

## ***Mișcarea turbulentă a fluidelor reale***

Se deosebește optic, cinematic și energetic de celelalte tipuri de mișcare

Din punct de vedere cinematic, apar pulsațiile turbulente care sunt componente de viteză după alte direcții față de direcția principală a curgerii.

Ele determină transferul de particule și de impuls între straturile de fluid. Componentele de viteză și presiune se scriu sub forma:

$$\begin{cases} u = \bar{u} + u' \\ v = \bar{v} + v' \\ w = \bar{w} + w' \\ p = \bar{p} + p' \end{cases}$$

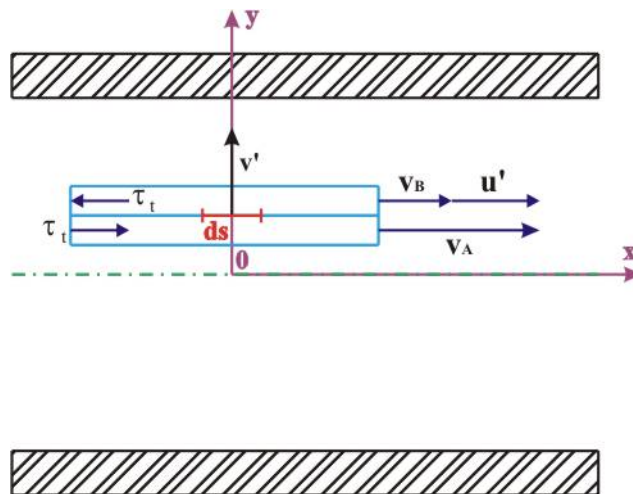
Se demonstrează că valoarea medie a unei pulsații este nulă într-o perioadă  $T$ .

Se utilizează formula de medie și rezultă:

$$\bar{u} = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} u \cdot dt \quad u' = u - \bar{u} ; \quad \bar{u}' = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} u' dt - \bar{u} = \bar{u} - \bar{u} = 0$$

Din punct de vedere energetic, pierderile de energie sunt mai mari în regimul turbulent deoarece apar efecte suplimentare datorită turbulențelor.

### ***Calculul efortului tangențial turbulent și al efortului tangențial total***



Masa transferată din stratul cu viteză mai mare  $u_A$  în cel cu viteză mai mică  $u_B$  produce accelerarea acestuia ca urmare a unui transfer de impuls.

Masa transferată este:  $m = \rho V = \rho S \cdot v' dt$

Variația de impuls a stratului mai lent este  $m(u_A - u_B) = m \cdot u' = \rho S u' v' dt$   
 Forța care accelerează stratul mai lent este:

$$F = \frac{\rho S u' v'}{dt} = \rho S u' v'$$

iar efortul tangențial turbulent corespunzător:  $\tau_t = \frac{F}{S} = \rho u' v'$

O exprimare mai adecvată a **efortului tangențial turbulent**, luând în considerare un interval mare de timp, este:

$$\tau_t = -\overline{\rho u' v'}$$

în care semnificativă este media produsului pulsațiilor de viteză. Semnul minus apare deoarece cele două pulsații de viteză au semne contrare, iar efortul trebuie să fie pozitiv.

Luând în considerare **efortul tangențial dat de legea lui Newton** ce

apare în orice tip de mișcare :  $\tau = \eta \frac{du}{dy}$ ,

se deduce **efortul total**:

$$\tau_{tot} = \tau + \tau_t \quad \tau_{tot} = \eta \frac{du}{dy} - \overline{\rho u' v'}$$

Cu cât regimul turbulent e mai avansat, cu atât  $u'$  și  $v'$  iau valori mai mari și rezultă pierderi de energie mai mari.

### ***Ecuatiile de mișcare ale fluidelor în regim turbulent***

Ecuatiile se obțin completând sistemul de ecuații de mișcare a fluidelor reale în regim laminar cu termeni funcții de pulsațiile turbulente:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{du}{dt} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = X + \nu \cdot \Delta u + A(u', v', w') \\ \frac{dv}{dt} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} = Y + \nu \cdot \Delta v + B(u', v', w') \\ \frac{dw}{dt} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} = Z + \nu \cdot \Delta w + C(u', v', w') \end{array} \right.$$

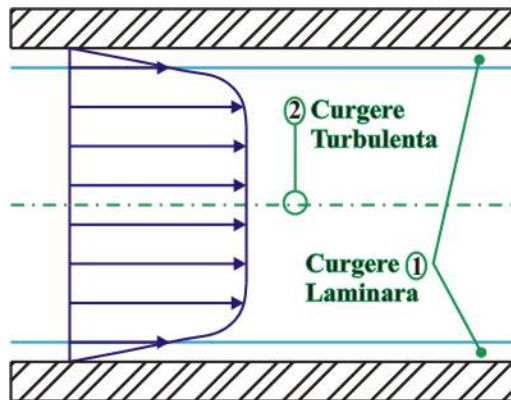
Se completează sistemul cu ecuația de continuitate sub forma generală și cu formule de natură statistică pentru pulsațiile  $u', v', w'$ :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} = 0$$

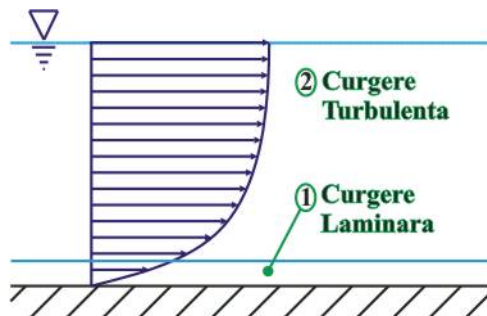
Sistemul are șapte necunoscute,  $u, v, w, p$  precum și pulsațiile  $u', v', w'$ , dar conține și șapte ecuații și deci se poate rezolva.

Ultimii termeni din fiecare ecuație,  $A, B,$  și  $C$  reprezintă forțele unitare turbulente.

Distribuția de viteze într-o conductă circulară dreaptă în regim turbulent este de forma unei parabole turtite la vârf:



Zona de curgere turbulentă are o formă aplatizată deoarece straturile cu viteză mare situate spre axul conductei tind să le accelereze pe cele mai lente, situate spre zona laminară și invers.



## Pierderile de sarcină hidraulică

Reprezintă pierderi de energie ale fluidului produse pe traseul de curgere și sunt datorate frecărilor vâscoase, efectelor de turbulență precum și diverselor elemente hidraulice intercalate pe traseul de curgere.

Se deosebesc pierderi liniare sau distribuite produse pe o anumită lungime de traseu de curgere, și pierderi locale care se datorează diverselor elemente hidraulice ce formează circuitul (robineți, vane, coturi, etc.)

Formulele pierderilor de sarcină sunt semiempirice.

Ecuatiile de mișcare ale fluidelor nu conțin influența suprafețelor solide cu care fluidul intră în contact.

Acele neuniformități ale suprafețelor solide produc efecte ce sunt luate în considerare prin intermediul unor coeficienți; aceștia sunt determinați experimental și dau caracterul semiempiric al formulelor respective.

Formula generală a pierderilor de sarcină hidraulică este:

$$h_r = \xi_r \frac{v^2}{2g}$$

- pentru pierderi liniare:

$$\xi_r = \lambda \frac{L}{D}$$

- pentru pierderi locale:

$$\xi_r = \xi_l$$

Ca urmare, pierderile liniare în cazul unei conducte circulare drepte de lungime L și diametru interior D devine:

$$h_d = \lambda \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

Cu aceasta se poate determina:

$\Delta p = \rho g h_d \longrightarrow$  căderea de presiune pe o conductă de lungime L.

Pierderile locale devin:

$$h_l = \xi_l \frac{v^2}{2g}$$

Pierderea de presiune totală pentru un circuit cu m elemente hidraulice este:

$$\Delta p_t = \rho g \left( \lambda \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} + \sum_{i=1}^m \xi_i \frac{v_i^2}{2g} \right)$$

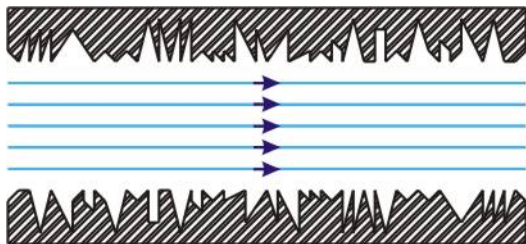
Pierderile de sarcină se pot exprima și în funcție de debitul de fluid Q. Utilizând ecuația de continuitate:

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

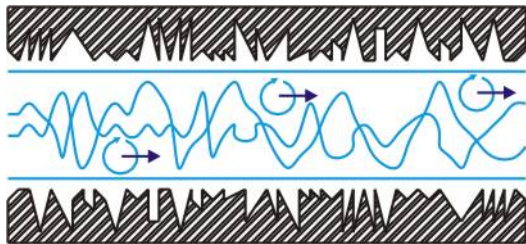
pierderea distribuită devine:

$$h_d = \lambda \frac{L}{D} \frac{1}{2g} \frac{4Q^2}{\pi^2 D^4} = \frac{8}{\pi^2} \frac{\lambda}{g} \frac{LQ^2}{D^5}$$

$h_d = 0.0826 \lambda \frac{L}{D^5} Q^2$ , iar  $\lambda$  depinde de numărul Reynolds, eventual de rugozitatea conductei.

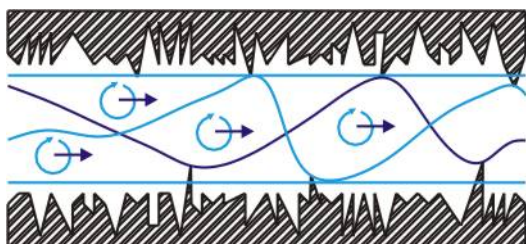


$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}} \quad \text{pentru regim laminar}$$



În cadrul regimului turbulent neted stratul laminar acoperă complet asperitățile. Este ca și cum peretele este neted.

$$\lambda = \frac{0.3164}{\text{Re}^{0.25}}$$



Coeficientul pierderilor distribuite este dat de o expresie de forma:

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

unde  $\Delta/D$  este rugozitatea relativă.

Influența asperităților în regim turbulent conduce la creșterea lui  $\lambda$  și al pierderilor distribuite  $h_d$  și implicit a pierderilor de presiune.

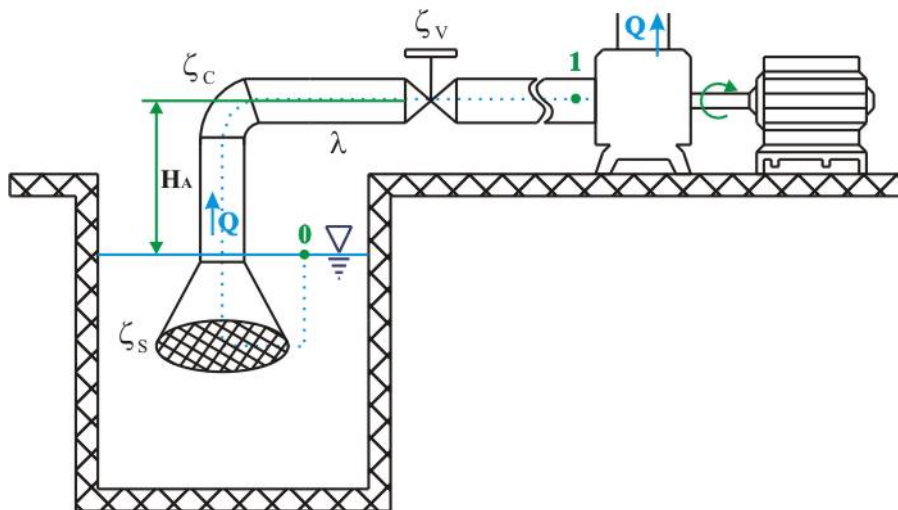
Pierdere locală în funcție de debit se exprimă cu:

$$h_l = \xi_{li} \frac{v^2}{2g} = \xi_l \frac{1}{2g} \frac{16Q^2}{\pi^2 D^4} \quad \text{sau} \quad h_l = 0.0826 \xi_l \frac{Q^2}{D^4}$$

în care coeficientul de pierdere locală  $\xi_l$  se poate lua din fișa produsului sau din cataloage.

## APLICAȚIE

### Calculul înălțimii de aspirație a unei pompe centrifuge



$H_A$  - înălțimea de aspirație a pompei centrifuge

Se cunosc:  $Q, D, L, \lambda, \zeta_s, \zeta_c, \zeta_v, p_v$  (presiunea de vaporizare a apei)

Se pune condiția  $p_1 > p_v$  și se determină înălțimea de aspirație maximă  $H_{A,max}$ .