



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A BIOMECHANIKY

INSTITUTE OF SOLID MECHANICS, MECHATRONICS AND BIOMECHANICS

## NÁVRH VHODNÉ TECHNOLOGIE DIGITÁLNÍHO SVĚTELNÉHO ZDROJE S VYSOKÝM ROZLIŠENÍM S DŮRAZEM NA VYUŽITÍ V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU

HIGH RESOLUTION DIGITAL LIGHT SOURCE DESIGN FOR AUTOMOTIVE INDUSTRY

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Petr Machač

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Stanislav Věchet, Ph.D.

BRNO 2018

# Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky
Student:	<b>Petr Machač</b>
Studijní program:	Aplikované vědy v inženýrství
Studijní obor:	Mechatronika
Vedoucí práce:	<b>doc. Ing. Stanislav Věchet, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2017/18

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:

## **Návrh vhodné technologie digitálního světelného zdroje s vysokým rozlišením s důrazem na využití v automobilovém průmyslu**

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

DMD (Digital Micromirror Device) je Mikro–opto–elektromechanické zařízení umožňující rychlou, efektivní a přesnou distribuci světla v prostoru. Základem je pole mikroskopických hliníkových zrcátek, každé z nich je nezávisle ovládáno. Jeho použití v automobilovém průmyslu má potenciál pro zvýšení bezpečnosti provozu díky možné obrazové komunikaci s chodcem či efektivnímu odstínění dálkových světel od vozidla jedoucího v protisměru.

### **Cíle bakalářské práce:**

Proveďte rešerši použití DMD a LCD zařízení, jeho výhody a nevýhody a porovnejte je s ostatními typy projektorů či světlometů, popište možné zdroje světla (Laser, LED...).

Navrhněte blokové schéma zapojení celého mikro–opto–elektromechanického systému.

Seznamte se s SW dodaných development Boardů. Ověřte na dodaném setu development–boardu mikro–opto–elektromechanického systému a platformy Raspberry PI jeho funkcionalitu.

Seznamte se s termografií a proveďte měření výkonových prvků development boardu termokamerou. Srovnejte s předpoklady v návrhu.

Zvažte a rozhodněte o architektuře SW v případě pokračování práce.

Navrhněte seznam testů a měření pro automobilový průmysl v případě pokračování práce.

### **Seznam doporučené literatury:**

MIŠUREC, J., ZEMAN, V., ŠTĚPÁN, M. Konstrukce elektronických zařízení - návrh plošných spojů. Brno: 2003.

UPTON, Eben a Gareth HALFACREE. Raspberry Pi: uživatelská příručka. 2., aktualizované vydání. Přeložil Jakub GONER. Brno: Computer Press, 2016. ISBN 978-80-251-4819-8.

MONK, Simon. Raspberry Pi cookbook. Beijing: O'Reilly, 2014. ISBN 1449365221.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Digitální světelné zdroje s vysokým rozlišením představují nový způsob komunikace automobilu s ostatními účastníky silničního provozu. Inteligentním přepínáním dálkových světel či projekcí různých výstražných nebo informačních symbolů na vozovku je možné předcházet mnohdy i tragickým dopravním nehodám. Cílem této práce je seznámit se se současnými technologiemi automobilového osvětlení, následně zvolit vhodnou technologii pro zdroj s vysokým rozlišením a navrhnout prototyp mechatronického osvětlovacího systému.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Světlomet, světlo, Digital Light Processing, LED, LCD, projektor

## **ABSTRACT**

Digital high definition light sources are a new way of communication between car and other road users. By intelligent switching of high beam or projection of various warning or information symbols on the road a lot of even tragic traffic accidents can be prevented. The purpose of this thesis is to explore contemporary automotive lighting technologies, then to choose the appropriate technology for high definition light source and design a prototype of mechatronic lighting system.

## **KEYWORDS**

Headlamp, light, Digital Light Processing, LED, LCD, projector

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

MACHAČ, P. *Návrh vhodné technologie digitálního světelného zdroje s vysokým rozlišením s důrazem na využití v automobilovém průmyslu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 54 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Stanislav Věchet, Ph.D..

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Návrh vhodné technologie digitálního světelného zdroje s vysokým rozlišením s důrazem na využití v automobilovém průmyslu** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených na seznamu, které tvoří přílohu této práce

V Brně dne 23. 5. 2018

---

Petr Machač

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych chtěl poděkovat doc. Ing. Stanislavu Věchetovi, Ph. D. za zodpovědné vedení a pomoc při řešení problémů. Velké díky patří Ing. Milanu Tannenbergovi, Ph. D. a celému kolektivu vývojového oddělení společnosti HELLA Autotechnik NOVA s.r.o. za cenné rady, ochotu a snahu vyjít mi maximálně vstříc. V neposlední řadě děkuji mé rodině za bezmeznou podporu a trpělivost.

# OBSAH

<b>ÚVOD.....</b>	<b>10</b>
<b>1 REŠERŠNÍ STUDIE.....</b>	<b>11</b>
1.1 Současný stav technologií světlometů.....	11
1.1.1 Světlomety s halogenovým zdrojem.....	11
1.1.2 HID světlomety.....	12
1.1.3 LED světlomety.....	13
1.1.4 Laserové světlomety.....	14
1.1.5 Porovnání jednotlivých typů světlometů.....	16
1.2 Head-Up displeje – teoretický úvod.....	16
1.3 Legislativní terminologie a zákony upravující osvětlení motorového vozidla.....	17
1.3.1 Rozdělení automobilového osvětlení dle funkce.....	18
1.4 Proces homologace a testování automobilového osvětlení.....	19
1.4.1 Testování automobilových světlometů a svítlen.....	19
1.4.2 Elektromagnetická kompatibilita (EMC).....	19
1.4.3 Teplotní testování optomechatronických systémů v oblasti automotive.....	21
1.5 Chlazení světlometů.....	21
1.5.1 Aktivní chladiče.....	22
1.5.2 Pasivní chladiče.....	22
1.6 Návrh a výroba desek plošných spojů.....	23
1.6.1 FR4.....	23
1.6.2 IMS.....	24
1.6.3 Návrh PCB.....	24
1.6.4 Výroba PCB.....	24
1.7 Analýza a porovnání vybraných technologií.....	26
1.7.1 Porovnání technologií DMD/DLP a LCD non-automotive na trhu.....	26
1.8 Zvažovaná technologie LCD – teoretický úvod.....	24
1.9 Zvažovaná technologie DMD/DLP – teoretický úvod.....	26
1.10 Řídicí platforma pro zvolený systém.....	28
<b>2 VOLBA TECHNOLOGIE PRO REALIZACI.....</b>	<b>29</b>
2.1 Volba hardwaru a softwaru.....	29
<b>3 REALIZACE MECHATRONICKÉHO SYSTÉMU.....</b>	<b>31</b>
3.1 Výpočet výkonu pro dimenzování osvětlovací desky a chladiče.....	31
3.2 Návrh osvětlovací desky.....	32
3.3 Návrh chladiče osvětlovací desky.....	35
3.4 Návrh optického systému pro čip DMD.....	36
3.5 Měření elektromagnetické kompatibility systému.....	38
3.6 Termografie optomechatronického systému.....	40
3.7 Blokové schéma navrhovaného systému.....	43
<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>44</b>



<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>45</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK .....</b>	<b>48</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ.....</b>	<b>50</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ .....</b>	<b>51</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>53</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>54</b>

# ÚVOD

Téma této bakalářské práce bylo zvoleno v rámci Trainee programu společnosti HELLA Autotechnik NOVA s. r. o. Jedná se o českou divizi německého koncernu HELLA KGaA Hueck & Co., Firma HELLA se zabývá vývojem, výrobou a prodejem automobilových dílů, převážně světelné techniky.

Cílem této práce je vybrat aplikaci vhodné optomechatronické technologie světelného systému s vysokým rozlišením pro „inteligentní osvětlení“ aplikované v automobilovém průmyslu.

Světelné zdroje je možné kromě světlometů použít do Head-Up displejů nebo do stylistických prvků. Zajímavou aplikací je projekce loga automobilky – světelný koberec při otevření dveří vozu.

Hlavním faktorem je zvýšení bezpečnosti silničního provozu. Světlometry využívající zdroje s vysokým rozlišením jsou schopny aktivně regulovat směr světelného kužele dálkových světel tak, aby nedošlo k oslnění řidiče jedoucího v protisměru. Dále mohou pomoci detekovat a viditelně označit šířku vozidla, což výrazně zjednodušuje předjíždění.

Tato práce vznikla za podpory vývojového oddělení firmy HELLA v Mohelnici.

## **Z historie automobilového osvětlení**

První automobilové světlometry se objevily v 80. letech 19. století. Byly to zpravidla karbidové, nebo petrolejové svítilny. První skutečně masově vyráběný automobil Ford Model T byl vybaven karbidovými lampami. Elektrické světlometry byly poprvé využity v roce 1898, avšak výroba dostatečně malých a výkonných dynam byla velice obtížná, a tudíž nebyly příliš oblíbené. Prvním vozidlem s moderními elektrickými světlometry byl roku 1912 Cadillac Delco. Ve dvacátých a třicátých letech se objevují první pokusy o dělení světlometů podle funkce a vozy se začaly vyrábět s několika světly, každé z nich bylo určeno pro jiné jízdní podmínky (potkávací svítilny, dálková světla atd.) [1].

První halogenová lampa byla uvedena na trh v roce 1962. K jejich širšímu používání ale docházelo až od let osmdesátých. Na přelomu dvacátého a dvacátého prvního století se do automobilového průmyslu dostala technologie LED svítilen, která se používá dodnes a začíná se objevovat i nižších kategoriích vozidel.

V roce 2009 se poprvé v oblasti automobilismu objevila technologie DLP / DMD (Digital Light Processing / Digital Micromirror Device) od společnosti Texas Instruments. Používá se zatím výhradně ve vozech vyšších tříd, jako je Audi A8.

# 1 REŠERŠNÍ STUDIE

## 1.1 Současný stav technologií světlometů

V současné době existují čtyři hlavní typy světlometů (seřazeny od nejstarší po nejnovější): halogenové, HID, diodové a laserové. Technologie LCD se používá převážně v kombinaci s diodovými světlometry. Obecně platí, že s novější technologií se zvyšují jak pozitivní vlastnosti, mezi které patří účinnost, životnost či dosvit, tak negativní vlastnosti jako je cena, náročnost údržby nebo složitost systému.

### 1.1.1 Světlometry s halogenovým zdrojem

Základním stavebním prvkem je křemičitá skleněná baňka naplněná halogenem (bromem či jodem). Světlo vzniká rozžhavením vlákna umístěného v baňce mezi dvěma elektrodami. Nejčastější typy nesou označení H1, H4 a H7. Mezi jednotlivými typy není velký rozdíl, co se týče výkonu nebo svítivosti, ale v patici (způsobu upevnění a propojení) či počtu svítivých vláken, např. žárovka H4 (viz Obr. 1) je dvouvláknová, žárovka H7 je jednovláknová. První halogenový světlomet byl vyroben v roce 1962 konsorciem evropských výrobců žárovek a světlometů. Jednalo se o typ H1 o výkonu 55 W při 12 V a svítivost byla  $1550 \text{ lm} \pm 15 \%$  při napětí 13,2 V [1].

Dosvit tohoto typu osvětlení je např. u dálkových světel přibližně 220 m.



Obr. 1: Výbojka typu H4 [1]

Halogenové světlometry se v současnosti montují do levnějších automobilů, typu Škoda Fabia nebo levnější varianty vozu Volkswagen Golf. Výhodou je nízká cena (řádově desítky, maximálně stovky Kč za žárovku) a relativně snadná výměna žárovek (není nutná návštěva specializovaného servisu) nebo jejich uplatnitelnost ve všech typech osvětlení (mlhová, dálková, potkávací, parkovací, brzdová světla, směrovky). Je to také zdaleka nejjednodušší systém, nevyžaduje žádné čočky, stačí parabolická odrazová plocha.

### 1.1.2 HID světlomety

HID (High-Intensity Discharge) světlomety, často jsou označovány, ne zcela přesně, jako xenonové, jelikož xenonové výbojky se používají nejčastěji, přesnější označení by bylo halogenidové světlomety.

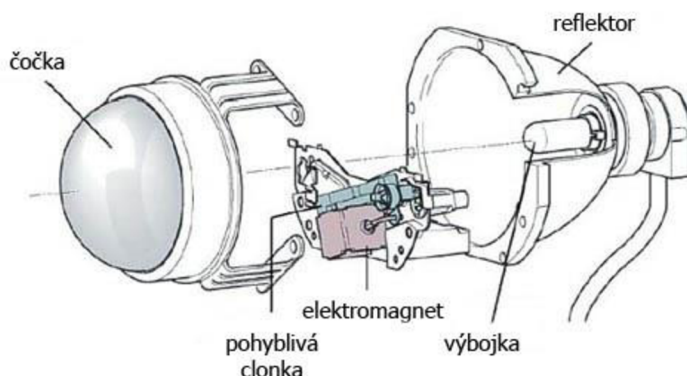
Prvním vozem s HID světlomety bylo BMW řady 7, E32 v roce 1991. Výbojky jsou plněny xenonem a světlo vytváří oblouk mezi dvěma elektrodami. Podobná technologie se používá v lampách pouličního osvětlení, s tím rozdílem, že pouliční lampy jsou plněny argonem. Xenon dosahuje plného výkonu jednotky sekund po spuštění, kdežto argonové výbojky potřebují několik minut a pro oblast automotive jsou tak nepoužitelné.

Používají se převážně ve vozích střední a nižší střední třídy jako např. Škoda Rapid (Obr. 2).



Obr. 2: Bi-xenonové světlomety modelu Škoda Rapid [2]

Používají se dva základní typy, označované jako xenonové a bi-xenonové. Bi-xenonové mají dvě možnosti intenzity, pro potkávací a dálková světla, zatímco pouze xenonové světlomety se využívají jen u potkávacích světel, pro dálková světla slouží halogenová výbojka. Schéma HID modulu je zobrazeno na Obr. 3.



Obr. 3: Schéma bi-xenonového modulu [3]

Výhodou je dvojnásobná účinnost, ve srovnání s halogenovými světlomety, širší světelný kužel, dokáže osvětlit i krajnici, nižší odběr proudu při provozu ( $\approx 3 \text{ A}$ ) a vyšší svítivost, přibližně 3000 lm. Mezi nevýhody patří menší dosvit dálkových světel (190 m) nebo náročná výměna, výbojky jsou pod tlakem a obsahují rtuť, je tedy nutné odborné zacházení. Náhradní výbojky stojí řádově jednotky tisíc Kč za kus a doporučuje se je vyměňovat v obou světlech zároveň [4].

Pro správnou funkci je světlomet nutno vybavit optickou soustavou, řídicí jednotkou a startérem. Bezpečnostní normy také vyžadují ostříkovací systém.

### 1.1.3 LED světlomety

Využívají LED diody (LED – Light Emitting Diode, česky elektroluminiscenční dioda). Světlo je vyzařováno při průchodu elektrického proudu P-N přechodem diody. Účinnost diody je ve srovnání s halogenovou zářivkou zhruba desetinásobná.

Montují se do vozů od nižší střední třídy výše, u levnějších modelů však bývají součástí až příplatkové výbavy. Prvním vozem vybaveným touto technologií byla druhá generace model Audi A8 W12 v roce 2004 (viz Obr. 4).

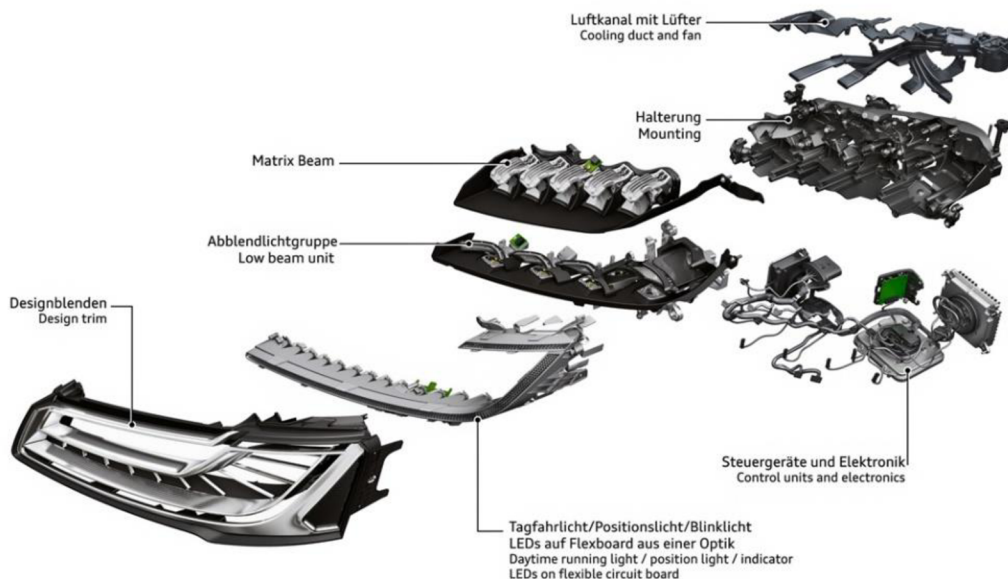


Obr. 4: Audi A8 W12 2004, první automobil s LED světlomety [5]

Výhody této technologie tkví ve výše zmíněné vysoké účinnosti a vysoké životnosti (udává se stejná jako je životnost celého vozu) a především ve snadné regulaci světelného kužele, LED světlomety již umožňují neoslňení řidiče protijedoucího vozidla při spuštěných dálkových světlech.

Nevýhodou je složitost celého systému v porovnání např. se světlomety s halogenovým zdrojem (viz schéma moderního LED světlometu na Obr. 5). I přes vysokou životnost však může dojít k poruchám, v takovém případě je již oprava „svépomocí“ téměř nemožná a je nutné navštívit specializované servisní středisko. Je-li nutná výměna světlometu je vhodné vyměnit oba zároveň, jelikož při opotřebení diody

dochází k mírným změnám zbarvení, kombinace nového a starého světlometu by tak měla negativní vliv na viditelnost a tím pádem i na bezpečnost provozu.



Obr. 5: Schéma LED světlometu (Audi A8, IV. generace) [6]

Důležitým faktorem vývoje LED světlometů je chlazení a odvod tepla vznikajícího při průchodu elektrického proudu LED diodou, protože při přehřívání diod dochází k tzv. *degradaci*, tj. k poklesu životnosti a svítivosti. Z toho vycházejí vysoké nároky na chladičový systém osvětlovacího systému. O chladičích světlometů pojednává kap. 1.5 a návrh pasivního chladiče, který sice není explicitně uveden v zadání práce, ale pro správnou funkčnost navrhovaného systému je nepostradatelný je popsán v kap. 3.3.

#### 1.1.4 Laserové světlometry

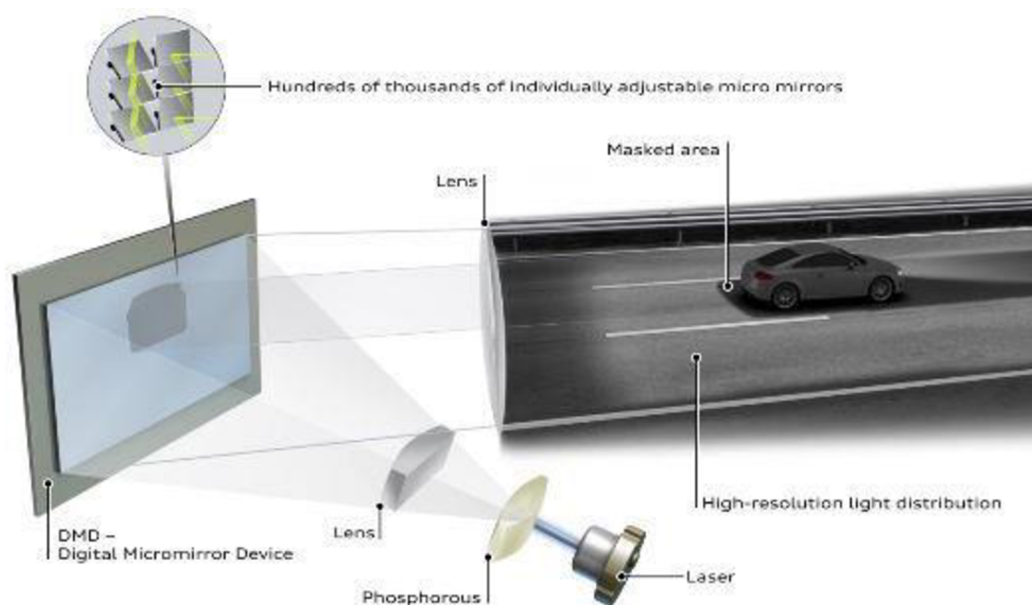
Jedná se o jednu z nejnovějších technologií, kde lze uplatnit technologii DMD. Poprvé byly použity v automobilu BMW i8 v roce 2014 (Obr. 6). V každém světlometu jsou laserové diody, nejčastěji pracující v modrém světelném spektru. Světelný tok směřuje do fosforového konvertoru. Ten provede změnu barvy světla na bílé. Světlo poté dopadá na zařízení DMD, kde je zpracován obraz, odkud je světelný tok směřován přes optický systém buď do světelného absorbéru nebo na vozovku. Výhodou je nejdelší dosvit, v porovnání se standardními světelnými zdroji. Zajímavá je osmá generace vozu Rolls-Royce Phantom, která je vybavena dálkovými světly s efektivním dosvitem přes 600 metrů [7]. Maximální dosvit je z bezpečnostních důvodů uměle omezen.

Výhodou je pro lidské oko nejpřirozenější barva světla, vysoká životnost (stejná jako celého vozu) a nízká energetická náročnost (ve srovnání s LED světlomety až třetinová) [8].



Obr. 6: BMW i8 s laserovými světlomety [9]

Nevýhodou je velmi vysoká cena (příplatek za laserová světla je v ceníku modelu BMW i8 více než 150 000 Kč) [10]. Proto se zatím montují jen do prémiových luxusních nebo sportovních vozů, jako je již zmíněný Rolls-Royce Phantom, BMW i8 nebo Audi A8.



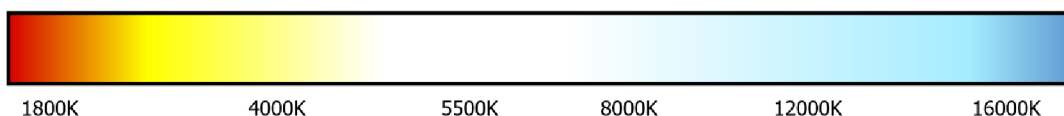
Obr. 7: Princip laserových světlometů Audi využívající technologie DMD [11]

### 1.1.5 Porovnání jednotlivých typů světlometů

Světlomety	Halogenové	HID	LED	Laserové
Dosvit [m]	220	190	600	600+
Měrný světelný výkon [lm·W <sup>-1</sup> ]	1300 lm / 55 W	2800 lm / 35 W	4600 lm / 25 W	10 000 lm / 100 W
Teplota chromatičnosti [K]	2900 – 3100	4000 – 6000	4000 – 6000	5500 – 6000
Aktivní ovládání	Ne	Ne	Ano	Ne
První použití	1962	1991	2004	2014
Životnost [h]	200-400	2500	15000	30000

Tab. 1: Porovnání jednotlivých typů světlometů

- Měrný světelný výkon: Udává vztah mezi světelným tokem a elektrickým příkonem zdroje světla, označení  $\Phi$ , jednotkou je lumen na watt [lm·W<sup>-1</sup>]
- Teplota chromatičnosti: Charakterizuje barevné vnímání vyzařovaného světla, jednotkou je Kelvin [K]. Při nižších teplotách v oblasti 2000 – 4000 K se jedná o tzv. „teplé bílé světlo“, vyzařováno např. svíčkami. Světlo o vyšších teplotách (4000 K a více) je označováno jako „studené bílé světlo“. S teplotou chromatičnosti pohybující se okolo 8000 K získává světlo namodralou barvu (viz Obr. 8)



Obr. 8: Teplota chromatičnosti [12]

## 1.2 Head-Up displeje – teoretický úvod

Head-Up Display (HUD, český termín Průhledový displej). Je zařízení určené k zobrazování vybraných důležitých informací, mezi které patří okamžitá rychlost vozu, či údaje z navigačního systému rovnou do zorného pole řidiče. Není tedy nutné přenášet pozornost mezi ukazateli na přístrojovém panelu a vozovkou, obojí lze dělat současně.



Informace jsou promítány buďto na čelní sklo, nebo na zatahovací plexisklový štít (tento přístup se používá např. u modelu Mazda CX-3, viz Obr. 9).



Obr. 9: HUD s projekcí na plexisklový štít (Mazda CX-3, vlevo) a na čelní sklo (Cadillac Escalade, vpravo) [13, 14]

Původně byly vyvinuty pro kokpity bojových stíhaček, poprvé se objevily za II. Světové války v letounech Britského královského letectva RAF [15]. Požadavek vzešel ze zjištění Telecommunications Research Establishment, že noční piloti mají problémy s naváděním k cílům a s reakcí na verbální pokyny radistů. Byla tak vyvinuta jednoduchá zařízení, která zvýrazňovala nepřátelská letadla, přístroj kombinoval data z radaru a gyroskopického zaměřovače, následně jej promítal na čelní sklo kokpitu. První vojenský letoun s vestavěným HUD byl Hawker Siddeley Harrier v 70. letech 20. století. Přibližně ve stejnou dobu se objevuje i v civilním letectví.

Prvním sériově vyráběným automobilem s head-up displejem byl v roce 1988 Oldsmobile Cutlass Supreme koncernu General Motors [16].

V současné době se začínají objevovat i průhledové displeje využívající rozšířenou realitu. Jedná se o tzv. AR-HUD (Augmented Reality Head-Up Display). Obraz je ve skutečnosti promítán na čelní sklo, nebo plexisklový štít, ale zdánlivě se zobrazuje přímo na vozovce [17].

Řidič tak pohodlně vidí např. do kterého jízdního pruhu se má zařadit, nebo jaká je maximální povolená rychlost na silnici, po které právě jede. Průhledové displeje tak nabývají na důležitosti jako prvky aktivní bezpečnosti.

### 1.3 Legislativní terminologie a zákony upravující osvětlení motorového vozidla

Jako „světlomety“ (též „reflektory“) se označují zpravidla svítidla sloužící k osvětlení směru, dále pak dálková a potkávací světla motorových vozidel (případně také přední světlo jízdního kola). Jedná se tedy o světla umístěvaná do přední části vozidla. Osvětlení umístěné v zadní části vozu je označováno jako tzv. „zadní skupinové svítidlo“.

Používání a označení automobilového osvětlení v České republice upravují tyto zákony a vyhlášky:

- *Zákon č. 411/2005 Sb., kterým se mění zákon č. 361/2000 Sb. o provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, zákon č. 200/1990 o přestupcích, ve znění pozdějších předpisů, zákon č. 247/2000 Sb. o získávání a zdokonalování odborné způsobilosti k řízení motorových vozidel a o změnách některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů a některé další zákony.*
- *Zákon č. 56/2001 Sb. o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích a o změně zákona č. 168/1999 Sb., o pojištění odpovědnosti za škodu způsobenou provozem vozidla a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o pojištění odpovědnosti z provozu vozidla), ve znění zákona č. 307/1999 Sb.*
  - Tento zákon se zabývá podmínkami provozu vozidel na pozemních komunikacích v souvislosti se seřizováním světlometů při technických prohlídkách.
- *Prováděcí vyhláška č. 341/2014 Sb. o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu v komunikacích.*
  - Tato vyhláška také bere v potaz veškerá rozhodnutí přijatá na základě mezinárodní smlouvy, na základě pravidel uzavřených v Ženevě dne 20. března 1958 a směrnice Evropské unie.

Zákon č. 411/2005 Sb. používá pro automobilové osvětlení termín „světla“, v zákoně č. 56/2001 Sb. se používá termín „světlomet“ Vyhláška č. 341/2014 Sb. používá termíny: „potkávací světlo“, „brzdové světlo“, „zadní obrysové světlo“, „dálková světla“, „dodatečně namontované svítilny“, „svítilny a světlometry“.

Speciální kategorií jsou tzv. „světla pro denní svícení“. Negenerují světelný kužel ale rozptýlené světlo, jejich účelem tedy není zlepšení výhledu řidiče, ale zvýraznění vozidla za jízdy při nesnížené viditelnosti, zvyšují tak bezpečnost silničního provozu. Poprvé byly použity v 90. letech v USA. V ČR jejich používání nařizuje *zákon č. 411/2005 Sb. v § 32 odstavce 1 a 2*. Auta vyrobená před datem nabytí účinnosti toho to zákona (1. červenec 2006) jimi vybavena být nemusí, lze je však dodatečně namontovat. Takto přidaná světla musejí být povinně homologována a pro jejich umístění platí přesná pravidla.

### 1.3.1 Rozdělení automobilového osvětlení dle funkce

Světla označená „\*“ jsou považována za návěstní nebo signalizační zařízení, vozidlo jimi musí být povinně vybaveno (s výjimkou výstražného majáku, který je nepovinný)

- Potkávací světla
- Dálková světla
- Zpětná světla
- Mlhová světla
- Obrysová světla
- Výstražná světla

- Směrová světla \*
- Brzdová světla \*
- Světelná houkačka \*
- Osvětlení registrační značky
- Osvětlení informací vozidel veřejné dopravy \*
- Osvětlení přístrojů
- Denní osvětlení (světla pro denní svícení)
- Vnitřní osvětlení
- Osvětlení při otevření dveří
- Kontrolní světla \*
- Odrazové světlo \*
- Výstražný maják \*

Tato práce se zabývá světlometry a vnitřním a přístrojovým osvětlením ve formě Head-Up Displejů.

## **1.4 Proces homologace a testování automobilového osvětlení**

### **1.4.1 Testování automobilových světlometů a svítlen**

Minimální povinné testy, kterými musí projít světlomet, resp. některá jeho součást předepisují normy. Každá automobilka si však může nastavit individuální, přísnější, pravidla, případně může provádět své vlastní zkoušky nad rámec povinností vyplývajících z norem tak, aby byla dosažena požadovaná funkčnost a synergie všech komponent automobilu.

Na příklad koncern Volkswagen má pro testování optomechatronických světelných systémů normu označovanou jako VW81000, zabývá se mj. ochranou proti přepólování, odolností proti zkratu atd.

Jedná se především o testy svítivosti, vlhkosti či životnosti, teplotní a vibrační zkoušky nebo solný test. U elektronických součástí se musí provést i zkoušky v oblasti elektromagnetické kompatibility. Provádějí se však i standardní zkoušky známé z jiných oblastí strojírenství jako např. materiálové nebo únavové zkoušky. Vzhledem ke svému tématu se tato práce bude zabývat teplotními a elektrickými testy a elektromagnetickou kompatibilitou.

### **1.4.2 Elektromagnetická kompatibilita (EMC)**

Elektromagnetická kompatibilita (anglicky *Electromagnetic compatibility*) vyjadřuje spolehlivost elektrických a elektronických zařízení. EMC jako vědní obor se zabývá dvěma základními tématy, *emisemi* a *imunitou*. *Emise* (případně též interference, či rušení) vyjadřují schopnost systému neovlivňovat svými elektromagnetickými signály

ostatní elektronická a elektrická zařízení v daném prostředí. *Imunita* (susceptibilita, *odolnost*) popisuje schopnost systému fungovat v prostředí, kde se vyskytují jiné zdroje elektromagnetických signálů, tuto vlastnost můžeme též označit jako elektromagnetickou odolnost (EMO) [18].

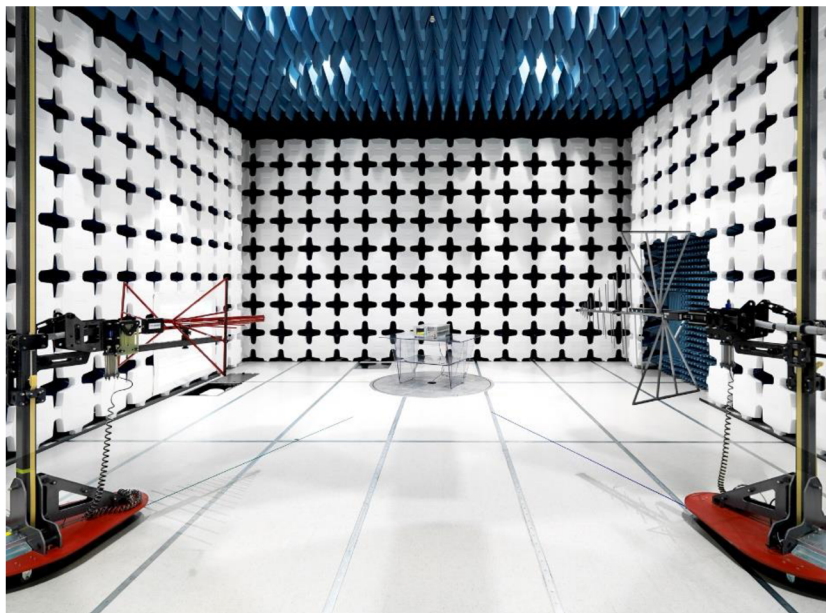
Problém EMC definují základní normy pro nízkofrekvenční rušení a pro elektromagnetickou normu (řady ČSN EN 61000-2 a ČSN EN 6100-3). Minimální soubor požadavků a metodiku testování EMC pracujících v určitých elektromagnetických prostředích určují kmenové normy EN 50081-1 (pro prostory obytné, obchodní a lehkého průmyslu) EN 50082-2 a EN 50081-2 (pro průmyslové prostředí).

Při měření se zjišťují hodnoty rušivého napětí  $U_r$ , rušivého proudu  $I_r$  a výkonu rušivého signálu  $P_r$ . Mezi další charakteristické veličiny, kromě těch zmíněných výše, patří intenzita rušivého elektrického pole  $E_r$ , intenzita rušivého magnetického pole  $H_r$ , případně hustota vyzářeného rušivého výkonu  $P_r$ , která je dána velikostí Poyntingova vektoru  $\vec{S}_r$  rušivého elektromagnetického pole [18].

Existuje pět základních způsobů měření. Měření s umělou sítí AMN (Artificial Mains Network), s napěťovou sondou (vhodné při zkouškách a diagnostických měření při vývoji zařízení), proudovou sondou (slouží k měření rušivého proudu bez přerušování vodiče, používá se v kmitočtovém pásmu 100 kHz – 100 MHz), absorpčními kleštěmi (kombinace širokopásmové vysokofrekvenční proudové sondy a feritového absorbéru, pracují v pásmu 30 MHz – 1 GHz), nebo měření pomocí antén (různé konstrukce – rámové, tyčové, bikónické, trychtýřové, logaritmické..., každý typ vhodný pro jiná frekvenční pásma, použitím více druhů antén lze pokrýt frekvenční pásmo od řádově jednotek kHz až po desítky GHz). Dvě logaritmické antény jsou zobrazeny na Obr. 10

Měření se provádí buď na volném prostranství (označení OFTS, Open Field Test Site či OATS, Open Area Test Site). Podrobné požadavky na parametry prostranství jsou uvedeny v normách. Při OFTS je nutné určit parametr SA (Site Attenuation, česky útlum stanoviště) a korekční činitel  $R$  (obojí se udává v decibelech [dB]).

Druhou možností pro měření je použití elektromagneticky stíněných prostor, ty zajistí, aby měření nebylo ovlivněno vnějšími rušivými signály. Při tomto způsobu měření je třeba brát v úvahu dva zásadní problémy. Prvním je vlastní rezonance komory, lze potlačit umístěním desek z absorpčního materiálu do míst maxim elektrického pole.



Obr. 10: Příklad EMC komory využívající jak vrstevnaté, tak pyramidální absorbéry. V komoře jsou umístěny dvě logaritmické antény [19].

Dalším problémem jsou vnitřní odrazy v komoře. Rušivé vyzářování od vzorku se šíří všemi směry a vlny odražené od stěn komory mohou výrazně ovlivnit měření. K oslabení vlivu odražených vln se stěny komor pokrývají buď feritové absorbéry s plochou vrstevnatou strukturou nebo pyramidální absorbéry (obkladové prvky mají tvar jehlanů či kuželů z polystyrenu nebo polyuretanu s grafitovou impregnací), případně kombinace obojího (viz Obr. 10).

#### 1.4.3 Teplotní testování optomechatronických systémů v oblasti automotive

Teplotní testování světlometů jako celku i jednotlivých komponent musí brát v potaz, že automobily budou v provozu ve všech možných klimatických podmínkách. Mezi základní testy patří jak postupné, tak skokové snižování a zvyšování teploty. Teplota může kolísat v rozmezí  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $+90\text{ }^{\circ}\text{C}$  v závislosti na typu součásti a požadavcích zákazníka a legislativních předpisů. Testuje se odolnost při různých teplotních gradientech (např.  $4\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$  nebo  $40\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ).

### 1.5 Chlazení světlometů

Vysoké nároky na chladicí systém kladou LED a laserové světlometry. LED světlometry jsou v silničním provozu výrazně běžnější než laserové. Tato kapitola se bude zabývat výhradně chlazením LED světlometů.

K LED diodě se umístí chladič o velkém plošném obsahu, a především o vysoké tepelné vodivosti  $\lambda$ . Je-li konvekce (proudění) tepla vynucené nějakým dalším zařízením, nejčastěji ventilátorem, jedná se o tzv. *aktivní chlazení*. Je-li konvekce přirozená, pak jde

o tzv. *pasivní chlazení*. Odpadní teplo se poté může využít k odmlžení krycího skla světlometu.

Chladiče, ať už pasivní, či aktivní, odvádějí teplo ze světlometu do okolního prostředí. K výrobě se nejčastěji používá hliník a slitiny hliníku. Tento prvek má tepelnou vodivost větší než  $220 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  a hustotu přibližně  $2,7 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ . Chladič musí co nejmenší, co nejlehčí a co nejefektivnější.

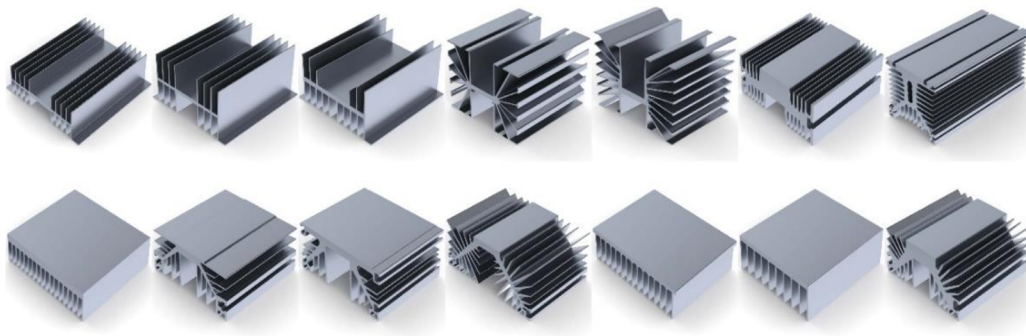
### 1.5.1 Aktivní chladiče

Obsahují ventilátory, které budí nucené proudění plynu. Ventilátor zvýší koeficient přestupu tepla a zmenší plochu chladiče, tím pádem klesne i velikost a hmotnost celého chladičského zařízení. Nevýhodou je nutné napájení elektrickým proudem a vyšší pravděpodobnost poruchy.

### 1.5.2 Pasivní chladiče

Na rozdíl od aktivních chladičů nedochází k nucené konvekci tepla. Mají nižší koeficient přestupu tepla a je tedy nutná větší chladičí plocha, se kterou se zvyšuje i hmotnost chladiče. Výhodou však je nižší cena a jednoduchost.

Podle způsobu výroby je dělíme na extrudované (protlačované), odlévané, tažené nebo ohýbané. Podle tvaru chladičí plochy lze chladiče rozdělit na příklad na kolíkové, trubicové či žebrované. Různé tvary chladičů jsou zobrazeny na Obr. 11.



Obr. 11: Příklady tvarů chladičů [20]

Typ chladiče	Popis
Extrudovaný	Nejdražší typ, není možné vytvořit všechny geometrické tvary. Téměř výhradně bývají vyrobeny z hliníku. Kombinují se s axiálními ventilátory.
Odlévaný	Může být odlit jakýkoliv požadovaný tvar, kombinují se s radiálními ventilátory. Bývají vyrobeny ze slitin hliníku či hořčíku.
Tažený	Mívají jednoduchou geometrii, vyrábějí se ze slitin hliníku.
Ohýbaný	Vyrábí se z měděných nebo hliníkových polotovarů, které se ohýbají do požadovaného tvaru. Jde o nejlevnější typ chladičů.

Tab. 2: Popis jednotlivých typů chladičů

## 1.6 Návrh a výroba desek plošných spojů

Deska plošných spojů (DPS, případně PCB z anglického „Printed Circuit Board“) slouží k propojení elektronických součástek s pomocí vodičů umístěných na povrchu desky.

První pokusy o propojování komponent na pevné podložce se objevily ve třicátých letech 20. století, jednalo se o realizaci patentu na odleptávání spojů z roku 1925. Vzhledem k velkým nákladům na výrobu však byly omezeny pouze na experimenty. S vývojem nových a levnějších materiálů však docházelo i k rozvoji odleptávání spojů. V padesátých letech jsou již plošné spoje nejrozšířenějším způsobem propojování elektronických komponent. V současné době jsou nedílnou součástí téměř každého elektronického zařízení.

PCB se skládají z více vrstev mědi a izolačního materiálu, nejčastější jsou dvouvrstvé až osmivrstvé desky, existují však i více než padesátivrstvé DPS.

Existují dva základní materiály pro výrobu PCB, laminátové (nejčastěji FR4) a s kovovým substrátem označované jako IMS [21, 22].

### 1.6.1 FR4

FR4 (Z anglického „Flame Retardant“ což znamená „zpomalovač hoření“, číslice 4 značí normu UL94V-0). Tento materiál byl vyvinut v USA Národní asociací výrobců elektroniky (*National Electrical Manufacturers Association*, NEMA) v roce 1968.

Základ tvoří epoxidová pryskyřice a skleněná vlákna. Na tuto nevodivou vrstvu se nanese vrstva mědi. Tepelná vodivost je 0,2 – 0,5 W/m·K (v závislosti na počtu vrstev). [24].

### 1.6.2 IMS

IMS (Z anglického „Insulated Metal Substrate“ což znamená izolovaný kovový substrát) jsou vyráběné nejčastěji z hliníku. Jejich tepelná vodivost je výrazně (3x – 10x) větší než u desek vyrobených z FR4 [22].

### 1.6.3 Návrh PCB

K návrhu se používají specializované CAD systémy, jako je Autodesk EAGLE nebo OrCAD PCB Designer [21]. Nejdříve se vytvoří schéma zapojení s pomocí elektronických součástek uložených v knihovně návrhového systému, není-li požadovaná součástka v knihovnách zahrnuta je možné ji do knihovny vložit samostatně. V takovém případě je nutné vytvořit pouzdro přesně podle rozměrů součástky a rozložení pinů či padů dle datasheetu, dále se vytvoří značka s vývody pro schéma zapojení a vývody se propojí s jednotlivými pady.

Jakmile je schéma hotové přistupuje se k rozložení (tzv. „layoutu“ desky). Vytvoří se deska požadovaného tvaru a rozměrů a počtem vrstev, součástky se rozmístí na desku a propojí se. Přidají se referenční body nebo vie, případně další otvory, např. pro šrouby.

### 1.6.4 Výroba PCB

Jakmile je dokončen návrh desky vygenerují se tzv. „Gerber data“. To se provádí pomocí CAM procesoru, který je součástí návrhového CAD systému. Získaná data se poté zašlou výrobcí desky.

Při výrobě většího počtu kusů se desky vyrábí v tzv. „panelech“, které se dělí na jednotlivé kusy až po dokončení výroby.

## 1.7 Zvažovaná technologie LCD – teoretický úvod

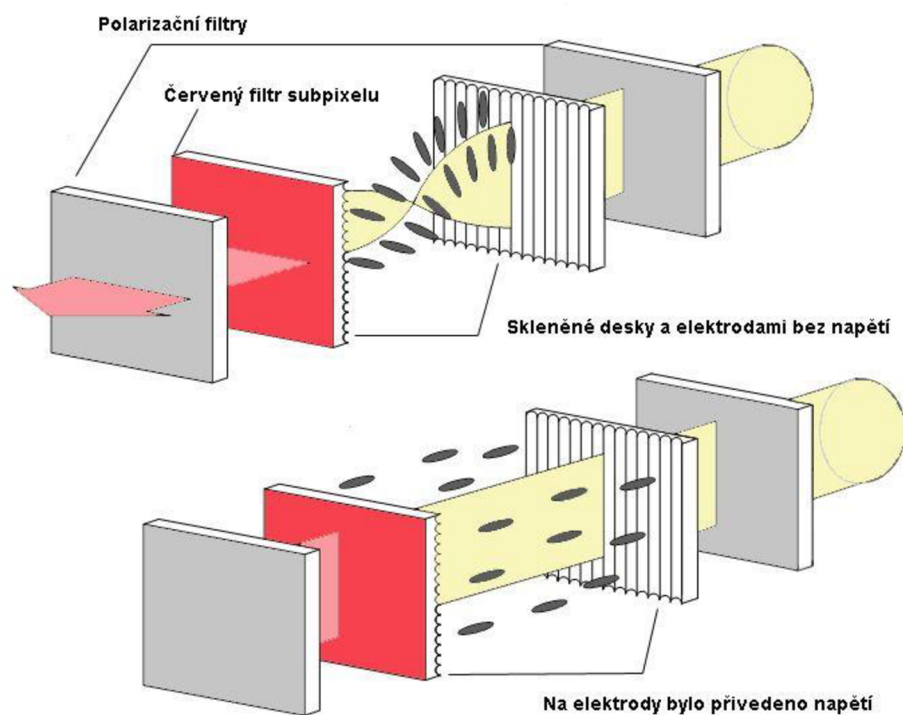
LCD (z anglického Liquid Crystal Display, česky Displej z tekutých krystalů) je zařízení skládající se z velkého počtu (v závislosti na rozlišení až statisíců či milionů) zobrazovacích bodů seřazených do matice, tzv. pixelů, které mohou být barevné, nebo monochromatické. Pixely obsahují tekuté krystaly a jsou uloženy mezi dvě průhledné elektrody a dva polarizační filtry, jejichž osy polarizace jsou na sebe kolmé. Pokud by mezi filtry nebyly žádné tekuté krystaly, tak by neprošlo žádné světlo a pixel by zůstal černý. Soustava pixelů je umístěna k vnějšímu zdroji světla, ten je pro funkci zcela stěžejní, jelikož LCD je pasivní zobrazovací jednotka, optickou aktivitu zajišťuje právě vnější zdroj.



Přivedeme-li napětí na elektrody dojde k uspořádání molekul tekutých krystalů do spirálovité světlo vodící struktury. Při průchodu se světlo otáčí až o  $90^\circ$ , takže projde i druhým polarizačním filtrem. Pixel je v tomto případě průhledný [23]. Stupeň natočení krystalů lze regulovat velikostí a dobou trvání procházejícího proudu. Schéma jednoho subpixelu LCD displeje je zobrazeno na Obr. 12.

Existují tři typy LCD displejů podle zdroje světla

- a) Displeje s vlastním zdrojem (elektroluminiscenční fólie a diody, nebo fluorescenční katodové lampy). Výhodou je dobrá čitelnost displeje i za tlumeného vnějšího osvětlení. Zdroj světla však musí být stále spuštěn, následkem čehož energetická náročnost displeje není příliš závislá na zobrazovaných barvách, ale spíše na jasu světelného zdroje. Další nevýhodou této technologie je horší kontrastní poměr (kontrastní poměr: poměr mezi maximálním a minimálním jasnem displeje), dále může, z důvodu nedokonalostí pixelů, docházet k nežádoucímu propouštění světla, především na okrajích displeje a jednotlivých pixelů.
- b) Displeje využívající vnější osvětlení, kdy paprsky dopadnou na spodní elektrodu a pozorujeme odraz obrazu. Oproti displejům s vlastním zdrojem jsou jednodušší, levnější a méně energeticky náročné. Nevýhodou však je jejich nepoužitelnost za tmy.
- c) Třetí typ kombinuje obě předcházející technologie. Osvětlení vlastního zdroje lze regulovat.



Obr. 12: Schéma červého subpixelu LCD displeje [24]

Krystaly jsou v mezomorfním stavu, což je teplotní rozpětí mezi táním a izotropní kapalinou. V tomto stavu je zachováno krystalické uspořádání jejich molekul. Vlivem elektrického pole se molekuly krystalů natáčejí a dochází k dynamickému rozptylu světla.

Pro vznik barevného displeje je nutné každý pixel ještě rozdělit na tři subpixely, jeden je zelený, druhý modrý a třetí červený. Jejich svítivost lze nezávisle regulovat pomocí tranzistorů. Spotřeba energie je úměrná jasů displeje.

Připojení displeje k mikrokontrolerům bývá značně zjednodušeno použitím tzv. LCD modulů s řadičem. Každý pixel musí být na ostatních bodech nezávislý a musí tak mít vlastní zdroj elektrického proudu. V současnosti dochází k multiplexování. Využívá se maticového uspořádání pixelů. Všechny zobrazovací body ve sloupci mají jeden zdroj, to samé platí pro řádky. Každý pixel tak má jedinečnou kombinaci zdrojů napětí a o požadované spínání se stará připojený řadič.

## **1.8 Zvažovaná technologie DMD/DLP – teoretický úvod**

DMD (z anglického Digital Micromirror Device, možný český překlad Digitální zařízení s mikrozrcadly) je základem technologie označované obchodní známkou společnosti Texas Instruments jako DLP (z anglického Digital Light Processing, česky Digitální Zpracování Světla). DLP se používá v digitálních projektorech, světlometů, nositelné elektroniky (SmartGlasses apod.) nebo jako prostředek pro chytré domácnosti. Byla vyvinuta v roce 1987.

DMD je mikro-opto-elektromechanický systém (MOEMS) skládající se z pole velkého množství (až 8,4 milionů) mikroskopických hliníkových zrcadel. Každé zrcadlo je ovládáno nezávisle na ostatních a slouží jako jeden pixel. Jsou vyrobeny z hliníku a jejich úhlopříčka se pohybuje okolo 16 mikrometrů. Jsou umístěny na torzních pantech, které jsou tak malé, že nepodléhají výrazné únavě [25].

Pod každým zrcátkem je paměťová buňka CMOS, do které se nahraje hodnota „1“ nebo „0“. Zrcadlo se podle toho naklání o  $\pm 12^\circ$ , nebo  $\pm 17^\circ$ , v závislosti na konkrétním modelu. Tento náklon rozhoduje, zda bude světlo propuštěno, nebo absorbováno. Rychlým střídáním poloh „1“ a „0“ lze také nastavit intenzitu barvy.

Zjednodušené schéma fungování systému DLP použitého v automobilovém světlometu je znázorněno na Obr. 7.

## **1.9 Analýza a porovnání zvažovaných technologií**

### **1.9.1 Porovnání technologií DMD/DLP a LCD non-automotive na trhu**

Tab. 3 obsahuje základní porovnání obou technologií v praxi. Vzhledem k rozmanitému sortimentu byly vybrány dataprojektory, jelikož pracují na podobném principu jako Head-Up Displeje. Byly vybrány vzorky s podobnou cenou, přibližně 20 000 Kč.

Tab. 4 pak shrnuje základní výhody a nevýhody zvažovaných technologií.

<b>Technologie</b>	<b>DMD/DLP</b>	<b>LCD</b>
Označení	XJ-V100W	PT-LB353
Výrobce	Casio	Panasonic
Rozlišení [px]	Nativní: HD (1280 x 800)	Nativní: XGA (1024 x 768)
	Maximální: FHD (1920 x 1080)	Maximální: stejné jako nativní
Životnost [h]	20 000	10 000
Svítivost [lm]	3000	3 300
Výkon [W]	150	230
Kontrastní poměr <sup>1</sup> [-]	20 000 : 1	16 000 : 1

Tab. 3: Porovnání zvažovaných technologií v non-automotive aplikaci (data čerpána z [26,27]).

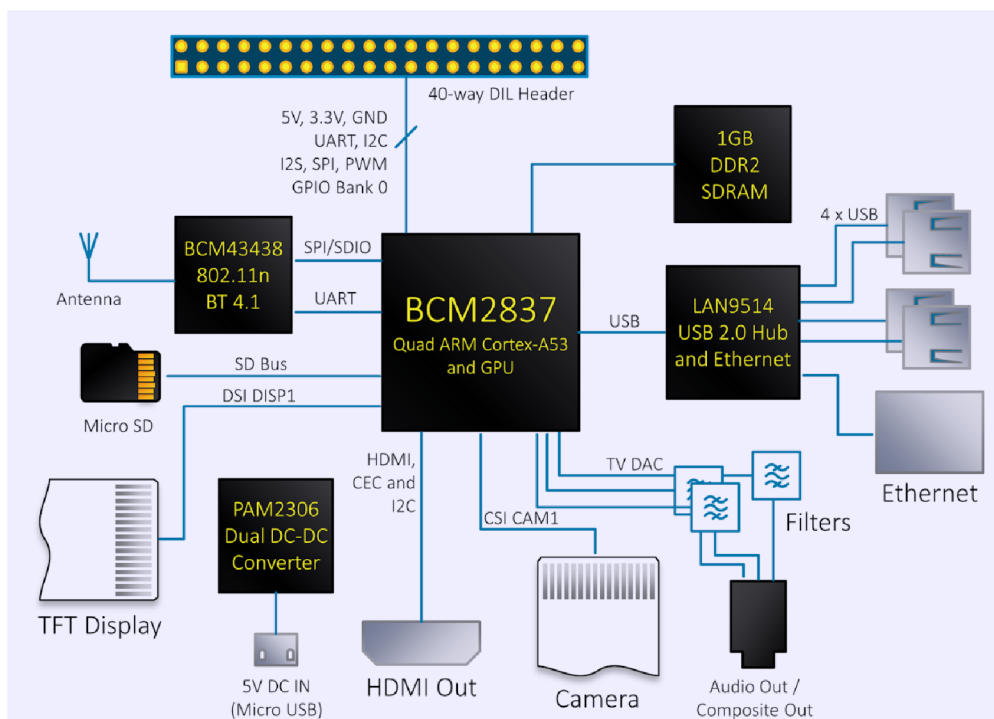
<b>Technologie</b>	<b>DMD/DLP</b>	<b>LCD</b>
Výhody	Rozlišení až 4K	Velké množství výrobců
	Nízká spotřeba (stovky mW)	Žádné pohyblivé části
	Jas větší než $10\,000 \frac{\text{cd}}{\text{m}^2}$	Velmi dobrá ostrost obrazu
	Žádné pohyblivé části (zrcadla lze považovat za statická)	
Nevýhody	Vyšší cena	Jas, kontrast a barvy jsou ovlivněny úhlem pohledu
	Monopol společnosti TI	Časté vadné pixely, převážně na krajích displejů, z důvodu špatného elektrického propojení.
	Ostrost obrazu závislá na frekvenci spínání osvětlovací lampy.	

Tab. 4: Porovnání výhod a nevýhod zvažovaných technologií

<sup>1</sup> Kontrastní poměr: Poměr svítivosti mezi nejsvětlejším a nejtmaším místem na obrazovce [28].

## 1.10 Řídicí platforma pro zvolený systém

Raspberry Pi je jednodeskový počítač vyvinutý britskou nadací Raspberry Pi Foundation. Původní záměr byl vytvořit pomůcku pro výuku informatiky a programování na základních školách s důrazem na demonstraci využití mikropočítačů pro řízení elektronických spotřebičů [29].



Obr. 13: Blokové schéma mikropočítače Raspberry Pi 3 Model B [31]

Výhodou je relativně nízká cena za jednotku, pohybuje se okolo \$40 (přibližně 850 Kč), všestrannost využití a na mikropočítač dobré technické specifikace, např. 1 GiB RAM, čtyři USB porty, 64bitový procesor o frekvenci 1,2 GHz [30]. Nevýhodou je potřeba dodatečného chlazení, především u modelu 3. Nejjednodušší formou chlazení je použití samolepících chladičů [30].

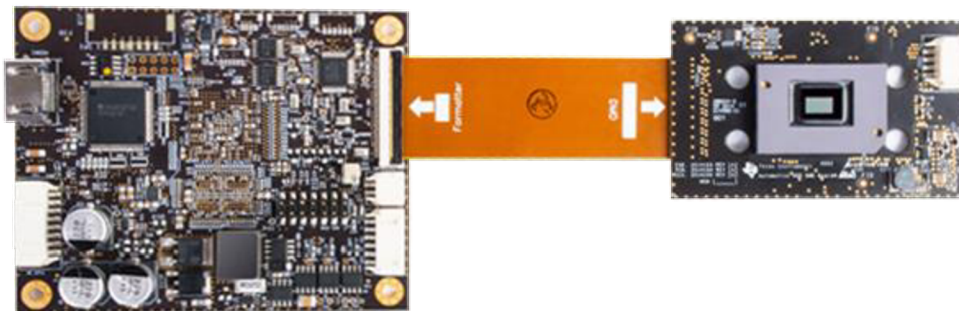
## 2 VOLBA TECHNOLOGIE PRO REALIZACI

Po zvážení veškerých aspektů dostupností platforem, možnosti společnosti HELLA Autotechnik NOVA s.r.o. a Vysokého Učení Technického a potenciálu pro využití v praxi se tato práce bude dále věnovat realizaci řešení optomechatronického systému s využitím technologie DMD/DLP ovládaného pomocí platformy Raspberry Pi.

Technologie DMD byla vybrána, jelikož se v oblasti automotive používá déle než druhá zvažovaná technologie, LCD a lze očekávat její progresivnější a masivnější využití. Jedná se o mechatronický systém, je tak vhodnější vzhledem k zaměření autora.

### 2.1 Volba hardwaru a softwaru

K realizaci ovládání bude použit elektronický subsystém Texas Instruments DLP3030-Q1 (viz Obr. 14.). Jedná se o soustavu DMD čipu s rozlišením WVGA (854 x 480) o úhlopříčce 0,3“ (0,762 cm) a ovladače DLPC120-Q1 [32, 33]. V kombinaci s optickými přístroji, zdrojem světla a fotodiodou lze tento subsystém použít jako DLP projektor, nebo PGU (picture generation unit, česky obraz generující jednotka). Dle katalogového listu je vhodné toto optomechatronické zařízení použít do širokouhlých Head-Up Displejů s možností využití rozšířené reality, případně světlometů s vysokým rozlišením, nebo obecný projektor a osvětlení interiéru vozidla. Splňuje tedy veškeré požadavky vyplývající ze zadání bakalářské práce.



Obr. 14: Subsystém Texas Instruments DLP3030-Q1 [34]

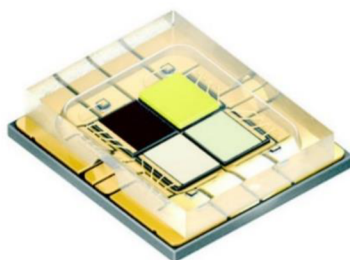
V zadání práce je uveden požadavek na ovládání systému s využitím mikropočítače Raspberry Pi. Toto však není možné provést, jelikož řídicí software DLPC120-Q1 Automotive Control Program Lite od společnosti Texas Instruments není kompatibilní s žádným operačním systémem dostupným pro Raspberry Pi ani s žádným softwarem pro spouštění .exe souborů jako např. Wine či Eltechs Exagear.

Totožný problém nastal s kompatibilitou driverů pro adaptér z SPI na USB Cheetah SPI Host Adapter, který byl součástí balení dodaného subsystému, sloužící k přenosu obrazových dat ze zdroje do systému.

K ovládní tak bylo nutné využít klasický stolní počítač s operačním systémem Windows 10.

Tato nekompatibilita byla zjištěna až při prvním spuštění systému a nebyla známa při zadávání práce. Systém není běžně na trhu dostupný a jeho dokumentace a podpora je k dispozici až po nákupu. Pro návrh aplikace pro jiný vestavěný mikropočítač či mikrokontroler nebyl dostatečný časový prostor, je však očekávaným cílem v případě pokračování práce.

K osvětlení zařízení DMD bude sloužit kompaktní čtyřčipová RGB LED dioda OSRAM OSTAR (Obr. 15.).



Obr. 15: RGB LED dioda OSRAM OSTAR [35]

### 3 REALIZACE MECHATRONICKÉHO SYSTÉMU

Ze zadání práce vyplývá úkol nalézt vhodnou technologii HD světelného zdroje aplikovatelného v automobilovém průmyslu, vytvořit blokové schéma takového systému a reálně otestovat funkcionalitu zvoleného dodaného development boardu.

Dále bude úkolem navrhnout architekturu řídicího softwaru umožňující další vývoj technologie a sestavit seznam testů nutných pro případnou homologaci systému.

Jelikož hardware dodaný společností Texas Instruments obsahuje pouze zařízení DMD a jeho řídicí jednotku, bylo třeba navrhnout prototyp desky plošných spojů pro osvětlení s chladičem a optickou soustavu.

#### 3.1 Výpočet výkonu pro dimenzování osvětlovací desky a chladiče

Pro návrh desky je nezbytné znát alespoň přibližný výkon diody, aby bylo možné adekvátně dimenzovat její typ a rozměry. Tab. 3 uvádí napájecí napětí  $U_f$  pro jednotlivé čipy dle datasheetu diody (ve kterém je uvedeno jako forward voltage  $V_f$ ). Tab. 4 pak obsahuje vypočtené výkony a jejich součet.

Barevné označení buněk v Tab. 5 a Tab. 6 je totožné s barvami vyzařovanými jednotlivými čipy.

	LED barva			
Napájecí napětí $U_f$ [V]	Červená	Zelená	Modrá	Bílá
Minimální	1,90	2,80	2,80	2,80
Typické	2,35	3,55	3,00	3,00
Maximální	2,80	4,00	3,50	3,50

Tab. 5: Napájecí napětí pro jednotlivé čipy diody dle datasheetu (data čerpána z [35])

Diodami bude protékat maximální proud  $I_{max} = 2,00$  A. Výsledný výkon  $P$  se vypočítá ze vztahu:

$$P = U_f \cdot I_{max} \text{ [W]}. \quad (1)$$

Výkon, na který je třeba desku, a především chladič dimenzovat je poté dán součtem výkonů jednotlivých čipů.

Výkon P [W]	LED barva				Suma	
	Červená	Zelená	Modrá	Bílá	RGB	RGBW
Minimální	3,80	5,60	5,60	5,60	15	20,60
Typický	4,70	7,10	6,00	6,00	17,8	23,80
Maximální	5,60	8,00	7,00	7,00	20,6	27,60

Tab. 6: Vypočtené hodnoty výkonů jednotlivých čipů

Použitý subsystém TI DLP3030-Q1 byl výrobcem navržen k osvětlení červenou, zelenou a modrou diodou, ve společnosti HELLA Autotechnik NOVA však byla k dispozici pouze dioda se čtyřmi čipy, tj. i s bílou barvou. Pro účely této práce nebude bílý čip využit, a proto nemusí být do výpočtu výkonů zahrnut. V Tab. 4 a Tab. 5 je uveden pro případ pokračování práce, kdy, již využíván bude a je tedy nutné jej brát v potaz.

### 3.2 Návrh osvětlovací desky

Vzhledem k velmi vysokým výkonům uvedených v Tab. 6 je pro funkcionality systému vhodné dimenzování desky, a především chladiče, zcela zásadní.

Navržená deska má tvar čtverce o straně 40 mm, je čtyřvrstvá typu IMS s mikroviemi.<sup>2</sup> Měď má přibližně desetkrát větší tepelnou vodivost, než izolační vrstva mezi nimi a propojení těchto vrstev zajišťuje snazší disipaci tepla.

Deska typu IMS (Insulated Metal Substrate) byla vybrána, jelikož má lepší tepelnou vodivost oproti typu FR4.

Důvodem pro zvolení čtyřvrstvé desky na úkor dvouvrstvé byla právě možnost použití mikrovií a také čtyřvrstvá deska má oproti dvouvrstvé o přibližně 15 dB nižší elektromagnetické emise než deska dvouvrstvá.

Pro návrh desky byl použita studentská licence programu Autodesk EAGLE verze 9.0.0.

DPS se skládá ze čtyřčipové LED diody OSRAM OSTAR, ke každému čipu byl paralelně připojen 10 nF kondenzátor s pouzdem typu 0805.

Propojení osvětlovací desky se řídicí jednotkou DMD čipu bylo uskutečněno pomocí dvou JST konektorů, jeden má čtyři a druhý pět pinů. Na čtyřpinový konektor byl připojen červený a zelený čip diody, na pětipinový pak modrý a bílý čip. Slepý pin byl přidán, aby bylo zabráněno chybnému připojení vodičů.

<sup>2</sup> Mikrovie jsou miniaturní slepé otvory zajišťující propojení dvou měděných vrstev



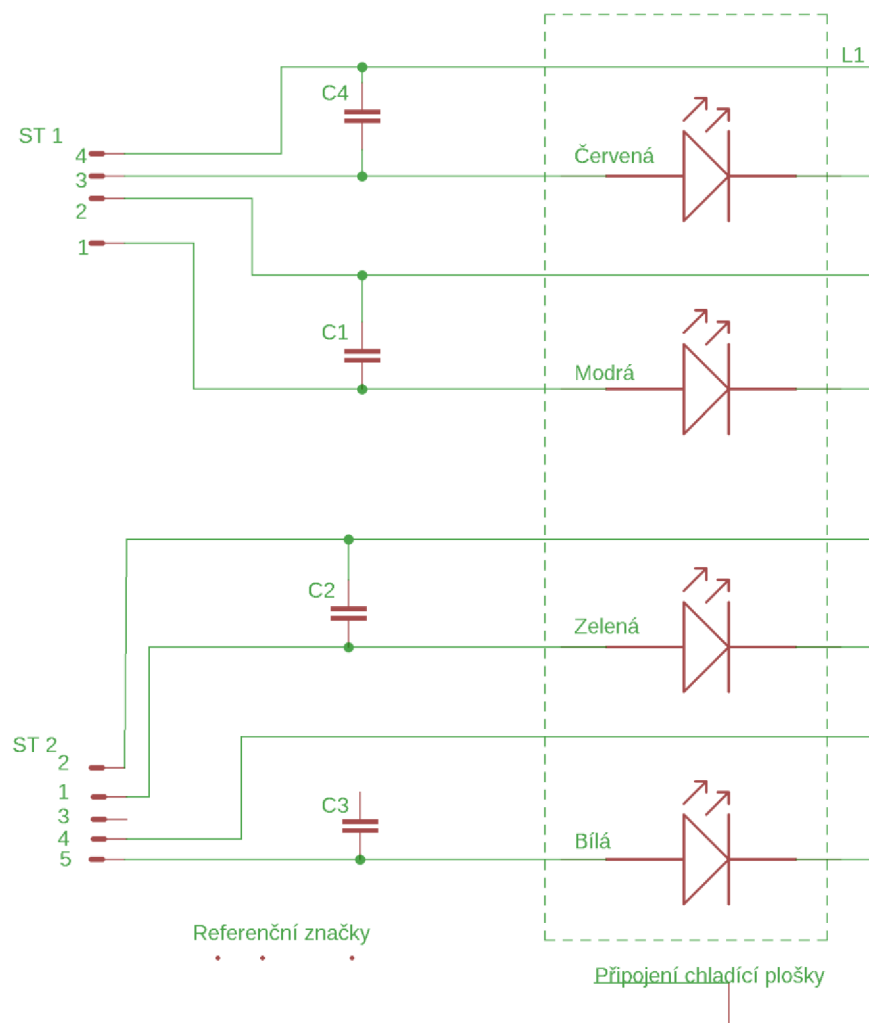
Pod diodu a do jejího nejbližšího okolí bylo umístěno celkem 191 mikrovií o průměru 0,15 mm. Důraz byl kladen na jejich co největší hustotu, limitovanou technologickými možnostmi výrobce desky.

Do každého rohu desky pak byl vyvrtány otvory pro dva šrouby M3 a dva M4 na připojení chladiče. Důvodem pro použití dvou různých průměrů byla opět snaha zabránit chybné montáži.

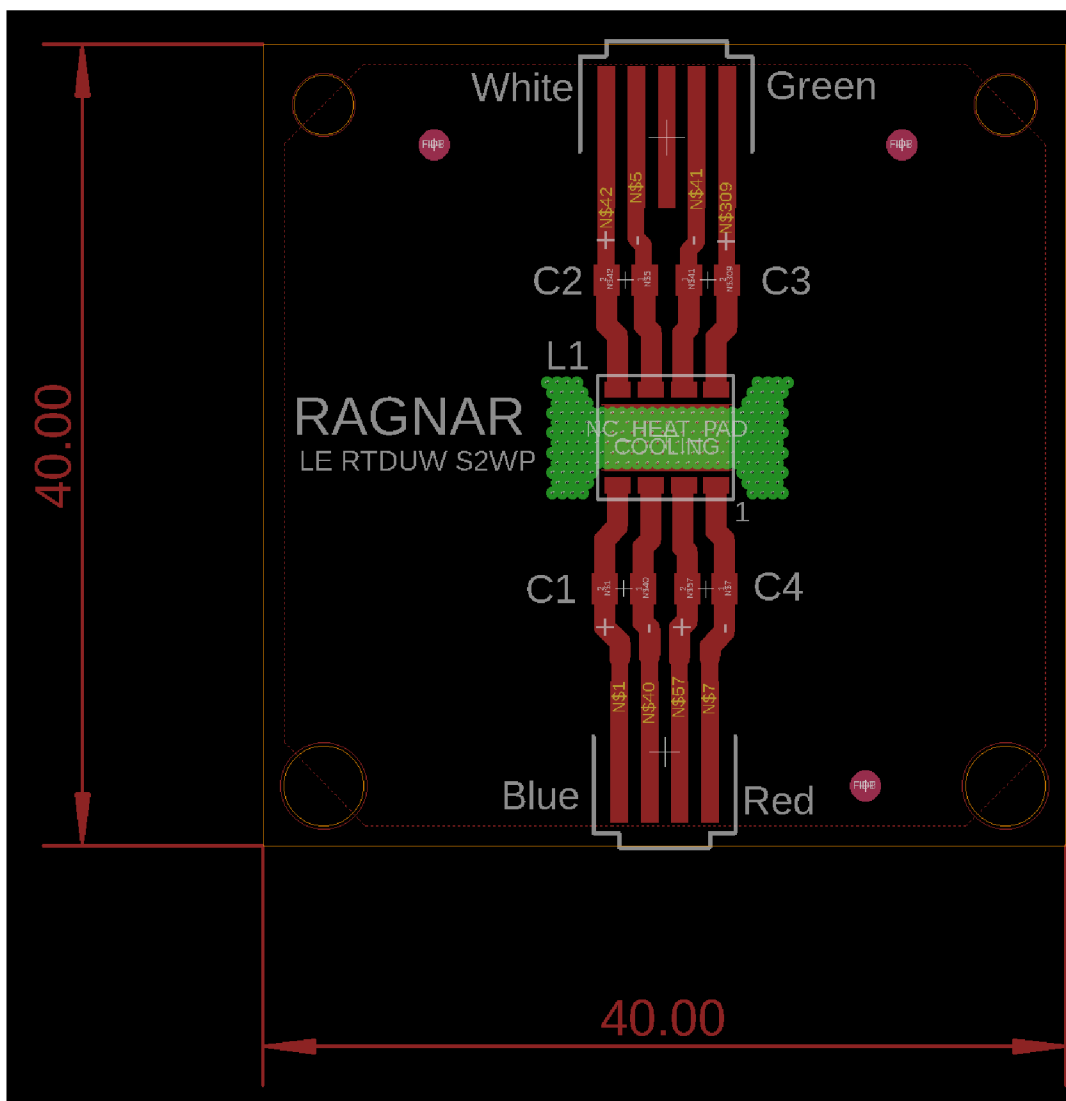
Do tří rohů desky, poblíž otvorů pro šrouby byly umístěny referenční body, každý o průměru 60 mil (= 1,52 mm). Tyto značky slouží ke správné orientaci osazovacích strojů, a tedy ke správnému umístění jednotlivých komponent na desku.

Označení desky je RAGNAR, což je zkratka pro „*Rearlight general augmented reality*“ (Volně přeloženo jako: „Obecná rozšířená realita pro zadní skupinové svítlny“), jelikož výslednou aplikací navrhovaného systému je inteligentní projektor implementovaný do zadních skupinových svítilen vozu.

Schéma a layout navržené desky je na Obr. 16 a 17.



Obr. 16: Schéma zapojení osvětlovací desky



Obr. 17: Layout osvětlovací desky

Tato deska byla objednána u třetí společnosti specializované na výrobu prototypových vícevrstevných DPS, má tedy pro tento účel lepší technologické možnosti než HELLA. Předpokládaná doba výroby a doručení (do pěti pracovních dní) však byla prodloužena o několik týdnů, dodání tak proběhne až po termínu odevzdání bakalářských prací.

K testování tak byla v prototypové dílně společnosti HELLA vyrobena náhradní deska s jinými rozměry a bez mikrovií, byla však osazena stejnými součástkami.

Deska RAGNAR však bude po doručení otestována a výsledky získané z těchto dvou desek budou sloužit pro porovnání použitých technologií pro případ v budoucnu objednávaných a vyráběných desek.

### 3.3 Návrh chladiče osvětlovací desky

V oblasti automotive je obecná tendence využívat pasivní chlazení, jelikož je díky absenci pohyblivých součástí jednodušší a méně náchylné k poruchám. Proto byl i pro osvětlovací desku RAGNAR navržen pasivní chladič.

Vzhledem ke snadné dostupnosti byl vybrán chladič o jednoduchém taženém profilu.

Vzorce byly čerpány z [36]. Hodnoty použité do rovnic jsou uvedeny v Tab. 8 a vypočtené hodnoty v Tab. 9.

#### Výpočet tepelného odporu

$$R_j = \frac{T_j - T_o}{\Delta P} \left[ \frac{\text{K}}{\text{W}} \right] \quad (2)$$

- $R_j$  – Tepelný odpor  $\left[ \frac{\text{K}}{\text{W}} \right]$
- $T_j$  – Teplota přechodu [K]
- $T_o$  – Teplota okolí [K]
- $\Delta P$  – Ztrátový tepelný výkon [W]

#### Výpočet plochy chladiče [36, upraveno]

$$S = \frac{650 \cdot C}{\left( R_j - \frac{3,3 \cdot \sqrt[4]{C}}{\sqrt{\lambda \cdot d}} \right)} \text{ [cm}^2\text{]} \quad (3)$$

- $S$  – Plocha chladiče
- $d$  – Tloušťka DPS [mm]
- $\lambda$  – Tepelná vodivost chladičí desky  $[\text{W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}]$
- $C$  – Korekční faktor [–]

Umístění chladiče a povrchová úprava	Korekční faktor $C$
Vodorovný, bez povrchové úpravy	1
Vodorovný, černěný	0,5
Svislý, bez povrchové úpravy	0,85
Svislý, černěný	0,43

Tab. 7: Vliv umístění a povrchové úpravy chladiče na vyzařování [34]

Veličina	Označení	Hodnota	Jednotka	Pozn.
Teplota okolí	$T_o$	60	°C	Teplota v okolí světlometu (Počítáno pro přední světlo)
Teplota přechodu	$T_j$	125	°C	Čerpáno z [33]
Ztrátový tepelný výkon	$\Delta P$	27,60	W	Maximum z Tab. 6
Korekční faktor	C	1	-	Z Tab. 7, zajistí největší hodnotu plochy
Tepelná vodivost	$\lambda$	384	$\frac{W}{m \cdot K}$	Hodnota pro měď, čerpáno z [34]
Tloušťka desky	$d$	1,99	mm	Z návrhu desky

Tab. 8: Hodnoty použité pro výpočet

Veličina	Označení	Hodnota	Jednotka
Plocha chladiče	$S$	430	cm <sup>2</sup>
Tepelný odpor	$R_j$	1,63	$\frac{K}{W}$

Tab. 9: Vypočtené hodnoty dle rovnic (2) a (3)

Tab. 9 obsahuje pouze o přibližné hodnoty, pro chlazení prototypu LED desky byl u důvodu větší ochrany elektroniky a dostupnosti použit větší chladič, optimalizace chladiče bude provedena v případě pokračování práce.

### 3.4 Návrh optického systému pro čip DMD

Pro vývoj reálného prototypu optické soustavy není při vypracování práce dostatečný časový prostor, tato kapitola se tak omezí pouze na možné způsoby zpracování světla v případě pokračování práce.

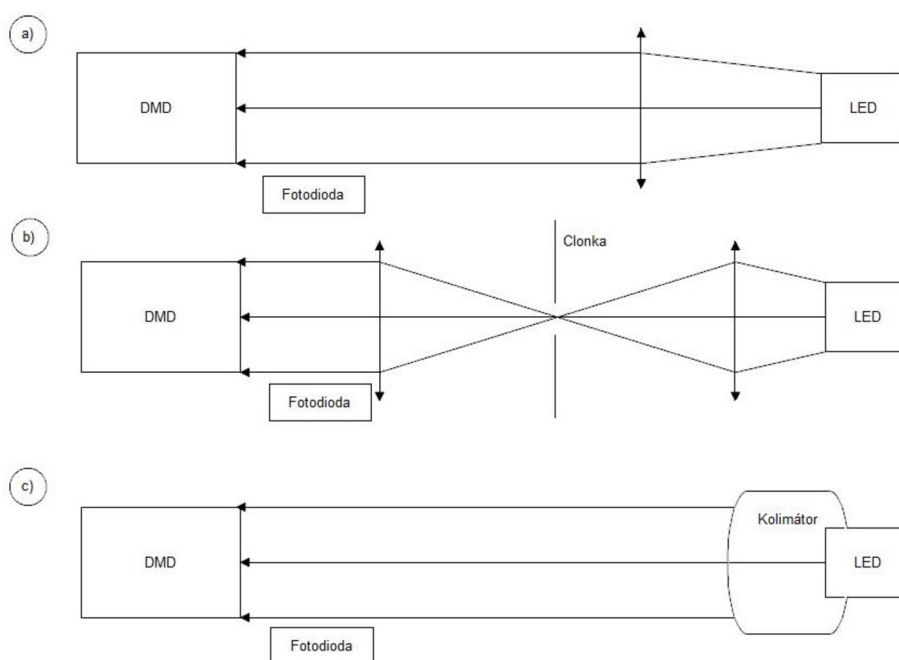
Optický systém se bude skládat ze zdroje světla (LED), kolimačního zařízení, aktivního elementu (DMD), čočky jako výstupního zobrazovacího prvku a absorberu.

Vstupní kolimátor je nutný, jelikož jednotlivé barevné LED čipy jsou prostorově odděleny a musí tak dojít k jejich smíchání, každé zrcátko v DMD čipu musí být možné osvětlit všemi barvami zároveň.

Pro vstupní kolimátor byly navrženy čtyři varianty, shrnuty v Tab. 10, schéma je zobrazeno na Obr. 18.

Vstupní kolimační zařízení	Výhody	Nevýhody
Jedna čočka (např. brýlová, Obr. 18 a ) )	Jednoduché Levné (max. stovky Kč) Snadné sestavení	Barevné vady Nemožná korekce Nelze osvětlit celý čip všemi barvami současně
Dvě čočky a clonka (Obr. 18, b ) )	Lepší smíchání barev	Vyšší cena Složitější montáž a sestavení
Hotový kolimátor (Obr 18, c ) )	Dobré míchání barev Snadné sestavení	Cena (~10 000 Kč) Nízká teplotní odolnost
Prototypový kolimátor (Obr. 18, c)	Dobré míchání barev Snadné sestavení	Složitý návrh (parametry nutné spočítat na konkrétní LED) Cena (10–15 tisíc Kč)

Tab. 10: Navržené varianty vstupního kolimátoru



Obr. 18: Varianty vstupního kolimačního zařízení a) jednoduchá čočka, b) dvě čočky a clonka, c) kolimátor (prototypový, nebo hotový)

Jako výstupní objektiv byl navržen buď fotografický objektiv, nebo tzv. „*achromatický dublet*“ což je dvojice čoček, používaná k potlačení chromatické vady [37].<sup>3</sup>

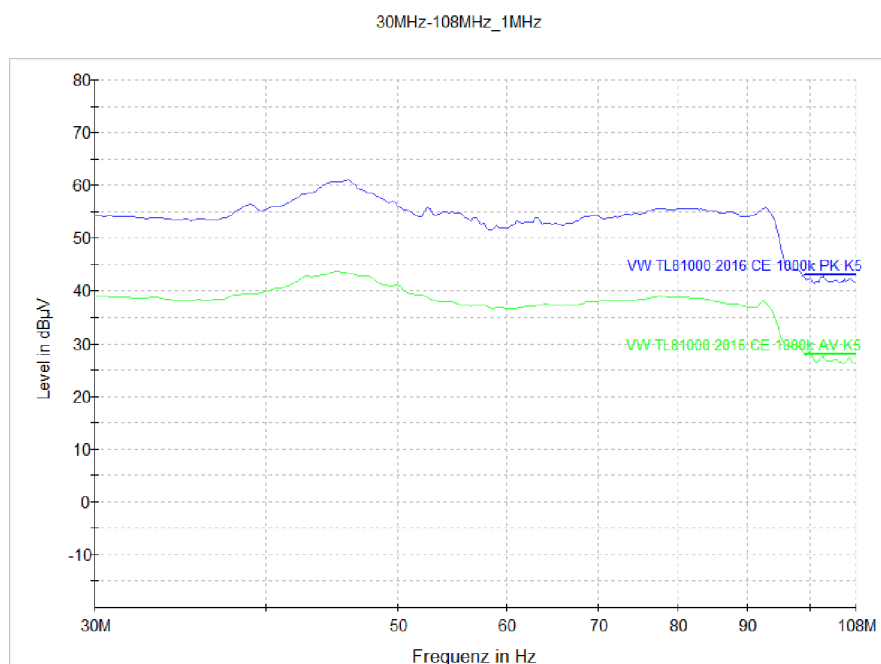
### 3.5 Měření elektromagnetické kompatibility systému

Byly provedeny tři měření zatíženého systému, metodami CE (*Conducted Emmission*, česky *emise do vedení*), RE (*Radiated Emission*, česky *vyzařované emise*) a BCI (*Bulk Current Injection*, volně přeloženo jako injekce velkého proudu, do systému byl). Systém (DMD, řídicí jednotka a osvětlovací deska s chladičem) byl umístěn do bezodrazové komory s pyramidálními absorbéry. Naměřené hodnoty byly vyneseny do grafů a porovnány s vnitřní normou koncernu Volkswagen VW 81000. Norma rozlišuje 5 kategorií limitů, pro srovnání byla zvolena nejpřísnější kategorie 5.

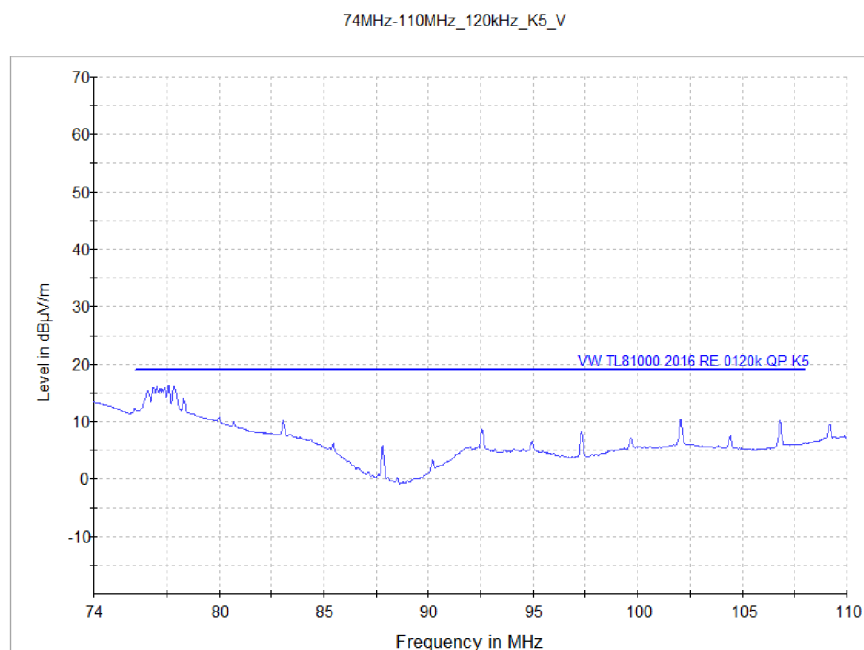
Z grafů na Obr. 19 až Obr. 22 vyplývá, že ve většině sledovaných pásmech (v grafech vyznačeny jako barevné úsečky), zejména ve frekvencích vyšších než přibližně 110 MHz systém normě VW 81000 nevyhovuje. Na příklad u metody CE mohou být odchylky způsobeny nevhodnou napájecí kabeláží použitou pro měření (norma požaduje délku 20 cm, skutečná délka byla 1 m, byly použity kabely dodané spolu se systémem).

<sup>3</sup> Chromatická vada se projevuje vznikem zelených a fialových lemů podél hran s vysokým kontrastem a snížením ostroty obrazu. Důvodem je odlišný index lomu materiálu čoček pro různé vlnové délky světla [38].

U metody CE lze provést přesnější měření použitím vhodnější kabeláže a u metody RE bude nutné zakrýt řídicí integrované obvody tzv. „tuner boxy“<sup>4</sup>.

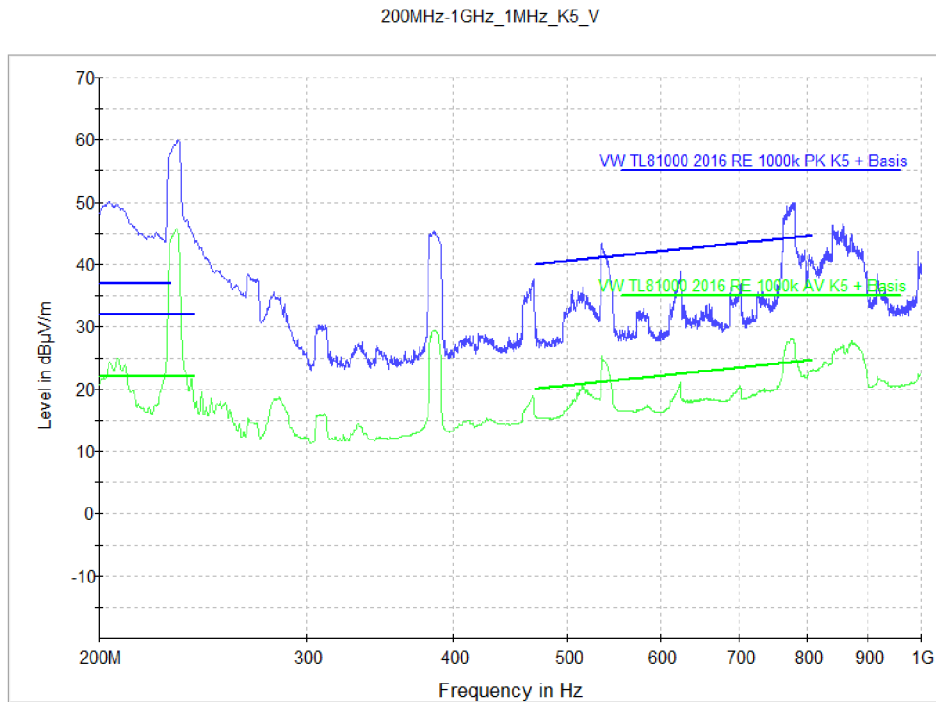


Obr. 19: Graf z měření metodou CE, modrá křivka značí maximální a zelená průměrné hodnoty měření. Ve sledovaných pásmech systém vyhovuje.

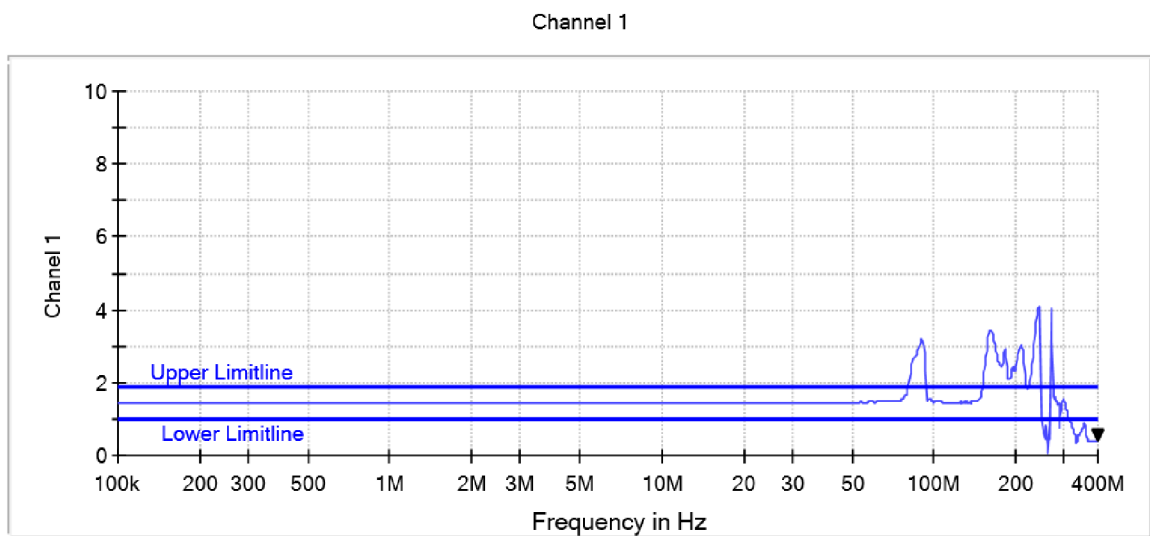


Obr. 20: Graf z měření metodou RE (bikónická anténa), systém ve sledovaném pásmu vyhovuje.

<sup>4</sup> Tuner box je plechový kryt, který se připevňuje na DPS, slouží k zachycení nežádoucího záření.



Obr. 21: Graf z měření metodou RE (logaritmičká anténa) ve sledovaných pásmech systém nevyhovuje.

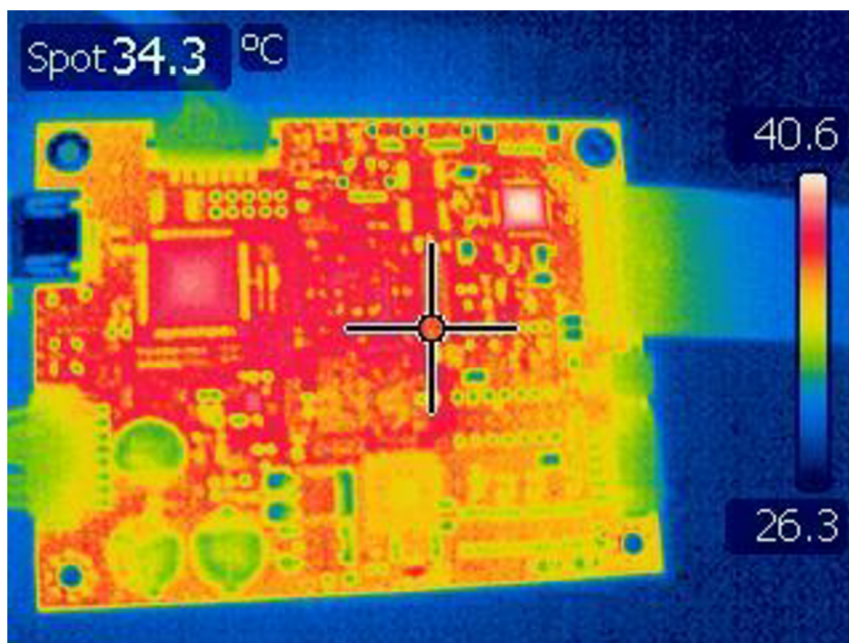


Obr. 22: Graf z měření metodou BCI, ve vyšších frekvencích systém nevyhovuje.

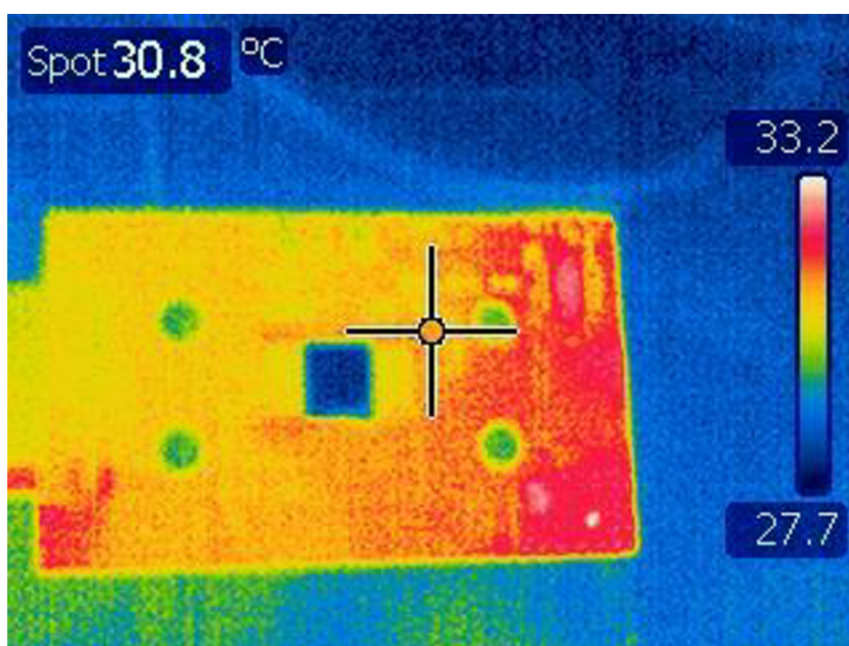
### 3.6 Termografie optomechatronického systému

S pomocí termokamery byly pořízeny termogramy subsystému TI DLP3030-Q1 bez zátěže (tj. pouze subsystém připojený k PC, Obr. 23 a 24) a se zátěží, tj. s připojenou a spuštěnou osvětlovací deskou.





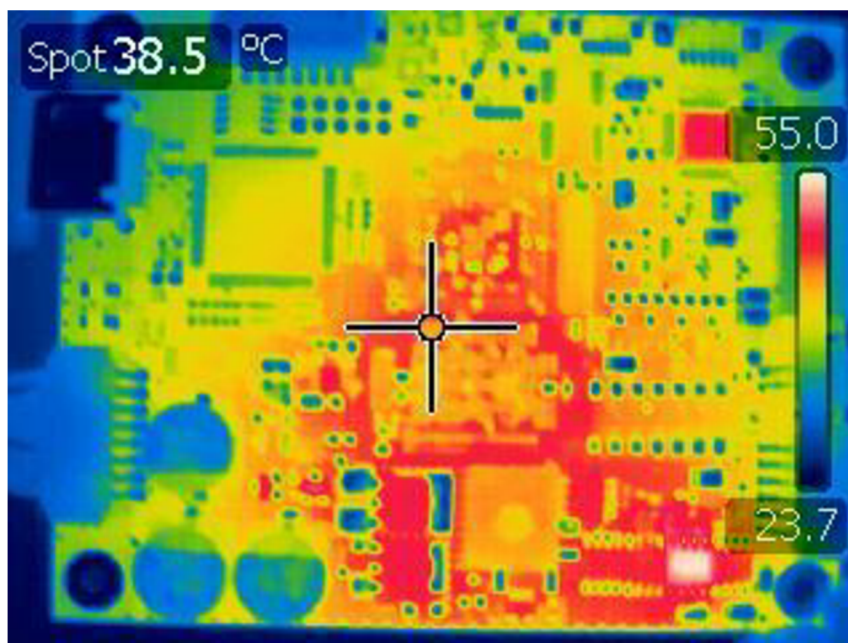
Obr. 23: Termogram řídicí jednotky subsystému bez zátěže



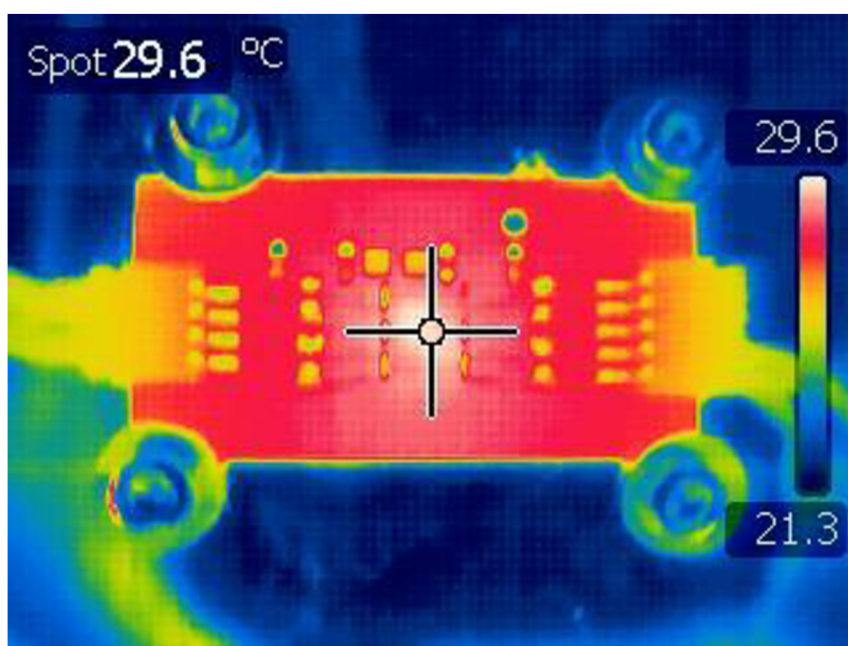
Obr. 24: Termogram nezatíženého DMD čipu

Z termogramů je zjevné, že i bez zátěže dochází k ohřívání integrovaných obvodů na teplotu až 40 °C. naopak zrcadlové pole je téměř beze změny (tmavě modrý čtverec na Obr. 20). Připojená zátěž nemá výrazný vliv na zahřívání DMD čipu. Termogram DMD se zátěží proto nebyl pořízen.

Další termogramy byly pořízeny jakmile byla k dispozici osvětlovací deska (zátěž) a byly provedeny EMC testy.



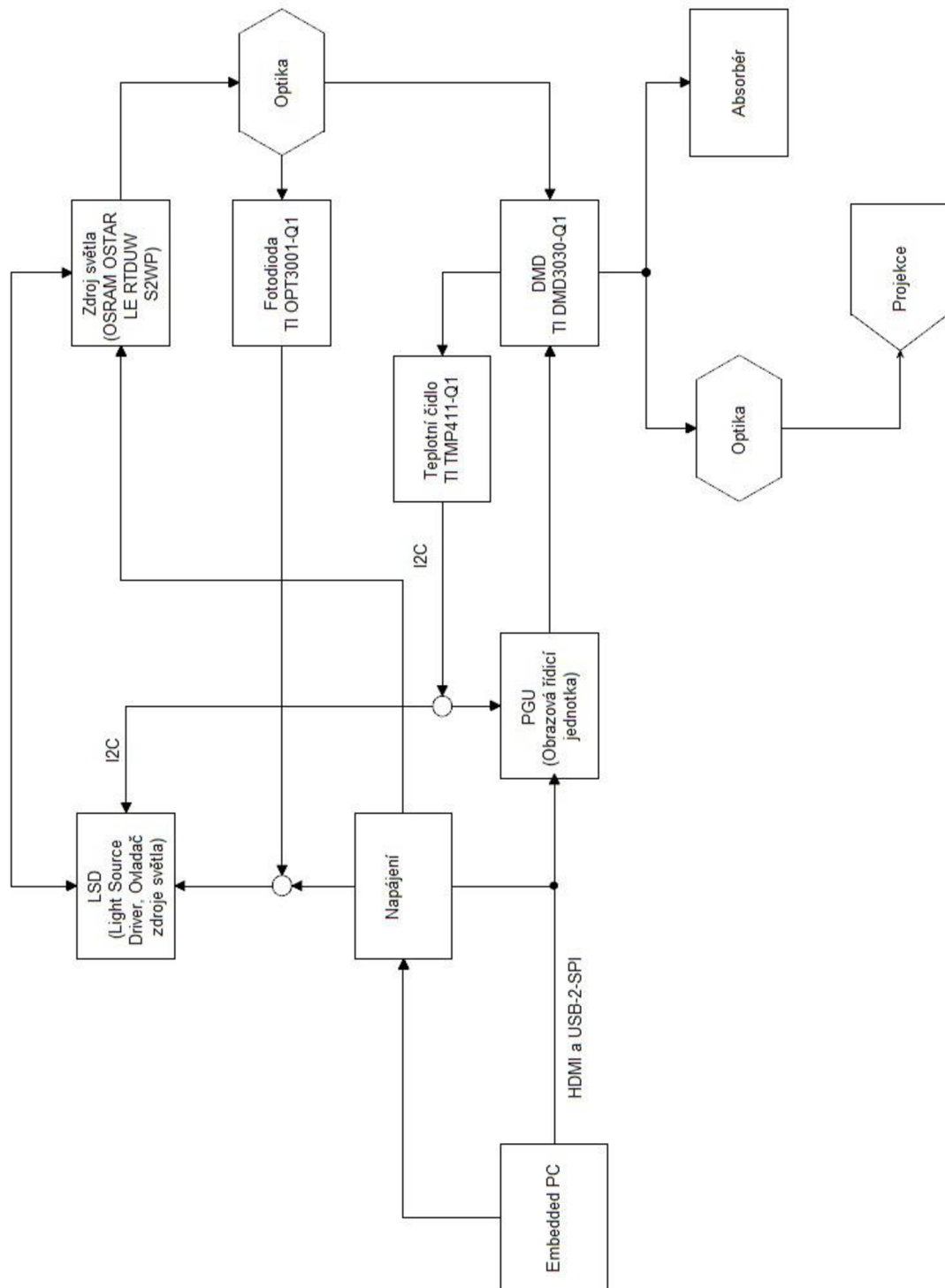
Obr. 25: Termogram řídicí jednotky zatíženého subsystému (přední strana).



Obr. 26: Termogram rozsvícené osvětlovací desky.

Obr. 21 ukazuje velmi silné zahřívání jednoho integrovaného obvodu v pravém dolním rohu až na teplotu okolo 55 °C. Z Obr. 23 vyplývá, že i rozsvícená deska je poměrně chladná, dosahuje teploty necelých 30 °C. To neodpovídá vypočteným výkonům z Tab. 6. Je tedy téměř jisté, že muselo dojít k poškození diody a daného integrovaného obvodu.

### 3.7 Blokové schéma navrhovaného systému



Obr. 27: Blokové schéma navrhovaného systému

## ZÁVĚR

Cílem této práce byl návrh vhodné technologie pro světelný zdroj s vysokým rozlišením speciálně pro automobilový průmysl. Formálně lze práci rozdělit do tří částí, a to rešeršní studii, jejímž cílem bylo především seznámit se se současnými světelnými zdroji a technologiemi automobilového osvětlení (interiérového i exteriérového).

Následovala výběr technologie pro realizaci. Po důkladném zvážení veškerých aspektů jednotlivých možností byla zvolena technologie Digital Light Processing (DLP) využívající Digital Micromirror Device (DMD) od americké společnosti Texas Instruments (kapitola 1.9).

Třetí částí práce byla realizace prototypu světelného zdroje projektoru vhodného k implementaci na příklad do zadních skupinových svítilen (kapitola 2.2). Základem této části byl návrh desky plošných spojů pro LED diodu (kapitola 3.2).

Byly pořízeny termogramy za pokojové teploty a při zatížení a celý systém byl otestován na EMC v rozmezí 200 kHz – 1 GHz. Naměřené hodnoty byly srovnány s vnitřní normou koncernu Volkswagen VW81000. Z naměřených hodnot vyplývá, že systém ve sledovaných frekvenčních pásmech nevyhovuje. Optimalizace systému v oblasti EMC je jedním z cílů v případě pokračování práce.

Při praktických experimentech s oživováním elektroniky bylo zjištěno, že Raspberry Pi není kompatibilní s dodaným hardwarem, v případě pokračování práce tak bude nutné tento prvek nahradit jiným vestavěným PC, případně jej zcela vypustit.

Výsledky této práce budou sloužit pro další testování systému DMD a možné budoucí aplikaci do automobilového osvětlení, konkrétně pro implementaci do zadních skupinových svítilen vozu.

Navržený projektor bude na příklad při couvání vozu schopen na vozovku promítnout výstražný trojúhelník, spolu s pohyblivými šipkami vyznačujícími zamýšlený směr pohybu auta. Projekce by měla být dostatečně zřetelná a čitelná i za snížené viditelnosti nebo na nerovném povrchu, díky výkonným zdrojům světla (2 ÷ 5 Ampérové LED Diody). Projektory tohoto typu byly poprvé představeny společností Mitsubishi Electric Corporation v únoru 2018 [39].

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Headlamp. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Headlamp>
- [2] SuperSkoda.com. *Rapid - original Skoda Auto,a.s. XENON headlight LEFT - LHD* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <http://www.superskoda.com/Skoda/RAPID/Rapid-original-Skoda-Autoas-XENON-headlight-LEFT-LHD>
- [3] SAJDL, Jan. *Bi-Xenonové světlomety (výbojky)*. [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/bi-xenonove-svetlomety-vybojky/>
- [4] SAJDL, Jan. *Světlomet automobilu*. [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/svetlomet-automobilu/>
- [5] Autokiste.de. *Erstmals gab es weiße LED im Frontbereich 2004 beim Audi A8 W12* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <http://www.autokiste.de/psg/index/show.htm?id=6459&bild=4>
- [6] Auto Tech Revue. *Audi Matrix LED* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <https://autotechreview.com/features/audi-matrix-led>
- [7] Autobible.cz. *Rolls-Royce Phantom: Vlastní platforma, přes 130 kg zvukové izolace a komfort létajícího koberce* [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <https://autobible.euro.cz/rolls-royce-phantom-vlastni-platforma-pres-130-kg-zvukove-izolace-komfort-letajiciho-koberce/>
- [8] AutoRevue.cz. *Do aut se teď montují čtyři typy světlometů. Vyznáte se v nich?* [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <https://www.autorevue.cz/do-aut-se-ted-montuji-ctyri-typy-svetlometu-vyznate-se-v-nich>
- [9] AutocarIndia.com: *India-bound BMW i8 to come with laser lighting tech* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <https://www.autocarindia.com/car-news/india-bound-bmw-i8-to-come-with-laser-lighting-tech-373027>
- [10] BMW.cz. *Katalogy a ceníky ke stažení* [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <https://www.bmw.cz/cs/topics/details/katalogy-ceniky-ke-stazeni.html>
- [11] Lucept.com. *audi's matrix laser headlights* [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <https://lucept.com/2017/01/13/audis-matrix-laser-headlights/>
- [12] Barevná teplota. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Barevn%C3%A1\\_teploata](http://cs.wikipedia.org/wiki/Barevn%C3%A1_teploata)
- [13] Milestone Mazda: *What is Mazda Active Driving Display?* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <http://www.milestonemazda.com/blog/which-canadian-mazda-models-have-active-driving-display-for-2017/>
- [14] Autotrader.com. *Head-Up Displays Get a Closeup Look* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <https://www.autotrader.com/car-shopping/head-displays-get-closeup-look-229161>
- [15] BAE Systems. *The evolution of the Head-Up Display* [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <https://www.baesystems.com/en/feature/our-innovations-hud>
- [16] AutosOfInterest.com. *General Motors Head-Up Display History* [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <http://autosofinterest.com/2015/03/16/general-motors-head-up-display-history/>

- [17] AD&P. *Continental: Heads Up* [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <https://www.adandp.media/articles/continental-heads-up>
- [18] Elektrovue.cz. *Základy elektromagnetické kompatibility (EMC) - Část 4: Způsoby a metody měření rušivých signálů* [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <http://www.elektrovue.cz/clanky/01021/index.html>
- [19] Keysight Technologies: *Semi-anechoic EMC test chamber* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: [https://about.keysight.com/en/newsroom/imagelibrary/library/SAC\\_images/](https://about.keysight.com/en/newsroom/imagelibrary/library/SAC_images/)
- [20] VR Electronics: *Extruded Aluminium Heatsinks* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <http://www.vrelectronics.com/home/heatsinks>
- [21] MIŠUREC, J., ZEMAN, V., ŠTĚPÁN, M. *Konstrukce elektronických zařízení – návrh plošných spojů*. Brno: 2003.
- [22] VĚTROVEC, O. *Návrh řešení chladiče elektrického komponentu automobilového světlometu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 67 s. Vedoucí diplomové práce Ing. František Samek.
- [23] Nobelprize.org. *History and Properties of Liquid Crystals* [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: [https://www.nobelprize.org/educational/physics/liquid\\_crystals/history/](https://www.nobelprize.org/educational/physics/liquid_crystals/history/)
- [24] Mobile-Effect.cz: *Princip Vašeho LCD displaye* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <http://mobile-effect.cz/clanky/princip-vaseho-lcd-displaye-949904>
- [25] EPFL.ch. *DMD reliability: a MEMS success story* [PDF dokument]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: [http://www.ti.com/pdfs/dlpdmd/153\\_Reliability\\_paper.pdf](http://www.ti.com/pdfs/dlpdmd/153_Reliability_paper.pdf)
- [26] CASIO projectors: *CASIO XJ-V100W* [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://www.casio-projectors.eu/fi/products/core/xj-v100w/>
- [27] Panasonic: *Panasonic PT-LB353* [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://panasonic.net/cns/projector/products/lb423/>
- [28] Contrast Ratio. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Contrast\\_ratio](https://en.wikipedia.org/wiki/Contrast_ratio)
- [29] UPTON, Eben a Gareth HALFACREE. *Raspberry Pi: uživatelská příručka. 2., aktualizované vydání*. Přeložil Jakub GONER. Brno: Computer Press, 2016. ISBN 978-80-251-4819-8.
- [30] MONK, Simon. *Raspberry Pi cookbook*. Beijing: O'Reilly, 2014. ISBN 1449365221.
- [31] XDevs.com. *Overclocking for Raspberry Pi 3 Model B* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: [https://xdevs.com/article/rpi3\\_oc/](https://xdevs.com/article/rpi3_oc/)
- [32] TI.com. *DLP3030-Q1 0.3 WVGA S450 DMD* [PDF dokument]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/dlp3030-q1.pdf>
- [33] TI.com. *DLPC120-Q1 Automotive DMD Controller* [PDF dokument]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/dlpc120-q1.pdf>
- [34] TI.com: *DLP Automotive Chipset* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <http://www.ti.com.cn/zh-cn/dlp-chip/automotive/tools-software.html>
- [35] OSRAM: *OSRAM OSTAR Stage LE RTDUW S2WP* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: [https://www.osram.com/os/ecat/OSRAM%20OSTAR%C2%AE%20Stage%20LE%20RTDUW%20S2WP/com/en/class\\_pim\\_web\\_catalog\\_103489/global/prd\\_pim\\_device\\_2191218/](https://www.osram.com/os/ecat/OSRAM%20OSTAR%C2%AE%20Stage%20LE%20RTDUW%20S2WP/com/en/class_pim_web_catalog_103489/global/prd_pim_device_2191218/)

- [36] VÁVRA, Z. *Návrh pasivního chladiče pro osvětlení LED*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, 2012. 86 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jaroslav Maloch, CSc.
- [37] Online fotoškola Martina Krejčího: *Achromatický dublet* [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://www.onlinefotoskola.cz/pomucky/databaze-fotografickych-pojmu/achromatick%C3%BD+dublet.html>
- [38] Online fotoškola Martina Krejčího: *Chromatická aberace* [online]. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <https://www.onlinefotoskola.cz/pomucky/databaze-fotografickych-pojmu/chromatická+aberace.html>
- [39] Businesswire.com: *Mitsubishi Electric Develops Ground-Illuminating Indicators for Vehicles* [online]. 7. 2. 2018 [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <https://www.businesswire.com/news/home/20180207006418/en/Mitsubishi-Electric-Develops-Ground-Illuminating-Indicators-Vehicles>

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	Význam
AR	Z anglických slov Augmented Reality – Rozšířená realita
CAD	Z anglických slov „Computer-aided design“ což znamená počítačem podporované projektování
CE	Z anglických slov „Conducted Emission“ což znamená emise do vedení, jeden z testů elektromagnetické kompatibility zařízení
BCI	Z anglických slov „Bulk Current Injection“, což znamená injekce velkého proudu, jeden z testů elektromagnetické kompatibility zařízení
CAM	Z anglických slov „Computer-aided manufacturing“ což znamená počítačem podporovaná výroba
DLP	Z anglických slov Digital Light Processing – Digitální zpracování světla, obchodní známka firmy Texas Instruments, technologie využívající čipy DMD
DMD	Z anglických slov Digital Micromirror device – Digitální zařízení s mikrozrcadly, zobrazovací technologie
DPS	Deska plošných spojů
EMC	Z anglických slov Electromagnetic Compatibility – Elektromagnetická kompatibilita, vědní obor zabývající se spolehlivostí elektrických a elektronických zařízení
FR4	Z anglických slov „Flame Retardant“ což znamená zpomalovač hoření, číslo 4 značí normu UL94V-0, jedná se o materiál pro výrobu desek plošných spojů
GPIO	Z anglických slov „General-Purpose Input/Output“ což znamená obecný vstup/výstup
HAN	Z „HELLA Autotechnik NOVA“ což je název firmy
HID	Z anglických slov High-Intensity discharge, výboj o vysoké intenzitě, jedna ze současných technologií světlometů
HUD	Z anglických slov Head-Up Display – průhledový displej, zobrazovací zařízení
IMS	Z anglických slov Insulated Metal Substrate – Izolovaný kovový substrát, materiál pro výrobu desek plošných spojů



JST	Z anglických slov „Japan Solderless Terminal“ což znamená japonský nepájený terminál, typ elektrického konektoru
LCD	Z anglických slov Liquid Crystal Display – Displej z tekutých krystalů, zobrazovací technologie
LED	Z anglických slov Light-Emitting Diode – Elektroluminiscenční dioda, dioda emitující světlo
OATS	Z anglických slov „Open Area Test Site“, což znamená otevřené testovací prostranství, určené pro testování elektromagnetické kompatibility zařízení
OFTS	Z anglických slov „Open Field Test Site“, což znamená otevřené testovací prostranství, určené pro testování elektromagnetické kompatibility zařízení
PCB	Z anglických slov „Printed Circuit Board“ což znamená deska plošných spojů
PGU	Z anglických slov „Picture Generation Unit“ což znamená obraz generující jednotka
RAGNAR	Z anglických slov Rearlight general augmented reality – Obecná rozšířená realita pro zadní skupinové svítidly, označení navrženého prototypu osvětlovací desky
RE	Z anglických slov „Raditated Emission“ což znamená vyzařované emise
RGB	Z anglických slov „Red, Green, Blue“ což znamená červená, zelená, modrá
SA	Z anglických slov „Site Atenuation“ což znamená útlum stanoviště
TI	Z anglických slov Texas Instruments, název firmy
WVGA	Z anglických slov Wide Video Graphics Array – Široké grafické pole, označení rozlišení

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

Symbol	Jednotka	Význam
$C$	-	Korekční faktor
$d$	Mm	Tloušťka DPS
$E_r$	$N \cdot C^{-1}$	Intenzita rušivého elektrického pole
$P$	W	Intenzita rušivého magnetického pole
$I_{BCI}$	mA	Proud injektovaný při zkoušce BCI
$I_{max}$	A	Proud protékající LED diodami připojenými k systému
$I_r$	A	Rušivý proud
$C$	K	Teplota okolí
$\lambda$	$W \cdot K^{-1} \cdot m^{-1}$	Tepelná vodivost
$P_r$	W	Rušivý výkon
$R_j$	$K \cdot W^{-1}$	Tepelný odpor
$S$	$cm^2$	Plocha chladiče
$\vec{S}_r$	$W \cdot m^{-2}$	Poyntingův vektor charakterizující hustotu rušivého výkonu
$T_o$	K	Teplota okolí
$T_j$	K	Teplota přechodu
$U_r$	V	Rušivé napětí
$P$	W	Výkon, ztrátový tepelný výkon

## SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obr.	Popis obrázku/grafu	Str.
Obr. 1	Výbojka typu H4 [1]	11
Obr. 2	Bi-xenonové světlometry modelu Škoda Rapid [2]	12
Obr. 3	Schéma xenonového modulu [3]	12
Obr. 4	Audi A8 W12 2004, první automobil s LED světlometry [5]	13
Obr. 5	Schéma LED světlometu (Audi A8, IV. generace) [6]	14
Obr. 6	BMW i8 s laserovými světlometry [9]	15
Obr. 7	Princip laserových světlometů Audi využívající technologie DMD [11]	15
Obr. 8	Teplota chromatičnosti [12]	16
Obr. 9	HUD s projekcí na plexisklový štít (Mazda CX-3, vlevo) a na čelní sklo (Cadillac Escalade, vpravo) [13, 14]	17
Obr. 10	Příklad EMC komory využívající jak vrstevnaté, tak pyramidální absorbéry. V komoře jsou umístěny dvě logaritmické antény.	21
Obr. 11	Příklady tvarů chladičů [23]	22
Obr. 12	Schéma červeného subpixelu LCD displeje [19]	25
Obr. 13	Blokové schéma mikropočítače Raspberry Pi 3 Model B [27]	28
Obr. 14	Subsystem Texas Instruments DLP3030-Q1 [30]	29
Obr. 15	RGB LED dioda OSRAM OSTAR [31]	30
Obr. 16	Schéma zapojení osvětlovací desky	33
Obr. 17	Layout osvětlovací desky	34
Obr. 18	Varianty vstupního kolimačního zařízení a) jednoduchá čočka, b) dvě čočky a clonka, c) kolimátor (prototypový, nebo hotový)	38
Obr. 19	Graf z měření metodou CE, modrá křivka značí maximální a zelená průměrné hodnot měření. Ve sledovaných pásmech systém vyhovuje	39
Obr. 20	Graf z měření metodou RE (bikónická anténa) ve sledovaných pásmech systém nevyhovuje	39
Obr. 21	Graf z měření metodou RE (logaritmická anténa) ve sledovaných pásmech systém nevyhovuje	40
Obr. 22	Graf z měření metodou BCI, ve vyšších frekvencích systém nevyhovuje	40

Obr. 23	Termogram řídicí jednotky nezatíženého subsystému	41
Obr. 24	Termogram DMD čipu nezatíženého subsystému	41
Obr. 25	Termogram řídicí jednotky zatíženého subsystému	42
Obr. 26	Termogram rozsvícené osvětlovací desky	42
Obr. 27	Blokové schéma navrhovaného systému	43

## SEZNAM TABULEK

<b>Tab.</b>	<b>Název tabulky</b>	<b>Str.</b>
Tab. 1	Porovnání jednotlivých typů světlometů	16
Tab. 2	Popis jednotlivých typů chladičů	23
Tab. 3	Porovnání zvažovaných technologií v non-automotive aplikaci	27
Tab. 4	Porovnání výhod a nevýhod zvažovaných technologií	27
Tab. 5	Napájecí napětí pro jednotlivé čipy diody dle datasheetu (data čerpána z [31])	31
Tab. 6	Vypočtené hodnoty výkonů jednotlivých čipů	32
Tab. 7	Vliv umístění a povrchové úpravy chladiče na vyzařování [31]	35
Tab. 8	Hodnoty použité pro výpočet	36
Tab. 9	Vypočtené hodnoty dle rovnic (2) a (3)	36
Tab. 10	Navržené varianty vstupního kolimátoru	37

## SEZNAM PŘÍLOH

Č.	Název tabulky	Strana
1	Schéma zapojení PCB RAGNAR v programu EAGLE	
2	Layout PCB RAGNAR v programu EAGLE	
3	Protokol z měření EMC metodou RE – trychtýřová anténa	
4	Protokol z měření EMC metodou RE – bikónická anténa	
5	Protokol z měření EMC metodou RE – logaritmická anténa	
6	Protokol z měření EMC metodou RE – tyčová anténa	
7	Protokol z měření EMC metodou CE	
8	Protokol z měření EMC metodou BCI	