

## Toplota

Toplota je energija, ki pri stiku dveh teles z različnima temperaturama prehaja iz toplejšega telesa v hladnejše telo. Toplota teče toliko časa, dokler se temperaturi teles ne izenačita.

- **Toplotni tok in gostota toplotnega toka**

$P = \frac{Q}{T}$ toplotni tok	$[P] = \left[ \frac{Q}{T} \right] = \frac{J}{s} = W$	$j = \frac{P}{S}$ gostota toplotnega toka	$[j] = \left[ \frac{P}{S} \right] = \frac{W}{m^2}$
-----------------------------------	--	--	--

## Termične lastnosti snovi

### Kinetična teorija plinov, splošni plinski zakon

Povprečno translacijsko kinetično energijo molekule lahko zapišemo na dva načina:

$\overline{W_{kin}} = \frac{3kT}{2}$ Povprečna kinetična energija plinskih molekul je odvisna samo od temperature. Molekule različnih plinov imajo pri dani temperaturi Tenake povprečne kinetične energije.	$\overline{W_{kin}} = \frac{\mu \bar{v}^2}{2}$ Povprečno translacijsko kinetično energijo z maso $\mu$ tokrat zapišemo enako kot v mehaniki.
---	---

Odtod sledi povprečna hitrost plinske molekule:

$\bar{v} = \sqrt{\frac{3kT}{\mu}}$	Ali s splošno plinsko konstanto: $R = kN_A = 8300 \frac{J}{K}$	$\bar{v} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$
------------------------------------	---	----------------------------------

Pri dani temperaturi T imajo lažje plinske molekule (manjši  $\mu$ ) večjo povprečno hitrost kot težje molekule (večji  $\mu$ ).

$pV = kTN$	<b>Enačba stanja idealnega plina ali plinska enačba</b>
$pV = \frac{mRT}{M}$	<b>Splošni plinski zakon</b>

Če upoštevamo, da je kvocient mase plina in mase kilomola plina M enak številu kilomolov:  $n = \frac{m}{M}$

$pV = nRT$	<b>Splošni plinski zakon</b>
$\rho = \frac{m}{V} = \frac{pM}{RT}$	<b>Gostota idealnega plina</b>

- **Zmes plinov**

Zmes idelanih plinov je tudi idealni plin. Tlak posameznega plina v zmesi je **delni tlak**. Delni tlak plina v plinski zmesi je enak tlaku, ki bi ga imel ta plin, če bi pri dani temperaturi sam zavzemal celotno prostornino zmesi. **Tlak plinske zmesi je enak vsoti tlakov posameznih plinov** (Daltonov zakon):

$$p = p_1 + p_2 + p_3$$

### Plinske spremembe

- **Splošna plinska sprememba:**  $\frac{pV}{T} = konst.$

Pri splošni plinski spremembi ima plin na koncu drugačen tlak, temperaturo in prostornino kot na začetku. Drugače povedano, **pri splošni plinski spremembi se spremenijo vse tri termodinamične količine**. Enačba splošne plinske spremembe

Če ima plin na začetku tlak  $p_1$ , temperaturo  $T_1$  in prostornino  $V_1$ , na koncu pa tlak  $p_2$ , temperaturo  $T_2$  in prostornino  $V_2$ , lahko zapišemo enačbo, ki povezuje te količine:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

Pri vsaki plinski spremembi, pri kateri se spremeni prostornina plina  $V$ , se spremeni tudi gostota plina:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

gostota plina

$$\frac{p_1}{\rho_1 T_1} = \frac{p_2}{\rho_2 T_2}$$

- **Izobarna sprememba**  $\frac{V}{T} = \text{konst.}$

... je plinska sprememba, pri kateri se tlak plina ne spremeni ( $p = \text{konst.}$ ). Spremenita se torej prostornina in temperatura plina.

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

Pri izobarni spremembi sta prostornina in temperatura plina premo sorazmerna.

$$V = \text{konst.} \cdot T \quad : \text{enačba izobare}$$

Če plin segrejemo pri stalnem tlaku, se prostornina plina poveča, če ga ohladimo, se prostornina plina zmanjša.

- **Izohorna sprememba**  $\frac{p}{T} = \text{konst.}$

... je plinska sprememba, pri kateri se prostornina plina ne spremeni ( $V = \text{konst.}$ ). Pri izohorni spremembi se spremenita tlak in temperatura.

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

Tlak plina in absolutna temperatura plina sta pri konstantni prostornini premo sorazmerna.

$$p = \text{konst.} \cdot T \quad : \text{enačba izohore}$$

Če plin segrejemo pri stalni prostornini, se tlak plina poveča, če ga ohladimo, se tlak plina zmanjša.

- **Izotermna sprememba**  $pV = \text{konst.}$

... je plinska sprememba, pri kateri se temperatura plina ne spremeni ( $T = \text{konst.}$ ). Spremenita se tlak in prostornina plina.

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$

Tlak plina je obratno sorazmeren z absolutno temperaturo.

$$p = \frac{\text{konst.}}{V} \quad : \text{enačba izoterme}$$

### Termično raztezanje snovi

Pri danem tlaku je prostornina snovi (trdnin, kapljev in plinov) **odvisna od temperature**. Večina se pri segrevanju razteza, pri ohlajanju pa krči. Različne snovi se ne raztezajo enako močno. Najmanj se raztezajo trdne snovi, precej bolj kapljevine, najbolj pa se raztezajo plini.

- **Sprememba dolžine**

$$\frac{\Delta l}{l} = \alpha \Delta T$$

Relativna sprememba dolžine  $\Delta l/l$  je premo sorazmerna s spremembo temperature  $\Delta T$ ,  $\alpha$  je **dolžinska razteznost** ali *temperaturni koeficient dolžinskega razteza*. Čim večja je dolžinska razteznost, tem bolj se snov pri segrevanju razteza.

- **Sprememba prostornine**

$$\frac{\Delta V}{V} = \beta \Delta T$$

Relativna sprememba prostornine  $\Delta V/V$  je premo sorazmerna s spremembo temperature  $\Delta T$ ,  $\beta$  je **prostorninska razteznost** ali *temperaturni koeficient prostorninskega razteza*.

Prostorninska razteznost za:

- 1) **kapljevine** je navedena v tabelah
- 2) **trdne snovi** je:  $\beta = 3\alpha$
- 3) **pline** je:  $\beta = 1/T$ , kjer je T začetna absolutna temperatura plina

- **Sprememba površine (ploščine)**

$$\frac{\Delta S}{S} = 2\alpha \Delta T$$

### Energijski zakon termodinamike

Sprememba notranje energije snovi je enaka vsoti dela in toplote, ki ju snov izmenja z okolico.

$$\Delta W_n = A + Q$$

Sistem, ki z okolico ne izmenjuje niti dela niti toplote je **izoliran sistem**. Za tak sistem je zgornja enačba enaka  $\Delta W_n = 0$ .

▪ **Adiabatna sprememba**

Pri adiabatni spremembi snov z okolico ne izmenjuje toplote. Energijski zakon termodinamike za tako spremembo je  $\Delta W_n = A$ .

**Specifična toplota**

Da se snov z maso  $m$  in temperature  $T_1$  segreje na temperature  $T_2$ , ji moramo dovesti toploto  $Q$ :

$$Q = mc(T_2 - T_1) = mc\Delta T$$

Sorazmernostni koeficient  $c$ , ki je odvisen od vrste snovi se imenuje **specifična toplota**.

Specifična toplota snovi je toplota, ki jo mora prejeti (oddati) 1kg snovi, da se segreje (ohladi) za 1°C.

▪ **Toplotna kapaciteta (C)**

Je značilna za konkretno količino snovi oz. predmet.

$$C = mc$$

$$C = \frac{Q}{\Delta T}$$

$$[C] = \frac{J}{K}$$

enota za toplotno prevodnost

**Toplotna kapaciteta nam pove koliko toplote mora prejeti (oddati) dana snov ali telo, da se segreje (ohladi) za 1°C.**

**Kalorimetrija**

... je del termodinamike, ki se s pomočjo **kalorimetra** ukvarja z merjenjem specifične toplote in toplotne kapacitete snovi.

**Notranja energija idealnega plina**

**Enoatomni plini**

$$c_v = \frac{3R}{2M}$$

$$c_p = c_v + \frac{R}{M} = \frac{5R}{2M}$$

$$\kappa = \frac{c_p}{c_v} = \frac{5}{3} = 1,67$$

Primeri: samo žlahtni plini; He, Ne, Ar

**Vecatomni plini**

$$c_v = \frac{5R}{2M}$$

$$c_p = c_v + \frac{R}{M} = \frac{7R}{2M}$$

$$\kappa = \frac{c_p}{c_v} = \frac{7}{5} = 1,4$$

Primeri: H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, zrak

**Prenos toplote**

Toplota se lahko prenaša s **sevanjem** (npr. Sonce seva toploto, del te toplote prestreže Zemlja) ali s **konvekcijo** (prenos toplote z gibanjem snovi, npr. sušilec las piha vroč zrak). Seveda je možen prenos toplote tudi s kombinacijo obeh načinov (npr. vroča lončena peč ogreva prostor s toploto, ki jo oddaja s konvekcijo in sevanjem).

**Zakon toplotnega prevajanja:**

$$P = \lambda S \frac{\Delta T}{d}$$

**Toplotna prevodnost**

$$\lambda = \frac{Pd}{S\Delta T}; \quad [\lambda] = \frac{Wm}{m^2K} = \frac{W}{mK}$$

Dobri prevodniki (velik  $\lambda$ ) so kovine, slabši prevodniki so porcelan, apnenec, opeka, les in vse kapljevine. **Snovi, ki imajo zelo majhno toplotno prevodnost, so toplotni izolatorji.** Vakuum je najboljši toplotni izolator.

**Temperaturni gradient**, pove za koliko se spremeni temperatura na 1cm debeli plasti zidu.

$$\frac{\Delta T}{d} : \text{temperaturni gradient}$$

Upor, s katerim dana snov zavira toplotni tok, je **toplotni upor (R)**.

$$P = \frac{\Delta T}{R}$$

$$P = \frac{\Delta T}{d/\lambda S}$$

$$R = \frac{d}{\lambda S}$$

$$[R] = \frac{m \cdot mK}{W \cdot m^2} = \frac{K}{W}$$

Toplotni upor skozi dve, tri ali več zaporednih plasti:

$P = \frac{\Delta T}{R_s}$	<b>Dve plasti:</b> $R_s = R_1 + R_2$ <b>Tri plasti:</b> $R_s = R_1 + R_2 + R_3$ <b>Več plasti:</b> $R_s = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + \dots$
----------------------------	--

## Sprememba agregatnega stanja

### Taljenje

Toploto, ki jo mora snov z maso  $m$  prejeti, da se popolnoma stali, imenujemo **talilna toplota**.

$$Q_t = m q_t$$

V tej enačbi nastopa tudi **specifična talilna toplota**,  $q_t$ .

$$q_t = \frac{Q_t}{m}; \quad [q_t] = \frac{J}{kg}$$

Pri nasprotnem pojavu, (npr. nastajanje ledu) se začne kapljevina strjevati. Strjevalna toplota snovi je enaka talilni toploti.

### Vrenje

Kapljevini, ki je segreta do vrelišča, moramo dovesti **izparilno toploto**, če želimo, da izhlapi.

$$Q_i = m q_i$$

$$q_i = \frac{Q_i}{m}; \quad [q_i] = \frac{J}{kg}$$

### Vlažnost

Ker je v zraku vedno nekaj vodne pare, lahko govorimo o **vlažnosti zraka**. Količina vlage v zraku določa **delni tlak vodne pare**  $p_v$ . Zračni tlak, ki ga pokaže katerikoli barometer je po Daltonovem zakonu enak vsoti **delnega tlaka suhega zraka**  $p_{zr}$  in **delnega tlaka vodne pare**.

$$p = p_{zr} + p_v$$

Vendar lahko prostorninska enota zraka sprejme samo **omejeno količino vode**. Pri največji možni količini vodne pare ima vodna para tlak  $p_n$ . Ta tlak je **nasičeni tlak vodne pare**.

**Nasičeni parni tlak dane kapljevine je odbisen samo od temperature.**

**Relativna vlažnost zraka** je razmerje med delnim in nasičenim parnim tlakom, izražena je v odstotkih.

$$r = \frac{p_v}{p_n}$$

Relativna vlažnost zraka je lahko:

- 1)  $r < 100\%$ , zrak je **nenasičen** z vlago
- 2)  $r = 100\%$ , zrak je **nasičen** z vlago
- 3)  $r < 100\%$ , zrak je **prenenasičen** z vlago

**Absolutna vlažnost** je kvocient mase vode in prostornine zraka.

$$a = \frac{m_v}{V} = \frac{p_v M_v}{RT} = \rho_v; \quad [a] = \frac{kg}{m^3}$$

Relativno vlažnost lahko zapišemo tudi kot:

$$r = \frac{a}{a_n} = \frac{\rho_v}{\rho_n}$$

## Toplotni stroj

Toplotni stroj pretvarja notranjo energijo goriv v mehanično delo. V toplotnem stroju opravlja delo delovna snov. Delovna snov prejme toploto od toplega rezervoarja pri visoki temperature, v stroju opravi delo in pri nizki temperature nekaj manj toplote, kot jo je prejela, odda hladnemu rezervoarju. Pri tem gre za **krožno spremembo**, notranja energija delovne snovi se torej *ne spremeni*  $\Delta W_n = 0$ . Iz energijskega zakona termodinamike sledi, da je oddano delo denako razliki med *prejeto in oddano toploto*.  $A = Q_t - Q_h$

**Izkoristek toplotnega stroja** ( $\eta$ ) pove koliko odstotkov prejete toplote stroj pretvori v delo.

$$\eta = \frac{\text{"koristno"}}{\text{"vloženo"}} = \frac{\text{oddano delo}}{\text{prejeta toplota}} = \frac{A}{Q_t}$$

$Q_t$  .... prejeta toplota

$Q_h$  .... oddana toplota

$T_t$  .... Temperature toplega rezervoarja

$$\eta = \frac{Q_t - Q_h}{Q_t} = 1 - \frac{Q_h}{Q_t}$$

$T_h$  .... Temperature hladnega rezervoarja  
 $\eta$  .... izkoristek toplotnega stroja

Primeri izkoristkov: parni stroj < 15%, dizelovi motorji 35%, bencinski motorji 25%

V idealnem toplotnem stroju opravlja delo idealni plin. Krožna sprememba, ki jo opravi plin, je sestavljena iz dveh izotermnih in dveh adiabatnih sprememb. To je **Carnotova krožna sprememba**, stroj pa **Carnotov toplotni stroj**.

Razmerje obeh toplot je enako razmerju absolutnih temperatur:

$$\frac{Q_h}{Q_t} = \frac{T_h}{T_t}$$

Izkoristek idealnega toplotnega stroja se s temperaturama izraža takole:

$$\eta_0 = 1 - \frac{T_h}{T_t} = \frac{T_t - T_h}{T_t}$$

Vsi praktično uporabni toplotni stroji imajo pri dani temperature toplega rezervoarja  $T_t$  in dani temperaturi hladnega rezervoarja  $T_h$  manjši izkoristek kot idealni toplotni stroj.

Določimo lahko tudi najmanjšo toploto, ki jo mora oddati hladnemu rezervoarju idealni toplotni stroj, da sploh deluje:

$$Q_h = Q_t \frac{T_h}{T_t}$$

### Hladilni stroj

... ali hladilnik odvzema toploto hladnejši notranjosti hladilnika (hladnemu rezervoarju) in oddaja toploto toplejšemu mestu (toplemu rezervoarju), to je običajno okolni zrak.

V hladilniku prenaša toploto delovna snov (amoniak, freon, ...), ki na poti od hladnega rezervoarja k toplemu rezervoarju in nazaj opravi **krožno spremembo**. Med krožno spremembo delovna snov odvzema toploto hladnemu rezervoarju pri nizki temperature  $T_h$  in odda več toplote toplemu rezervoarju pri **višji temperature**  $T_t$ . Hladilnik deluje pravzaprav kot obrnjen toplotni stroj. Ker se pri krožni spremembi notranja energija delovne snovi ne spremeni, je oddana toplota enaka vsoti prejete toplote in dela .

$$Q_t = Q_h + A$$

Tudi **učinek hladilnega stroja** lahko izračunamo kot razmerje med koristnim in vložnim:

$$v = \frac{\text{"koristno"}}{\text{"vloženo"}} = \frac{Q_h}{A} = \frac{Q_h}{Q_t - Q_h} \quad : \text{učinek hladilnega stroja}$$

Najmanj dela porabi idealni hladilni stroj. Ta stroj deluje na osnovi Carnotove krožne spremembe, ki poteka v obratni smeri kot pri idealnem toplotnem stroju. Tudi za izdelani hladilni stroj velja:

$$\frac{Q_h}{Q_t} = \frac{T_h}{T_t}$$

$$v_0 = \frac{T_h}{T_t - T_h} \quad : \text{učinek idealnega toplotnega stroja}$$

Vsi uporabni hladilni stroji, ki delujejo med enakima temperaturama imajo manjši učinek kot idealni hladilni stroj.

#### ▪ Toplotna črpalka

Toplotna črpalka je namenjena ogrevanju prostorov. Delovna snov zajema toploto v okolici zgradbe (hladni rezervoar) in oddaja toploto v notranjosti zgradbe (topli rezervoar). Toplotna črpalka hladi okolico in segreva notranjost zgradb. Delovna snov toplotne črpalke poganja kompresor.

**Učinek toplotne črpalke** je določen s kvocientom:

$$\mu = \frac{\text{"koristno"}}{\text{"vloženo"}} = \frac{Q_t}{A} = \frac{Q_t}{Q_t - Q_h}$$

Največji učinek ima idealna toplotna črpalka:

$$\mu_0 = \frac{T_t}{T_t - T_h} \quad : \text{učinek idealne toplotne črpalke}$$