

TOPLOTA

Specifična toplota

Toplota dQ spremeni masi m temperaturo za dT

$$dQ = c m dT$$

c je specifična toplota telesa (J/kg K). Pri idealnih plinih je – v najpreprostejšem primeru – konstantna, drugače pa je na splošno odvisna od temperature, pa tudi od tlaka.

Če lahko vzamemo, da je c konstantna, pišemo

$$Q = cm(T_2 - T_1)$$

Vrednosti specifične toplote za posamezne snovi so razvidne na str. 164, 165 in 210 do 215.

Pri spremljivi specifični toploti računamo včasih s »srednjo specifično toploto« med temperaturama T_1 in T_2

$$c_{med} = \int c dT / (T_2 - T_1)$$

S srednjo specifično toploto računamo, kakor da je konstantna.

Entalpija je določena z izrazom

$$H = U + pV$$

V tem izrazu je U – notranja energija, pV – zunanja energija (energija prostora, p – tlak, V – prostornina).

»Specifična entalpija h « je entalpija enote mase glede na – poljubno izbrano – izhodišče (npr. 0°C), kjer je $h = 0$. Enota je J/kg. Vrednosti za specifično entalpijo so razvidne iz preglednic za pare na str. 171 do 193.

Temperaturna razteznost (Dilatacija)

Linearni temperaturni razteg zaradi povišanja temperature za dT je

$$dl = \alpha l_0 dT$$

kjer sta: α – linearna temperaturna razteznost (K^{-1}), l_0 – prvotna dolžina.

Če vzamemo, da je razteznost α konstantna, velja

$$l = l_0[1 + \alpha(T - T_0)]$$

Razteznost α je pri višjih temperaturah večja. Njene vrednosti za trdne snovi so dane na str. 159 in 160.

Kubični temperaturni razteg zaradi povišanja temperature za dT je

$$dV = \beta V_0 dT$$

kjer sta β – prostorninska temperaturna razteznost (K^{-1}), V_0 – prvotna prostornina.

Če lahko vzamemo, da je razteznost β konstantna, velja

$$V = V_0[1 + \beta(T - T_0)]$$

Tudi prostorninska temperaturna razteznost β je pri višjih temperaturah večja.

IDEALNI PLINI

Z izrazom »idealni plini« razumemo tako visoko pregrete pare, da se ravna po zakonih Boyle-Mariotta ($pV = \text{konst}$ pri $T = \text{konst}$) ter Gay-Lussaca ($V/T = \text{konst}$ pri $p = \text{konst}$). V naravi idealnih plinov ni, pač pa se mnogi »realni plini« s svojimi lastnostmi tako približujejo idealnim plinom, da tudi zanje z zadostno natančnostjo veljata navedena zakona.

Tehnično posebno pomembni realni plini so:

enoatomski He, Ar
dvoatomski H₂, N₂, O₂, CO, zrak
večatomski CH₄, C₂H₂, C₂H₄, C₂H₆.

Pri majhnem tlaku in še posebno pri visokih temperaturah lahko računamo po zakonih idealnih plinov tudi H₂O, CO₂, SO₂, NH₃ itd.

Enačba stanja plina povezuje tlak p , gostoto ρ oz. specifično prostornino v ali prostornino V ter maso m in temperaturo T :

$$p\rho = RT \quad p v = RT \quad pV = mRT$$

R je plinska konstanta, ki je odvisna samo od sestave plina in ima enoto J/kg K. Vrednosti za R – glej str. 165.

Splošna plinska konstanta (zmožek molske mase m_m in plinske konstante R) je enaka za vse pline:

$$R_m = M_m R = 8314 \text{ J/kmol K}$$

Avogadrov zakon

Molska prostornina V_m je pri vseh (idealnih) plinih pri enakem stanju enaka: pri temperaturi 0 °C in tlaku 1,01325 bar je

$$V_m = R_m T / p = 22,41 \text{ m}^3/\text{kmol}$$

Za vse pline (z molsko maso m_m in gostoto ρ) velja $V_m = m_m / \rho$, za pline med seboj pa: $m_{m1} / m_{m2} = \rho_1 / \rho_2$.

Specifična toplota plinov

pri konstantnem tlaku $c_p = dh/dT$
pri konstantni prostornini $c_v = du/dT$

kjer so: dh – sprememba specifične entalpije, du – sprememba specifične notranje energije ($u = U/m$), dT – sprememba temperature.

Razmerje specifičnih toplot

Razlika specifičnih toplot

$$c_p = \kappa R / (\kappa - 1)$$

Entalpija plinov

$$\text{specifična entalpija } h = \int c_p dT + C$$

$$\text{molska entalpija } h_m = M_m \int c_p dT + C$$

Podatki o molski entalpiji h_m za najbolj znane pline so na str. 166. Iz molske entalpije je zelo lahko preračunati specifično entalpijo $h = h_m / m_m$.

OSNOVNI ZAKONI TERMODINAMIKE

Prvi glavni zakon termodinamike

»Toplota je ekvivalentna mehanskemu delu.« (Mayer, 1842; Joule, 1843.)
Dovajanje ali odvajanje toplote Q povzroča spremembo notranje energije U in absolutnega dela A (pridobljenega ali porabljenega) oziroma spremembo entalpije H in tehničnega dela W (pridobljenega ali porabljenega):

$$dQ = dU + dA \quad dQ = dH + dW$$

Pri procesih, ki potekajo v mehanskem ravnotežju, izražamo delo s tlakom p in prostornino V

$$dA = p dV \quad dW = -V dp$$

Entalpijski teorem: $H_2 - H_1 = Q - W$

Drugi glavni zakon termodinamike

»Toplota ne prehaja nikdar sama od sebe s hladnejšega na toplejše telo.« (Clausius, 1850; Thomson, 1851).

V zvezi s tem razlikujemo:

a) povračljive procese, tj. tiste, ki so mogoči v eni in drugi smeri, pri čemer po vrnitvi nikjer v naravi ne ostane nobena sled (npr. uparjanje in kondenzacija, kompresija in ekspanzija itd.) ter
b) nepovračljive procese, ki so mogoči samo v eni smeri (npr. prehod toplote, trenje, dušenje, mešanje itd.).

Entropija je za vse povračljive procese določena z izrazom $dS = dQ/T$. V tem izrazu je dQ dovod ali odvod toplote pri absolutni temperaturi T .

»Specifična entropija s « je entropija enote mase, računana glede na – poljubno izbrano – izhodišče (npr. 0°C), kjer je $s = 0$. Enota je J/kg K. Njene vrednosti za pare pa so dane na str. 171 do 193.

Entropija sklenjenega sistema se pri vseh nepovračljivih procesih povečuje ($dS > 0$).

Eksergija * E je največje tehnično delo, ki ga glede na stanje okolice (s temperaturo T_0 in tlakom p_0) lahko dobimo iz notranje energije snovi z entalpijo H in entropijo S : $E = H - H_0 - T_0(S - S_0)$.

H_0 je entalpija, S_0 pa je entropija snovi pri stanju okolice (T_0, p_0).

Eksergija * $T_0(S - S_0)$ je del notranje energije, iz katerega ne moremo dobiti tehničnega dela.

»Specifična eksergija e « je eksergija enote mase: $e = h - h_0 - T_0(s - s_0)$, kjer so: h – specifična entalpija in s – specifična entropija snovi v opazovalnem stanju, h_0 in s_0 pa specifični entalpija in entropija snovi pri tlaku in temperaturi okolice; »specifična energija« $b = T_0(s - s_0)$.

e) Politropa

prikazuje splošno spremembo stanja, pri kateri je sprememba temperature premo sorazmerna z dovedeno ali odvzeto toploto $dQ = m c dT$

$$pV^n = \text{konst} \quad n = \frac{c - c_p}{c - c_v} \quad c = c_v \frac{n - \kappa}{n - 1}$$

$$\text{Absolutno delo } A = \frac{p_1 V_1}{n-1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right] = \frac{p_1 V_1}{n-1} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{n-1} \right]$$

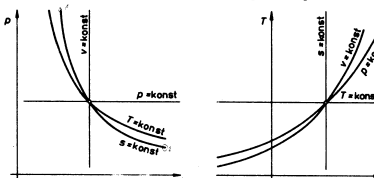
$$= \frac{p_1 V_1}{n-1} \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right) = \frac{1}{n-1} (p_1 V_1 - p_2 V_2)$$

$$= \frac{mR}{n-1} (T_1 - T_2)$$

Tehnično delo $W = nA$ Toplota $Q =$

$$\text{Končna temperatura } T_2 = T_1 - \frac{p_1 V_1 - p_2 V_2}{mR} = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}}$$

Sprememba stanja po politropi – kot splošna – obsega vse prej navedene povračljive spremembe stanja, ki so samo njeni posebni primeri.



Primerjava politrop

politropa	n	c
izohora	$v = \text{konst}$	$\pm \infty$
izobara	$p = \text{konst}$	c_v
izoterma	$T = \text{konst}$	$\pm \infty$
izentropa	$s = \text{konst}$	$\kappa = c_p/c_v$

Dušenje plinov

je nepovračljiva sprememba stanja, za katero velja pri (idealnih) plinih: izentalpa $h = \text{konst}$ $T = \text{konst}$