

Formelsamling i Energiteknik

Version 2022-12-19 11:15

Olof Björkqvist och Marcus Eriksson

Formler och beteckningar utgående från Soleimani Mohseni m. fl., 2018 och Alvarez, 2006
Detta verk är publicerat under en Creative Commons Erkännande-DelaLika 4.0
Internationell Licens (CC BY-SA 4.0)

Institutionen för kemiteknik
Mittuniversitetet

Innehåll

1	Värmelära	2
2	Värmeöverföring	4
	Symboler	6
	Referenser	8

Kapitel 1

Värmelära

Beteckningar

Allmänna, universella gaskonstanten 8,314, J/(mol·K) (R_u)

Antal mol (n)

Entropi, J/K (S)

Exergi, J (X)

Gibbs fria energi, J (G)

Isobar specifik värmekapacitet, J/kg·K (c_p)

Isokor specifik värmekapacitet, J/kg·K (c_v)

Specifik värmemängd, J (q)

Massa, kg (m)

Specifik entropi, J/(kg·K) (s)

Specifik gaskonstant, J/K (R)

Specifik värmekapacitet, J/kg·K (c)

Temperatur, K eller °C – °C (kan även betecknas t) (T)

Tryck, Pa (p)

Verkningsgrad eller effektivitet, dimensionslöst (η)

Volym, m³ (V)

Värmemängd, J (Q)

Grundläggande formler och definitioner

Allmänna gaslagen: $p \cdot V = m \cdot R \cdot T$, eller $p \cdot V = n \cdot R_u \cdot T$
där R_u = Allmänna gaskonstanten och n = antal mol

Värme vid konstant tryck:

$dQ = m \cdot c_p \cdot dt$. $Q \approx m \cdot \overline{c_p} \cdot \Delta t$ då c_p varierar lite.

Värme vid konstant volym:

$dQ = m \cdot c_v \cdot dt$. $Q \approx m \cdot \overline{c_v} \cdot \Delta t$ då c_v varierar lite.

Samband mellan c_p , c_v och R för ideala gaser:

$c_p - c_v = R$ samt $\frac{c_p}{c_v} = \kappa$.

Volymändringsarbete: $dW = F \cdot ds = p \cdot A \cdot ds = p \cdot dV$

Tekniskt arbete: $dW_t = -p \cdot dV$; $dw_t = -p \cdot dv$

Minustecknet definierat att avgivet arbete vid expansion är >0

Entalpi: $h = u + p \cdot v$

$$dq = dh - v \cdot dp$$

Entropi: $ds = \left(\frac{dq}{dT} \right)_{rev}$

Gibbs fria energi: $G = H - T \cdot S$

$\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S$ för en isoterm process.

Exergi: $X_{\text{värme}} = \left(1 - \frac{T_{\text{omgivning}}}{T_{\text{källa}}} \right) \cdot Q$

$$X_{\text{arbete}} = W_t = W - p \cdot (V_2 - V_1)$$

Termodynamiska processer

Isokor process: $V = \text{konstant}$

$$Q = m \cdot c_v \cdot \Delta t$$

$$w = v \cdot \Delta p \dots$$

Isobar process: $p = \text{konstant}$

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta t$$

$$w = 0$$

Isoterm process: $T = \text{konstant}$

$$Q = W = m \cdot R \cdot T \cdot \ln \frac{p_1}{p_2} =$$

$$= m \cdot R \cdot T \cdot \ln \frac{v_2}{v_1}$$

$$w = R \cdot T \cdot \ln \frac{p_1}{p_2} = R \cdot T \cdot \ln \frac{v_2}{v_1} = T \cdot (s_2 - s_1) \text{ för en ideal gas.}$$

Adiabat och isentrop process:

$$\Delta Q = 0 \text{ och } \Delta s = 0$$

$$q = 0$$

$$w_t = i_2 - i_1$$

Carnotprocess: $\eta_c = \frac{\Delta s \cdot (T_1 - T_2)}{\Delta s \cdot (T_1 - 0)} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$

Kapitel 2

Värmeöverföring

Beteckningar

Area m^2 (A)
Diameter, m (kan även betecknas d) (D)
Hastighet, m/s (kan även betecknas V) (v)
Isobar specifik värmekapacitet, J/kg·K (c_p)
Kinematisk viskositet, m^2/s (ν)
massflöde, kg/s (kan även betecknas q_m) (\dot{m})
Nusselts tal, dimensionslöst (Nu)
Prandtls tal, dimensionslöst (Pr)
Reynolds tal, dimensionslöst (Re)
Våt omkrets (fluidberörd omkrets), m (O)
Temperatur, K eller °C – °C (kan även betecknas t) (T)
Tjocklek, gränsskiktstjocklek, m (δ)
värmeeffekt, W (\dot{Q})
Värmeledningstal, W/($m^2 \cdot K$) (kan även betecknas k) (U)
Värmeledningstal, värmekonduktivitet, W/($m \cdot K$) (λ)
Värmemotstånd, W/($m^2 \cdot K$) (R)
Värmeövergångstal, W/($m^2 \cdot K$) (α)

Värmeledning

Värmeledning genom plan vägg:

$$\begin{aligned}\dot{Q} &= -\lambda \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} = \lambda \cdot A \frac{T_1 - T_2}{\delta} = \\ &= \frac{(T_1 - T_2)}{\left(\frac{\delta}{\lambda \cdot A}\right)} = \left| \frac{\delta}{\lambda \cdot A} = R \right| = \frac{T_1 - T_2}{R}\end{aligned}$$

där T_1 och T_2 är temperaturena på väggens varma respektive kalla yta.

Värmeledning genom kompositvägg med konvektionsöverföring:

$$\begin{aligned}\dot{Q} &= U \cdot A \cdot (T_i - T_u) = \\ &= \frac{(T_i - T_u) \cdot A}{\left(\frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_u} \right)} = \\ &= \frac{(T_i - T_u)}{\left(\frac{1}{\alpha_i \cdot A} + \frac{\delta_1}{\lambda_1 \cdot A} + \frac{\delta_2}{\lambda_2 \cdot A} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n \cdot A} + \frac{1}{\alpha_u \cdot A} \right)} = \\ &= \frac{(T_i - T_u)}{R_{tot}} \\ U &= \frac{1}{R_{tot}}\end{aligned}$$

där T_i och T_u är temperaturena i väggens varma respektive kalla omgivning, långt från väggen.

Konvektion

Dimensionslösa tal

$$\text{Reynolds tal: } Re = \frac{v_m \cdot d_h}{\nu} =$$

$$= \left| \mu = \frac{\nu}{\varrho} \right| = \frac{v_m \cdot d_h \cdot \varrho}{\mu}$$

$$d_h \text{ (hydrauliska diametern) } = \frac{4 \cdot \text{tvärsnittsarean}}{\text{våt omkrets}} = \frac{4 \cdot A}{O}$$

$$v_m \text{ (medelhastigheten) } = \frac{\dot{m}}{\varrho \cdot A}$$

$$\text{Prandtls tal: } Pr = \frac{c_p \cdot \mu}{\lambda} = \frac{c_p \cdot \nu \cdot \varrho}{\lambda} = \frac{\nu}{\alpha}$$

$$\text{Nusselts tal: } Nu = \frac{\alpha \cdot d_h}{\lambda}$$

Korrelationer för Nusselts tal, dimensionslöst (Nu) finns till exempel i Soleimani Mohseni m. fl., 2018 och Alvarez, 2006

Samband mellan tryckfall och värmeöverföringskoefficient för cirkuära rör

Konstanta röregenskaper, variabelt volymflöde

Laminärt flöde

$$P_f \propto v \propto \dot{V}$$

$$\alpha \propto v^0 \text{ till } 0,3$$

Turbulent flöde

$$p_f \propto v^{1,75} \text{ till } 2$$

$$\alpha \propto v^{0,8}$$

Konstant volymflöde, variabel rördiameter

Laminärt flöde

$$p_f \propto d^{-4}$$

$$\alpha \propto d^{-1}$$

Turbulent flöde

$$p_f \propto d^{-(4,75 \text{ till } 5)}$$

$$\alpha \propto d^{-1,8}$$

Symboler

A Area m^2 .

D Diameter, m (kan även betecknas d).

G Gibbs fria energi, J .

Nu Nusselts tal, dimensionslöst.

O Våt omkrets (fluidberörd omkrets), m .

Pr Prandtls tal, dimensionslöst.

Q Värmemängd, J .

R Värmemotstånd, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

R Specifik gaskonstant, J/K .

R_u Allmänna, universella gaskonstanten $8,314$, $\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$.

Re Reynolds tal, dimensionslöst.

S Entropi, J/K .

T Temperatur, K eller $^{\circ}\text{C} - ^{\circ}\text{C}$ (kan även betecknas t).

U Värmeledningstal, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ (kan även betecknas k).

V Volym, m^3 .

X Exergi, J .

α Värmeövergångstal, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

δ Tjocklek, gränsskiktstjocklek, m .

\dot{Q} värmeeffekt, W .

\dot{m} massflöde, kg/s (kan även betecknas q_m).

η Verkningsgrad eller effektivitet, dimensionslöst.

λ Värmeledningstal, värmekonduktivitet, $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$.

ν Kinematisk viskositet, m^2/s .

c Specifik värmekapacitet, $\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}$.

c_p Isobar specifik värmekapacitet, $\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}$.

c_v Isokor specifik värmekapacitet, $\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}$.

m Massa, kg .

n Antal mol.

p Tryck, Pa.

q Specifik värmemängd, J.

s Specifik entropi, J/(kg·K).

v Hastighet, m/s (kan även betecknas V).

Referenser

Alvarez, H. (2006). *Energiteknik* (3. utg.). Studentlitteratur.

Soleimani Mohseni, M., Bäckström, L., & Eklund, R. (2018). *Formelsamling i energiteknik*. Studentlitteratur AB.