

Toplotna prevodnost

Urh Trinko

22. november 2020

1 UVOD

V sredstvu z neeneakomerno temperaturo teče toplotni tok iz predelov z višjo temperaturo na tiste z nižjo. Toplotni tok lahko v vsaki točki opišemo kot:

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

(λ - koeficient toplotne prevodnosti)

Povezavo med toplotno in električno prevodnost predstavlja zveza:

$$\frac{\lambda}{\sigma T} = 3 \left(\frac{k_B}{e} \right) \quad (2)$$

(σ - električna prevodnost)

Toplotni tok merjen v palici ali pločči opiše enačba:

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

(ΔT - razlika temperature na dolžini palice)

Temperatura znotraj telesa pa se spreminja v skladu z difuzijskim zakonom:

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

(toplotna difuzija - $D = \frac{\lambda}{\rho c_p}$, ρ - gostota, c_p - specifična toplotna kapaciteta)

2 POTREBŠCINE

- merjenec - valj kovine
- posoda za hlajenje vode
- ledomat in kuhalnik za vodo
- električni kuhalnik za olje, variak, bojler
- termočlen baker-konstantan (konstantan je zlitina 60 % Cu in 40 % Ni)
- mikrovoltmeter
- dva termometra do 50 °C, natančnost ± 0.1 °C

3 NALOGA

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

4 MERITVE

- PREMIER MERJENCA: $d = 44.70 \text{ mm} \pm 0.02 \text{ mm}$
- RAZDALJA MED LUKNJICAMA: $l = 56.96 \text{ mm} \pm 0.02 \text{ mm}$
- DOLŽINA MERJENCA: $L = 97.64 \text{ mm} \pm 0.02 \text{ mm}$

Temperaturna razlika v odvisnosti od napetosti

T vroce vode [stopinj celzija]	Napetost [mV]
92.2	3.75
83	3.41
74.3	3.05
70.1	2.87
64	2.62
59.7	2.43
54.4	2.21
50.3	2.03
45.7	1.836
40.2	1.609
35.3	1.405
29.2	1.155
24.4	0.959
19.7	0.771
14	0.539
0.1	0.003

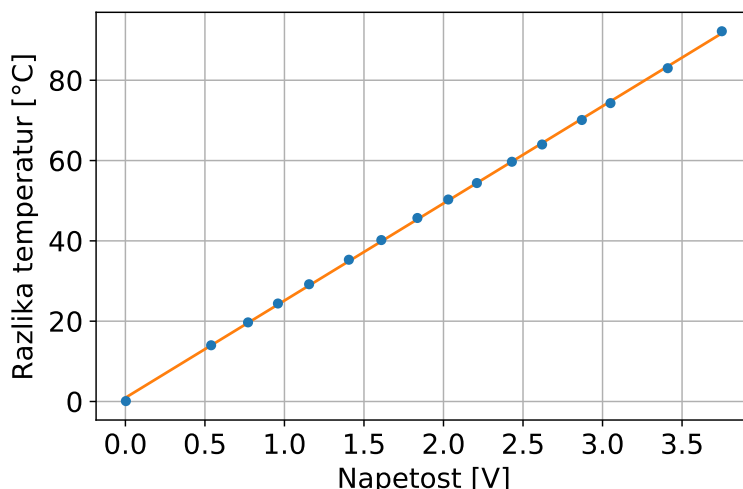
Temperaturna razlika v odvisnosti od moči

Moc [W]	Napetost [mV]
30	0.2318
36.5	0.272
42	0.315
47	0.359
54	0.402
60.1	0.456

5 IZRAČUNI

5.1 Umiritev termočlena

V prvem delu vaje se termočlen iz bakra in konstantana umiri tako, da se meri napetost, ki se ustvari med obema koncema, ko je en konec v ledeni vodi (pri $0\text{ }^{\circ}\text{C}$), drug pa v vroči vodi. Pri tem je dana napaka termometra enaka $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$.



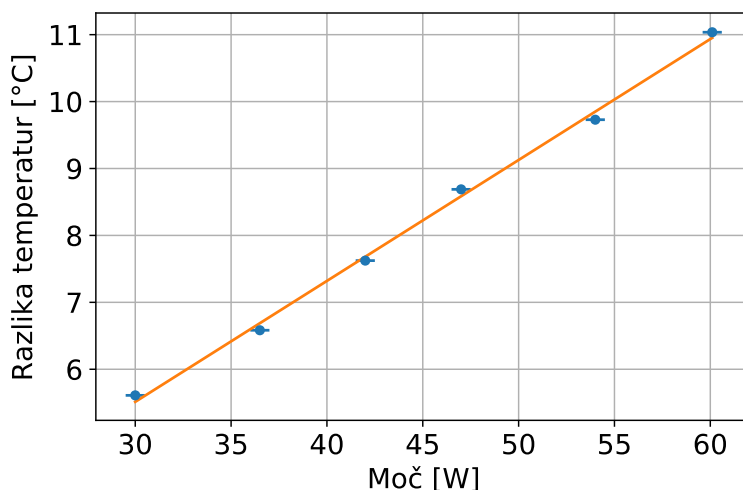
Slika 1: Odvisnost temperaturne razlike od napetosti na termočlenu.

Na osi y grafa na sliki 1 sem navedel kar temperaturno razliko, v podatkih so sicer podane le temperature v vroči posodi, vendar je temperatura v ledeni vedno enaka $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, zato je dana temperatura kar enaka temperaturni razliki. Hkrati sem opazil, da je napaka termometra precej majhna v primerjavi z merjenimi temperaturnimi razlikami. Na graf (slika 1) sem narisal tudi intervale zaupanja ("error bars"), vendar so ti tako majhni v primerjavi z merjenimi temperaturami, da se na sliki sploh ne vidijo.

Iz obratne vrednosti naklona grafa na sliki 1 lahko izračunamo termonapetost - faktor, ki pove glavno lastnost termočlena, kakšno napetost povzroči določena temperaturna razlika. Iz izmerjenih podatkov ta znaša $41.32\frac{\mu\text{V}}{\text{K}} \pm 0.04\frac{\mu\text{V}}{\text{K}}$, kjer je napaka enaka napaki naklona premice na grafu 1, ki sem jo določil s kodo.

5.2 Meritev toplotne prevodnosti valjastega merjenca

V drugem delu naloge se z umerjenim termočlenom meri temperaturno razliko med dvema deloma kovinskega valja, ki se z ene strani greje s konstantno močjo, na drugi pa hkrati hladi s tokom hladne vode. Pri meritvi se opazuje napetost, ki se pojavi na termočlenu ob določeni moči grelca.



Slika 2: Temperaturna razlika v odvisnosti od moči.

Na ordinatno os grafa na sliki 2 sem nanese kar temperaturno razliko, ki sem jo izračunal na podlagi dane napetosti ter naklona grafa na sliki 1. Koeficient toplotne prevodnosti se lahko izračuna na podlagi enačbe (3). Velja:

$$\frac{P}{S} = |j| = \lambda \frac{\Delta T}{l}$$

$$\downarrow$$

$$\frac{l}{\lambda S} = \frac{\Delta T}{P} = k$$

(kjer k pomeni naklon premice na sliki 2)

Končno sledi:

$$\lambda = \frac{l}{kS} = \frac{4l}{\pi d^2 k}$$

Iz zbranih podatkov in meritev znaša toplotna prevodnost merjenca $200 \frac{W}{mK} \pm 20 \frac{W}{mK}$, kar se iz tabele v navodilih najbolj ujema s podatkom za aluminij. Napako pa sem določil s seštevanjem relativnih napak razdalje med luknjicama, premera merjenca ter naklona grafa na sliki 2. Skoraj ves prispevek k tej napaki je prinesel naklon, saj sta napaki drugih dveh količin zelo majhni.

V zadnjem delu naloge pa sem moral izračunati karakteristični čas t_D za merjenec. To je čas v katerem temperaturna motnja prepotuje neko dolžino materiala. Pri tem velja difuzijska relacija:

$$L^2 = 2Dt_D$$

Na podlagi rezultata o toplotni prevodnosti sem sklepal, da je merjenec iz aluminija, zato sem uporabil difuzijsko konstanto za ta material, ki je tudi navedena v navodilih (pri $25^\circ C$ znaša $8.418 \cdot 10^{-5} \frac{m^2}{s} \pm 0.001 \cdot 10^{-5} \frac{m^2}{s}$).

$$t_D = \frac{L^2}{2D}$$

Karakteristični čas je tako znašal $56.63 s \pm 0.03 s$, napako pa sem spet določil s seštevanjem relativnih napak števca in imenovalca.

6 ZAKLJUČEK

V prvem delu naloge sem na podlagi danih podatkov izračunal termonapetost termočlena, ki je znašala $41.32 \frac{\mu V}{K} \pm 0.04 \frac{\mu V}{K}$. Dobljen podatek se malo razlikuje od tistega v navodilih, ki je znašal $43 \frac{\mu V}{K}$.

V drugem delu naloge pa sem določil toplotno prevodnost merjenca, ki je znašala $200 \frac{W}{mK} \pm 20 \frac{W}{mK}$. Na podlagi tega podatka sem sklepal, da je naznana kovina alumiji. Tako sem lahko iz podatka o difuzijski konstanti izračunal še karakteristični čas, $56.6 \text{ s} \pm 0.03 \text{ s}$.