



# 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

## POROVNÁNÍ SVĚTELNÝCH PARAMETRŮ RŮZNÝCH SVĚTELNÝCH ZDROJŮ PŘEDNÍCH SVĚTLOMETŮ VOZIDEL

COMPARISON OF LIGHT PARAMETERS OF DIFFERENT LIGHT SOURCES OF VEHICLES' HEADLAMPS

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

#### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Filip Suchomel

#### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Albert Bradáč, Ph.D.

BRNO 2019

## Zadání diplomové práce

|                   |   |
|-------------------|---|
| Student:          | <b>Bc. Filip Suchomel</b>   |
| Studijní program: | Soudní inženýrství  |
| Studijní obor:    | Expertní inženýrství v dopravě  |
| Vedoucí práce:    | <b>Ing. Albert Bradáč, Ph.D.</b>  |
| Akademický rok:   | 2018/19   |
| Ústav:            | Odbor znaleství 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:

### **Porovnání světelných parametrů různých světelných zdrojů předních světlometů vozidel**

#### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

1. Provést rešerši relevantní literatury.
2. Zajistit vozidla shodného modelu s různými druhy zdrojů světla v předních světlometech a figuranty s různým oděvem.
3. Naplánovat měření.
4. Realizovat měření.
5. Vyhodnotit výsledky.
6. Učinit pro dané vozidlo závěry.

#### **Cíle diplomové práce:**

Cílem práce je porovnat světelné parametry různých druhů světelných zdrojů (halogen, xenon, LED) u shodného modelu vozidla. Výsledkem by mělo být zhodnocení jednotlivých typů světlometů ve vztahu k viditelnosti různě oděného chodce v noční době, v místě bez veřejného osvětlení.

#### **Seznam doporučené literatury:**

[1] BRADÁČ A. A KOL.: Soudní inženýrství, Akademické nakladatelství CERM, Brno 1997, ISBN 80-7204-133-9).

[2] BRADÁČ, A.; KREJČÍŘ, P.; GLIER, L.: Znalecký standard II - Vybrané metody zajišťování podkladů pro technickou analýzu průběhu a příčin silničních dopravních nehod. VUT v Brně-ÚSI, Ministerstvo spravedlnosti, 1990

[3] WEYDE, M. Rekonstruktion der Erkennbarkeit von Fussgängern bei Dunkelheitsunfällen unter dynamischen Realbedingungen, Sborník výroční konference EVU 2010, Praha 2010, ISBN 978-8-7399-128-9

[4] SCHMEDDING K., Practical Examples of Visual Perception Problems in Night-time Accidents, Sborník výroční konference EVU a ITAI, Hinckley 2009, UK

[5] HANDBUCH VERKEHRSUNFALL-REKONSTRUKTION – UNFALLAUFNAHME – FAHRDYNAMIK – SIMULATION – BURG, MOSER, 1. VYDÁNÍ 2007, VIEWEG, ISBN 978-3-8348-0172-2

[6] HUGEMANN, W. a rozsáhlý autorský tým.: Unfall-rekonstruktion, dva svazky, 1. vydání, 2007, ISBN 3-00-019419-3

[7] WYPADKI DROGOWE – VADEMECUM BIEGTEGO SADOWEGO, VYDAVATELSTVÍ INSTYTUTU EKSPERTYS SADOWYCH, KROKOV 2002, ISBN 83-87425-65-6

[8] Normy ECE R-98, R-112 a R-123

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

---

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

doc. Ing. Aleš Vémola, Ph.D.  
ředitel

### **Abstrakt**

Tato diplomová práce je zaměřena na srovnání parametrů jednotlivých světelných zdrojů (halogen, xenon, LED) instalovaných v rámci jednoho modelu značky (Škoda Octavia III. generace). Úvodní část se zabývá analýzou současného stavu osvětlovací techniky a jejím vlivem na bezpečnost provozu. Další část je zaměřena na obecné parametry světla, konstrukci vybraných zdrojů světla a jejich optických systémů. Pro úplnost nechybí ani problematika vnímání a adaptace lidského oka na různé světelné podmínky, zejména však kontrast. Praktická část je řešena formou experimentálního pokusu, zaměřeného na měření a následné porovnání hodnot kontrastu jednotlivých zdrojů světla, ve vztahu k tmavě a světle oděnému chodci v extravilánu bez veřejného osvětlení.

### **Abstract**

This thesis is focused on comparison of parameters of light sources (halogen, xenon, LED) installed in Skoda Octavia 3rd generation. The opening part solves analysis of the current state of lighting technology and its impact on traffic safety. The next part is focused on general parameters of light, construction of light sources, optical systems and adaptation of the human eye to various light conditions, especially contrast. The practical part is focused on comparing the contrast values of individual light sources in relation to the dark and lightly dressed pedestrian in the area without artificial lighting.

### **Klíčová slova**

Světlomet, zdroj světla, kontrast, dosvit, dohlednost.

### **Keywords**

Headlight, light source, contrast, afterglow, visual range.

### ***Bibliografická citace***

SUCHOMEL, Filip. Porovnání světelných parametrů různých světelných zdrojů předních světlometů vozidel. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.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.



### **Prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Porovnání světelných parametrů různých světelných zdrojů předních světlometů vozidel“ jsem vypracoval/a 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/ka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil/a autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl/a nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom/a 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. Albertu Bradáčovi, Ph.D. a Ing. Jakobovi Motlovi za jejich rady, nápady a potřebný čas, který mi při řešení dané problematiky věnovali. V neposlední řadě také děkuji své rodině a spolužákům, kteří mi mnohokrát pomohli a připravili tak vhodné podmínky pro vypracování této práce.







# OBSAH

|   |    |
|---|----|
| OBSAH .....   | 13 |
| 1 ÚVOD .....  | 15 |
| 2 VYMEZENÍ CÍLŮ .....   | 17 |
| 3 STÁVAJÍCÍ STAV POZNÁNÍ .....  | 18 |
| 3.1 Světlo a jeho parametry .....   | 18 |
| 3.1.1 <i>Teplota chromatičnosti</i> .....   | 18 |
| 3.1.2 <i>Další fyzikální vlastnosti světla</i> .....                                    | 19 |
| 3.2 Homologace .....  | 19 |
| 3.2.1 <i>České zákony, normy a předpisy</i> .....                                       | 19 |
| 3.2.2 <i>Evropské zákony, normy a předpisy</i> .....                                    | 19 |
| 3.3 Světelná technika .....   | 20 |
| 3.3.1 <i>Světlomet</i> .....  | 20 |
| 3.3.2 <i>Svítilna</i> .....   | 21 |
| 3.3.3 <i>Historie</i> .....   | 21 |
| 3.3.4 <i>Přední světlomet a jeho části</i> .....  | 21 |
| 3.3.5 <i>Patice</i> .....   | 23 |
| 3.4 Druhy zdrojů osvětlení .....  | 24 |
| 3.4.1 <i>Halogenové žárovky</i> .....   | 24 |
| 3.4.2 <i>Xenonové výbojky</i> .....   | 26 |
| 3.4.3 <i>LED</i> .....  | 29 |
| 3.4.4 <i>Laserové světlometry</i> .....   | 33 |
| 3.5 Nejpoužívanější optické systémy .....   | 34 |
| 3.5.1 <i>Parabolické a reflektorové světlometry</i> .....                               | 34 |
| 3.5.2 <i>Bi-xenonový světlomet s projekční jednotkou a adaptivní funkcí (AFL)</i> ..... | 35 |
| 3.5.3 <i>Full LED světlomet s adaptivním plně statickým systémem</i> .....              | 36 |
| 3.6 Skladba lidského oka .....  | 37 |
| 3.7 Vnímání .....   | 38 |
| 3.7.1 <i>Vnímání řidiče</i> .....   | 39 |
| 3.8 Adaptace oka na tmou .....  | 39 |
| 3.9 Kontrastní citlivost .....  | 39 |
| 3.9.1 <i>Snížení kontrastní citlivosti</i> .....  | 40 |
| 3.10 Dohlednost a Dosvit světlometů .....   | 41 |
| 3.10.1 <i>Měření dosvitu světlometů</i> .....   | 41 |
| 3.10.2 <i>Oblast zakrytého výhledu</i> .....  | 42 |
| 4 METODY ŘEŠENÍ .....   | 43 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 4.1   | Seřízení světlometů .....   | 43 |
| 4.2   | Použité Měřicí přístroje .....  | 44 |
| 4.3   | Fotodokumentace .....   | 46 |
| 4.4   | Měřená vozidla .....  | 46 |
| 4.4.1 | Škoda Octavia III. generace (facelift) - halogenové světlomety.....                                   | 46 |
| 4.4.2 | Škoda Octavia III. generace – bi-xenonové světlomety s adaptivní funkcí AFL.....                      | 47 |
| 4.4.3 | Škoda Octavia III. generace RS230 (facelift) - full-LED světlomety s funkcí adaptivního svícení ..... | 48 |
| 4.5   | Figuranti .....   | 49 |
| 4.6   | Lokalita měření .....   | 50 |
| 4.7   | Atmosférické podmínky .....   | 51 |
| 4.8   | Postup měření .....   | 51 |
| 4.9   | Výpočet kontrastu z jasových map .....  | 52 |
| 5     | VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ.....  | 56 |
| 5.1   | Černé oblečení.....   | 57 |
| 5.2   | Volnočasové oblečení.....   | 67 |
| 6     | ZÁVĚR.....  | 77 |
| 6.1   | NÁVRH DALŠÍHO ŘEŠENÍ .....  | 77 |
|       | SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....   | 78 |
|       | SEZNAM TABULEK .....  | 81 |
|       | SEZNAM OBRÁZKŮ .....  | 82 |
|       | SEZNAM ZKRATEK.....   | 85 |
|       | SEZNAM PŘÍLOH .....   | 86 |

# 1 ÚVOD

S neustálým technologickým vývojem se setkáváme na všech frontách. Stále modernější a lepší technologie nám usnadňují život a mnohdy jej tvoří také bezpečnější. Automobilový průmysl patří k jednomu z nejrychleji se rozvíjejících průmyslů vůbec. Zaměříme-li se na osvětlovací techniku moderních automobilů, lze konstatovat, že během pár let prošla přinejmenším revolucí. Dnešní světlomety jsou inteligentní a konstrukčně velmi složitá zařízení, splňující přísné homologační procesy a kvalitativní normy. Samotnému řidiči zato dopřávají značný rozhled při jízdě za snížené viditelnosti tmou.

Navzdory inovacím se na silnicích vlivem snížené viditelnosti stávají vážné dopravní nehody, kdy dochází například ke střetu vozidla s chodcem či zvěří. Případný střet končí ve většině případů fatálními následky neslučitelnými se životem a značným poškozením havarovaného vozidla. Mnohdy však vyvstávají otázky, zda použití moderních osvětlovacích systémů s pokročilými zdroji světla dokáže zvýšit viditelnost, potažmo bezpečnost.

Podíváme-li se na chronologický vývoj osvětlovací techniky, prvně byly světlomety osazeny klasickými žárovkami, které zanedlouho nahradily mnohem spolehlivějšími halogenové žárovky. Dalším mezníkem byla xenonová výbojka, která poskytovala dosud nevídaný pocit při jízdě v noci nebo za snížených světelných podmínek. O své výsadní postavení přišly „xenony“ až s rozvojem technologie LED, která se každým rokem stává sofistikovanější a inteligentnější. Naprostou špičkou jsou však nyní laserové světlomety, dostupné pouze v nejluxusnějším segmentu prémiových vozidel.

Na vývoj osvětlovací techniky zareagovali mezinárodní i národní zákonodárci a přišli tak s řadou předpisů, technických norem a zásad pro osvětlovací soustavu, vztaženou na bezpečnost účastníků silničního provozu. V České republice se této problematice věnuje vyhláška Ministerstva dopravy č. 341/2002 Sb. o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích. Vyhláška popisuje jednotlivé požadavky na elektrický rozvod nebo instalaci ve vozidle. Paragrafové znění se detailně věnuje osvětlení vozidel, druhům světla, osvětlení RZ, brzdovým, směrovým a mlhovým světlometům, odrazkám, světelným výstražným zařízením nebo zvláštním výstražným světlům.

Během posledního desetiletí došlo k výraznému rozvoji pasivních a aktivních bezpečnostních systémů automobilů. Na silnicích dnes potkáváme automobily, které jsou schopny semi-autonomní jízdy, přičemž plné autonomii brání jen příslušné zákony. S bezpečností se také úzce pojí vývoj osvětlovací techniky, kde se klade důraz na motto "vidět a být viděn". Jednotliví výrobci se tak předhánějí s konstrukcí světlometů, novými technologiemi a v neposlední řadě i novými druhy světelných zdrojů. Cílem většiny vývojářů je vytvořit takový zdroj světla, který bude mít velmi podobné vlastnosti jako má světlo denní. V řeči čísel se jedná o teplotu přibližně kolem 5200 K.

Důvodem, proč toho chtějí docílit je skutečnost, že denní světlo tvoří nevhodnější podmínky pro lidské oko a vnímání. Dalšími prioritami, kterými se vývojáři zabývají, je konstrukce světlometu, které bude schopno pro danou situaci vytvořit maximální možný světelný výkon v rámci předpisů a zákonů. Velmi často je to však v rozporu s designem automobilů, kde se preferují velmi úzké světlometry, které nejsou z hlediska výkonu a chlazení optimální. Navzdory pokroku se zatím nedaří ve větší míře ovlivnit vznik dopravních nehod, často i s tragickými následky. Jízda v noci patří mezi značně rizikové aspekty, a mnoho řidičů neví, jak se v takový moment na silnici chovat. Na tuto skutečnost upozornili odborníci z Ústavu soudního inženýrství VUT v Brně a v roce 2016 vydali učebnici pro výuku a výcvik jízdy v noci.

Ze statistik Policie ČR vyplývá, že v minulém roce (2018) byla přítomna u 104 764 dopravních nehod. Při nichž bylo lehce zraněno 25 215, těžce 2 465 a zahynulo 565 osob. To je oproti roku 2017 zvýšení úmrtí o 12,5 %. Během noci vzniká přibližně čtvrtina dopravních nehod, které mají podstatně závažnější následky, než v případě nehod ve dne. Z celkového počtu usmrčených osob na silnici jich třetina zemře právě v noci. Samotnou kapitolou je střet s chodcem, který bývá častý právě za snížené viditelnosti tmou. [48]

Zajímavým výzkumem, souvisejícím s řešenou tematikou jsou měření uskutečněná Ústavem soudního inženýrství v Brně. Výsledky byly veřejnosti představeny v článku „Porovnání odlišností při rozpoznání objektu řidičem ze stojícího a z jedoucího vozidla na základě jízdních zkoušek v reálném silničním provozu“. Článek [5] se detailně věnuje stanovení vzdálenosti, na kterou je řidič poprvé schopen rozeznat chodce při jízdě za tmy. Autoři narážejí na problém, že neexistuje ucelená metodika, která by během jízdy dokázala měřit vzdálenost mezi vozidlem a překážkou na silnici v okamžiku, kdy ji řidič detekuje. Omezení bylo odstraněno využitím měření změny úhlu pohledu řidiče prostřednictvím zařízení od společnosti Viewpoinsystem®.

V práci bylo měření dohlednosti realizováno na chodce ze stojícího a jedoucího vozidla za snížené viditelnosti tmou. Pro experiment byla použita dvojice vozidel Škoda Octavia Combi. První disponovala halogenovými a druhá xenonovými světlometry. [7]

Správné osvětlení má významný vliv na bezpečnost silničního provozu, zvyšuje viditelnost a poskytuje řidiči dostatečný přehled o situaci v jízdní dráze vozidla a nejbližším okolí. Stejně tak dodává určitou jistotu a komfort za volantem při jízdě za snížené viditelnosti tmou. Na trhu se dnes setkáváme hned s několika druhy světelných zdrojů (halogen, xenon, LED a laser), přičemž každý má zcela jiné vlastnosti vyzařovaného světla. V jednotlivých podkapitolách jsou rozebrány základní pojmy, druhy osvětlovací techniky, zdroje světla a vnímání. [18][4][42]



## 2 VYMEZENÍ CÍLŮ

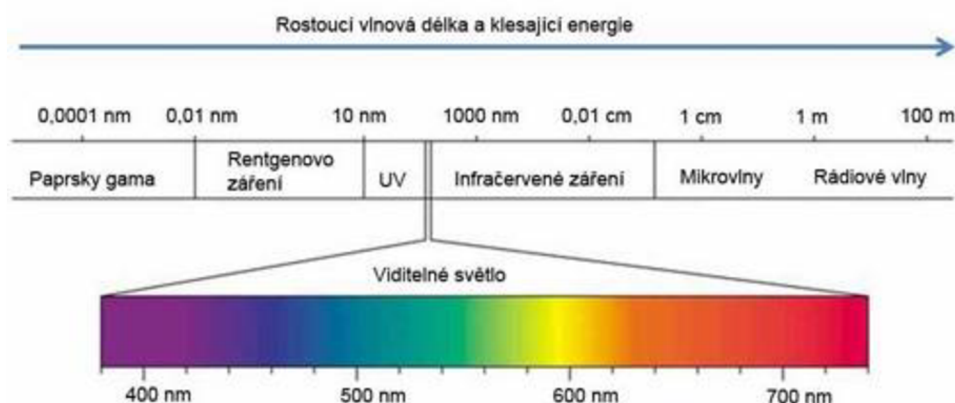
Cílem této diplomové práce je komparace světelných parametrů odlišných druhů světelných zdrojů, konkrétně halogenový, xenonový a LED světlomet. Porovnání bude probíhat u shodného modelu vozidla (Škoda Octavia III. generace). Výsledkem by mělo být zhodnocení jednotlivých druhů světelných zdrojů ve vztahu k viditelnosti různě oděného chodce v noční době, v extravilánu bez veřejného osvětlení.

Pro splnění dané problematiky a zajištění vhodných podmínek měření bylo nutné zajistit vhodné místo s minimem světelného znečištění a relativně nízkým provozem, aby nedošlo k ohrožení účastníků měření.

### 3 STÁVAJÍCÍ STAV POZNÁNÍ

#### 3.1 SVĚTLO A JEHO PARAMETRY

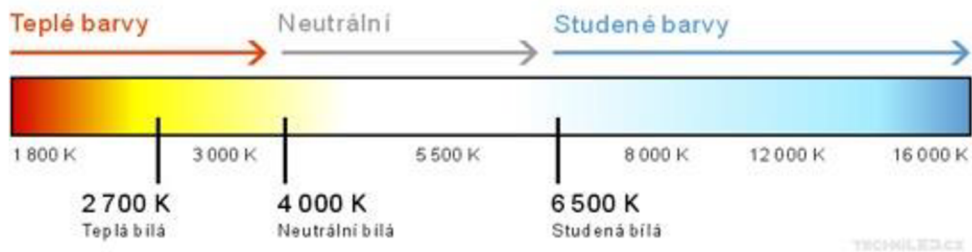
Světlo je elektromagnetické záření, které je vyzařováno v určitém pásmu vlnových délek. Vlnová délka ( $\lambda$ ), kterou můžeme spatřit lidským okem, se nachází v rozsahu 400-750 nm. Hodnota  $\lambda$  přitom odpovídá jednotlivým barvám světla. Zdrojem světla přitom je zahřáté těleso na teplotu alespoň 525 °C, kdy vzniká luminiscence, tedy elektrický výboj v plynech. Mezi další důležité parametry světelných zdrojů patří mimo vlnovou délku také teplota chromatičnosti. [18][42]



Obr. 1 - Barvy světla na základě vlnové délky ( $\lambda$ ) [14]

##### 3.1.1 Teplota chromatičnosti

Teplota světla (chromatičnost) udává barevné vnímání vyzařovaného světla. Základní jednotkou tohoto parametru je Kelvin [K], rozsah se pohybuje v rozmezí 1800-16000 K. Pro představu, dolní spektrum do 3500 K připomíná teplé světlo vyzařované například hořící svíčkou, hodnota 6500 K je standardizovaná pro denní světlo, a naopak hodnota nad 8000 K vnímáme jako namodralé až modré světlo. Snahou většiny konstruktérů osvětlovací techniky je zdroj s chromatičností denního světla, které tolik neunavuje oči řidiče. [18][53]



Obr. 2 - Chromatičnost světla [15]

### 3.1.2 Další fyzikální vlastnosti světla

Abychom dokázali porozumět jednotlivým parametrům světelných zdrojů, uvedu zde další důležité fyzikální aspekty světla:

- **Svítivost  $I$  [Cd]** - Základní světelná veličina, udávající hustotu světelné energie, vyzařované do určitého směru.
- **Světelný tok  $\Phi$  [lm]** - Množství vydané světelné energie za jednotku času (1s).
- **Měrný světelný výkon  $\eta$  [lm.W-1]** – Vztah mezi světelným tokem ( $\Phi$ ) a elektrickým příkonem světelného zdroje.
- **Světelné množství  $Q$  [lm.s]** - Součin světelného toku ( $\Phi$ ) a doby svitu světelného zdroje.
- **Jas  $L$  [cd.m-2]** - Podíl svítivosti ( $I$ ) plošky zdroje v daném směru a průmětu této plošky do roviny kolmé na daný směr.
- **Intenzita osvětlení  $E$  [lx]** – Hustota světelného toku ( $\Phi$ ) dopadajícího na plochu.
- **Osvit  $H$  [lx. S]** - Součin intenzity osvětlení ( $E$ ) s dobou trvání osvětlení [4][42][30]

## 3.2 HOMOLOGACE

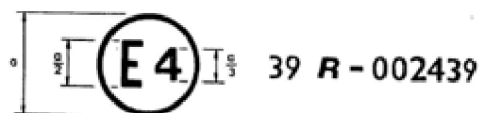
Již v úvodu jsem zmínil, že vlivem rozvoje automobilového průmyslu a s ním i osvětlovací techniky, byly zavedeny nejrůznější předpisy a normy. Ty jsou pro konstruktéry a výrobce závazné, tudíž se jimi musejí řídit. Díky těmto krokům je zaručeno, že světlomety jsou navrženy, kvalitně vyrobeny a testovány za účelem správné funkce, případně splnění nároků na bezpečnost a životnost. V právních úpravách jsou předepsány minimální požadavky, které musí osvětlovací technika splnit, aby mohla být homologována pro daný trh. [4][11]

### 3.2.1 České zákony, normy a předpisy

V České republice se výše zmíněné podmínky upravují vyhláškou Ministerstva dopravy č. 341/2002 Sb. o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích. [4][11][36]

### 3.2.2 Evropské zákony, normy a předpisy

Evropská nařízení jsou velmi často nadřazená českým vyhláškám, proto se homologace řídí předpisy Evropské hospodářské komise při OSN (EHK). Tyto předpisy musí vozidla a příslušenství splnit, aby mohla být v rámci smluvních stran Ženevské dohody o přijetí jednotných podmínek o homologaci, tj. ověřování shodnosti, a o vzájemném uznávání homologace výstroje a součástí motorových vozidel, uvedena na daný trh. Pokud vozidlo nebo jeho část (světlomet) splní zkoušky bez dalších úprav, jsou označeny evropskou homologační značkou. [4][11][36]



Obr. 3 - Homologační značka EHK na motorovém vozidle. [11]

Z homologačních předpisů EHK vyplývá rozdělení do tří skupin:

1. Součásti pro aktivní bezpečnost,
2. Součásti pro pasivní bezpečnost,
3. Součásti pro ochranu životního prostředí.

Osvětlovací technika spadá do první skupiny (Součástí pro aktivní bezpečnost), například:

- 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 48 – jednotná ustanovení pro homologaci vozidel z hlediska montáže zařízení pro osvětlení a světelnou signalizaci [4][36]

### 3.3 SVĚTELNÁ TECHNIKA

Mnohdy se setkáváme s pojmy a termíny, přičemž nevíme přesný význam. Zárným příkladem je rozdíl mezi světlometem a svítilnou.

#### 3.3.1 Světlomet

Jedná se o zařízení, které je konstruováno za účelem osvětlení dráhy před vozidlem a jeho neblíží okolí.

Dělí se na:

- **Tlumené světlo** – Světlo, které užíváme k osvětlení vozovky před vozidlem, nesmí však nepatříčně oslňovat řidiče v protisměru.
- **Dálkové světlo** – Světlo, které užíváme k osvětlení vozovky na velkou vzdálenost před vozidlem, pokud není nikdo v protisměru.
- **Světlomet do mlhy** – Světlo, které užíváme pro zlepšení osvětlení vozovky za snížené viditelnosti mlhou, sněžením nebo prachem. [4]

### 3.3.2 Svítilna

Jedná se o zařízení, které vysílá světelný signál, určený ostatním účastníkům silničního provozu. Signál upozorňuje na naši přítomnost nebo jízdní úkon, který budeme chtít udělat.

- Směrová svítilna – Svítilna, která informuje ostatní účastníky silničního provozu o změně směru.
- Denní svítilna – Svítilna, která činí vozidlo zepředu snadněji viditelné během jízdy ve dne.
- Přední obrysová svítilna – Svítilna, která upozorňuje na přítomnost a rozměry vozidla zepředu.
- Zpětné „couvací“ světlo – Svítilna, která upozorňuje na couvání vozidla.
- Brzdové světlo – Svítilna, která upozorňuje na zpomalování vozidla.
- Zadní mlhové světlo – Svítilna, která činí vozidlo zezadu snadněji viditelné při snížené viditelnosti mlhou, deštěm nebo sněžením.
- Odrazky – Svítidla, která jsou aktivována jiným než vlastním zdrojem. [4]

### 3.3.3 Historie

Osvětlení prošlo za posledních 100 let značným vývojem, počátek se datuje od roku 1896, kdy se objevily první olejové, později acetylenové lampy. S dalším vývojovým mezníkem přišla kolem roku 1913 společnost Bosch. Představila totiž první elektrický světlomet, skládající se z dynamu a akumulátoru. Zdroj světla však vyzařoval světelný kužel spíše do dálky než na silnici před vozidlem.

V roce 1924 jsme mohli poprvé přepnout tlumená a dálková světla, díky systému Bilux. Rok 1962 ukázal, kam se budou světlometry na delší dobu ubírat. Toho roku došlo k představení první halogenové žárovky. Po téměř 30 letech, tedy roku 1991, spatřila světlo světa xenonová výbojka pro tlumená světla, o 8 let později i pro dálková. Rok 2007 přinesl výkonný a úsporný světlomet tvořený technologií LED. Nejnovějším přírůstkem ke zdrojům světla je laser, sériově použit v roce 2014. [18][4][1][44]

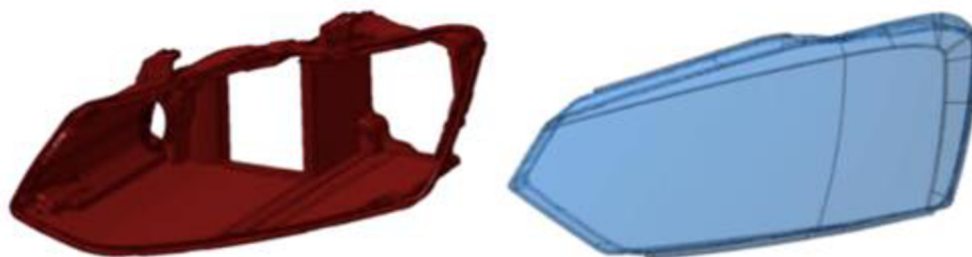
### 3.3.4 Přední světlomet a jeho části

Moderní světlometry se nejčastěji skládají ze tří základních částí, a to:

- pláště,
- dekoračních součástí,
- optického systému.

#### Plášť

Plášť je tvořen pouzdrem uzpůsobeným k přichycení světlometu ke karoserii a ochranným sklem, které chrání citlivé součásti před působením různých vlivů. Krycí sklo je vyrobeno z polykarbonátu o tloušťce kolem 2,5 mm. Aby bylo dokonale průhledné a vydrželo sluneční paprsky, popřípadě silnou chemii v mycích linkách je překryto speciálním lakem. Pokud se tento lak poškodí, světlomet zažloutne, zmatní a zhorší se jeho osvětlovací schopnosti. [18]



*Obr. 4 - Pouzdro a sklo světlometu s čirou optikou*

#### **Dekorační součásti předních světlometů**

Designéři věnují světlometům stále větší pozornost. Výsledkem jsou nejrůznější lišty, rámečky nebo tubusy, které jsou lisované a zabudované přímo do světlometu. Ty poté plynule navazují například na masku nebo jiný designový prvek vozidla.

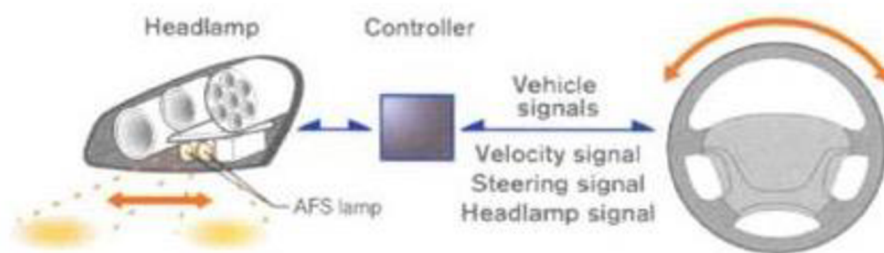


*Obr. 5 - Dekorační součásti světlometů*

#### **Optický systém**

Moderní světlomety jsou opatřeny čirou optikou, tedy nepotřebují usměrňovat paprsky pomocí dezénu krycího skla. Tato optika využívá světelnou energii mnohem lépe, čímž se zvyšuje účinnost. Rozptylu světla je docíleno vlivem rozdělení světlometu na komory pro jednotlivá světla (obrysová, tlumená, dálková). Odrazová plocha nynějších světlometů je tvořena plasty, na které je napařena vrstva hliníku, opatřena ochranným lakovým nebo křemenným povlakem. [16]

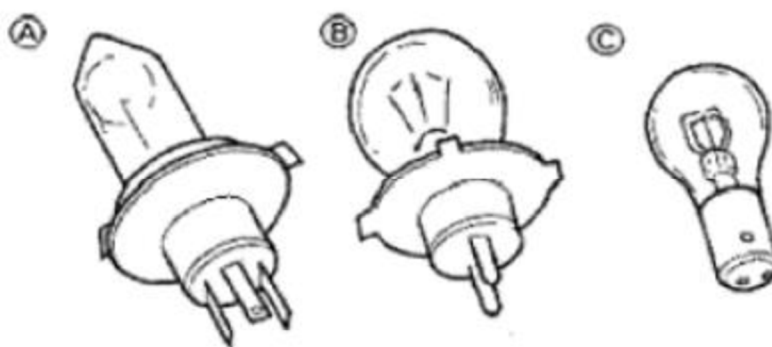
Optický systém se mimo jiné stará o řízení světelného kuželu z hlediska intenzity nebo dynamiky v případě AFL světlometů. Technologie AFL dokáže přizpůsobit kužel aktuální rychlosti vozidla, úhlu natočení volantu nebo povětrnostním podmínkám. Korekce je prováděna pomocí speciálních modulů, projektorů nebo čočky. [34][19]



Obr. 6 - AFL adaptivní světlomety [19]

### 3.3.5 Patice

Patice je nezbytností světlometů, plní hned několik funkcí. Spolehlivě uchycuje žárovky, aby nedocházelo vlivem otřesů ke změně polohy v optice a umožňuje také poměrně dostupnou výměnu v případě znehodnocení. Patice jsou standardizovány a přiřazeny k jednotlivým druhům světelných zdrojů. [4][16][33]



Obr. 7 - Typy žárovek a patic pro motorová vozidla [16]

A – halogenová žárovka určená pro hlavní světlomet, B – klasická dvouvláknová žárovka určená pro hlavní světlomet, C – žárovka určená pro směrové nebo koncové brzdové světlo.

#### Bajonetová patice

Nejrozšířenějším typem je bajonetová patice, přitmelená přímo k baňce. Zadní strana je osazena kontakty podle typu žárovky. Ukostření probíhá prostřednictvím samotné patice. Využívají se nejčastěji pro signalizační světla, kde není nutné dodržení přesné polohy.

#### Přírubová patice

Dalším typem je přírubová patice, kterou můžeme najít zejména v hlavních světlometech. Jejich výhodou je velmi přesné držení polohy žárovky v optickém systému. Na patici je výrazná příruba s trojicí aretačních výstupků sloužících pro správnou montáž žárovky.

### Sulfidová patice

Tato patice má velmi snadný způsob montáže žárovky, stačí ji pouze zasunout mezi dvojici pružných kontaktů. Zcela se obejde bez aretačních výstupků. Používá se zejména pro osvětlení interiéru. [16][33]

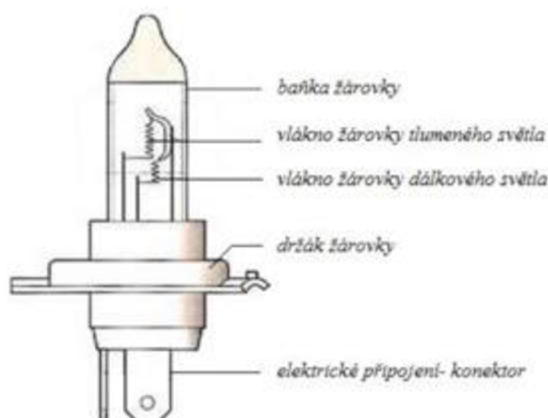
## 3.4 DRUHY ZDROJŮ OSVĚTLENÍ

Nyní se ve světlometech moderních automobilů objevují čtyři druhy zdrojů světla, my se však budeme zabývat pouze třemi nejpoužívanějšími, a to halogenovými žárovkami, xenonovými výbojkami a LED technologií. Čtvrtým zdrojem je laser, který je zatím pouze doplňkem LED světlometů, slibuje však dosvit až 2000 m, což žádná současná technologie neumožňuje.

### 3.4.1 Halogenové žárovky

Halogenové žárovky jsou ve světlometech zatím stále nejpoužívanější zdrojem světla. Skládají se z:

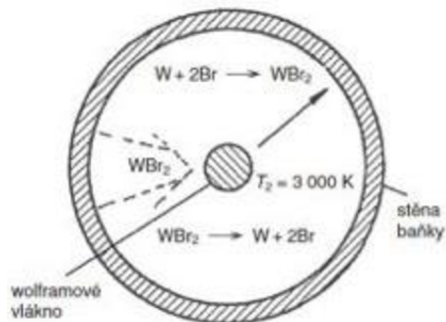
- baňky (křemíkové sklo),
- vláken pro tlumené a dálkové světlo,
- držáku,
- patice.



Obr. 8 - Halogenová žárovka [18]

Svůj název dostaly od své náplně, tedy sloučenin obsahující halogen (bromovodík) nebo halogenové uhlovodíky. Vlivem vysoké teploty dochází k halogenovému cyklu, tedy rozkladu sloučenin halogenu, uvolnění samotného halogenu a vypařování wolframu z vlákna. Ten se poté dostává k chladnější stěně baňky, kde je nižší teplota. Díky přítomnosti halogenu se na něj wolfram naváže a vytvoří halogenid wolframu, který se během difúze vrací zpátky k vláknu a proces se opakuje. Tento typ žárovek dosahuje teploty kolem 3 000 °C. [9][32][31]





Obr. 9 - Halogenový cyklus [24]

Halogenové žárovky mají spoustu výhod, a právě proto se těší takové oblibě. Mezi ty nejpodstatnější patří například výborné podání barev, příjemné přirozené světlo, okamžitý start, kompaktní rozměry, nízké náklady na výrobu, a hlavně snadná výměna. Mají však také své nevýhody, zejména nižší výkon a k tomu přímo úměrný menší dosvit nebo velmi krátká životnost. Avšak jako jediný zdroj světla produkuje parazitní světlo, které v některých případech dosvit naopak zvyšuje. [25][38]



Obr. 10 - Halogenový světlomet (Škoda Octavia III. facelift) [40]

#### Druhy halogenových žárovek

- H1 – dálková světla
- H3 – mlhová světla
- H4 – dvouvláknová žárovka pro tlumená a dálková světla u starších světlometů
- H7 – tlumená světla u moderních světlometů
- BlueVision, Cool Blue, Xenon effect – speciálně modifikované halogenové žárovky s vyšší svítivostí a lepšími vlastnostmi. [4]

### Vlastnosti halogenových žárovek

Halogenové žárovky dosahují těchto výkonových parametrů a vlastností viz. Tab. 1 - Vlastnosti halogenových žárovek.

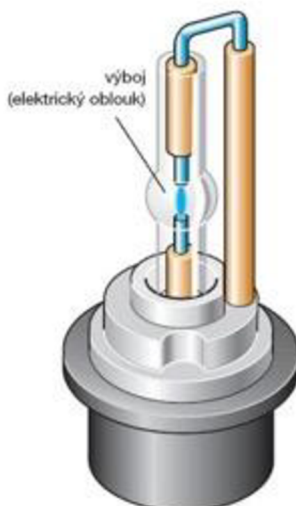
Tab. 1 - Vlastnosti halogenových žárovek [4]

|                        |                      |
|------------------------|----------------------|
| Příkon                 | 55-65 W              |
| Světelný tok           | 1500-2000 lm         |
| Měrný světelný tok     | 26 lmW <sup>-1</sup> |
| Teplota chromatičnosti | 2900-3100 K          |
| Životnost žárovky      | 400-550 hod.         |

### 3.4.2 Xenonové výbojky

Xenonové výbojky, někdy také HID (High-Intensity Discharge) patří mezi vysokotlaké, protože tlak v baňce dosahuje hodnoty 7 MPa. Oproti halogenovým žárovkám jsou schopny vytvořit až dvojnásobné množství světla, konkrétně 3200 lm. Skládají se z:

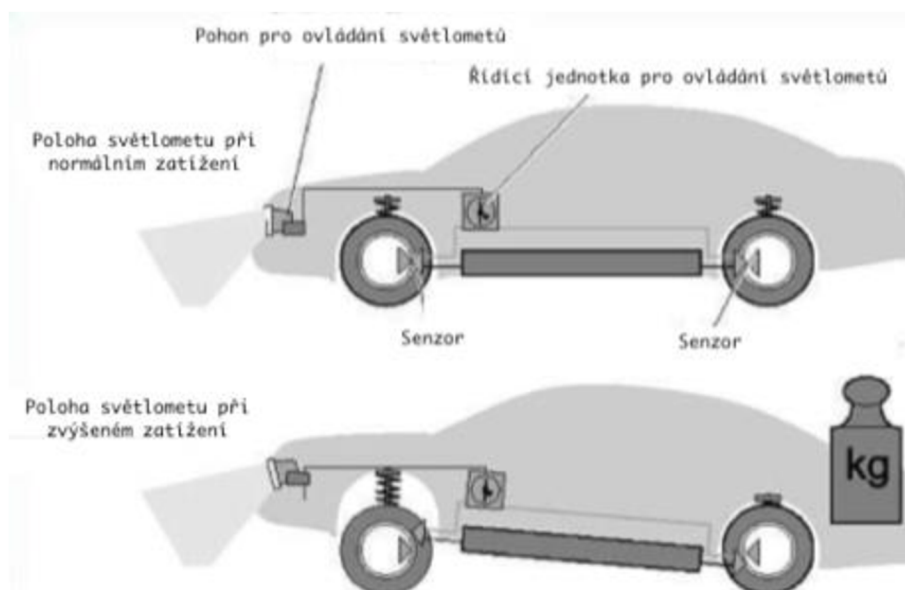
1. baňky,
2. dvojice wolframových elektrod.



Obr. 11 - Xenonová výbojka [39]

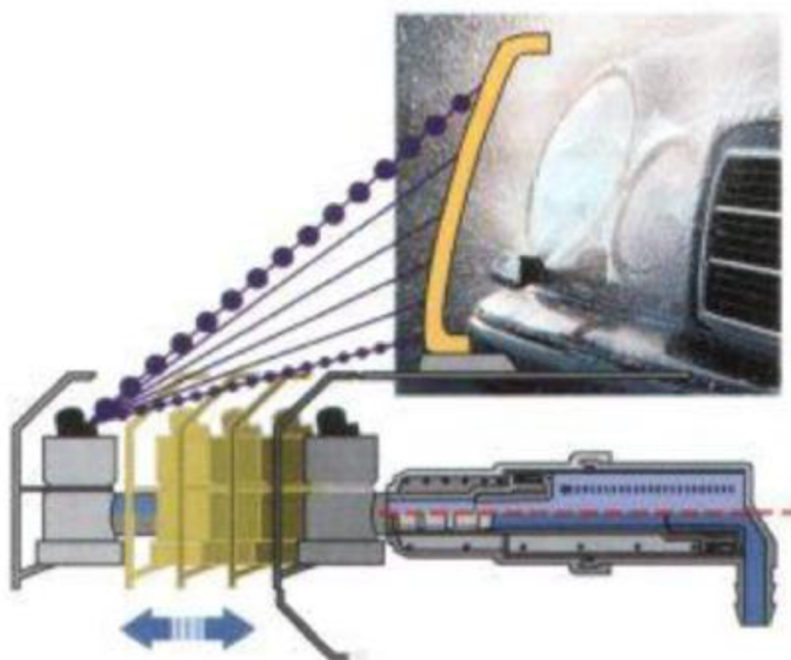
Světlo je ve výbojce vytvořeno mezi dvěma wolframovými elektrodami, vlivem zářením par kovů a vzácného plynu xenonu. V místě, kde má baňka velikost hrášku, dochází vlivem vysokého napětí 24 kV k přeskoce výboje mezi elektrodami, ionizaci náplně a vzniku elektrického oblouku. Výboj nejprve proběhne ve vzácném plynu, později v kovech, přičemž se zvyšuje počet halogenidů xenonu.

Typická záře světla je vytvořena štěpením halogenidů na atomy halogenu a kovu při teplotě asi 700 °C. Tyto atomy se později difundují v chladnějších místech baňky a opětovně slučují na původní sloučeniny.



Obr. 12 - Samočinná regulace sklonu světlometů [51]

Xenonové světlomety jsou poměrně drahé, způsobuje to fakt, že pro svou správnou funkci vyžadují další komponenty. Patří sem elektronická řídicí jednotka, vysokonapěťový startér, systém automatické regulace sklonu světel nebo integrované ostřikovače světlometů. Xenonové světlomety se objevují ve dvou provedeních. První je v kombinaci s halogenovou žárovkou, která se stará o dálková světla nebo ve variantě bi-xenonu, kde výbojka obstarává jak tlumená, tak i dálková světla. Přepínání je realizováno pomocí elektromagnetické clonky. [18][4][46]



Obr. 13 - Teleskopický ostřikovač světlometu [51]

Hlavními výhodami xenonového zdroje světla je jeho velmi široký paprsek světla, jehož barva se přibližuje dennímu spektru. Ten osvětluje celou plochu před vozidlem a také blízké okolí. Dále lze brát jako výhodu nízký odběr proudu a poměrně vysokou životnost. Co se týká nevýhod, patří sem ostré ohraničení snižující rozptyl i dosvit nebo finanční náročnost spojená s výměnou pouze v servisu. [38]



Obr. 14 - Xenonový světlomet (Škoda Octavia III.) [40]

#### Druhy xenonových výbojek

Jednotlivé druhy xenonových výbojek mají svá označení, rozlišující jejich konstrukci. Například písmeno „D“ určuje, že se jedná o xenonovou výbojku. K písmenu je však přidáno ještě číslo, označující integraci roznětky pro generování vysokého napětí. Lichá čísla (D1, D3, D5) roznětku obsahují, sudá (D2, D4), nikoliv. Posledním identifikátorem je další písmeno, umístěné na konci řady. Je-li tam „S“, jedná se o světlomet s čočkou, v opačném případě „R“ značí reflexní světlomet. [39]

#### Vlastnosti xenonových výbojek

Xenonové výbojky dosahují těchto výkonových parametrů a vlastností viz. Tab. 2 - Vlastnosti xenonových výbojek.

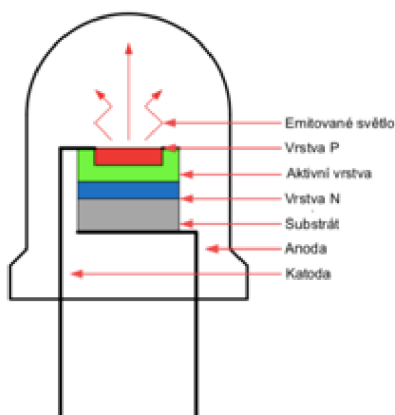
Tab. 2 - Vlastnosti xenonových výbojek [4]

|                        |                |
|------------------------|----------------|
| Příkon                 | 25-35 W        |
| Světelný tok           | 1600-3500 lm   |
| Měrný světelný tok     | 80-89 lmW-1    |
| Teplota chromatičnosti | 4000-4250 K    |
| Životnost výbojky      | 1500-3000 hod. |

### 3.4.3 LED

Zdrojem světelného paprsku je světlo emitující dioda LED (Light Emitting Diode). Jedná se o polovodičovou součástku skládající se z P-N přechodu, kterým prochází v propustném směru elektrický proud, který emituje nekoherentní světlo s úzkým spektrem, které je závislé na chemickém složení použitého polovodiče. Historickým mezníkem ve vývoji LED byl vznik modré diody, který umožnil prudké rozšíření této technologie například do automobilových světlometů.

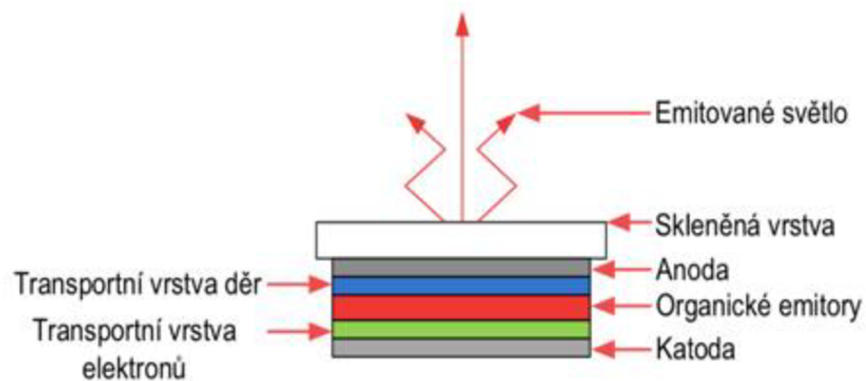
LED světlometry se vyznačují vysokou odolností, spolehlivostí, nízkým příkonem, rychlým náběhem do plné svítivosti a produkcí až 100 lm na jeden vynaložený Watt energie. Tyto důvody zapříčinily jejich další vývoj a v dnešní době velkou popularitu a masové nasazení v automotive. Mezi nevýhody patří velmi ostré rozhraní mezi světlem a tmou. [22]



Obr. 15 - Struktura LED [7]

Vlivem elektroluminiscence vyzařuje LED i jiné druhy záření ze spektra neviditelného světla. Pásma vyzařování diod se pohybují v rozmezí od ultrafialových až po infračervené pásmo. Problémem je emitování bílého světla. Existují dvě metody, jak toho docílit. První je integrace hned tří čipů různých barev, které dohromady vytvoří ono bílé světlo. Druhou metodou je využití luminoforu, který světlo převedena na žluté světlo a vlivem mísení vznikne bílý odstín, dokonce výrazně se podobající dennímu světlu. [7]

Dalším vývojovým mezníkem LED byla konstrukce OLED. Jedná se ve své podstatě o diody, které mají mezi anodou (transparentní materiál) a katodou (kov) několik dalších vrstev organické látky. Vrstvy slouží jako přenašeč elektronů a děr na vyzařovací vrstvu. Vlivem střetu kladně a záporně nabitých nábojů dochází ke vzniku světla o velmi vysoké intenzitě. Své využití našly tyto diody v displejích a zobrazovačích s různorodou konstrukcí a účelem využití. Nevýhodou OLED jsou vyšší pořizovací náklady a vlastnosti organických materiálů, například přirozené stárnutí a náchylnost k poškození. V osvětlovací technice vozidel se tato technologie využívá například v dynamických směrových světlech. [7][52]



Obr. 16 - Struktura OLED [7]

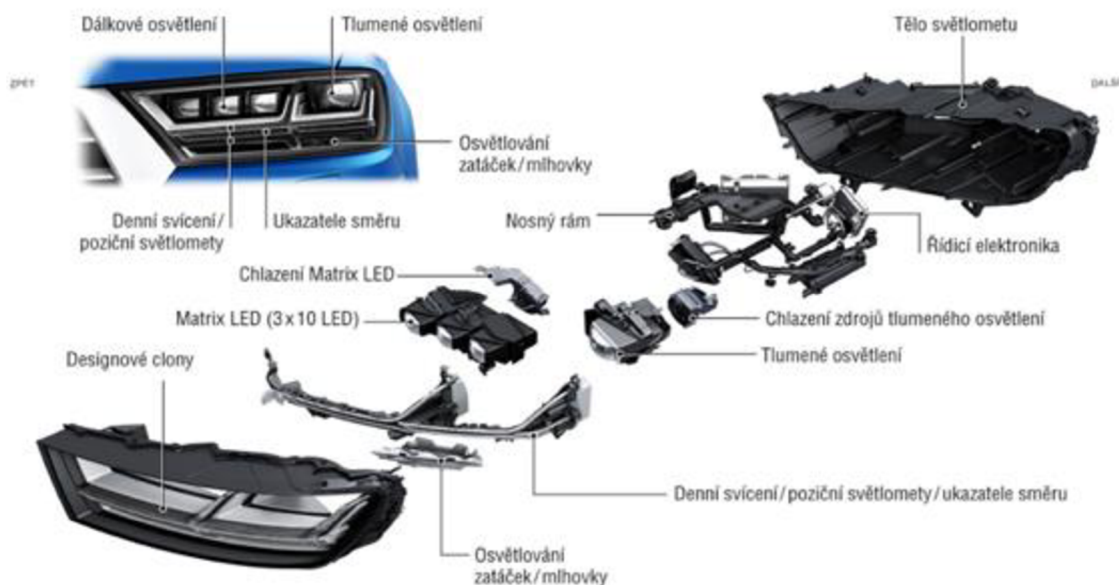
### LED Matrix technologie

Průkopníkem LED světlometů byla společnost Audi, která posunula osvětlovací techniku o několik let dopředu díky své technologii Matrix LED, se kterou přišla v roce 2013. Ta spočívá v tom, že je světlomet sestaven z několika dalších modulů vytvořených určitým počtem LED (nejčastěji 25), rozdělených do pěti samostatných modulů. Výhodou této technologie je režim dálkových světel, který je automaticky ovládán cíleným rozsvěcováním a zhasínáním jednotlivých LED.



Obr. 17 - LED modul [50]

Řízení modulů probíhá na základě informací z kamery umístěné nad čelním sklem, polohy volantu a GPS souřadnic navigačního systému. Podle aktuální situace dochází k regulaci intenzity a rozložení světelného kužele tak, aby měl řidiči nejideálnější podmínky pro jízdu, ale zároveň nedocházelo k oslnění ostatních účastníků provozu. Nejmodernější funkcí je spolupráce inteligentních světlometů Matrix se systémem nočního vidění. Systém je schopen detekovat chodce a upozornit jej na blížící se vozidlo trojitým bliknutím cíleného světelného paprsku. [22]



Obr. 18 - LED Matrix (Audi) [22]

### LED Surface technologie

Dalším druhem LED technologie, se kterou se můžeme v automobilovém průmyslu setkat je tzv. LED Surface. Ta rozšiřuje možnosti designérů z hlediska prostorové náročnosti. Světlomety jsou poskládané z několika plošných modulů, které mají tloušťku kolem 3,5 mm. Díky jejich kompaktnosti je lze skládat vedle sebe i za sebe, popřípadě různě tvarovat. Výhodou je možnost svícení různými barvami na jednom modulu, individuální ovládání na jednotlivém panelu nebo vytvořením nejrůznějších animací, například při odemykání/zamykání vozidla. [50]



Obr. 19 - LED Surface technologie [22]

### LED Digital Light

Nejmodernějším počinem jsou LED světlomety Digital Light od Mercedesu. Jejich světelný kužel má daleko větší přesnost v porovnání s vícebodovými LED. Systém je řízen kamerami a palubními čidly, přičemž dokáže na vozovku promítat nejrůznější symboly. Například navigační pokyny, dopravní značky nebo varování před nepříznivými meteorologickými jevy. [35]



*Obr. 20 - LED Digital Light (Mercedes-Benz) [35]*

Výhoda moderních LED světlometů spočívá v tom, že se jejich světlo podobá dennímu, jsou bezúdržbové, mají vysokou životnost a díky nejrůznějším adaptivním systémům dokáží protijedoucí automobil "vystínovat". Vysoký světelný výkon je však vykoupen velkým zahříváním, nutností chlazení a vyšším příkonem. Je-li narušena jedna z diod, světlomet se musí kompletně vyměnit.



*Obr. 21 - Full-LED světlomet (Škoda Octavia III. facelift) [27]*



## Vlastnosti LED

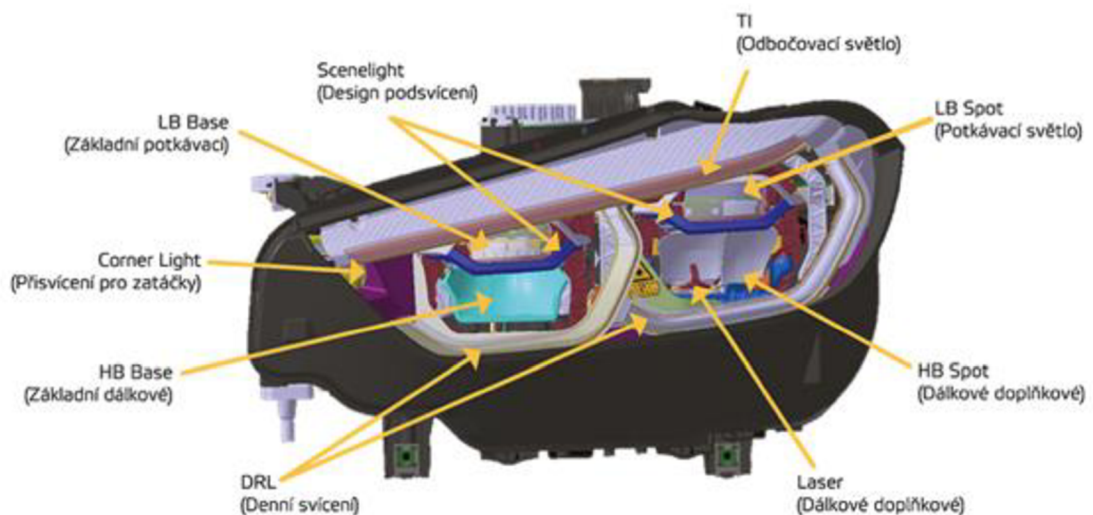
Světlometry LED a FULL LED dosahují těchto výkonových parametrů a vlastností viz. Tab. 3 - Vlastnosti LED.

Tab. 3 - Vlastnosti LED [4]

|                        |                         |
|------------------------|-------------------------|
| Příkon                 | 20-50 W                 |
| Světelný tok           | max. 250 lm/chip        |
| Měrný světelný tok     | 186-200 lmW-1           |
| Teplota chromatičnosti | 6100 K                  |
| Životnost              | 50 000-100 000 hod.     |
| Značení                | single chip, multi chip |

### 3.4.4 Laserové světlometry

Bezesporu zajímavým nápadem bylo využití laserového paprsku ve světlometech automobilu. Paprsek umožňuje produkovat kužel s extrémně vysokou intenzitou světelného toku. Výsledkem je podstatně vyšší dosvit a také velmi příjemná chromatičnost podobající se dennímu světlu. Nejmodernější světlometry instalované v modelu BMW řady 8 obsahuje dvojici spolupracujících modulů s hlavními funkcemi ("Base" a "Spot"). V budoucnu se počítá s větším nasazením a také dalším vývojem, například "Matrix laser technologie". [21]



Obr. 22 - Skladba laserového světlometu BMW řady 8 [21]

### Vlastnosti laserových světlometů

Laserové světlometry dosahují těchto výkonových parametrů a vlastností viz. Tab. 4 - Vlastnosti laserových světlometů.

Tab. 4 - Vlastnosti laserových světlometů [21][41]

| 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.   |         |                       |        |                |

## 3.5 NEJPOUŽÍVANĚJŠÍ OPTICKÉ SYSTÉMY

Všechny aktuálně vyráběné automobily disponují asymetrickým rozdělením světla. Znamená to, že světelný kužel je rozdělen nerovnoměrně po vozovce. Výsledkem je výrazné zvýšení dosahu tlumených světel a zamezení oslnění protijedoucích vozidel. [52]

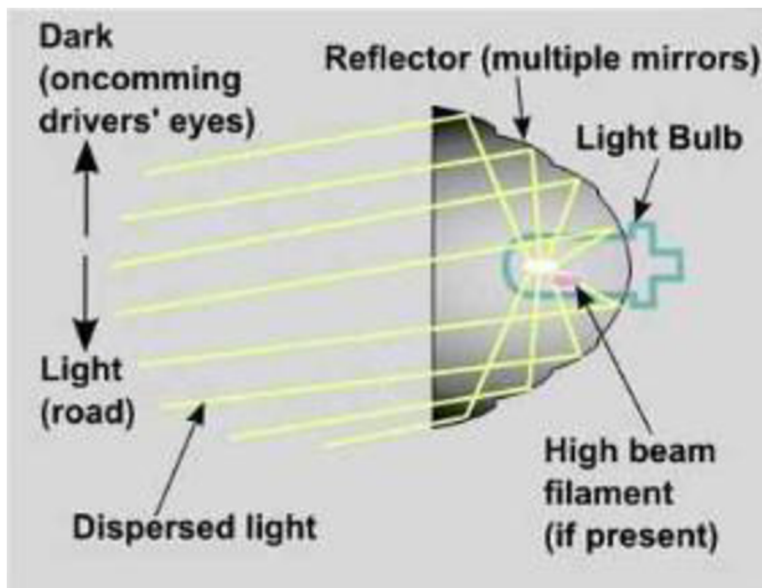


Obr. 23 - Asymetrické rozdělení světla [52]

### 3.5.1 Parabolické a reflektorové světlometry

Důležitá odrazová plocha je tvořena částí rotačního paraboloidu, ten je vytvořen otočením samotné paraboly kolem osy. Paraboloid má jediné ohnisko a plocha ovlivňuje výsledný průběh světelného toku. Umístění halogenové žárovky do ohniska má za následek odraz světla od plochy rovnoběžné s osou paraboloidu (dálkové světla). Je-li však žárovka naopak před ohniskem, světlo se odráží směrem k ose (potkávací světla). Parabolické světlometry také vytvářejí rozptylový kužel světla vlivem přítomnosti přímých paprsků. [4][16]

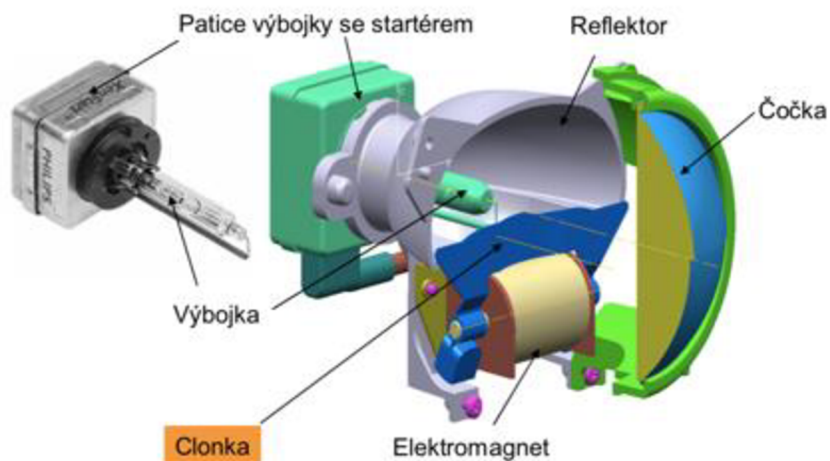
Dalším vývojovým stupněm jsou tzv. reflektorové světlomety. Ty jsou vytvořeny pomocí inteligentního rozložení plochy reflektoru na části. Toto nepravidelné rozložení umožňuje odrážet světelné paprsky do specifických částí vozovky. Reflektory se zcela obejdou bez optických systémů. Toto řešení vévodí moderním světlometům s halogenovými žárovkami. [51]



Obr. 24 - Reflektorový světlomet [51]

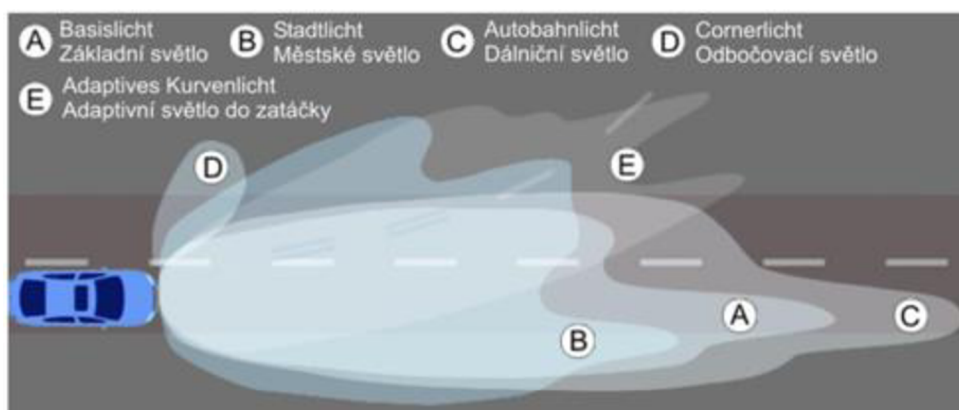
### 3.5.2 Bi-xenonový světlomet s projekční jednotkou a adaptivní funkcí (AFL)

Světlomety jsou vybaveny pevně zabudovanou xenonovou výbojkou a přepínání mezi tlumeným a dálkovým světlem je realizováno pohyblivou clonou. Tím dochází k vytvoření předepsaného rozhraní (světlo–stín–tma). Je-li clona v horní poloze, znamená to režim tlumených světel. Naopak dolní poloha znamená široký rozptyl světla, žádoucí pro režim dálkových světel. Výhodou projekčních světlometů jsou poměrně kompaktní rozměry a téměř okamžitá změna polohy clony. Většinou je tento systém doplněn o adaptivní funkci.



Obr. 25 - Bi-xenonový světlomet s projekční jednotkou [51]

Přítomnost adaptivní funkce se značí zkratkou AFS či AFL. Pokročilejší systém AFL je tvořen elektromechanickým systémem a umožňuje přizpůsobovat kužel světla aktuálním jízdám a světelným podmínkám. Dokáže kombinovat až 5 režimů viz. Obr. 26 - Adaptivní světlometry AFL. Uvádí se, že systém zlepšuje viditelnost až o 90 %. Součástí jsou přídavné světlometem (Corner Light), které usnadňují odbočování a viditelnost do zatáčky za snížené viditelnosti tmou. Tento světlomet bývá integrován přímo v hlavním nebo mlhovém světlometu. K aktivaci dochází při rychlostech menších než 50 km/h vlivem sepnutí směrovky. [4][7]



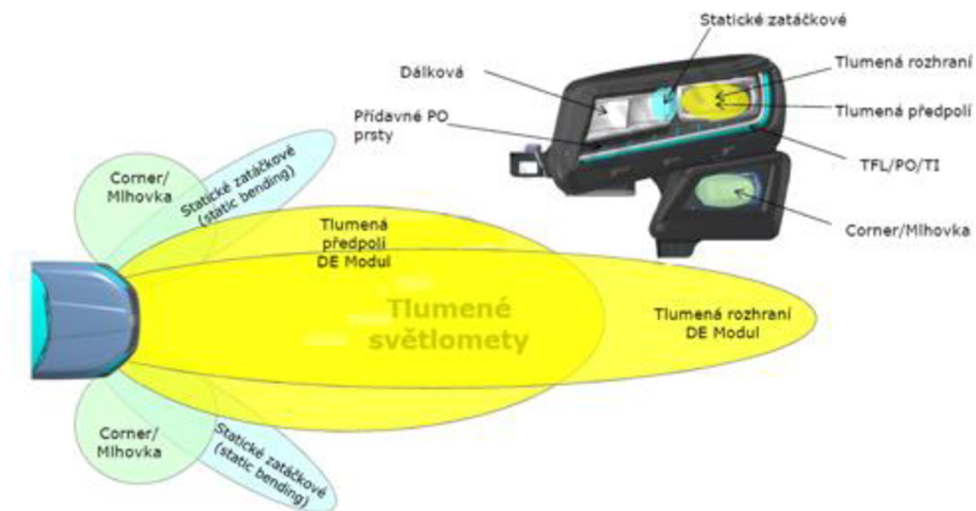
Obr. 26 - Adaptivní světlometry AFL [51]

### 3.5.3 Full LED světlomet s adaptivním plně statickým systémem

Světlomet tvoří projekční modul a reflektor (Static Bending), který osvětluje okraje vozovky. Systém funguje na podobném principu jako u xenonových světlometů s funkcí AFL. Adaptivita je však docílena vlivem individuálního spínání a plynulé regulace jednotlivých diod. Systém umožňuje provozovat světelný kužel v 8 světelných módech.

Zmíním však jen základní trojici a to:

- Village mode – vyznačuje se širokým světelným kuzelem světla a intenzivnějším osvětlením předpolí.
- Country mode – standardní asymetrické rozložení světla s možností přisvícení do zatáček.
- Motorway mode – zvýšení dosahu světlometů (zvednutím HDG hranice o  $0,23^\circ$  a zvýšení světelného výkonu LED).



Obr. 27 - LED světlometry s adaptivním statickým systémem [29]

Další variantou, která se využívá je dynamické natáčení LED modulů ve světlometech nebo využití rozšiřujících funkcí jako vystínování protijedoucích automobilů, dopravních značek, chodců či spolupráce s nočním viděním (infračervená kamera). [20]

### 3.6 SKLADBA LIDSKÉHO OKA

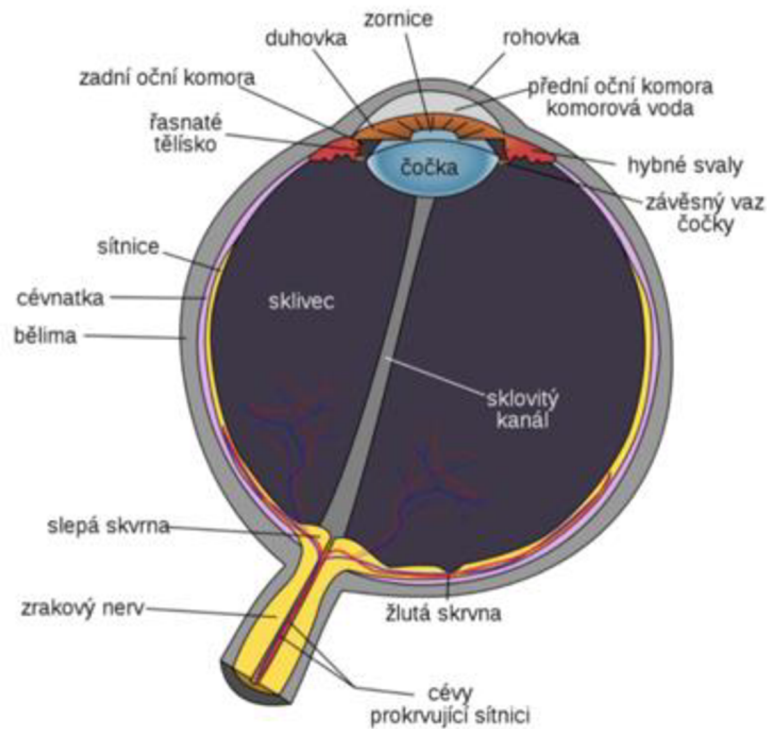
Lidské oko je recepční orgán zrakového ústrojí, který se skládá ze tří vrstev. První z nich je vazivová, tvořena rohovkou. Druhá je cévnatá vrstva, složená z několika částí a třetí je nervová.

Prostřední vrstva (cévnatá) patří mezi nejdůležitější a je složena z:

- cévnatky – Plní funkci výživy oka a napomáhá při ostření do dálky.
- řasnatého tělíska – Závěs pro uchycení čočky pomocí systému jemných vláken.
- duhovky – Rozevívá a svírá čočku na základě světelného toku.
- zornice – Otvor v duhovce, kterým prochází světlo.

Nervová vrstva oka je složena ze sítnice, kterou tvoří fotoreceptory (tyčinky a čípky). Tyčinek se v lidském oku nachází asi 120 milionů. V porovnání s čípkami jsou podstatně citlivější, proto dokáží reagovat na světlo s nižší intenzitou. Slouží k detekci intenzity světla, výsledný obraz je černobílý. Naopak čípků se nachází v oku asi poloviční množství, slouží ke snímání barev. způsobují tedy barevné vidění. Místo, kde je nejvyšší koncentrace čípků se jmenuje žlutá skvrna. Zde je vidění nejostřejší.

V samotném středu oka se nachází sklivec a rosolovité těleso, které vyplňuje vnitřní oko. Dále je zde přítomna čočka, přední a zadní komora, a to celé vyplněno komorovým mokem [3].



Obr. 28 - Skladba lidského oka [3]

### 3.7 VNÍMÁNÍ

Jedním z elementárních psychických procesů je vnímání (percepce). Jedná se o detekci podnětů, působících na naše smysly. Vnímání můžeme například barvu, chuť nebo také bolest. Základním prvkem jsou smyslové receptory, které ve vědomí utvářejí subjektivní odraz reality. Mnohdy je vnímání individuální, protože stejný předmět nebo jev mohou dva jedinci vnímat naprosto odlišně. Během života dochází k jeho významnému vývoji. Nejprve jsme schopni vnímat pouze předměty, případně jejich vlastnosti. Později však totožný předmět chápeme naprosto jinak, například v kontextu s určitou situací nebo dějem.

Existují faktory, které dokáží tento psychický proces výrazně ovlivnit:

- únava,
- agresivita,
- onemocnění,
- stres. [10][37][17]

### 3.7.1 Vnímání řidiče

Je zcela nezpochybnitelné, že v průběhu řízení vozidla, je stěžejní řidičův zrak. Tím je přijato až 90 % všech informací. Mnohdy však vidět nestačí, nedostanou-li se pozorované informace do řidičova vědomí, nedojde k potřebnému ovlivnění chování a tím snížení rizika vzniku dopravní nehody.

Nezbytností pro tzv. předvídavý způsob jízdy je plná koncentrace, vnímání a správná identifikace vjemu. Tyto aspekty závisí na komfortu řidiče, jeho únavě a případné vadě zraku. Vidění bez jakékoliv poruchy je předpokladem pro bezpečný provoz. Na českých silnicích je asi 71 % řidičů, kteří trpí různými vadami. Tito řidiči způsobí dle odhadu asi 10 % nehod.

Pro řízení je důležitá jednak oblast ostrého vidění, která je sice úzká ale viděna ostře a v plných barvách. Stejně tak i oblast periferního vidění, která je sice široká, nepříliš ostrá ale pro vnímání pohybu plně dostačující. [37][17][47]

## 3.8 ADAPTACE OKA NA TMU

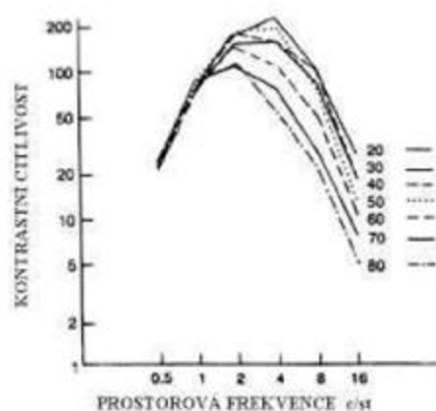
Proces adaptace lidského oka na tmu je daleko složitější než v případě adaptace na světlo. Dochází k rozšíření zornice vlivem inervace synaptickými vlákny v Budgeovu centru. To způsobuje průnik většího množství světla do oka a rychlejší adaptaci na tmu. Adaptované oko následně vidí obraz, který je neostrý a bez barev. Jisté omezení se týká také vnímání intenzity osvětlení. Přizpůsobování oka na tmu lze rozdělit do dvou fází:

- fotopická fáze (přizpůsobování na světlo)
- skotopická fáze (přizpůsobování na tmu)

Během prvních 5-10 minut dochází k doznívání fotopické fáze, jejíž ukončení je nutné pro začátek fáze skotopické. Naopak druhá fáze je podstatně pomalejší, popisuje se doba cca 30 minut. Během adaptace na tmu se zvýší původní citlivosti až pětkrát. Plné přizpůsobení oka na tmu se dostaví asi až po 1 hodině. [8]

## 3.9 KONTRASTNÍ CITLIVOST

Existuje hned několik odborných definic, které tuto citlivost popisují. Kontrastní citlivost můžeme například chápat jako převrácenou hodnotu práhu citlivosti, tedy nejnížší kontrast, který lidské oko rozliší. Nebo jako nejmenší hodnotu kontrastu, kdy je člověk schopen od sebe rozeznat dva různé světelné objekty. Německý fyzik Gustav Fechner dokonce dokázal vyčíslit velikost kontrastu asi na 1 % (0,01). [8][12][43]



Obr. 29 - Křivka kontrastní citlivosti [2]

Chceme-li kontrastní citlivost změřit, musíme se soustředit na tzv. prostorovou frekvenci. Ta je uváděna, v cyklech na úhlový stupeň [c/st]. Maximum citlivosti, které oko vnímá se pohybuje v rozmezí 3–6 c/st viz. Obr. 29. Čím vyšší frekvence, tím členitější cyklus, jemnější detail či linie. Naopak nízká frekvence značí velký objekt nebo tvar. Ve spojení s kontrastními prahy tvoří křivku kontrastní citlivosti, která má zvonovitý tvar. [8][12][43][2]

### 3.9.1 Snížení kontrastní citlivosti

Kontrastní citlivost má tendenci s věkem klesat. Zhoršení spočívá jak ve středních, tak i vyšších prostorových frekvencích. Příčin je hned několik a jsou vyznačeny viz. Tab. 5 - Příčiny snížení kontrastní citlivosti. [2]

Tab. 5 - Příčiny snížení kontrastní citlivosti [2]

| Příčina poklesu kontrastní citlivosti | Prostorová frekvence (ve které dojde ke snížení)                          |
|---------------------------------------|---|
| Věk                                   | Nižší, střední, vyšší   |
| Refrakční vady                        | Nízké vady – vyšší<br>Vyšší refrakční vady – střední až nižší             |
| Keratokonus                           | Nejprve nižší, později i vyšší  |
| Kontaktní čočky                       | Měkké kontaktní čočky – vyšší<br>Nošené kontaktní čočky – střední a vyšší |
| VPMD                                  | Nižší, střední, vyšší   |
| Diabetická retinopatie                | Nižší, střední, vyšší   |
| Neuritida zřakového nervu             | Nižší, střední, vyšší   |
| Amblyopie                             | Nižší, střední, vyšší   |
| Toxické látky                         | Alkohol - nižší, střední, vyšší<br>Organická rozpouštědla - střední       |
| Neurologické choroby                  | Nižší, střední, vyšší   |
| Metabolické poruchy                   | Střední a vyšší   |



## 3.10 DOHLEDNOST A DOSVIT SVĚTLOMETŮ

Vzhledem k problematice světlometů je nutné uvést dvojici pojmů, a to dosvit a dohlednost. První zmíněný pojem dosvit, označuje vzdálenost před vozidlem, kterou světlomet při daném nastavení dokáže osvětlit. Dohlednost je naopak vzdálenost, kdy je řidič schopen při jízdě za snížené viditelnosti tmou, prvně zpozorovat objekt. Dohlednost je závislá na dosvitu, výrazně ji ovlivňují vlastnosti objektu v jízdním koridoru. Při jízdě v extravilánu bez veřejného osvětlení je řidič odkázán pouze na světlometry svého automobilu. [7]

### 3.10.1 Měření dosvitu světlometů

Dosvit světlometů lze změřit pomocí:

- sklonu tlumených světlometů,
- luxmetrem,
- subjektivním posouzením vzdálenosti.

#### **Sklonem tlumených světlometů**

Dosvit světlometů na vozovku před vozidlem je dán dvěma základními parametry, výškou vztažné (referenční) osy a svislým sklonem potkávacích světél. Vztažná osa je stanovena výrobcem, prochází samotným světelným zdrojem a je rovnoběžná s podélnou střední rovinou vozidla i rovinou, na níž vozidlo stojí. Vyústěním referenční osy je vztažný střed. Na světlometu je zpravidla vyznačen malým kroužkem. Parametr svislého sklonu má procentuální hodnotu a je vyznačen v bezprostřední blízkosti světlometu. [7][6]

$$S_r = \frac{L_s}{S_s \times 10^{-2}}$$

kde:

$S_r$  dosvit světlometů na vozovku [m]

$L_s$  výška referenční osy světlometu [m]

$S_s$  svislý sklon světlometů [%]

#### **Luxmetrem**

Dosvit světlometů je měřen na základě intenzity osvětlení v úrovni vozovky. Výsledkem je graf závislosti osvětlení (lx) na vzdálenosti (m) od zdroje světla. Jednotlivé vzdálenosti lze z grafu jednoduše odečítat a určovat tak konkrétní dosvit světlometů. [7]

#### **Subjektivním posouzením vzdálenosti**

Dosvit je odvozen od stínu, přičemž měření probíhá tak, že dochází ke vzdalování figuranta od zdroje světla. Ve směru podélné osy se sleduje, do jaké vzdálenosti je tvořen za obuví stín. Jakmile stín zmizí, figurant je mimo dosvit světlometů. [7]

### 3.10.2 Oblast zakrytého výhledu

Dojde-li ke střetu automobilu s chodcem, zejména při jízdě za snížené viditelnosti tmou, stanovuje se tzv. oblast zakrytého výhledu (OZV). Jedná se o možnost spatření překážky nebo druhého neosvětleného účastníka provozu (chodce, cyklisty), která je dána kromě intenzity a seřízením světlometů, také schopností překážky odrážet světlo ze světlometů vozidla a kontrastem vůči okolí. Nedisponuje-li překážka zvláštním zařízením pro odraz světelných paprsků (odrazka), je obvykle vzdálenost, na kterou je schopen řidič překážku spatřit, kratší než samotný dosvit světlometů. [7][6]

## 4 METODY ŘEŠENÍ

Byl zvolen experimentální pokus s cílem porovnat světelné parametry různých světelných druhů světlometů (halogen, xenon, LED) u shodného typu vozidla v závislosti na viditelnosti různě oděného chodce v intravilánu bez veřejného osvětlení.

### 4.1 SEŘÍZENÍ SVĚTLOMETŮ

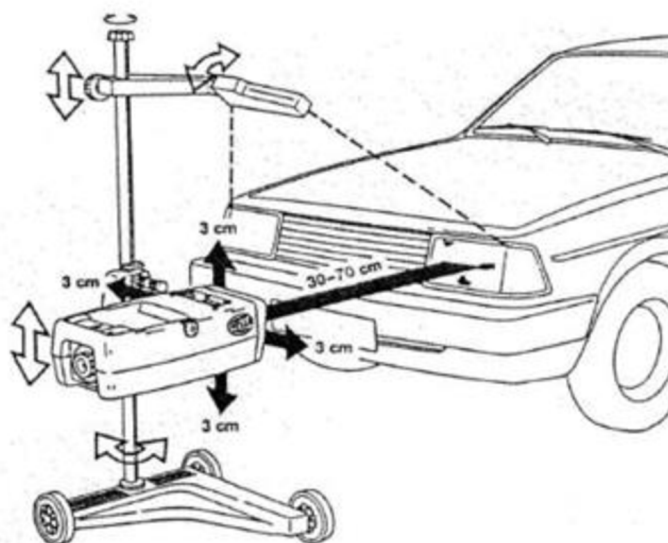
Abychom docílili správné funkce světlometů, potažmo korektních výsledků měření, bylo nutné světlometry seřídit. Kontrolu seřízení lze provádět prostřednictvím:

- kontrolní stěny,
- optických přístrojů (regloskop).

Zákon č. 56/2001 Sb. O podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích uvádí, že základní sklon potkávacích světlometů, musí být na vozidle viditelně vyznačen. Nejčastěji se tak děje v blízkosti světlometu nebo štítku výrobce. Tento parametr se kontroluje na stanicích technické kontroly. Případné seřízení sklonu světlometů je jediný úkon, který provádí. [55]

Samotný sklon potkávacího světla nesmí být větší o více než 10 cm/10 m (–1 %) a také nesmí být menší o více než 5 cm/10 m. (–0,5 %). Pokud není sklon potkávacích světel výrobcem uveden, základní nastavení činí 15 cm/10 m (–1,5 %). Dálková světla se seřizují dle hodnoty uvedené výrobcem, avšak mohou být posunuty horizontálně  $\pm 20$  cm/10 m a vertikálně  $\pm 20$  cm/10 m. [7][11]

Měření vozidel proběhlo v autorizovaném servisu ŠKODA AUTO AUTONOVA Brno na nivelované ploše, odpovídající podmínkám pro měření regloskopem. Pevná pojezdová dráha regloskopu musí splňovat odchylku od roviny nepřevyšující +/- 0,5 mm na 1 m. [4]



Obr. 30 - Měření světlometu regloskopem [2]

## 4.2 POUŽITÉ MĚŘÍCÍ PŘÍSTROJE

### MOTEX 7600

Jedná se o zařízení uzpůsobené pro kontrolu a seřizování světlometů motorových vozidel. Model 7600 je pokročilým a prověřeným měřícím přístrojem, který vyhovuje požadavkům automobilek pro navzájem přesné ustavení optických os regloskopu a světlometu vozidla. Toho je docíleno instalací laserového modulu do tubusu přístroje, kterým je možné vyslat paprsek na vyznačené místo světlometu. Průchodem laserového paprsku optickou osou přístroje a světlometu, dochází k vyznačení optického středu a nastavení optické osy obou zařízení do jedné přímky. [45]



Obr. 31 - Regloskop MOTEX 7600 [45]

### Jasový analyzátor LumiDISP

Pro měření jasu byl využit jasový analyzátor LDA – LumiDISP (LUMInance DIStribution Processing). Ten byl vyvinutý týmem odborníků z Vysokého učení technického v Brně na Fakultě elektrotechniky komunikačních technologií. Jedná se o systém využívající analýzu jasových poměrů za pomoci digitální fotografie k fotometrickému měření jasu a jeho distribuci. LumiDISP se skládá z:

- měřícího fotoaparátu NIKON D7000 kalibrovaného na základní zdroje světla,
- programu LumiDISP (případně jeho adaptace na konkrétní aplikaci),
- nápovědy k programu a příručky,
- kufříku s dalšími doplňky (kabely, baterie, nabíječka, filtry na objektiv, čtečka paměťových karet, popruhy)

Tab. 6 - Technické parametry fotoaparátu (digitální zrcadlovka Nikon D7000) [vlastní]

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

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

Tab. 7 - Technické parametry objektivu AF-S DX NIKKOR 18-105 f/3,5-5,6G ED VR [vlastní]

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

Softwarové rozhraní LumiDISP používá uložená data z fotografie, která následně převede na hodnoty jasu a ty zobrazí prostřednictvím barevných palet. V převedené fotografii do jasových hodnot lze pomocí různých detektorů (kruh, úsečka, čtverec, libovolný polygon), měřit přesné hodnoty jasu. V programu nechybí funkce HDR, která zabraňuje přexponování fotografií. V opačném případě by docházelo ke zkreslení hodnot v dané části snímku. HDR pořizuje záběry v několika sekvencích s různým nastavením závěrky a vylučuje přexponovaná místa. Výsledná fotografie převedená do jasových map poskytuje daleko přesnější hodnoty.

## 4.3 FOTODOKUMENTACE

Z jednotlivých měření se pořizovaly fotografie, sloužící k dokumentaci podmínek měření a dohledu řidiče vozidla. Stativ s fotoaparátem je umístěn vedle vozidla ze strany řidiče. Objektiv se nastavil do výše řidičových očí. Boční vychýlení vzhledem k poloze řidiče nijak neovlivňuje dokumentační účel snímku. [7]

## 4.4 MĚŘENÁ VOZIDLA

V rámci zadání této diplomové práce bylo provedeno experimentální měření viditelnosti chodců v extravilánu. S cílem porovnat jednotlivé světelné zdroje (Halogen, Xenon, LED) v rámci jedné modelové řady Škoda Octavia III. generace. Konkrétně se jednalo o tato vozidla:

- Škoda Octavia III. generace (facelift) - halogenové světlomety
- Škoda Octavia III. generace – bi-xenonové světlomety s adaptivní funkcí AFL
- Škoda Octavia III. generace RS230 (facelift) - full-LED světlomety s funkcí adaptivního svícení

Měřená vozidla jsou vybavena standardně dodávanými světlomety a světelnými zdroji.

### 4.4.1 Škoda Octavia III. generace (facelift) - halogenové světlomety

Prvním měřeným vozidlem byla Škoda Octavia III. generace (facelift), rok výroby 2018, vybavená dělenými halogenovými světlomety a LED pásy pro denní svícení.



Obr. 32 - Škoda Octavia III. generace (facelift) - halogenový světlomet [vlastní]

Potkávací světlomety jsou realizovány halogenovou žárovkou typu H7 a dálkové světlomety žárovkou typu H1.



*Obr. 33 - Halogenová žárovka H7  
[vlastní]*



*Obr. 34 - Halogenová žárovka H1  
[vlastní]*

#### **4.4.2 Škoda Octavia III. generace – bi-xenonové světlomety s adaptivní funkcí AFL**

Druhým měřeným vozidlem byla Škoda Octavia III. generace, rok výroby 2017, vybavená bi-xenonovými světlomety s adaptivní funkcí AFL (viz. kapitola 3.5.2) a LED pásy pro směrovky a denní svícení. Součástí systému je automatická regulace sklonu a ostřikovače světlometů.



*Obr. 35 - Škoda Octavia III. generace - bi-xenonový světlomet [vlastní]*

Potkávací i dálkové světlomety jsou realizovány xenonovou výbojkou D3S.



Obr. 37 - Xenonová výbojka D3S [vlastní]



Obr. 36 - Xenonová výbojka D3S (spodní strana) [vlastní]

#### 4.4.3 Škoda Octavia III. generace RS230 (facelift) - full-LED světlomety s funkcí adaptivního svícení

Třetím měřeným vozidlem byla Škoda Octavia III. generace RS230, rok výroby 2018, vybavená full-LED světlomety s adaptivním plně statickým systémem (viz. kapitola 3.5.3). Součástí systému je automatická regulace sklonu a ostřikovače světlometů.



Obr. 38 - Škoda Octavia III.generace RS230 (facelift) - full-LED světlomet [vlastní]



## 4.5 FIGURANTI

Měření bylo realizováno s dvojicí odlišně oděných figurantů. Pro účely experimentu byl vybrán volnočasový (světlý) a černý oděv, vše bez reflexních prvků.

### **Volnočasové oblečení (světlý)**

Světlý figurant byl během měření oblečen do běžného oblečení, konkrétně se jednalo o vínový kabát s kapucí a kožesinou (horní část těla), světlé modré džíny (spodní část těla) a tmavě modré boty s lesklou špičkou.

### **Černé oblečení**

Tmavý figurant byl během měření naopak oblečen do tmavého oblečení, konkrétně tmavě šedé péřové bundy (horní část těla), tmavě modrých kalhot (spodní část těla) a hnědých bot.



*Obr. 40 - Volnočasové oblečení (světlé) [vlastní]*



*Obr. 39 - Černé oblečení [vlastní]*

## 4.6 LOKALITA MĚŘENÍ

Aby nedošlo ke zkreslení výsledků měření vlivem světelného znečištění, které je v blízkém okolí města Brna značné, bylo nutné předem vytipovat vhodnou lokalitu. Vhodným místem byla část silnice II/6021 vedoucí kolem Masarykova okruhu v katastrálním území obce Ostrovačice, viz. Obr. 41.



Obr. 41 - Vybraný úsek měření [52]

Místo je pro účely měření vhodné svou téměř rovnou asfaltovou plochou, nízkým provozem ostatních dopravních prostředků a žádným veřejným osvětlením.



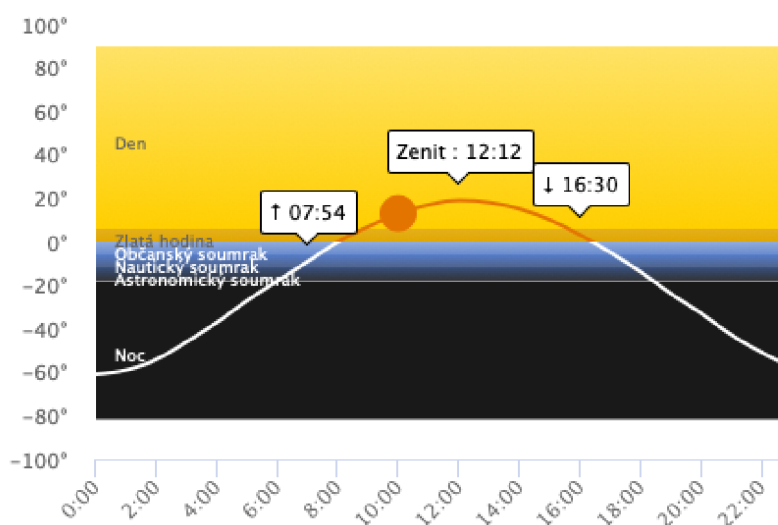
Obr. 42 - Vybraný úsek měření (StreetView) [52]

## 4.7 ATMOSFÉRICKÉ PODMÍNKY

Měření bylo provedeno ve středu 16. 1. 2019 v čase od 18:30 do 23:50. Teplota se pohybovala vzhledem k ročnímu období kolem  $-2^{\circ}\text{C}$ . Během celého měření panovala polojasná obloha bez mlhy a srážek. Atmosférické podmínky šlo tedy označit jako vhodné pro daný typ experimentu.

Tab. 8 - Západ Slunce [53]

| ZÁPAD SLUNCE         | 16:30         |         |
|----------------------|---------------|---------|
| Občanský soumrak     | 16:30 - 17:06 | 36 min. |
| Nautický soumrak     | 17:06 - 17:47 | 40 min. |
| Astronomický soumrak | 17:47 - 18:25 | 38 min. |



Obr. 43 - Západ Slunce [53]

## 4.8 POSTUP MĚŘENÍ

Měření, respektive s jeho přípravu je vhodné začít ještě za denního světla, kdy se provede výběr vhodného úseku vytipované silnice. Pro účel měření je ideální rovina s délkou kolem 300 m. Na okraji vozovky se pomocí měřičského kolečka odměří dráha 260 m, což představuje výchozí polohu vozidla. V prvním úseku dráhy (100 m) jsou stanoveny pozice měření v 30 m, 40 m, 50 m, 60 m, 70 m, 80 m. Ve zbývajícím dráze jsou vyměřeny pozice ve 100 m, 120 m, 140m, 160 m, 180 m, 200 m, 220 m, 240 m a 260 m. Výchozí poloha figurantů je v 0 m, ta se během měření nemění. Dochází pouze k výměně figurantů (tmavý a světlý).

Jasový analyzátor LumiDISP s fotoaparátém NIKON D7000 je pomocí stativu umístěn v měřeném vozidle v oblasti loketní opěry ve výšce řidičových očí (viz. Obr. č. 44).

Vlastní měření světelných zdrojů světlometů začíná rozestavením objektů na výchozí body, figurant (0 m) a vozidlo (260 m). Na pokyn vedoucího měření jsou rozsvícena potkávací světla, je pořízen snímek jasovým analyzátozem LumiDISP. Poté jsou rozsvícena dálková světla, snímkování se opakuje. Následně dojde k výměně figurantů a je proveden stejný postup s přepínáním světlometů a pořizováním snímků.

Dojde-li k naměření dat, vozidlo je umístěno na další pozici, a to ve vzdálenosti 240 m od figuranta. Dojde k opakování celé série měření (4 snímky). Měření je stále opakováno až do poslední pozice ve vzdálenosti 30 m od figuranta. Poté dojde k výměně vozidel s jiným typem zdroje světla.



Obr. 44 - Umístění stativu přístroje LumiDISP [vlastní]

## 4.9 VÝPOČET KONTRASTU Z JASOVÝCH MAP

Snímky pořízené jasovým analyzátozem LumiDISP bylo nutné pomocí stejnojmenného softwaru převést na jasové mapy. Z těch následně vyčíst dva důležité parametry a to:

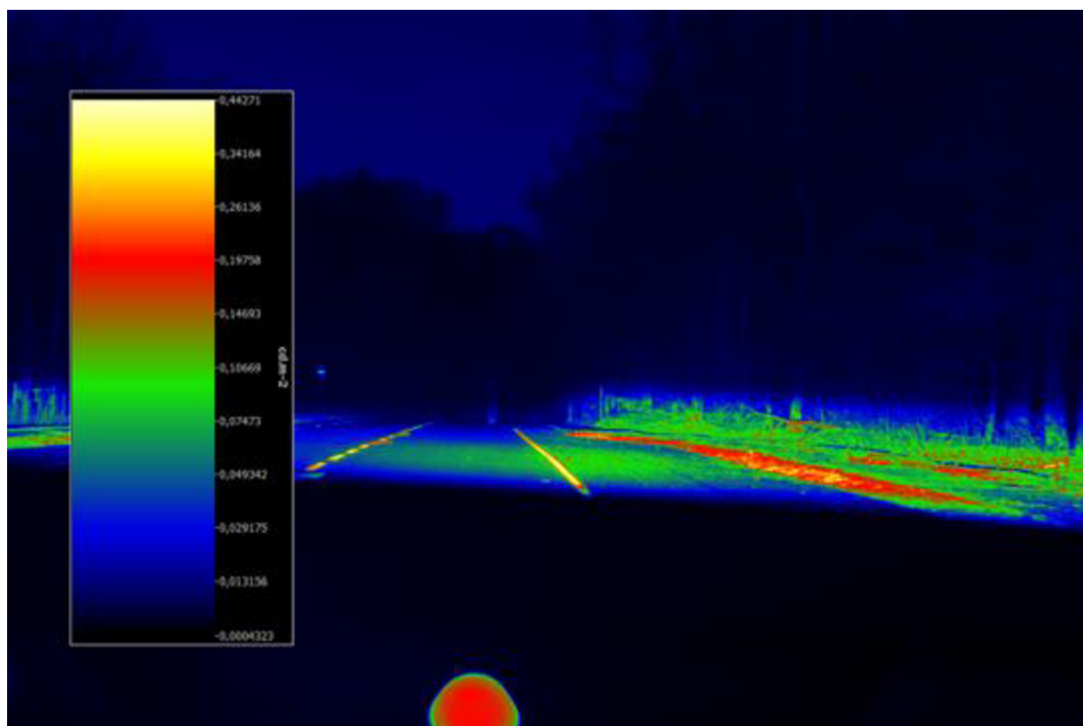
- jas objektu,
- jas okolí.

Hodnoty jasu jsou potřebné k výpočtu kontrastů (viz. Obr. 45), který je nezbytný pro vytvoření grafů závislosti kontrastu na vzdálenosti. Za účelem zpřesnění a vyhlazení jednotlivých grafů byly vzaty zprůměrované hodnoty jasů nejintenzivněji osvětlených ploch figurantova těla. Při měření tlumených světél byla vybrána oblast (kolena a holeně) a v případě dálkových oblast (obličej).

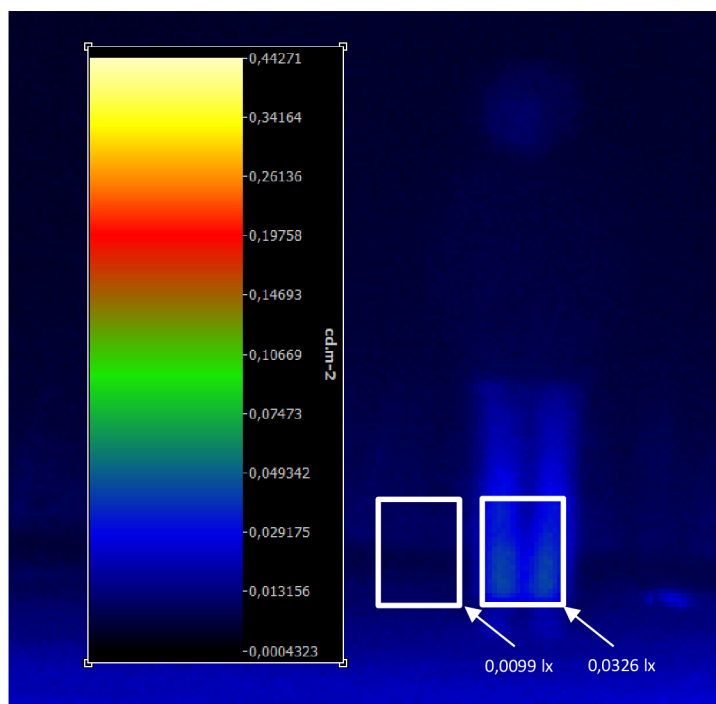
$$\frac{\text{Jas objektu} - \text{Jas okolí}}{\text{Jas okolí}}$$

Obr. 45 - Vzorec pro výpočet kontrastu [vlastní]

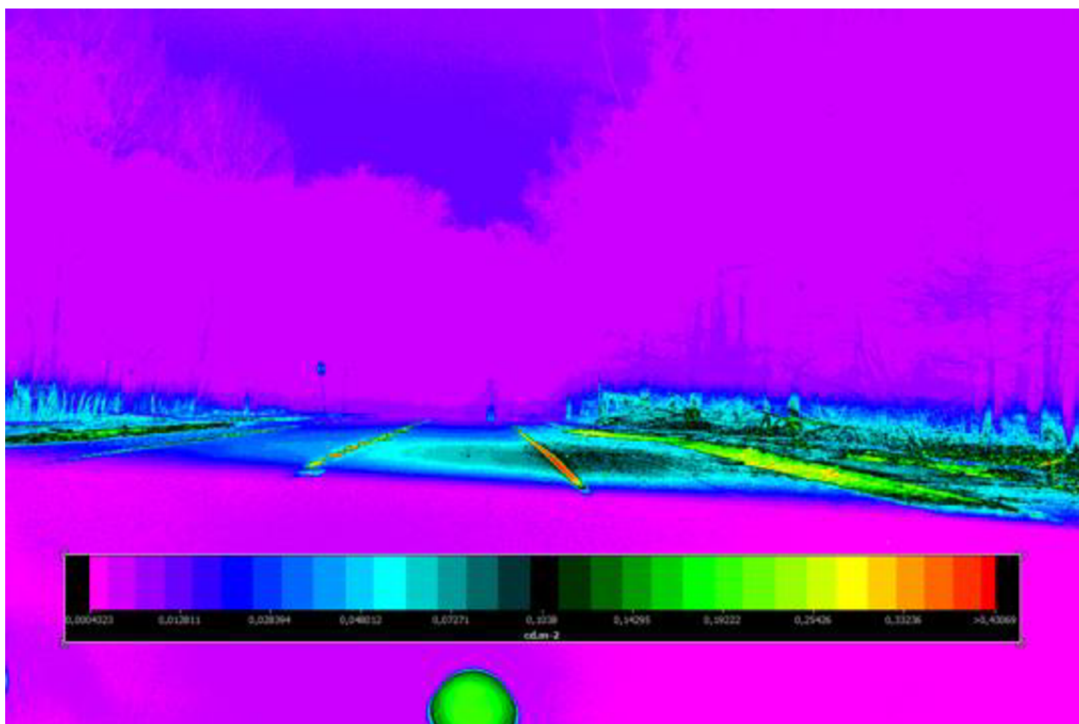
Postup výpočtu kontrastu z jasových map pro potkávací a dálková světla, na fotografiích jsou vyznačeny výběry výše zmíněných oblastí s průměrnými hodnotami jasu, které byly použity do vztahu (viz. Obr. 45).



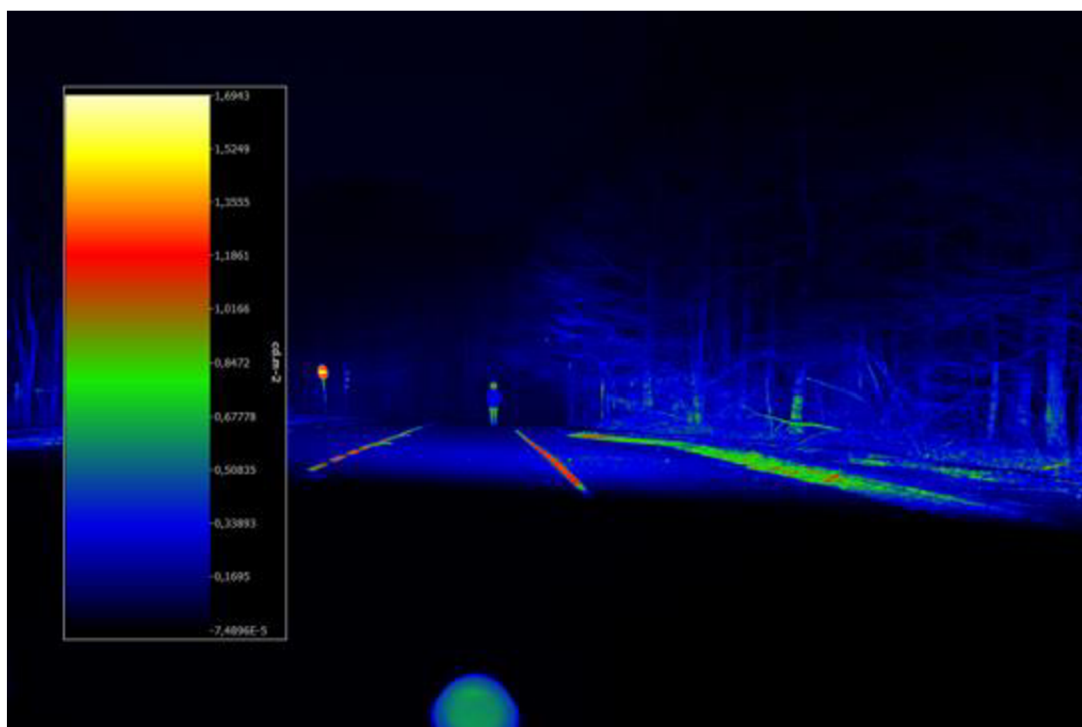
Obr. 46 - Jasová mapa (xenonové světlomety-potkávací-100 m) [vlastní]



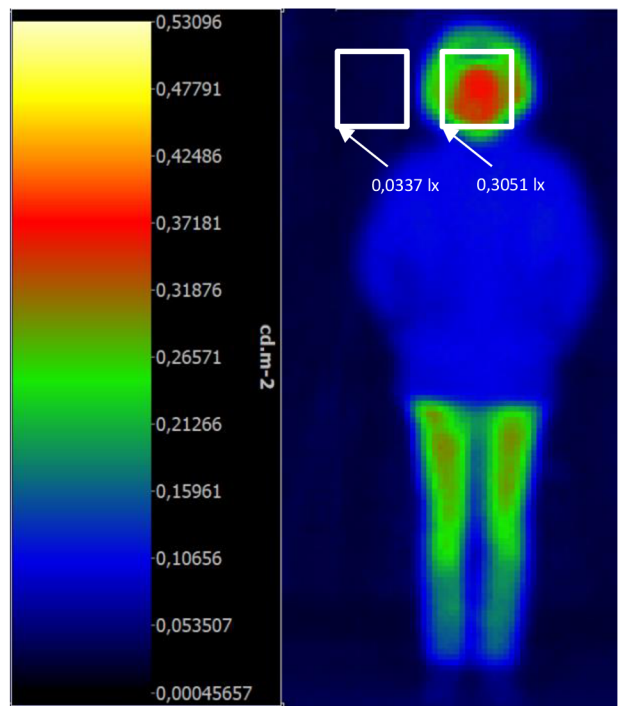
Obr. 47 - Jasová mapa (detail Obr.47) kontrast 2,30 [vlastní]



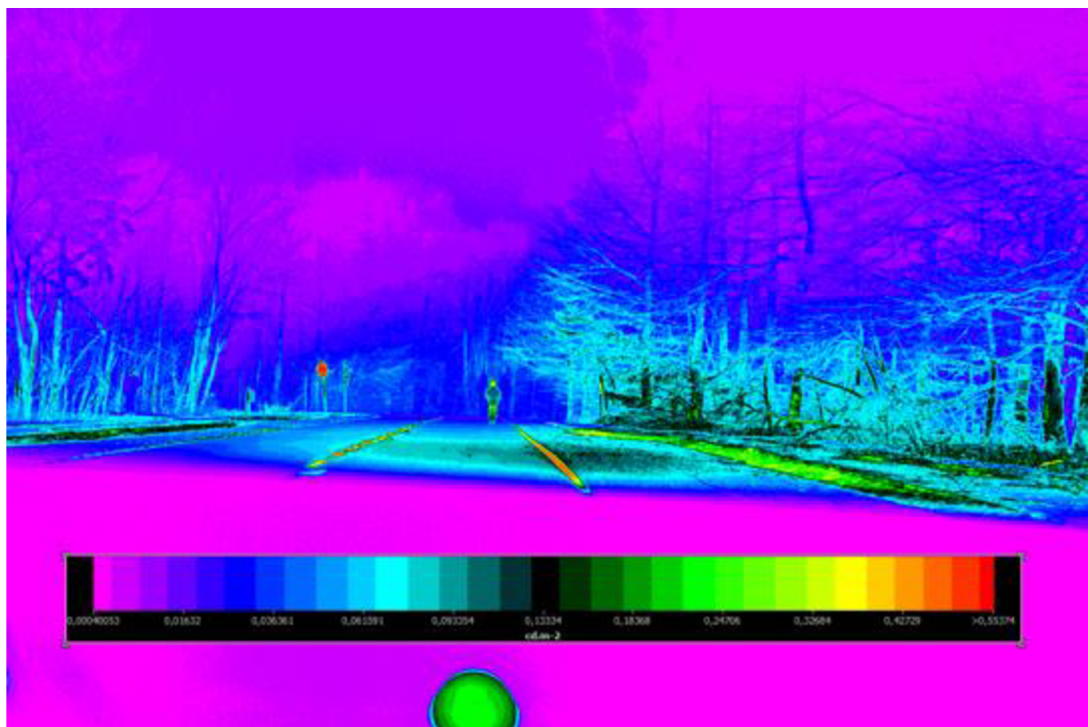
Obr. 48 - Kontrastní mapa (xenonové světlomety-potkávací-100 m) [vlastní]



Obr. 49 - Jasová mapa (xenonové světlomety-dálkové-100 m) [vlastní]



Obr. 50 - Jasová mapa (Detail Obr. 49) kontrast 8,05 [vlastní]



Obr. 51 - Kontrastní mapa (xenonové světlomety-dálkové-100 m) [vlastní]

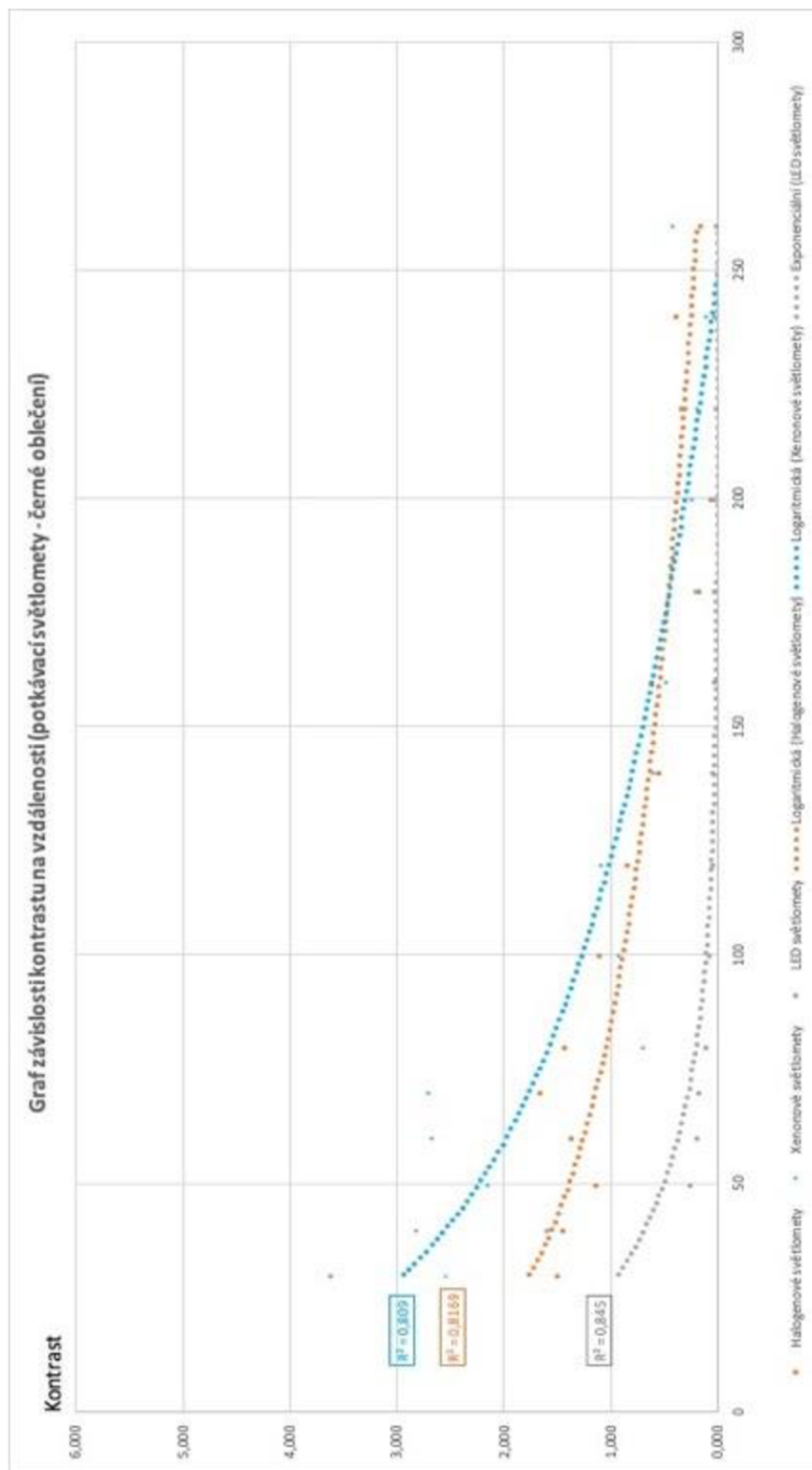
## 5 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ

Pro zjednodušení, pochopení a interpretaci naměřených dat jsem sestrojil čtveřici grafů závislosti kontrastu na vzdálenosti. Z nich je zřejmé, jak jednotlivé zdroje světla v měřeních dopadly. Musím však podotknout, že během měření došlo k výskytu několika nepřesností, které byly způsobeny nerovným povrchem vozovky. Toto zkreslení je nejmarkantnější u xenonových a LED světlometů, které mají minimum parazitního světla. Světelný kužel tvoří ostré rozhraní mezi světlem a tmou, zároveň je citlivý na náklon vozidla. V grafech se to projevuje extrémní hodnotou.



## 5.1 ČERNÉ OBLEČENÍ

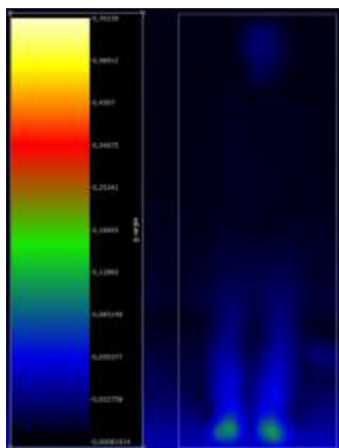
Kontrast tmavého figuranta (černé oblečení) při zapnutých potkávacích světlech:



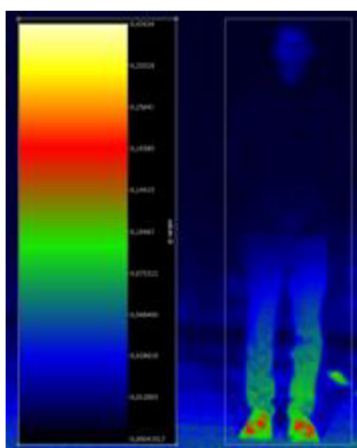
Obr. 52 - Graf závislosti kontrastu na vzdálenosti (č\_potkávací)

Z grafu závislosti kontrastu na vzdálenosti viz. (Obr.52) vyplývá, že nejvyššího kontrastu dosahují při měření černého oblečení na potkávací světla xenonové světlomety. Ve vzdálenosti 180 m dochází k vyrovnání hodnoty kontrastu xenonového a halogenového zdroje světla. Přičemž pokles je v případě halogenových pozvolný, to je dáno parazitním světlem. Co se týká LED světlometů, ty dosahují sice vůbec nejvyšší hodnoty kontrastu ve 30 m, který však s rostoucí vzdáleností strmě klesá. To je dáno ostrým přechodem mezi světlem a tmou, který je u technologie LED výrazný. V porovnání s ostatními zdroji světla dosahují diody nejnižších hodnot kontrastu. Tabulky kontrastů jsou uvedeny v Příloze č.1, č.2, č.3.

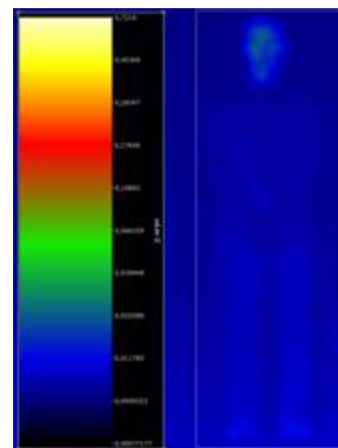
Následující fotografie porovnávají jednotlivé světelné zdroje. Jako parametr jsem zvolil vzdálenosti 57,4 m (respektive 60 m) a 24, 2 m (respektive 30 m). Jedná se o vzdálenosti, kdy je řidič jedoucí 90 km/h (extravilán) a 50 km/h (intravilán) schopen zareagovat na chodce a se zpomalením 10 m/s<sup>2</sup> a reakční dobou 1s bezpečně zastavit.



Obr. 55 –  
Halogen\_č\_potkávací\_60  
m\_kontrast 1,35 [vlastní]



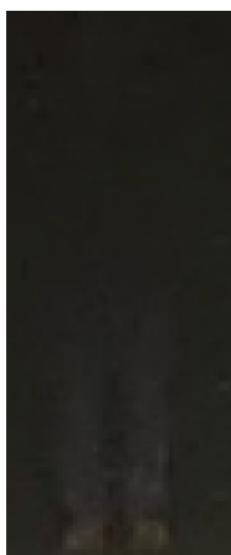
Obr. 54 – Xenon\_č\_potkávací\_60  
m\_kontrast 2,66 [vlastní]



Obr. 53 – LED\_č\_potkávací\_60  
m\_kontrast 0,18 [vlastní]



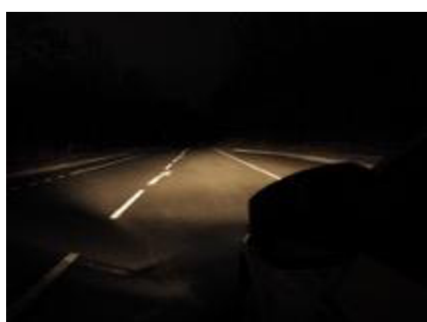
Obr. 58 –  
Detail\_halogen\_č\_  
potkávací\_60 m  
[vlastní]



Obr. 57 -  
Detail\_xenon\_č\_  
potkávací\_60 m  
[vlastní]



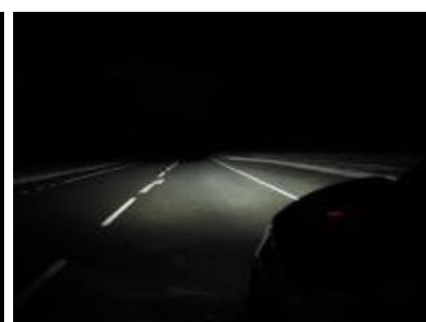
Obr. 56 –  
Detail\_LED\_č\_  
potkávací\_60 m  
[vlastní]



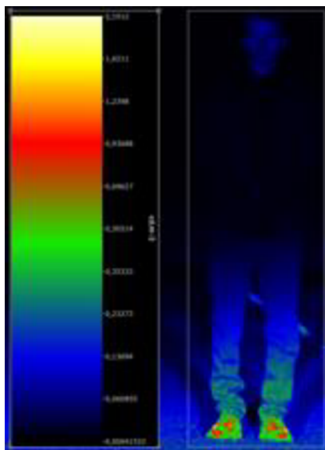
Obr. 59 - Pohled  
z vozidla\_halogen\_č\_potkávací\_60 m  
[vlastní]



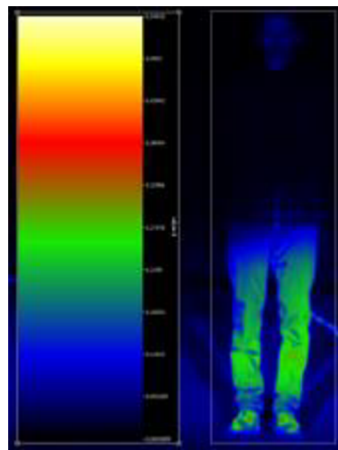
Obr. 61 - Pohled  
z vozidla\_xenon\_č\_potkávací\_60 m  
[vlastní]



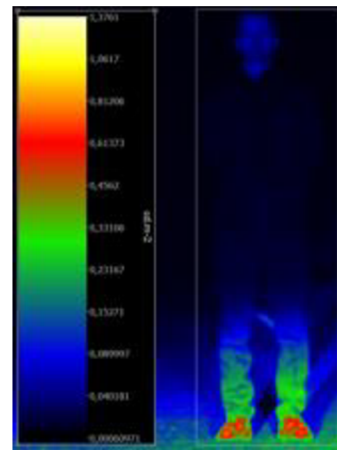
Obr. 60 - Pohled  
z vozidla\_LED\_č\_potkávací\_60 m  
[vlastní]



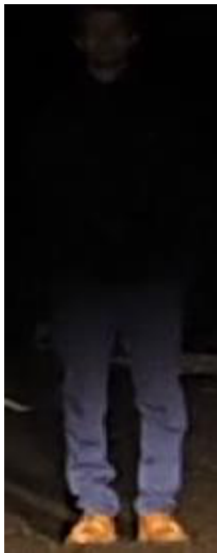
Obr. 63 -  
Halogen\_č\_potkávací\_30  
m\_kontrast 1,48 [vlastní]



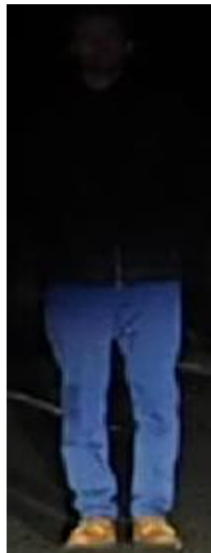
Obr. 62 -  
Xenon\_č\_potkávací\_30  
m\_kontrast 2,53 [vlastní]



Obr. 64 - LED\_č\_potkávací\_30  
m\_kontrast 3,60 [vlastní]



Obr. 67 -  
Detail\_halogen\_č\_  
potkávací\_30 m  
[vlastní]



Obr. 66 -  
Detail\_xenon\_č\_  
potkávací\_30 m  
[vlastní]



Obr. 65 -  
Detail\_LED\_č\_  
potkávací\_30 m  
[vlastní]



Obr. 68 - Pohled z  
vozidla\_halogen\_č\_potkávací\_30 m  
[vlastní]



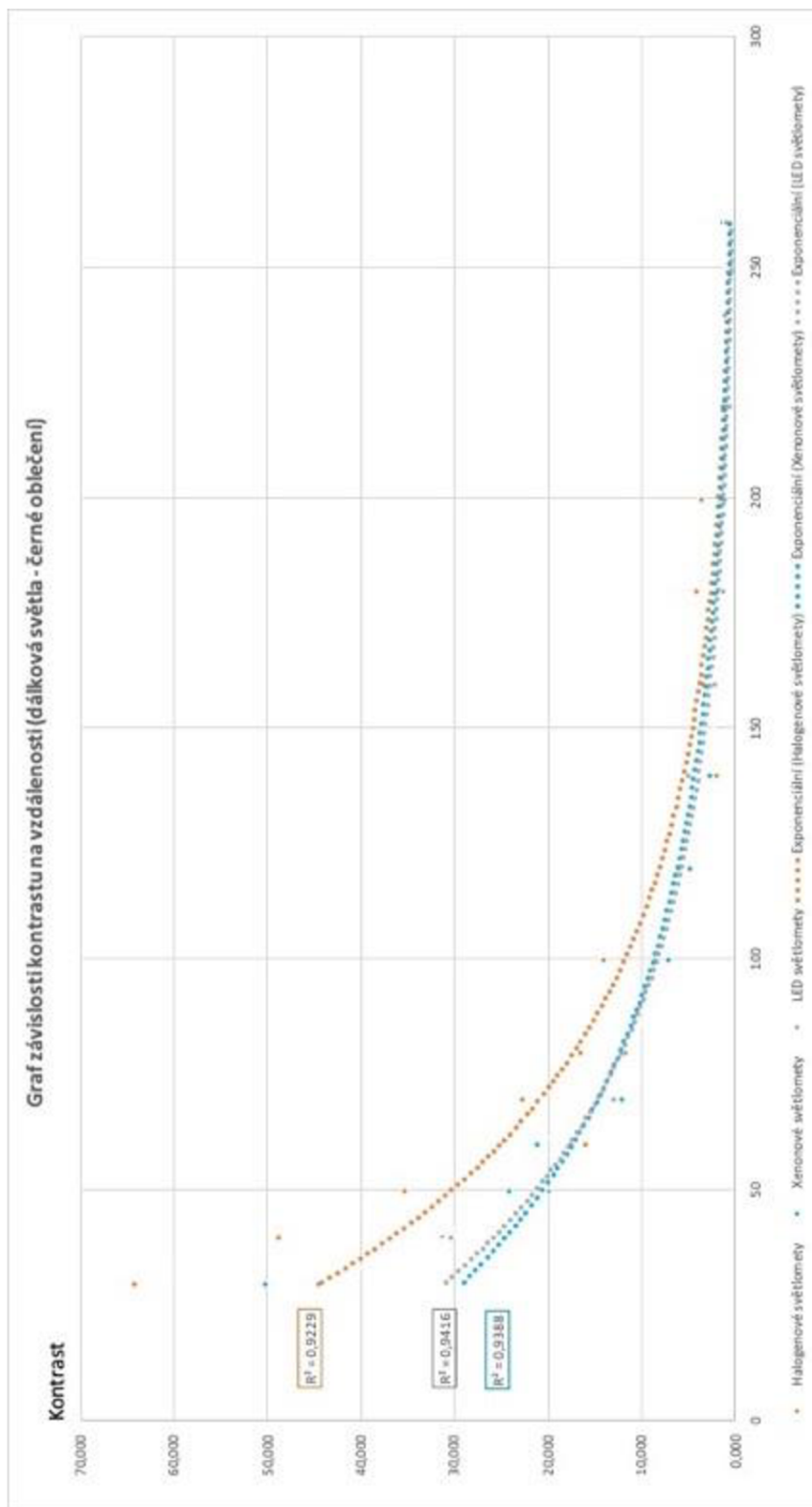
Obr. 69 - Pohled z  
vozidla\_xenon\_č\_potkávací\_30 m  
[vlastní]



Obr. 70 - Pohled z  
vozidla\_LED\_č\_potkávací\_30 m  
[vlastní]

Na výše uvedených fotografiích jsou patrné skutečnosti, které potvrzují hodnoty grafu závislosti kontrastu na vzdálenosti (viz. Obr.52). V 60 m dosahují nejvyššího kontrastu xenonové světlomety. Halogenový zdroj světla dosahuje průměrných hodnot. LED dosahují nejnižší hodnoty, blíží se k 0. Ve 30 m je však patrný nejvyšší kontrast právě u LED světlometů. Hodnoty xenonových a halogenových světlometů jsou velmi dobré.

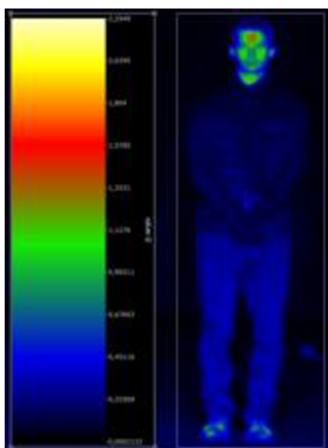
Kontrast tmavého figuranta (černé oblečení) při zapnutých dálkových světlech:



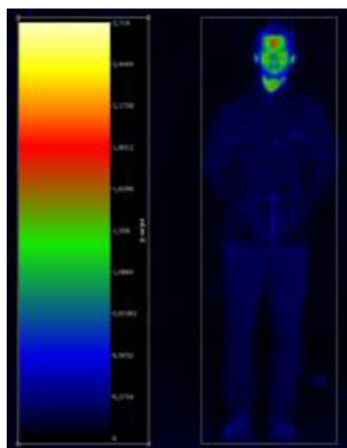
Obr. 71 - Graf závislosti kontrastu na vzdálenosti (č\_ dálková)

Z grafu závislosti kontrastu na vzdálenosti (viz. Obr.71) vyplývá, že nejvyššího kontrastu dosahují při měření černého oblečení na dálková světla halogenové světlomety. Vysoké hodnoty si drží až do vzdálenosti 160 m, poté je kontrast všech zdrojů světla srovnatelný. LED a xenonový zdroj světla dosahují podobných hodnot. Hodnota kontrastu xenonových světlometů ve 260 m je však nejvyšší ze všech. Pokles kontrastu je v závislosti na rostoucí vzdálenosti u všech zdrojů světla stejný. Tabulky kontrastů jsou uvedeny v Příloze č.1, č.2, č.3.

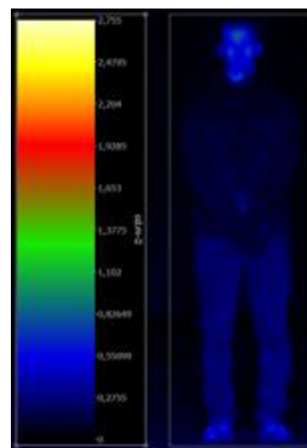
Stejně jako v předešlém odstavci zde uvedu fotografie porovnávají jednotlivé světelné zdroje. Jako parametr jsem zvolil vzdálenosti 57,4 m (respektive 60 m) a 24, 2 m (respektive 30 m). Jedná se o vzdálenosti, kdy je řidič jedoucí 90 km/h (extravilán) a 50 km/h (intravilán) schopen zareagovat na chodce a se zpomalením 10 m/s<sup>2</sup> a reakční dobou 1s bezpečně zastavit.



Obr. 74 -  
Halogen\_č\_dálková\_60  
m\_kontrast 15,77 [vlastní]



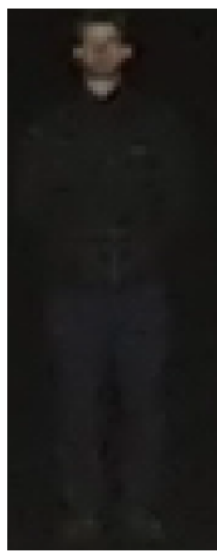
Obr. 72 - Xenon\_č\_dálková\_60  
m\_kontrast 21,06 [vlastní]



Obr. 73 - LED\_č\_dálková\_60  
m\_kontrast 17,50 [vlastní]



Obr. 75 -  
Detail\_halogen\_č\_  
dálková\_60 m  
[vlastní]



Obr. 76 -  
Detail\_xenon\_č\_  
dálková\_60 m  
[vlastní]



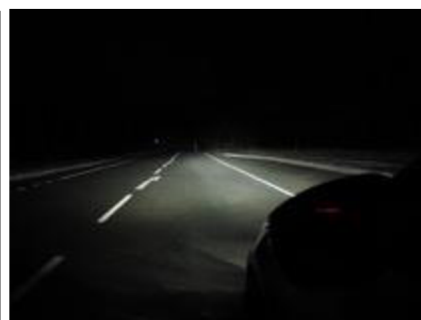
Obr. 77 -  
Detail\_LED\_č\_  
dálková\_60 m  
[vlastní]



Obr. 78 - Pohled z  
vozidla\_halogen\_č\_dálková\_60 m  
[vlastní]

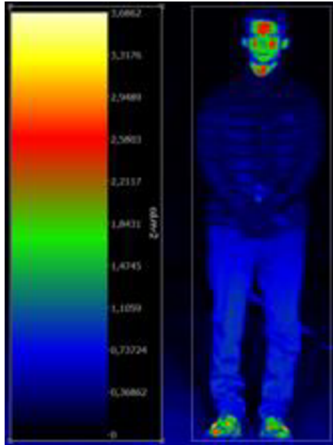


Obr. 79 - Pohled z  
vozidla\_xenon\_č\_dálková\_60 m  
[vlastní]

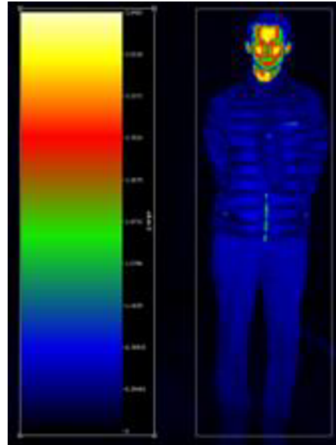


Obr. 80 - Pohled z  
vozidla\_LED\_č\_dálková\_60 m [vlastní]

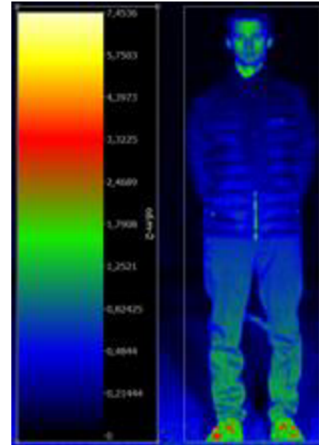




Obr. 81 -  
Halogen\_č\_dálková\_30  
m\_kontrast 64,05 [vlastní]



Obr. 82 -  
Xenon\_č\_dálková\_30  
m\_kontrast 50,02 [vlastní]



Obr. 83 -  
LED\_č\_dálková\_30  
m\_kontrast 44,33 [vlastní]



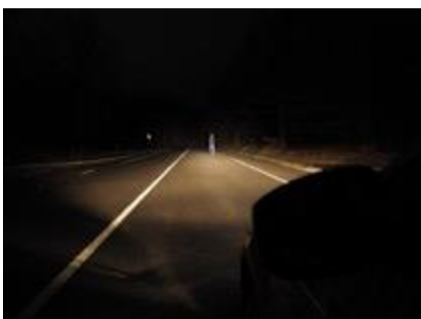
Obr. 84 -  
Detail\_halogen\_č\_  
dálková\_30 m  
[vlastní]



Obr. 85 -  
Detail\_xenon\_č\_  
dálková\_30 m  
[vlastní]



Obr. 86 -  
Detail\_LED\_č\_  
dálková\_30 m  
[vlastní]



Obr. 89 - Pohled z  
vozidla\_halogen\_č\_dálková\_30 m  
[vlastní]



Obr. 88 - Pohled z  
vozidla\_xenon\_č\_dálková\_30 m  
[vlastní]

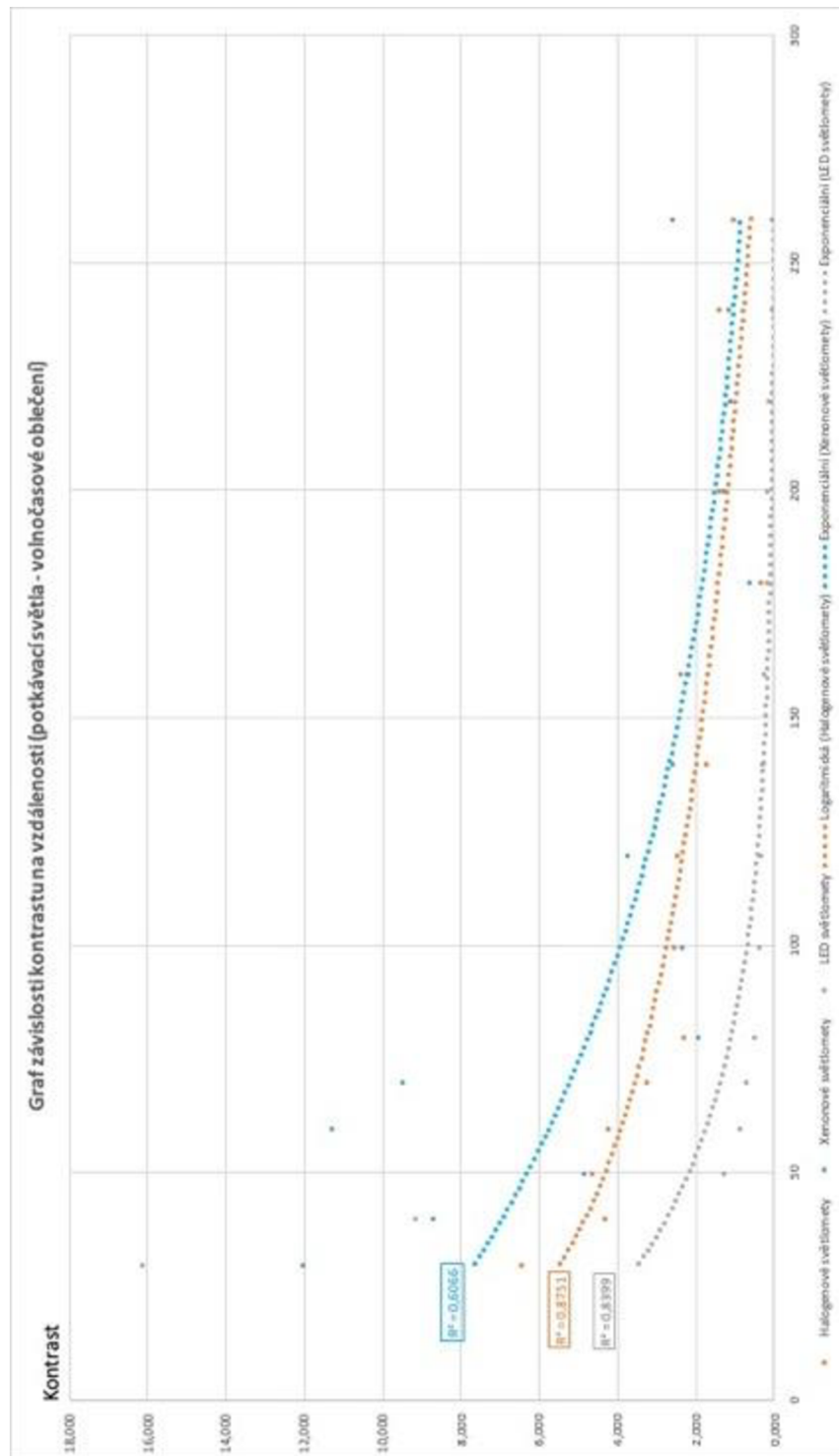


Obr. 87 - Pohled z  
vozidla\_LED\_č\_dálková\_30 m [vlastní]

V 60 m dosahují nejvyššího kontrastu xenonové, dále halogenové, a nakonec LED světlometry. Ve 30 m je však patrný nejvyšší kontrast halogenových světlometů. Hodnoty xenonových a LED světlometů jsou velmi dobré.

## 5.2 VOLNOČASOVÉ OBLEČENÍ

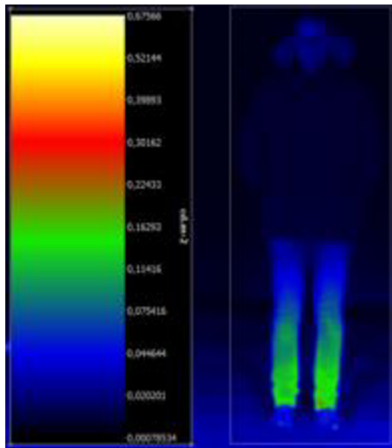
Kontrast světlého figuranta (volnočasové oblečení) při zapnutých potkávacích světlech:



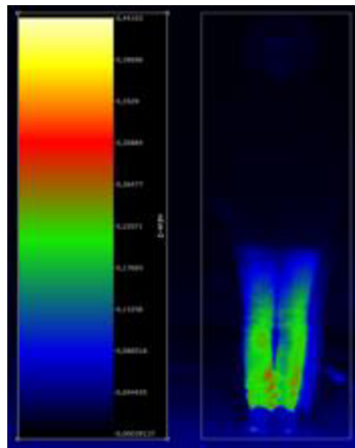
Obr. 90 - Graf závislosti kontrastu na vzdálenosti ( $s_{\text{potkávací}}$ )

Z grafu závislosti kontrastu na vzdálenosti (viz. Obr.90) vyplývá, že nejvyššího kontrastu dosahují při měření světlého oblečení na potkávací světla xenonové světlomety. Ve vzdálenosti 180 m dochází k vyrovnání hodnoty kontrastu xenonového a halogenového zdroje světla, pokles je v obou případech pozvolný. Co se týká LED světlometů, ty dosahují sice vůbec nejvyšší hodnoty kontrastu ve 30 m, který však s rostoucí vzdáleností strmě klesá. To je dáno ostrým přechodem mezi světlem a tmou, který je u technologie LED výrazný. V porovnání s ostatními zdroji světla dosahují diody nejnižších hodnot kontrastu. Tabulky kontrastů jsou uvedeny v Příloze č.1, č.2, č.3.

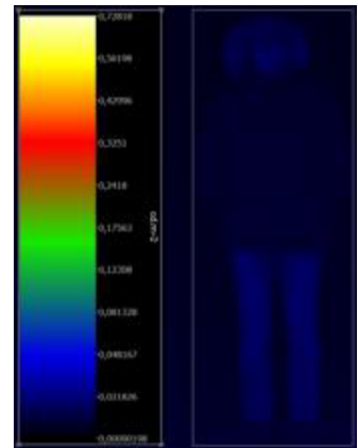
Stejně jako v předešlém odstavci zde uvedu fotografie porovnávající jednotlivé světelné zdroje. Jako parametr jsem zvolil vzdálenosti 57,4 m (respektive 60 m) a 24, 2 m (respektive 30 m). Jedná se o vzdálenosti, kdy je řidič jedoucí 90 km/h (extravilán) a 50 km/h (intravilán) schopen zareagovat na chodce a se zpomalením  $10 \text{ m/s}^2$  a s reakční dobou 1s bezpečně zastavit.



Obr. 93 - Halogen\_s\_potkávaci\_60 m\_kontrast 4,19 [vlastní]



Obr. 92 - Xenon\_s\_potkávaci\_60 m\_kontrast 11,24 [vlastní]



Obr. 91 - LED\_s\_potkávaci\_60 m\_kontrast 0,82 [vlastní]



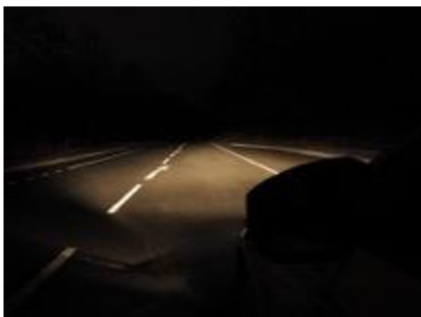
Obr. 95 - Detail\_halogen\_s\_potkávaci\_60 m [vlastní]



Obr. 94 - Detail\_xenon\_s\_potkávaci\_60 m [vlastní]



Obr. 96 - Detail\_LED\_s\_potkávaci\_60 m [vlastní]



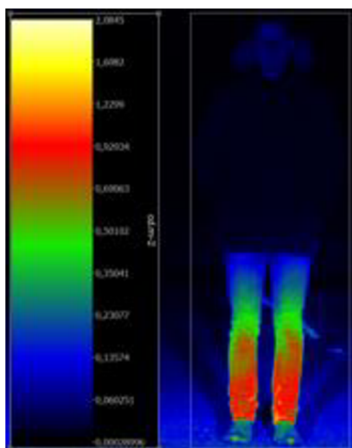
Obr. 97 - Pohled z vozidla\_halogen\_s\_potkávaci\_60 m [vlastní]



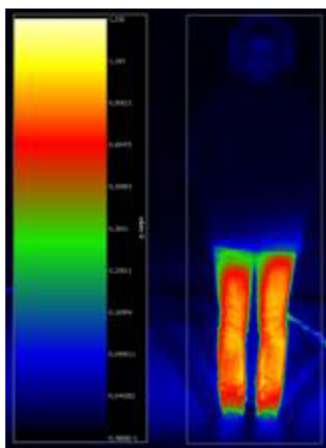
Obr. 99 - Pohled z vozidla\_xenon\_s\_potkávaci\_60 m [vlastní]



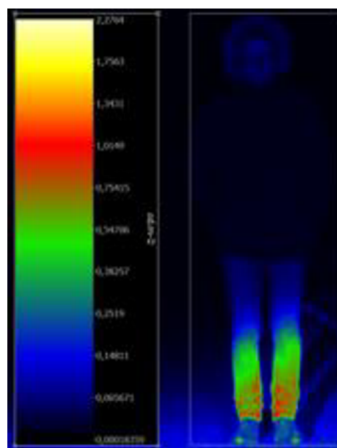
Obr. 98 - Pohled z vozidla\_LED\_s\_potkávaci\_60 m [vlastní]



Obr. 102 -  
Halogen\_s\_potkávací\_30  
m\_kontrast 6,42 [vlastní]



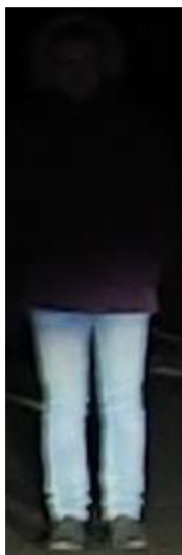
Obr. 100 -  
Xenon\_s\_potkávací\_30  
m\_kontrast 11,97 [vlastní]



Obr. 101 - LED\_s\_potkávací\_30  
m\_kontrast 16,09 [vlastní]



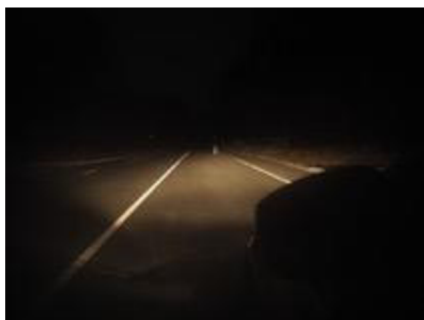
Obr. 105 -  
Detail\_halogen\_s\_  
potkávací\_30 m  
[vlastní]



Obr. 104 -  
Detail\_xenon\_s\_  
potkávací\_30 m  
[vlastní]



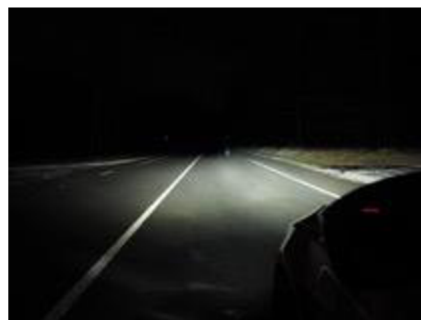
Obr. 103 -  
Detail\_LED\_s\_  
potkávací\_30 m  
[vlastní]



Obr. 107 - Pohled z  
vozidla\_halogen\_s\_ dálková\_30 m  
[vlastní]



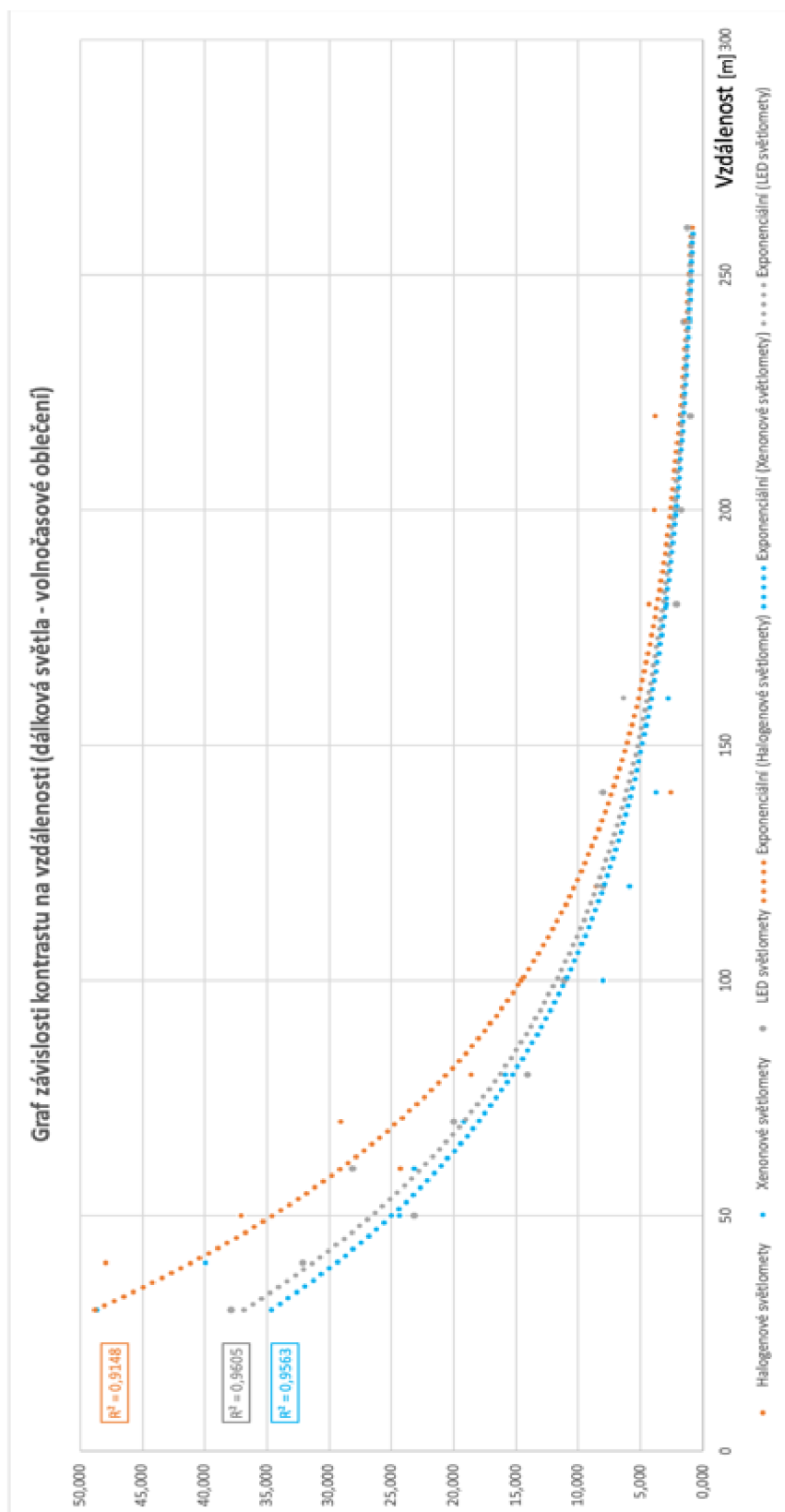
Obr. 106 - Pohled z  
vozidla\_xenon\_s\_ dálková\_30 m  
[vlastní]



Obr. 108 - Pohled z  
vozidla\_LED\_s\_ dálková\_30 m [vlastní]

V 60 m dosahují nejvyššího kontrastu xenonový zdroj světla. Hodnoty halogenových světlometů jsou průměrné. Kontrast LED ve 30 m je vůbec nejvyšší, nicméně v 60 m je figurant téměř nerozpoznatelný.

Kontrast tmavého figuranta (volnočasového oblečení) při zapnutých dálkových světlech:

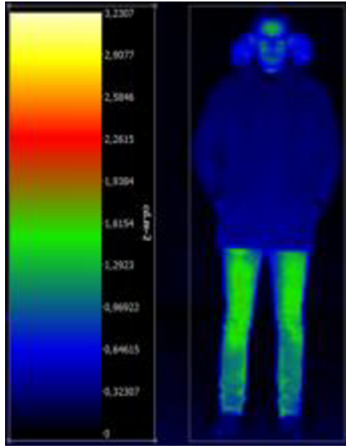


Obr. 109 - Graf závislosti kontrastu na vzdálenosti ( $s_{\text{dálková}}$ )

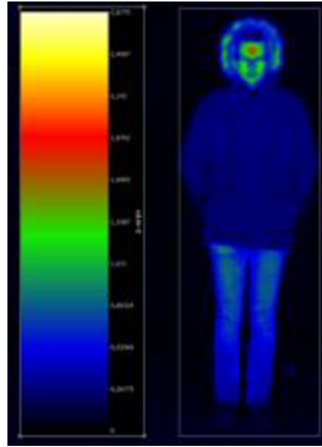


Z grafu závislosti kontrastu na vzdálenosti (viz. Obr.109) vyplývá, že nejvyššího kontrastu dosahují při měření světlého oblečení na dálková světla halogenové světlometry. Vysoké hodnoty si drží až do vzdálenosti 180 m, poté je kontrast všech zdrojů světla vyrovnaný. LED a xenonový zdroj světla dosahují podobných hodnot. Pokles kontrastu je v závislosti na rostoucí vzdálenosti u všech zdrojů světla stejný. Tabulky kontrastů jsou uvedeny v Příloze č.1, č.2, č.3.

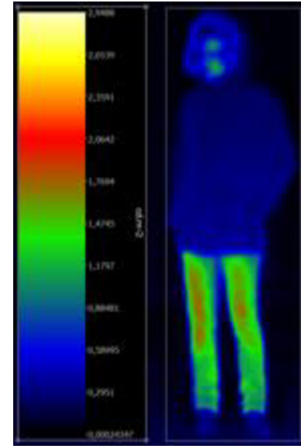
Stejně jako v předešlém odstavci zde uvedu fotografie porovnávají jednotlivé světelné zdroje. Jako parametr jsem zvolil vzdálenosti 57,4 m (respektive 60 m) a 24, 2 m (respektive 30 m). Jedná se o vzdálenosti, kdy je řidič jedoucí 90 km/h (extravilán) a 50 km/h (intravilán) schopen zareagovat na chodce a se zpomalením 10 m/s<sup>2</sup> a s reakční dobou 1s bezpečně zastavit.



Obr. 110 -  
Halogen\_s\_dálková\_60  
m\_kontrast 24,26 [vlastní]



Obr. 112 -  
Xenon\_s\_dálková\_60  
m\_kontrast 23,19 [vlastní]



Obr. 111 -  
LED\_s\_dálková\_60  
m\_kontrast 28,09 [vlastní]



Obr. 114 -  
Detail\_halogen\_s\_  
dálková\_60 m  
[vlastní]



Obr. 115 -  
Detail\_xenon\_s\_  
dálková\_60 m  
[vlastní]



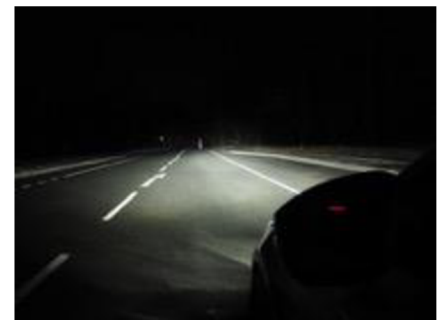
Obr. 113 -  
Detail\_LED\_č\_  
dálková\_60 m  
[vlastní]



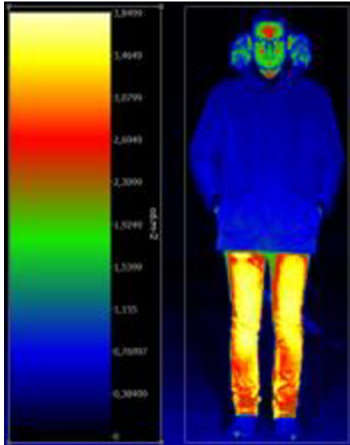
Obr. 116 - Pohled z  
vozidla\_halogen\_s\_dálková\_60 m  
[vlastní]



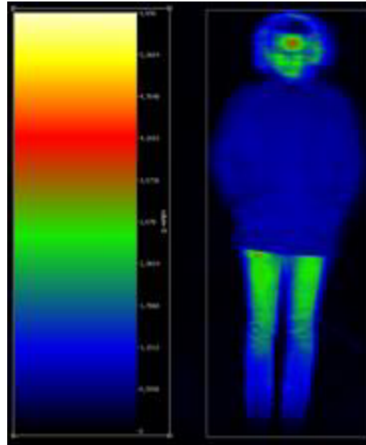
Obr. 117 - Pohled z  
vozidla\_xenon\_s\_dálková\_60 m  
[vlastní]



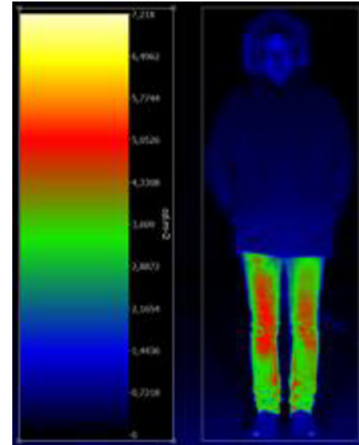
Obr. 118 - Pohled z  
vozidla\_LED\_s\_dálková\_60 m [vlastní]



Obr. 121 -  
Halogen\_s\_dálková\_30  
m\_kontrast 70,2 [vlastní]



Obr. 119 - Xenon\_s\_dálková\_30  
m\_kontrast 48,7 [vlastní]



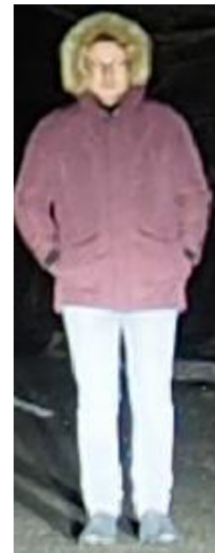
Obr. 120 - LED\_s\_dálková\_30  
m\_kontrast 37,88 [vlastní]



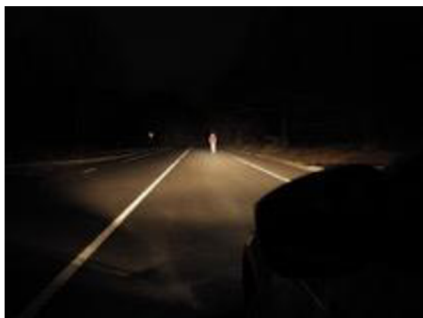
Obr. 124 -  
Detail\_halogen\_s\_  
dálkové\_30 m  
[vlastní]



Obr. 123 -  
Detail\_xenon\_s\_  
dálkové\_30 m  
[vlastní]



Obr. 122 -  
Detail\_LED\_s\_  
dálkové\_30 m  
[vlastní]



Obr. 127 - Pohled z  
vozidla\_halogen\_s\_dálková\_30 m  
[vlastní]



Obr. 126 - Pohled z  
vozidla\_xenon\_s\_dálková\_30 m  
[vlastní]



Obr. 125 - Pohled z  
vozidla\_LED\_s\_dálková\_30 m [vlastní]

V 60 m dosahují nejvyššího kontrastu LED světlometry. Xenonový a halogenový zdroj světla dosahuje velmi podobných hodnot. Ve 30 m je znatelný vysoký kontrast halogenových světlometů. Xenonová výbojka dosahuje nižších hodnot, nicméně stále vysokých a LED jsou spíše průměrné, avšak stále velmi dobré.

Navzdory tomu, že xenonový a LED zdroj světla disponoval adaptivní funkcí, měření probíhalo při výchozím režimu Village Mode. Tedy široký kužel světla s intenzivním osvětlením předpolí. Poloha otočného ovladače světlometů AUTO.

## 6 ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo porovnání světelných parametrů jednotlivých druhů světelných zdrojů (halogen, xenon, LED) u shodného modelu vozidla. Výsledky poté porovnat vzhledem k viditelnosti různě oděného chodce v extravilánu bez veřejného osvětlení. V práci je analyzován současný stav vědních oborů zabývajících se problematikou osvětlovacích systémů automobilů, který je následně doplněn o výklad odborných pojmů. Vzhledem k velmi rychlému vývoji světelných zdrojů a techniky byl vytvořen přehled nejčastěji používaných optických systémů vzhledem k modelové řadě testovaných vozidel.

Další část práce byla věnovaná vnímání a lidskému zraku. Pro pochopení důležitosti kontrastu, je nutná základní znalost funkce lidského oka, zejména pak jeho adaptace na světlo, případně tmu. V této části byl zmíněn výpočet hraničního kontrastu, tedy citlivosti oka a aspekty, které jej ovlivňují.

Ke splnění úkolu bylo zapotřebí zajistit 3 vozidla shodné modelové řady vybavené různými typy světelných zdrojů. Dále zrealizovat experimentální měření jasu a vypočítat kontrasty pro jednotlivé vzdálenosti a různě oděné chodce.

V práci jsou hodnoty měření kontrastu uvedeny pomocí grafů, jasových map a fotodokumentace. Tyto materiály jsou také slovně interpretovány. Z experimentálního měření však nelze vyvodit přesnou odpověď na otázku, který druh světelného zdroje je nejlepší. Favorizovaná LED technologie v případě tlumených světel vlivem ostrého rozhraní světlo–tma dosahovala neuspokojivých hodnot. Během měření dálkových světel byly výsledky u této technologie značně lepší. Halogenové světlomety, které díky parazitnímu světlu dosahovaly mnohdy vyšších hodnot než xenonové světlomety. Navzdory tomu, že dochází k pozvolnému vytráčení xenonových světlometů, jsou jejich poslední vývojové generace velmi kvalitní, v měření dosáhly výborných hodnot a lze konstatovat, že řidiči poskytují velmi dobré podmínky za snížené viditelnosti tmou.

### 6.1 NÁVRH DALŠÍHO ŘEŠENÍ

Podprůměrně nízké hodnoty kontrastu u LED světlometů (potkávácí světlo) je nutné nadále zkoumat a vyhodnocovat. Návrhem dalšího řešení je měření světelných parametrů světlometů během dynamických podmínek při využití adaptivních režimů (Country a Motorway Mode) v závislosti na rychlosti vozidla. Ty následně porovnat s výsledky v režimu (Village Mode) naměřenými v této práci. Výsledkem návrhu by měly být podstatně lepší hodnoty kontrastu a také skutečnost, zda lze vůbec adaptivní světlomety v rámci znalecké činnosti staticky měřit.

# SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

## LITERATURA

- [1] BEDNÁŘ, Marek. Jak se vyvíjela světla aut: od acetylenů po lasery. Autoforum.cz [online]. Praha: Autoforum.cz, 2015, 6.9.2015 [cit. 2019-02-01]. Dostupné z: <http://www.autoforum.cz/technika/jak-se-vyvijela-svetla-aut-od-acetylenu-po-lasery/>
- [2] BĚHOUNKOVÁ, Michaela. VYŠETŘENÍ KONTRASTNÍ CITLIVOSTI. Brno, 2017. Bakalářská práce. Masarykova univerzita. Vedoucí práce Mgr. Petr Veselý, DiS., Ph.D.
- [3] DROZD, Radek. APLIKACE PRO ROZPOZNÁVÁNÍ SÍTNICE LIDSKÉHO OKA. Brno, 2012. Bakalářská práce. FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ ÚSTAV INTELIGENTNÍCH SYSTÉMŮ VUT v Brně. Vedoucí práce Doc. Ing. Martin Dražanský, Ph.D.
- [4] HLOCH, Bc. Karel. Světelná technika motorových vozidel [online]. Brno, 2012 [cit. 2019-02-01]. Dostupné z: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKewi86c\\_2iJXgAhWlKxQKHYY7AwAQFjAEgQIAhAC&url=https%3A%2F%2Fis.mendelu.cz%2Fvide%2Fclovek.pl%3Fzalozka%3D13%3Bid%3D10873%3Bstudium%3D49308%3Bzp%3D30053%3Bdownload\\_prace%3D1%3Blang%3Dcz&usg=AOvVaw200K KY3d7hP8qTbhduyQD](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKewi86c_2iJXgAhWlKxQKHYY7AwAQFjAEgQIAhAC&url=https%3A%2F%2Fis.mendelu.cz%2Fvide%2Fclovek.pl%3Fzalozka%3D13%3Bid%3D10873%3Bstudium%3D49308%3Bzp%3D30053%3Bdownload_prace%3D1%3Blang%3Dcz&usg=AOvVaw200K KY3d7hP8qTbhduyQD). Diplomová práce. MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ - AGRONOMICKÁ FAKULTA. Vedoucí práce Ing. Jiří Čupera, Ph.D.
- [5] KLEDUS, Robert; BRADÁČ, Albert; SEMELA, Marek. Porovnání odlišností při rozpoznání objektu řidičem ze stojícího a z jedoucího vozidla na základě jízdních zkoušek v reálném silničním provozu. In Sborník příspěvků 19. konference v Praze 2010. Brno : ÚSI, 2010. s. 19.
- [6] KROPÁČ, František. Problematika znaleckého posuzování střetu vozidla za snížené viditelnosti. Brno, 2002. 106 s. Dizertační práce. Vysoké učení technické v Brně Ústav soudního inženýrství.
- [7] MARTÍNEK, Michal. Osvětlovací technika moderních vozidel a měření dohlednosti na dosvit hlavních světlometů [online]. Brno, 2011 [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/2933>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Ústav soudního inženýrství. Ústav soudního inženýrství. Vedoucí práce Aleš Vémola.
- [8] OLBRECHT, Jan. KONTRASTNÍ CITLIVOST A ŘÍZENÍ MOTOROVÝCH VOZIDEL. Olomouc, 2013. Bakalářská práce. PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY PALACKÉHO V OLOMOUCI KATEDRA OPTIKY. Vedoucí práce RNDr. Jaroslav Wagner, Ph.D.
- [9] VALA, Tomáš. Optimalizace systémů osvětlení vozidel [online]. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010 [cit. 2019-01-30]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/10769>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky. Vedoucí práce Vítězslav Hájek.
- [10] VELIČKOVSKIJ, B. M., V. P. ZINČENKO a A. R. LAURIJA. Psychologie vnímání. 1. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1979. ISBN 810840.
- [11] VÉMOLA, Aleš. Diagnostika automobilů. Brno: Littera, 2006. ISBN 80-857-6331-1.
- [12] Ventruba, J. Kontrastní citlivost, testování a příčiny jejího snížení. Česká oční optika, 1/2008, Společenstvo českých optiků a optometristů. ISSN 1211 233X.
- [13] VLK, F. Automobilová elektrotechnika 1: Asistenční a informační systémy. Brno : František Vlk, 2006. 269 s. ISBN 80-239-6462-3.
- [14] VLK, F. Diagnostika motorových vozidel. Brno : Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2006. 444 s. ISBN 80-239-7064-1.
- [15] VLK, F. Systémy řízení podvozku a komfortní systémy. Automobilová elektronika 2. Brno : Ben - Technická literatura, 2006. 308 s. ISBN 80-239-7062-3.
- [16] VLK, František. Elektrická zařízení motorových vozidel. Brno: František Vlk, 2005. ISBN 80-239-3718-9.

- [17] VORÁLKOVÁ, Kateřina. Zrakové vnímání řidiče v dopravním provozu [online]. Brno, 2012 [cit. 2019-03-18]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/11092>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Ústav soudního inženýrství. Ústav soudního inženýrství. Vedoucí práce Robert Sedlák.
- [18] ŽLEBEK, Michal. OSVĚTLENÍ AUTOMOBILU: LIGHTING SYSTEMS OF VEHICLE. Brno, 2013. Bakalářská práce. Vysoké Učení Technické. Vedoucí práce Doc. Ing. JOSEF ŠTĚTINA, Ph.D.

#### INTERNETOVÉ ZDROJE

- [19] Adaptive Front-Lighting System. Cars innovation [online]. Cars innovation, 2011 [cit. 2019-02-01]. Dostupné z: <http://inocar.blogspot.com/2011/05/adaptive-front-lighting-system.html> Obrázek:
- [20] Alumen: Magazín automotive lighting Jihlava [online]. 2017(1) [cit. 2019-03-15].
- [21] Alumen: Magazín automotive lighting Jihlava [online]. 2018(2) [cit. 2019-03-15].
- [22] Audi Matrix LED & Laser – Ještě účinnější [online]. In: . Praha, 2015, 20.10.2015 [cit. 2018-04-28]. Dostupné z: [https://www.automobilrevue.cz/rubriky/automobily/technika/audi-matrix-led-laser-je-ste-ucinnejsi\\_44442.html](https://www.automobilrevue.cz/rubriky/automobily/technika/audi-matrix-led-laser-je-ste-ucinnejsi_44442.html)
- [23] Barevná teplota. In: TechniLED [online]. Brno: TechniLED, 2015 [cit. 2019-02-01]. Dostupné z: <http://www.techniled.cz/20-barevna-teplota/> obrázek 2:
- [24] DVOŘÁČEK, Ing. Vladimír. Světelné zdroje – halogenové žárovky. In: Earch [online]. Praha: S Lamp, 2010, 4. Únor 2010 [cit. 2019-02-01]. Dostupné z: <http://www.earch.cz/cs/svetelne-zdroje-halogenove-zarovky> - obrázek 9
- [25] DVOŘÁČEK, V.: Světelné zdroje – obyčejné žárovky. Světlo, 4/2008.
- [26] ELEKTROMAGNETICKÉ SPEKTRUM A VIDITELNÉ SVĚTLO. In: Labguide: Průvodce laboratoří [online]. Průvodce laboratoří [cit. 2019-02-01]. Dostupné z: <https://labguide.cz/fluorochromy/> obrázek 1:
- [27] František. Škoda octavia 3 III svetlo LED. In: Bazoš.sk [online]. Nové Zámky: Bazoš.sk, 2018, 29.12. 2018 [cit. 2019-02-01]. Dostupné z: <https://auto.bazos.sk/inzerat/93553897/skoda-octavia-3-III-svetlo-LED.php> Obrázek:
- [28] Google mapy [online]. Česká republika: Google, c2019 [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <https://www.google.cz/maps/@49.2017878,16.4441165,369m/data=!3m1!1e3>
- [29] HAbi 001. Kodíaq AFS. In: Skodahome.cz [online]. Praha: Skodahome.cz, ©2011-2019, 9. Březen 2017 [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: <https://www.google.com/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiY34CpyYThAhWLMQKHUP8AasQjRx6BAgBEAU&url=https%3A%2F%2Fforum.skodahome.cz%2Ftopic%2F138761-led-sv%25C4%259Btla%2F&sig=AOvVaw3WOzRsva8T48eZZAVIxlDp&ust=1552744271702194>
- [30] HALLIDAY, D., RESNICK, R. a WALKER, J. Fyzika. místo neznámé : VUTIUM, 2001. 1254 s. ISBN 80-214-1868.0.
- [31] Halogenové žárovky – stručné technické informace. Fyzweb [online]. Fyzweb, 2017 [cit. 2019-02-01]. Dostupné z: [http://fyzweb.cz/clanky/index.php?id=109&id\\_casti=54](http://fyzweb.cz/clanky/index.php?id=109&id_casti=54)
- [32] Halogenové žárovky – stručné technické informace. Ledvance [online]. Ledvance, 2019 [cit. 2019-02-01]. Dostupné z: <https://www.ledvance.cz/produkty/znalosti-produktu/halogenove-svetelne-zdroje/profesionalni-znalosti/index.jsp>
- [33] Jak vybrat správnou autožárovku. Alza [online]. Praha: Alza, 1994, 25. prosince 2017 [cit. 2019-02-01]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/jak-vybrat-spravnou-autozarovku-art17565.htm>
- [34] KADLECOVÁ, Vladimíra, Ing. David VOŽENÍLEK a Dalibor MIKUŠ. Moderní systém předního osvětlení automobilů (AFS). Světlo: Časopis pro světlo a osvětlování [online]. Nový Jičín: Autopal, 2002, 1.3.2002 [cit. 2019-02-01]. Dostupné z:

- <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/moderni-system-predniho-osvetleni-automobilu-afs--16881>
- [35] KILIÁN, Karel. Světlo mety Digital Light od Mercedesu umí promítat na vozovku. Komu to prospěje?. VTM [online]. CZECH NEWS CENTER, 27. srpna 2018 [cit. 2019-02-01]. Dostupné z: <https://vtm.zive.cz/clanky/svetlomety-digital-light-od-mercedesu-umi-promitat-na-vozovku-komu-to-prospeje/sc-870-a-194737/default.aspx>
- [36] KOCIÁN M. Současný stav a vývoj mezinárodních předpisů pro osvětlení automobilů. Odborné časopisy. [online] 2001 [citováno 25. 2. 2012]. Dostupné na: [http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=22897](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=22897)
- [37] KRAUSS, David A. a Paul L OLSON. Forensic aspects of driver perception and response. Fourth edition. Tucson: Lawyers & Judges Publishing Company, 2015, ix, 326 stran : ilustrace ; 29 cm. ISBN 978-1-936360-33-8.
- [38] LAŽANSKÝ, Milan. Do aut se teď montují čtyři typy světlometů. Vyznáte se v nich?. Autorevue.cz [online]. Praha: Autorevue.cz, 2016, 2. 12. 2016 [cit. 2019-02-01]. Dostupné z: <https://www.autorevue.cz/do-aut-se-ted-montuji-ctyri-typy-svetlometu-vyznate-se-v-nich>
- [39] MoK. Technické rozdělení xenonových světlometů. Motofocus [online]. Bohumín: Motofocus, 17. dubna 2017 [cit. 2019-02-01]. Dostupné z: <https://motofocus.cz/technika/25851,technicke-rozdeleni-xenonovych-svetlometu>
- [40] O\_Halogenový světlomet Škoda Octavia III přední pravý 5E1941016C: Světlomet Škoda Octavia III facelift. In: Škoda díly skladem [online]. Praha: Škoda díly skladem [cit. 2019-02-01]. Dostupné z: <https://www.maxildily.cz/Halogenovy-svetlomet-Skoda-Octavia-III-predni-pravy-5E1941016C-d12765.htm?tab=description>
- [41] OLIVÍK, Pavel. Laserové světlometry – postrach tmy. Technický portál.cz [online]. Praha: Business Media CZ, ©2019, 19. září 2015 [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: [https://www.technickytydenik.cz/rubriky/ekonomika-byznys/laserove-svetlomety-postrach-tmy\\_32367.html](https://www.technickytydenik.cz/rubriky/ekonomika-byznys/laserove-svetlomety-postrach-tmy_32367.html)
- [42] Parametry světelných zdrojů. Gigalighting [online]. České Budějovice: Beneš & Michl, 2019 [cit. 2019-02-01]. Dostupné z: <http://www.gigalighting.cz/parametry-svetelných-zdroju.htm>
- [43] PELLI, Denis g. a Peter BEX. Measuring contrast sensitivity. Vision Research [online]. Elsevier, 2013, 90, 10-14 [cit. 2019-03-18]. DOI: 10.1016/j.visres.2013.04.015. ISSN 0042-6989.
- [44] PROKOPEC, Petr. BMW i8 2014 oficiálně, detailně: má laserová světla, stovku pokorí za 4,4 s. Autoforum.cz [online]. Praha: Autoforum.cz, 2013, 10.9.2013 [cit. 2019-02-01]. Dostupné z: <http://www.autoforum.cz/predstaveni/bmw-i8-2014-oficialne-detailne-ma-laserova-svetla-stovku-pokori-za-4-4-s/>
- [45] Regloskopy. Motex.cz [online]. Praha: Výrobní družstvo Praha, ©2019 [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <https://www.motex.cz/vyrobky/regloskopy/>
- [46] SAJDL, Jan. Xenonové světlometry (výbojky). Autolexicon.net [online]. Autolexicon.net [cit. 2019-02-01]. Dostupné z: [http://www.autolexicon.net/cs/articles/xenonove-svetlomety-vybojky/-OBRAZEK 10](http://www.autolexicon.net/cs/articles/xenonove-svetlomety-vybojky/-OBRAZEK%20)
- [47] Stát chystá povinné kontroly zraku řidičů, problémy má 71 procent. ECHO24.cz [online]. Praha: ECHO MEDIA, 2019©, 21. LISTOPADU 2018 [cit. 2019-03-18]. Dostupné z: <https://echo24.cz/a/SkZgj/stat-chysta-povinne-kontroly-zraku-ridicu-problemy-ma-71-procent>
- [48] Statistika nehodovosti v roce 2018: Mrtvých po dlouhé době přibýlo, alarmující jsou opilí cyklisté!. In: Autoweb.cz [online]. Praha: VIASO, c2019, 16.1.2019 [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://www.autoweb.cz/statistika-nehodovosti-roce-2018-mrtvych-dlouhe-dobe-pribylo-alarmujici-jsou-opili-cykliste/>
- [49] V kolik se rozednívá a stmívá?. Meteogram.cz [online]. Česká republika: Google, c2019, 16.1.2019 [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <https://www.meteogram.cz/vychod-zapad-slunce/>



- [50] V Ostravě vyvíjejí světla pro Škodu, Mercedes, Jaguar i Teslu. In: Novinky.cz [online]. 2018, 21. února 2018 [cit. 2018-04-28]. Dostupné z: <https://www.novinky.cz/auto/463928-v-ostrove-vyvijejí-svetla-pro-skodu-mercedes-jaguar-i-teslu.html>
- [51] VANÍK, František a Vilém HOLEČEK. Světlomety a elektronika světlometů. In: Intech2.tul.cz [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, ©2017, 13.11.2009 [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: [http://intech2.tul.cz/dokumenty/vystupy\\_z\\_projektu/03~Partner%20-%20ŠKODA%20Auto/P2-06\\_Světlomety%20a%20elektronika%20-%20Holeček.pdf](http://intech2.tul.cz/dokumenty/vystupy_z_projektu/03~Partner%20-%20ŠKODA%20Auto/P2-06_Světlomety%20a%20elektronika%20-%20Holeček.pdf)
- [52] Víte, jak funguje LED a OLED dioda?. Proelektrotechniku.cz [online]. Říčany u Prahy: Redakce Proelektrotechniku.cz, 2015 [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: <http://www.proelektrotechniky.cz/vzdelavani/15.php>
- [53] Vše, co potřebujete vědět o barevné teplotě světla. Philips Česká republika [online]. Philips Česká republika, 2018 [cit. 2019-02-01]. Dostupné z: <http://www.lighting.philips.cz/vzdelavani/blog-budoucnost-svetla/svetlo-v-domacnosti/barevna-teplota-svetla-chromaticnost>

## ZÁKONY A VYHLÁŠKY

- [54] NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) č. 678/2011 rámec pro schvalování motorových vozidel a jejich přípojných vozidel, jakož i systémů, konstrukčních součástí a samostatných technických celků určených pro tato vozidla (rámcová směrnice)
- [55] Zákon č. 361/2000 Sb. Zákon o provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonů

## SEZNAM TABULEK

|   |    |
|---|----|
| Tab. 1 - Vlastnosti halogenových žárovek [4] .....  | 26 |
| Tab. 2 - Vlastnosti xenonových výbojek [4] .....  | 28 |
| Tab. 3 - Vlastnosti LED [4] .....   | 33 |
| Tab. 4 - Vlastnosti laserových světlometů [21][41] .....                                      | 34 |
| Tab. 5 - Příčiny snížení kontrastní citlivosti [2] .....                                      | 40 |
| Tab. 6 - Technické parametry fotoaparátu (digitální zrcadlovka Nikon D7000) [vlastní] .....   | 45 |
| Tab. 7 - Technické parametry objektivu AF-S DX NIKKOR 18-105 f/3,5-5,6G ED VR [vlastní] ..... | 45 |
| Tab. 8 - Západ Slunce [53] .....  | 51 |

## SEZNAM OBRÁZKŮ

|   |    |
|---|----|
| Obr. 1 - Barvy světla na základě vlnové délky ( $\lambda$ ) [14] .....                  | 18 |
| Obr. 2 - Chromatičnost světla [15] .....  | 18 |
| Obr. 3 - Homologační značka EHK na motorovém vozidle. [11] .....                        | 20 |
| Obr. 4 - Pouzdro a sklo světlometu s čirou optikou .....                                | 22 |
| Obr. 5 - Dekorační součásti světlometů .....  | 22 |
| Obr. 6 - AFL adaptivní světlometry [19] .....   | 23 |
| Obr. 7 - Typy žárovek a patič pro motorová vozidla [16] .....                           | 23 |
| Obr. 8 - Halogenová žárovka [18] .....  | 24 |
| Obr. 9 - Halogenový cyklus [24] .....   | 25 |
| Obr. 10 - Halogenový světlomet (Škoda Octavia III. facelift) [40] .....                 | 25 |
| Obr. 11 - Xenonová výbojka [39] .....   | 26 |
| Obr. 12 - Samočinná regulace sklonu světlometů [51] .....                               | 27 |
| Obr. 13 - Teleskopický ostřikovač světlometu [51] .....                                 | 27 |
| Obr. 14 - Xenonový světlomet (Škoda Octavia III.) [40] .....                            | 28 |
| Obr. 15 - Struktura LED [7] .....   | 29 |
| Obr. 16 - Struktura OLED [7] .....  | 30 |
| Obr. 17 - LED modul [50] .....  | 30 |
| Obr. 18 - LED Matrix (Audi) [22] .....  | 31 |
| Obr. 19 - LED Surface technologie [22] .....  | 31 |
| Obr. 20 - LED Digital Light (Mercedes-Benz) [35] .....                                  | 32 |
| Obr. 21 - Full-LED světlomet (Škoda Octavia III. facelift) [27] .....                   | 32 |
| Obr. 22 - Skladba laserového světlometu BMW řady 8 [21] .....                           | 33 |
| Obr. 23 - Asymetrické rozdělení světla [52] .....                                       | 34 |
| Obr. 24 - Reflektorový světlomet [51] .....   | 35 |
| Obr. 25 - Bi-xenonový světlomet s projekční jednotkou [51] .....                        | 36 |
| Obr. 26 - Adaptivní světlometry AFL [51] .....  | 36 |
| Obr. 27 - LED světlometry s adaptivním statickým systémem [29] .....                    | 37 |
| Obr. 28 - Skladba lidského oka [3] .....  | 38 |
| Obr. 29 - Křivka kontrastní citlivosti [2] .....  | 40 |
| Obr. 30 - Měření světlometu regloskopem [2] .....                                       | 43 |
| Obr. 31 - Regloskop MOTEX 7600 [45] .....   | 44 |
| Obr. 32 - Škoda Octavia III. generace (facelift) - halogenový světlomet [vlastní] ..... | 46 |
| Obr. 33 - Halogenová žárovka H7 [vlastní] .....   | 47 |
| Obr. 34 - Halogenová žárovka H1 [vlastní] .....   | 47 |
| Obr. 35 - Škoda Octavia III. generace - bi-xenonový světlomet [vlastní] .....           | 47 |
| Obr. 36 - Xenonová výbojka D3S (spodní strana) [vlastní] .....                          | 48 |

|  |    |
|--|----|
| Obr. 37 - Xenonová výbojka D3S [vlastní].....  | 48 |
| Obr. 38 - Škoda Octavia III.generace RS230 (facelift) - full-LED světlomet [vlastní] ..... | 48 |
| Obr. 39 - Černé oblečení [vlastní] .....   | 49 |
| Obr. 40 - Volnočasové oblečení (světlé) [vlastní] .....                                    | 49 |
| Obr. 41 - Vybraný úsek měření [52].....  | 50 |
| Obr. 42 - Vybraný úsek měření (StreetView) [52] .....                                      | 50 |
| Obr. 43 - Západ Slunce [53].....   | 51 |
| Obr. 44 - Umístění stativu přístroje LumiDISP [vlastní] .....                              | 52 |
| Obr. 45 - Vzorec pro výpočet kontrastu [vlastní].....                                      | 52 |
| Obr. 46 - Jasová mapa (xenonové světlometry-potkávací-100 m) [vlastní] .....               | 53 |
| Obr. 47 - Jasová mapa (detail Obr.47) kontrast 2,30 [vlastní] .....                        | 53 |
| Obr. 48 - Kontrastní mapa (xenonové světlometry-potkávací-100 m) [vlastní] .....           | 54 |
| Obr. 49 - Jasová mapa (xenonové světlometry-dálkové-100 m) [vlastní] .....                 | 54 |
| Obr. 50 - Jasová mapa (Detail Obr. 49) kontrast 8,05 [vlastní] .....                       | 55 |
| Obr. 51 - Kontrastní mapa (xenonové světlometry-dálkové-100 m) [vlastní] .....             | 55 |
| Obr. 52 - Graf závislosti kontrastu na vzdálenosti (č_potkávací) .....                     | 57 |
| Obr. 55 – LED_č_potkávací_60 m_kontrast 0,18 [vlastní].....                                | 59 |
| Obr. 53 – Xenon_č_potkávací_60 m_kontrast 2,66 [vlastní] .....                             | 59 |
| Obr. 54 – Halogen_č_potkávací_60 m_kontrast 1,35 [vlastní] .....                           | 59 |
| Obr. 56 – Detail_LED_č_potkávací_60 m [vlastní].....                                       | 59 |
| Obr. 57 - Detail_xenon_č_potkávací_60 m [vlastní].....                                     | 59 |
| Obr. 58 – Detail_halogen_č_potkávací_60 m [vlastní] .....                                  | 59 |
| Obr. 59 - Pohled z vozidla_halogen_č_potkávací_60 m [vlastní] .....                        | 59 |
| Obr. 60 - Pohled z vozidla_LED_č_potkávací_60 m [vlastní] .....                            | 59 |
| Obr. 61 - Pohled z vozidla_xenon_č_potkávací_60 m [vlastní] .....                          | 59 |
| Obr. 62 - Xenon_č_potkávací_30 m_kontrast 2,53 [vlastní] .....                             | 60 |
| Obr. 63 - Halogen_č_potkávací_30 m_kontrast 1,48 [vlastní] .....                           | 60 |
| Obr. 64 - LED_č_potkávací_30 m_kontrast 3,60 [vlastní] .....                               | 60 |
| Obr. 65 - Detail_LED_č_potkávací_30 m [vlastní].....                                       | 60 |
| Obr. 66 - Detail_xenon_č_potkávací_30 m [vlastní].....                                     | 60 |
| Obr. 67 - Detail_halogen_č_potkávací_30 m [vlastní].....                                   | 60 |
| Obr. 70 - Pohled z vozidla_halogen_č_potkávací_30 m [vlastní] .....                        | 60 |
| Obr. 69 - Pohled z vozidla_xenon_č_potkávací_30 m [vlastní] .....                          | 60 |
| Obr. 68 - Pohled z vozidla_LED_č_potkávací_30 m [vlastní] .....                            | 60 |
| Obr. 71 - Graf závislosti kontrastu na vzdálenosti (č_dálková) .....                       | 62 |
| Obr. 74 - Xenon_č_dálková_60 m_kontrast 21,06 [vlastní] .....                              | 64 |
| Obr. 73 - LED_č_dálková_60 m_kontrast 17,50 [vlastní] .....                                | 64 |
| Obr. 72 - Halogen_č_dálková_60 m_kontrast 15,77 [vlastní] .....                            | 64 |

|  |    |
|--|----|
| Obr. 75 - Detail_halogen_č_ dálková_ 60 m [vlastní] .....              | 64 |
| Obr. 77 - Detail_xenon_č_ dálková_ 60 m [vlastní] .....                | 64 |
| Obr. 76 - Detail_LED_č_ dálková_ 60 m [vlastní] .....                  | 64 |
| Obr. 80 - Pohled z vozidla_halogen_č_ dálková_ 60 m [vlastní] .....    | 64 |
| Obr. 79 - Pohled z vozidla_xenon_č_ dálková_ 60 m [vlastní] .....      | 64 |
| Obr. 78 - Pohled z vozidla_LED_č_ dálková_ 60 m [vlastní] .....        | 64 |
| Obr. 81 - Halogen_č_ dálková_ 30 m_kontrast 64,05 [vlastní] .....      | 65 |
| Obr. 82 - Xenon_č_ dálková_ 30 m_kontrast 50,02 [vlastní] .....        | 65 |
| Obr. 83 - LED_č_ dálková_ 30 m_kontrast 44,33 [vlastní] .....          | 65 |
| Obr. 84 - Detail_halogen_č_ dálková_ 30 m [vlastní] .....              | 65 |
| Obr. 85 - Detail_xenon_č_ dálková_ 30 m [vlastní] .....                | 65 |
| Obr. 86 - Detail_LED_č_ dálková_ 30 m [vlastní] .....                  | 65 |
| Obr. 87 - Pohled z vozidla_LED_č_ dálková_ 30 m [vlastní] .....        | 65 |
| Obr. 88 - Pohled z vozidla_xenon_č_ dálková_ 30 m [vlastní] .....      | 65 |
| Obr. 89 - Pohled z vozidla_halogen_č_ dálková_ 30 m [vlastní] .....    | 65 |
| Obr. 90 - Graf závislosti kontrastu na vzdálenosti (s_potkávací) ..... | 67 |
| Obr. 91 - LED_s_potkávací_ 60 m_kontrast 0,82 [vlastní] .....          | 69 |
| Obr. 92 - Xenon_s_potkávací_ 60 m_kontrast 11,24 [vlastní] .....       | 69 |
| Obr. 93 - Halogen_s_potkávací_ 60 m_kontrast 4,19 [vlastní] .....      | 69 |
| Obr. 95 - Detail_xenon_s_potkávací_ 60 m [vlastní] .....               | 69 |
| Obr. 96 - Detail_halogen_s_potkávací_ 60 m [vlastní] .....             | 69 |
| Obr. 94 - Detail_LED_s_potkávací_ 60 m [vlastní] .....                 | 69 |
| Obr. 99 - Pohled z vozidla_halogen_s_potkávací_ 60 m [vlastní] .....   | 69 |
| Obr. 97 - Pohled z vozidla_LED_s_potkávací_ 60 m [vlastní] .....       | 69 |
| Obr. 98 - Pohled z vozidla_xenon_s_potkávací_ 60 m [vlastní] .....     | 69 |
| Obr. 100 - Xenon_s_potkávací_ 30 m_kontrast 11,97 [vlastní] .....      | 70 |
| Obr. 101 - LED_s_potkávací_ 30 m_kontrast 16,09 [vlastní] .....        | 70 |
| Obr. 102 - Halogen_s_potkávací_ 30 m_kontrast 6,42 [vlastní] .....     | 70 |
| Obr. 103 - Detail_LED_s_potkávací_ 30 m [vlastní] .....                | 70 |
| Obr. 104 - Detail_xenon_s_potkávací_ 30 m [vlastní] .....              | 70 |
| Obr. 105 - Detail_halogen_s_potkávací_ 30 m [vlastní] .....            | 70 |
| Obr. 107 - Pohled z vozidla_xenon_s_ dálková_ 30 m [vlastní] .....     | 70 |
| Obr. 108 - Pohled z vozidla_halogen_s_ dálková_ 30 m [vlastní] .....   | 70 |
| Obr. 106 - Pohled z vozidla_LED_s_ dálková_ 30 m [vlastní] .....       | 70 |
| Obr. 109 - Graf závislosti kontrastu na vzdálenosti (s_ dálková) ..... | 72 |
| Obr. 110 - Halogen_s_ dálková_ 60 m_kontrast 24,26 [vlastní] .....     | 74 |
| Obr. 111 - LED_s_ dálková_ 60 m_kontrast 28,09 [vlastní] .....         | 74 |
| Obr. 112 - Xenon_s_ dálková_ 60 m_kontrast 23,19 [vlastní] .....       | 74 |

|  |    |
|--|----|
| Obr. 113 - Detail_LED_č_ dálková_ 60 m [vlastní].....                | 74 |
| Obr. 115 - Detail_halogen_s_ dálková_ 60 m [vlastní] .....           | 74 |
| Obr. 114 - Detail_xenon_s_ dálková_ 60 m [vlastní] .....             | 74 |
| Obr. 118 - Pohled z vozidla_halogen_s_ dálková_ 60 m [vlastní] ..... | 74 |
| Obr. 117 - Pohled z vozidla_xenon_s_ dálková_ 60 m [vlastní] .....   | 74 |
| Obr. 116 - Pohled z vozidla_LED_s_ dálková_ 60 m [vlastní] .....     | 74 |
| Obr. 119 - Xenon_s_ dálková_ 30 m_kontrast 48,7 [vlastní] .....      | 75 |
| Obr. 120 - LED_s_ dálková_ 30 m_kontrast 37,88 [vlastní] .....       | 75 |
| Obr. 121 - Halogen_s_ dálková_ 30 m_kontrast 70,2 [vlastní] .....    | 75 |
| Obr. 122 - Detail_LED_s_ dálkové_ 30 m [vlastní].....                | 75 |
| Obr. 123 - Detail_xenon_s_ dálkové_ 30 m [vlastní].....              | 75 |
| Obr. 124 - Detail_halogen_s_ dálkové_ 30 m [vlastní].....            | 75 |
| Obr. 125 - Pohled z vozidla_LED_s_ dálková_ 30 m [vlastní] .....     | 75 |
| Obr. 126 - Pohled z vozidla_xenon_s_ dálková_ 30 m [vlastní] .....   | 75 |
| Obr. 127 - Pohled z vozidla_halogen_s_ dálková_ 30 m [vlastní] ..... | 75 |

## SEZNAM ZKRATEK

|      |  |
|------|--|
| AFL  | Adaptive Frontlighting System                  |
| AFS  | Adaptive Frontlight System                     |
| DN   | Dopravní nehoda                                |
| EHK  | Evropská hospodářská komise OSN                |
| GPS  | Global Positioning System                      |
| HDG  | Hell Dunkel Grenze                             |
| HDMI | High-Definition Multi-media Interface          |
| HID  | High Density Discharge                         |
| ISO  | International Organization for Standardization |
| JPEG | Joint Photographics Experts Group              |
| LED  | Light Emitting Diode                           |
| NEF  | Nikon Electronic Format                        |
| OLED | Organic Light Emmiting Diode                   |
| OZV  | Oblast zakrytého výhledu                       |
| RAW  | Read After Write                               |
| USB  | Universal Serial Bus                           |

## SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha č. 1: Naměřené hodnoty jasů a celkový kontrast (Halogenové světlomety)
- Příloha č. 2: Naměřené hodnoty jasů a celkový kontrast (Xenonové světlomety)
- Příloha č. 3: Naměřené hodnoty jasů a celkový kontrast (LED světlomety)
- Příloha č. 4: Jasové mapy (Halogenové světlomety)
- Příloha č. 5: Jasové mapy (Xenonové světlomety)
- Příloha č. 6: Jasové mapy (LED světlomety)