



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

MODERNÍ TRENDY V KONSTRUKCI PŘEDNÍCH SVĚTLOMETŮ VOZIDEL

MODERN TRENDS IN VEHICLE FRONT LIGHTS DESIGN

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JAKUB RADA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PETER RAFFAI

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2012/13

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jakub Rada

který/která studuje v bakalářském studijním programu

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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

Moderní trendy v konstrukci předních světlometů vozidel

v anglickém jazyce:

Modern Trends in Vehicle Front Lights Design

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Proveďte rešerši konstrukce předních světlometů vozidel s LED technologií.

Cíle bakalářské práce:

1. přehled historie vývoje předních LED světlometů vozidel
2. popis konstrukce denního, potkávacího a dálkového světla včetně směrovek vybraných výrobců LED světlometů
3. přisvícení do zatáčky
4. aktivní a pasivní chlazení
5. porovnání s jinými technologiemi použitými v automobilové technice
6. vlastní závěr a shrnutí práce

Seznam odborné literatury:

- [1] Varroc Lighting Systems [online]. © 2010 [cit. 2012-10-22]. Dostupné z: http://www.varrocengg.com/varroc_lighting.html
- [2] LEDs Magazine [online]. © 2007-2012 [cit. 2012-10-22]. Dostupné z: <http://ledsmagazine.com/>
- [3] VLK, František. Automobilová elektronika. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2006, vi, 308 s. ISBN 80-239-7062-3.
- [4] HABEL, Jiří. Světelná technika a osvětlování. Praha: FCC Public, 1995, 437 s., 30 příl. ISBN 80-901985-0-3.
- [5] MIKULA, V. Aplikace LED pro signalizační a osvětlovací účely v dopravě. Diplomová práce. Brno: Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně, 2009, 56 stran.
- [6] FICZA, T. Osvětlení vozidel. Bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 57 s.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Peter Raffai

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/13.

V Brně, dne 30.10.2012

L.S.

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan



ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá moderními trendy v konstrukci předních světlometů. První část práce představuje jednotlivá stadia vývoje systémů používaných u světlometů a jejich konstrukční řešení. Druhá část práce je zaměřena na možné varianty chlazení funkčních částí světelných modulů a doplněna o výsledky srovnávacích laboratorních testů předních výrobců automobilního osvětlení. Závěrečná část obsahuje porovnání v současnosti nejpoužívanějších technologií u předního osvětlení vozidel.

KLÍČOVÁ SLOVA

světlomet, LED, AFS, DRL, ADB, automobil, osvětlení, vozovka, tepelný management, konstrukce

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with the modern trends in the design of the headlamps. The first part presents the sequential stages of development of systems used for headlamps and their design solutions. The second part focuses on the possible cooling alternatives of functional parts in lighting modules, completed with the results of comparative laboratory tests performed by front manufacturers of automotive lighting. The final section contains a comparison of the currently most widely used technologies in the vehicle front lighting.

KEYWORDS

headlamp, LED, AFS, DRL, ADB, car, lighting, road, thermal management, design



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

RADA, J. *Moderní trendy v konstrukci předních světlometů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 59 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Peter Raffai.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Petra Raffaie a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 20. května 2013

.....

Jakub Rada



PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval panu Ing. Petru Raffaiovi za pomoc, rady a náměty při vedení a vypracování mé bakalářské práce. Také bych rád poděkoval panu Ing. Janu Kratochvilovi za poskytnutí cenných informací a materiálů, a především své rodině za pomoc a podporu po celou dobu studia.



OBSAH

Úvod	10
1 Úvod do problematiky LED osvětlení automobilů	11
2 Moderní systémy LED světlometů	13
2.1 Vario LED	13
2.1.1 Jednokomponentový koncept	13
2.1.2 Dvoukomponentový koncept	14
2.2 Adaptivní systém AFS	15
2.2.1 Varianty konstrukčních provedení	16
2.2.2 Nové možnosti v osvětlení zatáček	17
2.2.3 Výhody a příležitosti v adaptivním zvýšení rozsahu ALL-LED systémů	18
2.3 Adaptivní systém dálkových světel ADB	18
2.3.1 Konstrukční a optické provedení	19
2.3.2 Hodnocení současných konstrukčních variant	20
2.4 Systémy nočního vidění pro zvýšení bezpečnosti na silnici	22
2.4.1 Systémy fungující na bázi infračerveného záření	22
2.4.2 Funkční provedení systému	23
2.4.3 Konstrukční provedení systému	24
3 Popis konstrukčního řešení jednotlivých funkcí vybraných výrobců LED světlometů ...	25
3.1 LED světlomet vozidla Mercedes Benz CLS	25
3.1.1 Konstrukční řešení tlumené funkce	26
3.1.2 Konstrukční řešení dálkové funkce	30
3.1.3 Konstrukční řešení DRL (Daytime Running Light) funkce	31
3.1.4 Konstrukční řešení směrové funkce	32
3.2 LED světlomet vozidla Audi A8	33
3.2.1 Konstrukční řešení tlumené funkce	36
3.2.2 Konstrukční řešení dálkové funkce	36
3.2.3 Konstrukční řešení DRL (Daytime Running Light) funkce	37
3.2.4 Konstrukční řešení směrové funkce	38
4 Tepelný management	39
4.1 Úvod do problematiky tepelného managementu	39
4.2 Varianty upevnění čipů	40
4.3 Pasivní a aktivní chlazení	41
4.4 Systém navržený pro chlazení LED polí	44
4.5 Chlazení syntetizovanými proudy	47



4.5.1	Koncepční návrh společnosti Audi.....	48
5	Porovnání LED s jinými technologiemi	50
5.1	Halogenové světlomety	50
5.1.1	Obecné shrnutí halogenových světlometů.....	51
5.2	Xenonové světlomety	52
5.2.1	Obecné shrnutí xenonových světlometů.....	52
5.3	LED světlomety	53
5.3.1	Obecné shrnutí LED světlometů	54
	Závěr	55
	Seznam použitých zkratk a symbolů	59



ÚVOD

Tématem této bakalářské práce jsou moderní trendy v konstrukci předních světlometů, a to pro jejich důležitost v oblasti automobilového průmyslu. V současné době patří automobily k nedílným součástem dnešního běžného života a staly se samostatným vědním oborem diskutovaným v mnoha aspektech.

Největší pozornost bude věnována v poslední době nezadržitelně se rozvíjející LED technologii, na které je postavena současná technika automobilového osvětlení. Práce bude koncipována do tří tematických oddílů. V první části bude teoreticky zpracován vývoj a současná situace v konstrukci LED světlometů, což bude doplněno o vizuální ukázky. Cílem další části práce bude rozbor otázky týkající se chlazení s doplněním o experimenty prováděné společnostmi zabývajícími se vývojem automobilového osvětlení. Jako poslední dílčí cíl jsem si vytyčil zhodnocení současného stavu a vytvoření uceleného komplexu informací týkajících se trendů v konstrukci předních LED světlometů.

Převážná většina použitých informačních zdrojů pochází z konferencí zástupců předních firem zabývajících se vývojem automobilového osvětlení.



1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY LED OSVĚTLENÍ AUTOMOBILŮ

Uplynulo více než 20 let od doby, kdy byly poprvé použity polovodičové elektrotechnické součástky, známé pod zkratkou LED, jakožto světelný zdroj využitelný v automobilovém průmyslu. Do této doby byla LED technologie používána převážně pro signalizační osvětlení. Teprve nedávno však jasná bílá LED světla dosáhla požadovaného rozsahu výkonu pro realizaci usměrnění tlumených a dálkových světel. Jedněmi z prvních automobilů, které byly osazeny LED světly, byly v roce 2008 Cadillac Escalade Platinum (obr. 2) spolu s Audi R8 a Lexus LS již na konci roku 2007. [6,13]

Bezprostředně po uvedení těchto vozů na trh došlo k obrovskému rozvoji LED technologie. Od toho okamžiku prochází světly neustálou proměnou a zdokonalují se nejen po fotometrické a funkční stránce, ale také výrazně po stránce stylistické. Často dokonce dochází k tomu, že se konstrukční řešení odvíjí od požadovaného designu. Konstrukce těchto světel však obsahovala komplex požadavků, které bylo nutno zohlednit. Jednalo se zejména o usměrnění vyzařovaného světla, klimatickou problematiku, elektronické řízení a mechanické zkoušky i za ztížených podmínek. [13]

Předpokládalo se, že LED světly budou mít příznivější důsledky na životní prostředí, než jak tomu bylo u technologií předchozích. Díky jejich menší energetické náročnosti se počítalo se snížením spotřeby pohonných hmot u vozidel osazených právě těmito světly. Hlavním problémem v minulosti bylo velké množství oxidu uhličitého a ostatních škodlivých látek výfukových plynů uvolňovaných do ovzduší, proto konstruktéři navrhli takové platformy aut, které by umožňovaly snížení objemu vypouštěných zplodin. [13]

Vývoj prvních LED světel postupoval pomalu a zabral přibližně 2-3 roky, proto byly společnosti zabývající se jejich vývojem vyzvány urychlit celý proces a zvýšit efektivitu. Takto pomalé tempo lze snadno odůvodnit tím, že se tehdejší konstruktéři potýkali s technologií, s níž neměli dostatek zkušeností, a jejíž využití bylo teprve v počátcích. Chyběla jim dnes již dobře známá fakta, proto byli nuceni k této problematice přistupovat opatrněji, což vyžadovalo více času, než u do té doby známých výbojkových nebo halogenových světel. [13]

Nejen automobilové závody, ale také společnosti zabývající se výrobou světelných zdrojů, zejména diod, byly nuceny přizpůsobit se poptávkou na požadavky zákazníka, a tím pádem se zaměřit na vývoj nových diod a jejich další konstrukční, stylistické a fotometrické aplikace za co možno nejpríjemnější cenu. Primárně se snažili o dosažení univerzálního použití vyrobených diod pro co největší počet poptávajících společností v oblasti vývoje světel. Z ekonomického hlediska bylo nejvýhodnější použití jedné diody jakožto světelného zdroje, což ale po stylistické stránce neuspokojovalo trh, už tak výrazně ovlivňován politickými a sociálními faktory. Zvýšením počtu zdrojů došlo k rozšíření možností při konstrukci a bylo možno vytvořit daleko více stylistických prvků, které mají veliký vliv na cenu v marketingové oblasti. [6]

Jednou ze současných používaných variant pro snížení výrobních nákladů je výroba jednoho typu modulu, který je použitelný pro širší okruh zákazníků. Tento přístup vyžaduje získání velice přesných informací o fotometrických a funkčních požadavcích potenciálních zákazníků a následnou snahu o pokrytí nejširšího spektra poptávky. [6]



Začaly se řešit systémy pro zvýšení bezpečnosti a jízdního komfortu. Snahou bylo vyrobit adaptivní světlometry AFS zajišťující mimo jiné osvětlení projížděné zatáčky a také inteligentní funkce s možnou změnou intenzity vyzařovaného světla světlometů v závislosti na hustotě dopravy, zamezující oslňování ostatních účastníků silničního provozu. [6]

Požadavky trhu byly úmyslně stanoveny vysoko jako motivace pro výrobce přicházet s tím nejlepším, co bylo možno nabídnout, aby dosáhli vysoké úrovně kvality nabízeného zboží. Toto pravidlo je aplikováno i u dnešních celo-ledkových světlometů. Zřejmým požadavkem k udržení se na trhu byla nutnost dosažení lepších výkonnostních a funkčních vlastností než u dosavadních xenonových světlometů. [6]

V současné době se jejich návrh a konstrukce odvíjí od stylistických požadavků zákazníka tak, aby byly současně splněny požadované funkce. Spolu se zvyšující se atraktivností vzhledu přední části vozidla roste i jeho hodnota v oblasti marketingu, jak můžeme mimo jiné vidět u většiny modelů Audi. Cílem je vyvinout takový koncept výroby, který umožní snížení hmotnosti a objemu za současného poklesu nákladů komponent a zvýšení efektivity celého systému. [6]



Obrázek 1: LED světlomet AUDI A6 roku 2012, zdroj: [22]



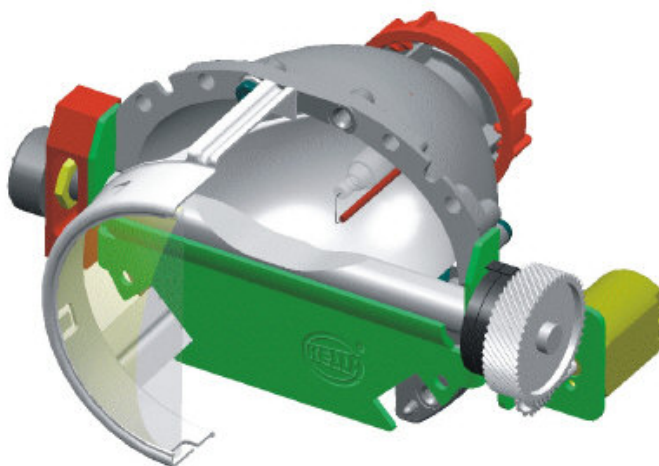
Obrázek 2: LED světlomet Cadillac Escalade Platinum roku 2008, zdroj [25]



2 MODERNÍ SYSTÉMY LED SVĚTLOMETŮ

2.1 VARIO LED

Hlavní snahou tohoto systému bylo vytvořit jednotný optický, flexibilní, vysoce výkonný systém nahrazující dosavadní adaptivní funkce s xenonovou výbojkou LED technologií. Výsledkem měl být flexibilní a inovativní optický systém umožňující dosažení široké škály vyzařujících světelných svazků, podléhající předpisu EHK R123. Vrcholem této technologie bylo zkonstruování tzv. Vario-Xenonového modulu, u něhož jako u světelného zdroje bylo použito xenonové výbojky. [6]



Obrázek 3: Xenonový AFS modul VARIOX společnosti HELLA, zdroj: [21]

2.1.1 JEDNOKOMPONENTOVÝ KONCEPT

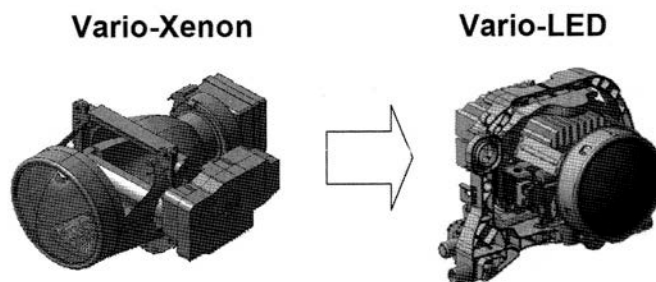
Společnost Hella následně vyvinula projekční modul zvaný Vario-Xenon (obr. 3), který zajišťoval jak tlumenou, tak i dálkovou funkci. Princip tohoto modulu spočíval v umístění válcové clonky určité geometrie před xenonovou výbojkou, kde dráha světelného paprsku projektoru je usměrňována do míst v závislosti na požadované funkci. [6]

Pro aplikaci LED technologie v tomto flexibilním systému byly možné dvě varianty konstrukce. První přístup (obr. 4) spočíval v doplnění xenonové výbojky o zdroj LED, a následně změně optického systému. Tento jednokomponentový optický systém je specifický v tom, že zajišťuje všechny potřebné osvětlení. Je schopen vytvořit jak centrální světelný svazek, tak i svazek pro osvětlení rozsáhlejší oblasti před automobilem. [8]



Rozdíl mezi světlomety s těmito jednotlivými moduly je pouze v úpravě činných částí optického systému, a to především reflektoru, dále v použitém druhu světelného zdroje a chladičů zajišťující odvod tepla. [8]

Odlišnosti v celkovém vzhledu světlometů s použitým modulem nejsou markantní, proto je zákazník jen stěží schopen je rozeznat. Díky technickému řešení vytváření světelného svazku se tato LED technologie stala flexibilním optickým systémem. [8]

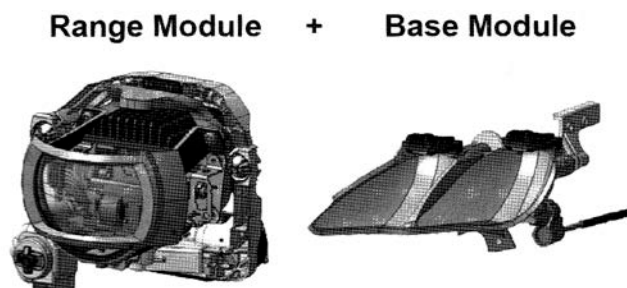


Obrázek 4: Inovace xenonového modulu pomocí LED, zdroj: [8]

2.1.2 DVOUKOMPONENTOVÝ KONCEPT

Na popud dnešní filozofie zákazníků požadujících variabilitu ve vzhledu LED světlometů vznikla myšlenka vytvořit další systém složený ze dvou modulů. Primární byla snaha nahradit dosavadní projektory s kruhovými čočkami vícekomorovými projektory s tvary čoček, které by ve výsledném vzhledu nejlépe vystihovaly vozidlo. U konstrukčního řešení konvenčních reflektorů došlo ke změnám jejich tvarů odvíjejících se od požadavků zákazníka. [8]

Tyto aspekty vedly k rozdělení systému Vario LED na minimální počet dvou samostatných funkčních částí, které ve výsledku tvoří požadovaný světelný svazek. Projekční komponent zvaný Range modul (obr. 5) vytváří centrální část světelného svazku, a také definuje geometrii systému pro zamezení oslňování jednotlivých dynamických funkcí. Druhý komponent zvaný Base modul (obr. 5) plní funkci reflektoru s úkolem zajistit homogenní rozložení světla s vysokou intenzitou šíření v krajních oblastech světelného svazku. [8]



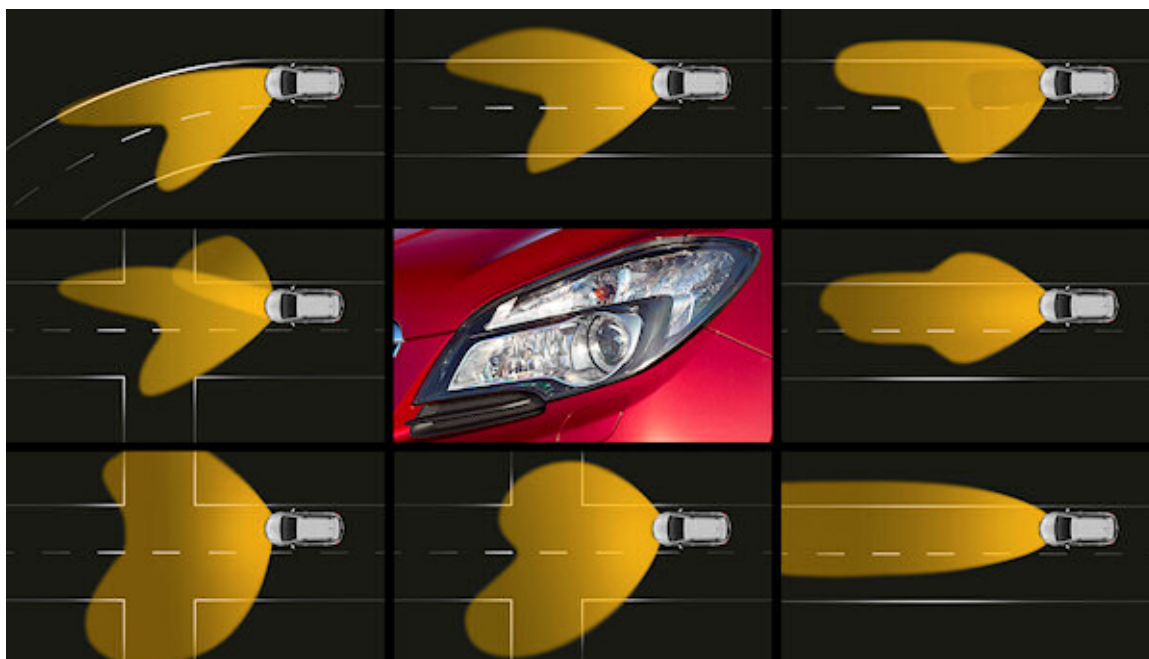
Obrázek 5: Dvoukomponentový koncept, zdroj: [8]



2.2 ADAPTIVNÍ SYSTÉM AFS¹

Koncepty AFS (Adaptive Frontlighting System) LED světlometů je možné vytvořit díky modulární konstrukci hlavních funkcí ALL-LED světlometů. Různých variací rozložení světla může být dosaženo pomocí pohyblivé mechanické clony a jednotlivých otočných modulů známých zejména z klasických výbojkových systémů nebo také změnou intenzity jednotlivých diod. Všechny tyto varianty nabízejí rozsáhlé funkční možnosti odpovídající situaci řidiče a stavu vozovky. Kombinací mechanického pohybu a elektronického ovládní diod může být plné AFS funkce dosaženo flexibilnějším způsobem, než kdy bylo u výbojkových světlometů možné.

Hlavní rozdělení adaptivních předních osvětlení (obr. 6) je definováno v předpisu EHK č.R123, pro komunikace první třídy, dálnice, obce a jízdy v nepříznivých podmínkách, to vše v kombinaci s funkcí osvětlování zatáček. Pro všechny AFS světlometry je nezbytné použití několika signálů ze senzorů popisujících jízdní podmínky a okolí vozu (např. rychlost jízdy, pozici volantu, snímky z kamery detekující protijedoucí vozidla). Na trhu jsou dnes dostupné světlometry využívající AFS funkce nebo inteligentní dálkové přepínání světlometů s dynamickým sklápěním, natáčením, případně doplňující dálniční světlo. Dnešními velice využívanými jsou AFS systémy s adaptivními clonami, řízenými ECU jednotkami sbírajícími data ze senzorů, z kamery nebo taktéž ze systému nočního vidění.



Obrázek 6: Světelné módy adaptivního světlometu, zdroj: [36]

¹ Kapitola 2.2 zpracována ze zdroje: [3]



2.2.1 VARIANTY KONSTRUKČNÍCH PROVEDENÍ

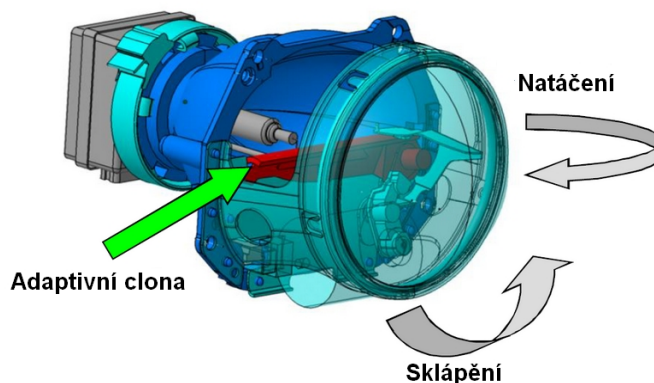
K dispozici jsou tři základní koncepty realizace adaptivního předního osvětlení. První dobře známou technologií je vytvoření sklápění v kombinaci s inteligentním otáčením. Druhou je změna seřiznutí profilu vyzařovaného světelného paprsku adaptivní clonou. Třetí možnost spočívá ve změně intenzity vyzařovaného světla řízením výkonu zdroje.

U výbojkových systémů jsou dobře koncipovány systémy inteligentního dynamického sklápění (obr. 7) a adaptivní clony (obr. 7), kde inteligentní systém koriguje rozložení světla korekcí sklonu světlometu s ohledem na různé jízdní podmínky.



Obrázek 7: Adaptivní xenonový světlomet AUDI A8 roku 2006, zdroj: [33]

Při použití pouze dynamického sklápění jsou funkční možnosti změny rozložení světla značně omezené. Přídavné adaptivní clony zajišťují oříznutí vyzařovaného světelného kuželu v závislosti na aktuální jízdní situaci. Jejich použitím je dosaženo flexibilního způsobu jak ovlivnit rozložení světla. Za nevýhodu tohoto mechanického systému (obr. 8) se považuje skutečnost, že rozložení světla za clonou zůstává stejné. Změna podílu intenzity centrálního s intenzitou bočního jasu není možná.



Obrázek 8: Adaptivní Optimo Bi-Xenonový modul společnosti HELLA, zdroj: [32]



Jako poslední AFS koncepci je možno využít dynamickou regulaci výkonu zdrojů světla. Ideálním řešením je použití LED technologie (obr. 9) jakožto efektivního elektronicky ovládaného zdroje světelné energie. S pomocí regulace je možno ovlivnit část vlastního rozložení světla změnou jasu světelného zdroje nebo dokonce jeho vypínáním, tj. pokud je rozpoznáno blížící se vozidlo. Užitečnou funkcí je možnost změny rozložení jasu mezi popředím a vzdáleným polem. Takto může být například dosaženo lepšího rozsahu vlivu na dálniční osvětlení nebo může být sníženo oslnění protijedoucích vozidel způsobené odrazy světla na mokřích vozovkách. Další velmi užitečnou funkcí je změna rozložení jasu po stranách a v centrální části osvětlení. Díky tomu lze dosáhnout širšího bočního osvětlení využívaného zejména ve městech, na křižovatkách, při parkování, a také lepších rozsahů středově orientovaného světla používaného na silnicích první třídy, popř. na dálnicích.



Obrázek 9: Adaptivní FULL-LED světlomet AUDI A4 roku 2009, zdroj: [34]

2.2.2 NOVÉ MOŽNOSTI V OSVĚTLENÍ ZATÁČEK

Funkce osvětlující projížděnou zatáčku je u výbojkových systému realizována mechanickým pohybem AFS modulu, při kterém dochází k natáčení celého vyzařovaného světelného kuželu. U ALL-LED AFS světlometů s oddělenými moduly je možné dosáhnout nových možností v realizaci adaptivního osvětlení.

Jedno z řešení spočívá v natáčení pouze osvětlovacího modulu, zatímco základní rozložení světla zůstává stejné. Při volbě varianty změny osvětlení řízením výkonu světelného zdroje je světlo směřováno vpravo nebo vlevo bez jakéhokoli mechanického pohybu. Aby se ukázaly rozdíly mezi ALL-LED AFS systémem a výbojkovými systémy, bylo provedeno testování v terénu. Adaptivní funkce u LED světlometu byla realizována jedním otočným členem osvětlujícího modulu. U Xenonových systémů byly testovány varianty s dynamickým a statickým osvětlovacím modulem.

Úkolem účastníků testu bylo zhodnotit osvětlení zatáček z hlediska bezpečnosti, homogenity v popředí během zatáčení (komfortu) a viditelnost. Testovací jízda ukázala, že dynamické osvětlovací moduly jsou hodnoceny výrazně lépe než moduly statické. ALL-LED systém s jedním otočným prvkem dosáhl rovnocenných výsledků s Xenonovým systémem, využívající natáčení celého osvětlovacího modulu. Z hlediska komfortu byla nejlépe hodnocena varianta s jedním otočným prvkem ALL-LED systému, díky němuž se eliminuje



rušivý pohyb v popředí. Z hlediska nižších hmotností a menších prostorů je volba této varianty velice výhodná. S ohledem na tento výsledek je možné implementovat agresivnější algoritmus otáčení, a následkem toho získat vynikající osvětlení zatáček bez rozptylování řidiče.

2.2.3 VÝHODY A PŘÍLEŽITOSTI V ADAPTIVNÍM ZVÝŠENÍ ROZSAHU ALL-LED SYSTÉMŮ

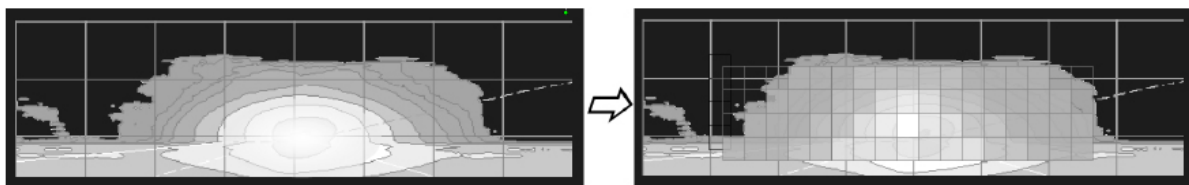
Z výše uvedených skutečností je zřejmé, že s LED jakožto zdrojem světla je možné efektivně měnit výkon. Diody jsou stmívatelné v poměrně širokém rozsahu a jejich reakce na změnu napájení je velice rychlá. K ovlivnění rozložení světla popsáním způsobem, tj. změnou poměru jasů mezi stranou a centrem osvětlení, je mimo jiné nutné, aby první systém s jedním světelným zdrojem (nebo s více zdroji) vytvořil boční rozptýlené světlo, a aby další systém osvětlil střed silnice.

V ALL-LED světlometech je pro vyzařované světlo použito více jak jednoho modulu. Proto se jako nejvhodnější varianta nabízí zkonstruovat alespoň jeden modul zajišťující osvětlení centra dalekého pole a další modul (nebo i více modulů) pro osvětlení popředí a bočního rozptylu. Za jednu z nejdůležitějších funkcí AFS je považováno adaptivní zvýšení rozsahu, zejména při jízdě na dálnici. Tato skutečnost dala dostatečný impuls k analýze nových možností adaptivního zvýšení rozsahu u ALL-LED systémů.

Všeobecně se nabízely možnosti sklopit celý zdroj světla nebo otevřít clonu, případně změnit její profil. Pro ALL-LED světlometry byla možná varianta sklápění pouze jednoho modulu, případně její kombinace s dynamickou regulací výkonu v diodách v několika modulech. Tato zmiňovaná kombinace umožňuje flexibilní posun těžiště osvětlení s cílem nasměrovat světlo tam, kde jej řidič potřebuje v každé jednotlivé jízdě situaci.

2.3 ADAPTIVNÍ SYSTÉM DÁLKOVÝCH SVĚTEL ADB

Systém složený z mnoha segmentů (obr. 10) využívající LED technologii tvoří základ adaptivního dálkového světla. Každý prvek je opatřen jednou diodou, což umožňuje individuální přepínání jednotlivých segmentů. Kamerový systém, jenž detekuje protijedoucí vozidla, je přes jednotku zpracovávající obraz schopen vypnout prvky oslňující řidiče. [1]



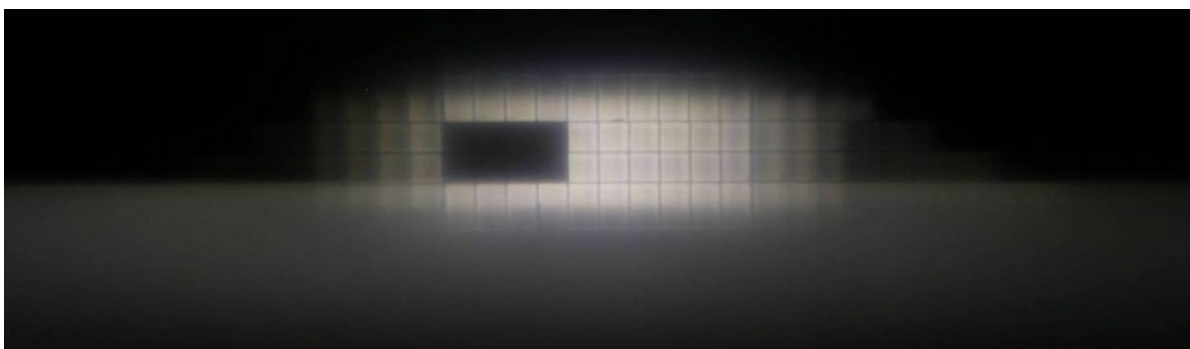
Obrázek 10: Základní idea elektronicky řízených dálkových světel, zdroj: [1]

V počátcích nebylo známo, kolik prvků je potřeba k vytvoření účinného systému. V německém silničním provozu byly prováděny teoretické a praktické analýzy pro porovnání účinností tohoto systému s dalšími adaptivními systémy dálkových světel. K vhodnému rozdělení dálkového světla tohoto systému bylo nutné vytvořit vzorek informující o pozici a četnosti výskytu protijedoucích vozidel, aby bylo zabráněno jejich oslnění. Počátečním cílem praktické analýzy bylo zmapování vyskytujících se objektů kamerou pro jejich další aplikaci při vyhodnocení systémů adaptivních dálkových světel. Tyto získané hodnoty nebylo možno



použit, protože byly diametrálně odlišné od výsledků získaných ze simulace, bez ohledu na to, že je zde možnost zpětné úpravy simulace konkrétními situacemi na silnici. [1]

Úmyslem bylo vytvořit u adaptivních světlometů takovou oblast světelného rozložení, která by byla složena z pixelů s elektronickým nastavením jasu. Přepínání mezi jednotlivými funkcemi osvětlení závislými na jízdní situaci je realizováno pomocí elektronické regulace výkonu jednotlivých pixelů bez použití mechanicky ovládaných clon. S tímto přístupem bylo možno vyvinout nové modifikace dálkového světla, zejména pro zamezení oslnění a zvýraznění potencionálních nebezpečí. Výhodou oproti mechanickým prvkům je fakt, že poloha stínící oblasti (obr. 11) a také poloha maxima může být nezávisle přemístována. [1]



Obrázek 11: Světelné rozložení adaptivního dálkového světla složeného z pixelů, zdroj: [1]

2.3.1 KONSTRUKČNÍ A OPTICKÉ PŘEVODNÍ

Výběr způsobu rozdělení tohoto systému je velice důležitým aspektem pro jeho výsledný design. Řeší se zde otázka počtu segmentů nebo pixelů a celkové rozlišení při co možno nejmenších mezerách mezi jednotlivými segmenty. Zatímco u výbojkových adaptivních systémů je změna vertikálního osvětlení plynule regulovatelná, u tohoto systému s rozčleněnou světelnou oblastí je to podstatně komplikovanější. Jediným možným východiskem je zde kompromis mezi rozlišením segmentů, složitostí ovládacích prvků a účinnosti. [1]

Důležitým aspektem je v tomto případě stanovení potřebného počtu pixelů pro získání požadovaného rozlišení, které se liší pro jednotlivé funkce. Pro dynamická natáčecí světla je nutno pokrýt rozmezí od $-7,5^\circ$ do $+15^\circ$, což vede k minimálnímu počtu 22 sloupců. K tomu, aby bylo dosaženo vertikálního osvětlení srovnatelného s výbojkovými světlomety je nutné mít 4 řady pixelů, což odpovídá přibližně rozlišení 90ti pixelů. [1]

Optický systém složený z LED polí je mnohem komplikovanější, než jak tomu bylo u projekčních čoček výbojkových systémů. Bylo nutno se přeorientovat z paraxiálního optického systému na systém s plošným zobrazovacím polem. Jelikož v systému nejsou přítomny natáčecí moduly známé z výbojkových systémů, nastává problém při dosažení ostré ořezané oblasti ve všech polohách. Oblast ořezu horní hranice mezi tlumenou a dálkovou funkcí musí zasahovat nejméně ke krajnici vozovky. Experimenty ukázaly možnost dosáhnout ostrých hranic za předpokladu určitých barevných korekcí, aby nedocházelo k jejich zbarvení do modra. [1]

Aby bylo dosaženo co možná nejjednoduššího systému, je rozložení světla rozděleno do dvou částí. Každá část je řízena příslušným modulem. Úkolem prvního (základního) modulu



je vytvořit hladké a široké světelné rozložení. Druhá část je základním prvkem dynamických funkcí. Diskutovanou otázkou byla homogenita vyzářovaného světla. Jedna skupina preferuje eliminaci viditelných přechodových oblastí mezi jednotlivými pixely, druhá však tuto situaci vidí ze stránky možných funkčních úprav dálkových světel v oblasti zvýšení bezpečnosti. [1]

Jednotlivá LED pole jsou tvořena jednotlivými čipy. V začátcích vývoje LED technologie byly dostupné pouze čipy o velikosti 1mm x 1mm. Pole jsou obdélníková, složená z jedné, dvou nebo více řad. Při větším počtu řad nastává problém s elektrickým připojením čipů nacházejících se v blízkosti středu pole, kde je třeba zvětšit mezery pro jejich napájení. [1]

2.3.2 HODNOCENÍ SOUČASNÝCH KONSTRUKČNÍCH VARIANT

Mezery, jejichž vliv se projevuje na přechodových oblastech jednotlivých čipů světelného rozložení, se v případě pole o čtyřech řadách a dvaceti sloupcích s čipem o rozměrech 1mm x 1mm pohybují v rozmezí 100 μ m-200 μ m. Pole s velkými mezerami mají při použití primární optiky bezproblémovou funkčnost, elektrické připojení a příslušnou oblast pole je možno snadno identifikovat podle odpovídajícího řádku a sloupce. Větší velikost pole má za následek zvětšení ohniskové vzdálenosti projekční čočky, tím pádem zvětšení celkové velikosti modulu. [11]

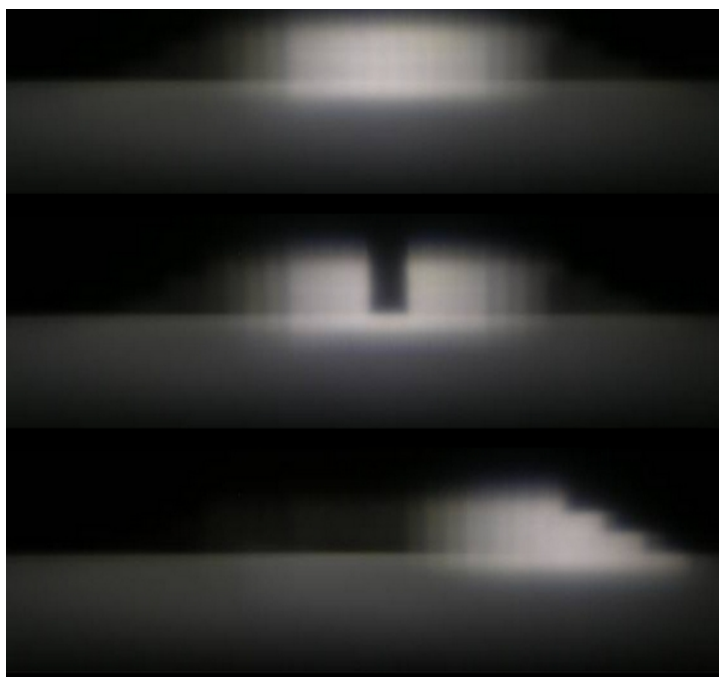
Tento systém otvírá nové možnosti v oblasti homogenity světelného rozložení. Na jednu stranu je cílem dosáhnout přesně vymezených oblastí jednotlivých segmentů, naproti tomu by však neměla být znatelná segmentace jednotlivých oblastí při zobrazení celkového světelného rozložení. Současné zdroje, které zaručují dostatečnou svítivost, jsou dostupné pouze v určitých velikostech, od kterých se odvíjí jejich minimální vzdálenost mezi dvěma segmenty. Vzhledem k této skutečnosti je při konstrukčním návrhu krytu s horizontálním rozložením diod dosaženo mezery přibližně 4-5mm. Kombinací zdrojů v tomto uspořádání s užitím primární optiky není možné dosáhnout homogenní oblasti spolu s vysokým rozlišením po stranách při uspokojivé účinnosti. [11]



Obrázek 12: Prototypový projekční modul pixelového světlometu, zdroj: [11]



Rakouská společnost Zizala Lichtsysteme, zabývající se mimo jiné optickými systémy světlometů, vytvořila takový koncept, který záměrně rozdělil pixely jednotlivých projekčních modulů (obr. 12). Vytvořením mezer mezi jednotlivými oblastmi došlo k vytvoření nových možností v konstrukci, především ve změně rozmístění jednotlivých modulů. Výrobní implementace jejich konceptu byla založena na již dostupných keramických pouzdrech. Důsledkem tohoto řešení mělo být zrychlení a usnadnění velkoobjemové výroby. Rozmístění jednotlivých modulů na větších vzdálenostech má příznivější důsledky na provozní teploty zdrojů, tudíž redukuje potřebu chladících prvků. [11]



Obrázek 13: Světelné rozložení dálkového světla se základním podkladovým osvětlením, zdroj: [11]



Obrázek 14: LED světlomet společnosti OPEL s dálkovou funkcí tvořenou segmenty, zdroj: [27]



2.4 SYSTÉMY NOČNÍHO VIDĚNÍ PRO ZVÝŠENÍ BEZPEČNOSTI NA SILNICI

Lidské oko je jen stěží schopno rozpoznávat objekty v noci. Je to dáno jeho odlišným vývojem v porovnání s některými nočními živočichy, kteří převážnou část života tráví ve tmě. Tento nedostatek lidského zraku se projevuje v situaci, kdy se oči stávají důležitým aktivním prvkem řidiče vozidla jedoucího v noci po silnici, a je třeba větší soustředěnosti než je tomu potřeba za dne. Viditelnost řidiče je omezena dosvitem světlometů automobilu, proto bylo cílem vyvinout systém napomáhající zvýšení viditelnosti. [4]

Podle německé výzkumné studie je prokázáno, že počet usmrčených chodců je v noci pětinasobný oproti počtu ztrát na životech ve dne, přitom pouze 20% jízd autem je uskutečněno v noci. Jednou z možných variant jak zvýšit bezpečnost je snížení rychlosti jízdy, což by ale řidiče dodržující toto pravidlo označovalo za „loudáčky“. [4]



Obrázek 15: Noční jízda s asistenčním systémem společnosti BMW, zdroj: [26]

2.4.1 SYSTÉMY FUNGUJÍCÍ NA BÁZI INFRAČERVENÉHO ZÁŘENÍ

První asistenční systém nočního vidění (obr. 16) představila v roce 2005 společnost Mercedes Benz, jejímž cílem bylo dosáhnout dvojnásobně lepší viditelnosti v nočním provozu bez nutnosti omezení rychlosti jízdy, a to systémem fungujícím na bázi vysílaného, pro lidské oko nezachytitelného, infračerveného záření a následného přenosu obrazu odehrávajícího se před vozidlem na display umístěný v těsné blízkosti tachometru. Díky této technologii bylo možné poměrně snadno rozpoznat i chodce oděné v materiálech s nízkou reflexivitou. Pro usnadnění rozpoznávání chodců řidiči byl v roce 2009 tento systém vylepšen o jejich automatické zaměřování do obdélníkových značek. [4]

S vývojem inteligentních osvětlovacích systémů se nabízela otázka, zda plně osvětlovat chodce či nikoli, a proto se tento systém stal předmětem mnoha studií. Na jednu stranu byl velice oceňován, ale na druhou stranu se řešil problém, jak zabránit oslnění ostatních účastníků silničního provozu. [4]



Na základě studií byly stanoveny určité požadavky, které by měl tento systém splňovat:

- každý chodec by měl být v rámci možností rozpoznávacího algoritmu plně osvětlen, přednostně na straně spolujezdce
- osvětlení chodců musí být přerušované, s co nejbližší možnou frekvencí blížící se frekvenci vnímání lidské zrakové soustavy, což výrazně snižuje jejich oslnění
- pokud dojde při osvětlení chodce také k osvětlení ostatních automobilů, musí mít řidič možnost ihned funkci vypnout [4]



Obrázek 16: Systém nočního vidění vozidla Mercedes Benz S 550 roku 2008, zdroj: [34]

2.4.2 FUNKČNÍ PROVEDENÍ SYSTÉMU

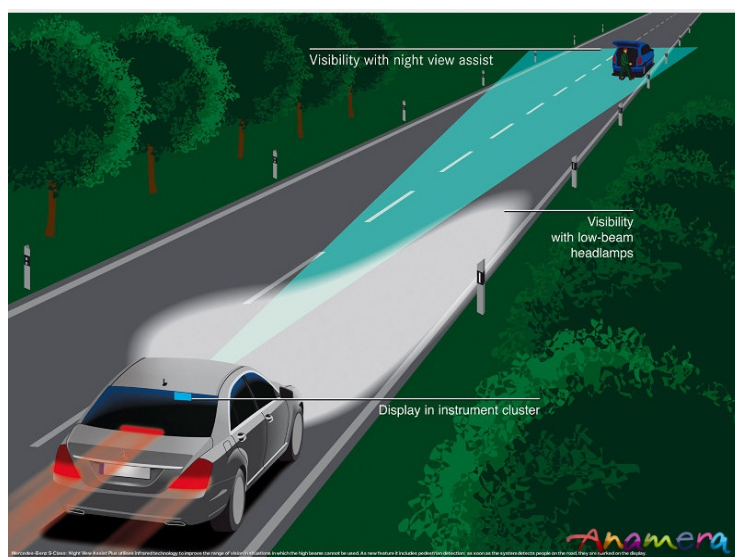
Tento systém funguje na základě kooperace systému nočního vidění (obr. 17) se zaměřováním chodců, systému adaptivních dálkových světel a světelných funkcí inteligentních světlometů. Infračervené paprsky s předstihem zaměří, a projekční modul světlometu na straně spolujezdce světlem osvětlí chodce, přitom vzdálenost mezi chodcem a automobilem je neustále přepočítávána s dostatečnou frekvencí, aby bylo možné natočit modul do míst, v nichž se chodec právě nachází. Víceúčelová kamera řídící též adaptivní dálková světla porovnává vzdálenosti chodce vůči dalším vozidlům, a v případě možnosti jejich oslnění dojde k deaktivaci funkce. [4]

S potřebným celoplošným osvětlením chodce je třeba vzít v potaz určité skutečnosti, které patří k tomuto systému. Jednou z nejdiskutovanějších je otázka latence přenosu signálu ze systému nočního vidění do otočného mechanismu projekčního modulu. Jedním z možných řešení je použití hrubého odhadu pozice chodce kamerou nočního vidění uskutečněného pomocí detektoru zvaného „stripe“. Doba latence je kompenzována pomocí předpovědi informace o pozici díky odměřovacímu systému nočního vidění. Stanovená povolená horizontální úhlová tolerance světla se pohybuje mezi 3 až 3,5 stupni. Vertikální náklon světla se odvíjí od toho, zda automobil akceleruje nebo brzdí. [4]

Jako každý systém, i tento má jisté funkční omezení. Dle statistik je uváděno, že každou hodinu jízdy systém vyhodnotí tři falešná narušení, která považuje za chodce. Proto se zvažovalo jako řešení použití spotového světla pouze na odlehlých neosvětlených silnicích, kde by byl výskyt falešných hlášení podstatně menší. Z hlediska funkčního omezení otočného



mechanismu projektoru by v případě přítomnosti chodce ve snímaném poli kamery po dobu kratší než 2 sekundy nedošlo k jeho sepnutí. [4]

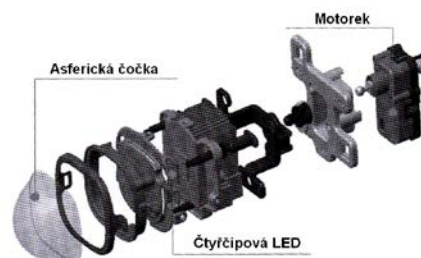


Obrázek 17: Asistenční systém nočního vidění vozidel Mercedes Benz třídy S-Class, zdroj: [34]

2.4.3 KONSTRUKČNÍ PROVEDENÍ SYSTÉMU

Ze všech výše uvedených kritérií a aspektů, které je nutno zohlednit a dodržet při konstrukci tohoto systému světlometu, je nejvhodnější použít polí LED čipů určitých rozměrů, kde každý čip svítí podle oblasti, do které je třeba světelný svazek nasměrovat. Výhodou je rychlejší změna směru oblasti osvětlení oproti mechanickým otočným projekčním modulům a možnost osvětlení více objektů. Spojením osvětlených oblastí, které jednotlivé čipy pokrývají, dojde k vytvoření pásu, kterého bylo možno dosáhnout pouze díky otočnému mechanismu používanému u projekčních modulů. Díky této inovaci není potřeba žádného mechanismu, a proto modul není tak citlivý vůči vibracím vzniklých jízdou. Jednou z variant splňujících svou funkci je vodorovné pole o čtyřech oblastech. Úhlový rozsah osvětlení je od -1° do 5° překrývajících se oblastí pravého i levého reflektoru, díky kterému je možno osvětlit chodce v libovolné pozici před automobilem. [2]

Aby se zvýšila míra využitelnosti, začala se tato spotová funkce (obr. 18) využívat jako podpora DRL a dálkového světla. Takto bylo možné zkonstruovat světlomet, který dokáže zaměřit a osvětlit chodce, zároveň ve dne slouží jako funkce DRL a v noci jako dálkový světlomet. Děje se tak posunutím zdroje světla (LED čipu) z ohniska do určité vzdálenosti po optické ose motorkem umístěným za optickou částí modulu (obr. 18). Pro spotovou funkci je zdroj světla umístěn v ohnisku, kdežto pro DRL a dálkovou funkci je třeba posunout zdroj do určité vzdálenosti od asférické čočky výše zmíněným úkonem. [2]



Obrázek 18: Skladba spotového modulu, zdroj: [2]



3 POPIS KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ JEDNOTLIVÝCH FUNKCÍ VYBRANÝCH VÝROBCŮ LED SVĚTLOMETŮ

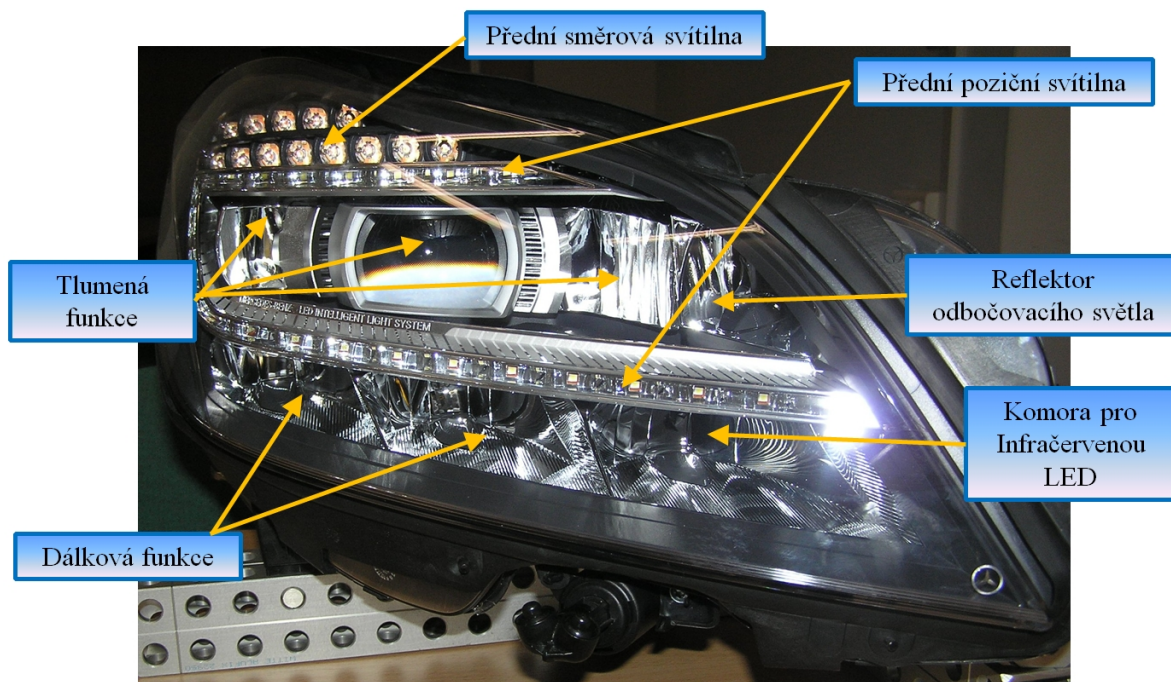
3.1 LED SVĚTLOMET VOZIDLA MERCEDES BENZ CLS²

Před dvaceti lety měly běžné světlomety automobilů maximálně 30 dílů. V současné době je počet komponent světlometů více jak desetinásobný. Příkladem toho je ALL-LED světlomet vytvořený společností Automotive Lighting pro vozidlo Mercedes Benz CLS (obr. 19) mající 354 samostatných dílů. Díky tak hojnému počtu funkčních prvků bylo možné vytvořit adaptivní světlomet (obr. 20) obsahující tyto funkce: dynamickou tlumenou funkci tvořící základní oblast osvětlení spolu se spotovou funkcí, dálkovou funkci a funkci pro osvětlení projížděných zatáček. Směrová a poziční funkce spolu s funkcí pracující na bázi infračerveného záření jsou dnes u vozidel této kategorie samozřejmostí. Proto, aby byly všechny tyto funkce a prvky efektivně využity, bylo nutno je uspořádat modulární konstrukcí. To znamená, že všechny prvky jsou uspořádány do nezávislých modulů a jejich kombinací je dosaženo potřebných funkcí.



Obrázek 19: Mercedes Benz CLS roku 2011, zdroj: [19]

² Kapitola 3.1 zpracována ze zdroje: [12]



Obrázek 20: Popis jednotlivých funkcí inteligentního LED světlometu vozidla Mercedes Benz CLS roku 2011, zdroj: [vlastní]

3.1.1 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ TLUMENÉ FUNKCE

Modul zajišťující tlumenou funkci se skládá z vnitřního a vnějšího pokoveného nepohyblivého reflektoru tvořícího základní svazek tlumeného světla (obr. 21). V každém reflektoru je umístěna jedna čtyř-čipová LED. Dynamická spotová funkce schopná vertikálního a horizontálního natáčení je tvořena LED projektorem, jenž obsahuje dvě čtyř-čipové LED. Tento spotový projekční systém je zodpovědný za dosvit do větších vzdáleností před vozidlo, a díky jeho možnému natáčení slouží jako člen adaptivního systému zajišťující osvětlení projížděných zatáček. Adaptivního natáčení (tzv. swiveling) je docíleno díky krokového motorku. Projektor se otáčí kolem osy Z procházející v horní části kuličkovým a ve spodní kluzným ložiskem (obr. 22).

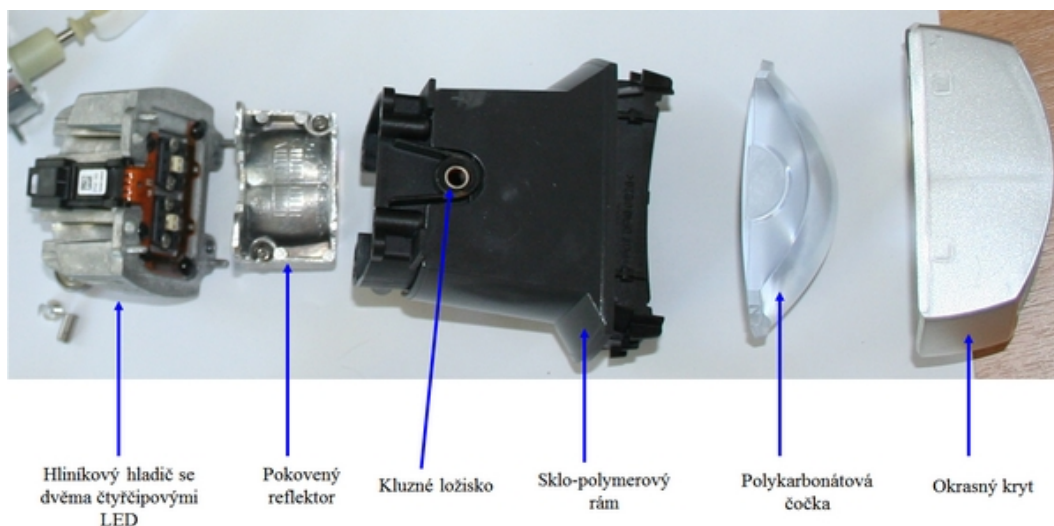


Obrázek 21: Přední pohled na tlumenou funkci, zdroj: [vlastní]



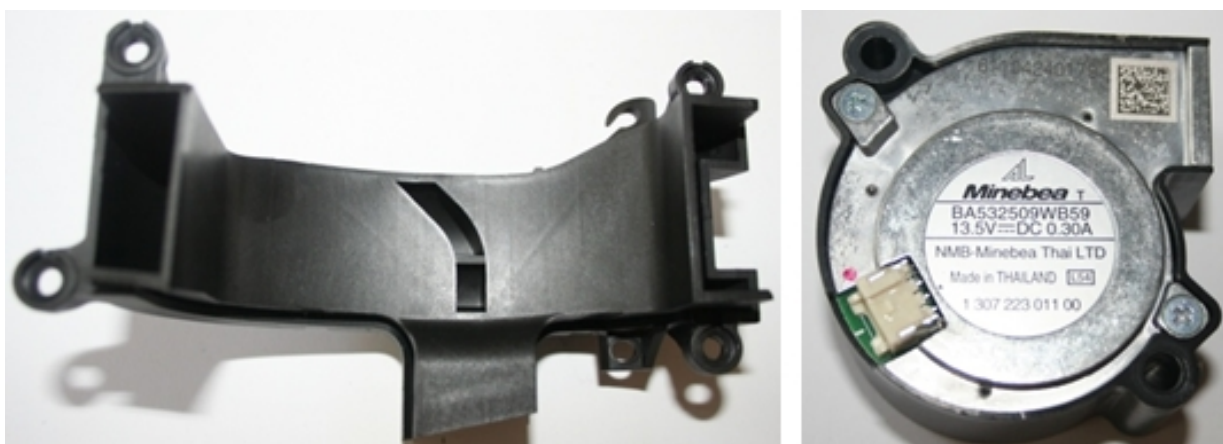
Obrázek 22: Pohled shora na tlumenou funkci, zdroj:[vlastní]

Reflektor se skládá z hliníkového chladiče, dvou čtyř-čipů LED na tištěném spoji s konektorem, eliptického reflektoru, kluzného ložiska, sklo-polymerového rámu, plastové čočky a okrasného krytu (obr. 23). Čočka projektoru je umístěna v okrasném krytu, a spolu s ním připevněna do nosné části projekčního modulu. Celý tento modul je umístěn uprostřed světlometu a plastová čočka projektoru byla vytvořena pro celkový charakteristický design tlumené funkce. Celý modul obsahuje 97 dílů.



Obrázek 23: Skladba komponent projektoru tlumené funkce, zdroj: [vlastní]

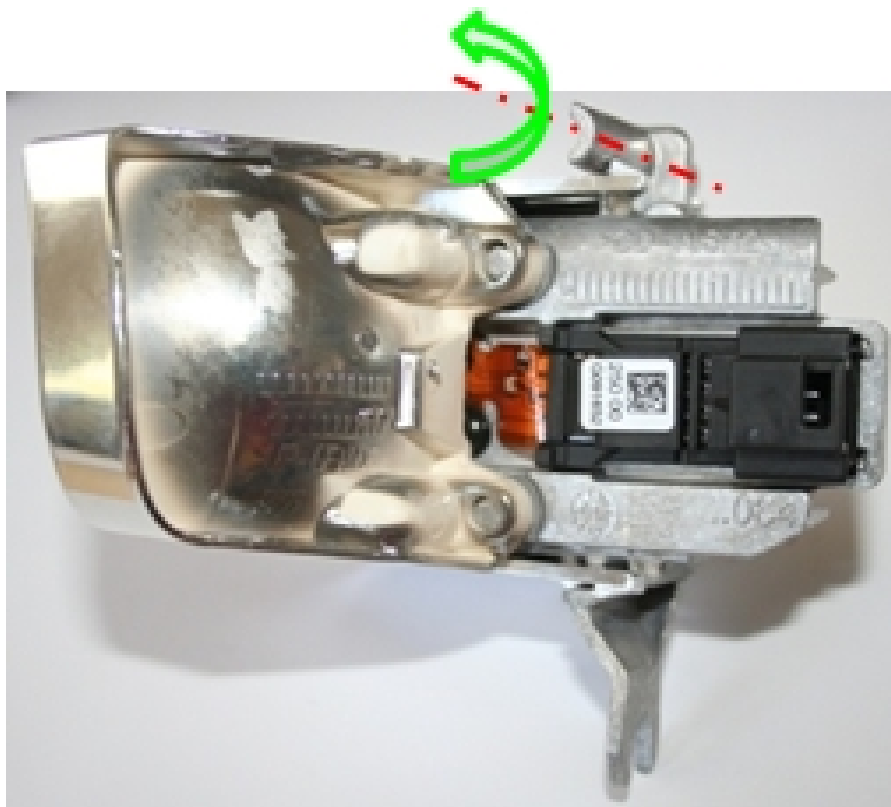
Chlazení všech komponent tvořících tlumenou funkci je zajištěno radiálním ventilátorem vhánějícím vzduch plastovými rozvody vzduchovodů obdélníkového průřezu (obr. 24). Prvek pro rozvod vzduchu je tvořen dvěma díly a jeho funkce spočívá v chlazení a odvedení kondenzace.



Obrázek 24: Chladičí soustava složená ze vzduchovodu (vlevo) a radiálního ventilátoru (vpravo), zdroj: [vlastní]

Mechanické seřízení pokovených reflektorů se uskutečňuje plastovými šrouby upevněnými v kovové objímce. Tímto způsobem je dosaženo mimo vertikálního seřízení reflektorů také jejich korekce polohy vůči projektoru. Držák reflektorů nacházející se na hliníkovém chladiči odebírá všechny stupně volnosti krom jednoho, a to natáčení kolem osy X (obr. 25).

Jak vnější, tak i vnitřní reflektor jsou připevněny k chladiči pomocí dvou šroubů. Pro dokonalé spojení jsou na dosedací ploše chladiči umístěny dva lokátory, které zapadají do otvorů na reflektorech. Napájecí konektory jsou taktéž připevněny na chladič, případně do housingu.



Obrázek 25: Upevnění reflektoru k chladiči, zdroj: [vlastní]

Celý modul je přichycen k rámečku, a spolu s ním je kulovým čepem připevněn do housingu (obr. 26).



Obrázek 26: Upevnění tlumené funkce v housingu, zdroj: [vlastní]



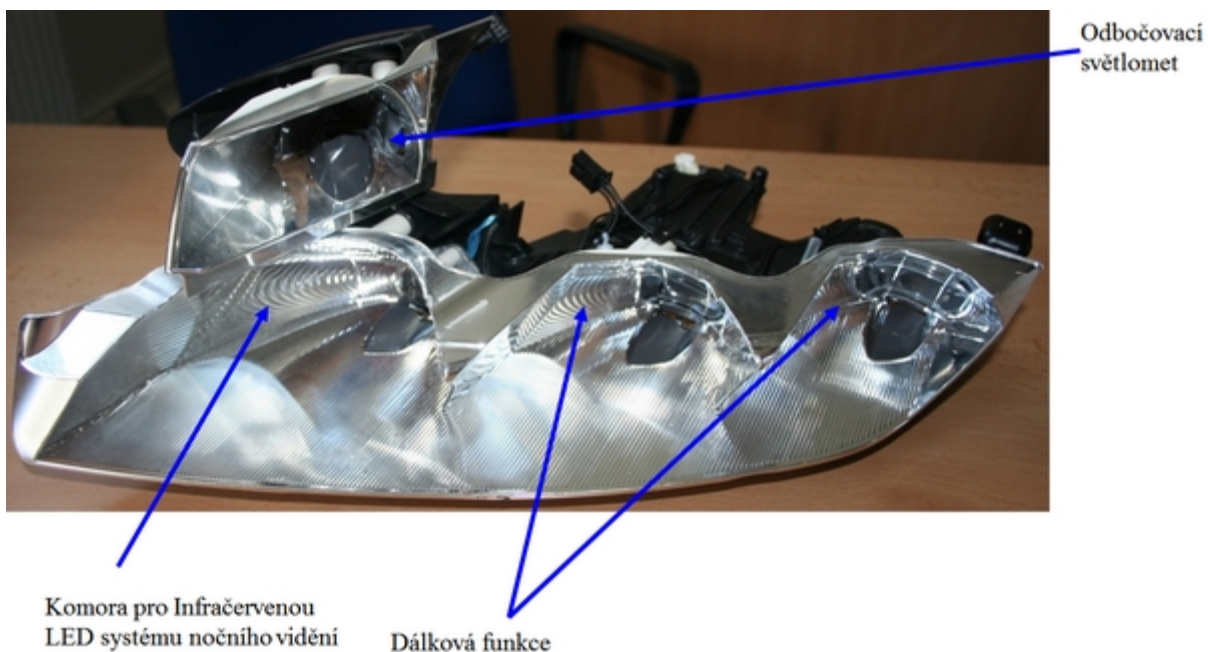
3.1.2 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ DÁLKOVÉ FUNKCE

Dálková funkce je tvořena třemi reflektorovými komorami (obr. 28), z nichž dvě jsou opatřeny jedním čtyř-čipem LED, a zbylá je určena pro infračervenou kameru snímající dění před vozidlem. Kamera vytváří asistenční systém dálkové funkce, a v případě nutnosti je schopna ji zapnout nebo vypnout v závislosti na hustotě provozu před vozidlem. Další předností tohoto citlivého zařízení je informování řidiče prostřednictvím obrazovky na přístrojové desce vozidla. Díky tomuto bezpečnostnímu prvku dálkové funkce je řidič informován o výskytu překážek před vozidlem daleko dříve, než je jeho zraková soustava schopna tyto překážky rozpoznat. Tato skutečnost zahrnuje dva aspekty, a to ty, že se bezesporu jedná o komfortní a zároveň bezpečnostní prvek dálkové funkce.

Poslední zmiňovaná reflektorová komora je tvořena odražečem (obr. 27), vhodným pro přenos infračerveného záření. Jako zdroje v této komoře je použito deseti čipové (InfraRed) LED, kde čipy jsou uspořádány ve dvou řadách. Tato LED od výrobce OSTAR se vyznačuje velikostí vlnové délky, jež činí 850nm.

Každá LED je opatřena samostatným hliníkovým chladičem, na kterém je připevněna elektronika zajišťující potřebné napájení a regulaci výkonu. Nechybí taktéž soustava chladičích vzduchovodů pro zamezení vzniku degradace vlivem vysoké teploty. Princip chlazení a činnost chladičích prvků je identická s řešením u tlumené funkce.

Dále je k tomuto multifunkčnímu reflektoru dálkové funkce připevněn pokovený reflektor zajišťující funkci odbočovacího světla. Odbočovací světlo je umístěno nad dálkovou funkcí, a jako zdroje je použito taktéž dvou-čipové LED. Chlazení je zajištěno samostatným hliníkovým chladičem, jako tomu je u tlumené a dálkové funkce, načež chlazení je pasivní, tudíž chladič není připojen ke vzduchovodům. Způsob umístění a zapojení LED je identický s výše uvedenými funkcemi světloometu. Reflektor je k chladiči připevněn třemi šrouby. Samotná LED je zakryta přidavným dílem, který je připevněn k reflektoru. Odbočovací světlo zajišťuje boční osvětlení kolem vozidla a kooperuje s tlumenou funkcí za účelem vzniku homogenního světelného svazku. Je automaticky zapínáno pokud řidič odbočuje, případně projíždí blízko překážek. Tento systém je řízen parametry související s jízdou, zejména pak s: rychlostí, jíž se vozidlo pohybuje, úhlem natočení volantu a případným signálem spuštění směrového světla.



Obrázek 27: Izometrický pohled na dálkovou funkci s odbočovacím světlometem, zdroj: [vlastní]



Obrázek 28: Přední pohled na dálkovou funkci, zdroj: [vlastní]

3.1.3 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ DRL (DAYTIME RUNNING LIGHT) FUNKCE

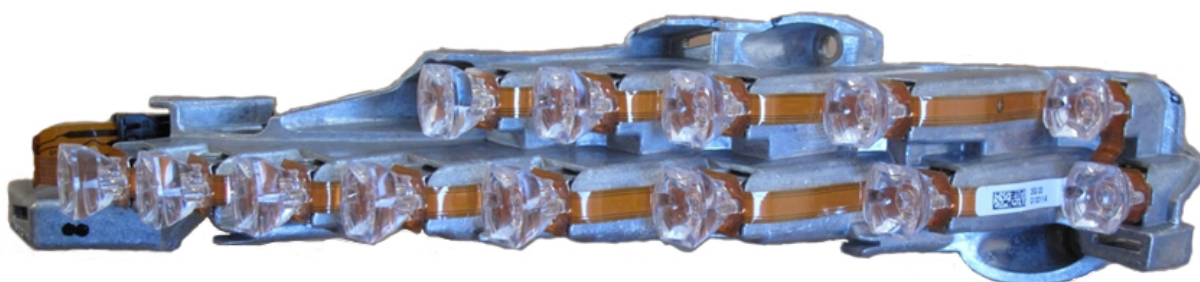
Funkce denního svícení je u tohoto vozidla řešena umístěním mimo vlastní světlomet. DRL funkce ve tvaru pásků je umístěna v předním nárazníku. Společnost Daimler začala počínaje třídou E používat v těchto svítlnách zdroje LED s označením Luxeon® Rebel od společnosti Philips Lumileds (obr. 29). Mimo jejich prvenství ve světelném výkonu, kvality světla a tepelné stability, bylo toto rozhodnutí ovlivněno také na základě jejich dosavadní důvěryhodné spolupráce. Tato použitá technologie umožňuje výrobcům automobilů vytvořit světelné moduly schopné zvýšit viditelnost, bezpečnost, a zároveň dosáhnout úspory energie.



Obrázek 29: Přední pohled na DRL funkci, zdroj: [30]

3.1.4 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ SMĚROVÉ FUNKCE

Obě signální funkce (směrová i poziční) tohoto světlometu jsou tvořeny nízko výkonovými LED. Směrová funkce, nacházející se v horním rohu, obsahuje 13 diod, každou o výkonu 1 Watt.

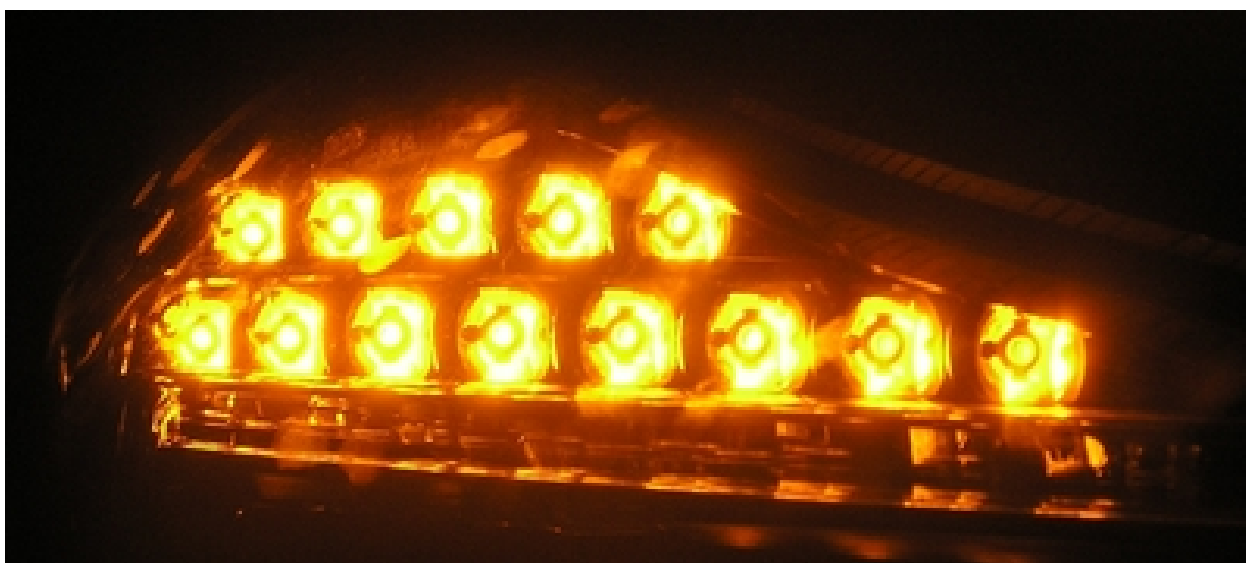


Obrázek 30: Konstrukční řešení směrové funkce, zdroj: [vlastní]

LED jsou umístěny na hliníkovém chladiči, jehož tvar se odvíjí od prostorového rozložení jednotlivých LED (obr. 30). Vyzařující oranžové světlo je přes polykarbonátové kolimátory usměrňováno, za účelem vytvoření požadovaného svazku odpovídajícího legislativě EHK. Kolimátory jsou spolu s LED (připájenou na tištěném spoji) připevněny na ocelovém držáku, který je dále upevněn na chladiči. Celý tento komplex je vsazen do plastového rámu, který dá vyniknout jednotlivým kolimátorům, které se podílejí na celkovém designu charakteristickém pro tento světlomet. Celý tento modul je připevněn k housingu třemi šrouby (obr. 31).



Obrázek 31: Umístění směrové funkce v housingu světlometu, zdroj: [vlastní]



Obrázek 32: Vizuální vzhled rozsvícené směrové funkce, zdroj: [vlastní]

3.2 LED SVĚTLOMET VOZIDLA AUDI A8

Tento FULL-LED světlomet (obr. 34) vyrobený společností Hella Autotechnik využívá stylistické kontury světelných funkcí, jež se staly charakteristickým poznávacím znakem těchto vozidel. Pro jejich specifické křivky světelných funkcí je možno snadno rozeznat tyto vozy od ostatních nejen v noci. Díky této revoluční optice došlo k odklonu od rozměrných konvenčních trubkových světelných modulů, které je možno vidět na většině dnešních světlometů. [32]



Obrázek 33: Vůz AUDI A8 roku 2011 s FULL-LED světlomety, zdroj: [18]



Obrázek 34: Izometrický pohled na FULL-LED světlomet AUDI A8 roku 2011, zdroj: [32]

Tento světlomet je označován za inteligentní z důvodu jeho nepřetržité kooperace s řídicí jednotkou vozidla a celkovému přizpůsobení se jízdě situaci a potřebám řidiče. Světlomet je také opatřen senzory snímajícími počasí a světlo, díky nimž je schopen se adekvátně přizpůsobit jízdě situaci. Stejně tak je schopen plně zpracovávat a využívat informace z vestavěného navigačního systému, díky němuž je světlomet schopen pomocí dat z interních 3D map předpovídat náročnost terénu, a přizpůsobit tak v předstihu potřebné osvětlení. Jako příklad lze uvést automatickou aktivaci městského režimu, kdy řidič vjede do obydlené oblasti, a naopak dálničního režimu, kdy vozidlo jede po dálnici. Ovládání všech světelných funkcí světlometu je dosaženo přepínáním jednotlivých LED bez jakéhokoli mechanického pohybu. Například při jízdě v nepříznivých podmínkách světlomet zabraňuje oslnění řidiče od možných odrazů mlhy nebo deště, v nichž se jedoucí vozidlo nachází. Pro maximální osvětlení vozovky při maximální bezpečnosti během jízdy je světlomet doplněn o „cestovní režim“. Jednotlivým zapínáním, případně vypínáním jednotlivých LED je vyřešena otázka



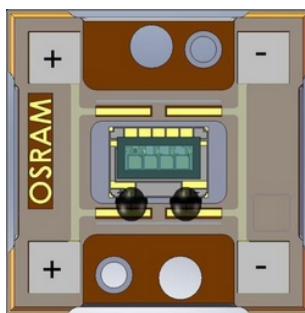
spojená s jízdou v pravostranném či levostranném provozu, a to vše v rámci předepsaných legislativ týkajících se světelného rozložení. [18]

V této nové verzi Audi A8 roku výroby 2011 (obr. 33) je jako zdrojů použito čipů společnosti OSRAM Opto Semiconductors (obr. 35), které jsou zodpovědné za veškeré světelné funkce tohoto adaptivního FULL-LED světlometu. Bez ohledu na účinnost jsou tyto LED specifické svou vysokou životností. Použitá platforma LED společnosti OSRAM také prokázala značnou energetickou úsporu. Tyto zdroje se vyznačují osvětlením vozovky s dokonalým rozlišením bez oslnění ostatních účastníků silničního provozu. Vyzařované světlo je podobné dennímu, což zvyšuje vnímání kontrastu. V periferním zorném poli, tj. v místech výskytu chodců, zvířat, případně špatně viditelných vozidel, je mnohem snazší tyto objekty rozpoznat bílým světlem charakteristickým pro tyto LED. Světlometry tohoto vozu se vyznačují barevnou teplotou, která je podobná dennímu světlu, díky tomu nejsou oči řidiče tolik namáhány. Díky této skutečnosti má tato technologie vysoký potenciál v zabránění dopravních nehod v noci. [14,15]

Světlomet se skládá přibližně z 320-ti kusů, kde počet spojovacích součástí, zejména šroubů, činí 140kusů. Ve světlometu je použito 57 diod, kterými je dosaženo veškerých světelných funkcí světlometu. [32]

Použitím LED v osvětlení vozidel se otevírají nové možnosti v porovnání s doposud používanými konvenčními řešeními osvětlení, čehož společnost Audi využívá právě již zmiňovanými charakteristickými prvky světelných funkcí. Použitím této technologie u třídy takových vozů je velice pozitivní úspora energie, která se bezesporu promítne ve snížení spotřeby paliva a také emisí oxidu uhličitého. Za další pozitivní vlastnost se dá považovat skutečnost, že světlometry s tímto systémem mají dlouhodobou životnost, která je v krajním případě srovnatelná s životností automobilu, a šetří majiteli náklady za případnou opravu. [14,15,18]

Světlometry na bázi zdrojů OSTAR nabízejí ve své platformě až pěti čipové LED. Tento inovativní proces poskytuje bezproblémový barevný vjem při maximální úrovni jasu. Pro každý čip je charakteristickou hodnotou světelného toku 160lm při 700mA. Případnou změnou proudu je možno dosáhnout hodnot v rozmezí 125-1100lm. Díky škálovatelnému jasu jsou tyto OSTAR čipy vhodné pro dálkovou, potkávací, denní, směrovou funkci a také pro mlhové, případně odbočovací světlo. Světlomet je řízen elektronicky a kooperuje s řídicí jednotkou, což umožňuje přimět světlomet k tomu, aby svítil pouze tam, kde je potřeba. Toho se plnohodnotně využívá například při adaptivním osvětlení zatáček, případně u zamezení osvětlení protijedoucích vozidel. Dalším využitím tohoto systému je v současnosti stále se vyvíjející a diskutovaná technologie pixelových světlometů. [18]



Obrázek 35: Čtyř čipový zdroj OSTAR, zdroj: [28]



3.2.1 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ TLUMENÉ FUNKCE

Tlumená funkce je tvořena čtyřmi moduly o celkovém počtu deseti LED (obr. 36). Každý modul vytváří určitou oblast světelného rozložení. Prvotním podkladem je tzv. rozptyl a na něj je dále přidána oblast základního rozložení. Zbývající moduly vytvářejí hranici rozsahu a také oblast nejintenzivnějšího osvětlení. Spojením těchto čtyř oblastí dojde k vytvoření celkového světelného svazku a vytvoření požadované hranice. Moduly se skládají z plastových čoček uspořádaných do tvarové kontury označované jako „křídlo“, vytvářející charakteristický vzhled celého světlometu. Většina prvků tlumené funkce, zejména krycí rámeček čoček, je z polykarbonátového materiálu. Výjimku tvoří chladič nesoucí čipy, jenž je vyroben z hliníku. Chlazení je aktivní, světlomet je vybaven dvěma ventilátory, jež pomocí průduchů chladí a odvádí teplo ze světlometu. [14,15,32]



Obrázek 36: Pohled na rozsvícenou tlumenou funkci, zdroj: [20]

3.2.2 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ DÁLKOVÉ FUNKCE

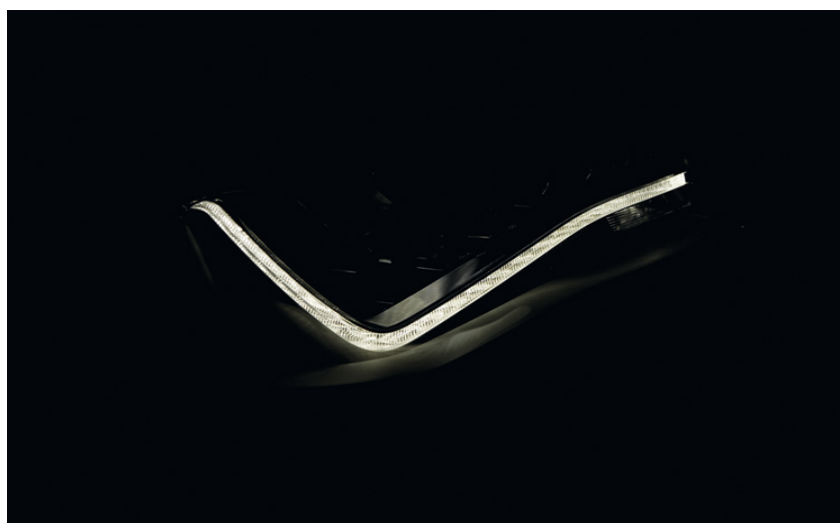
Dálková funkce je tvořena obdobně jako u vozidla Mercedes Benz CLS třemi reflektorovými komorami, kdy mohou současně svítit buď dvě blíže vnějšímu kraji světlometu nebo zbylá třetí samostatně (obr. 37). V obou případech je možná kombinace s tlumenou funkcí. Dálková funkce je také vybavena světelnou houkačkou určenou pro informování ostatních účastníků silničního provozu, případně odvrácení hrozícího nebezpečí. Jako zdroje každé komory je použito čtyř čipové LED, která je umístěna v horní části a jejich světlo je díky pokoveným reflektorům směřováno do požadovaných míst. Jelikož se jedná o světlomet se statickými světelnými funkcemi, adaptivního natáčení světla je dosaženo elektronicky, a to změnou regulace výkonu za současného vypínání, případně zapínání jednotlivých LED. Díky tomuto řešení není ve světlometu potřeba dalších přídatných mechanických prvků. Před dálkovou funkcí je polymerové čiré krycí sklo. [14,32]



Obrázek 37: Pohled na rozsvícenou dálkovou funkci, zdroj: [23]

3.2.3 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ DRL (DAYTIME RUNNING LIGHT) FUNKCE

Funkce pro denní svícení je tvořena tlustostěnnou optikou zvanou též světlovod. Tento plastový prvek je tvořen z jednoho výlisku. Mimo DRL slouží tento světlovod také jako směrová a poziční svítidla. Světlovody pro přenos světla využívají jeho totálního odrazu na rozhraní dvou prostředí s odlišnými indexy lomu. Prostředími se rozumí vlákno a povlak. Charakteristika vedení světla je závislá na velikosti vlákna, jeho konstrukci a vlnové délce zavedeného světla. Světlo se šíří uspořádaně v tzv. videch, pro jednodušší představu v paprscích. Polykarbonátový díl DRL funkce je opatřen dvaadvaceti LED, z nichž každá je opatřena integrovaným chladičem. Díky tlustostěnné optice a dostatečnému počtu LED je při pohledu z větších vzdáleností dosaženo homogenního vzhledu připomínající světelné pásy (obr. 38). [14,32]

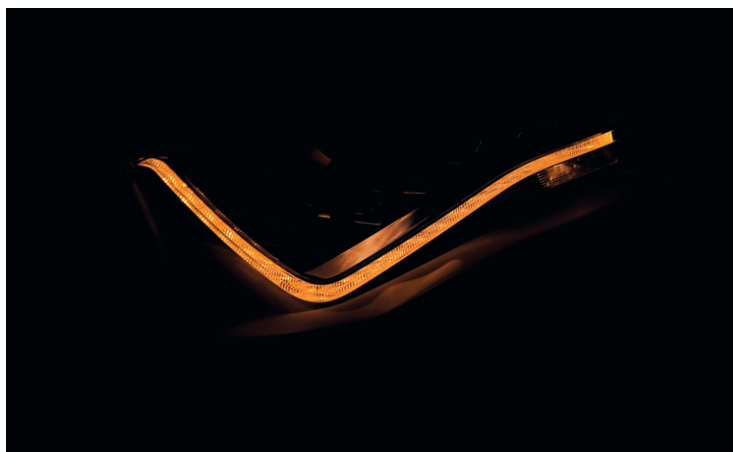


Obrázek 38: Vizuální vzhled rozsvícené DRL funkce, zdroj: [29]



3.2.4 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ SMĚROVÉ FUNKCE

Směrová funkce je elegantně řešena v rámci funkce DRL. Je použito identické tlustostěnné optiky, která je opatřena dvaadvaceti oranžovými LED (obr. 39). Směrová a také ostatní funkce světlometu jsou chlazeny soustavou průduchů se dvěma radiálními ventilátory. [14]



Obrázek 39: Vizuální vzhled rozsvícené směrové funkce, zdroj: [29]



4 TEPELNÝ MANAGEMENT

Tato kapitola se zabývá problematikou chlazení světlometů využívajících LED technologii. Jsou zde podrobněji rozvedeny možné způsoby chlazení, jenž se v současné době využívají. Jednotlivé varianty jsou doplněny obrázky spolu s výsledky provedených experimentů.

4.1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY TEPELNÉHO MANAGEMENTU³

Jedním z hlavních důvodů použití LED technologie ve světlometech je jejich výhoda zejména v univerzálnosti a dlouhodobé spolehlivosti. Pro vývoj spolehlivého systému je třeba zohlednit několik aspektů týkajících se především designu funkčních světelných modulů a konstrukčních řešení housingu obsahujících veškeré komponenty světlometu. Spolehlivost těchto systémů je chápána pouze v kontextu s poruchami spojenými s tepelnou degradací diod, jejich izolačních vrstev, mechanických a elektrických spojů, zejména pak spojů pájených.

Na celkovou životnost LED, dominantní vlnovou délku a další klíčové prvky ovlivňující světelné parametry, má zásadní vliv přechodová teplota, která je měřena v místě, kde je vlastní dioda připevněna v nosné podložce. Proto je snahou udržet tuto teplotu co nejmenší z důvodu dosažení co možno nejvýkonnějšího zdroje světla s vysokou životností. Obecně se dá říci, že funkce diody nekončí její destrukcí, nýbrž však nastavením funkční hranice odpovídající určitému procentuálnímu poklesu původního světelného výkonu.

Uvolněné teplo má negativní dopad na šíření světla skrze polymerové čočky, zejména však na účinnost a životnost luminiscenčních systémů používaných v LED. Vzhledem k této skutečnosti je velmi důležité zajistit odvod vzniklého tepla skrze vhodně tvarované chladiče z vodivých materiálů v kombinaci s jejich tepelným řízením. Pro lepší odvod tepla jsou čipy umístěny na desky plošných spojů s kovovým jádrem, známé pod anglickou zkratkou (Metal Core Printed Circuit Board).

Pro zjištění modelové přechodové teploty se nabízí užití několika přístupů. Jedná se zejména o měření napětí elektrického proudu v propustném směru, dominantních vlnových délek, případně použitím méně přesných termočlánků. Pro reálnou informaci o přechodové teplotě je tento měřicí model nutno doplnit o výsledky dosažené u experimentálního měření.

Materiály s vyšší tepelnou vodivostí vykazují nižší tepelné odpory, které jsou doprovázeny nižšími přechodovými teplotami, tudíž přispívají k vyšší spolehlivosti LED. Spolu s příznivým dopadem na životní prostředí se zde řeší otázka standardizace materiálů chladičů vykazující vysokou tepelnou vodivost, jež se podílejí na celkové teplotní bilanci.

Volba chladičového systému je závislá na prostorách uvnitř světlometu ovlivňující cirkulaci vzduchu a tepelné sálání. V podstatě lze chladičový systém světlometů kategorizovat do čtyř základních typů. Z konstrukčního hlediska nejjednodušším se jeví použití pasivního chladiče fungujícího na principu přirozeného proudění vzduchu. Doplněním pasivního chladiče o

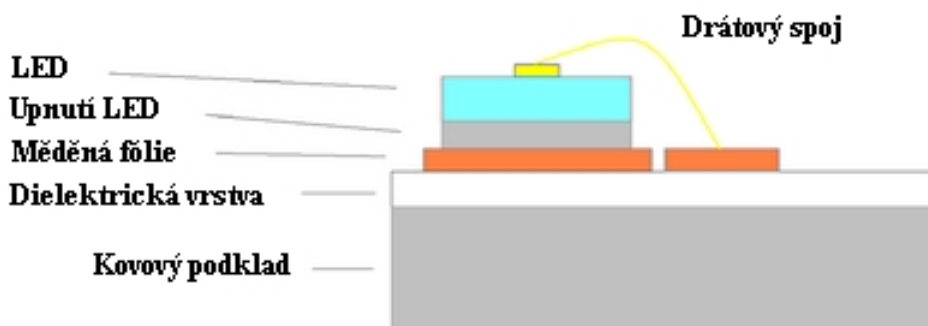
³ Kapitola 4.1 zpracována ze zdroje: [9]



přídavný ventilátor je dosaženo aktivního chladiče. Další možnou variantou je použití chladicích destiček fungujících na bázi proudění chladicího kapalného média, případně chlazení tepelnou trubicí. Poslední dva zmiňované způsoby vykazují lepší chladicí výkony, než předchozí dvě řešení. Vyšší efektivita těchto chladicích systému s sebou přináší jisté vyšší požadavky v jejich provedení. Jedná se zejména o nutnost přídavných zařízení a dostatek místa pro jejich umístění, což mnohdy z hlediska prostorového omezení není možné realizovat. Vzhledem k těmto skutečnostem se pro jejich snadnější realizaci upřednostňují systémy aktivního, případně pasivního chlazení.

4.2 VARIANTY UPEVNĚNÍ ČIPŮ⁴

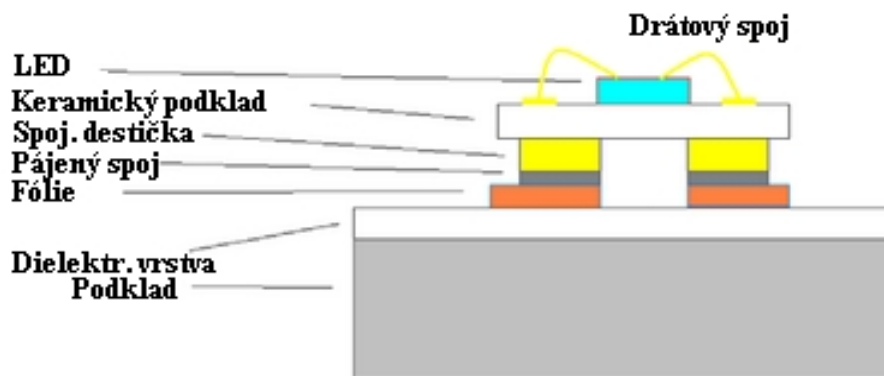
Existuje několik možností upevnění čipů pro vyřešení otázek spojených s odvodem tepla. Jednou z možností je varianta Chip On Board (obr. 40), kde je pokovená dioda přímo upevněna k měděné fólii, a to buď pájením pomocí cínu a olova, případně přilepením speciálními lepidly. Potřebné přípojné napájecí konektory jsou vyvedeny drátky na základovou desku. Kritickými faktory spolehlivosti jsou v tomto případě závislost na teplotě diody a míra spolehlivosti provedení kabelového svazku.



Obrázek 40: První varianta upevnění čipů, zdroj: [9]

Další variantou (obr. 41) je umístění čipu na kovový, případně keramický chladič zajišťující odvod tepla. Napájecí drátky jsou zpravidla vedeny skrze vnější kryt do míst na základní desce, kde jsou vyvedeny napájecí konektory. Tento způsob řešení je v porovnání s variantou čipu připojeného na desku doprovázen vyšším tepelným odporem, navíc v některých případech je nutno brát v potaz spolehlivost pájeného spoje, jímž je čip připojen k základové desce. Na druhou stranu je provedení této varianty jednodušší.

⁴ Kapitola 4.2 zpracována ze zdroje: [9]



Obrázek 41: Druhá varianta upevnění čipů, zdroj: [9]

4.3 PASIVNÍ A AKTIVNÍ CHLAZENÍ⁵

V počátcích výroby LED technologie byly nejvýkonnější zdroje, které mohly konkurovat halogenovým žárovkám, schopné přeměnit pouze 15% výkonu na světlo a zbylých 85% se uvolnilo ve formě tepla, které nepříznivě ovlivňuje jejich životnost.

Při zkoumání tepelných bilancí bylo zjištěno, že na teplotu LED má velký podíl teplo uvolněné z motorové části vozidla. Proto se řešila otázka navržení takového systému, který by tento problém vyřešil. Korelačními metodami byly zjišťovány velikosti chladičů spolu s návrhem ideálních tvarů jejich žebër, ačkoli tento přístup nezajišťoval optimální chladicí systém, jenž by řešil otázku snižování výkonu vlivem zvyšujících se teplot. Na základě provedených studií byly odvozeny korelace mezi různými velikostmi chladičů a chladicích výkonů v závislosti na změně hustoty proudění vzduchu přidavným chladičem.

Byla provedena analýza, v níž byly v první fázi provedeny simulace změn teplot vzniklé odebráním ventilátoru standardního chladiče a následných změn velikostí chladiče, aby bylo dosaženo oblastí použitelnosti pasivních chladičů. Následně byla vytvořena simulace změn teplot regulací výkonu za současného proudění vzduchu z ventilátoru pro posouzení změn přechodové teploty LED.

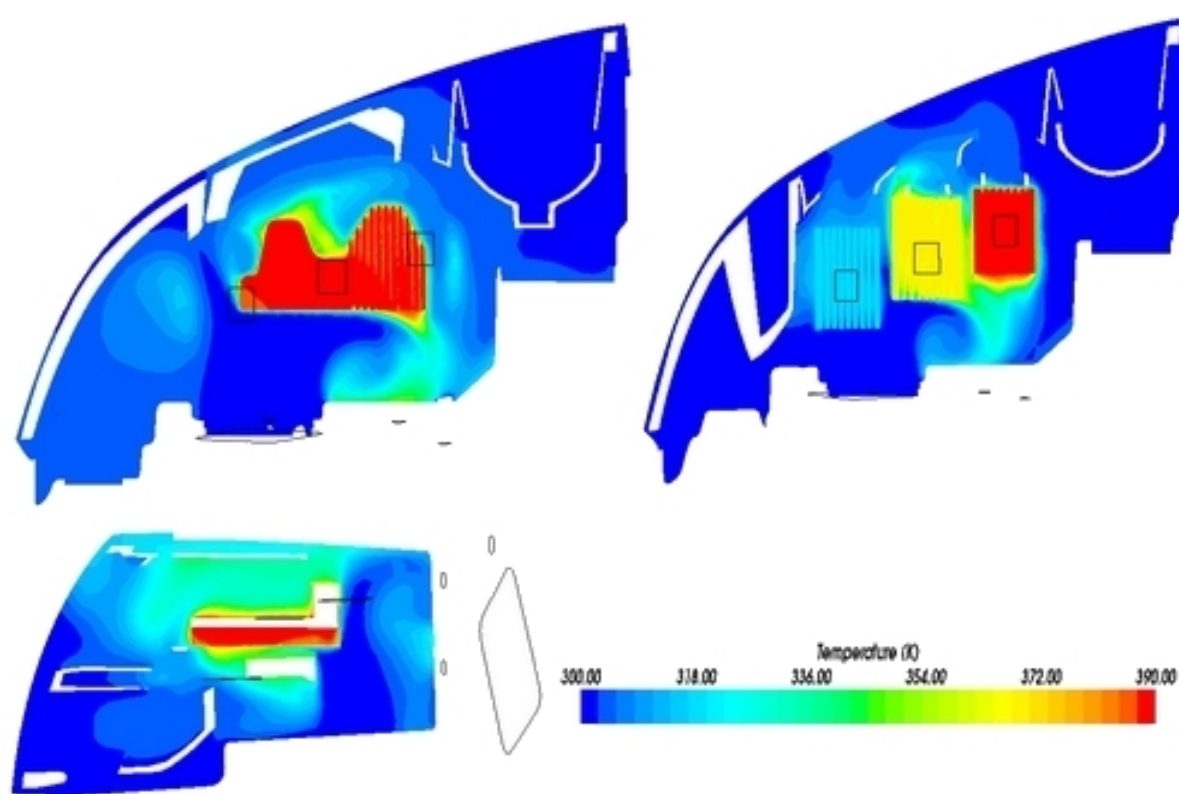
Analýza byla provedena na modelu, jenž se z 90-ti procent přibližuje komerčním světlometům, kde výsledky byly porovnávány s výsledky experimentálního měření. Porovnávaný komerční světlomet obsahoval 5 LED modulů s chladičem a dvě halogenové žárovky s reflektorem, kde všechny tyto prvky byly uzavřeny v housingu světlometu. Jednotlivé LED moduly byly dodány výrobcem Philips a jejich chlazení bylo zajištěno ventilátorem.

⁵ Kapitola 4.3 zpracována ze zdroje: [7]

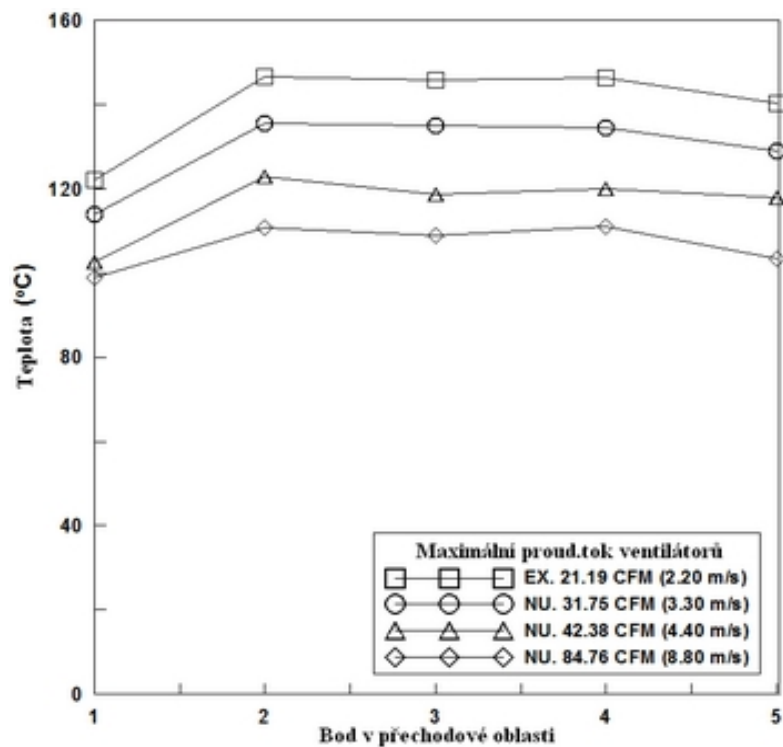


K analýze turbulentního proudění v LED světlometu bylo užito modelu, jenž zohledňoval otázku vztlaku zajišťujícího přenos tepelného záření přirozenou konvekcí. Nucené konvekce bylo dosaženo přidavným ventilátorem. Simulace spočívala v nastavení podmínek, jež měly zohlednit reálnou jízdní situaci určitými aspekty. Teplota přiváděného vzduchu ventilátorem odpovídala teplotě motorové části vozidla, a to 88°C. Rychlost přiváděného vzduchu byla homogenní a dopadající tepelný tok na kontaktní povrch také.

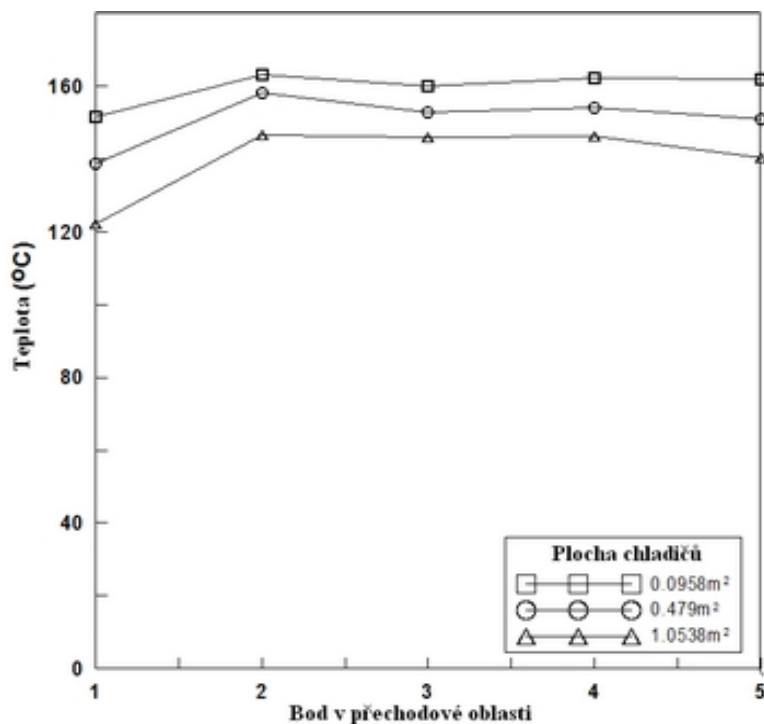
Cílem této analýzy bylo především zjistit velikost teplem ovlivněné oblasti, ve které bude dosaženo přechodové teploty 130°C interpretací teploty na různých velikostech pasivních chladičů (obr. 44). Dalším důležitým krokem byla snaha najít korelaci mezi rychlostmi proudění vzduchu ventilátoru a jednotlivými teplotami přechodových oblastí (obr. 43).



Obrázek 42: Tepelně ovlivněná místa housingu, zdroj: [7]



Obrázek 43: Grafická interpretace výsledků experimentu s použitím aktivních chladičů, zdroj: [7]

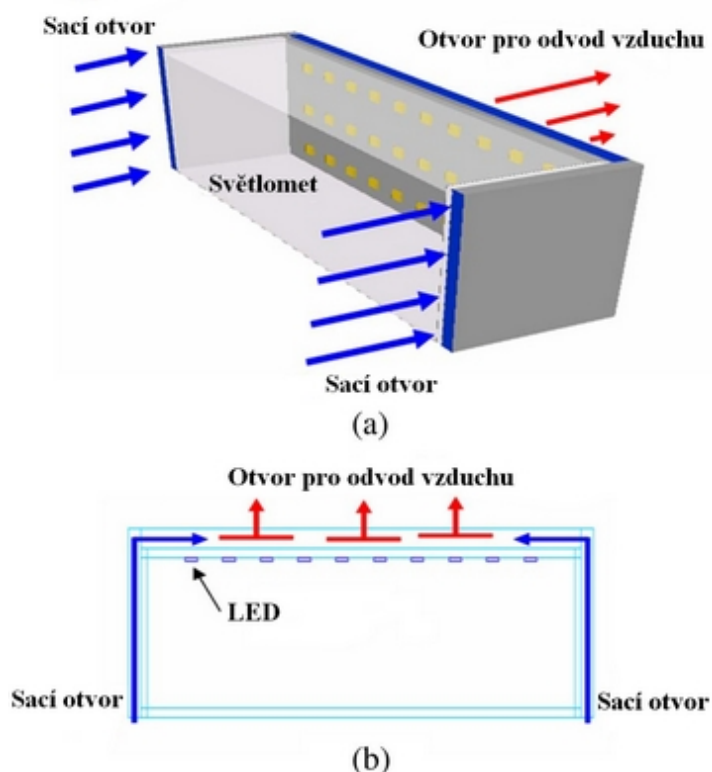


Obrázek 44: Grafická interpretace výsledků experimentu s použitím pasivních chladičů, zdroj: [7]



4.4 SYSTÉM NAVRŽENÝ PRO CHLAZENÍ LED POLÍ⁶

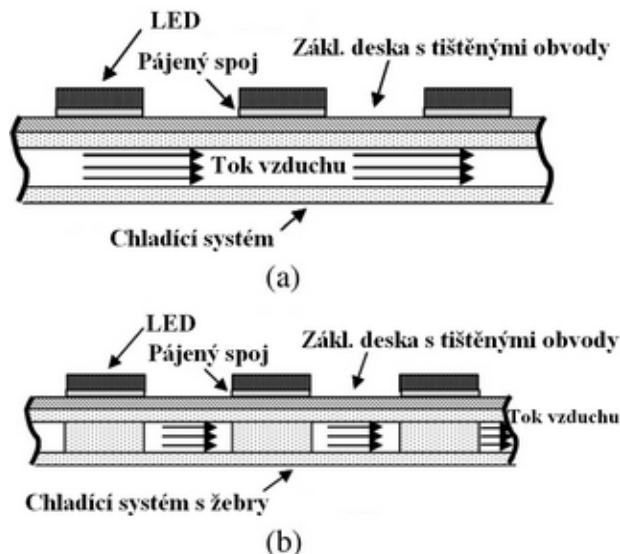
Navržený systém (obr. 45), jenž funguje na principu relativního pohybu okolního vzduchu obtékající jedoucí automobil, se stal možnou variantou v chlazení světlometů za účelem zvýšení jeho ochrany a spolehlivosti. Vzduch, který chceme chladit, vstupuje sacími otvory umístěnými na bocích modulu světlometu. Protékající ohřátý vzduch opouští modul světlometu zadní stěnou. Je zřejmé, že funkční schopnost tohoto systému je závislá na rychlosti jízdy automobilu. Vzhledem k této skutečnosti byla provedena termická analýza s proudícím vzduchem, jehož rozsah byl 0 až 120 km/h. Chladicí kanály byly v první fázi simulovány bez přídavných žebér, v následných měřeních byly doplněny.



Obrázek 45: Izometrický pohled (a) a pohled shora (b) na chladicí systém, zdroj: [17]

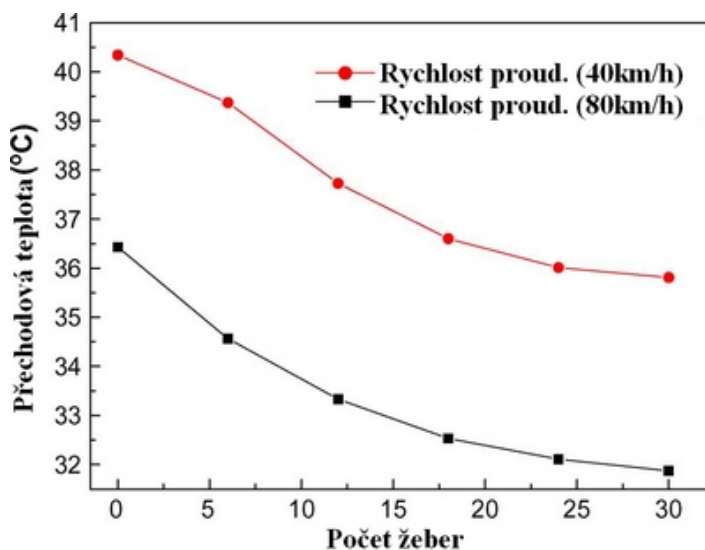
Efektivita konstrukční varianty s použitím přídavných žebér byla zkoumána na modelu, jehož velikosti žebér odpovídaly velikostem čipů (obr. 46). Pro jednodušší technologii výroby hlavního tělesa chladiče bylo použito hliníku, jehož tepelná vodivost byla jedním z důležitých aspektů při jeho volbě.

⁶ Kapitola 4.4 zpracována ze zdroje: [17]

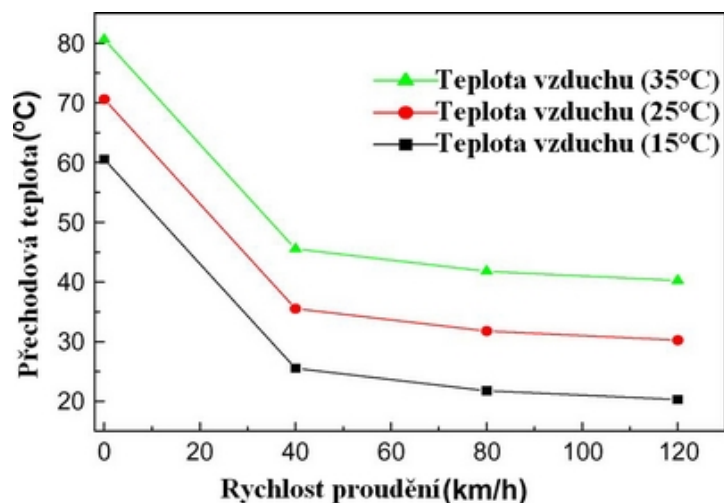


Obrázek 46: Konstrukční varianta chlazení (a) bez žebry, (b) s žebry, zdroj: [17]

Následnou analýzou tohoto systému bylo zjištěno, že vyzařované teplo LED polí lze efektivně chladit, respektive odvádět za pomoci cirkulujícího vzduchu. Míra výkonnosti chlazení byla zkoumána při okolních teplotách vzduchu 15, 25 a 35°C (obr. 48). Příkon pole složeného ze 30-ti čipů o velikosti 1cm² byl 30 Wattů, což představuje 1W/čip. Rozmístění jednotlivých čipů bylo realizováno tak, aby se vzájemně neovlivňovaly. Z grafické interpretace je patrné, že v každé oblasti jsou odlišné teploty. Všechny parametry, jež byly zahrnuty do měření termické analýzy odpovídají hodnotám vyskytujícím se u skutečných zařízení. Z výsledků simulace byla na základě klíčových aspektů, kterými jsou účinnost přídavných žebry, potřebná rychlost proudícího vzduchu a velikost okolní teploty, vynaložena snaha dosáhnout maximálního vstupního výkonu.

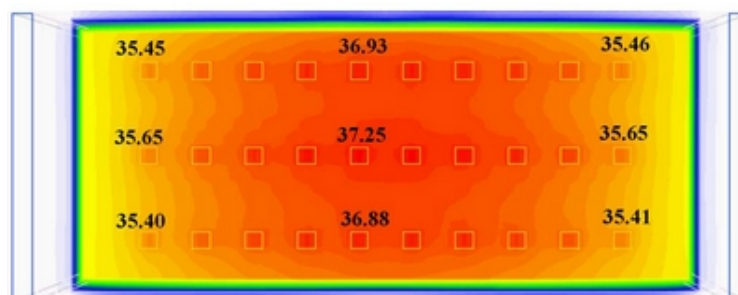


Obrázek 47: Grafická závislost velikosti přechodové teploty na počtu žebry, zdroj: [17]

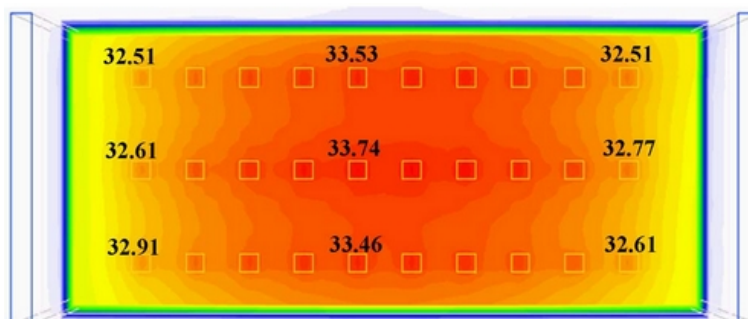


Obrázek 48: Grafická závislost velikosti přechodové teploty na rychlosti proudícího vzduchu, zdroj: [17]

Vlivem nesterjnoměrné rychlostí proudícího vzduchu byla teplota ve středu pole přibližně o 2°C vyšší než na krajích, ačkoli díky rychlosti vzduchu 80km/h a použití tepelně vodivého hliníku se provozní teplota pohybovala stále v nízkých hodnotách (obr. 50).



Obrázek 49: Teploty LED konstrukční varianty bez použití žeběr, zdroj: [17]



Obrázek 50: Teploty LED konstrukční varianty s použitím žeběr, zdroj: [17]

Nejvyšší teplota měřené konstrukční varianty chladiče s žebry byla o 4°C nižší, než varianta bez nich. Díky žebřům došlo ke zdokonalení proudění vzduchu, což snížilo tepelné rozdíly mezi okraji a středem pole. Tato zjištění napomohla k dosažení výsledku, podle



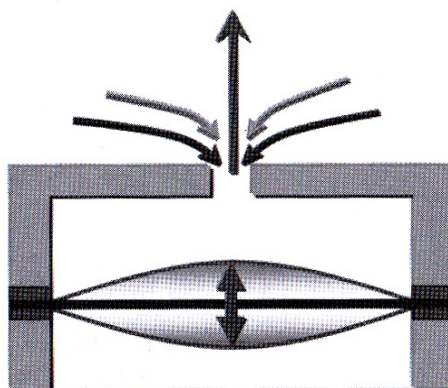
kterého by varianta s žebry mohla vytvořit stabilnější chladicí systém. Byla provedena měření přechodové teploty v závislosti na počtu chladicích žeber při konstantních rychlostech vzduchu 40 a 80 km/h (obr. 47). Z grafu je patrné, že ke snížení teploty došlo pouze zvýšením počtu žeber bez ohledu na rychlost proudění vzduchu, z čehož lze usoudit, že právě tato varianta vychází z modelu lépe.

4.5 CHLAZENÍ SYNTETIZOVANÝMI PROUDY⁷

Tepelné ztráty jsou odváděny tepelně vodivými prvky světloometu. Jedním z požadavků na chladiče je schopnost odvést tepelný tok o velikosti 1 mil. W/m². Vysoce výkonné LED, jež se používají jako zdroje dálkového, či tlumeného světla obecně vyžadují aktivního chlazení s radiálními nebo axiálními ventilátory. Varianty uložení ventilátorů jsou voleny vzhledem ke konstrukčnímu provedení světloometu. Obecně platí, že axiální jsou použity tam, kde jsou vyžadovány velké rychlostní toky. Radiální ventilátory se vyznačují schopnostmi zvýšení tlaků, což umožňuje jejich použití v místech, kde je nutno zvýšit tlak pro dopravu vzduchu chladiči vykazujícími vyšší odpor při proudění média. Mezi další funkce ventilátoru též patří odvádění tepla z míst krycího skla světloometu, případně „odmrazování“ a odmlžování čočky. Na druhou stranu pohyblivé části zejména radiálních ventilátorů jsou hlučné a jsou energeticky náročné. Proto vznikla myšlenka náhrady konvenčních ventilátorů dosud neznámým systémem fungujícím na bázi syntetizovaného proudu.

Princip spočívá v periodických pulzacích membrány umístěné v kavitě (akčním členu) s otvorem vystupujícím do okolí, jež slouží k vytvoření kruhového paprsku. Pohybem membrány do dolní úvrati vzniká podtlak, díky němuž je vzduch nasán do kavity. Pohybem membrány do horní úvrati je médium vyfukováno otvorem ven (obr. 51). Třebaže v otvoru samotném je časově střední průtok nulový, může posloupnost výfuků v dostatečně velké vzdálenosti od otvoru způsobovat nenulový proud, který je takto „syntetizován“ z periodických pulzací. Konstrukční řešení se mohou nepatrně lišit, ale principiálně fungují stejně. Generátor pulzací může pracovat na bázi reproduktoru, pístu či jiného zařízení. Obecně se dá toto zařízení definovat rozměrovými a funkčními parametry, jež vyžadujeme. Z konstrukčního hlediska je důležitý poměr pracovního zdvihu a průměru sacího, respektive výfukového otvoru. Dalším parametrem je hodnota Reynoldsova čísla, jež se odvíjí od zdvihu, periody cyklu, průměru otvoru a kinematické viskozity. Optimální variantu konstrukčního řešení celého budicího členu je důležité volit s ohledem na předpokládaný rozsah pracovních frekvencí, pracovní teploty, druh pracovního média a požadovaný výkon zařízení.

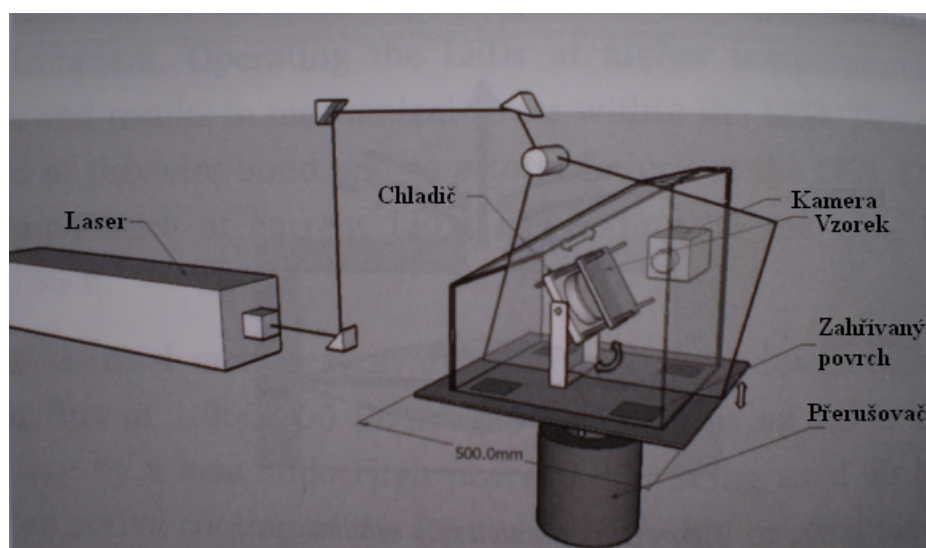
⁷ Kapitola 4.5 zpracována ze zdroje: [5]



Obrázek 51: Schéma principu chlazení syntetizovanými proudy, zdroj: [5]

4.5.1 KONCEPČNÍ NÁVRH SPOLEČNOSTI AUDI

Společnost Audi, představující jednu z nejvýznamnějších automobilových velmocí, chtěla na svých vozech s LED světlomety vyvinout takový systém chlazení, jenž by nahrazoval dosud známé konvenční metody chlazení. Jako první krok vytvořili výpočetní a experimentální simulaci, jejímž obsahem bylo podrobné sledování dvou nových metod chlazení za využití syntetizovaného proudu. První metoda spočívala v použití volně šířícího se proudu, kdežto ve druhém případě byl směřován na plochu, jež měla reprezentovat LED s chladičem. Výsledek této simulace měl přiblížit princip šíření toku proudů a jejich účinnost v roli chladiče, a následně porovnat výsledek s experimentálním měřením (obr. 52). Jako zdroj světelného paprsku bylo použito čtyř Wattového argonového laseru. Pro následné vyhodnocení bylo použito vysokorychlostní kamery, která je schopná zachytit 638 snímků za sekundu. Měřený chladič byl umístěn v uzavřeném prostoru se vzduchem o teplotě okolí.



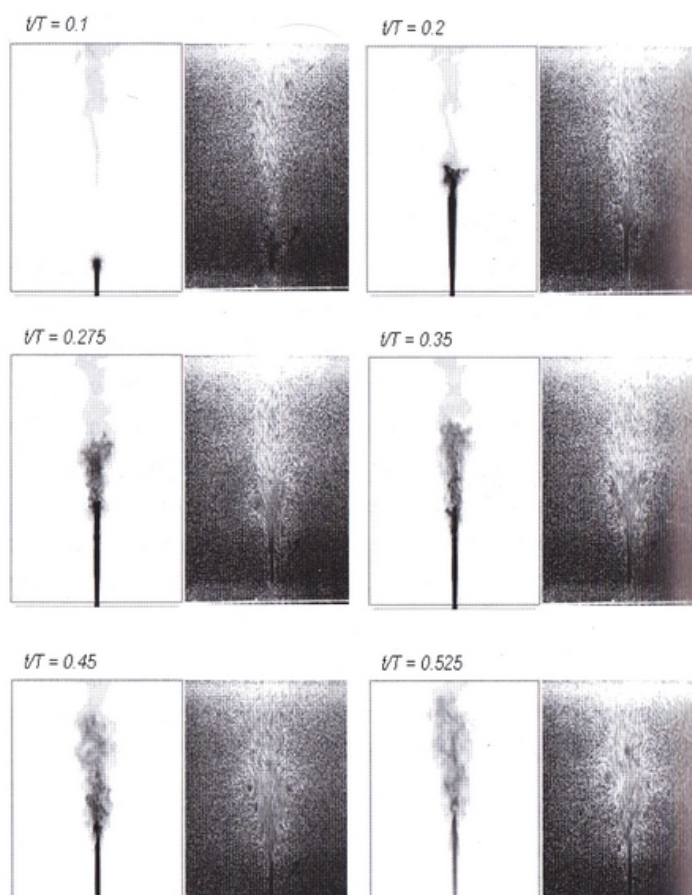
Obrázek 52: Schéma experimentálního měření, zdroj: [5]



Charakteristickými rozměry chladiče jsou: průměr otvoru trysky $d=1\text{mm}$, průměr kavity $D_c=38\text{mm}$ a průměr membrány $D=28,5\text{mm}$. Teplota pod měřenou destičkou byla udržována řídicím obvodem pomocí regulace napětí elektrického proudu na konstantní teplotě 70°C . Následnou korelací Ohmova zákona byla ošetřena skutečnost, že hodnota napájecí energie odpovídá chladicímu výkonu tohoto nekonvenčního systému.

Při zkoumání průtoku této konfigurace bylo na základě snímků pořízených z kamery zjištěno, že dynamika proudu v průběhu postupně přechází z laminárního k turbulentnímu proudění. Pomocí výpočetních programů byla získána hodnota Reynoldsova čísla, velikost poměru zdvihu a průměru otvoru trysky a rychlost proudění, jež byla cca 9m/s .

Následnou aplikací výsledků experimentálního měření na počítačový model byla taktéž zjištěna přítomnost turbulencí. Během nasávání vzduchu do pracovní komory chladiče došlo vlivem nárazu do bránice ke vzniku vírového prstence. Vírový prstenec byl v pracovním prostoru do chvíle, kdy byl z kavity vyfouknut otvorem ven. Těsně za otvorem proud téměř identicky kopíroval osu otvoru, ale s postupem času došlo k jeho zvíření. Ze simulace bylo zjištěno, že ke konci probíhajícího výfuku dochází k rozdělení proudu, což se podepsalo na vzniku výše zmiňovaných vírů (obr. 53).



Obrázek 53: Znárodnění výskytu turbulencí, zdroj: [5]



5 POROVNÁNÍ LED S JINÝMI TECHNOLOGIEMI⁸

Většinu předmětů, které nás obklopují, považuje širší veřejnost za samozřejmost. Přitom právě mnoho těchto součástí vzniklo díky zásadním technologickým vylepšením. Příkladem může být fakt, že přidáním jednoduchého šroubku nebo případnou změnou tvaru patřičného dílu došlo k vytvoření znatelné inovace, která se určitou dobu poté stala základem pro mnohé pokročilejší projekty. Stejně tak tomu bylo i u světlometů automobilů.

Ačkoli jsou světlometry nedílnou součástí automobilu, málo lidí opravdu ví o jejich vývoji přes acetylenové lampy vyrobené v roce 1880 k velmi složitým dnes používaným LED sestavám. Výrobci světlometů neustále pracují na nových nápadech, které by mohly posunout jejich vývojový proces o něco dále a porazit tak konkurenci.

Vývoj konstrukce světlometů prošel třemi zásadními etapami. Postup vývoje je brán v souvislosti s použitým druhem technologie zdroje světla.

5.1 HALOGENOVÉ SVĚTLOMETY

Halogenové světlometry (obr. 55) se staly pro jejich poměrně vysokou životnost velice oblíbené a používané. V zásadě halogenová žárovka (obr. 54) má za normálních podmínek životnost přibližně 1000 hodin. Dalším aspektem je fakt, že cena náhradních dílů halogenového světlometu je poměrně nízká. Přesto se halogenové žárovky staly pro většinu výrobců automobilů až druhotnou volbou z důvodu jejich nepřilíš vysoké účinnosti.

Samotná žárovka je vyrobená ze skleněného obalu schopného odolávat vysokým teplotám. Uvnitř je wolframové vlákno v prostředí argonu a dusíku. K tomu, aby bylo vytvořeno světlo viditelné pro lidské oko, je třeba dodat žárovce elektrickou energii, která ohřeje wolframové vlákno na teplotu přibližně 2500°C.

Jeden ze zásadních problémů je ten, že při svícení žárovka vyzařuje velké množství tepla což svým způsobem představuje formu plýtvání energií.

S blížícím se koncem životnosti halogenové žárovky dojde k tomu, že se wolfram pokrývající vlákno začne vypařovat a jeho spojením se sklem žárovky dojde k jejímu spálení.

Další nepříznivou vlastností halogenové žárovky je její reakce vůči ostatním látkám. Typickým příkladem je výměna vadné žárovky ve světlometu. Při tomto úkonu je striktně doporučeno použít rukavice, aby nedošlo ke kontaktu mastné kůže se sklem žárovky. Slaný pot a mastnota kůže může mít pro žárovku destruktivní důsledek, který je doprovázen výrazným snížením tepelné odolnosti žárovky, proti již výše zmiňované pracovní teplotě. I přesto mají halogenové žárovky řadu výhod, které oslovují výrobce automobilů. Jedná se zejména o jejich jasné osvětlení způsobené teplotou vlákna. Velikost halogenových světlometů může být různá, což otvírá možnost jejich využití u široké škály automobilů. Jsou také stmívatelné, což zvyšuje jejich univerzálnost použití v závislosti na typu karoserie a rozměrech.

⁸ Kapitola 5 zpracována ze zdroje: [31]



5.1.1 OBECNÉ SHRUTÍ HALOGENOVÝCH SVĚTLOMETŮ

Výhody:

- poměrně dlouhá životnost
- různé velikosti
- jasné osvětlení

Nevýhody:

- plýtvání energie
- vyžadují opatrné zacházení



Obrázek 54: Halogenová žárovka, zdroj: [31]



Obrázek 55: Halogenový světlomet automobilu Kia Soul roku 2009, zdroj: [31]



5.2 XENONOVÉ SVĚTLOMETY

Xenonové světlo mety (obr. 57) jsou obecně známé jako vysoce intenzivní výbojkové světlo mety, a také obecně považované za efektivnější volbu osvětlení používaného ve světlo metech. Mezi jejich přednosti patří barevná teplota a intenzita světla, které jsou schopny dosáhnout. Z názvu je patrné, že žárovka obsahuje xenon vytvářející modrý odstín světla, který lze jen stěží přehlédnout.

Prvním automobilem s xenonovými světlo mety bylo BMW řady 7 v roce 1991. Od té doby se staly tyto světlo mety žádanou volbou pro výrobce automobilů, kteří začali tyto systémy nabízet jako standardní vybavení vozidel.

Množství vyzařovaného světla xenonových světlo metů je ve srovnání s halogenovými světlo mety mnohem větší a účinnější. Tento fakt může být považován jako překážka pro ostatní účastníky silničního provozu, pokud světlo mety nejsou správně nastaveny a oslňují ostatní řidiče. Podle oficiálních statistik je uváděno, že xenonová žárovka produkuje 3000 lumenů a 90 mcd/m², zatímco halogenová 1400 lumenů a 30 mcd/m².

Stejně jako halogenové, tak i xenonové žárovky (obr. 56) se postupně začaly vyrábět v různých velikostech a provedení tak, aby uspokojily širokou škálu poptávek ze stran výrobců automobilů. Právě jejich účinnost je při volbě vhodného světelného systému klíčovým rozhodujícím faktorem. Účinnost je chápána nejen v kontextu minimální spotřebované energie, ale také ve snížení spotřeby paliva a celkové energie potřebné k provozu takových elektronických systémů automobilů.

Obecně se doufá, že tento systém s xenonovými žárovkami má životnost zhruba dvojnásobnou oproti halogenovým systémům. Na druhou stranu jsou zde i určitá negativa v souvislosti s instalací těchto systémů do vozidel. Výše zmiňovaná vysoká intenzita svícení může být velmi znepokojující pro protijedoucí řidiče, kdy následkem oslnění může v krajních případech dojít ke smrtelným nehodám. Další negativní vlastností je jejich cena, která je vyšší než pořizovací cena halogenových světlo metů. V neposlední řadě mohou mít tyto světlo mety nepříznivý dopad na lidský organismus vlivem zvýšeného obsahu rtuti. Došlo dokonce i k tomu, že některé země vydaly zvláštní předpisy upravující regulaci právě této škodlivé látky. Tento zákon s sebou přinesl zvýšení výrobních nákladů xenonových světlo metů a také nákladů na jejich opravu.

5.2.1 OBECNÉ SHRUTÍ XENONOVÝCH SVĚTLOMETŮ

Výhody:

- delší životnost oproti halogenovým
- vyšší účinnost oproti halogenovým
- zajišťují lepší viditelnost pro řidiče

Nevýhody:

- oslňování ostatních řidičů
- vysoká cena
- možný výskyt škodlivých materiálů



Obrázek 56: Xenonová žárovka, zdroj: [31]



Obrázek 57: Xenonový světlomet vozidla Infiniti FX 50S roku 2009, zdroj: [31]

5.3 LED SVĚTLOMETY

Dlouhodobým vývojem automobilového průmyslu vznikla snaha vyvinout takový systém osvětlení automobilů, jenž by vyřešil dosavadní problémy s halogenovými a xenonovými světlomety a zároveň přinesl něco inovativního. Přišlo se s nápadem použít LED technologie, která se v počátcích jevila jako ideálním řešením pro sériově vyráběné automobily. S touto ideou přišlo i několik aspektů, které mohly nepříznivě ovlivnit perspektivu této technologie.

Zásadním aspektem v LED světlometech (obr. 59) je ten, že jsou schopny pracovat s minimální dodanou energií. Proto je také LED technologie použita u hybridních vozů, u nichž hraje elektřina klíčovou roli.



V počátcích se předpokládalo, že tato technologie přináší jistou výhodu v konstrukci hlavních osvětlovacích funkcí. Paradoxně začali automobiloví výrobci implementovat tuto technologii do směrových světilen, světilen pro denní svícení, případně brzdových světilen.

Díky malým rozměrům LED (obr. 58) je možno dosáhnout výborné manipulace s nimi, za účelem vytvoření všech tvarů a sestav, které ideálně vystihují vozidlo. V počátcích vývoje LED bylo jejich množství vytvořeného světla někde mezi halogenovým a xenonovým systémem. Díky progresivnímu vývoji se počítá s vyrovnáním úrovně se zmiňovanými technologiemi v oblasti osvětlení.

5.3.1 OBECNÉ SHRUTÍ LED SVĚTLOMETŮ

Výhody:

- díky malým rozměrům lze vytvářet moduly nejrůznějších tvarů
- nízká energetická náročnost

Nevýhody:

- vysoká výrobní cena
- v počátcích vývoje měly nízký výkon
- v sestavách s více moduly dochází ke zvýšení teplot



Obrázek 58: LED žárovka, zdroj: [31]



Obrázek 59: FULL-LED světlomet vozidla Lexus LS600h roku 2007, zdroj [31]



ZÁVĚR

Pro svou rostoucí důležitost se stala problematika automobilního osvětlení samostatným vědním oborem. Snahou všech výrobců je vyrobit co nejúspornější světlomety za co nejnižší možnou cenu, která je důležitým faktorem zohledněným při konečné volbě zákazníka. Spolu se zvýšenou pozorností na ochranu životního prostředí se začala řešit možnost výroby takových světlometů, jejichž technologie by byla ekologičtější, než jak tomu bylo v minulosti.

S ohledem na neustálý pokrok ve výrobě automobilů, překonávajících předchozí modely co do rychlosti, komfortu a bezpečnosti, bylo nutné udržet krok i v oblasti osvětlení. Technologie LED světlometů poskytuje prostor pro nová designová řešení, která dodají automobilům mimo jiné zcela nový nadčasový vzhled. Nespornou výhodou je malý rozměr jednotlivých modulů osvětlovacích funkcí světlometů. Díky němu jsou výrobci schopni vytvářet nespočetné množství stylistických prvků charakteristických pro jednotlivé značky automobilů, jako je tomu například u novějších modelů představených společností Audi (obr. 33, kapitola 3.2).

S vývojem technologie a zvyšujícími se požadavky zákazníků na funkce světlometů bylo nutné mnohonásobně zvýšit počet součástí, který se u současných luxusních vozů pohybuje v řádu stovek. Postupně se upouštělo od mechanických konstrukčních řešení, které byly nahrazeny nepohyblivými prvky, jejichž možný pohyb je zajištěn elektronicky prostřednictvím řídicí jednotky, nejčastěji spolupracující s kamerovým systémem světlometů.

V současnosti se LED technologie jeví jako nejslibnější volba pro přední osvětlení vozidel, a to i přes jejich dosud stále poměrně vysokou cenu a vyšší provozní teploty. Domnívám se, že tyto nedostatky budou odstraněny v průběhu následujících pěti let vzhledem k rychle se vyvíjejícím přístupům aplikovaným v oblasti optiky, elektroniky, konstrukce a tepelného managementu. Lze očekávat, že i nadále bude věnována velká pozornost stylingu zohledňujícímu a podtrhujícímu charakteristické tvary vozidla, které se mohou vlivem budoucích trendů taktéž do značné míry měnit.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] ACKERMAN, R. et al. Adaptive Headlights utilizing LED-Arrays. *8th International Symposium on Automotive Lighting*. München: Utz, Herbert, 2009. s. 287-296. ISBN 978-3-8316-4093-5.
- [2] BANG, M. et al. The Development of the Spot Light System to Reduce Pedestrian Accidents at Night. *9th International Symposium on Automotive Lighting*. München: Utz, Herbert, 2011. s. 327-338. ISBN 978-3-8316-4093-5.
- [3] BUCHBERGER, CH.; STAUB, B. New Adaptive Frontlighting Opportunities with LED Based Headlamps. *8th International Symposium on Automotive Lighting*. München: Utz, Herbert, 2009. s. 502-509. ISBN 978-3-8316-0904-8.
- [4] EGGERS, H. et al. A Night Vision System with Spotlight/Marking Light. *9th International Symposium on Automotive Lighting*. München: Utz, Herbert, 2011. s. 471-483. ISBN 978-3-8316-4093-5.
- [5] GLOWIENKO, R. Cooling of LEDs with Synthetic Jets. *9th International Symposium on Automotive Lighting*. München: Utz, Herbert, 2011. s. 681-691. ISBN 978-3-8316-4093-5.
- [6] GÖTZ, M.; KLEINKES, M. Scalable main light modules – exploiting the benefits of LED. *8th International Symposium on Automotive Lighting*. München: Utz, Herbert, 2009. s. 494-501. ISBN 978-3-8316-0904-8.
- [7] CHO, H. et al. Cooling Performance of LED Headlamp with Heat Sink and Cooling Fan in limited volume. *8th International Symposium on Automotive Lighting*. München: Utz, Herbert, 2009. s. 422-431. ISBN 978-3-8316-0904-8.
- [8] KALZE-JOSEF, F.; KLEINKES, M. Integration of dynamic beam pattern functionalities in a Vario-LED headlamp system. *9th International Symposium on Automotive Lighting*. München: Utz, Herbert, 2011. s. 80-90. ISBN 978-3-8316-4093-5.
- [9] KOLBE, J.; MISRA, S. Performance and Reliability of Thermal Management Substrates for LEDs. *8th International Symposium on Automotive Lighting*. München: Utz, Herbert, 2009. s. 432-436. ISBN 978-3-8316-0904-8.
- [10] KRATOCHVÍL, B.; ŠVORČÍK, V.; VOJTĚCH, D.: *Úvod do studia materiálů*. 1.vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2005. ISBN 80-7080-568-4.
- [11] KRENN, G.; MOSER, A. Matrix Light – Combining Styling, Functionality and Scalability. *9th International Symposium on Automotive Lighting*. München: Utz, Herbert, 2011. s. 261-270. ISBN 978-3-8316-4093-5.
- [12] LAUR, J. Thousand parts for a headlamp? Modular design in complex high performance LED headlamps. *9th International Symposium on Automotive Lighting*. München: Utz, Herbert, 2011. s. 516-523. ISBN 978-3-8316-4093-5.



- [13] LESCH, N.; SCHUG, J. LED sources for second generation LED headlamps. *9th International Symposium on Automotive Lighting*. D München: Utz, Herbert, 2011. s. 284-285. ISBN 978-3-8316-4093-5.
- [14] SCHOLL, M. Electronic Headlamps improving Safety and Comfort by LED AFS functionality. *9th International Symposium on Automotive Lighting*. München: Utz, Herbert, 2011. s. 112-121. ISBN 978-3-8316-4093-5.
- [15] ARELLANO, J. *Details on 2011 Audi A8* [online]. 2009 [cit. 25. 4. 2013]. Dostupné z: <<http://blogs.automotive.com/details-on-2011-audi-a8-10734.html>>
- [16] CUNNINGHAM, W. *2011 Audi A8 Review* [online]. 2010 [cit. 25. 4. 2013]. Dostupné z: <http://reviews.cnet.com/sedan/2011-audi-a8/4505-10865_7-34147987.html>
- [17] JANG, S.; CHIN, M. *Thermal Analysis of LED Arrays for Automotive Headlamp With a Novel Cooling System* [online]. IEEXPLORE: 2008 [cit. 25. 4. 2013]. Dostupné z: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4655584>>
- [18] REICHL, M. *Audi A8 with LEDs from OSRAM Opto Semiconductors* [online]. Regensburg: OSRAM GmbH, 2010 [cit. 25. 4. 2013]. Dostupné z: <http://www.osram-os.net/osram_os/CN/Press/Press_Releases/LED/2010/documents/PM_OSRAM_LED_Audi_A8_engl.pdf>
- [19] *2013 Mercedes/Benz CLS550* [online]. Leasetrader.com> 2013 [cit. 27. 4. 2013]. Dostupné z: <<http://www.leasetrader.com/lease-specials/2013-Mercedes--Benz-CLS550-16625.xhtml#>>
- [20] *2014 Audi A8> First spy shots!* [online]. Audi Vehicles: 2013 [cit. 27. 4. 2013]. Dostupné z: <<http://www.auditips.com/2014-audi-a8-first-spy-shots/>>
- [21] *Different lighting of the cities, countryside and highways according to the weather* [online]. Arabpressnews.com: 2005 [cit. 27. 4. 2013]. Dostupné z: <<http://www.arabpressnews.com/2005/m05/technology/hella/hella.shtml>>
- [22] *Exteriér Audi S6 Avant* [online]. Audi.cz: 2013 [cit. 27. 4. 2013]. Dostupné z: <http://www.audi.cz/modely/a6/s6_avant/design/exterior/>
- [23] CHANG, C. *New Audi A8 – Full LED HIGH BEAM* [online]. Flickr.com: 2010 [cit. 27. 4. 2013]. Dostupné z: <<http://www.flickr.com/photos/cdspit/4951378308/>>
- [24] *Image The Audi A639s LED headlamps* [online]. Audireview.com: 2013 [cit. 27. 4. 2013]. Dostupné z: <<http://audi-review.com/image/3f517449>>
- [25] KUO, I. *LED Headlights Give Your Electric Car An Extra Six Miles* [online]. GMInsidenews.com: 2008 [cit. 27. 4. 2013]. Dostupné z: <<http://www.gminsidenews.com/forums/f19/led-headlights-give-your-electric-car-extra-six-miles-99791/>>
- [26] KUŚMIERZAK, A. *Za te gadzety warto dopłacić kupując nowe auto* [online]. Autokult: 2012 [cit. 27. 4. 2013]. Dostupné z: <<http://autokult.pl/2012/05/08/za-te-gadzety-warto-doplacic-kupujac-nowe-auto/asystem-jazdy-noca/top>>



- [27] LARRY, F. *Delve into lighting technologies from Audi: LED laser* [online]. Autocar: 2013 [cit. 27. 4. 2013]. Dostupné z: <<http://smartautocar.com/delve-into-lighting-technologies-from-audi-led-laser/>>
- [28] *Light Emitting Diodes (LED)* [online]. dabo Corporation: 2011 [cit. 27. 4. 2013]. Dostupné z: <http://dabo-corp.com/?search_target=tag&search_keyword=Automotive+LED&document_srl=1234>
- [29] LORIO, J. *First Drive> 2011 Audi A8 Photo Gallery* [online]. Automobile: 2010 [27. 4. 2013]. Dostupné z: <http://www.automobilemag.com/reviews/driven/1002_2011_audi_a8/photo_23.html>
- [30] ARES, H. *Mercedes-Benz CLS 2011, imágenes e información oficial* [online]. Motorpasion.com: 2010 [cit. 11. 5. 2013]. Dostupné z: <<http://www.motorpasion.com/mercedes/mercedes-benz-cls-2011-imagenes-e-informacion-oficial>>
- [31] POPA, B. *Battle of the Headlights: Halogen vs. Xenon vs. LED* [online]. AUTOEVOLUTION: 2010 [cit. 25.4.2013]. Dostupné z: <<http://www.autoevolution.com/news/battle-of-the-headlights-halogen-vs-xenon-vs-led-26530.html>>
- [32] PUR, K.; SCHWARZ, J. *iKariéra 2011* [online]. HELLA AUTOTECHNIK Group: 2011 [cit. 27. 4. 2013]. Dostupné z: <http://iaeste-zlin.cz/index.php?option=com_k2&view=item&task=download&id=9&Itemid=135>
- [33] SAJDL, J. *Audi adaptive light* [online]. Autolexicon.net: 2013 [cit. 27. 4. 2013]. Dostupné z: <<http://cs.autolexicon.net/articles/audi-adaptive-light/>>
- [34] *Spasitel, nebo škůdce: noční vidění* [online]. Týden.cz: 2009 [cit. 27. 4. 2013]. Dostupné z: <http://www.tyden.cz/rubriky/auta/slovnicek/spasitel-nebo-skudce-nocni-videni_123687.html>
- [35] *Steps to Repair Cars Headlights Problems* [online]. AutoMobileCrunch: 2013 [cit. 27. 4. 2013]. Dostupné z: <<http://www.automobilecrunch.com/2013/steps-to-repair-cars-headlights-problems/>>
- [36] *Technika: Adaptivní světlomety* [online]. PCAR.cz: 2012 [cit. 27. 4. 2013]. Dostupné z: <<http://pcar.cz/cz/novinka?253-technika-adaptivni-svetlomety>>
- [37] WITHERSPOON, R. *Two for the Road: The Hybrid and the Sports Sedan* [online]. Shifting Gears: 2010 [cit. 27. 4. 2013]. Dostupné z: <<http://rwshiftinggears.wordpress.com/tag/night-vision/>>



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ADB		Adaptive Driving Beam
AFS		Adaptive Frontlight System
ALL-LED		celo-ledkový světlomet
COB		Chip On Board
d	[mm]	průměr otvoru trysky
D	[mm]	průměr membrány
Dc	[mm]	průměr kavity
DRL		Daytime Running Light
ECU		Electronic Control Unit
EHK		Evropská Hospodářská Komise
FULL-LED		celo-ledkový světlomet
IR		Infra Red
LED		Light-Emitting Diode
MCPCB		Metal Core Printed Circuit Board