

# MECANICA FLUIDELOR

## Generalități

Orice substanță care curge se numește *fluid*. În această categorie se încadrează atât lichidele cât și gazele.

Deoarece cu gazele se produc de obicei transformări termice, studiul gazelor se face pe larg la termodinamică. Ca urmare, se face referire în continuare în mod preponderent la lichide.

În cadrul acestui curs se vor studia fluidele omogene și izotrope.

Un fluid este *omogen* dacă densitatea sa are aceeași valoare în orice punct din volumul ocupat de fluid.

Un fluid este *izotrop* dacă își păstrează aceleași proprietăți după orice direcție care străbate mediul fluid.

Mecanica fluidelor se mai numește și *mecanica mediilor continue*, deoarece un fluid umple complet spațiul în care este pus.

Studiul fluidelor se face la nivel macroscopic, în sensul că o particulă fluidă conține un număr considerabil de molecule.

Particula fluidă reprezintă o porțiune de fluid de formă oarecare și dimensiuni arbitrar de mici, dar care păstrează proprietățile de mediu continuu ale fluidului. De obicei forma particulei este paralelipipedică, fiind adecvată efectuării unor demonstrații viitoare.

Se deosebesc următoarele modele de fluid:

- fluid ușor (practic fără greutate): aerul, gazele;
- fluid greu (lichidele, eventual gazele foarte dense);
- fluid ideal – nu are proprietatea de vâscozitate;
- fluid real – fluid vâscos (modelul Newton);
- fluid incompresibil (modelul Pascal).

Forțele care acționează asupra fluidelor sunt de următoarele tipuri:

- *forțe masice exterioare* ce acționează asupra întregii mase de fluid și sunt datorate unui câmp de forțe exterioare; de exemplu: câmpul gravitațional, câmpuri electrice sau magnetice (dacă fluidul are particule ionizate – aplicație la generatoarele magneto-hidro-dinamice);
- *forțe masice interioare* – sunt de tipul acțiune-reacțiune, se exercită între două particule învecinate din fluid și se anihilează reciproc;
- *forțe de presiune exterioare* – se exercită pe suprafața exterioară a fluidului și sunt, în general, forțe de compresie. Sunt de tipul forțelor de legătură din mecanica clasică.
- *forțe de presiune interioare* – se exercită de o parte și de cealaltă a unei suprafețe oarecare ce străbate fluidul (sunt orientate după aceeași direcție și de sensuri opuse și deci se anihilează reciproc).

Condiția de echilibru a unui volum de fluid este:

$$\sum \vec{F}_m + \sum \vec{F}_p = 0,$$

condiție ce se menține și în cazul în care fluidul se deplasează cu viteză constantă (mișcarea uniformă).

Ecuția de mișcare pentru fluidul ideal este:

$$\sum \vec{F}_m + \sum \vec{F}_p = m \cdot \vec{a},$$

valabilă în cazul unei mișcări uniform variate.

Corespunde principiului al doilea al mecanicii.

Presiunea într-un punct din mediul fluid este o mărime scalară.

Cu alte cuvinte, din orice direcție ne apropiem de punctul respectiv, vom regăsi în locul respectiv aceeași valoare a presiunii.

## Proprietățile generale ale fluidelor

### *1. Densitatea $\rho$*

Pentru un fluid neomogen, densitatea este limita raportului dintre masa de fluid din jurul punctului considerat și volumul de fluid corespunzător atunci când acest volum tinde către 0, adică:

$$\lim_{\Delta v \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta v} = \frac{dm}{dv}$$

Pentru un lichid omogen:

$$\rho = \frac{m}{v} \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$$

Inversul densității este volumul specific:

$$v = \frac{1}{\rho}$$

utilizat de obicei în procesele termodinamice ale aburului.

Densitatea unui fluid variază cu temperatura după formula:

$$\rho_{\theta} = \frac{\rho_0}{1 + \beta_t \cdot \theta}$$

unde:

$\rho_{\theta}$  = densitatea la  $\theta$  °C

$\rho_0$  = densitatea la temperatura  $\theta$

$\beta_t$  = coeficientul de dilatare în volum al fluidului.

Dacă  $\theta$  crește  $\Rightarrow \rho_{\theta} < \rho_0$  sau, urmând un alt raționament, dacă  $\theta$  crește  $\Rightarrow$  volumul  $V$  crește,  $m=ct.$   $\Rightarrow \rho$  scade.

Densitatea lichidelor este, practic, constantă la variația de presiune.

Cu alte cuvinte, lichidele pot fi considerate incompresibile.

Densitatea gazelor este foarte variabilă la modificarea presiunii și deci gazele sunt foarte compresibile.

Pentru calculele la care este suficientă o precizie de două zecimale, se poate considera că valoarea densității apei în intervalul de temperaturi uzual 0-20°C este:

$$\rho_{H_2O} = 1000 \frac{kg}{m^3}$$

## 2. Greutatea specifică $\gamma$

Pentru un fluid neomogen, greutatea specifică este limita raportului dintre greutatea de fluid din jurul punctului considerat și volumul corespunzător, atunci când volumul tinde către 0.

$$\gamma = \lim_{\Delta v \rightarrow 0} \frac{\Delta G}{\Delta v} = \frac{dG}{dv}$$

Pentru un fluid omogen:

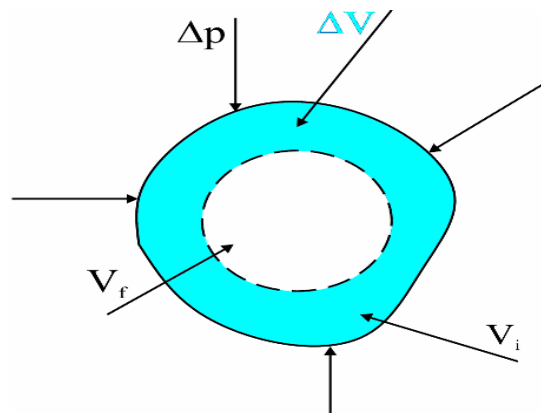
$$\gamma = \frac{G}{v} \left[ \frac{N}{m^3} \right], \text{ unde } \gamma \text{ reprezintă greutatea unității de volum.}$$

Considerând  $\gamma = \frac{m \cdot g}{v}$  și  $\frac{m}{v} = \rho$  rezultă  $\gamma = \rho \cdot g$ .

Considerând  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ , rezultă  $\gamma_{H_2O} = 9810 \frac{N}{m^3}$ .

## 3. Compresibilitatea izotermă

Este caracterizată de formula:  $\frac{\Delta v}{v} = -\beta \Delta p$



Dacă se produce o creștere de presiune în exteriorul volumului de fluid considerat,  $\Delta p > 0$  atunci se constată o micșorare a volumului de fluid,  $\Delta V < 0$ , și invers, dacă  $\Delta p < 0 \Rightarrow \Delta V > 0$ .

Formula anterioară arată că variația relativă a volumului de fluid este direct proporțională cu variația de presiune, prin intermediul coeficientului de compresibilitate izotermă  $\beta$ .

La o creștere a presiunii din jurul fluidului de exemplu, loc o comprimare rapidă a acestuia, fapt ce se realizează la o temperatură constantă și de aceea compresibilitatea este izotermă.

Se poate deduce expresia coeficientului  $\beta$ :

$$\beta = -\frac{1}{v} \frac{\Delta v}{\Delta p}$$

Pentru un volum infinitezimal se scrie expresia coeficientului funcție de diferențialele volumului și presiunii:

$$\beta = -\frac{1}{v} \cdot \frac{dv}{dp}$$

Coeficientul de elasticitate al fluidului  $\varepsilon$  este dat de:

$$\varepsilon = \frac{1}{\beta} = -v \frac{dp}{dv}$$

Se exprimă sub altă formă  $\varepsilon$ , pentru a demonstra că în cazul transmiterii de unde în interiorul unui lichid, acesta nu mai poate fi considerat incompresibil, lucru ce se face în mod uzual.

Pentru a demonstra acest lucru se pornește de la considerentul că masa de fluid luată în discuție este constantă.

$$m = \rho V \Rightarrow dm = 0 \Rightarrow d(\rho V) = 0 \Rightarrow \rho dV + V d\rho = 0 \Rightarrow \rho dV = -V d\rho \Rightarrow$$

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

Viteza sunetului într-un mediu fluid este:

$$c = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\rho}} = \sqrt{\frac{dp}{d\rho}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{d\rho}{dp}}}$$

Rezultă că pentru fenomenul de transmitere de unde sonore în lichid, acesta nu mai poate fi considerat incompresibil.

Se demonstrează prin reducere la absurd:

Dacă  $\rho = ct \Rightarrow \frac{d\rho}{dp} = 0 \Rightarrow c \rightarrow \infty$ , ceea ce este practic imposibil.

Se deduce deci că pentru fenomenul transmiterii de unde sonore într-un lichid, acesta trebuie considerat compresibil. În această situație viteza sunetului ce se transmite prin lichid va avea o valoare finită.

Se definește numărul lui Mach:

$$Ma = \frac{v}{c},$$

unde:

$v$  - viteza fluidului sau a corpului care evoluează în mediul fluid,

$c$  - viteza sunetului în mediul respectiv

Se obține:

- pentru curgerea subsonică  $Ma < 1$  ( $v < c$ )

- pentru curgerea supersonică  $Ma > 1$  ( $v > c$ ),

deci de exemplu, corpul se deplasează prin mediul fluid cu o viteză mai mare decât viteza sunetului.