

8.2 ENERGIJSKI ZAKON

V vsakem termičnem stanju ima snov določeno notranjo energijo. Notranja energija snovi se spremeni, če snov prejme ali odda toploto in (ali) delo.

Snov lahko prejme toploto od toplejše snovi, s katero je v toplotnem stiku, ali od toplotnega izvora. Snov oddaja toploto, če se dotika hladnejše snovi iz okolice. Tako se na primer voda v loncu segreje, če vanjo spustimo vročo utež ali lonec postavimo na štedilnik, in ohladi, če ga postavimo v hladno shrambo ali v hladilnik. **Pri segrevanju snov toploto prejema, pri ohlajanju pa oddaja.** Telesa na zemeljskem površju se segrejejo, če nanje sveti sonce. V tem primeru se notranja energija snovi poveča na račun svetlobne energije, ki jo prinašajo sončni žarki. To energijo štejemo k toploti. Prejeto toploto ločimo od oddane toplote po predznaku (tako kot delo). Po dogovoru je **toplota pozitivna** ($Q > 0$), če **snov toploto prejme** (snov nekaj džulov *dobi!*) in **negativna** ($Q < 0$), če **snov toploto odda** (snov nekaj džulov *izgubi!*). Če snov, ki z okolico ne izmenjuje dela, prejme toploto Q , se njena notranja energija poveča za prejeto toploto; če snov odda toploto Q , se njena notranja energija zmanjša za oddano toploto. **Sprememba notranje energije snovi je**

$$\Delta W_n = Q$$

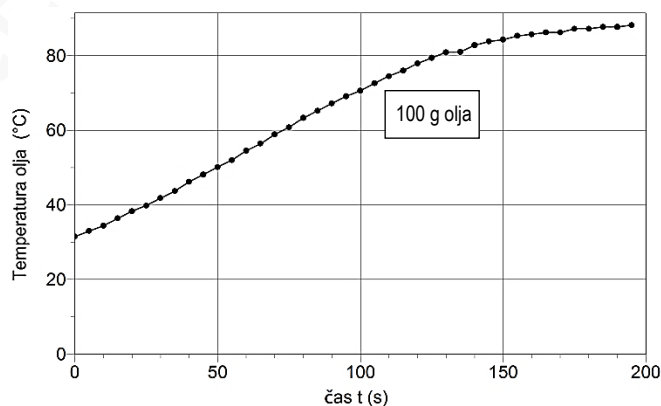
Če snov z okolico **ne izmenjuje toplote** (toplote niti ne prejema niti je ne oddaja: $Q = 0$), pravimo, da je snov **toplotno izolirana**. Snov na primer položimo v termovko, ki zaradi dobre toplotne izolacije onemogoča izmenjavo toplote z okolico (več o tem bo govora v naslednjem poglavju 8.3 Prenos toplote).

8.2.1 Specifična toplota

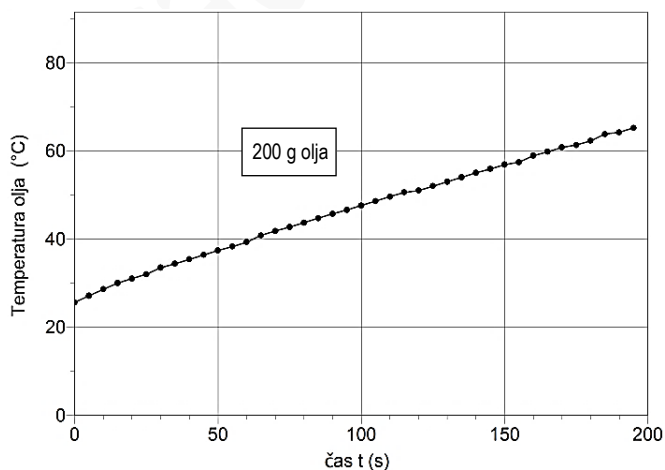
Segrevanje s toploto, ki jo dajejo toplotni izvori, je bolj preprosto kot segrevanje z delom. Zato je segrevanje s toploto v vsakdanjem življenju bolj razširjeno.

Poskus

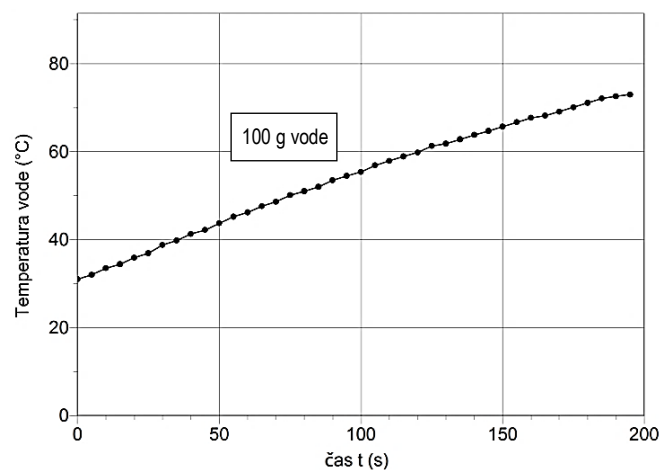
V stekleno erlenmajerico ali čašo nalijemo 100 g olja, vanj potopimo temperaturni senzor in posodo položimo na segreto električno grelnico. Z mešanjem poskrbimo, da je temperatura posode po čaši enaka. Z računalnikom, na katerega preko vmesnika priključimo senzor, merimo, kako se temperatura olja spreminja s časom (graf na sliki 1a). Meritev ponovimo z 200 g olja in 100 g vode (grafa na sliki 1b in 1c).



Slika 1a: Graf za segrevanje 100 g olja



Slika 1b: Graf za segrevanje 200 g olja



Slika 1c: Graf za segrevanje 100 g vode

Analiziramo grafe in zapišemo ugotovitve in opažanja:

- Vidimo, da temperatura v vseh treh čašah narašča sorazmerno s časom. To pomeni, da je povečanje temperature sorazmerno s toploto, ki jo grelnik preda olju oz. vode.
- Ko primerjamo naklon grafov 1a in 1b, lahko opazimo, da se v 60 sekundah segreje 100 g olja za 24 °C, 200 g olja pa za 12 °C. Torej se dvakrat večja masa segreva dvakrat počasneje.
- Primerjamo še hitrost segrevanja enake količine vode ter olja in opazimo zelo veliko razliko. V 60 s se 100 g olja segreje za 24 °C, 100 g vode pa le za 14 °C. Če obema snovema dovajamo enako mnogo toplote, se bo olje segrevalo hitreje.

S poskusom smo se prepričali, da je sprememba temperature snovi ΔT , ki jo segrevamo, odvisna od snovi ter sorazmerna s prejeto toploto $Q \propto t$ in obratno sorazmerna z maso m :

$$\Delta T \propto \frac{Q}{m}$$

Spoznanja strnemo v izraz:

$$Q = mc \Delta T$$

Dovedena toplota je **premo sorazmerna z maso snovi in temperaturno razliko**. Sorazmernostni faktor c , ki je odvisen od vrste snovi (je torej specifičen za posamezno snov), se imenuje **specifična toplota**:

$$c = \frac{Q}{m\Delta T}, \quad [c] = \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$$

Specifična toplota¹ snovi je toplota, ki jo mora prejeti (oddati) 1 kg snovi, da se segreje (ohladi) za 1 °C. Specifična toplota snovi je snovna lastnost snovi.

Specifične toplote nekaterih trdnin, kapljev in plinov so tabelirane v preglednici 1. Zgornja enačba velja, če sprememba temperature ΔT ni prevelika. Specifična toplota se namreč nekoliko spreminja s temperaturo.

Razmeroma majhne specifične toplote (nekaj sto J/kgK) imajo kovine in ostale trdnine.

Specifične toplote tekočin (plinov in še posebej kapljev) so razmeroma velike. Med običajnimi snovmi ima eno največjih specifičnih toplot **voda** (4180 J/kgK). Navadno računamo z zaokroženo vrednostjo 4200 J/kgK. Tudi druge kapljevine s polarnimi molekulami, ki se med seboj povezujejo z močnimi vodikovimi vezmi, npr. amonijak in etanol, imajo visoke specifične toplote.

Prvotna enota za toploto kalorija (cal) je bila celo vpeljana tako, da je bila specifična toplota vode natanko 1 cal/g K (poglavje 8.1). Takoj zapišemo zvezo 1 cal = 4,2 J. Tisočkrat večja enota od kalorije je bila kilokalorija, tako da je specifična toplota vode 1 kcal/kgK.

Pri homogenih snoveh je notranja energija sorazmerna z maso in temperaturo snovi. Čim višja je temperatura snovi, tem večja je njena notranja energija. Če se snov segreje, se temperatura in notranja energija snovi povečata. Pri ohlادتvi je ravno nasprotno: temperatura in notranja energija snovi se zmanjšata.

snov	c [J/kgK]	snov	c [J/kgK]
aluminij	897	olje	2000
amonijak	4700	opeka	840
asfalt	920	pesek (suh)	835
baker	385	srebro	233
bencin	2220	steklo	840
beton	880	svinec	129
diamant	509	titan	523
etanol	2440	voda	4180
grafit	710	volfram	134
granit	790	zemlja (prst)	800
jeklo	466	zlato	129
led	2100	zrak	1010
les	1700	železo	466
meso	3500	živo srebro	140

Preglednica 1: Specifične toplote nekaterih snovi

¹ angl. *specific heat capacity*

Toplotna kapaciteta

Voda, pesek in pločevina so obsijani od sonca. Ali imajo vse tri snovi okoli poldneva enako temperaturo? Seveda ne. Pločevina je vroča, voda pa je v primerjavi z njo hladna. Mar zato, ker je vode dosti več kot pločevine?

Za koliko stopinj se (vsa) snov segreje pri dani dovedeni toploti oziroma koliko toplote moramo snovi odvzeti, da se ohladi za dano temperaturno razliko, je odvisno od njene specifične toplote in mase. Če snov z maso m in specifično toploto c prejme toploto Q , se segreje za:

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

Sprememba temperature je tem večja, čim manjši je produkt mase in specifične toplote snovi: mc . Ta produkt imenujemo **toplotna kapaciteta**² (slov. toplotna zmogljivost):

$$C = mc \quad : \quad \text{toplotna kapaciteta}$$

Snov ima tem večjo toplotno kapaciteto, čim večji sta njena specifična toplota in masa. Toplotna kapaciteta zato **ni snovna lastnost**, tako kot specifična toplota, ker je za dano snov odvisna še od mase snovi. Snov s toplotno kapaciteto C se segreje za temperaturno razliko ΔT , če prejme toploto

$$Q = C \Delta T$$

Enoto in fizikalni pomen toplotne kapacitete ugotovimo, če jo izrazimo iz zgornje enačbe:

$$C = \frac{Q}{\Delta T}, \quad [C] = \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

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

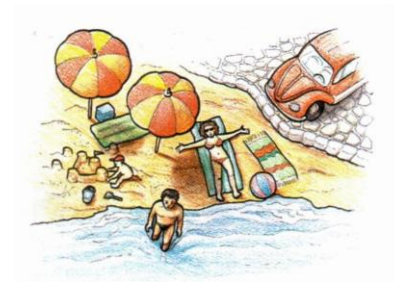
Toplotne kapacitete teles se seštevajo (tako kot mase); pravimo, da je toplotna kapaciteta *aditivna količina*. Toplotna kapaciteta lonca z vodo je enaka vsoti toplotne kapacitete lonca in toplotne kapacitete vode. Toplotno kapaciteto vode lahko povečamo (zmanjšamo), če dolijemo (odlijemo) nekaj vode. Toplotne kapacitete lonca pa ne moremo spremeniti.

Zgodi se, da prvotno hladna snov (z začetno temperaturo T_0) prejema toploto in jo nato prejema bolj ali manj enakomerno, na primer ko sonce zjutraj posveti na zemljo oziroma hišo ali ko spomladi začne močnejše osvetljevat površje naše poloble. Kako hitro se snov po začetku prejemanja toplote segreva, kako hitro torej njena temperatura T narašča s časom, je odvisno od njene toplotne kapacitete. Iz enačbe $Q = C \Delta T = C(T - T_0) = Pt$ namreč dobimo:

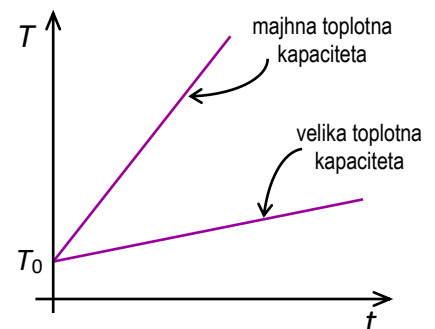
$$CT - CT_0 = Pt$$

$$CT = CT_0 + Pt$$

$$T = T_0 + \frac{P}{C} \cdot t$$



Slika 2



Slika 3

Primerjamo enačbo z enačbo linearne funkcije pri matematiki $y = kx + n$ ter ugotovimo, da velja $k = \frac{P}{C}$.

Na grafu na sliki 3 temperatura T linearno narašča s časom in je naklon premice tem večji, čim manjša je toplotna kapaciteta C snovi. **Če snov prejema (oddaja) toploto enakomerno, njena temperatura narašča (pada) linearno s časom. Snov se tem hitreje segreva (ohlaja), čim manjša je njena toplotna kapaciteta.**

² angl. *heat capacity*

Snov oz. telo z majhno toplotno kapaciteto (žlica, termometer, zrak v sobi itd.) se hitro segreje in hitro ohladi. Snov oz. telo z veliko toplotno kapaciteto (morje, stene masivne zgradbe, lončena in termoakumulacijska peč itd.) se počasi segreva in počasi ohlaja.

Velika razlika v specifični toploti vode in prsti (6 : 1) in manjša razlika v gostoti (voda : skale = 1 : 3, voda : prst = 1 : 1,5) pomeni, da je toplotna kapaciteta enakega obsega morja večja kot toplotna kapaciteta kopna. Zato enaka izmenjana toplota pomeni manjšo spremembo temperaturo morja. Veter z morja potem poskrbi, da imajo obmorska območja toplejše zime kot kot območja s celinskim podnebjem, poletja pa so manj vroča. K blažitvi velikih temperaturnih sprememb prispevajo tudi morski tokovi.

Sončna energija se v zraku ne absorbira, zato se zrak od nje neposredno ne segreva. Svetloba se absorbira v tleh, vodah, rastlinah ... ki se zato segrevajo, odvisno od njihove toplotne kapacitete. Zrak se nato ogreva ob dotiku s segretim tlemi. Zato zrak čez dan (ali čez leto) ni najtoplejši takrat, ko je sonce najmočnejše, ampak vedno kasneje, in to tem kasneje, čim večja je toplotna kapaciteta tal.

Podnevi je sonce najmočnejše opoldne, zrak pa je najbolj vroč šele od 14. do 15. ure. Poleti je sonce najmočnejše konec junija, prava poletna vročina pa nastane šele konec julija ali v avgustu. Pozimi je sonce najšibkejše konec decembra, najhujši zimski mraz pa je šele konec januarja ali v začetku februarja.

Leseno hišo ali hišo, ki je zgrajena iz drugih lahkih materialov (ki sicer dajejo zadostno toplotno zaščito, imajo pa majhno toplotno kapaciteto), sonce hitro segreje. Ko je opoldne sonce najmočnejše, je tudi v taki hiši najbolj vroče. Drugače je v hiši iz masivnih betonskih zidov, ki imajo veliko toplotno kapaciteto. Četudi sonce zunaj že močno pripeka, se takšna hiša le počasi segreva, najbolj se segreje šele zvečer, ko zunaj sonca ni več.

Ko jemo vroče krofe ali pico, se spečemo z marmelado (paradižnikovo mezgo, sirom, ...), ne pa s testom. Mogoče menimo, da je temu kriva višja temperatura marmelade, pa ni tako – krofi oz. pica so se namreč dovolj dolgo pekli v olju ali pečici, da je temperatura testa in marmelade oz. priloga na pici enaka, torej so sestavine v termičnem ravnovesju. Ko ugriznemo v krof, toplota steče iz vročega krofa proti hladnejši (37 °C) ustni votlini. Testo je rahlo in polno zraka, zato je njegova masa majhna, medtem ko je marmelada gosta in vsebuje veliko vode, ta pa ima, kot smo ravnokar spoznali, visoko specifično toploto. Toplotna kapaciteta marmelade je torej veliko večja v primerjavi s toplotno kapaciteto testa, zato odda marmelada neprimerno več toplote kot testo.



Slika 4

Zakaj si ne opečemo rok v notranjosti pečice, segrete na 300 °C? Res ima zrak v pečici visoko temperaturo, a ga je zelo malo. V celotni pečici je manj kot sto gramov zraka, v stiku z rokami pa le nekaj gramov. Poleg tega zrak zelo slabo prevaja toploto (več o tem v poglavju 8.3).

V srednjem veku so branitelji gradov na sovražnika poleg vrele vode, žarečega peska, goreče smole ... zivali tudi vrelo olje. Specifična toplota olja je dvakrat manjša od specifične toplote vode, vrelišče pa okrog 300 °C (odvisno od vrste olja). Olje je bilo v tistih časih drago, zato so ga redko uporabljali, kljub temu pa je bilo bolj učinkovito od vode. Zakaj? Ni pomembno samo vrelišče, temveč temperaturna razlika med vreliščem in temperaturo človeškega telesa. Vrela voda se ohladi s 100 °C na nekje 37 °C, torej za 63 °C, vrelo olje pa kar za 263 °C, kar je za približno 2,5-krat več od vode. Kljub dvakrat manjši specifični toploti odda zato olje več toplote kot enaka masa vode. (Pri tem odmislimo manjšo gostoto olja, saj bi poln kotel olja tehtal manj od podobne prostornine vode, vendar ta razlika ni pomembna. Razen tega so olje verjetno zgolj segreli in ne zavreli, saj se prične že pri nižji temperaturi od vrelišča dimiti.)