

# 1 Úkol

1. Změřte průměry šesti drátů na pracovní desce.
2. Změřte odpor šesti drátů Wheatstoneovým a Thomsonovým můstkem Metra - MTW. Vysvětlete rozdíly ve výsledcích měření.
3. Změřte odpory ve čtyřbodovém zapojení pomocí multimetru KEITHLEY 2010
4. Určete měrný odpor jednotlivých vzorků i s příslušnou chybou výsledku. Stanovené hodnoty porovnejte s hodnotami uváděnými v tabulkách.

## 2 Teorie

### 2.1 Čtyřbodové zapojení

Čtyřbodové zapojení je způsob zapojení rezistoru za pomoci čtyř kontaktů, kde pár je proudový a druhý pár slouží na měření napětí.

### 2.2 Wheatstoneův a Thomsonův můstek

Tyto můstky jsou soustavy rezistorů, které na základě porovnávání velikostí odporů umožňují stanovení odporu měřeného rezistoru. Thomsonův má tu výhodu, že se s ním dá měřit čtyřbodovou metodou, díky čemuž se lépe měří malé odpory.

### 2.3 Měrný odpor

Měrný odpor homogeního vodiče je definován vztahem

$$\rho = \frac{RS}{l}, \quad (1)$$

kde  $R$  je odpor,  $S$  průřez a  $l$  délka. Jeho jednotkou je  $\Omega \cdot \text{m}$ .

### 2.4 Chyby

Můstek má chybu 0.02% až na kotouč s  $0.1\Omega$ , kde je tato chyba 0.1%. Multimetr KEITHLEY 2010 jsem počítal chybu 0.006%, která odpovídá tomu, že byl kalibrován nejdéle před rokem.

Při výpočtu veličiny se u součinu a podílu sčítají relativní chyby jednotlivých veličin. Absolutní chybu získáme následným vynásobením vypočítané hodnoty sumou relativních chyb.

materiál	$d/\text{mm}$							
W	0.682	0.681	0.685	0.677	0.682	0.677	0.690	$0.682 \pm 0.002$
Cu	1.142	1.102	1.100	1.116	1.092	1.086	1.110	$1.108 \pm 0.006$
konstantan	0.344	0.348	0.349	0.349	0.343	0.343	0.342	$0.345 \pm 0.001$
Fe	0.407	0.408	0.404	0.405	0.407	0.410	0.404	$0.406 \pm 0.001$
mosaz	0.590	0.597	0.593	0.594	0.590	0.596	0.595	$0.594 \pm 0.001$
chromnikl	1.001	1.008	1.005	1.027	1.013	0.999	1.001	$1.008 \pm 0.003$

Tabulka 1: Průměry drátů

$l/\text{cm}$	90.0	89.9	89.9	89.9	90.0	89.9	$89.9 \pm 0.1$
---------------	------	------	------	------	------	------	----------------

Tabulka 2: Délky drátů

## 3 Měření

### 3.1 Rozměry drátů

Pomocí mikrometru jsem měřil na sedmi místech průměry každého z drátů, které jsem následně statisticky vyhodnotil. Výsledky jsou v tabulce 1. Délka každého z drátů by měla být stejná, tak jsem změřil každý zvlášť a následně používal průměr těchto hodnot. Vyhodnocení je v tabulce 2.

### 3.2 Odpory drátů

Následně jsem měřil odpory jednotlivých drátů Wheatstoneovým a Thomsonovým můstkem spolu s digitálním multimetrem KEITHLEY 2010. Všechny výsledky jsou v tabulce 3.

	$R_W/\Omega$	$R_T/\Omega$	$R_K/\Omega$
W	$0.17760 \pm 0.00003$	$0.13800 \pm 0.00003$	$0.1374 \pm 0.0008$
Cu	$0.05180 \pm 0.00001$	$0.016600 \pm 0.000003$	$0.0163 \pm 0.0001$
konstantan	$4.9536 \pm 0.0010$	$4.9200 \pm 0.0010$	$4.92 \pm 0.03$
Fe	$1.5220 \pm 0.0003$	$1.4860 \pm 0.0003$	$1.477 \pm 0.009$
mosaz	$0.25550 \pm 0.00005$	$0.2200 \pm 0.0004$	$0.220 \pm 0.001$
chromnikl	$1.1966 \pm 0.0002$	$1.1620 \pm 0.0002$	$1.180 \pm 0.007$

Tabulka 3: Odpory drátů

	$\rho \cdot 10^6 / \Omega\text{m}$	$\rho_{tab} \cdot 10^6 / \Omega\text{m}$
W	$0.0561 \pm 0.0004$	0.0536
Cu	$0.0178 \pm 0.0002$	0.0169
konstantan	$0.512 \pm 0.004$	0.490
Fe	$0.213 \pm 0.003$	0.0996
mosaz	$0.0678 \pm 0.0004$	0.075
chromnikl	$1.031 \pm 0.007$	1.08

Tabulka 4: Měrné odpory kovů ve srovnáním s tabulkovými hodnotami.

### 3.3 Měrné odpory drátů

Pro výpočet měrných odporů jednotlivých drátů jsem použil hodnoty odporů naměřené za pomoci Thomsonova můstku. Důvod, proč je považuji za nejvěrohodnější je uveden v diskuzi. Měrný odpor jsem určil dle vztahu 1 a chybu jsem stanovil dle postupu uvedeném v teorii. Výsledky shrnuje tabulka 4, kde je navíc uvedena hodnota z tabulek.

## 4 Diskuze

Nejslabší metodou na měření malých odporů byl Wheatstoneův můstek. Při této metodě se totiž do výsledku připočetla velikost odporu vodičů, která byla okolo 40 mΩ. Tato chyba u Thomsonova můstku nenastala díky čtyřbodovému zapojení. Měření za pomoci multimetru KEITHLEY 2010 má možná o něco větší chybu, než kterou bylo měření opravdu zatíženo, protože ve specifikacích přístroje je tato chyba určena v závislosti od poslední kalibrace, což mi nebylo známo. Výsledky této metody se však schodovali s hodnotami určenými Thomsonovým můstkem.

Mnou určené hodnoty měrného odporu korespondují s těmi tabulkovými s jemnou odchylkou, která mohla být způsobena zahříváním vodičů, či nedokonalostí vodivých spojů. Jedinou výjimkou je železo, u kterého mi vyšla ve srovnání s tabulkami dvounásobná hodnota. Důvod této chyby jsem však nenašel.

## 5 Závěr

Změřil jsem průměry drátů a stanovil jejich statistickou hodnotu. Výsledky jsou v tabulce 1.

Změřil jsem odpory drátů za pomoci Wheatstoneova a Thomsonova můstku a vysvětlil rozdíl ve výsledku. Výsledky jsou v tabulce 3.

Změřil jsem odpory drátů ve čtyřbodovém zapojení za pomoci multimetru KEITHLEY 2010. Výsledky jsou v tabulce 3.

Určil jsem velikost měrných odporů jednotlivých kovů včetně jejich chyb. Výsledky jsou v tabulce 4.

## Reference

- [1] **Studijní text na praktikum II**  
[http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/txt\\_204.pdf](http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/txt_204.pdf) (2. 12. 2011)
- [2] *J. English: Zpracování výsledků fyzikálních měření*  
LS 1999/2000