

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

PRAKTIKUM II

Úloha č.:II.....

Název: Meranie odporov

Vypracoval:.... **Viktor Babjak** ... stud. sk. .. F 11 .. dne..... 25. 11. 2005

Odevzdal dne: vráceno:

Odevzdal dne: vráceno:

Odevzdal dne:

Posuzoval: **Valentová**dne výsledek klasifikace1-.....

Připomínky:

- 1) teoretickú časť píšete stručne
- 2) preloženie grafu 1 (meráte spojitú závislosť)
- 3) I_R podľa (8); v zapojení „b“; graf 1: $R=R(I_R)$

Pracovné úlohy:

1. Zmerajte priamou metódou závislosť odporu vlákna žiarovky na prúde, ktorý ním preteká. Na meranie použite jednosmerné napätie v rozsahu do 24 V.
2. Zmerajte substitučnou metódou vnútorný odpor meracích prístrojov použitých v úlohe 1. Výsledok použite k prípadnej korekcii hodnôt odporu v úlohe 1.
3. Substitučnou metódou zmerajte závislosť odporu vlákna žiarovky na prúde od najmenších prúdov (0,2 mA) až do 25 mA. Porovnajte presnosť výsledkov s presnosťou dosiahnutou v úlohe 1.
4. Výsledky spracujte graficky a diskutujte vplyv meracích prístrojov.
5. Stanovte odpor vlákna žiarovky pri izbovej teplote. K extrapolácii odporu vlákna na izbovú teplotu použite graf závislosti odporu vlákna na príkone žiarovky (do grafu vyznačte chybu merania).

Teoretická časť:

Elektrický odpor je definovaný Ohmovým zákonom

$$R = \frac{U}{I}, \quad (1)$$

kde U je napätie na odpore a I je prúd tečúci odporom. Z týchto veličín môžeme určiť výkon, ktorý sa na tomto odpore premení na teplo podľa vzťahu

$$P = UI. \quad (2)$$

Zmena odporu meracieho prístroja pri prepnutí rozsahu

Pri meracích prístrojoch s otočnou cievkou sa nastavuje rozsah prístroja bočným (ampérmetrom) alebo predradným odporom (voltmetrom). Bočným sa nazýva rezistor paralelne pripojený k meraciemu systému.

Ak chceme zväčšiť rozsah ampérmetra n – krát, musí byť odpor bočníka R_b ($n-1$) – krát menší ako odpor ampérmetra R_A

$$R_b = \frac{R_A}{n-1}. \quad (3)$$

Pri prepínaní rozsahu ampérmetra sa mení vnútorný odpor R_i prístroja. Najväčší vnútorný odpor má ampérmetr pri najcitlivejšom (najmenšom) rozsahu. Pri prepnutí prístroja na n – krát väčší rozsah sa však vnútorný odpor prístroja nezmení presne n – krát, ako by zodpovedalo paralelnému zapojeniu odporov R_b a R_A , ale zmení sa menej. Je to spôsobené, že citlivosť ampérmetra sa nemení len bočným, ale kombináciou sériovo a paralelne radených rezistorov.

Rozsah voltmetra sa mení do série so systémom radeným rezistorom (predradným odporom R_p). Ak chceme zväčšiť rozsah voltmetra n – krát, veľkosť predradného odporu R_p musí byť ($n-1$) – krát väčší ako odpor voltmetra R_v

$$R_p = (n-1)R_v. \quad (4)$$

Zapojení predradného odporu sa vnútorný odpor R_i voltmetra zväčší n – krát

$$R_i = R_p + R_v = nR_v. \quad (5)$$

Priama metóda

Na obrázku 1 je podľa [1] uvedená schéma zapojenia. Pri meraní som používal zdroj napätia, ktorý umožňoval meniť napätie v obvode, t.j. do obvodu nie je nutné zapojiť potenciometer a reostat, tak ako je to uvedené v [1].

Spôsob zapojenia meracích prístrojov v obvode ovplyvňuje výsledky merania. V zapojení na obrázku 1 môžeme pomocou kľúča k pripojiť voltmeter buď pred ampérmetrom (poloha a) alebo za ampérmetrom (poloha b).

Vplyv meracieho prístroja na výsledok merania môžeme považovať za odstrániteľnú systematickú chybu (vplyv meracieho prístroja sa prejavuje najviac na najcitlivejších rozsahoch; vtedy je

vnútorný odpor ampérmetra najväčší a vnútorný odpor voltmetra najmenší). Záleží na presnosti meracieho prístroja, kedy má význam previesť korekciu výsledku merania na túto systematickú chybu.

Pri polohe *a* voltmetrom zmeriame napätie nielen na odpore *R*, ale aj na ampérmetri *A*. Toto zapojenie je výhodne, keď vnútorný odpor R_A ampérmetra je omnoho menší ako meraný odpor *R* ($R_A \ll R$). Prúd voltmetrom výsledok merania v tomto prípade neovplyvní.

Pri zapojení kľúča v polohe *a* meriame správne prúd *I* tečúci meraným odporom ($I = I_R$), avšak napätie *U* meriame na sériovej kombinácii odporov *R* a R_A . Aby sme dostali správnu hodnotu odporu *R*, musíme od hodnoty vypočítanej podľa (1) odpočítať vnútorný odpor ampérmetra

$$R = \frac{U}{I} - R_A. \quad (6)$$

V polohe *b* zmeriame správne napätie na rezistore *R*, avšak ampérmeter meria prúd tečúci rezistorom *R*, ale aj voltmetrom *V*. Vplyv vnútorného odporu R_V voltmetra sa prejavuje tým menej, čím bude odpor R_V väčší ako meraný odpor *R*.

Ak potrebujeme previesť korekciu na prúd tečúci voltmetrom (poloha *b*), musíme uvažovať, že odpory R_V a *R* sú zapojené paralelne. Správnu hodnotu odporu určíme zo vzťahu

$$\frac{1}{R} = \frac{I}{U} - \frac{1}{R_V}. \quad (7)$$

Ak meraná hodnoty odporu *R* závisí iba pretekajúcom prúde, tak platí, že prúd *I* meraný ampérmetrom je rovný súčtu prúdu tečúceho odporom *R* a R_V . Prúd I_R odporom *R* vypočítame podľa

$$I_R = I \left(1 + \frac{R}{R_V} \right)^{-1}. \quad (8)$$

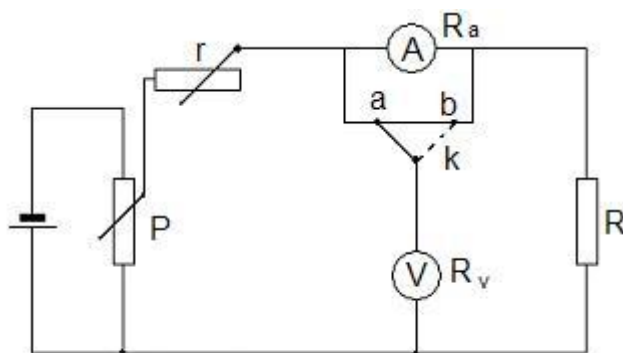
Substitučná metóda

Na obrázku 2 je podľa [1] uvedená schéma zapojenia. Pri meraní som používal zdroj napätia, ktorý umožňoval meniť napätie v obvode, t.j. do obvodu nie je nutné zapojiť potenciometer, tak ako je to uvedené v [1].

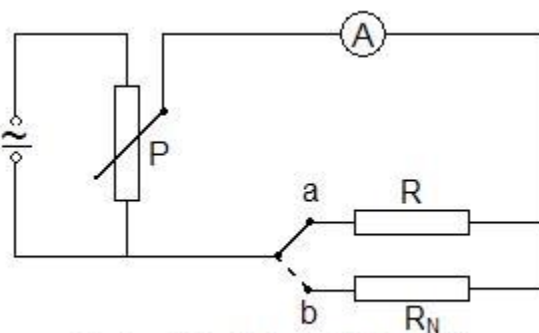
Pri meraní substitučnou metódou porovnávame meraný odpor s referenčným odporom. V polohe *a* (*R* je meraný odpor) nastavíme prúd na nejakú pevne danú výchylku ampérmetra (v dvoch tretinách stupnice ampérmetra). Prepne do polohy *b*, kde sa snažíme nastaviť odpor na odporovej dekáde tak, aby výchylky na ampérmetri bola rovnaká ako pri meraní v polohe *a*. Pred prepnutím sa musíme presvedčiť, že na rezistore R_N je nastavená dostatočne veľká hodnota odporu, aby nedošlo k preťaženiu ampérmetra. Odpor nastavený na odporovej dekáde R_N je potom zhodný s meraným odporom *R*.

Výsledky merania:

Na jednotlivé merania som používal miliampérmeter triedy presnosti 0,2 a voltmeter triedy presnosti 0,5. Na základe toho som podľa [2] určil chybu určenia napätia resp. prúdu pri jednotlivých rozsahoch.



Obrázok 1 - Priama metóda



Obrázok 2 - Substitučná metóda

Pomocou substitučnej metódy som určil vnútorný odpor miliampérmetra a voltmetra, ktoré som používal v úlohe 1, namerané hodnoty sú uvedené v *tabuľke 1*. Chybu odporovej dekády odhadujem na 0,5 % z nastaveného odporu. Chybu určenia odporu meracích prístrojov σ odhadujem podľa chyby odporovej dekády a podľa toho, že pri zmene odporu na odporovej dekáde sa výchylka na miliampérmetri ustálila až po určitej dobe.

Na miliampérmetri boli výrobcom uvedené hodnoty vnútorného odporu pri jednotlivých rozsahoch. Na voltmetri bola uvedená hodnota vnútorného odporu $1k\Omega/1V$. Pri určovaní odporu voltmetra som na miliampérmetri nastavil hodnotu $1mA$, a tým som mohol porovnať hodnotu odporu na odporovej dekáde s teoretickou hodnotou určenou podľa výchylky na voltmetri (podľa použitého rozsahu). Tieto teoretické hodnoty odporu sú takisto uvedené v *tabuľke 1*.

Tabuľka 1 – Vnútorné odpory meracích prístrojov

voltmeter				miliampérmeter			
rozsah [V]	odpor R_V [Ω]	S_{R_V} [Ω]	R_{Vteo} [Ω]	rozsah [mA]	odpor R_A [Ω]	S_{R_A} [Ω]	R_{Ateo} [Ω]
1,2	1200	2	1200	1,5	109,5	1,0	110,0
2,4	2405	5	2400	3,0	82,0	1,0	83,0
12,0	12010	10	12000	7,5	39,0	0,5	10,0
24,0	24010	20	24000	15,0	20,5	0,5	21,0
				30,0	10,3	0,5	11,0

Pomocou priamej metódy som určoval závislosť odporu vlákna žiarovky na pretekajúcom prúde.

Podľa Ohmovho zákona $R = \frac{U}{I}$ som určil odpor vlákna žiarovky, ktorý označujem R_a resp. R_b .

Namerané a vypočítané hodnoty pre polohu a sú uvedené v *tabuľke 2*, pre polohu b v *tabuľke 3*. Namerané hodnoty sa líšia od skutočných v závislosti na spôsobe zapojenia meracích prístrojov (poloha a alebo poloha b). Podľa vzťahov (6) a (7) som určil korigované hodnoty odporu vlákna žiarovky, ktoré označujem R_a^k resp. R_b^k , vid' [1]. Chybu jednotlivých veličín označujem σ a určil som ich podľa kvadratického zákona prenosu chýb, vid' [2]. Chyba prúdu a napätia je daná chybou meracích prístrojov.

Tabuľka 2 – Meranie odporu v polohe a

I [mA]	σ_I [mA]	U [V]	σ_U [V]	R_a [Ω]	S_{R_a} [Ω]	R_a^k [Ω]	$S_{R_a^k}$ [Ω]
0,500	0,003	0,115	0,006	230,0	12,1	120,5	12,1
0,750	0,003	0,150	0,006	200,0	8,0	90,5	8,1
1,000	0,003	0,205	0,006	205,0	6,0	95,5	6,1
1,250	0,003	0,255	0,006	204,0	4,8	94,5	4,9
1,50	0,01	0,315	0,006	210,0	4,2	128,0	4,3
1,75	0,01	0,375	0,006	214,3	3,6	132,3	3,7
2,00	0,01	0,440	0,006	220,0	3,2	138,0	3,4
2,25	0,01	0,500	0,006	222,2	2,8	140,2	3,0
2,75	0,01	0,565	0,006	205,5	2,3	123,5	2,5
3,00	0,02	0,630	0,006	210,0	2,4	171,0	2,6
3,25	0,02	0,700	0,006	215,4	2,3	176,4	2,5
3,50	0,02	0,785	0,006	224,3	2,1	185,3	2,3
3,75	0,02	0,855	0,006	228,0	2,0	189,0	2,2
4,00	0,02	0,950	0,006	237,5	1,9	198,5	2,1
5,00	0,02	1,50	0,01	300,0	2,3	261,0	2,5
6,00	0,02	1,96	0,06	326,7	10,1	287,7	10,1
7,00	0,02	2,55	0,06	364,3	8,6	325,3	8,7
8,00	0,03	3,10	0,06	387,5	7,6	367,0	7,6
9,00	0,03	3,75	0,06	416,7	6,8	396,2	6,8
10,00	0,03	4,50	0,06	450,0	6,2	429,5	6,2
11,00	0,03	5,20	0,06	472,7	5,6	452,2	5,6

12,00	0,03	6,05	0,06	504,2	5,2	483,7	5,2
13,00	0,03	6,95	0,06	534,6	4,8	514,1	4,8
14,00	0,03	7,85	0,06	560,7	4,5	540,2	4,5
15,0	0,1	8,75	0,06	583,3	5,6	573,0	5,6
16,0	0,1	9,70	0,06	606,3	5,3	596,0	5,3
17,0	0,1	10,70	0,06	629,4	5,1	619,1	5,1
18,0	0,1	11,75	0,06	652,8	4,9	642,5	4,9
19,0	0,1	12,9	0,1	678,9	6,4	668,6	6,4
20,0	0,1	14,0	0,1	700,0	6,1	689,7	6,1
21,0	0,1	15,2	0,1	723,8	5,9	713,5	5,9
22,0	0,1	16,4	0,1	745,5	5,7	735,2	5,7
23,0	0,1	17,6	0,1	765,2	5,5	754,9	5,5
24,0	0,1	19,1	0,1	795,8	5,3	785,5	5,3
25,0	0,1	20,3	0,1	812,0	5,2	801,7	5,2
26,0	0,1	21,6	0,1	830,8	5,0	820,5	5,0
27,0	0,1	23,0	0,1	851,9	4,9	841,6	4,9

Tabuľka 3 – Meranie odporu v polohe b

$I [mA]$	$\sigma_I [mA]$	$U [V]$	$\sigma_U [V]$	$R_b [\Omega]$	$S_{R_b} [\Omega]$	$R_b^k [\Omega]$	$S_{R_b} [\Omega]$
0,500	0,003	0,055	0,006	110,0	12,0	121,1	14,5
0,750	0,003	0,080	0,006	106,7	8,0	117,1	9,6
1,000	0,003	0,110	0,006	110,0	6,0	121,1	7,3
1,25	0,01	0,140	0,006	112,0	4,9	123,5	6,0
1,50	0,02	0,170	0,006	113,3	4,3	125,1	5,2
1,75	0,02	0,200	0,006	114,3	3,7	126,3	4,5
2,00	0,02	0,220	0,006	110,0	3,2	121,1	3,9
2,25	0,02	0,280	0,006	124,4	2,9	138,8	3,6
2,50	0,02	0,320	0,006	128,0	2,6	143,3	3,3
2,75	0,02	0,355	0,006	129,1	2,4	144,7	3,0
3,00	0,02	0,405	0,006	135,0	2,2	152,1	2,8
3,25	0,02	0,460	0,006	141,5	2,0	160,4	2,6
3,50	0,02	0,520	0,006	148,6	1,9	169,6	2,5
3,75	0,02	0,575	0,006	153,3	1,8	175,8	2,4
4,00	0,02	0,630	0,006	157,5	1,7	181,3	2,3
5,00	0,02	0,925	0,006	185,0	1,4	218,7	2,0
6,00	0,02	1,46	0,01	243,3	1,9	270,7	2,4
7,00	0,03	1,87	0,01	267,1	1,8	300,5	2,3
8,00	0,03	2,85	0,06	356,3	7,6	367,2	8,1
9,00	0,03	3,55	0,06	394,4	6,8	407,8	7,3
10,00	0,03	4,15	0,06	415,0	6,1	429,9	6,5
11,00	0,03	4,85	0,06	440,9	5,6	457,7	6,0
12,00	0,03	5,55	0,06	462,5	5,1	481,0	5,5
13,00	0,03	6,35	0,06	488,5	4,8	509,2	5,2
14,00	0,03	7,20	0,06	514,3	4,4	537,3	4,8
15,0	0,1	8,10	0,06	540,0	5,4	565,4	5,9
16,0	0,1	9,00	0,06	562,5	5,1	590,1	5,6
17,0	0,1	9,85	0,06	579,4	4,9	608,8	5,4
18,0	0,1	10,90	0,06	605,6	4,7	637,8	5,2
19,0	0,1	12,3	0,1	647,4	6,3	665,3	6,7
20,0	0,1	13,4	0,1	670,0	6,0	689,2	6,3
21,0	0,1	14,5	0,1	690,5	5,8	710,9	6,1
22,0	0,1	15,5	0,1	704,5	5,6	725,8	5,9
23,0	0,1	16,6	0,1	721,7	5,4	744,1	5,7

24,0	0,1	17,8	0,1	741,7	5,2	765,3	5,5
25,0	0,1	19,0	0,1	760,0	5,0	784,8	5,3
26,0	0,1	20,2	0,1	776,9	4,9	802,9	5,2
27,0	0,1	21,5	0,1	796,3	4,7	823,6	5,0
28,0	0,1	22,8	0,1	814,3	4,6	842,9	4,9
29,0	0,1	24,0	0,1	827,6	4,5	857,1	4,8

Pomocou substitučnej metódy som takisto určil závislosť odporu vlákna žiarovky na pretekajúcom prúde od najmenších prúdov až do 25 mA. Namerané hodnoty sú uvedené v tabuľke 4, v ktorej sú aj vypočítané hodnoty príkonu vlákna žiarovky.

Chyba určenia prúdu je daná chybou miliampérmetra, chybu odporovej dekády odhadujem na 0,5 % z nameranej hodnoty.

Príkon vlákna žiarovky som vypočítal podľa

$$P = RI^2, \quad (9)$$

príčom chybu príkonu som určil podľa kvadratického zákona prenosu chýb, viď [2].

Tabuľka 4 – Závislosť odporu vlákna žiarovky na prúde meraná substitučnou metódou

I [mA]	σ_I [mA]	R [Ω]	σ_R [Ω]	P [mW]	σ_P [mW]
0,200	0,003	117	1	0,0047	0,0001
0,245	0,003	117	1	0,0070	0,0002
0,390	0,003	118	1	0,0179	0,0003
0,505	0,003	119	1	0,0303	0,0004
0,650	0,003	120	1	0,0507	0,0006
0,755	0,003	121	1	0,069	0,001
1,000	0,003	124	1	0,120	0,001
1,68	0,01	135	1	0,38	0,01
2,00	0,01	141	1	0,56	0,01
2,55	0,01	158	1	1,00	0,01
2,95	0,01	180	1	1,60	0,01
3,50	0,02	206	1	2,50	0,03
4,00	0,02	232	1	3,70	0,04
5,00	0,02	278	1	7,0	0,1
6,00	0,02	318	2	11,4	0,1
7,00	0,02	353	2	17,3	0,1
8,00	0,03	389	2	24,9	0,2
9,00	0,03	420	2	34,0	0,3
10,00	0,03	451	2	45,1	0,3
11,00	0,03	477	2	57,7	0,4
12,00	0,03	505	3	72,7	0,6
13,00	0,03	532	3	89,9	0,7
14,00	0,03	556	3	109,0	0,8
15,0	0,1	583	3	131,2	1,9
16,0	0,1	607	3	155,4	2,1
17,0	0,1	629	3	181,8	2,3
18,0	0,1	652	3	211,2	2,5
19,0	0,1	676	3	244,0	2,8
20,0	0,1	697	3	278,8	3
21,0	0,1	719	4	317,1	3,5
22,0	0,1	738	4	357,2	3,8
23,0	0,1	760	4	402,0	4,1
24,0	0,1	782	4	450,4	4,4
25,0	0,1	803	4	501,9	4,7

Závislosť odporu vlákna žiarovky na pretekajúcom prúde nameraná pomocou priamej a substitučnej metódy je znázornená v grafe 1. Závislosť odporu na príkone vlákna žiarovky je znázornená v grafe 2 (v grafe sú znázornené body určené pomocou substitučnej metódy).

Odpor R_0 žiarovky pri izbovej teplote som určil z nameraných hodnôt pri malých prúdoch pretekajúcich vláknom žiarovky. Z grafu 2 nemôžeme priamo určiť odpor vlákna žiarovky pri izbovej teplote, a preto uvažujem len namerané body, pri ktorých je závislosť odporu vlákna žiarovky na príkone lineárna – táto závislosť je znázornená v grafe 3.

Túto závislosť som preložil priamkou $R = aP + R_0$, kde R je odpor vlákna žiarovky, P je príkon a R_0 je odpor vlákna žiarovky pri izbovej teplote. Koeficienty a , R_0 a ich chyby som určil podľa programu *Origin*.

Bod, v ktorom preložená priamka pretne os y (os, na ktorú sa vynáša odpor), zodpovedá odporu R_0 žiarovky pri izbovej teplote.

Pre R_0 som určil hodnotu

$$R_0 = (117 \pm 1) \Omega.$$

Diskusia výsledkov:

Meranie priamou metódou

Z nameraných hodnôt v tabuľkách 2 a 3 vyplýva, že pri meraní odporu nemôžeme zanedbať vnútorný odpor meracích prístrojov (a to predovšetkým pri najcitlivejších rozsahoch). V ideálnom prípade by mal byť vnútorný odpor voltmetra nekonečný a vnútorný odpor ampérmetra nulový.

Pri meraní v polohe a , keď je voltmeter pred miliampérmetrom, sa prejavuje vnútorný odpor ampérmetra. Z tabuľky 2 vyplýva, že so zväčšujúcim prúdom (a tým so znižujúcim vnútorným odporom ampérmetra) sa znižuje rozdiel medzi nekorigovaným a korigovaným odporom.

Pri meraní v polohe b , keď je miliampérmeter pred voltmetrom, sa prejavuje vnútorný odpor voltmetra. Z tabuľky 3 vyplýva, že so zväčšujúcim prúdom (a tým so zväčšujúcim vnútorným odporom voltmetra) sa znižuje rozdiel medzi nekorigovaným a korigovaným odporom.

V grafe 1 je znázornená závislosť odporu vlákna žiarovky na pretekajúcom prúde. Z tabuliek 1, 2 a z grafu 1 vyplýva, že korigované hodnoty odporu v polohe a a v polohe b sa dobre zhodujú. V grafe sú znázornené aj hodnoty namerané pomocou substitučnej metódy – hodnoty odporu určené všetkými tromi metódami sa v rámci chyby zhodujú.

Chyba určovania odporu priamou metódou je daná chybou meracích prístrojov a chybou určenia vnútorných odporov meracích prístrojov. Ak by sme nepreviedli korekciu na vnútorný odpor, prejavila by sa systematická chyba, ktorá je vyššia ako chyba merania.

Namerané hodnoty vnútorných odporov (tabuľka 1) sa dobre zhodujú s teoretickými hodnotami uvedenými na meracích prístrojoch.

Meranie substitučnou metódou

Meranie substitučnou metódou nie je ovplyvnené systematickými chybami danými vnútorným odporom meracích prístrojov. Presnosť tejto metódy závisí iba na rozlišovacej schopnosti miliampérmetra a presnosti odporovej dekády (chybu merania som odhadol podľa toho, o koľko som mohol zmeniť odpor na odporovej dekáde bez zmeny výchylky na ampérmetri).

Chyba vypočítaná pri tejto metóde je menšia ako chyba vypočítaná pri priamej metóde, a preto na určenie odporu pri izbovej teplote som použil hodnoty namerané pomocou substitučnej metódy. Táto závislosť je takisto zobrazená v grafe 1.

V grafe 2 je zobrazená závislosť odporu na príkone (smernica dotyčnice klesá s rastúcim príkonom). Táto závislosť sa dá dobre popísať súčtom exponenciál.

V grafe 3 je znázornených prvých šesť bodov z grafu 2. Tieto body som preložil priamkou a na základe jej rovnice som určil odpor vlákna žiarovky pri izbovej teplote.

Záver:

Substitučnou metódou som určil vnútorný odpor miliampérmetra a voltmetra pri jednotlivých rozsahoch, ktoré som používal pri meraní. Namerané hodnoty sú uvedené v *tabuľke 1*. Tieto hodnoty som porovnal s teoretickými hodnotami.

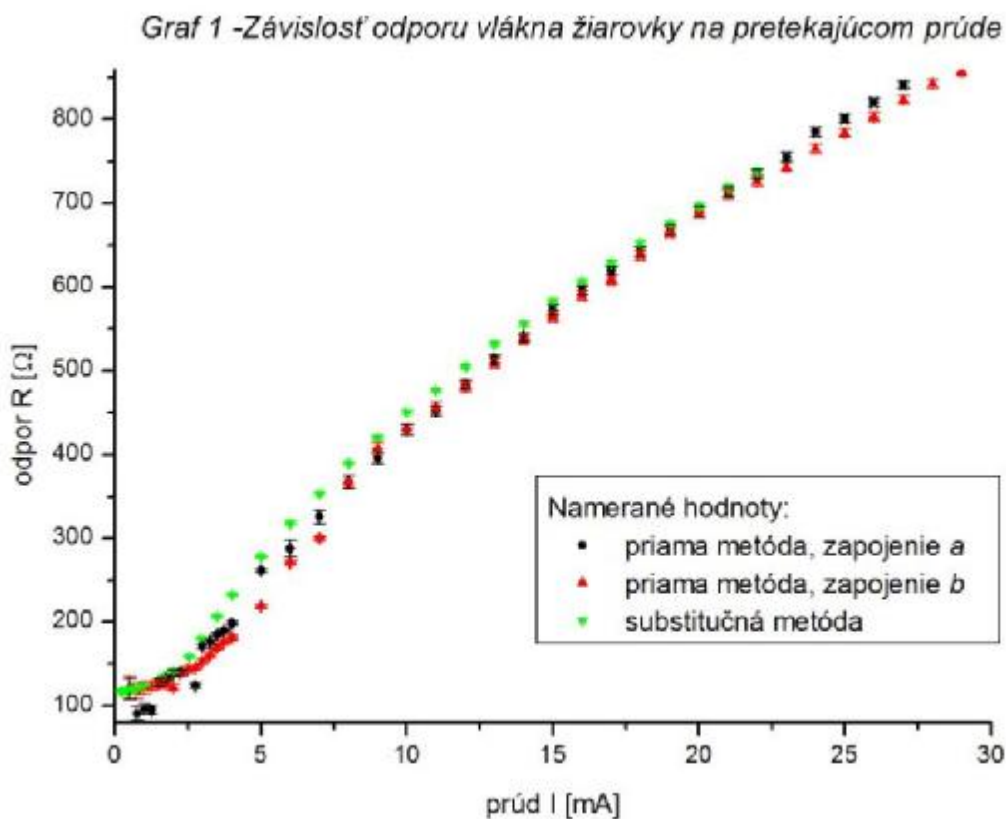
Závislosť odporu vlákna žiarovky na pretekajúcom prúde som určoval priamou metódou (pre dva spôsoby zapojenia meracích prístrojov – poloha *a* (*tabuľka 2*); poloha *b* (*tabuľka 3*)) a substitučnou metódou (*tabuľka 4*).

Extrapoláciou závislosti odporu vlákna žiarovky na príkone (*graf 2 a 3*) som určil odpor vlákna žiarovky pri izbovej teplote R_0

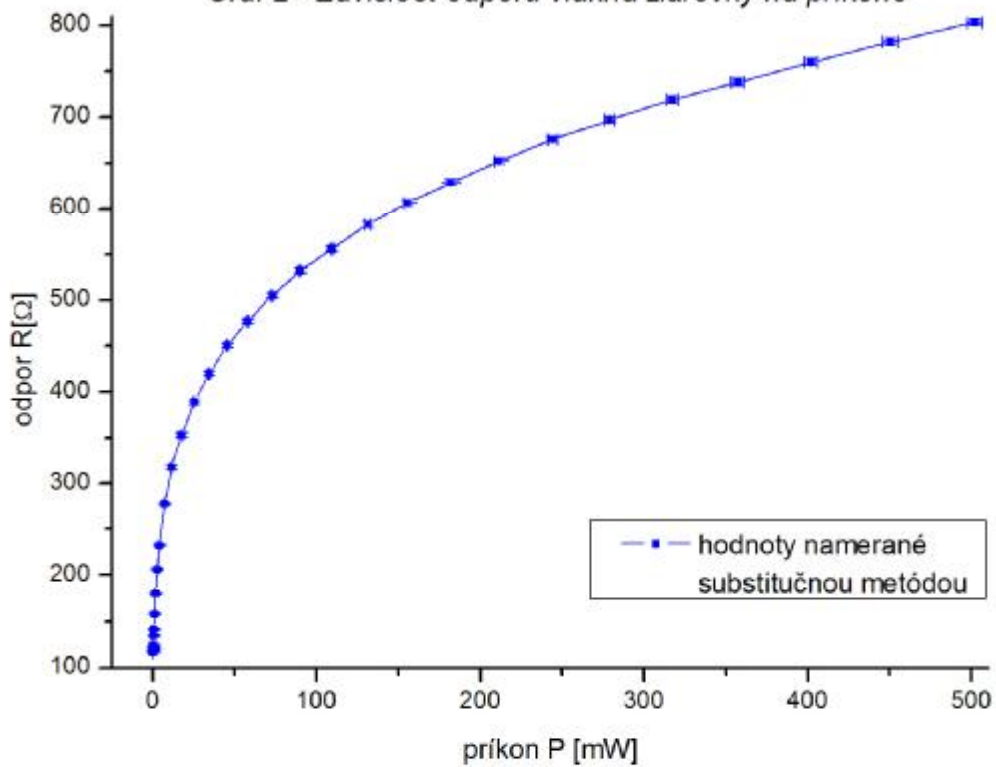
$$R_0 = (117 \pm 1) \Omega.$$

Literatúra:

- [1] Bakule, J.; Štenberk: Fyzikálne praktikum II; SPN; Praha 1989
- [2] English, J.; Zpracování výsledků fyzikálních měření, LS 1999/2000



Graf 2 - Závislosť odporu vlákna žiarovky na príkone



Graf 3 - Závislosť odporu vlákna žiarovky na príkone pri malých prúdoch

