



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA DOPRAVNÍ**

Vaněk František

**Návrh řešení přední skupiny světlometů pro městské  
elektrické vozidlo**

Bakalářská práce

**2024**

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

děkan

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



**K616.....Ústav dopravních prostředků**

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE** (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**František Vaněk**

Studijní program (obor/specializace) studenta:

**bakalářský – DOS – Dopravní systémy a technika**

Název tématu (česky): **Návrh řešení přední skupiny světlometů pro městské elektrické vozidlo**

Název tématu (anglicky): Design of the Headlight Cluster for an Urban Electric Vehicle

### **Zásady pro vypracování**

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Proveďte rešerši aktuálních trendů a technologií používaných při návrhu přední skupiny světlometů u osobních silničních vozidel
- Popište všechny důležité parametry přední skupiny světlometů, včetně popisu jejich zkoušek
- Shrňte legislativní rámec řešení světlometů obecně pro kategorii L7
- Na základě rešerše popište a navrhnete osvětlení pro městský elektromobil
- Proveďte praktické měření světlometů u vozidla kategorie L7, naměřená data analyzujte a diskutujte výsledky
- Veškeré návrhy a postupy cíte na užití v projektu experimentálního městského EV, které vzniká na ústavu K616 FD ČVUT

Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucích

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: FIRST, Jiří. Zkoušení automobilů a motocyklů: příručka pro konstruktéry. Praha: S&T CZ, 2008. ISBN 978-80-254-1805-5

Vlk, František.: Elektrická zařízení motorových vozidel. Brno: František Vlk, 2005. ISBN 80-239-3718-9.

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Josef Mík, Ph.D.**

**Ing. Michal Cenkner**

Datum zadání bakalářské práce:

**23. června 2023**

(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce:

**5. srpna 2024**

- a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia  
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

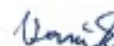


doc. Ing. Petr Bouchner, Ph.D.  
vedoucí  
Ústavu dopravních prostředků



prof. Ing. Ondřej Příbyl, Ph.D.  
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.



František Vaněk  
jméno a podpis studenta

V Praze dne ..... 23. června 2023

## PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych velmi rád poděkoval svým vedoucím práce, kterými jsou pan Ing. Josef Mík Ph.D a Ing. Michal Cenkner za jejich vedení, rady, konzultace a pomoc při psaní bakalářské práce. Děkuji Ing. Přemyslu Tomanovi, za ochotu a rady ohledně elektrických obvodů, které byly potřeba realizovat pro praktické měření, děkuji Janu Válkovi, DiS za jeho pomoc s testovací platformou LED pásku a dále bych rád poděkoval všem svým blízkým, přátelům a rodině za psychickou podporu nejen během psaní práce, ale i během celého studia.

## PROHLÁŠENÍ

Nemám závažný důvod proti užívání tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).“ (pokud nebyla tato závěrečná práce zadána jako utajená dle čl. 15 odst. 11 aktuální Směrnice děkana pro realizaci bakalářských a magisterských studijních programů).

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval(a) samostatně a uvedl(a) veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací a Rámcovými pravidly používání umělé inteligence na ČVUT pro studijní a pedagogické účely v Bc. a NM studiu.

V Praze dne 05. 08. 2024

.....

podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

Návrh řešení přední skupiny světlometů pro městské elektrické vozidlo

bakalářská práce

srpen 2024

František Vaněk

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá shrnutím trendů v oblasti vnějšího předního osvětlení vozidel, součástkami, které se pro konstrukci světelných zařízení v automobilovém průmyslu užívají, testování samotných světlometů a popisuje legislativní rámec z hlediska předpisů EHK.

Na základě těchto informací je navrženo přední osvětlení experimentálního městského elektrického vozidla Evgen, které spadá do kategorie L7, dle dělení vozidel do kategorií podle EU.

Klíčová slova: světlomet, kolorimetrie, EHK, osvětlení, světelný tok, svítivost, geometrie

## **ABSTRACT**

The bachelor's thesis deals with summarizing the trends in the field of external front lighting of vehicles, the components that are used for the construction of lighting devices in the automotive industry, testing the headlights themselves and describes the legislative framework from the point of view of the ECE regulations.

On the basis of this information are designed the front headlights of the experimental urban electric vehicle Evgen, which falls into category L7, according to the division of vehicles into categories according to the EU.

Keywords: headlight, colorimetry, ECE (EHK), lighting, luminous flux, luminosity, geometry

# OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK .....	9
1 Úvod .....	10
2 Signální charakteristiky automobilu .....	11
2.1 Osvětlení vozidel .....	11
2.2 Druhy osvětlení a světelné signalizace a jejich vlastnosti .....	12
2.3 Terminologie osvětlení na vozidle .....	12
2.4 Základní fyzikální veličiny .....	13
2.4.1 Měrný výkon $\eta$ .....	13
2.4.2 Svítivost zdroje $I$ .....	13
2.4.3 Světelný tok $\phi$ .....	13
2.4.4 Intenzita osvětlení $E$ .....	14
2.4.5 Frekvence $f$ .....	14
2.4.6 Vlnová délka $\lambda$ .....	14
2.5 Geometrie světel .....	15
Referenční osa .....	15
Geometrické charakteristiky .....	15
Geometrická viditelnost .....	16
2.6 Kolorimetrie světel .....	17
3 Světlomety .....	20
3.1 Součástky světlometů .....	21
3.1.1 Reflektor .....	21
3.1.2 Projektor .....	21
3.1.3 Krycí sklo .....	21
3.1.4 Pouzdro .....	22
3.2 Zdroje světla .....	22
3.2.1 Konvenční žárovka .....	23

3.2.2	Halogenové žárovky .....	23
3.2.3	Výbojky.....	23
3.2.4	Zářivky.....	24
3.2.5	Xenonové výbojky.....	24
3.2.6	LED diody.....	24
3.2.7	Shrnutí.....	25
3.3	Druhy světlometů .....	25
3.3.1	Klasický světlomet.....	25
3.3.2	Parabolický světlomet.....	26
3.3.3	Elipsoidní světlomet.....	26
3.3.4	Světlomet s volnou plochou .....	27
3.3.5	Kombinovaný světlomet.....	27
3.3.6	Projekční světlomet .....	27
3.4	Aktuální trendy .....	28
	Matrix LED světlometry .....	28
	Bugatti Bolide.....	29
	Selektivní žlutá.....	29
4	Legislativní rámec .....	30
4.1	Legislativa související s osvětlením vozidel .....	30
4.2	Rozložení osvětlení dle předpisu EHK 48.....	31
4.3	Přední světla osobních automobilů.....	31
4.3.1	Potkávací světla .....	32
4.3.2	Dálková světla .....	32
4.3.3	Denní světla.....	33
4.3.4	Přední obrysová světla .....	33
4.3.5	Přední mlhová světla .....	34
4.3.6	Přední směrová světla .....	34
4.4	Shrnutí .....	35



5	Druhy zkoušek světlometů .....	36
5.1	Fotometrické testování .....	36
5.1.1	Zařízení pro kontrolu montáže osvětlení a světelné signalizace.....	36
5.1.2	Kontrola montáže.....	38
5.2	Testování životnosti.....	40
5.3	Elektrické testování .....	40
5.4	Testování prostředí .....	41
5.5	Testování bezpečnosti.....	41
6	Kategorie vozidla L7.....	42
6.1	Světlomety na vozidle kategorie L7 .....	42
6.2	Výčet vozidel kategorie L7.....	42
6.2.1	Squad Solar.....	42
6.2.2	Tazzari Zero .....	43
6.2.3	Renault Twizzy .....	44
6.2.4	Bajaj Qute.....	45
6.2.5	Shrnutí.....	46
7	Návrh přední skupiny světlometů .....	47
7.1	Varianta 1: reflektor .....	47
7.2	Varianta 2: projektor .....	49
7.3	Návrh přední skupiny světel .....	50
7.3.1	Projekční světlomet pro vozidlo Evgen .....	51
7.3.2	LED pásek.....	52
8	Praktické měření .....	54
8.1	Elektrické měření.....	54
	Kontrola potkávacích světel .....	54
	Kontrola dálkových světel.....	55
	Shrnutí .....	56
8.2	Měření světelných vlastností .....	57

8.2.1	Světelné vlastnosti světloometu.....	59
	Výpočty rozměrů: .....	61
	Výpočty světelných veličin:.....	61
8.2.2	Světelná mapa světloometů.....	62
9	Diskuse výsledků .....	64
10	Závěr.....	65
11	Seznam obrázků .....	67
12	Seznam tabulek .....	70
	POUŽITÉ ZDROJE .....	71

## **SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK**

CIE – Mezinárodní komise pro osvětlování

EU – Evropská unie

EV – elektrické vozidlo

ECE – Economic Commission for Europe (EHK)

EHK – Evropská hospodářská komise

EHS – Evropské hospodářské společenství

HID – High-Intensity Discharge (vysoce intenzivní výboj)

LED – Light Emitting Diode (světlo emitující dioda)

OSN – Organizace spojených národů

RGB – Red-green-blue

SPZ – státní poznávací značka

# 1 Úvod

Správné vnější osvětlení vozidel je základním faktorem k bezpečnosti na pozemních komunikacích. Samotné osvětlení se skládá z mnoha částí, jak legislativních, tak konstrukčních. Dohromady mají soubory předpisů a správná konstrukční řešení zajistit vozidlu dobrou viditelnost, to je aby vozidlo informovalo ostatní účastníky silničního provozu a zároveň aby měl řidič zmíněného vozidla dostatečný rozhled pro bezpečnou jízdu [1]. Na vozidle nalezneme hned několik druhů osvětlení, mezi které se řadí například obrysové, potkávací, dálkové, směrové, denní a mlhové, přičemž každé má na vozidle svůj nezaměnitelný účel a je užíváno v jiných situacích a za jiných podmínek, které mohou být stanoveny zákonem. Samotné druhy osvětlení jsou neměnné a dané, ovšem trendy a technologie užívané v tomto odvětví se s časem mění. V dnešní době jsou klasické konvenční žárovky nahrazovány LED zdroji světla pro jejich úspornost a dlouhou životnost a zároveň je díky jejich jednoduché konstrukci a ovladatelnosti možné je programovat do chytrých osvětlení, které přispívá k bezpečnosti provozu a komfortu samotného řidiče.

V práci je věnována pozornost popisu fyzikálních veličin, které souvisí s osvětlením na vozidle, dále popis samotných světlometů včetně jejich součástí, druhů světlometů, druhů zdrojů světla, které můžeme v automobilu nalézt a také aktuální trendy vnějšího předního osvětlení v automobilovém průmyslu.

Práce je také zaměřena na legislativu předního osvětlení dvoustopých vozidel z hlediska předpisů EHK, které byly shrnuty a popsány pro kategorii L7, což je kategorie dle EU, do níž spadá řešené městské EV Evgen. Pro lepší orientaci a inspiraci pro návrh předních světlometů na zmíněném vozidle je v práci zahrnuta rešerše a průzkum trhu současných vozidel této kategorie a také samotné testování světlometů.

Praktická část se zaměřuje na samotný návrh předního osvětlení městského EV, přičemž byly navrženy 2 varianty, z nichž jedna byla zvolena jako vyhovující a na té bylo dále pracováno. Návrh zahrnuje umístění světlometů na vozidle dle předpisu EHK 48 pro jednotlivé navržené druhy svícení a zda toto konkrétní rozložení vyhovuje. Po vybrání konkrétního světelného zařízení pro potkávací a dálkové svícení bylo provedeno elektrické měření a měření světelných vlastností. Výsledky pokusů jsou směřovány na splnění předpisů a jsou popsány v diskuzích.

## 2 Signální charakteristiky automobilu

Pojem signální (též varovné) charakteristiky označuje vlastnost dopravního prostředku upozornit ostatní účastníky provozu, že je konkrétní vozidlo v pohybu, nebo se chystá vykonat úkon, který by mohl ohrozit, nebo omezit již zmíněné účastníky provozu [1]. Primárně je to tedy schopnost vozidla „být viděno a slyšeno“. Tyto charakteristiky mají zejména za úkol předejít, odvrátit, nebo zmírnit nebezpečí.

Signální (varovná) zařízení na vozidle působí na vjemy účastníků provozu (zrak, sluch) a rozeznáváme tedy následující prostředky se signální funkcí:

- osvětlení + odraz
- zvuková signalizace
- tvarová, barevná (kolorická) signalizace

Práce je zaměřena pouze na osvětlení vozidel. Zvuková signalizace v této práci není obsažena ani zahrnuta.

### 2.1 Osvětlení vozidel

Jsou to technické prostředky, které tvoří soubor vnějšího osvětlení vozidla a mají dvě základní funkce vidět a být viděn. Podle definice je plné znění takto:

- zajistit dostatečný rozhled a dohled řidiči, zejména při snížené viditelnosti
- upozornit ostatní účastníky provozu na dopravní prostředek v provozu

Tyto funkce plní: hlavní a potkávací světla, dálkový světlomet, přední světla do mlhy a zpětná světla s tím, že signální funkci plní všechny. Právě upozornění je jeden z řešených problémů v této práci, ta se vztahuje k inkriminovaným předním světlometům. [1]

Na vozidla jsou umisťována jen taková zařízení, která jsou určena legislativou. Ne všechny jsou však povinné. Některé mohou být montovány z vůle konkrétního výrobce vozidel, avšak všechny musí projít dvojím schválením:

- schválení parametrů zařízení mimo vozidlo (demonstrováno a testováno jako samostatný subjekt)
- schválení zástavby na vozidle (zařízení namontováno na vozidle a testováno s vozidlem, jako jeden systém)

Samostatně testovaná a schválená světelná zařízení jsou instalována na vozidla, přičemž své signální funkce plní právě ve spojení s vozidlem.

## 2.2 Druhy osvětlení a světelné signalizace a jejich vlastnosti

Legislativně jsou definovány následující druhy osvětlení [1]:

- dálkový světlomet
- potkávací světlomet
- přední světlomet do mlhy
- zadní světlomet do mlhy
- zpětný světlomet
- směrové světlo
- výstražný signál
- osvětlení zadní registrační značky
- brzdové světlo
- přední obrysové světlo
- zadní obrysové světlo
- parkovací světlo
- boční obrysové světlo
- doplňkové obrysové světlo
- denní světlo
- přední odrazové sklo
- přední odrazové světlo trojúhelníkové
- přední odrazové světlo ne trojúhelníkové
- boční odrazové sklo

Světla mohou být samostatná, skupinová (ve společném pouzdře), sdružená (ve společném pouzdře a se společným zdrojem světla) nebo sloučená (mohou mít jediný zdroj světla, který je činný různými způsoby). [1]

## 2.3 Terminologie osvětlení na vozidle

Při kontrole instalace osvětlení se používají určité parametry, které definuje předpis EHK 48 [1] [28]. Obvykle se ověřuje:

- přítomnost (povinné nebo volitelné použití podle typu vozidla) osvětlení
- počet svítilen pro jeden druh osvětlení
- uspořádání osvětlení
- poloha (umístění na vozidle) osvětlení
- geometrická viditelnost
- orientace (směrování)

- elektrické zapojení
- indikátor (udání informace řidiči o rozsvícení určitého druhu svícení)

Každý zdroj světla na silničním motorovém vozidle má své geometrické a kolorimetrické charakteristiky a svojí referenční osu.

## 2.4 Základní fyzikální veličiny

Každý zdroj světla má určité fyzikální vlastnosti, které ho definují. V této kapitole jsou popsány nejpoužívanější fyzikální veličiny.

### 2.4.1 Měrný výkon $\eta$

Měrný výkon elektrického zdroje vyjadřuje vztah mezi světelným tokem a elektrickým příkonem. Jednotkou měrného výkonu je lumen na watt:  $\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$ . Bývá udáván na baňce žárovky jako příkon ve wattech. Údaj je relativní a na rozdíl od měrného výkonu umožňuje srovnání svítivosti jen mezi zdroji stejného druhu, protože neuvažuje účinnost přeměny el. energie ve světelnou v daném zdroji. [3]

### 2.4.2 Svítivost zdroje $I$

Svítivost zdroje je *hustota elektrické energie*, vyzařovaná do určitého směru. Hlavní jednotkou je kandela (cd), která je jednou ze základních jednotek soustavy SI. [3]

### 2.4.3 Světelný tok $\phi$

Světelný tok je *množství světelné energie* vydané zdrojem světla za jednu sekundu. [3] Jednotkou světelného toku je lumen (lm), který je odvozený od jiných jednotek SI soustavy a je definován jako množství světla vyzařovaný do prostorového úhlu jednoho steradiánu (st) bodovým zdrojem, jehož svítivost je ve všech směrech 1 kandela (cd). [5]

Pozn.: steradián (st) je základní jednotka SI soustavy

Pro porovnání jednotky výkonu (wattu) s jednotkou světelného toku je k dispozici *tabulka č. 1*:

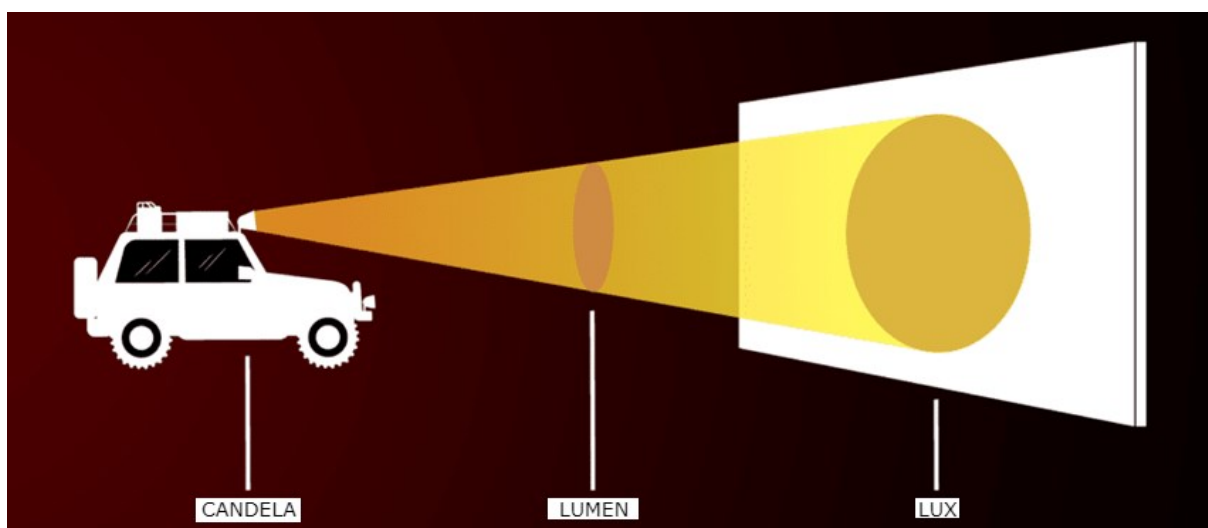
$P = [\text{W}]$	$\phi = [\text{lm}]$
100	1521
75	1055
60	806
40	407
25	249

Tabulka 1: Porovnání wattu s lumeny [5]

#### 2.4.4 Intenzita osvětlení $E$

Intenzita osvětlení je fotometrická veličina a přezdívá se jí *hustota světelného toku* a je definována jako světelný tok dopadající na jednotku plochy. Hlavní jednotkou je lux (lx). Ta je vypočtena jako podíl světelného toku a plochy:  $lx = lm/m^2$ . [6]

Pro pochopení a jednodušší uvědomění jsou jednotky osvětlení (lx), světelného toku (lm) a svítivosti zdroje (cd) znázorněny v *obrázku č. 1*.



Obrázek 1: Vztah mezi veličinami svítivosti, světelného toku a osvětlení, [51]

#### 2.4.5 Frekvence $f$

Frekvence je fyzikální veličina, která vyjadřuje, kolikrát se periodický děj zopakuje během určitého časového intervalu. [35]

U světel rozlišujeme frekvenci kolorimetrie (viz *kapitola 2.6*), neboli jeho viditelného spektra, a také frekvenci spínání výstražných signálů. Ta by měla být při všech napětích, která se vyskytují při běžném provozu vozidel, 1–2 Hz. [1]

#### 2.4.6 Vlnová délka $\lambda$

Vlnová délka je charakteristika vlnění, která popisuje jeho prostorovou opakovatelnost. Určuje nejmenší vzdálenost mezi dvěma odpovídajícími body na šířící se vlně, například mezi dvěma vrcholy nebo dvěma údolími [34]. Základní jednotkou je metr (m).

Určuje zejména barevnost světelného zdroje (viz *kapitola 2.6*).



## 2.5 Geometrie světla.

### Referenční osa

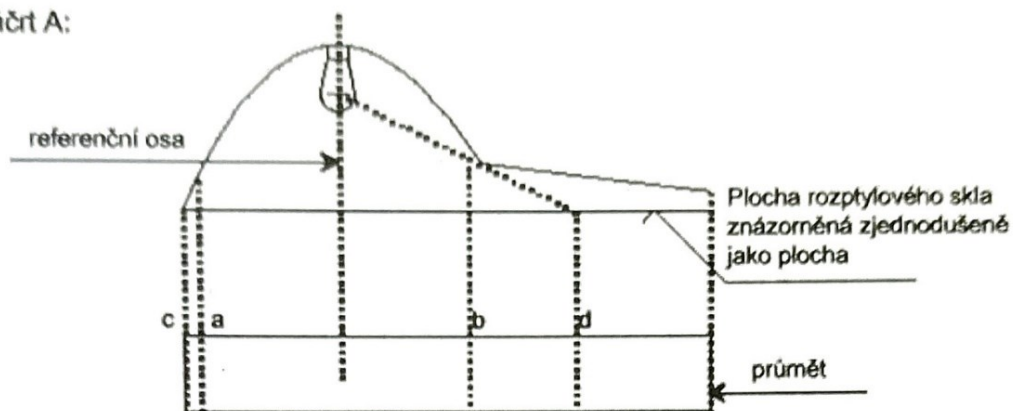
Referenční (optická) osa světelného zařízení je *přímka, k níž jsou vztahovány světelné vlastnosti světla* [3]. Referenční střed je průsečík referenční osy s výstupní plochou světla (patrné z obrázku č. 2).

Pro umístění světelných vnějšího osvětlení platí obecně, že v jejich základním postavení musí být jejich referenční osy vodorovné a rovnoběžné s podélnou svislou rovinou souměrnosti vozidla.

### Geometrické charakteristiky

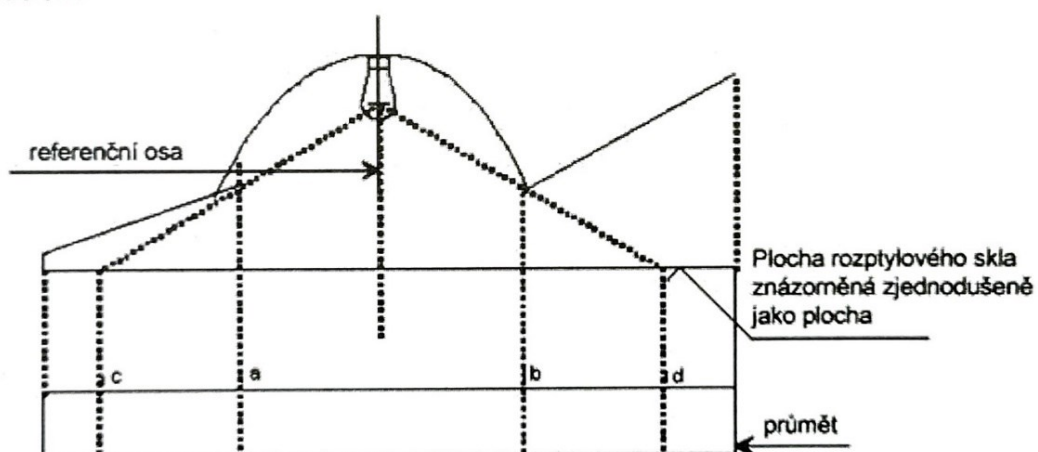
Pro světelná zařízení platí definiční a rozměrové veličiny uvedené na obrázku č. 2.

Náčrt A:



	Svítilicí plocha	Plocha vyzařující světlo
Okraje jsou	"a" a "b"	"c" a "d"

Náčrt B:



	Svítilicí plocha	Plocha vyzařující světlo
Okraje jsou	"a" a "b"	"c" a "d"

Obrázek 2: Svítilicí plocha v porovnání k ploše světelné emise, [1]

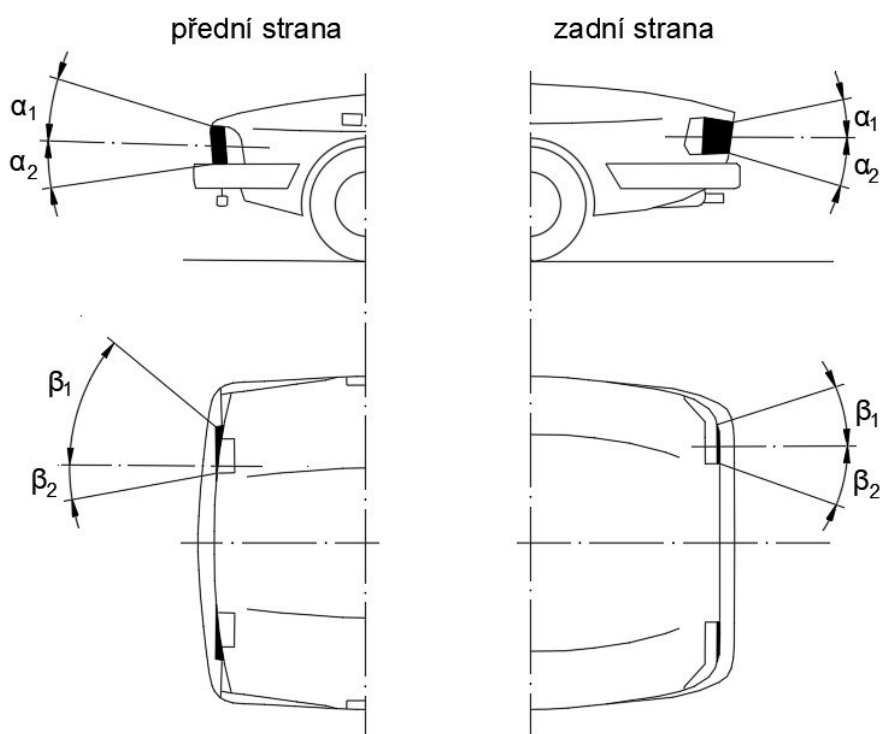
V obrázku č. 2 jsou znázorněny dva světlomety A a B, který se každý skládá z žárovky, odrazové plochy a rozptylového skla. Ty se od sebe liší tvarem a nabízí tak každý jinou geometrii svícení. Svítící plocha mezi úsečkami „a“ a „b“ je plocha, kterou osvěćují paprsky odražené od reflektoru (odrazové plochy) a plocha „c“ až „d“ je prostor, který je osvěćen paprsky z žárovky posléze usměrněné rozptylovým sklem.

Veličiny geometrie světél z obrázku č. 2 jsou nezbytné jako výchozí hodnoty pro testování funkcí jednotlivých světelných zařízení a pro schvalování jejich instalace na vozidle. [1]

### Geometrická viditelnost

Jak je uvedeno v předpise EHK 48: „úhly geometrické viditelnosti se rozumí úhly, které určují oblast minimálního prostorového úhlu, v níž je přivrácená plocha světlometu nebo svítilny viditelná. Tato oblast prostorového úhlu je vymezena úsečkami koule, jejíž střed se shoduje se vztažným středem světlometu nebo svítilny a jejíž rovník je rovnoběžný s vozovkou. Tyto úseče jsou určovány ve vztahu ke vztažné ose. Vodorovné úhly  $\beta$  odpovídají zeměpisné délce, svislé úhly  $\alpha$  zeměpisné šířce.“ [28]

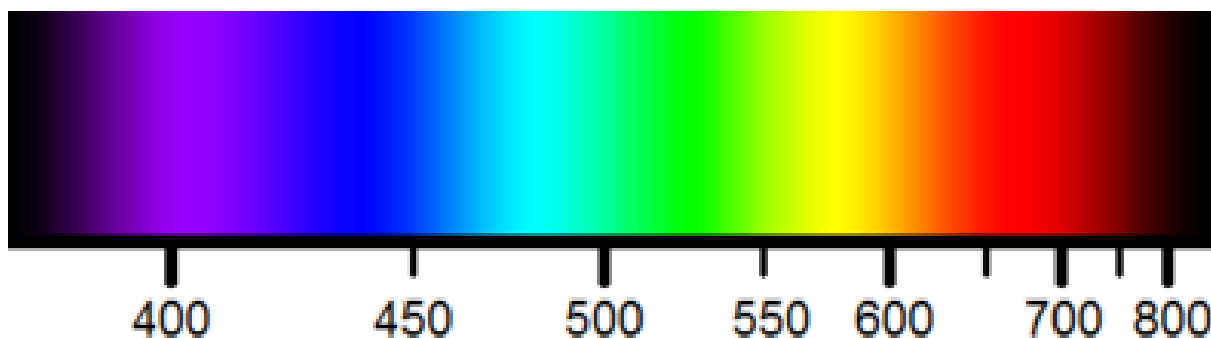
Pozn.: Pro obrázek č. 3 platí: úhel  $\alpha$  je úhlem svislým, kde  $\alpha_1$  je úhlem horním a  $\alpha_2$  úhlem dolním, úhel  $\beta$  je úhlem vodorovným, kde  $\beta_1$  je úhlem vnějším a  $\beta_2$  úhlem vnitřním.



Obrázek 3: Geometrická viditelnost předních světél automobilu, [1]

## 2.6 Kolorimetrie světél

Světlo viditelné lidským okem je elektromagnetické záření o frekvenci  $3,9 \times 10^{14}$  Hz do  $7,9 \times 10^{14}$  Hz, což ve vakuu odpovídá vlnovým délkám v rozmezí 380–740 nm [33]. Toto rozmezí je také známe jako barevné spektrum, které je patrné na *obrázku č. 4*.



Obrázek 4: Barevné spektrum, [33]

Světlo nižší vlnové délky 380 nm se nazývá ultrafialové a vyšší 740 nm ultra červené (ani jedno není již okem viditelné), přesto se však v automobilovém průmyslu používají. Ultrafialové záření emitují zářivky, které později toto světlo přemění na viditelné spektrum (podrobněji popsáno v Zářivky). Naopak infračervené záření se v automobilovém průmyslu používá v senzorce (např. dešťové senzory předního skla [38]).

Rozdělení barev světelných zařízení na motorových vozidlech vychází ze základní logiky tříbarevného směrového označení:

- vpředu: bílá
- boky: oranžová
- vzadu: červená

Tato logika však není zcela kompletní. Proto se dále používá logika tříbarevné signalizace:

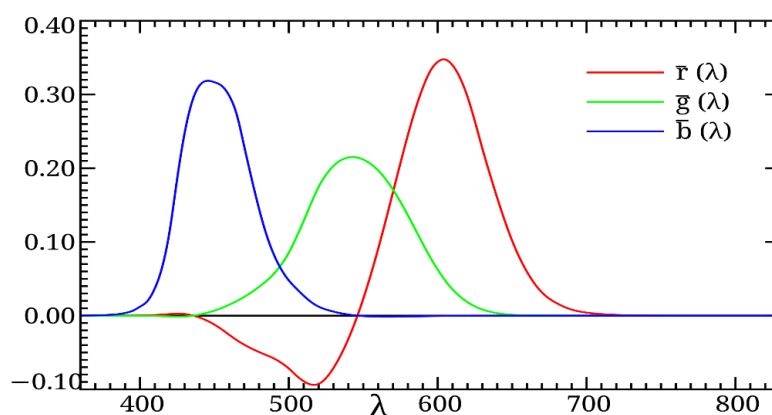
- informační: bílá
- varovná: oranžová
- nebezpečí: červená

Pro jednoduchý výklad barevných odstínů je použita souřadnicová soustava odstínů podle CIE. Na *obrázku č. 6* a v *tabulce č. 2* jsou uvedeny limity barevných odstínů, které lze použít pro světelná zařízení. [1]

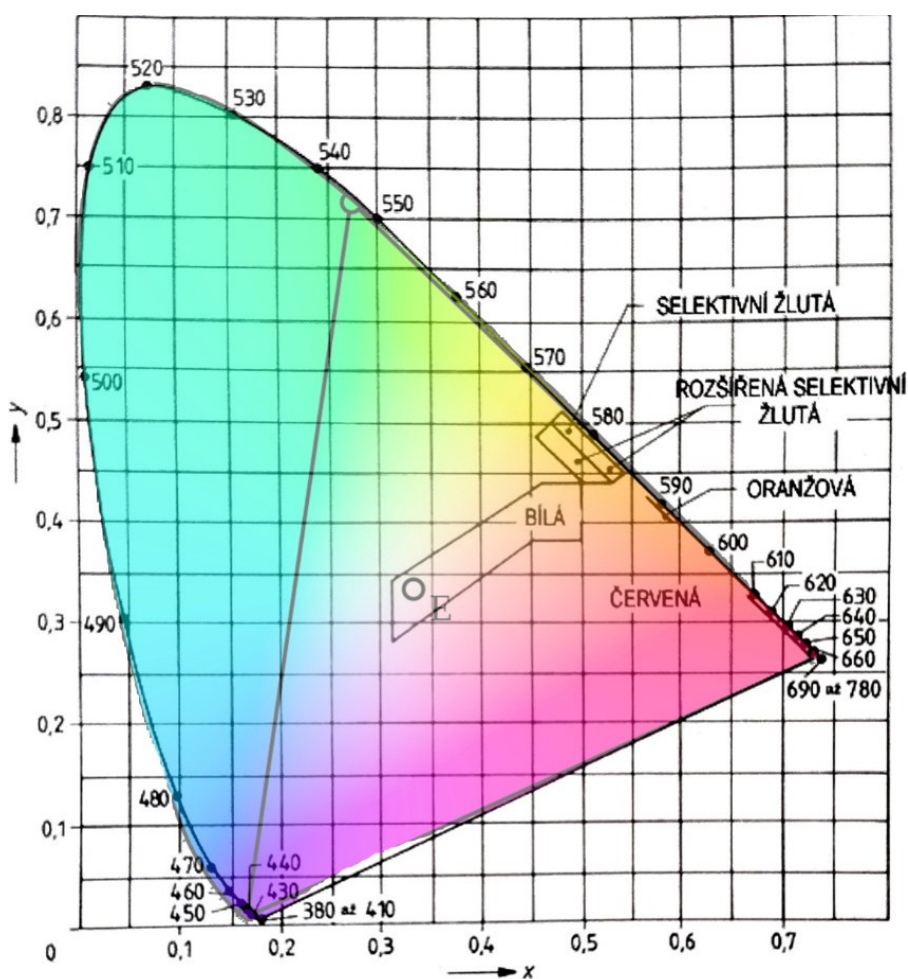
Pole barevných spekter RGB bylo vytvořeno již v roce 1931 komisí CIE [37]. Jedná se o první definované kvantitativní vazby mezi distribucí vlnových délek v elektromagnetickém viditelném spektru a fyziologicky vnímanými barvami v lidském barevném vidění. CIE RGB vznikl

z experimentálních pokusů na pozorovateli, ze kterého byl později odvozen CIE XYZ graf (obrázek č. 5).

Význam os XYZ je následující: osa Y je jas, Z se rovná modré hodnotě (u CIE RGB) a X je směsí tří křivek CIE RGB vybraných jako nezáporné (vybrané nezáporné části křivek r-g-b z obrázku č. 5) [37]. Dá se tedy říci, že kombinací všech těchto os dosáhneme jakékoliv barvy viditelné lidským okem.



Obrázek 5: Normalizované funkce přizpůsobení barev CIE RGB, [37]



Obrázek 6: Pole barevných spekter světelných a signálních zařízení vozidel, [1] [37]

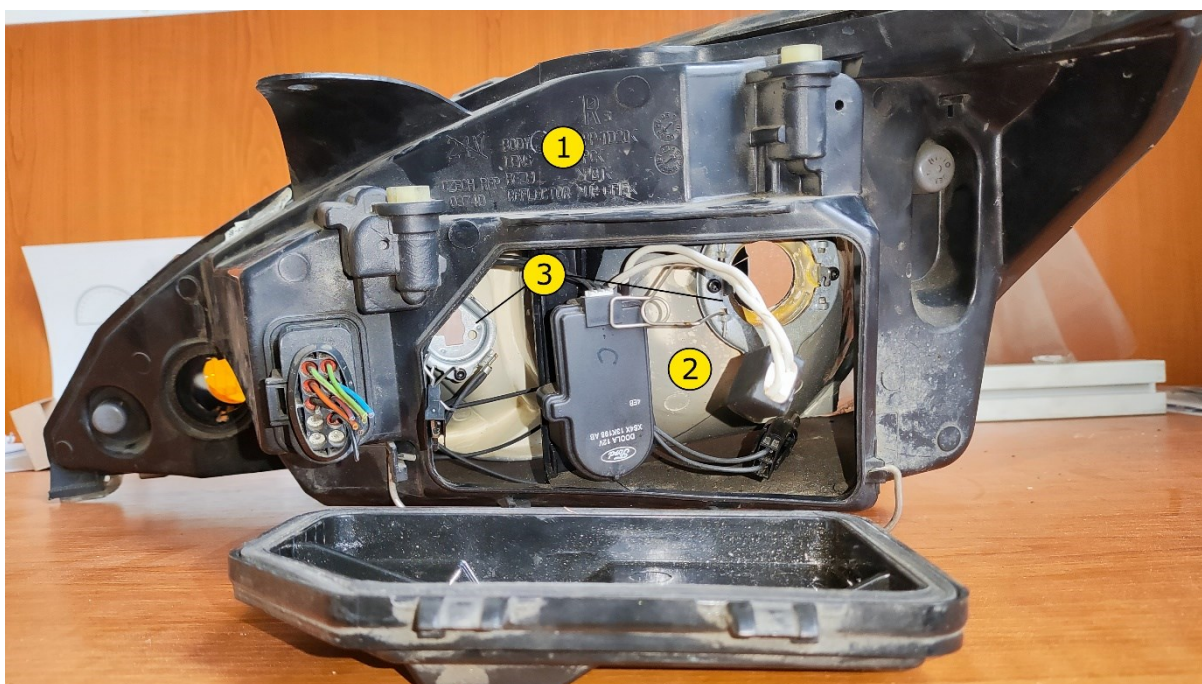
Barva	Limit k (ke):	
ČERVENÁ	žluté	$y < 0.335$
	fialové	$z < 0.008$
BÍLÁ	modré	$x > 0.310$
	žluté	$x < 0.500$
	zelené	$y < 0.150 + 0.640$
	zelené	$y < 0.440$
	fialové	$y > 0.050 + 0.750$
	červené	$y > 0.007$
ORANŽOVÁ	žluté	$y < 0.429$
	červené	$y > 0.398$
	bílé	$z < 0.007$
SELEKTIVNÍ ŽLUTÁ	červené	$y > 0.138 + 0.580 x$
	zelené	$y < 1.29 x - 0.100$
	bílé	$y > -x + 0.966$
	spektrální hodnotě	$y < -x + 0.992$
ROZŠÍŘENÁ SELEKTIVNÍ ŽLUTÁ	červené	$y > 0.138 + 0.580 x$
	zelené	$y < 1.29 x - 0.100 x$
	bílé	$y > -x + 0.966$ $y > 0.440$
	spektrální hodnotě	$y < -x + 0.992$

Tabulka 2: Kolorimetrické hodnoty světelných a signálních zařízení vozidel, [1]

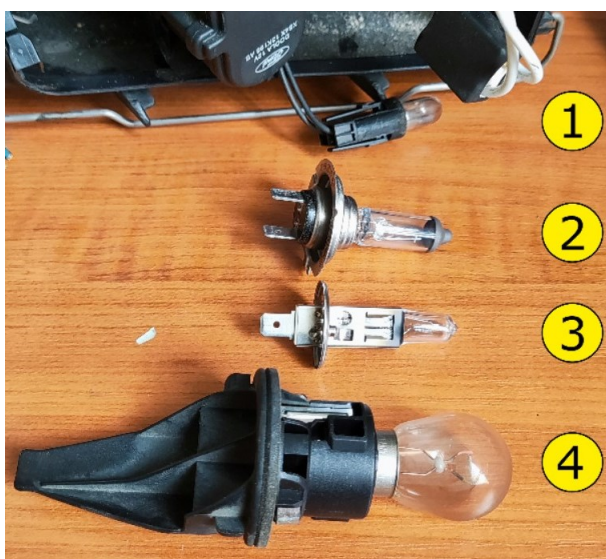
### 3 Světlo

Světlo je zařízení, ve kterém může být sloučeno více druhů osvětlení. Toto zařízení je tak jeden kus, kde se nachází jak dálkové, potkávací, tak například i směrové světlo. Dnes v provozu nalezneme typicky tyto světla prakticky na jakémkoliv silničním motorovém vozidle.

Jsou složeny z více částí, které dohromady zajišťují správnou funkčnost a chod v provozu. Na obrázku č. 7 jsou patrné právě tyto součásti a na obrázku č. 8 jsou vyobrazeny jednotlivé žárovky pro různé druhy svícení.



Obrázek 7: Otevřený světlomet Ford Focus 1 zezadu (1 – plastové pouzdro, 2 – reflektor, 3 – držáky na žárovky), foto: autor



Obrázek 8: Žárovky světlometu Ford Focus 1 (1 – obrysová žárovka, 2 – potkávací žárovka H7, 3 – žárovka dálkového svícení, 4 – žárovka směrového světla), foto: autor

## 3.1 Součástky světlometů

Hlavní světlomet se skládá z více částí, které dohromady tvoří konstrukci, jenž má za úkol vrhat světlo před vozidlo, přičemž musí zajistit správné svícení dle předpisů a také ochranu světelného zdroje před povětrnostními vlivy a vibracemi.

Součástky světlometu:

- reflektor/projektor
- krycí sklo
- pouzdro
- zdroj světla

### 3.1.1 Reflektor

Citlivá, velmi přesně tvarovaná součást s chromovaným povrchem [2]. Reflektor je často pevně spojen s rozptylovým sklem, a tvoří tak dohromady nerozebíratelný kus.

Odrazová plocha byla dříve vyráběna z ocelového plechu, přičemž její tvar byl velmi jednoduchého kulového tvaru, avšak tvar plochy reflektoru se stával stále složitějším pro dosažení lepší odrazivosti. Proto jsou dnes reflektory zpravidla vyráběny z plastů pomocí vstříkolisů s hliníkovou vrstvou napařenou ve vakuu, na kterou je nanesen ochranný lakový nebo křemenný povlak. Světelná účinnost závisí dále pak na povrchu plochy, který musí být hladký, trvanlivý, s malou pohltivostí a dobrou odrazivostí světelných paprsků.

### 3.1.2 Projektor

Světlo, které je emitováno, odráží se a prochází ohniskem čočky. Mezi reflexní plochou reflektoru a čočkou se nachází clonka, jejíž tvar se promítá na silnici. Poté následuje čiré sklo světlometu. Projektorový modul světlometu může být buď pevný, nebo bi-modul. Bi-modul znamená, že přepínání mezi dálkovými a tlumenými světly je řízeno clonkou ovládanou elektromagnetem. [27]

### 3.1.3 Krycí sklo

U některých odrazových ploch nelze dosáhnout požadovaného tvaru rozložení světelných paprsků jen úpravou tvaru plochy. V takových případech je nutno použít tvarované krycí sklo, které světlo láme a usměřuje. [2]

Na krycím skle může být více polí s různým charakterem tvarování a působením do určitých směrů. Sklo musí být čiré, bez znečištění, různých kazů, mechanických poškození a s vysokou optickou propustností.

Dnes jsou již používána výhradně skla čirá bez usměrňovacích prvků. Pro srovnání jsou níže *obrázky č. 9 a 10*, kde je zastoupeno sklo s usměrňovacími prvky na automobilu Škoda 120 z 80. let (*obrázek č. 9*) a sklo čiré na vozidle o 20 let mladším Škoda Octavia 1. generace (*obrázek č. 10*).



*Obrázek 9: Světlomet Škoda 120, [14]*



*Obrázek 10: Světlomet Škoda Octavia, [15]*

Dříve bylo tradičním materiálem pro výrobu krycích skel křemičité sklo, které bylo nevhodné z hlediska vysoké hmotnosti a omezených možností vytváření složitějších tvarů. Dnes se používají polykarbonáty a výroba probíhá technologií vstřikování plastu do formy. [31]

### **3.1.4 Pouzdro**

Pouzdro slouží jako nosná část celého světlometu. Musí tedy zajistit pevné a neměnné spojení jednotlivých částí a zároveň spolehlivé upevnění k vozidlu. Toto spojení musí být trvalé a odolávat vibracím tak, aby nebyl narušen správný chod světlometu, přičemž samotná konstrukce musí umožňovat v určité míře nastavení zamontovaného světlometu do předepsané polohy. [2]

## **3.2 Zdroje světla**

Zdrojem světla se rozumí zařízení, které vyzařuje elektromagnetické záření, respektive viditelné části tohoto spektra (380–780 nm), jenž je možné spatřit lidským okem. Obecně rozlišujeme zdroje umělé, přírodní anebo vlastní a nevlastní. Z přírodních zdrojů je nejznámější Slunce, naopak umělé jsou vyrobené člověkem (žárovka). Vlastním zdrojem světla je takové zařízení, které přímo vyzařuje (již zmíněná žárovka), nevlastním to, které záření odráží (reflektor). [10]

Na motorových vozidlech používáme několik různých zdrojů světelného záření, které jsou popsány níže.



### 3.2.1 Konvenční žárovka

Nejrozšířenější a nepoužívanější druh zdroje světla nejen na motorových vozidlech. Žárovky patří mezi žárové zdroje světla, u nichž je za vznik záření zodpovědná vysoká teplota svítící látky. Mají spojité spektrum, což znamená, že zdroj vyzařuje všechny barvy od červené po fialovou. Žárovky mají velmi malou světelnou účinnost, jelikož vyzařovaná tepelná energie na vlákně převažuje nad tou světelnou. [2]

Konvenční žárovka se skládá z wolframového vlákna (zdroj světla), skleněné baňky (ochrana vlákna), nosného systému vlákna a patice, ke které je baňka přitmelena.

Baňka je vyplněna netečným plynem, což je plyn, který za daných podmínek nepodléhá žádným chemickým reakcím [11], přičemž u motorových vozidel se nejčastěji setkáme se směsí dusíku (N) a argonu (Ar). Plynem se zařízení plní z důvodu snížení emisí materiálu vlákna, která vzniká právě při vysokých teplotách. Při velkém opotřebením vlákna dojde k jeho přepálení a žárovka je tak již nepoužitelná.

### 3.2.2 Halogenové žárovky

Na rozdíl od konvenčních žárovek mají vyšší účinnost/svítivost a zároveň delší životnost, přičemž jejich světelné spektrum dosahuje bělejších barev (viz *tabulka č. 2*) [2]. Konstrukčně se od klasické žárovky liší pouze užší baňkou vyrobenou z křemičitého skla za účelem dosažení vyšší teploty a tím pádem vyšší svítivosti. Pro zabránění přepálení vlákna se baňka plní plynem s příměsí tzv. halových prvků (halogenů, např. jod nebo brom [12]). U motorových vozidel se setkáme s metylbromidem, kde je halový prvek právě brom. Proces, který probíhá v žárovce nazýváme halogenovým cyklem.

Parametry běžně používaných halogenových žárovek jsou uvedeny v *tabulce č. 3*.

Napětí – U	Příkon – P	Světelný tok – $\phi$
6 až 24 V	2 až 75 W	20 lm až 2150 lm

*Tabulka 3: parametry běžně užívaných žárovek [2]*

### 3.2.3 Výbojky

Zdrojem světla je zde výboj mezi elektrodami, které jsou umístěny ve zředěném plynu nebo parách některých kovů. Elektrody jsou ve skleněné trubici naplněné již zmíněným médiem. Do konců elektrod vedou příводы elektrické energie, přičemž při průtoku proudu elektrody rozzáří plyn přítomný v trubici a ten vyzařuje jednobarevné světlo. [2]

### 3.2.4 Zářivky

Jsou to v podstatě nízkotlaké rtuťové výbojky tvaru trubice [2]. Zářivkové těleso obvykle tvoří dlouhá skleněná trubice se žhavicími elektrodami, která je naplněna rtuťovými parami a argonem. V této trubici dochází k doutnavému výboji, který však produkuje světlo hlavně v neviditelné ultrafialové oblasti. Ultrafialové záření dopadá na stěny trubice pokryté luminoforem, látkou, která pohlcuje ultrafialové záření a následně sama vyzařuje světlo ve viditelné oblasti [29]. Zářivky mohou vyzařovat různé barvy (namodralou, bílou nebo narůžovělou).

### 3.2.5 Xenonové výbojky

Xenonové výbojky (známé pod názvem HID [30]) jsou skleněné trubice se zatavenými elektrodami stejně jako klasické výbojky s tím rozdílem, že trubice je vyrobena čistě z křemičitého skla a je naplněna xenonem s přísadou metalických solí [2]. Pro zapálení výboje je třeba 24 kV střídavého napětí, přičemž dojde k přeskočení jiskry mezi elektrodami a vytvoření elektrického oblouku, který je zdrojem světla. Po zapálení oblouku již řídicí jednotka udržuje příkon na 35 W.

### 3.2.6 LED diody

LED dioda je polovodičový prvek, kdy při průchodu elektrického proudu emituje světlo. Její výhodou je nízký příkon a zároveň barevná stálost světla [13]. Tento zdroj se používá zejména jako indikační a kontrolní prvky (například denní svícení). Existují však i supersvítivé diody používané na zadních světlech (brzdová světla). [2]

Výhodou využití LED diod je jejich vysoká účinnost, která je asi 10x vyšší než klasické žárovky a 2x vyšší než zářivky (nejmodernější zdroje dosahují až 180 lm/W). Dále jejich odolnost vůči rázům a vibracím, chladu a samozřejmě jejich životnost, která se pohybuje mezi 20 000 až 100 000 hodin na rozdíl od žárovky (1 000 – 2 000 hodin) a zářivky (8 000 – 12 000 hodin). [13]

### 3.2.7 Shrnutí

Pro přehledné porovnání byla vytvořena *tabulka č. 4*, ve které je porovnání popsaných druhů světelných zdrojů.

Druh	Teplota světla [K]	Výkon [W]	Měrný výkon [lm/W]	Světelný tok [lm]	Životnost [h]
Konvenční žárovka	2300–2900	25–150	9–13	230–2000	1000–2000
Halogenová žárovka	2900–3100	25–300	12–16	210–4600	2000
Výbojka	4000–6000	50–100	70–110	4000–10000	16000–20000
Zářivka	6000	18–58	50–100	1000–5000	8000–12000
Xenonová výbojka	4000–4250	25–30	80–89	1600–3500	3000
LED diody	3000–6500	20–50	80–180	5000–10000	20000–100000

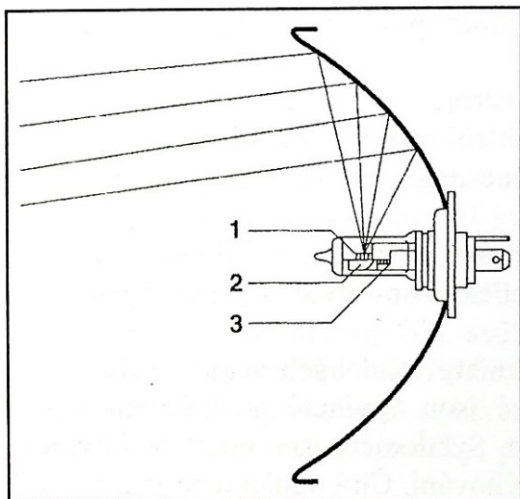
Tabulka 4: Porovnání světelných zdrojů

## 3.3 Druhy světlometů

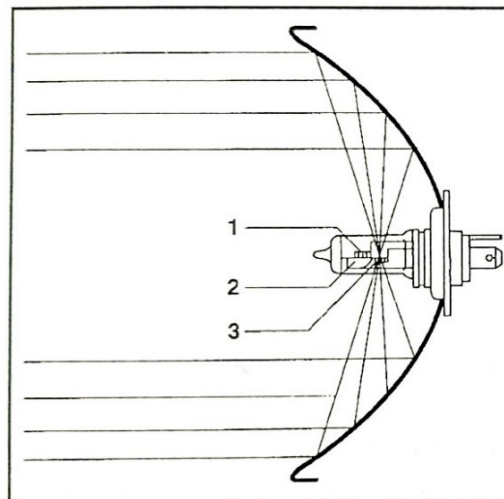
### 3.3.1 Klasický světlomet

Funkce, na které klasické světlometry pracují, je odrazení světelných paprsků od reflektoru, který je hlavní součástí usměrnění paprsku a dále krycí sklo, které paprsek „dousměrní“. U tohoto druhu světlometu nalezneme jen jedno ohnisko, kterým je zdroj světla. Součástmi celé konstrukce je zdroj světla, reflektor, pouzdro a krycí sklo.

Tento typ se používá jak pro tlumené (*obrázek č. 11*), tak dálkové svícení (*obrázek č. 12*):



Obrázek 11: Tlumené svícení reflektoru (1 – vlákno pro tlumené světlo, 2 – krytka, 3 – spirála pro dálkové světlo), [2]



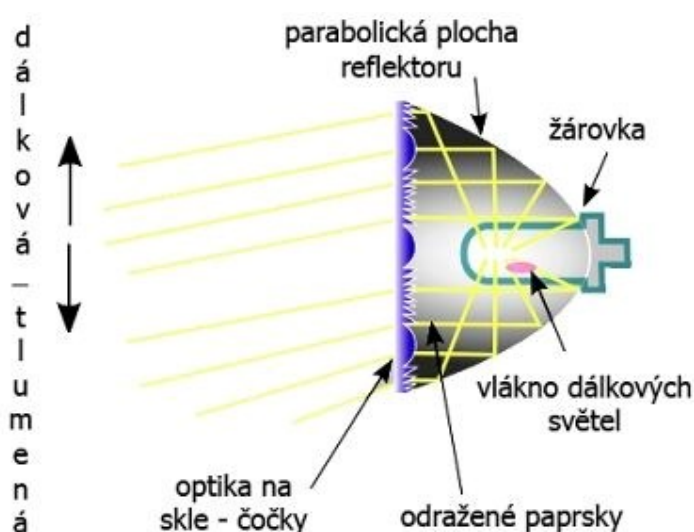
Obrázek 12: Dálkové svícení reflektoru (1 – vlákno pro tlumené světlo, 2 – krytka, 3 – spirála pro dálkové světlo v ohnisku), [2]

Tyto světlometry se dále dělí dle tvaru odrazové plochy (reflektoru), viz. následující podkapitoly.

### 3.3.2 Parabolický světlomet

Parabolický světlomet má plochu reflektoru (odrazovou plochu) tvořenou povrchem paraboloidu [2]. Při pohledu zepředu do světlometu se pro tlumené světlo používá horní část reflektoru, přičemž rotační paraboloid má jedno ohnisko, a právě jeho poloha je rozhodující pro průběh světelného toku. Odrazové plochy umístěné blíže k ohnisku zajišťují homogenní osvětlení před vozidlem a plochy umístěné ve větší vzdálenosti zaručují naopak větší dosah světla.

Pokud je zdroj světla umístěn v ohnisku, odráží se světelné paprsky od plochy rovnoběžně s osou paraboloidu (užití pro dálková světla), v druhém případě, kdy je zdroj umístěn před ohniskem, odráží se paprsky směrem k ose (tlumená světla). Znázorněno na *obrázku č. 13*.



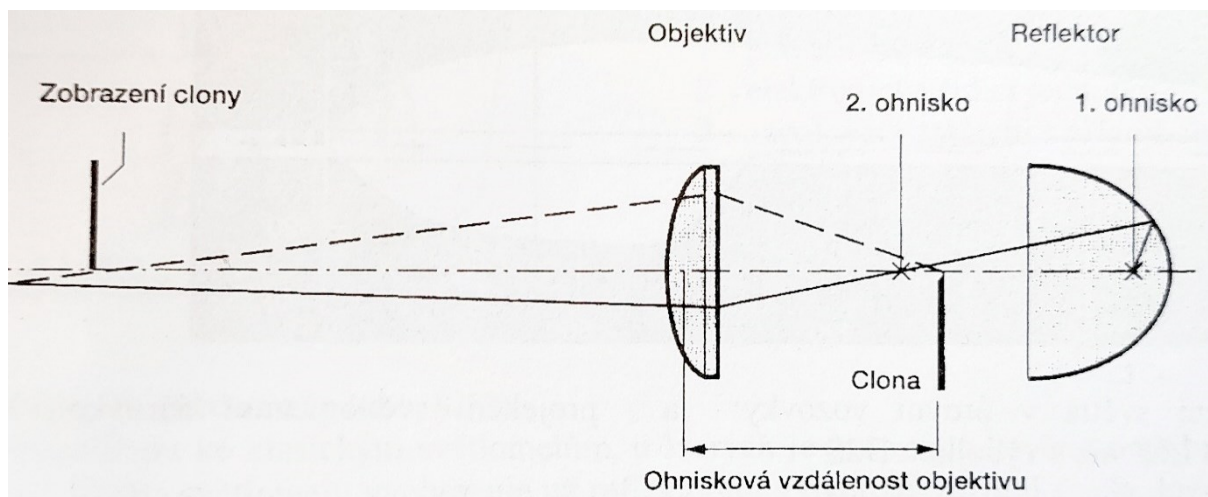
Obrázek 13: Parabolický světlomet, [32]

Ke správnému rozložení světla na vozovku dle požadavků se u těchto typů světlometů docílí pomocí optických forem na krycím skle (viz. *obrázek č. 9* světlometu Škody 120).

### 3.3.3 Elipsoidní světlomet

Elipsoidní světlomet (*obrázek č. 14*), dle názvu, má plochu reflektoru ve tvaru elipsy [2]. Tyto světlometry je možné konstruovat ve zvláště malých rozměrech a zároveň s vysokým světelným výkonem. Pracují na podobném principu jako projekční zařízení (projektor), a proto se také označují „projekční světlometry“.

Tento druh světlometu přebírá světlo ze zdroje a soustřeďuje ho do druhého ohniska, přičemž první ohnisko leží stejně jako u parabolického světlometu uvnitř reflektoru. Clonka ohraničuje rozdělení světla a vytváří hranici světla a tmy. Čočka funguje jako objektiv u projektoru, tudíž promítá rozdělení světla. Díky vytváření ostré hranice světla – tmy jsou tyto světlometry vhodné pro užití na vozidlech jako mlhové.



Obrázek 14: Princip zobrazovací optiky projekčního světlometu (objektiv = čočka), [2]

### 3.3.4 Světlomet s volnou plochou

Světlomet s volnou plochou má plochu reflektoru volně vytvořenou v prostoru (není symetrickým prostorovým útvarem) [2]. Jednotlivé segmenty osvětlují různé části vozovky. Pro tlumené osvětlení tak lze využít téměř celá plocha reflektoru. Návrh se provádí pomocí výpočetní techniky a plochy jsou uspořádány tak, aby světlo ze spodních segmentů dopadalo po odrazu na vozovku. Ohyb světelných paprsků a rozptyl světla se vytváří jen pomocí odrazové plochy (reflektoru). Díky této skutečnosti lze využít pouze čisté krycí sklo bez usměrňovacích elementů, což je výhodou pro konstrukci moderních světlometů, které mohou být z hlediska estetiky a aerodynamiky více skloněné.

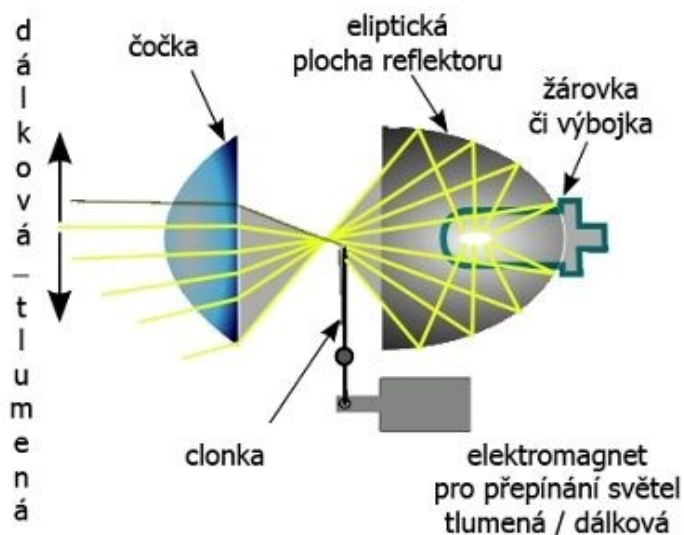
### 3.3.5 Kombinovaný světlomet

Kombinované světlometry jsou projekční světlometry, které kombinují elipsoid a volnou plochu. Zde je reflektor navržen metodou volných ploch, který zachycuje co možná nejvíce světla od zdroje a směřuje ho tak, aby co nejvíce dopadalo přes clonu a dále skrze čočku. Clona rozdělí světlo, a to putuje dále čočkou, která jej usměrní směrem na vozovku. [2]

### 3.3.6 Projekční světlomet

Projekční světlometry (obrázek č. 15) se dají vnímat jako protiklad klasických světlometů, kde je zapotřebí k usměrnění jak odrazová plocha, tak krycí sklo. U tohoto druhu je rozptylové sklo nahrazeno čočkou. Na rozdíl od klasického, má projekční světlomet dvě ohniska a navíc clonu (podobá se elipsoidnímu světlometu z Elipsoidní světlomet)

Opět se dá použít jak pro tlumené, tak dálkové svícení s tím rozdílem, že směr paprsků se nereguluje zdrojem světla, ale clonou (bi-modul – elektromagnetem ovládaná clonka [27]):



Obrázek 15: Projekční světlomet, [27]

### 3.4 Aktuální trendy

#### Matrix LED světlometry

Matrix LED je technologie pro režim dálkového svícení, která kombinuje užití LED světel s kamerovým systémem [44]. Tento systém je aktivní, což znamená, že zajišťuje optimální viditelnost a zároveň se přizpůsobuje měnícím se podmínkám. Mezi ty se řadí jak změna viditelnostních podmínek (vlivy počasí nebo denní doby), tak ale i například protijedoucí vozidla. Kamerový systém detekuje ostatní zdroje světla a za pomoci řídicí jednotky usměrní paprsky tak, že zbylý prostor bude nadále aktivně osvětlován (viditelné na obrázku č. 16). Tato technologie je vyvinuta společností Hella a je dosazována do vozů značek Audi, Škoda či Porsche.



Obrázek 16: Aktivní stínování systému Matrix LED, [45]

## Bugatti Bolide

Bugatti Bolide (na *obrázku č. 17*) je sportovní vůz vyvinutý v roce 2024. Je to závodní speciál, který je schopen dosahovat rychlosti až 500 km/h a je navržen pouze pro okruhy, a ne do běžného provozu, tudíž vůz není homologován. Přední světlomety nemají funkci osvětlení prostoru před řidičem, ale spíše estetickou a sportovní z toho hlediska, že by klasické světlomety vážily zbytečně moc a vozidlo by tak ztrácelo svůj poměr hmotnosti k výkonu, která je 0,91 kg/kW. Světla jsou tak jen jako design vozu, který přesně sedí na křivkách karoserie.



Obrázek 17: Bugatti Bolide, [46]

## Selektivní žlutá

Selektivní žlutá je barva světla, která byla používána na vozidlech vyráběných do 90. let. Automobilka BMW měla v roce 2020 nápad navrátit se zpět k této barvě a vyrábět tak světlomety, které by svojí barvou připomínaly právě dnes již staré luxusní vozy [47]. Typ světlometu byl použit pro model M8 Gran Coupe (*obrázek č. 18*) a nejde pouze o estetiku. Žlutá barva světla dokáže osvětlit místa, kde už svítí modré a fialové tóny, se kterými se nejčastěji setkáme ve městech od LED veřejného osvětlení, nebo reklamních poutačů a v zimě nemá tendenci odrážet se od napadaného sněhu a oslňovat tak řidiče nazpět.



Obrázek 18: Selektivní žlutá barva světlometu na voze BMW Gran Coupe 2020, [47]

## 4 Legislativní rámec

Každé vozidlo musí splnit homologační požadavky, které vychází z legislativy, aby mohlo být schváleno pro provoz na pozemních komunikacích. Z legislativního rámce nesmí vozidlo porušovat zákony zemí, ve kterých se předpokládá jeho provoz. Z homologačního hlediska musí vozidlo splňovat všechny požadavky předpisů EHK a směrnic, a dále nařízení EU potřebných pro registraci ve všech zemích EU, aby mohlo získat certifikát, který umožňuje vstup výrobku na trh. [36]

### 4.1 Legislativa související s osvětlením vozidel

a) Předpisy EHK/OSN č.:

- 7 – Svítilny přední a zadní obrysové, brzdové a doplňkové obrysové – vozidla kat. M, N, O
- 8 – Světlomety s asymetrickým potkávacím světlem s halogenovými žárovkami (H1, H2, H3, H7 atd.) – všechna motorová vozidla
- 19 – Mlhové světlomety – všechna motorová vozidla
- 23 – Zpětné světlomety – všechna motorová vozidla a přípojná vozidla
- 38 – Zadní mlhové svítilny – všechna motorová vozidla a přípojná vozidla
- 48 – Montáž zařízení pro osvětlení a světelnou signalizaci – vozidla kat. M, N, O
- 53 – Montáž zařízení pro osvětlení a světelnou signalizaci – vozidla kat. L
- 74 – Montáž zařízení pro osvětlení a světelnou signalizaci – mopedy
- a mnoho dalších

b) Směrnice EHS/ES č.:

- 76/756; 80/233; 82/244; 83/276; 84/8; 89/278; 91/663; 97/28 – Montáž zařízení pro osvětlení a světelnou signalizaci na motorová a přípojná vozidla
- 93/92; 2000/73 – Montáž zařízení pro osvětlení a světelnou signalizaci na dvojkolová a tříkolová motorová vozidla

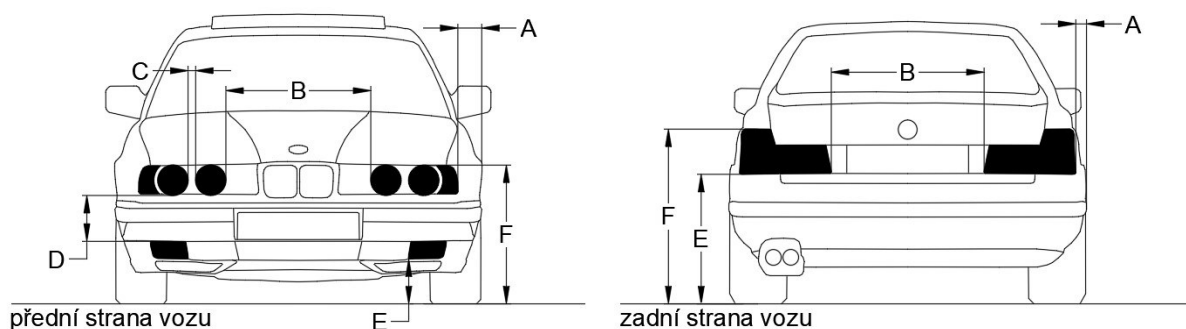
c) normy:

- ISO 303:1986 – Montáž zařízení pro osvětlení a světelnou signalizaci motorových vozidel a přípojných vozidel
- ISO 4182:1986 – Sklon potkávacího světla jako funkce zatížení
- ČSN 30 4002 – Elektrická zařízení motorových vozidel
- ČSN ISO 7227 – Osvětlovací a světelné signalizační zařízení. Terminologie. [1]



## 4.2 Rozložení osvětlení dle předpisu EHK 48

Nejdůležitějším parametrem pro návrh osvětlení je umístění jednotlivých zdrojů světla (dálkové, potkávací reflektory atd.). Tyto vzdálenosti jsou definovány předpisem EHK 48 a jsou vyobrazeny na *obrázku č. 19* včetně zakótovaných vzdáleností a popisu jednotlivých zdrojů světla:



*Obrázek 19: Geometrické rozložení osvětlení vozidla dle předpisu EHK 48, náčrt: autor*

Legenda k *obrázku č. 19*:

Vodorovné rozměry v mm:

$$A \leq 400$$

$B \geq 600$ , nebo  $\geq 400$  je-li celková šířka vozidla  $< 1300$  mm, avšak žádné požadavky u vozidel kategorií  $M_1$  a  $N_1$ , u všech ostatních kategorií motorových vozidel, jejichž celková šířka je menší než 1300 mm, může být tato vzdálenost snížena na 400 mm.

$$C \leq 140$$

Svislé rozměry v mm:

$$D \leq 400$$

$$E \geq 250$$

$$F \leq 1\,200$$

## 4.3 Přední světla osobních automobilů

Čelo vozidla bývá zpravidla vybaveno:

- potkávacími světly (tlumená světla)
- dálkovými světly
- denními světly
- obrysovými světly
- mlhovými světly
- směrovými světly (blinkry)

Pro názornost je na *obrázku č. 20* vyobrazeno čelo vozidla Audi A3 8P roku výroby 2009, na kterém je znázorněno rozmístění jednotlivých druhů světel:



*Obrázek 20: Popis předních světlometů Audi A3 (1 – dálkový světlomet, 2 – potkávací světlomet, 3 – denní/obrysová světla, 4 – směrový světlomet, 5 – mlhový světlomet), foto: autor*

#### **4.3.1 Potkávací světla**

Potkávací světlomet je světlomet, který slouží k osvětlení pozemní komunikace před vozidlem, aniž by oslňoval nebo obtěžoval řidiče jedoucí v protisměru, nebo jiné účastníky silničního provozu [28].

Potkávací světla jsou povinná na všech kategoriích motorových vozidel [28]. Vozidlo musí být osazeno dvěma světly tohoto typu. Emitované světlo musí mít bílou barvu.

Poloha na šířku musí být taková, že vnější okraj světla nesmí být od nejvzdálenější vnější hrany vozidla vzdálen více jak 400 mm a vnitřní hrany od sebe nesmí být blíže jak 600 mm (viz vodorovný rozměr A a B na *obrázku č. 19*) a na výšku nejméně 500 mm a nejvýše 1200 mm nad vozovkou (viz svislý rozměr E a F na *obrázku č. 19*).

Geometrická viditelnost platí taková, že světlomet nesmí přesáhnout 15° nahoru, 10° dolů, 45° ven a 10° dovnitř.

#### **4.3.2 Dálková světla**

„Dálkovým světlometem se rozumí světlomet sloužící k osvětlení pozemní komunikace na velkou vzdálenost před vozidlem.“ [28]

Dálková světla jsou povinná na všech kategoriích motorových vozidel [28]. Na vozidlo mohou být montována v počtu dvou, nebo čtyř samostatných svítilen. Barva musí být vždy bílá.

Na polohu dálkových světel nejsou žádné zvláštní požadavky.

Geometrická viditelnost svíticí plochy, včetně pásem, která se nejeví jako osvětlená ve směru uvažovaného pozorování, musí být zajištěna uvnitř rozbíhajícího se prostoru ohraničeného přímkami vycházejícími od obrysu svíticí plochy a svírajícími se vztažnou osou světlometu úhel nejméně 5°. Výchozím bodem úhlu geometrické viditelnosti je obvod průmětu svíticí plochy na příčnou rovinu tečnou k nejpřednější části krycího skla světlometu

Maximální svítivost souboru dálkových světlometů nesmí překročit 430 000 cd.

### 4.3.3 Denní světla

„Denní svítilnou se rozumí dopředu zaměřená svítilna používaná k tomu, aby bylo vozidlo při jízdě ve dne lépe viditelné.“ [42]

Denní světla jsou povinná na všech kategoriích dvoustopých motorových vozidel a jsou osazena v počtu dvou bílé barvy. [28]

Poloha na šířku musí splnit, že vnitřní okraje pravého a levého světlometu jsou od sebe vzdáleny nejméně 600 mm (viz vodorovný rozměr B na *obrázku č. 19*). Tato vzdálenost může být zmenšena na 400 mm, je-li celková šířka vozidla menší než 1 300 mm, a na výšku: nejméně 250 mm a nejvýše 1 500 mm nad vozovkou (viz svislý rozměr E a F na *obrázku č. 19*).

Geometrická viditelnost nesmí vodorovně překročit směrem ven 20° a směrem dovnitř 20°. Svisle nesmí přesahovat směrem nahoru i dolů 10°.

Pozn.: Od 7. února 2011 musí být všechny nové osobní automobily a dodávky, které nově vstupují do prodeje v EU, osazeny světly pro denní svícení. Na vozidla staršího typu se dodatečně mohou tato světla montovat bez zvláštních požadavků na umístění. Konstruktivně mohou být spojeny v jednu svítilnu s obrysovými světly, přičemž při svícení denními světly se současně nerozsvítí zadní obrysová světla.

### 4.3.4 Přední obrysová světla

„Přední obrysovou svítilnou se rozumí svítilna sloužící k označení přítomnosti vozidla a jeho šířky při pohledu zepředu.“ [41]

Povinné jsou na vozidlech kategorií L, M, N, O a T (všechny kategorie motorových i přípojných vozidel včetně traktorů). Maximální počet jsou dvě a jejich barva musí být bílá. [28]

Pro polohu na šířku platí, že vnější hrana světlometu nesmí být vzdálena více jak 400 mm od nejvzdálenějšího vnějšího okraje vozidla a vnitřní strany nesmí být blíže jak 600 mm (viz vodorovný rozměr A a B na *obrázku č. 19*), a na výšku musí být svícení umístěno nejméně 250 mm a nejvýše 1 500 mm nad vozovkou (viz svislý rozměr E a F na *obrázku č. 19*).

Geometrická viditelnost vodorovně nesmí přesáhnout  $45^\circ$  dovnitř a  $80^\circ$  ven a ve svislém úhlu  $15^\circ$  nad vodorovnou rovinu a pod ni. Je-li však svítlna namontována níže než 750 mm, lze sestupný úhel  $15^\circ$  snížit na  $5^\circ$ .

Pozn.: Konstrukčně mohou být spojeny v jednu svítlnu s denními světly, přičemž při svícení obrysovými světly se současně rozsvítí zadní obrysová světla.

#### **4.3.5 Přední mlhová světla**

„Předním mlhovým světlo­metem se rozumí světlo­met sloužící ke zlepšení osvětlení silnice před vozidlem v případě mlhy nebo jakýchkoliv podobných podmínek snížené viditelnosti.“ [28]

Na rozdíl od všech ostatních druhů světel na přední části vozu jsou tyto světlo­mety nepovinné. Pokud je však na vozidlo osazujeme, tak jedině v počtu dvou a barvy bílé, nebo selektivní žluté. [28]

Pro polohu na šířku platí, stejná kritéria jako u předních obrysových světel (33), kromě požadavku na vzdálenost mezi světly (rozměr B), který v tomto případě není definován. Na výšku musí být poloha mlhových světel nejméně 250 mm nad vozovkou (viz svislý rozměr E na *obrázku č. 19*) a nejvýše pro vozidla kategorií  $M_1$  a  $N_1$  800 mm nad vozovkou (viz svislý rozměr F na *obrázku č. 19*).

Geometrická viditelnost musí být svisle v rozmezí  $5^\circ$  nahoru a dolů, a vodorovně  $45^\circ$  ven a  $10^\circ$  dovnitř.

#### **4.3.6 Přední směrová světla**

Přední směrová světla jsou povinna na všech kategoriích vozidel, přičemž jejich počet záleží na způsobu uspořádání, ale měl by být vždy sudý [28]. Barva svítlen musí být oranžová. Musí vyzařovat přerušované světlo.

Poloha směrových světel na šířku je stejná jako u předních obrysových světel (33). Tato podmínka se nevztahuje na nepovinné zadní svítlny. Vnitřní okraje obou přivrácených ploch ve směru vztažných os musí být od sebe vzdáleny nejméně 600 mm (viz vodorovný rozměr B na *obrázku č. 19*). Tato vzdálenost může být zmenšena na 400 mm, je-li celková šířka vozidla menší než 1 300 mm. Pro umístění na výšku nejsou žádné specifické požadavky.

Geometrická viditelnost nesmí svisle přesáhnout  $15^\circ$  nahoru ani dolů, a vodorovně  $45^\circ$  ven i dovnitř.

## 4.4 Shrnutí

Všechny druhy světel, výše popsané, dohromady tvoří soubor světelných zařízení, která vyhovují předpisům na pozemních komunikacích (zákon č. 361/2000 sb.) a splňují tak požadavky pro legální, a hlavně bezpečný provoz.

Jejich správné použití je základní povinností každého řidiče:

**32 odst. 1 zákona č. 361/2000 sb.:** Motorové vozidlo musí mít za jízdy rozsvícena obrysová světla a potkávací světla nebo světla pro denní svícení, pokud je jimi vybaveno podle zvláštního právního předpisu.

**32 odst. 2 zákona č. 361/2000 sb.:** Vozidlo musí mít za jízdy při snížené viditelnosti rozsvícena obrysová a potkávací nebo dálková světla, pokud je jimi vybaveno podle zvláštního právního předpisu.

**32 odst. 3 zákona č. 361/2000 sb.:** Řidič nesmí užít dálková světla, je-li vozovka dostatečně a souvisle osvětlena nebo mohl-li by být oslněn řidič protijedoucího vozidla, řidič vozidla jedoucího před ním nebo jiný účastník provozu na pozemních komunikacích, strojvedoucí vlaku, řidič jiného drážního vozidla nebo řidič plavidla. Při zastavení vozidla před železničním přejezdem nesmí řidič užít ani potkávací světla, pokud by jimi mohl oslnit řidiče vozidla v protisměru.

**32 odst. 4 zákona č. 361/2000 sb.:** Přední světla do mlhy smí řidič užít jen za mlhy, sněžení nebo hustého deště. Zadní světla do mlhy musí řidič za mlhy, sněžení nebo hustého deště užít vždy.

**32 odst. 5 zákona č. 361/2000 sb.:** Činná plocha světel nesmí být zakryta nebo nadměrně znečištěna.

Všechny druhy světel, jejich povinnost osazení, případný počet a barva světelného zdroje je shrnuto v následující tabulce č. 5.

Přední strana vozidla			
Druh	Povinnost	Počet	Barva
Potkávací světla	L, M, N	2	bílá
Dálková světla	L, M, N	2 nebo 4	bílá
Denní světla	M, N	2	bílá
Obrysová světla	L, M, N, O	2	bílá
Mlhová světla	L, M, N	2	bílá, selektivní žlutá
Směrová světla	L, M, N, O	sudý	oranžová

Tabulka 5: Shrnutí druhů osvětlení na vozidle, [1], [28]

## 5 Druhy zkoušek světlometů

Testování osvětlovacích systémů používaných na vozidlech, včetně světlometů, zadních světel, směrových světel a dalších typů osvětlení, se obvykle provádí, aby se zajistilo, že osvětlení splňuje regulační a bezpečnostní normy, a také aby se vyhodnotily další aspekty, jako je kvalita a účinnost osvětlení z hlediska viditelnosti a estetiky. [4]

Hlavními druhy testování jsou fotometrické testování, testování životnosti, elektrické testování, testování prostředí a testování bezpečnosti.

### 5.1 Fotometrické testování

Zahrnuje měření intenzity, distribuce a směru světla vyzařovaného osvětlovacím systémem. S tím přímo souvisí i správná montáž na vozidle, která se charakterizuje správným umístěním světel a správnou geometrickou viditelností.

Fotometrické charakteristiky světelných zařízení se posuzují ze dvou hledisek, a to svítivosti zdroje ( $I$ ) a osvětlení ( $E$ ).

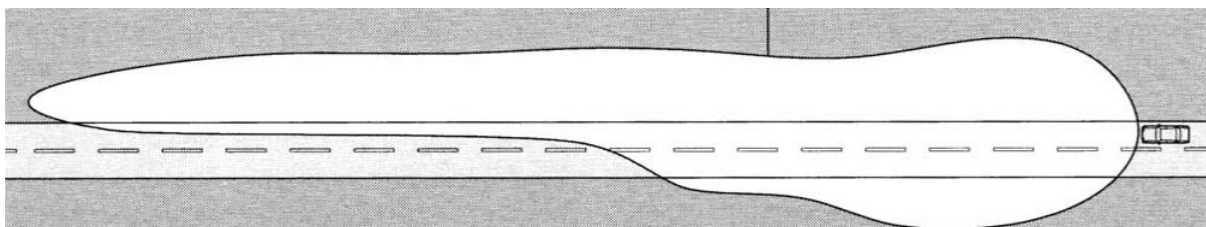
Svítivost v kandelách (cd) a intenzita světelného toku v luxech (lx) je stanovena pro jednotlivé druhy světel a zohledněn je přitom požadavek na dobrou viditelnost, avšak bez oslnění. [1]

#### 5.1.1 Zařízení pro kontrolu montáže osvětlení a světelné signalizace

Pokud chceme správně změřit a vyhodnotit fotometrii navržených světel, budeme k tomu potřebovat správný prostor a také měřidla:

a) měřicí rovina (základna):

Plocha s rovným povrchem, která neodráží světlo (koeficient absorpce není specifikován), s rozměry přibližně 30 x 15 m. [1]

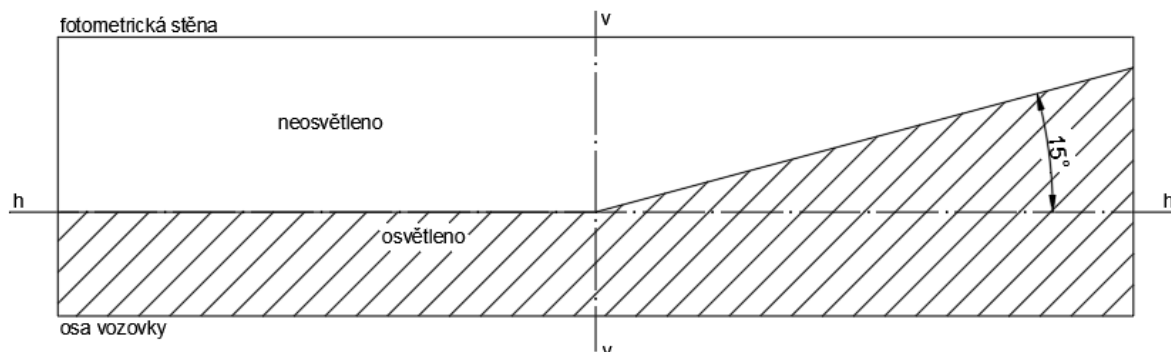


Obrázek 21: Asymetrické rozdělení světla v úrovni vozovky, [43]

Na obrázku č. 21 je znázorněný požadovaný tvar asymetrického svícení (pravostranný provoz) na vozovce z pohledu shora. Toto rozložení se kontroluje právě na měřicí rovině.

b) fotometrická stěna

Stacionární nebo mobilní svislá projekční plocha s tmavým povrchem. Minimální výška je 2,2 m, šířka není určena (musí postačovat pro jasnou projekci). [1]



Obrázek 22: Fotometrická stěna, náčrt: autor

Na obrázku č. 22 je vyobrazený požadovaný tvar svícení asymetrických světlometů pro pravostranný provoz. Svislá osa v-v a horizontální osa h-h se střetávají v ohnisku světlometu.

c) měřicí kabina

Temná místnost, která umožňuje umístit vozidlo i projekční stěnu. Měřicí komora je vhodná pouze pro určité typy testů.

d) úhломěr

e) vodováha [1]

Velké automobilky mají k dispozici testovací prostory, tzv. světelné tunely (obrázek č. 23). V těchto prostorech jsou simulovány různé modelové situace a světelné podmínky, které jsou potřebné k otestování světelných komponentů. Každému testování na reálných vozidlech předchází softwarové testy ve virtuálním rozhraní.



Obrázek 23: Světelný tunel BMW, [40]

V současnosti se již používá k měření moderní technika jako jsou laserové dálkoměry a úhlooměry, výkonné kamery a citlivé světlooměry.

### **5.1.2 Kontrola montáže**

Samozřejmě máme mnoho kritérií, která musí světlomet v souladu s vozidlem schválený pro provoz splňovat. Montáž světel a odrazek na vozidlech musí být provedena podle zásad platných pro všechna zařízení, bez ohledu na jejich specifikace a typ vozidla [1]. Jejich kontrola je prováděna buď vizuálně, nebo za pomoci měřící techniky.

#### **Pevnost uchycení na vozidle**

Uchycení zařízení musí být provedeno tak, aby za normálních podmínek používání mohlo plnit svoji funkci. Zde jde zejména o uchycení vzhledem k vibracím a nárazům. Vibrace míst, na kterých jsou zařízení umístěna (karoserie/nosný rám) by neměly působit vyšší zrychlení elektrických zařízení (a tedy i světel) než 5 g (doporučená hodnota). [1]

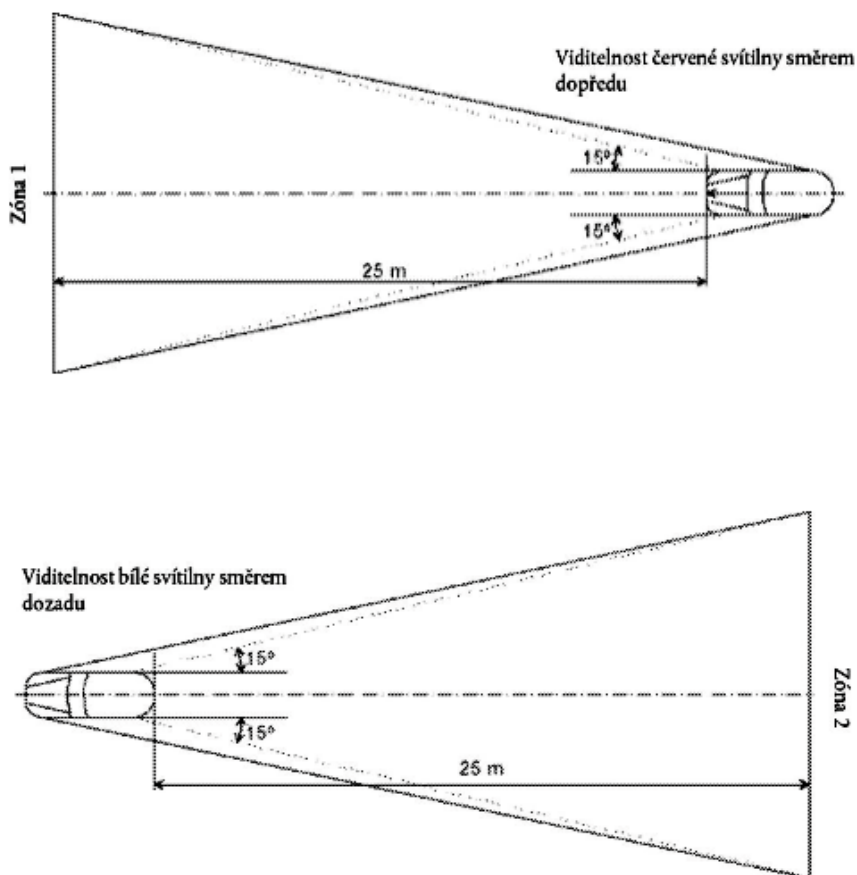
#### **Referenční osa**

Po instalaci musí být referenční osa světla rovnoběžná s podložím, na kterém vozidlo stojí [1]. Osy bočních obrysových světel a bočních odrazek musí být kromě toho kolmé k vertikální podélné rovině (y). Osy ostatních zařízení musí být s touto rovinou rovnoběžné. Tolerance je  $\pm 3^\circ$ .

#### **Přípustné viditelnosti**

Žádné červené světlo, které by mohlo zavinit omyl, nesmí být vyzařované směrem dopředu před vozidlo ve směru jízdy a žádné bílé světlo nesmí být vyzařované směrem dozadu ve směru jízdy (znázorněno na *obrázku č. 24*) [1]. Toto kritérium zabraňuje mylnému vyhodnocení situace řidičem a případné nehodě.





Obrázek 24: Zóny přípustných viditelností, [28]

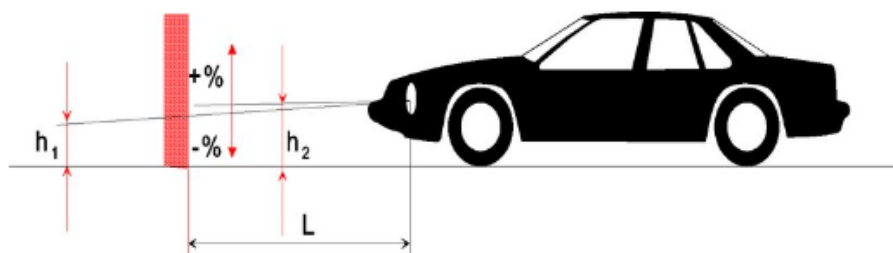
### Změny sklonu potkávacího světla v závislosti na zatížení

Základní sklon potkávacího světla, který je stanoven pro jednočlennou posádku (obsazené místo řidiče), je definován výrobcem s přesností na 0,1 % [1]. Sklon může být definován jako úhel mezi směrem světla k charakteristickému bodu na vodorovné části rozhraní v rozložení světla světlometu a svislou rovinou, vyjádřeným v radiánech, nebo tangentou tohoto úhlu, vyjádřenou v procentech sklonu, protože úhly jsou malé (pro tyto malé úhly se 1 % rovná 0,01 rad) [28].

Chceme-li vyjádřit sklon v procentech, použijeme tento vzorec:

$$\frac{(h_1 - h_2)}{L} \cdot 100$$

kde  $h_1$  je výška charakteristického bodu nad vozovkou [mm],  $h_2$  je výška referenčního středu světla nad vozovkou [mm] a  $L$  je vzdálenost projekční stěny od referenčního středu [mm] (veličiny jsou patrné z obrázku č. 25).



Obrázek 25: Měření sklonu potkávacího sklonu v závislosti na zatížení, [28]

Měření se provádí se zatížením [1]:

- jedna osoba na místě řidiče
- řidič a jeden cestující na předním sedadle spolujezdce
- osoby na všech místech
- osoby na všech místech a rovnoměrně rozložený náklad v prostoru pro zavazadla nebo na ložné ploše

Požadavky jsou splněny, pokud je změna sklonu při každé zátěžové podmínce v rámci stanovených limitů [28]. Tyto limity jsou definovány jako rozdíl mezi stanoveným výchozím sklonem a dolní a horní mezní hodnotou, které jsou stanoveny pro schválení, s bezpečnostní rezervou 0,004 rad (0,4 % sklonu).

## 5.2 Testování životnosti

Testování životnosti, jinak testování trvanlivosti, je takový proces, při kterém jsou produkty posouvány na své limity, aby bylo zjištěno jejich fungování po určité době v provozních podmínkách. [7]

Během testování osvětlovacích systémů jsou tato zařízení vystavována různým vlivům prostředí, nebo mechanickému opotřebení, aby se vyhodnotila jejich schopnost odolat opotřebení. Z výsledků testování jsme pak schopni odhadnout jejich trvanlivost a délku spolehlivého životního cyklu. [4]

## 5.3 Elektrické testování

Elektrické testování zapojení světel vyplývá z předpisů EHK. Jednotlivé druhy osvětlení (potkávací, obrysová atd.) mají předepsaná kritéria, kdy a s jakým jiným druhem světel mohou, či nesmí svítit. Například je potřeba zajistit, aby přední, zadní, boční a dodatečná obrysová světla a osvětlení zadní registrační značky (s výjimkou bočních výstražných světel) byly zapínány a vypínány synchronizovaně. Také je nutné zajistit, že dálková, potkávací a přední mlhová světla nebudou zapnuta, pokud nejsou současně zapnuta obrysová světla (s výjimkou

signalizačního osvětlení) [1]. Dále se může testovat správný chod automatického osvětlení vozidla při detekci snížených viditelnostních podmínek (např. soumrak nebo vjezd do tunelu).

Dále se dá pod elektrické testování zařadit kontrola správných napětí a proudů tekoucích do zařízení emitující světlo (žárovky). Každý zdroj světla má svůj předepsaný přívod elektrické energie a je nutné zajistit jeho správnou velikost, aby nedošlo k jeho poškození v případě přepětí, nebo jeho nedostatečného světelného záření v případě slabého přívodu proudu. Tyto testy si však výrobce musí provést sám a zajistit tak správný chod již při homologačních zkouškách.

## **5.4 Testování prostředí**

Testování v různých prostředích, ve kterých se součást pohybuje, je velmi důležité pro stanovení její odolnosti vůči povětrnostním vlivům.

K tomu abychom nemuseli součástky přemísťovat, vytváříme umělé povětrnostní vlivy přímo na místě, a to s pomocí strojů, jako je například testovací zařízení světlometů pro automobilový průmysl [8]. Jedná se o environmentální testovací komoru, která kombinuje klimatický test se simulací větru, deště a slunce. V tomto zařízení se kombinuje klimatický a teplotní test pro testování stříkající vody a prachotěsnosti spolu s podmínkami teploty a vlhkosti. Na konci testu tak máme otestovanou osvětlovací součástku na všechny povětrnostní vlivy, kterým bude v provozu součást odolávat.

## **5.5 Testování bezpečnosti**

V této fázi dochází k testování světlometů na vozidle. Jedná se o více druhů testů, mezi které se například řadí test dohledu při užívání zařízení za snížené viditelnosti. Vozidlo je postaveno na odlehlelou plochu a po setmění jsou před automobil v různých vzdálenostech rozmístěny černě nabarvené desky. Řidič rozsvítí přední dálková světla a udává, na které body vidí. Na základě výsledků je stanoveno, zda dálková světla vyhovují předpisům.

Dalším testem může být kontrola oslnění protijedoucích vozidel, kdy se kontrolují potkávací světla a v neposlední řadě lze hodnotit přední světlomety i z hlediska pasivní bezpečnosti např. srážkou s chodcem a zdravotních následcích při střetu.

## 6 Kategorie vozidla L7

V Evropské unii jsou vozidla klasifikována dle norem EHK OSN. Ta jsou zaváděna buď nařízeními Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 168/2013 vydanými 15. ledna 2013 o schvalování a dozoru nad trhem dvoukolových a tříkolových vozidel a čtyřkolek, nebo směrnicemi Evropského parlamentu a Rady 2007/46/ES ze dne 5. září 2007, kterými jsou stanoveny rámce pro schvalování motorových vozidel a jejich přípojných vozidel a systémů, konstrukčních částí a samostatných technických celků určených pro tato vozidla. [9]

Samotná kategorie L7 dle EHK je definována takto:

Vozidlo se čtyřmi koly, jiné než vozidlo zařazené do kategorie L6, jehož pohotovostní hmotnost nepřesahuje 400 kg (550 kg u vozidel určených k přepravě zboží), kromě hmotnosti baterií v případě elektrických vozidel a jehož maximální trvalý jmenovitý výkon nepřesahuje 15 kW. [50]

Pozn.: Kategorie L6 je vozidlo, jehož pohotovostní hmotnost nepřesahuje 350 kg, maximální rychlost nepřesahuje 45 km/h a výkon nepřesahuje 4 kW.

### 6.1 Světlo na vozidle kategorie L7

Pro nejběžnější vozidla kategorií M a N, vozidla kategorií L2, L3 a obecně všechna vozidla širší 1,3 m platí, že musí být vybavena dvěma světly s potkávacím světlem a dvěma nebo čtyřmi světly s dálkovým světlem. [2]

Všechny legislativní požadavky jsou shodné jako u vozidel kategorie M. Vozidlo musí být vybaveno všemi druhy osvětlení, jako klasický osobní automobil vyjma toho, že nemusí mít nainstalované denní svícení (viz *tabulka č. 5 v kapitole 4.4*)

### 6.2 Výčet vozidel kategorie L7

Pro lepší orientaci a získání inspirace při následující konstrukci, je dobré si shrnout některé modely vyráběných vozidel této kategorie. Na základě této sumarizace bude lepší orientace a porozumění celkovému tématu.

#### 6.2.1 Squad Solar

Squad Solar (*obrázek č. 26*) je vyráběno společností Squad Mobility BV, která sídlí v Nizozemí. Jak je již z názvu patrné, vozidlo je vybaveno solárním panelem umístěným na střeše, který dobíjí trakční baterie, jež jsou zdrojem energie pro pohon. V Evropě bude nabízeno ve verzi L6 a L7 (prodej má započít v roce 2025). [16]

Přední světlomety má vozidlo sdružené. V rámci jednoho světlometu se nachází jak denní svícení, dálkové světlomety, tak i potkávací světla. Tento světlomet je svou stavbou i tvarem velmi podobný konceptu světlometů značky Jeep (*obrázek č. 27*), respektive jejich legendární řady Wrangler.



*Obrázek 26: Vozidlo Squad Solar, [20]*



*Obrázek 27: Světlomet Jeep Wrangler, [21]*

### **6.2.2 Tazzari Zero**

Tazzari Zero (*obrázek č. 28*) je koncepční elektromobil společnosti Tazzari Group sídlící v italské Imole. Vozidlo bylo představeno na autosalonu v Bologni v roce 2009 a je vyráběno dodnes. Automobil má lithium-železofosfátové baterie, které umožňují dojezd 140 km a samotné vozidlo s bateriemi váží pouhých 542 kg. [17]

Vůz má od předchozího zástupce řešené přední světlomety odlišně. Jedná se o koncept podobný řešení, které zvolila automobilka Alfa Romeo na svých legendárních vozech řady 159. Jde o oddělené rozložení jednotlivých druhů světel. V karoserii je tak umístěno zvlášť denní, potkávací a dálkové světlo, z nichž každé má svojí vlastní konstrukci v podobě menšího pouzdra (*obrázek č. 29*).



Obrázek 28: Vozidlo Tazzari Zero, [22]



Obrázek 29: Světlometry Tazzari Zero, [23]

### 6.2.3 Renault Twizy

Twizy je dvoumístné elektrické mikroauto (obrázek č. 30), které je v Evropě klasifikováno jako lehká, nebo těžká čtyřkolka. Představeno bylo v roce 2009 jako koncepční vůz na autosalonu ve Frankfurtu. Jeho výroba a prodej probíhala v letech 2012 až 2023, přičemž zaznamenal velkou popularitu, zejména na asijském trhu. V Evropě se stal nejprodávanějším plug-in elektrickým vozidlem roku 2012. [18]

Vozidlo je z výroby vybaveno sdruženým světlometem (obrázek č. 31). Není tomu však stejně jako u Solar Squadu, kde se v jedné konstrukci nachází více žárovek pro různé druhy osvětlení. Zde je pouze jedna žárovka, která plní funkci jak potkávacích, tak dálkových světel. Jedná se o žárovku, která má více módů svícení a její svítivost je ovlivněna velikostí napájecího proudu.



Obrázek 30: Vozidlo Renault Twizy, [20]



Obrázek 31: Světlomet Renault Twizy, [21]

#### 6.2.4 Bajaj Qute

Bajaj Qute (obrázek č. 32), dříve nazývaný Bajaj RE60, je indická čtyřkolka poháněná jednoválcovým motorem o objemu 217 ccm a výkonem 15 kW. S manuální převodovkou a vznětovým motorem je vozidlo schopné dosáhnout až 70 km/h. Poprvé bylo představeno v roce 2012 v Dillí a jeho výroba pokračuje dodnes. [19]

Poprvé se v souhrnu vozidel kategorie L7 setkáváme s konvenčním světlometem, který je svou konstrukcí podobný klasickému světlometu jako na všech vozidlech kategorie M. To je taková konstrukce, která zahrnuje pouzdro, krycí sklo a reflektor (podrobně popsáno v kapitole 3.1). V pouzdře máme umístěný reflektor neboli odrazovou plochu, a v ní otvory pro žárovky (dálkovou a potkávací), přičemž v rámci pouzdra je k hlavnímu světlometu přidružena komora s krycím sklem pro blinkr. Samotný světlomet je na obrázku č. 33.



Obrázek 32: Vozidlo Bajaj Qute, [25]



Obrázek 33: Světlomet Bajaj Qute, [26]

### 6.2.5 Shrnutí

Na základě popisu těchto čtyř vozidel a jejich řešení předních světlometů lze konstatovat, že výrobce ve většině případů volí „snazší“ cestu, čímž je výroba buď samostatného světelného zdroje pro jednotlivý druh osvětlení (Tazzari Zero) a jeho konstrukční oddělení, nebo výroba jednoduchého tvaru světlometu, ve kterém je buď sdruženo více žárovek (Squad Solar), popřípadě jedna žárovka plnící více funkcí (Twizzy).

Dá se říci, že se jedná o „motorkový typ“ řešení světlometů s tím rozdílem, že u dvoustopých vozidel musíme osvětlení navrhnout párové.



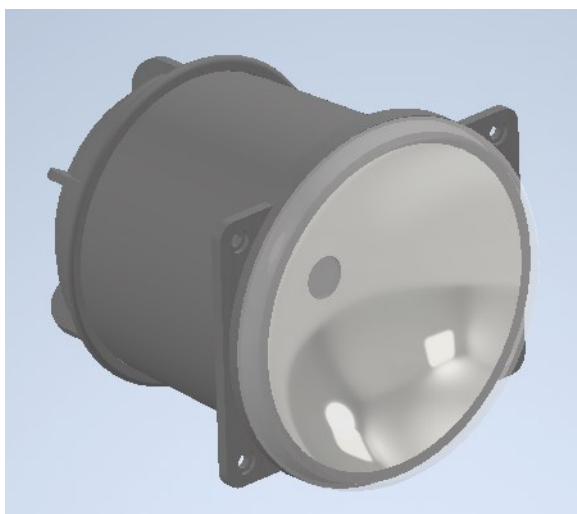
## 7 Návrh přední skupiny světlometů

V praktické části je pozornost věnována návržení předních světlometů vozidla Evgen. Cílem projektu je dostat vozidlo na vozovku, ovšem ne za účelem sériové výroby, ale testování komponent. Vozidlo bude muset projít homologačním schvalováním do provozu, proto je při návrhu přední skupiny světlometů kladen důraz na splnění požadavků dle předpisů EHK.

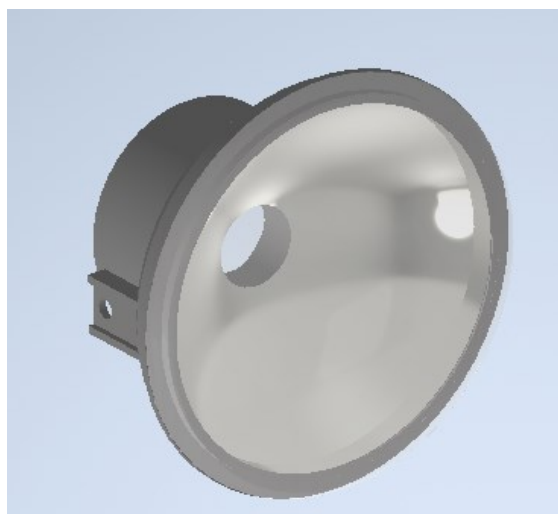
### 7.1 Varianta 1: reflektor

Tato varianta je inspirována zmíněným vozidlem Tazzari Zero. Tou je oddělení jednotlivých druhů svícení, tudíž zvlášť pouzdro na potkávací světla a zvlášť pouzdro na dálková světla s tím, že světlomety jsou koncepčně reflektorové (odrazová plocha se zdrojem světla).

Pro návrh byly zvoleny konkrétní součásti. Dálkové světlo Wesem o průměru 80 mm a potkávací světlo Shin Yo paraboloidního tvaru o průměru 91 mm. Obě součásti byly modelovány v programu Inventor Autodesk (modely jsou znázorněny na *obrázku č. 34 a 35*). Každé světlo se skládá z pouzdra a krycího skla, přičemž pouzdro má nastavený materiál PVC a reflektory (vnitřní paraboloidní tvary) jsou z lesklého odrazivého materiálu. Tyto součásti jsou modelovány každá zvlášť a poté jsou v sestavě smontovány do jednoho kusu.

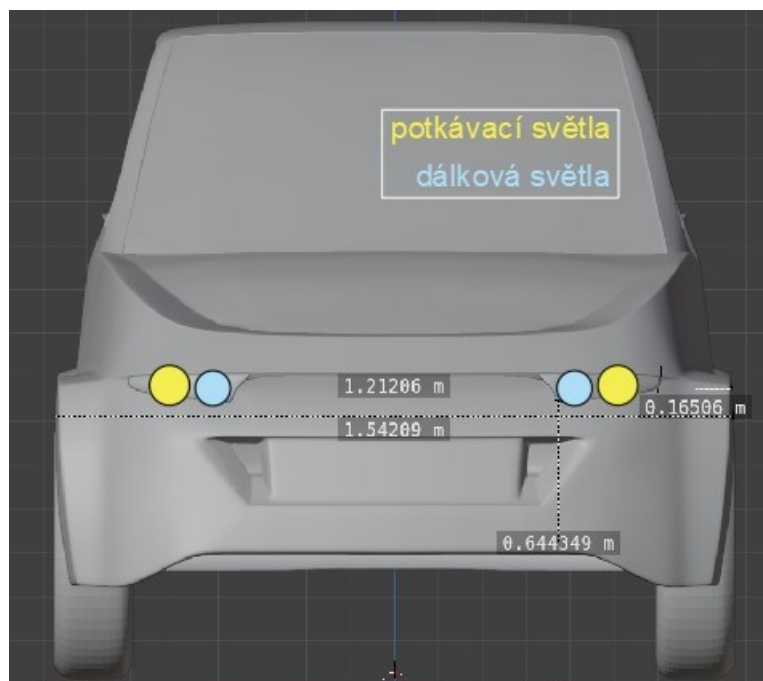


*Obrázek 34: Model dálkového světla Wesem, autor: Vaněk František*



*Obrázek 35: Model potkávacího světla Shin Yo, autor: Vaněk František*

Po prvotním modelování a návrhu na čelo vozu byla tato varianta však zamítnuta. Jednotlivé komponenty světel zabírají na čele vozu příliš mnoho místa a jak z prostorového, tak z estetického hlediska varianta nevyhovuje. Na *obrázku č. 36* je v měřítku na čelní stranu vozu Evgen naaranžováno umístění těchto konkrétních světelných zařízení.



Obrázek 36: Návrh variantního řešení předního osvětlení

Z obrázku je patrné, že v oblasti předního světlometu, ve kterém by mělo být sdruženo potkávací a dálkové světlo chybí i přední blinkry. Ty se dají připočíst k celkové prostorové náročnosti, ve které musíme počítat i s povinnými vzdálenostmi od nejvzdálenější hrany vozidla 400 mm (rozměr A na *obrázku č. 19*).

Hlavním faktorem pro nezvolení reflektorů však byla obava z geometrického rozložení světelných paprsků. Modelované komponenty jsou totiž bez zdroje světla, a také nemají uzpůsobenou odrazovou plochu pro ty rozměry, které bychom potřebovali pro umístění na vozidle. Tyto součásti jsou navrhovány jednoduše bez konkrétního požadavku.

## 7.2 Varianta 2: projektor

Varianta, která zahrnuje jediný zdroj světla, který má možnost přepnutí mezi potkávacím a dálkovým svícením. Tento koncept je konstrukčně jednodušší, neboť se jedná o jeden objekt, který má již z výroby nastavené odrazové plochy tak, že odpovídají nastavení světlometů dle předpisů.

Tato varianta byla zvolena jako vyhovující a bylo s ní nadále pracováno, přičemž za součást pro realizování byly vybrány LED projektorové čočky od firmy Einparts na *obrázku č. 37*.



*Obrázek 37: Projekční světlomet značky Einparts*

Model světla je stejný jako popisované projekční světlometry v *kapitole 3.3.6*. Tento konkrétní typ má navíc vestavěný chladicí ventilátor na zadní straně z důvodu emitování tepla LED zdroje světla.

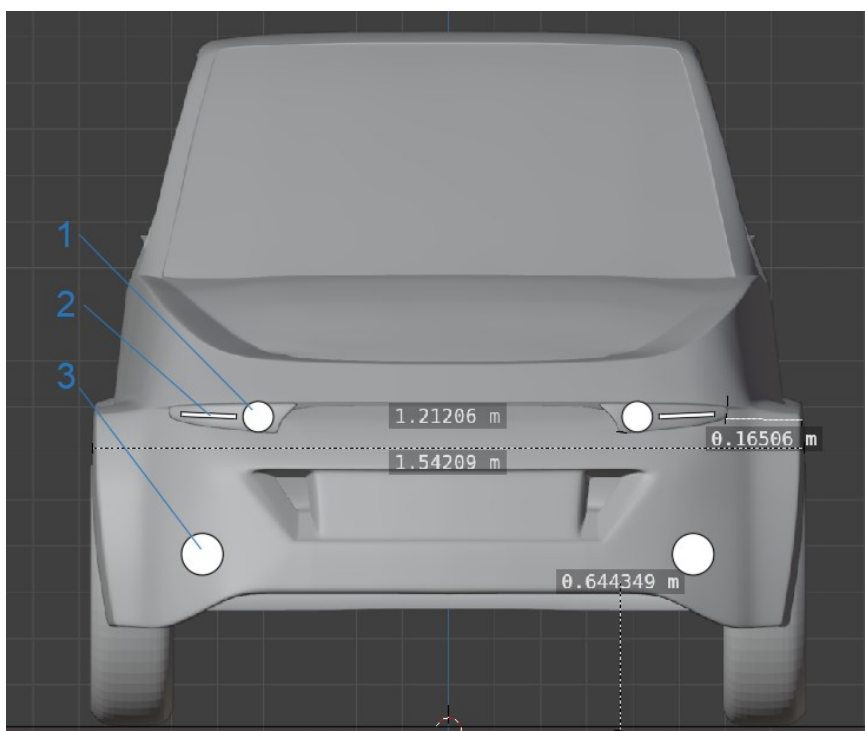
### 7.3 Návrh přední skupiny světel

Jelikož byla zvolena varianta s projektory, je snazší komponenty poskládat do jednoho pouzdra, ve kterém bude zahrnuto svícení obrysově, potkávací, dálkové a směrové. Zvlášť jsou na vozidlo projektovány světlomety mlhové.

Na základě vybraných komponent a předpisu EHK 48 bylo navrženo rozložení světel na přední straně vozidla Evgen (přední skupina světel), to je patrné na *obrázku č. 38*.

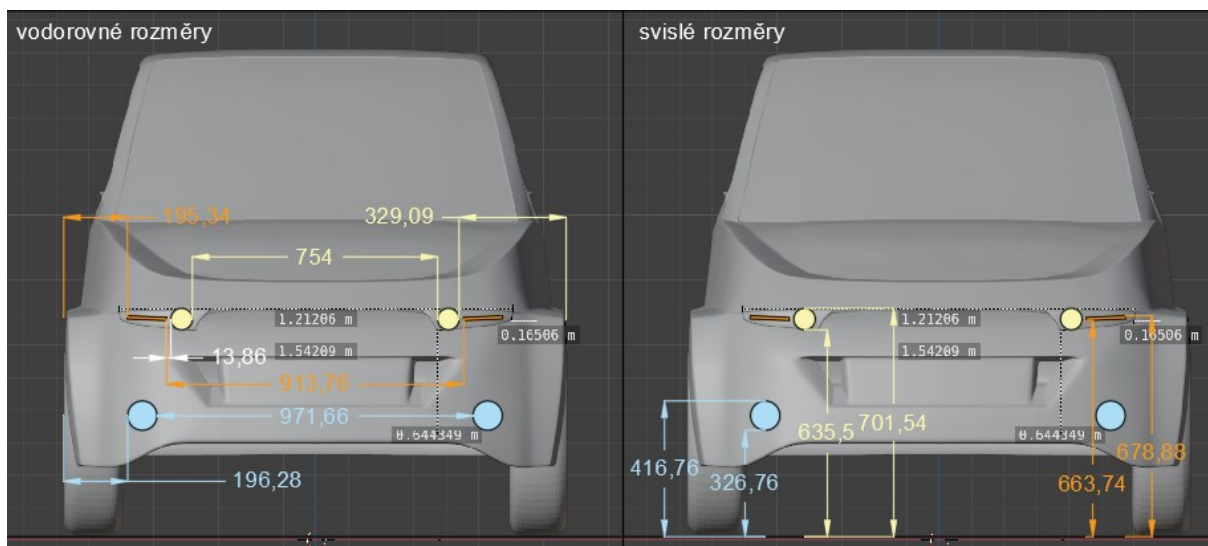
Popsaná světla zahrnují:

- 1 – potkávací a dálkové svícení
- 2 – denní/obrysově svícení s funkcí směrových světel
- 3 – přední mlhová světla



*Obrázek 38: Popis navržených světlometů na vozidle Evgen*

Zda světla splňují správné vodorovné a svislé umístění na vozidle, porovnáme s předpisem EHK 48 (*obrázek č. 19*) v kapitole 4.2. Na *obrázku č. 39* jsou jednotlivé druhy svícení s příslušnými kótami barevně rozlišeny.



Obrázek 39: Vodorovné a svislé rozměry jednotlivých druhů osvětlení na vozidle Evgen

To, zda rozměry splňují předpisy EHK 48, je popsáno v tabulce č. 6 níže.

Vodorovné rozměry							
Světlo	rozměr A [mm]	rozměr B [mm]	rozměr C [mm]	požadavek na A	požadavek na B	požadavek na C	splnění
Potkávací	330	754	14	≤ 400	≥ 600	≤ 140	ANO
Dálkový				není	není		ANO
Obrysový	≤ 400	≥ 600		ANO			
Denní	není	≥ 600		ANO			
Směrový	≤ 400	≥ 600		ANO			
Mlhový	197	972	≤ 400	není		ANO	
Svislé rozměry							
Světlo	rozměr D [mm]	rozměr E [mm]	rozměr F [mm]	požadavek na D	požadavek na E	požadavek na F	splnění
Potkávací	219	636	702	≤ 400	≥ 500	≤ 1200	ANO
Dálkový					není	není	ANO
Mlhový		327	417		≥ 250	ne pro kat. L	ANO
Obrysový		664	679		≥ 250	≤ 1500	ANO
Denní	≥ 250				≤ 1500	ANO	
Směrový	není				není	ANO	

Tabulka 6: Tabulka poloh předních světlometů vozidla Evgen v porovnání s předpisem EHK 48

### 7.3.1 Projekční světlomet pro vozidlo Evgen

Projekční světlomet zmíněný v kapitole 7.2 má funkci dálkového a potkávacího světla. Přepínání modů svícení je závislé na clonce. Ta je ovládaná dvěma kabely, které jsou vyvedeny ve svazku ze zadní strany světlometu. Celkově jsou na zadní straně kabely čtyři, z toho kabel plus, minus a již zmíněné ovládání. Parametry uvedené výrobcem (tabulka č. 7) jsou nadále porovnávány s výsledky praktického měření.

	Pracovní napětí [V]	Maximální výkon [W]	Světelný tok [lm]	Barva světla [K]
Potkávací světla	12	2 x 43	4200	6500
Dálková světla		2 x 55	5200	

Tabulka 7: Výrobce udané parametry projekčních LED čoček

Nutno zmínit, že konkrétní zvolený typ není homologován, tudíž je nelegální ho použít v provozu na pozemních komunikacích. Cílem projektu Evgen však není plná homologace, ale schválení pro provoz na pozemních komunikacích za účelem testování různých komponentů vyvinutých v rámci fakulty. Schválení světlometů by tedy bylo součástí schvalovacího procesu.

### 7.3.2 LED pásek

LED pásek plní funkci obrysových světel a blinkrů. Jeho testovací zapojení proběhlo v rozhraní programu Arduino za pomoci TTGO ESP32 display.

Obrysová světla jsou v režimu bílé barvy a blinkry v režimu dynamického blikání oranžové o frekvenci 1 Hz.

#### 7.3.2.1 TTGO ESP32

TTGO, celým názvem LilyGO TTGO LoRa32 je mikrokontroler, s vestavěným displayem [48]. Je součástí řady ESP32, což je řada levných a nízkoenergetických systémů postavených na čípech mikrokontrolerů. Náš konkrétní je možné napájet jak z externího 5 V zdroje, tak pomocí USB-C, přes které se dá snadno naprogramovat v rozhraní Arduino.

Zařízení se dá naprogramovat přes Arduino za pomoci knihovny „*tft\_esph*“.

#### 7.3.2.2 LED pásek

LED pásek je zapojen do mikrokontroleru TTGO. Pásek vyžaduje napětí 12 V (stejně jako projekční světlometry), tím pádem je snadné jej zapojit do obvodu na dvanácti voltovou autobaterii. Napětí se rozchází u mikrokontroleru, který vyžaduje zmíněných 5 V. Pro účel testování byl za TTGO zapojen Step Up modul, který mění 5 V na 12 V. Takto je možné napájet celou soustavu z USB-C a není tak nutné přidávat externí zdroj pro LED pásek. Celkové zapojení bylo upraveno a pomocí 3D tisku vytvořeno jako testovací platforma (obrázek č. 40).



Obrázek 40: Testovací platforma LED pásku

Zařízení pracuje na protokolu „FastLED“, který je dostupný v programu Arduino. Programování barev pásku probíhá pomocí kódu, a to buď přímo vypsáním konkrétní barvy (např. „orange“), nebo pomocí příkazu pro kombinování stupnice RGB, kde nastavujeme číselnou hodnotu pro každou barvu (červenou, zelenou a modrou) zvlášť na stupnici od 0 do 255.

## 8 Praktické měření

Pro praktické měření bylo zvoleno měření světelných vlastností světlometů a elektrické testování. Toto měření probíhalo pouze na samostatných projekčních světlech, jelikož v době experimentu nebylo k dispozici pouzdro světlometu.

### 8.1 Elektrické měření

Kontrola elektrického proudu proběhla na zapojení obou světel najednou. Pokus se odehrál jak pro rozsvícení potkávacích, tak dálkových světel a výsledky jsou porovnány s údaji výrobce. Seznam měřících pomůcek:

- zdroj – autobaterie (12 V)
- multimetr
- propojovací kabely
- projekční světlometry

Z každého světlometu vedou čtyři dráty. O jaké vodiče se jedná a jejich kombinace zapojení pro rozsvícení požadovaného modu svícení je popsáno v *tabulce č. 8*.

Kabely		Mody svícení	
Vodič	Barva	Kombinace	Svícení
+	červený	+ samostatně	potkávací
-	černý	1 spojena s +	
1	bílý	2 spojena s +	dálková
2	modrý		

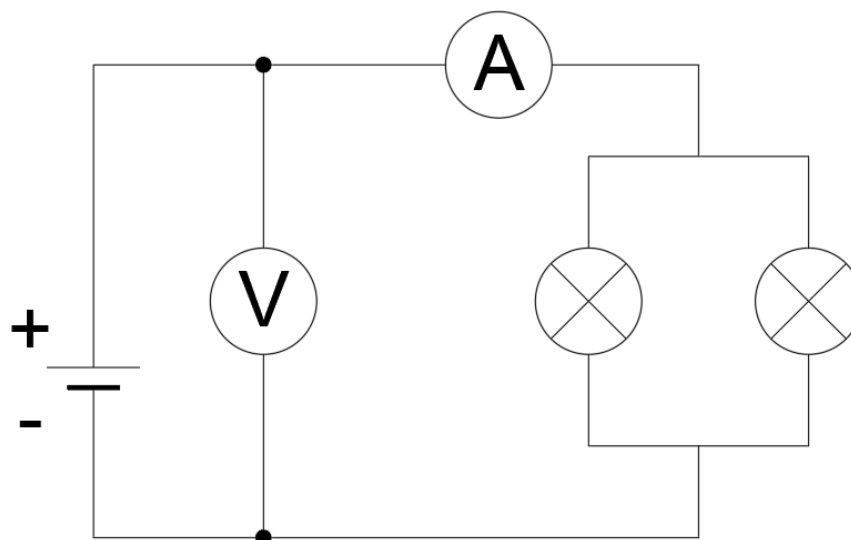
*Tabulka 8: Popis vodičů projekčních světlometů*

Kabely + a - jsou primární vodiče určené k vedení stejnosměrného napětí 12 V, které je přívodem energie pro LED zdroj světla. Bílý a modrý vodič je poté ovládání elektromagnetu, který pohybuje se clonkou, jež ovlivňuje svícení na potkávací a dálkový režim. Přiložením modrého kabelu (vodiče číslo 2) odstraníme clonku a paprsky světla tak proudí přes větší prostor čočky světlometu, čímž dochází k rozšíření dopadové plochy (dálkové svícení).

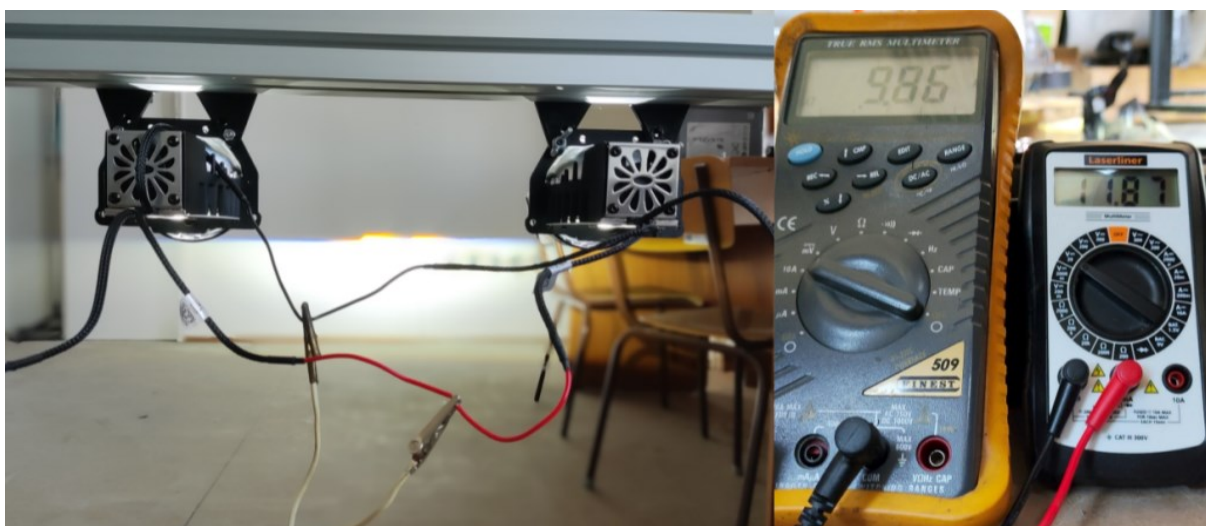
#### Kontrola potkávacích světel

Jako první bylo provedeno rozsvícení potkávacích světel. Toho bylo dosaženo propojením projektorů s autobaterií póly plus a mínus. Světla byla zapojena paralelně, přičemž multimetr (přepnutý na měření proudu do deseti ampér), byl mezi baterií a světla zapojen sériově a na pólech baterie bylo měřeno napětí (patrné ve schématu na *obrázku č. 41*).





Obrázek 41: Schéma zapojení pro elektrické měření světlometů



Obrázek 42: Zapojení pro potkávací svícení s ampérmetrem

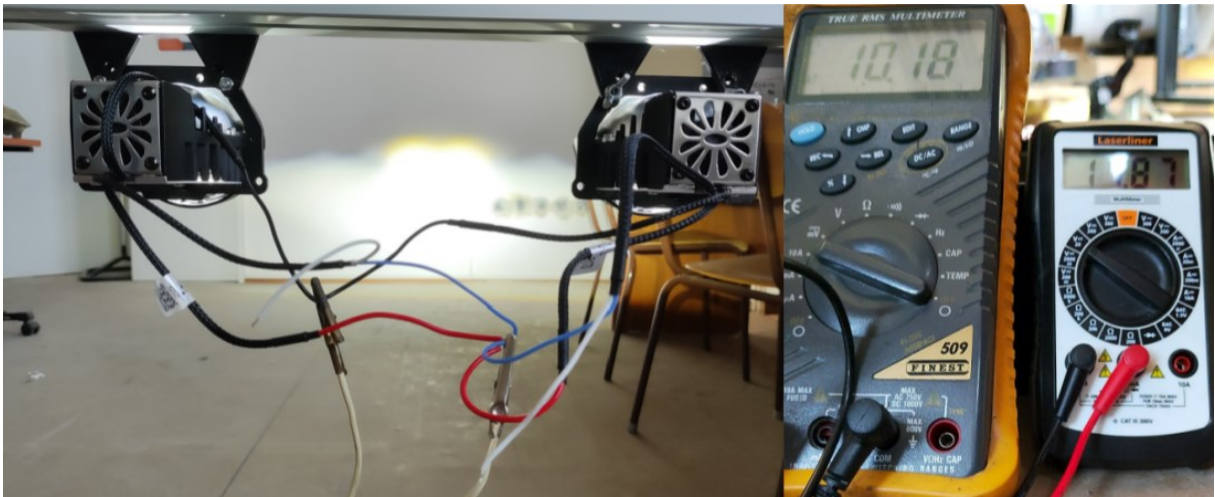
Na ampérmetru v obrázku č. 42 je naměřená hodnota 9,86 A a na voltmetru 11,87 V. Z těchto dvou hodnot je možné dopočítat výkon:

$$P = U \cdot I = 11,87 \cdot 9,86 = 117,04 \text{ W}$$

Výsledek je pro oba světlometry naráz. Vydělíme-li tedy dvěma, vyjde výkon pro jeden světlomet, což vychází 58,52 W.

### Kontrola dálkových světel

Druhé měření je úplně stejné s tím, že k plusovým kontaktům jsou zároveň připojeny modré vodiče, které pomocí odsunutí clonky rozsvítí dálkové svícení. Schéma zapojení je stejné jako při měření potkávacích světel (obrázek č. 41) s tím rozdílem, že samotné světlometry mají větší odběr právě kvůli aktivaci elektromagnetu pro clonku.



Obrázek 43: Zapojení pro dálkové svícení s ampérmetrem

Na ampérmetru v *obrázku č. 43* je patrná hodnota 10,18 A. Proud se tedy oproti předchozímu měření zvýšil o 0,32 A. Napětí na pólech baterie je stejné jako při pokusu s potkávacími světly. S naměřenými hodnotami je opět dopočítán výkon:

$$P = U \cdot I = 11,87 \cdot 10,18 = 120,84 \text{ W}$$

Pro oba světlomety je tedy výkon roven 120,84 W, a tedy pro jeden 60,42 W.

## Shrnutí

Výsledky měření se rozcházejí s hodnotami udanými výrobcem. Srovnání je patrné v *tabulce č. 9*:

Režim svícení	Hodnoty výrobce	Naměřené hodnoty	Rozdíl (1 světlomet)
potkávací	2 x 45,00 W	2 x 58,52 W	13,52 W
dálkový	2 x 55,00 W	2 x 60,42 W	5,42 W

Tabulka 9: Porovnání naměřených hodnot

## 8.2 Měření světelných vlastností

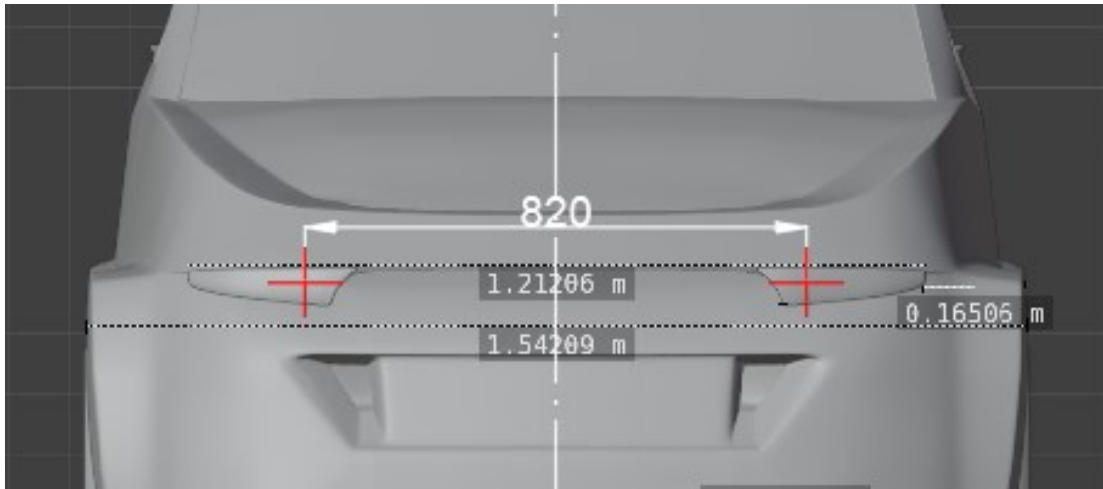
Měření světelných vlastností je věnováno zdroji světla, v tomto případě projekčním světlometům s LED zdrojem světla. Výstupem měření je barevná mapa intenzity osvětlení a dále ověření fyzikálních veličin světlometů, a to svítivosti, světelného toku a intenzity osvětlení. Poslední veličina je výchozí pro získání ostatních dvou hodnot a byla přímo měřena v provedeném pokusu. Fyzikální vlastnosti jsou zjišťovány pro každou lampu zvlášť, naopak světelná mapa intenzity osvětlení je zkonstruována pro obě svítilny naráz tak, jak bylo navrženo umístění na automobilu Evgen.

Seznam měřících pomůcek:

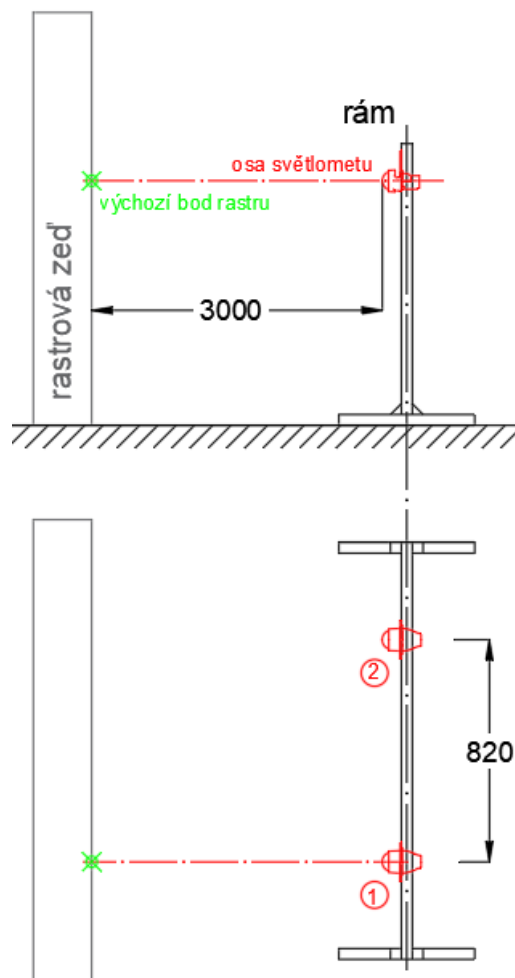
- zdroj – autobaterie (12 V)
- rám na umístění světlometů
- projektové světlometry
- luxmetr
- křížový laser

Rám byl vytvořen z hliníkových profilů. Na ten se pomocí vytvořených držáků (3D tisk) připevnily světlometry. Celý rám byl umístěn od rastrové zdi dle Obrázek 45, na které byla předem připravena mřížka rastru o velikosti 14 x 41. Mezi každým bodem je vzdálenost 100 mm, tudíž rastr má celkové rozměry 1,4 x 4,1 m. Rám byl nastaven na takovou výšku, aby usměrněné světlo ze zdroje (projektových světlometů) nedopadlo na podlahu, ale bylo celým svým rozměrem na zdi. Od nastavení výšky a zjištění středu čočky pomocí křížového laseru levého světlometu (řidičova strana), byl na zdi zanesen střed zdroje. Ten se stal výchozím bodem pro tvorbu rastru (schéma je patrné na *obrázku č. 45*).

Šířkové umístění světél bylo určeno z modelu vozidla Evgen, které bylo 1:1 přeneseno do AutoCadu, kde proběhlo odměření (*obrázek č. 44*). Vzdálenost mezi osami světél je 820 mm, a tak byly světlometry umístěny na rám (*obrázek č. 45*).



Obrázek 44: Odměření vzdálenosti os světlometů

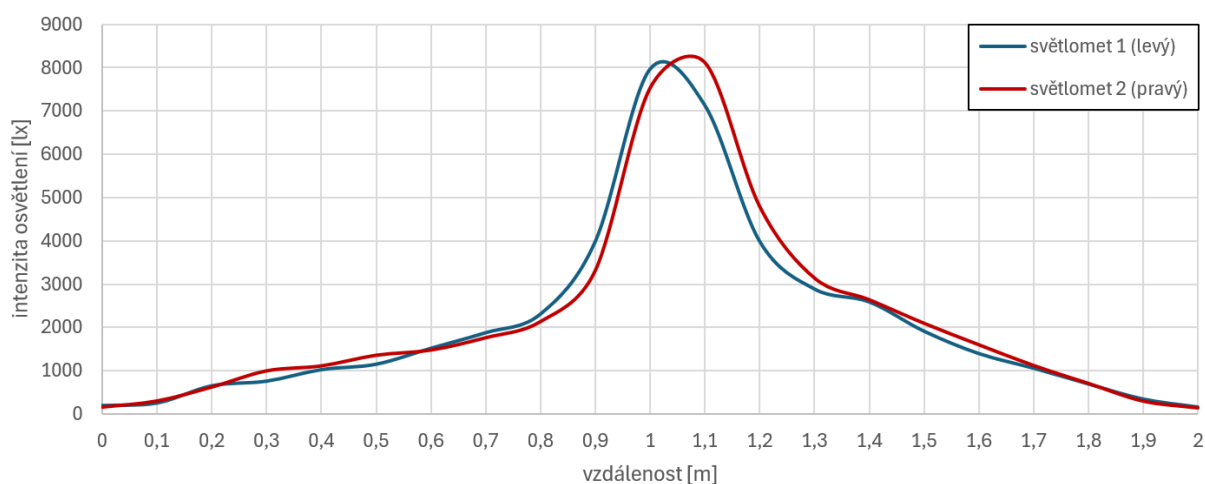


Obrázek 45: Schéma měřicího prostoru

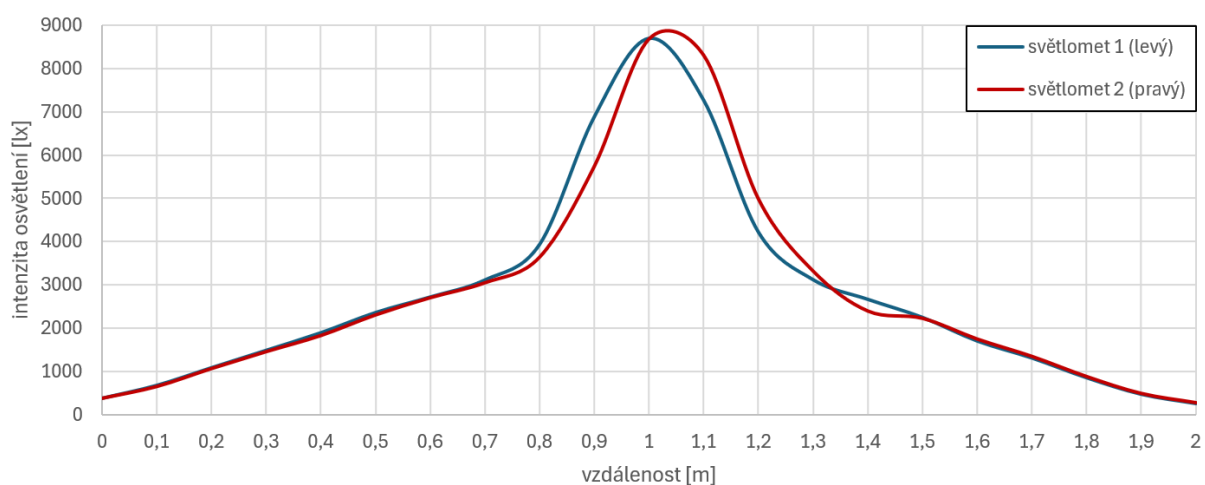
Jelikož je vzdálenost mezi projektory 820 mm, druhý zdroj světla nemá osu přesně na rastrovém bodě jako první (levý) projektor (prostor mezi body je 100 mm). To se odráží ve světelné mapě osvětlení v kapitole 8.2.2.

## 8.2.1 Světelné vlastnosti světlometu

Při zjišťování světelných vlastností světlometu bylo měření provedeno pro každý světlomet zvlášť. Měření spočívalo v zapojení do zdroje pouze jedné svítilny, přičemž na rastrové zdi byla k měření použita řada dvaceti jedna bodů, kde prostřední bod je střed osy světlometu (místo s největší hodnotou osvětlení), od kterého bylo na každou stranu změřeno dalších deset bodů. Grafy velikostí hodnot naměřených na této přímce jsou níže (obrázek č. 46 a 47).



Obrázek 46: Graf porovnání potkávacího svícení obou světlometů



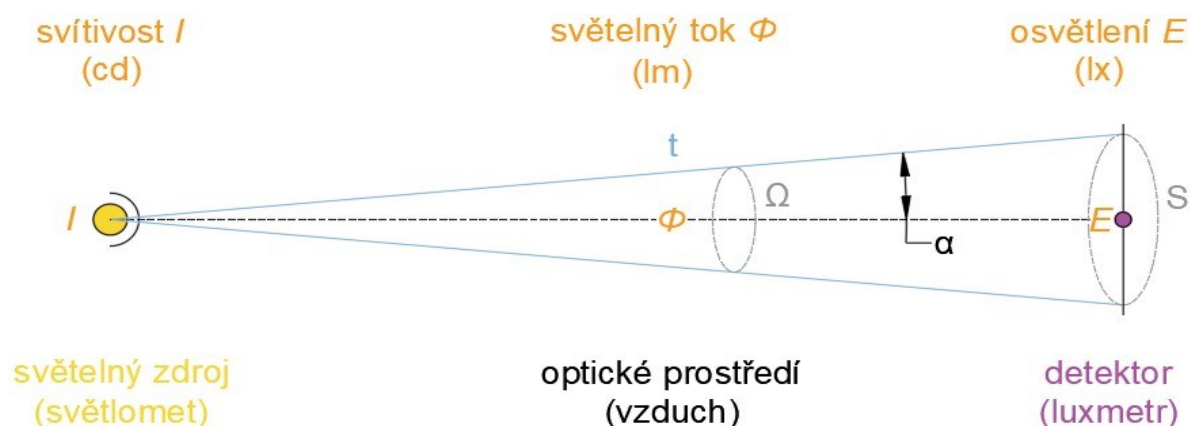
Obrázek 47: Graf porovnání potkávacího svícení obou světlometů

Tento pokus má souvislost s měřením osvětlení na kružnici. Každý zdroj světla vrhá světelné paprsky do prostoru, přičemž nejlépe je můžeme spatřit na kolmých plochách. Pokud používáme umělé zdroje světla, jako je například klasická baterka nebo právě světlomet, vykreslí nám světlo na zdi určitý obraz, který je dán usměrněním paprsků v použitém zařízení [39]. V tomto obraze si vytyčíme námi zvolený kruh o určitém poloměru, ve kterém změříme hodnoty osvětlení za pomoci luxmetru. Pokud použijeme větší poloměr kružnice ve které měříme, musíme měřit více bodů. Námi zvolená kružnice má poloměr jeden metr, tudíž mezi měřenými body je vzdálenost 100 mm. Z naměřených hodnot poté provedeme aritmetický

průměr a výslednou hodnotu použijeme do vzorečků, které vychází z *obrázku č. 48*. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v *tabulka č. 10*. Z grafů na *obrázku č. 46 a 47* je patrné, že pravý světlomet osvětluje měřený prostor o něco málo více než levý. To je správný jev při nastavení světel pro pravostranný provoz a správný předpoklad pro tvorbu požadovaného světelného kuželu (*obrázek č. 21*).

Světlomet	Režim	Maximum [lx]	Průměr ze všech hodnot [lx]
1	potkávací	7965	2087
	dálkové	8705	2564
2	potkávací	8125	2163
	dálkové	8683	2732

*Tabulka 10: Tabulka naměřených hodnot osvětlení*

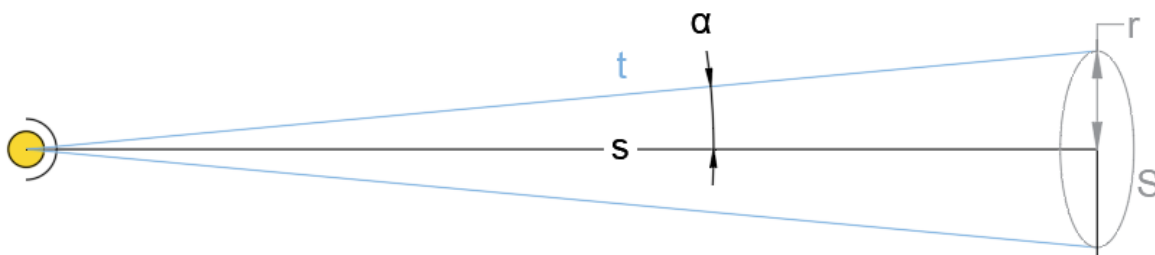


*Obrázek 48: Geometrické schéma světelných veličin, [49]*

Potřebné vzorce pro určení světelných veličin (*obrázek č. 48*):

$$I = \frac{\Phi}{\Omega} \qquad \Omega = \frac{S}{t^2} \cdot \cos \alpha \qquad E = \frac{\Phi}{S} = \frac{I}{t^2} \cdot \cos \alpha$$

Před užitím těchto vzorců je nutné dopočítat hodnoty  $\alpha$ ,  $S$  a  $t$ . K těmto hodnotám dojdeme jednoduchou goniometrií. Známe vzdálenost světlometu od luxmetru (*obrázek č. 45*) a také poloměr měřené kružnice. Na základě těchto hodnot je možné dopočítat úhel, obsah a tečnu kružnice ( $\alpha$ ,  $S$  a  $t$ ). Schéma k dopočítání je na *obrázku č. 49*.



*Obrázek 49: Schéma goniometrie*

## Výpočty rozměrů:

Naměřené veličiny:

- vzdálenost svítlny od zdi:  $s = 3 \text{ m}$
- poloměr kružnice:  $r = 1 \text{ m}$

Výpočty:

$$S = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot 1^2 = 3,141592 = 3,14 \text{ m}^2$$

$$t = \sqrt{s^2 + r^2} = \sqrt{1^2 + 3^2} = \sqrt{10} = 3,162277 = 3,16 \text{ m}$$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{r}{s} = \tan^{-1} \frac{1}{3} = 18,44 = 18^\circ 26' 5,82''$$

## Výpočty světelných veličin:

Naměřenou veličinou pro spočítání světelných vlastností je intenzita osvětlení. Ta byla měřena po 10 cm od středu na každou stranu, tudíž vzniklo 21 měření, ze kterých byl vypočten aritmetický průměr. Výsledná svítivost a světelný tok byl spočten ze vzorců z kapitoly 8.2.1.

Výpočty:

$$\Omega = \frac{S}{t^2} \cdot \cos \alpha = \frac{3,14}{3,16^2} \cdot \cos 18,44 = 0,287542 = 0,29$$

$$\phi = E \cdot S = 2087 \cdot 3,14 = 6556,5039 = 6556,50 \text{ lm}$$

$$I = \frac{E \cdot t^2}{\cos \alpha} = \frac{2087 \cdot 3,16^2}{\cos 18,44} = 22801,8985 = 22801,90 \text{ cd}$$

$$I = \frac{\phi}{\Omega} = \frac{6556,5039}{0,2875} = 22801,8985 = 22801,90 \text{ cd}$$

Tyto hodnoty jsou spočteny pro levé potkávací světlo. Stejně výpočty byly provedeny pro dálkové svícení a kompletní druhý světlo (potkávací a dálkové svícení). Všechny vypočtené a změřené hodnoty jsou v *tabulce č. 11*.

Světlomet	Svícení	Osvětlení [lx]	Světelný tok [lm]	Svítivost [cd]
1	potkávací	2087	6557	22802
	dálkové	2564	8055	28013
2	potkávací	2163	6795	23632
	dálkové	2732	8583	29849

*Tabulka 11: Výsledné světelné veličiny*

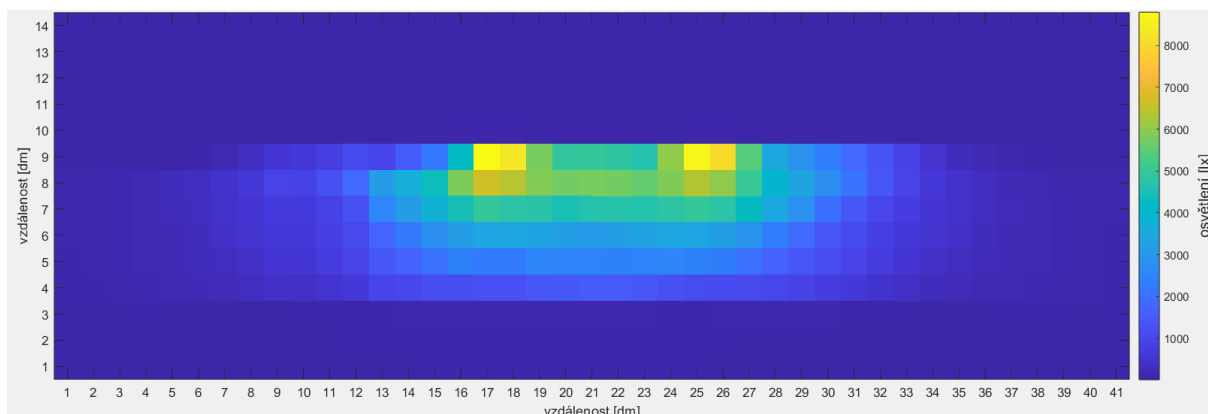
Na základě výsledků můžeme konstatovat, že dálková světla splňují kritérium dle předpisu EHK 48, kterým je to, že maximální svítivost souboru dálkových světlometů nesmí překročit

430 000 cd (*kapitola 4.3.2*). V našem případě je to součet dvou hodnot svítivosti pro dálkové svícení světlometu 1 a 2, který je v tomto případě 57 862 cd. Kritérium je tím tak splněno a světlometry v dálkovém režimu svícení vyhovují.

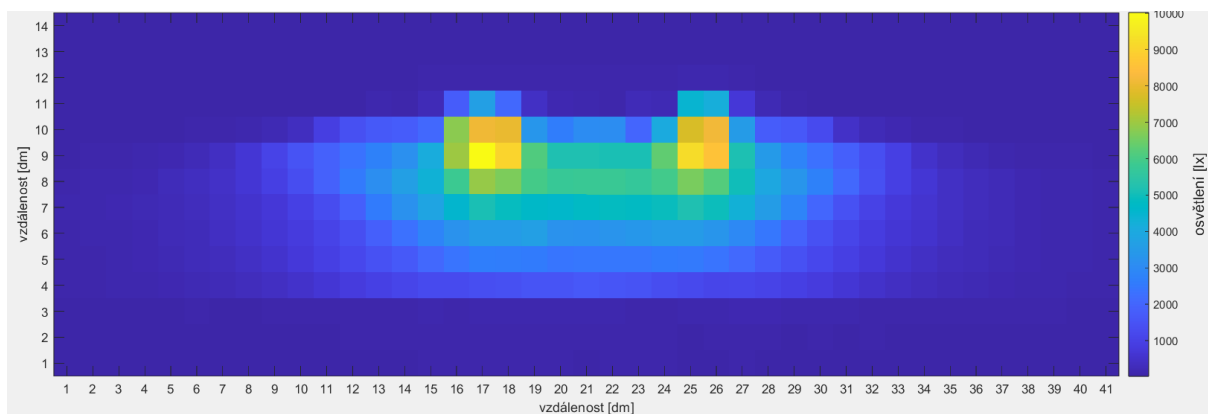
## 8.2.2 Světelná mapa světlometů

Pro toto měření byl užit rastr (zmněný v *kapitole 8.2*). Při tomto pokusu byly měřeny oba dva světlometry naráz, aby byla vidět intenzita osvětlení před vozidlem. S rámem nebylo nijak hýbáno, tudíž měřicí podmínky byly stejné, jako u pokusu se světelnými vlastnostmi.

Měření probíhalo tak, že při zapnutých světlech byl luxmetr přiložen na zeď na každý bod rastru a zapsána hodnota do tabulky. Ta byla poté vyhodnocena pomocí programu Matlab a vznikly tak čtyři světelné mapy pro dálkové a potkávací svícení, z toho pokaždé jedna verze čtvercová (tak jak bylo ve čtverci 100 x 100 mm změřeno je čtverec vybarven) a interpolovaná (pomocí programu byl vygenerován graf s jemnějšími přechody mezi jednotlivými body).

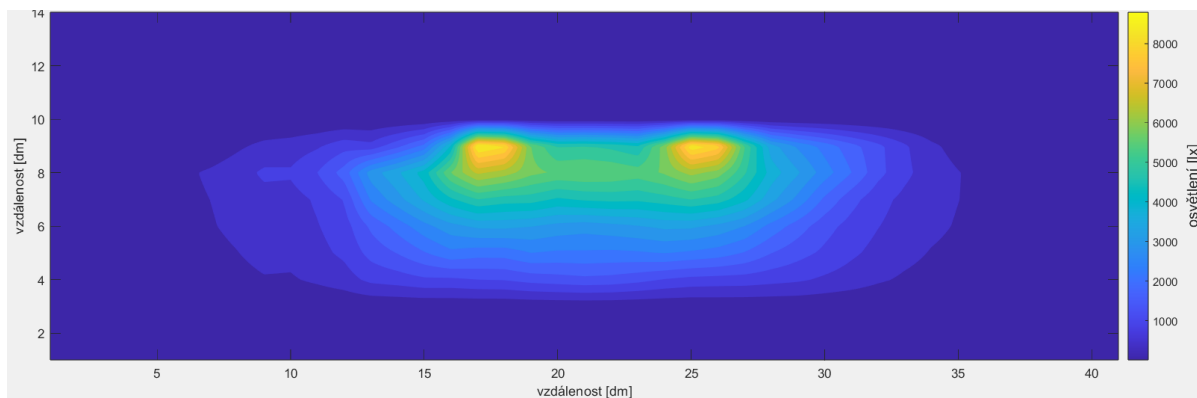


Obrázek 50: Graf osvětlení potkávacích světel, neinterpolovaný

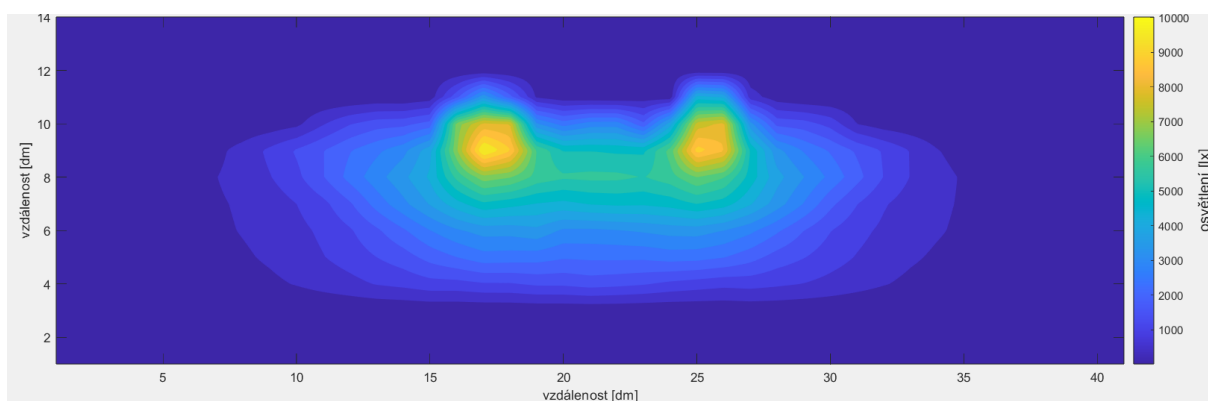


Obrázek 51: Graf osvětlení dálkových světel, neinterpolovaný





Obrázek 52: Graf osvětlení potkávacích světel, interpolovaný



Obrázek 53: Graf osvětlení dálkových světel, interpolovaný

Z grafů je patrný rozdíl mezi potkávacím a dálkovým svícením. Světlo má na potkávací svícení vymezenou hranici mezi osvětleným a neosvětleným prostorem, aby nedošlo k oslnění protijedoucích vozidel (obrázek č. 50 a 52). Naopak při dálkovém svícení emituje světelné paprsky nad tuto linii za účelem co největšího osvětlení vzdálených předmětů (obrázek č. 51 a 53).

## 9 Diskuse výsledků

Z hodnot naměřených při elektrickém měření vyšlo, že vypočtený výkon pro potkávací a dálkové svícení je rozdílný s hodnotami udávanými výrobcem, přičemž námi naměřené hodnoty jsou značně vyšší. To může být zapříčiněno měřením světel samostatně zapojených na dvanácti voltovém zdroji. V autě máme na autobaterii klasicky zapojeno více elektrických zařízení (osvětlení přístrojové desky, senzory na hnacím ústrojí, atd.). Vysoký výkon tak může být zapříčiněn právě tím, že baterie nemá další odběr. Zároveň se provedené měření může rozcházet s metodikou měření samotného výrobce.

Na základě měření byly stanoveny hodnoty pro projekční světlometry. Světelný tok, který je zároveň udáván výrobcem, vyšel vyšší stejně jako porovnávaná hodnota výkonu v elektrickém měření. Příčin může být hned několik. První je nastavená geometrie světlometu, která upravuje proudění světelných paprsků tak, aby odpovídalo předpisům, tj. nastavení pro pravostranný provoz (viz *obrázek č. 22*). To zapříčiňuje nerovnoměrné rozložení paprsků v měřeném prostoru a aritmetický průměr tak nemusí stačit na správné zprůměrování naměřených výsledků. Druhá příčina může být již zmíněný příkon světel. Ten, jak bylo změřeno v elektrickém pokusu, je značně vyšší než hodnota výrobce. Zde platí přímá úměra: čím vyšší příkon, tím vyšší naměřené osvětlení. S tímto experimentem se také váže vysoká chybovost. Klasicky se světelné zdroje měří v laboratorních podmínkách na fotometrických lavicích, což jsou velmi přesná zařízení sloužící k preciznímu měření. V tomto případě je velmi pravděpodobné, že výrobce použil jinou metodiku měření, než která byla použita při tomto pokusu.

Další měření světlometů má výstup světelných map osvětlení. Tyto grafy vykreslují rozdíl mezi potkávacím a dálkovým svícením, přičemž nám zároveň udávají velikost osvětlení na rastrové zdi. Z grafů je patrný rozdíl mezi dálkovým a potkávacím svícením, kde potkávací svícení má jasně nastavenou geometrii, jenž zabraňuje oslnění protijedoucích řidičů. Zvolená velikost měřicí plochy je dostačující, neboť po obvodu mapy se výsledky pohybují v minimálních hodnotách. S narůstající vzdáleností od rastrové zdi by se intenzita osvětlení samozřejmě zmenšovala, ale zároveň by rostla osvětlená plocha. Grafy by tak měly větší rozměry, ale ohniska intenzit osvětlení by nebyla tak výrazná. Geometrie svícení pro pravostranný provoz (*obrázek č. 24*) na tuto vzdálenost není patrná. Světla mají již od výrobce tuto geometrii přednastavenou, ovšem vzdálenost 3 metry od stěny není dostačující pro demonstraci tohoto seřízení.

## 10 Závěr

V rámci bakalářské práce byl shrnut obecný popis světlometů z hlediska fyzikálních vlastností, konstrukce, legislativy a samotného testování. Na základě rešerše byla navržena dvě řešení skupiny předních světlometů pro městské EV Evgen, které spadá do kategorie L7 dle EU, z nichž jedno řešení bylo zvoleno jako vyhovující.

Zvolený návrh na umístění jednotlivých druhů osvětlení byl zhodnocen z hlediska předpisu EHK 48, kdy na vozidlo bylo osazeno sdružené svícení pro potkávací a dálková světla v provedení projekčních světlometů, obrysově svícení a směrové svícení v provedení LED pásku a také byl proveden předběžný návrh pro mlhová světla. Z hlediska rozložení návrh splnil předpisové podmínky.

Praktické měření zahrnovalo kontrolu výkonu projekčních světlometů, jehož výsledky byly porovnány s hodnotami udanými výrobcem. Samotné výkony z měření pro jeden světlomet vyšly pro potkávací svícení o 13,52 W a pro dálkové o 5,42 W vyšší, než udává výrobce. Vyšší výsledek se nám může propisovat do dalšího měření, kterým bylo zjišťování světelných vlastností.

Při dalším měření byly provedeny testy dva. První měl za cíl určit a opět porovnat hodnoty, tentokrát světelné, a to konkrétně světelný tok. Pokus spočíval v měření osvětlení pomocí luxmetru na kružnici o poloměru jednoho metru, přičemž se měřil každý světlomet zvlášť, a to jak pro potkávací tak dálkové svícení. Na základě měření byl pro každý světelný zdroj vypočten světelný tok a svítivost samotného zdroje a sestaveny grafy, které mezi sebou porovnávají intenzitu osvětlení levého a pravého projekčního světlometu. Z grafů vyplynulo, že pravý světlomet má vyšší intenzitu osvětlení, což v praxi dává smysl, jelikož světla jsou už z výroby přednastavena pro pravostranný provoz, kde při svícení požadujeme větší osvětlení pravé strany vozovky, než levé, kde by docházelo k oslnění protijedoucích vozidel. Z početních postupů vyšlo, že vypočtené hodnoty světelného toku jsou vyšší, než které udává výrobce. Zde je určitá spojitost s předchozím měřením, kde byly taktéž spočteny vyšší hodnoty, než ty udané u samotných světlometů.

Výsledkem druhého měření světelných vlastností jsou světelné mapy, které byly sestaveny pro oba dva zapnuté světlometry naráz, a to opět pro potkávací a dálkové svícení. Metodika měření je stejná jako v předchozím měření s tím rozdílem, že nebyla měřena pouze kružnice, ale celá navržená rastrová zeď tak, aby byl vidět celý graf svícení a nasimuloval nám tak osvětlení před vozidlem. Z grafů je patrný rozdíl geometrie svícení mezi potkávacím a dálkovým svícením, kde u potkávacího svícení je patrný ořez osvětlené a neosvětlené oblasti.

Pro psaní textové části byl použit program MS Word a AutoCAD, který byl využit pro tvorbu náčrtů a schémat jak v teoretické, tak praktické části práce. Pro vyhodnocení praktické části byl využit program Matlab, konkrétně pro vytvoření světelných map, program Arduino pro naprogramování LED pásků, program Inventor pro modelování součástí světlometů a během zápisu měřených hodnot v průběhu experimentu byl použit MS Excel.

Věřím, že zkušenosti získané během psaní využiji při tvorbě diplomové práce a v budoucím zaměstnání.

## 11 Seznam obrázků

Obrázek 1: Vztah mezi veličinami svítivosti, světelného toku a osvětlení, [51] .....	14
Obrázek 2: Svítící plocha v porovnání k ploše světelné emise, [1].....	15
Obrázek 3: Geometrická viditelnost předních světel automobilu, [1] .....	16
Obrázek 4: Barevné spektrum, [33].....	17
Obrázek 5: Normalizované funkce přizpůsobení barev CIE RGB, [37] .....	18
Obrázek 6: Pole barevných spekter světelných a signálních zařízení vozidel, [1] [37].....	18
Obrázek 7: Otevřený světlomet Ford Focus 1 zezadu (1 – plastové pouzdro, 2 – reflektor, 3 – držáky na žárovky), foto: autor .....	20
Obrázek 8: Žárovky světlometu Ford Focus 1 (1 – obrysová žárovka, 2 – potkávací žárovka H7, 3 – žárovka dálkového svícení, 4 – žárovka směrového světla), foto: autor.....	20
Obrázek 9: Světlomet Škoda 120, [14].....	22
Obrázek 10: Světlomet Škoda Octavia, [15].....	22
Obrázek 11: Tlumené svícení reflektoru (1 – vlákno pro tlumené světlo, 2 – krytka, 3 – spirála pro dálkové světlo), [2].....	25
Obrázek 12: Dálkové svícení reflektoru (1 – vlákno pro tlumené světlo, 2 – krytka, 3 – spirála pro dálkové světlo v ohnisku), [2].....	25
Obrázek 13: Parabolický světlomet, [32].....	26
Obrázek 14: Princip zobrazovací optiky projekčního světlometu (objektiv = čočka), [2] .....	27
Obrázek 15: Projekční světlomet, [27] .....	28
Obrázek 16: Aktivní stínování systému Matrix LED, [45].....	28
Obrázek 17: Bugatti Bolide, [46] .....	29
Obrázek 18: Selektivní žlutá barva světlometu na voze BMW Gran Coupe 2020, [47].....	29
Obrázek 19: Geometrické rozložení osvětlení vozidla dle předpisu EHK 48, náčrt: autor.....	31
Obrázek 20: Popis předních světlometů Audi A3 (1 – dálkový světlomet, 2 – potkávací světlomet, 3 – denní/obrysová světla, 4 – směrový světlomet, 5 – mlhový světlomet), foto: autor .....	32
Obrázek 21: Asymetrické rozdělení světla v úrovni vozovky, [43] .....	36
Obrázek 22: Fotometrická stěna, náčrt: autor .....	37

Obrázek 23: Světelný tunel BMW, [40] .....	37
Obrázek 24: Zóny přípustných viditelností, [28].....	39
Obrázek 25: Měření sklonu potkávacího sklonu v závislosti na zatížení, [28].....	40
Obrázek 26: Vozidlo Squad Solar, [20] .....	43
Obrázek 27: Světlo Jeep Wrangler, [21].....	43
Obrázek 28: Vozidlo Tazzari Zero, [22].....	44
Obrázek 29: Světla Tazzari Zero, [23] .....	44
Obrázek 30: Vozidlo Renault Twizy, [20].....	45
Obrázek 31: Světlo Renault Twizy, [21].....	45
Obrázek 32: Vozidlo Bajaj Qute, [25] .....	45
Obrázek 33: Světlo Bajaj Qute, [26] .....	45
Obrázek 34: Model dálkového světla Wesem, autor: Vaněk František.....	47
Obrázek 35: Model potkávacího světla Shin Yo, autor: Vaněk František.....	47
Obrázek 36: Návrh variantního řešení předního osvětlení .....	48
Obrázek 37: Projekční světlo značky Einparts .....	49
Obrázek 38: Popis navržených světelných na vozidle Evgen .....	50
Obrázek 39: Vodorovné a svislé rozměry jednotlivých druhů osvětlení na vozidle Evgen ....	51
Obrázek 40: Testovací platforma LED pásu .....	53
Obrázek 41: Schéma zapojení pro elektrické měření světelných .....	55
Obrázek 42: Zapojení pro potkávací svícení s ampérmetrem .....	55
Obrázek 43: Zapojení pro dálkové svícení s ampérmetrem .....	56
Obrázek 44: Odměření vzdálenosti os světelných .....	58
Obrázek 45: Schéma měřícího prostoru.....	58
Obrázek 46: Graf porovnání potkávacího svícení obou světelných.....	59
Obrázek 47: Graf porovnání potkávacího svícení obou světelných.....	59
Obrázek 48: Geometrické schéma světelných veličin, [49] .....	60
Obrázek 49: Schéma goniometrie.....	60
Obrázek 50: Graf osvětlení potkávacích světelných, neinterpolovaný .....	62

Obrázek 51: Graf osvětlení dálkových světél, neinterpolovaný .....	62
Obrázek 52: Graf osvětlení potkávacích světél, interpolovaný .....	63
Obrázek 53: Graf osvětlení dálkových světél, interpolovaný .....	63

## 12 Seznam tabulek

Tabulka 1: Porovnání wattu s lumeny [5] .....	13
Tabulka 2: Kolorimetrické hodnoty světelných a signálních zařízení vozidel, [1] .....	19
Tabulka 3: parametry běžně užívaných žárovek [2] .....	23
Tabulka 4: Porovnání světelných zdrojů .....	25
Tabulka 5: Shrnutí druhů osvětlení na vozidle, [1], [28].....	35
Tabulka 6: Tabulka poloh předních světlometů vozidla Evgen v porovnání s předpisem EHK 48 .....	51
Tabulka 7: Výrobce udané parametry projekčních LED čoček .....	52
Tabulka 8: Popis vodičů projekčních světlometů.....	54
Tabulka 9: Porovnání naměřených hodnot.....	56
Tabulka 10: Tabulka naměřených hodnot osvětlení .....	60
Tabulka 11: Výsledné světelné veličiny.....	61



# POUŽITÉ ZDROJE

## Tištěné zdroje

[1] FIRST, Jiří. *Zkoušení automobilů a motocyklů: příručka pro konstruktéry*. Praha: S&T CZ, 2008. ISBN 978-80-254-1805-5.

[2] VLK, František. *Elektrická zařízení motorových vozidel*. Brno: František Vlk, 2005. ISBN 80-239-3718-9.

## Internetové zdroje

[3] LESÁK, Alois. *Diagnostika motorových vozidel – podvozek a osvětlení*. [online]. Ostrava: Alois Lesák, 9.3.2014 [cit. 6.3.2024]. Dostupné z: <https://www.spszengrova.cz/wp-content/uploads/2020/04/Diagnostika-motorov%C3%BDch-vozidel-%E2%80%93-podvozek-a-osv%C4%9Btlen%C3%AD-UT.pdf>

[4] Automotive Lighting and Headlamps Testing. *Intertek* [online]. [cit. 2024-07-27]. Dostupné z: <https://www.intertek.com/automotive/lighting-and-photometric-testing/>

[5] Lumen. *Wikipedie* [online]. 2004, 23.11.2004 [cit. 2024-07-27]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Lumen>

[6] Intenzita osvětlení. *Wikipedie* [online]. 2008, 23.12.2008 [cit. 2024-07-27]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Intenzita\\_osv%C4%9Btlen%C3%AD](https://cs.wikipedia.org/wiki/Intenzita_osv%C4%9Btlen%C3%AD)

[7] What is Durability Testing and Why Should You Do It? *DEWESoft* [online]. [cit. 2024-07-27]. Dostupné z: <https://dewesoft.com/blog/what-is-durability-testing>

[8] Headlight Test Rig For The Automotive Industry. *Weissttechnik* [online]. [cit. 2024-07-27]. Dostupné z: <https://www.weiss-technik.com/environmental-simulation/en/products/detail/headlight-test-rig-for-the-automotive-industry~p3865>

[9] EU classification of vehicle types. *European Commission* [online]. [cit. 2024-07-27]. Dostupné z: <https://alternative-fuels-observatory.ec.europa.eu/general-information/vehicle-types>

[10] Co je světelný zdroj? *Dekolamp* [online]. 2020, 27.3.2020 [cit. 2024-07-27]. Dostupné z: <https://alternative-fuels-observatory.ec.europa.eu/general-information/vehicle-types>

[11] Netečný. *Kompresory vzduchotechnika* [online]. [cit. 2024-07-27]. Dostupné z: <https://www.kompresory-vzduchotechnika.cz/slovník-pojmu/netecny/>

[12] Halogenová žárovka. *Wikipedie* [online]. 2010, 3.4.2010 [cit. 2024-07-27]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Halogenov%C3%A1\\_%C5%BE%C3%A1rovka](https://cs.wikipedia.org/wiki/Halogenov%C3%A1_%C5%BE%C3%A1rovka)

- [13] Co je to LED dioda? *Ledme* [online]. 2021, 12.8.2021 [cit. 2024-07-27]. Dostupné z: <https://ledme.cz/textove-novinky/clanky/co-je-LED-dioda>
- [14] ŽÁK, Dalibor. Nebudte nebezpeční sobě a ostatním a seřídte si světla. *Garáž.cz* [online]. 2021, 22.12.2021 [cit. 2024-07-27]. Dostupné z: <https://www.garaz.cz/clanek/servis-auta-jak-na-to-nebudte-nebezpecni-sobe-a-ostatnim-a-seridte-si-svetla-21007330>
- [15] Škoda Octavia I 96-00 čiré přední světlomety LAURIN / KLEMENT. *Jb-tuning* [online]. [cit. 2024-07-27]. Dostupné z: <https://www.jb-tuning.cz/www-jb-tuning-cz/eshop/112-1-Predni-svetlomety/299-1-Skoda/5/6382-Skoda-Octavia-I-96-00-cire-predni-svetlomety-LAURIN-KLEMENT>
- [16] Squad Solar. *Wikipedie* [online]. 2023, 1.7.2023 [cit. 2024-07-27]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Squad\\_Solar](https://en.wikipedia.org/wiki/Squad_Solar)
- [17] Tazzari Zero. *Wikipedie* [online]. 2023, 22.11.2022 [cit. 2024-07-27]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Tazzari\\_Zero](https://en.wikipedia.org/wiki/Tazzari_Zero)
- [18] Renault Twizy. *Wikipedie* [online]. 2010, 11.11.2010 [cit. 2024-07-27]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Renault\\_Twizy](https://en.wikipedia.org/wiki/Renault_Twizy)
- [19] Bajaj Qute. *Wikipedie* [online]. 2012, 4.1.2012 [cit. 2024-07-27]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Bajaj\\_Qute](https://en.wikipedia.org/wiki/Bajaj_Qute)
- [20] Squad Limited Edition PRE ORDER. *Squad* [online]. [cit. 2024-07-27]. Dostupné z: <https://www.squadmobility.com/shop/squad-limited-edition-pre-order-28#attr=21>
- [21] JEEP WRANGLER JL 2018+ LED PŘEDNÍ SVĚTLA 7". *Allegro* [online]. [cit. 2024-07-27]. Dostupné z: [https://allegro.cz/nabidka/jeep-wrangler-jl-2018-led-predni-svetla-7-15230550648?utm\\_feed=712e6653-4749-4512-b084-b6e297fc9e0b&utm\\_source=google&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=CZ%3EAuto%3EVehicle-Parts-Moto-Accessories%3E3P%3EPMAX&ev\\_campaign\\_id=20977861611&gad\\_source=1&gclid=Cj0KCQjwsuSzBhCLARIsAlcdLm7KIWqnE2hmAOsLye7SYBMOXW8FwUkwHzs6S9PR5ha0tFPx-h\\_vq\\_IaAjmUEALw\\_wcB](https://allegro.cz/nabidka/jeep-wrangler-jl-2018-led-predni-svetla-7-15230550648?utm_feed=712e6653-4749-4512-b084-b6e297fc9e0b&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=CZ%3EAuto%3EVehicle-Parts-Moto-Accessories%3E3P%3EPMAX&ev_campaign_id=20977861611&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwsuSzBhCLARIsAlcdLm7KIWqnE2hmAOsLye7SYBMOXW8FwUkwHzs6S9PR5ha0tFPx-h_vq_IaAjmUEALw_wcB)
- [22] Tazzari Zero, Itálie 2010. *Auta5P* [online]. [cit. 2024-07-27]. Dostupné z: [https://auta5p.eu/katalog/tazzari/zero\\_01.php](https://auta5p.eu/katalog/tazzari/zero_01.php)
- [23] Tazzari Zero, I EM1 CITYSPORT, 2009.01 --> Front Headlight Left LH USED. *Used Auto Parts Shop* [online]. [cit. 2024-07-27]. Dostupné z: <https://shop.euroimpex.lt/en/dalis/444123/front-headlight-left-lh>

- [24] JÁNSKÝ, Martin. Renault Twizy – Lepší než supersport. *Garáž.cz* [online]. 2020, 7.9.2020 [cit. 2024-07-27]. Dostupné z: <https://shop.euroimpex.lt/en/dalis/444123/front-headlight-left-lh>
- [25] Bajaj Qute (RE60). *CarDekho* [online]. [cit. 2024-07-27]. Dostupné z: <https://www.cardekho.com/bajaj/re60>
- [26] JAYACHANDRAN, Aravind. Bajaj Qute spotted in Trivandrum, Kerala – Spied. *Indian Autos Blog* [online]. 2016, 22.1.2016 [cit. 2024-07-27]. Dostupné z: [https://indianautosblog.com/bajaj-qute-kerala-p212523#google\\_vignette](https://indianautosblog.com/bajaj-qute-kerala-p212523#google_vignette)
- [27] Projektorový reflektor. *Autolexikon net* [online]. 2011, 26.4.2011 [cit. 2024-07-27]. Dostupné z: [https://www.autolexikon.net/cs/articles/projektorovy-reflektor/#google\\_vignette](https://www.autolexikon.net/cs/articles/projektorovy-reflektor/#google_vignette)
- [28] (EHK OSN) č. 48. *Esipa* [online]. 2016, 30.9.2016 [cit. 2024-07-27]. Dostupné z: <https://esipa.cz/sbirka/sbsrv.dll/sb?DR=SB&CP=42016X1723>
- [29] Zářivka. *Wikipedia* [online]. 2004, 25.12.2004 [cit. 2024-07-27]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Z%C3%A1%C5%99ivka>
- [30] Xenonové výbojky. *Ledpodsviceni* [online]. 2022, 8.9.2022 [cit. 2024-07-27]. Dostupné z: <https://www.ledpodsviceni.cz/clanky--rady--tipy/xenonove-vybojky/>
- [31] Krycí skla. *Tvorimesvetlo* [online]. 2016, 28.6.2016 [cit. 2024-07-27]. Dostupné z: <https://www.tvorimesvetlo.cz/kryci-skla/>
- [32] SAJDL, Jan. Parabolový reflektor s optikou na skle. *Autolexikon* [online]. 2011, 20.4.2011 [cit. 2024-07-27]. Dostupné z: <https://www.autolexikon.net/cs/articles/parabolovy-reflektor-s-optikou-na-skle/>
- [33] Viditelné světlo. *WikiSkripta* [online]. [cit. 2024-07-27]. Dostupné z: [https://www.wikiskripta.eu/w/Viditeln%C3%A9\\_sv%C4%9Btlo](https://www.wikiskripta.eu/w/Viditeln%C3%A9_sv%C4%9Btlo)
- [34] Vlnová délka. *WikiSkripta* [online]. [cit. 2024-07-27]. Dostupné z: [https://www.wikiskripta.eu/w/Vlnov%C3%A1\\_d%C3%A9lka](https://www.wikiskripta.eu/w/Vlnov%C3%A1_d%C3%A9lka)
- [35] Frekvence. *Wikipedia* [online]. 2003, 24.5.2003 [cit. 2024-07-27]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Frekvence>
- [36] Co je homologace? *TÜV SÜD* [online]. [cit. 2024-07-27]. Dostupné z: <https://www.tuvsud.com/cs-cz/odvetvi/mobilita-a-automobilovy-prumysl/vyrobci-vozidel-oem/homologace-vozidel>
- [37] CIE 1931 color space. *Wikipedia* [online]. 2005, 26.6.2005 [cit. 2024-07-27]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/CIE\\_1931\\_color\\_space#](https://en.wikipedia.org/wiki/CIE_1931_color_space#)

- [38] ZAUNER, Christoph. Senzory. *Md-elektronik.com* [online]. 2023, 14.12.2023 [cit. 2024-07-27]. Dostupné z: <https://www.md-elektronik.com/cs/senzory/>
- [39] Illumination Charts Explained. *Hella* [online]. [cit. 2024-08-02]. Dostupné z: <https://www.hella.co.nz/en/about-us/technology/interiorexterior-lighting/illumination-charts-explained/>
- [40] BMW spustilo nový světelný tunel pro testování světlometů a vnějšího osvětlení. *Motormix* [online]. [cit. 2024-07-27]. Dostupné z: <https://www.motormix.cz/bmw-svetelny-tunel>
- [41] (EHK OSN) č. 7. *Esipa* [online]. 2014, 30.9.2014 [cit. 2024-07-27]. Dostupné z: [https://esipa.cz/sbirka/sbsrv.dll/sb?DR=SB&CP=42014X0930\(01\)](https://esipa.cz/sbirka/sbsrv.dll/sb?DR=SB&CP=42014X0930(01))
- [42] (EHK/OSN) č. 87. *Esipa* [online]. 2010, 30.6.2010 [cit. 2024-07-27]. Dostupné z: [https://esipa.cz/sbirka/sbsrv.dll/sb?DR=SB&CP=42010X0630\(03\)](https://esipa.cz/sbirka/sbsrv.dll/sb?DR=SB&CP=42010X0630(03))
- [43] VLK, František. OSVĚTLENÍ MOTOROVÝCH VOZIDEL [online]. 2006 [cit. 2024-07-27]. Dostupné z: <https://www.sinz.cz/archiv/docs/si-2006-05-292-300.pdf>
- [44] *Matrix LED světlometry*. *Audi.cz* [online]. [cit. 2024-07-27]. Dostupné z: <https://www.audi.cz/servis-a-prislusenstvi/functions-on-demand/matrix-led-svetlomety>
- [45] BOBER, Isaac. What are matrix headlights and do they work? *Practical Motoring* [online]. 2019, 15.7.2019 [cit. 2024-07-27]. Dostupné z: <https://practicalmotoring.com.au/car-advice/what-are-matrix-headlights-and-do-they-work/>
- [46] SHETH, Sarang. The new Bugatti Bolide's headlights look suspiciously a lot like the SpaceX logo. *Yanko Design* [online]. 2020, 28.10.2020 [cit. 2024-07-27]. Dostupné z: <https://www.yankodesign.com/2020/10/28/the-new-bugatti-bolides-headlights-look-suspiciously-a-lot-like-the-spacex-logo/>
- [47] BMW is Bringing Back Yellow Headlights. *Bmwofspringfield.com* [online]. 2019, 18.12.2019 [cit. 2024-07-27]. Dostupné z: <https://www.bmwofspringfield.com/blog/2019/december/18/bmw-is-bringing-back-yellow-headlights.htm>
- [48] LilyGO TTGO LoRa32 868MHz ESP32. *TinyTronics* [online]. [cit. 2024-07-27]. Dostupné z: <https://www.tinytronics.nl/en/lilygo-ttgo-lora32-868mhz-esp32>
- [49] Příklady výpočtů osvětlení. *Želví zahrada* [online]. 2021, 11.10.2021 [cit. 2024-08-02]. Dostupné z: <https://www.zelvizahrada.cz/chov/chov-vypocty-osvetleni>

[50] *World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations* [online]. 2017, 7.6.2017 [cit. 2024-08-02]. Dostupné z: <https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29resolutions/ECE-TRANS-WP.29-78r5e.pdf>

[51] Candela. *Tralert* [online]. 2021, 11.10.2021 [cit. 2024-08-02]. Dostupné z: <https://www.tralert.com/en/lighting-terms/candela/>