

## Modulul 6 - Măsurarea mărimilor neelectrice

### TEMPERATURA

**Temperatura termodinamică** este o mărime fizică de stare care caracterizează gradul de încălzire al unui corp. Temperatura reprezintă o măsură a agitației moleculare a corpului, respectiv a energiei sale cinetice.

Aparatul care măsoară temperaturi se numește **termometru**.

Temperatura și unitățile de măsură pentru temperatură sunt definite în standardul „Scări internaționale de temperatură din 1990”, adoptat de Comitetul Internațional pentru Greutăți și Măsuri în 1990.

Unitatea de măsură a temperaturii termodinamice în Sistemul Internațional de unități de măsură (SI) este **Kelvinul**, notat K. Acesta este definit ca raportul  $1/273,16$ , în care 273,16 reprezintă punctul triplu al apei, adică temperatura la care apa, gheața și vaporii de apă se află în echilibru termodinamic.

Pentru definirea scării de temperatură se utilizează ca referință punctele de schimbare de fază ale unor substanțe pure, puncte care au avantajul că sunt ușor reproductibile. Temperatura dintre două puncte fixe se determină prin funcții de interpolare.

În funcție de punctele de referință alese, se definesc mai multe scări de temperatură (figura 6.1). Fiecare scară de temperatură corespunde câte unei unități de măsură a temperaturii.

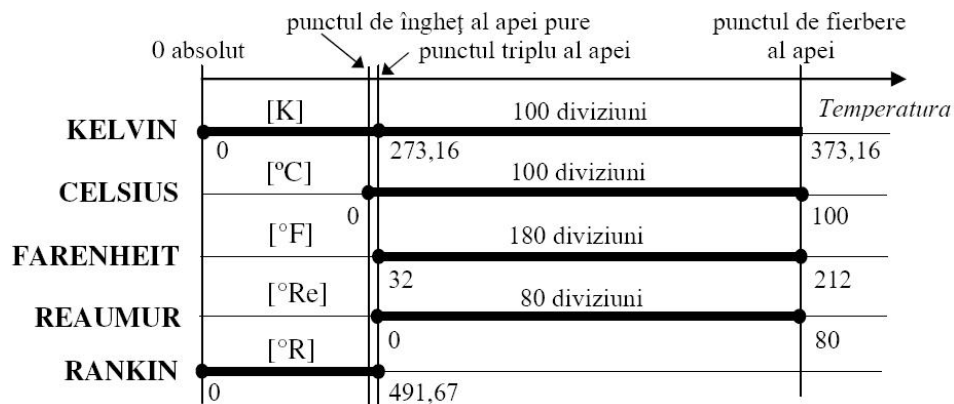


Fig. 6.1. Scări de temperatură

Dintre scarile de temperatura existente, cele mai des utilizate sunt:

- **Scara Kelvin:** Originea se afla în punctul de temperatură zero absolut, adică la valoarea temperaturii pentru care energia agitației moleculare este nulă. Al doilea punct de definiție este punctul triplu al apei. Unitatea de măsură este Kelvinul (K). Temperatura exprimată în ° Kelvin se numește temperatura absolută și în mod uzual se notează cu  $T$ .
- **Scara Celsius:** Originea se află la valoarea temperaturii de îngheț a apei. Al doilea punct de definiție este punctul de fierbere al apei. Unitatea de măsură este gradul Celsius (° C). Acesta a

rezultat din împărțirea intervalului dintre cele două puncte de definiție în 100 de părți egale.

Temperatura exprimată în grade Celsius se notează cu  $t$ .

Conform definiției unității de măsură:  $1\text{K} = 1^\circ\text{C}$  (o diferență de temperatură exprimată în Kelvini sau în grade Celsius are aceeași valoare).

Relația de legătură între cele două scări de temperatură este:

$$t[^\circ\text{C}] = T[\text{K}] - 273,15 \quad (6.1)$$

în care  $273,15\text{K}$  reprezintă punctul de îngheț al apei.

Relațiile de transformare cu celelalte scări de temperatură sunt:

- Scara Farenheit: 
$$T[^\circ\text{F}] = \frac{9}{5}t[^\circ\text{C}] + 32 = \frac{9}{5}T[\text{K}] + 523,67 \quad (6.2)$$

- Scara Reaumur: 
$$T[^\circ\text{Re}] = \frac{4}{5}t[^\circ\text{C}] = \frac{4}{5}T[\text{K}] + 218,52 \quad (6.3)$$

- Scara Rankin: 
$$T[^\circ\text{R}] = \frac{9}{5}t[^\circ\text{C}] + 491,67 = \frac{9}{5}T[\text{K}] + 983,34 \quad (6.4)$$

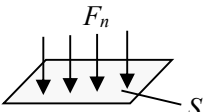
#### Clasificarea termometrelor după legătura cu mărimea măsurată:

- *Termometre cu contact* (care sunt în contact direct cu obiectul a cărui temperatură o măsoară): se bazează pe schimbul de căldură prin convecție și conducție termică - își măsoară temperatura proprie, pe baza ipotezei că se află în echilibru termic cu obiectul respectiv (nu există schimb de căldură). Timpul de reacție este destul de ridicat, dar în schimb termometrul este relativ ieftin.
- *Termometre fără contact* (care nu intră în contact cu corpul a cărui temperatură o măsoară): se bazează pe legile radiației termice - măsoară energia radiației infraroșii sau optice primite, din care calculează temperatura. Timpul de răspuns este foarte scurt, dar costul termometrului este mai mare.

#### Clasificarea termometrelor după principiul de funcționare: tabelul 6.1.

### PRESIUNEA

*Presiunea* reprezintă forța ce acționează normal și uniform distribuit asupra unei suprafețe:

$$p = \frac{F_n}{S} \quad (6.5)$$


Clasificarea termometrelor după principiul de funcționare

| Procedeul de măsurare                    | Aparat de măsură  | Variante constructive                                      |
|--|---|--|
| <b>mecanic</b> (cu contact)              |   |  |
| - variația volumului                     | Termometru de sticlă cu lichid                                    | - din sticlă, cuarț<br>- cu contact electric<br>- Beckmann |
| - variația presiunii                     | Termometru manometric (manotermometru)                            | - cu lichid, amestec bifazic, gaze                         |
| - variația lungimii                      | Termometru cu dilatarea metalelor                                 | - cu tijă<br>- cu bimetal                                  |
| <b>electric</b> (cu contact)             |   |  |
| - variația rezistenței electrice         | Termometru cu rezistență metalică (termorezistență)               | - cu sârmă bobinată<br>- cu arc                            |
|  | Termometru cu rezistență din aliaje semiconductoare (termistor)   | - cu straturi subțiri                                      |
| - generarea unei tensiuni electromotoare | Termocuplu  | - din metale   |
|  | Diode, tranzistori, circuite integrate                            | - din semiconductoare                                      |
| <b>Special</b> (cu contact)              |   |  |
| - punctul de topire al materialelor      | Repere de temperatură (creioane, etichete, tablete, vopsele etc.) |  |
| - schimbarea culorii                     |   |  |
| - modificarea luminiscentei              |   |  |
| <b>Radiativ</b> (fără contact)           |   |  |
| - captarea radiației infraroșii          | Piometre cu radiație totală                                       | - cu detector cuantic / termic                             |
|  | Piometre cu radiație monocromatică                                | - cu fibre optice sau nu                                   |
|  | Piometru de raport  |  |
|  | Termoviziunea   |  |

Presiunea este o mărime relativă, care depinde de altitudine. De aceea, aceasta se exprimă întotdeauna față de o valoare de referință. În funcție de referința aleasă, se definesc următoarele presiuni (figura 6.2):

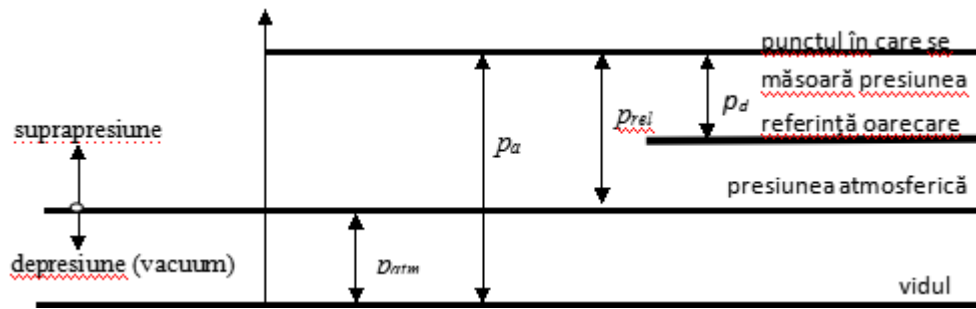


Fig. 6.2. Definierea presiunilor în funcție de punctul de referință

- **Presiunea absolută** - notată  $p_a$ : presiunea care se exprimă în funcție de vidul absolut (considerat ca valoare de referință). Aceasta este un parametru de stare al fluidelor.
- **Presiunea atmosferică (sau barometrică)** - notată  $p_{atm}$ : presiunea hidrostatică exercitată de straturile de aer ale atmosferei. Aceasta corespunde presiunii exercitate de o coloană de mercur de 760 mm înălțime, la temperatura de  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  și accelerația gravitațională de  $9.80665\text{ m/s}^2$
- **Presiunea relativă**: presiunea care se exprimă în funcție de presiunea atmosferică (considerată ca valoare de referință). În general, această presiune este suficientă pentru calculele de dimensionare sau pentru calculul regimurilor de funcționare ale instalațiilor.
- **Presiunea diferențială**: presiunea exprimată în funcție de o presiune de referință oarecare.
- **Presiunea geodezică**: presiunea datorată înălțimii la care se află fluidul:

$$p_g = \rho gh \quad [\text{Pa}] \quad (6.6)$$

unde:  $\rho$  - densitatea fluidului [ $\text{kg/m}^3$ ]

$g$  - accelerația gravitațională [ $\text{m/s}^2$ ]

$h$  - înălțimea pe verticală față de presiunea de referință [m]

- **Presiune statică**: presiunea care se exercită în planul de separație:  $p_s$
- **Presiunea dinamică**: presiunea generată de curgerea fluidului:

$$p_d = \frac{w^2}{2\rho} \quad [\text{Pa}] \quad (6.7)$$

unde:  $w$  - viteza fluidului [m/s]

- **Presiunea totală**: presiunea într-un punct de oprire a curgerii fluidului:

$$p_t = p_g + p_s + p_d = \rho gh + p_s + \frac{w^2}{2\rho} \quad [\text{Pa}] \quad (6.8)$$

Unitatea de măsură a presiunii în Sistemul Internațional de Unități de Măsură (S.I.) este **Pascalul**, notat **Pa**. Pascalul reprezintă presiunea exercitată de o forță de  $1\text{ N}$  care acționează normal pe o suprafață de  $1\text{ m}^2$  ( $1\text{ Pa} = 1\text{ N/m}^2$ ).

Alte unități de măsură a presiunii sunt:

- Barul:  $1\text{ bar} = 10^5\text{ Pa}$
- Atmosfera tehnică:  $1\text{ at} = 0,980665 \cdot 10^5\text{ Pa}$
- Atmosfera fizică:  $1\text{ ata} = 1,01325 \cdot 10^5\text{ Pa}$
- Milimetrul coloană de mercur (torr):  $1\text{ mmHg} = 133,332\text{ Pa}$
- Milimetrul coloană de apă:  $1\text{ mmH}_2\text{O} = 9,80665\text{ Pa}$
- Pound square inch:  $1\text{ psi} = 6.89 \cdot 10^3\text{ Pa}$

#### **Clasificarea aparatelor de măsură în funcție de domeniul de utilizare:**

- *Manometre* - aparate care măsoară suprapresiuni
- *Vacuometre* - aparate care măsoară depresiuni
- *Manovacuumetre* - aparate care măsoară suprapresiuni și depresiuni
- *Barometre* - aparate care măsoară presiunea atmosferică în valoare absolută
- *Manometre diferențiale* - aparate care măsoară diferențe de presiune

#### **Clasificarea aparatelor de măsură după principiul de funcționare:**

- *Aparate hidrostactice* - prin diferența de presiune dintre două puncte ale unui fluid
- *Aparate cu echilibru de forțe* - prin echilibrarea presiunii cu o forță cunoscută
- *Aparate cu elemente elastice* - prin deformarea materialelor în funcție de presiune
- *Tructoare de presiune* - transformă deplasarea datorată presiunii într-un semnal electric

#### **DEBITUL**

*Debitul* reprezintă cantitatea de material transportată în unitatea de timp. Acesta se poate exprima ca:

- Debit masic:  $Q_m = \rho w A$  (6.9)

- Debit volumic:  $Q_v = w A = \frac{Q_m}{\rho}$  (6.10)

- Debit gravimetric:  $Q_g = \rho g w A = g Q_m = \rho g Q_v$  (6.11)

unde:  $\rho$  – densitatea fluidului [ $\text{kg/m}^3$ ]

$w$  – viteza de curgere [m/s]

$A$  – aria secțiunii de curgere [m<sup>2</sup>]

$g$  – accelerația gravitațională [m/s<sup>2</sup>]

Aparatul cu care se măsoară debite se numește *debitmetru*.

### Unități de măsură

în S.I.                      alte unități de măsură

- Debit masic:                      kg/s                      t/h
- Debit volumic:                      m<sup>3</sup>/s                      m<sup>3</sup>/h, l/s
- Debit gravimetric:                      N/s

### Clasificarea debitmetrelor după principiul de funcționare:

- *cu modificarea geometriei de curgere*: se măsoară diferența de presiune datorată unui dispozitiv de strangulare sau schimbării direcției de curgere
- *cu tuburi de presiune*: se determină viteza fluidului prin presiunea dinamică
- *cu turbină*: se măsoară viteza de rotație a paletelor unei turbine
- *cu echilibru de forțe*: se măsoară punctul de echilibru al unui plutitor
- *volumice*: se contorizează numărul de volume discrete transferate
- *electromagnetice*: măsoară câmpul magnetic indus printr-un magnet în fluid
- *cu efect Vortex*: se măsoară frecvența de desprindere a turbioanelor provocate de un element perturbator introdus în curentul de fluid
- *ultrasonice*: se determină modificările unui semnal ultrasonic transmis printr-un fluid (modificarea timpului de tranzit sau a frecvenței semnalului reflectat)
- *masice*: măsoară debite masice (efect Coriolis, procedee termice)

Cele mai des utilizate debitmetre sunt cele cu dispozitive de strangulare, cele volumice, rotametrele și, ceva mai puțin, debitmetrele electromagnetice. Dintre debitmetrele mai nou apărute, câștigă teren cele masice și cu efect Coriolis. Față de debitmetrele cu ultrasunete și Vortex există rețineri pentru utilizare.

### NIVELUL

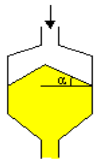
Prin *nivel* se înțelege înălțimea geometrică dintre suprafața de separare a două faze (lichid/gaz, solid/gaz, lichide cu densități diferite etc.) și un plan de referință.

Planul de referință se alege convențional: la baza rezervorului, la cota zero a instalației, la nivelul din rezervor determinat de funcționarea normală etc.

Aparatul de măsură al nivelului se numește *nivelmetru*.

Există câteva cazuri particulare pentru care modalitatea de determinare a nivelului nu este atât de evidentă:

1. Dacă suprafața de separare dintre cele două faze nu este foarte evidentă (există o zonă de interfață cu valuri sau în care fazele se întrepătrund).
2. La solide nivelul nu este întotdeauna orizontal, denivelarea fiind definită printr-un *unghi de talaj*.



$\alpha$  – unghi de talaj

**Fig.3** Definirea unghiului de talaj

În aceste cazuri se consideră valori medii ale nivelului.

### Unități de măsură

Nivelul se măsoară în unități de lungime. În Sistemul Internațional de Unități de Măsură (SI), unitatea de măsură a lungimii este metrul, notat *m*.

Alte unități de măsură ale lungimii sunt:

|                |      |                 |
|----------------|------|-----------------|
| picioar (feet) | [ft] | 1 ft = 0,3048 m |
| inch           | [in] | 1 in = 0,0254 m |
| yard           | [yd] | 1 yd = 0,9144 m |

Există două grupe principale de procedee de măsurare (tabelul 2):

- *directe*: prin măsurarea directă a nivelului
- *indirecte*: prin intermediul altui parametru care se măsoară.

Pentru fiecare procedeu de măsură pot exista mai multe metode de măsură. Mai mult, pentru fiecare metodă de măsurare pot exista mai multe variante constructive ale aparatelor de măsură.

## Procedee directe de măsurare a nivelului

| Mărime măsurată         | Nivelmetru              | Variante constructive  |
|-------------------------|-------------------------|--|
| nivel                   | - tija de nivel         |  |
|                         | - cablu cu greutate     |  |
|                         | - robinet de control    |  |
|                         | - sticla de nivel       | -pentru rezervor deschis / închis<br>-pentru temperaturi și presiuni scăzute/ridicate<br>-cu reflexie                      |
| forță arhimedică        | - cu plutitor           | -cu plutitor și flotor<br>-cu plutitor și greutate<br>-cu plutitor și legătură magnetică                                   |
|                         | - cu imersor            | -cu imersor și tijă<br>-cu imersor și arc  |
| presiune                | - cu pres. hidrostatică | -pentru rezervor deschis   |
|                         | - cu pres. diferențială | -cu referință liberă (rezervor deschis)<br>-cu referință uscată (rezervor închis)<br>-cu referință umedă (rezervor închis) |
|                         | - cu barbotare          |  |
| capacitate              | - măsură continuă       | -pentru lichide (solide) neconductive  |
|                         | - măsură punctuală      | -pentru lichide (solide) conductive  |
| impedanță sau admitanță | - măsură continuă       | -pentru lichide (solide) neconductive  |
|                         |                         | -pentru lichide (solide) conductive  |
| rezistență              | - măsură continuă       | -cu bandă elastică   |
|                         | - măsură punctuală      |  |
| conductivitate          | - cu sondă simplă       | - pentru lichide (solide) conductive   |
|                         | - cu sondă dublă        |  |
| microunde               | - radar (microunde)     | -cu unde continue modulate în frecvență<br>-cu impulsuri<br>-cu unde ghidate<br>-prin reflexia                             |



|   |  |  |
|---|--|--|
|   |  | -prin întreruperea fasciculului  |
| unde ultrasonice sau sonice                     | - cu unde ultrasonice<br>- cu unde sonice      | -emițătorul/receptorul separat sau nu<br>-în partea inf./sup. a rezervorului<br>-în interiorul/exteriorul rezervorului<br>-cu unde ghidate |
| Lumină (din domeniul vizibil, infraroșu, laser) | - optic  | -cu transmisie<br>-cu reflexie<br>-cu refracție  |
| radiații radioactive                            | - măsură continuă<br>- măsură punctuală        |  |
| termice   | - cu un senzor temp.<br>- cu doi senzori temp. |  |
| cu vibrații                                     |  |  |
| prin cântărire                                  |  |  |