



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

MĚŘENÍ JASŮ A NÁHRADNÍ TEPLoty CHROMATIČNOSTI SVĚTELNÝCH REKLAM POMOCÍ JASOVÉHO ANALYZÁTORU LDA- LUMIDISP

SEMESTRÁLNÍ PRÁCE

SEMESTRAL THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Oldřich Slavíček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Martin Motyčka, Ph.D.

BRNO 2022

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Student: Oldřich Slaviček

ID: 230421

Ročník: 3

Akademický rok: 2022/23

NÁZEV TÉMATU:

Měření jasů a náhradní teploty chromatičnosti světelných reklam pomocí jasového analyzátoru LDA-LumiDISP

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Rešerše normativních požadavků kladených na maximální jas a osvětlenost světelných reklam
2. Rešerše světelných zdrojů využívaných ve světelných reklamách a přístrojů pro měření jasů a náhradní teploty chromatičnosti
3. Návrh potenciálních objektů měření
4. Terénní měření objektů jasovým analyzátozem a konvenčními přístroji
5. Zpracování a vyhodnocení naměřených dat

DOPORUČENÁ LITERATURA:

doporučená literatura podle pokynů vedoucího závěrečné práce

Termín zadání: 6.2.2023

Termín odevzdání: 29.5.2023

Vedoucí práce: Ing. Martin Motyčka, Ph.D.

prof. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Práce shrnuje základní fotometrické veličiny a technické parametry svítidel. Dále se práce zabývá rozebráním problematiky vlivu světla a osvětlení na člověka, popisem měřicích přístrojů fotometrických veličiny. Práce řeší použití jasového analyzátoru LDA – LumiDISP v praxi, měření světelných reklam, zpracování výsledků a porovnání výsledků s normami.

Klíčová slova

Světlo, fotometrie, měřicí přístroje, měření jasu, jasové analyzátory, jas

Abstract

The work summarizes the basic photometric quantities and technical parameters of the luminaires. Furthermore, the thesis deals with the analysis of the issue of the influence of light and lighting on humans, with a description of measuring devices for photometric quantities. The work deals with the use of the LDA-LumiDISP luminance analyzer in practice, the measurement of illuminated advertisements, the processing of results and the comparison of results with technical standards.

Keywords

Light, photometry, measuring devices, measuring of luminance, luminance distribution analyser, luminance.

Bibliografická citace

SLAVÍČEK, Oldřich. Měření jasů a náhradní teploty chromatičnosti světelných reklam pomocí jasového analyzátoru LDA-LumiDISP [online]. Brno, 2023 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/151356>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce Martin Motyčka.

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu práce Ing. Martinu Motyčkovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace a podnětné návrhy k práci.

Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ	9
SEZNAM TABULEK.....	10
ÚVOD	11
1. FOTOMETRICKÉ VELIČINY A SVĚTELNĚ TECHNICKÉ PARAMETRY	12
1.1 FOTOMETRICKÉ VELIČINY	12
1.1.1 Světelný tok	12
1.1.2 Svítivost.....	12
1.1.3 Prostorový úhel.....	13
1.1.4 Osvětlenost.....	13
1.1.5 Jas.....	14
1.1.6 Světlení.....	14
1.2 SVĚTELNĚ TECHNICKÉ PARAMETRY	15
1.2.1 Měrný světelný výkon.....	15
1.2.2 Index podání barev	15
1.2.3 Životnost světelného zdroje.....	16
1.2.4 Teplota chromatičnosti	17
2. VLIV SVĚTLA NA ČLOVĚKA.....	18
2.1 CIRKADIÁNNÍ RYTMY	18
2.2 ZRAKOVÁ POHODA.....	19
2.3 OSLNĚNÍ.....	19
2.4 POŠKOZENÍ ZRAKU	20
2.4.1 Fotoretinitida	20
2.4.2 Ophthalmia photoelectria	20
2.4.3 Solární retinopatie	20
3. MĚŘICÍ PŘÍSTROJE	21
3.1 LUXMETRY.....	21
3.2 JASOMĚRY.....	22
3.3 SPEKTORADIOMETRY	23
3.4 JASOVÉ KAMERY	23
3.4.1 Výrobci.....	25
4. LEGISLATIVA A NORMY.....	26
5. CÍLE MĚŘENÍ.....	28
6. MĚŘENÍ A ZPRACOVÁNÍ DAT	32
6.1 MĚŘENÍ.....	32
6.2 ZPRACOVÁNÍ DAT.....	34
6.3 PŘÍKLADY ZMĚŘENÝCH SVĚTELNÝCH REKLAM.....	40
6.4 ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ.....	47
7. ZÁVĚR.....	53
BIBLIOGRAFIE.....	54

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	58
SEZNAM PŘÍLOH.....	59

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	rovnoměrný diagram chromatičnosti (u,v) [5].	16
1.2	rovnoměrný diagram chromatičnosti CIE 1960 [6].	16
1.3	Znázornění světla dle teploty chromatičnosti [8]	17
2.1	Poměrná spektrální citlivost oka [11].	18
3.1	Princip objektivního jasoměru [17].	22
3.2	Rozložení energie pro různé zdroje záření [23].	23
3.3	Princip jasových kamer – upraveno [22].	24
5.1	Světelná reklama – bankomat.	28
5.2	Světelná reklama – lékárenský kříž.	28
5.3	Mapa s vytipovanými místy	29
5.4	Mapa – centrum.	29
5.5	Mapa – Královo Pole.	30
5.6	Mapa – Galerie Vaňkovka.	30
5.7	Mapa – Campus Science Park	31
6.1	Spektrální citlivost $V(\lambda)$ filtru [31].	32
6.2	Měření v terénu	33
6.3	Vybavení systému LumiDISP	33
6.4	Rozhraní programu LumiDisp.	34
6.5	Pořízeny snímek pomocí LDA-LumiDisp.	34
6.6	Jasový snímek	35
6.7	Přexponovaný snímek	35
6.8	Podexponovaný snímek.	36
6.9	Zvýraznění přexponovaných oblastí.	36
6.10	Zvýraznění podexponovaných oblastí.	37
6.11	HDR snímek s detektorem	37
6.12	Nastavení masky	38
6.13	Finální snímek	38
6.14	Histogram pro objekt 18-2A.	39
6.15	Světelná reklama 10-1B	40
6.16	Světelná reklama 40-1B	40
6.17	Světelná reklama 20-9B	41
6.18	Světelná reklama 18-8B	41
6.19	Světelná reklama 30-2B	42
6.20	Světelná reklama 18-5B.	42
6.21	Světelná reklama 5-3A	43
6.22	Světelná reklama 30-11B	43
6.23	Světelná reklama 20-3B	44
6.24	Světelná reklama 14-2B	44
6.25	Světelná reklama 23-1B	45
6.26	Světelná reklama 30-6B	45
6.27	Světelná reklama 20-6B	46
6.28	Histogram světelných reklam – celé reklamy.	48
6.29	Histogram světelných reklam – nejjasnější body	48

SEZNAM TABULEK

1.1	Starší jednotky jasu a převod na $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ [1]	14
1.2	tabulka měrných výkonů pro různé světelné zdroje [1].....	15
2.1	Hodnoty UGR dle mezinárodního doporučení[1].	20
3.1	Třídění luxmetrů dle nejistoty měření [1].....	21
4.1	Dovolené hodnoty jasu dle normy [29]	26
4.2	Barevné tóny světla [29].....	27
4.3	Hodnoty z normy ČSN 360459 [30]	27
4.4	Časové úseky [30]	27
6.1	Typy použitých objektivů.....	32
6.2	Naměřené hodnoty	49

ÚVOD

Jas je fotometrickou veličinou, na kterou přímo reaguje lidský zrak. Je proto nutné znát hladiny jasů a rozložení jasů v zorném poli pozorovatele, aby byla zajištěna správná zraková činnost. Samotné měření jasů konvenčními měřáky bylo velmi náročné z hlediska časové náročnosti měření. Ovšem díky novým technologiím a metodám měření se celý proces značně zjednodušil a urychlil.

Měření konvenčními jasoměry je již dlouho dobu zavedené. Použití jasových analyzátorů v podobě digitálních fotoaparátů je metoda nová a v praxi zatím málo využívaná. Tato metoda nabízí oproti konvenčním měřákům řadu výhod, jak již bylo zmíněno, hlavní výhodou je časová nenáročnost měření. Další nezměrnou výhodou je ta, že jasové analyzátoři v sobě mohou kombinovat několik funkcí a zastávají tak několik měřicích přístrojů najednou. Z množství poskytnutých dat lze tak lépe určit kvalitu osvětlovacích systémů.

V posledních několika letech se klade čím dál větší důraz na měření a postupné omezování takzvaného světelného smogu neboli rušivého světla. Toto světlo vzniká nejvíce ve městech, je způsobeno veřejným osvětlením, intenzivním nasvícením reklamních ploch či reklamami samotnými. Měření těchto objektů bylo prakticky nemožné díky obrovskému množství světelných zdrojů ve městech. S příchodem jasových analyzátorů se ovšem otevírá varianta, která by mohla v budoucnu tento problém vyřešit.

První kapitola uvádí základní fotometrické veličiny a světelně technické parametry. Druhá kapitola se zabývá vlivem světla na člověka, oslněním a poškozením zraku. Ve třetí kapitole jsou rozebrány různé druhy měřicích přístrojů a výrobců. Normy, kterými by se mělo venkovní osvětlení řídit jsou uvedeny ve čtvrté kapitole. Pátá kapitola se zaměřuje na vytyčení cílů měření. Šestá kapitola popisuje postup měření a zpracování výsledků.

1. FOTOMETRICKÉ VELIČINY A SVĚTELNĚ TECHNICKÉ PARAMETRY

1.1 Fotometrické veličiny

1.1.1 Světelný tok

Světelný tok (Φ) je veličina, která vyjadřuje množství světelné energie, kterou přenese záření za jednotku času. Jednotkou světelného toku je lumen (lm). Tato energie je posuzována dle citlivosti oka normálního fotometrického pozorovatele. Světelný tok záření složeného z různých monochromatických záření je určen dle vztahu

$$\Phi = K_v \int_0^\infty \left(\frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda} \right)_\lambda V(\lambda) d\lambda \text{ [lm]}, \quad (1.1)$$

kde K_v je konstanta, která určuje maximální světelnou účinnost, které lze dosáhnout. Hodnota K_v je rovna 683 lm/W. $\int_0^\infty \left(\frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda} \right)_\lambda$ je spektrální hustota zářivého toku Φ_e pro určitou vlnovou délku λ [lm·W⁻¹]. $V(\lambda)$ je poměrná světelná účinnost [-] [1].

1.1.2 Svítivost

Při nerovnoměrném rozložení světelného toku do různých směrů je potřebné znát prostorovou hustotu světelného toku v prostoru. Tuto veličinu představuje právě svítivost ($I_{\gamma\xi}$). Svítivost se určuje dle vztahu

$$I_{\gamma\xi} = \frac{d\phi}{d\Omega_{\gamma\xi}} \text{ [cd]}, \quad (1.2)$$

kde $d\Omega_{\gamma\xi}$ je prostorový úhel [sr], jehož osa leží ve směru určeném úhly γ a ξ , které vymezují daný světelný tok $d\phi$ [lm]. Svítivost je definována pouze pro bodový zdroj světelného toku. Jednotkou svítivosti je kandela [cd]. Tato jednotka patří do základní jednotkové soustavy SI a je definována jako svítivost, kterou vyzařuje monochromatické světlo o frekvenci $540 \cdot 10^{12}$ Hz o zářivosti 1/683 W/sr. Pro určení svítivosti v různých směrech se využívají křivky svítivosti, které graficky znázorňují svítivost v daných rovinách řezu. Křivky svítivosti jsou tedy vynášeny v polárních souřadnicích. Počátek diagramu se umísťuje právě do světelného středu zdroje světla. Základní směr diagramů, od něhož se měří úhly, se obvykle určuje podle osy normály hlavního směru vyzařování zdroje je [1].

1.1.3 Prostorový úhel

Prostorový úhel (Ω) je geometrická veličina, která se ve fotometrii velmi často využívá. Velikost prostorového úhlu je určena jako velikost plochy vyřáté obecnou kuželovou plochou na povrchu jednotkové koule o určitém poloměru, jejíž střed je stejný se středem dané kuželové výseče. Jednotkou prostorového úhlu je steradián [sr]

$$\Omega = \frac{A}{r^2} \text{ [sr]}. \quad (1.3)$$

Nejvyšší hodnot, které může (Ω) nabývat je 4π . Výpočet se pro elementární plochu dA ve vzdálenosti l upraví do podoby

$$d\Omega = \frac{dA \cdot \cos\beta}{l^2} \text{ [sr]}, \quad (1.4)$$

$\cos\beta$ je úhel, který svírá prostorový úhel s normálou plochy dA [1] [2].

1.1.4 Osvětlenost

Osvětlenost (E) jinak také intenzita osvětlení je definována jako hustota světelného toku ϕ dopadeného na plochu dA . Jednotkou osvětlenosti je lux [lx],

$$1 \text{ lx} = 1 \text{ lm} \cdot \text{m}^{-2} = 1 \text{ cd} \cdot \text{sr} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$E = \frac{d\phi}{dA} \text{ [lx]}. \quad (1.5)$$

Pokud vezmeme v úvahu bodový zdroj o určité svítivosti I , který je ve vzdálenosti r , jehož paprsky dopadají na plochu dA pod určitým úhlem tak se osvětlenost určí dle upraveného vztahu

$$E = \frac{I}{r^2} \cos\alpha \text{ [lx]}, \quad (1.6)$$

α je úhel od normály plochy na kterou dopadají paprsky bodového zdroje světla [1][2][3].

1.1.5 Jas

Jas (L) je veličina, která je obecně určena prostorovou a plošnou hustotou světelného toku svazku paprsků.

$$L = \frac{d^2\phi}{d\Omega dA} [\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}], \quad (1.7)$$

kde $d\Omega$ je prostorový úhel, ve kterém se svazek paprsků šíří. dA je plocha kolmá k svazku paprsků na kterou dopadá světelný tok $d\phi$. Ve starší literatuře se setkáme s jednotkami, které se již nepoužívají, viz. tabulka 1.1.

Tabulka 1.1 Starší jednotky jasu a převod na $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$ [1]

Název jednotky	značka	převod na $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$
Stilb	sb	10^4
apostilb	asb	0,3183
lambert	La	3183
footlambert	Fl	3,426

Pro jas svazku paprsků, které se v prostorovém úhlu sbíhají platí vztah

$$L = \frac{d^2\phi}{d\Omega \cdot dA \cdot \cos\beta} [\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}], \quad (1.8)$$

kde úhel β je úhel, který svírá střed svazku paprsků s normálou dopadové plochy.

Pro jas svazku paprsků, které se v prostorovém úhlu rozbíhají platí vztah

$$L = \frac{d^2\phi}{d\Omega \cdot dA \cdot \cos\gamma} [\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}], \quad (1.9)$$

kde γ je úhel, který svírá střed svazku paprsků s normálou bodu, ze kterého je svazek vyzařován. Jas svazku paprsků je velmi závislý na stanovišti pozorovatele a na směru pohledu pozorovatele [1][2][3].

1.1.6 Světlení

Světlení (M) je definováno jako hustota světelného toku ϕ vyzářeného z plochy dA [1].

$$M = \frac{d\phi_v}{dA} [\text{lm} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (1.10)$$

1.2 Světelně technické parametry

1.2.1 Měrný světelný výkon

Udává, jak efektivně dokáže světelný zdroj přeměnit elektrickou energii na světelnou. Jednotkou měrného světelného výkonu je lumen na watt [lm/W].

Přehled měrných světelných výkonů je uveden v tabulce 1.2.

Tabulka 1.2 tabulka měrných výkonů pro různé světelné zdroje [1]

Typ světelného zdroje	Měrný světelný výkon [lm/W]
Žárovka	10-18
Halogenová žárovka	20-30
LED	120-160
Směsové výbojky	20-28
Vysokotlaké rtuťové výbojky	40-60
Indukční výbojky	60-100
Kompaktní zářivky	40-90
Lineární zářivky	50-110
Halogenidové zářivky	50-130
Vysokotlaké sodíkové výbojky	70-150
Nízkotlaké sodíkové výbojky	100-200

Maximální účinnost, které lze teoreticky dosáhnout pro monochromatické světlo je 683 lm/W. Pro viditelné spektrum světla je maximální teoretická účinnost 251 lm/W bílého zdroje světla [1].

1.2.2 Index podání barev

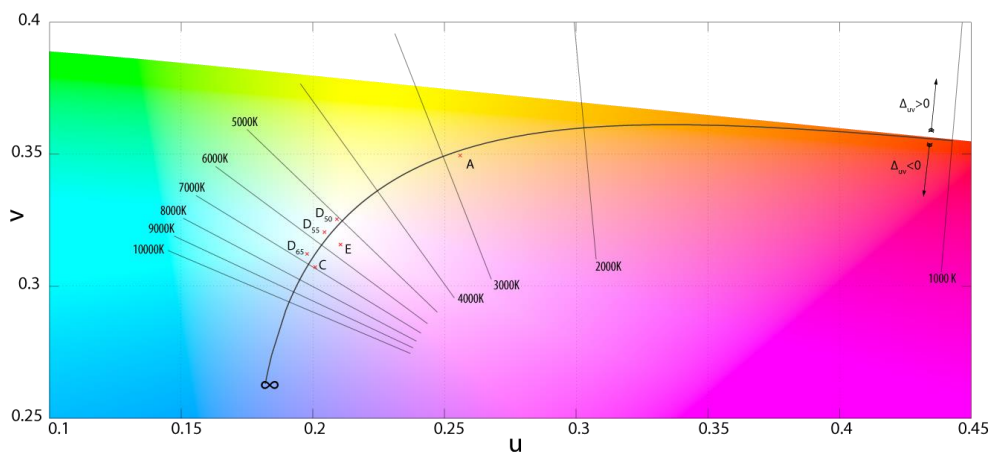
Index podání barev (R_a) číselně vyjadřuje stupeň shodnosti vjemu barev předmětů osvětlených určitým zdrojem světla a vjem barvy týchž předmětů osvětlených smluvním zdrojem světla za stanovených podmínek. Index podání barev se vypočítá dle vzorce

$$R_a = 100 - 4,6\overline{\Delta E_a}[-], \quad (1.11)$$

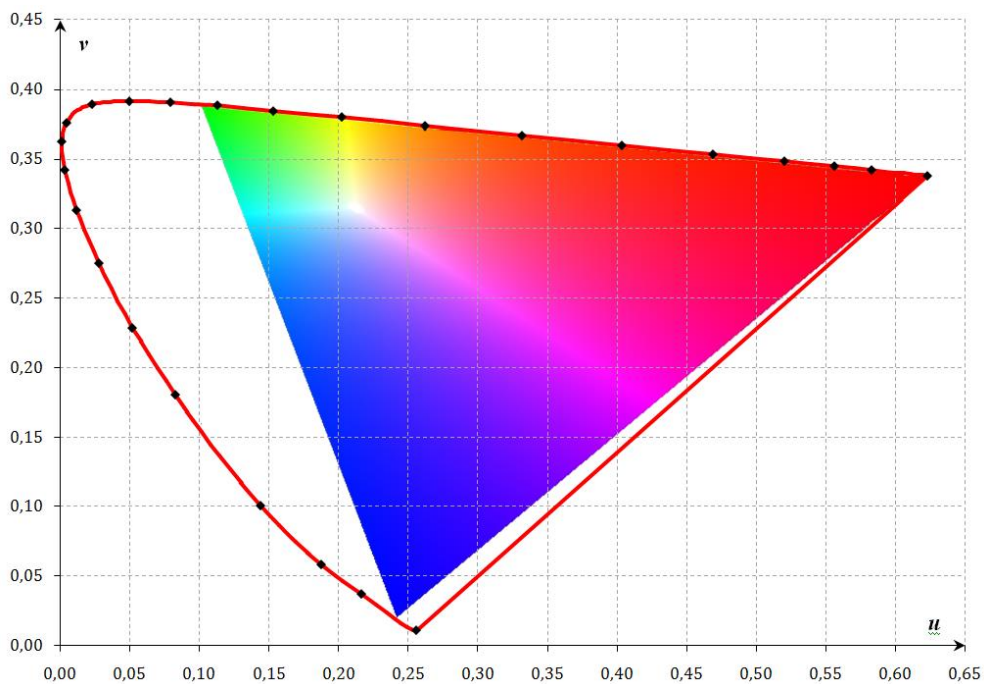
kde $\overline{\Delta E_a}$ se určí dle vztahu

$$\overline{\Delta E_a} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta E_i [-]. \quad (1.12)$$

n označuje počet použitých barevných vzorků (osm až čtrnáct) od kterých se vyjadřuje rozdíl vjemu dané barvy vzorku při postupným osvětlení uvažovaným a smluvní světelným zdrojem. ΔE_i vyjadřuje vzdálenost bodů popisující oba barevné vjemy v rovnoměrném kalorimetrickém prostoru CIE 1960 obrázek 1.2, 1964 (UVW) nebo v diagramu chromatičnosti (u,v) obrázek 1.1 [1][2][4].



Obrázek 1.1 rovnoměrný diagram chromatičnosti (u,v) [5].



Obrázek 1.2 rovnoměrný diagram chromatičnosti CIE 1960 [6].

1.2.3 Životnost světelného zdroje

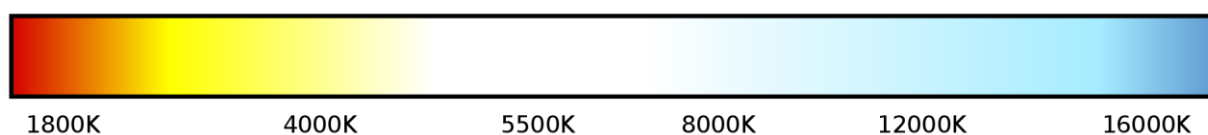
Určuje celkovou dobu svícení do okamžiku, kdy je zdroj v praxi nepoužitelný či se za nepoužitelný považuje dle zvolených kritérií. Životnost se udává v hodinách. V každém světelném zdroji probíhají různé chemické či fyzikální procesy, které v průběhu času způsobují různé změny parametrů daného zdroje. Proto se zavedlo několik pomocných veličin [1].

Užitečný život je doba, během níž si zdroj zachovává parametry v určených stanovených mezích. Fyzický život je doba svícení do úplné ztráty provozuschopnosti. Činitel stárnutí je podíl světelného toku zdroje v daný okamžik vůči světelnému toku počátečnímu při stanovených počátečních podmínkách. Vyjadřuje se v procentech. Činitel funkční spolehlivosti udává část z celkového počtu zkoušených zdrojů, které jsou za stanovených podmínek a určité četnosti zapnutí ještě funkční. Průměrný život je časový úsek, během kterého klesne činitel funkční spolehlivosti na 50 % při referenčních podmínkách [1][2][7].

1.2.4 Teplota chromatičnosti

Teplota chromatičnosti (T_c) označuje barvu světla. Vychází z vyzařování světla z dokonale černého tělesa (Planckovo těleso) a jeho teploty. Zvýší-li se teplota tohoto tělesa, zvýší se i podíl modré složky a klesne podíl červené složky světelného spektra. Jednotkou je kelvin [K].

Teplota chromatičnosti má velký vliv na vhodnost použití různých typů světelných zdrojů. S rostoucí teplotou chromatičnosti klesá citlivost lidského oka. Proto je pro různou činnost doporučována jiná teplota chromatičnosti. Pro zrakově náročnou činnost se doporučuje barva světla nad 5000 K. Na obrázku 1.3 je postupně znázorněno barevné spektrum dle korespondující teploty chromatičnosti [1][2].



Obrázek 1.3 Znázornění světla dle teploty chromatičnosti [8]

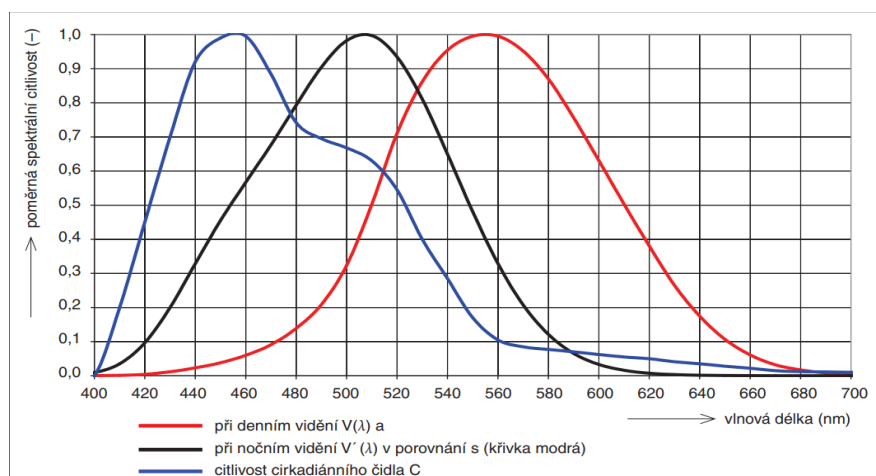
2. VLIV SVĚTLA NA ČLOVĚKA

Světlo je pro člověka především prostředkem k přenosu a získávání informací o jeho okolí. Aby člověk tyto informace vnímal v tak velkém objemu, je třeba, aby daný zrakový úkon probíhal v prostředí s adekvátním charakterem osvětlení. Nepříznivé účinky světelného záření se mohou výrazně projevit několika způsoby. Některé tyto způsoby jsou popsány v následujících kapitolách.

2.1 Cirkadiánní rytmy

Cirkadiánní rytmy regulují každodenní fyziologické a behaviorální procesy v organismu. Velký vliv na tyto procesy má prostředí, ve kterém se organismus nachází. Cirkadiánní rytmy se opakují s periodou 20 až 28 hodin. Při tomto rytmu kolísá hladina melatoninu v lidském oběhu. Melatonin ovlivňuje řadu procesů, například změny teploty lidského těla a napomáhá usínání. Cirkadiánní rytmy jsou synchronizovány střídáním světla a tmy, tedy střídáním dne a noci.

Koncentrace melatoninu nejvíce narůstá okolo 21. hodiny. Nejvyšší hladiny dosahuje průměrně okolo 3. hodiny ranní. Od tohoto okamžiku začíná koncentrace klesat. Nastává zde proto otázka, jak organismus reaguje na vliv umělého osvětlení v různých fázích dne. V roce 1980 v rámci svého výzkumu Alfred J. Lewy pozoroval vývoj koncentrace melatoninu u dobrovolníků během noci, kdy byli ozařováni světelnými zdroji o různých intenzitách. Při tomto experimentu se potvrdilo, že světelné zdroje o určitých intenzitách mají vliv na tvorbu melatoninu. V roce 1997 provedli Takeshi Morita a Hiromy Tokura experiment, při kterém zkoumali vliv vlnové délky světla na tvorbu melatoninu. Výsledkem bylo, že světlo s dlouhými vlnovými délkami, s nízkou teplotou chromatičnosti má velmi malý vliv na tvorbu melatoninu. Naopak světlo s krátkými vlnovými délkami, vysokou teplotou chromatičnosti má mnohem větší vliv na tvorbu melatoninu. Citlivost cirkadiánních čidel je znázorněna na obrázku 2.1 [1][9][10][11][12] [13].



Obrázek 2.1 Poměrná spektrální citlivost oka [11]

2.2 Zraková pohoda

Pro zřakovou pohodu je potřebné vytvořit takzvané světelné mikroklima. Tedy vyhovující podmínky, které jsou tvořeny geometrií prostoru, typem světelných zdrojů a jejich světelným podáním barev, intenzitou osvětlení, rovnoměrností osvětlení, jasem a mnohými dalšími faktory. Z daných podmínek vyplývá, že se jedná o příjemný psychologický stav, při němž zřaková soustava optimálně plní svou funkci. Jedinec se i po delším pobytu v daném prostoru necítí unaven, nemá potíže se zřakem a psychicky se cítí dobře [1][14].

2.3 Oslnění

Nachází-li se v zorném poli oka příliš velké množství nebo velký rozdíl jasu, vzniká takzvané oslnění. Při oslnění je ztížen nebo znemožněn přístup a příjem světelných informací do oka a tím je negativně ovlivněna funkce zřakového ústrojí. Jinými slovy oslnění je stav, při kterém je sítnice vystavena vyšším intenzitám jasu, než na které je oko přizpůsobeno. Rozlišujeme několik druhů oslnění [1][15].

Přímé oslnění je oslnění způsobené přímo svítidlem či světelným zdrojem. Oslnění odrazem je způsobeno odrazy od lesklých ploch pozorovaných předmětů a jejich okolí. Přechodné oslnění je stav, ke kterému dochází při náhlé změně intenzity jasu (přechod z temného prostředí do světlého a naopak). Další dělení je psychologický a fyziologický aspekt.

- Při psychologickém oslnění dochází k odvádění pozornosti od vlastního zřakového úkonu. Vzniká pocit zřakové nepohody, vzrůstá únava, stres, nervozita. Tento efekt si daný jedinec mnohdy ani neuvědomí. Psychologické osvětlení ovšem žádným měřitelným způsobem neovlivňuje funkci zřakového ústrojí.
- Fyziologické oslnění již zhoršuje zřakovou činnost a zhoršuje zřakové schopnosti. Extrémním případem tohoto typu je oslepující osvětlení, při kterém dochází ke znemožnění zřakové činnosti během nebo i po oslnění.

Pro způsob hodnocení oslnění se zavedl index osvětlení, který se doporučuje počítat dle Sørensenova vzorce

$$UGR = 8 \log \left| \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n \frac{L_{zi}^2 \cdot \Omega_i}{L_p \cdot P_i^2} \right| [-], \quad (2.1)$$

kde L_{zi} [$cd \cdot m^{-2}$] je jas i -tého světelného zdroje. Ω_i [sr] je prostorový úhel pod kterým lze i -tý světelný zdroj pozorovat. L_p [$cd \cdot m^{-2}$] je průměrný jas pozadí. P [-] je činitel charakterizující vliv polohy i -tých světelných zdrojů [1][15].

Tabulka 2.1 Hodnoty UGR dle mezinárodního doporučení[1].

Pracoviště	UGR	
Kanceláře	16	
Pracoviště s počítači	19	
Průmyslová výroba	jemná	22
	běžná	25
	hrubá	28

Oko je nejcitlivější na oslnění ve směru osy pohledu a v jejím okolí zhruba do úhlu 14 °. V oblasti od 14 ° do 27 ° je oslnění stále citelné ovšem menší. Od větších úhlů od osy pohledu je již oslnění z fyziologického pohledu malé [1].

2.4 Poškození zraku

2.4.1 Fotoretinitida

Fotoretinitida je poškození zraku-sítnice vlivem takzvaného modrého světla. Jedná se o fotochemickou reakci, při které dochází k poškození sítnice. Modré světlo má vlnovou délku od 300 do 700 nm, spadá sem tedy i UV záření. Energie tohoto záření je vysoká a dokáže tedy sítnici předat takové množství energie, na kterou nebyla sítnice stavěna, a dojde k poškození. Hlavním zdrojem tohoto záření je Slunce. Tento způsob poškození zraku může vzniknout mnoha způsoby. Hlavním způsobem bývá přímé sledování slunce či pozorování svařovacího oblouku. Fotoretinitida se neprojevuje ihned, ale nějakou dobu trvá, než se objeví symptomy. Mezi nejčastější symptomy se řadí zarudnutí, slzení a bolest očí, rozmazané vidění, dočasná ztráta zraku. Tento druh poškození není dlouhodobý a po omezení intenzity světla symptomy většinou odezní do 48 hodin [9][12][16][17].

2.4.2 Ophthalmia photoelectria

Jedná se o bolestivé akutní onemocnění rohovky. Poškození vzniká vyšší intenzitou ultrafialového záření. Hlavními příčinami je pobyt v zasněžených oblastech bez dostatečné ochrany zraku. Sluneční záření se v těchto oblastech odráží od sněhu a tím se i zvyšuje množství dopadeného záření na rohovku. Stejný efekt může nastat na plážích. Hlavním projevem tohoto onemocnění je bolest očí s pocitem písku v očích a tečkovité zbarvení rohovky. Tyto příznaky odeznívají do 24 hodin od expozice [9][18].

2.4.3 Solární retinopatie

Oko lze přirovnat k lupě o síle zesílení 60 dioptrií. Při zaostření na dostatečně intenzivní zdroj světla může dojít k přeměně světelné energie na teplo. Toto teplo může následně poškodit tkáň v oku. Nejnáchylnější tkání v oku na změnu teploty je sítnice. Po vystavení takovému záření se mohou objevit edémy nebo až jizvy, které narušují funkci sítnice a mohou vést až k částečné nebo úplné slepotě [12] [18].

3. MĚŘICÍ PŘÍSTROJE

3.1 Luxmetry

Základním principem luxmetrů je převod energie světelných kvant na energii elektrickou. K tomuto procesu slouží většinou polovodičový fotoelektrický článek. U analogových měřicích přístrojů se k měření této energie používá galvanometr, který využívá magnetoelektrického principu. Digitální luxmetry využívají optoelektronické převodníky, které vstupní signál digitalizují a dále zpracují. Luxmetry se rozřazují do čtyř tříd přesnosti L, A, B, C. Těmto třídám přísluší i největší dovolené chyby měření, tedy 2, 5, 10 a 20 %. Dále se mohou třídit dle velikosti nejistoty měření viz. tabulka 3.1 [1].

Tabulka 3.1 Třízení luxmetrů dle nejistoty měření [1]

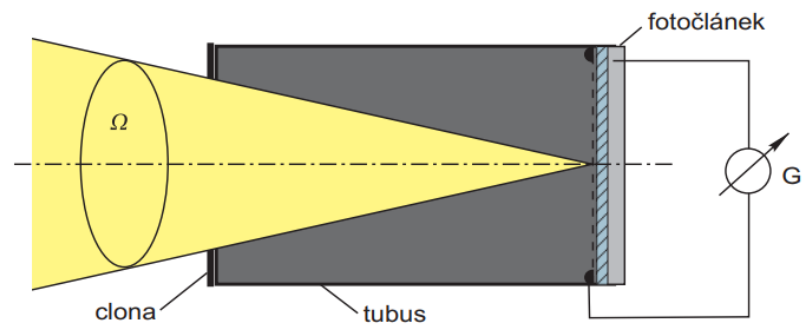
Přesnost měření	Přípustná celková odchylka [%]	Odhad rozšířené nejistoty výsledků měření [%]	Maximální doba platnosti kalibrace
Přesné	±5	$U \leq 8$	2
Provozní	±10	$8 < U \leq 14$	3
Orientační	±15	$14 < U \leq 20$	5

Luxmetry musí být opatřeny korektorem, který umožňuje nastavit nulu. Musí zvládat přetížení při daném nastaveném rozsahu 20 % po dobu 5 minut. Životnost luxmetrů se pohybuje okolo 5000 provozních hodin. Frekvenční rozsah luxmetrů se pohybuje v rozmezí od 40 do 100 000 Hz. Z hlediska konstrukce se luxmetry dělí na dvě skupiny. Monobloky, které mají fotoelektrický článek integrován do samotného krytu zařízení. Tento typ bývá malý, přenosný a je vhodný pro většinu orientačních měření. Je potřebné, aby tento typ byl vybaven určitou funkcí vzdálené fixace hodnoty. Jinak by mohlo dojít ke zkreslení výsledných hodnot např. zastíněním čidla osobou odečítající údaje. Pro měření provozní nebo přesné se používají luxmetry se vzdáleným displejem, kdy fotočlánek je spojen s vlastním měřicím přístrojem stíněným kabelem [17][19].

Měření luxmetrem je velmi zdlouhavý proces. Na začátku měření by se měl nechat luxmetr „ustálit“ v praxi, to znamená nechat luxmetr v daném měřeném prostředí zapnutý a odkrytý po dobu 5 až 15 minut. Samotné měření poté probíhá v pracovní rovině ve výši 0,85m pro vnitřní prostory a 0,2m pro venkovní prostory. Na této rovině se musí určit měřicí body, které jsou vhodně umístěny v závislosti na velikosti a tvaru měřené pracovní roviny [1].

3.2 Jasoměry

Jasoměry dělíme do dvou skupin, vizuální a fyzikální. Vizuální jasoměry využívají jednoduchý princip, při kterém pozorovatel porovnává neznámý jas s jasnem uměle vytvořeným zdrojem instalovaným v daném měřicím přístroji. Fyzikální jasoměry využívají měření světelného toku, který prochází tubusem o určitých rozměrech s clonou. Clona určuje úhel, ve kterém dopadají světelné paprsky na přijímač. Nejčastěji je tímto přijímačem fotočlánek. Princip fyzikálního jasoměru je zobrazen na obrázku 3.1 [1].



Obrázek 3.1 Princip objektivního jasoměru [17]

Na přijímač je nasazen zevnitř černý tubus, který je zepředu částečně uzavřenou clonou. Tato clona má kruhový otvor, který určuje prostorový úhel Ω , v němž dopadají paprsky na fotočlánek. Fotočlánek změří normálovou osvětlenost E_n . Střední jas L vymezen prostorovým úhlem Ω je poté dán vztahem (3.1). [17]

$$L = \frac{E_n}{\Omega} [\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (3.1)$$

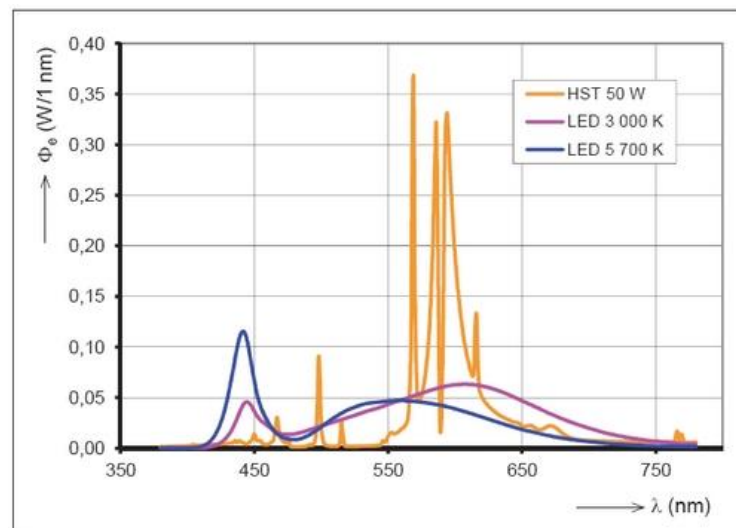
Při použití tohoto typu měřicího přístroje je potřeba brát v úvahu, že jasoměr zjišťuje střední hodnotu jasu měřené plochy, která je dána optikou měřicího přístroje v závislosti na vzdálenosti od měřeného povrchu. Proto je potřeba dbát na to, aby měřená plocha zahrnovala pouze tu část povrchu, u které chceme posoudit jas. Podle velikosti měřené plochy, resp. velikosti clony můžeme jasoměry rozdělit do dvou skupin

- Bodové – zorný úhel do 1° . Používají se pro měření velmi malých ploch.
- Integrační – zorný úhel nad 1° . Používají se pro měření větších ploch.

Jasoměry se stejně jako luxmetry řadí do tříd přesnosti L, A, B, C, kdy tyto třídy odpovídají přesnosti 5 %, 7,5 %, 10 % a 15 %. Nejistoty měření pro jasoměry jsou stejné jako u luxmetrů a jsou uvedeny v tabulce 3.1. Nejčastěji se jasoměry využívají pro měření veřejného osvětlení a osvětlení vozovek. Při tomto typu měření se musí vhodně zvolit clona tak, aby štěrbina adekvátně vyhovovala šířce vozovky a výšce, ze které se měří což je 1,5m [1][3][17].

3.3 Spektrometrie

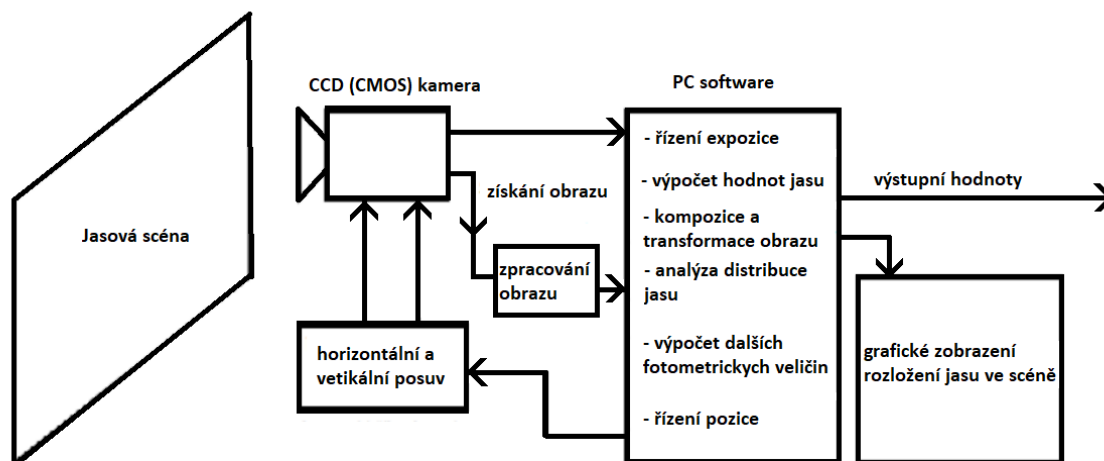
Spektrometry jsou přístroje umožňující měřit energii světelného paprsku v určité vlnové délce či v daném spektru vlnových délek. Jádrem každého spektrometru je mechanismus pro separaci optického záření na spektrální složky daného záření. Nejběžnějším mechanismem je monochromátor, který postupně propouští záření o dané vlnové délce. Toto izolované záření poté dopadá na detektor, který převádí dopadené záření na elektrický signál, který se dále zpracovává. Používají se tři typy detektorů: fotodioda, fotonásobič (PTM) a termočlánek. Fotodiody se prakticky používají pro rozsah viditelného světla. Zatímco fotonásobiče se používají jak pro viditelné spektrum, tak i pro IR spektrum záření. Termočlánky fungují na principu, že každá vlnová délka záření dokáže přenést určité množství energie. Tato energie dopadá na termočlánek, který využívá termoelektrický jev a je tak zdrojem elektrického proudu. Nejčastějším vyhodnocením výsledků je grafické zpracování, jak je vidět na obrázku 3.2 [20][21].



Obrázek 3.2 Rozložení energie pro různé zdroje záření [23]

3.4 Jasové kamery

Jasové kamery nebo též jasové analyzátory jsou zařízení, v podstatě kalibrované digitální fotoaparáty s CCD nebo CMOS snímači, které využívají specializovaný systém na vyhodnocení pořízených dat. Zjednodušený princip je znázorněn na obrázku 3.3. Výstupem je tak fotografie s velkým rozlišením, jedná se tak o datový záznam původní scény. Hlavním problémem měření jasů konvenčními jasoměry je určení polohy měřeného bodu. Toto lze vyřešit vyfotografováním měřeného objektu a zakreslování měřených bodů, nebo definováním souřadného systému. Při použití jasové kamery tento problém odpadá. Díky velkému množství naměřených hodnot se jedná o kvantitativně větší zdroj informací [22][23].



Obrázek 3.3 Princip jasových kamer – upraveno [22]

Reálná prostředí mají takové rozložení jasu, které není možné v jediném snímku rozeznat. Světelné zdroje mají vysoké jasy, zatímco v okolí nedosahují hodnoty jasu tokových hodnot. Správně bychom tedy měli nastavovat expoziční režim tak, aby byla zaznamenána největší hodnota jasu, v našem případě světelného zdroje. Problém nastane při vyhodnocení jasu okolí, který by při tomto nastavení zanikl. Výsledkem by byla černá fotografie s pár světlými body, které by představovaly světelné zdroje o vysokých hodnotách jasu. Výhodou použití digitálního fotoaparátu je možnost nastavení expozičního režimu tak, aby pokryl velký rozsah jasů, který se v měřeném prostředí vyskytuje. Je tak možné zaznamenávat jak velké, tak i nízké jasy. Volený rozsah záleží na kvalitě objektivu a zvoleným digitálním fotoaparátem. Díky softwarovému zpracování je také možné zpracování několika snímků s různou dobou expozice, a tak určit skutečné hodnoty jasu. Podmínkou pro tento postup je, aby se jednotlivé snímky neměnily, byly pořízeny ze stejného místa a za co nejkratší čas. Výsledkem je pak jedna fotografie s vysokou dynamikou jasu neboli HDR (High Dynamic Range) fotografie [22][23].

Jasové kamery mají široké uplatnění. Kromě samotného měření jasu je možné je využít i pro měření veličin s jasnem spojených. Díky jasovým kamerám můžeme zjednodušit a urychlit měření jasu. Umožňují nám získat komplexní přehled o rozložení jasu v celém měřeném prostoru, a to za velmi krátký čas. Dále nám umožňují jednoduše měřit hodnoty oslnění (UGR) viz. kapitola 2.3, analýzu viditelnosti v silničním provozu, kvalitu zobrazovacího zařízení, měření polohy bodu vzhledem k ose pozorování, statické vyhodnocení jasu pomocí histogramu nebo hodnoty rušivého světla. V současné praxi jsou jasové kamery využívány zřídka a jejich zavedení je na začátku. Jasové kamery jsou perspektivní alternativou za konvenční způsoby měření [22][23].

3.4.1 Výrobci

Výrobou jasových analyzátorů se zabývá úzké spektrum firem. Firmy, které se ve vývoji těchto přístrojů dostaly nejdále, jsou německé firmy Instrument systems, TechnoTeam a polská firma GL Optic's. Do vývoje jasových analyzátorů se zapojilo i VUT Brno.

Firma TechnoTeam vyvinula jasový analyzátor LMK 6 a jeho verzi color. Tento systém je velice variabilní. Nabízí použití celé škály objektivů a speciálních zobrazovacích systémů. Hlavním úkolem systému LMK 6 je měření jasu a jeho intenzity. Varianta analyzátoru color umožňuje i měření chromatičnosti, cirkadiánní odezvové funkce, spektrální akční funkce pro potlačení melatoninu, měření s BLH filtrem – nebezpečí modrého světla a další. Celý systém podporuje i simultánní zobrazení měřených dat z několika analyzátorů. Velkou výhodou je kompatibility s různými výpočtovými programy jako EXCEL, MatLAB a LabVIEW. TechnoTeam také vyvinul software, který upraví digitální fotoaparát na jasový analyzátor (LMK mobile R) [24][25].

Instrument systems vyvinuly LumiCam 2400B/4000B. Jedná se o analyzátor primárně určené na měření v laboratorních podmínkách, měření jasu displejů a ovládacích prvků v kokpitech a v interiérech aut. Systém LumiCam disponuje řadou funkcí, například analytické funkce, polygony, flexibilní křivky, přímé určení rozložení jasu, rozložení barevných souřadnic, rozložení vad či kontrastů [26].

Novinkou od firmy GL Optic's je analyzátor GL Opticam 3.0 4K TEC. Tento analyzátor je určen pro práci v terénu, díky kompaktním rozměrům a krytí IP 54 je připraven na různé povětrnostní podmínky. Projekt byl vytvořen za spolupráce Poznaňské technické univerzity. Celý systém je navržený tak, aby byl kompatibilní s dalšími produkty od firmy GL Optic's, což rozšiřuje jeho využití. Systém je schopen měřit bodovou svítivost, rozložení jasu, teplotu barev, index podání barev, jednotnost barev a další. K vyhodnocení měřených veličin dodává firma svůj vyvinutý software [27].

VUT Brno vyvinulo systém, který díky objektivům s filtry a softwaru upravuje digitální fotoaparát na jasový analyzátor. K fotoaparátu jsou dodávány tři typy objektivů 135 mm, 40 mm a objektiv rybí oko- 180° zorného pole. Systém LumiDISP umožňuje měřit hodnoty jasu, jeho rozložení, oslnění (UGR), kontrast jasu. Systém také umožňuje měření malých jasů pod úrovní $0,001 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ [28].

4. LEGISLATIVA A NORMY

Osvětlení venkovních prostor se řídí dle normy ČSN EN 12464-2, která definuje stanovené meze pro různé zóny životního prostředí. Pro ochranu a zlepšení nočního prostředí je nutné kontrolovat rušivé světlo (světelné znečištění). Toto světlo může představovat fyziologické a ekologické problémy pro prostředí a osoby. Tyto meze jsou stanoveny tak, aby se minimalizovaly problémy pro osoby, faunu a flóru. Limity rušivého světla ve venkovních osvětlovacích soustavách jsou uvedeny v tabulce 4.1 [29].

Tabulka 4.1 Dovolené hodnoty jasu dle normy [29]

Zóny životního prostředí	Světlo na objektech E_v [lx]		Svítivost svítidla I [cd]		Podíl horního toku R_{ul} [%]	Jas L [$cd \cdot m^{-2}$]	
	Mimo dobu nočního klidu	V době nočního klidu	Mimo dobu nočního klidu	V době nočního klidu		Fasády budov L_b	Znaky L_s
E1	2	0	2 500	0	0	0	50
E2	5	1	7 500	500	5	5	400
E3	10	2	10 000	1 000	15	10	800
E4	25	5	25 000	2 500	25	25	1000

- E1 velmi tmavé zóny – národní parky, chráněná území
- E2 málo světlé zóny – průmyslové nebo obytné venkovské oblasti
- E3 středně světlé zóny – průmyslové zóny a obytná předměstí
- E4 velmi světlé zóny – městská centra a obchodní zóny

E_v je největší hodnota svislé osvětlenosti na objektech. I je svítivost každého zdroje světla v potenciálně rušivém směru. R_{ul} označuje poměrnou část světelného toku vyzařovaného nad horizont v daném pracovním umístění svítidla. L_b je největší průměrný jas fasády budov. L_s je největší průměrný jas znaků, spadají sem informační a reklamní znaky [29].

Dalšími kritérii, která jsou u venkovních osvětlovacích soustav důležitá, jsou

- Podání tvaru – osoby a předměty mají být osvětleny tak, aby se jejich tvar a textura jevily jasně a příjemně
- Barevný tón světla (teplota chromatičnosti) – volba barevného tónu je záležitost estetická a psychologická. Barevné tóny jsou uvedeny v tabulce 4.2
- Podání barev – barvy prostředí a předmětů musí být podány správně a tam, kde je to rozumně možné, musí mít i lidská pokožka přirozenou barvu. Maximální hodnota indexu podání barev R_a (kapitola 1.2.2) je stanoven na hodnotu 100. Bezpečnostní barvy dle normy ISO 3864-1 musí být vždy správně rozlišitelné [29].

Tabulka 4.2 Barevné tóny světla [29]

Barevný tón světla	Náhradní teplota chromatičnosti T_{cp} [K]
teple bílý	do 3 300
neutrálně bílý	3 300 - 5 300
chladně bílý	nad 5 300

- Míhání a stroboskopické jevy – tyto jevy mohou vyvolat bolesti hlavy, nevolnost a mohou vést k nebezpečným situacím. Osvětlovací soustavy proto musí být navrženy tak, aby k těmto jevům nedocházelo.
- Udržovací činitel (MF)- Návrh osvětlovací soustavy musí dbát zřetel na udržovací činitel, jak je definováno v CIE 154:2003.
- Energetická hlediska – Osvětlovací soustavu by měla být navržena tak aby svůj úkol vykonávala energeticky účinným způsobem [29].

Od února roku 2023 začala platit nová norma ČSN 360459. Tato norma se zabývá nežádoucími účinky světelného osvětlení. Do této kategorie spadají i světelné reklamy. Norma určuje maximální hodnoty jasu pro období od 24:00 do 6:00 a pro maximální hodnoty osvětlenosti pro období od 22:00 do 6:00. Tedy pro období nočního klidu. Tato norma se vztahuje pro novostavby a stavby po kompletní rekonstrukci. V tabulce 4.3 Hodnoty z normy ČSN 360459 jsou uvedeny konkrétní hodnoty z normy. Norma řeší i různé provozní režimy v úsecích T1-T2-T3. Přičemž T1-22:00, T2-24:00 T3-6:00. V těchto časových úsecích by měli nejen světelné reklamy měnit úroveň osvětlení.

Tabulka 4.3 Hodnoty z normy ČSN 360459 [30]

Zóna světelného prostředí	Jas fasád budovy	Jas znaku	Svislá osvětlenost na objektech		Třída svítivosti	Podíl horního světla	Náhradní teplota chromatičnosti
	L_b ($cd \cdot m^{-2}$)	L_s ($cd \cdot m^{-2}$)	E_c (lx)		G	R_{ul} (%)	T_{cp} (K)
			veřejné osvětlení	ostatní osvětlení			
Z0	0	0	neaplikovatelné	neaplikovatelné	G^*6	0	≤ 2200
Z1	0	0	0	0	$\geq G^*4$	0	≤ 2200
Z3	≤ 2	≤ 200	≤ 5	≤ 1	$\geq G^*3$	$\leq 2,5$	≤ 3000
Z3	≤ 2	≤ 200	≤ 5	≤ 1	bez požadavku	≤ 5	≤ 3000
Z4	≤ 2	≤ 200	≤ 5	≤ 1	požadavku	≤ 15	≤ 3000

Tabulka 4.4 Časové úseky [30]

Aplikační oblast	soumrak až T1	T1 až T2	T2 až T3	T3 až úsvit
Reklamní osvětlení	100 %	50 %	vypnuto	100 %

5. CÍLE MĚŘENÍ

Měření bude mít za cíl proměřit pomocí jasového analyzátoru LDA – LumiDISP jas a teplotu chromatičnosti reklam a reklamních ploch. Samotné měření by mělo mít za úkol zmapovat jasovou situaci reklam v Brně. Cílem bude také vyhodnotit, zda reklamy splňují, popřípadě nesplňují normy pro maximální hodnoty svítivosti. V rámci přípravy na samotné měření byl podniknut průzkum reklam v centru Brna. Tento průzkum měl na základě subjektivního pozorování vytipovat reklamy, které na první pohled pozorovatele oslňují, nebo jiným způsobem ruší. Na obrázcích 5.1 a 5.2 jsou příklady objektů, které se při průzkumu jevily jako oslňující a rušivé.

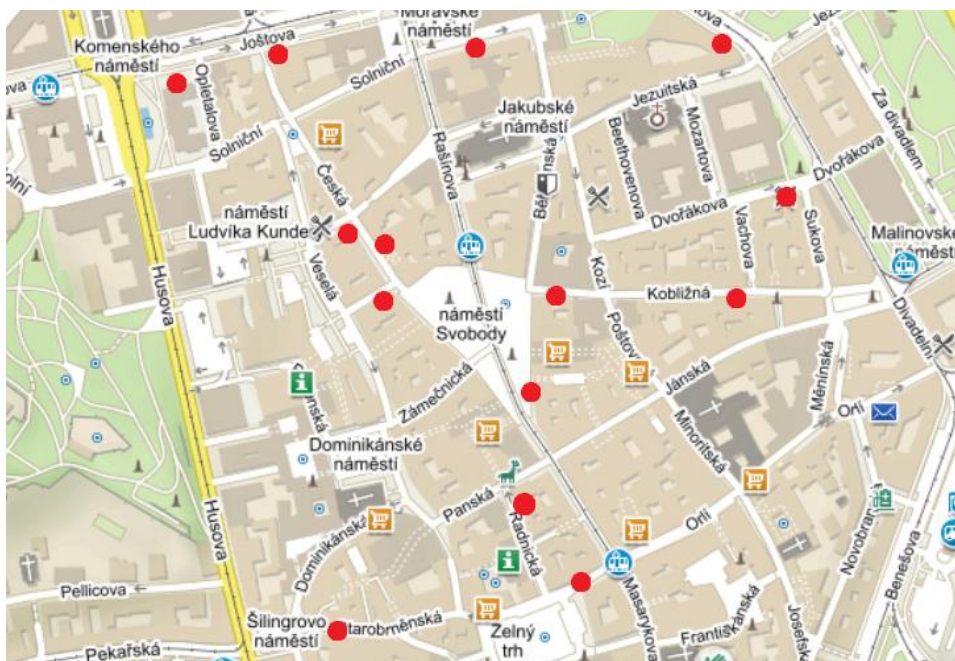


Obrázek 5.1 Světelná reklama – bankomat



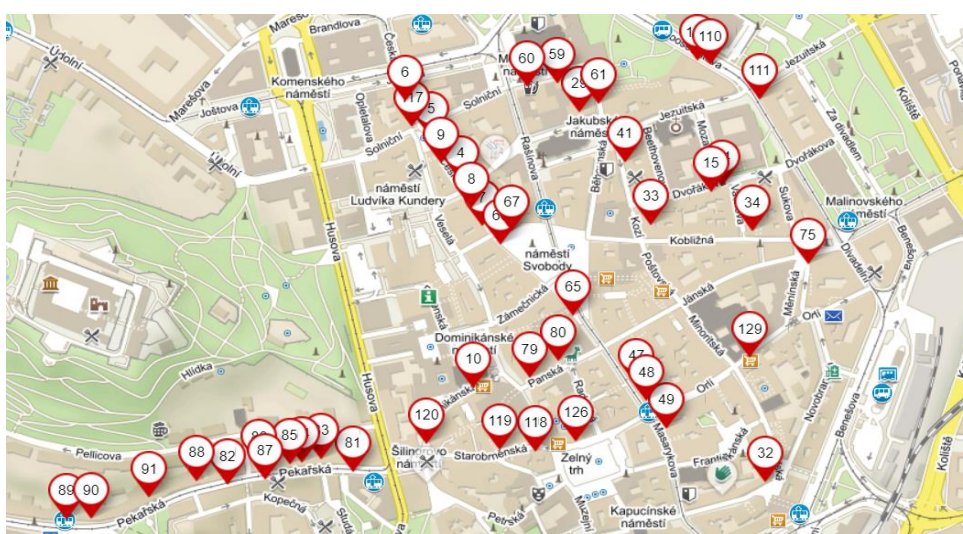
Obrázek 5.2 Světelná reklam – lékárenský kříž

Na obrázku 5.3 je znázorněna mapa s místy, která se jeví jako oslňující, nepříjemné na pozorování a jinak vyrušující. Tyto místa byli prvotním cílem měření. Z naměřených dat byla poté zpracována statistika o světlené situaci v Brně.

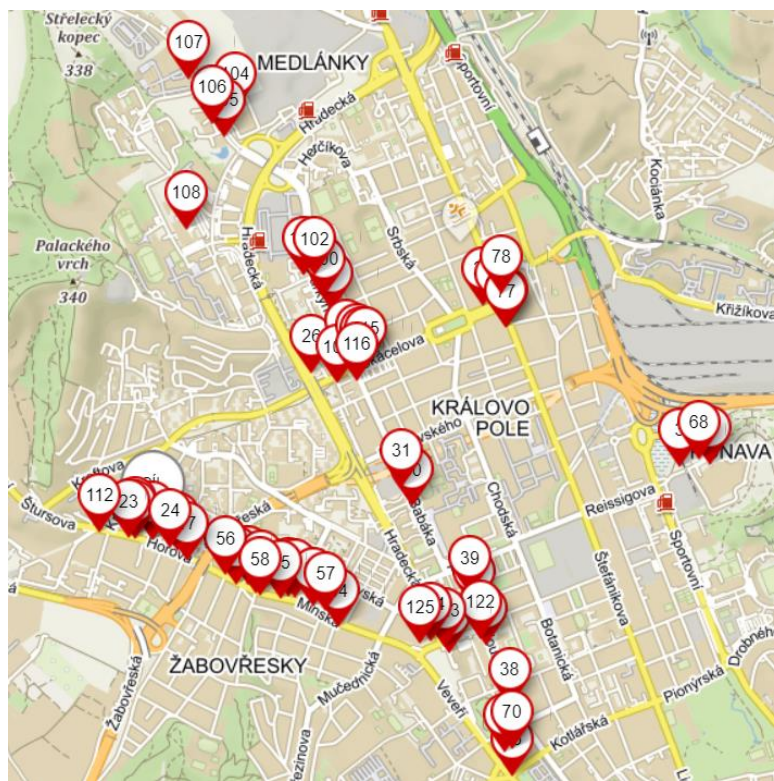


Obrázek 5.3 Mapa s vyznačenými místy

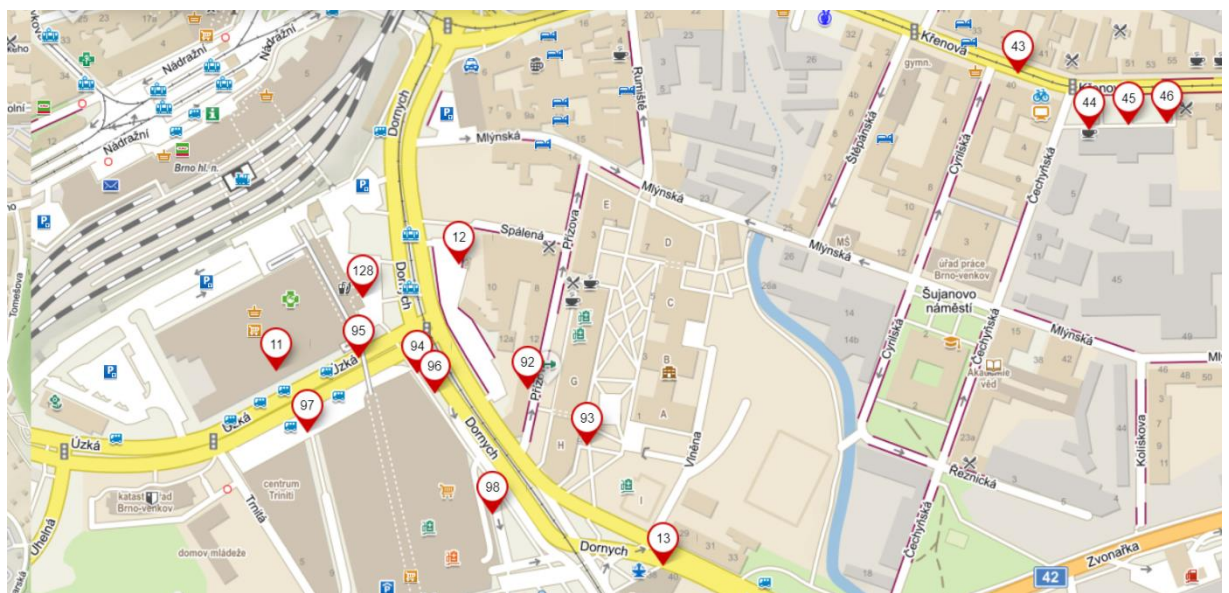
Minimální počet měřených světelných reklam byl stanoven na 100 objektů. Tento cíl se podařilo splnit a celkově bylo naměřeno 143 světelných reklam. Na obrázcích 5.4 až 5.7 jsou znázorněny místa, na kterých probíhalo měření.



Obrázek 5.4 Mapa – centrum



Obrázek 5.5 Mapa – Královo Pole



Obrázek 5.6 Mapa – Galerie Vaňkovka



Obrázek 5.7 Mapa – Campus Science Park

Měření se zaměřovalo zejména na objekty v Králově Poli, centru Brna a dvou nákupních třích nákupních parcích NC Královo Pole, NC Vaňkovka a Campus Science Park.

6. MĚŘENÍ A ZPRACOVÁNÍ DAT

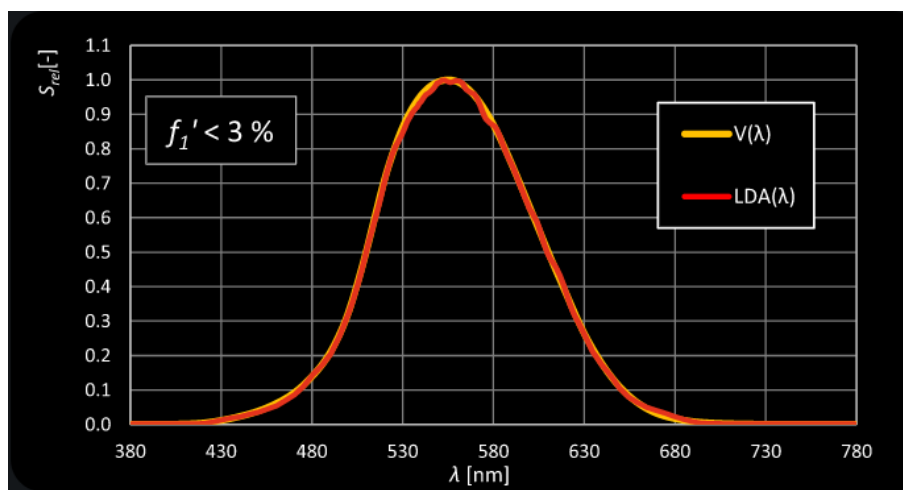
6.1 Měření

Měření probíhalo s pomocí přístroje LDA-LumiDISP, založeného na principu digitálního fotoaparátu. Byl použit upravený fotoaparát D7500 se sériovým číslem 18320-LDA-2021-1. K správnému vyfocení objektu, bylo třeba zvolit i vhodný typ objektivu. Volba objektivu se lišila v závislosti na velikosti měřeného objektu, vzdálenosti a počtu objektů na měřené ploše. Pro vzdálenější a menší objekty byl použit objektiv Sigma 135, pro objekty blíže k analyzátoru byl použit objektiv Tokina 50. Pro objekty velmi blízko, nebo pro velký počet reklam blízko sebe byl použit objektiv Sigma EXDC-FishEye.

Tabulka 6.1 Typy použitých objektivů

Typ objektivu	Nejistoty
Tokina 50 mm	9,1 %
Sigma 135 mm	9,0 %
Sigma EXDC Circulator FishEye 4,5mm	9,8 %

Všechny objektivy byly vybaveny filtrem $V(\lambda)$, tento filtr spektrálně přibližuje výsledný snímek lidskému oku. Tento filtr, lze v případě, kdyby byl jas měřeného objektu příliš velký, nahradit filtrem, který je určen pro měření velkých hodnot jasů.



Obrázek 6.1 Spektrální citlivost $V(\lambda)$ filtru [31][31]

Pro další zpracování, byl měřený objekt vždy vyfocen vícekrát. Každý snímek byl pořízen s různou dobou expozice a velikosti clony. Tento postup měl za cíl zachytit, pokud možno co největší rozsah jasů a urychlit samotné měření. Doba expozice, se v závislosti na jasu daného objektu pohybovala u tmavých objektů od 1 do 1/100 sekundy, u světlých objektů od 1/100 až do 1/8000 sekundy. Velikost clony se taktéž nastavovala individuálně. Rozsah dob expozic byl volen individuálně v závislosti na dané světelné reklamě. Měření probíhalo po setmění, zhruba od 18:00 do 22:00. Pro správné pořízení několika stejných snímků, byl potřeba pevný stativ a nastavení zpoždění spouště. Tímto se eliminovali vibrace způsobené stlačením spouště fotoaparátu.



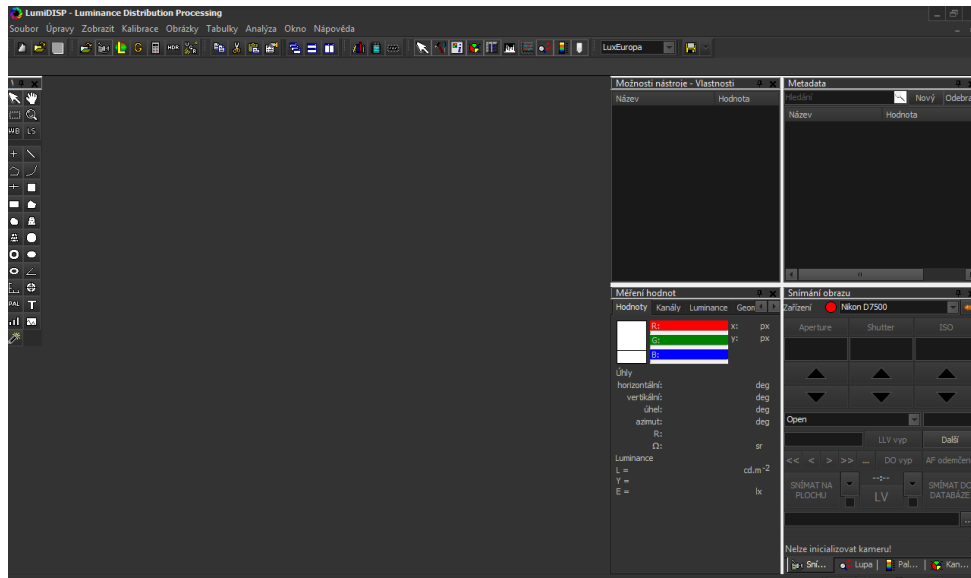
Obrázek 6.2 Měření v terénu



Obrázek 6.3 Vybavení systému LumiDISP

6.2 Zpracování dat

Pro zpracování pořízených fotografií byl použit program LumiDisp

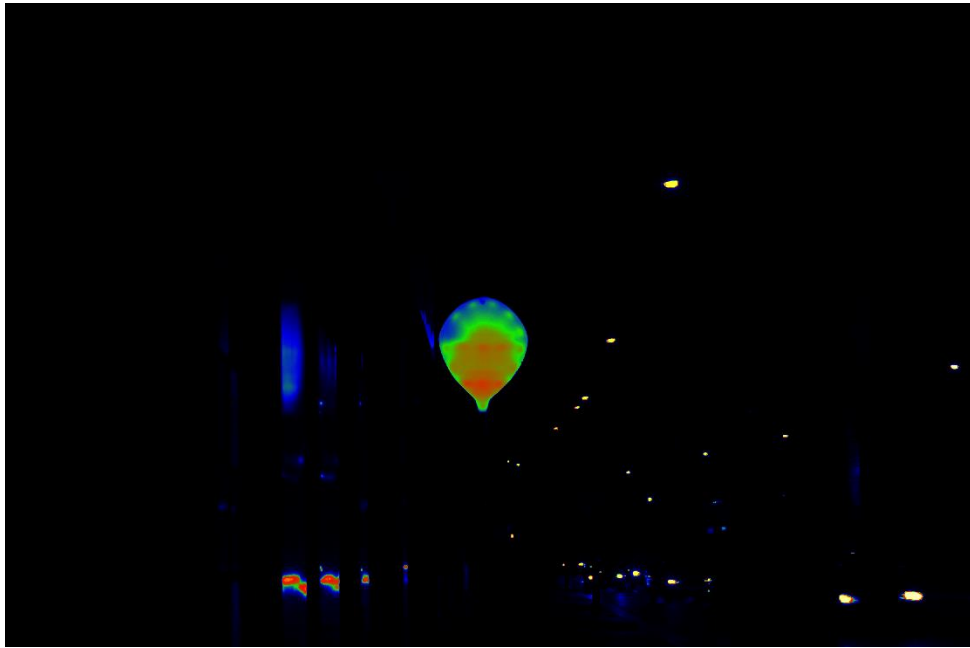


Obrázek 6.4 Rozhraní programu LumiDisp

1. Bylo potřeba vytržít pořízené snímky. Vyřadit snímky rozmazané, velmi podexponované i přexponované. Vytržené fotografie byly poté převedeny na jasové snímky.

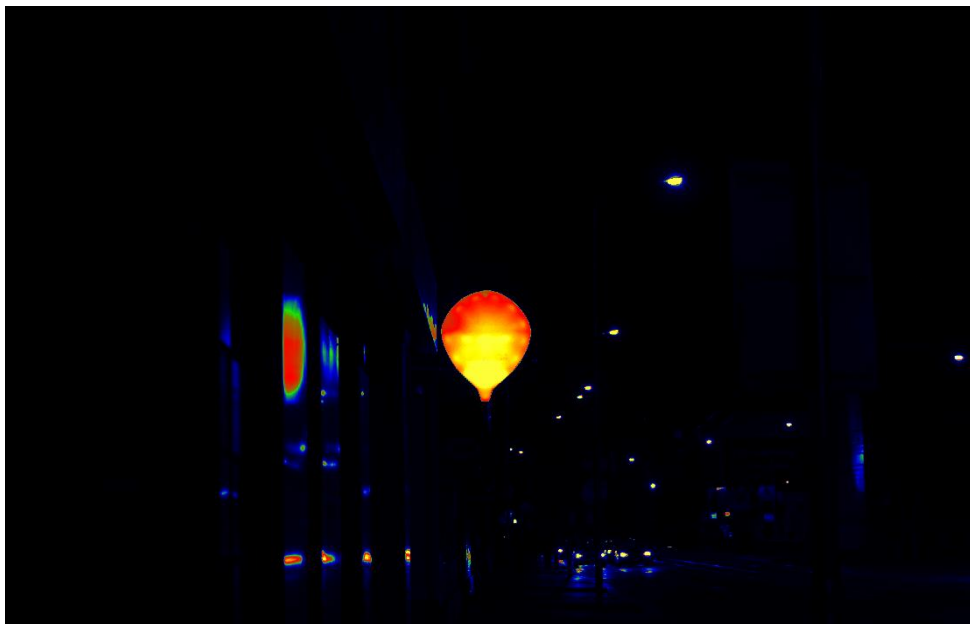


Obrázek 6.5 Pořízený snímek pomocí LDA-LumiDisp



Obrázek 6.6 Jasový snímek

2. Ke správnému zpracování, bylo potřeba vybrat takové snímky, které měly dobu expozice nastavenou tak, aby žádná část měřeného objektu nebyla přexponovaná nebo podexponovaná. K zaručení správných hodnot jasů, byla použita metoda HDR. Metoda HDR spočívá ve skládání několika snímků s různou dobou expozice do jednoho snímku. Tento výsledný snímek má pak hodnoty jasů, které mohou být zpracovány bez zanášení větší chyby měření.



Obrázek 6.7 Přexponovaný snímek

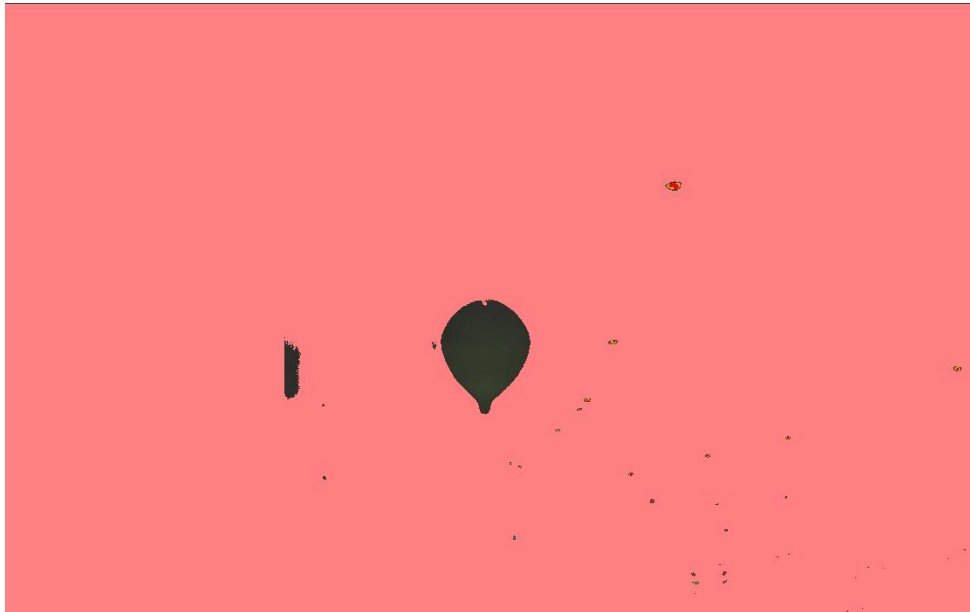


Obrázek 6.8 Podexponovaný snímek

Program LumiDisp umožňuje zvýraznění oblastí, které jsou podexponované nebo přexponované. Tato funkce umožňuje kontrolu pořízených snímků nebo kontrolu výsledného HDR snímku.



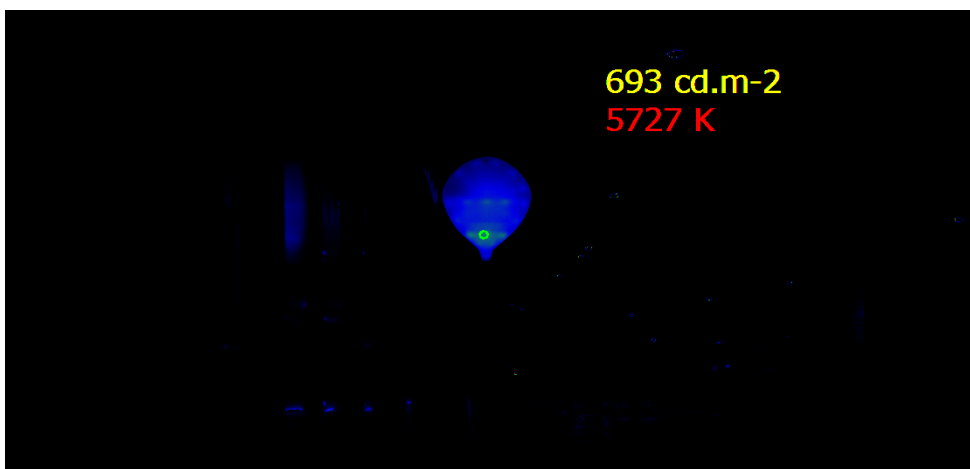
Obrázek 6.9 Zvýraznění přexponovaných oblastí



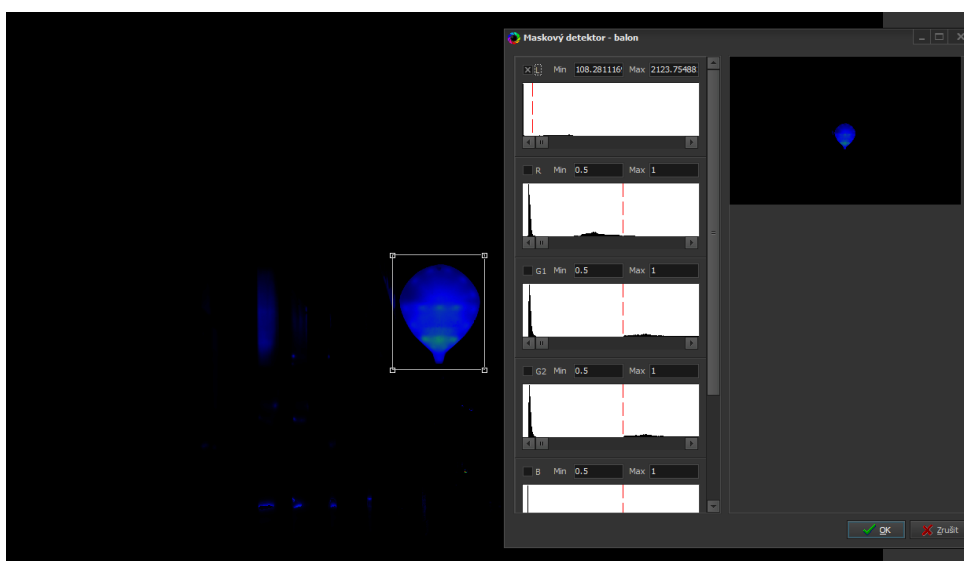
Obrázek 6.10 Zvýraznění podexponovaných oblastí

Na obrázku 6.9 a 6.10 jsou v odstínech červené zvýrazněny oblasti, které jsou buď příliš tmavé nebo světlé. Rudě červenou barvou jsou zvýrazněny oblasti velmi světlé – přexponované. Růžovou barvou poté oblasti, které jsou tmavé – podexponované.

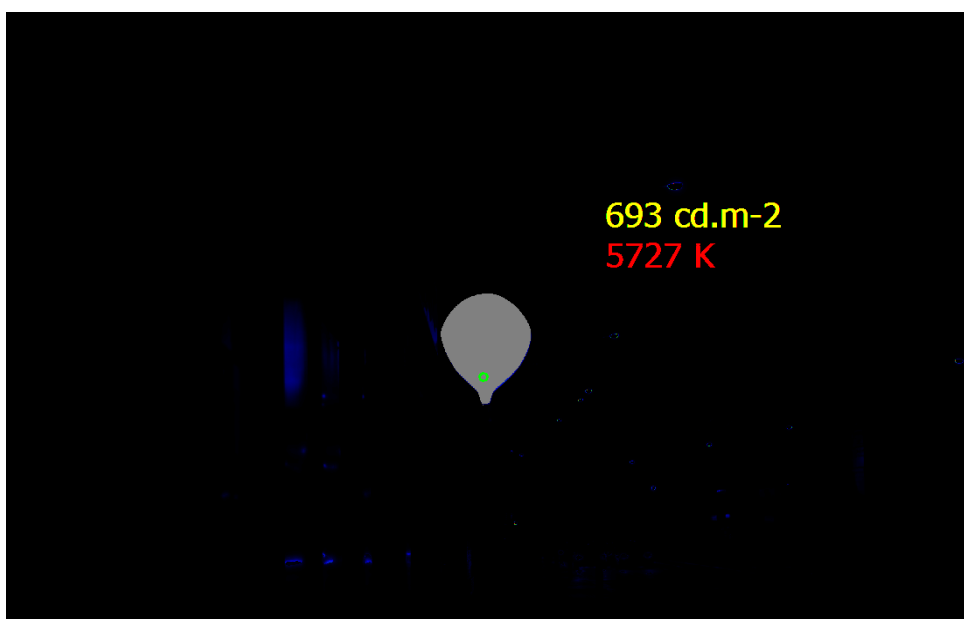
3. Na výsledném HDR snímku byla pomocí detektoru nalezena oblast s největší hodnotou jasu. K zjištění úrovně jasu, celé světelné reklamy byla použita funkce masky. Funkce maska umožňuje označit oblasti, které mají určité rozmezí jasu. Toto rozmezí lze přesně nastavit podle propozic individuálních snímků. Použitím této funkce lze do výsledných dat zanést chybu. Chyba vzniká nepřesným nastavením limitů pro jas na daném snímku.



Obrázek 6.11 HDR snímek s detektorem



Obrázek 6.12 Nastavení masky

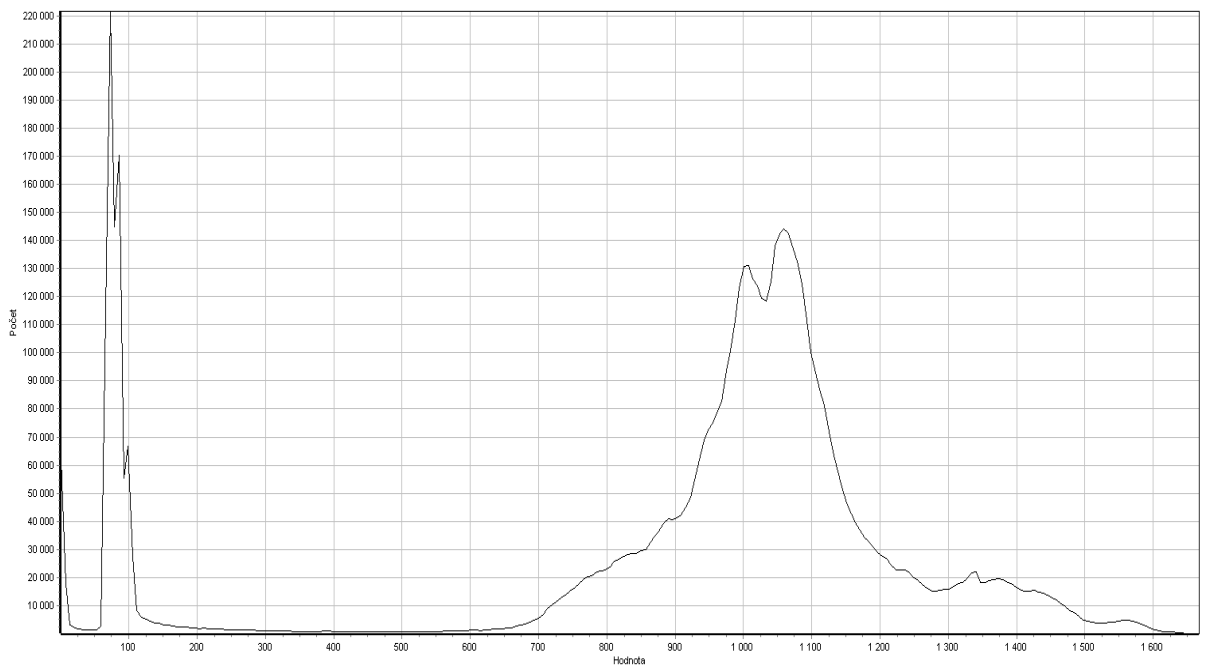


Obrázek 6.13 Finální snímek

Na obrázku 6.13 je finální snímek. Zvýrazněná šedá část je oblast, která byla označena pomocí funkce maska. Zelené kolečko označuje oblast s největší hodnotou jasu.

4. Červená hodnota udává náhradní teplotu chromatičnosti. Tato hodnota byla zjištěna pomocí aritmetického modulu. Náhradní teplota chromatičnosti byla určována pouze pro nejjasnější body světelných reklam a je tedy pouze orientační, protože některé světelné reklamy mají na různých místech různé teploty chromatičnosti.

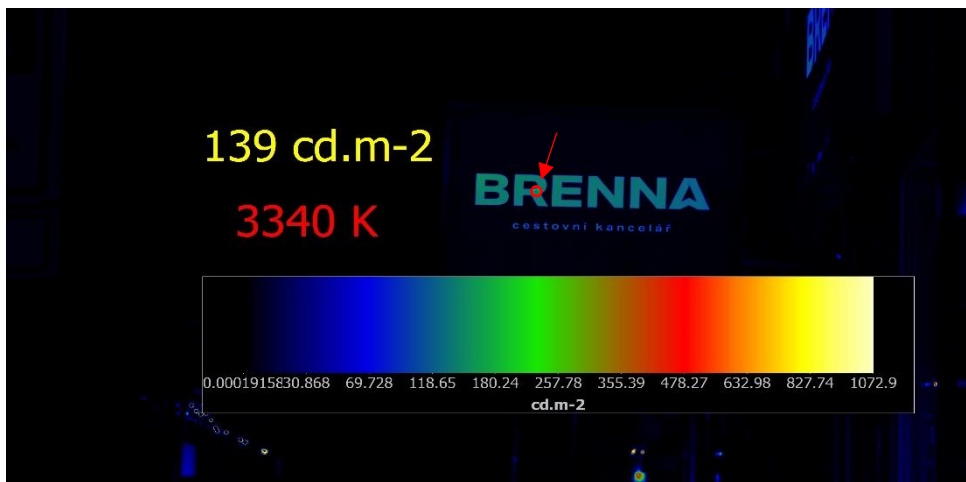
- Po zpracování všech pořízených snímků, byly hodnoty jasů a teplot chromatičnosti převedeny do tabulky. Jednotlivým objektům bylo přiřazeno ID a následně byla zpracována statistika, která porovnává naměřené výsledky s normami, zmíněnými v kapitole 4.
- Program Lumi-Disp také umožňuje vytvoření histogramu. Histogramy umožňují vizualizaci rozložení jasů. Zobrazují tedy počet pixelů s určitou hodnotu jasů ve formě grafu.



Obrázek 6.14 Histogram pro objekt 18-2A

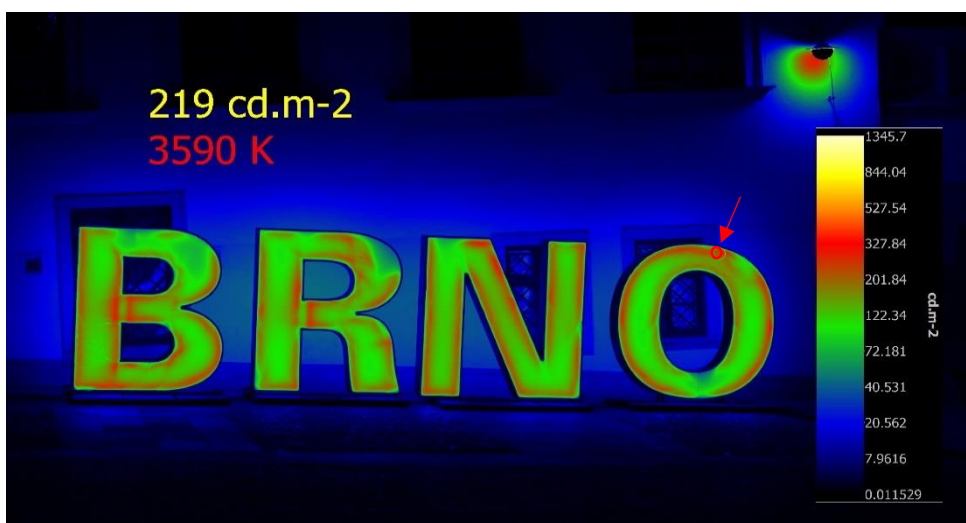
6.3 Příklady změřených světelných reklam

Na obrázcích 6.15 až 6.18 jsou světelné reklamy, které vyhovují normě ČSN EN 12464-2. Nicméně novou normu ČSN 360459 by již tyto světelné reklamy nespĺnily, z důvodu vysoké teploty chromatičnosti. U těchto reklam nastává jiný problém a to nevýraznost. Malé hodnoty jasu pod $300 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ způsobují, že pro pozorovatele reklamy zanikají v okolním prostoru. Nastává zde také situace, kdy světelná reklama působí dojmem že „nesvítí“, protože v okolním kontrastu jsou mnohem jasnější objekty, jako například reklamy s většími hodnotami jasu nebo veřejné osvětlení. Toto zaniknutí nemusí být způsobeno jen malou hodnotou jasu, ale také i výběrem barevné kombinace reklamy a jejím barevným kontrastem s okolím.



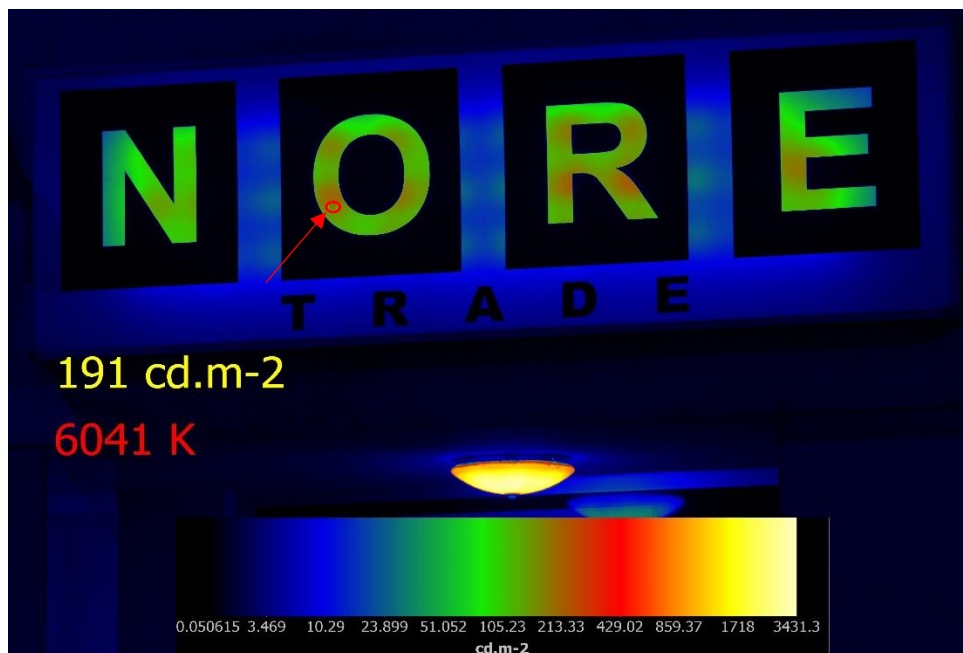
Obrázek 6.15 Světelná reklama 10-1B

Na obrázku 6.15 je světelná reklama, která velmi zaniká. Nejen že má malé hodnoty jasu, ale také zvolení barvy difuzoru do odstínu tmavě modré je nevhodné z důvodu umístění reklamy na šedou fasádu.



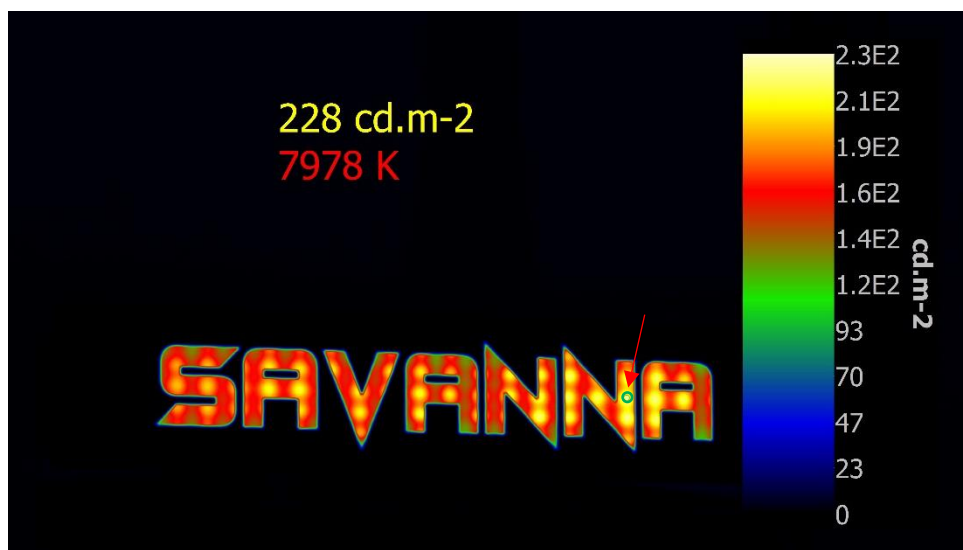
Obrázek 6.16 Světelná reklama 40-1B

Světelná reklama na obrázku 6.16 má sice malé hodnoty jasu, avšak díky svým rozměrům a umístění je dobře viditelná.



Obrázek 6.17 Světelná reklama 20-9B

Světelná reklama na obrázku 6.17 má oproti svítidlu umístěnému pod ní velmi malé hodnoty jasu. Z tohoto důvodu reklama zanikala a byla „přesvícena“ svítidlem pod ní.



Obrázek 6.18 Světelná reklama 18-8B

Obrázek 6.18 dokazuje, jak důležité je správné navržení krytu – difuzoru světelné reklamy. Na snímku lze dobře pozorovat rozložení LED čipů a následný rozptyl světla.

Světelné reklamy na obrázcích 6.19 a 6.20 splňují kritéria popsaná v normě ČSN EN 12464-2. Světelné reklamy, které se jasnem pohybují od $300 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ do $700 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ se pozorovateli nejeví jako tmavé, ani příliš jasné. Hodnoty jasu v rozmezí od $700 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ do $1000 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ sice splňují dané normy, ale již se mohou jevit jakožto příliš jasné až oslňující. Velmi záleží na okolním kontrastu a umístění dané světelné reklamy. Velkým faktorem je také velikost světelné reklamy. Reklamy s menší plochou se mohou jevit jako více oslňující než reklamy s větší plochou při stejné hodnotě jasu.



Obrázek 6.19 Světelná reklama 30-2B

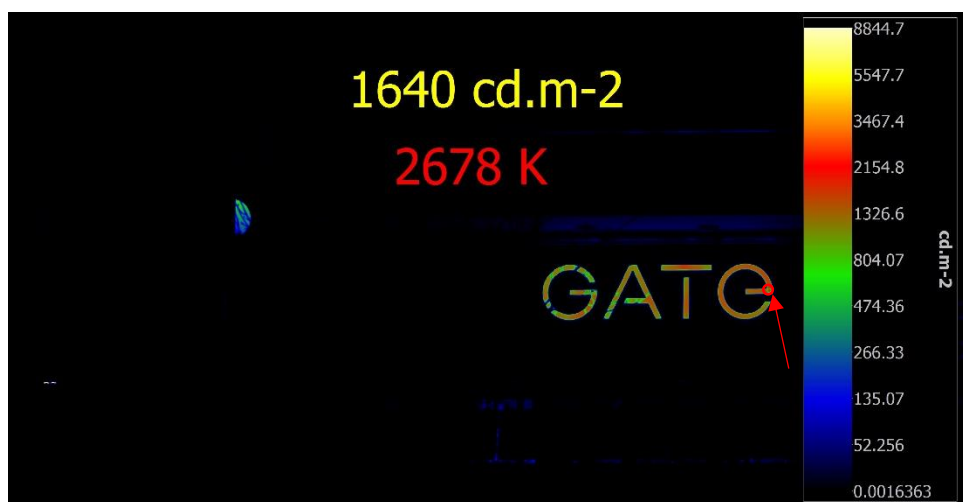
Velké pozitivum objektu 30-2B je že od 24:00 je tato světelná reklam vypnutá. Z hlediska hodnot jasu se tento objekt pohybuje v mezích dané normou.



Obrázek 6.20 Světelná reklama 18-5B

Na obrázku 6.20 je světelná reklama, která splňuje normu. Světelné zdroje této reklamy jsou LED čipy. Srovnávací stupnice zde udává hodnotu $10973 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ tato hodnota se ovšem nevztahuje k dané světelné reklamě ale k svítidlu umístěnému ve výloze pod světelnou reklamou.

Světelné reklamy na snímcích 6.21 až 6.27 znázorňují reklamy, které porušují maximální hodnoty jasu uvedené v normě ČSN EN 12464-2. Hodnoty na obrázcích jsou hodnoty naměřené v místech s největší hodnotou jasu dané světelné reklamy. I když některá místa reklamy mohla svou úrovní jasu splňovat danou normu, tak reklama jako celek tuto normu nespĺňuje.



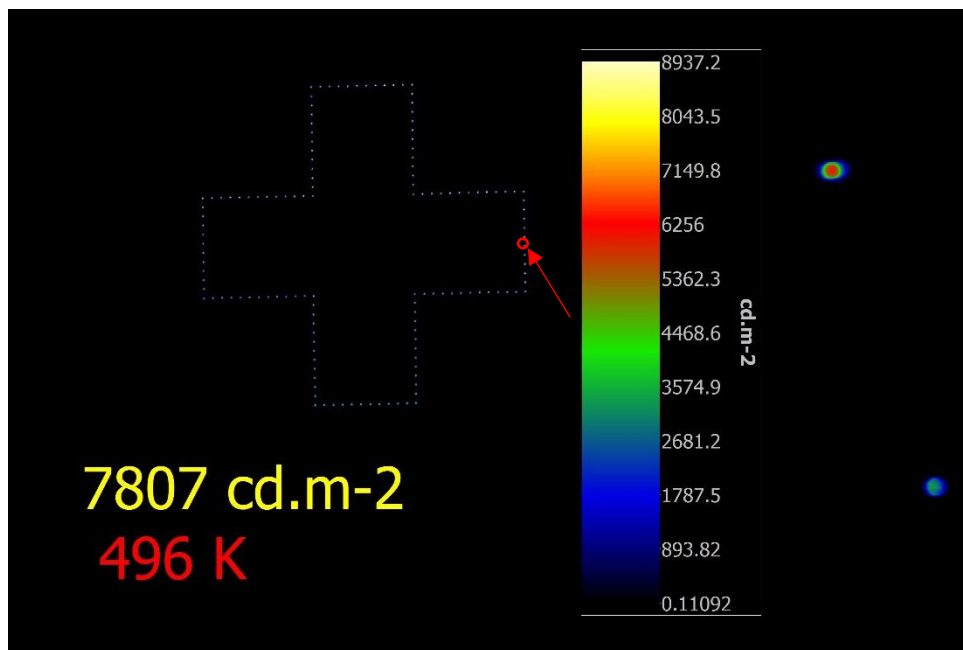
Obrázek 6.21 Světelná reklama 5-3A

Světelná reklama 5-3A na obrázku 6.21 používá difuzor, ale používá i LED čipy s velkou hodnotou jasu. Zvolený difuzor tedy plní svou funkci, ale nedokáže světlo utlmit a rozptýlit natolik aby celkový jas a jas v nejjasnějším místě klesl pod hodnotu $1000 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$.



Obrázek 6.22 Světelná reklama 30-11B

Reklama na obrázku 6.22 se snaží napodobit neonové reklamy pomocí použití LED pásek. Toto použití ovšem zapříčiňuje velké hodnoty jasu, protože nebyl použit difuzor.



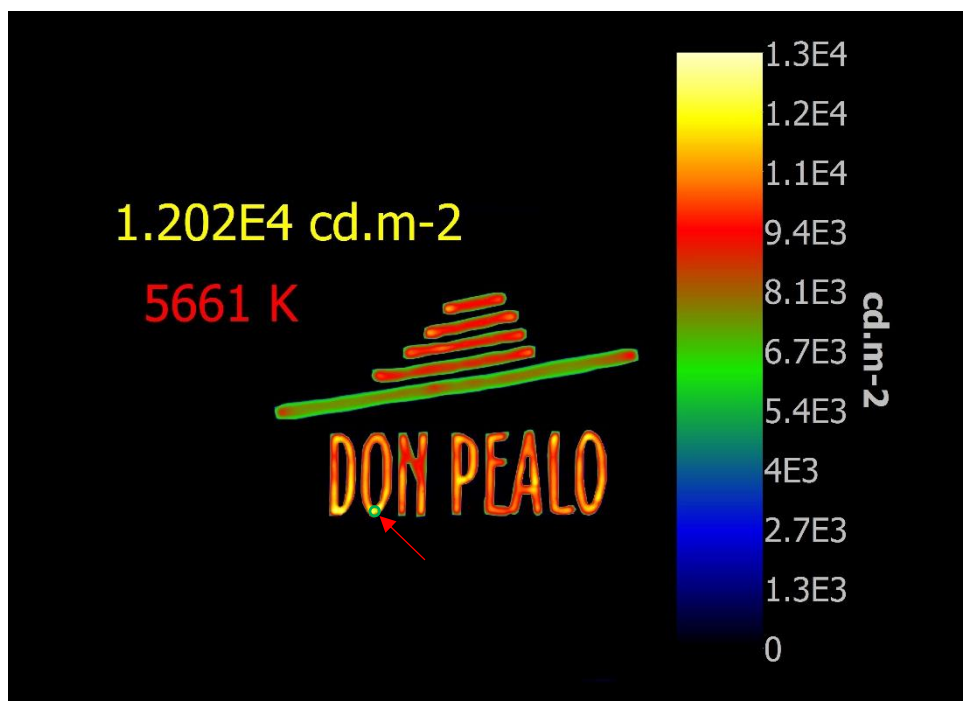
Obrázek 6.23 Světelná reklama 20-3B

Reklama na obrázku 6.23 používá velké množství LED čipů bez difuzoru. To zapříčiňuje že pozorovatel může pozorovat LED čipy napřímo. U některých reklam tohoto typu navíc dochází k blikání, což působí velmi rušivým a oslňujícím dojmem.

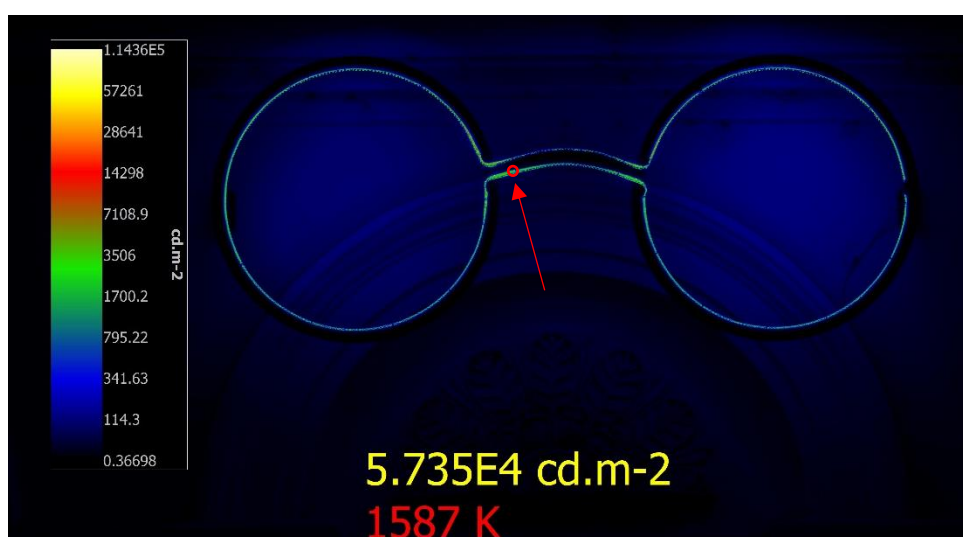


Obrázek 6.24 Světelná reklama 14-2B

Reklamy na obrázcích 6.24 a 6.25 mají stejný problém, a to zvolení příliš jasných LED čipů na malé plochy difuzorů. Tento úkaz se při měření vyskytoval velmi často. Barva difuzorů byla zvolena bílá a LED čipy se svou teplotou chromatičnosti pohybovali v oblasti teplé bíle až neutrální bíle tedy okolo 4000-5500 K. Reklama 14-2B je umístěna v okolí křižovatky. Může zde tak docházet k oslnění řidičů či odvedení pozornosti, což může vést k nebezpečným situacím. Reklam 14-2B se ovšem od 22:00 vypíná.

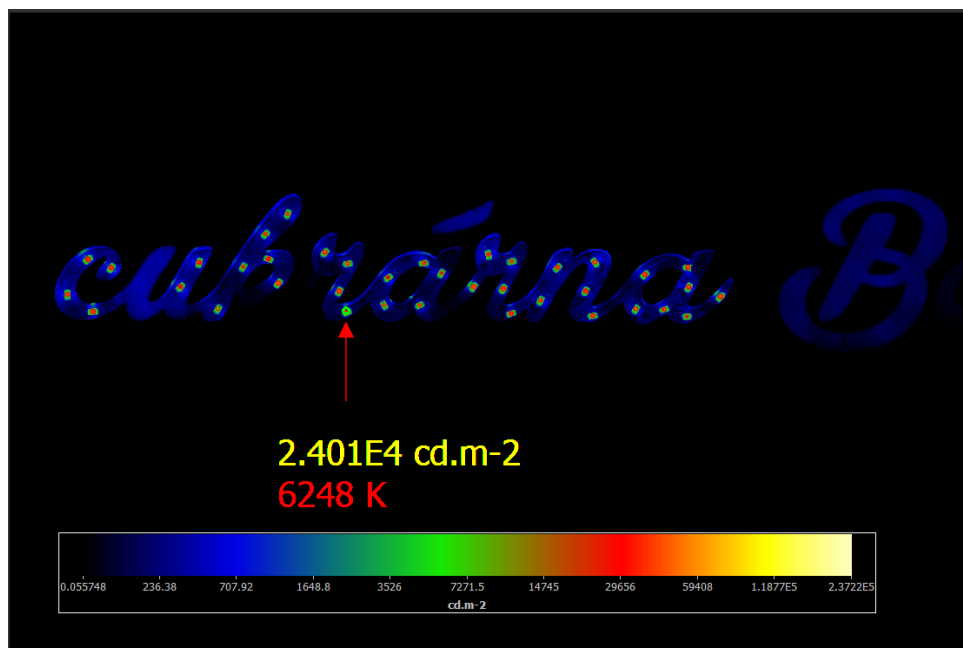


Obrázek 6.25 Světelná reklama 23-1B



Obrázek 6.26 Světelná reklama 30-6B

Světelná reklama 30-6B využívá pevný rám jako stínidlo pro pod ním umístěný LED pásek. U této metody návrhu reklamy hrozí riziko, že rám bude příliš malý a nedokáže zastínit všechny LED čipy z Led pásku. Tento případ nastal právě na obrázku 6.26. Kdy z různých úhlů lze pozorovat přímo LED čipy.



Obrázek 6.27 Světelná reklama 20-6B

Na obrázku 6.27 je zobrazena světelná reklama, která má poškozený kryt. Poškození krytu způsobily odkrytí LED. Na tomto příkladu je patrné, jak důležité je správné navržení krytů reklam. Největší hodnota jasu pro tento případ byla 24008 cd·m⁻². Zbytek pixelů z vymaskované části dosahoval hodnot jasu okolo 700 cd·m⁻². Pokud by nebyl poškozen kryt, jak je možné pozorovat na písmeně B, reklama by splňovala kritéria dané normou.

6.4 Zhodnocení výsledků

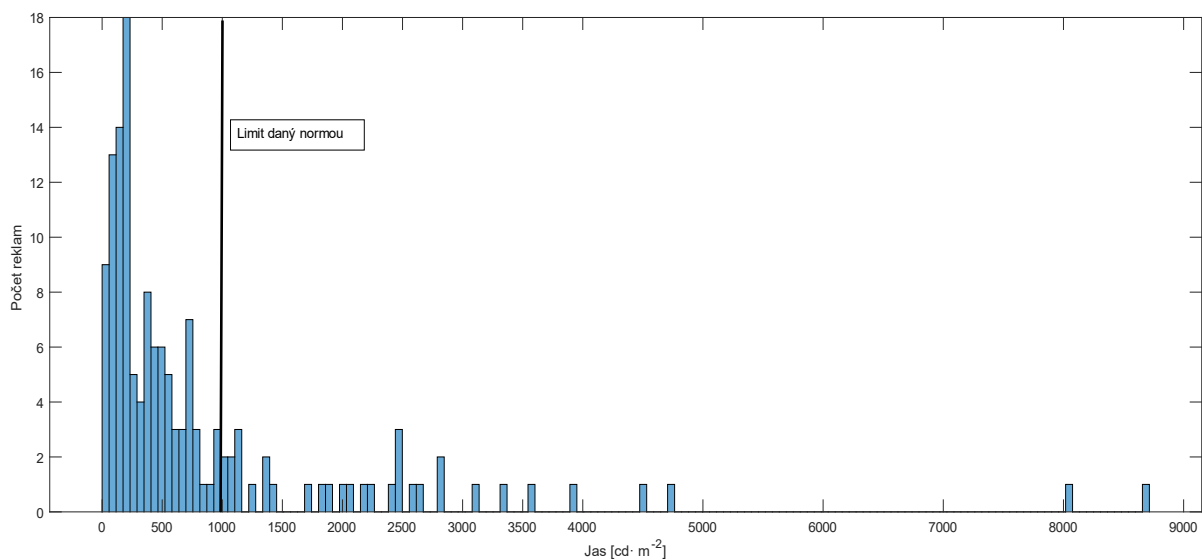
Celkem bylo změřeno 143 světelných reklam. Průměrný jas měřených objektů odpovídá hodnotě $868,5 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$. Norma ČSN EN 12464-2 udává maximální hodnoty jasů pro městská centra a obchodní zóny. Tato hodnota je stanovena na $1000 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$, porušuje ji 34 měřených objektů, což odpovídá 24 % z celkového počtu měřených světelných reklam. Pokud vezmeme v úvahu detaily některých světelných reklam a lokální body s největší hodnotou jasů, zvedne se počet nevyhovujících objektů na 59. Pokud vyřadíme objekty, které porušují normu průměrné hodnota jasů klesne na $471,4 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$.

Největší jas celé světelné reklamy dosáhl hodnoty $8700 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$. Lokální bod s největší intenzitou jasů dosáhl hodnoty $57348 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$. Takto velká hodnota byla naměřena, protože měřená světelná reklama používala LED čipy, které měly špatně navrhnoutou clonu a pozorovateli nic nebránilo přímému pohledu na čipy. Zajímavé je že tato hodnota byla vyšší než hodnota jasů naměřená u reklamy, kde došlo k poškození krytu reklamy a pozorovatel tak mohl vidět přímo LED čipy. U této reklamy byla naměřena hodnota jasů $24008 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$.

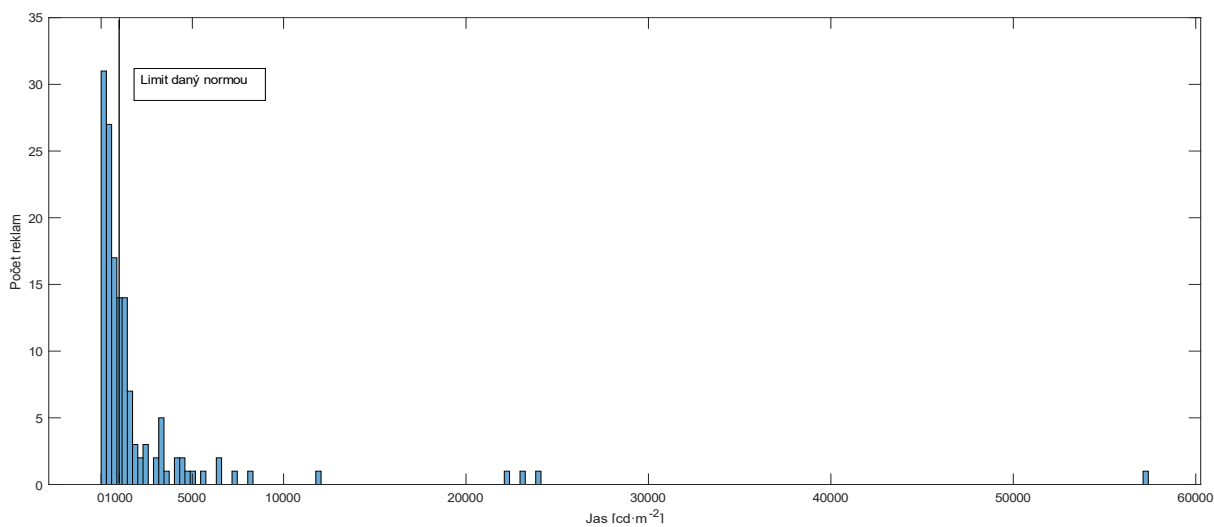
Nejmenší naměřená hodnota jasů byla $12,84 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$. Tato světelná reklama již zanikala mezi ostatními světelnými objekty a veřejným osvětlením. Světelné reklamy, které měly hodnotu jasů do $300 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ byly málo viditelné, zanikaly mezi ostatními objekty a částečně ztrácely smysl. Těchto reklam bylo celkem naměřeno 19.

Z pozorování několika světelných reklam bylo zjištěno že jsou zapnuté i v momentě, kdy je daný obchod zavřen. Většinou tento případ nastal po 18:00. Zde nastává otázka, zda světelné reklamy plní svůj účel a nejsou již zbytečné. Může zde nastat i nebezpečná situace v podobě neúmyslného zmatení, a to například v případech lékárenských poutačů, které velmi často mají podobu zdravotnického kříže. Mohla by vzniknout situace milného hledání první pomoci v místě, které je již zavřeno a nikdo v něm není. Trend navyšování jasů světelných reklam zřejmě vznikl tím, že v centrech měst jsou obchody velmi blízko k sobě a společnosti se snaží co nejvíce zaujmout potenciální zákazníky.

Je pozitivním faktem že od února vstoupila v platnost nová norma, která řeší situaci ohledně světelného smogu. Nicméně tato norma se vztahuje pouze na nové objekty, a navíc je nezávazná. Řešení by bylo uvést v platnost vyhlášku, která zavazuje provozovatele světelných reklam o dodržování příslušných norem. To by měla za následek nejen zlepšení situace světelného smogu, ale i ušetření elektrické energie. Dalším řešením by bylo nahrazení některých světelných zdrojů za jiné, novější, které požadavky stanovené normami splňují.



Obrázek 6.28 Histogram světelných reklam – celé reklamy



Obrázek 6.29 Histogram světelných reklam – nejjasnější body

Histogramy na obrázcích 6.28 a 6.29 graficky znázorňují situaci světelných reklam z pohledu rozložení velikostí jasů. V tabulce 6.2 jsou uvedeny výsledky z měření. Červenou barvou jsou označeny objekty, které svou hodnotou jasu porušují danou normu. Oranžovou barvou jsou zvýrazněni objekty, u kterých vlivem nejistoty měření nelze přesně říct, zda normu porušují či nikoliv. Na nejistotu měření měl vliv použitý objektiv dle tabulky 6.1.

Tabulka 6.2 Naměřené hodnoty

ID	Průměrný jas [cd·m ⁻²]	Směrodatná odchylka [cd·m ⁻²]	Typ objektivu	Nejistota měření [cd·m ⁻²]	T _{cp} [K]
10-1B	117,2	36,7	Tokina 50mm	10,7	2788,1
11-1B	85,0	55,8	Sigma 135mm	7,7	732,6
11-2B	357,6	343,7	Sigma 135mm	32,2	1822,8
1-1B	134,8	144,4	Tokina 50mm	12,3	724,2
12-1B	238,6	163,9	Tokina 50mm	21,7	2087,4
13-1B	8700,9	10208,6	Tokina 50mm	791,8	72,7
13-2B	319,1	95,1	Sigma 135mm	28,7	3216,7
13-3B	1384,5	474,7	Sigma 135mm	124,6	4724,0
14-1B	4737,5	2124,5	Sigma 135mm	426,4	4840,3
14-2B	4499,5	2321,7	Sigma 135mm	405,0	5043,3
15-1B	285,6	172,3	Sigma 135mm	25,7	2370,5
15-2B	104,1	91,4	Tokina 50mm	9,5	2881,9
15-3B	220,7	84,1	Sigma 135mm	19,9	1526,1
15-4B	279,3	76,1	Tokina 50mm	25,4	1963,9
16-1B	352,7	116,5	Tokina 50mm	32,1	2229,0
17-1B	749,3	182,3	Sigma 135mm	67,4	7518,9
17-1D	550,8	259,3	Sigma 135mm	49,6	5672,7
18-1B	380,0	137,4	Tokina 50mm	34,6	5461,9
18-2A	939,9	365,4	Sigma 135mm	84,6	4956,9
18-3B	36,9	11,8	Tokina 50mm	3,4	2876,1
18-4B	447,7	107,5	Tokina 50mm	40,7	3792,4
18-5B	729,8	335,2	Tokina 50mm	66,4	2578,6
18-6B	12,8	4,8	Tokina 50mm	1,2	218,0
18-7B	296,2	252,5	Sigma 135mm	26,7	3909,0
18-8B	157,0	34,7	Sigma 135mm	14,1	7849,0
19-1B	687,7	144,2	Tokina 50mm	62,6	0
19-2B	3337,5	993,5	Tokina 50mm	303,7	5178,5
19-3B	2041,6	392,2	Tokina 50mm	185,8	5894,9
20-10B	39,0	5,2	Sigma 135mm	3,5	0
20-1B	498,3	196,7	Sigma 135mm	44,8	4247,7
20-2B	43,9	12,2	Sigma 135mm	4,0	0
20-3A	1882,8	2251,2	Tokina 50mm	171,3	987,9
20-4B	62,4	58,8	Tokina 50mm	5,7	933,6
20-5B	512,3	213,5	Tokina 50mm	46,6	1842,4
20-6B	1029,4	4273,4	Sigma 135mm	92,6	6144,6
20-7B	229,7	223,5	Tokina 50mm	20,9	347,9
20-8B	66,3	56,1	Tokina 50mm	6,0	60,6
20-9B	112,6	44,7	Sigma 135mm	10,1	5202,6
21-1B	2233,5	904,5	Tokina 50mm	203,2	4698,8

21-2B	931,3	176,8	Tokina 50mm	84,7	5063,3
21-3B	877,5	307,0	Sigma 135mm	79,0	4650,5
2-1B	2810,6	1016,6	Sigma 135mm	253,0	3825,3
22-1B	484,2	130,3	Tokina 50mm	44,1	3372,2
2-2C	2821,3	867,2	Tokina 50mm	256,7	3630,0
23-1B	8051,5	2545,7	Tokina 50mm	732,7	5342,3
23-2B	2608,4	1347,7	Tokina 50mm	237,4	4550,6
23-3B	1429,2	310,1	Tokina 50mm	130,1	4293,8
2-3B	1263,9	954,6	Sigma 135mm	113,7	2127,8
2-3D	1823,5	1281,5	Sigma 135mm	164,1	3649,3
24-1B	408,5	190,7	Sigma 135mm	36,8	7200,2
2-4C	20,0	3,7	Sigma 135mm	1,8	1314,8
25-1B	146,6	57,6	Tokina 50mm	13,3	2586,3
25-2B	1980,2	4303,4	Tokina 50mm	180,2	203,8
26-1B	1074,2	1312,1	Tokina 50mm	97,8	5028,7
26-2B	174,6	30,6	Tokina 50mm	15,9	67,6
26-3B	655,8	283,5	Sigma 135mm	59,0	4120,1
2-6A	87,7	34,2	Tokina 50mm	8,0	4066,0
27-1B	3921,2	1032,5	Tokina 50mm	356,8	4734,8
2-7A	26,4	32,8	Tokina 50mm	2,4	1088,6
28-1C	540,9	189,8	Tokina 50mm	49,2	6072,0
28-2B	1001,8	423,4	Tokina 50mm	91,2	6505,2
28-3B	229,1	221,0	Tokina 50mm	20,9	4974,6
2-8A	126,7	51,9	Tokina 50mm	11,5	5571,7
29-1B	1158,9	329,1	Tokina 50mm	105,5	5382,5
29-2B	388,4	55,2	Tokina 50mm	35,3	2794,1
2-9A	73,6	22,4	Tokina 50mm	6,7	4323,0
30-10B	331,2	257,8	Sigma 135mm	29,8	4591,5
30-11B	2176,4	1013,0	Sigma 135mm	195,9	2175,5
30-1A	198,4	76,6	Tokina 50mm	18,1	5003,7
30-2B	537,0	226,8	Tokina 50mm	48,9	2773,3
30-3A	35,9	32,6	Tokina 50mm	3,3	788,6
30-4B	146,9	34,0	Tokina 50mm	13,4	3311,0
30-5B	368,1	89,8	Tokina 50mm	33,5	4755,5
30-6B	2448,3	3877,8	Sigma 135mm	220,4	3978,5
30-7B	358,1	143,6	Sigma 135mm	32,2	1201,6
30-8B	177,2	110,5	Sigma 135mm	15,9	3050,4
30-9B	95,0	48,5	Tokina 50mm	8,6	201,9
31-1B	203,8	218,6	Sigma 135mm	18,3	1122,1
31-2B	624,9	375,8	Sigma 135mm	56,2	3131,3
3-1B	2490,4	661,2	Tokina 50mm	226,6	5722,0
32-10B	197,5	79,2	Sigma 135mm	17,8	1343,3
32-11B	82,9	19,3	Tokina 50mm	7,5	325,4
32-12B	206,4	52,1	Sigma 135mm	18,6	6916,3

32-13B	149,3	77,5	Sigma 135mm	13,4	3059,0
32-4B	190,0	96,2	Tokina 50mm	17,3	1062,9
32-5B	449,5	382,8	Sigma 135mm	40,5	2113,9
32-6B	518,8	240,8	Sigma 135mm	46,7	3883,8
32-7B	284,5	79,3	Tokina 50mm	25,9	2125,0
32-8B	527,5	340,3	Sigma 135mm	47,5	4198,5
32-9B	166,5	84,5	Sigma 135mm	15,0	1197,2
3-2B	2663,2	1289,4	Tokina 50mm	242,4	5028,7
33-1B	188,7	79,1	Tokina 50mm	17,2	4412,7
33-2B	769,1	196,2	Tokina 50mm	70,0	3622,8
33-3B	754,7	333,3	Sigma 135mm	67,9	4298,1
33-4B	106,1	36,2	Tokina 50mm	9,7	5027,2
33-5B	273,3	193,8	Sigma 135mm	24,6	936,9
33-6A	188,7	125,5	Sigma 135mm	17,0	1104,0
33-7A	222,1	97,0	Tokina 50mm	20,2	1869,3
33-8A	589,1	305,6	Sigma 135mm	53,0	2208,2
3-3B	1132,6	441,6	Tokina 50mm	103,1	4052,6
34-1B	761,8	151,6	Tokina 50mm	69,3	3596,1
3-4B	394,8	342,9	Tokina 50mm	35,9	2605,9
35-1B	700,6	572,9	Tokina 50mm	63,8	4898,1
3-5B	731,4	252,2	Tokina 50mm	66,6	4776,4
36-1B	150,0	42,6	Tokina 50mm	13,6	6171,4
3-6B	1066,3	206,3	Tokina 50mm	97,0	5442,8
37-1B	3567,8	1249,1	Sigma 135mm	321,1	5192,2
37-3A	2389,7	1371,0	Tokina 50mm	217,5	4812,7
37-3B	528,7	380,0	Sigma 135mm	47,6	2448,0
3-7B	842,5	347,3	Tokina 50mm	76,7	5435,4
38-1B	74,0	96,2	Sigma 135mm	6,7	991,8
39-1B	442,3	69,8	Sigma 135mm	39,8	5361,3
39-2B	204,6	59,0	Tokina 50mm	18,6	1280,5
39-3B	63,7	13,1	Sigma 135mm	5,7	1290,0
39-4B	366,2	262,9	Sigma 135mm	33,0	3116,3
39-5B	302,3	117,7	Sigma 135mm	27,2	1371,1
39-6B	721,9	678,4	Sigma EXDC Circulator FishEye 4,5mm	70,7	4074,2
39-7B	1353,8	488,6	Tokina 50mm	123,2	5142,5
39-8B	198,4	113,0	Sigma 135mm	17,9	419,7
39-9B	752,4	502,7	Tokina 50mm	68,5	3153,2
40-1B	204,0	40,4	Tokina 50mm	18,6	4112,5
40-2B	64,8	8,6	Sigma 135mm	5,8	0
41-1B	144,7	37,2	Tokina 50mm	13,2	4811,7
4-1B	476,0	524,9	Sigma 135mm	42,8	1559,8
42-1B	1685,1	1485,3	Sigma 135mm	151,7	23,0

5-1B	168,5	54,2	Tokina 50mm	15,3	1286,0
5-3A	1124,5	349,2	Sigma 135mm	101,2	3611,4
5-4B	178,8	66,8	Sigma 135mm	16,1	3957,7
5-5B	957,6	229,8	Sigma 135mm	86,2	4748,5
5-6B	38,3	15,4	Sigma 135mm	3,4	0
6-1B	453,5	93,3	Sigma 135mm	40,8	4448,5
7-1B	438,2	218,4	Sigma 135mm	39,4	4537,7
7-2B	669,2	245,4	Sigma 135mm	60,2	3540,6
7-3B	759,1	603,0	Tokina 50mm	69,1	4566,4
7-4B	37,2	29,3	Sigma 135mm	3,3	1963,5
7-5B	155,6	48,4	Sigma 135mm	14,0	3057,8
7-6B	582,4	213,7	Tokina 50mm	53,0	1760,9
7-7B	165,9	30,6	Tokina 50mm	15,1	4932,6
7-8B	226,2	138,8	Tokina 50mm	20,6	2347,0
8-1B	137,9	90,6	Sigma 135mm	12,4	1273,9
9-1B	2463,8	1513,5	Tokina 50mm	224,2	5616,8
9-2B	3117,7	1725,1	Tokina 50mm	283,7	5437,2
9-3B	471,1	141,6	Tokina 50mm	42,9	5060,3

U některých objektů nastala chyba při výpočtu náhradní teploty chromatičnosti. Tato chyba se projevila jako nulová hodnota. Chyba vznikla nejčastěji u nejjasnějších bodů světelných reklam. Tyto body byly velmi malé, jednotky pixelů, a program nedokázal teplotu chromatičnosti správně určit.

7. ZÁVĚR

Celkem bylo změřeno 143 světelných reklam v centru Brna a okolí. Z těchto změřených reklam 34 objektů nevyhovuje normě ČSN EN 12464-2, což odpovídá 24 %. Bylo očekáváno, že počet světelných reklam nevyhovujících normě se bude pohybovat okolo 10 %. Výsledek přes 20 % je překvapivý a znepokojující.

Bakalářská práce se zaměřuje na metodiku měření jasů a náhradní teploty chromatičnosti reklam. Měření probíhalo pomocí jasového analyzátoru LDA-LumiDisp. Jiné konvenční měřicí přístroje nebyly použity z důvodu zaměření práce na použití jasového analyzátoru v praxi a ověření způsobu měření tímto přístrojem. Postup měření konvenčními přístroji je naznačen v kapitole 3.

Použité měřicí metody jasů světelných reklam v terénu se jeví jako rychlejší a jednodušší než metody, které používají konvenční měřicí přístroje jako jasoměry a luxmetry. Při samotném měření nezáleží na úhlu, pod kterým je daný objekt měřen ani na vzdálenosti. Není zapotřebí měřicí přístroj nechat ustálit v prostředí. Měření jasovým analyzátozem taktéž přináší výhodu ve formě zpracovatelnosti dat. Na jednom pořízeném snímku se dá určit několik hodnot najednou bez nutnosti používat několik měřicích přístrojů. Velkou výhodou je také možnost exportu dat do tabulkových editorů.

Problematika světelného smogu se naštěstí v dnešní době čím dál víc řeší a jsou podnikány kroky ke zlepšení celkové situace. Jako dobrý příklad je zavedení normy od února roku 2023, která určuje jasové limity ve večerních hodinách. Bohužel tyto normy jsou nezávazné a provozovatele tedy nic nenutí tyto normy dodržovat.

Práce by mohla být rozšířena o měření více objektů a zpracování světelné mapy, která by znázorňovala situaci ve městě. Měření by také mohlo být rozšířeno na jiná města či jiné lokality.

Bibliografie

- [1] HABEL, Jiří, Karel DVOŘÁČEK, Vladimír DVOŘÁČEK a Petr ŽÁK. *Světlo a osvětlování*. Praha: FCC Public s.r.o., 2013. ISBN 978-80-86534-21-3.
- [2] *Základy světelné techniky*. Brno: Mendelova univerzita. Dostupné také z: https://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/files/299/24209.pdf
- [3] SVOBODA, Bc. Miroslav. *Srovnání konvenčních a nových metod měření a hodnocení jasu* [online]. Brno, 2012 [cit. 2022-12-05]. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=58016. Diplomová. VUT Brno. Vedoucí práce Doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.
- [4] SOKANSKÝ, Karel. *Základy základů světelné techniky*. Ostrava: Vysoká škola báňská, 2007. Dostupné také z: https://feil.vsb.cz/kat410/studium/studijni_materialy/vuee/VUEE_Zaklady_svetelne_techiky.pdf
- [5] *Rovnoměrný diagram chromatičnosti CIE 1960*. In: *Wikipedia* [online]. San Francisco, 2001 [cit. 2022-11-02]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/CIE_1960_color_space#/media/File:CIE_UVW_Diagramme_de_chromaticit%C3%A9_002.png
- [6] *Rovnoměrný diagram chromatičnosti (u,v)*. In: *Wikipedia* [online]. San Francisco, 2001 [cit. 2022-11-02]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/CIE_1960_color_space#/media/File:Planckian-locus.png
- [7] *Světlo* [online]. Praha: FCC PUBLIC, s. r. o., 2011, [cit. 2022-12-05]. ISSN 1212-0812. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/statisticke-hodnoceni-vlastnosti-svetelnych-zdroju--15209>
- [8] *Znázornění světla dle teploty chromatičnosti*. In: *Wikipedia* [online]. San Francisco, 2001 [cit. 2022-11-02]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Barevn%C3%A1_teplota#/media/Soubor:Color_temperature.svg
- [9] KOŽDOŇ, Bc. Jakub. *Světelný zdroj s nastavitelnou intenzitou osvětlení* [online]. Brno, 2014 [cit. 2022-12-16]. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=85721. Diplomová. VUT Brno. Vedoucí práce Prof. Ing. Jaroslav Boušek, CSc.

- [10] ŠTĚPÁNEK, Ing. Jaroslav. *Fotobiologická bezpečnost svítidel a světelných zdrojů* [online]. Brno, 2020 [cit. 2022-12-16]. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/195781/final-thesis.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. Dizertační práce. VUT Brno. Vedoucí práce Ing. Jan Škoda, Ph.D.
- [11] KACHLÍK, Petr. *Lidské biorytmy a jejich význam. Tělesná kultura* [online]. Brno: Masarykova Univerzita, 2017, 2017(001), 10 [cit. 2022-12-05]. ISSN 1211-6521. Dostupné z: <https://telesnakultura.upol.cz/getrevsrc.php?identification=public&mag=tek&raid=32&type=fin&ver=3>
- [12] HYCL, Josef a Lucie TRYBUČKOVÁ. *Atlas oftalmologie. 2.* Triton, 2010. ISBN 978-80-7387-160-4.
- [13] *Exposure to Room Light before Bedtime Suppresses Melatonin Onset and Shortens Melatonin Duration in Humans.* In: *National Library of Medicine* [online]. Washington: National Library of Medicine [cit. 2022-12-05]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3047226/>
- [14] *Vliv světla na naše zdraví aneb hygiena osvětlování.* In: *Světlo* [online]. Praha: FCC Public s. r. o, 2014 [cit. 2022-12-05]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/clanek/vliv-svetla-na-nase-zdravi-aneb-hygiena-osvetlovani--1294>
- [15] *Lidské biorytmy a jejich význam* [online]. 10 [cit. 2022-12-05]. Dostupné z: <https://telesnakultura.upol.cz/getrevsrc.php?identification=public&mag=tek&raid=32&type=fin&ver=3>
- [16] *Které zařízení se používá k měření světla.* In: *ElectricianExp.com* [online]. ElectricianExp.com [cit. 2022-12-05]. Dostupné z: <https://electricianexp.com/39/cs/teoriya/ljuksmetr-pribor-dlya-izmereniya-osveshennosti>
- [17] *Světlo* [online]. Praha: FCC PUBLIC, s. r. o., 2009, [cit. 2022-12-05]. ISSN 1212-0812. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/zaklady-svetelne-techniky-4--15601>
- [18] *Sněžná slepota (fotokeratitida, obloukové oko) – příznaky, příčiny a léčba.* In: *Rehabilitace.info* [online]. Rehabilitace.info, 2022 [cit. 2022-12-05]. Dostupné z: <https://www.rehabilitace.info/nemoci/snezna-slepota-fotokeratitida-obloukove-oko-priznaky-priciny-a-lecba/>

- [19] *Barva světla ve veřejném osvětlení – Část 1 Současný stav a terénní výzkumy*. In: *Světlo* [online]. Praha: FCC Public s. r. o, 2014 [cit. 2022-12-05]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/clanek/barva-svetla-ve-verejnem-osvetleni-cast-1-soucasny-stav-a-terenni-vyzkumy--1174>
- [20] *Spectroradiometer*. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2022 [cit. 2022-12-05]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Spectroradiometer>
- [21] SCHNEIDER, William a Richard YOUNG. *Spectroradiometry Methods* [online]. [cit. 2022-12-05]. Dostupné z: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:vUa3yZJM1soJ:https://opticsoflife.org/pdfs/tech/spectmethods.pdf&cd=2&hl=cs&ct=clnk&gl=cz>
- [22] NÁLEVKA, Bc. Lukáš. *Software na vytvoření jasové mapy z digitální fotografie*. [online]. Praha, 2015. [cit. 2022-12-16]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/24869/F3-DP-2014-Nalevka-Lukas-prace.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. Diplomová práce. ČVUT. Vedoucí práce Ing. Lubomír Musálek.
- [23] *Světlo* [online]. Praha: FCC PUBLIC, s. r. o., 2010, [cit. 2022-12-05]. ISSN 1212-0812. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/digitalni-fotografie-a-jeji-vyuziti-ve-svetelne-technice--15476>
- [24] *LMK 6*. In: *TechnoTeam* [online]. Německo: TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH, 2014-2017 [cit. 2022-12-15]. Dostupné z: https://www.technoteam.de/product_overview/photometer_colorimeter/products/lmk_6/index_eng.html
- [25] *LMK 6 color*. In: *TechnoTeam* [online]. Německo: TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH, 2014-2017 [cit. 2022-12-15]. Dostupné z: https://www.technoteam.de/product_overview/photometer_colorimeter/products/lmk_6_color/index_eng.html
- [26] *LumiCam 4000B/2400B*. In: *Light measurement* [online]. Německo: Instrument Systems GmbH [cit. 2022-12-15]. Dostupné z: <https://www.instrumentsystems.com/en/products/imaging-colorimeters-ir-testing-cameras/lumicam-4000b-2400b>
- [27] *Road light measurements*. In: *GL Optic* [online]. Würzburg: GL Optic [cit. 2022-12-15]. Dostupné z: <https://gloptic.com/products/gl-opticam-3-0-4k-tec/#get%20quote%20form>
- [28] *LumiDISP* [online]. Brno: VUT [cit. 2022-12-15]. Dostupné z: <https://lumidisp.eu/>

- [29] ČSN EN 12464-2. *Světlo a osvětlování- Osvětlování pracovních prostor: Část 2: Venkovní pracovní prostory*. 1. Praha: Úřad pro technické normalizace, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [30] ČSN 36 0459. *Omezování nežádoucích účinků venkovního osvětlení*. 1. Praha: Úřad pro technické normalizace, metrologii a státní zkušebnictví, 2023.
- [31] LumiDisp. LumiDisp [online]. Brno: Brno University of Technology, © 2023 [cit. 2023-04-01]. Dostupné z: <https://lumidisp.eu/luminance-analyser/>

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratky:

UV	(ultraviolet) ultrafialové záření
PTM	(photomultiplier tube) fotonásobič
IR	(infraRed) infračervené záření
CCD	Charge-coupled device)
CMOS	(Complementary Metal–Oxide–Semiconductor)
HDR	(high dynamic range) fotografie s vysokou dynamikou jasu

Symboly:

φ	světelný tok	(lm)
K_v	maximální světelná účinnost	(lm/W)
λ	vlnová délka	($\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$)
V	poměrná světelná účinnost	(-)
I	svítivost	(cd)
Ω	prostorový úhel	(sr)
A	plocha	(m^2)
r	poloměr	(m)
β	úhel svíraný s normálou plochy	($^\circ$)
l	vzdálenost elementární plochy	(m)
E	intenzita osvětlení	(lx)
L	jas	($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$)
M	světlení	($\text{lm} \cdot \text{m}^2$)
Ra	index podání barev	(-)
n	počet vzorků	(-)
T_c	teplota chromatičnosti	(K)
T_{cp}	náhradní teplota chromatičnosti	(K)
UGR	index oslnění	(-)
P	činitel vlivu polohy světelného zdroje	(-)

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A – Naměřená data LDA-LumiDisp

Všechny přílohy jsou uloženy v souboru přílohy.zip