Vojtěch Hrubý Úloha 2

Pracovní úkol

1. Změřte metodou přímou závislost odporu vlákna žárovky na proudu, který jím protéká. K měření použijte stejnosměrné napětí v rozsahu do 24 V.
2. Změřte substituční metodou vnitřní odpor měřicích přístrojů použitých v úkolu 1. Výsledek použijete k případné korekci naměřených odporů v úkolu 1.
3. Metodou substituční změřte závislost odporu vlákna žárovky na proudu od nejmenších proudů (0.2 mA) až do 25 mA. Porovnejte přesnost měření s přesností dosaženou v úkolu 1.
4. Výsledky zpracujte graficky a diskutujte vliv měřicích přístrojů.
5. Stanovte odpor vlákna žárovky při pokojové teplotě. K extrapolaci odporu vlákna na pokojovou teplotu použijte graf závislosti odporu vlákna na příkonu žárovky (do grafu vyznačte chybu měření).

Teoretická část

Měřicí přístroje různým způsobem ovlivňují měřené veličiny. Při měření proudu a napětí často považujeme použité přístroje za ideální—odpor ampérmetru nulový a voltmetru nekonečně velký. Pokud však například měříme napětí na odporu srovnatelném s vnitřním odporem voltmetru, idealizace je zcela mylná, protože měříme ve skutečnosti napětí na paralelním řazení měřeného odporu a vnitřního odporu voltmetru. Obdobné problémy přináší měření ampérmetrem.

V této úloze měříme různě velké odpory přímou metodou podle schématu na obrázku 2 na straně 20 v [2]. Měříme proud odporem a napětí. Podle Ohmova zákona potom určíme velikost odporu

$$R = \frac{U}{I}. \tag{1}$$

Tímto způsobem se však můžeme dopustit značné chyby. To nastává, pokud měříme malý odpor v poloze klíče A a při měření velkého odporu v poloze klíče B. V těchto případech se totiž výrazně projevuje vnitřní odpor ampérmetru a voltmetru po řadě.

Výše popsanou systematickou chybu měření můžeme odstranit, známe-li vnitřní odpor ampérmetru a voltmetru. V poloze klíče A je skutečná velikost odporu

$$R = \frac{U}{I} - R_a, \tag{2}$$

kde R_a je vnitřní odpor ampérmetru. V poloze klíče B pak

$$R = \frac{1}{I/U - 1/R_v}, \tag{3}$$

kde R_v je vnitřní odpor voltmetru. V tomto případě však odporem protéká jiný proud, než odečteme z ampérmetru. Vzhledem k tomu, že v úloze měříme závislost odporu na protékajícím proudu, je potřeba opravit i hodnotu proudu

$$I_{Rk} = I\left(1 + \frac{R}{R_v}\right)^{-1}. \tag{4}$$

Jinou možností měření odporů je metoda substituční. Její schéma je na obrázku 1 na straně 19 v [2]. Pro nastavený proud neznámým odporem hledáme takový odpor na dekádě, aby obvodem protékal stejný proud. Přesnost této metody je ovlivněna přesností odporové dekády a především schopností odečíst z ampérmetru změnu výchylky.

Měření

Přímou metodou jsem provedl měření současně v poloze klíče A i B. Postupoval jsem tak, že jsem nastavil proud obvodem při poloze klíče A a změřil napětí, potom jsem přepnut klíč do polohy B, dorovnal proud na stejnou hodnotu a opět změřil napětí. Díky tomu se teplota vlákna žárovky měnila dostatečně pomalu a nebylo potřeba čekat na jeho vychladnutí.

Naměřené hodnoty přímou metodou jsou v tabulkách 1 a 2 podle polohy klíče. Chyba proudu a napětí vychází z rozsahu měřidla a třídy přesnosti, která byla pro voltmetr i ampérmetr 0.5. V tabulkách je také uveden odpor určený přímou metodou i po korekci vlivu měřicího přístroje (s indexem k).

$I\,[\mathrm{mA}]$	$I_{rozsah}\,[\mathrm{mA}]$	$U_a\,[\mathrm{V}]$	$U_{rozsah}\,[\mathrm{V}]$	$R_a\,[\Omega]$	$R_{ak}\,[\Omega]$
1.00 ± 0.03	6	0.140 ± 0.006	1.2	140 ± 10	129
1.50 ± 0.03	6	0.225 ± 0.006	1.2	150 ± 7	139
2.50 ± 0.03	6	0.430 ± 0.006	1.2	172 ± 4	161
3.00 ± 0.03	6	0.581 ± 0.006	1.2	194 ± 4	182
3.25 ± 0.03	6	0.700 ± 0.006	1.2	215 ± 4	204
4.00 ± 0.03	6	0.971 ± 0.006	1.2	243 ± 3	231
4.25 ± 0.03	6	1.121 ± 0.006	1.2	264 ± 3	252
4.50 ± 0.03	6	1.22 ± 0.01	2.4	271 ± 4	267
5.50 ± 0.03	6	1.72 ± 0.01	2.4	313 ± 4	308
8.0 ± 0.1	24	3.25 ± 0.06	12	406 ± 14	404
10.0 ± 0.1	24	4.68 ± 0.06	12	468 ± 12	466
12.0 ± 0.1	24	6.29 ± 0.06	12	524 ± 10	522
14.0 ± 0.1	24	8.05 ± 0.06	12	575 ± 9	573
16.0 ± 0.1	24	9.91 ± 0.06	12	619 ± 8	618
18.0 ± 0.1	24	12.1 ± 0.1	24	672 ± 11	670
20.0 ± 0.1	24	14.4 ± 0.1	24	720 ± 10	718
22.0 ± 0.1	24	16.6 ± 0.1	24	755 ± 10	753
22.5 ± 0.3	60	17.4 ± 0.1	24	773 ± 16	771
25.0 ± 0.3	60	20.7 ± 0.1	24	828 ± 15	826
27.0 ± 0.3	60	23.3 ± 0.1	24	863 ± 14	861

Tabulka 1.: Naměřená závislost odporu vlákna na procházejícím proudu v poloze A přímou metodou

Ke korekci vlivu měřicích přístrojů potřebujeme jejich vnitřní odpory. Naměřené hodnoty pro použité rozsahy jsou uvedeny v tabulce 3.

Voltmetr		Ampérmetr	
Rozsah	$R\,[\mathrm{k}\Omega]$	Rozsah	$R\,[\Omega]$
1.2 V	1.20 ± 0.01	6 mA	11.5 ± 0.1
2.4 V	2.40 ± 0.01	24 mA	4.4 ± 0.1
12 V	12.0 ± 0.1	60 mA	1.85 ± 0.05
24 V	24.0 ± 0.1		

Tabulka 3.: Vnitřní odpory použitých měřicích přístrojů

$I\,[\mathrm{mA}]$	$I_{rozsah}\,[\mathrm{mA}]$	$U_b\,[\mathrm{V}]$	$U_{rozsah}\,[\mathrm{V}]$	$R_b\,[\Omega]$	$I_{bk}\,[\mathrm{mA}]$	$R_{bk}\,[\Omega]$
1.00 ± 0.03	6	0.110 ± 0.006	1.2	110 ± 9	0.92	121
1.50 ± 0.03	6	0.185 ± 0.006	1.2	123 ± 6	1.36	137
2.50 ± 0.03	6	0.340 ± 0.006	1.2	136 ± 4	2.25	153
3.00 ± 0.03	6	0.462 ± 0.006	1.2	154 ± 4	2.66	177
3.25 ± 0.03	6	0.525 ± 0.006	1.2	162 ± 3	2.86	187
4.00 ± 0.03	6	0.720 ± 0.006	1.2	180 ± 3	3.48	212
4.25 ± 0.03	6	0.745 ± 0.006	1.2	175 ± 3	3.71	205
4.50 ± 0.03	6	1.01 ± 0.01	2.4	224 ± 4	4.12	248
5.50 ± 0.03	6	1.37 ± 0.01	2.4	249 ± 4	4.98	278
8.0 ± 0.1	24	3.00 ± 0.06	12	375 ± 13	7.76	387
10.0 ± 0.1	24	4.35 ± 0.06	12	435 ± 11	9.65	451
12.0 ± 0.1	24	5.82 ± 0.06	12	485 ± 10	11.5	505
14.0 ± 0.1	24	7.45 ± 0.06	12	532 ± 9	13.4	557
16.0 ± 0.1	24	9.10 ± 0.06	12	569 ± 8	15.3	597
18.0 ± 0.1	24	11.5 ± 0.1	24	639 ± 11	17.1	675
20.0 ± 0.1	24	13.6 ± 0.1	24	680 ± 10	19.4	700
22.0 ± 0.1	24	15.7 ± 0.1	24	714 ± 9	21.4	736
22.5 ± 0.3	60	16.5 ± 0.1	24	733 ± 15	21.8	756
25.0 ± 0.3	60	19.5 ± 0.1	24	780 ± 14	24.2	806
27.0 ± 0.3	60	21.8 ± 0.1	24	807 ± 13	26.1	836

Tabulka 2.: Naměřená závislost odporu vlákna na procházejícím proudu v poloze B přímou metodou

Naměřená i korigovaná závislost odporu vlákna na procházejícím proudu je vynesena v grafu 1. Graf dobře ukazuje, že po koreci se měření v poloze klíče A i B k sobě mnohem více blíží než bez korekce, což jsme očekávali.

V tabulce 4 uvádímm naměřené hodnoty metodou substituční. Závislost odporu vlákna na proudu je zobrazena v grafu 2 a závislost odporu na příkonu v grafu 3. Z něj extrapolací na nulový výkon dostáváme odpor vlákna při pokojové teplotě

$$R_p = (125 \pm 5)\,\Omega.$$

Toto je dobře vidět rovněž z tabulky 4, protože pro velmi malé proudy zůstává odpor vlákna konstatní.

Pro srovnání metody přímé a substituční jsou výsledky obou metod vyneseny v grafu 4.

Diskuse

Měření dobře ukázalo, že měřicí přístroje mají nezanedbatelný vliv na veličinu, kterou měříme. V souladu s očekáváním jsem přímou metodou naměřil odlišný odpor vlákna pro polohu klíče A i B. Kdyby byly přístroje ideální, výsledky by se shodovaly. Korekce vlivu měřicích přístrojů dokázala měření v poloze A i B zlepšit tak, že se výsledky většinou shodují v rámci chyby měření. Z grafu 1 je také zřejmé, že přesnější výsledky bez korekce dostáváme pro polohu klíče A a velké odpory a pro polohu B a malé odpory, což jsme očekávali.

Substituční metoda je mnohem přesnější než přímá. Graf 4 ukazuje, že dává až na chybu měření stejné výsledky jako korigovaná přímá metoda.

$I\,[\mathrm{mA}]$	$R\,[\Omega]$	$P\,[\mathrm{mW}]$
0.200±0.003	125±5	0.0050±0.0003
0.300±0.003	125±5	0.011±0.001
0.400±0.003	125±5	0.020±0.001
0.500±0.003	125±5	0.031±0.002
0.60±0.03	125±5	0.04±0.01
0.70±0.03	125±5	0.06±0.01
0.80±0.03	125±5	0.08±0.01
0.90±0.03	125±5	0.10±0.01
1.00±0.03	125±5	0.13±0.01
1.50±0.03	129±1	0.29±0.01
2.00±0.03	142±1	0.57±0.02
3.00±0.03	185±1	1.66±0.04
5.00±0.03	279±1	7.0±0.1
7.0±0.1	356±1	17±1
9.0±0.1	423±1	34±1
11.0±0.1	483±2	58±2
13.0±0.1	538±2	91±2
15.0±0.1	587±5	132±3
17.0±0.1	635±5	184±4
19.0±0.1	681±5	246±5
21.0±0.1	725±5	320±6
23.0±0.1	765±3	405±6
25.0±0.3	809±5	506±15

Tabulka 4.: Závislost odporu vlákna žárovky na protékajícím proudu při měření substituční metodou

Odpor vlákna při pokojové teplotě byl určen na základě grafu 3. Na něm velmi dobře vidíme, že pro velmi malé proudy zůstává odpor vlákna konstantní, takže je extrapolace smysluplná.

Závěr

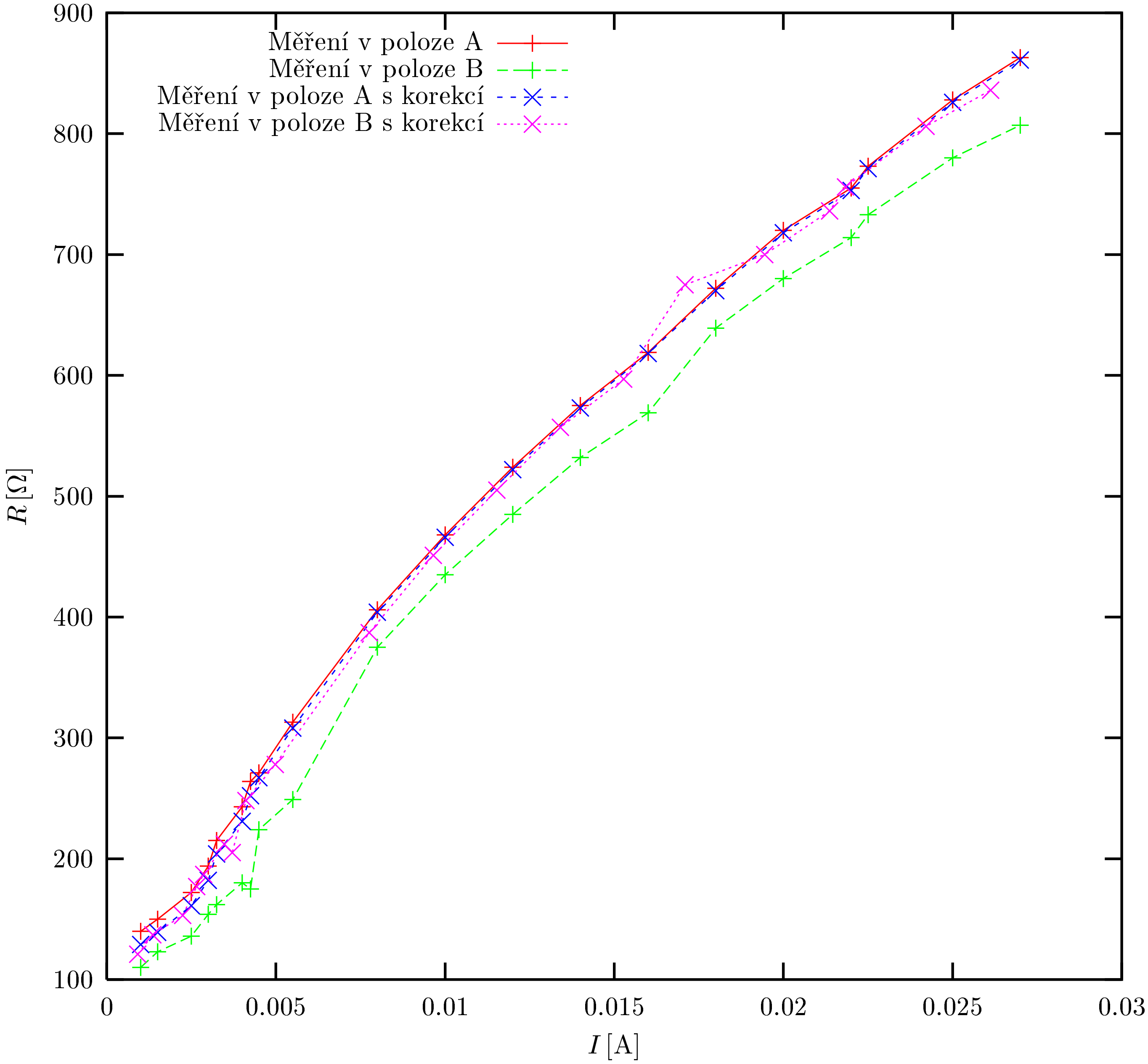
Měřením se podařilo ukázat vliv měřicích přístrojů na měření a možnosti korekce této chyby (viz graf 1). Substituční metoda tyto chyby odstraňuje přímo. Graf 4 ukazuje soulad korigovaných výsledků přímé metody se substituční metodou.

Odpor vlákna žárovky při pokojové teplotě byl

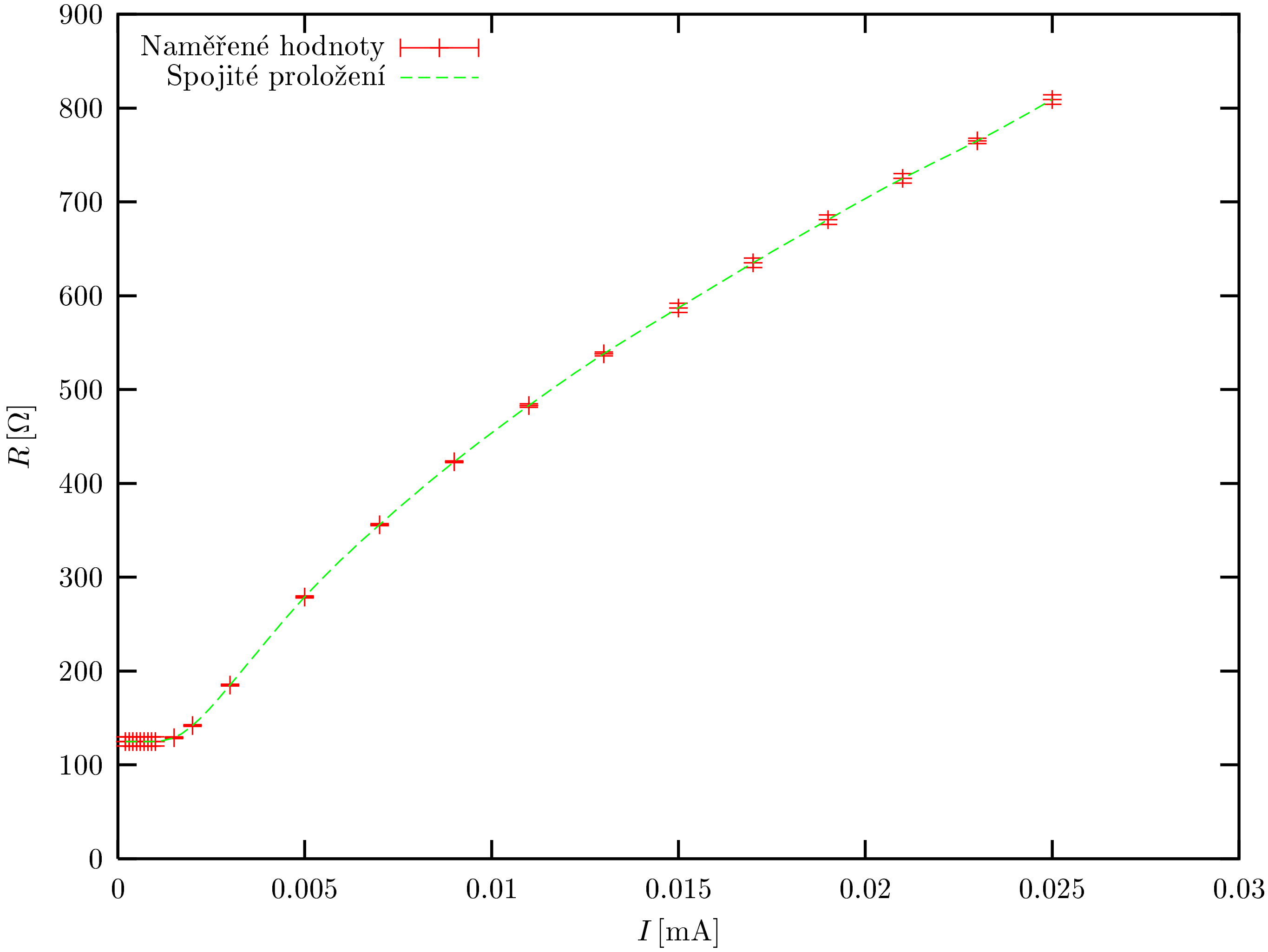
$$R_p = (125 \pm 5)\,\Omega.$$

Literatura

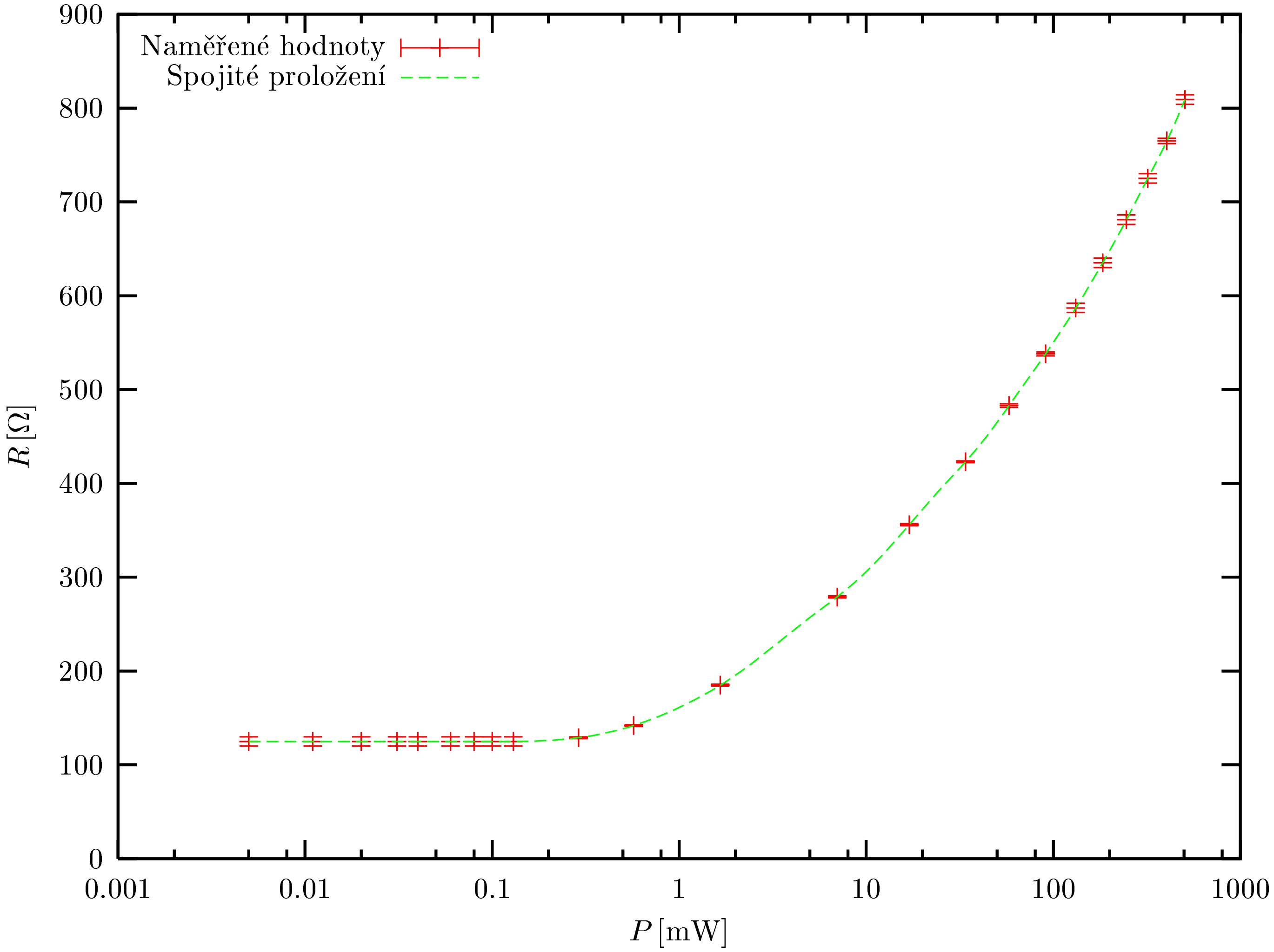
[1] Englich, J.: Zpracování výsledků fyzikálních měření. Praha 2000.
[2] Bakule, R., Šternberk, J.: Fyzikální praktikum II. Praha 1989.



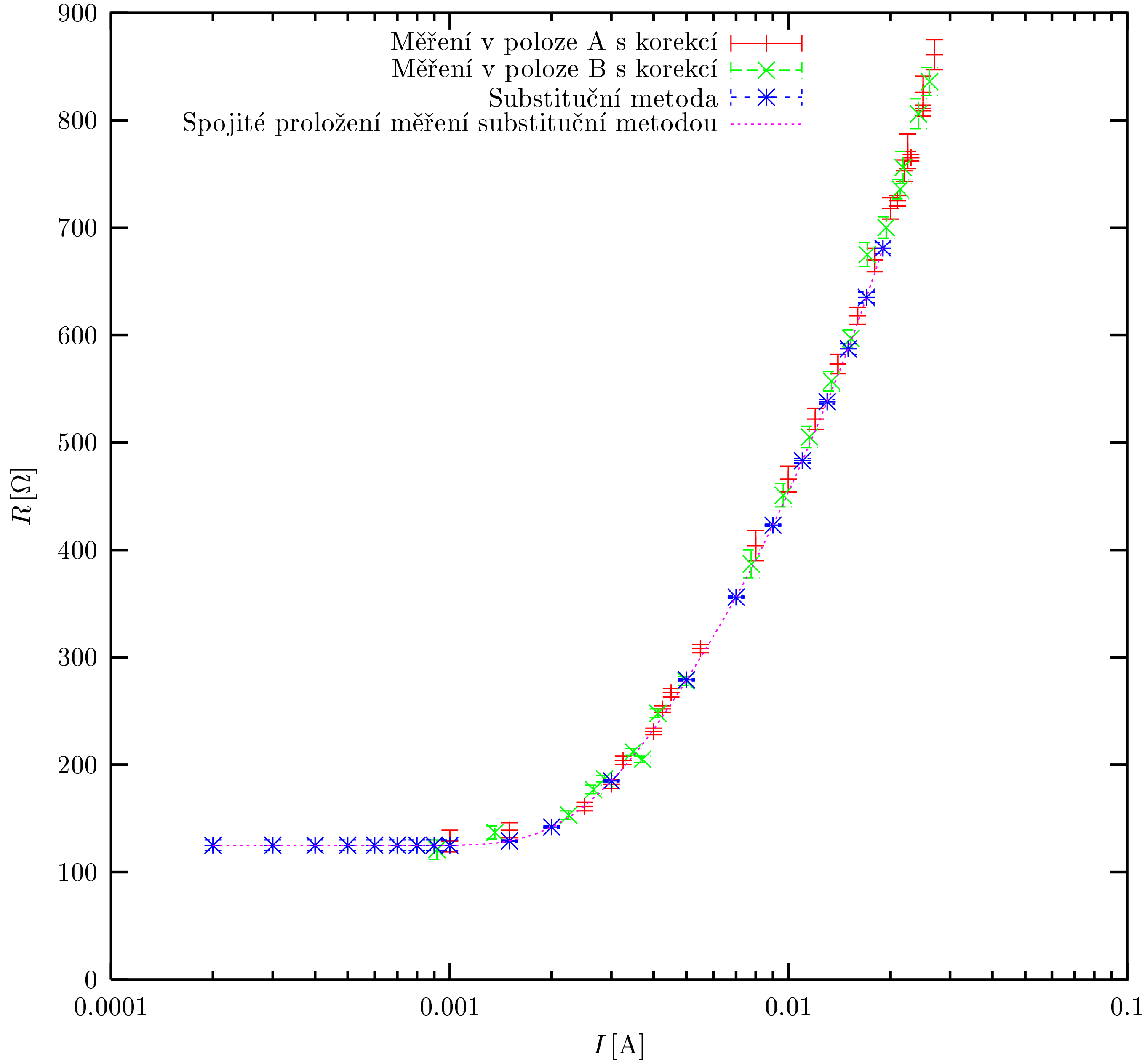
Graf 1.: Graf naměřených hodnot odporu vlákna žárovky přímou metodou a po korekci chyby měřicích přístrojů



Graf 2.: Závislost odporu vlákna žárovky na protékajícím proudu při měření substituční metodou



Graf 3.: Závislost odporu vlákna na příkonu žárovky podle měření substituční metodou (osa x je logaritmická)



Graf 4.: Srovnání korigovaných přímých metod a substituční metody (osa x je logaritmická)