



8. TOPLOTA - TERMODINAMIKA

Verjetno so ljudje razpravljali o toploti že od samega začetka civilizacije, ko so ugotavljali vpliv sončnih žarkov ali zimskega mraza na različne snovi, ter posebej kasneje, ko so začeli uporabljati ogenj. Opazili so, da imajo vroče snovi drugačne lastnosti kot hladne.

Če snov segrejemo (npr. v ognju), se zmehta in raztegne, pa tudi njena notranja sestava se spremeni; trdna snov se lahko stali in in kapljevina zavre. Za človeštvo je bilo vsekakor pomembno spoznanje, da postane surova hrana s kuhanjem ali pečenjem okusnejša.

Kako vroča je snov, ugotavljamo po tem, kolikšne spremembe nastanejo v njej zaradi segrevanja, npr. kako se snov razteza. Pri močnem segrevanju je pomembna tudi sprememba barve snovi. Ker smo navajeni, da spremembo snovi povezujemo z vzrokom, rečemo, da **se snov** v ognju **segreje**, ker od ognja **prejme toploto**. Čim več toplote prejme, tem bolj se segreje. Nasprotno pa se **snov ohladi** (ko jo npr. vtaknemo v led), če **odda toploto**.

Pred nekaj sto leti še ni bilo jasno, kaj je **toplota**, ki jo tople snovi med ohlajevanjem oddajajo, hladne pa med segrevanjem prejemajo. Mislili so, da je toplota nekakšna nevidna snov; imenovali so jo *kalorik*. Skušali so celo stehati, za koliko se masa snovi poveča, če se snov segreje, če torej prejme kalorik. Seveda jim ni uspelo.

Toplota je namreč posebna oblika energije, je del **notranje energije snovi**, ki se pretaka skozi snov.

Da je toplota zares vrsta energije, kažejo npr. pojavi med gibanjem teles, ko se zaradi trenja izgublja kinetična energija teles, telesa sama pa se pri tem segrevajo. Sila trenja z negativnim delom zmanjšuje kinetično energijo telesa in jo kot toploto prenaša v notranjost snovi. Tudi če snov mešamo ali gnetemo, se porablja mehansko delo, snov pa se segreva.

Med toploto in temperaturo so pričeli strogo razlikovati okoli leta 1760, pred tem so mislili, da sta to sinonima. V vsakdanjem življenju imajo s tem zaradi nedoslednega izražanja težave tako otroci kot odrasli.

Leta 1847 je angleški fizik James P. Joule s poskusom dokazal zvezo toplote z energijo oz. delom. Izmeril je namreč **mehanski ekvivalent toplote** (da je treba z mešanjem vode opraviti 4,2 kJ dela, da se 1 kg vode segreje za 1 °C).

8.1 NOTRANJA ENERGIJA – TOPLOTA

Notranja energija snovi

Notranja energija je energija, ki jo ima telo zaradi svojega termičnega stanja, torej zaradi svojega tlaka in temperature, pa tudi zaradi svojega agregatnega in kemijskega stanja.

O notranji energiji lahko razpravljamo, če vemo, kako in iz česa je snov zgrajena. **Notranja energija snovi je energija gradnikov** (atomov oz. molekul), **ki sestavljajo snov**. V 7. poglavju smo povedali, da je vsaka snov sestavljena iz molekul ali drugih delcev, ki se termično gibljejo sem ter tja in med katerimi delujejo sile s kratkim dosegom (medmolekulske sile). Notranja energija snovi (oznaka W_n) je zato sestavljena iz:

- Kinetične energije**, ki jo imajo gradniki zaradi svojega termičnega gibanja.
- Potencialne energije** zaradi sil med gradniki. Te sile imajo *kratek doseg*, kar pomeni, da delujejo le v neposredni okolici molekul, do oddaljenosti nekaj nanometrov. Zato je potencialna energija pomembna pri trdninah in kapljevinah, kjer so gradniki blizu skupaj. V to obliko notranje energije se shrani delo, ki ga opravimo pri deformaciji prožnega telesa (na primer prožne vzmeti). Drugače je pri plinih. Pri idealnih plinih, kjer so molekule tako daleč narazen, da so tudi sile med njimi zanemarljivo majhne, lahko njihovo potencialno energijo zanemarimo.

c) **Notranje energije posamičnih gradnikov.** To je energija, ki je shranjena v *notranjosti gradnikov*. V tem členu so na primer zajete: *kemijska energija* (ki se sprošča pri *kemijskih reakcijah*, npr. pri goreanju), *električna* in *svetlobna energija* (ko se premeščajo elektroni v atomih) ter *jedrsko energija* (pri jedrskih reakcijah, npr. pri razcepu uranovih jeder v jedrskem reaktorju). Preučevali bomo samo tiste toplotne pojave, pri katerih se kemijska zgradba snovi ne spremeni. Ker se pri teh pojavih energija, shranjena v notranjosti posameznih gradnikov, ne spremeni, je *spmemba notranje energije snovi* odvisna le od *spmembe kinetične in potencialne energije gradnikov*.

Ker naštetih prispevkov k notranji energiji ne moremo izmeriti za vsak atom oz. molekulo posebej, notranje energije snovi ne poznamo (izračunati jo je mogoče le za idealni plin). Vendar kljub temu velja: **notranja energija snovi je tem večja, čim večji sta njena masa in njena temperatura.**

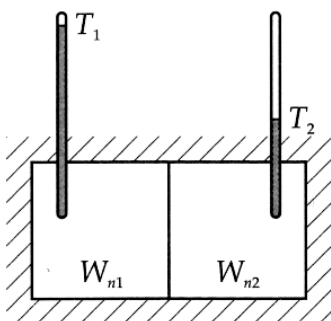
Predstavljajmo si gorečo vžigalico in kad, polno tople vode:

- Goreča vžigalica ima zelo visoko temperaturo (okoli 1000 °C), ima pa majhno notranjo energijo, ker je njena masa zelo majhna.
- Voda v kadi ima nižjo temperaturo, ima pa veliko večjo maso (vsebuje zelo veliko molekul), zato je notranja energija vode veliko večja v primerjavi z notranjo energijo vžigalice.

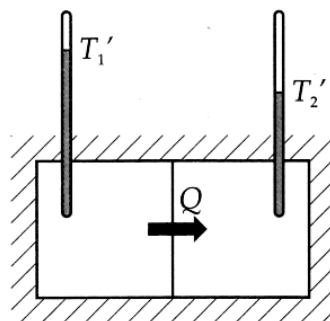
Čprav notranjih energij teles ne poznamo in jih ne moremo izračunati, lahko vedno povemo, za koliko se je notranja energija snovi spremenila. Tako kot je pri težnostni potencialni energiji njena sprememba enaka prejetemu oz. oddanemu delu, ima podoben fizikalni pomen tudi **spmemba notranje energije** (ΔW_n).

Toplota

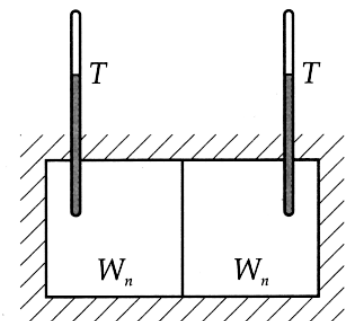
Vzemimo dve enaki bakreni kocki. Prva kocka je vroča; njena temperatura je T_1 , notranja energija W_{n1} . Druga kocka naj bo hladna; njena temperatura je $T_2 < T_1$. Ker sta masi kock enaki in sta iz iste snovi, je notranja energija druge kocke $W_{n2} < W_{n1}$. Kocki staknemo in ju obdamo s plastjo steklene volne (slika 1a).



Slika 1a: Na začetku



Slika 1b: Vmes



Slika 1c: Na koncu

Vgrajena termometra kažeta, da temperatura vroče kocke pada, hladne pa narašča (slika 1b). Vroč kocka se *ohlaja*, kar pomeni, da se njena *notranja energija zmanjšuje*. Hladna kocka se *segreva*; njena *notranja energija se povečuje*. Skozi stični ploskvi kock torej prehaja **energija**. Energijo, ki zaradi temperaturne razlike med kockama **teče iz toplejše kocke v hladnejšo kocko**, imenujemo **toplota** (oznaka Q). Toploto merimo v J (džulih) ali kWh (kilovaturah), kot vse druge energije. V opazovanem času se notranja energija toplejše kocke *zmanjša za oddano toploto*, notranja energija hladnejše kocke pa *poveča za prejeto toploto*. Po dovolj dolgem času se **temperaturi kock izenačita** in pretakanje toplote se **ustavi** (slika 1c). Pravimo, da sta kocki v **termičnem ali temperaturnem ravnovesju**.

Termično ravnovesje pomeni, da je temperatura telesa (snovi) *na vseh mestih enaka*. Preden likalnik vklopimo v električno omrežje, je v termičnem ravnovesju. Drugače rečeno, vsak del likalnika ima enako temperaturo. Vroč likalnik ni več v termičnem ravnovesju. Likalna plošča ima tako visoko temperaturo, da oslinjen prst zacvrči, ročaj likalnika pa je tako hladen, da ga lahko držimo.

Če ima telo (snov) *enako temperaturo kot okolica*, pravimo, da je v **termičnem ali temperaturnem ravnovesju z okolico**. Preden likalnik vklopimo, je v temperaturnem ravnovesju z okolnim zrakom, ima "*sobno temperaturo*".

Med telesoma, ki sta v temperaturnem ravnovesju, toplota ne teče. Ko se temperaturi kock izenačita, sta notranji energiji kock enaki, ker imata kocki enaki masi. *Na splošno telesi z enakima temperaturama nimata enakih notranjih energij.* Kamen, ki leži na dnu tolmuna, nima enake notranje energije kot voda v tolmunu, čeprav sta temperaturi vode in kamna enaki.

Kakšno vlogo ima pri našem poskusu steklena volna, s katero smo obdali kocki? Stekljena volna služi kot **toplotni izolator**, ki preprečuje, da bi toplota uhajala v okolni zrak (poglavje 8.3.1 *Prevajanje toplote*). **Toplotno izolirano telo** okolici nič toplote ne odda, niti je od nje ne prejme. Pravimo, da **toplotno izolirano telo z okolico ne izmenjuje toplote**.

Toplota je energija, ki pri stiku dveh teles z različnima temperaturama prehaja iz toplejšega telesa v hladnejše telo. Če telesi ne spremenita agregatnih stanj, se telo, ki toploto odda, ohladi; telo, ki toploto prejme, se segreje. Toplota teče toliko časa, dokler se temperaturi teles ne izenačita.

Ko še niso vedeli, da je toplota energija, so zanj rabili enoto *kalorija* (cal). Vpeljali so jo kot toploto, ki segreje en gram vode za eno stopinjo Celzija. Tisočkrat večja enota od kalorije je bila *kilokalorija* (kcal). V naslednjem podpoglavju bomo spoznali, da velja: $1 \text{ cal} = 4,2 \text{ J}$ in $1 \text{ kcal} = 4,2 \text{ kJ}$. Raba te enote v mednarodnem sistemu merskih enot SI ni dovoljena, jo pa v vsakdanjem življenju še vedno precej uporabljamo, sploh v prehrani (glejte 8.1.2).

Toplota ni lastnost telesa – ne moremo reči, da ima telo toliko in toliko toplote (v vsakdanji tehniški praksi tako pogosto govorijo). Telesa imajo temperaturo, imajo notranjo energijo, nimajo pa toplote. Pač pa telo toploto oddaja ali prejema – izmenjuje z okolico, tako kot delo. Toplota je proces in ne stanje.

8.1.1 Toplotni tok

Navadno toplota prehaja med telesi. Količina, ki pove, koliko toplote Q preide v časovni enoti s telesa na telo ali med deli telesa, je **toplotni tok**. Lahko bi rekli, da toplotni tok pove, "kako hitro" se toplota pretaka. Naj toplota preide s telesa s temperaturo T_1 na telo s temperaturo T_2 (slika 2). Vzemimo, da se telesi dotikata na ploskvi s površino S , skozi katero preide toplota Q .

Toplotni tok P definiramo s kvocientom toplote Q in časa t , v katerem ta toplota preide s telesa na telo:

$$P = \frac{Q}{t} : \text{toplotni tok ali toplotna moč}$$

Merska enota toplotnega toka je kvocient enote toplote (energije) J in enote časa s, to je $\text{J/s} = \text{W}$ (vat). Toplotni tok ima torej isto enoto kot moč, le da se pri moči enota džul nanaša na delo, pri toplotnem toku pa na toploto. Zato smo zanj uporabili isto oznako. Toplotni tok bi torej lahko imenovali tudi **toplotna moč**. Pri toplotnem toku P preide v času t skozi prečni prerez toplota $Q = Pt$.

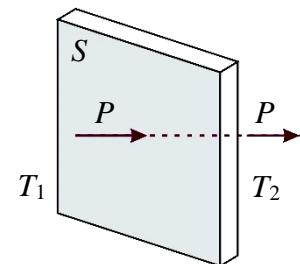
Toplotni tok (sam od sebe) teče s toplejšega mesta (telesa) proti hladnejšemu mestu (telesu). Če toplota teče enakomerno, kar pomeni, da skozi ploskev steče vsako sekundo enaka množina toplote, je *toplotni tok konstanten*: $P = \text{konst}$.

Človek oddaja v mirovanju toplotni tok okrog 120 W. V tem stanju gre za t. i. bazalni metabolizem, ko človeško telo porablja energijo samo za vzdrževanje osnovnih življenskih funkcij.

Toplotni tok, ki teče skozi enoto prečnega prereza, to je ploskve, postavljene pravokotno na smer toplotnega toka, imenujemo (ploskovna) **gostota toplotnega toka**:

$$j = \frac{P}{S} : \text{gostota toplotnega toka} \quad \text{z enoto } \text{W/m}^2.$$

Gostota toplotnega toka nam pove, koliko J toplote steče v eni sekundi skozi 1 m^2 prečnega prereza.



Slika 2

S sateliti in baloni so izmerili, da je pred vstopom v ozračje gostota sončnega toka približno $1,4 \text{ kW/m}^2$. To ni malo. Na kvadratni kilometer zemeljskega površja, kadar sije nanj sonce pravokotno, pride toplotni tok:

$$P = jS = 1,4 \text{ kW/m}^2 \cdot (10^3 \text{ m})^2 = 1,4 \text{ kW/m}^2 \cdot 10^6 \text{ m}^2 = 1,4 \cdot 10^9 \text{ W} = \underline{1,4 \text{ GW}}.$$

To je več kakor električna moč jedrske elektrarne Krško, ki znaša okrog $700 \text{ MW} = 0,70 \text{ GW}$! Sončne energije je torej na pretek, žal pa je še vedno ne znamo dobro izkoriščati.

8.1.2 Sežigna toplota

Kot posebno vrsto notranje energije smo že omenili kemijsko energijo, ki se sprošča ali porablja pri kemijskih reakcijah, ponavadi v obliki toplote. Izmed kemijskih reakcij je zlasti pomembno **gorenje** (*angl.* combustion). Iz kemije vemo, da je to oksidacija (sinteza snovi s kisikom), pri čemer nastajata voda in ogljikov dioksid. Zelo pomemben vir toplote so zato **goriva** (premog, les, zemeljski plin, bencin, kurilno olje, mazut itd.). Takšni procesi na primer potekajo, ko gorivo izgoreva in ogreva vodo v kotlu ali ko človeško telo presnavlja hrano in iz nje pridobiva energijo za življenje – za opravljanje dela in vzdrževanje telesne temperature. Iz biologije vemo, da dobimo energijo iz hrane med presnovo s **celičnim dihanjem** (respiracijo) v mitohondrijih. Tudi pri tem gre za proces oksidacije, le da je ta manj intenziven kot pri gorivih in poteka kontrolirano pod vplivom encimov. Med organskimi molekulami, ki jih celice porabljajo pri celičnem dihanju, so glukoza, aminokisliline in maščobne kisline, ki jih telo dobi pri razgradnji hrane. Končni produkt so molekule ATP, ki predstavljajo neposreden energijski vir za vse telesne celice.

Toplota, ki se sprosti, če zgori snov z maso m , se imenuje sežigna toplota:

$$Q = mq_s \quad : \quad \text{sežigna toplota}$$

Sorazmernostni koeficient q_s se imenuje **specifična sežigna toplota** in nam pove, koliko toplote odda pr gorenju oz. sežigu 1 kg snovi; ima enoto J/kg. Specifična sežigna toplota je merilo za količino energije (toplote), ki jo snov odda med kemijsko reakcijo, kot tako pa jo lahko preračunamo tudi na enoto prostornine ali množine, zato uporabljamo tudi enoti J/m^3 in J/mol . Ima tudi druga imena – pri živilih je to **kalorična (hranilna, energijska) vrednost**, pri gorivih pa njihova **kurilna vrednost** (kurilnost).

Fosilna goriva – premog, nafta in zemeljski plin se po kurilni vrednosti precej razlikujejo zaradi različne sestave ogljikovodikov. Surova nafta ima kurilno vrednost 42-47 MJ/kg, kurilno olje, ki ga dobimo z destilacijo iz nafte, pa 45 MJ/kg. Zemeljski plin je večinoma sestavljen iz metana s kurilnostjo 56 MJ/kg.

Starejši ko je premog, več ogljika vsebuje in večjo kurilno vrednost ima. *Lignit* (do 60 % ogljika, kurilna vrednost 10-20 MJ/kg) je najslabše kakovosti, ker je najmlajši. Na njem lahko še vedno vidimo strukturo lesa. Pri nas ga kopljejo v premogovniku Velenje. *Rjavi premog* (okoli 70 % ogljika, 19-27 MJ/kg) je boljši. *Črni premog* (okoli 80 % ogljika, okrog 25 MJ/kg) je zelo kvaliteten, zato ga na široko uporabljamo. *Antracit* je najboljši, vsebuje tudi do 98 % ogljika, njegova kurilna vrednost pa je do 33 MJ/kg.

Od hranilnih snovi imajo največjo energijsko vrednost **maščobe** (37 kJ/g), **beljakovine** in **ogljikovi hidrati** pa več kot polovico manj – 17 kJ/g. Veliko energije vsebuje tudi alkohol (29 kJ/g), ki pa ga zaradi škodljivih vplivov na zdravje seveda ne prištevamo med hranila.

Kalorično vrednost **živil** odčitamo na embalaži, kjer je navedena energija v kJ ali kcal za določeno maso oziroma prostornino živila, običajno za 100 g oz. 100 ml (slika 3). Pri označevanju je nekaj zmede, ker kalorije – ponekod (ZDA, Kanada) jo pišejo z velikim C (Calorie), v Evropi jo pišemo kcal. Velja $1 \text{ Cal} = 1 \text{ kcal} = 4,2 \text{ kJ}$.

BIO Zelenjava z rižem in piščančjim mesom			HR6250
Neto količina: 190 g			po 5. mesecu
Uporabno najmanj do in lot: označeno na pokrovčku			brez glutena
Distributer: Atlantic Trade d.o.o., Kolinska 1, 1000 Ljubljana.			
Info.tel.: 080 2221, www.hipp.si. Poreklo: Madžarska.			
Navodila za uporabo in shranjevanje: Postrezite kot topel obrok. Odprti kozareček pogrejte v vodni kopeli ali v mikrovalovni pečici. Vsebinno premešajte s plastično žličko, da ne poškodujete kozarčka in preverite temperaturo. Ne uporabljajte vsebine, ki je niste segreli zaprite, shranite v hladilnik in najkasneje naslednji dan porabite. Hranite pri sobni temperaturi.			
Sestavine: zelenjava* 45% (korenček* 24%, grah* 10%, paradižnik* 10%, čebula* 1%), voda, kuhan riž* 22%, piščančje meso* 8%, repično olje* 1,7%.			
Hranilna vrednost	na 100g	1 obrok (190 g)	
energijska vrednost	273 kJ/65 kcal	517 kJ/124 kcal	
maščobe (od tega:)	2,7 g	5,1 g	✓ brez dodanega natrija ali soli - vsebnost soli zaradi natrija, ki se naravno nahaja v sestavinah
- nasičene maščobne kisline	0,5 g	1,0 g	✓ alfa-linoleninska kislina, pomembna za razvoj možganskih in živčnih celic
ogljikovi hidrati (od teh:)	6,9 g	13,1 g	✓ brez gostil – če se vsebina razstoji, premešajte
- sladkorji	1,5 g	2,9 g	✓ brez GSO (v skladu z Uredbo o ekološki pridelavi
beljakovine	2,5 g	4,8 g	
sol/natrij	0,05 g/0,02 g	0,1 g/0,04 g	
alfa-linoleninska kislina (omega-3)	0,12 g	0,23 g	

Izdelek je naše podjetje zapustil v brezhibnem stanju – prosimo pred uporabo se prepričajte, da je kozareček ostal neoporečen. Če se da pokrovček na sredji potlačiti, izdelek ne uporabljajte. Ko varnostni vakuumski pokrovček prvič odpremo, se sliši tlesk. 5 HiPP BIO pečatoma jamčimo najvišjo kakovost in presegamo EU standarde za ekološko pridelavo (HU-ÖKO-01). Kmetijstvo EU/Izven EU. 02062016_07_1352

Slika 3: Kalorično vrednost živila preberemo na embalaži.