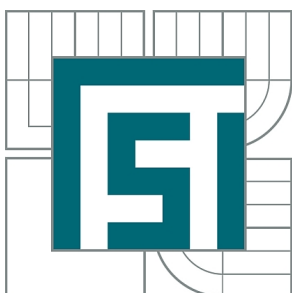


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

OSVĚTLENÍ AUTOMOBILU

LIGHTING SYSTEMS OF VEHICLE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MICHAL ŽLEBEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JOSEF ŠTĚTINA, Ph.D.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Michal Žlebek

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:

Osvětlení automobilu

v anglickém jazyce:

Lighting systems of vehicle

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Konstrukce a vývoj hlavních předních světlometů se zaměřením na problematiku chlazení. Přehled přenosu tepla při chlazení světlometů.

Cíle bakalářské práce:

1. Přehled veškerého osvětlení automobilu.
2. Přední hlavní světlomet
3. Typy světlometů - (Xe., Ha., Led)
4. Led- nevýhody- chlazení
5. Způsoby a typy chlazení

Seznam odborné literatury:

- [1] Incropera F.P.: Fundamentals of Heat and Mass Transfer. Wiley 2011.
- [2] Çengel Y.: Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications. McGraw-Hill Science/Engineering/Math 2010.
- [3] Wördenweber B., Wallaschek J.: Automotive Lighting and Human Vision. Springer 2010.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Josef Štětina, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 24.10.2012

L.S.

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu

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

Abstrakt

Záměrem této práce je přiblížit konstrukci a vývoj světlometů a zaměřit se na problematiku jejich chlazení. Úvodní část je věnována přehledu osvětlení vozidla a světlometům obecně. Zabývá se jejich historií, výrobci, funkcemi a základní konstrukční stavbou. Další část popisuje druhy světlometů a jejich vývoj v závislosti na použitém světelném zdroji. V předposlední části je rozebrán vznik tepla v LED a za použití přenosu tepla je popsáno jeho následné šíření. Na závěr se práce věnuje problematice a způsobům chlazení LED světlometů. Uvádí přehled chladičů a vysvětluje důležitost použití simulací při výpočtech šíření tepla.

Klíčová slova

Světlomet, světlo, vývoj, konstrukce, LED, chlazení, chladič.

Abstract

The aim of this work is to explore the development of headlamps and focus on the problem of cooling. The first part is devoted to automotive lighting and to headlamps generally. It deals with history, manufactures, functions and basic construction of headlamps. The next section describes the types of headlamp and the procedure for its construction depending on used light source. In semifinal part can be found explanation of heat origin in LED and with the help of heat transfer is described its spreading. At the end is this work dealing with problems of cooling when using LEDs. It shows view of cooler and explaining how important is to use simulations during heat spreading counting.

Keywords

Headlamp, light, development, construction, LED, thermal management, cooler.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŽLEBEK, M. *Osvětlení automobilu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 79 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Josef Štětina, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Osvětlení automobilu** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Michal Žlebek

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto doc. Ing. Josefu Štětinovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat pracovníkům firmy HELLA za odborné konzultace a poskytnutí interních materiálů ke studijním účelům, zvláště pak panu Ing. Tomáši Drgovi, Ph.D., Ing. Emilu Toporceroovi, Ph.D., Ing. Ivu Strakovi a Ing. Jaromíru Slezákovi. Velké poděkování patří Pavlu Žlebkovi za věcné rady, zapůjčení světlometů, ukázkových chladičů a pomoc při korekci napsaných poznatků.

OBSAH

ÚVOD.....	10
1. PŘEHLED VEŠKERÉHO OSVĚTLENÍ AUTOMOBILU	11
1.1 Světlo.....	11
1.2 Vnitřní osvětlení.....	13
1.3 Vnější osvětlení	13
2. HLAVNÍ PŘEDNÍ SVĚTLOMET.....	15
2.1 Historie.....	15
2.2 Firmy zabývající se vývojem a výrobou světlometů.....	17
2.3 Hlavní funkce světlometu	18
3. KONSTRUKCE A VÝVOJ SVĚTLOMETU	19
3.1 Moderní hlavní přední světlomet a jeho části	20
3.2 Optické systémy	21
4. DRUHY SVĚTLOMETŮ PODLE SVĚTELNÝCH ZDROJŮ HLAVNÍCH FUNKCÍ.....	24
4.1 Halogenový světlomet.....	25
4.2 Xenonový světlomet.....	27
4.3 LED světlomet	30
5. LED	33
5.1 Konstrukce a rozdělení.....	35
5.2 Vznik tepla a světla	38
5.3 Teplotní závislosti	39
6. ZDROJE A ŠÍŘENÍ TEPLA	41
6.1 Kondukce	41
6.1.1 Stacionární vedení tepla rovinou stěnou	45
6.1.2 Analogie.....	46
6.2 Konvekce.....	48
6.3 Radiace	54
7. ZPŮSOBY A TYPY CHLAZENÍ SVĚTLOMETU	61
7.1 Chladiče.....	61
7.2 Pasivní chlazení.....	63
7.3 Aktivní chlazení	63
8. SIMULACE.....	65
9. ZÁVĚR	68
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	70
SEZNAM POUŽITÝCH KONSTANT, SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	76

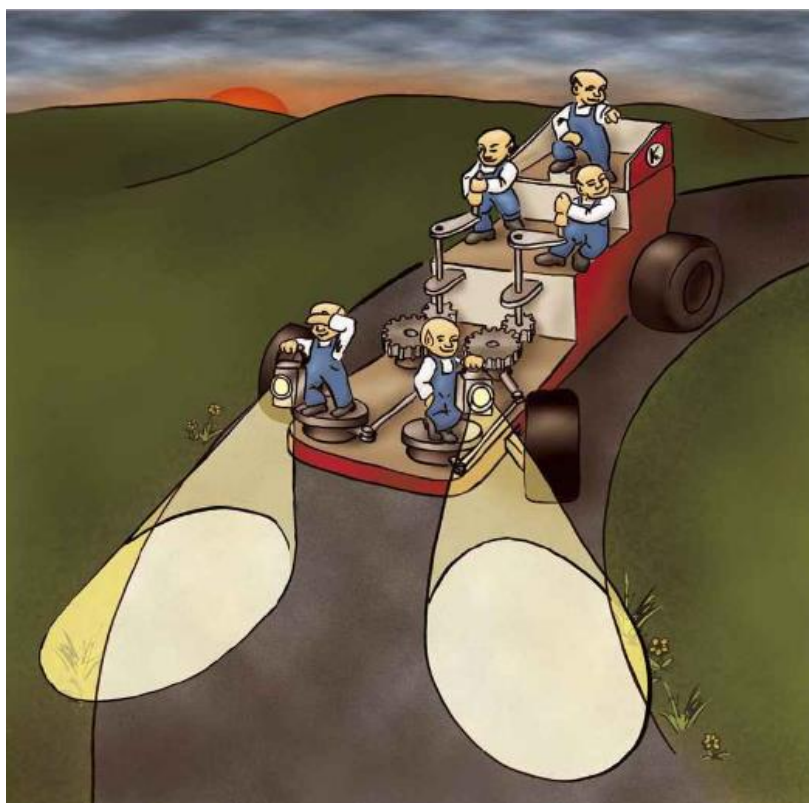
Úvod

Během uplynulých pár desítek let došlo k velmi rychlému rozvoji vědy a techniky, což má za následek rychlý rozvoj všech vědních oborů a nástup nových technologií, které bychom si před půl stoletím nedokázali ani zdaleka představit. Pozadu nezůstala ani světelná technika, které se díky své velké roli v rozvíjejícím se automobilovém průmyslu dostává stále více pozornosti. Světlomet již není pouhý plamen svíčky či petrolejová lampa, ale velmi sofistikované a konstrukčně složité zařízení splňující nespočet bezpečnostních a kvalitativních norem.

Klasické žárovky byly nahrazeny halogenovými, později xenonovými a v současné době se ke slovu hlásí LED. Nelze si nevšimnout, že intervaly mezi nástupy nových technologií se rapidně zkracují. Již dnes je téměř jisté, že LED budou v budoucnu nahrazeny novou technologií OLED (koncept Audi), či do nedávna tajnou technologií pracující na principu laseru (koncept BMW).

Společně s vývojem světelných zdrojů se mění konstrukční provedení, použité materiály a celkový vzhled světlometu. Velký důraz je čím dál tím více kladen na celkový design.

Světlomety pracující na platformě LED jsou v dnešní době nejžádanějšími, ale také nejdražšími. Každá nová technologie však mimo výhod přináší i jisté nedostatky a výzvy ve formách jejich řešení. Vzhledem k rostoucím požadavkům světelného výkonu a kvality světla se dnes používají velmi silné diody, jejichž hlavní nevýhodou je nutnost chlazení.



Obr. 1 Adaptivní AFS světlomety ve starším podání¹

1. Přehled veškerého osvětlení automobilu

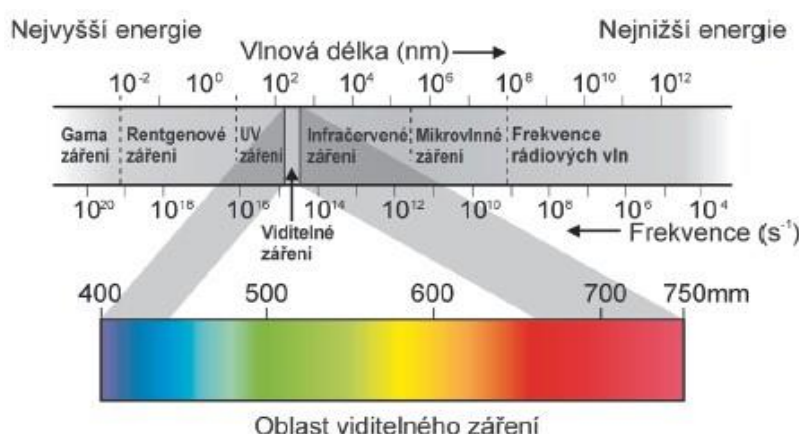
Osvětlení je z hlediska bezpečnosti silničního provozu velice důležitým prvkem v technické výbavě automobilu. Zajišťuje, lepší viditelnost vozovky a vozidla, ale také příjemné prostředí a určitý komfort pro řidiče vozu. Typu použitého světelného zdroje odpovídají určité vlastnosti vyzařovaného světla, které slouží jako ukazatelé kvality. K pochopení těchto vlastností je důležité vědět, co to vlastně světlo je a jak vzniká.

1.1 Světlo

Jedná se o elektromagnetické záření vyzařované ve velmi úzkém pásmu vlnových délek, které je viditelné lidským okem. Světlo má dualistický charakter, což znamená, že jeho chování má vlnově-částicovou povahu, kterou můžeme popsat elektromagnetickou teorií nebo teorií kvantovou. Základní vlastnosti vyzařovaného světla jsou charakterizovány vlnovou délkou a teplotou chromatičnosti.

Vlnová délka

Znamená vzdálenost dvou nejbližších bodů vlnění kmitajících se stejnou fází. Značíme λ , jednotkou je metr [m]. Vlnová délka světla vnímaného lidským okem se pohybuje v rozmezí od 380 až do 770 nm. Barevné vnímání různých vlnových délek je zobrazeno obr. 1.1.1.



Obr. 1.1.1 Barvy světla podle vlnové délky²

Teplota chromatičnosti

Jedná se o údaj charakterizující barevné vnímání a parametry vyzařovaného světla. Hodnoty chromatičnosti se uvádí v Kelvinech [K]. Hodnota 2700-3500 K reprezentuje teplé bílé světlo podobné světlu vyzařovanému například svíčkou, při 4000 K hovoříme o studeném bílém světlu a při 6500 K o studeném denním bílém světlu, které je označováno také jako standardizované. Teplotu chromatičnosti blízkou 8000 K a více, vnímáme jako světlo namodralé. Snahou je barevně se co nejvíce přiblížit standardizovanému dennímu světlu, které je považováno za ideální.



Obr. 1.1.2 Barevná teplota³

Mezi další velmi důležité charakteristiky uvádějící vlastnosti vyzařovaného světla na základě vlastností spojených se světelným zdrojem patří:

Svítivost

Svítivost udává hustotu světelného toku ze zdroje, která je vyzařována do určitého směru v prostoru. Hodnotu svítivosti je možné určit pro bodový světelný zdroj, jehož velikost je vzhledem k měřené vzdálenosti zanedbatelná. Svítivost označujeme I , základní jednotkou je kandela [cd].

Světelný tok

Světelný tok vyjadřuje množství světelné energie přenesené zářením nebo vyzářené zdrojem za jednotku času, s ohledem na spektrální citlivost lidského oka. Jedná se tedy o fotometrickou veličinu, která charakterizuje světelný výkon záření či jeho zdroje. Značíme Φ a jednotkou je jeden lumen [lm].

Intenzita osvětlení

Jde o fotometrickou veličinu, která je definována jako světelný tok dopadající na danou plochu. Jedná se tedy o podíl světelného toku v lumenech a plochy, na kterou dopadá světlo, v metrech čtverečních. Intenzitu osvětlení značíme E a uvádíme v jednotkách nazývaných lux [lx].

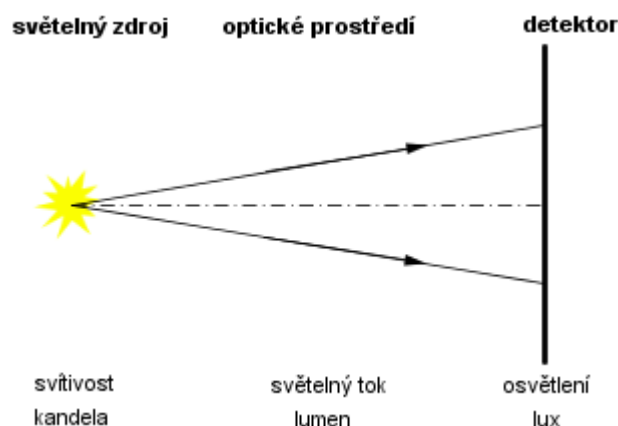
Měrný světelný výkon

Udává vztah mezi světelným tokem v lumenech a elektrickým příkonem světelného zdroje ve wattech. Měrný světelný výkon označujeme Φ a jako jednotky uvádíme lumeny na watt [lmW^{-1}].

Jas

Fotometrická veličina, která je definována jako měrná veličina svítivosti. Jas je tedy hustota svítivosti v daném směru, nebo také množství světla vyzařovaného z povrchu. Charakterizuje jak osvětlované povrchy, tak světelné zdroje. Označuje se L a udává se v kandelách na metr čtverečný [cdm^{-2}].

Následující obrázek názorně zobrazuje vybrané veličiny.



Obr. 1.1.3 Názorné zobrazení veličin⁴

1.2 Vnitřní osvětlení

Dle polohy umístění na vozidle lze osvětlení rozdělit na vnitřní a vnější. Mezi vnitřní osvětlení patří podsvícení přístrojové desky a ovládacích prvků jako je rádio, navigace, páčky u volantu či stahování oken. Další nedílnou součástí vnitřního osvětlení je osvětlení interiéru, mezi které je možno zařadit osvětlení prostoru pro cestující, zavazadlového prostoru či odkládacích prostorů. Velmi důležitým prvkem je osvětlení při otevření dveří, sloužící jako signalizační funkce a zároveň jako funkce vnitřního osvětlení. U starších automobilů je osvětlení realizováno pomocí žárovek, u novějších modelů jsou žárovky nahrazeny úspornými a menšími LED.

1.3 Vnější osvětlení

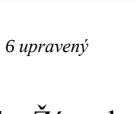
Vnější osvětlení slouží k informování ostatních účastníků silničního provozu o vozidle a řidiči umožňuje vidět za zhoršených podmínek. Přehled vnějšího osvětlení automobilu je znázorněn na obr. 1.3.1.



1. Dálkové světlo
2. Potkávací / denní světlo
3. Přední blinkr
4. Zadní blinkr
5. Brzdové světlo
6. Koncové světlo
7. Parkovací světlo
8. Boční blinkr
9. Přední mlhové světlo
10. Obrysové světlo
11. Zadní mlhové světlo
12. Osvětlení SPZ
13. Třetí brzdové světlo

Obr. 1.3.1 Přehled vnějšího osvětlení automobilu ^{5 upravený}

Dle typu osvětlení je použito rozdílných druhů světelných zdrojů. V současné době se pro osvětlení nabízí čtyři druhy zdrojů světla. U starých automobilů jsou nejčastěji využívány klasické žárovky, které u moderních automobilů již téměř nenalezneme. Ve světlometech se setkáme s halogenovými žárovkami a xenonovými výbojkami, jejichž základní typy a doplnění informacemi o značení, patici a příkonu můžeme vidět na obr. 1.3.2. Nejmodernějším zdrojem světla jsou pak LED.

žárovka	patice	obvyklý příkon	použití	obrázek	žárovka	patice	obvyklý příkon	použití	obrázek
H4	P43t	60/55W	hlavní světlomety		R2	P43t / Ba20d	45/40W	hlavní světlomety (asym.) pro starší vozidla kde nebyly halogeny	
H3	Pk22s	55W	přídavné mlhové a dálkové		21W	Ba15s	21W	blinkry, brzdová, zpětná světla	
H1	P14,5s	55W	přídavné dálkové světlomety (často integrovaní s hlavním světlometem)		21W oran.	BaU15s	21W	blinkry	
H2	X511	55W	dálkové a mlhové světlomety		5W	Ba15s	5W	zadní obrysová světla	
H7	P26d	55W	přídavné dálkové světlomety (často integrovaní s hlavním světlometem) nástupce H1		10W	Ba15s	10W	zadní obrysová světla	
HB3	P20d	65W	dálkové světlomety		21/5W	BaY15d	21/5W	brzdová/obrysová světla	
HB4	P22d	55W	potkávací světlomety		5W	W2,1x9,5d	5W	boční blinkry, přední obrysová světla	
D2S	P32d	35W	tlumené a dálkové světlomety		4W	Ba9s	4W	boční blinkry, přední obrysová světla	
D2R	P32 d-3	35W	tlumené světlomety		5W suffit	SV 8,5	5W	vnitřní osvětlení	
					1,2/2W	W2x4,6d B8,3d B8,5d B8,7d	1/1,2/2W	osvětlení přístrojové desky	

Obr. 1.3.2 Přehled nejvíce používaných autožárovek, jejich specifikace a využití ^{6 upravený}

Obyčejné žárovky jsou označovány dle příkonu: 5 W, 10 W, atd. Žárovky s malým příkonem jsou využívány k vnitřnímu osvětlení a k podsvícení palubních přístrojů. S mírně vyšším příkonem pak v obrysových funkcích či ukazatelích směru.

Halogenové žárovky značíme písmenem H na prvním místě- H1, H4, atd. Tyto žárovky jsou vzhledem ke svému příkonu určeny výhradně k použití ve světlometech.

Xenonové výbojky jsou stejně jako halogenové žárovky určeny k výhradnímu použití ve světlometech. Základní xenonové výbojky jsou označovány D(1, 2)(R, S). Výbojky šetrné k životnímu prostředí neobsahující rtuť se značí D(3, 5, 8)(R, S). Písmeno R značí výbojky určené k použití do reflektorů, S znamená určení pro moduly a projektory.

Patice označuje jakým způsobem je zdroj světla připojen ke zdroji proudu.

2. Hlavní přední světlomet

Vnější osvětlení automobilu je možno rozdělit na dva základní druhy, kterými jsou světlomety a svítilny. Světlomet je zařízení, konstruované k osvětlení vozovky umožňující vidět, kdežto svítilna je zařízení konstruované za účelem být viděn. Hlavním předním světlometem se tedy rozumí zařízení umístěné v přední části vozidla umožňující vidět za zhoršených podmínek. Moderní hlavní přední světlomet obstarává jak funkci světlometu, tak svítilny (denní svícení, blinkr, obrysové světlo).

2.1 Historie

Počátky zárodku vzniku prvního světlometu pro automobil se datují ke vzniku prvního automobilu, tedy ke konci 18. století, kdy byly realizovány první úspěšné pokusy s vozidly poháněnými parním strojem⁷. První sériově vyráběné automobily z konce 19. století byly vybaveny olejovými lampami, které velmi brzo nahradily lampy acetylenové, a to díky své lepší odolnosti proti větru a dešti⁸. Acetylenovou lampu je možno vidět na následujícím obrázku.



Obr. 2.1.1 Acetylenová lampa⁹

První elektrický světlomet byl dílem firmy Columbia Automobile Company a pocházel z roku 1898⁸. V této době byly však acetylenové a olejové lampy stále považovány za dokonalejší.

Roku 1913 přichází na trh první úspěšný elektrický světlomet firmy Bosch, jehož nástupce je zobrazen na obr. 2.1.2, a o pár let později dochází k jeho vylepšení díky žárovce Bilux. Nová žárovka umožňovala funkci klopeného i dálkového světla⁸.



Obr. 2.1.2 Elektrický světlomet Bosch z roku 1930¹⁰

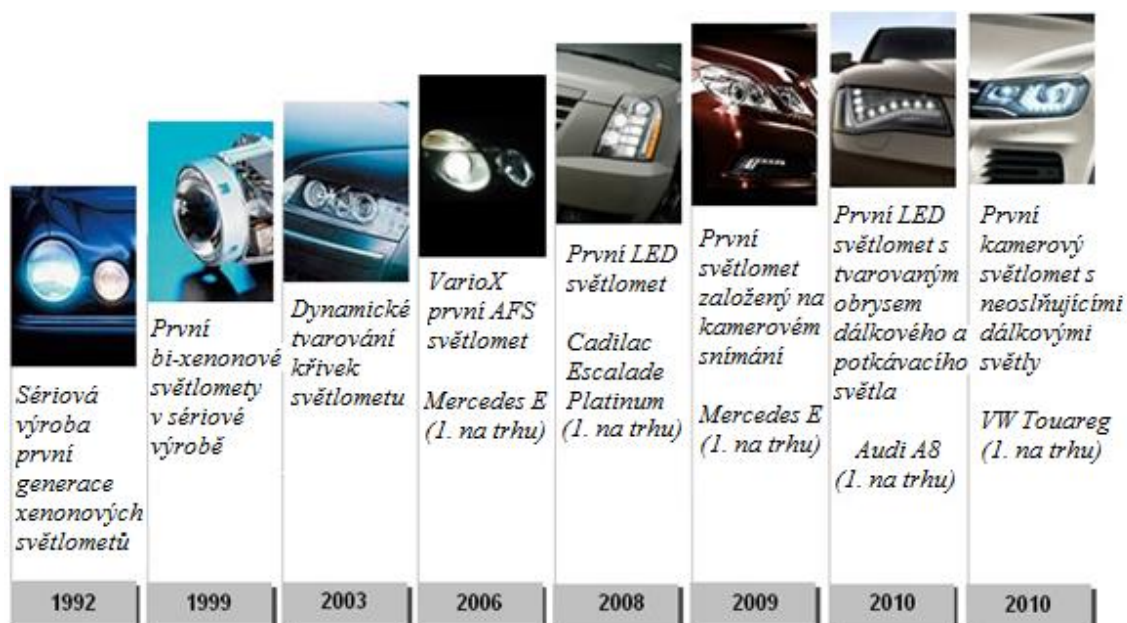
V roce 1962 dochází ke zlomu ve světelné technice a to díky představení halogenové žárovky. Ta ovládla trh se světelnou technikou a na trhu figuruje dodnes.

O 29 let později vstupují na trh první HID (High Intensity Discharge) světlomety, označované taky jako xenonové, a v roce 1999 se ke slovu hlásí světlomety bi-xenonové, kdy klopená i dálková světla obstarává jedna xenonová výbojka.

Roku 2007 je představen první hlavní světlomet kompletně tvořený LED diodami, který je možno vidět na obr. 2.1.3. Tyto světlomety jsou dnes považovány za vrchol světelné techniky. Obr. 2.1.4 pak souhrnně popisuje vývoj světlometu od roku 1992.



Obr. 2.1.3 První LED světlomet firmy HELLA pro vůz Cadillac Escalade ¹¹



Obr. 2.1.4 Vývoj světlometů od roku 1992 ¹²

2.2 Firmy zabývající se vývojem a výrobou světlometů

Velký rozmach v zakládání firem zabývajících se vývojem a výrobou světlometů nastává v období konce 19. a začátku 20. století. Vznikají malé dílny, ze kterých se postupem času stávají velké mezinárodní společnosti.

Mezi nejznámější pobočky zahraničních mateřských firem v ČR patří Hella, jejíž kořeny sahají do roku 1899, kdy Sally Windmüller založil malou domácí dílnu, či Visteon (dříve Autopal), která se taktéž rozrostla z malého domácího klempířství, založeného roku 1879 Josefem Rotterem. Další známou firmou je Automotive Lighting, jejíž vznik je datován k roku 1913.

Mezi méně známé, avšak velmi úspěšné společnosti patří například Koito, Stanley, Valeo či slovenská ZKW. Společnost Koito je světová jednička v počtu vyrobených světlometů, následuje Automotive Lighting na druhém místě, Valeo na třetím a Hella Autotechnik, která drží čtvrté místo.



Obr. 2.2.1 Loga společností zabývajících se výrobou a vývojem světlometů ^{13, 14, 15, 16, 17, 18}

2.3 Hlavní funkce světlometu

Základní pojmy

Světlomet je zařízení konstruované k osvětlení vozovky umožňující vidět.

Tlumené světlo znamená světlo užívané k osvětlení vozovky před vozidlem, aniž by oslňovalo nebo obtěžovalo protijedoucí řidiče, či jiné účastníky silničního provozu.

Dálkové světlo je užívané k osvětlování vozovky na velkou vzdálenost před vozidlem.

Svítilna je zařízení určené k vysílání světelného signálu ostatním uživatelům silnice.

Směrová svítilna umožňuje informovat ostatní řidiče o chystaném manévru změny směru jízdy. Tuto funkci nazýváme také ukazatelem směru jízdy nebo ji označujeme jako blinkr.

Denní svítilna umožňuje vozidlu býti lépe viditelné pro ostatní účastníky silničního provozu za jízdy ve dne.

Přední obrysová svítilna je užívaná k určení orientační šířky vozidla při pohledu zepředu.

Světlo do mlhy označuje světlo zlepšující osvětlení vozovky za snížené viditelnosti a dělá automobil viditelnější pro ostatní účastníky silničního provozu.

Odrázky jsou svítidla aktivovaná cizím světelným zdrojem.

Hlavní funkce

Hlavními funkcemi předních světlometů se rozumí dálková a tlumená světla. Mezi vedlejší funkce patří denní svícení či světla směrová (blinkr), vykonávající funkci svítilny. Dále mohou být součástí světlometu i světla obrysová a mlhová.

Předpisy a normy

Předpisy a normy, které musí jednotlivé funkce světlometu i světlomet jako celek splňovat, určuje v EU evropská hospodářská komise (EHK). Normy stanovují základní parametry světlometů tak, aby jeho používání bylo co nejvíce bezpečné jak pro jeho uživatele, tak pro jeho okolí. Určují například bezpečnostní předpisy pro srážku s chodcem, maximální možné oslnění protijedoucího vozidla či aktivací dobu světlometu. Normy předepsané EHK jsou brány jako nejnižší možný standard a v praxi platí, že vyrobené světlomety dosahují mnohem větší kvality i lepších výsledků. Normy EHK se dělí do tří základních skupin¹⁹:

- součásti pro aktivní bezpečnost,
- součásti pro pasivní bezpečnost,
- součásti pro ochranu životního prostředí.

Většina norem týkající se osvětlení automobilu spadá do skupiny pro aktivní bezpečnost. Příklady některých vybraných norem:

- EHK 7** – obrysové, doplňkové obrysové a brzdové světlo,
- EHK 20** – světlomety s žárovkou H4,
- EHK 38** – zadní mlhovka.

Mezi normy spadající do pasivní bezpečnosti patří:

- EHK 4** – osvětlení zadní poznávací značky.

3. Konstrukce a vývoj světlometu

Konstrukce a vývoj je složitý proces na sebe navzájem navazujících operací. Vývoj světlometu se rozděluje na dvě hlavní fáze.

Předvývoj

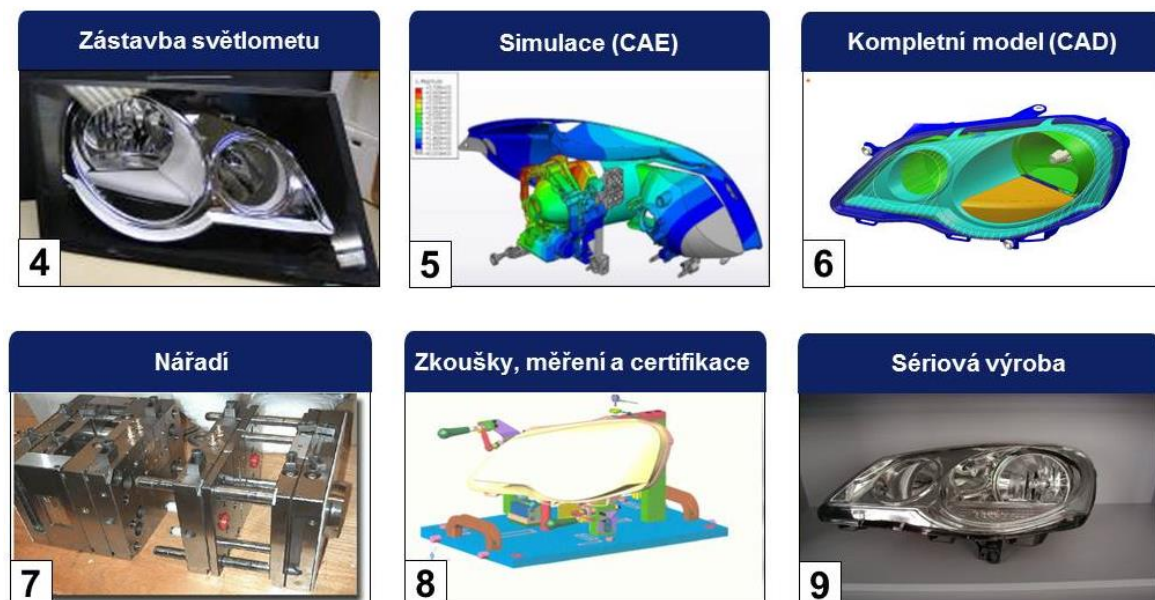
Jedná se o první fázi vývoje světlometu. Zákazníkem je zadána zakázka vybrané firmě na prvotní návrh světlometu. Výsledkem předvývoje je optický koncept a prototyp světlometu, jenž není doladěn do detailů. Postup popisuje obr. 3.1.



Obr. 3.1 Schéma předvývoje světlometu²⁰

Vývoj

Druhou fází je vývoj, jemuž předchází opět zadání zákazníka, nyní již s požadavkem na detailní rozpracování a sériovou výrobu. Zákazník si na základě výsledků předvývoje nechá vypočítat cenu u jednotlivých výrobců a následně je vybrán jeden, kterému je vývoj přidělen. Většinou je pro předvývoj a následný vývoj vybrána stejná firma, avšak není to pravidlem. Schéma postupu je znázorněno na následujícím obrázku.



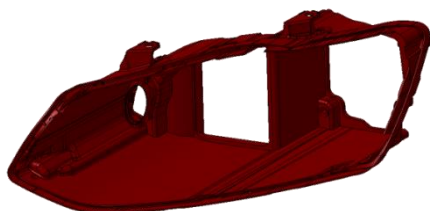
Obr. 3.2 Schéma vývoje světlometu²⁰

3.1 Moderní hlavní přední světlomet a jeho části

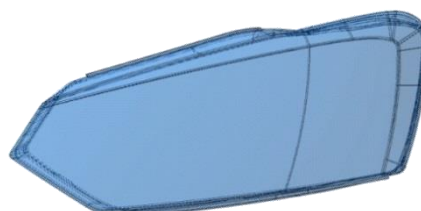
Konstrukční stavba světlometu se liší od typu použitého světelného zdroje, dá se však rozdělit do tří základních částí:

Plášť

Základní stavební jednotkou pláště je pouzdro (obr. 3.1.1) a krycí sklo (obr. 3.1.2). Pouzdro vyplňuje zástavbový prostor v kapotě a pomocí úchytů je připevněno ke konstrukci automobilu. Krycí sklo je nacvaknuto či přilepeno k pouzdru a vykonává krycí funkci.



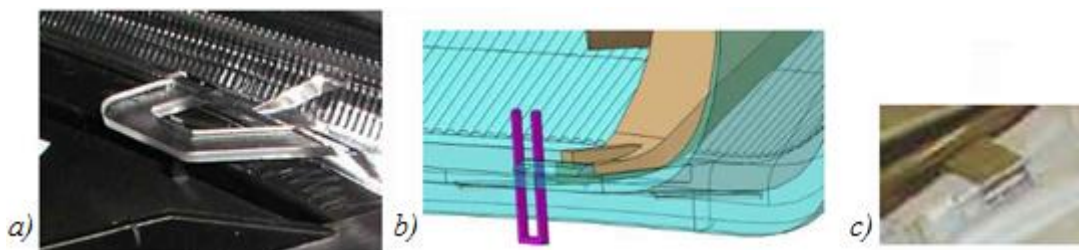
Obr. 3.1.1 Pouzdro



Obr. 3.1.2 Sklo

Nejčastějším materiálem na výrobu skla je PC (polykarbonát), který nahradil dříve používanou sklovinu. Tloušťka skla se pohybuje v rozmezí 2,3-3 mm a je ošetřeno lakem UVHC3000 nebo UVT610 o tloušťce 8-12 μm . Lak zvyšuje odolnost povrchu proti poškrábání a obsahuje UV filtr, jenž zabraňuje žloutnutí materiálu krycího skla. Nanášení je prováděno technologií polévání (používá Visteon) či stříkání (používá Hella).

Pouzdro světlometu je nejčastěji vyráběno z materiálu PP-T40 nebo PP-GF20 vstřikováním pod tlakem do formy. K připevnění skla k pouzdru slouží mimo zácvků, kovových sponek či tackerování také lepidla, a to tavná či silikonová.



Obr. 3.1.3 ¹ a) Zácvak na skle b) Tackerování c) Kovová sponka

Dekorační součásti

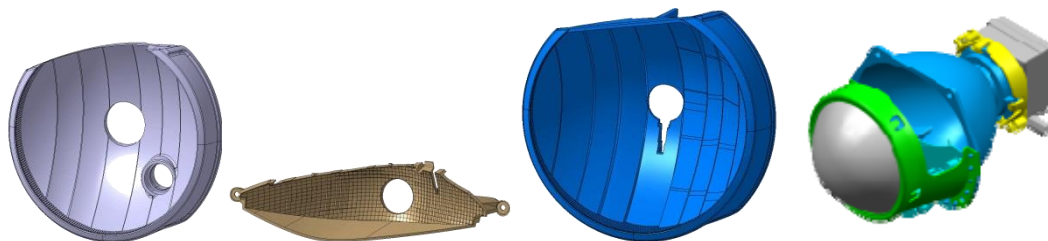
Jelikož auta prodává především jejich design, je nutné dbát na tento důležitý prvek i u světlometů. Designerem navrhovaný model musí být co nejpřesněji dodržen, k čemuž slouží různé lisované rámečky, tubusy a dekorativní lišty.



Obr. 3.1.4 Dekorační součásti světlometu

Funkční součásti

Tyto součásti zajišťují správnou funkci světlometu jako je směr světelného kuželu, intenzita světla a v případě moderních AFS světlometů také správné natáčení čočky či celého modulu. Jedná se o reflektory, projektory, tvarované čočky či moduly, souhrnně nazýváno optické systémy (podrobněji popsáno v kapitole 3.2 Optické systémy). K výrobě reflektorů je nejčastěji využíván materiál BMC (duroplast).



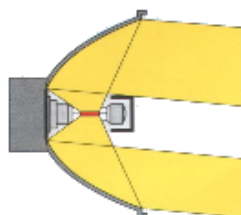
Obr. 3.1.5 Reflektory, vpravo AFS projektorový modul

3.2 Optické systémy

Optický systém umožňuje korigovat světelný paprsek do svazku směřujícího požadovaným směrem. V minulosti se využívalo především optických vlastností speciálně navrhovaného krycího skla, které je dnes většinou čiré.

Reflektor

Parabola odrážející světelný paprsek daným směrem.



Obr. 3.2.1 Princip reflektoru¹²

Reflektorový systém může využívat k usměrnění světelného paprsku optiku na krycím skle, takovýto systém se nazývá parabolický reflektor s optikou na skle. Dále může využívat optiku založenou na tvarování reflektoru (reflektorová optika). Reflektorová optika je také označována jako FF (free form), jelikož dochází k nutnosti tvarovat plochu výlisku paraboly.

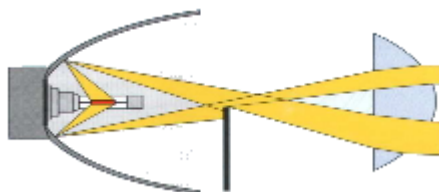


Obr. 3.2.2

a) Světlomet s optikou na krycím skle²¹ b) Světlomet s reflektorovou optikou a čirým sklem²²

Projektor

Spojením hyperboly, stínítka a čočky vznikne projektorový optický systém, který usměrňuje světelný paprsek daným směrem tak, jak ukazuje následující obrázek.

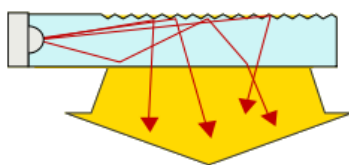


Obr. 3.2.4 Projektor ¹²

Tvar clonky, která se nachází mezi reflektorem a čočkou, je čočkou projektován na silnici. Clonka umožňuje tvarovat světelný tok, čehož je využito při potřebě odstínění světla směřujícího do výše očí protijedoucího vozidla, nebo naopak světlo propustit při zapnutí dálkové funkce. U tohoto systému se používá čiré krycí sklo bez optiky.

Světlovod

Jedná se o výlisek, který pomocí odrazu paprsků umožňuje šíření světla i vně zakřiveného materiálu. Světlovod se používá výhradně v kombinaci s LED diodami jako funkční i dekorační součást světlometu. Ve světlometech automobilů značky BMW se se světlovodem můžeme setkat v typickém kruhovitém tvaru (obr. 3.2.6).



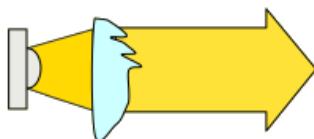
Obr. 3.2.5 Princip funkce světlovodu ¹²



Obr. 3.2.6 Světlovod u BMW ²³

Čočka

Používá se především u LED světlometů. Speciálně navržená čočka usměrňuje světelný paprsek z LED do požadovaného tvaru a směru tak, jak ukazuje obr. 3.2.7.



Obr. 3.2.7 Čočka ¹²

Modul

Uzavřený systém projektoru, umožňující korekci světelného paprsku do požadovaného tvaru a směru. Bi-modul umožňuje pomocí jedné čočky a jedné žárovky za pomoci clonky funkci tlumeného i dálkového světla. Modul s názvem VarioX je vyfocen na obr. 3.2.8.



Obr. 3.2.8 Modul VarioX¹²

AFS

AFS (Adaptive Frontlight System), je založen na několika optických a mechanických jednotkách, jejichž činnost je automaticky vyhodnocována a ovládána. Tento systém projektorů tedy umožňuje korekci světelného paprsku do požadovaného tvaru a směru v závislosti na stavu vozidla (rychlost, natočení volantu, atd.). Systém AFS je podobný běžným modulům, ty však nemají možnost mechanického natočení čočky. Pokud porovnáme modul VarioX s AFS modulem (obr. 3.2.9), můžeme si všimnout mírně složitější konstrukce a plastového orámování, které slouží k natáčení modulu.

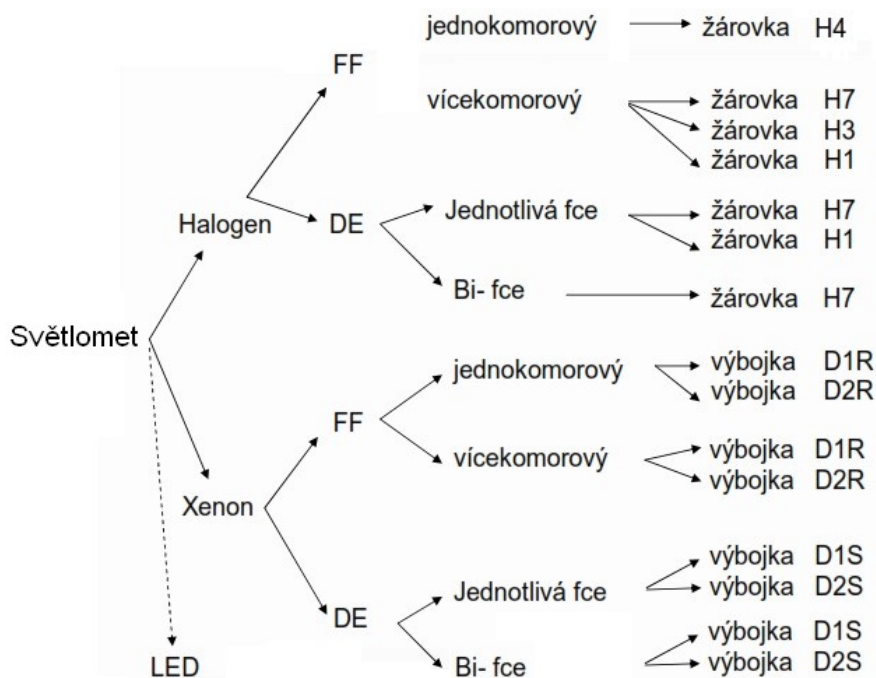


Obr. 3.2.9 AFS modul²⁴

4. Druhy světlometů podle světelných zdrojů hlavních funkcí

Rozdělení

Použití jednotlivých optických systémů a konstrukčních prvků světlometu se liší od typu použitého světelného zdroje. Rozdělení světlometů podle světelného zdroje je znázorněno na obr. 4.1.



Obr. 4.1 Druhy světlometů podle světelných zdrojů hlavních funkcí¹

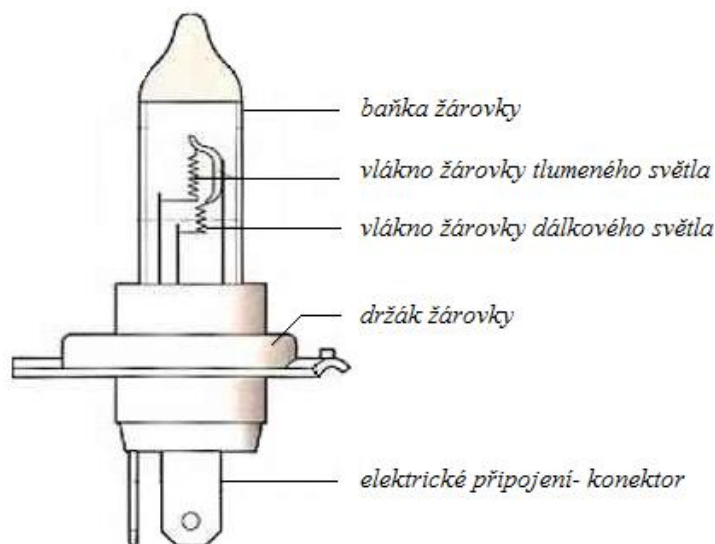
Označení DE znamená použití trojdimenzionálního elipsoidu v modulu, FF pak reflektoru tvarovaného pomocí volných ploch. Bi-funkce je označení pro DE moduly vykonávající funkci potkávacího i dálkového světla. Jednokomorový světlomet značí světlomet s jednou komorou, kdežto dvoukomorovým světlometem se myslí světlomet se dvěma komorami, z nichž každá obstarává jinou funkci. Jednokomorový a dvoukomorový světlomet je znázorněn na následujícím obr. 4.2.



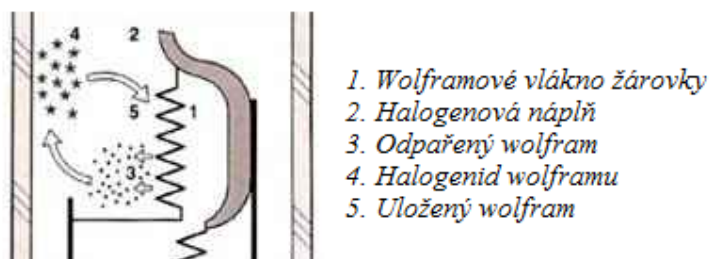
Obr. 4.2 a) Reflektorový jednokomorový světlomet pro žárovku H4¹ b) Jednokomorový světlomet s DE modulem- Bi-funkční¹ c) Dvoukomorový xenonový světlomet s DE modulem²⁵

4.1 Halogenový světlomet

Halogenovým světlometem je vybaven stále největší počet funkčních vozidel. Tyto světlometry využívají jako zdroj světla halogenové žárovky fungující na principu průchodu elektrického proudu wolframovým vláknem, které je jeho účinky rozžhaveno. Žárovka je vyplněna nejčastěji plyny, jako je bromid, metylbromid nebo halogen a vyrábí se z křemenného skla, které vyzařuje UV záření. Z tohoto důvodu se do skla přidává příměs oxidu titaničitého, jenž toto škodlivé UV záření blokuje.



Obr. 4.1.1 Halogenová žárovka ¹



Obr. 4.1.2 Princip funkce halogenové žárovky ¹

Vlákno dálkového světla označujeme jako HB (high beam filament) a vlákno tlumeného jako LB (low beam filament). Nejčastějším typem použitých optických systémů u halogenových světlometů jsou reflektorové a projektorové se snadnou výměnou žárovky. Jednoduchý reflektorový a projektorový světlomet je zobrazen na obr. 4.1.3.



Obr. 4.1.3 Halogenový projektorový světlomet vlevo, reflektorový vpravo ²⁶

Shrnutí vlastností halogenového světlometu

Příkon	55-65 W
Světelný tok	1500-2000 lm
Měrný světelný tok	26 lmW ⁻¹
Teplota chromatičnosti	2900-3100 K
Životnost žárovky	400-550 hod.
Značení žárovek	H1, H4, H7

Výhody

- + Cena.
- + Jednoduchá konstrukce reflektorovým či projektorovým optickým systémem.
- + Snadná výměna žárovky.
- + Jsou používány ve všech světelných funkcích- mlhová, dálková, potkávací, parkovací.

Nevýhody

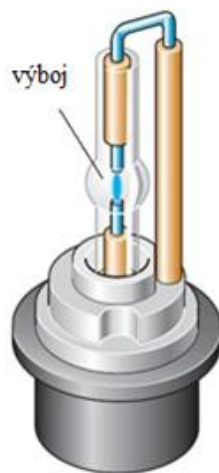
- Poměrně vysoká energetická náročnost v porovnání se získaným světelným tokem.
- Krátká životnost a nutná několikanásobná výměna v průběhu životnosti automobilu.
- Nedosahuje barevných teplot denního světla, což zhoršuje viditelnost a způsobuje únavu.

4.2 Xenonový světlomet

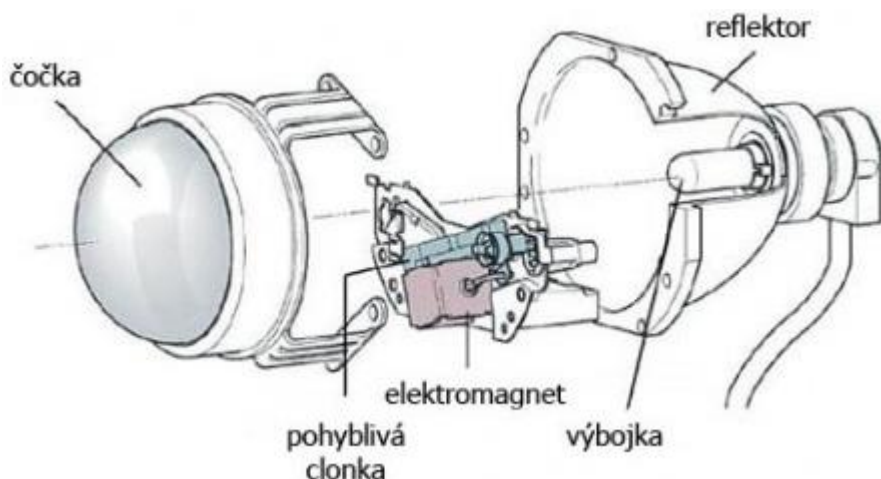
Tyto světlomety jsou označovány jako HID (High Intensity Discharge), v překladu výboj s vysokou intenzitou. Světlo vzniká při řízeném výboji v plynné náplni mezi dvěma elektrodami. K výboji je potřeba dosáhnout vysokého napětí v rozmezí 18000-30000 V, dále již světlomet pracuje při konstantním výkonu 25 nebo 35 W. Barva elektrického oblouku je ovlivněna složením použitého inertního plynu uvnitř výbojky.

Klasické xenonové výbojky se používají jako potkávací světla, dálková jsou zajištěna halogenovými. Pokud jsou dálková i potkávací světla zajištěna xenonovými výbojkami, mluvíme o bi-xenonových světlometech.

Nedílnou součástí xenonových světlometů je elektrická řídicí jednotka a startér (součástí žárovky), které jsou potřeba ke správné funkci. Dále musí být světlomet vybaven ostřikovačem a automatickým nastavováním sklonu světlometu. Kvůli těmto součástem rapidně narůstá celková hmotnost i cena.



Obr. 4.2.1 Xenonová výbojka²⁷



Obr. 4.2.2 Bi-xenonový modul²⁸

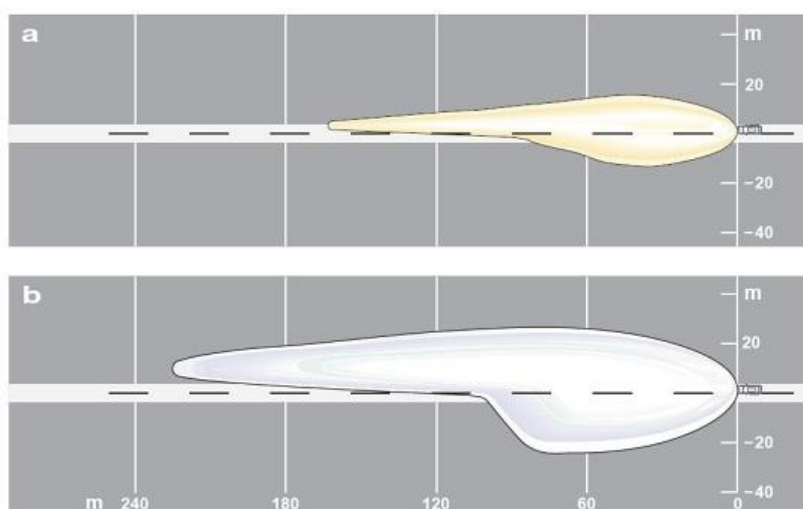
U bi-xenonových modulů slouží k přepínání mezi potkávacími a dálkovými světly clonka ovládaná elektromagnetem, která mechanicky blokuje nebo propouští světelný paprsek. Xenonové výbojky jsou nejčastěji používaným světelným zdrojem u AFS.

Xenonový světlomet lze rozpoznat i díky nutnosti ostřikovače, jak již bylo popsáno výše. Ostřikovač je povinná výbava v případě, že světelný výkon světlometu je vyšší, než stanovená hranice 2000 lm. Na obr. 4.2.3 můžeme vidět ostřikovač zabudovaný mimo světlomet. V některých případech je ostřikovač zabudován již v konstrukci světlometu.



Obr. 4.2.3 Xenonový světlomet s ostřikovačem²⁹

Pokud porovnáme při pohledu shora tvar světelného kužele xenonového světlometu s halogenovým, můžeme si všimnout delšího dosvitu a větší šířky světelného kužele. Porovnání je znázorněno obr. 4.2.4



Obr. 4.2.4 Půdorys rozptylu světla z ptáčí perspektivy²⁷

a) Halogenová žárovka b) Xenonová žárovka

Shrnutí vlastností xenonového světlometu

Příkon	25-35 W
Světelný tok	1600-3500 lm
Měrný světelný tok	80-89 lmW ⁻¹
Teplota chromatičnosti	4000-4250 K
Životnost výbojky	1500-3000 hod.
Značení výbojky	D(1, 2, 3, 5, 8)(S, R)

Výhody

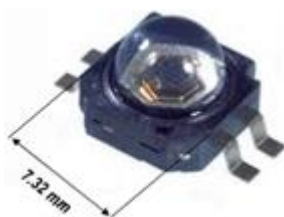
- + Poskytuje o 200 % více světla v porovnání s příkonem halogenového světlometu.
- + Teplotou chromatičnosti světla se blíží dennímu světlu.
- + Delší životnost zdroje než u světlometů halogenových.

Nevýhody

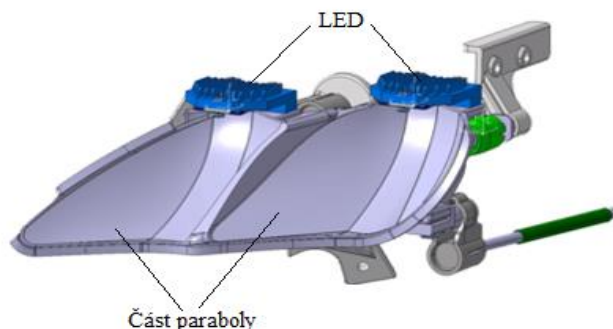
- Zákon vyžaduje ostřikovací systém v případě použití zdroje s příkonem 35 W, jelikož světelný tok výbojky s tímto výkonem překračuje hranici 2000 lm.
- Nutnost elektrické řídicí jednotky a startéru.
- Výměnu žárovky je nutno vzhledem k bezpečnosti provádět v servise.

4.3 LED světlomet

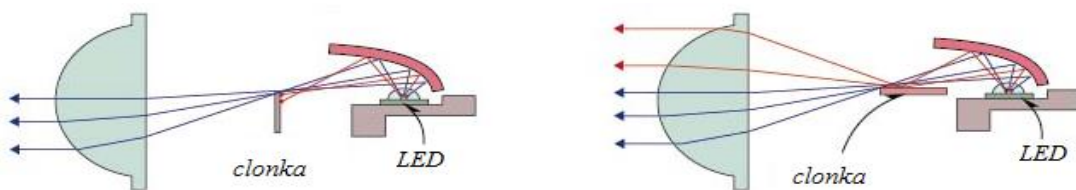
Zdrojem světla je LED dioda fungující na principu polovodičových destiček přetvářejících elektrický proud přímo na světlo. Jedná se o velice efektivní výbojový světelný zdroj, který je nárazuvzdorný a vydrží nepřetržitě svítit až několik desítek tisíc hodin. Vzhledem ke svým malým rozměrům umožňuje variabilní design a díky malé energetické náročnosti je mnohonásobně úspornější oproti ostatním světelným zdrojům. První LED určená k použití ve světlometech je zobrazena na obr. 4.3.1. V roce 2013 lze očekávat první moduly pracující s LED. Dnes je využíván reflektorový systém optiky ve formě půlené paraboly a dvou komor, kdy zdroj světla není umístěn v ohnisku, jak můžeme vidět na obr. 4.3.2, nebo projektorový systém zobrazený na obr. 4.3.3 či systém přiléhající čočky zobrazený na obr. 4.3.4 a na obr. 4.3.5.



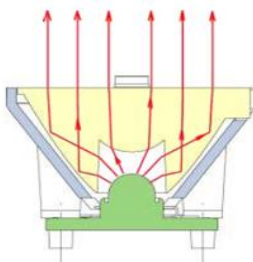
Obr. 4.3.1 První LED zdroj pro přední světlomet¹



Obr. 4.3.2 Reflektorový systém LED³⁰



Obr. 4.3.3 Projektorový systém LED³¹



Obr. 4.3.4 Optický systém s lisovanou čočkou³²

Čočka je vyrobena z plastu a je umístěna přímo na diodu, čímž odpadá nutnost použití reflektoru. Využívá speciálního tvarování, díky kterému dochází k usměrňování paprsků uvnitř čočky přímo z LED daným směrem a v požadovaném tvaru. Tento způsob konstrukce je využit například u denního svícení pro Audi A8 (obr. 4.3.6).

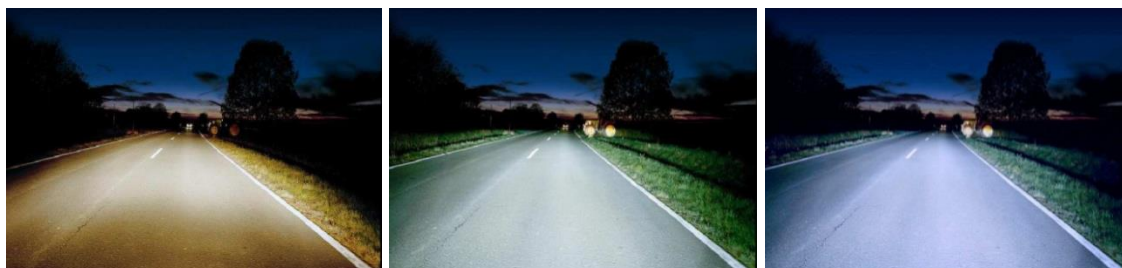


Obr. 4.3.5 Plastová lisovaná čočka obklopující LED



Obr. 4.3.6 Full-LED světlomet Audi A8³³

Následující obrázek zobrazuje porovnání všech tří typů světlometů v závislosti na použitém světelném zdroji. LED a xenon umožňují na rozdíl od halogenu ostřejší rozhraní světlo/tma a také umožňují delší dosvit. Ten je způsoben vyšším výkonem a silnějším světelným tokem. Z obrázku je patrná také rozdílná teplota chromatičnosti jednotlivých světlometů.



Obr. 4.3.7 Porovnání viditelnosti, zleva Halogen, Xenon, LED¹²

Shrnutí vlastností LED světlometu

Příkon	20-50 W
Světelný tok	max. 250 lm/chip
Měrný světelný tok	186-200 lmW ⁻¹
Teplota chromatičnosti	6100 K
Životnost LED	50 000-100 000 hod.
Značení	single chip, multi chip, dle výrobce (Oscon, Dragon, atd.)

Výhody

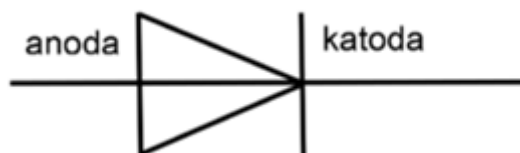
- + Výrazně nižší spotřeba elektrické energie při zvýšeném světelném toku.
- + Teplota chromatičnosti dosahuje kvality denního světla.
- + Vysoká životnost trvající déle než je životnost celého vozidla, čímž zaniká potřeba dodatečných investic na opravy.
- + Malé rozměry diody nabízí mnoho možností ve stylingu.
- + Odolnost proti nárazům.

Nevýhody

- Nevýhodou LED je pokles světelného výkonu a životnosti v závislosti na teplotě. Při vysoké teplotě může dojít k přehřátí pouzdra diody a k následnému selhání. Vzhledem k vysokým požadavkům na spolehlivost v automobilovém průmyslu se musí teplota korigovat.
- Vysoká cena.
- Citlivost na přesné napětí.
- Jelikož světelný tok ve většině případů přesahuje hranici 2000 lm, je dle zákona potřeba zabudovaných ostřikovačů.

5. LED

LED (Light Emitting Diode), v překladu znamená světlo vyzařující dioda. Jedná se o polovodičovou diodu s PN přechodem vyzařující světlo při průchodu elektrického proudu daným směrem. Pokud u diody zapojíme kladný pól k přechodu P, vznikne zapojení v propustném směru a přechodem protéká proud. Zapojíme-li záporný pól k přechodu P, vznikne zapojení v závěrném směru a přechod nepropouští elektrický proud. Schematickou značku diody popisuje následující obrázek.



Obr. 5.1 Značení diody³⁴

LED může být zcela charakterizována následujícími parametry:

Patice

Patice označuje jakým způsobem je zdroj světla připojen ke zdroji proudu. V mnohých případech dochází k nahrazování klasických žárovek za úspornější LED, které musí být tedy opatřeny kompatibilní paticí zaměnitelnou s paticí ostatních žárovek. Tudíž je značení patic LED používaných v automobilu totožné se značením patic uvedeným na obr. 1.2.2.

Příkon

Příkon se u indikačních diod pohybuje v řádu mW, u výkonných v řádu desítek wattů a příkony nejvýkonnějších LED dosahují hodnot převyšujících 100 W. Světelný zdroj se dvěma diodami a příkonem 5 W má výkon 4,2 W a emituje světelný tok 400 lm, což odpovídá žárovce o příkonu 40 W. Napětí se nejčastěji pohybuje v rozmezí 1-24 V, proud okolo 20-100 mA, u výkonných diod v řádu jednotek A. Následující tabulka přiřazuje dané LED odpovídající žárovku o přibližně stejném světelném toku.

Tab. 5.1 Porovnání výkonu LED zdrojů³⁵

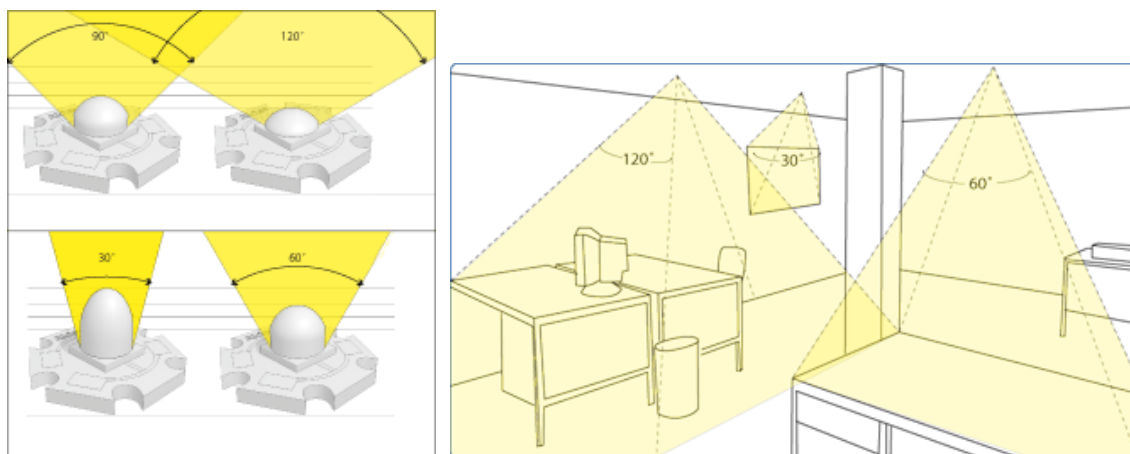
Typ	příkon [W]	výkon [W]	počet LED	svět. tok [lm]	žárovka [W]
LED-2L01	5	4,2	2	400	40
LED-2L02	10	8,4	4	800	60
LED-3L02	15	12,6	6	1200	90
LED-4L02	21	16,8	8	1600	2x75
LED-6L02	31	25,2	12	2400	180
LED-8L02	40	33,6	16	3200	240
LED-10L02	49	42	20	4000	340
LED-25L01	61	52,5	25	5000	500
LED-16L03	116	100,8	48	9600	1200

Světelný tok

Je množství světelné energie vyzařené zdrojem světla za jednotku času. Pohybuje se řádově ve stovkách až tisících lumenů. Dále se uvádí měrná světelná účinnost, jednotky [lmW^{-1}], což je přepočet světelného toku na jeden watt. Hodnoty se pohybují v desítkách až ve stovkách lumenů na jeden watt.

Vyzařovací úhel

Vyzařované světlo je emitováno u rozdílných diod pod různým úhlem. Vyzařovací úhel tedy udává informaci o rozložení vyzařovaného světla. K osvětlení místnosti je zapotřebí velký vyzařovací úhel, kdežto při osvětlení jediného prvku v místnosti je zapotřebí vyzařovací úhel malý. Tento rozdíl vysvětluje obr. 5.2.



Obr. 5.2 Znárodnění vyzařovacích úhlů LED ³⁶

Barva světla

Zpravidla bývá popsána teplotou chromatičnosti. U LED se můžeme setkat s téměř všemi spektry barevné teploty zobrazenými na obr. 1.1.2.

Index barevného podání

Značí se zkratkou **CRI** (Color Rendering Index). Hodnotí věrnost barevného vjemu vzniklého osvětlením daným zdrojem s porovnáním barevného vjemu vzniklého na světle slunce. Hodnota **CRI** je udávána v hodnotách od 0 do 100. Hodnota 0 značí nemožnost rozeznání barev, hodnota 100 znamená dokonalé rozeznání a podání barev.

Maximální teplota

$T_{j \max}$ značí maximální možnou teplotu přechodu, která je limitována použitým materiálem polovodičů a podložky. Při jejím překročení ztrácí LED na světelném výkonu a rapidně klesá její životnost. Pohybuje se okolo 125 °C.

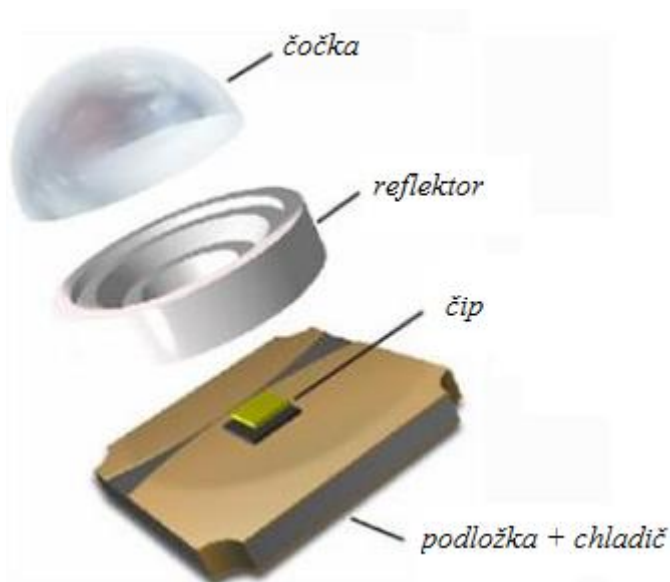
Životnost

Je dána počtem provozních hodin za daných podmínek, než dojde k poklesu výkonu pod danou hranici. Životností se nejčastěji rozumí pokles svítivosti v lumenech pod 70 % svítivosti původní při daných podmínkách a značí se L_{70} . Jelikož nejsou LED citlivé na zapínání a vypínání, může jejich životnost při správném provozování přesahovat hranici 100 000 hodin. U výkonných LED je životnost podstatně kratší.

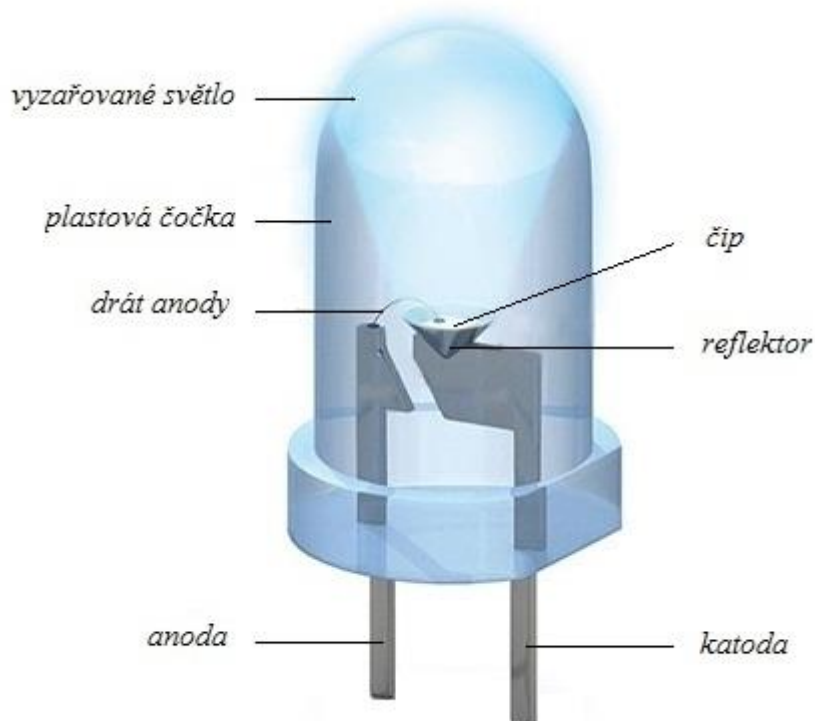
5.1 Konstrukce a rozdělení

Součásti LED

Všechny LED se skládají ze čtyř základních prvků znázorněných na obr. 5.1.1 pro výkonnou LED a na obr. 5.1.2 pro klasickou LED. Jedná se o čočku, čip, reflektor a katodu s anodou.



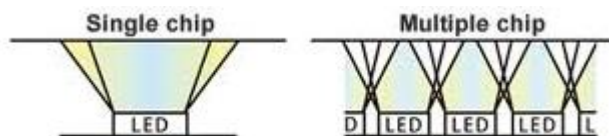
Obr. 5.1.1 Schéma single chip LED s chladičem³⁷



Obr. 5.1.2 Schéma klasické 8 mm LED^{38 upravený}

Rozdělení LED

LED zdroje se pro použití ve světlometech rozdělují nejčastěji na **jednočipové** (single chip) a **vícečipové** (multi chip). U jednočipových LED je na podložce připevněn pouze jeden přechod PN, kdežto u vícečipových je na podložce umístěno přechodů více. Vzhledem k tomuto rozdělení se uvádí světelný tok a příkon pro jeden čip. Ve světlometech se běžně setkáváme se čtyřčipovými LED. Dalším možným rozdělením je podle výkonu na miniaturní, středně výkonné a vysoce výkonné.



Obr. 5.1.3 Jednočipová a vícečipová LED ³⁹

Miniaturní

Jedná se o jednočipové diody používané jako indikátory. Jejich velikost se pohybuje od 1 do 10 mm a vzhledem k jejich proudovému zatížení pohybujícího se v rozmezí 1 mA až 20 mA není zapotřebí dodatečného chlazení a odvodu tepla. Na obr. 5.1.4 můžeme vidět porovnání velikosti miniaturních LED s klasickou zápalkou.



Obr. 5.1.4 Miniaturní LED v porovnání s velikostí klasické zápalky ⁴⁰

Miniaturní diody dále rozdělujeme na:

- Low proud 1-2 mA, napětí 2 V, spotřeba 4 mW
- Standard proud 20 mA, napětí 2 V, spotřeba 40 mW
- Ultra high proud 20 mA, napětí 2-5 V, viditelné na přímém slunci



Obr. 5.1.5 Různé tvary miniaturních LED ⁴⁰

Středně výkonné

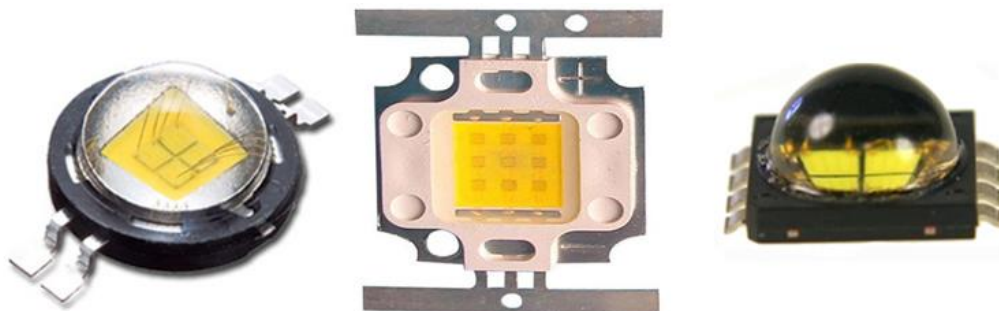
Středně výkonné LED jsou většinou osazeny dvěma katodami a dvěma anodami, což zajišťuje lepší kondukcí při odvodu vzniklého tepla. Z tohoto důvodu odpadá u většiny případů problém s řešením odvodu tepla dodatečným chlazením. Proudové zatížení se pohybuje v rozmezí do 100 mA.



Obr. 5.1.6 Středně výkonná LED ⁴¹

Vysoce výkonné

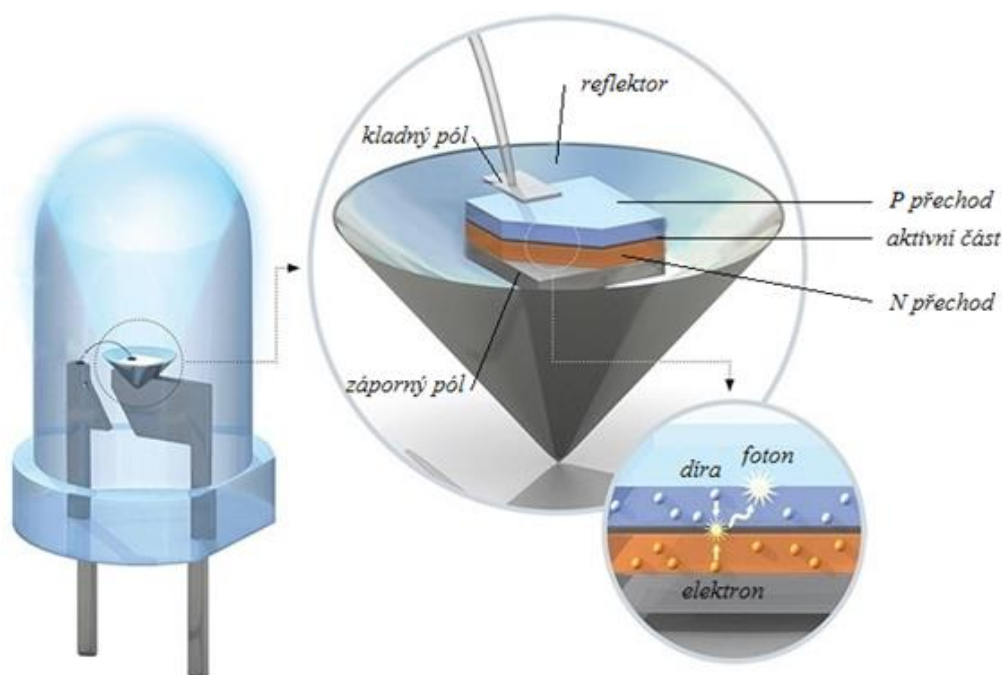
Označují se také jako HPLED (High Power LED). Mohou být zatíženy proudem v řádu stovek mA nebo jednotek A a mohou emitovat světelný tok v řádech tisíců lumenů. Díky těmto vlastnostem nachází své uplatnění při osvětlení ulic, stadionů, billboardů či v konstrukci světlometů. Nevýhodou je vznik velkého množství tepla a nutnost chlazení.



Obr. 5.1.7 Vysoce výkonné vícečipové LED ^{42, 43}

5.2 Vznik tepla a světla

PN přechod se skládá z kladné a záporné vrstvy. Elektronů z kladné vrstvy se setkávají s dírami v záporné vrstvě a vytváří spojení. Proces vzniku odděleného páru elektron-díra se nazývá generace a je nutno energii dodat. Dojde-li k setkání elektronu a díry, ztrácí elektron část své energie. Tento proces se nazývá rekombinace a dochází při něm k uvolňování energie. U obou procesů platí zákon zachování energie, tudíž je energie potřebná ke generaci stejná jako energie potřebná k rekombinaci. Pokud elektron zaujme místo díry dojde k rekombinaci, elektron přeskočí na nižší energetický stupeň a dochází uvolnění energie ve formě energie světelné nebo tepelné. Tento proces tvorby světla je znám jako elektroluminiscence a je schematicky znázorněn na obr. 5.2.1.



Obr. 5.2.1 Princip vzniku světla ^{38 upravený}

Aby došlo k uvolnění energie ve formě fotonu, tedy světelné energie, je nutné použít na výrobu přechodu (čipu) speciální materiály, které ovlivňují také barvu vyzářeného světla. Příklady nejpoužívanějších materiálů a vyzařovaných vlnových délek jsou uvedeny v tabulce 5.2.1.

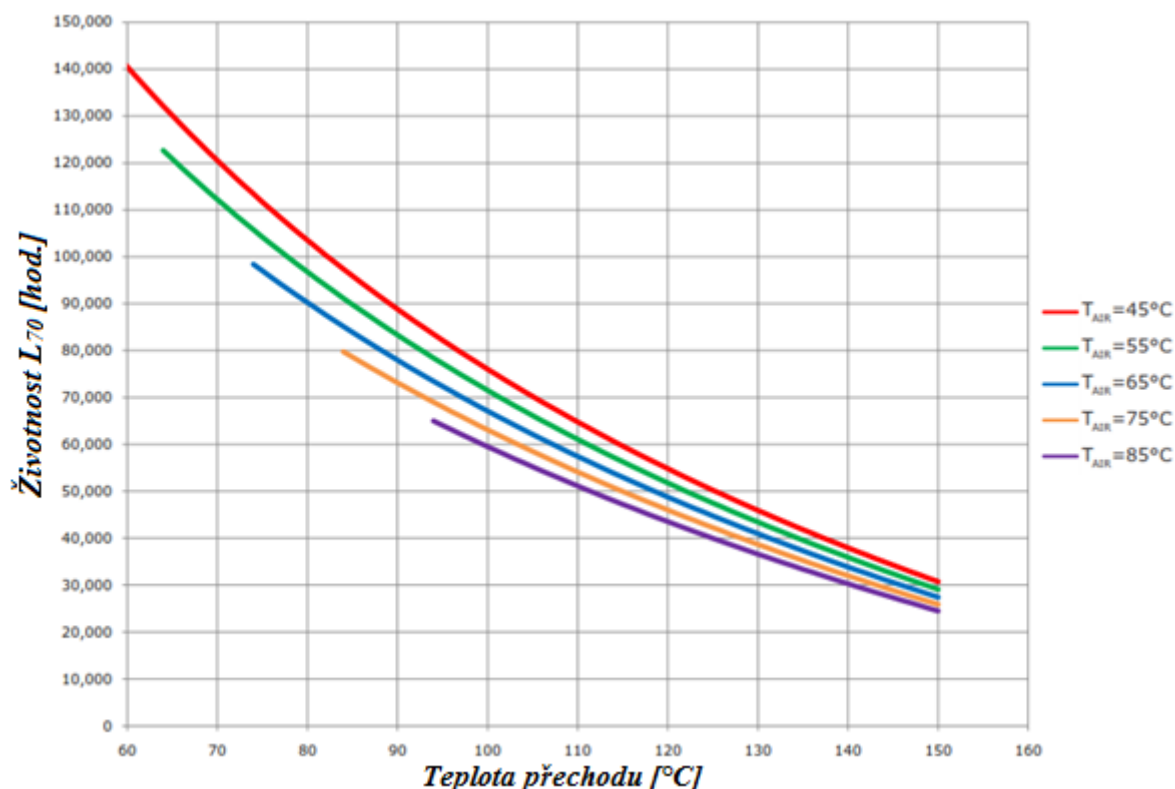
Tab. 5.2.1 Vlastnosti PN přechodů pro daný typ materiálu ⁴⁴

Materiál	Druh elektromagnetického záření	λ [nm]	U [V]
SiC, GaN	modrá barva	450	3,6
GaP	zelená barva	565	2,2
GaAs _{0,15} P _{0,85} N	žlutá barva	580	2,1
GaAs _{0,35} P _{0,65} N, GaAs _{0,6} P _{0,4} , GaPZnO	červená barva	635	2,0
SiC, GaN, luminofor na povrchu	bílá barva	450 - 650	3,6
GaAsSi	Infračervené záření	820 - 950	1,5

V některých případech se až 70 % elektrické energie přemění na teplo, zbylých 30 % na světlo. V porovnání s klasickou žárovkou, kdy se na světlo přemění 5 % energie, je to i tak 6x více. Pokud nedochází k odvodu tepla z čipu, LED pracuje ve zvýšených teplotách, což rapidně snižuje její výkonnost i životnost. Nesmí být přesaženo limitní teploty povolené výrobcem, která se v současnosti pohybuje v rozmezí od 90 °C do 120 °C. V případě, že dojde k překročení teploty, dochází k poškození čipu a následné destrukci. Snahou vývoje je nalezení nových materiálů s malými nároky na chlazení a s vysokou stabilitou za vysokých teplot.

5.3 Teplotní závislosti

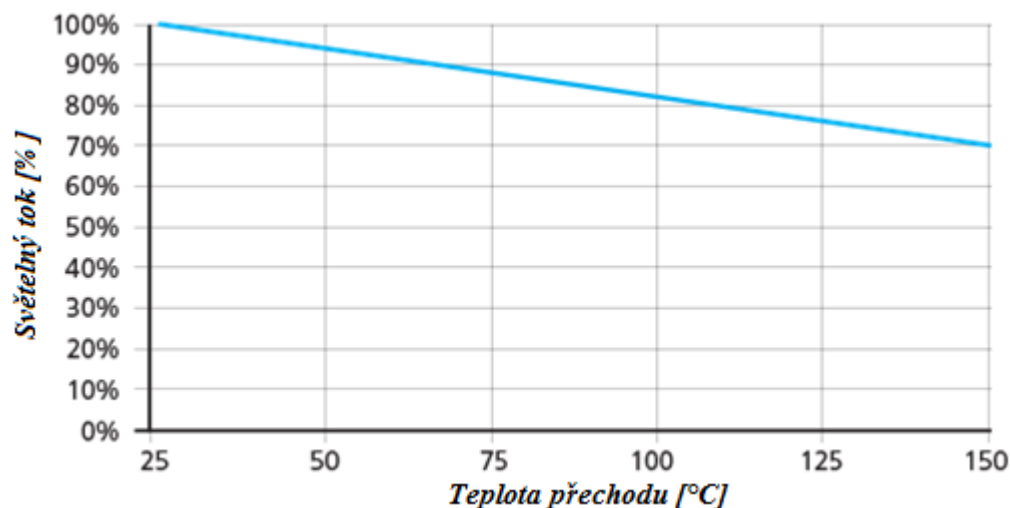
V automobilovém průmyslu se na výrobu světlometů běžně používají LED čipy s účinností 150-250 lm/chip (tlumené a dálkové světlo), u kterých dochází k uvolňování velkého množství energie ve formě tepla. Jak již bylo popsáno v předchozí kapitole, v případě vysokých teplot dochází k poklesu životnosti, svítivosti a případně i k destrukci čipu. Za maximum je dnes považováno 250 lm/chip, více zatím není možné uchladiť. Následující grafy ukazují, k jak výraznému poklesu životnosti na 70 % životnosti původní dochází v závislosti na teplotě čipu při konstantní teplotě okolí.



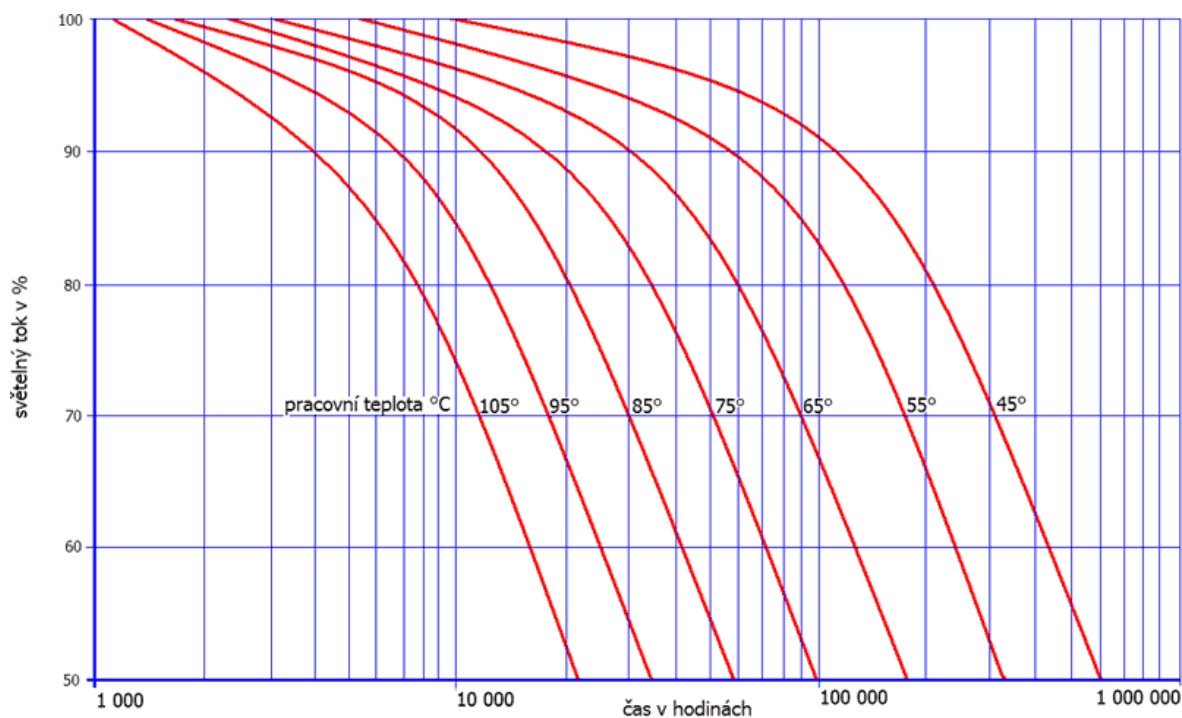
Obr. 5.3.1 Graf poklesu životnosti LED Cree XLamp XR-E White při proudovém zatížení 350 mA⁴⁵

Z grafu je patrné, že životnost LED je silně závislá nejen na teplotě přechodu čipu T_j , kterou nazýváme operační teplotou, ale také na teplotě okolí.

Velkou roli při posuzování kvality světelného zdroje nehraje pouze životnost, ale také stálost světelného toku. U LED dochází k poklesu svítivosti se zvyšující se teplotou tak, jak je znázorněno v grafu obecné závislosti světelného toku v procentech na operační teplotě na obr. 5.3.2. Světelný tok vyjádřený procenty v závislosti na době provozu LED pro různé pracovní teploty je znázorněn v logaritmickém měřítku na obr. 5.3.3.

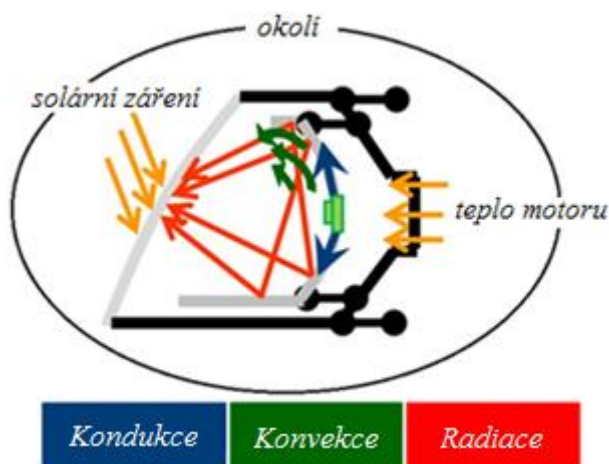


Obr. 5.3.2 Obecná závislost světelného toku na teplotě přechodu⁴⁶



Obr. 5.3.3 Svítivost v závislosti na teplotě v logaritmickém měřítku⁴⁷

6. Zdroje a šíření tepla



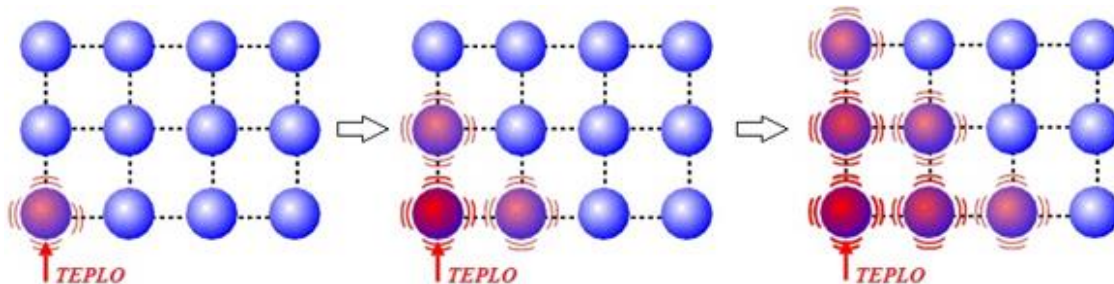
Obr. 6.1 Zdroje a typy šíření tepla ve světlometu ^{48 upravený}

Teplota okolí světlometu vzhledem k různým podmínkám, ve kterých se automobil pohybuje, značně kolísá. V zimním období teplota klesá pod $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ a během léta přesahuje hranici $45\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vlivem přímého slunečního záření může být světlomet zahříván solární radiací až k teplotám $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dalším teplotně působícím činitelem je motor automobilu, jenž se většinou nachází v těsné blízkosti světlometu. Teplota okolí světlometu může ze strany motoru při jeho velkém zatížení dosahovat hodnot přesahujících $110\text{ }^{\circ}\text{C}$. VW testuje světlometry při okolní teplotě $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ a při zapnutí všech světlených funkcích.

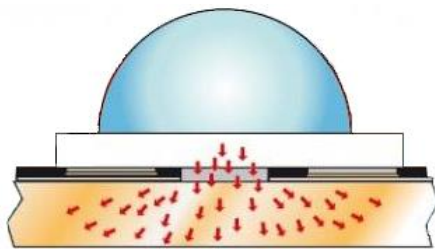
Jelikož jsou některé části světlometu limitovány maximální možnou teplotou, není možné vliv okolního prostředí na světlomet zanedbat a je nutné s ním při návrhu počítat. Vstupními hodnotami pro návrh jsou požadavky zákazníka, které jsou většinou přísnější než normy stanovené EHK (VW požaduje 30 % nad normu). Obecně tento proces zabývající se světlometem po tepelné stránce nazýváme thermal management.

6.1 Kondukce

Šíření tepla kondukcí, tedy vedením, je vázáno na hmotu a probíhá jen mezi těsně sousedícími částicemi. Kinetická energie molekul je předávána jejich srážkami a tím dochází k přenosu tepelné energie. S kondukcí se můžeme setkat v pevných látkách, ale i v kapalinách a plynech. Ve světlometu probíhá zejména ze zdroje tepla (čipu) do podložky a následně chladiče, který teplo odvádí do okolí konvekci.



Obr. 6.1.1 Přenos tepla srážkami molekul ⁴⁹

Obr. 6.1.2 Šíření tepla z přechodu do chladiče ^{50 upravený}

K výpočtu šíření tepla vedením je nutné znát teploty na rozdílných místech tělesa a tepelné toky. Množiny teplot v tělese nazýváme teplotním polem a definujeme $T = f(x, y, z, \tau)$, kde x, y, z , jsou prostorové souřadnice a τ značka času. Pole může být v závislosti teploty na čase stacionární či nestacionární. O nestacionárním poli mluvíme v případě, že teploty se s časem mění, o stacionárním pokud se teploty nemění. Body tělesa se stejnou teplotou vytváří izotermické plochy, pro které platí druhý zákon termodynamiky, dle kterého dochází k přenosu tepla z oblasti vyšších teplot do oblasti teplot nižších. Množství transportovaného tepla za časovou jednotku nazýváme tepelným tokem $\dot{Q}$. Tepelný tok vztažený na jednotku plochy je nazýván hustotou tepelného toku $\dot{q}$.

Tepelný tok a jeho hustotu při přenosu tepla kondukcí definuje Fourierův zákon:

$$\vec{\dot{Q}} = -\lambda \cdot S \cdot (\text{grad } T) \quad \text{nebo} \quad \vec{\dot{q}} = -\lambda \cdot (\text{grad } T) \quad (6.1)$$

$\dot{Q}$ [W] tepelný tok

$\dot{q}$ [Wm⁻²] hustota tepelného toku

λ [Wm⁻¹K⁻¹] součinitel tepelné vodivosti

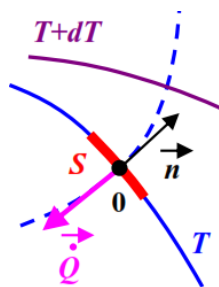
S [m²] izotermická plocha kolmá k tepelnému toku

T [K] teplota

Teplotní gradient je určen následovně:

$$\text{grad } T = \vec{n} \left(\frac{\partial T}{\partial n} \right) \quad (6.2)$$

$\vec{n}$ [m] jednotkový vektor normály k izotermické ploše směřující k vyšší teplotě

Obr. 6.1.3 Vektor normály $\vec{n}$ ⁵¹

Fourierův zákon pro tepelný tok vedením můžeme po dosazení zapsat ve tvaru:

$$\dot{Q} = -\lambda \cdot S \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) \quad (6.3)$$

∂x [m] *elementární změna směřující do míst o vyšší teplotě*

Celkové teplo prošlé danou plochou za jednotku času lze pak vypočítat:

$$Q = \dot{q} \cdot S \cdot \tau \quad \text{nebo} \quad Q = \dot{Q} \cdot \tau \quad (6.4)$$

Q [J] *teplo*

τ [s] *čas*

Součinitel tepelné vodivosti λ

Tepelnou vodivost materiálu lze definovat jako schopnost materiálu vést teplo. Jde o množství tepla procházejícího za sekundu jednotkou plochy při teplotním spádu jednoho Kelvinu na jednotku délky⁵². V případě závislosti pouze na teplotním gradientu je toto způsobeno teplotním rozdílem ΔT . Čím nižší je hodnota λ , tím má materiál horší schopnost vést teplo a je tedy dobrým izolantem.

Součinitel tepelné vodivosti λ je pro ideální plyny konstantou, pro pevné látky a kapaliny $\lambda = f(T)$ a pro reálné plyny $\lambda = f(T, p)$. Pro plyny se pohybuje v rozmezí od 0 až do $0,1 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$, u kapalin od 0 do $1 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ a u pevných látek od 0 do $400 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$. Tekuté kovy mají λ řádově 100x větší než kapaliny a λ čistých krystalů dosahuje hodnot až $10000 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$.

Tab. 6.1.1 Součinitel tepelné vodivosti některých látek při teplotě 20°C ⁵¹

Látka	λ [$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$]
Stříbro	418
Měď	395
Hliník	229
Ocel	50
Voda	0,6
Plexisklo	0,2
Skelná vata	0,03
Vzduch	0,023

Vedení tepla popisuje obecná diferenciální rovnice vedení tepla (dále jen DR):

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \frac{Q^*}{c \cdot \rho} \quad (6.5)$$

a [m^2s^{-1}] teplotová vodivost

Q^* [Wm^{-3}] teplo uvnitř elementu vzniklé jako důsledek vnitřního zdroje

c [JkgK^{-1}] měrná tepelná kapacita

ρ [kgm^{-3}] hustota

x, y, z směry v kartézském systému souřadnic

Pro teplotovou vodivost platí definice:

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \quad (6.6)$$

Pro tuhá tělesa bez vnitřních zdrojů můžeme DR psát:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (6.7)$$

Tuto rovnici nazýváme Fourierovou DR vedení tepla a je známá jako I. zákon termodynamiky pro vedení tepla, nebo také jako energetická rovnice pro vedení tepla.

V praxi se můžeme setkat s řešením přímých úloh, kdy je cílem zjistit rozložení teplot v prostoru a čase za pomoci počátečních a okrajových podmínek, nebo s řešením nepřímých úloh, kdy je cílem naopak určení okrajových podmínek ze známého rozložení teplot.

Počáteční podmínka

Určuje rozložení teplot na počátku děje pro $\tau = 0$. Často je $T_0 = \text{konst.}$ Zadává se, pokud dochází ke změně teploty s časem.

$$T(x, y, z, \tau = 0) = f(x, y, z) \quad (6.8)$$

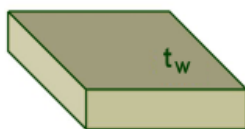
Okrajová podmínka

Určuje rozložení teplot na povrchu tělesa v průběhu děje.

1. Druhu- Dirichletova

Udává rozložení teplot na povrchu tělesa v čase. Značíme indexem w a většinou $T_w = \text{konst.}$ Podmínka je funkcí souřadnic a času.

$$T_w = f(x_w, y_w, z_w, \tau) \quad (6.9)$$

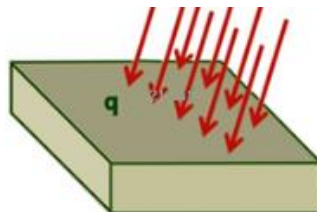


Obr. 6.1.4 Rozložení T_w na povrchu tělesa⁵²

2. Druhu- Neumannova

Charakterizuje rozložení hustoty tepelného toku na povrchu tělesa v čase. Často $\dot{q}_w = \text{konst.}$ Podmínka je opět funkcí souřadnic a času.

$$\dot{q}_w = f(x_w, y_w, z_w, \tau) \quad (6.10)$$



Obr. 6.1.5 Rozložení $\dot{q}_w$ na povrchu tělesa⁵²

3. Druhu- Newtonova

Popisuje rozložení součinitelů přestupu tepla na povrchu tělesa v čase. Běžně $\alpha = \text{konst.}$

$$\alpha = f(x_w, y_w, z_w, \tau) \quad (6.11)$$

6.1.1 Stacionární vedení tepla rovinnou stěnou

Vycházíme z DR vedení tepla:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (6.12)$$

Pro stacionární 1D vedení platí rovnice:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = 0 \quad (6.13)$$

Řešením DR je tedy přímka:

$$T = a_0 + a_1 x \quad (6.14)$$

Konstanty a_0 a a_1 získáme z okrajových podmínek:

$$x = 0 \rightarrow T = T_{w1} \quad (6.15)$$

$$x = \delta \rightarrow T = T_{w2} \quad (6.16)$$

δ [m]	tloušťka stěny
T_{w1}	teplota stěny na jedné straně
T_{w2}	teplota stěny na druhé straně

Vyjádříme teplotní profil ve tvaru:

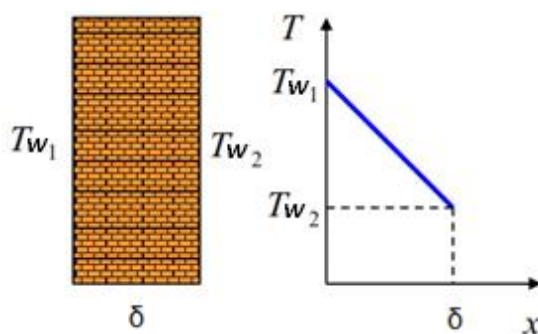
$$T = T_{w1} + \left(\frac{T_{w2} - T_{w1}}{\delta} \right) x \quad (6.17)$$

Derivací teplotního profilu podle souřadnice x dostaneme:

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \left(\frac{T_{w2} - T_{w1}}{\delta} \right) \quad (6.18)$$

Pokud do Fourierova zákona dosadíme za dT a dx , dostaneme vztah:

$$\dot{Q} = -\lambda \cdot S \cdot \left(\frac{T_{w2} - T_{w1}}{\delta} \right) \quad (6.19)$$



Obr. 6.1.6 Znáznornění vedení tepla stěnou⁵³

6.1.2 Analogie

Mezi tepelnými a elektrickými veličinami existuje jistá analogie, díky které si můžeme do jisté míry zjednodušit rovnice a schémata pro vedení tepla.

Pro vedení tepla platí Fourierův zákon:

$$\dot{q} = \lambda \cdot \left(\frac{\Delta T}{\delta} \right) = \frac{\Delta T}{\frac{\delta}{\lambda}} \quad (6.20)$$

Pro elektrické obvody platí Ohmův zákon:

$$I = \frac{U}{R} \quad (6.21)$$

I [A] proud

U [V] napětí

R [Ω] odpor

Elektrický proud I je analogický hustotě tepelného toku $\dot{q}$:

$$I = \dot{q} \quad (6.22)$$

Napětí U a jeho rozdíl je analogický rozdílu teplot ΔT :

$$U = \Delta T \quad (6.23)$$

Elektrický odpor R je analogický tepelnému odporu $\frac{\delta}{\lambda}$:

$$R_{\lambda} = \frac{\delta}{\lambda} \quad (6.24)$$

Pro analogii mezi tepelnými a elektrickými veličinami pro přenos tepla kondukcí tedy platí vztah:

$$R_{th} = \frac{\Delta T}{P} = \frac{\delta}{\lambda \cdot S} \quad (6.25)$$

$$P = \dot{Q} \quad (6.26)$$

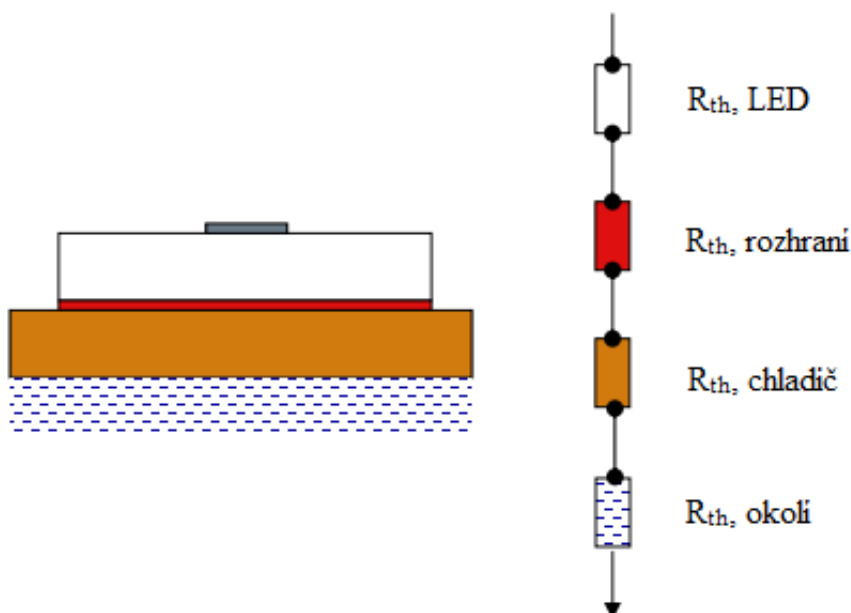
S [m²] plocha chladiče

δ [m] tloušťka

Pokud se jedná o konvekci probíhající z chladiče do okolí, platí následující vztah, který vychází z podkapitoly 6.2 Konvekce:

$$R_{th} = \frac{\Delta T}{P} = \frac{1}{\alpha \cdot S} \quad (6.27)$$

α [Wm⁻²K⁻¹] koeficient přestupu tepla



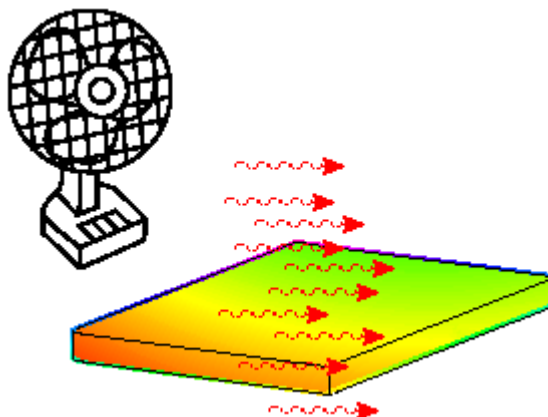
Obr 6.1.2.1. Odporové schéma⁴⁸

6.2 Konvekce

Konvekci se rozumí přenos tepla prouděním vlivem přenosu tepelné energie pohybujícími se částicemi v prostoru. Částice se v prostoru přemísťují nuceným či přirozeným prouděním.

Nucená konvekce

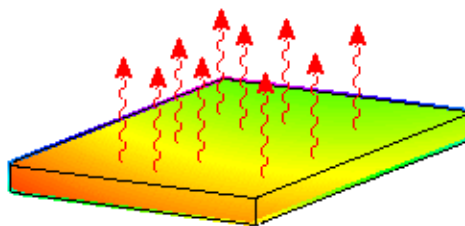
Nucená konvekce je konvekce vyvozená zásahem zvenčí, například ventilátorem, větrem, čerpadlem, atd. K nucené konvekci dochází především v případě aktivního chlazení světlometu, kdy je chladič ochlazován proudem vzduchu, kterému je vystaven.



Obr. 6.2.1 Nucená konvekce⁵⁴

Přirozená konvekce

K přirozené konvekci dochází samovolně vlivem rozdílu teplot. K tomuto ději dochází v proudících tekutinách či plynech a je doprovázen kondukcí. S přirozenou konvekci se můžeme setkat u pasivně chlazených světlometů, kdy není proudění vzduchu uměle podporováno ventilátorem.



Obr. 6.2.2 Přirozená konvekce⁵⁴

Tepelný tok při přestupu tepla mezi povrchem a tekutinou je dán Newtonovým vztahem:

$$\dot{Q} = \alpha \cdot S \cdot (T_w - T_\infty) \quad \text{nebo} \quad \dot{q} = \alpha \cdot (T_w - T_\infty) \quad (6.28)$$

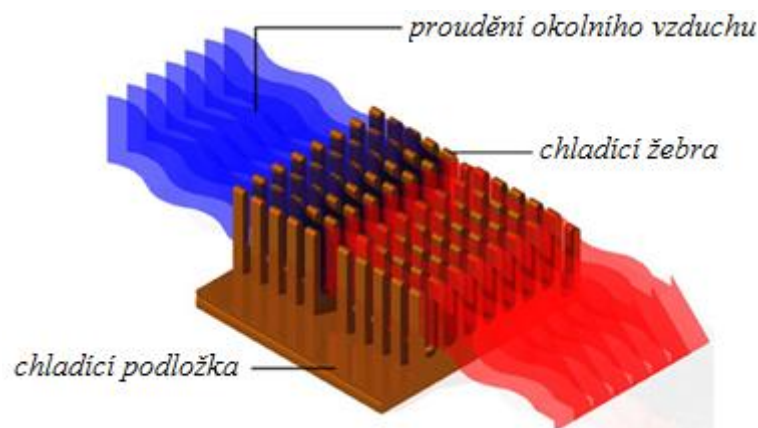
α [Wm⁻²K⁻¹] součinitel přestupu tepla

S [m²] plocha obtékaného povrchu

T_w [K] teplota povrchu

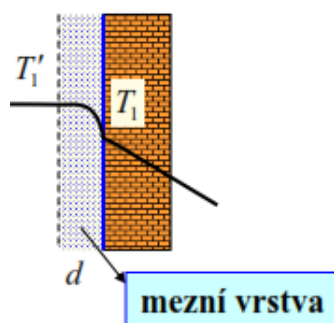
T_∞ [K] teplota tekutiny

Následující obrázek znázorňuje využití konvekce k odvodu tepla při proudění vzduchu skrze žebra chladiče.

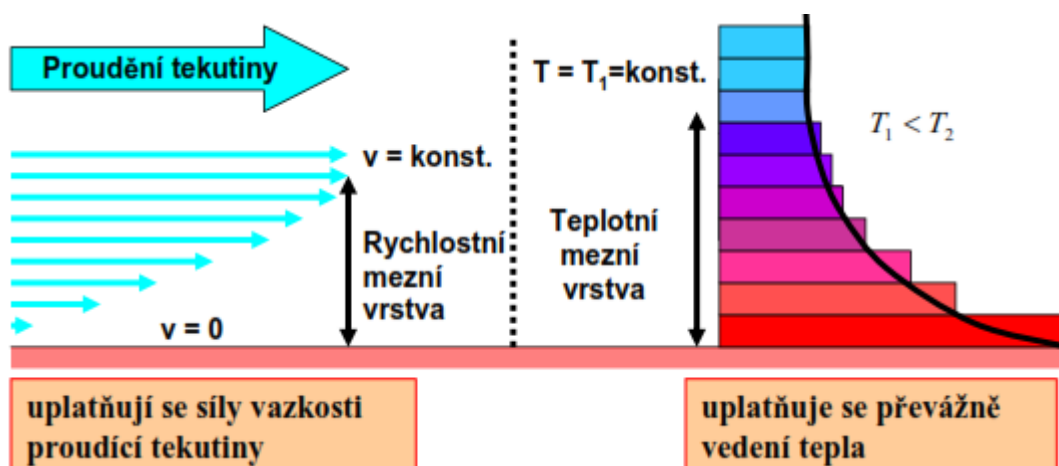


Obr. 6.2.3 Konvekce u chladiče^{55 upravený}

Pokud proudí tekutina okolo pevného tělesa, dochází vlivem přilnavosti molekul k vytváření tenké mezní vrstvy (obr. 6.2.4 a obr. 6.2.5) na rozhraní povrchu a proudící tekutiny, jejíž velmi malá tepelná vodivost způsobuje, že v ní probíhá sdílení tepla pouze vedením.



Obr. 6.2.4 Znázornění mezní vrstvy⁵³



Obr. 6.2.5 Teplotní pole mezní vrstvy⁵³

Projevy mezní vrstvy, rychlosti proudění a mnoho dalších jevů je zohledněno v součiniteli přestupu tepla.

Součinitel přestupu tepla α

Udává množství tepla sdíleného za jednu sekundu jednotkou povrchu při rozdílu jeden Kelvin mezi teplotou tekutiny a teplotou stěny. Čím vyšších hodnot dosahuje, tím intenzivněji dochází k výměně tepla. Z tohoto důvodu je nutné správné stanovení jeho hodnoty. Součinitel je závislý na mnoha faktorech, kterými jsou například vlastnosti tekutiny, jako je tepelná vodivost λ , měrná tepelná kapacita c , viskozita ν a hustota ρ . Dalšími faktory je rychlost proudění v , hydrodynamické jevy v kapalině, tvar obtékaného povrchu, rozložení teploty a kvalita povrchu stěny. Jelikož je α funkcí několika veličin, je jeho stanovení velice obtížné a nelze stanovit univerzální rovnici pro jeho výpočet. Proto je určován experimentálně a výsledky jsou zpracovány v kritériálních rovnicích, jež jsou omezeny měřicím rozsahem.

Tab. 6.2.1 Rozsahy součinitele přestupu tepla ⁵¹

Médium	α [Wm ⁻² K ⁻¹]
Vzduch (přirozená konvekce)	5-25
Vzduch (nucená konvekce)	20-300
Olej (nucená konvekce)	60-1800
Voda (nucená konvekce)	300-6000
Voda (vařící)	3000-60000
Pára (kondenzující)	6000-120000

Nejjednodušším způsobem jak získat α je za pomoci využití teorie podobnosti při konvekci za pomoci využití obecné kritériální rovnice. Tato rovnice obsahuje bezrozměrná kritéria, která byla získána analýzou rovnic platných pro konvekci. Popis jednotlivých kritérií je uveden v tab. 6.2.2.

Obecná kritériální rovnice

$$Nu = f(Re, Gr, Pr, Fo, Po, X, Y, Z) \quad (6.29)$$

$$X = \frac{x}{L} \quad Y = \frac{y}{L} \quad Z = \frac{z}{L} \quad (6.30)$$

X, Y, Z *bezrozměrné souřadnice*

Re, Gr, Pr, Fo, Po *bezrozměrná kritéria (podobnostní čísla)*

Nusseltovo číslo

Vychází z DR přestupu tepla a je závislé na charakteristickém rozměru tělesa L a jeho součiniteli tepelné vodivosti λ .

$$Nu = \frac{\alpha \cdot L}{\lambda} \quad (6.31)$$

L [m] *charakteristický rozměr*

Reynoldsovo číslo

Patří mezi základní kritéria při proudění a je dáno poměrem setrvačných a vazkých sil. Je závislé na rychlosti proudění, viskozitě a tvaru okolí kde dané médium proudí. Pomocí tohoto podobnostního čísla určujeme, zda se jedná o proudění laminární či turbulentní.

$$Re = \frac{w \cdot L}{\nu} \quad (6.32)$$

w [ms⁻¹] rychlost

L [m] charakteristický rozměr

ν [m²s⁻¹] kinematická viskozita

Charakteristický rozměr je dán průměrem d u kruhového potrubí, pro nekruhový průřez je dán hydraulickým průměrem d_h , pro který platí:

$$d_h = \frac{4 \cdot S}{o} \quad (6.33)$$

S [m²] průtočný průřez zaplněný tekutinou

o [m] obvod zaplněné tekutiny

Laminární proudění $Re < 2320$

Přechodová oblast $2320 < Re < 4000$

Turbulentní proudění $Re > 4000$

Prandtlovo číslo

Váže navzájem čísla Pe (Pecletovo) a Re . Jedná se o funkci fyzikálních vlastností a její hodnoty pro jednotlivé látky jsou uvedeny v tabulkách. Jelikož je rychlost obsažena jak v Pe , tak v Re , je možné jedno z kritérií vyloučit a psát:

$$Pe = \frac{w \cdot L}{a} = \frac{w \cdot L}{\nu} \cdot \frac{\nu}{a} = Re \cdot Pr \quad (6.34)$$

$$Pr = \frac{\nu}{a} \quad (6.35)$$

Pr pro plyny se pohybuje okolo hodnoty 1, speciálně pro vzduch je 0,72. Pro kapaliny jsou hodnoty větší než 1 a hodnoty pro tekuté kovy jsou $\ll 1$.

Grashoffovo číslo

Vyjadřuje vztah vztahových, třecích a setrvačných sil.

$$Gr = \frac{g \cdot \gamma \cdot (T_w - T_\infty) L^3}{\nu^2} \quad (6.36)$$

$$\gamma = \frac{1}{T} \quad (6.37)$$

g [ms⁻²] tíhové zrychlení

γ [K⁻¹] objemová roztažnost

Tab. 6.2.2 Přehled kritérií⁵⁶

Kritérium	Značka	Vzorec	Popis
Nusseltovo	Nu	$Nu = \frac{\alpha \cdot L}{\lambda}$	Sdílení tepla konvekci
Reynoldsovo	Re	$Re = \frac{w \cdot L}{\nu}$	Poměr setrvačných a vazkých sil
Prandtlovo	Pr	$Pr = \frac{\nu}{a}$	Sdílení tepla v tekutinách.
Grashoffovo	Gr	$Gr = \frac{g \cdot \gamma \cdot (T_w - T_\infty) L^3}{\nu^2}$	Přirozená konvekce skutečné tekutiny.
Fourierovo	Fo	$Fo = \frac{a \cdot \tau}{l^2}$	Rychlost šíření tepla v tělese. Bezrozměrný čas.
Pomerancevovo	Po	$Po = \frac{q_v \cdot l^2}{\lambda \cdot \Delta T}$	Teplotní pole s vnitřním objemovým zdrojem.

Obecná kritériální rovnice může být zjednodušena, a to vyloučením některých z kritérií podle typu probíhajícího děje. Pomerancevovo kritérium neuvažujeme v případě, že se děj uskutečňuje bez vnitřního objemového zdroje. Fourierovo kritérium vyloučíme při stacionárním ději, a pokud je Nusseltovo kritérium konstantní na celém povrchu, neuvažujeme bezrozměrné souřadnice.

Kritériální rovnici pak můžeme zapsat ve tvaru:

$$Nu = f(Re, Gr, Pr) \quad (6.38)$$

Grashoffovo kritérium nemá na proudění vliv v případě, jedná-li se o nucenou konvekci. Proto jej při nucené konvekci vylučujeme a píšeme:

$$Nu = f(Re, Pr) \quad (6.39)$$

Kritériální rovnici vyjadřujeme pomocí mocninné funkce:

$$Nu = c \cdot Re^m Pr^n \quad (6.40)$$

c, m, n konstanty, které je možno nalézt v tabulkách

Jelikož při nucené konvekci existuje mnoho typů proudění, existuje také více typů kritériálních rovnic, které jsou charakterizovány především Reynoldsovým kritériem. Jedná-li se o přirozenou konvekci, ztrácí Reynoldsovo kritérium význam:

$$Nu = f(Gr, Pr) \quad (6.41)$$

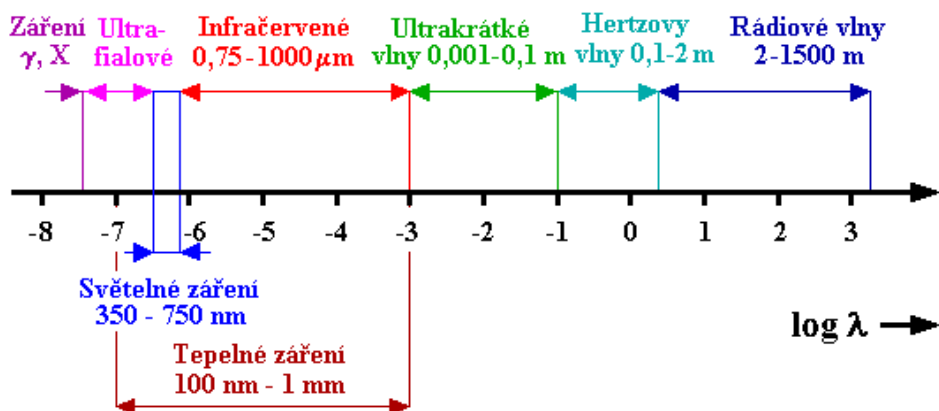
Jak již bylo zmíněno v úvodu kapitoly, cílem teorie podobnosti je určit součinitel přestupu tepla a ten je obsažen pouze v jednom z uvedených kritérií, a to v Nusseltově.

Postup při určení součinitele:

- Nejprve určíme kritériální rovnice pro daný objekt, geometrii, lokální či střední hodnoty, laminární nebo turbulentní proudění a pro požadovaný rozsah **Re**, **Gr** či **Ra**.
- Dále z literatury vyhledáme charakteristický rozměr a určující teplotu.
- Z definic je pak nutné vypočítat **Re**, **Gr** či **Ra**.
- Za pomoci kritériální rovnice určíme **Nu**.
- Z Nusseltova čísla vyjádříme součinitel přestupu tepla **α** .
- Pokud známe **α** , můžeme začít počítat tepelný tok při konvekci.

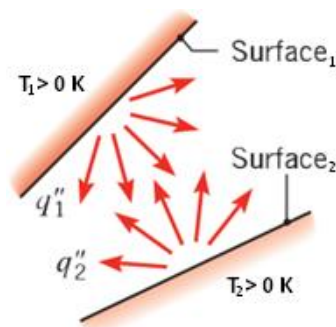
6.3 Radiace

Jedná se o tepelné záření ve formě elektromagnetického vlnění v určitém spektru vlnových délek, ležících v rozmezí 10^{-3} až 10^{-7} m. Tuto oblast znázorňuje obr. 6.3.1.



Obr. 6.3.1 Spektrum tepelného záření⁵⁷

Každé těleso, jehož teplota je vyšší jak 0 K vyzařuje fotony, které jsou nositeli energie. Fotony se šíří rychlostí světla a nejsou vázány na hmotné prostředí, což z radiace dělá nejrychlejší způsob šíření tepla. Princip šíření tepla pomocí radiace ukazuje následující obrázek.



Obr. 6.3.2 Radiace^{58 upravený}

K nejintenzivnějšímu vyzařování dochází v místech o nejvyšší teplotě, což je u světlometu především vyzařování z okolí LED čipu. Intenzitu vyzařování popisuje zářivost tělesa.

Zářivost

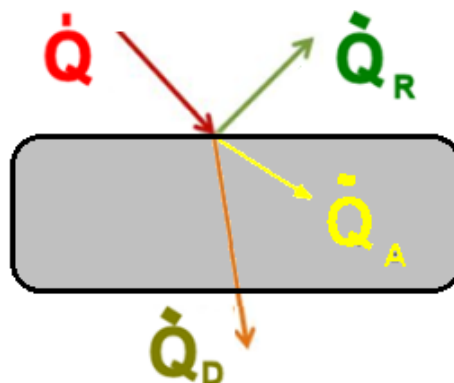
Nazýváme ji také jako hustotu zářivého toku a značíme E [Wm^{-2}]. Pokud dochází k úplné přeměně energie záření na teplo, je zářivost rovna hustotě tepelného toku $\dot{q}$. Zářivý tok dané plochy je součin zářivost E a plochy S .

$$\dot{Q} = E \cdot S \quad \text{nebo} \quad \dot{q} = E \quad (6.42)$$

E [Wm^{-2}] hustota zářivého toku (zářivost)

S [m^2] plocha

Při výpočtu přenosu tepla zářením mezi dvěma a více objekty je nutné počítat s vyzařováním, odražením, pohlcováním a propouštěním zářivé energie. Při dopadu záření na určitý povrch dojde k rozdělení celkové energie záření, na energii propuštěnou, odraženou a pohlcenou tak, jak ukazuje následující obr. 6.3.3.



Obr. 6.3.3 Rozdělení dopadajícího záření na jednotlivé složky^{57 upravený}

Platí zákon zachování energie, tudíž se žádná energie neztrácí a můžeme zapsat:

$$\dot{Q} = \dot{Q}_A + \dot{Q}_D + \dot{Q}_R \quad (6.43)$$

$\dot{Q}$ celkový tepelný tok záření

$\dot{Q}_A$ absorbovaný tepelný tok

$\dot{Q}_D$ propuštěný tepelný tok

$\dot{Q}_R$ odražený tepelný tok

Emisivita

Je to bezrozměrná veličina, udávající schopnost povrchu odrážet nebo pohlcovat záření, určuje tedy schopnost tělesa vyzařovat teplo. Černé těleso je těleso, které vyzařuje (pohlcuje) maximální množství energie a jeho emisivita $\varepsilon = 1$. Opakem černého tělesa je těleso bílé, které dokonale odráží veškeré záření, emisivita bílého tělesa $\varepsilon = 0$. Reálné těleso nazýváme šedým tělesem a jeho emisivita se pohybuje v rozmezí $0 < \varepsilon < 1$. To znamená, že část záření pohlte, část odrazí a část propustí.

Tab. 6.3.1 Přehled emisivit vybraných materiálů⁵⁷

Materiál	Povrchová úprava	Teplota	ε [-]
Hliník	Nezoxidovaný	25	0,02
Hliník	Silně zoxidovaný	504	0,31
Ocel	Leštěná	38	0,07
Ocel	Válcovaný za studena	93	0,80
Měď	Zoxidovaná	38	0,78
Měď	Vysoce leštěná	38	0,02

Z tabulky je patrné, že hodnota emisivity je silně závislá na povrchu materiálu a na jeho teplotě. Pro různé materiály a rozdílné povrchové úpravy je uvedena v příslušných tabulkách.

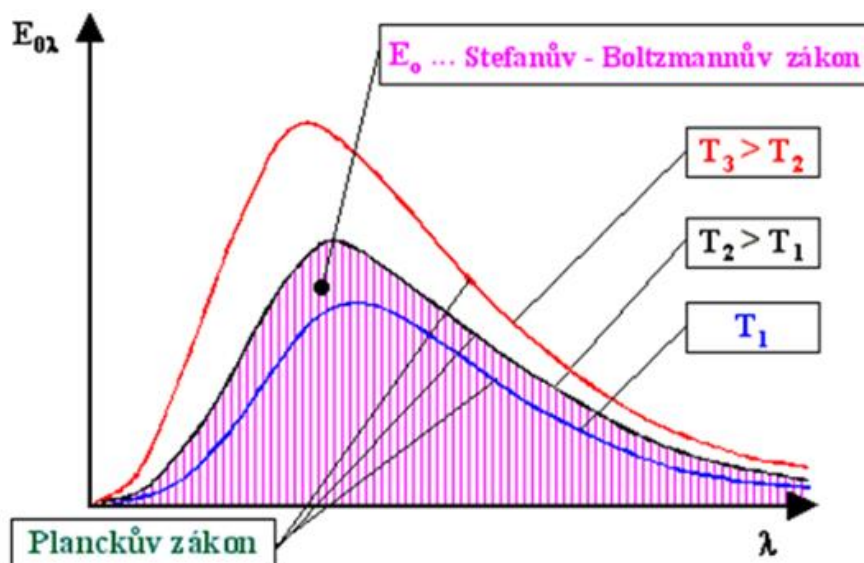
Stefanův-Boltzmannův zákon

Hustota zářivého toku dokonale černého tělesa je úměrná čtvrté mocnině jeho absolutní teploty.

Vyjádřeno vzorcem:

$$E_0 = \sigma_0 \cdot T^4 \quad (6.44)$$

$$\sigma_0 = 5,6697 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4} \quad (6.45)$$



Obr. 6.3.4 Stefanův-Boltzmannův zákon ⁵⁷

Pokud dojde k dopadu zářivého toku na objekt s určitým obsahem a danou emisivitou, dojde k přeměně na tepelný tok a lze tak psát:

$$\dot{Q} = \sigma_0 \cdot \varepsilon \cdot S \cdot (T_1^4 - T_2^4) \quad (6.46)$$

T_1 [K] teplota zářiče

T_2 [K] teplota tělesa, na které dopadá záření

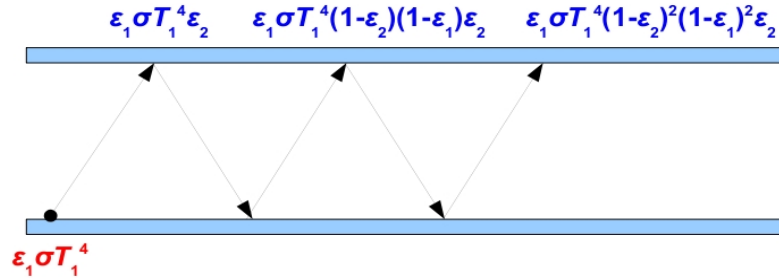
$(T_1^4 - T_2^4)$ rozdíl teplot těles

Záření mezi dvěma stěnami

Vycházíme z vlastních zářivostí stěn, které jsou rovny:

$$E_1 = \varepsilon_1 \sigma_0 T_1^4 \quad (6.47)$$

$$E_2 = \varepsilon_2 \sigma_0 T_2^4 \quad (6.48)$$



Obr. 6.3.5 Záření mezi stěnami⁵⁹

Efektivní zářivost stěny 1:

$$E_{ef1} = E_1 + (1 - \varepsilon_1)E_{ef2} \quad (6.49)$$

$$E_{ef1} = E_1 + (1 - \varepsilon_1)E_2 + (1 - \varepsilon_1) \cdot (1 - \varepsilon_2)E_{ef1} \quad (6.50)$$

Po úpravě:

$$E_{ef1} = \frac{E_1 + (1 - \varepsilon_1)E_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 - \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2} \quad (6.51)$$

$$E_{ef2} = \frac{E_2 + (1 - \varepsilon_2)E_1}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 - \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2} \quad (6.52)$$

Výsledná emisivita je dána rozdílem efektivních zářivostí:

$$E_{12} = E_{ef1} - E_{ef2} \quad (6.53)$$

$$E_{12} = \frac{(E_1 + E_2 - \varepsilon_1 E_2) - (E_2 + E_1 - \varepsilon_2 E_1)}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 - \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2} \quad (6.54)$$

$$E_{12} = \frac{\varepsilon_2 E_1 - \varepsilon_1 E_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 - \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2} = \frac{\varepsilon_2 \varepsilon_1 \sigma_0 T_1^4 - \varepsilon_1 \varepsilon_2 \sigma_0 T_2^4}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 - \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2} \quad (6.55)$$

$$\varepsilon_{12} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \quad (6.56)$$

Pro hustotu tepelného toku zářením mezi dvěma nekonečně rozlehlými stěnami tedy platí:

$$\dot{q} = \sigma_0 \cdot \varepsilon_{12} \cdot (T_1^4 - T_2^4) \quad (6.57)$$

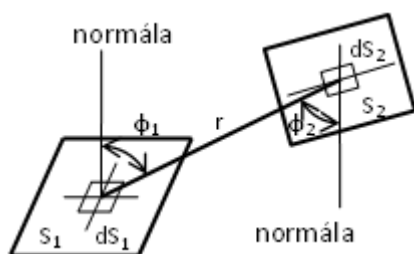
Úhlový součinitel

Pokud jsou plochy v prostoru orientované jinak než rovnoběžně a jejich teploty jsou rozdílné, lze určit množství energie vyzařené tělesem 1 dopadající na těleso 2 právě za pomoci tohoto součinitele, který zohledňuje jejich vzájemnou viditelnost povrchu. Hraje velkou roli při přenosu tepelného toku zářením a je označován F_{m-n} , kde indexy $m-n$ značí energii opouštějící povrch m a dopadající na povrch n . Jedná se tedy o poměr energie vyzařené povrchem m a dopadající na povrch tělesa n k celkové vyzařené energii tělesa m .

Celková vyzařená energie tělesem m je vždy větší než energie dopadající na povrch tělesa n v určitém směru a z tohoto důvodu pro úhlový součinitel vždy platí:

$$F_{m-n} \leq 1 \quad (6.58)$$

Jako příklad si uvedeme dva různé černé povrchy o nestejně teplotě umístěné nerovnoběžně v prostoru.



Obr. 6.3.6 Znáznornění dvou povrchů v prostoru⁶⁰

Pro energii vyzařovanou povrchem 1 a dopadající na povrch 2 platí:

$$E_{1-2} = E_{0,1} \cdot S_1 \cdot F_{1-2} \quad (6.59)$$

Pro energii vyzařovanou povrchem 2 a dopadající na povrch 1:

$$E_{2-1} = E_{0,2} \cdot S_2 \cdot F_{2-1} \quad (6.60)$$

Uvažujme-li, že $T_1 > T_2$, pak je výsledná přenesená energie mezi černými povrchy dána rozdílem energie, kterou pohltí chladnější povrch 2 a energie, kterou pohltí povrch 1:

$$\dot{Q}_{1-2} = E_{0,1} \cdot S_1 \cdot F_{1-2} - E_{0,2} \cdot S_2 \cdot F_{2-1} \quad (6.61)$$

V případě, že pro povrchy platí $T_1 = T_2$, nedochází k přenosu tepelného toku a je možné psát:

$$S_1 \cdot F_{1-2} = S_2 \cdot F_{2-1} \quad (6.62)$$

Tento vztah nazýváme jako vztah reciprocity a uplatňuje se v případech, kdy není úhlový součinitel v jednom směru zcela jasný. Využití tak nachází zejména u příkladů dvou soustředných válců, kdy vnitřní válec označíme indexem 1, vnější indexem 2. Povrch válce 2 umožňuje viditelnost jak na válec 1, tak na povrch sama sebe.

Za použití vztahu reciprocity a Stefan-Boltzmannova zákona lze upravením rovnice 6.61 psát:

$$\dot{Q}_{1-2} = S_1 \cdot F_{1-2} \cdot \sigma(T_1^4 - T_2^4) = S_2 \cdot F_{2-1} \cdot \sigma(T_1^4 - T_2^4) \quad (6.63)$$

Úpravou získáme:

$$\dot{Q}_{1-2} = \frac{\sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{S_1 \cdot F_{1-2}}} = \frac{\sigma(T_1^4 - T_2^4)}{R_{\text{prostorový}}} \quad (6.64)$$

$R_{\text{prostorový}}$ prostorový odpor

Prostorový odpor vyjadřuje viditelnost povrchů, která roste se snižujícím se úhlovým součinitelem.

Pokud je povrch vyzařující energii zcela obklopen více povrchy (2, 3, 4), platí jednoduché sumační pravidlo:

$$1 = F_{1-2} + F_{1-3} + F_{1-4} \quad (6.65)$$

U šedých povrchů dochází na rozdíl od povrchů černých k odražení záření. Šedý povrch tedy opouští energie, kterou nazýváme radiozita a značíme ji J . Radiozita je součet emitované a části odražené z dopadající energie, kterou nazýváme iradiace a značíme G .

$$J = \varepsilon \cdot E_0 + r \cdot G \quad (6.66)$$

Pro r platí:

$$r = 1 - \varepsilon \quad (6.67)$$

Tudíž po dosazení:

$$J = E_0 + (1 - \varepsilon) \cdot G \quad (6.68)$$

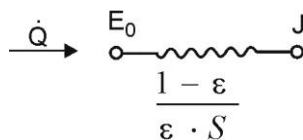
Energie opouštějící povrch je rozdíl radiozity a iradiace, tudíž pro ni platí:

$$\dot{q} = J - G = \varepsilon \cdot E_0 + (1 - \varepsilon)G - G \quad (6.69)$$

Po úpravě a dosazení za G vyjádřeného z rovnice 6.68:

$$\dot{Q} = \frac{\varepsilon \cdot S}{1 - \varepsilon} (E_0 - J) = \frac{E_0 - J}{\frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon \cdot S}} = \frac{\sigma T_1^4 - J}{R_{\text{povrchový}}} \quad (6.70)$$

Ze vztahu lze říci, že šedý povrch klade oproti černému radiačnímu toku odpor, který je dán emisivitou ε , která je u šedých povrchů vždy menší než 1. Tento odpor můžeme schematicky znázornit tak, jak zobrazuje následující obrázek.



Obr. 6.3.7 Schématické znázornění odporu⁶⁰

Na povrch 2 tedy dopadá energie z povrchu 1 o velikosti $J_1 S_1 F_{1-2}$ a z povrchu 2 dopadá na povrch 1 $J_2 S_2 F_{2-1}$. Vyměňovaná energie mezi povrchy je pak rozdílem těchto energií.

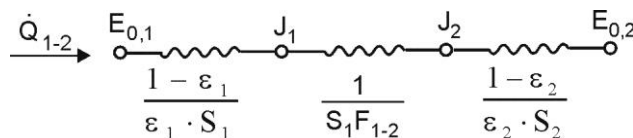
Pokud rozdíl energií upravíme pomocí vztahů reciprocity, dostaneme:

$$\dot{Q}_{1-2} = J_1 \cdot S_1 \cdot F_{1-2} - J_2 \cdot S_2 \cdot F_{2-1} = (J_1 - J_2) S_2 \cdot F_{2-1} \quad (6.71)$$

Což můžeme dále upravit:

$$\dot{Q}_{1-2} = \frac{J_1 - J_2}{\frac{1}{S_1 \cdot F_{1-2}}} = \frac{J_1 - J_2}{R_{\text{prostorový}}} \quad (6.72)$$

Nyní lze za pomoci těchto rovnic vytvořit odporovou síť znázorňující povrchové a prostorové odpory.



Obr. 6.3.8 Schéma odporové sítě⁶⁰

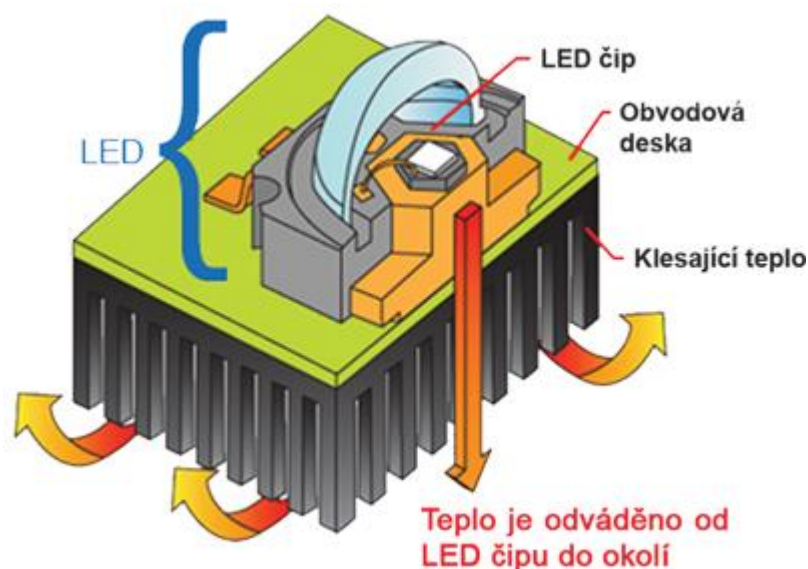
Celkový tepelný tok lze s použitím Stefan-Boltzmannova zákona zapsat vztahem:

$$\dot{Q}_{1-2} = \frac{\sigma(T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1 - \varepsilon_1}{\varepsilon_1 \cdot S_1} + \frac{1}{S_1 \cdot F_{1-2}} + \frac{1 - \varepsilon_2}{\varepsilon_2 \cdot S_2}} \quad (6.73)$$

7. Způsoby a typy chlazení světlometu

V závislosti na typu použitého světelného zdroje se odvíjí způsoby chlazení. Jelikož nejvýznamnější roli hraje chlazení u LED světlometů, budeme se dále zabývat chlazením výhradně tohoto typu světlometu.

Základní skladba chladicích systému je u všech LED světlometů v podstatě totožná a je znázorněna na obr. 7.1. LED je umístěna na chladič s vysokým součinitelem prostupu tepla λ , který odvádí teplo z čipu do části chladiče s velkým plošným obsahem. V této části dochází ke kondukcí a konvekci tepla do okolního prostředí. V případě, že se jedná o nucenou konvekci vyvolanou například ventilátorem, hovoříme o aktivním chlazení. V opačném případě se jedná o přirozenou konvekci, tedy o pasivní chlazení. Světlomet je konstruován tak, aby odváděné teplo bylo využito k odmlžování nebo k zamezení rosení krycího skla světlometu.



Obr. 7.1 Základní schéma principu chlazení ⁶¹

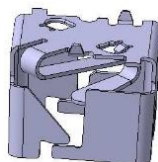
7.1 Chladiče

Nedílnou součástí aktivního i pasivního chlazení světlometu je chladič odvádějící teplo z čipu do prostředí. K výrobě chladičů je z 99,5 % využíváno hliníku a jeho slitin, jehož hodnoty tepelné vodivosti přesahují $220 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ a hustota se pohybuje okolo $2,7 \text{ gcm}^{-3}$. Dále je využíváno slitin magnézia s tepelnou vodivostí $51\text{--}91 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ a hustotou $1,8 \text{ gcm}^{-3}$. Méně častým, avšak také se objevujícím materiálem chladičů jsou slitiny mědi s tepelnou vodivostí $380 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ a hustotou $8,9 \text{ gcm}^{-3}$. S tímto materiálem se nejčastěji setkáváme u ohýbaných malých chladičů. Požadavky na chladič jsou nízká hmotnost, vysoká účinnost chlazení a malé rozměry. Vzhledem k zástavbovým možnostem chladiče a používaným materiálům je potřeba vybrat takový návrh a materiál chladiče, který má nejlepší poměr požadovaných vlastností s přihlédnutím k ceně materiálu a k ceně výroby.

Následující text popisuje chladiče dle způsobů výroby vzestupně od nejnižší ceny.

Ohýbané

Jedná se o nejlevnější způsob výroby chladiče, při kterém dochází k ohýbání připraveného kousku hliníkového nebo měděného plechu do požadovaného tvaru. Takto vzniklé chladiče se používají k chlazení méně výkonných LED. Chladič můžeme vidět na obr. 7.1.1 a ve spojení s LED na obr 5.3.5.



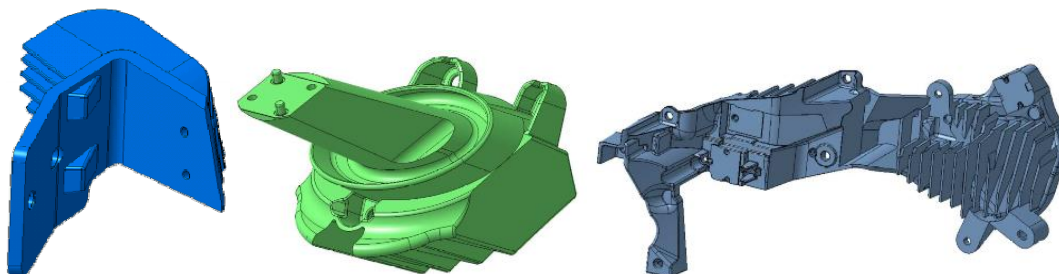
Obr. 7.1.1 Měděný chladič pro méně výkonné LED ⁶²

Tažené

Ideálním pro výrobu chladičů s jednoduchou geometrií. Použitým materiálem je hliník a jeho slitiny. Tento způsob výroby se uplatňuje zejména při výrobě tažených žebrovaných chladičů, jejichž zástupce je znázorněn na obr. 7.1.4.

Tlakově odlité

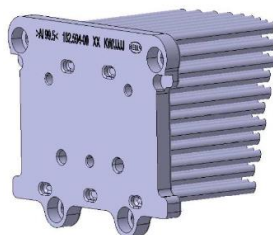
Používají se hliníkové nebo hořčíkové slitiny s možností využití všech geometrických tvarů. Tyto chladiče se používají většinou v kombinaci s radiálními ventilátory.



Obr. 7.1.2 Chladiče ⁶²

Protlačované

Z 99,5 % se využívá jako materiál hliník, jedná se o nejdražší typ výroby. Chladiče není možno tvarovat do všech geometrických tvarů. Používají se v kombinaci s axiálními ventilátory.



Obr. 7.1.3 Protlačovaný kolíkový chladič ⁶²

Dále dle tvaru plochy odvádějící teplo rozlišujeme na žebrované, kolíkové či trubicové, atd.



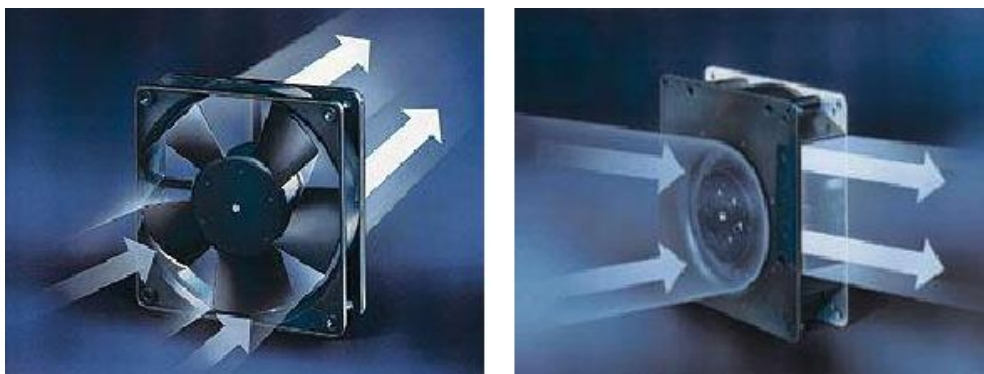
Obr. 7.1.4 Vlevo žebrovaný, uprostřed kolíkový a vpravo trubicový chladič^{63, 64}

7.2 Pasivní chlazení

Chladiče využívané k pasivnímu chlazení dosahují větších rozměrů a vyšších hmotností než chladiče v aktivním systému chlazení. To je způsobeno nižším koeficientem přestupu tepla při nenucené konvekci a s tím související potřebou větší stykové plochy. Pasivní systém se využívá u LED nižších výkonů a jeho předností je nižší pořizovací cena. Naopak nevýhodou je vysoká hmotnost a prostorová objemnost.

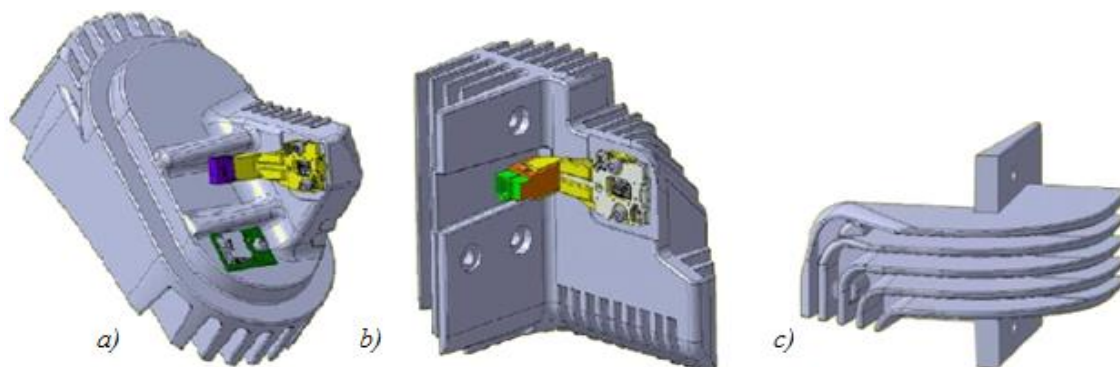
7.3 Aktivní chlazení

Jedná se o pasivní chladič s nuceným prouděním plynu uvnitř světlometu. Tato nucená konvekce je buzena ventilátory, které rozdělujeme na axiální a radiální. Použitím ventilátoru dojde k nárůstu koeficientu přestupu tepla a následnému zmenšení potřebné plochy chladiče a tím i k redukci hmotnosti a velikosti. Využívá se u LED vysokých výkonů, jeho předností je nižší hmotnost, menší objem a lepší odvod tepla. Mezi nevýhody patří nutnost napájení elektrickým proudem a vyšší pořizovací cena.



Obr. 7.3.1 Axiální (vlevo) a radiální (vpravo) ventilátor⁴⁸

Následující obrázek a tabulka porovnává velikosti, hmotnosti a dosažené teploty u chladičů s rozdílným konstrukčním provedením.



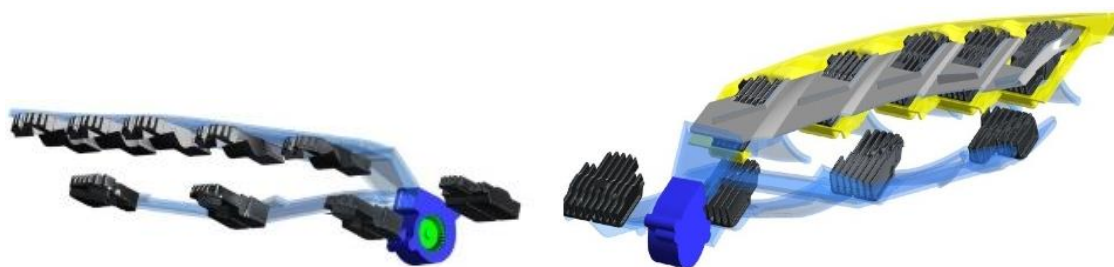
Obr. 7.3.2 Porovnání chladičů⁴⁸

a) Pasivní chladič b) Chladič s axiálním ventilátorem c) Chladič s radiálním ventilátorem.

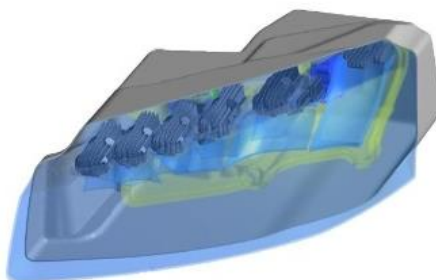
Tab. 7.3.1 Porovnání charakteristických hodnot chladičů⁴⁸ upraveno

Obrázek:		a)	b)	c)
Plocha chladiče:	[cm ²]	1200	820	400
Váha chladiče:	[g]	780	335	150
Teplota chlazené podložky:	[°C]	83	73	58
Množství chladicího vzduchu:	[m ³ h ⁻¹]	/	12,5	9,5
Rychlost chladicího vzduchu:	[ms ⁻¹]	/	3	8

Z tabulky je patrný pokles hmotnosti a plochy chladiče s rostoucím proudem chladicího vzduchu. Při použití radiálního ventilátoru dochází k největší efektivitě chlazení. Na obr. 7.3.3 je znázorněn návrh systému chlazení pro full-led světlomet s použitím radiálního ventilátoru.



Obr. 7.3.3 Systém aktivního chlazení LED světlometu pomocí radiálního ventilátoru⁴⁸



Obr. 7.3.4 Zakomponování systému do světlometu⁴⁸

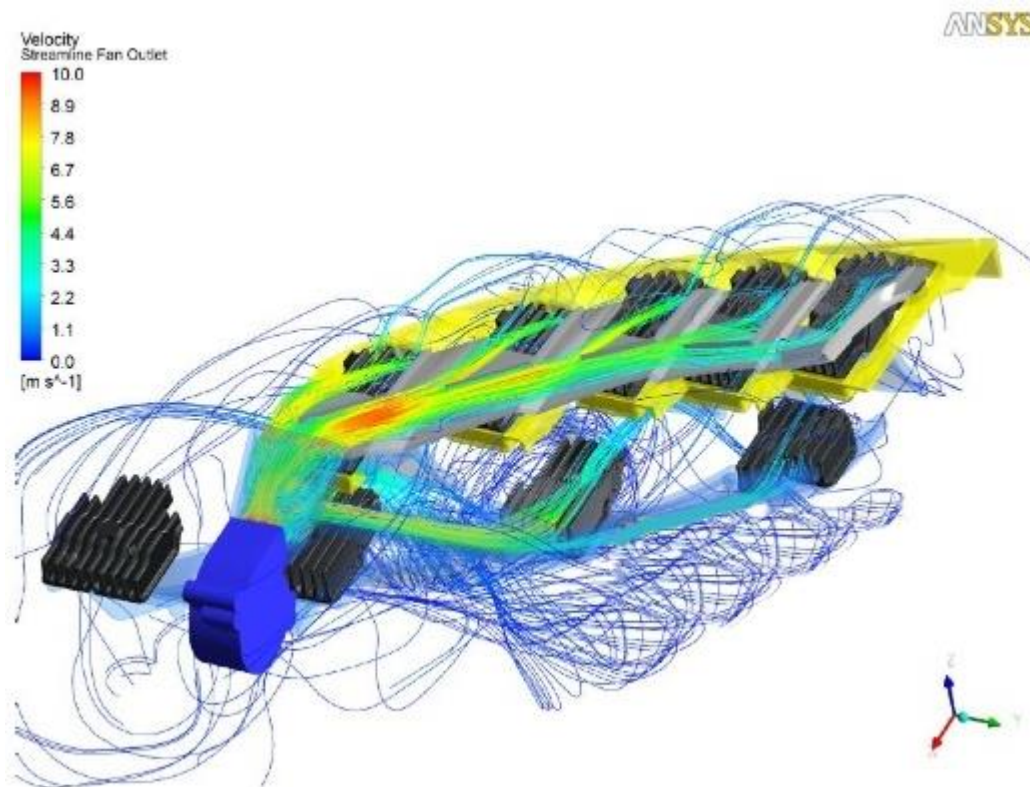
8. Simulace

Ze vzorců uvedených v kapitole 6. Zdroje a šíření tepla, vyplývá, že výsledek je možné ovlivnit následujícími parametry:

- zvětšení efektivní plochy chladiče S ,
- redukováním tloušťky chladiče d ,
- výběrem materiálu s vysokou vodivostí,
- zvýšením koeficientu přestupu tepla α .

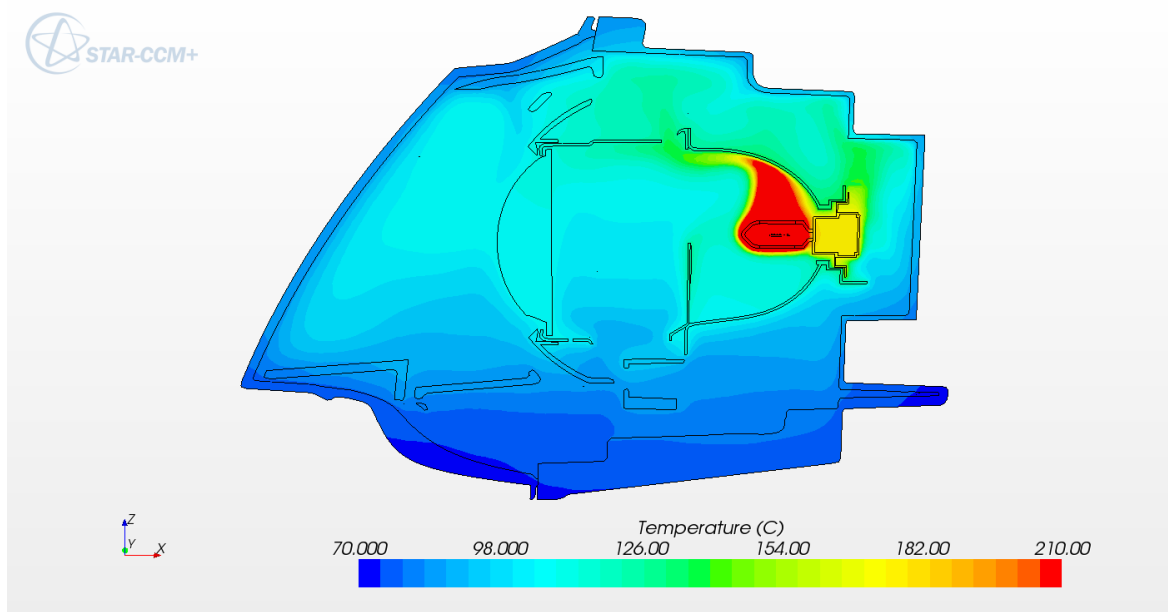
Optimalizace jednotlivých parametrů je vzhledem ke složitosti výpočtu prováděna počítačově za pomoci použití specializovaného softwaru.

K vytvoření modelu proudění kapalin a plynů či přenosu tepla se využívá metoda nazývaná CFD (Computational Fluid Dynamics). Mezi velmi známý CFD software patří například STAR-CCM+ či programy firmy ANSYS. Samotný průběh simulace vyžaduje vzhledem ke své složitosti dostatečně výkonný počítač. Simulace pro aktivní systém chlazení z obr. 7.3.3 předchozí kapitoly byla provedena programem firmy ANSYS a je zobrazena na následujícím obrázku.

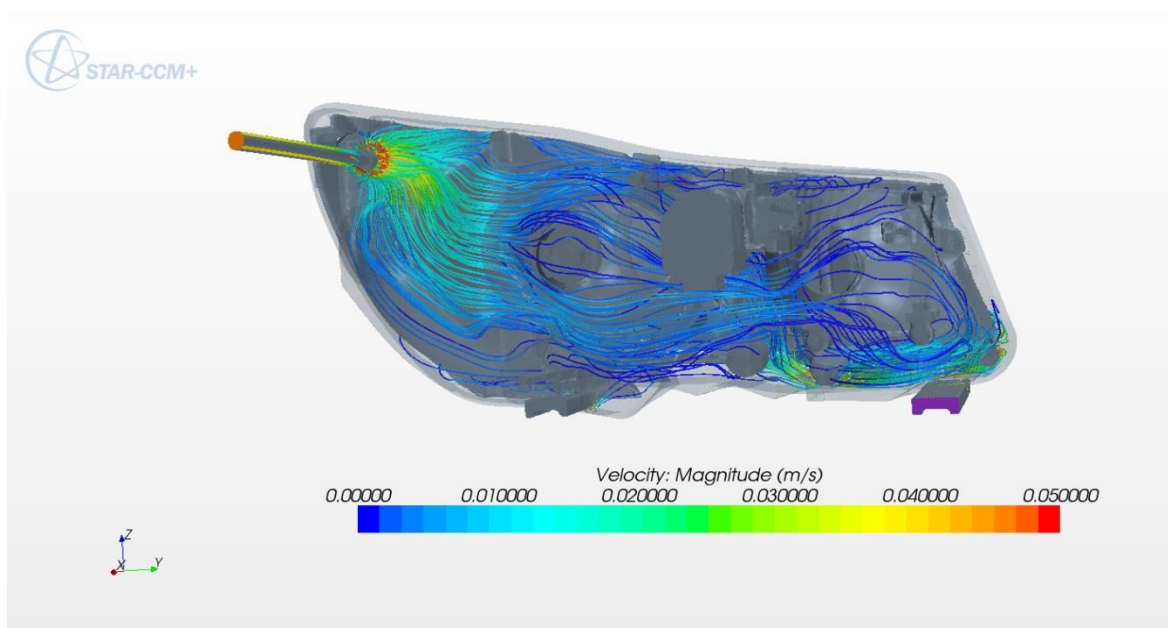


Obr. 8.1 Simulace proudění plynů v chladicím systému ⁴⁸

Výsledek CFD simulace z programu STAR-CCM+ provedené na světlometu Škoda B6 Superb za účelem zjištění informací o přirozeném šíření tepla z výbojky je zobrazen na obr. 8.2. Proudění plynů uvnitř stejného světlometu je zobrazeno na obr. 8.3.



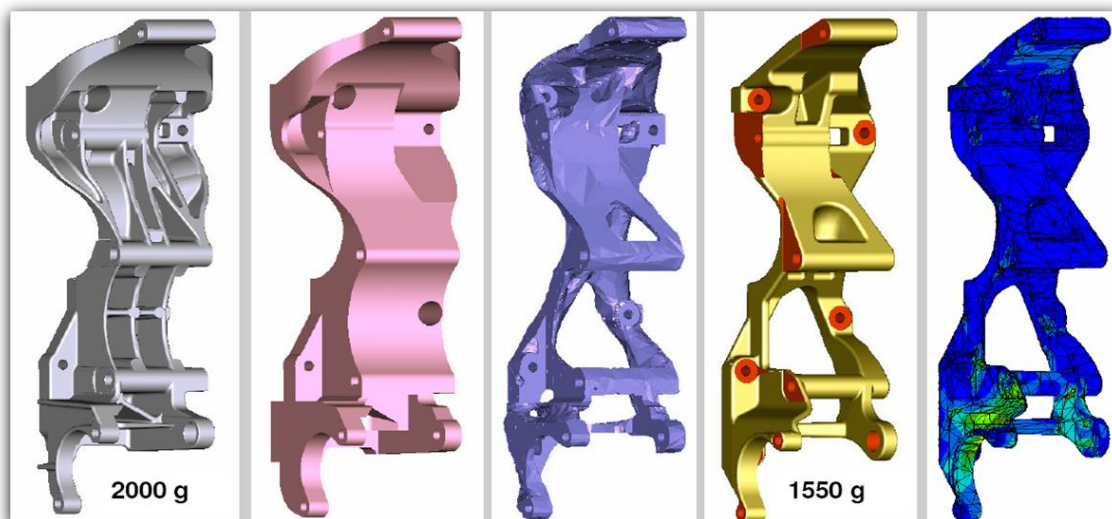
Obr. 8.2 Simulace šíření tepla z xenonové výbojky



Obr. 8.3 Simulace proudění plynů

Z výsledků CFD simulací můžeme ověřit teplotní zatížení jednotlivých částí světlometu a porovnat je s jejich limitními hodnotami. V případě, že daná součást nevyhovuje nebo jsou její hodnoty velmi blízké hodnotám limitním, je na zkušených odbornících, zdali rozhodnou o schválení či zamítnutí součásti. Pokud není daná součást schválena, nabízí se možnosti jako je změna konstrukce, materiálu či zlepšení výkonu chlazení. Pokud dojde ke změně, je nutné celou simulaci opakovat s novým 3D modelem.

K optimalizaci konstrukce 3D modelu, pevnostním a mechanickým simulacím je využíváno metody FEM (Finite Element Method) neboli MKP (metoda konečných prvků). U této metody je stejně jako u CFD vyžadován dostatečný výpočetní výkon počítače. Provedení simulace může v závislosti na složitosti modelu trvat i několik dní. Velmi známým programem pracujícím na principu FEM je ABAQUS, nebo taktéž software ANSYS, který je využíván zejména k optimalizaci tvaru a hmotnosti součástí, tak jak můžeme vidět na obr. 8.4.



Obr. 8.4 Pevnostní simulace a optimalizace tvaru a hmotnosti metodou FEM v programu ANSYS ²⁰

9. Závěr

Tato práce se věnuje pojednání o světelné technice v oblasti osvětlení automobilu s bližším zaměřením na přední hlavní světlomet a jeho chlazení. Velká část textu je věnována zejména vzniku tepla, jeho šíření a následnému chlazení u výkonných LED zdrojů moderních světlometů.

Světlomet prošel od dob svého vzniku řadou velmi podstatných změn. Vzhledem k rostoucím nárokům na kvalitu a spolehlivost, se ze světlometů stávají složité součásti automobilů, které jsou montovány a vyráběny s téměř chirurgickou přesností. Během předešlých dvaceti let se vystřídaly tři druhy světelných zdrojů, z nichž nejdokonalějšími jsou LED. Tyto vysoce výkonné zdroje předbíhají světlomety xenonové a během několika následujících let dosáhnou svého vrcholu. V průběhu roku 2013 budeme mít možnost setkat se s prvními LED moduly a do budoucna lze očekávat rozšíření této technologie i do vozů středních a nižších tříd.

Jak popisuje tato práce, zajištění požadované kvality, spolehlivosti a výkonu je cílem pro inženýry skrze široké spektrum vědních oborů. S rostoucím výkonem světelných zdrojů roste množství uvolňované tepelné energie, což přináší jisté komplikace, ale i výzvy v jejich řešení pro odborníky z oblasti thermal managementu. Úkolem těchto odborníků je zajistit optimální teplotní prostředí pro všechny požadované součásti, zabránit jejich tepelnému poškození a zaručit tak správnou funkci světlometu. Nepostradatelným pomocníkem pro všechny inženýry jsou simulační programy, které umožňují optimalizovat nejrůznější parametry výrobků a odhalit jejich případnou nefunkčnost dříve, než dojde k jejich finální výrobě.

V roce 2012 se na celém světě vyrobilo 84,14 mil. Automobilů⁶⁵. Každý automobil je vybaven dvěma hlavními světlomety a dvěma zadními svítilnami, což vypovídá o tržním potenciálu tohoto průmyslového odvětví. Pokud vezmeme v úvahu, že prodejní cena jednoho světlometu se běžně pohybuje v závislosti na typu vozidla od 2000 Kč (Škoda Citigo) do 40000 Kč (Audi A3), získáme velmi hrubý předpoklad o finančním obratu. Full-LED světlomet pro automobil Audi A3 je zobrazen na obr. 9.1. Cena jednoho předního světlometu může přesáhnout i částku 68000 Kč tak, jak je tomu například u Audi R8.



Obr. 9.1 Full-LED světlomet Audi A3⁶⁶

Cílem budoucích inženýrů je zvyšovat výkon diod za současného snižování příkonu a tepelných ztrát. Jako každá technologie bude i LED po dosažení svého maxima nahrazena technologií jinou, pokročilejší a posouvající hranice vědy opět o kousek dále. Nelze si nevšimnout, že intervaly mezi nástupem nových a pokročilejších technologií se rapidně zkracují, tudíž lze předpokládat, že během následujících pěti let se u luxusních vozů setkáme s technologií OLED (obr. 9.2) nebo světlometů pracujících na principu laseru (obr. 9.3).



Obr. 9.2 Koncept OLED firmy Audi ⁶⁷



Obr. 9.3 Koncept laserového světla firmy BMW ⁶⁸

S novějšími technologiemi narůstá celková cena, složitost výroby a vývoje a tudíž rostou i požadavky na specialisty z daných oborů. Pokud budou firmy chtít dále držet krok v rychlém rozvoji technologií, bude v jejich zájmu vychovávat své vlastní odborníky již během jejich studia na vysokých školách. Lze tedy očekávat prohloubení spolupráce firem s vysokými školami, ne-li zakládání vlastních škol samotnými firmami (např. Hella Lippstadt). Vzhledem ke zvyšujícím se cenám lze z důvodu úspor také předpokládat přesouvání výrobních závodů do zemí s levnou pracovní silou.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ŠKODA AUTO A.S. *Vývoj a konstrukce světlometů*. Mladá Boleslav, 2007.
- [2] Preventivní opatření pro správnou funkci plynových zařízení II. [online]. 2009 [cit. 2013-01-31]. Dostupné z: <http://energetika.tzb-info.cz/zemni-plyn/5802-preventivni-opatreni-pro-spravnou-funkci-plynovych-zarizeni-ii>
- [3] Barevná teplota. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-03-02]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Barevn%C3%A1_teploata
- [4] KRÁLOVÁ, Magda. Fotometrické veličiny. [online]. [cit. 2013-02-23]. Dostupné z: http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=4f7074696b61h&key=770
- [5] Přehled žárovek. [online]. [cit. 2013-01-28]. Dostupné z: http://www.torioplus.cz/wysiwyg/where_to_1.jpg
- [6] Přehled autožárovek. [online]. [cit. 2013-01-28]. Dostupné z: Přehled žárovek. [online]. [cit. 2013-01-28]. Dostupné z: <http://www.torioplus.cz/wysiwyg/Auto%20info/prehled%20zarovek.jpg>
- [7] Automobil. [online]. [cit. 2013-02-02]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Automobil>
- [8] SAJDL, Jan. Světlo met automobilu. [online]. [cit. 2013-02-02]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/svetlomet-automobilu/>
- [9] Acetylenová lampa. [online]. [cit. 2013-01-28]. Dostupné z: <http://www.sterba-bike.cz/produkt/dlouha-acetylenova-lampa-neznamy-vyrobce>
- [10] *Inzerát Světlo Bosch* [online]. [cit. 2013-01-28]. Dostupné z: <http://autobazar.hyperinzerce.cz/veterani-old-timers/inzerat/2719283-svetlo-bosch-nabidka-kralovehradecky-kraj/>
- [11] Vývoj světlometů. [online]. [cit. 2013-01-28]. Dostupné z: http://www.hella.com/produktion/HellaPortal/WebSite/Internet_cz/Internet_HAT_cz/Technologie/Development/Development.jsp
- [12] HELLA AUTOTECHNIK S.R.O. Global Information in Forward Lighting Technologies. 2011.
- [13] Automotive Lighting. [online]. [cit. 2013-01-29]. Dostupné z: <http://www.al-lighting.com/index.php?id=1036>
- [14] Visteon. [online]. [cit. 2013-01-29]. Dostupné z: <http://www.visteon.cz/company/about/cz/onas.html>

- [15] Have a Hella Good Time: On Intensifiers and Antonyms. [online]. [cit. 2013-01-29]. Dostupné z: <http://catchwordbranding.com/catchthis/fun-stuff/have-a-hella-good-time-on-intensifiers-and-antonyms/>
- [16] Seeklogo. [online]. [cit. 2013-01-29]. Dostupné z: <http://www.seeklogo.com/search.html?q=koito>
- [17] Publicis wird internationale Leadagentur für ZKW. [online]. 2011 [cit. 2013-01-29]. Dostupné z: <https://www.publicis.de/2011/03/21/publicis-wird-internationale-leadagentur-fur-zkw/>
- [18] Seeklogo. [online]. [cit. 2013-01-29]. Dostupné z: <http://www.seeklogo.com/valeo-logo-147152.html>
- [19] KOCIÁN, Martin. EUROPEAN LIGHTING TECHNOLOGY GROUP, AUTOPAL s. r. o. *Současný stav a vývoj mezinárodních předpisů pro osvětlení automobilů.* Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=22897
- [20] DRGA, Tomáš. HELLA AUTOTECHNIK S.R.O. *Simulace, způsobilost výrobku a testování.* 2011.
- [21] Sklo světlometu DAF. [online]. [cit. 2013-01-28]. Dostupné z: <http://www.tirshop.sk/www-webareal-sk-tirshop/eshop/39-1-DAF/149-2-SVETLA/5/1265-Sklo-svetlometu-DAF-F95-95XF-04-97-P>
- [22] Nahradnidily1. [online]. [cit. 2013-01-28]. Dostupné z: <http://www.nahradnidily1.cz/autodily/l-h7-h3-svetlomet-hella-e-o-40-16-113/53967182/>
- [23] LED v nové pětkové sérii BMW. [online]. [cit. 2013-01-28]. Dostupné z: <http://www.fotonmag.cz/zajimave-vyuziti-led/led-v-nove-petkove-serii-bmw/>
- [24] Magneti Marelli. [online]. [cit. 2013-03-03]. Dostupné z: http://www.fiatspa.com/en-US/media_center/photogallery/Pages/MagnetiMarelli.aspx
- [25] Xenonové světlomety s natáčením ŠKODA Octavia. [online]. [cit. 2013-01-29]. Dostupné z: <http://new.skoda-auto.com/cs/models/HotspotDetail?HotspotName=E03%20-%20Xenonov%C3%A9%20sv%C4%9Btlomety%20s%20nat%C3%A1%C4%8Den%C3%ADm&WebID=e206645b-2e33-40a1-ab93-1b02ecb8fae4&Page=exterior>
- [26] MATHEO. Projektorové natáčecí světlomety Fabia. [online]. 25.7.2007 [cit. 2013-02-23]. Dostupné z: <http://garaz.autorevue.cz/viewtopic.php?f=810&t=815078&all=1>
- [27] SAJDL, Jan. Xenonové světlomety (výbojky). [online]. [cit. 2013-01-28]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/xenonove-svetlomety-vybojky/>

- [28] SAJDL, Jan. Bi-Xenonové světlomety (výbojky). [online]. [cit. 2013-01-28]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/bi-xenonove-svetlomety-vybojky/>
- [29] Výbava a příslušenství Subaru Forester 2012. [online]. [cit. 2013-01-29]. Dostupné z: <http://www.subaruplzen.cz/subaru-forester-2012/vybava-a-prislusenstvi-subaru-forester-2012/>
- [30] KALZE, Franz-Josef. HELLA AUTOTECHNIK S.R.O. *LED Hauptscheinwerfer Skoda DE*. 2011.
- [31] OOKUBO, Satoshi. Lexus First to Use White LED Headlight, Made by Koito. [online]. 2007 [cit. 2013-02-02]. Dostupné z: <http://techon.nikkeibp.co.jp/article/HONSHI/20070725/136768/>
- [32] Optické členy. [online]. [cit. 2013-01-30]. Dostupné z: http://www.tron.cz/led_prislusenstvi/opticke_cleny.html
- [33] Ten Cool Things About The 2011 Audi A8. [online]. 2011, 11.10. [cit. 2013-01-29]. Dostupné z: <http://www.iamaudi.com/list-ten-cool-things-about-the-2011-audi-a8/>
- [34] LED. [online]. [cit. 2013-01-30]. Dostupné z: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/12/Dioda_2.png/320px-Dioda_2.png
- [35] Porovnání výkonu LED zdrojů. [online]. [cit. 2013-02-23]. Dostupné z: <http://www.osmont.cz/index.php?menu=770>
- [36] Světlo v místnosti. [online]. [cit. 2013-02-23]. Dostupné z: http://www.newled.cz/LEDinfo_svetlovmistnosti.html
- [37] Xlamp Lighting-Class LEDs. [online]. [cit. 2013-01-31]. Dostupné z: <http://dev.emcelettronica.com/xlamp-lighting-class-leds>
- [38] The LED's Dark Secret. [online]. [cit. 2013-01-30]. Dostupné z: <http://www.rollitup.org/led-other-lighting/563118-astir-grow-led-panel-project-31.html#post8106347>
- [39] Colored Lighting. [online]. [cit. 2013-02-25]. Dostupné z: <http://micro.rohm.com/en/products/lighting/tech/index.html>
- [40] Light-emitting diode. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-03-02]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode
- [41] Luxeon. [online]. [cit. 2013-01-30]. Dostupné z: <http://www.futurelightingsolutions.com/en/CSRichProduct.aspx?ItemNumber=1729896&Language=en-US>

- [42] Product. [online]. [cit. 2013-01-30]. Dostupné z:
http://www.ledgm.com/products_info.asp?pageid=46&Contentid=92
- [43] Velký přehled výkonných svítilen. [online]. [cit. 2013-02-23]. Dostupné z: Světlo v místnosti. [online]. [cit. 2013-02-23]. Dostupné z:
http://www.newled.cz/LEDinfo_svetlovmistnosti.html
- [44] VŠETIČKA, Martin. LED. [online]. [cit. 2013-02-01]. Dostupné z:
<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/276-led>
- [45] CREE, Inc. Cree® XLamp® Long-Term Lumen Maintenance. Durham, 2009.
- [46] Cold lumens versus hot lumens. [online]. [cit. 2013-02-23]. Dostupné z:
<http://www.omslighting.com/ledacademy/579/>
- [47] MAIXNER, Tomáš a Jiří SKÁLA. LEDová sprcha. [online]. 26. 2. 2010 [cit. 2013-02-23]. Dostupné z: <http://www.dvs.cz/clanek.asp?id=6417309>
- [48] HELLA AUTOTECHNIK S.R.O. *Thermal Management*. Lippstadt, 2012.
- [49] Conduction in Non-Metals. [online]. [cit. 2013-02-23]. Dostupné z:
<http://www.gcse.com/energy/conduction.htm>
- [50] Thermal Management. [online]. [cit. 2013-02-23]. Dostupné z:
<http://rybicky.net/k/forum/454536.jpg>
- [51] ŠTĚTINA, Josef. *Základy přenosu tepla* [online]. [cit. 2013-02-24]. Prezentace. Vysoké učení technické v Brně.
- [52] ŠTĚTINA, Josef. *Přenos tepla vedením* [online]. [cit. 2013-02-24]. Prezentace. Vysoké učení technické v Brně.
- [53] NOVÁK, Jan. *FYZIKA*. 2006.
- [54] Konvekce. [online]. [cit. 2013-03-01]. Dostupné z:
http://help.solidworks.com/2011/Czech/SolidWorks/cworks/LegacyHelp/Simulation/AnalysisBackground/ThermalAnalysis/Convection_Topics/IDH_Analysis_Background_Convection.html
- [55] DOMINGO, Jon. Ensuring Optimal High Power LED Performance with Thermal Management. [online]. [cit. 2013-02-24]. Dostupné z:
<http://www.ecnmag.com/articles/2011/04/ensuring-optimal-high-power-led-performance-thermal-management>
- [56] MACHÁČKOVÁ, Adéla a Radim KOCICH. *Sdílení tepla a proudění*. Vyd. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012, 1 CD-ROM. ISBN 978-80-248-2576-2.
- [57] ŠTĚTINA, Josef. *Přenos tepla zářením* [online]. [cit. 2013-02-24]. Prezentace. Vysoké učení technické v Brně.

- [58] BERGMAN, T a Frank P INCROPERA. *Fundamentals of heat and mass transfer*. 7th ed. / . Hoboken, NJ: Wiley, c2011, xxiii, 1048 p. ISBN 9780470501979-.
- [59] HEJHÁLEK, Jiří. Termoreflexní izolace a fólie. [online]. [cit. 2013-03-02]. Dostupné z: <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/termoreflexni-izolace-a-folie-princip-jejich-ucinnosti/>
- [60] Pavelek, M. a kol.: Termomechanika. Akademické nakladatelství CERM s.r.o. Brno, Brno 2011.
- [61] Chladicí systém DELUM. [online]. [cit. 2013-02-23]. Dostupné z: <http://www.led-zarovky.org/wp-content/uploads/2012/08/chlad%C3%ADc%C3%AD-syst%C3%A9m-DELUM.png>
- [62] SUDAH, Joerg. HELLA AUTOTECHNIK S.R.O. *Training Headlamp and Heatsink Design*. Lippstadt, 2012.
- [63] KRINITSIN, Vitaly. Cooling systems. [online]. [cit. 2013-02-23]. Dostupné z: <http://ixbtlabs.com/articles2/cpucoolersinquestion/cpu-coolers-inquestion-august2k2.html>
- [64] Heatpipe. [online]. [cit. 2013-02-23]. Dostupné z: http://www.shuttle.eu/archive/older/en/prod/xpc/600/sk41_heatpipe.jpg
- [65] V roce 2012 bylo ve světě vyrobeno 84,14 mil. vozidel. [online]. 2013, s. 4 [cit. 2013-04-07]. Dostupné z: <http://www.autosap.cz/sfiles/tiskinf.html>
- [66] Audi A3 Cabriolet: Základem bude sedan. [online]. [cit. 2013-03-16]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/audi-a3-cabriolet-zakladem-sedan-72307>
- [67] Audi develops automotive OLED technology. [online]. 2012 [cit. 2013-03-16]. Dostupné z: <http://searchfortechnology.com/audi-develops-automotive-oled-technology/>
- [68] BMW bude mít místo světel lasery. [online]. 2011 [cit. 2013-03-16]. Dostupné z: <http://www.jenproauta.cz/novinky/1544-bmw-bude-mit-misto-svetel-lasery>
- [69] HORČÍK, Jan. LED světlo mety zvýší dojezd elektromobilu až o 10 km. [online]. [cit. 2013-01-28]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/novinky/led-svetlomety-zvysi-doezd-elektromobilu-az-o-10-km>
- [70] VAVERKA, Lukáš. Audi A6: 64 LED od Hella. [online]. [cit. 2013-01-28]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/audi-a6-64-led-hella-54237/foto?foto=57>
- [71] Audi develops automotive OLED technology. [online]. [cit. 2013-01-28]. Dostupné z: <http://searchfortechnology.com/audi-develops-automotive-oled-technology/>

- [72] Porovnání LED, Halogen a Xenon technologie pro svítlny. [online]. [cit. 2013-01-29]. Dostupné z: Barevná teplota. [online]. [cit. 2013-01-29]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Barevn%C3%A1_teplota
- [73] Xenonové výbojky. [online]. [cit. 2013-01-29]. Dostupné z: <http://www.autoelektrika.cz/clanky/xenonove-vybojky>
- [74] DVOŘÁČEK, Vladimír. Světelné zdroje – halogenové žárovky. [online]. [cit. 2013-01-29]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=37973
- [75] Vše o LED. [online]. [cit. 2013-01-29]. Dostupné z: <http://www.led-moduly.cz/vse-o-led.html>
- [76] Xenon. [online]. [cit. 2013-01-29]. Dostupné z: http://al-lighting.cz/vismo/dokumenty2.asp?id_org=600675&id=1006&p1=1010
- [77] FK TECHNICS. LED s příkonem 50W? Skutečnost či fikce?. [online]. 2008 [cit. 2013-02-01]. Dostupné z: http://www.fkt.cz/cz/clanky/soucastky/art_90/led-s-prikonem-50w-skutecnost-ci-fikce.aspx
- [78] Building a Fanless Ivy Bridge. [online]. [cit. 2013-02-23]. Dostupné z: <http://www.anandtech.com/print/6523>

Seznam použitých konstant, symbolů a zkratek

Zkratka	Jednotka	Popis
AFS	[-]	Adaptive Fronlighting System
BMC	[-]	Bulk Molding Compounds
BMW	[-]	Značka automobilu
CFD	[-]	Computational Fluid Dynamics
CRI	[-]	Color Rendering Index
DE	[-]	Dreidimensionale Ellipsoid
EHK	[-]	Evropská Hospodářská Komise
EHS	[-]	Evropská Hospodářská Směrnice
EU	[-]	Evropská Unie
FEM	[-]	Finite Element Method
FF	[-]	Free Form
Hal	[-]	Halogen
HB	[-]	High Beam
HID	[-]	High Intensity Discharge
HPLED	[-]	High Power LED
LB	[-]	Low Beam
LED	[-]	Light Emitting Diode
MKP	[-]	Metoda Konečných Prvků
OLED	[-]	Organic Light Emitting Diode
PC	[-]	Polycarbonate
PN	[-]	Polovodičový přechod
PP- GF	[-]	Polypropylene- Glass Fiber
PP- T	[-]	Polypropylene- Talkum
UV	[-]	Ultraviolet Radiation
UVHC	[-]	Typ laku
UVT	[-]	Typ laku
VW	[-]	Volkswagen
Xe	[-]	Xenon

Symbol	Jednotka	Popis
a	m^2s^{-1}	Teplotová vodivost
a_0, a_1	-	Konstanty z okrajových podmínek
c	JkgK^{-1}	Měrná tepelná kapacita
c	-	Konstanta pro kritériální rovnici
d	m	Průměr
d_h	m	Hydraulický průměr
E	Wm^{-2}	Hustota zářivého toku- zářivost
E	lx	Intenzita osvětlení
E_{ef}	Wm^{-2}	Efektivní zářivost stěny
E_{1-2}	Wm^{-2}	Energie vyzařovaná povrchem 1 a dopadající na povrch 2
Fo	-	Fourierovo číslo
F_{m-n}	-	Úhlový součinitel
f	-	Funkce
G	-	Iradiace
Gr	-	Grashoffovo číslo
h	m	Tloušťka stěny
I	cd	Svítivost
I	A	Proud
J	-	Radiozita
L	cdm^{-2}	Jas
L	m	Charakteristický rozměr tělesa
L_{70}	hod.	Životnost
m	-	Konstanta pro kritériální rovnici
n	-	Konstanta pro kritériální rovnici
Nu	-	Nusseltovo číslo
$\vec{n}$	m	Vektor normály
o	m	Obvod
P	W	Příkon
p	Pa	Tlak
Po	-	Pomerancevovo číslo

<i>Symbol</i>	<i>Jednotka</i>	<i>Popis</i>
Pr	-	Prandtlovo číslo
Q	J	Teplo
Q^*	Wm^{-3}	Teplo uvnitř elementu
$\dot{Q}_A$	W	Absorbovaný tepelný tok
$\dot{Q}_D$	W	Propuštěný tepelný tok
$\dot{Q}_R$	W	Odražený tepelný tok
$\dot{Q}$	W	Tepelný tok
$\dot{q}$	Wm^{-2}	Hustota tepelného toku
$\dot{q}_w$	Wm^{-2}	Rozložení tepelného toku na povrchu
R	Ω	Odpor
Re	[-]	Reynoldsovo číslo
$R_{\text{prostorový}}$	[-]	Prostorový odpor
R_{th}	Ω	Analogický odpor
R_λ	Ω	Tepelný odpor
r	m	Vzdálenost středů
S	m^2	Plocha
S	m^2	Průtočný průřez
T	$^{\circ}\text{C}$, K	Teplota
T	K	Teplota chromatičnosti
T_j	$^{\circ}\text{C}$	Teplota přechodu
$T_{j\max}$	$^{\circ}\text{C}$	Maximální teplota přechodu
T_{w1}	$^{\circ}\text{C}$, K	Teplota první strany stěny
T_{w2}	$^{\circ}\text{C}$, K	Teplota druhé strany stěny
T_w	$^{\circ}\text{C}$, K	Teplota povrchu
T_∞	$^{\circ}\text{C}$, K	Teplota tekutiny
U	V	Napětí
v	ms^{-1}	Rychlost
w	ms^{-1}	Rychlost
x, y, z	-	Směry v soustavě souřadnic

<i>Symbol</i>	<i>Jednotka</i>	<i>Popis</i>
α	$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$	Koeficient přestupu tepla
γ	K^{-1}	Objemová roztažnost
δ	m	Tloušťka stěny
ΔT	$^{\circ}\text{C}$, K	Teplotní rozdíl
ε	-	Emisivita
∂	-	Derivace
λ	m	Vlnová délka
λ	$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$	Součinitel tepelné vodivosti
ν	m^2s^{-1}	Kinematická viskozita
ρ	kgm^{-3}	Hustota
σ_0	$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$	Stefan-Boltzmannova konstanta
τ	hod.	Čas
Φ	lm	Světelný tok
Φ	lmW^{-1}	měrný světelný výkon

Konstanta	Hodnota	Jednotka	Popis
σ_0	$5,6697 \cdot 10^{-8}$	$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$	Stefan-Boltzmanova konstanta