

Toplotna prevodnost

Uvod

V sredstvu z neenakomerno temperaturo prehaja toplota z delov na višji v dele na nižji temperaturi. Toplotni tok v vsaki točki je sorazmeren negativnemu gradientu temperature,

$$\vec{j} = -\lambda \text{grad } T. \quad (1)$$

Sorazmernosti faktor λ imenujemo koeficient toplotne prevodnosti in je različen za različne snovi. Kovine so dobri toplotni prevodniki, električni izolatorji pa slabi toplotni prevodniki. Toplotna λ in električna prevodnost σ je v kovinah povezana zelo enostavno preko Wiedemann-Franzovega zakona [1]:

$$\frac{\lambda}{\sigma T} = 3 \left(\frac{k_B}{e} \right)^2 = 2.22 \times 10^{-8} \text{ W } \Omega \text{ K}^{-2}. \quad (2)$$

Za tipične predstavnike kovin so toplotne prevodnosti navedene v tabeli 1.

Tabela 1: Toplotna prevodnost λ pri STP za izbrane kovine po viru [2].

Kovina	λ (W K ⁻¹ m ⁻¹)
Aluminij	209.3
Baker	389.6
Jeklo	45.4
Medenina	85.5
Srebro	418.7
Zlato	312.8
Železo	74.4
Železo, surovo	62.8
Živo srebro	28.1

Koeficient toplotne prevodnosti običajno merimo tako, da v merjencu vzpostavimo stacionarno stanje, to se pravi, da temperatura in tok nista odvisna od časa. Prav tako je primerno, da ima merjenec enostavno geometrijsko obliko, na primer obliko palice ali plošče, in pri tem toploto prevaja od ploskve, ali pa valja, tako da prevaja toploto v radialni smeri. Palica je primerna za dobre prevodnike toplote, plošča in valj pa za slabe. Za palico in ploščo se zgornja enačba lahko zapiše kot

$$j = -\lambda \frac{\Delta T}{l}, \quad (3)$$

pri čemer je ΔT razlika temperatur na dolžini palice l . Temperatura $T(\vec{r})$ znotraj telesa se spreminja v skladu z difuzijskim zakonom [3]

$$\frac{\partial T}{\partial t} = D \nabla^2 T, \quad (4)$$

kjer je $D = \lambda/(\rho c_p)$ toplotna difuzija, ρ gostota materiala in c_p specifična toplotna kapaciteta pri konstantnem tlaku. Konstante toplotne difuzije za nekaj pogosto uporabljenih kovin so navedene v tabeli 2.

Tabela 2: Konstante toplotne difuzije D nekaterih kovin.

Kovina	D [$10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$] pri 25 °C
Aluminij	8.418
Baker	11.234
Srebro	16.563
Zlato	12.768
Jeklo (1 % C)	1.172

Potreščine

- merjenec - valj iz neznane kovine
- posoda za hlajenje z vodo, dve kovinski izolirni posodi (dewar)
- ledomat in kuhalnik za vodo
- električni kuhalnik za olje, variak, električni grelec vode - bojler
- termočlen baker-konstantan (t.i. T-tip termočlena), termonapetost je $43 \mu\text{V K}^{-1}$, konstantan je zlitina 60 % Cu in 40 % Ni
- mikrovoltmeter Keithley DMM 2000
- dva digitalna termometra z deklarirano natančnostjo med 0 °C do 50 °C (± 0.1 °C), med 51 °C do 70 °C (± 1 °C) ter nad 71 °C (± 2 °C)



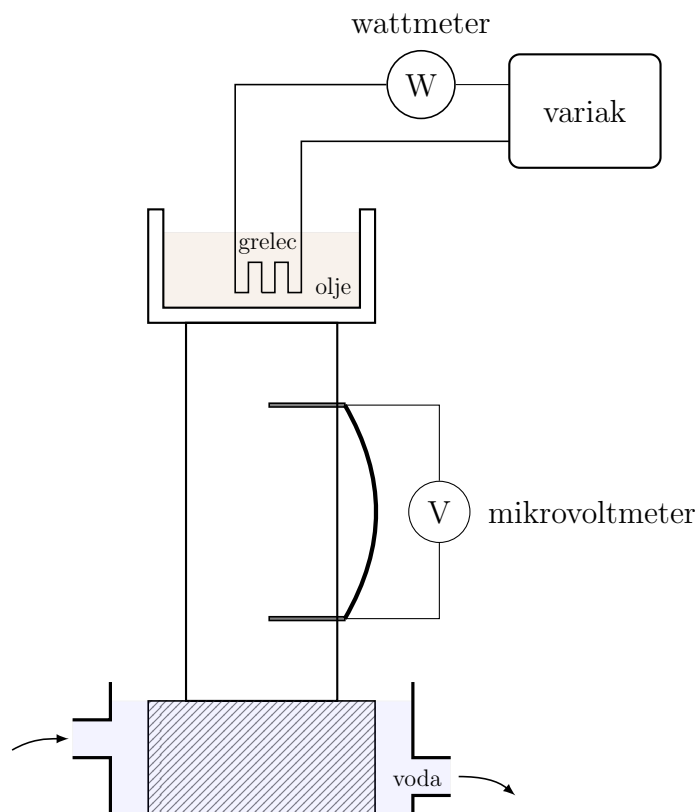
Slika 1: (*levo*) Umeritev termočlena z ledeno in vročo vodo. (*desno*) Meritev toplotne prevodnosti valjastega merjenca iz neznane kovine.

Naloga

1. Umeri termočlen - izmeri zvezo med temperaturno razliko in napetostjo na termočlenu.
2. Izmeri koeficient toplotne prevodnosti dane kovine.

Navodilo

Merjenec ima obliko palice. Stacionarno stanje vzpostavimo tako, da zgoraj segrevamo palico z električnim grelcem s stalno močjo P , spodaj pa vzdržujemo nižjo temperaturo s stalnim tokom vode. Temperaturno razliko med dvema točkama na palici določimo s termočlenom baker-konstantan. Toplotni tok skozi palico določimo z meritvijo moči grelca in preseka palice s pripravo, ki je prikazana na sliki 2.



Slika 2: Shema postavitve poskusa.

A. Najprej umerimo termometer, ki smo ga sestavili iz termočlena in mikrovoltnetra, slika 1 levo. Šum meritev majhne napetosti zmanjšaj tako, da na mikrovoltnetru nastaviš povprečevanje izmerkov: pritisneš gumb **Filter** in nato v meniju s pritiskom na **Enter** izbereš 10 izmerkov (010 RDGS) in nato še način povprečevanja (**Type: Repeat**). Za največjo natančnost umeritve je pomembna meritev na čim večjem temperaturnem razponu. Ena spojna točka naj bo na stalni temperaturi v talečem se ledu, ki ga pripraviš s pomočjo ledomata. Dvigni pokrov ledomata in odstrani plastično košarico. Napolni ledomat z vodo, največ do oznake **MAX**. Vstavi plastično košarico nazaj in priključi ledomat v vtičnico ter ga vklopi s pritiskom na tipko **On/Off**. Ledomat pripravi zadostno količino ledu v približno 45 min, zato ga pravočasno vklopi! Napolni eno izmed izolirnih posod z ledom in dolij nekaj hladne vode. Posoda naj bo polna nekje do polovice. Temperaturo kontroliraj s termometrom. Občasno previdno premešaj s pomočjo steklene palčke. Drugi spoj daš v čašo z vrelo vodo, ki jo segreješ s kuhalnikom vode, zraven pa drugi termometer. Tudi tukaj naj bo izolirna posoda približno pol polna.

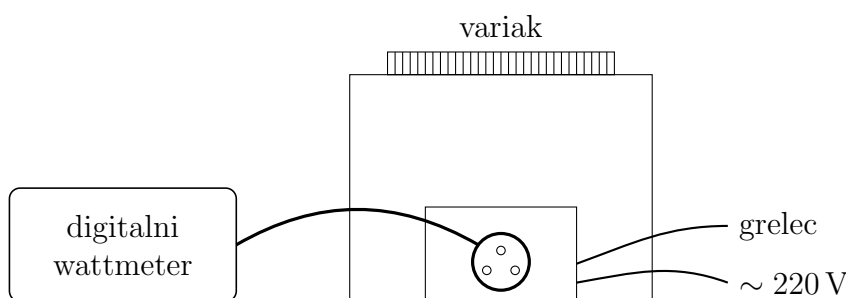
Pozor! Kuhalnik vode je vroč zato ga drži le za ročaj. Bodi tudi previden z vrelo vodo,



da se ne popariš! Mikrovoltmeter veži v bakreno vejo termočlena. Vročo vodo ohlajaj z dodajanjem hladne vode. Od časa do časa previdno premešaj vodo s stekleno palčko in odčitavaj temperaturo in napetost na termočleni. Tako napravi za vsakih nekaj stopinj - pričakovana odvisnost med termonapetostjo na termočleni ter temperaturno razliko obeh vej termočlena je linearna.

Nariši diagram temperaturne razlike v odvisnosti od napetosti in izrazi termonapetost ter jo primerjaj z zgoraj navedeno. Preveri, če oba termometra kažeta enako.

B. Ko smo umerili termočlen, sledimo shemi na sliki 2 ter sestavimo aparaturo za merjenje toplotne prevodnosti, slika 1 desno. Merjenec postavi na podstavek. Odpri pipo, da dobiš primeren tok vode. Pri ravnanju z grelcem pazi, da bo vedno v pokončni legi, da se olje, v katerem je potopljen, ne razlije. Vstavi v merjenec obe spojni točki termočlena. Zveži grelec preko wattmetra z variakom kot kaže slika 3.



Slika 3: Vezava wattmetra z variakom v postavljenem poskusu.

Izmeri koeficient toplotne prevodnosti pri različnih močeh grelca. Moč naj bo od 30 W do 60 W. Na variaku ne preseži napetosti 150 V. Pri vsaki meritvi počakaj, da se temperatura ustali. Izmeri še vse geometrijske podatke merjenca, ki jih potrebuješ. Iz konstant toplotne difuzije izračunaj karakteristični čas t_D po katerem temperaturna motnja prepotuje dolžino vzorca L , kjer privzami, da velja difuzijska relacija $L^2 = 2Dt_D$. Vedi, da se temperatura v vzorcu ustali v času nekajkrat večjem od t_D .

Literatura

- [1] Neil W. Ashcroft in N. David Mermin. *Solid State Physics*. Harcourt College Pub., 1976.
- [2] Nikolaj Ivanovič Koškin in Mihail Grigor'evič Širkevič. *Priročnik elementarne fizike*. Tehnična Založba Slovenije, 1990.
- [3] Janez Strnad. *Fizika, 1. del, Mehanika, Toplota*. DMFA, 2016.