

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

**APLIKACE LED PRO SIGNALIZAČNÍ
A OSVĚTLOVACÍ ÚČELY V DOPRAVĚ**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

VLADIMÍR MIKULA

BRNO 2008

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektroenergetika

Student: Mikula Vladimír, Bc.

Ročník: 2

ID: 83469

Akademický rok: 2008/09

NÁZEV TÉMATU:

Aplikace LED pro signalizační a osvětlovací účely v dopravě

POKyny PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Požadavky na světelné vlastnosti svítidel v dopravě
2. Parametry LED
3. Použití LED pro signalizační a osvětlovací účely
4. Studie realizovatelnosti návěštních svítidel pro drážní signalizaci
5. Studie realizovatelnosti vnějšího osvětlení vlaků na bázi LED
6. Světelně-technický návrh čelního světlometu pro vysokorychlostní vlaky

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího.

Termín zadání: 9.2.2009

Termín odevzdání: 25.5.2009

Vedoucí práce: Ing. Jiří Drápela, Ph.D.

Konzultanti diplomové práce:



doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

předseda oborové rady



UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

>>Vložit licenční smlouvu<<

Bibliografická citace práce:

MIKULA, V. Aplikace LED pro signalizační a osvětlovací účely v dopravě. Diplomová práce. Brno: Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně, 2009, 56 stran.

Prohlašuji, že jsem svou **diplomovou práci** vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v přiloženém seznamu.

Zároveň bych na tomto místě chtěl poděkovat vedoucímu Diplomové práce Ing. Jiřímu Drápelovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky k mé práci, poskytnuté materiály a svým rodičům za podporu během celé doby mého studia.

.....



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Diplomová práce

Aplikace LED pro signalizační a osvětlovací účely v dopravě

Vladimír Mikula

vedoucí: Ing. Jiří Drápela, Ph.D.

Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2008

Brno



BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**Faculty of Electrical Engineering and Communication
Department of Electrical Power Engineering**

Master's Thesis

LED based signal lights and luminaires for traffic applications

by

Vladimír Mikula

Supervisor: Ing. Jiří Drápela, Ph.D.

Brno University of Technology, 2008

Brno

ABSTRAKT

Tématem Diplomové práce je porovnání dosavadních zdrojů světla s LED diodami, jejich vlastnostmi. Práce se zabývá využitím LED diod v automobilové dopravě, v železničních aplikacích a všeobecnými informacemi o principech osvětlení. Součástí práce je studie realizovatelnosti hlavního světlometu pro drážní lokomotivu. Důraz je kladen na to, aby práce byla co nejvíce názorná.

KLÍČOVÁ SLOVA: automobilové osvětlení, LED dioda, tradiční zdroje světla, železniční aplikace

ABSTRACT

Chief topic of a Master's Thesis is comparing of conventional sources of light with LED diodes, their characteristics. This work deals with utilizing LED diodes in automotive lighting, in railway applications and universal information about principle of lighting. Else this work describes feasibility study of headlight of railway locomotive. Emphasis is laying for clearness of this work.

KEY WORDS: automotive lighting, conventional source of light, LED diode, railway applications

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	12
SEZNAM TABULEK	14
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	15
1 ÚVOD	16
2 VÝVOJOVÉ TRENDY V OSVĚTLOVANÍ	16
2.1 ZDROJE SVĚTLA	16
2.1.1 ŽÁROVKY	16
2.1.2 HALOGENOVÉ ŽÁROVKY	18
2.1.3 XENONOVÉ VÝBOJKY	20
2.1.4 LED - SVĚTELNÉ DIODY (LIGHT EMITTING DIODES).....	24
2.2 POROVNÁNÍ ZDROJŮ SVĚTLA	28
3 AUTOMOBILOVÉ OSVĚTLENÍ.....	30
3.1 PŘEDNÍ SVĚTLOMETY	30
3.2 INSTALACE A FUNKCE SVĚTLOMETU	30
3.3 OPTICKÉ KONCEPTY	33
3.3.1 TECHNOLOGIE REFLEKČNÍCH SVĚTEL.....	35
3.3.2 TECHNOLOGIE PROJEKČNÍCH SVĚTEL	36
4 APLIKACE LED DIOD V DOPRAVĚ.....	37
4.1 HLAVNÍ SVĚTLOMET PRO OSOBNÍ AUTA.....	37
4.1.1 LED SVĚTLA PRO DENNÍ SVÍCENÍ	38
4.1.2 LED DIODOVÝ PŘEDNÍ SVĚTLOMET.....	40
4.2 SEMAFOR SLOŽENÝ Z LED DIOD	43
4.3 PROMĚNNÉ DOPRAVNÍ ZNAČENÍ	45
4.4 ZADNÍ SKUPINOVÉ SVĚTLO.....	46
4.5 ZVÝRAZNĚNÍ DOPRAVNÍCH ZNAČEK POMOCÍ LED	47
5 STUDIE REALIZOVATELNOSTI HLAVNÍHO SVĚTLOMETU	48
5.1 VÝBĚR SVĚTELNÉHO ZDROJE.....	49
5.2 KONSTRUKCE SVÍTIDLA.....	50
6 ZÁVĚR.....	53
6.1 SHRUTÍ.....	53
POUŽITÁ LITERATURA	55

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2-1 Konstrukce žárovky [14]	17
Obr. 2-2 Spektrum žárovky [12].....	17
Obr. 2-3 Žárovka pro směrové svítidlo se speciální interferenční vrstvou [18]	18
Obr. 2-4 Halogenová žárovka H4 [14]	19
Obr. 2-5 Spektrum halogenové žárovky [12]	19
Obr. 2-6 Spektrum halogenové žárovky v závislosti na typu reflektoru [12].....	19
Obr. 2-7 Porovnání teploty vlákna halogenové žárovky s xenonovým výbojem [12]	20
Obr. 2-8 Projektorový halogenový světlomet [19].....	20
Obr. 2-9 Konstrukce xenonové výbojky [22].....	21
Obr. 2-10 Pohled na silnici osvětlenou halogenovými světly s teplotou barvy 3200K [20]	22
Obr. 2-11 Pohled na silnici osvětlenou xenonovými světly s teplotou barvy 6000K [20]	22
Obr. 2-12 Pohled na silnici osvětlenou xenonovými světly s teplotou barvy 8000K [20]	23
Obr. 2-13 Pohled na silnici osvětlenou xenonovými světly s teplotou barvy 12000K [20]	23
Obr. 2-14 Konstrukce Bi – xenonového světlometu [23]	24
Obr. 2-15 Porovnání spektra RGB LED diody s LED diodou s fosforovým konvertorem [2]	25
Obr. 2-16 Bílá vysokosvítivá LED s fosforovým konvertorem [4]	26
Obr. 2-17 Konstrukce LED diod [6]	27
Obr. 2-18 Doba náběhu diody v porovnání se žárovkou [18]	28
Obr. 2-19 Porovnání spektrálních charakteristik světelných zdrojů [5]	29
Obr. 3-1 Čelné osvětlení definované směrnici UN ECE [22]	30
Obr. 3-2 Schéma světelné distribuce hlavního světlometu [19].....	31
Obr. 3-3 Izoluxní čáry světelné distribuce hlavního světlometu pro tlumené světla [22].....	31
Obr. 3-4 Izoluxní čáry světelné distribuce hlavního světlometu pro dálková světla [22].....	32
Obr. 3-5 Osvětlení vozovky xenonovými výbojkami [22]	32
Obr. 3-6 Porovnání tlumených (vrchní obrázek) a dálkových světél (spodní obrázek)[22]	32
Obr. 3-7 Dva téměř identické světlometry s rozdílnými tlumenými světly: reflektorové (nahore) a projekční (dolů)[22]	34
Obr. 3-8 Porovnání intenzity osvětlení vozovky tlumených světél pro halogenovou žárovku (a) a xenonovou výbojku (b).....	34
Obr. 3-9 Znázornění funkce reflektivního systému [18]	35
Obr. 3-10 Znázornění funkce reflektivního systému [18].....	35
Obr. 3-11 Světelné zdroje používané v projekčních světlometech [18]	36
Obr. 3-12 Znázornění funkce projekčního systému [18].....	36

Obr. 3-13 Znázornění funkce projekčního systému [18]	37
Obr. 4-1 Požadavky světlometu na rozložení světla na vozovce [22]	37
Obr. 4-2 LED světla pro denní svícení [17]	39
Obr. 4-3 LED světla pro denní svícení integrované přímo ve hlavním světlometu [17]	39
Obr. 4-4 Graf závislosti spotřeby elektrické energie a paliva pro různé světelné zdroje používané pro denní svícení [18]	40
Obr. 4-5 Prototyp LED světla pro Škodu Octavii II [22]	41
Obr. 4-6 Prototyp LED světla pro Škodu Octavii II v stadiu testování [22]	42
Obr. 4-7 První sériově vyráběný full LED světlomet pro AUDI R8 [16]	43
Obr. 4-8 Využití LED v semaforech pro řízení silničního provozu [10]	44
Obr. 4-9 Drážní semafor a návěstidlo s použitím LED diod [10]	44
Obr. 4-10 Příklad proměnných značek [9]	45
Obr. 4-11 Modifikace způsobů informování řidiče o překročení rychlosti [9]	46
Obr. 4-12 Zadní skupinové světlo složené z LED diod [17]	46
Obr. 4-13 Porovnání hloubky světlometu a) s použitím LED diod, b) žárovek [18]	47
Obr. 4-14 Zvýraznění dopravních značek pomocí LED [13]	48
Obr. 5-1 Bílá LED dioda Luxeon K2 SMT [6]	49
Obr. 5-2 Souřadnice světla bíle barvy LED diody Luxeon K2 [6]	50
Obr. 5-3 Příklad vlaku s obdélníkovým tvarem skleněných krytů čelních světlometů [25]	51
Obr. 5-4 Konstrukce světlometu a princip chlazení LED diod [26]	51
Obr. 5-5 Konstrukce světlometu a princip chlazení LED diod [26]	52
Obr. 5-6 Závislost teploty $P - N$ přechodu LED na rychlosti průtoku vzduchu a jeho teplotě [26]	53

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 2-1 porovnávací tabulka parametrů světelných zdrojů.....</i>	<i>29</i>
<i>Tab. 5-2 Souřadnice chromatičnosti bodů vnitřního úseku [24]</i>	<i>49</i>

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

LED (Light - Emitting Diode).....	luminiscenční dioda
HID (High - Intensity Discharge).....	vysoko intenzivní výboj
CRI (Color Rendering Index).....	index barevného podání
DRL (Daytime Running Lamp).....	světla pro denní svícení
IR (Infrared).....	infračervené záření
UV (Ultraviolet).....	ultrafialové záření
HB (High Beam).....	dálkové světla
LB (Low Beam).....	tlumené (potkávací) světla
RGB LED.....	dioda složená ze tří barevných složek
Power LED.....	výkonová LED dioda

1 ÚVOD

Téměř 50% všech smrtelných nehod se stává v noci. Mnohým z těchto nehod se nedá zabránit. Jednou z nejčastějších příčin nočních dopravních nehod je nevyhovující osvětlení. Každá pátá nehoda způsobena selháním techniky jde na vrub chybného osvětlení. Jinými slovy – šetření na bezpečnosti se může stát osudným.

Světlo pomáhá zachraňovat životy. Lidský zrak dokáže v noci vnímat jenom 5% toho, co vidí za podmínek denního světla. Za volantem vozidla je v noci oko vystavené značnému namáhání. Týká se to především starších řidičů. U všech bez rozdílu se však zrak unaví rychleji při špatných podmínkách osvětlení. Moderní světlomety vozidel jsou schopny kompenzovat nízké úrovně osvětlení způsobené počasím nebo tmou.

Řízení vozidla je riskantnější v noci a také při mlze. Ačkoliv je provoz v noci zhruba čtvrtinový, počet nočních dopravních nehod je o 50% vyšší [12]. Dobrá viditelnost je také důležitým předpokladem i při řízení ve dne, 30% všech nehod v důsledku zlého počasí vzniká kvůli mlze.

2 VÝVOJOVÉ TRENDY V OSVĚTLOVANÍ

Nejdůležitější zásady osvětlování možno shrnout do následujících bodů:

- Zajištění potřebné hladiny jasu nebo osvětlenosti
- Vytvoření vhodného rozložení jasu a dodržení určitého stupně rovnoměrnosti
- osvětlenosti v zorném poli
- Zabránění vzniku oslnění
- Volba vhodné teploty chromatičnosti zdrojů
- Vytvoření potřebného stupně svítivosti a volba správného směru osvětlení
- Zabezpečení stálosti osvětlení a zabránění vzniku stroboskopického efektu
- Nalezení nejehospodárnějšího řešení

2.1 Zdroje světla

2.1.1 Žárovky

Žárovka je zařízení, které ke svícení využívá tepelných účinků elektrického proudu.

Prochází-li proud vodičem, vodič se zahřívá, protože má nějaký elektrický odpor. Zahřátá tělesa svítí, přičemž barva vyzařovaného světla závisí na teplotě tělesa. Nejnižší teplotu mají tělesa zářící červeně, kolem 600°C.

Žárovka se skládá ze skleněné baňky, objímky a wolframového vlákna, které může být slabší než lidský vlas a dlouhé asi tři čtvrtiny metru. Konstrukce žárovky je na obr. 2-1. Vláknو žárovky je namotáno v miniaturních spirálkách. Toto vlákno má odpor řádově sto ohmů a když jím prochází proud, rozžhaví se na teplotu kolem 2500°C. Neshoří díky tomu, že v baňce není přítomen kyslík, který je k hoření třeba. Místo toho tu jsou přítomny vzácné plyny.

Žárovka je ovšem značně nevhodná. Na světlo se přemění tak 4% elektrické energie, zbylých 96% se změní na teplo. Světlo žárovky je podobné dennímu světlu a tak příliš nenamáhá zrak.

Žárovky:

- Klasické žárovky s Wolframovým drátem (ø asi 14mm) dnes dvojitě vinutým.
- Vyzařování světla je vyvolané tepelným buzením, mají spojité spektrum (obr.2-2).

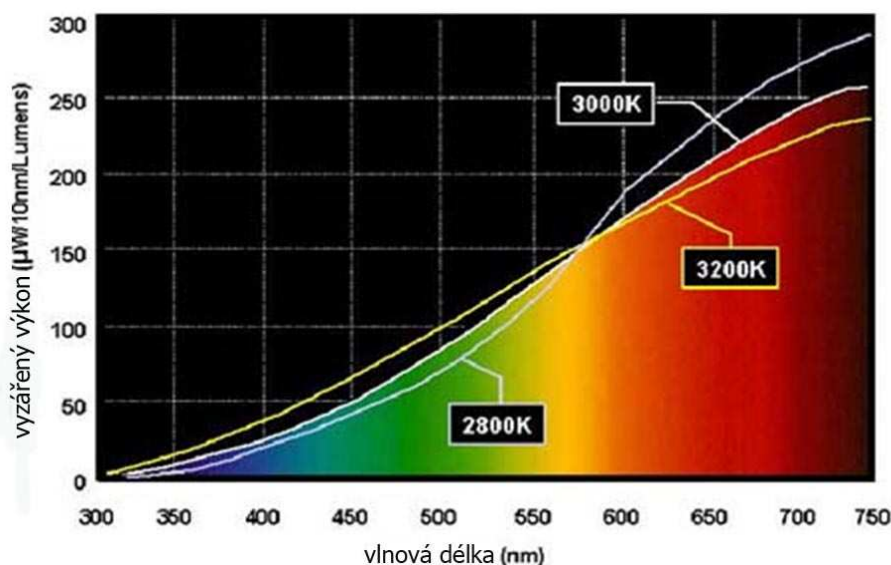
Základní vlastnosti: nízká cena, okamžité zapnutí, možnost stmívání, $R_a=100$, životnost cca 1000 h je závislá na napájecím napětí, značný pokles světelného toku s napětím, měrný výkon cca 13 lm/W [12].

Vnitřní prostor baňky je vyčerpán (u žárovek do 25W), zbytky plynu pohlceny getrem (červený fosfor nebo nitrid fosforu) naneseným na vlákno, nebo na konce přívodů. Náplň žárovek plněných (u žárovek nad 25W) bývá argon, nebo krypton oba s příměsí dusíku.

Pro použití v automobilu mají obyčejné žárovky význam hlavně pro zadní skupinové světla, směrové světla obr.2-3 a světla pro denní svícení (DRL) a mlhová světla.



Obr. 2-1 Konstrukce žárovky [14]



Obr. 2-2 Spektrum žárovky [12]



Obr. 2-3 Žárovka pro směrové svítidlo se speciální interferenční vrstvou [18]

2.1.2 Halogenové žárovky

Wolfram vypařující se z vlákna se v blízkosti baňky (nízká teplota) slučuje s halogenem (nejčastěji s bromem). Vlivem koncentračního spádu se tato sloučenina vrací od stěny baňky zpět k vláknu. Zde se dostává do teploty, kde se začne rozkládat na wolfram a halogen. Část wolframu se usazuje zpět na vlákno a zároveň velká hustota wolframu v okolí vlákna snižuje vypařování wolframu z vlákna, a tím se prodlužuje život žárovky.

Celkový efekt wolfram-halogenového cyklu u žárovky představuje při zvýšení světelného toku asi o 30% přibližně dvojnásobný život oproti klasické žárovce.

Halogenové žárovky se vyrábějí v provedení lineárním se dvěma patičkami a v provedení s jednou patičkou.

Zvláštním druhem halogenových žárovek jsou žárovky s dichroitickým zrcadlem. Taková žárovka zajišťuje maximální světelný tok v daném směru a omezuje až 60% nežádoucího infračerveného záření, které prochází zrcadlem. Osvětlovaný předmět je tudíž vystaven mnohem nižšímu tepelnému záření než při osvětlení žárovkou s klasickým hliníkovým reflektorem [14].

Pro všeobecné osvětlení se vyrábí dva základní typy:

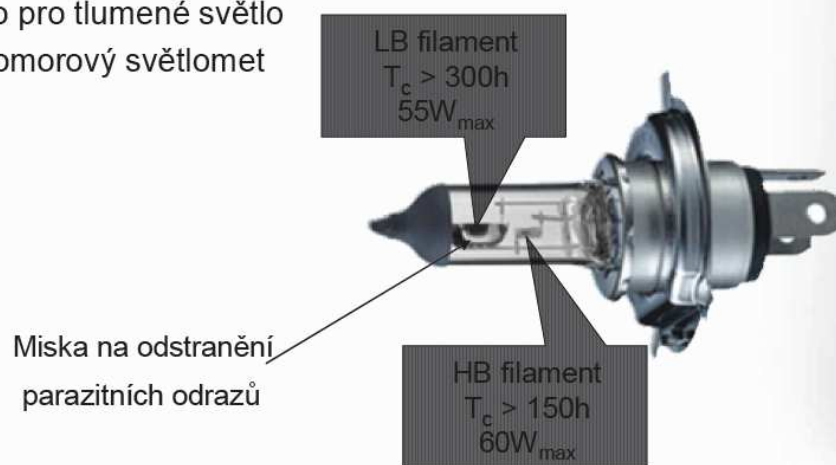
- na síťové napětí, vyráběné s příkony od 60 do 2000 W a s měrnými výkony od 13 do 25 lm/W
- na nízké napětí (12 V) s příkonem od 5 do 75 W a měrným výkonem od 11 do 19 lm/W, typickým představitelem je žárovka typu H4, obr. 2-4

H4 – dvouvláknová žárovka

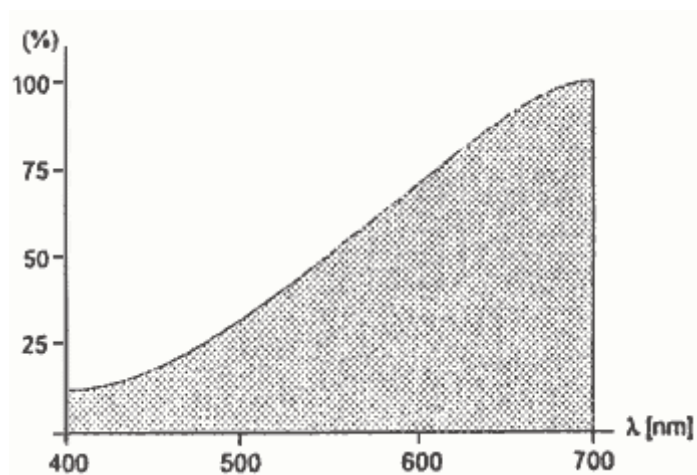
HB filament – vlákno pro dálkové světlo

LB filament – vlákno pro tlumené světlo

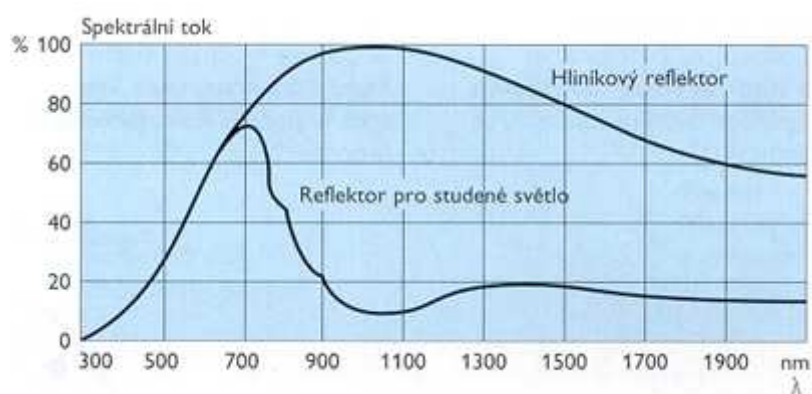
Vazba H4 = jednokomorový světlomet



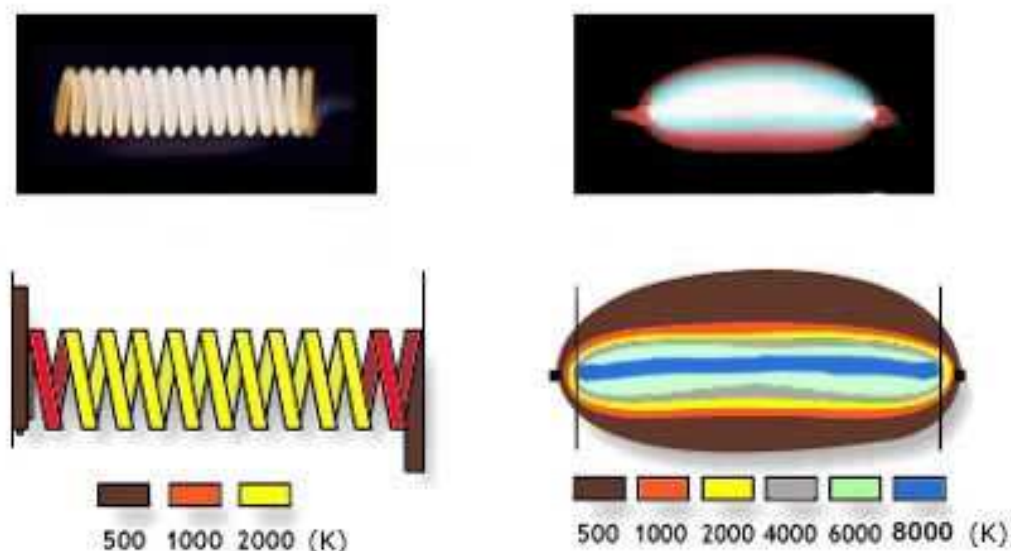
Obr. 2-4 Halogenová žárovka H4 [14]



Obr. 2-5 Spektrum halogenové žárovky [12]



Obr. 2-6 Spektrum halogenové žárovky v závislosti na typu reflektoru [12]



Obr. 2-7 Porovnání teploty vlákna halogenové žárovky s xenonovým výbojem [12]

2.1.2.1 Halogenové projektorové světlomety

Projektorové halogenové světlomety představují novou technologii používanou u předních světel osobních automobilů.

Projektorový halogenový světlomet, obr.2-8, je světlomet využívající pro rozptyl světla místo klasické „paraboly“ projektorové čočky. Podobné projektorové čočky využívají xenonová světla luxusních automobilů. Výhodou tohoto řešení je vysoký výkon světlometů a jejich zástavbová nenáročnost. Světlomety používají standardní halogenové žárovky H7 a proto mají, ve srovnání s xenonovými světly, nižší cenu.

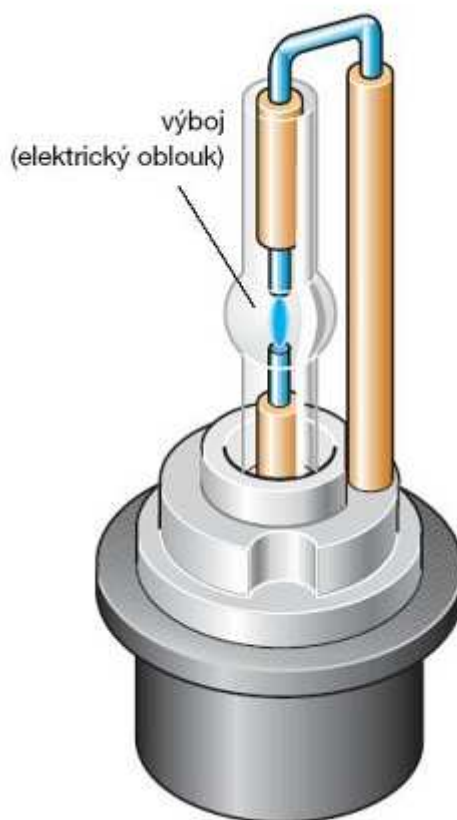


Obr. 2-8 Projektorový halogenový světlomet [19]

2.1.3 Xenonové výbojky

Xenonové světlomety jsou světlomety, jejichž zdrojem světla je výbojka. Mají vysoký světelný výkon, kompaktní rozměry a dlouhou životnost.

Zdrojem světla u xenonových světlometů je výbojka (obr.2-9). Světlo se vytváří vznikem výboje mezi dvěma elektrodami, které jsou umístěny v baňce naplněné inertním (netečným) plynem. V oblasti vzniku elektrického výboje má baňka zhruba velikost hrášku.



Obr. 2-9 Konstrukce xenonové výbojky [22]

Elektrický oblouk je zapálen vysokonapětovým impulzem několik tisíc voltů. Zdrojem tak velkého napětového impulsu je zapalovací modul. Barvu vzniklého elektrického oblouku ovlivňuje složení použitého inertního plynu. V případě xenonových světlometů je použit právě plyn zvaný Xenon. Barevné spektrum xenonové výbojky se pak blíží spektru denního světla. Teplota chromatičnosti denního světla je 5200 K, xenonových výbojek 4100 K a u halogenových žárovek přibližně 3200K. Xenon také pomáhá rychlému náběhu elektrické výbojky do plného výkonu tak, aby výbojka splnila náročná kritéria automobilového průmyslu.

Mezi přednosti xenonových světlometů patří [23]:

- přibližně 2,5 krát více světla než halogenová žárovka (při stejném příkonu)
- větší dosvit světelného kuželu
- v blízkosti vozu je světlo rozptýlenější
- ve srovnání s halogenovou žárovkou má 6 krát vyšší životnost, cca 3000 hod



Obr. 2-10 Pohled na silnici osvětlenou halogenovými světly s teplotou barvy 3200K [20]



Obr. 2-11 Pohled na silnici osvětlenou xenonovými světly s teplotou barvy 6000K [20]



Obr. 2-12 Pohled na silnici osvětlenou xenonovými světly s teplotou barvy 8000K [20]



Obr. 2-13 Pohled na silnici osvětlenou xenonovými světly s teplotou barvy 12000K [20]

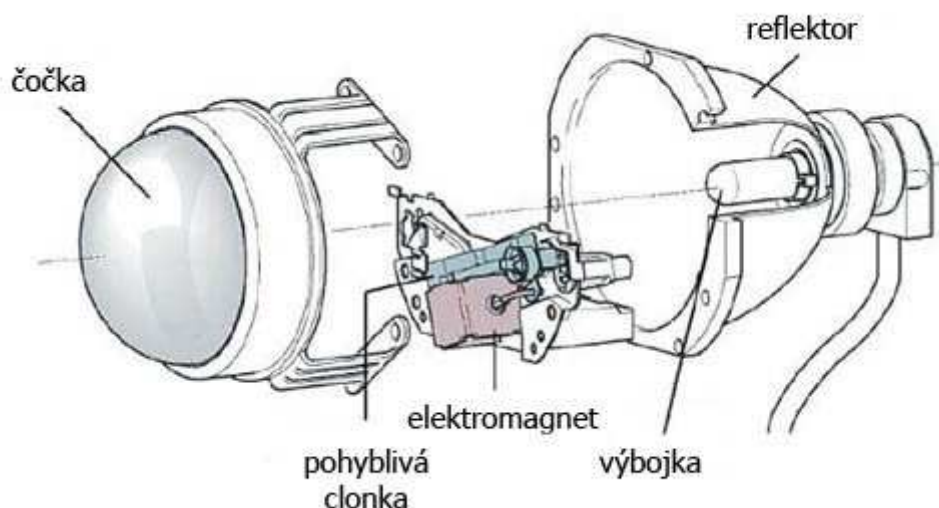
Nahradit běžnou halogenovou žárovku xenonovou výbojkou není možné. Xenony totiž vytvářejí jiné ohnisko než klasické žárovky, navíc potřebují přídavné zařízení (předradník). Měly by mít také samočinné zařízení eliminující oslnění protijedoucích řidičů houpáním vozu na nerovnostech. Znamenalo by to měnit v automobilu celé světlomety s příslušným zařízením.

2.1.3.1 Bi-Xenonové světlomety (výbojky)

Bi-Xenonové světlomety jsou světlomety, jejichž zdrojem světla je výbojka. Konstrukce je na obr.2-14. Na rozdíl od klasických xenonových světlometů jsou schopny přepínat mezi tlumeným a dálkovým světlem.

Klasické xenonové světlomety mají xenonovou výbojku pouze pro tlumená světla, dálková světla obstarává klasická halogenová žárovka. Bi-Xenonové světlomety však mají možnost přepínání mezi tlumeným a dálkovým světlem. Nevýhodou xenonových světlometů je

jistá časová prodleva při rozsvícení, u Bi-Xenonových světlometů je proto přepínání řešeno posouváním elektromagnetického stínítka. Elektrický výboj svítí pořád, čímž se zároveň šetří také životnost výbojky.



Obr. 2-14 Konstrukce Bi – xenonového světlometu [23]

2.1.4 LED - světelné diody (Light Emitting Diodes)

2.1.4.1 Princip LED

LED diody patří sice k luminiscenčním světelným zdrojům, vznik světla se v tomto případě liší od jiných světelných zdrojů fyzikálním principem vzniku záření. Vznik světla v tomto případě není založen na ohřevu vlákna, jak je tomu u teplotních zdrojů, světlo nevzniká ani v hořáku naplněném plynem s příměsmi.

LED je světelný zdroj, ve kterém dochází ke vzniku světla na P – N přechodu, který je zapojen v propustném směru.

Elektron z vodivostního pásma rekombinuje s dírou ve valenčním pásmu, přičemž je uvolněna energie ve formě fotonu. Jde o zářivý přechod, přičemž vlnová délka fotonu se pro různé polovodiče liší. Tento přechod je samovolný (spontánní), protože nemožno dopředu určit okamžik přechodu, jenom střední hodnotu doby, kdy k němu dojde. A jelikož zároveň dochází k emisi fotonu, tato emise se nazývá spontánní. Spontánní emise se využívá i u jiných zdrojů záření, ale hlavně v elektroluminiscenčních diodách. Uvolněná energie může být dodaná i křišťálové mřížce ve formě tepelné energie (nezářivý přechod), přičemž snahou je v optoelektrických součástkách tohle potlačit [3].

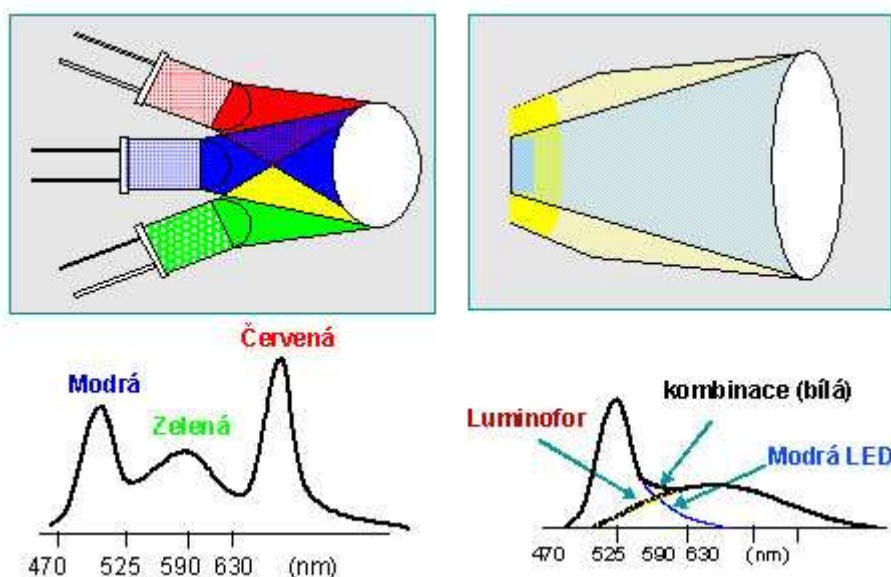
Na výrobu LED P – N přechodu se využívají různé polovodičové materiály. Podle toho je dělíme na tzv. LED a OLED diody. V LED diodách se využívají anorganické materiály, například GaAs, GaN, InGaN, což jsou materiály ze skupiny IIIIBV a IIIBVI periodické tabulky [1], jako i kombinace prvků z té stejné skupiny periodické tabulky. Organické elektroluminiscenční diody, označené zkratkou OLED, pracují na stejném principu jako LED diody, polovodičový materiál je organický.

Zvolený materiál a jeho parametry určují, na jaké vlnové délce bude daný foton vyzářen. Například GaN vyzáří ve vlnové délce 452 až 485 nm [5], což je viditelná část spektra, toto světlo vnímá lidské oko jako záření modré barvy. Některé LED diody vyzáří v infračerveném oboru, což lidské oko neumí zachytit. Proto se na LED diody nanášejí materiály, které umožňují „neviditelné“ záření proměnit do takových vlnových délek, které je lidské oko schopné vnímat. Při takovém konvertoru vlnové délky je část záření vyzářeného LED diodou absorbovaná v konvertorovém materiálu a znovu je toto záření z tohoto materiálu vyzářené s delší vlnovou délkou. K takovým konvertorům patří hlavně fosfor, polovodiče a různé jiné příměsi. Podle toho rozpoznáváme více typů LED diod.

Ve světelné technice se využívají LED diody různých barev. Nejčastěji se používá červená, zelená a modrá LED. Tyto barevné kombinace se dají využít hlavně v signální technice. Pokud však uvažujeme s využitím LED diod v automobilové dopravě a železniční aplikaci, potřebujeme světlo bílé barvy.

Bílé světlo můžeme získat z LED diod dvěma způsoby, obr.2-15. První typ a způsob získání LED diody s bílým světlem je LED založená na principu posunutí části spektra do oblasti vyšších vlnových délek. Typickým zástupcem bílé LED je InGaN nebo GaN [4]. Záření ve viditelné oblasti, které je vyzařované z polovodiče, je modré barvy, přičemž část krátkovlnných fotonů je absorbovaná a znovu emitovaná s delší vlnovou délkou v žlutém spektru. Vyzářené spektrum se skládá z luminiscence modrého světla a fosforence žlutého světla a je bílé barvy.

Druhý způsob získání bílého světla u LED diod je založená na transformaci UV záření. U takové LED diody se UV záření vycházející z polovodičového materiálu, například AlGaInN prostřednictvím červené, zelené a modré fosforečné vrstvy, transformuje a pomícháním všech tří barev se z dané LED diody získá bílé světlo. K míchání barev však dojde až na ploše, kterou dioda osvětluje, což je nevýhoda při aplikacích v dopravě, kde požadujeme vyzařování bílé barvy už přímo ze zdroje.



Obr. 2-15 Porovnání spektra RGB LED diody s LED diodou s fosforovým konvertorem [2]

2.1.4.2 Vlastnosti LED diody

Světelná dioda (Light Emitting Diodes) se skládá z více vrstev polovodičových materiálů. Při průchodu proudu diodou v propustném směru dochází v aktivní vrstvě k vývinu světla. Na rozdíl

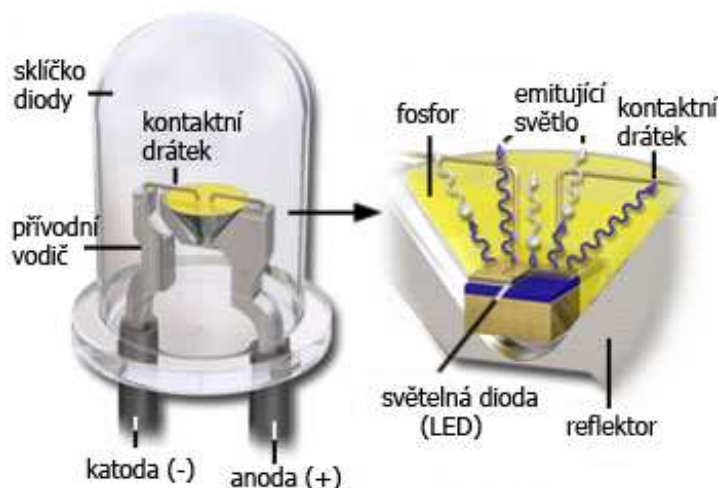
od žárovek, které vyzařují spojité spektrum (bílé světlo) emitují LED světlo určité barvy (vyzařují pouze na některé vlnové délce). Barva vyzařovaného světla (vlnová délka) závisí na použitém materiálu. Od modré až po červenou.

Jak se vytváří bílé světlo:

Pokud požadujeme bílou barvu barvu musíme použít buď červenou, zelenou a modrou LED. Nebo použijeme záření modré diody ke stimulaci sekundární fluorescence vhodně zvoleného typu fosforu (luminoforu), obr. 2-16. Primární modré světlo diody smícháme se žlutým světlem, které emituje fosfor, čímž vznikne světlo, které je okem vnímáno jako bílé. Tímto způsobem lze dosáhnout indexu barevného podání $R_a \approx 80$ [2].

Barevné podání:

Většinou se udává, jak už bylo vzpomenuto, že index barevného podání je $R_a \sim 80$ (Tato hodnota je normou požadována pro prostory s trvalým pobytem osob a splňují ji např. třípásmové zářivky včetně zářivek kompaktních). V praxi se ale ukazuje, že některé vlnové délky které se nejlépe odrážejí od konkrétního objektu nemusejí být ve spektru konkrétní LED obsaženy. Objekt se tak může zdát tmavší, nebo např. může červená vypadat jako hnědá. Připravují se proto nové standardy umožňující určit parametry barvy světla LED. Tyto standardy by měli usnadnit spotřebitelům orientaci při výběru LED.



Obr. 2-16 Bílá vysokosvítivá LED s fosforovým konvertorem [4]

Technologické vlastnosti:

- dlouhá životnost (teoreticky 100.000 h)
- odolnost proti nárazům
- barvy – není třeba používat filtry pro různé barvy
- malá velikost a hmotnost
- nízké provozní napětí – bezpečnost
- okamžitý start a restart – možnost blikání, obr. 2-18
- možnost stmívání
- neobsahují rtuť – ekologické
- nízký počet předčasných výpadků
- vyzařované spektrum neobsahuje podíl IR ani UV záření
- světelný tok klesá se vzrůstající teplotou

Přednosti pro uživatele:

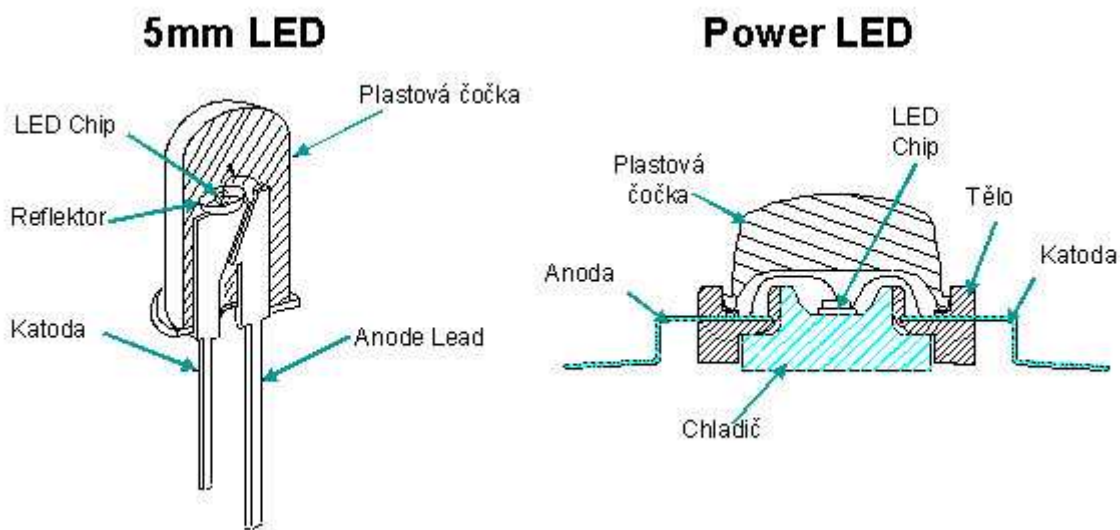
- kreativní možnosti designu díky barevné rozmanitosti a kompaktním rozměrům
- jistota maximální spolehlivosti
- energetická účinnost podobná jako u zářivek

Výkon:

- klasické LED 25-100 mW
- Power LED až 5W

Použití:

- signalizace
- podsvětlení reklam
- venkovní zahradní osvětlení
- osvětlení schodišť
- nouzové osvětlení
- osvětlení v dopravě
- náhrada halogenových bodovek
- a nyní se začínají uplatňovat i při interiérovém hlavním osvětlení



Obr. 2-17 Konstrukce LED diod [6]



Obr. 2-18 Doba náběhu diody v porovnání se žárovkou [18]

2.2 Porovnání zdrojů světla

Ve vozidlech jsou standardně používány 40-55 wattové halogenové žárovky pro přední světlomety. Jejich nahrazením za výkonnější sice získáme vyšší světelný tok, zároveň ale víc zatěžíme alternátor vozidla jako i celou elektroinstalaci. Na trhu jsou sice k dispozici různé žárovkové sady s výkonem až 100W, ale v případě, že kabely na to nejsou dostatečně dimenzované, může docházet k přehřívání nebo dokonce ke přepálení kabelů a spínačů. Barva halogenových žárovek je žlutá, což unavuje oči citelně víc než denní světlo. Základní princip fungování žárovek se nezměnil od svého vynalezení a právě základ této konstrukce je jejich hlavní nevýhodou. Žárovky, hlavně jejich vlákna, jsou v autě vystavovány neustálým otřesům. Kmitání vláken oslabuje jejich pevnost až dojde k přetrhnutí. Následně je nevyhnutné žárovku vyměnit.

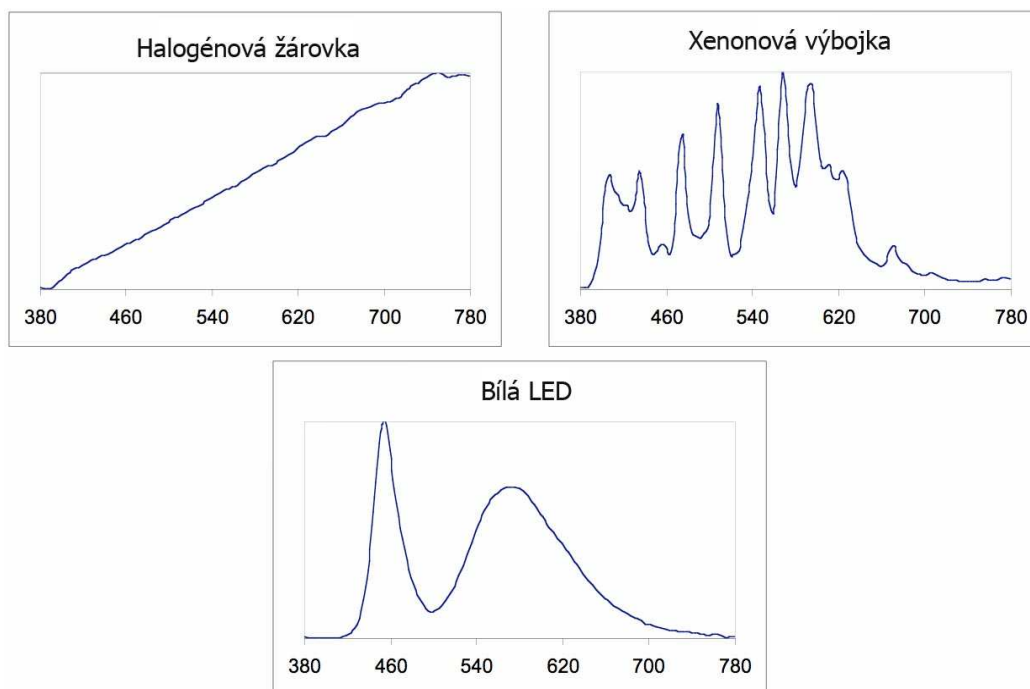
U xenonových výbojek je světlo vytvořené elektrickým obloukem mezi dvěma elektrodami, které jsou uloženy ve skleněné trubici, naplněné xenonovým plynem. Tato konstrukce zlepšuje odolnost vůči otřesům a teda prodlužuje životnost celého svítidla. Xenonové výbojky na rozdíl od halogenových žárovek nepřestanou svítit okamžitě, ale časem začne klesat světelný tok. U xenonových výbojek se často setkáme s označením HID, což znamená High Intensity Discharge (vysoko intenzivní výboj). Výbojky jsou 5 až 10 krát účinnější zdroj světla jako halogenové žárovky. Barva a kvalita světla xenonových výbojek je blízká dennímu, proto jsou velmi vhodné pro použití v hlavním světlometu. Jejich nevýhodou je to, že při zapínání vzniká časová prodleva. Proto je vhodnější pro přední světlomet použití Bi-Xenonových světlometů u kterých výbojka svítí pořád stejně a přepínání tlumených a dálkových světel je řešeno posouváním elektromagnetické clonky.

Použití LED diod v dopravě se ukazuje být velmi prospěšné. Mezi největší výhody použití LED diod neporovnatelně vyšší životnost a nízká spotřeba. Životnost je teoreticky až 50000

hodin, zatímco spotřeba je řádově v jednotkách wattů v závislosti na počtu použitých diod. Pro použití v dopravě je zásadní, že LED diody mají vysokou odolnost vůči otřesům a chvění a že životnost nezávisí na počtu zapínacích cyklů. Mají široký teplotní rozsah použití od -40°C do $+100^{\circ}\text{C}$. Mají dobré barevné podání díky vysoké teplotě chromatičnosti vyzářeného světla. Jsou napájené nízkým napětím. Jejich nevýhodou je prozatím malý měrný výkon asi 24 lm/W což je znevýhodňuje při použití v hlavním světlometu auta protože tím vzniká nutnost použít více LED diod vedle sebe a produkce tepla se tím zvětší. V jiných aplikacích v dopravě jako jsou semaforey, zadní skupinové světlo nebo proměnné značky je tato vlastnost výhodou a použití hodně diod vedle sebe také zvyšuje spolehlivost celého zařízení, protože když se poškodí jedna z diod, na funkci zařízení to nemá velký vliv.

Tab. 2-1 porovnávací tabulka parametrů světelných zdrojů

Porovnávací tabulka			
	Halogenová žárovka	Xenonová výbojka	Power LED dioda
Příkon [W]	55	35	5
Světelný tok [lm]	1550	3200–3600	180
Teplota [K]	3200	3200–3600	410
Barva Světla	Žluto-bílá	Bílá s modrým nádechem	Bílá s modrým nádechem
Životnost [h]	400	2800	50000



Obr. 2-19 Porovnání spektrálních charakteristik světelných zdrojů [5]

3 AUTOMOBILOVÉ OSVĚTLENÍ

3.1 Přední světlomety

Světlomety v přední části vozu jsou mají hlavně za úkol osvětlit prostor ve směru jízdy. Musí být navrženy tak, aby dostatečně osvětlovaly oblast s ohledem na jejich funkci přičemž nesmí oslňovat protijedoucí řidiče. Samozřejmě, světlomety musí zajistit aby auto bylo dobře viditelné.



Obr. 3-1 Čelné osvětlení definované směrnicí UN ECE [22]

Světlomet je lampa, umístěná v přední části vozu za účelem osvětlení cesty za omezené viditelnosti v noci jako i za mlhy. Zatím co obecný pojem přední světlo může být v neformální diskuzi lehce zaměnitelný, hlavní světlomet je po formální stránce konkrétní termín jednoznačně definující dané zařízení.

3.2 Instalace a funkce světlometu

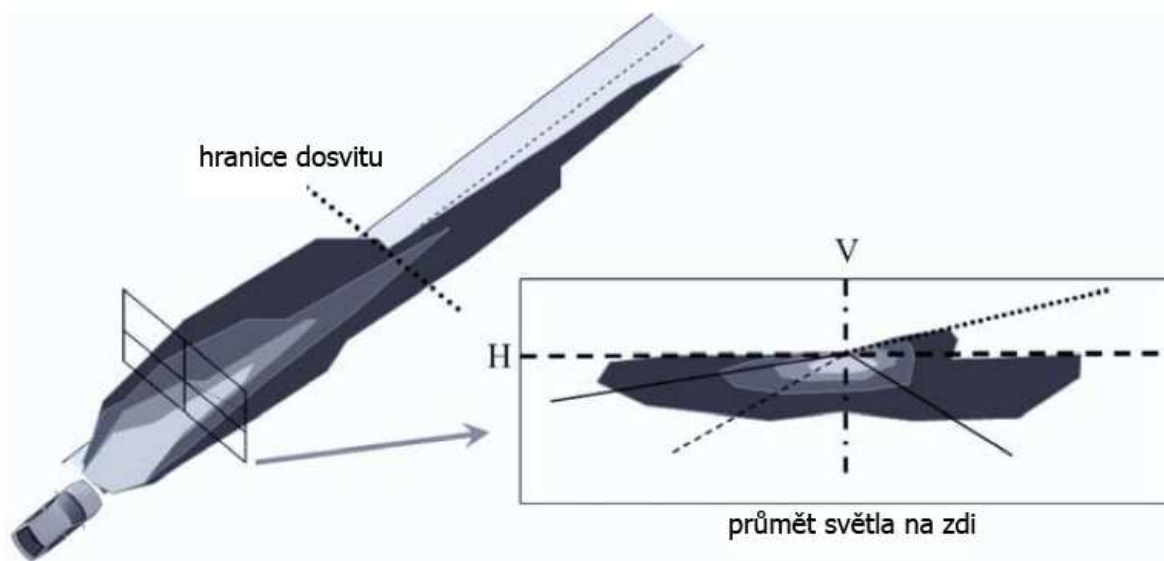
Legislativa stanovuje typ a instalační pozici pro světlomety na vozidlech a taky jejich dizajn, zdroje světla, barevné podání a fotometrické hodnoty. Na Obr. 3-1 je vidět příklad předního světelného vybavení pro auta definován evropskými instalačními předpisy.

Požadavky v normách pro automobily zahrnují pro hlavní světlomety tlumené světla, hlavní (dálkové) světla, poziční světla a taky směrové světla. Mlhovky, parkovací světla jako i světla pro denní svícení jsou volitelné.

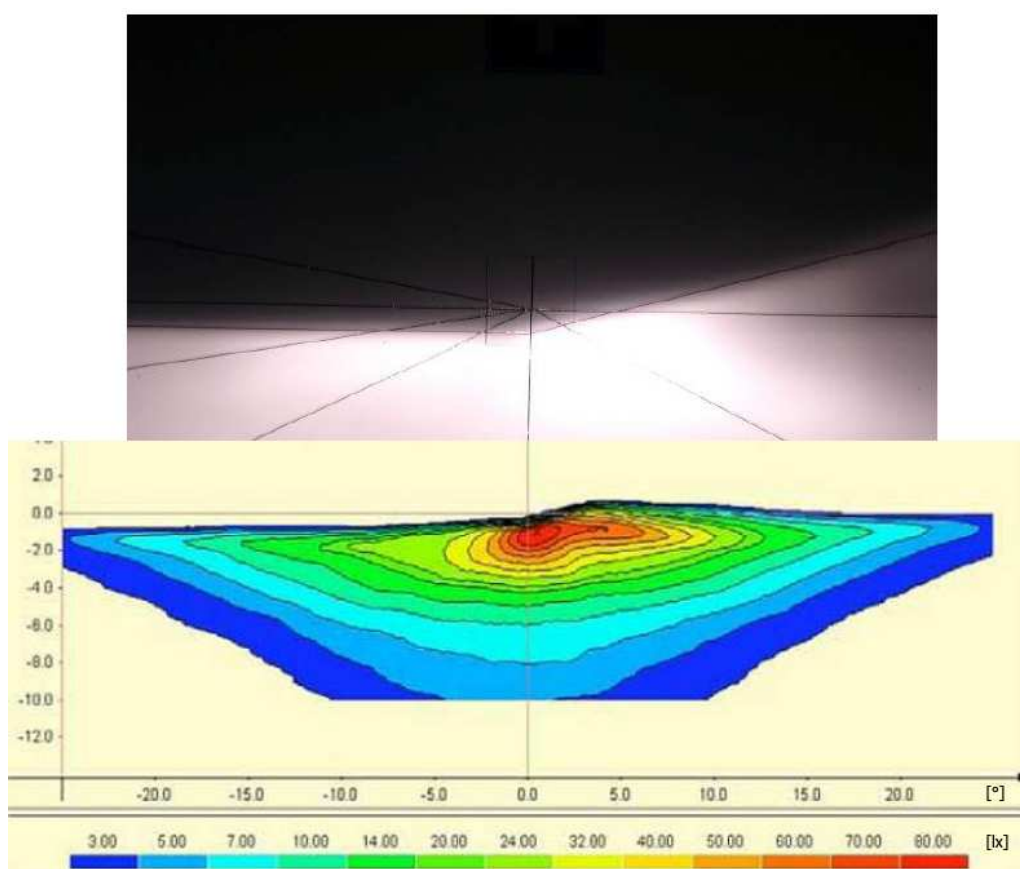
Světlomety schválené normami umožňují řidičovi volit mezi tlumenými, dálkovými jako i mlhovými světly podle potřeby. Hlavní (dálkové) světla jsou používány asi pro 5% dopravních situací, zatím co tlumené světla jsou používány 95% času, jsou teda nejvíce používány světla při jízdě. Mlhovky jsou nepovinně používány v podmínkách horší viditelnosti jako je mlha nebo prudký déšť. V Kanadě a Skandinávských zemích jsou povinné i tzv. DRL světla (Daytime running lamp) což jsou světla pro denní svícení, napomáhají lepšímu rozpoznávání vozidel. Rohové světla, které osvětlují prostor ve směru kam vozidlo zatáčí, jsou povinné ve Spojených státech. Dalšími světly v přední části vozu jsou obrysové nebo-li poziční světla. Funkce těchto světel není osvětlovat vozovku, ale napomáhat požadavku „být viděn“.

Distribuce světla je reprezentována veličinami svítivost a intenzita osvětlení podle norem. V souladu s požadavky norem, hodnoty intenzity osvětlení jsou měřeny ve vzdálenosti 25m od světlometu (s výjimkou Japonska a Spojených států). Distribuce světla je promítnuta na zdi ve vzdálenosti 10 m od světlometu. Tato charakteristická interpretace světelné distribuce napomáhá k rozpoznání správné konfigurace světlometů. Vertikální poloha světlometů by se měla dát nastavit podle toho jestli je vozidlo zatížené či nikoliv. Na obr. 3-2, 3-3, 3-4 je znázorněn tvar

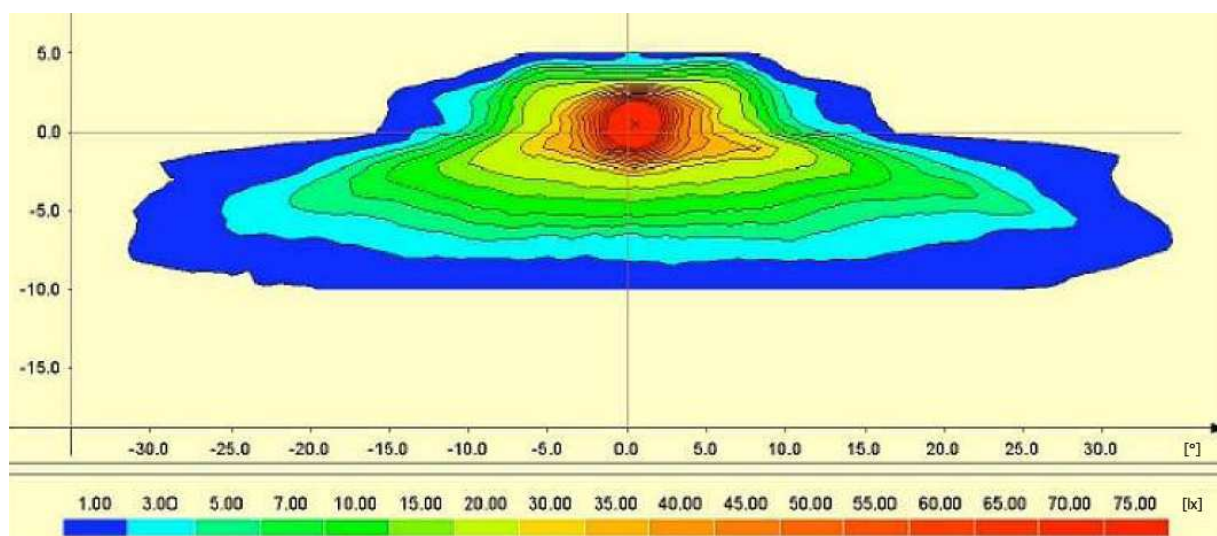
světelné distribuce promítnutý na zdi. Oblasti se stejnou hodnotou intenzity osvětlení jsou graficky znázorněny pomocí tzv. izoluxních čar.



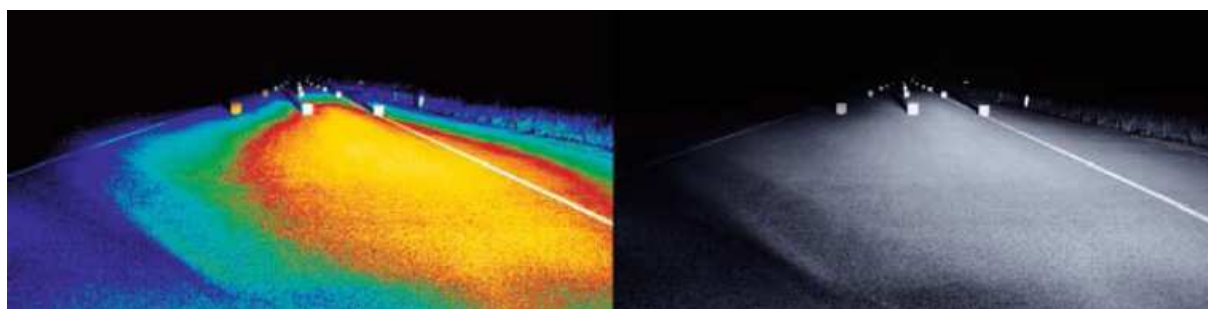
Obr. 3-2 Schéma světelné distribuce hlavního světlometu [19]



Obr. 3-3 Izoluxní čáry světelné distribuce hlavního světlometu pro tlumené světlo [22]



Obr. 3-4 Izoluxní čáry světelné distribuce hlavního světlometu pro dálková světla [22]



Obr. 3-5 Osvětlení vozovky xenonovými výbojkami [22]

Řidič musí být schopen vnímat osvětlený prostor aby mohl spolehlivě odhadnout dopravní situace. Pomocí moderních kamer lze pořídit měření intenzity osvětlení. Na obr. 3 je ukázka takového měření z pohledu řidiče.

Na obr. 3-6 je vidět porovnání světelné distribuce pro tlumené světla s distribucí světla pro dálková světla. Jak je vidět tyto světla mají jinou intenzitu osvětlení. Jejich přepínání je nutné kvůli tomu aby řidič neoslňoval protijedoucí řidiče.



Obr. 3-6 Porovnání tlumených (vrchní obrázek) a dálkových světel (spodní obrázek)[22]

Toto porovnání jednoznačně rozlišuje požadavky na světelnou distribuci daných světel. Dají se popsat následujícím způsobem. Tlumené světla mají větší rozsah svítivosti na vnější straně vozovky, bez oslňování řidičů jedoucích v protisměru.

Hranice do které světlomet dosvítí musí ležet v takovém místě, aby světla neoslňovali řidičů jedoucích v protisměru. Současně jsou dány minimální požadavky na osvětlení dopravních značek umístěných ve vyšší poloze, 15° úhel mezi hranicí do které světlomet dosvítí a pravým okrajem chodníku (pravostranný provoz) dává záruku dobrého osvětlení jezdcova jízdního pruhu a včasné rozpoznání chodců, dopravních značek a cyklistů. Každý řidič může na svém vozidle zkontrolovat 15° úhel který svírá na zdi světelná distribuce světlometu s horizontální polohou jak je znázorněno na obr. 2. Obdobná zkouška se provádí při pravidelných technických kontrolách pomocí speciálních přístrojů.

Na obr. 2 je také znázorněná distribuce světla promítnuta na vozovce. Maximální dosvit světlometu ve vedlejším pruhu je asi 60m, ve vlastním pruhu je tato vzdálenost asi 80 až 120m v závislosti na konkrétním typu světlometu. Světlometry musí být navrženy tak, aby splňovali podmínky použití v dané zemi s ohledem na pravostranný / levostranný provoz.

Hlavní (dálková) světlo je navrženo pro maximální dosvit světlometu bez uvažování protijedoucích vozidel. Z tohoto důvodu se tyto světla používají mnohem méně. Světlo je soustředěno do prostoru $\pm 10^\circ$ od vertikály. Mlhová světla mají velký vodorovný rozptyl světla $\pm 35^\circ$. Vzhledem k tomu, že jsou umístěny v nižší poloze, jejich dosvit je do vzdálenosti asi 35m. Se svojí charakteristickou distribucí světla teda mlhová světla osvětlí hlavně prostor v bezprostřední blízkosti před vozidlem jako i boční prostory, používají se zejména ve špatných povětrnostních podmínkách. Za těchto podmínek napomáhají také požadavku „být viděn“.

3.3 Optické koncepty

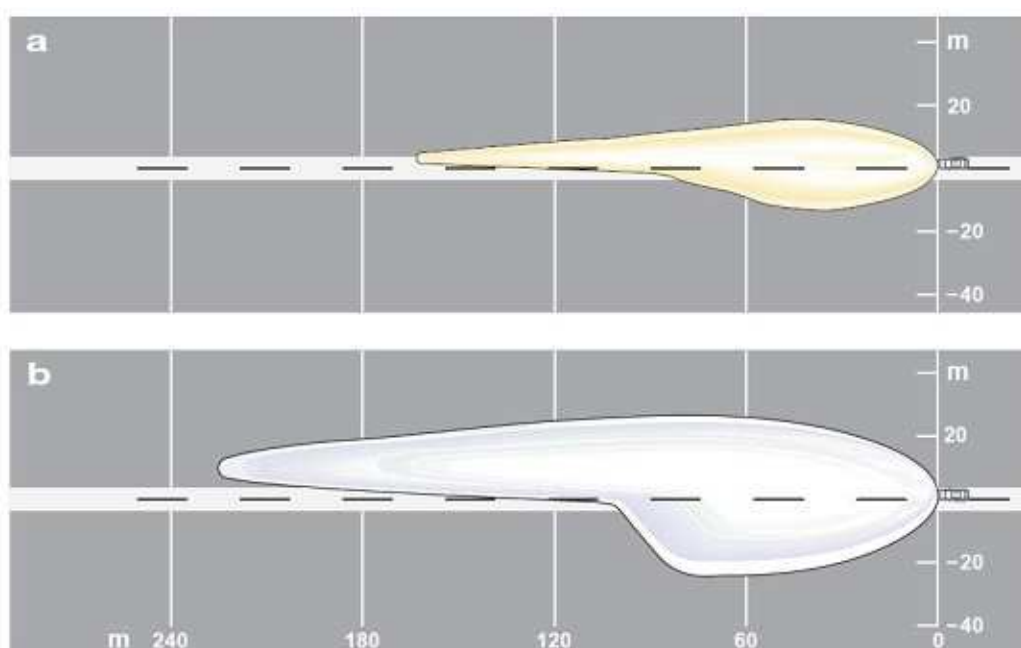
Navrhování světlometu pro dnešní moderní automobily je založené na dvou základních rozdílných technických konceptech – odraz (reflektce) a promítání (projekce). Na obr. 3-7 jsou vidět světlometry s tlumeným i dálkovým světlem na vysvětlení obou dvou konceptů.

Zatím co reflektivní systémy jsou typické svými velkými reflektory za jasnou nebo vzorkovanou čočkou, projekční systémy mají malý otvor pro světlo s typickými čočkami, které mohou být rozšířeny zosvětlením okolité oblasti. Reflektivní systémy mají menší hloubku než projekční, ale jsou vyšší a širší.



Obr. 3-7 Dva téměř identické světlomety s rozdílnými tlumenými světly: reflektorové (nahore) a projekční (dolů)[22]

Halogenové a xenonové zdroje světla se používají jako dosavadní technologie v hlavních světlometech. Pro halogenové žárovky se zpravidla používá reflektivní systém, pro xenonové výbojky se používá hlavně projekční systém. Na obr. 3-8 je vidět pohled na distribuci světla na vozovce pro halogenové žárovky a xenonové výbojky. Porovnání demonstruje jaký markantní rozdíl je v osvětlení vozovky při použití moderních xenonových výbojek. Ze xenonových výbojek vychází až 250% světelného toku v porovnání s halogenovými žárovkami. Z hlediska navrhování světlometu to dává dizajnérovi mnohem více slobody pro rozdělení distribuce světla na vozovku. Je zjevné, že taky osvětlení postranních prostorů je mnohem lepší, což je krokem ke zvýšení bezpečnosti.

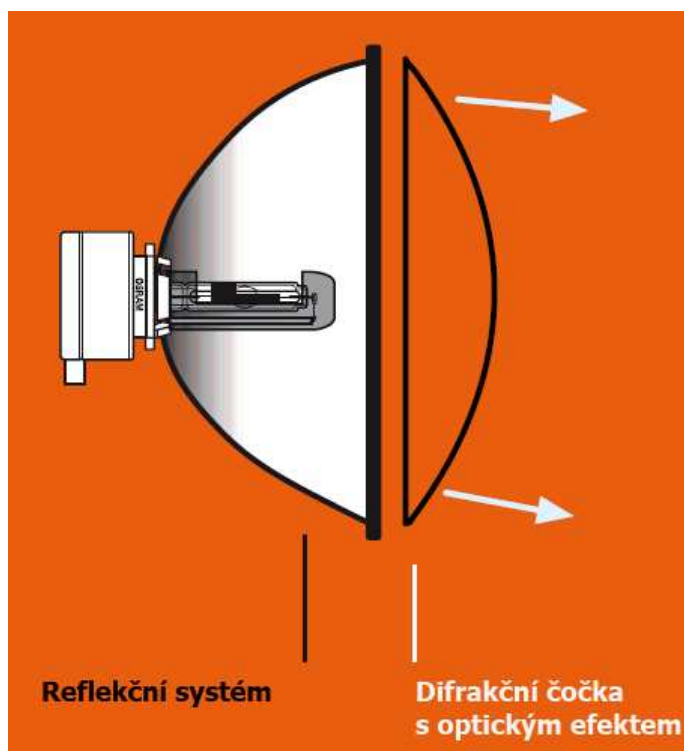


Obr. 3-8 Porovnání intenzity osvětlení vozovky tlumených světel pro halogenovou žárovku (a) a xenonovou výbojku (b)

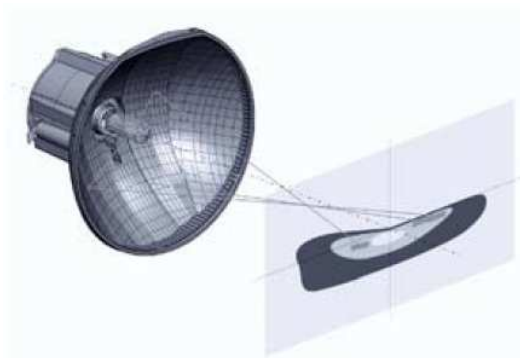
3.3.1 Technologie reflektčních světel

S použitím reflektčního systému, obr. 3-9, je světlo vytvořené žárovkou distribuováno pomocí geometrického tvaru reflektoru. Pak může být světlo ještě podle potřeby usměrněno pomocí povrchové úpravy skelného krytu světlometu. Stínítka, umístěné v přední části žárovky, zabraňuje aby se světlo ze žárovky šířilo všemi směry, ale jen tam, kde je to žádoucí podle konstrukčního uspořádání. Je to kvůli tomu, aby světlo nebylo v dálce nesnesitelně silné.

V dnešním automobilovém průmyslu jsou v módě průhledné kryty světlometů. Proto jsou zapotřebí reflektory s hladkou plochou nebo segmentové, obr. 3-10. Na rozdíl od běžných optických systémů, ve kterých je světlo distribuováno přes válec nebo hranol vybavený čočkou, světlomet v automobilu už není vybaven žádnou čočkou umístěnou mezi krytem a reflektorem. Distribuce světla ze světlometu je tedy výlučně záležitostí geometrie reflektoru a stínítka. Dnes jsou při návrhu světlometu používány moderní počítačové programy, které na základě vstupních požadavků přesně vypočtou požadovaný tvar reflektoru jako i jejich povrchovou úpravu. V minulosti jsme se museli spokojit s parabolickým reflektorem.



Obr. 3-9 Znáznornění funkce reflektčního systému [18]



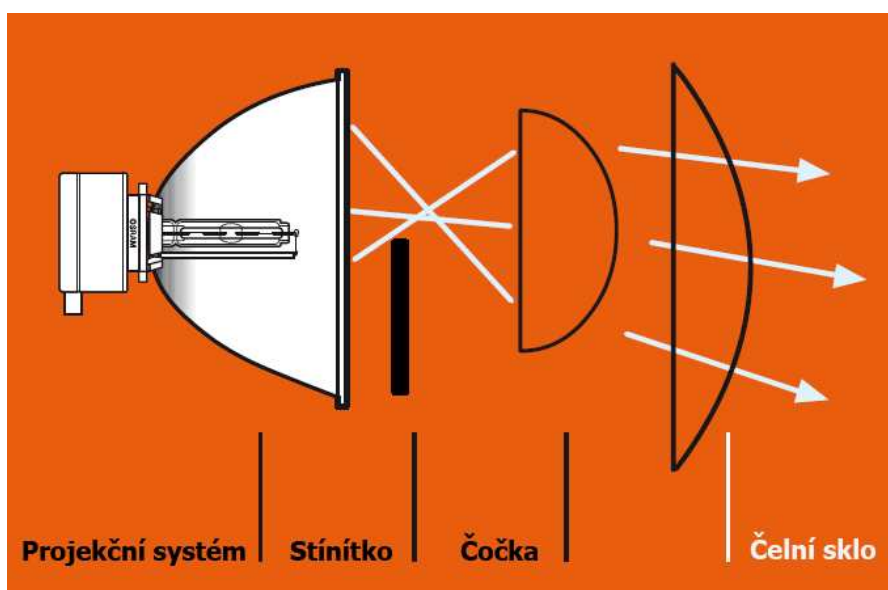
Obr. 3-10 Znáznornění funkce reflektčního systému [18]

3.3.2 Technologie projekčních světel

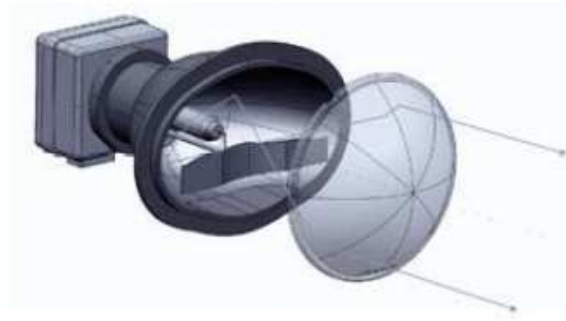
Projekční světlomet, obr. 3-12, se používá většinou pro potkávací světla. Světlo vycházející z žárovky složené z jediného vlákna nebo xenonové výbojky, obr. 3-11, je nejdříve zaostřeno pomocí téměř eliptické čočky. Mezi světelným zdrojem a čočkou se ještě nachází stínítko, které má za úkol zabezpečit požadovanou distribuci světla na vozovce s ohledem na protijedoucí vozidla. Pokud je toto stínítko pohyblivé, jedná se o tzv. Bi – funkční systém, kdy je projektorový systém využíván pro potkávací i dálkové světla. Čočka bývá ploskovypuklá, asférická s typickým průměrem 40 – 75 mm.



Obr. 3-11 Světelné zdroje používané v projekčních světlometech [18]



Obr. 3-12 Znáznornění funkce projekčního systému [18]



Obr. 3-13 Znázornění funkce projekčního systému [18]

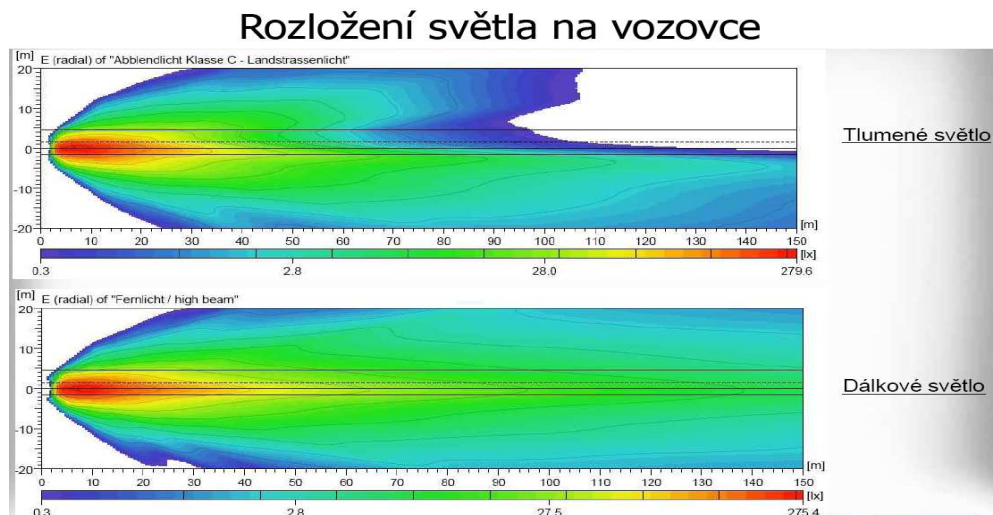
4 APLIKACE LED DIOD V DOPRAVĚ

4.1 Hlavní světlomet pro osobní auta

Základní požadavky na světlometry vozidel obsahuje v přílohách Dohoda o přijetí jednotných technických pravidel pro kolová vozidla, zařízení a části, které se mohou montovat a / nebo užívat na kolových vozidlech a o podmínkách pro vzájemné uznávání homologací udělených na základě těchto pravidel. Pro světelná zařízení na vozidle vyžaduje homologaci a povoluje je používat jen ve stanoveném počtu a druhu a stanoveným způsobem.

Světlomet – je zařízení, konstruované k osvětlení vozovky.

- *tlumené světlo* – znamená světlo, užívané k osvětlení vozovky před vozidlem, aniž by nepatříčně oslňoval nebo obtěžoval řidiče, přijíždějící z opačného směru nebo jiné uživatele vozovky
- *dálkové světlo* – znamená světlo, užívané k osvětlování vozovky na velkou vzdálenost před vozidlem
- *světlomet do mlhy* – znamená světlo zlepšující osvětlení vozovky za mlhy, sněžení, bouřky nebo v mračnech prachu
- *světla pro denní svícení* - znamená přídatná světla určená hlavně pro lepší viditelnost za slunečného svitu, napomáhají k požadavku „být viděn“, můžou být součástí hlavního světlometu



Obr. 4-1 Požadavky světlometu na rozložení světla na vozovce [22]

4.1.1 LED světla pro denní svícení

LED světla pro denní svícení, obr. 4-2, se vyznačují silně rozptýleným tokem světla, který netvoří kužel jako u běžných světlometů. Zmíněné rozptýlené světlo LED denních světel svým charakterem neoslňuje protijedoucí řidiče ani neosvětluje vozovku, ale v dostatečné míře zajišťuje zásadní podmínku bezpečného provozu vozidel „být viděn. Další výhodou je úspora energie - při používání LED denních světel nesvítí obrysová, potkávací ani koncová světla vozidla. Mezi další výhodu lze uvést také prodloužení životnosti žárovek či výbojek, kterou pocítí především řidiči vozidel s xenonovými světlomety, jejichž výbojky mají sice delší životnost než běžné žárovky, ale jejich výměna popř. výměna napájecího zařízení je citelně nákladnější. Světla je možné zapojit jen jako denní a nebo denní s funkcí pozičních. Zapojení je možné buď do soustavy 12V a nebo 24 V (a to bez jakýchkoliv úprav – světla jsou konstruována jak na 12V tak současně na 24 V).

Podmínky pro denní světla:

Umístění:

- na jedno vozidlo se montují dva kusy (jeden pár) světel
- umísťují se vpřed ve vodorovné rovině ve výšce od 250 mm do 1500 mm
- vzdálenost světel od bočního obrysu je max. 400 mm
- vzdálenost mezi světly min. 600 mm
- intenzita světla 400 – 800 cd v ose

Geometrická viditelnost:

- horizontálně: ven 20° a dovnitř 20°
- vertikálně: nahoru 10° a dolů 10°

Elektrické zapojení:

- denní světla se musejí zapínat automaticky, jakmile je zapnuto zapalování (zajišťují řídicí jednotky dodávané se světly)
- při aktivaci potkávacích světel se musejí denní světla automaticky vypnout (zajišťují řídicí jednotky dodávané se světly)

Proč použít LED denní světla:

- rozptýlený tok světla (světla klasicky nesvítí do dálky, jenom září)
- úspora energie a tím aj paliva (svítí jenom LED denní světla se spotřebou do 10 W), obr. 4-4
- prodloužení životnosti halogenových žárovek, xenonových výbojek a jejich napájecího zařízení

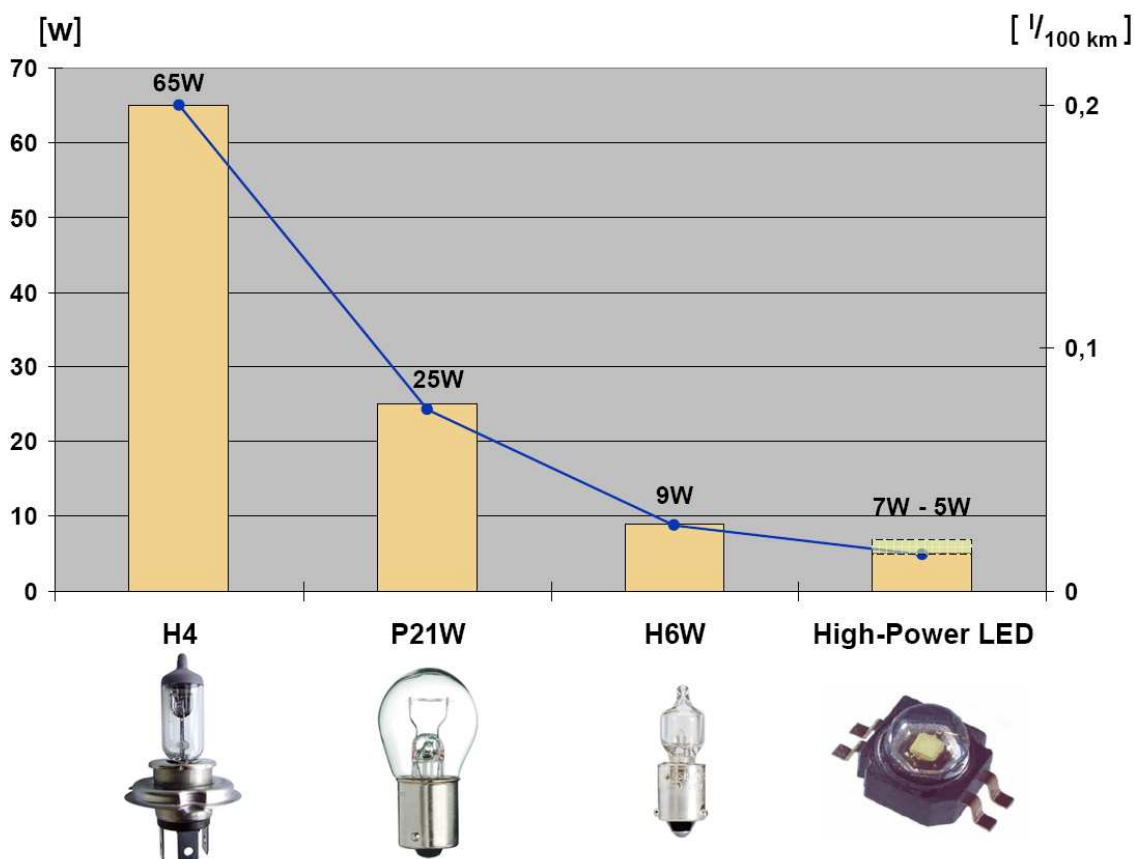


Obr. 4-2 LED světla pro denní svícení [17]

Některé automobilky, jako například AUDI, montují do některých svých modelů LED světla pro denní svícení přímo do hlavního světlometu, obr. 4-3.



Obr. 4-3 LED světla pro denní svícení integrované přímo ve hlavním světlometu [17]



Obr. 4-4 Graf závislosti spotřeby elektrické energie a paliva pro různé světelné zdroje používané pro denní svícení [18]

4.1.2 LED diodový přední světlomet

Vývoj v automobilové technice směřuje k tomu vyvinout světlomet, ve kterém bude možné nahradit dosavadní technologie LED diodami. Tento vývoj však ještě asi dlouho potrvá a doba, kdy budou LED diody skutečně technologicky zvládnuté a konkurence schopné aby mohly konkurovat dosavadním zdrojům světla v hlavních světlometech, je v nedohlednu. Hlavním problémem je nízký měrný výkon LED diod, který je asi 20 - 25 lm/W. Ani při použití Power LED diodách se nevyhneme nutnosti navrhnout světlomet tak, aby LED diod bylo hodně vedle sebe, čímž získáme potřebný světelný tok. Z toho plyne jedna zásadní nevýhoda pro navrhování takového světlometu a sice že zdroj světla už nemožno nahradit bodovým zdrojem jako u halogenové žárovky nebo xenonové výbojky, dostáváme se k plošnému zdroji světla. Další zásadní věc, která znevýhodňuje LED diody je fakt, že taková soustava diod produkuje značné množství tepla, které je potřeba aktivně odvádět, jinak dochází k degradaci P – N přechodu a fosforové vrstvě na něm nanesené. Toto teplo způsobuje nejenom zhoršení světelnotechnických vlastností, zejména pokles světelného toku, ale i výrazné snížení životnosti světelného zdroje. Proto je potřeba, jak už bylo vzpomenuto, diody chladit větrákem, čímž klesá účinnost. Hlavní výhoda použití LED diod – úspora energie se tedy vůbec neprojeví.

Je tu i další aspekt, který odsuzuje použití LED diod pro hlavní světlomet do role „modního výstřelku“. Jsou to xenonové výbojky, u kterých je technologie už dlouho prověřena, dobře zvládnuta a jejich klesající cena nahrává stále větší optávce.



Obr. 4-5 Prototyp LED světla pro Škodu Octavii II [22]

Ačkoliv je použití LED diod pro hlavní světlomet z dnešního hlediska ještě „hudbou budoucnosti“, pár hotových kusů existuje již dnes a dokonce automobilka AUDI montuje za příplatek do suportového modulu R8 přední světla složené jenom z LED diod, obr. 4-7 [16]. Bohužel, konkurenční boj nutí vývojáře chránit si svoje „know – how“ a tak konkrétnější informace ohledně těchto světlometů nejsou prozatím k dispozici.



Obr. 4-6 Prototyp LED světla pro Škodu Octavii II v stadiu testování [22]



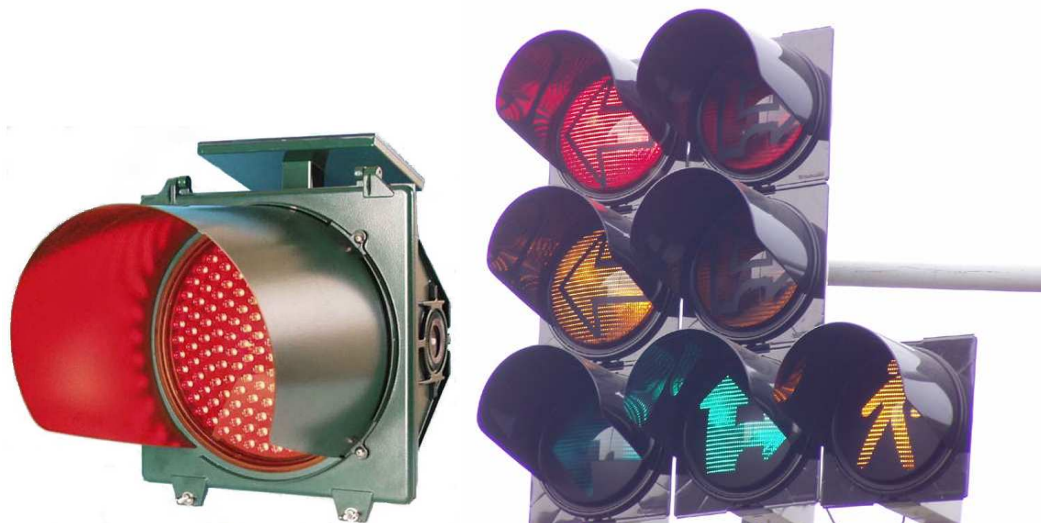
Obr. 4-7 První sériově vyráběný full LED světlomet pro AUDI R8 [16]

4.2 Semafor složený z LED diod

Jako alternativu k běžným světelným zdrojům (žárovkám) dopravních návěstidel nabízí Signalbau Huber moderní, hospodárné světelné zdroje na bázi technologie LED. Tyto LED moduly lze použít i k dodatečnému osazení návěstidel Global, nebo jako kompletní dodávku návěstidla Global s LED moduly [10].

Charakteristické vlastnosti LED modulů Global [7]:

- vysoká energetická hospodárnost - o 60 % nižší spotřeba elektrické energie ve srovnání s klasickými žárovkovými světelnými zdroji
- výrazně delší životnost (> 8 let) oproti žárovkám, tedy vyšší užitná hodnota a snížení nákladů na údržbu
- velmi dobrá viditelnost (i ze strany a při nízko stojícím slunci) díky rovnoměrnému rozložení a vysoké svítivosti LED diod
- prudké snížení četnosti fantomických jevů díky použití speciální antifantomické čočky
- dohled nad chybějícím červeným signálem (VDE 0832, ČSN EN 12675) zajištěn kontrolní elektronikou zabudovanou v LED modulu. Volitelně lze tento dohled použít i pro žlutý a zelený signál.
- kompaktní mechanické provedení modulu umožňuje snadnou a rychlou montáž do návěstidel řady Global



Obr. 4-8 Využití LED v semaforech pro řízení silničního provozu [10]



Obr. 4-9 Drážní semafor a návěstidlo s použitím LED diod [10]

4.3 Proměnné dopravní značení

Proměnné dopravní značky tvoří aktivní prvek řízení dopravy. Změnou symboliky v závislosti na požadavcích dopravní situace dokážou ovlivnit až změnit skladbu, rychlost, směr apod. dopravního proudu.

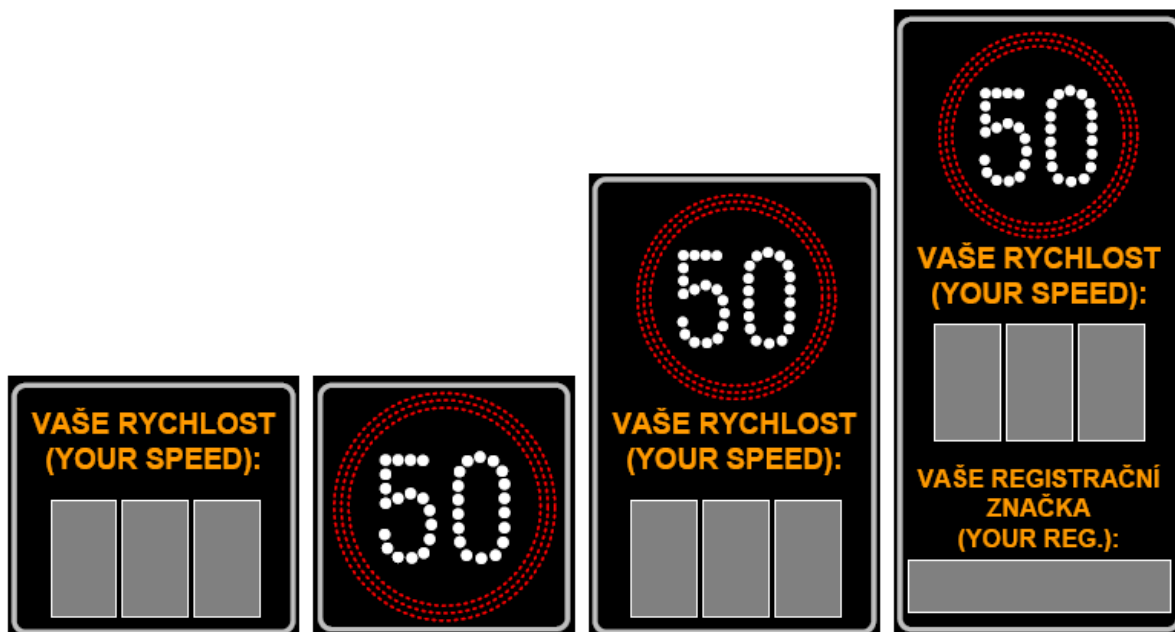
Hlavní výhody LED značek:

- Symbolika se mění na celé ploše značky díky světelný změně symbolu značky
- Velmi výrazné a dobře viditelné dopravní značení, které splňuje podmínku možnosti rychlé změny značky, případně její blikání
- Nastavitelná intenzita světla v závislosti na vnějších podmínkách
- Viditelnost za každého počasí
- Rozeznatelnost na velkou vzdálenost
- Vyloučení možnosti vzniku neúplného nebo falešného symbolu
- Integrace do řídicích systémů

Kombinace zobrazovaných symbolů dopravních značek je definována schváleným dopravním řešením pro dané místo. Nejčastěji se kombinují symboly značek výstražných, zákazových se světelnými signály pruhové signalizace. Při běžných aplikacích se volí 2 až 10 symbolů. Velikost a tvar symbolů je navržen podle místa použití v souladu s ČSN EN 12899-1 "Dopravní značky na pozemních komunikacích" [19].



Obr. 4-10 Příklad proměnných značek [9]



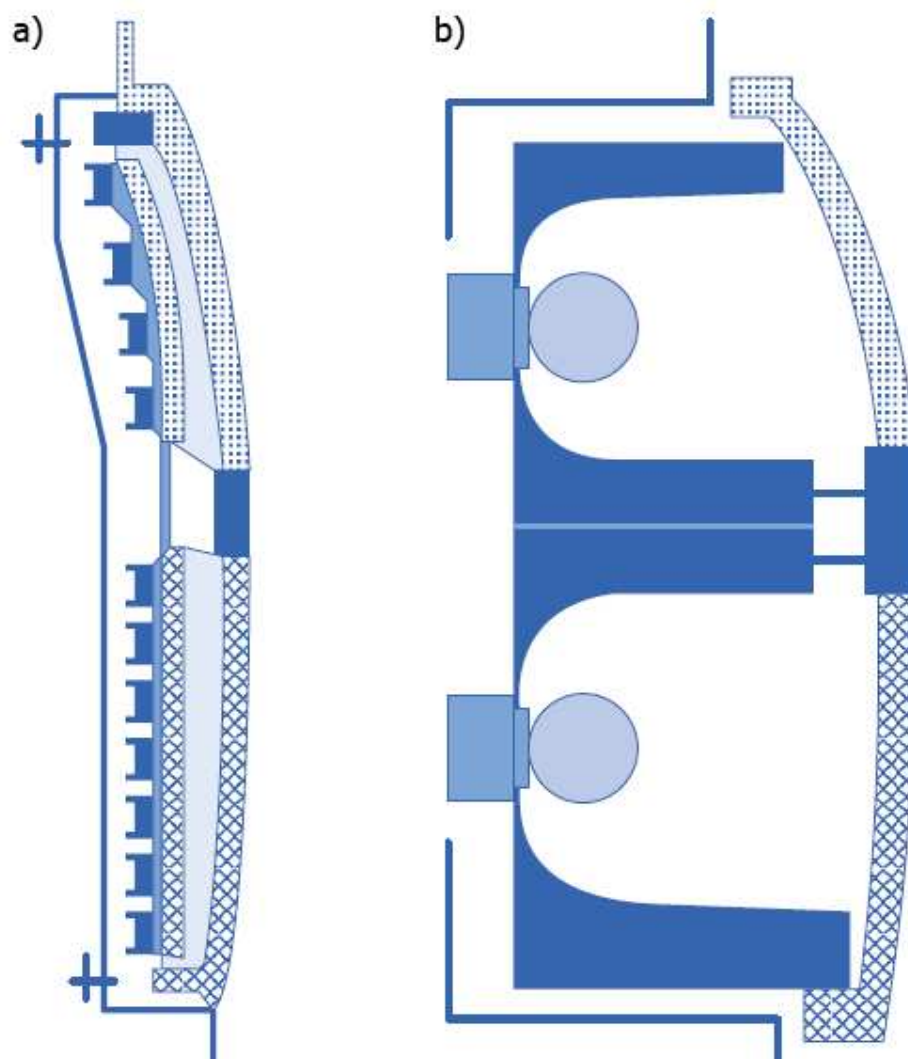
Obr. 4-11 Modifikace způsobů informování řidiče o překročení rychlosti [9]

4.4 Zadní skupinové světlo

Skutečnost, že LED diody jsou často v dopravě používány jako plošné zdroje světla nemusí být jenom nevýhoda. Naopak v dopravě najdeme celou řadu aplikací kde tato vlastnost slouží k prospěchu. Patří sem už dříve zmíněné semaforey, proměnné dopravné značení nebo například i zadní skupinové světlo pro automobil. Při použití běžných žárovek je potřeba vhodně navrhnout optickou soustavu takového světla protože světelný tok je potřeba z bodového zdroje distribuovat na příslušnou plochu světlometu. Při použití LED diod toto odpadá protože stačí LED diody uspořádat do matice bodů na příslušné ploše. Optická soustava tak nemusí být tak složitá jak je vidět na obr. 4-13.



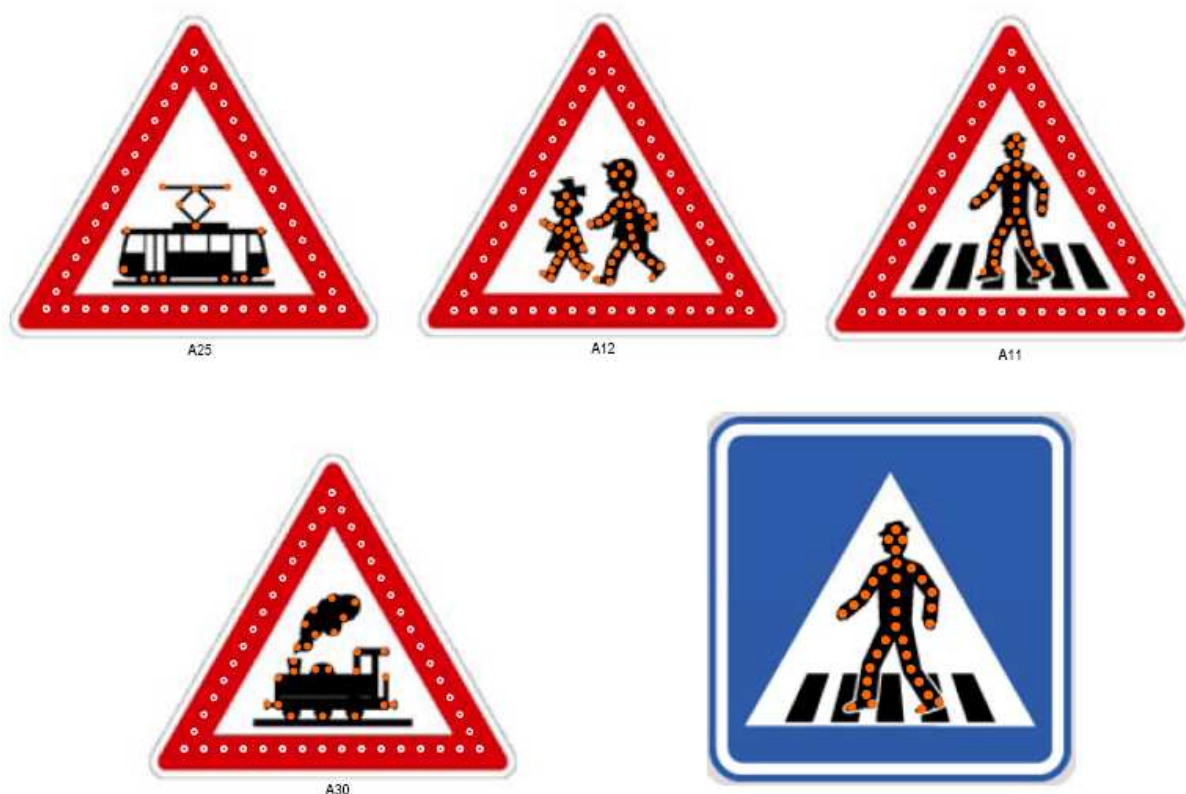
Obr. 4-12 Zadní skupinové světlo složené z LED diod [17]



Obr. 4-13 Porovnání hloubky světlometu a) s použitím LED diod, b) žárovek [18]

4.5 Zvýraznění dopravních značek pomocí LED

Pomocí LED diod lze zvýraznit dopravní značky, obr. 4-14. LED diody svítící o samotě nebo v malých skupinách jsou sice z dálky nevýrazné, ale lépe poutají vnímání řidičů na příslušnou značku a to znamená zvýšení bezpečnosti různých rizikových úseků jako jsou průchody pro chodce, blízkost dětských hřišť a podobně. Světelné blikání jinak standardních značek umístěných před přechodem pro chodce napomůže ke zvýšení bezpečnosti chodců. Doporučuje se implementovat u značek A11, A12 a IP6 [7].



Obr. 4-14 Zvýraznění dopravních značek pomocí LED [13]

5 STUDIE REALIZOVATELNOSTI HLAVNÍHO SVĚTLOMETU

Tato část bude věnována pojednání o možnosti realizace hlavního světloometu pro drážní lokomotivu s použitím LED diod. Pro světelný – technický návrh je nezbytné modelovat světlomet pomocí speciálního speciálního softwaru, ve kterém je možné definovat přesné rozměry světloometu, jeho světelné zdroje, optickou soustavu, použité materiály a tak dále. Pak je možné na základě vstupních požadavků modelovat ve světlometu jeho optickou konfiguraci, rozložení zdrojů světla, chlazení a podobně. Jelikož se jedná pouze o studii realizovatelnosti, práce se tím nezabývá.

Světlomet složený z LED diod se svojí konstrukcí liší od běžného složeného z halogenových žárovek nebo xenonových výbojek. U těchto světelných zdrojů není kladen důraz na jejich chlazení, protože z principu jejich činnosti musí být navrženy tak, aby snesly vysokou teplotu. U LED diod je to jinak, protože jelikož se nejedná o teplotní zdroj světla, teplo je nežádoucí jev který na ně působí a výrazně zkracuje jejich životnost. U světlometu složeného z halogenových žárovek nebo xenonových výbojek je kladen důraz na to, aby světlomet svou konstrukcí umožňoval odvod tepla, ale samotný zdroj světla nemusí být chlazen. V takovém světlometu vzniká přirozená cirkulace vzduchu, který jako teplotní médium odvádí teplo vzniklé ve zdroji světla. Světlomet musí být navržen tak, aby vzniklé teplo odváděl do okolí a teplota pro ustálený stav dále nevzrůstala. U světlometu složeného z LED diod je důležité to, že teplo produkované LED diodami je rozloženo jinak. Je to proto, že se v takovém světlometu nenachází jenom jeden světelný zdroj, je jich mnohem více, můžou to být řadově desítky. Teplo z těchto diod musí být odváděné pryč jak pasivně, tak aktivně. Z hlediska produkce tepla jsou pro LED diodu důležité tyto aspekty:

- **Napájecí a řídicí systém** – musí být navržen tak, aby LED diody vždy udržoval v optimálním pracovním bodu s co největší účinností přeměny a zároveň s co nejmenší produkcí tepla. Ukazuje se, že takový napájecí systém by měl být napájen elektrickým proudem pulsního charakteru, jedná se o tzv. PWM regulátor. Napájení LED diod by mělo být realizováno konstantním proudem
- **Teplota okolí** – je významným parametrem, kterému musí být přizpůsobená napájecí a řídicí část jelikož LED dioda při své činnosti nenabývá teplot porovnatelných s vláknem žárovky nebo s obloukem u xenonové výbojky. LED dioda, jako polovodičový prvek, má při různých teplotách okolí odlišné vlastnosti
- **Chlazení** – nahrazení dosavadních světelných zdrojů LED diodami u čelního světlometu si vyžaduje aby byly schopné produkovat světelný tok řádově v tisících lumenů. Dosavadní technologie u LED diod neumožňuje použití jedné diody pro tak velké světelné toky, musí jich být více a i přesto se zahřívají. Vzniklé teplo je potřeba odvádět prostřednictvím hliníkového chladiče do okolí. Důležité je, aby kolem chladiče proudil vzduch

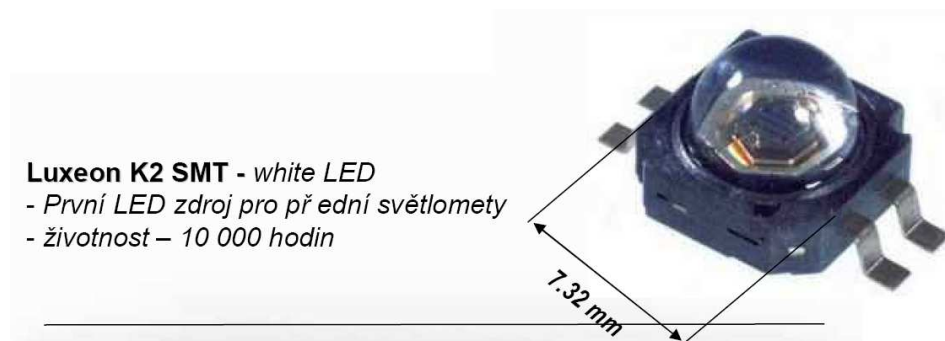
5.1 Výběr světelného zdroje

Jako zdroj světla pro čelní světlomet jsem vybral Luxeon K2 SMT značky PHILIPS, obr. 5-1 [6]. Velkou výhodou této LED diody je to, že je vyvinuta popředním světovým výrobcem v této oblasti, který udává na svých internetových stránkách velmi rozsáhlé parametry diod jako i vlastnosti při různých režimech činnosti.

Pokud chceme nahradit dosavadní světelné zdroje v čelním světlometu LED diodami, musíme brát ohled na normy a směrnice související se světelným – technickým návrhem. Tabulka 5-1 udává přesné souřadnice x, y světelných zdrojů, které nelze všechny dosáhnout pomocí vybrané diody Luxeon K2 SMT.

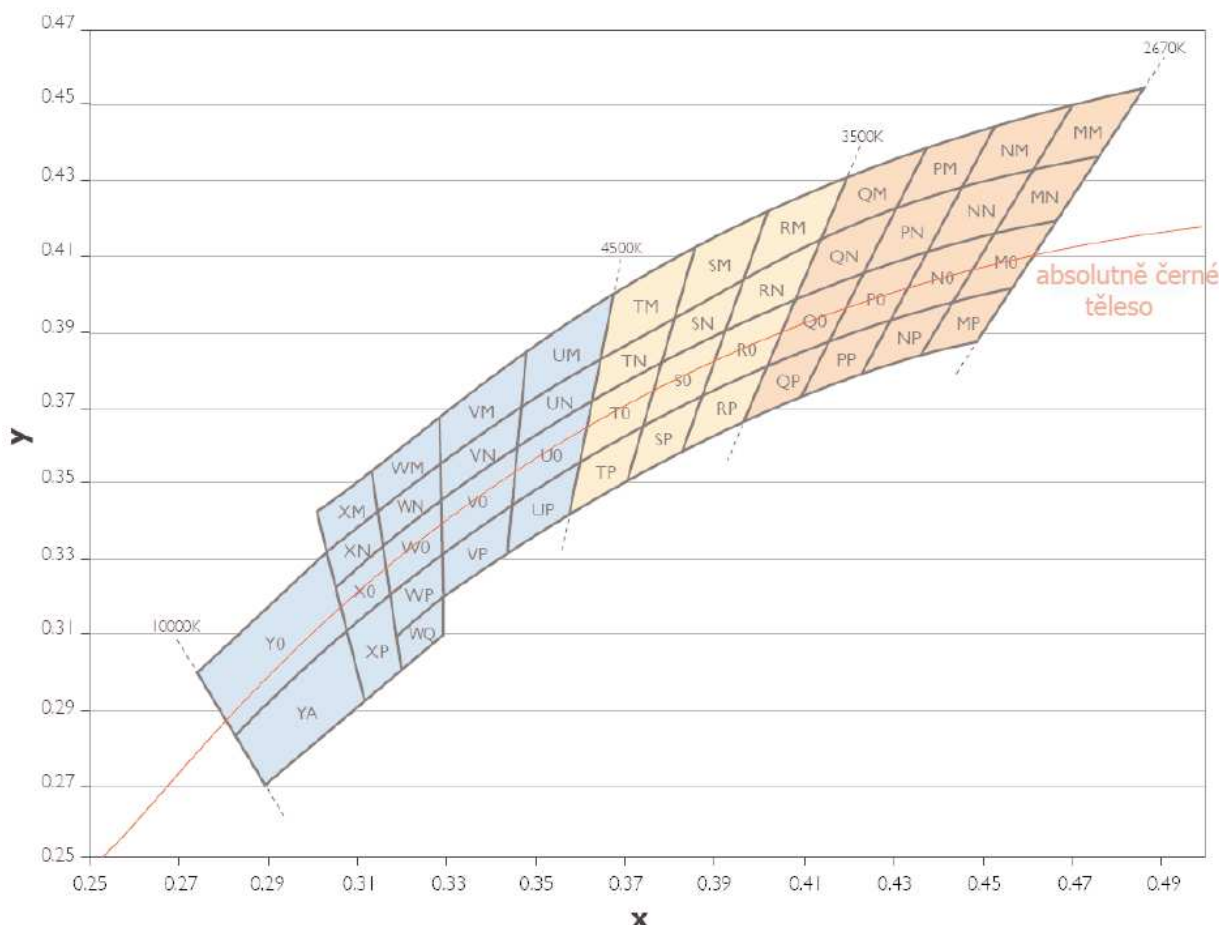
Barevnost světla	CIE (1931) souřadnice chromatičnosti bodů vnitřního úseku				
	Bod vnitřního úseku	I	J	K	L
Bílá třídy A	x	0,300	0,440	0,440	0,300
	y	0,342	0,432	0,382	0,276

Tab. 5-2 Souřadnice chromatičnosti bodů vnitřního úseku [24]



Obr. 5-1 Bílá LED dioda Luxeon K2 SMT [6]

Souřadnice světla bílé barvy LED diody Luxeon K2



Obr. 5-2 Souřadnice světla bílé barvy LED diody Luxeon K2[6]

Z obrázku 5-1 a tabulky 5-1 plyne, že jediná barva, která přichází do úvahy z hlediska požadavků na barevné podání svítidla je barva s označením „J“, které odpovídá barva o teplotě chromatičnosti 3150K. Všechny ostatní souřadnice barev světelného zdroje jsou pro vybranou diodu nedefinované, i když jen těsně. Jedná se v podstatě o teplotu chromatičnosti halogenové žárovky, ale LED dioda má v porovnání s ní nižší index barevného podání přibližně o hodnotě CRI=80.

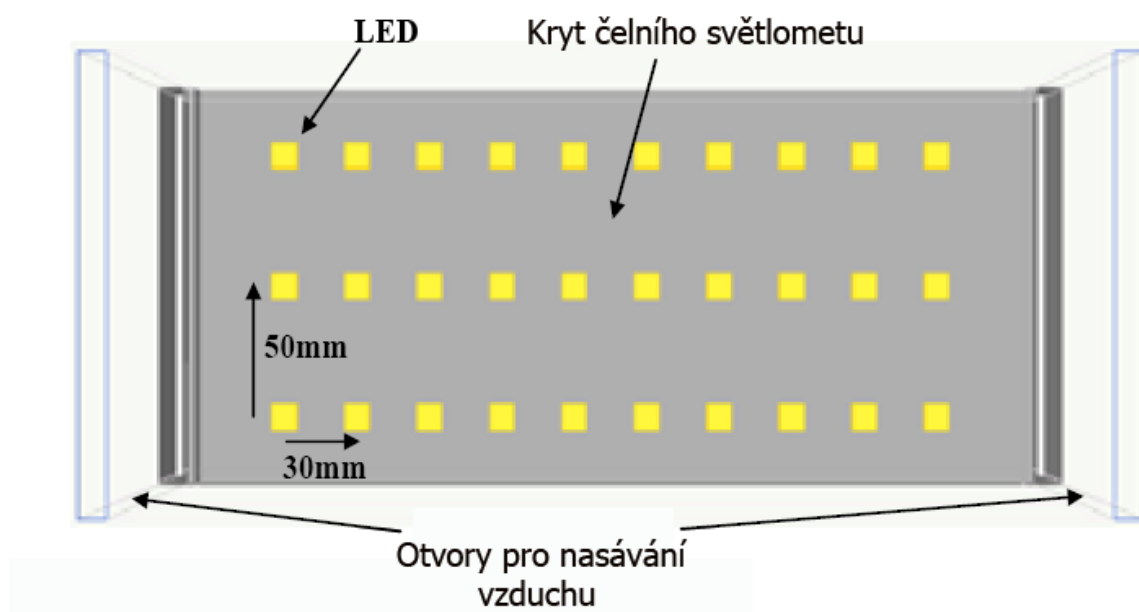
5.2 Konstrukce svítidla

Svítidlo musí být konstruováno tak, aby bylo možné nahradit to dosavadní s ohledem na jeho tvar. Na obr. 5-4 je ukázka vlaku s s obdélníkovým tvarem skleněných krytů čelních světlometů. Uvnitř světlometu je neflekční optika složená z halogenové žárovky a kruhového reflektoru. Tento systém bude nahrazen světlometem ve kterém budou rovnoměrně rozloženy LED diody v maticovém uspořádání. Z konstrukčního hlediska má světlomet složený z LED diod jednu velkou výhodu, nemusí obsahovat tak složitou optickou soustavu složenou z reflektoru a proto světlomet není tak výrazně zapuštěn do hloubky jako je tomu u svítidel s použitím reflekčních nebo projekčních systémů a dosavadních světelných zdrojů. Má to svoje specifika při samotném navrhování optické soustavy, protože soustava LED diod představuje jakýsi plošný zdroj světla, nikoliv bodový.



Obr. 5-3 Příklad vlaku s obdélníkovým tvarem skleněných krytů čelních světlometů [25]

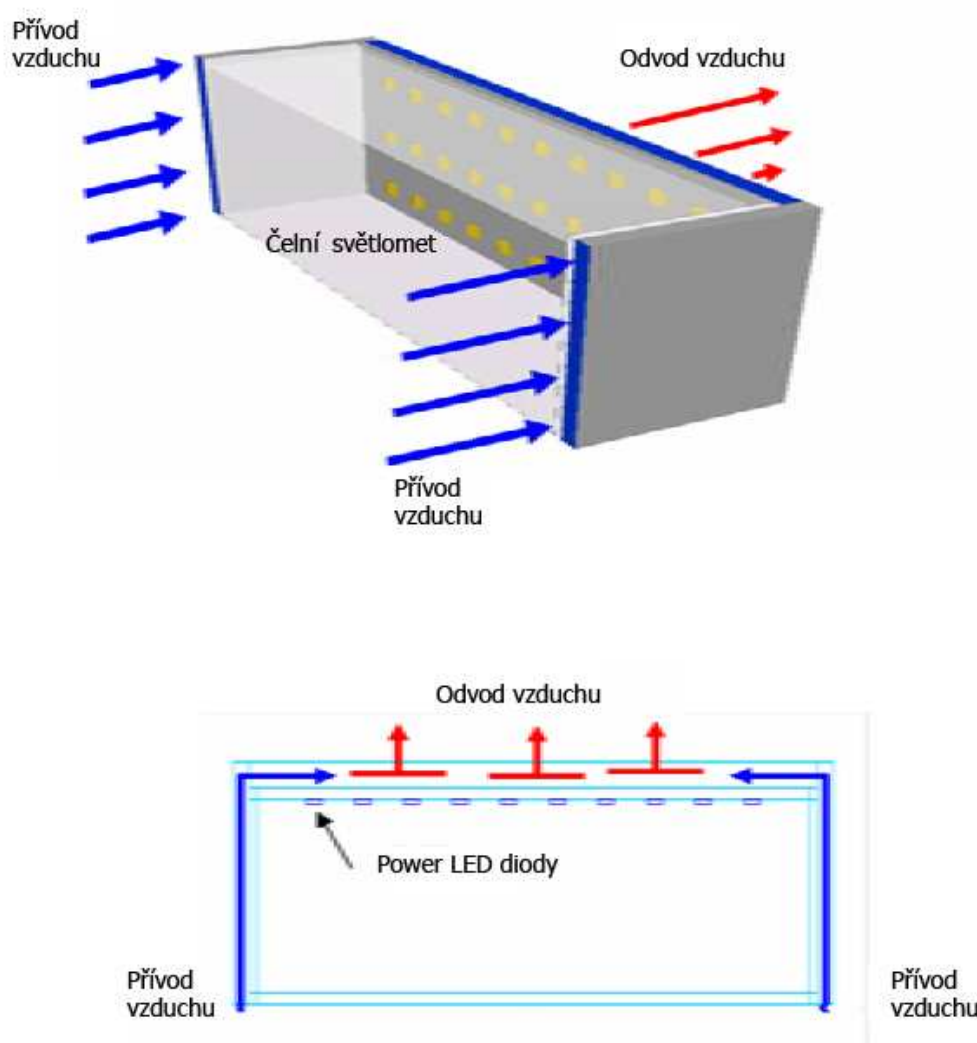
Na obr. 5-4 je znázorněný světlomet složený z LED diod. Jde o maticové uspořádání světelných zdrojů. Diody jsou osazené na hliníkový chladič kolem kterého musí proudit vzduch kvůli chlazení.



Obr. 5-4 Konstrukce světloometu a princip chlazení LED diod [26]

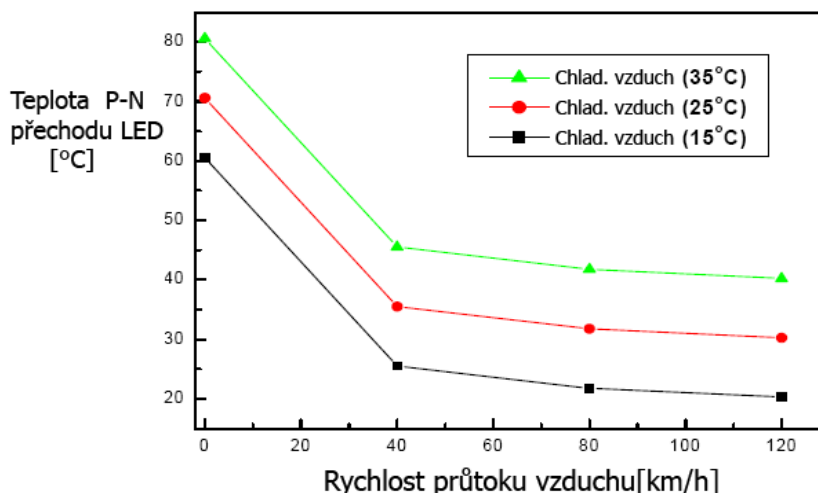
Způsoby na dosažení potřebného proudění vzduch jsou v podstatě dva. První spočívá v tom, že vlak při svém pohybu je schopen nasávat vzduch podobně jako proudí vzduch chladičem u osobního auta. Konstrukce světloometu musí být navržena podle obr. 5-5. Světlomet obsahuje na krajních stranách otvory pro nasávání vzduchu a ten proudí přes chladič do zadní části. Samozřejmě, světlomet musí být konstruován tak, aby v případě deště šlo tyto otvory zavřít. To stejné platí o LED diodách, ty nesmí přijít do styku s vodou. Druhý způsob chlazení spočívá v tom, že na hliníkovém chladiči budou instalovány větráky, které budou v provozu jenom v případě potřeby. Větráky tam musí být pro případ že vlak stojí nebo nejede dostatečnou rychlostí potřebnou pro chlazení LED diod nebo v případě, že vlivem povětrnostních jevů musí být nasávací otvory uzavřeny. Aktivní chlazení pomocí větráků bude spouštěno pomocí řídicí elektroniky, která bude kontrolovat teplotu LED diod aby nedošlo k jejímu překročení. Teplota

na P – N přechodu diody by neměla přesáhnout 135°C, tato teplota je vztažena k životnosti LED diody přibližně 10000 hodin.



Obr. 5-5 Konstrukce světlometu a princip chlazení LED diod [26]

Ve výsledku teplota P – N přechodu LED diody závisí kromě pracovního režimu ve kterém se nachází také od rychlosti protékajícího vzduchu a jeho teplotě. Je potřeba vzít do úvahy, že LED svítidlo je vystavováno teplu vznikajícímu v lokomotivě. Na obr. 5-6 je vidět přibližný vývoj teploty P – N přechodu LED diody, tato teplota klesá s rychlostí protékajícího vzduchu. Čím je tento vzduch studenější, tím má chlazení větší účinnost.



Obr. 5-6 Závislost teploty P – N přechodu LED na rychlosti průtoku vzduchu a jeho teplotě [26]

6 ZÁVĚR

6.1 Shrnutí

Zjistilo se, že až 60% všech dopravních nehod je způsobeno nedostatečnou viditelností a proto se začal klást důraz na co nejlepší osvětlení. Kvalitně svítící a osvětlené auto snižuje pravděpodobnost havárie a pozitivně ovlivňuje bezpečnost jízdy. Tento fakt mimochodem vedl v mnohých krajinách k povinnému celoročnímu svícení.

Použití LED diod v dopravě je možné a ukazuje se, že pomocí LED diod můžeme nahradit velkou většinu dosavadních světelných zdrojů jako jsou žárovky pro méně náročné aplikace z hlediska výkonu. Jedná se o signalizační osvětlení, semaforey, železniční návěstidla, proměnné dopravní značení a tak dále. Velkou výhodou LED diod v porovnání se žárovkami je skutečnost, že mají mnohem menší dobu náběhu a to řádově do 10 ms. Žárovka má při tom dobu náběhu přibližně 200ms, tato hodnota je vztažena na dosažení relativního světelného toku na hodnotu 80%. Při rychlosti 100 km/h představuje zpoždění 200ms přibližně 5,5m což není zanedbatelná vzdálenost, takže použití LED diod v dopravě obecně zvyšuje bezpečnost. Další velmi výhodnou oblastí použití je zadní skupinové světlo pro automobil. Hlavními výhodami pro tuto aplikaci jsou vysoká spolehlivost, menší nároky na velikost světlomety bez nutnosti použití reflektorů jako je tomu v případě žárovek. V drážních aplikacích má použití LED diod velkou výhodu v tom, že jsou dobře viditelné a rozeznatelné i za nepříznivého počasí, navíc mají velmi dobré barevné podání. Je možné je použít pro návěstidla, semaforey, koncové světla vlaků jako i další signalizační prvky. Bohužel některé věci jsou v normách pro železniční aplikace až moc striktně dány, což se projevilo aj při studii realizovatelnosti hlavního světlomety pomocí LED diod.

Poslední kapitola je věnována studii realizovatelnosti hlavního světlomety lokomotivy pomocí LED diod. Pro vysokorychlostní vlaky se jeví použití LED diod ještě důležitější z hlediska doby náběhu, protože se jedná o vlaky, kterých konstrukce umožňuje provoz při rychlostech rovných nebo vyšších než 190 km/h. Pro chlazení LED diod je ale potřeba vyšetřit možnosti chlazení při nižších rychlostech a taky v případě, že vlak stojí. V kapitole je uvedeno jak by měl světlomet principiálně vypadat. Z přední strany musí být vodotěsný, zezadu musí mít malý otvor který u světlometů bývá proto, aby se optika nerosila při kontaktu teplého vzduchu se

studeným. Přes otvor se uvolňují vodní páry. Nasávací otvory pro chladicí vzduch by měly být opatřeny filtrem, který zabrání vstupu větších nečistot dovnitř a pro malé prachové částice zabrání vstupu aspoň z části. V rámci servisních prohlídek a revizí by se měl systém chlazení vyčistit. Je to daň za to, že větráky nemusí běžet nepřetržitě, ale jen v případě když vlak stojí nebo se pohybuje malou rychlostí čímž se ušetří část energie potřebné pro chlazení LED diod. Další důležitá věc je napájecí a řídicí systém, který bude pracovní bod LED diod udržovat v optimálním rozmezí s ohledem na teplotu na P – N přechodu, ta se nesmí překročit jinak se životnost LED diod rapidně snižuje. Ve výsledku je teda realizace hlavního světloometu pomocí LED diod pro lokomotivu možná, ale je potřeba provést návrh pomocí softwaru určeného pro navrhování světlometů, kde se vezmou do úvahy všechny vstupní požadavky na světelný tok, distribuci světla, svítivost pro různé úhly a tak dále. Jelikož bude světlomet obsahovat optické prvky je nutno vzít do úvahy, že ty mají nějaké ztráty a zahřívají se. Na základě takového návrhu je potom možné modelovat jak se bude světlomet zahřívat a které části budou namáhány více než ty ostatní.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy: Color Quality of White LEDs
- [2] Swennen E., Meulen P.: LED Characteristics
- [3] Bartenbach Labor Aldrans Austria: LED Applications
- [4] Jiangen P., Huajun F.: Simulation Analysis of Luminous Efficiency and Color Rendering of CCT Tunable White LEDs
- [5] Flannagan M., The University of Michigan: VISION IN NIGHT DRIVING: THE ROLES OF ROD AND CONE PHOTORECEPTORS
- [6] PHILIPS Technical Datasheet and LUMILEDS Light from Silicon Valley, Power light source: LUXEON K2 with TFFC
- [7] SIEMENS Technical Datasheet: LED signal light units, Economical operation with LEDs
- [8] ELTA Technical Datasheet 2008: BULB CATALOGUE
- [9] ELTODO EG Technical Datasheet: PROMĚNNÉ DOPRAVNÍ ZNAČKY S TECHNOLOGIÍ LED
- [10] ELTODO EG Technical Datasheet: DOPRAVNÍ NÁVĚSTIDLA SIEMENS
- [11] METEOR Slovensko Technical Datasheet: METEOR Noviny Október 2008
- [12] Habel J. a kolektiv: Světelná technika a osvětlování. Praha, 1995
- [13] INDAL C&EE Lighting Solutions Technical Datasheet: Bezpečnostní světelné značení na bázi LED diod
- [14] Vlk, F.: Elektrická zařízení motorových vozidel, Brno 2005
- [15] Šťastný J., Remek B.: Autoelektrika a autoelektronika, Praha 2000
- [16] AUDI AG Technical Datasheet: Lights of AUDI R8
- [17] AUDI AG Technical Datasheet: S6 LED lights
- [18] OSRAM Technical Datasheet: Autožárovky 2005/2006, Světelné zdroje pro automobily
- [19] Kováč J., Uhrek F.: Súčasný trendy vývoja svetelných zdrojov na báze LED a OLED
- [20] INTERNET: Xenonové výbojky - online katalog, <http://www.xenonybn.sk/>
- [21] INTERNET: Xenóny a ich vlastnosti, <http://www.xenona.sk/>
- [22] ŠKODA AUTO a.s., TU Liberec Technical Datasheet: Vývoj a konstrukce světlometů
- [23] INTERNET: Xenonové světlomety (výbojky), <http://www.autolexicon.net/>
- [24] ČSN EN 15153-1 Železniční aplikace – Vnější výstražná světelná a zvuková zařízení pro vysokorychlostní vlaky – Část 1: Čelní světlomety, obrysová světla a koncová světla
- [25] Deutsche Bahn GMBH: Locomotive BR 425
- [26] Jang S., Shin M.: Thermal Analysis of LED Arrays for Automotive Headlamp

