



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTEMENT OF POWER ELECTRICAL ENGINEERING

HODNOCENÍ OSLNĚNÍ VNITŘNÍCH A VENKOVNÍCH OSVĚTLOVACÍCH SOUSTAV

EVALUATION GLARE OF INDOOR AND OUTDOOR LIGHTING SYSTEMS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

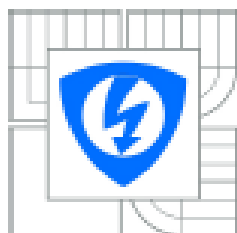
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MATĚJ ROTREKL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. JAN ŠKODA, Ph.D.

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektroenergetika

Student: Bc. Matěj Rotrekl
Ročník: 2

ID: 134392
Akademický rok: 2014/2015

NÁZEV TÉMATU:

Hodnocení oslnění vnitřních a venkovních osvětlovacích soustav

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Proveďte literární rešerši dané problematiky.
2. Pokuste se vytipovat problematické světelné scény ve vašem okolí.
3. Tyto scény analyzujte pomocí jasového analyzátoru LDA - LumIDISP.
4. Scény vyhodnotte a učiňte závěry.
5. Pokuste se porovnat konvenční a nekonvenční metody měření.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 9.2.2015

Termín odevzdání: 22.5.2015

Vedoucí práce: Ing. Jan Škoda, Ph.D.

Konzultanti diplomové práce:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do práv 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.

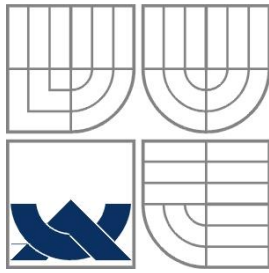
Bibliografická citace práce:

ROTREKL, M. *Hodnocení oslnění vnitřních a venkovních osvětlovacích soustav*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2015. 67 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Škoda, Ph.D..

Rád bych poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Ing. Janu Škodovi, Ph.D. za odborné vedení mé práce, věcné připomínky a rady při zpracování. Dále děkuji za výpomoc při měření a za podporu při práci v softwaru LumiDISP. Dík patří i všem mým známým, příbuzným a především mé přítelkyni Kristýně Horáckové za podporu během studia i při vypracovávání diplomové práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si 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.

.....



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



**Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
Ústav elektroenergetiky**

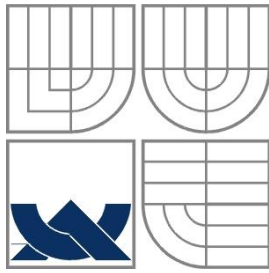
Diplomová práce

Hodnocení oslnění vnitřních a venkovních osvětlovacích soustav

Bc. Matěj Rotrekl

vedoucí: Ing. Jan Škoda, Ph.D.

Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2015



BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



Faculty of Electrical Engineering and Communication
Department of Electrical Power Engineering

Master's Thesis

Evaluation glare of indoor and outdoor lighting systems

by

Bc. Matěj Rotrekl

supervisor: Ing. Jan Škoda, Ph.D.

Brno University of Technology, 2015

Brno

ABSTRAKT

V posledním období je kladen velký důraz na spotřebu elektrické energie a ekologii, ve vztahu k lidskému zdraví. Je důležité, aby byla dodržena tzv. světelná pohoda, kterou ovlivňuje široké spektrum světelných parametrů, mezi něž patří osvětlenost, jas, rovnoměrnost osvětlenosti, ale také oslnění. Díky těmto parametrům můžeme navrhnout osvětlovací soustavy tak, aby nedocházelo ke zbytečné spotřebě energie, ale také aby nedocházelo k příliš rychlému zhoršování lidského zraku.

Práce je proto zaměřena na hodnocení oslnění vnitřních a venkovních osvětlovacích soustav. Pro správné pochopení problematiky je proveden podrobný popis lidského oka a jeho funkce. Na tuto problematiku pak navazuje stanovení oslnění a jeho druhy. Následně je proveden přehled jednotlivých možností výpočtu oslnění v interiéru a exteriéru. Je zmíněno hodnocení oslnění denním světlem, v případě smíšené osvětlovací soustavy.

V práci jsou uvedeny možnosti měření oslnění (jasu) nekonvenčními metodami. V praktické části práce je provedeno měření oslnění na pozemní komunikaci ulice Kolejní a měření oslnění ve vnitřním prostoru auly Prof. Braunera na VUT. Měření je provedeno pomocí jasového analyzátoru, tedy nekonvenční metodou měření. Na závěr práce bylo provedeno porovnání konvenční a nekonvenční metody měření a poukázání na jejich výhody.

KLÍČOVÁ SLOVA: Adaptace oka, rušivé oslnění, omezující oslnění, jasový analyzátor, HDR snímek, jasová mapa

ABSTRACT

Recent years have seen an increasing focus on electric energy consumption as well as ecology in relation to human health. It is crucial to maintain the so called lighting comfort which is influenced by a wide range of lighting parameters, including illuminance, brightness, balance of illuminance, and glare. Thanks to all these parameters we can design lighting systems in such a way as to prevent energy waste and far too rapid deterioration of eyesight.

This study therefore focuses on glare evaluation of indoor and outdoor lighting systems. In order to comprehend the issue thoroughly, a detailed description of human eyes and their functions is provided, followed by definitions of glare and types of glare. An overview of different calculations for indoor and outdoor glare is provided, considering the evaluation of daylight glare in terms of complex lighting systems.

The study mentions several options involving unconventional methods for measuring glare (brightness). In the analytical part of the study, outdoor glare on Kolejní Street and indoor glare at the Prof. Brauner Hall at VUT measurements were obtained using brightness analyzer (an unconventional method). The thesis is concluded with a comparison of the conventionally and unconventionally obtained measurements, considering their respective advantages.

KEYWORDS: Eye adaptation, disturbing glare, limiting glare, brightness analyzer, HDR image, brightness map

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ	6
SEZNAM TABULEK.....	7
SEZNAM PŘÍLOH.....	7
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	8
1 ÚVOD.....	11
2 LIDSKÉ OKO A JEHO REAKCE NA UMĚLOU OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVU	12
2.1 ANATOMIE ZRAKOVÉHO ÚSTROJÍ.....	12
2.2 FYZIOLOGIE ZRAKU.....	14
2.3 ADAPTAČNÍ MECHANISMY	15
2.4 ROZLIŠOVACÍ SCHOPNOST.....	16
2.5 ZRAKOVÁ POHODA.....	17
3 OSLNĚNÍ.....	18
3.1 HODNOCENÍ OSLNĚNÍ VE VNITŘNÍCH PROSTORECH.....	18
3.1.1 ČINITEL OSLNĚNÍ	19
3.1.2 SØRENSONOVA METODA (UGR).....	21
3.1.3 HOLLADAYOVA METODA	24
3.1.4 NETUŠILŮV VZOREC	25
3.1.5 KONTROLA OSLNĚNÍ ODRAZEM	31
3.1.6 OSLNĚNÍ DENNÍM SVĚTLEM.....	31
3.2 HODNOCENÍ OSLNĚNÍ VE VENKOVNÍCH PROSTORECH.....	33
3.2.1 PRAHOVÝ PŘÍRŮSTEK <i>TI</i>	33
3.2.2 ČINITEL OSLNĚNÍ GR	34
4 MĚŘENÍ OSLNĚNÍ.....	36
4.1 JASOVÉ ANALYZÁTORY.....	36
4.1.1 SENZORY DIGITÁLNÍCH FOTOAPARÁTŮ.....	37
4.1.2 JASOVÁ ANALÝZA DIGITÁLNÍ FOTOGRAFIE	39
4.1.3 DOSTUPNÉ JASOVÉ ANALYZÁTORY.....	41
5 PRAKTICKÉ MĚŘENÍ OSLNĚNÍ	45
5.1 MĚŘENÍ FYZIOLOGICKÉHO OSLNĚNÍ NA POZEMNÍ KOMUNIKACI ULICE KOLEJNÍ	45
5.1.1 POLE PRO MĚŘENÍ JASU NA KOMUNIKACI A POLOHA POZOROVATELE.....	45
5.1.2 SVÍTIDLA ZAHRNUTA DO VÝPOČTU.....	46
5.1.3 POSTUP MĚŘENÍ	47
5.1.4 ZPRACOVÁNÍ MĚŘENÍ.....	47
5.1.5 VYHODNOCENÍ.....	50

5.2 MĚŘENÍ RUŠIVÉHO OSLNĚNÍ V PŘEDNÁŠKOVÉ AULE	54
5.2.1 POSTUP MĚŘENÍ	54
5.2.2 VYHODNOCENÍ.....	54
6 SROVNÁNÍ KONVENČNÍ A NEKONVENČNÍ METODY MĚŘENÍ OSLNĚNÍ	58
7 ZÁVĚR.....	60
7.1 ZÁVĚRY PRÁCE	60
7.2 NÁVRH DALŠÍHO POSTUPU.....	61
POUŽITÁ LITERATURA	62
PŘÍLOHY	65

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 2.1: Anatomický popis oční bulvy.....</i>	<i>13</i>
<i>Obrázek 2.2: Popis zrakové dráhy</i>	<i>14</i>
<i>Obrázek 3.1: Rozměry pro stanovení činitele polohy.....</i>	<i>19</i>
<i>Obrázek 3.2: Diagram pro stanovení činitele polohy dle Lukieshe a Gutha.....</i>	<i>20</i>
<i>Obrázek 3.3: Diagram mezních jasů pro metodu UGR.....</i>	<i>23</i>
<i>Obrázek 3.4: Určení ekvivalentního závojevého jasu</i>	<i>24</i>
<i>Obrázek 3.5: Nomogram k určení činitele polohy dle Netušila pomocí úhlů.....</i>	<i>26</i>
<i>Obrázek 3.6: Nomogram k určení činitele polohy dle Netušila pomocí poměrů vzdáleností.....</i>	<i>26</i>
<i>Obrázek 3.7: Znázornění redukovaného prostorového úhlu bodového oslňujícího zdroje.....</i>	<i>28</i>
<i>Obrázek 3.8: Znázornění redukovaného prostorového úhlu čárového oslňujícího zdroje.....</i>	<i>28</i>
<i>Obrázek 3.9: Prostorový úhel</i>	<i>29</i>
<i>Obrázek 3.10: Vymezení zakázané oblasti umístění svítidla.....</i>	<i>31</i>
<i>Obrázek 4.1: Schéma sestavy jasového analyzátoru.....</i>	<i>36</i>
<i>Obrázek 4.2: Skladba pixelů Bayerovského filtru (a), Bayerova interpolace (b).....</i>	<i>37</i>
<i>Obrázek 4.3: Princip pochodu el. náboje snímače CCD.....</i>	<i>38</i>
<i>Obrázek 4.4: Rozdíl mezi principem snímače CCD a) a CMOS b).....</i>	<i>39</i>
<i>Obrázek 4.5: Postup při zpracování obrazů v různých formátech.....</i>	<i>39</i>
<i>Obrázek 4.6: Dynamický rozsah lidského oka a dig. fotoaparátu</i>	<i>40</i>
<i>Obrázek 4.7: Ukázka HDR fotografie</i>	<i>40</i>
<i>Obrázek 4.8: Jasová mapa scény</i>	<i>41</i>
<i>Obrázek 4.9: Uživatelské prostředí programu LumiDISP.....</i>	<i>42</i>
<i>Obrázek 4.10: Uživatelské prostředí LMK Labsoft.....</i>	<i>42</i>
<i>Obrázek 4.11: Uživatelské prostředí softwaru ProMetric 9 Software</i>	<i>43</i>
<i>Obrázek 4.12: uživatelské prostředí programe CA-S20w.....</i>	<i>44</i>
<i>Obrázek 5.1: Vyhodnocující pole pro měření jasu komunikace.....</i>	<i>46</i>
<i>Obrázek 5.2: Snímek HDR s jasovou mapou pro vzdálenost 140 m od začátku komunikace</i>	<i>48</i>
<i>Obrázek 5.3: Naznačení hodnotících oblastí pro analýzu snímku 140 m.....</i>	<i>49</i>
<i>Obrázek 5.4: Jasová mapa pro pozorovatele ve vzdálenosti 308 m.....</i>	<i>51</i>
<i>Obrázek 5.5: Jasová mapa pro pozorovatele ve vzdálenosti 210 m.....</i>	<i>51</i>
<i>Obrázek 5.6: Jasová mapa snímku pro pozorovatele ve vzdálenosti 322 m.....</i>	<i>52</i>
<i>Obrázek 5.7: Jasová mapa snímku pro pozorovatele ve vzdálenosti 420 m.....</i>	<i>53</i>
<i>Obrázek 5.8: Jasová mapa snímku pro polohu pozorovatele ve vzdálenosti 350 m</i>	<i>53</i>

<i>Obrázek 5.9: Vyznačení činitele polohy na hodnoceném snímku</i>	<i>55</i>
<i>Obrázek 5.10: Jasová mapa snímku HDR v aule Prof. Braunera bez vchodových svítidel</i>	<i>55</i>
<i>Obrázek 5.11: Jasová mapa HDR snímku v aule Prof. Braunera s vchodovými svítidly.....</i>	<i>56</i>
<i>Obrázek 6.1: Měření jasu zorného pole přímým jasoměrem, vyznačení měřených míst</i>	<i>58</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 3.1: Exponent pro výpočet činitele oslnění podle různých autorů.....</i>	<i>20</i>
<i>Tabulka 3.2: Stupnice činitele oslnění UGR na základě Hopkinsonova kritéria.....</i>	<i>21</i>
<i>Tabulka 3.3: Činitel oslnění dle Netušila pro různé prostředí.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabulka 3.4: Stupnice činitele oslnění dle Netušila</i>	<i>30</i>
<i>Tabulka 3.5: Kriteriaální hodnoty indexu oslnění DGI a SR</i>	<i>33</i>
<i>Tabulka 4.1: Srovnání senzorů CCD a CMOS</i>	<i>38</i>
<i>Tabulka 5.1: Naměřené a vypočítané hodnoty pro snímek ve vzdálenosti 140 m.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabulka 5.2: Tabulka výsledků analýzy auly Prof. Braunera.....</i>	<i>56</i>

SEZNAM PŘÍLOH

<i>Příloha č. 1: Tabulka výsledků analýzy pozemní komunikace ulice Kolejní</i>	<i>65</i>
<i>příloha č. 2: Průběh prahového přírůstku po celé délce komunikace.....</i>	<i>66</i>
<i>příloha č. 3: Mapa lokality měřené komunikace.....</i>	<i>67</i>
<i>příloha č. 4: Vymezení vyhodnocovaného úseku a směr pohledu na ulici kolejní.....</i>	<i>67</i>

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Značka	Veličina	jednotka
L_a	Jas pozorovaného detailu	cd.m^{-2}
L_b	Jas pozadí	cd.m^{-2}
C	Kontrast jasu	-
ΔL_{min}	Prahový jas	cd.m^{-2}
G	Činitel oslnění	-
L_z	Jas oslňujícího zdroje	cd.m^{-2}
L_p	Průměrný jas pozadí	cd.m^{-2}
Ω	Prostorový úhel oslňujícího zdroje	Sr
P	Činitel polohy	-
A	Plocha svítidla	m^2
r	Vzdálenost svítidla od pozorovatele	m
I_γ	Svítivost ve směru k pozorovateli	cd
a,b,c,d	Exponenty pro výpočet činitele oslnění	-
UGR	Činitel oslnění (Unified Glare Rating)	-
E_n	Nepřímá osvětlenost	lx
I	Svítivost zdroje	cd
S_H	Činitel omezujícího oslnění	-
ΔL_{minS}	Prahový jas s fyziologickým oslněním	cd.m^{-2}
L_{qz}	Ekvivalentní závojevý jas	cd.m^{-2}
L_z	Jas oslňujícího zdroje	cd.m^{-2}
c	Činitel závislý na jasu L_{qz}	-
θ	Úhel sevřený osou pohledu a spojnicí oka a oslňujícího zdroje	°
n	Exponent podle Adriana	-
E	Rovinná osvětlenost v místě oka kolmá k ose oka	lx
S	Činitel oslnění dle Netušila	-
K	Činitel polohy oslňujícího zdroje	-
L_b	Jas oslňujícího zdroje	cd.m^{-2}
L_{zp}	Jas pozadí zorného pole	cd.m^{-2}
Ω_B	Prostorový úhel oslňujícího zdroje	Sr

φ_v	Úhel mezi spojnicí oka a krajem oslňujícího zdroje ve vertikální rovině	°
φ_h	Úhel mezi spojnicí oka a krajem oslňujícího zdroje v horizontální rovině	°
h	Výška oslňujícího zdroje nad osou pohledu	M
l	Vzdálenost průsečíku roviny, procházející středem svítidla, kolmé na směr pohledu od pozorovatele	M
a	Kolmá vzdálenost zdroje oslnění od osy pohledu	M
L_{ib}	Jas í-té oblasti oslňujícího zdroje	cd.m ⁻²
$\Delta\Omega_{iB}$	Prostorový úhel í-té plochy oslňujícího zdroje	Sr
r_b	Vzdálenost zdroje oslnění od pozorovatele	m
Ω_{Bred}	Redukovaný prostorový úhel	sr
A'_{Bred}	Redukovaná plocha oslňujícího zdroje	m ²
β_1	Redukovaný úhlový rozměr	sr
β_2	Redukovaný úhlový rozměr	sr
L_{Bred}	Redukovaný jas oslňujícího zdroje	cd.m ⁻²
$I_{\alpha,\beta}$	Svítivost oslňujícího zdroje ve směru pohledu	cd
A'_B	Plocha průmětu oslňujícího zdroje	m ²
β_i	Úhel sevřený normálou plošného segmentu s osou prostorového úhlu	°
Ω_{ZPi}	Prostorový úhel í-té plochy pozadí	sr
Ω_{ZP}	Prostorový úhel pozadí	sr
L_{ZPi}	Jas dílčí plochy pozadí	cd.m ⁻²
$A_{1,2,3}$	Plocha stropu, stěn a podlahy	m ²
$L_{1,2,3}$	Průměrný jas stropu, stěn a podlahy	cd.m ⁻²
DGP	Činitel oslnění denním světlem dle Weinolda	-
S_v	Činitel oslnění pro několik zdrojů dle Netušila	-
E_v	Vertikální osvětlenost oka pozorovatele	lx
L_{zd}	Jas zdroje	cd.m ⁻²
DGP_s	Zjednodušený činitel oslnění denním světlem	-
DGI	Činitel denního oslnění dle Cornella	-
L_{zd}	Jas venkovního zdroje světla	cd.m ⁻²
L_W	Jas okna	cd.m ⁻²

L_b	Jas okolí okna	cd.m ⁻²
ω_s	Prostorový úhel okna od pozorovatele	sr
SR	Oslnění denním světlem (Subjectiv rating)	-
L_{zav}	Ekvivalentní závojevý jas	cd.m ⁻²
$E_{rov(zd)}$	Rovinná osvětlenost na úrovni oka	lx
ϑ_{zd}	Úhel svíraný spojnicí oka a oslňujícího zdroje a osou pohledu	°
k	Konstanta zohledňující věk pozorovatele	-
L_{voz}	Jas sledované pozemní komunikace	cd.m ⁻²
TI	Prahový přírůstek	%
GR	Činitel oslnění ve venkovních pracovních prostorech	-
L_{vl}	Závojevý jas soustavy	cd.m ⁻²
L_{ve}	Ekvivalentní závojevý jas pozadí	cd.m ⁻²
L_v	Závojevý jas jednoho svítidla	cd.m ⁻²
E_{rk}	Osvětlenost v místě oka pozorovatele v kolmé rovině na směr pohledu	lx
E_{hor}	Horizontální jas prostoru	lx
ρ	Průměrný činitel odrazu	-
R	Maximální rozteč míst pozorovatele	m
H	Montážní výška svítidla nad komunikací	m

1 ÚVOD

Práce, jak již název vypovídá, bude zaměřena na hodnocení oslnění vnitřních a venkovních osvětlovacích soustav. Hodnocení oslnění je velmi důležité pro dodržení tzv. zrakové pohody a zrakového výkonu osoby pohybující se v prostoru s umělou osvětlovací soustavou. Oslnění je bohužel stále se vyskytujícím jevem v osvětlovacích soustavách interiérů, a to především v prostorách společenských a pracovních. Lidé vnímají více jak 90 % informací okem a proto je potřebné, aby se při návrhu osvětlovací soustavy uvažoval, mimo jiné, i jev oslnění. Jelikož lidské oko stárne, je vliv osvětlovací soustavy na oko u mladých lidí rozdílný oproti starším osobám. Práce by měla přinést větší rozhled v dané problematice a dát více na vědomí, že správná osvětlovací soustava zajišťuje ideální podmínky pro lidské oko a nedochází k rychlému zhoršení zraku a únavě pozorovatele.

Práce bude věnována podrobné analýze lidského oka a jeho funkce při nepříznivých stavech osvětlovací soustavy. K tomu bude použito odborné literatury a konzultací s lidmi ze zdravotnického oboru optometrie a očního lékařství.

Dále bude práce zaměřena na samotný jev oslnění, jeho vznik a druhy. Práce se bude také zabývat analýzou oslnění a možným výpočtem jak ve vnitřních prostorech, tak i v prostorech venkovních. V této části budou uvedeny dostupné metody výpočtu, jejich modifikace a použití v praxi.

Měření oslnění je velice náročný a zdoluhavý proces, protože je potřebné důkladně znát rozložení jasu v zorném poli pozorovatele. Jelikož hlavním parametrem, který ovlivňuje oslnění, je jas, bude část práce zaměřena na dnes ještě nekonvenční metody měření jasu. Mezi nekonvenční metody měření jasu počítáme měření pomocí jasových analyzátorů, které mají určité výhody oproti konvenčním jasoměrům. Práce tedy bude zaměřena i na srovnání těchto metod měření jasu.

Následně bude v práci provedeno názorné měření oslnění osvětlovací soustavy a tím proveden vlastní návod jak měřit oslnění, jak jej správně vyhodnotit a jaká jsou kritéria pro oslnění v jednotlivých prostorech.

2 LIDSKÉ OKO A JEHO REAKCE NA UMĚLOU OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVU

Již od jednoho roku našeho života vnímáme více jak 90% informací zrakem, proto je důležité, aby lidské oko mělo ideální podmínky (tzv. zraková pohoda a zrakový výkon) pro příjem požadované informace. Přijímaná informace může být ovlivněna hned několika parametry, jako je například nedostatečná hladina osvětlenosti v místě zrakového úkolu, příliš vysoká hladina osvětlenosti, nevyhovující akomodační zóna a rušivé oslnění. Abychom byli schopni stanovit v jaké míře je oko, těmito parametry umělého osvětlení, ovlivněno, je potřebné podrobně znát skladbu lidského oka i jeho funkci.

2.1 Anatomie zrakového ústrojí

Oční koule (*obr. 2.1*) má přibližně kulovitý tvar, který je sestaven z předního a zadního segmentu. Na oku rozeznáváme přední a zadní pól oka, ekvátor (linie dělicí oko na přední a zadní polovinu) a meridiány (označovány podle ciferníku).

Stěna oka je tvořena vrstvou povrchovou (vazivovou), střední (cévnatou) a vnitřní (nervovou). Nitrooční prostor tvoří přední a zadní oční komora, čočka a sklivce. [1]

Povrchová vrstva

Povrchovou vrstvu tvoří rohovka a bělima, přičemž rohovka tvoří přední segment oka a zadní tvoří bělima.

Rohovka – Rohovka obsahuje velký počet nervových vláken, proto je necitlivější tkání lidského těla. Je nejdůležitější složkou optického systému oka.

Bělima – Zevní plocha bělimy je v přední části kryta spojivkou. [1]

Střední vrstva

Střední vrstva je tvořena cévnatkou, řasnatým tělískem a duhovkou.

Cévnatka – hlavní funkcí je výživa oka.

Řasnaté tělísko – obsahuje ciliární sval, který způsobuje vyklenutí nebo oploštění čočky, tzn. že řasnaté tělísko přispívá svojí funkcí k akomodaci oka.

Duhovka – Má tvar mezikruží. Vnitřní okraj je označován jako zornicový. Uprostřed duhovky je zornice, jejíž šířka je ovládána svaly, které umožňují její zužování či rozšiřování, podle množství světla, které přichází do oka. Šíře zornice kopíruje intenzitu přijímaného světla. V šeru se zornice rozšiřuje a na světle se zužuje. [1]

Vnitřní vrstva

Vnitřní vrstva je tvořena sítnicí.

Sítnice – Sítnice je spojena s mozem zrakovou dráhou. Důležitou vrstvou sítnice je vrstva tyčinek a čípků, jejichž podráždění vzniká proces vidění. Rozložení čípků a tyčinek není rovnoměrné. V oblasti zadního pólu oka jsou nashromážděny čípky, této oblasti se říká žlutá skvrna. Ve středu žluté skvrny je jamka (místo nejostřejšího vidění). Čípky jsou využívány k ostrému vidění za denního světla (vidění fotopické). Pomocí čípku rozeznáváme barvy.

S rostoucí vzdáleností od žluté skvrny čípků ubývá a v periferii najdeme už jen tyčinky. Tyčinky slouží k rozpoznání světla a tmy, slouží tedy k vidění v šeru a noci (vidění skotopické). [1]

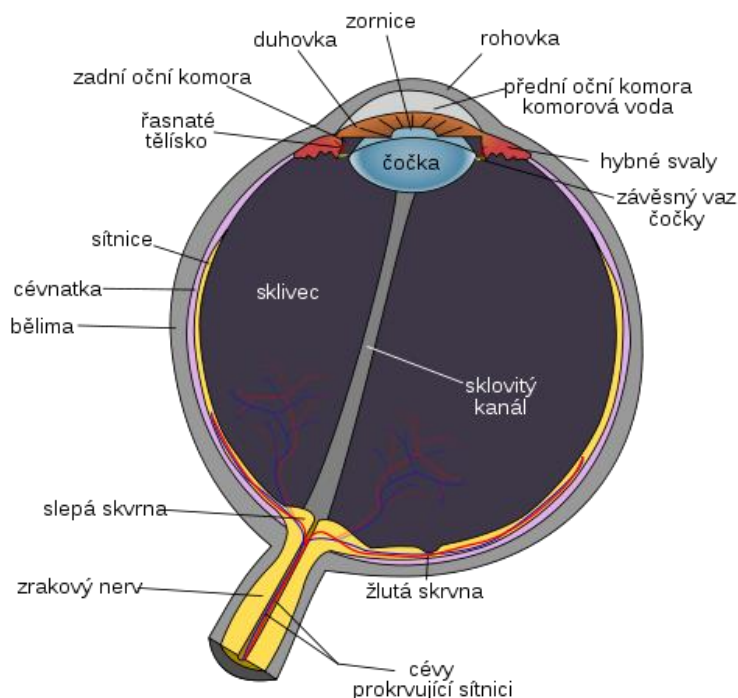
Nitrooční prostor

Přední oční komora – Prostor mezi zadní plochou rohovky a přední plochou duhovky.

Zadní oční komora – Prostor mezi zadní plochou duhovky a přední částí čočky.

Čočka – Dvojevypuklé průhledné tělísko o průměru cca 10 mm, ve své poloze je držena závěsným aparátem čočky.

Sklivec – Čirá rosolovitá hmota vyplňující prostor mezi čočkou a vnitřní plochou sítnice. [1]



Obrázek 2.1: Anatomický popis oční bulvy [2]

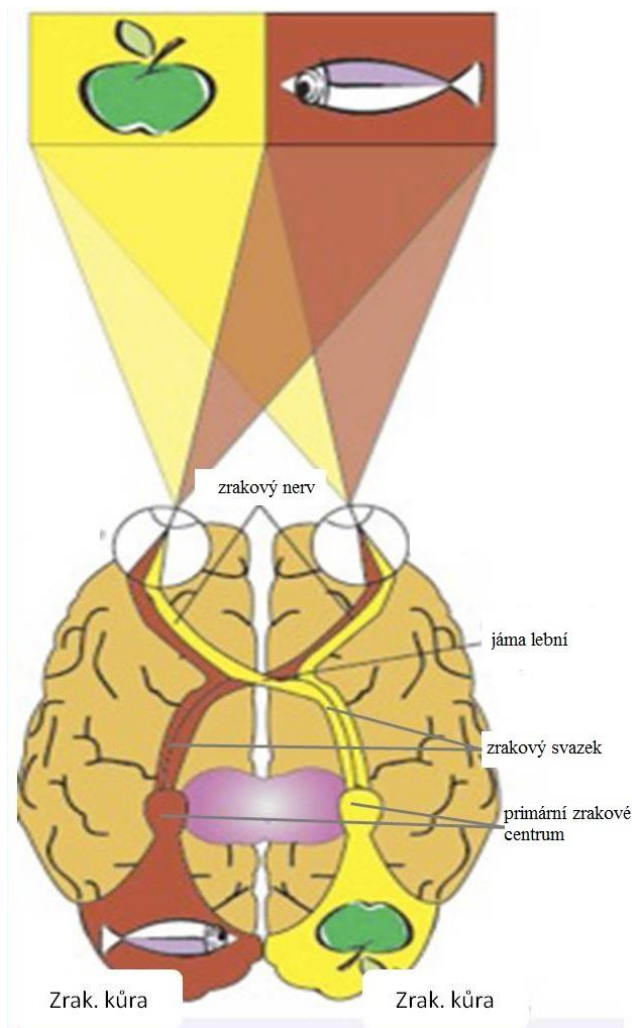
Zraková dráha

Slouží k převodu podráždění z oka do mozkové kůry. Zprostředkovává spojení tyčinek a čípků se zrakovou kůrou v týlním mozkovém laloku. Ideálním podnětem k podráždění smyslových buněk sítnice jsou elektromagnetické vlny o vlnové délce 380 nm až 750 nm. Vzruch, vedený z těchto buněk zrakovou dráhou do kůry mozku, je vnímán jako světlo. Zraková dráha je tvořena třemi částmi. Celá zraková dráha je zobrazena na (obr. 2.2).

Primární zraková dráha – Zde je zraková dráha spojena s výběžky světločivých smyslových buněk (čípky, tyčinky).

Sekundární zraková dráha – Část sekundární dráhy leží ještě v sítnici, pak ale pokračuje do jámy lební, kde dochází k částečnému překřížení nervů. Menší část nervů z oka zůstane ve stejnostranném traktu a větší část se zkříží do druhostranného traktu. Sekundární zraková dráha je zakončena v primárních zrakových centrech.

Terciální zraková dráha – je tvořena nervovými buňky v primárních zrakových centrech a končí v buňkách korového zrakového centra. Zde dochází ke vzniku zrakového vjemu. [1]



Obrázek 2.2: Popis zrakové dráhy [3]

2.2 Fyziologie zraku

Pod pojmem zrak rozumíme vnímání světla, barev, tvarů, kontrastu, hloubky, rozlišovací schopnost a adaptaci.

Světlo proniká optickým prostředím oka až na sítnici, kde vzniká obraz pozorovaných předmětů. Optické prostředí pomocí rohovky a čočky světelné paprsky láme, tak aby dopadaly na sítnici. V místě, kde dopadly paprsky na sítnici, dochází k podráždění buněk a vzniklý vzruch je přenášen zrakovou dráhou do zrakového centra v mozku. Vzhledem k dopadu paprsku na sítnici mluvíme o dvojitěm vidění. Centrální, kdy paprsky dopadají na žlutou skvrnu a periferní, kdy paprsky dopadají mimo žlutou skvrnu. Dopadne-li paprsek světla mimo žlutou skvrnu, oko se pohne tak aby paprsek dopadal na žlutou skvrnu. Zornice pak reguluje, jejím roztahováním a zužováním množství vstupujícího světla do oka.

Schopnost oka vnímat barvy nazýváme *barvocit*. Barvy jsou vnímány ve žluté skvrně, kde je nashromážděno nejvíce čípků. Schopnost rozlišovat barvy zaniká v případě příliš intenzivního osvětlení nebo za šera.

Schopnost přizpůsobení oka se různé intenzitě světla nazýváme *adaptace*. Rozlišujeme adaptaci na světlo a na tmu. Adaptace na světlo (přechod ze tmy do světla) probíhá u zdravého oka velmi rychle. Důležitější význam má adaptace na tmu (přechod ze světla do tmy), která u zdravého oka trvá asi půl hodiny.

Schopnost oka vidět předměty ostře v různých vzdálenostech se nazývá *akomodace*. Akomodační oblast je určena tzv. dalekým a blízkým bodem. Dalekým bodem je nazýván bod, který ještě jasně vidíme a blízkým bodem bod, který vidíme ostře při maximálním akomodačním úsilí.

Prostor, který vidíme při pohledu před sebe, nazýváme tzv. zorný pole. Předmět, který je očima fixován, se zobrazuje ve žluté skvrně. Zbylá část zorného pole je zaznamenána mimo oblast žluté skvrny, v oblasti periferního vidění. Rozlišovací schopnost periferního vidění je mnohem menší než centrálního vidění, je však velmi důležitá pro orientaci v prostoru.

Pro posouzení zrakové obtížnosti prováděné práce je vždy důležitý určitý jednorozměrný či vícerozměrný geometrický útvar (tzv. *kritický detail*), který si oko samovolně umístí do středu zorného pole. Kritický detail se potom zobrazuje na sítnici ve středu žluté skvrny. Klíčovou oblastí pro rozlišení kritického detailu je bezprostřední okolí, což je část zorného pole omezená vrcholovým úhlem asi 20 °. Kritický detail s bezprostředním okolím tvoří *pozorovaný předmět*. Jeho okolí tvoří tzv. *pozadí* (vrcholový úhel 20 ° až 60 °). A zbývající část zorného pole tvoří tzv. *vzdálené okolí* (vrcholový úhel > 60 °). [1][4].

2.3 Adaptační mechanismy

Lidské oko je schopné se přizpůsobit osvětleností asi od 0,25 lx až do 10⁵ lx. Takto velkými změnami se oko přizpůsobuje změnou citlivosti zornice, změnou citlivosti fotoreceptorů sítnice a také změnou velikosti vjemových polí sítnice.

Průměr zornice se může maximálně měnit od 1,8 mm do 7,5 mm. Změna průměru zornice trvá asi 360 ms, ale při náhlých změnách podnětu i 100 ms.

Hlavní adaptační mechanismus je způsobený fotochemickým dějem pigmentů ve vnějších segmentech fotoreceptorů působením světla. V sítnici jsou čtyři druhy pigmentů. Tři jsou vázány na čípky, z nichž každý obsahuje jiný pigment. Čtvrtý pigment je vázán na tyčinky. Vlivem osvětlení dochází k rozpadu pigmentů. Míra rozpadu pigmentů je závislá zejména na parametrech předcházejícího osvětlení, na které je již oko zvyklé, ale i na vlnové délce a jasu nového světelného podnětu. Při adaptaci na světlo se zmenšuje citlivost fotoreceptorů a děj je dokončen do jedné minuty, ale doznívá ještě deset minut. Naopak při adaptaci na tmu se vytváří nová zásoba fotopigmentů, a proto pochod trvá od několika minut až po hodinu. Adaptace na tmu je časově závislá na předadaptačním jasu. Tato závislost říká, že čím vyšší je předadaptační jas, tím pomalejší je samotný proces adaptace.

Mnohem dokonalejším způsobem adaptace je zmenšování průměru vjemových polí sítnice při vysokých hladinách osvětlenosti a naopak. Při dostatečné hladině osvětlenosti se uplatňují citlivé buňky zvané *čípky*. Existují tři druhy čípků, které jsou od sebe odlišné svojí spektrální citlivostí k záření různých vlnových délek. Těmito buňkami je umožněno barevné vidění, ke kterému dochází při vnímání světla o jasech vyšších jak 10 cd·m⁻² nazývané jako *fotopické vidění*.

Dalšími světločinnými buňkami jsou tyčinky, které jsou tisíckrát citlivější než čípky a uplatňují se při hladinách jasů menších jak $0,001 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$. Toto vidění je nazýváno *skotopické*. V rozmezí $0,001 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ až $10 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ se na vidění podílejí jak tyčinky, tak čípky a jedná se tedy o *vidění mezopické* [4]

U mezopického vidění se podílejí na zrakovém vjemu jak čípky tak tyčinky, ovšem každý z těchto fotoreceptorů reaguje jinak na kontrast. Tyčinky registrují rozdíl v kontrastu od 20 procent jeho původní hodnoty, ale čípky reagují už od 1 procenta změny. Čípky přitom reagují při hodnotách jasu vyšších jak $0,003 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$, ale tyčinky reagují při jasech vyšších jak $3 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$. [18]

Zrakový vjem nevzniká současně s popudem, ale s určitou časovou prodlevou. Tato časová prodleva je úzce spjata s jasem pozorovaných předmětů v zorném poli a zvyšuje se s nárůstem jasu asi do $300 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$. Při jasu $0,15 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ je ke vzniku vjemu potřeba asi jedna sekunda, zatímco při jasu $1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ asi půl sekundy. Tento poznatek je důležité uvažovat při návrhu osvětlení dopravních cest.

V centrech nervové soustavy vyvolávají světelné popudy dvě reakce. První probíhající samovolně, bez vědomí člověka, je adaptační a akomodační schopnost. Druhá reakce vyplývá ze zrakového vjemu, uvědomění si situace, a to za spoluúčasti jiných smyslových orgánů, protože vizuální informace vyvolává také nervové impulsy v asociačních psychických zónách souvisejících s myšlením, pozorností, představivostí, vzrušením apod. Funkce paměťových a pozornostních orgánů je nezanedbatelnou součástí a podmínkou činnosti zraku a patří k významným fyziologickým adaptačním mechanismům. [4][5]

2.4 Rozlišovací schopnost

Zrakové rozlišení předmětů je založeno na schopnosti zrakového orgánu rozeznat, že v určitých částech zorného pole, jsou rozdílné světelné podněty.

Jasnost je pojem psychosensorický, tedy vlastnost zrakového počítku. Pozorovatel v zorném poli rozliší navzájem takové předměty, které mají dostatečně rozdílné jasy.

Za předpokladu rovnoměrného jasu rozlišovaného detailu (L_a) a jasu jeho okolí nebo pozadí (L_b), lze stupeň rozeznatelnosti stanovit *kontrastem jasu* (C),

$$C = \frac{L_a - L_b}{L_b} = \frac{\Delta L}{L_b} \quad [-; \text{cd}\cdot\text{m}^{-2}, \text{cd}\cdot\text{m}^{-2}] \quad (2.1)$$

neboť pravděpodobnost zpozorování detailu narůstá se zvětšováním této veličiny. Nejmenší rozlišitelný rozdíl jasu (ΔL_{min}) pak stanovuje *prahový kontrast*

$$C = \frac{\Delta L_{min}}{L_b} \quad [-; \text{cd}\cdot\text{m}^{-2}, \text{cd}\cdot\text{m}^{-2}] \quad (2.2)$$

Pomocí prahového kontrastu stanovujeme *kontrastní citlivost*, která je jeho převrácenou hodnotou. Její velikost závisí jak na jasu bezprostředního okolí (L_b) pozorovaného detailu, tak i na jeho velikosti (velikost *kritického detailu*). Pro určitou velikost detailu s rostoucím adaptačním jasem kontrastní citlivost vzrůstá. Při větších jasech se však kontrastní citlivost snižuje vlivem oslnění.

Pro rozeznání dvou ploch je důležitá hladina adaptačního jasu. V případě velkého adaptačního jasu, jsme schopni rozlišit plochy s malým poměrem jasu až 1,01. Pro práci, kde je

potřeba velký zrakový výkon (čtení, psaní) je potřebné dosáhnout co největšího kontrastu, avšak v případě delší práce je jasově monotónní prostředí nevyhovující, protože vede k únavě zraku. [4]

2.5 Zraková pohoda

Jelikož je zrak úzce spjat s nervovou soustavou má na zrakové vnímání v daný okamžik velký vliv psychika pozorovatele (hněv, chlad, hluk, radost, klid, dobrá nálada), proto je nutné vytvořit v daném prostoru, dle jeho účelu a předpokládané činnosti lidí, vhodné prostředí, tzv. mikroklima.

Světelné mikroklima je tvořeno geometrií prostoru, typem použitých světelných zdrojů, druhem a rozmístěním svítidel, rozložením jasu v prostoru, hladinou osvětlenosti, barevnou úpravou prostoru.

Pod pojmem zraková pohoda tedy rozumíme psychologický stav, při kterém plní zrakový systém optimálně svoji funkci a při kterém se člověk cítí příjemně bez únavy očí a má pocit, že dobře vidí. [4]

3 OSLNĚNÍ

V případě příliš velkých jasů vyskytujících se v zorném poli oka, nebo vzniknou-li velké prostorové či časové kontrasty jasů, které překračují meze adaptability zraku, vzniká *oslnění*. Oslnění negativně ovlivňuje činnost zrakového ústrojí (*zrakovou pohodu*), jelikož dochází ke ztížení příjmu světla přinášejícího informaci do oka. Oslnění je tedy stav, při kterém je sítnice vystavena jasů vyššímu, než na který je adaptována.

Podle příčiny vzniku oslnění, je rozlišujeme na *oslnění přímé* způsobené nadměrným jasnem svítících částí svítidel anebo hlavních povrchů prostoru a *oslnění odrazem*, způsobené odrazy od lesklých ploch pozorovaných předmětů a jejich bezprostředního okolí. Při náhlé změně adaptačního jasu, kterému se zrakové ústrojí nedokáže rychle přizpůsobit, dochází k *přechodovému oslnění*. Je-li před pozorovaným pozadím prostředí s vyšším jasnem, dochází k *oslnění závojevému*.

Z hlediska světelné techniky je nejdůležitější *oslnění kontrastem*, způsobené příliš velkým jasnem v zorném poli, než na který je oko adaptováno. Oslnění kontrastem se člení na:

- Oslnění psychologické
 - pozorovatelné
 - rušivé
- Oslnění fyziologické
 - omezující
 - oslepující

V případě psychologického oslnění je zařazen i nižší stupeň jak rušivé oslnění, a to oslnění pozorovatelné. Při psychologickém oslnění odpoutává světelný zdroj pozornost pozorovatele od zrakového úkolu. Vzniká pocit zrakové nepohody a vzrůstá únava, aniž by si to pozorovatel uvědomoval.

V druhém případě již dochází ke zhoršení činnosti zraku, snížení zrakových schopností, snižuje se zraková ostrost a kontrastní citlivost. Omezující oslnění je zjistitelné měřením změn zrakových funkcí. Krajním fyziologickým oslněním je oslnění oslepující (také absolutní oslnění), které zamezuje činnosti zraku úplně.

Vzhledem k výše napsanému by se neměli oslnění omezující a oslepující v osvětlovacích soustavách vyskytovat vůbec. Rušivé oslnění je také velmi nežádoucí a pro jeho odrušení se používá zábrany. [4][6][7]

3.1 Hodnocení oslnění ve vnitřních prostorech

Hodnocení oslnění v interiérech se orientuje převážně na přímé oslnění a je založeno na výsledcích výzkumu rušivého oslnění. Rušivé oslnění se hodnotí statickým zpracováním pozorovaných výsledků a hodnocení situací, při nichž docházelo k nejrůznějším činnostem u většího množství pozorovatelů.

Do roku 2004 se oslnění v Evropě hodnotilo v zásadě dvěma způsoby. V prvním případě se hodnotily jasy použitých svítidel ve sledovaných směrech. Druhým způsobem je výpočet indexu oslnění, případně činitele oslnění G .

3.1.1 Činitel oslnění

Výpočet indexu oslnění (činitele oslnění) vychází z předpokladu, že čím vyšší je jas oslňujícího zdroje a prostorový úhel pozorovaného zdroje oslnění, tím vyšší je i stupeň oslnění. A naopak stupeň oslnění klesá s rostoucím jasem pozadí. Pak pro výpočet činitele oslnění od jednoho světelného zdroje, lze napsat vztah

$$G = \frac{L_z^a \cdot \Omega^b}{L_p^c \cdot P^d} \quad [-; -, \text{cd.m}^{-2}, \text{sr}, \text{cd.m}^{-2}] \quad (3.1)$$

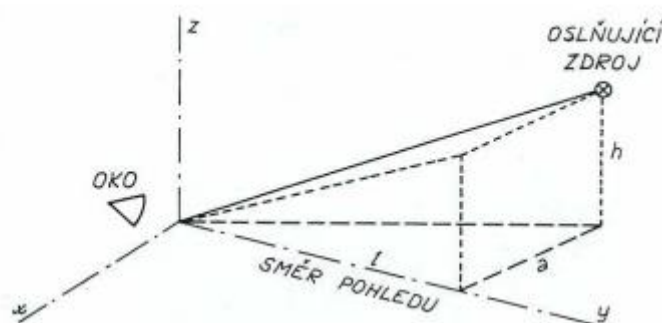
Kde P je činitel charakterizující vliv polohy oslňujícího zdroje, určovaný podle Luckieshe a Gutha z diagramu na *obr. 3.2*. L_z je jas oslňujícího zdroje, L_p je průměrný jas pozadí, Ω je prostorový úhel pod kterým pozorovatel sleduje oslňující svítidlo a koeficienty a , b , c , d jsou empiricky stanovené exponenty. Příklad stanovených exponentů je uveden v *tabulce 3.1*.

Činitel polohy podle Luckieshe a Gutha

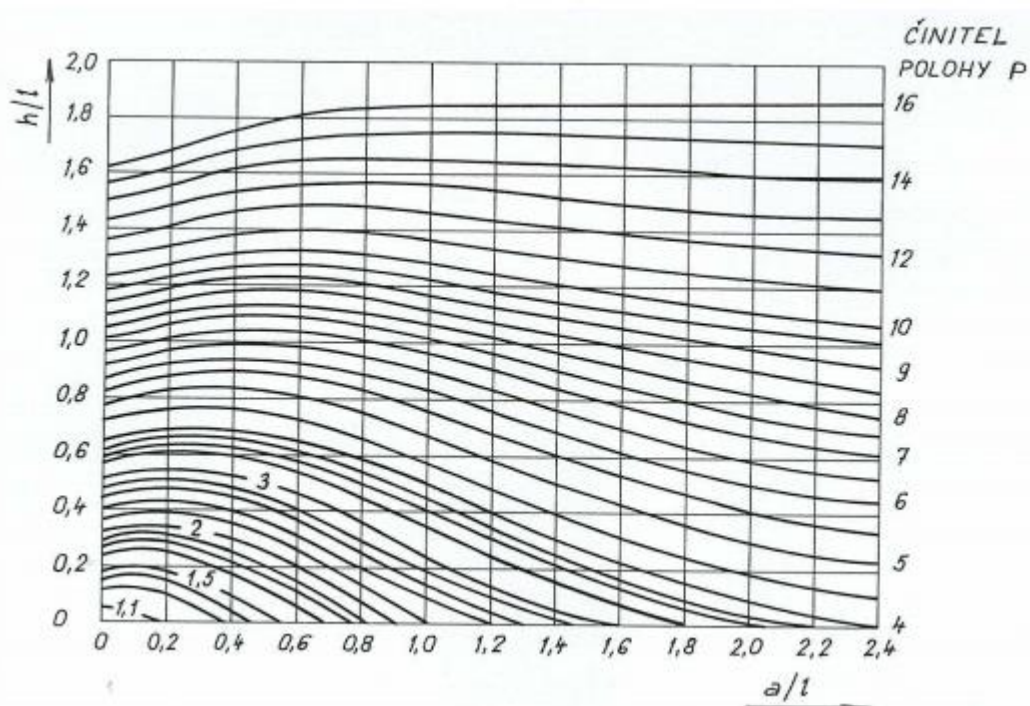
System pro stanovení činitele polohy oslňujícího zdroje, vymysleli Luckiesh a Guth. Na základě několika pozorovatelů stanovili postup a diagramy pro určení činitele polohy. Nejdříve se stanovila hranice mezi přijatelným a nepříjemným oslněním (BCD). Tato hranice BCD byla stanovena na základě více pozorovatelů na 2844 cd.m^{-2} . Tento jas vznikl od zdroje, který byl umístěn v ose pohledu pozorovatele a následně byl porovnáván s jasem od zdroje umístěného mimo osu pohledu. Pro názornost: Pro zdroj oslnění umístěný mimo osu pohledu s posunem o 30° je jeho jas 9500 cd.m^{-2} . Takže činitel polohy oslňujícího zdroje P je $3,34$ ($9500 / 2844$). [17]

Luckiesh a Guth vykreslili diagramy pro možná umístění oslňujícího zdroje v horní polovině zorného pole (*obr. 3.2*). Tedy tyto diagramy pak mohou být použity jen pro oslňující zdroje umístěné nad osou pohledu. Když se nachází oslňující zdroj přímo v ose pohledu, je činitel polohy roven jedné, v případě kraje zorného pole je činitel polohy roven 16. [17]

Pro stanovení činitele polohy je potřebné znát umístění oslňujícího zdroje. Dle *obrázku 3.1* představuje rozměr h výšku oslňujícího zdroje nad rovinou oka pozorovatele. Rozměr l je směr vzdálenost ve směru pohledu od oka po rovinu procházející oslňujícím zdrojem a kolmou na směr pohledu a rozměr a je vzdálenost oslňujícího zdroje od vertikální roviny proložené osou směru pohledu. [6]



Obrázek 3.1: Rozměry pro stanovení činitele polohy [6]



Obrázek 3.2: Diagram pro stanovení činitele polohy dle Lukieshe a Gutha [6]

Prostorový úhel Ω , pod kterým je pozorována oslňující plocha svítidla A pozorovatelem ve vzdálenosti od svítidla r se vypočte ze vztahu

$$\Omega = \frac{A}{r^2} \quad [\text{sr}; \text{m}^2; \text{m}] \quad (3.2)$$

Jas oslňujících svítidel (oslňující plochy) L_z lze vypočíst pomocí svítivosti ve směru k pozorovateli I_γ a oslňující plochy A .

$$L_z = \frac{I_\gamma}{A} \quad [\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}; \text{cd}; \text{m}^2] \quad (3.3)$$

Tabulka 3.1: Exponent pro výpočet činitele oslnění podle různých autorů [4]

Autor	Exponent->	a	b	c	d
Netušil		1	0,4	0,5	1
Harrison		2	1	0,6	1
Arndt-Bodmann-Muck		1	0,33	0,66	1
Hopkinson		1,6	0,8	1	1,6
Sørensen		2	1	1	2

Činitel oslnění se z pravidla počítá v bodech prostoru, ve kterých uživatelé prostoru vykonávají požadovanou činnost a to ve výši očí sedící (1,2 m) nebo stojící (1,5 m) osoby a ve směrech pohledu nejčastěji se vyskytujících. V každém bodě je pak vyhodnocena nejvyšší hodnota činitele oslnění z různých směrů pohledů, která je pak porovnána s tabulkovou hodnotou udávanou v normě ČSN 12464 – 1.[7]

V Případě více oslňujících zdrojů je možné dílčí činitele oslnění jednoduše sčítat. Také lze použít logaritmické vyjádření činitele oslnění, neboť takto získané hodnoty umožňují lépe

vystihnout změny pocitu pozorovatelů o stupni oslnění (GI). V Případě takto získané hodnoty činitele oslnění je případná změna o jednotku mnohými pozorovateli zpozorována citelná změna pocitu oslnění.[4]

3.1.2 Sørensonova metoda (UGR)

V současné době se pro posuzování indexu oslnění doporučuje použití Sørensonova vzorce, který je přijat v rámci mezinárodní komise pro osvětlování CIE a implantován do evropských předpisů. Využitím tohoto vztahu je vytvořen *jednotný systém hodnocení oslnění* (UGR), který je zmíněn i v normě EN 12464-1.

$$GI = UGR = 8 \log \left| \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n \frac{L_{zi}^2 \cdot \Omega_i}{L_p \cdot P_i} \right| \quad [-; \text{cd.m}^{-2}, \text{sr}, \text{cd.m}^{-2}, -] \quad (3.4)$$

Sørensenův vzorec využívá stejných hodnot, jako jsou uvedeny ve vztahu (3.1). Podle Sørenseny se jas pozadí L_p , který je definován jako rovnoměrný jas celého okolí, který v místě oka pozorovatele vytvoří ve svislé rovině stejnou osvětlenost jako skutečné zorné pole bez oslňujících zdrojů, běžně vypočte z hladiny nepřímé osvětlenosti E_n v rovině oka pozorovatele dle vztahu (3.5). [4][7]

$$L_p = \frac{E_n}{\pi} \quad [\text{cd.m}^{-2}, \text{lx}] \quad (3.5)$$

Nepřímá osvětlenost E_n se určuje pomocí rozdělení světelně činných povrchů na dílčí části, stanoví se počáteční rozdělení toků svítidel, vyřeší se proces odrazů mezi uvažovanými dílčími povrchy, stanoví se výsledné rozdělení toků a posléze i jasů jednotlivých povrchů. Poté se již hladina nepřímé osvětlenosti stanoví součtem osvětleností vypočtených od sekundárních zdrojů ve svislé rovině proležené okem pozorovatele v kontrolním bodě, jímž je oko pozorovatele. [7]

Ve velké řadě případů se činitel oslnění UGR pohybuje v rozmezí 10 – 30. V normě EN 12464-1 je uvedena stupnice na základě Hopkinsonova kritéria. Tato stupnice je zobrazena v tabulce (3.2). Osvětlovací soustavy s UGR menším jak 10 jsou předpokládány jako neschopné generace nepřijemného oslnění. V této normě jsou uvedeny i maximální hodnoty oslnění pro daný prostor a jeho účel. Spousta kancelářských prací vyžaduje osvětlovací soustavu s UGR menším, nebo rovno 19, ale maximální dovolená hodnota UGR je závislá na druhu práce a pracovním prostorem. [14]

Tabulka 3.2: Stupnice činitele oslnění UGR na základě Hopkinsonova kritéria [14]

Stav oslnění	Hodnota UGR
Neznatelné	10
Právě znatelné	13
Znatelné	16
Právě přijatelné	19
Nepřijatelné	22
Právě nepřijemné	25
Nepřijemné	28

Výše uvedený vztah (3.4) je vhodný pro použití výpočtu u soustavy s oslňujícími zdroji viděny pod prostorovým úhlem v rozmezí 0,1 až 0,0003 sr. Pro zdroje oslnění, které jsou viděny pod menším prostorovým úhlem, jak 0,0003 sr vytvořilo CIE alternativní vztah

$$UGR_{small} = 8 \log \left| \frac{1}{4L_p} \sum_{j=1}^n 200 \frac{I_j^2}{r_j^2 \cdot P_j^2} \right| \quad [-; \text{cd.m}^{-2}, \text{cd, m, -}] \quad (3.6)[14]$$

Kde I_j je svítivost daného (j-tého) zdroje oslnění, r_j je vzdálenost (j-tého) zdroje oslnění od pozorovatele a P_j je činitel polohy podle Luckieshe a Gutha (j-tého) zdroje oslnění.[14]

Hodnoty činitele UGR zjištěné z rovnice (3.4) jsou málo citlivé na odchylky ve stanovení jasu pozadí. Při hodnotě jasu pozadí lišící se o 33 % je změna činitele UGR pouze o jednotku. Proto se vychází z předpokladu rovnoměrného osvětlení povrchů v dané místnosti.

Oslnění je možné hodnotit také systémem omezení oslnění DIN 5035, který byl aplikován v dřívější normě ČSN 360450 pod názvem *Metoda hodnocení oslnění podle jasu svítidel*.

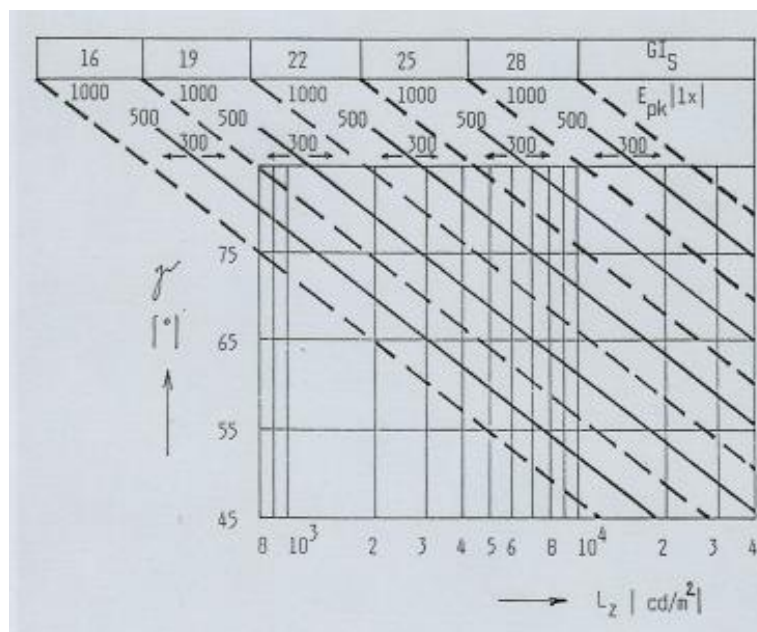
Platnost tohoto systému je podmíněna následujícími podmínkami:

- Osvětlovací soustava tvořena jedním typem svítidel v pravidelném uspořádání
- Uvažuje se převážně vodorovný směr pohledu
- Uvažuje se minimální činitel odrazu stropu 0,5 a stěn 0,25.

Pak se hodnocená soustava zařadí do určité třídy oslnění a dle jmenovité hladiny průměrné osvětlenosti srovnávací roviny se ověřuje pomocí diagramů, zda jsou jasy použitých svítidel vyhovující. V případě vyhovujícím je zajištěno, že alespoň polovina pozorovatelů hodnotí soustavu jako vyhovující.

Jelikož metoda hodnocení oslnění podle jasu svítidel byla v praxi velice oblíbená, byly vytvořeny diagramy mezních jasů i v systému UGR pro svítidla s typovými čarami svítivosti.

Pro použití diagramu mezních jasů je zapotřebí uvažovat rovnoměrné rozmístění svítidel stejného typu, umístění pozorovatele vždy ve středu některé ze stran a vodorovný směr přímého pohledu. Pro tyto předpoklady je sestrojen graf mezních jasů pro metodu UGR (*obr. 3.3*). [7]



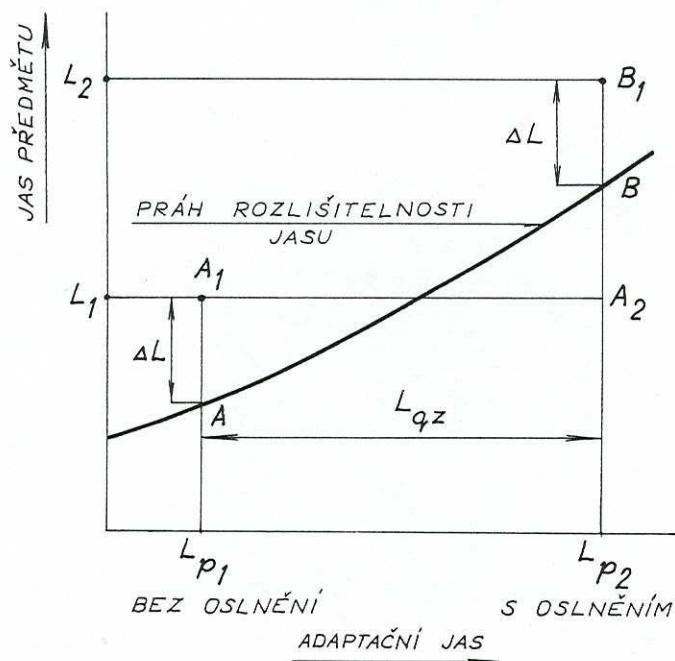
Obrázek 3.3: Diagram mezních jasů pro metodu UGR [7]

Na našem území byla k hodnocení oslnění do nedávné doby požívána metoda Söllnerova zmíněná v dřívější užívané normě ČSN 36 0450. Tato metoda je platná pouze, pokud je v hodnocené osvětlovací soustavě použito stejných světelných zdrojů v pravidelném uspořádání v prostorách s činitelem odrazu stropu nejméně 0,5 a stěn 0,25. Osvětlovací soustava se na základě hladiny osvětlenosti zařadí do určité třídy omezení oslnění a dle průměrné hladiny osvětlenosti na srovnávací rovině se poté určí, zda jasy použitých svítidel nepřekračují maximální stanovené hodnoty.

Obdobný postup jako v Söllnerově metodě je možné využít i u jednotného hodnocení oslnění UGR. Pro některé případy jsou již vypracovány diagramy. Hodnotíme-li fyziologické oslnění, vycházíme z úvahy, že osvětlení vyvolá uvnitř oka určitý rozptyl, který je charakterizovaný hodnotou *ekvivalentního závojevého jasu*. Což je jas, o který lze zvýšit původní adaptační jas, aby nedošlo k dosažení prahu rozlišitelnosti jasu při zjištění oslnění. Závislost prahu rozlišitelnosti jasu a adaptačního jasu je téměř lineární, jak je patrné na obrázku 3.4. [4]

„Je-li při adaptačním jasu L_{p1} ke spolehlivému rozlišení určitého předmětu (bod A_1) zapotřebí rozdíl ΔL jasu předmětu L_1 a prahu rozlišitelnosti jasu v bodě A , pak při oslnění lze vliv rozptylu světla uvnitř oka interpretovat tak, jakoby oslněná část sítnice byla adaptována na vyšší jas L_{p2} . Předmět, jehož jas je L_1 , je při adaptačním jasu L_{p2} již nerozlišitelný, neboť bod A_2 leží pod prahem B rozlišitelnosti jasu. Původní rozlišitelnosti se dosáhne zvýšením jasu předmětu (bod B_1) na hodnotu L_2 , aby byl opět zachován rozdíl jasů ΔL od prahu rozlišitelnosti, tj. od bodu B . Rozdíl adaptačních jasů ($L_{p2} - L_{p1}$) se pokládá za měřítko působení rozptylu světla (vzniku závoje) v očích mediích a je tedy roven ekvivalentnímu závojevému jasu $L_{qz} = L_{p2} - L_{p1}$.“ [6]

Metoda hodnocení oslnění UGR není vhodná pro výpočet oslnění od zdrojů se svítící plochou menší jak $0,005 \text{ m}^2$ ($0,0003 \text{ sr}$), jelikož je pro ně velmi přísná. Pro svítící plochy větší jak $1,5 \text{ m}^2$ ($0,1 \text{ sr}$) je naopak velmi tolerantní. Z výše uvedeného plyne, že tato metoda není vhodná pro výpočet oslnění od bodových zdrojů světla a pro soustavy využívající nepřímého osvětlení. [11]



Obrázek 3.4: Určení ekvivalentního závojevého jasu [6]

3.1.3 Holladayova metoda

Jestliže, porovnáme prahový jas v případě bez fyziologického oslnění ΔL_{min} a v případě s fyziologickým oslněním ΔL_{minS} , dostaneme podle Holladaye *činitel omezujícího oslnění*

$$S_H = \frac{\Delta L_{minS}}{\Delta L_{min}} = \frac{L_{p2}}{L_{p1}} = \frac{L_{p1} + L_{qz}}{L_{p1}} = 1 + \frac{L_{qz}}{L_{p1}} \quad [-; \text{cd.m}^{-2}, \text{cd.m}^{-2}] \quad (3.7)$$

Jelikož se činitel omezujícího oslnění jen málokdy liší od hodnoty 1, byl stanoven Mezinárodní komisí pro osvětlování CIE index omezujícího oslnění S_M

$$S_M = (S_H - 1) \cdot 10^{-3} = \frac{L_{p1}}{L_{qz}} \cdot 10^{-3} \quad [-; \text{cd.m}^{-2}, \text{cd.m}^{-2}] \quad (3.8)$$

Holladay experimentálně ověřil, že ekvivalentní závojevý jas L_{qz} způsobený bodovým zdrojem lze stanovit z výrazu (3.9.), kde c je činitel závislý na jasu L_z oslňujícího zdroje. Pro oblast $5 \cdot 10^3 \text{cd} \cdot \text{m}^{-2} \leq L_z < 10^6 \text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$ se určí ze vztahu $c = 3 \cdot \log L_z - 8,54$. Pro hodnoty jasu $L_z \geq 10^6 \text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$ je $c = 9,46$. E je osvětlenost oka zajištěná oslňujícím zdrojem v rovině proložené v místě zornice kolmo k optické ose oka. n je exponent (podle Adriana = 1,71, běžně se však uvažuje $n = 2$). θ je úhel sevřený osou pohledu a spojnicí oka s oslňujícím zdrojem.

$$L_{qz} = c \cdot \frac{E}{\Theta^n} \quad [\text{cd.m}^{-2}; -, \text{lx}, ^\circ, -] \quad (3.9)$$

Pak lze určit výsledný ekvivalentní závojevý jas L_{qz} od všech zdrojů podílejících se na oslnění dle vztahu (3.10) kde L_{qzi} je ekvivalentní závojevý jas od i -tého oslňujícího zdroje.

$$L_{qz} = \left[\sum_{i=1}^m (L_{qzi})^{3/2} \right]^{2/3} \quad [\text{cd.m}^{-2}; \text{cd.m}^{-2}] \quad (3.10)$$

Oko je nejcitlivější na oslnění ve směru osy pohledu a v jejím okolí asi do úhlu 14° . V oblasti úhlů $14 - 27^\circ$ je vliv jasů oslňujících zdrojů menší, ale citelný. V případě úhlů větších jak 27° je vliv jasů oslňujících zdrojů z fyziologického hlediska zanedbatelný. [4]

3.1.4 Netušilův vzorec

Dosud zmíněné metody hodnocení oslnění neuvažovaly světelný zdroj umístěný v dolní polovině zorného pole, ale pouze v horní polovině zorného pole. Netušilův vzorec uvažuje vliv oslňujícího světelného zdroje v dolní polovině zorného pole, a to jiný než ve vrchní polovině zorného pole.

Na základě pokusného výzkum, navrhl Netušil vzorec pro výpočet činitele oslnění S

$$S = \frac{K \cdot L_B \cdot \Omega_B^{0,4}}{L_{ZP}^{0,5}} \quad [-; -, \text{cd.m}^{-2}, \text{sr}, \text{cd.m}^{-2}] \quad (3.11) [11]$$

Kde: K – Činitel polohy oslňujícího zdroje v zorném poli
 L_B – Jas oslňujícího zdroje
 Ω_B – Prostorový úhel oslňujícího zdroje
 L_{ZP} – Jas pozadí zorného pole bez oslňujících zdrojů

3.1.4.1 Činitel polohy K

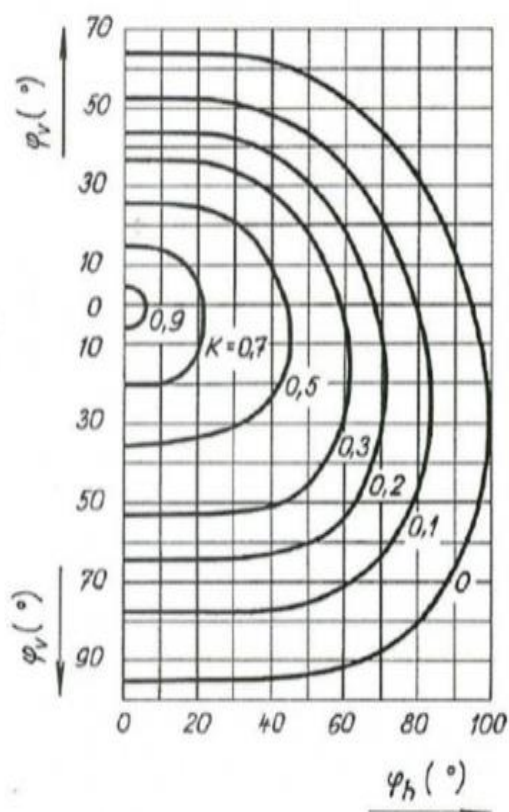
Činitel polohy je číslo, udávající v jakém poměru se zmenší oslnění, jestliže se oslňující zdroj vychýlí z osy pohledu do polohy mimo osu pohledu. Hodnota činitele K se zjišťuje pro úhel φ , jenž je nejmenším z úhlů, které svírá osa pohledu se spojnicí oko – okraj zdroje oslnění (výškový φ_v i boční φ_h).

$$\varphi_v = \arctg \frac{h}{l} \quad [^\circ; \text{m}, \text{m}] \quad (3.12)$$

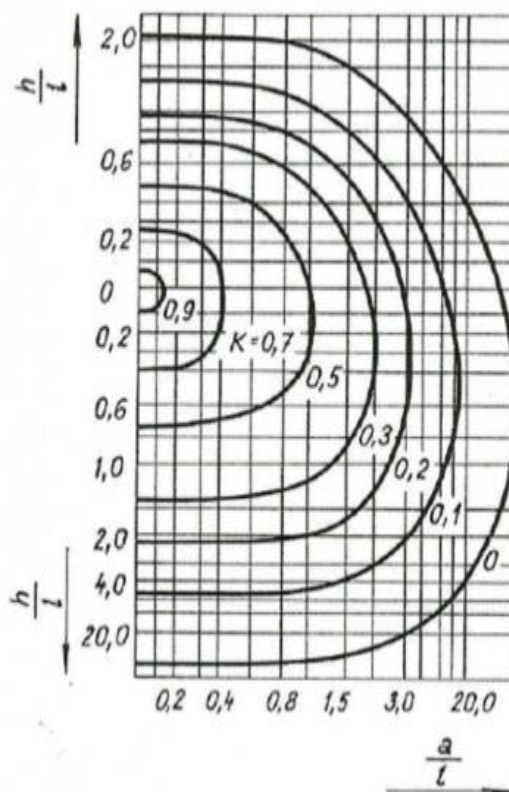
$$\varphi_h = \arctg \frac{a}{l} \quad [^\circ; \text{m}, \text{m}] \quad (3.13)$$

Kde h je nejmenší výška oslňujícího zdroje nad osou pohledu, a je kolmá vzdálenost zdroje oslnění od osy pohledu a l vzdálenost průsečíku roviny, procházející středem svítidla, kolmé na směr pohledu ve směru pohledu (*obr. 3.1*).

Pak se činitel polohy určí, dle již známých nomogramů, na základě úhlů odklonění oslňujícího zdroje od směru pohledu φ_v , φ_h (*obr. 3.5*) anebo poměrů vzdáleností h/l a a/l (*obr. 3.6*). [10]



Obrázek 3.5: Nomogram k určení činitele polohy dle Netušila pomocí úhlů odklonu zdroje od osy pohledu [9]



Obrázek 3.6: Nomogram k určení činitele polohy dle Netušila pomocí poměrů vzdáleností [9]

3.1.4.2 Jas oslňujícího zdroje

V případě známé křivky svítivosti zdroje lze použít vztah (3.3) pro určení jasu oslňujícího zdroje. Avšak v případě oslňujícího zdroje s velkou plochou vyzařování se z pravidla dosazuje aritmetický průměr jasu L_B po celé pozorované ploše průmětu oslňujícího zdroje. Proto je vhodné použít vztah (3.14). Veličiny jsou spjaty se směrem a místem pozorování.

$$L_B = \frac{\sum_{i=1}^n L_{iB} \cdot \Delta\Omega_{iB}}{\Omega_B} \quad [\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}; \text{cd}\cdot\text{m}^{-2}, \text{sr}, \text{sr}] \quad (3.14)$$

Kde L_{iB} je jas i -té oblasti oslňujícího zdroje, $\Delta\Omega_{iB}$ je prostorový úhel i -té plochy oslňujícího zdroje a Ω_B je prostorový úhel zdroje oslnění.

V případě oslnění pouze částí svítidla (např. zrcadlový odraz světelného zdroje) počítáme jen s jasem a prostorovým úhlem oslňující části. Uvažujeme-li rozměrné zdroje oslnění, uvažujeme jen části svítidla, které se nachází v zorném poli pozorovatele. [10]

3.1.4.3 Jas a prostorový úhel bodových a čárových oslňujících zdrojů

U menších zdrojů oslnění je nutné provést redukcí jejich jasu a prostorového úhlu.

Redukovaný jas – je hodnota jasu, jakou by měl oslňující zdroj při stejné svítivosti, kdyby se jeho nejmenší rozměr zvětšil tak, aby byl vidět pod zorným úhlem 0,001 rad (poměr 1/1000 vzdálenosti r_B a nejmenšího rozměru svítidla).

Redukovaný prostorový úhel – Prostorový úhel příslušející takto zvětšenému zdroji oslnění.

Bodový oslňující zdroj

redukovaný prostorový úhel pro poměr vzdálenosti od pozorovatele a nejmenší velikosti svítidla $1/1000$ je dán (viz. Obr. 3.7)

$$\Omega_{Bred} = \frac{A_{Bred}}{r_B^2} = \beta_1 \cdot \beta_2 = 0,001 \cdot 0,001 = 10^{-6} sr \quad [sr; m^2, m; sr, sr] \quad (3.15)$$

Kde A_{Bred} je redukovaná plocha oslňujícího zdroje, β_1 a β_2 jsou redukované úhlové rozměry délky a šířky a r_B je vzdálenost zdroje oslnění od pozorovatele.

Redukovaný jas takto umístěného bodového zdroje pak je

$$L_{Bred} = \frac{I_\gamma}{A'_{Bred}} = \frac{I_\gamma}{r_B^2} \cdot 10^6 \quad [cd \cdot m^{-2}; cd, m^2, m] \quad (3.16)$$

Po úpravě dostaneme vztah pro oslnění od bodového zdroje s rozměry menšími než $1/1000 r_B$.

$$S = \frac{K \cdot L_{Bred} \cdot \Omega_{Bred}^{0,4}}{L_{ZP}^{0,5}} \quad [-; -, cd \cdot m^{-2}, sr, cd \cdot m^{-2}] \quad (3.17)[10]$$

Čárový oslňující zdroj

Redukovaný prostorový úhel čárového zdroje s úhlovou šířkou $d/r_B < 1/1000$ (zavedeme redukovanou úhlovou šířku $d/r_B = 0,001$ rad) se vypočte dle následujícího vztahu

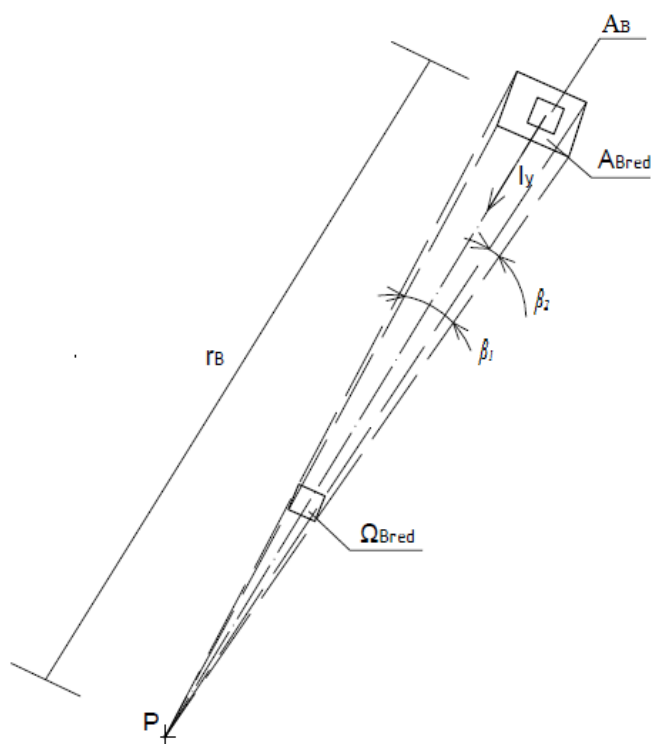
$$\Omega_{Bred} = \frac{A'_B}{r_B^2} \cdot \cos \gamma = \frac{l \cdot \cos \gamma}{r_B} \cdot \frac{d}{r_B} = \frac{l \cdot \cos \gamma}{r_B} \cdot 0,001 = \frac{l'}{r_B} \cdot 0,001 \quad [sr; m^2, ^\circ m] \quad (3.18)$$

Kde úhel γ je dán přímkou mezi pozorovatelem a polovinou oslňujícího zdroje a normálou přímky AB v její půlce (obr. 3.8).

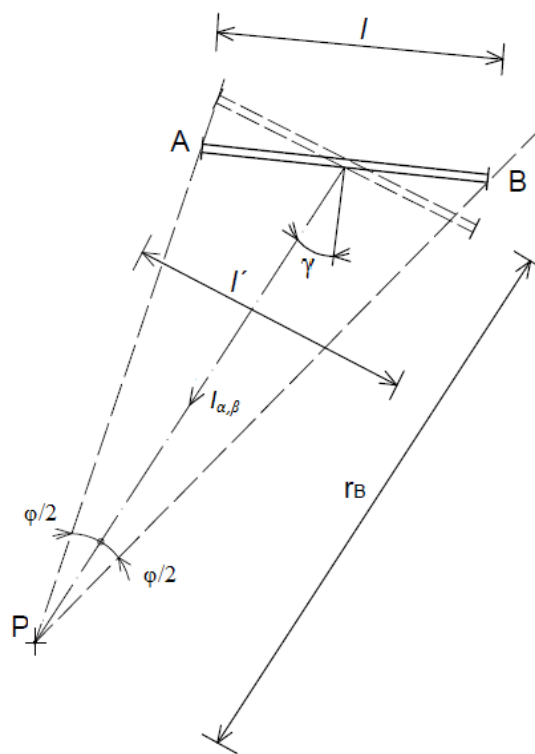
Za předpokladu, že čárový zdroj má rovnoměrný jas po celé délce, je známa jeho svítivost $I_{\alpha,\beta}$ a redukovaný prostorový úhel, můžeme redukovaný jas stanovit ze vztahu

$$L_{Bred} = \frac{I_{\alpha,\beta}}{A'_{Bred}} = \frac{I_{\alpha,\beta}}{0,001 \cdot l' \cdot r_B} \quad [cd \cdot m^{-2}; cd, m, m] \quad (3.19)$$

Pak výsledný činitel oslnění od čárového zdroje je dán stejně jako pro bodový zdroj vztahem 3.17.[10]



Obrázek 3.7: Znázornění redukovaného prostorového úhlu bodového oslňujícího zdroje [10]



Obrázek 3.8: Znázornění redukovaného prostorového úhlu čárového oslňujícího zdroje [10]

3.1.4.4 Prostorový úhel oslňujícího zdroje

Prostorový úhel se také vyhodnocuje v závislosti na místě a směru pohledu. Vyhodnocují se jen ty části oslňujících ploch, které jsou v zorném poli pozorovatele. Jestliže se nejedná o oslňující zdroje o velkých plochách, můžeme použít vztah

$$\Omega_B = \frac{A'_B}{r_B^2} \quad [\text{sr}; \text{m}^2, \text{m}] \quad (3.20)$$

Kde A'_B je plocha průmětu oslňujícího zdroje, r_B je vzdálenost oslňujícího zdroje od pozorovatele a Ω_B je prostorový úhel oslňujícího zdroje. Tento vztah je vhodný pouze pro zdroje oslnění, jejichž největší rozměr není větší jak 1/5 vzdálenosti svítidla od pozorovatele.

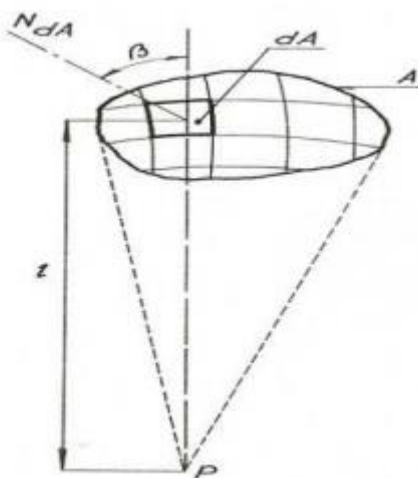
Jestliže je vzdálenost oslňujícího zdroje od pozorovatele větší jak 1/5 oslňujícího zdroje, použijeme pro výpočet prostorového úhlu vztah

$$\Omega_B = \sum_{i=1}^n d\Omega_i \quad [\text{sr}; \text{m}^2, \text{m}] \quad (3.21)$$

Pro použití tohoto vztahu je zapotřebí plochu oslňujícího zdroje rozdělit na menší plošky, ze kterých lze vypočítat prostorový úhel s chybou menší jak 1 %. Dílčí segment prostorového úhlu se pak vypočte

$$d\Omega_i = \frac{dA_i \cdot \cos \beta_i}{r_{Bi}^2} \quad [\text{sr}; \text{m}^2, \text{m}] \quad (3.22)$$

Kde A_i je plocha segmentu oslňujícího zdroje, r_{Bi} je vzdálenost segmentu oslňujícího zdroje od pozorovatele a β_i je úhel, který svírá normála plošného segmentu N_{dA} s osou prostorového úhlu (paprskem), (obr 3.9). [10]



Obrázek 3.9: Prostorový úhel [6]

3.1.4.5 Jas pozadí

Jasem pozadí se rozumí aritmetický průměr jasu celého zorného pole vyjímaje oslňujících zdrojů, přičemž nejmenší hodnota je $0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ při úplně tmném pozadí

Průměrný jas plochy pozadí L_{zP} se stanoví pomocí vztahu

$$L_{zP} = \frac{\sum_{i=1}^n L_{zPi} \cdot \Delta\Omega_{zPi}}{\Omega_{zP}} \quad [\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}; \text{cd}\cdot\text{m}^{-2}, \text{sr}, \text{sr}] \quad (3.23)$$

Kde L_{zPi} je jas dílčí plochy pozadí, $\Delta\Omega_{zPi}$ je prostorový úhel i -té plochy pozadí a Ω_{zP} je prostorový úhel pozadí zmenšený o součet prostorového úhlu všech oslňujících zdrojů.

V praxi je tento výpočet velmi nepřesný, vlivem velké prostorové členitosti ploch pozadí. Pro zjednodušení výpočetního postupu se považuje za jas pozadí

- a) Průměrný jas základních ploch v osvětlovaného prostoru tj. stropu, stěn a podlahy za předpokladu přibližně stejného jasu v celé osvětlované ploše.

$$L_{zP} = \frac{L_1 \cdot A_1 + L_2 \cdot A_2 + L_3 \cdot A_3}{A_1 + A_2 + A_3} \quad [\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}; \text{cd}\cdot\text{m}^{-2}, \text{m}^2, \text{m}^2] \quad (3.24)$$

Kde: A_1, A_2, A_3 – Plocha stropu, stěn a podlahy

L_1, L_2, L_3 – Průměrný jas stropu stěn a podlahy

- b) Vymezí se část osvětleného poloprostoru pomocí směru pozorování a roviny kolmé k tomuto směru, procházející místem pozorování. Pak se vyhodnotí jas jako v předchozím případě (a). [10]

3.1.4.6 Činitel oslnění při několika oslňujících zdrojích

Při několika oslňujících zdrojích vypočteme výsledný činitel oslnění S_v zvlášť pro každý oslňující zdroj a pak provedeme součet dle vztahu

$$S_v = \sqrt{S_1^2 + S_2^2 + \dots + S_n^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n S_i^2} \quad [-; -] \quad (3.25) [10]$$

Pro činitele oslnění stanovené Netušilovým vzorce (3.11) udává norma přípustné hodnoty, které jsou zobrazeny v následující tabulce (3.3). Pro srovnání se uvádí stupnice téhož činitele oslnění, jak byla uspořádána Kittlerem (tab. 3.4)

Tabulka 3.3: Činitel oslnění dle Netušila pro různé prostředí [10]

Prostředí	Činitel oslnění S
Nemocnice (zorné pole ležících nemocných)	10
Kanceláře, školy, dílny (zorné pole při obvyklém pohledu osob)	25
Kanceláře, školy, dílny (zorné pole při obvyklém pohledu osob)	70
Dílny pro hrubé práce, kotelny, sklady uhlí apod., venkovní osvětlení	150

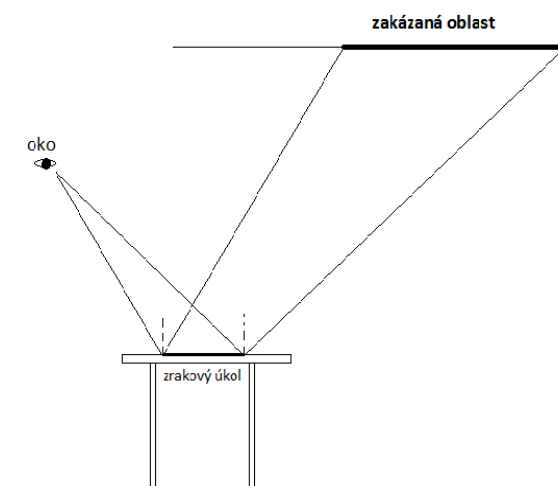
Tabulka 3.4: Stupnice činitele oslnění dle Netušila [10]

Charakteristika oslnění	Kritická hranice	Hodnota činitele oslnění S
Nesnesitelná vizuální nepohoda	-	$S > 600$
Právě nesnesitelné oslnění	A – Mezi oslněním nesnesitelným a nepříjemným	$S = 600$
Nepříjemné oslnění	-	$S = 150$ až 600
Právě nepříjemné oslnění	B - Mezi oslněním nepříjemným a jen rušivým	$S = 150$
Rušivé oslnění	-	$S = 100$ až 150
Právě rušivé oslnění	BC –Mezi pohodou a nepohodou	$S = 100$
Rušivé ale ne nepříjemné oslnění	-	$S = 35$ až 100
Právě přijatelné oslnění	C – Mezi rušivým a přijatelným oslněním	$S = 35$
Přijatelná, ještě rozlišitelná rozdílnost jasů	-	$S = 8$ až 35
Právě rozeznatelná rozdílnost jasů	D - Vyšší jas je rozeznatelný, ale neupoutává pozornost	$S = 8$

3.1.5 Kontrola oslnění odrazem

Aby se zabránilo oslnění odrazem, je doporučeno:

- Svítidla rozmisťovat tak, aby odražené světlo nesměřovalo přímo v protisměru pohledu pozorovatele. Nejlepších výsledků je dosaženo, když světlo má souběžný směr jako směr pohledu pozorovatele. Na základě těchto poznatků je stanovena tzv. zakázaná oblast, do které by neměli být umísťovány svítidla (*obr 3.10*).
- Používat rozměrných svítidel s malým jasem
- Pokud možno používat rozptylné povrchové úpravy
- Využívat svítidla s vhodnou křivkou svítivosti (např. motýlovitého tvaru) [7]



Obrázek 3.10: Vymezení zakázané oblasti umístění svítidla [8]

3.1.6 Oslnění denním světlem

Proces oslnění během dne ve vnitřních prostorách můžeme rozdělit do dvou částí. Prvním částí můžeme nazývat absolutní činitel oslnění a poměrný činitel oslnění. Na základě tohoto rozdělení bylo zapotřebí najít vhodný způsob pro přesné stanovení činitele oslnění.

Absolutní činitel oslnění je způsoben jasným oslňujícím zdrojem (např. Slunce, nebo vysoce jasný zdroj světla). Tento stav oslnění způsobuje značnou nekomfortnost a poškození pro oční receptory, protože receptory nejsou schopny jímat tak velkou svítivost.

Poměrný činitel oslnění je způsobený zdrojem oslnění, na který je oko schopné se adaptovat vůči pozadí. Je to zpravidla kontrast mezi jasnem oslňujícího zdroje a jasnem pozadí v zorném poli. [15]

Většina existujících metod na hodnocení oslnění je založena na principu porovnání jasu pozadí a jasu zdroje oslnění. Na rozdíl od těchto metod je metoda DGP (daylight glare probability) zaměřena na hladinu osvětlenosti lidského oka ve vertikální rovině. Tedy, DGP by mohlo být příslušným metrem pro analýzu absolutního oslnění. DGP je metoda přesná pro výpočet oslnění v místě s velkou vertikální osvětleností, ale je méně přesná pro oslnění na bázi svítivosti.

DGP bylo vymyšleno Wienoldem a Christoffersenem. Tato metoda je založena na hodnocení oslnění od zdroje oslnění pomocí vertikální osvětlenosti oka pozorovatele, jasu oslňujícího zdroje, prostorového úhlu a činitele polohy. Metoda DGP přináší velkou korelaci s již známým vnímáním oslnění oproti již často užívaným činitelům.

$$DGP = 5,87 \cdot 10^{-5} \cdot E_v + 9,18 \cdot 10^{-2} \cdot \log \left(1 + \sum_i \frac{L_{zdi}^2 \cdot \Omega_i}{E_v^{1,87} \cdot P_i^2} \right) + 0,16 \text{ [-; lx, cd.m}^{-2}, \text{ sr, lx, -]} \quad (3.26)$$

Kde E_v je vertikální osvětlenost oka pozorovatele, L_{zd} je jas zdroje, Ω je prostorový úhel zdroje a P_i je činitel polohy podle Gutha.

Weinold představil i zjednodušený vzorec, který uvažuje jen vertikální osvětlenost. Tato skutečnost pak může být lehce vypočitatelná a měřitelná. Zjednodušený vzorec je následující

$$DGPs = 6,22 \cdot 10^{-5} \cdot E_v + 0,184 \quad \text{[-; lx]} \quad (3.27)$$

Kde E_v je vertikální osvětlenost na oku pozorovatele. Tato rovnice zanedbává jednotlivý vliv oslňujících zdrojů. Výpočet činitele $DGPs$ je možné použít jen v případě, že se na oslnění nepodílí přímé sluneční paprsky a zrcadlové odrazy směřující přímo do oka pozorovatele. [15]

Vzhledem k tomu, že všechny předchozí metody hodnocení oslnění jsou zaměřeny na malé zdroje oslnění a žádná z nich se nezaobírá zdroji o větších plochách, jež se vyskytují při hodnocení oslnění od denního světla (Plocha okna) byl stanoven DGI (daylight glare index). Velikost oslnění způsobená denním světlem z okna je závislá na jeho rozměrech a místem pozorovatele, ale největší podíl má část, ve které je vidět přímo obloha, jelikož jas oblohy je průměrně 5000 cd.m^{-2} .

DGI je stanoven Cornellovou formulí přetvořenou ze vzorce BRS pro velké zdroje oslnění, kterou později modifikoval Chauvel na konečný tvar DGI dle vztahu (3.28)

$$DGI = 10 \log_{10} 0,478 \sum_i \frac{L_{zdi}^{1,6} \cdot \Omega_i^{0,8}}{L_b + 0,07 \cdot \omega_s^{0,5} \cdot L_w} \text{ [-; cd.m}^{-2}, \text{ sr, cd.m}^{-2}, \text{ sr, cd.m}^{-2}] \quad (3.28)$$

Kde L_{zd} je jas venkovního zdroje světla (sluneční paprsky, odražené světlo od země), L_w je jas okna, L_b je jas okolí okna včetně odrazů z vnitřního prostředí, ω_s je prostorový úhel pod kterým je viděno okno od pozorovatele a Ω je prostorový úhel modifikován zdroji oslnění a faktorem φ vzájemnou polohou tvořeným oknem a místem pozorovatele.

Další možností jak hodnotit oslnění denního osvětlení je metoda SR (Subjective rating), která je založena na principu evidování pocitu oslnění pocházejícího z jasných oblastí pracovního úkolu a vertikální osvětlenosti oka pozorovatele. SR se vypočítá dle vztahu

$$SR = 0,1909 \cdot E_v^{0,31} \quad \text{[-; lx]} \quad (3.29) [16]$$

Kde E_v je vertikální osvětlenost, měřená v centru místnosti ve výšce oka sedícího člověka otočeného čelem k oknu (1,22m). Tento index (SR) dovoluje odhadnout nepříjemné oslnění od zdrojů oslnění v místě pracovního úkolu proti oknu s vysokým nejednotným jasnem. Kriteriaální hodnoty indexu DGI a SR jsou uvedeny v tabulce 3.5. [16]

Tabulka 3.5: Kriteriaální hodnoty indexu oslnění DGI a SR[16]

Psychologický stav	DGI	SR
Nepřijatelné	>28	
Právě nepřijatelné	28	2,5
Nepříjemné	26	
Právě nepříjemné	24	1,5
Přijatelné	22	
Právě přijatelné	20	0,5
Pozorovatelné	18	
Právě pozorovatelné	16	

3.2 Hodnocení oslnění ve venkovních prostorách

U venkovních osvětlovacích soustav se kontroluje omezující oslnění na rozdíl od vnitřních, kde se kontroluje rušivé oslnění. Omezující oslnění přímo ovlivňuje zrakový výkon. Vlivem rozptylu světla uvnitř oka, je vytvořen rovnoměrný jasový závoj přes celé zorné pole, který se popisuje hodnotou ekvivalentního závojového jasu. Jeho velikost je závislá na hodnotě osvětlenosti v úrovni pozorovatele, a na velikosti úhlu, pod kterými jsou svítidla vidět. Stupeň omezujícího oslnění vzrůstá se závojovým jasnem a naopak klesá s narůstajícím průměrným jasnem pozadí.

Omezující oslnění se ve venkovních prostorech hodnotí podle dvou základních prostředí, z nichž první prostředím jsou pozemní komunikace a druhým jsou venkovní pracovní prostory. U hodnocení oslnění na pozemních komunikacích se používá tzv. *prahového přírůstku*, označovaného jako *TI* (threshold increment, %), který charakterizuje zvýšení prahu rozlišitelnosti. U venkovních pracovních prostor a sportovišť se hodnotí pomocí činitele oslnění *GR*. [4]

3.2.1 Prahový přírůstek *TI*

Hodnocení oslnění metodou prahového přírůstku (*TI*) je založeno na porovnávání jasů. Konkrétně jde o ekvivalentní závojový jas, který je tvořen rovinnou osvětleností v úrovni oka pozorovatele vyvolané oslňujícím zdrojem a průměrný jas komunikace. Dalším důležitým parametrem pro hodnocení oslnění je směr pohledu pozorovatele.

Podle směrnice CIE se používá pro výpočet závojového jasu Stiles-Holladayův vzorec. V praxi se nejčastěji vyskytuje úhel oslnění v rozmezí 2 ° až 30 °. Hodnoty mimo tyto meze jsou vidány jen ojediněle.

$$L_{zav} = k \cdot \frac{E_{rov(zd)}}{\vartheta_{zd}^2} \quad [\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}; -, \text{lx}, ^\circ] \quad (3.30)$$

Kde je L_{zav} ekvivalentní závojový jas, $E_{rov(zd)}$ je rovinná osvětlenost na úrovni oka pozorovatele způsobená od zdroje oslnění, ϑ_{zd} je úhel svíraný osou pohledu a spojnicí oka pozorovatele a zdroje oslnění a k , je věk pozorovatele přepočítaný na konstantu dle vzorce.

$$k = 9,86 \left[1 + \left(\frac{V}{66,4} \right)^4 \right] \quad [-; -] \quad (3.31)$$

Kde V , je věk pozorovatele. Je patrné, že konstanta k , se pro pozorovatele od 20 do 66 let mění v rozsahu 10 – 20. V případě překročení hranice 66 let je závislost ekvivalentního závojevého jasu na věku pozorovatele rychle rostoucí. Například pro věk pozorovatele 83 let je konstanta rovna 34, což je více než trojnásobek konstanty pozorovatele ve věku 23 let.[13]

Závojevý jas všech svítidel je roven součtu závojeových jasů od všech svítidel, počínající prvním svítidlem ve směru pozorování a pro svítidla za ním, až do vzdálenosti 500 metrů v každé řadě svítidel, a ukončí se, když příspěvek závojevého jasu jakéhokoli svítidla v té řadě je menší než 2 % celkového závojevého jasu předchozích svítidel v té řadě. [26]

Rovinná osvětlenost v úrovni oka pozorovatele se vypočítá pomocí rozdělení plochy oslňujícího zdroje na více dílů. Každý takový díl je viděn od pozorovatele pod prostorovým úhlem $\Delta\Omega_i$ s jasem zdroje L_i a úhlem oslnění ϑ_i . Pak můžeme psát vztah

$$E_{rov(zd)} = \sum_{i=1}^n L_i \cdot \Delta\Omega_i \cdot \cos \vartheta_i \quad [\text{lx}; \text{cd.m}^{-2}, \text{sr}, ^\circ] \quad (3.32)$$

Následně je potřebné zjistit jas sledované pozemní komunikace L_{voz} . S těmito hodnotami lze již spočítat činitel oslnění TI pozorovatele pohybujícího se po sledované pozemní komunikaci.

$$TI = \frac{65}{L_{voz}^{0,8}} \cdot L_{zav} \quad [\% ; \text{cd.m}^{-2}, \text{cd.m}^{-2}] \quad (3.33)$$

Výsledkem tohoto vztahu může být jednotná hodnota oslnění pro celkový pohled, anebo samostatná hodnota činitele oslnění pro každý oslňující zdroj. [13]

3.2.2 Činitel oslnění GR

Činitel oslnění ve venkovních pracovních prostorech je označován jako GR. Stanovuje se podle CIE ze vzorce

$$GR = 27 + 24 \log_{10} \left(L_{vl} / L_{ve}^{0,9} \right) \quad [-; \text{cd.m}^{-2}, \text{cd.m}^{-2}] \quad (3.34)$$

Kde L_{vl} je celkový závojevý jas způsobený osvětlovací soustavou, je to součet jednotlivých závojeových jasů všech svítidel. L_{ve} je ekvivalentní závojevý jas pozadí.

Celkový závojevý jas způsobený osvětlovací soustavou lze vypočítat jako součet závojeových jasů všech svítidel. Závojevý jas jednoho svítidla L_v se vypočítá

$$L_v = 10 \left(\frac{E_{rk}}{g^2} \right) \quad [\text{cd.m}^{-2}; \text{lx}, ^\circ] \quad (3.35)$$

Kde E_{rk} je osvětlenost v místě oka pozorovatele v rovině kolmé ke směru pohledu skloněnému o 2° oproti horizontální rovině a úhel g je svírán spojnicí středu svítidla s okem pozorovatele a směrem pohledu.

Ekvivalentní závojevý jas pozadí L_{ve} , lze vypočítat ze vztahu

$$L_v = 0,035 \rho \cdot E_{hor} \cdot n^{-1} \quad [\text{cd.m}^{-2}; -, \text{lx}] \quad (3.36)$$

Kde E_{hor} je horizontální osvětlenost prostoru a ρ průměrný činitel odrazu.

Činitel oslnění GR se má počítat ve stejné síti kontrolních bodů jako osvětlenost v azimutálních směrech po 45 ° počínaje směrem rovnoběžným s délkou prostoru. [12]

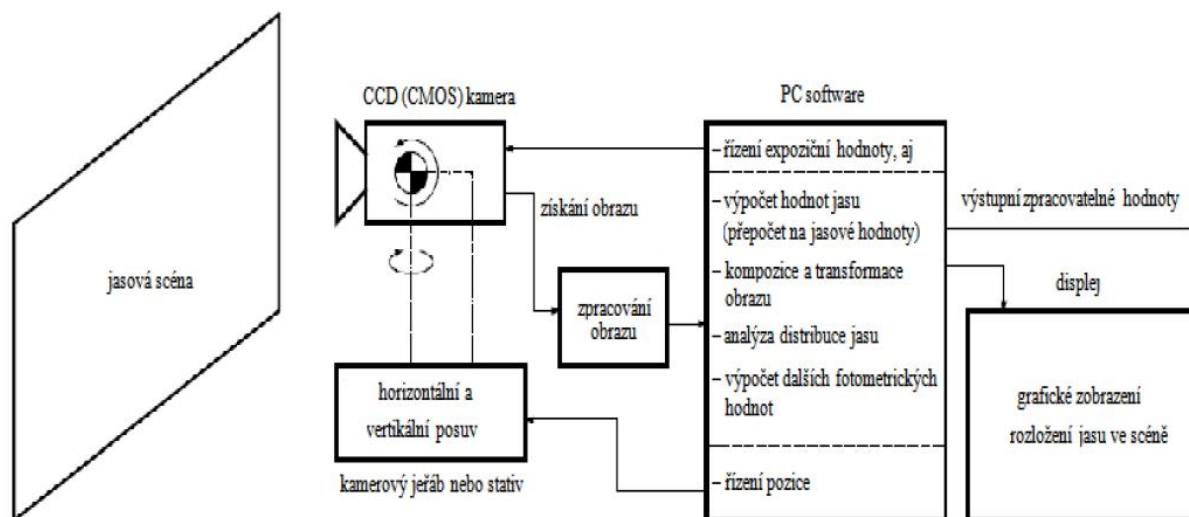
4 MĚŘENÍ OSLNĚNÍ

Z výše uvedené kapitoly 3 je jasné, že ke zhodnocení oslnění potřebujeme znát rozložení jasu v zorném poli pozorovatele. Rozložení jasu v zorném poli lze zjistit pomocí několika způsobů, jako jsou například přímé měření jasu pomocí srovnávacího jasoměru, nepřímého měření jasu a pomocí jasového analyzátoru.

Z již provedených několika měření se ukázalo měření pomocí jasového analyzátoru jako nejpřesnější a nejpohodlnější metoda pro zjištění rozložení jasů v zorném poli. Proto je další část této práce věnována právě jasovým analyzátorům.

4.1 Jasové analyzátoary

Za pojmem jasový analyzátor je schován kalibrovaný digitální fotoaparát. Dnešní digitální fotoaparáty používají pro záznam obrazů CCD nebo CMOS snímače, které umožňují zaznamenat scénu prostoru s informacemi o rozložení jasu. Výstupem tohoto zařízení je fotografie s velkým rozlišením, což je datový záznam obrazu původní scény. [19]



Obrázek 4.1: Schéma sestavy jasového analyzátoru [20]

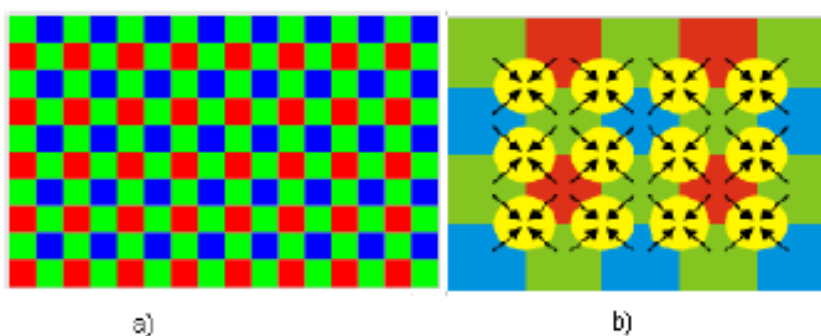
Jasový analyzátor se skládá z digitálního fotoaparátu umístěného dle požadovaného měření. V případě získání přesného snímku je pevně upevněn a v případě nutnosti pohybu fotoaparátu je možné upevnění na stativu nebo kamerovém jeřábu. Digitální fotoaparát zaznamená scénu a v podobě datového souboru ji předá k dalšímu zpracování. Další zpracování probíhá pomocí přiloženého softwaru k analyzátoru, jímž je datový soubor upravován na jasovou informaci a umožňuje dále vyhodnocovat získaná data. Součástí přiloženého softwaru většinou je i možnost komunikace s fotoaparátem pro nastavení vstupních hodnot jako jsou expoziční časy. Názorné zobrazení sestavy jasového analyzátoru je zobrazeno na obr. 4.1 [19]

„Výsledná digitální Fotografie je tvořena světlem, které se odrazilo nebo vyšlo z fotografovaného objektu, prošlo skrze objektiv, kde se zaostřilo na plochu snímacího čipu a zde vyvolalo el. náboj, který byl vhodně zpracován a převeden na obrazovou informaci. U většiny kompaktních fotoaparátů je čip součástí objektivu, protože mezi ním a objektivem není mechanická uzávěrka. To umožňuje menších rozměrů fotoaparátu, ale znemožňuje použití jiných objektivů. Doba expozice je zde řízena elektronicky a nikoliv elektromechanicky.“ [21]

Při expozici dochází k osvitům milionů světlocitlivých buněk na polovodičovém čipu. Míra generovaného náboje je pak závislá na intenzitě dopadajícího světla a době expozice. Po expozici je náboj vyhodnocován v A/D převodníku, který digitálně vyhodnotí intenzitu světla *úměrnou jas*. Avšak takto zjištěná informace je pouze černobílá, proto je zapotřebí k získání barevné informace jiného postupu. [21]

4.1.1 Senzory digitálních fotoaparátů

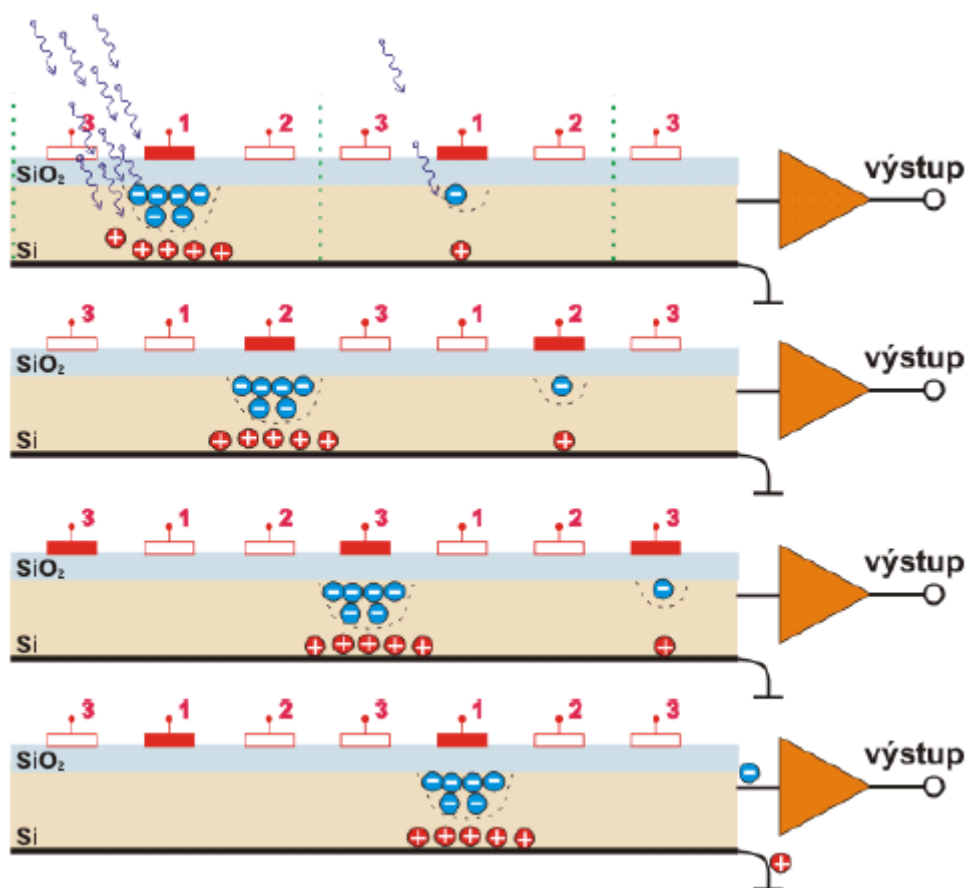
Senzor dig. fotoaparátu obsahuje miliony pixelů, které se skládají ze subpixelů. Každý typ subpixelu má svoji spektrální citlivost a dokáže rozeznat barevný vjem dopadajícího světla. V praxi se užívá tzv. barevné masky, jež se umístí před senzor. Barevná maska propouští na senzor jen jednu barvu na jednotlivý pixel. Pak výsledná barva bodu fotografie je dána matematickou interpolací barev sousedních bodů. Nejčastěji je použita tzv. Bayerova interpolace. Využívá toho, že lidské oko je nejcitlivější na žlutozelenou barvu a proto má Bayerovský filtr (*obr. 4.2*) dvojnásobný počet zelených buněk oproti červeným a modrým. [20]



Obrázek 4.2: Skladba pixelů Bayerovského filtru (a), Bayerova interpolace (b) [20]

Snímač CCD – Charged couple device (nabitě svázané prvky) – je posuvný registr vystavený působení světla. Snímač převádí dopadající světlo pomocí polovodičů na elektrický signál. Čip je složen z několika vrstev. Nejdůležitější vrstvou je vrstva polovodičová (Si) a vrstva nepropustná pro elektrony (SiO_2). Dále je tvořen sítí elektrod, které čip rozdělují na jednotlivé nábojové studny (pixely), které hromadí elektrony. Čip pracuje na principu fotoelektrického jevu, kdy dopadající foton vybudí elektron na vyšší energetickou hladinu. Vlivem izolační vrstvy SiO_2 elektron není odveden pomocí elektrody a čeká na dobu, kdy bude přesunut podobně jako v posuvném registru na vstup zesilovače A/D převodníku. Dle konstrukce se snímače dělí na řádkové (snímače čárového kódu) a plošné (fotoaparáty, kamery). [20] [21]

Na *obrázku 4.3* dopadlo na levý pixel více světla než na pixel pravý. Pokud se snímači přivede trojfázový signál, tak se elektrony převádí z jedné nábojové studny do následující. Elektrony, které doputují na okraj pole, jsou snímány a předávány výstupnímu zesilovači.

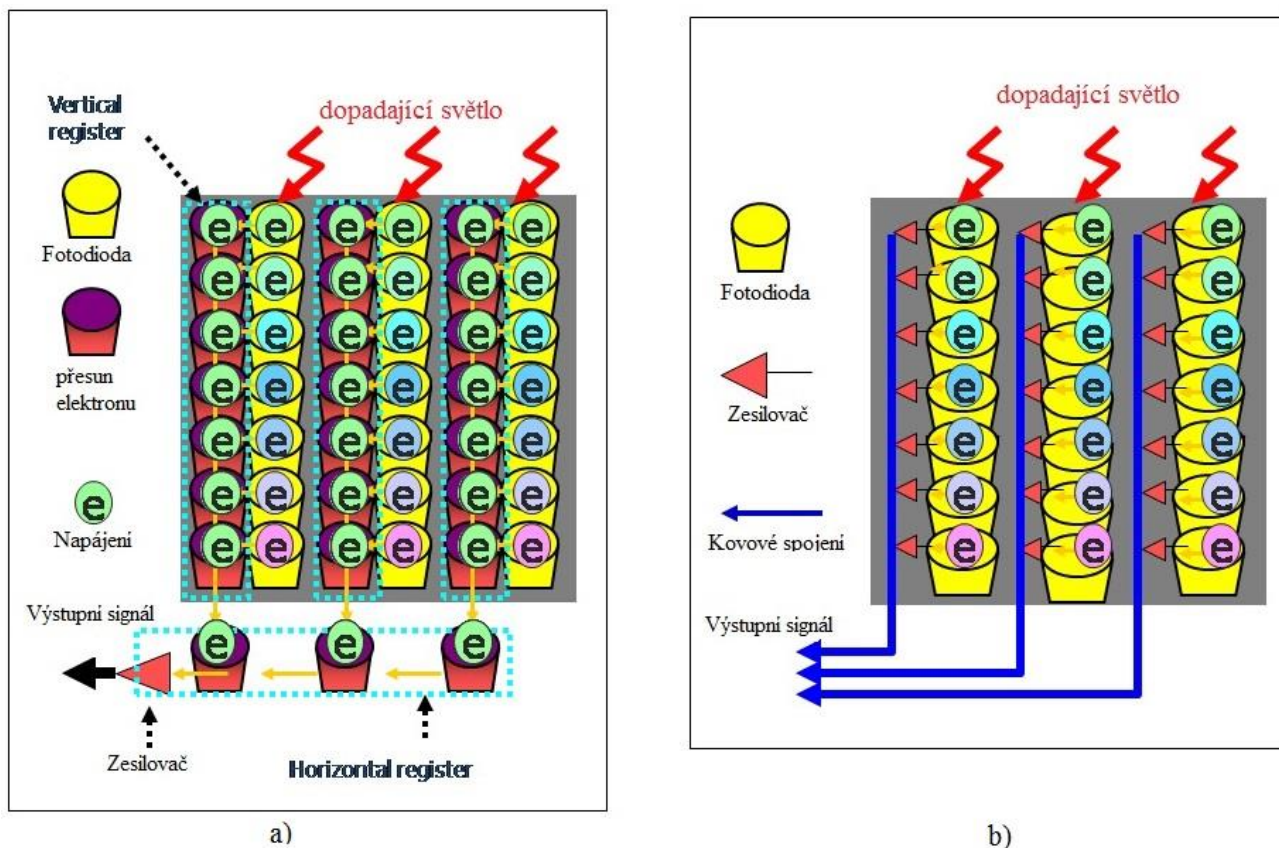


Obrázek 4.3: Princip pochodu el. náboje snímače CCD [21]

Snímač CMOS – Complementary metal oxide semiconductor – jsou snímače řízené elektrickým polem a díky tomu mají menší nároky na spotřebu el. energie. CMOS technologie je levnější na výrobu oproti CCD čipu a tudíž i jeho výsledná cena je mnohem levnější. Oproti CCD čipu má každá buňka CMOS svoje obvody pro odvod a měření generovaného náboje. Obvody pro každou buňku jsou nutné, jelikož je potřebné odfiltrovat náhodný náboj, který tvoří šum pro každou elementární buňku zvlášť. Pomocné obvody zabírají velkou část každé buňky. Proto je uváděn tzv. faktor zaplnění, který udává, jak velká část funguje jako světlocitlivá plocha. CCD má z principu funkce nižší šum a vyšší kvalitu obrazu. CMOS senzory se ale stále zlepšují a mají celou řadu výhod, jakou jsou – nižší cena, nižší složitost okolí, menší spotřeba, vyšší rozlišení. Principiální rozdíl mezi CCD a CMOS je na obr. 4.4. Srovnání senzorů je uvedeno v tabulce 4.1. [20]

Tabulka 4.1: Srovnání senzorů CCD a CMOS [20]

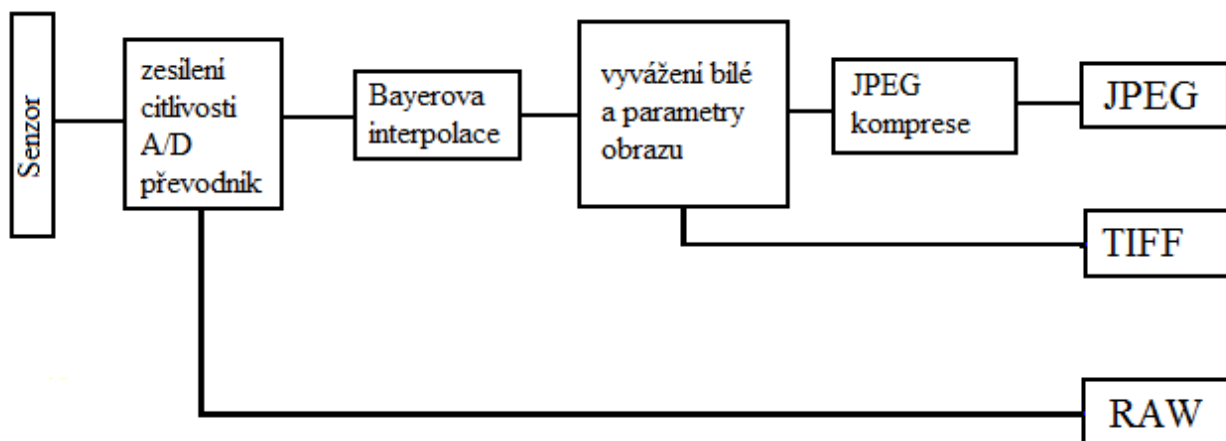
	CCD	CMOS
<i>Cena</i>	Dražší než CMOS	Levnější
<i>Odběr</i>	Vysoký	menší
<i>Šum</i>	Malý	Větší
<i>Složitost</i>	Velká	Malá
<i>Funkčnost</i>	Omezená	Vysoká
<i>Rychlost</i>	Nízká	Vysoká



Obrázek 4.4: Rozdíl mezi principem snímače CCD a) a CMOS b) [22]

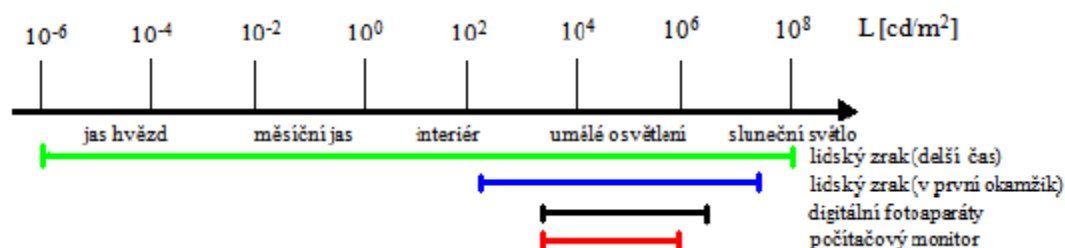
4.1.2 Jasová analýza digitální fotografie

Jelikož digitální fotoaparát zprostředkovává fotografie s velkým rozlišením je vhodné je použít k následnému zpracování výsledků rozložení jasu. Pro jasovou analýzu je nutné, aby získaná fotografie co nejvíce odpovídala obrazu zachycenému čipem. Obecně je kvalita snímku závislá na barevné hloubce a zpracování a ukládání získaného obrazu, jež se může ukládat do formátu **JPEG**, **TIFF** nebo **RAW**. Získávání jednotlivých formátů je znázorněno na obr. 4.5. Pro použití jasové analýzy je vhodné použít formát RAW díky jeho důvěryhodnému zachycení scény. Ovšem fotoaparát musí být přesně kalibrován na měření jasu.[20][21]



Obrázek 4.5: Postup při zpracování obrazů v různých formátech[23]

Využití HDR fotografie – Pomocí HDR technologie jsme schopni využít větší dynamický rozsah expozice než u normální snímací techniky. Získáme tak jasovou scénu s širokým rozsahem jasů. Proto je fotografie HDR vhodná k jasové analýze prostoru i k hodnocení oslnění metodou UGR. Cílem HDR fotografie je zprostředkovat focenou scénu tak jako by byla vidět lidským okem. Lidské oko má totiž mnohem větší dynamický rozsah než snímací čip fotoaparátu a to, i v prvním okamžiku pohledu jak je znázorněno na *obr. 4.6.* [20]



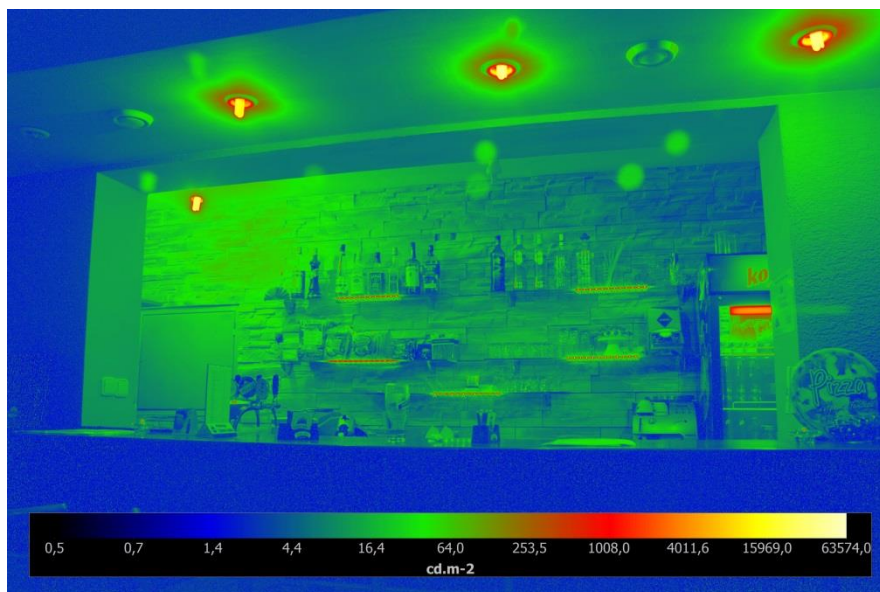
Obrázek 4.6: Dynamický rozsah lidského oka a dig. fotoaparátu [20]

Pro získání HDR fotografie potřebujeme znát podrobné informace o jasu dané scény. Toho docílíme využitím zachycení scény pro několik expozicí (od nejkratší po nejdelší). Při nejkratší expozici jsou zachyceny nejjasnější prvky v prostoru a při delší expozici jsou zachyceny ty nejméně jasné předměty. Pro dosažení nejlepších výsledků zachycení scény je doporučeno fotoaparát umístit na stativ, aby nedocházelo ke změnám zaznamenávané scény. Výsledná HDR fotografie je vytvořena spojením všech snímků s různou expozicí v jeden. Tento snímek pak překrývá celý dynamický rozsah. Názorná ukázka tohoto postupu je na *obrázku 4.7*, kde byly použity 3 expoziční snímky (krátká expozice - tmavý, střední expozice – mírně tmavý, dlouhá expozice – světlý, HDR - velký). [20]



Obrázek 4.7: Ukázka HDR fotografie [24]

S pomocí takto vytvořených snímků a následného použití softwaru je možné vytvořit jasovou mapu scény (obr. 4.8). Pomocí jasové mapy je pak možné zjistit potřebné jasy k hodnocení oslnění pozorovatele, který se dívá stejným směrem a je ve stejném místě jako snímací fotoaparát.



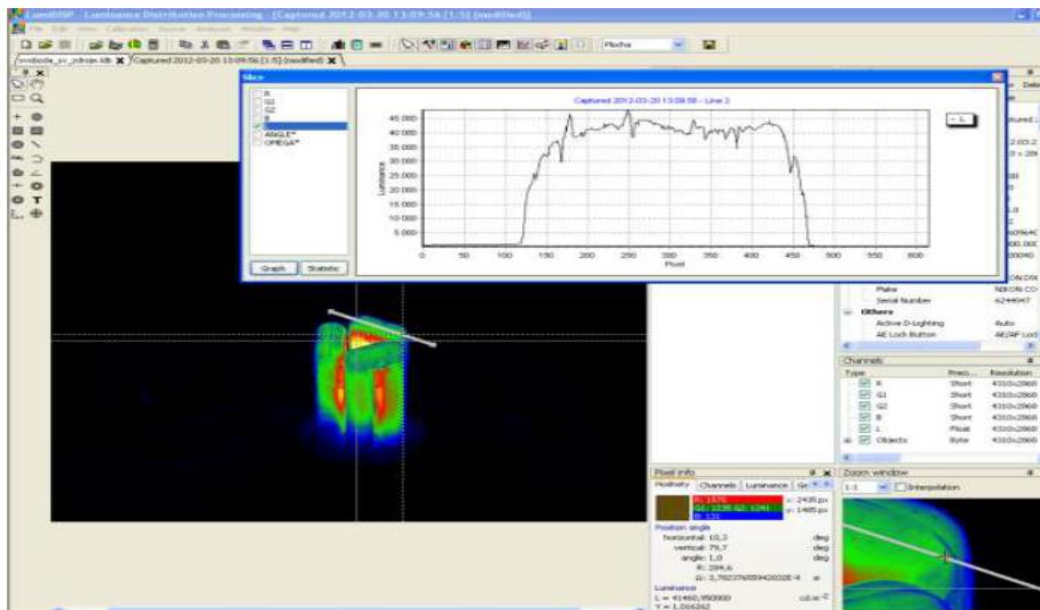
Obrázek 4.8: Jasová mapa scény [8]

4.1.3 Dostupné jasové analyzátoři

LumiDISP - Je první program svého druhu v České republice. Byl vyvinut na ústavu elektroenergetiky VUT v Brně. LumiDISP je zařízení, které je určeno k měření jasu pomocí digitální fotografie. Součástí LumiDISP jsou následující komponenty:

- Měřicí fotoaparát Nikon D90 kalibrovaný na základní zdroj světla
- Program LumiDISP, nebo adaptace na konkrétní aplikace
- Databázový stroj FireBird
- Návod k programu a příručka
- Setový kufr (kabely, baterie, nabíječ, filtry, čtečku, popruhy, instalační CD)

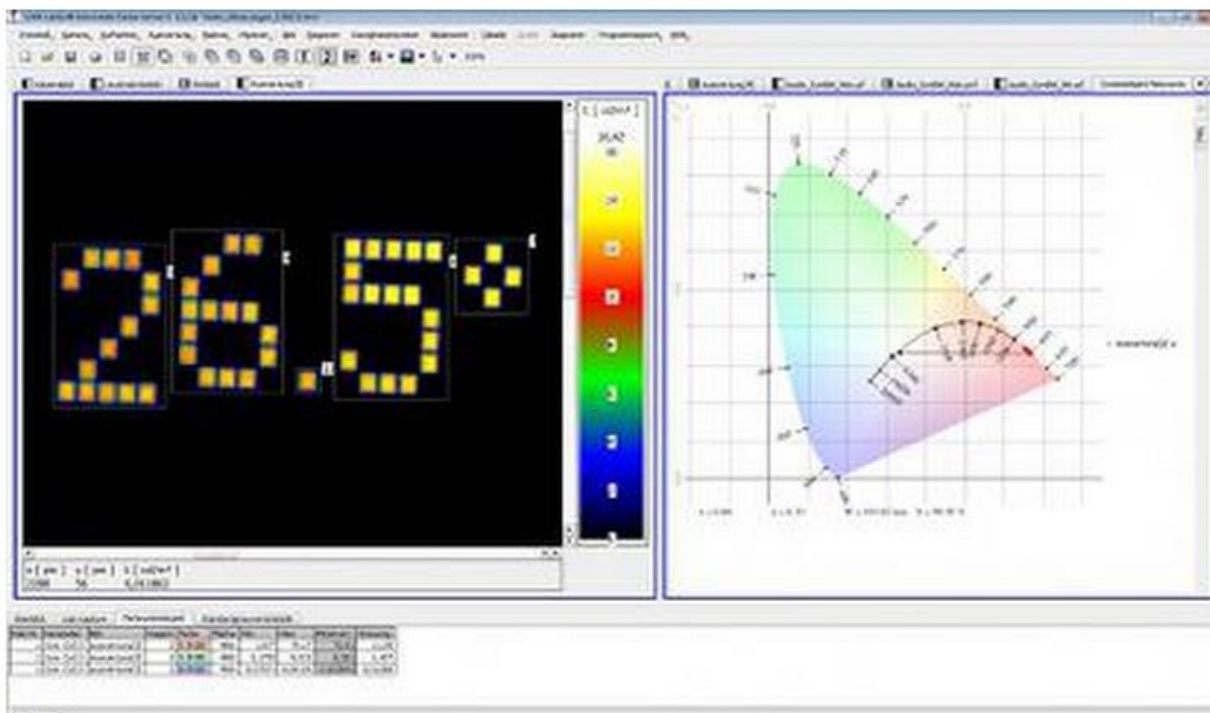
Je to přístroj, který pracuje na zpracování dat ve formátu RAW digitálního fotoaparátu Nikon D90. LumiDISP je schopen přepočítat získanou informaci ze senzoru na hodnoty jasu L v cd/m^2 . Pro přizpůsobení fotoaparátu k spektrální citlivosti lidského oka je možnost nasazení filtru na objektiv. Uživatelské prostředí je zobrazeno na obr. 4.9.[20]



Obrázek 4.9: Uživatelské prostředí programu LumiDISP [20]

Techno team - LMK – Firma nabízí několik jasových analyzátorů využívajících CCD čipů. Pro výrobky série LMK (Luminance measuring camera) je dostupný program LMK Labsoft. Analyzátor je kalibrován na normalizované světlo typu A. Přizpůsobení křivce normalizovaného pozorovatele je provedena softwarově. Tím může docházet při měření jiného druhu světla než normalizovaného k velkým chybám. [20]

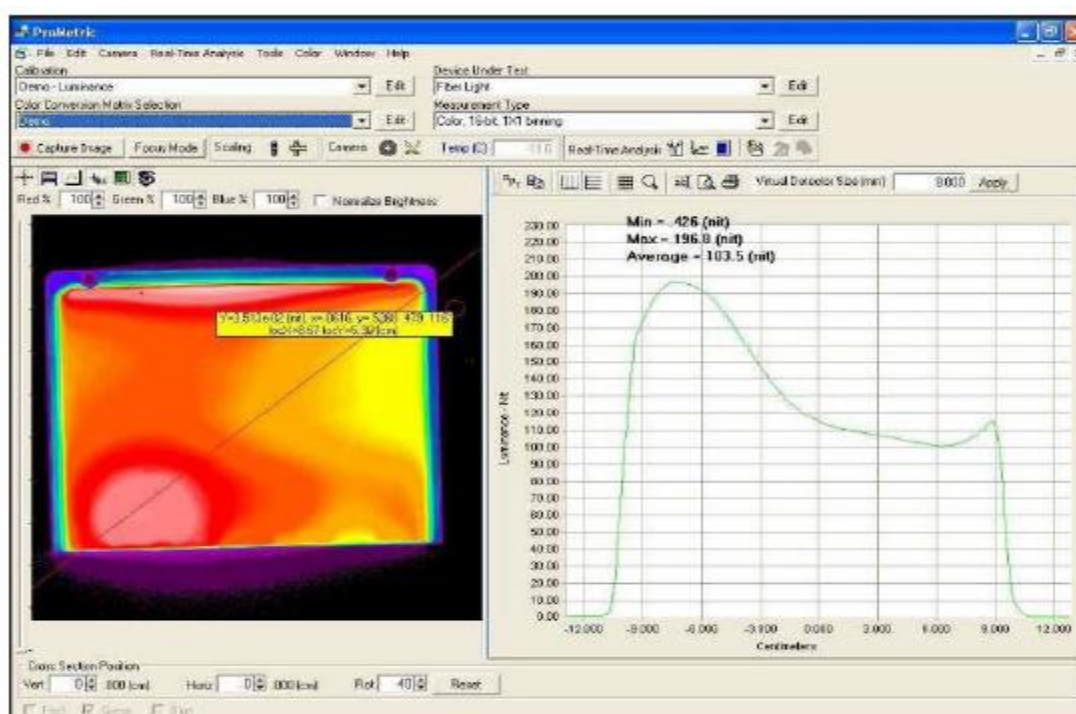
Software **LMK Labsoft** standardně pracuje pod operačním systémem Windows a spolupracuje s dalšími výpočetními programy, jako jsou MATLAB, LABwiev, MS Office. Práce s tímto programem je poměrně snadná a intuitivní. Pro vizualizaci výsledků je možné použití různých tvarů pro výběr vyhodnocované oblasti a stanovení různě barevných a škálovatelných stupnic. Uživatelské prostředí je znázorněné na obrázku 4.10. [20]



Obrázek 4.10: Uživatelské prostředí LMK Labsoft [25]

Radiant – Nabídka firmy Radiant je tvořena jasovými analyzátoři s CCD snímači sloužící k přesnému a rychlému měření jasů a barevných vlastností pro široké spektrum zařízení a materiálů. K vyhodnocování měření je zapotřebí softwarové podpory. Jasové kamery s označením **PM – series** se liší svými vlastnostmi a parametry. Jedním z nejdůležitějších parametrů je typ snímače. Kamery jsou osazeny buď snímači CCD Intraline, který umožňuje rychlejší zobrazení, ovšem s většími nejistotami a je méně nákladný, nebo CCD Full-frame, který má faktor zaplnění blízky 100% a zachycuje scénu přesněji s vyšším dynamickým rozsahem a nižším šumem (je chlazený a tepelně stabilizovaný).

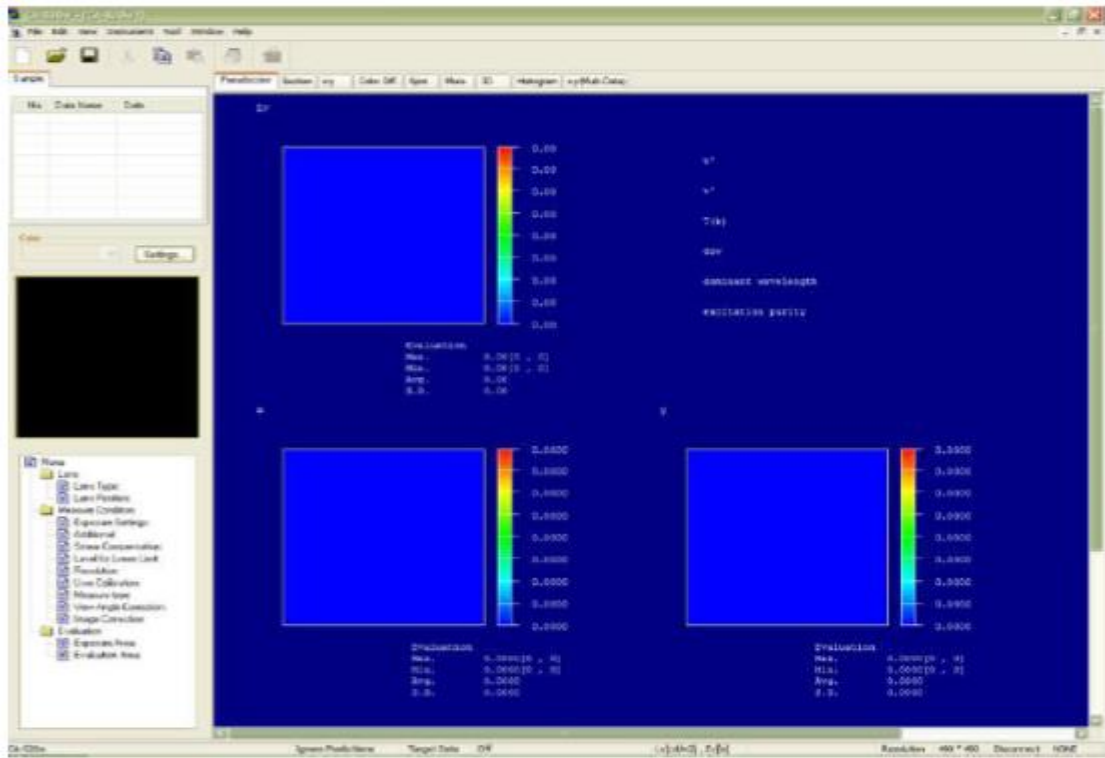
Jasové analyzátoři PM-series jsou dodávány s vyhodnocovacím programem **ProMetric 9 Software**. Jasové kamery PM-series jsou schopny zaznamenat až 18 milionů bodů podle toho jak jsou nakonfigurovány pomocí softwaru. Software umožňuje také možnost kontroly a řízení měření jako je nastavení parametrů pro provoz fotoaparátu (expozice). Na *obr. 4.11* je zobrazeno uživatelské prostředí. [20]



Obrázek 4.11: Uživatelské prostředí softwaru ProMetric 9 Software [20]

Konica Minolta CA2000 2D Color Analyzer – Je jasová kamera pro měření jasů dvourozměrných předmětů a barevných souřadnic světla zobrazovacích zařízení (LCD displejů, projektorů). Tato kamera je osazena čipem CCD a je dodávána s programem CA-S20w. Je dodávána ve třech typech podle použitého objektivu.

Software **CA-S20w** umožňuje, jak již zmíněné, nastavení měřicího aparátu a velké možnosti vyhodnocování získaných dat. Samozřejmostí je i export dat do MS Office. Uživatelské prostředí je znázorněno na *obr. 4.12*. [20]



Obrázek 4.12: uživatelské prostředí programu CA-S20w [20]

5 PRAKTICKÉ MĚŘENÍ OSLNĚNÍ

Tato kapitola je věnována praktickému měření oslnění ve vnitřních i venkovních objektech. Jako venkovní objekt byla vybrána pozemní komunikace v ulici Koleční. Tato lokace byla vybrána, protože v nočních hodinách je očekávaný malý provoz a pro účel demonstračního měření je plně vyhovující. Pro měření oslnění ve vnitřním objektu byla vybrána aula Profesora Braunera v budově T12 Vysokého učení Technického v Brně.

5.1 Měření fyziologického oslnění na pozemní komunikaci ulice Koleční

Jak je psáno v kapitole č. 4, je měření oslnění založeno na měření jasu. Měření jasu je možné provést různými metodami. Pro toto měření byla zvolena metoda měření pomocí jasového analyzátoru LDA - LUMIdisP vyvinutého na VUT v Brně. Tento jasový analyzátor je založen na principu vytvoření HDR snímku získaného pomocí digitálního fotoaparátu Nikon D90 kalibrovaného na měření jasu.

5.1.1 Pole pro měření jasu na komunikaci a poloha pozorovatele

Jas komunikace se dle normy ČSN EN 13201-3 hodnotí v poli mezi svítidly osvětlující komunikaci. Začátek tohoto pole je vzdálen 60 metrů od pozorovatele. Jestliže se osvětlovací soustava skládá z více světelných řad, pak se uvažuje pole mezi řadou svítidel s největší roztečí svítidel. Pro věrohodnější hodnoty jasů je lepší, když se měření provede na více místech a v delších úsecích, jelikož jednotlivá pole mohou mít odlišný jas způsobený okolními svítidly.

Pro stanovení oslnění je potřebné stanovit výpočtové pole pro měření jasu a následně do tohoto pole umístit vyhodnocované body dle obr. 5.1. Rozteč hodnotících bodů musí být v podélném směru umístěna dle následujícího vzorce[26]

$$D = \frac{S}{N} \quad [\text{m}; \text{m}, -] \quad (5.1)$$

Kde D je rozteč mezi body v podélném směru, S je rozteč mezi svítidly téže řady a N je počet výpočtových bodů v podélném směru nabývající hodnot pro $S \leq 30$ m $N = 10$ a pro $S > 30$ m, nejmenší celé číslo splňující podmínku $D \leq 3$ m. První příčná řada je umístěna ve vzdálenosti $D/2$ za prvním svítidlem z pohledu pozorovatele.[26]

Rozteč bodů v příčném směru je dána rovnicí

$$d = \frac{W_L}{3} \quad [\text{m}; \text{m}] \quad (5.2)$$

kde d je rozteč bodů v příčném směru a W_L je šířka jízdního pruhu. Krajní body jsou vzdáleny $d/2$ od okraje vozovky.

Pro hodnocení jasu je oko pozorovatele ve výšce 1,5 metru nad úrovní povrchu komunikace a směřuje se sklonem 1° pod rovinu rovnoběžnou s komunikací. V příčném směru se pozorovatel umísťuje vždy do poloviny jízdního pruhu. V podélném směru se pozorovatel umísťuje podle vzorce (5.3) kde R je podélná rozteč umístění pozorovatele a H je výška svítidla nad povrchem komunikace. Pro každou polohu pozorovatele jsou pak vypočítány potřebné hodnoty. [26]

$$R = 2,75(H - 1,5) \quad [\text{m}; \text{m}] \quad (5.3)$$

5.1.3 Postup měření

Na základě již uvedených poznatků v kapitole 5.1.1. je možné provést měření oslnění. A to pomocí jasového analyzátoru LDA – LumiDISP. Pro měření je nejprve nutné stanovit měřicí místa (místa pozorovatele), neboli rozteč měřících bodů. Ta určíme podle vztahu 5.3, kde za montážní výšku svítidla dosadíme 8 m, což je naměřená vzdálenost mezi povrchem komunikace a svítidlem.

$$R = 2,75(H - 1,5) = 2,75 \cdot (8 - 1,5) = \underline{17,85 \text{ m}}$$

Jelikož tato hodnota je největší dovolená rozteč měřících bodů, byla zvolena vzdálenost 14 m, což je poloviční vzdálenost mezi stožáry veřejného osvětlení (VO). Svítidla jsou osazeny vysokotlakými sodíkovými výbojkami o příkonu 70 W. Jelikož měření má jen demonstrační účel, bylo provedeno jen v délce přímé části komunikace, což je přibližně 460 m. To představuje celkem 34 měřících míst.

Dále je potřeba umístit fotoaparát do stanovené výšky 1,5 m a nastavit jej pro získání kvalitního snímku. Následně je nutné stanovit expoziční časy, kterými budou zaznamenány dané scény na každém místě pozorovatele. Tyto expoziční časy byly zvoleny: pro zachycení nejnižších jasů 5 s, dále byl čas expozice snižován v následující posloupnosti 1 s, 0,1 s, 0,01 s až po expozici pro zachycení nejvyšších jasů 0,05 s.

Základní údaje měření:

- Počasí – sucho, oblačno, $t = 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Výška svítidla na komunikaci $H = 8 \text{ m}$
- Rozteč stožárů $l = 28 \text{ m}$
- Šířka komunikace $d = 7 \text{ m}$
- Rozteč měřících míst $L = 14 \text{ m}$
- Vzdálenost měřicí aparatury od okraje vozovky $d_m = 1,75 \text{ m}$
- Expoziční časy: 5 s; 1 s; 0,1 s; 0,01 s; 0,05 s
- Světelný zdroj: Vysokotlaká sodíková výbojka 100 W

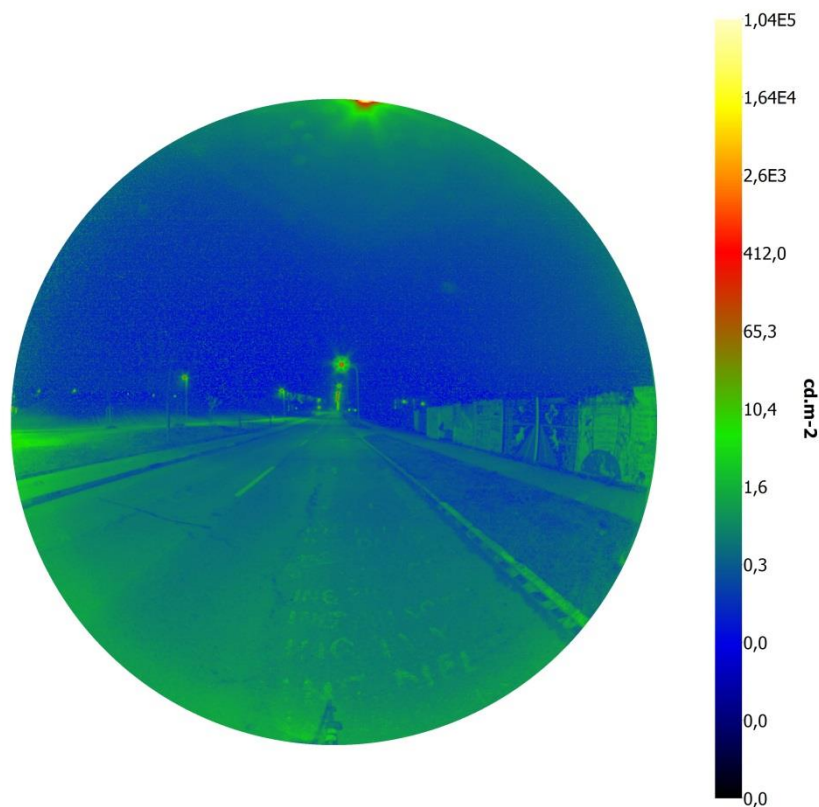
5.1.4 Zpracování měření

Výstupem měření je 5 snímků pro každé měřené místo. Z těchto snímků je pak nutné vytvořit snímek HDR pro získání větší dynamiky jasu, a tím snímek co nejvíce přiblížit reálné scéně viděné lidským okem. Každý snímek musí být ale nejdříve přetransformován na jasovou mapu, čímž se přiřadí ke každému pixelu získaného snímku hodnota jasu v $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$. Takto upravené snímky pak můžeme transformovat do jasového HDR snímku (obr. 5.2). Tento proces je možné provést pomocí jasového analyzátoru LDA – LumiDISP, který je možné provozovat v operačním systému Windows.

Jakmile jsou přetransformovány všechny scény z měřících míst, je provedena analýza jednotlivých snímků. Pro určení průměrného jasu komunikace můžeme použít funkci hromadného zpracování. Nejprve je ale nutné rozmístit do každého HDR snímku oblast pro vyhodnocení jasu komunikace (viz obr. 5.3 - 1).

Následně potřebujeme znát závojevý jas od svítidel umístěných v zorném poli, mimo svítidla týkajících se kritéria v kapitole 5.1.2. Tento proces již není možné povést funkcí hromadného zpracování, protože nelze automaticky stanovit, která svítidla budou a která nebudou započítána do výpočtu. Proto je nutné každé započítávané svítidlo ohraničit oblastí hodnocení parametrizovanou

jako svítidlo, která vybere pixely nesoucí jasovou hodnotu vyšší, než je zadaná hranice (obr. 5.3 – 2). Následně je pak pomocí histogramu zjištěn úhel odklonění svítidla od osy pohledu a jeho příspěvek horizontální osvětlenosti v místě oka pozorovatele. Horizontální (rovinou) osvětlenost oka od zdroje stanovuje software na základě vztahu 3.32. Pak pomocí vzorce 3.30 můžeme vypočítat závojevý jas od všech svítidel. Následně je možné podle vzorce 3.33 vypočítat prahový přírůstek jasu.



Obrázek 5.2: Snímek HDR s jasovou mapou pro vzdálenost 140 m od začátku komunikace

Pro názornou ukázkou je uvedeno vyhodnocení snímku na pozici 140 m od začátku komunikace. V tabulce 5.1 jsou uvedeny naměřené a vypočtené hodnoty ze snímku pořízeného v místě 140 m od začátku komunikace.

Tabulka 5.1: Naměřené a vypočítané hodnoty pro snímek ve vzdálenosti 140 m od počátku vozovky

L_{voz}	ϑ_{zd}	$E_{rov(zd)}$	L_{zav}			TI		
			23 let	60 let	70 let	23 let	60 let	70 let
[$cd.m^{-2}$]	[$^{\circ}$]	[$10^{-3}.lux$]	[$cd.m^{-2}$]	[$cd.m^{-2}$]	[$cd.m^{-2}$]	[%]	[%]	[%]
0,620	14,51	131,51	0,00949	0,015592	0,020916	0,904082	1,485406	1,992596
	9,03	2,45						
	7,22	4,19						
	6,38	2,85						
	5,68	2,11						
	39,92	6,80						
	15,30	5,11						
	6,66	0,50						
	5,17	1,11						

Příklad výpočtu pro věk 23 let:

Koeficient zahrnující věk pozorovatele dle vzorce 3.32:

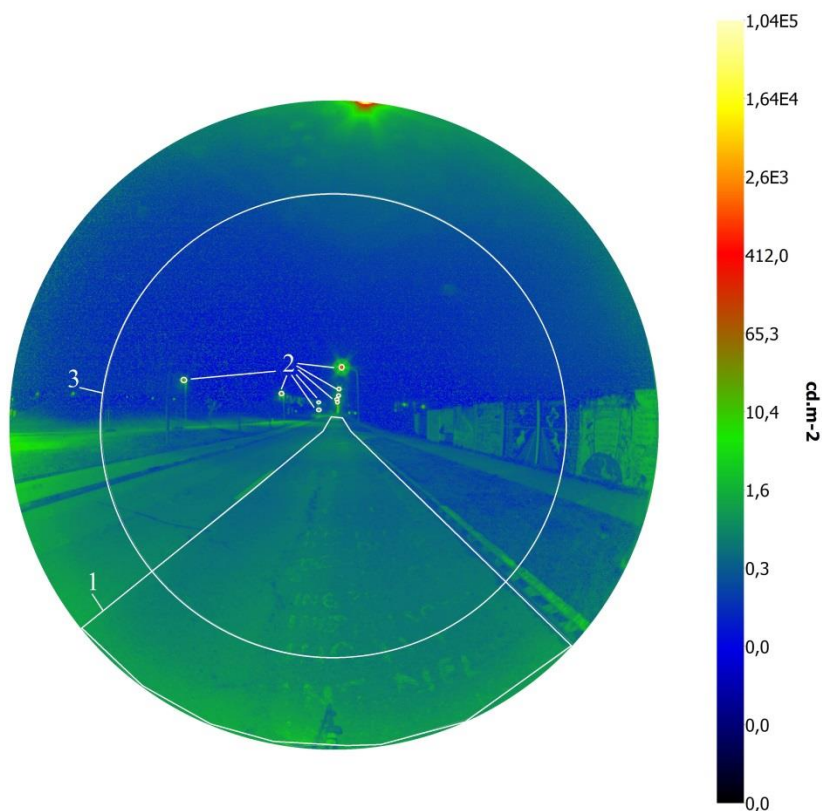
$$k = 9,86 \left[1 + \left(\frac{V}{66,4} \right)^4 \right] = 9,86 \left[1 + \left(\frac{23}{66,4} \right)^4 \right] = 10$$

Závojný jas dle vzorce 3.30:

$$L_{zav} = k \cdot \sum \frac{E_{rov(zd)}}{g_{zd}^2} = 10 \cdot \left(\begin{array}{l} \frac{131,51 \cdot 10^{-3}}{14,51^2} + \frac{2,45 \cdot 10^{-3}}{9,03^2} + \frac{4,19 \cdot 10^{-3}}{7,22^2} \\ + \frac{2,85 \cdot 10^{-3}}{6,38^2} + \frac{2,11 \cdot 10^{-3}}{5,68^2} + \frac{6,80 \cdot 10^{-3}}{39,92^2} \\ + \frac{5,11 \cdot 10^{-3}}{15,30^2} + \frac{0,5 \cdot 10^{-3}}{6,66^2} + \frac{1,11 \cdot 10^{-3}}{5,17^2} \end{array} \right) = \underline{\underline{0,00949 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}}}$$

Prahový přírůstek jasu dle vzorce 3.33:

$$TI = \frac{65}{L_{voz}^{0,8}} \cdot L_{zav} = \frac{65}{0,620^{0,8}} \cdot 0,00949 = \underline{\underline{0,9042 \text{ \%}}}$$



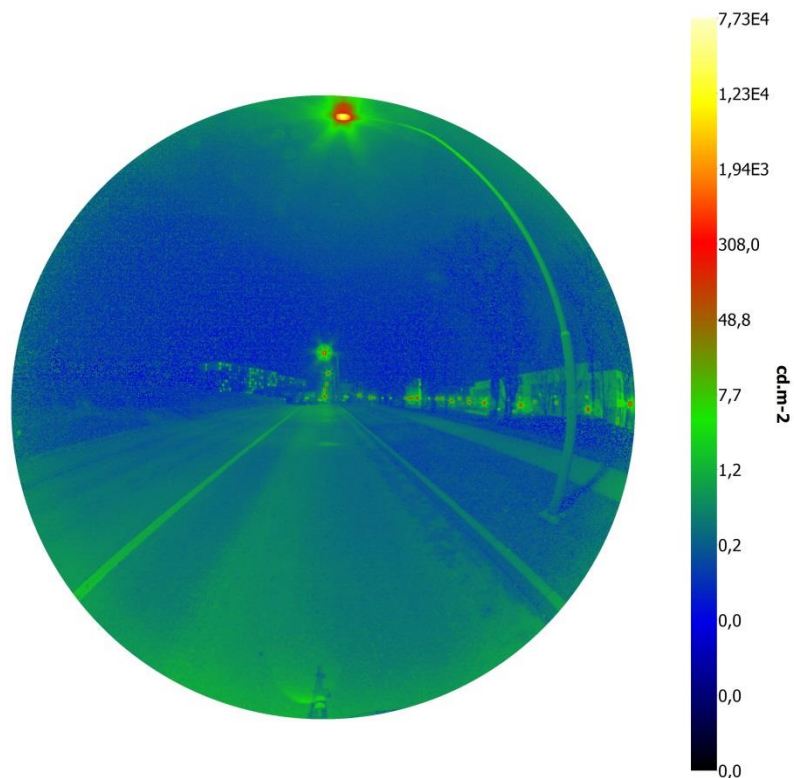
Obrázek 5.3: Naznačení hodnotících oblastí pro analýzu snímku 140 m od začátku komunikace

5.1.5 Vyhodnocení

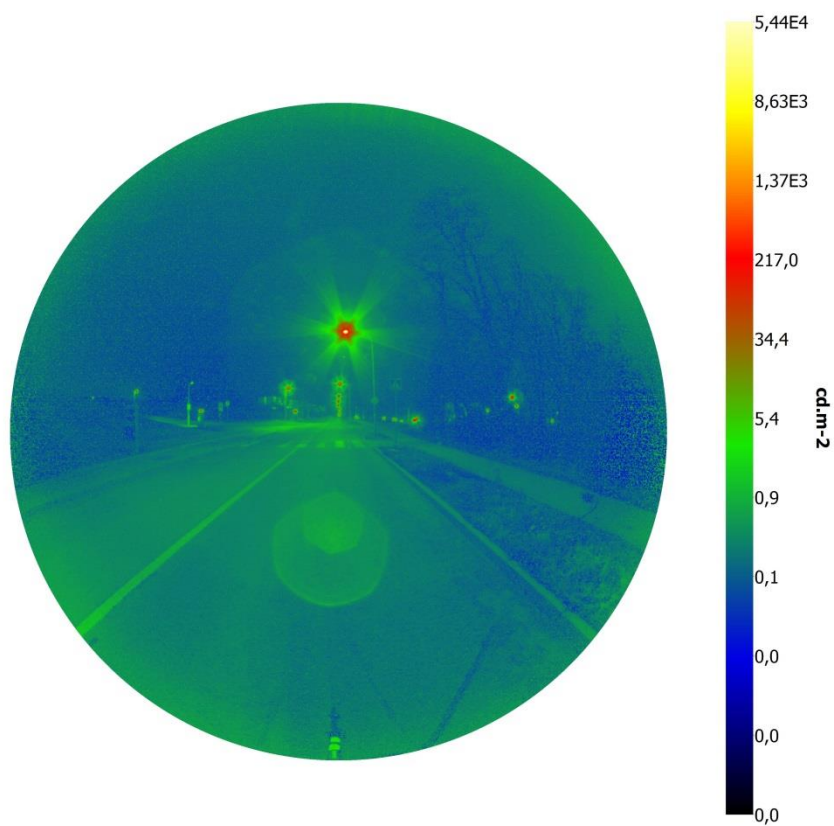
Hodnocení oslnění se provádí po celé délce komunikace, jak již bylo řečeno. Proto byl vypočítán prahový přírůstek jasu pro každé místo pozorovatele. Jelikož je po komunikaci možnost pohybu i osob starších, je vypočten prahový přírůstek pro věk pozorovatele 23, 60 a 70 let. Celkový průběh prahového přírůstku je znázorněn závislostí v *příloze č. 2*, kde modrá čára představuje věk pozorovatele 23 let, červená pro věk 60 let a zelená pro věk 70 let. Tabulka výsledků (*příloha č. 1*) a naměřené hodnoty pro všechny pozice pozorovatele jsou uvedeny v příloženém CD „naměřené hodnoty – ulice kolejní“. V *příloze č. 1* jsou označeny barevně pozice pozorovatele (řádky) u kterých byla překročena povolená hodnota prahového přírůstku TI , která je dána normou ČSN 13201 – 1. Komunikace kolejní byla zařazena do skupiny světelných situací B1 (typická rychlost uživatele > 30 km/h a < 60 km/h, Motorová doprava, cyklisté, chodci). Na základě této skupiny byla komunikace zařazena do třídy osvětlení ME6 (intenzita silničního provozu za den < 7000 vozidel, náročnost navigace běžná, křižovatek < 3). Třída ME6 udává maximální dovolenou hodnotu $TI < 15$ %.

Na snímku na *obr. 5.2* je pozorovatel umístěn na úrovni stožáru se svítidlem. Pro toto místo je prahový přírůstek nejmenší. Stejně tak i pro každou polohu pozorovatele umístěného pod stožárem je hodnota prahového přírůstku TI minimální s výjimkou vzdálenosti 308 m (*obr. 5.4*) od počátku komunikace. Z *obr. 5.2* lze vyčíst, že první svítidlo zahrnuté do výpočtu má hodnotu jasu ve stovkách cd.m^{-2} . Naopak pro polohu pozorovatele mezi stožáry je hodnota prahového přírůstku nejvyšší. Z *obrázku 5.5* lze vyčíst, že první svítidlo zahrnuté do výpočtu má hodnotu jasu v řádech tisíců cd.m^{-2} , tím je zapříčiněna vysoká hodnota prahového přírůstku v místě mezi stožáry VO. Pro věk pozorovatele 23 let je však hodnota prahového přírůstku vyhovující po celé délce komunikace.

Pro věk pozorovatele 60 let prahový přírůstek nevyhovuje požadavkům normy. Jedná se o 6 poloh pozorovatele, kde se každá nachází mezi stožáry VO. Jediné místo pod stožárem VO, kde je prahový přírůstek vyšší, než je povolená hodnota normou, je ve vzdálenosti 308 m od počátku komunikace (*obr. 5.4*). V této pozici byl pozorovatel vystaven velkému jasu svítidla umístěného za horizontem. To způsobí, že svítidlo je viděno pod menším úhlem (je nakloněno přímo proti směru pohledu pozorovatele) než v případě vodorovné komunikace a tím se zvýší jeho příspěvek na osvětlenosti oka. Nejkritičtější místa jsou ve vzdálenosti 210 m (*obr. 5.5*) a 322 m (*obr. 5.6*).



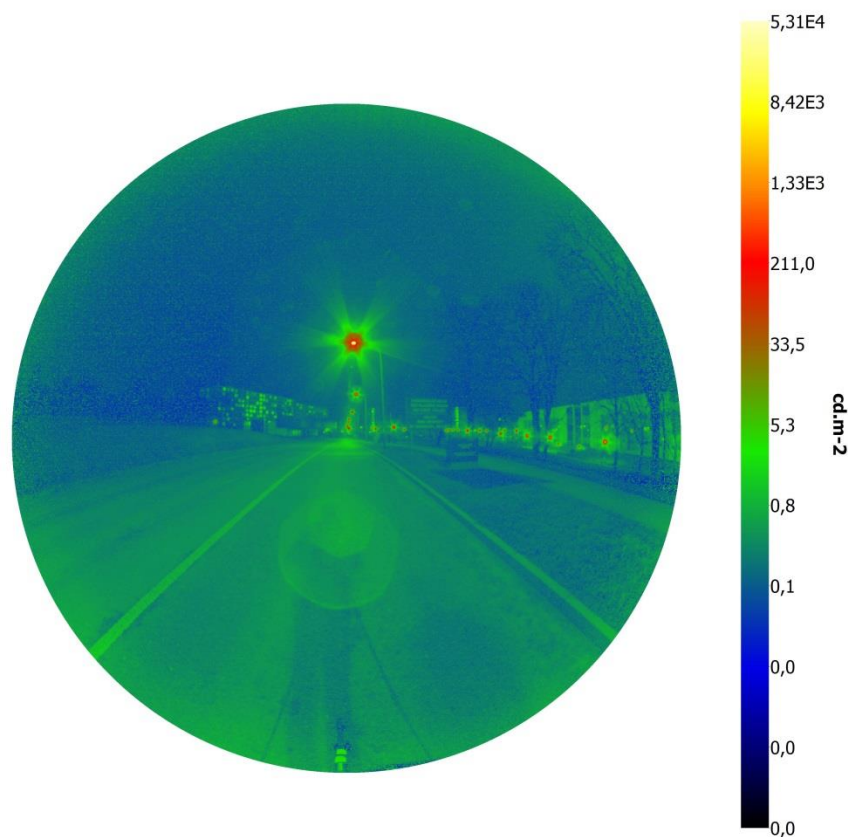
Obrázek 5.4: Jasová mapa pro pozorovatele ve vzdálenosti 308 m od počátku komunikace



Obrázek 5.5: Jasová mapa pro pozorovatele ve vzdálenosti 210 m od počátku komunikace

Snímek na obrázku 5.5 představuje nejhorší situaci oslnění po celé délce komunikace pro pozorovatele ve věku 60 a 70 let. V tomto místě nastává problém s více světelnými zdroji, které

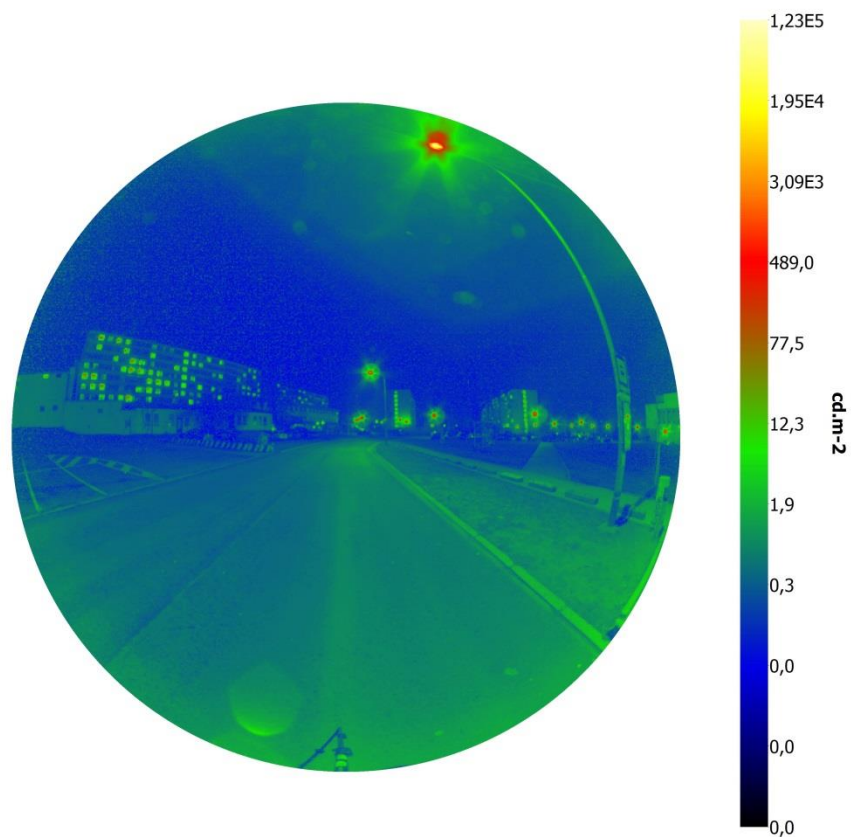
se podílejí na závojevém jase v oku pozorovatele. S Poměrně malým průměrným jasem vozovky $0,332 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ je zde dosaženo vysokého závojevého jasu až $0,2 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ pro pozorovatele ve věku 70 let. Navíc, je pozorovatel umístěn mezi stožáry což, jak je výše uvedeno, je kritická situace. Na *obrázku 5.6* je druhá nejvyšší hodnota prahového přírůstku po celé délce měřené komunikace. Místo pozorovatele se nachází na horizontu a proto je vyzářovací plocha následujícího svítidla mírně natočena v opačném směru pohledu, čímž je způsoben vyšší závojevý jas a tím i prahový přírůstek jasu v tomto pohledu.



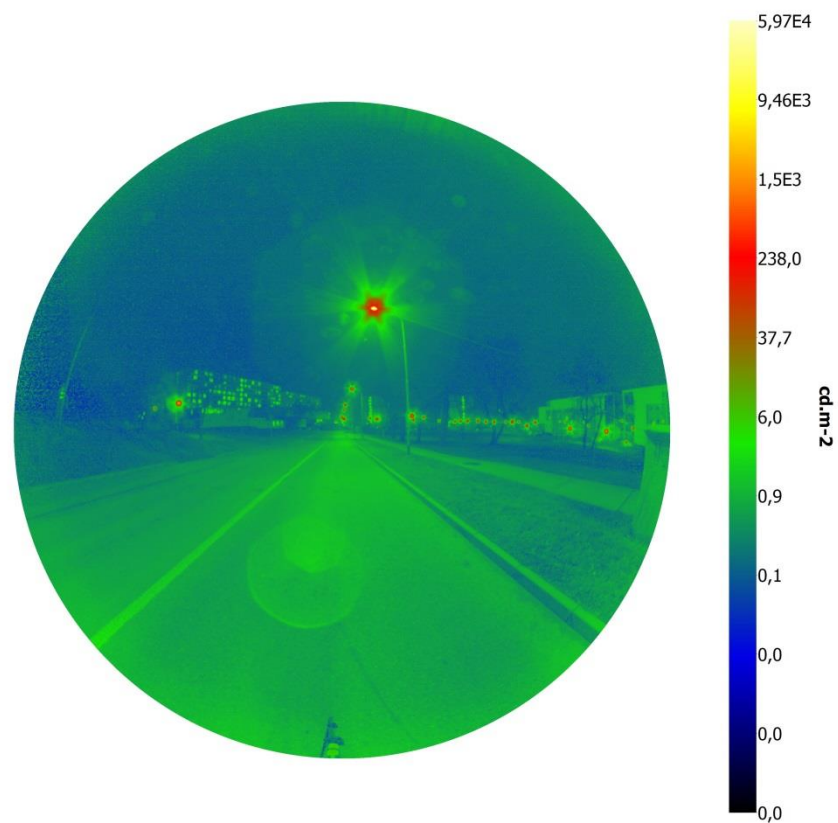
Obrázek 5.6: Jasová mapa snímku pro pozorovatele ve vzdálenosti 322 m od počátku komunikace

Na dalších dvou snímcích se nachází pohled ve vzdálenosti 140 m (*obr. 5.2*) a 420 m (*obr. 5.7*) od počátku komunikace, což jsou místa, kde dochází k nejmenšímu fyziologickému oslnění. V případě námi měřeného úseku se jedná o umístění měřící aparatury přímo pod svítidlem. První svítidlo, které je tak započítáno do výpočtu přispívá na osvětlenosti oka pozorovatele přibližně o řád menší hodnotou než v případě pozorovatele umístěného v půli rozteče stožárů.

Dalším případem je snímek na *obrázku 5.8*. Tento snímek ukazuje pohled pozorovatele, při kterém dochází k fyziologickému oslnění nepřesahující dovolené hodnoty normou a pro pozorovatele ve věku 70 let je hodnota prahového přírůstku jasu rovna maximální dovolené hodnotě 15 %. To je způsobené hlavně vysokým průměrným jasem komunikace, který je $0,887 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$. Jestliže by byl jas komunikace o $0,2 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ nižší, prahový přírůstek jasu by stoupl až o 5 %.



Obrázek 5.7: Jasová mapa snímku pro pozorovatele ve vzdálenosti 420 m od počátku komunikace



Obrázek 5.8: Jasová mapa snímku pro polohu pozorovatele ve vzdálenosti 350 m od počátku komunikace

5.2 Měření rušivého oslnění v přednáškové aule

Hodnocení psychologického oslnění v interiérech se provádí podle normy ČSN EN 12464-1, která udává jednotný vzorec, který je uznáván mezinárodní komisí pro osvětlování CIE. Index oslnění určený tímto vzorcem se nazývá UGR. Podmínky pro užití a výpočet činitele oslnění UGR jsou uvedeny v kapitole 3.1.2.

Měření bylo provedeno v přednáškové aule Prof. Braunera v budově T12 Vysokého Učení Technického v Brně. Učebna byla vybrána z důvodu užití přímé osvětlovací soustavy, která disponuje zářivkovými svítidly a protože je v tomto prostoru potřebné, aby oslnění bylo co nejmenší a nebyla tak narušovaná zraková pohoda přednášejícího.

5.2.1 Postup měření

Nejprve musí být zvolena poloha pozorovatele tak, aby bylo možné vyhodnotit oslnění dle normy. Proto byla měřicí aparatura umístěna v místě katedry doprostřed. Směr pohledu byl namířen vodorovně před sebe, což je nejčastější pohled přednášejícího. Výška aparatury byla zvolena 1,5 m nad zemí, což je parametr daný normou pro stojící osobu.

Pro námi zvolenou polohu byla provedena série snímků s jinou expoziční dobou. Celkem bylo provedeno 7 snímků s expoziční dobou: 1/50 s; 1/25 s; 1/13 s; 1/6 s; 1/3 s; 1 s; 3 s. Měření bylo provedeno pro světelnou scénu jen s rozsvícenými stropními svítidly a pro scénu s rozsvícenými svítidly na stropě i svítidly ve vchodu do auly.

Po zachycení scény následuje proces zpracování získaných snímků v softwaru LumiDISP. V softwaru je potřebné provést transformaci na jasové snímky a následně je převést do HDR snímku pomocí kterého je možné provést výslednou analýzu.

5.2.2 Vyhodnocení

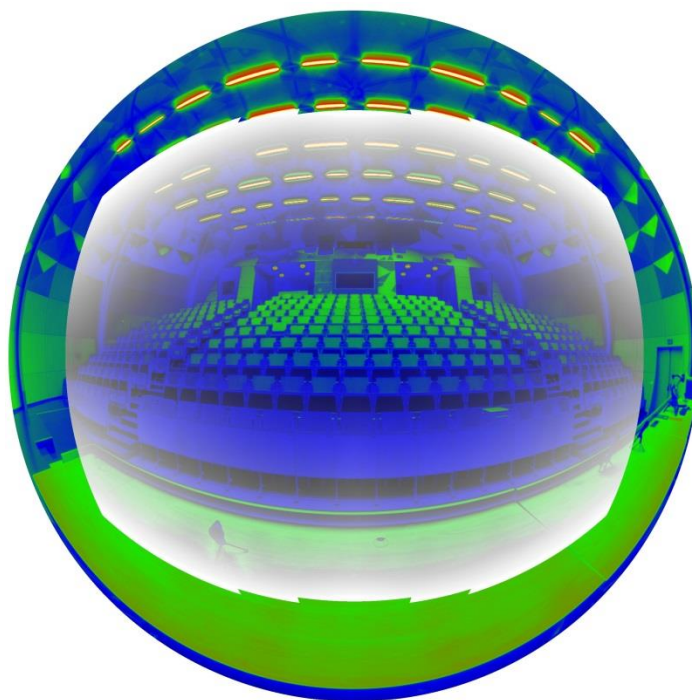
Nejdříve je nutné stanovit činitele polohy pro každé svítidlo. Tuto funkci lze pomocí softwaru velice rychle usnadnit a vymežit tak svítidla, která se budou do výpočtu započítávat. LumiDISP stanovuje činitele polohy podle Luckieshe a Gutha pro následný výpočet indexu oslnění UGR, který je nyní mezinárodně uznáván. Ohraničení činitele polohy je způsobeno zastíněním zorného pole pozorovatele jeho čelem oproti objektivu fotoaparátu (*obr. 5.9*).

Při výpočtu dochází k nepřesnostem, protože jas pozadí se počítá z celého poloprostoru (*vztah 3.5*), což ale neodpovídá zornému poli pozorovatele, protože jak je výše zmíněno, je část zorného pole zacloněna čelem a lícními kostmi pozorovatele.

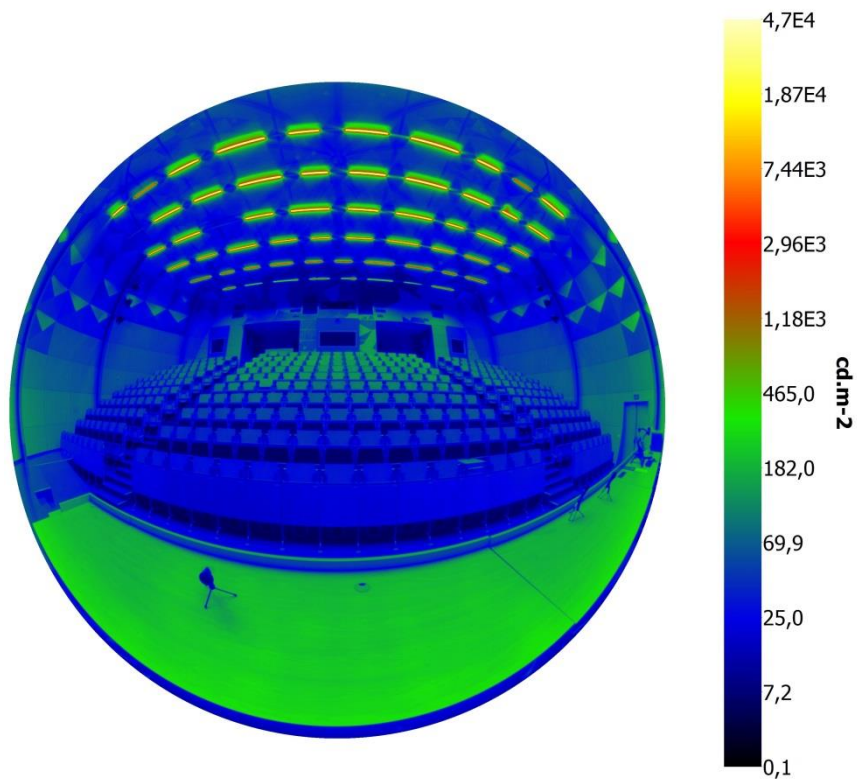
V případě snímku bez rozsvícených vchodových svítidel (*obr. 5.10*) probíhá výpočet indexu oslnění podle *vztahu 3.4*. Ale v případě rozsvícených vchodových svítidel (*obr. 5.11*) je nutné provést výpočet ve dvou fázích, jelikož vchodová svítidla jsou viděna pod velmi malým prostorovým úhlem, pro který už nelze aplikovat *vztah 3.4*, ale je nutné použít *vztah 3.6*. Následně pak musí být vypočten index oslnění podle *vztahu 3.4* pro svítidla umístěná pod stropem. Výsledný index oslnění (*vztah 5.4*) je pak dán kombinací těchto dvou vztahů.

$$UGR = 8 \log \left| \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n \frac{L_{zi}^2 \cdot \Omega_i}{L_p \cdot P_i^2} \right| \quad \Leftrightarrow \quad UGR_{Small} = 8 \log \left| \frac{1}{4L_p} \sum_{j=1}^n 200 \frac{I_j^2}{r_j^2 \cdot P_j^2} \right|$$

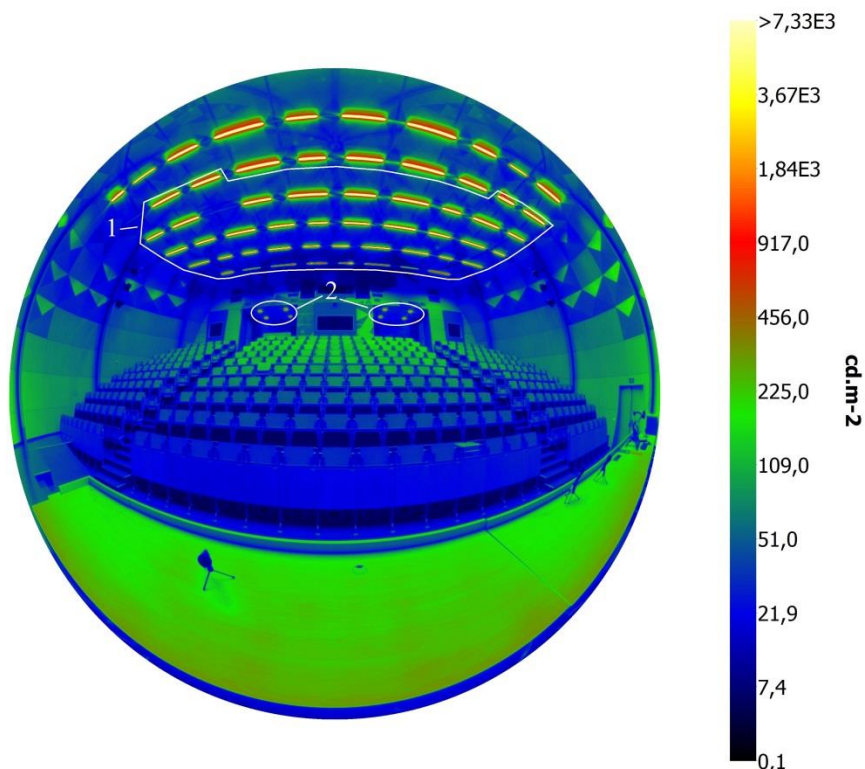
$$UGR_{Celk} = 8 \log \left(\frac{1}{4L_p} \left(\sum_{j=1}^n 200 \frac{I_j^2}{r_j^2 \cdot P_j^2} + \sum_{i=1}^n \frac{L_{zi}^2 \cdot \Omega_i}{P_i^2} \right) \right) \quad [-; \text{cd.m}^{-2}, \text{cd}, \text{m}, -, \text{cd.m}^{-2}, \text{sr}, -] \quad (5.4)$$



Obrázek 5.9: Vyznačení činitele polohy na hodnoceném snímku



Obrázek 5.10: Jasová mapa snímku HDR v aule Prof. Braunera bez vchodových svítidel



Obrázek 5.11: Jasová mapa HDR snímku v aule Prof. Braunera s vchodovými svítidly

Na základě výše uvedeného postupu byla získána tato data oslnění UGR (tab. 5.2). Pro lepší přesnost výpočtu byla svítidla vybírána třemi postupy. Nejdříve bylo označeno každé svítidlo zvlášť, následně byla svítidla označována po řadách a nakonec byla svítidla označena jedním hodnotícím polem. V případě jednoho hodnotícího pole byla zabrána i okolní plocha svítidel s většími jasy, jelikož došlo k rozptylu světla vlivem filtru objektivu fotoaparátu. Větší plocha je uvažována do výpočtu, protože funkce vymezení svítidel byla nastavena tak aby vybrala oblast s jasnem vyšším než 200 cd.m^{-2} , a tím pádem byla plocha svítidel umístěných v popředí snímku větší o světelná pole s jasnem vyššími jak 200 cd.m^{-2} , která jej obklopují. Tím dojde ke zvýšení hodnoty oslnění UGR, ale v našem případě je tato odchylka velmi malá, lidským okem nezpozorovatelná.

Tabulka 5.2: Tabulka výsledků analýzy auly Prof. Braunera

	UGR [-]	
	S vchodovými svítidly	Bez vchodových svítidel
<i>jednotlivě</i>	15,756	15,776
<i>po řadách</i>	15,757	15,734
<i>celkově</i>	15,818	15,839

Získané hodnoty jsou nižší než je maximální dovolená hodnota UGR ve školních vzdělávacích zařízeních, která je vyjádřena hodnotou 19. Oslnění v aule při rozsvícených jen stropních svítidlech je hodnoceno jako *právě znatelné* (13) až *znatelné* (16).

Snímek s rozsvícenými vchodovými svítidly byl hodnocen stejným postupem jako snímek bez jejich rozsvícení. Tedy mohlo dojít k nepatrným nepřesnostem při výpočtu, protože software LumiDISP zatím není schopen stanovit vzdálenost světelného zdroje od pozorovatele. Tím, že jsou rozsvícena svítidla ve vchodu, vznikne větší osvětlení plochy, kterou bereme jako pozadí pro výpočet hodnoty UGR. Větším osvětlení plochy pozadí se zvýší i jas pozadí a tím je i hodnota UGR menší.

Tím že metoda UGR je přísnější pro malá svítidla, můžeme výslednou hodnotu UGR považovat za vyhovující, jelikož v případě použití vzorce pro menší svítidla by bylo dosaženo ještě menší hodnoty.

6 SROVNÁNÍ KONVENČNÍ A NEKONVENČNÍ METODY MĚŘENÍ OSLNĚNÍ

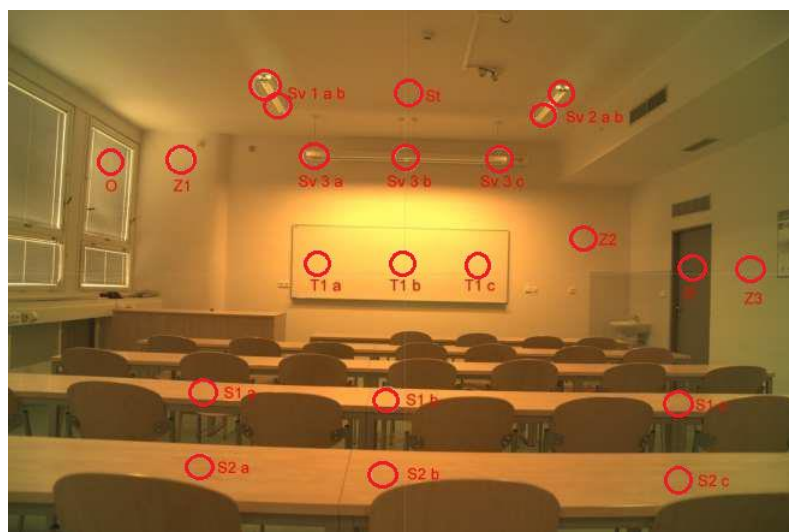
V této kapitole bude řešeno srovnání výhod a nevýhod měřících metod jasu s využitím klasických jasoměrů a měřících metod jasu s využitím jasových analyzátorů, jelikož jas je úzce spjat s oslněním.

V případě klasických jasoměrů mluvíme o měření jasu přímém a nepřímém. V případě přímého měření jasu může být použit jasoměr vizuální, u kterého se porovnává uměle vytvořený jas s jasem měřeným. Dále může být použit jasoměr fyzikální, který měří světelný tok procházející clonou, jež vymezuje měřenou plochu v zorném poli. V obou případech se jedná o měření průměrného jasu vymezených ploch. Obvykle jsou jasoměry schopné měřit průměrný jas plochy zorného pole v úhlu od cca 6 minut do 2 stupňů. Podle CIE se jasoměry rozdělují do čtyř tříd přesnosti, kterým odpovídají chyby, 5 %, 7,5 %, 10 % a 20 %. [19]

Nepřímé měření jasu provádíme v případech, kdy není dostupný jasoměr. V takových případech může být použit luxmetr pro měření osvětlenosti a následně lze tuto hodnotu přepočíst na jas. Nastává, ale další postup pro zjištění odraznosti měřené plochy, což zahrnuje měření osvětlenosti odpovídající odraženému světlu. [19]

Například pro vytvoření jasové mapy zorného pole pozorovatele je z výše uvedeného patrné, že by bylo potřeba proměřit velké množství bodů ve velice krátkém čase, aby byla zachována stálost světelné scény (obr. 6.1). Navíc je nutné měřit jasoměrem nastaveným v různých směrech pohledu, pro zachycení celého zorného pole, čímž by byla značně zkreslena změřená data. Dále je nutné uvažovat zdroje chyb, které mohou zapříčinit nepřesnosti. Dalším nedostatkem měření jasoměrem je stanovení rozměrů scény. V případě měření oslnění je nutné stanovit pro každé svítidlo činitele polohy, který je vztažen k místu pozorovatele. Toto je další časově náročný proces potřebný pro vyhodnocení oslnění.

Mezi chyby řadíme *chybu měřícího přístroje* – jež musí být uvažována při každém měření ať přímém či nepřímém a *nejistoty měření* – ty jsou zapříčiněny kalibrací přístroje, nejistotou plynoucích z možných odchylek, nejistot plynoucích z chyb metody měření, nejistot způsobených vyhodnocováním. [19]



Obrázek 6.1: Měření jasu zorného pole přímým jasoměrem, vyznačení měřených míst [19]

Jak je uvedeno v kapitole 4, je pomocí jasového analyzátoru možné získat nejen snímek, ale i celkové rozložení jasu po celém zorném poli. Tím je měření jasovým analyzátozem mnohem rychlejší než měření jasoměrem, protože nemusí probíhat bodové měření a nemění se světelné podmínky. Jasové analyzátory mají široký měřicí rozsah pro měření nízkých i vysokých jasů. Jasové analyzátory se dají použít jak k hodnocení osvětlovací soustavy, tak i pro laboratorní světelné technická měření. [19] [21]

Pomocí jasového analyzátoru jsme schopni měřit i polohu v zorném poli. Nelze však určit rozměry scény, ale je možné získat úhlové souřadnice, tím je umožněno vyhodnotit i prostorový úhel. Samotné měření pomocí jasových analyzátorů je sice dosti náročné na přípravu a je nutné opatrného ovládání při pořizování snímků pro vytvoření HDR snímku, ale následná práce s daty je značně jednodušší než v případě měření jasoměrem, jak uvádí tab. 6.1.

Tabulka 6.1: Srovnání konvenční a nekonvenční metody měření jasů a oslnění [19]

Zákl. údaje/ parametry/vy užití/ měření	Měření jasoměry		Měření jasovými analyzátory	
	Zhodnocení	Popis	Zhodnocení	Popis
Přesnost	6 – 10 % <i>Normalizované světlo typu A</i>	Třídy přesností 5 – 20 % (+ chyby a nejistoty)	1,5 % <i>Normalizované světlo typu A</i>	Jasový analyzátor LumiDISP udává přesnost 1,5 % (+ chyby a nejistoty)
Dynamický rozsah měření	Nižší	Možnost zachytit jednu hodnotu jasu (rozsah 1:1)	Vyšší	Možno zachytit více úrovní jasu
Náročnost metodiky	Nižší	Optický systém a fotočlánek	Vyšší	Jednotlivé fotoaparáty, jejich přizpůsobení k měření jasů, vývoj zvláštního softwaru
Cena	Nižší	Desítky tisíc Kč	Vyšší	Statisíce Kč.
Využití	Úzké	Jas, kontrast	Široké	Jas, kontrast, barevné souřadnice, oslnění, měřič polohy, prost. Úhel
Náročnost měření	Náročné	Bodové měření – časově náročné měření	Snadné	Změřeny miliony bodů jedním snímkem
Možnosti vyhodnocení	Úzké	Průměrná hodnota jasu v daném prostorovém úhlu	Široké	Celkové rozložení jasu ve scéně
Rozsah využití	Úzké	Pouze v rámci měř. Rozsahu jednotlivých jasoměrů	Široké	Velmi nízké i velmi vysoké jasy, dle potřeby nastavení expozice
Způsob měření	snadné	Jednoduché interakční měření	náročné	Potřeba nastavení exp. Hodnot, řádné upevnění, atd.

7 ZÁVĚR

7.1 Závěry práce

V práci jsem popsal lidské oko a jeho funkce při nepříznivých stavech, jako je oslnění. Na základě odborné literatury jsem získal poznatku, že při oslnění se uplatňuje tzv. adaptace oka, při níž se oko přizpůsobuje jinému pozorovanému stavu, než na který je adaptováno. Přitom nejhorší situace nastává při adaptaci na tmou, jelikož si oko vytváří nové fotopigmenty. Tedy v případě střídání velmi jasného zdroje a tmavého prostředí v zorném poli pozorovatele, což můžeme pozorovat v noci na veřejných komunikacích, dochází k stálému tvoření a úbytku fotopigmentů, tím je oko velmi namáháno a dochází k únavě pozorovatele.

Dále byla provedena literární rešerše na téma hodnocení oslnění. V rešerši jsou uvedeny metody k hodnocení oslnění, z nichž je nejpoužívanější metoda UGR, jelikož byla přijata evropskou komisí pro osvětlování CIE. Téměř všechny metody jsou založeny na principu porovnání jasu oslňujícího zdroje a jasu pozadí. Dalším důležitým parametrem při stanovení oslnění je poloha oslňujícího zdroje, která je vyjádřena činitelem polohy. Tento činitel je možné stanovit několika způsoby. Nejpoužívanějším způsobem je činitel polohy podle Luckieshe a Gutha, ten je stanoven pouze pro svítidla umístěná v horní polovině zorného pole. Avšak při stanovení činitele polohy oslňujícího svítidla podle Netušila je uvažován vliv oslňujícího zdroje umístěného v dolní polovině zorného pole jiný než v horní polovině. Tohoto poznatku by se mělo využívat při hodnocení oslnění a tím spíše v případě, kdy je oslňující zdroj umístěn pod osou pohledu pozorovatele.

V případě hodnocení oslnění ve venkovních prostorách se oslnění hodnotí jinak pro pracovní prostory a komunikace. V pracovních prostorech se hodnotí činitel oslnění GR a na komunikacích se jedná o prahový přírůstek TI. Obě dvě metody jsou závislé na závojevém jasu, tvořeném oslňujícím zdrojem v místě oka pozorovatele.

Dále je práce zaměřena na měření jasu, jelikož je úzce spjat s oslněním. V práci jsou uvedeny jasové analyzátoři, jakožto digitální fotoaparáty, a jejich využití k sestavení HDR fotografie vhodné k vytvoření jasové mapy. Následně je v práci provedeno srovnání konvenčního a nekonvenčního měření jasu (oslnění). V případě nekonvenčního měření můžeme říci, že je samotný proces měření a vyhodnocení měření méně náročný, než měření konvenčními způsoby. Výhody a nevýhody těchto způsobů měření stanovuje *tabulka 6.1*.

Bylo také provedeno měření oslnění na venkovní pozemní komunikaci Kolejní. Toto měření je popsáno v *kapitole 5.1*. Pro vyhodnocení musela být mírně upravena pravidla pro stanovení průměrného jasu komunikace, tato úprava spíše zpřesnila vyhodnocení. Z vyhodnocení měření vyplývá, že provedená osvětlovací soustava je z hlediska oslnění vyhovující pouze pro mladší pozorovatele. V případě pozorovatelů ve věku šedesáti let a starších, dochází na mnoha místech komunikace k oslnění vyššímu, než dovoluje norma. Výše uvedená problémová místa jsou jasným úkazem toho, že při navrhování osvětlovací soustavy nebylo uvažováno s různým výškovým profilem komunikace (stoupáním / klesáním), ale osvětlovací soustava byla navrhována pro komunikaci v jedné rovině.

Další měření bylo provedeno v interiéru, a to v aule Profesora Braunera v budově T12 VUT FEKT (*kapitola 5.2*). Tímto měřením byla ověřena vyhovující hodnota indexu oslnění v místě přednášejícího, což představuje nejkritičtější místo z hlediska oslnění v celé aule.

7.2 Návrh dalšího postupu

Bohužel u měření jasovými analyzátory zatím není možné stanovit přesné rozměry zachyceného snímku a od toho se odvíjí i nemožnost výpočtu pomocí metody UGR pro malé zdroje světla. Takže pomocí softwaru LumiDISP získáme nepřesné informace v případě hodnocení scény s různě velkými zdroji světla. Tento problém by bylo dobré vyřešit v návazání na tuto práci. Jedním řešením by mohlo být připevnění laserového dálkoměru na měřicí aparaturu a následné ověření platnosti *vztahu 5.4*.

V případě hodnocení oslnění na pozemní komunikaci, nastává problém s vymezením světlených zdrojů, které se mají započítávat do hodnocení. Stejně tak jako v případě hodnocení v interiéru naráží metoda na problém s určením vzdálenosti svítidla od pozorovatele. Proto nejsme schopni vymezit hodnotící oblast svítidel přímo v zachyceném snímku a musí se zanalyzovat okolí komunikace a zjistit umístění svítidel, která by mohla ovlivňovat vidění pozorovatele na komunikaci. Toto řešení mi přijde velice náročné a v praxi téměř neproveditelné s dostatečnou přesností. Proto bych na tuto práci navázal prací, která by se zabývala přímo problematikou určení rozměrů scény ze získaného snímku HDR.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] AUTRATA, Rudolf a Jana VANČUROVÁ. *Nauka o zraku*. 1. vyd. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví v Brně, 2002, 226 s. ISBN 80-701-3362-7.
- [2] WIKIPEDIE. *Lidské oko* [online]. 2014 [cit. 2014-11-05]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Lidsk%C3%A9_oko
- [3] VESELÝ, Jaroslav. ÚSTAV PATOLOGICKÉ FYZIOLOGIE LF UP V OLOMOUCI A KATEDRA FYZIOLOGIE A PATOFYZIOLOGIE LF OU V OSTRAVĚ. *Dyskonekční syndromy, syndrom oddělených hemisfér* [online]. 2013 [cit. 2014-11-05]. Dostupné z: <http://pfyziolfup.upol.cz/castwiki/?p=6008>
- [4] HABEL, Jiří, Karel DVOŘÁČEK, Vladimír DVOŘÁČEK a Petr ŽÁK. *Světlo a osvětlování*. Praha: FCC Public, 2013, 622 s. ISBN 978-80-86534-21-3.
- [5] MAŇÁK, Vladimír. *Zrak: Fyziologie zrakového systému, aplikovaná na hygienu osvětlování*. VLNAŘSKÝ PRŮMYSL, generální ředitelství, Brno, 1977, 309 s.
- [6] HABEL, Jiří a Petr ŽÁK. *Elektrické světlo 1*. Praha, 2011. Dostupné z: http://www.ib.cvut.cz/sites/default/files/studijni_materialy/es1/a5m15es1_final.pdf. Učební text. ČVUT.
- [7] *Světlo: nejdůležitější zásady osvětlování*. Liberec 1: SPŠ strojní a elektrotechnická a VoŠ, 2007. Dostupné z: <https://www.pslib.cz/kx/Sv%ECtlo/12-pr%20EST%20zasady%20Vnitri.pdf>
- [8] ROTREKL, M. *Návrh osvětlení pizzerie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 66 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Škoda, Ph.D. [cit. 2014 -15-10]
- [9] HABEL, Jiří a Petr ŽÁK. ČVUT. *ELEKTRICKÉ SVĚTLO 1: Magisterský program Inteligentní budovy* [online]. Praha: Evropský sociální fond, 2011 [cit. 2014-12-03]. Dostupné z: <https://www.yumpu.com/sk/document/view/29190549/elektricke-svetlo-1-magistersky-program-inteligentni-budovy/191>
- [10] ČSN 36 0008. *Oslnění, jeho hodnocení a zábrana*. Gottwaldov: centroprojekt, projektová a inženýrská organizace, 1975.
- [11] ŽÁK, Petr. *Zábrana oslnění při návrzích osvětlení*. [online]. 7.7.2011 [cit. 2014-12-05]. Dostupné z: <http://elektrika.cz/data/clanky/zabrana-oslneni-pri-navrzich-osvetleni/view>
- [12] NOVOTNÝ, Jiří. *Osvětlování venkovních prostorů podle ČSN 12464*. [online]. 2014 [cit. 2014-12-05]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=37972
- [13] PORSCHE, T., A. WALKLING, F. SCHMIDT a SCHIERZ. *MEASUREMENT OF THE THRESHOLD INCREMENT (TI) IN ROAD LIGHTING BASED ON USING ILM D* [online]. 2014 [cit. 2014-12-05]. Dostupné z: http://www.technoteam.de/e6009/e6311/e6850/pb_download6856/CIE_Malaysia_MeasurementofthethresholdincrementTIinroadlightingbasedonusingILMD_presentation_V1_ger.pdf

- [14] SCHEIR, Gertjan H., Peter HANSELAER, Peter BRACKE, Geert DECONINCK a Wouter R. RYCKAERT. Calculation of the Unified Glare Rating based on luminance maps for uniform and non-uniform light sources. *Building and Environment* [online]. 2015, vol. 84, s. 60-67 [cit. 2014-12-06]. DOI: 10.1016/j.buildenv.2014.10.027. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132314003485>
- [15] SUK, Jae Yong, Marc SCHILER a Karen KENSEK. Development of new daylight glare analysis methodology using absolute glare factor and relative glare factor. *Energy and Buildings* [online]. 2013, vol. 64, s. 113-122 [cit. 2014-12-06]. DOI: 10.1016/j.enbuild.2013.04.020.
- [16] PICCOLO, A. a F. SIMONE. Effect of switchable glazing on discomfort glare from windows. *Building and Environment* [online]. 2009, vol. 44, issue 6, s. 1171-1180 [cit. 2014-12-06]. DOI: 10.1016/j.buildenv.2008.08.013. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132308002096>
- [17] KIM, Wonwoo, Hyunjoo HAN a Jeong Tai KIM. The position index of a glare source at the borderline between comfort and discomfort (BCD) in the whole visual field. *Building and Environment* [online]. 2009, vol. 44, issue 5, s. 1017-1023 [cit. 2014-12-08]. DOI: 10.1016/j.buildenv.2008.07.007. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132308001790>
- [18] PIVODOVÁ, Lenka. Vliv adaptace oka na kvalitu vidění. [online]. 2014, roč. 55, č. 2, s. 5 [cit. 2014-12-08]. Dostupné z: http://www.4oci.cz/dokumenty/pdf/4oci_2014_02.pdf
- [19] SVOBODA, M. Srovnání konvenčních a nových metod měření a hodnocení jasů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 84s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D. [cit. 2014-12-12]
- [20] WOLF, S., GALL, D. – Luminance Analyzers – What they do and how do they work, [online], 2003, [cit. 2014-12-12], dostupný z [www:http://www.tu-ilmenau.de/fileadmin/public/lichttechnik/Publikationen/2003/cie2003.pdf](http://www.tu-ilmenau.de/fileadmin/public/lichttechnik/Publikationen/2003/cie2003.pdf)
- [21] ŠKODA, J. Nekonenční metody měření ve fotometrii. Disertační práce. Brno: Ústavelektroenergetiky FEKT VUT v Brně, 2011, 106 stran. [cit. 2014-12-12]
- [22] RUBINSTEIN, Joe. How does a Global Shutter Work?. In: [online]. 2013, 3.6.2013 [cit. 2014-12-12]. Dostupné z: <http://www.digitalbolex.com/global-shutter/>
- [23] ATKINS, Bob. RAW, JPEG and TIFF. In: [online]. 2004, červen 2008 [cit. 2014-12-12]. Dostupné z: <http://photo.net/learn/raw/>
- [24] Create stunning photographs of high contrast scenes: HDR Photography. [online]. [cit. 2014-12-12]. Dostupné z: <http://www.hdrsoft.com/index.html>
- [25] LMK Labsoft: Luminance image capture and analysis software. [online]. [cit. 2014-12-12]. Dostupné z: http://www.technoteam.de/product_overview/lmk/software/lmk_labsoft/index_eng.html
- [26] ČSN EN 13201-1. *Osvětlení pozemních komunikací: část 1: Výběr tříd osvětlení*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [27] ČSN EN 13201-2. *Osvětlení pozemních komunikací: část 2: Požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 2005.

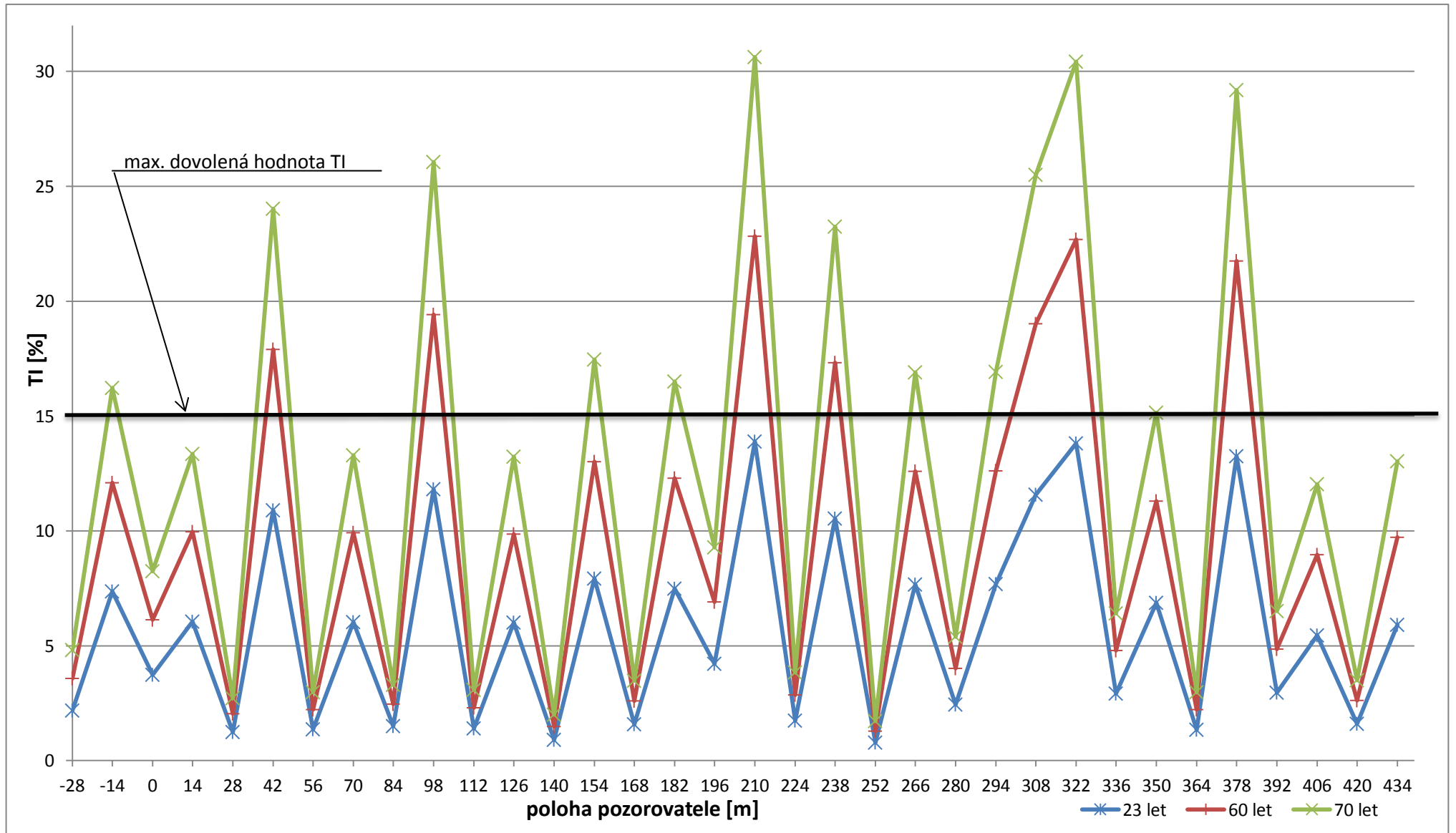
- [28] ČSN EN 13201-3. *Osvětlení pozemních komunikací: část 3: Výpočet*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [29] ČSN EN 13201-4. *Osvětlení pozemních komunikací: část 4: Metody měření*. Praha: Český normalizační institut, 2005.

PŘÍLOHY

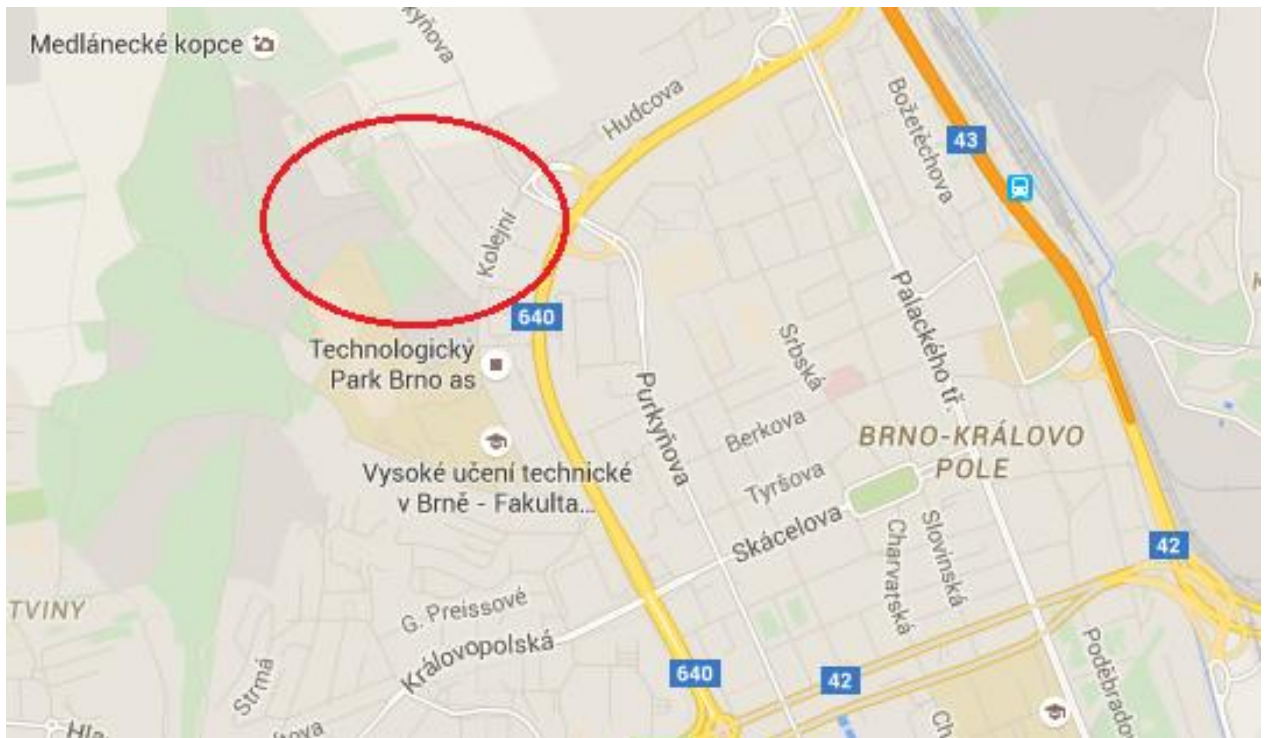
Příloha č. 1: Tabulka výsledků analýzy pozemní komunikace ulice Kolejní

d [m]	L _{voz} [cd/m ²]	L _{zav} [cd/m ²]			TI [%]			vyhovuje (1); nevyhovuje (0)		
		23 let	60 let	70 let	23 let	60 let	70 let	23 let	60 let	70 let
-28	0,500	0,0193	0,0317	0,0425	2,18	3,58	4,81	1	1	1
-14	0,591	0,0744	0,1222	0,1640	7,36	12,10	16,23	1	1	0
0	0,669	0,0417	0,0685	0,0918	3,74	6,14	8,23	1	1	1
14	0,553	0,0580	0,0953	0,1279	6,06	9,95	13,35	1	1	1
28	0,554	0,0119	0,0195	0,0261	1,24	2,03	2,73	1	1	1
42	0,433	0,0858	0,1409	0,1890	10,89	17,90	24,01	1	0	0
56	0,591	0,0137	0,0225	0,0302	1,35	2,23	2,98	1	1	1
70	0,452	0,0491	0,0807	0,1083	6,03	9,91	13,29	1	1	1
84	0,517	0,0136	0,0223	0,0300	1,50	2,46	3,30	1	1	1
98	0,435	0,0933	0,1534	0,2057	11,82	19,42	26,05	1	0	0
112	0,622	0,0147	0,0242	0,0324	1,40	2,30	3,09	1	1	1
126	0,512	0,0540	0,0888	0,1191	6,00	9,86	13,23	1	1	1
140	0,620	0,0095	0,0156	0,0209	0,90	1,49	1,99	1	1	1
154	0,386	0,0569	0,0935	0,1254	7,92	13,02	17,46	1	1	0
168	0,415	0,0120	0,0198	0,0265	1,58	2,60	3,48	1	1	1
182	0,396	0,0549	0,0902	0,1209	7,48	12,29	16,49	1	1	0
196	0,230	0,0200	0,0328	0,0440	4,21	6,92	9,28	1	1	1
210	0,332	0,0886	0,1455	0,1952	13,90	22,83	30,63	1	0	0
224	0,632	0,0186	0,0305	0,0409	1,74	2,86	3,84	1	1	1
238	0,578	0,1046	0,1718	0,2304	10,54	17,32	23,24	1	0	0
252	0,791	0,0099	0,0163	0,0218	0,78	1,28	1,71	1	1	1
266	0,362	0,0524	0,0860	0,1154	7,66	12,59	16,89	1	1	0
280	0,536	0,0228	0,0375	0,0503	2,44	4,02	5,39	1	1	1
294	0,252	0,0392	0,0645	0,0865	7,68	12,61	16,92	1	1	0
308	0,458	0,0953	0,1566	0,2101	11,57	19,01	25,50	1	0	0
322	0,408	0,1035	0,1701	0,2282	13,80	22,67	30,42	1	0	0
336	0,781	0,0367	0,0604	0,0810	2,91	4,78	6,42	1	1	1
350	0,888	0,0961	0,1578	0,2117	6,87	11,29	15,14	1	1	0
364	1,374	0,0267	0,0439	0,0589	1,35	2,21	2,97	1	1	1
378	1,029	0,2085	0,3425	0,4595	13,24	21,75	29,18	1	0	0
392	0,933	0,0430	0,0707	0,0948	2,96	4,86	6,51	1	1	1
406	0,678	0,0615	0,1011	0,1356	5,46	8,96	12,02	1	1	1
420	0,804	0,0205	0,0337	0,0453	1,59	2,61	3,50	1	1	1
434	0,577	0,0586	0,0962	0,1291	5,91	9,71	13,03	1	1	1

příloha č. 2: Průběh prahového přírůstku po celé délce komunikace pro rozdílný věk pozorovatele



příloha č. 3: Mapa lokality měřené komunikace



příloha č. 4: Vymezení vyhodnocovaného úseku a směr pohledu na ulici kolejni

