

# FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

## Fyzikální praktikum 1

**Zpracoval:** Jan Beran

**Naměřeno:** 19. dubna 2018

**Obor:** UF

**Skupina:** F2180/06

**Testováno:**

### Úloha . 8: Měření teploty

$$T = 25,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$p = 988 \text{ hPa}$$

$$\varphi = 51,7 \text{ \%}$$

## 1. Teorie

### 1.1. Odporová čidla

Elektrický odpor obecně závisí na teplotě a je ho možné měřit pomocí elektronických automatizovaných systémů, proto jsou odporová čidla vhodná pro praktické měření teploty. odpor kovového vodiče s teplotou roste a pro změny teplot v intervalu  $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$  můžeme používat lineárního vztahu (1), kde  $R_0$  je odpor při dané normální teplotě,  $\alpha$  je teplotní součinitel elektrického odporu a  $\Delta t$  odchýlení teploty od teploty normální. Konvenčně se přitom běžně používá normální teplota  $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

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

materiál	$\alpha \text{ (K}^{-1}\text{)}$		teplotní rozsah použití
	v celém teplotním rozsahu	v intervalu $0 - 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$	
Pt	$0,385 - 0,391 \cdot 10^{-2}$	$0,385 \cdot 10^{-2}$	$-20 \text{ až } 850 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Ni	$0,617 - 0,675 \cdot 10^{-2}$	$0,618 \cdot 10^{-2}$	$-70 \text{ až } 200 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Cu	$0,426 - 0,433 \cdot 10^{-2}$	$0,426 \cdot 10^{-2}$	$-50 \text{ až } 150 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Tabulka 1: Koeficient  $\alpha$  kovových odporových čidel

### 1.2. relaxační doba

Změna měřícího přístroje na změnu měřené veličiny obecně není okamžitá, ale probíhá s jistým zpožděním. U čidla, u kterého se změnila teplota skokem z hodnoty  $t_1$  a  $t_2$  můžeme tento přechodový stav podepsat rovnicí (2), kde  $\tau_m$  je časová konstanta zvaná relaxační doba.

$$t(\tau) = t_2 - (t_2 - t_1)e^{-\frac{\tau}{\tau_m}} \quad (2)$$

Ze vztahu (2), který popisuje teplotní závislost odporu a při stanovení normální teploty  $0 \text{ }^{\circ}$  dostaneme vztah (3).

$$t = \frac{R - R_0}{R_0 \cdot \alpha} \quad (3)$$

Vztah (3) dosadíme do vztahu (2) a tento výraz následně upravíme. Dostaneme potom rovnici (4).

$$R(\tau) = R_2 - (R_2 - R_1)e^{-\frac{\tau}{\tau_m}} \quad (4)$$

Prakticky tento vztah použijeme tak, že naměříme závislost odporu při přechodovém jevu a pak tuto závislost proložíme exponenciální funkcí.

### 1.3. Infračervený teploměr a emisivita

Každé těleso při teplotě vyšší než absolutní nula vyzařuje elektromagnetické, tzv. tepelné záření. Emise tepelného záření je ovlivněna zejména teplotou, ale i vlastnostmi tělesa. Nejvíce těleso září v oblasti vlnových délek, ve které nejvíce záření absorbuje. Ideálním zářičem je tedy tzv. dokonale černé těleso. Odchylku vyzařování konkrétního povrchu od vyzařování dokonale černého tělesa popisuje veličina zvaná emisivita  $\epsilon$ , která je definována podle rovnice (5), ve které  $I(\lambda, T)$  je intenzita vyzařování daného povrchu o absolutní teplotě  $T$  na vlnové délce  $\lambda$  a  $I_c(\lambda, T)$  intenzita vyzařování dokonale černého tělesa o stejné teplotě a na stejné vlnové délce.

$$\epsilon(\lambda, T) = \frac{I(\lambda, T)}{I_c(\lambda, T)} \quad (5)$$

Emisivita absolutně černého tělesa je tedy rovna jedné, v běžných podmínkách je  $\epsilon < 1$ . Pro měření teplot pomocí emisivity se využívá infračervený teploměr, který je schopen detekovat delší vlnové délky, tedy infračervenou oblast elektromagnetického spektra. Ze Stefanova-Boltzmanova zákona (6), dostáváme vztah pro výpočet emisivity, tedy rovnici (7), kde  $T_P$  je skutečná teplota povrchu tělesa a  $T_IR$  je teplota, kterou ukazuje IR teploměr předpokládající dokonale černé těleso.

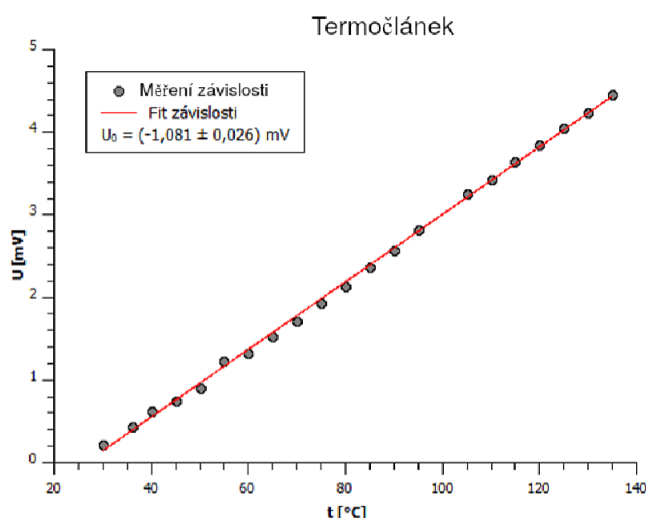
$$I_{ct} = \sigma T^4, \quad \sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4} \quad (6)$$

$$\epsilon = \left( \frac{T_{IR}}{T_P} \right)^4 \quad (7)$$

## 2. Měření

### 2.1. odporové a termoelektrické čidla

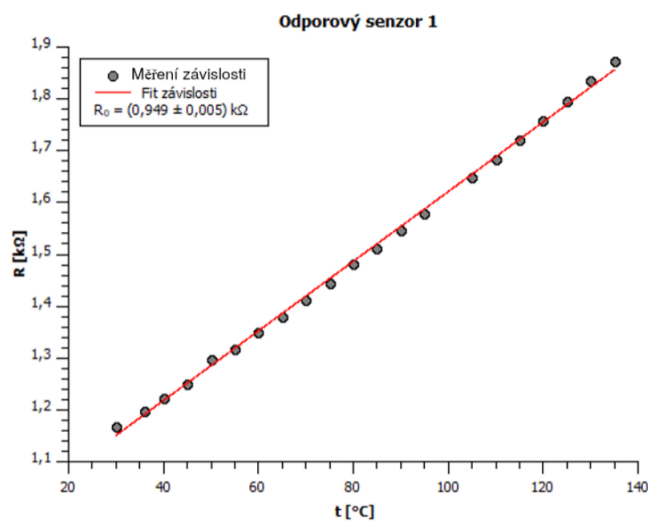
Hodnoty napětí a odporu naměřené v programu Teplota tab.vi se vložily do grafů a proložily lineární závislostí. Pomocí výše uvedených vztahů se spočítají koeficienty čidel  $\alpha$  a  $\beta$ .



Obrázek 1: Termočlánek

$\beta$  je koeficient závislý na teplotě a proto se vyjádří jeho hodnota při konkrétní teplotě 100 °C.

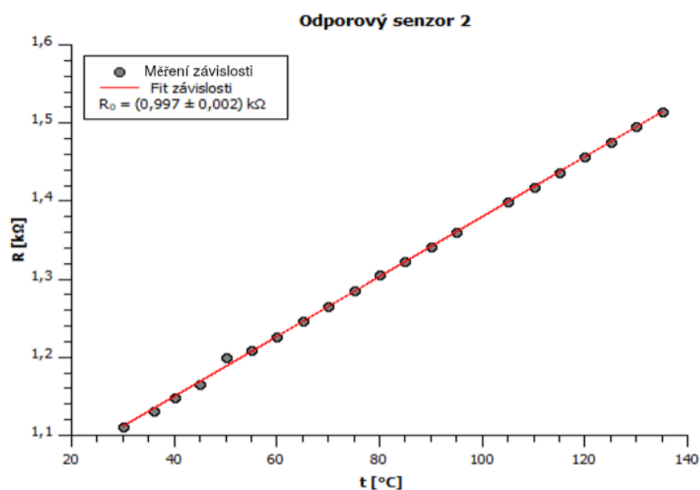
$$\beta = (30,315 \pm 0,669) \cdot 10^{-6} \text{ V}(\text{°})^{-1} \quad (8)$$



Obrázek 2: Odporový senzor 1

Koeficient  $\alpha$  pro druhé odporové čidlo vyšel

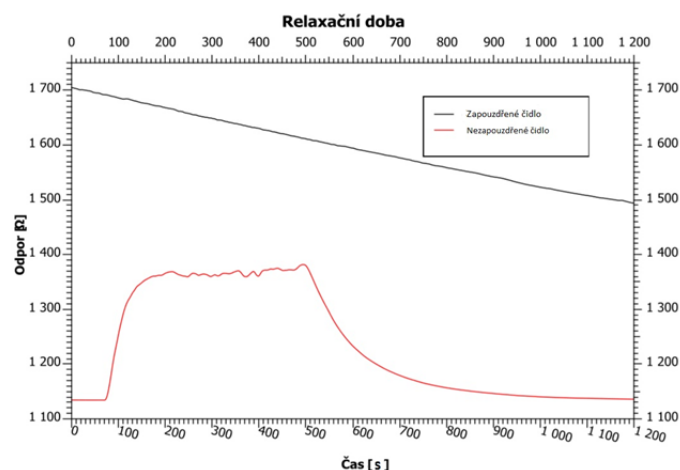
$$\alpha_2 = (3,838 \pm 0,060) \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1} \quad (9)$$



Obrázek 3: Odporový senzor 2

## 2.2. Relaxační doba

Obě čidla jsme zahřívali horkovzdušnou pistolí, dokud se teplota neustálila. Odporový senzor upneme tak, abychom pod něj mohli vložit teplovzdušnou pistoli. Necháme ji pod ním tak dlouho, dokud se jeho odpor neustálí. Změnu teploty pak budeme realizovat vysunutím pistole.



Obrázek 4: Relaxační doba

$$\tau_m^{-1} = -k = (0,00187 \pm 0,00001) \cdot s^{-1} \quad (10)$$

$$\tau_m = -\frac{1}{k} = 534,1 \text{ texts} = 8,9 \text{ min} \quad (11)$$

## 2.3. Měření infračerveným teploměrem

### 2.3..1 Emisivita povrchů

Pomocí IR a kontaktního teploměru se změřily teploty tří různých povrchů. Určily se jejich emisivity, kde  $T_p$  je teplota měřená IR teploměrem a  $T$  je reálná teplota.

Povrch	$T_p$ [°C]	$T$ [°C]	Emisivita $\varepsilon$
Černý	278,9	289	0,8674
Bílý	289,5	293	0,9531
Alumínový	99,6	282	0,0156

Tabulka 2: Hodnoty emisivity, teploty měřenou IR teploměrem a reálnou teplotou.

### 2.3..2 Emisivita okýnek

IR teploměrem se změřila teplota černého povrchu přes okýnka z různých materiálů a následně přímo. Určils se propustnost okýnek v IR záření.  $T_0$  je teplota měřená přes okýnko,  $T_V$  je teplota měřená přímo.

Okýnko	$T_0$ [°C]	$T_V$ [°C]	Propustnost T
Polykarbonát	29,6	228,2	$2,83 \cdot 10^{-4}$
Sklo	28,7	220,7	$2,86 \cdot 10^{-4}$
SiO <sub>2</sub>	28,1	257,1	$1,43 \cdot 10^{-4}$
CaF <sub>2</sub>	173,2	247,7	0,24
KBr	250,1	240,3	1,17
NaCl	229,1	241,2	0,81
Si	159,4	228,2	0,24
GaAs	156,3	228,2	0,22
Cu	29,3	221,7	$3,05 \cdot 10^{-4}$

Tabulka 3: Hodnoty propustnosti, teploty měřenou IR teploměrem a reálnou teplotou.

### 2.3..3 Povrch s námrazou

Změřila se teplota vychlazené měděné destičky pokryté námrazou pomocí IR i kontaktního teploměru. Pomocí žiletky se námraza seškrábala a znovu se měří teplota pomocí IR teploměru. Kontaktním teploměrem se již teplota znovu neměří, protože po seškrábání námrazy se skutečná teplota povrchu nezmění. Určila se emisivita obou povrchů.

Měděná destička	$T_0$ [°C]	$T_V$ [°C]	Propustnost T
S námrazou	-10,8	-12,5	0,5578
Bez námrazy	-6,1	-12,5	0,0567

Tabulka 4: Hodnoty propustnosti, teploty měřenou IR teploměrem a reálnou teplotou.

## 3. Závěr

### 3.1. odporové a termoelektrické čidla

Podle hodnoty Seebeckova koeficientu pro použité termoelektrické čidlo, můžeme konstatovat, že jeho složení je pravděpodobně následující: NiCrSi (+) NiSiMg (-), microsil - nisl, a tedy se podle námi použitých tabulek jedná o kód N.

Pokud jde o kovové odporové čidla, v případě prvního čidla se jedná pravděpodobně o nikl, přesto, že chyba měření by v tomto případě byla poměrně velká, až 0,923. Koeficient  $\alpha$  pro nikl v teplotním rozsahu 0 °C až 100 °C je  $6,18 \cdot 10^{-3}$ , námi určená hodnota  $7,103 \cdot 10^{-3}$ .

V případě druhého čidla se jedná o platinu, chyba měření je zde na rozdíl od prvního čidla poměrně malá, pouze 0,012. Koeficient pro platinu ve výše uvedeném teplotním rozsahu je  $3,85 \cdot 10^{-3}$ , naše hodnota  $3,838 \cdot 10^{-3}$ .

### 3.2. Relaxační doba

Měřením relaxační doby teplotních čidel jsme dokázali, že relaxační doba zapouzdřeného čidla je několikanásobně delší než relaxační doba čidla nezapouzdřeného. Z křivek je navíc patrné, že na teplotu zapouzdřeného čidla nemá vliv zapínání a vypínání topné spirály v horkovzdušné pistolí. To se ovšem nedá říct o čidlu nezapouzdřeném. Tam má vypínání a zapínání topné spirály velký vliv na průběh zahřívání.

### 3.3. Měření IR teploměrem

Pomocí infračerveného teploměru jsme určili emisivity tří povrchů. Hodnoty pro relativně matné povrchy černý a bílý byly poměrně vysoké,  $\varepsilon_C = 0,87$  a  $\varepsilon_B = 0,95$ . Naopak, pro lesklý aluminiový povrch jsme zjistili velmi nízkou emisivitu tepelného záření, pouze 0,02.

V případě propustnosti IR záření okének jsme největší hodnoty, a tudíž nejlepší propustnost zjistili pro KBr, bromid draselný. Chlorid sodný, NaCl, má také poměrně vysokou propustnost oproti ostatním testovaným materiálům. Naopak, velmi nízkou nebo téměř žádnou propustnost jsme zjistili u materiálů jako polykarbonát, sklo, oxid křemičitý  $\text{SiO}_2$  a u mědi.

Nakonec jsme určili emisivitu vychlazené měděné destičky s námrazou a bez ní. Emisivita destičky dosáhla mnohem vyšší hodnoty s námrazou než bez ní. Z toho vyplývá, že námraza je povrch s mnohem vyšší mírou absorpce světla, než samostatný povrch měděné ploténky.