

# Fizika 2

*zapiski za srednjo šolo*

## VSEBINA

- Delo
- Energija
- Termodinamika (toplota)

*Zapiske izdelala: Dinka @ [instrukcijeonline.com](http://instrukcijeonline.com)*



# 1. Delo in energija

## Delo sile (A)

Delo se opravi, kadar se s silo nekaj premakne, npr. človek opravi delo, ko potisne voziček za neko razdaljo, ko zabije žebelj, dvigne predmet, itd.

Delo je skalarni produkt med vektorjem stalne sile in vektorjem premika

$$A = \vec{F} \cdot \vec{x} = F \cdot x \cdot \cos \alpha$$

Oznaka **A** ; osnovna merska enota: **J** (**džul**, ime po J.P. Joule)

Večje enote: 1 **kJ** (kilodžul) =  $10^3$  J;

1 **MJ** (megadžul) =  $10^6$  J;

1 **GJ** (gigadžul) =  $10^9$  J

enota za delo:

$$\left[ \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{m} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2} = \text{N} \cdot \text{m} = \text{J} \right]$$

Če ima **sila F smer premika**, je delo sile produkt sile in premika prijemališča sile:

$$A = F \cdot x$$

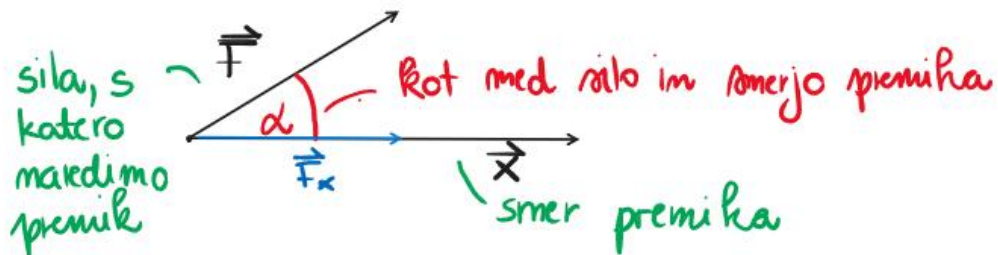
Ko je **sila F poševna glede na premik**, je delo sile produkt komponente  $F_x$  (ki je v smeri premika) in premika:

$$A = \underbrace{F \cdot \cos \alpha}_{F_x} \cdot x = \underbrace{F_x}_{F_x} \cdot x$$

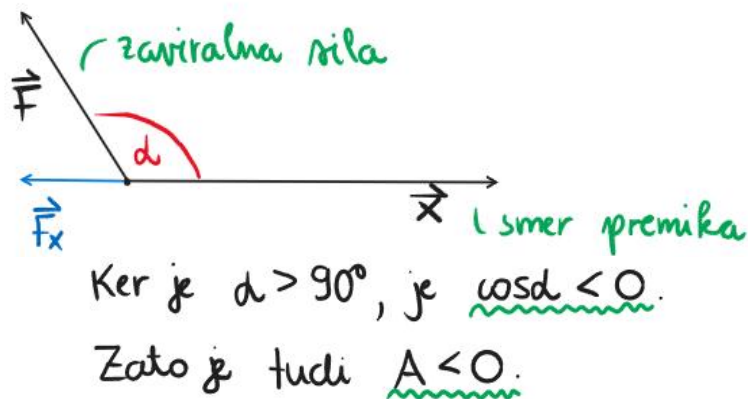
$F \cdot \cos \alpha = F_x$  ... pravokotna projekcija sile  $F$   
v smeri premika oziroma

komponenta sile  $F$  v smeri premika

- Če ima komponenta  $F_x$  isto usmerjenost kot vektor premika, potem je delo sile **pozitivno** in deluje **pospeševalno**.  $A > 0$ .

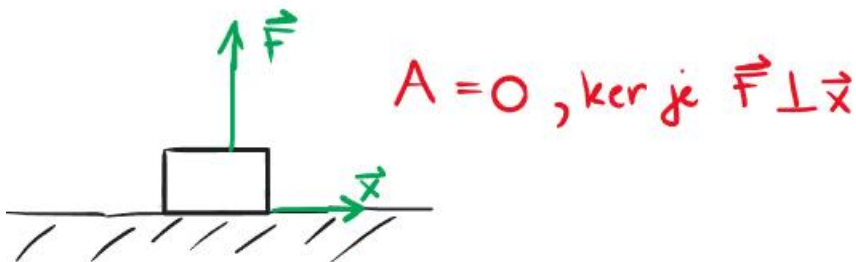


- Če ima komponenta  $F_x$  nasprotno usmerjenost kot vektor premika, potem je delo sile **negativno** in deluje **zaviralno**.  $A < 0$ .



**Delo 1 J opravi stalna sila 1 N, če se njeno prijemališče premakne za 1 m v smeri sile.**

Če je sila  $F$  **pravokotna na smer premika**, je **delo sile enako nič**. Pravimo tudi, da takšna sila gibanja niti ne pospešuje, niti ne zavira, torej tudi ne vpliva na spremembo kinetične energije telesa.



Delo sile je razlika med končno in začetno kinetično energijo telesa, kar pa predstavlja spremembo kinetične energije telesa (ob predpostavki, da se telo giblje vodoravno):

$$\Delta W_k = F \cdot x = A$$

Izpeljava zgornje enakosti:

$$v^2 = v_0^2 + 2ax \quad / \cdot \frac{m}{2} \quad (\text{enak. posp. gibanje})$$

$$\frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{m \cdot v_0^2}{2} + \frac{2ax \cdot m}{2} \quad \leftarrow a = \frac{F}{m}$$

$$\frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{m \cdot v_0^2}{2} + F \cdot x$$

$W_k$  ... kinetična energija na koncu poti

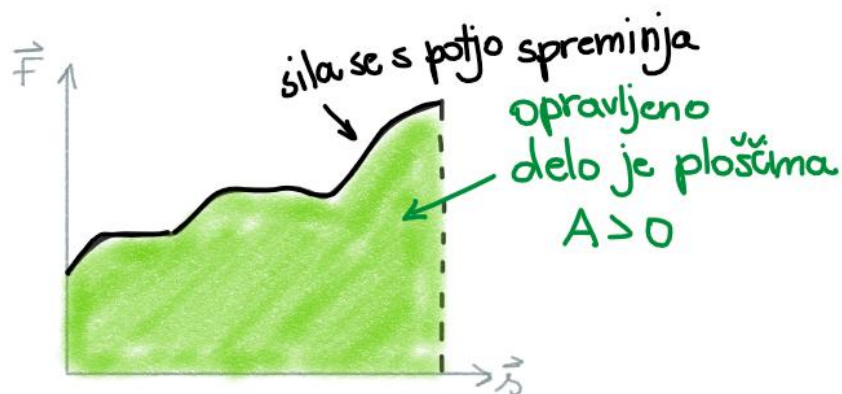
$$\frac{m \cdot v^2}{2} - \frac{m \cdot v_0^2}{2} = F \cdot x$$

$W_{k_0}$  ... kinetična en. na začetku

$$W_k - W_{k_0}$$

$$W_k - W_{k_0} = \Delta W_k$$

Če je sila spremenljiva, količino opravljenega dela lahko rešimo grafično:



V splošnem pa vemo, da na telo ponavadi deluje več sil hkrati in sile opravljajo delo. Torej je celotno delo  $A$  vsota del posameznih sil:

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + \dots$$

$$A = \underline{F_1 \cdot x} + \underline{F_2 \cdot x} + \underline{F_3 \cdot x} + \dots = \underline{(F_1 + F_2 + F_3 + \dots) \cdot x}$$

$$A = \underline{F \cdot x}$$

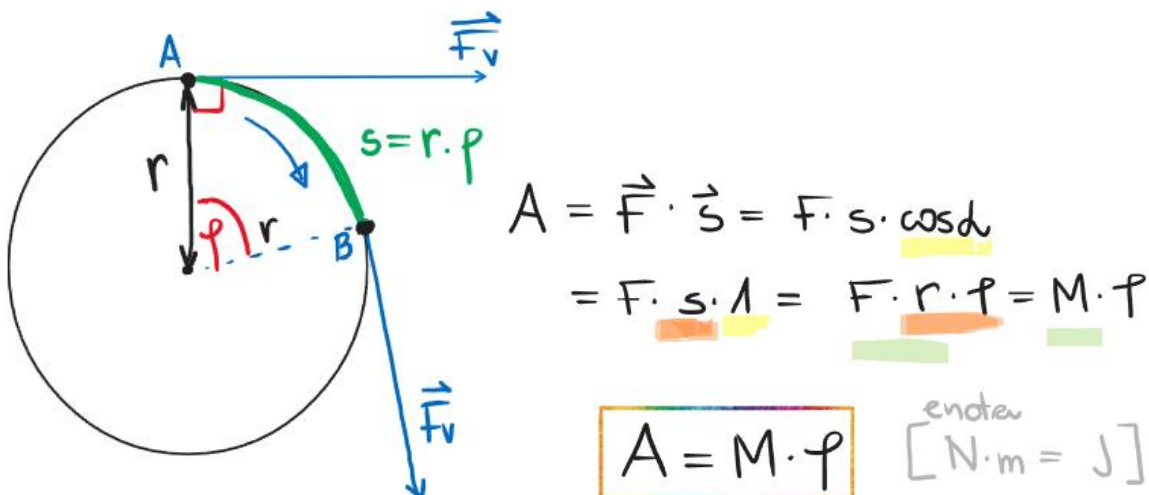
Če je skupno pozitivno delo določenih sil enako skupnemu zaviralnemu negativnemu delu, se vrednosti izničita in je torej v tem primeru opravljeno delo enako nič.

Če so **sile v ravnovesju** (vsota sil je enaka nič), je njihovo **celotno delo** pri nekem premiku **enako nič**.

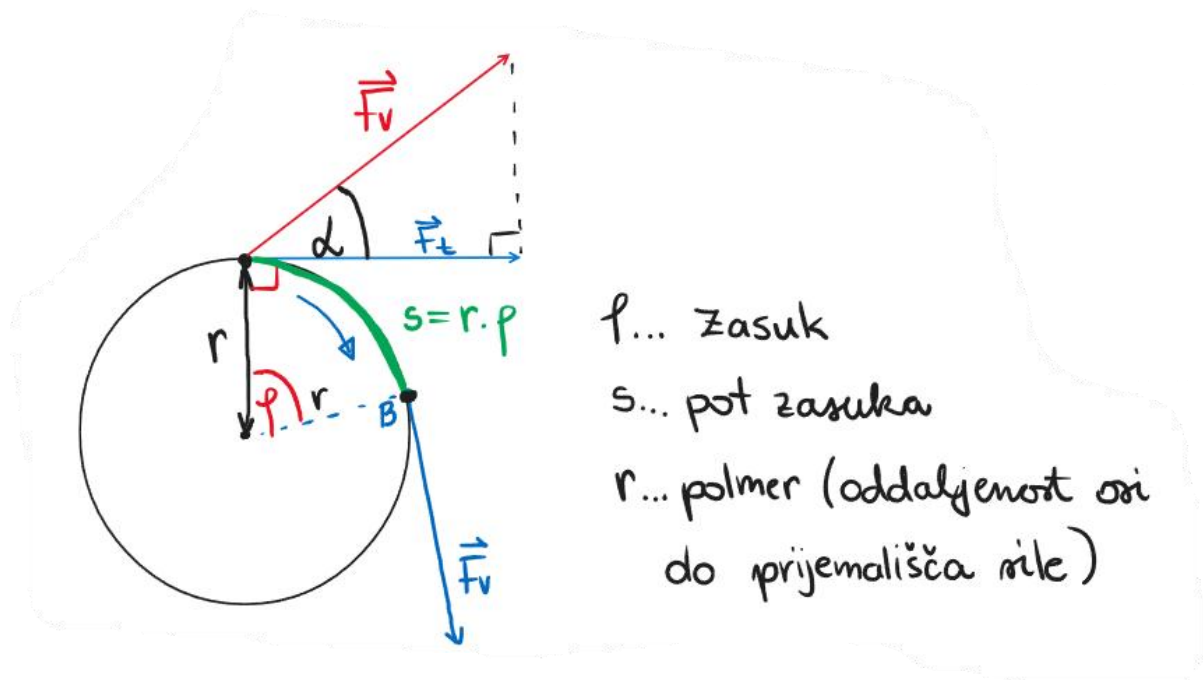
## Delo pri vrtenju

Telo se vrti okrog svoje vrtilne osi. Da bi videli, koliko dela opravi sila  $F$  med zasukom telesa, moramo najprej situacijo ločiti na dva dela:

- Kadar je sila v smeri tangente (pomeni, da je kot med smerjo vrtenja in silo enaka nič):



- Kadar sila  $F_v$  ni v smeri tangente (kot med silo in smerjo vrtenja ni enak nič), takrat upoštevamo samo njeno komponento  $F_T$  v smeri tangente (vrtenja):



$$A = \vec{F}_t \cdot s = \vec{F}_t \cdot r \cdot f = M_t \cdot f$$

Velja:  $\vec{F}_t = \vec{F}_v \cdot \sin \alpha$

Pri tem smo upoštevali, da je **NAVOR** po definiciji enak **produktu sile in ročice** (razdalje od osi do prijemališča sile):

$$M = F \cdot r \quad \begin{matrix} \text{enota} \\ [N \cdot m] \end{matrix}$$

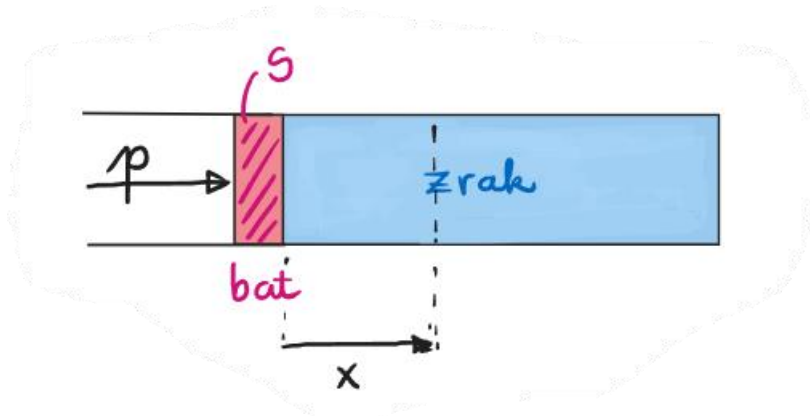
Ponavadi vpliva na telo več navorov hkrati: na primeru kolesa zgoraj bi lahko delovali z dvema silama, ki delujeta nasprotno ena na drugo (ena bi delovala v smeri vrtenja - pozitivno delo npr.  $A = 70\text{J}$ , druga pa bi zavirala vrtenje - negativno delo, npr.  $A = -30\text{J}$ ). Torej je opravljeno delo vsota obeh:  $A = 70\text{J} - 30\text{J} = 40\text{J}$ .

## Delo tlaka

Delo tlaka je pomembno med stiskanjem snovi. V tem procesu se telo deformira in zato je potrebna sila  $F$ . Predstavljajmo si, da stiskamo zrak v posodi. S tlakom  $p$  stiskamo bat, ki ima površino  $S$ . Bat se premakne za razdaljo  $x$ .

Torej sila, s katero pritiskamo na bat, opravi delo:

$$A = F \cdot x = p \cdot S \cdot x = p \cdot \Delta V$$



Pri čemer vemo, da je **TLAK** definiran kot **količnik sile in površine**, na katero sila deluje:

$$p = \frac{F}{S} \rightarrow F = p \cdot S$$

Vemo pa tudi, da je **produkt površine in premika enak spremembi prostornine** pri premiku:

$$S \cdot x = \Delta V$$

enota za tlak

$$\left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \text{Pa} \right]$$

enota za delo

$$\left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot \text{m}^3 = \text{N} \cdot \text{m} = \text{J} \right]$$

$\uparrow$        $\uparrow$        $\uparrow$   
 $p$        $\Delta V$        $A$

**ENERGIJA** je sposobnost telesa, da opravi delo. Ločimo na:

- Kinetično energijo
- Potencialno energijo
- Prožnostno energijo
- Notranjo energijo

### Kinetična energija ( $W_k$ )

Je energija, ki jo ima telo z maso  $m$ , kadar se giblje (s hitrostjo  $v$ ):

$$W_k = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

enota

$$\left[ \underbrace{\text{kg}}_m \cdot \underbrace{\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}_{v^2} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{m} = \text{N} \cdot \text{m} = \text{J} \right]$$

Hitreje kot se telo giblje in večja kot je njegova masa, večja bo tudi njegova kinetična energija pri gibanju. Kadar pa telo miruje, je njegova kinetična energija enaka nič.

Kot že vemo, je delo sile enako spremembi kinetične energije telesa.

Kadar sila deluje v smeri gibanja, je delo te sile pozitivno in pospešuje telo. Takrat delo telesu poveča kinetično energijo.

Nasprotno, kadari sila deluje zaviralno (pri pojemajočem gibanju), je delo te sile negativno. Povzroči, da se telesu zmanjša kinetična energija. Torej je končna kinetična energija manjša od začetne.

Zato vzemimo primer, ko telo na začetku miruje, nato pa prične pospeševati. Takrat ima telo pospešek in po 2. Newtonovem zakonu velja, da **vsota vseh sil ni** enaka nič, ampak je **enaka produktu mase in pospeška**

$$F = m \cdot a$$



$$A = \underbrace{F} \cdot \underbrace{s} = \underbrace{m \cdot a} \cdot \frac{at^2}{2} = \frac{m \cdot (at)^2}{2}$$

↑  
opravljena pot (=x)

$$A = \frac{m \cdot v^2}{2} = W_k$$

$$v = a \cdot t$$

$$s = \frac{at^2}{2}$$

Rečemo, da telo dobi kinetično energijo oziroma telo prejme delo.

**IZREK O KINETIČNI ENERGIJI:** Količina prejetega (ali oddanega) dela je enaka spremembi kinetične energije telesa.

$$A = W_{k_2} - W_{k_1} = \Delta W_k$$

## Rotacijska kinetična energija

Pri rotaciji točkastega telesa z maso  $m$  in radijem  $r$  je rotacijska kinetična energija telesa:

$$W_k = \frac{J \cdot \omega^2}{2}$$

Pri čemer je:

$v$ ...hitrost telesa pri kroženju z radijem  $r$

$\omega$ ...kotna hitrost

$J$ ...vztrajnostni moment

izpeljava:

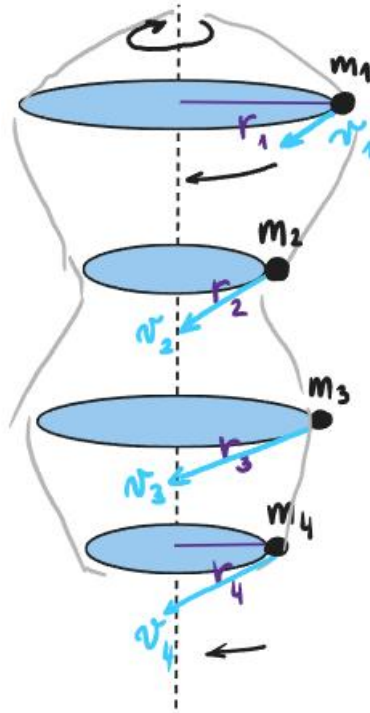
$$W_k = \frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{m \cdot (\omega \cdot r)^2}{2} = \frac{m \cdot r^2 \cdot \omega^2}{2}$$

$$= \frac{J \cdot \omega^2}{2}$$

$$v = \omega \cdot r$$

$$J = m \cdot r^2$$

Realno pa vemo, da je vrteče telo sestavljeno iz več točk. Torej ga razdelimo na več koščkov, ki so različno oddaljeni od osi. Ker so različno oddaljeni od osi, je tudi radij pri vsakemu drugačen in posledično se gibljejo z različnimi obodnimi hitrostmi  $V$ . Vsi pa imajo enako kotno hitrost  $\omega$ .



Torej ima vsak košček svojo rotacijsko kinetično energijo. Kinetična energija tega telesa je potemtakem vsota kinetičnih energij posameznih koščkov:

$$\begin{aligned}
 W_k &= W_{k_1} + W_{k_2} + W_{k_3} + \dots \\
 &= \frac{m_1 \cdot r_1^2 \omega^2}{2} + \frac{m_2 \cdot r_2^2 \omega^2}{2} + \frac{m_3 \cdot r_3^2 \cdot \omega^2}{2} + \dots \\
 &= \frac{\omega^2}{2} \cdot (m_1 \cdot r_1^2 + m_2 \cdot r_2^2 + m_3 \cdot r_3^2 + \dots)
 \end{aligned}$$

$$W_k = \frac{\omega^2}{2} \cdot J = \frac{J \omega^2}{2}$$

↳ vsota vztrajnostnih momentov posameznih koščkov je vztrajnostni moment celega telesa.

## Vztrajnostni moment $J$

Z njim merimo, kako težko je spraviti telo k vrtenju. **Večji kot je, težje zavrtimo telo.** Odvisen je od mase telesa in oddaljenosti snovi od vrtilne osi.

Večja masa in večja oddaljenost od osi pripomoreta k večjemu vztrajnostnemu momentu.

Primer: Drsalka se bo lažje in hitreje vrtela okrog svoje osi, če bo roke postavila tesno ob telo kakor če bi jih razprla.

Vztrajnostni moment sestavljenega, realnega telesa dobimo, če seštejemo vztrajnostne momente posameznih elementarnih mas:

$$J = J_1 + J_2 + J_3 + \dots = m_1 \cdot r_1^2 + m_2 \cdot r_2^2 + m_3 \cdot r_3^2 + \dots$$

Vztrajnostni momenti nekaterih teles, ki se vrtijo okoli svojih simetrijskih osi:

Homogen valj	$J = \frac{mR^2}{2}$
Votel valj	$J = mR^2$
Krogla	$J = \frac{2mR^2}{5}$

$m$ ... masa telesa

$R$ ... polmer telesa

## Potencialna energija

Je energija, ki jo ima telo z maso  $m$ , kadar je na višini  $h$ :

$$W_p = m \cdot g \cdot h$$

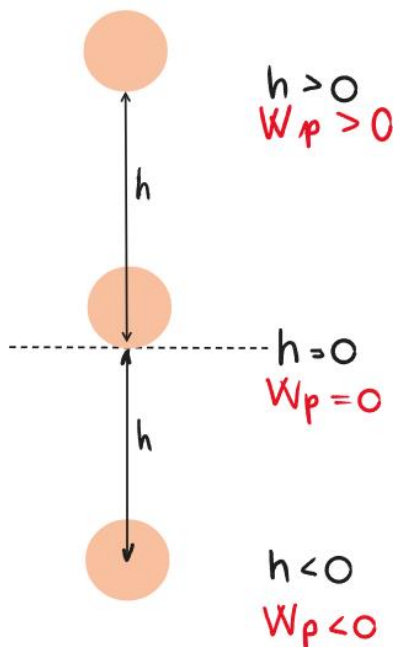
Enota za potencialno energijo:

$$\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{m} = \text{N} \cdot \text{m} = \text{J (joule)}$$

Višje kot je telo glede na ničelno višino, večjo ima potencialno energijo (pozitivno):  $W_p > 0$ .

Telo se nahaja na (izbrani) ničelni višini:  $W_p = 0$

Telo si lahko predstavljamo, da je lahko **pod ničelno višino** in v tem primeru je njegova potencialna energija negativna:  $W_p < 0$ .



Predstavljajmo si, da se telo giblje navpično (se dvigne ali spusti). Potencialna energija pravzaprav pomeni **delo sile teže**. Vemo pa, da je delo enako produktu sile in poti:  $A = Fs$

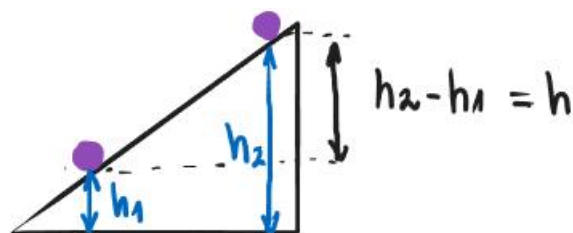
Ko govorimo o delu sile teže, potem lahko izpeljemo:

$$A = F \cdot s$$

$$A = F_g \cdot s = m \cdot g \cdot (h_2 - h_1) = m \cdot g \cdot h$$

↓  
pot je v tem primeru  
sprememba višine

Vidimo, da je delo sile teže pravzaprav potencialna energija telesa (toda mi običajno uporabljamo izraz potencialna energija). V kolikor se telo giblje **poševno navzgor (na klancu)**, nas zanima le **navpična višinska razlika** pri izračunu spremembe potencialne energije:



### Izrek o kinetični in potencialni energiji

Delo vseh zunanjih sil (razen sile teže), ki delujejo na telo, je enako spremembi kinetične in potencialne energije.

$$A = \Delta W_k + \Delta W_p$$

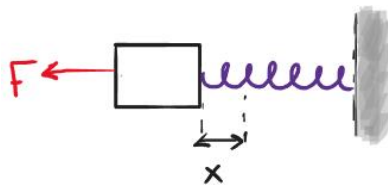
$$A = W_{k_2} - W_{k_1} + W_{p_2} - W_{p_1}$$

## Prožnostna energija

Ko se telo zaradi vpliva zunanje sile raztegne ali skrči za razdaljo  $x$ , pravimo da telo prejme prožnostno energijo. Izračunamo jo po formuli:

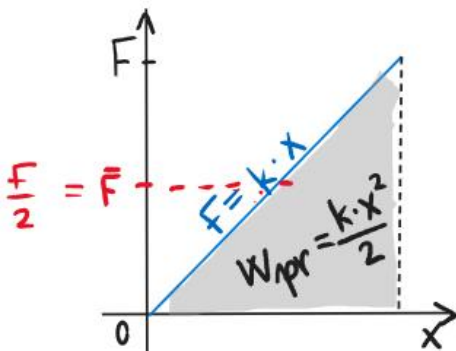
$$W_{pr} = \frac{k \cdot x^2}{2}$$

$k$ ...konstanta vzmeti       $x$ ...raztezek



Ta proces je povraten, saj se po prenehanju delovanja sile telo vrne v prvotno obliko.

Spomnimo se **Hookovega zakona**, ki pravi, da je sila pri napenjanju vzmeti enaka produktu koeficienta vzmeti in raztezka:



$$F = k \cdot x$$

↑  
sila narašča z raztezkom

Delo sile pa je produkt sile in premika (za silo vzamemo njeno povprečno vrednost, premik pa je ravno raztezek vzmeti):

PRI NAPENJANJU VZMETI:

sila na začetku :  $F_1 = 0$  (ko še ni raztega)

na koncu :  $F = kx$  (po raztegu  $x$ )



POVPREČJE :  $\bar{F} = \frac{0 + kx}{2} = \frac{kx}{2}$

$$A = \overline{F} \cdot x = \frac{kx}{2} \cdot x = \frac{kx^2}{2} = \Delta W_{pr}$$

Tako smo izpeljali enačbo za prožnostno energijo in videli, da je delo sile ravno sprememba prožnostne energije.

## Energijska enačba

Če v situaciji nastopa še prožnostna energija, lahko posplošimo (oziroma razširimo) izrek in rečemo, da je delo sile enako spremembi kinetične, potencialne in prožnostne energije:

$$A = \Delta W_k + \Delta W_p + \Delta W_{pr}$$

**ZAKON O OHRANITVI ENERGIJE.** V kolikor ne deluje nobena zunanja sila, se celotna energija ohrani, zato je delo sile enako nič:

$$A = \Delta W_k + \Delta W_p + \Delta W_{pr} = 0$$

## Moč (P)

Moč nam pove **količino dela, opravljenega v časovni enoti**. Ali z drugimi besedami, moč je kvocient dela in časovnega intervala:

$$P = \frac{\Delta A}{\Delta t}$$

- delo (nad  $\Delta A$ )  
- čas (pod  $\Delta t$ )

Pri premem gibanju je **moč pospeševalne sile** odvisna od poti in časa, zato je moč kar produkt sile in hitrosti:

$$P = \frac{F \cdot s}{t} \rightarrow P = F \cdot v$$

sila (pod  $F$ )      hitrost (pod  $v$ )

Merska enota za moč: **W** (imenuje se **vat**; James Watt)

$$1 \text{ W} = 1 \frac{\text{J}}{\text{s}} \quad \left[ \text{W} = \frac{\text{J}}{\text{s}} = \frac{\text{Nm}}{\text{s}} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3} \right]$$

Delati z 1 W moči pomeni opraviti 1 J dela v 1 sekundi.

Večje enote so:

$$1 \text{ kW} = 1000 \text{ W} \quad \text{kW... kilovat}$$

$$1 \text{ MW} = 1000 \text{ kW} = 10^6 \text{ W} \quad \text{MW... megavat}$$

$$1 \text{ GW} = 1000 \text{ MW} = 10^9 \text{ W} \quad \text{GW... gigavat}$$

Za enoto dela je namesto J (džula) zelo uporabna **kilovatna ura - kWh**. To je delo, ki ga stroj z močjo 1 W porabi v 1 uri. Pretvorba:

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$$

Namesto 1 J dela uporabljamo tudi izraz **vatsekunda** (1 Ws).

## Moč pri vrtenju

Pri vrtenju opravlja delo navor (**M**) sile. Ko se telo v časovnem intervalu

$\Delta t$  zavrti za kot  $\Delta \varphi$ , pri tem opravi delo:

$$\Delta A = M \cdot \Delta \varphi$$

Moč navora je zato produkt navora **M** in kotne hitrosti  $\omega$ :

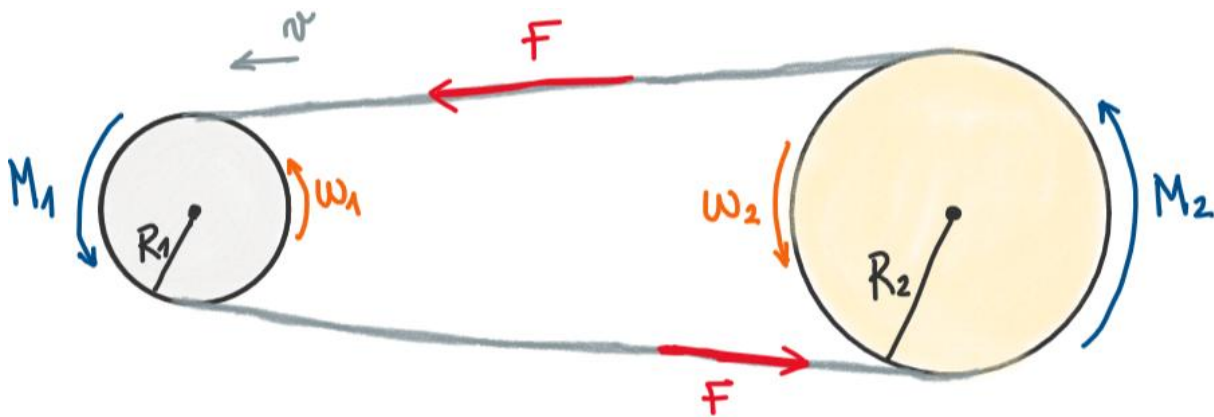
$$P = M \cdot \omega$$

$$P = \frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{M \cdot \Delta \varphi}{\Delta t} = M \cdot \boxed{\frac{\Delta \varphi}{\Delta t}}$$

$\omega$ ...kotna hitrost



Sedaj si na kratko oglejmo, kako delujejo prestave v motorju. Jermenica (ali zobato kolo) prenaša moč vrtenja iz prvega valja na drugi valj (imenujeta se gonilna in gnana gred). Gonilna in gnana gred sta povezani z gonilnim jermenom, ki vodi prek jermenic na obeh gredeh.



Gonilna gred se vrti s hitrostjo  $\omega_1$  in vrti jermenico z navorom  $M_1$ , torej oddaja moč

$$P_1 = M_1 \cdot \omega_1$$

Vrteča se jermenica napne jermen s silo  $F$ . Sila vzdolž jermena je povsod enaka, saj je to notranja sila jermena. Moč se prenaša preko jermenice na drugi valj. Sila  $F$  se po napetem delu jermena prenese na jermenico druge gredi (drugi valj s polmerom  $r_2$ ), ki jo vrti z navorom  $M_2 = FR_2$ . Torej velja:

$$F = \frac{M_1}{R_1} = \frac{M_2}{R_2}$$

Navor gnane osi ( $M_2$ ) je pri danem navoru ( $M_1$ ) gonilne osi tem večji, čim večji je polmer gnane osi ter čim manjši je polmer gonilne osi. Obodna hitrost obeh jermenic je enaka hitrosti premikanja jermena:

$$v = R_1 \cdot \omega_1 = R_2 \cdot \omega_2$$

Torej so kotne hitrosti (ali frekvenci) obeh valjev v obratnem sorazmerju s polmeroma njunih jermenic:

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{R_1}{R_2}$$

Moč gonilne osi se prek jermena prenaša na gnano os:

$$P = M_1 \cdot \omega_1 = FR_1 \cdot \frac{v}{R_1} = F \cdot v = F \cdot R_2 \cdot \omega_2 = M_2 \cdot \omega_2$$

Moč gonilne osi je enaka moči gnane osi.

## Moč in energija

Spomnimo se energijske enačbe:

$$A = \Delta W_k + \Delta W_p + \Delta W_{pr}$$

Vsota vseh energij je skupna energija telesa (W).

$$W = W_k + W_p + W_{pr}$$

Tako dobimo malce drugačen zapis enačbe za moč kot kvocient spremembe energije telesa in časovnega intervala:

$$P = \frac{\Delta W}{\Delta t}$$

## 2. Termodinamika (ali toplota)

Termodinamika preučuje toplotno ravnovesje toplotno izoliranih sistemov, energijske zakone, fazne spremembe, ipd. **Toplota** je namreč posebna oblika energije, je **del notranje energije snovi**, ki se pretaka skozi snov.

Ko se telo **segreje**, pravimo da **prejme toploto**. Ko se **ohladi**, pa **toploto odda**.

Pri termodinamiki uporabljamo termodinamične spremenljivke: **tlak, volumen, masa in temperatura**.

## Gibanje tekočin (glej zapiske Fizika 1)

### Temperatura (T)

Temperatura T je toplotno stanje telesa. V termodinamiki uporabljamo **absolutno temperaturo**. Enota za temperaturo je **kelvin (K)**, ki je dobila ime po Williamu Thomsonu, lordu Kelvinu.

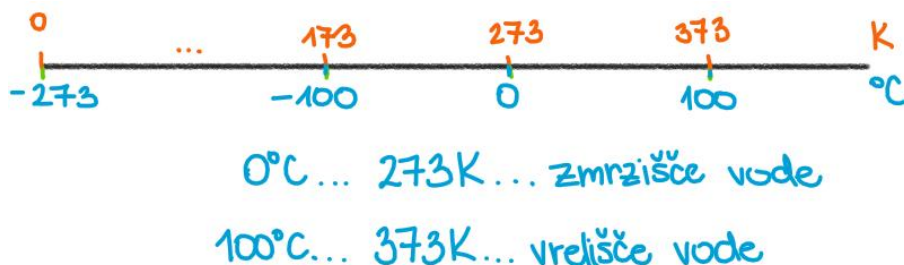
Velja: **0 (nič) kelvinov** je **absolutna ničla** (nižja temperatura kot to ni možna). V vsakdanjem življenju uporabljamo **Celzijevo temperaturo** in sicer velja pretvorba:

$$0^{\circ}\text{C} = 273\text{K}$$

↑ stopinje Celzija      ↑ kelvina

Velikosti obeh enot sta enaki, zato je temperaturna razlika, izražena v kelvinih enaka temperaturni razliki, izraženi v stopinjah Celzija.

Kelvinova in Celzijeva temperaturna lestvica:



Temperaturo T lahko vpeljemo tudi kot merilo za povprečno kinetično energijo termično gibajoče se molekule. Če je termično stanje snovi stacionarno, pravimo da je snov v termičnem ravnovesju (torej je na vseh delih snovi enaka temperatura in vse molekule imajo v povprečju enako kinetično energijo).

Najlažje vpeljemo temperaturo za plinasto snov. Temperatura T plina je količina, ki je premo sorazmerna s povprečno kinetično energijo posamezne molekule:

$$\overline{W}_{kin} = \text{konstanta} \cdot T$$

Katerakoli molekula v idealnem plinu, ki je v termičnem ravnovesju pri temperaturi  $T$ , se giblje s povprečno kinetično energijo

$$\overline{W_k} = \frac{3}{2} k T$$

kjer je konstanta  $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$  in se imenuje **Boltzmannova konstanta**.

Povprečna kinetična energija molekul je tudi (odvisna od hitrosti gibanja molekul):

$$\overline{W_k} = \frac{1}{2} m \cdot \overline{v}^2$$

$\uparrow$  masa delca       $\uparrow$  povprečna hitrost

S pomočjo termodinamičnih količin izražamo termično stanje snovi in njegove spremembe.

- Kvocient med maso in prostornino snovi je **gostota snovi** (pove nam maso snovi v enoti prostornine, lahko pa je z gostoto podano število molekul v enoti prostornine):

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$$

- **Tlak** povzročajo molekule v snovi zaradi svojega neprestanega gibanja.

## Notranja energija - toplota

**Toplota  $Q$**  je gibanje (kinetična energija) molekul v plinih in kapljevinah ali nihanje molekul v trdni snovi. Je energija, ki povzroča spremembo hitrosti (kinetične energije) molekul:

$$Q = \Delta W_k$$

**Notranja energija**  $W_n$  snovi je sestavljena iz:

- kinetične energije termično gibajočih se molekul,
- potencialne energije zaradi medmolekularnih sil in
- notranje energije posamičnih molekul

Vendar pa pri termodinamiki upoštevamo samo notranjo energijo kot kinetično energijo termično gibajočih se molekul. Notranja energija idealnega plina je torej:

$$W_n = W_k$$

Če je v plinu  $N$  molekul, ki so v termičnem ravnovesju pri temperaturi  $T$ , bo potem celotna notranja energija idealnega plina enaka:

$$W_n = N \cdot \frac{3}{2} kT$$

Število molekul  $N$  izrazimo kot kvocient med maso  $m$  plina in maso  $\mu$  posamezne molekule v plinu:

$$N = \frac{m}{\mu} \quad [N = \text{brez enote}]$$

Maso  $\mu$  posamezne molekule v plinu pa dobimo kot produkt relativne molekulske mase  $M$  in atomske enote  $u$  mase:

$$\mu = M \cdot u$$

Atomska enota mase je definirana kot 1/12 mase ogljikovega atoma  $C_{12}$  in znaša:

$$u = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

Torej lahko notranjo energijo plina izrazimo kot:

$$W_n = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{3}{2} kT = \frac{m}{M \cdot u} \cdot \frac{3}{2} kT = m \cdot \left( \frac{3k}{2Mu} \right) \cdot T$$

$\parallel$   
 $c$

In krajše:

$$W_n = m \cdot c \cdot T \quad c \dots \text{specifična toplota snovi}$$

S segrevanjem ( $\Delta T > 0$ ) se notranja energija poveča, z ohlajanjem snovi ( $\Delta T < 0$ ) pa se notranja energija zmanjša. Torej če je sprememba temperature plina  $\Delta T$ , potem se njegova notranja energija spremeni za

$$\Delta W_n = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Bolj kot je snov segreta, tem hitreje se gibajo molekule v njej. Z medsebojnimi trki molekul se notranja energija pretaka iz toplejšega dela v hladnejši del. Pravimo, da toplota teče skozi snov. Ko se notranja energija zaradi segrevanja poveča, pravimo da snov prejme toploto  $Q$ . Ko pa se snovi zaradi ohlajanja zmanjša notranja energija, snov odda toploto  $Q$ . Torej je prejeta ali oddana toplota  $Q$  enaka spremembi notranje energije snovi:

$$Q = \Delta W_n = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Kadar sta dve snovi v termičnem ravnovesju, potem pretakanja toplote med njima ni.

**Specifična toplota** snovi je toplota, ki jo potrebujemo, da 1 kg snovi segrejemo za 1 K.

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$$

→ enota za  $c$ :  
 $\left[ \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} = \frac{\text{W} \cdot \text{s}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right]$

→ večje enote:  
 $\left[ 1 \frac{\text{Wh}}{\text{kg} \cdot \text{K}} = 3,6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right]$

V kolikor segrevamo plin v zaprtem prostoru, kjer se volumen ne spreminja:

Količnik Boltzmannove konstante  $k$  in atomske enote  $u$  mase se imenuje **splošna plinska konstanta  $R$** .

$$R = \frac{k}{u} = 8314 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

Iz tega lahko izpeljemo, da je **specifična toplota pri stalnem volumnu  $c_v$**  enaka:

$$c = \frac{3k}{2Mu} \rightarrow c_v = \frac{3R}{2M}$$

V kolikor segrevamo plin pri stalnem tlaku, takrat imamo **specifično toplotu pri stalnem tlaku  $c_p$** .

$$\Delta W_n = m \cdot c_v \cdot \Delta T$$

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

povezava med  $c_v$  in  $c_p$ :  $c_p = c_v + \frac{p \cdot \Delta V}{m \cdot \Delta T}$

plini:  $c_p > c_v$   $\frac{\Delta V}{\Delta T} > 0$

trdnine, kapljevine:  $c_p \doteq c_v$   $\frac{\Delta V}{\Delta T} \approx 0$

**Delo tlaka** je produkt tlaka  $p$  in spremembe prostornine  $\Delta V$ :

$$A = -p \cdot \Delta V$$

$\Delta V > 0$ , kadar se zaradi raztezanja volumen povečuje  $\rightarrow$  snov delo odda

$\Delta V < 0$ , kadar se zaradi stiskanja volumen zmanjšuje  $\rightarrow$  snov delo prejme

Produkt mase in specifične toplote imenujemo **toplotna kapaciteta C**:

$$C = m \cdot c$$

Pove nam, za koliko se poveča toplota snovi, če jo segrejemo za 1 kelvin. Potem je enačba za toplotu lahko tudi:

$$Q = C \cdot \Delta T$$

Specifične toplote pri stalnem tlaku  $c_p$  nekaterih trdnih snovi:

snov	voda	led	aluminij	železo	olje	svinec
$c_p \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \right]$	4,2	2,1	0,9	0,46	3,8	0,13

Specifične toplote pri stalnem tlaku  $c_p$  in specifične toplote pri stalnem volumnu  $c_v$  nekaterih plinov:

snov	vodna para	zrak	molekula helija	molekula vodika
$c_p \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \right]$	2,016	1,008	5,25	14,28
$c_v \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \right]$	1,386	0,72	3,15	10,08

Velja pretvorba:  $1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} = 100 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$

## Energijski zakon - I. zakon termodinamike

**Notranja energija**  $W_n$  telesa, ki ni toplotno izolirano, se spreminja z odvedenim ali dovedenim delom A in odvedeno ali dovedeno toplotu iz okolice:

$$\Delta W_n = A + Q \quad [\text{enota: J}]$$



To zgoraj je energijski zakon za primer, ko se telesu spreminja le notranja energija. Lahko pa se telesu spremeni tudi kinetična, potencialna in prožnostna energija. V tem primeru pa se splošna oblika energijskega zakona glasi:

Sprememba celotne energije sistema je enaka vsoti toplote in dela, ki se preneseta med sistemom in okolico.

$$\Delta W = A + Q$$

Sprememba celotne energije sistema pa je enaka spremembi kinetične, potencialne, prožnostne in notranje energije telesa:

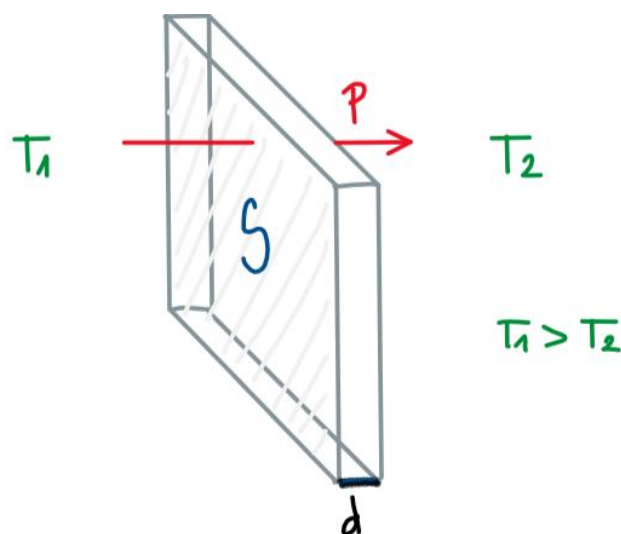
$$\Delta W = \Delta W_k + \Delta W_p + \Delta W_{pr} + \Delta W_n$$

## Konvekcija

Ker so tekočine (kapljevine in plini) gibljive, se mešajo in tečejo. Toplejši deli so redkejši kot hladnejši, zato se dvigujejo. Hladnejši deli pa se spuščajo. Tako nastanejo *konvekcijski tokovi*.

## Prenos toplote

Toplotni tok  $P$  (oznaka je enaka kot za moč) je količina toplote  $Q$ , ki v časovnem intervalu  $\Delta t$  preide skozi snov s prečnim prerezom (površino)  $S$ .



Torej ga lahko definiramo kot kvocient toplote  $\Delta Q$  in časovnega intervala  $\Delta t$

$$P = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

Pri tem toplota prehaja iz območja z višjo temperaturo  $T_1$  v območje z nižjo temperaturo  $T_2$ . (iz toplejšega na hladnejše območje).

Enota za toplotni tok:  $[W = \frac{J}{s}]$  (vat)

Zamislimo si snov s površino (prečnim prerezom)  $S$  in razdaljo  $d$  (npr. debelina stene). na eni strani je temperatura območja  $T_1$ , na drugi strani pa nižja temperatura  $T_2$ . (glej sliko)

Tako definiramo temperaturno spremembo med obema stranema:

$$\Delta T = T_1 - T_2$$

Enačba za prevajanje toplote je tako:

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

$\lambda$ ... koeficient toplotne prevodnosti  $[\frac{W}{m \cdot K}]$   
(odvisen od vrste snovi)

$d$ ... debelina [m]

$S$ ... površina [m<sup>2</sup>]

Toplotni tok je tem večji, čim večja je toplotna prevodnost snovi, čim večji je prerez  $S$  in čim večja je temperaturna razlika  $\Delta T$  na obeh koncih. Nasprotno, pa je toplotni tok obratnosorazmeren debelini snovi  $d$ , skozi katero teče toplotni tok.

Količnik  $\frac{\Delta T}{d}$  med spremembo temperature in razdaljo  $d$  imenujemo **gradient temperature**. Pove nam, za koliko se spremeni temperatura na razdalji 1 m v smeri pretakanja toplote. Enota:  $\left[\frac{K}{m}\right]$

**Gostota toplotnega toka  $j$**  je premo sorazmerna z gradientom temperature:

$$j = \frac{P}{S} = \text{konst.} \cdot \frac{\Delta T}{d}$$

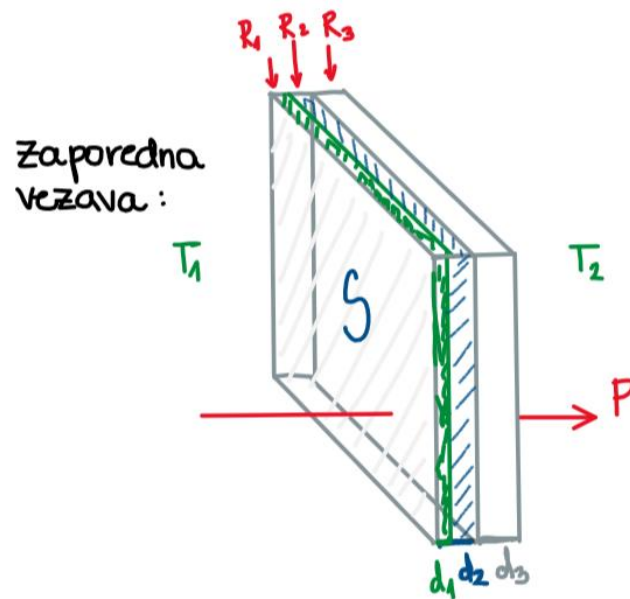
**Toplotni upor  $R$**  pove temperaturno razliko, ki je potrebna, da skozi snov teče 1W toplotnega toka:

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

Vidimo pa tudi, da je toplotni upor premo sorazmeren z razdaljo  $d$  in obratno sorazmeren s toplotno prevodnostjo snovi  $\lambda$  in prečnim prerezom  $S$ . Enota:  $\left[\frac{K}{W}\right]$

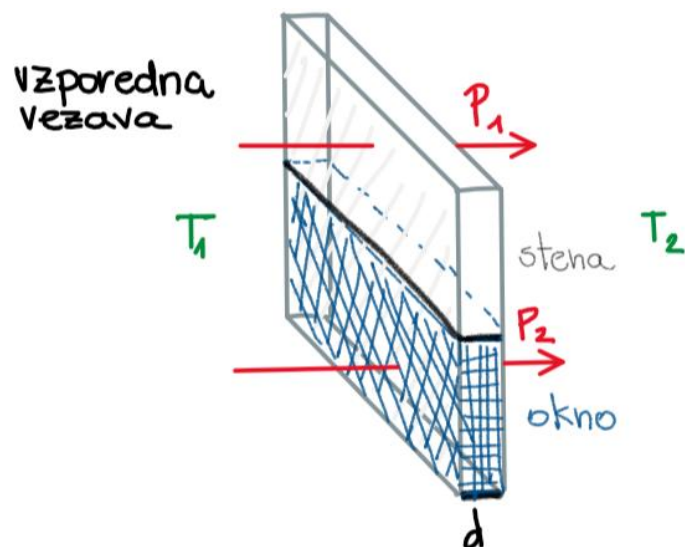
Če je v snovi več plasti, skozi katere teče toplotni tok, so to **zaporedno vezani toplotni uporniki**. Toplotni upor  $R$  vseh plasti skupaj je torej vsota toplotnih uporov posameznih plasti:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$



V kolikor pa teče toplotni tok skozi **vzporedno vezane toplotne upornike** (npr. skozi okno, steno, strop,...), kjer je vsaka snov samo iz ene plasti, se toplotni tokovi  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ , ... posameznih snovi seštejejo v skupni toplotni tok  $P$  iz enega prostora v drug:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + \dots$$



## Sevanje toplote

Kadar segrejemo telo na temperaturo  $T$ , oddaja toplotno moč  $P$ , ki je enaka produktu površine telesa, četrti potenci temperature ter konstante  $\sigma$ :

$$P = S \cdot \sigma \cdot T^4$$

Pri tem faktor  $\sigma$  imenujemo **Stefanova konstanta**:

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$$

Iz tega lahko izpeljemo enačbo za **gostoto sevalnega toka**  $J$  (enota  $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2}\right]$ ):

$$J = \frac{P}{S} = \sigma \cdot T^4$$

Zgornjo enačbo imenujemo **Stefanov zakon** in jo uporabljamo za sevanje črnega telesa. Ko telo ni črno, pa moramo produktu dodati še faktor emisivnosti (sevalne zmožnosti telesa)  $\epsilon$ :

$$J = \epsilon \cdot \sigma \cdot T^4$$

Črno telo:  $\epsilon$  je 1

Voda:  $\epsilon$  je med 0,92 in 0,97

**Toplotni stroji** so:

- **toplotni motorji** (snov izgoreva v motorju in se po izgorevanju prenaša v okolico)
- **hladilni stroji** (jemlje toploto iz notranjosti in jo prenaša v zunanost)
- **toplotne črpalke** (jemlje toploto iz zunanosti in jo prenaša v notranjost)

**Specifična sežigna toplota**  $q_s$  je količina toplote, ki jo odda snov, da popolnoma izgori in se ohladi na temperaturo okolice, preračunano na kilogram snovi. Enota:

$$\left[\frac{\text{J}}{\text{kg}}\right], \left[\frac{\text{MJ}}{\text{kg}}\right].$$

$$Q = m \cdot q_s$$

Torej snov z maso  $m$  odda toploto  $Q$ , da v celoti izgori, enako:

snov	etilni alkohol	bencin	vodik	les	črni premog	rjavi premog
$q_s \left[ \frac{MJ}{kg} \right]$	30	46,5	140	16 - 20	30	10 - 20

### Krožna sprememba (cikel):

To je v splošnem sprememba, ko se snov po opravljeni spremembi vrne v prvotno stanje. Pri toplotnih strojih to pomeni, da so tlak, volumen in temperatura po spremembi natanko takšnih vrednosti, kot so bili pred spremembo. Torej se notranja energija ne spremeni:

$$\Delta W_n = 0$$

$$Q = -A$$

Kolikor dela snov med krožno spremembo prejme, toliko toplote odda, ali obratno.

### Krožna sprememba toplotnega motorja:

Delovna snov se premika med obema zbiralnikoma, odnaša toploto iz toplega zbiralnika in jo nekoliko manj odda hladnemu. Razlika med prejeto in oddano toploto oddaja kot delo:

$$A = Q_1 - Q_2$$

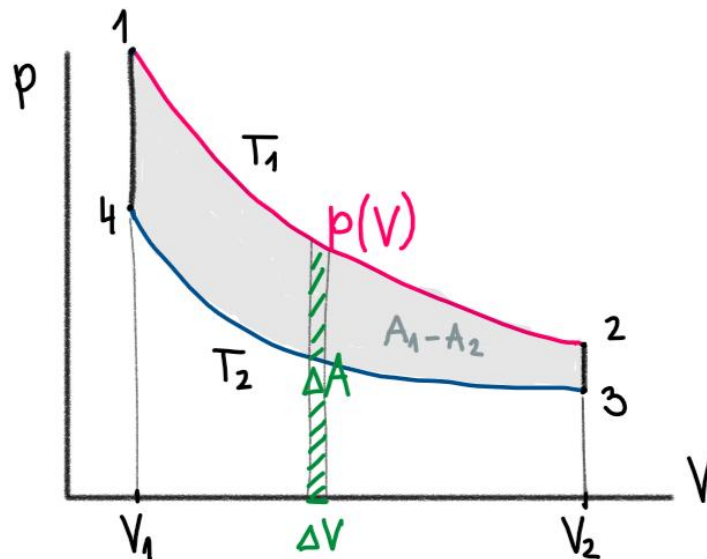
Delovna snov torej prejme toploto od toplega rezervoarja in med prehodom do hladnega odda delo  $A$ . Delovna snov iz hladnega zbiralnika ponovno vodimo v topli zbiralnik in jo segrevamo.



**Mehanski izkoristek toplotnega stroja** definiramo kot kvocient oddanega dela in prejete toplote:

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} ; \eta < 1$$

**Krožna sprememba Stirlingovega motorja:**



- *Prehod iz točke 1 v točko 2:* pri stalni temperaturi  $T_1$  se zrak razpne iz volumna  $V_1$  do volumna  $V_2$ . Pri tem opravi delo (ploščina pod roza krivuljo)  $A_1$ :

$$A_1 = -n \cdot R \cdot T_1 \cdot \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

- *Prehod iz točke 2 v točko 3:* volumen se ne spremeni (izohorna sprememba), temperatura pade iz  $T_1$  na  $T_2$ . Pade tudi tlak.
- *Prehod iz točke 3 v točko 4:* zrak se pri nižji temperaturi  $T_2$  stiska, zato volumen pade iz  $V_2$  na  $V_1$ . Pri tem opravi delo (ploščina pod modro krivuljo)  $A_2$ :

$$A_2 = n \cdot R \cdot T_2 \cdot \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

Razlika opravljenih del je koristno delo (to je ploščina osenčenega dela med krivuljama):

$$A = A_1 - A_2 = nR(T_1 - T_2) \cdot \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

- *Prehod iz točke 4 v točko 1:* zrak se segreva pri stalnem volumnu  $V_1$ , tlak naraste na prvotno vrednost.

**Izkoristek Stirlingovega stroja** (enak mehanskemu izkoristku toplotnega stroja):

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

**Hladilni stroj** – toploto  $Q_2$  jemljemo notranjosti hladilnika in jo skupaj z delom  $A$  oddajamo v okolico (toplejšemu zbiralniku):



Izkoristek (učinek) hladilnega stroja:

$$\nu = \frac{Q_1}{A} = \frac{Q_1}{Q_2 - Q_1} = \frac{T_1}{T_2 - T_1}$$

**Toplotna črpalka** – odvezemamo toploto iz okolice in jo oddajamo v prostor, ki ga želimo segreti. Je tem bolj učinkovita, čim več toplote odda zbiralniku z višjo temperaturo.

Izkoristek toplotne črpalke je definirano kot kvocient:

$$\frac{Q_1}{A} = 1 + \nu \rightarrow Q_1 = A \cdot (1 + \nu)$$

Pri čemer  $\nu$  imenujemo grelni številni in pomeni razmerje med toploto, ki jo oddajamo v prostor, in dodano energijo (delo):



$$\eta = \frac{Q_1}{A} - 1 = \frac{Q_1 - A}{A} = \frac{Q_2}{A}$$

$$\eta = \frac{T_2}{T_2 - T_1}$$

## Termične lastnosti snovi

Plinska enačba povezuje tlak, volumen in temperaturo idealnega plina.

Splošna plinska enačba:

1. oblika:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

2. oblika:

$$p \cdot V = N \cdot k \cdot T$$

$n$ ... množina snovi [mol; kmol]

$R$ ... plinska konstanta  $8314 \frac{\text{J}}{\text{K}}$

$p$ ... tlak [Pa]

$V$ ... volumen [ $\text{m}^3$ ]

$T$ ... temperatura [K]

$N$ ...Število atomov ali molekul

$$N = \frac{m}{\mu} = n \cdot N_A$$

•  $n = 1$  kilomol :

$$R = \frac{p \cdot V}{T}$$

$k$ ...Boltzmanova konstanta:  $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}$

$N_A$ ...Avogadrova konstanta (avogadrovo število) nam pove, da je v enem kilomoli

snovi število delcev enako:  $N_A = 6,02 \cdot 10^{26} / \text{kmol}$

Produkt obeh konstant je ravno splošna plinska konstanta:  $R = \frac{k}{\mu} = 8314 \frac{\text{J}}{\text{K}}$

$n$ ...Množina snovi, ki pove število molov oziroma kilomolov neke snovi.

$$n = \frac{m}{M} = \frac{N}{N_A}$$

$u$ ...atomska enota mase je 1/12 mase ogljikovega izotopa  $^{12}\text{C}$ :

$$u = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$\mu$ ...masa molekule ali atoma:  $\mu = M \cdot u$

$M$ ...relativna atomska masa (ali molekularna masa) (brez enote) nam pove, kolikokrat ima delec večjo maso  $\mu$  od atomske enote mase  $u$ :  $M = \frac{\mu}{u}$

$M$ ...molska masa (enaka vrednost kot relativna atomska masa, z enoto kg/kmol = g/mol) nam pove maso enega mola ali kilomola snovi, oziroma celotno maso  $N_A$  delcev.

$$1 \text{ kg/kmol} = 1 \text{ g/mol}$$

**Plinski zakoni** govorijo o soodvisnosti tlaka, volumna in temperature plinov.

### Izotermne spremembe (stalna temperatura)

Če v zaprti posodi pri stalni temperaturi plin stiskamo ali razpenjamo, se s stiskanjem plina **volumen zmanjšuje in tlak povečuje**, z raztezanjem plina pa **volumen povečuje in tlak zmanjšuje**. Njun produkt pred spremembo in po spremembi pa ostane enak:

$$T_1 = T_2$$

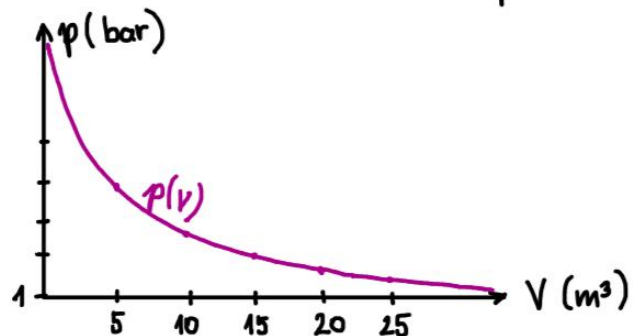
$$\underbrace{p \cdot V}_{\text{pred spremembo}} = \underbrace{p_1 \cdot V_1}_{\text{po spremembi}} = K$$

$K$ ... konstanta

graf tlaka v odvisnosti od volumna  $p(V)$ :

$$p = \frac{K}{V}$$

$$T = 273 \text{ K}$$



Tlak in volumen sta obratno sorazmerni količini.

## Izobarne spremembe (stalen tlak)

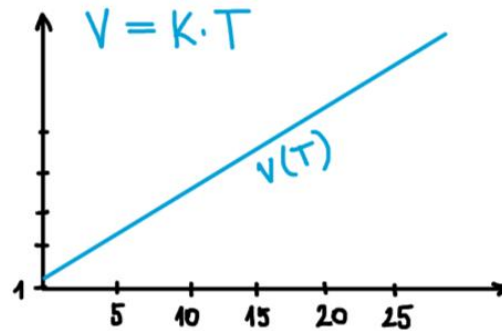
Tokrat plin v zaprtem valju segrevamo, zato se plin s segrevanjem razteza in odriva bat, volumen se povečuje. Tlak, ki je sorazmeren količniku volumna in temperature, pa ostaja pri tem enak:

$$p_1 = p_2$$

$$\frac{V}{T} = \frac{V_1}{T_1} = K$$

↑ pred spremembo      ↑ po spremembi

graf volumna v odvisnosti od temperature  $V(T)$ :



Prostornina in temperatura sta premo sorazmerni količini.

## Izohorne spremembe (stalna prostornina)

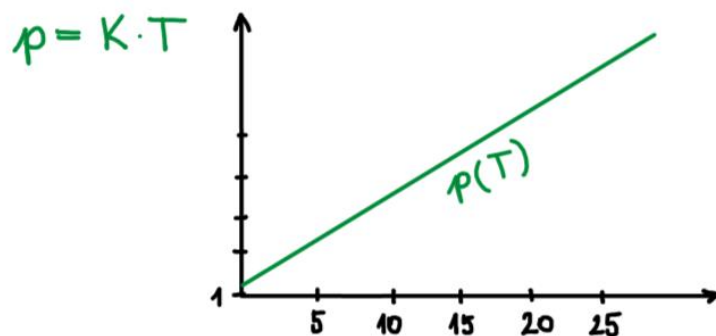
Plin v zaprtem valju z nepremičnim batom segrevamo. Plinu raste temperatura in tlak. Volumen, ki je sorazmeren količniku tlaka in temperature, pa ostaja enak:

$$V_1 = V_2$$

$$\frac{p}{T} = \frac{p_1}{T_1} = K$$

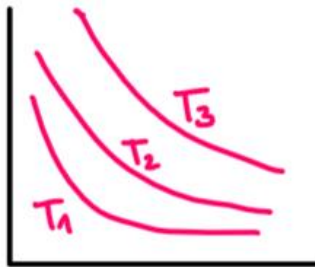
↑ pred spremembo      ↑ po spremembi

graf tlaka v odvisnosti od temperature  $p(T)$ :



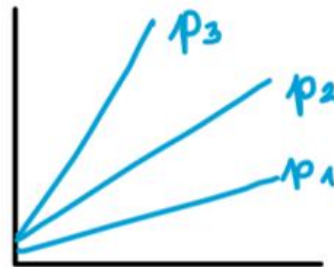
oblike grafov:

IZOTERMNA



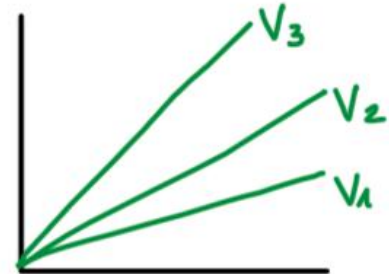
$$T_1 < T_2 < T_3$$

IZOBARNA



$$p_1 < p_2 < p_3$$

IZOHORNA



$$V_1 < V_2 < V_3$$

## Zmes plinov

Plin je velikokrat sestavljen iz različnih elementov (npr. zrak je sestavljen iz dušika, kisika, ogljikovega dioksida, itd.). Naj ima prvi element  $N_1$  molekul, drugi element

$N_2$  molekul, ... Skupaj vseh molekul:  $N = N_1 + N_2 + N_3 + \dots$

Vsi elementi imajo isto temperaturo in so skupaj v volumnu  $V$ .

Delni (parcialni) tlak prvega elementa:  $p_1 V = N_1 k T$

Delni (parcialni) tlak drugega elementa:  $p_2 V = N_2 k T$

...

Celoten tlak plina (*Daltonov zakon*):

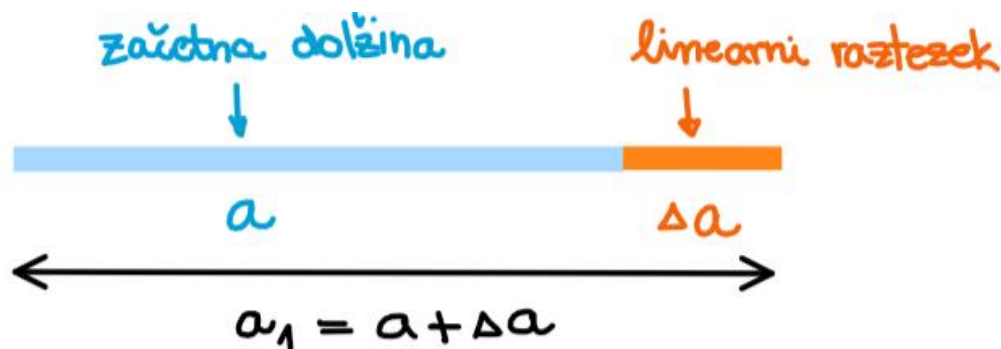
$$\begin{aligned} p \cdot V &= (p_1 + p_2 + \dots) \cdot V = (N_1 + N_2 + \dots) k T \\ &= (n_1 + n_2 + \dots) \cdot R \cdot T \end{aligned}$$

$n_1, n_2, \dots$  število kilomolov posameznih elementov

## Temperaturno raztezanje snovi

### Linearni (dolžinski) raztezek

Palico dolžine  $a$  segrejemo za  $\Delta T$ . Pri tem se bo palica podaljšala za  $\Delta a$ .



$\Delta T$  ... sprememba temperature [K]

$\Delta a$  ... linearni raztezek [m, cm, dm, ...]      $\frac{\Delta a}{a}$  ... relativni linearni raztezek [ni enote]

$a_1 = a + \Delta a$  ... nova dolžina palice

$\alpha$  ... relativni temperaturni razteznostni koeficient  $\left[\frac{1}{K} = K^{-1}\right]$

Relativni linearni raztezek  $\frac{\Delta a}{a}$  je premo sorazmeren s spremembo temperature  $\Delta T$  (če se sprememba temperature poveča za 2x, 3x, ... potem se tudi dolžinski raztezek poveča za 2x, 3x, ...):

$$\frac{\Delta a}{a} = \alpha \cdot \Delta T \rightarrow \boxed{\Delta a = a \cdot \alpha \cdot \Delta T}$$

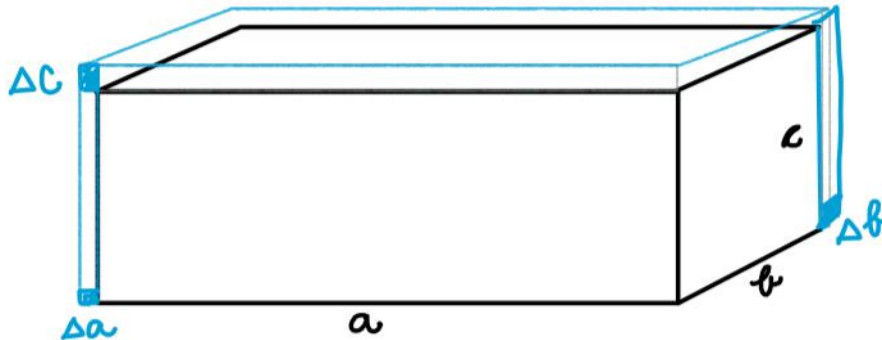
Ob hlajenju bi bil proces ravno nasproten, palica bi se ob spremembi temperature  $\Delta T$  palica skrčila za  $\Delta a$ .

Tabela koeficientov dolžinskega raztezka za nekatere snovi:

Snov	Železo	Aluminij	Steklo
Koeficient dolžinskega raztezka $[10^{-6}K^{-1}]$	12,2	23,8	8,5

## Prostorninski raztezek

Če si zamislimo kvader s prostornino  $V$ , ki ga segrevamo, se bodo stranice kvadra  $a$ ,  $b$ ,  $c$  ob tem podaljšale za  $\Delta a$ ,  $\Delta b$ ,  $\Delta c$ . Tako se bo povečala tudi prostornina kvadra za  $\Delta V$ .



S pomočjo izpeljave iz dolžinskega raztezka dobimo, da je sprememba prostornine enaka:

$$\Delta V = V \cdot 3\alpha \cdot \Delta T = V \cdot \beta \cdot \Delta T$$

Tako je nova prostornina telesa:  $V_1 = V + \Delta V$

$$V_1 = V \cdot (1 + \beta \cdot \Delta T)$$

Relativni prostorninski raztezek je kvocient med spremembo volumna in začetnim volumnom. Je premo sorazmeren s spremembo temperature:

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

$\beta$  ... volumenski razteznostni koeficient  $\left[\frac{1}{K} = K^{-1}\right]$

Približno velja, da je  $\beta \doteq 3 \cdot \alpha$

Tabela koeficientov prostorninskega raztezka za nekatere snovi:

Snov	Voda (0°C)	Voda (4°C)	Voda (20°C)	Alkohol	Bencin	Živo srebro
Koeficient prostorninskega raztezka [ $10^{-5}K^{-1}$ ]	- 7	0	20	11	10	1,8

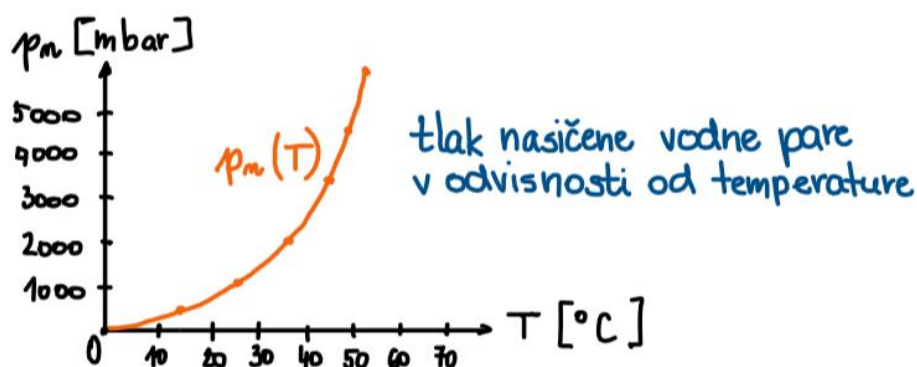
## Fazne spremembe snovi

### Hlapenje

Kapljevina se z izhlapevanjem ohlaja. Do hlapenja pride, če imajo posamezne molekule v kapljevinah dovolj veliko kinetično energijo, zato jo zapustijo in se v zraku pojavijo kot plin.

Če se to dogaja v odprtem prostoru, voda popolnoma izhlapi čez čas. Če pa se to dogaja v **zaprtem prostoru**, vodni hlapi povzročijo povečanje zračnega tlaka za delni tlak vode v zraku. Zato se izhlapevanje v neki točki ustavi.

- Največji možen delni tlak vodne pare v zraku (ki je odvisen od temperature  $T$ ), ko voda ne more več izhlapevati:  $p_n$



- Izmerjeni tlak vodne pare v zraku:  $p_v$

Če predpostavimo, da se vodna para obnaša kot idealni plin, potem velja:

$$p_v = \rho_v \cdot \frac{R \cdot T}{M}$$

M... relativna molekulska masa vode ( $M = 18 \text{ kg}$ )  
 R... splošna plinska konstanta ( $R = 8300 \text{ J/k}$ )

$\rho_v$ ... gostota vodne pare

**Relativna vlažnost** je razmerje med tlakom vodne pare v zraku in nasičenim tlakom:

$$\eta = \frac{p_v}{p_n} \quad \eta \% = \frac{p_v}{p_n} \cdot 100$$

Ko sta  $p_v$  in  $p_n$  enaki, je v zraku 100% vlaga. Kadar  $p_v$  preseže  $p_n$ , je zrak **prenasičen**, zato se odvečna vlaga kondenzira v obliki vodnih kapljic.

$$\begin{aligned} \eta < 100\% &\rightarrow \text{zrak nenasičen z vlago} \\ \eta = 100\% &\rightarrow \text{zrak nasičeno vlažen} \\ \eta > 100\% &\rightarrow \text{zrak prenasičen z vlago} \end{aligned}$$

## Vrenje in kondenzacija

Ko vodi dovajamo toploto, se začne njena temperatura povečevati in se pri  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  ustavi. Vendar se v tem trenutku pojavijo mehurčki pare. To imenujemo **vrenje**.

**Vrenje je primer prehoda snovi iz kapljevinastega v plinasto agregatno stanje.**

Šele ko vsa voda izpari (ostane le še para), se začne temperatura pare povečevati nad  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ .



Toploto, ki jo potrebujemo, da 1 kg vode izpari, imenujemo specifična izparilna toplota  $q_i$ . Enota  $\left[\frac{J}{kg}\right]$

voda:  
 $q_i = 2,27 \text{ MJ/kg}$

Izparilna toplota  $Q_i$  je toplota, ki je potrebna da snov z maso  $m$  v celoti izpari:

$$Q_i = m \cdot q_i$$

**Kondenzacija** je ravno obraten proces - vročo vodno paro ohlajamo, da se začne kondenzirati v vodne kapljice. Pri tem ohlajanju in spremembi nazaj v kapljevino stanje oddaja **kondenzacijsko toploto, ki je enaka izparilni**.

**Vrelišče kapljevine** narašča z naraščanjem zunanjega zračnega tlaka.

## Taljenje

**Je prehod iz trdnega v kapljevino agregatno stanje.** Temperatura, pri kateri se to zgodi, se imenuje **tališče**. Temperatura ledu raste do 0 °C, nato pa se začne taliti.

**Specifična toplota ledu: 2,1 kJ/kgK**

Zmes tekoče vode in ledu ima tudi temperaturo 0 °C, vse dokler se led popolnoma ne stali, šele nato temperatura dalje narašča. Pravimo, da ledu dovajamo toploto.

Toplota, ki je potrebna, da se 1 kg trdnine stali, se imenuje **specifična talilna**

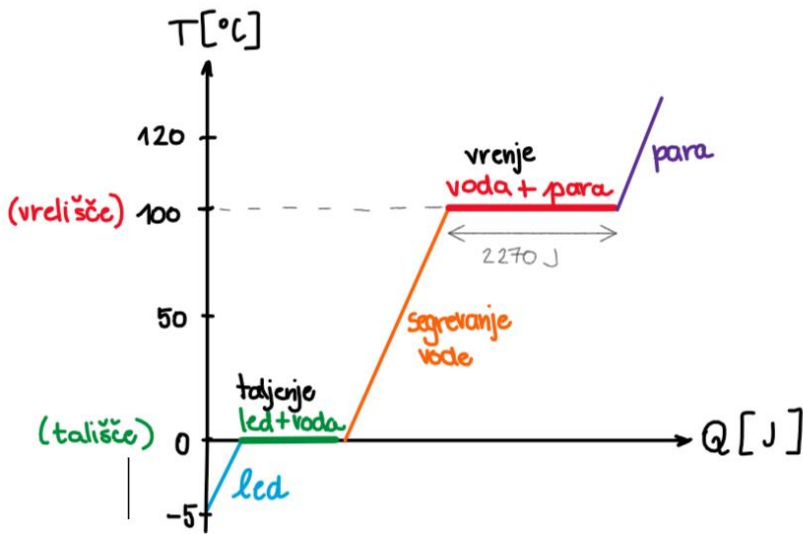
**toplota  $q_t$** . Enota  $\left[\frac{J}{kg}\right]$

led:  
 $q_t = 330 \text{ kJ/kg}$

Da se trdnina z maso  $m$  stali, mora prejeti toploto  $Q_t$ :  $Q_t = m \cdot q_t$

Obratni proces je, da kapljevino zamrznemo. Takrat se toplota sprošča.

Prikaz celotnega procesa dovajanja toplote ledu z maso  $m$  do segrevanja vodne pare:



$$Q_1 = m \cdot c_L \cdot \Delta T_L$$

$$Q_t = m \cdot q_t$$

$$Q_2 = m \cdot c_v \cdot \Delta T_v$$

$$Q_i = m \cdot q_i$$

$$Q_3 = m \cdot c_p \cdot \Delta T_p$$

skupna toplota:

$$Q = Q_1 + Q_t + Q_2 + Q_i + Q_3$$

