

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

Fyzikální praktikum 1

Zpracoval: Lukáš Lejdar

Naměřeno: 19 března 2024

Obor: F

Skupina: Út 16:00

Testováno:

Úloha č. 8: Měření teploty

$$T = 21,1\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$p = 101,35\text{ kPa}$$

$$\varphi = 47.7\text{ \%}$$

1. Úkoly

1.1. Identifikace teplotních čidel, relaxační doba

1. V olejové lázni proměřte teplotní závislost elektrického odporu či napětí neznámých odporových a termoelektrických čidel. Teplotu nechte vzrůstat v rozsahu 20 – 120 °C, závislosti zaznamenejte s krokem cca 5 °C.
2. Stanovte relaxační dobu vybraných čidel:
 - (a) zapouzdrěného čidla (např. odporového čidla Pt 1000),
 - (b) nezapouzdrěného čidla (např. termoelektrického článku typu K).

1.2. Měření teploty infračerveným teploměrem

třista třicet stříbrných stříkaček letělo přes třistařicet stříbrných střeň

1. Vyhřejte měděnou desku pokrytou černým, bílým a aluminiovým žáruvzdorným lakem na plotýnkovém vařiči asi na teplotu asi 300 °C. Poté vařič vypněte. Nastavte na IR teploměru emisivitu $\epsilon = 1$. Z údaje IR teploměru získaného z lesklého a černého povrchu a skutečné teploty desky měřené termočlánkem určete emisivity všech tří povrchů.
2. Změřte teplotu černého povrchu zahřátého asi na 300°C přes „okénko“ z různých materiálů. Porovnejte vždy teploty měřené pouze infračerveným teploměrem s okénkem a bez okénka. Máme sadu „okének“, která zahrnuje polykarbonát, sklo, SiO₂, NaCl, CaF₂ a KBr (dielektrika), Ge, Si a GaAs (polovodiče) a Cu (kov).
3. Změřte teplotu měděné plotny předem vychlazené v mrazničce pomocí kontaktního a IR teploměru. Oběma teploměry proměřte a) povrch s námrazou, b) čistý kovový povrch, ze kterého námrazu setřete žiletkou. Porovnejte údaje z obou teploměrů a spočítejte emisivitu obou povrchů. Jakou „barvu“ má led?

1.3. Měření s můstkem

1. Vyzkoušejte míru kompenzace ohřevu odporového čidla při můstkovém zapojení dvojice čidel. Umístěte obě čidla těsně k sobě, abychom mohli předpokládat stejnou teplotu bezprostředního okolí. Vyvažte můstek, změřte si napájecí napětí při vyváženém můstku. Nechte protékat měřicí proud po dobu asi 10 minut (mezitím plňte jiné úkoly). Pak jedno čidlo vložte do těsné polystyrénové krabičky a opět vyčkejte asi 10 minut. Porovnejte a komentujte výsledky.

2. Postup měření

2.1. Odporová čidla, termočlánky a jejich relaxační doba

1. Odpor kovového vodiče s teplotou roste a měřením odporu čidla tedy můžeme měřit i teplotu. V úloze 1.1 se pokusíme zkalibrovat dvě taková čidla

$$R = R_0(1 + \alpha\Delta t), \quad (1)$$

kde R_0 je odpor čidla při některé referenční hodnotě a α teplotní odporový koeficient.

2. Termočlánek je vyrobený spojem dvou různých materiálů. Pokud teplota spojů je různá, vznikne na termočlátku termoelektrické napětí, které je úměrné rozdílu teplot. Pokusíme se zkalibrovat i jeden termočlánek.

$$U = \beta\Delta t, \quad (2)$$

kde β je tzv. Seebeckův termoelektrický koeficient.

Ve většině případů nejsou kladeny velké nároky na rychlost reakce teploměru. Přesto mohou být situace, kdy je nutné měřit rychlé změny teploty – adiabatické expanze a komprese, silné exotermické reakce, rychlá žhání ohřevem laserovým nebo elektronovým svazkem apod. Předpokládejme, že měřená teplota se změní skokem z hodnoty t_1 na t_2 . Reakce čidla na změnu teploty není okamžitá, ale probíhá s jistým zpožděním. Nejčastěji se předpokládá vztah

$$t(\tau) = t_2 - (t_2 - t_1)e^{-\frac{\tau}{\tau_m}}, \quad (3)$$

, kde τ_m je relaxační doba. V druhé části úlohy jedna změříme relaxační dobu jednoho zapouzdřeného odporového čidla a nezapouzdřeného termoelektrického článku typu K.

2.2. Infračervené teploměry

Podle Stefanova – Boltzmanova zákona platí, že intenzita elektromagnetického záření černého tělesa je úměrná čtvrté mocnině teploty tohoto tělesa.

$$I_{\text{čt}} = \sigma T^4 \quad (4)$$

Pro tělesa, která dokonale černá nejsou potom můžeme zavést emisivitu ϵ jako odchylku vyzařování konkrétního povrchu od vyzařování dokonale černého tělesa.

$$\epsilon = \frac{T_p^4}{T_{\text{čt}}^4}, \quad (5)$$

kde v případě měření IR bude hodnota T_p změřená teplota, a $T_{\text{čt}}$ skutečná teplota tělesa. Se znalostí emisivity lze skutečnou teplotu spočítat. Pro zkoumání propustností různých materiálů použijeme upravený vztah,

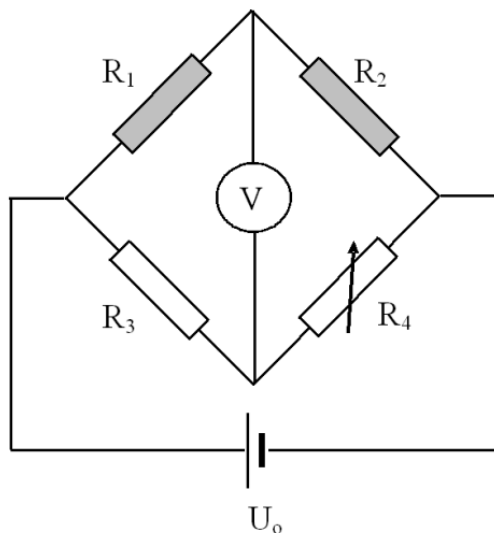
$$\tau = \frac{T_0^4}{T_v^4} \quad (6)$$

kde T_0 je hodnota naměřená IR teploměrem skrze daný materiál a T_v je teplota naměřená přímo.

2.3. Měření malých teplotních rozdílů

Teplotní rozdíl můžeme vždy měřit i odečtením hodnot naměřených samostatnými teploměry. Takový postup, ale bývá problematický. Přesnost měření v absolutní stupnici se neslučuje s přesností rozdílu dvou takových hodnot.

V úloze raději použijeme Wheatstoneův můstek se dvěma odporovými čidly R_1 a R_2 , konstruovaný právě na měření malých teplotních rozdílů.



Graf 1: Wheatstoneův můstek se dvěma odporovými čidly R_1 a R_2

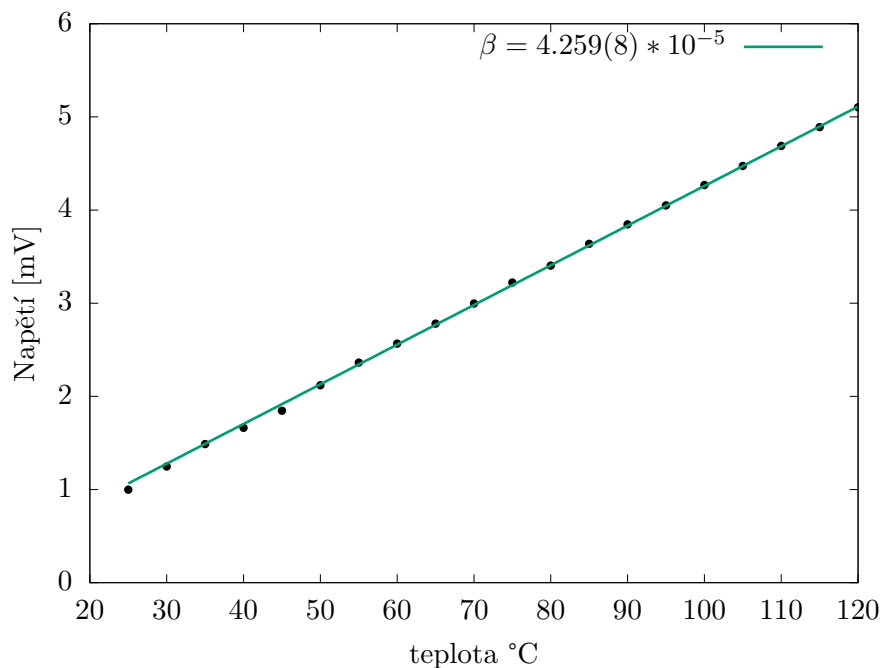
Pro praktické měření Wheatstonovým můstkem používáme aproximativní vztah

$$\Delta t = \frac{4U}{U_0\alpha}, \quad (7)$$

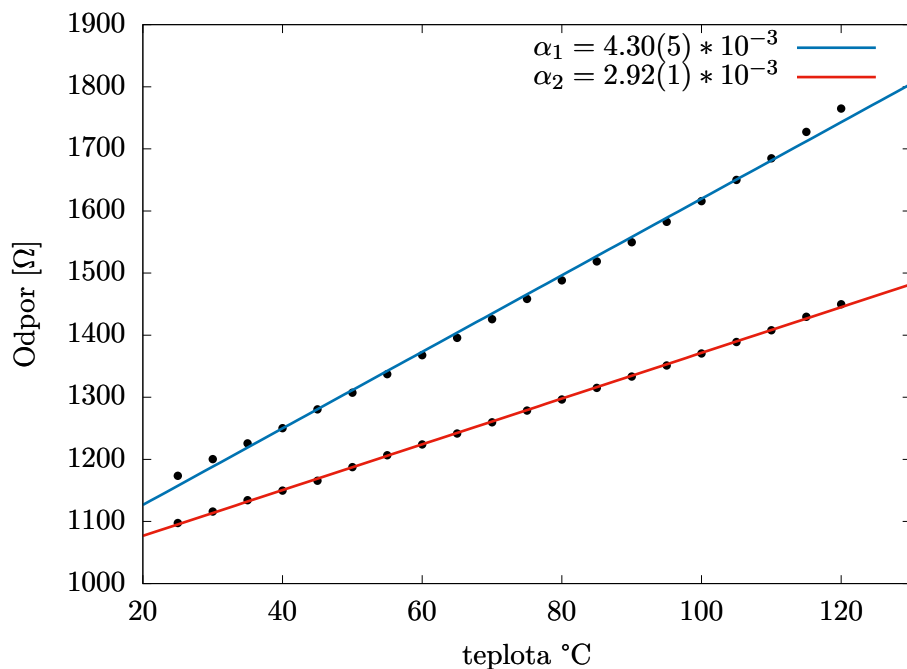
kde U_0 je napájecí napětí a α teplotní koeficient odporu.

3. Výsledky měření a Závěr

3.1. Kalibrace odporových čidel



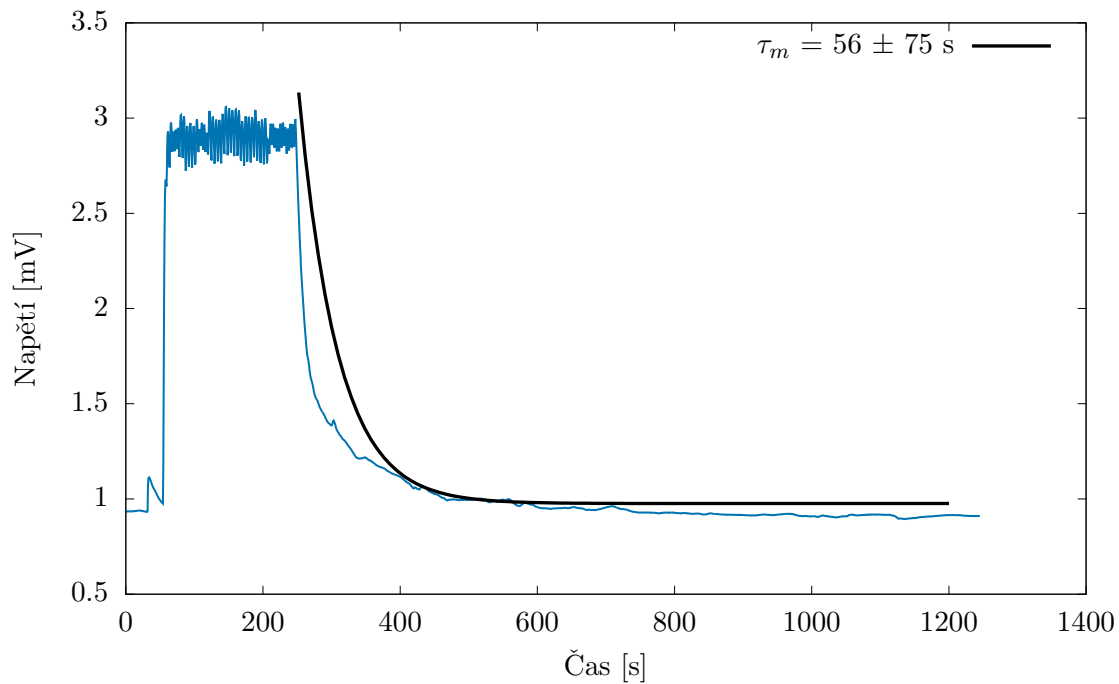
Graf 2: Závislost napětí na diferenciálním čidle na teplotě



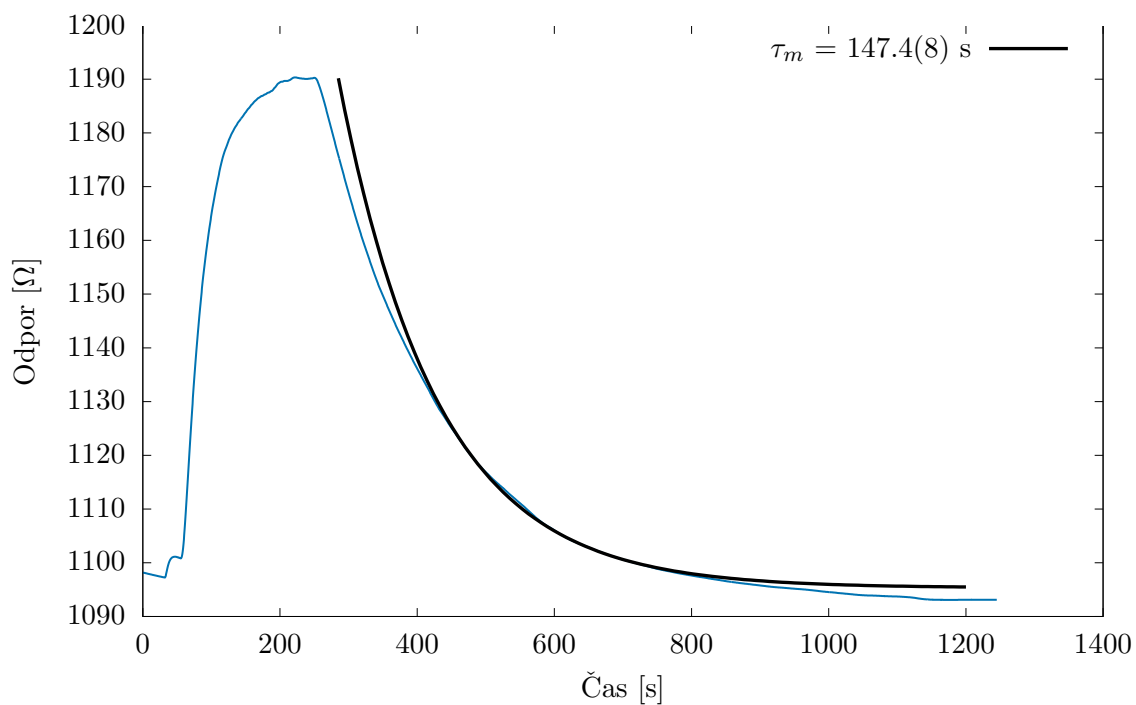
Graf 3: Závislost odporů dvou odporových čidel na teplotě

Je vidět, že na měřeném rozmezí roste napětí i odpor na odporových čidlech přibližně lineárně. Změřený termoelektrický koeficient β odpovídá podle tabulek přibližně Chromelovému članku typu K a odporový koeficient α_1 asi Pt100. Hodnota α_2 se mi nepodařila identifikovat.

3.2. Relaxační doba čidel



Graf 4: Relaxace nezapouzdřeného čidla z 65°C na laboratorní teplotu



Graf 5: Relaxace zapouzdřeného čidla z 65°C na laboratorní teplotu

Z grafu můžeme vyčíst, že zaopuzdřené čidlo má určitou setrvačnost a rychlé výchyly teploty na rozdíl od nezapouzdřeného nezachytí. Pro oba grafy jsme taky provedli fit exponenciálou ze vztahu (3) a odtud určili relaxační dobu τ_m . Pro nezaopuzdřené čidlo se ale vztah zřejmě nedá použít.

3.3. Měření teploty infračerveným teploměrem

Měděná deska	Skutečná teplota [$^{\circ}\text{C}$]	IR [$^{\circ}\text{C}$]	ϵ
černá	289	287	0.973
Bílá	290	272	0.774
Aluminiová	346	171	0.0597

Tabulka 1: Měření měděné desky natřené různými barvami infračerveným teploměrem Optris oproti diferenciálnímu čidlu GMH 3230. Emisivitu jsme spočítali ze vztahu (5).

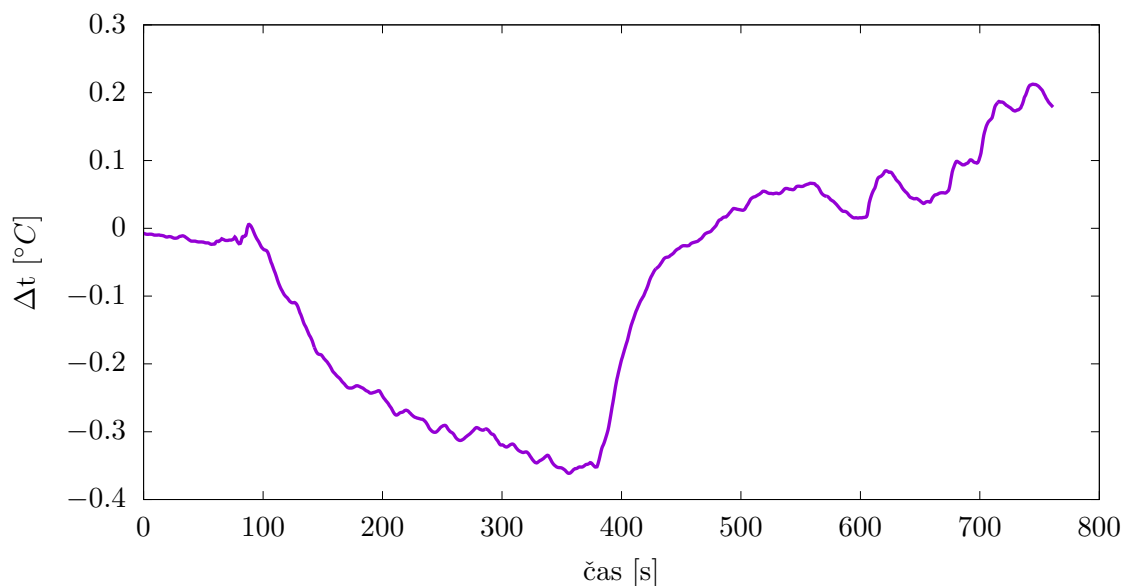
Materiál	Okýnkem [$^{\circ}\text{C}$]	Bez Okýnka [$^{\circ}\text{C}$]	τ
Polykarbonát 1.5 mm	27	143	$1.27 * 10^{-3}$
Sklo 1 mm	27	144	$1.23 * 10^{-3}$
SiO_2 3 mm	28	146	$1.35 * 10^{-3}$
CaF_2 2 mm	43	147	$7.32 * 10^{-3}$
Cu 0.3 mm	27	149	$1.07 * 10^{-3}$
Si 0.5 mm	99	148	0.200
GaAs 0.5 mm	108	153	0.248

Tabulka 2: Měření teploty černého tělesa termokamerou Topdon TC view 001 zkrz okýnko a bez okýnka Propustnost jsme spočítali pomocí vztahu (6).

Tabulkové hodnoty jsou v tomto případě těžko porovnatelné, ale naměřené emisivity i propustnosti jim přibližně odpovídají. Černé těleso má emisivitu přibližně jedna, bílá méně, aluminiová nejméně. Je totiž nejvíce reflexivní.

3.4. Měření můstkem

Pro měření můstkem jsme použili 2 odporová čidla s odporovým koeficientem $\alpha = 4.30 * 10^{-3}$ a přivedeným napětím $U_0 = 2.20 \text{ V}$.



Graf 6: Závislost přepočítaného rozdílu teplot pomocí vztahu (7) na čase

Na začátku jsme nechali obě čidla blízko u sebe, napětí tedy bylo blízké nule. Potom jsme jedno vložili do izolující polystyrénové krabičky a můstek začal měřit malý teplotní rozdíl. Čidlem totiž protéká drobný proud a tím se zahřívá. Pokud jedno zaizolujeme, projeví se to i na grafu. Měříme vlastně míru vlastního ohřevu čidla. Kolem času 400 s jsme čidla vyměnili a rozdíl teplot se téměř vyrovnal na stejné, ale opačné hodnotě.

Reference

- [1] Bochníček a kol. *Fyzikální praktikum 1, návody k ulohám*. Brno 2024.
Dostupné z https://monoceros.physics.muni.cz/kof/vyuka/fp1_skripta.pdf.
- [2] Hustota pevných látek. Dostupné z <http://www.converter.cz/tabulky/hustota-pevne.htm>.