

## Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

### PRAKTIKUM III

Úloha č.: 04

Název: Meranie fotometrického diagramu. Fotometrické veličiny a ich jednotky.

Vypracoval: Viktor Babjak.....stud. sk. F 11 ..... dne: 03. 05. 2006

Odevzdal dne: .....

#### Hodnocení:

Připomínky:

- komentár ku tabuľke 2: „Pripadá mi, že  $\sigma_J$  máte podhodnotené v 1. riadku: relatívna chyba  $J$  je 1,5 %, kým relatívna chyba  $r_2$  je 1,9 %.“
- v diskusii komentár k časti *Fotometrické diagramy žiarovky*: „Z tabuliek nevyplýva, že relatívna chyba merania je 10 %.“
- komentár ku časti *Plošný zdroj*: „Ak by to bol kosínový zdroj a chyba bola správne určená, mali by sa prekryť!“
- „V diskusii by sa mali diskutovať i výsledky – nie len veľkosti chýb. Zmienili ste sa, že žiarovky nie sú izotropné zdroje. Ako vysvetľujete asymetrie fotometrických diagramov?“

kapitola referátu	možný počet bodů	udělený počet bodů
Teoretická část	0 - 3	3
Výsledky měření	0 - 10	9
Diskuse výsledků	0 - 4	3
Závěr	0 - 2	2
Seznam použité literatury	0 - 1	1
<b>Celkem</b>	max. 20	<b>18</b>

## Pracovné úlohy:

1. Pomocou fotometrického luxmetra okalkulujte normálnu žiarovku (stanovte jej svietivosť). Na určenie svietivosti normálnej žiarovky (a jej chyby) vyneste do grafu závislosť osvetlenia na prevrátenej hodnote kvadrátu vzdialenosti luxmetra od žiarovky a prevedte lineárnu regresiu.
2. Lummerovým – Brodhunovým fotometrom premerajte fotometrické diagramy žiarovky 12 V / 35 W v horizontálnej i vertikálnej rovine. Ako normál použite žiarovku okalkulovanú v bode 1. Namerané výsledky spracujte graficky. V grafe vyznačte chyby nepriameho merania.
3. Lummerovým – Brodhunovým fotometrom zmerajte smerovú závislosť plošného zdroja svetla a overte platnosť Lambertovho zákona. Stanovte jas zdroja s relatívnou chybou výsledku.

## Teoretická časť:

### Fotometrické veličiny

Fotometrickými veličinami nazývame veličiny, ktoré charakterizujú vnem svetla v ľudskom oku. Základnou fotometrickou veličinou v sústave SI je *svietivosť*, ktorá charakterizuje schopnosť bodového zdroja vyvolať v danom bode zrakový vnem – jej jednotkou je kandela *cd*. Pri anizotropných zdrojoch závisí svietivosť na smere; priestorové rozloženie svietivosti sa znázorňuje pomocou fotometrických diagramov – z pevného bodu, ktorý stotožňujeme so zdrojom, vynášame vektory všetkých možných smerov také, že veľkosť každého vektoru udáva svietivosť zdroja v príslušnom smere, vid' [1].

Svetelný tok  $\Phi$  vysielaný bodovým zdrojom so svietivosťou  $J$  do priestorového uhla  $d\Omega$  v danom smere je definovaný vzťahom – jednotkou svetelného toku je *lumen*, vid' [1]

$$d\Phi = J d\Omega. \quad (1)$$

Pre plošné svetelné zdroje sa zavádza *jas*  $B$ . Pre jas  $B_v$  v smere  $v$  (uhol od kolmice v strede zdroja, vid' obr. 3,1 v [1]) platí

$$B_u = \frac{J_u}{S \cos u}, \quad (2)$$

kde  $J_v$  je svietivosť zdroja v smere  $v$  a  $S$  je plocha zdroja.

Pre kosínové žiariče platí *Lambertov zákon*, vid' [1]

$$J_u = J_0 \cos u, \quad (3)$$

kde  $J_0$  je svietivosť zdroja v smere normály, t.j.  $u = 0$ . Potom (2) prejde na jednoduchý tvar

$$B = \frac{J_0}{S}. \quad (4)$$

Osvetlením  $E$  danej plochy sa nazýva pomer svetelného toku  $\Phi$  dopadajúceho rovnomerne na ožarovanú plochu a veľkosti tejto plochy  $S$

$$E = \frac{\Phi}{S}. \quad (5)$$

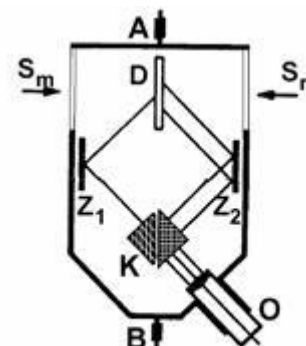
Pre bodové zdroje so svietivosťou  $J$  platí

$$E = \frac{J}{r^2} \cos u, \quad (6)$$

kde  $v$  je uhol dopadu svetelných lúčov na plochu a  $r$  je vzdialenosť zdroja od osvetľovanej plochy, vid' obr. 3,2 v [1].

### Lummerov – Brodhunov fotometer

Tento fotometer je zobrazený na obrázku 1. Pri meraní subjektívne rozhodujeme, či dve susediace plochy majú rovnaký jas. Menením vzdialenosti zdroja  $S_m$  a  $S_r$  od fotometra vyrovnávame osvetlenie dosky  $D$  oboma zdrojmi. Ak  $J_1, J_2$  sú svietivosti oboch zdrojov a  $r_1, r_2$  ich vzdialenosti od fotometra, tak podľa (6) platí



Obrázok 1

$$J_1 = J_2 \frac{r_1^2}{r_2^2}, \quad (7)$$

t.j. môžeme stanoviť svietivosť jedného zdroja, ak poznáme svietivosť druhého zdroja. Celý prístroj môžeme otočiť o  $180^\circ$ , aby sme vylúčili pri meraní nerovnomernosti v prístroji. Za výslednú hodnotu potom uvažujeme priemer týchto hodnôt.

### Výsledky meraní:

#### Kalibrácia normálovej žiarovky

Normálový zdroj svetla som okalibroval pomocou luxmetra – meral som závislosť osvetlenia  $E$  na vzdialenosti  $r$  od normálu.

Pri meraní som nastavil určitú hodnotu na luxmetri, a tak som odčítal vzdialenosť  $r$ . Chybu osvetlenia  $\sigma_E$  odhadujem na polovicu najmenšieho dielika, t.j. na  $5 \text{ lx}$ . Chybu určenia vzdialenosti  $\sigma_r$  odhadujem na  $0,1 \text{ cm}$ . Namerané hodnoty sú uvedené v tabuľke 1.

Tabuľka 1 – Závislosť osvetlenia na vzdialenosti

$r [\text{cm}]$	$E [\text{lx}]$
19,4	190
19,9	180
20,5	170
21,0	160
21,7	150
23,1	130
25,0	110
26,0	100
27,3	90
28,6	80
30,0	70
32,1	60
34,8	50
39,5	40
43,5	30

Z nameraných hodnôt som určil svietivosť normálu  $J$ . V grafe 1 je zobrazená závislosť osvetlenia na prevrátenej hodnote kvadrátu vzdialenosti luxmetra od normálu – touto závislosťou som pomocou programu *Origin* preložil priamku zodpovedajúcu teoretickému vzťahu (6), a tak som určil svietivosť  $J$

$$J = (7,0 \pm 0,1) \text{cd} .$$

#### Fotometrické diagramy žiarovky

Fotometrickým diagramom nazývame polárny graf, do ktorého vynášame svietivosť v závislosti na uhle  $\theta$ , pričom vzdialenosť nameraných bodov od počiatku udáva svietivosť.

Svietivosť som meral pomocou Lummerovho – Brodhunovho fotometra (meraní žiarovku som porovnával s normálom okalibrovaným v úlohe 1).

Pre meranie vo vertikálnej rovine som používal  $8 \text{ V}$  žiarovku, pre meranie v horizontálnej rovine  $12 \text{ V}$  žiarovku – tieto žiarovky boli pripojené na napätie  $8 \text{ V}$  resp.  $12 \text{ V}$ , aby mali rovnakú teplotu.

Pri meraní som nastavil konštantnú vzdialenosť žiarovky a fotometra  $r_1$

$$r_1 = (35,0 \pm 0,2) \text{cm} .$$

Menil som vzdialenosť normálu od fotometra  $r_2$  tak, aby som pozoroval rovnaký jas z oboch zdrojov. Pre každý uhol  $\theta$  som určil dve vzdialenosti  $r_2$  – súvisí to s dvoma pozíciami fotometra, ktoré sú navzájom otočené o  $180^\circ$ . Za výslednú hodnotu  $r_2$  považujem ich aritmetický priemer.

Chybu určenia jednej vzdialenosti  $r_2$  pri meraní fotometrického diagramu v horizontálnej rovine odhadujem na  $0,3 \text{ cm}$  a pri meraní vo vertikálnej rovine na  $0,5 \text{ cm}$ . Chybu nastavenia uhla  $\Theta$  pri meraní v horizontálnej rovine odhadujem na  $2^\circ$  a pri meraní vo vertikálnej rovine na  $4^\circ$ .

Z nameraných hodnôt som podľa vzťahu (7) vypočítal svietivosť žiarovky  $J$ , pričom jej chybu som určil podľa kvadratického zákona prenosu chýb, vid' [2].

Namerané a vypočítané hodnoty pre meranie fotometrického diagramu v horizontálnej rovine sú uvedené v *tabuľke 2* a pre meranie vo vertikálnej rovine v *tabuľke 3*.

Fotometrické diagramy sú znázornené v *grafe 2* resp. v *grafe 3*.

*Tabuľka 2 – Závislosť svietivosti žiarovky  $J$  na uhle dopadu  $\Theta$  – horizontálna rovina*

$\Theta [^\circ]$	$r'_2 [cm]$	$r''_2 [cm]$	$r_2 [cm]$	$S_{r_2} [cm]$	$J [cd]$	$\sigma_J [cd]$
0	15,8	16,3	16,1	0,3	33,3	0,5
20	15,9	16,3	16,1	0,3	33,1	0,5
40	16,3	17,5	16,9	0,6	30,0	0,4
60	16,8	17,8	17,3	0,5	28,7	0,4
80	16,4	17,5	17,0	0,6	29,8	0,4
100	16,9	17,2	17,1	0,3	29,5	0,4
120	18,3	19,0	18,7	0,4	24,7	0,4
140	18,0	18,7	18,4	0,4	25,5	0,4
160	16,6	17,5	17,1	0,4	29,5	0,4
180	15,6	16,4	16,0	0,4	33,5	0,5
200	17,0	16,0	16,5	0,5	31,5	0,5
220	16,1	17,1	16,6	0,5	31,1	0,4
240	16,3	17,0	16,7	0,4	30,9	0,4
260	15,5	16,1	15,8	0,3	34,3	0,5
280	16,4	16,0	16,2	0,3	32,7	0,5
300	18,7	19,1	18,9	0,3	24,0	0,3
320	17,9	18,6	18,3	0,4	25,7	0,4
340	16,6	17,8	17,2	0,6	29,0	0,4
350	16,7	16,3	16,5	0,3	31,5	0,4

*Tabuľka 3 – Závislosť svietivosti žiarovky  $J$  na uhle dopadu  $\Theta$  – vertikálna rovina*

$\Theta [^\circ]$	$r'_2 [cm]$	$r''_2 [cm]$	$r_2 [cm]$	$S_{r_2} [cm]$	$J [cd]$	$\sigma_J [cd]$
0	22,8	23,6	23,2	0,5	15,9	0,2
10	22,4	23,7	23,1	0,7	16,1	0,2
20	21,8	23,0	22,4	0,6	17,1	0,2
30	21,5	22,3	21,9	0,5	17,9	0,3
40	21,8	22,3	22,1	0,5	17,6	0,3
50	21,9	22,6	22,3	0,5	17,3	0,2
60	21,8	22,3	22,1	0,5	17,6	0,3
70	22,0	21,8	21,9	0,5	17,9	0,3
80	21,7	21,9	21,8	0,5	18,0	0,3
90	21,7	22,1	21,9	0,5	17,9	0,3
100	21,8	22,2	22,0	0,5	17,7	0,3
110	21,8	22,2	22,0	0,5	17,7	0,3
120	21,9	22,5	22,2	0,5	17,4	0,2
130	21,9	22,8	22,4	0,5	17,2	0,2
140	22,0	22,8	22,4	0,5	17,1	0,2
150	23,1	23,0	23,1	0,5	16,1	0,2
160	23,2	23,5	23,4	0,5	15,7	0,2
170	23,1	24,0	23,6	0,5	15,5	0,2
180	23,5	24,3	23,9	0,5	15,0	0,2

Pri meraní fotometrického diagramu vo vertikálnom smere som meral od krajnej polohy, ktorú dovoľovala daná aparátúra, t.j. od uhla  $80^\circ$  na danej stupnici.

*Plošný zdroj*

Na meranie som používal kruhový plošný zdroj s priemerom  $d$

$$d = (28 \pm 1) \text{ mm},$$

Pričom chybu určenia  $\sigma_d$  odhadujem.

Pomocou Lummerovho – Brodhunovho fotometra som meral závislosť svietivosti na uhle  $\nu$ , t.j. na uhle natočenia zdroja od kolmice.

Pri meraní som nastavil konštantnú vzdialenosť plošného zdroja a fotometra  $r_1$

$$r_1 = (25,0 \pm 0,2) \text{ cm}.$$

Menil som vzdialenosť normálu od fotometra  $r_2$  tak, aby som pozoroval rovnaký jas z oboch zdrojov. Pre každý uhol  $\nu$  som určil dve vzdialenosti  $r_2$ . Za výslednú hodnotu  $r_2$  považujem ich aritmetický priemer. Chybu určenia jednej vzdialenosti  $r_2$  odhadujem na 1 cm. Chybu nastavenia uhla  $\nu$  odhadujem na  $2^\circ$ .

Z nameraných hodnôt som podľa vzťahu (7) vypočítal svietivosť plošného zdroja  $J$ , pričom jej chybu som určil podľa kvadratického zákona prenosu chýb, vid' [2].

Namerané hodnoty sú uvedené v *tabuľke 4* a sú zobrazené v *grafe 4*, v ktorom je zobrazená aj teoretická závislosť (3), pričom za  $J_0$  považujem svietivosť pre  $u = 0^\circ$ , t.j.

$$J_0 = (1,80 \pm 0,05) \text{ cd}.$$

*Tabuľka 4 – Závislosť svietivosti zdroja na jeho odklone*

$\nu [^\circ]$	$r'_2 [cm]$	$r''_2 [cm]$	$r_2 [cm]$	$S_{r_2} [cm]$	$J [cd]$	$\sigma_J [cd]$
-35	55,8	58,0	56,9	1,1	1,35	0,04
-30	54,9	55,0	55,0	1,0	1,45	0,04
-25	52,7	54,8	53,8	1,0	1,51	0,04
-20	51,8	53,4	52,6	1,0	1,58	0,05
-15	51,5	52,6	52,1	1,0	1,61	0,05
-10	50,4	51,8	51,1	1,0	1,68	0,05
-5	48,9	51,0	50,0	1,0	1,75	0,05
0	48,4	50,3	49,4	1,0	1,80	0,05
5	48,6	49,5	49,1	1,0	1,82	0,05
10	49,8	51,2	50,5	1,0	1,72	0,05
15	50,5	52,3	51,4	1,0	1,66	0,05
20	51,5	54,0	52,8	1,3	1,57	0,04
25	52,8	56,6	54,7	1,9	1,46	0,04
30	54,6	57,3	56,0	1,3	1,40	0,04
35	57,0	59,5	58,3	1,3	1,29	0,04

Jas plošného zdroja  $B$  som určil podľa (4), pričom chybu  $\sigma_B$  som určil podľa kvadratického zákona prenosu chýb, vid' [2]

$$B = (2920 \pm 220) \text{ cd.m}^{-2},$$

t.j. jas  $B$  je určený s relatívnou chybou 7,5 %.

### **Diskusia:**

*Kalibrácia normálovej žiarovky*

Podľa *grafu 1* sa potvrdila lineárna závislosť osvetlenia luxmetra na  $1/r^2$ , kde  $r$  je vzdialenosť luxmetra od normálovej žiarovky. Táto závislosť je v zhode s teoretickým predpokladom (6). Z nameraných hodnôt som určil svietivosť normálu  $J = (7,0 \pm 0,1) \text{ cd}$  – relatívna chyba určenia  $J$  je 1,4 %.

### Fotometrické diagramy žiarovky

Z *grafu 2* (fotometrický diagram v horizontálnej rovine) a z *grafu 3* (fotometrický diagram vo vertikálnej rovine) vyplýva, že dané žiarovky (12 V resp. 8 V) nemôžeme považovať za izotropné zdroje, pretože ich svietivosť závisí na smere (t.j. ma uhle  $\theta$ ).

Meranie fotometrických diagramov je zaťažené vysokou chybou. Chyby spôsobené nerovnosťami fotometra som sa snažil odstrániť tým, že pre každé natočenie žiarovky som urobil dve merania v dvoch rôznych pozíciách fotometra. Svetlo normálu a svetlo žiarovky nemali rovnakú farbu, a preto bolo ťažké rozoznať, kedy majú rovnaký jas. A preto relatívnu chybu tohto merania odhadujem na 10 %, t.j. vysoká chyba meranie súvisí so subjektivitou merania.

### Plošný zdroj

V *grafe 4* je znázornená smerová závislosť svietivosti plošného zdroja. Použitý plošný zdroj spĺňa Lambertov zákon len približne, pretože nameraná závislosť klesá rýchlejšie ako teoretická závislosť (3). Je to pravdepodobne spôsobené chybou merania a takisto tým, že použitý plošný zdroj nemôžeme presne považovať za kosínový žiarič.

Toto meranie bolo presnejšie, lebo použitý normál a plošný zdroj mali skoro rovnakú farbu.

Z nameraných hodnôt som s relatívnou chybou 7,5 % určil jas zdroja  $B = (2920 \pm 220) \text{cd.m}^{-2}$ .

### Záver:

Pomocou luxmetra Metra som okalibroval normálovú žiarovku, a tak som podľa lineárnej regresie určil jej svietivosť  $J$ , vid' *graf 1*

$$J = (7,0 \pm 0,1) \text{cd} .$$

Pomocou okalibrovaného normálu som určil fotometrické diagramy žiaroviek v horizontálnej a vertikálnej rovine, vid' *graf 2* resp. *graf 3*.

Pre plošný zdroj som určil smerovú závislosť svietivosti, vid' *graf 4*, a tým som overil platnosť Lambertovho zákona. Určil som jas  $B$  plošného zdroja

$$B = (2920 \pm 220) \text{cd.m}^{-2}$$

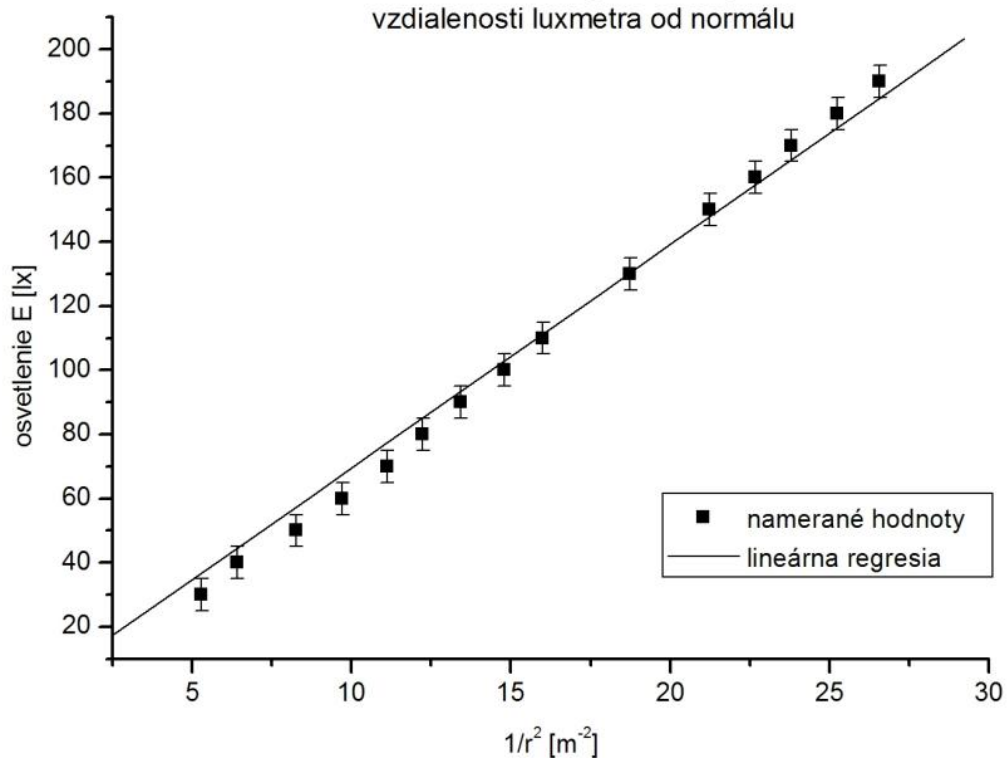
s relatívnou chybou 7,5 %.

### Literatúra:

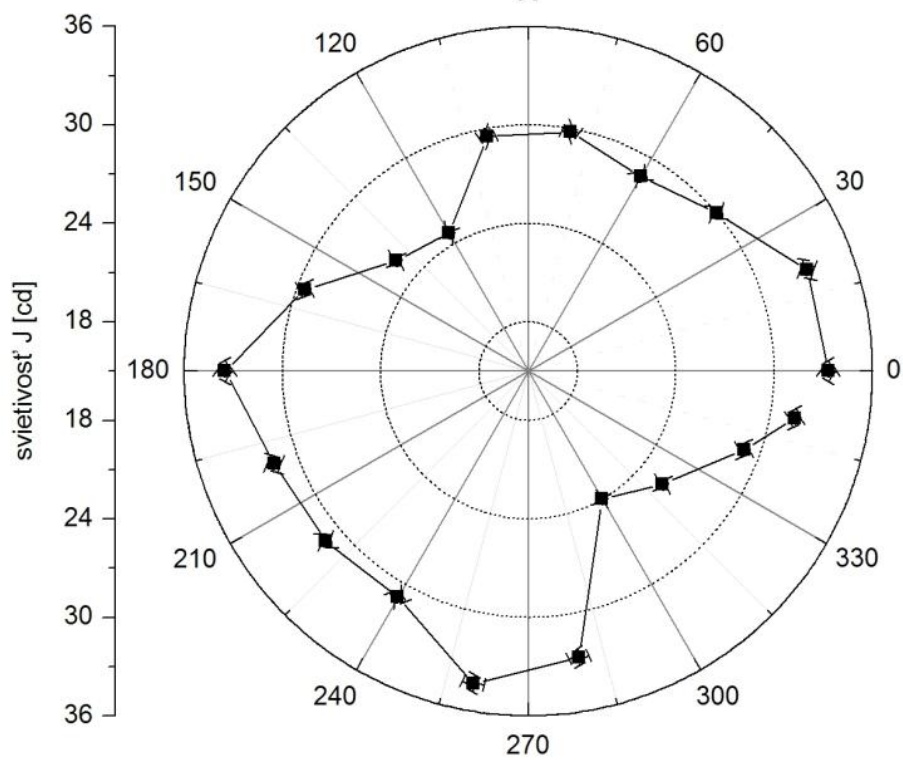
[1] Ivan Pelant a kol.; Fyzikální praktikum III, Praha, 2001

[2] English, J.; Zpracování výsledků fyzikálních měření, Praha, 1999

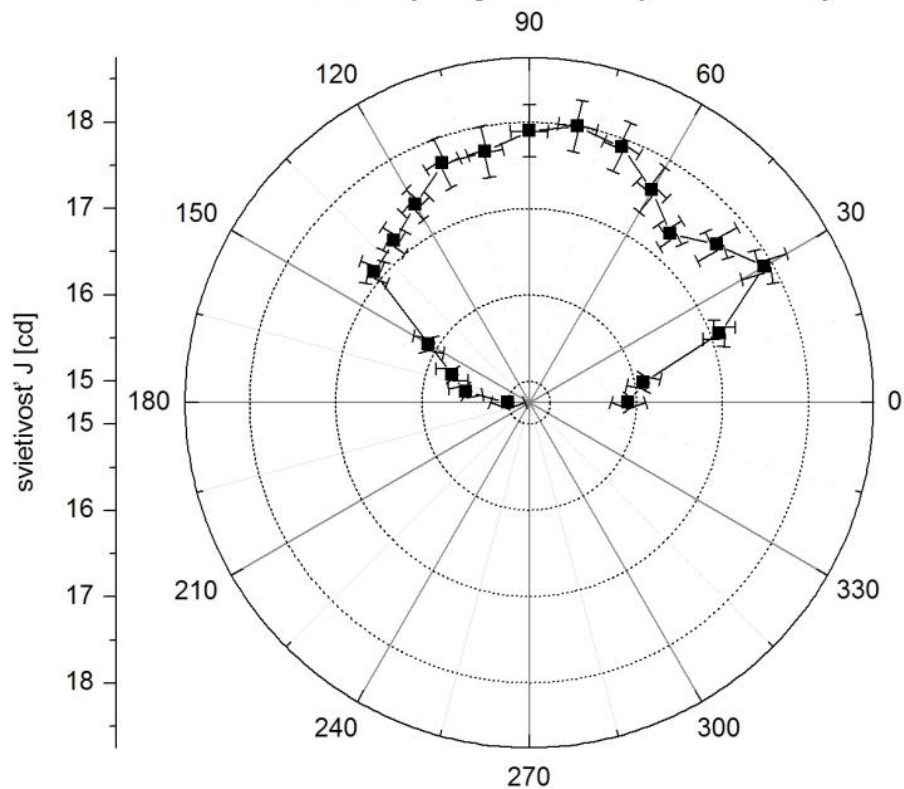
Graf 1 - Závislosť osvetlenia na prevrátenej hodnote kvadrátu vzdialenosti luxmetra od normálu



Graf 2 - Fotometrický diagram žiarovky v horizontálnej rovine 90



Graf 3 - Fotometrický diagram žiarovky vo vertikálnej rovine



Graf 4 - Smerová závislosť svietivosti plošného zdroja

