

5 Merjenje toplote in specifična toplota snovi

Pri tej vaji se bomo seznanili z merjenjem temperature s termočlenom, z merjenjem toplote in s kalorimetričnim določanjem specifične toplote.

Snov lahko segrejemo z dovajanjem toplote. Količina dovedene toplote (Q) je sorazmerna z maso snovi (m) in s povečanjem temperature (ΔT). Sorazmernostni koeficient je odvisen od vrste snovi in ga imenujemo *specifična toplota* (c):

$$Q = m c \Delta T . \quad (5.1)$$

Kadar se pri dovajanju toplote tlak ne spreminja, mislimo s c specifično toploto pri konstantnem tlaku. Pripomnimo pa lahko, da je pri trdninah in kapljevinah razlika med specifično toploto pri konstantnem tlaku in specifično toploto pri konstantni prostornini dosti manjša kot pri plinih in jo lahko navadno zanemarimo. Enota za specifično toploto je $\text{J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$. Specifična toplota za nekatere snovi je podana v tabeli 5.1. Specifična toplota je v splošnem odvisna od temperature. Kadar pa kalorimetrična meritev poteka v območju, ko se ta ne spreminja veliko (kar je navadno res, kadar je razlika ΔT med začetno in končno temperaturo majhna), jo smemo vzeti za konstantno.

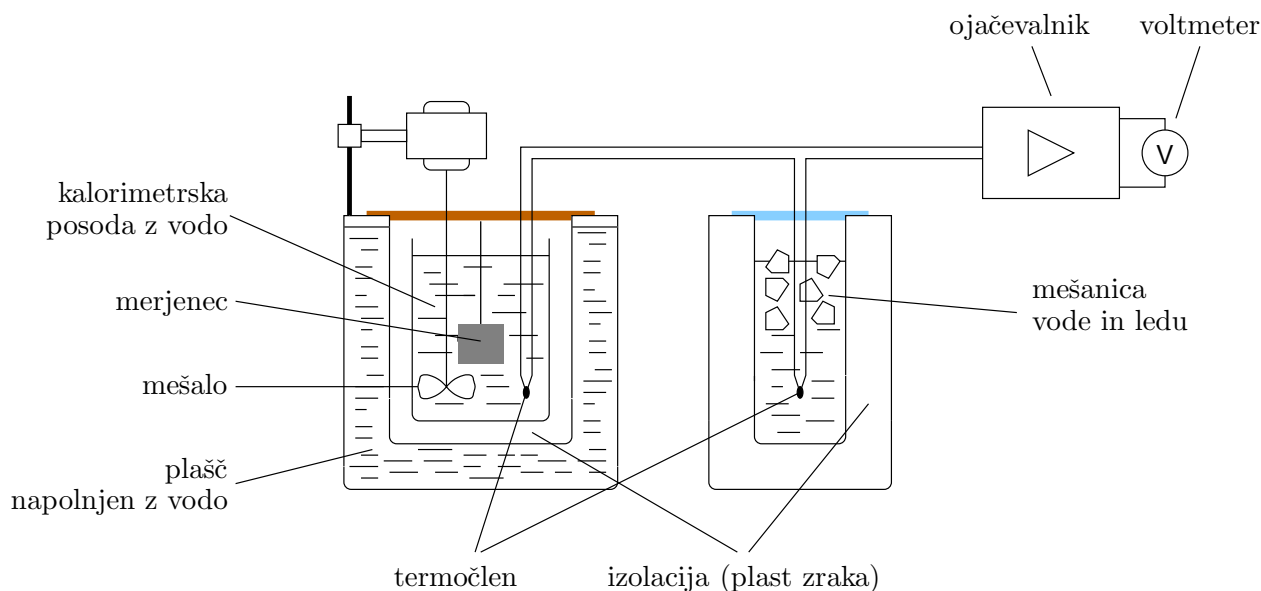
Tabela 5.1: *Specifična toplota nekaterih snovi.*

snov	specifična toplota [$\text{kJ kg}^{-1}\text{K}^{-1}$]
voda (15°C)	4,18
led (0°C)	2,23
les, 8% vlage (20°C)	1,68
jeklo (20°C)	0,46
živo srebro (20°C)	0,14

Toplotna kapaciteta (C) nekega telesa pa je količina toplote, ki je potrebna, da se to telo segreje za 1°C oz. 1 K. Enota zanjo je J K^{-1} . Če je telo homogeno, velja $C = mc$.

5.1 Kalorimetrično merjenje toplote

Specifično toploto snovi lahko določamo kalorimetrično. Preprost vodni kalorimeter je prikazan na sliki 5.1. Sestavlja ga osrednja kalorimetriška posoda, v kateri je znana masa vode in merjenec. Mešalo skrbi, da je temperatura vode po vsej kalorimetrski posodi enaka. Kalorimetriška posoda je s plastjo zraka izolirana od zunanjšega plašča, napolnjenega z vodo. Ta ima vlogo okolice s stalno temperaturo in zmanjšuje vpliv sprememb v okolici na potek meritve. Kalorimeter lahko približno obravnavamo kot toplotno izoliran sistem pri konstantnem tlaku.



Slika 5.1: Vodni kalorimeter.

Specifično toploto merjenca določamo tako, da merimo toploto, ki jo ta v kalorimetru sprejme oziroma odda. To toploto določamo posredno, z merjenjem spremembe temperature vode v kalorimetski posodi. Če je temperatura merjenca (T_m) višja od začetne temperature vode in kalorimetske posode (T_k), merjenec odda pri tem, ko se ohladi na končno (zmesno) temperaturo (T_z), toploto

$$Q_m = m_m c_m (T_m - T_z) , \quad (5.2)$$

voda in kalorimetska posoda pa sprejmeta toploto

$$Q_k = (m c + C)(T_z - T_k) , \quad (5.3)$$

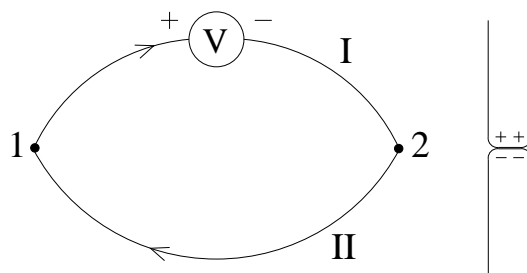
kjer so m_m masa merjenca in c_m njegova specifična toplota, m masa vode, c specifična toplota vode, C pa toplotna kapaciteta kalorimetske posode, termometra in mešala. T_z je zmesna temperatura, potem ko se temperaturi merjenca in vode izenačita. Če predpostavimo, da nič toplote ne preide iz kalorimetske posode v okolico, je oddana toplota enaka prejeti toploti $Q_m = Q_k$, zato velja

$$m_m c_m (T_m - T_z) = (m c + C)(T_z - T_k) . \quad (5.4)$$

Iz te enačbe (5.4) lahko izračunamo specifično toploto merjenca, pri čemer je potrebno poznati toplotno kapaciteto vode in kalorimetra ($m c + C$), maso merjenca (m_m), začetni temperaturi merjenca (T_m) in vode (T_k) ter zmesno temperaturo (T_z).

5.2 Toplotna kapaciteta kalorimetra

Toplotne kapacitete kalorimetra (C) običajno ne poznamo, zato jo moramo določiti posebej. To lahko napravimo tako, da znani količini vode v kalorimetru z znano temperaturo (T_1)



Slika 5.2: Termočlen (levo) in porazdelitev nosilcev naboja na stiku dveh kovin (desno).

dodamo znano količino vode z znano, vendar drugačno temperaturo (T_2) ter, enako kot prej, izmerimo spremembo temperature vode v kalorimetru. Če se nič toplote ne izgubi v okolico, lahko zapišemo, da sta sprejeta in oddana toplota med seboj enaki:

$$(m_1 c + C)(T_z - T_1) = m_2 c (T_2 - T_z) . \quad (5.5)$$

Ko enačbo (5.5) preuredimo, lahko izračunamo toplotno kapaciteto C .

5.3 Merjenje temperature s termočlenom

Temperaturo lahko merimo na več načinov: z živosrebrnimi termometri, s polprevodniškimi merilniki temperature, s termočlenom itd.

Pri tej vaji merimo temperaturo s termočlenom. Termočlen je naprava za električno merjenje temperature. Toplotna kapaciteta tistega dela termočlena, ki je pri meritvi temperature v stiku z merjencem, je v primerjavi s toplotnimi kapacitetami živosrebrnih termometrov dosti manjša, zato je termočlen primeren za merjenje hitrih temperaturnih sprememb. Poleg tega ga lahko uporabljamo za merjenje temperature merjencev z majhno toplotno kapaciteto.

Termočlen je sestavljen iz dveh žic iz različnih kovin (na sliki 5.2 označeni kot kovini I in II), ki sta speta na dveh koncih (stika 1 in 2). Na stiku dveh različnih kovin tista kovina, v kateri so elektroni šibkeje vezani, nekaj elektronov izgubi ter postane pozitivna, kovina, v kateri so elektroni močnejše vezani, pa elektrone prevzame in postane negativna. Proces se zelo hitro uravnovesi, saj preseljeni elektroni ustvarjajo električno polje, ki nasprotuje selitvi. Napetostno razliko, ki je nastala s preselitvijo elektronov na stiku različnih kovin, imenujemo *kontaktna napetost*. Kontaktna napetost je razen od vrste kovin odvisna tudi od temperature in je ne moremo meriti neposredno. Merimo pa lahko razliko kontaktnih napetosti med dvema spojema. Kadar sta oba spoja na enaki temperaturi, sta kontaktni napetosti na obeh mestih enako veliki, vendar nasprotnega predznaka, zato med spojema ni električne napetosti. Pri različnih temperaturah pa se kontaktni napetosti razlikujeta in med spojema nastane električna napetost. Tej napetosti pravimo *termoelektrična napetost* in jo lahko zaznamo z občutljivim voltmetrom. Za majhne temperaturne razlike med spojema je termoelektrična napetost (U) kar sorazmerna razliki temperatur med stičiščema kovin

$$U = \alpha(T_1 - T_2) . \quad (5.6)$$

Sorazmernostno konstanto α imenujemo občutljivost termočlena. V tabeli 5.2 so podane občutljivosti termočlenov za nekaj različnih termočlenov.

Tabela 5.2: *Občutljivost termočlena za različne pare kovin.*

termočlen	občutljivost [$\mu\text{V}/\text{K}$]
železo-cink	12,9
železo-baker	13,4
železo-nikelj	32,0
železo-konstantan (58,8 % Cu, 40 % Ni, 1,2 % Mn)	50,0
baker-aluminij	3,3

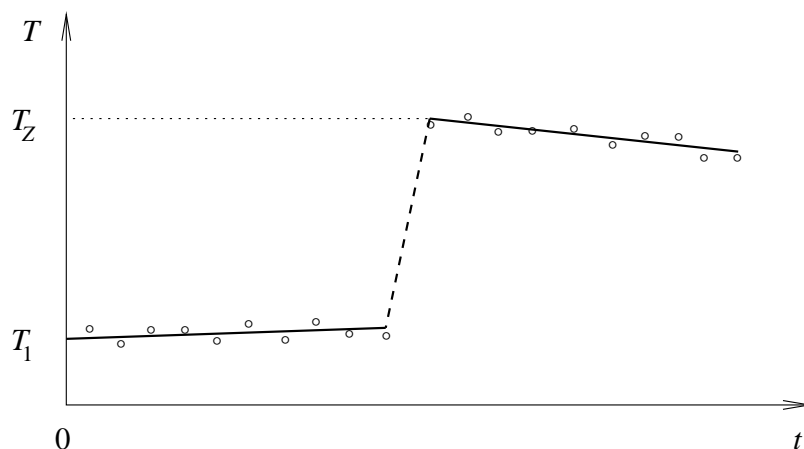
Za merjenje temperature je uporaben le umerjen termočlen. To je takšen termočlen, za katerega poznamo odvisnost termoelektrične napetosti od razlike temperatur. Termočlen lahko umerimo primerjalno, z že umerjenim termometrom. Najenostavneje je, če poskrbimo, da en spoj ostane ves čas na isti temperaturi, temperaturo drugega spoja, ki jo merimo z umerjenim termometrom, pa spreminjamo. Tako poiščemo odvisnost termoelektrične napetosti od razlike temperatur med spojema.

- Naloge:**
1. Določite toplotno kapaciteto kalorimetra.
 2. Določite specifično toploto merjenja.
 3. Umerite termočlen iz bakra in konstantana ter določite njegovo občutljivost.

Potrebščine: kalorimetska posoda z mešalom
digitalni voltmeter
termočlen
termosteklenica z mešanico ledu in vode
merjenci
3 graduirane čaše
2 termometra
plinski gorilnik

Izvedba

- 1) **Določitev toplotne kapacitete kalorimetra:** V termostatirano posodo, v kateri je primerjalni konec termočlena, damo mešanico ledu in vode, s čimer dosežemo, da bo v njej temperatura vode in talečega se ledu med poskusom ves čas konstantna. Med celotnim poskusom večkrat preverimo, ali je še dovolj ledu v posodi in ga po potrebi dodamo. V kalorimetrsko posodo nalijemo 800 ml vode ($m_1 = 0,80$ kg) s temperaturo hladne vode iz vodovodne pipe. Vključimo mešalo. S termočlenom merimo temperaturo vode tako, da spremljamo spreminjanje električne napetosti na voltmetru in to vsakih 30 sekund – skupaj desetkrat. Ojačitve napetosti med meritvijo ne spreminjamo. Takoj po desetem odčitku dolijemo 300 ml vode ($m_2 = 0,30$ kg) s temperaturo približno 70°C , ki smo jo segreti nad plinskim gorilnikom. Izmerimo točno vrednost temperature tople vode (T_2). Zaradi mešanja se sistem hitro uravnesi, zato 30 sekund po tem, ko smo dolili toplo vodo, znova odčitamo vrednost na voltmetru, tej pa naj sledi še 10 meritev, ki si sledijo na vsakih 30 sekund. Po končani meritvi izpraznimo kalorimeter.
- 2) **Določitev specifične toplote:** Merjenec segrevamo v vreli vodi tako, da se ne dotika sten posode. Izmerimo in zapišemo temperaturo vode. V kalorimeter vlijemo 800 ml hladne vode ($m = 0,80$ kg) iz vodovodne pipe. Vključimo mešalo in s termočlenom v 30-sekundnih presledkih desetkrat izmerimo temperaturo vode v kalorimetru, kot pri prvi nalogi. Merjenec takoj po desetem odčitku previdno položimo v kalorimetrsko posodo in še pet minut nadaljujemo z meritvami temperature vode v kalorimetru v presledkih po 30 sekund.
- 3) **Umeritev termočlena:** V večjo čašo natočimo iz pipe za nekaj prstov čim bolj hladne vode, vsaj toliko, da je bučka umerjenega živosrebrnega termometra potopljena. V vodo potopimo merilni konec termočlena in živosrebrni termometer. Pomešamo, da se temperatura po vsej posodi izenači, zatem odčitamo napetost na voltmetru in hkrati izmerimo temperaturo z živosrebrnim termometrom. V posodo večkrat dolijemo malo tople vode, vsakič pomešamo, da se temperatura vode izenači, ter odčitamo temperaturo in napetost. Odčitke vnašamo v tabelo meritev. Termočlen umerimo v nekoliko večjem temperaturnem območju, kot je bilo temperaturo območje za določitev toplotne kapacitete kalorimetra in specifične toplote merjenca. Izmerimo še vsaj dve točki nad najvišjo napetostjo, ki smo jo odčitali pri merjenju temperature v kalorimetru. Zapišemo si tudi faktor ojačitve napetosti ojačevalnika, ki ga potrebujemo za izračun občutljivosti termočlena. Potem ko nanesimo izmerjene električne napetosti kot funkcijo temperature v diagram, narišemo umeritveno krivuljo, ki je za majhne temperaturne razlike kar premica. Občutljivost termočlena izračunamo iz naklonskega koeficienta umeritvene premice, pri čemer upoštevamo, da so napetosti na termočlenu manjše kot napetosti, izmerjene z voltmetrom.



Slika 5.3: Temperatura vode v kalorimetru v odvisnosti od časa, pri določitvi toplotne kapacitete kalorimetra.

Izračun

- 1) **Določitev toplotne kapacitete kalorimetra:** Narišemo diagram odvisnosti temperature vode v kalorimetru od časa. Temperaturo, ki jo odčitamo iz umeritvene krivulje, nanašamo v stopinjah Celzija. Na *isti* graf nanašamo oba poteka temperature, preden smo dotočili vodo in po tem; vmes na časovni skali pustimo prostor, ustrezen času med zadnjo meritvijo temperature začetne količine vode in prvo meritvijo zmesne temperature (slika 5.3). Temperatura vode v kalorimetrski posodi se s časom spreminja, ker toplotna izolacija ni popolna. Če je temperatura vode manjša od temperature okolice, raste, če je večja, pa pada. Ko dodamo toplejšo vodo, temperatura ne doseže v hipu zmesne vrednosti, ker nekaj časa traja, da se vodi zmešata (slika 5.3). Končno zmesno in začetno temperaturo bi zato pravilno določili z ekstrapolacijo, ki to upošteva. Pri natančnosti, dosegljivi pri tej vaji, bi bila takšna pedantnost pretiravanje; nadomestimo jo z enostavnim premislekom. Če se temperatura s časom ne spreminja dosti, kot začetno temperaturo vzamemo kar povpreček izmerjenih vrednosti temperature preden dolijemo toplejšo vodo, za končno temperaturo pa povprečje vrednosti potem, ko se hladna in topla voda zmešata. Če pa ugotovimo, da temperatura izrazito pada ali narašča, na oko potegnemo skozi točke premico in vzamemo kot eno ali drugo temperaturo točko na premici pred ali po trenutku, ko smo dolili toplejšo vodo. Toplotno kapaciteto kalorimetra (C) izračunamo iz enačbe (5.5). Specifično toploto vode (c) preberemo iz tabele 5.1.
- 2) **Določitev specifične toplote:** Narišemo diagram odčitkov temperature v odvisnosti od časa. Enako kot prej (slika 5.3) določimo končno temperaturo zmesi (T_z) in začetno temperaturo vode v kalorimetrski posodi (T_k). Ko dodamo merjenec, temperatura ne doseže v hipu zmesne vrednosti, ker nekaj časa traja, da merjenec toploto odda. Specifično toploto merjenca izračunamo iz enačbe (5.4).