

## Forme de energie. Principiul I al termodinamicii

Există mai multe forme de energie, care se pot clasifica după natura modificărilor produse în sistemele termodinamice considerate și după natura mișcărilor care constituie suportul acestor modificări. Unele forme de energie au ca suport o mișcare ordonată, altele se caracterizează printr-o mișcare neordonată, astfel încât există două tipuri de energii:

- **Energii ordonate**, la care toate părțile componente ale sistemului se deplasează pe aceeași direcție și în același sens cu direcția și sensul general de desfășurare a transformării. Din această categorie fac parte: *energia cinetică*, fiind caracterizată prin faptul că toate particulele corpului se mișcă în direcția și sensul vectorului viteză; *energia potențială*, caracterizată prin faptul că mișcarea fiecărei particule se realizează în sensul în care acționează forța gravitațională, *energia electrică*, fiind caracterizată prin faptul că forța coulombiană determină deplasarea uniformă a sarcinilor electrice etc.
- **Energii neordonate**, la care în afara deplasărilor pe direcția și sensul de desfășurare a transformării, particulele componente ale sistemului efectuează și mișcări secundare, pe direcții și sensuri diferite. În această categorie se menționează *energia internă*, caracterizată prin faptul că particulele constitutive au o mișcare neordonată.

Caracteristic pentru acestor tipuri de energii este faptul că prezintă capacități diferite de transformare. *Energiile ordonate se pot transforma teoretic integral, în alte forme de energie.* Astfel, energia cinetică se poate transforma integral în energie potențială, sau în energie internă, iar energia electrică se poate transforma integral în energie internă. *Energiile neordonate nu se pot transforma integral în altă formă de energie*, nici măcar în cazul ideal, al transformărilor reversibile. Astfel, energia internă nu se poate transforma niciodată, integral în energie mecanică sau electrică. Acest aspect este fundamental pentru înțelegerea unor aspecte calitative, legate de procesele și transformările termodinamice, analizate de către principiul doi al termodinamicii.

Din punct de vedere al transformabilității în lucru mecanic (formă ordonată de energie), energiile se clasifică în:

- *energiile complet transformabile, (exergii)*, categorie din care fac parte energiile ordonate;
- *energiile complet netransformabile (anergii)*, de ex. energia internă acumulată în mediul ambiant;
- *energiile parțial transformabile*, formate din *exergie* și *anergie*, din această categorie fac parte energiile neordonate.

Fiecare formă de energie prezentată anterior poate fi considerată, în mod impropriu, fie ca *energie acumulată* fie ca *energie de transmitere sau de tranziție*.

Ca tipuri de energie acumulată, se pot menționa energia mecanică (energia cinetică și potențială) și energia internă.

Ca tipuri de energie de transmitere, se pot menționa *lucrul mecanic și căldura*. Acestea nu sunt, de fapt energii propriu-zise ci forme de manifestare a schimbului de energie și apar doar în procesele în care sistemele schimbă energie între ele, sau cu mediul exterior.

*Căldura* este o formă neordonată de transfer de energie internă, ca urmare a unei interacțiuni termice, fiind caracterizată prin existența mișcării termice. Căldura are caracter tranzitoriu și se manifestă numai pe durata schimbului de energie. Din acest motiv este impropriu să se folosească noțiuni de tipul: acumulare de căldură, schimb de căldură, transformarea căldurii etc. Aceste exprimări se utilizează totuși, deoarece sunt încetățenite de mult în limbajul specialiștilor și nu s-au găsit formulări mai adecvate, care să primească o audiență la fel de largă.

Există mai multe tipuri de căldură și în continuare vor fi definite două dintre acestea:

*Căldura sensibilă* ( $Q_s$  [kJ]) este cantitatea de căldură care determină variația temperaturii corpurilor. Este proporțională cu masa corpului (sau a sistemului termodinamic) ( $m$  [kg]), cu variația temperaturii ( $\Delta t$  [K]) și cu o proprietate de material, denumită căldură specifică. *Căldura specifică* ( $c$  [kJ/kgK]) este cantitatea de căldură necesară unității de cantitate de substanță, pentru creșterea temperaturii cu un grad.

Căldura sensibilă se determină cu relația:

$$Q_s = m \cdot c \cdot \Delta t$$

*Căldura sensibilă specifică* ( $q_s$  [kJ/kg]) este căldura sensibilă corespunzătoare unității de cantitate de substanță (1 kg) și se determină cu relația:

$$q_s = c \cdot \Delta t$$

*Căldura latentă* ( $Q_l$  [kJ]) este cantitatea de căldură schimbată în timpul transformării de fază, sau a stării de agregare. Este proporțională cu cantitatea de substanță și cu căldura latentă specifică. *Căldura latentă specifică* ( $l$  [kJ/kg]) este o proprietate de material și reprezintă cantitatea de căldură schimbată de unitatea de cantitate de substanță în timpul transformării de fază, sau a stării de agregare.

Căldura latentă se determină cu relația:

$$Q_l = m \cdot l$$

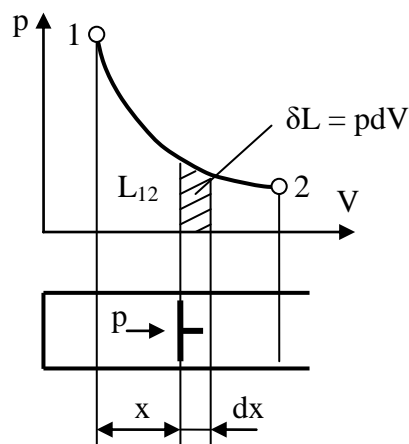
Căldura latentă prezintă valori mult mai mari decât căldura sensibilă și în consecință poate fi utilizată pentru acumularea energiei termice.

De exemplu în cazul apei, căldura latentă de vaporizare la temperatura de 20 °C și la presiunea de bar, este  $l_v = 2453$  kJ/kg, iar căldura specifică este  $c = 4.18$  kJ/kgK astfel încât căldura latentă este de peste 500 ori mai mare decât căldura sensibilă corespunzătoare încălzirii cu 1 °C a unei mase de 1 kg de apă. O unitate de măsură alternativă pentru căldura specifică a apei este  $c = 1$  kcal/kgK (1 cal = 4.18 J; 1 kcal = 4.18 kJ). De aici derivă și unitatea de măsură pentru energia termică (sau căldura) livrată în sistemele de termoficare (1 Gcal). În sistemul britanic de unități de măsură, pentru căldură se utilizează „British Thermal Unit” (b.t.u.) care reprezintă cantitatea de căldură necesară pentru încălzirea unei cantități de apă egală cu o livră (1 pound), cu 1 grad Fahrenheit.

*Lucrul mecanic* este o formă ordonată de transmitere a energiei, în urma unei interacțiuni mecanice între sistem și mediul exterior, ca atare el se poate transforma integral în altă formă de energie. Având caracter tranzitoriu, lucrul mecanic se manifestă numai la nivelul suprafețelor de control, care delimitează sistemul și numai pe durata schimbului de energie.

Există mai multe tipuri de lucru mecanic, care vor fi analizate în continuare.

*Lucrul mecanic de dilatare*, reprezintă energia mecanică produsă prin mărirea volumului sistemului termodinamic, sau consumată pentru reducerea acestuia. Această formă de lucru mecanic, prezintă aplicații și se manifestă la destinderea și comprimarea gazelor (de exemplu în cilindrii mașinilor termice). Lucrul mecanic de dilatare poate fi analizat cu ajutorul exemplului prezentat în figura alăturată.



Schemă pentru analiza lucrului mecanic de dilatare

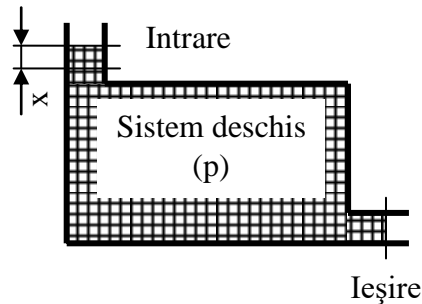
Lucrul mecanic de dilatare elementar ( $\delta L$ ) care se produce la transformarea elementară (infinitesimală, infinit mică) ( $dx$ ), se determină cu relația:

$$\delta L = F \cdot dx = p \cdot S \cdot dx = p \cdot dV ; \delta l = p \cdot dv$$

Lucrul mecanic de dilatare corespunzător transformării 1 – 2, se determină cu relația:

$$L_{12} = \int_1^2 p dV ; l_{12} = \int_1^2 p dv$$

*Lucrul mecanic de dislocare* (de deplasare), reprezintă energia mecanică necesară pentru deplasarea unei cantități de fluid, la presiune constantă. Această formă de energie se manifestă în cazul sistemelor deschise, caracterizate prin schimb continuu de substanță cu mediul ambiant. În aceste sisteme există întotdeauna procese de intrare și ieșire a substanței în și din sistem.



Schemă pentru analiza lucrului mecanic de dislocare

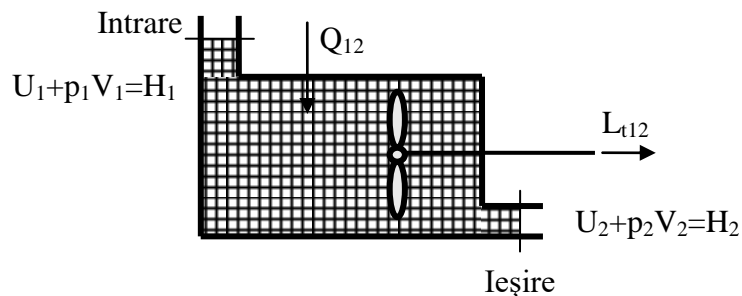
Lucrul mecanic de dislocare, se determină cu relația:

$$L_d = F \cdot x = p \cdot S \cdot x = p \cdot V$$

unde:

$S$  este suprafața secțiunii de intrare (ieșire) a substanței în sistem.

*Lucrul mecanic tehnic*, reprezintă energia mecanică transmisă mediului ambiant, prin intermediul unui arbore, de către un sistem termodinamic deschis.



Schemă pentru analiza lucrului mecanic de dislocare

Lucrul mecanic tehnic, poate fi determinat cu ajutorul ecuației conservării energiei (principiului 1 al termodinamicii) (neglijând variația energiei cinetice și a energiei potențiale):

$$U_1 + p_1 V_1 + Q_{12} = U_2 + p_2 V_2 + L_{t12}$$

$$L_{t12} = U_1 + p_1 V_1 - U_2 - p_2 V_2 + Q_{12} = H_1 - H_2 + Q_{12}$$

$$l_{t12} = h_1 - h_2 + q_{12}$$

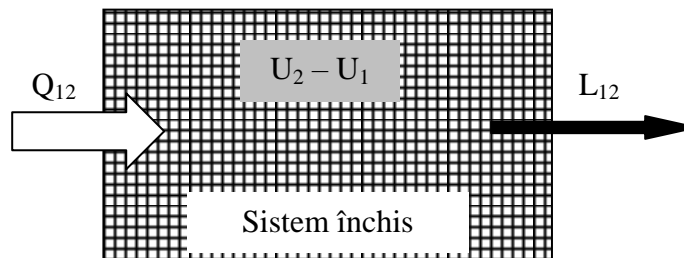
$$\delta L_{t12} = dH + \delta Q_{12}$$

$$\delta l_{t12} = dh + \delta q_{12}$$

## Principiul I al termodinamicii pentru sisteme termodinamice închise

Principiul I al termodinamicii, reprezintă principiul sau legea conservării energiei și se referă la transformarea energiei dintr-o formă în alta. În termotehnică sunt studiate ca forme de transfer energetic, în principal căldura și lucrul mecanic.

Se consideră că un sistem termodinamic închis, ca cel din figura alăturată își modifică starea termodinamică din starea inițială 1 în starea finală 2, datorită interacțiunilor cu mediul ambiant, sub formă de căldură  $Q_{12}$  și de lucru mecanic  $L_{12}$ , producând o modificare a energiei interne a sistemului de la  $U_1$  la  $U_2$ .



Reprezentarea grafică a principiului 1 al termodinamicii pentru sisteme închise

Din punct de vedere matematic, ecuația principiului 1 al termodinamicii se scrie sub forma:

$$Q_{12} - L_{12} = U_2 - U_1 \text{ [J] [kJ]}$$

Pentru unitatea de cantitate de substanță, ecuația principiului 1 al termodinamicii se scrie sub forma:

$$q_{12} - l_{12} = u_2 - u_1 \text{ [J/kg] [kJ/kg]}$$

unde:

$$q = Q/m; l=L/m; u=U/m.$$

În formă diferențială (pentru modificări infinit mici), se pot scrie ecuațiile:

$$\delta Q - \delta L = dU; \delta q - \delta l = du$$

În cazul în care sistemul se deplasează în spațiu și își modifică viteza de la  $w_1$  la  $w_2$ , respectiv înălțimea față de o poziție de referință, de la  $z_1$  la  $z_2$ , ecuația principiului 1 al termodinamicii se scrie sub forma.

$$Q_{12} - L_{12} = (U_2 - U_1) + \frac{m \cdot (w_2^2 - w_1^2)}{2} + m \cdot g(z_2 - z_1) \text{ [J] [kJ]}$$

Termenii nou adăugați, au semnificația variației energiei cinetice, respectiv variației energiei potențiale.

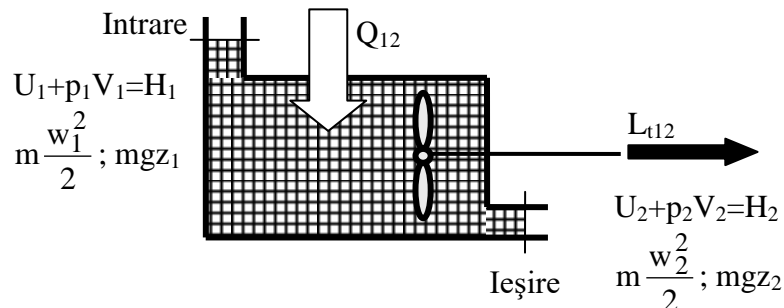
Pentru unitatea de cantitate de substanță, se obține:

$$q_{12} - l_1 = (u_2 - u_1) + \frac{(w_2^2 - w_1^2)}{2} + g(z_2 - z_1) \left[ \frac{\text{J}}{\text{kg}} \right] \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

Cu ajutorul acestor ecuații, pot fi rezolvate toate aplicațiile tehnice pentru sisteme închise, care presupun calcule referitoare la schimburile de energie.

## Principiul I al termodinamicii pentru sisteme termodinamice deschise

Se consideră că un sistem termodinamic deschis, ca cel din figura alăturată, își modifică starea termodinamică datorită interacțiunilor cu mediul ambiant, sub formă de căldură și de lucru mecanic, producând o modificare a nivelului energetic al sistemului.



Reprezentarea grafică a principiului 1 al termodinamicii pentru sisteme deschise

Din punct de vedere matematic, principiul 1 al termodinamicii se poate scrie sub forma:

$$Q_{12} - L_{12} = (U_1 - U_2) + (p_1V_1 - p_2V_2) + m \frac{w_1^2 - w_2^2}{2} + mg(z_1 - z_2) \text{ [J]; [kJ]}$$

$$q_{12} - l_{12} = (u_1 - u_2) + (p_1v_1 - p_2v_2) + \frac{w_1^2 - w_2^2}{2} + g(z_1 - z_2) \text{ [J/kg]; [kJ/kg]}$$

$$\delta Q - \delta L_t = dU + d(pV) + mwdw + mgdz = dH + mwdw + mgdz$$

$$\delta q - \delta l_t = du + d(pv) + wdw + gdz = dh + wdw + gdz$$

Dacă se împart aceste relații la timp, se pot obține ecuațiile principiului 1 al termodinamicii, pentru sisteme deschise, sub formă de puteri:

$$\dot{Q}_{12} - P_{12} = \dot{m} \left[ (u_1 - u_2) + (p_1v_1 - p_2v_2) + \frac{w_1^2 - w_2^2}{2} + g(z_1 - z_2) \right] \text{ [W] [kW]}$$

unde:

- $\dot{Q}_{12}$  este puterea termică introdusă în sistem;
- $P_{12}$  este puterea mecanică obținută la arborele sistemului;
- $\dot{m}$  este debitul masic de substanță care parcurge sistemul.

### Observație:

În numeroase situații în loc de putere termică, se utilizează noțiunea de sarcină termică sau flux termic, din considerente istorice care țin seama de tradiția utilizării acestor termeni.

Acest curs promovează utilizarea noțiunii de putere termică, pentru uniformitate de terminologie, cu alte discipline tehnice care studiază alte forme de energie, decât căldura.