



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta elektrotechnická
Katedra elektroenergetiky**

Kalibrace luxmetrů a spektrofotometru

Lux meter and Spectrophotometer calibration

Bakalářská práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Aplikovaná elektrotechnika

Vedoucí práce: Ing. Rudolf Bayer

Ondřej Krátký

Praha 2014

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

katedra elektroenergetiky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Ondřej Krátký**

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Obor: Aplikovaná elektrotechnika

Název tématu: **Kalibrace luxmetrů a spektrofotometru**

Pokyny pro vypracování:

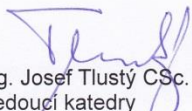
1. Proveďte kalibraci spektrofotometru fotometrické laboratoře.
2. Proveďte kalibraci vybraných luxmetrů fotometrické laboratoře.
3. Zpracujte naměřené hodnoty do kalibračních listů v přehledné formě pro použití při budoucích měřeních s danými zařízeními.

Seznam odborné literatury:

- [1] HABEL, Jiří. Světlo a osvětlování. Praha: FCC Public, 2013, 622 s. ISBN 978-80-86534-21-3.
- [2] SOKANSKÝ, Karel, Tomáš NOVÁK, Marek BÁLSKÝ, Zdeněk BLÁHA, Zbyněk CARBOL, Daniel DIVIŠ, Blahoslav SOCHA, Jaroslav ŠNOBL, Jan ŠUMPICH a Petr ZÁVADA, Světelná technika, vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 255 s. ISBN 978-80-01-04941-9.
- [3] DIN 5032-1:1999-04. Lichtmessung: Teil 1: Photometrische Verfahren. 1999.
- [4] CIE Draft Standard DS 023/E:2012. Characterization of the Performance of Illuminance Meters and Luminance Meters. Vienna: CIE, 2012.

Vedoucí: Ing. Rudolf Bayer

Platnost zadání: do konce letního semestru 2014/2015


prof. Ing. Josef Tlustý CSc.
vedoucí katedry




prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

Anotace

Tato bakalářská práce je zaměřená na kalibraci luxmetrů a spektrofotometru. Úvod práce se věnuje vybraným fyzikálním veličinám, poté se práce dělí na dva celky. První celek se zabývá teoretickým rozbohem a možnostmi kalibrace luxmetrů a její vlastní realizací. V druhém celku se zaměřuje na kalibraci spektrofotometru.

Summary

This bachelor thesis is focused on the calibration of lux meter and spectrophotometer. Introduction is devoted to description of selected physical quantities, and then the document is divided into two parts. First part deals with theoretical analysis and calibration options of lux meters and its actual implementation. The second part is focused on the calibration of the spectrophotometer.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou bakalářskou práci „Kalibraci luxmetrů a spektrofotometru“ vypracoval samostatně a použil jsem k tomu pouze literaturu, kterou uvádím v seznamu přiloženém k této bakalářské práci. Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon)

V Praze dne

.....

Ondřej Krátký

Poděkování

Tímto děkuji svému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Rudolfu Bayerovi za konzultace a pomoc při samotném měření ve světelné laboratoři. Také děkuji své rodině za podporu při studiu a tvorbě této bakalářské práce.

Obsah

1	Úvod	7
2	Vybrané fyzikální veličiny	8
2.1	Radiometrické veličiny	8
2.2	Fotometrické veličiny	9
2.3	Ostatní	11
3	Měření fotometrických veličin	13
3.1	Fotoelektrický článek	13
3.2	Měření osvětlenosti	14
3.2.1	Druhy chyb luxmetrů	15
3.2.2	Spektrální citlivost fotočlátku, spektrální chyba	15
3.2.3	Vliv směru dopadu světla	19
4	Provedení kalibrace luxmetrů	21
4.1	Měřicí pracoviště	21
4.2	Měřené luxmetry	22
4.3	Měření spektrální chyby luxmetrů	22
4.3.1	Popis postupu měření	23
4.3.2	Naměřené výsledky	23
4.3.3	Chyba $f_1(Z)_{max}$, zhodnocení	24
4.4	Měření směrové chyby	25
4.4.1	Popis postupu měření	25
4.4.2	Naměřené a vypočítané výsledky, grafy	26
4.4.3	Zhodnocení výsledků měření směrové chyby luxmetrů	28
5	Měření spekter světelných zdrojů	29
5.1	Spektrofotometr	29
5.2	Grafy spekter	29
5.3	Spektrofotometr katedry elektroenergetiky	29
5.4	Kalibrace spektrofotometru	30
5.5	Vyhodnocení kalibrace spektrofotometru	31
6	Závěr	33
7	Použitá literatura	34
8	Přílohy	35
A.	Spektra světelných zdrojů pro chybu $f_1(Z)_{max}$	35
B.	Spektrální chyba	36

C. Směrová chyba	42
D. Spektrofotometr	44

1 Úvod

Katedra elektroenergetiky ČVUT fakulty elektrotechnické má ve světelné laboratoři kalibrované i nekalibrované luxmetry. Nekalibrované luxmetry se používají zejména při výuce. Cílem této práce je posoudit přesnost těchto luxmetrů:

model	HD 450	PU 550	T - 10W _L
sériové číslo	12036718	03060895/000	80631005
		03055670/000	
	12036735	03055669/000	8018-0L-
		03060894/000	R0054-12

Luxmetry jsou nejčastěji využívané přístroje ve fotometrii. Proto je důležité, aby jimi naměřené hodnoty osvětlenosti byly co nejpřesnější. Pro posouzení kvality luxmetrů je proto celkem definováno jedenáct druhů chyb. Jedním z cílů této bakalářské práce je změřit dvě nejdůležitější chyby pro vybrané luxmetry – konkrétně spektrální a směrovou chybu.

Spektrální chybu určím porovnáním naměřených hodnot osvětlenosti vybranými luxmetry s naměřenou hodnotou osvětlenosti referenčního luxmetru radiolux 121217. Směrovou chybu určím nejen pro luxmetry uvedené v tabulce, ale i pro radiolux 121217. V tomto měření nebude radiolux sloužit jako referenční přístroj.

Ve světelné laboratoři je také nekalibrovaný spektrofotometr Oriol 70310. U tohoto spektrofotometru provedu porovnávací měření s kalibrovaným spektrofotometrem.

Všechny naměřené a vypočítané hodnoty budou zpracovány do přehledných tabulek. Tyto tabulky budou sloužit jako kalibrační listy pro budoucí měření s danými zařízeními.

2 Vybrané fyzikální veličiny

2.1 Radiometrické veličiny

Radiometrické veličiny popisují přenos energie elektromagnetickým zářením.

Zářivý tok Φ_e

Zářivý tok Φ_e vyjadřuje celkové množství energie vyzářené světelným zdrojem za jednu sekundu. Jednotkou zářivého toku je watt (W).

Ozáření E_e

Ozáření E_e vyjadřuje, jaké množství energie dopadne na 1 metr čtverečný plochy za sekundu.

$$E_e = \frac{d\Phi_e}{dS} \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}; \text{W}, \text{m}^{-2}) \quad (1)$$

Zářivost I_e

Zářivost I_e udává prostorovou hustotu zářivého toku zdroje v různých směrech. Zářivost lze určit pouze pro bodový zdroj, tj. pro zdroj, jehož rozměry jsou zanedbatelné v porovnání se vzdáleností zdroje od kontrolního bodu (tj. od místa měření).

$$I_e = \frac{d\Phi_e}{d\Omega} \quad (\text{W} \cdot \text{sr}^{-1}; \text{W}, \text{sr}) \quad (2)$$

kde Ω je prostorový úhel ve steradiánech (sr),

Φ_e je zářivý tok ve wattech (W).

2.2 Fotometrické veličiny

Fotometrické veličiny jsou veličiny vztažené k elektromagnetickému záření, které je viditelné lidským okem a kvantitativně hodnotí toto záření velikostí možného vizuálního vjemu.

Světelný tok Φ

Lidské oko reaguje nejen na velikost zářivého toku, ale i na spektrální složení dopadajícího světla. To znamená, že oko na některé vlnové délky reaguje při stejném zářivém toku více než na jiné. Z tohoto důvodu se zavádí veličina světelný tok Φ , jehož jednotkou je lumen (lm). Obecný vztah pro vypočítání světelného toku Φ monochromatického světla při znalosti zářivého toku Φ_e

$$\Phi(\lambda) = K(\lambda) \cdot \Phi_e(\lambda) = K_m \cdot V(\lambda) \cdot \Phi_e(\lambda) = 683 \cdot V(\lambda) \cdot \Phi_e(\lambda) \quad (3)$$

(lm; lm·W⁻¹, W; lm·W⁻¹, -, W)

kde $K(\lambda)$ je světelný účinek monochromatického záření rovná poměru světelného toku Φ a odpovídajícímu zářivému toku Φ_e .

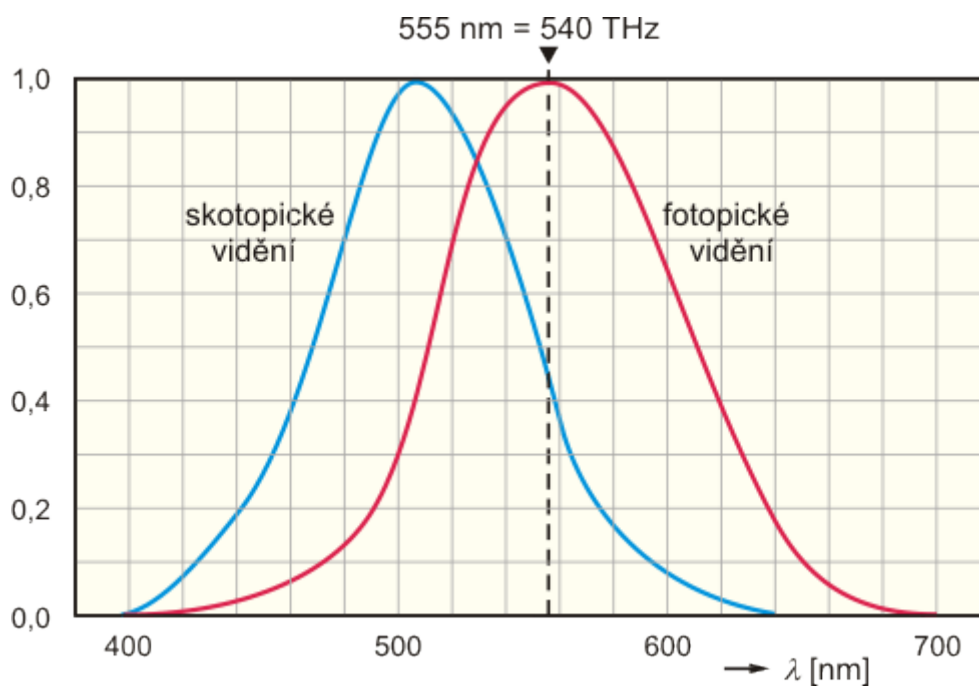
$$K(\lambda) = \frac{\Phi(\lambda)}{\Phi_e(\lambda)} \quad (\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}, \text{lm}, \text{W}) \quad (4)$$

Jeho jednotkou je lumen na watt (lm·W⁻¹). Lidské oko je nejvíce citlivé na vlnovou délku 555 nm při fotopickém (denním) vidění. V případě skotopického (nočního) vidění je nejvíce citlivé na délku 507 nm. Podle konvence se zavádí maximální citlivost K_m (světelná účinnost) pro fotopické (denní) vidění na hodnotu 683 lm·W⁻¹ a maximální citlivost K'_m pro skotopické (noční) vidění 1700 lm·W⁻¹.

Celkový světelný tok získáme součtem dílčích spektrálních světelných toků.

$V(\lambda)$ je poměrná hodnota světelného účinku monofrekvenčního záření, pro kterou platí vztah

$$V(\lambda) = \frac{K(\lambda)}{K_m} = \frac{K(\lambda)}{683} \quad (-; \text{lm} \cdot \text{W}^{-1}, \text{lm} \cdot \text{W}^{-1}) \quad (5)$$



Obrázek 1: Spektrální citlivost oka při fotopickém (denním) vidění a skotopickém (nočním) vidění [1]

Svítivost I

Svítivost I udává prostorovou hustotu světelného toku zdroje v různých směrech. Svítivost lze určit pouze pro bodový zdroj, tj. pro zdroj, jehož rozměry jsou zanedbatelné v porovnání se vzdáleností zdroje od kontrolního bodu (tj. od místa měření). Její jednotkou je kandela (cd), která je jednou ze základních jednotek soustavy SI.

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (\text{cd; lm, sr}) \quad (6)$$

kde Ω je prostorový úhel ve steradiánech (sr),

Φ je světelný tok v lumenech.

Osvětlenost (Intenzita osvětlení) E

Osvětlenost E je definována jako světelný tok Φ na jednotku plochy S . Její základní jednotkou je lux (lx).

$$E = \frac{d\Phi}{dS} \quad (\text{lx; lm, m}^2) \quad (7)$$

V případě bodového zdroje o známé svítivosti I , vzdálenosti r a úhlu α k normále plochy lze použít také vztah

$$E = \frac{I}{r^2} * \cos(\alpha) \quad (\text{lx; cd, -, m}) \quad (8)$$

Jas L

Jas je definován jako měrná jednotka svítivosti

$$L = \frac{d^2\Phi}{dS * d\Omega * \cos(\alpha)} = \frac{dI}{dS * \cos(\alpha)} \quad (\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (9)$$

2.3 Ostatní

Vlnová délka λ elektromagnetického záření

Vlnová délka je nejdůležitější parametr elektromagnetického záření. Velikost vlnové délky určuje, jakou energii E v joulech nese foton elektromagnetického záření podle vztahu

$$E = h * \frac{c}{\lambda} \quad (\text{J; J} \cdot \text{s, m} \cdot \text{s}^{-2}, \text{m}) \quad (10)$$

kde $h \doteq 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ je Planckova konstanta,

$c \doteq 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ rychlost světla ve vakuu,

λ je vlnová délka v metrech.

Normální fotometrický pozorovatel vidí vlnové délky v rozmezí asi 370 – 760 nm, tomuto elektromagnetickému záření říkáme viditelné světlo.

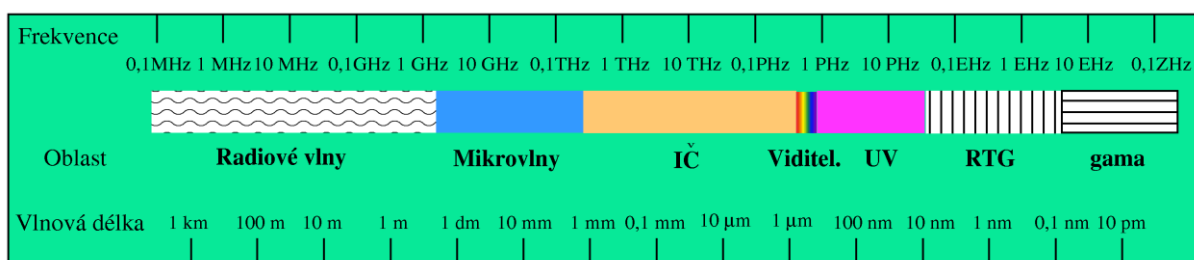
Záření o delších vlnových délkách označujeme jako:

- infračervené záření (760 nm – 1 mm)
- mikrovlnné záření (1 mm – 1 m)
- rádiové vlny (větší než 1 m)

V oblasti kratších vlnových délek se nachází:

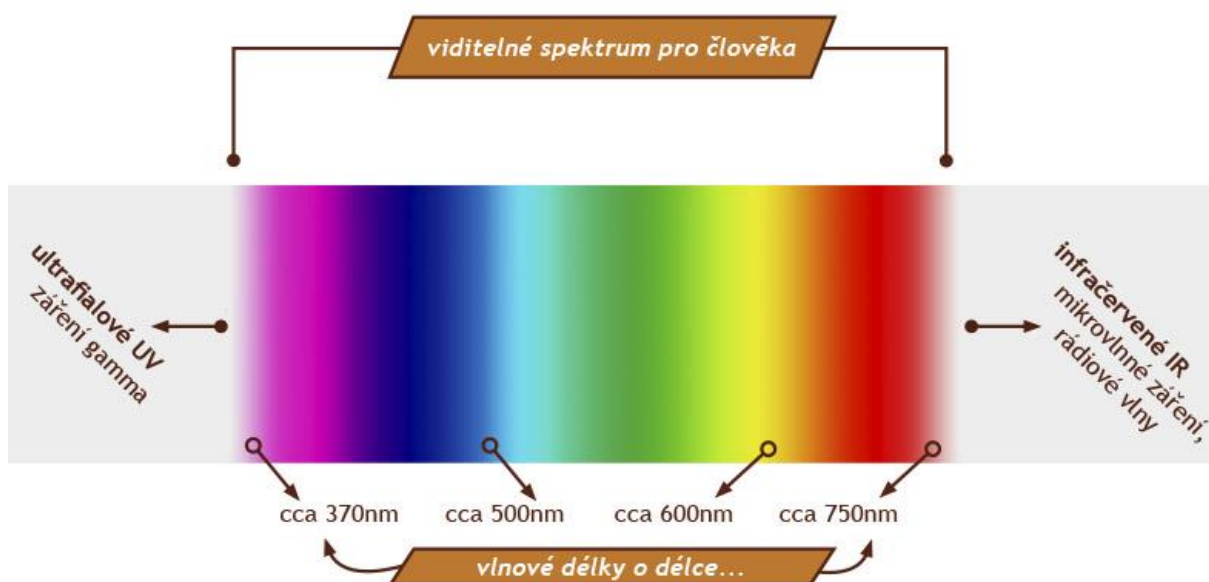
- ultrafialové záření (400 nm – 10 nm)
- rentgenové záření (10 nm – 10 pm)
- gama záření (menší než 10 pm).

I když je toto dělení přesné, může dojít k překryvům sousedních typů. Například se může překrýt záření gama s rentgenovým zářením. Je to způsobeno tím, že označení gama záření je určené pro fotony vzniklé jaderným štěpením, zatímco rentgenové záření vzniká přechodem elektronu z vyššího orbitalu na nižší v atomu. Překryv tedy vzniká proto, že paprsky určujeme podle původu a nikoli podle vlnové délky. [2]



Obrázek 2: Rozdělení elektromagnetického záření [3]

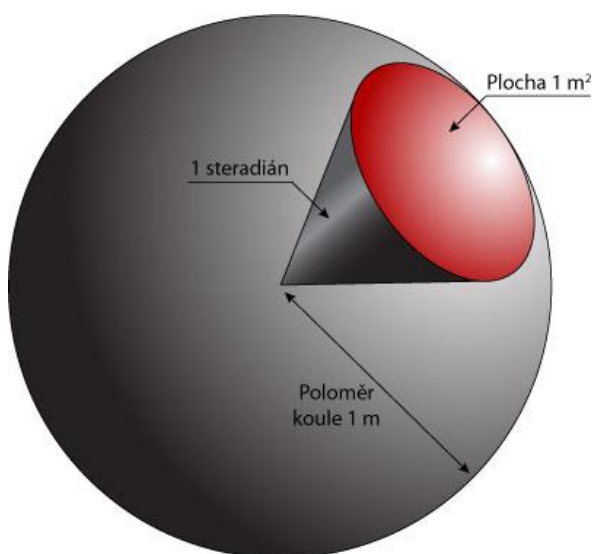
Vlnová délka také určuje barvu světla. Nejkratší vlnové délky viditelného světla náležejí fialovému, nejdelší červenému světlu.



Obrázek 3: Vlnová délka světla a jeho barva [4]

Prostorový úhel Ω

K pochopení prostorového úhlu Ω nám nejlépe poslouží následující obrázek:



Obrázek 4: Prostorový úhel [5]

Jeden steradián je prostorový úhel, který na jednotkové kouli vymezení jednotkovou plochu. Tedy na kouli o poloměru 1 metr vymezení plochu o velikosti 1 m^2 .

3 Měření fotometrických veličin

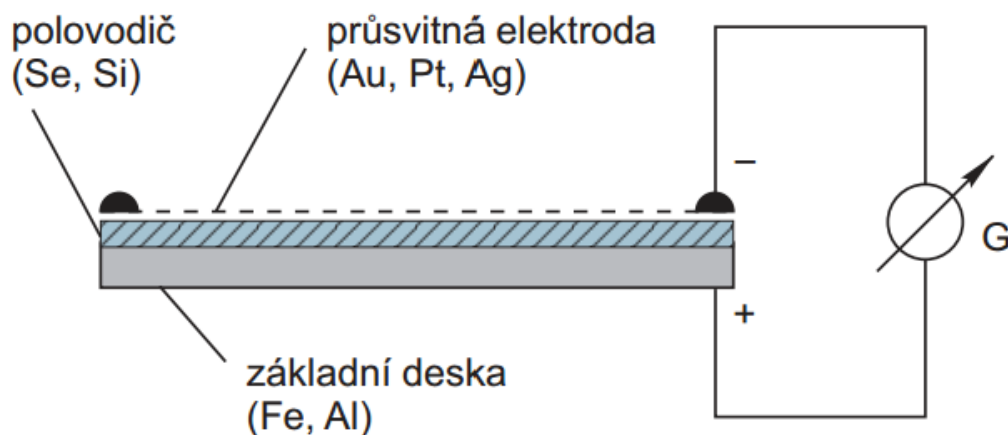
3.1 Fotoelektrický článek

V dnešní době se již nevyužívá pro měření fotometrických veličin lidského oka, protože takové měření je značně subjektivní. Používají se různá fyzikální čidla, která poskytují při správné kalibraci přesnější a hlavně objektivnější výsledky.

Nejčastějším používaným fyzikálním čidlem je fotoelektrický hradlový článek (tzv. fotočlánek). Princip fungování fotočláneku je založen na fotoelektrickém jevu, na přechodu mezi kovem a polovodičem. Mezi nejčastěji používané polovodiče patří křemík a arzenid galia. Ozáří-li se tenká vrstva polovodiče fotočláneku na kovové podložce, vznikne rozdíl potenciálů mezi kovem a vrstvou naneseného polovodiče.

Nejčastěji používaným kovem pro výrobu podložky je železo nebo hliník. Polovodičová vrstva je pokryta tenkou průsvitnou vrstvou z platiny, stříbra nebo zlata. Po obvodu

fotoelektrického článku je kruhová elektroda pro odvádění fotoproudu, který se měří galvanometrem. [1]



Obrázek 5: Náčrt konstrukčního uspořádání hradlového fotoelektrického článku [1]

3.2 Měření osvětlenosti

Osvětlenost je v praxi nejčastěji měřená veličina. K jejímu měření se používají luxmetry. Luxmetr se skládá nejčastěji z přijímače s korigovaným křemíkovým fotočlánkem s kosinovým nastavcem, z měřicího a vyhodnocovacího systému.

Luxmetry se třídí do čtyř tříd přesnosti označující se číslicemi 1, 2, 3, 4 nebo písmeny L, A, B, C. Podle toho, do které třídy luxmetr patří, nesmí jeho celková chyba f_c přesáhnout 2, 5, 10 a 20%. [1]

3.2.1 Druhy chyb luxmetrů

Celková chyba f_c luxmetru se skládá z jedenácti druhů chyb [6]:

Druhy chyb	Symbol
spektrální chyba	f_1
směrová chyba (chyba směrové citlivosti)	f_2
nelinearita	f_3
chyba zobrazovací jednotky	f_4
nestabilita	f_5
vliv teploty	f_6
modulované záření	f_7
vliv polarizace světla	f_8
vliv nerovnoměrně ozářené plochy	f_9
odolnost vůči přebuzení	f_{10}
chyba při změně rozsahu	f_{11}

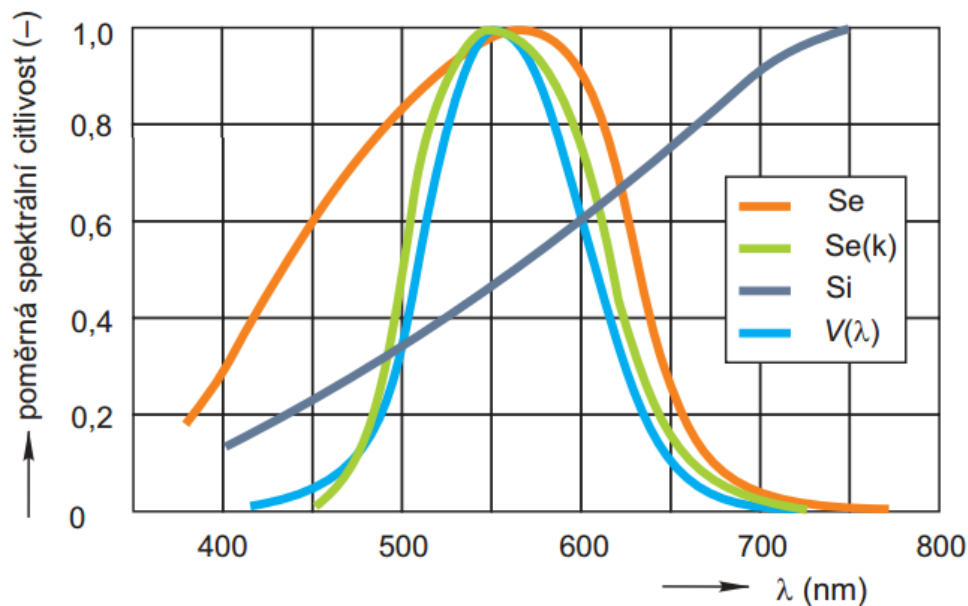
Nejpodstatnější jsou první dvě chyby: spektrální a směrová chyba.

3.2.2 Spektrální citlivost fotočlánku, spektrální chyba

Hlavní požadavek kladený na luxmetry je, aby se spektrální citlivost fotočlánku co nejvíce shodovala s křivkou $V(\lambda)$ - spektrální citlivostí normálního fotometrického pozorovatele.

Tato vlastnost musí být splněna co nejpřesněji v případech měření světelných zdrojů s čárovým spektrem¹. Na intervalu vlnových délek, kde nejvíce vyzařuje světelný zdroj s čárovým spektrem, se musí citlivost fotočlánku co nejvíce shodovat s křivkou $V(\lambda)$. Kdyby tato podmínka nebyla splněna, naměřená osvětlenost by se výrazně lišila oproti skutečné osvětlenosti.

¹ Světelný zdroj s čárovým spektrem vyzařuje jen na úzkém intervalu vlnových délek.



Obrázek 6: Příklady průběhů poměrné spektrální citlivosti hradlových fotočlánků v porovnání s poměrnou spektrální citlivostí $V(\lambda)$ normálního fotometrického pozorovatele při denním vidění. Se – selenový nekorigovaný článek, Se(k) – korigovaný selenový článek, Si – nekorigovaný křemíkový článek, $V(\lambda)$ – spektrální citlivost oka [1]

Průběh nekorigovaného selenového a křemíkového článku se značně liší od průběhu spektrální citlivosti normálního fotometrického pozorovatele.

Použijeme-li tento typ fotočlánku pro měření osvětlenosti, jsou naměřené hodnoty rovny skutečným jen v případě, je-li měřené spektrum světla stejné jako spektrum světla použité při cejchování přístroje.

Má-li měřené světlo jiné spektrum, musí se naměřené hodnoty násobit korekčním činitelem.

Přepočítávání není potřeba, je-li fotočlánek vybaven korekčními filtry, které zajistí průběh křivky citlivosti fotočlánku křivce citlivosti oka, např. křivka Se(k) na obrázku 6. [1]

Spektrální citlivost fotometru $s(\lambda)$ se nejčastěji udává v relativní podobě. Jde o poměr výstupní veličiny k příslušné spektrální hodnotě vstupní veličiny pro daný interval vlnových délek [6]

$$s(\lambda)_{rel} = \frac{s(\lambda)}{s_m} \quad (-; lx \cdot W^{-1}, lx \cdot W^{-1}) \quad (11)$$

kde s_m se volí jako maximální hodnota citlivosti nebo jiná domluvená hodnota,

λ je vlnová délka.

Relativní spektrální citlivost je vhodné udávat maximálně pro intervaly vlnové délky o velikosti do 10 nm.

Jestliže se spektrální citlivost fotometru liší od průběhu křivky $V(\lambda)$, jeho celková citlivost na měřené světlo Z se spektrálním složením $s(\lambda)_Z$ je dána vztahem [6]

$$s_Z = \frac{\sum s(\lambda)_Z \cdot s(\lambda)_{rel} \cdot \Delta\lambda}{K_m \cdot \sum s(\lambda)_Z \cdot V(\lambda)_{rel} \cdot \Delta\lambda} \quad (\text{W} \cdot \text{lx}^{-1}) \quad (12)$$

kde $s(\lambda)_Z$ je spektrální složení měřeného světla,

$s(\lambda)_{rel}$ relativní spektrální citlivost fotometru změřená při kalibraci,

$V(\lambda)_{rel}$ relativní spektrální citlivost lidského oka pro fotopické vidění,

$\Delta\lambda$ interval vlnových délek, pro které je udáváné spektrální hodnoty,

K_m světelná účinnost světla.

Pro kalibraci luxmetrů a jiných fotometrů se používá obyčejná žárovka se spektrálním složením $s(\lambda)_A$. Korekční činitel $a(Z)$ pro měření světla se spektrálním složením $s(\lambda)_Z$ potom bude [6]

$$a(Z) = \frac{s_Z}{s_A} \quad (-; \text{W} \cdot \text{lx}^{-1}, \text{W} \cdot \text{lx}^{-1}) \quad (13)$$

kde s_A je citlivost na světlo se spektrálním složením $s(\lambda)_A$, která se určí pomocí vztahu (12), jestliže dosadíme $s(\lambda)_A$ místo $s(\lambda)_Z$.

Pomocí korekčního činitele $a(Z)$ lze korigovat naměřenou hodnotu osvětlenosti [6]

$$E = \frac{E(Z)_{mer}}{a(Z)} \quad (\text{lx}; \text{lx}, -) \quad (14)$$

kde E je korigovaná hodnota osvětlenosti,

$E(Z)_{mer}$ je změřená hodnota osvětlenosti pomocí luxmetru.

Výslednou chybu měření $f_1(Z)$ způsobenou nedostatečným spektrálním přizpůsobením určíme [6]:

$$f_1(Z) = a(Z) - 1 \quad (-; -) \quad (15)$$

Pro kalibraci luxmetrů se používá fotometrická lavice s délkou v rozsahu 3 až 5 metrů s použitím zeslabování světla při změně vzdálenosti podle tzv. čtvercového zákona [7]. Jestliže chceme kalibrovat celý rozsah luxmetru, měli bychom mít k dispozici zdroj světla se svítivostí v rozsahu jednotek až tisíců kandel. V praxi je problém zajistit, aby zdroj světla měl

spektrální složení normalizovaného svítidla A (teplota chromatičnosti 2856 K). Proto při kalibraci musíme zapsat spektrální složení světla nebo jeho teplotu chromatičnosti.

Ve většině případů není známo spektrální složení světla měřeného světelného zdroje, a proto nelze zjistit spektrální chybu měření. Z tohoto důvodu se v dokumentaci luxmetrů udává chyba $f_I(Z)_{max}$, určená podle [8] jako maximum absolutních hodnot chyb vypočtených podle vztahu (15) pro pět určených světelných spekter typických umělých zdrojů světla.

Těchto pět spekter přibližně odpovídá těmto světelným zdrojům:

- zářivce s třípásmovým luminoforem
- rtuťové výbojce s luminoforem (se zlepšeným barevným podáním)
- vysokotlaké sodíkové výbojce
- třísloužkové halogenidové výbojce
- halogenidové výbojce s přidavkem vzácných zemin

Při měření běžného bílého světla umělých zdrojů lze předpokládat, že skutečná chyba nebude větší než $f_I(Z)_{max}$. Při měření umělého světla s výrazným barevným odstínem (např. modrým), čárovým spektrem nebo při měření denního světla (může obsahovat modrou složku) zůstává riziko, že skutečná chyba bude větší.

Tabulka spekter těchto světelných zdrojů je uvedena v příloze A.

Pět výše uvedených typů spekter je odvozených od zdrojů vyráběných před rokem 1982. Dnešní světelné zdroje mají zvýšenou kontinuální složku na úkor čárových složek. Lze proto předpokládat, že nejistota měření nebude větší.

Nevýhodou chyby $f_I(Z)_{max}$ je, že ji nelze využít pro korekci naměřených hodnot. Pro korekci ji nemůžeme použít z toho důvodu, že při měření konkrétního světelného zdroje nevíme, jakou má pro tento zdroj luxmetr chybu f_I , pouze víme, že chyba by neměla být vyšší než $f_I(Z)_{max}$.

Spektrální chybu můžeme také kvantifikovat pomocí tzv. „chyby f_I' “ [7]:

$$\begin{aligned} f_I' &= \frac{\sum |s^*(\lambda)_{rel} - V(\lambda)_{rel}| \cdot \Delta\lambda}{\sum V(\lambda)_{rel} \cdot \Delta\lambda} \cdot 100\% \\ &= 0,98354 * \sum |s^*(\lambda)_{rel} - V(\lambda)_{rel}| \cdot \Delta\lambda \end{aligned} \quad (16)$$

kde $s^*(\lambda)_{rel}$ je normalizovaná relativní spektrální citlivost [7]:

$$s^*(\lambda)_{rel} = \frac{\sum s(\lambda)_A \cdot V(\lambda) \cdot \Delta\lambda}{\sum s(\lambda)_A \cdot s(\lambda) \cdot \Delta\lambda} \cdot s(\lambda)_{rel} \quad (17)$$

Hodnotu chyby f_1' nelze použít pro korekci naměřených hodnot z obdobného důvodu jako v případě $f_1(Z)_{max}$.

3.2.2.1 Využití znalosti spektrální chyby při měření osvětlenosti

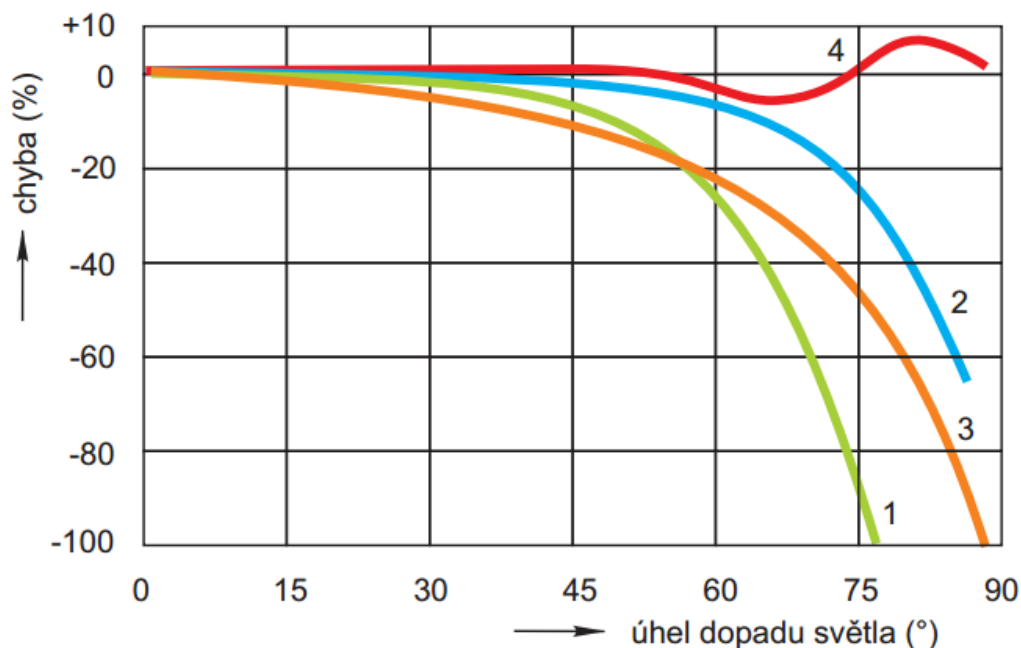
Je-li známo spektrum měřeného světla, využijeme znalost chyby $f_1(Z)$ a provedeme korekci naměřené hodnoty. Do nejistoty měření chybu $f_1(Z)$ nezahrneme, započítáme pouze nejistotu kalibrace spektrální chyby.

Spektrum měřeného světla většinou neznáme, a proto chybu nemůžeme vyloučit korekcí. Do nejistoty měření musíme zahrnout chybu $f_1(Z)_{max}$ pro bílé světlo běžných zdrojů, nebo chybu f_1' , pokud je světlo mírně tónované (způsobené např. jednobarevným interiérem při měření nepřímého nebo smíšeného osvětlení).

Přednostně se snažíme používat chybu $f_1(Z)_{max}$, protože bývá daleko menší než chyba f_1' . V případě, že je světlo výrazně barevně laděné nebo monochromatické, nelze pro určení nejistoty použít ani jednu z výše uvedených chyb. V tomto případě musíme odhadnout mezní odchylku z porovnání spektra měřeného světla se spektrální citlivostí luxmetru, resp. s odchylkou od průběhu $V(\lambda)$ a zvážit možnost korekce měření. [7]

3.2.3 Vliv směru dopadu světla

Fotočlánky jsou kalibrovány pro kolmý dopad světla. Při šikmém dopadu světla by se účinek světla měl měnit v závislosti na kosinu úhlu mezi normálou plochy fotočlánku a paprskem světla. U reálných fotočlánků byly zjištěny odchylky od tohoto zákona, zvláště pro úhly větší než 30°. Chyba je způsobena částečným zrcadlovým odrazem, sníženou propustností horní vrstvy fotočlánku, polarizací i cloněním okraje fotočlánku obrubou. Směrová chyba se odstraňuje tzv. kosinovým nástavcem např. ve tvaru kulového vrchlíku z rozptylového skla. [1]



Obrázek 7: Chyby různých fotočlánků v závislosti na úhlu dopadu světla:

1 – fotočlánek s přečnivající obrubou, 2 – fotočlánek bez obruby, 3 – fotočlánek s korekčním filtrem, 4 – fotočlánek s kosinusovým nastavcem [1]

Budeme-li předpokládat, že fotometrická hlavice luxmetru je rotačně souměrná podle osy kolmé na snímací plochu a dále, že závislost mezi vstupní a výstupní veličinou je lineární, poté je směrová chyba definována vztahem [7]:

$$f_2(\varepsilon) = \frac{Y(\varepsilon)}{Y(0) * \cos(\varepsilon)} - 1 \quad (-; lx, lx) \quad (18)$$

kde $Y(\varepsilon)$ je výstupní hodnota luxmetru při dopadu světla pod určitým úhlem ε (úhel ε se měří vzhledem k normále roviny fotometrické hlavice).

Jestliže máme změřenou chybu $f_2(\varepsilon)$ v celém rozsahu, tj. od 0° do 85° s krokem po 5° , lze většinou použít tyto hodnoty k částečné korekci naměřených hodnot. K určení nejistoty se použije maximální hodnota z intervalu úhlů, ze kterých dopadá největší množství světla.

Pro jednodušší vyhodnocení směrové chyby lze využít tento vztah [7]:

$$f_2 = \int_0^{\frac{85 \cdot \pi}{180}} |f_2(\varepsilon)| * \sin(2\varepsilon) d\varepsilon \quad (-) \quad (19)$$

Takto vypočítaná odchylka f_2 odpovídá její přesné velikosti za předpokladu, že dopadající světlo na plochu hlavice luxmetru je dokonale difuzní (jas je ve všech směrech stejný). Nejvíce se tomuto ideálnímu případu přibližuje měření vnější srovnávací osvětlenosti při měření denní osvětlenosti, když se snímá jas celé oblohy.

Odchylku vypočítanou podle vztahu (19) lze použít pouze pro orientační posouzení vlastností luxmetru nebo pro vzájemné porovnání různých luxmetrů. Určení nejistoty měření pomocí chyby f_2 lze jen v některých případech.

Hodnotu chyby f_2 lze využít ke snížení celkové nejistoty pouze tehdy, když můžeme rozdělit dopadající světlo na hlavici luxmetru na světlo dopadající z definovaných zdrojů (např. bodové zdroje) s určitým úhlem dopadu a na difuzní složku světla. Pro světlo dopadající z určitých zdrojů se určí hraniční odchylka z průběhu chyby $f_2(\varepsilon)$ a pro difuzní složku se použije odchylka f_2 zjištěná ze vztahu (19). [7]

4 Provedení kalibrace luxmetrů

4.1 Měřicí pracoviště

Měření jsem prováděl na asi třímetrové fotometrické lavici vybavené posuvnými vozíky. Fotometrická lavice je umístěna za černým závěsem, který stíní světlo z okolí a zároveň minimalizuje odrazy uvnitř měřicího pracoviště. Ze stejného důvodu jsou i stěny černě vymalovány a na podlaze je černé linoleum.

Dále jsem měl k dispozici dvě černé desky s kruhovým otvorem. Tyto desky jsem využil například pro omezení odrazů nebo pro snížení osvětlenosti v případech, kdy mi pro regulaci osvětlenosti nestačila délka fotometrické lavice.

Měřený světelný zdroj byl napájen ze stabilizátoru napětí, aby se eliminoval vliv změny výkonu světelného zdroje v závislosti na změně napětí v síti.

Vyžadoval-li světelný zdroj startér, tlumivku atd., byly tyto součástky správně zapojeny do elektrického obvodu.

4.2 Měření luxmetry

K dispozici jsem měl celkem devět různých luxmetrů, z nichž luxmetr radiolux 121217 patří do první třídy luxmetrů a je kalibrován. Tento luxmetr jsem využil jako referenční při měření spektrální chyby.

Dále jsem proměřoval níže uvedené luxmetry a jejich rozsahy:

model	HD 450	PU 550	T - 10W _L
sériové číslo	12036718	03060895/000	80631005
		03055670/000	
	12036735	03055669/000	8018-0L-
		03060894/000	R0054-12
rozsah	400 klx	100 klx	300 klx
	40 klx	20 klx	30 klx
	4 klx	2000 lx	3 klx
	400 lx	200 lx	300 lx
	-	20 lx	30 lx

4.3 Měření spektrální chyby luxmetrů

Nejlepší pro posouzení kvality luxmetrů je zjistit spektrální chybu „ f_I “, ta jako jediná umožňuje i případnou korekci naměřených hodnot. Jestliže bychom chtěli tuto chybu zjistit, potřebovali bychom změřit spektrální citlivost luxmetru $s(\lambda)$. Pro změření spektrální citlivosti $s(\lambda)$ je potřeba mít zdroj o proměnné vlnové délce a známém výkonu, který naše světelná laboratoř nemá. Ze stejného důvodu jsem nemohl zjistit ani chybu „ f_I “.

Z výše uvedeného důvodu jsem se rozhodl změřit spektrální chybu „ $f_I(Z)_{max}$ “, viz odstavec: 3.2.2.

Pro přesné zjištění spektrální chyby „ $f_I(Z)_{max}$ “ je třeba luxmetry proměřit pět světelných zdrojů s definovaným spektrem. Protože světelná laboratoř katedry energetiky neměla v době měření k dispozici kalibrováný spektrofotometr, nebylo možné ověřit, zda měřené zdroje mají požadované spektrum. Výrobci neuvádějí spektra světelných zdrojů na svých webových stránkách. Z těchto důvodů jsem proměřil jen jednu halogenidovou výbojku, o které nevím, zda je trojpásmová nebo s příměsí vzácných zemin.

Pro zajímavost jsem navíc luxmetry proměřil i klasickou žárovku.

4.3.1 Popis postupu měření

Při měření spektrální chyby jsem považoval naměřené hodnoty luxmetrem radiolux 121217, který patří do první třídy přesnosti, za správné, a porovnával jsem je s hodnotami naměřenými ostatními luxmetry.

Pomocí změny vzdálenosti mezi světelným zdrojem a luxmetrem jsem nastavil hodnotu osvětlenosti v rámci měřeného rozsahu. Při proměřování malých rozsahů mi na dostatečné snížení osvětlenosti již nestačila délka fotometrické lavice, proto jsem využil výše zmíněné desky s kruhovým otvorem, které propustily jen část světelných paprsků. I přes toto vylepšení jsem nedosáhl vždy na nejnižší rozsahy luxmetrů. Kruhový otvor v desce by sice šel zmenšit, ale poté by na sondu luxmetru dopadalo v součtu více záření z odrazů a šumů než záření přímého. Takto naměřené hodnoty by byly nepřesné.

Posuvný vozíček na fotometrické lavici jsem za aretoval, aby se během měření neměnila vzdálenost mezi sondou luxmetru a měřeným světelným zdrojem. Následně jsem umístil do držáku sondu luxmetru radiolux 121217 a zapsal si naměřenou hodnotu osvětlenosti. Postup jsem zopakoval s nekalibrovanými luxmetry. Po proměření všech luxmetrů na daném rozsahu jsem změnil vzdálenost a celý postup jsem zopakoval.

Během měření jsem dbal na to, aby normála plochy sondy se shodovala s normálou plochy vyzařování světelného zdroje. Zjednodušeně řečeno, aby sonda nebyla vychýlená a neměnila se hodnota naměřené osvětlenosti podle kosinového zákona.

4.3.2 Naměřené výsledky

Během měření došlo k poruše luxmetru T - 10W_L 80631005, proto je proměřen jen se sodíkovou vysokotlakou výbojkou a zářivkou.

U zářivky nejsou proměřeny největší rozsahy luxmetrů z důvodu, že zářivky mají nízké světlení.

Korekční činitel $a(Z)$ jsem vypočítal podle vztahu (14) a chybu f_I pomocí vztahu (15). Naměřené a vypočtené hodnoty jsou uvedené v tabulkách v příloze B.

4.3.3 Chyba $f_1(Z)_{max}$, zhodnocení

Chyba $f_1(Z)_{max}$ se zjistí jako maximum z absolutních hodnot z naměřených chyb f_1 z tabulek v příloze B.

	$f_1(Z)_{max} (-)$			
rozsah	400 klx	40 klx	4 klx	400 lx
HD 450 - 12036718	2,5184	0,1379	0,1252	0,1489
HD 450 - 12036735	2,0786	0,1453	0,1451	0,1844

	$f_1(Z)_{max} (-)$			
rozsah	100 klx	20 klx	2000 lx	200 lx
PU 550, 03060895/000	0,1779	0,0258	0,1893	0,6154
PU 550, 03055670/000	0,1166	0,1146	0,1084	0,1642
PU 550, 03055669/000	0,2154	0,0694	0,0205	0,1910
PU 550, 03060894/000	0,1206	0,0306	0,0478	0,3737

	$f_1(Z)_{max} (-)$			
rozsah	300 klx	30 klx	3 klx	300 lx
T-10W _L 8018-0L-R0054-12	0,2223	0,0310	0,0422	0,1011
T-10W _L 80631005	0,0603	0,0439	0,0298	0,0701

Barva pole označuje, od jakého světelného zdroje pocházejí hodnoty chyby $f_1(Z)_{max}$ podle následující legendy:

sodíková vysokotlaká výbojka
halogenidová výbojka
rtuťová vysokotlaká výbojka
zářivka
žárovka

Z výsledků je patrné, že měření žárovky bylo zbytečné, ani v jednom případě nebyla chyba žárovky f_1 nejvyšší.

Výsledná chyba $f_1(Z)_{max}$ u luxmetru T-10WL 80631005 není příliš průkazná z důvodu, že kvůli jeho poruše během měření nebyly tímto luxmetrem proměřeny všechny světelné zdroje.

Luxmetry typu HD 450 ve většině případů mají při stejném světelném zdroji a stejném rozsahu velmi podobné výsledky měření. To potvrzuje i fakt, že jednotlivé chyby $f_I(Z)_{max}$ pro různé rozsahy jsou relativně podobné a hlavně, pocházejí od stejných světelných zdrojů. Totéž můžu v omezené míře tvrdit i o luxmetrech T-10W_L. Jeden z těchto luxmetrů neproměřil všechny světelné zdroje kvůli své poruše.

Naopak luxmetry PU 550 se svými výsledky často hrubě lišily a i chyby $f_I(Z)_{max}$ jsou velmi rozdílné a pocházejí od různých světelných zdrojů. Tento fakt může být způsoben tím, že luxmetry PU 550 jsou starší a v průběhu času se u jednotlivých přístrojů změnila různě jejich spektrální citlivost.

Zobrazovaná hodnota osvětlenosti luxmetry typu HD 450 během měření často kolísala, zejména při měření na nejvyšším rozsahu 400 klx. To je příčinou, proč na tomto rozsahu mají luxmetry chybu $f_I(Z)_{max}$ vyšší než dva.

Chyby $f_I(Z)_{max}$ pro nejvyšší a naopak nejnižší rozsahy jsou většinou vyšší než pro rozsahy střední.

U nejvyššího rozsahu luxmetrů to částečně ovlivňuje fakt, že sondy luxmetrů byly v tomto případě blízko světelného zdroje, takže i malá nepřesnost v nastavení vzdálenosti mohla způsobit znatelný rozdíl v naměřené osvětlenosti podle čtvercového zákona.

U nejnižšího rozsahu se negativně podepsalo to, že hlavice luxmetrů byla od světelného zdroje více vzdálená, takže na sondu dopadalo procentuálně více difuzního světla než při měření vyšších rozsahů. Difuzní světlo dopadalo pod různými úhly, proto se mohla částečně projevit i směrová chyba luxmetrů.

Podíváme-li se podrobně na tabulky v příloze B, je vidět, že ve velké části případů se chyby f_I neliší tak výrazně jako v případě chyby $f_I(Z)_{max}$. Domnívám se, že výše uvedené nedostatky nemohly samy o sobě způsobit tak velké chyby $f_I(Z)_{max}$ pro nejnižší a nejvyšší rozsahy.

4.4 Měření směrové chyby

4.4.1 Popis postupu měření

Při měření směrové chyby luxmetrů jsem využil posuvný vozík na fotometrické lavici, který obsahuje měřidlo úhlu natočení. Při měření směrové chyby je důležité, aby světlo na sondu luxmetru dopadalo přímo ze světelného zdroje, tedy co nejvíce minimalizovat odrazy. I když je vnitřek celého pracoviště černý, dochází k odrazům. Tyto odrazy by se nejvíce projevíly při

větších úhlech natočení sondy luxmetru. Sonda v těchto případech míří směrem na zeď a světlo odražené ode zdi dopadá na sondu a tím zkresluje naměřené hodnoty.

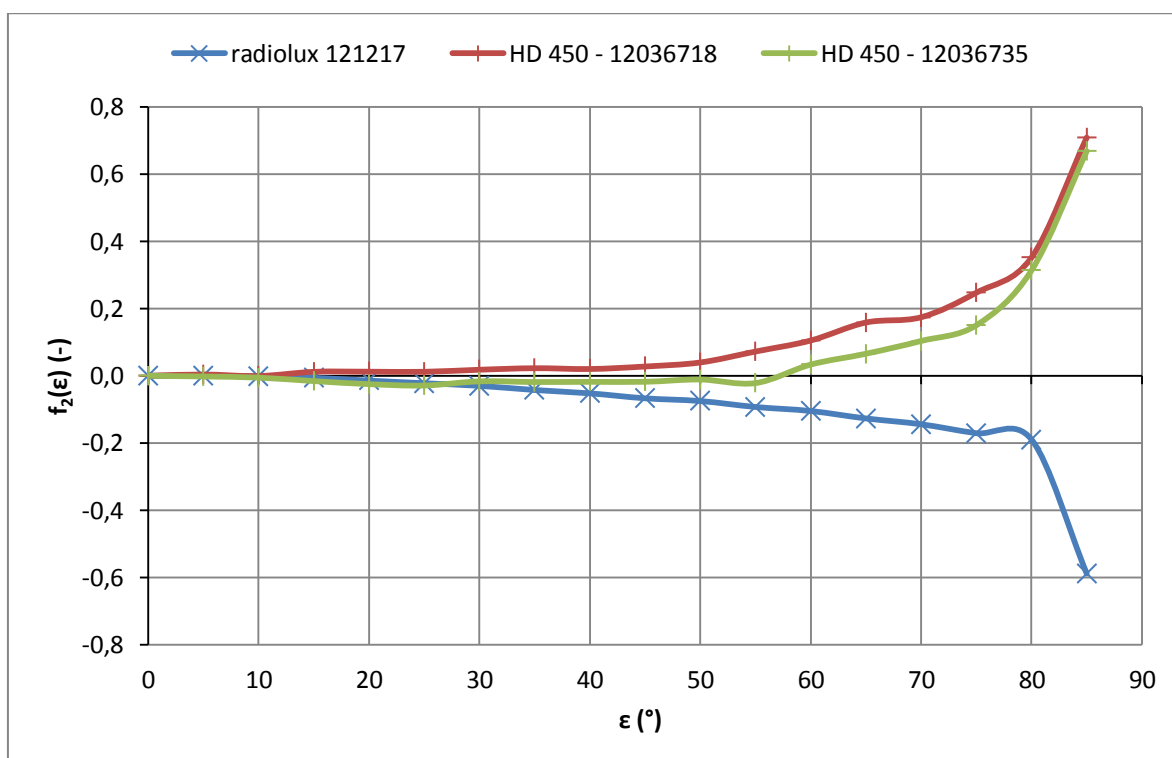
Tento problém jsem vyřešil pomocí černých desek s kruhovými otvory. Desky jsem umístil s malým rozstupem poblíž světelného zdroje. Kruhové otvory vytvořily tunel, kterým procházelo světlo na sondu luxmetru a zároveň zajistily, že na stěnu, kam mířila hlavice luxmetru pro vyšší úhly natočení, dopadalo minimum světla.

Sondu luxmetru jsem umístil do univerzálního držáku a zkontroloval jsem, že úhel natočení je roven nule stupňů. Poté jsem si zapsal aktuální hodnotu osvětlenosti. Postupně jsem otáčel držákem s krokem 5° až do úhlu natočení 85° a zapisoval si hodnoty osvětlenosti. Během měření jsem měnil rozsahy luxmetrů v souladu se změnou osvětlenosti.

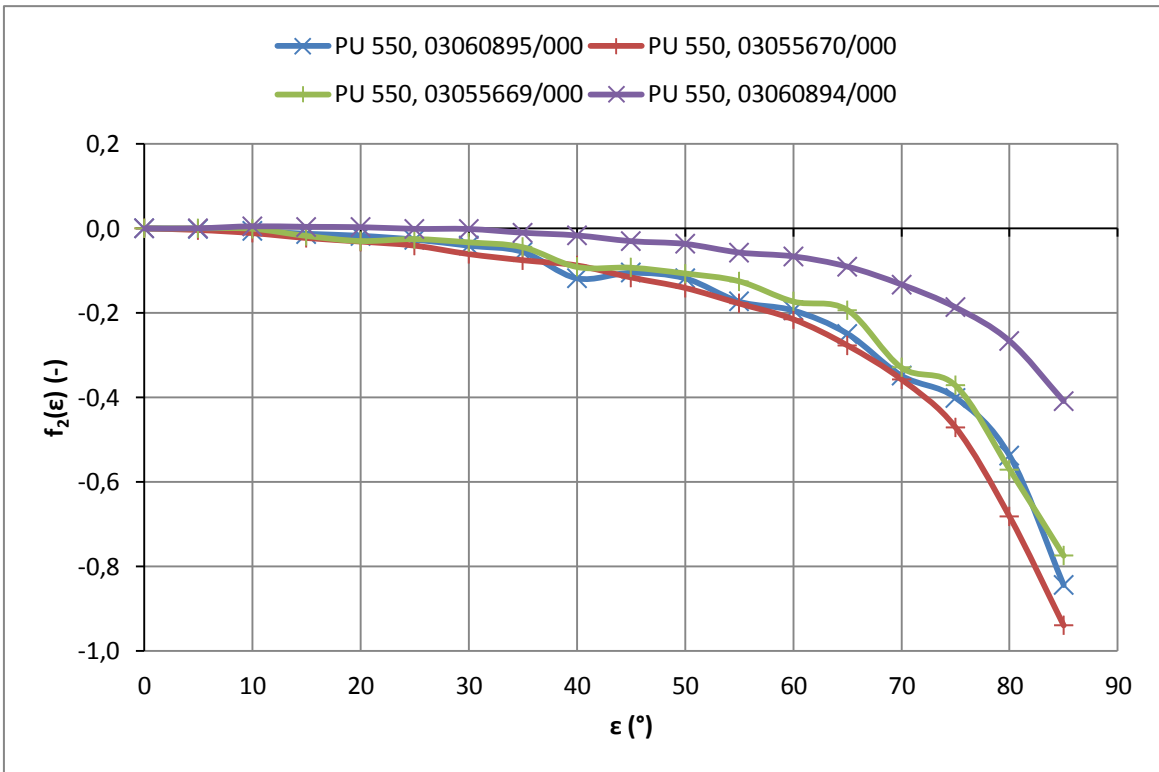
4.4.2 Naměřené a vypočítané výsledky, grafy

Naměřené hodnoty osvětlenosti pro jednotlivé luxmetry v závislosti na úhlu natočení, vypočítaná směrová chyba $f_2(\varepsilon)$ podle vztahu (18) – vše uvedeno v příloze C.

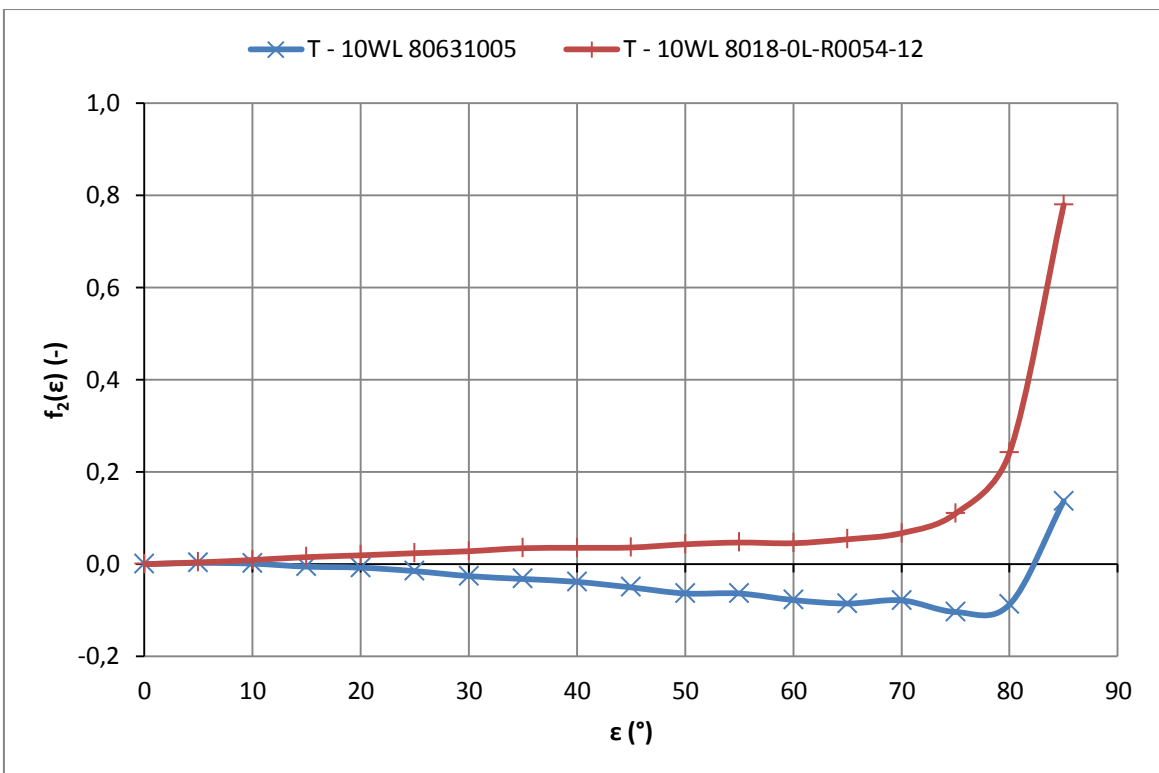
Grafy závislosti směrové chyby $f_2(\varepsilon)$ na úhlu natočení ε :



Obrázek 8: Graf směrové chyby 1



Obrázek 9: Graf směrové chyby 2



Obrázek 10: Graf směrové chyby 3

Na vypočítání směrové chyby pro difuzní světlo podle vztahu (19) jsem použil počítačový program MATLAB a jeho funkci „trapz“. Luxmetry jsou v tabulce seřazeny od luxmetru s nejmenší směrovou chybou po luxmetr s největší směrovou chybou.

luxmetr	f_2 (-)
HD 450 – 12036735	0,0465
T - 10W _L 80631005	0,0488
PU 550 - 03060894/000	0,0511
T - 10W _L 8018-0L-R0054-12	0,0511
HD 450 – 12036718	0,0737
radiolux 121217	0,0748
PU 550 - 03055669/000	0,1293
PU 550 - 03060895/000	0,1457
PU 550 - 03055670/000	0,1638

4.4.3 Zhodnocení výsledků měření směrové chyby luxmetrů

Předpokládám, že vlivem odrazů, které jsem během měření zcela neeliminovat, jsou výsledky pro nejvyšší úhly natočení tímto faktem zkresleny. Chyby vlivem odrazů vycházejí vyšší (kladnější). U luxmetrů, kde je chyba kladná, by byla hodnota blíže k nule. U luxmetrů se zápornými hodnotami chyby, by byly tyto hodnoty od nuly vzdálenější. Tato skutečnost může v některých případech za následek, že výše uvedené grafy závislosti chyby f_2 na úhlu natočení ε se liší od teoretického předpokladu na obrázku 7.

U radioluxu 121217 jsem očekával nejlepší výsledky, ale tento předpoklad nebyl splněn. Hodnoty chyby f_2 pro všechny úhly natočení má záporné, takže mu vliv odrazů vlastně přilepšuje. Proto není možné, aby to bylo způsobeno nepřesností při měření.

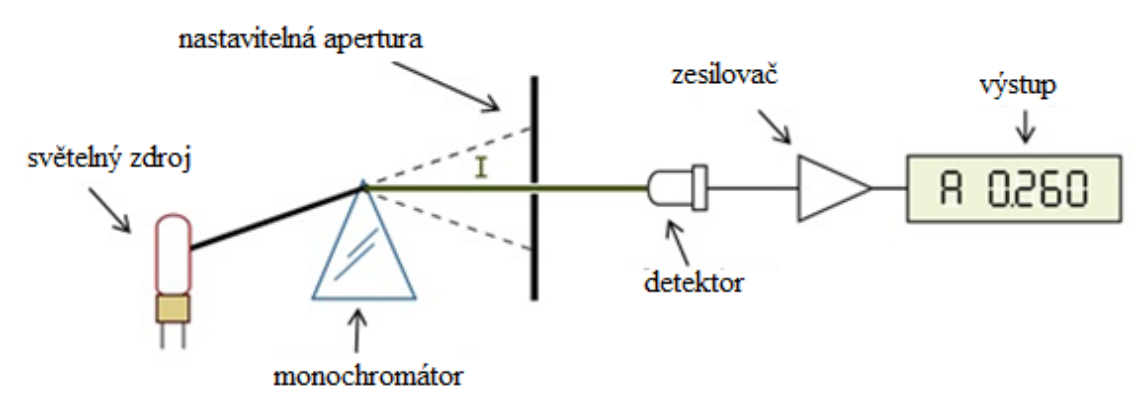
Tři luxmetry PU 550 mají podobné směrové chování, ale luxmetr PU 550 - 03060894/000 je výrazně lepší než ostatní luxmetry stejného modelu.

Na grafu závislosti směrové chyby na úhlu natočení pro luxmetry HD 450 je vidět, jak se negativně podepisuje tvar jejich sondy pro nejvyšší úhly natočení. Sonda luxmetru HD 450 silně vyčnívá z obruby, proto pro vyšší úhly natočení na ni dopadá daleko více záření než by mělo.

5 Měření spekter světelných zdrojů

5.1 Spektrofotometr

Pro měření spekter světelných zdrojů se používají přístroje zvané spektrofotometry. Princip jejich fungování je zobrazen na následujícím obrázku.



Obrázek 11: Schéma spektrofotometru [9]

Světlo ze světelného zdroje putuje na monochromátor, který rozloží světlo podle vlnových délek. Monochromátorem může být například optická mřížka. Rozložené světlo dopadá na nastavitelnou aperturu, která má za úkol propustit jen určité vlnové délky na detektor. Jako detektor slouží např. fotorezistor nebo fotočlánek. Změřený signál na detektoru jde přes zesilovač na výstup.

5.2 Grafy spekter

Když měříme spektrum světelného zdroje, znamená to, že měříme závislost ozáření E_e na vlnové délce λ .

Naměřená spektra se vynášejí do grafů nejčastěji v relativní podobě, kde jako referenční hodnota se nejčastěji volí maximální naměřená hodnota $E_{e,max}$.

$$E_{e,i,rel} = \frac{E_{e,i}}{E_{e,max}} \quad (-; \text{W} \cdot \text{m}^{-2}, \text{W} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (20)$$

kde $E_{e,i}$ je ozáření pro i -tou vlnovou délku,

$E_{e,i,rel}$ relativní ozáření pro i -tou vlnovou délku.

Ze vztahu (20) je jasné, že hodnota $E_{e,max,rel}$ je rovna jedné.

5.3 Spektrofotometr katedry elektroenergetiky

Katedra elektroenergetiky má nekalibrovaný spektrofotometr Oriol 70310. Tento spektrofotometr je připojen sériovým kabelem k počítači, na počítači je nainstalovaný software k ovládání přístroje. V softwaru lze nastavit počáteční a koncovou vlnovou délku a

samozřejmě krok, s kterým má spektrofotometr proměřit spektrum světelného zdroje. Software umožňuje okamžité vykreslení grafu spektra a vyexportování naměřených hodnot do textového souboru.

Jedním z nedostatků je, že software zaznamenává hodnoty jako záporné, to znamená, že vykreslené spektrum je převrácené podle osy x. Tento nedostatek je provizorně korigován vyexportováním naměřených dat a jejich zpracováním například v Excelu.

Naměřená spektra tímto spektrofotometrem jsou pouze orientační a nevhodná pro další vědecko-technické účely.

5.4 Kalibrace spektrofotometru

Na fakultě nebyl k dispozici kalibrovaný spektrofotometr, proto jsem nemohl provést měření osobně. Spektrofotometr katedry elektroenergetiky byl přepraven do Českého metrologického institutu (ČMI). V ČMI proměřili našim a jejich spektrofotometrem světelný zdroj A, o teplotě chromatičnosti 2856 K. Pro zajímavost proměřili stejný zdroj se zeleným filtrem.

Naměřená data jsem dosadil do vztahu

$$s(\lambda) = \frac{E_{e,\check{C}MI}(\lambda)}{E_{e,k.e.}(\lambda)} \quad (-; \text{W}\cdot\text{m}^{-2}, \text{W}\cdot\text{m}^{-2}) \quad (21)$$

kde $s(\lambda)$ je citlivost spektrofotometru katedry energetiky,

$E_{e,\check{C}MI}$ jsou data naměřená spektrofotometrem ČMI,

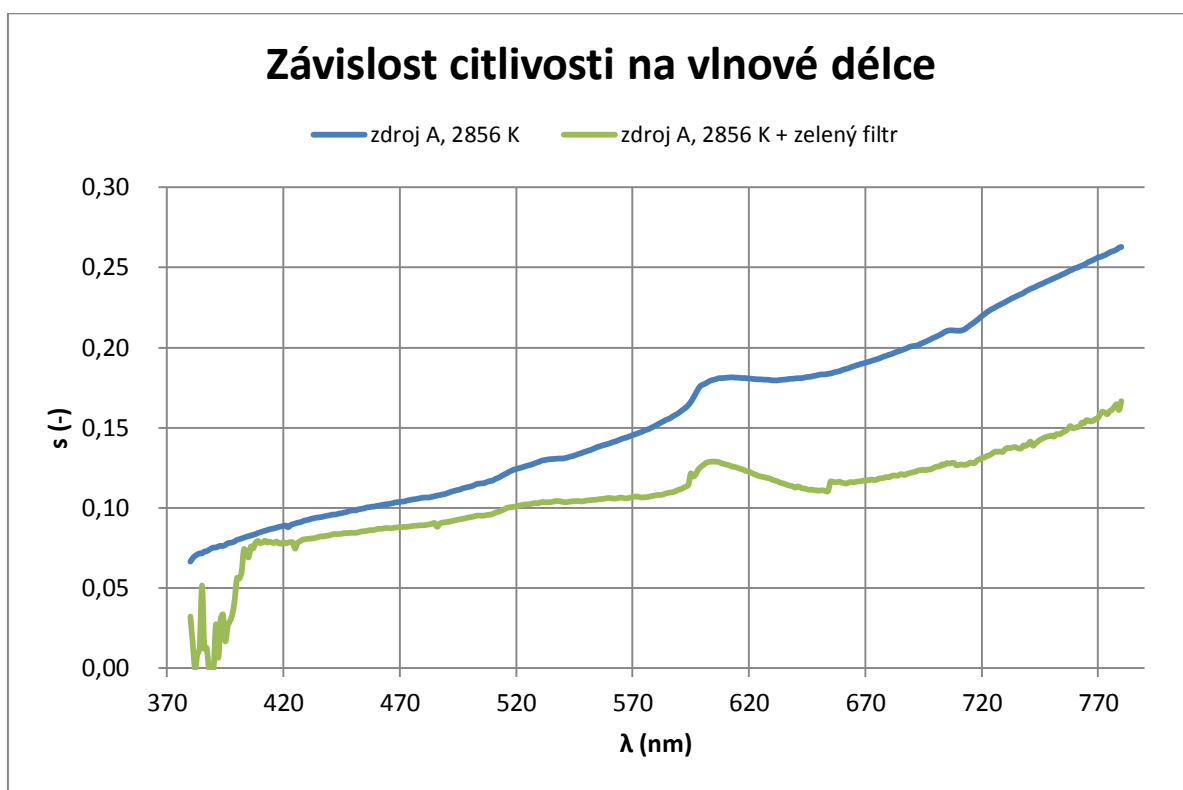
$E_{e,k.e.}$ jsou data naměřená spektrofotometrem katedry energetiky, která jsem vynásobil mínus jedničkou.

Takto vypočítanou citlivostí $s(\lambda)$ lze vynásobit data naměřená spektrofotometrem katedry energetiky, a tím bychom měli získat správnou podobu spektra světelného zdroje.

Všechna naměřená, vypočtená data a grafy jsou v příloze D.

5.5 Vyhodnocení kalibrace spektrofotometru

Výsledky nejlépe znázorníme pomocí následujícího grafu:



Obrázek 12: Citlivost spektrofotometru

Z grafu je patrné, že vypočtená citlivost z naměřených dat pro světelný zdroj A o teplotě 2856 K, a světelný zdroj A se zeleným filtrem dávají podobné výsledky, avšak křivky citlivosti nejsou identické. Z toho je zřejmé, že velikost citlivosti „ s “ je funkcí nejen vlnové délky, ale i funkcí ozáření.

Z této skutečnosti vyplývá, jak využít dvě výše naměřené křivky pro korekci naměřených dat.

1. Je-li velikost ozáření² pro danou vlnovou délku nižší než ozáření v případě měření se zeleným filtrem, vynásobíme data citlivostí $s(\lambda)$ pro zelený filtr.
2. Je-li velikost ozáření² pro danou vlnovou délku vyšší než při měření normalizovaného zdroje A, vynásobíme data citlivostí $s(\lambda)$ pro normalizovaný zdroj A.
3. Je-li velikost ozáření² na intervalu mezi zdrojem A a zdrojem A se zeleným filtrem využijeme tu citlivost, jejíž ozáření je blíže k naměřenému výsledku.

² Velikost ozáření naměřené spektrofotometrem katedry energetiky.

Výše uvedený postup korekce lze využít jen pro ozáření dostatečně blízké:

- a) pro světelný zdroj A
- b) pro světelný zdroj A se zeleným filtrem.

Pro provedení korekce pro výrazně vyšší nebo nižší hodnoty ozáření bychom museli naměřit i odpovídající křivky citlivosti. Výsledky korekce budou přesnější, čím více těchto křivek budeme mít.

6 Závěr

V této bakalářské práci jsem úspěšně provedl kalibraci luxmetrů a spektrofotometru v rámci možností vybavení světelné laboratoře katedry elektroenergetiky ČVUT.

U luxmetrů jsem zjistil spektrální a směrovou chybu. Při praktickém měření je třeba, aby obě chyby byly co nejnižší.

Luxmetry HD 450 zcela nevyhověly z hlediska velikosti spektrální chyby $f_1(Z)_{max}$, proto jsou nevhodné pro přesné měření osvětlenosti.

Spektrální chyby luxmetrů PU 550 jsou nižší než v případě luxmetrů HD 450, ale jejich směrová chyba pro tři z nich je vysoká. Pouze luxmetr PU 550 03060894/000 má takové výsledky, že ho lze použít pro přesnější měření osvětlenosti.

Pro oba luxmetry T-10 W_L dopadla kalibrace velmi dobře, lze je využít pro přesná měření osvětlenosti.

U radioluxu 121217 jsem naměřil jen směrovou chybu, která byla vzhledem k jeho třídě přesnosti 1 velmi vysoká. Doporučuji tento radiolux podrobit odborné kalibraci.

Kalibraci spektrofotometru Orielu 70310 jsem nemohl provést podrobněji, protože jsem neměl k dispozici kalibrovaný spektrofotometr. Kalibrační data naměřená ČMI nestačí pro úplnou kalibraci Orielu, proto je třeba kalibraci podrobněji zopakovat.

Naměřené a vypočtené hodnoty ze všech měření jsou přehledně uspořádány do tabulek, které tvoří podklady pro kalibrační listy. Tyto tabulky jsou uvedené v přílohách a také na CD v přehlednějších souborech programu Excel.

7 Použitá literatura

- [1] HABEL, Jiří. Základy světelné techniky. *Světlo: časopis pro světelnou techniku a osvětlování* [online]. 2009, roč. 2009, č. 3 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/39195.pdf>
- [2] Příspěvatelé Wikipedie, *Elektromagnetické spektrum* [online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie, c2014, Datum poslední revize 5. 04. 2014, 09:35 UTC, [citováno 17. 05. 2014]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Elektromagnetick%C3%A9_spektrum&oldid=11366300
- [3] Spektrum elektromagnetického záření. In: KF. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2005 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:ElmgSpektrum.png>
- [4] Viditelné spektrum. STEPAN. *Flukeatelier* [online]. 2013 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://www.flukeatelier.cz/tag/viditelne-spektrum/>
- [5] Pojmy a terminologie. In: *Kpbholding* [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://www.kpbholding.cz/pojmy-a-terminologie/>
- [6] RYBÁR, Peter. Neistota merania osvetlenia – časť 2. *Světlo: časopis pro světelnou techniku a osvětlování* [online]. 2002, roč. 2002, č. 4 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=23060
- [7] RYBÁR. Neistota merania – časť 3. *Světlo: časopis pro světelnou techniku a osvětlování* [online]. 2003, roč. 3, č. 2003 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=23097
- [8] CIE No 53. *Methods of Characterizing the Performance of Radiometers and Photometers*. 1982.
- [9] YASSINEMRABET. Spectrophotometer. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2008 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Spectrophotometer-en.svg>

8 Přílohy

A. Spektra světelných zdrojů pro chybu $f_1(Z)_{max}$

λ (nm)	Trojčásm. Zářivka	Rtuťová vysokotl. výbojka	Sodíková vysokotl. výbojka	Halog. výbojka trojčásm.	Halog. výbojka vz. zem.
380	0	0	0,0107	0,0294	0,4524
390	0	0	0,0139	0,029	0,5255
400	0,0116	0,0483	0,0186	0,0884	0,6108
410	0,0117	0,0734	0,0227	0,1534	0,7401
420	0,0136	0,0167	0,0275	0,2969	0,8115
430	0,0262	0,0437	0,0344	0,1975	0,7448
440	0,0527	0,1865	0,0418	0,2472	0,743
450	0,0313	0,0187	0,0583	0,1822	0,6845
460	0,0277	0,0129	0,0338	0,2153	0,8092
470	0,0241	0,0137	0,0961	0,1794	0,7703
480	0,039	0,0133	0,0178	0,155	0,772
490	0,1424	0,0244	0,0201	0,165	0,7158
500	0,0373	0,0096	0,221	0,2328	0,7506
510	0,0081	0,0093	0,0258	0,0162	0,7361
520	0,0044	0,0089	0,0371	0,1938	0,7053
530	0,0096	0,0124	0,0123	0,44	0,692
540	0,4473	0,0293	0,0166	1	0,7546
550	0,3301	0,4138	0,0617	0,3178	0,9113
560	0,0466	0,0213	0,1371	0,2044	0,7425
570	0,0383	0,0177	0,839	0,4428	0,8219
580	0,1557	1	0,6659	0,3656	1
590	0,1691	0,0449	0,9976	0,7969	0,8498
600	0,1344	0,0231	1	0,7094	0,8538
610	1	0,0608	0,4785	0,5897	0,7976
620	0,1512	0,3863	0,3434	0,2944	0,8132

λ (nm)	Trojčpásm. Zářivka	Rtuťová vysokotl. výbojka	Sodíková vysokotl. výbojka	Halog. výbojka trojčpásm.	Halog. výbojka vz. zem.
630	0,2073	0,0358	0,1751	0,2088	0,7488
640	0,0238	0,0162	0,1354	0,22	0,6943
650	0,0526	0,0251	0,1107	0,1909	0,6311
660	0,0142	0,0156	0,0959	0,2022	0,6758
670	0,0155	0,0126	0,0959	0,5203	0,8121
680	0,0167	0,0091	0,0749	0,2503	0,6729
690	0,0182	0,0347	0,0468	0,1413	0,6427
700	0,02	0,1308	0,0386	0,1163	0,7448
710	0,0889	0,0243	0,0359	0,1066	0,4107
720	0	0,0068	0,0338	0,1028	0,4142
730	0	0,0077	0,0325	0,0828	0,431
740	0	0	0,032	0,0963	0,3254
750	0	0	0,0344	0,0956	0,3173
760	0	0	0,0431	0,1428	0,4391
770	0	0	0,078	0,3238	0,4078
780	0	0	0,0349	0,1275	0,3382
790	0	0	0,035	0,0916	0,3469

B. Spektrální chyba

Sodíková vysokotlaká výbojka (LUCALOX LU250/T/40)

rozsah radiolux 121217	400 (klx)			40 (klx)		
	63	(klx)		15,5	(klx)	
	$E(Z)_{mer}$ (klx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)	$E(Z)_{mer}$ (klx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)
HD 450 - 12036718	61,8	0,9810	-0,0190	13,6	0,8774	-0,1226
HD 450 - 12036735	59,9	0,9508	-0,0492	13,5	0,8710	-0,1290

rozsah	4 (klx)			400 (lx)		
radiolux 121217	1,778 (klx)			253,8 (lx)		
	$E(Z)_{mer}$ (klx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)	$E(Z)_{mer}$ (lx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)
HD 450 - 12036718	1,57	0,8830	-0,1170	216	0,8511	-0,1489
HD 450 - 12036735	1,52	0,8549	-0,1451	207	0,8156	-0,1844

rozsah	100 (klx)			20 (klx)		
radiolux 121217	51,29 (klx)			9,655 (klx)		
	$E(Z)_{mer}$ (klx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)	$E(Z)_{mer}$ (klx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)
PU 550, 03060895/000	52	1,0138	0,0138	9,66	1,0005	0,0005
PU 550, 03055670/000	47,7	0,9300	-0,0700	8,83	0,9146	-0,0854
PU 550, 03055669/000	52,9	1,0314	0,0314	9,72	1,0067	0,0067
PU 550, 03060894/000	51,3	1,0002	0,0002	9,62	0,9964	-0,0036

rozsah	2000 (lx)			200 (lx)		
radiolux 121217	1062 (lx)			106 (lx)		
	$E(Z)_{mer}$ (lx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)	$E(Z)_{mer}$ (lx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)
PU 550, 03060895/000	1045	0,9840	-0,0160	107	1,0094	0,0094
PU 550, 03055670/000	952	0,8964	-0,1036	102	0,9623	-0,0377
PU 550, 03055669/000	1047	0,9859	-0,0141	108,8	1,0264	0,0264
PU 550, 03060894/000	1056	0,9944	-0,0056	114,4	1,0792	0,0792

rozsah	300 (klx)			30 (klx)		
radiolux 121217	63 (klx)			15,5 (klx)		
	$E(Z)_{mer}$ (klx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)	$E(Z)_{mer}$ (klx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)
T-10W _L 8018-0L-R0054-12	62,1	0,9857	-0,0143	15,98	1,0310	0,0310
T-10W _L 80631005	59,2	0,9397	-0,0603	14,82	0,9561	-0,0439

rozsah	3 (klx)			300 (lx)		
radiolux 121217	1,778 (klx)			253,8 (lx)		
	$E(Z)_{mer}$ (klx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)	$E(Z)_{mer}$ (lx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)
T-10W _L 8018-0L-R0054-12	1,853	1,0422	0,0422	257	1,0126	0,0126
T-10W _L 80631005	1,725	0,9702	-0,0298	236	0,9299	-0,0701

Zářivka (Philips AL* 18 COMFORT)

rozsah	4 (klx)			400 (lx)		
radiolux 121217	1,23 (klx)			172,5 (lx)		
	$E(Z)_{mer}$ (klx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)	$E(Z)_{mer}$ (lx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)
HD 450 - 12036718	1,117	0,9081	-0,0919	148,2	0,8591	-0,1409
HD 450 - 12036735	1,105	0,8984	-0,1016	141,1	0,8180	-0,1820

rozsah	2000 (lx)			200 (lx)		
radiolux 121217	1,108 (klx)			112,4 (lx)		
	$E(Z)_{mer}$ (klx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)	$E(Z)_{mer}$ (lx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)
PU 550, 03060895/000	1,092	0,9856	-0,0144	107,7	0,9582	-0,0418
PU 550, 03055670/000	1,02	0,9206	-0,0794	96,6	0,8594	-0,1406
PU 550, 03055669/000	1,129	1,0190	0,0190	109	0,9698	-0,0302
PU 550, 03060894/000	1,055	0,9522	-0,0478	154,4	1,3737	0,3737

rozsah	3 (klx)			300 (lx)		
radiolux 121217	1,23 (klx)			172,5 (lx)		
	$E(Z)_{mer}$ (klx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)	$E(Z)_{mer}$ (lx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)
T-10W _L 8018-0L-R0054-12	1,233	1,0024	0,0024	170,2	0,9867	-0,0133
T-10W _L 80631005	1,122	0,9122	-0,0878	155,4	0,9009	-0,0991

Halogenidová výbojka (Osram HQI-T)

rozsah	400 (klx)			40 (klx)		
radiolux 121217	90,95 (klx)			19,68 (klx)		
	$E(Z)_{mer}$ (klx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)	$E(Z)_{mer}$ (klx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)
HD 450 - 12036718	320	3,5184	2,5184	17,6	0,8943	-0,1057
HD 450 - 12036735	280	3,0786	2,0786	18,5	0,9400	-0,0600

rozsah	4 (klx)			400 (lx)		
radiolux 121217	2,096 (lx)			298 (lx)		
	$E(Z)_{mer}$ (lx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)	$E(Z)_{mer}$ (lx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)
HD 450 - 12036718	1,95	0,9303	-0,0697	281	0,9430	-0,0570
HD 450 - 12036735	1,85	0,8826	-0,1174	256	0,8591	-0,1409

rozsah	100 (klx)			20 (klx)		
radiolux 121217	48,37 (klx)			10,47 (klx)		
	$E(Z)_{mer}$ (klx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)	$E(Z)_{mer}$ (klx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)
PU 550, 03060895/000	49,4	1,0213	0,0213	10,2	0,9742	-0,0258
PU 550, 03055670/000	44,5	0,9200	-0,0800	9,27	0,8854	-0,1146
PU 550, 03055669/000	50,5	1,0440	0,0440	10,6	1,0124	0,0124
PU 550, 03060894/000	48,2	0,9965	-0,0035	10,15	0,9694	-0,0306

rozsah	2000 (lx)			200 (lx)		
radiolux 121217	1052 (lx)			100,5 (lx)		
	$E(Z)_{mer}$ (lx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)	$E(Z)_{mer}$ (lx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)
PU 550, 03060895/000	1032	0,9810	-0,0190	112,6	1,1204	0,1204
PU 550, 03055670/000	938	0,8916	-0,1084	84	0,8358	-0,1642
PU 550, 03055669/000	1055	1,0029	0,0029	119,7	1,1910	0,1910
PU 550, 03060894/000	1022	0,9715	-0,0285	115,4	1,1483	0,1483

rozsah	300 (klx)			30 (klx)		
radiolux 121217	91,22 (klx)			14,25 (klx)		
	$E(Z)_{mer}$ (klx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)	$E(Z)_{mer}$ (klx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)
T-10W _L 8018-0L-R0054-12	111,5	1,2223	0,2223	14,33	1,0056	0,0056

rozsah	3 (klx)			300 (lx)		
radiolux 121217	1,335 (klx)			201,8 (lx)		
	$E(Z)_{mer}$ (klx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)	$E(Z)_{mer}$ (lx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)
T-10W _L 8018-0L-R0054-12	1,36	1,0187	0,0187	222,2	1,1011	0,1011

Rtuťová vysokotlaká výbojka (Tesla 400 W RVL X 101)

rozsah	400 (klx)			40 (klx)		
radiolux 121217	89,91 (klx)			20,3 (klx)		
	$E(Z)_{mer}$ (klx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)	$E(Z)_{mer}$ (klx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)
HD 450 - 12036718	95	1,0566	0,0566	17,5	0,8621	-0,1379
HD 450 - 12036735	94	1,0455	0,0455	17,35	0,8547	-0,1453

rozsah	4 (klx)			400 (lx)		
radiolux 121217	2,012 (lx)			282,7 (lx)		
	$E(Z)_{mer}$ (klx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)	$E(Z)_{mer}$ (lx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)
HD 450 - 12036718	1,76	0,8748	-0,1252	247,2	0,8744	-0,1256
HD 450 - 12036735	1,72	0,8549	-0,1451	232,8	0,8235	-0,1765

rozsah	100 (klx)			20 (klx)		
radiolux 121217	50,6 (klx)			10,8 (klx)		
	$E(Z)_{mer}$ (klx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)	$E(Z)_{mer}$ (klx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)
PU 550, 03060895/000	59,6	1,1779	0,1779	10,97	1,0157	0,0157
PU 550, 03055670/000	56,5	1,1166	0,1166	11,35	1,0509	0,0509
PU 550, 03055669/000	61,5	1,2154	0,2154	10,05	0,9306	-0,0694
PU 550, 03060894/000	56,7	1,1206	0,1206	10,85	1,0046	0,0046

rozsah	2000 (lx)			200 (lx)		
radiolux 121217	1025 (lx)			83,26 (lx)		
	$E(Z)_{mer}$ (lx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)	$E(Z)_{mer}$ (lx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)
PU 550, 03060895/000	1219	1,1893	0,1893	134,5	1,6154	0,6154
PU 550, 03055670/000	933	0,9102	-0,0898	74,2	0,8912	-0,1088
PU 550, 03055669/000	1046	1,0205	0,0205	86,3	1,0365	0,0365
PU 550, 03060894/000	1016	0,9912	-0,0088	81,5	0,9789	-0,0211

rozsah	300 (klx)			30 (klx)		
radiolux 121217	87,5 (klx)			15,08 (klx)		
	$E(Z)_{mer}$ (klx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)	$E(Z)_{mer}$ (klx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)
T-10W _L 8018-0L-R0054-12	91,2	1,0423	0,0423	14,95	0,9914	-0,0086

rozsah	3 (klx)			300 (lx)		
radiolux 121217	1,508 (klx)			274,1 (lx)		
	$E(Z)_{mer}$ (klx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)	$E(Z)_{mer}$ (lx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)
T-10W _L 8018-0L-R0054-12	1,512	1,0027	0,0027	279,5	1,0197	0,0197

Žárovka (Tungram 33 MPT2)

rozsah	400 (klx)			40 (klx)		
radiolux 121217	85,92 (klx)			22,59 (klx)		
	$E(Z)_{mer}$ (klx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)	$E(Z)_{mer}$ (klx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)
HD 450 - 12036718	115	1,3385	0,3385	24,98	1,1058	0,1058
HD 450 - 12036735	114	1,3268	0,3268	23,6	1,0447	0,0447

rozsah	4 (klx)			400 (lx)		
radiolux 121217	2072 (lx)			284,6 (lx)		
	$E(Z)_{mer}$ (lx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)	$E(Z)_{mer}$ (lx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)
HD 450 - 12036718	2217	1,0700	0,0700	301	1,0576	0,0576
HD 450 - 12036735	2157	1,0410	0,0410	285,7	1,0039	0,0039

rozsah	100 (klx)			20 (klx)		
radiolux 121217	51,19 (klx)			10,14 (klx)		
	$E(Z)_{mer}$ (klx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)	$E(Z)_{mer}$ (klx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)
PU 550, 03060895/000	52,4	1,0236	0,0236	10,38	1,0237	0,0237
PU 550, 03055670/000	48,7	0,9514	-0,0486	9,43	0,9300	-0,0700
PU 550, 03055669/000	57,9	1,1311	0,1311	10,34	1,0197	0,0197
PU 550, 03060894/000	52,3	1,0217	0,0217	10,19	1,0049	0,0049

rozsah	2000 (lx)			200 (lx)		
radiolux 121217	1185 (lx)			105 (lx)		
	$E(Z)_{mer}$ (lx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)	$E(Z)_{mer}$ (lx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)
PU 550, 03060895/000	1182	0,9975	-0,0025	105,9	1,0086	0,0086
PU 550, 03055670/000	1090	0,9198	-0,0802	97,4	0,9276	-0,0724
PU 550, 03055669/000	1192	1,0059	0,0059	105,3	1,0029	0,0029
PU 550, 03060894/000	1195	1,0084	0,0084	94,5	0,9000	-0,1000

rozsah	300 (klx)			30 (klx)		
radiolux 121217	32,8 (klx)			15,96 (klx)		
	$E(Z)_{mer}$ (klx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)	$E(Z)_{mer}$ (klx)	$a(Z)$ (-)	$f_I(Z)$ (-)
T-10W _L 8018-0L-R0054-12	31,7	0,9665	-0,0335	16	1,0025	0,0025

rozsah	3 (klx)			300 (lx)		
radiolux 121217	1,42 (klx)			255,4 (lx)		
	$E(Z)_{mer}$ (klx)	$a(Z)$ (-)	$f_1(Z)$ (-)	$E(Z)_{mer}$ (lx)	$a(Z)$ (-)	$f_1(Z)$ (-)
T-10W _L 8018-0L-R0054-12	1,46	1,0282	0,0282	260	1,0180	0,0180

C. Směrová chyba

luxmetr	radiolux 121217		HD 450 - 12036718		HD 450 - 12036735	
	E (lx)	$f_2(\varepsilon)$ (-)	E (lx)	$f_2(\varepsilon)$ (-)	E (lx)	$f_2(\varepsilon)$ (-)
0	2927	0,0000	3135	0,0000	3060	0,0000
5	2916	0,0000	3135	0,0038	3042	-0,0021
10	2878	-0,0016	3085	-0,0008	2997	-0,0055
15	2810	-0,0061	3064	0,0118	2909	-0,0158
20	2711	-0,0144	2982	0,0122	2804	-0,0249
25	2594	-0,0222	2875	0,0119	2693	-0,0290
30	2459	-0,0299	2764	0,0181	2606	-0,0166
35	2296	-0,0424	2626	0,0226	2460	-0,0186
40	2125	-0,0523	2450	0,0202	2302	-0,0180
45	1931	-0,0670	2278	0,0276	2125	-0,0179
50	1740	-0,0752	2095	0,0396	1945	-0,0111
55	1523	-0,0928	1928	0,0722	1717	-0,0217
60	1310	-0,1049	1732	0,1049	1581	0,0333
65	1080	-0,1269	1535	0,1586	1378	0,0656
70	856,6	-0,1443	1259	0,1742	1155	0,1036
75	628,1	-0,1709	1012	0,2472	911	0,1503
80	411,8	-0,1898	736	0,3520	698	0,3136
85	104,9	-0,5888	467	0,7092	445	0,6686

luxmetr	PU 550, 03060895/000		PU 550, 03055670/000		PU 550, 03055669/000	
	E (lx)	$f_2(\varepsilon)$ (-)	E (lx)	$f_2(\varepsilon)$ (-)	E (lx)	$f_2(\varepsilon)$ (-)
0	5,61	0,0000	2,68	0,0000	5660	0,0000
5	5,58	-0,0015	2,66	-0,0037	5640	0,0003
10	5,49	-0,0063	2,61	-0,0111	5570	-0,0007
15	5,35	-0,0127	2,53	-0,0227	5370	-0,0178
20	5,18	-0,0174	2,44	-0,0311	5160	-0,0298
25	4,95	-0,0264	2,33	-0,0407	5000	-0,0253
30	4,66	-0,0408	2,18	-0,0607	4740	-0,0330
35	4,34	-0,0556	2,03	-0,0753	4430	-0,0445
40	3,79	-0,1181	1,873	-0,0877	3940	-0,0913
45	3,55	-0,1051	1,675	-0,1161	3630	-0,0930
50	3,18	-0,1181	1,48	-0,1409	3250	-0,1067
55	2,66	-0,1733	1,264	-0,1777	2840	-0,1252
60	2,26	-0,1943	1,052	-0,2149	2340	-0,1731
65	1,78	-0,2492	0,819	-0,2769	1930	-0,1932
70	1,25	-0,3485	0,589	-0,3574	1298	-0,3295
75	0,87	-0,4008	0,367	-0,4709	920	-0,3720
80	0,45	-0,5381	0,1478	-0,6824	422	-0,5706
85	0,076	-0,8446	0,014	-0,9401	111	-0,7750

luxmetr	PU 550, 03060894/000		T - 10W1 80631005		T - 10W _L 8018-0L- R0054-12	
	E (lx)	$f_2(\varepsilon)$ (-)	E (lx)	$f_2(\varepsilon)$ (-)	E (lx)	$f_2(\varepsilon)$ (-)
0	2,96	0,0000	2776	0,0000	1915	0,0000
5	2,95	0,0004	2773	0,0027	1915	0,0038
10	2,93	0,0051	2737	0,0012	1903	0,0091
15	2,87	0,0038	2667	-0,0054	1878	0,0153
20	2,79	0,0031	2589	-0,0075	1834	0,0192
25	2,68	-0,0010	2478	-0,0151	1777	0,0239
30	2,56	-0,0013	2342	-0,0258	1705	0,0281
35	2,4	-0,0102	2201	-0,0321	1623	0,0346
40	2,23	-0,0165	2045	-0,0383	1519	0,0355
45	2,03	-0,0301	1864	-0,0504	1403	0,0361
50	1,833	-0,0366	1671	-0,0635	1284	0,0431
55	1,601	-0,0570	1491	-0,0636	1150	0,0470
60	1,382	-0,0662	1280	-0,0778	1001	0,0454
65	1,138	-0,0903	1073	-0,0854	853	0,0540
70	0,878	-0,1327	875	-0,0784	699	0,0672
75	0,623	-0,1868	644	-0,1037	550	0,1097
80	0,377	-0,2665	440	-0,0872	413	0,2420
85	0,1525	-0,4089	275	0,1366	297	0,7795

D. Spektrofotometr

Spektrofotometr katedry elektroenergetiky nezobrazuje velikost ozáření, ale pouze proud protékající obvodem. Z tohoto důvodu nemám u ozáření naměřeném spektrofotometrem katedry energetiky uvedeny jednotky. Pro přehlednost jsou hodnoty naměřené spektrofotometrem katedry energetiky tisíckrát zvětšeny. Po vynásobení, nevynásobených dat ze spektrofotometru katedry energetiky, zde uváděnou citlivostí tak získám výsledky ve watttech.

λ (nm)	ČMI		kat. elektroenergetiky		s (-)	
	E_e (mW)		$1000 \cdot E_e$			
	2856 K	2856 K, zel. f.	2856 K	2856 K, zel. f.	2856 K	2856 K, zel. f.
380	0,590	0,002	8,866	0,050	0,067	0,032
381	0,612	0,001	8,915	0,048	0,069	0,016
382	0,634	0,000	9,048	0,048	0,070	0,000
383	0,659	0,000	9,283	0,045	0,071	0,009
384	0,681	0,001	9,503	0,043	0,072	0,013
385	0,697	0,002	9,733	0,043	0,072	0,052
386	0,725	0,001	9,957	0,044	0,073	0,012
387	0,744	0,001	10,186	0,046	0,073	0,013
388	0,768	0,000	10,404	0,047	0,074	0,000
389	0,796	0,000	10,646	0,047	0,075	0,000
390	0,821	0,000	10,903	0,053	0,075	0,000
391	0,840	0,001	11,149	0,053	0,075	0,028
392	0,866	0,000	11,405	0,055	0,076	0,007
393	0,891	0,002	11,660	0,055	0,076	0,030
394	0,910	0,002	11,934	0,056	0,076	0,034
395	0,938	0,001	12,200	0,058	0,077	0,017
396	0,970	0,002	12,445	0,066	0,078	0,026
397	0,995	0,002	12,718	0,068	0,078	0,029
398	1,021	0,002	13,003	0,074	0,079	0,033
399	1,049	0,004	13,256	0,085	0,079	0,042
400	1,084	0,006	13,537	0,109	0,080	0,056
401	1,111	0,007	13,804	0,133	0,080	0,056
402	1,140	0,009	14,079	0,155	0,081	0,060
403	1,171	0,013	14,367	0,180	0,081	0,074
404	1,199	0,016	14,625	0,219	0,082	0,072
405	1,230	0,018	14,936	0,265	0,082	0,069
406	1,262	0,024	15,235	0,314	0,083	0,076
407	1,292	0,028	15,520	0,371	0,083	0,075
408	1,320	0,034	15,771	0,433	0,084	0,078
409	1,352	0,039	16,027	0,496	0,084	0,079
410	1,382	0,044	16,301	0,563	0,085	0,078
411	1,415	0,050	16,585	0,638	0,085	0,078

λ (nm)	ČMI		kat. elektroenergetiky		s (-)	
	E_e (mW)		$1000 \cdot E_e$			
	2856 K	2856 K, zel. f.	2856 K	2856 K, zel. f.	2856 K	2856 K, zel. f.
412	1,448	0,057	16,883	0,722	0,086	0,080
413	1,479	0,063	17,152	0,807	0,086	0,078
414	1,512	0,071	17,435	0,894	0,087	0,079
415	1,543	0,077	17,749	0,986	0,087	0,078
416	1,576	0,085	18,049	1,086	0,087	0,078
417	1,610	0,093	18,350	1,175	0,088	0,079
418	1,646	0,100	18,675	1,277	0,088	0,078
419	1,681	0,107	19,003	1,380	0,088	0,078
420	1,717	0,116	19,345	1,479	0,089	0,079
421	1,752	0,123	19,683	1,580	0,089	0,078
422	1,787	0,132	20,300	1,680	0,088	0,078
423	1,822	0,140	20,430	1,788	0,089	0,079
424	1,858	0,149	20,670	1,900	0,090	0,078
425	1,893	0,158	20,970	2,116	0,090	0,075
426	1,933	0,168	21,290	2,155	0,091	0,078
427	1,969	0,177	21,640	2,244	0,091	0,079
428	2,010	0,189	21,970	2,356	0,091	0,080
429	2,050	0,199	22,260	2,473	0,092	0,080
430	2,086	0,209	22,580	2,593	0,092	0,081
431	2,123	0,220	22,870	2,721	0,093	0,081
432	2,165	0,232	23,210	2,867	0,093	0,081
433	2,203	0,244	23,550	3,009	0,094	0,081
434	2,239	0,256	23,850	3,140	0,094	0,081
435	2,278	0,269	24,210	3,279	0,094	0,082
436	2,312	0,282	24,530	3,427	0,094	0,082
437	2,352	0,295	24,870	3,590	0,095	0,082
438	2,391	0,310	25,190	3,754	0,095	0,083
439	2,431	0,324	25,530	3,922	0,095	0,083
440	2,469	0,340	25,860	4,095	0,095	0,083
441	2,510	0,355	26,190	4,259	0,096	0,083
442	2,552	0,373	26,610	4,456	0,096	0,084
443	2,592	0,390	26,970	4,664	0,096	0,084
444	2,637	0,409	27,310	4,881	0,097	0,084
445	2,678	0,427	27,680	5,098	0,097	0,084
446	2,726	0,448	28,070	5,311	0,097	0,084
447	2,768	0,468	28,420	5,555	0,097	0,084
448	2,812	0,490	28,700	5,806	0,098	0,084
449	2,857	0,511	29,060	6,054	0,098	0,084
450	2,903	0,534	29,450	6,318	0,099	0,084

λ (nm)	ČMI		kat. elektroenergetiky		s (-)	
	E_e (mW)		$1000 \cdot E_e$			
	2856 K	2856 K, zel. f.	2856 K	2856 K, zel. f.	2856 K	2856 K, zel. f.
451	2,942	0,557	29,880	6,595	0,098	0,084
452	2,994	0,583	30,230	6,876	0,099	0,085
453	3,041	0,610	30,610	7,158	0,099	0,085
454	3,086	0,636	31,000	7,441	0,100	0,085
455	3,132	0,663	31,350	7,752	0,100	0,086
456	3,179	0,691	31,670	8,058	0,100	0,086
457	3,224	0,720	32,080	8,366	0,100	0,086
458	3,275	0,751	32,480	8,718	0,101	0,086
459	3,312	0,781	32,850	9,057	0,101	0,086
460	3,367	0,814	33,240	9,380	0,101	0,087
461	3,415	0,847	33,650	9,739	0,101	0,087
462	3,460	0,880	34,000	10,115	0,102	0,087
463	3,504	0,913	34,320	10,467	0,102	0,087
464	3,549	0,947	34,710	10,825	0,102	0,087
465	3,598	0,982	35,110	11,230	0,102	0,087
466	3,646	1,016	35,510	11,642	0,103	0,087
467	3,693	1,049	35,850	11,987	0,103	0,088
468	3,740	1,083	36,160	12,345	0,103	0,088
469	3,790	1,120	36,590	12,738	0,104	0,088
470	3,836	1,157	36,950	13,177	0,104	0,088
471	3,883	1,195	37,350	13,577	0,104	0,088
472	3,927	1,231	37,720	13,962	0,104	0,088
473	3,978	1,271	38,040	14,410	0,105	0,088
474	4,025	1,310	38,400	14,812	0,105	0,088
475	4,072	1,349	38,720	15,224	0,105	0,089
476	4,122	1,390	39,120	15,645	0,105	0,089
477	4,172	1,429	39,510	16,078	0,106	0,089
478	4,219	1,472	39,850	16,521	0,106	0,089
479	4,265	1,513	40,170	16,969	0,106	0,089
480	4,315	1,557	40,550	17,456	0,106	0,089
481	4,367	1,602	41,010	17,935	0,106	0,089
482	4,417	1,648	41,470	18,398	0,107	0,090
483	4,466	1,696	41,880	18,866	0,107	0,090
484	4,521	1,744	42,240	19,320	0,107	0,090
485	4,575	1,795	42,610	19,833	0,107	0,091
486	4,626	1,845	42,950	20,920	0,108	0,088
487	4,673	1,897	43,280	21,080	0,108	0,090
488	4,724	1,946	43,610	21,440	0,108	0,091
489	4,774	1,997	43,980	21,950	0,109	0,091

λ (nm)	ČMI		kat. elektroenergetiky		s (-)	
	E_e (mW)		$1000 \cdot E_e$			
	2856 K	2856 K, zel. f.	2856 K	2856 K, zel. f.	2856 K	2856 K, zel. f.
490	4,829	2,052	44,300	22,500	0,109	0,091
491	4,882	2,105	44,590	23,020	0,109	0,091
492	4,938	2,158	44,860	23,530	0,110	0,092
493	4,992	2,214	45,190	24,060	0,110	0,092
494	5,043	2,269	45,480	24,570	0,111	0,092
495	5,101	2,326	45,850	25,080	0,111	0,093
496	5,155	2,380	46,190	25,600	0,112	0,093
497	5,210	2,435	46,420	26,120	0,112	0,093
498	5,260	2,488	46,720	26,620	0,113	0,093
499	5,316	2,542	47,080	27,070	0,113	0,094
500	5,368	2,598	47,400	27,580	0,113	0,094
501	5,424	2,650	47,730	28,080	0,114	0,094
502	5,482	2,707	47,990	28,560	0,114	0,095
503	5,535	2,760	48,160	29,000	0,115	0,095
504	5,591	2,813	48,560	29,520	0,115	0,095
505	5,649	2,866	48,980	30,120	0,115	0,095
506	5,695	2,916	49,340	30,620	0,115	0,095
507	5,755	2,968	49,650	31,080	0,116	0,095
508	5,814	3,019	49,880	31,550	0,117	0,096
509	5,869	3,069	50,240	32,020	0,117	0,096
510	5,922	3,116	50,550	32,360	0,117	0,096
511	5,983	3,167	50,670	32,640	0,118	0,097
512	6,038	3,213	50,890	32,970	0,119	0,097
513	6,095	3,260	51,080	33,260	0,119	0,098
514	6,153	3,304	51,190	33,520	0,120	0,099
515	6,209	3,346	51,320	33,710	0,121	0,099
516	6,269	3,390	51,510	33,880	0,122	0,100
517	6,331	3,433	51,660	34,210	0,123	0,100
518	6,390	3,472	51,870	34,520	0,123	0,101
519	6,449	3,508	52,070	34,840	0,124	0,101
520	6,509	3,547	52,370	35,080	0,124	0,101
521	6,565	3,579	52,660	35,310	0,125	0,101
522	6,629	3,615	52,990	35,560	0,125	0,102
523	6,693	3,647	53,320	35,760	0,126	0,102
524	6,751	3,676	53,560	35,960	0,126	0,102
525	6,816	3,704	53,910	36,210	0,126	0,102
526	6,877	3,730	54,230	36,430	0,127	0,102
527	6,945	3,757	54,570	36,550	0,127	0,103
528	7,014	3,785	54,870	36,750	0,128	0,103

λ (nm)	ČMI		kat. elektroenergetiky		s (-)	
	E_e (mW)		$1000 \cdot E_e$			
	2856 K	2856 K, zel. f.	2856 K	2856 K, zel. f.	2856 K	2856 K, zel. f.
529	7,082	3,806	55,150	36,980	0,128	0,103
530	7,149	3,825	55,480	37,070	0,129	0,103
531	7,224	3,848	55,770	37,120	0,130	0,104
532	7,286	3,861	56,140	37,270	0,130	0,104
533	7,347	3,871	56,490	37,400	0,130	0,103
534	7,407	3,878	56,830	37,450	0,130	0,104
535	7,460	3,880	57,180	37,440	0,130	0,104
536	7,513	3,881	57,550	37,320	0,131	0,104
537	7,560	3,874	57,860	37,140	0,131	0,104
538	7,606	3,865	58,150	37,060	0,131	0,104
539	7,652	3,854	58,490	37,000	0,131	0,104
540	7,701	3,843	58,860	37,050	0,131	0,104
541	7,759	3,835	59,170	37,010	0,131	0,104
542	7,811	3,823	59,420	36,880	0,131	0,104
543	7,877	3,813	59,710	36,690	0,132	0,104
544	7,941	3,801	60,040	36,510	0,132	0,104
545	8,007	3,788	60,340	36,350	0,133	0,104
546	8,076	3,774	60,610	36,190	0,133	0,104
547	8,147	3,759	60,900	36,050	0,134	0,104
548	8,213	3,740	61,200	35,950	0,134	0,104
549	8,287	3,722	61,480	35,690	0,135	0,104
550	8,357	3,700	61,800	35,370	0,135	0,105
551	8,430	3,678	62,080	35,130	0,136	0,105
552	8,496	3,653	62,400	34,850	0,136	0,105
553	8,573	3,630	62,670	34,560	0,137	0,105
554	8,645	3,604	62,900	34,290	0,137	0,105
555	8,716	3,576	63,130	33,960	0,138	0,105
556	8,785	3,545	63,440	33,600	0,138	0,106
557	8,848	3,512	63,670	33,250	0,139	0,106
558	8,913	3,479	63,970	32,870	0,139	0,106
559	8,979	3,443	64,230	32,450	0,140	0,106
560	9,046	3,407	64,520	32,070	0,140	0,106
561	9,108	3,368	64,710	31,770	0,141	0,106
562	9,168	3,326	64,910	31,410	0,141	0,106
563	9,226	3,283	65,130	31,000	0,142	0,106
564	9,293	3,240	65,300	30,490	0,142	0,106
565	9,358	3,198	65,500	30,030	0,143	0,106
566	9,425	3,154	65,710	29,690	0,143	0,106
567	9,486	3,109	65,990	29,330	0,144	0,106

λ (nm)	ČMI		kat. elektroenergetiky		s (-)	
	E_e (mW)		$1000 \cdot E_e$			
	2856 K	2856 K, zel. f.	2856 K	2856 K, zel. f.	2856 K	2856 K, zel. f.
568	9,551	3,063	66,210	28,860	0,144	0,106
569	9,615	3,016	66,400	28,330	0,145	0,106
570	9,679	2,969	66,590	27,790	0,145	0,107
571	9,737	2,919	66,750	27,270	0,146	0,107
572	9,799	2,871	66,920	26,800	0,146	0,107
573	9,864	2,822	67,110	26,430	0,147	0,107
574	9,928	2,773	67,310	26,040	0,147	0,107
575	9,998	2,725	67,440	25,550	0,148	0,107
576	10,054	2,672	67,610	25,050	0,149	0,107
577	10,118	2,623	67,790	24,510	0,149	0,107
578	10,184	2,573	67,890	23,970	0,150	0,107
579	10,246	2,523	67,990	23,450	0,151	0,108
580	10,310	2,472	68,070	22,920	0,151	0,108
581	10,378	2,423	68,160	22,400	0,152	0,108
582	10,445	2,374	68,220	21,970	0,153	0,108
583	10,511	2,325	68,320	21,450	0,154	0,108
584	10,580	2,275	68,410	20,890	0,155	0,109
585	10,644	2,227	68,550	20,380	0,155	0,109
586	10,706	2,177	68,680	19,870	0,156	0,110
587	10,773	2,128	68,690	19,390	0,157	0,110
588	10,841	2,080	68,740	18,880	0,158	0,110
589	10,906	2,033	68,810	18,340	0,158	0,111
590	10,977	1,986	68,820	17,820	0,160	0,111
591	11,043	1,938	68,760	17,320	0,161	0,112
592	11,110	1,893	68,710	16,800	0,162	0,113
593	11,176	1,846	68,650	16,290	0,163	0,113
594	11,240	1,800	68,450	15,730	0,164	0,114
595	11,307	1,755	68,060	14,453	0,166	0,121
596	11,375	1,711	67,500	14,302	0,169	0,120
597	11,440	1,667	66,860	13,823	0,171	0,121
598	11,508	1,624	66,260	13,159	0,174	0,123
599	11,575	1,581	65,820	12,634	0,176	0,125
600	11,641	1,539	65,850	12,180	0,177	0,126
601	11,704	1,498	65,990	11,751	0,177	0,127
602	11,764	1,456	66,010	11,347	0,178	0,128
603	11,832	1,416	66,080	10,994	0,179	0,129
604	11,892	1,376	66,190	10,680	0,180	0,129
605	11,953	1,338	66,400	10,378	0,180	0,129
606	12,019	1,300	66,630	10,100	0,180	0,129

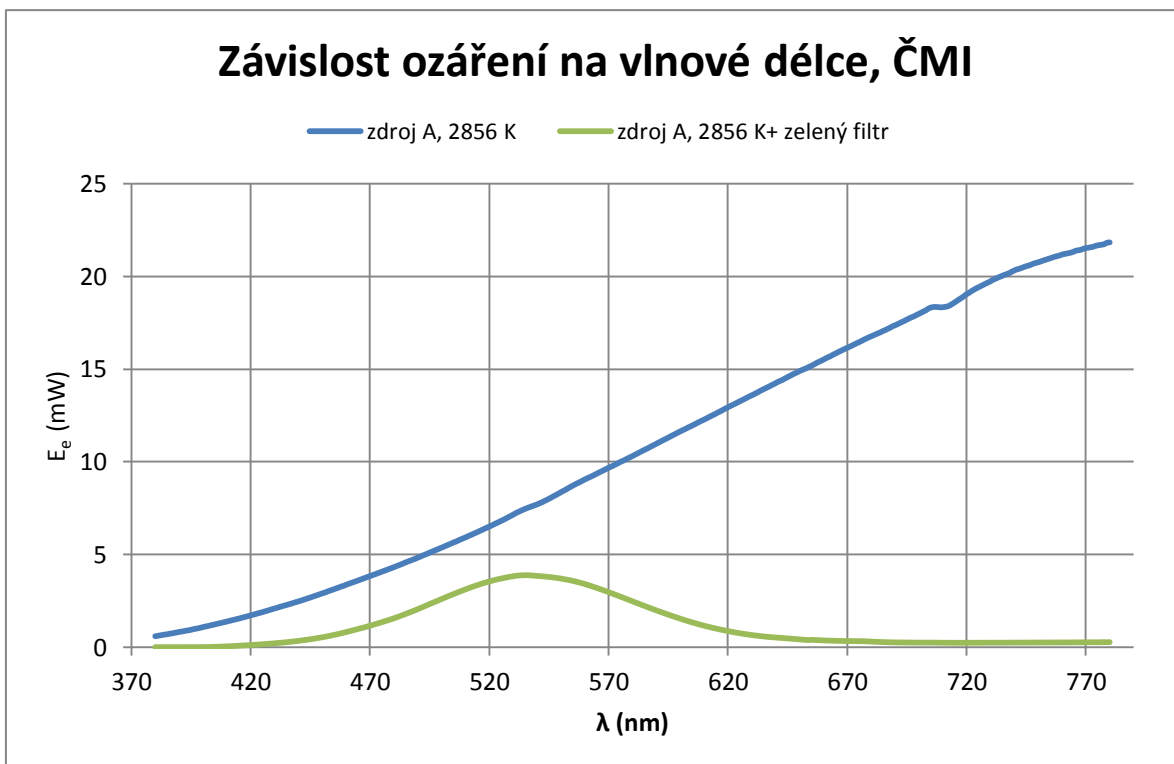
λ (nm)	ČMI		kat. elektroenergetiky		s (-)	
	E_e (mW)		$1000 \cdot E_e$			
	2856 K	2856 K, zel. f.	2856 K	2856 K, zel. f.	2856 K	2856 K, zel. f.
607	12,089	1,264	66,830	9,831	0,181	0,129
608	12,153	1,229	67,160	9,601	0,181	0,128
609	12,219	1,194	67,490	9,361	0,181	0,128
610	12,277	1,159	67,770	9,114	0,181	0,127
611	12,342	1,126	68,070	8,881	0,181	0,127
612	12,411	1,095	68,400	8,666	0,181	0,126
613	12,474	1,064	68,760	8,458	0,181	0,126
614	12,538	1,033	69,150	8,229	0,181	0,126
615	12,604	1,004	69,540	8,029	0,181	0,125
616	12,675	0,975	69,960	7,832	0,181	0,125
617	12,738	0,948	70,370	7,637	0,181	0,124
618	12,807	0,921	70,740	7,452	0,181	0,124
619	12,876	0,894	71,180	7,273	0,181	0,123
620	12,944	0,868	71,610	7,081	0,181	0,123
621	13,008	0,842	72,020	6,907	0,181	0,122
622	13,071	0,818	72,440	6,753	0,180	0,121
623	13,132	0,796	72,830	6,590	0,180	0,121
624	13,201	0,773	73,240	6,438	0,180	0,120
625	13,266	0,751	73,620	6,279	0,180	0,120
626	13,331	0,731	74,030	6,120	0,180	0,119
627	13,395	0,710	74,420	5,966	0,180	0,119
628	13,460	0,691	74,790	5,821	0,180	0,119
629	13,530	0,672	75,240	5,679	0,180	0,118
630	13,588	0,654	75,670	5,558	0,180	0,118
631	13,652	0,636	76,040	5,438	0,180	0,117
632	13,718	0,622	76,400	5,325	0,180	0,117
633	13,788	0,606	76,700	5,224	0,180	0,116
634	13,857	0,591	77,030	5,118	0,180	0,116
635	13,921	0,578	77,330	5,020	0,180	0,115
636	13,985	0,565	77,630	4,933	0,180	0,115
637	14,047	0,552	77,870	4,841	0,180	0,114
638	14,114	0,541	78,170	4,755	0,181	0,114
639	14,177	0,531	78,500	4,686	0,181	0,113
640	14,244	0,521	78,790	4,627	0,181	0,113
641	14,315	0,512	79,120	4,508	0,181	0,113
642	14,370	0,503	79,430	4,453	0,181	0,113
643	14,431	0,492	79,710	4,385	0,181	0,112
644	14,501	0,483	79,930	4,307	0,181	0,112
645	14,571	0,472	80,220	4,230	0,182	0,112

λ (nm)	ČMI		kat. elektroenergetiky		s (-)	
	E_e (mW)		$1000 \cdot E_e$			
	2856 K	2856 K, zel. f.	2856 K	2856 K, zel. f.	2856 K	2856 K, zel. f.
646	14,637	0,463	80,520	4,155	0,182	0,111
647	14,705	0,452	80,780	4,059	0,182	0,111
648	14,771	0,440	80,990	3,961	0,182	0,111
649	14,826	0,431	81,180	3,880	0,183	0,111
650	14,893	0,420	81,380	3,791	0,183	0,111
651	14,951	0,410	81,580	3,692	0,183	0,111
652	15,002	0,400	81,860	3,608	0,183	0,111
653	15,056	0,391	82,110	3,541	0,183	0,110
654	15,123	0,383	82,320	3,465	0,184	0,111
655	15,181	0,395	82,570	3,398	0,184	0,116
656	15,248	0,390	82,770	3,350	0,184	0,116
657	15,323	0,383	82,940	3,298	0,185	0,116
658	15,388	0,376	83,170	3,236	0,185	0,116
659	15,445	0,370	83,320	3,182	0,185	0,116
660	15,513	0,365	83,410	3,155	0,186	0,116
661	15,579	0,360	83,560	3,119	0,186	0,115
662	15,644	0,355	83,740	3,077	0,187	0,115
663	15,701	0,351	83,840	3,027	0,187	0,116
664	15,775	0,347	83,950	2,985	0,188	0,116
665	15,838	0,343	84,090	2,960	0,188	0,116
666	15,906	0,340	84,220	2,925	0,189	0,116
667	15,966	0,337	84,350	2,889	0,189	0,117
668	16,032	0,334	84,480	2,866	0,190	0,117
669	16,090	0,332	84,640	2,839	0,190	0,117
670	16,154	0,330	84,770	2,819	0,191	0,117
671	16,210	0,329	84,880	2,805	0,191	0,117
672	16,273	0,328	85,000	2,793	0,191	0,117
673	16,337	0,328	85,140	2,782	0,192	0,118
674	16,399	0,326	85,260	2,778	0,192	0,117
675	16,458	0,324	85,360	2,754	0,193	0,118
676	16,525	0,322	85,510	2,722	0,193	0,118
677	16,590	0,319	85,550	2,689	0,194	0,119
678	16,652	0,315	85,630	2,650	0,194	0,119
679	16,712	0,309	85,730	2,591	0,195	0,119
680	16,768	0,302	85,780	2,533	0,195	0,119
681	16,826	0,296	85,890	2,471	0,196	0,120
682	16,881	0,290	85,930	2,415	0,196	0,120
683	16,939	0,284	85,950	2,360	0,197	0,120
684	16,993	0,278	86,000	2,312	0,198	0,120

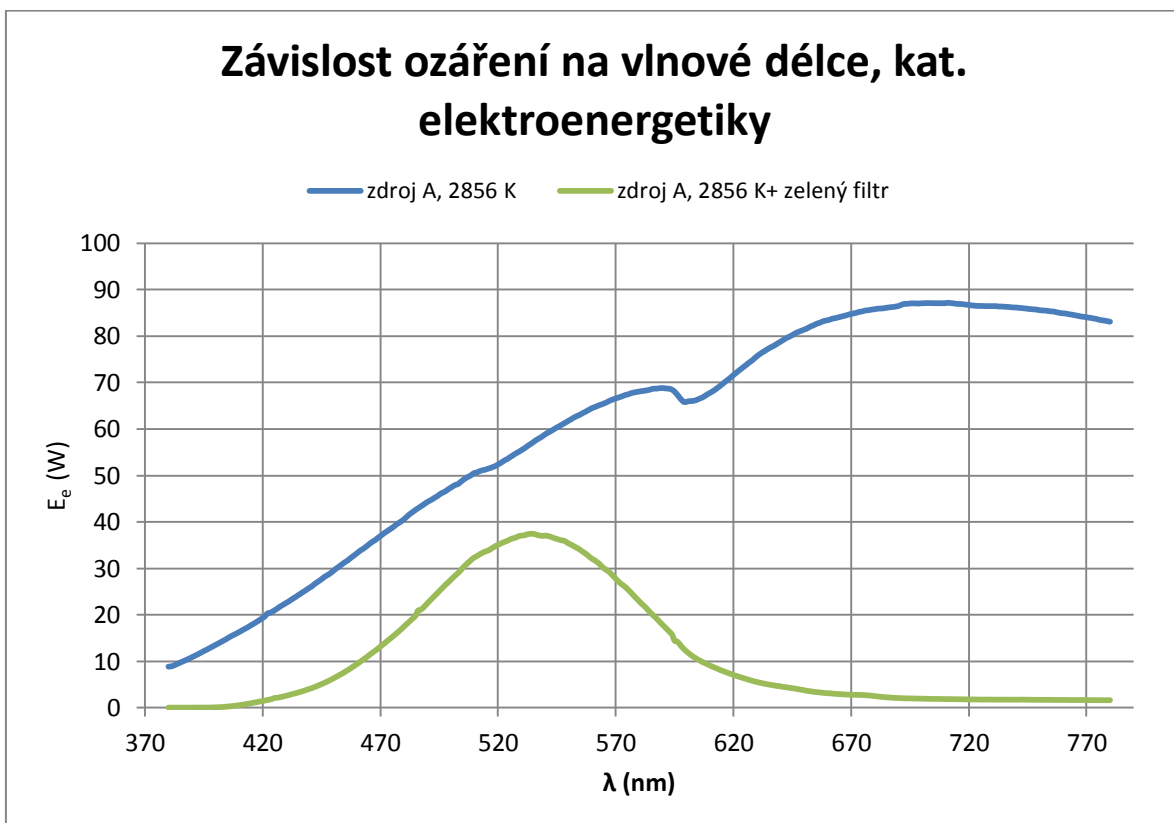
λ (nm)	ČMI		kat. elektroenergetiky		s (-)	
	E_e (mW)		$1000 \cdot E_e$			
	2856 K	2856 K, zel. f.	2856 K	2856 K, zel. f.	2856 K	2856 K, zel. f.
685	17,058	0,274	86,100	2,266	0,198	0,121
686	17,113	0,269	86,170	2,228	0,199	0,121
687	17,178	0,265	86,240	2,195	0,199	0,121
688	17,237	0,263	86,280	2,168	0,200	0,121
689	17,312	0,260	86,370	2,138	0,200	0,122
690	17,362	0,257	86,460	2,108	0,201	0,122
691	17,422	0,256	86,650	2,092	0,201	0,122
692	17,485	0,254	86,860	2,067	0,201	0,123
693	17,546	0,253	86,940	2,047	0,202	0,123
694	17,611	0,252	86,950	2,037	0,203	0,124
695	17,676	0,251	87,020	2,029	0,203	0,124
696	17,739	0,249	87,050	2,017	0,204	0,124
697	17,797	0,248	87,040	2,002	0,204	0,124
698	17,853	0,247	87,020	1,994	0,205	0,124
699	17,919	0,247	87,020	1,982	0,206	0,125
700	17,982	0,247	87,070	1,968	0,207	0,125
701	18,045	0,246	87,080	1,954	0,207	0,126
702	18,114	0,245	87,110	1,947	0,208	0,126
703	18,179	0,246	87,100	1,933	0,209	0,127
704	18,264	0,245	87,110	1,929	0,210	0,127
705	18,319	0,245	87,090	1,916	0,210	0,128
706	18,349	0,244	87,080	1,912	0,211	0,128
707	18,355	0,244	87,080	1,906	0,211	0,128
708	18,346	0,243	87,080	1,896	0,211	0,128
709	18,336	0,240	87,080	1,893	0,211	0,127
710	18,338	0,239	87,090	1,883	0,211	0,127
711	18,359	0,238	87,170	1,876	0,211	0,127
712	18,384	0,238	87,130	1,875	0,211	0,127
713	18,439	0,237	87,080	1,872	0,212	0,127
714	18,517	0,237	87,000	1,858	0,213	0,127
715	18,598	0,237	86,930	1,849	0,214	0,128
716	18,687	0,237	86,920	1,849	0,215	0,128
717	18,772	0,236	86,900	1,841	0,216	0,128
718	18,853	0,237	86,830	1,829	0,217	0,130
719	18,942	0,237	86,770	1,821	0,218	0,130
720	19,039	0,238	86,700	1,817	0,220	0,131
721	19,114	0,238	86,630	1,809	0,221	0,131
722	19,202	0,238	86,570	1,798	0,222	0,132
723	19,276	0,238	86,520	1,794	0,223	0,133

λ (nm)	ČMI		kat. elektroenergetiky		s (-)	
	E_e (mW)		$1000 \cdot E_e$			
	2856 K	2856 K, zel. f.	2856 K	2856 K, zel. f.	2856 K	2856 K, zel. f.
724	19,353	0,238	86,490	1,785	0,224	0,133
725	19,416	0,239	86,500	1,780	0,224	0,134
726	19,482	0,240	86,470	1,772	0,225	0,135
727	19,549	0,239	86,460	1,774	0,226	0,135
728	19,613	0,240	86,460	1,777	0,227	0,135
729	19,675	0,240	86,450	1,780	0,228	0,135
730	19,737	0,241	86,450	1,769	0,228	0,137
731	19,814	0,243	86,460	1,767	0,229	0,137
732	19,872	0,242	86,420	1,762	0,230	0,137
733	19,927	0,242	86,370	1,761	0,231	0,138
734	19,985	0,243	86,370	1,761	0,231	0,138
735	20,036	0,242	86,340	1,762	0,232	0,138
736	20,093	0,242	86,290	1,765	0,233	0,137
737	20,134	0,242	86,270	1,761	0,233	0,137
738	20,187	0,244	86,210	1,757	0,234	0,139
739	20,261	0,244	86,170	1,759	0,235	0,139
740	20,320	0,246	86,150	1,757	0,236	0,140
741	20,377	0,247	86,110	1,745	0,237	0,141
742	20,412	0,246	86,060	1,775	0,237	0,139
743	20,457	0,247	86,010	1,766	0,238	0,140
744	20,507	0,248	85,950	1,754	0,239	0,141
745	20,552	0,248	85,890	1,742	0,239	0,142
746	20,589	0,249	85,820	1,738	0,240	0,143
747	20,634	0,249	85,780	1,731	0,241	0,144
748	20,689	0,249	85,740	1,723	0,241	0,144
749	20,728	0,250	85,690	1,726	0,242	0,145
750	20,764	0,250	85,590	1,724	0,243	0,145
751	20,806	0,249	85,540	1,723	0,243	0,144
752	20,854	0,250	85,510	1,716	0,244	0,146
753	20,897	0,251	85,470	1,719	0,244	0,146
754	20,936	0,251	85,380	1,719	0,245	0,146
755	20,980	0,252	85,330	1,711	0,246	0,147
756	21,024	0,252	85,290	1,704	0,246	0,148
757	21,066	0,254	85,180	1,703	0,247	0,149
758	21,100	0,256	85,050	1,694	0,248	0,151
759	21,131	0,254	84,970	1,697	0,249	0,150
760	21,182	0,255	84,910	1,697	0,249	0,150
761	21,211	0,255	84,880	1,698	0,250	0,150
762	21,238	0,255	84,770	1,693	0,251	0,151

λ (nm)	ČMI		kat. elektroenergetiky		s (-)	
	E_e (mW)		$1000 \cdot E_e$			
	2856 K	2856 K, zel. f.	2856 K	2856 K, zel. f.	2856 K	2856 K, zel. f.
763	21,264	0,257	84,680	1,679	0,251	0,153
764	21,297	0,256	84,600	1,672	0,252	0,153
765	21,345	0,258	84,500	1,670	0,253	0,155
766	21,394	0,259	84,410	1,680	0,253	0,154
767	21,416	0,259	84,290	1,681	0,254	0,154
768	21,445	0,260	84,200	1,681	0,255	0,155
769	21,495	0,261	84,140	1,677	0,255	0,156
770	21,533	0,260	84,060	1,665	0,256	0,156
771	21,550	0,262	83,980	1,653	0,257	0,159
772	21,576	0,265	83,900	1,653	0,257	0,160
773	21,599	0,263	83,800	1,653	0,258	0,159
774	21,646	0,262	83,710	1,654	0,259	0,158
775	21,678	0,264	83,570	1,643	0,259	0,160
776	21,699	0,264	83,460	1,640	0,260	0,161
777	21,719	0,268	83,380	1,640	0,260	0,163
778	21,759	0,270	83,300	1,639	0,261	0,165
779	21,824	0,264	83,200	1,640	0,262	0,161
780	21,837	0,273	83,100	1,640	0,263	0,167



Obrázek 13: Výsledky měření na spektrofotometru ČMI



Obrázek 14: Výsledky měření na spektrofotometru katedry elektroenergetiky