

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Analýza mobilních aplikací pro měření osvětlenosti**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2019/2020

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Tomáš PANGRÁC**  
Osobní číslo: **E17B0217P**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Elektrotechnika a energetika**  
Téma práce: **Analýza mobilních aplikací pro měření osvětlenosti**  
Zadávací katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

### Zásady pro vypracování

1. Vysvětlete základy světelné techniky a postup měření osvětlenosti v interiéru a exteriéru.
2. Změřte osvětlenost v minimálně čtyřech pracovních oblastech pomocí několika mobilních aplikací za stejných podmínek měření.
3. Vyhodnoťte a porovnejte výsledky měření z jednotlivých mobilních aplikací a verifikujte je pomocí měření luxmetrem a simulací ve vhodném softwaru.
4. Posuďte vhodnost a věrohodnost mobilních aplikací pro výuku laboratorních měření.



Rozsah bakalářské práce: **30 – 40 stran**  
Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

#### Seznam doporučené literatury:

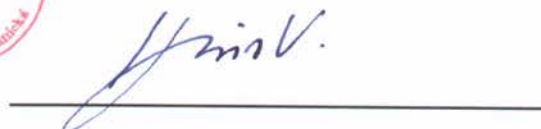
1. Habel, Jiří, Světlo a osvětlování. Praha: FCC Public, 2013. ISBN 978-80-86534-21-3.
2. Normy ČSN EN kategorie: 36 – Elektrotechnika 3604 – Vnitřní a venkovní osvětlení.
3. Sokanský, Karel. Světelná technika. Praha: ČVUT, 2011. ISBN 978-80-01-04941-9.
4. Linda, Josef. Elektrické světlo 1. Plzeň (ZČU), 1993. ISBN 80-7082-094-2.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lenka Raková, Ph.D.**  
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání bakalářské práce: **4. října 2019**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **11. června 2020**



**Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.**  
děkan



**Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.**  
vedoucí katedry

**Abstrakt**

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na analýzu mobilních aplikací na měření osvětlenosti a na jejich reálnou použitelnost. V úvodu práce je seznámení se základními poznatky světelné analýzy. Následují kapitoly s principy a možnostmi měření osvětlenosti pomocí luxmetrů a aplikací. Další stěžejní částí je seznámení se samotnými zkoumanými aplikacemi a hlavní měření i s jejich výsledky. Závěr obsahuje celkové zhodnocení mobilních aplikací a jejich použitelnost.

**Klíčová slova**

Osvětlenost, analýza mobilních aplikací, měření osvětlenosti

**Abstract**

The master theses presents is focused on the mobility of applications for measuring lighting and their real applicability. The prelude is an introduction to the basic knowledge of light analysis. The following chapters contain the principles and possibilities of measuring illumination using luxmeters and applications. Another complex part is acquaintance with the investigated applications, main measurements and their results. The conclusion contains an overall evaluation of mobile applications and their usability.

**Key words**

Illumination, analysis of mobile applications, measurement of illuminance

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....  
podpis

V Plzni dne 15.6.2020

Tomáš Pangrác

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucí bakalářské práce Ing. Lence Rakové, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky, pomoc a metodické vedení práce.

## Obsah

<b>ÚVOD .....</b>	<b>8</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>9</b>
<b>1 ZÁKLADNÍ FYZIKÁLNÍ VELIČINY A POJMY ZE SVĚTELNÉ TECHNIKY....</b>	<b>11</b>
1.1 ZÁKLADNÍ SVĚTELNĚTECHNICKÉ VELIČINY A VÝPOČTY .....	11
1.2 ZÁKLADNÍ POJMY ZE SVĚTELNÉ TECHNIKY .....	19
<b>2 MĚŘENÍ OSVĚTLENOSTI.....</b>	<b>22</b>
2.1 PŘÍSTROJE PRO MĚŘENÍ OSVĚTLENOSTI .....	22
2.2 OBECNÝ POSTUP PŘI MĚŘENÍ OSVĚTLENOSTI.....	24
2.2.1 <i>Výběr kontrolních bodů</i> .....	25
2.2.2 <i>Nejistota měření</i> .....	26
2.2.3 <i>Vyhodnocení měření</i> .....	28
2.3 MĚŘENÍ OSVĚTLENÍ VNITŘNÍCH PROSTORŮ .....	29
2.3.1 <i>Denní osvětlení</i> .....	30
2.3.2 <i>Umělé osvětlení</i> .....	30
2.3.3 <i>Sdružené osvětlení</i> .....	32
2.4 MĚŘENÍ OSVĚTLENÍ VENKOVNÍCH PROSTORŮ.....	34
<b>3 DOSTUPNÉ STUDIE MOBILNÍCH APLIKACÍ NA MĚŘENÍ OSVĚTLENOSTI.....</b>	<b>36</b>
<b>4 MĚŘENÍ OSVĚTLENOSTI POMOCÍ MOBILNÍCH APLIKACÍ.....</b>	<b>38</b>
4.1 MĚŘENÍ OSVĚTLENOSTI BODOVÉHO SVÍTIDLA.....	38
4.2 MĚŘENÍ OSVĚTLENOSTI V APLIKAČNÍCH OBLASTECH.....	46
4.3 MĚŘENÍ BODOVÉHO SVÍTIDLA V LABORATOŘI.....	55
<b>5 LABORATORNÍ ÚLOHA.....</b>	<b>61</b>
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>62</b>
<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ .....</b>	<b>1</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>1</b>
<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>1</b>



## Úvod

Snahou dnešní doby je nahradit některé měřicí přístroje mobilními aplikacemi. Není tomu jinak ani u přístrojů na měření osvětlenosti, tedy u luxmetrů. Měření osvětlenosti je podstatnou disciplínou při návrhu a zhodnocení osvětlovacích soustav budov, místností a osvětlení exteriérů. Je důležité dodržet určité hygienické a světelně technické normy. K ověření hodnoty udržované osvětlenosti požadované příslušnou legislativou se využívají právě luxmetry. Přesné luxmetry jsou však značně finančně nákladné, a proto se na trhu objevily mobilní aplikace, které se je snaží nahradit. Otázkou je, zda jsou tyto aplikace dostatečně přesné jako kvalitní luxmetry. Na toto téma bylo již vypracováno pár studií, ale vzhledem k množství aplikací jich není dostatek. Hlavním cílem mé bakalářské práce je tedy další přispění k těmto studiím a zároveň i částečně jejich ověření.

Předkládaná práce je zaměřena na analýzu mobilních aplikací pro měření osvětlenosti. Text je rozdělen do čtyř částí. První část se zabývá seznámením se světelně technickými veličinami, druhá je zaměřená na principy a způsoby měření osvětlenosti, třetí část práce obsahuje výsledky z dostupných studií a poslední část práce seznamují s postupem a s výsledky analýzy mobilních aplikací provedené v rámci této bakalářské práce.

## Seznam symbolů a zkratk

A	.....	Plocha
BIM	.....	Building Information Modeling
CAD	.....	Computer aided design
cd	.....	Kandela
CIE	.....	Mezinárodní komise pro osvětlování
CRI	.....	Color Rendering Index
ČSN	.....	Česká technická norma
D	.....	Činitel denní osvětlenosti
E	.....	Osvětlenost
$E_{4\pi}$	.....	Střední kulová osvětlenost
$E_Z$	.....	Střední válcová osvětlenost
$\varepsilon$	.....	Světelný vektor
$\Phi_\lambda$	.....	Světelný tok
Hz	.....	Hertz
I	.....	Svítivost
K	.....	Kelvin
$L_{OP}$	.....	Jas svazku světelných paprsků
LED	.....	Light-Emitting Diode
lm	.....	Lumen
lx	.....	Lux
M	.....	Světlení
MPix	.....	Megapixel
$m^2$	.....	Metr čtvereční
nm	.....	Nanometr
$\eta_{sv}$	.....	Účinnost svítidla
$\Omega$	.....	Prostorový úhel
$\Omega_a$	.....	Prostorový úhel
P	.....	Výkon
$R_a$	.....	Index podání barev
r	.....	Rovnoměrnost osvětlenosti
sr	.....	Steradián

$T_{cp}$ .....	Náhradní teplota chromatičnosti
$U$ .....	Rozšířená standardní nejistota
UGR.....	Unified Glare Rating
$u$ .....	Standardní nejistota
$V$ .....	Volt
$W$ .....	Watt
$\bar{x}$ .....	Aritmetický průměr
$z_{max}$ .....	Maximální velikost chyby
$^{\circ}$ .....	Stupně

# 1 Základní fyzikální veličiny a pojmy ze světelné techniky

Světlo je viditelná část elektromagnetického záření. V dnešní podobě je světelné záření chápáno jako fyzikální jev, který má jak korpuskulární povahu, tak i povahu elektromagnetického vlnění. Právě tato vlastnost je vnímána jako dualismus vln a částic. Frekvence světelného záření je zhruba od  $3,9 \cdot 10^{14}$  do  $7,9 \cdot 10^{14}$  Hz. Těmto frekvencím odpovídá ve vakuu vlnová délka v intervalu 390 – 760 nm. Světlo je možné charakterizovat pomocí několika hledisek. Mezi nejzákladnější patří fotometrické charakteristiky (například svítivost či světelný tok), jež zkoumají světlo z hlediska jeho působení na zrakový orgán. Dále jsou to pak kolorimetrické vlastnosti (frekvenční spektrum a chromatičnost, tzn. barva vyzařovaného spektra), koherence a polarizace. Na těchto faktorech závisí i chování světla při odrazu, lomu, průchodu různým druhem prostředí, a v poslední řadě při jeho skládání a ohybu. Níže jsou definovány jednotlivé světelnotechnické veličiny a základní pojmy ze světelné techniky. [1]

## 1.1 Základní světelnotechnické veličiny a výpočty

### Světelný tok

Světelný tok je světelně technická veličina, která vyjadřuje schopnost zářivého toku způsobit zrakový vjem. Jinými slovy, světelný tok vyjadřuje množství světelné energie, kterou přeneše záření, nebo zdroj vyzáří za časovou jednotku s přihlédnutím k citlivosti průměrného lidského oka na různé vlnové délky světla. Světelný tok se značí  $\Phi_\lambda$ , jednotkou je lumen (lm) a určí se podle vzorce: [2]

$$\Phi_\lambda = K_m V(\lambda) \Phi_{e\lambda} (\text{lm}). \quad (1)$$

Kde:

- $\Phi_\lambda$  je světelný tok monochromatického záření vlnové délky  $\lambda$  (lm),
- $K_m$  je maximum  $K(\lambda)$  určené při fotopickém vidění (lm · W<sup>-1</sup>),
- $K(\lambda)$  je absolutní spektrální citlivost lidského oka (lm · W<sup>-1</sup>),
- $\Phi_{e\lambda}$  je zářivý tok (W),
- $V(\lambda)$  je poměrná světelná účinnost záření, která se vyjádří vztahem:

$$V(\lambda) = \frac{K(\lambda)}{K_m} (-). \quad (2)$$

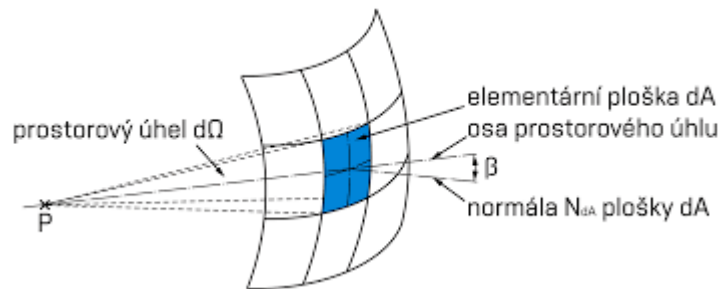
## Prostorový úhel

Důležitou geometrickou veličinou, která se používá ve světelné technice především pro výpočty svítivosti, je prostorový úhel. Značí se  $\Omega$  jednotkou je steradián (sr). Jeho velikost je určena velikostí plochy vyřáté obecnou kuželovou plochou na povrchu jednotkové koule, jejíž střed je totožný s vrcholem prostorového úhlu a vrcholem uvažované kuželové plochy. Element prostorového úhlu  $d\Omega$ , pod nímž je vidět element plochy  $dA$  z bodu P, který je umístěn ve vzdálenosti  $l$  od plošky  $dA$ , (pro bližší představu viz Obrázek 1), se vypočte ze vztahu: [3]

$$d\Omega = \frac{dA \cdot \cos \beta}{l^2}. \quad (3)$$

Kde:

- $d\Omega$  je prostorový úhel (sr),
- $\beta$  je úhel který svírá osa prostorového úhlu ( $^\circ$ ),
- $dA$  je elementární ploška ( $m^2$ ),
- $l$  je délka paprsku (m).



Obrázek 1: Prostorový úhel [4]

## Svítivost

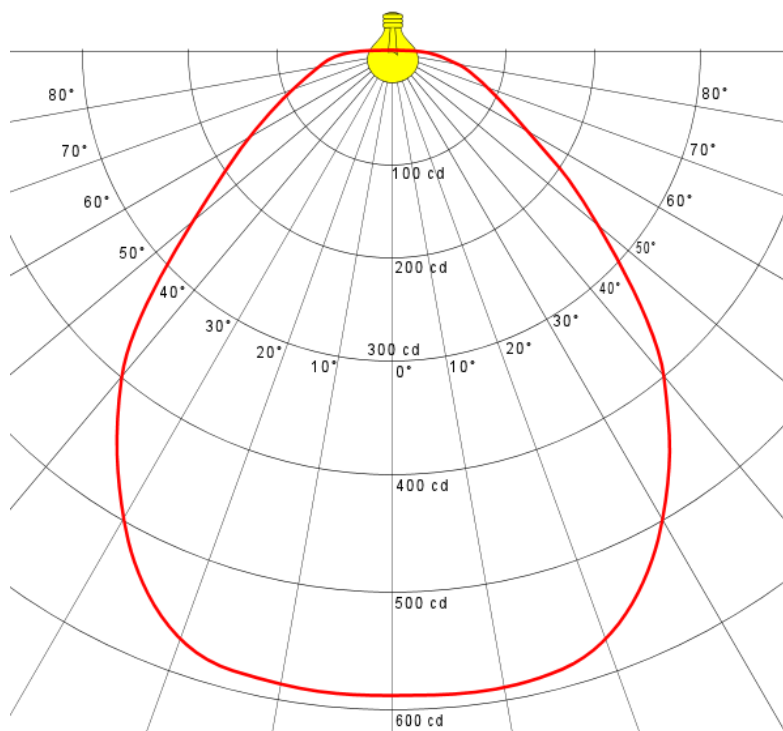
Prostorová hustota světelného toku v různých směrech se nazývá svítivost. Je základní fotometrickou veličinou. Jinými slovy lze říci, že svítivost udává, jakou kvantitou světelný zdroj svítí do všech směrů prostoru pod danými úhly. Značí se  $I$  a její jednotkou je kandela (cd), 1 kandela představuje svítivost zhruba jedné svíčky a obecně se vyjádří ze vztahu:

$$I_\gamma = \frac{d\Phi}{d\Omega}. \quad (4)$$

Ve vztahu (4) je:

$I_\gamma$	svítivost pod úhlem $\gamma$	(cd),
$\Phi$	světelný tok	(lm),
$\Omega$	prostorový úhel	(sr).

Pokud se určí hodnoty svítivosti světelného zdroje ve všech směrech prostoru a nanesou-li se prostorově od středu světelného zdroje jako radiusvektory, získá se při spojení všech koncových bodů těchto radiusvektorů tzv. fotometrická plocha svítivosti či izokandelový diagram. V praxi stačí znát pouze některé řezy těmito plochami, především řezy rovinami, které procházejí bodovým zdrojem. V těchto rovinách řezů pak vznikají křivky svítivosti tzv. izokandely, nejčastěji udávané v polárních souřadnicích. Příklad zobrazení křivek svítivosti v polárních souřadnicích je uveden na Obrázku 2. Tyto křivky svítivosti většinou výrobci udávají v technických listech svítidel či světelných zdrojů. Tvar křivek svítivosti je dobré znát při návrhu osvětlení.



Obrázek 2: Diagram svítivosti [6]

Při znalosti normálové svítivosti lze následně matematicky odvodit svítivost pod libovolným úhlem směrem od normály zdroje pomocí rovnice: [5]

$$I_\gamma = I_0 f_{I(\gamma)}. \quad (5)$$

Kde:

$I_\gamma$  je svítivost pod daným úhlem  $\gamma$  od normály zdroje (cd),

$I_0$  je svítivost uvažovaného zdroje ve vztažném směru (cd),

$f_{I(\gamma)}$  je charakteristická funkce svítivosti, to znamená matematická funkce popisující (aproximující) uvažovanou křivku svítivosti. Nejběžnější aproximující funkcí bývá funkce  $\cos^n \gamma(-)$ .

## Osvětlenost

Osvětlenost, nebo také intenzita osvětlení, je fotometrická veličina, která je nadefinována jako plošná hustota světelného toku  $d\Phi_d$  dopadajícího na plochu  $dA$ . Značí se  $E$  a její jednotkou je lux (lx), jejíž rozměr 1 lx odpovídá  $1 \text{ lm} \cdot \text{m}^{-2}$ . Právě tato veličina bude v průběhu práce hlavním tématem a její hodnota se tedy následně vypočte ze vztahu: [7]

$$E = \frac{d\Phi_d}{dA}. \quad (6)$$

Kde:

$E$  je osvětlenost (lx),

$\Phi_d$  je dopadající světelný tok (lm),

$A$  je osvětlovaná plocha ( $\text{m}^2$ ).

## Jas svazku světelných paprsků

Jednou ze světelně technických veličin je jas svazku světelných paprsků, značí se  $L_{OP}$  a jednotkou je kandela na metr čtvereční ( $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$ ). Jde o veličinu, na kterou bezprostředně reaguje zrakový orgán a je určena prostorovou a plošnou hustotou světelného toku přenášeného paprskem. Z této podstaty vyplývá definiční vztah: [7]

$$L_{OP} = \frac{d^2\Phi}{d\Omega dA_n}. \quad (7)$$

Kde:

$L_{OP}$  je jas svazku světelných paprsků ( $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$ ),

$\Phi$  je světelný tok (lm),

$\Omega$  je prostorový úhel (sr),

$A_n$  je plocha kolmá k ose svazku paprsků (m<sup>2</sup>).

### Oslnění

S jasnem souvisí riziko vzniku oslnění. Je to rušivý, nebo omezující pocitový vjem, který je nutno omezovat. Oslnění bývá způsobené kontrastem odlišně jasných povrchů v zorném poli. Těmi jsou osvětlené povrchy, části svítidel, okna, nebo světlíky. Pokud jsou limity rušivého oslnění ve vnitřních prostorech dodrženy, omezující oslnění nebývá problémem. Rušivé oslnění okny v současné době neumíme hodnotit, protože neexistuje normalizovaná metoda. Pokud se ale jedná o rušivé oslnění způsobené přímo svítidly osvětlovací soustavy vnitřního prostoru, musí být stanoveno tabulkovou metodou, která je založena na jednotném oslnění podle CIE, (*UGR*, tj. unified glare rating) je pokaždé určena normou pro danou pracovní oblast a vychází ze vztahu: [10]

$$UGR = 8 \log_{10} \left( \frac{0,25}{L_b} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right). \quad (8)$$

Kde:

$L_b$  je jas pozadí v (cd · m<sup>-2</sup>) vypočítaný jako  $\frac{E_{ind}}{\pi}$ , kde  $E_{ind}$  je svislá nepřímá osvětlenost oka pozorovatele,

$L$  je jas svítících částí svítidla ve směru oka pozorovatele (cd · m<sup>-2</sup>),

$\omega$  je prostorový úhel svítící části svítidla vzhledem k oku pozorovatele (sr),

$p$  je činitel polohy podle Gutha pro každé svítidlo podle jeho odklonu od směru pohledu (-).

Oslnění lze zabránit vhodným cloněním světelných zdrojů, nebo vhodným odstíněním jasného denního světla vstupujícího osvětlovacími otvory do interiéru.

### Světlení

Jednou z posledních fotometrických veličin je světlení, které se značí  $M$  a jeho jednotkou je lumen na metr čtvereční (lm · m<sup>-2</sup>). Velikost jeho hodnoty je definována jako plošná hustota světelného toku vyzařovaného z plochy, a to hlavně odrazem. Z této definice pak plyne vztah: [7]

$$M = \frac{d\Phi_v}{dA}. \quad (9)$$



Kde:

$M$	je světlení	$(\text{lm} \cdot \text{m}^{-2})$ ,
$\Phi_v$	je světelný tok vyzářený z plochy $A$	$(\text{lm})$ ,
$A$	je plocha, světelného zdroje	$(\text{m}^2)$ .

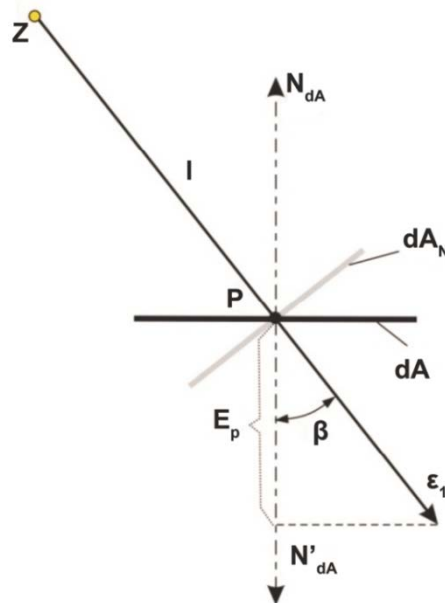
### Světelný vektor

Na rozdíl od klasického Poytingova vektoru se ve světelném poli nahrazuje vektorem hustoty světelného toku, známým jako světelný vektor. Světelný vektor určuje měrný výkon přenosu energie v libovolném bodě pole. Velikost je určena energií, která projde za jednotku času jednotkovou plochou. Plocha je kolmá na směr šíření záření a je rovna rozdílu normálových osvětleností jedné a druhé strany plochy umístěné v daném bodě kolmo ke směru šíření záření. Orientovaný směr světelného vektoru pak udává směr přenosu světelné energie v uvažovaném bodě pole. Pro lepší názornost je uvedeno vysvětlení na Obrázku 3. Vztah pro světelný vektor  $\varepsilon_1$  v bodě P v poli bodového elementárního světelného zdroje Z je určen: [7]

$$|\varepsilon_1| = \varepsilon_1 = \frac{d\phi}{dA_N} = E_N \quad (10)$$

Kde:

$\varepsilon_1$	je světelný vektor pole	$(\text{lx})$ ,
$d\phi$	je plošná hustota světelného toku	$(\text{lm})$ ,
$dA_N$	je plocha, na kterou dopadá plošná hustota světelného toku	$(\text{m}^2)$ ,
$E_N$	je normálová osvětlenost	$(\text{lx})$ .



Obrázek 3: Osvětlenost  $E_p$  v bodě P, který leží v plošce  $dA$ , bodovým zdrojem Z je rovna průmětu světelného vektoru  $\epsilon_1$  do normály  $N'_{dA}$  k neosvětlené straně plošky  $dA$  [23]

### Bodová metoda výpočtu osvětlenosti

Pomocí Bodové metody lze vypočítat fotometrické veličiny přímo v kontrolních bodech srovnávací roviny. Jak název napovídá, počítá se osvětlenost v každém bodě i v bodech libovolně nakloněné roviny. Výhodou je, že u Bodové metody je možné mít v jedné místnosti více typů světelných zdrojů a ty mohou být i různě rozmístěné, tj. není potřeba jejich rovnoměrného rozložení. Metoda je velmi přesná a užitečná, protože se u ní nezanedbávají překážky. Bodová metoda tedy spočívá ve výpočtech integrálních charakteristik světelného pole v několika bodech. Podstatou integrální charakteristiky je, že každý bod světelného pole je dán jednou hodnotou osvětlenosti. Obecná integrální charakteristika světelného pole pro osvětlovaný předmět libovolného tvaru je definována rovnicí:

$$D = \lim_{S_p \rightarrow 0} \frac{\Delta \Phi}{S_p}. \quad (11)$$

Kde:

- D je obecná integrální charakteristika (lx),
- $\Delta \Phi$  je dopadající světelný tok (lm),
- $S_p$  je povrch přijímací plochy, tj. povrch přijímače záření ( $m^2$ ).

Pro zjednodušení výpočtů jsou zde již předem nadefinované specifické integrální charakteristiky. Jejich definice vyplývá z tvaru tělesa (povrchu tělesa) umístěného ve světelném poli. Mají především různé elementární tvary, podle kterých je využíváme v různě náročných prostorech. Těmi jsou koule (střední kulová osvětlenost), válec (střední válcová osvětlenost), polokoule (střední polokulová osvětlenost) a poloválec (střední poloválcová osvětlenost).[7]

### Střední kulová osvětlenost

Používá se především pro stanovení osvětlenosti předmětů kulového tvaru. V praxi hlavně zjišťuje pro osvětlenost v celém prostoru například uvnitř interiéru. Značí se  $E_{4\pi}$  a hodnota plyne ze vztahu:

$$E_{4\pi} = \frac{1}{4} \int_0^{4\pi} dE_N = \frac{1}{4} \int_0^{4\pi} L_{\vartheta\zeta} d\Omega_{\vartheta\zeta}. \quad (12)$$

Kde:

$E_{4\pi}$  je střední kulová osvětlenost (střední hodnota osvětlenosti povrchu elementární kulové plochy se středem v uvažovaném bodě světelného pole).  
(lx)

### Střední válcová osvětlenost

Používá se především pro stanovení osvětlenosti předmětů válcového tvaru. V praxi je pak využita zejména při měření osvětlenosti prostorů, ve kterých je primární vodorovný nebo svislý pohled pozorovatele například školní třída či zasedací místnost. Značí se  $E_Z$  a spočte se podle vztahu:

$$E_Z = \frac{1}{\pi} \int_0^{4\pi} \sin \vartheta dE_N = \frac{1}{\pi} \int_0^{4\pi} \sin \vartheta L_{\vartheta\zeta} d\Omega_{\vartheta\zeta}. \quad (13)$$

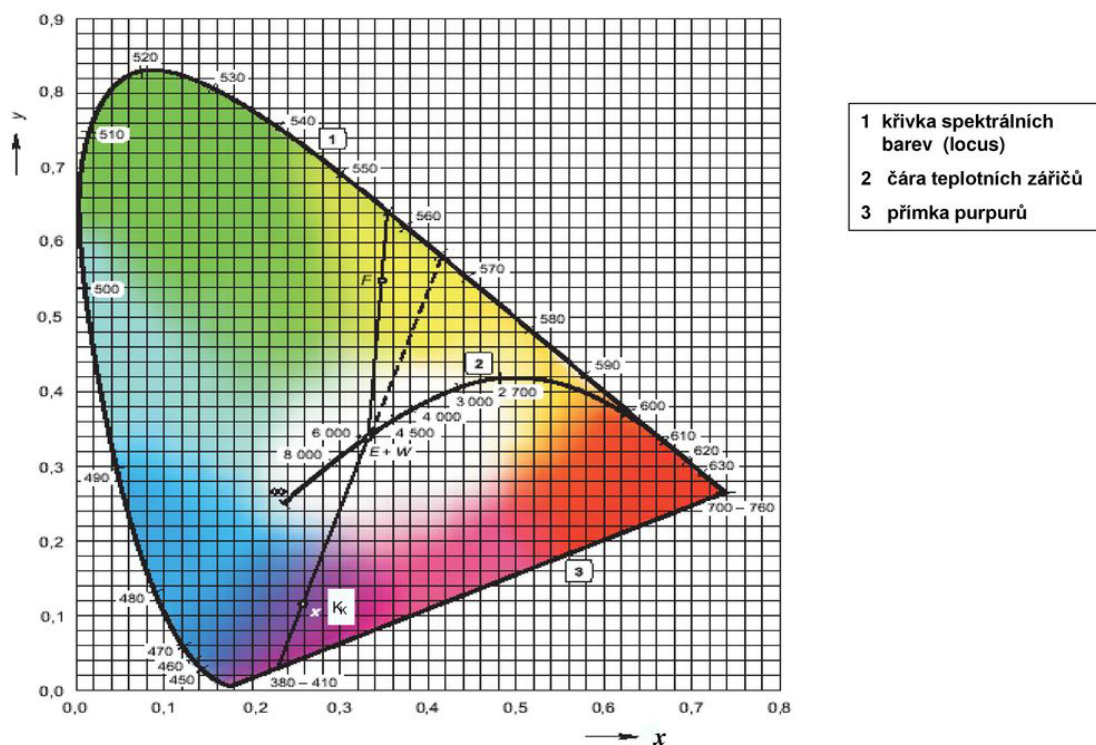
Kde:

$E_Z$  je střední válcová osvětlenost (střední hodnota osvětlenosti pláště elementárního válečku umístěného svisle do uvažovaného bodu světelného pole).  
(lx)

## 1.2 Základní pojmy ze světelné techniky

### Teplota chromatičnosti a index podání barev

Obecně se barvy světla světelných zdrojů popisují barevným tónem světla a kvalitou podání barev, která ovlivňuje barevný vzhled předmětů a osob. Barevný tón světla se vztahuje ke zdánlivé barvě, tzv. chromatičnosti, vyzařovaného světla. Denní osvětlení a teplotní zdroje jsou vyjádřeny teplotou chromatičnosti. U ostatních umělých světelných zdrojů se barevný tón kvantifikuje náhradní teplotou chromatičnosti ( $T_{cp}$ ). Teplota chromatičnosti je dána z tzv. čáry teplotních zářičů z trichromatického trojúhelníku barev, viz Obrázek 4. Uprostřed trichromatického trojúhelníku barev je tzv. bílé smluvní světlo (cca 5 500 K), které definuje dohodnutou bílou barvu vyzařovaného spektra zdrojů. Náhradní teplota chromatičnosti se stanoví podle speciálních diagramů, které se sestavují v okolí čáry teplotních zářičů, neboť pro ostatní světelné zdroje, než teplotní, se naměří barva vyzařovaného spektra ne na čáře teplotních zářičů, ale v jejím okolí.



Obrázek 4: Diagram chromatičnosti v soustavě XYZ [16]

Pokud se jedná o tón denního světla, tak ten se během dne mění. Naopak je tomu u umělého světla, u kterého bývá tón stejný, nebo jen minimálně proměnný a může být popsán podle Tabulky 1. Volba vhodné teploty chromatičnosti se zakládá čistě na pocitu. Volí se podle psychologie, estetiky a toho, co je považováno za přirozené a vhodné v daném prostředí.

**Tabulka 1: Skupiny barevného tónu světla světelných zdrojů**

Barevný tón světla	Náhradní teplota chromatičnosti $T_{cp}(K)$
Teple bílý	Do 3300
Neutrálně bílý	3300 až 5300
Chladně bílý	Nad 5300

Aby bylo dosaženo dobrého zrakového výkonu a navodil se pocit celkové psychické pohody, je nezbytně nutné, aby barvy předmětů a lidské pokožky v daném prostředí vypadaly přirozeně a věrně realitě. Za touto problematikou se skrývá tzv. podání barev. Z hlediska vlastností světelných zdrojů se používá tzv. všeobecný index podání barev  $R_a$  (CRI - Color Rendering Index). Jeho hodnota se pohybuje od 0 do 100, přičemž 100 je maximální a také nejideálnější hodnota. Maximální hodnota rovná 100 představuje vnímání barev pod denním osvětlením. Pro většinu interiérů při umělém osvětlení plně však dostačuje hodnota indexu podání barev 80. [7]

### Měrný výkon světelného zdroje

Měrný výkon světelného zdroje vyjadřuje, s jakou účinností dokáže světelný zdroj přeměnit elektrickou energii na viditelné světlo. Z toho plynou jeho jednotky lumen na watt ( $lm \cdot W^{-1}$ ). Hodnotu pak získáme jako podíl světelného toku a příkonu podle vztahu: [21]

$$\eta_z = \frac{\Phi_z}{P_z}. \quad (14)$$

Kde:

- $\eta_z$  je měrný výkon světelného zdroje ( $lm \cdot W^{-1}$ ),
- $\Phi_z$  je světelný tok, který zdroj vyzařuje (lm),
- $P_z$  je příkon světelného zdroje (W).

### Účinnost svítidla

Charakteristická vlastnost jakou je hospodárnost svítidla se nazývá účinnost svítidla ( $\eta_{sv}$ ). Je bezrozměrnou veličinou, ale bývá často uváděna pomocí procent. Její hodnota je dána poměrem světelného toku svítidla ke světelnému toku všech zdrojů ve svítidle podle vztahu:

$$\eta_{sv} = \frac{\Phi_{sv}}{\Phi_z} (\cdot 100) . \quad (15)$$

Kde:

$\eta_{sv}$	je účinnost svítidla	(-, %),
$\Phi_{sv}$	je světelný tok svítidla	(lm),
$\Phi_z$	je světelný tok všech zdrojů světla ve svítidle	(lm).

Z energetického hlediska je snaha dosahovat co nejvyšších hodnot účinnosti svítidla. Maximálních hodnot účinnosti by dosahoval samotný světelný zdroj bez svítidla. Bohužel samostatný světelný zdroj bez svítidla není možné použít z důvodu rizika oslnění, nevhodného směrování vyzařovaného světelného toku a vzhledem k nedostatečné mechanické ochraně. V praxi se tato hodnota pohybuje od 0,3 do 0,9 (30% - 90%). U LED, kde je světelný zdroj součástí svítidla, jako kompaktní celek, bývá i 100 %.

## 2 Měření osvětlenosti

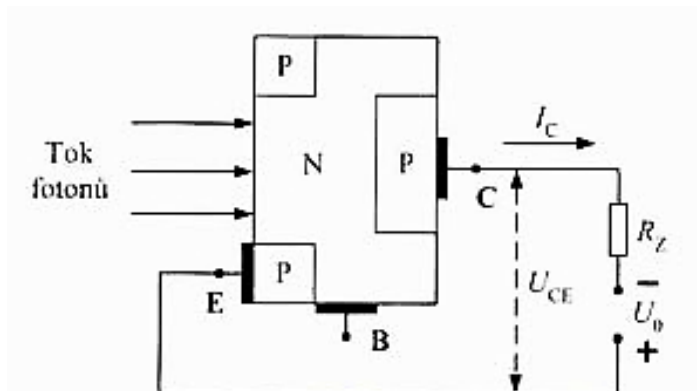
Měření osvětlenosti je důležitou a jednou z nejčastějších fotometrických úloh, jak v laboratořích, tak i v běžné praxi. Provádí se zejména pro ověření, zda je v dané osvětlovací soustavě dodržen požadavek na rovnoměrnost a úroveň osvětlenosti. Rozlišují se tři druhy osvětlení, tzn. denní (hodnoceno dle činitele denního osvětlení), umělé (hodnoceno hlavně dle osvětlenosti a rovnoměrnosti osvětlenosti) a sdružené osvětlení, jenž je kombinací předešlých dvou. Pro tato měření se používají přístroje zvané luxmetry (viz kapitola 2.1). Další důležitou měřenou veličinou jsou jasy ploch v zorném poli osob, které pobývají v daném prostoru.

Je důležité k pracovní oblasti přistupovat individuálně a brát v potaz všechny faktory, které by následně mohly osvětlenost ovlivňovat, jako například instalované stroje a vybavení interiéru, se kterými je možné manipulovat, nebo samotní pracovníci, kteří mohou osvětlenost ovlivňovat stíněním. Dalšími faktory je stáří a provozní stav světelných zdrojů, znečištění svítidel, odrazné vlastnosti ploch v interiéru a jejich případné znečištění. Na základě takto zjištěných provozních podmínek se pak přechází k samotnému měření. Výsledky měření jsou následně porovnávány a vyhodnocovány s normovanými hodnotami podle ČSN EN 1246 a ČSN 360011. Ty se od sebe liší podle toho, zda se jedná o interiér či exteriér a posléze se rozřazují podle pracovní činnosti. Podstatným hlediskem, které je při měření osvětlenosti sledováno, je zraková pohoda, hospodárnost a bezpečnost. Ne méně podstatný je účel měření, dle kterého se provádí měření přesné či pouze orientační. Přesné měření se využívá pro měření osvětlenosti v prostorech s náročnou zrakovou činností, jakými jsou například operační sály v nemocnicích, atd. Naopak orientační měření je praktikováno pro zjištění přibližné hodnoty osvětlenosti v dané aplikační oblasti, například při výstavbách nových rodinných domů.[7], [8]

### 2.1 Přístroje pro měření osvětlenosti

Při měření osvětlovacích soustav se používají různé fotoelektronické snímače, které využívají vnitřní nebo vnější fotoelektrický efekt. Patří mezi ně například fotonky, fotodiody či fototranzistory. Při měření je pak důležité tyto snímače nezakrývat a nijak je nezastínit. V dnešní praxi se setkáme nejčastěji s detektory, kdy pro měření osvětlenosti používáme detektor zvaný luxmetr. Luxmetr je přístroj na měření rovinné osvětlenosti. Snímací úhel, ve kterém tedy luxmetr pracuje, je ve všech rovinách kolmý k rovině, ve které se osvětlenost měří. Skládá se z přijímače vybaveného nejčastěji korigovaným

křemíkovým či selenovým fotočlánkem. Ten bývá nadále vybaven kosinusovým nástavcem. Dalšími částmi jsou pak měřicí systém doplněný vhodným zesilovačem a vyhodnocovací systém s digitálním či analogovým indikátorem. Zjednodušené schéma luxmetru je uvedeno na Obrázku 5.



Obrázek 5: Schéma principu luxmetru [13]

Luxmetry se běžně zařazují do čtyř tříd přesnosti. Ty mají označení buď [A. 27], pak platí třídy přesnosti 1, 2, 3, 4, nebo [A. 40] s třídami L, A, B, C. Pro obě varianty platí stejné souhrnné chyby 2, 5, 10 a 20 %. S těmito přesnostmi nadále souvisí maximální doby kalibrace přístrojů, ale také samotné použití. Přístroje v třídě přesnosti 1 a 2 se používají jako sekundární etalony, nebo jako laboratorní přístroje pro přesná měření. Pro třídu 3 platí přístroje pro provozní měření a třída 4 se nejčastěji používá pro orientační měření. [7], [13], [14]

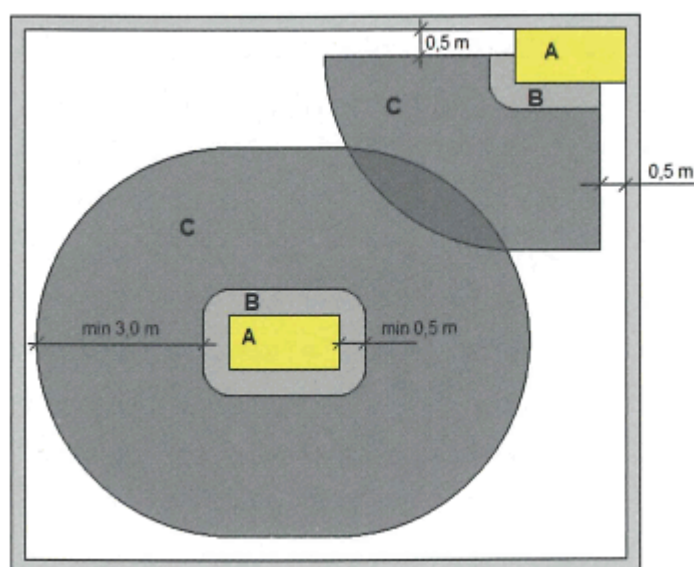


Obrázek 6: Měření intenzity osvětlení (osvětlenosti) [15]



## 2.2 Obecný postup při měření osvětlenosti

S ohledem na faktory, které mohou měření ovlivnit, nebo které mohou později do provozu osvětlovací soustavy vstupovat, je nezbytné se s těmito okolnostmi seznámit a následně je respektovat. Za tímto účelem se rozlišují dva typy měření a to bez přítomnosti uživatelů a za jejich přítomnosti. Pokud jde o měření bez přítomnosti uživatelů, jedná se o nové prostory, nebo o prostory ve kterých přítomnost uživatelů nijak výrazně osvětlenost neovlivní. Oproti tomu měření za přítomnosti uživatelů se provádí na místech, kde mohou uživatelé svojí přímou působností osvětlenost ovlivňovat například stíněním. Důležité je seznámení s pravděpodobným nebo navrhovaným místem zrakového úkolu. I na něj jsou kladeny jisté požadavky, a nejen na něj, ale i na bezprostřední okolí úkolu a na pozadí zrakového úkolu. Na Obrázku 7 je vidět rozmístění místa zrakového úkolu (oblast A), bezprostřední okolí zrakového úkolu (oblast B) a pozadí zrakového úkolu (oblast C).



Obrázek 7: Místo zrakového úkolu a jeho okolí [17]

Požadavky na osvětlenost a její rozdíly mezi místem zrakového úkolu a bezprostředním okolím jsou uvedeny v Tabulce 2. V případě jejich nedodržení je negativně ovlivněna zraková pohoda. Parametry a postupy, které se během měření určují, popisuje norma ČSN 3600. [8], [10]

Tabulka 2: Vztah mezi osvětleností bezprostředního okolí úkolu a osvětleností místa zrakového úkolu

Osvětlenost místa zrakového úkolu $E_{úkol}$ (lx)	Osvětlenost bezprostředního okolí úkolu (lx)
$\geq 750$	500
500	300
300	200
200	150
150	$E_{úkol}$
100	$E_{úkol}$
$\leq 50$	$E_{úkol}$

### 2.2.1 Výběr kontrolních bodů

Rozložení osvětlenosti se měří v kontrolních bodech rozmístěných v pravidelné pravoúhlé síti po celé srovnávací rovině v celém prostoru, nebo jeho funkčně vymezených částech. Rovina, ve které se kontrolní body rozmisťují, bývá převážně horizontální. Může být ale i vertikální, či libovolně nakloněná, což záleží na konkrétních požadavcích na osvětlovací soustavu. Výška této horizontální srovnávací roviny je 0,85 m nad podlahou, není - li okolnostmi daného prostoru stanoveno jinak. Pro příklad u předškolních zařízení v některých místnostech 0,45 m a na komunikacích nejvýše 0,2 m nad podlahou. Krajní řady kontrolních bodů se umístí 1 m od vnitřních povrchů stěn, tím je zaručeno hledání nejmenší hodnoty. Ostatní body se rozmisťují v pravidelných vzdálenostech a s takovou hustotou, aby byl dostatečně popsán prostorový průběh a byla zahrnuta i výška daného vnitřního prostoru. Počet těchto bodů a jejich rozteče se volí podle předpokládaného rozložení osvětlenosti na posuzované srovnávací rovině. Podmínkou je, aby rozteče  $x$  a  $y$  byly stejné, nebo alespoň blízké. Pokud by tvar půdorysu místnosti byl jiný než pravoúhlý, tak by se kontrolní body rozmístili tak, aby jejich síť byla co nejpravidelnější a co nejrovnoměrněji pokrývala daný prostor. Z pravidla se ale nejčastěji volí přibližně čtvercová síť, jejíž poměr délky a šířky musí být mezi 0,5 a 2. Následně její maximální rozměr je určen dle vzorce:

$$p = 0,2 \cdot 5^{\log_{10} d}. \quad (16)$$

Kde:

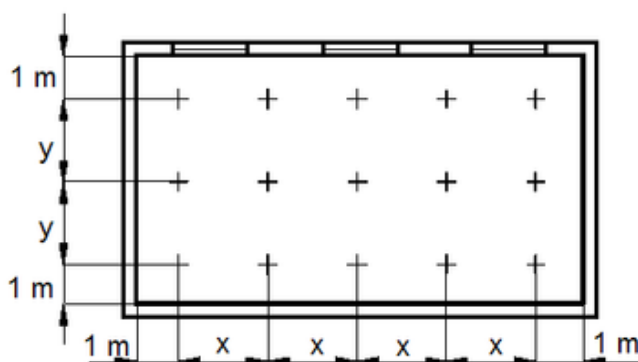
$$p \leq 10$$

$d$  je delší rozměr plochy obdélníkového půdorysu, pokud ovšem není podíl delší

strany ke kratší roven 2 a větší, pak jed kratším rozměrem plochy obdélníkového půdorysu (m),

$p$  je maximální rozměr buňky sítě (m).

Schéma rozložení kontrolních bodů v interiéru je zobrazeno na Obrázku 8. Počet kontrolních bodů je dán nejbližším vyšším celým číslem z podílu  $d/p$ . Díky pevně stanovené síti kontrolních bodů je následně zaručeno, že posouzení činitele denního osvětlení, intenzity doplňujícího umělého osvětlení v rámci sdruženého osvětlení i umělého osvětlení v místnosti je správné a tedy relevantní pro další práci s ním, tzn. měření lze kdykoliv opakovat a verifikovat. V rámci sdruženého osvětlení je nutnost zachování stejného rozmístění kontrolních bodů i jejich rozteče, protože se měří denní a umělá složka zvlášť. [10]



Obrázek 8: Rozložení kontrolních bodů ve vnitřním prostoru na horizontální srovnávací rovině [10]

### 2.2.2 Nejistota měření

Při měření fotometrických veličin není známá skutečná reálná hodnota měřené veličiny, proto nelze uvažovat o chybě měření, která je pro přesný výpočet zapotřebí. Je nutné tedy posuzovat tzv. nejistotu měření. Jedná se o parametr, který se přidružuje k výsledku měření, a který naznačuje interval hodnot okolo výsledku měření. V tomto intervalu lze s určitou pravděpodobností očekávat výskyt pravé hodnoty měřené veličiny. Základní charakteristikou nejistoty je standardní nejistota ( $u$ ) vyjádřená hodnotou směrodatné odchylky. Standardně se nejistota udává v hodnotách měřené veličiny, poté se jedná o absolutní standardní nejistotu, nebo poměrem absolutní nejistoty a hodnoty příslušné veličiny, tj. relativní standardní nejistotou. Pro jednu z možných příčin nejistoty se může standardní nejistota stanovit dvěma způsoby:

a) statickou analýzou série naměřených hodnot, tzn. z opakovaných hodnot stejné veličiny. Pak se jedná o standardní nejistotu typu A.

b) jinými způsoby. Pak se jedná o standardní nejistotu typu B.

Jelikož u nejistot typu A nejsou patrné příčiny, tak jsou vyčíslovány čistě statistickým zpracováním souboru naměřených údajů. Standardní nejistota  $u_{Ax}$  typu A udaná v procentech a vztažená ke zjištěnému aritmetickému průměru se stanovuje s využitím výběrové směrodatné odchylky střední hodnoty z rovnice (17), kde  $\bar{x}$  je aritmetický průměr daný vztahem (18) a  $n$  je počet opakování měření.

$$u_{Ax} = \frac{100}{\bar{x}} \sqrt{\frac{1}{n-(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} (\%). \quad (17)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (18)$$

Pro nejistoty typu B platí většinou známé příčiny chyb s určitou pravděpodobností okolo konvenčně pravé hodnoty. Těmi se nejčastěji myslí nepřesné umístění fotočlánku v kontrolním bodě, nesprávné natočení čidla do vodorovné polohy atd. Pokud se bude pro konkrétní zdroj určovat nejistota  $u_B$  typu B, vyjde se z maximální velikosti chyby  $z_{max}$  (%), jejíž překročení se ve zvoleném intervalu nepředpokládá a vypočte se ze vztahu:

$$u_B = \frac{z_{max}}{X} (\%). \quad (19)$$

Kde:

$X$  je činitel daný pravděpodobností statistického rozdělení uvažované chyby. Při normálním rozdělení se volí  $X = 2$ , pokud se překročí  $z_{max}$ , nebo pokud je  $z_{max}$  nepřekročitelné  $X = 3$ . Pro rovnoměrné rozdělení je  $X = \sqrt{3}$ .

Výsledná kombinovaná standardní nejistota  $u_C$  (%) se podle Gaussova principu šíření nejistot stanovuje sloučením všech dílčích nejistot. Platí to jak pro nejistoty typu A tak i pro nejistoty typu B zjištěných pro jednotlivé zdroje chyb a vychází ze vztahu:

$$u_C = \sqrt{(u_{A1})^2 + (u_{A2})^2 + (u_{A3})^2 + \dots + (u_{B1})^2 + (u_{B2})^2 + (u_{B3})^2 + \dots} \quad (20)$$

Pravděpodobnost, že rozdíl mezi naměřenou a skutečnou hodnotou nepřesáhne určenou standardní nejistotu je příliš malá pro použití v praxi. V praxi ale většinou požadujeme pravděpodobnost vyšší, a proto se udává rozšířená standardní nejistota  $U$ , která vychází ze vztahu:

$$U = k_U \cdot u_C . \quad (21)$$

Kde:

- $u_C$  je kombinovaná standardní nejistota,  
 $k_U$  je činitel rozšíření (obvykle se volí  $k_U=2$ ) nebo podle vzorce:

$$k_u = \left[ \frac{U_n}{U_m} \right]^c . \quad (22)$$

Kde:

- $U_n$  je běžné provozní napětí (např. síť) (V),  
 $U_m$  je skutečné napětí při měření (V),  
 $c$  exponent závislý na druhu světelného zdroje (-).

V takovém případě je již pravděpodobnost, že skutečná hodnota leží v intervalu  $< \text{naměřená hodnota} - U, \text{naměřená hodnota} + U >$  dostatečně vysoká (95,5% při normálním rozdělení chyb, 100% při rovnoměrném rozdělení chyb), aby se s ní mohlo reálně počítat a pracovat.[7]

### 2.2.3 Vyhodnocení měření

Naměřené hodnoty je důležité nejprve upravit a to podle vlastností měřících přístrojů udávaných výrobcem, podle výsledku kalibrace a podle vlastností měřeného prostoru a podmínek, které panovaly během měření pomocí korekčních činitelů. Touto úpravou je snaha co nejvíce se přiblížit skutečnosti a omezit tak chyby. Výsledné hodnoty se následně vynesou do přehledných tabulek tak, aby bylo možné u každé hodnoty přesně specifikovat místo měření dle výkresu. Následné grafické znázornění rozložení světla v prostoru se doporučuje v jeho půdorysu a to pomocí izofot u denního světla a pomocí izolux v případě umělého osvětlení. U obou případů se jedná o křivky s konstantní intenzitou osvětlení (hodnotou osvětlenosti). Co se týče rozložení jasů ploch v prostoru, tak ty se mohou znázornit na perspektivním výkresu nebo na fotografii prostoru, případně i doplněné izočarami jasů. S hodnotami se pak následně pracuje na základě potřeb a vše je obsaženo v protokolu z měření. Ten by měl obsahovat:[10]

- přesné označení objektu a vymezení prostoru, kde probíhalo měření, datum a hodinu,

- účel a zvolený stupeň měření,
- údaje o měřicích přístrojích včetně třídy přesnosti a kalibrace přístrojů,
- údaje o způsobu měření, případně o pomocných zařízeních,
- rozměry nebo výkresy s orientací měřeného prostoru,
- údaje o funkci prostoru, o druhu a rozmístění zrakových činností,
- údaje o vlastnostech prostoru a o jeho vybavení zařízením,
- údaje o osvětlovacích soustavách,
- údaje o stavu a funkci zařízení ovlivňujících osvětlení během měření,
- údaje o okolnostech ovlivňující měření,
- výšku i sklon srovnávací roviny a rozmístění kontrolních bodů pro měření osvětlenosti i jasů,
- vyznačení orientace optické osy jasoměru nebo jasového analyzátoru,
- výsledné hodnoty zjištěné měřením sestavené do tabulek, nebo uvedené ve výkresech s uvedením a odůvodněním použitých korekcí,
- porovnání hodnot zjištěných měřením s požadavky a ohledem na nejistotu měření,
- závěry vyhodnocení a případné doporučení na opatření ke zlepšení stavu osvětlení,
- jména pracovníků účastnících se měření,
- podpis osoby odpovědné za měření.

### 2.3 Měření osvětlení vnitřních prostorů

Pod pojmem vnitřní prostor se dle normy rozumí prostor, který je uzavřen plochami (zdmi, stropem, podlahou). Při volbě polohy kontrolních bodů na srovnávací hladině se bere v úvahu rozmístění svítidel se snahou vystihnout místa s největší a nejmenší hodnotou osvětlenosti. Jedná-li se o prostory s náročnějšími zrakovými činnostmi, zabývá se měření ještě dalšími veličinami, které charakterizují blíže podmínky osvětlení a hlavně pak zrakové pohody. Mezi ně patří:

- střední kulová osvětlenost  $E_{4\pi}$  (lx),
- střední polokulová osvětlenost  $E_{h_z}$  (lx),
- střední válcová osvětlenost  $E_z$  (lx),
- střední poloválcová osvětlenost  $E_{s_z}$  (lx),
- světelný vektor  $\epsilon$ ,
- veličiny charakterizující chromatičnost, teplotu chromatičnosti a index podání barev,
- napájecí napětí světelného obvodu. [11]

### 2.3.1 Denní osvětlení

Denní nebo též přírodní či přirozené osvětlení je všechno sluneční světlo. Na Zemi jej tvoří dvě části. První dopadá na Zemi jako přímé sluneční světlo a druhá je rozptýlená atmosférou jako oblohové světlo. Jeho intenzita, obzvláště přímého slunečního světla, může dosáhnout v letní slunečný den až 100 000 lx. Spektrální složení se během dne mění. Je závislé na výšce Slunce nad obzorem, na stavu oblačnosti i ročním období. Právě díky této proměnlivosti u denního osvětlení se vyjadřuje jeho intenzita jako tzv. činitel denní osvětlenosti  $D(\%)$ . Ten je definován jako poměr osvětlenosti denním světlem v daném bodě dané roviny v interiéru k současné vodorovné osvětlenosti venkovní nezacloněné roviny, viz rovnice (23). Měření se uskutečňuje při rovnoměrně zatažené obloze v zimních měsících.

$$D = \frac{E}{E_h} \cdot 100. \quad (23)$$

Kde:

- $D$  je činitel denní osvětlenosti (%),
- $E$  je osvětlenost v kontrolním bodě srovnávací roviny (lx),
- $E_h$  je osvětlenost venkovní vodorovné nezacloněné roviny ve stejném okamžiku (lx).

Činitel denní osvětlenosti neudává intenzitu osvětlení v daném okamžiku (ta závisí na venkovní situaci), ale pouze procento osvětlenosti, které se z celkového denního oblohového záření dostane osvětlovacími otvory do měřeného místa v místnosti. Pro vlastní zrakový úkol se uvažuje světlo pronikající do osvětlovaného prostoru z oblohy, světlo odražené od venkovních i vnitřních objektů a povrchů. V místnosti se můžeme setkat s osvětlením bočním, horním, sekundárním nebo kombinovaným, které spojuje boční a horní směr dopadu světla do místnosti dohromady. Pro pozorovatele je přicházející světlo shora přirozenější a je na něj lépe adaptován. Obecně se ale doporučuje jejich kombinace. [19]

### 2.3.2 Umělé osvětlení

Mezi umělé osvětlení patří všechno osvětlení, které nepochází ze Slunce. Není tedy přirozenou složkou životního prostředí a člověk na něj není úplně fyziologicky přizpůsoben (vyplývá z evoluce). Dnešní zdroje umělého světla nedokážou plně nahradit

svou kvalitou a svými přínosy osvětlení denním světlem. I přes značný technický pokrok stále není možné umělé osvětlení přizpůsobit natolik, aby odpovídalo tomu dennímu. Především spektrum a dynamiku denního osvětlení je velice obtížné napodobit tak, aby byla pro člověka příznivá. Pro dlouhodobý pobyt nelze umělým osvětlením nahradit denní osvětlení a považovat jej za rovnocenné. Na rozdíl od denního světla při práci pod umělým zdrojem světla dochází dříve k únavě, je prokázán větší počet chyb a delší latenční doba (doba zpracování signálu) pohybové reakce na světelný signál. Díky neměnnosti umělého osvětlení je možné jej měřit v absolutních jednotkách tedy luxech (lx). Při měření umělého osvětlení je nezbytné přesně stanovit druh osvětlení, které se měří podle jeho účelu (normální, nouzové, doplňující umělé nebo technologické). Jednotlivé druhy se pak měří a vyhodnocují samostatně a to při okolnostech k jakým jsou navrženy a používány. Nutnost během měření vyloučit vliv denního osvětlení a to buď měřením v době bez denního osvětlení, nebo během dne se zatemněním systémů, kterými by procházelo denní osvětlení je nezbytná. Při měření umělé osvětlovací soustavy je potřeba zajistit minimální dobu předběžného stárnutí světelných zdrojů. Tím je myšlena doba zahoření světelného zdroje, která je potřeba, aby zdroj dosáhl částečného ustálení fotometrických veličin. Ty samozřejmě dále postupem času degradují, ale ne tak razantně jako během doby zahoření. U žárovky činí tato doba celkem nejméně 10 hodin, u výbojového zdroje nebo jiného zdroje s luminofovy nejméně 100 hodin. Dále je umělé osvětlení před začátkem měření spuštěno s takovým předstihem, aby došlo ke stabilizaci světelného toku. To se považuje tehdy, když měřená hodnota osvětlení s odstupem několika minut třikrát po sobě nevykazuje symetrické změny. Tato doba je velmi často stanovena výrobcem, pro příklad u výbojových zdrojů či jiných zdrojů s luminoforem činí 20 minut. Na měření má vliv i teplota okolí a napájecí napětí, proto se při přesném a provozním měření počítá i s těmito veličinami. Z naměřených hodnot se kromě jiného zjišťuje i rovnoměrnost osvětlení:

$$r = \frac{E_{min}}{E_p} \quad (24)$$

Kde:

$r$	je rovnoměrnost osvětlení	(-),
$E_{min}$	je minimální změřená hodnota osvětlenosti	(lx),
$E_p$	je průměrná hodnota osvětlenosti	(lx).



Požadavky na zrakový výkon jsou normativně stanoveny dle charakteru činností, kontrastu barev a požadavku na jas kritického detailu a jeho okolí (kritický detail je velikost nejmenší nutně rozlišitelné podrobnosti nutné pro uvažovaný zrakový výkon). Bez ohledu na zrakovou činnost udává norma nejmenší přípustné hodnoty průměrné osvětlenosti  $E_p$  a rovnoměrnosti osvětlenosti  $r$  pro celkové osvětlení podle délky pobytu osob v místnosti.

Bližší informace o měření osvětlenosti vnitřních prostorů jako např. detailní rozložení kontrolních bodů, zavedení nejistoty měření či obsahu výsledného protokolu je uvedeno v kapitole 2.2. [11], [20]

### 2.3.3 Sdružené osvětlení

Pokud to okolnosti dovolují, tak se při návrhu osvětlovací soustavy snažíme co nejvíce využít denní osvětlení, což popisujeme již zmíněným činitelem denní osvětlenosti. Ten je pro různé třídy zrakové činnosti určen normou, viz Tabulka 3.

**Tabulka 3: Hodnota činitele denní osvětlenosti**

Třída zrakové činnosti	Hodnota činitele denní osvětlenosti v %	
	Minimální	Průměrná
	$D_{min}$	$D_m$
I, II	1,0	2,5
III	0,7	2,0
IV	0,5	1,5
V až VII	0,5	1,0

Jestliže není možné normativní hodnoty dodržet, je nutné hledat jiné možnosti. V takovém případě je na řadě využití sdruženého osvětlení. To je z hlediska působení na pozorovatele samozřejmě horší, ale stále příznivější, než pouze umělé osvětlení. Pod termínem sdruženého osvětlení je tedy současné a záměrné osvětlení denním a umělými zdroji světla. „Pro posouzení sdruženého osvětlení podle ČSN 36 0020 se měří denní osvětlení a doplňkové umělé osvětlení a obě složky se hodnotí samostatně“ [9]. Při posuzování úrovně a rovnoměrnosti sdruženého osvětlení se u denní složky vychází ze stavu rovnoměrně zatažené oblohy s gradací jasu za dvou kritických úrovní venkovní srovnávací osvětlenosti. Při posuzování úrovně osvětlení je to 5 000 lx a 20 000 lx při posuzování její kvality, zejména rovnoměrnosti. Je nutné ale brát i v potaz stav jasné

oblohy a působení přímého slunce. To může vyvolávat oslňování příliš velkým jasem oblohy i nepříznivé vlivy přímého slunečního světla na zrakovou pohodu, hlavně pak oslňování uživatelů vnitřních prostorů a ovlivňování nadměrným kontrastem jasů. Snaha je pak těmto vlivům zamezit vhodnými prostředky. Stejně jako požadavky na hodnotu činitele denní osvětlenosti jsou také požadavky na poměry jasů uvnitř místnosti dány normou, které jsou shrnuty v Tabulce 4. [9]

**Tabulka 4: Poměry jasů pozorovaného předmětu a osvětlovacího otvoru**

Třída zrakové činnosti podle ČSN 73 0580-1	Poměr jasů
I, II, III	1:40
IV	1:80
V, VI	1:200
VII	1:300

Nároky na sdružené osvětlení jsou opět uvedeny v normách a liší se podle typu prostor, pracovní činnosti či jiných nároků na osvětlenost. Jako příklad slouží požadované parametry uvedené v Tabulce 5.

**Tabulka 5: Přehled požadavků na osvětlení pro kancelářské prostory [8]**

1	Administrativní prostory (Kanceláře)					
Ref. č.	Druh prostoru, úkolu nebo činnosti	$E_m$ (lx)	UGRL	$U_o$	$R_a$	Poznámky
			–	–	–	
1.1	zakládání dokumentů, kopírování atd.	300	19	0,4	80	
1.2	psaní, psaní na stroji, čtení, zpracování dat	500	19	0,6	80	práce s displeji
1.3	technické kreslení	750	16	0,7	80	
1.4	pracovní stanice CAD	500	19	0,6	80	práce s displeji
1.5	konferenční a zasedací místnosti	500	19	0,6	80	osvětlení má být regulovatelné
1.6	recepce	300	22	0,6	80	
1.7	archivy	200	25	0,4	80	

## 2.4 Měření osvětlení venkovních prostorů

Pod pojmem venkovní prostor se dle normy rozumí prostor, který není uzavřen plochami (zdmi, stropem, podlahou). Při měření venkovních prostorů je opět nezbytné stanovení druhu osvětlení (normální, či osvětlení komunikací) a jednotlivé druhy pak měřit a vyhodnocovat samostatně, aby se vzájemně neovlivňovali. Na rozdíl od měření vnitřních prostor je u venkovních prostorů nutné vytyčit si hranici posuzovaného prostoru a určit správnou výšku srovnávací roviny. Také tu více hrozí rizika oslnění, a proto se měří jasy na fasádě budov a to nejlépe z místa, kde je předpokládán výskyt pozorovatele, kterého by to mohlo negativně ovlivnit. Nutností je i kontrola tzv. rušivého světla (světelné znečištění), pro ochranu a zlepšení nočního prostředí. Pokud nebylo rušivé osvětlení kontrolováno, představovalo by to fyziologické a ekologické problémy pro životní prostředí a osoby. Jeho limity ve venkovních osvětlovacích soustavách pro osoby, flóru a faunu jsou uvedeny v Tabulce 6.

**Tabulka 6: Přípustné maximum rušivého světla pro venkovní osvětlovací soustavy**

Zóna životního prostředí	Světlo na objektech		Svítivost svítidla		Podíl horního toku	Jas	
	$E_v$ (lx)		$I$ (cd)		$R_{UL}$ (%)	$L_b$ (cd · m <sup>-2</sup> )	$L_s$ (cd · m <sup>-2</sup> )
	Mimo dobu nočního klidu	V době nočního klidu	Mimo dobu nočního klidu	V době nočního klidu		fasády	znaky <sup>NP1)</sup>
E1	2	0	2500	0	0	0	50
E2	5	1	7500	500	5	5	400
E3	10	2	10000	1000	15	10	800
E4	25	5	25000	2500	25	25	1000

a) V případě, kdy se neuplatňuje noční omezení, nesmí být větší hodnoty překročeny a mají se upřednostnit menší hodnoty.

### POZNÁMKY K TABULCE

- E1 představuje velmi tmavé oblasti jako národní parky a chráněná území  
 E2 představuje málo světlé oblasti jako průmyslové a obytné venkovské oblasti  
 E3 představuje středně světlé oblastí jako průmyslová a obytná předměstí  
 E4 představuje velmi světlé oblasti jako městská centra a obchodní zóny  
 $E_v$  je největší hodnota svislé osvětlenosti na objektech v luxech  
 $I$  svítivost každého zdroje světla v potenciálně rušivém směru  
 $R_{UL}$  poměrná část světelného toku svítidla (svítidel) vyzařovaného nad horizont

v jeho (jejich) pracovní poloze a umístění, udává se v %

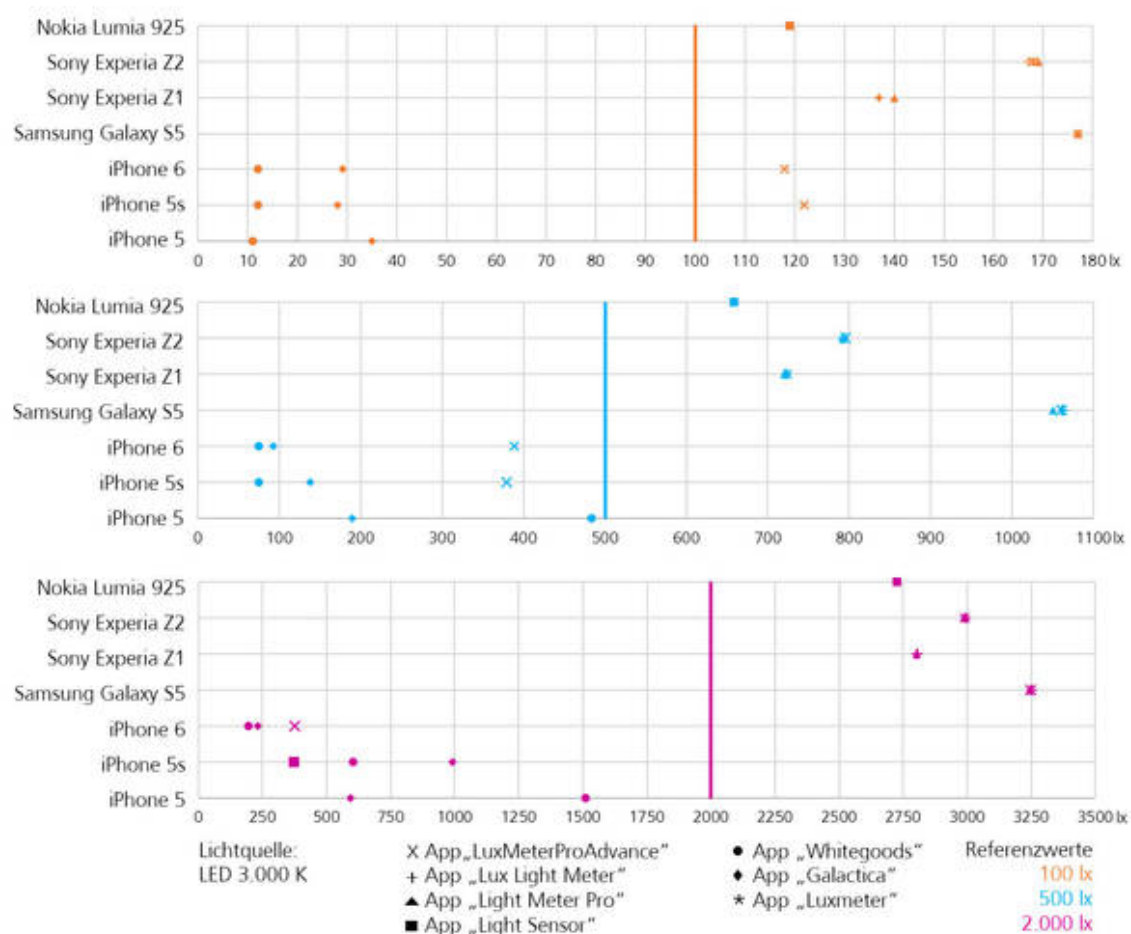
$L_b$  největší průměrný jas fasády budovy v  $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$

$L_s$  největší průměrný jas znaků v  $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$

Pro prostory s náročnějšími zrakovými činnostmi se používají ještě další veličiny, které blíže charakterizují podmínky osvětlení a zrakovou pohodu. Například je to vertikální osvětlenost, jas fasády budov nebo veličiny charakterizující chromatičnost světla apod. Co se kontrolních bodů týče, ty jsou rozmístovány stejně jako v kapitole 2.3, tzn. s ohledem na rozmístění svítidel a s ohledem na místa maximální a minimální hodnoty osvětlenosti. Samotné měření se provádí v noci, s vyloučením ostatních světelných zdrojů (tj. jiných, než které měříme). Následný celkový postup je totožný jako v kapitole 2.2. [12]

### 3 Dostupné studie mobilních aplikací na měření osvětlenosti

Otázkou, zda jsou mobilní aplikace na měření osvětlenosti určitou mírou relevantní, se zabývaly již některé studie před mojí bakalářskou prací. Velice kvalitní studii na toto téma vydala německá firma Dial 17. listopadu 2015. Ta se zabývala otázkou, zda je možné používat mobilní aplikace na měření osvětlenosti v dnešních smartphonech jako použitelné luxmetry. K testu si zvolila několik smartphonů různých typů i značek a několik aplikací včetně jedné placené. Na Obrázku 9 je možné vidět podrobné výsledky testu.

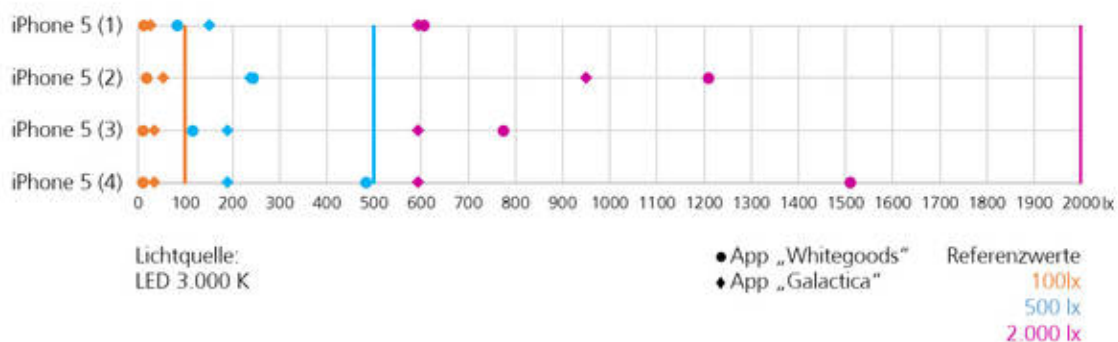


Obrázek 9: Výsledky studie získané firmou Dial při testu aplikací na různých zařízeních

Pro svůj test si jako referenční luxmetr zvolili Illuminance meter model 106e, který je ve třídě přesnosti A. Jako zdroje světla použili halogenovou žárovku nízkého napětí, kompaktní zářivku (korelovaná teplota barev: 2 700 K) a LED (korelovaná teplota barev: 3 000 K). Testy probíhaly v uzavřené místnosti bez možnosti přístupu denního světla a bez vlivu umělého osvětlení. Při prvním testu se zkoušeli jednotlivé aplikace na všech smartphonech při referenčním osvětlení 100, 500 a 1 000 lx za sebou. Bylo zajištěno, aby

při měření světlo dopadalo kolmo na hlavu fotometru, přední kameru nebo senzor jasu (gama 0°) a nedocházelo tak k nepřesnostem. Toto nastavení bylo udržováno ve většině případů. Výjimkou byla pouze aplikace Luxmeter Pro Advanced, která pracovala na principu odrazu světla od určité plochy jako vstupu, ne přímého světelného toku. Výsledkem tohoto testu bylo zjištění, že odchylky od referenční osvětlenosti byly okolo 3 - 113 %. Záleželo na typu aplikace i zařízení. Nejmenší odchylku měla aplikace Lightmeter na zařízení iPhone 5. Ovšem bylo toho dosaženo pouze při referenční hodnotě 500 lx. Při referenční hodnotě 100 lx byla již odchylka celých 89 %.

Dalším testem studie bylo zjištění, zda stejná aplikace na různých zařízeních stejného typu bude odpovídat stejným výsledkům. Ani při tomto testu výsledky nedosáhly uspokojivých hodnot a výrazně se lišily. Test byl prováděn na čtyřech zařízeních typu iPhone 5 pomocí aplikací Galactica a LightMeter (viz Obrázek 10).



Obrázek 10: Výsledky studie firmou Dial při testu stejné aplikace na čtyřech zařízeních typu iPhone 5

Posledním testem studie bylo ověření, zda když je známá odchylka u jednotlivého zařízení a jednotlivé aplikace, jestli by se s touto odchylkou nedalo počítat. Test proběhl u dvou aplikací pro referenční hodnoty 10, 100, 1 000 a 10 000 lx. Bohužel i tady bylo výsledkem testu zklamání, jelikož zde nebyla objevena žádná souvislost.

Závěrem studie je tedy zřejmé, že smartphony a aplikace na měření osvětlenosti nejsou vhodné pro náhradu za kvalitní a dobře kalibrovaný luxmetr při měření osvětlenosti. [18]

## 4 Měření osvětlenosti pomocí mobilních aplikací

### 4.1 Měření osvětlenosti bodového svítidla

Hlavním úkolem této bakalářské práce je zjistit, zda je možné dostatečně přesně změřit hodnotu osvětlenosti pomocí mobilních aplikací. Tuto teorii jsem ověřoval dvěma způsoby. Při prvním způsobu jsem měřil bodové svítidlo. Pro to bylo zapotřebí sestavení měřícího aparátu, protože kvůli nouzovému stavu jsem nemohl využít laboratoř naší fakulty. Následně jsem ještě ověřil důvěryhodnost aplikací při praktickém měření konkrétních místností a konkrétních prostor. Měřící aparát pro první měření se skládal z lampičky, kde byl světelný zdroj v podobě LED žárovky (podrobné parametry uvedeny v Tabulce 7).

**Tabulka 7: Parametry svítidla**

Příkon	3 W
Patice	GU10
Světelný tok	240 lm
Teplota chromatičnosti	3000 K
Úhel svícení	35°

Zdroj byl zasazen v jednoduchém reflektoru (svítidle), který pouze zabraňoval rozptylu světla a usměrňoval světelný tok, viz Obrázek 11.



**Obrázek 11: Měřený světelný zdroj**

Další součástí měřící sestavy byl stativ, do kterého šel ukotvit smartphone a luxmetr tak, aby byl vůči světelnému zdroji ve stabilní kolmé poloze. Bylo potřeba zajistit, aby byla kolmost sondy či čočky fotoaparátu zajištěna jak ve vodorovné tak i svislé poloze vůči svítidlu.

Další součástí byl pět metrů dlouhý metr. Ten byl pevně přichycen k podlaze. Měření bylo prováděno v chodbě, která byla široká 1 m, přibližně 3,4 m dlouhá a postavení čočky (sondy) společně se středem svítidla bylo 0,5 m nad zemí a ve středu chodby. V chodbě se mi povedlo zajistit absolutní tmu, to znamená, že měření pak neovlivňovalo žádné jiné světlo. Podlaha místnosti byla tmavá. K jediné nepřesnosti tak mohlo dojít od bílých stěn v chodbě.

Poslední součástí mé improvizované světelné lavice byla měřící zařízení. K hlavnímu porovnání hodnot aplikací mi sloužily hodnoty získané Luxmetrem Testo 540, jehož přesnost je 3 % (spadá do třídy přesnosti A). Všechny zkoumané aplikace byly nainstalované na iPhone SE. Některé využívaly čočku (tzn. světelný senzor) pouze předního fotoaparátu a některé dovolovaly jejich volbu mezi předním a zadním. U těch co dovolovaly volbu, jsem využíval čočku zadního fotoaparátu kvůli jejím lepším parametrům (12 MPix proti 1,2 MPix). Celkem jsem otestoval pět bezplatných aplikací.

### Představení měřených aplikací

První aplikací, kterou jsem pro měření použil je Lux Light Meter Pro od Elena Polyanskaya. Aplikace dle slov vývojářů využívá více vstupů ze senzorů zařízení. Bohužel se mi nepovedlo dohledat, které to jsou. Tato aplikace může využívat jak přední čočku smartphonu, tak zadní jako hlavní senzor. Dokáže zobrazovat reálné, průměrné a maximální hodnoty osvětlenosti a to jak v luxech tak footech.



Obrázek 12: Prostředí aplikace Lux Light Meter Pro [25]



Druhá aplikace byla Lux Meter - Lumi od GWANG GEUN MOON. Ta dovozovala použít pouze přední čočky smartphonu pro měření. Zobrazuje aktuální, minimální, maximální a průměrnou hodnotu okolního osvětlení. Dle informací vývojáře aplikace využívá pouze čočky fotoaparátu.



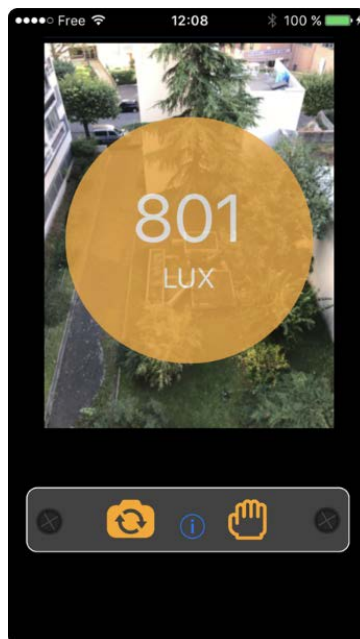
Obrázek 13: Prostředí aplikace Lux Meter - Lumi [25]

Třetí aplikací byla Luxmetr od Velux Mobil. Využívá dle vývojářů světelné čidlo přední čočky smartphonu. Měla by být optimalizovaná především pro iPhone 5/5S a iPhone 6/6 Plus. Aplikace má od předchozích, rozdělení prostorů, pro které je daná hodnota osvětlenosti vhodná.



Obrázek 14: Prostředí aplikace Luxmetr od Velux [25]

Čtvrtou vybranou aplikací je Lux Light Meter FREE od Nipakul Buttua. Tato aplikace využívá pro měření přední i zadní čočku smartphonu. Její výhodou je, že zobrazuje pohled daný fotoaparátem pro lepší zaměření.



Obrázek 15: Prostředí aplikace Lux Light Meter FREE. [25]

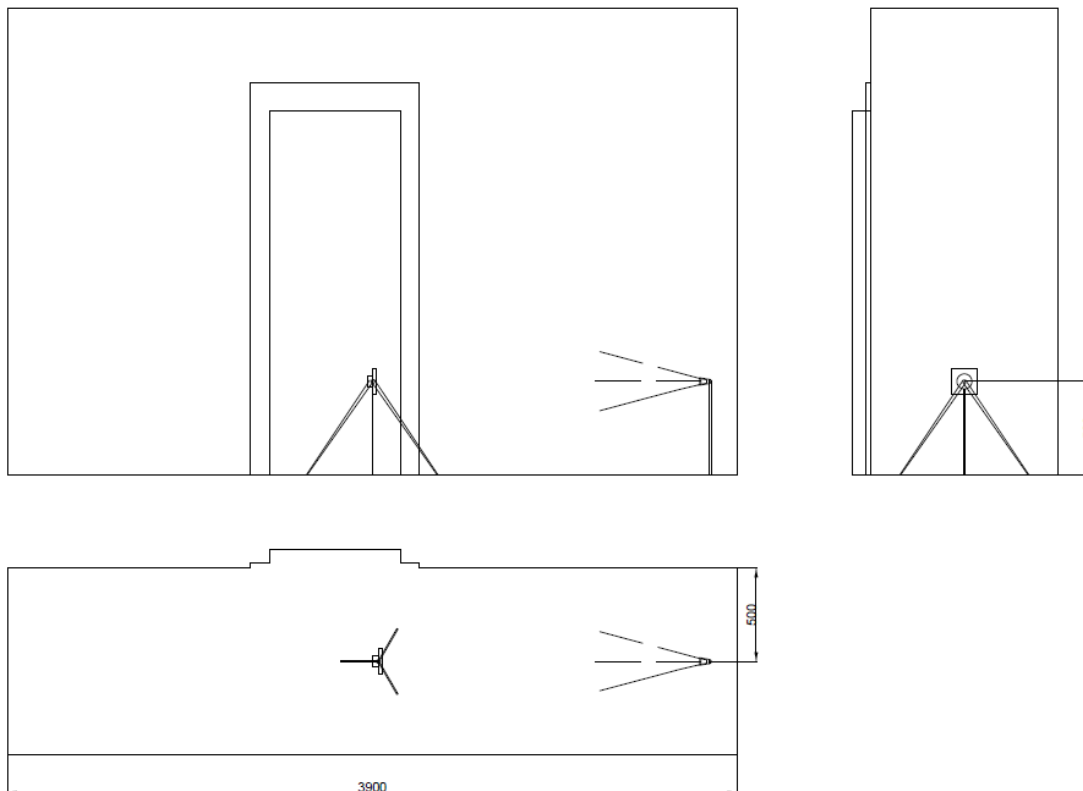
Pátou a poslední zkoumanou aplikací je Light Meter: Measure Lux od Patel Darshan. Aplikace je schopna použít pro měření přední i zadní čočku smartphonu. Hodnoty udává jak v luxech tak footech. Možností je i uložení hodnot do paměti telefonu. Pracuje na principu algoritmů.



Obrázek 16: Prostředí aplikace Light Meter: Measure Lux. [25]

## Postup měření

Měření probíhalo v místnosti bez vstupu jiného světla než toho co jsem měřil. Prvním krokem bylo sestavení měřicího aparátu (viz předešlé kapitoly). Lampička byla umístěna na začátek chodby a do jejího středu v příčném směru (viz Obrázek 17).

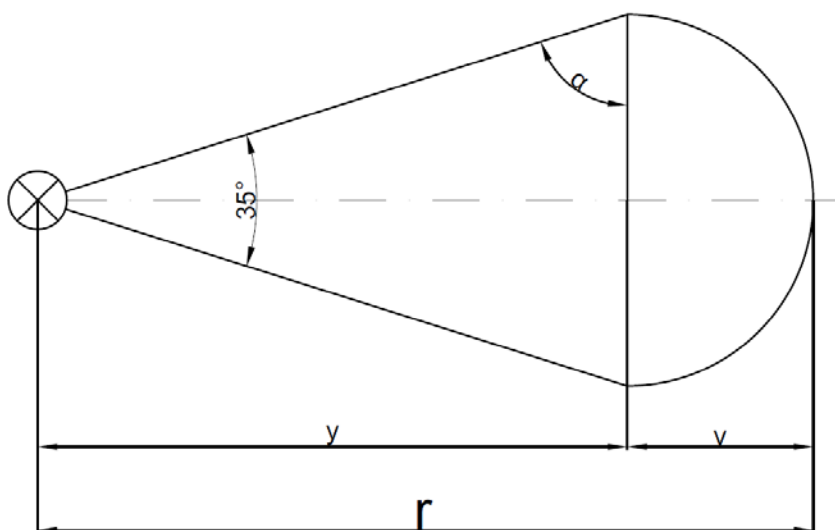


Obrázek 17: Naznačení měřicí úlohy

Od hrany upevnění reflektoru lampičky, byl umístěn metr, který procházel celou chodbou. Dalším krokem bylo umístění a nastavení stativu tak, aby s ním bylo možné pohybovat po přesné vzdálenosti od světelného zdroje. Bylo důležité dávat pozor, aby senzor byl neustále v ose lampičky a správném náklonu. Následně jsem zapnul lampičku, odkryl sondu luxmetru a počkal asi deset minut, aby se stabilizoval světelný tok a sonda. Poté jsem začal měřit. Vždy jsem umístil stativ s luxmetrem nebo smartphonem do určité vzdálenosti od světelného zdroje a zjistil hodnotu osvětlenosti. Hodnoty jsem zjišťoval ve stejných vzdálenostech pro luxmetr a zkoumané aplikace. Ty jsem následně zapisoval do přehledné tabulky. Postup jsem opakoval i pro další vzdálenosti od světelného zdroje. Výsledky jsem početně upravil a pro větší přesnost dopočetl i bodovou metodou teoretické hodnoty osvětlenosti v daných bodech světelného pole pro dané svítidlo, viz níže.

**Výpočet bodové metody svítidla (pro 100% účinnost světelného zdroje a svítidla)**

Z parametrů světelného zdroje, uvedených na začátku kapitoly 4.1, a dle znalosti vzdáleností, ve kterých byla měřena normálová osvětlenost, byly pro každou měřenou vzdálenost vypočteny pomocí bodové metody hodnoty osvětlenosti pro verifikaci naměřených hodnot. Schéma k výpočtu je vidět na Obrázku 13 a samotný výpočet je uveden níže. Vzhledem k tomu, že bohužel nešlo dohledat křivky svítivosti použitého svítidla a parametry daného svítidla platí výpočet pro maximální účinnost svítidla. Přesto lze vypočtené hodnoty brát jako referenční k posouzení naměřených hodnot. Pokud by se vypočítala osvětlenost i se započítáním účinnosti svítidla, tak by vypočítané hodnoty osvětlenosti byly trochu nižší.



**Obrázek 18:** Naznačení prostorového svícení svítidla nutné pro výpočet

Pro názornost je dále představeno obecné odvození vztahu k výpočtu osvětlenosti pro vzdálenost 1 m od zdroje:

$$\alpha = 180^\circ - 90^\circ - 17,5^\circ = 72,5^\circ$$

$$\sin \alpha = \frac{y}{r} \rightarrow y = r \cdot \sin \alpha$$

$$\text{pro } r = 1\text{ m} \rightarrow y = 0,954\text{ m}$$

$$v = r - y \rightarrow v = 0,046\text{ m}$$

Povrch vrchlíku:

$$S = 2\pi \cdot r \cdot v \quad (\text{m}^2)$$

Prostorový úhel:

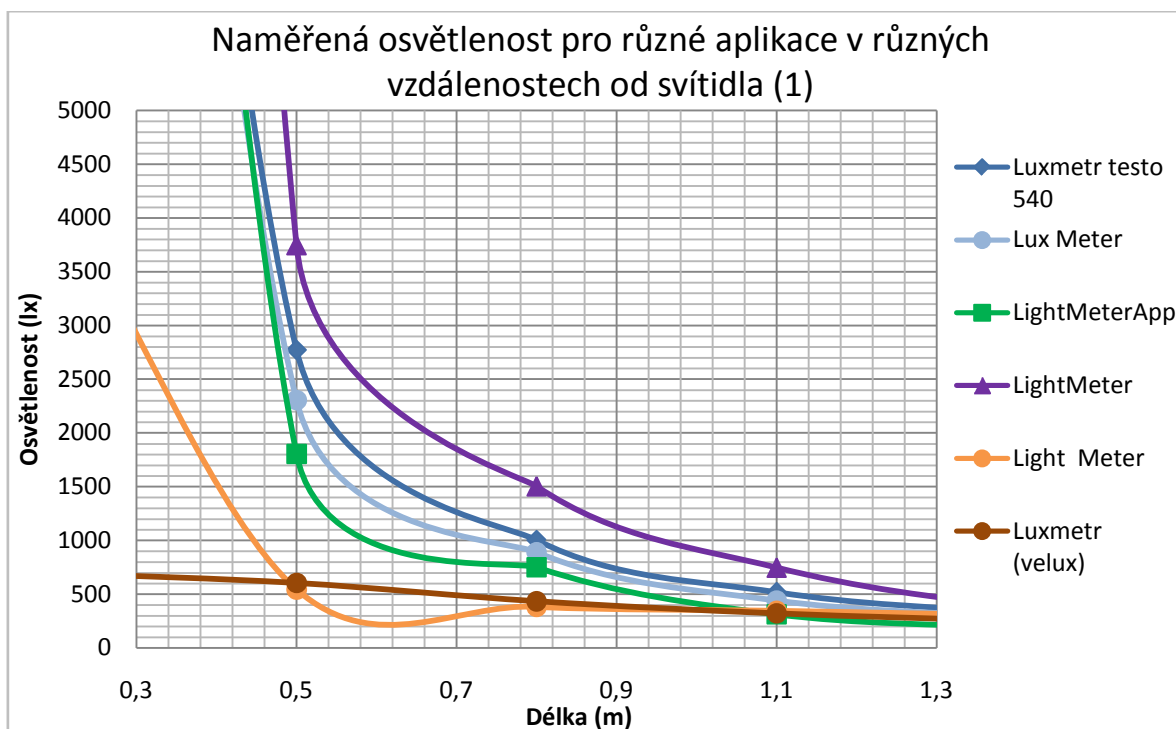
$$d\Omega = \frac{dA \cdot \cos \beta}{r^2} = \frac{2\pi \cdot r \cdot v \cdot \cos 1}{r^2} = \frac{2\pi \cdot v}{r} \quad (\text{sr})$$

$$E = \frac{I}{r^2} = \frac{d\Phi}{d\Omega \cdot r^2} = \frac{d\Phi \cdot r}{2\pi \cdot v \cdot r^2} = \frac{\Phi}{2\pi \cdot v \cdot r} \quad (\text{lx})$$

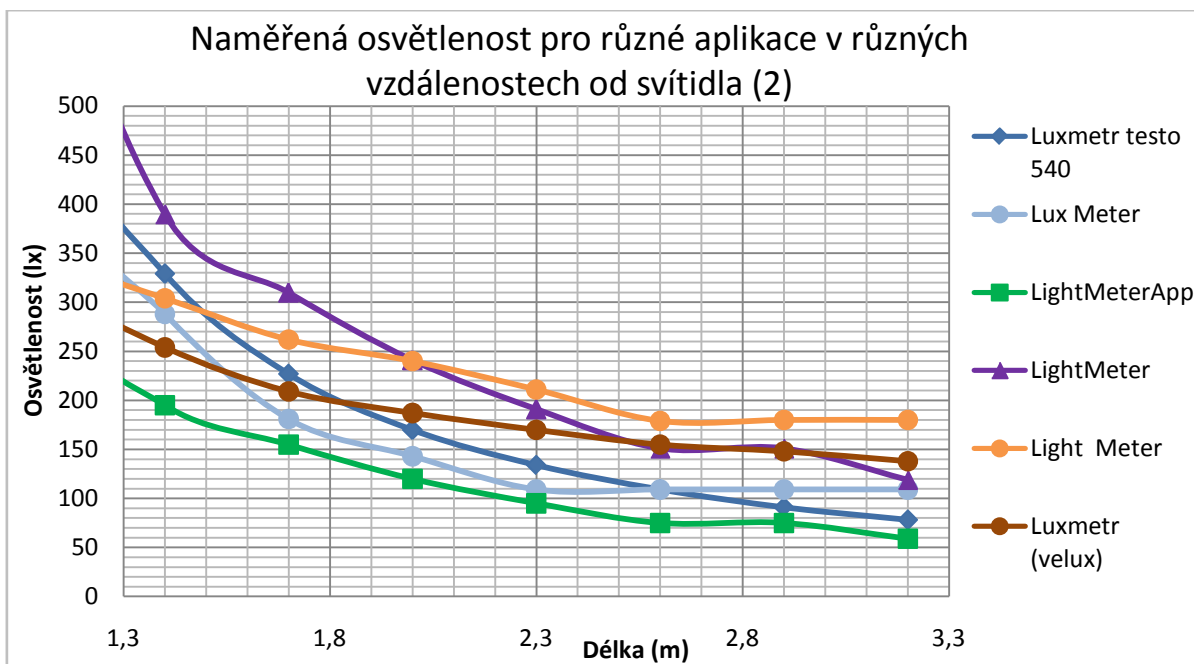
Výpočty pro různé vzdálenosti od svítidla jsou uvedeny v příloze (Příloha2).

### Výsledky měření

V grafu, kde jsou zobrazeny výsledky měření, je patrné, že při zkoušení jednotlivých aplikací, se ani jedna v celém rozsahu dostatečně neblížila referenčnímu Luxmetru Testo 540. Pro dostatečný přehled jednotlivých aplikací je graf rozdělen na dvě části a přiblížen tak, aby byly patrné hlavní informace (Graf 1 a Graf 2).

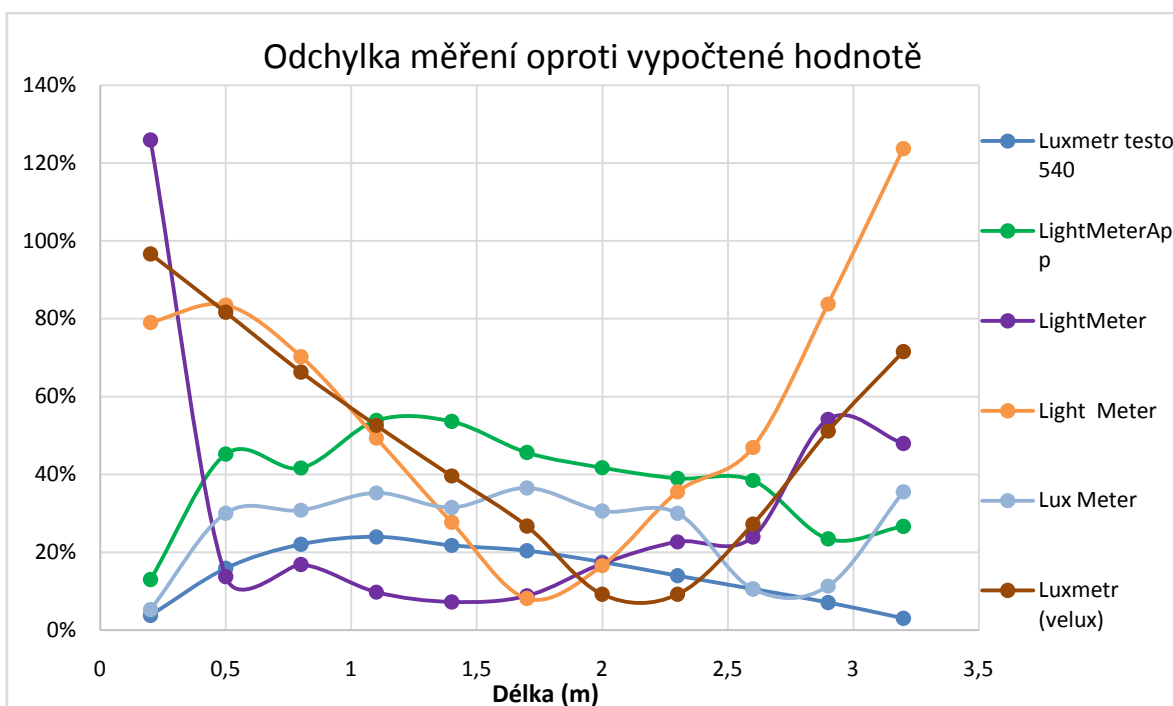


**Graf 1:** Naměřená osvětlenost pro různé aplikace v různých vzdálenostech od svítidla (1. část).

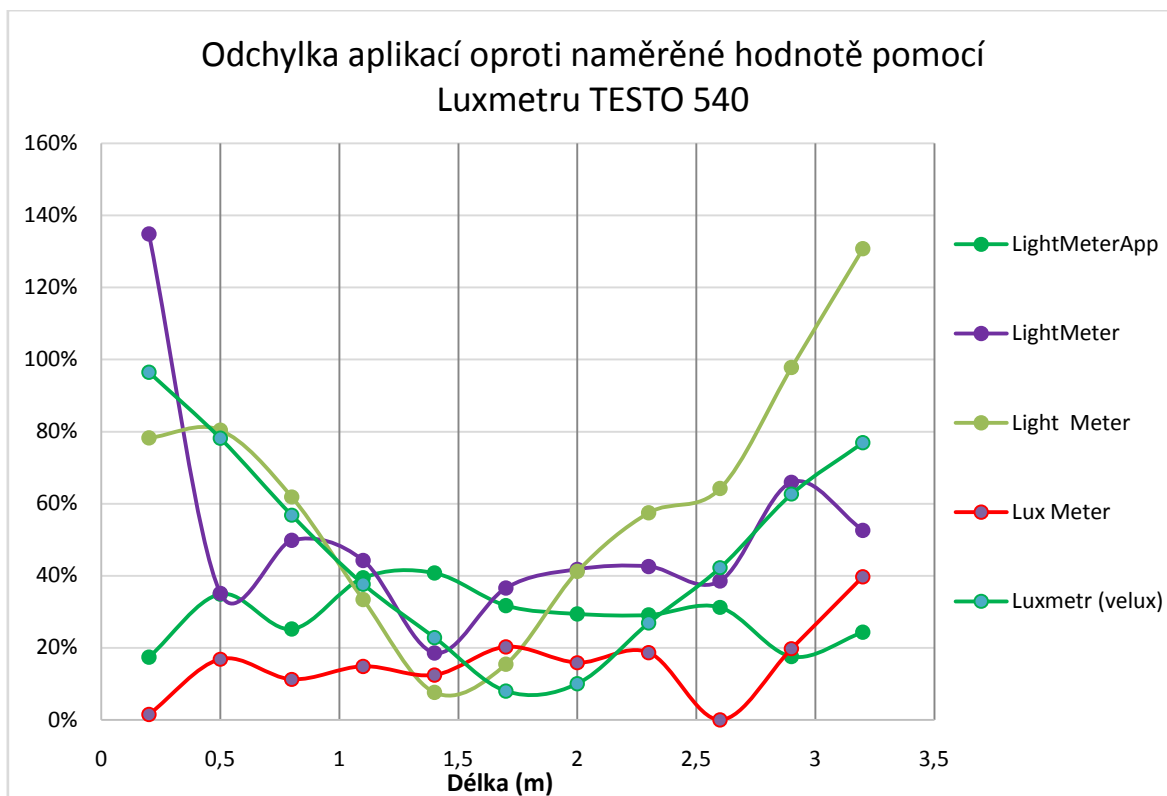


Graf 2:Naměřená osvětlenost pro různé aplikace v různých vzdálenostech od svítidla (2. část).

Podrobnější nástin odchylek, jak od vypočtené osvětlenosti, tak od zvoleného referenčního Luxmetru Testo 540, jsou uvedeny v Grafu 3 a v Grafu 4. Z těch je asi nejlépe vidět, jakým způsobem jsou aplikace nepřesné.



Graf 3:Odchylna měření oproti vypočtené hodnotě pomocí bodové metody.



**Graf 4: Odchylna aplikací oproti naměřené hodnotě pomocí luxmetru TESTO 540**

V Grafu 3 můžeme vidět odchylnu i u Luxmetru Testo 540, která by měla být od vypočtené hodnoty osvětlenosti pouze minimální. Způsobeno je to nejspíše vlastnostmi světelného zdroje, které se v malých vzdálenostech nechovalo zcela jako bodový zdroj. Dále pak nepřesnými parametry, které se používaly při výpočtu bodové metody. Výrobce totiž nikde neuváděl, účinnost svítidla a výpočet je proto pro 100% účinnost. Měření svítidla jsem následně ještě zopakoval ve fotometrické laboratoři pro porovnání výsledků (Kapitola 4.3). Podrobné výsledky z celého měření jsou tabulkově zpracovány a uvedeny v přílohách (Příloha 1 až Příloha 4).

## 4.2 Měření osvětlenosti v aplikačních oblastech

Pro druhý způsob ověření, zda jsou mobilní aplikace určitým způsobem vhodné pro měření osvětlenosti, jsem měl za úkol proměřit čtyři konkrétní pracovní oblasti. Těmi byly vstupní hala, pokoj, pracovní stůl a jídelní stůl. Místa jsem proměřoval ve dne za stavu rovnoměrně zatažené oblohy pro hodnoty denní osvětlenosti a v noci pro hodnoty umělé osvětlenosti. Oproti prvnímu měření jsem zúžil zkoumané aplikace pouze na dvě, které se co nejlépe přibližovali hodnotám luxmetru v prvním měření. Těmi byli Light Meter App a Lux Meter.

Abych dosáhl ještě dalšího ověření naměřených hodnot tak jsem v programu Building Design vytvořil modely osvětlovacích soustav interiérů měřených aplikačních oblastí. Výsledné hodnoty osvětleností ze simulací v tomto programu jsem následně použil při analýze zkoumaných mobilních aplikací. Místnosti jsem namodeloval včetně jejich funkčních součástí (nábytek), aby byla simulace co nejpřesnější.

### **Postup měření**

Prvním krokem při tomto měření bylo vhodně si rozvrhnout a následně i připravit bodový rastr (viz. 2.2.1. výběr kontrolních bodů). Jako srovnávací rovinu jsem v prostoru místnosti volil horizontální rovinu ve výšce 0,85 m nad podlahou. Aby byla sonda luxmetru či čočka fotoaparátu ve stabilní kolmé poloze a dané výšce, byla zasazena do stativu, jako v prvním měření. Jednalo-li se o konkrétní vymezenou část daného prostoru (pracovní stůl, jídelní stůl), byla rovina totožná s povrchem daného prostoru a stativ tak nebyl nutný. Měření se vždy rozdělovalo do dvou částí, tou byla denní (denní osvětlenost) a noční (umělá osvětlenost). Při denním osvětlení bylo potřeba počkat na vhodné měřicí podmínky, které nastaly, když byla venku rovnoměrně zatažená obloha. Za těchto podmínek měření probíhalo tak, že jsem vždy umístil sondu luxmetru, nebo čočku fotoaparátu u smartphonu, na střed jednotlivého bodu zvoleného rastru a zjistil hodnotu osvětlenosti. Body jsem následně jednotlivě měnil a naměřené hodnoty zapisoval do tabulky. Postup jsem opakoval pro všechny zvolené prostory a aplikace. V případě nočního měření probíhalo vše stejně. Rozdíl byl pouze v tom, že jsem nemusel čekat na vhodné podmínky a stačilo pouze zakrýt okenní prostory, abych měření neovlivnil venkovním osvětlením. Výsledky z měření jsou uvedeny dále v textu a v příloze.

### **Modelování a simulace osvětlovacích soustav v programu Building Design**

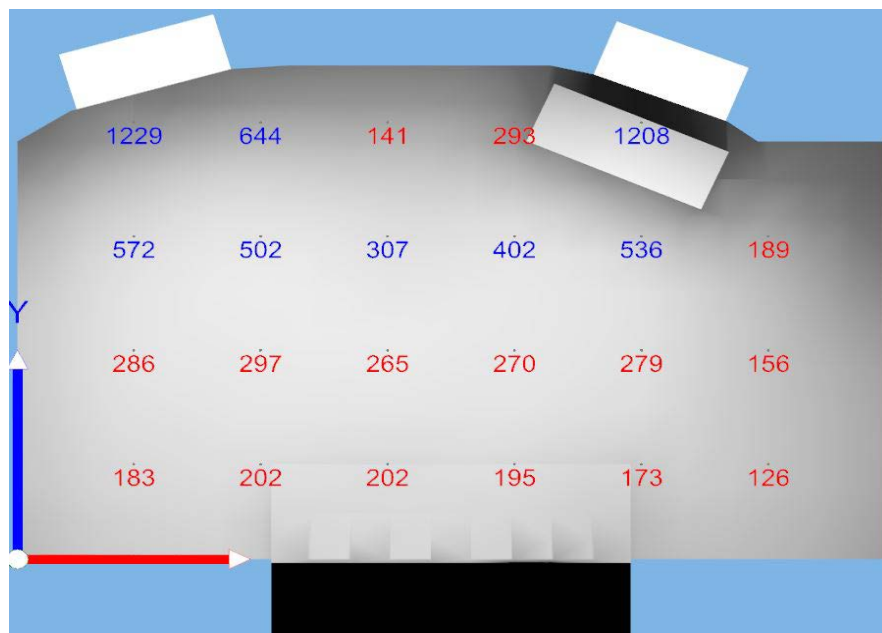
Building design je užitečný software využívaný při návrh budov pro BIM a CAD. Tvoří jej portfolio vzájemně spolupracujících se softwarů pro 3D návrh budov a dokumentace. Obecně jej využívají především architekti, projektanti, konstruktéři a projektivní inženýři. Já jsem jej využil především kvůli možnosti simulace osvětlenosti. Abych mohl simulaci provést, bylo zapotřebí v programu co nejpřesněji namodelovat dané osvětlovací soustavy a interiéry, které jsem měřil, včetně přibližných parametrů a umístění jejich funkčních částí jako byl nábytek apod. Pak už jen stačilo simulaci spustit a program vypočítal na základě



umístění, rozlohy, polohy a parametrů osvětlovací soustavy a parametrů interiéru hodnoty osvětlenosti. Všechny hlavní parametry jako výška osvětlovací roviny či světelné zdroje a svítidla jsem se snažil volit co nejpřesnější, aby co nejvíce odpovídaly reálnému stavu. Výsledky ze simulací jednotlivých aplikačních oblastí jsou zobrazeny níže. [24]

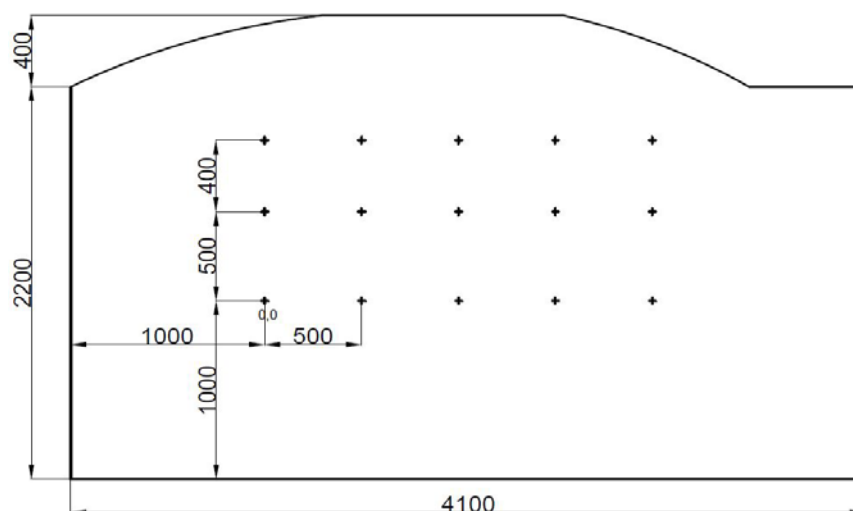
## Vstupní hala

### Denní osvětlenost



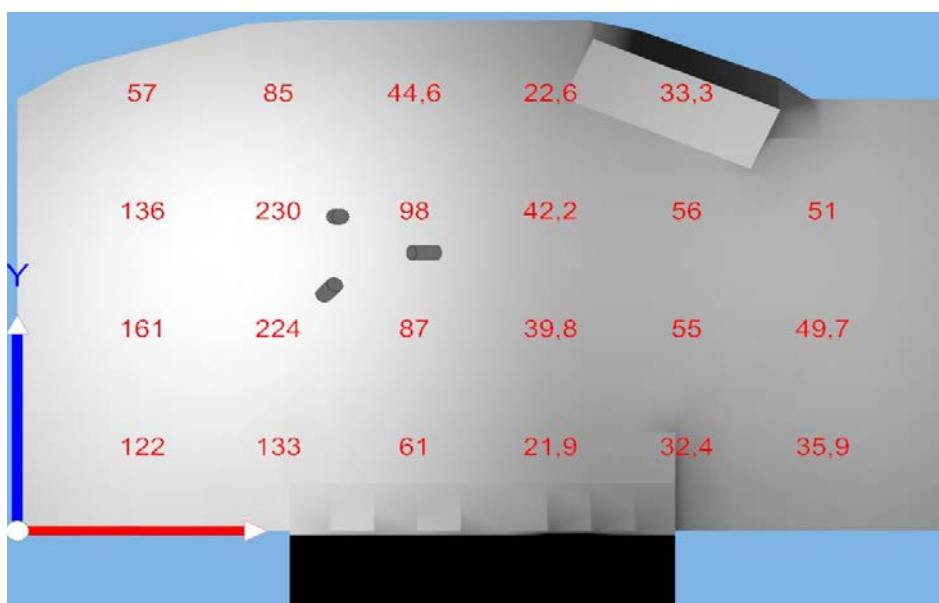
Obrázek 19: Simulace v programu Building Design pro vstupní halu - denní osvětlenost

Při pohledu na hodnoty změřené referenčním luxmetrem (viz Příloha 13) oproti hodnotám simulace (viz Obrázek 19), jsou vidět velké rozdíly. Průměrná hodnota odchylky je 326 %. Jejich příčina je především v nemožnosti přesně nasimulovat i venkovní okolí u okenních prostor. Tam se u levého okna nacházel strom, který značně snižoval osvětlenost, u pravého zase osvětlenost ovlivňovali okolní budovy.



Obrázek 20: Půdorys vstupní haly s rozložením měřených kontrolních bodů v programu CAD

### Umělá osvětlenost

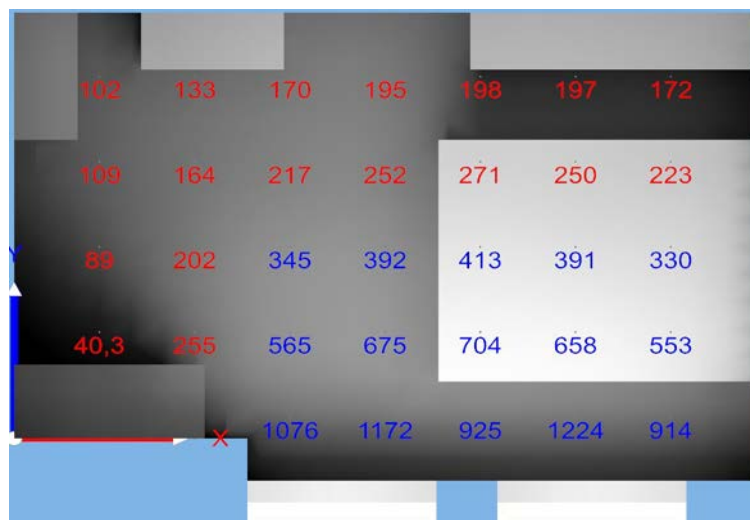


Obrázek 21: Simulace v programu Building Design pro vstupní halu - umělá osvětlenost

Naměřená umělá osvětlenost (viz Příloha 13) pomocí referenčního luxmetru už celkem hodně přesně kopíruje hodnoty simulované (viz Obrázek 21). Zde byla průměrná odchylka 44 %. Drobné odlišnosti jsou jen v rozdílech světelných zdrojů, ty samozřejmě nešlo vybrat stejné, protože instalované jsou přes dvacet let staré a šlo se jim pouze přiblížit.

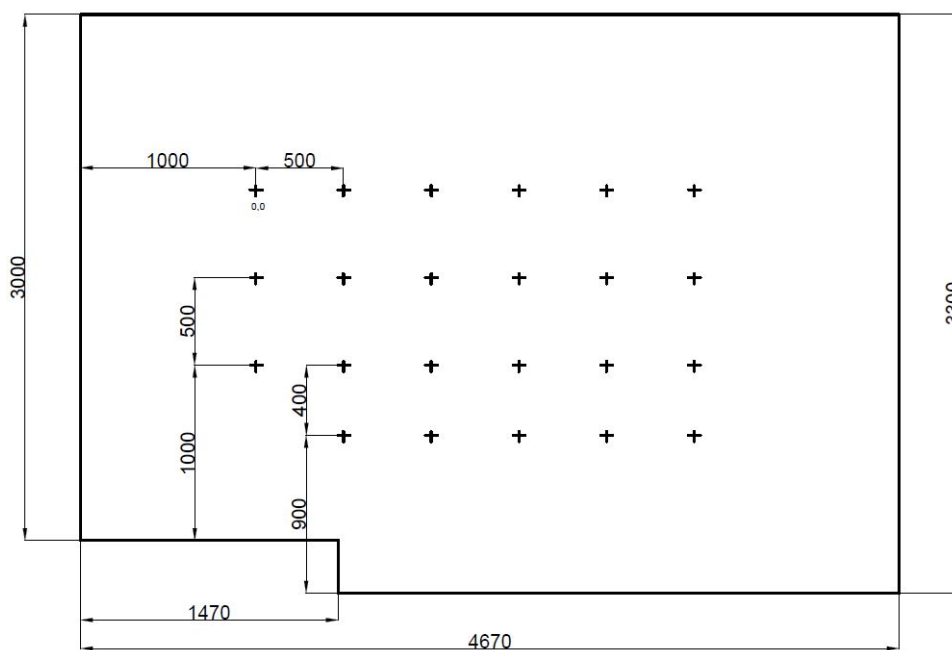
## Pokoj

### Denní osvětlenost



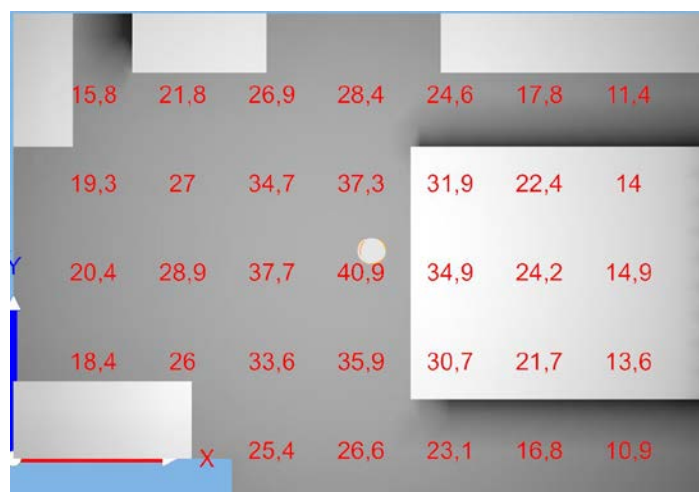
Obrázek 22: Simulace v programu Building Design pro pokoj - denní osvětlenost

Změřená denní osvětlenost referenčním luxmetrem (viz Příloha 15) v pokoji opět neodpovídá simulaci (viz Obrázek 22). Zde byla průměrná odchylka 149 %. V tomto případě to způsobovali pouze okolní budovy, které stínili okenním prostorům.



Obrázek 23: Půdorys pokoje s rozložením měřených kontrolních bodů v programu CAD

## Umělá osvětlenost

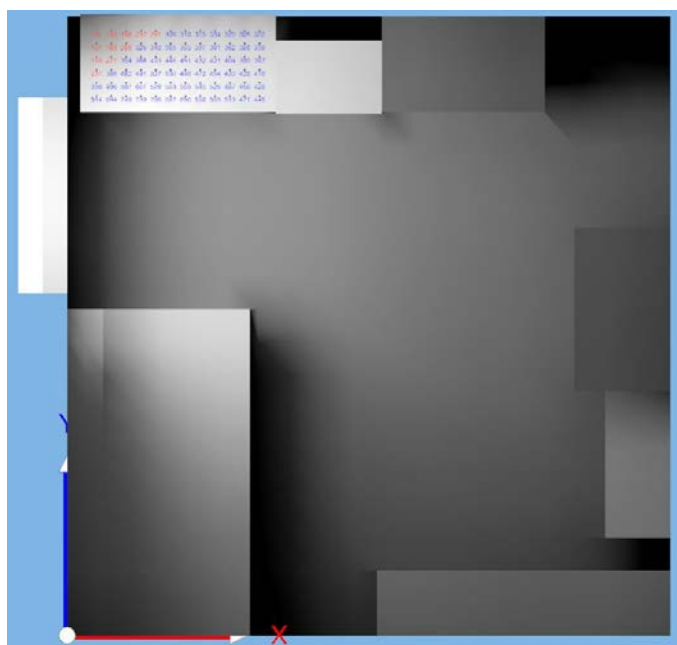


Obrázek 24: Simulace v programu Building Design pro pokoj - umělá osvětlenost

Hodnoty umělé osvětlenosti získané simulací (viz Obrázek 24) zase vcelku sedí se změřenými (viz Příloha 15). Průměrná odchylka byla v tomto případě 23 %. I zde nešlo vzhledem k stáří reálných zdrojů vzít stejné a proto jsem se snažil vybrat pro simulaci podobné parametry.

## Pracovní stůl

### Denní osvětlenost

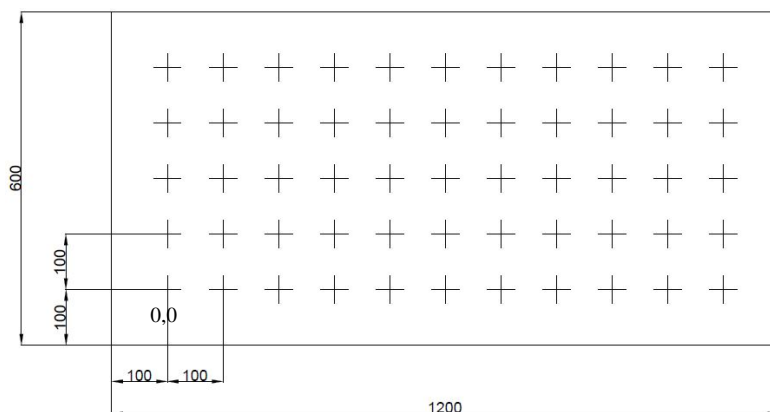


Obrázek 25: Simulace v programu Building Design pro pracovní stůl - model místnosti

68	132	196	237	291	309	310	305	334	320	305	302
107	184	265	326	348	365	393	387	381	362	350	339
158	271	354	388	433	446	451	432	421	404	380	367
237	368	462	491	527	530	498	472	454	433	428	410
358	496	597	607	599	593	565	545	526	487	450	428
514	694	749	739	706	687	650	598	559	513	471	445

Obrázek 26: Simulace v programu Building Design - podrobné hodnoty denní osvětlenosti pro pracovní stůl

Hodnoty simulované v programu Building Design pro pracovní stůl (viz Obrázek 26) jsou poloviční oproti naměřeným za pomoci referenčního luxmetru (viz Příloha 5), dokládá to i průměrná odchylka 54 %, nejspíše je to způsobeno nepřesností simulace, která má obecně jiné parametry, než ty které pak panují při reálném měření.



Obrázek 27: Rozložení měřených kontrolních bodů na pracovním stole v programu CAD

### Umělá osvětlenost

344	333	302	262	217	178	150	129	113	102	94	85
399	379	345	298	249	203	169	146	129	117	107	97
439	404	364	315	264	214	179	155	137	124	114	104
429	398	359	310	260	211	177	154	137	125	116	106
382	366	333	289	241	197	166	145	130	120	112	103
330	319	291	254	211	174	149	131	118	110	104	97

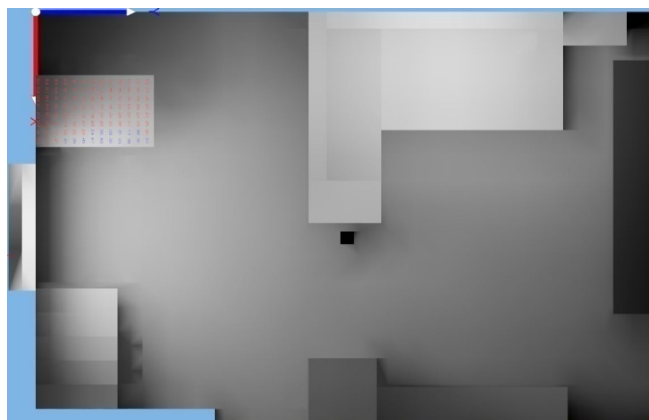
Obrázek 28: Simulace v programu Building Design - podrobné hodnoty umělé osvětlenosti pro pracovní stůl

Naměřená umělá osvětlenost pomocí referenčního luxmetru (viz Příloha 7) takřka odpovídá té, kterou jsem získal pomocí simulace (viz Obrázek 28). Zde jsem se asi nejvíce

mohl simulací přiblížit skutečnosti díky použitým světelným zdrojům. Díky tomu je průměrná odchylka pouhých 11 %. Hodnoty se tak jen s malými odlišnostmi shodovali s použitými v simulaci.

## Jídelní stůl

### Denní osvětlenost

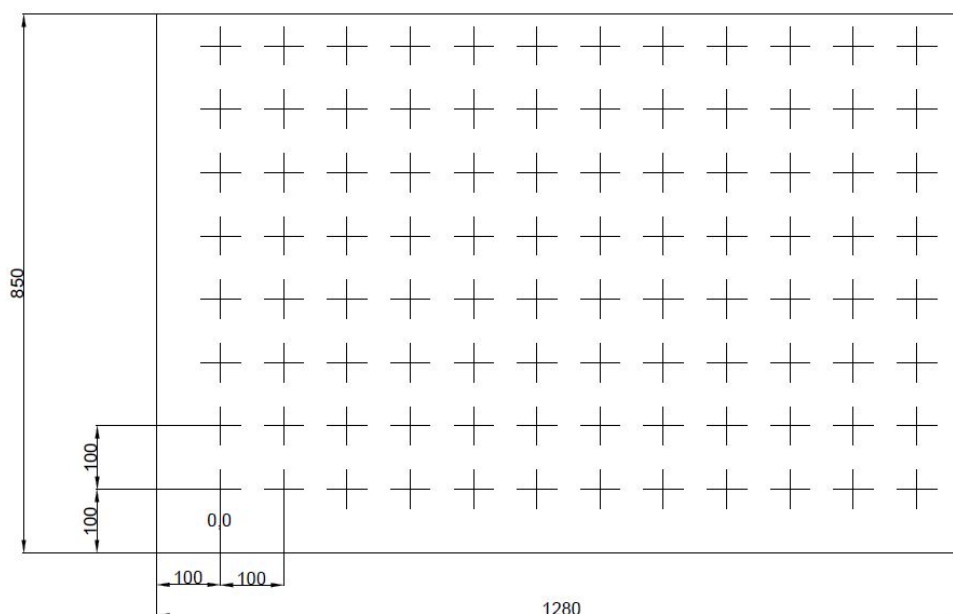


Obrázek 29: Simulace v programu Building Design pro jídelní stůl - model místnosti

139	153	187	207	230	255	283	314
133	147	164	204	229	270	301	334
131	147	166	206	222	273	310	348
128	146	167	200	229	284	324	373
112	140	161	196	230	268	339	392
102	116	145	171	221	261	342	402
94	107	126	163	194	261	314	417
76	87	110	130	176	215	296	411
59	70	89	116	143	198	282	356
48,5	56	63	80	106	149	208	301
38,4	40,6	46	55	68	90	137	221
30,8	31,1	31,5	34,6	39,1	46,6	68	111
25,4	25,6	25,9	27,1	27,3	27,7	29	29,8

Obrázek 30: Simulace v programu Building Design - podrobné hodnoty denní osvětlenosti pro jídelní stůl

Hodnoty získané simulací (viz Obrázek 30) se oproti měření denní osvětlenosti (viz Příloha 9) za pomoci referenčního luxmetru liší. To je způsobeno jako v předcházejících případech nedokonalostí simulace napodobit reálný svět. Průměrná odchylka naměřených hodnot oproti simulaci zde je 50 %.



Obrázek 31: Rozložení měřených kontrolních bodů na jídelním stole v programu CAD

### Umělá osvětlenost

32,9	35,6	38,4	41,2	43,7	45,9	47,7	48,9
34,1	36,9	39,8	42,7	45,2	47,3	48,9	49,9
35,1	38	41	43,9	46,3	48,4	49,8	51
35,8	38,9	42	44,8	47,3	49,2	50	51
36,3	39,5	42,6	45,4	47,9	49,7	51	51
36,6	39,8	42,9	45,8	48,2	50	51	52
36,6	39,8	42,9	45,8	48,3	50	51	52
36,3	39,5	42,7	45,6	48,1	50	51	52
35,7	38,9	42,1	45	47,6	49,7	51	52
34,9	38	41,1	44,1	46,8	49,1	51	52
33,6	36,6	39,6	42,7	45,4	47,6	49,6	51
31,6	34,4	37,1	40,2	42,9	45	47,3	48,6
28,6	31,3	33,7	36,5	39,1	41,2	43,4	44,9

Obrázek 32: Simulace v programu Building Design - podrobné hodnoty umělé osvětlenosti pro jídelní stůl

Umělá osvětlenost změřená referenčním luxmetrem (viz Příloha 11) se u jídelního stolu zase v celku blíží té simulované (viz Obrázek 33). Průměrná odchylka 12% je toho důkazem. Zde byli světelná zařízení tak specifická, že bylo obtížné vybrat ty, které by se reálným co nejvíce přiblížili. Z toho důvodu jsem vybral kompromis mezi typem svítidla a jeho vlastnostmi tak, aby hodnoty co nejvíce seděly.

## Výsledky měření a simulace

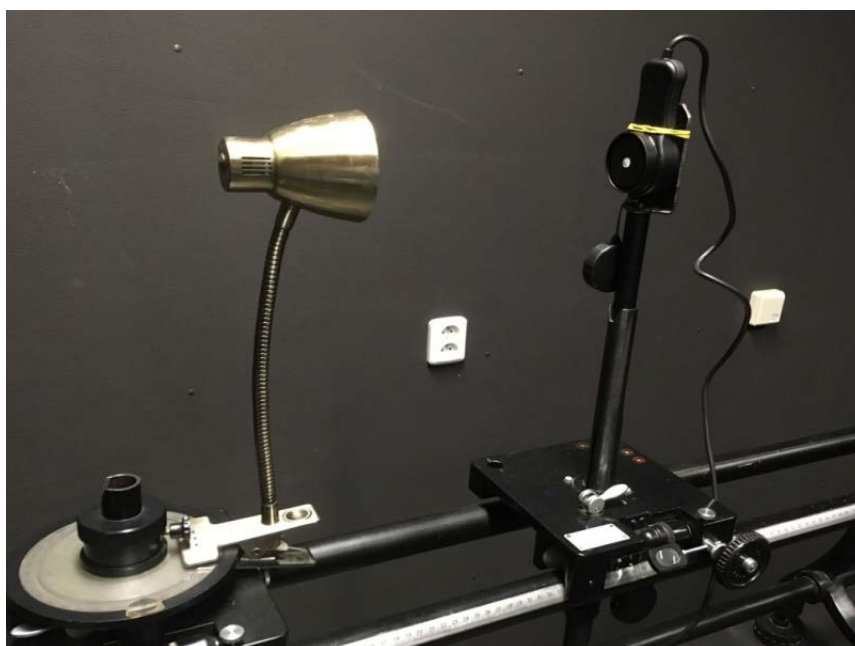
V předchozích podkapitolách jsou zaznamenány výsledky simulací z programu Building Design a rozložení reálně zvoleného rastru při kontrolním měření. Výsledky měření referenčním Luxmetrem Testo 540 a hodnoty získané dvěma aplikacemi včetně jednotlivých odchylek v kontrolních bodech od referenčního Luxmetru Testo 540, jsou uvedené v přílohách (Příloha 5 až Příloha 16). Pro zlepšení orientace v tabulkách je vždy první bod označen jako 0,0. Stejně označení pak nese i na obrázcích srovnávacích rovin (Obrázek 15, Obrázek 18, Obrázek 22 a Obrázek 27). Vzhledem k rozdílným hodnotám referenčního luxmetru a simulace, jsem odchylky aplikací a simulací nepropočítával. Hodnoty by do studie zaváděly příliš mnoho neznámé. Při bližším pohledu je vidět, že v některých oblastech je nejmenší odchylka aplikací oproti hodnotám měřených luxmetrem 0 % a hodnoty se shodují s referenčním luxmetrem. Bohužel ale v té samé oblasti je pak maximální odchylka 113,7 %. V některých případech odchylka dosahovala extrémních hodnot a to 196,6 %. Z toho je patrné, že u aplikací je přesná hodnota spíše výsledkem náhody než nějaké fyzikální podstaty. Simulace měřených míst se zejména pro hodnoty denní osvětlenosti hodně liší od referenčního luxmetru, to je způsobeno hlavně rozdílností simulace a reálného prostředí. Nelze totiž snadno přesně nadefinovat stejné podmínky při simulaci modelu osvětlovacích soustav, jako jsou v reálném prostředí. V případě hodnot pro umělé osvětlení jsou rozdíly pouze minimální a nejpravděpodobněji způsobeny malými rozdíly ve světelných zdrojích a typech zvolených svítidel. V simulaci nebylo totiž možné použít stejné. Abych tedy mohl zhodnotit aplikace, bral jsem jako stěžejní, hodnoty získané Luxmetrem Testo 540.

### 4.3 Měření bodového svítidla v laboratoři

Kontrolní měření v laboratoři svítidla z kapitoly 4.1 (Měření osvětlenosti bodového svítidla) proběhlo jako následek výsledků, které se úplně přesně neshodovaly s teoretickým předpokladem. Podle teoretického předpokladu by totiž měla odchylka naměřených hodnot oproti vypočteným hodnotám se vzdáleností klesat. Jak ale můžeme vidět v Grafu 3 zejména pro Luxmetr Testo 540 odchylka nejprve do vzdálenosti zhruba jednoho metru roste a až poté klesá. Abych zjistil, zda je tato chyba způsobena prostory měření nebo chybou při měření, přeměřil jsem svítidlo na fotometrické lavice v laboratoři světelné techniky FEL ZČU v Plzni.



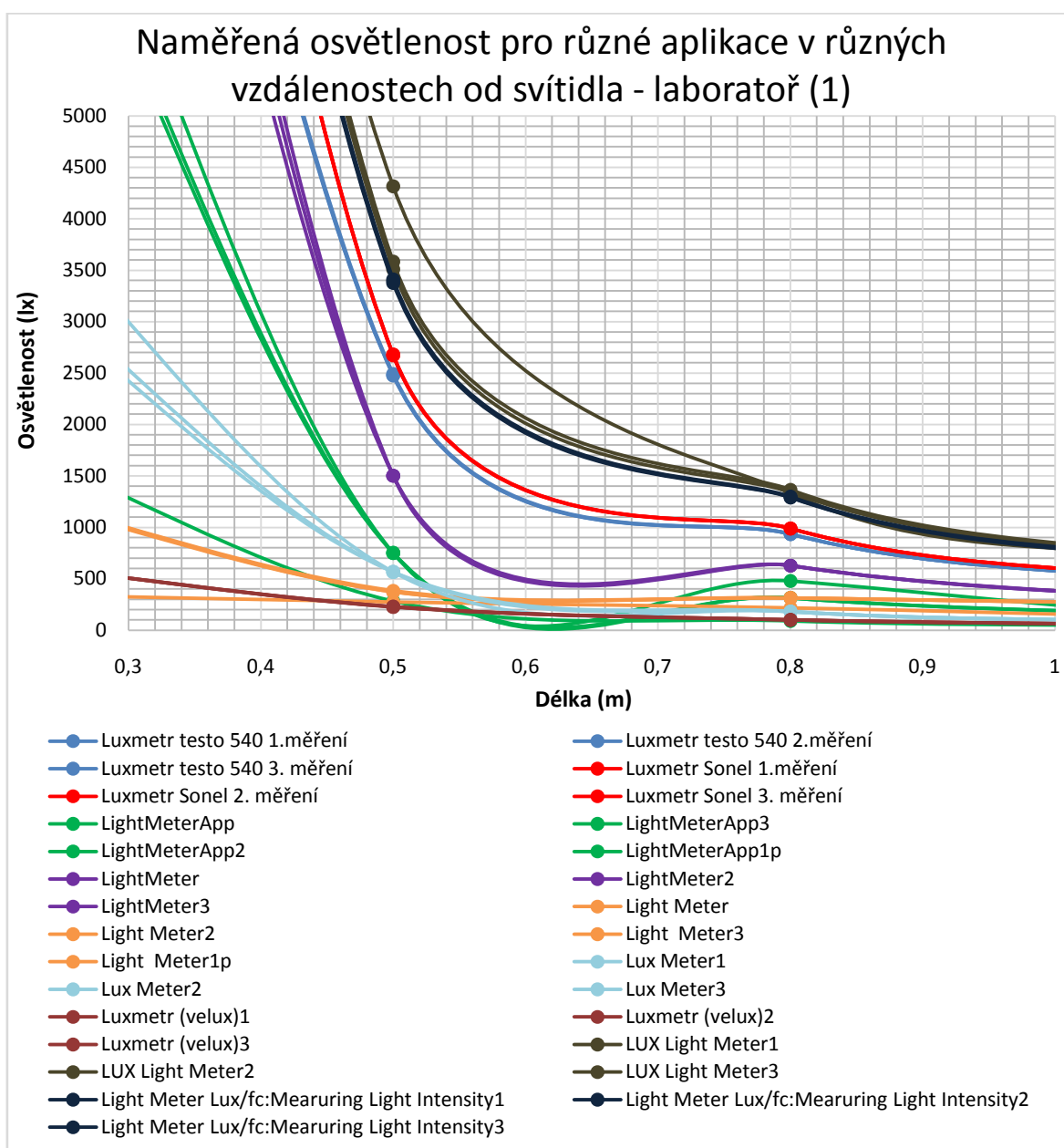
Postup měření probíhal stejně jako v kapitole 4.1 (Měření osvětlenosti bodového svítidla). Tentokrát jsem měl k dispozici plně vybavenou fotometrickou lavici a navíc ještě přesnější kontrolní Luxmetr Sonel. Navíc jsem měl možnost vypůjčit si smartphone s operačním systémem Android a vyzkoušet kontrolně další dvě aplikace, které nejsou přístupné na operační systémy iOS. Vypůjčeným smartphonem byl Xiami Mi A2, který disponuje podle výrobce 20 Mpix fotoaparátem, a to jak zadní tak i přední kamery. Dodatečně zkoumané aplikace byly LUX Light Meter a Light Meter Lux / fc:Measuring Light Intensity. Fotometrická lavice měla pouze kratší délkový rozměr a proto (oproti měření v kapitole 4.1) chybí vždy dvě hodnoty. Opět bylo velmi důležité zachovat nastavení svítidla tak, aby paprsky světla dopadaly kolmo na sondy luxmetrů či čočky fotoaparátu v případě smartphonů a já tak měřil normálovou osvětlenost v jednotlivých bodech. Abych dostal ještě přesnější výsledky a bylo tak měření co nejprůkaznější, každé měření jsem provedl třikrát. Navíc u aplikací, které dovozovaly volbu čoček fotoaparátu (přední nebo zadní) jsem jedním měřením ověřil, že přední čočka je mnohem nepřesnější nežli zadní.



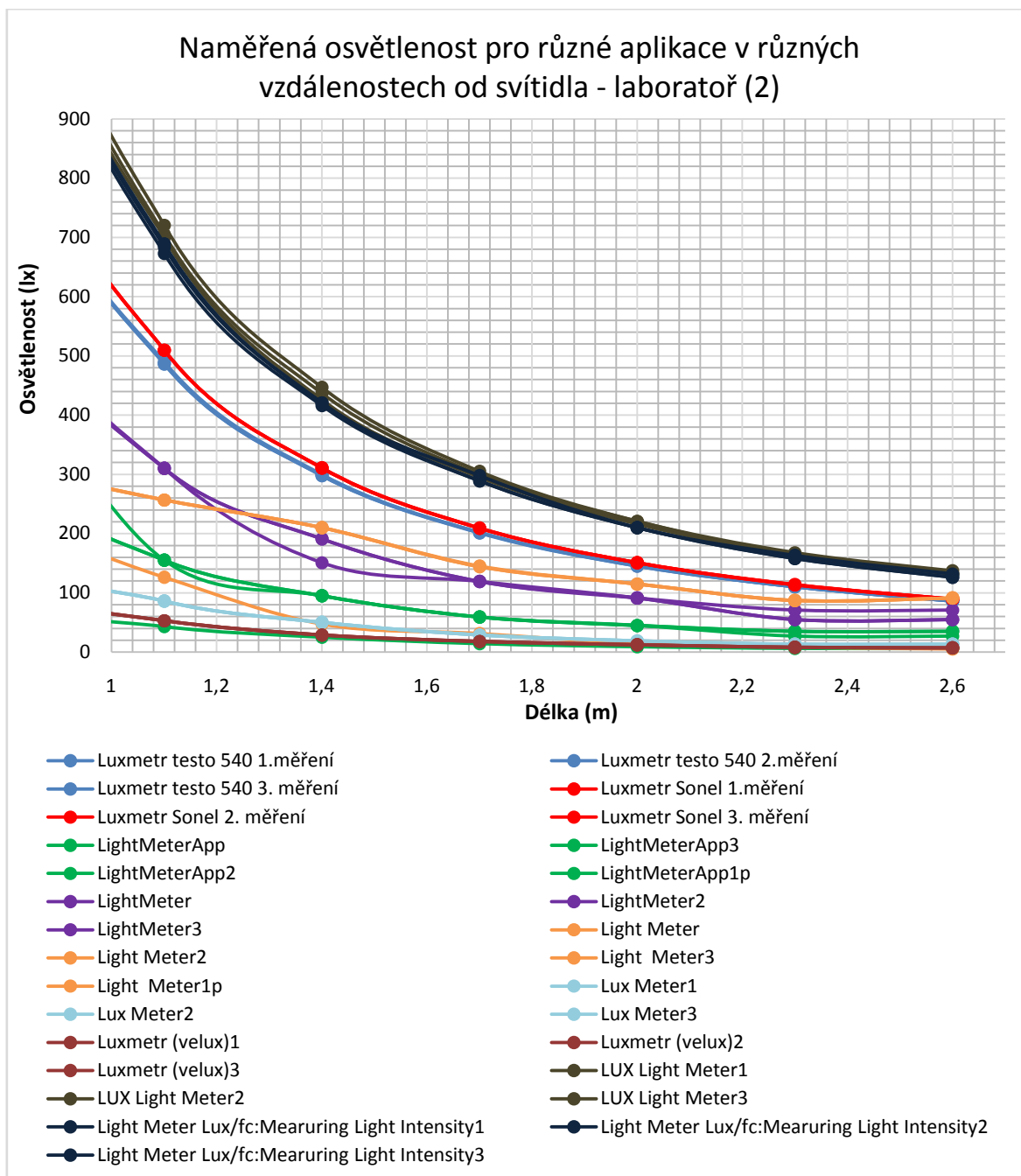
Obrázek 33: Měření osvětlenosti na fotometrické lavici

## Výsledky měření

Podrobné výsledky celého měření jsou opět tabulkově zpracované a uvedené v přílohách (Příloha17 až Příloha 19). Pro obecný přehled slouží grafy, ty s naměřenými hodnotami jsou opět rozděleny a přiblíženy na nejpodstatnější informace.

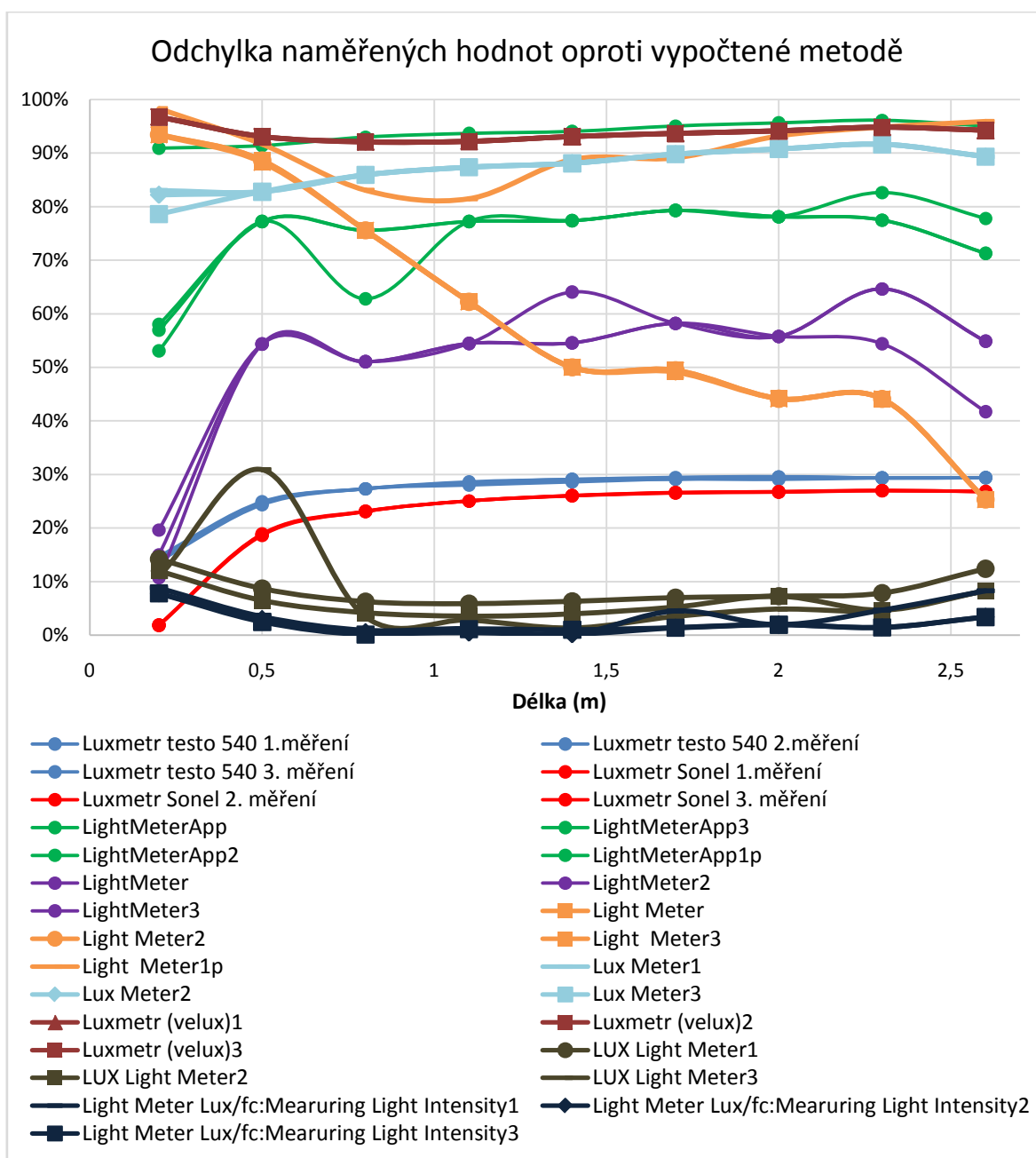


**Graf 5: Naměřená osvětlenost pro různé aplikace v různých vzdálenostech od svítidla - laboratoř (1. část)**



**Graf 6: Naměřená osvětlenost pro různé aplikace v různých vzdálenostech od svítidla - laboratoř (2. část)**

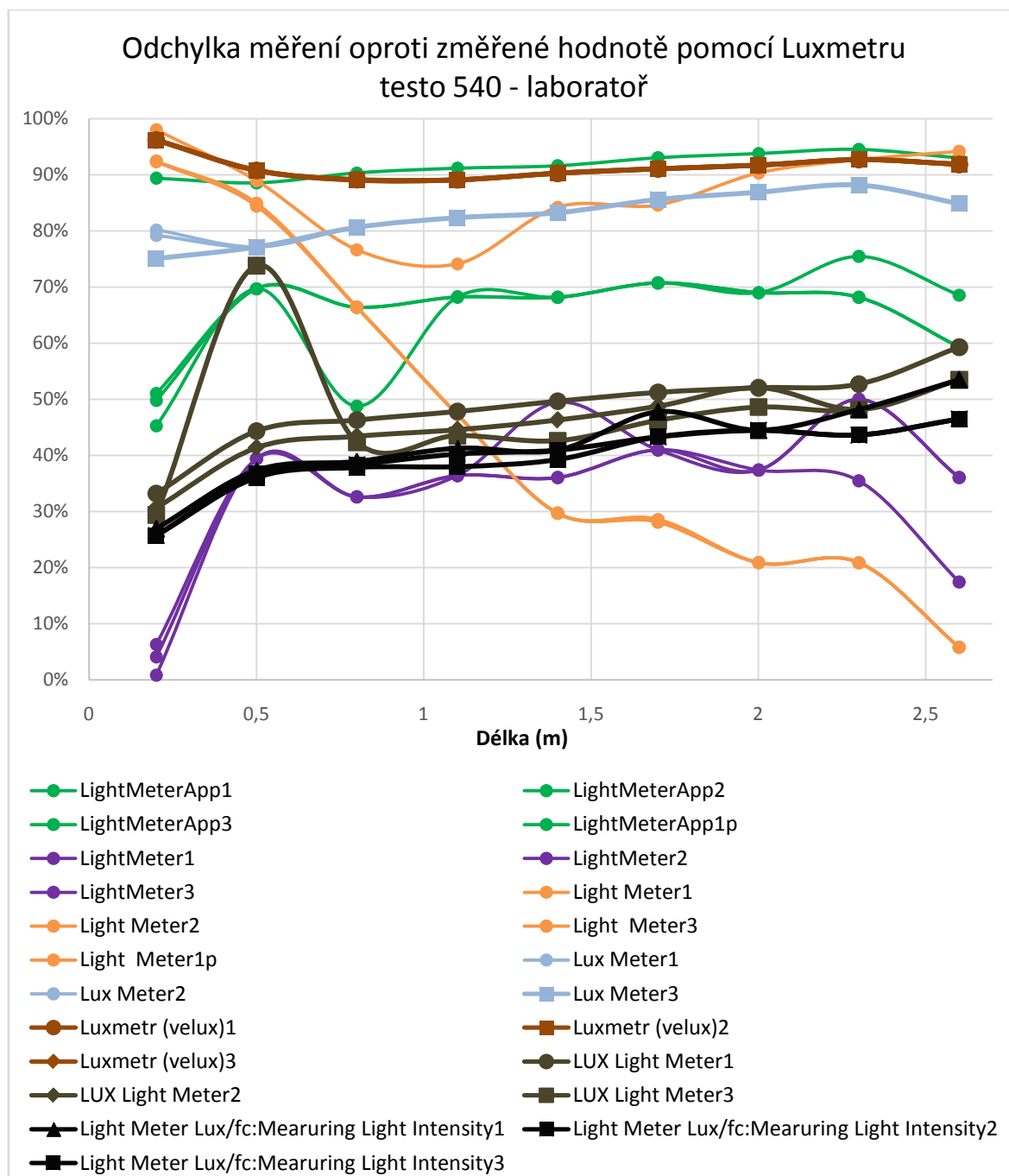
Z grafů (Graf 5 a Graf 6) je patrné, že Luxmetr Testo 540 a Luxmetr Sonel mají velice podobné hodnoty a liší se minimálně. Z toho důvodu беру Luxmetr Testo 540 v předchozích měřeních jako dostatečně referenční. Dále je vidět, že naměřené hodnoty osvětlenosti pomocí aplikací i při měření v laboratoři nejsou shodné s hodnotami získanými pomocí luxmetrů a jejich odchylka je i tak velmi značná (viz Graf 7).



**Graf 7: Odchylka naměřených hodnot oproti bodové metodě - laboratoř**

Odchylka z měření v kapitole 4.1 (měření osvětlenosti bodového svítidla), je patrná i zde. Z toho vyplývá, že nebyla zapříčiněna chybou během měření, ale parametry svítidla. To se začalo chovat jako bodové až ve vzdálenosti 0,7 až 1 m, kde začala být odchylka téměř konstantní. Dále je patrné, že jistá nepřesnost měření v kapitole 4.1 přesto nastala a to nejspíše parametry prostoru, ve kterém se měřilo. Nejpravděpodobněji totiž docházelo k odrazu od bílých stěn. Následně se povedlo v laboratoři zjistit, že účinnost svítidla je okolo 70 až 75 %. Jelikož ale tato hodnota není ověřená, pro výpočet bodové metody v kapitole 4.1 je stále uvažována účinnost svítidla 100 %. Při pohledu na dodatečné aplikace

zkoumané na smartphonu Xiaomi je vidět, že oproti aplikacím na iPhone SE mají přibližně stejné odchylky (Graf 8), ale co se změřených hodnot týče, tak ty jsou naopak značně vyšší.



**Graf 8: Odchylka měření oproti změřené hodnotě pomocí Luxmetru testo 540 - laboratoř**

Z měření v laboratoři je definitivně patrné, jakým způsobem jsou aplikace oproti luxmetrům nepřesné. I z jejich používání je vidět, že se zkrátka pro reálné a dostatečně přesné měření jednoduše moc nehodí.

## 5 Laboratorní úloha

Posledním bodem v zadání bakalářské práce je zhodnotit, zda lze mobilní aplikace využít pro měření laboratorních úloh. Z předešlé analýzy je zřejmé, že určitě nelze luxmetry při výuce nahradit mobilními aplikacemi. Nicméně lze vymyslet laboratorní úlohu, která by šla provádět za pomoci smartphonu a některé z mobilních aplikací pro měření osvětlenosti. Abych tento bod splnil, napadlo mě za pomoci laboratorní úlohy pokračovat v této studii. Cílem by bylo získat co nejvíce možný měření a dat tak, aby se dala ověřit další teorie. Tou je jak se chovají jednotlivé aplikace na různých typech zařízení s různými parametry.

### Zadání laboratorní úlohy

Proměřte osvětlenost v kontrolním bodě v závislosti na vzdálenosti od svítidla. Měření proveďte pomocí libovolné mobilní aplikace proměření osvětlenosti nainstalované na třech až pěti mobilech různého typu. Měření opakujte alespoň pro tři různé světelné zdroje.

### Návod

- 1) Nainstalujte si libovolnou mobilní aplikaci na tři až pět různých typů smartphonů a seznamte se s jejím používáním.
- 2) Na fotometrické lavici proměřte osvětlenost v závislosti na vzdálenosti.
  - Nainstalujte na fotometrickou lavici světelný zdroj a smartphone tak, aby byli na sebe navzájem ve stabilní kolmé poloze a stejné výšce (světelný zdroj a sonda nebo čočka fotoaparátu).
  - Postupně měňte vzdálenost světelného zdroje od smartphonu po pravidelných intervalech a odečítejte hodnoty osvětlenosti.
- 3) Naměřené hodnoty graficky a tabulkově zpracujte.
- 4) Pokuste se zhodnotit, jak aplikace pracovala na různých typech zařízení.

## Závěr

Podstatou této práce bylo zjistit, zda je možné nahradit kvalitní luxmetry smartphonem s příslušnou mobilní aplikací. Abych tuto teorii ověřil, provedl jsem několik sérií měření a prověřil několik aplikací. Měření byla provedena jak laboratorně tak v praktických oblastech. Výsledky jsem přehledně zpracoval a to graficky i tabulkově.

Z výsledků měření svítidla je patrné, že při určitých hodnotách osvětlenosti by i bylo možné některé aplikace použít pro měření. Jejich hodnoty by sice nebyly natolik přesné, ale jako luxmetry horších tříd pro orientační měření by možná šly použít. Pokud se ale zaměříme na zhodnocení měření v laboratorních podmínkách, tak odchylky naměřených osvětleností z aplikací jsou v porovnání s hodnotami změřenými referenčním luxmetrem až příliš velké. Z toho vyplývá, že analyzované mobilní aplikace rozhodně nejsou vhodné pro měření osvětlenosti a nedoporučoval bych je k tomu užívat.

Z měření osvětlenosti v aplikačních oblastech je asi nejlépe vidět, jak moc jsou hodnoty osvětlenosti z mobilních aplikací odlišné od skutečných hodnot získaných pomocí přesných luxmetrů. Při práci s nimi jsem vysledoval, že hodně záleží na typu měřeného světla. Zda se jedná o umělé nebo denní. Dalším aspektem bylo, jak vlastně světlo dopadá na sondy, zda kolmo nebo pod různými úhly. To mělo jistě také vliv na výsledné hodnoty.

Posledním aspektem, který jsem tedy neměl šanci proměřit především z finančních i z časových důvodů, bylo ověření, jakým způsobem aplikace fungují na různých zařízeních. Studie tedy může pokračovat v proměření stejných aplikací na několika typech zařízení s různými parametry. Také by bylo dobré zjistit, jak přesně reagují na jednotlivé typy světelných zdrojů.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Světlo. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Světlo>
- [2] Světelný tok. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Světelný\\_tok](https://cs.wikipedia.org/wiki/Světelný_tok)
- [3] Prostorový úhel [online]. Brno, 2012 [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: [http://www.svetelnalaborator.cz/files/sylabus/72\\_Mereni\\_prostoroveho\\_uhlu.pdf](http://www.svetelnalaborator.cz/files/sylabus/72_Mereni_prostoroveho_uhlu.pdf)
- [4] *Prostorový úhel* [online]. In: . [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=128607](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=128607)
- [5] *Svítivost* [online]. 2006 [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/535-fotometricke-veliciny>
- [6] *Diagram svítivosti* [online]. In: . 2012 [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: <http://www.stranypotapecske.cz/teorie/svitilna-teorie.asp?str=201202111723190>
- [7] HABEL, Jiří. *Světlo a osvětlování*. Praha: FCC Public, 2013. ISBN 978-80-86534-21-3.
- [8] *ČSN EN 12464: Světlo a osvětlení*. Březen 2012. CEN: CEN, 2012.
- [9] *ČSN 360020: Sdružené osvětlení*. Srpen 2019. CEN: CEN, 2019.
- [10] *ČSN 360011-1: Měření osvětlení prostorů*. Srpen 2019. CEN: CEN, 2019.
- [11] *ČSN 360011-3: Měření osvětlení prostorů - Měření umělého osvětlení vnitřních prostorů*. Únor 2014. CEN: CEN, 2014.
- [12] *ČSN 360011-4: Měření osvětlení prostorů - Měření umělého osvětlení venkovních prostorů*. Únor 2014. CEN: CEN, 2014.
- [13] *Luxmetr* [online]. Brno, 2013 [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=68297](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=68297). Bakalářská práce. ČVUT.
- [14] Luxmetr. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Luxmetr>
- [15] *Měření intenzity osvětlení* [online]. In: . [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: [http://www.e-pristroje.cz/merici\\_pristroje-luxmetry.html](http://www.e-pristroje.cz/merici_pristroje-luxmetry.html)
- [16] *Diagram chromatičnosti* [online]. In: . [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/12272261/>



- [17] *Místo zřakového úkolu* [online]. In: . [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/osvetleni/9500-zdrave-svetlo-novela-normy-csn-en-12464-1-cast-2>
- [18] Luxmeter App versus measuring device: Are smartphones suitable for measuring illuminance? *Dial* [online]. Bahnhofsallee 18 · 58507 Lüdenscheid, 2020 [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: <https://www.dial.de/en/blog/article/luxmeter-app-versus-measuring-device-are-smartphones-suitable-for-measuring-illuminance/>
- [19] Denní osvětlení. *Wikiskripta* [online]. Česko, 2016 [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: [https://www.wikiskripta.eu/w/Denní\\_osvětlení](https://www.wikiskripta.eu/w/Denní_osvětlení)
- [20] Umělé osvětlení. *Wikiskripta* [online]. Česko, 2016 [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: [https://www.wikiskripta.eu/w/Umělé\\_osvětlení](https://www.wikiskripta.eu/w/Umělé_osvětlení)
- [21] *Účinnosti světelných zdrojů* [online]. svetloblog, 2017 [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: <https://www.svetloblog.cz/index.php?blog=ucinnosti-svetelných-zdroju>
- [22] *Základy základů světelné techniky* [online]. Ostrava, 2007 [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: [http://fei1.vsb.cz/kat410/studium/studijni\\_materialy/vuee/VUEE\\_Zaklady\\_svetelne\\_techniky.pdf](http://fei1.vsb.cz/kat410/studium/studijni_materialy/vuee/VUEE_Zaklady_svetelne_techniky.pdf). Technická univerzita Ostrava fakulta elektrotechniky a informatiky.
- [23] *Světelná technika* [online]. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011 [cit. 2020-05-15]. ISBN 978-80-01-04941-9. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/dokument/CVUT-6-Svetelna.pdf>
- [24] *Building design suite* [online]. 2018 [cit. 2020-06-05]. Dostupné z: <https://www.autodesk.cz/suites/building-design-suite/overview>
- [25] In: *Apple* [online]. 2020 [cit. 2020-06-14]. Dostupné z: <https://www.apple.com>

## Seznam příloh

- Příloha 1 Změřené hodnoty osvětlenosti bodového svítidla v různých vzdálenostech.
- Příloha 2 Vypočtená hodnota osvětlenosti pro parametry bodového svítidla v různých vzdálenostech.
- Příloha 3 Velikost odchylky naměřených hodnot oproti vypočteným pomocí bodové metody.
- Příloha 4 Velikost odchylky naměřených hodnot za pomoci aplikací oproti hodnotám zjištěných luxmetrem.
- Příloha 5 Praktické měření kontrolního místa - Pracovní stůl - denní osvětlenost.
- Příloha 6 Odchylky v jednotlivých bodech srovnávací roviny - Pracovní stůl - denní osvětlenost.
- Příloha 7 Praktické měření kontrolního místa - Pracovní stůl - umělá osvětlenost.
- Příloha 8 Odchylky v jednotlivých bodech srovnávací roviny - Pracovní stůl - umělá osvětlenost.
- Příloha 9 Praktické měření kontrolního místa - Jídelní stůl - denní osvětlenost.
- Příloha 10 Odchylky v jednotlivých bodech srovnávací roviny - Jídelní stůl - denní osvětlenost.
- Příloha 11 Praktické měření kontrolního místa - Jídelní stůl - umělá osvětlenost.
- Příloha 12 Odchylky v jednotlivých bodech srovnávací roviny - Jídelní stůl - umělá osvětlenost.
- Příloha 13 Praktické měření kontrolního místa - Vstupní hala - denní a umělá osvětlenost.
- Příloha 14 Odchylky v jednotlivých bodech srovnávací roviny - Vstupní hala - denní a umělá osvětlenost.
- Příloha 15 Praktické měření kontrolního místa - Pokoj - denní a umělá osvětlenost.
- Příloha 16 Odchylky v jednotlivých bodech srovnávací roviny - Pokoj - denní a umělá osvětlenost.
- Příloha 17 Změřené hodnoty osvětlenosti bodového svítidla v různých vzdálenostech - měření v laboratoři.
- Příloha 18 Velikost odchylky naměřených hodnot za pomoci luxmetrů a aplikací oproti hodnotám zjištěných bodovou metodou - měření v laboratoři.

Příloha 19 Velikost odchylky naměřených hodnot za pomoci aplikací oproti hodnotám zjištěných Luxmetrem testo 540 - měření v laboratoři.

## Přílohy

(m)	Osvětlenost (lx)					
	Luxmetr testo 540	LightMeterApp	LightMeter	Light Meter	Lux Meter	Luxmetr (velux)
0,2	19815	23266	46532	4312	19517	697
0,5	2773	1805	3747	544	2306	606
0,8	1004	751	1504	383	891	434
1,1	518	314	747	345	441	323
1,4	329	195	390	304	288	254
1,7	227	155	310	262	181	209
2	170	120	241	240	143	187
2,3	134	95	191	211	109	170
2,6	109	75	151	179	109	155
2,9	91	75	151	180	109	148
3,2	78	59	119	180	109	138

Příloha 20: Změřené hodnoty osvětlenosti bodového svítidla v různých vzdálenostech

r (m)	y(m)	v (m)	d_omega	I (cd)	E_vypočtená (lx)
0,2	0,190721504	0,009278496	0,29134478	823,766253	20594,15632
0,5	0,476803759	0,023196241	0,29134478	823,766253	3295,065011
0,8	0,762886015	0,037113985	0,29134478	823,766253	1287,13477
1,1	1,048968271	0,051031729	0,29134478	823,766253	680,7985559
1,4	1,335050526	0,064949474	0,29134478	823,766253	420,2889044
1,7	1,621132782	0,078867218	0,29134478	823,766253	285,0402258
2	1,907215037	0,092784963	0,29134478	823,766253	205,9415632
2,3	2,193297293	0,106702707	0,29134478	823,766253	155,7214088
2,6	2,479379549	0,120620451	0,29134478	823,766253	121,8589131
2,9	2,765461804	0,134538196	0,29134478	823,766253	97,95080294
3,2	3,05154406	0,148455594	0,29134478	823,766253	80,44592312

Příloha 21: Vypočtená hodnota osvětlenosti pro parametry bodového svítidla v různých vzdálenostech

r (m)	Odchylka oproti vypočtené hodnotě (%)					
	Luxmetr testo 540	LightMeterApp	LightMeter	Light Meter	Lux Meter	Luxmetr (velux)
0,2	4%	13%	126%	79%	5%	97%
0,5	16%	45%	14%	83%	30%	82%
0,8	22%	42%	17%	70%	31%	66%
1,1	24%	54%	10%	49%	35%	53%
1,4	22%	54%	7%	28%	31%	40%
1,7	20%	46%	9%	8%	37%	27%
2	17%	42%	17%	17%	31%	9%
2,3	14%	39%	23%	35%	30%	9%
2,6	11%	38%	24%	47%	11%	27%
2,9	7%	23%	54%	84%	11%	51%
3,2	3%	27%	48%	124%	35%	72%

Příloha 22: Velikost odchylky naměřených hodnot oproti vypočteným pomocí bodové metody

r (m)	Odchylka oproti naměřené hodnotě pomocí Luxmetr testu 540 (%)				
	LightMeterApp	LightMeter	Light Meter	Lux Meter	Luxmetr (velux)
0,2	17%	135%	78%	2%	96%
0,5	35%	35%	80%	17%	78%
0,8	25%	50%	62%	11%	57%
1,1	39%	44%	33%	15%	38%
1,4	41%	19%	8%	12%	23%
1,7	32%	37%	15%	20%	8%
2	29%	42%	41%	16%	10%
2,3	29%	43%	57%	19%	27%
2,6	31%	39%	64%	0%	42%
2,9	18%	66%	98%	20%	63%
3,2	24%	53%	131%	40%	77%

Příloha 23: Velikost odchylky naměřených hodnot za pomoci aplikací oproti hodnotám zjištěných luxmetrem

Pracovní stůl (Den)										
Luxmetr testu 540										
412	533	679	728	746	742	757	741	732	730	648
494	694	727	710	722	745	750	733	705	662	614
852	960	889	827	826	812	792	736	686	642	590
1202	1113	963	1004	1017	1012	969	907	834	759	689
1412 (0,0)	1294	1320	1326	1288	1185	1078	959	855	745	668
Light Meter App										
220	220	220	283	283	283	283	283	283	220	180
220	220	220	283	283	283	283	283	283	220	220
355	355	355	355	283	283	283	283	283	220	220
445	445	445	445	445	355	355	355	355	355	283
571	571	571	571	571	445	445	445	355	355	355
Lux Meter										
441	441	441	567	567	567	567	567	441	441	371
567	567	567	567	567	567	567	567	567	567	441
711	711	711	711	711	567	567	567	567	567	567
891	891	891	891	891	711	711	711	711	711	567
1143	1143	891	891	891	711	711	711	711	711	567

Příloha 24: Praktické měření kontrolního místa - Pracovní stůl - denní osvětlenost

Odchylky pracovní stůl (Den)										
Light Meter App										
46,6%	58,7%	67,6%	61,1%	62,1%	61,9%	62,6%	61,8%	61,3%	69,9%	72,2%
55,5%	68,3%	69,7%	60,1%	60,8%	62,0%	62,3%	61,4%	59,9%	66,8%	64,2%
58,3%	63,0%	60,0%	57,1%	65,7%	65,2%	64,3%	61,6%	58,8%	65,7%	62,7%
63,0%	60,0%	53,8%	55,7%	56,2%	64,9%	63,4%	60,9%	57,4%	53,2%	58,9%
59,6%	55,9%	56,7%	56,9%	55,7%	62,5%	58,7%	53,6%	58,5%	52,4%	46,9%
Lux Meter										
7,0%	17,3%	35,1%	22,1%	24,0%	23,6%	25,1%	23,5%	39,8%	39,6%	42,8%
14,8%	18,3%	22,0%	20,1%	21,5%	23,9%	24,4%	22,7%	19,6%	14,4%	28,2%
16,6%	25,9%	20,0%	14,0%	13,9%	30,2%	28,4%	23,0%	17,4%	11,7%	3,9%
25,9%	20,0%	7,5%	11,3%	12,4%	29,7%	26,6%	21,6%	14,8%	6,3%	17,7%
19,1%	11,7%	32,5%	32,8%	30,8%	40,0%	34,0%	25,9%	16,8%	4,6%	15,1%

Příloha 25: Odchylky v jednotlivých bodech srovnávací roviny - Pracovní stůl - denní osvětlenost

Pracovní stůl (Noc)										
Luxmetr testo 540										
301	308	293	264	227	194	164	134	118	109	93
379	394	399	353	271	229	179	147	123	107	97
447	480	525	402	304	244	191	151	127	112	102
439	541	611	459	319	238	186	151	128	114	106
327 (0,0)	442	499	412	304	223	173	145	126	114	106
Light Meter App										
114	90	71	71	54	54	43	43	33	33	25
114	90	71	71	54	54	43	43	43	33	25
114	90	71	71	54	54	43	43	43	33	33
90	90	71	71	54	54	43	43	43	33	33
71	64	54	71	54	43	43	43	43	43	33
Lux Meter										
228	181	143	143	109	109	86	86	67	50	50
228	181	143	143	109	109	86	86	67	50	50
228	181	143	143	109	109	86	86	86	67	67
181	181	143	143	109	109	86	86	86	86	86
143	143	143	143	109	109	86	86	86	86	86

Příloha 26: Praktické měření kontrolního místa - Pracovní stůl - umělá osvětlenost

Odchytky pracovní stůl (Noc)										
Light Meter App										
62,1%	70,8%	75,8%	73,1%	76,2%	72,2%	73,8%	67,9%	72,0%	69,7%	73,1%
69,9%	77,2%	82,2%	79,9%	80,1%	76,4%	76,0%	70,8%	65,0%	69,2%	74,2%
74,5%	81,3%	86,5%	82,3%	82,2%	77,9%	77,5%	71,5%	66,1%	70,5%	67,7%
79,5%	83,4%	88,4%	84,5%	83,1%	77,3%	76,9%	71,5%	66,4%	71,1%	68,9%
78,3%	85,5%	89,2%	82,8%	82,2%	80,7%	75,1%	70,3%	65,9%	62,3%	68,9%
Lux Meter										
24,3%	41,2%	51,2%	45,8%	52,0%	43,8%	47,6%	35,8%	43,2%	54,1%	46,2%
39,8%	54,1%	64,2%	59,5%	59,8%	52,4%	52,0%	41,5%	45,5%	53,3%	48,5%
49,0%	62,3%	72,8%	64,4%	64,1%	55,3%	55,0%	43,1%	32,3%	40,2%	34,3%
58,8%	66,5%	76,6%	68,9%	65,8%	54,2%	53,8%	43,1%	32,8%	24,6%	18,9%
56,3%	67,7%	71,3%	65,3%	64,1%	51,1%	50,3%	40,7%	31,8%	24,6%	18,9%

Příloha 27: Odchytky v jednotlivých bodech srovnávací roviny - Pracovní stůl - umělá osvětlenost

Jídelní stůl (Den)											
Luxmetr testo 540											
76	80	83	94	123	147	179	196	203	207	216	211
79	83	89	110	146	177	212	223	226	233	232	222
86	91	98	142	182	235	269	278	291	296	283	267
104	111	136	185	267	327	347	351	354	328	302	277
118	128	191	270	371	412	428	423	381	366	346	322
137	160	251	365	455	514	510	469	429	392	368	351
152	231	373	523	600	602	573	550	510	472	448	425
140 (0,0)	370	581	707	703	688	657	612	568	508	491	476
Light Meter App											
71	71	90	90	90	114	114	114	114	114	114	114
71	71	90	90	90	90	114	114	114	114	114	114
71	71	90	114	114	144	144	164	144	144	144	144
90	90	90	90	114	114	144	144	144	144	144	144
90	90	114	114	144	144	144	144	144	144	144	144
71	90	114	114	144	144	144	144	144	144	144	144
90	114	114	144	144	144	144	144	144	144	144	144
114	144	144	185	144	144	144	144	144	114	114	144
Lux Meter											
86	109	143	143	181	181	228	228	228	228	228	228
109	109	143	143	181	181	228	228	228	228	228	228
109	143	181	181	181	228	228	228	228	228	228	228
143	143	143	143	181	181	228	228	228	228	228	228
143	143	181	181	228	228	228	228	228	228	228	228
109	109	143	181	181	228	228	228	228	228	228	228
109	143	181	181	228	228	228	228	228	228	228	228
181	181	181	228	228	228	228	228	228	228	228	228

Příloha 28: Praktické měření kontrolního místa - Jídelní stůl - denní osvětlenost

Odchyly jídelní stůl (Den)											
Light Meter App											
6,6%	11,3%	8,4%	4,3%	26,8%	22,5%	36,3%	41,8%	43,8%	44,9%	47,2%	46,0%
10,1%	14,5%	1,1%	18,2%	38,4%	49,2%	46,2%	48,9%	49,6%	51,1%	50,9%	48,7%
17,4%	22,0%	8,2%	19,7%	37,4%	38,7%	46,5%	41,0%	50,5%	51,4%	49,1%	46,1%
13,5%	18,9%	33,8%	51,4%	57,3%	65,1%	58,5%	59,0%	59,3%	56,1%	52,3%	48,0%
23,7%	29,7%	40,3%	57,8%	61,2%	65,1%	66,4%	66,0%	62,2%	60,7%	58,4%	55,3%
48,2%	43,8%	54,6%	68,8%	68,4%	72,0%	71,8%	69,3%	66,4%	63,3%	60,9%	59,0%
40,8%	50,7%	69,4%	72,5%	76,0%	76,01%	74,9%	73,8%	71,8%	69,5%	67,9%	66,1%
18,6%	61,1%	75,2%	73,8%	79,5%	79,1%	78,1%	76,5%	74,7%	77,6%	76,8%	69,8%
Lux Meter											
13,2%	36,3%	72,3%	52,1%	47,2%	23,1%	27,4%	16,3%	12,3%	10,2%	5,6%	8,1%
38,0%	31,3%	60,7%	30,0%	24,0%	2,3%	7,6%	2,2%	0,9%	2,2%	1,7%	2,7%
26,7%	57,1%	84,7%	27,5%	0,6%	3,0%	15,2%	18,0%	21,7%	23,0%	19,4%	14,6%
37,5%	28,8%	5,2%	22,7%	32,2%	44,7%	34,3%	35,0%	35,6%	30,5%	24,5%	17,7%
21,2%	11,7%	5,1%	33,0%	38,5%	44,7%	46,7%	46,1%	40,2%	37,7%	34,1%	29,2%
20,4%	31,9%	43,0%	50,4%	60,2%	55,6%	55,3%	51,4%	46,9%	41,8%	38,0%	35,0%
28,3%	38,1%	51,5%	65,4%	62,0%	62,1%	60,2%	58,6%	55,3%	51,7%	49,1%	46,4%
29,3%	51,1%	68,9%	67,8%	67,6%	66,9%	65,3%	62,8%	59,9%	55,1%	53,6%	52,1%

Příloha 29: Odchyly v jednotlivých bodech srovnávací roviny - Jídelní stůl - denní osvětlenost

Jídelní stůl (Noc)											
Luxmetr testo 540											
25	26	28	28	29	30	31	32	33	33	34	33
28	28	29	30	31	31	33	34	35	36	36	36
29	30	31	32	33	34	36	37	38	38	38	38
32	33	34	35	36	37	38	39	41	41	41	41
35	36	37	38	39	40	42	42	44	44	44	44
39	40	41	42	42	43	45	46	46	47	47	46
42	42	44	45	46	46	47	48	49	50	50	49
48 (0,0)	49	49	49	50	51	51	52	52	52	51	51
Light Meter App											
9	9	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
14	14	14	14	14	19	19	19	19	19	19	19
13	14	14	19	19	19	25	25	25	25	25	25
14	19	25	25	25	25	33	33	33	33	33	33
13	19	25	25	33	33	43	43	43	43	43	43
14	25	33	33	43	54	54	54	54	43	43	43
19	19	25	33	43	54	71	71	71	54	54	54



Lux Meter											
27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
29	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
29	29	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38
27	27	38	38	38	38	38	50	50	50	50	50
27	38	50	50	50	50	50	50	67	67	50	50
27	38	50	50	67	67	86	86	67	67	86	67
38	50	67	67	86	86	86	86	86	86	86	86
29	50	50	67	86	109	109	109	109	109	109	109

Příloha 30: Praktické měření kontrolního místa - Jídelní stůl - umělá osvětlenost

Odchytky jídelní stůl (Noc)											
Light Meter App											
64,0%	65,4%	53,6%	53,6%	55,2%	56,7%	58,1%	59,4%	60,6%	60,6%	61,8%	60,6%
53,6%	53,6%	55,2%	56,7%	58,1%	58,1%	60,6%	61,8%	62,9%	63,9%	63,9%	63,9%
51,7%	53,3%	54,8%	56,3%	57,6%	44,1%	47,2%	48,7%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%
59,4%	57,6%	58,8%	45,7%	47,2%	48,7%	34,2%	35,9%	39,0%	39,0%	39,0%	39,0%
60,0%	47,2%	32,4%	34,2%	35,9%	37,5%	21,4%	21,4%	25,0%	25,0%	25,0%	25,0%
66,7%	52,5%	39,0%	40,5%	21,4%	23,3%	4,4%	6,5%	6,5%	8,5%	8,5%	6,5%
66,7%	40,5%	25,0%	26,7%	6,5%	17,4%	14,9%	12,5%	10,2%	14,0%	14,0%	12,2%
60,4%	61,2%	49,0%	32,7%	14,0%	5,9%	39,2%	36,5%	36,5%	3,9%	5,9%	5,9%
Lux Meter											
8,0%	3,9%	3,6%	3,6%	6,9%	10,0%	12,9%	15,6%	18,2%	18,2%	20,6%	18,2%
3,6%	3,6%	6,9%	10,0%	12,9%	12,9%	18,2%	20,6%	22,9%	25,0%	25,0%	25,0%
0,0%	3,3%	22,6%	18,8%	15,2%	11,8%	5,6%	2,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
15,6%	18,2%	11,8%	8,6%	5,6%	2,7%	0,0%	28,2%	22,0%	22,0%	22,0%	22,0%
22,9%	5,6%	35,1%	31,6%	28,2%	25,0%	19,1%	19,1%	52,3%	52,3%	13,6%	13,6%
30,8%	5,0%	22,0%	19,1%	59,5%	55,8%	91,1%	87,0%	45,7%	42,6%	83,0%	45,7%
9,5%	19,1%	52,3%	48,9%	87,0%	87,0%	83,0%	79,2%	75,5%	72,0%	72,0%	75,5%
39,6%	2,0%	2,0%	36,7%	72,0%	113,7%	113,7%	109,6%	109,6%	109,6%	113,7%	113,7%

Příloha 31: Odchytky v jednotlivých bodech srovnávací roviny - Jídelní stůl - umělá osvětlenost

Vstupní hala (Den)					Vstupní hala (Noc)				
Luxmetr testo 540					Luxmetr testo 540				
64	65	78	91	58	83	232	65	39	32
61	70	82	89	66	98	94	63	46	33
61 (0,0)	72	75	68	51	104 (0,0)	106	86	58	38
Light Meter App					Light Meter App				
25	33	43	43	33	13	25	14	13	9
25	33	33	33	33	19	25	19	13	9
19	25	25	25	25	19	25	19	13	9
Lux Meter					Lux Meter				
50	86	86	86	67	29	38	27	27	19
50	67	67	86	67	38	50	38	27	19
50	50	67	67	67	38	50	50	27	19

Příloha 32: Praktické měření kontrolního místa - Vstupní hala - denní a umělá osvětlenost

Odchylky vstupní hala (Den)					Odchylky vstupní hala (Noc)				
Light Meter App					Light Meter App				
60,94%	49,23%	44,87%	52,75%	43,10%	84,34%	89,22%	78,46%	66,67%	71,88%
59,02%	52,86%	59,76%	62,92%	50,00%	80,61%	73,40%	69,84%	71,74%	72,73%
68,85%	65,28%	66,67%	63,24%	50,98%	81,73%	76,42%	77,91%	77,59%	76,32%
Lux Meter					Lux Meter				
21,88%	32,31%	10,26%	5,49%	15,52%	65,06%	83,62%	58,46%	30,77%	40,63%
18,03%	4,29%	18,29%	3,37%	1,52%	61,22%	46,81%	39,68%	41,30%	42,42%
18,03%	30,56%	10,67%	1,47%	31,37%	63,46%	52,83%	41,86%	53,45%	50,00%

Příloha 33: Odchylky v jednotlivých bodech srovnávací roviny - Vstupní hala - denní a umělá osvětlenost

Pokoj (Den)				Pokoj (Noc)			
Luxmetr testo 540				Luxmetr testo 540			
97	119	193	239	12	13	12	10
98	117	173	195	21	27	24	18
90	118	160	201	31	38	33	24
88	111	148	202	32	32	30	26
71	86	112	140	29	26	24	21
62 (0,0)	74	88		23 (0,0)	23	19	
Light Meter App				Light Meter App			
54	71	90	90	0	0	0	0
54	71	90	90	1	1	0	0
54	43	54	90	6	9	2	1
43	43	54	71	33	43	6	1
41	41	54	71	33	33	6	2
33	43	43		14	13	4	

Lux Meter					Lux Meter			
109	143	181	181		0	0	0	0
109	109	143	181		2	2	2	2
109	86	109	181		13	19	5	2
86	86	109	143		67	86	19	2
86	86	109	143		86	67	13	5
67	67	86			38	27	9	

Příloha 34: Praktické měření kontrolního místa - Pokoj - denní a umělá osvětlenost

Odchylky pokoj (Den)					Odchylky pokoj (Noc)			
Light Meter App					Light Meter App			
44,33%	40,34%	53,37%	62,34%		100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
44,90%	39,32%	47,98%	53,85%		95,24%	96,30%	100,00%	100,00%
40,00%	63,56%	66,25%	55,22%		80,65%	76,32%	93,94%	95,83%
51,14%	61,26%	63,51%	64,85%		3,13%	34,38%	80,00%	96,15%
42,25%	52,33%	51,79%	49,29%		13,79%	26,92%	75,00%	90,48%
46,77%	41,89%	51,14%			39,13%	43,48%	78,95%	
Lux Meter					Lux Meter			
12,37%	20,17%	6,22%	24,27%		100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
11,22%	6,84%	17,34%	7,18%		90,48%	92,59%	91,67%	88,89%
21,11%	27,12%	31,88%	9,95%		58,06%	50,00%	84,85%	91,67%
2,27%	22,52%	26,35%	29,21%		109,38%	168,75%	36,67%	92,31%
21,13%	0,00%	2,68%	2,14%		196,55%	157,69%	45,83%	76,19%
8,06%	9,46%	2,27%			65,22%	17,39%	52,63%	

Příloha 35: Odchylky v jednotlivých bodech srovnávací roviny - Pokoj - denní a umělá osvětlenost

Osvětlenost - laboratoř (lx)									
(m)							Zadní čočka		
	Luxmetr testo 540 1. měření	Luxmetr testo 540 2. měření	Luxmetr testo 540 3. měření	Luxmetr Sonel 1. měření	Luxmetr Sonel 2. měření	Luxmetr Sonel 3. měření	LightMeterApp 1	LightMeterApp2	LightMeterApp3
0,2	17751	17661	17566	20980	20970	20990	9665	8862	8649
0,5	2491	2479	2475	2672	2680	2675	751	751	751
0,8	935	935	935	989	990	990	479	314	314
1,1	490	487	486	510	510	510	155	155	155
1,4	300	298	298	311	310,8	310,7	95	95	95
1,7	202	202	201	209,3	209,2	209,1	59	59	59
2	146	145	145	150,9	150,7	150,8	45	45	45
2,3	110	110	110	113,7	113,6	113,6	35	35	27
2,6	86	86	86	89,2	89,2	89,2	35	35	27

(m)	Přední čočka	Zadní čočka			Zadní čočka			Přední čočka
	LightMeterApp 1p	LightMeter 1	LightMeter2	LightMeter3	Light Meter 1	Light Meter2	Light Meter3	Light Meter1p
0,2	1867	17512	18383	16544	1350	1349	1330	350
0,5	283	1504	1504	1504	386	374	375	274
0,8	90	630	630	630	314	314	314	218
1,1	43	310	310	310	257	257	257	126
1,4	25	151	191	191	210	210	210	47
1,7	14	119	119	119	144	144	145	31
2	9	91	91	91	115	115	115	14
2,3	6	55	55	71	87	87	87	8
2,6	6	55	55	71	91	91	91	5

Přední čočka						
(m)	Lux Meter1	Lux Meter2	Lux Meter3	Luxmetr (velux)1	Luxmetr (velux)2	Luxmetr (velux)3
0,2	3493	3665	4403	664	664	663
0,5	567	567	567	228	227	228
0,8	181	181	181	101	102	102
1,1	86	86	86	53	53	53
1,4	50	50	50	29	29	29
1,7	29	29	29	18	18	18
2	19	19	19	12	12	12
2,3	13	13	13	8	8	8
2,6	13	13	13	7	7	7

Přední čočka						
(m)	LUX Light Meter1	LUX Light Meter2	LUX Light Meter3	Light Meter Lux/fc:Measuring Light Intensity1	Light Meter Lux/fc:Measuring Light Intensity2	Light Meter Lux/fc:Measuring Light Intensity3
0,2	23525	23073	22852	22415	22200	22205
0,5	3582	3509	4314	3409	3393	3377
0,8	1368	1341	1331	1299	1294	1289
1,1	721	705	700	689	684	673
1,4	447	437	426	421	421	416
1,7	305	300	295	298	289	289
2	221	221	216	210	210	210
2,3	168	163	163	163	158	158
2,6	137	132	132	132	126	126

Příloha 36: Změřené hodnoty osvětlenosti bodového svítidla v různých vzdálenostech - měření v laboratoři

Odchylka oproti bodové metodě - laboratoř (%)									
(m)							Zadní čočka		
	Luxmetr testo 540 1. měření	Luxmetr testo 540 2. měření	Luxmetr testo 540 3. měření	Luxmetr Sonel 1. měření	Luxmetr Sonel 2. měření	Luxmetr Sonel 3. měření	LightMeterApp 1	LightMeterApp 2	LightMeterApp 3
0,2	14%	14%	15%	2%	2%	2%	53%	57%	58%
0,5	24%	25%	25%	19%	19%	19%	77%	77%	77%
0,8	27%	27%	27%	23%	23%	23%	63%	76%	76%
1,1	28%	28%	29%	25%	25%	25%	77%	77%	77%
1,4	29%	29%	29%	26%	26%	26%	77%	77%	77%
1,7	29%	29%	29%	27%	27%	27%	79%	79%	79%
2	29%	30%	30%	27%	27%	27%	78%	78%	78%
2,3	29%	29%	29%	27%	27%	27%	78%	78%	83%
2,6	29%	29%	29%	27%	27%	27%	71%	71%	78%

(m)	Přední čočka	Zadní čočka			Zadní čočka			Přední čočka
	LightMeterApp 1p	LightMeter 1	LightMeter2	LightMeter3	Light Meter 1	Light Meter2	Light Meter3	Light Meter1p
0,2	91%	15%	11%	20%	93%	93%	94%	98%
0,5	91%	54%	54%	54%	88%	89%	89%	92%
0,8	93%	51%	51%	51%	76%	76%	76%	83%
1,1	94%	54%	54%	54%	62%	62%	62%	81%
1,4	94%	64%	55%	55%	50%	50%	50%	89%
1,7	95%	58%	58%	58%	49%	49%	49%	89%
2	96%	56%	56%	56%	44%	44%	44%	93%
2,3	96%	65%	65%	54%	44%	44%	44%	95%
2,6	95%	55%	55%	42%	25%	25%	25%	96%

Přední čočka						
(m)	Lux Meter1	Lux Meter2	Lux Meter3	Luxmetr (velux)1	Luxmetr (velux)2	Luxmetr (velux)3
0,2	83%	82%	79%	97%	97%	97%
0,5	83%	83%	83%	93%	93%	93%
0,8	86%	86%	86%	92%	92%	92%
1,1	87%	87%	87%	92%	92%	92%
1,4	88%	88%	88%	93%	93%	93%
1,7	90%	90%	90%	94%	94%	94%
2	91%	91%	91%	94%	94%	94%
2,3	92%	92%	92%	95%	95%	95%
2,6	89%	89%	89%	94%	94%	94%

Přední čočka						
(m)	LUX Light Meter1	LUX Light Meter2	LUX Light Meter3	Light Meter Lux/fc:Measuring Light Intensity1	Light Meter Lux/fc:Measuring Light Intensity2	Light Meter Lux/fc:Measuring Light Intensity3
0,2	14%	12%	11%	9%	8%	8%
0,5	9%	6%	31%	3%	3%	2%
0,8	6%	4%	3%	1%	1%	0%
1,1	6%	4%	3%	1%	0%	1%
1,4	6%	4%	1%	0%	0%	1%
1,7	7%	5%	3%	5%	1%	1%
2	7%	7%	5%	2%	2%	2%
2,3	8%	5%	5%	5%	1%	1%
2,6	12%	8%	8%	8%	3%	3%

Příloha 37: Velikost odchylky naměřených hodnot za pomoci luxmetrů a aplikací oproti hodnotám zjištěných bodovou metodou - měření v laboratoři

Odchylka oproti Luxmetru testo 540 - laboratoř(%)							
	Zadní čočka			Přední čočka	Zadní čočka		
(m)	LightMeterApp 1	LightMeterApp 2	LightMeterApp 3	LightMeterApp 1p	LightMeter 1	LightMeter2	LightMeter3
0,2	45%	50%	51%	89%	1%	4%	6%
0,5	70%	70%	70%	89%	39%	39%	39%
0,8	49%	66%	66%	90%	33%	33%	33%
1,1	68%	68%	68%	91%	36%	36%	36%
1,4	68%	68%	68%	92%	49%	36%	36%
1,7	71%	71%	71%	93%	41%	41%	41%
2	69%	69%	69%	94%	37%	37%	37%
2,3	68%	68%	75%	95%	50%	50%	35%
2,6	59%	59%	69%	93%	36%	36%	17%

	Zadní čočka			Přední čočka			
(m)	Light Meter 1	Light Meter2	Light Meter3	Light Meter1p	Lux Meter1	Lux Meter2	Lux Meter3
0,2	92%	92%	92%	98%	80%	79%	75%
0,5	84%	85%	85%	89%	77%	77%	77%
0,8	66%	66%	66%	77%	81%	81%	81%
1,1	47%	47%	47%	74%	82%	82%	82%
1,4	30%	30%	30%	84%	83%	83%	83%
1,7	29%	29%	28%	85%	86%	86%	86%
2	21%	21%	21%	90%	87%	87%	87%
2,3	21%	21%	21%	93%	88%	88%	88%
2,6	6%	6%	6%	94%	85%	85%	85%



(m)	Přední čočka								
	Luxmetr (velux)1	Luxmetr (velux)2	Luxmetr (velux)3	LUX Light Meter1	LUX Light Meter2	LUX Light Meter3	Light Meter Lux/fc:Measuring Light Intensity1	Light Meter Lux/fc:Measuring Light Intensity2	Light Meter Lux/fc:Measuring Light Intensity3
0,2	96%	96%	96%	33%	31%	29%	27%	26%	26%
0,5	91%	91%	91%	44%	41%	74%	37%	37%	36%
0,8	89%	89%	89%	46%	43%	42%	39%	38%	38%
1,1	89%	89%	89%	48%	45%	44%	41%	40%	38%
1,4	90%	90%	90%	50%	46%	43%	41%	41%	39%
1,7	91%	91%	91%	51%	49%	46%	48%	43%	43%
2	92%	92%	92%	52%	52%	49%	44%	44%	44%
2,3	93%	93%	93%	53%	48%	48%	48%	44%	44%
2,6	92%	92%	92%	59%	53%	53%	53%	47%	47%

Příloha 38: Velikost odchylky naměřených hodnot za pomoci aplikací oproti hodnotám zjištěných Luxmetrem testo 540 - měření v laboratoři