



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF FORENSIC ENGINEERING

## ODBOR ZNALECTVÍ VE STROJÍRENSTVÍ, ANALÝZA DOPRAVNÍCH NEHOD A OCEŇOVÁNÍ MOTOROVÝCH VOZIDEL

DEPARTMENT OF EXPERTISE IN MECHANICAL ENGINEERING, ANALYSIS OF  
TRAFFIC ACCIDENTS AND VEHICLE ASSESSMENT

## VLIV RŮZNÝCH SVĚTELNÝCH ZDROJŮ PŘEDNÍCH SVĚTLOMETŮ VOZIDEL NA VNÍMÁNÍ CHODCE ŘIDIČEM VOZIDLA

INFLUENCE OF THE DIFFERENT LIGHT SOURCES OF THE VEHICLE HEADLIGHTS  
ON THE PERCEPTION OF AN OBSTACLE BY THE DRIVER OF THE VEHICLE

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Michal Sklenář

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jakub Motl

BRNO 2022

# Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Michal Sklenář**  
Studijní program: Expertní inženýrství v dopravě  
Studijní obor: bez specializace  
Vedoucí práce: **Ing. Jakub Motl**  
Akademický rok: 2021/22  
Ústav/odbor: Odbor znalectví ve strojírenství, analýza dopravních nehod a oceňování motorových vozidel

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

## Vliv různých světelných zdrojů předních světlometů vozidel na vnímání chodce řidičem vozidla

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Diplomová práce se bude zabývat primárně vnímáním/viditelností překážky v podobě chodce řidičem motorového vozidla vybaveného alespoň dvěma rozdílnými zdroji světla předních světlometů vozidla (například halogen, xenon, LED, Laser) za podmínek zhoršených tmou. Práce bude obsahovat měření distribuce jasu různých druhů látek (oděvů) v různém barevném provedení v závislosti na zdroji světla.

### Cíle diplomové práce:

Cílem práce bude zpracování a vyhodnocení měření distribuce jasu v návaznosti na vnímání a detekci chodce řidičem vozidla. Vyhodnocení vnímání různých látek (textura a barva) řidičem vozidla při nasvícení rozdílnými zdroji světla. Porovnání naměřené distribuce jasu chodce s vnímáním chodce probandy.

Diplomant/ka zpracuje výsledky experimentu a vyvodí závěry použitelné pro soudně inženýrskou praxi.

### Seznam literatury:

I. JANÍČEK, Přemysl. Systémové pojetí vybraných oborů pro techniky - hledání souvislostí. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2007. str. 1234. Sv. 1+2, 1. vydání. ISBN 978-80-7204-554-9.

II. BRADÁČ, Albert. Soudní inženýrství. 1. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 1997. str. 719. ISBN 80-7204-057-X.

- III. BALEJA J., DOLEJŠÍ O., BĚČÁK P., SKOKANSKÝ K., NOVÁK T., The visibility of pedestrians in the traffic area, using different light source technologies of car headlamps, PROCEEDINGS OF THE 10TH INTERNATIONAL SCIENTIFIC SYMPOSIUM ON ELECTRICAL POWER ENGINEERING (ELEKTROENERGETIKA 2019), Slovakia, 2019,
- IV. Balk, S. A., Tyrrell, R. A., Brooks, J. O., & Carpenter, T. L. (2008). Highlighting human form and motion information enhances the conspicuity of pedestrians at night. *Perception*, 37(8), 1276-1284.
- V. Benea, B. C., Trusca, D. D., Toganel, G. R., & Radu, A. I. (2019, August). Pedestrian visibility at night: the influence of the pedestrian clothing and the defective headlamp of the car. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 568, No. 1, p. 012003). IOP Publishing.
- VI. Bradáč A, Semela M, Škoda J, Sumec S, Kledus R, Bilík M. Comparison of Halogen and Xenon Headlamps in Terms of Pedestrians' Visibility. Proceedings of the 21st International Conference LIGHT SVĚTLO 2015. 2015. p. 133-137. ISBN: 978-80-214-5244-2 pp 133 – 137.
- VII. Borzendowski, S. A. W., Sewall, A. A. S., Rosopa, P. J., & Tyrrell, R. A. (2015). Drivers' judgments of the effect of headlamp glare on their ability to see pedestrians at night. *Journal of safety research*, 53, 31-37.
- VIII. Czech in-depth accident study (CzIDAS), Transport Research Centre, Czech Republic, [www.vyzkumnehod.cz](http://www.vyzkumnehod.cz)
- IX. Muttart, J. W. (2000). Effects of Retroreflective Material Upon Pedestrian Identification at Night. *Accident Reconstruction Journal*, 1.
- X. Green, M. A. (2018). Roadway human factors: From science to application. Lawyers & Judges Publishing Company, Incorporated.
- XI. Wood, J. M., Tyrrell, R. A., & Carberry, T. P. (2003, January). Pedestrian visibility at night: Effects of pedestrian clothing, driver age, and headlamp beam setting. In TRB 2003 Annual Meeting.
- XII. PORTNIAGIN, E. M., Ivasinkova, A. A., Svirbutovich, O. A., Gorban, A. V., & Gorban, N. A. (2019, October). Analysis of the headlamps checking parameters. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 632, No. 1, p. 012031). IOP Publishing.
- XIII. RÁBEK V., Pohled analytika dopravních nehod na problematiku osvětlení dopravního prostoru, Kurz osvětlovací techniky XXXII: Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2016, s. 1 – 24, ISBN 978-80-248-3969-1
- XIV. SVOBODA M; Srovnání konvenčních a nových metod hodnocení jasů, diplomová práce; Brno 2012
- XV. ČERVENKA M., Viditelnost překážky za snížené viditelnosti, diplomová práce; Praha 2014

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Bc. Marek Semela, Ph.D.  
vedoucí odboru

---

prof. Ing. Karel Pospíšil, Ph.D., LL.M.  
ředitel

### ***Abstrakt***

Tato diplomová práce je zaměřena na zkoumání vlivu různých světelných zdrojů (halogen, xenon, LED) předních světlometů vozidel (Škoda Octavia III. generace) na vnímání chodce řidičem vozidla. V teoretické části jsou uvedeny pojmy podstatné pro celkové pochopení hlavního tématu této diplomové práce. Cílem diplomové práce je představit jak se mění jas a kontrast mezi chodcem a jeho okolím při nasvícení jedním z uvedených zdrojů světla vzhledem k rostoucí vzdálenosti mezi chodcem a vozidlem a rozdílným typem oděvu chodce. Výsledky měřeného experimentu jsou představeny pomocí grafů, fotodokumentace a jasových map. Ty jsou následně porovnány s výsledky dosaženými při měření vzdálenosti vnímání chodce jednotlivými probandy. Z porovnaných hodnot jsou vyvedeny závěry použitelné pro soudně inženýrskou praxi.

### ***Abstract***

This thesis focuses on examining the influence of various light sources (halogen, xenon, LED) of vehicle headlights (Škoda Octavia III. generation) on the perception of pedestrians by the driver of the vehicle. The theoretical part contains the concepts essential for a general understanding of the main topic of this thesis. The aim of the thesis is to present how the brightness and contrast between the pedestrian and his surroundings changes when illuminated by one of these light sources due to the increasing distance between the pedestrian and the vehicle and the different type of pedestrian clothing. The results of the measured experiment are presented using charts, photo documentation and brightness maps. These are then compared with the results obtained by measuring the distance of pedestrian perception by individual probands. The conclusions applicable to forensic engineering practice are drawn from the compared values.

### ***Klíčová slova***

Zdroj světla, světlomet, kontrast, jas, vnímání světla

### ***Keywords***

Light sources, headlight, contrast, brightness, light perception



### ***Bibliografická citace***

SKLENÁŘ, Michal. *Vliv různých světelných zdrojů předních světlometů vozidel na vnímání chodce řidičem vozidla* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-05-25]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/135627>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, Odbor znaleství ve strojírenství, analýza dopravních nehod a oceňování motorových vozidel. Vedoucí práce Jakub Motl.



### ***Prohlášení***

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Vliv různých světelných zdrojů předních světlometů vozidel na vnímání chodce řidičem vozidla“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně .....

.....

Podpis autora



### ***Poděkování***

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Jakubu Motlovi za všechny cenné rady, připomínky a obětovaný čas, který mi při vypracování diplomové práce věnoval.

Poděkování dále patří instituci Centrum dopravního výzkumu, v.v.i. za zapůjčení jasového analyzátoru LumiDISP, díky kterému bylo možné celé praktické měření realizovat.

Dále děkuji společnosti Autonova Brno s.r.o. za poskytnutí jednoho z měřených vozidel pro splnění cílů diplomové práce.

Stejně tak děkuji všem účastníkům měření za věnovaný čas potřebný pro splnění cílů diplomové práce.

V neposlední řadě děkuji celé své rodině, přítelkyni a přátelům za podporu během celého studia.



# OBSAH

OBSAH.....	15
1 ÚVOD.....	17
2 SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY .....	19
2.1 Měření dohlednosti na chodce za světla a za tmy.....	24
3 ZÁKLADNÍ POJMY .....	26
3.1 Světlo .....	26
3.2 Chromatičnost.....	28
3.3 Fyzikální veličiny světla .....	28
3.3.1 Světelný tok.....	28
3.3.2 Svítivost.....	29
3.3.3 Intenzita osvětlení.....	30
3.3.4 Luminance.....	30
3.3.5 Měrný výkon .....	31
3.3.6 Kontrast jasu .....	32
3.4 Zrak a vidění .....	32
3.4.1 Zrakové ústrojí člověka .....	33
3.4.2 Akomodace oka.....	34
3.4.3 Adaptační mechanismy .....	34
3.4.4 Zorné pole .....	35
3.4.5 Rozlišovací schopnosti .....	35
3.4.6 Oslnění.....	38
3.4.7 Optické poruchy oka.....	39
4 SVĚTLOMETY MODERNÍCH VOZIDEL .....	40
4.1 Stručný úvod do problematiky .....	40
4.1.1 LED světlomety.....	40
4.1.2 Laserové světlomety.....	42
4.2 Zdroje světla .....	44
4.2.1 Halogenové žárovky .....	44
4.2.2 Xenonové výbojky .....	46
4.2.3 LED.....	49
4.2.4 Laser .....	52
4.3 Pokročilé funkce osvětlení vozidel .....	54
4.3.1 Reflektorové světlomety .....	54
4.3.2 Adaptivní světlomety .....	55
4.3.3 AFS (Advanced Front Lighting Systems).....	55
4.3.4 AFL (Adaptive Forward Lighting) .....	55

4.3.5	<i>Dynamický adaptivní systém</i> .....	56
4.3.6	<i>Statický adaptivní systém</i> .....	56
4.3.7	<i>FULL LED světlomet s adaptivním statickým systémem</i> .....	56
4.3.8	<i>ADB (adaptive driving beam)</i> .....	57
5	STATISTIKY DOPRAVNÍCH NEHOD S CHODCI.....	59
5.1	Statistiky nehod mimo intravilán .....	59
5.2	Statistiky nehod v oblasti Intravilánu .....	60
6	LEGISLATIVA .....	62
7	FORMULACE PROBLÉMŮ A STANOVENÍ CÍLŮ ŘEŠENÍ .....	64
8	METODIKA MĚŘENÍ.....	65
8.1	Dohlednost a dosvit světlometů .....	65
8.1.1	<i>Měření dosvitu světlometů</i> .....	65
8.2	Seřízení světlometů .....	66
8.3	Použité přístroje.....	68
8.4	Použitá vozidla.....	69
8.5	Fotodokumentace .....	72
8.6	Figuranti.....	73
8.7	Lokalita měření .....	74
8.8	Atmosférické podmínky .....	75
8.9	Postup měření .....	76
8.10	Výpočet kontrastu jasových map.....	79
9	VYHODNOCENÍ PRAKTICKÉHO MĚŘENÍ.....	81
9.1	Figurant ve světlém oděvu při použití dálkových světel .....	82
9.2	Figurant v tmavém oděvu při použití dálkových světel .....	92
9.3	Figurant ve světlém oděvu při použití tlumených světel .....	102
9.4	Figurant v tmavém oděvu při použití tlumených světel .....	112
9.5	Vnímání figurantů probandy .....	121
9.5.1	<i>Figurant ve světlém oděvu</i> .....	122
9.5.2	<i>Figurant v tmavém oděvu</i> .....	124
10	ZÁVĚR.....	127
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	129
	SEZNAM TABULEK.....	134
	SEZNAM GRAFŮ .....	135
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	136
	SEZNAM ZKRATEK.....	142
	SEZNAM PŘÍLOH.....	144

# 1 ÚVOD

Inovace, zkoumání a zlepšování zaběhlých technologií bylo vždy aktuálním a žádaným tématem. Automobilový průmysl toho není výjimkou. Vozidla všech značek prošla za poslední řadu let efektivním vývojem. I když většina automobilek navrhuje svá nová vozidla již 4–5 let před samotným uvedením vozidla na trh, ani nejpřednější návrháři si nemohli před 20 lety představit, jak rychlý aktuální vývoj bude. S rychlostí vývoje vozidel je spojena konkurenční schopnost na trhu, překonání některých značek vozidel, zvyšující se požadavky spotřebitelů, ale i zvyšující se požadavky z hlediska bezpečnosti a dodržování předepsaných zákonů. Požadavky na bezpečnost tak každým rokem rostou jak z hlediska pasivní bezpečnosti tak i aktivní bezpečnosti. Do aktivní bezpečnosti spadají i světlomety vozidel. I v tomto směru došlo k velkému pokroku, když se z původních obyčejných žárovek přešlo na halogenové žárovky. Následně byly vyvinuty xenonové výbojky. V dnešní době jsou hojně propagovány LED diody, které zaujmou zejména svojí malou velikostí, širokou možností designových úprav, ale také barvou vydávaného světla, která je velmi blízká dennímu světlu. To je jeden z hlavních důvodů upřednostňování LED zdroje svícení. Absolutní špičkou v technologii týkající se zdroje světla předních světlometů je v současné době laserový zdroj svícení, jehož přednosti jsou zejména barva, nízký potřebný příkon, délka dosvitu a životnost. Proti těmto vlastnostem stojí zejména vysoká cena světlometu, díky níž si tento zdroj svícení mohou dovolit pouze vozidla lukrativních značek. K tomu je nutné si ještě v některých případech připočítat pokročilé funkce osvětlení. V souvislosti s tímto tématem se jedná zejména o adaptivní funkce světlometů, tedy samostatné funkce přizpůsobování stavu vydávaného světla aktuální dopravní situaci.

Všechny zmíněné zdroje světla včetně jejich úprav podléhají určitým zákonům a to zejména těm, které vydává Evropská hospodářská komise (EHK). Vzhledem k tomu tak všechny světlomety musí vykazovat pro řidiče vozidla jednu nepsanou vlastnost a tou je „vidět a být viděn“. To znamená dostatečně osvětlit prostor před vozidlem, aby měl řidič přehled o aktuální dopravní situaci a zároveň neoslňovat protijedoucí řidiče. Všeobecně se odborníci ani veřejnost nemůžou shodnout na tom, který z používaných zdrojů světla je pro přední světlomety této myšlenky nejbližší. Je zcela reálné si myslet, že správná odpověď na tuto otázku není. Každý zdroj svícení předních světlometů má svoje klady a zápory. Zejména je pak nutné zmínit, že to jak řidič vnímá situaci před vozidlem, ovlivňuje několik faktorů současně, ne jen druh použitého zdroje svícení. Pokud jde o setkání řidiče s chodcem, jeden z faktorů toho jak řidič na chodce může reagovat, je samotný oděv chodce. Tento faktor ovlivňující řidiče je jedním z hlavních témat této diplomové práce.

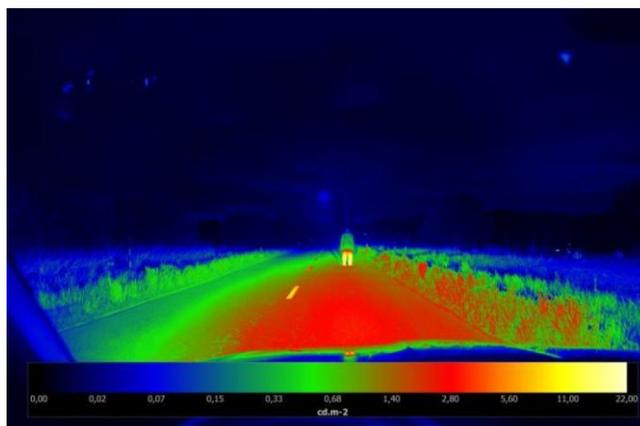
Tato diplomová práce je rozdělena na 2 základní části a to teoretickou a praktickou. V teoretické části jsou popsány současné stavy poznání řešené problematiky, základní pojmy z hlediska světla a orgánu, který jej nejvíce vnímá. Tím je lidské oko. Dále jsou představeny všechny aktuálně využívané zdroje světla předních světlometů vozidel i s možnostmi pokročilých funkcí. Následuje představení statistiky nehod s chodci a krátká zmínka o legislativě týkající se řešené

problematiky. Praktická část diplomové práce je zaměřena zejména na splnění cílů práce. Celá část praktického měření probíhala staticky. Prvotně jsou představeny všechny postupy pro realizaci měření následované představením použitých vozidel, použitých přístrojů a představením figurantů v jejich měřených oděvech. Druhá část praktické části je věnována vyhodnocení získaných výsledků. Mezi ně patří vyhodnocení měření distribuce jasu v návaznosti na vnímání a detekci chodce řidičem vozidla. Dále jsou vyhodnoceny výsledky vnímání různých látek na figurantech, řidiči dostupných vozidel při nasvícení rozdílnými zdroji světla. Z dosažených výsledků bylo provedeno porovnání mezi naměřeným jasem chodce a vnímání chodce probandy, kteří simulovali řidiče vozidla. Výsledné hodnoty jsou zpracovány a vyhodnoceny pro soudně inženýrskou praxi.

## 2 SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Příbuznými tématy této diplomové práce se zabývalo několik studií. Mezi nimi byla například studie z roku 2015 s názvem „Srovnání halogenových a xenonových světlometů z hlediska viditelnosti chodců“ (1, s. 133–137).

Studie se zabývala reakcí řidičů za zhoršených podmínek viditelnosti tmou v neosvětlených oblastech. Studie probíhala z důvodu přiložených faktů, které udávaly vysoká čísla úmrtnosti chodců v nočních hodinách mimo osvětlenou komunikaci. Ke zjištěným skutečnostem tak napomáhalo několik figurantů s různou barvou a typem oblečení. Dále byla použita technologie eye tracker, záznamy z diferenciálního GPS a vozidla Škoda Yeti I. generace po faceliftu z nichž jedno používalo halogenový zdroj svícení a druhé xenonový zdroj svícení. Měření probíhalo dvojího typu. Jedno z nich bylo dynamické a druhé statické. U dynamického měření bylo zjišťováno za pomoci eye trackeru kdy řidič poprvé zaregistruje figuranta, tedy kdy poprvé změní svůj pohled směrem k němu a jak se zachová. U statického měření byly důležité reakce řidičů na chodce z dynamického měření. Podle těch se na určité vzdálenosti (20–80 m) rozmístili chodci v určitém typu oblečení a zkoumal se kontrast barev vzhledem k okolí. Pro tento účel tak byly použity jasové mapy. [1]



Obr. č. 1 – Příklad jasové mapy s figurantem vzdáleným 20 m – xenonová světlomety. [1]

Výsledkem této studie bylo, že řidiči, jež používají xenonové světlomety, zaregistrují chodce později, tedy na mnohem kratší vzdálenosti než řidiči s halogenovými světlomety. I když mají halogenové světlomety větší rozptyl světla a celkově horší vlastnosti než xenonové světlomety, které lépe svítí zejména po svůj ostrý přechod mezi osvětlenou oblastí a tmou, v závislosti na reakci řidiče si ve finálním hodnocení vedly lépe. Xenonová světla mají lepší svítivost na určitou vzdálenost. Ze studie vyplývá, že by to mělo být cca 41 m a to je vzdálenost, která je v neosvětlených oblastech kritická. Ovšem po této vzdálenosti už je rozpoznání překážek pro řidiče obtížnější. Dalším důvodem zpožděné reakce řidiče může být fyziologie řidičova oka. Zde je důvodem zmenšení duhovky, při ostrém osvětlení prostoru před vozidlem a tím zhoršení vnímání předmětů v neosvětlených oblastech. [1]

V tomto měření však bylo podstatné, že měření probíhalo pouze s jedním typem halogenových a xenonových světlometů. Výsledky se tak nedají plně aplikovat do širšího hlediska. [1]

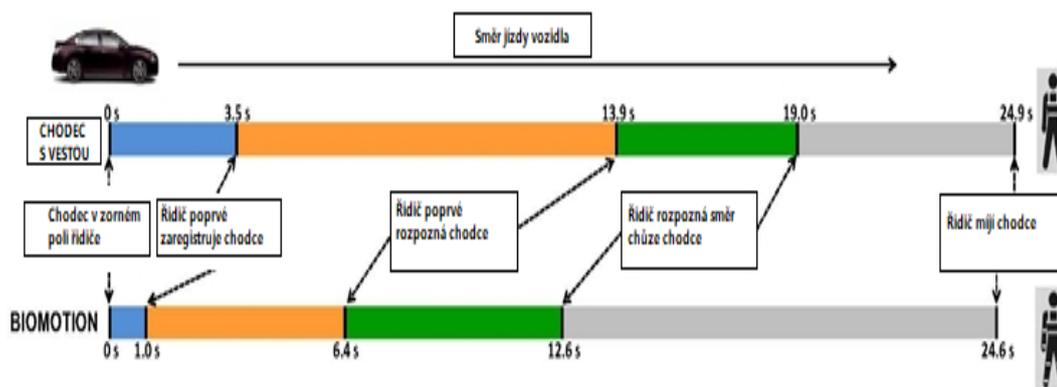
Další podobná studie pochází z Austrálie z roku 2017 a nese název „*Viditelnost chodců v noci: vliv oblečení na pohyb očí řidičů*“. (2, s. 184–190)

Ve studii je rozebírána celková reakce řidiče na chodce pohybující se na vozovce, z nichž jeden má na sobě pouze reflexní vestu a druhý další reflexní prvky na hlavních pohyblivých kloubech. Tyto prvky tak kopírují běžnou lidskou chůzi. Proces probíhal na uzavřeném okruhu, kdy řidiči používali eye tracker, jenž snímal pohyb jejich očí. Vozidlo, které bylo použito, bylo Nissan Maxima z roku 1997 s halogenovými světlomety s tlumeným svícením. Cílem práce bylo zobrazit rozdíly v reakcích řidičů na chodce oblečeného buď v reflexní vestě anebo v reflexní vestě s dalšími reflexními prvky na pohybových kloubech. Měření se účastnilo 14 řidičů, každý s 6–8 lety zkušeností s řízením. Ti měli za úkol stisknout tlačítko v závislosti reakce na chodce, když si byli jistí, že to co okem zaznamenali, byl skutečně chodec. Měření probíhalo na několik opakujících se jízd po okruhu, z nichž při několika jízdách na okruhu chodci ani nebyli. To bylo učiněno z důvodu, aby se zabránilo očekávání chodce a výsledky tak mohly být průkaznější. Chodci naopak měli za úkol vždy jít po pravém okraji vozovky s vědomím, že auta jezdila v levém jízdním pruhu. Dále měli v popisu měnit směr chůze, tedy chvíli jít k vozidlu čelem a chvíli zase k vozidlu zády. [2]

Výsledků z toho měření je hned několik. Jedním z nich je i to, že řidiči si nejprve ze všeho všimli reflexního prvku v místě kotníků chodce a tím tak odhadli i směr, kterým se chodec pohyboval. Hlavním výsledkem bylo to, že reflexní prvky umístěny na hlavních pohybových kloubech chodce, řidiči zaznamenali až 2x rychleji, než když měl chodec pouze reflexní vestu v místě hrudníku a ta tak měla spíše statickou polohu. [2]

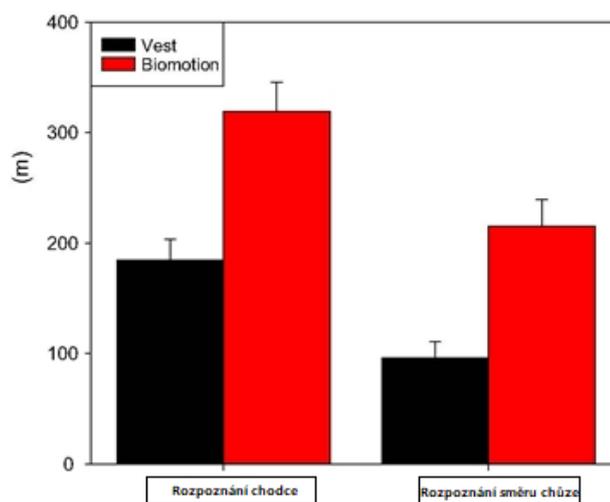
Hodnoty, které byly během procesu naměřeny tak jasně dokazují, že pro větší bezpečnost a viditelnost chodců na silnici nemusí být ani žádný drahý externí světelný zdroj. Stačí pouze reflexní prvek na jednom z pohybových aparátů chodce. V tomto ohledu je důležité, aby dopravní složky více informovali o těchto výsledcích veřejnost a do podvědomí lidí zanesli, že mít na sobě při chůzi na silnici reflexní vestu je naprostý základ a pro maximální možné bezpečí je vhodně u sebe mít ještě další reflexní prvek připevněný k pohybovému kloubu. [2]

Průměrné dosažené hodnoty, kde jsou porovnány reakce řidiče na chodce s reflexní vestou a na chodce s reflexní vestou a dalším reflexními prvky připevněnými na končetinách konající biomechanický pohyb, jsou vyobrazeny na Obr. č. 2.



Obr. č. 2 – Porovnání průměrných hodnot reakce řidiče na chodce s rozdílnými reflexními prvky [2]

Hodnoty uvedené ve sloupcovém grafu, který zobrazují porovnání průměrných vzdáleností od zaregistrování chodce řidičem, kdy chodec má v jednom případě oblečenou pouze reflexní vestou a ve druhém případě reflexní vestu a přídavné reflexní prvky, jsou uvedeny na Obr. č. 3. Zde se tak ještě lépe vyobrazuje důležitost a podstata nošení nejen reflexní vesty, ale i přídavných reflexních prvků. [2]



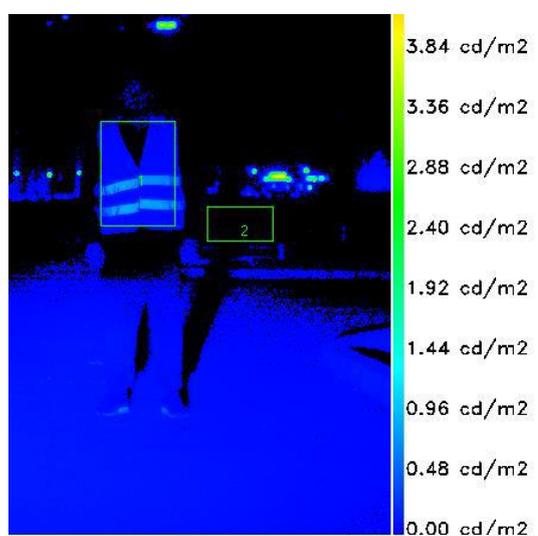
Obr. č. 3 – Průměrné hodnoty rozpoznání chodce rozpoznání směru chůze chodce s reflexní vestou a s reflexní vestou + reflexními prvky [2]

V další studii z roku 2019 nesoucí název „Viditelnost chodců v noci: vliv oblečení chodce na vadný světloomet automobilu“ [3] je porovnáváno na jakou vzdálenost jsou rozpoznání chodci s černým, modrým, červeným, zeleným nebo žlutým oblečením či reflexní vestou a mají pouze jeden funkční přední světloomet. Výsledky zde poukazují na důležitost barvy oblečení chodce za zhoršených podmínek viditelnosti (za tmy). Celý proces probíhal na uzavřeném okruhu. Měření probíhalo pouze na dráze 50 m, kdy se postupně po vzdálenosti 10 m od sebe a 0,5 m od pravého okraje vozovky, vždy rozmístili chodci se všemi barvami oblečení. [3]

Pro zpracování naměřených hodnot byl použitý software PC – Rect 4.2. Tento software dokáže určit jas v různých oblastech fotografie, a tak dopočítat kontrast mezi oběma zaměřenými oblastmi.

V tomto případě to byly oblasti hrudníku chodce a tmavého pozadí. Vozidlo, které bylo použito pro experiment, bylo značky Dacia Logan s halogenovými světlomety. [3]

Výsledky této studie byly očekávané. Na prvních 10 m byl již téměř neviditelný chodec, který měl na sobě černé oblečení. U větších vzdáleností už byl dle softwaru chodec v černém oblečení zaměřován s pozadím. Naopak dle očekávání se viditelnost chodce zlepšovala se světlejším oblečením, tedy s tím, které tvořilo větší kontrast s tmavým pozadím. Pokud měl chodec červené nebo zelené oblečení byl rozeznatelný na vzdálenost 20 metrů. Naopak modrá barva začala postupně splývat s prostředím. Na 40 metrů byl stále dobře vidět chodec ve žlutém oblečení. Chodci, kteří na sobě měli reflexní vestu, byli stále dobře rozeznatelní i na 50 metrů. Co se týká funkčnosti světlometů tak v průměru jsou chodci lépe vidět při funkčnosti levého světlometu. [3]



Obr. č. 4 – Příklad dvou označených oblastí k porovnání kontrastu na fotografii [3]

Další studií z roku 2021, je studie s názvem „Porovnání světlometů vozidel“ [44], která je svým tématem velmi blízká hlavnímu tématu této diplomové práce. Studie se zabývala porovnáním různých zdrojů světla předních světlometů vozidla v závislosti na viditelnosti chodce za podmínek zhoršených tmou. Vozidla, která byla použita, byla stejné značky a stejné modelové řady. Jednotlivě vozidla měla halogenový, xenonový a LED zdroj svícení. Konkrétně to byla vozidla značky ŠKODA Octavia III. generace. Měření probíhalo staticky, kdy se od figuranta vozidlo posouvalo o určité vzdálenosti. Při každé změně vzdálenosti byly analyzovány oba typy svícení – dálkové i tlumené. Měření figuranti měli oblečeno volnočasové oblečení, kdy jeden měl oblečení světlejší barvy a druhý spíše barvy tmavé. Výsledky byly zpracovány za pomoci jasového analyzátoru LumiDISP, který za pomoci fotografií vyhodnocuje jasovou analýzu. Z té následně bylo možné vypočítat hodnoty kontrastu oblečení chodce s okolím při použití konkrétního zdroje světla. Při použití tlumeného světla byl analyzován jas dolních končetin chodce a při použití dálkového světla byla analyzována oblast celého těla. Měření probíhalo na rovném úseku, který byl suchý, bez pouličního osvětlení. [44]

Výsledky ukázaly, že největší kontrastní hodnoty dosahovaly xenonové světlomety při použití tlumeného svícení, a to zejména díky vyšší hodnotě světelného toku a vyšší teplotní chromatičnosti na rozdíl od halogenových světlometů. Analýza kontrastu pak nejnižší hodnoty ukázala u LED světlometů. Ty mají kratší vlnovou délku a nejvyšší světelný tok. Naproti tomu je ale velkou nevýhodou velmi ostrá hrana mezi osvětlenou a neosvětlenou oblastí. Velkou výhodou je však minimální oslnění protijedoucích vozidel. [44]

Závěrem bylo stanoveno, že nejlepší kombinací jsou xenonové světlomety pro tlumené světlo a LED nebo halogenové světlomety pro dálkové světlo. U chodce ve světlejším oděvu, dosahoval nejlepších hodnot halogenový světlomet a naopak u chodce v tmavším oděvu měly lepší výsledky LED světlomety. [44]

Dalším příbuzným tématem této diplomové práce se zabývala diplomová práce s názvem „Rozdíly v chování řidiče při jízdě přes přechod pro chodce v noci a ve dne“. [45] Byly zde zkoumány rozdíly v časových reakcích řidičů na chodce, kteří se pohybovali po přechodu pro chodce za světla nebo za tmy na různých místech v Brně a jeho okolí. Denního měření se zúčastnilo 12 řidičů a nočního 7 řidičů. Všichni řidiči měli již delší dobu zkušenosti s řízením vozidla. Optické reakce řidičů byly zkoumány pomocí zařízení eye tracker. Chodci měli tmavé volnočasové oděvy, tedy takové, které snadno splynou s okolím jak ve dne, tak i v noci. Pro měření byla použita 2 vozidla stejné modelové řady značky ŠKODA Octavia. Jedno z nich disponovalo halogenovými světlomety a druhé xenonovými světlomety. [45]

Výsledky byly následně vyhodnocovány na základě různých optických reakcí na figuranty přecházející přechod a jiné další rušivé podněty. Reakce bylo možné rozpoznat pomocí změny směru pohledu. Pro celkové vyhodnocení doby sledování přecházejícího chodce či jiného rušivého podnětu, byl chodec či jiný podnět sledován od první zaznamenané optické reakce řidiče do okamžiku průjezdu řidiče okolo chodce či podnětu. [45]

Pro vyhodnocování denního měření byl použitý eye tracker PupiLabs a pro vyhodnocování nočního měření byl použitý eye tracker Viewpointssystem. [45]

Výsledky této studie ukázaly, že řidiči na chodce reagovali rychleji v noci než ve dne a řídili obezřetněji i přes časté oslnění protijedoucími vozidly z důvodů nerovnosti na vozovce či vyjíždění vozidla z boční ulice. Bylo také zjištěno, že řidiči za podmínek zhoršených tmou nejvíce reagovaly na odrazové či svítivé podněty podél vozovky nebo na vozovce. To může pouze dále dokazovat důležitost použití reflexních prvků v nočních hodinách. Výsledné porovnání reakcí při použití halogenových a xenonových světlometů v závěru nebylo zmíněno. [45]

Všechny výše zmíněné studie se zabývaly, ať už ve větší nebo menší míře, tématy týkající se této diplomové práce. Témata zde budou dále za pomoci vlastních vozidel, probandů a možných použitelných softwarů či metod zkoumána a rozebírána.

## 2.1 MĚŘENÍ DOHLEDNOSTI NA CHODCE ZA SVĚTLA A ZA TMY

Měření dohlednosti na chodce je možné dělit na 2 typy. První typem je měření na uzavřeném okruhu kdy řidič vozidla ví, že se na silnici pohybují chodci v různých typech oblečení. Je to ta z bezpečnějších metod, kdy řidič ví, že má na silnici očekávat pohyb. Naproti tomu to značně může ovlivnit měření, jelikož řidič ví, že se musí více soustředit na pohyb na vozovce. [9]

Druhá metoda je měřena v otevřeném provozu, kdy je do měření zahrnuta spousta dalších faktorů běžného provozu. Pro chodce zde vzniká mnohem větší nebezpečí než na uzavřeném okruhu, a proto je nutné dbát zvýšené opatrnosti. Výsledky z tohoto měření však bývají mnohem objektivnější nežli na uzavřeném okruhu. [9]

Rozdíly dohlednosti na chodce za světla a za tmy lze rozdělovat zejména v porovnání počtu nehod, které se v obou částech staly. Je tedy dokázáno, že s postupným snižováním světla, počátkem šera s přechodem do úplné tmy klesá řidičova dohlednost i celková pozornost a to i s lepšími světlomety. Díky těmto důvodům roste nejen nehodovost, která je procentuálně několikanásobně větší než nehodovost za denního světla, ale zároveň i závažnost dopravních nehod a jejich následků. Údaje z roku 2013, které byly sesbírány v USA, ukázaly, že až 72 % chodců, kteří byli usmrceni na silnici, byli usmrceni ve večerních a nočních hodinách. K roku 2021 je však již zaznamenán celkový pokles usmrcení chodců za nočních hodin nejen v USA, ale i u nás. [9]

Všeobecně je však bráno, že za dohlednost řidiče na chodce nemůže pouze tma, ale je to velká směs faktorů s tmou spojených. Řadí se mezi ně, únava, konzumace alkoholu, která je jistě ve večerních hodinách větší než v těch denních, oslnění světly protijedoucích řidičů a tak dále. Ze statistik také vyplívá, že k většině nehod s chodci dochází v letních dnech. [9]

Dohlednost řidičů se také liší v rámci jejich věku. Je dokázáno, že člověk bez jakýchkoliv předešlých zrakových postižení má nejvyvinutější a nejlepší zrak mezi 20.–25. rokem života. Poté se zrakové vnímání začíná zhoršovat. Člověk, kterému je 20 let je schopný zcela jinak vnímat jas, ostrost obrazu, různé kontrasty i pohyb při zhoršené viditelnosti, než člověk, kterému je 60 let. Starší řidiči si těchto svých problémů většinou sami všimnou a to zejména při nízké frekvenci pouličního osvětlení, kdy je nutné se spoléhat výhradně na přední světlomety vozidel. I to vede starší řidiče k omezení pohybu na silnicích za zhoršené viditelnosti. Oční onemocnění jsou také záležitostí spíše starších řidičů. Mezi ně patří například glaukom, šedý zákal a věkem podmíněná okulární degenerace. Ta způsobuje zejména zrakové problémy při nižší úrovni jasu. [9]

Dalším z faktorů, který dokáže ovlivnit dohlednost řidiče zejména za tmy je používání tlumených a dálkových světlometů. Každá konstrukce světlometů se liší model od modelu. Společným cílem jsou ovšem dva protichůdné cíle, kterými jsou maximalizace schopnosti řidiče vidět před sebe co možná nejdále a zároveň neoslňovat ostatní účastníky provozu. Dalším společným konstrukčním faktorem je, že při svícení tlumenými světlomety je světlomet na straně řidiče, vychýlen níže a směrem k vnějšímu okraji vozovky oproti pravému světlometu. Je to zejména z důvodu neoslňení

řidiče protijedoucího vozidla. To ovšem zabraňuje řidiči v lepší viditelnosti na chodce či překážky na jeho straně vozovky. Řešením by pro tento problém měly být adaptivní světlomety vozidel, které automaticky upravují svůj sklon a natočení dle směru jízdy a při míjení protijedoucího vozidla se sklopí dolů. [9]

Samotný chodec má také možnost zvýšit svoji dohlednost a pomoci tím řidiči s včasnou reakcí na něj samotného. Jednou z těchto pomocí je vhodné oblečení, které při zasvícení tvoří dostatečně velký kontrast s okolním prostředím a je tak vidět na větší dálku. Kontrast samotný je velmi ovlivněn okolním osvětlením, naopak odrazivost jednotlivých druhů materiálu je faktorem, který kontrast nejvíce ovlivňuje. Široká veřejnost tato fakta bohužel stále nerespektuje. Určité studie dokazují, že řidiči jsou schopni zareagovat na tmavě oděného chodce pouze na 2,6 m. Dalo by se říci, že naproti černé barvě bude největší kontrast tvořit bílá barva. Není tomu tak. Určitá studie dokázala, že řidiči jsou schopni na chodce oděného do bílé barvy reagovat na vzdálenost 40,3 m, což je určitý posun oproti tmavé barvě, ale ne zas až tak velký. Důvodem je, že většina oděvních látek difúzně odráží pouze malou část světla zpět k očím řidiče, a proto i bílé oblečení poskytuje poměrně omezený kontrast proti tmavému pozadí. [9]

Jednou z lepších možností jak se na silnici zviditelnit z hlediska chodce a zvýšit tak dohlednost pro projíždějící řidiče, je použití retroreflexních materiálů. Ty jsou navrženy tak, aby odrážely dopadající světlo přímo zpět k řidiči. Byly přiřčeny jako součást reflexních vest. Dohlednost na ně je tak mnohem větší než u ostatních zmiňovaných materiálů, ale stále není taková, aby řidič na dostatečnou vzdálenost rozeznal, že jde o chodce. Ne reflexní vestě je retroreflexní materiál umístěn zejména v oblasti hrudníku a trupu. Mnohé studie tohoto zaměření ale dokázaly, že řidiči mohou často zaměnit tento retroreflexní materiál na reflexních vestách s nějakým jiným reflexním předmětem a neurčit ho jako součást chodce. [9]

V současné době je za jedno nejlepších možností zviditelnění se na silnici označeno přichycení retroreflexních materiálu na některou z končetiny, které konají pohyb, přesněji biomechanický pohyb. Jsou to zejména pohybové klouby, které se hýbou při chůzi. Jedna ze studií dokazuje, že použití retroreflexního značení chodců v místě pasu, zápěstí a hlavy, má za následek zvýšení rozpoznávací vzdálenosti až o 26 %, 28 % a 67 % než reflexní vesta, visací štítek či baterka. Souhrnně výsledky studií ukazují, že zatímco kontrast je pro nápadnost chodce důležitý, četnost kontrastních prvků na pohybujících končetinách chodce je kriticky důležitá. Je tedy dokázáno, že použití retroreflexního značení na končetinách chodce je mnohem účinnější než značení omezené pouze na oblast trupu chodce. [9]

### 3 ZÁKLADNÍ POJMY

Pro chápání určitých pojmů zmíněných v této diplomové práci je důležité si je přesně definovat a popsat jejich vlastnosti jak z hlediska fyzikálního, tak i z hlediska vnímání samotným člověkem. Nadřazeným pojmem pro všechny definice, které jsou zmíněny v této kapitole, je světlo. Při popisu světla je důležité si popsat jeho fyzikální veličiny. Nedílnou součástí toho jak světlo vnímáme je zrakový orgán, tedy oko, které různé druhy světla vnímá v různé denní doby jinak. Celkové vnímání světla je pak ovlivněno mnoha faktory. Veškeré tyto pojmy jsou vysvětleny v této kapitole.

#### 3.1 SVĚTLO

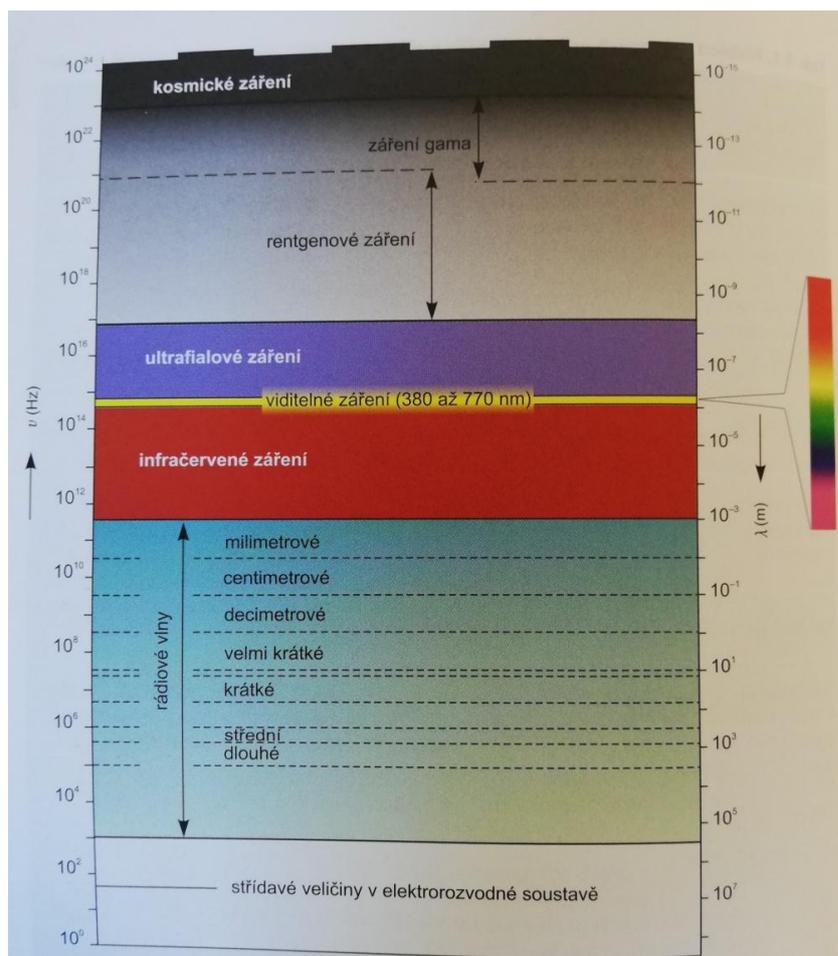
Lidstvo se vždy snažilo určitým způsobem přizpůsobovat podmínkám na Zemi. První podvědomí o světle člověk dostal ze situace, kdy si uvědomil, že část dne kdy vidí, je schopný se orientovat ve svém okolí, rozlišovat různé věci a jejich detaily. Naproti tomu byla denní doba, kdy neviděl, tedy tma. Lidská aktivita tak byla výrazně omezena. [10]

Povahu světla zkoumalo několik fyziků a s tím se názory postupně vyvíjely. Od korpuskulární teorie (Newton) a vlnové teorie (Huygens) k Maxwellově teorii o elektromagnetickém původu světla až k Einsteinově kvantové teorii světla, vycházející ze současného vlnového i korpuskulárního charakteru světla. [10]

Hlavním tématem zkoumání světelné techniky je sledování prostorového rozdělení toků energií při jejich přechodech mezi určenými místy. Světlo je pak vnímáno lidským zrakem na základě spektrální citlivosti k záření různých vlnových délek. [10]

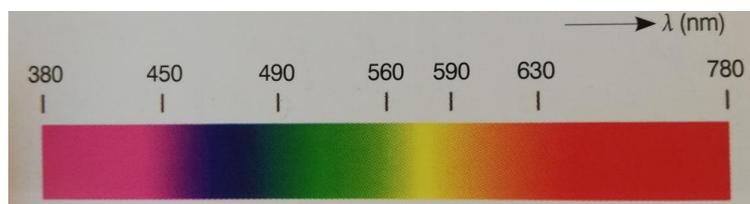
Jelikož každý má oko postavené trochu jinak a je schopný odlišně vnímat různé vjemy, tak z hlediska sjednocení výpočtů bylo za pomoci mezinárodního orgánu CIE přijato maximum světelného účinku na hodnotu  $683 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$  záření při základní vlnové délce 555 nm za denního vidění. Dále pak byla jako základní jednotka svítivosti přijata 1 kandela a přiřazena k základním jednotkám soustavy SI. [10]

Světlo je dnes spíše definováno jako viditelná část elektromagnetického záření. Frekvence, na které se světlo pohybuje je přibližně  $3,9 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$  do  $7,9 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ . Ve vakuu to odpovídá vlnové délce 390–760 nm. Světlo, které je pouhým okem viditelné, leží mezi vlnovými délkami ultrafialového záření a infračerveného záření. Do přesné charakteristiky světla pak lze zařadit několik hledisek. Například jsou to fotometrické charakteristiky, do kterých spadá svítivost, světelný tok, jas nebo intenzita osvětlení. Dále to může být kolorimetrická charakteristika, tedy vnímání různých barevných vjemů. Do této charakteristiky patří frekvenční spektrum nebo barva. Nedílnými součástmi charakteristiky světla jsou také koherence či polarizace. Od nich se pak následně odvíjí chování světla při odrazu, lomu, průchodu prostředím či skládání a ohybu světla. [11]



Obr. č. 5 – Spektrum elektromagnetického záření s orientačním členěním dle frekvencí a vlnových délek s vyznačením viditelného záření. [10]

Pro účely této práce je z Obr. č. 5 nejdůležitější pojem viditelné záření, které je definováno jako jakékoliv optické záření, které je schopné u člověka vyvolat zrakový vjem. Za doby denního vidění je pak viditelné záření schopné budít vjemy barevné, které se rozkládají na barevné tóny ve spektrální oblasti viditelného záření. Oko tak může rozeznat až 128 barevných tónů záření. [10]



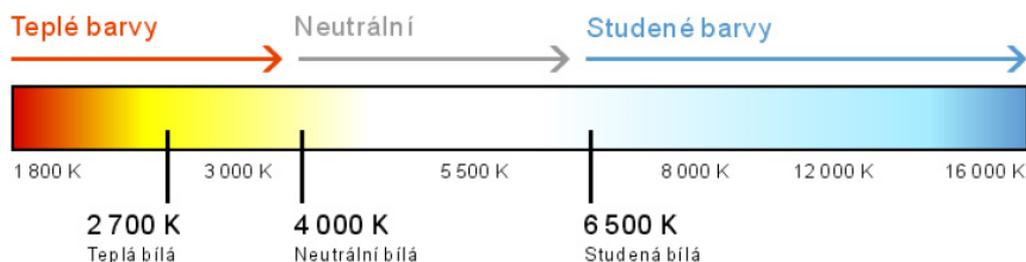
Obr. č. 6 – Rozložení barev ve viditelné části spektra [10]

Přesné hranice barevného spektra však nelze vymezit, jelikož jsou velmi závislé na aktuálním zářivém toku, který dopadá na sítnici oka a také na spektrální citlivosti oka pozorovatele z hlediska zrakové schopnosti s určitými indispozicemi, které citlivost ovlivňují. Všeobecně se však spodní hranice odhaduje mezi 360–400 nm a horní hranice v rozmezí 760–830 nm.

## 3.2 CHROMATIČNOST

Při definici světla je nutné také zmínit barevnou teplotu, kterou světlo vydává, přesněji teplotní chromatičnost. Každé světlo má nějakou svoji teplotní chromatičnost. To je důležité zejména při výběru zdroje osvětlení v rámci toho, na co bude dané světlo používáno a jaké jsou požadavky uživatele světla. Pokud uživatel žádá takové světlo, při kterém by rád spíše relaxoval a odpočinul si, je vhodné vybrat takový zdroj světla, který má spíše teplejší odstíny. To jsou takové, které vydávají teplotu do 3000 K. Naopak, pokud je požadováno udržet lidské oko spíše v pozoru a zabránit tak únavě je vhodné vybrat takový zdroj světla, který se blíží teplotě světla připomínající světlo za denní doby. Jsou to tedy světelné teploty nad 4000 K. Tato vlastnost světla je tak velmi důležitá i při výběru předních světlometů vozidel, které tak mohou ovlivnit pozornost a bdělost řidiče při jízdě. [12]

Samotná teplotní chromatičnost by se dala definovat jako charakteristika světla se spektrem blízkým dokonale černého tělesa včetně světla bílého, tedy světlo o určité barevné teplotě má svoji barvu tepelného záření, které je vydáváno černým tělesem, jež je zahřáté na teplotu zmiňované barevné teploty. Jednotkou chromatičnosti je kelvin [K] a značí se  $T_c$ . V případě světelných zdrojů, u kterých nedochází k tepelnému žhavení, se mluví o tzv. veličině náhradní teplotní chromatičnosti. [12]



Obr. č. 7 – Rozdělení teplot chromatičnosti. [13]

## 3.3 FYZIKÁLNÍ VELIČINY SVĚTLA

### 3.3.1 Světelný tok

- Značka:  $\Phi$
- Jednotka: **lumen [lm]**

Světelný tok, který bývá v praxi označován také jako světelný výkon, je vyjádření intenzity vjemu lidského oka, kterou vyvolala energie světelné záření, jenž prochází za určitý čas určitým prostorem, kterým dané světlo prochází. [14, 15]

Světelný tok, který je udáván v lumenech, má přímou souvislost se zářivým tokem udávaným ve wattech. S tím souvisí i citlivost lidského oka, na samostatná světla barevného spektra. [14, 15]

### 3.3.2 Svítivost

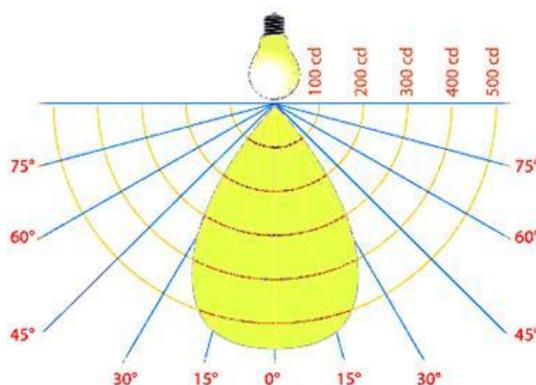
- Značka:  $I$
- Jednotka: **kandela [cd]**

Svítivost je vyjádřena jako hustota elektrické energie, vyzářená do určitého směru pod určitým úhlem. Hodnota svítivosti následně není nijak změněna při změně vzdálenosti od světelného zdroje. [14]

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (1)$$

Ve vzorci (1) je  $d\Omega$  vyjádřeno jako **prostorový úhel** v určitém směru a  $d\Phi$  vyjadřuje **světelný tok** vyzařující právě do prostorového úhlu  $d\Omega$ . [14]

Za pomoci svítivosti je následně vypočítán světelný tok, který je dán součinem hustoty paprsků (tj. svítivost) a úhlu, pod kterým byly paprsky vyzářeny. [14]



Obr. č. 8 – Diagram svítivosti [14]

Diagramem svítivosti na Obr. č. 8 si lze představit jako vyzařování světla světelných zdrojů do různých směrů. Tento jev lze zaznamenat u předních světlometů vozidel, které svítí nejsilněji před sebe a do bočních stran již svítivost klesá. Z Obr. č. 8 lze vyčíst, že pod nulovým úhlem žárovka svítí hodnotou přibližně 550 cd. A se zvyšujícím se úhlem postupně svítivost klesá a tak od úhlu většího než 30° na obě strany od nulového úhlu je svítivost téměř nulová. [14]

Tab. č. 1 – Hodnoty svítivosti některých druhů světla. [14]

Zdroj světla	Svítivost
LED	0,005 cd
Svíčka	1 cd
100 W žárovky	135 cd
Reflektory automobilů (dálkové)	100000 cd
Fotografický blesk (maximální hodnota)	1000000 cd

### 3.3.3 Intenzita osvětlení

- Značka:  $E_v$
- Jednotka: **lux [lx]**

Je definována jako část světelného toku, který dopadá kolmo na plochu o určitém obsahu. Při kolmém světelném toku je tak intenzita osvětlení 100%. Naopak pokud je světelný tok rovnoběžný s plochou, je osvětlení 0 %. U intenzity osvětlení je tak velmi důležitý dopadající úhel světelného toku. [14]

$$E_v = \frac{d\Phi}{dS} \quad (2)$$

Ve vzorci (2)  $d\Phi$  znázorňuje částice **světelného toku** a  $dS$  **obsah plochy**, na kterou dopadají dané části světelného toku.

V praxi jsou pro intenzitu osvětlení stanovena určitá pravidla na konkrétní místa. V knihovnách a místech určených pro čtení je předepsána intenzita osvětlení 500 lx. V halách pro montáže různých drobných dílů je to 1500 lx. Naopak pro osvětlení schodiště postačí 15 lx. Pro příklad, Slunce je schopné vyvinout intenzitu osvětlení až okolo 50000 lx.

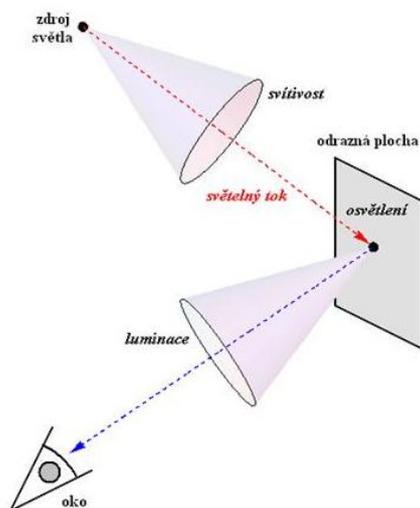
### 3.3.4 Luminance

- Značka: **L**
- Jednotka:  $\text{lm} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} = \text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$

Luminance je v praxi to, co je chápáno jako jas neboli měrná veličina svítivosti. Luminanci lze popsat jako sílu odraženého světla od plochého předmětu (papír, plátno) nebo vyzářeného světla plochým zdrojem světla (televize, mobilní telefon). Vyjadřuje tak svítivost daného zdroje světla s dopadající plochou o obsahu 1 m<sup>2</sup>. Podstatná je tu tedy zejména hustota světelných paprsků na dopadající plochu.

$$L = \frac{dI}{dS * \cos\alpha} \quad (3)$$

Ve vzorci (3), **dI** označuje **svítivost**, **dS plochu**, na kterou dopadá světelný tok a **cos(α)** **úhel** pod jakým světelný tok dopadá na zmiňovanou plochu.



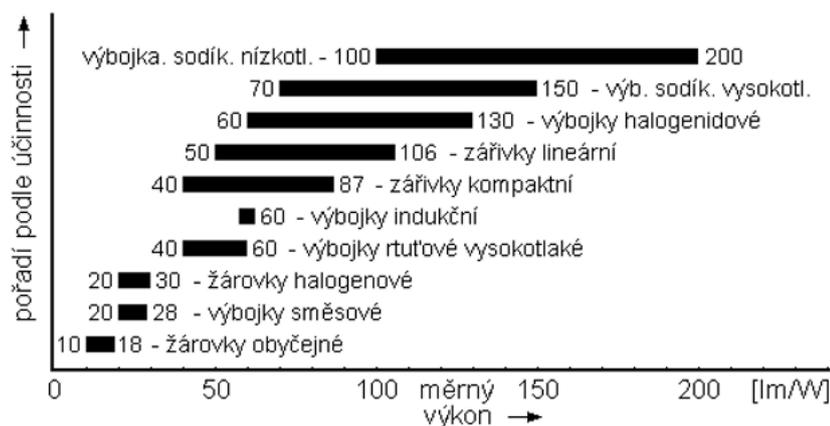
Obr. č. 9 – Vztah fotometrických veličin od zdroje světla k luminaci [14]

### 3.3.5 Měrný výkon

- Značka: **K**
- Jednotka: **lm/W**

Měrný výkon je vztah mezi světelným tokem a elektrickým příkonem světelného zdroje. Vyjadřuje tedy, jak účinně světelný zdroj přemění vstupní energii na viditelné světlo. Nazývá se tak souhrnně světelná účinnost zdroje. Lze ji však často zaměnit se světelnou účinností záření či také jinak řečeno viditelností. Ta udává viditelnost světla v závislosti na přenášeném výkonu a elektromagnetickém záření. Obě veličiny se označují stejným značením a mají i stejnou jednotku. V kontextu je však důležité světelnou účinnost zdroje a světelnou účinnost záření nezaměňovat. [14]

$$K = \frac{\Phi}{P} \quad (4)$$



Obr. č. 10 – Měrné výkony zdrojů světla [16]

### 3.3.6 Kontrast jasu

Kontrast jasu je v dopravní oblasti velmi důležitý zejména při jízdě vozidla za zhoršené viditelnosti buď tmou anebo vlivem počasí. Jedná se tak o porovnání dvou jasů, tedy jaký je kontrast jasu určitého předmětu vzhledem k jeho okolí. Přesněji definováno tak jde o subjektivní hodnocení rozdílu vnímaných jasností dvou či více povrchů viděných současně nebo v určitém časovém sledu. [17]

$$K_j = \frac{(L_A - L_B)}{L_B} \quad (5)$$

V rovnici (5)  $L_A$  vyjadřuje jas rozlišovaného objektu a  $L_B$  jas jeho okolí. [15]

## 3.4 ZRAK A VIDĚNÍ

Při vývoji světelné techniky v nejrůznějších oborech je vždy důležité dodržovat určitá stanovená pravidla z hlediska intenzity světla, barvy světla, umístění světla a tak dále. Pro správné zjištění všech těchto zjištěných podmínek je však důležité vědět, jak celé zrakové ústrojí člověka funguje, na co reaguje a jak se chová při určitých situacích. Zrakové ústrojí každého člověka je velmi komplikovaná anatomická struktura, kterou již nelze chápat pouze jako okem umožněné vnímání určité části elektromagnetického záření či oko považovat za zařízení pro pouhý příjem světla. Z mnoha odborných prací dnes již vyplývá, že: „Vidění je proces probíhající ve zrakovém ústrojí, zahrnující jak příjem informací přinášných do oka světelnými podněty, tak jejich zpracování a transformaci optických podnětů v nervové vzruchy, které se zrakovým nervem vedou k mozkovým centřům vidění, kde vzniká zrakový početek. Syntézou počiteků se pak ve vědomí člověka vytváří vjem umožňující poznání, identifikaci pozorovaného předmětu a jeho určité zařazení ve vědomí.“ [10]

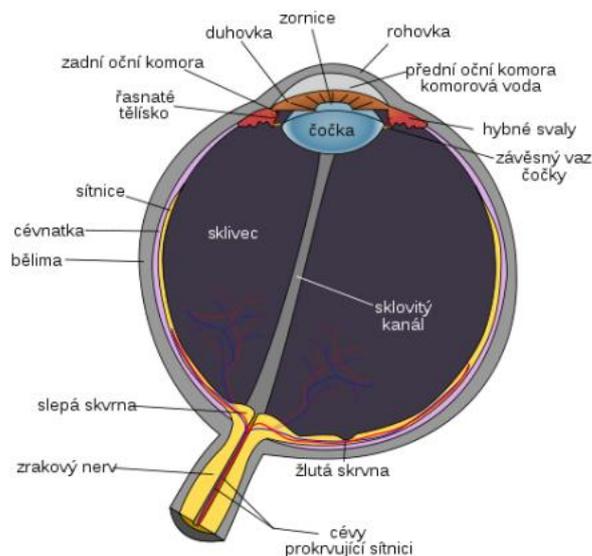
Nejjednodušší možná definice pro zrak je, že je to zařízení pro příjem a zpracování informací od vnějšího okolí. Informaci nese určitý světelný podnět. Ten zároveň může světelnou informaci usnadnit nebo ztížit.

### 3.4.1 Zrakové ústrojí člověka

*„Zrakové ústrojí člověka se skládá ze tří hlavních částí: periferní (oči člověka), spojovací (zrakové nervy) a centrální (podkorové a korové části mozku).“ [10]*

*„Oko člověka je smyslový orgán, který zprostředkovává příjem informace o vnějším prostředí přenášené světlem. Obě oči člověka jsou symetricky uloženy v lebce v tzv. očnícih. Tvar oka je přibližně kulový, uzpůsobený pro snadné a rychlé otáčení v očníci. Stěnu oka v jeho zadní části tvoří bělima, cévnatka a sítnice. V přední části oka přechází bělima v průhledný pevný obal zvaný rohovka, kdežto cévnatka přechází jednak v řasnaté tělísko, na němž je zavěšena oční čočka a jednak duhovka. Mezi rohovkou a duhovkou je prostor vyplněný vnitrooční tekutinou. Duhovka tvoří jakousi „mechanickou“ optickou clonu oka. Uprostřed duhovky je přibližně kruhový otvor – zornice, kudy vstupuje do oka světlo. Průměr zornice se mění v závislosti na smrštění či uvolnění hladkých svalů duhovky, a tím se upravuje hodnota světelného toku vstupujícího do oka. Za zornicí se nachází čočka, což je průzračné dvojevypuklé tělísko polotuhé pružné konzistence, obalené do pružného pouzdra. Díky neustálému vývoji pružné tkáně dochází po celý život k zahušťování střední části čočky, a proto s rostoucím věkem klesá schopnost měnit zakřivení dle potřeby. Vnitřní prostor oka vyplňuje bezbuněčná, čirá, pružná hmota – sklivec. V zadní části oka pod úhlem 18° od zadního pólu směrem k nosu, vystupuje z oka zrakový nerv, spojující sítnici oka s vyššími zrakovými nervovými centry v mozku. V místě, kde vstupuje zrakový nerv do sítnice, nejsou žádné nervové buňky, tedy ani foto receptory a toto místo se proto nazývá slepá skvrna. Neuvažuje-li se cévní zásobení oka a obaly oka, lze zjednodušeně říci, že oko má dvě soustavy – optickou a nervovou. Optická soustava, která umožňuje, že se v sítnici vytváří převrácený, zmenšený a neskutečný obraz vnějšího světa, zahrnuje rohovku, přední komoru, duhovku se zorničkou, čočkou a sklivec.“ [10]*

*„K nervové soustavě oka náleží kromě nervového zásobení zejména sítnice, což je průsvitná, poměrně tenká blána s velmi složitou, ale mimořádnou pravidelnou buněčnou skladbou. Na zrakové nervové dráze se rozlišují čtyři úrovně specializovaných nervových buněk, schopných přijímat a odvádět určitá podráždění či signály. K zrakovým neuronům tedy patří: fotoreceptory (čípky, tyčinky, čidla cirkadiánní soustavy), bipolární buňky, gangliové buňky a těla nervových buněk.“ [10]*



Obr. č. 11 – Schematický řez oční bulvou [18]

Složitost centrální nervové soustavy potvrzuje, že osvětlení ovlivňuje nejen samotné zrakové vnímání, ale i další fyziologické či biologické funkce člověka, které mají vliv na jeho celkový psychický stav a může tak například ovlivňovat kvalitu jeho pracovního výkonu.

Z mnoha výzkumů je dokázáno, že pro zpracování informací neslouží pouze jeden fotoreceptor v sítnici, ale celé vjemové pole, jehož velikost je ovlivněna jasem světelného podnětu a adaptací sítnice. [10]

### 3.4.2 Akomodace oka

*„Akomodace je schopnost oka přizpůsobit lomivost optických prostředí oka vidění do blízka změnou zakřivení hlavně přední, ale i zadní stěny čočky, vyvolanou různým stahem ciliárního svalu (řasnatého tělíska).“ [10]* Zjednodušeně je akomodace oka schopnost oka vidět ostře různě vzdálené předměty tím jak se mění ohnisková vzdálenost oka. Oční sval během toho mění optickou mohutnost oka, vyklenutím nebo zploštěním čočky, která se měří v dioptriích (D). [10]

Nejbližší bod, který může akomodované oko zaznamenat ostře je nazýván blízký bod. Naopak vzdálený bod je nazýván nejdále umístěný bod, který ještě dokáže akomodované oko vidět ostře. S přibývajícím věkem člověk se blízký bod postupně vzdaluje. Rozsah akomodace lze spočítat jako rozdíl optických mohutností oka pro blízký a vzdálený bod. Patnáctiletý člověk má rozsah akomodace asi 10D. Padesátiletý člověk má pak rozsah pouze 2D. [10]

### 3.4.3 Adaptační mechanismy

Adaptací oka je chápána schopnost oka reagovat na změnu hladiny osvětlení. Během adaptace se mění průměr zornice. Vyšší osvětlení vede k zúžení zornice a při nižším osvětlení se naopak zornice zvětšuje. S rostoucím věkem se zornice zmenšuje. Základním adaptačním mechanismem

je fotochemický děj což je rozklad zrakových pigmentů ve vnějších segmentech fotoreceptorů působením světla. V sítnici jsou uloženy až čtyři druhy pigmentů. Tři jsou vázány na čípky (zodpovídají za zrakovou ostrost). Čtvrtý pigment je vázán na tyčinky (rozlišují odstíny šedi a oproti čípkům jsou citlivější na světlo). To jak rychle jsou pigmenty schopné vykonat svůj rozklad, závisí zejména na parametrech předcházejícího osvětlení, jasu a vlnové délce světelného podnětu. [10]

Z pravidla se oko několikanásobně déle přizpůsobuje na tmu, nežli na světlo. Při adaptaci na světlo (nižšího jasu na vyšší) je rozklad fotopigmentů dokončen do jedné minuty a dalších 10 minut doznívá. Naopak při adaptaci na tmu (vyšší jas na nižší) je nutné vytvořit zásobu fotopigmentů, a proto adaptace trvá několik desítek minut až jednu hodinu. [10]

Adaptaci na světlo s jasnem vyšším než  $10 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$  zajišťují tři druhy očních čípků, které se vzájemně liší svojí spektrální citlivostí k záření různých vlnových délek. První druh čípků je citlivý na záření v modré oblasti spektra, druhý druh je citlivý na žlutozelené světlo a třetí na dlouhovlnné červené světlo. Díky nim je umožněno barevné vidění, které se nazývá fotopické vidění. [10]

Adaptace na tmu, která se nazývá skotopické vidění, zajišťují oční tyčinky. Ty jsou tisíckrát citlivější než oční čípky, a proto fungují při jasu nižším než  $0,001 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ . Tyčinky jsou nejcitlivější na barvu modrofialovou a naopak méně na červenožlutou. Z toho důvodu se na větší vzdálenosti rozeznává lépe světlo modré nežli červené. [10]

Zrakové vnímání člověka nefunguje staticky. Oči jsou neustále v pohybu a obraz na sítnici se mění s frekvencí přibližně 5 obrázků za sekundu. To vysvětluje, že zrakový vjem nevzniká ani nezaniká současně s popudem, ale s určitým časovým prodlením. Rychlost zaregistrování předmětu závisí na jasu předmětu v zorném poli. Rychlost registrování předmětu se pak zvyšuje s rostoucím jasnem až do  $300 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ . Ke vzniku vjemu za 1 s je potřebný jas okolo  $0,15 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ . Naopak ke vzniku vjemu za 0,5 s je potřebný jas  $1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ . Tento fakt nachází své uplatnění zejména v osvětlení dopravních cest. Mimo samotný jas také roste rychlost vnímání se zvětšováním kontrastu, jasů, detailů a pozadí. Zpracování zrakového vjemu je tak velmi závislé na intenzitě podráždění oka a době trvání světelného popudu. [10]

#### **3.4.4 Zorné pole**

Zorné pole oka je část prostoru, který může člověk zaznamenat upřeným pohledem bez pohybu oka nebo hlavy. V úhlovém rozsahu je takto člověk schopen vidět ve vodorovné rovině asi  $8^\circ$  a ve svislé rovině  $6^\circ$ . Maximální ostrost je viděna v úhlu  $1,5^\circ$ . Vždy, pokud chce člověk vidět co možná nejostřejší obraz, musí se snažit svoji optickou osu oka natočit tak, aby obraz padal přesně na žlutou skvrnu. [10]

#### **3.4.5 Rozlišovací schopnosti**

Rozlišit za pomoci oka různé předměty s různými detaily vychází z předpokladu, že z daných detailů vychází rozdílné světelné podněty, v rámci kterých je oko schopné rozlišit různé jasové detaily.

Tímto způsobem oko nerozlišuje pouze jas, ale také jasový kontrast či barvy. Pokud je pozorovaný předmět trojrozměrný, pak jeho vzniklé stíny mu napomáhají vyniknout v rámci prostorové struktury. Rozpoznatelnost detailu lze charakterizovat kontrastem jasu, neboť šance rozpoznatelnosti detailu narůstá se zvětšováním této veličiny. Nejmenší rozlišitelný rozdíl, který oko rozezná, se nazývá práh rozlišitelnosti a s ním spojený prahový kontrast. Převrácená hodnota k němu je kontrastní citlivost. [10]

### **Kontrastní citlivost**

Kontrastní citlivost je v nejširším měřítku chápána jako nejmenší hodnota kontrastu, kterou je člověk schopen oken rozpoznat dva různé objekty. Jednotkou kontrastní citlivosti je jeden cyklus na stupeň tzv. prostorová frekvence. V praxi je tato jednotka popsána jako každá dvojice černého a bílého pruhu, která vychází ze sinusové mřížky, představující jeden stupeň zrakového úhlu. Maximální kontrastní citlivost, kterou lze okem zaznamenat je v rozmezí 3–6 cyklů/stupně. Při určitém růstu adaptačního jasu kontrastní citlivost roste. Naopak při vyšších prostorových frekvencích kontrastní citlivost klesá, stejně tak jako se zvyšujícím jasnem, což způsobuje oslnění oka. [10, 23, 24]



*Obr. č. 12 – Graf závislosti kontrastní citlivosti na věku. [24]*

Kontrastní citlivost se zvyšujícím věkem klesá a to jak v nízkých tak i ve vysokých frekvencích. Několik příčin, které tento pokles ovlivňují jsou popsány v Tab. č. 2. [10, 23]

Tab. č. 2 – Důvody snižování kontrastní citlivosti. [23]

<b>Příčina poklesu kontrastní citlivosti</b>	<b>Prostorová frekvence (ve které dochází ke snížení)</b>
Věk	Nižší, střední, vyšší
Refrakční vady	Nízké vady – vyšší Vyšší vady – střední až nižší
Keratokonus (ztenčení oční rohovky)	Nejprve nižší, později i vyšší
Kontaktní čočky	Měkké kontaktní čočky – vyšší Nošené kontaktní čočky – střední a vyšší
VPMD (věkem podmíněná okulární degenerace)	Nižší, střední, vyšší
Diabetická retinopatie	Nižší, střední, vyšší
Neuritida zřetivého nervu	Nižší, střední, vyšší
Amblyopie (snížení zřetivé schopnosti)	Nižší, střední, vyšší
Toxické látky	Alkohol – nižší, střední, vyšší Organická rozpouštědla – střední
Neurologické choroby	nižší, střední, vyšší
Metabolické poruchy	Střední a vyšší

#### ***Hladina adaptačního jasu***

Hladina adaptačního jasu slouží zejména pro rozpoznání ploch s rozdílným jasem. Pokud je adaptační jas malý ( $0,0015 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ) je lidské oko schopné rozeznat plochy v poměru 1:3. Naopak při adaptačních jasech  $10^4 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$  je oko schopné rozeznat poměr jasů pouze 1:1,01. [10]

#### ***Rychlost rozlišování***

To jak rychle člověk může zareagovat na různé podněty je důležité v mnoha oborech, do kterých patří i doprava. Z několika studií vyplývá, že s rostoucí osvětleností roste i rozlišovací rychlost detailu, avšak s dalším nárůstem spíše klesá, jelikož při velkých nárůstech osvětlenosti se zrak brzo unaví. S rozlišovací rychlostí je velmi úzce spojena zřetivá ostrost. [10]

#### ***Zřetivá ostrost***

Zřetivá ostrost udává, jak dobře oko rozezná při daném pozadí dva detaily, které jsou velmi blízko u sebe. Odvíjí se zejména od podmínek osvětlení a adaptačního jasu. Za ideální zřetivou ostrost je považováno, pokud oko rozezná dva body, jejichž vzdálenost je vidět pod úhlem  $1'$ . Z toho

vyplývá, že čím je vzdálenost oka k pozorovaným detailům menší a oko je schopné je rozeznat, tím je větší zraková ostrost. [10]

### *Prostorové vidění*

Je zajištěno díky tomu, že člověk používá pravé i levé oko zároveň. U každého člověka je však tato vlastnost velmi individuální. Obecně se udává maximální rozlišitelná vzdálenost dvou předmětů okolo 1300 m. Naopak minimální vzájemná vzdálenost rozlišovaných předmětů 0,4 mm při vzdálenosti 1 m. [10]

### **3.4.6 Oslnění**

Oslnění oka vzniká, pokud se v zorném poli oka nachází příliš velké jasy nebo jejich rozdíly, případně vzniknou-li v zorném poli velké prostorové nebo časové kontrasty jasů, které překračují schopnost adaptace oka. Oslněním je tak negativně ovlivněna celá činnost oka a tím je narušena i zraková pohoda. [10]

Dle způsobu oslnění se oslnění dělí na:

- Oslnění přímé
- Oslnění odrazem
- Přechodové oslnění
- Oslnění závoje
- Oslnění kontrastem [10]

Nejpodstatnějším oslněním zejména z hlediska světelné techniky je oslnění kontrastem, jenž vzniká v případě, že se v zorném poli oka vyskytují jasy příliš velké v porovnání s jasnem, na který je zrak v danou chvíli adaptován. [10]

Dle následků se kontrastní oslnění rozděluje na:

- Oslnění psychologické
  - Pozorovatelné
  - Rušivé
- Oslnění fyziologické
  - Omezující
  - Oslepující [10]

Při psychologickém oslnění je zrak odpoutáván od vlastního zrakového úkolu. Tím vznikne pocit zrakové nepohody a vzrůstá zraková únava a to i bez zaznamenání pozorovatele. Nezpůsobuje však měřitelné změny zrakových funkcí. [10]

Fyziologické oslnění je chápáno jako vyšší stupeň oslnění. Dá se na rozdíl od psychologického změřit v rámci provedených změn ve zrakových funkcích. Snižuje tedy zrakovou ostrost a kontrastní citlivost. V krajních případech může být fyziologického oslnění i oslněním oslepujícím, které může trvat

i delší dobu po odeznění vyzařování oslnění. Všeobecně je oko nejvíce citlivé na oslnění ve směru osy pohledu a v jejím okolí asi do 14°. [10]

### **3.4.7 Optické poruchy oka**

Existuje několik typů vad oka a optické soustavy, které ve větší či menší míře poškozují zrak člověka. Oko tak není plně schopno vykonávat svoji funkci a je limitováno v několika činnostech, mezi které lze zařadit i řízení motorového vozidla. Samotnou kvalitu optické soustavy lze vyjádřit ostrotí obrazu v úrovni sítnice. U správně zobrazujícího oka, paprsky které dopadají rovnoběžně na rohovku, se sbíhají na sítnici do jednoho bodu. Mezi nejzávažnější poruchy oka patří refrakční vady, stařecká dalekozrakost, sférická chyba, chromatická chyba a šedý zákal. [10]

## 4 SVĚTLOMETY MODERNÍCH VOZIDEL

Za posledních 20 let prošla všechna vozidla velkým vývojem jak výkonnostním, tak i designovým. Jinak tomu není ani u světlometů vozidel, což je jedna z nejvýraznějších částí na každém vozidle. Díky inovacím a pozvolnému přechodu z žárovek a výbojek na LED zdroj svícení s případným doplňujícím laserovým zdrojem světla, mají designéři mnohem větší možnosti pro vytváření atraktivních tvarů světlometů, které jednak zlepšují image vozidla a krom toho také bezpečnost účastníků silničního provozu. [4]

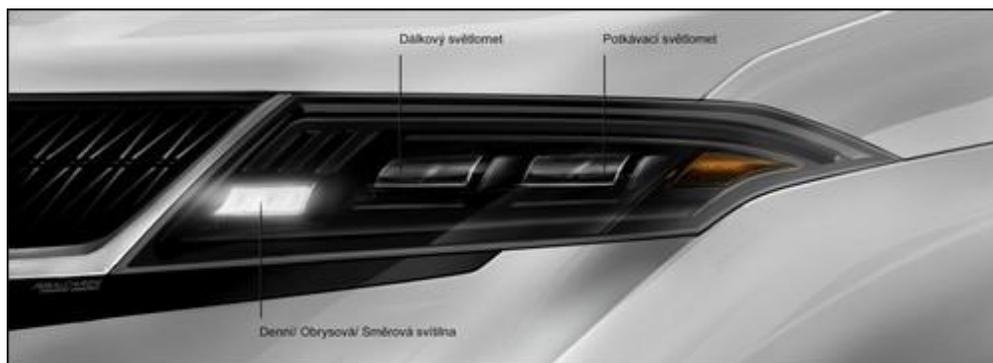
### 4.1 STRUČNÝ ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Mezi nejvíce využívané zdroje svícení předních světlometů u moderních vozidel patří zejména LED zdroje svícení. Designéři jednotlivých automobilek a široká veřejnost si je oblíbili zejména z důvodu teplotní chromatičnosti světla, která se velmi podobá dennímu světlu, dále také z důvodu širokých možností designového provedení samotného světlometu, ale i díky tomu, že se jedná o moderní technologii. Technologie, jež je ještě o krok před LED technologií, a která však zatím patří zejména vozidlům renomovanějších značek vyšší třídy, je laserový zdroj svícení. V tomto ohledu ale platí, že ne vše co je modernější, musí být ve všech ohledech lepší.

#### 4.1.1 LED světlometry

Na současných moderních vozidlech s vyšší výbavou už jsou téměř vždy vidět LED světlometry. Ty mají možnost, díky několika diodám dosáhnout maximálního osvětlení zorného pole řidiče. Samotné LED světlometry lze členit do několika kategorií dle specifik jejich použití. Mohou být například ve verzi energeticky úsporné, která je levnější a jejich svítivost se může rovnat halogenovým žárovkám. Ve hře je i dražší varianta, která má svítivost mnohonásobně větší, a ještě více vyzářuje světlo podobné dennímu světlu, což zdárně zlepšuje viditelnost před vozidlem. [4]

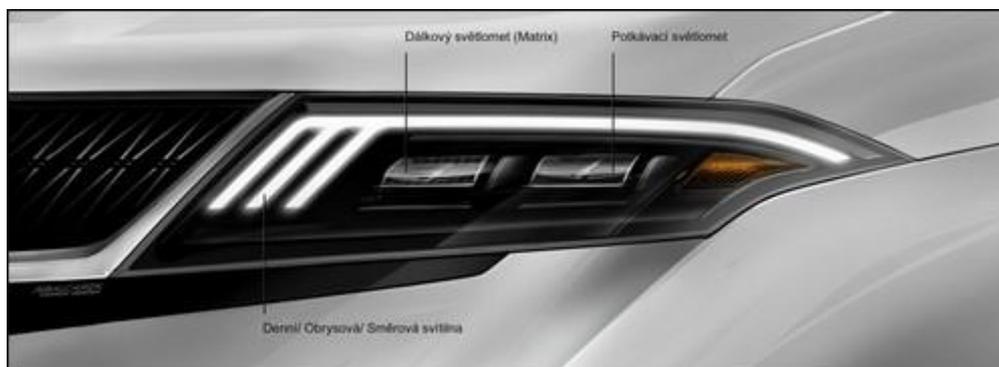
Vyšší třída LED světlometů může mít adaptivní systém předního osvětlení Advanced Front Lighting System (AFS), který se dokáže přizpůsobit podmínkám provozu, jako je například jízda městem, na dálnici či za zhoršených atmosférických podmínek. Navíc dokáže otáčet světlometry dle natočení volantu a tím tak osvětlit i místa v zatáčce, která by zůstala neosvětlena. [4]



Obr. č. 13 – Základní podoba LED světlometů [4]

Další typ adaptivních LED světlometů je nazván Adaptive Driving Beam (ADB), který za pomoci čidel a kamer dokáže nesvítit do určitých míst, tedy že některé diody budou dále svítit a jiné ne. Zamezuje se tak nežádoucímu oslnění ostatních účastníků provozu a snižuje se svítivost v místech, kde je pouliční osvětlení. Systém je plně automatický, což by mělo řidiči umožnit soustředit se pouze na řízení a snižovat tak jeho únavu. ADB světlometry lze dále rozdělovat podle počtu používaných pixelů. V jednotkách pixelů to jsou Matrix světlometry. V desítkách pixelů jsou to Pixel světlometry a v milionech Pixelů to jsou HD světlometry. [4,5]

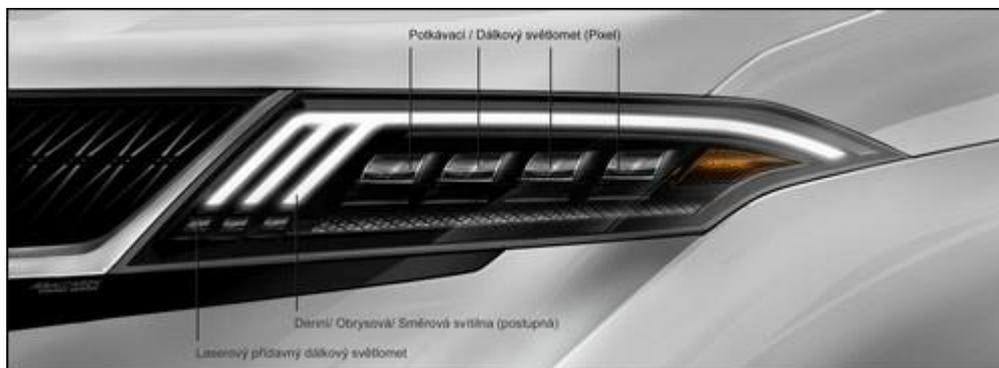
Světlometry s Matrix technologií jsou brány jako střední verze LED světlometů. Zde je tvoří 12 diod na každém světlometu. Ty se při zapnutí dálkových světel zapnou všechny, aby pokryly potřebný prostor před vozidlem. Následně se nezávisle na sobě diody zapínají či vypínají, dle toho, jak systém vyhodnotí dopravní situaci. Přesněji, světla jsou propojena s kamerou. Kamery jsou na vozidle dvě nebo jedna. Například vozidla značky Škoda Auto mají kameru jednu a vozidla typu Volvo a Mercedes, mají kamery dvě. Vozidla, která mají jednu kameru, mají kameru umístěnou za čelním sklem. Ta tak neustále sleduje prostor před vozidlem, a pokud je třeba, vypne určitý segment diod. Snadno lze tuto změnu rozpoznat, pokud silnici lemují husté stromy či svodidla. Na nich je nejlépe vidět, jak se mění světelný kužel. [4, 5]



Obr. č. 14 – Střední verze světlometů s Matrix technologií [4]

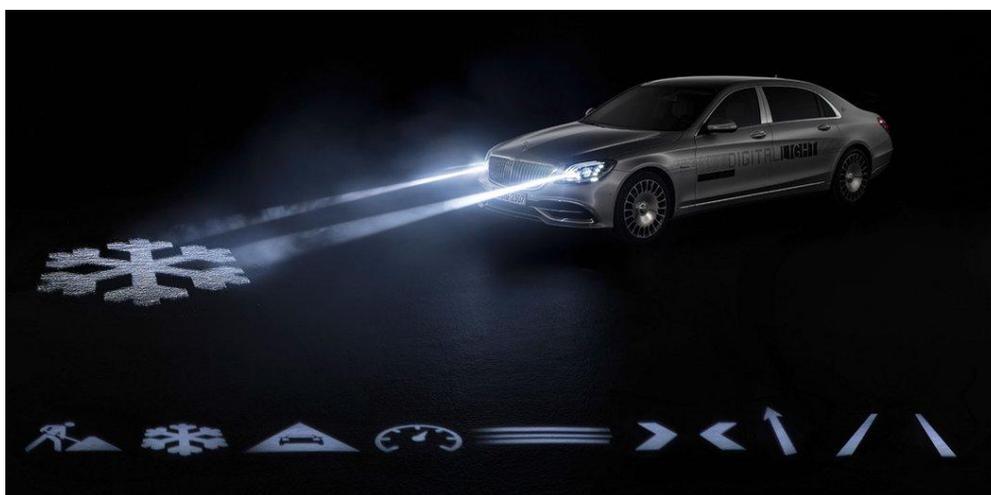
Další verzí LED světlometů je verze světlometů s Pixel technologií, která nese název Digital Light. Jako první byla představena na modernizovaném sedanu Mercedesu Maybach v Ženevě

v roce 2018. Tato světla jako celek v sobě nesou adaptivní dálkový světlomet s Pixel technologií. Dále přidavný laserový dálkový světlomet, adaptivní potkávací dálkový světlomet AFS, designově sdružená signální svítidla, progresivní směrovku a stylový prvek k vylepšení celkového vzhledu světlometů. [4, 6]



Obr. č. 15 – Vyšší verze světlometů s Pixel technologií [4]

Díky vysokému počtu pixelů se tento typ světel vyznačuje kromě výborného osvětlení prostoru před vozidlem také schopností varovat řidiče před nebezpečím formou vyobrazení symbolů na silnici. Může jít například o varování před náledím, jedoucí vozidlo v mrtvém úhlu nebo chodce nacházejícího se blízkosti vozovky. Naopak, když se vozidlo nachází v zúženém prostoru, je systém schopný na vozovku promítnout šířku vozidla pro přehlednost řidiče. Systém krom kamer také pracuje se senzory a navigací. Výsledky pak zpracovává během milisekundy. [4, 6]



Obr. č. 16 – Zobrazení možných varovných symbolů s technologií Digital Light [6]

Princip funkčnosti a další informace o LED zdroji světla jsou uvedeny v kapitole 4.2.3 LED.

#### 4.1.2 Laserové světlometry

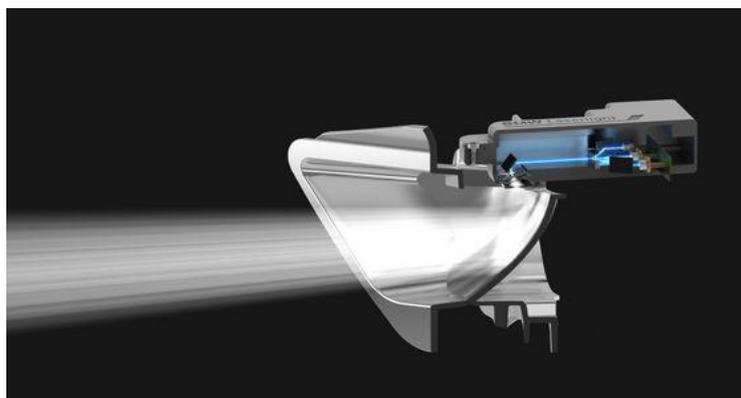
Laserové světlometry jsou stále ještě novou technologií, která je určena zejména pro renomovanější značky vozidel, ke kterým se dá tento zdroj světla dokoupit v rámci doplňkové výbavy

vozidla k LED světlům jako asistent dálkových světel. Pro následující roky je ten zdroj svícení budoucností v automobilním průmyslu, jelikož vykazuje takové vlastnosti, které moderní uživatel vyžaduje. Je to zejména nízká spotřeba energie pro vyzařování světla, konkrétně jde až o polovinu menší spotřeba energie než u LED světel. Dále je to malá velikost, která tak poskytuje automobilovým designérům větší volnost při návrhu nových vzhledů světlometů nebo také větší bezpečnost spojená se svítivostí až 600 m. Tato hodnota je až o polovinu větší než vzdálenost, na kterou dokážou silnici osvětlit LED světlomety. [5]

Jednou z dalších výhod, kterou tento zdroj svícení má je jeho barva. Barva laserového osvětlení je modrá. Ta je však dále vyzařována přes fosforový konvertor a ten následně před vozidlo promítne bílou barvu, která má teplotu 5500 kelvinů a více. Tato hodnota už je velmi blízká dennímu světlu, které je pro lidské oko nejpřirozenější. Snižuje tak řidičovu únavu a celkové namáhání se soustředit na cestu a to zejména za zhoršených viditelnostních podmínek. [5]

Laserové světlomety mají v sobě, stejně jako některé LED světlomety, zabudovanou adaptivní technologii, která se přizpůsobuje stylu jízdy. Například při pomalé jízdě lesem se světlo rozprostře více do prostoru a osvětlí tak větší prostor. Naopak při vyšší rychlosti se světelný kužel zúží a je tak koncentrovanější. Stejně jako u LED světlometů, adaptivní technologie při střetnutí protijedoucího vozidla dokáže odstínit místa, ve kterých se protijedoucí vozidlo pohybuje, a tak zamezit oslnění řidiče. Dále ale stále dokáže osvětlovat prostor kolem něj. Adaptivní technologie je schopná rozeznávat i chodce, a tak pokud je chodec zaregistrován, zaměří své světlo více na něj, aby si ho řidič dokázal rychleji všimnout. [5, 6]

Jako první s laserovými světlomety přišla automobilka BMW u vozidla řady i8 v roce v 2014, jakožto přídatný prvek k dálkovým světlometům. Další automobilkou, která laser osvětlení použila, bylo Audi na modelu R8 LMX. Ta laserové osvětlení využívala při vyšších rychlostech za zhoršených viditelnostních podmínek. V obou případech za vývojem laserových světlometů stála firma OSRAM. [7]



*Obr. č. 17 – Detail přenosu laserového paprsku do světlometu [8]*

Princip funkčnosti a další informace o laserovém zdroji světla jsou uvedeny v kapitole 4.2.4 Laser.

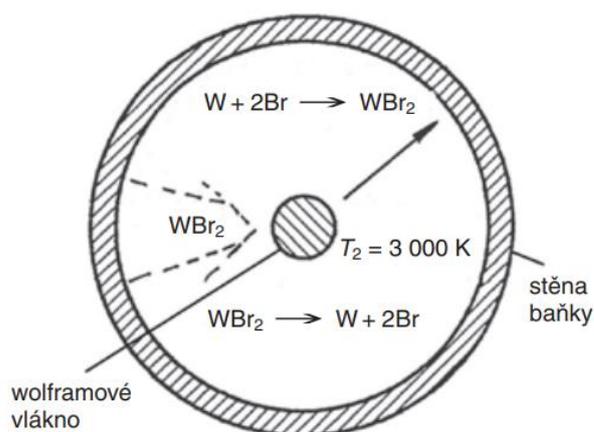
## 4.2 ZDROJE SVĚTLA

Stejně jako se vyvíjí veškerá vozidla jako celek, tak se vyvíjí i zdroje osvětlení vozidel. Od dob, kdy se jako hlavní zdroj svícení vozidel používaly svíčky a acetylenové lampy, jejíž hlavní výhodou bylo to, že byly chráněny proti větru a dešti, uplynula dlouhá řada let. Všechny zdroje svícení však mají společného to, že nějaký zdroj světla, byl vždy součástí každého, vozidla už od jeho počátku. První moderněji řešený zdroj světla je halogen, který byl poprvé použitý v 60. letech 20. století. Následoval xenonový zdroj, který byl poprvé použitý jako součást předního světlometu počátkem 90. let 20. století. Přibližně 15 let poté, byl poprvé představen LED světelný zdroj. Novinkou posledních let je laserový zdroj světla, který je používán převážně jako doplněk LED zdroje svícení při použití dálkových světel. Principy všech výše zmíněných zdrojů osvětlení jsou rozebírány v dalších podkapitolách.

### 4.2.1 Halogenové žárovky

Halogenové žárovky byly dlouho dobu nejpoužívanějším zdrojem světla předních světlometů vozidel. I když dnes už jsou ve větší míře na ústupu, stále je velký počet vozidel, které je používají.

Celý princip halogenové žárovky se týká tenkého wolframového vlákna obklopeného halovými plyny (brom, jod) uvnitř skleněné baňky z křemičitého skla, která je schopná odolávat vysokým teplotám. Poté co se do žárovky přivede napětí, vlákno začne zářit vlivem vypařování wolframu. Je to tzv. halogenový cyklus. Samotný halový plyn uvnitř baňky dostává wolframové vlákno až do teploty 3000 °C. Vedlejší pozitivní efekt tohoto procesu je prodloužení životnosti žárovky. Při vzniku světla v baňce probíhá sublimace wolframu, a tak vzniká plyn, který se mísí s halovými plyny a vytvoří se tak halogenid wolframu. V momentě kdy se částice plynu dostanou k vláknu, tak se za pomoci přítomných vysokých teplot vytvoří nová wolframová vrstva. Proces se poté opakuje. [23, 25]



Obr. č. 18 – Zjednodušené schéma halogenového cyklu (schematický řez). [26]

### Výhody halogenového zdroje:

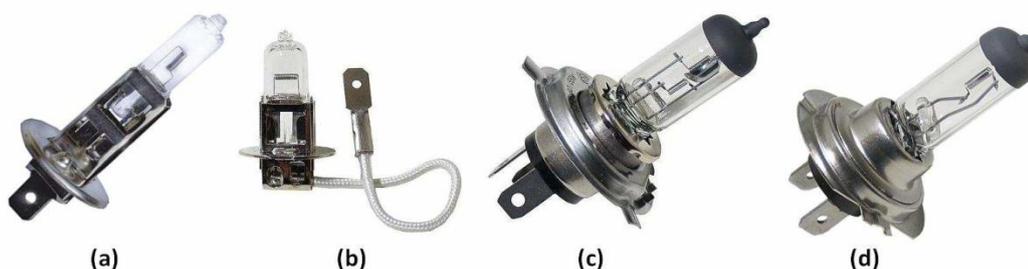
- Světlo příjemné barvy s vyšší chromatičností (cca 3000 K)
- Stabilita světelného toku v průběhu svícení (úbytek světla během svícení není vyšší než 5 % původní hodnoty)
- Delší životnost při vyšším měrném výkonu
- Kompaktní rozměry
- Okamžitý start
- Nízké náklady na výrobu
- Snadná výměna

### Nevýhody halogenového zdroje:

- Hrozí prasknutí baňky vlivem vysoké teploty
- Po dlouhém používání vzniká na baňce tmavá skvrna (zhoršuje se svítivost)
- Snadnější prasknutí po kontaktu s kůží
- Nižší výkon a menší dosvit (produkuje parazitní světlo, které v některých případech dosvit zvětšuje) [23]

Existuje několik základních typů halogenových žárovek, které se používají pro motorová vozidla. Jsou to například:

- H1 – dálková světla
- H3 – mlhová světla
- H4 – dvouvláknová žárovka tlumená a dálková světla, používána u starších světlometů
- H7 – tlumená světla u moderních světlometů
- BlueVision, Cool Blue, Xenon effect – speciálně upravené halogenové žárovky s lepšími světelnými vlastnostmi [27]



Obr. č. 19 – Nejvíce používané druhy halogenových žárovek: (a) H1, (b) H3, (c) H4, (d) H7 [15]

Konstrukce světlometů při použití halogenového zdroje osvětlení se liší dle značky vozidla a dle jednotlivých modelových řad. Mimo správnou funkčnost se v těchto ohledech dbá také na design světlometu.



Obr. č. 20 – Halogenový světlomet (levý) Škoda Kodiaq. [28]

### Vlastnosti halogenových žárovek

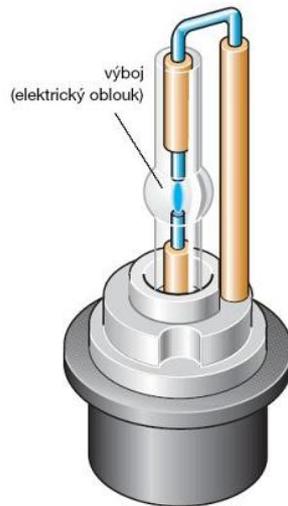
Halogenové zdroje osvětlení dosahují parametrů popsaných v Tab. č. 3.

Tab. č. 3 – Vlastnosti halogenových žárovek [27]

Příkon	55–65 W
Světelný tok	1500–2000 lm
Měrný světelný výkon	26 lm*W <sup>-1</sup>
Teplota chromatičnosti	2900–3100 K
Životnost žárovky	400–550 h

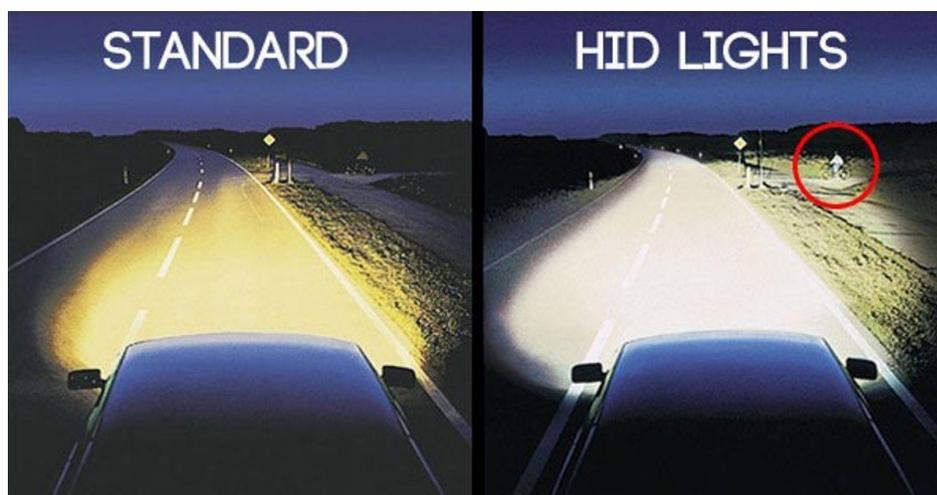
### 4.2.2 Xenonové výbojky

Xenonové výbojky bývají také často označovány jako High-Intensity Discharge (HID). Řadí se tak mezi vysokotlaké výbojky, jelikož tlak v baňce z křemičitého sklad dosahuje až 7 MPa. Na rozdíl od halogenového zdroje světlo nevzniká rozžhavením wolframového vlákna v baňce, nýbrž světlo vydává samotný plyn v baňce díky elektrickému výboji mezi wolframovými elektrodami, právě díky záření vzácného plynu xenonu a několika typům kovů. Proces probíhá v několika krocích. V prvním kroku dojde k zapálení silným elektrickým výbojem se střídavým napětím přibližně 23 kV až 24 kV. Tím vznikne jiskra, která způsobí ionizaci plynu, ve kterém začne hořet elektrický oblouk mezi dvěma elektrodami. Poté dochází k počátečnímu ohřevu kdy elektrický oblouk má vysokou teplotu a tím i rychle roste teplota v baňce. Odpor v baňce naopak mezi elektrodami klesá. V daný okamžik začne pracovat startér, který zaznamená snížený odpor a přepne do trvalého režimu. Prostředí, ve kterém elektrický oblouk hoří, udává teplotní chromatičnost světla, která se pohybuje v rozmezí 4100–8000 K. V momentě kdy startér přešel do trvalého režimu, elektrický oblouk dosáhl svého stabilního tvaru a vzniklé světlo, které vzniklo štěpením halogenidů na atomy halogenu a kovu za teploty přibližně 700 °C, dosáhlo své jmenovité hodnoty. Vzniklé atomy se po delší době funkčnosti světla difundují v chladnějších místech baňky a znovu se slučují na původní sloučeniny. Startér nadále dodává stabilní elektrický proud, takže elektrický oblouk neblíká. [15, 23]



Obr. č. 21 – Xenonová výbojka. [29]

Přestože mají xenonové světlomety řadu výhod tak jednou z jejich hlavních nevýhod je jejich cena. To, aby světlomety s xenonovým zdrojem světla správně fungovaly, zajišťuje několik přídatných komponentů a to jsou peníze navíc. Jde zejména o elektronickou řídicí jednotku, vysokonapěťový startér, systém automatické regulace sklonu světel a integrované ostříkovače světlometů k plnění požadované funkce. [15, 27]



Obr. č. 22 – Rozdíl světelného kužele mezi halogenovým a xenonovým zdrojem světla. [30]

Dříve se xenonový zdroj světla používal pouze pro tlumený modul světla. Pro dálkové osvětlení byly i nadále používány halogenové žárovky. To však může způsobovat řadu problémů a mimo to i výrazné zkrácení životnosti jak halogenové žárovky, tak i xenonové výbojky. Z toho důvodu je v nabídce varianta, která funguje čistě na xenonovém zdroji. Ta má název bixenon a při přepínání mezi tlumenými a dálkovými světly funguje elektromagnetická clona. [15, 23, 25]



Obr. č. 23 – Rozdíl v konstrukci xenonového zdroje světla s přídatnou halogenovou žárovkou (vpravo) a bixenonového (vlevo) zdroje světla. [31]

#### Výhody xenonového zdroje:

- Výbojky mají oproti žárovkám delší životnost
- Nižší spotřeba energie při větší příkonu
- Osvětlují větší plochu (více do šířky) a mají větší dosah
- Možnost zabudování pokročilých funkcí
- Barva světla blíží se dennímu světlu [15, 23, 25]

#### Nevýhody xenonového zdroje:

- Složitější světlomet
- Cena a servis světlometu
- Mimo nejméně výkonných variant jsou vyžadovány ostřikovače světlometu
- Využívání toxických látek
- Náročná výměna výbojky
- Při zapnutí nejede ihned na plný výkon, výbojka se musí rozžehnout
- Musí se vyměňovat obě výbojky zároveň. [15, 23, 25]

Xenonové výbojky se používají v několika variantách s typickým označením, které udává konstrukci výbojky. Všeobecným označením xenonové výbojky je písmeno „D“. Dále je k němu přidáváno číslo (1 – 5), které udává integraci roznětky pro generování vysokého napětí. [15, 27]

Čísla (1, 3, 5) roznětku obsahují:

- D1 – pracovní napětí 85 V, obsahuje rtuť a má zabudovaný startér
- D3 – pracovní napětí 42 V, neobsahuje rtuť, má pomalejší náběh a má zabudovaný startér
- D5 – pracovní napětí 12 V

Čísla (2, 3) roznětku neobsahují:

- D2 – pracovní napětí 85 V, obsahuje rtuť
- D4 – pracovní napětí 42 V, neobsahuje rtuť, má pomalejší náběh [15, 27]

Poslední možným označením je třetí v pořadí buď písmeno „S“ nebo písmeno „R“. Při označení písmenem „S“ se jedná o světlo s čočkou bez stínícího pásku na skleněné trubičce. Při označení písmenem „R“ jde o reflexní světlo se stínící páskou na skleněné trubičce. [15, 27]



Obr. č. 24 – Levý xenonový světlomet vozidla značky Škoda Octavia II. [32]

#### **Vlastnosti xenonových výbojek:**

Xenonové výbojky mají vlastnosti popsané v Tab. č. 4.

Tab. č. 4 – Vlastnosti xenonových výbojek. [27]

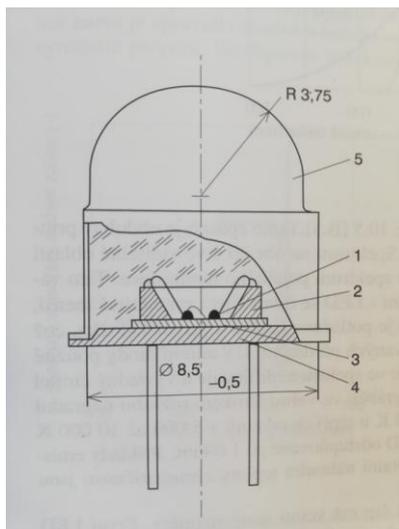
Příkon	25–35 W
Světelný tok	1600–3500 lm
Měrný světelný výkon	80–89 lm*W <sup>-1</sup>
Teplota chromatičnosti	4000–8000 K
Životnost žárovky	1500–3000 h

#### **4.2.3 LED**

Zkratka je z anglického názvu Light Emitting Diode (LED). LED dioda funguje jako polovodičová součástka skládající se z PN přechodu, jenž emituje optické záření, pokud je buzen průchodem elektrického proudu. V elektroluminiscenčních panelech je světlo buzeno elektrickým polem v tzv. pevné látce (luminoforu). První diody vyzařovaly světlo červené barvy. Následně vznikaly diody barvy zelené, žluté a oranžové. Všechny zmíněné barvy jsou specifické velmi úzkou křivkou spektrálního složení zahrnující interval vlnových délek do několika desítek nanometrů. [15, 27]

Po vzniku modré diody bylo možné vyvinout i diodu barvy bílé, která má možnost zářit v celé oblasti viditelného spektra. Tím vzrostla možnost použití LED zdroje. Použitelnost LED diod se pohybuje v rozmezí od ultrafialového až po infračervené pásmo. Nejvíce používané bílé světlo lze získat dvěma způsoby. První způsob funguje na principu míšení světla červené, zelené a modré LED

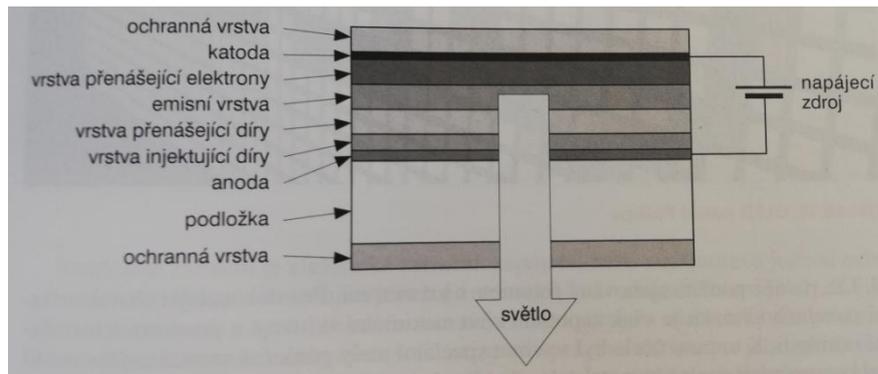
barvy. Zde je nutné používat náročný hardware a software. Hlavním problémem je zde nerovnoměrná degradace jednotlivých barev a tím způsobená nežádoucí změna barvy vyzařovaného světla. Druhým způsobem je využívání fosforace luminiforů. Světlo zde vzniká podobným principem jako v klasických zářivkách tedy převedením na žluté světlo a vlivem dalšího mísení vznikne světlo s bílým odstínem silně se podobající dennímu světlu. Tato varianta je energetický úspornější než varianta se třemi diodami a je také velikostně menší. Problém zde však nastává ve výsledném barevném spektru. Tento typ diod vydává modro–žluté spektrum a je zde potlačena zelená a červená složka, což zapříčiňuje horší podání barev osvětlovaného předmětu. [10, 23]



*Obr. č. 25 – Konstruktivní uspořádání světelné diody se dvěma krystaly. 1 – polovodič s přechodem, 2 – reflektor, 3 – keramická destička odvádějící teplo, 4 – podložka, 5 – polokulová čočka [10]*

Pro dosažení většího světelného toku je zapotřebí použít několik krystalů, které je nutné zapojit do série. Případně lze použít i jeden krystal se zvětšenou plochou při zajištění dostatečného chlazení. Dříve byl u diod nejdůležitějším parametrem jas. To se však postupem času změnilo a nejdůležitějším parametrem je světelný tok a měrný výkon. [10, 23]

Jedním z dalších důležitých mezníků ve vývoji LED byly organické světelné diody (OLED). OLED je polovodičová součástka, která vyzařuje světlo s elektroluminiscenční vrstvou vyrobenou z organických sloučenin. Fungují na podobném principu jako LED s využitím polovodičových materiálů s vodivostí typu P a N, na jejímž rozhraní nastává zánik elektronů a děr, při kterém vzniká světlo o velmi vysoké intenzitě. Své široké uplatnění tento typ LED světla našel v displejích, v různých zobrazovačích s různou konstrukcí a všude dále kde je nutné nízká spotřeba energie a různorodost tvarů a barev světla. Nevýhodou je vysoká pořizovací cena a negativní vlastnosti organických materiálů. V automobilním průmyslu tento typ LED svítidel našel uplatnění u dynamických směrových světla. [10, 23]



*Obr. č. 26 – Princip světelných diod OLED. [10]*

LED světlomety mají několik výhod, které předchozí zdroje světla mít nemohly. Mezi hlavní výhody patří zejména velmi blízká podoba dennímu světlu, vysoká životnost, díky své velikosti možnost různých designových návrhů a široká škála různých LED variací včetně adaptivních systémů. Mezi nevýhody se řadí zejména problém se zahříváním a s tím spojená nutnost chlazení systému, u kterého je také nutný vyšší příkon než u ostatních zdrojů světla. Z hlediska ceny je hlavní nevýhodou, je-li narušena jedna z diod v systému, nutnost vyměnit kompletně celý světlomet. [10, 15]



*Obr. č. 27 – První FULL LED světlomety pro elektromobil Audi e-tron. [33]*

### **Vlastnosti LED diod**

Světlomety s LED a FULL LED zdrojem světla dosahují parametrů popsaných v Tab. č. 5.

Tab. č. 5 – Vlastnosti LED diod. [27]

Příkon	20–50 W
Světelný tok	Max. 250 lm/chip
Měrný světelný výkon	186–200 lm*W <sup>-1</sup>
Teplota chromatičnosti	2500–10000 K
Životnost	50 000–100 000 hod.
Značení	single chip, multi chip

#### 4.2.4 Laser

Zdroj světla v podobě laseru je již několik let to nejmodernější co automobilní průmysl z hlediska zdrojů světla předních světlometů nabízí. Poprvé byl tento zdroj světla představen v roce 2014 automobilkou BMW u vozidla modelové řady i8. Zde sloužil jako nápomocné světlo pro LED svícení dálkovými světly, což je jejich hlavní funkcí až doposud. Funguje na principu zrcadel. V každém světlometu je jeden laserový modul, ve kterém jsou umístěny čtyři vysoce výkonné laserové diody. Ty se následně za pomoci odrazů v zrcadlech spojí v jeden paprsek a vytvoří intenzivní modré světlo. To je následně za pomoci fosforového konvertoru přeměněno na čisté bílé světlo velmi blízké dennímu světlu. [23, 34, 35, 36]

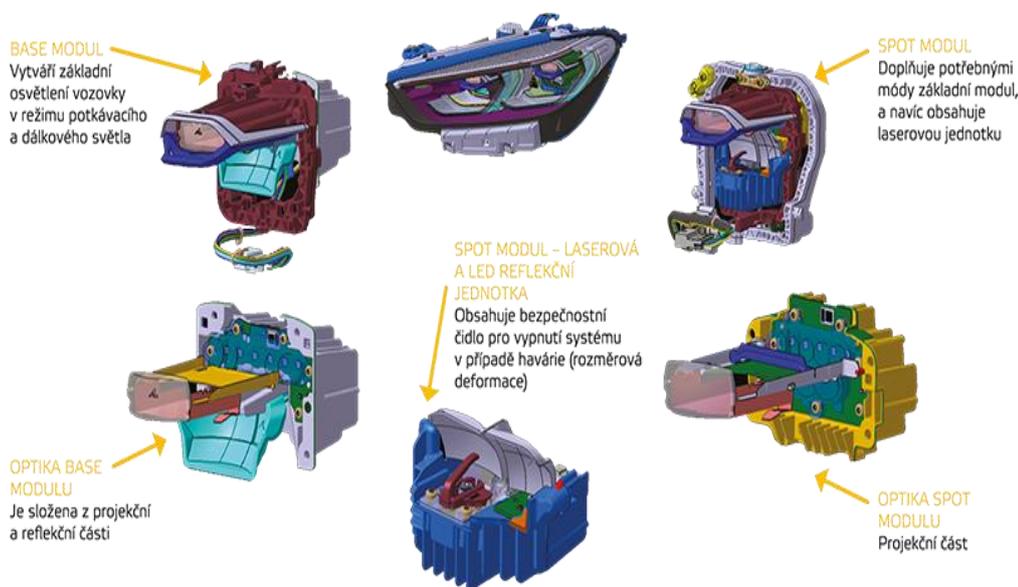


Obr. č. 28 – Konstrukce Laser světlometu Audi R8 LMX. [36]

Hlavní výhodou této technologie je produkce velmi intenzivního světelného toku a s tím spojený daleký dosvit přes 600m, výborná chromatičnost, až o polovinu nižší energetická spotřeba, větší výkon než u LED diod, extrémně dlouhá životnost a ještě menší konstrukční rozměry než u LED diod. Mezi nejvýraznější nevýhody tohoto typu svícení se řadí zejména vysoká cena, která se pohybuje

okolo 100 000 Kč za jeden světlomet. Tento zdroj světla je zpravidla používán pouze automobilkami lukrativních značek typu BMW, Audi, Mercedes nebo Rolls–Royce. Další nevýhodou laserového zdroje světla je bezpečnost z hlediska používání vysokého napětí. U laseru je nutné vysoké napětí v každém jednom z laserových modulů, z nichž každý má výkon 166 mW. Laser, který je schopný určitým způsobem poškodit lidské oko má výkon pouze 50 mW. Vzhledem k tomu, že tento typ světel je pouze v adaptivní formě, tak vše musí být navrženo do nejpřesnějších detailů, aby nedocházelo k dlouhodobému oslnění řidičů protijedoucích vozidel. S tím je spojena i vysoká cena daného typu svícení. [23, 34, 35, 36]

Jeden z předních modelů značky BMW model The 8 používá ve svých světlometech dvě hlavní modulové uspořádání označovány jako „Base“ a „Spot“. Na těchto modulových uspořádáních leží všechny hlavní funkce světlometů a společně také vytváří potřebné jízdní módy. Dalším modulem, který by se měl v blízké budoucnosti objevit v rámci laserového zdroje světla je tzv. Matrix laser technologie, fungující na podobném principu jako LED matrix technologie. [23, 34, 35, 36]



Obr. č. 29 – Popis modulového uspořádání „Base“ a „Spot“. [35]

### Vlastnosti laserového zdroje světla

Vlastnosti a parametry laserové zdroje světla jsou uvedeny v Tab. č. 6.

Tab. č. 6 – Vlastnosti laserového zdroje světla. [27]

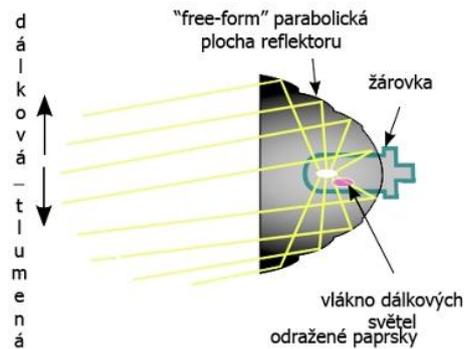
Modul	BASE (tlumené světlo)	SPOT	BASE (dálkové světlo)	SPOT	Laserový modul
Příkon	20 W	18 W	14 W	7 W	6 W
Měrný světelný tok	1710 lm	1420 lm	1060 lm	640 lm	300 lm
Celkový světelný tok	5130 lm				
Teplota chromatičnosti	5500 K				
Životnost	50 000–100 000 hod.				

### 4.3 POKROČILÉ FUNKCE OSVĚTLENÍ VOZIDEL

Přední světlomety vozidel mohou mít krom základní funkce osvětlit prostor před vozidlem na určitou vzdálenost a pomoci tak řidiči s přehledností situace před vozidlem, ještě další funkce. Jsou to takové funkce, které mají řidiči ještě více usnadnit řízení za zhoršených viditelnostních podmínek. Jedná se zejména o natáčení světla ve směru jízdy vozidla, vystínování kužele světla v místech kde jede protijedoucí vozidlo nebo vyobrazení různých znaků před vozidlem, které mají za cíl upozornit řidiče na změnu v jízdě situaci. Některé z těchto pokročilých funkcí jsou v základní výbavě světlometu, jiné jsou za další příplatek. Co mají všechny společného je to, že se konstruují asymetrickým způsobem, tedy mají asymetricky rozděleno vydávané světlo. V praxi to vypadá tak, že světelný kužel má větší dosah na vnější straně vozovky nežli na vnitřní a to z důvodu zabránění oslňování řidičů protijedoucích vozidel a zvětšení dosahu při použití tlumených světla. Konkrétní pokročilé funkce jsou popsány v této kapitole.

#### 4.3.1 Reflektorové světlomety

Reflektorové světlomety se vyznačují tím, že za pomoci inteligentního rozložení plochy se rozkládají na části. To umožňuje odrážet světelné paprsky do určitých částí vozovky. Důvodem toho je, že se obejdou bez optických systémů. Jejich hlavní využití je u moderních vozidel s halogenovými žárovkami. [23]



Obr. č. 30 – Reflektorový světlomet. [37]

### 4.3.2 Adaptivní světlometry

Přítomnost adaptivních světlometů na vozidle znamená přítomnost adaptivního systému světel, které se umí přizpůsobit jízdám situacím včetně rychlosti vozidla, natočení volantu nebo stylu jízdy. Rozdělují se na 2 základní funkce, kterými jsou AFS a AFL.

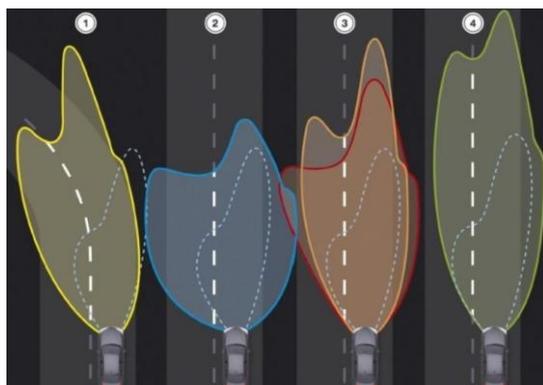
### 4.3.3 AFS (Advanced Front Lighting Systems)

AFS má za úkol přizpůsobovat tvar a směr světelného kužele předních světlometů jízdám vlastnostem vozidla. Přesněji jde o natočení volantu vozidla, rychlost vozidla a ESP. Řidič vozidla tak má vždy k dispozici optimální svítivost dle jízdám situace, což celkově zvětšuje viditelnost a bezpečnost za zhoršených viditelnostních podmínek. Systém AFS je k dispozici pouze vozidlům s xenonovým a bixenonovým zdrojem svícení. [23, 38]

### 4.3.4 AFL (Adaptive Forward Lighting)

Tento se systém se oproti AFS liší v tom, že nejenže je schopný měnit směr reflektoru, ale je také schopný obstarat statickou úpravu světelného paprsku, což je dosaženo instalací dalších žárovek. Zabudované senzory kontrolují rychlost vozidla a tím ovlivňují funkci světel. Pokud je rychlost vozidla vyšší než 70 km/h, pak systém mění pouze směr světelného paprsku v závislosti na natočení volantu. Pokud senzory zaznamenají pokles rychlosti, který odpovídá pohybu v městské oblasti, nebo je zapnuta směrová signalizace, bývají zatáčky dodatečně osvětleny přídatným mlhovým světlem nebo přídatným světlem umístěným v krytu světlometu (Corner Light). Tím se viditelnost silnice v zatáčce zvýší až od 90 %. Dále je tento systém schopen samovolně měnit úhel sklonu paprsku v závislosti na jízdě z kopce nebo do kopce a to až o 15°. [23, 38, 39, 40]

Adaptivní systémy vozidel jsou běžně vybavovány několika provozními režimy světlometů vzhled ke stylu jízdy a stavu dopravní situace. Obvykle je těchto režimů instalováno pět. Jejich počet je však možný zvýšit až na osm. [23, 40]



Obr. č. 31 – Rozdílné provozní režimy adaptivních světlometů. 1 – směrové světlo; 2 – osvětlení za nepříznivého počasí; 3 – osvětlení v obci (červená), osvětlení mimo obec (oranžová); 4 – dálkové světlo [38]

Za nejlepší adaptivní systém je považován vždy ten nejkompexnější. Společnost BESIP uvádí, že pokud by všechna vozidla měla adaptivní funkci světlometů, bylo by až 15% řidičů schopno zabránit nehodě, na které se podíleli při průjezdu zatáčkou. To si však spousta uživatelů vozidel nemůže dovolit zejména z cenového hlediska. Pro takové případy má většina automobilek dvě řešení, které jsou uvedeny v dalších podkapitolách. [39]

#### 4.3.5 Dynamický adaptivní systém

V tomto případě jsou světlometry vybaveny otočným mechanismem, který se otáčí ve směru natočení kol. Tento systém je specifický v tom, že se lampy neotáčí pod stejným úhlem. Světlomet, který je na vnitřní straně zatáčky se vždy otáčí v horizontální rovině pod větším úhlem než světlomet na vnější straně zatáčky. Zařízení zde pracuje na principu servopohonu, jenž dostává konkrétní signály z řídicí jednotky. [38]

#### 4.3.6 Statický adaptivní systém

Ve statickém adaptivním systému je základem spuštění světelného prvku a to až už mlhových světel nebo samostatného objektivu instalovaného ve světlometu. Tento systém funguje pouze během rychlostí, které jsou povoleny v městských oblastech, tedy cca 50 km/h. [38]

#### 4.3.7 FULL LED světlomet s adaptivním statickým systémem

FULL LED zdroj svícení značí kompletní světelnou jednotku ve které je čip, napájecí elektronika a optický systém. To je oproti žárovkovým zdrojům světla velký rozdíl, hlavně z toho důvodu, jelikož díky komplexnosti zdroje není ve většině případů možné tyto LED jednotky ze světlometu demontovat. Absentují tak zde servisní krytky. [41]

Adaptivní plně statický systém je v tomto případě tvořen kombinací projekčního modulu E-Light a Static Bending Light (SBL reflektoru), jenž je doplňujícím zdrojem pro osvětlení krajů vozovky. Adaptivita světlometu je dosažena díky plynulosti zapínání a vypínání LED diod. E-Light, jenž

je zapojeno do dvoukanálového uspořádání Base a Kink (předpolí a klín), může společně jako soustava s SBL, přepínat světlomety až do 8 různých jízdních módů, které se snaží o co nejlepší osvětlení vozovky dle daného stylu jízdy. [41]

Hlavní světelné módy jsou:

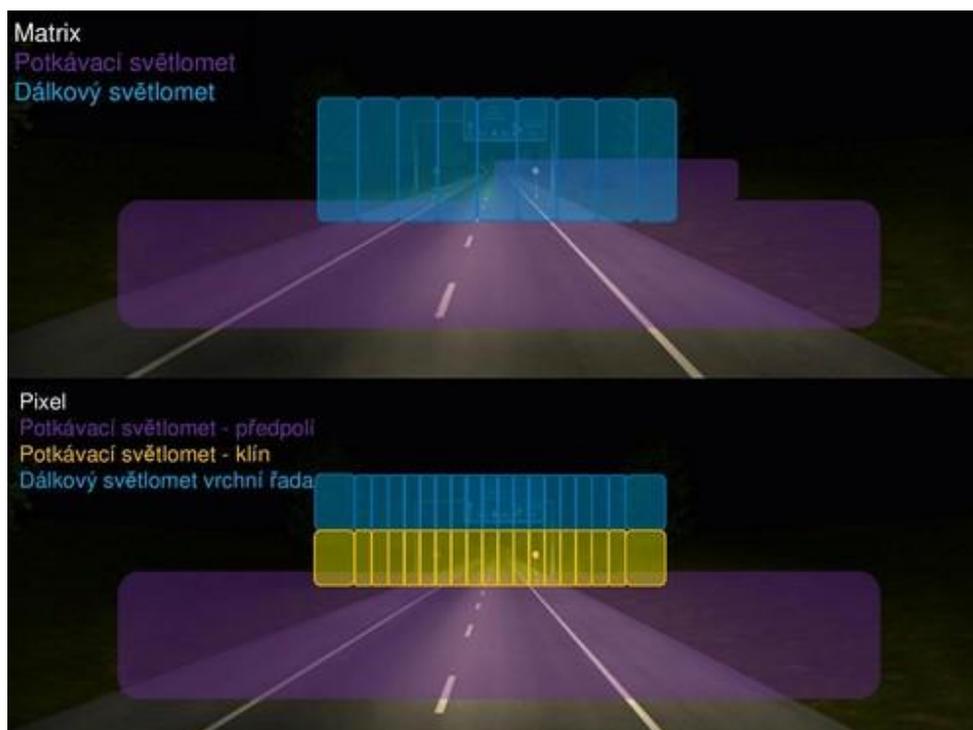
- V – Village mode – představuje široký koridor světla ve spolupráci s SBL a E-Light, E-Light zvyšuje výkon a tím intenzivněji osvětluje předpolí a s připojením SBL se rozšiřuje světelná stopa. [41]
- C – Country mode – reflektuje běžnou asymetrickou stopu, která za pomoci SBL může přesvítit zatáčky. [41]
- E – Motorway mode – tímto modulem je zvětšen dosah světelné stopy pomocí zvednutí HDG o  $0,23^\circ$ , zároveň je zvětšen i světelný výkon. [41]

Při plném využití kombinací všech statických režimů světelných zdrojů, je plně nahrazeno dynamické natáčení modulů ve světlometech. Krom dynamického natáčení LED modulů je možné využití rozšiřujících funkcí, které mohou vystínovat protijedoucí vozidlo, osvětlit dopravní značku nebo vystínovat chodce. [23, 41]

Nástupcem využívaného projekčního modulu E-Light je S-Light, který byl poprvé využitý v prvním elektrickém vozidle SUV od automobilky AUDI v modelu e-tron. Hlavní rozdíl zde je systém distribuce světla. E-light funguje na projekčním systému, kde se světlo z LED čipů usměrní optikou přímo do čočky. U S-Light modulu je naopak používán reflexní princip. Světlo je tak produkováno za pomoci odrazu pokovované plochy reflektoru a usměrněno směrem do čočky. Další inovací oproti E-Light je snížení hmotnosti až o 410 g. Zejména z hlediska elektrovozidla, je toto snížení hmotnosti velkou výhodou. [42]

#### **4.3.8 ADB (adaptive driving beam)**

Do skupiny ADB, což je v překladu systém adaptibilních světlometů, spadá například systém Matrix světlometů, systém Pixelových světlometů nebo Digital Light. Všechny tyto druhy světlometů se liší zejména počtem diod, se kterými mohou pracovat a tak udávat rozlišení s jakým je možné vytvářet stíny. Digital Light ještě navíc může na vozovku před vozidlo promítat různé varovné obrazce, které řidiče mohou upozornit na změnu v jízdní situaci. Podrobnější popis těchto systémů je uveden v kapitole 4.1.1 LED světlomety.[4]



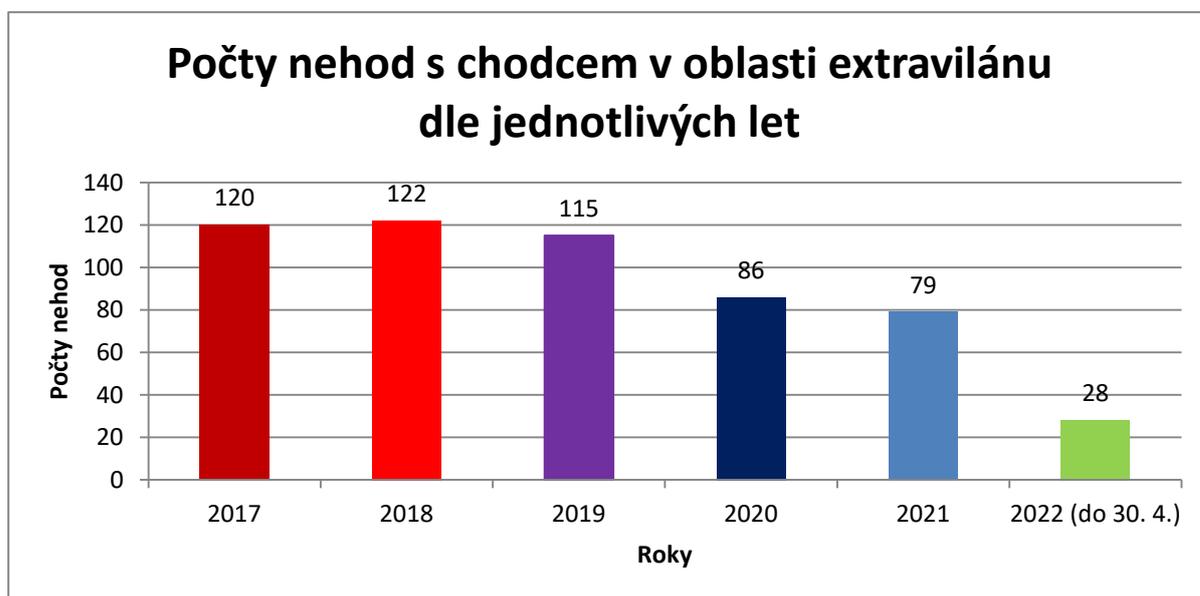
Obr. č. 32 – Porovnání rozložení světla Matrix světlometů (nahore) a Pixel světlometů (dole) [4]

## 5 STATISTIKY DOPRAVNÍCH NEHOD S CHODCI

Ze statistik nehodovosti dle vymezeného období zcela jasně vyplývá, že zejména k těm vážnějším nehodám, které jsou spojeny s chodci, dochází v nočních hodinách nebo v době přechodu z denního světla na tmou, tedy v době šera. Grafy, které jsou v následujících podkapitolách přiloženy, zobrazují statistiku nehodovosti z období od 1. 1. 2017 do 30. 4. 2022 po celé České republice za podmínek zhoršených tmou rozdělených dle místa a dále dle závažnosti poranění chodce. Samotné typy poranění jsou děleny na lehká zranění, těžká zranění a smrtelná zranění. Za lehká zranění pro uvedení do evidence se považuje jakékoliv poranění tělesných nebo duševních funkcí, které není evidováno jako těžké. Za těžká zranění se pro uvedení do evidence považuje závažná porucha zdraví a její rozsah musí určit lékař. Za smrtelná zranění pro uvedení do evidence se považuje, když zraněný zemře na místě nehody nebo při převozu do nemocnice nebo nejpozději 24 hodin po nehodě. Při úmrtí zraněného po 24 hodinách od nehody a do 30 dnů od nehody se provede aktualizace databáze. [43]

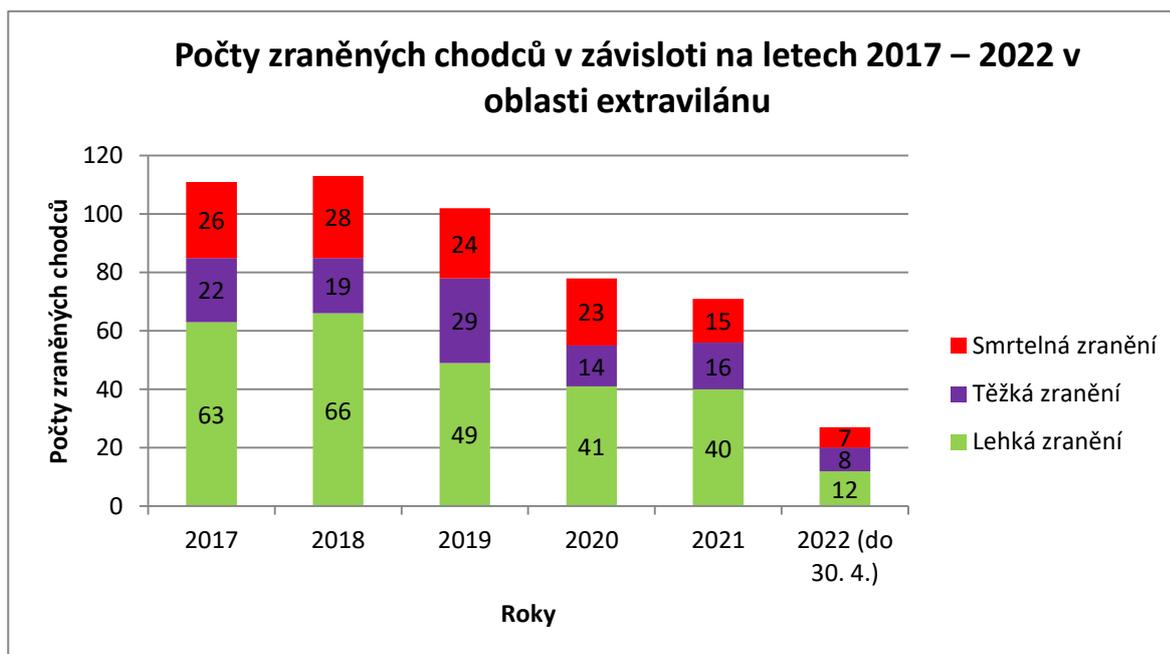
### 5.1 STATISTIKY NEHOD MIMO INTRAVILÁN

V následujícím grafu je porovnání počtu nehod s chodcem za podmínek zhoršených tmou, které se udály v letech 2017 – 2022 do 30. 4. v nezastavěných oblastech mimo pouliční osvětlení.



Graf č. 1 – Počty nehod s chodcem v nezastavěných oblastech. [49]

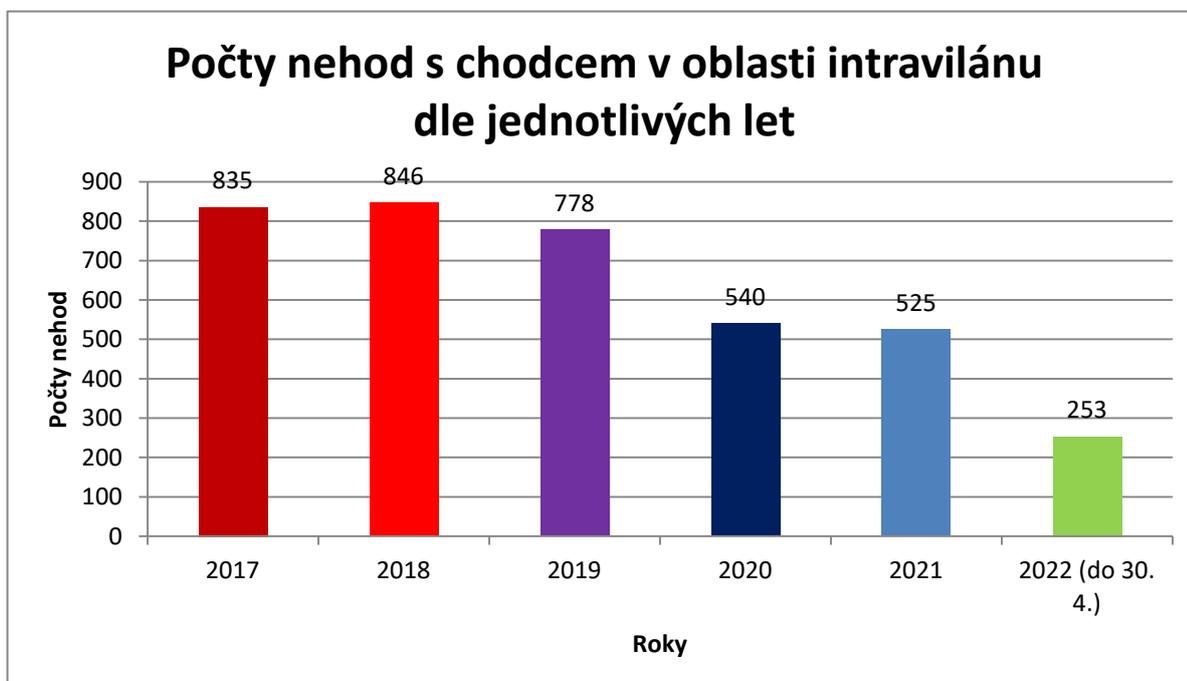
V dalším grafu je porovnání počtu zraněných chodců za podmínek zhoršených tmou, s ohledem na závažnost poranění, v letech 2017 – 2022 do 30. 4. v nezastavěných oblastech mimo pouliční osvětlení.



Graf č. 2 – Počty zraněných chodců v nezastavěných oblastech v závislosti na vážnosti zranění. [49]

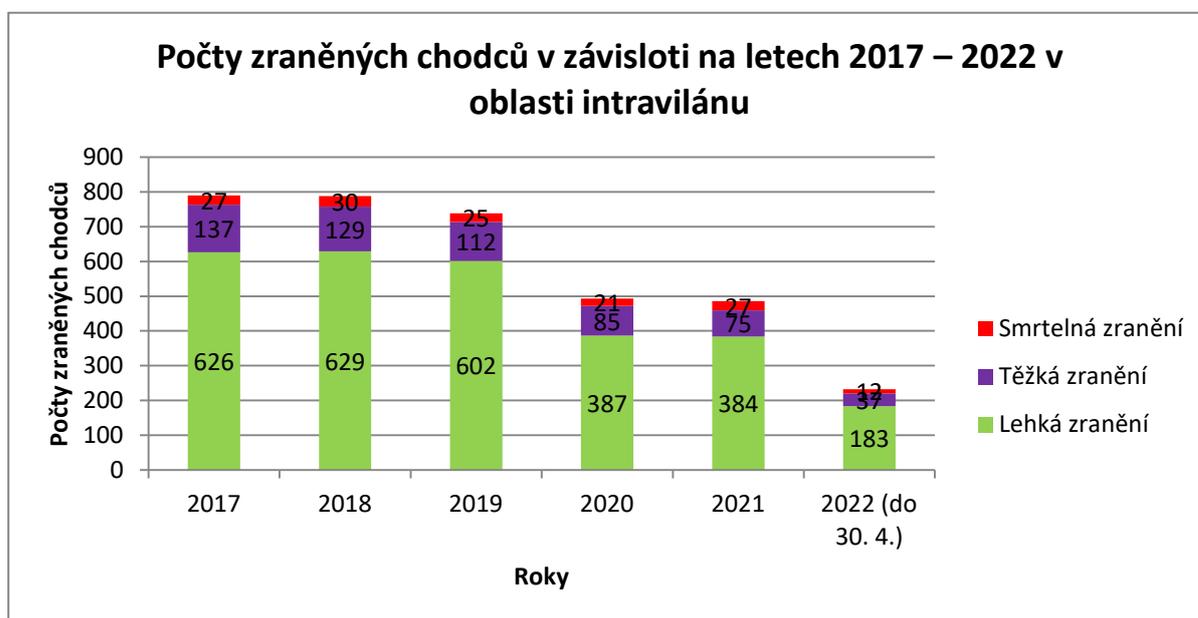
## 5.2 STATISTIKY NEHOD V OBLASTI INTRAVILÁNU

V následujícím grafu je porovnání počtu nehod s chodcem za podmínek zhoršených tmou, které se udály v letech 2017 – 2022 do 30. 4. v zastavěných oblastech s výskytem pouličního osvětlení.



Graf č. 3 – Počty nehod s chodcem v zastavěných oblastech. [49]

V dalším grafu je porovnání počtu zraněných chodců za podmínek zhoršených tmou, s ohledem na závažnost poranění, v letech 2017 – 2022 do 30. 4. v zastavěných oblastech s výskytem pouličního osvětlení.



Graf č. 4 – Počty zraněných chodců v zastavěných oblastech v závislosti na vážnosti zranění. [49]

Z příložených grafů je patrné, že k většině nehod za podmínek zhoršených tmou dochází v oblastech intravilánu, což je logické vyústění toho, že je v těchto oblastech větší intenzita pohybu chodců. Paradoxní fakt naproti tomu je, že v těchto oblastech mají řidiči dodržovat mnohem menší rychlost a mají zde pouliční osvětlení, které jim pomáhá zlepšovat viditelnost při podmínkách zhoršených tmou. Dále je možné z grafů vyčíst, že počty smrtelných zranění se během jednotlivých let výrazně neliší z hlediska toho, zda se nehoda s chodcem stala v oblasti intravilánu nebo extratrilánu. Od uvedeného počátku zkoumaného období, tedy od 1. 1. 2017, je zaznamenán celkový pokles dopravních nehod a to zejména v letech 2020 a 2021. Tento pokles může být ovlivněn zejména globální pandemií COVID-19 kdy v ČR byly nařízeny omezení volného pohybu chodců. Do jaké míry v těchto dvou letech pandemie ovlivnila nehodovost s chodci, ukážou statistiky na konci roku 2022. Již teď si je však možné z hodnot do 30. 4. všimnout, že v 1/3 roku jsou počty nehod a zranění poměrně vysoké a při zachování stejného trendu budou hodnoty jako před pandemií.

Samotnou reakci řidiče na chodce za podmínek zhoršených tmou nemusí ovlivňovat pouze pouliční osvětlení a rychlost vozidla, ale i to jaký má chodec oděv a s jakým zdrojem předních světlometů na něj vozidlo svítí. Zejména touto problematikou se zabývá tato diplomová práce.

## 6 LEGISLATIVA

Pro provoz vozidel včetně jejich osvětlovací techniky existují v České republice zákony a vyhlášky, kterými se musí výrobci řídit. Krom těch českých pak také na našem území platí vyhlášky a zákony podléhající Evropské hospodářské komisi při OSN (EHK). Díky nim buďto celá vozidla nebo jejich části musí před uvedením na trh projít homologační zkouškou a při jejím splnění dostanou tzv. homologační značku. Zákonům a vyhláškám vydaným v České republice týkající se motorových vozidel jsou tak nadřazeny zákony a vyhlášky podléhající Evropské hospodářské komisi při OSN (EHK). Předpisy, které uvedla EHK, musí splňovat všechna vozidla a jejich příslušenství, pokud jim jde o prodej na evropském trhu. V případě, že vozidlo nebo jeho část, splňuje veškeré náležitosti EHK, je označeno evropskou homologační značkou.

Zákony a předpisy týkající se vozidel na území ČR jsou například:

- **Zákon č. 56/2001 Sb.** – *Zákon o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích a o změně zákona č. 168/1999 Sb., o pojištění odpovědnosti za škodu způsobenou provozem vozidla a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o pojištění odpovědnosti z provozu vozidla), ve znění zákona č. 307/1999 Sb.*
- **Zákon č. 361/2000 Sb.** – *Zákon o provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonů.*
- **Vyhláška č. 341/2014 Sb.** – *Vyhláška o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích. [19]*
- **atd.**

Automobilové součásti a jejich příslušenství se dle Evropského hospodářské komise při OSN rozdělují do tří základních skupin:

- Součásti pro aktivní bezpečnost
- Součásti pro pasivní bezpečnost
- Součásti pro ochranu životního prostředí

Předpisy, které souvisí s osvětlovací technikou vozidel, obvykle spadají do aktivní bezpečnosti a jsou to například:

- **EHK 5** – světlomety „sealed beam“
- **EHK 7** – obrysové, doplňkové obrysové a brzdové světlo
- **EHK 8** – světlomety s žárovkou jinou než H4
- **EHK 19** – přední mlhové světlomety
- **EHK 20** – světlomety s žárovkou H4
- **EHK 38** – zadní mlhovka
- **EHK 48** – jednotná ustanovení pro homologaci vozidel z hlediska montáže zařízení pro osvětlení a světelnou signalizaci [20, 22]

Některé předpisy související se světlenou technikou jsou však součástí i pasivní bezpečnosti jako například:

- **EHK 4** – osvětlení zadní poznávací značky [20,22]



104 R - 0001148

a = 12 mm min.

Obr. č. 33 – Příklad homologační značky EHK [21]

## 7 FORMULACE PROBLÉMŮ A STANOVENÍ CÍLŮ ŘEŠENÍ

„Vidět a být viděn“, to je stále aktuální rčení, se kterým se lze z hlediska dopravy setkat a které se bude několik dalších let rozvíjet a bude vždy aktuálním tématem k diskuzi. Je to tedy i jeden ze zkoumaných problémů této diplomové práce, která se zaměřuje zejména na vnímání a viditelnost překážky v podobě chodce řidičem vozidla, vybaveného různými zdroji světla předních světlometů na stejné modelové řadě vozidla. V tuto chvíli nejlépe dostupnými zdroji světla na jednom modelu vozidla jsou halogen, xenon a LED zdroj svícení. Ty se v této práci budou dále porovnávat v praktické části. Laserové světlometry nejsou v této práci zahrnuty z důvodu těžké dostupnosti toho zdroje světla a také protože na modely vozidel, na které jsou instalovány laserové světlometry, již nelze instalovat halogenové a xenonové zdroje světla. Nebylo by tak možné mezi sebou jednotlivé zdroje světel porovnávat. V ČR je nejrozšířenější značkou vozidla, která používá všechny 3 výše zmíněné zdroje světla, vozidlo ŠKODA Octavia III. generace, které halogenový a xenonový zdroj používá na svém modelu před „faceliftem“ a LED zdroj je použitý po „faceliftu“. Tři vozidla, jež každé má jeden z těchto zdrojů svícení předních světlometů, jsou dále použita v této práci v rámci splnění cílů diplomové práce. Staří použitých vozidel je různé, a proto je třeba brát jistý ohled na případné odchylky při měření vozidel nových.

Práce bude dále obsahovat měření distribuce jasu různých druhů oděvů v různém barevném provedení, na určitých vzdálenostech figurantů od zdroje světla, v závislosti na zdroji světla. Hodnoty distribuce jasu budou zjištěny pomocí jasového analyzátoru LumiDISP. Zjištěné hodnoty jasu budou dále použity pro výpočet kontrastu mezi figurantem a okolím v různých oblastech na určitých vzdálenostech. Poté budou další účastníci měření simulovat řidiče vozidla a porovnávat, jak moc dobře na určitou vzdálenost uvidí chodce v daném druhu oděvu z hlediska různých světelných zdrojů.

Cílem práce samotné je zpracování a vyhodnocení měření distribuce jasu a kontrastu v návaznosti na vnímání a detekci chodce řidičem vozidla. Dále pak vyhodnotit vnímání různých látek, z hlediska jejich textury a barvy, řidičem vozidla při nasvícení rozdílnými zdroji světla. V případě této práce to budou světelné zdroje halogen, xenon a LED. Vnímání viditelnosti chodce bude provedeno na více probandech. Jedním z hlavních cílů práce bude porovnání mezi naměřeným jasnem chodce za pomoci přístroje LDA a vnímání chodce probandy z hlediska řidiče. Ze zjištěných výsledků experimentu budou vyvozeny závěry použitelné pro soudně inženýrskou praxi.

## 8 METODIKA MĚŘENÍ

Pro splnění cílů diplomové práce bylo zvoleno statické měření na části silnice II/6021, která vede okolo Masarykova okruhu. Místo bylo zvoleno z důvodů minimálního provozu, dostatečně dlouhé asfaltové plochy a absence veřejného osvětlení. Byly použity tři modelově stejná vozidla se třemi rozdílnými zdroji světla. Konkrétně se jednalo o halogenový, xenonový a LED zdroj svícení na vozidle ŠKODA Octavia III. generace.

Součástí měření byli dva figuranti, kteří měli oblečeny dva druhy oděvu. Jeden měl oblečení světlejší barvy. Konkrétně to byla bílá mikina, světle béžové kalhoty a boty černé barvy. Druhý figurant měl naopak oblečení tmavé barvy. Konkrétně se jednalo o černou koženou bundu, černé riflové kalhoty a černé boty s béžovým pruhem.

Měřena byla tlumená i dálková světla na vzdálenosti 20m, 40m, 60m, 80m, 100m, 120m, 140m a 160m. Na těchto vzdálenostech se střídali figuranti ve zmíněných typech oděvu. Na každé vzdálenosti a na každém figurantovi byla změřena hodnota jasu tlumených i dálkových světel.

Pro zamezení chyb při měření, byla zajištěna poloha vozidla označením polohy kol vozidla přední a zadní nápravy. Tím byla zabezpečena stejná poloha světel a vozidla pro další měření. Vzdálenost figuranta od vozidla byla měřena od polohy předních světel vozidla. Měřené vozidlo tak celý měřený čas stálo na místě. Výchozí poloha figuranta byla vždy na 20m od měřeného vozidla. Po provedení měření se figurant vždy posouval po 20m dál od vozidla až na hodnotu 160m.

Pro plné pochopení měření bylo nutné definovat několik pojmů a to zejména dohlednost řidiče a dosvit světlometů.

### 8.1 DOHLEDNOST A DOSVIT SVĚTLOMETŮ

Pochopení definice dohlednost řidiče a dosvit světlometů jsou jedny z hlavních témat této diplomové práce. Dohlednost řidiče vyjadřuje vzdálenost, na kterou je řidič schopen reagovat na objekt za podmínek zhoršených tmou. Dosvit světlometů naopak představuje vzdálenost, na kterou je schopen daný světlomet, při svém nastavení osvětlit vozovku. Dohlednost je přímo závislá na dosvitu světlometů a to zejména za podmínek zhoršených tmou při jízdě v oblasti bez veřejného osvětlení kdy je řidič odkázán pouze na světlometry vozidla. To je případ i této diplomové práce. [23]

#### 8.1.1 Měření dosvitu světlometů

Měření dosvitu světlometů lze realizovat třemi způsoby:

- sklonem tlumených světlometů,
- luxmetrem
- subjektivním posouzením vzdálenosti. [23]

### **Sklon tlumených světlometů**

Sklon tlumených světlometů určují dva základní parametry. První je výška vztažné osy a druhý pak svislý sklon potkávacích světél. Vztažná osa je dána výrobcem světlometu, prochází celým světelným zdrojem a je rovnoběžná s rovinou, na níž vozidlo stojí a zároveň s podélnou střední rovinou vozidla. Na konci vztažné osy je vztažný střed, který je na světlometu vyznačen malým kroužkem. Svislý sklon je vyznačen v bezprostřední blízkosti světlometu a je vyjádřen v procentech. [23]

$$S_r = \frac{L_s}{S_s * 10^{-2}} \quad (6)$$

$S_r$  dosvit světlometů na vozovku [m]

$L_s$  výška vztažné osy světlometu [m]

$S_s$  svislý sklon světlometů [%] [23]

### **Luxmetr**

Měření dosvitu za pomoci luxmetru funguje na základě měření intenzity osvětlení v úrovni vozovky. Výsledky dosvitu světlometů následně vychází z grafu závislosti osvětlení (lx) na vzdálenosti (m) od zdroje světla. [23]

### **Subjektivní posouzení vzdálenosti**

Dosvit světlometů je touto metodou zjišťován za pomoci stínu. Principiálně se figurant vzdaluje od zdroje světla ve směru podélné osy. Následně se sleduje, do jaké vzdálenosti se za obuví figuranta tvoří stín. V momentě kdy obuv figuranta přestane vrhat stín, figurant se již nenachází v dosvitu světlometů. [23]

## **8.2 SEŘÍZENÍ SVĚTLOMETŮ**

Před jakýmkoliv měřením, ve snaze o dosažení co možná nejpřesnějších výsledků je důležité, aby byl daný stroj seřízen dle definovaných hodnot. Stejně tak je to i u měření světlometů. Seřízení světlometů lze dosáhnout dvěma způsoby:

- kontrolní stěna,
- optický přístroj (regloskop). [23]

Ze zákona č. 56/2001 Sb. O podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích vyplývá, že základní sklon potkávacích světlometů, musí být vždy viditelně vyznačen. Nejčastější značení je buď v blízkosti světlometu, nebo štítku výrobce. Kontrola nastavení se provádí na STK, a pokud je nutné světlometry seřídit tak je to jediný možný úkon, který lze provést. [23]

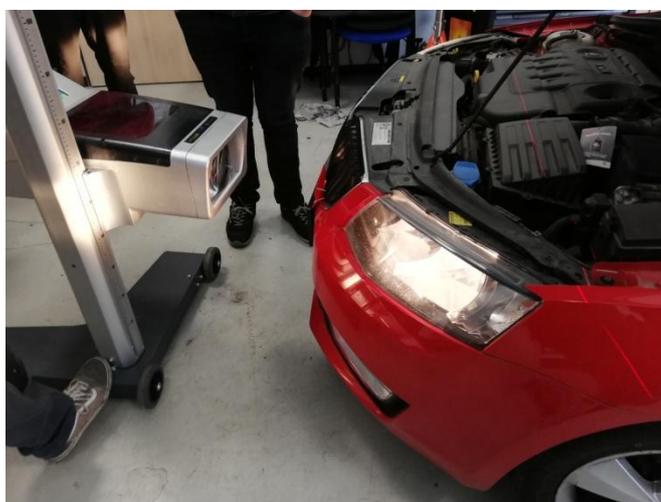
Limitní hodnoty sklonu potkávacího modulu nesmí být větší o více než 10 cm/10m (-1 %) a zároveň nesmí být menší o více než 5 cm/10 m (-0,5 %). V případě neuvedení sklonu tlumených

světla výrobcem, jsou jako základní hodnoty nastavení brány hodnoty 15 cm/10 m (-1,5 %). Naopak dálková světla se seřizují samostatně a to vždy dle hodnot uvedených od výrobce světlometu. Míra rozdílu je stanovena na horizontální pozici  $\pm 20$  cm/10 m a vertikální pozici  $\pm 20$  cm/10 m. [23]



*Obr. č. 34 – Regloskop Technolux PROlux 12799. [vlastní]*

Měření a seřízení světlometů proběhlo ve školní garáži budovy VUT – Ústav soudního inženýrství na regloskopu značky Technolux PROlux 12799, na kterém bylo možné změřit a seřídit všechny dostupné zdroje svícení, tedy halogen, xenon a LED. Regloskop byl vždy nastaven do středu světlometu ve výšce 68 cm a cca 30–70 cm od měřeného světlometu.



*Obr. č. 35 Seřízení halogenových světel pomocí regloskopu. [vlastní]*

Na samotném regloskopu poté bylo nutné nastavit, jaký zdroj světla se měří, jestli se měří pravé či levé světlo a jestli v tlumeném nebo dálkovém režimu. Dále do regloskopu bylo nutné zadat základní sklon tlumených světel, který vždy uvádí výrobce. U všech 3 vozidel byl základní sklon uveden hodnotou +1 %. Poslední zmiňované kritérium bylo splněno u halogenového zdroje svícení a LED zdroje svícení. U xenonových světlometů došlo z neurčitých důvodů k chybě a světla byla nastavena

na -1 %. K odhalení tohoto problému došlo až v pozdější fázi měření a vyhodnocování jasů. Chyba je v následujících krocích této diplomové práce popsána a zohledněna.

### 8.3 POUŽITÉ PŘÍSTROJE

Přístroje, které byly součástí měření:

- **Regloskop Technolux PROlux 12799** – použitý před zahájením měření pro seřízení světlometů všech použitých vozidel.



Obr. č. 36 Pracovní prostředí regloskopu při nastavení základního sklonu tlumeného pravého LED světla +1%. [vlastní]

- **Jasový analyzátor LumiDISP** (Luminance distribution Processing – zpracování distribuce jasů). Součástí balíčku jasového analyzátoru, který byl zapůjčen od Centra dopravního výzkumu, v. v. i. byli digitální fotoaparát Nikon D7200, příslušný objektiv k danému fotoaparátu AF – S DX NIKKOR 18 – 105 mm f/3,5 – 5,6G ED VR, stativ pro zajištění polohy fotoaparátu, program LumiDISP pro vyhodnocení fotografií a kuřík, který obsahoval filtry na objektiv, čtečku paměťových karet, nabíječku a kabely.



Obr. č. 37 – Jasový analyzátor LumiDISP při měření. [vlastní]

Výčet základních technických údajů fotoaparátu Nikon D7200 jsou uvedeny v Tab. č. 7.

*Tab. č. 7 Technické údaje fotoaparátu Nikon D7200. [vlastní]*

Typ	Digitální jednooká zrcadlovka
Počet efektivních pixelů	24,2 milionu
Obrazový snímač	CMOS o rozměru 23,5x15,6 mm
Formát souborů	NEF (RAW), JPEG, NEF (RAW) + JPEG
Paměťová média	SD, SDHC, SDXC
Typ závěrky	Elektronicky řízená šterbinová závěrka s vertikálním chodem.
Měření expozice	TTL měření expozice pomocí 2 016 pixelového RGB snímače
Citlivost ISO	100–25 600
Pracovní rozsah zaostřování	-3 až + 19 EV (ISO 100, 20 °C)

Výčet základní technických údajů objektivu AF – S DX NIKKOR 18 – 105 mm f/3,5 – 5,6G ED VR, jsou uvedeny v Tab. č. 8.

*Tab. č. 8 – Technické údaje objektivu AF – S DX NIKKOR 18 – 105 mm f/3,5 – 5,6G ED VR. [vlastní]*

Typ	Objektiv s vestavěným CPU
Ohnisková vzdálenost	18–105 mm
Světelnost	f/3,5–5,6
Konstrukce objektivu	15 čoček/11 členů
Obrazový úhel	76° – 15°20'
Nejkratší zaostřitelná vzdálenost	0,45 m od obrazové roviny
Clona	Plně automatická

- **Digitální Luxmetr – PU550**

## 8.4 POUŽITÁ VOZIDLA

Vozidla, která byla použita pro měření, byla celkem 3. Každé z vozidel mělo jiný zdroj svícení a to je důležité zejména pro splnění cílů této diplomové práce. Všechna vozidla byla stejné značky a stejné modelové řady. To bylo důležité zejména z důvodu stejné výšky světlometů a jejich stejné

návrhové a designové konstrukce. U každého vozidla byla před zahájením měření zjištěna intenzita osvětlení každého světlometu ve vzdálenosti 1 m od vozidla. Vozidla, která byla použita, jsou:

- **Škoda Octavia III. generace (před faceliftem) – halogenový zdroj svícení**



Obr. č. 38 – Detail halogenového světlometu.  
[vlastní]



Obr. č. 39 – Vozidlo s halogenovými světlometry.  
[vlastní]

Rok výroby vozidla je 2013. Halogenové žárovky, které byly v tomto vozidle použity během měření, byly H7 a H1, kdy žárovka H7 se používá pro tlumené světlometry a H1 pro dálkové světlometry. Hodnoty intenzity osvětlení halogenového zdroje svícení jsou uvedeny v Tab. č. 9.

Tab. č. 9 – Intenzita osvětlení u halogenového zdroje svícení. [vlastní]

	Intenzita osvětlení [lux] ve vzdálenosti 1 m od vozidla
Levý tlumený světlomet	3900
Pravý tlumený světlomet	4610
Levý dálkový světlomet	19000
Pravý dálkový světlomet	18500

- **Škoda Octavia III. generace (před faceliftem) – xenonový zdroj svícení**



Obr. č. 40 – Detail bixenonového světlometu.  
[vlastní]



Obr. č. 41 – Vozidlo s bixenonovými světlometry.  
[vlastní]

Rok výroby vozidla je 2016. Na vozidle byly instalovány bixenonové světlomety, což je podstatné pro splnění cílů této diplomové práce kdy je nutné, aby při tlumeném a dálkovém svícení byl využíván jednotný zdroj svícení, což bixenon splňuje. Klasický xenonový zdroj svícení je využíván pouze pro tlumené svícení. Výbojky, které byly použity na vozidle při měření, mají označení D3S, pro patici PK32d – 5. Hodnoty intenzity osvětlení xenonového zdroje svícení jsou uvedeny v Tab. č. 10.

*Tab. č. 10 – Intenzita osvětlení u xenonového zdroje svícení. [vlastní]*

	Intenzita osvětlení [lux] ve vzdálenosti 1 m od vozidla.
Levý tlumený světlomet	9800
Pravý tlumený světlomet	5800
Levý dálkový světlomet	17300
Pravý dálkový světlomet	11500

- **Škoda Octavia III. generace (po faceliftu) – full LED zdroj svícení**

Rok výroby vozidla je 2018. Na vozidle byly instalovány full LED světlomety pro všechny durhy svícení. Vozidlo bylo zapůjčeno od společnosti AUTONOVA BRNO s.r.o.



*Obr. č. 42 – Detail full LED světlometu. [vlastní]*



*Obr. č. 43 – Vozidlo s full LED světlomety. [vlastní]*

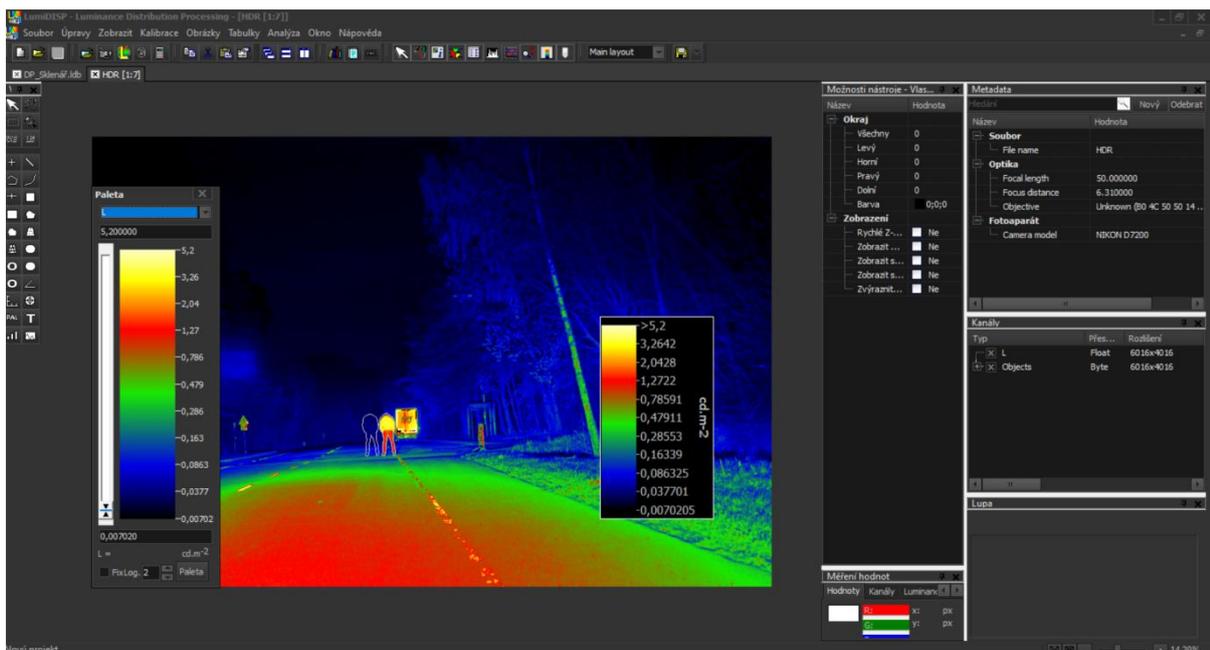
Hodnota intenzity osvětlení LED zdroje svícení je uvedena v Tab. č. 11.

*Tab. č. 11 – Intenzita osvětlení LED zdroje svícení. [vlastní]*

	Intenzita osvětlení [lux] ve vzdálenosti 1 m od vozidla.
Levý tlumený světlomet	10500
Pravý tlumený světlomet	9990
Levý dálkový světlomet	19600
Pravý dálkový světlomet	19900

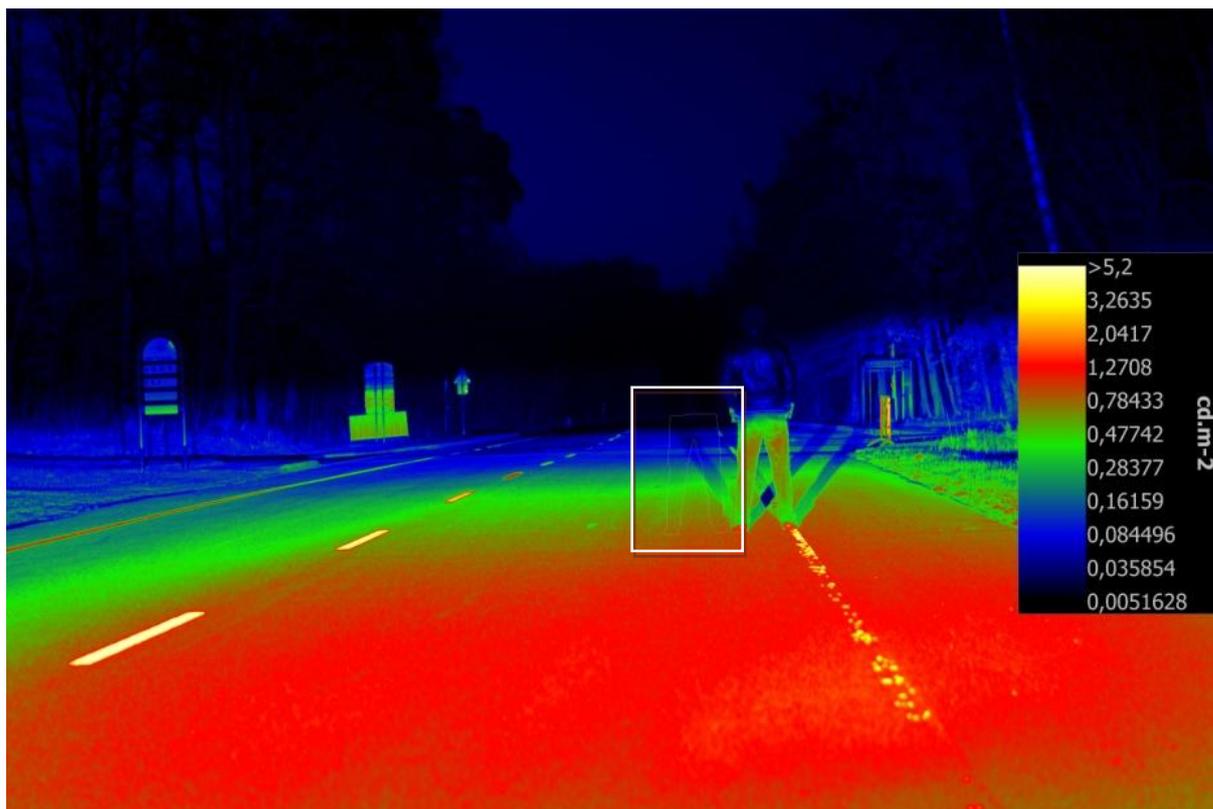
## 8.5 FOTODOKUMENTACE

Pořízené fotografie jasovým analyzátozem slouží k vyhodnocení jasů a následné vyhodnocení kontrastu mezi pozorovaným figurantem a jeho okolím. Fotoaparát byl nastaven ve vozidle ve výšce očí řidiče. Pořízená fotografie tak měla částečně simulovat výhled samotného řidiče z vozidla. To, že byl fotoaparát mírně vychýlen ke středu vozidla a tedy jinak než oči daného řidiče, nijak neovlivňovalo výhledové možnosti a celkově tak celý účel měření. Všechny snímky byly pořízeny při rozlišení 6016 x 4016.



Obr. č. 44 – Pracovní prostředí programu LumiDISP. [vlastní]

Pořízené fotografie se ukládaly přímo do programu LumiDISP kde byly následně upravovány. Z každé pozice jednotlivých figurantů bylo pořízeno 6–8 snímků s postupně se rozšiřující clonou. Tím se zvětšoval jas každé další fotografie. Tyto fotografie byly následně převedeny do HDR obrázku, který vytvořil ze všech fotografií z dané pozice jednu výslednou fotografii, která se následně převedla do jasové mapy a z té byly vyhodnocovány jasy konkrétních oblastí (figurant x okolí). Při vyhodnocování jasů u tlumených světél se vyznačovala **oblast od pasu dolů včetně bot x okolí** a při vyhodnocování dálkových světél se vyznačovala **celá silueta figuranta mimo hlavu x okolí**.



Obr. č. 45 – HDR obrázek s vyznačenou oblastí od pasu dolů. [vlastní]

## 8.6 FIGURANTI

Rozdílné hodnoty měření jsou nejlépe dosažitelné na extrémních porovnáních. Pro místní měření byli využiti dva figuranti. Z toho důvodu byl jeden z figurantů oděn do světlého oblečení, kde horní část oděvu tvořila bílá mikina a spodní část oděvu světle béžové kalhoty a tmavé boty. Druhý figurant byl oděn do tmavého oblečení, kde horní část oděvu tvořila černá kožená lesklá bunda a spodní část oděvu černé riflové kalhoty a černé boty s béžovým pruhem.



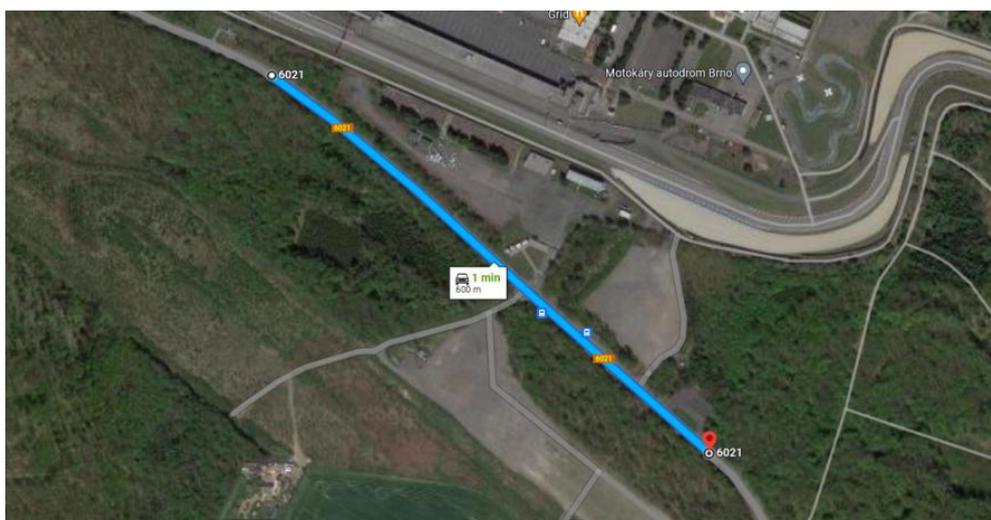
Obr. č. 46 – Figurant 1 ve světlém oděvu.  
[vlastní]



Obr. č. 47 – Figurant 2 v tmavém oděvu.  
[vlastní]

## 8.7 LOKALITA MĚŘENÍ

Oblastí pro praktické měření byla zvolena silniční komunikace II/6021 vedoucí v okolí Masarykova okruhu nedaleko Brna. Lokalita měření byla zvolena z důvodu dlouhé rovné asfaltové plochy. To je jeden se stěžejních důvodů pro realizování úspěšného měření. Další výhodou zvolené oblasti je zamezení ovlivnění měření vlivem veřejného osvětlení či jiného světelného znečištění.



Obr. č. 48 – Vyznačená dráha měření vedle Automotodromu Brno. [vlastní]

Při výběru oblasti tak bylo nutné, aby silnice byla málo frekventovaná ostatními vozidly. V den měření bylo bohužel v nejrovnější části komunikace za podélným dopravním značením odstaveno nákladní vozidlo, které komplikovalo situaci. Následná oblast pro porovnání jasu okolí s jasem figuranta tak mohla být vybrána pouze z levé strany figuranta (vnitřní strana komunikace).



Obr. č. 49 – Nákladní vozidlo s reflexními prvky ve vzdálenosti 150 m od měřeného vozidla. [vlastní]

## 8.8 ATMOSFÉRICKÉ PODMÍNKY

Pro měření bylo důležité zvolit vhodné atmosférické podmínky. Mezi ně patří vysoká oblačnost z důvodu zamezení ovlivnění měření vlivem svitu měsíce a nulové srážky bez výskytu mlhy. Poloha měsíce na počátku měření dne 20. 4. 2022 nebyla ideální, jelikož byly 4 dny po úplňku a měsíc tak byl v ubývající fázi s osvětlenou plochou 86,5%. V průběhu měření měl měsíc východ až druhý den 21. 4. 2022 v čase 1:07 s osvětlenou plochou 77,5%. Svit měsíce dané měření neovlivnil, protože po celou dobu panovalo polojasno až oblačno s nulovými srážkami a v momentech kdy se měsíc objevil tak byl zakrytý za stromy okolo měřené komunikace. [46, 47, 48]

Atmosférické podmínky dne 20. 4. 2022 byly:

- Noční teploty: 5–1 °C
- Rychlost větru: 2–6 m/s
- Tlak: 98529,7 Pa

- Absolutní vlhkost: 5,84 g/m<sup>3</sup>
- Západ Slunce: 19:54 h
- Konec astronomického soumraku: 21:58 h – úplná tma [46, 47, 48]

Atmosférické podmínky dne 21. 4. 2022 byly:

- Noční teplota: 5–1 °C
- Rychlost větru: 2–6 m/s
- Tlak: 98241 Pa
- Absolutní vlhkost: 7,16 g/m<sup>3</sup>
- Východ Slunce: 5:52 h
- Začátek astronomického rozbřesku: 3:48 h – první sluneční paprsky [46, 47, 48]

Ideální podmínky pro měření tak byly od 21:58 h do 3:48 h 21. 4. 2022. [48]

## 8.9 POSTUP MĚŘENÍ

Před začátkem měření bylo důležité světlometry na všech vozidlech seřídít, aby se zamezilo chybám v měření. Stejně tak bylo důležité mít správně nastaveny hodnoty na jasovém analyzátoru, kde podstatné bylo, aby všechny fotografie byly pořízeny při totožném nastavení. Předem stanovená dráha měření měla délku přes 600 m, což byla dostačující vzdálenost pro provedení experimentu. Pomocí měřicího kolečka se změřila maximální měřená vzdálenost mezi vozidlem a figurantem, na které bylo realizováno měření (160 m). Následně se na této dráze směrem k vozidlu namalovala na vozovku každých 20 m značka, která znázorňovala jednotlivé výchozí body postavení figurantů. Po zvážení bylo zjištěno, že pro zamezení chyb měření je vhodnější, když se mění poloha figuranta nežli poloha vozidla a z toho důvodu se tedy při změně měřené vzdálenosti mezi vozidlem a figurantem posouval na jednotlivé body měření figurant. LumiDISP s fotoaparátem bylo nutné za pomoci stativu umístit do vozidla do úrovně řidičových očí, aby bylo dosaženo co nejvíce věrohodného výhledu. Jelikož měřená vozidla nebyla nová a jejich stáří se lišilo v řádu let, bylo důležité zjistit intenzitu svícení každého světla, která se může s narůstajícím stářím vozidla měnit, zejména u xenonového zdroje svícení. Při tomto měření se měří pravé a levé světlo zvlášť a to jak při tlumeném světle, tak i při dálkovém světle. Měřidlo, které se používá pro měření intenzity svícení je luxmetr. Ten byl během měření cca na úrovni středu měřeného světlometu. Vzdálenost luxmetru během měření od každého světlometu byla 1 m. Uvedené hodnoty svícení jsou tak naměřeny ve vzdálenosti 1 m od zdroje svícení.



*Obr. č. 50 – Označení zajištění polohy vozidla pro měření. [vlastní]*

Pro zajištění toho, aby každé vozidlo bylo během měření ve stejné výchozí poloze bylo smluveno, že pravá kola přední a zadní nápravy budou stát na podélném dopravním značení a u každého kola bude v jeho středu na vozovce značka, jak je vyznačeno na Obr. č. 50. Pro zajištění bezpečnosti účastníků měření, bylo vždy za měřeným vozidlem postaveno několik reflexních dopravních kuželů a každý figurant byl vybaven reflexní vestou, kterou mohl použít v případě okolo projíždějícího vozidla. Prvním měřeným vozidlem bylo vozidlo s full LED světlomety a figurant ve světlém oblečení. I u figurantů bylo důležité zajistit, aby se jejich postoj v rámci vozidla neměnil a měnila se pouze jejich vzdálenost od vozidla. Z toho důvodů bylo smluveno, aby v každé pozici od vozidla (20 m – 160 m) daný figurant stál svojí pravou nohou na vodorovném dopravním značení v mírném stoji rozkročném a dlaně měl strčené v kapsách kalhot. První pozice figuranta ve světlém oděvu byla ve výchozí poloze 20 m od vozidla. Následně se vytvořilo 6 – 8 snímků pomocí jasového analyzátoru s postupně se rozevírající clonou s tlumenými světly. Poté se stejný proces opakoval i s dálkovými světly. Následně se figurant ve světlém oblečení přesunul do druhé výchozí o 20 m dále a proces se opakoval. Tímto způsobem figurant ve světlém oděvu měnil své pozice, až do vzdálenosti 160 m od vozidla. Stejný postup se opakoval i u figuranta v tmavém oblečení. V momentě kdy byli změřeni oba dva figuranti při daném zdroji svícení, tak se stejný postup provedl nejprve na halogenovém zdroji svícení a následně i na xenonovém zdroji svícení.



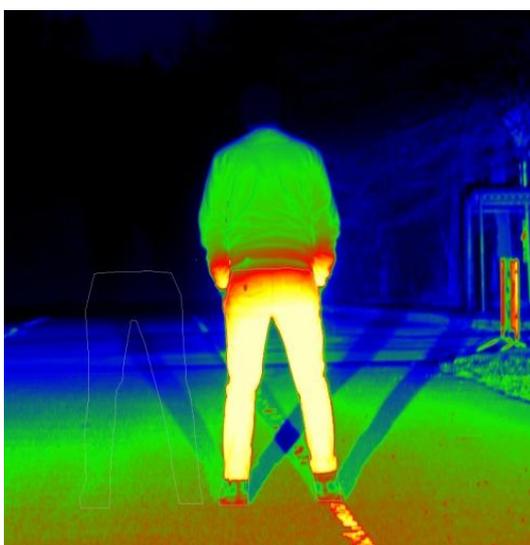
*Obr. č. 51 – Výchozí poloha obou figurantů vzhledem k vozidlu při použití tlumených LED světel.  
[vlastní]*

Další měření probíhalo již bez jasového analyzátoru. Pro splnění cílů diplomové práce bylo dále nutné provést experiment, který obsahoval zjištění jak figuranta v daném typu oděvu a při daném zdroji svícení vnímají přítomní probandi ve vozidle, přesněji kdy jsou schopní figuranta zaregistrovat na tolik, aby začali jakožto řidiči vozidla zpomalovat. Probandi, kteří byli přítomni ve vozidle, byli ve věku 22 – 26 let. Žádný z nich nenosil brýle ani neměl jinou zrakovou vadu, která by mu byla známá. Při tomto měření se používala pouze tlumená světla, která jsou v tomto ohledu podstatněji nežli světla dálková. Jako v předchozím měření bylo nutné zajistit polohu vozidla tak, aby všechna vozidla vždy stála ve stejném výchozím bodě. Měření bylo zahájeno tím, že figurantova výchozí pozice od vozidla byla cca 220 m. Komunikace mezi figurantem a přítomnými probandy fungovala pomocí vysílaček. Na pokyn figurant vyrazil volnou chůzí po vodorovném dopravním značení směrem proti vozidlu. V momentě kdy jeden z přítomných probandů ve vozidle viděl figuranta na tolik, že by na něj jakožto řidič vozidla reagoval zpomalením, byl figurant upozorněn, aby se zastavil a na silniční komunikaci zaznamenal první značku pomocí značkovacího spreje. Poté pokračoval dál volnou chůzí směrem k vozidlu, dokud na něj nereagovali všichni přítomní probandi ve vozidle. Následně se za pomoci měřicího kolečka změřily vzdálenosti jednotlivých značek od vozidla a byly zaznamenány do tabulky dle pozice a pořadí reakce každého probanda ve vozidle. Stejně měření se stejným figurantem a stejným zdrojem svícení bylo provedeno ještě jednou, aby se zamezilo chybám v měření. Každý z probandů tak měl na svoji pozici ve vozidle dvě vzdálenosti figuranta, na které by proband jakožto řidič vozidla reagoval. Z těchto dvou hodnot byla následně vypočtena průměrná hodnota dané vzdálenosti, na kterou by proband reagoval. Při dokončení těchto dvou měření se celý proces opakoval s figurantem v druhé barvě oděvu. Jakmile bylo dokončeno i toto měření při daném zdroji svícení, celý proces se dále opakoval i při dalších zdrojích svícení.

Celé měření bylo provedeno za atmosférických podmínek, které jsou uvedeny v kapitole 8.8 Atmosférické podmínky.

## 8.10 VÝPOČET KONTRASTU JASOVÝCH MAP

Výpočet kontrastu mezi figurantem a prostředím se realizoval díky snímkům z jasového analyzátoru. Ty se následně musely všechny převést do jasových map. Z každé figurantovi pozice bylo pořízeno 6 – 8 snímků, které se převedly do jednotného výsledného HDR obrázku, ze kterého se následně zjišťovaly potřebné jasy figurantů a okolí. Z výsledných HDR obrázků, které byly tvořeny fotografiemi tlumeného světla, se pro výsledné porovnání jasů vybírala figurantova oblast od pasu dolů včetně bot. Tato oblast byla následně zkopírována a posunuta do těsného okolí figuranta.



*Obr. č. 52 – Označení figuranta (ve světlém oděvu) od pasu dolů a jeho těsného okolí na 20 m od vozidla při použití tlumených LED světel. [vlastní]*

Z výsledných HDR obrázků, které byly tvořeny fotografiemi dálkového světla, se pro výsledné porovnání jasů vybírala celá silueta figuranta mimo hlavu. Tato oblast byla následně zkopírována a posunuta do těsné blízkosti okolí figuranta.



Obr. č. 53 – Označení figuranta (ve světlém oděvu) od pasu dolů a jeho těsného okolí na 20 m od vozidla při použití dálkových LED světel. [vlastní]

Při zjištěných jasech figurantů a jejich okolí ze všech pozic bylo možné spočítat hodnotu kontrastu mezi nimi ze vzorce, který je uvedený v kapitole 3.3.6 Kontrast jasu.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2	20m							
3	Detector	X	Y	Pixels	Min L	Max L	Average L	Variability L
4	Total	0	0	18810096	0,014966	41,10776	0,76868802	6,01447439
5	Figurant 1	3588	1839	243400	0,219889	39,32904	14,6647129	63,4123306
6	Okolí figuranta 1	3151	1829	243448	0,029327	0,738447	0,13624965	0,02458254
7	All detectors	0	0	486848	0,029327	39,32904	7,39976501	84,4843903
8								
9				KONTRAST				
10				=(G5-G6)/G6				

Obr. č. 54 – Příklad výpočtu kontrastu figuranta ve světlém oděvu a okolí, na 20 m při použití dálkových LED světel. [vlastní]

## 9 VYHODNOCENÍ PRAKTICKÉHO MĚŘENÍ

Pro vyhodnocení výsledků měření distribuce jasu a z něj vzniklých hodnot kontrastu v návaznosti na vnímání a detekci chodce řidičem vozidla, byly vytvořeny grafy v závislosti na velikosti kontrastu a na vzdálenosti figuranta od zdroje světla a grafy v závislosti na velikosti jasu figuranta na vzdálenosti figuranta od zdroje světla. Velikost kontrastu je vyjádřena z průměrných hodnot kontrastu mezi vyznačenou oblastí na figurantovi a jeho okolím při určitém zdroji světla. Velikost jasu je vyjádřena z průměrné hodnoty jasu figuranta při určitém zdroji světla.

Výsledné hodnocení je představeno v následujících podkapitolách, které jsou rozděleny dle barvy oděvu jednotlivých figurantů v závislosti na typu použitého světla. Poslední podkapitola představuje výsledky vnímání chodce samotnými probandy ve vozidle v závislosti na zdroji světla a porovnání těchto výsledků se změřenými hodnotami kontrastu. Následně je tato kapitola doplněna o výpočty maximálních rychlostí v závislosti na délce brzdné dráhy, vzhledem k reakci probandů na figuranty v určitých typech oděvů.

Při měření došlo i k několika chybám, které výsledky buď zkreslily, nebo je učinily pro větší vyhodnocení méně použitelnými. Jednou z takových chyb bylo chybné seřízení xenonových světlometů. Chyba vznikla při nastavování regloskopu před měřením xenonového zdroje svícení, kdy byly světlometry na místo uvedeného sklonu od výrobce +1 % nastavovány na -1 %. Chyba byla zaregistrována až v pozdější fázi měření a následného vyhodnocování výsledků. Z toho důvodu již nebyl časový prostor ji opravit. Chyby u xenonových světlometů si lze všimnout na přiložených jasových mapách a následně i na hodnotách jednotlivých grafů kontrastu a jasu kde jsou v porovnání s dalšími zdroji světla mnohem menší hodnoty. Z těchto důvodů jsou pro výsledné porovnání hodnot kontrastu, jasu a vnímání figuranta probandy použity pouze hodnoty halogenového a LED zdroje svícení. Výsledné hodnoty xenonové zdroje svícení jsou vyobrazeny jako možnost podoby výsledných hodnot při chybném nastavení světlometů. K dalším chybám a zkreslení výsledných hodnot mohlo dojít díky nedokonalé rovnosti povrchu měřené dráhy či díky odstavenému nákladnímu vozidlu a jeho reflexním prvkům. Ty mohly, zejména při vzdálenějších pozicích figuranta od zdroje svícení, ovlivnit jas chodce díky vydávání svého jasu. Při práci v programu LumiDISP tak bylo nutné dbát zvýšené pečlivosti při vyznačování měřené oblasti na figurantovi, která byla blízká vydávanému jasu reflexních prvků na nákladním vozidle.

K dalšímu zkreslení výsledků došlo, díky příliš blízké výchozí pozici figurant od zdroje svícení. Zkreslení bylo zřejmé zejména při měření tlumených světél. Toto zkreslení je vidět na grafech kontrastu v závislosti na vzdálenosti při použití tlumených světél kde je v hodnotách kontrastu mezi 20 m a 40 m posun v řádu několika jednotek. Tento posun tak sráží hodnotu spolehlivosti jednotlivých výsledků na nízká čísla.

## 9.1 FIGURANT VE SVĚTLÉM ODĚVU PŘI POUŽITÍ DÁLKOVÝCH SVĚTEL

Při měření dálkových světel a následnému vyhodnocení kontrastu a jasů byla pro zjištění dat vždy označena celá silueta figuranta ve světlém oděvu, případně jeho okolí jako je tomu na Obr. č. 58.

Přiložené fotografie ukazují rozlišnou viditelnost figuranta ve světlém oděvu při zapnutých dálkových světlech a použití halogenového, xenonového a LED zdroje svícení na vzdálenosti 20 m a 160 m.



*Obr. č. 55 – Viditelnost figuranta ve světlém oděvu ve 20 m od halogenového zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní]*



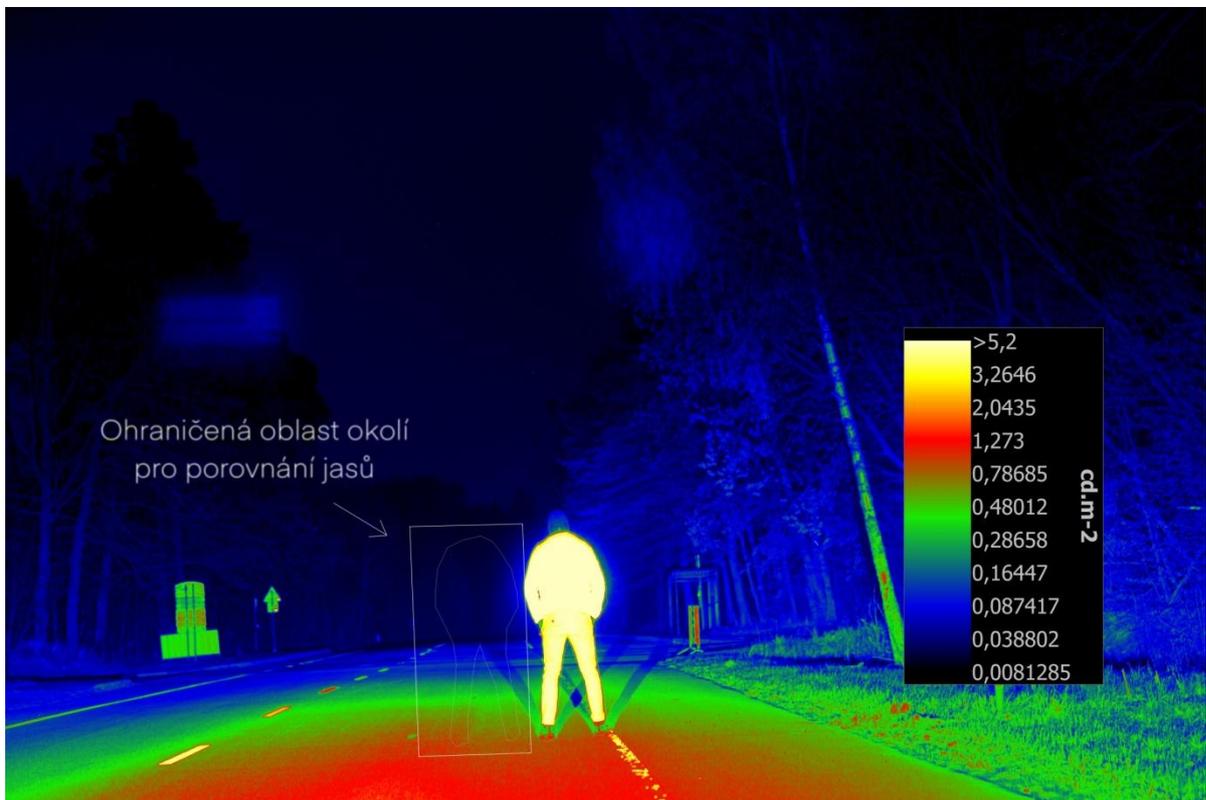
*Obr. č. 56 – Viditelnost figuranta ve světlém oděvu ve 20 m od xenonového zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní]*



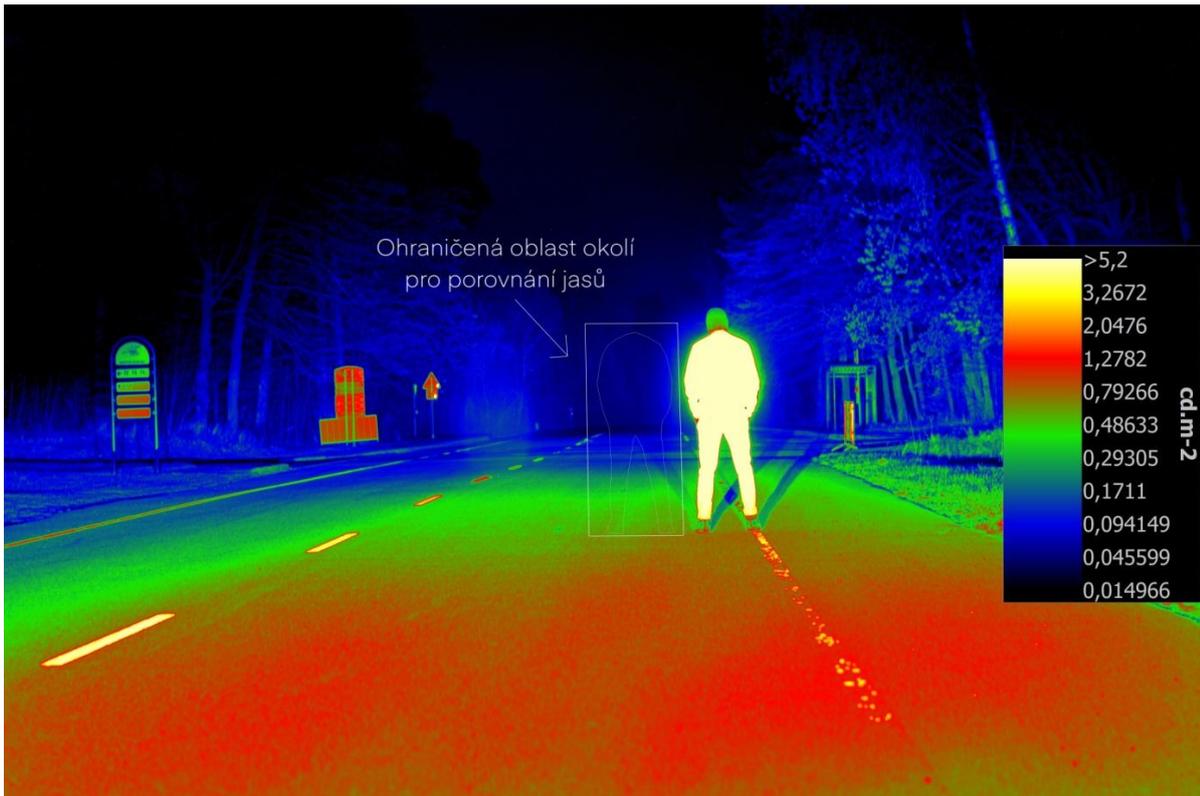
*Obr. č. 57 – Viditelnost figuranta ve světlém oděvu ve 20 m od LED zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní]*



Obr. č. 58 – Jasová mapa figuranta ve světlém oděvu ve vzdálenosti 20 m od halogenového zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní]



Obr. č. 59 – Jasová mapa figuranta ve světlém oděvu ve 20 m od xenonového zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní]



Obr. č. 60 – Jasová mapa figuranta ve světlém oděvu ve 20 m od LED zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní]



*Obr. č. 61 – Výhled z místa řidiče na figuranta ve světlém oděvu vzdáleného 20 m od halogenového zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní]*



*Obr. č. 62 – Výhled z místa řidiče na figuranta ve světlém oděvu vzdáleného 20 m od xenonového zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní]*



*Obr. č. 63 – Výhled z místa řidiče na figuranta ve světlém oděvu vzdáleného 20 m od LED zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní]*



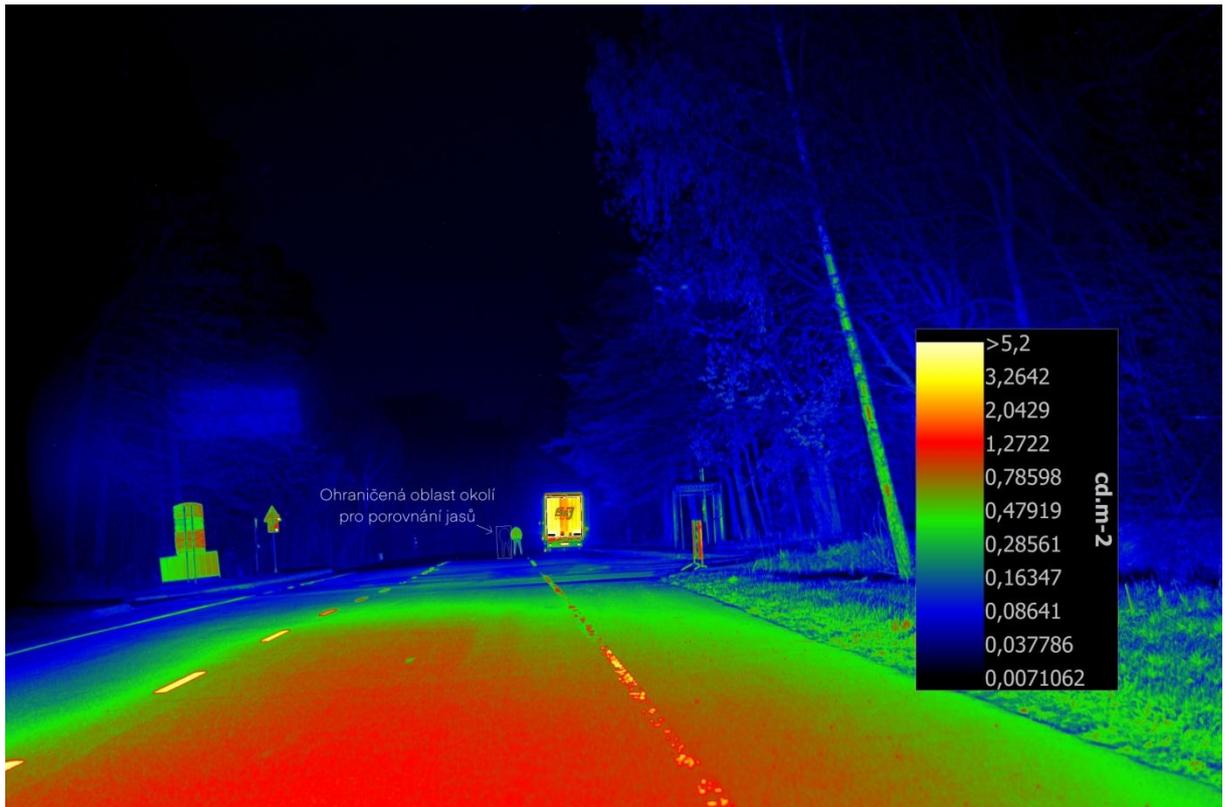
*Obr. č. 64 – Viditelnost figuranta ve světlém oděvu ve vzdálenosti 160 m od halogenového zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní]*



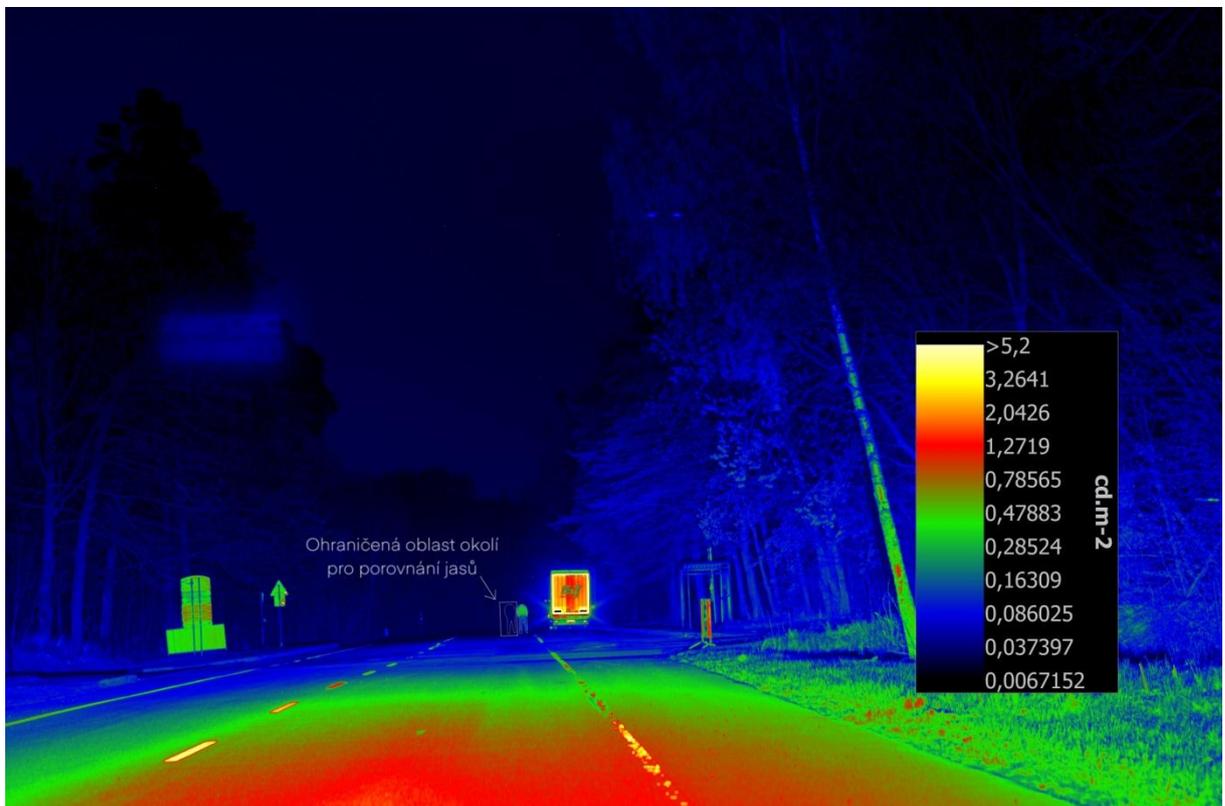
*Obr. č. 65 – Viditelnost figuranta ve světlém oděvu ve vzdálenosti 160 m od xenonového zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní]*



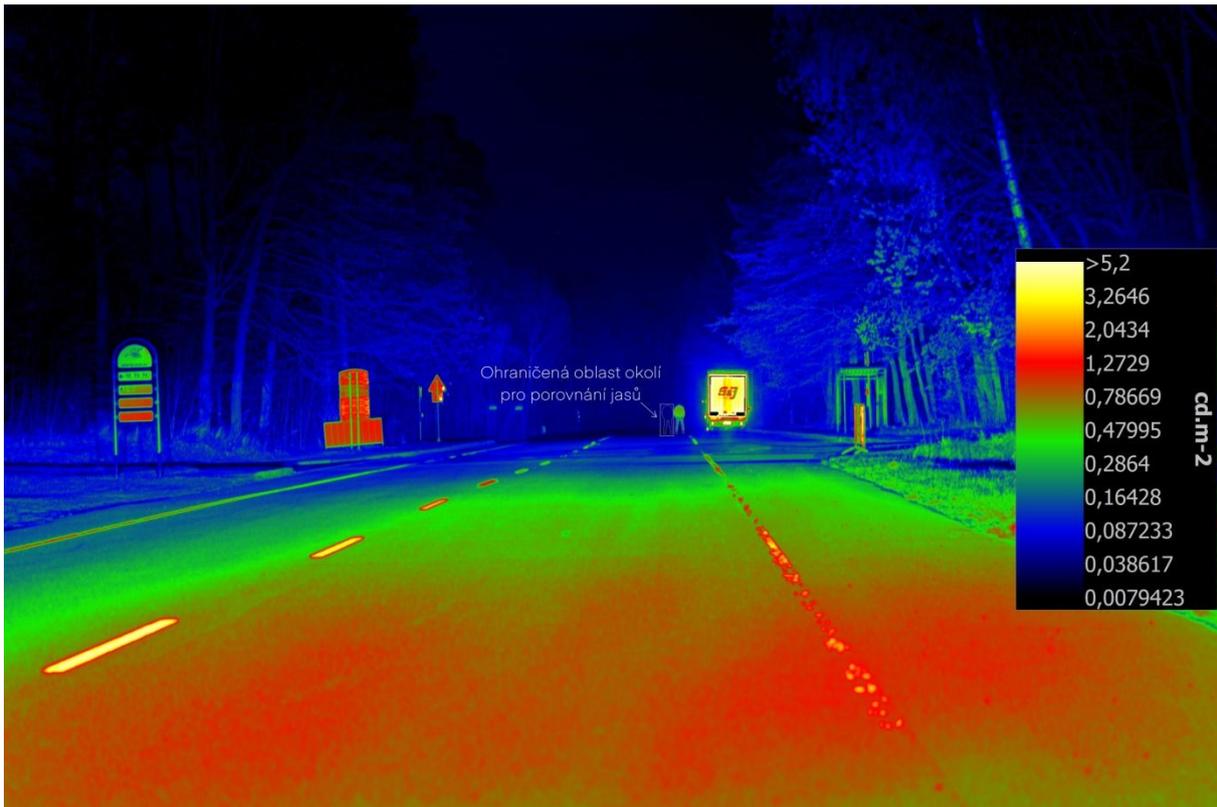
*Obr. č. 66 – Viditelnost figuranta ve světlém oděvu ve vzdálenosti 160 m od LED zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní]*



Obr. č. 67 – Jasová mapa figuranta ve světlém oděvu ve vzdálenosti 160 m od halogenového zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní]



Obr. č. 68 – Jasová mapa figuranta ve světlém oděvu ve vzdálenosti 160 m od xenonového zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní]



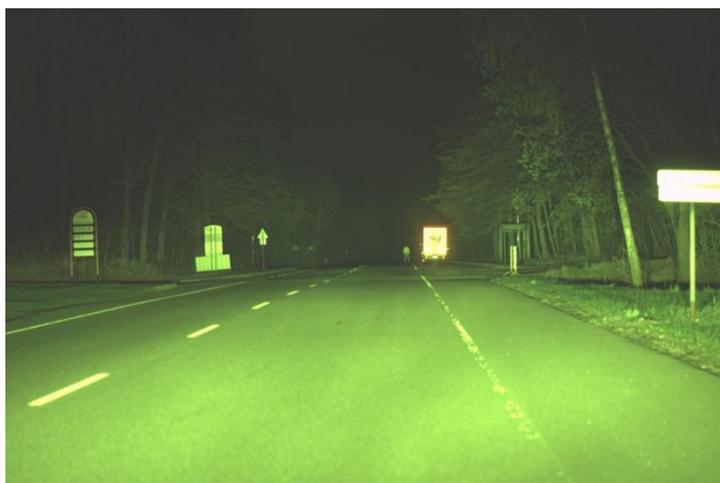
Obr. č. 69 – Jasová mapa figuranta ve světlém oděvu ve vzdálenosti 160 m od LED zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní]



*Obr. č. 70 – Výhled z místa řidiče na figuranta ve světlém oděvu vzdáleného 160 m od halogenového zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní]*

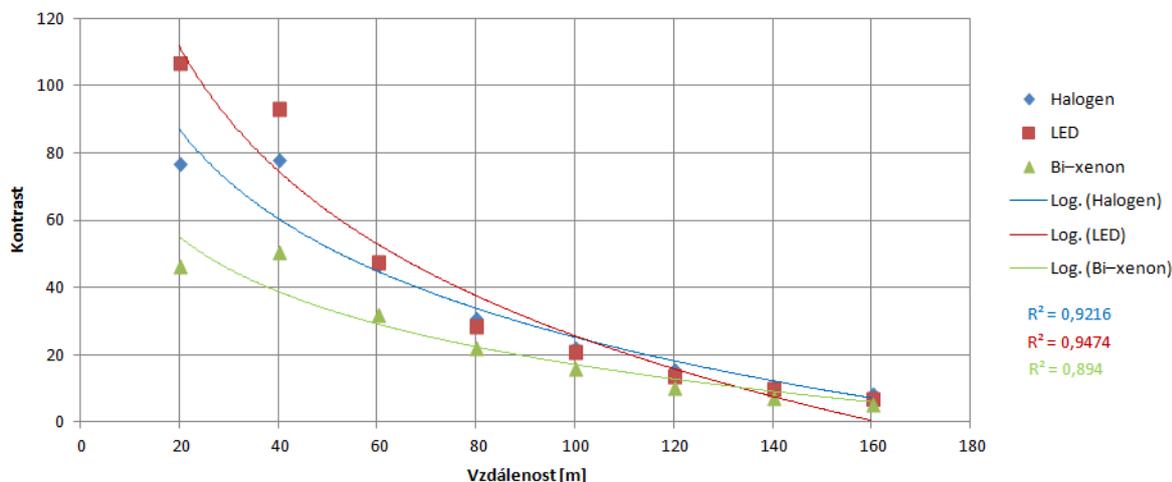


*Obr. č. 71 – Výhled z místa řidiče na figuranta ve světlém oděvu vzdáleného 160 m od xenonového zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní]*



*Obr. č. 72 – Výhled z místa řidiče na figuranta ve světlém oděvu vzdáleného 160 m od LED zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní]*

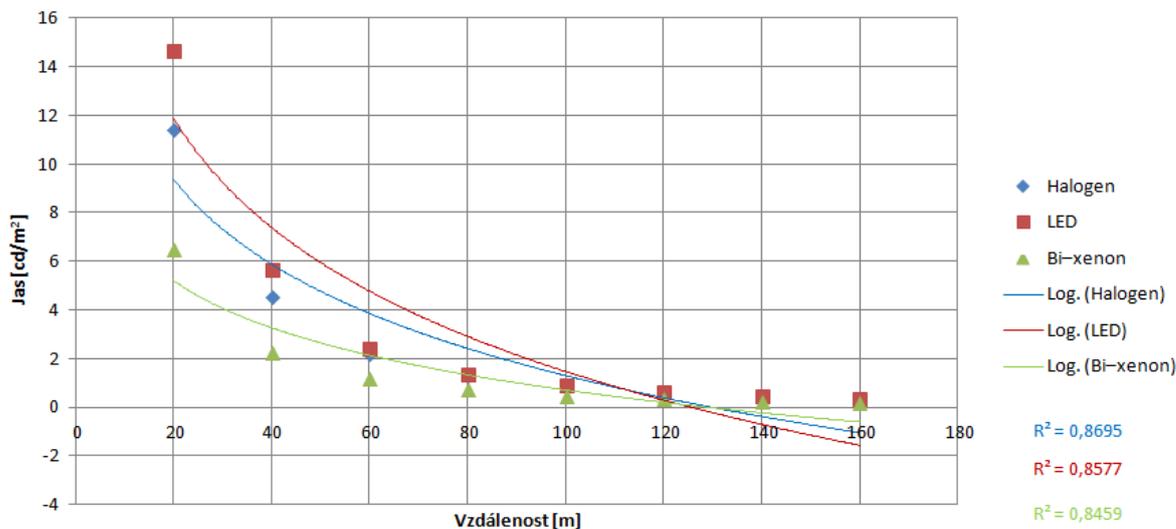
### Závislost kontrastu na vzdálenosti – dálková světla – chodec ve světlém oblečení



Obr. č. 73 – Graf závislosti kontrastu na vzdálenosti při použití dálkových světel na figuranta ve světlém oděvu. [vlastní]

Z grafu závislosti kontrastu na vzdálenosti při použití dálkových světel, kterými je nasvícen figurant ve světlém oděvu, je patrné, že nejvyšší hodnoty kontrastu mezi figurantem a jeho okolím, ve vzdálenosti 40 m od vozidla, dosahuje LED zdroj svícení. LED zdroj svícení má vyšší hodnoty kontrastu v řádu několika desítek hodnot před halogenovým zdrojem svícení. Mezi 40–60 m je ale u LED zdroje velký schodek a hodnoty kontrastu jsou téměř totožné jako u halogenového zdroje svícení. Naopak u halogenového zdroje svícení je pokles hodnot kontrastu plynulý. To je způsobeno zejména parazitním světlem daného zdroje. U LED zdroje svícení je velký schodek způsoben ostrým přechodem mezi viditelnou oblastí a tmavou oblastí což je v rámci soudně inženýrské praxe často bráno jako velký problém LED zdroje. Ve vzdálenostech 80–160 m (maximální měřená vzdálenost) je již hodnota kontrastu halogenového zdroje o několik málo jednotek vyšší než u LED zdroje. Hodnoty  $R^2$  vyjadřují hodnoty spolehlivosti jednotlivých zdrojů světla. Z grafu vychází nejhůře hodnoty xenonového zdroje svícení. To je však způsobeno chybným nastavením xenonového zdroje svícení, o kterém je psáno v úvodu této kapitoly. Z toho důvodu jsou hodnoty xenonového zdroje svícení, k porovnání s ostatními zdroji svícení, nepoužitelné. Přesné hodnoty kontrastu jednotlivých zdrojů světla v závislosti na vzdálenosti jsou uvedeny v „Příloze č. 1“.

### Závislost jasu na vzdálenosti – dálková světla – chodec ve světlém oblečení



Obr. č. 74 – Graf závislosti jasu na vzdálenosti při použití dálkových světel na figuranta ve světlém oděvu. [vlastní]

Z grafu závislosti jasu na vzdálenosti při nasvícení figuranta ve světlém oděvu je patrné, že hodnoty jasu na prvních 40 m má nejvyšší LED zdroj svícení, před halogenovým zdrojem svícení. U LED zdroje svícení je patrný zejména velký skok mezi 20 m a 40 m. Podobný, avšak ne tak velký pokles je zaznamenán i mezi 20 m a 40 m u halogenového zdroje svícení. Na 60 m je jas LED zdroje vyšší o několik málo desetín. Mezi 80–160 m hodnoty jasů LED a halogenového zdroje svícení téměř splývají. Z grafu je patrné, že při zkoumání jasu vychází nejhůře hodnoty xenonového zdroje svícení. Ty však nelze použít ani porovnávat s ostatními zdroji svícení díky dříve zmiňované chybě v seřízení xenonových světlometů. Přesné hodnoty jasů jsou dále uvedeny v „Příloze č. 1“.

## 9.2 FIGURANT V TMAVÉM ODĚVU PŘI POUŽITÍ DÁLKOVÝCH SVĚTEL

Stejně jako je tomu v předchozí podkapitole i v této při měření dálkových světel a následnému vyhodnocení kontrastu a jasu byla pro zjištění dat vždy označena celá silueta figuranta v tmavém oděvu, případně jeho okolí jako je tomu na Obr. č. 78.

Přiložené fotografie ukazují rozlišnou viditelnost figuranta v tmavém oděvu při zapnutých dálkových světlech a použití halogenového, xenonového a LED zdroje svícení na vzdálenosti 20 m a 160 m.



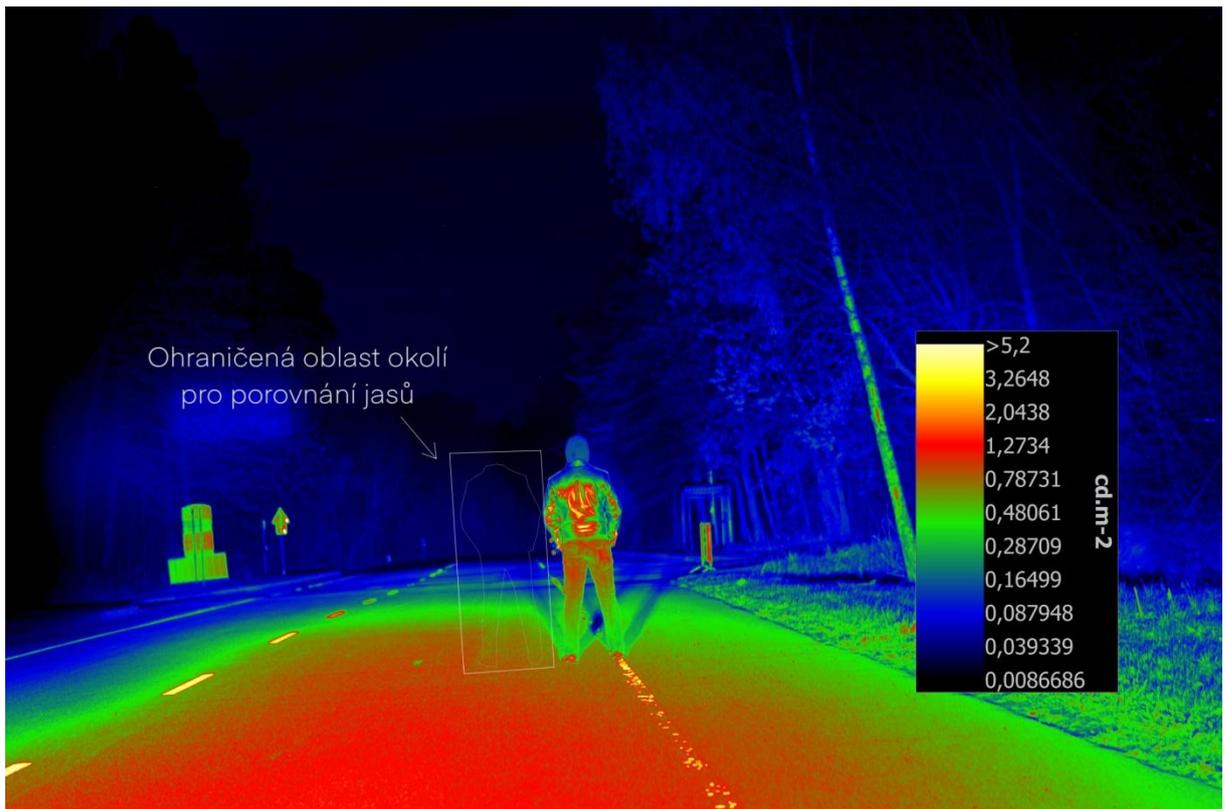
*Obr. č. 75 – Viditelnost figuranta v tmavém oděvu ve vzdálenosti 20 m od halogenového zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní]*



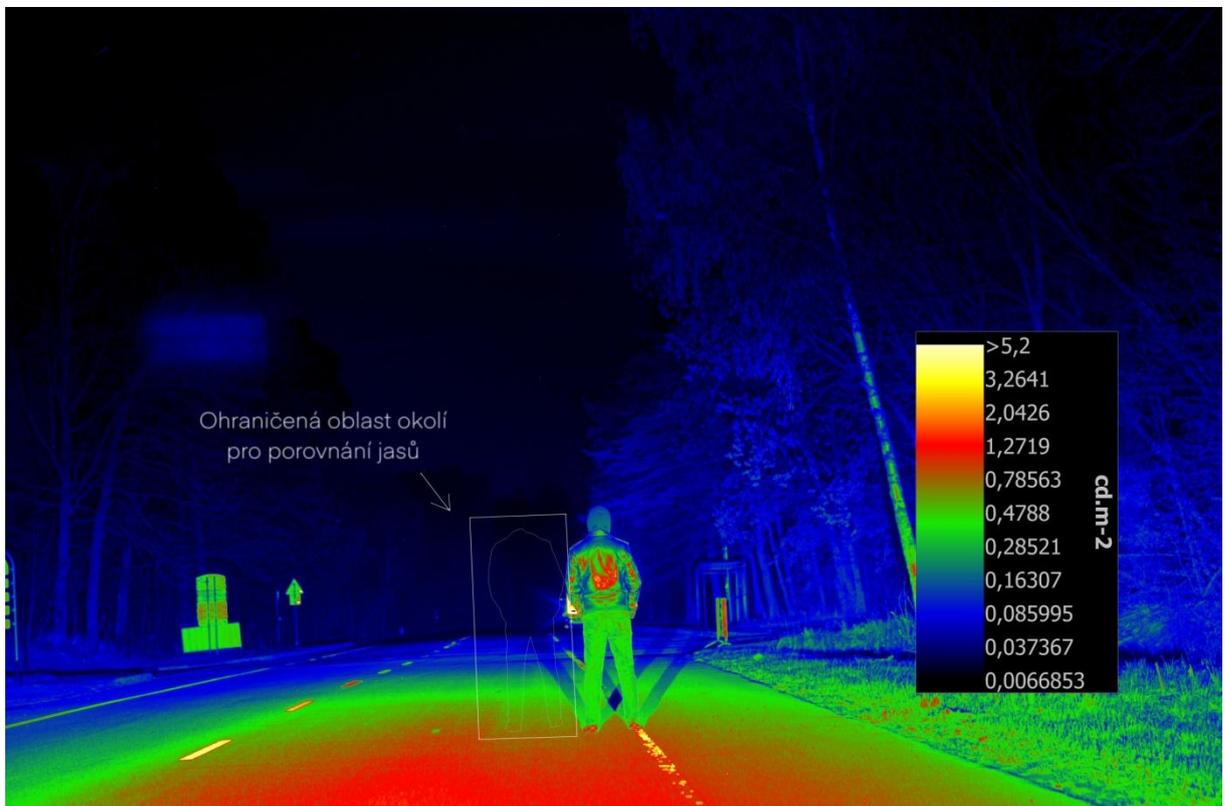
*Obr. č. 76 – Viditelnost figuranta v tmavém oděvu ve vzdálenosti 20 m od xenonového zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní]*



*Obr. č. 77 – Viditelnost figuranta v tmavém oděvu ve vzdálenosti 20 m od LED zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní]*



Obr. č. 78 – Jasová mapa figuranta v tmavém oděvu ve vzdálenosti 20 m od halogenového zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní]



Obr. č. 79 – Jasová mapa figuranta v tmavém oděvu ve vzdálenosti 20 m od xenonového zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní]



Obr. č. 80 – Jasová mapa figuranta v tmavém oděvu ve vzdálenosti 20 m od LED zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní]



*Obr. č. 81 – Výhled z místa řidiče na figuranta v tmavém oděvu vzdáleného 20 m od halogenového zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní]*



*Obr. č. 82 – Výhled z místa řidiče na figuranta v tmavém oděvu vzdáleného 20 m od xenonového zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní]*



*Obr. č. 83 – Výhled z místa řidiče na figuranta v tmavém oděvu vzdáleného 20 m od LED zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní]*



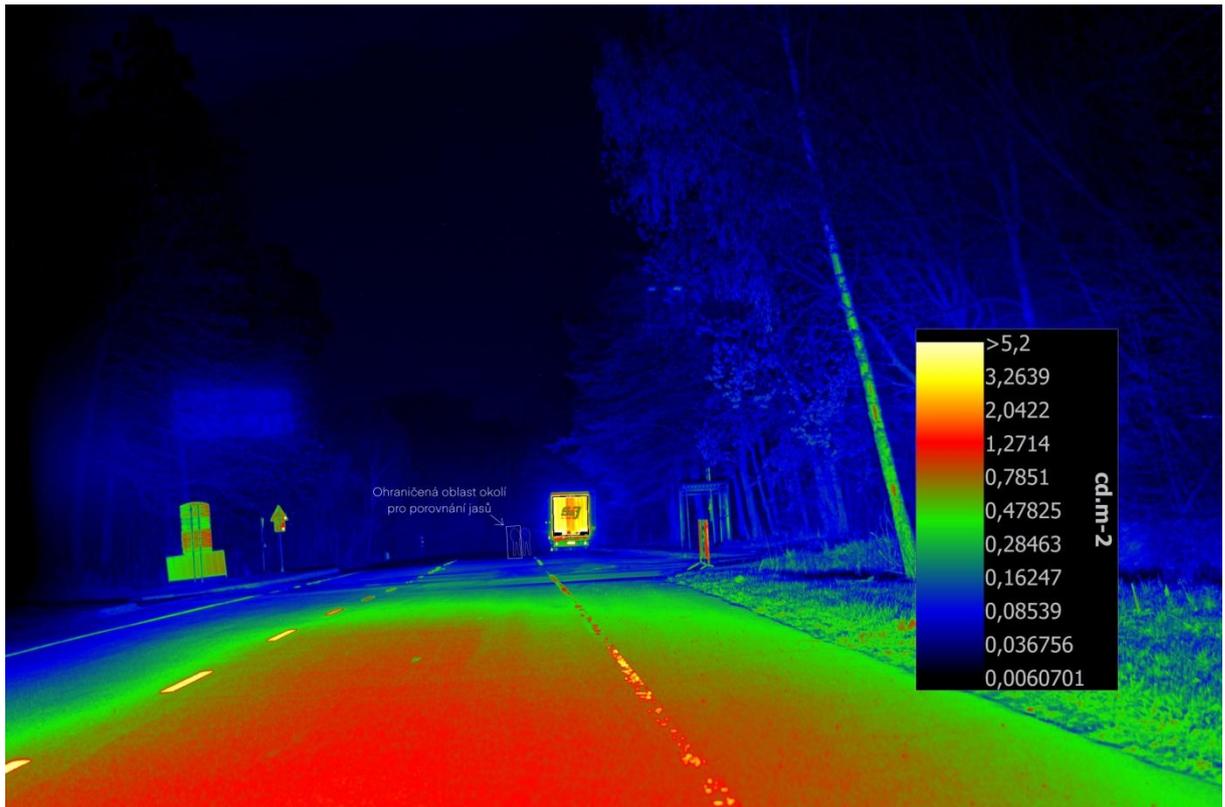
*Obr. č. 84 – Viditelnost figuranta v tmavém oděvu ve vzdálenosti 160 m od halogenového zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní]*



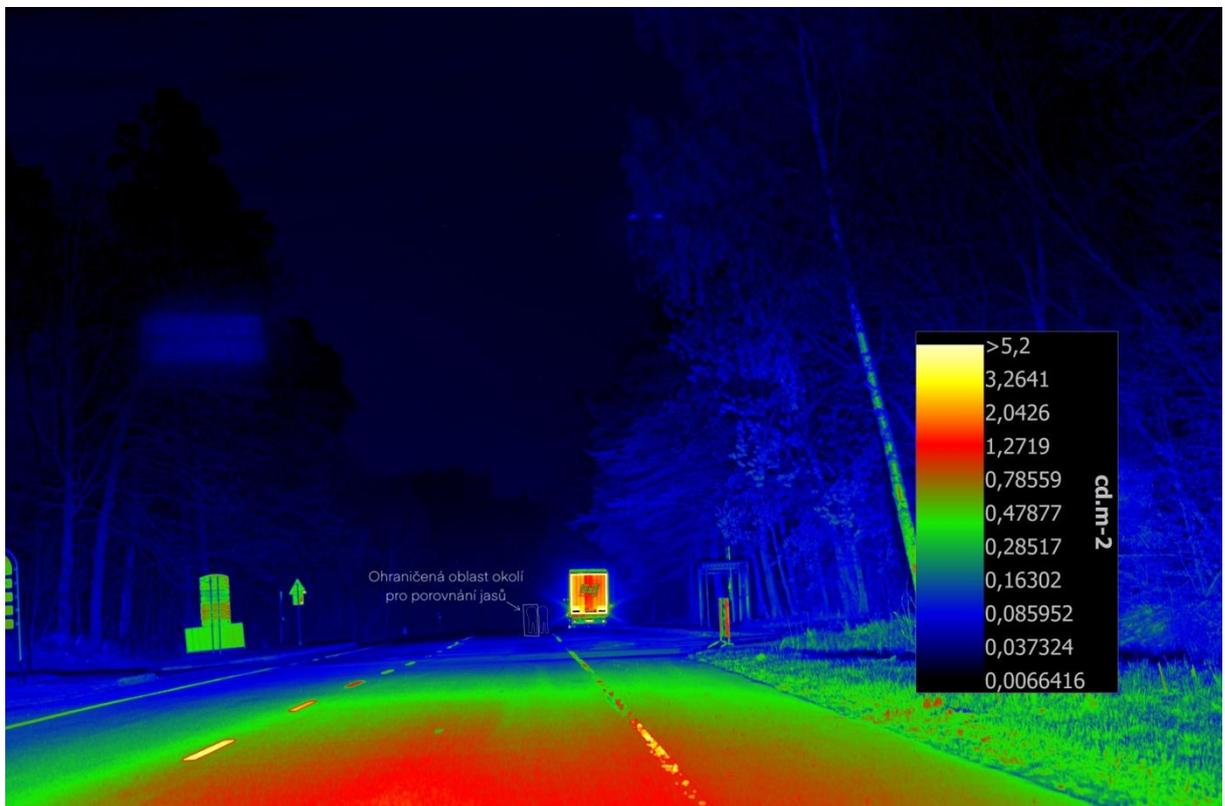
*Obr. č. 85 – Viditelnost figuranta v tmavém oděvu ve vzdálenosti 160 m od xenonového zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní]*



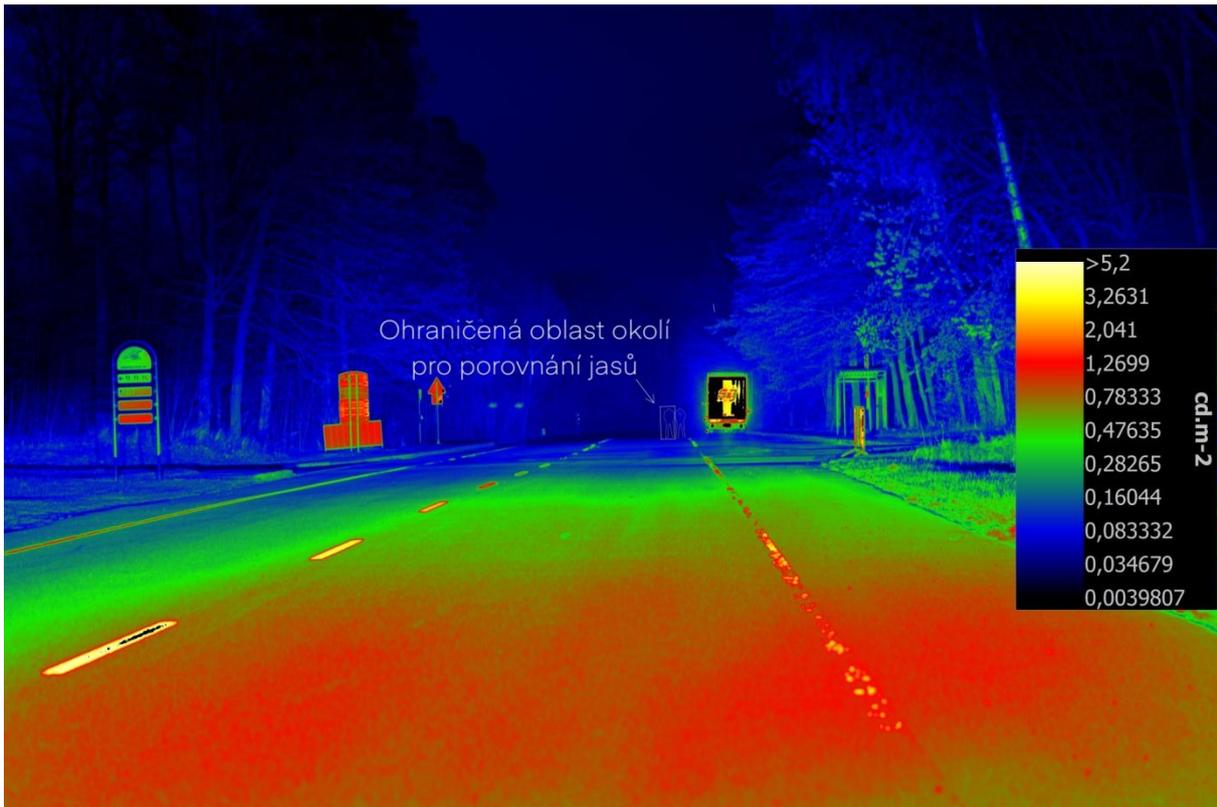
*Obr. č. 86 – Viditelnost figuranta v tmavém oděvu ve vzdálenosti 160 m od LED zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní]*



Obr. č. 87 – Jasová mapa figuranta v tmavém oděvu ve vzdálenosti 160 m od halogenového zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní]



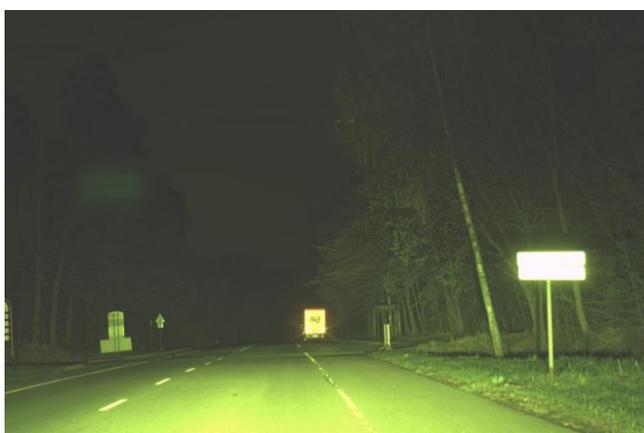
Obr. č. 88 – Jasová mapa figuranta v tmavém oděvu ve vzdálenosti 160 m od xenonového zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní]



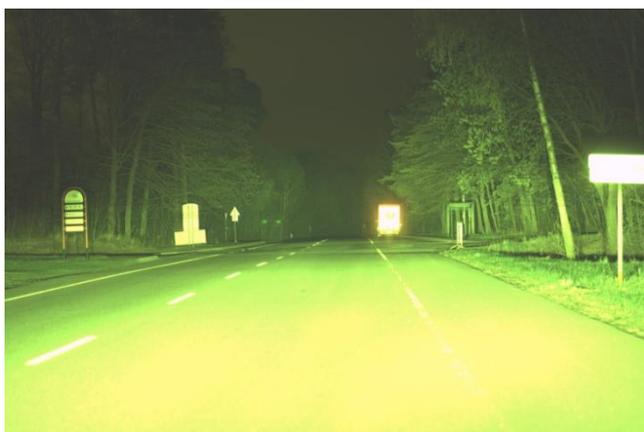
Obr. č. 89 – Jasová mapa figuranta v tmavém oděvu ve vzdálenosti 160 m od halogenového zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní]



*Obr. č. 90 – Výhled z místa řidiče na figuranta v tmavém oděvu vzdáleného 160 m od halogenového zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní]*

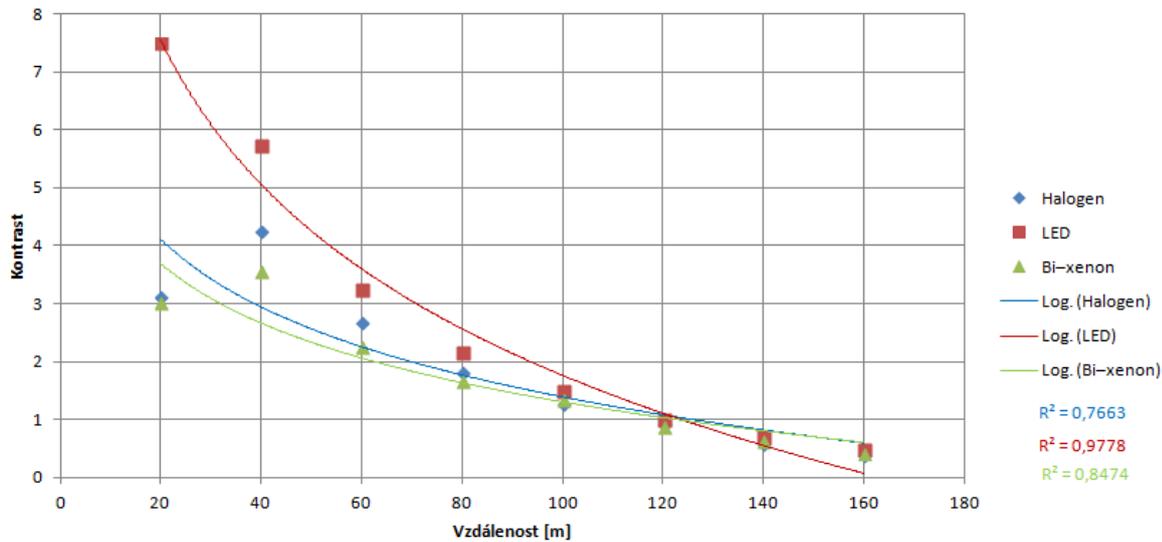


*Obr. č. 91 – Výhled z místa řidiče na figuranta v tmavém oděvu vzdáleného 160 m od xenonového zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní]*



*Obr. č. 92 – Výhled z místa řidiče na figuranta v tmavém oděvu vzdáleného 160 m od LED zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní]*

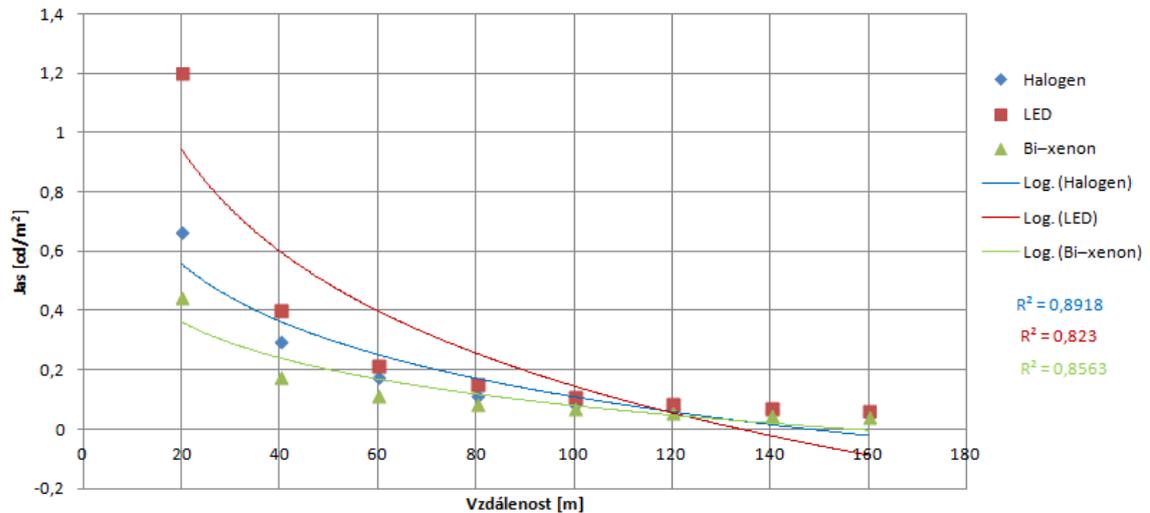
### Závislost kontrastu na vzdálenosti – dálková světla – chodec v tmavém oblečení



Obr. č. 93 – Graf závislosti kontrastu na vzdálenosti při použití dálkových světel na figuranta v tmavém oděvu. [vlastní]

Z grafu závislosti kontrastu na vzdálenosti při použití dálkových světel, kterými je nasvícen figurant v tmavém oděvu, je patrné, že i v tomto případě má nejvyšší hodnoty kontrastu mezi chodcem a jeho okolím, LED zdroj svícení. Hodnota kontrastu halogenového zdroje je o několik jednotek nižší. Zajímavé zde je, že u halogenového zdroje svícení a u xenonového zdroje svícení jsou hodnoty kontrastu chodce v tmavém oděvu menší na 20 m od zdroje svícení než na 40 m od zdroje svícení. Tento jev je způsoben tím, že kromě přesvětlené zkoumané oblasti na figurantovi je přesvětlené i jeho okolí, které vykazuje velký jas. Z toho důvodu je kontrast mezi nimi menší než u větších vzdáleností, kde je okolí více tmavé nežli na vzdálenost 20 m. Z toho plyne, že figurant v tmavém oděvu při použití dálkových světel je při halogenovém zdroji svícení méně vidět na 20 m nežli na 40 m. Hodnoty kontrastu mezi LED zdrojem svícení a halogenovým zdrojem svícení se k sobě více přibližují okolo 80 m. Na 100 m jsou již hodnoty obou kontrastů téměř totožné. Hodnoty kontrastu figuranta v tmavém oděvu jsou oproti hodnotám kontrastu figuranta ve světlém oděvu při jakémkoliv zdroji světla mnohonásobně menší. Na vzdálenost 160 m jsou hodnoty kontrastu tmavého oděvu při použití dálkových světel více než 14x menší u LED zdroje svícení a více než 22x menší u halogenového zdroje svícení, nežli u figuranta ve světlém oděvu. Hodnoty kontrastu xenonového zdroje svícení nelze, stejně jako v předchozím měření, porovnávat s hodnotami kontrastu dalších zdrojů svícení z důvodu chybného seřízení sklonu světlometů. Ze stejných důvodů vychází i zde hodnoty kontrastu xenonového zdroje svícení jako nejmenší. Přesné hodnoty kontrastu v závislosti na vzdálenosti při použití dálkových světel na figuranta v tmavém oděvu, jsou uvedeny v „Příloze č. 1“.

## Závislost jasu na vzdálenosti – dálková světla – chodec v tmavém oblečení



Obr. č. 94 – Graf závislosti jasu na vzdálenosti při použití dálkových světel na figuranta v tmavém oděvu. [vlastní]

Z grafu závislosti jasu na vzdálenosti při nasvícení figuranta v tmavém oděvu je patrné, že nejvyšší jas je naměřen při použití LED zdroje svícení. Jas, který je změřen na figurantovi v tmavém oděvu vzdáleném 20 m od halogenového zdroje svícení je téměř 2x menší. U LED zdroje svícení mezi 20 m a 40 m je velmi strmý pokles jasu. U halogenového zdroje svícení je mezi těmito vzdálenostmi také zaznamenán větší pokles jasu než mezi ostatními vzdálenostmi. Mezi 60–80 m obě hodnoty jasu již klesají spíše pravidelně a mezi 100–160 m jsou hodnoty jasu LED zdroje svícení a halogenového zdroje svícení téměř totožné. Podobné výkyvy jasu jako vykazují 2 zmiňované zdroje světla, v grafu zaznamenává také xenonový zdroj světla. Ten ovšem nelze s dalšími 2 zdroji světla porovnávat z důvodu chybně seřazeného sklonu světlometů. Přesné hodnoty jasu jsou uvedeny v „Příloze č. 1“.

### 9.3 FIGURANT VE SVĚTLÉM ODĚVU PŘI POUŽITÍ TLUMENÝCH SVĚTEL

Při měření tlumených světel a následnému vyhodnocení kontrastu a jasu byla pro zjištění dat vždy označena část figuranta ve světlém oděvu od pasu dolů včetně bot, případně jeho okolí jako je tomu na Obr. č. 98. Při měření tlumených světel je dostačující zkoumat figurantovu část od pasu dolů včetně bot z důvodu toho, že tlumená světla osvítlí zejména tuto část figuranta.

Přiložené fotografie ukazují rozlišnou viditelnost figuranta ve světlém oděvu při zapnutých tlumených světlech a použití halogenového, xenonového a LED zdroje svícení na vzdálenosti 20 m a 160 m.



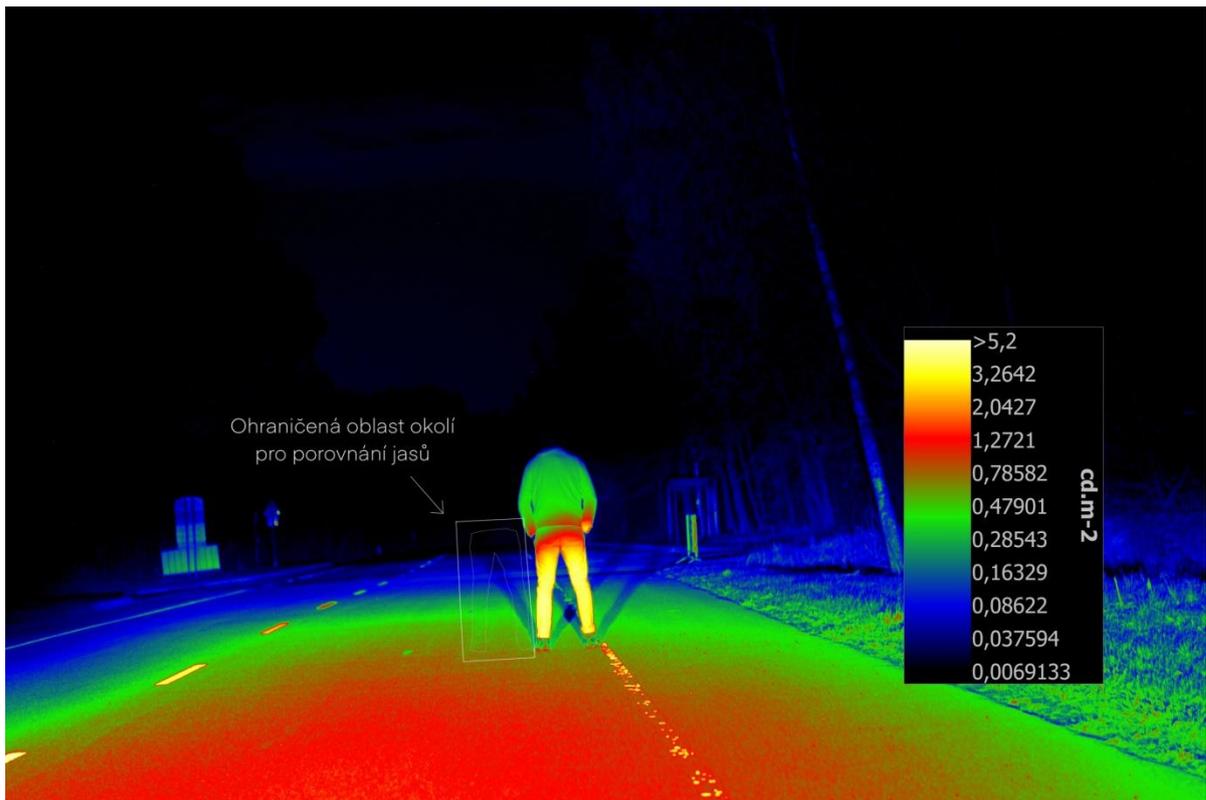
*Obr. č. 95 – Viditelnost figuranta ve světlém oděvu ve vzdálenosti 20 m od halogenového zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní]*



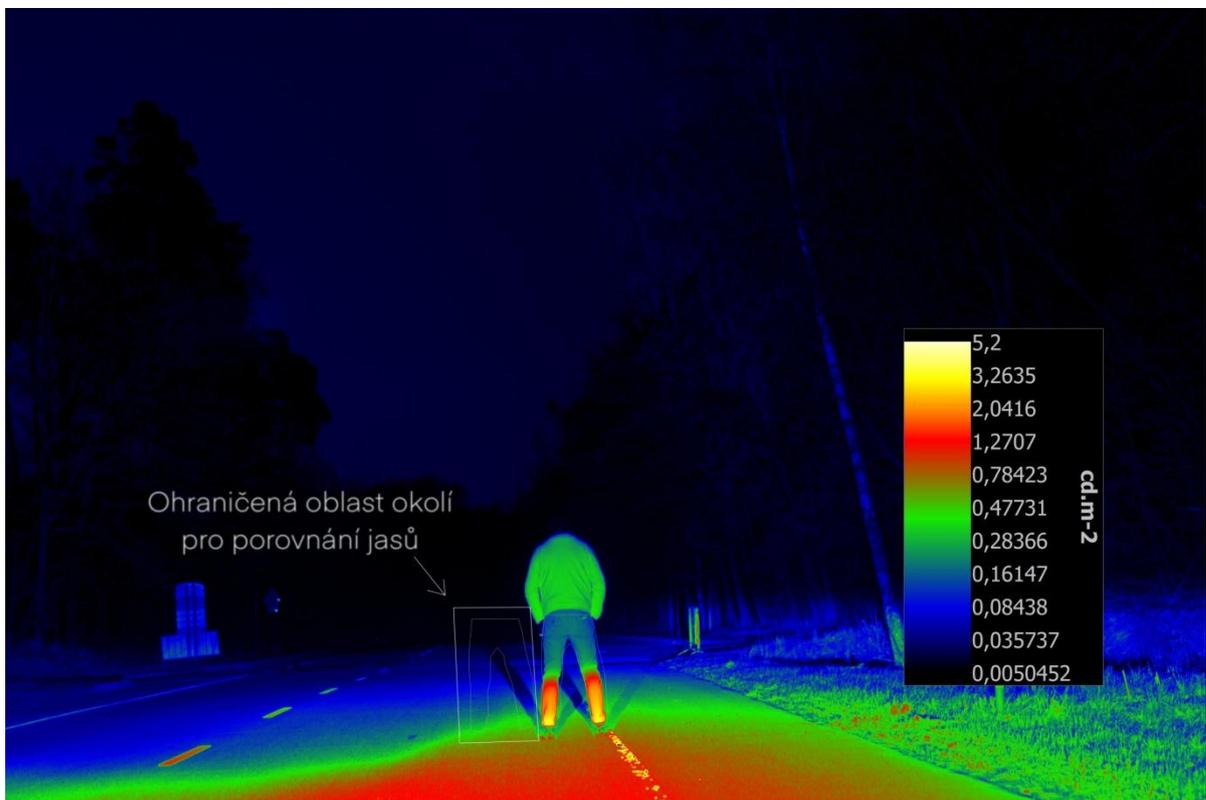
*Obr. č. 96 – Viditelnost figuranta ve světlém oděvu ve vzdálenosti 20 m od xenonového zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní]*



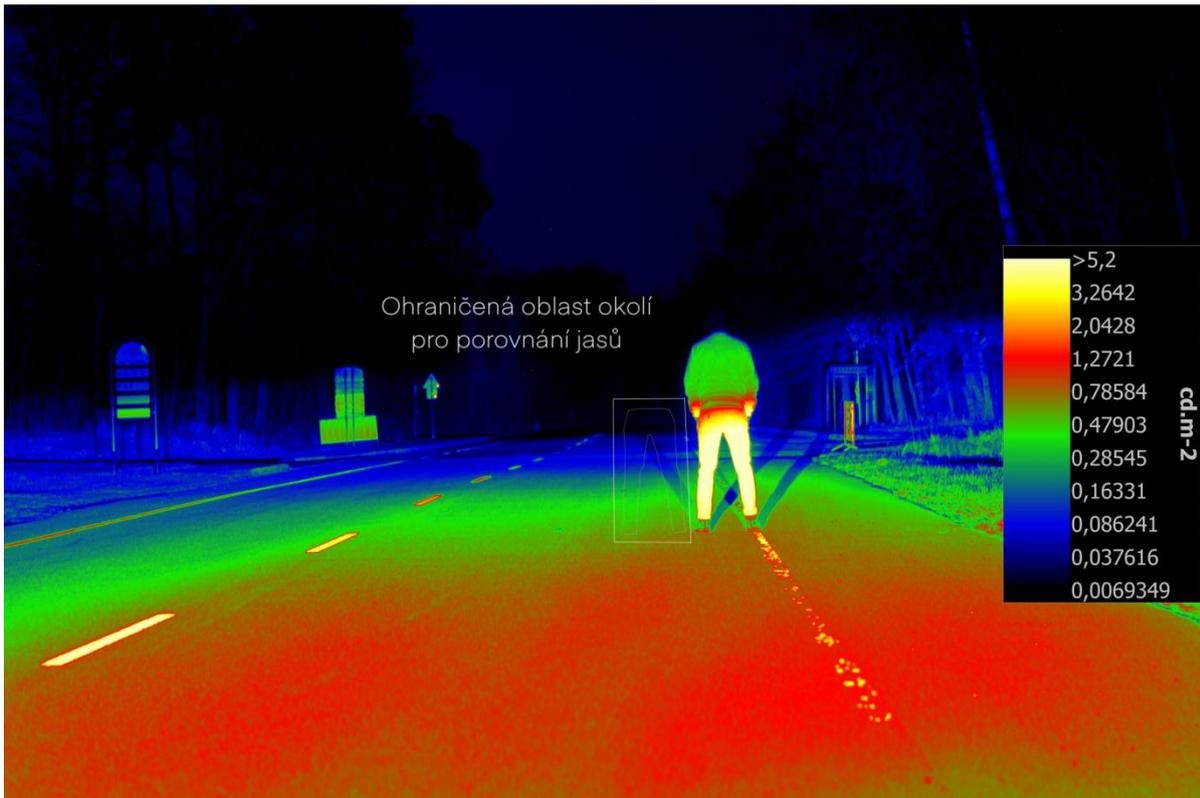
*Obr. č. 97 – Viditelnost figuranta ve světlém oděvu ve vzdálenosti 20 m od LED zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní]*



Obr. č. 98 – Jasová mapa figuranta ve světlém oděvu ve vzdálenosti 20 m od halogenového zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní]



Obr. č. 99 – Jasová mapa figuranta ve světlém oděvu ve vzdálenosti 20 m od xenonového zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní]



Obr. č. 100 – Jasová mapa figuranta ve světlém oděvu ve vzdálenosti 20 m od LED zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní]



*Obr. č. 101 – Výhled z místa řidiče na figuranta ve světlém oděvu vzdáleného 20 m od halogenového zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní]*



*Obr. č. 102 – Výhled z místa řidiče na figuranta ve světlém oděvu vzdáleného 20 m od xenonového zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní]*



*Obr. č. 103 – Výhled z místa řidiče na figuranta ve světlém oděvu vzdáleného 20 m od LED zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní]*



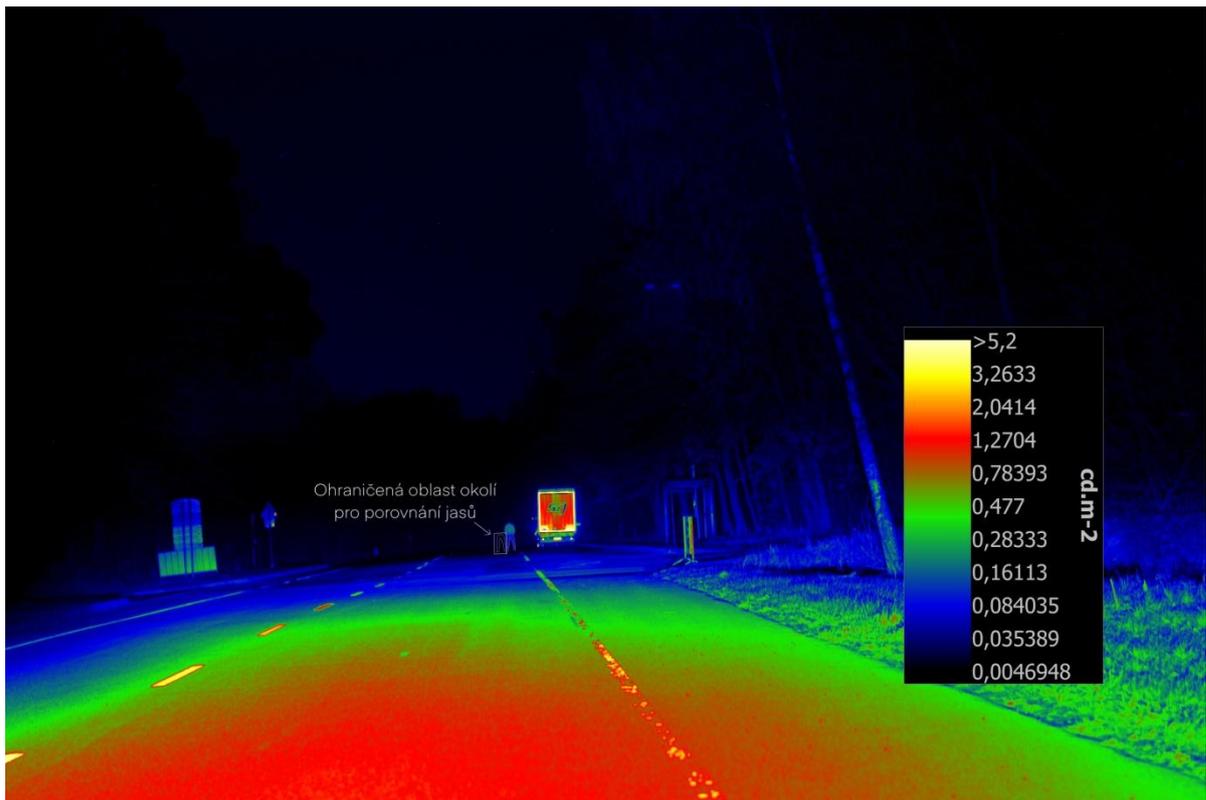
*Obr. č. 104 – Viditelnost figuranta ve světlém oděvu ve vzdálenosti 160 m od halogenového zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní]*



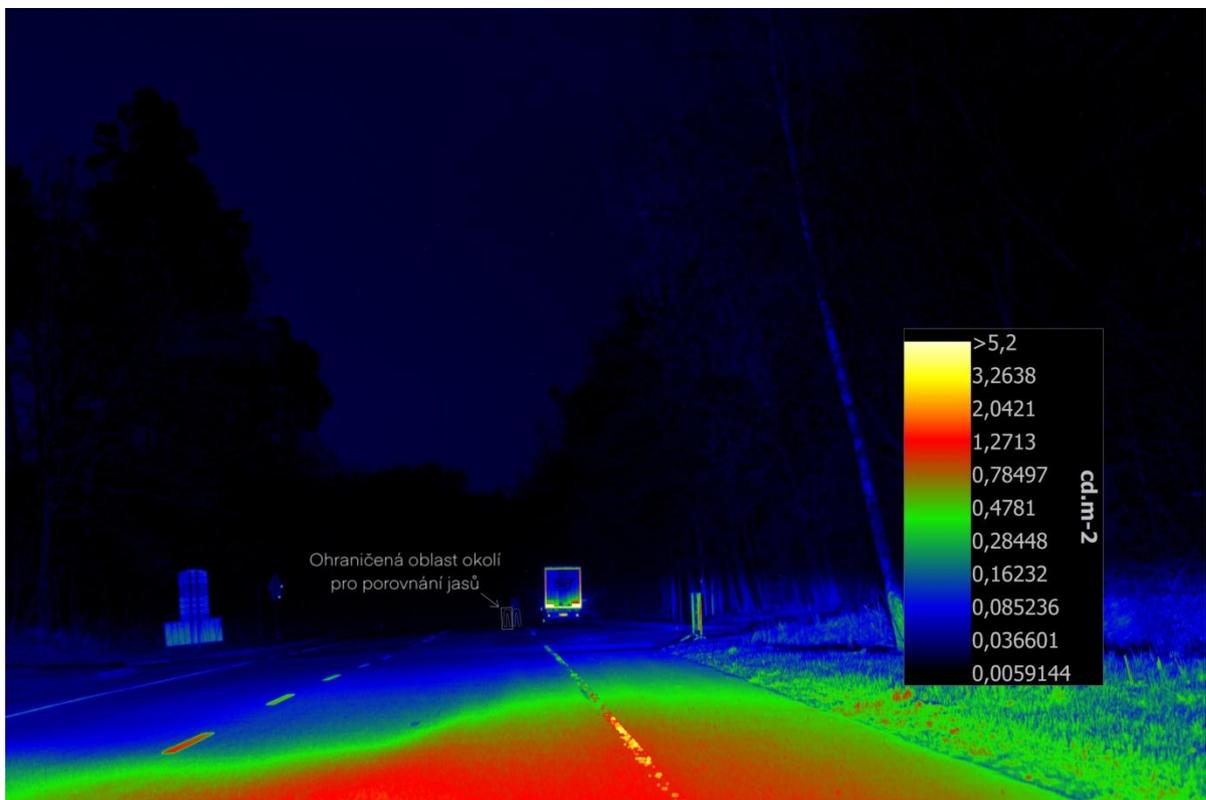
*Obr. č. 105 – Viditelnost figuranta ve světlém oděvu ve vzdálenosti 160 m od xenonového zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní]*



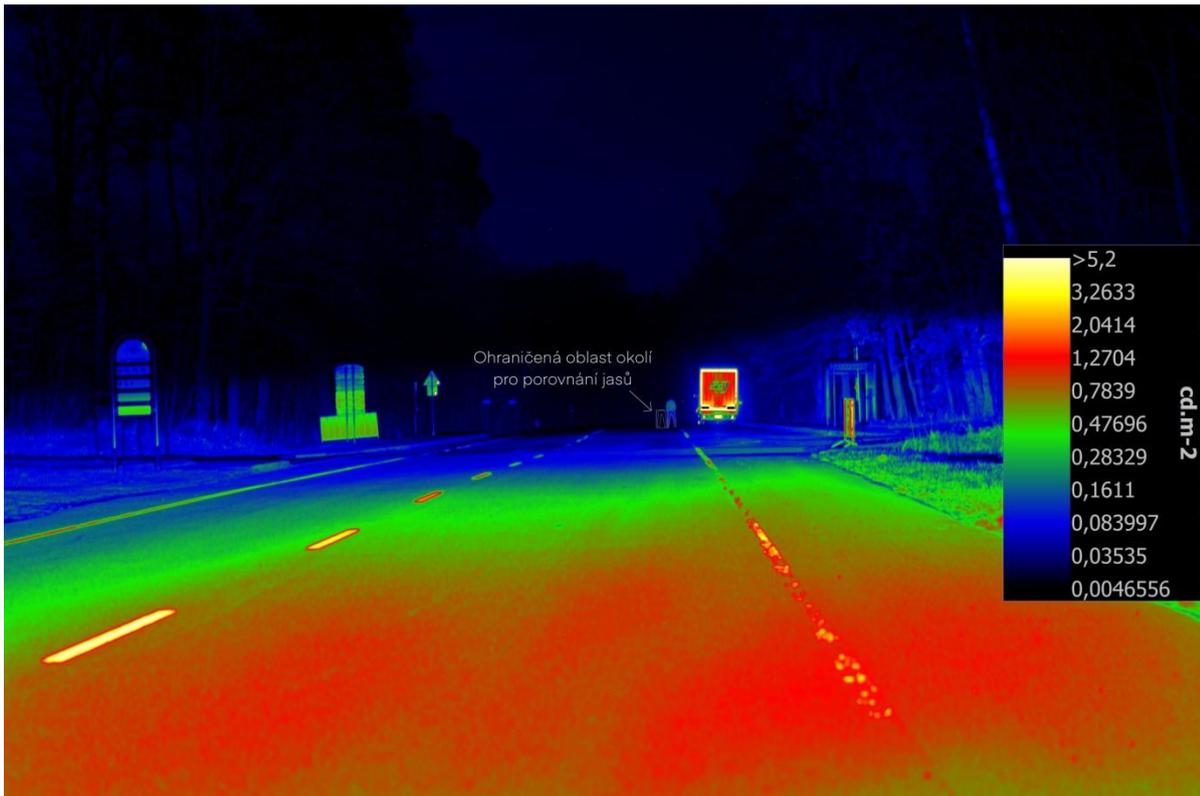
*Obr. č. 106 – Viditelnost figuranta ve světlém oděvu ve vzdálenosti 160 m od LED zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní]*



Obr. č. 107 – Jasová mapa figuranta ve světlém oděvu ve vzdálenosti 160 m od halogenového zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní]



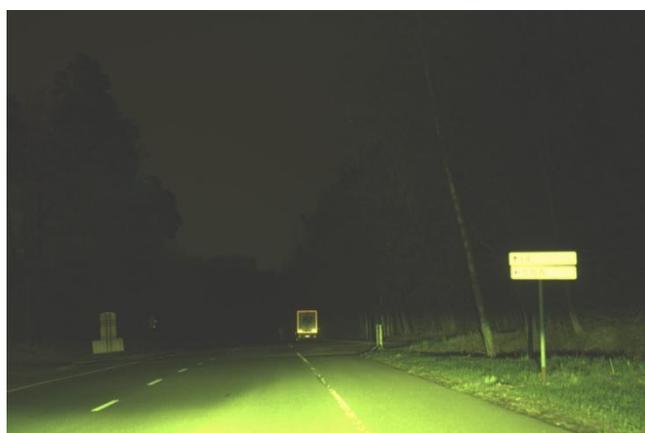
Obr. č. 108 – Jasová mapa figuranta ve světlém oděvu ve vzdálenosti 160 m od xenonového zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní]



Obr. č. 109 – Jasová mapa figuranta ve světlém oděvu ve vzdálenosti 160 m od LED zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní]



*Obr. č. 110 – Výhled z místa řidiče na figuranta ve světlém oděvu vzdáleného 160 m od halogenového zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní]*

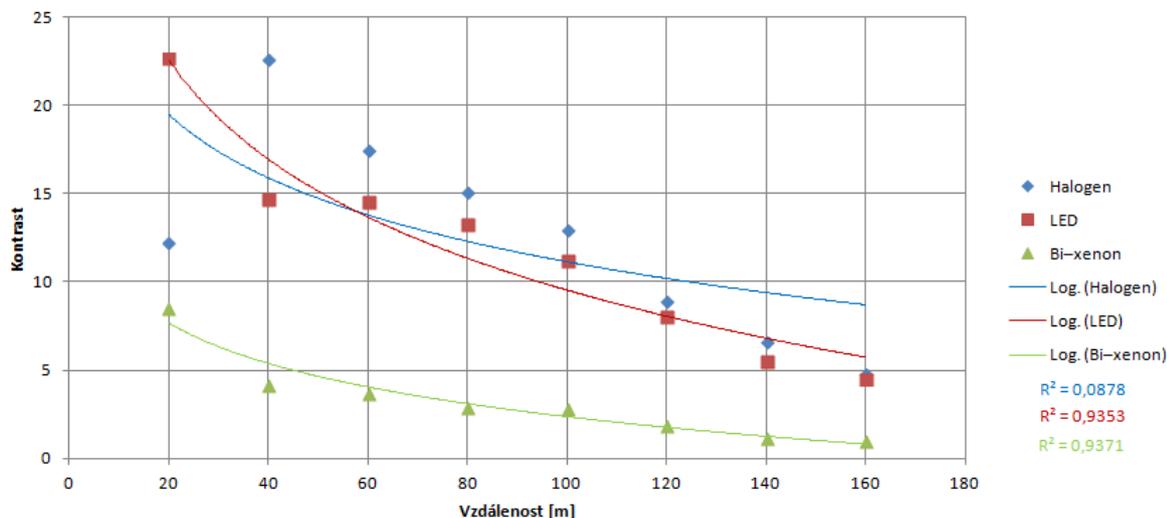


*Obr. č. 111 – Výhled z místa řidiče na figuranta ve světlém oděvu vzdáleného 160 m od xenonového zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní]*



*Obr. č. 112 – Výhled z místa řidiče na figuranta ve světlém oděvu vzdáleného 160 m od LED zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní]*

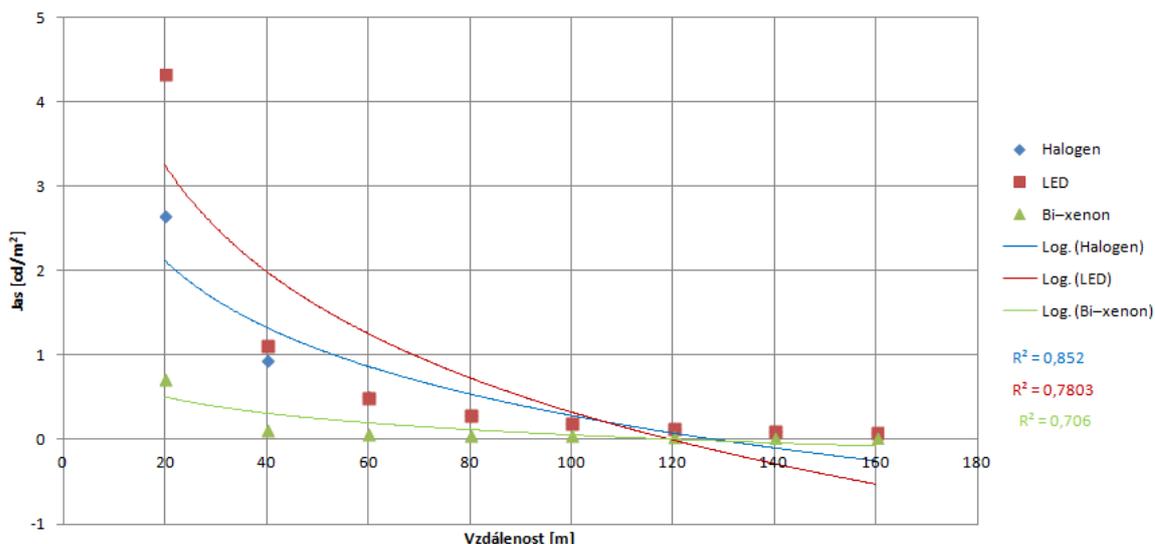
### Závislost kontrastu na vzdálenosti – tlumená světla – chodec ve světlém oblečení



Obr. č. 113 – Graf závislosti kontrastu na vzdálenosti při použití tlumených světel na figuranta ve světlém oděvu. [vlastní]

Z grafu závislosti kontrastu na vzdálenosti při použití tlumených světel, kterými je nasvícen figurant ve světlém oděvu, je patrné, že nejvyšších hodnot kontrastu dosahuje halogenový zdroj svícení. Při vzdálenosti figuranta 20 m od halogenového zdroje svícení je z grafu možné vyčíst, že kontrast je zde téměř 2x menší než kontrast při vzdálenosti figuranta vzdáleného 40 m od halogenového zdroje svícení. Tento jev je způsoben přесvícením figuranta a zejména jeho okolí. Z toho důvodu kontrast mezi okolím a figurantem není tak velký. U LED zdroje svícení tento jev zaznamenán není. Hodnoty kontrastu halogenového zdroje svícení i LED zdroje svícení klesají s narůstající vzdáleností figurantem pozvolným tempem bez větších výkyvů. Obě hodnoty se začínají vyrovnávat při vzdálenosti 160 m od zdroje svícení, kde je rozdíl jejich kontrastů několik málo desetín. Pozvolný pokles kontrastu při rostoucí vzdálenosti figuranta je zaznamenán také u xenonového zdroje svícení, který má ze všech tří zkoumaných zdrojů svícení nejmenší hodnoty. Díky chybě, při seřizování sklonu xenonových světlometů, však nelze tento zdroj svícení porovnávat s ostatními. Chybné seřízení je nejvíce viditelné právě při použití tlumeného světla. Chyba je nejvíce viditelná na obrázku jasové mapy xenonového zdroje svícení Obr. č. 99. V porovnání s jasovými mapami ostatních zdrojů světla je tvar jasové mapy velmi rozdílný. Přesné hodnoty kontrastu jsou uvedeny v „Příloze č. 1“.

### Závislost jasu na vzdálenosti – tlumená světla – chodec ve světlém oblečení



Obr. č. 114 – Graf závislosti jasu na vzdálenosti při použití tlumených světel na figuranta ve světlém oděvu. [vlastní]

Z grafu závislosti jasu na vzdálenosti při nasvícení figuranta ve světlém oděvu je patrné, že nejvyšší jas je naměřen na prvních 40 m od LED zdroje svícení. Rozdíl jasu LED zdroje svícení a halogenového zdroje svícení je nejvíce výrazný při vzdálenosti figuranta na 20 m od zdroje svícení. Zde se hodnoty jasu liší v řádu jednotek. Při vzdálenosti figuranta na 40 m od zdroje svícení jsou hodnoty jasu obou zdrojů svícení rozdílné v řádu několika desetín. Mezi 60–160 m jsou již hodnoty jasů obou zdrojů svícení téměř totožné a s přibývajícím vzdáleností jejich intenzita pozvolně klesá. Hodnoty jasu jsou nejmenší u xenonového zdroje svícení kde nejvyšší hodnota jasu je zaznamenána na vzdálenost 20 m od zdroje svícení. Mezi vzdálenostmi 40–160 m jsou hodnoty jasu velmi malé až blíží se 0  $\text{cd/m}^2$ . Přesné hodnoty jasu jsou uvedeny v „Příloze č. 1“.

## 9.4 FIGURANT V TMAVÉM ODĚVU PŘI POUŽITÍ TLUMENÝCH SVĚTEL

Při měření tlumených světel a následnému vyhodnocení kontrastu a jasu byla pro zjištění dat vždy označena část figuranta v tmavém oděvu od pasu dolů včetně bot, případně jeho okolí, jako je tomu na Obr. č. 118. Při měření tlumených světel je dostačující zkoumat figurantovu část od pasu dolů včetně bot z důvodu toho že, tlumená světla osvítlí zejména tuto část figuranta.

Přiložené fotografie ukazují rozlišnou viditelnost figuranta v tmavém oděvu při zapnutých tlumených světlech a použití halogenového, xenonového a LED zdroje svícení na vzdálenosti 20 m a 160 m.



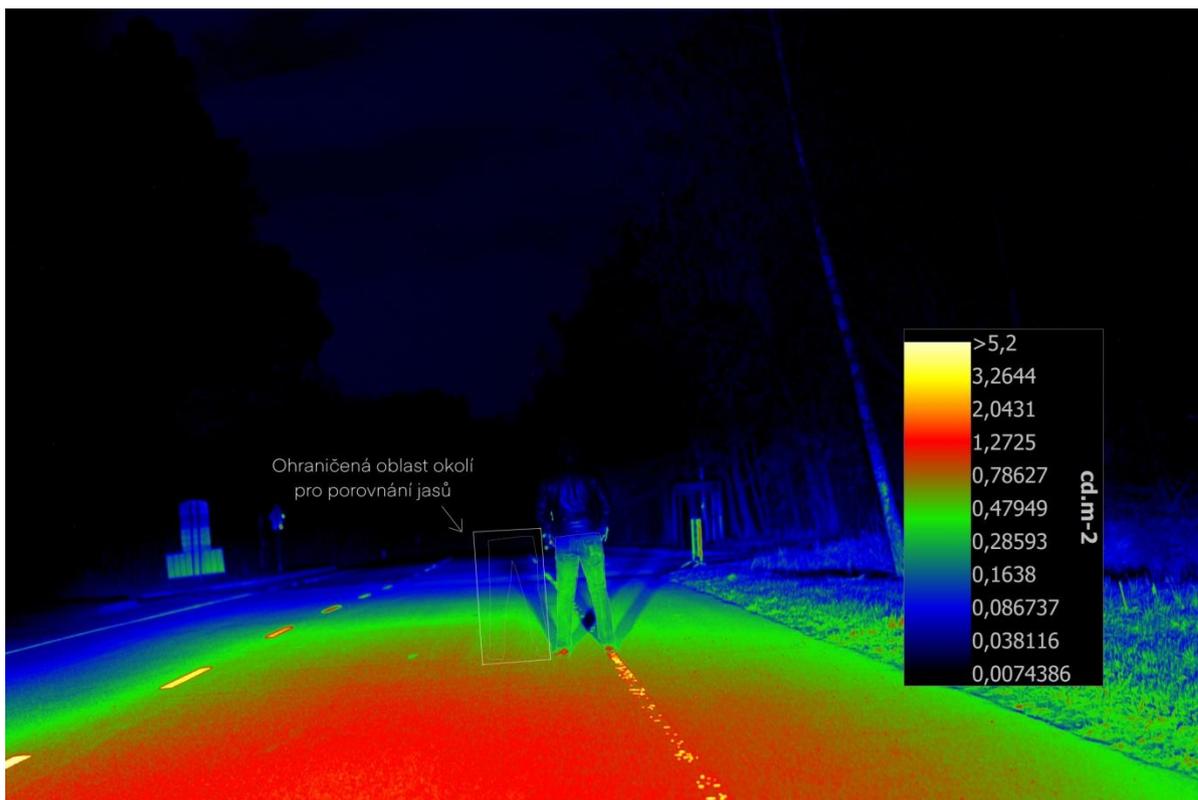
*Obr. č. 115 – Viditelnost figuranta v tmavém oděvu ve vzdálenosti 20 m od halogenového zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní]*



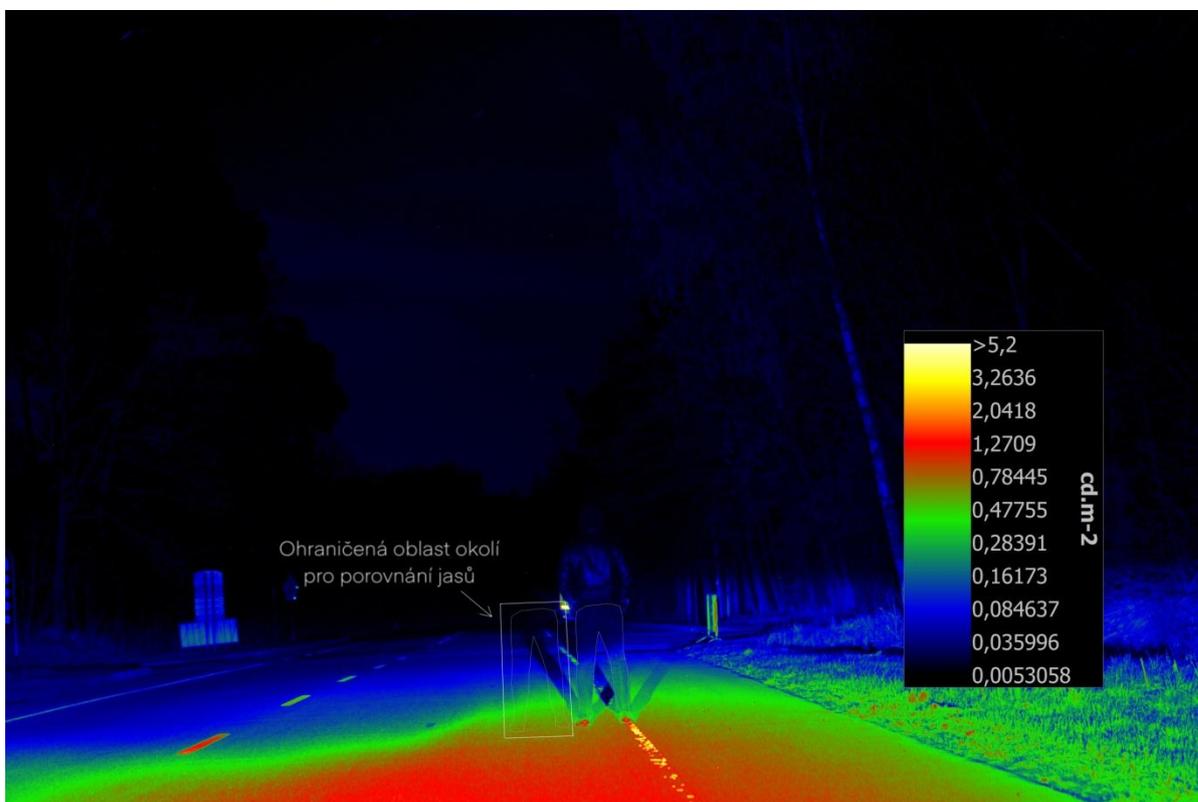
*Obr. č. 116 – Viditelnost figuranta v tmavém oděvu ve vzdálenosti 20 m od xenonového zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní]*



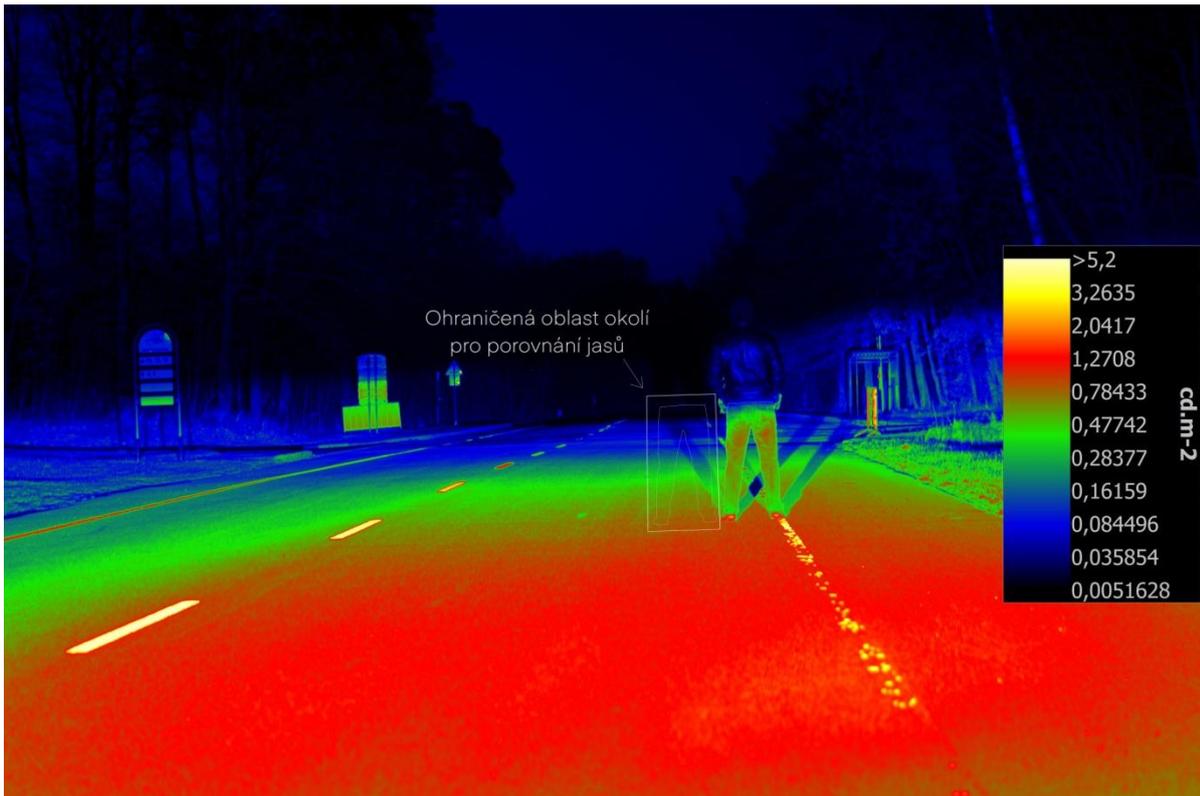
*Obr. č. 117 – Viditelnost figuranta v tmavém oděvu ve vzdálenosti 20 m od LED zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní]*



Obr. č. 118 – Jasová mapa figuranta v tmavém oděvu ve vzdálenosti 20 m od halogenového zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní]



Obr. č. 119 – Jasová mapa figuranta v tmavém oděvu ve vzdálenosti 20 m od xenonového zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní]



Obr. č. 120 – Jasová mapa figuranta v tmavém oděvu ve vzdálenosti 20 m od LED zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní]



*Obr. č. 121 – Výhled z místa řidiče na figuranta v tmavém oděvu vzdáleného 20 m od halogenového zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní]*



*Obr. č. 122 – Výhled z místa řidiče na figuranta v tmavém oděvu vzdáleného 20 m od xenonového zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní]*



*Obr. č. 123 – Výhled z místa řidiče na figuranta v tmavém oděvu vzdáleného 20 m od LED zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní]*



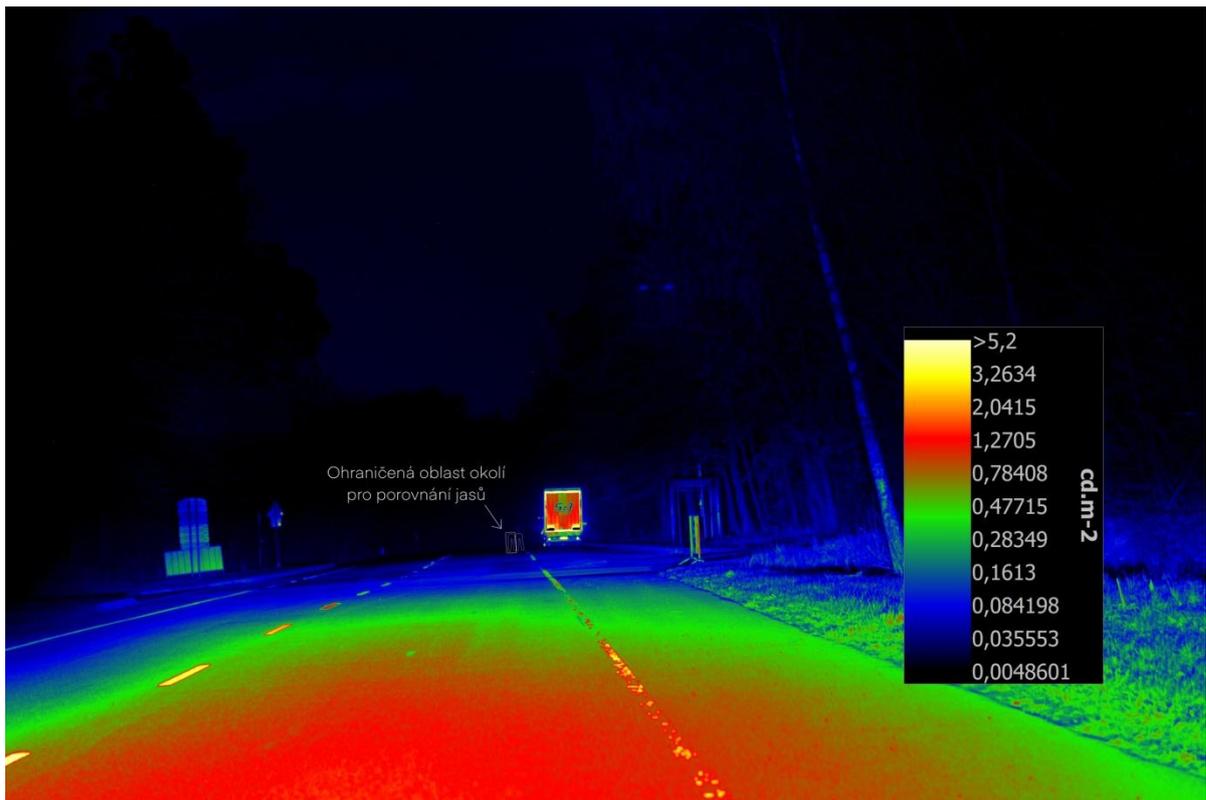
*Obr. č. 124 – Viditelnost figuranta v tmavém oděvu ve vzdálenosti 160 m od halogenového zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní]*



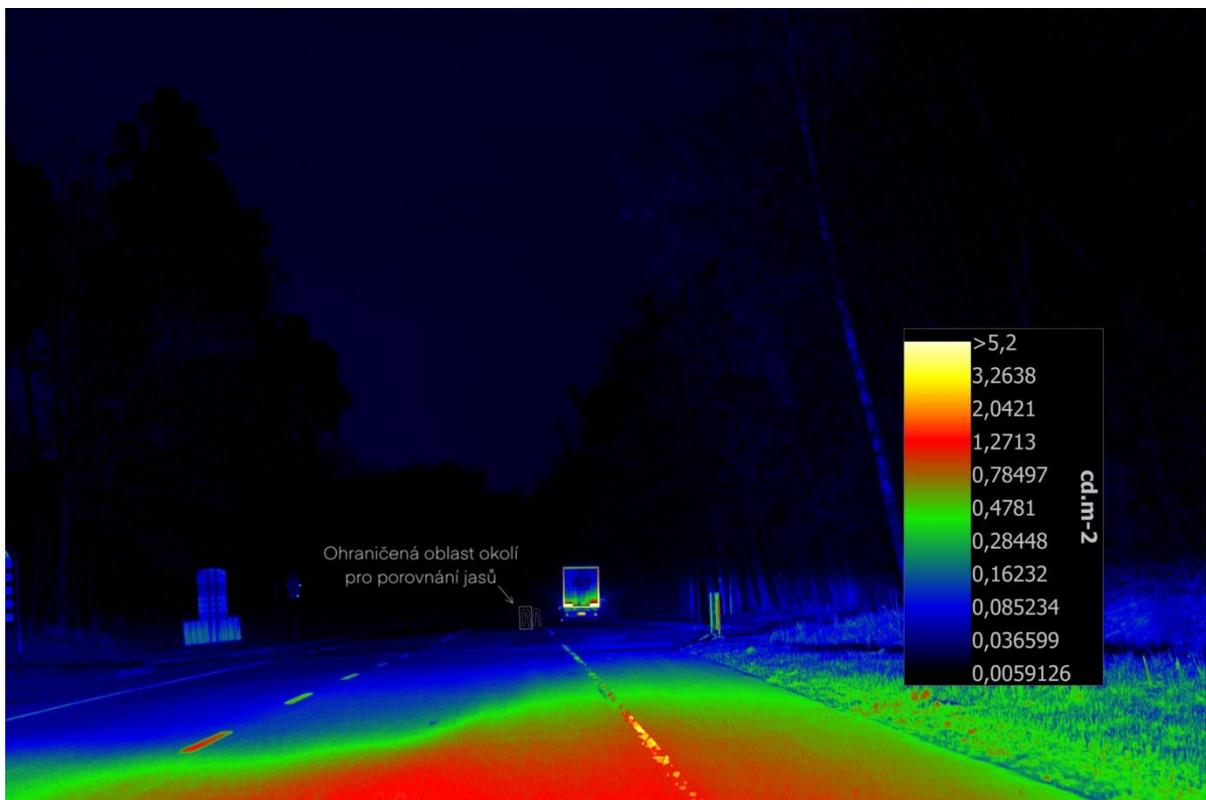
*Obr. č. 125 – Viditelnost figuranta v tmavém oděvu ve vzdálenosti 160 m od xenonového zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní]*



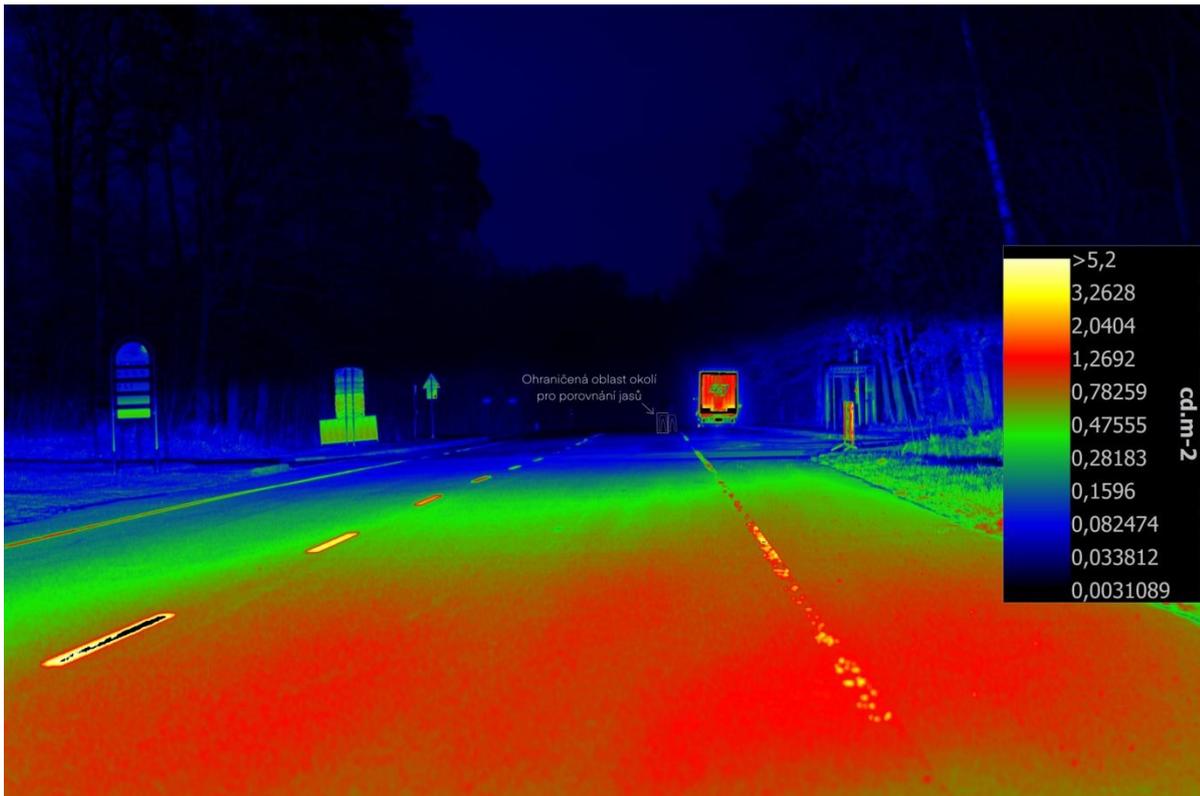
*Obr. č. 126 – Viditelnost figuranta v tmavém oděvu ve vzdálenosti 160 m od LED zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní]*



Obr. č. 127 – Jasová mapa figuranta v tmavém oděvu ve vzdálenosti 160 m od halogenového zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní]



Obr. č. 128 – Jasová mapa figuranta v tmavém oděvu ve vzdálenosti 160 m od xenonového zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní]



Obr. č. 129 – Jasová mapa figuranta v tmavém oděvu ve vzdálenosti 160 m od LED zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní]



*Obr. č. 130 – Výhled z místa řidiče na figuranta v tmavém oděvu vzdáleného 160 m od halogenového zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní]*

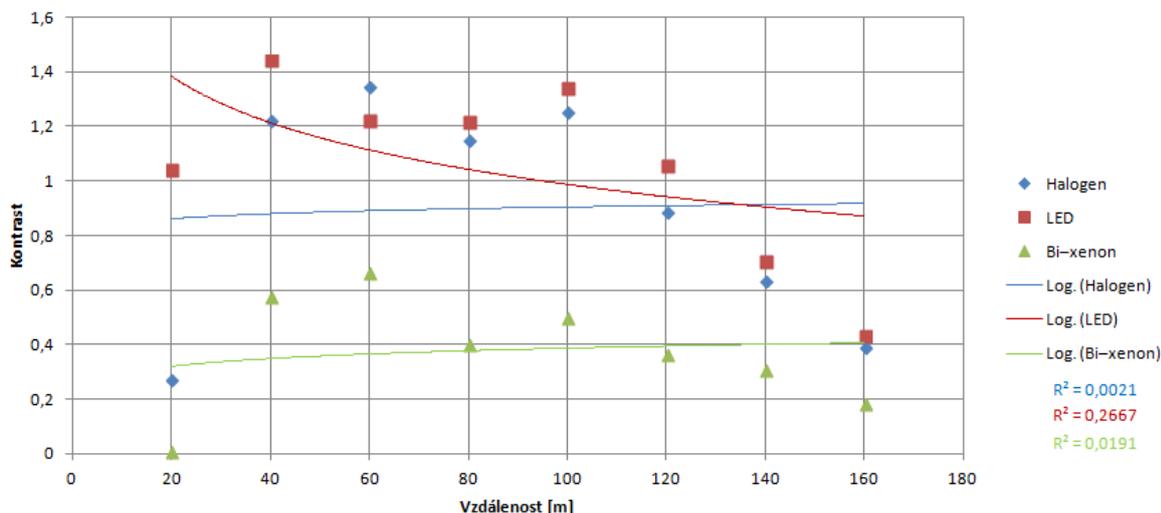


*Obr. č. 131 – Výhled z místa řidiče na figuranta v tmavém oděvu vzdáleného 160 m od xenonového zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní]*



*Obr. č. 132 – Výhled z místa řidiče na figuranta v tmavém oděvu vzdáleného 160 m od LED zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní]*

### Závislost kontrastu na vzdálenosti – tlumená světla – chodec v tmavém oblečení

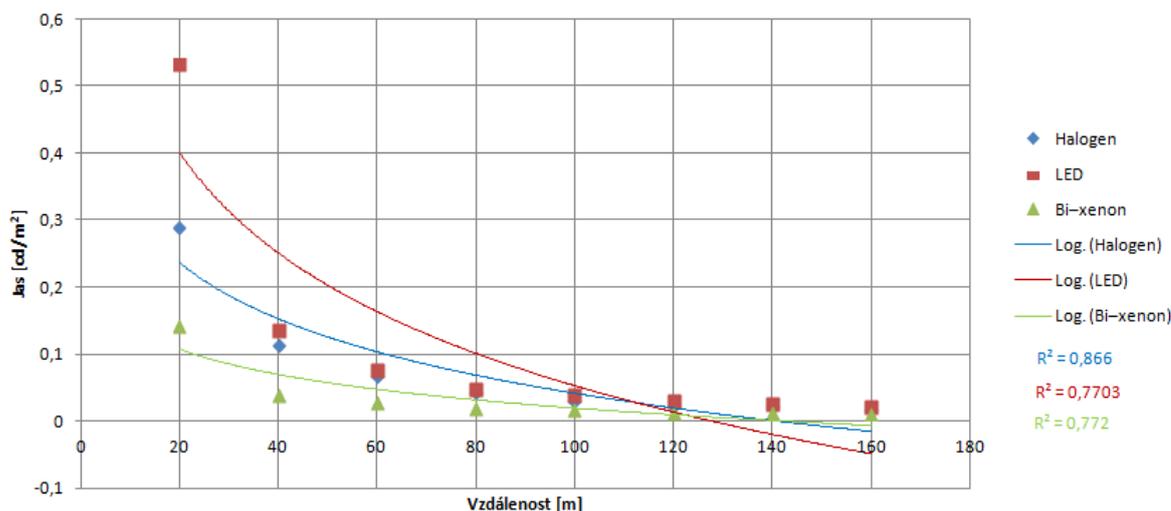


Obr. č. 133 – Graf závislosti kontrastu na vzdálenosti při použití tlumených světel na figuranta v tmavém oděvu. [vlastní]

Z grafu závislosti kontrastu na vzdálenosti při použití tlumených světel, kterými je nasvícen figurant v tmavém oděvu, je patrné, že kontrast mezi chodcem a okolím je u všech zdrojů svícení menší na 20 m nežli na 40 m, což vzniká přesvícením figuranta a jeho okolí. Z toho lze vyvodit, že tento jev se projevuje výrazněji při použití tlumených světel a nasvícení figuranta v tmavém oděvu, nežli nasvícení figuranta ve světlém oděvu kde byla nižší hodnota kontrastu zaznamenána pouze u halogenového zdroje svícení. Při vyznačování oblasti na figurantovi v tmavém oděvu pro porovnání kontrastu mezi ním a jeho okolím, bylo zejména při použití tlumených světel, nutné dbát zvýšené opatrnosti, protože figurant byl již mnohem hůře viditelný a to i při použití různých odstínů jasových map. Zvýšené opatrnosti bylo nutné dbát zejména při větších vzdálenostech. Výkyvy hodnot kontrastu mezi 40–80 m lze vysvětlit zejména možnou nepřesností při vyznačování zkoumané oblasti nebo vyzářovaným jasem od odstaveného nákladního vozidla, který zasahoval do zkoumané oblasti měření na různých vzdálenostech nerovnoměrně. Hodnoty kontrastu LED zdroje svícení a halogenového zdroje svícení klesají v závislosti na vzdálenosti mezi 100–160 m plynule a na vzdálenosti 160m od zdroje svícení již dosahují téměř totožných hodnot. Hodnoty kontrastu všech zdrojů světla při nasvícení figuranta v tmavém oděvu jsou několikanásobně menší než hodnoty figuranta ve světlém oděvu. To je logické vyústění toho, že figurant v tmavém oděvu mnohem snadněji splyne se svým okolím, než figurant ve světlém oděvu. Hodnoty kontrastu xenonového zdroje svícení jsou zde stejně jako v předchozích případech menší než ostatní zdroje svícení. Hodnoty kontrastu xenonového zdroje svícení mají podobné chování jako další 2 zdroje svícení kdy na 20 m je hodnota kontrastu menší než na 40 m. Mezi 40–100 m jsou zaznamenány výkyvy kontrastu při různých vzdálenostech. Ty mohly být ovlivněny buďto nepřesným vyznačením zkoumané oblasti nebo jasem vyzářujícím z odstaveného nákladního vozidla. Mezi vzdálenostmi 100–160 m je již pokles hodnot kontrastu plynulý. Z důvodu

chybného seřízení sklonu xenonového světlometu však nelze tyto hodnoty použít k porovnání s halogenovým zdrojem svícení a LED zdrojem svícení. Přesné hodnoty kontrastu jsou zaznamenány v „Příloze č. 1“.

### Závislost jasu na vzdálenosti – tlumená světla – chodec v tmavém oblečení



Obr. č. 134 – Graf závislosti jasu na vzdálenosti při použití tlumených světel na figuranta v tmavém oděvu. [vlastní]

Z grafu závislosti jasu na vzdálenosti při nasvícení figuranta v tmavém oděvu je patrné, že nejvyšší jas je naměřen, stejně jako v předchozích případech, na prvních 40 m od LED zdroje svícení. Jas, který je vyzařován při použití halogenového zdroje svícení je asi o 1/2 menší. Na 40 m od zdroje svícení se již hodnoty jasu mezi LED zdrojem svícení a halogenovým zdrojem svícení liší pouze cca o 0,2 cd/m². Při přibývajících vzdálenostech jsou již hodnoty jasu mezi halogenovým zdrojem svícení a LED zdrojem svícení téměř totožné a jejich pokles je plynulý. U xenonového zdroje svícení je nejvyšší jas zaznamenán na vzdálenost 20 m od zdroje svícení. Mezi 20–40 m je zaznamenán výraznější propad než u dalších vzdálenosti. Mezi hodnotami 40–160 m je již pokles jasu v závislosti na rostoucí vzdálenosti plynulý. Hodnoty jasu xenonového zdroje svícení však nelze použít pro porovnání jasu s ostatními zdroji světla z důvodu chybného seřízení xenonových světlometů. Přesné hodnoty jasu jsou uvedeny v „Příloze č. 1“.

## 9.5 VNÍMÁNÍ FIGURANTŮ PROBANDY

Pro splnění cílů diplomové práce bylo nutné provést experiment, jak vnímají samotného figuranta v daném typu oděvu probandi simulující řidiče, při daném zdroji světla. Měření probíhalo pouze při tlumených světlech. Ty jsou z hlediska analýzy silničních nehod podstatnější než dálková světla. Probandi měli za úkol v momentě, kdy ze stojícího vozidla zahlédnou figuranta, který vycházel z výchozího bodu v daném typu oděvu, ze vzdálenosti cca 220 m od vozidla, figuranta zastavit. Jednotliví probandi měli figuranta zastavit až v momentě, kdy ho viděli na tolik, že by byli schopni na

něj z pozice řidiče vozidla reagovat zpomalením vozidla. Figurant následně udělal značku na vozovku pomocí značkovacího spreje. Pokud viděli všichni probandi figuranta ve stejný moment, měření se opakovalo ještě jednou. Pokud byl ve vozidle někdo, kdo ještě figuranta v dané vzdálenosti neviděl, tak následně figurant pokračoval volnou chůzí proti vozidlu, dokud mu někdo nedal další povel k zastavení a vytvoření značky. Takto měření pokračovalo, dokud všichni členové posádky figuranta nezaregistrovali. Komunikace mezi posádkou vozidla a figurantem probíhala pomocí vysílaček. Následně byla změřena vzdálenost mezi zdrojem světla a vyznačenými body na vozovce. Výsledné vzdálenosti byly zaznamenány do tabulky pro každého probanda. Měření se poté se stejným zdrojem světla a se stejným oděvem figuranta, opakovalo ještě jednou, aby se zamezilo chybám v měření. Každý z probandů tak měl po tomto měření 2 hodnoty vzdáleností, na které zaregistroval figuranta. Tyto hodnoty se následně zprůměrovaly do jedné pro daného probanda. Stejný proces měření se opakoval u všech tří dostupných zdrojů světla.

Probandi ve vozidle byli složeni z počtu 3 mužů ve věku 22, 24 a 26 let a jedné ženy ve věku 25 let. Všichni byli vlastníky řidičského průkazu od svých 18 let. Nikdo z probandů nenosil brýle a nikomu nebyla známá nějaká jiná zraková vada.

### 9.5.1 Figurant ve světlém oděvu

Při použití halogenového zdroje svícení a nasvícení figuranta ve světlém oděvu, byl figurant jedním z probandů nejdříve zaregistrován při vzdálenosti 126,64 m od zdroje svícení a nejspíše při vzdálenosti 112,12 m od zdroje svícení. Průměrně tak probandi při halogenovém zdroji svícení zaregistrovali figuranta na vzdálenost 123,01 m. Hodnota jasů, která byla změřena na vzdálenost 120 m při použití tlumených halogenových světel, je zaokrouhleně nahoru 0,1290 cd/m<sup>2</sup>. Vzdálenost 120 m je nejbližší vzdálenosti 123,01 m, na kterou by byli schopni probandi reagovat na figuranta při svícení tlumenými halogenovými světly. Dosvit tlumených halogenových světel je jistě menší než vzdálenost, na kterou probandi reagovali na figuranta, avšak k včasné reakci jistě přispělo parazitní světlo, které halogenový zdroj vydává i hodnota kontrastu světlého oděvu figuranta vzhledem k jeho okolí. Hodnota kontrastu při tlumeném světle a nasvícení figuranta ve světlém oděvu při vzdálenosti 120 m je zaokrouhleně nahoru 8,966. Při měření tlumených světel byla na figurantovi vyznačena pouze oblast od pasu dolů včetně bot. Z toho vyplývá, že za dané situace by byli řidiči schopni na figuranta ve světlém oděvu reagovat s poměrně velkým předstihem. Je ale třeba brát v úvahu, že měření bylo z hlediska vozidla statické a jiné výsledky by byly dosaženy při jeho pohybu za určitých rychlostí. Z výpočtu brzdné dráhy pro zastavení v bezpečné vzdálenosti před figurantem dle zjištěné reakce probandů vychází, že řidič při panickém brzdění 9 m/s<sup>2</sup> a reakční době, včetně náběhu brzd 1,7 s, může jet maximální rychlostí cca 121 km/h a zastaví v bezpečné vzdálenosti 3 m před figurantem. Pokud by se reakční doba včetně náběhu brzd prodloužila na 2,2 s a bylo by požadováno, aby řidič zastavil v bezpečné vzdálenosti od figuranta, mohl by jet maximální možnou rychlostí cca 110,5 km/h. V celkové velikosti brzdné dráhy jsou sečteny velikost dráhy uražené během doby reakce, brzdná dráha během plného brzdného účinku a bezpečná vzdálenost mezi figurantem a zastaveným

vozidlem. Bezpečná vzdálenost je v tom případě 3 m. Uvedené hodnoty brzdné dráhy platí pro halogenový zdroj svícení a nasvícení figuranta ve světlém oděvu tlumenými světly. Přesné hodnoty pro navržení maximální možné rychlosti pro bezpečné zastavení, jsou uvedeny v „Příloze 2“.

Při použití LED zdroje svícení a nasvícení figuranta ve světlém oděvu byl figurant jedním z probandů nejdříve zaregistrován na vzdálenost 177,68 m a nejpozději na vzdálenost 139,68 m. Průměrně tak probandi při LED zdroji svícení zaregistrovali figuranta na vzdálenost 155,78 m. Hodnota jasu, která byla změřena na vzdálenost 160 m při použití tlumených LED světel je zaokrouhleně nahoru 0,0809 cd/m<sup>2</sup>. Vzdálenost 160 m je nejbližší vzdálenosti 155,78 m, na kterou by byli probandi schopni reagovat na figuranta při svícení tlumenými LED světly. Probandi dokázali na figuranta reagovat na poměrně velkou vzdálenost i přes ostrou hranu mezi světlem a tmou, kterou LED zdroj svícení všeobecně vykazuje. K registraci figuranta na vzdálenost 155,78 m přispěla i hodnota kontrastu mezi světlým oděvem figuranta a jeho okolím, která byla změřena ve vzdálenosti 160 m od zdroje svícení, zaokrouhleně nahoru 4,5303. Při měření tlumených světel byla na figurantovi vyznačena pouze oblast od pasu dolů včetně bot. I přes poměrně velkou vzdálenost figuranta při jeho registraci probandy, je důležité brát v potaz, že měření bylo statické. Při dynamickém měření by vzdálenost první registrace měla být odlišná. Z výpočtu brzdné dráhy pro zastavení v bezpečné vzdálenosti před figurantem dle zjištěné reakce probandů vychází, že řidič při panickém brzdění 9 m/s<sup>2</sup> a reakční době, včetně náběhu brzd 1,7 s, může jet maximální rychlostí cca 141,5 km/h a zastaví v bezpečné vzdálenosti 3 m před figurantem. Pokud by se reakční doba včetně náběhu brzd prodloužila na 2,2 s a bylo by požadováno, aby řidič zastavil v bezpečné vzdálenosti od figuranta, mohl by jet maximální možnou rychlostí cca 130,5 km/h. V celkové velikosti brzdné dráhy jsou sečteny velikost dráhy uražené během doby reakce, brzdná dráha během plného brzdného účinku a bezpečná vzdálenost mezi figurantem a zastaveným vozidlem. Bezpečná vzdálenost je v tom případě 3 m. Uvedené hodnoty brzdné dráhy platí pro LED zdroj svícení a nasvícení figuranta ve světlém oděvu tlumenými světly. Přesné hodnoty pro navržení maximální možné rychlosti pro bezpečné zastavení, jsou uvedeny v „Příloze 2“.

Při použití xenonového zdroje svícení a nasvícení figuranta ve světlém oděvu byl figurant jedním z probandů nejdříve zaregistrován na vzdálenost 133,98 m a nejpozději na vzdálenost 95,8 m. Průměrně tak probandi při xenonovém zdroji svícení zaregistrovali figuranta na vzdálenost 114,15 m. Hodnota jasu, která byla změřena na vzdálenost 120 m při použití xenonových světel je zaokrouhleně nahoru 0,0304 cd/m<sup>2</sup>. Vzdálenost 120 m je nejbližší vzdálenosti 114,15 m, na kterou by byli probandi schopni reagovat na figuranta při svícení tlumenými xenonovými světly. Z výpočtu brzdné dráhy pro zastavení v bezpečné vzdálenosti před figurantem dle zjištěné reakce probandů vychází, že řidič při panickém brzdění 9 m/s<sup>2</sup> a reakční době, včetně náběhu brzd 1,7 s, může jet maximální rychlostí cca 115,1 km/h a zastaví v bezpečné vzdálenosti 3 m před figurantem. Pokud by se reakční doba včetně náběhu brzd prodloužila na 2,2 s a bylo by požadováno, aby řidič zastavil v bezpečné vzdálenosti od figuranta, mohl by jet maximální možnou rychlostí cca 104,8 km/h. V celkové velikosti brzdné dráhy jsou sečteny velikost dráhy uražené během doby reakce,

brzdná dráha během plného brzdného účinku a bezpečná vzdálenost mezi figurantem a zastaveným vozidlem. Bezpečná vzdálenost je v tom případě 3 m. Uvedené hodnoty brzdné dráhy platí pro xenonový zdroj svícení a nasvícení figuranta ve světlém oděvu tlumenými světly. Přesné hodnoty pro navržení maximální možné rychlosti pro bezpečné zastavení, jsou uvedeny v „Příloze 2“. Tyto výsledky při použití xenonového zdroje svícení však nelze pro porovnání s ostatními zdroji světla použít z důvodu chybného seřízení sklonu světlometů.

Všeobecně tak lze konstatovat, že probandi figuranta ve světlém oděvu zaregistrovali o 32,77 m dříve při použití LED zdroje svícení než při použití halogenového zdroje svícení, i když zjištěné hodnoty jasu byly mezi vzdálenostmi 60–160 m téměř totožné.

### 9.5.2 Figurant v tmavém oděvu

Při použití halogenového zdroje svícení a nasvícení figuranta v tmavém oděvu, byl figurant jedním z probandů nejdříve zaregistrován při vzdálenosti 85,80 m a nejpozději na vzdálenost 77,32 m od zdroje svícení. Průměrně tak tito probandi zaregistrovali figuranta na vzdálenost 81,68 m. Hodnota jasu, která byla změřena na vzdálenost 80 m, byla u halogenového zdroje svícení zaokrouhlena nahoru na 0,0424 cd/m<sup>2</sup>. Vzdálenost 80 m je nejbližší naměřená vzdálenost hodnoty jasu, která se přibližuje vzdálenosti 81,68 m, na kterou byli probandi schopni zaregistrovat figuranta při použití halogenového zdroje svícení. Hodnota kontrastu mezi vyznačenou oblastí, na figurantovi a jeho okolím, byla na vzdálenost 80 m při použití halogenového zdroje svícení změřena na 1,1509. Hodnota vzdálenosti reakce na chodce, hodnota kontrastu i hodnota jasu jsou značně menší než hodnoty u figuranta ve světlém oděvu. To je logickým vyústěním toho, že figurant v tmavém oděvu mnohem snáze splyne s okolím. U výsledných hodnot se musí brát v potaz to, že celé měření probíhalo staticky a to zejména z pohledu vozidla. Výsledné hodnoty tak mohou v porovnání s dynamickým měřením vycházet odlišně. Z výpočtu brzdné dráhy pro zastavení v bezpečné vzdálenosti před figurantem dle zjištěné reakce probandů vychází, že řidič při panickém brzdění 9 m/s<sup>2</sup> a reakční době, včetně náběhu brzd 1,7 s, může jet maximální rychlostí cca 91,0 km/h a zastaví v bezpečné vzdálenosti 3 m před figurantem. Pokud by se reakční doba včetně náběhu brzd prodloužila na 2,2 s a bylo by požadováno, aby řidič zastavil v bezpečné vzdálenosti od figuranta, mohl by jet maximální možnou rychlostí cca 81,7 km/h. V celkové velikosti brzdné dráhy jsou sečteny velikost dráhy uražené během doby reakce, brzdná dráha během plného brzdného účinku a bezpečná vzdálenost mezi figurantem a zastaveným vozidlem. Bezpečná vzdálenost je v tom případě 3 m. Uvedené hodnoty brzdné dráhy platí pro halogenový zdroj svícení a nasvícení figuranta v tmavém oděvu, tlumenými světly. Přesné hodnoty pro navržení maximální možné rychlosti pro bezpečné zastavení, jsou uvedeny v „Příloze 2“.

Při použití LED zdroje svícení a nasvícení figuranta v tmavém oděvu byl figurant jedním z probandů nejdříve zaregistrován na vzdálenost 69,6 m a nejpozději na vzdálenost 61,72. Průměrně tak probandi zaregistrovali figuranta na vzdálenost 65,66 m. Hodnota jasu naměřená na vzdálenost 60 m, při použití LED zdroje svícení, je po zaokrouhlení 0,07768 cd/m<sup>2</sup>. Vzdálenost 60 m je nejbližší měřitelná vzdálenost hodnoty jasu, která se přibližuje vzdálenosti 65,66 m, na kterou byli probandi

schopni zaregistrovat chodce při použití LED zdroje svícení. I v tomto případě probandi zaregistrovali figuranta na kratší vzdálenost než v případě figuranta ve světlém oděvu. K registraci figuranta probandům při použití LED zdroje svícení jistě přispěl i kontrast mezi figurantem a jeho okolím. Hodnota kontrastu na vzdálenost 60 m při použití LED zdroje svícení byla změřena na 1,2196, což je hodnota, v porovnání s halogenovým zdrojem svícení na totožnou vzdálenost, o několik málo desetin nižší. Při těchto výsledcích je nutné brát v potaz, že měření z hlediska vozidla probíhalo staticky. Při dynamickém měření by mohly vzdálenosti zaregistrování chodce probandem, vycházet odlišně. Z výpočtu brzdné dráhy pro zastavení v bezpečné vzdálenosti před figurantem dle zjištěné reakce probandů vychází, že řidič při panickém brzdění  $9 \text{ m/s}^2$  a reakční době, včetně náběhu brzd 1,7 s, může jet maximální rychlostí cca 77,7 km/h a zastaví v bezpečné vzdálenosti 3 m před figurantem. Pokud by se reakční doba včetně náběhu brzd prodloužila na 2,2 s a bylo by požadováno, aby řidič zastavil v bezpečné vzdálenosti od figuranta, mohl by jet maximální možnou rychlostí cca 69,0 km/h. V celkové velikosti brzdné dráhy jsou sečteny velikost dráhy uražené během doby reakce, brzdá dráha během plného brzdného účinku a bezpečná vzdálenost mezi figurantem a zastaveným vozidlem. Bezpečná vzdálenost je v tom případě 3 m. Uvedené hodnoty brzdné dráhy platí pro LED zdroj svícení a nasvícení figuranta v tmavém oděvu tlumenými světly. Přesné hodnoty pro navržení maximální možné rychlosti pro bezpečné zastavení, jsou uvedeny v „Příloze 2“.

Při použití xenonového zdroje svícení a nasvícení figuranta v tmavém oděvu, byl figurant jedním z probandů nejdříve zaregistrován na vzdálenost 57,04 m a nejpozději na vzdálenost 50,2 m. Průměrně tak probandi zaregistrovali figuranta na vzdálenost 53,95 m. Hodnota jasu, která byla změřena na vzdálenost 60 m, při použití xenonového zdroje svícení, je po zaokrouhlení  $0,0266 \text{ cd/m}^2$ . Vzdálenost 60 m je nejbližší změřená vzdálenost hodnoty jasu, která se přibližuje vzdálenosti 53,95 m, na kterou byli probandi schopni registrovat figuranta při použití xenonového zdroje svícení. Z výpočtu brzdné dráhy pro zastavení v bezpečné vzdálenosti před figurantem dle zjištěné reakce probandů vychází, že řidič při panickém brzdění  $9 \text{ m/s}^2$  a reakční době, včetně náběhu brzd 1,7 s, může jet maximální rychlostí cca 67,0 km/h a zastaví v bezpečné vzdálenosti 3 m před figurantem. Pokud by se reakční doba včetně náběhu brzd prodloužila na 2,2 s a bylo by požadováno, aby řidič zastavil v bezpečné vzdálenosti od figuranta, mohl by jet maximální možnou rychlostí cca 58,9 km/h. V celkové velikosti brzdné dráhy jsou sečteny velikost dráhy uražené během doby reakce, brzdá dráha během plného brzdného účinku a bezpečná vzdálenost mezi figurantem a zastaveným vozidlem. Bezpečná vzdálenost je v tom případě 3 m. Uvedené hodnoty brzdné dráhy platí pro xenonový zdroj svícení a nasvícení figuranta v tmavém oděvu tlumenými světly. Přesné hodnoty pro navržení maximální možné rychlosti pro bezpečné zastavení, jsou uvedeny v „Příloze 2“. Tyto výsledky, při použití xenonového zdroje svícení však nelze použít pro porovnání s ostatními zdroji světla z důvodu chybného seřízení sklonu světlometů.

Z naměřených výsledků lze konstatovat, že figuranta v tmavém oděvu probandi zaregistrovali o 16,02 m dříve při použití halogenového zdroje svícení ve srovnání s LED zdrojem svícení, i když byly hodnoty jasu halogenového zdroje mezi vzdálenostmi 20–60 m nižší než hodnoty jasu LED zdroje

svícení. Mezi vzdálenostmi 80–160 m jsou hodnoty jasů zmiňovaných zdrojů světla téměř totožné. V porovnání s výsledky při měření figuranta ve světlém oděvu lze konstatovat, že na figuranta ve světlém oděvu probandi reagovali dříve při svícení LED zdrojem světla před halogenovým zdrojem světla. Naopak na figuranta v tmavém oděvu probandi reagovali dříve při svícení halogenovým zdrojem světla před LED zdrojem světla. Z toho jasně vyplývá, že to na jakou vzdálenost je schopný řidič reagovat, nezávisí pouze na tom, co má chodec oblečeného, ale také jakým zdrojem světla na něj řidič svítí. Ze zjištěných výsledků vychází, že chodec ve světlém oděvu je zaregistrován dříve řidičem, který na něj svítí LED zdrojem světla. Naopak chodec v tmavém oděvu je zaregistrován dříve řidičem, který na něj svítí halogenovým zdrojem světla. V tomto porovnání jsou zahrnuty pouze halogenový zdroj světla a LED zdroj světla z důvodu chybného seřízení sklonu světlometů xenonového zdroje světla.

## 10 ZÁVĚR

Jedním z hlavních cílů této diplomové práce bylo zpracování a vyhodnocení měření distribuce jasu v návaznosti na vnímání a detekci chodce řidičem vozidla za podmínek zhoršených tmou. Proto pro pochopení celé problematiky je v první části vysvětleno několik základních pojmů a příbuzných témat.

V první části práce je představeno několik prací a studií s hlavním tématem blízkým této diplomové práce. Jednalo se zejména o práce porovnávající viditelnost chodce oděného v různých kombinacích materiálu a barev, kteří byli nasvíceni různým zdroji světla na různé vzdálenosti. V této části jsou také obsaženy studie, které se zabývaly měřením dohlednosti na chodce za světla a za tmy s následným popisem faktorů, které chodcovu viditelnost ovlivňují.

Dále jsou v diplomové práci popsány základní pojmy spojené se světlem a to zejména teplotní chromatičnost a kontrast jasu. V této části jsou dále představeny různé fyzikální veličiny spojené se světlem a funkcí lidského oka, s celkovou skladnou lidského oka, různými reakcemi na různé podněty a poruchami, které samotný zrak ovlivňují.

V další části jsou popsány světlometry moderních vozidel. V úplném úvodu této části jsou představeny dva nejmodernější zdroje svícení a to LED a laser. Následně jsou popsány všechny v současnosti používané zdroje svícení z hlediska jejich principu, funkčnosti a výhod či nevýhod během jejich užívání. V závěru této části jsou představeny pokročilé funkce osvětlení vozidel a to zejména z hlediska jejich adaptivity na danou dopravní situaci v okolí vozidla.

Práce také obsahuje statistiku dopravních nehod s chodci od roku 2017 po současnost. V té je popsán rozdíl v počtu nehod s chodci v oblasti extravilánu a intravilánu z hlediska závažnosti poranění chodců. Následuje stručné představení legislativy s popisem vztahu mezi českými zákony, vyhláškami a evropskými zákony (EHK).

Praktická část práce prvotně představuje celkovou přípravu na měření. Do té spadalo zajištění 3 použitých vozidel stejné modelové řady a jejich rozdílných zdrojů svícení, zajištění potřebných přístrojů pro měření, vhodného zvolení lokality měření, určení oděvu jednotlivým figurantům nebo popis vhodného zvolení období pro měření. Druhá část praktické části obsahuje vyhodnocení naměřených výsledků. Ty jsou rozděleny na vyhodnocení kontrastu a jasu figuranta ve světlém a tmavém oděvu při použití dálkových světel a na vyhodnocení kontrastu a jasu figuranta ve světlém a tmavém oděvu při použití tlumených světel. Všechny výsledky jsou doplněny jasovými mapami, grafy velikosti kontrastu a jasu v závislosti na vzdálenosti figuranta a případně přílohou, ve které jsou uvedeny všechny naměřené hodnoty jasu a kontrastu. V závěru je kapitola doplněna o porovnání vnímání chodce probandy s naměřenými hodnotami jasu při určitém oděvu figuranta a použitému zdroji světla. Je však nutné zmínit, že k porovnání bylo z měřených zdrojů světla možné použít pouze

halogenový zdroj svícení a LED zdroj svícení. U xenonového zdroje svícení došlo k chybnému seřízení sklonu světlometů a z toho důvodu jsou naměřené hodnoty pro toto porovnání nepoužitelné.

Z výsledků měření dálkových světel bylo zjištěno, že hodnoty kontrastu i jasu jsou vyšší při použití LED zdroje svícení, před halogenovým zdrojem svícení u figuranta v tmavém oděvu i u figuranta ve světlém oděvu. Největší rozdíly v kontrastu, při nasvícení figuranta ve světlém oděvu byly zaznamenány na prvních 60 m. V 80 m od zdroje svícení již byly hodnoty kontrastu obou zdrojů světla téměř totožné. Ve stejné vzdálenosti se vyrovnaly i hodnoty jasu u figuranta ve světlém oděvu. Při nasvícení chodce v tmavém oděvu se hodnoty kontrastu obou zmiňovaných zdrojů svícení vyrovnaly až při vzdálenosti 100 m, stejně jako hodnoty jasu.

Z výsledků měření tlumených světel bylo zjištěno, že hodnoty kontrastu jsou vyšší při použití halogenového zdroje svícení, před LED zdrojem svícení u figuranta ve světlém oděvu. Hodnoty kontrastu se v tomto případě vyrovnávají až při vzdálenosti 160 m od zdroje svícení. Hodnoty jasu jsou zde však vyšší u LED zdroje svícení a to zejména na prvních 40 m od zdroje svícení. Na vzdálenost 60 m od zdroje svícení se již obě hodnoty jasu vyrovnávají. Při nasvícení chodce v tmavém oděvu naopak vyšly větší hodnoty u LED zdroje svícení a to po celou délku měření. Hodnoty vykazovaného jasu se stejně jako v předchozím případě vyrovnávají již při vzdálenosti 60 m od zdroje svícení.

V poslední části experimentu bylo zjištěno a porovnáno jak vnímají figuranta v daném oděvu při nasvícení daným zdrojem světla probandi. Tato část experimentu probíhala pouze při tlumených světlech, které jsou z hlediska analýzy nehod podstatnější. Z výsledků vzešlo, že probandi na figuranta ve světlém oděvu reagovali nejdříve při nasvícení LED zdrojem svícení, i když hodnoty jasu vykazovaly při dané vzdálenosti totožné hodnoty jako halogenový zdroj svícení. Naopak z výsledků kdy byl nasvícen figurant v tmavém oděvu lze vyčíst, že probandi na chodce nejdříve reagovali při použití halogenového zdroje svícení. To je opět v rozporu s naměřenými hodnotami jasu při použití LED zdroje svícení, které do určité vzdálenosti vykazovaly vyšší hodnoty než halogenový zdroj svícení.

Ze zjištěných výsledků nelze jednoznačně konstatovat, do jaké míry je jeden z měřených zdrojů světla lepší než druhý. Vše je ovlivněno dalšími faktory, které výsledky mohou ovlivnit. Dosažené výsledky lze použít pro porovnání s výsledky měření na jiných vozidlech, při použití podobných oděvů jako v této práci. Dále lze výsledky ilustračně použít pro různá měření reakce řidičů na chodce, při použití stejných vozidel.

Cíle diplomové práce byly ve větší míře splněny. Za podstatný nedostatek zde lze považovat chybné seřízení sklonu světlometů u xenonového zdroje svícení. Z toho důvodu bylo možné pro porovnání mezi jednotlivými zdroji svícení použít pouze výsledky z halogenového zdroje svícení a LED zdroje svícení.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] BRADÁČ, Albert, Marek SEMELA, Jan ŠKODA, Stanislav SUMEC, Robert KLEDUS a Martin BILÍK. Comparison of Halogen and Xenon Headlamps in Terms of Pedestrians' Visibility. In: Proceedings of the 21st International Conference LIGHT SVĚTLO 2015 [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2015, s. 133-137 [cit. 2021-11-29]. ISBN 978-80-214-5244-2. Dostupné z: doi:10.13164/conf.light.2015.133
- [2] WOOD, Joanne M, Richard A TYRRELL, Philippe LACHEREZ a Alex A BLACK. Night-time pedestrian conspicuity: effects of clothing on drivers' eye movements. *Ophthalmic & physiological optics* [online]. HOBOKEN: WILEY, 2017, 37(2), 184-190 [cit. 2021-11-29]. ISSN 0275-5408. Dostupné z: doi:10.1111/opo.12351
- [3] BENEÁ, B C, D D TRUSCA, G R TOGANEL a A I RADU. Pedestrian visibility at night: the influence of the pedestrian clothing and the defective headlamp of the car. *IOP conference series. Materials Science and Engineering* [online]. Bristol: IOP Publishing, 2019, 568(1), 12003 [cit. 2021-11-30]. ISSN 1757-8981. Dostupné z: doi:10.1088/1757-899X/568/1/012003
- [4] Časopis Světlo: časopis pro světlo a osvětlení [online]. Praha: FCC PUBLIC, 2020 [cit. 2021-11-30]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/clanek/moderni-trendy-automobilovych-svetlometu--4314>
- [5] MOKŘÍŠ, Jakub. Moderní automatické světelné systémy automobilů: jak vlastně fungují? *Portál řidiče* [online]. Pardubice, 2020, 18. 5.2020 [cit. 2021-11-30]. Dostupné z: <https://www.portalridice.cz/clanek/moderni-svetelne-systemy-automobilu-jak-vlastne-funguji>
- [6] BUREŠ, David. Mercedes nabídne unikátní digitální světla. K čemu poslouží? *Auto.cz* [online]. Praha, 2018, 15. 5. 2018 [cit. 2021-11-30]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/mercedes-nabidne-unikatni-digitalni-svetla-k-cemu-poslouzi-121702>
- [7] Laserová světla pro světlometry [online]. Mnichov, 2018 [cit. 2021-12-04]. Dostupné z: <https://www.osram.cz/am/specials/trendslighting-innovations/laser-light-new-headlight-technology/index.jsp>
- [8] Stojí téměř osmdesát tisíc, ale řidiči změni noc v den. Vyzkoušeli jsme laserové světlometry. *Aktuálně.cz* [online]. Atlas.cz, 2016, 31. 3.2016 [cit. 2021-12-04]. Dostupné z: <https://zpravy.aktualne.cz/ekonomika/auto/stoji-temer-osmdesat-tisic-ale-ridici-zmeni-noc-v-den-zkouse/r~9056f594f74611e5b167002590604f2e/>
- [9] TYRRELL, Richard A, Joanne M WOOD, D Alfred OWENS, Stephanie WHETSEL BORZENDOWSKI a Ashley STAFFORD SEWALL. The conspicuity of pedestrians at night: a review. *Clinical and experimental optometry* [online]. 2016, 1. září 2016, 99(5), 425-434 [cit. 2022-01-11]. ISSN 0816-4622. Dostupné z: doi:10.1111/cxo.12447

- [10] HABEL, Jiří, Karel DVOŘÁČEK, Vladimír DVOŘÁČEK a Petr ŽÁK. *Světlo a osvětlení*. Praha: FCC PUBLIC, 2013. ISBN 978-80-86534-21-3.
- [11] Světlo. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2022-01-11]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Sv%C4%9Btlo>
- [12] Barevná teplota. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 5. srpna 2021 [cit. 2022-01-12]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Barevn%C3%A1\\_teplota](https://cs.wikipedia.org/wiki/Barevn%C3%A1_teplota)
- [13] RŮŽIČKA, Josef. *Porovnání světelných zdrojů z ekonomického hlediska* [online]. Brno, 2020 [cit. 2022-01-12]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/127272>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Jaroslav Štěpánek.
- [14] REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Encyklopedie fyziky. *Encyklopedie fyziky* [online]. Praha, 2006 [cit. 2022-01-13]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/535-fotometricke-veliciny>
- [15] BELÁK, Michal. *Osvětlovací technika moderních vozidel a měření dohlednosti na koncová světla* [online]. Brno, 2011 [cit. 2022-01-13]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/37011>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství. Vedoucí práce Aleš Vémola.
- [16] Radiometrické a fotometrické veličiny. *SOU Blatná* [online]. Blatná, 2004, 14. července 2004 [cit. 2022-01-14]. Dostupné z: <http://sou.blatna.sweb.cz/optometr.htm>
- [17] *EBOZP: Encyklopedie BOZP* [online]. Praha: Professional Publishing, 2010 [cit. 2022-01-15]. Dostupné z: <https://ebozp.vubp.cz/wiki/index.php/Kontrast>
- [18] Lidské oko. *Techmania* [online]. Plzeň: Techmania Science Center, 2007 [cit. 2022-01-16]. Dostupné z: <http://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/svetlo/lidske-oko>
- [19] *Zákony pro lidi* [online]. Zlín: AION CS, s.r.o, 2022 [cit. 2022-01-22]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz>
- [20] *Časopis Světlo: časopis pro světlo a osvětlení* [online]. Praha: FCC PUBLIC, 2020 [cit. 2022-01-24]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/soucasny-stav-a-vyvoj-mezinarodnich-predpisu-pro-osvetleni-automobilu--16930>
- [21] HERODES, Jiří. *Homologace autobusu STRATOS LE 37* [online]. Pardubice, 2012 [cit. 2022-01-24]. Dostupné z: [https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/45895/HerodesJ\\_Homologace%20autobusu\\_MG\\_2012.pdf?sequence=3](https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/45895/HerodesJ_Homologace%20autobusu_MG_2012.pdf?sequence=3). Diplomová práce. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera. Vedoucí práce Milan Graja.

- [22] *Elektronická knihovna TUV SÚD Czech s.r.o.* [online]. TUV SÚD Czech, 2021 [cit. 2022-01-24]. Dostupné z: <http://mezinarodni-predpisy.tuv-sud.cz/cs/predpisy/ehk-osn-integrované-ceske-preklady/>
- [23] SUCHOMEL, Filip. *Porovnání světelných parametrů různých světelných zdrojů předních světlometů vozidel* [online]. Brno, 2019 [cit. 2022-01-26]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/117693>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, Odbor znaleství ve strojírenství, analýza dopravních nehod a oceňování motorových vozidel. Vedoucí práce Albert Bradáč.
- [24] JANOŠKOVÁ, Petra. *Kontrastní citlivost – Metodika vyšetřování, hodnocení získaných dat* [online]. Brno, 2015 [cit. 2022-01-26]. Dostupné z: [https://is.muni.cz/th/q7xbq/Kontrastni\\_citlivost.pdf](https://is.muni.cz/th/q7xbq/Kontrastni_citlivost.pdf). Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Lékařská fakulta. Vedoucí práce Veronika Pandoščíková.
- [25] *Garage gurus* [online]. BorgWarner [cit. 2022-01-30]. Dostupné z: <https://www.drivparts.com/cs-cz/garagegurus/gurus-community/halogen-vs-xenon.html>
- [26] *Časopis Světlo: časopis pro světlo a osvětlení* [online]. Praha: FCC PUBLIC [cit. 2022-01-30]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/svetelne-zdroje-halogenove-zarovky--15892>
- [27] HLOCH, Karel. *Světelná technika motorových vozidel* [online]. Brno [cit. 2022-01-30]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/17367960-Mendelova-univerzita-v-brne-agronomicka-fakulta-diplomova-prace.html>. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta. Vedoucí práce Jiří Čupera.
- [28] *Škoda díly skladem* [online]. Praha [cit. 2022-01-30]. Dostupné z: <https://www.maxidily.cz/Halogenovy-svetlomet-levy-Skoda-Kodiaq-Original-566941015-d13041.htm>
- [29] SAJDL, Jan. *Autolexikon.net* [online]. c2022 [cit. 2022-01-31]. Dostupné z: <https://www.autolexikon.net/cs/articles/xenonove-svetlomety-vybojky/>
- [30] *CarThrottle.com* [online]. 2017 [cit. 2022-01-31]. Dostupné z: <https://www.carthrottle.com/post/nrvgzqe/>
- [31] *XenonPro: Xenon Vs Bi-Xenon Vs Hi-Low Beam - What's The Difference?* [online]. © 2019 [cit. 2022-01-31]. Dostupné z: <https://www.xenonpro.com/xenon-vs-bi-xenon-vs-hi-low-beam-whats-the-difference>
- [32] *Autodily na škodu.cz* [online]. Ostrava, c2011-2020 [cit. 2022-01-31]. Dostupné z: [https://www.autodily-na-skodu.cz/SVETLO-octavia2-PL-XENON-OBAL-d4664.htm?gclid=EAIaIQobChMItpye6v3c9QIVU-N3Ch0hJgaoEAQYAyABEGIOCFD\\_BwE#](https://www.autodily-na-skodu.cz/SVETLO-octavia2-PL-XENON-OBAL-d4664.htm?gclid=EAIaIQobChMItpye6v3c9QIVU-N3Ch0hJgaoEAQYAyABEGIOCFD_BwE#)

- [33] *Tvorimesvetlo.cz* [online]. Jihlava: MenSeek, c2019 [cit. 2022-02-16]. Dostupné z: <https://www.tvorimesvetlo.cz/prvni-full-led-svetlomet-pro-elektromobil-audi-e-tron/>
- [34] *Autobible.euro.cz: Žárovka, výbojka, diody a laser: Jak fungují různé typy světlometů* [online]. 2019 [cit. 2022-02-16]. Dostupné z: <https://autobible.euro.cz/zarovka-vybojka-diody-laser-funguji-ruzne-typy-svetlometu/>
- [35] *Tvorimesvetlo.cz* [online]. Jihlava: MenSeek, c2019 [cit. 2022-02-16]. Dostupné z: <https://www.tvorimesvetlo.cz/laserovy-svetlomet-z-jihlavy-pro-bmw-8/>
- [36] *Tvorimesvetlo.cz* [online]. Jihlava: MenSeek, c2019 [cit. 2022-02-16]. Dostupné z: <https://www.tvorimesvetlo.cz/laser/>
- [37] SAJDL, Jan. *Autolexicon.net: Free-form reflektor. Autolexicon.net: Free-form reflektor* [online]. c2022 autolexicon.net [cit. 2022-02-22]. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/free-forms-reflektor/>
- [38] *AVTOTACHKI: Co jsou adaptivní světlometry? Princip činnosti a účel* [online]. Kyjev, 2021 [cit. 2022-02-22]. Dostupné z: <https://avtotachki.com/cs/cto-takoe-adaptivnye-fary-v-avtomobile-i-kak-oni-rabotayut/>
- [39] *BESIP: Adaptivní světlometry* [online]. c2022 [cit. 2022-02-22]. Dostupné z: <https://www.ibesip.cz/Tematicke-stranky/Cestujeme-autem/Asistencni-systemy-v-autech/Aktivni-bezpecnost/Adaptivni-svetlometry>
- [40] *Časopis Světlo: časopis pro světlo a osvětlení* [online]. Praha: FCC PUBLIC, 2003 [cit. 2022-02-22]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/system-predniho-osvetleni-automobilu-afs-spolecnosti-visteon--16687>
- [41] *Marelli Automotive Lighting Jihlava: První FULL LED světlomet Škoda Octavia* [online]. Jihlava: MenSeek, c2022 [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: <https://www.tvorimesvetlo.cz/prvni-full-led-svetlomet-skoda-octavia/>
- [42] *Marelli Automotive Lighting Jihlava: První FULL LED světlomet pro elektromobil Audi e-tron* [online]. Jihlava: MenSeek, c2022 [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: <https://www.tvorimesvetlo.cz/prvni-full-led-svetlomet-pro-elektromobil-audi-e-tron/>
- [43] *Centrum dopravního výzkumu: Dopravní nehody v ČR* [online]. Brno, c2022 [cit. 2022-02-28]. Dostupné z: <https://nehody.cdv.cz/statistics.php>
- [44] MOTL, Jakub, Albert BRADÁČ, Filip SUCHOMEL a Kateřina BUCSUHÁZY. The comparison of vehicle headlamps. *IOP conference series. Materials Science and Engineering* [online]. Bristol: IOP Publishing, 2021, **1203**(3), 32014 [cit. 2022-03-11]. ISSN 1757-8981. Dostupné z: doi:10.1088/1757-899X/1203/3/032014

- [45] VLASÁK, Jaroslav. *Rozdíly v chování řidiče při jízdě přes přechod pro chodce v noci a ve dne* [online]. Brno, 2017 [cit. 2022-03-11]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/70043>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Ústav soudního inženýrství. Ústav soudního inženýrství. Vedoucí práce Pavel Maxera.
- [46] *Technika prostředí: qpro.cz* [online]. c2006-2022 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.qpro.cz/Archiv-teploty-vlhkosti-tlaku-v-Chlumci>
- [47] *E-Počasi.cz* [online]. c2002-2022 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.e-pocasi.cz/archiv-pocasi/2022/20-dubna/#jihomoravsky>
- [48] *Meteogram.cz* [online]. c2022 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.meteogram.cz/vychod-zapad-slunce/>
- [49] *Policie ČR: Dopravní nehody v mapě* [online]. c2022 [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.policie.cz/clanek/dopravni-nehody-v-mape.aspx>

## SEZNAM TABULEK

Tab. č. 1 – Hodnoty svítivosti některých druhů světla [14] .....	30
Tab. č. 2 – Důvody snižování kontrastní citlivosti. [23] .....	37
Tab. č. 3 – Vlastnosti halogenových žárovek [27] .....	46
Tab. č. 4 – Vlastnosti xenonových výbojek. [27] .....	49
Tab. č. 5 – Vlastnosti LED diod. [27] .....	52
Tab. č. 6 – Vlastnosti laserového zdroje světla. [27] .....	54
Tab. č. 7 Technické údaje fotoaparátu Nikon D7200. [vlastní] .....	69
Tab. č. 8 – Technické údaje objektivu AF – S DX NIKKOR 18 – 105 mm f/3,5 – 5,6G ED VR. [vlastní] .....	69
Tab. č. 9 – Intenzita osvětlení u halogenového zdroje svícení. [vlastní] .....	70
Tab. č. 10 – Intenzita osvětlení u xenonového zdroje svícení. [vlastní] .....	71
Tab. č. 11 – Intenzita osvětlení LED zdroje svícení. [vlastní] .....	71

## SEZNAM GRAFŮ

Graf č. 1 – Počty nehod s chodcem v nezastavěných oblastech. [49] .....	59
Graf č. 2 – Počty zraněných chodců v nezastavěných oblastech v závislosti na vážnosti zranění. [49]	60
Graf č. 3 – Počty nehod s chodcem v zastavěných oblastech. [49] .....	60
Graf č. 4 – Počty zraněných chodců v zastavěných oblastech v závislosti na vážnosti zranění. [49] ...	61

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. č. 1 – Příklad jasové mapy s figurantem vzdáleným 20 m – xenonová světlomety. [1] .....	19
Obr. č. 2 – Porovnání průměrných hodnot reakce řidiče na chodce s rozdílnými reflexními prvky [2] .21	
Obr. č. 3 – Průměrné hodnoty rozpoznání chodce rozpoznání směru chůze chodce s reflexní vestou a s reflexní vestou + reflexními prvky [2].....	21
Obr. č. 4 – Příklad dvou označených oblastí k porovnání kontrastu na fotografii [3].....	22
Obr. č. 5 – Spektrum elektromagnetického záření s orientačním členěním dle frekvencí a vlnových délek s vyznačením viditelného záření. [10] .....	27
Obr. č. 6 – Rozložení barev ve viditelné části spektra [10] .....	27
Obr. č. 7 – Rozdělení teplot chromatičnosti. [13].....	28
Obr. č. 8 – Diagram svítivosti [14].....	29
Obr. č. 9 – Vztah fotometrických veličin od zdroje světla k luminaci [14] .....	31
Obr. č. 10 – Měrné výkony zdrojů světla [16].....	32
Obr. č. 11 – Schematický řez oční bulvou [18] .....	34
Obr. č. 12 – Graf závislosti kontrastní citlivosti na věku. [24] .....	36
Obr. č. 13 – Základní podoba LED světlometů [4] .....	41
Obr. č. 14 – Střední verze světlometů s Matrix technologií [4].....	41
Obr. č. 15 – Vyšší verze světlometů s Pixel technologií [4] .....	42
Obr. č. 16 – Zobrazení možných varovných symbolů s technologií Digital Light [6].....	42
Obr. č. 17 – Detail přenosu laserového paprsku do světlometu [8] .....	43
Obr. č. 18 – Zjednodušené schéma halogenového cyklu (schematický řez). [26] .....	44
Obr. č. 19 – Nejvíce používané druhy halogenových žárovek: (a) H1, (b) H3, (c) H4, (d) H7 [15] .....	45
Obr. č. 20 – Halogenový světlomet (levý) Škoda Kodiaq. [28] .....	46
Obr. č. 21 – Xenonová výbojka. [29] .....	47
Obr. č. 22 – Rozdíl světelného kužele mezi halogenovým a xenonovým zdrojem světla. [30] .....	47
Obr. č. 23 – Rozdíl v konstrukci xenonového zdroje světla s přídatnou halogenovou žárovkou (vpravo) a bi-xenonového (vlevo) zdroje světla. [31] .....	48
Obr. č. 24 – Levý xenonový světlomet vozidla značky Škoda Octavia II. [32] .....	49
Obr. č. 25 – Konstrukční uspořádání světelné diody se dvěma krystaly. 1 – polovodič s přechodem, 2 – reflektor, 3 – keramická destička odvádějící teplo, 4 – podložka, 5 – polokulová čočka [10] .....	50
Obr. č. 26 – Princip světelných diod OLED. [10] .....	51
Obr. č. 27 – První FULL LED světlomety pro elektromobil Audi e-tron. [33] .....	51
Obr. č. 28 – Konstrukce Laser světlometu Audi R8 LMX. [36] .....	52
Obr. č. 29 – Popis modulového uspořádání „Base“ a „Spot“. [35] .....	53
Obr. č. 30 – Reflektorový světlomet. [37] .....	55
Obr. č. 31 – Rozdílné provozní režimy adaptivních světlometů. 1 – směrové světlo; 2 – osvětlení za nepříznivého počasí; 3 – osvětlení v obci (červená), osvětlení mimo obec (oranžová); 4 – dálkové světlo [38].....	56
Obr. č. 32 – Porovnání rozložení světla Matrix světlometů (nahore) a Pixel světlometů (dole) [4] .....	58
Obr. č. 33 – Příklad homologační značky EHK [21] .....	63

Obr. č. 34 – Regloskop Technolux PROlux 12799. [vlastní].....	67
Obr. č. 35 Seřízení halogenových světel pomocí regloskopu. [vlastní].....	67
Obr. č. 36 Pracovní prostředí regloskopu při nastavení základního sklonu tlumeného pravého LED světla +1%. [vlastní] .....	68
Obr. č. 37 – Jasový analyzátor LumiDISP při měření. [vlastní] .....	68
Obr. č. 38 – Detail halogenového světlometu. [vlastní] .....	70
Obr. č. 39 – Vozidlo s halogenovými světlometry. [vlastní] .....	70
Obr. č. 40 – Detail bixenonového světlometu. [vlastní].....	70
Obr. č. 41 – Vozidlo s bixenonovými světlometry. [vlastní] .....	70
Obr. č. 42 – Detail full LED světlometu. [vlastní].....	71
Obr. č. 43 – Vozidlo s full LED světlometry. [vlastní] .....	71
Obr. č. 44 – Pracovní prostředí programu LumiDISP. [vlastní] .....	72
Obr. č. 45 – HDR obrázek s vyznačenou oblastí od pasu dolů. [vlastní] .....	73
Obr. č. 46 – Figurant 1 ve světlém oděvu. [vlastní].....	74
Obr. č. 47 – Figurant 2 v tmavém oděvu. [vlastní] .....	74
Obr. č. 48 – Vyznačená dráha měření vedle Automotodromu Brno. [vlastní].....	74
Obr. č. 49 – Nákladní vozidlo s reflexními prvky ve vzdálenosti 150 m od měřeného vozidla. [vlastní].....	75
Obr. č. 50 – Označení zajištění polohy vozidla pro měření. [vlastní] .....	77
Obr. č. 51 – Výchozí poloha obou figurantů vzhledem k vozidlu při použití tlumených LED světel. [vlastní] .....	78
Obr. č. 52 – Označení figuranta (ve světlém oděvu) od pasu dolů a jeho těsného okolí na 20 m od vozidla při použití tlumených LED světel. [vlastní].....	79
Obr. č. 53 – Označení figuranta (ve světlém oděvu) od pasu dolů a jeho těsného okolí na 20 m od vozidla při použití dálkových LED světel. [vlastní].....	80
Obr. č. 54 – Příklad výpočtu kontrastu figuranta ve světlém oděvu a okolí, na 20 m při použití dálkových LED světel. [vlastní] .....	80
Obr. č. 55 – Viditelnost figuranta ve světlém oděvu ve 20 m od halogenového zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní].....	82
Obr. č. 56 – Viditelnost figuranta ve světlém oděvu ve 20 m od xenonového zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní].....	82
Obr. č. 57 – Viditelnost figuranta ve světlém oděvu ve 20 m od LED zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní] .....	82
Obr. č. 58 – Jasová mapa figuranta ve světlém oděvu ve vzdálenosti 20 m od halogenového zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní] .....	83
Obr. č. 59 – Jasová mapa figuranta ve světlém oděvu ve 20 m od xenonového zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní].....	83
Obr. č. 60 – Jasová mapa figuranta ve světlém oděvu ve 20 m od LED zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní] .....	84
Obr. č. 61 – Výhled z místa řidiče na figuranta ve světlém oděvu vzdáleného 20 m od halogenového zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní] .....	85
Obr. č. 62 – Výhled z místa řidiče na figuranta ve světlém oděvu vzdáleného 20 m od xenonového zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní] .....	85

Obr. č. 63 – Výhled z místa řidiče na figuranta ve světlém oděvu vzdáleného 20 m od LED zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní] .....	85
Obr. č. 64 – Viditelnost figuranta ve světlém oděvu ve vzdálenosti 160 m od halogenového zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní] .....	86
Obr. č. 65 – Viditelnost figuranta ve světlém oděvu ve vzdálenosti 160 m od xenonového zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní] .....	86
Obr. č. 66 – Viditelnost figuranta ve světlém oděvu ve vzdálenosti 160 m od LED zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní] .....	86
Obr. č. 67 – Jasová mapa figuranta ve světlém oděvu ve vzdálenosti 160 m od halogenového zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní] .....	87
Obr. č. 68 – Jasová mapa figuranta ve světlém oděvu ve vzdálenosti 160 m od xenonového zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní] .....	87
Obr. č. 69 – Jasová mapa figuranta ve světlém oděvu ve vzdálenosti 160 m od LED zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní] .....	88
Obr. č. 70 – Výhled z místa řidiče na figuranta ve světlém oděvu vzdáleného 160 m od halogenového zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní] .....	89
Obr. č. 71 – Výhled z místa řidiče na figuranta ve světlém oděvu vzdáleného 160 m od xenonového zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní] .....	89
Obr. č. 72 – Výhled z místa řidiče na figuranta ve světlém oděvu vzdáleného 160 m od LED zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní] .....	89
Obr. č. 73 – Graf závislosti kontrastu na vzdálenosti při použití dálkových světel na figuranta ve světlém oděvu. [vlastní] .....	90
Obr. č. 74 – Graf závislosti jasu na vzdálenosti při použití dálkových světel na figuranta ve světlém oděvu. [vlastní] .....	91
Obr. č. 75 – Viditelnost figuranta v tmavém oděvu ve vzdálenosti 20 m od halogenového zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní] .....	92
Obr. č. 76 – Viditelnost figuranta v tmavém oděvu ve vzdálenosti 20 m od xenonového zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní] .....	92
Obr. č. 77 – Viditelnost figuranta v tmavém oděvu ve vzdálenosti 20 m od LED zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní] .....	92
Obr. č. 78 – Jasová mapa figuranta v tmavém oděvu ve vzdálenosti 20 m od halogenového zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní] .....	93
Obr. č. 79 – Jasová mapa figuranta v tmavém oděvu ve vzdálenosti 20 m od xenonového zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní] .....	93
Obr. č. 80 – Jasová mapa figuranta v tmavém oděvu ve vzdálenosti 20 m od LED zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní] .....	94
Obr. č. 81 – Výhled z místa řidiče na figuranta v tmavém oděvu vzdáleného 20 m od halogenového zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní] .....	95
Obr. č. 82 – Výhled z místa řidiče na figuranta v tmavém oděvu vzdáleného 20 m od xenonového zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní] .....	95
Obr. č. 83 – Výhled z místa řidiče na figuranta v tmavém oděvu vzdáleného 20 m od LED zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní] .....	95
Obr. č. 84 – Viditelnost figuranta v tmavém oděvu ve vzdálenosti 160 m od halogenového zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní] .....	96
Obr. č. 85 – Viditelnost figuranta v tmavém oděvu ve vzdálenosti 160 m od xenonového zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní] .....	96

Obr. č. 86 – Viditelnost figuranta v tmavém oděvu ve vzdálenosti 160 m od LED zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní].....	96
Obr. č. 87 – Jasová mapa figuranta v tmavém oděvu ve vzdálenosti 160 m od halogenového zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní] .....	97
Obr. č. 88 – Jasová mapa figuranta v tmavém oděvu ve vzdálenosti 160 m od xenonového zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní] .....	97
Obr. č. 89 – Jasová mapa figuranta v tmavém oděvu ve vzdálenosti 160 m od halogenového zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní] .....	98
Obr. č. 90 – Výhled z místa řidiče na figuranta v tmavém oděvu vzdáleného 160 m od halogenového zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní] .....	99
Obr. č. 91 – Výhled z místa řidiče na figuranta v tmavém oděvu vzdáleného 160 m od xenonového zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní] .....	99
Obr. č. 92 – Výhled z místa řidiče na figuranta v tmavém oděvu vzdáleného 160 m od LED zdroje svícení při dálkových světlech. [vlastní] .....	99
Obr. č. 93 – Graf závislosti kontrastu na vzdálenosti při použití dálkových světel na figuranta v tmavém oděvu. [vlastní] .....	100
Obr. č. 94 – Graf závislosti jasu na vzdálenosti při použití dálkových světel na figuranta v tmavém oděvu. [vlastní] .....	101
Obr. č. 95 – Viditelnost figuranta ve světlém oděvu ve vzdálenosti 20 m od halogenového zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní] .....	102
Obr. č. 96 – Viditelnost figuranta ve světlém oděvu ve vzdálenosti 20 m od xenonového zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní] .....	102
Obr. č. 97 – Viditelnost figuranta ve světlém oděvu ve vzdálenosti 20 m od LED zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní] .....	102
Obr. č. 98 – Jasová mapa figuranta ve světlém oděvu ve vzdálenosti 20 m od halogenového zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní] .....	103
Obr. č. 99 – Jasová mapa figuranta ve světlém oděvu ve vzdálenosti 20 m od xenonového zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní] .....	103
Obr. č. 100 – Jasová mapa figuranta ve světlém oděvu ve vzdálenosti 20 m od LED zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní] .....	104
Obr. č. 101 – Výhled z místa řidiče na figuranta ve světlém oděvu vzdáleného 20 m od halogenového zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní] .....	105
Obr. č. 102 – Výhled z místa řidiče na figuranta ve světlém oděvu vzdáleného 20 m od xenonového zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní] .....	105
Obr. č. 103 – Výhled z místa řidiče na figuranta ve světlém oděvu vzdáleného 20 m od LED zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní] .....	105
Obr. č. 104 – Viditelnost figuranta ve světlém oděvu ve vzdálenosti 160 m od halogenového zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní] .....	106
Obr. č. 105 – Viditelnost figuranta ve světlém oděvu ve vzdálenosti 160 m od xenonového zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní] .....	106
Obr. č. 106 – Viditelnost figuranta ve světlém oděvu ve vzdálenosti 160 m od LED zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní] .....	106
Obr. č. 107 – Jasová mapa figuranta ve světlém oděvu ve vzdálenosti 160 m od halogenového zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní] .....	107
Obr. č. 108 – Jasová mapa figuranta ve světlém oděvu ve vzdálenosti 160 m od xenonového zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní] .....	107

Obr. č. 109 – Jasová mapa figuranta ve světlém oděvu ve vzdálenosti 160 m od LED zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní] .....	108
Obr. č. 110 – Výhled z místa řidiče na figuranta ve světlém oděvu vzdáleného 160 m od halogenového zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní] .....	109
Obr. č. 111 – Výhled z místa řidiče na figuranta ve světlém oděvu vzdáleného 160 m od xenonového zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní] .....	109
Obr. č. 112 – Výhled z místa řidiče na figuranta ve světlém oděvu vzdáleného 160 m od LED zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní] .....	109
Obr. č. 113 – Graf závislosti kontrastu na vzdálenosti při použití tlumených světél na figuranta ve světlém oděvu. [vlastní] .....	110
Obr. č. 114 – Graf závislosti jasu na vzdálenosti při použití tlumených světél na figuranta ve světlém oděvu. [vlastní] .....	111
Obr. č. 115 – Viditelnost figuranta v tmavém oděvu ve vzdálenosti 20 m od halogenového zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní] .....	112
Obr. č. 116 – Viditelnost figuranta v tmavém oděvu ve vzdálenosti 20 m od xenonového zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní] .....	112
Obr. č. 117 – Viditelnost figuranta v tmavém oděvu ve vzdálenosti 20 m od LED zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní] .....	112
Obr. č. 118 – Jasová mapa figuranta v tmavém oděvu ve vzdálenosti 20 m od halogenového zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní] .....	113
Obr. č. 119 – Jasová mapa figuranta v tmavém oděvu ve vzdálenosti 20 m od xenonového zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní] .....	113
Obr. č. 120 – Jasová mapa figuranta v tmavém oděvu ve vzdálenosti 20 m od LED zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní] .....	114
Obr. č. 121 – Výhled z místa řidiče na figuranta v tmavém oděvu vzdáleného 20 m od halogenového zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní] .....	115
Obr. č. 122 – Výhled z místa řidiče na figuranta v tmavém oděvu vzdáleného 20 m od xenonového zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní] .....	115
Obr. č. 123 – Výhled z místa řidiče na figuranta v tmavém oděvu vzdáleného 20 m od LED zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní] .....	115
Obr. č. 124 – Viditelnost figuranta v tmavém oděvu ve vzdálenosti 160 m od halogenového zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní] .....	116
Obr. č. 125 – Viditelnost figuranta v tmavém oděvu ve vzdálenosti 160 m od xenonového zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní] .....	116
Obr. č. 126 – Viditelnost figuranta v tmavém oděvu ve vzdálenosti 160 m od LED zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní] .....	116
Obr. č. 127 – Jasová mapa figuranta v tmavém oděvu ve vzdálenosti 160 m od halogenového zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní] .....	117
Obr. č. 128 – Jasová mapa figuranta v tmavém oděvu ve vzdálenosti 160 m od xenonového zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní] .....	117
Obr. č. 129 – Jasová mapa figuranta v tmavém oděvu ve vzdálenosti 160 m od LED zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní] .....	118
Obr. č. 130 – Výhled z místa řidiče na figuranta v tmavém oděvu vzdáleného 160 m od halogenového zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní] .....	119
Obr. č. 131 – Výhled z místa řidiče na figuranta v tmavém oděvu vzdáleného 160 m od xenonového zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní] .....	119

Obr. č. 132 – Výhled z místa řidiče na figuranta v tmavém oděvu vzdáleného 160 m od LED zdroje svícení při tlumených světlech. [vlastní] .....	119
Obr. č. 133 – Graf závislosti kontrastu na vzdálenosti při použití tlumených světel na figuranta v tmavém oděvu. [vlastní] .....	120
Obr. č. 134 – Graf závislosti jasů na vzdálenosti při použití tlumených světel na figuranta v tmavém oděvu. [vlastní] .....	121

## SEZNAM ZKRATEK

<b>Zkratka</b>	<b>Jednotka</b>	<b>Popis</b>
LED	[–]	Elektroluminiscenční dioda (z ang. Light–Emitting Diode)
EHK	[–]	Evropská hospodářská komise
OSN	[–]	Organizace spojených národů
GPS	[–]	Globální polohový systém (z ang. Global Positioning System)
PC	[–]	Osobní počítač (z ang. Personal komputer)
CIE	[–]	Mezinárodní komise pro osvětlení (z fr. Commision Internationale de l’Eclairage)
SI	[–]	Mezinárodní systém jednotek (z fr. Le Système International d’Unités)
2D	[–]	Dvojměrný (z ang. Two dimensional)
AFS	[–]	Pokročilý systém předního osvětlení (z ang. Advanced Front Lighting System)
AFL	[–]	Adaptivní přední osvětlení (z ang. Adaptive Forward Lighting)
ADB	[–]	Adaptační systém dálkových světel (z ang. Adaptive Driving Beam)
HID	[–]	Vysokotlaká výbojka (z ang. High–Intenstity Discharge)
OLED	[–]	Organická Elektroluminiscenční dioda (z ang. Organic Light–Emitting Diode)
LumiDISP	[–]	Zpracování distribuce jasu (z ang. Luminance Distribution Processing)
RGB	[–]	Aditivní způsob míchání barev (z ang. red – green – blue)
JPEG	[–]	Joint Photographics Experts Group
NEF	[–]	Nikon Electronic Format
RAW	[–]	Read After Write

<b>Zkratka</b>	<b>Jednotka</b>	<b>Popis</b>
ISO	[-]	Mezinárodní organizace pro normalizaci ( z ang. International Organization for Standardization)
<b>Symbol</b>	<b>Jednotka</b>	<b>Popis</b>
T <sub>c</sub>	[K]	Chromaticčnost
Φ	[lm]	Světelný tok
I	[cd]	Svítivost
E <sub>v</sub>	[lux]	Intenzita osvětlení
L	[cd/m <sup>2</sup> ]	Luminance
K	[lm/W]	Měrný výkon
K <sub>j</sub>	[-]	Kontrast jasu
S	[m <sup>2</sup> ]	Obsah
P	[lm/W]	Výkon
PN	[-]	Rozhraní polovodiče typu P a polovodiče typu N
V	[-]	Village mode
C	[-]	Country mode
E	[-]	Motorway mode
S <sub>r</sub>	[m]	Dosvit světlometů na vozovku
L <sub>s</sub>	[m]	Výška vztažné osy světlometů
S <sub>s</sub>	[%]	Svislý sklon světlometů
H1	[-]	Žárovka pro dálková světla
H7	[-]	Žárovka pro tlumená světla
R <sup>2</sup>	[-]	Hodnota spolehlivosti

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1: Hodnoty naměřených kontrastů a jasů

Příloha č. 2: Hodnoty pro navržení maximální možné rychlosti