

2 Mărimi, unități de măsură și relații de conversie

Lucrarea de laborator prezintă principalele mărimi, unități de măsură și relațiile de conversie a acestora utilizate în termotehnică și în studiul ciclurilor de funcționare ale mașinilor termice.

Scopul lucrării este însușirea principalelor mărimi, unități de măsură și relațiile de conversie ale acestora.

2.1 Mărimi și unități de măsură

În România, Sistemul Internațional (SI) de unități este singurul legal, reglementat prin legislație și prin standarde. Este totuși permis, ca în anumite condiții, să fie utilizate și alte unități aflate în afara sistemului internațional. Marea majoritate a statelor lumii a adoptat Sistemul Internațional de unități ca sistem oficial de unități. Numai câteva state (precum Marea Britanie și SUA) mențin în continuare sistemul anglo-saxon de unități, în paralel cu SI.

Mărimea este o proprietate a obiectelor, fenomenelor sau sistemelor care poate fi determinată cantitativ și deosebită calitativ [11]:

- ✓ sub aspect cantitativ pot exista mărimi determinate (concrete) care caracterizează individual un anumit obiect, fenomen sau sistem. Exemple: energia degajată prin arderea unei anumite cantități de combustibil, temperatura de solidificare a aurului etc.
- ✓ sub aspect calitativ pot exista mărimi care descriu proprietăți diferite (mărimi de naturi diferite), care se definesc în moduri diferite. Exemple: masă, energie, temperatură etc.

Orice cantitate fizică poate fi caracterizată prin mărimi (dimensiuni) [3]. Unitatea de măsură este o proprietate standard ce descrie o cantitate fizică [12].

Membrii comunităților științifice și ingineresti au depus eforturi pentru a unifica sistemele de unități de măsură, astăzi se folosesc două astfel de sisteme:

- sistemul anglo-saxon, cunoscut ca și United States Customary System (USCS) și
- sistemul metric SI, cunoscut ca și Sistemul Internațional (Le Système International d'unités).

Sistemul Internațional (SI) cuprinde două categorii de unități: unități fundamentale și unități derivate (tabelul 2.1) care formează împreună sistemul coerent de unități SI.

Tabel 2.1 Unități SI fundamentale

| Mărimă fundamentală | | Unitate SI fundamentală | |
|-----------------------------|--------|-------------------------|--------|
| Denumire | Simbol | Denumire | Simbol |
| Lungime | L | metru | m |
| Masă | m | kilogram | kg |
| Timp | τ | secundă | s |
| Intensitate curent electric | I | amper | A |
| Temperatură termodinamică | T | kelvin | K |
| Cantitate de substanță | n | mol | mol |
| Intensitate luminoasă | J | candela | cd |

Unitățile SI fundamentale sunt unitățile corespunzătoare sistemului bazat pe următoarele șapte mărimi fundamentale:

- metrul este lungimea spațiului parcurs de lumină în vid într-un interval de timp de $1/299.792.458$ dintr-o secundă;
- kilogramul este egal cu masa prototipului internațional al kilogramului;
- secunda este durata a $9.192.631.770$ perioade ale radiației corespunzătoare tranziției dintre două nivele hiperfine a stării fundamentale a atomului de cesiu 133;

- amperul este intensitatea curentului care circulă prin două conductoare rectilinii paralele de lungime infinită, cu o secțiune circulară neglijabilă, aflate la o distanță de 1 metru în vid și între care se exercită o forță de atracție egală cu 2×10^{-7} newton pentru fiecare metru de lungime;
- kelvinul reprezintă fracția egală cu $1/273,16$ din temperatura termodinamică a punctului triplu al apei;
- molul este cantitatea de substanță dintr-un sistem care conține entități elementare egale cu numărul de atomi conținuți în 0,012 kg de carbon 12. La utilizarea molului, entitățile elementare trebuie specificate și ele pot fi atomi, molecule, ioni, electroni, alte particule sau grupuri specificate de aceste particule;
- candela este intensitatea luminii într-o direcție dată a unei surse care emite o radiație de frecvență monocromatică egală cu 540×10^{12} herți și are o intensitate a radiației în acea direcție de $1/683$ watt pe steradian [11, 13].

Unitățile SI derivate sunt acelea care se pot forma combinând unitățile fundamentale pe baza unor relații algebrice alese, care leagă mărimile corespunzătoare [13] și se împart în:

- ☞ unități derivate care se exprimă în funcție de unități fundamentale:
 - ☞ metru pătrat: $[m^2]$;
 - ☞ metru pe secundă: $[m/s]$;
 - ☞ kilogram metru pe secundă la pătrat: $[kg \cdot m/s^2]$;
 - ☞ kilogram pe metru cub: $[kg/m^3]$ etc.
- ☞ unități derivate care se exprimă în funcție de unități fundamentale și care au denumire speciale:
 - ☞ newton: $[N = kg \cdot m / s^2]$;
 - ☞ joule: $[J = N \cdot m = kg \cdot m^2 / s^2]$;
 - ☞ pascal: $[Pa = N / m^2 = kg / (m \cdot s^2)]$ etc.
- ☞ unități derivate care se exprimă în funcție de unități cu denumiri speciale și de unități fundamentale:
 - ☞ newton pe metru pătrat: $[N / m^2]$;
 - ☞ joule pe kilogram: $[J / kg]$ etc.

Pentru scrierea denumirilor unităților derivate s-au adoptat anumite prescripții:

- unitatea derivată care se definește prin produsul altor unități (fundamentale sau derivate) are denumirea formată din denumirile unităților respective, separate prin liniuță orizontală și simbolul se obține scriind simbolurile unităților componente separate prin punct:
 - ☞ joule = watt·secundă sau: $[J = W \cdot s]$;
 - ☞ joule = newton·metru sau: $[J = N \cdot m]$.
- unitatea derivată care se definește prin raportul altor unități (fundamentale sau derivate) au denumirea formată din denumirile unităților respective separate prin silaba “pe” :
 - ☞ pascal = newton pe metru pătrat: $[Pa = N / m^2]$;
 - ☞ metru pe secundă: $[m / s]$;
 - ☞ joule pe kilogram: $[J / kg]$;
 - ☞ joule pe kilogram - kelvin: $[J / (kg \cdot K)]$ etc.
- unitățile care poartă numele unui savant se scriu cu literă mică, iar simbolul cu literă mare:
 - ☞ newton: $[N]$;
 - ☞ joule: $[J]$;
 - ☞ kelvin: $[K]$;
 - ☞ watt: $[W]$ etc. [13].

Unitățile care nu se regăsesc în SI, dar se folosesc împreună cu acesta sunt prezentate în tabelul 2.2.

Totalitatea unităților fundamentale, precum și a celor derivate, se constituie în sisteme de unități de măsură [14]. În tabelul 2.3 sunt prezentați multiplii și submultiplii unităților SI, care se formează prin adăugarea prefixelor corespunzătoare la denumirea unității și respectiv a simbolurilor acestor prefixe la simbolurile unităților.

Tabel 2.2 Unități utilizate împreună cu SI [15]

| Mărimea | Unitatea | | |
|---------|----------|--------|-------------------------|
| | Denumire | Simbol | Relația de transformare |
| Timp | Minute | min | 1 min = 60 s |
| | Oră | h | 1 h = 60 min |
| | Zi | d | 1d = 24 h |
| Volum | Litru | L, ℓ | 1 ℓ = 1 dm ³ |
| Masa | Tonă | t | 1 t = 1000 kg |

Tabel 2.3 Multiplii și submultiplii unităților SI [15]

| Factor | Prefix | Simbol |
|---|--------|--------|
| 1 000 000 000 000 000 000 000 000 = 10 ²⁴ | Yotta | Y |
| 1 000 000 000 000 000 000 000 = 10 ²¹ | Zeta | Z |
| 1 000 000 000 000 000 000 = 10 ¹⁸ | Exa | E |
| 1 000 000 000 000 000 = 10 ¹⁵ | Peta | P |
| 1 000 000 000 000 = 10 ¹² | Tera | T |
| 1 000 000 000 = 10 ⁹ | Giga | G |
| 1 000 000 = 10 ⁶ | Mega | M |
| 1 000 = 10 ³ | Kilo | K |
| 100 = 10 ² | Hecto | h |
| 10 = 10 ¹ | deca | da |
| 0,1 = 10 ⁻¹ | deci | d |
| 0,01 = 10 ⁻² | centi | c |
| 0,001 = 10 ⁻³ | mili | m |
| 0,000 001 = 10 ⁻⁶ | micro | μ |
| 0,000 000 001 = 10 ⁻⁹ | nano | n |
| 0,000 000 000 001 = 10 ⁻¹² | pico | p |
| 0,000 000 000 000 001 = 10 ⁻¹⁵ | femto | f |
| 0,000 000 000 000 000 001 = 10 ⁻¹⁸ | atto | a |
| 0,000 000 000 000 000 000 001 = 10 ⁻²¹ | zepto | z |
| 0,000 000 000 000 000 000 000 001 = 10 ⁻²⁴ | yocto | y |

2.2 Relații de conversie

Mărimile pentru masă, lungime și timp sunt:

- în SI: kilogram (kg), metru (m) și respectiv secunda (s);
- în sistemul anglo-saxon (unități englezești): pound-mass (lbm), foot (ft) și secunda (s).

Simbolul pentru pound-mass este lbm, care provine de la abrevierea librei. Libra era unitatea pentru masă utilizată de romani [3]. Relațiile care se stabilesc între mărimile pentru masă și lungime în cele două sisteme de măsură sunt:

$$1 \text{ lbm} = 0,45359 \text{ kg} \quad (2.1)$$

$$1 \text{ ft} = 0,3048 \text{ m} \quad (2.2)$$

Forța poate fi considerată o mărime derivată din legea a doua a lui Newton: „*Accelerația unui obiect produsă de o forță efectivă este direct proporțională cu această forță în aceeași direcție și invers proporțională cu masa acestuia*” [16]. Adică:

$$F = m \cdot a \text{ [N]} \quad (2.3)$$

unde: F [N] este forța, m [kg] - masa și a [m/s^2] - accelerația.

Newtonul (N) este unitatea de măsură a forței în SI, fiind definit astfel: „*forța necesară pentru a imprima o accelerație de 1 m/s^2 unui corp cu masa de 1 kg* ” [17].

Unitatea de măsură a forței în sistemul englez este pound-force (lbf). Acesta este definit astfel: „*forța necesară pentru a imprima o accelerație de 1 ft/s^2 unui corp cu masa de $32,174 \text{ lbm}$ (1 slug)*” [3].

Relațiile care se stabilesc între unitățile de forță sunt:

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad (2.4)$$

$$1 \text{ lbf} = 32,174 \text{ lbm} \cdot \frac{\text{ft}}{\text{s}^2} \quad (2.5)$$

Lucrul mecanic este o formă de energie, fiind definit astfel: „*Lucrul mecanic efectuat de o forță constantă F , al cărei punct de aplicație se deplasează pe distanța d_x , în direcția și în sensul forței, este egal cu produsul dintre modulul forței și modulul deplasării*” [18].

$$L = F \cdot d_x \text{ [J]} \quad (2.6)$$

unde L [J] este lucrul mecanic, F [N] - forța și d_x [m] - distanța.

Unitatea de măsură în SI pentru lucru mecanic este joule (J):

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (2.7)$$

În sistemul anglo-saxon unitatea de măsură a energiei este Btu (British thermal unit) definită astfel:

„*energia necesară pentru a crește temperatura unei cantități de 1 livră de apă aflată la temperatura de 68°F cu 1°F* ” [3].

În sistemul metric caloria (cal) este definită ca fiind: „*energia necesară pentru a crește temperatura unui gram de apă aflată la temperatura de $14,5^\circ\text{C}$ cu 1°C* ” [3].

Relațiile care se stabilesc între diferitele unități de măsură a energiei sunt:

$$1 \text{ cal} = 4,1868 \text{ J} \quad (2.8)$$

$$1 \text{ Btu} = 1055,1 \text{ J} \quad (2.9)$$

Un aparat electric ce are puterea de 1 kW consumă 1 kWh de energie electrică atunci când funcționează cotinuu timp de o oră. Energia electrică este exprimată în kilowattoră (kWh) și este echivalentă cu:

$$1 \text{ kWh} = 3600 \text{ kJ} \quad (2.10)$$

Unitatea de măsură a puterii în SI este wattul (W), iar în sistemul anglo-saxon este calul-putere (eng. Horsepower - hp) și reprezintă cantitatea de energie transferată în unitatea de timp:

$$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s} \quad (2.11)$$

$$1 \text{ hp} = 746 \text{ W} \quad (2.12)$$

Relațiile de conversie în Sistemul Internațional a diferitelor unități măsură sunt date în tabelele următoare.

Tabel 2.5 Relații de conversie a unităților de lungime

| | 1 m | 1 cm | 1 mm | 1 in | 1 ft | 1 yd |
|---|-----|------|-------|--------|--------|--------|
| m | 1 | 0,01 | 0,001 | 0,0254 | 0,3084 | 0,9144 |

Tabel 2.6 Relații de conversie a unităților de arie

| | 1 m ² | 1 cm ² | 1 mm ² | 1 in ² | 1 ft ² | 1 yd ² |
|----------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------------|-------------------|-------------------|
| m ² | 1 | 10 ⁻⁴ | 10 ⁻⁶ | 6,452·10 ⁻⁴ | 0,0929 | 0,836127 |

Tabel 2.7 Relații de conversie a unităților de volum și capacitate

| | | | | | | |
|----------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------------|-------------------|-------------------|
| | 1 m ³ | 1 cm ³ | 1 dm ³ | 1 in ³ | 1 ft ³ | 1 yd ³ |
| m ³ | 1 | 10 ⁻⁶ | 10 ⁻³ | 16,39·10 ⁻⁶ | 0,028 | 0,765 |

Tabel 2.8 Relații de conversie a unităților de forță

| | | | |
|---|-----|---------|-----------|
| | 1 N | 1 kgf | 1 lbf |
| N | 1 | 9,80665 | 4,4484972 |

Tabel 2.9 Relații de conversie a unităților de presiune și eforturi

| | | | | | |
|-----------------------|---------------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|
| | 1 Pa = 1 N/m ² | 1 kgf/m ² | 1 mmH ₂ O | 1 at | 1 kgf/cm ² |
| Pa = N/m ² | 1 | 9,80665 | 9,80665 | 9,80665·10 ⁴ | 9,80665·10 ⁴ |

Tabel 2.9 Relații de conversie a unităților de presiune și eforturi – continuare

| | | | | | |
|-----------------------|--------|-----------------|-----------------------|--------|-------|
| | 1 atm | 1 bar | 1 daN/cm ² | 1 mbar | 1 hPa |
| Pa = N/m ² | 101325 | 10 ⁵ | 10 ⁵ | 100 | 100 |

Tabel 2.9 Relații de conversie a unităților de presiune și eforturi – continuare

| | | | | | |
|-----------------------|---------|---------|-----------------------|----------|-----------------------|
| | 1 mmHg | 1 torr | 1 lbf/ft ² | 1 Psi | 1 lbf/in ² |
| Pa = N/m ² | 133,322 | 133,322 | 47,8803 | 6894,757 | 6894,757 |

Tabel 2.10 Relații de conversie a unităților de putere

| | | | | | |
|---------|-------------|-----------------|-------|-------|---------|
| | 1 W = 1 J/s | 1 kW | 1 CP | 1 hp | 1 Btu/h |
| W = J/s | 1 | 10 ³ | 735,5 | 745,7 | 0,293 |

Tabel 2.11 Relații de conversie a unităților de energie și lucru mecanic

| | | | | | |
|---------|-----|-----------------|---------------------|---------|-------|
| | 1 J | 1 kJ | 1 kWh | 1 kgf·m | 1 cal |
| J = W·s | 1 | 10 ³ | 3,6·10 ⁶ | 9,81 | 4,186 |

Tabel 2.11 Relații de conversie a unităților de energie și lucru mecanic - continuare

| | | | | | |
|-------|-----|-----------------------|----------------------|----------|--------|
| | 1 J | 1 kcal | 1 CPh | 1 ft·lbf | 1 Btu |
| J=W·s | 1 | 4,186·10 ³ | 2,65·10 ⁶ | 1,356 | 1055,1 |

Tabel 2.12 Relații de conversie a unităților de masă

| | | | | | |
|----|------|------------------|-----------------|-------------------------|--------------|
| | 1 kg | 1 g | 1 t | 1 kgf·s ² /m | 1 lb (pound) |
| kg | 1 | 10 ⁻³ | 10 ³ | 9,80665 | 0,45359237 |

Tabel 2.13 Relații de conversie a unităților de timp

| | | | | | |
|---|-----|-------|------|-------|------------------|
| | 1 s | 1 min | 1 h | 1 zi | 1 ms |
| s | 1 | 60 | 3600 | 86400 | 10 ⁻³ |