

# CURSUL NR. 1

## PRINCIPALELE PROPRIETĂȚI FIZICE ALE FLUIDELOR

### 1. CARACTERISTICILE GENERALE ALE CORPURILOR FLUIDE

În hidraulică, se consideră fluid, **un corp care posedă proprietăți de deformabilitate într-un grad pronunțat, admitându-se că practic nu dezvoltă eforturi tangențiale atunci când este solicitat la alunecare din starea de repaus.**

Fluidele se împart în:

- Lichide;
- Gaze.

Lichidele și gazele prezintă unele proprietăți fizice comune, însă, există între ele și **diferențieri** ca:

- ✓ Lichidele se caracterizează prin ușurința de deplasare a particulelor din care sunt formate. Particulele alunecă unele față de altele, iar deformația continuă, până ce lichidul ia forma vasului, formând o suprafață liberă;
- ✓ Lichidele nu rezistă la schimbarea de formă, motiv pentru care, sunt considerate ca fiind lipsite de rigiditate;
- ✓ Lichidele opun rezistență la variația de volum, deci, sunt puțin compresibile, deosebindu-se de gaze, care se comprimă foarte mult;
- ✓ În comparație cu lichidele care iau forma vasului, gazele sunt expansive, ocupând tot volumul ce le stă la dispoziție;
- ✓ Particulele lichide, păstrează între ele o legătură, prin acțiunea unei forțe de atracție dintre molecule, care constituie coeziunea, spre deosebire de gaze, la care particulele sunt supuse unor forțe de respingere.

### Definiția particulei fluide

Hidraulica, studiază stările de echilibru și mișcare ale fluidelor, cu ajutorul legilor din mecanica clasică, relative la punct și sisteme de puncte materiale discrete.

Considerarea moleculelor drept puncte materiale discrete, îngreunează rezolvarea problemelor de hidraulică, datorită mișcării proprii complicate ale acestora (browniană). Pentru a se înlătura această dificultate, este necesar ca, pentru studiul fluidelor să se ia în considerare, particule mai mari, ca moleculele, adoptându-se o reprezentare simplificată a fluidului. Această reprezentare presupune

că fluidul este format din particule ce conțin mai multe molecule de fluid care ocupă complet și compact volumul ocupat de fluid.

Dimensiunile particulelor în echilibru sau în mișcare sunt limitate inferior de înlăturarea mișcării proprii a moleculelor care o compun și limitate superior de posibilitatea aplicării formulelor de calcul diferențial.

Modelul de fluid, definit astfel, permite să se reprezinte fluidul ca un mediu continuu.

Modelul fluidului continuu, respectiv particula fluidă, posedă proprietăți de compresibilitate, viscozitate, greutate specifică etc.

Se definește **particula fluidă, drept porțiunea de fluid, de dimensiuni suficient de mici, pentru a permite cu suficientă exactitate, aplicarea calculului diferențial și destul de mari, pentru a păstra caracteristica modelului de mediu continuu.**

## 2. GREUTATEA SPECIFICĂ ȘI DENSITATEA

Se numește **greutate specifică** „ $\gamma$ ” a unui fluid omogen, raportul dintre greutatea corpului și volumul lui.

$$\gamma = \frac{G}{V} \left[ \frac{N}{m^3} \right]$$

Pentru fluidele neomogene, referirile se fac la o particulă de fluid, care dispune de un volum redus și trebuie definită ca o caracteristică punctuală.

$$\gamma = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta G}{\Delta V}$$

Densitatea,  $\rho = \frac{m}{v}$  pentru fluidele omogene și

$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta V} \text{ pentru fluide neomogene.}$$

$$\gamma = \frac{G}{V} = \frac{m \cdot g}{V} = \rho \cdot g \quad \Rightarrow \gamma = \rho \cdot g; \quad g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

Mărimea fizică	S.I.	S.TEHN.	S.FIZ.
$\gamma$	N/m <sup>3</sup>	Kg.·f/m <sup>3</sup>	Dyn/cm <sup>3</sup>
$\rho$	Kg./m <sup>3</sup>	Kg.·f·s <sup>2</sup> /m <sup>4</sup>	G/cm <sup>3</sup>
<b>Caracteristicile apei pure la temperatura de 4<sup>0</sup>C</b>			
$\gamma$	9810	1000	981
$\rho$	1000	102	1

Pentru gaze, în afară de  $\gamma$  și  $\rho$  se mai folosește și o altă caracteristică fizică, numită **volum specific**, notat cu  $v = 1/\gamma$ .

Toate aceste mărimi fizice, pot fi influențate de următorii factori:

- temperatura: este capacitatea fluidului de a se dilata ca urmare a creșterii temperaturii, determinând o micșorare a greutateii specifice și a densității;
- materialele solide în suspensie sau sărurile dizolvate în lichide, măresc  $\gamma$  și  $\rho$ ;
- gazele dizolvate în lichide, micșorează  $\gamma$  și  $\rho$ ;
- gravitatea terestră  $g$ , influențează în măsura în care aceasta variază cu poziția geografică a locului respectiv;
- la gaze, variațiile greutateii specifice cu temperatura și presiunea sânt mari și se calculează cu ajutorul relației de stare fizică;
- la lichide, în condiții normale de variație a  $\gamma$  și  $\rho$ , se pot presupune  $\gamma$  și  $\rho$  constante.

### 3. COMPRESIBILITATEA FLUIDELOR

Compresibilitatea este proprietatea fluidelor de a-și micșora volumul la creșteri de presiuni exterioare exercitate asupra lor. Lichidele sunt foarte compresibile comparativ cu solidele, însă mai puțin compresibile în raport cu gazele.

La variații mici ale presiunii ( $dp$ ), schimbarea de volum ( $dV$ ), a volumului de lichid  $V$ , se exprimă prin legea  $dV = -\beta \cdot V \cdot dp$ .

unde:

$\beta$  – coeficient de compresibilitate a lichidului;

$$\langle \beta \rangle = \text{m}^2/\text{N}$$

În afară de  $\beta$ , ca măsură a compresibilității unui lichid, se mai folosește și **modulul de elasticitate**,  $\varepsilon = 1/\beta$ .

Acești coeficienți ( $\varepsilon$  și  $\beta$ ), pot fi exprimați în funcție de  $\gamma$  și  $\rho$ , pornindu-se de la legea conservării masei:

$$m = \rho \cdot V = \text{ct.}$$

$$dm = d(\rho \cdot V) = V \cdot d\rho + \rho \cdot dV = 0$$

$$\frac{d\rho}{\rho} = -\frac{dV}{V}$$

$$\frac{dV}{V} = -\beta dp \Rightarrow \frac{d\rho}{\rho} = \beta dp$$

prin integrare între limitele corespunzătoare,  $\rho_0$  și  $\rho$ ;  $p_0$  și  $p$ , obținem:

$$\int_{\rho_0}^{\rho} \frac{d\rho}{\rho} = \beta \int_{p_0}^p dp \Rightarrow \ln \frac{\rho}{\rho_0} = \beta(p - p_0)$$

$$\Rightarrow \rho = \rho_0 \cdot e^{\beta(p - p_0)}, \text{ care reprezintă o altă formă a } \mathbf{legii \text{ compresibilității.}}$$

$$\beta(p-p_0)=x \quad x \lll 1$$

$$e^{\pm x} = 1 \pm \frac{x}{1!} \pm \frac{x^2}{2!} \pm \frac{x^3}{3!} \pm \dots$$

$$\Rightarrow \rho = \rho_0 [1 + \beta(p-p_0)]$$

$$\rho = \rho_0 \cdot e^{\beta(p-p_0)} ; \quad \rho = \frac{m}{V} ; \quad \rho_0 = \frac{m}{V_0}$$

$$\frac{m}{V} = \frac{m}{V_0} e^{\beta(p-p_0)}$$

$$\Rightarrow V = V_0 e^{-\beta(p-p_0)} = V_0 [1 - \beta(p-p_0)]$$

Prin această lege, se exprimă în mod evident, comprimarea volumului de la  $V_0$  la  $V$ , când presiunea crește de la  $p_0$  la  $p$ .

Dacă încetează acțiunea presiunii care comprimă lichidul, acesta revine la volumul inițial, fără a se manifesta deformații remanente, deci, în concluzie, lichidele sunt perfect elastice. În condiții tehnice obișnuite de variație a temperaturii și presiunii, lichidele se presupun incompresibile. Există însă domenii în care trebuie să se ia în considerare această caracteristică.

**Ex: SONICITATEA**, creată de Gogu Constantinescu, este știința care se ocupă cu transmiterea puterii mecanice prin oscilații în medii fluide și solide. Denumirea se datorează faptului că variația de presiune se propagă în masa de fluid cu viteza sunetului.

$$\frac{d\rho}{\rho} = \beta \cdot dp \quad \beta = \frac{1}{\varepsilon} \Rightarrow \frac{d\rho}{\rho} = \frac{dp}{\varepsilon} \Rightarrow \frac{dp}{d\rho} = \frac{\varepsilon}{\rho} = c^2$$

$$c = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\rho}} = \sqrt{\frac{dp}{d\rho}}$$

$$c = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\rho}} \quad \text{legea lui LAPLACE asupra vitezei de propagare a sunetului în}$$

mediu fluid de densitate  $\rho$  și modul de elasticitate  $\varepsilon$ .

Pentru fluide incompresibile, la care  $dp=0$ , ar rezulta că  $c \rightarrow \infty$  de unde  $\Rightarrow$  că ipoteza incompresibilității nu corespunde realității ci constituie numai o ipoteză simplificatoare de calcul.

#### 4. COMPRESIBILITATEA GAZELOR

La gaze, volumul variază în funcție de temperatură și presiune. Pentru gazele perfecte, între cei trei parametri, volumul specific ( $v = 1/\gamma = 1/\rho \cdot g$ ), presiunea  $p$  și temperatura absolută  $T = (t^{\circ}\text{C} + 273)^{\circ}\text{K}$ , există relația lui Clapeyron:

$$p \cdot v = \frac{P}{\rho \cdot g} = R \cdot T \quad \text{în care, } R \text{ este constanta gazelor perfecte (} R_{\text{aer}} = 29,27)$$

Schimbarea de stare a gazelor se face în regim **barotrop**, care poate fi izocor, izobar, izoterm, adiabatic sau politropic, atunci când densitatea este funcție numai de presiune, sau în regim **baroclim**, când această condiție nu este îndeplinită.

Astfel, relațiile caracteristice la procesele barotrope sunt:

a) **Izocor** ( $v = \text{ct.}$ )

$$\frac{P}{T} = \frac{P_0}{T_0} = \text{ct.} \quad (\text{Charles})$$

b) **Izobar** ( $p = \text{ct.}$ )

$$\frac{V}{T} = \frac{V_0}{T_0} = \text{ct.} \quad (\text{Gay-Lussac})$$

în care,  $V$  și  $V_0$  sunt volumele la temperatura  $T$  ( $^{\circ}\text{K}$ ), respectiv  $T_0 = 273^{\circ}\text{K}$ .

c) **Izoterm** ( $T = \text{ct.}$ )

$$p \cdot V = p_0 \cdot V_0 = \text{ct.} \quad (\text{Boyle-Mariotte})$$

în care,  $V$  și  $V_0$  sunt volumele la presiunile  $p$ , respectiv  $p_0$ .

d) **Adiabatic** (procesul se desfășoară atât de repede, încât mediul nu are când să primească sau să cedeze căldură).

$$p \cdot V^k = \text{ct.} \quad (\text{Poisson})$$

în care,  $k$  este exponentul adiabatic dat de relația:

$$k = \frac{c_p}{c_v}, \quad c_p \text{ fiind căldura specifică la temperatură constantă,}$$

iar

$c_v$  căldura specifică la volum constant.

La hidrogen,  $k = 1,407$ ; la aer, la azot și la oxid de carbon  $k = 1,401$ , la oxigen  $k = 1,396$ ; la metan  $k = 1,310$ ; iar la bioxid de carbon  $k = 1,293$ .

La curgerea unui gaz prin secțiuni ștrangulate sau în conductele de abur izolate, cu circulație rapidă, au loc fenomene adiabatic.

### e) Politropic

$$p \cdot V^n = ct. \quad 1 < n < k$$

După aplicarea succesivă a legilor Boyle-Mariotte și Gay-Lussac, la gazele perfecte, rezultă ecuația Clapeyron-Mendeleev, sub formele:

$$\frac{p \cdot V}{T} = \frac{p_0 \cdot V_0}{T_0} = ct.;$$

$$p \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T = n \cdot R \cdot T;$$

$$p \cdot V = G \cdot r \cdot T,$$

în care:

- $p$  și  $p_0$  sunt presiunile;
- $V$  și  $V_0$  volumele la temperatura absolută  $T$  ( $^{\circ}\text{K}$ ), respectiv  $T_0 = 273^{\circ}\text{K}$ ;
- $m$  – masa gazului;
- $M$  – masa moleculară a gazului;
- $n$  – numărul de moli;
- $G$  – greutatea gazului;
- $R$  – constanta universală a gazelor, având valoarea  $8,31 \text{ J/mol} \cdot ^{\circ}\text{K}$ ;
- $r$  – constanta caracteristică fiecărui gaz, legată de constanta universală a gazelor, prin relația:

$$r = \frac{R}{M}, \text{ care, în cazul aerului are valoarea } r = 29,27 \text{ m/K.}$$

## 5. VÂSCOZITATEA

Vâscozitatea este proprietatea fluidelor de a opune rezistență la curgere, ce rezultat al interacțiunii mecanice dintre particulele constituente. În interiorul fluidelor reale se dezvoltă ca efect al vâscozității, tensiuni tangențiale pe orice element de suprafață ideală  $A$ , care separă două porțiuni în mișcare relativă de alunecare una față de alta. Tensiunile tangențiale multiplicare cu suprafața  $A$ , adică forțele datorită vâscozității, sunt forțe de frecare interioară, care caută să frâneze mișcarea și să împiedice într-o măsură oarecare, deplasările neregulate ale particulelor fluide.

Datorită acțiunii acestor forțe, în timpul mișcării, o parte a energiei cinetice și potențiale a particulelor se cheltuiește pentru învingerea frecării, transformându-se ireversibil în energie calorică și în acest fel se modifică continuu parametrii caracteristici ai mișcării, cu ridicarea temperaturii. De asemenea, stratul care se

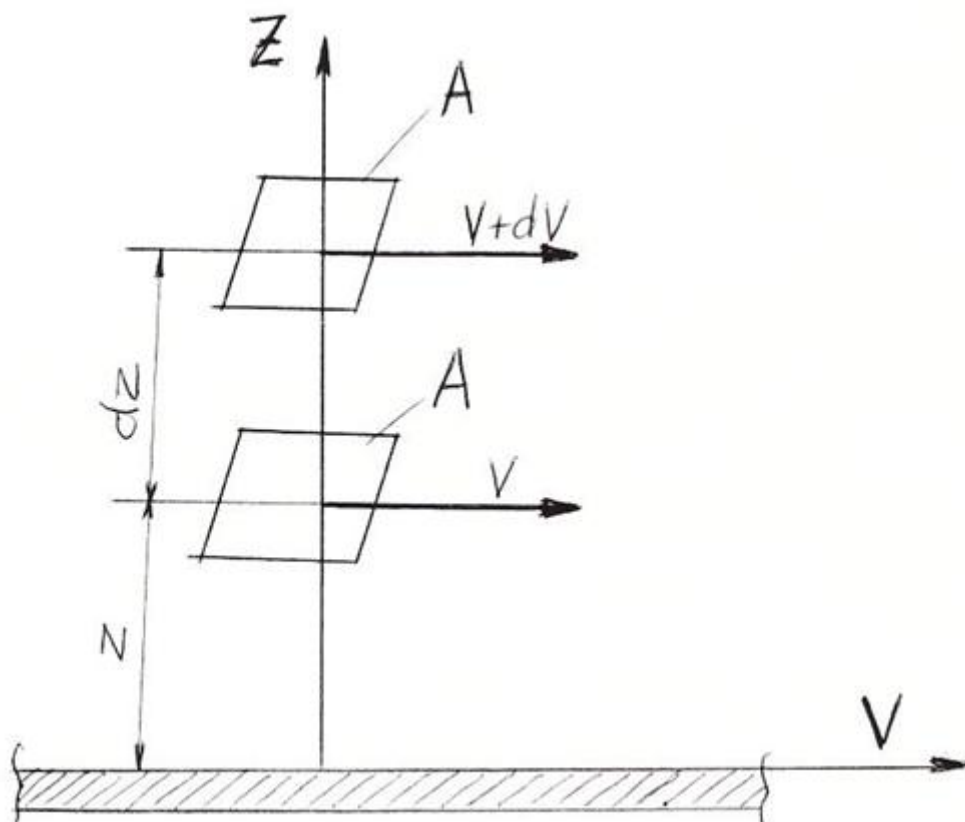
mișcă mai repede antrenează în fluid, stratul care se mișcă mai încet, la gaze tinzându-se să se egaleze vitezele celor două straturi.

În interiorul fluidelor newtoniene (apa, gazele, saramura, produsele petroliere și alte lichide mai puțin vâscoase), iau naștere, între două suprafețe paralele și egale  $A$ , la distanță  $dz$  una de alta după normala comună și la o variație de viteză  $dV$  în regim de curgere laminară, forțe tangențiale de frecare, date de relația:

$$F = \tau \cdot A = \eta \cdot A \cdot \frac{dV}{dz},$$

în care:

- $F$  – forța interioară de frecare [N];
- $\tau$  – efortul unitar tangențial datorită vâscozității [ $N/m^2$ ];
- $A$  – suprafața [ $m^2$ ];
- $\eta$  – coeficientul dinamic de vâscozitate [ $N \cdot s/m^2$ ];
- $\frac{dV}{dz}$  – viteza de deformație a unghiului drept format de segmentul  $dz$  și axa curentului sau gradientul vitezei de curgere, definit prin derivata vitezei după direcția  $z$  normală la planul în care aceasta acționează.



**SCHEMA FORȚELOR DE VÂSCOZITATE**