

Kabinet výuky obecné fyziky, UK MFF

Fyzikální praktikum ...

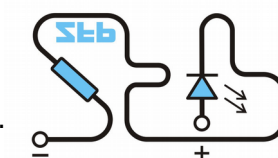
Úloha č.

Název úlohy:

Jméno: Obor: FOF FAF FMUZV

Datum měření:

Datum odevzdání:



Připomínky opravujícího:

	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Práce při měření	0 - 5	
Teoretická část	0 - 1	
Výsledky měření	0 - 8	
Diskuse výsledků	0 - 4	
Závěr	0 - 1	
Seznam použité literatury	0 - 1	
Celkem	max. 20	

Posuzoval:.....

dne:

Pracovní úkoly

- Okalibrujte pomocí bodu tání ledu, bodu varu vody a bodu tuhnutí cínu:
 - platinový odporový teploměr (určete konstanty R_0, A, B).
 - termočlánek měď-konstantan (určete konstanty a, b, c)
- Registrujte časový průběh termoelektrického napětí termočláнку $\varepsilon(\tau)$ a odporu platinového teploměru $R(\tau)$ při ohřevu a varu vody a při tuhnutí cínu. Změřené průběhy graficky znázorněte.
- Nakreslete graf teplotní závislosti odporu R (kalibrační křivka odporového teploměru) a graf teplotní závislosti termoelektrického napětí ε (kalibrační křivka termočláнку).
- Ze závislostí $\varepsilon(\tau)$ a $R(\tau)$ dle bodu 2 a kalibračních hodnot dle bodu 1 určete časové závislosti $t_R(\tau)$ a $t_\varepsilon(\tau)$ teplot měřených odporovým teploměrem a termočlánekem při ohřevu vody a tuhnutí cínu. Určené závislosti porovnejte.

Teoretická část

Termočlánek se skládá ze dvou kovů, které jsou na jeho koncích bodově svařeny. Na kontaktu obou kovů se indukují termoelektrické napětí. Pokud je mezi konci teplotní rozdíl nastává v obvodu rozdíl potenciálů. Termoelektrické napětí v obvodu lze podle [1] aproximovat vztahem:

$$(1) \quad \varepsilon = a + b \Delta t + c \Delta t^2$$

Konstanty a, b, c je nutno určit experimentálně. Teploty budeme měřit v ledu ($t_l = 0^\circ\text{C}$), ve vodní páře (t_2) a v roztaveném cínu ($t_3 = 232^\circ\text{C}$). Budeme využívat toho, že při změně skupenství látek je teplota uvnitř látky konstantní. t_l, t_3 jsme určili z [1].

Po naměření napětí (označme je $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$) při třech různých teplotních rozdílech ($\Delta t_1 = t_l - t_l$, $\Delta t_2 = t_2 - t_l$, $\Delta t_3 = t_3 - t_l$) získáme z (1) tři rovnice pro tři neznámé. Díky $\Delta t_l = 0$ a využitím Cramerova pravidla získáme následující vztahy:

$$(2) \quad \begin{aligned} a &= \varepsilon_1 \\ b &= \frac{\Delta t_3^2(\varepsilon_2 - \varepsilon_1) - \Delta t_2^2(\varepsilon_3 - \varepsilon_1)}{\Delta t_3^2 \Delta t_2 - \Delta t_2^2 \Delta t_3} \\ c &= \frac{\Delta t_2(\varepsilon_3 - \varepsilon_1) - \Delta t_3(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)}{\Delta t_3^2 \Delta t_2 - \Delta t_2^2 \Delta t_3} \end{aligned}$$

U odporového teploměru se měří změna odporu platinového válečku při změně teploty. Opět jsme naměřili tři různé odpory (R_l, R_2, R_3) při výše zmíněných teplotách. Odpor lze aproximovat podle [1] vztahem:

$$(3) \quad R = R_0(1 + At + Bt^2)$$

Díky $t_l = 0^\circ\text{C}$ získáme $R_0 = R_l$. Poté využitím Cramerova pravidla pro 2 rovnice o dvou neznámých máme:

$$(4) \quad \begin{aligned} A &= \frac{\left(\frac{R_2}{R_0} - 1\right)t_3^2 - \left(\frac{R_3}{R_0} - 1\right)t_2^2}{t_2 t_3^2 - t_2^2 t_3} \\ B &= \frac{t_2\left(\frac{R_3}{R_0} - 1\right) - t_3\left(\frac{R_2}{R_0} - 1\right)}{t_2 t_3^2 - t_2^2 t_3} \end{aligned}$$

Dále podle [1] lze určit t_2 vztahem:

$$(5) \quad t_2 = 100,0 + 28,0216\left(\frac{p}{p_0} - 1\right) - 11,642\left(\frac{p}{p_0} - 1\right)^2 + 7,1\left(\frac{p}{p_0} - 1\right)^3$$

kde p je atmosférický tlak a p_0 je standardní tlak 1013,25hPa.

Metoda měření

Nejprve jsme umístili oba konce termočlásku a odporový teploměr do termosky s ledem a počkali než se teploty ustálí. Poté jsme umístili jeden konec termočlásku a odporový teploměr do baňky s vroucí vodou a počkali než se měřené hodnoty ustálí. Následně jsme umístili jeden konec termočlásku a odporový teploměr do roztaveného cínu a čekali než se měřené hodnoty ustálí.

Pomůcky

1. Termočlánek
2. Odporový teploměr
3. Termoska s ledem
4. Pícka na cín
5. Baňka s vodou
6. Voltmetr (chyba 0,0035mV + 90ppm z naměřené hodnoty)
7. Ohmmetr (chyba 0,5% z naměřené hodnoty)

Výsledky měření

Tlak v místnost 1001hPa. Z (5) máme $t_2 = 99,7^\circ\text{C}$. V tabulce č. 1 jsou naměřené hodnoty termočlásku. V tabulce č. 2 jsou uvedeny naměřené hodnoty odporového teploměru. V tabulce č. 3 jsou uvedeny konstanty pro termočlánek a odporový teploměr spočítané z hodnot v tabulkách č. 1 a č. 2. a uvedena je též střední mezní chyba pro jednotlivé konstanty.

Tabulka 1: naměřené hodnoty pro termočlánek a chyba měření

ε [mV]	Δt [°C]	$\Delta\varepsilon$ [μV]
0,00	0	3,5
4,28	99,7	3,9
10,86	232	4,5

Tabulka 2: naměřené hodnoty pro odporový teploměr a chyba měření

R [Ω]	t [°C]	ΔR [Ω]
101,4	0	0,5
138,7	99,7	0,7
187,3	232	0,9

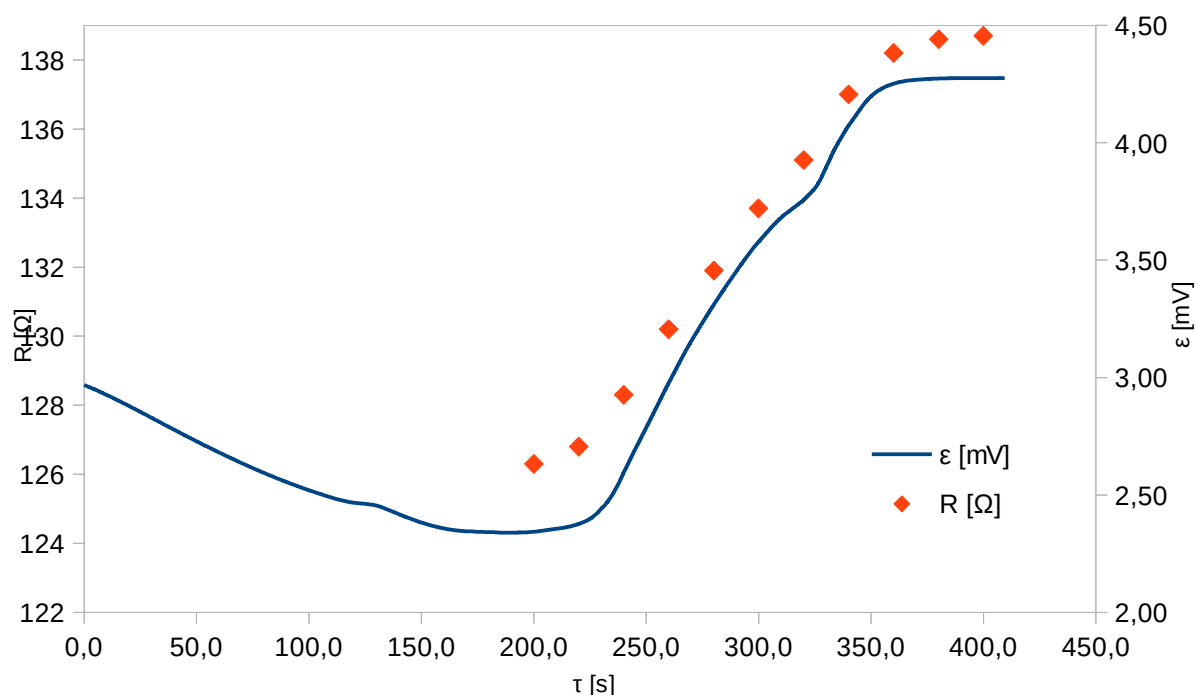
Tabulka 3: konstanty termočlásku a odporového teploměru včetně střední mezní chyby

	a [μV]	b [μVK ⁻¹]	c [μVK ⁻²]	R_0 [Ω]	A [mK ⁻¹]	B [μK ⁻²]
hodnoty	-4,0	39,98	0,0296	101,4	3,72	-0,3
chyby	3,5	0,09	0,0004	0,5	0,15	0,6

Pro chyby jsme využili vztahu pro vyjádření chyby z nepřímého měření. Bohužel neznáme chybu s jakou jsme určili jednotlivé teploty, proto do jednotlivých relativních chyb konstant budou promlouvat pouze chyby ohmmetru/voltmetru. Pro střední mezní chyby tedy platí následující vztahy:

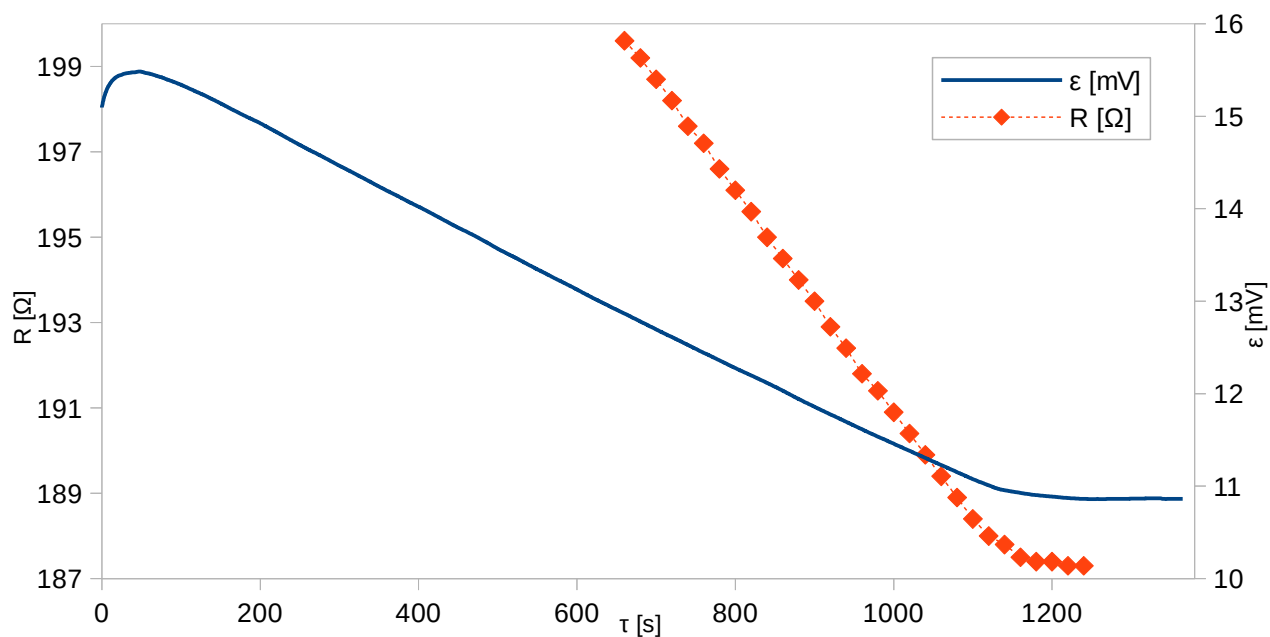
$$\begin{aligned}
u_a &= \Delta \varepsilon_1 \\
u_b &= \sqrt{\left(\frac{\Delta t_2 + \Delta t_3}{\Delta t_2 \Delta t_3} \right)^2 \Delta \varepsilon_1^2 + \left(\frac{\Delta t_3}{\Delta t_2^2 - \Delta t_2 \Delta t_3} \right)^2 \Delta \varepsilon_2^2 + \left(\frac{\Delta t_2}{\Delta t_2 \Delta t_3 - \Delta t_3^2} \right)^2 \Delta \varepsilon_3^2} \\
u_c &= \sqrt{\left(\frac{1}{\Delta t_2 \Delta t_3} \right)^2 \Delta \varepsilon_1^2 + \left(\frac{1}{\Delta t_2 \Delta t_3 - \Delta t_3^2} \right)^2 \Delta \varepsilon_2^2 + \left(\frac{1}{\Delta t_3^2 - \Delta t_2 \Delta t_3} \right)^2 \Delta \varepsilon_3^2} \\
u_{R_0} &= \Delta R_1 \\
u_A &= \sqrt{\left(\frac{R_3 t_2^2 - R_2 t_3^2}{t_2 R_1^2 t_3^2 - t_3 R_1^2 t_2^2} \right)^2 \Delta R_1^2 + \left(\frac{t_3}{R_1 (t_2 t_3 - t_2^2)} \right)^2 \Delta R_2^2 + \left(\frac{t_2}{R_1 (t_3^2 - t_2 t_3)} \right)^2 \Delta R_3^2} \\
u_B &= \sqrt{\left(\frac{R_2 t_3 - R_3 t_2}{t_2 R_1^2 t_3^2 - t_3 R_1^2 t_2^2} \right)^2 \Delta R_1^2 + \left(\frac{1}{R_1 (t_2 t_3 - t_2^2)} \right)^2 \Delta R_2^2 + \left(\frac{1}{R_1 (t_3^2 - t_2 t_3)} \right)^2 \Delta R_3^2}
\end{aligned}$$

V grafu č. 1 je uvedena časová závislost napětí termočlánu a odporu odporového teploměru při varu vody. Napětí nejprve klesá, což je způsobeno tím, že při měření v cínu se projevila závada v termočlánu, proto byl vyměněn a v měření se pokračovalo v opačném pořadí. Napětí klesá tedy proto, že termočlánek chladne po vyjmutí z cínu.



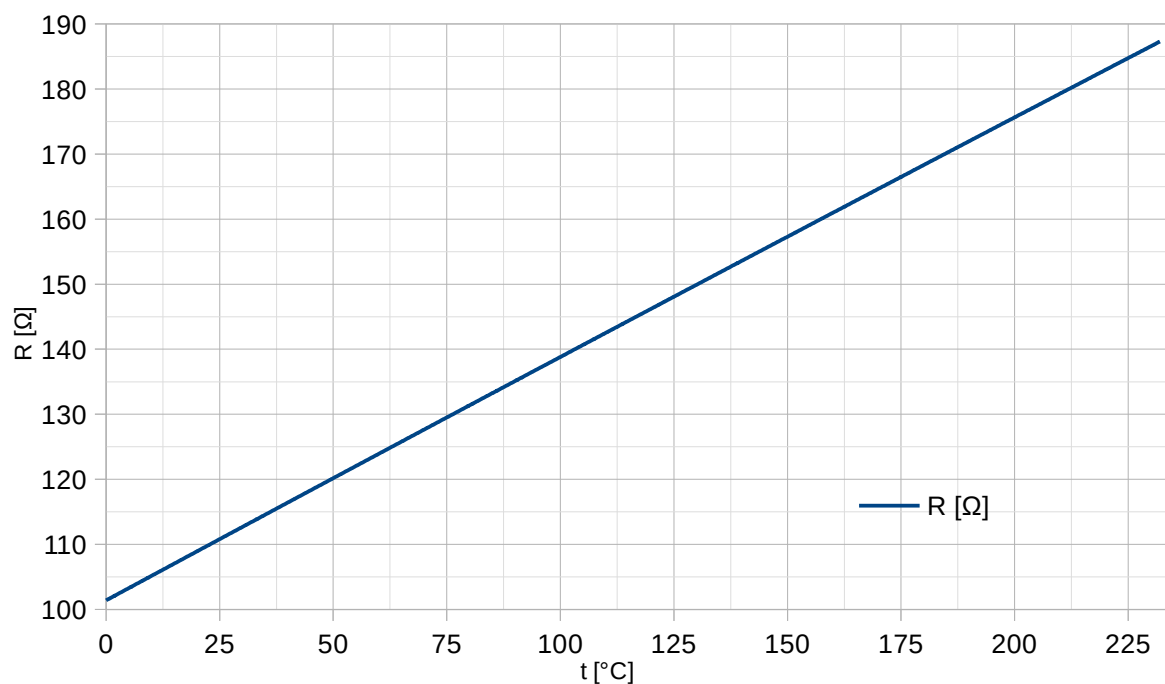
Graf 1: časový průběh napětí termočlánu a odporu odporového teploměru při varu vody

V grafu č. 2 je znázorněna časová závislost napětí termočlánu a odporu odporového teploměru při tuhnutí cínu. Napětí nejprve stoupá, což je způsobeno výše zmíněnou výměnou termočlánu, kdy se nový termočlánek nejprve zahřívá v roztaveném cínu. Drobné zakřivení napětíové křivky okolo 325s lze připsat kondenzaci kapiček vody v okolí termočlánu.

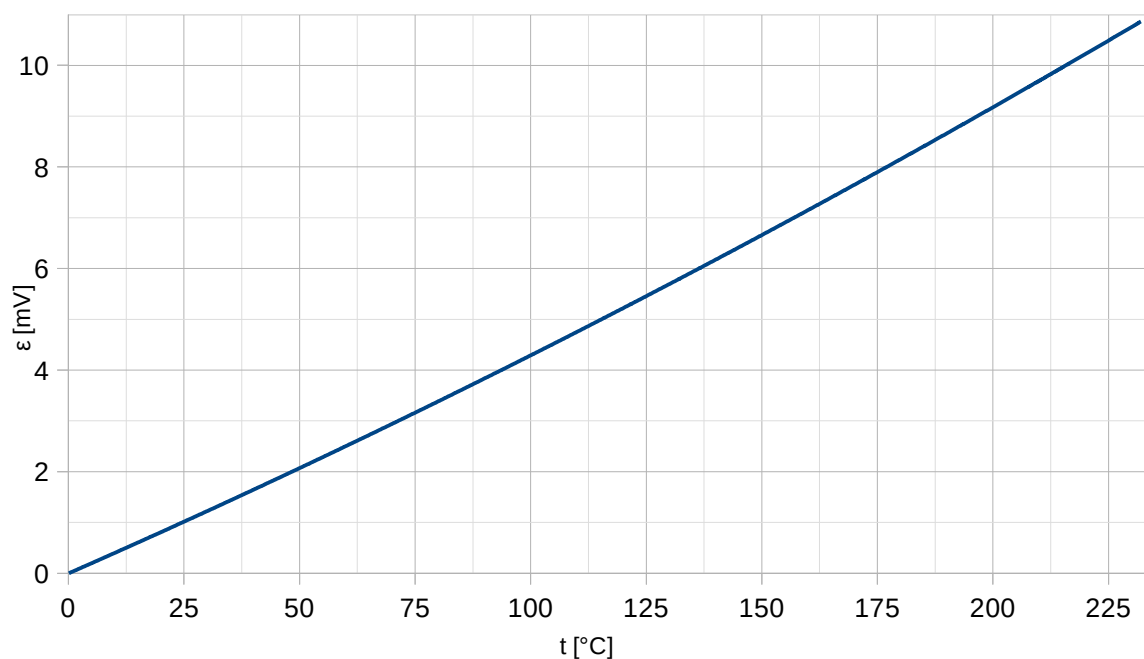


Graf 2: časový průběh napětí termočlánu a odporu odporového teploměru při tuhnutí cínu

V grafu č. 3 je uvedena kalibrační křivka odporového teploměru a v grafu č. 4 je uvedena kalibrační křivka termočlánu. Za povšimnutí stojí, že kalibrační křivka odporového teploměru je velice podobná přímce, ale kalibrační křivka termočlánu je "pokřivená".

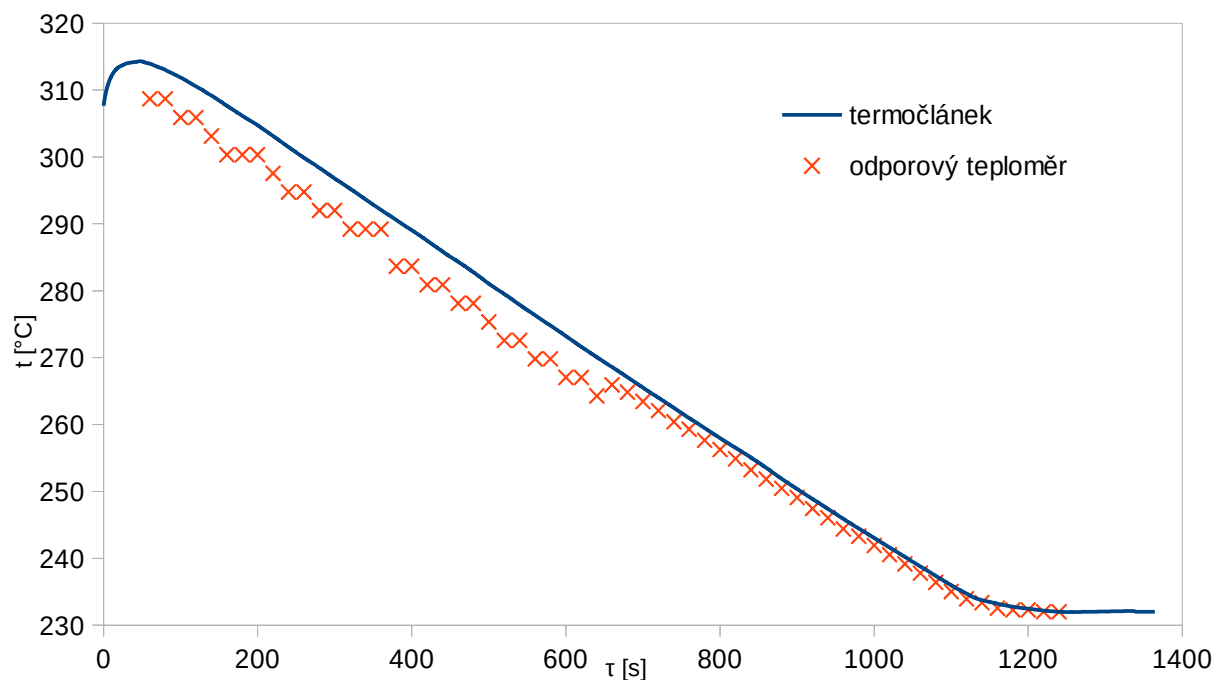


Graf 3: kalibrační křivka odporového teploměru

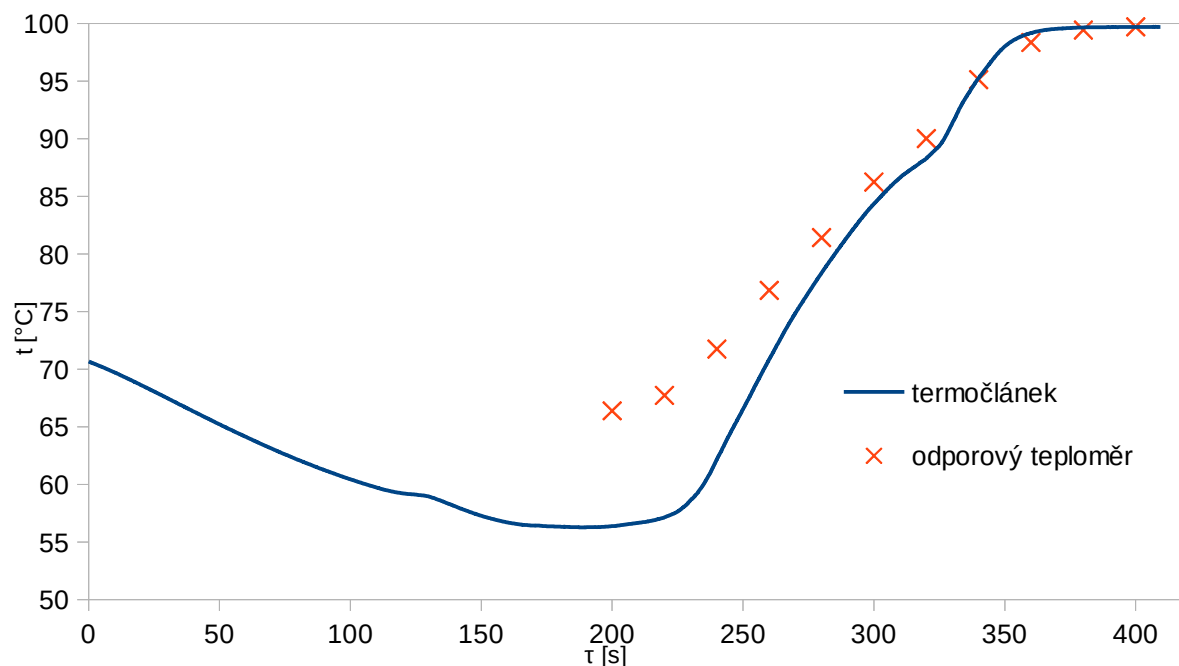


Graf 4: kalibrační křivka termočlánu

Graf č. 5 ukazuje časovou závislost teploty při chladnutí cínu tak, jak byla zaznamenaná termočlánkem a odporovým teploměrem. V grafu si lze všimnout v čase 660s zjemnění hodnot u odporového teploměru způsobeného změnou rozsahu ohmmetru. Graf č. 6 ukazuje časovou závislost teploty při varu vody, tak jak ji zaznamenali termočlánek a odporový teploměr.



Graf 5: časová závislost teploty při chladnutí roztaveného cínu



Graf 6: časová závislost teploty při varu vody

Diskuse

Výsledek mohlo ovlivnit špatné určení teplot t_1 , t_2 , t_3 . Předpokládali jsme také, že rozložení teploty v prostoru je homogenní, což ale ve skutečnosti není. Například cín začal tuhnout od shora a ve spod zůstal stále natavený, což svědčí o tom, že teplota na povrchu byla nižší než u dna. Tento teplotní gradient zřejmě více ovlivnil odporový teploměr, který měří teplotu podél platinového válečku, kdežto termočlánek měří teplotu v okolí bodového sváru dvou kovů.

Při vaření vody vznikali v okolí obou teploměrů kapičky, které při kondenzaci odebírali teplo a tudíž museli okolí teploměru ochladit. Dále se voda vařila v uzavřené baňce, ze které se pára odváděla hadičkou. Je tedy možné, že v baňce vznikl nepatrně vyšší tlak a to pozměnilo teplotu varu vody.

Teplotu v termosce s ledem mohl ovlivnit fakt, že s postupem času led roztával a směs led/voda se stávala méně homogenní. To v důsledku mohlo způsobit zvýšení teploty v okolí teploměrů.

Problém s kondenzujícími kapičkami, by se mohl odstranit opakovaným měřením a následným průměrováním naměřených hodnot, jelikož vznik kapiček lze považovat za náhodný.

Závěr

Výsledné konstanty:

$$a = (-4,0 \pm 3,5) \mu V$$

$$b = (39,98 \pm 0,09) \mu VK^{-1}$$

$$c = (29,6 \pm 0,4) \cdot 10^{-3} \mu VK^{-2}$$

$$R_0 = (101,4 \pm 0,5) \Omega$$

$$A = (3,72 \pm 0,15) mK^{-1}$$

$$B = (-0,3 \pm 0,6) \mu K^{-2}$$

Během měření se vyskytl problém s termočlánekem, nejspíše způsobený špatným kontaktem v jednom z kabelů.

Zajímavý je výsledek u konstanty B, kde je chyba větší než samotná konstanta.

Literatura

- [1] Kalibrace odporového teploměru a termočlánu – fázové přechody. *Fyzikální praktikum* [online]. [cit. 17.3.2016]. Dostupné z:
http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/texty/txt_108.pdf