

# Měření tepelné vodivosti

Pavel Šigut  
(A16B0141P)

# 1 Měřicí potřeby a přístroje

---

- střídavý zdroj s regulačním autotransformatorem
- elektrické topné tělísko
- elektromagnetická míchačka
- skleněná kádinka s olejem
- zařízení k měření tepelné vodivosti se dvěma vzorky z různých materiálů (hliník a měď)
- digitální multimetr V553
- ampérmetr
- voltmetr (galvanometr)
- termočlánek železo – konstantan
- digitální teploměr
- termoizolační nádoba s vodou
- termoizolační nádoba pro chladicí lázeň (směs vody a ledu)

## 2 Obecná část

---

Tento pokus se skládá ze dvou částí – kalibrace termočlánu a samotného měření na zkušebních vzorcích.

Termočlánek je složen ze dvou druhů kovů – železa a konstantanu. Jeden spoj ponoříme do vody o konstantní teplotě a druhý do postupně zahříváné olejové lázně. Jelikož má každý spoj jinou teplotu, v termočlánu se generuje proud (to přímo souvisí s difúzí elektronů v drátu – tepelný rozdíl umožní snazší přechod elektronů z jednoho kovu do druhého). Na základě toho, že víme, že napětí na termočlánu je přímo úměrné rozdílu teplot jednotlivých spojů, dokážeme termočlánek využít jako „teploměr“ pro rozdíly teplot na koncích našich zkušebních vzorků.

Tepelná vodivost  $\lambda$  zkušebního vzorku se dá spočítat jako:

$$\lambda = \frac{U \cdot I \cdot l}{S \cdot (t_A - t_B)} \quad [Wm^{-1} K^{-1}] ,$$

kde  $U$  je hodnota elektrického napětí na topném tělísku,  $I$  je proud procházející topným tělískem,  $l$  je vzdálenost konců termočlánu,  $S$  je průřez vzorku a  $(t_A - t_B)$  je rozdíl teplot (nepřímě zjištěný pomocí napětí na termočlánu a porovnání s grafem naměřených hodnot při kalibraci).

## 3 Postup měření

---

### A Kalibrace termočlánu

Jeden konec termočlánu ponoříme do vody o konstantní teplotě (v termosce) a druhý do kádinky s olejem, který budeme postupně rovnoměrně zahřívát pomocí elektromagnetické míchačky (kovová deska se zahřívá a elektromagnetické pole roztáčí kapsli již umístěnou v kádince, tj. kapalina bude všude stejně prohřátá). Termočlánek napojíme na voltmetr a teploměr. Jakmile voltmetr ukáže 0 V (tzn. se teploty a potenciály na obou koncích

termočlánek vyrovnaly), na digitálním teploměru vynulujeme rozdíl teplot a při každém završeném stupni (0-15 °C rozdílu) odečteme napětí na voltmetru. Tím získáme tabulku závislosti napětí na rozdílu teplot konců termočlánu a můžeme sestavit graf.

## B Vlastní měření tepelné vodivosti

Spodní konec zkušební vzorku ponoříme do vody o konstantní teplotě (voda s ledem v izolační nádobě), do horního zasuneme topné tělísko. Po dobu asi 3 minut zahříváme při napětí 6 V, poté snížíme na 3,5 V pro hliník a 4 V pro měď. Následně v minutových intervalech odečítáme napětí na termočlánu tak dlouho, dokud nedosáhneme ustáleného stavu (rozdíl teplot se nemění minimálně po dobu 3 minut). Díky kalibraci termočlánu dokážeme z ustáleného napětí odvodit rozdíl teplot na koncích vzorků a dosadit ho do vzorce.

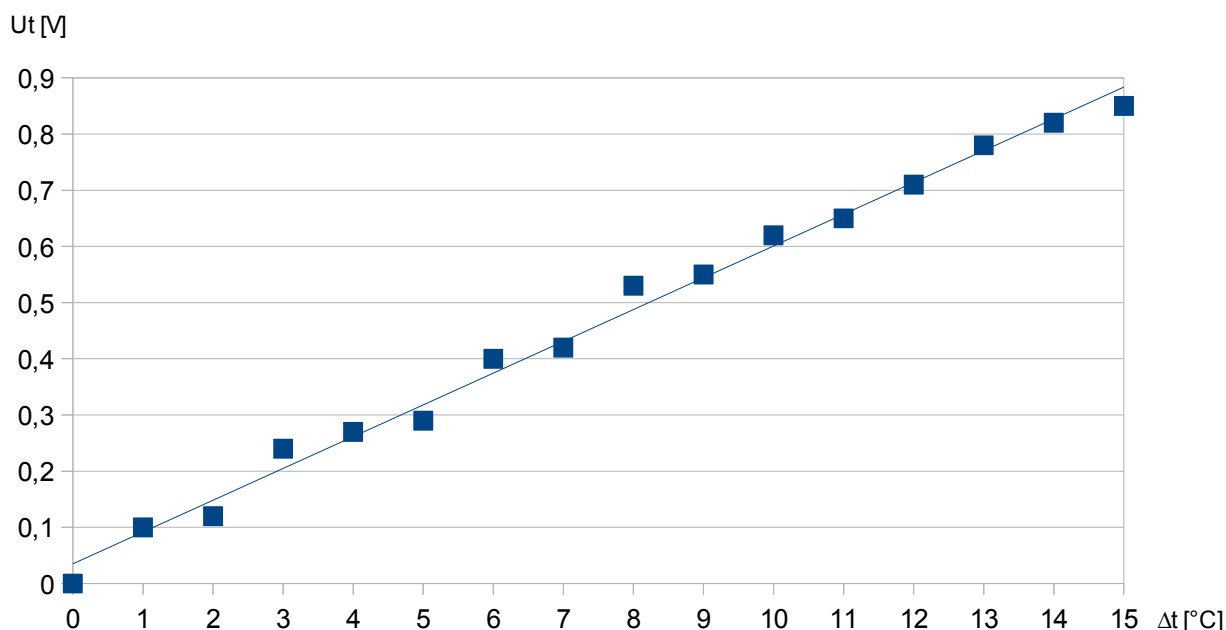
## 4 Pracovní úkol

- 1) Okalibrujte termočlánek v rozmezí teplotních rozdílů 0 – 15 °C
- 2) Sestojte (doma) závislost termoelektrického napětí na rozdílu teplot. Závislosti proložte přímkou pomocí lineární regrese.
- 3) Změřte a vypočítejte tepelnou vodivost dvou vzorků z různých materiálů.
- 4) Stanovte směrodatné chyby naměřených hodnot a konečných výsledků. Výsledky uveďte ve standardním tvaru  $\lambda = \dots \pm \dots [Wm^{-1} K^{-1}]$ .

## 5 Naměřené hodnoty

### A Kalibrace termočlánu

$\Delta t [K]$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$U_t [V]$	0,00	0,10	0,12	0,24	0,27	0,29	0,40	0,42	0,53	0,55	0,62	0,65	0,71	0,78	0,82	0,85



Rovnice regresní přímky:  $U_t = 0,06 \cdot \Delta t + 0,04$

## B Vlastní měření tepelné vodivosti – hliník

$T [min]$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_t [V]$	0,34	0,40	0,42	0,43	0,43	0,44	0,45	0,46	0,47	0,47	0,47

$U_{top} [V]$	3,5
$I_{top} [A]$	0,42

## C Vlastní měření tepelné vodivosti – měď

$T [min]$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_t [V]$	0,46	0,43	0,41	0,40	0,39	0,39	0,38	0,38	0,38

$U_{top} [V]$	4
$I_{top} [A]$	0,42

# 6 Zpracování výsledků

## A Hliník

Pomocí ustáleného napětí na termočlánu a funkce lineární regrese můžeme vypočítat rozdíl teplot na okrajích vzorku:

$$\begin{aligned}U_t[V] &= 0,06 \cdot \Delta t[K] + 0,04 \\ \Delta t &= \frac{U_t - 0,04}{0,06} \\ \Delta t &= \frac{0,47 - 0,04}{0,06} \\ \Delta t &\approx 7,167 \pm 0,006 K\end{aligned}$$

Třída přesnosti digitálního multimetru je 0,01 (u digitálního zařízení odpovídá poslednímu naměřenému řádu). Směrodatná chyba zařízení se vypočítá jako maximální chyba (tj. třída přesnosti) krát 0,6:

$$\begin{aligned}\bar{\sigma} &= 0,6 \cdot 0,01 \\ \bar{\sigma} &= 0,006\end{aligned}$$

Ještě potřebujeme spočítat průřez vzorku. Ten je dán vztahem pro obsah kruhu:

$$\begin{aligned}S &= \frac{\pi \cdot D^2}{4} \\ S &= \frac{\pi \cdot (10)^2}{4} \\ S &\approx 78,5 \pm 0,01 mm^2\end{aligned}$$

Dále známe délku vzorku, která je:

$$l = 100 \pm 2 mm$$

Nyní můžeme spočítat tepelnou vodivost materiálu:

$$\lambda [Wm^{-1} K^{-1}] = \frac{U[V] \cdot I[A] \cdot l[m]}{S[m^2] \cdot (t_A - t_B)[K]}$$

$$\lambda = \frac{3,5 \cdot 0,42 \cdot 100 \cdot 10^{-3}}{78,5 \cdot 10^{-6} \cdot 7,716}$$

$$\lambda \approx 242,7 \pm 1,5 Wm^{-1} K^{-1}$$

K výpočtu chyby (třída přesnosti daná výrobcem se násobí 0,6, počet desetinných míst digitálního přístroje 0,3):

$$\xi\left(\frac{V \cdot A \cdot m}{m^2 \cdot K}\right) = \sqrt{1 \cdot \xi^2 V + 1 \cdot \xi^2 A + 1 \cdot \xi^2 m - 2 \cdot \xi^2 m - 1 \xi K}$$

$$\xi\left(\frac{V \cdot A \cdot m}{m^2 \cdot K}\right) = \sqrt{(2,5 \cdot 0,6)^2 + (0,5 \cdot 0,6)^2 + (0,002)^2 - 2 \cdot (0,0001)^2 - (0,01 \cdot 0,3)^2}$$

$$\xi\left(\frac{V \cdot A \cdot m}{m^2 \cdot K}\right) \approx 1,5$$

## B Měď

Stejným postupem můžeme určit rozdíl teplot na koncích měděného vzorku:

$$U_t[V] = 0,06 \cdot \Delta t[K] + 0,04$$

$$\Delta t = \frac{U_t - 0,04}{0,06}$$

$$\Delta t = \frac{0,38 - 0,04}{0,06}$$

$$\Delta t \approx 5,667 \pm 0,006 K$$

Průřez a délka vzorků jsou totožné. Přistoupíme tedy k výpočtu tepelné vodivosti:

$$\lambda [Wm^{-1} K^{-1}] = \frac{U[V] \cdot I[A] \cdot l[m]}{S[m^2] \cdot (t_A - t_B)[K]}$$

$$\lambda = \frac{4 \cdot 0,42 \cdot 100 \cdot 10^{-3}}{78,5 \cdot 10^{-6} \cdot 5,667}$$

$$\lambda \approx 377,6 \pm 1,5 Wm^{-1} K^{-1}$$

## 7 Diskuse výsledků a závěr

### A Naměřené hodnoty

Tepelná vodivost $[Wm^{-1} K^{-1}]$	naměřená	tabulková
hliník	$242,7 \pm 1,5$	$180 \div 240$
měď	$337,6 \pm 1,5$	$335 \div 400$

### B Diskuse

Naměřené hodnoty se téměř přesně shodují s hodnotami tabulkovými. Nepřesnost mohla nastat při kalibraci termočlánku, kdy bylo třeba při každém navýšení teploty o jeden stupeň odečíst hodnotu napětí (opožděná lidská reakce na změnu teploty, občas velmi rychlý ohřev oleje), a při odečítání hodnot napětí při vlastním měření každou minutu (opožděná lidská reakce na další uplynulou minutu).