

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ



DIPLOMOVÁ PRÁCE

VIDITELNOST PŘEKÁŽKY ZA SNÍŽENÉ VIDITELNOSTI

VISIBILITY OF OBSTACLES IN LOW VISIBILITY

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Mičunek Ph.D.

K622 – Ústav soudního znalectví

Praha 2014

Bc. Martin Červenka



K622..... Ústav soudního znalectví v dopravě

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Martin Červenka

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – DS – Dopravní systémy a technika

Název tématu (česky): **Viditelnost překážky za snížené viditelnosti**

Název tématu (anglicky): Visibility of Obstacles in Low Visibility

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Úvod do problematiky
- Vlastnosti světla a způsoby měření světla
- Vnímání světla lidským okem
- Viditelnost chodce/cyklisty za snížené viditelnosti
- Vyhodnocení
- Závěr, vize pro diplomovou práci

- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Sedlák, Jaroslav; Dohlednost na chodce při jízdě v noci, v závislosti na věku a rozvoji zrakových vad řidiče; Soudní inženýrství, 2012, roč. 23, č. 3, str. 216-225
Synek, Svatopluk; Fyziologie oka a vidění, Praha, 2004
Silbernagl, Stefan; Atlas fyziologie člověka, Praha, 2004

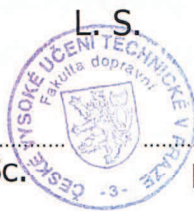
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Tomáš Mičunek, Ph.D.**

Datum zadání diplomové práce: **21. června 2013**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **5. května 2014**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

Šachl

doc. Ing. Jindřich Šachl, CSc.
vedoucí
Ústavu soudního znalectví v dopravě



Svítek

prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Červenka

Bc. Martin Červenka
jméno a podpis studenta

V Praze dne21. června 2013

Prohlášení:

Nemám závažný důvod proti užívání tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne

.....

Bc. Martin Červenka

Poděkování:

Touto cestou bych rád poděkoval mému vedoucímu závěrečné práce Ing. Tomáši Mičunkovi, Ph.D. za jeho čas věnovaný konzultacím, rady a připomínky. Dále bych chtěl velmi poděkovat Vysokému učení technickému v Brně, ústavu elektroenergetiky na fakultě elektrotechniky a komunikačních technologií, jmenovitě doc. Ing. Petru Baxantovi, Ph.D. a Ing. Janu Škodovi, Ph.D. za zapůjčení jasového analyzátoru LumiDISP. Dále nesmím opomenout pomoc Ing. Jana Novotného ze společnosti ELTODO,a.s. za poskytnutí informací o veřejném osvětlení v měřených lokalitách a kolegy Bc. Tomáše Havlíka, Bc. Jana Popla a Bc. Adama Brabce za jejich pomoc při měření a role figurantů.

V neposlední řadě bych rád poděkoval své rodině za pomoc a podporu při psaní této práce a v průběhu studia.

Bibliografická identifikace

Název diplomové práce:	Viditelnost překážky za snížené viditelnosti
Autor:	Martin Červenka
Pracoviště:	ČVUT v Praze, Fakulta dopravní, Ústav soudního znalectví v dopravě
Vedoucí práce:	Ing. Tomáš Mičunek, Ph.D.
Rok:	2014
Abstrakt:	<p>Práce se zabývá viditelností a rozlišitelností cyklistů v noci při veřejném osvětlení. V části práce je rozebráno lidské oko, jeho části, funkce, vnímání světla a mezní stavy oka. Následně je práce věnována světlu, fyzikálním vlastnostem světla a převážně světelným veličinám.</p> <p>Hlavní část práce je pak věnována měření a vyhodnocování viditelnosti cyklisty při různých typech svítidel veřejného osvětlení. Při vyhodnocování je porovnáván cyklista na stejném místě v tmavém oblečení a s reflexní vestou, protože jedním z hlavních důvodů nehod cyklistů v noci je jejich špatná viditelnost pro řidiče a ostatní účastníky provozu.</p>
Klíčová slova:	viditelnost, cyklista, lidské oko, světlo, veřejné osvětlení, jasová analýza, reflexní vesta
Počet stran:	124
Počet příloh:	12
Jazyk:	Čeština

Bibliographical identification

Title of master's work: Visibility of Obstacle in Low Visibility

Author: Martin Červenka

Department: Czech Technical University in Prague, Faculty of transport science, Department of Forensic Expert in Transportation

Supervisor: Ing. Tomáš Mičunek, Ph.D.

Year: 2014

Abstract: The work deals with visibility and distinctiveness of cyclists at night under the public lightning. In part of the work the human eye is discussed, its parts, functions, perception of light and limiting conditions of the eye. Then the work deals with light, physical parameters of light and mostly deals with quantities of light.

The main part of the work is devoted to measurement and evaluation of visibility of cyclist under the different types of light fittings. In the evaluation is dark clothes on cyclist compared to reflective vest on the same place, because one of the main reasons of accidents of cyclist at night is their poor visibility for drivers and other road users.

Key words: visibility, cyclist, human eye, light, public lightning, luminance analysis, reflective vest

Number of pages: 124

Number of appendices: 12

Language: Czech

Obsah

Seznam použitých zkratk.....	5
Úvod	9
1. Zrak a vidění	10
1.1. Lidské oko	10
1.1.1. Oční koule	10
1.1.2. Přídavné oční orgány	12
1.2. Akomodace oka	13
1.2.1. Vady oka	14
1.3. Rozlišování intenzity světla	16
1.4. Rozlišování barev	16
1.5. Zraková ostrost	17
1.6. Mezní stavy zraku	19
2. Světlo	22
2.1. Měření světla	23
2.1.1. Světelný tok	24
2.1.2. Svítivost	25
2.1.3. Osvětlenost	27
2.1.4. Jas	29
2.1.5. Světlení	30
2.1.6. Prostorový úhel	32
2.2. Umělé osvětlení	33
2.3. Veřejné osvětlení	39
3. Viditelnost cyklisty při veřejném osvětlení	43
3.3.1. Ulice Vrbova	66
Závěr	84
Seznam použité literatury	86
Seznam obrázků	88
Seznam tabulek	90
Seznam příloh	91

Seznam použitých zkratk

tzv.	tak zvaný
SI	Mezinárodní soustava jednotek
LED	dioda emitující světlo
PMMA	polymethylmethakrylát
PC	polykarbonát
UV	ultrafialové záření
ČR	Česká republika
ČSN	Česká technická norma
EN	Evropská norma
ČVUT	České vysoké učení technické

Úvod

V dnešní době jsou již cyklisté řádnými členy provozu na silničních komunikacích a kromě dálnic, rychlostních silnic a silnic určených pro motorová vozidla se s nimi můžeme setkat prakticky kdekoliv.

Většina cyklistů jsou stále pouze rekreační jezdci a na vyjížděky se vypravují převážně přes den, ovšem čím dál více lidí využívá kolo jako dopravní prostředek za prací, studiem nebo jinou aktivitou. Tito cyklisté tak často jezdí za snížené viditelnosti - v noci nebo za šera při veřejném osvětlení. Podle vyhlášky č. 341/2002 Sb. mají sice stanovenou povinnou výbavu v těchto podmínkách, ale ani ta jim nezaručuje dobrou viditelnost pro řidiče motorových vozidel.

Podle policejní statistiky se počet nehod s účastí cyklisty pohybuje s občasnými výkyvy kolem 4000 nehod ročně. Z toho přibližně 15 – 20 % jsou nehody, ke kterým došlo v noci. Dalo by se namítnout, že z celkového počtu to není zas tak vysoké číslo, ovšem nesmíme zapomenout, že v poměru s cyklistickým provozem je provoz v noci značně nižší. Ve své práci se z tohoto důvodu zaměřím na viditelnost překážky, přesněji cyklisty, při veřejném osvětlení, což podle rozdělení policie je nejvýznamnější položka nehod cyklistů v noci.

V první kapitole je rozebráno lidské oko, jakožto orgán zraku. Zrakem člověk vnímá nejvíce podnětů, až 60 % z celého množství. Kromě obecného popisu je zde rozebráno, jakým způsobem jsou přijímány zrakové podněty, jaké mezní stavy lidské oko má a také to, že i oko bez vady není úplně dokonalé.

V další kapitole je psáno světlo a světelné záření po fyzikální stránce. Jsou tak popsány vlastnosti světla, měřené veličiny a způsoby měření. Vlastní podkapitolou je umělé osvětlení, do něhož patří i veřejné osvětlení, při kterém dochází k měřením a experimentům v této práci.

Právě zmíněná měření jsou součástí třetí kapitoly, kde jsou popsány lokality, na kterých byla měření prováděna, pomůcky měření a vyhodnocení získaných dat.

Práce byla podpořena ze Studentské grantové soutěže ČVUT pod číslem grantu SGS13/157/OHK2/2T/16 s názvem Zkoumání trajektorie pohybu cyklistů a vliv různých faktorů na ni.

1. Zrak a vidění

Zrak, spolu se sluchem, hmatem, čichem a chutí, patří mezi jeden z pěti smyslů člověka. Orgánem zraku jsou oči, které umožňují vnímání světla, barev, jednotlivé tvary a další množství informací z okolního prostředí. To vše značně usnadňuje orientaci v prostoru, a proto zrak patří u člověka k nejdůležitějšímu smyslu.

1.1. Lidské oko

Lidské oko je velice složitý orgán umístěný v očníci a skládající se ze dvou hlavních částí, jimiž jsou oční koule a přídatné oční orgány. [1]

1.1.1. Oční koule

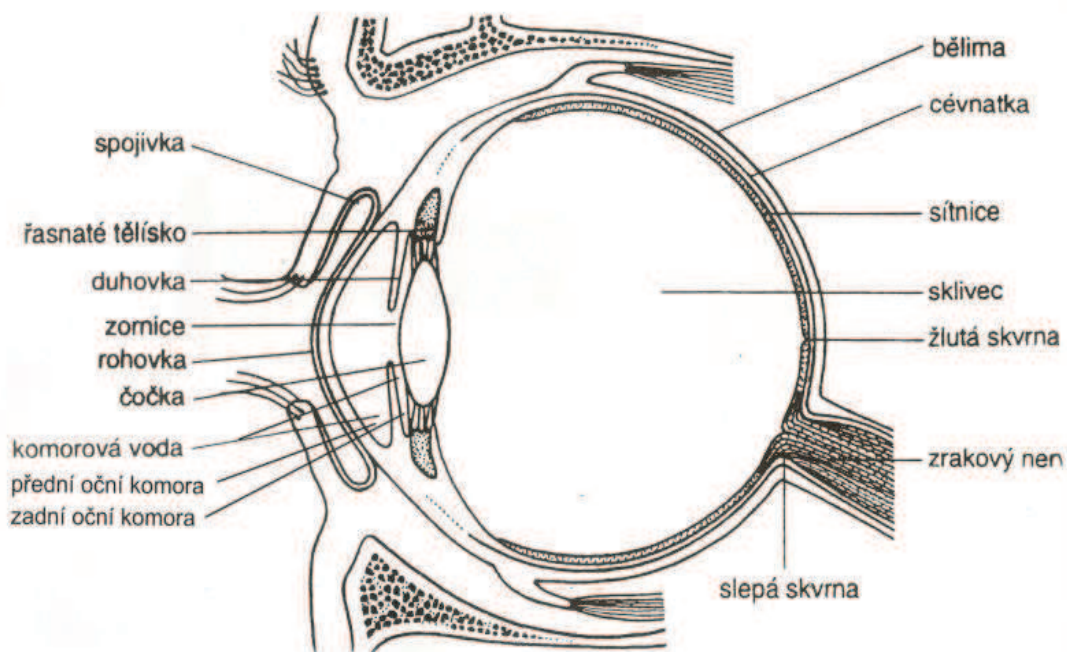
Samotné světlo prochází ke světločivným receptorům sítnice, která se nachází na zadní straně oční bulvy, přes rohovku, komorovou vodu, čočku a sklivec. Všechny tyto části dohromady tvoří tzv. optický aparát oka. Jak bylo uvedeno, tímto aparátem prošlé světlo vrhá na sítnici zmenšený obraz okolního světa.

Vstup světla do oka je regulován duhovkou, která obsahuje kruhová a radiální hladká svalová vlákna. Tato svalová vlákna umožňují zúžení nebo rozšíření zornice.

Pro přesnou reprodukci obrazu na sítnici je třeba průhlednost, stálost tvaru a hladký povrch jednotlivých částí systému. K rohovce jsou proto vyvedeny slzné kanálky, které ji zvlhčují, čímž zabraňují jejímu zakalení a uchovávají její průhlednost. Dále slzy vyrovnávají nerovnosti rohovky, odplavují prach a leptající páry, ochraňují oko proti infekci a slouží jako film usnadňující klouzání víček.

Stálost tvaru oční koule zajišťuje její obal tvořený bělimou, a dále oproti vnějšímu prostředí vyšším nitroočním tlakem, jehož normální hodnoty se pohybují mezi 2 až 3 kPa. Samotný nitrooční tlak je vytvářen komorovou vodou přitékající ze zadní komory oční, kde je vytvářena, a odtékající přední komorou a Schlemmův kanál do žilního systému.

Další částí, která je ovlivnitelná pro přesnou reprodukci obrazu, je oční čočka. U ní dochází pomocí vláken zonuly, na kterých je zavěšena, k jejímu zploštění nebo uvolnění do původního vypuklého tvaru.



Obr. č. 1 – Oční koule [17]

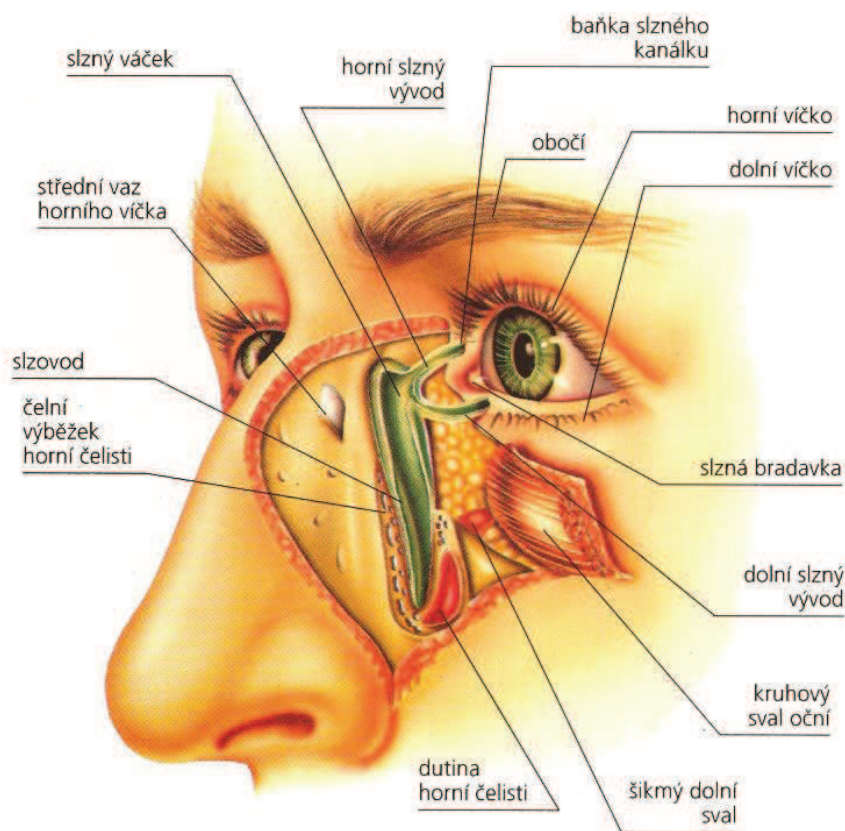
Nyní se dostáváme k poslední části oční koule, na kterou je promítán zmenšený obraz. Je jím sítnice, která se nachází na vnitřní ploše stěny oční koule a zasahuje až k pupilárnímu okraji duhovky. Jediným místem, kde se sítnice nenachází je zadní část, kde opouští oční kouli zrakový nerv. Toto místo je známé jako slepá skvrna.

Sítnice obsahuje světločivné receptory, jimiž jsou čípky a tyčinky. Ty jsou dále napojené na tzv. bipolární buňky a ty jsou dále napojeny na gangliové buňky sítnice. V lamelách zevních segmentů tyčinek a čípků jsou uloženy pigmenty citlivé na světlo. [2]

1.1.2. Přídavné oční orgány

K tomu, aby oční koule dobře plnila svojí funkci, je třeba dalších přídavných orgánů. Ty slouží nejen k pohybu oční koule, ale také jako ochrana proti nepříznivým vlivům. Patří sem:

- očnicové svaly,
- vazivový aparát očnice,
- víčka,
- spojivka,
- slzné ústrojí.



Obr. č. 2 – Přídavné oční orgány [18]

Očnicové svaly můžeme ještě dále rozdělit na okohybné svaly a zvedáč horního víčka.

Jak již sám název napovídá, okohybné svaly umožňují pohyb oční bulvy. Přímé a šikmé svaly jsou s okem spojeny na různých stranách krátkými plochými šlachami. Přímé svaly mají za funkci otáčení oční koule v horizontálním směru, dále nahoru a dolů a současně i lehce v mediálním směru. První ze šikmých svalů provádí rotaci oka dovnitř (incyklodukce) a druhotně stáčí oko dolů a zevně, druhý

šikmý sval naopak provádí rotaci oka zevně (excyklodukce) a oko zvedá a stáčí také zevně.

Dalším svalem je zdvihač horního víčka, který není třeba více rozepisovat, neboť již sám jeho název napovídá o jeho účelu.

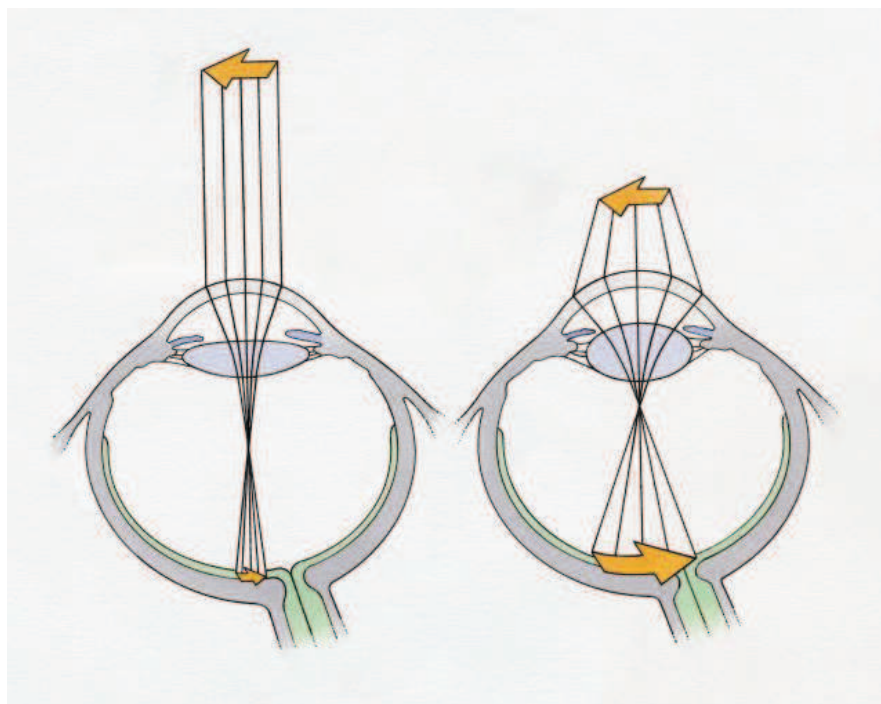
Poloha oka, jeho fixace a pohyby závisí na dokonalé souhře všech těchto svalů. Pokud by tomu nebylo, nedopadal by obraz předmětu, na který se díváme, na žlutou skvrnu obou očí a vidění by tak bylo zkreslené.

Dalším důležitým orgánem jsou víčka. Jejich funkce je především ochranná. Při jejich pohybu dochází k roztírání slz po ploše rohovky a tím dochází k odstranění nečistot a zároveň k zabránění vysychání rohovky. Při prudkém osvětlení také slouží jako clona a zabraňují přesvětlení sítnice. Poslední, ale také velmi významnou funkcí, je jejich ochrana proti vniknutí cizího tělesa do oka. [1]

1.2. Akomodace oka

V popisu lidského oka jsme se dozvěděli, že se skládá z několika hraničních ploch a prostředí. Pro potřeby vysvětlení akomodace můžeme tento složený optický aparát zjednodušit. Takovýto systém je občas nazýván jako redukované oko. Výsledkem je jednoduchý optický systém, který má přední ohniskový bod ve vzduchu, zadní ohniskový bod, hlavní bod a uzlový bod.

Při pozorování velmi vzdáleného bodu, se jeví vstupující paprsky jako rovnoběžné a při akomodaci oka na dálku je obraz tohoto bodu zobrazen v zadním ohniskovém bodě. Tento ohniskový bod se při akomodaci na dálku nachází přesně na sítnici, čímž obraz dopadá na její receptory a obraz se následně jeví jako ostrý.



Obr. č. 3 – Akomodace oka na dálku a na blízko [19]

Jelikož při stejném zakřivení čočky na dálku, by se obraz blízkého předmětu promítal až za sítnicí, dochází k zvětšení zakřivení čočky. Tento jev se nazývá akomodace na blízko. Zakřivení čočky zvyšuje její lomivost a tím se obraz opět promítne na sítnici.

Samotná lomivost oka je převrácenou hodnotou přední ohniskové vzdálenosti, vyjádřená v metrech a její jednotkou je dioptrie. Při maximální akomodaci na dálku je hodnota lomivosti 58,8 D. Tato hodnota však při maximální akomodaci na blízko vzroste přibližně o 10 D. Nárůst lomivosti je nazýván jako akomodační šíře. Tu může spočítat jako rozdíl převrácené hodnoty vzdálenosti blízkého bodu a převrácené hodnoty vzdáleného bodu. Jelikož vzdálený bod při ostrém vidění na dálku leží v nekonečnu, potom hodnota akomodační šíře je rovna převrácené hodnotě blízkého bodu. [2]

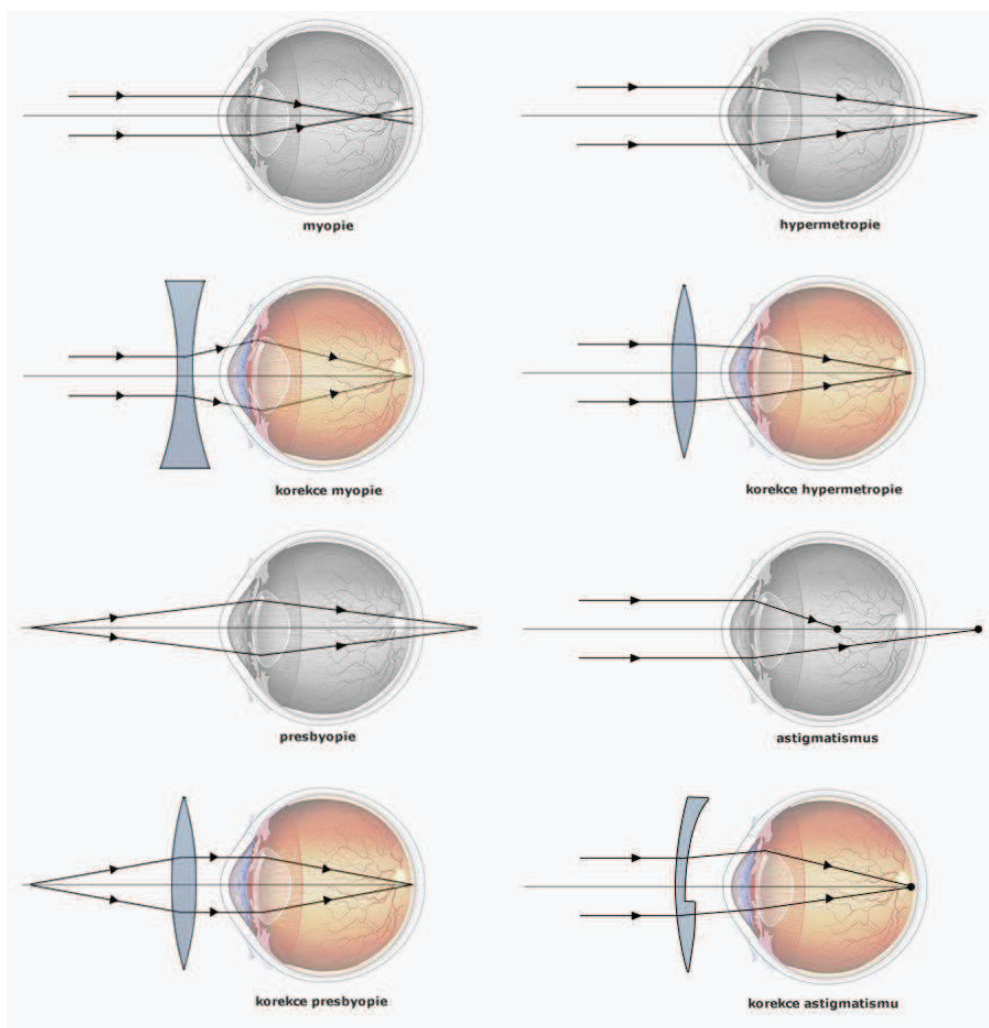
1.2.1. Vady oka

Mezi nejznámější vady oka, mající vliv na ostrost vidění, patří dalekozrakost a krátkozrakost. Dalšími vadami jsou ale šedý zákal, astigmatismus a také vetchozrakost, která se projevuje ve stáří, kdy vidění na dálku zůstává ostré, ale z důvodu poklesu pružnosti čočky, je vidění na blízko rozostřené.

V případě dalekozrakosti je oční koule příliš krátká a obraz je tak promítán až za sítnicí. Oko tak musí akomodovat při pohledu do dálky stejně jako na blízko a tak pro vidění na blízko již lomivost nestačí. Ke korekci této oční vady se používá spojná čočka.

Naopak u krátkozrakosti je oční koule příliš dlouhá, a proto dochází k promítnutí obrazu ještě před sítnicí. K této vady se používá rozptylka. Ta rozptyluje rovnoběžné paprsky tak, aby přicházely ze vzdáleného bodu, neboť v případě krátkozrakosti je tento bod blízko.

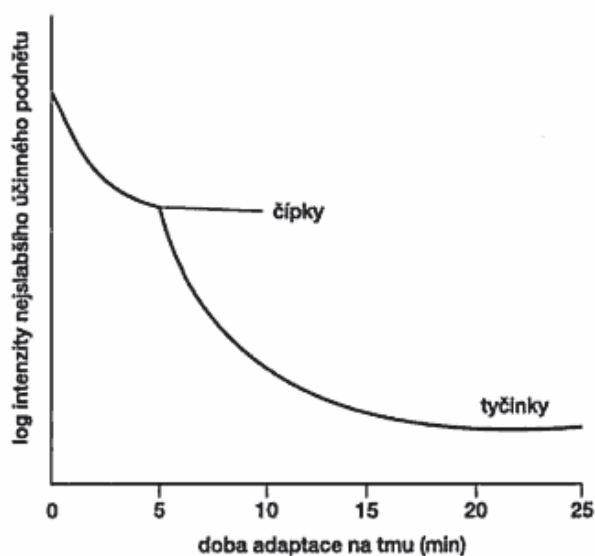
Další vadou je astigmatismus. Ten je způsoben různým zakřivením rohovky, čímž vzniká rozdíl lomivosti v obou rovinách. Bod se následně jeví v neostře rovině jako čára a dá se korigovat aplikací cylindrických čoček. Existuje ještě nepravidelný astigmatismus s nepravidelně zkreslenými obrazy, který vzniká například zjizvením rohovky. Jeho nápravu je možné uskutečnit sférickými kontaktními čočkami.[1][2]



Obr. č. 4 – Vady oka a jejich korekce [20]

1.3. Rozlišování intenzity světla

Člověk při přechodu z osvětleného prostoru do tmavé místnosti není schopný vnímat světelné podněty. Ke zrakové adaptaci na tmu dochází až v průběhu jedné hodiny. Závislost prahové citlivosti sítnice na čase můžeme vyjádřit dvoufázovou křivkou adaptace na tmu. V první části adaptační křivky je citlivost sítnice stokrát navýšena a je nazývána čípkovou adaptací sítnice, nebo též rychlou fází. Druhá část je pozvolnější a nazývá se tyčinkovou adaptací sítnice.



Obr. č. 5 – Adaptační křivka na tmu [21]

Základním podkladem pro adaptaci je syntéza rodopsinu ve světločivných buňkách sítnice. Rodopsin je tyčinkový pigment, který se skládá ze složky absorbující světlo, chromoforu a z bílkovin opsinu.[1][2][21]

1.4. Rozlišování barev

Lidské oko vnímá světelné paprsky v rozmezí 400 – 760 nm světelného spektra. Paprsky o kratší vlnové délce jsou pohlceny již při průchodu čočkou. Při testech citlivosti oka na vnímání jednotlivých složek světelného spektra je třeba rozdělit testování na adaptaci na světlo a na adaptaci na tmu. Tímto rozdělením získáme dvě rozdílné křivky citlivosti, kde při měření citlivosti čípků při adaptaci na

světlo je jejich největší citlivost v hodnotě 555 nm, v oblasti zelenožluté barvy, zatím u křivky citlivosti adaptace na tmou je maximum při 507 nm (modrozelená barva). Například červenou barvu, která se ve světelném spektru pohybuje v rozmezí 650 – 750 nm, jsou schopné vnímat jen čípky, ale nikoliv tyčinky. Ty zůstávají v tomto spektru adaptovány na tmou, čehož je využíváno například v rentgenologii nebo u přístrojů nočního vidění, kde je zapotřebí rychlé adaptace na tmou.

Lidské oko dále obsahuje tři druhy čípků o různých absorpčních maximech. Tyto maxima odpovídají jednotlivým pigmentům a to modrému (445 nm), zelenému (535 nm) a nakonec žlutému (570 nm). Člověk je tak schopný rozeznat rozdíly o vlnové délce 1 nm. Oproti základním barvám, kterými jsou červená, zelená a modrá, jedná se o barvy nasycené, jsou ostatní barvy lišící se oproti základním nazývané jako odstíny. Odstíny jsou pak nazývány jako nenasycené, protože do barvy je přimícháno ještě bílé světlo. Při maximálním zvýšení světelné intenzity pak vnímáme žlutobílou barvu. Při takovém stavu mají schopnost vnímat barevné světlo pouze čípky. Ty ale také potřebují určitou hladinu osvětlení, aby toho byly schopné. Pokud není této hladiny dosaženo, oko není schopné jednotlivé barvy rozeznávat. Jednotlivé stavy, jsou odborně nazývány. Intenzita světla, kdy fungují jak čípky, tak i tyčinky se nazývá mezopické pásmo, intenzita vnímání pouze čípky fotopické a pouze tyčinkami skopické. Rozdíl prahu citlivosti na světlo a citlivosti vnímání barev s' je označováno jako fotochromatický interval.[1]

1.5. Zraková ostrost

Na zrakovou ostrost má vliv rozlišovací schopnost oka a jeho refrakční vlastnosti. Normální zraková ostrost je tedy dána transparentí optických prostředí oka a jejich fyziologickou lomivostí, normální funkcí foveálních čípků, centrální fixací oka a normální funkcí zrakového nervu, zrakových funkcí a zrakového korového centra.

Rozlišovací schopnost oka je dána pozorovacím úhlem dvou bodů nacházejících se v prostoru, a které je lidské oko schopno identifikovat jako dva samostatné body. Za fyziologických podmínek je minimální rozlišovací úhel roven 1. Tento stav odpovídá stimulaci dvou čípků, mezi nimiž leží třetí čípek, který není stimulován. Zraková ostrost také závisí na několika faktorech. Mezi ně patří jas pozorovaných předmětů, vzdálenost od sítnice, na kontrastu předmětů proti okolnímu prostředí, na velikosti zornice a na refrakční vadě.

Běžně je zraková ostrost vyšetřována pomocí standardních tabulek, které jsou nazývány optotypy. U lékaře se nejčastěji setkáváme s tzv. Snellovými optotypy. Jedná se o tabulku zavěšenou 5 až 6 metrů od pozorovatele, kdy je akomodace oka menší než 0,25, a na které jsou v kontrastní barvě písmena, číslice, případně symboly (černé znaky na bílém pozadí). Tyto znaky jsou konstruovány velikostně tak, aby části písmen byly viditelné ze vzdálenosti uvedené u řádku pod úhlem jedné minuty. Tato hodnota určuje, při jaké skutečné vzdálenosti by pozorovatel měl být při normální zrakové ostrosti schopný znak přečíst.



Obr. č. 6 – Snellův optotyp [22]

Vyšetření zrakové ostrosti za pomoci vysoce kontrastních tabulek ovšem neodpovídá běžné situaci, kdy se většinou jedná o vidění předmětů se středním nebo malým kontrastem. Proto je využíváno další techniky vyšetřující kontrastní citlivost. Nejjednodušším takovýmto testem je Pelliův-Robsonův test. U něj již nejsou řádky symbolů se stejným kontrastem a různou velikostí jako v případě Snellova optotypu, ale je u ní využito stejné velikosti řádků, ale snižujícího se kontrastu textu.



Obr. č. 7 – Pelliův-Robsonův test [23]

Rozdíl kontrastu mezi řádky je roven $1/\sqrt{2}$. Tabulka je čtena ze vzdálenosti 1 metru a od textu s nejvyšším kontrastem po nejnižší.[1][22]

1.6. Mezní stavy zraku

Pokud nastane situace, kdy není možné zajistit správnou činnost zraku, neboli zraková činnost je nějakým způsobem narušena, nazýváme pak tento stav mezním. Při překročení této hranice již nastává situace, kdy zrak přestane zcela pracovat a záleží následně na druhu podnětu, zda se bude jednat jen o krátkodobou nebo dlouhodobou nefunkčnost, v nejhorším případě o trvalé poškození. Mezi nejběžnější mezní stavy můžeme zařadit vysokou a nízkou úroveň jasu, nejmenší detail a frekvenci splývání. Samostatným mezním stavem je potom oslnění.[5]

Vysoká úroveň jasu – můžeme jí rozlišit na celkovou či lokální. Při celkově vysoké úrovni jasu je přetěžována celá sítnice oka, zatímco u lokální dochází k přetížení jen určité části na sítnici.

Nízká úroveň jasu – je přesným opakem vysoké úrovně. Nepochází tedy k přetížení sítnice, ale i tak je zraková činnost narušena. K tomuto stavu dochází při

plnění úkolu v místě s nedostatečnou mírou osvětlení, ale s více osvětleným okolím. Pro příklad hledání západky u kapoty automobilu v noci při rozsvícených předních světlometech. Zrak se adaptuje v takové situaci na vyšší hodnotu jasu světlometů a činnost zraku je tak v temnějším místě, kde se západka nachází zhoršena. Aby bylo možné lépe definovat rozlišitelnost jako schopnost oka rozlišit určité rozdíly jasu, byla zavedena veličina nazvaná kontrast jasu K . Tu je možné určit podle vztahu:

$$K = \frac{|L_a + L_b|}{L_b} \quad (1)$$

kde L_a – jas detailu [cd.m^{-2}]

L_b – jas okolí detailu [cd.m^{-2}]

Nejmenší rozlišitelný rozdíl jasů se nazývá práh rozlišitelnosti jasu a odpovídá mu tzv. prahový kontrast K_{min} a jeho převrácenou hodnotou je kontrastní citlivost. Ta závisí na jasu blízkého okolí rozlišovaného detailu a na velikosti kritického detailu. Kontrastní citlivost roste s adaptačním jasnem a optimální hodnoty dosahuje u jasů v rozmezí 300 až 5000 cd.m^{-2} .

Hladina adaptačního jasu je velmi důležitá pro rozeznání dvou ploch s rozdílnou úrovní jasu. V případě, kdy je třeba pracovat s rozlišováním malých kontrastů jasů, je vyžadován rovnoměrný jas zorného pole. Ten ale není zase vhodný pro dlouhodobější práci, neboť vede k dřívější únavě zraku a působí útlumově.

Nejmenší detail – jedná se o další mezní faktor lidského zraku. Od mezního detailu je dále odvozen kritický detail, což je nejmenší pozorovaný detail při práci. Aby bylo možné ho rozeznat, musí být větší, než umožňuje rozlišovací schopnost zraku. Tu posuzujeme za pomoci tzv. zrakové ostrosti, která je definována jako schopnost zraku rozeznat dva detaily na určitém pozadí, například dva body či dvě úsečky. Zrakovou ostrost je možné vyjádřit také matematicky jako převrácenou hodnotu nejmenšího úhlu, zadaného v úhlových minutách, pod kterým jsou detaily pozorovány. Logicky platí, že čím blíže u sebe jsou pozorované předměty rozeznatelné, tím lepší je zraková ostrost.

Frekvence splívání – každý zrakový vjem má určité zpoždění. Ten je způsoben přenosem přes optický aparát oka a po zrakové dráze. Z tohoto důvodu je zrakový vjem zachován i v době, kdy například světelný záblesk již pominul, nebo se jeho hodnota změnila. Vjem tedy vznikne až po určité době po vzniku světelného

podnětu. V případě, že dochází k periodickému opakování světelného podnětu, záleží na frekvenci signálu. Při překročení určité frekvence se přerušovaný signál chová pro lidské oko jako nepřerušovaný o intenzitě aritmetického průměru hodnot měnícího se podnětu. Tento stav je popsán pomocí Talbotova zákona a mezní frekvence je nazývána frekvencí splývání.

Oslnění – je zvláštním mezním stavem. Během oslnění dochází k nerušení zrakové funkce vlivem světla, které vychyluje zrakovou činnost z ideálního stavu. Oslnění vzniká za situace, kdy se v zorném poli oka nachází příliš vysoké jasy, rozdíly jasů nebo časové kontrasty jasů, které překračují meze adaptability zraku. Lidské oko se adaptuje na určitý průměrný jas zorného pole, který je označován jako adaptační jas. Ten ovlivňuje veškeré funkce oka, tím i pracovní výkon, kvalitu práce a také únavu.

Oslnění může být zapříčiněno několika způsoby, a proto ho rozdělujeme na:

- Přímé oslnění
- Oslnění odrazem
- Přechodové oslnění
- Závojové oslnění
- Kontrastní oslnění

Přímé osvětlení je způsobeno příliš vysokým jasem zdroje světelného záření nebo hlavních povrchů prostoru. Jedná se například o oslnění při pohledu na slunce nebo v noci o světelný billboard.

U druhého způsobu již název napovídá, k jakému oslnění dochází. Oslnění odrazem je způsobeno odrazy svítivých ploch na lesklých částech pozorovaných předmětů a jejich bezprostředního okolí. V dopravě se s tímto oslněním můžeme setkat například při řízení vozidla na mokré vozovce, kdy se od ní odrážejí sluneční paprsky.

K přechodovému oslnění dochází při náhlé změně adaptačního jasu, kdy se zrakový systém nedokáže rychle přizpůsobit prostředí.

Závojové osvětlení vzniká za situace, kdy se před pozorovaným předmětem nachází prostředí s vyšším jasem.

Kontrastní oslnění je zapříčiněno tím, že v zorném poli se vyskytují jasy příliš vysoké v porovnání s jasem, na který je zrak adaptován.

Právě posledně zmíněný kontrastní oslnění je v noci nejčastějším typem oslnění a dále ho můžeme rozdělit na oslnění psychologické a fyziologické.

Psychologické oslnění zahrnuje jak rušivé oslnění, tak i oslnění pozorovatelné, který je nižším stupněm oslnění rušivého. Při oslnění psychologického charakteru je odpoután zrak směrem ke zdroji nejvyššího jasu v zorném poli od původně sledovaného místa.

U fyziologického kontrastního oslnění je zhoršena činnost zraku a tím je snížena schopnost vnímání lidského oka. Dochází ke snížení zrakové ostrosti a kontrastní citlivosti. Mezním stavem fyziologického oslnění je pak oslnění oslepující nebo také označované jako absolutní oslnění. To má za následek celkové vyřazení zraku.[1][2][5]

2. Světlo

Světlo je elektromagnetické záření, které je schopno prostřednictvím zrakového orgánu vybudit zrakový vjem. Světelné záření je možné charakterizovat frekvencí nebo vlnovou délkou. Vlnové délky, které je lidské oko schopné zachytit, jsou v rozmezí 380 – 780 nm. Částí optického záření je záření viditelné, které v kratších vlnových délkách navazuje na ultrafialové záření a v delších vlnových délkách na něj navazuje infračervené záření.

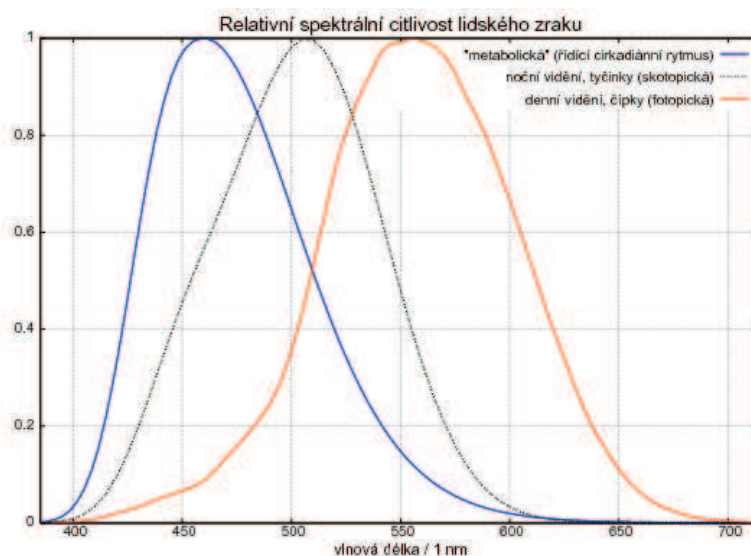
Světlo nezpůsobuje pouze zrakový vjem, ale také barevný počitek. Barevné vlastnosti primárních světelných zdrojů jsou označovány názvem chromatičnost nebo jsou popsány všeobecným indexem barevného podání. Pro barevné vlastnosti sekundárních světelných zdrojů se místo názvu chromatičnost používá pojem kolorita. Záření každé vlnové délky viditelné části světelného záření vybujuje barevný počitek. Každému z těchto barevných počitků odpovídá určitá spektrální barva, která je popsána barevným tónem.[4]

Tabulka 1 - Rozložení spektrálních barev k jednotlivým vlnovým délkám

Vlnová délka λ (nm)	Barevný tón spektrální barvy
380 - 420	Fialová
420 - 440	Modrofialová
440 - 460	Modrá
460 - 510	Modrozelená
510 - 560	Zelená
560 - 590	Žlutá
590 - 650	Oranžová
650 - 780	Červená

2.1. Měření světla

Obor zabývající se měřením světla je nazýván fotometrií. Tato metoda je založena na měření jednotlivých světelných veličin, s nimiž se ve světelné technice můžeme setkat. Při zhodnocování záření se musí vzít v úvahu rozdílná citlivost oka ke světlu různých vlnových délek. Proto se obecně pracuje s citlivostí tzv. normálního fotometrického pozorovatele, čímž dochází k odstranění rozdílů spektrální citlivosti jednotlivých pozorovatelů. Průběh spektrální citlivosti zraku je vidět na Obr. č. 8, kde je možné si všimnout i rozdílů pro noční vidění a denní vidění.



Obr. č. 8 – Průběh spektrální citlivosti zraku [24]

Křivka spektrální citlivosti zraku by měla být shodná s křivkou spektrální citlivosti přijímače. U měřících přístrojů je citlivost jednotlivých fotočlánků na rozdíl od oka odlišná, a proto musí být přizpůsobena pomocí korekčních filtrů. Dalším způsobem korekce rozdílné citlivosti fotočlánků je kosinův nástavec, například ve tvaru kulového vrchlíku z rozptýlného skla. Ten umožňuje přesnější měření světelného proudu při šikmém dopadu na fotočlánek.

V dnešní době se pro měření záření světelných zdrojů využívá metody fyzikální, nebo také někdy označované jako objektivní. Při ní je využito k měření různých čidel. Dříve se k měření také používalo lidského zraku, tato metoda se nazývá vizuální (subjektivní). Ovšem pro měření touto metodou bylo zapotřebí pozorovatele s dokonalým zrakem, což nebylo nikdy úplně zaručeno.

Mezi nejčastější čidla a přijímače patří fotoelektrické násobiče, fotonky hradlové a emisní fotonky.[4][5]

2.1.1. Světelný tok

Světelný tok je veličina, která odpovídá zářivému toku a vyjadřuje jeho schopnost způsobit zrakový vjem. Označením světelného toku je Φ a jednotkou je lumen [lm]. [4]

Podíl výstupního světelného toku zdroje a celkového elektrického příkonu světelného zdroje se nazývá měrný výkon. Ten určuje účinnost přeměny elektrické energie na světlo. Jednotkou měrného toku je lm/W. Je zde zavedena maximální teoretická hodnota měrného výkonu, která činí 683 lm/W. Při této hodnotě dochází ke kompletní přeměně elektrické energie na optické záření o frekvenci 540 THz, nebo-li vlnové délce 555 nm. Při této hodnotě má oko normálního fotometrického pozorovatele nejvyšší hodnotu. Této maximální hodnoty však není v reálném světě nikdy dosaženo, neboť dochází k například tepelným ztrátám při přeměně energie.

Světelný tok je možné stanovit pomocí měření světelného toku v kruhovém integrátoru nebo výpočtem z křivek svítivosti.[5]

2.1.2. Svítivost

Svítivost je světelně technická veličina, popisující distribuci světelného záření do prostoru. Udává tedy množství světelného toku, které vyzáří zdroj v prostorovém úhlu do určitého směru. Svítivost se označuje písmenem I a její jednotkou je kandela [cd]. Kandela patří mezi základní jednotky soustavy SI. Kandela je definována jako svítivost zdroje, který vyzařuje pod určitým úhlem monochromatické záření s intenzitou $1/683 \text{ W}\cdot\text{sr}^{-1}$ a frekvenci $540\cdot 10^{12} \text{ Hz}$. Střední hodnotu svítivosti můžeme vyjádřit podle vztahu:

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (2)$$

kde I je svítivost [cd],

$d\Phi$ světelný tok [lm];

a $d\Omega$ je prostorový úhel, do něž je světelný tok vyzařován [sr].

Svítivost se určuje pouze pro bodový zdroj. Zdroj je tedy zanedbatelných rozměrů vůči vzdálenosti bodu, ke kterému je prováděno kontrolní měření. V praxi by poměr tohoto rozměru a vzdálenosti měl být větší než 5, kdy od této hodnoty můžeme zdroj brát jako bodový.

Změřením svítivosti ve všech bodech prostoru v okolí zdroje záření a následným vynesemím hodnot vektorů získáme prostorové rozložení svítivosti zdroje. Jednotlivé řezy tímto prostorovým rozložením jsou nazývány křivkami svítivosti, které se standardně vynášejí v polárních souřadnicích. Tyto křivky pak charakterizují distribuci světelného toku. Vztažný směr je ve většině případů roven normále hlavní plochy svítivosti. Od této normály jsou následně počítány všechny úhly. Křivku svítivosti můžeme určit ze vztahu:

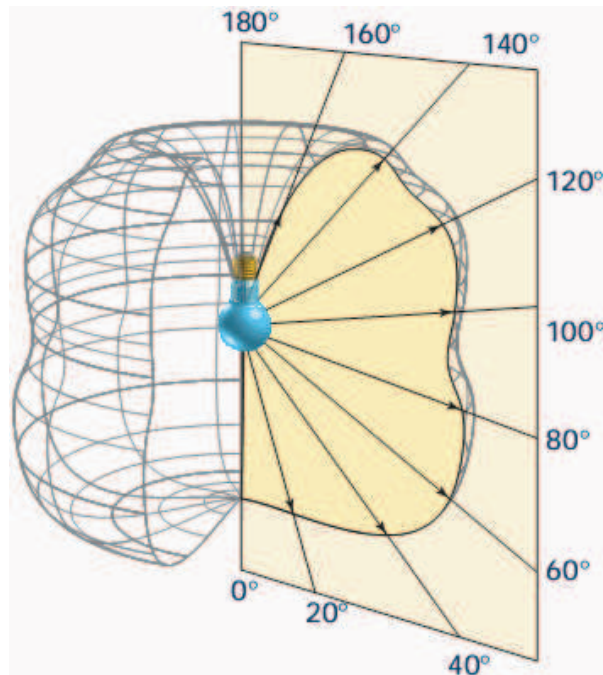
$$I_\gamma = I_0 \cdot f_I(\gamma) \quad (3)$$

kde I_γ – svítivost vztažená k úhlu γ [cd],

I_0 – vztažná svítivost [cd],

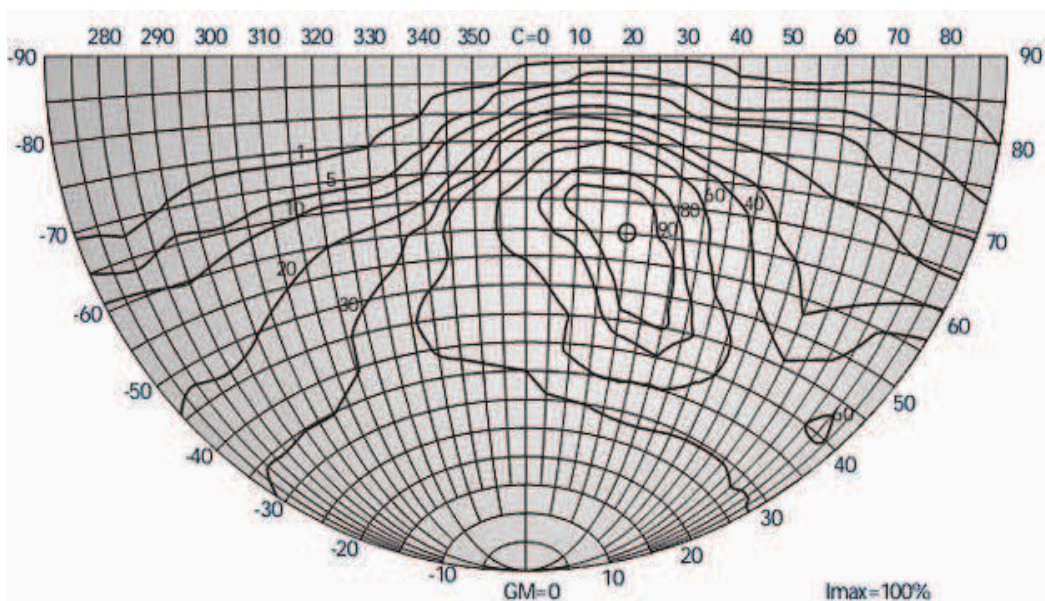
$f_I(\gamma)$ – funkce charakterizující křivku svítivosti v konkrétním řezu.

Křivky svítivosti svítidel se v katalozích přepočítávají na světelný tok 1000 lm a to z důvodu nezávislosti na skutečném světelném toku světelného zdroje. Tímto je možné využít v jednom svítidle více typů světelných zdrojů.



Obr. č. 9 – Křivka svítivosti [25]

Dalším způsobem znázornění prostorového rozložení svítivosti je na povrchu jednotkové koule. Metoda spočívá v tom, že na kouli jsou vyneseny body s danou velikostí svítivosti a směrem a poloha jednotlivých bodů je pak popsána pomocí rovnoběžek a poledníků. Hodnoty stejné svítivosti jsou následně spojeny křivkou, tzv. izokandelou, čímž vznikne diagram se znázorněnou svítivostí. Jelikož tento způsob je velmi obtížný, je tak zobrazení koule nebo polokoule znázorněno sinusoidálním zobrazením.[4][5]



Obr. č. 10 – Izokandelový diagram zdroje v sinusoidálním zobrazení [26]

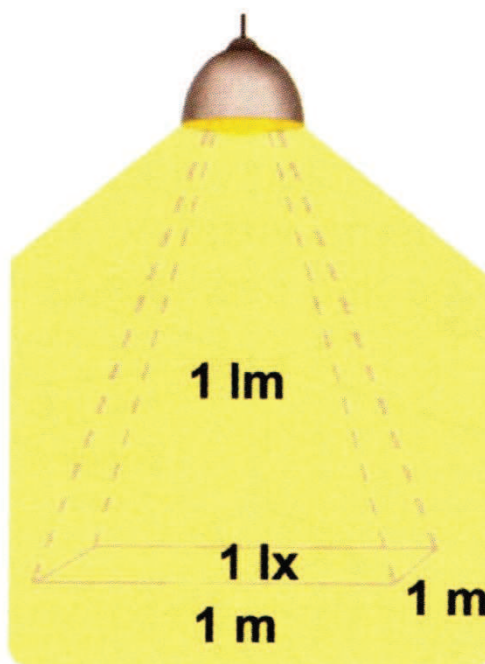
2.1.3. Osvětlenost

Osvětlenost, někdy také udávána jako intenzita osvětlení, je jednou z dalších odvozených fotometrických veličin. Udává hodnotu světelného toku dopadajícího na jednotkovou plochu (1 m^2). Jednotkou osvětlenosti je lux (lx) a označuje se písmenem E . Osvětlenost lze spočítat podle vztahu:

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \quad (4)$$

kde E je osvětlenost [lx],

$d\Phi$ velikost světelného toku dopadajícího na plochu [lm] a
 dA je plocha, na kterou dopadá světelné záření [m^2].



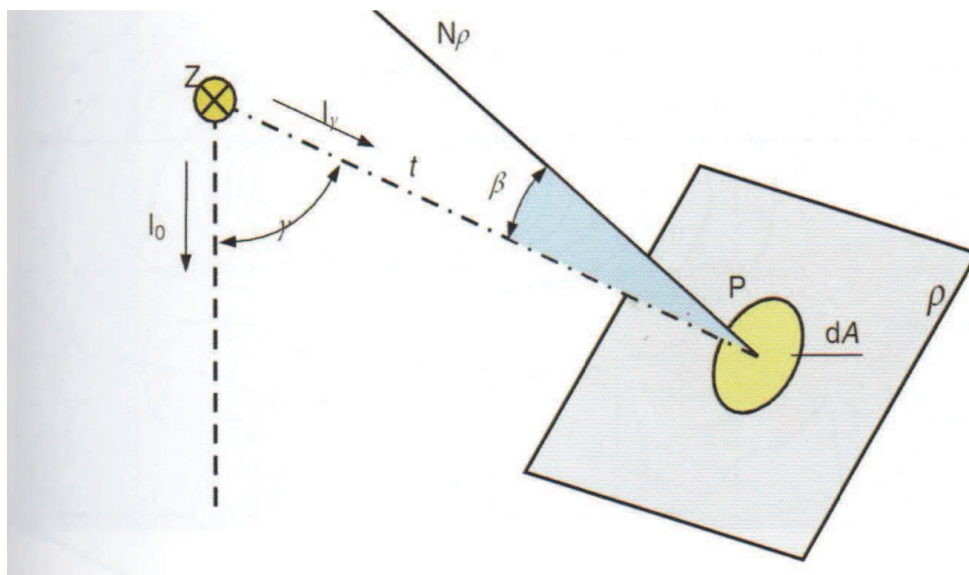
Obr. č. 11 – Osvětlenost [4]

Intenzitu osvětlení je také možné vyjádřit pomocí svítivosti. Tento postup je založen na základě tzv. čtvercového a kosinového zákona. Princip je znázorněn na Obr. č. 12, kde můžeme vidět rovinu ρ , na které se nachází ze vzdálenosti l osvětlovaný bod P , jehož blízké okolí je tvořeno plochou dA . Normála roviny N_ρ

svírá s paprskem zdroje úhel β . Z těchto parametrů je možné určit svítivost I_v pomocí vztahu:

$$E = \frac{I_v \cdot \cos\beta}{l^2} \quad (5)$$

Ze vztahu můžeme vidět, že intenzita osvětlení v daném bodě P klesá s rostoucí vzdáleností bodu od světelného zdroje, přesněji podle čtvercového zákona s rostoucím čtvercem vzdálenosti. Dále podle kosinova zákona je osvětlenost přímo úměrná hodnotě kosinu úhlu β , čím větší je úhel, tím nižší je osvětlenost. Maximální osvětlenosti je tedy dosaženo v případě, kdy normála roviny je s hodnou úhlem dopadajícího paprsku světelného zdroje. Hodnota kosinu bude tak mít maximální hodnotu ($\cos 0^\circ=1$). V tomto případě pak hovoříme o normálové osvětlenosti E_N .



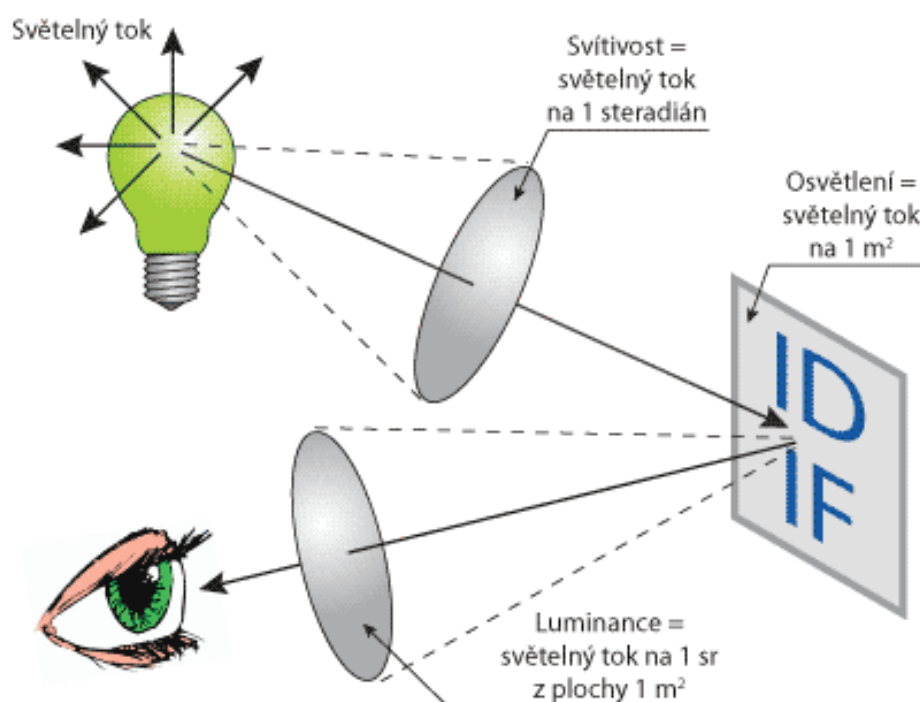
Obr. č. 12 – Definice osvětlenosti bodového zdroje [4]

Stejně jako v případě svítivosti i zde můžeme změřit na určité ploše v kontrolních bodech hodnoty osvětlenosti, které při následném pospojování stejných hodnot křivkami vytvoří izoluxní mapu.[4][5]

2.1.4. Jas

Další fotometrickou veličinou, jakou je měrná svítivost, je jas. Označuje se L a jeho jednotkou je kandela na čtverečný metr [$\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$]. Na tuto veličinu již přímo dokáže reagovat oko, pro upřesnění na jeho kontrast.

Jas je určen plošnou a prostorovou hustotou světelného toku. Z tohoto důvodu vždy záleží na poloze pozorovatele a na směru pohledu. Naopak nehraje roli to, jestli svazek paprsků vychází přímo ze zdroje záření nebo je odražen od libovolné plochy.



Obr. č. 13 – Definice jasu [27]

Při měření jasu je možné získat fotometrickou mapu s jeho rozdělením. Toho docílíme určením velikosti jasu svazku paprsků určitému bodu a vnesením těchto paprsků v odpovídajících úhlech jako radiusvektory. Vzniklou plochou je pak možné vést řezy procházející vztažným bodem. Zde jasy svazků paprsků v daných úhlech představují čáry udávané v polárních souřadnicích. Vztah pro určení jasu je

$$L_{\gamma} = L_0 \cdot f(\gamma) \quad (6)$$

kde L_0 – jas ve vztažném směru [$\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$],

L_{γ} – jas ve vztažném směru [$\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$],

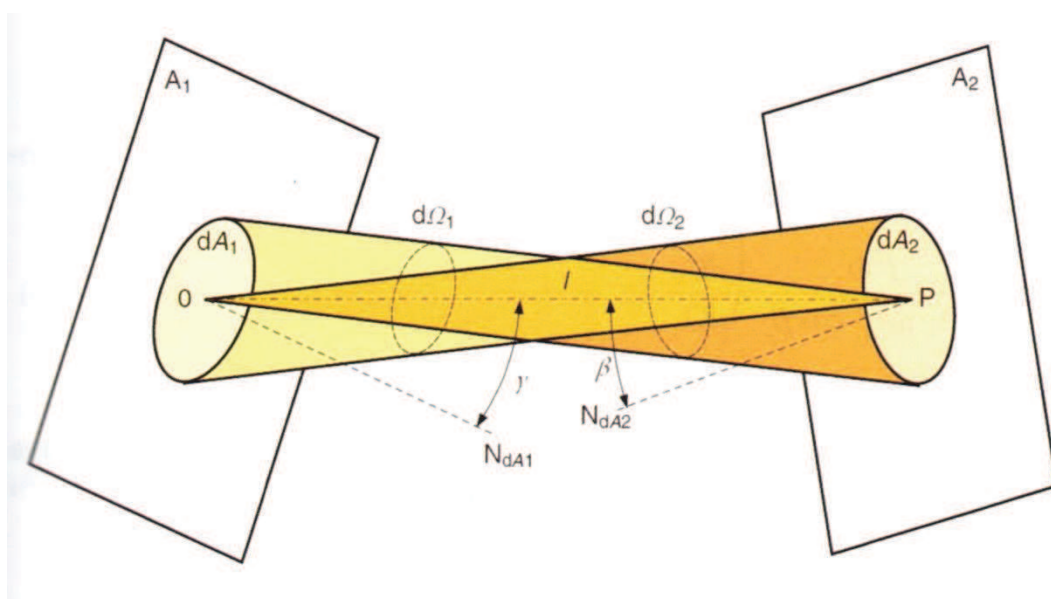
$f(\gamma)$ – funkce charakterizující tvar čáry jasu.

Pro snadnější představu je možné vyjádřit jas jako poměr svítivosti, kterou disponuje zdroj záření případně plocha od které je záření odráženo směrem k oku,

k průmětné ploše zdroje (plochy) na směr pozorování. Tak je možné jas vyjádřit podle vzorce [4]:

$$L_{\gamma} = \frac{dI_{\gamma}}{dA \cdot \cos \gamma} \quad (7)$$

Ke kontrole jasových poměrů v osvětlovaných prostorech slouží jasoměry ve vizuálním nebo fyzikálním provedení. U vizuálních časoměrů dochází k porovnávání neznámého jasu s uměle vytvořeným jasem ze samotného přístroje na měření v zorném poli pozorovatele. V případě fyzikálních jasoměrů se měří světelný tok, který prochází clonou určitého tvaru a velikosti. V rovině clony se zobrazuje plocha vymezená zorným polem, na které se určuje jas.[4]



Obr. č. 14 – Svazky rozbíhajících a sbíhajících paprsků [4]

2.1.5. Světlení

Další z fotometrických veličin je světlení. Je označováno písmenem M , v některé literatuře jako písmeno H , a jeho jednotkou je lumen na čtvereční metr [$\text{lm} \cdot \text{m}^{-2}$]. Tato veličina definuje plošnou hustotu světelného toku $d\Omega$, který je vyzařován, případně odrážen, z plochy dA . Definuje tedy velikost světelného toku vycházejícího z této plochy.[4]

$$M = \frac{d\Phi_{\nu}}{dA} \quad (8)$$

kde M je světlení [$\text{lm} \cdot \text{m}^{-2}$],

$d\Phi_{\nu}$ plošná hustota světelného toku [lm],

dA je plocha, ze které vychází nebo se odráží světelný lok [m^2].

Světelný tok, který dopadá na určitou činnou látku, můžeme rozdělit na tři části. Na tok, který se odráží (Φ_p), na tok, který materiálem projde (Φ_r) a nakonec na tok, který je hmotou pohlcen (Φ_a). Z uvedeného rozdělení je patrné, že světelně technické vlastnosti látek charakterizují tři činitelé, mezi nimiž platí vztah:

$$\rho + \tau + \alpha = 1 \quad (9)$$

Tyto tři činitelé nezávisí pouze na vlastnostech sledované látky, nýbrž i na vlnové délce dopadajícího světelného toku.

Při odrazu světelného toku od povrchu určité látky může dojít k různému rozložení. Nejjednodušším případem je tzv. zrcadlový odraz. K němu dochází, když se světelné paprsky odrážejí od plochy pod stejným úhlem, jako pod kterým na ní dopadly. Platí tedy, že úhel odrazu se rovná úhlu dopadu. V případě, že dojde k rozdělení odraženého světelného toku od určitého elementu povrchu tak, že jas tohoto elementu uvažované plochy je ve všech směrech shodný, dochází k rovnoměrně rozptýlenému (difúznímu) odrazu. Svítivost ideálního rozptylovače je v tomto případě maximální v kolmém směru a v ostatních směrech je určena kosinovým zákonem:

$$I_\gamma = I_0 \cdot \cos\gamma \quad (10)$$

I_γ – svítivost vztažené k úhlu γ [cd],

I_0 – maximální svítivost rozptylovače [cd],

γ – úhel odraženého světelného toku [sr].

Stejně jako má světlení souvislost se svítivostí, tak u difúzních povrchů existuje vztah mezi světlením povrchu a jasnem. Ten je možné vyjádřit následující rovnicí:

$$M = \int_0^\Omega L_\gamma \cdot \cos\gamma \, d\Omega = L_0 \int_0^\Omega f_L(\gamma) \cdot \cos\gamma \, d\Omega = L_0 \int_0^\Omega f_1(\gamma) \, d\Omega = L_0 \cdot \Omega_e \quad (11)$$

kde L_γ – jas plochy dA svítící pod úhlem γ od normály této plochy,

L_0 – jas plochy ve směru normály plochy dA ,

Ω – prostorový úhel,

Ω_e – ekvivalentní prostorový úhel.

Pokud osvětlujeme dokonale rozptylující povrch a dojde k vytvoření osvětlení E , potom ze známé odrazivosti ρ je možné určit světlení a následně jas takové plochy podle vztahu [4][5]:

$$L = \frac{E \cdot \rho}{\pi} \quad (12)$$

2.1.6. Prostorový úhel

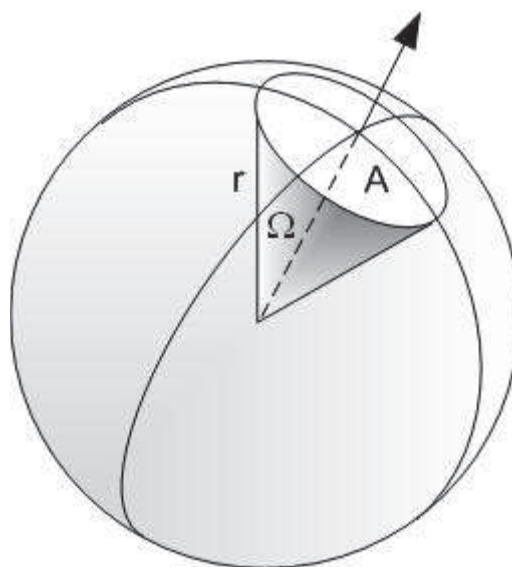
Prostorový úhel je důležitou geometrickou veličinou používanou ve světelně technických výpočtech. Jeho jednotkou je Ω a základní jednotkou je steradián [sr], určený jednotkovou plochou [1 m²] na povrchu jednotkové koule ($r=1$ m). Velikost prostorového úhlu se určuje pomocí velikosti plochy, který je vymezená obecnou kuželovou plochou na povrchu jednotkové koule, jejíž střed je shodný s vrcholem uvažované kuželové plochy. Prostorový úhel, pod nímž je ze středu koule takto vymezená plocha na povrchu vidět, se dá spočítat podle vztahu:

$$\Omega = \frac{A}{r^2} \quad [\text{sr}; \text{m}^2; \text{m}] \quad (13)$$

kde Ω je počítaný prostorový úhel,

A vymezená kuželová plocha na povrchu koule

r je poloměr koule.



Obr. č. 15 – Vymezení prostorového úhlu [28]

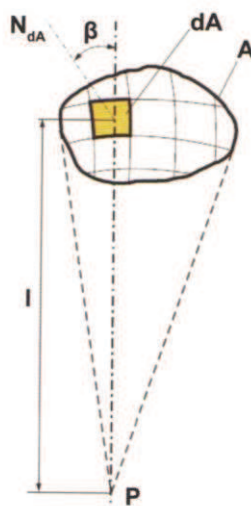
V případě že hledáme jen určitý element na ploše, nemůžeme použít předchozího vzorce. Prostorový úhel $d\Omega$, pod kterým vidíme element plochy dA , tak určíme ze vztahu:

$$d\Omega = \frac{dA \cdot \cos\beta}{l^2} \quad [\text{sr}; \text{m}^2; -; \text{m}] \quad (14)$$

kde β se rovná úhlu, který svírá osa prostorového úhlu s normálou plochy dA ,
 l je vzdálenost pozorovaného bodu od středu elementární plochy.

Pro zjištění prostorového úhlu Ω je třeba provést integraci po ploše dle vzorce [4][5]:

$$\Omega = \iint_A \frac{\cos\beta}{l^2} dA \text{ [sr; -; m; m}^2\text{]} \quad (15)$$



Obr. č. 16 – Určení prostorového úhlu elementu plochy [4]

2.2. Umělé osvětlení

V současných elektrických světelných zdrojích dochází ke vzniku světla na čtyřech základních principech:

- inkadescencí neboli tepelným buzením vznikajícím při zahřátí pevné látky na vysokou teplotu,
- vybuzením atomu v elektrickém výboji,
- luminiscencí pevných látek (bioluminiscence, fotoluminiscence, elektroluminiscence),
- emisí fotonu při průchodu proudu polovodičem

K typickým elektrickým světelným zdrojům fungujícím na principu inkadescence jsou halogenové žárovky. Ty využívají tepelné energie, která vzniká při průchodu elektrického proudu wolframovým vláknem v žárovce.

Mezi zástupce světelných zdrojů fungujícími na způsobu vybuzení atomu v elektrickém výboji patří veškeré nízkotlaké a vysokotlaké výbojové zdroje. Jsou to například zářivky, zdroje rtuťové, sodíkové, halogenidové a další nové typy výbojek. Světlo u takovýchto zdrojů vzniká při nepružných srážkách atomů, iontů a elektronů ve sloupcích výboje, který se nachází v elektrickém poli.

Třetí typ zdroje světla pracuje na principu přeměny záření o kratší vlnové délce, například ultrafialového na viditelné záření o delší vlnové délce. Tento typ přeměny světla je nazýván fotoluminiscence a nastává v chemických látkách, které jsou označovány jako luminofory, což jsou povlaky výbojkových zdrojů nanesené na vnitřní povrch výbojkových trubic nebo baněk. Zářivka, ve které není vrstva luminoforu, vyzařuje světlo ve vlnové délce $\lambda = 253,7$ nm a stejně jako v případě vysokotlakých rtuťových výbojek, kde vlnová délka světla činí 365 nm, je v ultrafialové spektrální oblasti a pro člověka tedy neviditelné. V případě použití v zářivce vrstvy luminoforu se toto světlo transformuje do viditelné části spektra.

Posledním typem, kdy dochází k tvorbě světla pomocí emise fotonů při průchodu proudu polovodičem, jsou světelné diody (LED). I u nich je pak možné využít k transformaci emitujícího ultrafialového záření luminoforů.[4]

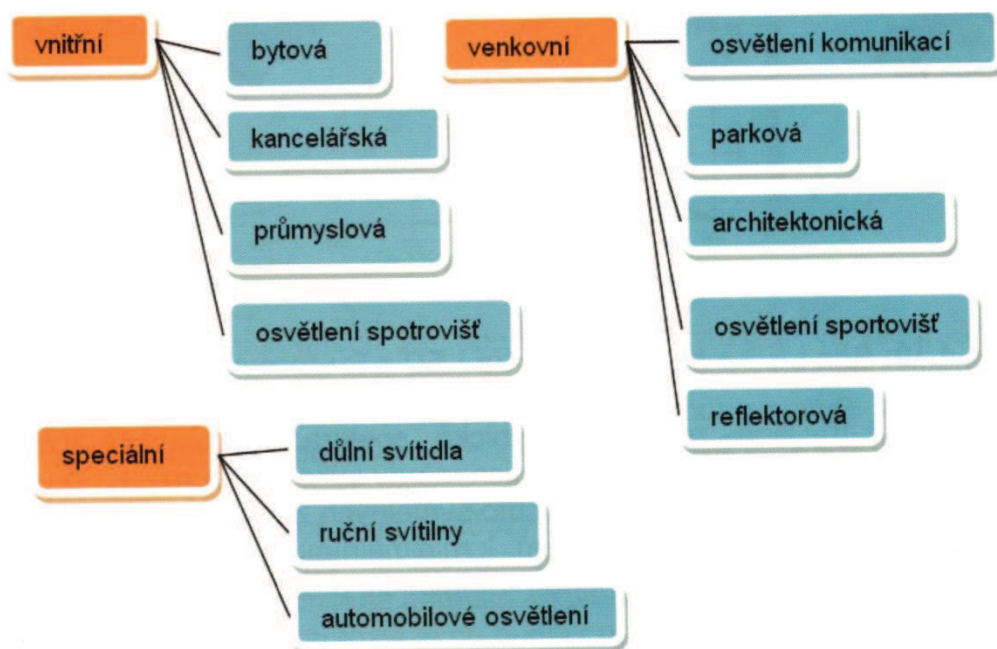
2.1. Svítidla

Svítidla jsou zařízení, která rozdělují, filtrují nebo mění světlo vyzařované jedním nebo více světelnými zdroji a kromě samotných světelných zdrojů navíc obsahují i všechny díly potřebné k upevnění a ochraně zdrojů a v případě potřeby pomocné obvody, včetně prostředků na jejich připojení k elektrické síti.

Části svítidel, která slouží ke změně rozložení, usměrnění nebo rozptýlení světelných paprsků zdroje, jsou nazývány světelně činnými částmi. Ty dále slouží k omezení jasů svítidla v úhlech, pod kterými je možné pozorovatelem svítidlo vnímat a zabránit tak jeho oslnění. Další z funkcí světelně činných částí svítidel je odstranění nežádoucích částí spektra vyzařovaného zdrojem, tzv. filtrace.

Zbylé části, které se již aktivně nepodílejí na vzniku světelného toku, případně jeho rozptýlení, jsou konstrukční. Ty slouží k upevnění zdroje a světelně činných částí, k jejich ochraně před vniknutím cizích předmětů a vody. Svítidla musí splňovat podmínky na snadnou montáž a údržbu, dlouhou životnost a spolehlivost a dále z hlediska teploty nesmí být nebezpečná pro své okolí.

Svítidla je možná dělit podle několika kritérií. Nejčastěji používané dělení je podle použití a určení svítidla.

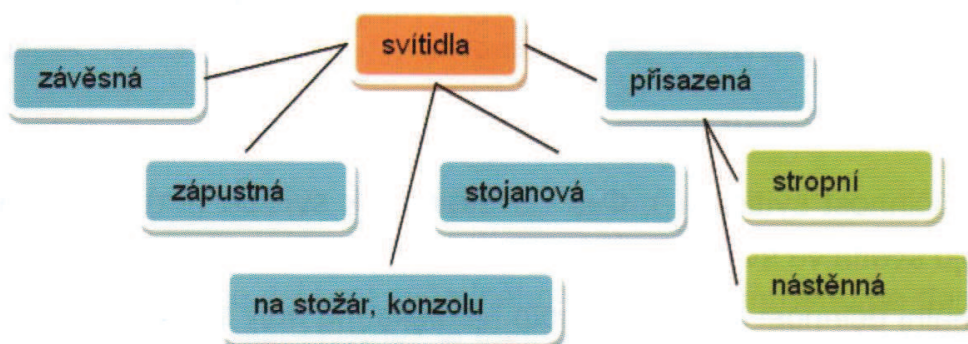


Obr. č. 17 – Dělení svítidla dle použití a určení [4]

Dalším důležitým hlediskem je zdroj použitého světla, podle kterého můžeme svíidla dělit na:

- kompaktní zdroje (žárovky, LED náhrady žárovek, kompaktní zářivky),
- zářivky (lineární nebo cirkulární),
- výbojky
- LED.

Často používaným je ještě dělení dle typu montáže svítidla.



Obr. č. 18 – Dělení svítidel dle typu montáže [4]

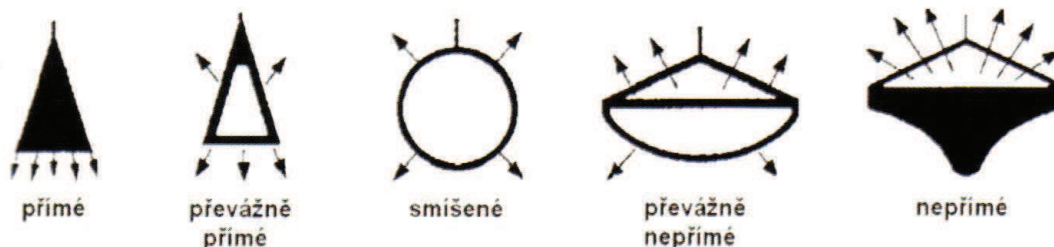
Není ovšem vhodné různá dělení kombinovat a to z toho důvodu, že například pro jeden zdroj svítidla existuje několik typů montáží. Můžeme se tak tedy setkat se zářivkovým svítidlem připevněným ke stropu a stejné najít na pověšené na lankách jako svítidlo závěsné.

Posledním možným způsobem, jak svítidla rozdělit, je podle rozložení světelného toku, které z nich vychází.

Tabulka 2 - Rozdělení svítidel dle světelného toku [4]

Třída rozložení světelného toku	Název	$\Phi_{\text{přímý}} / \Phi_{\text{celkový}}$
I	Přímé	80 – 100 %
II	Převážně přímé	60 – 80 %
III	Smíšené	40 – 60 %
IV	Převážně nepřímé	20 – 40 %
V	Nepřímé	0 – 20 %

Kromě základních parametrů, jakými jsou světelný tok, jas a účinnost, která platí pro veškeré zdroje světla, jsou jedním z nejdůležitějších parametrů svítidel také křivky svítivosti.[4]

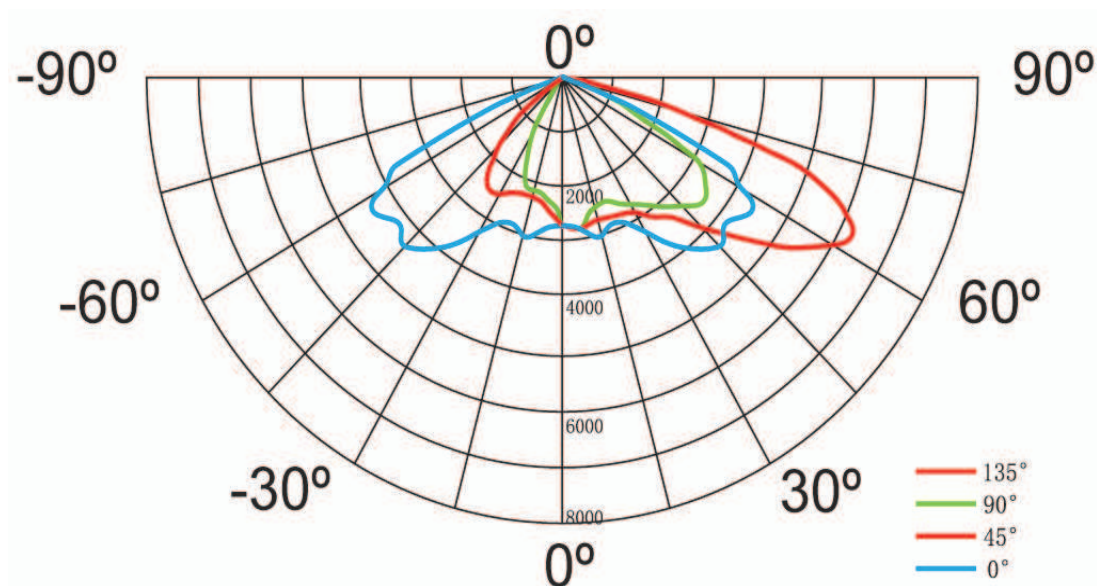


Obr. č. 19 – Piktogramy rozložení světelného toku [4]

2.2. Křivky svítivosti

Křivky svítivosti jsou směrovou charakteristikou zdrojů světla a svítidel a pro současný návrh osvětlení jsou důležitým faktorem. Proto je možné u některých výrobců přímo dohledat v dokumentaci k nabízeným svítidlům a zdrojům. Podle nich tak můžeme získat názornou představu o způsobu šíření světelného toku v prostoru, neboť z nich je možné určit úhel clonění, směr maximální svítivosti apod.

Svítivost představuje velikost světelného toku, který je vyzářen do přesně určeného prostorového úhlu. Většinou se uvádí v orientaci 0° a 90°. Pokud je tento úhel velmi malý, udává se svítivost zdroje světla nebo svítidla v tzv. daném směru. Právě grafy svítivosti v jednotlivých směrech se nazývají křivky svítivosti.



Obr. č. 20 – Křivka svítivosti [29]

Pro výpočet křivky svítivosti je třeba znát řezy rovinami procházejících bodovým zdrojem. V rovinách řezu tak získáme křivky svítivosti v polárních souřadnicích. Počátek křivky, znázorňující svítivost, je vždy umístěn ve středu zdroje světelného toku. Základní neboli vztažný směr plochy řezu se obvykle umísťuje do směru normály hlavní vyzařovací plochy. Jednotlivé křivky se v současné době měří pomocí goniofotometru.

Vztah pro výpočet křivky svítivosti pak je:

$$I_{\gamma} = I_0 \cdot f_I(\gamma) \quad (16)$$

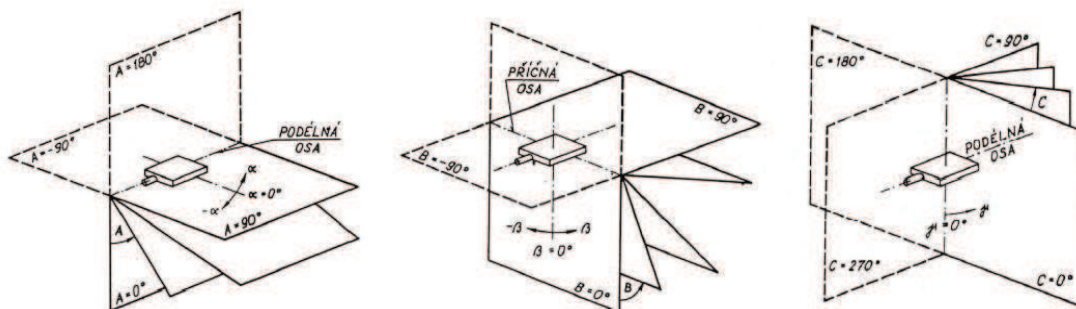
kde I_{γ} je svítivost přečtená z diagramu svítivosti pod úhlem γ od vztažného směru [cd],

I_0 je svítivost uvažovaného zdroje ve vztažném směru [cd],

$f_I(\gamma)$ je charakteristická funkce svítivosti matematicky popisující uvažovanou křivku svítivosti.

Křivky svítivosti se většinou udávají po přepočtu na 1000 lm, a to z důvodu vzájemné porovnatelnosti svítidel s různými světelnými zdroji.

V případě rotačních svítidel je možné k popisu charakteristiky využít jen jednu světelnou křivku v jedné polorovině řezu, neboť se shoduje s křivkami v jiných úhlech. U ostatních svítidel je k popisu třeba již více křivek svítivosti. Na Obr. č. 21 je znázorněna fotometrická soustava měřících rovin, které se používají nejčastěji.



Obr. č. 21 – Fotometrická soustava rovin [5]

Svítidla je možné rozdělit i podle světelně technických vlastností, kam patří kromě kriteria světelného toku i kritérium tvaru křivky svítivosti zdroje. V tomto rozdělení se využívá k určení křivky svítivosti úhlového pásma maximální svítivosti. Rozdělení svítidel podle tvaru křivky svítivosti a úhlového pásma je znázorněno v následující Tabulce 3.

Tabulka 3 - Rozdělení svítidel podle tvaru křivky svítivosti [5]

Tvar křivky svítivosti	Úhlové pásmo maximální svítivosti
koncentrovaná	0 – 15
hluboká	0 – 30, 150 - 180
kosinusová	0 – 35, 145 - 180
pološiroká	35 – 55, 125 - 145
široká	55 – 85, 95 - 125
rovnoměrná	0 - 180
sinusová	70 – 90, 90 - 100

Svítivost je také možné kromě křivek svítivosti zobrazit v prostorovém uspořádání za pomoci hodnot svítivosti na povrchu jednotkové koule, jejíž střed je totožný s bodovým zdrojem světelného záření. Body svítivosti jsou určeny v síti rovnoběžek a poledníků. Spojením těchto bodů o stejných hodnotách svítivosti vznikne izokandelový diagram.[4][5]

2.3. Veřejné osvětlení

Veřejné osvětlení zahrnuje osvětlení veřejných komunikací a prostranství (místních komunikací, silnic, dálnic, komunikací pro pěší a cyklistickou dopravu, tunely, podjezdy a podchody, mosty a lávky, křižovatky, přechody, náměstí, parky, pěších a obytných zón, zastávek veřejné dopravy, parkovišť atd.), osvětlení významných objektů (architektonické památky, budovy, výtvarných a uměleckých děl, přírodních útvarů atd.), osvětlení veřejných hodin, slavnostní osvětlení ve městech, obcích i mimo ně.

Veřejné osvětlení výrazně přispívá ke zlepšení veřejného pořádku a hlavně bezpečnosti dopravy, osob, majetku a dále ke zvýšení atraktivnosti měst a obcí.

Rozvody veřejného osvětlení jsou ve správě obce, která zajišťuje i její financování. K rozvodům jsou připojeny také dopravní značky, světelné signalizační zařízení a informační systémy na komunikacích. Tyto zařízení mají většinou společný pouze zdroj s veřejným osvětlením a jinak jsou oddělená.

Mezi hlavní podmínky provozu veřejného osvětlení patří nejen mechanické části, ale také fyzikální vlastnosti. Mezi možnosti provozu tak zařazujeme účinnost svítidla, reflektor, difuzor, mechanické prvky a také výběr světelného zdroje.

Účinnost svítidla je definována jako poměr světleného toku, které vychází ze svítidla, a světelného toku zdroje světla umístěného ve svítidle.

Na účinnosti svítidel a dalších optických vlastnostech se z velké části podílí dva konstrukční prvky. Jedním je reflektor, převážně jeho kvalita a druhým je provedení difuzoru, který kryje optickou část svítidla.

Účinnost je možné zvýšit použitím kvalitnějších materiálů nebo rozšířením prostorového úhlu výstupního otvoru. Pro lepší účinnost u svítidel platí, že čím lepší jsou odrazové vlastnosti reflektoru, tím více světla se od něj odráží a čím vyšší je propustnost difuzoru, tím více odraženého světla jím projde.

Rozšíření prostorového úhlu je možné docílit tím, že posuneme světelný zdroj blíže k výstupnímu otvoru. Toto řešení je sice velmi jednoduché, ale zároveň tak dochází ke snížení úhlu clonění, což je úhel, pod kterým začne být vidět světelně aktivní část světelného zdroje, a může tak dojít k oslnění. Mimo tento důsledek se ještě zmenšuje odrazová plocha reflektoru a světlo je následně méně využitelné. Proto je nutné při návrhu najít vhodný kompromis mezi co možná nejvyšší užitnou hodnotou a nejmenším oslněním.[4]

Pokud je správně zvolen charakter svítidla, potom je rozhodující účinnost svítidla. Jak již bylo uvedeno, účinnost ale závisí na dalších částech svítidla.

Reflektor je část svítidla, která slouží k rozptylu světelného toku od zdroje do okolního prostředí. Je vyroben z radiálně zbroušeného materiálu s velmi vysokou odrazivostí světla. Většinou se jedná o plátovaný hliník nebo jiný materiál s podobnými optickými vlastnostmi.

Difuzor je další důležitou částí svítidla, která má vliv na účinnost svítidla. Nejúčinnějším typem difuzoru je refraktor, ovšem jelikož není běžně v nabídkách výrobců svítidel z důvodu vysoké ceny, není pro veřejné osvětlení příliš využíván. Nejčastěji se tak setkáváme s difuzorem vypouklým, také označovaným jako klasickým, z polymethylmethakrylátu (PMMA) nebo polykarbonátu (PC). Difuzor vyvedený z PC má vyšší odolnost proti vnějším vlivům a PMMA naopak je stálejší materiál. Pro svítidla veřejného osvětlení se používá i plochých skel s antireflexními vlastnostmi. Ty jsou oproti vypuklým difuzorům drahá a navíc vykazují nižší účinnost a menší vyzařovací úhel. Z tohoto důvodu jsou vhodná jen pro některé typy světelných zdrojů.

Mechanické prvky mají za úkol chránit celé svítidlo před vnějšími vlivy. Systém by měl také umožňovat tzv. dýchání, což v praxi znamená výstup vodních par, aby nedošlo ke zkratu světelného zdroje, případně orosení refraktoru a difuzoru, a tím významnému ovlivnění účinnosti svítidla. Dále by mechanické prvky měly umožňovat různá nastavení svítidla a reflektoru.

Ke správné funkci svítidla je třeba kromě výše uvedených parametrů zajistit také kvalitní návrh osvětlovací soustavy. Ani nejúčinnější svítidlo s nejhodnější charakteristikou svítivosti bez kvalifikovaného návrhu nezaručí správné využití a docílení kvalitního osvětlení.[4]

2.3.1. Osvětlení komunikací

Osvětlení komunikací je zvláštním příkladem veřejného osvětlení. Jeho realizace se musí řídit platnými předpisy a technickými normami.

Základní technické normy pro návrh veřejného osvětlení komunikací pro vozidla, chodce nebo cyklisty jsou obsaženy v souboru norem Osvětlení pozemních komunikací:

- ČSN CEN/TR 13 201-1 (Část 1: Výběr tříd osvětlení),
- ČSN EN 13 201-2 (Část 2: Požadavky),
- ČSN EN 13 201-3 (Část 3: Výpočet),
- ČSN EN 13 201-4 (Část 4: Metody měření).

Pro zařazení veřejného osvětlení se využívá prvních dvou norem, třetí norma je závazná hlavně pro výrobce a dodavatele svítidel a poslední čtvrtá norma se aplikuje na měření a výpočet parametrů již realizovaných soustav dle projektových dokumentací staveb.[4]

2.3.1.1. Požadavky na veřejné osvětlení

Požadavky na veřejné osvětlení a postup k jejich určení je definován normou a je nutné postupovat v přesném sledu stanovených kroků, a to z důvodu zajištění co nejobektivnějšího výsledku. Poté je možné správně zařadit osvětlení dle nastavených parametrů a vnějších vlivů. Ke správnému postupu výběru třídy osvětlení je potřeba dle normy ČSN EN 13 201-1:

- definovat úseky veřejné pozemní komunikace v jedné nebo několika relevantních oblastech a vybrat příslušné modelové situace dle následujících parametrů:
 - typická rychlost hlavního uživatele (km/h),
 - hlavní uživatel (motorová doprava, velmi pomalá doprava, cyklistická doprava, chodci),
 - jiný povolený uživatel (velmi pomalá doprava, cyklistická doprava, chodci),
 - nepovolený uživatel (velmi pomalá doprava, cyklistická doprava, chodci),
- vyhodnotit parametry a definovat relevantní oblasti z následujících parametrů:
 - prostorové uspořádání (směrové rozdělení komunikace, druhy křižovatek, hustota křižovatek, kolizní oblasti, atd.)

- vliv dopravy (intenzita silničního, cyklistického a pěšího provozu, náročnost navigace, parkující vozidla, rozeznání obličejů, riziko kriminality),
- vliv okolí (složitost zorného pole, jas okolí, převažující počasí),
- vybrat vhodnou třídu osvětlení pro zvolenou komunikaci.[4]

2.3.1.2. Třídy osvětlení komunikací

Komunikace lze podle ČSN 13 201-1 rozdělit do tří základních skupin osvětlení. Jsou jimi třídy ME, CE, S a dále tři doplňující třídy A, ES a EV

ME je komunikace určená pro vozidla se střední až vysokou povolenou rychlostí. Součástí této třídy je i komunikace označená MEW a ta se vztahuje na případy s převládajícím mokrým povrchem.

CE je třída pro komunikace v konfliktních oblastech jako jsou obchodní třídy, složitější křižovatky, místa kde se tvoří zácpy apod.

Poslední třídou je třída **S**. Do ní patří komunikace určené především pro pěší provoz a pro cyklistickou dopravu.

Doplňující třídy upřesňují skupiny CE a S.

A je alternativní třídou pro třídu S. Jedná se o komunikace především pro pěší a pro cyklisty nebo pěší a cyklistický provoz po nezpevněných krajnicích a ostatních částech pozemních komunikací, které leží odděleně nebo podél jízdního pásu, po komunikacích v osídlených útvarech, pěších zónách, parkovištích apod.

Třída **ES** se používá pro pěší zóny za účelem snížení kriminálního deliktu a zvýšení bezpečí. Doplňuje třídy CE a S.

EV se pak používá v místech, kde je třeba zajistit dobrou viditelnost svislých ploch, například na křižovatkách a stejně jako ES doplňuje třídy CE a S.

Tabulka 4 - Ukázka parametrů třídy osvětlení ME [4]

Třída	Jas suchého povrchu pozemní komunikace			Omezující oslnění	Osvětlení okolí
	\bar{L} [$\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$] (udržovaná hodnota)	U_0	U_l	TI [%] ^a U_0	SR ^b
ME1	$\geq 2,0$	$\geq 0,4$	$\geq 0,7$	≤ 10	$\geq 0,5$
ME3c	$\geq 1,0$	$\geq 0,4$	$\geq 0,5$	≤ 15	$\geq 0,5$
ME4a	$\geq 0,75$	$\geq 0,4$	$\geq 0,6$	≤ 15	$\geq 0,5$
ME4b	$\geq 0,75$	$\geq 0,4$	$\geq 0,5$	≤ 15	$\geq 0,5$
ME5	$\geq 0,5$	$\geq 0,35$	$\geq 0,4$	≤ 15	$\geq 0,5$

^a Zvýšení prahového přírůstku o 5 % lze připustit v případech, kde jsou použity světelné zdroje s nízkým jasnem.
^b Toto kritérium lze uplatnit pouze v případě, kde k silniční komunikaci nepřiléhají jiné komunikace s vlastními požadavky.

Podle ČSN 13 201-3 a ČSN 13 201-4 se počítají jednotlivé parametry tříd, jako je průměrný jas povrchu pozemní komunikace (\bar{L}), celková rovnoměrnost jasu (U_0), podélná rovnoměrnost jasu (U_l), prahový přírůstek (TI) a činitel osvětlení okolí (SR).[4][6]

3. Viditelnost cyklisty při veřejném osvětlení

V současné době dle zákona č. 361/2000 Sb., zákon o silničním provozu, je stanovena jako povinná výbava cyklistická helma a to pouze pro osoby mladší 18 let. Starší osoby mají helmu pouze doporučenou. Dále podle přílohy č. 13 vyhlášky č. 341/2002 Sb. je stanovena povinná výbava jízdního kola, pro zvýšení bezpečnosti cyklistů na pozemních komunikacích.

Dle vyhlášky tak musí být kolo vybaveno:

- dvěma na sobě nezávislými účinnými brzdami s odstupňovatelným ovládním brzdového účinku; jízdní kola pro děti předškolního věku vybavená volnoběžným nábojem s protišlapací brzdou nemusí být vybavena přední brzdou,
- volné konce trubky řidítek musí být spolehlivě zaslepeny (zátkami, rukojeťmi apod.),

- zakončení ovládacích páček brzd a volné konce řídítek musí mít hrany buď obaleny materiálem pohlcujícím energii, nebo (jsou-li použity tuhé materiály) musí mít hrany o poloměru zakřivení nejméně 3,2 mm; páčky měničů převodů, křídlové matice, rychloupínače nábojů kol, držáky a konce blatníků musí mít hrany buď obaleny materiálem pohlcujícím energii, nebo (jsou-li použity tuhé materiály) musí mít hrany o poloměru nejméně 3,2 mm v jedné rovině a v druhé rovině na ni kolmé nejméně 2 mm,
- matice nábojů kol, pokud nejsou křídlové, rychloupínací nebo v kombinaci s krytkou konce náboje, musí být uzavřené,
- zadní odrazkou červené barvy, tato odrazka může být kombinována se zadní červenou svítilnou nebo nahrazena odrazovými materiály obdobných vlastností; plocha odrazky nesmí být menší než 2000 mm², přičemž vepsaný čtyřúhelník musí mít jednu stranu dlouhou nejméně 40 mm, odrazka musí být pevně umístěna v podélné střední rovině jízdního kola nebo po levé straně co nejbližší k ní ve výšce 250-900 mm nad rovinou vozovky; činná plocha odrazky musí být kolmá k rovině vozovky v toleranci $\pm 15^\circ$ a kolmá k podélné střední rovině jízdního kola s tolerancí $\pm 5^\circ$; odrazové materiály nahrazující zadní odrazku mohou být umístěny i na oděvu či obuvi cyklisty,
- přední odrazkou bílé barvy, tato odrazka může být nahrazena odrazovými materiály obdobných vlastností; odrazka musí být umístěna v podélné střední rovině nad povrchem pneumatiky předního kola u stojícího kola; plocha odrazky nesmí být menší než 2000 mm², přičemž vepsaný čtyřúhelník musí mít jednu stranu dlouhou nejméně 40 mm, činná plocha odrazky musí být kolmá k rovině vozovky s tolerancí $\pm 15^\circ$ a kolmá k podélné střední rovině jízdního kola s tolerancí $\pm 5^\circ$; odrazové materiály nahrazující odrazku mohou být umístěny i na oděvu či obuvi cyklisty,
- odrazkami oranžové barvy (autožluť) na obou stranách šlapátek (pedálů), tyto odrazky mohou být nahrazeny světlo odrážejícími materiály umístěnými na obuvi nebo v jejich blízkosti,
- na paprscích předního nebo zadního kola nebo obou kol nejméně jednou boční odrazkou oranžové barvy (autožluť) na každé straně kola; plocha odrazky nesmí být menší než 2000 mm², přičemž vepsaný čtyřúhelník musí mít jednu stranu dlouhou nejméně 20 mm,

tyto odrazky mohou být nahrazeny odrazovými materiály na bocích kola nebo na bocích plášťů pneumatik či na koncích blatníků nebo bočních částech oděvu cyklisty.

Dále musí být jízdní kola pro jízdu za snížené viditelnosti vybavena následujícími zařízeními pro světelnou signalizaci a osvětlení:

- světlometem svítícím dopředu bílým světlem; světlomet musí být seřízen a upraven trvale tak, aby referenční osa světelného toku protínala rovinu vozovky ve vzdálenosti nejdále 20 m od světlometu a aby se toto seřízení nemohlo samovolně nebo neúmyslným zásahem řidiče měnit, je-li vozovka dostatečně a souvisle osvětlena, může být světlomet nahrazen svítilnou bílé barvy s přerušovaným světlem,
- zadní svítilnou červené barvy, podmínky pro umístění této svítilny jsou shodné s podmínkami pro umístění a upevnění zadní odrazky podle odst. 1 písm. e); zadní červená svítilna může být kombinována se zadní odrazkou červené barvy podle odstavce 1 písm. e); zadní červená svítilna může být nahrazena svítilnou s přerušovaným světlem červené barvy,
- zdrojem elektrického proudu, jde-li o zdroj se zásobou energie, musí svou kapacitou zajistit svítivost světel podle písmen a) a b) po dobu nejméně 1,5 h bez přerušení.[11]



Obr. č. 22 – Povinná výbava kola [11]

Ve své práci se zaměřuji právě na poslední část a to výbavu kola za snížené viditelnosti a na výbavu cyklisty, která není nikterak stanovena.

3.1. Pomůcky a zařízení k měření

K provedení měření bylo třeba těchto pomůcek:

- figurant s jízdním kolem,
- přední a zadní svítilna,
- reflexní vesta,
- jasový analyzátor LumiDISP,
- luxmetr,
- stativ na fotoaparát,
- skládací metr.

Pro účely měření byla použita dvě jízdní kola. Prvním kolem byl starší typ silničního kola značky Favorit z roku 1982. Toto kolo bylo vybráno z důvodu rozšiřujícího se trendu využívání starších kol k dopravě po městě. Druhé kolo použité při měření je horské kolo od společnosti Kellys. Tento typ kola je naopak velmi rozšířený mezi sportovními a pravidelně jezdícími cyklisty. Obě vybraná jízdní kola je možné si prohlédnout na obrázcích č. 23 a 24.



Obr. č. 23 – Horské kolo od výrobce Kellys



Obr. č. 24 – Silniční kolo Favorit

Jak je ze snímků č. 23 a 24 patrné, ani jedno jízdní kolo nesplňovalo všechny body povinné výbavy dle vyhlášky. Na obou kolech chyběly odrazky ve výpletu kol. Důvodem, proč došlo ke zvolení kol bez této části povinné výbavy, byly výsledky uvedené ve vyjádřeních Policie ČR, kdy při kontrolách bylo až u dvou třetin cyklistů zjištěno nějaké pochybení. Z fotografické dokumentace z jednotlivých

kontrol byly převážně chybějící odrazky důvodem nesplnění požadavků povinné výbavy. Způsobeno je to i tím, že velké množství výrobců jízdních kol je již ve standardu nedodává a stejně tak při koupi nového pleteného kola není odrazka součástí kola. Podle dodatku k vyhlášce není výrobce povinen kolo vybavit dle povinné výbavy a stačí pouze v návodu k použití dopsat upozornění. Jízdní kola jinak splňovala další podmínky na povinnou výbavu, včetně čelního a zadního osvětlení.

Velice důležitými pomůckami pro měření a následné vyhodnocování byly jasový analyzátor LumiDISP a luxmetr.

3.1.1. Jasový analyzátor LumiDISP

Jasový analyzátor LumiDISP (LUMInance DIStribution Processing) byl vyvinut týmem z Vysokého učení technického v Brně na Fakultě elektrotechniky a komunikačních technologií. Jedná se o systém využívající analýzy jasových poměrů za pomoci digitální fotografie k fotometrickému měření jasů a jeho distribuci.

Jednotlivé části analyzátoru LumiDISP jsou:

- měřicí fotoaparát NIKON D7000 kalibrovaný na základní zdroje světla,
- program LumiDISP, případně jeho adaptace na konkrétní aplikaci,
- databázový stroj FireBird,
- nápověda k programu a příručka v tištěné podobě,
- kufřík s dalšími doplňky (kabely, baterie, nabíječka, filtry na objektiv, čtečka paměťových karet, popruhy)



Obr. č. 25 – Balení jasového analyzátoru LumiDISP

Digitální fotoaparát musí poskytovat vysoké rozlišení, kvůli lepšímu zaznamenání RGB barev jednotlivými subpixely, proto byla k softwaru dodána digitální zrcadlovka Nikon D7000. Nelze použít kterýkoliv fotoaparát, ale pouze ten, pro který je software kalibrován. Fotografie z jiného zařízení by sice mohly být použity, ovšem jelikož z výroby není zajištěno, že čip přístroje je umístěn v přesném středu objektivu a dále není zaručeno shodné nastavení s jinými fotoaparáty, dojde tak při práci s analyzátozem k nepřesným výsledkům. Tento problém právě vyřeší poměrně náročná kalibrace softwaru k jednotlivé pixelům snímacího zařízení.

Tabulka 5 - Technické parametry digitální zrcadlovky Nikon D7000 [5]

Snímací čip	CMOS formátu DX (APS-C)
Velikost snímacího čipu	23,6 x 15,6 mm
Počet efektivních pixelů	16,2 MPix
Maximální velikost fotografie	4928 x 3264
Formát fotografie	NEF (RAW), JPEG
Rozsah citlivosti ISO	100-6400, manuální nastavení 100-25600
Rozsah uzávěrky	1/8000 s až 30 s
Připojení	USB2, HDMI

Součástí balení je i objektiv fotoaparátu AF-S DX NIKKOR 18-105 f/3,5-5,6G ED VR a sada filtrů, řešící přizpůsobení ke křivce spektrální citlivosti normálního pozorovatele $V(\lambda)$.

Tabulka 6 - Technické parametry objektivu AF-S DX NIKKOR 18-105 f/3,5-5,6G ED VR [5]

Ohnisková vzdálenost	18 – 105 mm
Světlost	f/3,5 – 5,6
Optický zoom	5,8x
Nejvyšší clonové číslo	f/22 - 38
Konstrukce	15 čoček / 11 členů

Software LumiDISP využívá uložená data z fotografie, která převede na hodnoty jasu, které jsou následně zobrazeny pomocí barevných palet. V převedené fotografii do jasových hodnot pak jdou měřit hodnoty jasu pomocí několika různých detektorů. Jsou jimi například, kruh, úsečka, čtverec, případně jiný libovolný polygon. Jelikož je důležité, aby pořízená fotografie nebyla přepálená, neboť poté dochází ke zkreslení hodnot v tomto okolí, je program vybaven funkcí HDR. Tato funkce umožňuje pořídit snímky v několika sekvencích s různým nastavením uzávěrky. Následně jsou tyto snímky poskládány k sobě a dojde tak k redukci přepálených míst, případně k jejich úplné eliminaci. Získaný obrázek tak po převedení do jasových hodnot poskytuje mnohem přesnější výsledky.

Jasový analyzátor LumiDISP je v současné době možné využít na:

Měření jasu a jeho distribuce – měření řeší rozložení jasu, kde výsledkem je jasová mapa, ze které je možné získat hodnoty jasu v libovolném bodě nebo oblasti.

Rovnoměrnost jasu, jasové řezy – k hodnocení jasového rozložení se nejčastěji využívá ukazatele rovnoměrnosti jasů. Zkoumané jasy zorného pole by měly být rovnoměrné vzhledem k průměrné hodnotě. Jasový řez, také udávaný jako jas na určité čáře, specifikuje průběh jasu v daném směru a souřadnici

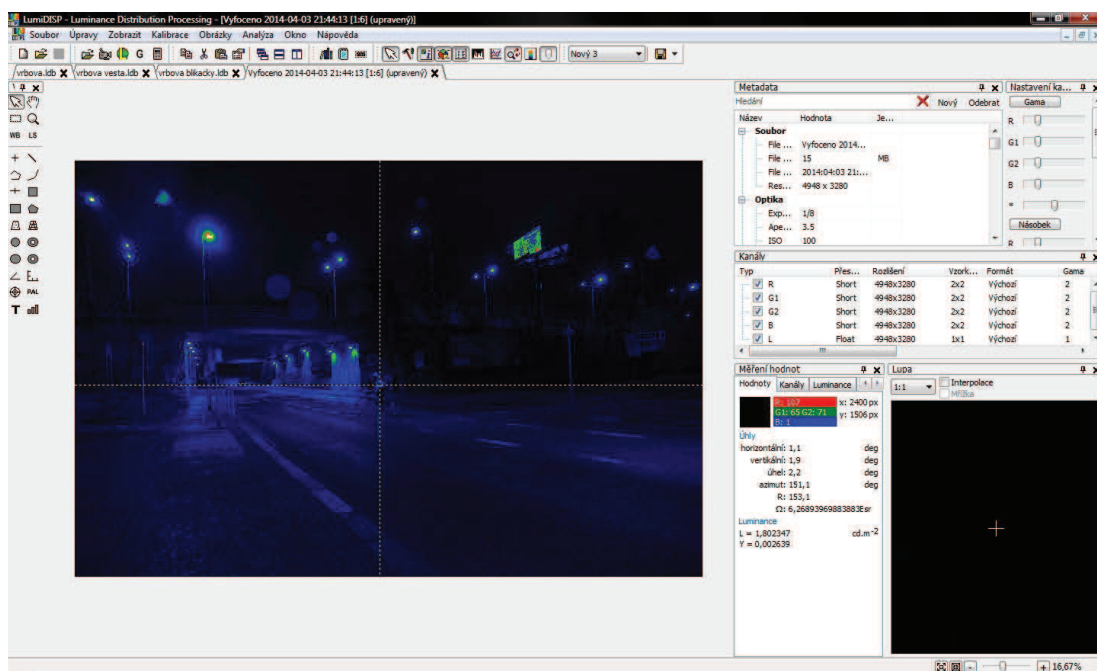
Osvětlení komunikací – předchází bod, měření rovnoměrnosti jasu, lze přímo aplikovat na hodnocení osvětlení komunikací. Výhodou oproti klasickým měřením je rychlost, neboť jasovému analyzátoru stačí několik sekund na vyhodnocení, zatímco klasická metoda zabere i několik hodin.

Osvětlení přechodů pro chodce – u tohoto měření se využívá rozlišování kontrastu chodců vzhledem k osvětlené silnici. Osvětlení chodce musí být takové, aby přijíždějící řidič v dostatečné vzdálenosti stihl včas zpozorovat chodce.

Hodnocení zobrazovacích zařízení – pomocí jasového analyzátoru je možné hodnotit světelné parametry různých displejů, monitorů, palubních přístrojů apod.

Hodnocení svítidel – z jasového rozložení světelného toku svítidla lze za pomoci přesně určených výpočtů stanovit křivky svítivosti daných zdrojů.

Posuzování světelných zdrojů – na rozdíl od klasického jasoměru umožňuje analyzátor LumiDISP zaznamenávat děje probíhající ve světelném zdroji a to i za velice intenzivních jasů.



Obr. č. 26 – Uživatelské prostředí programu LumiDISP

Podle předchozího uvedeného popisu jednotlivých funkcí jasového analyzátoru LumiDISP je evidentní, že je ho možné využít v celé řadě možností jasové analýzy.[5][9][10]

3.1.2. Luxmetr

Luxmetry jsou objektivní přístroje pro měření osvětlenosti, které se skládají z přijímače s korigovaným (nejčastěji křemíkovým) fotočlánkem, opatřeným kosinusovým nastavcem, a z měřicího a vyhodnocovacího systému s digitálním nebo analogovým indikátorem. Existují typy luxmetrů rovinné, kulové, válcové, polokulové, poloválčové a další.

Obecně se luxmetry zařazují do čtyř tříd přesnosti označovaných číslicemi 1, 2, 3, 4, nebo podle mezinárodních doporučení písmeny L, A, B, C. Tato rozdělení jsou určena podle největších dovolených souhrnných chyb luxmetrů, jejichž hodnoty jsou 2, 5, 10 a 20 %.

Při měření luxmetry se sleduje celkem jedenáct možných druhů chyb. Mezi ně patří zejména chyba spektrální, která vzniká při měření osvětlenosti světlem jiného spektrálního složení, než které bylo použito při kalibraci luxmetru, chyba úhlová či směrová, chyba vlivem odchylky spektrální citlivosti čidla od křivky $V(\lambda)$, chyba linearity, chyba vyplývající z citlivosti fotonky na záření UV a infračervené a další.

Luxmetry třídy přesnosti L a A se využívají z důvodu jejich přesnosti výsledků pro přesná laboratorní měření. Pro běžná provozní měření osvětlenosti postačují přístroje s třídou přesnosti B a C.

Indikátor luxmetru by měl být opatřen korektorem umožňujícím nastavit nulu. V případě, že má luxmetr vlastní napájecí zdroj, musí být možné průběžně kontrolovat napětí tohoto zdroje. Podle technických opisů musí luxmetr na každém rozsahu snést přetížení 20 % měřicího rozsahu, a to po dobu 5 min. Za normálních podmínek musí být životnost luxmetrů minimálně 5 000 provozních hodin. Frekvenční rozsah pro všechny třídy přesnosti luxmetrů je v mezích od 40 do 105 Hz.

Z důvodu možné změny parametrů, zejména vlastností fotočlánků, během používání luxmetrů je třeba přístroje pravidelně kalibrovat. Pro přístroje na přesná laboratorní měření by kalibrace měla být provedena minimálně jednou za 2 roky, u přístrojů pro běžné užívání při měření osvětlenosti postačuje kalibrace jednou za 5 let.



Obr. č. 27 – Luxmetr použitý při měření

Luxmetry určené pro provozní měření jsou často konstruovány s dostatečně dlouhým stíněným kabelem, který spojuje pouzdro s fotočlánkem s vlastním měřicím přístrojem. Tím dochází k zabránění nevhodnému ovlivnění výsledků měření při čtení údajů. Je-li fotočlánek zabudován přímo v pouzdru měřicího přístroje, je třeba, aby byl přístroj vybaven dálkově ovládanou fixací naměřené hodnoty. Pokud tomu tak není, jde jen obtížně zabránit tomu, aby osoba provádějící měření neovlivnila hodnoty, např. zastíněním čidla, případně dalších světelně činných ploch atd.

Nejsou-li malé kapesní luxmetry takto upraveny, lze je použít skutečně jen pro orientační měření. Podobné malé luxmetry jsou též základem expoziometrů používaných ke zjišťování potřebné doby osvitů při fotografování.[4][12]

Pro měření byl použit luxmetr od Voltcraft LX-1180 vypůjčený na Ústavu soudního znalectví na Fakultě dopravní. Luxmetr patří do třídy přesnosti A, respektive 2 a jeho odchylka je $\pm 3\%$. Přístroj byl zatím kalibrován pouze od výrobce, neboť stáří je menší než 5 let a nebylo třeba jej dříve kalibrovat.

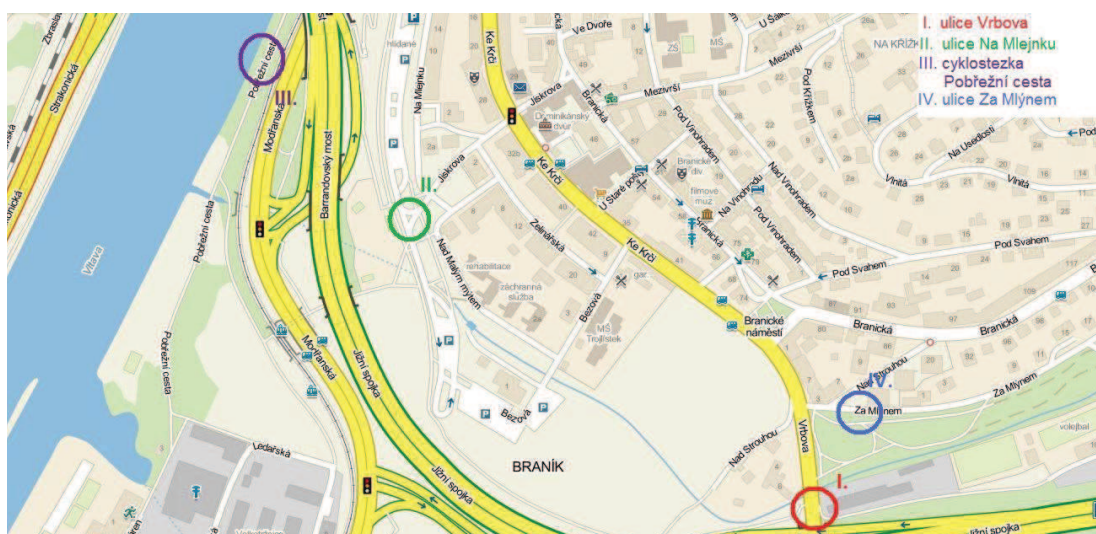
3.2. Lokality měření

Pro měření viditelnosti chodce jsem vybral čtyři lokality v Praze - Braníku s různými typy svítidel a zdrojů. Všechny lokality jsou umístěny v blízkosti

frekventovaných cyklotras a jedno měření probíhalo přímo na cyklostezce. Místa byla vybrána s ohledem na intenzitu cyklistů a možnost setkání s motorovými vozidly.

Měření probíhala v noci po astronomickém soumraku mezi 21:30 – 23:30 ve fázi měsíce novu a za veřejného osvětlení. V lokalitách byly digitální zrcadlovkou NIKON D7000 zkonfigurovanou s jasovým analyzátozem LumiDISP pořízeny snímky, které sloužily jako základ pro vyhodnocování. Jelikož při prvním měření začalo pršet, muselo být přerušeno, neboť mokrá vozovka by měla vliv na přesnost měření. Měření bylo dokončeno při stejných podmínkách jako při prvním pokusu.

Lokality jsou vyznačeny v přehledné situaci na Obr. č. 28.



Obr. č. 28 – Přehledná situace měřených lokalit [30]

3.2.1. Ulice Vrbova

Tato lokalita byla vybrána nejen z důvodu splnění podmínek setkávání cyklistické dopravy s automobilovou, ale hlavně z důvodu přejezdu pro cyklisty cyklostezky A22 na ulici Vrbova. Tento přejezd je situován do stínu mezi svítidly, a proto je velmi vhodný pro průběh měření, protože k většině nehod cyklistů s motorovými vozy při veřejném osvětlení dochází právě mezi nimi.

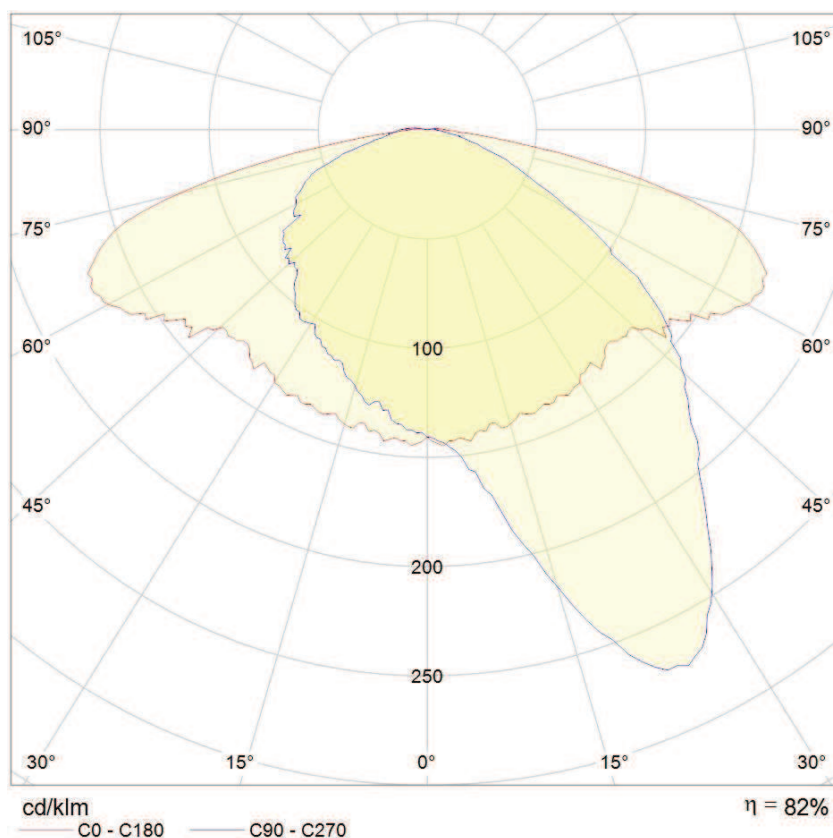


Obr. č. 29 – Přehledná situace měřeného přejezdu v ulici Vrbova [30]

Přejezd pro cyklisty je opatřen středovým dělicím ostrůvkem, z toho důvodu bylo zvoleno 5 pozic figuranta (na Obr. č. 29 červeně). První a poslední pozice byla na sjezdu na komunikaci, druhá a třetí uprostřed jízdnic pruhů a poslední na středovém ostrůvku.

Měření probíhalo za běžného provozu, ovšem aby nedošlo k ovlivnění jasů, snímky byly pořízeny bez přijíždějících vozidel.

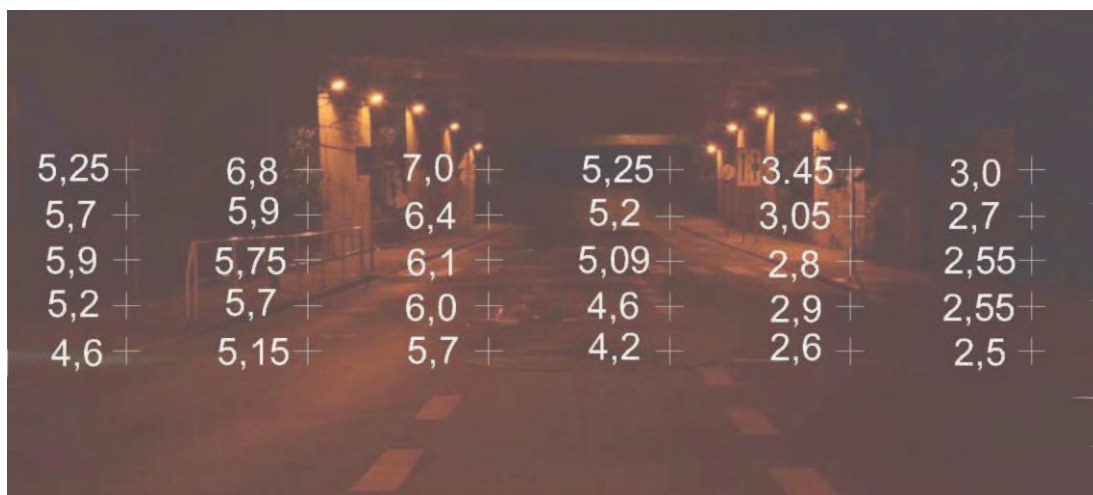
U přejezdu se nachází svítidla MC2 (na Obr. č. 29 vyznačena žlutou barvou) od výrobce Artechnic-Schröder. Světelným zdrojem je čirá vysokotlaková sodíková výbojka o příkonu 70 W. Výška světelného bodu je 10 m.[15]



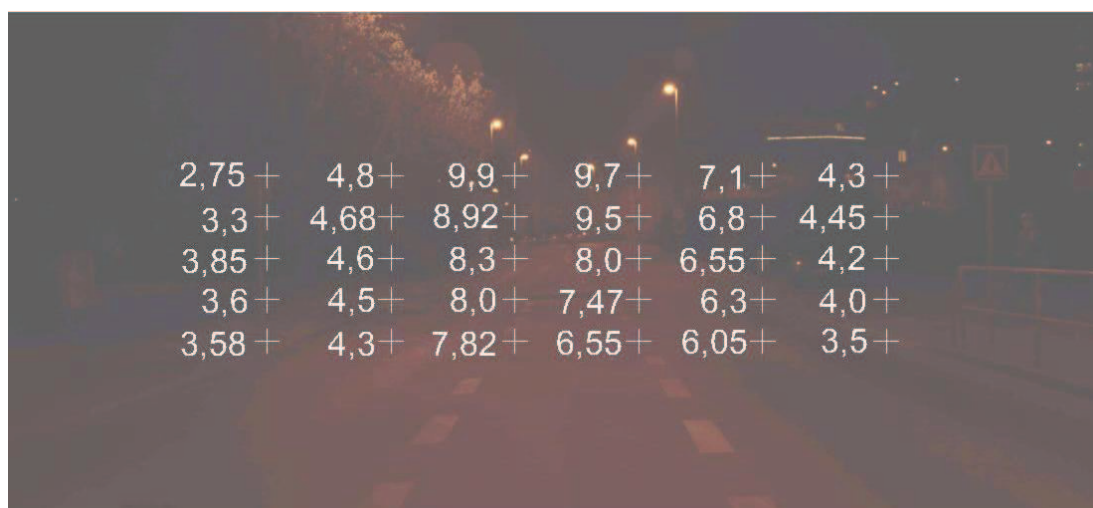
Obr. č. 30 – Křivka svítivosti svítidla MC2

Na Obr. č. 30 je znázorněna křivka svítivosti světelného zdroje MC2. Červená křivka svítivosti zobrazuje rovinu rovnoběžnou s komunikací. Je patné, že v této rovině se dbá hlavně na rovnoměrnost svítivosti. Modrá křivka ukazuje svítivost v rovině kolmé na osu komunikace. Z důvodu snahy co možná nejlepšího osvětlení komunikace je vidět výrazné maximum křivky (kolem hodnoty 270 cd/klm). Tento fakt, že svítidlo je nasměrováno především k osvětlení bližšího jízdního pruhu a středu komunikace je možné ověřit z následného měření za pomoci luxmetru z Obr. č. 31 a 32.

V lokalitě proběhlo měření osvětlenosti z daných zdrojů svítidel v pozicích figuranta. Měření byla provedena luxmetrem po 2,5 m v horizontálním směru a po 0,5 m ve vertikálním směru. Body a hodnoty v luxech měření jsou znázorněny na Obr. č. 31 a Obr. č. 32.



Obr. č. 31 – Hodnoty svítivosti v ulici Vrbova [lx]



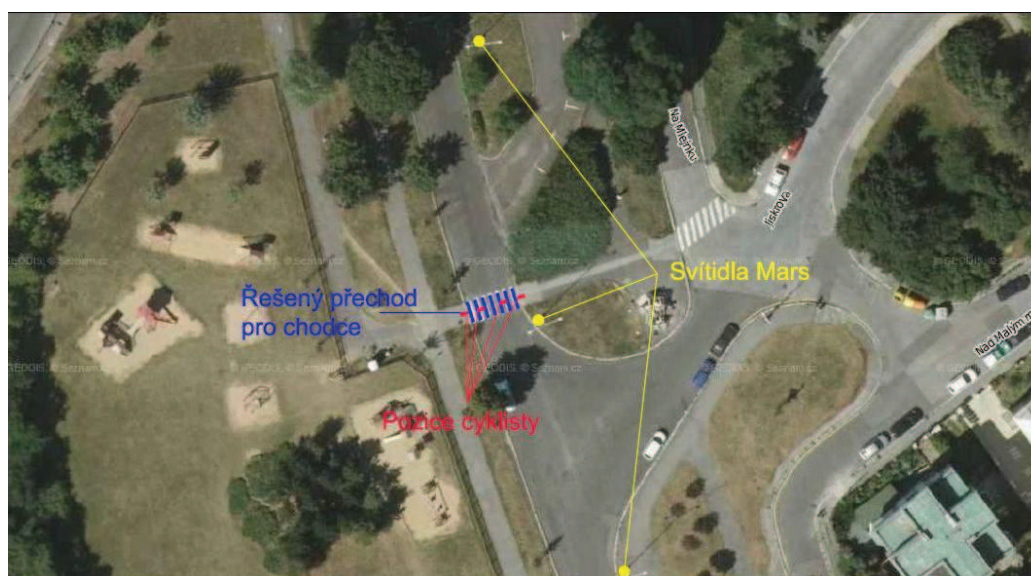
Obr. č. 32 – Hodnoty svítivosti v ulici Vrbova z opačného směru [lx]

Na naměřených hodnotách se značně podílela citlivost luxmetru, který zaznamenával setiny luxů, a při nepatrném pohybu čidla docházelo ke změnám zobrazovaných hodnot. Kvůli této okolnosti bylo v jednotlivých bodech provedeno měření opakovaně, vždy alespoň třikrát, a ze získaných hodnot průměrem určená konečná hodnota.

3.2.2. Ulice Na Mlejнку

Další vybranou lokalitou je ulice Na Mlejнку. Opět se jedná o cyklisty velmi frekventovanou oblast, ovšem intenzity vozidel jsou zde nízké. Komunikace vede na

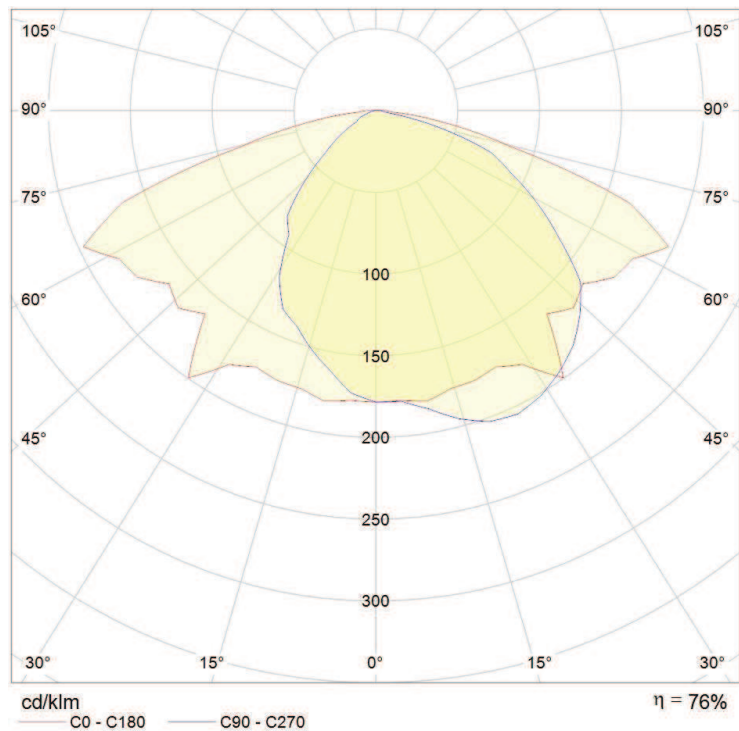
okraji obytné čtvrti a slouží převážně jako příjezdová cesta k přilehlým parkovacím plochám.



Obr. č. 33 – Přehledná situace ulice Na Mlejnsku [30]

Pro účely měření byl vybrán přechod pro chodce u křižovatek ulic Na Mlejnsku a Jiskrova, který využívají i cyklisté jedoucí od Barrandovského mostu nebo po cyklostezce A22 k přejezdu komunikace směrem k obytným domům v okolí.

Přímo u přechodu se nachází svítidlo Mars vyrobené společností Gaash vysoké 12 m. Světelný bod je také osazen čirou vysokotlakou sodíkovou výbojkou o příkonu 70 W.[14]



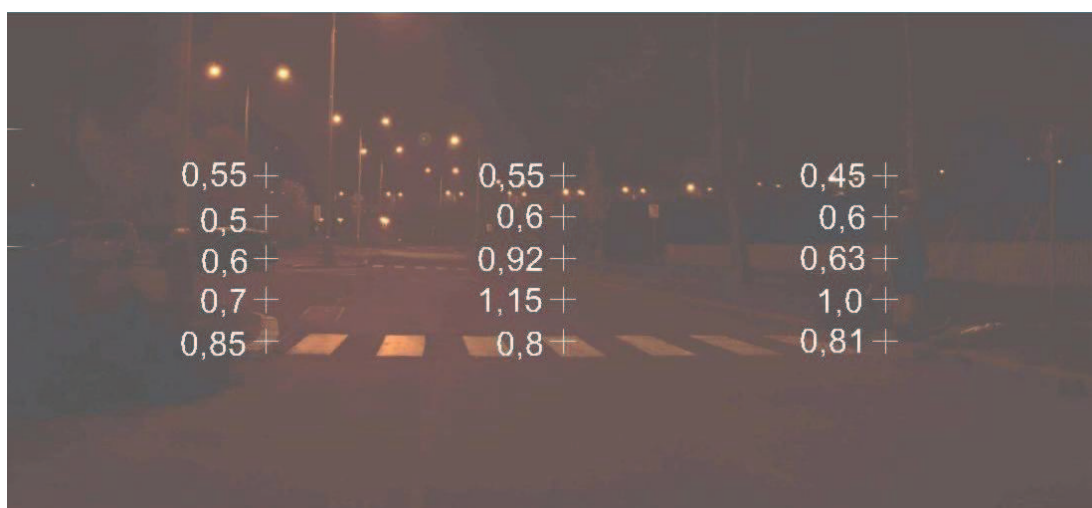
Obr. č. 34 – Křivka svítivosti svítidla Mars

Na rozdíl od svítidla MC2 se u svítidla Mars již neseťkáváme u křivky svítivosti s výraznějším maximem ale světelný zdroj má za účel co možná nejrovnoměrněji osvětlit plochu pod ním, neboť svítidla se nachází pouze na jedné straně komunikace a osvětlení jen jedné části komunikace by nebylo dostatečné. Zmíněná rovnoměrnost je vidět na měření luxmetrem na Obr. č. 35 a Obr. č. 36, kde v měřených pozicích pod svítidlem a ve středu komunikace jsou hodnoty velmi podobné a teprve u vzdálenější hrany komunikace dochází k výraznějšímu snížení svítivosti.

U naměřených hodnot je možné si povšimnout nárůstu svítivosti v bodech u země a to z důvodu odražení dopadajícího světla od vodorovného dopravního značení. Jelikož měření pomocí jasového analyzátoru probíhalo ve shodných podmínkách včetně vodorovného značení, nebylo třeba odrazové plochy nějakým způsobem zakrývat nebo jinak potlačovat.



Obr. č. 35 – Hodnoty svítivosti v ulici Na Mlejнку [lx]



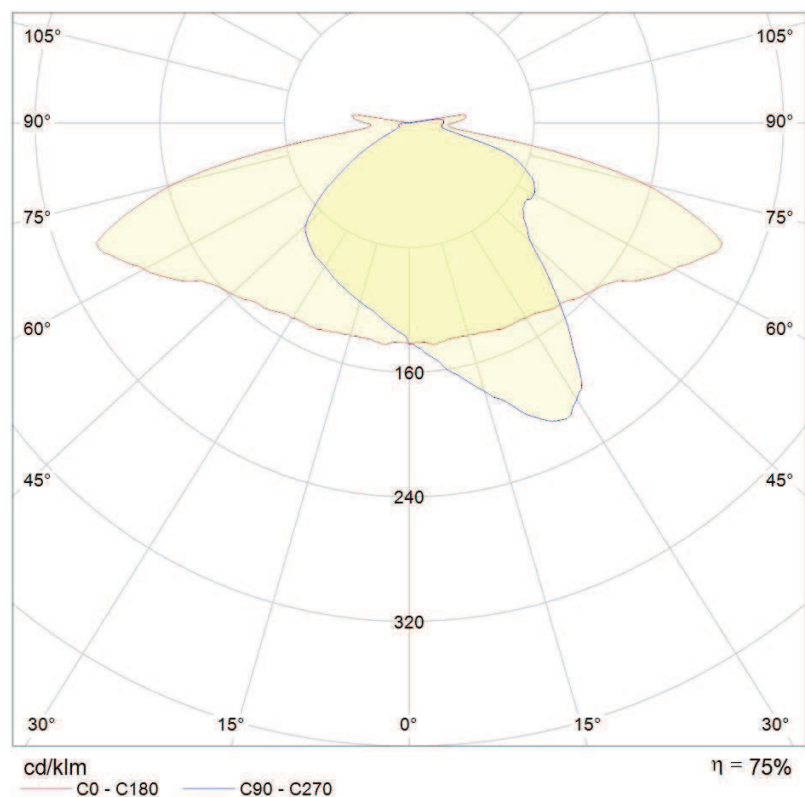
Obr. č. 36 – Hodnoty svítivosti v ulici Na Mlejнку z opačného směru [lx]

3.2.3. Cyklostezka Pobřežní cesta

Třetí měřenou lokalitou byla přímo cyklostezka vedoucí od centra Prahy směrem k Praze – Modřany. Přestože na cyklostezce je vyloučen provoz motorových vozidel s výjimkou integrovaného záchranného sboru a vozidel údržby, měření zde bylo vhodné provést z důvodu použitých svítidel, neboť se se stejným typem můžeme velmi často setkat v obytných zónách a obytných čtvrtích.

Jedná se o 5 m vysoké svítidlo typu Z1 Sidonia, vyrobené společností Artechnic-Schröder. Zdrojem tohoto svítidla je 50 W sodíková výbojka. Svítidlo se skládá z tlakově odlitého hliníkového tělesa, horního odnímatelného plastového

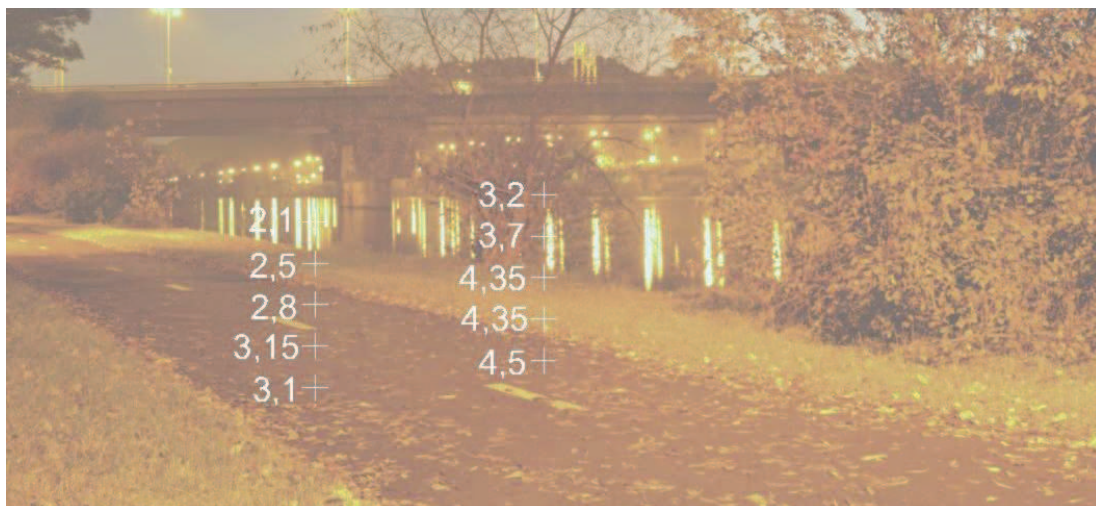
krytu, odnímatelné desky s předřadnými přístroji a vakuově pokoveným reflektorem.
[13]



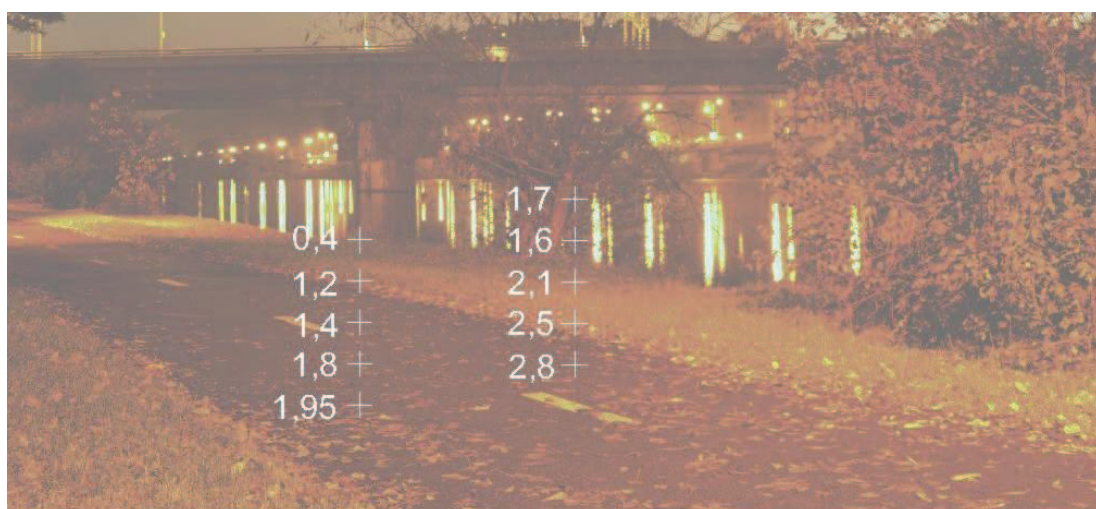
Obr. č. 37 – Křivka svítivosti svítidla Z1 Sidonia

Z křivky svítivosti je dobře viditelný hlavní účel tohoto typu svítidla. V rovině rovnoběžné s osvětlovanou komunikací je vidět snaha o co největší rovnoměrnost a co největší rozsah svítivosti, za to u roviny kolmé ke komunikaci pozorujeme užší osvětlení části před zdrojem svítidla, což odpovídá osvětlení hlavního prostoru na cyklostezkách nebo chodníkových plochách.

V jednotlivých jízdních pruzích cyklostezky byly změřeny luxmetrem hodnoty svítivosti.



Obr. č. 38 – Hodnoty svítivosti na cyklostezce



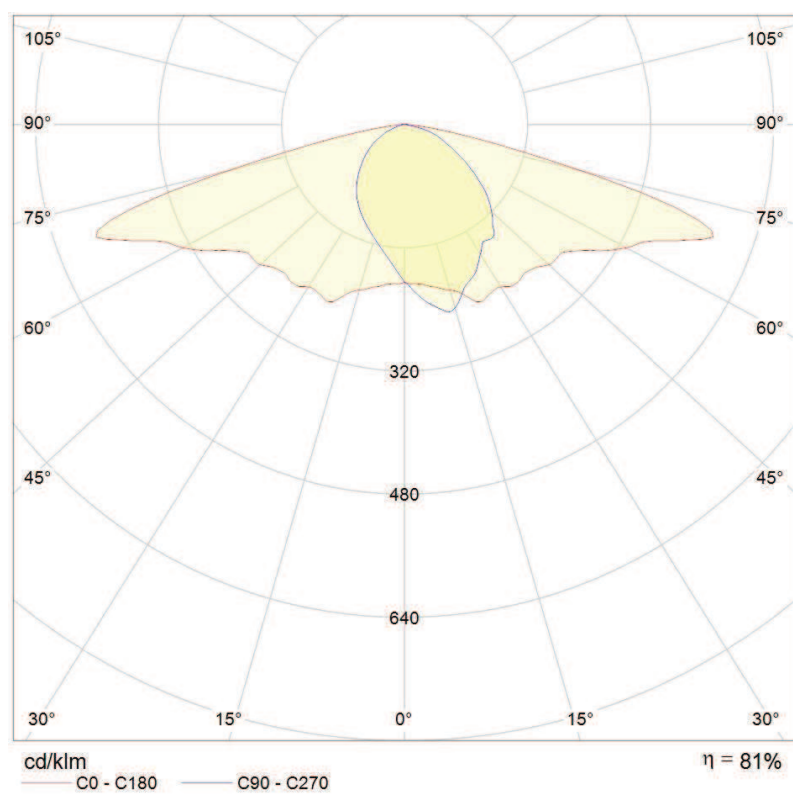
Obr. č. 39 – Hodnoty svítivosti na cyklostezce z druhého směru

V obou případech je vidět, že na fotografii je více osvětlený pravý jízdní pruh na cyklostezce. Jelikož se měřený bod nacházel blíže ke svítidlu směrem k Podolí, hodnoty svítivosti jsou zde tak větší než v opačném směru.

3.2.4. Ulice Za Mlýnem

Tato ulice byla vybrána převážně z důvodu dalšího často používaného typu svítidla a to typu Safír 1 opět od společnosti Artechnic-Schröder. Jedná se o 8 m vysoký světelný bod s vysokotlakou sodíkovou výbojkou o příkonu 50 W. Svítidla jsou sestavena z tlakově odlitého hliníkového tělesa, odnímatelného krytu

z odolného plastu, desky osazené předřadnými přístroji, ochranného optického krytu polykarbonátu a fazetového reflektoru z vakuově pokoveného plastu.[16]



Obr. č. 40 – Křivka svítivosti svítidla Safír 1

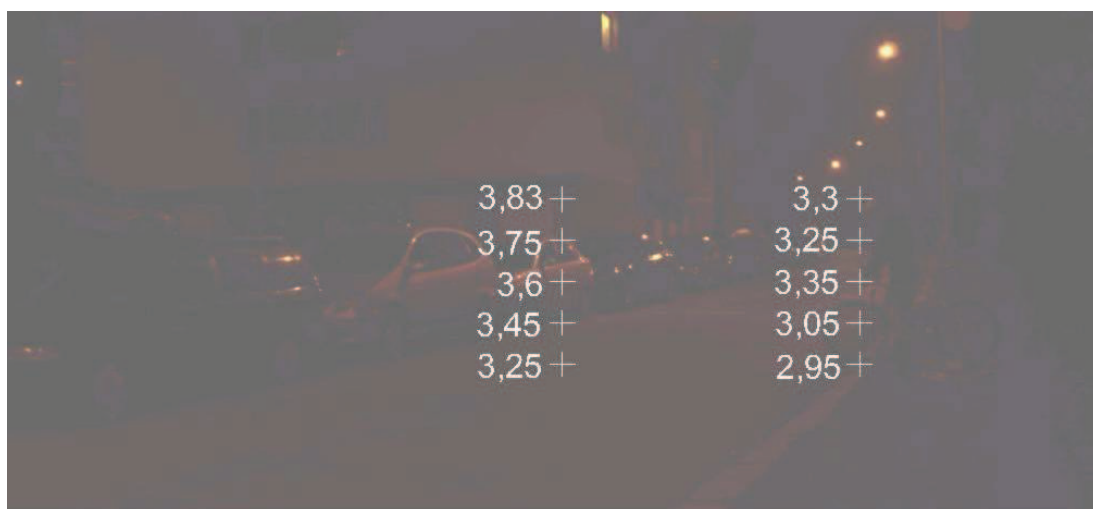
Křivka svítivosti na Obr. č. 40 má velice podobnou charakteristiku jako v případě svítidla Sidonia Z1. Podle vyšších hodnot kandel na kilolumen na většině křivky je poznat, že světelný zdroj je umístěn výše než v případě Sidonie Z1.



Obr. č. 41 – Vlevo svítidlo Sidonia Z1, vpravo svítidlo Safir 1

Lokalita je opět umístěna v blízkosti cyklostezky A22 a sportovních areálů, jako jsou fotbalová a volejbalová hřiště.

I zde bylo provedeno měření svítivosti za pomoci luxmetru. Na Obr. č. 42 jsou vidět jen malé rozdíly ve svítivosti na hraně komunikace a uprostřed vozovky. Překvapivé zjištění je u Obr. č. 43, kdy se hodnoty značně liší. Tento rozdíl může být způsoben špatně nastaveným svítidlem.



Obr. č. 42 – Hodnoty svítivosti v ulici Za Mlýnem ve směru od ulice Vrbova



Obr. č. 43 – Hodnoty svítivosti v ulici Za Mlýnem směrem k ulici Vrbova

3.3. Vyhodnocení měření

Při vyhodnocování měření bylo použito programu LumiDISP. Pomocí něj byly pořízené snímky z jednotlivých převedeny na jasové mapy, ze kterých bylo možné pomocí detektorů odečíst hodnoty jasů. Pro převod stačilo nastavit jasový kanál dle potřeby a počkat několik vteřin než převod proběhl. Následně za pomoci palety bylo možné upravenou jasovou mapu doladit pro potřeby vyhodnocování. Jako detektor byla zvolena elipsa s hlavní osou o velikosti 20 px a vedlejší osou 40 px. Tento detektor vypočítává průměrnou hodnotu jasů uvnitř a byl vybrán z důvodu nejvhodnějšího tvaru vůči lidskému tělu.

Další pomůckou k vyhodnocení byl řez snímkem, který na přímcce nebo jiné zvolené křivce zobrazí hodnoty jasů. Na řezech je pak patrná viditelnost cyklisty, potažmo jeho kontrast, vůči okolnímu prostředí. Jak bylo uvedeno v kapitole o vnímání lidským okem, oko se lépe fixuje na jasnější předměty a pro rozeznatelnost překážky je důležitý kontrast s okolím.

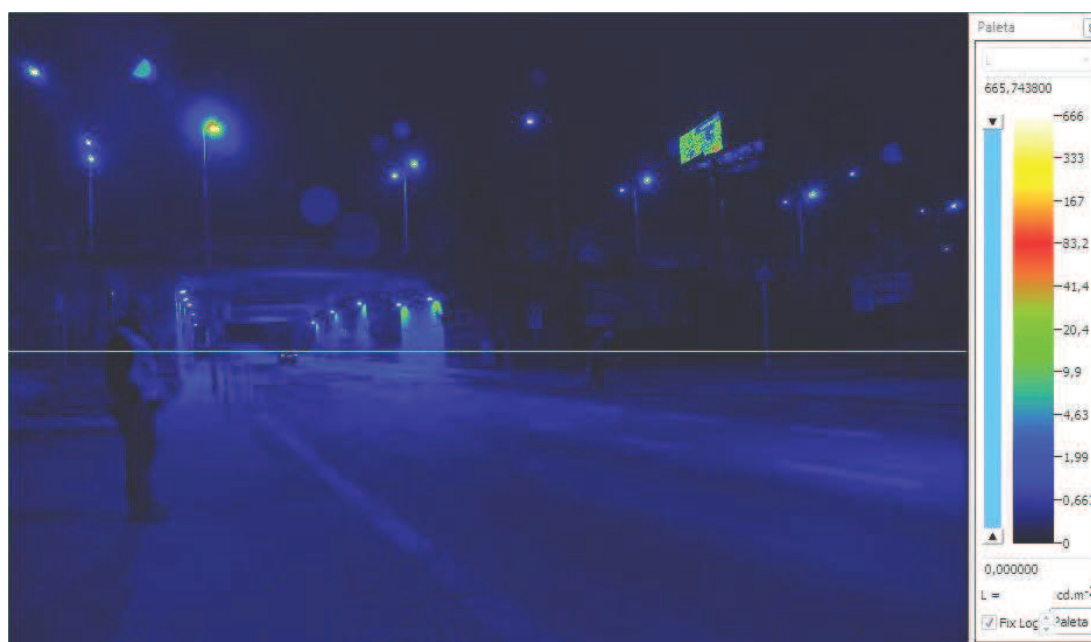
Na obrázcích s jasovou mapou je vždy patrné místo, kde byla vedena křivka jasového řezu.

3.3.1. Ulice Vrbova

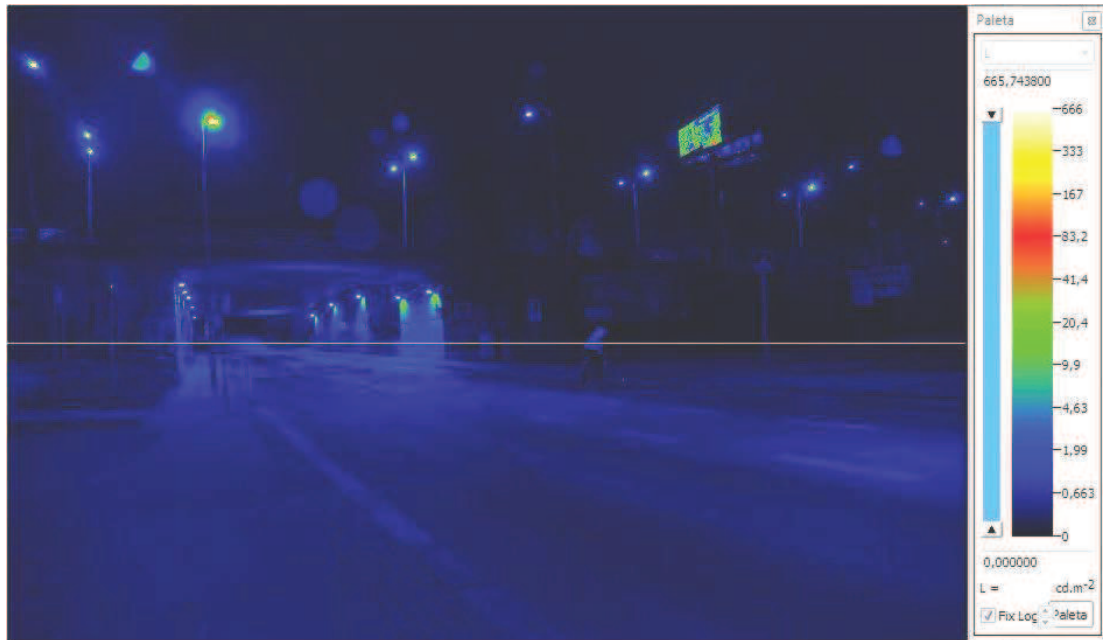
Přejezd pro cyklisty v ulici Vrbova byl rozdělen na pět pozic a měřen z obou směrů komunikace.

Figurant byl nejprve oděn v tmavém oblečení bez osvětlení a reflexní vesty, vyfotografován v každé z pozic. Při dalším měření byl již vybaven výbavou pro cyklisty dle vyhlášky č. 341/2002 Sb. a oblečen do reflexní vesty a opět postaven do stejných pozic jako v předchozím případě.

Pro úpravu fotografií bylo z důvodu podexponování snímku při focení využito logaritmické funkce, která nemá vliv na výsledek měření.



Obr. č. 44 – Ulice Vrbova; figurant bez reflexní vesty ve vzdálenějším jízdním pruhu (pro účely tisku byl snímek o 20% zjasněn)



Obr. č. 45 – Ulice Vrbova; figurant s reflexní vestou ve vzdálenějším jízdním pruhu (pro účely tisku byl snímek o 20% zjasněn)

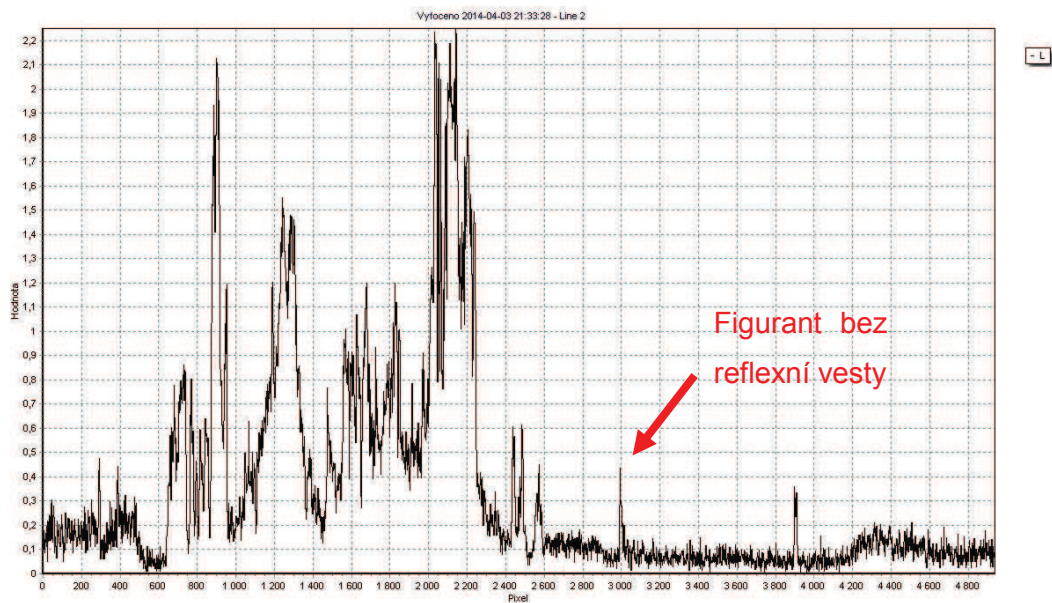
Již z porovnání snímků je jasně patrné, že reflexní vesta značně přispěla k lepší viditelnosti cyklisty. To dokládají i hodnoty naměřené detektorem ve tvaru elipsy.

Hodnoty jasu:

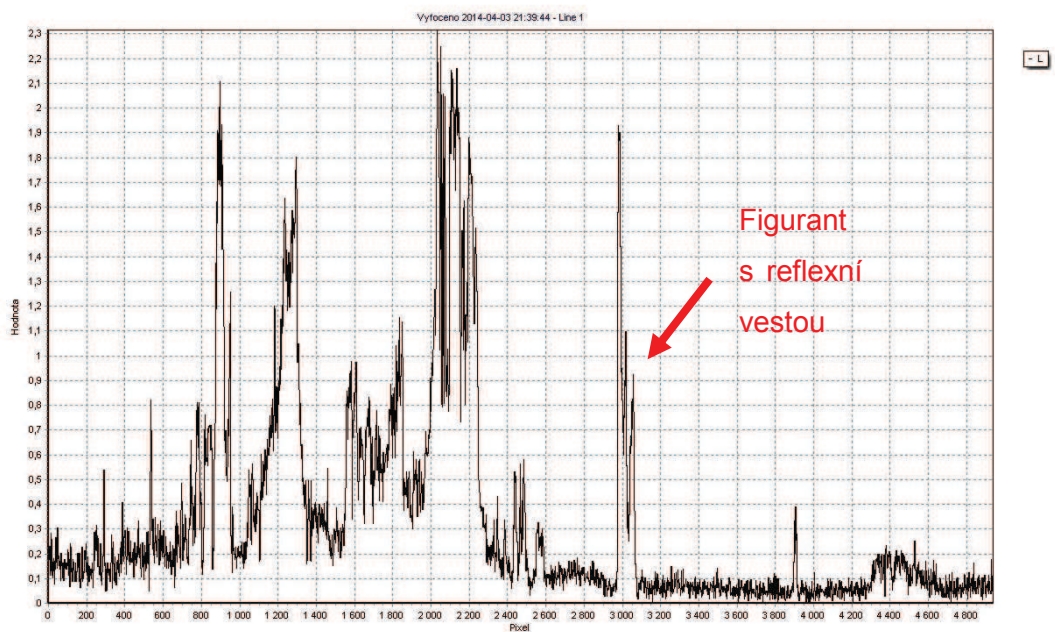
cyklista bez reflexní vesty: $L = 0,086531 \text{ cd.m}^{-2}$

cyklista s reflexní vestou: $L = 0,772546 \text{ cd.m}^{-2}$

Nejlépe patrná je vyšší hodnota jasu za použití reflexní vesty z řezů provedených snímky.

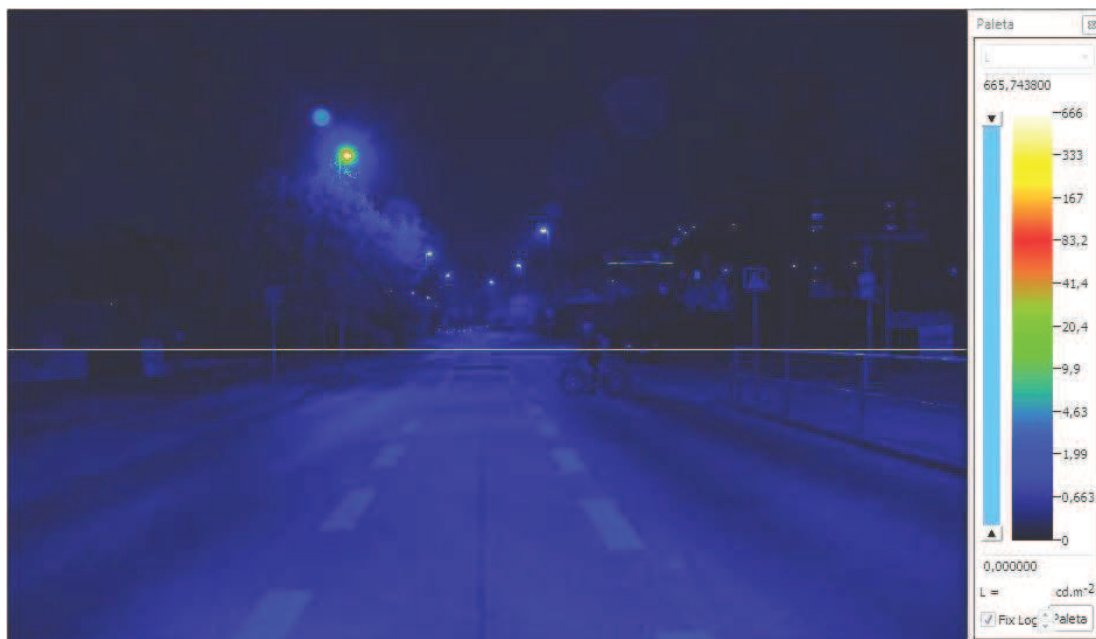


Obr. č. 46 – Křivka hodnot jasu ulice Vrbova; figurant bez reflexní vesty

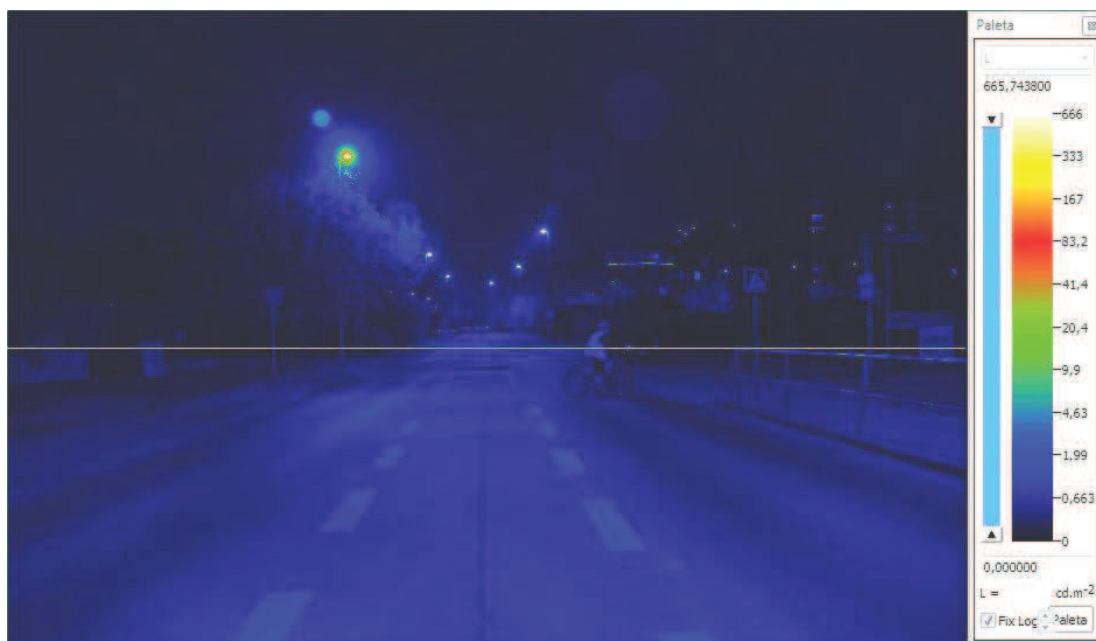


Obr. č. 47 – Křivka hodnot jasu ulice Vrbova; figurant s reflexní vestou

Podobné výsledky byly zjištěny i při vyhodnocování snímků z opačného směru.



Obr. č. 48 – Ulice Vrbova; figurant bez reflexní vesty v pravém jízdním pruhu (pro účely tisku byl snímek o 20% zjasněn)



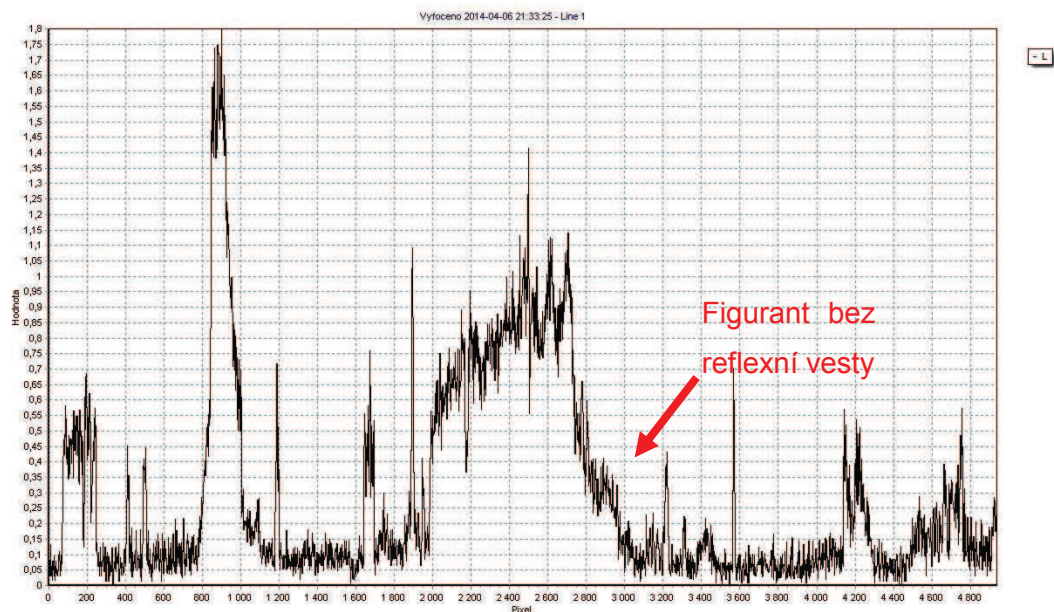
Obr. č. 49 – Ulice Vrbova; figurant s reflexní vestou v pravém jízdním pruhu (pro účely tisku byl snímek o 20% zjasněn)

Hodnoty jasu:

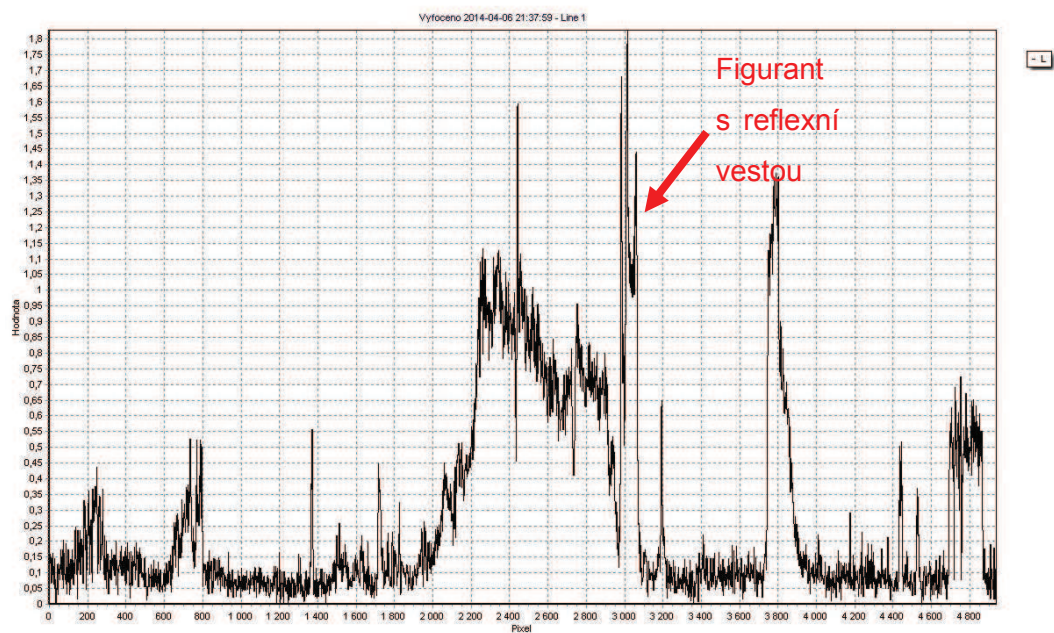
cyklista bez reflexní vesty: $L = 0,187338 \text{ cd.m}^{-2}$

cyklista s reflexní vestou: $L = 1,190148 \text{ cd.m}^{-2}$

Rozdíly jsou patrné i na vyobrazené křivce jasů na přímce řezu.



Obr. č. 50 – Křivka hodnot jasu; figurant bez reflexní vesty - opačný směr



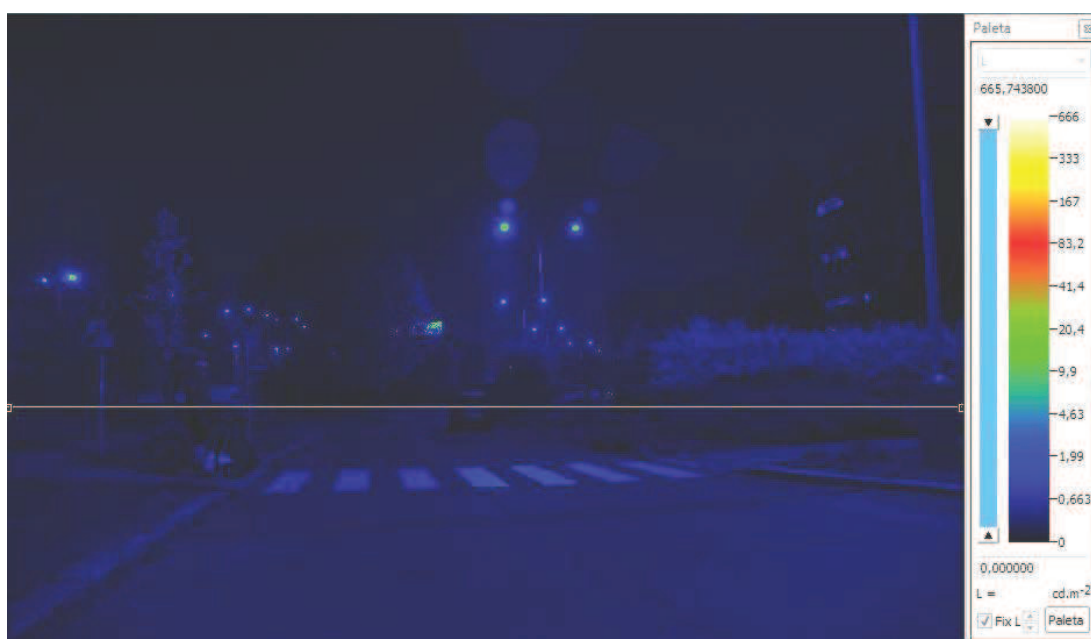
Obr. č. 51 – Křivka hodnot jasu; figurant s reflexní vestou – opačný směr

Na Obr. č. 50 a Obr. č. 51 je vidět, že cyklista stojí na rozhraní jasnějšího a méně jasného prostředí. Na řezech snímkem je patné, že v tmavém oblečení cyklista téměř zaniká s pozadím a je velmi špatně viditelný. Při použití vesty vzrostl jas cyklisty více než čtyřnásobně a na stejném místě je mnohem lépe zřetelný, což je vidět i na Obr. č. 48 a 49.

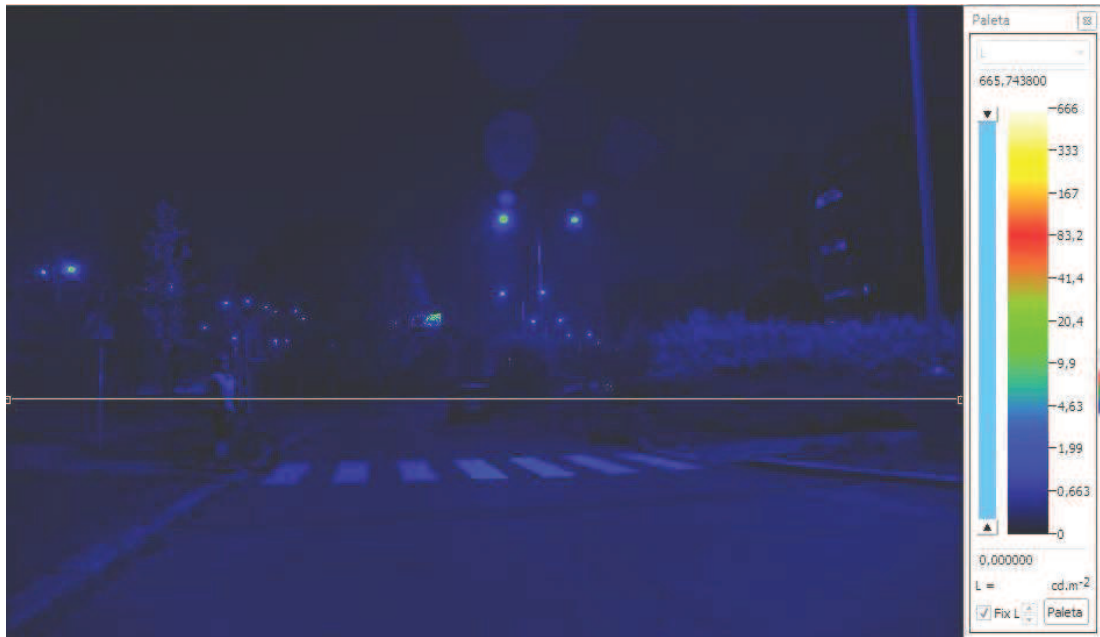
3.3.2. Ulice Na Mlejniku

V ulici Za Mlýnem byl přechod z důvodu širší dopravního prostoru rozdělen pouze do čtyř pozic. První a poslední pozice se nacházely na sjezdech na komunikaci, zbylé dvě byly umístěny doprostřed jízdnic pruhů.

Experiment probíhal stejně jako v ulici Vrbova, cyklista pro první část měření neměl povinnou výbavu, ve druhé měl rozsvícená světla a oblečenou reflexní vestu.



Obr. č. 52 – Ulice Na Mlejniku; figurant bez reflexní vesty na levém chodníku (pro účely tisku byl snímek o 20% zjasněn)

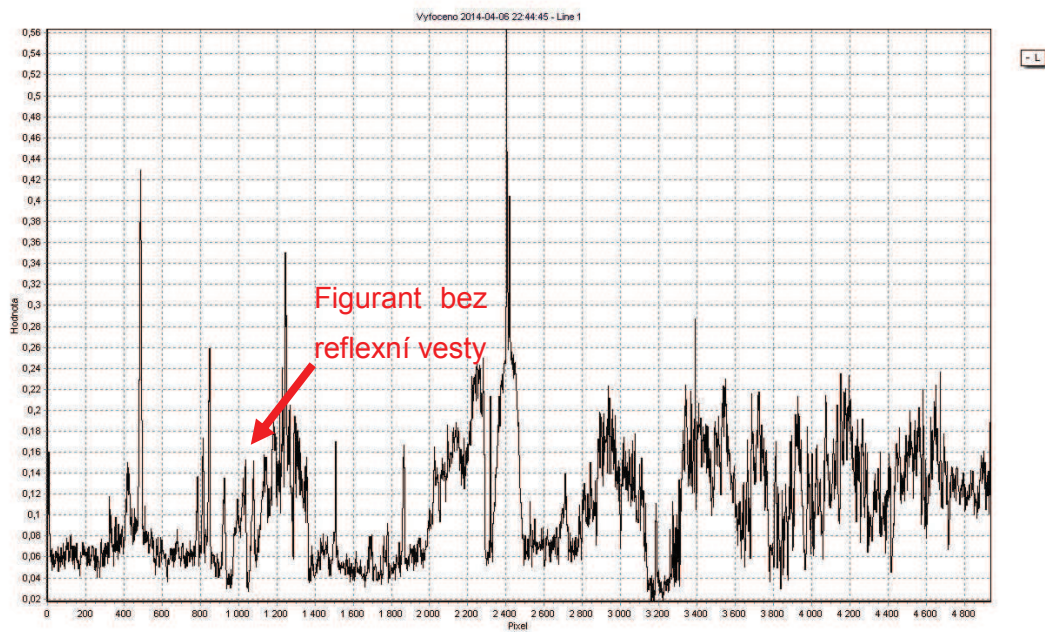


Obr. č. 53 – Ulice Na Mlejнку; figurant s reflexní vestou na levém chodníku (pro účely tisku byl snímek o 20% zjasněn)

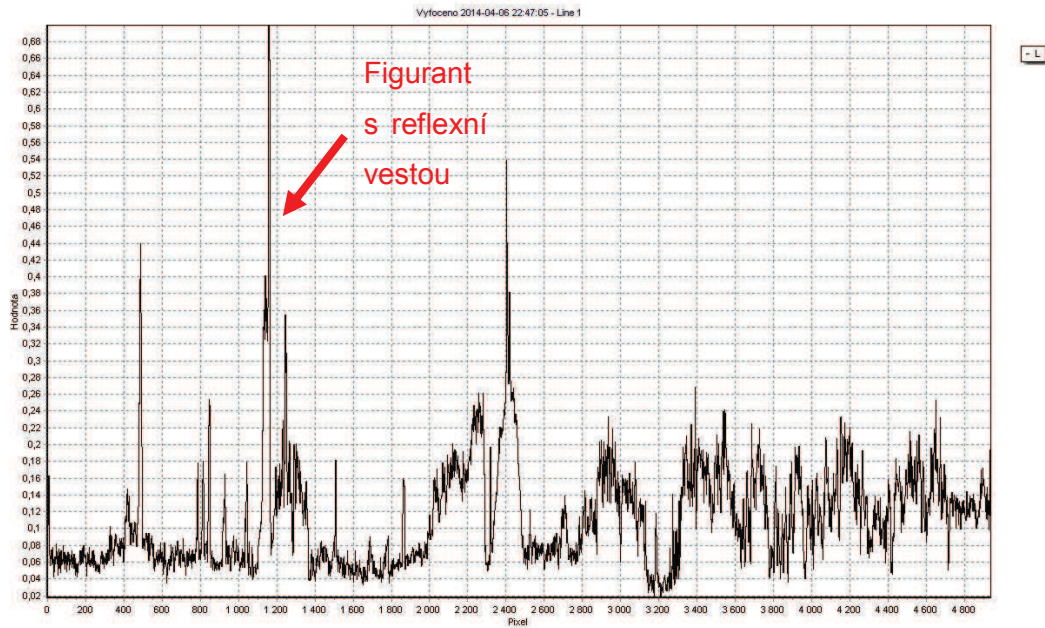
Hodnoty jasu:

cyklista bez reflexní vesty: $L = 0,087740 \text{ cd.m}^{-2}$

cyklista s reflexní vestou: $L = 0,862159 \text{ cd.m}^{-2}$

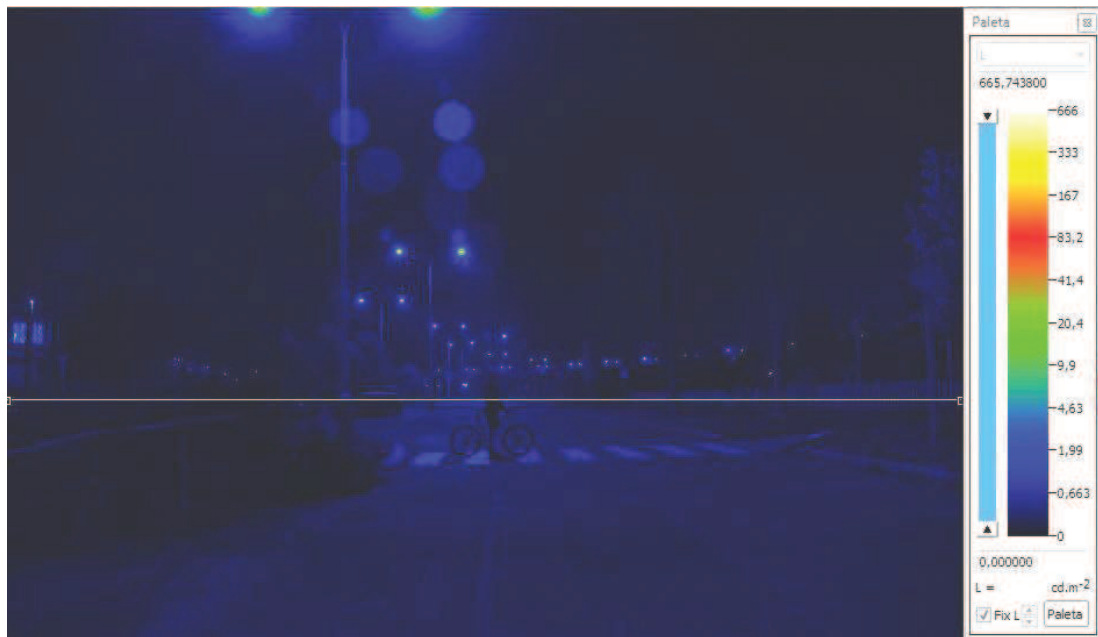


Obr. č. 54 – Křivka hodnot jasu; figurant bez reflexní vesty



Obr. č. 55 – Křivka hodnot jasu; figurant s reflexní vestou

Výsledky z opačného směru byly ovlivněny překrytím reflexní vesty černým rukávem figurantovy bundy. I tak je možné pozorovat drobné rozdíly.



Obr. č. 56 – Ulice Na Mlejнку; figurant bez reflexní vesty v levém jízdním pásu (pro účely tisku byl snímek o 20% zjasněn)



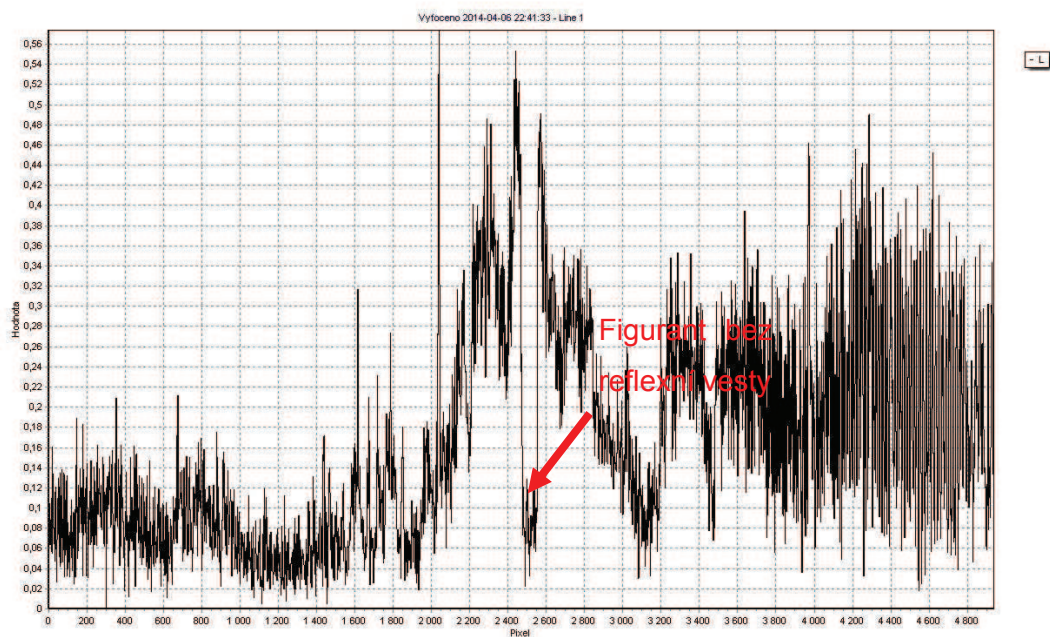
Obr. č. 57 – Ulice Na Mlejнку; figurant s reflexní vestou v levém jízdním pásu (pro účely tisku byl snímek o 20% zjasněn)

Hodnoty jasů:

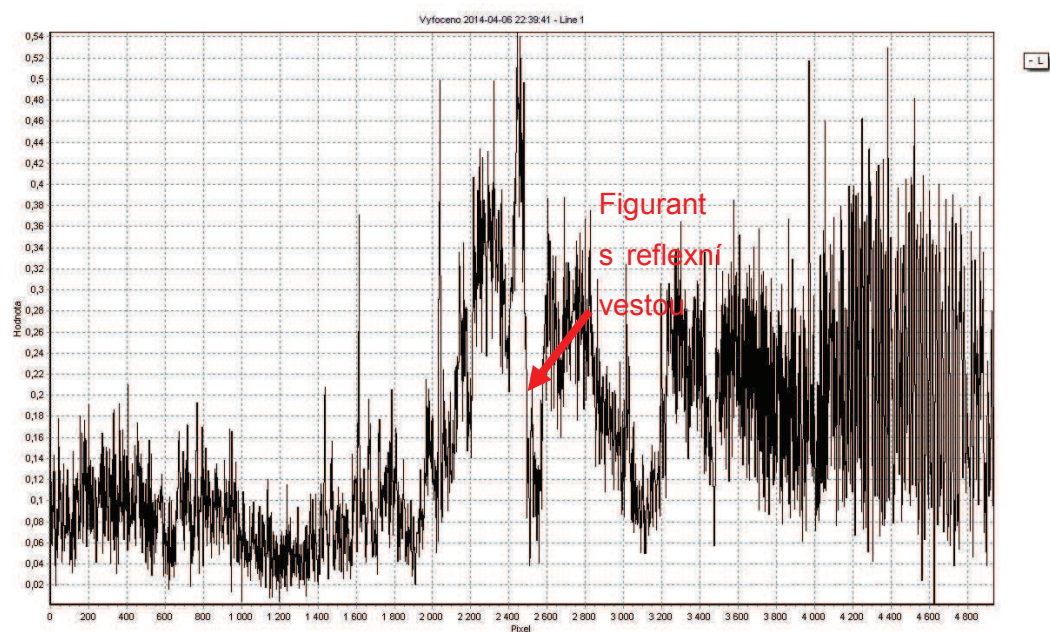
cyklista bez reflexní vesty: $L = 0,074460 \text{ cd.m}^{-2}$

cyklista s reflexní vestou: $L = 0,429334 \text{ cd.m}^{-2}$

Na jasovém řezu snímek se projevuje zakrytí tmavým rukávem, přesto v místě viditelnosti vesty je rozeznatelný nárůst. Podle tvaru křivky řezu v místě cyklisty s vestou je ale patrné, že se jedná spíše jen o malou část z vesty a to navíc bez reflexního prvku na ní. Proto i v případě snímku, kdy je cyklista vybaven vestou s reflexními prvky, v okolí zaniká a není dobře rozlišitelný. Nastalou situaci by vyřešily další reflexní prvky na rukávu nebo cyklistická reflexní bunda, a při překrytí vesty rukou by došlo alespoň částečně ke zlepšení viditelnosti.



Obr. č. 58 – Křivka hodnot jasu; figurant bez reflexní vesty – opačný směr



Obr. č. 59 – Křivka hodnot jasu; figurant s reflexní vestou – opačný směr

3.3.3. Cyklostezka Pobřežní cesta

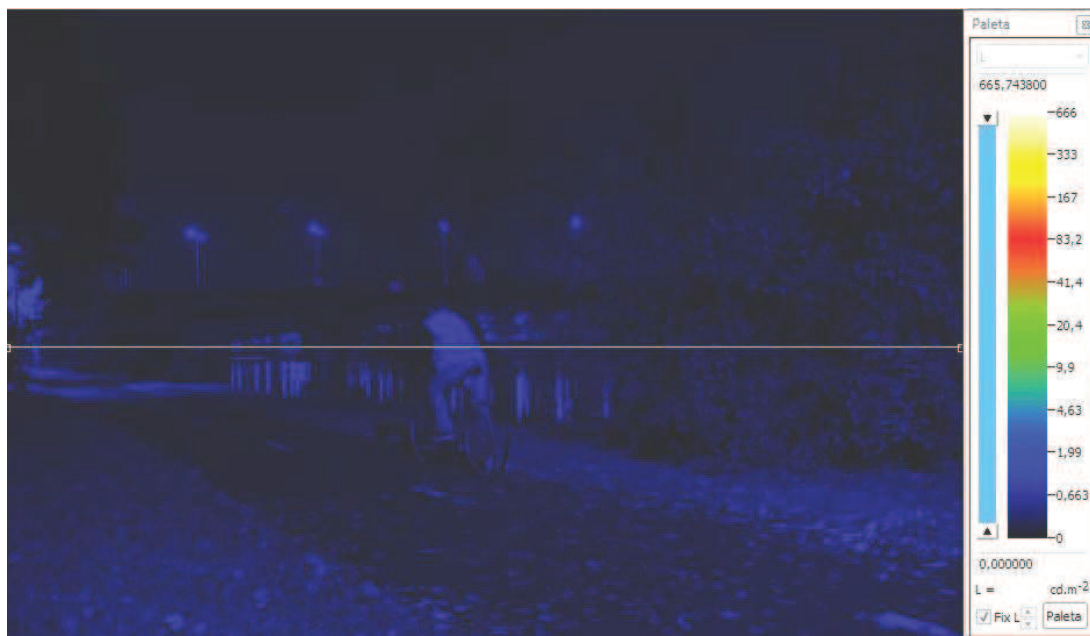
Oproti měřením v ulicích Vrbova a Na Mlejнку byl figurant postaven ve směru jízdy do stínu mezi svítidla. Důvodem ke změně měřené polohy byl fakt, že použitá svítidla na cyklostezce slouží většinou pouze k osvětlení komunikací pro

pěší, cyklisty a dále v obytných a pěších zónách. Předpokládá se tedy většinou jízda ve směru komunikace a nikoli kolmým směrem k hranám komunikace.

Cyklista i v tomto případě byl měřen bez povinné výbavy a následně s povinnou výbavou doplněnou o reflexní vestu.



Obr. č. 60 – Cyklostezka Pobřežní cesta; figurant bez reflexní vesty (pro účely tisku byl snímek o 20% zjasněn)



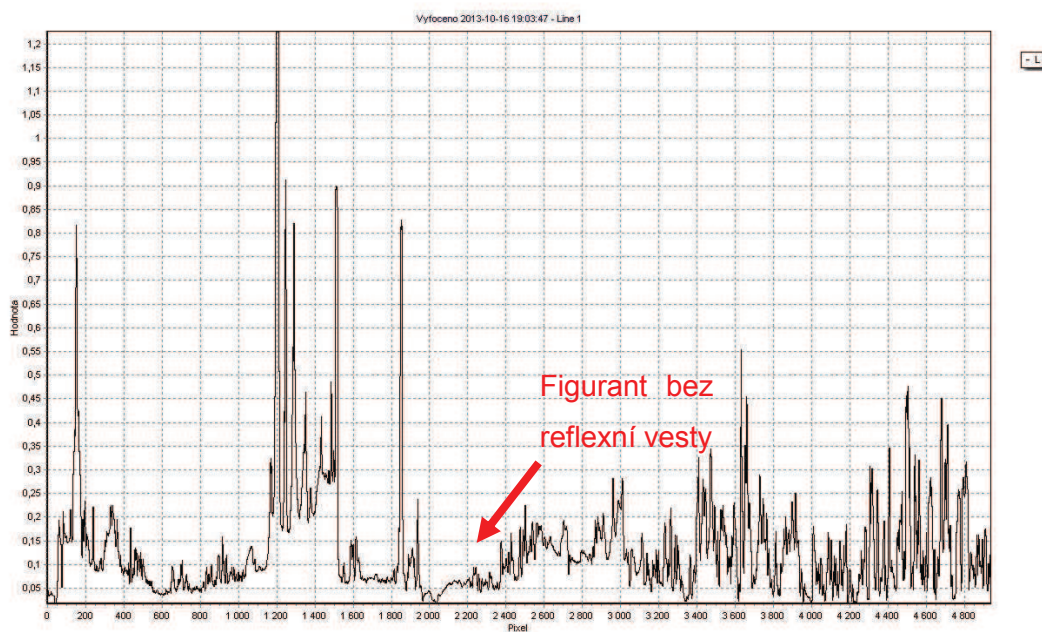
Obr. č. 61 – Cyklostezka Pobřežní cesta; figurant s reflexní vestou (pro účely tisku byl snímek o 20% zjasněn)

Hodnoty jasů:

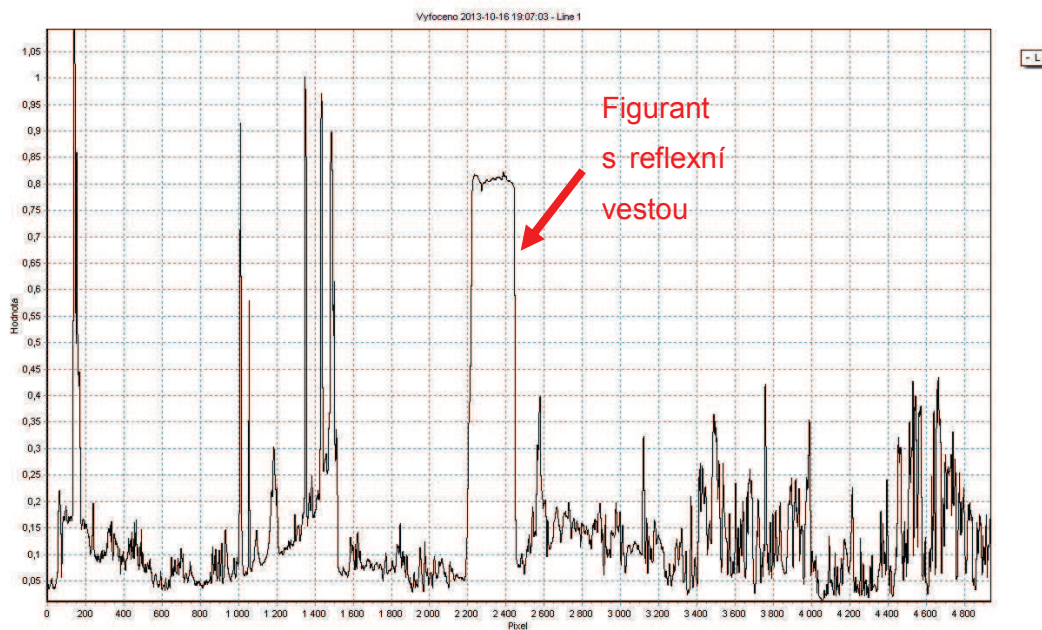
cyklista bez reflexní vesty: $L = 0,065147 \text{ cd.m}^{-2}$

cyklista s reflexní vestou: $L = 0,810355 \text{ cd.m}^{-2}$

Porovnání je opět patrné i z řezů jasovou mapou.



Obr. č. 62 – Křivka hodnot jasů; figurant bez reflexní vesty



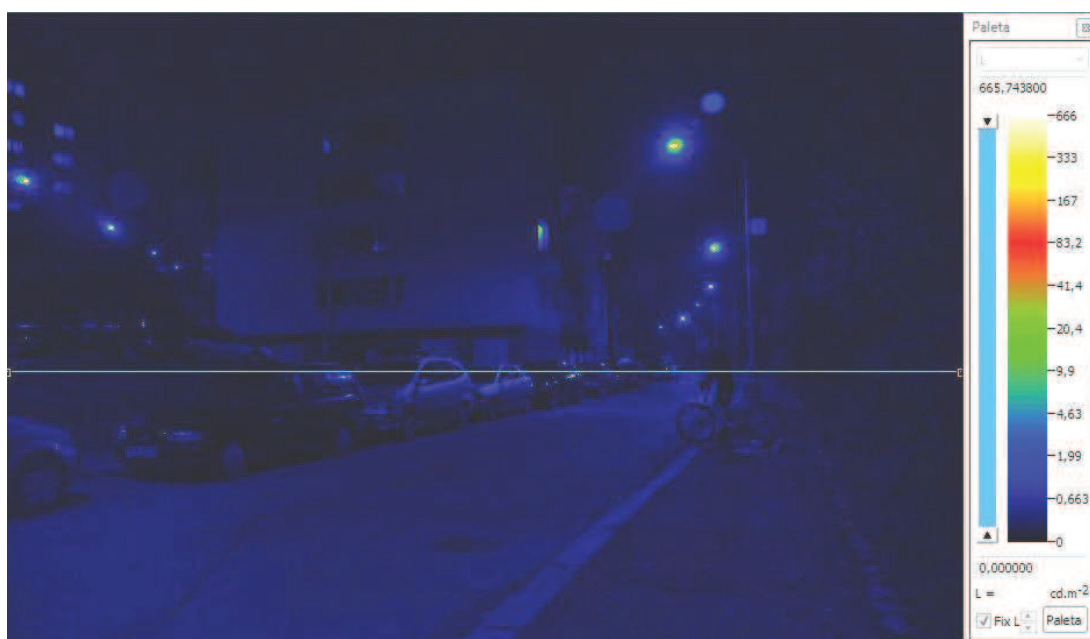
Obr. č. 63 – Křivka hodnot jasů; figurant s reflexní vestou

Oproti ostatním řezům je na Obr. č. 63 hodnota píku cyklisty s vestou značně širší. Je to z toho důvodu, že tělo člověka při zadním pohledu zaujímá větší prostor než při pohledu z boku. Na snímku je cyklista zachycen z lehce zešikmeného pohledu, a proto reflexní plocha ještě rozšířena o boční část cyklisty. Navíc zde nedochází ani k částečnému zakrytí reflexní vesty jinou částí těla nebo oděvu a je umožněno vyniknout naplno reflexní vestě.

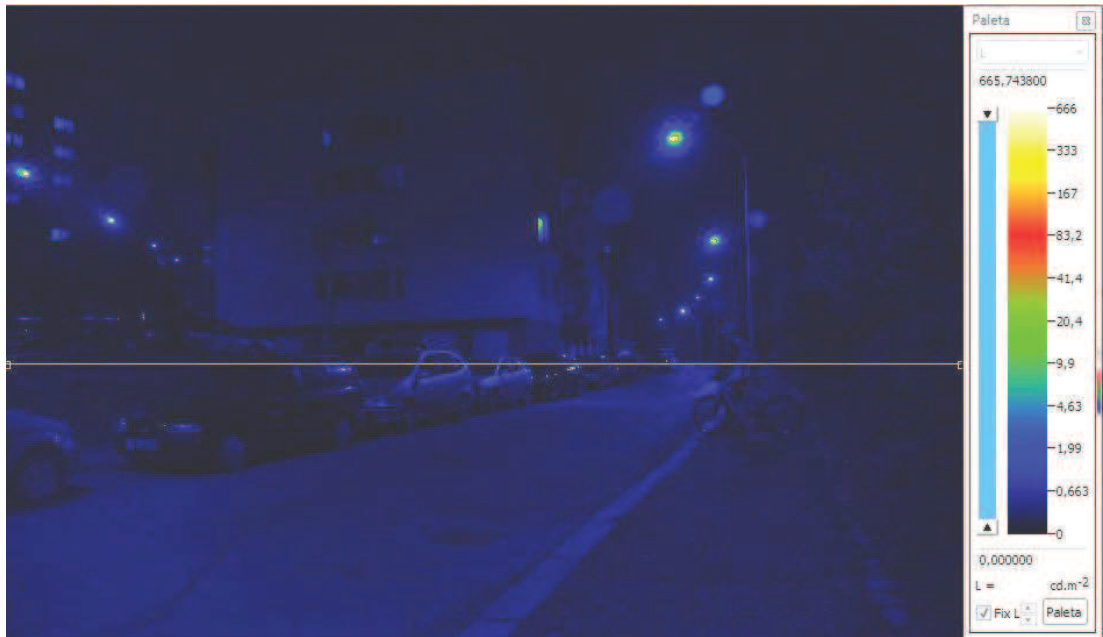
3.3.4. Ulice Za Mlýnem

V poslední měřené lokalitě byl figurant z důvodu zaparkovaných aut a šířky komunikace umístěn pouze do dvou pozic.

Figurant byl opět jednou měřen bez povinné výbavy v tmavém oblečení a podruhé s povinnou výbavou a oblečenou reflexní vestou.



Obr. č. 64 – Ulice Za Mlýnem; figurant bez reflexní vesty na chodníku (pro účely tisku byl snímek o 20% zjasněn)



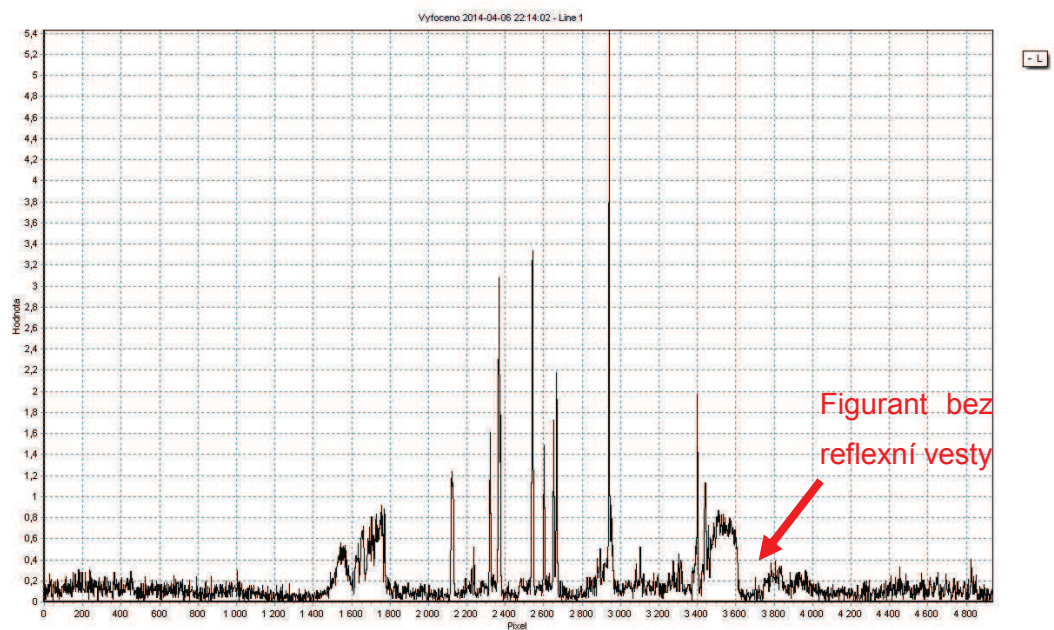
Obr. č. 65 – Ulice Za Mlýnem; figurant s reflexní vestou na chodníku (pro účely tisku byl snímek o 20% zjasněn)

Hodnoty jasu:

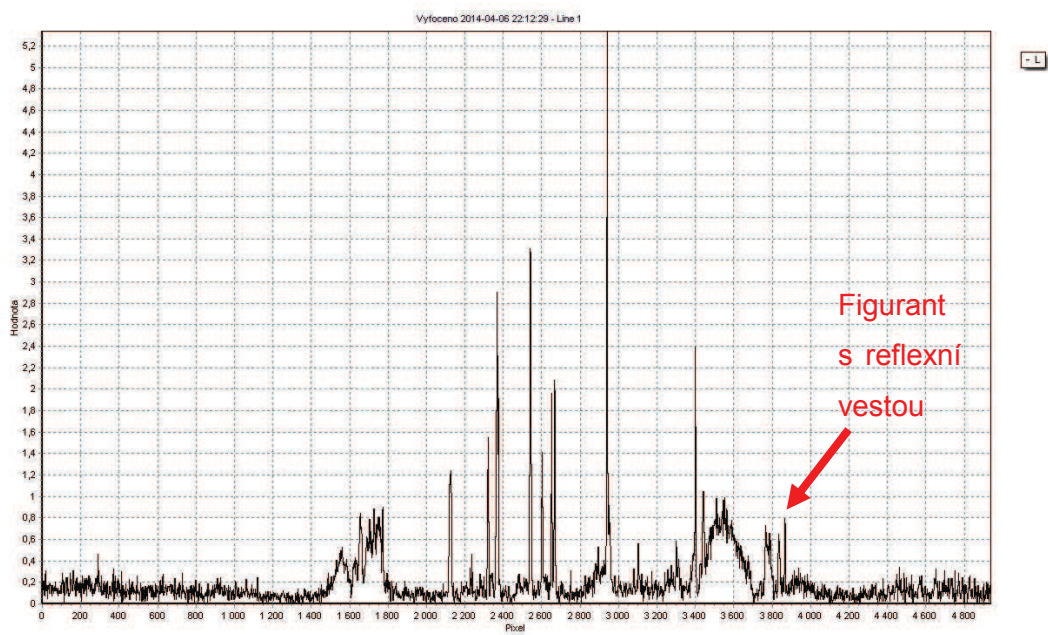
cyklista bez reflexní vesty: $L = 0,084139 \text{ cd.m}^{-2}$

cyklista s reflexní vestou: $L = 0,777674 \text{ cd.m}^{-2}$

K přehlednému porovnání jsou na Obr. č. 66 a Obr. č. 67 znázorněny řezy jasovou mapou.



Obr. č. 66 – Křivka hodnot jasu; figurant bez reflexní vesty



Obr. č. 67 – Křivka hodnot jasů; figurant s reflexní vestou

V opačném směru bylo dosaženo podobných výsledků.



Obr. č. 68 – Ulice Za Mlýnem; figurant bez reflexní vesty na chodníku v opačném směru (pro účely tisku byl snímek o 20% zjasněn)



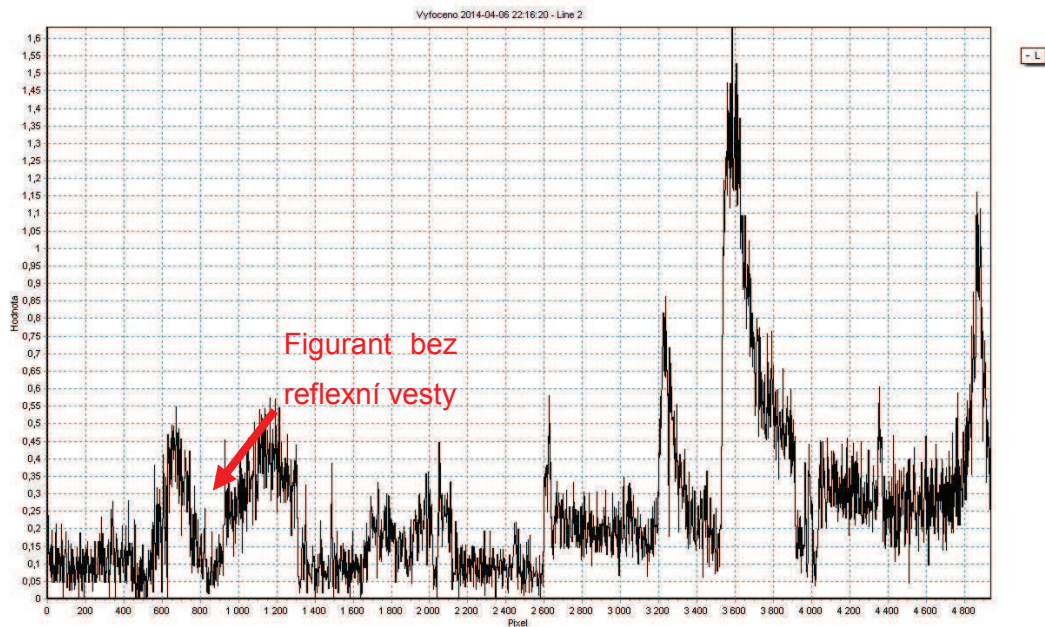
Obr. č. 69 – Ulice Za Mlýnem; figurant s reflexní vestou na chodníku v opačném směru (pro účely tisku byl snímek o 20% zjasněn)

Hodnoty jasu:

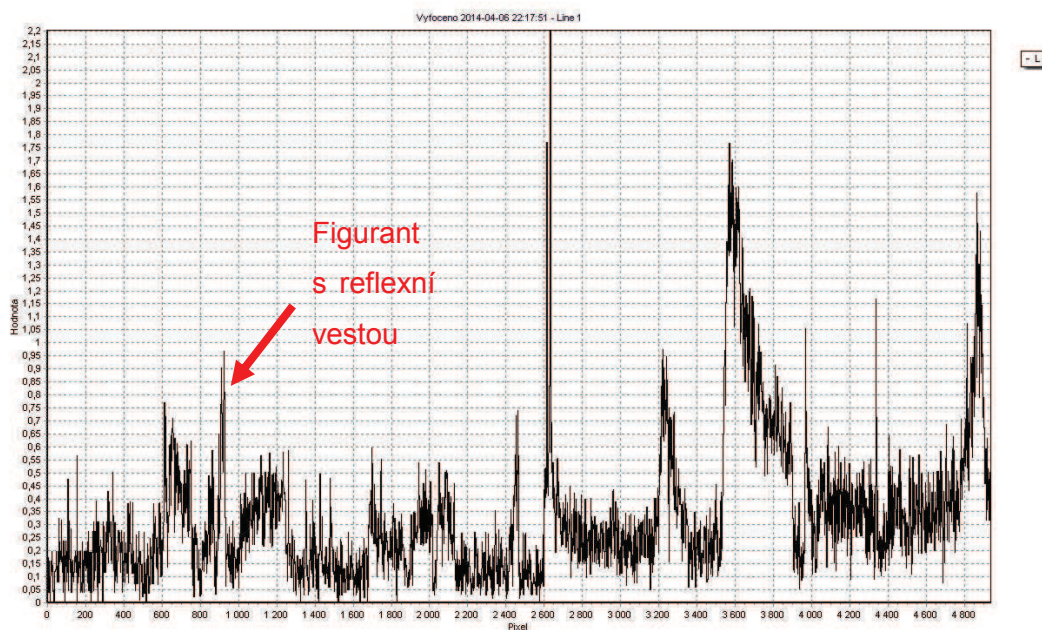
cyklista bez reflexní vesty: $L = 0,096172 \text{ cd.m}^{-2}$

cyklista s reflexní vestou: $L = 0,438295 \text{ cd.m}^{-2}$

V řezech snímkem s hodnotami jasů je patrná pozice figuranta.



Obr. č. 70 – Křivka hodnot jasů; figurant bez reflexní vesty – opačný směr



Obr. č. 71 – Křivka hodnot jasů; figurant s reflexní vestou – opačný směr

3.4. Shrnutí měření

Z uvedených výsledků je patrné, že cyklista oblečený v reflexní vestě je vždy jasnější oproti cyklistovi bez reflexních prvků a tudíž lépe viditelný a rozeznatelný pro své okolí. Odečtením z jasových řezů se hodnoty jasu při použití reflexní vesty zvýšily čtyřikrát až osmkrát oproti cyklistovi v tmavém oblečení. Výsledky jasů na figurantovi byly měřeny průměrnou hodnotou z detektoru ve tvaru elipsy o rozměrech hlavní osy 20 px a vedlejší osy 40 px. To po přepočtu ve skutečnosti odpovídá rozměrům 6,5 cm na hlavní ose a 13 cm na vedlejší ose elipsy. Proto se nejedná pouze o lokální maxima jako při použití bodového detektoru, ale o hodnotu z rozsáhlejší části na hrudi figuranta. V případě vyhodnocení tímto způsobem se hodnoty jasu lišily i více než desetkrát.

Ze snímků s jasovou mapou je také vidět, že při bočních pohledech na cyklistu není rozeznatelné osvětlení dle povinné výbavy. To je rozpoznatelné teprve u pohledu na figuranta v lokalitě Pobřežní cesta, kde byl cyklista měřen ze zadního pohledu. Odrazky ve výpletu kola přispívají k boční viditelnosti cyklisty, ovšem

v daných nízkých intenzitách osvětlení by bez přisvětlení od světlometů automobilu ani ony nebyly dobře viditelné. Výrobci některých svítidel na jízdní kola, například firmy Force nebo Sigma, již mají i světelné zdroje na boku čelní svítilny. Takovýto typ světla by jistě opět zlepšil viditelnost cyklisty pro okolí při bočním pohledu. Ve vyhlášce ovšem není stanovený přesný typ svítidla, a proto je možné používat i taková, která dostatečně cyklistu neosvětlují, ale slouží pouze ke splnění požadavků na povinnou výbavu.

Nesmíme opomenout umístění přejezdů pro cyklisty a přechodů, neboť to hraje také velkou roli ve viditelnosti. Z křivek svítivosti zde uvedených zdrojů je patrné, že nejlepšího osvětlení je dosaženo přímo před lampou. To potvrzuje i porovnání výsledků hodnot z měření luxmetrem, kdy v ulici Na Mlejнку, kde je umístěn přechod těsně vedle svítidla, bylo dosaženo nejvyšších hodnot a to i přesto, že světelný zdroj dosahoval podle křivek svítivosti nižší svítivosti než například v lokalitě Vrbova. Toto tvrzení není zcela potvrzeno i výčtem hodnot z jasového analyzátoru LumiDISP, neboť v ulici Na Mlejнку došlo k značnému ovlivnění výsledků zakrytím reflexní vesty tmavým rukávem. I přesto je ale dosaženo podobných hodnot jako na přejezdu pro cyklisty v ulici Vrbova, který je umístěn uprostřed mezi svítilny.

Toto důležité zjištění při měření nás dovádí k dalšímu zlepšení viditelnosti cyklistů za snížené viditelnosti. Těmi by mohly být další reflexní prvky připevněné na rukávech a i kalhotách cyklisty, případně použití bundy s reflexními prvky. Ty by sloužily v případě zakrytí dále jako odrazové plochy a viditelnost cyklisty by nebyla o tolik snížena.

Zbývá vyhodnocení z jednotlivých měřených pozic figuranta jsou uvedena v příloze této práce.

Závěr

Tato diplomová práce se zaměřila na viditelnost překážek za snížené viditelnosti. Přesněji jsem se zaměřil na viditelnost cyklistů v noci při veřejném osvětlení.

V první kapitole bylo rozebráno lidské oko jako orgán zraku. Popsal jsem jednotlivé části oka, jeho schopnost přizpůsobit se světelným podnětům, ale také jeho vady a mezní stavy. Zde se ukázalo, že oko je složitý orgán a nejlépe se fixuje na předměty s vyšším jasem. Pro ostrost a rozpoznatelnost je zase vhodný vysoký kontrast pozorovaného předmětu vůči okolí.

Ve druhé kapitole jsem se zaměřil již na světlo samotné. Uvedl jsem základní světelně-technické veličiny a pojmy, jejich výpočty a význam ve světelné technice. Podrobněji jsem rozepsal i umělé osvětlení, kam patří osvětlení veřejných prostor. Z poznatků je zřejmé, že pro dobré osvětlení prostoru je důležité správné nastavení svítidla, vhodně použitý světelný zdroj a světelná optika.

V závěrečné kapitole věnované měření viditelnosti cyklisty za snížené viditelnosti jsem specifikoval potřebné pomůcky k měření, vybrané lokality a povinnou výbavu cyklisty. Následně jsem se zaměřil na samotné vyhodnocování měření a to za pomoci jasového analyzátoru LumiDISP. Tento přístroj byl vyroben Vysokým učením technickým v Brně a je alternativou ke klasickým jasovým analyzátorům, kterých v České republice příliš není, a zvládá oproti nim i více funkcí. Přístroj byl zapůjčen na jedno zkušební měření a seznámení a následně podruhé k realizaci měření pro diplomovou práci. Zapůjčení bylo financováno z SGS13/157/OHK2/2T/16. Snímky pořízené digitálním fotoaparátem byly za jeho pomoci převedeny na jasové mapy a z nich byly přečteny hodnoty jasů.

Výsledky vyhodnocení dat prokázaly, že cyklista oblečený v reflexní vestě je mnohem jasnější než cyklista bez reflexních prvků. Spolu s poznatky o vnímání světla lidským okem a s vyšším kontrastem reflexní vesty vůči okolnímu prostředí v noci vychází, že takto vybavený cyklista je pro řidiče o poznání dříve viditelný a rozeznatelný. Výsledky měření byly potvrzeny u čtyř různých typů svítidel s odlišnými parametry na čtyřech lokalitách.

V březnu tohoto roku oznámili Ministerstvo dopravy spolu s oddělením BESIP přípravu novely zákona, kde je uvedena povinnost osob nosit za snížené viditelnosti reflexní prvky. Podle ohlasů ovšem není jisté, jestli novela bude opravdu zavedena. Na základě výsledků mé diplomové práce doporučuji alespoň zavést reflexní vestu spolu s jinými reflexními doplňky do povinné výbavy cyklisty za

snížené viditelnosti a doporučit reflexní prvky i jako výbavu pro jízdu za dne. To, že samotná reflexní vesta nestačí, dokazuje porovnání křivek jasů z provedených řezů, neboť část vesty byla většinou zakryta tmavým rukávem bez reflexních prvků. V případě, kdy vesta nebyla zakryta, jako tomu bylo při zadním pohledu na cyklistu v lokalitě Pobřežní cesta, byl cyklista mnohem lépe viditelný, což bylo ověřeno na jasovém řezu z této lokality. Reflexní doplňky, případně cyklistická bunda s reflexními doplňky, i na rukávech by tak rozšířily jas cyklisty v řezu na celou plochu jeho těla, což by znamenalo lepší viditelnost pro další účastníky provozu.

Domnívám se, že diplomová práce splnila své předpoklady a přinesla užitečná vyhodnocení, která by mohla být použita pro další účely. Představuje totiž ucelený pohled na problematiku viditelnosti překážky za snížené viditelnosti a poukazuje na některé nedostatky v rámci bezpečnosti účastníků silničního provozu.

Seznam použité literatury

- [1] Synek S, Skorkovská Š; Fyziologie oka a vidění, Grada Publishing a.s., Praha 2004
- [2] Silbernagl S, Despopoulos A; Atlas fyziologie člověka Grada Avicenum, Praha 1993
- [3] Sedlák J; Dohlednost na chodce při jízdě v noci, v závislosti na věku a rozvoji zrakových vad řidiče; Soudní inženýrství, 2012, roč. 23, č. 3, str. 216-225
- [4] Skokanský K, Novák T, Bálský M, Bláha Z, Carbol Z, Diviš D, Socha B, Šnobl J, Šumpich J, Závada P; Světelná technika, České vysoké učení technické v Praze, Praha 2011
- [5] Ševčík O; Jasové skenování svítidel a světelných zdrojů, diplomová práce; Brno 2013
- [6] MODUS, Veřejné osvětlení, Vzorová řešení veřejného osvětlení, Normy pro osvětlování komunikací [on-line]; Dostupné z WWW:
<www.modus.cz/cze/getfile.php?FileID=2391>
- [7] trpitele.blog.cz, Obecná charakteristika vnímání [on-line]; Dostupné z WWW:
<<http://trpitele.blog.cz/0811/obecna-charakterictika-vnimani>>
- [8] Svoboda M; Srovnání konvenčních a nových metod hodnocení jasů, diplomová práce; Brno 2012
- [9] Baxant P, Škoda J; Digitální fotografie a její využití ve světelné technice; Světlo, 2010, č.1, str. 47-49
- [10] Baxant P, Škoda J; Digitální fotografie a její využití ve světelné technice; Světlo, 2010, č.2, str. 2-4
- [11] Ministerstvo dopravy, Povinná výbava jízdního kola [on-line]; Dostupné z WWW:
<<http://www.ibesip.cz/cz/cyklista/bezpecne-jizdni-kolo/povinna-vybava-jizdniho-kola>>
- [12] Odborné časopisy; Základy světelné techniky [on-line]; Dostupné z WWW:
<<http://www.odbornecasopisy.cz/zaklady-svetelne-techniky-4-39195.html>>
- [13] ELTODO a.s.; Světlo SIDONIA Z1 [on-line]; Dostupné z WWW:
<http://www.eltodo.cz/produkty-a-sluzby/vyrobni-program/Svetlo_SIDONIA_Z1.pdf>
- [14] ELTODO a.s.; Světlo Mars [on-line]; Dostupné z WWW:
<http://www.eltodo.cz/produkty-a-sluzby/vyrobni-program/Svetlo_Mars.pdf>
- [15] ELTODO a.s.; Světlo MC12 a 2 [on-line]; Dostupné z WWW:
<http://www.eltodo.cz/produkty-a-sluzby/vyrobni-program/Svetlo_MC12a2.pdf>

- [16] ELTODO a.s.; Světlo Safír 1 a 2 [on-line]; Dostupné z WWW:
<http://www.eltodo.cz/produkty-a-sluzby/vyrobni-program/Svetlo_Safir1a2.pdf>
- [17] Archivní web – Gymnázium, Střední pedagogická škola Obchodní akademie a jazyková škola s právem státní jazykové zkoušky Znojmo, Biologie [on-line]; Dostupné z WWW:
<<http://ms.gsospg.cz:5050/bio/Images/Textbook/Big/0110000/00287.jpg>>
- [18] Archivní web – Gymnázium, Střední pedagogická škola Obchodní akademie a jazyková škola s právem státní jazykové zkoušky Znojmo, Biologie [on-line]; Dostupné z WWW:
<http://ms.gsospg.cz:5050/bio/Sources/Photogallery_Detail.php?intSource=1&intImageId=186>
- [19] trpitele.blog.cz, Obecná charakteristika vnímání [on-line]; Dostupné z WWW:
<http://nd01.jxs.cz/425/476/7222da61ea_36984474_o2.jpg>
- [20] max-optik.eu, Druhy očních vad [on-line]; Dostupné z WWW:
<<http://www.max-optik.eu/media/wysiwyg/vady.png>>
- [21] Herůfková Š; Adaptace, její měření, vliv patologie na kvalitu života jedince, bakalářská práce; Brno 2012
- [22] Hanulíková G; Historie a metodika měření zrakové ostrosti pomocí optotypů, bakalářská práce, Masarykova univerzita, Brno 2011
- [23] psych.nyu.edu, Pelli-Robson Contrast Sensitivity Chart [on-line]; Dostupné z WWW: <<http://www.psych.nyu.edu/pelli/pellirobson/chart.html>>
- [24] Kondziolka, J; Světelné znečištění [on-line]; Dostupné z WWW:
<<http://www.vybojky-zarovky.cz/01/nolamp01.png>>
- [25] electrical-engineering-portal.com, Luminous Measurement Graphic Representation [on-line]; Dostupné z WWW: <<http://electrical-engineering-portal.com/wp-content/uploads/fig-1-incandescent-lamp-photometric-solid.gif>>
- [26] electrical-engineering-portal.com, Luminous Measurement Graphic Representation [on-line]; Dostupné z WWW: <<http://electrical-engineering-portal.com/wp-content/uploads/fig-6-isocandela-curves.jpg>>
- [27] Pihan, R; Veličiny pro měření světla [on-line]; Dostupné z WWW:
<http://www.fotoroman.cz/techniques3/light/rom_svetlo_1p_04.gif>
- [28] wikipedia.org, Prostorový úhel [on-line]; Dostupný z WWW:
<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3e/Solid_Angle.png>
- [29] sinclair-lighting.cz, Svítidlo ST 120AS [on-line]; Dostupné z WWW:
<http://www.sinclair-lighting.cz/cs/produkty/poulicni-osvetleni-led/st-120as/_mod/photo/94/st-120as-svitivost.gif>
- [30] seznam.cz, Mapy [on-line]; Dostupné z WWW: <www.mapy.cz>

Seznam obrázků

Obr. č. 1 – Oční koule	11
Obr. č. 2 – Přídavné oční orgány	12
Obr. č. 3 – Akomodace oka na dálku a na blízko	14
Obr. č. 4 – Vady oka a jejich korekce	15
Obr. č. 5 – Adaptační křivka na tmou	16
Obr. č. 6 – Snellův optotyp	18
Obr. č. 7 – Pelliův-Robsonův test	19
Obr. č. 8 – Průběh spektrální citlivosti zraku	23
Obr. č. 9 – Křivka svítivosti	26
Obr. č. 10 – Izokandelový diagram zdroje v sinusoidálním zobrazení	26
Obr. č. 11 – Osvětlenost	27
Obr. č. 12 – Definice osvětlenosti bodového zdroje	28
Obr. č. 13 – Definice jasu	29
Obr. č. 14 – Svazky rozbíhajících a sbíhajících paprsků	30
Obr. č. 15 – Vymezení prostorového úhlu	32
Obr. č. 16 – Určení prostorového úhlu elementu plochy	33
Obr. č. 17 – Dělení svítidla dle použití a určení	35
Obr. č. 18 – Dělení svítidel dle typu montáže	35
Obr. č. 19 – Piktogramy rozložení světelného toku	36
Obr. č. 20 – Křivka svítivosti	37
Obr. č. 21 – Fotometrická soustava rovin	38
Obr. č. 22 – Povinná výbava kola	46
Obr. č. 23 – Horské kolo od výrobce Kellys.....	47
Obr. č. 24 – Silniční kolo Favorit	47
Obr. č. 25 – Balení jasového analyzátoru LumiDISP.....	49
Obr. č. 26 – Uživatelské prostředí programu LumiDISP	51
Obr. č. 27 – Luxmetr použitý při měření	53
Obr. č. 28 – Přehledná situace měřených lokalit	54
Obr. č. 29 – Přehledná situace měřeného přejezdu v ulici Vrbova	55
Obr. č. 30 – Křivka svítivosti svítidla MC2	56
Obr. č. 31 – Hodnoty svítivosti v ulici Vrbova [lx].....	57
Obr. č. 32 – Hodnoty svítivosti v ulici Vrbova z opačného směru [lx]	57
Obr. č. 33 – Přehledná situace ulice Na Mlejнку	58
Obr. č. 34 – Křivka svítivosti svítidla Mars.....	59
Obr. č. 35 – Hodnoty svítivosti v ulici Na Mlejнку [lx]	60

Obr. č. 36 – Hodnoty svítivosti v ulici Na Mlejнку z opačného směru [Ix]	60
Obr. č. 37 – Křivka svítivosti svítidla Z1 Sidonia.....	61
Obr. č. 38 – Hodnoty svítivosti na cyklostezce	62
Obr. č. 39 – Hodnoty svítivosti na cyklostezce z druhého směru.....	62
Obr. č. 40 – Křivka svítivosti svítidla Safír 1	63
Obr. č. 41 – Vlevo svítidlo Sidonia Z1, vpravo svítidlo Safír 1	64
Obr. č. 42 – Hodnoty svítivosti v ulici Za Mlýnem ve směru od ulice Vrbova	64
Obr. č. 43 – Hodnoty svítivosti v ulici Za Mlýnem směrem k ulici Vrbova	65
Obr. č. 44 – Ul. Vrbova; figurant bez reflex. vesty ve vzdálenějším jízdním pruhu	66
Obr. č. 45 – Ul. Vrbova; figurant s reflex. vestou ve vzdálenějším jízdním pruhu	67
Obr. č. 46 – Křivka hodnot jasů ulice Vrbova; figurant bez reflexní vesty	68
Obr. č. 47 – Křivka hodnot jasů ulice Vrbova; figurant s reflexní vestou	68
Obr. č. 48 – Ulice Vrbova; figurant bez reflexní vesty v pravém jízdním pruhu	69
Obr. č. 49 – Ulice Vrbova; figurant s reflexní vestou v pravém jízdním pruhu	69
Obr. č. 50 – Křivka hodnot jasů; figurant bez reflexní vesty - opačný směr	70
Obr. č. 51 – Křivka hodnot jasů; figurant s reflexní vestou – opačný směr	70
Obr. č. 52 – Ulice Na Mlejнку; figurant bez reflexní vesty na levém chodníku	71
Obr. č. 53 – Ulice Na Mlejнку; figurant s reflexní vestou na levém chodníku	72
Obr. č. 54 – Křivka hodnot jasů; figurant bez reflexní vesty.....	72
Obr. č. 55 – Křivka hodnot jasů; figurant s reflexní vestou	73
Obr. č. 56 – Ulice Na Mlejнку; figurant bez reflexní vesty v levém jízdním pásmu	73
Obr. č. 57 – Ulice Na Mlejнку; figurant s reflexní vestou v levém jízdním pásmu	74
Obr. č. 58 – Křivka hodnot jasů; figurant bez reflexní vesty – opačný směr.....	75
Obr. č. 59 – Křivka hodnot jasů; figurant s reflexní vestou – opačný směr	75
Obr. č. 60 – Cyklostezka Pobřežní cesta; figurant bez reflexní vesty	76
Obr. č. 61 – Cyklostezka Pobřežní cesta; figurant s reflexní vestou	76
Obr. č. 62 – Křivka hodnot jasů; figurant bez reflexní vesty.....	77
Obr. č. 63 – Křivka hodnot jasů; figurant s reflexní vestou	77
Obr. č. 64 – Ulice Za Mlýnem; figurant bez reflexní vesty na chodníku	78
Obr. č. 65 – Ulice Za Mlýnem; figurant s reflexní vestou na chodníku	79
Obr. č. 66 – Křivka hodnot jasů; figurant bez reflexní vesty.....	79
Obr. č. 67 – Křivka hodnot jasů; figurant s reflexní vestou	80
Obr. č. 68 – Ul. Za Mlýnem; figurant bez reflex. vesty na chod. v opač. směru	80
Obr. č. 69 – Ul. Za Mlýnem; figurant s reflex. vestou na chod. v opač. směru	81
Obr. č. 70 – Křivka hodnot jasů; figurant bez reflexní vesty – opačný směr.....	81
Obr. č. 71 – Křivka hodnot jasů; figurant s reflexní vestou – opačný směr	82

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Rozložení spektrálních barev k jednotlivým vlnovým délkám.....**Chyba!**
Záložka není definována.

Tabulka 2 – Rozdělení svítidel dle světelného toku**Chyba!** **Záložka** **není**
definována.

Tabulka 3 – Rozdělení svítidel podle tvaru křivky svítivosti**Chyba!** **Záložka** **není**
definována.

Tabulka 4 – Ukázka parametrů třídy osvětlení ME**Chyba!** **Záložka** **není**
definována.

Tabulka 5 – Technické parametry digitální zrcadlovky Nikon D7000**Chyba!** **Záložka**
není definována.

Tabulka 6 – Tech. parametry objektivu AF-S DX NIKKOR 18-105 **Chyba!** **Záložka**
není definována.

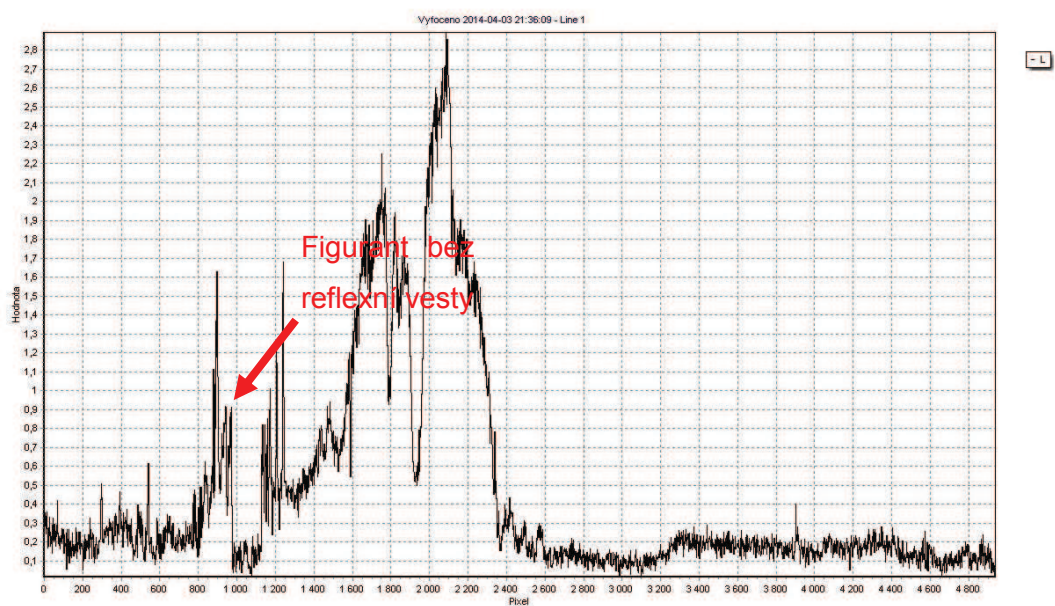
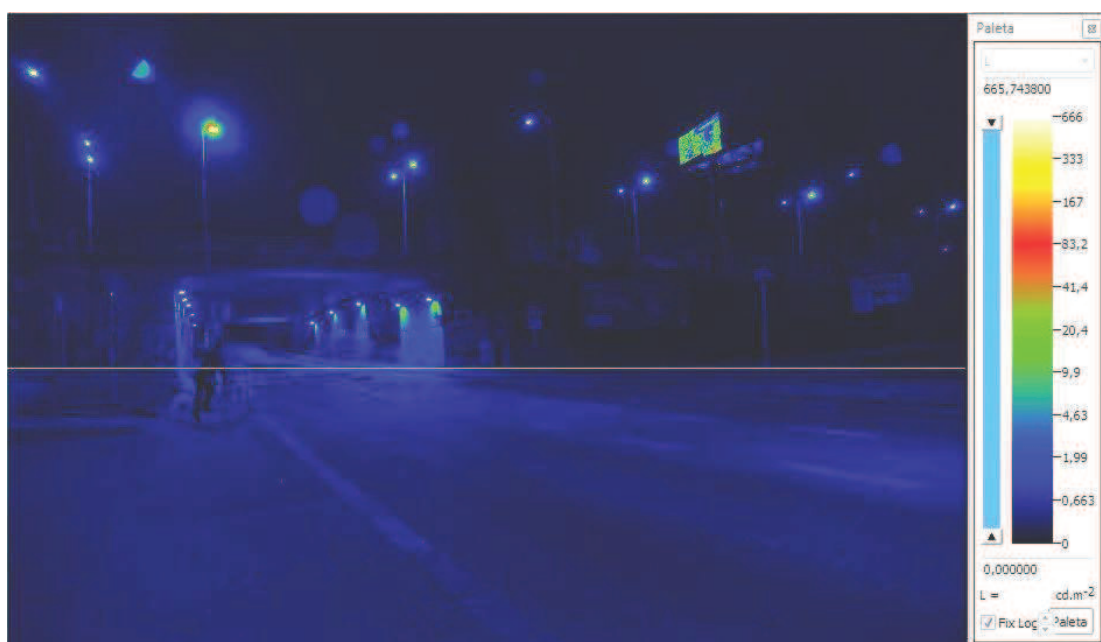
Seznam příloh

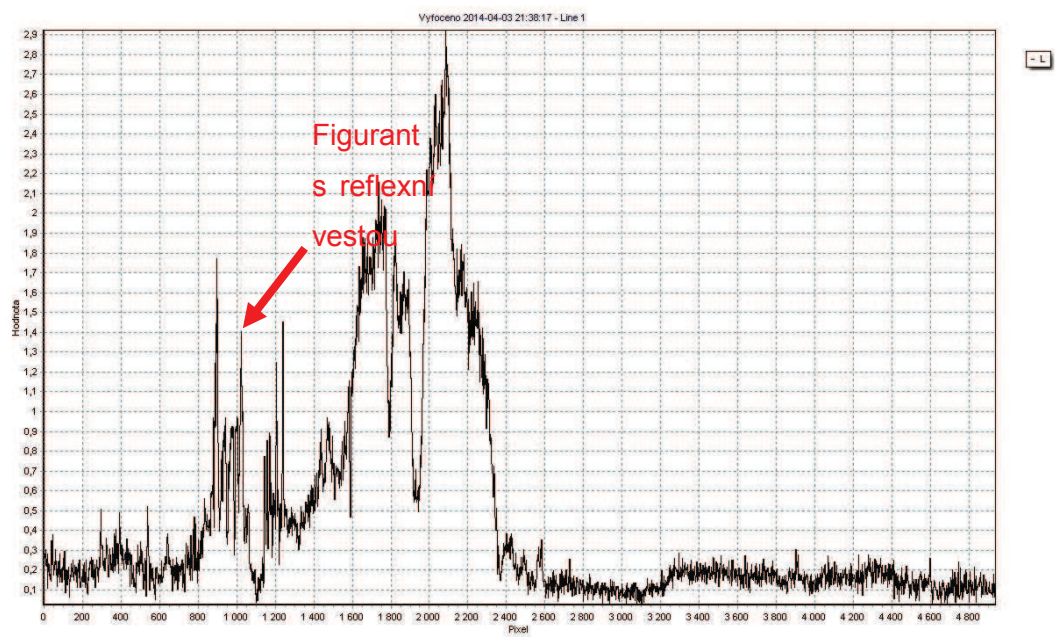
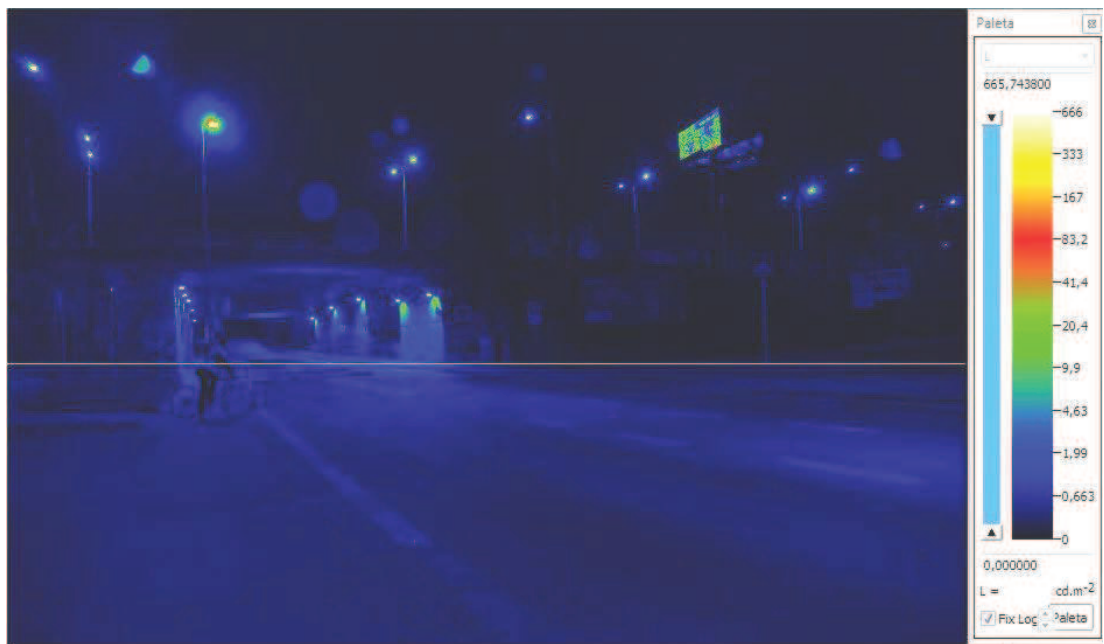
Příloha 1 – Naměřené hodnoty jasů na figurantovi – ulice Vrbova	92
Příloha 2 – Ulice Vrbova – jasové mapy dalších pozic spolu s jasovými řezy	92
Příloha 3 – Naměřené hodnoty jasů na figurantovi – ulice Vrbova opačný směr	99
Příloha 4 – Ul Vrbova opač směr – jasové mapy dalších pozic a jasové řezy	100
Příloha 5 – Naměřené hodnoty jasů na figurantovi – ulice Na Mlejnkú.....	107
Příloha 6 – Ulice Na Mlejnkú – jasové mapy dalších pozic spolu s jasovými řezy .	108
Příloha 7 – Naměřené hodnoty jasů na figurantovi – ul Na Mlejnkú opačný směr .	113
Příloha 8 – Ul Na Mlejnkú opač směr – jasové mapy dalších pozic a jasové řezy .	114
Příloha 9 – Naměřené hodnoty jasů na figurantovi – ulice Za Mlýnem	119
Příloha 10 – Ul Za Mlýnem – jasové mapy dalších pozic spolu s jasovými řezy	120
Příloha 11 – Naměřené hodnoty jasů na figurantovi – ul Za Mlýnem opač směr ...	121
Příloha 12 – Ul Za Mlýnem opač směr–jasové mapy dalších pozic, jasové řezy ...	122

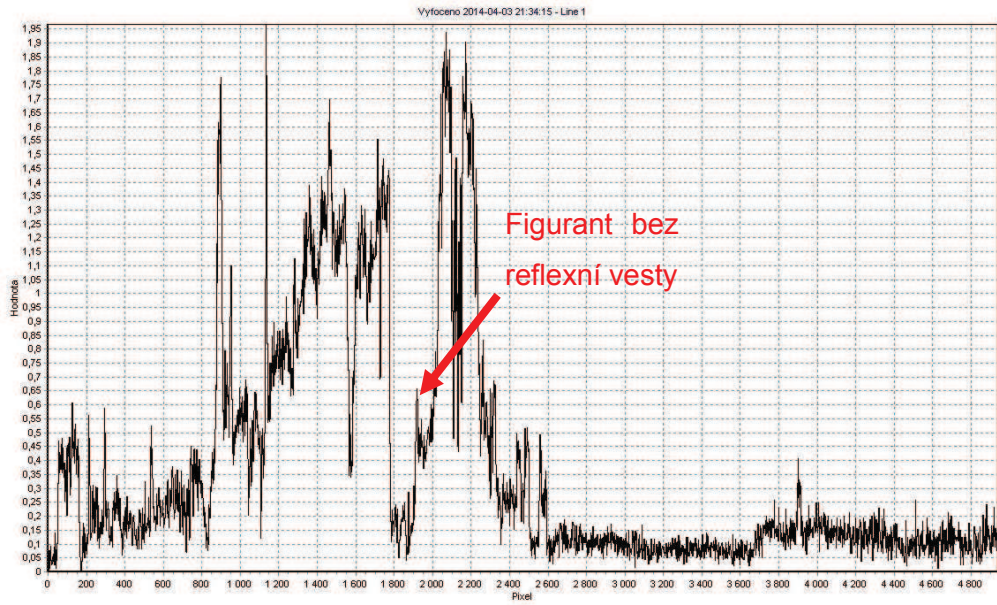
Příloha 1 – Naměřené hodnoty jasů na figurantovi – ulice Vrbova

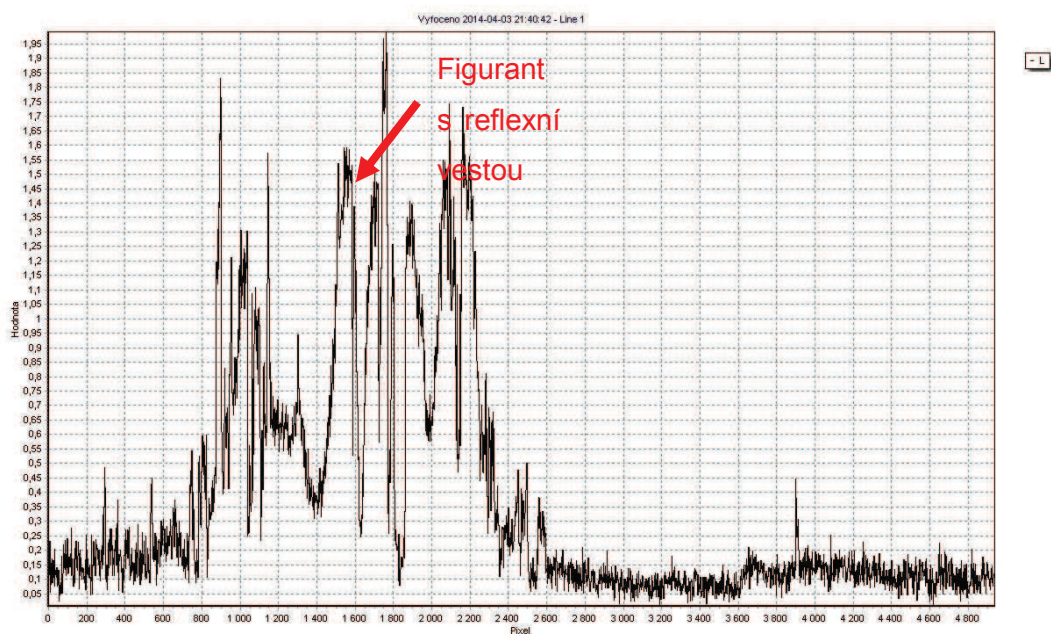
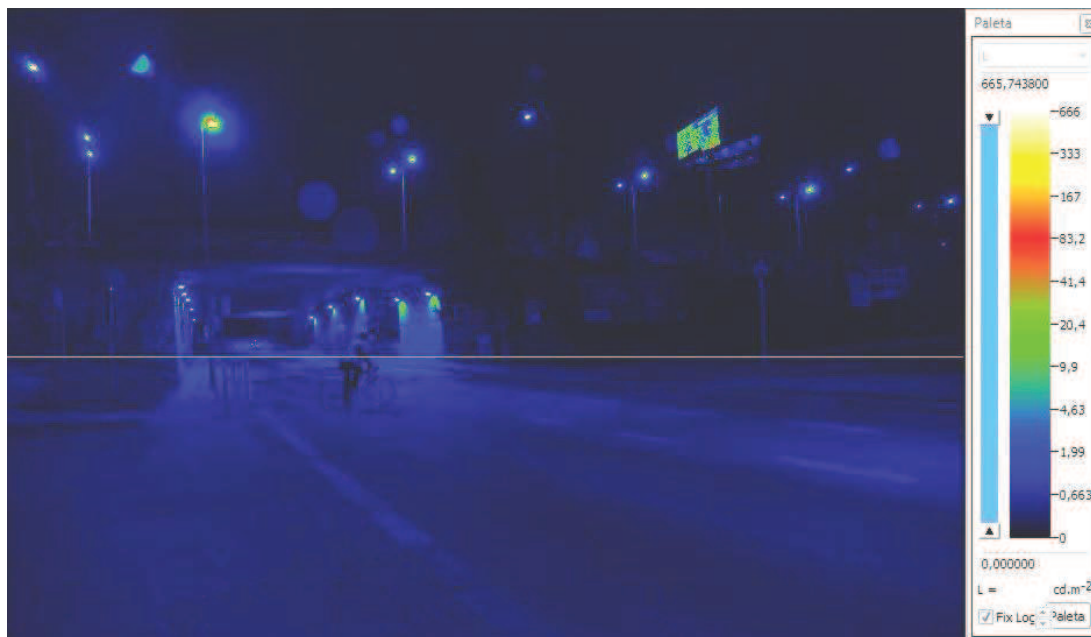
ULICE VRBOVA - pohled k mostu		
Pozice figuranta	Hodnota jasu L [$\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$]	
	<i>bez reflexní vesty</i>	<i>s reflexní vestou</i>
chodník vlevo	0,120577	0,679997
levý jízdní pruh	0,146637	0,937236
střední dělicí ostrůvek	0,157407	1,067921
pravý jízdní pruh	0,086531	0,772546
chodník vpravo	0,063422	0,44406

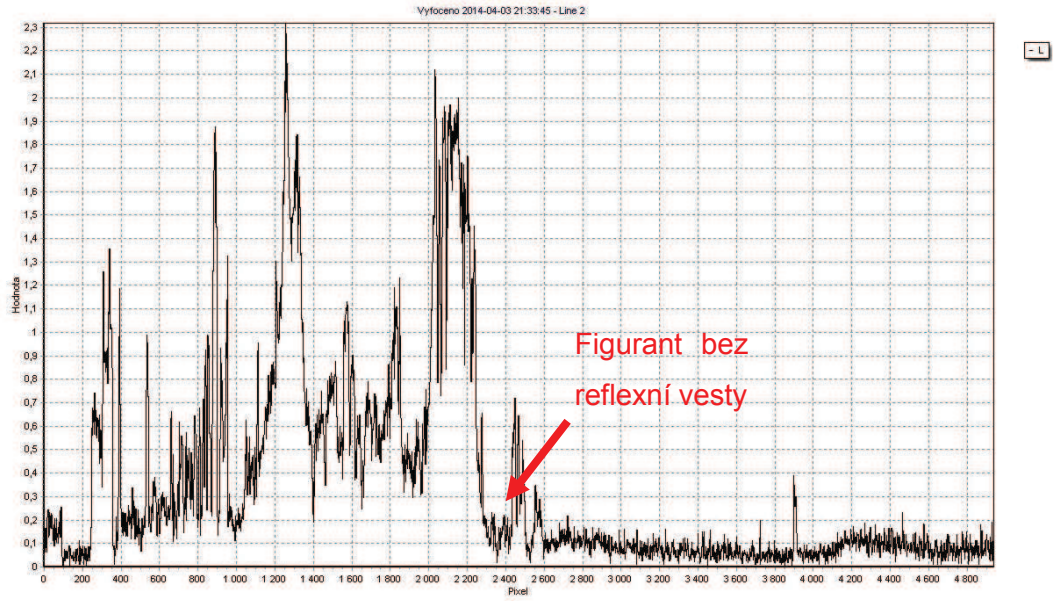
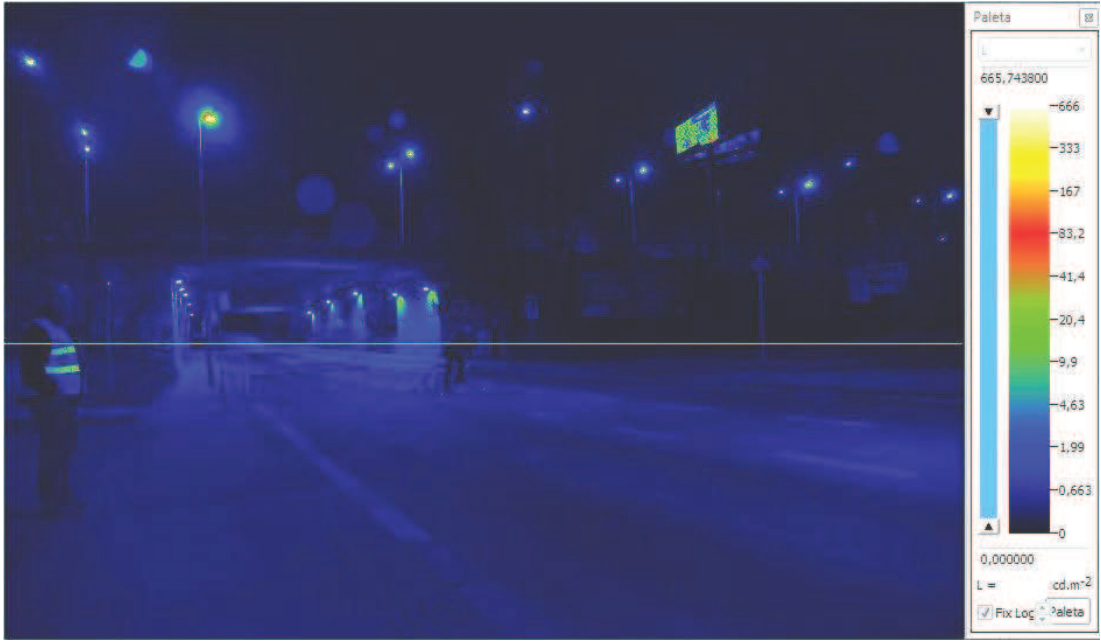
Příloha 2 – Ulice Vrbova – jasové mapy dalších pozic spolu s jasovými řezy

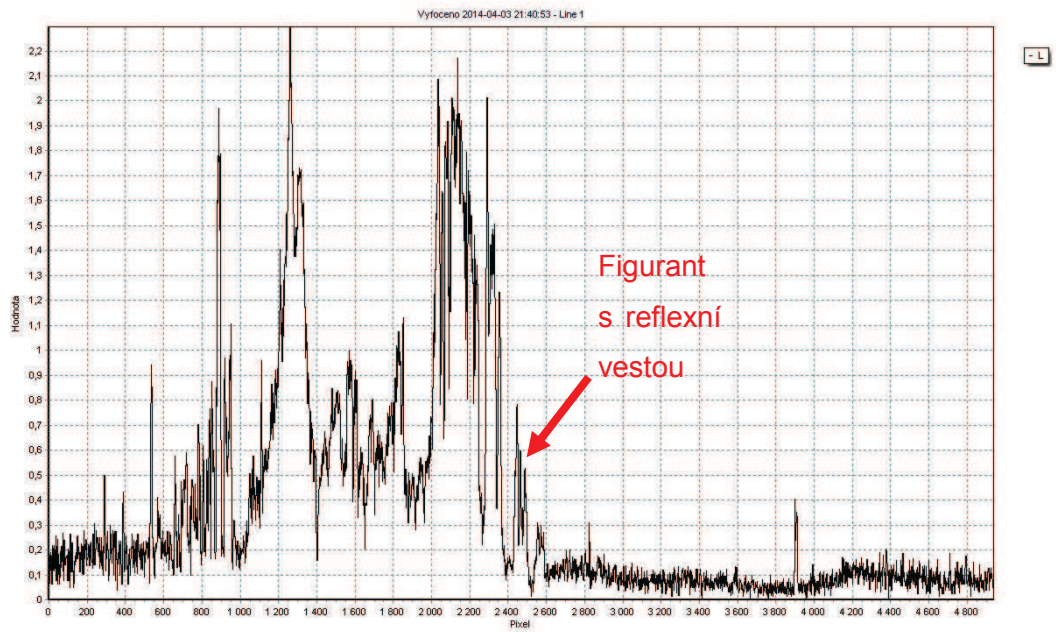


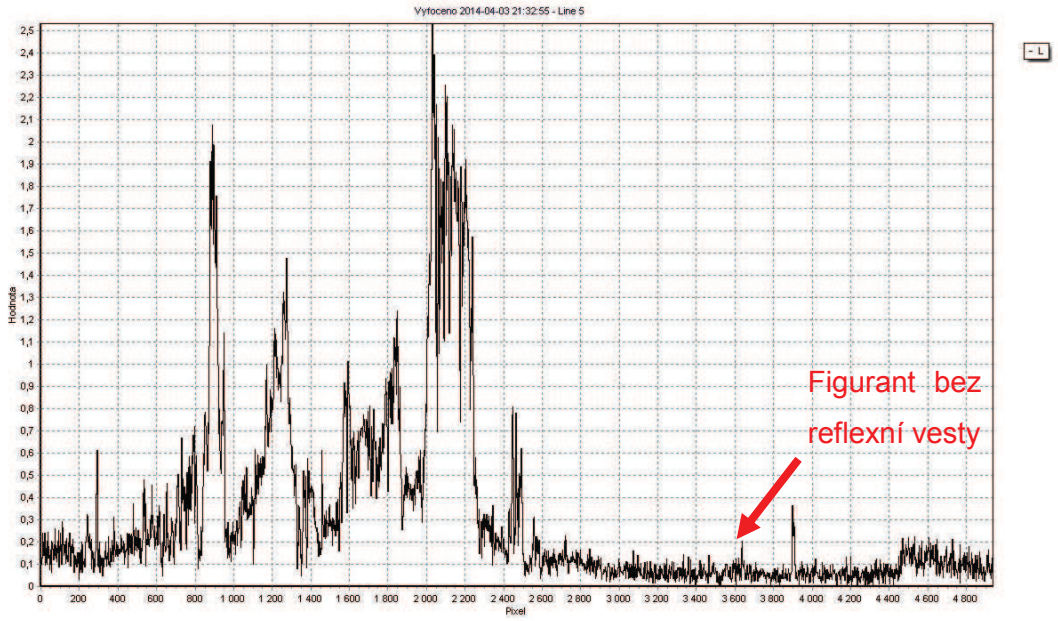
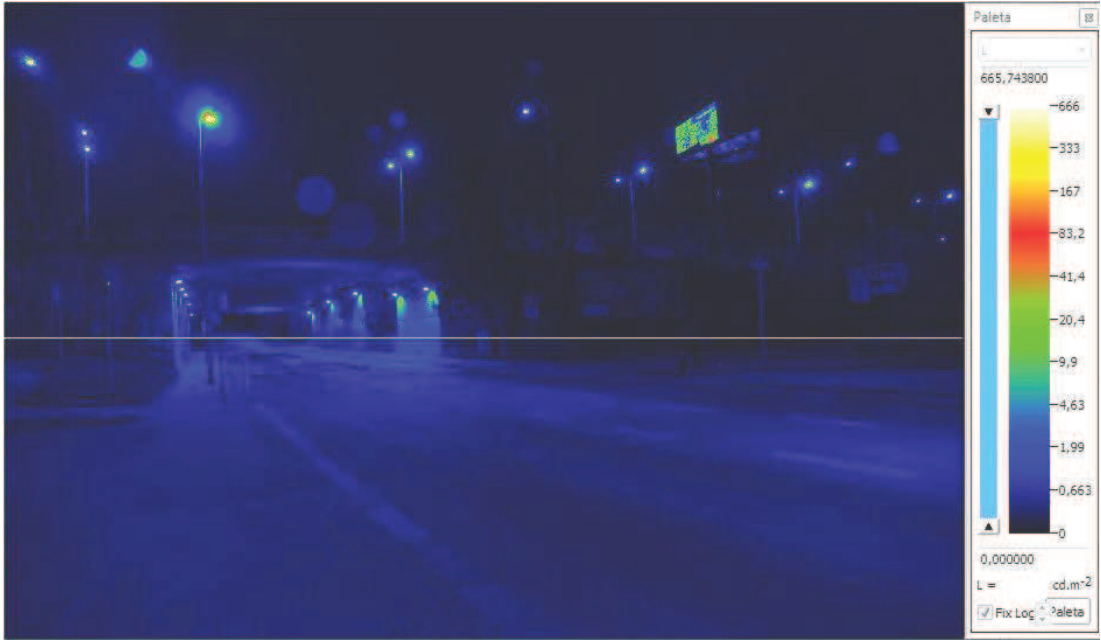


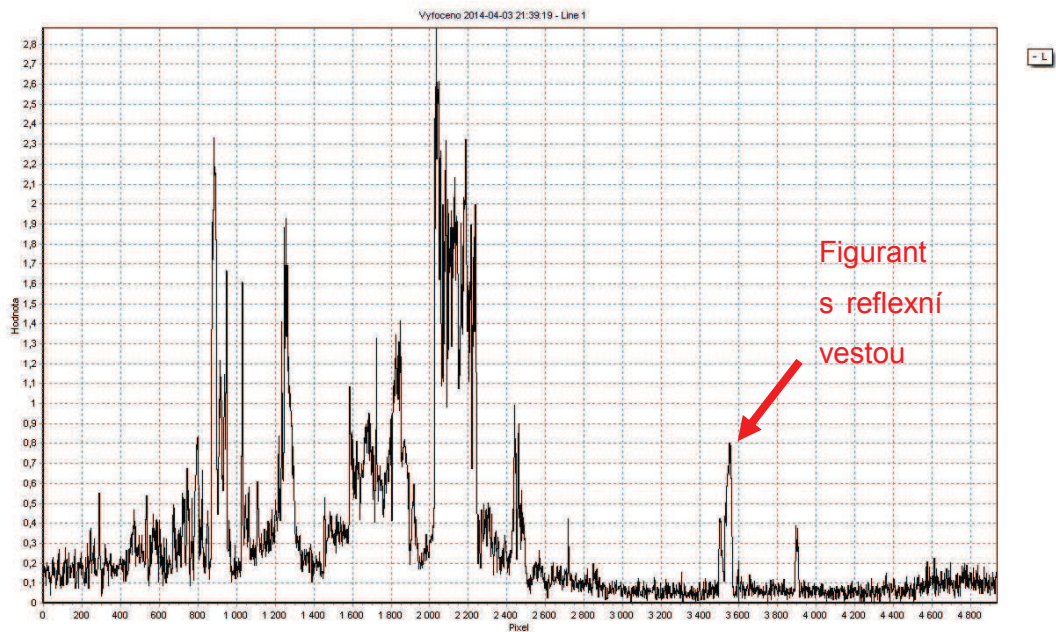
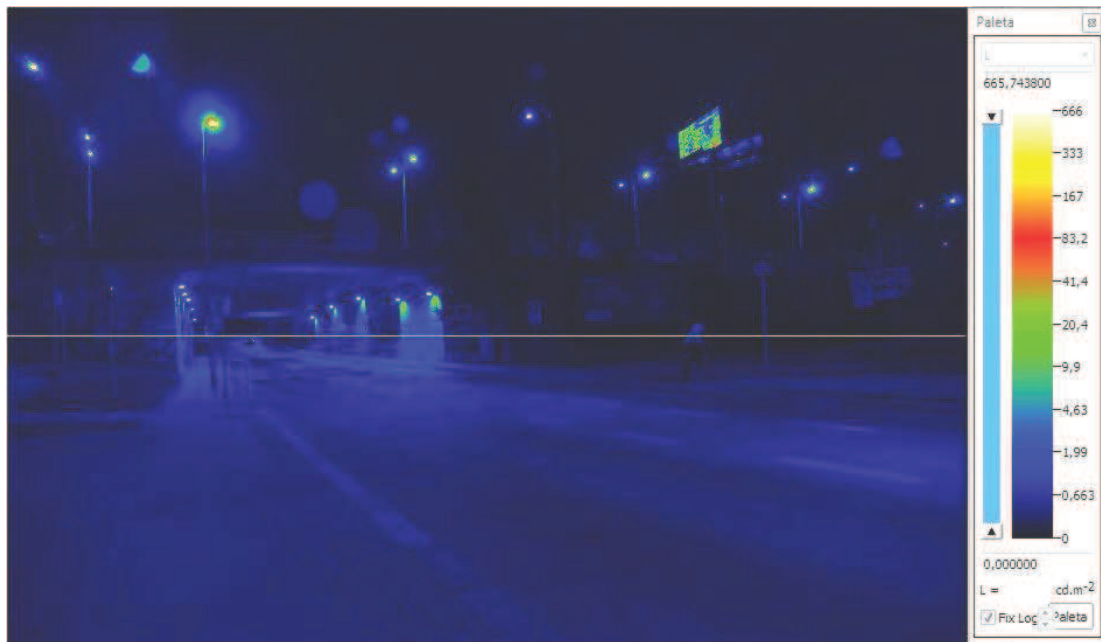








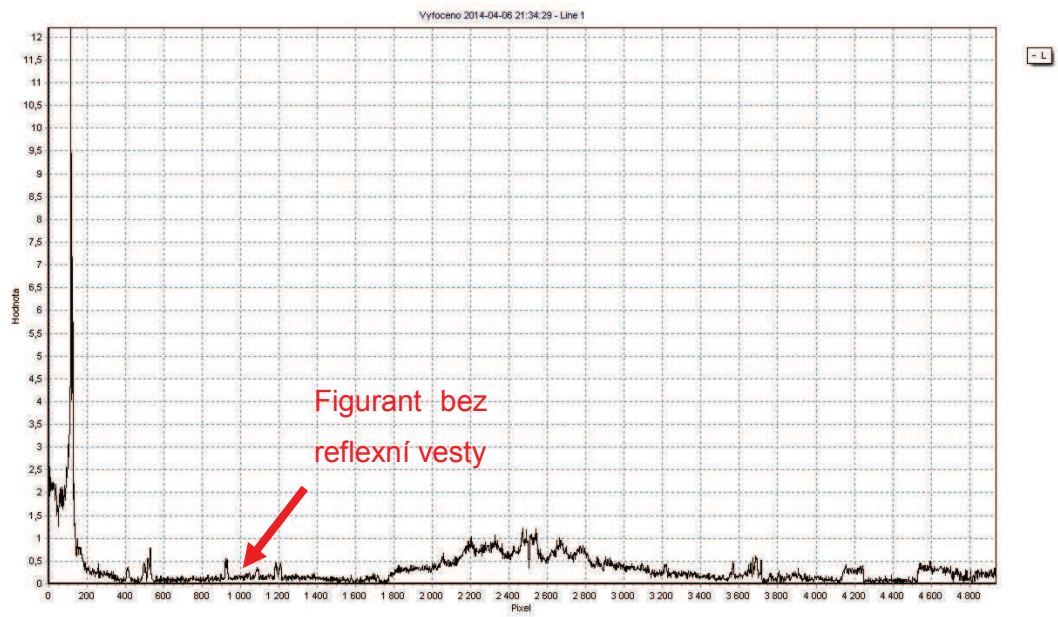


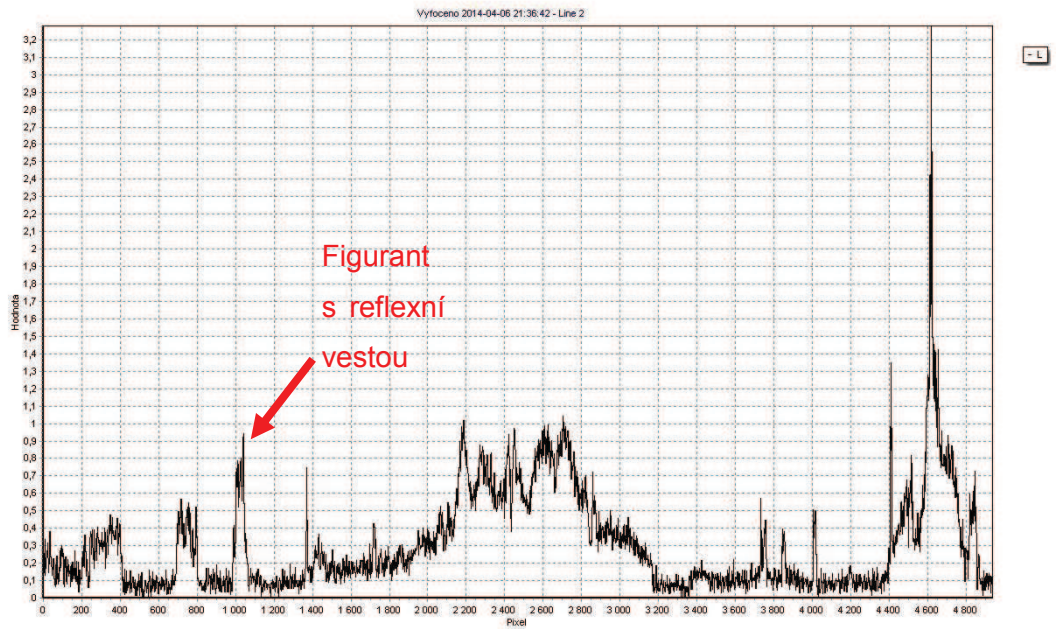


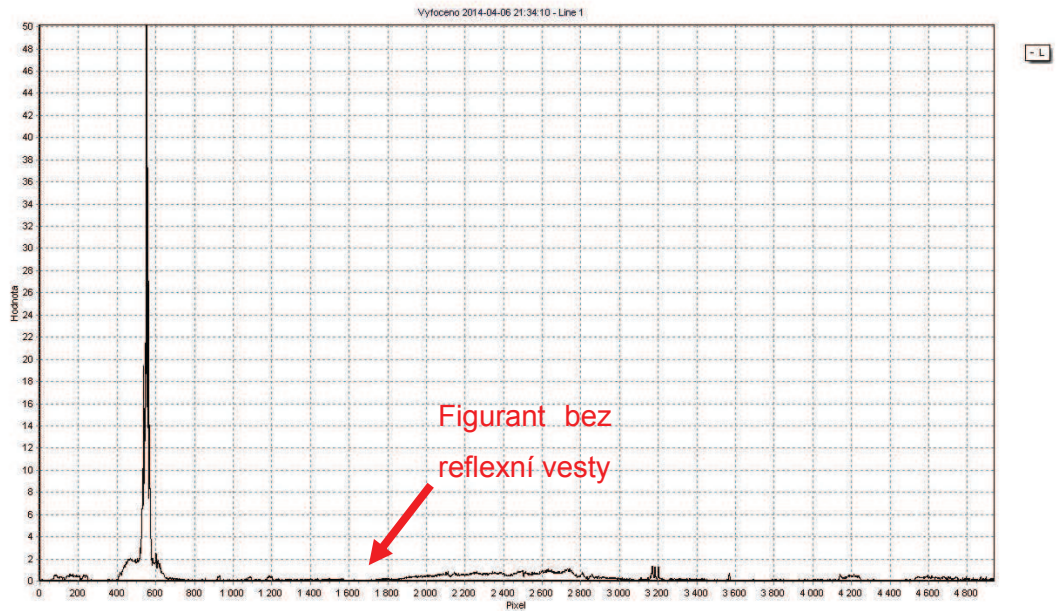
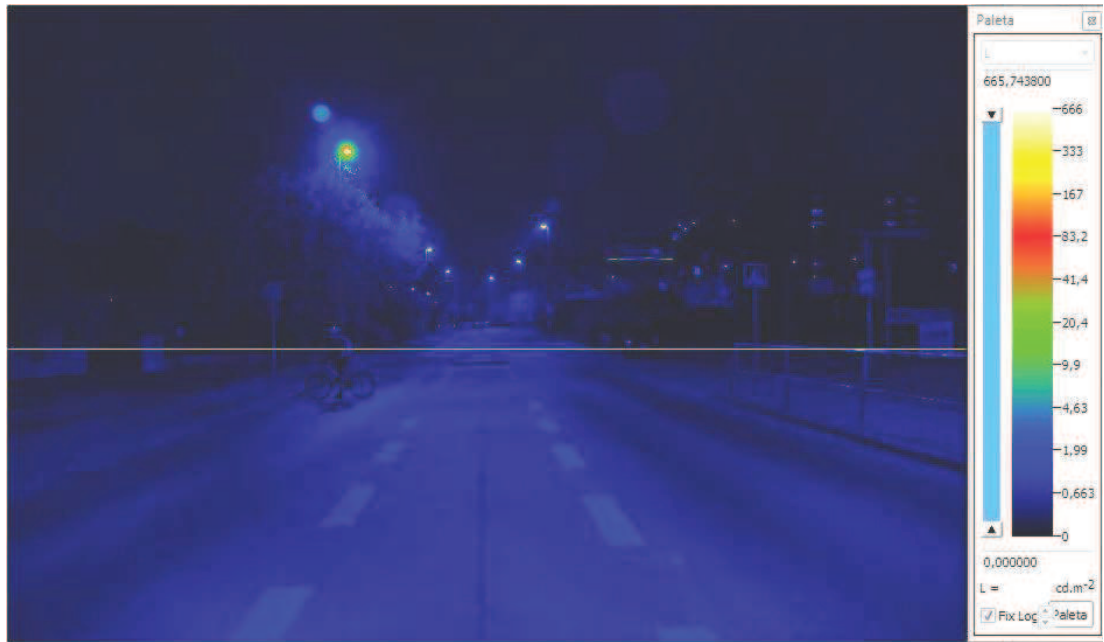
Příloha 3 – Naměřené hodnoty jasu na figurantovi – ulice Vrbova opačný směr

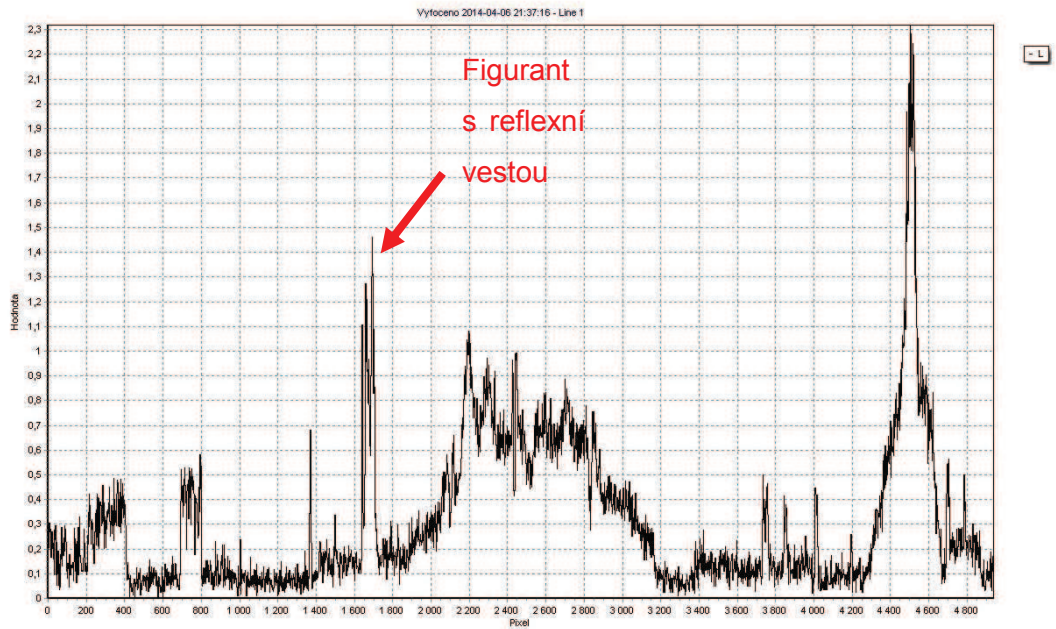
ULICE VRBOVA - pohled od mostu		
Pozice figuranta	Hodnota jasu L [cd.m^{-2}]	
	<i>bez reflexní vesty</i>	<i>s reflexní vestou</i>
chodník vlevo	0,153153	0,648545
levý jízdní pruh	0,261233	0,954873
střední dělicí ostrůvek	0,325491	1,610105
pravý jízdní pruh	0,187338	1,190148
chodník vpravo	0,081988	1,198571

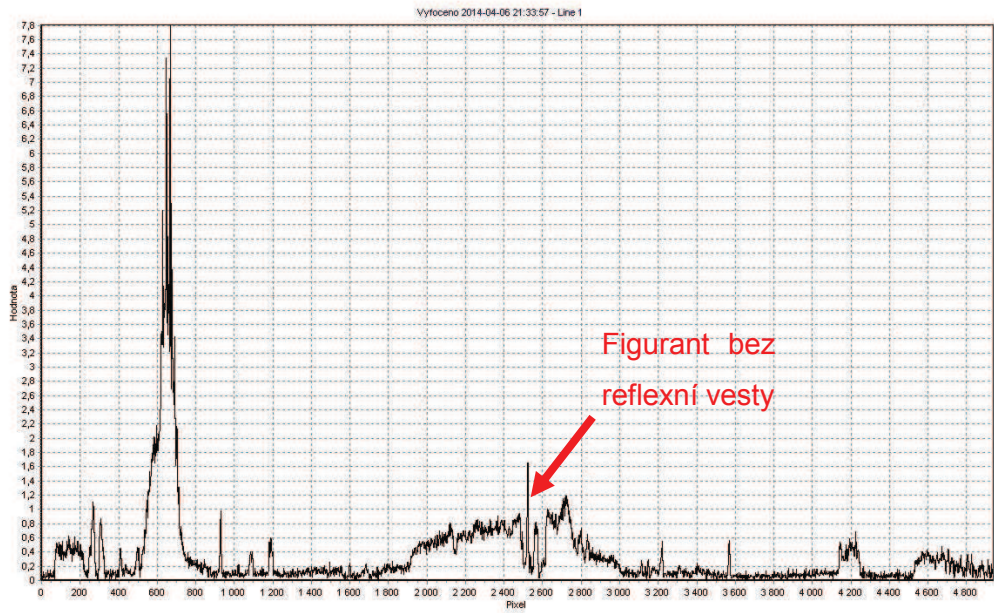
Příloha 4 – Ulice Vrbova opačný směr – jasové mapy dalších pozic spolu s jasovými řezy

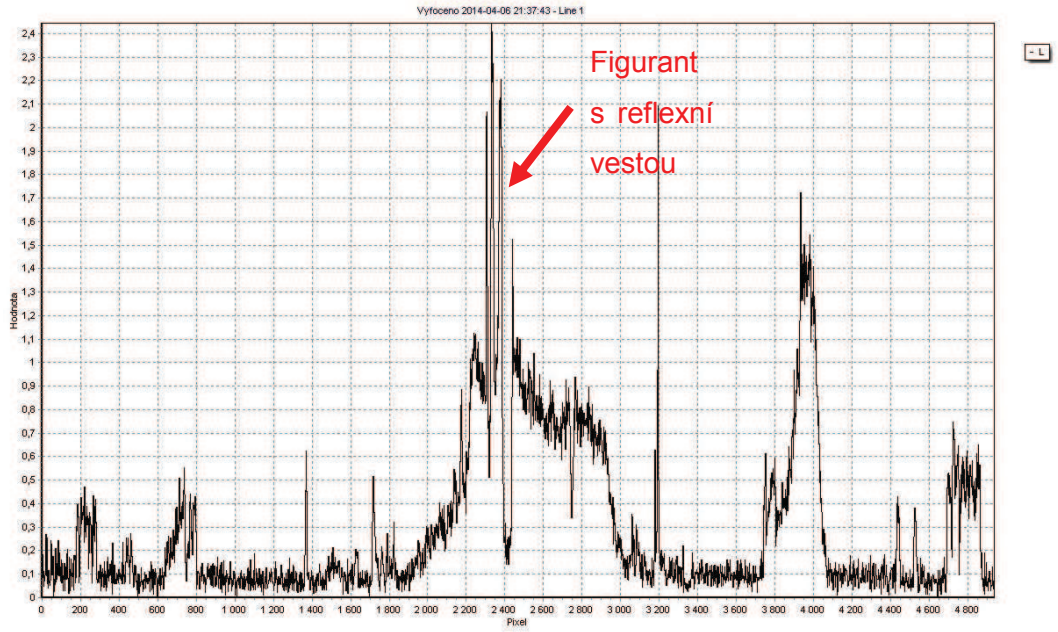
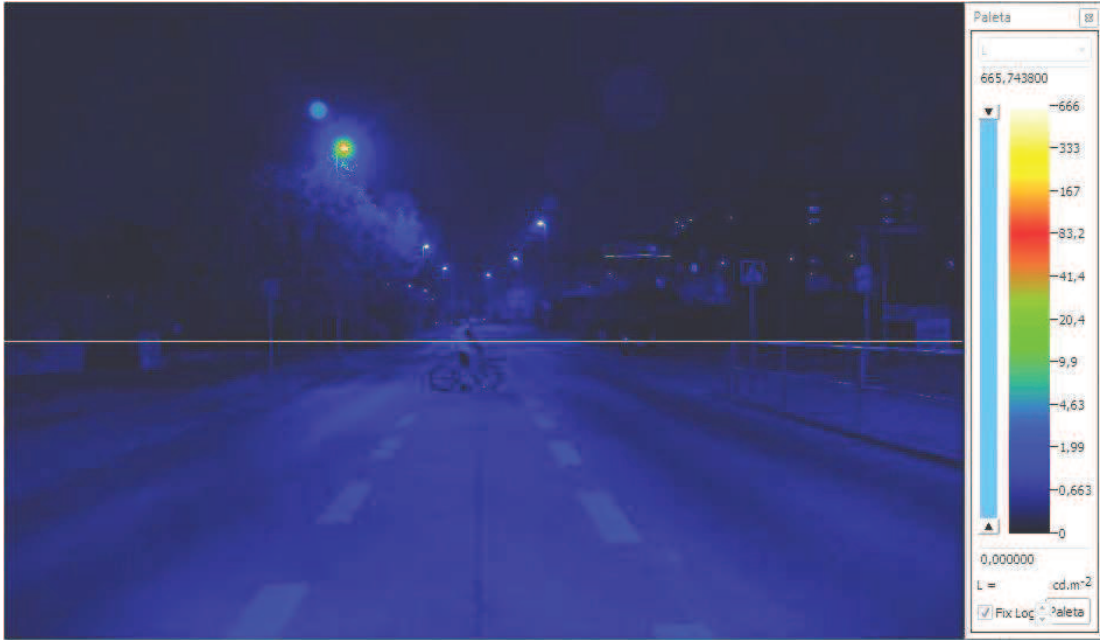


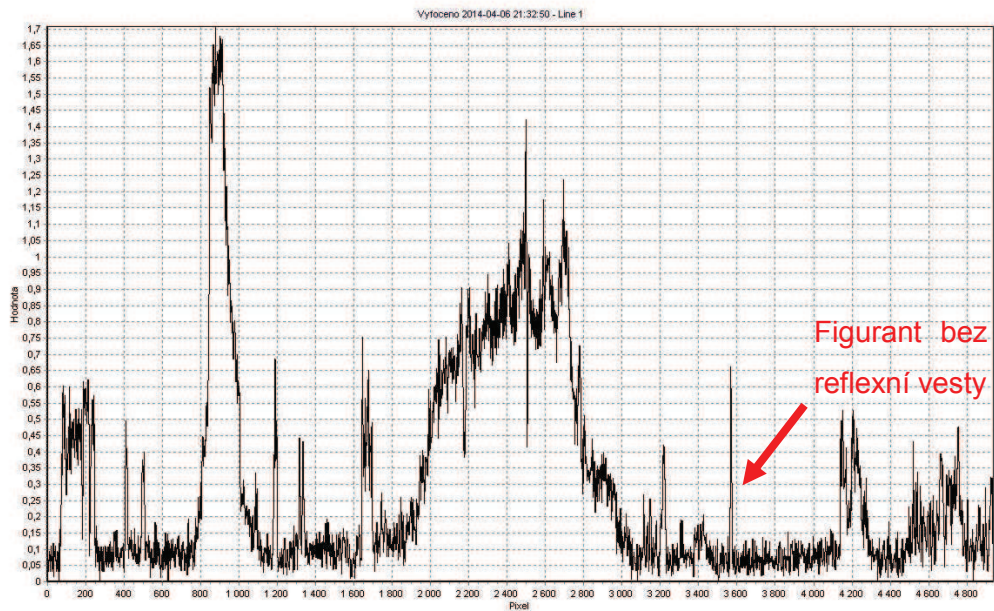


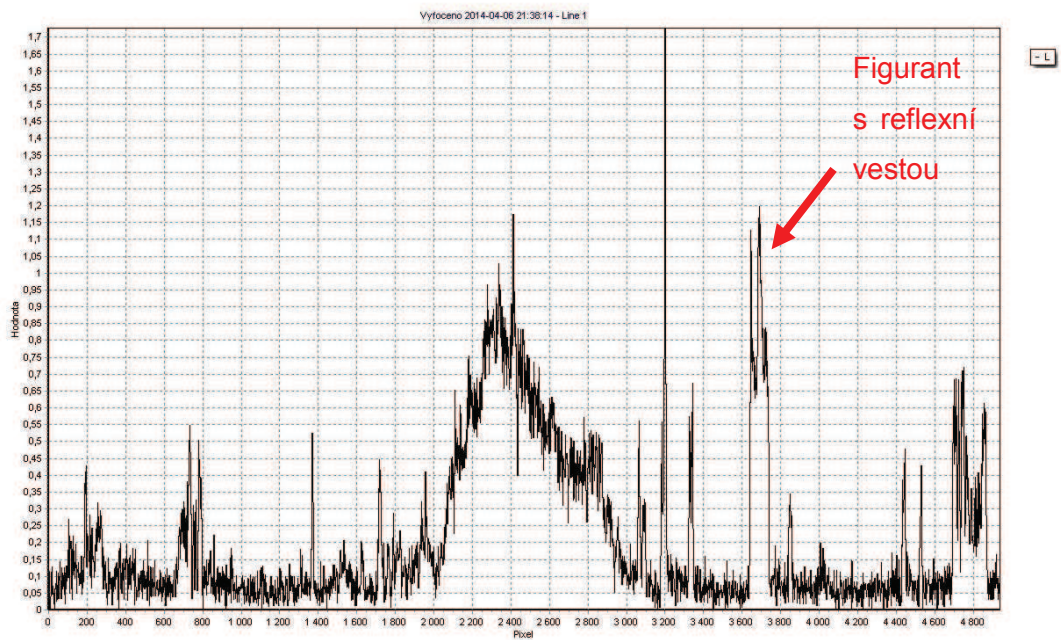
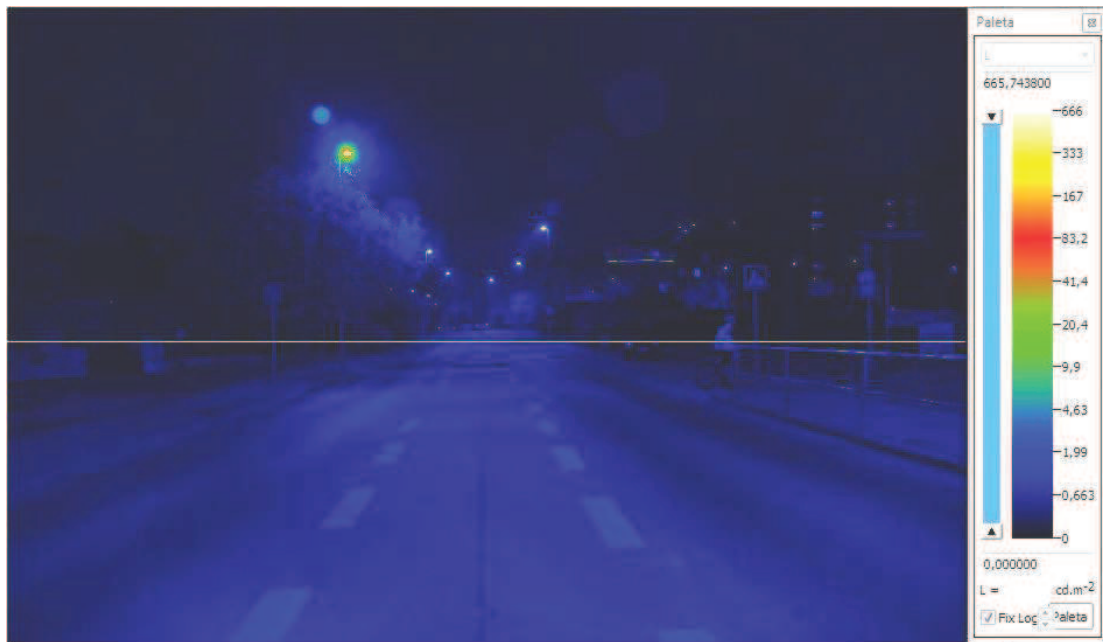








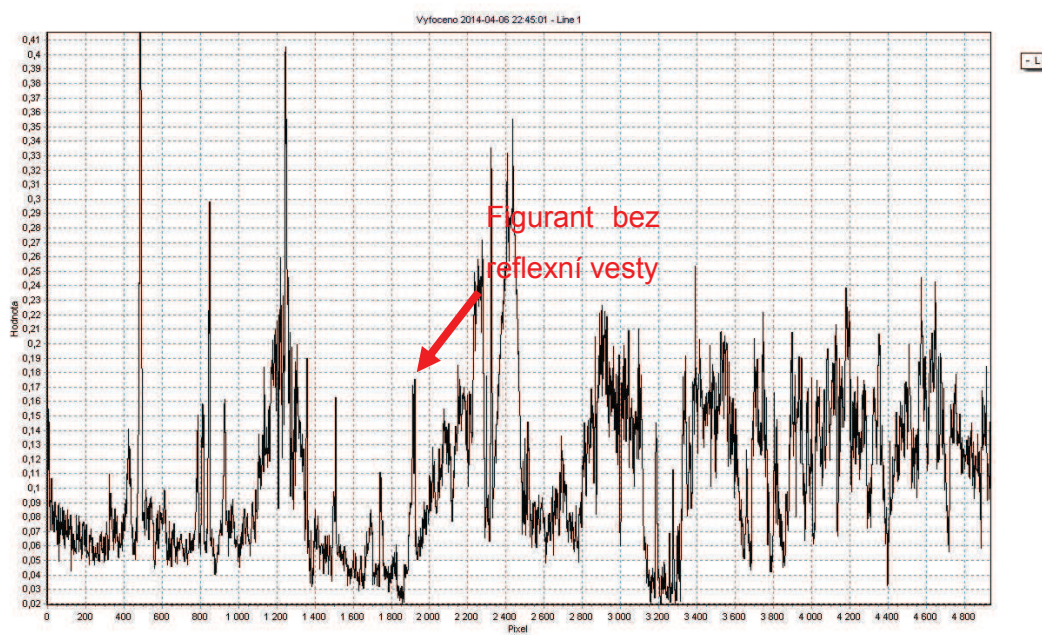
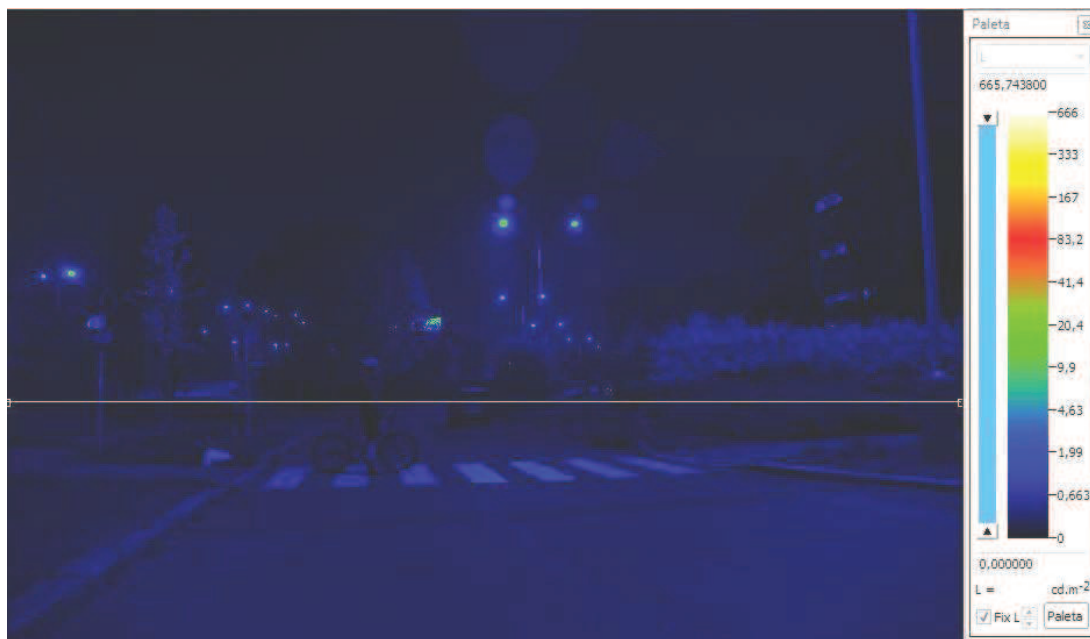


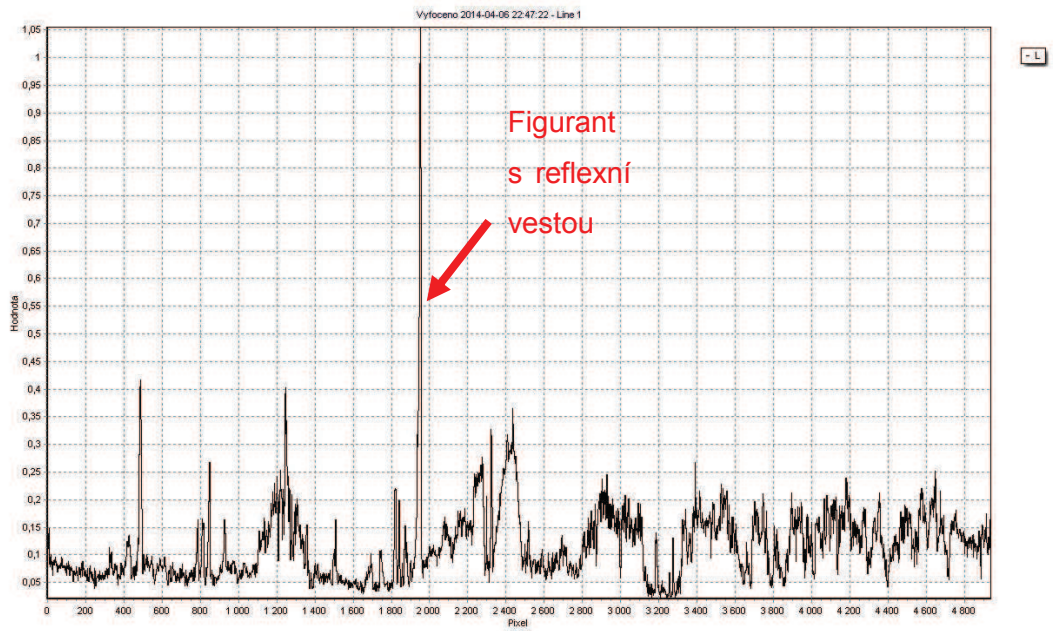
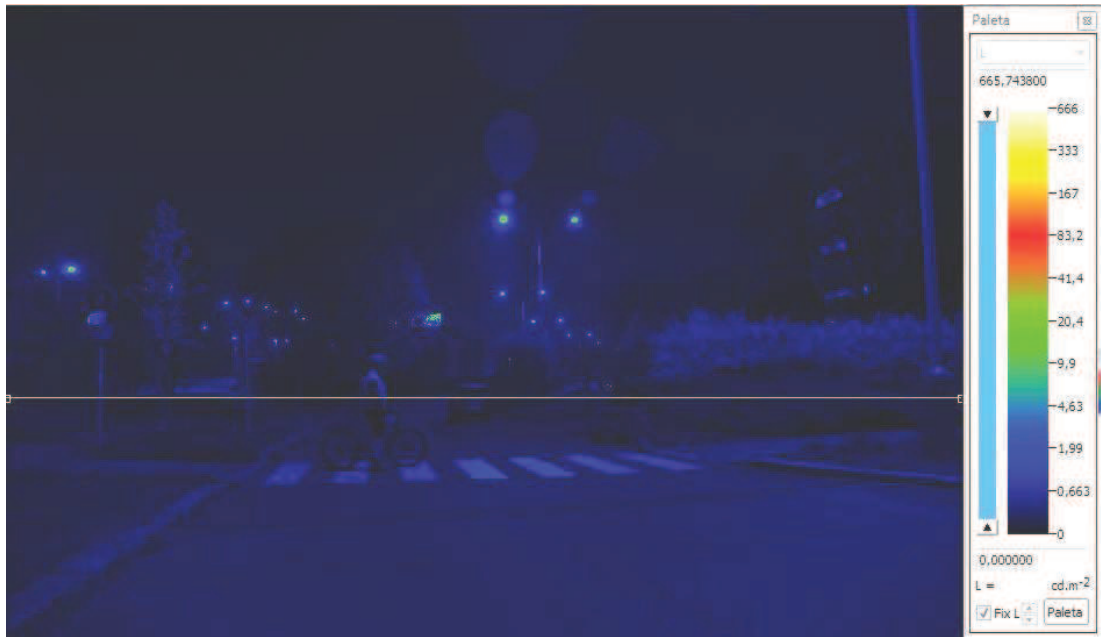


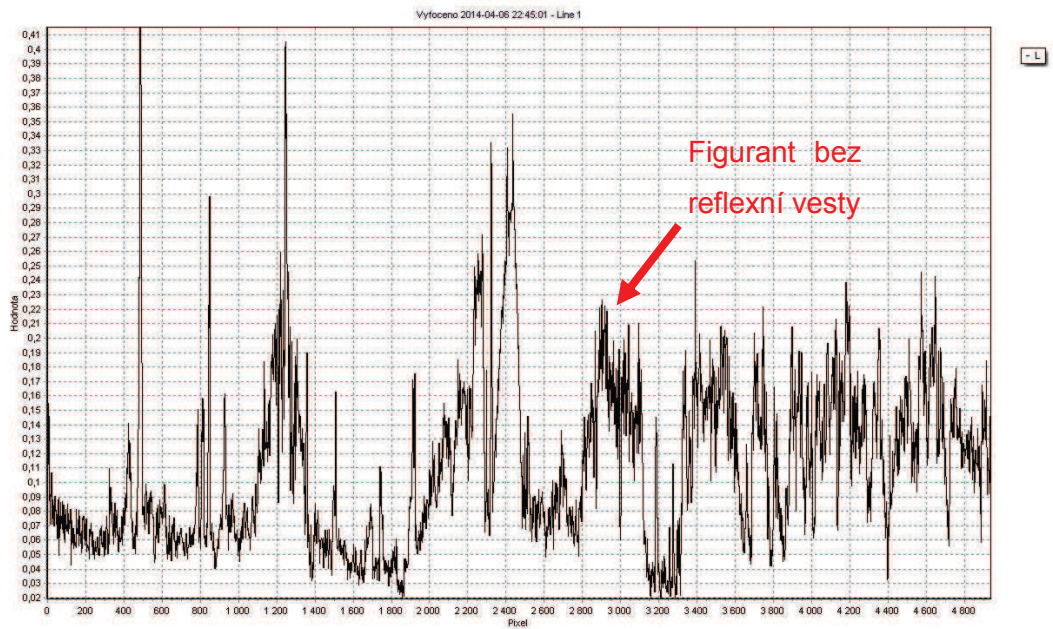
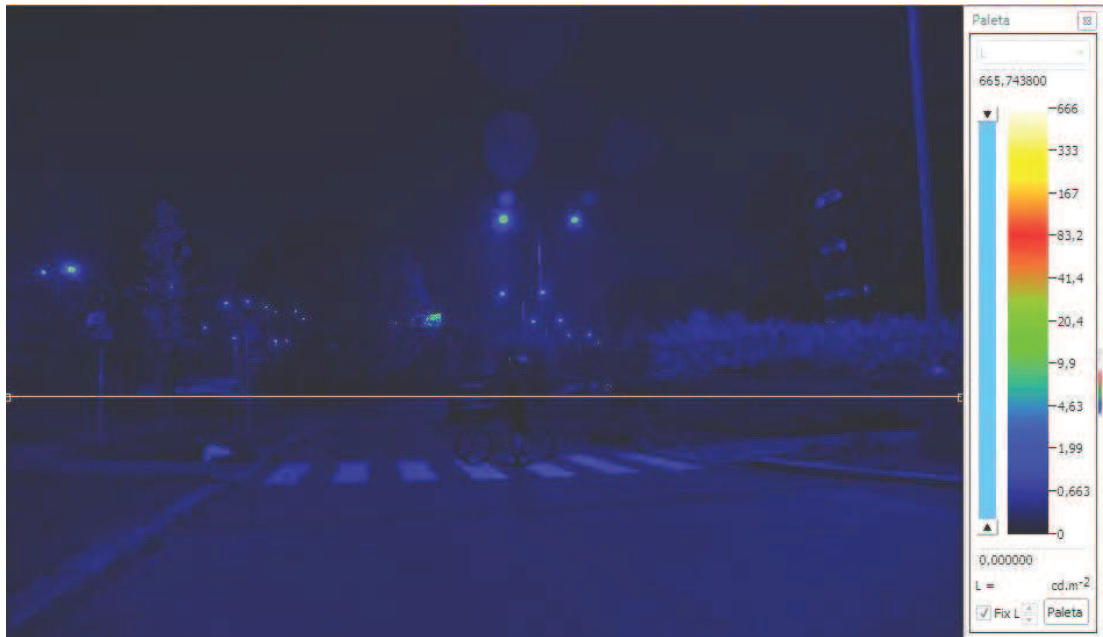
Příloha 5 – Naměřené hodnoty jasů na figurantovi – ulice Na Mlejnu

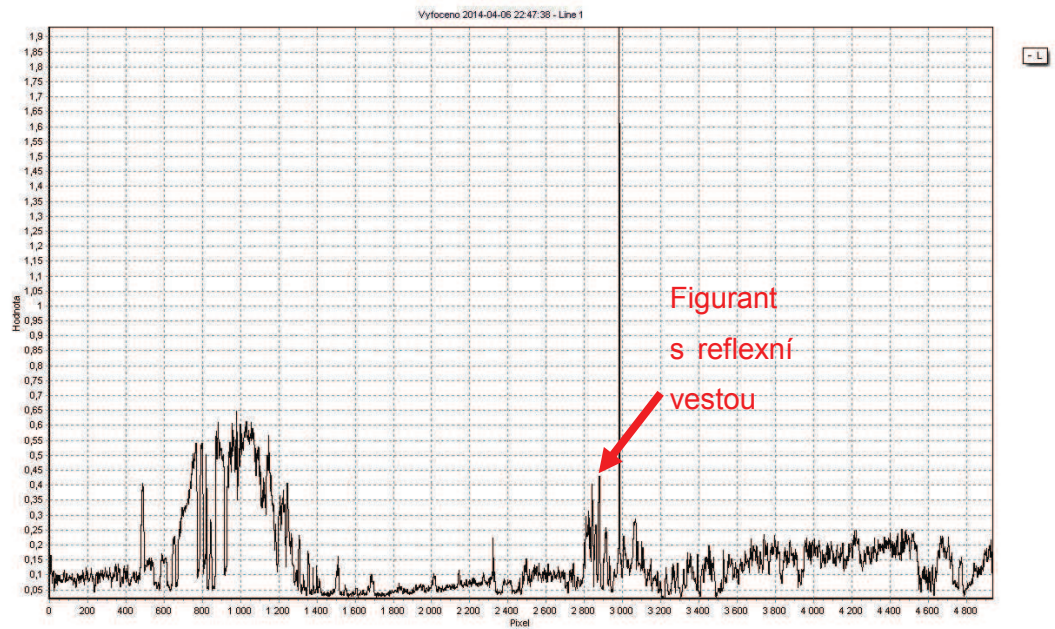
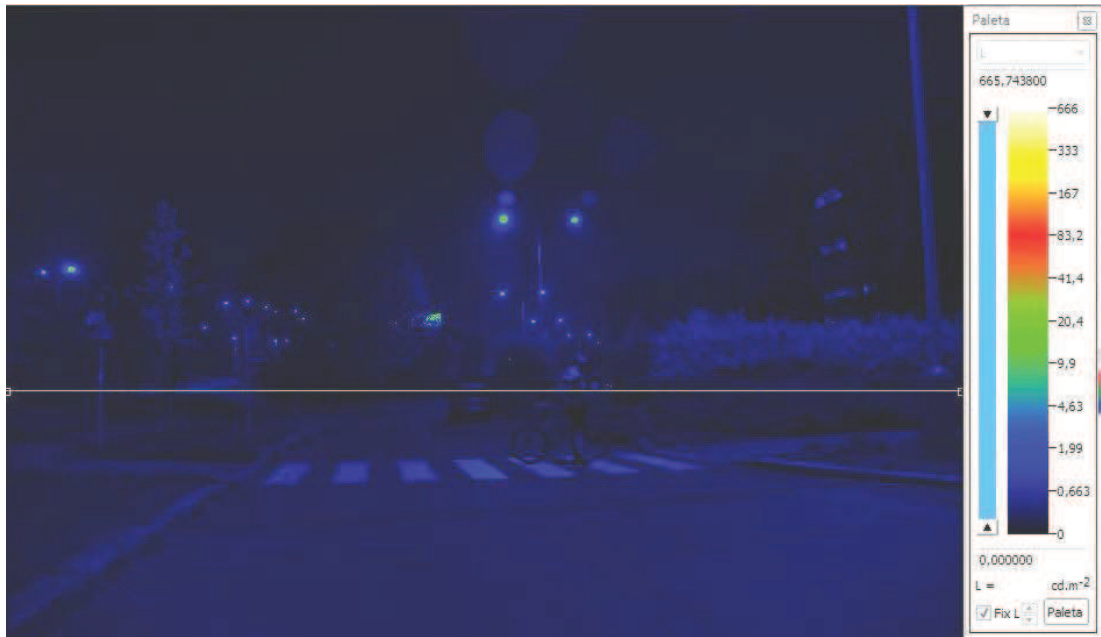
ULICE NA MLEJNKU - pohled od křižovatky		
Pozice figuranta	Hodnota jasů L [cd.m^{-2}]	
	<i>bez reflexní vesty</i>	<i>s reflexní vestou</i>
chodník vlevo	0,08774	0,862159
levý jízdní pruh	0,042446	0,626301
pravý jízdní pruh	0,037614	0,868047
chodník vpravo	0,04527	0,996466

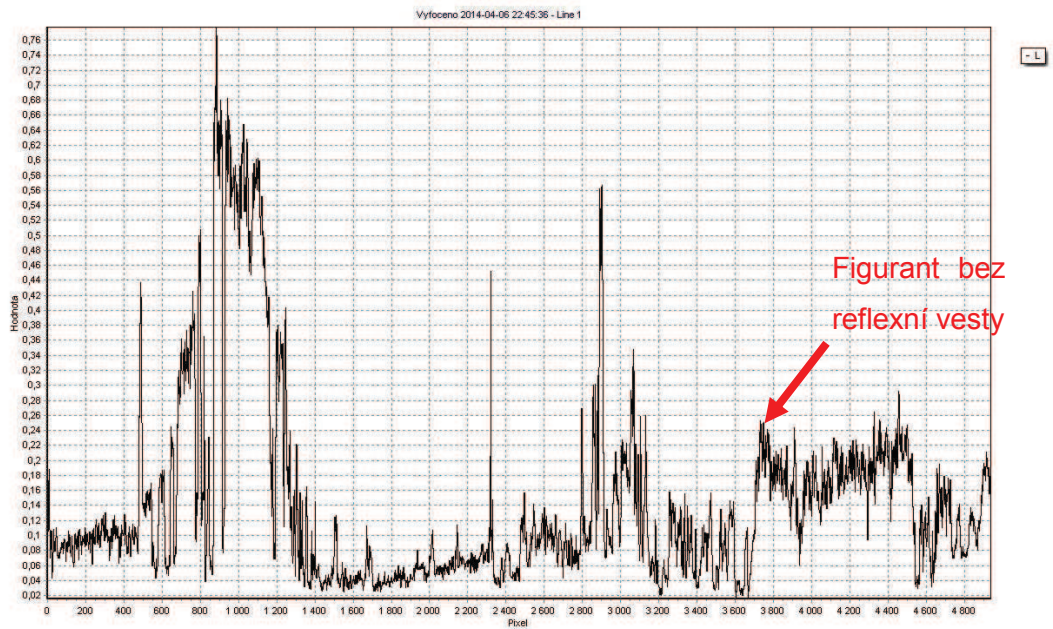
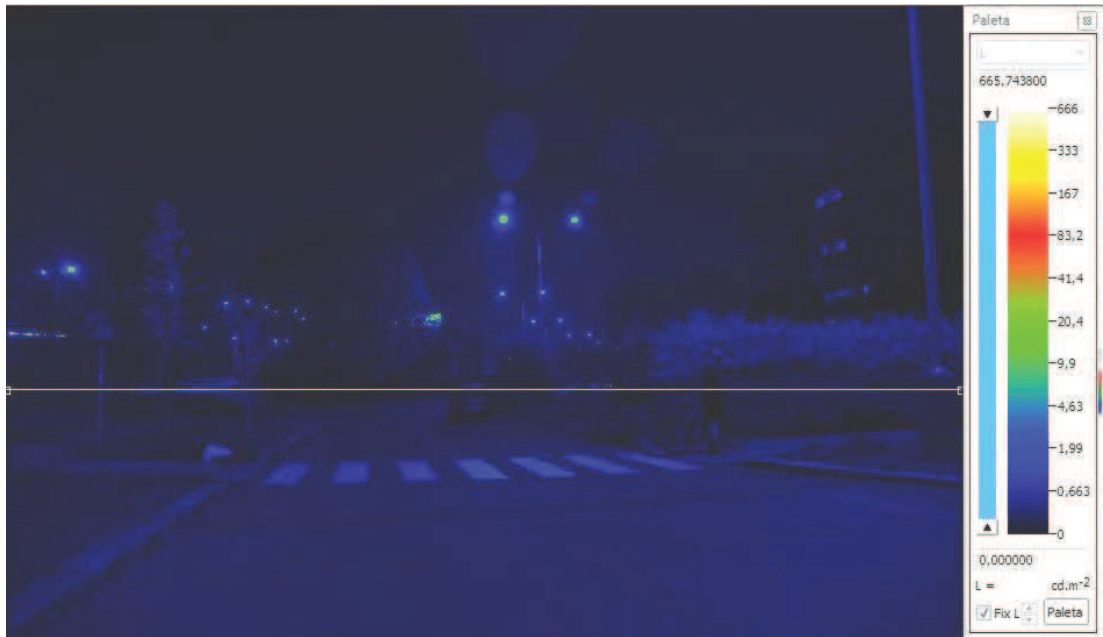
Příloha 6 – Ulice Na Mlejнку – jasové mapy dalších pozic spolu s jasovými řezy

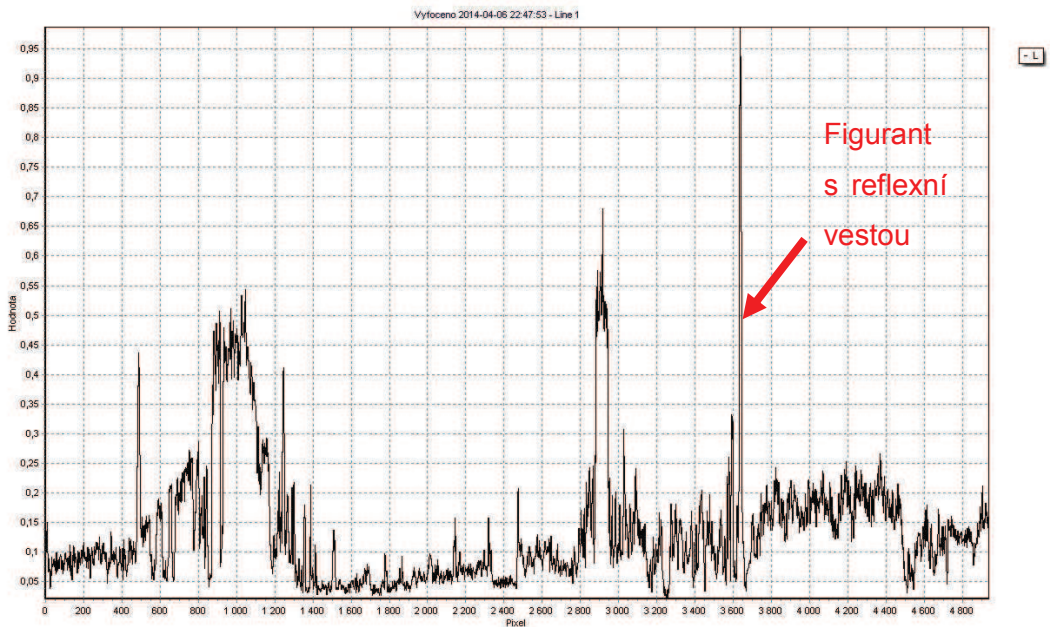
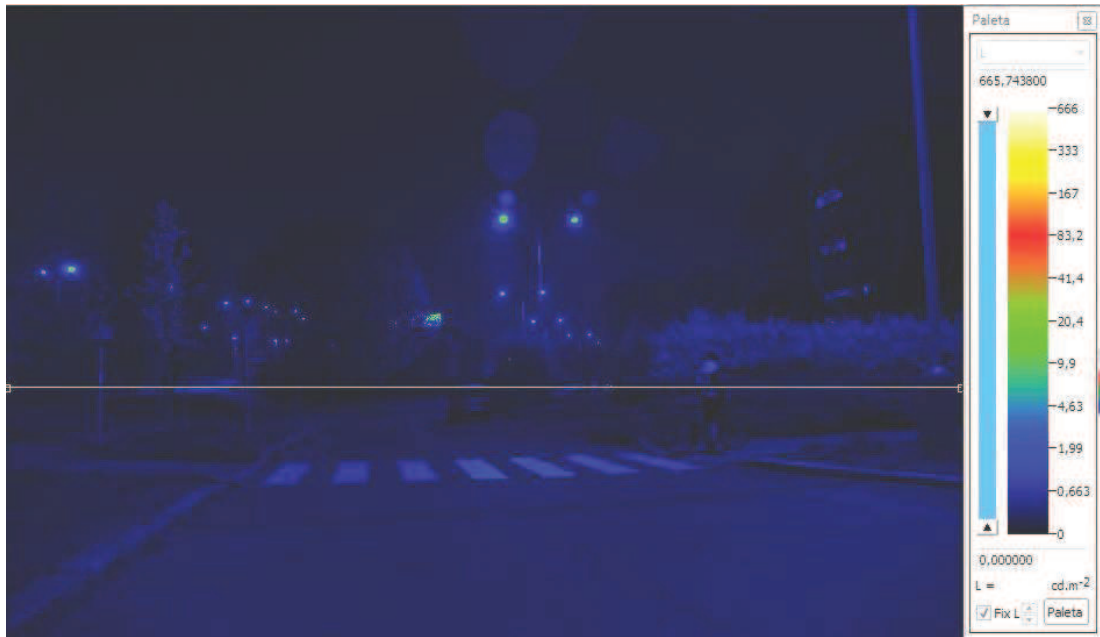








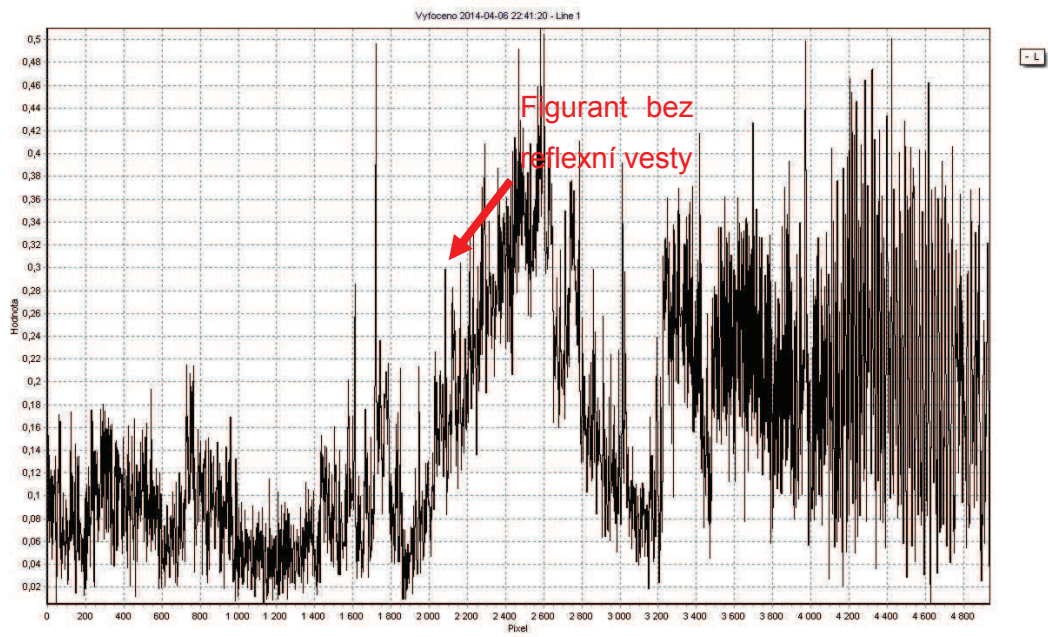
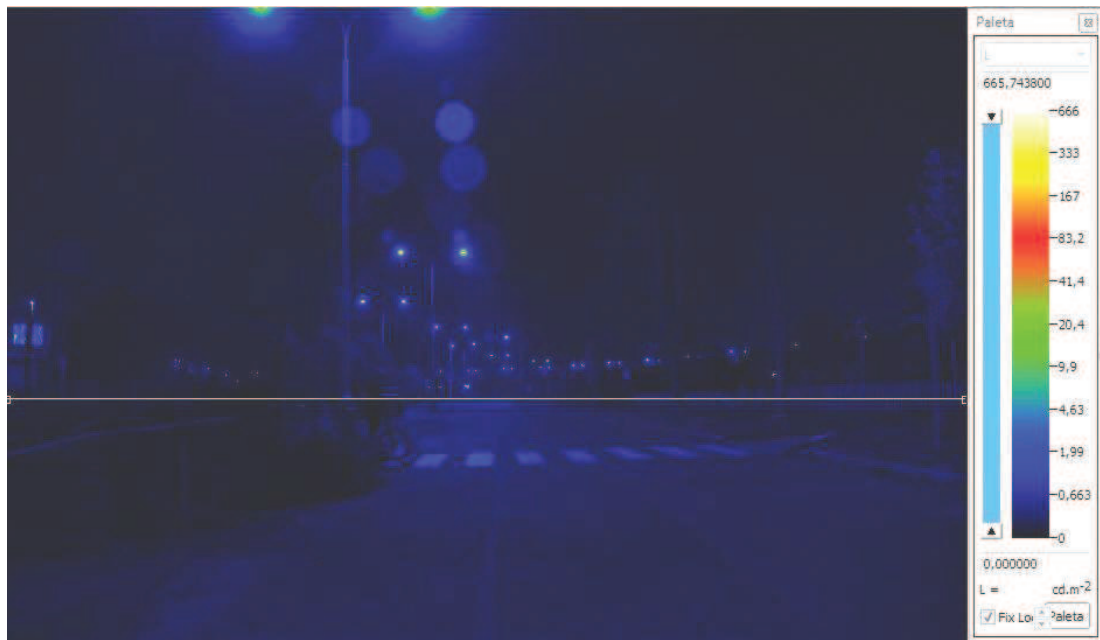


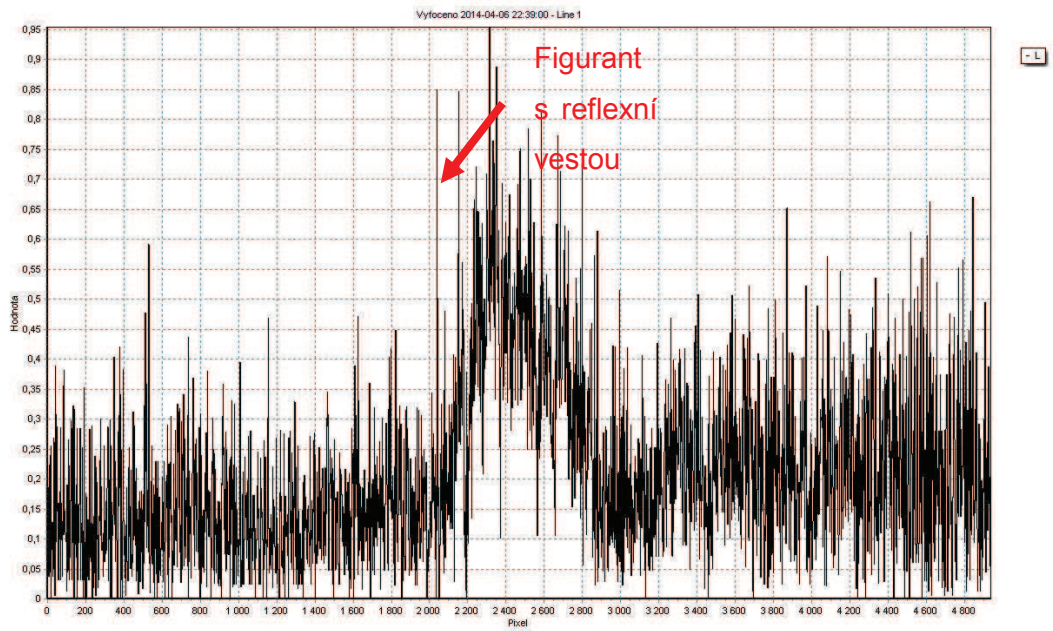


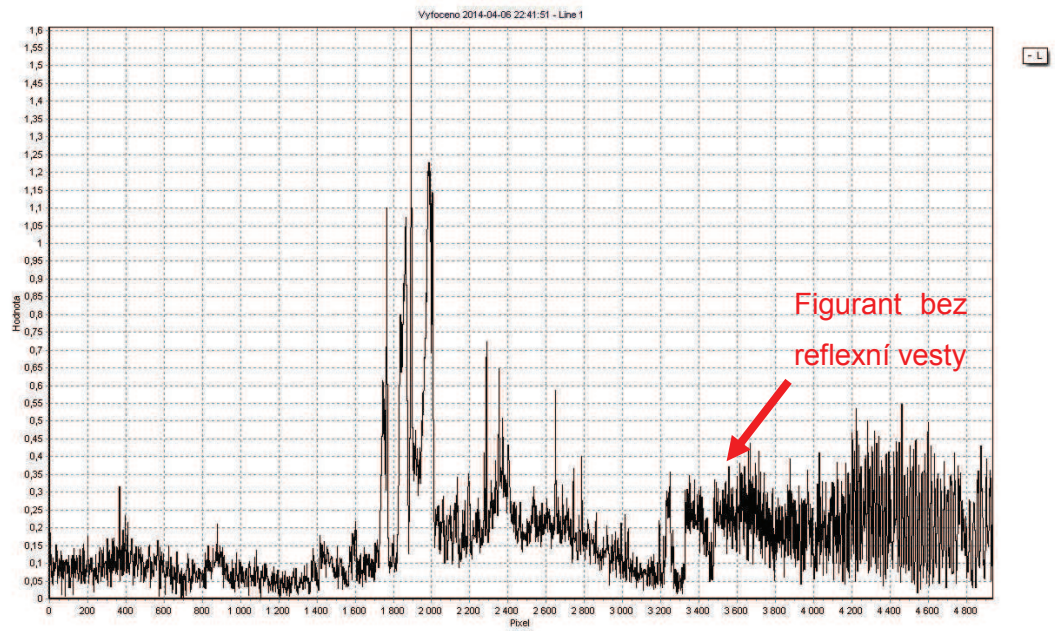
Příloha 7 – Naměřené hodnoty jasů na figurantovi – ulice Na Mlejнку opačný směr

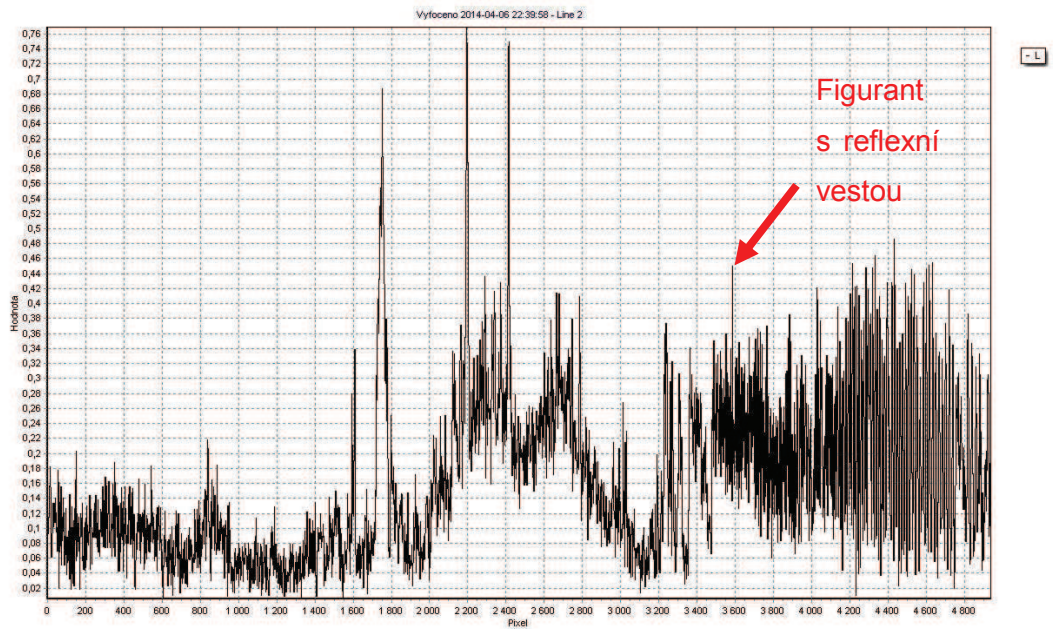
ULICE NA MLEJNKU - pohled od parkoviště		
Pozice figuranta	Hodnota jasu L [$\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$]	
	<i>bez reflexní vesty</i>	<i>s reflexní vestou</i>
chodník vlevo	0,051491	0,353164
levý jízdní pruh	0,07446	0,429334
pravý jízdní pruh	0,057995	0,625279
chodník vpravo	0,063529	0,470391

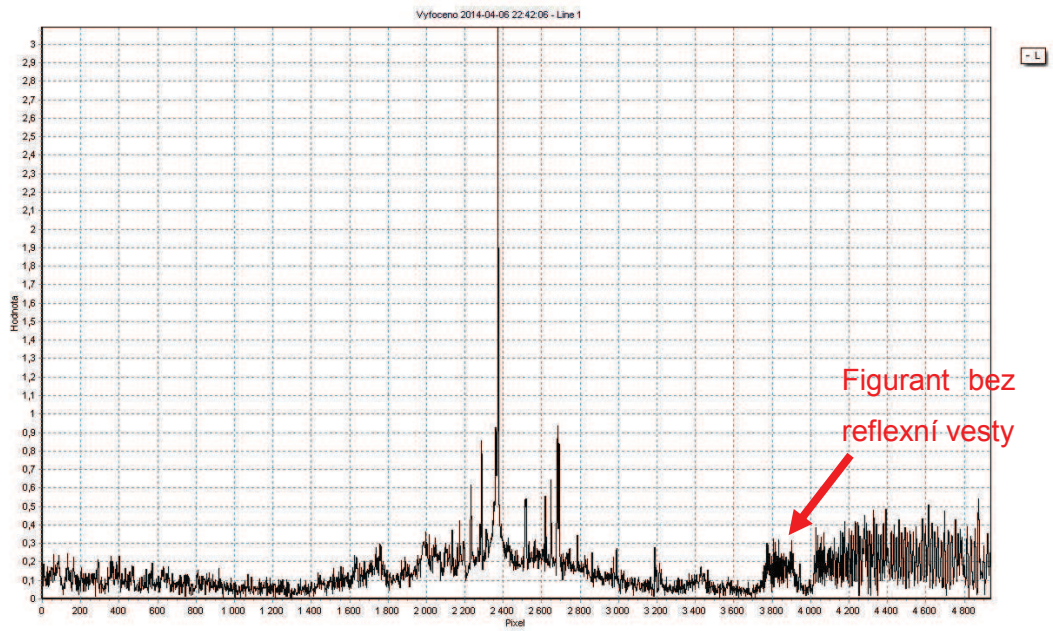
Příloha 8 – Ulice Na Mlejнку opačný směr – jasové mapy dalších pozic spolu s jasovými řezy

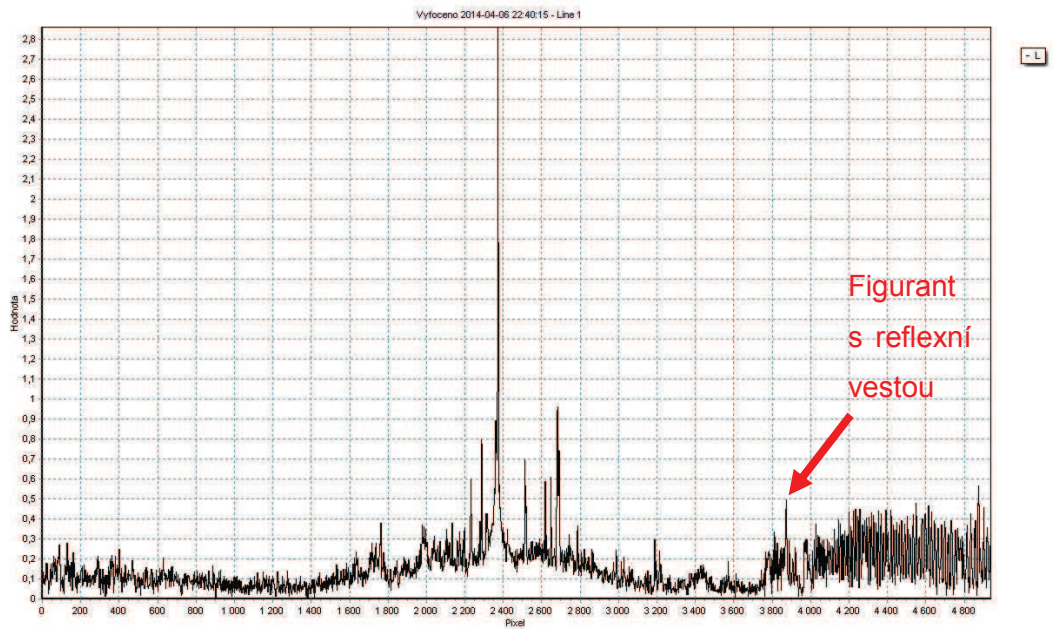








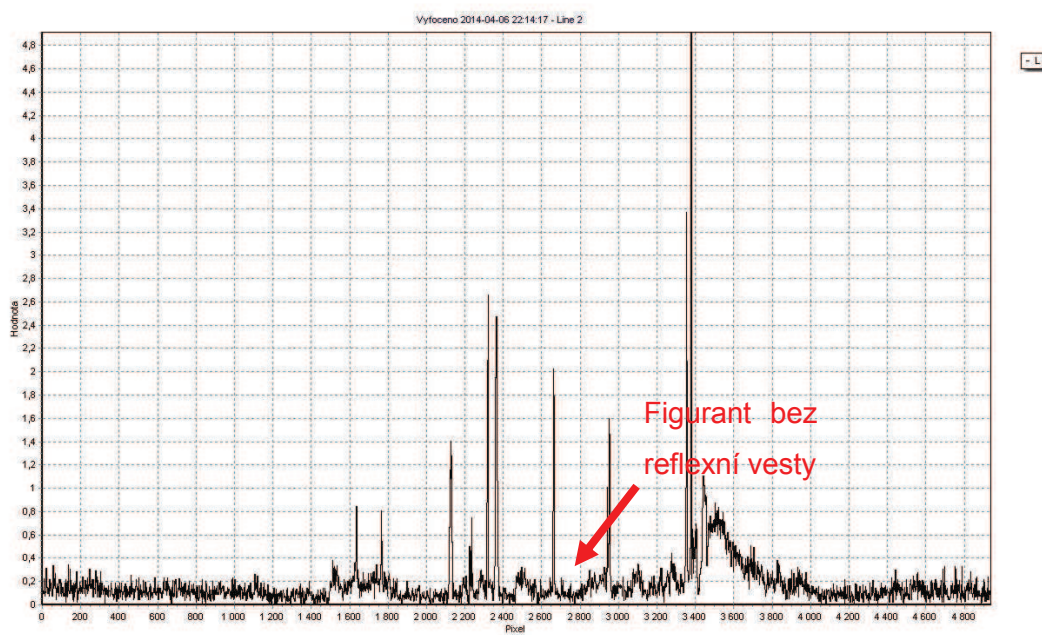
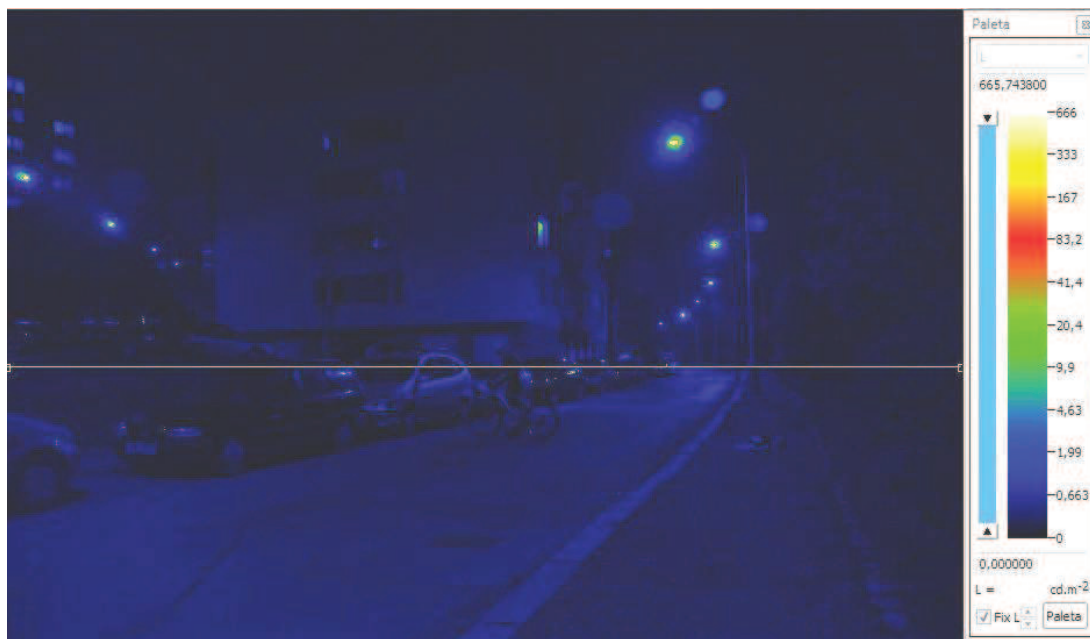


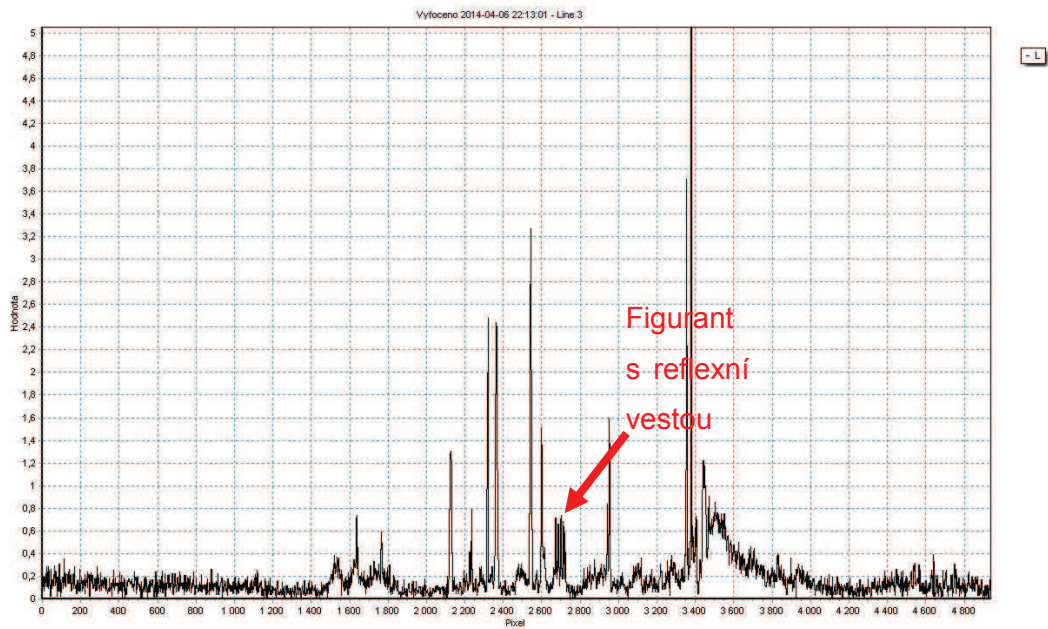
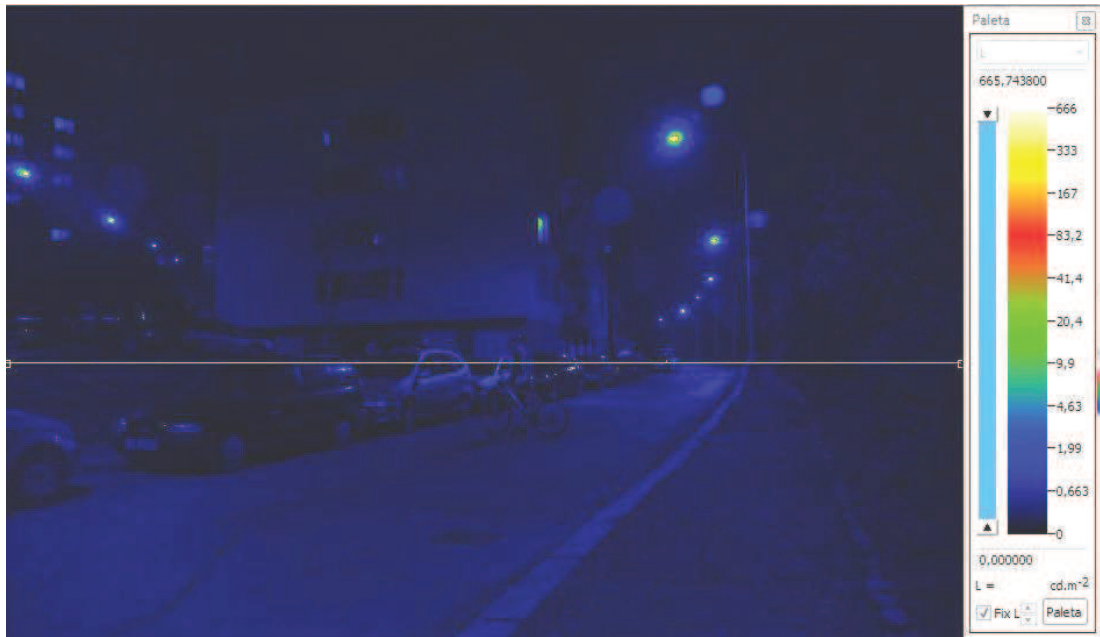


Příloha 9 – Naměřené hodnoty jasů na figurantovi – ulice Za Mlýnem

ULICE ZA MLÝNEM - pohled od ulice Vrbova		
Pozice figuranta	Hodnota jasů L [cd.m^{-2}]	
	<i>bez reflexní vesty</i>	<i>s reflexní vestou</i>
chodník	0,084139	0,777674
vozovka	0,08992	0,41635

Příloha 10 – Ulice Za Mlýnem – jasové mapy dalších pozic spolu s jasovými řezy





Příloha 11 – Naměřené hodnoty jasů na figurantovi – ulice Za Mlýnem opačný směr

ULICE ZA MLÝNEM - pohled k ulici Vrbova		
Pozice figuranta	Hodnota jasu L [$\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$]	
	<i>bez reflexní vesty</i>	<i>s reflexní vestou</i>
chodník	0,096172	0,438295
vozovka	0,103443	0,501598

Příloha 12 – Ulice Za Mlýnem opačný směr – jasové mapy dalších pozic spolu s jasovými řezy

