

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

Fyzikální praktikum 1

Zpracoval: Tomáš Plšek, 461281

Naměřeno: 6.4.2017

Obor: Astrofyzika

Skupina: Čt, 8:00

Úloha: 8. Měření teploty

$T = 22.5\text{ }^{\circ}\text{C}$

$\varphi = 46.5\text{ }^{\circ}$

$p = 98.65\text{ hPa}$

Úkoly

1. V olejové lázni proměřte teplotní závislost elektrického odporu či napětí neznámých odporových a termoelektrických čidel. Naměřené hodnoty vynesete do grafu a proložíte vhodným typem závislosti.
2. Stanovte relaxační dobu nezapouzdřeného čidla Pt100. Naměřené časové závislosti linearizujete logaritmováním a stanovte relaxační dobu čidla. Výsledky porovnejte a komentujte pozorované rozdíly.
3. Vyhřejte měděnou desku pokrytou černým a bílým lakem na plotýnkovém vařiči přibližně na teplotu $300\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pomocí infračerveného teploměru (dále jen IR teploměru) určete emisivitu obou povrchů. Pro měření absolutní teploty použijte kontaktní teploměr.
4. Vychladíte měděnou desku pod bod mrazu vody tak, aby se na ní vytvořila námraza. IR teploměrem změřte teplotu před a po setření námrazy.
5. Změřte teplotu černého povrchu vařiče vyhřátého asi na $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ přes „okénka“ z různých materiálů. Porovnejte teploty měřené IR teploměrem s okénkem a bez okénka. Vypočítejte propustnost okénka v infračervené oblasti.

1. Úvod

Teplota patří k nejdůležitějším charakteristikám termodynamických systémů. Řada vlastností i dějů jsou totiž více či méně na teplotě závislé. Teplotní závislost řady jevů nás na jedné straně nutí v řadě případů teplotu měřit, na druhé straně nám dává možnost teplotních závislostí využít k vlastnímu měření teploty.

K měření teploty se často využívá dilatačních teploměrů, které jsou založeny na principu teplotní roztažnosti látek. Podle skupenství je rozdělujeme na kapalinové (rtuťové, lihové), plynové a kovové (bimetalické). V této úloze se budeme věnovat teploměrům elektrickým, mezi které patří odporová čidla a termoelektrické články, a teploměrům radiačním (IR teploměr).

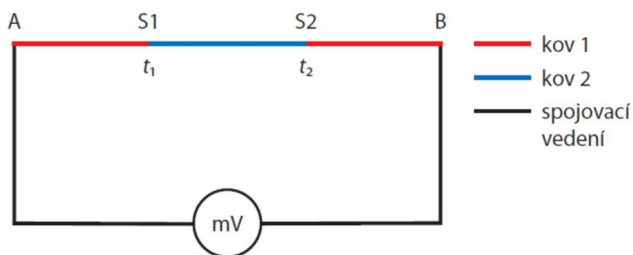
Odporová čidla můžeme použít pro měření teploty, neboť elektrický odpor obecně vždy závisí na teplotě. Jedná se tedy o měření elektrické, proto je možné jej snadno implementovat do elektronických automatizovaných systémů měření.

V této úloze budeme využívat kovové odporové senzory teploty. Odpor kovového vodiče s teplotou roste, což je způsobeno zvětšením kmitů krystalické mřížky, a tedy větším rozptylem elektronů. V malém rozsahu teplot lze použít lineární tvar teplotní závislosti odporu:

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

kde R_0 je hodnota odporu typicky při teplotě $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Termoelektrický článek získáme spojíme-li dva různé vodivé materiály ve dvou místech podle obrázku 1 tak, že spoje S1 a S2 budou mít různou teplotu. Mezi spoji vznikne elektromotorické napětí a obvodem začne protékat termoelektrický proud.



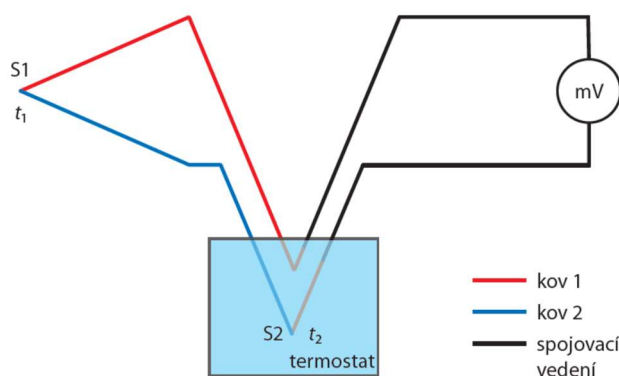
Obrázek 1: Termoelektrický článek¹

Teplotní závislost termoelektrického napětí je i ve velkém rozsahu teplot přibližně lineární a lze charakterizovat vztahem:

$$U = \beta(t_1 - t_2), \quad (2)$$

kde β je tzv. Seebeckův termoelektrický koeficient. Jeho hodnota závisí na materiálech použitých při výrobě termoelektrického článku.

Termoelektrické články měří tedy pouze rozdíly teplot, nikoliv absolutní teplotu. Pro co nejpřesnější měření je třeba srovnávací teplotu termostatizovat. Velmi dobrý termostat jednoduše získáme pomocí směsi ledu a vody v Dewarově komoře, která se udržuje na teplotě $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Obrázek 2: Termostatizace spoje termoelektrického článku²

Infračervené teploměry jsou založeny na faktu, že každé těleso o teplotě vyšší, než absolutní nula je zdrojem elektromagnetického záření. Toto záření nazýváme tepelné záření. Emise tepelného záření je ovlivněna teplotou ale i vlastnostmi povrchu tělesa. Ukazuje se, že nejvíce září tělesa, jež v dané

oblasti vlnových délek nejvíce absorbují. Ideálním zářičem je tedy absolutně černé těleso. Odchylka vyzařování daného povrchu od vyzařování absolutně černého tělesa se nazývá emisivita a je definována jako:

$$\varepsilon(\lambda, T) = \frac{I(\lambda, T)}{I_{\text{čt}}(\lambda, T)}, \quad (3)$$

kde $I(\lambda, T)$ je intenzita vyzařování daného povrchu o teplotě T a vlnové délce λ a $I_{\text{čt}}(\lambda, T)$ je intenzita vyzařování absolutně černého tělesa o stejné teplotě a vlnové délce. Emisivita černého tělesa je tedy vždy rovna právě 1.

2. Postup měření

2.1 Olejová lázeň

Do olejové lázně vložíme odporová čidla a termočlánek. Termočlánek termostatizujeme vodou s ledem o teplotě přibližně 5 °C. Do olejové lázně i do nádoby s ledovou vodou umístíme rtuťový teploměr. Za stálého míchání postupně zvyšujeme teplotu lázně (v rozsahu 20–120 °C). Po každých pěti stupních zaznamenáme pomocí programu *Teplota_tab.vi* hodnoty napětí a odporu. Naměřené závislosti vyneseme do grafu, proložíme vhodným typem závislosti a pomocí koeficientů α a β identifikujeme jednotlivá čidla.

2.2 Relaxační doba odporového čidla

Na horkovzdušné pistoli nastavíme teplotu 110 °C a do proudu horkého vzduchu vložíme odporové čidlo a termoelektrický článek. Vyčkáme až se hodnota elektrického odporu i napětí ustálí a odsuneme horkovzdušnou pistoli. Pomocí počítačového softwaru měříme časovou závislost odporu na odporovém čidlu a napětí na termočlátku. Naměřenou závislost logaritmujeme a z prokladu lineární závislosti stanovíme relaxační dobu daného čidla. Přechod signálu čidla je popsán funkcí:

$$t(\tau) = t_2 - (t_2 - t_1) \cdot e^{-\frac{\tau}{\tau_m}}, \quad (4)$$

kde t_1 je teplota okolí, t_2 je teplota horkovzdušné pistole, τ_m je časová konstanta zvaná relaxační doba.

2.3 Měření emisivity – vyhřátá měděná deska s bílým a černým lakem

Měděnou plotnu pokrytou bílým, černým a aluminiovým lakem vyhřejeme na teplotu asi 300 °C. Na IR teploměru nastavíme emisivitu $\varepsilon = 1$ a změříme teplotu desky potřenou bílým i černým lakem. Absolutní teplotu měděné desky měříme kontaktním teploměrem. Výslednou emisivitu povrchu určíme zjednodušením vztahu (3), kdy budeme předpokládat, že teplota měřená IR teploměrem je teplota absolutně černého tělesa. Tedy, že platí:

$$\varepsilon = \left(\frac{T_p}{T}\right)^4, \quad (5)$$

kde T_p je teplota pozorovaná IR teploměrem a T je skutečná teplota (měřená kontaktním teploměrem).

2.4 Měření emisivity – vychlazená měděná deska s námrazou

Vychladíme měděnou desku na teplotu nižší než bod mrazu vody (aby se vytvořila vrstva námrazy). Měříme teplotu místa s námrazou a místa, ze kterého žiletkou setřeme námrazu. Výsledek opět

srovnáme s teplotou měřenou kontaktním teploměrem a podle vztahu (4) určíme emisivitu obou povrchů.

2.5 Měření propustnosti

Vyhřejeme měděnou plotnu asi na 200 °C a IR teploměrem měříme teplotu jejího povrchu přes „okénka“ z různých materiálů. Ke každému měření vždy provedeme i měření teploty bez okénka a porovnáním jejich hodnot (v Kelvinech) stanovíme propustnost daných materiálů v infračervené oblasti ze vztahu:

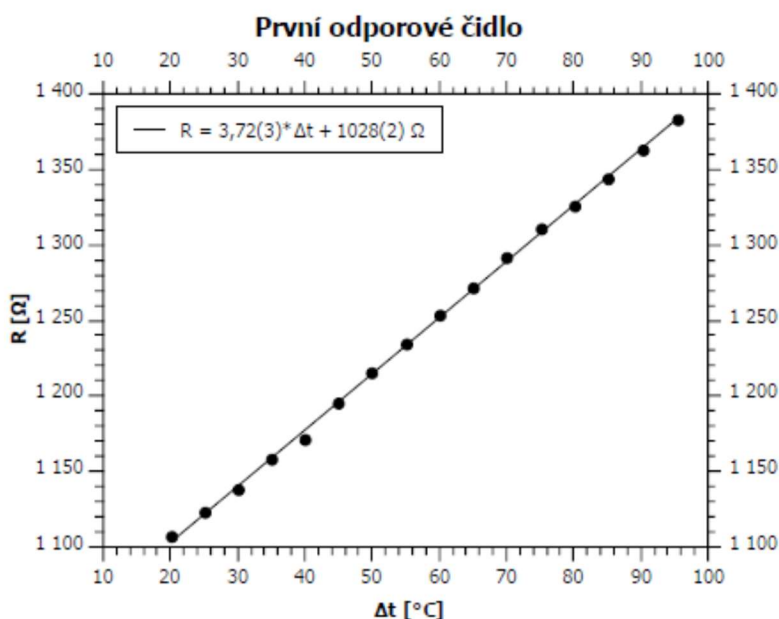
$$\tau = \frac{T_{IR,O}^4 - T_{IR,P}^4}{T_{IR,V}^4}, \quad (6)$$

kde $T_{IR,O}$ je teplota měděné plotny měřená přes okénko, $T_{IR,V}$ je teplota měřená přímo a $T_{IR,P}$ je teplota měřená přes okénko při pohledu na málo vyzařující objekt (hraje roli pouze u okének s nízkou propustností).

3. Měření

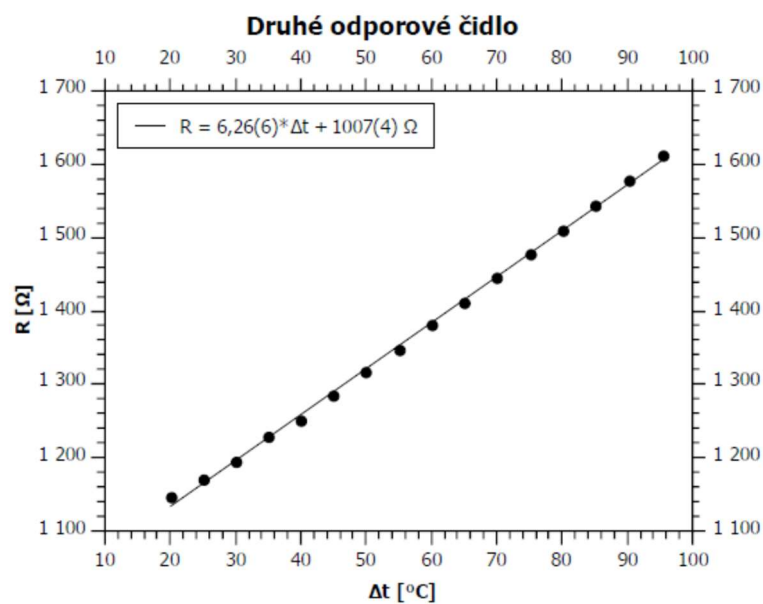
3.1 Olejová lázeň

Postupným zvyšováním teploty v olejové lázni jsme získali teplotní závislosti odporu na odporových čidlech a napětí na termoelektrickém článku, z nichž pomocí vzorců (1) a (2) dopočteme hledané koeficienty α a β a čidla identifikujeme.



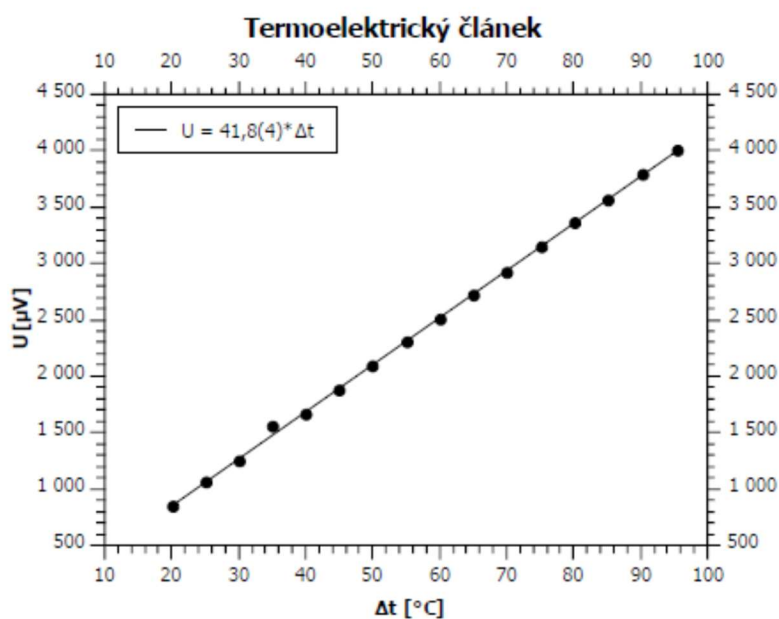
Graf 1: Teplotní závislost odporu prvního odporového čidla v olejové lázni

$$\alpha_1 = 0.362(3) \cdot 10^{-2} \text{ K}^{-1}$$



Graf 2: Teplotní závislost odporu druhého odporového čidla v olejové lázni

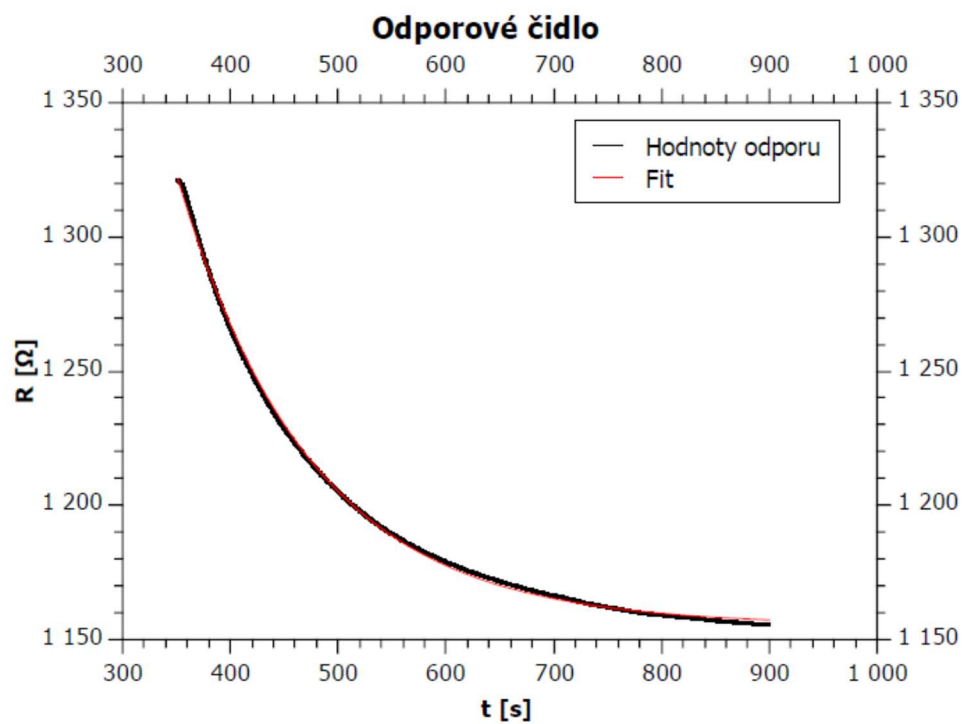
$$\alpha_2 = 0.622(7) \cdot 10^{-2} \text{ K}^{-1}$$



Graf 3: Teplotní závislost napětí na termoelektrickém článku

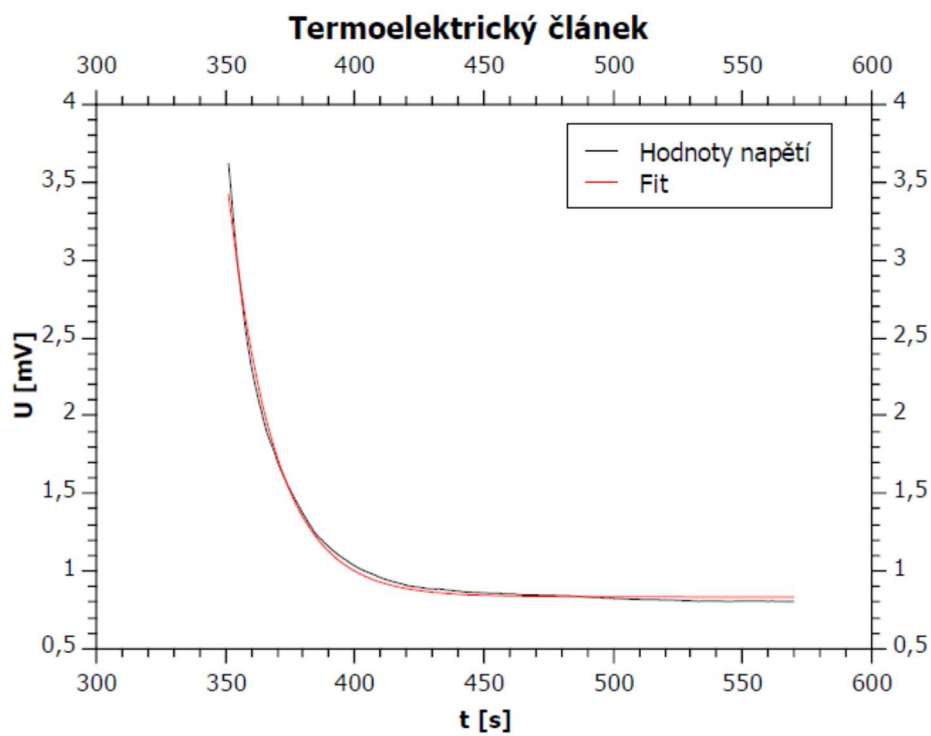
3.2 Relaxační doba odporového čidla

Naměřené hodnoty v závislosti na čase jsem nafitoval odpovídající funkcí a určil relaxační dobu odporového čidla a termoelektrického článku.



Graf 4: Určení relaxační doby odporového čidla

$$\tau_R = 123.6(3) \text{ s}$$



Graf 5: Určení relaxační doby termoelektrického článku

$$\tau_U = 17.7(1) \text{ s}$$

3.3 Měření emisivity – vyhřátá měděná plotna s bílým a černým lakem

Z pěti měření teploty obou povrchů měděné desky oběma teploměry můžeme pomocí vzorce (6) dopočítat emisivitu povrchů.

Černý lak		Bílý lak	
Kontaktní teploměr	IR teploměr	Kontaktní teploměr	IR teploměr
297.5 °C	272.2 °C	288.5 °C	114.5 °C
292.3 °C	268.5 °C	285.5 °C	111.0 °C
287.5 °C	261.3 °C	279.5 °C	109.3 °C
283.4 °C	259.2 °C	275.2 °C	109.0 °C
280.0 °C	255.0 °C	271.3 °C	108.3 °C

Tabulka 1: Teploty měděné plotny s černým a bílým lakem měřené kontaktním a IR teploměrem

$$\varepsilon_{\text{č}} = 83.4(2) \%$$

$$\varepsilon_{\text{B}} = 23.1(3) \%$$

3.4 Měření emisivity – vychlazená měděná deska s námrazou

Ze tří měření teploty měděné desky s námrazou i bez ní můžeme pomocí vzorce (6) určit emisivitu těchto povrchů.

S námrazou		Bez námrazy	
Kontaktní teploměr	IR teploměr	Kontaktní teploměr	IR teploměr
-10.7 °C	-7.5 °C	-14,0 °C	20.8 °C
-5.2 °C	-6.4 °C	-9.3 °C	19.7 °C
-4.3 °C	-3.9 °C	-6.1 °C	19.1 °C

Tabulka 2: Teploty měděné desky s námrazou i bez ní měřené kontaktním a IR teploměrem

$$\varepsilon_{\text{námraza}} = 101(2) \%$$

$$\varepsilon_{\text{bez námrazy}} = 153(5) \%$$

3.5 Měření propustnosti

Z měření teploty měděné plotny přes „okénka“ z různých materiálů (Sklo, Oxid křemičitý, Arsenid gallitý, Křemík, Bromid draselný a Chlorid sodný) určíme pomocí úpravy vzorce (7) (vynechání členu $T_{IR,P}$) hodnoty propustností v IR oblasti pro jednotlivé materiály.

	Sklo (1 mm)	SiO ₂ (3 mm)	GaAs (0.5 mm)	Si (0.5 mm)	KBr (3 mm)	NaCl (7.4 mm)
S okénkem	27.5 °C	27.5 °C	125.5 °C	110.2 °C	153.4 °C	144.1 °C
Bez okénka	170.7 °C	169.1 °C	165.9 °C	160.9 °C	165.6 °C	163.2 °C
Propustnost	1,5 %	1,5 %	47,5 %	39,4 %	68,8 %	62,6 %

Tabulka 3: Propustnost jednotlivých materiálů

4. Závěr

V **olejové lázni** jsem proměřil vlastnosti odporových čidel a termoelektrického článku. Koeficienty kovových čidel jsou $\alpha_1 = 0.362(3) \cdot 10^{-2} \text{ K}^{-1}$ a $\alpha_2 = 0.622(7) \cdot 10^{-2} \text{ K}^{-1}$ a Seebeckův koeficient termoelektrického článku.

Podle tabulek^{3,4} jsem určil, že první odporové čidlo je pravděpodobně z platiny a druhé čidlo je vyrobeno z niklu. Hodnota Seebeckova koeficientu β odpovídá nejlépe slitině chromel – alumen (NiCr (+) NiAl (-)).

Na výsledné nejistotě se podílela nejistota při měření teploty rtuťovými teploměry, nejistota při měření odporu a napětí a nejistota fitu.

Relaxační dobu odporu Pt1000 čidla jsem stanovil na hodnotu $\tau_R = 123.6(3) \text{ s}$ a relaxační dobu napětí na termočlánek na $\tau_U = 17.7(1) \text{ s}$. Velký rozdíl mezi relaxačními dobami je způsoben rozdílnými vlastnostmi čidel.

Na výsledné nejistotě se podílela nejistota při měření odporu a napětí a také nejistota fitu.

Emisivitu černého a bílého laku na měděné plotně o teplotě téměř 300 °C jsem stanovil na hodnotu $\varepsilon_C = 83.4(2) \%$ a $\varepsilon_B = 23.1(3) \%$.

Na nejistotě výsledku se podílela nejistota aritmetického průměru.

Emisivitu námrazy (vodního ledu) jsem stanovil na hodnotu $\varepsilon_{\text{námraza}} = 101(2) \%$ a emisivitu zmrzlé měděné desky na hodnotu $\varepsilon_{\text{bez námrazy}} = 153(5) \%$. Hodnota emisivity větší než 1 je způsobena vlastní teplotou laseru, kterým na materiál míříme.

Na výslednou nejistotu má vliv pouze nejistota aritmetického průměru.

Určil jsem **propustnost** okének z daných materiálů (viz tabulka 3).

5. Zdroje

¹ ZDENĚK BOCHNÍČEK, JANA JURMANOVÁ, PAVEL KONEČNÝ, ZDENĚK NAVRÁTIL A LUBOŠ POLÁČEK. *Fyzikální praktikum 1, Návodů k úlohám*; Úloha č. 8: Měření teploty, Obrázek 8: Termoelektrický článek – spojení dvou různých materiálů. Brno, 2013. Dostupný z https://is.muni.cz/www/108960/trans/navody/skripta_fp1.pdf.

² ZDENĚK BOCHNÍČEK, JANA JURMANOVÁ, PAVEL KONEČNÝ, ZDENĚK NAVRÁTIL A LUBOŠ POLÁČEK. *Fyzikální praktikum 1, Návodů k úlohám*; Úloha č. 8: Měření teploty, Obrázek 10: Termoelektrický článek se dvěma spoji. První spoj je měřicí a druhý je termostatizován. Brno, 2013. Dostupný z https://is.muni.cz/www/108960/trans/navody/skripta_fp1.pdf.

³ ZDENĚK BOCHNÍČEK, JANA JURMANOVÁ, PAVEL KONEČNÝ, ZDENĚK NAVRÁTIL A LUBOŠ POLÁČEK. *Fyzikální praktikum 1, Návodů k úlohám*; Úloha č. 8: Měření teploty, Tabulka 1: Seebeckův koeficient β termoelektrických čidel. Brno, 2013. Dostupný z https://is.muni.cz/www/108960/trans/navody/skripta_fp1.pdf.

⁴ ZDENĚK BOCHNÍČEK, JANA JURMANOVÁ, PAVEL KONEČNÝ, ZDENĚK NAVRÁTIL A LUBOŠ POLÁČEK. *Fyzikální praktikum 1, Návodů k úlohám*; Úloha č. 8: Měření teploty, Tabulka

2: Koeficient α kovových odporových čidel. Brno, 2013. Dostupný z
https://is.muni.cz/www/108960/trans/navody/skripta_fp1.pdf.