

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

- 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.
- Stanovte relaxační dobu vybraných čidel:
 - zapouzdrěného čidla (např. odporového čidla Pt 1000),
 - nezapouzdrěného čidla (např. termoelektrického článku typu K).

1.2. Měření teploty infračerveným teploměrem

- 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.
- 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).
- 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 spočtěte emisivitu obou povrchů. Jakou „barvu“ má led?

1.3. Měření s můstkem

- 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. Teorie

2.1. Odporová čidla

Odpor kovového vodiče s teplotou roste a měřením odporu čidla tím můžeme měřit i teplotu. Tato závislost je na menších teplotních intervalech lineární

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

kde R_0 je odpor čidla při některé referenční hodnotě a α teplotní odporový koeficient. V úloze 1.1 budu dvě taková čidla kalibrovat.

3. Termočlánky

Termočlánek je vyrobený spojením dvou různých kovových materiálů. Pokud teplota spojů je různá, vznikne na termočlánu termoelektrické napětí, které je úměrné rozdílu teplot. Pokusím se zkalibrovat i jeden termočlánek.

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

kde β je tzv. Seebeckův termoelektrický koeficient.

3.1. Relaxační doba čidel

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 změřím relaxační dobu jednoho zapouzdrěného odporového čidla a nezapouzdrěného termoelektrického článku typu K.

3.2. 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, které 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. Pomocí emisivity jde potom skutečnou teplotu spočítat.

Pro zkoumání propustností různých materiálů použijeme upravený vztah

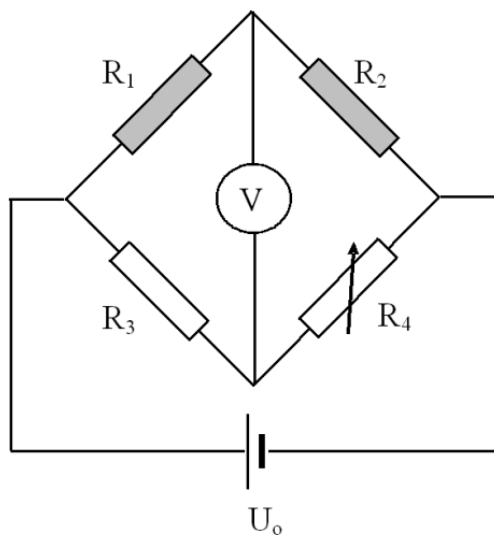
$$\tau = \frac{T_0^4}{T_v^4}, \quad (6)$$

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

3.3. 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 rozdílů dvou takových hodnot.

Je vhodnější použít čidlo konstruované přímo pro měření malých rozdílů teplot. Třeba tzv. Wheatstoneův můstek



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

Pro praktické měření Wheatstonovým můstkem používáme aproximativní vztah

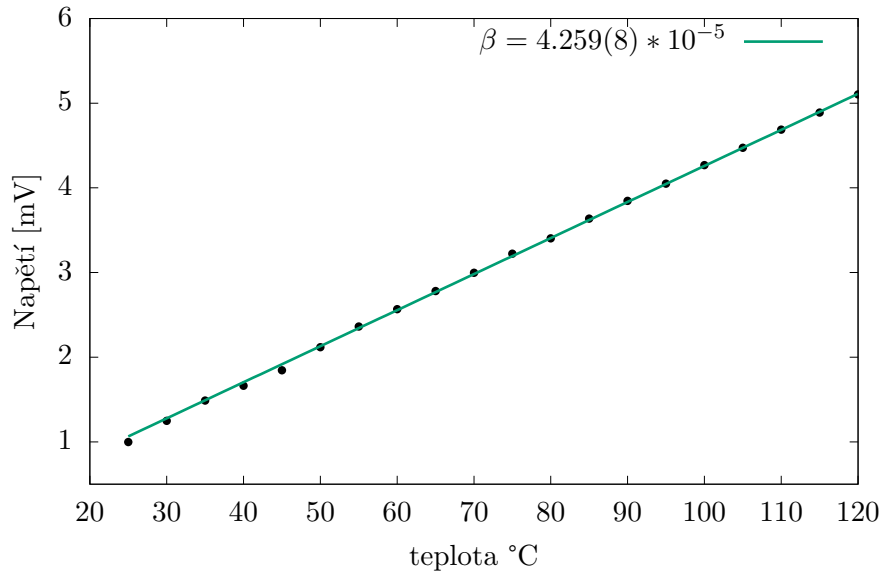
$$\Delta t = \frac{4U}{U_0\alpha}, \quad (7)$$

kde U_0 je napájecí napětí a α teplotní koeficient odporu.

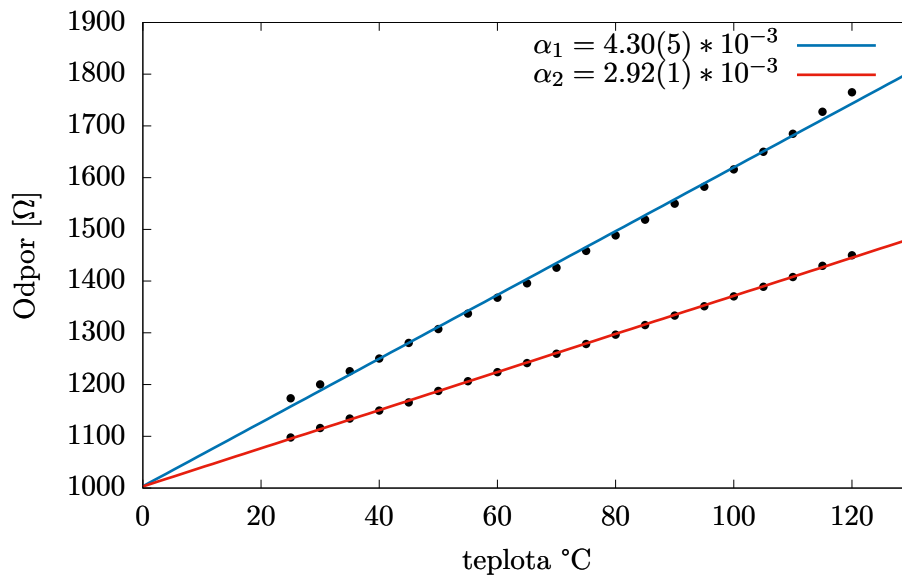
4. Výsledky měření

4.1. Kalibrace odporových čidel

Do ohřívané olejové lázně jsem ponořil dvě odporové čidla, jedno diferenciální a rtuťový teploměr. Naměřené hodnoty v závislosti na teplotě odečtené z teploměru jsou uvedené v grafech 2 a 3.



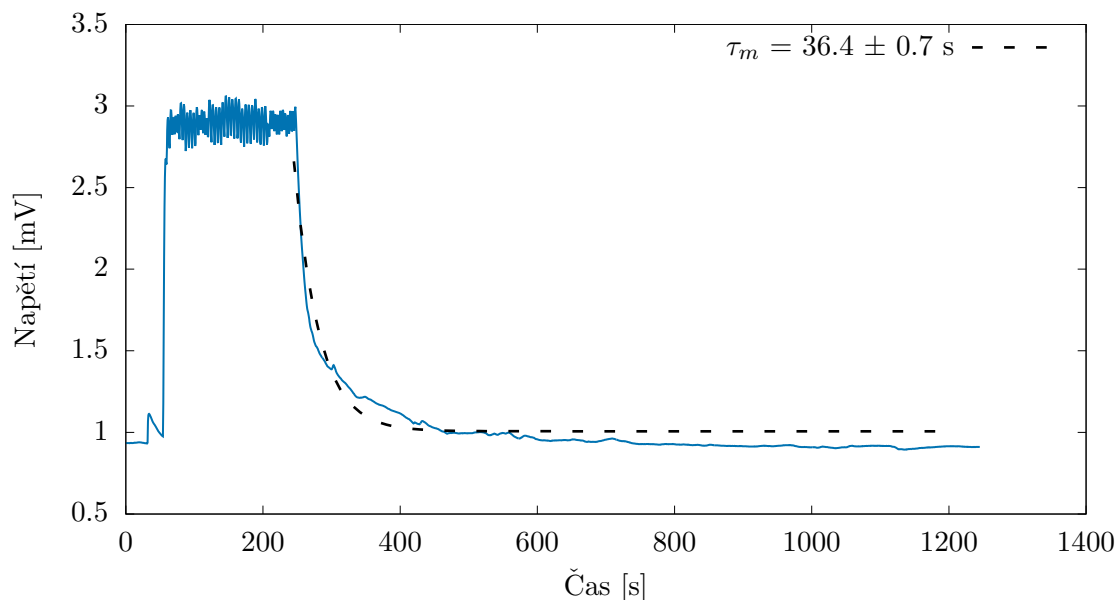
Graf 2: Závislost napětí na diferenciálním čidle na teplotě



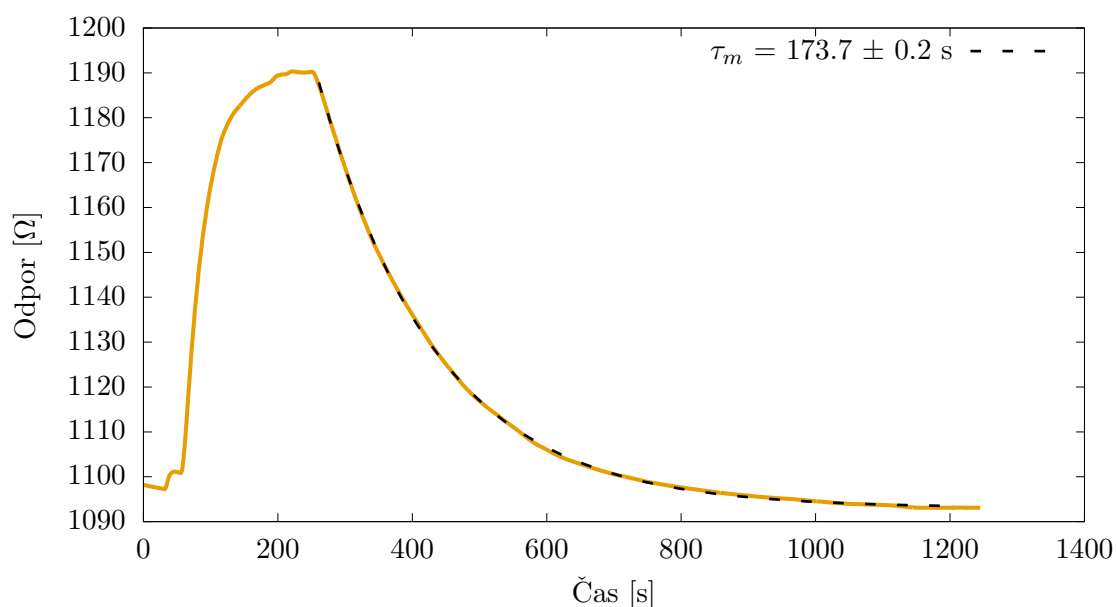
Graf 3: Závislost odporů dvou odporových čidel na teplotě

4.2. Relaxační doba čidel

Pomocí horkovzdušné pistole jsem zahřál jedno zapouzdržené a jedno nezapouzdržené odporové čidlo na teplotu 65 °C. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v grafech 4 a 5. Původně bylo zamýšleno 100 °C, ale hodnoty napětí vysotoupaly pouze do 3 mV a odpor do 1190 Ω což z kalibrace čidel odpovídá asi 65 °C. Nejspíš jsem pistoli špatně nastavil



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



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

4.3. Měření teploty infračerveným teploměrem

Měděnou desku, natřenou různě barevnými žáruvzdornými laky jsem zahřál na přibližně 300 °C a snímal její teplotu infračerveným teploměrem a teplotním čidlem. To samé jsem provedl se zmrzlou měděnou desku s námrazou a bez námrazy. Druhým úkolem bylo měřit teplotu tělesa skrz okénko a bez něj. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulkách 1, 2 a 3.

Měděná deska	Skutečná teplota (K)	IR (K)	ϵ
černá	562	560	0.99
Bílá	653	545	0.49
Aluminiová	619	444	0.26

Tabulka 1: Měření měděné desky natřené různými barvami infračervený teploměrem Optris oproti diferenciálnímu čidlu GMH 3230. Emisivitu jsem spočítal ze vztahu (5).

měření	skutečná teplota (K)	IR (K)	ϵ
bez námrazy	256	293	1.72
s námrazou	258	257	0.98

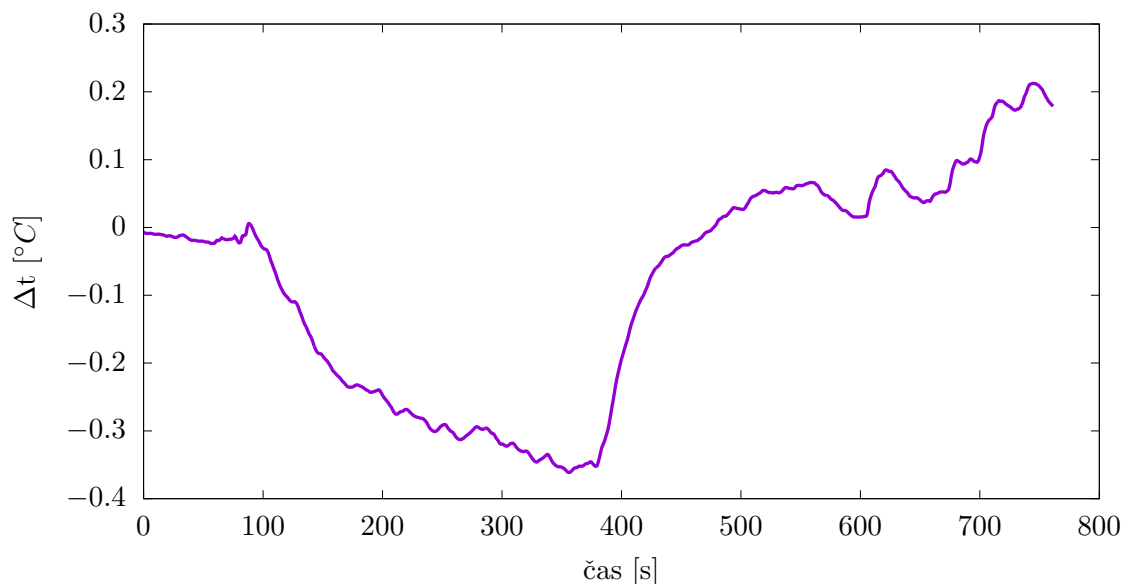
Tabulka 2: Měření teploty zmrzlé měděné destičky s námrazou a bez námrazy pomocí infračerveného teploměru

Materiál	Okýnkem (K)	Bez Okýnka (K)	τ
polykarbonát 1.5 mm	300	416	0.27
Sklo 1 mm	300	417	0.27
SiO_2 3 mm	301	419	0.27
KBr 3 mm	571	593	0.86
NaCl 7.4 mm	563	605	0.75
CaF_2 2 mm	316	420	0.32
Cu 0.3 mm	300	422	0.26
Si 0.5 mm	372	421	0.61
$GaAs$ 0.5 mm	381	426	0.63

Tabulka 3: Měření teploty černého tělesa termokamerou Topdon TC view 001 skrz okýnko a bez okýnka. Propustnost jsem spočítal pomocí vztahu (6).

4.4. Měření můstkem

Pro měření můstkem jsem použil 2 odporová čidla s odporovým koeficientem $\alpha = 4.30 \cdot 10^{-3}$ a přivedeným napětím $U_0 = 2.20$ V. Nejprve jsem obě čidla umístil blízko sebe a chvíli počkali. Pak se jedno čidlo vložilo do těsné polystyrénové krabičky a po asi pěti minutách se čidla vyměnili.



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

5. Závěr

Změřil jsem kalibrační hodnoty dvou odporových a jednoho diferenciálního čidla

$$\beta = 4.259(8) * 10^{-5} \quad (8)$$

$$\alpha_1 = 4.30(5) * 10^{-3} \quad (9)$$

$$\alpha_2 = 2.92(1) * 10^{-3} \quad (10)$$

Termoelektrický koeficient β diferenciálního čidla odpovídá podle tabulek přibližně chromelovému článku typu K a odporový koeficient α_1 odporového čidla asi Pt100. Hodnota α_2 se mi nepodařila identifikovat.

Z grafů 4 a 5 jsem fitem podle vztahu (3) změřil relaxační dobu zapouzdrěného a nezapouzdrěného čidla. Relaxace toho zapouzdrěného trvala o něco déle, protože je líp izolované od svého okolí. Můžeme říct, že má nějakou setrvačnost ve formě tepla svého pouzdra a rychlé výchyly teploty tím na rozdíl od nezapouzdrěného nezachytí.

Určil jsem emisivitu černého žáruvzdorného laku $\epsilon = 0.96$, bílého žáruvzdorného laku $\epsilon = 0.49$ a aluminiového povrchu $\epsilon = 0.26$. Emisivita černého tělesa je správně blízka jedné, bílá barva se pohybuje kolem 0.5 a aluminium je níž kvůli své reflexivitě. Přirozeně velmi reflexivní je i měď, jak ukazuje tabulka 2. Teplota zmrzlé měděné destičky změřená infračerveným teploměrem byla totiž téměř 20 °C. Z povrchu desky se odráží většina světla co na ní dopadá a IR teploměr změří hodnoty blízké teplotě místnosti. Když jsem ale měřil teplotu desky s námrazou, tento efekt nehrál roli a vyšla reálná teplota -15 °C. Dál jsem měřil propustnosti okének ze zadaných materiálů uvedené v tabulce 3. Největší propustnost měl bromid draselný, který je v infračervené spektru úplně neaktivní a často se pro tuto vlastnost používá třeba ve spektroskopii. Naopak nejmenší propustnost mají polykarbonát, sklo a oxid křemičitý.

V grafu měření můstkem je rozdíl teplot v čase $t \in [0, 100]$ s blízky nule. Po vložení do izolující polystyrénové krabičky začal můstek 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 jsem čidla vyměnili a rozdíl teplot se téměř vyrovnal na stejné, ale opačné hodnotě.