplu: *suspensii de polimeri, pastele de aglutinanti, vopsele, adezivi, etc.*

La aceste sisteme fluide modificarea structurii constituie cauza abaterilor de la comportarea newtoniana de aceea au fost denumite de catre Ostwald *fluide cu viscozitate de structura*.

Funcție de viteza cu care se modifica structura viscozitatea aparenta a unui fluid neneutonian poate fi independenta sau dependenta de timp, motiv pentru care acestea se impart in doua grupe:

- *fluide neneutoniene independente de timp* la care viscozitatea aparenta depinde de parametrii sollicitarilor si nu depinde de timp;

- *fluide neneutoniene dependente de timp* la care viscozitatea este in functie de marimea si de durata de actiune a tensiunii

tangentiale, si uneori de “*istoria forfecarii*”, adica de marimea si de durata sollicitarilor anterioare la care a fost supus fluidul.

II.2.1.3.1. Fluide viscoase nenewtoniene independente de timp

Aceste fluide se clasifica in: *fluide pseudoplastice* si *fluide dilatante*.

Comportarea pseudoplastica este specifica solutiilor si topiturilor de polimeri, adezivilor, fluidelor biologice, solutiilor de acetat de celuloza, etc.

In cazul solutiilor si a topiturilor de polimeri viscozitatea aparenta scade la cresterea tensiunii tangentiale deoarece elementele de curgere (macromolecule sau agregate de macromolecule) se orienteaza cu axa mare paralela cu directia de curgere.

Comportarea dilatanta este frecvent intalnita la suspensii cum ar fi: pasta de amidon, mortar, suspensie de quart, etc. Reynolds a explicat aceasta comportare a suspensiilor concentrate pe baza variatiei porozitatii acestora. La viteze de forfecare mici porozitatea este mica, dar pe masura ce creste viteza de forfecare porozitatea creste, spatiul intergranular nou format nu se mai umple cu lichid, se maresta numarul punctelor de contact direct intre particulele solide, ceea ce determina cresterea fortelor de frecare interna si deci a viscozitatii aparente.

Legea puterii (modelul Ostwald-de Waele) – este *ecuatia reologica* sau *ecuatia constitutiva* pentru aceste fluide.

$$\tau_{yx} = K \left(\frac{dv_x}{dy} \right)^n = K \cdot \dot{\gamma}_{yx}^n \quad (II.44)$$

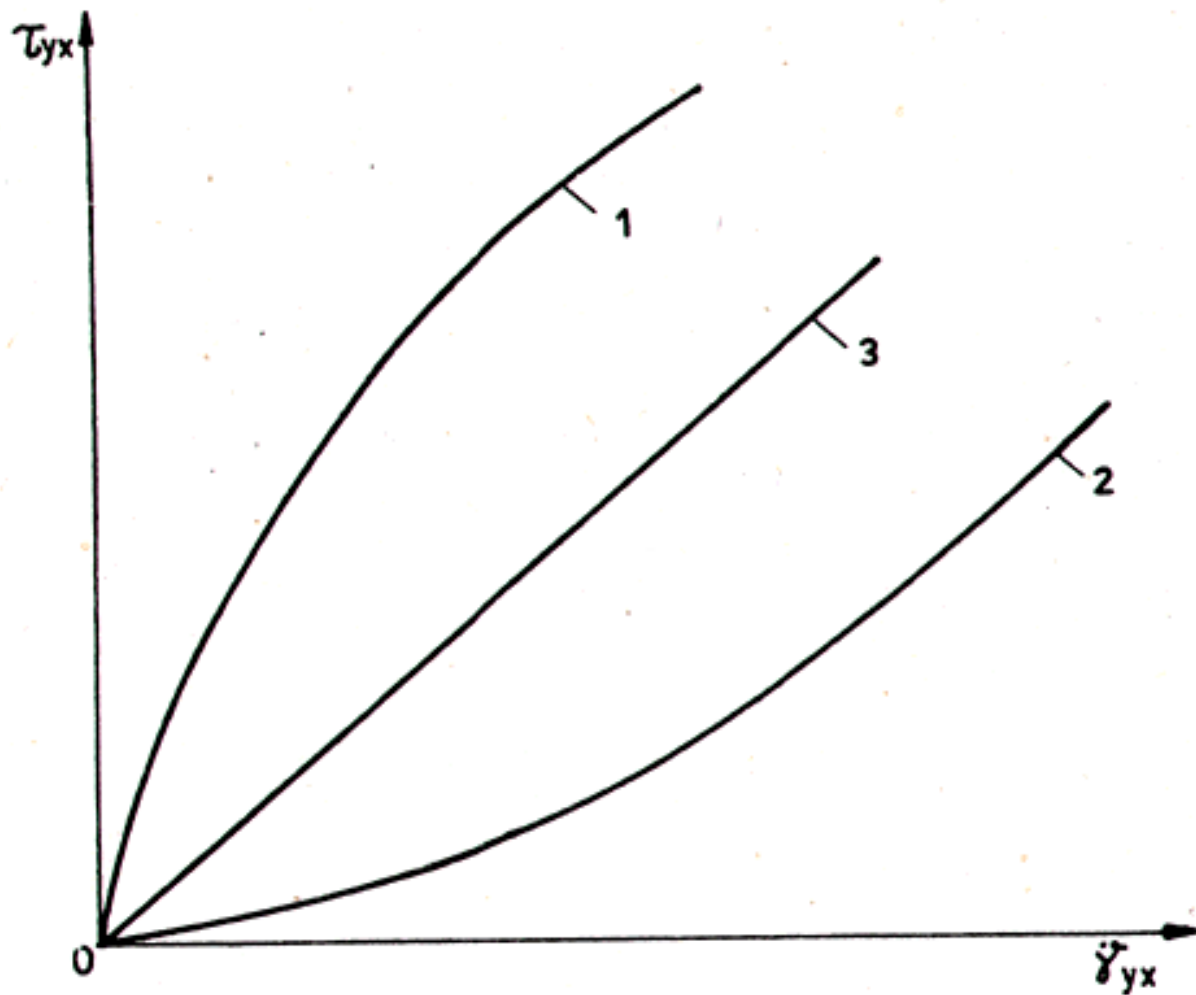


Fig. II.10

Reogramele fluidelor newtoniene independente de timp:

- 1 - fluid pseudoplastic;
- 2 - fluid dilatant;
- 3 - fluid newtonian.

$$\eta_a = \frac{\tau_{yx}}{\dot{\gamma}_{yx}} = \mathbf{K} \cdot \dot{\gamma}_{yx}^{n-1} \quad (\text{II.45})$$

- pentru $n=1$, $\eta_a = \mathbf{K} = \text{constant}$ si *fluidul are comportare newtoniana*;
- pentru $n<1$, η_a *scade cu cresterea vitezei de forfecare, iar fluidul are o comportare pseudoplastica*;
- pentru $n>1$, η_a *creste cu cresterea vitezei de forfecare, iar fluidul are o comportare dilatanta*.

II.2.1.3.2. Fluide viscoase nenewtoniene dependente de timp

Exista corpuri care, la viteza de forfecare constanta, prezinta o modificare in timp a tensiunii de forfecare si implicit, a viscozitatii aparente. Mai mult decat atat comportarea reologica a unor corpuri depinde si de “*istoria forfecarii*”, adica de marimea si de durata solicitarilor anterioare la care a fost supus corpul.

Astfel de corpuri au o *comportare reologica dependenta de timp*.

Prin solicitarea unui fluid la viteza de forfecare constanta, tensiunea de forfecare poate ramine constanta sau se poate modifica in timp.

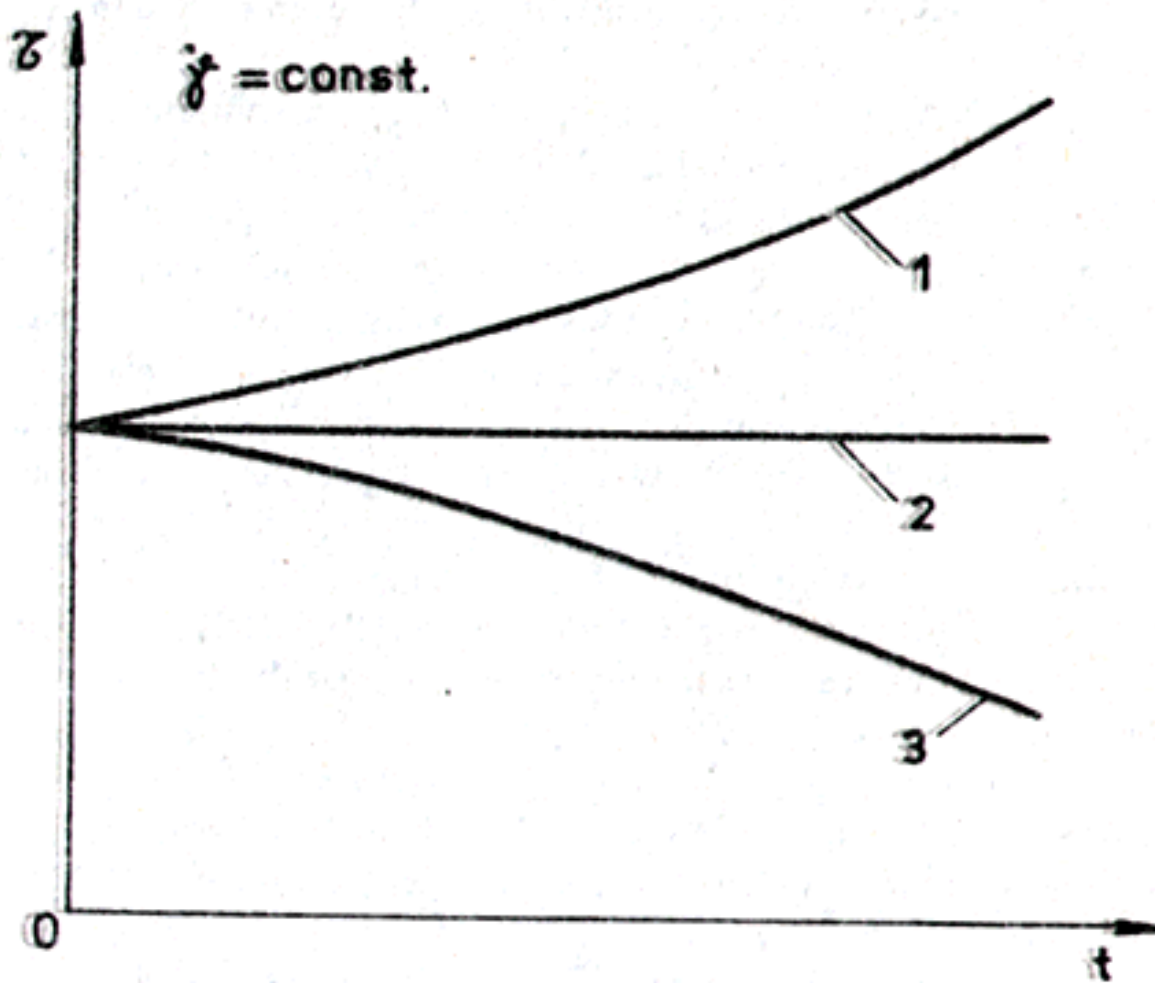


Fig. II.11

Variația în timp a tensiunii de forfecare:

- 1 - fluide reopexice;
- 2 - fluide independente de timp;
- 3 - fluide tixotrope.

Cresterea tensiunii in timp indica o *comportare reopexica* si invers scaderea tensiunii in timp indica o *comportare tixotropa*.

Comportarea tixotropa a fost evidentiata prima data la dispersiile coloidale si se manifesta printr-o descrestere izoterma a viscozitatii la cresterea progresiva a vitezei de forfecare ca urmare a destrukturarii fluidului. La descresterea progresiva a vitezei de forfecare are loc o *restructurare* a fluidului. Dar viteza de *restructurare* este mai mica decat cea de *destructurare* motiv pentru care reogramele fluidelor tixotrope prezinta *bucle de histerezis*.

Comportarea tixotropa este caracteristica unor fluide cum ar fi: *suspensii de amidon, paste de aglutinanti, latexuri, solutii de gelatina, suspensii de celuloza, albus de ou, grasimi, unt, solutii de polimeri, etc.*

Comportarea reopexica se manifesta invers decat cea tixotropica de aceea este denumita si *antitixotropica*.

La cresterea vitezei de forfecare fluidul se *structureaza* si se *destructureaza* la scaderea acesteia. Cele doua procese – *structurare-destructurare* se desfasoara cu viteze masurabile astfel incat si reogramele acestor fluide prezinta o bucla de histerezis.

Comportarea reopexica a fost evidentiata la: *suspensii apoase de argila, de gips, pamanturi bentonitice, etc.*

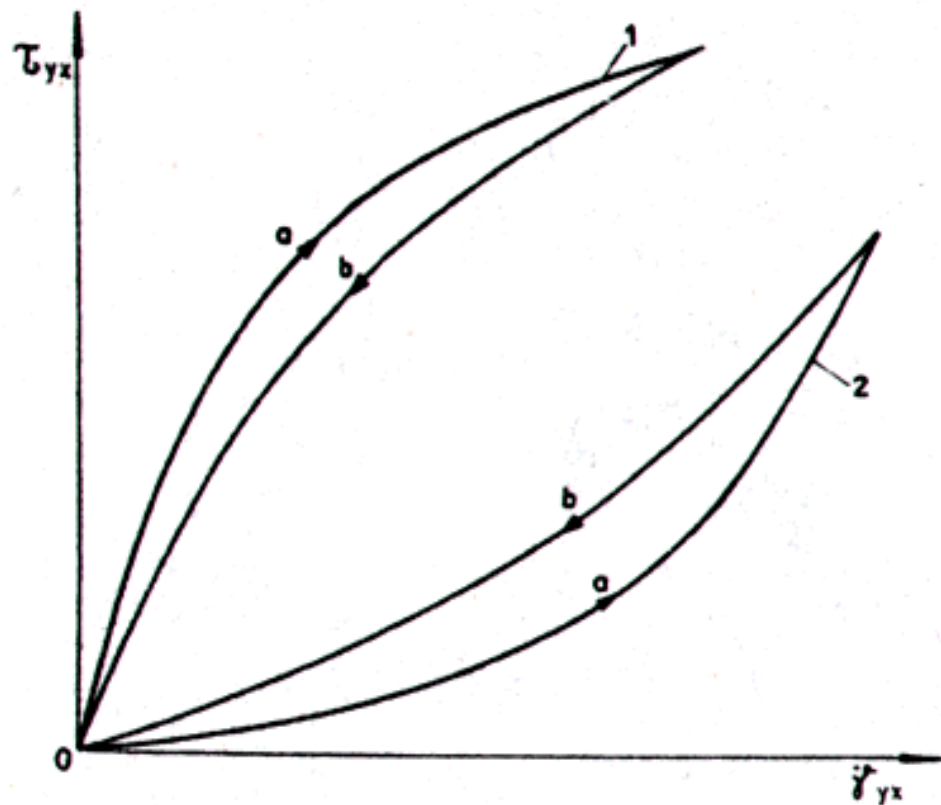


Fig. II.12

Reogramele fluidelor nenenwtoniene depedente de timp:

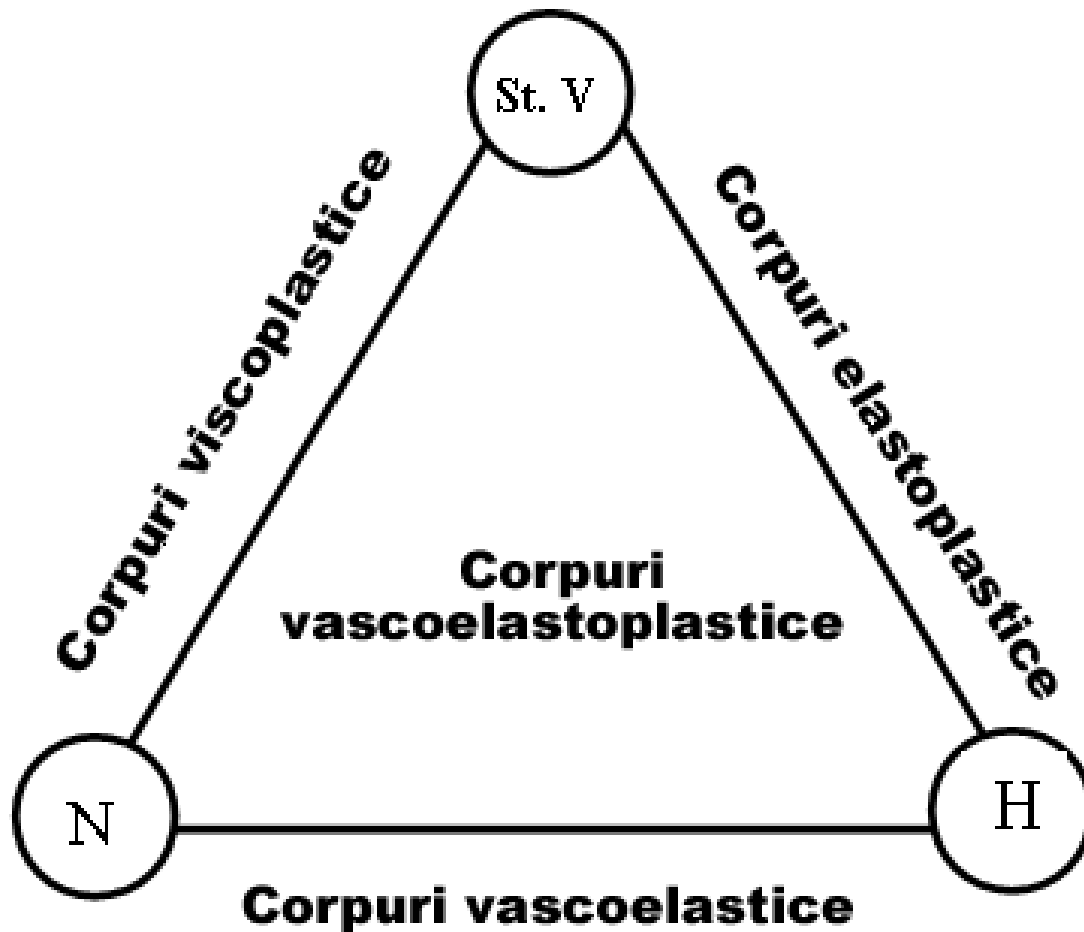
1 - fluide tixotrope;

2 - fluide reopexice;

(a - sens crescător al vitezei de forfecare; b - sens descrescător al vitezei de forfecare).

II.2.1.4. Corpuri cu proprietati multiple

Corpurile reale, inclusiv fluidele, pot manifesta, intr-o anumita proportie doua sau chiar trei proprietati reologice fundamentale: *vascozitate*, *elasticitate* si *plasticitate*, iar diversitatea comportarii corpurilor reale este data tocmai de asocierea mai multor proprietati. O vizualizare a posibilitatilor de asociere a celor trei proprietati rezulta din triunghiul comportarilor reologice.



II.2.2. Marimi si relatii caracteristice in curgerea fluidelor

Pentru descrierea si studiul curgerii fluidelor este necesara definirea principalelor marimi caracteristice ale curgerii, dintre care mai importante sunt:

- *Elementul de fluid* sau *punctul material* reprezinta un volum foarte mic de fluid in raport cu dimensiunile sistemului dar suficient de mare ($10^{16} - 10^{18}$ molecule) astfel incat acesta sa prezinte proprietatile specifice fluidelor (vascozitate, densitate, etc).

- Elementele de fluid in deplasarea lor descriu curbe numite *traectorii*. Traectoria este curba formata din multimea punctelor prin care trece centrul de greutate al particulei.

- *Linia de curent* este o curba imaginara a carei tangenta in oricare punct al ei coincide cu directia vectorului viteza a particulelor fluide care se afla pe aceasta curba la un moment dat.

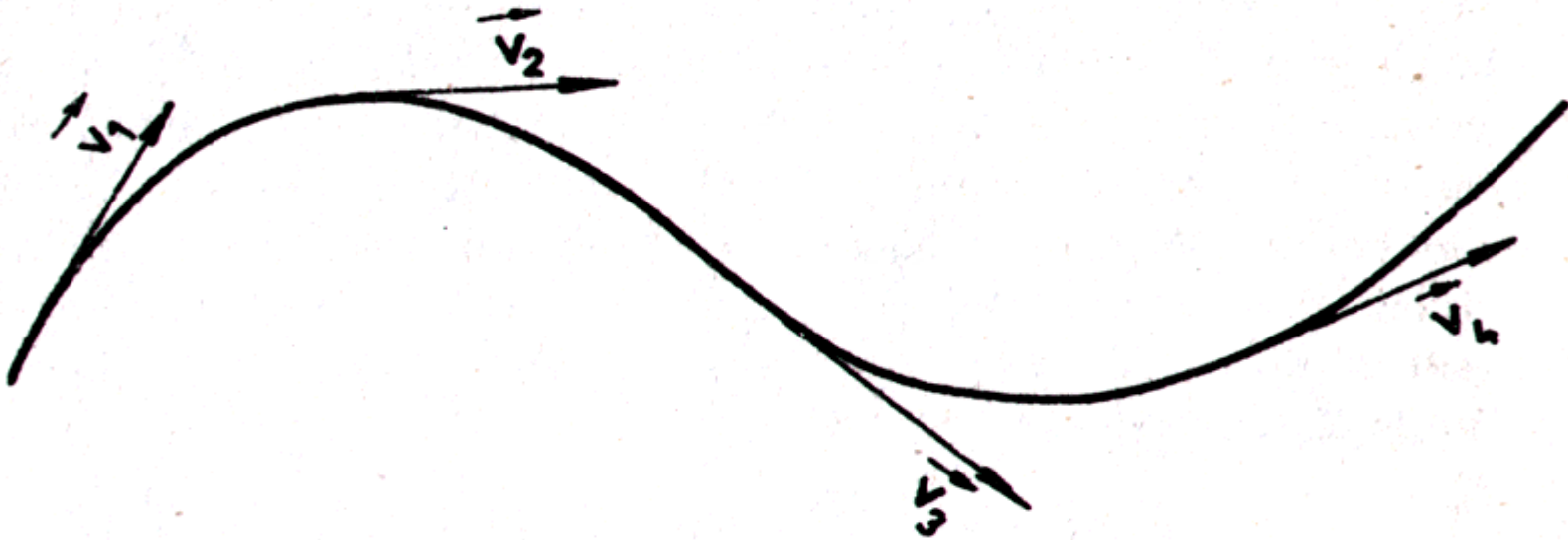


Fig. II.20
Linie de curent.

Totalitatea liniilor de curent formeaza *spectrul hidrodinamic*. Ecuatia liniei de curent in raport in raport cu un sistem cartezian este data de relatia:

$$\frac{dx}{V_x} = \frac{dy}{V_y} = \frac{dz}{V_z} \quad (\text{II.46})$$

- *Debitul instantaneu (momentan)* este dat de limita in raport cu timpul a cantitatii de fluid ce trece printr-o sectiune de curgere. In functie de modul de exprimare a cantitatii de fluid – prin masa sau prin volum – se defineste un *debit masic instantaneu*, \mathbf{M}_m' , respectiv un *debit volumic instantaneu*, \mathbf{M}_v' :

$$\mathbf{M}_m' = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta M}{\Delta t} = \frac{dM}{dt} \quad \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] \quad (\text{II.47})$$

$$M'_v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{dV}{dt} \quad \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] \quad (\text{II.48})$$

Debitul mediu reprezintă o valoare mediata în timp a tuturor debitelor instantanee dintr-o secțiune de curgere considerată. Pornind de la definiția valorii medii a unei mărimi și ținând cont de relațiile dintre mărimile ce intervin la curgerea printr-o secțiune (fig.II.21) se obține:

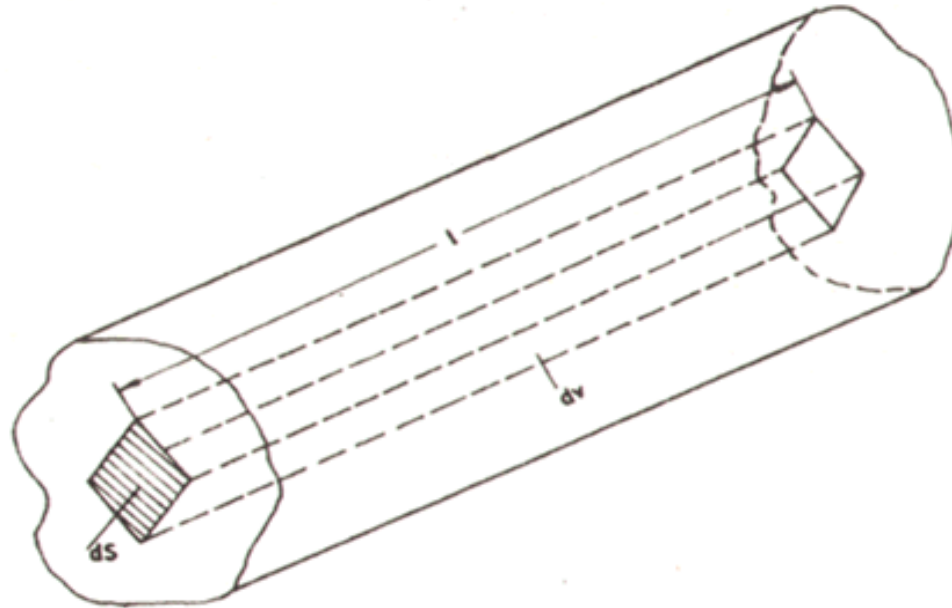


Fig. II.21
Tubul elementar de curent, într-o secțiune de curgere.

- pentru debitul masic mediu:

$$\begin{aligned} M_m &= \frac{1}{t} \int_0^t M'_m dt = \frac{1}{t} \int_M dM = \frac{1}{t} \int_V \rho dV = \\ &\int_S \frac{\rho l}{t} dS = \int_S \rho v_i dS \end{aligned} \quad (\text{II.49})$$

respectiv, pentru debitul volumic mediu, rezulta:

$$M_v = \frac{1}{t} \int_0^t M'_v dt = \frac{1}{t} \int_V dV = \int_S \frac{l}{t} \cdot dS = \int_S v_i dS \quad (\text{II.50})$$

Volumul elementar dV delimitat din fluidul in curgere are sectiunea bazei infinit mica, dS , astfel incat se admite ca in acest element de volum distributia vitezelor este uniforma. Acest volum elementar este denumit *tub elementar de curent*.

Raportul $v_i = \frac{l}{t}$ defineste *viteza instantanee* sau *viteza locala* a tubului elementar de curent.

Viteza instantanee este variabila pe sectiunea de curgere.

Valoarea medie tuturor vitezelor instantanee dintr-o sectiune data, defineste *viteza medie* a fluidului in sectiunea considerata

$$v = \frac{1}{S} \int_S v_i dS \quad (\text{II.51})$$

Tinand cont de relatia de definitie a debitului volumic mediu, M_v , si a vitezei medii, rezulta:

$$v = \frac{M_v}{S} \quad (\text{II.52})$$

sau:

$$M_v = v \cdot S \quad (\text{II.53})$$

Relatia de mai sus este denumita *ecuatia debitului volumic*. Daca se tine cont de relatia dintre volumul si masa fluidului, se obtine ecuatia debitului masic:

$$M_m = \rho M_v = \rho v S \quad (\text{II.54})$$

Raportul dintre debitul masic mediu si aria sectiunii de curgere defineste *fluxul unitar de masa*, denumit si *viteza medie masica* sau *debit specific*:

$$w = \frac{M_m}{S} = \rho v \quad (\text{II.55})$$