Jakub Juránek, UČO 393110
skupina č.08

# Úloha č. 8 - Měření teploty

## 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 $100\ °C$ můžeme používat lineárního vztahu:

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

kde $R_0$ je odpor při dané normální teplotě, $\alpha$ teplotní součinitel elektrického odporu a $\Delta t$ odchýlení teploty od teploty normální. Konvenčně se přitom běžně používá normální teplota $0\ °C$.

### 1.2 Relaxační doba

Změna měřícího přístroje na změnu měřené veličiny obecně není okamžitá, ale probíhá s jistým zpožděním. U čidla, u které se změní teplota skokem z hodnoty $t_1$ na $t_2$ můžeme tento přechodový stav popsat:

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

kde $\tau_m$ je časová konstanta zvaná relaxační doba.
Z předchozího vztahu pro teplotní závislost odporu a při stanovení normální teploty na $0\ °C$ dostáváme vztah pro výpočet teploty:

$$t = \frac{R - R_0}{R_0\alpha}$$

Tento vztah dosadíme do vztahu pro přechodový stav a upravíme:

$$\frac{R(\tau) - R_0}{R_0\alpha} = \frac{R_2 - R_0}{R_0\alpha} - \left(\frac{R_2 - R_0}{R_0\alpha} - \frac{R_1 - R_0}{R_0\alpha}\right)e^{-\frac{\tau}{\tau_m}}$$

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

Pro praktické použití nám tedy bude stačit změřit časovou závislost odporu při přechodovém jevu a pak jí proložit exponenciální funkci.

## 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 absorbuje. Ideálním zářičem je tedy tzv. dokonale černé těleso.
Odchylku vyzařování konkrétního povrchu od vyzařování dokonale černého tělesa popisuje veličina zvaná emisivita $\varepsilon$, která je definována jako:

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

kde $I(\lambda, T)$ je intenzita vyzařování daného povrchu o absolutní teplotě $T$ na vlnové délce $\lambda$ a $I_{\text{čt}}(\lambda, T)$ intenzita vyzařování dokonale černého tělesa o stejné teplotě a na stejné vlnové délce.
Emisivita absolutně černého tělesa je tedy rovna jedné, v běžných případech $\varepsilon < 1$.
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 dostáváme vztah pro výpočet emisivity:

$$\varepsilon = \left(\frac{T_{IR}}{T_P}\right)^4$$

kde $T_P$ je skutečná teplota, povrchu, tělesa a $T_{IR}$ teplota, kterou ukazuje IR teploměr předpokládající dokonale černé těleso.
Provedeme-li více měření, spočítáme pak nejistotu emisivity jednak ze statistické nejistoty a jednak ze systematické způsobené nejistotou teploměrů, kterou spočteme:

$$r_B(\varepsilon) = \sqrt{16r(T_{IR})^2 + 16r(T_P)^2}$$

# 2 Měření

Měření probíhalo za těchto podmínek:

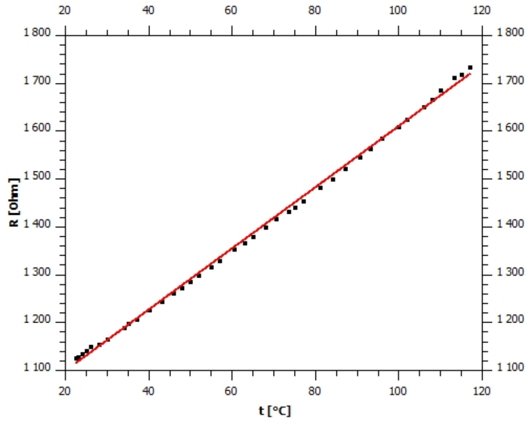
teplota . . . $24,0$ °C

tlak . . . $98,35$ kPa

vlhkost . . . $49$ %

## 2.1 Odporová čidla

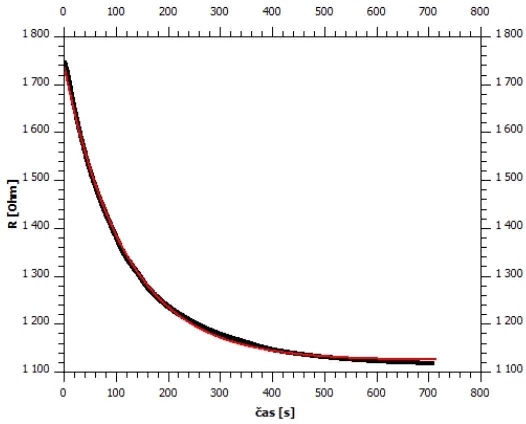
Do olejové lázni vložíme odporové čidlo. Lázeň necháme ohřívat až na teplotu $120°$ při zapnutém míchání. Pomocí programu Teplota_tab.vi budeme odečítat teplotní závislost odporu, přičemž teplotu vkládáme ručně odečtenem z vloženého rtuťového teploměru.
Získanou závislost vložíme do grafu a proložíme jím lineární funkci $R = A + Bt$, kde pak $A = R_0$ a $B = R_0\alpha = A\alpha$, tedy $\alpha = \frac{B}{A}$




$$R_0 = (971 \pm 3)\ \Omega$$
$$\alpha = (6,58 \pm 0,05) \cdot 10^{-3}\ \mathrm{K}^{-1}$$

## 2.2 Relaxační doba

Odporový senzor upneme tak, abychom pod něj mohli vložit teplovzdušnou pistoli. Necháme ji pod ním tak dlouho, dokud se jeho odpor nustálí. Změnu teploty pak budeme realizovat vysunutím pistole.
Získanou závislostí proložíme exponenciální funkci a odečteme relaxační dobu.




$$\tau_m = (117,0 \pm 0,3)\ \mathrm{s}^{-1}$$

### 2.3 Emisivita

Vložením na plotýnku vyhřejeme desku, jejíž půlka má černý povrch, druhá stříbrný.
Kontaktním a infračerveným teploměrem současně změříme teplotu jednoho a druhého povrchu.
Uvědomme si, že pro výpočet emisivity je potřeba převést teplotu ze stupní Celsia na Kelviny.

| černý | | stříbrný | |
|---|---|---|---|
| $T_P[K]$ | $T_{IR}[K]$ | $T_P[K]$ | $T_{IR}[K]$ |
| 423 | $439,2$ | 423 | $316,1$ |
| 458 | $468,0$ | 521 | $346,4$ |
| 487 | $504,7$ | 533 | $368,6$ |
| 488 | $514,7$ | 525 | $357,7$ |

$$\varepsilon_{\text{č}} = (1,16 \pm 0,04)$$
$$\varepsilon_{\text{s}} = (0,24 \pm 0,03)$$

## 3 Závěr

Z prvního měření můžeme usuzovat, že měřené odporové čidlo bylo Ni1000. Odchýlení se od očekávaných tabulkových hodnot, tedy $R_0 = 1000\ \Omega$ a $\alpha = 6,18 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{K}^{-1}$ bude způsobeno zejména použitím rtuťového teploměru, ze kterého se člověku s brýlemi, zejména na začátku, kdy je hladina rtuti ještě v nádobě, špatně odečítá.
Měření relaxační doby probíhalo bez problémů. Bohužel není možno porovnat naměřený výsledek s teoretickou hodnotou, neboť relaxační doba není běžně udávaná hodnota u čidel, které nejsou primárně určeny k měření rychlích změn teplot.
Emisivita černého povrchu nám vyšla víc než 1, což je teoreticky nemožné. Bude to způsobeno zejména přijímáním odraženého záření i z okolí. Emisivita stříbrného povrchu odpovídá.