

Kalibrace odporového teploměru a termočládku

Jakub Michálek

10. dubna 2009

Teorie

Pro označení veličin viz text [1] s výjimkou, že teplotní rozdíl značím T , protože značku t už mám vyhrazenou pro čas. Ze studijního textu také přebírám následující formule.

1. Pro odpor při kalibraci platinového odporového teploměru platí

$$R = R_0 (1 + AT + BT^2). \quad (1)$$

2. Pro napětí při kalibraci termočládku platí

$$\varepsilon = a + bT + cT^2. \quad (2)$$

Cílem měření je zjistit konstanty R_0, A, B a a, b, c . Pro teplotu varu platí

$$T_p = 100,00 + 28,0216\pi - 11,642\pi^2 + 7,1\pi^3, \quad (3)$$

kde jsem zvolil značení $\pi := (p/p_0 - 1)$.

Soustavu $R_1 = R_0 (1 + AT_1 + BT_1^2)$, $R_2 = R_0 (1 + AT_2 + BT_2^2)$ rozřešíme vzhledem k A, B (nejistotu měření teplot lze zanedbat, protože zdaleka nedosahuje nejistoty odporů):

$$\begin{aligned} A &= \frac{T_2^2 (R_1 - R_0) - T_1^2 (R_2 - R_0)}{R_0 T_1 T_2 (T_2 - T_1)} \\ B &= \frac{T_2 (R_1 - R_0) - T_1 (R_2 - R_0)}{R_0 T_1 T_2 (T_1 - T_2)} \end{aligned} \quad (4)$$

K výpočtu odchylek jsem odvodil z Gaussova zákona vzorec

$$u_A = \frac{1}{T_2 - T_1} \sqrt{\left(\frac{T_2 R_1}{T_1 R_0}\right)^2 \left[\left(\frac{u_{R_0}}{R_0}\right)^2 + \left(\frac{u_{R_1}}{R_1}\right)^2\right] + \left(\frac{T_1 R_2}{T_2 R_0}\right)^2 \left[\left(\frac{u_{R_0}}{R_0}\right)^2 + \left(\frac{u_{R_2}}{R_2}\right)^2\right]} \quad (5)$$

a pro další parametry platí analogické formule. Analogicky vyjadřujeme z rovnice pro ε .

teplotní rozdíl T [°C]	napětí na termočlátku ε [mV]	odpor na teploměru R [Ω]
0,0	$0,00 \pm 0,01$	$100,6 \pm 0,5$
99,8	$4,28 \pm 0,02$	$138,6 \pm 0,7$
232,0	$10,83 \pm 0,05$	$187,6 \pm 0,9$

Tabulka 1: Naměřené veličiny při fázových přechodech

odporový teploměr		termočlánek	
R_0/Ω	$100,6 \pm 0,5$	a/mV	$0,00 \pm 0,01$
$A/10^{-3} (\text{°C})^{-1}$	$3,8 \pm 0,3$	$b/\text{mV} \cdot (\text{°C})^{-1}$	$4,0 \pm 0,2$
$B/10^{-7} (\text{°C})^{-2}$	-4 ± 5	$c/10^{-5} \text{V} \cdot (\text{°C})^{-2}$	$2,9 \pm 0,8$

Tabulka 2: Výsledné hodnoty parametrů

Výsledky měření

Postupoval jsem podle návodu. Měření probíhalo za tlaku $p = (984,0 \pm 1,0)$ hPa, jemuž odpovídá z formule (3) teplota varu $t_p = (99,81 \pm 0,03)$ °C. Za další dva referenční body vezmu teplotu tání ledu $T_{\text{led}} = 0$ °C a cínu $T_{\text{Sn}} = 232$ °C, které jsou teoreticky dostatečně přesné. Toto hodnocení ale platí, pouze pokud jsou látky čisté (což u cínu neplatilo); takže bychom měli u cínu uvádět chybu (viz diskuse).

Určování chyby měření času zde postrádá opodstatnění.

1. U platinového odporového teploměru činí chyba ohmmetru na zvoleném rozsahu 0,5 % z měřené hodnoty. (Štítek na přístroji.)
2. U termočlátku se chyba s_U na rozsahu $U_{\text{roz}} = 100$ mV a hodnotě U určuje podle vzorce z návodu

$$s_U = 90 \cdot 10^{-6}U + 35 \cdot 10^{-6}U_{\text{roz}}. \quad (6)$$

Relativní chyba je řádu tisícin, proto ji v grafu zanedbám, ale ve výpočtu ji uvažuji.

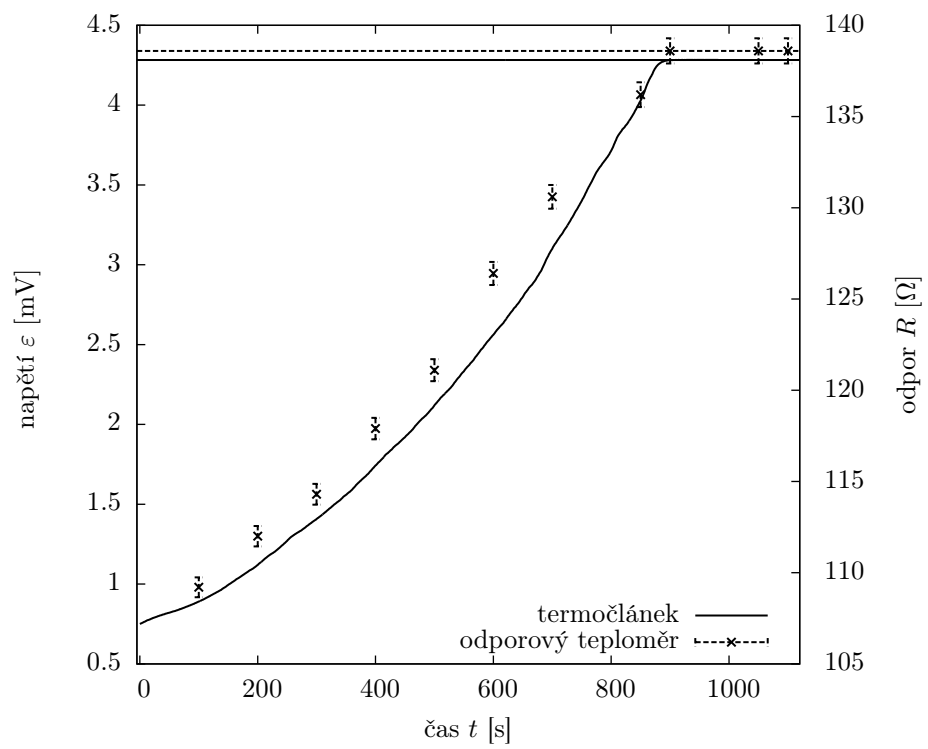
Nemusím zde uvádět statistické chyby fitů; máme totiž mnoho bodů, takže směrodatná odchylka průměru bude velmi malá a dominuje odhad chyby systematické, které jsem výše popsal.

Průběh samotného měření zachycují obr. 1 a 2.

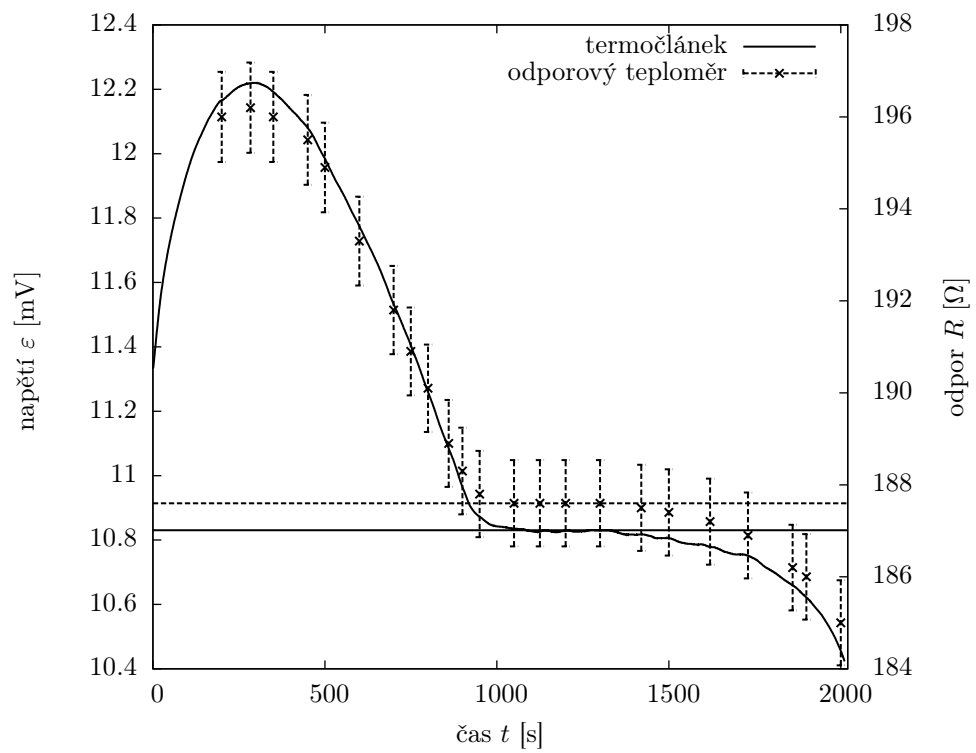
Výsledky, které jsem získal s použitím formulí (4) a (5) shrnuje tab. 2 a obě kalibrační křivky zachycuje obr. 3.

Diskuse

Pro odporový teploměr můžu výsledné hodnoty v tab. 2 porovnat se zdrojem [2], který uvádí konstanty $A = 3,81 \cdot 10^{-3} (\text{°C})^{-1}$ a $B = -6,02 \cdot 10^{-7} (\text{°C})^{-2}$ a v rámci chyby se tedy hodnoty shodují.

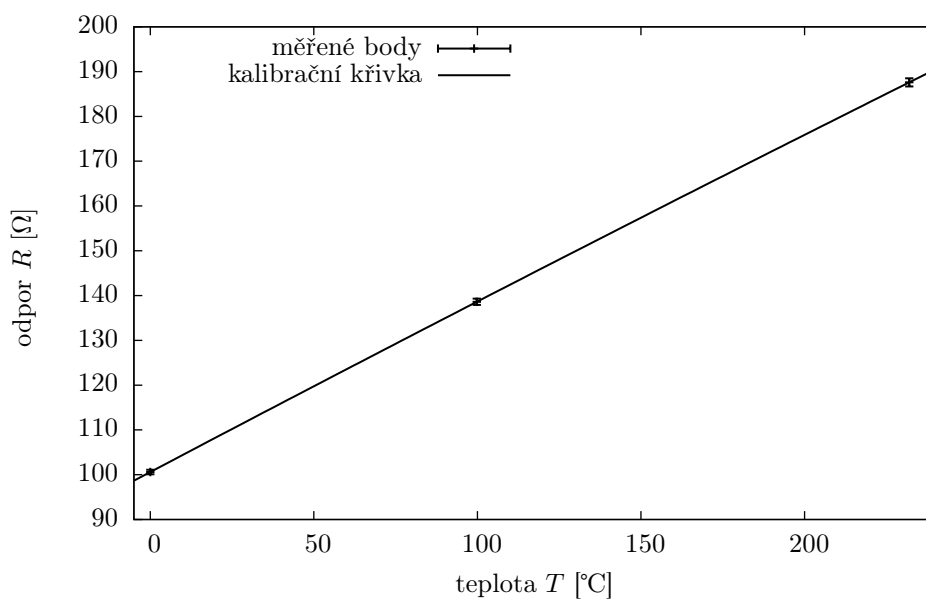


Obrázek 1: Ohřívání vody a její var

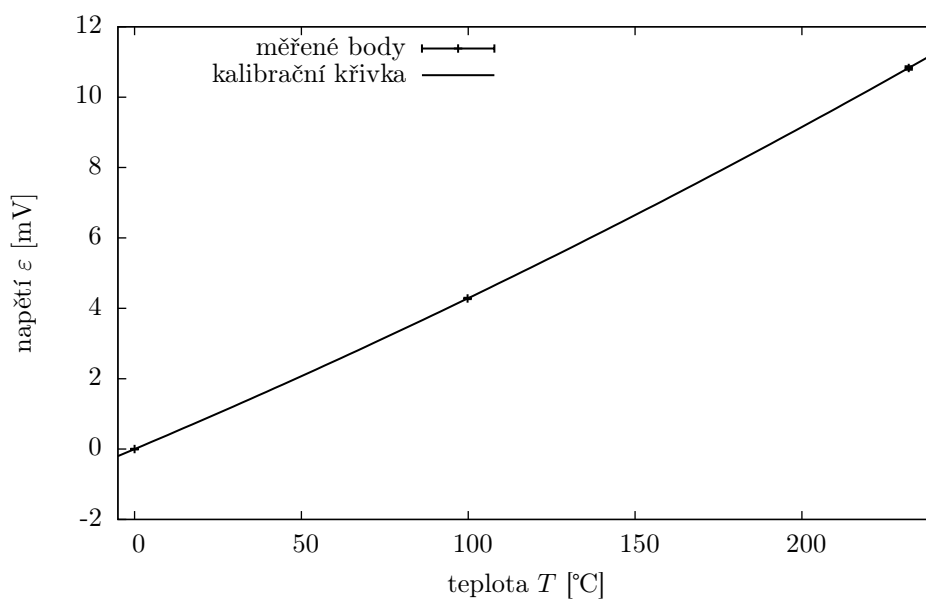


Obrázek 2: Tuhnutí cínu

a)



b)



Obrázek 3: Kalibrační křivka a) odporového teploměru, b) termočlánu

Pro termočlánek jsem si zjistil z návodu očekávané hodnoty pro teplotní rozdíl příslušný vroucí vodě a tajícímu ledu $\varepsilon_1 = 4,28 \text{ mV}$ a tuhajícímu cínu a tajícímu ledu $\varepsilon_2 = 11,02 \text{ mV}$. Z tab. 1 je patrné, že výsledky se u varu vody shodují s předpovědí, zatímco měření cínu vykazuje menší hodnotu. Přisuzuji to tomu, že zatímco u vody pracujeme s čistou látkou – destilovanou vodou – u cínu jsem pozoroval nečistoty zlatavé barvy. Ovšem zatímco voda vře v celém svém objemu, cíl tuhne postupně od povrchu.

Cílem úlohy bylo určit koeficienty v Taylorově polynomu. Nelze se tedy divit, že chyba se s řádem polynomu zvyšuje, až u členu druhého řádu převyšuje samotnou měřenou hodnotu. Na druhou stranu v samotné křivce se projeví mnohem méně, protože v interpolované oblasti je rozdíl teplot malý.

Chyby měření teploty jsou kromě cínu zanedbatelné (ledová tříšť byla izolovaná, voda destilovaná), ale těžko po mě může někdo chtít, abych kalibroval teploměr na něčem, čehož teplotu tuhnutí neznám, takže se zde spokojíme s konstatováním, že i s příměsemi, které jsem ve vzorku pozoroval, se teplota tání mění v rozmezí nejvýše 10°C . U odhadu chyby měření zcela převažuje odhad chyby systematické, tj. odhad chyby měřidla, protože v případě termočlánu máme k dispozici velké množství dat a v případě odporového teploměru se zase veličina mění za hranicí přesnosti přístroje, což neumožňuje statistické zpracování odporu, protože ten zůstává týž. Přesnost by se dala zvýšit použitím ohmmetru vhodnější třídy přesnosti.

Závěr

Kalibrační křivky jsou na obr. 3 a závislost odporu teploměru, resp. napětí termočlánu, popisují v rozmezí teplot $T \in (0, 232)^\circ\text{C}$ přibližně závislosti

$$\begin{aligned}\varepsilon(T) &= bT + cT^2 \\ R(T) &= R_0(1 + AT + BT^2),\end{aligned}$$

v nichž T označuje teplotu v stupních Celsia a konstanty b, c, R_0, A, B přehledně shrnuje tab. 2. Určení chyby této interpolace se provede standardně, Gaussovou metodou přenosu chyb.

Reference

- [1] Studijní text k úloze VIII.
<http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/>
- [2] Platinum RTDs Temperature Sensors Resistance vs. Temperature Function.
http://content.honeywell.com/sensing/prodinfo/temperature/technical/c15_136.pdf