

Inovace LED svítidla pro veřejné osvětlení

Diplomová práce

Studijní program:

N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor:

Inovační inženýrství

Autor práce:

Bc. Daniel Groma

Vedoucí práce:

doc. Ing. Petr Lepšík, Ph.D.

Katedra částí a mechanismů strojů

Konzultant práce:

Ing. Tomáš Vach





Zadání diplomové práce

Inovace LED svítidla pro veřejné osvětlení

Jméno a příjmení: **Bc. Daniel Groma**
Osobní číslo: S17000376
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: Inovační inženýrství
Zadávající katedra: Katedra částí a mechanismů strojů
Akademický rok: 2019/2020

Zásady pro vypracování:

Inovujte LED svítidlo veřejného osvětlení vyráběné firmou MODUS, spol. s r. o. s využitím znalostí o současném stavu osvětlovací techniky. Při návrhu inovovaného svítidla dbejte na zákaznické potřeby a využijte systematických metod inovačního inženýrství. Navrhněte nejméně tři koncepty, z nichž vyberte výslednou variantu, kterou podrobněji rozpracujte.

1. Seznámení se s problematikou osvětlovací techniky především v oblasti veřejného osvětlení
2. Identifikace inovačních příležitostí na základě průzkumu trhu, rozboru trendů a zákaznických potřeb
3. Generování nejméně tří konceptů, jehož součástí bude stanovení cílové výrobní specifikace a použití metod tvůrčí kreativity
4. Stanovení kritérií pro výběr a výběr finálního konceptu
5. Konstrukční návrh výsledného konceptu
6. Aplikace metod inovačního inženýrství pro prověření konstrukčního návrhu
7. Ekonomické zhodnocení
8. Závěr

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy:
Forma zpracování práce:
Jazyk práce:

přílohy dle potřeby
50
tištěná/elektronická
Čeština



Seznam odborné literatury:

- [1] MAŠÍN, I. Inovační inženýrství: plánování a návrh inovovaného výrobku. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2012. ISBN 978-80-7372-852-6
[2] MAŠÍN, I. a P. JIRMAN. Metody systematické kreativity. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2012. ISBN 978-80-7372-853-3
[3] SOKANSKÝ, K. Světelná technika. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04941-9
[4] LEINVEBER, J. a P. VÁVRA. Strojnické tabulky. Albra: Úvaly 2005. ISBN 80-736-01-6
[5] LEPŠÍK, P. a J. VODIČKA: Plánování a řízení společných projektů. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2012. ISBN 978-80-7372-920-2

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Lepšík, Ph.D.
Katedra částí a mechanismů strojů

Konzultant práce: Ing. Tomáš Vach

Datum zadání práce: 31. října 2019
Předpokládaný termín odevzdání: 30. června 2021

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan

L.S.

prof. Ing. Ladislav Ševčík, CSc.
vedoucí katedry

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má diplomová práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

7. června 2021

Bc. Daniel Groma

Poděkování

Upřímně děkuji panu doc. Ing. Petru Lepšíkovi, Ph.D. za vstřícnost a ochotu při vedení mé diplomové práce, za poskytnuté konzultace, odborné rady a užitečné informace. Za poskytnuté konzultace a materiály děkuji zástupci společnosti MODUS spol. s r.o. panu Ing. Tomáši Vachovi.

Dále děkuji za konzultaci z provozu VO v Liberci pánům Milanu Bendovi a Ing. Ivo Jindrovi. Děkuji technické podpoře společnosti WEICON Czech Republic s.r.o. za poskytnutí konzultace lepidel.

Na závěr děkuji své rodině a přítelkyni za podporu trvajícící nejen při psaní této práce, ale i po dobu celého studia.

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá inovací LED svítidla veřejného osvětlení ve spolupráci se společností MODUS spol. s r.o.. Svítidlo musí respektovat trendy ve společnosti a technice s přihlédnutím k technickým možnostem svítidel v dnešní době. Inovační proces zahrnuje systematické metody využívané v inovačním inženýrství. Těmto metodám je svítidlo podrobena a navrženo pro zvýšení hodnoty svítidla. Součástí práce je výkres montážní sestavy navrženého svítidla, výpočty, simulace a optimalizace některých komponent svítidla.

Klíčová slova

inovace, svítidlo, veřejné osvětlení, pouliční osvětlení, LED, systematické metody, inovační inženýrství

Annotation

This master thesis deals with the innovation of LED street lighting luminaire in cooperation with MODUS spol. s r.o.. The luminaire must respect trends in society and technology, taking into account the technical possibilities of luminaires today. The innovation process includes systematic methods used in innovation engineering. The luminaire is subjected to these methods and designed to increase the value of the luminaire. Part of the work is a drawing of the mounting assembly of the designed luminaire, calculations, simulations and optimization of some components of the luminaire.

Keywords

innovation, luminaire, public lighting, street lighting, LED, systematic methods, innovation engineering

Obsah

Seznam použitých symbolů	10
Seznam použitých zkratk	11
1 Úvod.....	12
1.1 Význam inovací.....	12
1.2 O společnosti MODUS, spol. s r.o.	14
1.2.1 Inovační námět	17
1.2.2 Postup práce.....	17
2 Osvětlovací technika, veřejné osvětlení	18
2.1 Základní pojmy	18
2.2 Historie	21
2.2.1 Elektrické světelné zdroje	23
2.3 Stávající stav techniky	24
2.3.1 Zastaralé světelné zdroje.....	25
2.3.2 LED technologie	25
2.3.3 Porovnání parametrů jednotlivých technologií světelných zdrojů	32
2.3.4 Systémy řízení veřejného osvětlení (LED).....	33
3 Identifikace inovačních příležitostí.....	35
3.1 Popis výchozího svítidla LV LEDOS	35
3.2 Průzkum trhu	36
3.2.1 Konstrukce, geometrie a materiály.....	36
3.2.2 Světelné, optické a elektrické parametry	37
3.2.3 Ostatní vlastnosti a funkce.....	38
3.3 Trendy.....	39
3.4 Víceúrovňové schéma systémového myšlení.....	42
3.5 Identifikace zákaznických potřeb.....	43

3.6	Inovační prohlášení	45
4	Generování konceptů.....	46
4.1	Stanovení cílové výrobní specifikace – QFD.....	46
4.1.1	Maticice QFD	48
4.2	Metody tvůrčí kreativity – TRIZ.....	50
4.2.1	Funkčně objektová analýza.....	50
4.2.2	Search.....	51
4.3	Volba LED čipů	61
4.4	Jednotlivé koncepty	63
4.4.1	Koncept – MODUS 2.....	63
4.4.2	Koncept – Sklopné svítidlo	65
4.4.3	Koncept – Radar	67
4.4.4	Koncept – V2X	70
4.4.5	Koncept – Kompozit	73
4.4.6	Řešení přírub.....	76
5	Výběr finálního konceptu	80
5.1	Hodnotící kritéria.....	80
5.2	Párové porovnání.....	81
5.3	Finální koncept.....	84
6	Konstrukční návrh	85
7	Prověření konstrukčního návrhu a jeho úpravy.....	88
7.1	FMEA.....	88
7.1.1	Doporučená opatření nevyžadující další analýzu.....	88
7.2	Opatření vycházející z analýzy FMEA-K	89
7.2.1	Krycí sklo a jeho délková teplotní roztažnost.....	89
7.2.2	Montáž příruby na stožár – výpočet	91

7.2.3	Simulace tepelné disipace	97
7.2.4	Pevnostní analýza	102
7.3	DFX	106
7.3.1	DFM (Design for Manufacturing).....	106
7.3.2	DFR (Design for Reliability)	107
7.3.3	DFD (Design for Disassembly).....	108
8	Ekonomické zhodnocení	110
9	Závěr	112
	Seznam obrázků.....	114
	Seznam tabulek	117
	Seznam použitých zdrojů	119
	Seznam příloh.....	129

Seznam použitých symbolů

Značka	Název	Jednotka
α	úhel	°
α	koeficient lineární teplotní roztažnosti	$\text{m m}^{-1} \text{K}^{-1}$
α	součinitel přestupu tepla	$\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$
β	úhel	°
γ	úhel	°
Δ	rozdíl (změna parametru)	-
η	účinnost	- %
η_p	měrný světelný výkon („světelná účinnost“)	lm/W
λ	tepelná vodivost	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$
φ	úhel	°
Φ	světelný tok	lm
Φ_e	zářivý tok	W
Ω	prostorový úhel	sr
D, d	průměr	mm
E	energie	J
F	síla	N
f	součinitel tření	-
I	elektrický proud, svítivost	A, cd
l	délka	mm
M	moment síly	N mm
N	normálová síla	N
n	počet LED čipů	-
P	výkon, příkon	W
P	rozteč	mm
r	poloměr	mm
T	tečná síla	N
t	čas	s
U	elektrické napětí	V

Seznam použitých zkratek

Značka	Název	Jednotka
AHP	analytický hierarchický proces	-
CRI	index podání barev	-
CCT	teplota chromatičnosti	K
DFX	design for X	-
DALI	komunikační standard pro VO (digital addressable lighting interface)	-
FMEA	analýza projevů a důsledků poruchových stavů	-
HDO	hromadné dálkové ovládání	-
IK	odolnost proti nárazu	-
IoT	internet věcí	-
IP	stupeň krytí proti vniknutí vody a předmětů	-
L, B	životnost	h
LED	dioda emitující světlo	-
LI-FI	komunikace pomocí záření o vlnové délce viditelného světla	-
QFD	metoda pro stanovení cílové výrobní specifikace	-
R _A	index podání barev	-
R _m	mez pevnosti	MPa
R _{p0,2}	smluvní mez kluzu	MPa
T _c	teplota chromatičnosti	K
TOF	doba letu paprsku světla	-
TRIZ	tvorba a řešení inovačního zadání	-
VO	veřejné osvětlení	-
V2I	komunikace vozidla s infrastrukturou	-
V2V	komunikace vozidla s vozidlem	-
V2X	komunikace vozidla s jakýmkoliv jiným subjektem	-

1 Úvod

Žijeme v době, kdy se věci okolo nás rychle mění. Vývoj nových produktů, technologií a služeb se stále zrychluje. Aby podnik obstál v tržním prostředí plném konkurence, je nutné vyvinout úsilí cílené správným směrem. Pro dosažení úspěchu je nutná schopnost uspokojit přání zákazníka a reagovat na měnící se trendy ve společnosti a prostředí okolo nás. Nasazení nového produktu ve správnou chvíli a reagování na podněty konkurence může být pro řadu firem klíčové. Jednu z nejzásadnějších úloh pro vítězství firmy nad konkurencí tedy hraje vývoj nových výrobků, jeho rychlost a efektivita.

Do výrobku je vhodné implementovat současné moderní technologie a funkce, které souhrnně plní přání a potřeby zákazníka. Žádoucí je vyvíjet produkty s vizí do budoucnosti.

Inovace

Pojem *inovace* zahrnuje sled činností nutných pro zavedení nového druhu výrobku (případně výrobku s novými vlastnostmi) na trh. Jedná se o původní ideu, identifikaci inovačních příležitostí, generování konceptu, návrh, výrobu a testování prototypu, zahájení sériové výroby a uvedení na trh. Důležitou součástí inovace je její ekonomické využití. [1]

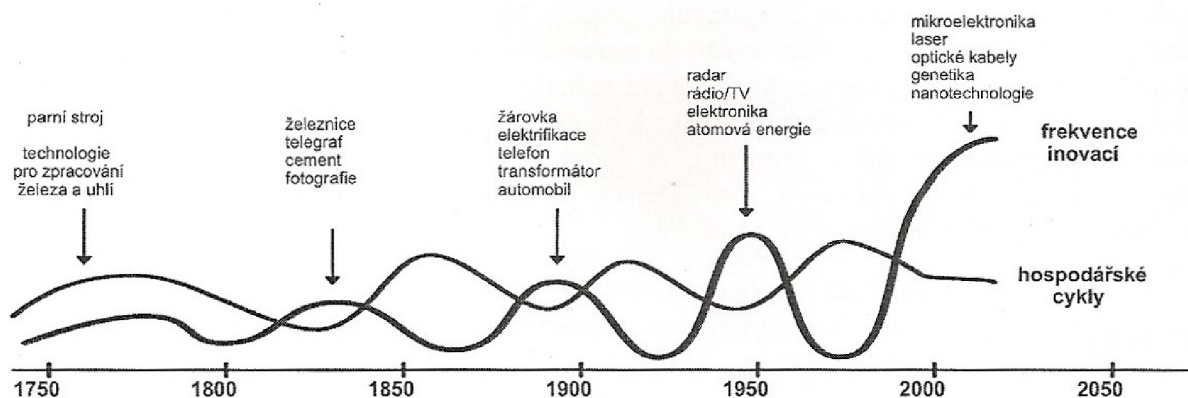
Inovační cyklus

Inovační proces (cyklus) navíc, oproti inovaci, zahrnuje život produktu na trhu, tedy rozvoj trhu, nárůst prodeje, zralost produktu, až po pokles prodeje a opuštění trhu. [1]

1.1 Význam inovací

Inovace mají význam, jak již bylo řečeno, ve strategii a konkurenčním boji firem. Další zajímavou skutečností je *teorie vývoje a hospodářského cyklu*, jejímž autorem je ekonom, který mimo jiné poprvé definoval „(ekonomickou) inovací“, J. A. Schumpeter. Podle něj jsou celosvětové cyklické ekonomické výkyvy zapříčiněny

tím, že inovace nepřicházejí postupně, ale ve vlnách. Inovační vlny umožňují hospodářský nárůst, který je po vyčerpání inovací následován recesí. [1] Tuto závislost vidíme znázorněnou na Obr. 1.1: Souvislost mezi frekvencí inovací a hospodářskými cykly.

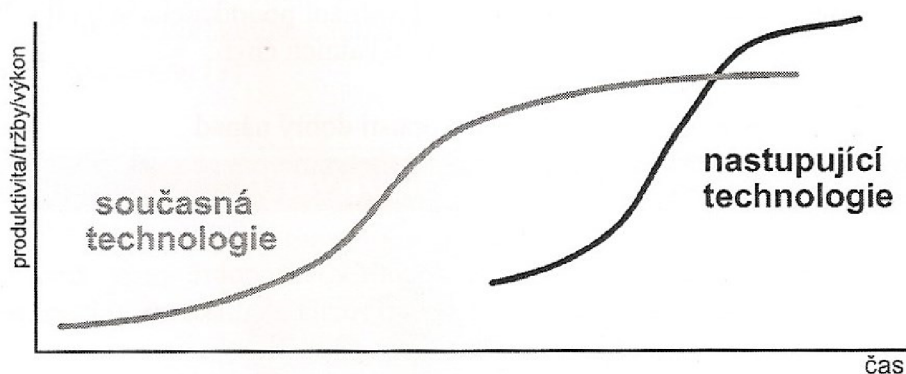


Obr. 1.1: Souvislost mezi frekvencí inovací a hospodářskými cykly [1]

Kromě konkurenceschopnosti firmy tedy vidíme vliv inovací na hospodářskou stabilitu států a nadnárodních skupin.

S-křivka

Životní cyklus technologií, případně výrobků naznačuje tzv. *S-křivka*, Obr. 1.2. Vidíme na ní, růst produktivity, tržeb a výkonu dané technologie (výrobku) v čase. Na počátku života technologie je její rozvoj malý. Následuje fáze růstu produktivity, tržeb a výkonu. Zároveň rychleji roste množství přihlášených patentů týkajících se dané technologie. Ke konci této fáze je vhodné nahradit současnou technologií novou nastupující technologií, jejíž životní cyklus bude obdobný. V případě opožděného nástupu nové technologie by došlo k propadu produktivity, tržeb a výkonu. [1]



Obr. 1.2: S-křivka [1]

Nástupu nových technologií s vyšší efektivitou můžeme vidět na příkladu srovnání světelných zdrojů (Tab. 1.1: Ukázka růstu měrného výkonu světelných zdrojů [2]).

Vyspělejší technologie dosahuje vždy většího měrného výkonu η_p v lumenech na watt, než ta předchozí (hodnoty jsou pouze orientační).

Typ zdroje	Světelná účinnost η_p [lm/W]
Klasická wolframová žárovka	10 - 18
Lineární zářivka	50 - 100
LED svítidlo	40 - 200

Tab. 1.1: Ukázka růstu měrného výkonu světelných zdrojů [2]

Hodnota výrobku

Výsledkem každé inovace by mělo být zvýšení hodnoty výrobku. Problém je, že hodnota často bývá hodnocena subjektivně. Věc může mít hodnotu např. emocionální, historickou apod. Jisté objektivity z pohledu jak výrobce, tak konečných zákazníků, může být dosaženo vyjádřením hodnoty výrobku pomocí následujícího vztahu:

$$Hodnota = \frac{\sum F1 + \sum F2}{\sum N1 + \sum N2}, \quad (1.1)$$

kde F1 je číselně vyjádřená míra plnění hlavní funkce, F2 plnění doplňkových funkcí, N1 pořizovací náklady a N2 provozní náklady. Hodnota výrobku je tedy vyjádřena jako podíl plnění funkcí a nákladů na jeho pořízení a provoz. [1]

Hlavní funkce je ta schopnost produktu, kvůli které si ho kupujeme. Například pro svítidlo je to osvětlení objektů. Doplňkové funkce zajišťují vlastnosti zařízení, které zpříjemňují uživateli jeho instalaci a provoz. Může to být například jednoduchá montáž, bezúdržbovost, spolehlivost, nízká spotřeba energie, vzhled atp. Pořizovací náklady netřeba vysvětlovat. Náklady provozní zahrnují veškeré výdaje spojené s provozem produktu. Jde tedy například o cenu spotřebované energie, náklady na instalaci, údržbu a opravy zařízení.

1.2 O společnosti MODUS, spol. s r.o.

Tato práce vzniká ve spolupráci s českou společností MODUS, spol. s r.o. (dále jen MODUS), která se zabývá výrobou širokého sortimentu svítidel a jejich

příslušenství. I díky vlastnímu vývoji a schopnosti reagovat na nové trendy (například nástup LED osvětlení) si společnost během více než 20 let od jejího založení vybudovala stabilní pozici největšího výrobce svítidel v ČR a jednoho z nejvýraznějších výrobců v Evropě. Firma má necelých 400 zaměstnanců pracujících v následujících třech pobočkách. Obchodní oddělení Jinočany, Výrobní závod Česká Lípa, Ekonomické a účetní oddělení Třebíč. [3]

Výzkum a vývoj probíhá na dvou pracovištích. V Jinočanech dochází nejen k přímému kontaktu se zákazníky (v obchodním oddělení), ale zároveň se zde nachází fotometrická laboratoř, jejímž úkolem je ověřování křivek svítivosti a optických vlastností svítidel mířících do výroby. Druhá pobočka zabývající se výzkumem a vývojem je v České Lípě, kde probíhá vývoj v profesionálním softwaru pro konstrukci svítidel. Dále se zde nachází laboratoř pro testování IP krytí vodou a prachem.[3]

Výrobní závod v České Lípě je vybaven moderními výrobními technologiemi, do nichž MODUS i nadále investuje. Vlastní výroba zde zaznamenala v průběhu svého rozrůstání několik zásadních kroků. Bylo to například získání certifikátu ISO 9001:2000 týkajícího se jakosti výrobků. Dále počátek výroby vlastních LED modulů pomocí osazovacího automatu na LED čipy nebo osvojení technologie zpracování plastů. Kromě zmíněného, disponuje výrobní závod automatickou lakovnou, drátovacími technologiemi, laserovým dělením plechů, automatickým ohýbáním plechů, svařovacími automaty a dalšími výrobními technologiemi. Aktuálně probíhají přípravy na přechod k platformě „průmysl 4.0“. Pro výrobu LED modulů jsou používány značkové čipy OSRAM a SAMSUNG. Kromě čipů si společnost vyrábí značnou část komponent sama. [3]

Sortiment MODUSu tvoří řada různých výrobků. Nalezneme zde vnitřní průmyslová svítidla do velkých výrobních, skladovacích nebo sportovních hal, dále designová svítidla do bytů, obvyklejší do kanceláří. Poslední hlavní skupinou jsou svítidla venkovní pro osvětlení veřejných prostor a komunikací i soukromých objektů. Všeobecně lze říci, že klasická svítidla, jejichž zdrojem světla jsou žárovky s wolframovým vláknem, zářivky a výbojky, jsou vytlačována moderními LED

svítidla, které dosahují nižší spotřeby elektrické energie a v současnosti tvoří více, než polovinu produkce. [4]

Na následujících obrázcích vidíme příklady svítidel vyráběných v MODUSu. Obr. 1.3: Svítidlo MODUS PARK – svítidlo MODUS PARK určené pro parkové osvětlení, využívající klasické zdroje světla, kterými může být wolframová žárovka, halogenidová žárovka, sodíková nebo rtuťová výbojka. Na Obr. 1.4: Svítidlo MODUS FLY Svítidlo MODUS FLY jako zástupce moderního závěsného svítidla do interiérů, využívajícího LED technologie jako zdroje světla.



Obr. 1.3: Svítidlo MODUS PARK [4]



Obr. 1.4: Svítidlo MODUS FLY [4]Cíl práce

Tato práce vzniká za účelem zvýšení konkurenceschopnosti společnosti MODUS a obnovy jejích stávajících produktů. Cílem bude provést inovaci svítidla veřejného osvětlení na základě aktuálního stavu osvětlovací techniky, celospolečenských trendů a zákaznických potřeb. Pro dosažení uspokojivého výsledku bude využito metod inovačního inženýrství, jako například stanovení cílové výrobní specifikace pomocí matice QFD, funkčně objektové analýzy, metod tvůrčí kreativity, prověření konstrukčního návrhu pomocí design for X (dále DFX) a dalších. Pro nalezení vhodných technických řešení bude provedeno vyhledávání v odborné a patentové literatuře.

1.2.1 Inovační námět

Zpracování konstrukčního řešení svítidla veřejného osvětlení využívající úsporný zdroj světla s ohledem na výrobní možnosti a technologie společnosti MODUS. Svítidlo musí vyhovovat podmínkám použití na veřejných komunikacích, případně v jiných venkovních prostorech, naplňovat zákaznické potřeby a respektovat technické trendy v lidské společnosti týkající se nejen veřejného osvětlení.

1.2.2 Postup práce

Postup práce je shrnut do následujících bodů:

- a) Nejprve se seznámíme s osvětlovací technikou, její historií a současným stavem s důrazem na veřejné osvětlení.
- b) Poté budou identifikovány inovační příležitosti. K tomu nám dopomůže průzkum trhu, rozbor globálních trendů ve společnosti i technice a analýza zákaznických potřeb.
- c) Na základě získaných informací proběhne generování konceptů. Tato fáze bude zahrnovat stanovení cílové výrobkové specifikace a využití metod tvůrčí kreativity, které vyplývají z metodiky TRIZ (tvorba a řešení inovačních zadání). Výsledkem budou nejméně 3 koncepty s technickým popisem.
- d) Následovat bude výběr finálního konceptu.
- e) Pro finální koncept bude proveden konstrukční návrh.
- f) Konstrukční návrh bude podroben metodám DFX, failure mode and effect analysis (dále FMEA), výpočtům a simulacím. Pro dosažení optimálního stavu budou případně provedeny konstrukční úpravy s ohledem na výsledky předchozích analýz.
- g) Na závěr bude provedeno ekonomické zhodnocení navrženého svítidla.

2 Osvětlovací technika, veřejné osvětlení

Osvětlovací, nebo chceme-li světelná, technika je věc, se kterou se v životě běžně setkáváme, ba dokonce by si většina z nás život bez ní už ani nedokázala představit. Nyní se blíže podíváme na historii osvětlování, poté na současné technologie a nakonec vyhodnotíme směr vývoje. Zaměříme se při tom především na *veřejné osvětlení*, dále jen VO. Pro plné pochopení problematiky je však nutné si nejprve vyjasnit některé základní pojmy používané ve spojitosti s osvětlovací technikou.

2.1 Základní pojmy

Zářivý tok

Zářivý tok je takzvaná radiometrická veličina. Je tedy měřitelná přístroji a nemusí být zaznamenaná lidským okem. Zářivý tok se značí Φ_e a udává celkovou energii vyzařenou zdrojem za jednotku času. Platí pro něj vztah:

$$\Phi_e = \frac{E}{t} [W], \quad (2.1)$$

kde E [J] představuje celkovou energii vyzařenou zdrojem a t [s] je čas. [5]

Světelný tok

Světelný tok patří mezi fotometrické veličiny, které popisují pouze záření viditelné lidským okem. Závisejí na barevném složení světla a citlivosti oka na jednotlivé složky barevného spektra. „Světelný tok Φ vyjadřuje intenzitu zřakového vjemu normálního oka, vyvolaného energií světelného záření, které projde za jednotku času určitou plochou v prostoru, kterým se světlo šíří.“ [6] Jednotkou světelného toku jsou lumény [lm]. [6]

Svítivost

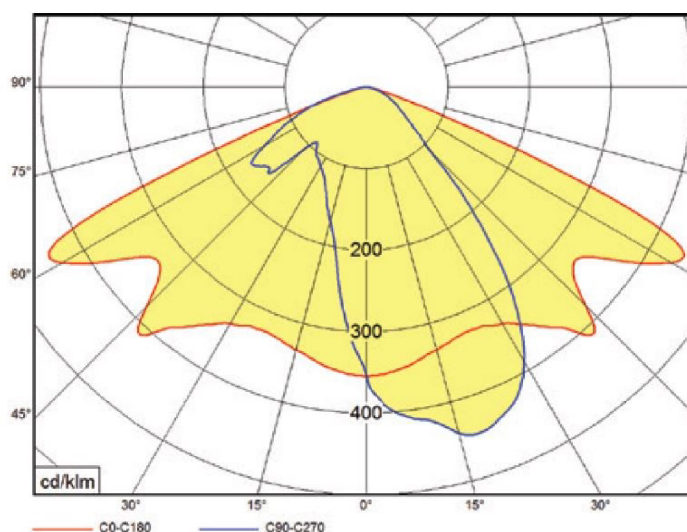
Svítivost bodového zdroje je další fotometrická veličina. Její jednotkou je kandela [cd], která patří mezi základní jednotky SI. Svítivost se značí I a platí pro ni vztah:

$$I = \frac{\Phi}{\Omega} [cd], \quad (2.2)$$

kde Φ [lm] je světelný tok a Ω je prostorový úhel [sr]. Jde tedy o část celkového světelného toku, vyzářeného zdrojem světla, připadající na určitý prostorový úhel. Lze též mluvit o prostorové hustotě světelného toku. [6]

Diagram svítivosti

Diagram svítivosti, také čára nebo křivka svítivosti je obrazec popisující svítivost [cd] bodového zdroje v různých směrech. Většinou se znázorňuje jako rovinný řez plochy svítivosti. Příklad diagramu svítivosti můžeme vidět na následujícím Obr. 2.1: Příklad diagramu svítivosti bodového zdroje [4].



Obr. 2.1: Příklad diagramu svítivosti bodového zdroje [4]

Měrný světelný výkon

Měrný světelný výkon, někdy nazývaný zkráceně jako měrný výkon nebo také světelná účinnost, se značí η_p a platí pro něj vztah

$$\eta_p = \frac{\Phi}{P} \left[\frac{lm}{W} \right], \quad (2.3)$$

kde Φ [lm] je světelný tok a P [W] elektrický příkon světelného zdroje. Měrný výkon tedy udává účinnost přeměny elektrické energie na světelnou. Zdroj s vyšší hodnotou η_p je schopen dosáhnout daného světelného toku při menším množství spotřebované elektrické energie. [7]

Index podání barev

Index podání barev se značí R_a nebo CRI (z anglického Color Rendering Index) a nemá jednotky. Slouží k porovnání vjemu lidského oka při pozorování předmětů osvětlených různými zdroji světla. Lidé jsou zvyklí na světlo ze slunce, tedy z teplotního světelného zdroje. Při něm dokáží nejlépe rozeznat barvy předmětů. Při použití například výbojek, s úzkým spektrem vyzařovaných vlnových délek, vnímá oko barvy zkresleně. R_a nabývá hodnot 0 – 100, kdy při 0 je možné barvy rozlišit jen velice omezeně a při 100 jsou barvy vnímány stejně jako při osvětlení sluncem, nebo širokospektrálním teplotním zdrojem (např. obyčejná žárovka). [7]

Teplota chromatičnosti

Teplotou chromatičnosti CCT (z anglického Correlated Color Temperature) je definována barva světla (studená nebo teplá), kterou vyzařuje absolutně černé těleso při zahřátí na danou teplotu. Při zvyšující se teplotě přechází barva světla od červené přes žlutou, teple bílou, bílou až k studené bílé a následně modré. Značkou teploty chromatičnosti je T_c a udává se v kelvinech. U světelných zdrojů LED rozeznáváme tři základní kategorie světla:

- a) $< 3\,300$ K – teplá bílá
- b) $3\,300 - 5\,000$ K – bílá
- c) $> 5\,000$ K – denní bílá (studená)

Například plamen svíčky má $T_c = 1\,800$ K, inkandescenční žárovka $T_c = 2\,700$ K, zářivka studená bílá $T_c = 4\,000$ K a slunce v poledne $T_c = 5\,500$ K. [7]

Doba životnosti

Doba životnosti některých světelných zdrojů je jednoznačně dána stavem, kdy zdroj přestane vyzařovat světlo. Například přerušení vlákna inkandescenční (wolframové) žárovky. V případě LED zdrojů nedochází k okamžitému konci životnosti, nýbrž k postupnému snižování svítivosti jednotlivých LED čipů. Pro určení životnosti LED modulů se tak používají následující hodnoty.

Jednak doba, za kterou poklesne svítivost čipu na určitou procentuální hodnotu původní svítivosti. Například označení L70 znamená pokles svítivosti na 70 % původní.

Dalším sledovaným údajem je počet LED čipů na modulu, které dosahují deklarované svítivosti. Můžeme se tak setkat s označením B10, které udává, že minimálně 90% LED čipů dosahuje dané svítivosti.

Například doba životnosti s označením L80/B30 a hodnotou 50 000 h udává, že po 50 000 hodinách provozu bude alespoň 70% LED čipů dosahovat svítivosti minimálně 80 % jejich původní svítivosti. [8]

Neopomenutelným parametrem pro hodnocení životnosti je teplota okolí, při níž je svítidlo provozováno. Obvykle se uvažuje teplota 25°C, při níž výrobci deklarují životnost svých výrobků. Při provozu svítidla za vyšší teploty dochází k rychlejšímu opotřebení LED čipů. Mezní pracovní teplota LED čipu je 85 - 100 °C. Při jejím překročení dochází k výraznému zkrácení života čipu. Konstrukce svítidla a LED modulu tedy musí zajišťovat dostatečný odvod tepla. [9]

2.2 Historie

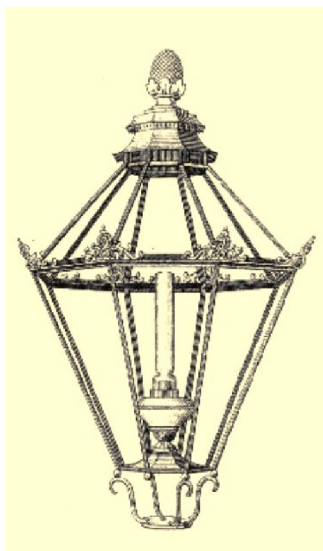
Za počátky osvětlování by bylo možné považovat už pravěké časy, kdy si člověk osvojil oheň. Po mnoho let tvořil oheň důležitou součást života lidí. Poskytoval jim v noci světlo, okolo kterého se scházeli a cítili se u něj bezpečně, chránění před divokou zvěří. Byl to první „umělý“ zdroj světla, nad nímž lidé měli kontrolu. Již některá antická města byla osvětlena loučemi a olejovými lampami. Díky desítkám tisíců let, strávených s tímto pomocníkem, se stal oheň příjemným doplňkem pro lidi i dnes. [10]

Lampy s kapalným médiem

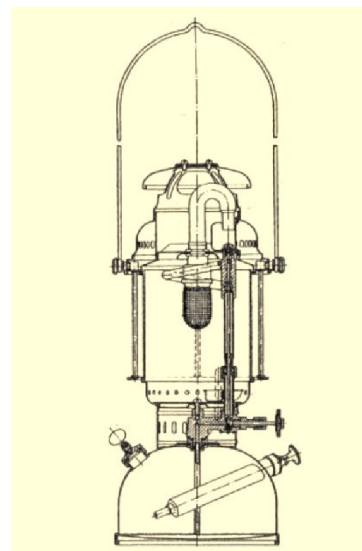
Již zmíněné první olejové lampy a svíčky využívaly principu kapalného paliva vztlínajícího ze zásobníku knotem, na jehož konci bylo palivo spalováno za vzniku světla a tepla. Prvními palivy byly **lůj** a různé **rostlinné oleje**. Tento princip svícení byl velice rozšířený až do 19. století, kdy průmyslová revoluce přinesla nová kapalná

paliva v podobě **minerálních olejů** a později **petroleje** (uhlovodíky). Ty vynikaly lepší nasákavostí knotu a větší svítivostí, než rostlinné oleje. [11] [12] [13] [14]

Přibližně od roku 1830 se začaly používat **lihové kahany** (i lampy), které nacházejí uplatnění v laboratořích dodnes. [15] [16]



Obr. 2.2: Knotová petrolejová pouliční lucerna z 60. let 19. století [17]



Obr. 2.3: Závěsná žárová petrolejová lampa bez knotu z 20. let 20. století [18]

Za zmínku stojí využití **acetylenu** pro svícení od přelomu 19. a 20. století. Kombinací tohoto plynu s Auerovou punčoškou bylo možné snížit náklady na osvětlení až na osminu v porovnání s petrolejem nebo svítiplynem. Acetylen byl rozváděn stejně jako svítiplyn a doporučován byl pro aplikaci v hostincích nebo nemocnicích, kde spaloval méně kyslíku a jeho spaliny méně zapáchaly. I přes problémy spojené s výbušností acetylenu, byl hojně využíván do druhé světové války ve veřejném osvětlení, kočárech, automobilech a jízdních kolech. [21]



Obr. 2.4: Lampa s přímým osvětlením z hořícího plynu [22]

2.2.1 Elektrické světelné zdroje

Na přelomu 19. a 20. století začalo v Evropě a Severní Americe docházet k elektrifikaci měst a obcí. Pro využití elektrických světelných zdrojů byl tento krok podmiňující a umožnil jejich praktické nasazení. Například oblouková lampa čekala na své využití už od roku cca 1800, kdy byla vynalezena. [23]

Obloukové lampy

Oblouková lampa pracuje na principu elektrického oblouku (výboje) vznikajícího mezi většinou uhlíkovými elektrodami. Doprovodným efektem průchodu elektrického proudu ionizovaným vzduchem je vznik tepla, které má za následek odpařování elektrod, jejichž hořící páry vyzařují světlo. Pro zažehnutí oblouku je nutné vysoké napětí, nebo dotek elektrod a jejich následné oddálení za relativně nízkého napětí. Pro zajištění stálého výkonu lampy je nutná regulace vzdálenosti odpařujících se elektrod, z nichž každá ubývá jinou rychlostí (za předpokladu stejnosměrného proudu). Jednotlivé „generace“ obloukových lamp se lišily především způsobem řešení tohoto problému. Původní ruční posouvání bylo nahrazeno hodinovým strojkem nebo mechanismem využívajícím elektromagnetických sil. Následně přišla konstrukce s rovnoběžně a poté pod úhlem uloženými elektrodami. O vývoj obloukových lamp se zasloužil i český vědec a technik František Křižík. Jejich používání především pro účely veřejného osvětlení probíhalo v první polovině 20. století. [23]

Žárovky

Klasická žárovka funguje na principu vlákna žhaveného odporem vůči procházejícímu elektrickému proudu. Vlákno vyzařuje světlo v oblasti infračervené a viditelné vlnové délky. Princip je známý od počátku 19. století. Výrobu žárovky s uhlíkovým vláknem zdokonalil a patentoval v roce 1879 T. A. Edison. Od té doby jsou žárovky používány, později s vlákny wolframovými, dodnes. Veřejné osvětlení bylo s využitím žárovek realizováno od 20. let 20. století do konce druhé světové války. [9] [24]

V 60. letech přišlo vylepšení v podobě **halogenových žárovek**, které spočívalo v plnění baňky žárovky halogeny. Dosáhlo se tak lepších světelných vlastností a životnosti žárovky. [9] [25]

Výbojky

Mezi výbojky patří již zmíněné obloukové lampy. Rozdíl u ostatních výbojek je však v tom, že elektrody neubývají a nachází se v uzavřené nádobě naplněné vzácným plynem, jako jsou argon, neon, krypton, xenon, případně s přísadky rtuti, sodíku a kovových halogenidů. První se rozšířily **neonové výbojky** od roku 1910. Používaly se jako dekorativní osvětlení a pro zvýraznění reklam. [26]

Zářivky - nízkotlaké rtuťové výbojky byly využívány ve veřejném osvětlení přibližně od druhé světové války. Princip rtuťových výbojek se odlišuje od ostatních výbojek tím, že při průchodu elektrického výboje parami rtuti se emituje ultrafialové záření, jehož vlnová délka musí být posunuta do viditelného spektra. Toho je dosaženo vrstvou luminoforu na vnitřní straně skleněné trubice. Podobně jako žárovky, dočkaly se i zářivky vylepšení ve formě přimíchání dalších plynů (argon, helium, krypton, xenon...) do rtuťových par. Tím bylo dosaženo širšího barevného spektra, lepšího podání barev a snazšího zapálení plynu. [9] [27]

2.3 Stávající stav techniky

Tato kapitola pojednává o světelných zdrojích využívaných v současnosti a jejich vztahu k veřejnému osvětlení. Dále jsou zde rozebrány možnosti řízení VO.

2.3.1 Zastaralé světelné zdroje

V současné době ve veřejném osvětlení už jen zřídka najdeme žárovky a zářivky. Od 70. až 80. let 20. století do dnešních dob se setkáváme nejčastěji s **nízkotlakými i vysokotlakými sodíkovými výbojkami** a dále s **vysokotlakými rtuťovými a halogenidovými výbojkami**, popsány v následujících odstavcích. Moderní svítidla veřejného osvětlení však využívají zpravidla technologie LED. [9] [27]

Nízkotlaké sodíkové výbojky

Svého vrcholu dosáhly **nízkotlaké sodíkové výbojky** s typicky žlutým světlem a dosti špatným podáním barev koncem 20. století, kdy byly zároveň vyčerpány jejich fyzikální možnosti pro další zdokonalování. Dosáhly v té době bezkonkurenčního měrného výkonu, až 180 lm/W, kdy ostatní výbojky měly maximálně 100 lm/W. [9] [27]

Vysokotlaké sodíkové výbojky

Vysokotlaké sodíkové výbojky jsou plněny sodíkem a dalšími plyny (rtuť, argon, xenon). Díky vysokému tlaku a složení plynů se spektrum vlnových délek vyzařovaného světla rozšiřuje a posouvá do viditelné oblasti. Charakteristický je dobrý měrný výkon a spíše podprůměrné podání barev. Oproti nízkotlakým sodíkovým výbojkám jsou však hodnoty barevné rozlišitelnosti výrazně lepší. [9] [27]

Vysokotlaké rtuťové a halogenidové výbojky

Výhoda **vysokotlakých rtuťových výbojek** oproti nízkotlakým spočívá v tom, že záření emitované parami rtuti má vlnovou délku viditelnou lidským okem. Vrstva luminoforu tedy není nutná. Širšího spektra vlnových délek vyzařovaného světla a lepšího podání barev je možné dosáhnout přidáním halogenidů. Vzniká tak **halogenidová výbojka**. Zároveň jsou používány příměsi plynů, jako např. argon, pro snížení zápalného napětí. [9] [27]

2.3.2 LED technologie

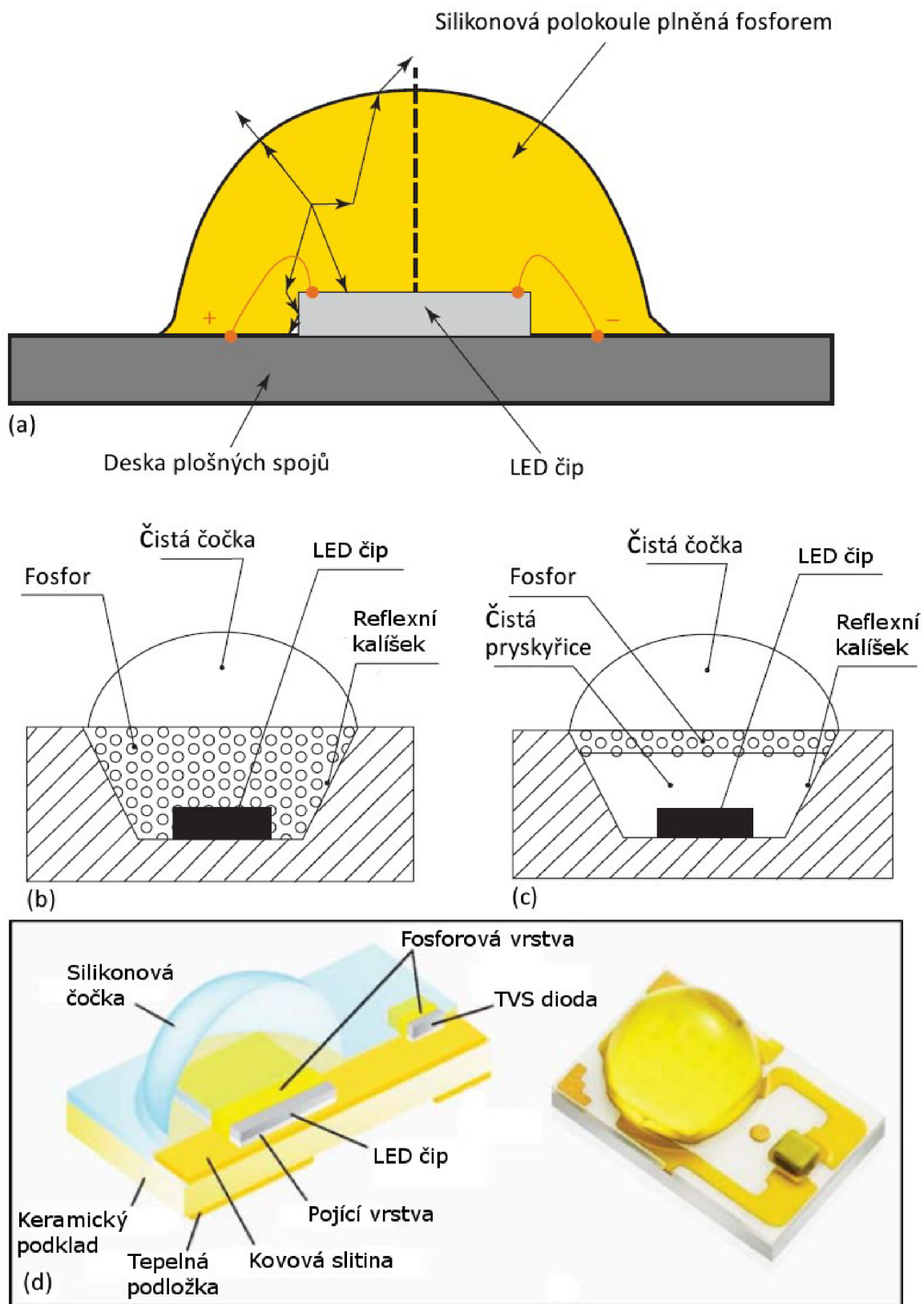
Anglickou zkratkou *LED* se rozumí *light emitting diode*, česky **luminiscenční dioda (čip)**. Dioda je tvořena polovodičovým PN přechodem. Po připojení diody ke

zdroji stejnosměrného proudu v propustném směru začne docházet k toku elektronů skrz přechodovou vrstvu PN přechodu. Při použití vhodných materiálů polovodičů je tento jev doprovázen vyzařováním světla. Na chemickém složení PN přechodu záleží i vlnová délka a tudíž barva světla, která může být v rozsahu od infračervené až po ultrafialovou. Každému chemickému složení však přísluší pouze jedna vlnová délka (monochromatické světlo), nikoli široký interval vlnových délek. Pro účely osvětlování je důležitá barva bílá, které lze docílit například kombinací tří základních barev (červená, zelená, modrá), nebo lépe pomocí modré (případně UV) diody s fosforovým konvertorovým materiálem, zajišťujícím žlutou (studená bílá) nebo oranžovou (teplá bílá) složku světla. [28] [29]

Konfigurace LED čipů

LED diody bývají obvykle přilepeny k základní desce a zalaty silikonem nebo pryskyřicí. Důležitou součástí je fosforový materiál prodlužující vlnovou délku části vyzařovaného světla. Na Obr. 2.5: Konfigurace LED čipů, (a) zastříknutá LED dioda, (b) kalíšek plněný fosforovou směsí, (c) kalíšek s odlehlou fosforovou vrstvou, (d) uzpůsobený povlak [29] můžeme vidět čtyři používané konfigurace LED diody na základní desce. [29]

Zastříknutá LED dioda (Obr. 2.5: Konfigurace LED čipů, (a) zastříknutá LED dioda, (b) kalíšek plněný fosforovou směsí, (c) kalíšek s odlehlou fosforovou vrstvou, (d) uzpůsobený povlak [29]) trpí disipací světelné energie na tepelnou. Dalším nedostatkem je, že záření od diody prochází, v závislosti na úhlu, různě dlouhou dráhou skrz fosforovou směs. V různých směrech tedy prodlouží svou vlnovou délku různé množství světla. Vzniká tak barevná nehomogenita. [29]



Obr. 2.5: Konfigurace LED čipů, (a) zastříknutá LED dioda, (b) kalíšek plněný fosforovou směsí, (c) kalíšek s odlehlou fosforovou vrstvou, (d) uzpůsobený poolak [29]

Stejný problém se projevuje také u další možnosti, kterou je zalití LED diody fosforovou směsí do kalíšku s odrazivými bočními stěnami. Kalíšek může být vyplněn fosforovou směsí celý (Obr. 2.5: Konfigurace LED čipů, (a) zastříknutá LED dioda, (b) kalíšek plněný fosforovou směsí, (c) kalíšek s odlehlou fosforovou vrstvou, (d) uzpůsobený povlak [29]), nebo čistou pryskyřicí s fosforovou příměsí v (odlehle) povrchové vrstvě (Obr. 2.5: Konfigurace LED čipů, (a) zastříknutá LED dioda, (b) kalíšek plněný fosforovou směsí, (c) kalíšek s odlehlou fosforovou vrstvou, (d) uzpůsobený povlak [29]). Odlehlá fosforová vrstva dosahuje lepších tepelných vlastností, než vyplnění celého prostoru fosforem. Světlo rozptyluje silikonová čočka. [29]

Novější způsob konstrukce využívá tenkého fosforového povlaku umístěného přímo na LED diodě (Obr. 2.5: Konfigurace LED čipů, (a) zastříknutá LED dioda, (b) kalíšek plněný fosforovou směsí, (c) kalíšek s odlehlou fosforovou vrstvou, (d) uzpůsobený povlak [29]). Tím je odstraněn problém s úhlovou barevnou nehomogenitou a zároveň ve fosforové směsi vzniká výrazně méně tepla, než u předchozích typů. Rozptyl světla do okolí zajišťuje silikonová čočka. LED dioda je uložena na tenké vrstvě z kovové slitiny pokrývající keramický podklad. Vrstva keramiky je z druhé strany opatřena tepelnou podložkou odvádějící teplo. TVS dioda tvoří ochranu před napěťovými špičkami. [29]

Nejmodernější LED čipy jsou konstruovány podobným způsobem. Využívají také tenké fosforové vrstvy. Počet a rozmístění LED diod může být různý. Čočka a vrstvy základní desky se mohou lišit. [29]

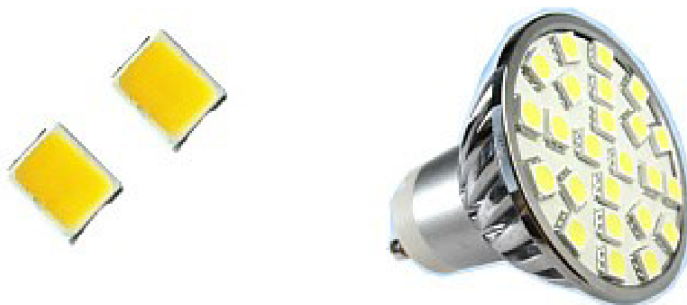
Způsoby osazení LED modulu čipy

Nejstarší technologií je tzv. DIP (Dual In-Line Package), využívající klasické kloboučkové diody (Obr. 2.6: DIP LED modul). Měrný výkon dosahuje pouze hodnot okolo 70 lm/W, životnost 20 000 hodin a index podání barev do 70. [30]



Obr. 2.6: DIP LED modul [30]

Aktuálně rozšířenou technologií výroby LED modulů je **SMD** (Surface Mounted Diode) (Obr. 2.7: SMD LED modul). Diody jsou pájeny na desku plošných spojů a dosahují světelné účinnosti 50 - 120 lm/W. Životnost čipů může být až 100 000 hodin. Samotné čipy se vyrábějí v několika rozměrech s různou světelnou účinností, provozním napětím a proudem. Označují se například „SMD5630“, kde písmena znamenají SMD čip a následující čísla jsou rozměry čipu, v našem případě tedy $5,6 \times 3,0$ mm. [30] [31] [32]



Obr. 2.7: SMD LED modul [30]

COB (Chip on Board) (Obr. 2.8: COB LED modul) je technologie aktuálně procházející největším rozvojem. Jejím principem je skládání LED diod na desku plošných spojů těsně vedle sebe. Vzniká tak větší svítící plocha. V porovnání s rozměry celé desky SMD modulu je však COB zdroj téměř bodový. Nastává tak komplikace s rozptřením světla do okolí pomocí optických prvků. Nedostatek je však zastíněn velkou světelnou účinností, dosahující 160 lm/W, u menších zdrojů

dokonce přes 200 lm/W. Životnost dosahuje až 100 000 hodin, srovnatelně s SMD.
[30] [32] [33] [34]



Obr. 2.8: COB LED modul [30]

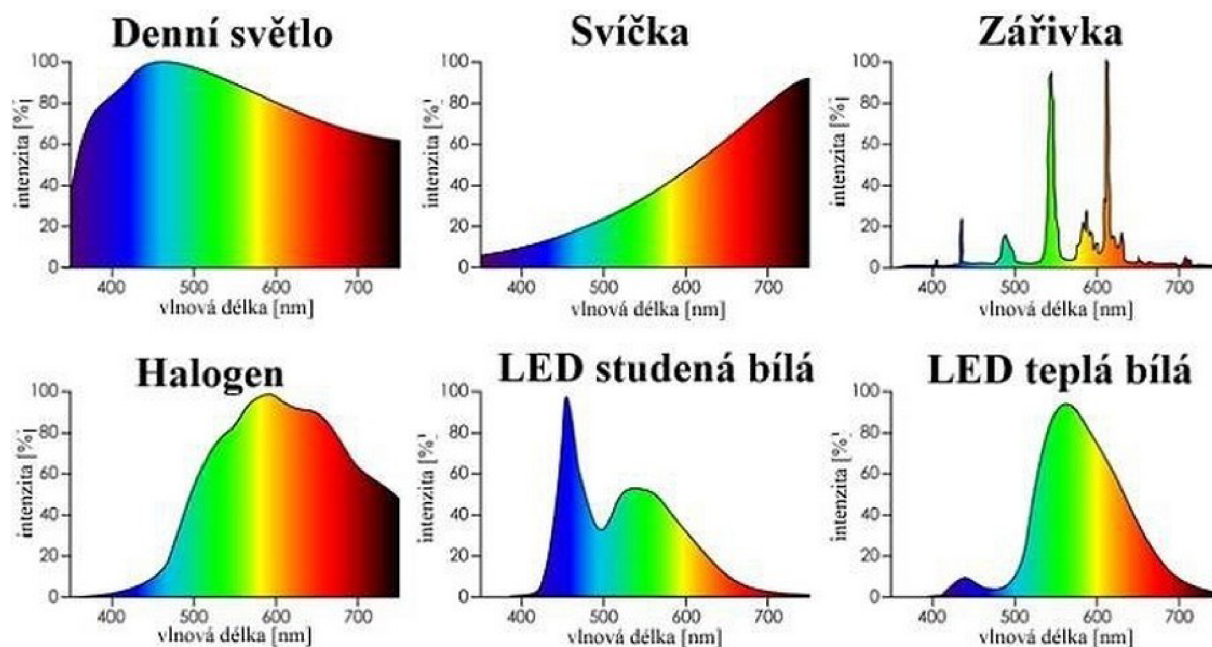
Výhody a nevýhody LED

- + dlouhá životnost (při správném používání 50 000 – 100 000 hodin)
- + dobrý světelný výkon (100 – 200 lm/W)
- + slušný index podání barev (70 – 90)
- + snadná možnost regulace svícení pomocí protékajícího proudu
- + okamžitý start
- + vhodné pro časté vypínání a zapínání
- + bez obsahu nebezpečných látek (rtuť...)
- + možnost volby teploty chromatičnosti světla
- + odolnost vůči vibracím a rázům
- vysoká výrobní cena LED čipu, modulu
- vznik tepla, které je nutné odvádět
- při stárnutí pokles svítivosti – obvykle 20 – 30 % po 50 000 až 100 000 hodin provozu, urychlený přehříváním; nejvíce se projevuje u levných LED čipů

- nutnost předřadníku pro regulaci elektrických veličin
- pokles světelné účinnosti s rostoucím výkonem diody
- potřeba rozptylu světla pomocí optických prvků
- přitahuje hmyz více, než ostatní světelné zdroje (pouze studená barva světla)

Barevné spektrum LED a jeho vliv na člověka a světelné znečištění

Za zmínku stojí vliv LED světelných zdrojů na lidský organizmus. Především světlo s vyšší teplotou chromatičnosti (studená barva světla) obsahuje silnou složku modré a modro-zelené barvy. Jak si můžeme všimnout na Obr. 2.9: Barevné spektrum různých světelných zdrojů, tato část spektra je také součástí přirozeného denního světla. Navozuje tedy lidskému organismu pocit, že je den. Nadužívání modré složky ve večerních a nočních hodinách může narušit biorytmus organismu. Vzhledem k této skutečnosti existují i svítidla se schopností měnit teplotu chromatičnosti v průběhu dne.



Obr. 2.9: Barevné spektrum různých světelných zdrojů [36]

Dalším problémem, spojeným s modrou a zelenou složkou světla, je světelné znečištění noční oblohy. Svou roli zde hraje i vyšší citlivost lidského oka na zelenou, případně modrou barvu. Jas na obloze od nočního osvětlení měst a obcí je výrazně

silnější při použití LED svítidel s vysokou teplotou chromatičnosti (studená barva). Světelný smog je možné omezit stíněním světelných zdrojů, menším množstvím vyprodukovaného světla a barevným složením světla. Z posledního opatření se jeví jako vhodné pro veřejné osvětlení používat spíše LED svítidla, jejichž vlnová délka je díky fosforové vrstvě posunuta z intervalu 400 – 500 nm do vyšších hodnot. Jedná se tedy o teplou bílou, až žlutou barvou. Na druhou stranu LED čipy s teplým světlem jsou dražší a méně energeticky úsporné z důvodu nižšího světelného výkonu. Studenou bílou barvou se obvykle s výhodou přisvětlují přechody pro chodce.[35] [36] [37]

Na druhou stranu existují studie vyvracející škodlivý vliv modré složky VO na člověka (viz. zdroje přílohy tiskového prohlášení odborné veřejnosti k vlivu modré složky světla [40]). Zde se mimo jiné uvádí, že zkreslené informace o škodlivosti modré složky na lidský organismus jsou záměrně šířeny zájmovými skupinami. Bohužel těmito informacemi jsou údajně ovlivněny i některé vládní orgány. [40]

2.3.3 Porovnání parametrů jednotlivých technologií světelných zdrojů

V následující Tab. 2.1: Parametry různých typů světelných zdrojů [2] [9] vidíme souhrnné porovnání světelných zdrojů v parametrech: světelná účinnost, index podání barev a teplota chromatičnosti. Za povšimnutí stojí kontrast vysoké světelné účinnosti nízkotlaké sodíkové výbojky a naopak vůbec nejnižšího indexu podání barev. U svítidel LED vidíme velkou míru univerzálnosti a variability ve značných rozsazích všech sledovaných parametrů. V nenáročných aplikacích se využívají levné varianty s horšími vlastnostmi, naopak pro náročnější aplikace je možné sáhnout po LED čípech s vysokou světelnou účinností a indexem podání barev. Lepší kvality se však odráží na vyšší ceně zařízení. Snaha o ušetření financí by však při osvětlování prostor nikdy neměla předčít kvalitativní požadavky na osvětlení. [7] Do budoucna lze očekávat značný rozvoj LED technologie a posouvání možností. [9]

Typ zdroje	Světelná účinnost η_p [lm/W]	Index podání barev Ra [-]	Teplota chromatičnosti Tc [K]
Vakuová žárovka	10 - 18	90 - 100	2 800
Halogenová žárovka	15 - 20	91 - 100	3 000
Kompaktní zářivka	35 - 70	75 - 95	2 700 - 5 000
Lineární zářivka	50 - 100	65 - 95	4 100 - 5 000
Halogenidová výbojka	50 - 130	60 - 85	3 800
Vysokotlaká sodíková výbojka	70 - 140	20 - 60	2 100
Nízkotlaká sodíková výbojka	90 - 180	5 - 20	1 700
LED studená bílá	60 - 200	65 - 80	> 4000 K
LED teplá bílá	40 - 160	75 - 90	< 4000 K

Tab. 2.1: Parametry různých typů světelných zdrojů [2] [9]

2.3.4 Systémy řízení veřejného osvětlení (LED)

Systém pro řízení veřejného osvětlení slouží na straně jedné k zajištění dostatečné kvality světelně technických podmínek a bezpečnosti provozu na komunikacích, na straně druhé ke snížení spotřeby elektrické energie například v době malého provozu. Dříve probíhalo stmívání osvětlení na některých místech snižováním napětí. Dnes se používají elektronické předřadníky regulující napájecí proud LED modulu. [9]

Moderní stmívatelná svítidla obvykle pracují buď v autonomním režimu, tedy bez komunikace s rozvaděčem (kromě zapínání a vypínání), nebo v režimu jednosměrné, či obousměrné komunikace s rozvaděčem. Rozvaděč je ve spojení s operačním centrem, které řídí veřejné osvětlení a zpracovává informace přijaté z jednotlivých světelných bodů.

Následuje vysvětlení principu spínání VO a popis tří možných způsobů stmívání a komunikace rozvaděče se svítidlem.

Spínání VO

Rozvaděče obvykle spínají VO na základě soumrakového spínače (fotobuňky), časového členu (manuální nastavení), impulsu hromadného dálkového ovládání (HDO), nebo astronomických hodin. Astronomické hodiny upravují čas spínání a vypínání pomocí kalendáře tak, že je respektována proměnlivá doba západu a východu slunce v průběhu roku. [4]

Autonomní režim

Rozvaděč pouze zapíná a vypíná VO pomocí některého z výše popsaných principů. Svítidlo na základě integrovaného časovače (bez informace o skutečném čase) a paměti doby provozu předchozích několika dní, samo určuje přibližný čas půlnoci a od toho se odvíjející dobu snížení výkonu. Možné jsou softwarové úpravy například následujících parametrů: počtu stupňů výkonu svítidla a jeho hodnot (např. 100%, 70% a 50%), doba setmění před půlnocí a doba setmění po půlnoci.

Tento způsob stmívání je vhodný pro výměnu stávajících neregulovaných svítidel za stmívatelná. [4]

Jednosměrné řízení stmívání druhým fázovým vodičem

V instalacích, kde existuje druhý fázový vodič, je možné řídit stmívání právě tímto. Jedná se o dvoustupňový provoz s přednastavenou hodnotou snížení výkonu například na 50%. Při přivedení napětí druhým fázovým vodičem se svítidlo přepne do úsporného režimu. Po odpojení napětí se vrátí na plný výkon. Logiku regulace je možné i obrátit. Čas setmění je možné regulovat automaticky nebo ručně. [4]

Obousměrná komunikace

Obousměrná komunikace probíhá na základě mezinárodního standardního komunikačního protokolu DALI (Digital Addressable Lighting Interface) pro elektrické předřadníky. Nabízí nejširší možnosti stmívání a především i získávání informací o jednotlivých svítidlech. Je možné v reálném čase nejen plynule regulovat výkon, ale i sledovat stav svítidel, například indikovat vadu předřadníku nebo světelného zdroje. Získané informace je možné využít pro efektivní údržbu. [9]

Komunikace mezi rozvaděčem a svítidlem může probíhat bezdrátově, tedy pomocí radiového signálu. Druhou možností je sběrnice DALI. Třetí způsob využívá fázového vodiče. V tomto případě musí být vložen v rozvaděči i ve svítidle převodník signálu. Využití kabelu skýtá výhodu v bezpečnosti přenosu informací a s výhodou se využívá například v tunelech nebo v armádních prostorech. [4]

3 Identifikace inovačních příležitostí

3.1 Popis výchozího svítidla LV LEDOS

Svítidlo LV LEDOS, které je předmětem inovace, můžeme vidět na Obr. 3.1: Svítidlo LV LEDOS [4]. Tělo je vyrobeno z hliníkového odlitku, opatřeného na horní straně chladicími žebry (Obr. 3.2: Chladič LV LEDOS [4]), zajišťujícími dostatečný odvod tepla z LED modulu. V oddělení blíže přírubě je umístěna elektronika. Spodní kryt lampy s přilepeným tvrzeným sklem je připnut k tělu pomocí sponek pro možnost nenáročné a rychlé demontáže v případě opravy svítidla. Šrouby je připojena univerzální příruba pro montáž na sloup nebo výložník. Krytí proti vniknutí vody a pevných částic dosahuje stupně IP65.



Obr. 3.1: Svítidlo LV LEDOS [4]



Obr. 3.2: Chladič LV LEDOS [4]

LED modul typu SMD si může zákazník vybrat, a to dle příkonu v rozsahu 28 – 88 W. Teplota chromatičnosti nabízí dvě varianty, a to 3000 K a 5000 K. Index podání barev je větší, než 70. Do elektronické výbavy je možné zařadit driver nestmívatelný, případně stmívatelný, řízený protokolem DALI. Předpokládaná doba životnosti L70/B50 = 100000 h. Svítidlo je doporučeno instalovat do výšky 6 – 10 metrů nad zem. Cena 4100,- až 6200,- Kč bez DPH, dle stupně výbavy, hmotnost 7 – 9 kg. [4]

3.2 Průzkum trhu

Průzkum trhu byl proveden pro porovnání vlastností a parametrů výrobků nacházejících se na českém trhu. Do průzkumu bylo zahrnuto 6 českých výrobců a 6 zahraničních. Celkem bylo porovnáno 21 produktů. Výběr byl omezen na svítidla určená k osvětlování komunikací a městských ulic s chodníky, využívající jako světelný zdroj LED diody. Z průzkumu trhu je patrné, že některé vlastnosti svítidel jsou rozdílné a některé velice podobné. Tabulky vycházející z průzkumu trhu nalezneme v Příloha A).

3.2.1 Konstrukce, geometrie a materiály

Všechna svítidla disponují tělem z hliníkového odlitku, většinou lakovaným. Rozptyl světla zajišťují optické čočky, vyrobené z PMMA (polymethylmethakrylát – „plexisklo“), případně ze skla. Optika je chráněna krycím sklem, často tvrzeným kalením. Některá svítidla mají demontovatelný kryt v horní části, některá ve spodní.

Kryty jsou připevněny šrouby, nebo sponami. Některé jsou odklápěcí, rotačně uložené na čepu, aby umožnily snadné servisování svítidla, případně i demontáž bez nářadí. Povrch je často (ne však zpravidla) opatřen podélnými nebo příčnými chladicími žebry, případně jejich kombinací. Může být opatřen samočisticí úpravou.

Příruba svítidla většinou umožňuje montáž na svislý stožár nebo horizontální, případně šikmý výložník. Vyskytují se příruby pevné i úhlově polohovatelné, a to v různém rozsahu, např. 30°, 90° i více. Montážní průměry jsou standardně 32, 42, 60 a 76 mm.

Elektronické součástky jsou montovány na základní desku uchycenou uvnitř těla svítidla, nebo přímo na tělo svítidla. Chladicí žebra jsou většinou v blízkosti LED modulů pro zajištění dostatečného odvodu tepla a předejití přehřívání LED čipů. Ostatní elektronické komponenty bývají ve vedlejší, někdy oddělené, části, a to v různé výškové úrovni vzhledem k LED modulu.

Výrobci obvykle nabízejí jeden model svítidla v mnoha variantách, které se liší především elektronickou výbavou a optikou. Rozdíly jsou v typu LED modulu, na kterém závisí především světelné vlastnosti, dále v optice zajišťující rozptyl světla různými směry, v driveru umožňujícím řízení spotřeby energie a stmívání svítidla a v zařízení pro komunikaci svítidla s centrálou.

3.2.2 Světelné, optické a elektrické parametry

Shrnutí vybraných parametrů z průzkumu trhu	
Elektrický příkon [W]	15 - 208
Světelný tok [lm]	1 600 - 28 900
Světelná účinnost [lm/W]	78 - 148
Index podání barev	>60, >70, >80
Teplota chromatičnosti [K]	2 700 - 6 500
Hmotnost [kg]	1,25 - 18
Stupeň krytí, odolnost	IP65, IP66 , IP67, IK 6 - 10
Doba životnosti	L70/B20 nebo L80/B50 = 50 000 až L100/B10 = 100 000 h
Provozní teplota [°C]	-40 až +60

Tab. 3.1: Shrnutí vybraných parametrů z průzkumu trhu

V Tab. 3.1: Shrnutí vybraných parametrů z průzkumu trhu můžeme vidět rozpětí některých parametrů zjištěných v průzkumu trhu.

Základním parametrem pro zákazníka je světelný tok, který odpovídá elektrickému příkonu svítidla a světelné účinnosti. Tyto parametry se mohou lišit pro různou teplotu chromatičnosti, která ovlivňuje i index podání barev. Pro ujasnění uvedme obecně platný příklad. Mějme několik svítidel o stejném elektrickém příkonu a různých teplotách chromatičnosti. Svítidla s vyšší teplotou chromatičnosti (studenější barvou světla) budou dosahovat vyšší světelné účinnosti, tedy i většího světelného toku. Index podání barev bude však horší, než u teplejšího světla. To vše platí i naopak. Výběr svítidla je tedy kompromisem mezi světelnými vlastnostmi a provozními náklady na elektřinu.

Zákazník má obvykle možnost výběru řádově z jednotek až desítek provedení optiky zajišťující rozptyl světla do různých směrů. Trh nabízí čočky se symetrickou i asymetrickou distribucí světla tak, aby dané svítidlo bylo použitelné pro co nejvíce aplikací, například osvětlení ulic s chodníky, různě širokých silnic i rozlehlých prostranství, jako jsou náměstí, parky a parkoviště. Speciální čočky se využívají k osvětlení přechodů.

3.2.3 Ostatní vlastnosti a funkce

Většina svítidel disponuje stupněm krytí IP66 , tedy odolnost vůči prachu a tryskající vodě pod tlakem. Odolnost proti nárazu dosahuje hodnot IK 6 - 10, tedy náraz s energií 1 - 20 J. Doby životnosti jsou od 50 000 h do 120 000 h, při různých hodnotách L a B.

Většina svítidel nabízí variantu s řízením spotřeby elektrické energie, tedy stmíváním. Komunikace probíhá pomocí mezinárodně uznávaného protokolu DALI. Některá svítidla disponují systémy pro monitorování elektrických veličin. Tyto informace jsou odesílány a zpracovávány pro řízení údržby a snadnou identifikaci porouchaného svítidla.

Zajímavá řešení

Za povšimnutí stojí svítidlo VESPER-LED, českého výrobce VYRTYCH, které využívá COB LED čipu s vysokou světelnou účinností a dobrými vlastnostmi světla.

Zajímavým prvkem jsou odklápěcí kryty bez nutnosti použití nářadí, jako například na svítidle DALYA S (Obr. 3.3: DALYA-S, OMS [38]) slovenského výrobce OMS.



Obr. 3.3: DALYA-S, OMS [38]

Dalším poznatkem je, že některá svítidla nemají chladičí žebra na povrchu tělesa, některá jsou pouze jemně profilována.

3.3 Trendy

V této části se budeme věnovat rozboru současných trendů jak na poli osvětlovací techniky, tak v ostatních oblastech, které by se mohly problematiky VO dotýkat. Pro přehlednost jsou trendy rozděleny do několika kategorií. Neberme však kategorizaci nikterak striktně, protože mnoho trendů se objevuje v širším spektru oborů a jejich začlenění nemusí být jednoznačné.

K aktuálním trendům je vhodné během inovace přihlídnout. Mohou být zdrojem inspirace, nejsou však jednoznačně určující.

Trendy v osvětlování

- snižování spotřeby elektrické energie a provozních nákladů
- polemika nad vlivem světla na lidský organismus, především tedy studené (denní bílé) barvy světla

- nahrazování starých svítidel úspornými LED svítidly
- při nahrazování VO novými LED svítidly je obvykle využívána stará infrastruktura; vzdálenost a výška sloupů je tedy daná a někdy dochází k neuváživé volbě svítidel a nadměrnému osvětlování (provozovatele navíc netrápí zvýšená spotřeba elektrické energie, která je i tak nižší, než u původních svítidel)

Trendy v provozování zařízení

- vysoké nároky na bezpečnost provozu zařízení
- nároky na bezpečnost komunikace (především bezdrátové), opatření proti náchylnosti systémů k vnějším zásahům – šifrování
- sběr a ukládání strukturalizovaných dat v databázích a jejich následné využití pro zvyšování efektivity řízení (například údržby a dalších činností...)
- sdílení dat
- správu VO často obec neprovádí sama, ale deleguje ji na specializovanou společnost, která může zajišťovat komplexní služby, od návrhu a instalace VO, až po jeho následný provoz a správu

Trendy v ekologii

- polemika nad vlivem LED svítidel na hmyz, především krátkovlnné složky světelného spektra
- stále rostoucí světelné znečištění Země; mezi lety 2012 – 2016 byl zjištěn celosvětový nárůst osvětlené plochy o 2,2 % ročně a nárůst celkového zářivého toku 1,8 %; více světla vyzářily i už dříve osvětlené oblasti; světelné znečištění má negativní dopad na floru, faunu i lidské živobytí.
[39]
- eliminace, nejen výrobních, procesů zatěžujících životní prostředí (např. galvanické pokovování...)

- nízkoenergetická řešení

Trendy v technologiích

- inteligentní věci – dynamicky pracující systémy, které se nechovají pouze podle předem daného modelu, ale reagují na aktuální situaci, přizpůsobují se prostředí, jsou adaptabilní
- inteligentní digitální síť – jednotlivé přístroje jsou propojeny rozsáhlými sítěmi a vzájemně spolu komunikují
- IoT – internet of things (česky *internet věcí*) – zařízení propojená právě zmíněnou digitální sítí; mělo by být možné do IoT přidávat další zařízení, která budou komunikovat s ostatními; příkladem může být systém, který využívá senzory monitorující aktuální provoz na komunikaci a podle něj přizpůsobuje osvětlení komunikace; dalším krokem může být monitorování množství emisních plynů v ovzduší a promítnutí tohoto údaje do řízení dopravy
- bezdrátová komunikace (vyšší stupeň systému z pohledu TRIZ), LI-FI [41]
- cloudová úložiště – vzdálený přístup k datům
- rozvoj 3D tisku jak plastů, tak kovů
- průmysl 4.0 – vyšší stupeň automatizace výroby, autonomní řízení výroby

Obecné trendy

- kladen důraz na bezpečnost silničního provozu
- provoz autonomních vozidel
- zvyšování komplexity problémů a jejich řešení, zapojování nových vědních oborů tam, kde dříve nebyly využívány
- individualizace výrobků – výběr z mnoha variant jednoho výrobku s totožným základem
- podpora dobrého fungování složek integrovaného záchranného systému

- čerpání státních nebo evropských dotací formou projektů s různými záměry
- nárůst civilizačních onemocnění, vysoká míra stresu

3.4 Víceúrovňové schéma systémového myšlení

Způsob uvažování, známý také jako **9 oken**, nás vede k analýze technického systému včetně jeho souvislostí a to jak v prostoru (technický systém, nadsystém a podsystém), tak v čase (minulost, současnost a budoucnost). V našem případě je schéma (Tab. 3.2: Víceúrovňové schéma systémového myšlení) rozšířeno na 3 x 5 oken, celkem tedy 15. Důvodem je zaměření na více komponent nadsystému a podsystému. Zároveň jsou zahrnuty funkce a detaily jednotlivých komponent, a to i z důvodu dále popsaného.

Zvláštním postřehem totiž je, že **funkce „osvětlení celé plochy cesty/komunikace“** (hlavní funkce veřejného osvětlení) nebyla během stovek let nikdy plněna prostřednictvím jiného technického systému, než je síť svítidel VO (pomineme-li světlomety automobilů a svítily chodců, které svítí pouze lokálně...). Vývoj svítidel probíhal především v oblasti světelného zdroje, jemuž byla konstrukce svítidla vždy uzpůsobena. Ale už od starověkých loučí a olejových lamp se jednalo o koncepci svítidla montovaného na stěnu domu nebo na sloup. Nebyl tedy (v širším rozsahu) využit jiný technický systém ve smyslu např. svítících domů, svítící vozovky, svítícího svodidla, světla z družice, apod. Samotné svítidlo VO, jako technický systém, tedy neprochází zásadním vývojem v porovnání například s televizorem (kino → televizor → PC).

		Minulost	Přítomnost	Budoucnost
Nadsystém	Řízení osvětlení	Stav osvětlení pouze <i>zapnuto</i> nebo <i>vypnuto</i> , spínání závislé na času setmění a rozednění, ale ovládáno lidmi	Automatické, programovatelné nebo dálkově ovládané spínání, vypínání a stmavování osvětlení; řízení intenzity osvětlení podle statistických údajů o provozu na komunikaci - stmívání (ale stále globálně řízené)	dynamicky řízené stmívání reagující na okolní situaci v reálném čase, svícení jen v případě potřeby (např. při průjezdu auta nebo průchodu člověka); lokální osvětlení jen v místě potřeby; Li-Fi - komunikace skrz viditelné světlo
	Doprava energie	Místně doplňované palivo (petrolejové lampy), později centrální rozvod paliva (zemní plyn)	Centrální rozvod elektrické energie - elektrický systém (mechanické spojení se svítidlem)	Zdroj energie oddělitelný od centrálního rozvodu, akumulatory; soběstačná svítidla (s vlastním zdrojem energie)
Technický systém	Svítidlo VO	Konstrukce svítidla většinou z oceli, laminátu a skla, případně plastu, uzpůsobena světelnému zdroji, který využívá; často vyměnitelný světelný zdroj o různém výkonu (žárovka, výbojka...)	Hliníková konstrukce pro odvod tepla z LED svítidla, světelný zdroj nevyměnitelný - uvažován na celou dobu života svítidla, intenzita osvětlení dána jmenovitým výkonem světelného zdroje a stmívatelností	Individualizace svítidel VO pro konkrétní podmínky nasazení; konstrukce vyhovující novým světelným zdrojům; pro LED svítidla nižší požadavky na odvod tepla, tedy nižší hmotnost, zmenšování rozměrů, rozšíření možností designu svítidel
Podsystem	Světelný zdroj	Žárovka, zářivka, výbojka	LED	Pokračující vývoj LED technologie, pixelové a laserové světelné zdroje (umožňující promítání grafiky), biologické materiály, využití mikroorganismů
	Optický systém	Pouze průsvitný kryt (sklo), později částečně směřující světlo, případně reflektor odrážející světlo do spodní polokoule	Pro jedno svítidlo několik volitelných opt. systémů pro vyhovění požadavkům v dané aplikaci svítidla, většinou polykarbonát zakrytý rovným krycím sklem	Optický systém integrován v krycím skle (nebo naopak), adaptivní optický systém

Tab. 3.2: Víceúrovňové schéma systémového myšlení

3.5 Identifikace zákaznických potřeb

Identifikace zákaznických potřeb se provádí za účelem zjištění požadavků zákazníka na výrobek a následné možnosti implementace těchto požadavků do inovovaného svítidla. K potřebám zákazníků je vhodné při inovaci výrobku přihlídnout a pečlivě rozhodnout o jejich významnosti, nejsou však zcela podmiňující. V této části budou uvedeny pouze obecné základní potřeby zákazníků, které budou dále rozpracovány v kapitole 4.1 *Stanovení cílové výrobkové specifikace – QFD*.

Veřejné osvětlení je specifické tím, že zákazníkem není fyzická osoba, ale většinou obec. Nákup svítidel obcí spadá pod zákon o veřejných zakázkách. Dodavatel veřejné zakázky je vybrán prostřednictvím zadávacího (výběrového) řízení. Vybudovaná síť VO je spravována buď obcí, nebo najatou společností provozující tuto službu. Mezi správcem VO (a to i v případě správního orgánu spadajícího pod obec) a investorem/vlastníkem VO nastává někdy nejednotný postoj k výběru nových svítidel VO, kdy hlavním požadavkem z pohledu investora je nízká cena svítidel (a splnění vyhlášek, norem, ale někdy i to může být opomenuto v důsledku nedostatečné kvality zadávací dokumentace), zatímco provozovatel VO sleduje především kvalitativní parametry svítidel, jako je kvalita osvětlení, kvalita zpracování svítidla (tedy preferuje renomované výrobce), použité materiály, bezporuchovost, servisovatelnost, dostupnost náhradních dílů, hmotnost, univerzálnost, jednoduchost montáže a nízké provozní náklady.

V Příloha B) nalezneme dotazník, který sloužil pro zjištění zákaznických potřeb. Tento formulář byl vyplněn 10 respondenty (provozovateli VO). Hlavním předmětem průzkumu byl vztah zákazníků k LED svítidlům ve veřejném osvětlení a zjištění nevýhod z jejich pohledu. Dále upřesnění, které vlastnosti svítidel jsou pro zákazníky důležité.

Na následujícím afinním diagramu (Tab. 3.3: Významnost zákaznických potřeb) vidíme vyhodnocení požadavků zákazníků a jejich seřazení dle významnosti. V odpovědích v dotaznících se kromě požadavků směřujících k technickým specifikacím svítidla vyskytoval i požadavek možnosti výměny porouchaného dílu (namísto celého svítidla) a doba dodání nejen celého svítidla, ale i náhradních dílů. Dále servisní podpora po celou dobu životnosti svítidla.

Na základě této tabulky budou stanoveny specifikace inovovaného svítidla. Ekologické hledisko se ukázalo jako málo významné. Mělo by k němu však být přihlédnuto z důvodu etiky a udržitelnosti životního prostředí.

Významnost		
Malá	Střední	Velká
Ekologie	Bezúdržbovost	Nízká pořizovací cena
Snadná údržba	Krátká doba dodání	Nízké provozní náklady
Úhlová nastavitelnost	Zákaznický servis	Kvalitní osvětlení
Vzhled		
Snadná montáž		
Odolnost vůči okolním vlivům		

Tab. 3.3: Významnost zákaznických potřeb

3.6 Inovační prohlášení

V inovačním prohlášení shrneme požadavky na inovované svítidlo vycházející z dosavadních investigativních aktivit. Zohledněny jsou jak informace získané z průzkumu trhu, tak z rozboru trendů, vývoje techniky i průzkumu zákaznických potřeb.

Předpoklady

Svítidlo rozvíjí dosavadní model LV LEDOS, zaměřuje se na odstranění jeho nedostatků, zlepšení jeho stávajících vlastností. Mezi hlavní cíle patří snížení hmotnosti, snížení zátěže příruby, nebo zvýšení její mechanické odolnosti, snížení provozních nákladů, snadná montáž a údržba svítidla při zachování dobré kvality osvětlení, úhlové nastavitelnosti a odolnosti vůči okolním vlivům. Zohledněny budou funkce svítidla respektující trendy, jako například provoz autonomních vozidel, koncept chytrých měst, internet věcí, bezdrátová komunikace, atd.

4 Generování konceptů

V této části práce se budeme zabývat návrhem konceptů inovovaného svítidla na základě informací zjištěných v předchozích kapitolách. Pro dosažení uspokojivých výsledků využijeme metod inovačního inženýrství, které umožňují specifikovat parametry výrobku, eliminovat jeho nevýhody, případně nalézt nová řešení a to vše systematickou cestou.

4.1 Stanovení cílové výrobné specifikace – QFD

Metoda QFD (Quality Function Deployment) slouží k promítnutí zákaznických potřeb do výrobku. Jejím cílem je stanovení parametrů výrobku tak, aby co nejlépe naplňoval požadavky zákazníků.

Rozpracování zákaznických potřeb

Následující tabulka (Tab. 4.1: Rozpracované zákaznické potřeby) podrobněji popisuje zákaznické potřeby a přiděluje jim váhy od 1 do 10. Některým obecným potřebám je přiřazeno několik podružných konkrétnějších potřeb, které společně naplňují danou obecnou potřebu. Některé požadavky zjištěné dotazníkovým šetřením zde nenalezneme, protože parametry výrobku nemají na jejich plnění vliv. Řeč je například o době dodání svítidla nebo o kvalitě zákaznického servisu.

Č.	Obecná potřeba	Č.	Podružná potřeba	Váha
1	Nízká pořizovací cena	1	Nízká pořizovací cena	10
2	Nízké provozní náklady	2	Nízká spotřeba elektrické energie	9
		3	Levná údržba / bezúdržbovost	7
3	Kvalitní osvětlení	4	Rovnoměrné osvětlení v celém prostoru	9
		5	Dobrá rozeznatelnost objektů a jejich barev	7
4	Odolnost vůči okolním vlivům	6	Odolnost vůči větru	8
		7	Odolnost vůči vodě	8
		8	Odolnost vůči vlhkosti	7
		9	Odolnost vůči teplotním výkyvům	7
		10	Odolnost vůči nečistotám	5
		11	Odolnost vůči ptákům	5
		12	Odolnost vůči hmyzu	2
5	Bezúdržbovost	13	Bezporuchovost	7
		14	Dlouhá životnost	7
6	Snadná montáž	15	Malá upevňovací síla	5
		16	Nízký počet montážních úkonů	3
		17	Snadná manipulace při montáži	5
		18	Snadné montážní úkony	4
7	Ekologie	19	Použití ekologických materiálů	4
		20	Minimalizace světelného znečištění	7
		21	Nízká spotřeba elektrické energie (opakuje se)	-
		22	Ekologická výroba	4
8	Snadná údržba	23	Jednoduchý přístup k měněným dílům	3
		24	Snadná identifikace poruchy	5
		25	Snadná demontáž/montáž dílů	3
9	Úhlová nastavitelnost	26	Úhlová nastavitelnost	3
10	Vzhled	27	Vzhled	2

Tab. 4.1: Rozpracované zákaznické potřeby

Technické charakteristiky výrobku

V následující tabulce (Tab. 4.2: Technické charakteristiky výrobku) vidíme technické charakteristiky výrobku, které mají vliv na plnění zákaznických potřeb. Každé charakteristice je přiřazena síla vazby na zákaznickou potřebu (1 – 5) a fyzikální jednotka, ve které se měří.

Charakteristika	Vazba na potřebu	Jednotky	Charakteristika	Vazba na potřebu	Jednotky
Plocha chladiče	4	m ²	Upevňovací síla/moment	5	N, N·m
Světelná účinnost	5	lm·W ⁻¹	Počet spojovacích dílů k upevnění	4	ks
Doba životnosti dílů	4	h	Hmotnost	3	kg
Počet komponent	3	ks	Délka	4	mm
Počet druhů optických systémů	3	-	Výška	2	mm
Světelný tok	4	lm	Šířka	3	mm
Index podání barev	4	-	Doba rozkladu materiálu v přírodě	1	rok
Teplota chromatičnosti světla	4	K	Počet dílů recyklovatelných	3	ks
Boční plocha	4	m ²	Počet dílů vyžadujících odbornou likvidaci	2	ks
Horní plocha	4	m ²	Počet dílů značně zatěžujících přírodu při výrobě	2	ks
Stupeň krytí IP	5	-	Úroveň snížení osvětlení	4	%
Maximální pracovní teplota elektroniky	4	°C	Počet spojovacích dílů k otevření svítidla	3	ks
Minimální pracovní teplota elektroniky	4	°C	Počet spojovacích dílů pro výměnu dílů	2	ks
Tepelná vodivost chladiče	4	W·m ⁻¹ ·K ⁻¹	Průměr vstupního orvoru do svítidla	3	mm
Zatížitelnost upnutí ke sloupu	3	N·m	Úhlová nastavitelnost	5	°

Tab. 4.2: Technické charakteristiky výrobku

4.1.1 Matice QFD

Z předchozích dvou tabulek (Tab. 4.1 a Tab. 4.2) byly vybrány vhodné zákaznické potřeby a charakteristiky výrobku pro zahrnutí do matice QFD, kterou nalezneme v Příloha C). Jejím hlavním účelem je vyhodnotit, vazby jednotlivých parametrů (technických charakteristik) výrobku na zákaznické potřeby. Horní část matice znázorňuje korelace mezi charakteristikami výrobku. V prostřední části nalezneme bodové hodnocení již zmíněných vazeb. Spodní část přiřazuje každému parametru směr jeho zlepšování, absolutní významnost, relativní významnost, která je zvýrazněna barevným přechodem od červené, přes žlutou až po zelenou, kde červená barva značí nejvyšší relativní významnost. Ve spodní části dále nacházíme jednotky parametru, navrhovanou hodnotu, stávající hodnotu, cílovou hodnotu,

hodnoty konkurence, zjištěné z průzkumu trhu a porovnání našeho výrobku s konkurencí bodovým hodnocením, na základě kterého je stanovena cílová hodnota parametru. V pravé části se nachází porovnání našeho svítidla s konkurencí z průzkumu trhu z hlediska plnění zákaznických potřeb.

Vyhodnocení matice QFD

Výchozí svítidlo pro inovaci se ukázalo jako poměrně konkurenceschopné v mnoha parametrech na prvních místech významnosti. Řeč je například o době životnosti, stmívatelnosti, ploše chladiče, tepelné vodivosti chladiče a maximální pracovní teplotě, která dosahuje 90 °C, což je hodnota vyčnívající nad konkurencí. Bylo tedy navrženo snížení maximální pracovní teploty na úroveň nejlepších konkurenčních výrobků, tedy na 60 °C.

Jako podprůměrné se výchozí svítidlo jeví v důležité hodnotě stupně krytí IP, kde dosahuje hodnoty IP65. Bylo navrženo zvýšení stupně krytí na IP66, kterým disponuje naprostá většina svítidel na trhu. Další důležitou oblastí jsou parametry týkající se kvality osvětlení, kde by bylo vhodné zlepšit distribuci světla pomocí optického systému.

Ze středně důležitých parametrů stojí za zmínění světelná účinnost, kterou by bylo vhodné pokud možno lehce zvýšit. Dále zde nacházíme horní plochu svítidla, kterou je vhodné z hlediska větru minimalizovat. Dochází zde však k technickému rozporu s plochou chladiče, kterou je nutné naopak zvětšit a má vyšší prioritu.

Dále se můžeme zaměřit na zvýšení indexu podání barev, snížení hmotnosti, úhlovou nastavitelnost a snadnost montáže a údržby. Nezmíněné parametry jsou na spodních příčkách žebříčku významnosti a nemá smysl jim věnovat velkou pozornost.

Hodnoty parametrů navržené na základě QFD vidíme tabulce (Tab. 4.3: Hodnoty parametrů navržené na základě QFD).

Parametr výrobku	Jednotka	Cílová hodnota:
Plocha chladiče	m ²	↑
Světelná účinnost	lm·W ⁻¹	120 - 140
Doba životnosti dílů	h	125 000
Počet komponent	ks	↓
Počet druhů optických systémů	-	7
Světelný tok	lm	3 200 - 15 000
Index podání barev	-	> 80
Teplota chromatičnosti	K	3000 - 4000
Boční plocha	m ²	↓
Horní plocha	m ²	↓
Stupeň krytí IP	-	66
Maximální pracovní teplota	°C	+60
Minimální pracovní teplota	°C	-40
Tepelná vodivost chladiče	W·m ⁻¹ ·K ⁻¹	235
Upevňovací síla/moment (na sloup)	N·m	20
Počet spojovacích dílů k upevnění	ks	1
Hmotnost	kg	7 - 9
Délka	mm	750
Úroveň snížení osvětlení	%	10
Počet spojovacích dílů k otevření	ks	2
Průměr vstupního orvoru do svítidla	mm	↑
Úhlová nastavitelnost	°	120

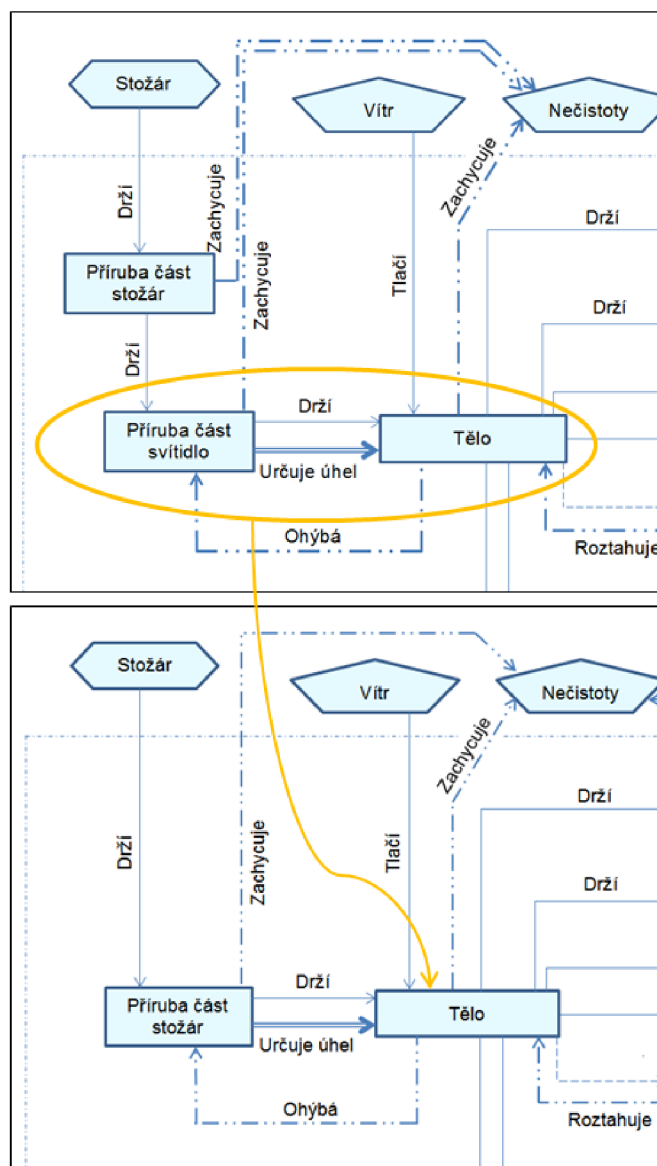
Tab. 4.3: Hodnoty parametrů navržené na základě QFD

4.2 Metody tvůrčí kreativity – TRIZ

Nástroje metody TRIZ (tvorba a řešení inovačního zadání) umožňují systematicky směřovat k evoluci vývoje namísto následování vektoru psychické setrvačnosti. Konkrétně využijeme metodu zvanou *funkčně objektová analýza a search*.

4.2.1 Funkčně objektová analýza

V Příloha D) můžeme vidět model funkčně objektové analýzy svítidla veřejného osvětlení. Nabízí se provést trimming, kde tělo svítidla přebírá funkce příruby – část svítidlo. Tělo svítidla je tedy nutné upravit tak, aby mohlo být drženo přírubou – část stožár a mohl být zároveň nastavován úhel. To lze provést integrací části příruby do těla svítidla.



Obr. 4.1: Úprava modelu funkční analýzy (trimming)

4.2.2 Search

Vyhledávání bylo zaměřeno jak na komplexní řešení svítidel, a to převážně v patentové literatuře, tak na dílčí technologie, a to převážně v literatuře nepatentové.

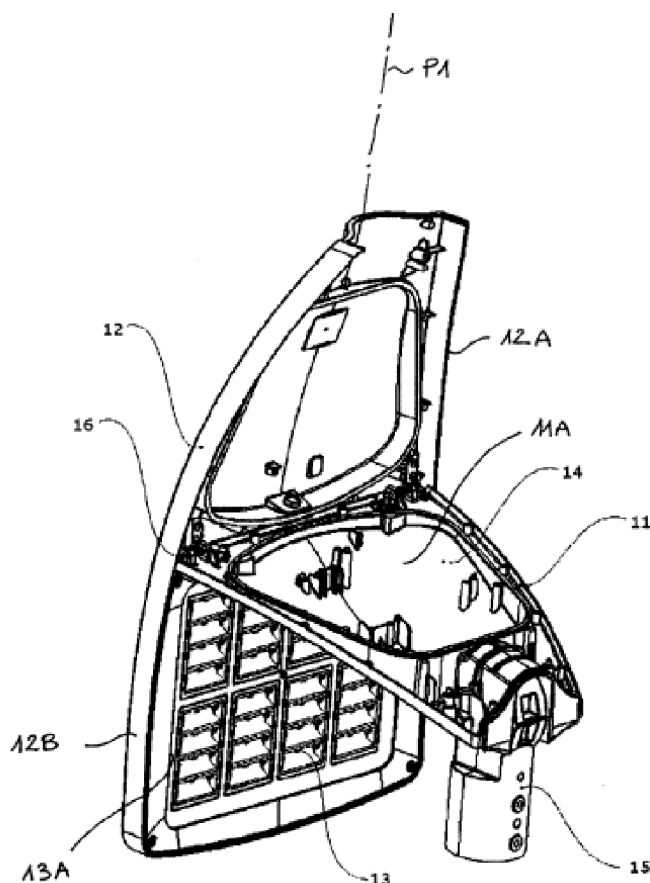
Průzkum patentové literatury

Vyhledávání v patentové literatuře bylo zaměřeno především na celkový koncept konstrukčního řešení svítidla. K průzkumu byly využity stránky Úřadu průmyslového vlastnictví (ÚPV) [42], Google Patents [43] a PatentInspiration [44]. Vyhledáváno bylo podle třídníku ÚPV, vybrán především index třídy: **F21S8/08**. (F:

MECHANIKA; OSVĚTLOVÁNÍ; TOPENÍ; ZBRANĚ; PRÁCE S TRHAVINAMI; F21: OSVĚTLOVÁNÍ; F21S: NEPŘENOSNÁ OSVĚTLOVACÍ ZAŘÍZENÍ; JEJICH SYSTÉMY; OSVĚTLOVACÍ ZAŘÍZENÍ PRO VOZIDLA ZVLÁŠTĚ UPRAVENÁ PRO VNĚJŠÍ STRANU VOZIDEL [1,7]; F21S8/00: Osvětlovací zařízení určená k pevné montáži (F21S 9/00, F21S 10/00 mají přednost; využívající šňůry nebo pásy se světelnými zdroji F21S 4/00) [7,8]; F21S8/08: s měřítkem (úrovňová) [7,8]) Výsledky hledání byly následně zpřesňovány pomocí klíčových slov, jako svítidlo, pouliční, veřejné, LED, luminaire, spot, lighting atd. (databáze ÚPV obsahuje patenty s platností na území ČR, tedy patenty jak české, tak evropské, které jsou v anglickém jazyce). Z pohledu vyhledávání konstrukčních koncepcí svítidel veřejného osvětlení se třídění ÚPV nejvíce jeví jako uživatelsky přívětivé. Mnoho patentů je již zastaralých a po provedení důkladného průzkumu trhu nepřinesl průzkum patentů ÚPV žádné nové zajímavé poznatky.

Vyhledávání na Google Patents a PatentInspiration bylo provedeno pomocí klíčových slov (a jejich modifikací): street, public, road, light, device, apparatus, maintenance...

Patent US20150023020A1 Chyba! Nenalezen zdroj odkazů. popisuje konstrukci LED svítidla veřejného osvětlení, která umožňuje pohodlnou údržbu, případně výměnu elektrických komponent svítidla (Obr. 4.2: Svítidlo dle patentu US20150023020A1). Tyto komponenty jsou umístěny ve spodním krytu svítidla. Horní kryt je připojen pomocí otočných kloubů, které umožňují jeho odklopení a snadný přístup do svítidla shora. Výhodou je, že odklopený kryt spočívá ve své poloze díky poloze těžiště, které se nachází od kloubu směrem k LED modulu. Nevýhodou tohoto řešení je komplikovanější přístup k LED modulu (pravděpodobně šrouby, nebo lepené sklo bez přístupu k LED modulu) v porovnání se svítidlem LV LEDOS, které je v tomto ohledu značně pokročilé (snadný přístup pomocí sponek držících sklo).



Obr. 4.2: Svítidlo dle patentu US20150023020A1 [45]

Průzkum nepatentové literatury

Průzkum nepatentové literatury byl zaměřen především na funkce elektrického a elektronického vybavení svítidla.

DALI Alliance

DALI Alliance je celosvětová organizace zaměřená na mezinárodní standardizaci protokolů pro digitální komunikaci mezi ovládacími zařízeními svítidel. Certifikát vydaný touto společností zajišťuje vzájemnou kompatibilitu jednotlivých komponent svítidla (v případě, že všechny komponenty mají stejný certifikát). Většina výrobců svítidel z celého světa se řídí těmito standardy. Základním stupněm je standard DALI® (zkratka anglického Digital Addressable Interface). Certifikační program DALI-2™ přináší značně vylepšenou schopnost provozu zařízení umožňujících snímání a sběr dat. Program D4i™ rozšiřuje DALI na úroveň inteligentních svítidel podporujících internet věcí (IoT ready). Bohaté jsou

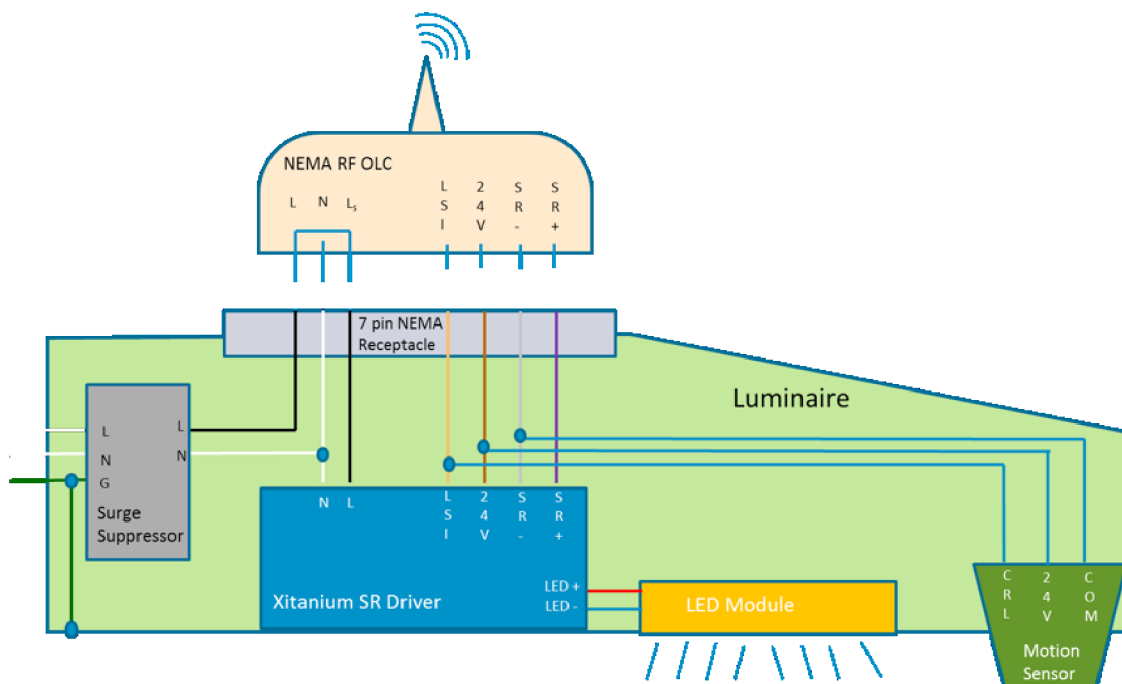
možnosti konektivity využívající bezdrátové sítě založené na internetových protokolech (unikátních IP adresách). [46]

ZHAGA Consortium

ZHAGA Consortium je otevřené celosvětové sdružení společností zabývajících se světelným průmyslem. Jejím cílem je standardizace LED svítidel a jejich jednotlivých komponent takovým způsobem, aby bylo možné je začlenit do internetu věcí (IoT). Důležitými prvky jsou detekce, snímání, sběr dat a obousměrná komunikace umožňující jak odesílání nasbíraných dat, tak příjem dat pro inteligentní řízení osvětlení zajišťující řízení spotřeby energie podle aktuální situace například provozu na komunikaci, atd. Výhodou standardizace je kompatibilita komponent a možnost jejich výměny za jiné během doby životnosti svítidla. Například je možné instalovat svítidla připravená pro integraci do internetu věcí, případně konceptu chytrého města. Samotné připojení svítidel k této síti však může proběhnout až po několika letech od instalace. Jinými slovy, svítidla pro IoT mohou být instalována dříve, než je spuštěna samotná síť IoT. Porovnání očekávané životnosti svítidla, například 20 let, a rychlosti vývoje technologií je dalším argumentem pro používání standardizovaných komponent. Díky tomu bude možná například výměna ovládacího (a komunikačního) zařízení svítidla spolu s příchodem nových technologií v oblasti komunikace a internetu věcí. [48]

Driver

Databáze certifikovaných zařízení na internetových stránkách DALI Aliance [46] bylo využito pro vyhledání LED driveru vyhovujícího našim výkonovým požadavkům, který je zároveň v souladu s D_{4i}TM. Jedná se například o **Advance Xitanium SR LED driver XI150C070V235VSF1** o jmenovitém výstupním výkonu 150 W, výstupní proud 0,07 – 0,7 A a napětí 78 – 235 V. Bližší informace k nalezení v katalogovém listu produktu [74] [47]. Informace o možnosti připojení senzorů k tomuto driveru je zahrnuta již v jeho názvu – zkratka SR (z anglického Sensor Ready). Schematické znázornění zapojení jednotlivých komponent můžeme vidět na Obr. 4.3: Schéma zapojení komponent [47].



Obr. 4.3: Schéma zapojení komponent [47]

Ovládací zařízení (Controller)

Ovládací zařízení, někdy též nazýváno anglicky jako **controller**, slouží ke komunikaci svítidla a často mívá zabudovaný i světelný senzor pro možnost spínání osvětlení dle množství denního světla dopadajícího na svítidlo, respektive na osvětlovaný prostor. Základním požadavkem na ovládací zařízení je splnění ZHAGA certifikace, a to z důvodů popsaných výše. Jedním ze světových výrobců controllerů splňujících ZHAGA certifikaci je nizozemská společnost TVILIGHT. Její zařízení splňují požadavky na začlenění do IoT a nabízí široké možnosti komunikace a řízení osvětlení. Bližší informace o controlleru **OpenSky Zhaga IoT** (Obr. 4.4: OpenSky Zhaga IoT Streetlight Controller [75]) nalezneme v produktovém listu [75]. Dalším potenciálně vhodným ovládacím zařízením je controller **PR155901 SkyLite Prime Zhaga**, bližší informace v produktovém listu **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**



Obr. 4.4: OpenSky Zhaga IoT Streetlight Controller [75]

Možnosti detekce v provozu

Senzory vhodné pro detekci objektů v dopravním provozu je možné rozdělit na *aktivní* a *pasivní*. Aktivní vysílají energii, kterou následně odraženou přijímají, zatímco pasivní senzory pouze přijímají energii z okolí. Mezi aktivní senzory patří radar (mikrovlnný), lidar (laserový scanner), sonar (ultrazvukový senzor), naopak mezi pasivní řadíme senzor viditelného světelného spektra (běžná kamera, případně jejich dvojice) a senzor infračerveného spektra. Každý ze zmíněných způsobů detekce má své výhody, nevýhody a omezení, jako je například vliv prostředí (světelné podmínky, počasí - mlha a déšť, teplota, tlak), omezení vzdáleností, interpretace signálu, případně vytvoření 2D nebo 3D obrazu. [49]

Jako vhodný se jeví **Dopplerův (mikrovlnný) radar**, který může využívat několika principů. Jednak měření rychlosti objektu pomocí Dopplerova jevu, který spočívá ve změně vlnové délky paprsku odraženého od objektu. Po zachycení tohoto paprsku radar vypočítá rychlost pohybujícího se objektu. Druhým způsobem je vysílání signálu s modulovanou frekvencí, nebo fázovým posunutím. Měřením času zpoždění navraceného signálu je možné určit vzdálenost i nepohybujících se objektů a tvořit tak v podstatě velice zjednodušený 3D obraz prostředí. Přesnost nebo rozlišení tohoto obrazu jsou však velice nízké ve srovnání s lidarem nebo kamerou. Mezi hlavní výhody Dopplerova radaru patří schopnost detekce v různých

provozních podmínkách (déšť, sníh, špatná viditelnost, tma) a možnost snímání objektů na dlouhou vzdálenost. [49]

Dalším výhodným způsobem detekce je **snímání viditelného spektra**. Obraz z kamery je nejbližší lidskému vnímání a rozpoznávací schopnosti. Možná proto je výzkumu rozpoznání obrazu věnována velká pozornost a v algoritmech detekce objektů panuje příslušná rozmanitost (bližší informace k metodám analýzy obrazu a rozpoznání objektů viz. [49]). Výhodou kamer je, že jsou běžné a levné. Díky tomu, že se jedná o pasivní senzor, nemůže nastat problém s interferencí signálu. Omezením jsou světelné podmínky prostředí. [49]

Dopplerův senzor (Infineon)

Společnost Infineon zabývající se polovodičovou mikroelektronikou produkuje mimo jiné Dopplerovy senzory, které jsou aplikovatelné i pro systémy veřejného osvětlení. Mezi základní modely patří *Sense2GoL*, *Distance2Go* a *Position2Go* pracující na frekvenci 24 GHz. Jednotlivé modely disponují funkcemi dle Tab. 4.4: Porovnání senzorů Infineon **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů..**

Název senzoru	Sense2Go	Distance2Go	Position2Go
Možnosti detekce	Pohyb	Pohyb	Pohyb
	Rychlost	Rychlost	Rychlost
	Směr*	Směr*	Směr*
		Vzdálenost	Vzdálenost
			Úhel

*Směr pohybu objektu ve smyslu přibližování se nebo vzdalování vůči radaru

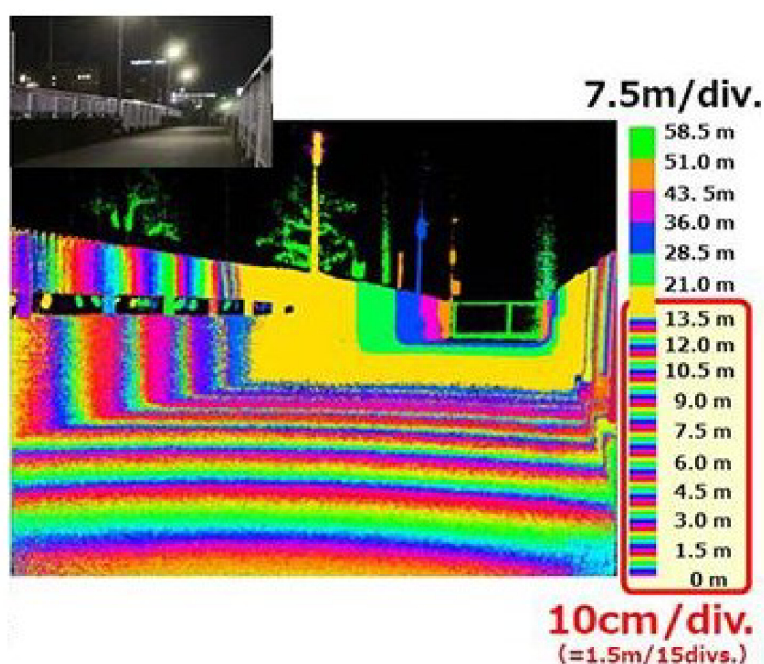
Tab. 4.4: Porovnání senzorů Infineon **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů..**

Mezi výhody modelu **Position2Go** patří schopnost detekce a stopování několika pohybujících se objektů zároveň. Díky detekci úhlu sledovaného objektu je možné určit jeho rychlost ve směru tečném vůči radaru, nikoli jen normálovém, jako u nižších modelů. Vzdálenost detekce 1 – 25 m (12 m v případě člověka), zorné pole v rovině horizontální 76°, v rovině vertikální 19°. [51]

TOF kamera (Panasonic)

Japonská společnost Panasonic se zabývá mimo jiné vývojem takzvaných TOF kamer (zkratka z anglického Time of Flight). TOF kamera umožňuje jak získání běžného 2D obrazu okolí, tak zaznamenání třetího rozměru, a to díky měření doby

letu světla. Kamera je vybavena běžným obrazovým senzorem, zdrojem světelných pulzů a přijímačem odrazů těchto pulzů. Přijímač pulzů je senzor rozdělený na pixely podobně jako běžný obrazový senzor. Odlišuje se však svou citlivostí. Běžně jsou TOF kamery schopny měřit vzdálenost objektů max. v řádech jednotek metrů. Omezení plyne z neschopnosti detekce slabých světelných signálů odražených od vzdálených objektů. V roce 2018 však Panasonic představil TOF senzor schopný měřit vzdálenost objektů až 250 m. V roce 2020 řešení ještě vylepšil zjemněním intervalu vzdálenosti z 1,5 m na 10 cm díky kombinaci přímého a nepřímého TOF výpočtu. Senzor využívá pro záznam světla speciální fotodiody, tzv. APD (avalanche photodiode). Běžné fotodiody produkují z jednoho fotonu jeden elektron. APD však působí silným elektrickým polem na vyprodukovaný elektron, čímž způsobuje silné kolize elektronu s dalšími elektrony. Tím dochází k lavinovému efektu, který vyúsťuje v desetitisícové znásobení původního elektronu. Rozlišení senzoru je 1 milion pixelů. [52] [53] Na Obr. 4.5: Zpracování obrazu TOF senzorem [52] můžeme vidět ukázkou zpracování obrazu TOF senzorem Panasonic.



Obr. 4.5: Zpracování obrazu TOF senzorem [52]

Společnost Panasonic má s TOF kamerami a zpracováním obrazu včetně měření vzdálenosti spojeno množství patentů, jako například: US20160259057A1, US20210118926A1, US20210011130A1, US20200150271A1, US20200018824A1,

US20190293791A1. Patenty jsou zařazeny do třídy G01S17/10 - měřicí systémy využívající odrazu nebo zpětného záření elektromagnetických vln jiných, než radiových vln, například lidarové systémy - využívající přenosu přerušovaných, pulzně modulovaných vln. [43][54]

V2X komunikace

Automobilový průmysl pravděpodobně směřuje k automatizovanému řízení a později nejspíše i k plně autonomním vozidlům. Ruku v ruce s tímto trendem jdou požadavky na komunikaci vozidel, a to především vzájemně mezi sebou a zároveň mezi vozidlem a infrastrukturou. Mluvíme tedy o tzv. **V2V komunikaci** (zkratka z anglického Vehicle to Vehicle) v prvním případě a ve druhém o **V2I komunikaci** (z anglického Vehicle to Infrastructure). Souhrnně se komunikace mezi vozidlem a libovolným jiným objektem označuje jako **V2X komunikace**. Sdílení informací o okolí vozidla je pro automatizaci řízení zcela klíčové. Mělo by umožňovat bezpečnější, efektivnější a udržitelnější dopravu. [55] [56]

SAE International - celosvětová asociace techniků a expertů zabývajících se leteckým a kosmickým průmyslem, automotive a průmyslem komerčních vozidel dělí automatizaci řízení do 6 úrovní (0 - 5). Úroveň 0 zahrnuje pouze funkce vozidla podporující řidiče varovnými signály a momentální asistencí. Patří sem například automatické nouzové brzdění, hlídání slepého úhlu, varování opouštění jízdního pruhu. [58] Dle popisu této kategorie sem spadá například monitorování dopravních značek, případné upozornění na překročení rychlostního limitu a vlastně zpracování jakékoliv informace z dopravní situace, kterou jízdní asistenti zprostředkují řidiči za účelem jeho lepší orientace. Například to může být informace o blížícím se vozidle IZS, nebo blížící se překážce na silnici, atd. Z toho vyplývá, že i pro řidiče vozidel s nejnižším stupněm automatizace mohou být přínosné informace, které vozidlo obdrží z okolní infrastruktury, vozidel, objektů. V2X komunikace tedy není nutně spojena pouze s nástupem vozidel s vyššími stupni automatizovaného řízení. Naopak může najít své uplatnění i ve vozidlech plně ovládaných řidičem.

„Pro komunikaci mezi jednotlivými vozidly navzájem a vozidly a infrastrukturou se v současnosti využívá především tzv. **hybridní komunikace** na bázi technologie ITS-G5 (tzv. „WiFi pro vozidla“) a již existující technologie LTE

(vysokorychlostní přenos dat v mobilních sítích). Pro technologii ITS-G5 je určeno frekvenční pásmo 5,9 GHz (jde o DSRC, neboli o komunikaci na krátkou vzdálenost).“ [57]

Zařízení vhodné pro zajištění V2X komunikace může být například modul THEO-P173 (Obr. 4.6: Modul THEO-P173 [61]). Modul vyráběný švýcarskou společností u-blox využívá výše zmíněné technologie ITS-G5 a je v souladu se standardem 802.11p, který specifikuje požadavky na zařízení používaná pro bezdrátový přístup v automobilovém prostředí.[60] [61]



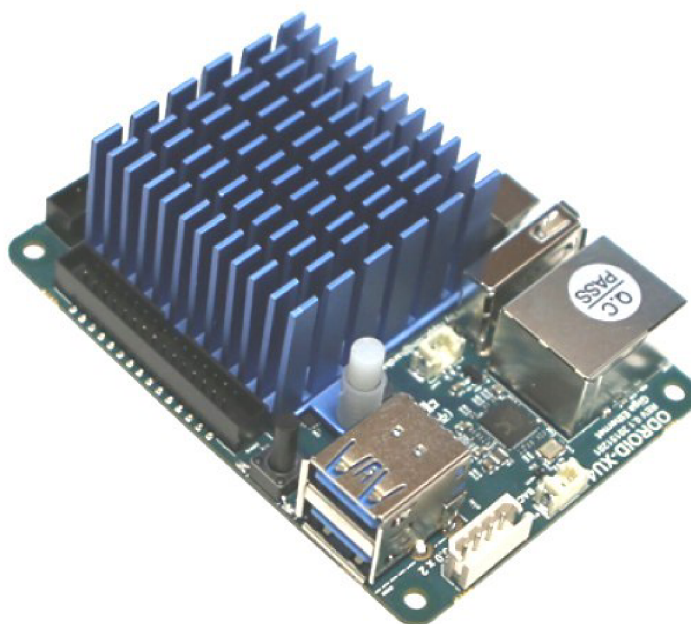
Obr. 4.6: Modul THEO-P173 [61]

Rozpoznání obrazu

Tato práce se zabývá spíše návrhem fyzického zařízení, než softwaru. Proto zde nebude věnována větší pozornost principu softwarového zpracování obrazu a rozpoznání objektů. Jako autor práce považuji za vhodné pouze zmínit, že existují softwary pro rozpoznání a stopování objektů na obraze. Ve spojení s TOF kamerou by mělo být snadné i přiřazení vzdálenosti jednotlivým objektům na obraze a tím vlastně určit polohu objektů v prostoru vzhledem k umístění kamery. Příkladem je vědecká práce [62], kde bylo pro stanovení vzdálenosti objektu využito lidaru namísto TOF senzoru. Přiřazení objektu zaznamenaného TOF senzorem k jeho ekvivalentu zaznamenaného běžnou kamerou by mělo být dokonce výrazně jednodušší vzhledem k tomu, že TOF senzor i kamera zaznamenávají takřka shodný obraz a přiřazení kontur jednotlivých objektů je snadnější mezi těmito obrazy, než v případě „obrazu“ tvořeného lidarem. Dalším příkladem je práce zabývající se

hardwarem i softwarem pro chytrou kameru pro silniční provoz. Je zde popsán algoritmus pro odhad délky fronty vozidel, detekci vozidel, počítání vozidel a odhad jejich rychlosti, určení typu vozidla a jeho barvy.

Jako výpočetní zařízení zpracovávající operace sloužící pro detekci a rozpoznání předmětů v obraze, případně stanovení jejich kinematických veličin ve spojení s TOF kamerou, by mohla sloužit například deska **Odroid XU4Q** (Obr. 4.7: Výpočetní deska Odroid XU4Q [64]). [64]



Obr. 4.7: Výpočetní deska Odroid XU4Q [64]

4.3 Volba LED čipů

LED čipy jsou komponenty zajišťující hlavní funkci svítidla, tedy generují světlo. Proto jejich výběru byla věnována náležitá pozornost. Požadované parametry LED čipů vychází především z matice QFD (Tab. 4.3: Hodnoty parametrů navržené na základě QFD). Primárním požadavkem byla co nejvyšší světelná účinnost [lm/W], která byla dopočítávána z údajů uvedených v katalogích. Dále bylo vyžadováno splnění následujících parametrů:

- teplota chromatičnosti: 4 000K
- CRI: >80

- max. pracovní teplota: 60 °C
- min. pracovní teplota: -30 °C
- životnost: 125 000 h
- počet LED čipů ve svítidle max. 40 (pro celkový světelný tok max. 15 000 lm)

Dle těchto parametrů byly vytipovány čipy z katalogů 4 výrobců – Lumileds (Philips – Nizozemsko), Nichia (Japonsko), OSRAM (Německo), Samsung (Jižní Korea). Přičemž jako nejúčinnější se ukázaly čipy značky Samsung se světelnou účinností 169 lm/W při splnění ostatních parametrů, kromě životnosti, kterou žádný z výrobců přímo nedeklaruje.

Pro inovované svítidlo byly zvoleny čipy Samsung řady LH502C (Obr. 4.8: LED čip Samsung řada LH502C [65]). Produktový kód čipu: SPHWH1L5N605YET5A2 – CRI: min. 80, jmenovité napětí: 6,1 – 6,3 V, CCT: 4 000 K, binning: MacAdam 5-Step, světelný tok: 640 – 680 lm při jmenovitém proudu: 640 mA.



Obr. 4.8: LED čip Samsung řada LH502C [65]

Počet LED čipů ve svítidle

Počet LED čipů ve svítidle n stanovíme z požadovaného celkového světelného toku svítidla Φ_s a středního světelného toku jednoho LED čipu $\Phi_{1stř}$.

Pro požadavek $\Phi_s = 3\,200$ lm:

$$n = \frac{\Phi_s}{\Phi_{1stř}} = \frac{3\,200}{660} = 4,85 [-]. \quad (4.1)$$

Volíme $n = 5$, potom pro Φ_s platí:

$$\Phi_s = n \cdot \Phi_{1stř} = 5 \cdot 660 = 3\,300 [lm]. \quad (4.2)$$

Stejně tak pro požadavek $\Phi_s = 15\,000$ lm:

$$n = \frac{\Phi_s}{\Phi_{1stř}} = \frac{15\,000}{660} = 22,73 [-]. \quad (4.3)$$

Volíme $n = 23$, potom pro Φ_s platí:

$$\Phi_s = n \cdot \Phi_{1stř} = 23 \cdot 660 = 15\,180 [lm]. \quad (4.4)$$

4.4 Jednotlivé koncepty

Tato kapitola se věnuje popisu celkem 5 navržených konceptů, které dosahují různých inovačních řádů a zaměřují se jak na vylepšení funkcí výchozího svítidla, tak na přidání nových funkcí.

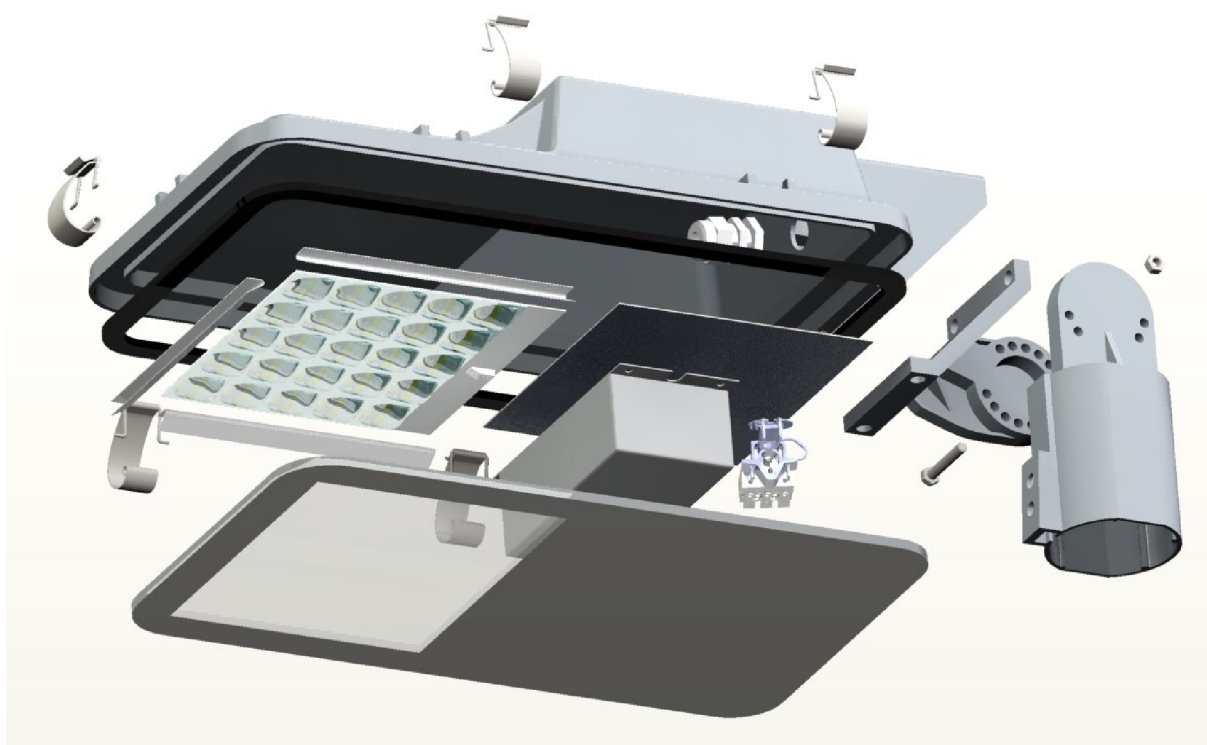
Změna konstrukce se týká jak svítidla samotného, tak jeho příruby. Převážně by bylo možné uzpůsobit vzájemně libovolné svítidlo s libovolnou přírubou. Pokud se bude jevit některá z přírub významně vhodnější pro vítězný koncept, bude vítězný koncept přepracován na příslušnou přírubu.

4.4.1 Koncept – MODUS 2

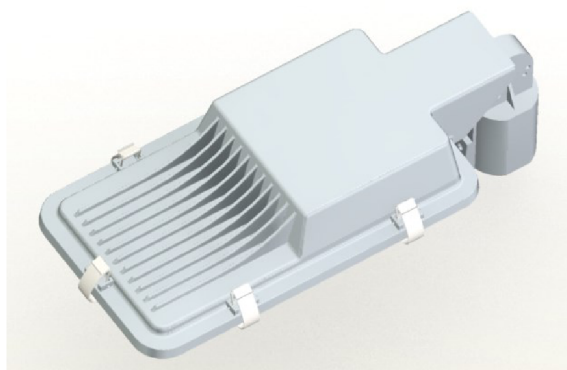
Koncept pojmenovaný MODUS 2 (Obr. 4.9: Koncept MODUS 2 – rozpad, Obr. 4.10: Koncept MODUS 2, Obr. 4.11: Koncept MODUS 2 z boku) vychází do značné míry z původního svítidla LV LEDOS. Je zachována konstrukce svítidla ve smyslu nosného horního hliníkového krytu, ke kterému jsou montovány všechny ostatní komponenty, jako LED modul, elektrické komponenty, příruba a zespodu je sponkami připevněno krycí sklo, s černou povrchovou úpravou vyjma průhledné části skla pod LED modulem.

Svítilno MODUS 2 je vybaveno kompaktnějším LED modulem, který je především kratší. Zároveň uspořádání komponent ve svítidle je upraveno tak, aby tvar svítidla byl zkrácen a rozšířen. Tím dochází k posunutí těžiště svítidla blíže ke stožáru a je tak sníženo namáhání příruby. Bližší popis příruby nalezneme v kapitole 4.4.6 Řešení přírub.

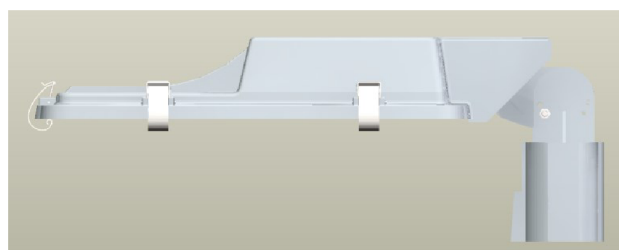
LED driver umožňuje obousměrnou komunikaci pomocí DALI a stmívání svítidla řízené centrálně, nebo dle přednastaveného schématu.



Obr. 4.9: Koncept MODUS 2 – rozpad



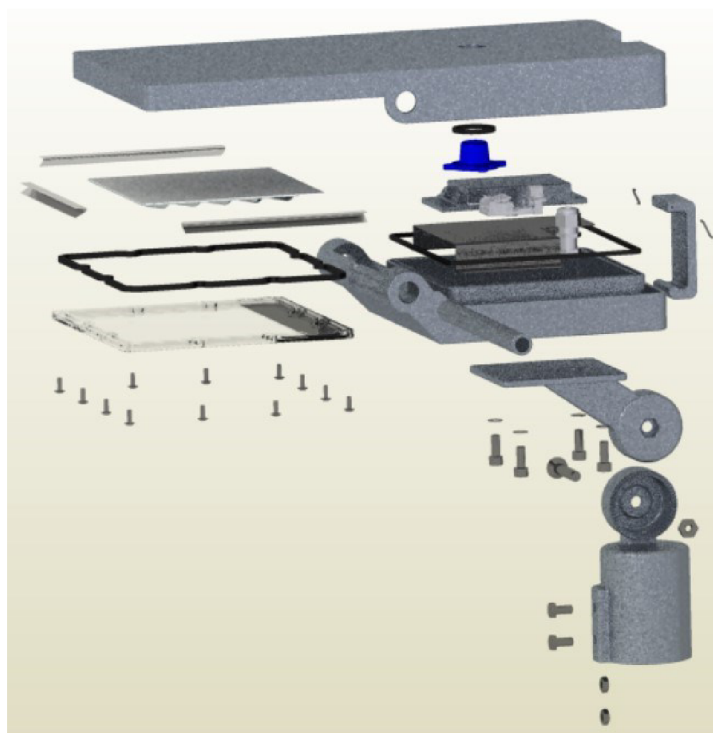
Obr. 4.10: Koncept MODUS 2



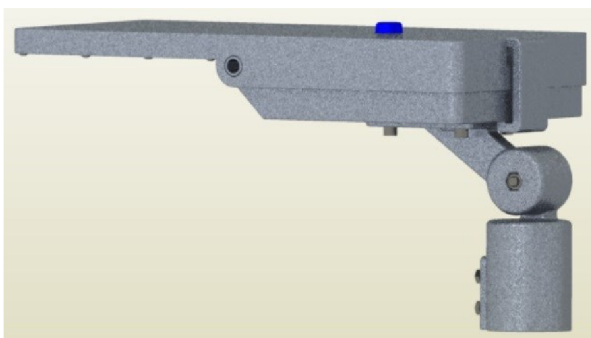
Obr. 4.11: Koncept MODUS 2 z boku

4.4.2 Koncept – Sklopné svítidlo

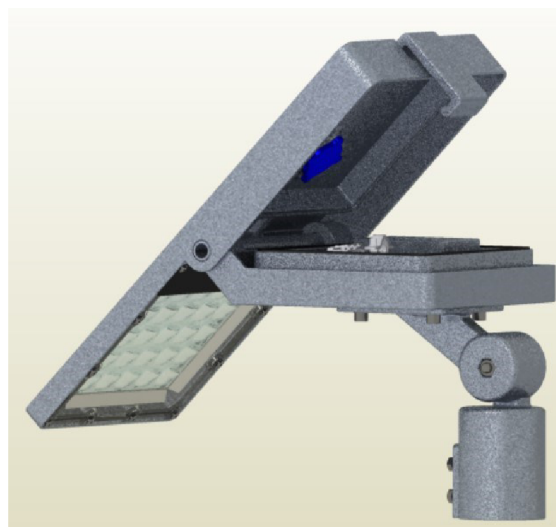
Koncept **Sklopného svítidla** (Obr. 4.12: Koncept Sklopné svítidlo – rozpad, Obr. 4.13: Koncept Sklopné svítidlo, Obr. 4.14: Koncept Sklopné svítidlo – odklopené) je inspirovaný patentem **US20150023020A1 Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** Svítidlo je navrženo tak, aby umožňovalo co nejnadnější přístup pro údržbu. Dolní hliníkový kryt je upevněn na přírubě, která je přišroubována ke svítidlu zespodu a je jí přiveden napájecí kabel skrz vývodku. Uvnitř dolního krytu jsou instalovány elektrické komponenty. Jsou umístěny na montážní desce, která umožňuje jednoduchou úpravu v případě změny komponent (např. změna značky LED driveru, který má jinou polohu montážních děr, atd.). Horní hliníkový kryt svítidla je připevněn ke spodnímu pomocí otočného kloubu v přední části a v zadní části je připevněn jednou pružnou plastovou sponou. K hornímu krytu je připevněno také ovládací zařízení se světelným senzorem a LED modul. Pro průchod napájecího kabelu LED modulu je vytvořen průchozí otvor propojující přední a zadní část horního krytu. LED modul je zespodu chráněn šroubovaným polykarbonátovým krytem. Servis nebo výměna LED modulu se nepředpokládá, protože jeho životností je dána životnost celého svítidla. Díky šroubovému spoji však přístup v krajním případě umožněn.



Obr. 4.12: Koncept Sklopné svítidlo – rozpad



Obr. 4.13: Koncept Sklopné svítidlo



Obr. 4.14: Koncept Sklopné svítidlo – odklopené

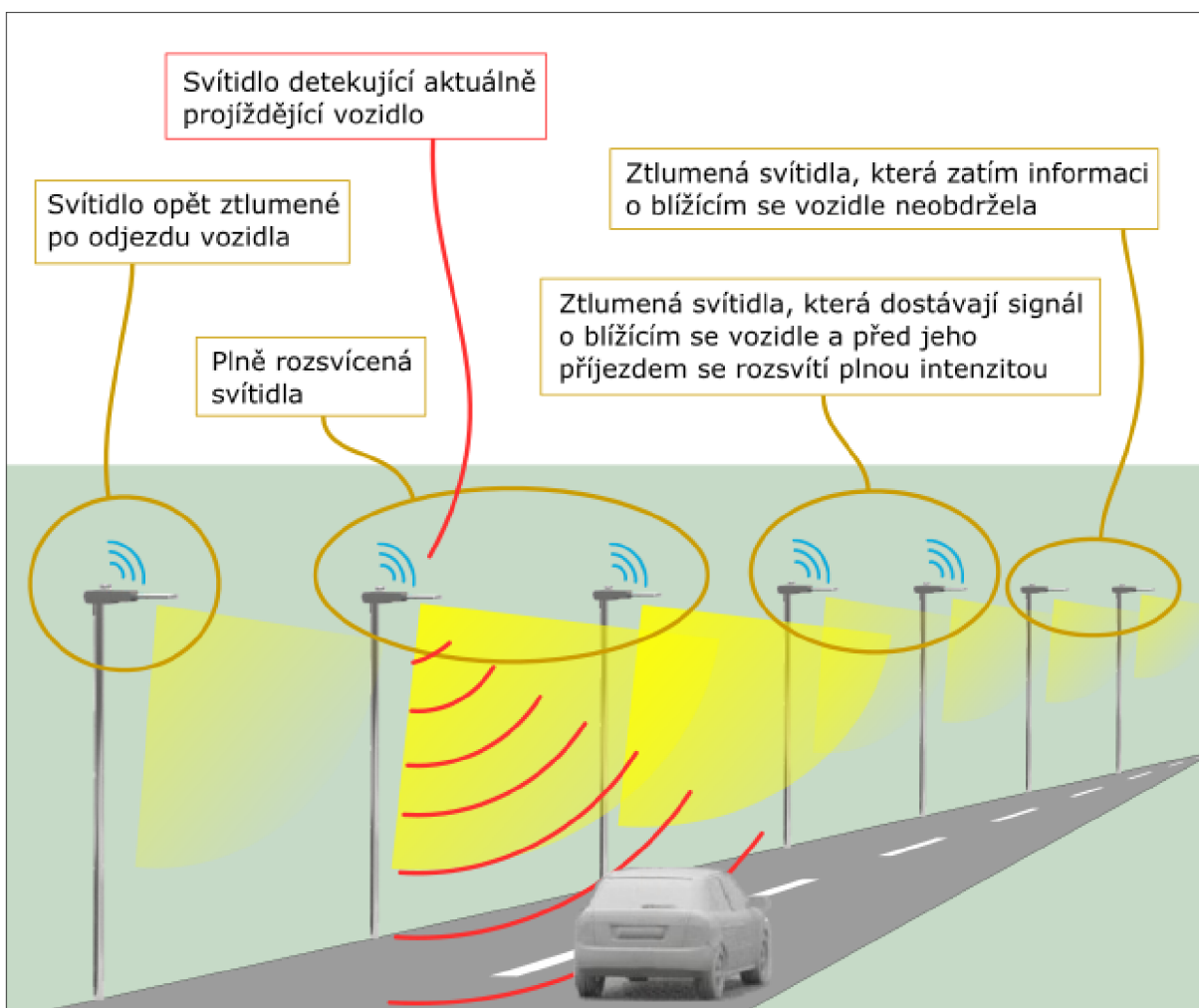
Po elektrické stránce je svítidlo vybaveno standardním driverem umožňujícím obousměrnou komunikaci pomocí DALI a stmívání svítidla řízené centrálně, nebo dle přednastaveného schématu. Čas spínání a vypínání svítidla je možné řídit pomocí světelného senzoru zabudovaného v ovládacím zařízení, které zároveň umožňuje bezdrátovou komunikaci svítidla s řídicím centrem.

Hlavní výhodou tohoto svítidla přináší typ jeho konstrukce, která dovoluje jednoduše odklopit horní kryt, který po otočení přes 90° setrvává v odklopené poloze na dorazech a technik provádějící údržbu se tak o něj nemusí dále starat. Proces údržby svítidla, nebo výměny komponent se tak usnadňuje a urychluje.

4.4.3 Koncept – Radar

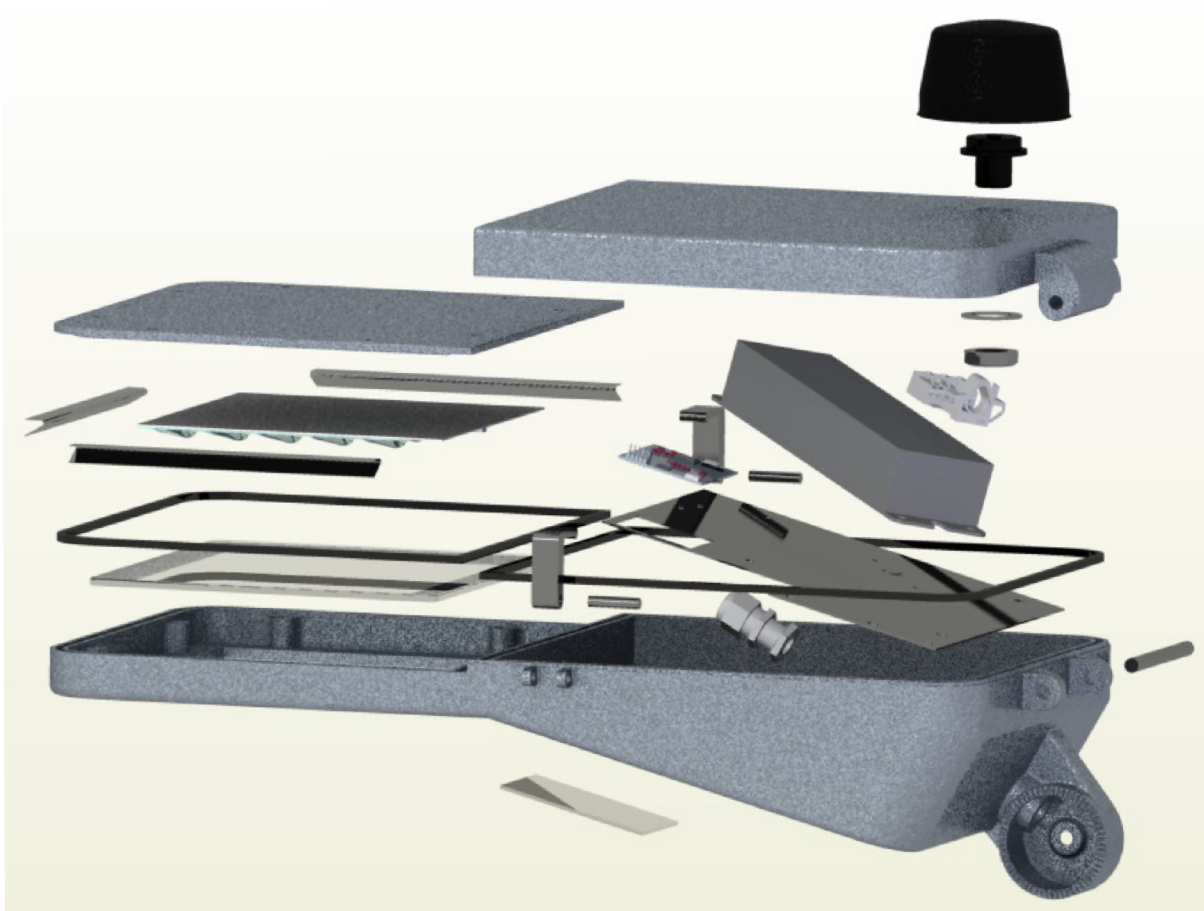
Jak již název konceptu napovídá, svítidlo pojmenované **Radar**, je vybaveno Dopplerovým radarem Infineon Position2Go [51], který slouží k detekci vozidel, chodců, cyklistů a ostatních účastníků silničního provozu. Vlastnosti radaru jsou blíže popsány v kapitole 4.2.2 *Search – Dopplerův senzor (Infineon)*.

Koncept uvažuje dynamický systém veřejného osvětlení sestávající ze svítidel, která jsou schopna detekovat pohybující se objekty a informaci o nich odesílat do okolních svítidel. Princip můžeme vidět na Obr. 4.15: Koncept Radar – princip fungování. V nočních hodinách, kdy je na komunikacích nízký provoz, jsou svítidla ponechána ve ztlumeném stavu, například na 20 – 30 % výkonu. Jakmile jeden světelný bod detekuje pohybující se objekt, vyhodnotí jeho rychlost a směr pohybu a posílá tuto informaci okolním svítidlům. Okolní svítidla (v jednom nebo ve druhém směru od výchozího svítidla – dle obdržené informace o směru pohybu) se začínají rozsvěcet na plný výkon. Vytváří tak osvětlené prostředí pro pohybující se objekt. Předstih rozsvěcení musí být dostatečný, aby například řidič rychle jedoucího vozidla nevnímal změnu osvětlenosti, ale viděl pouze plně osvětlený prostor. Na základě pohybu sledovaného objektu se svítidla, která již minul, mohou opět ztlumovat na 20 – 30 % výkonu. Díky tomuto systému je možné především v nočních hodinách s nízkým provozem spořit energii na veřejné osvětlení a zároveň maximalizovat bezpečnost dopravy pomocí kvalitních světelných podmínek v závislosti na aktuální dopravní situaci a projíždějících vozidlech, cyklistech, případně procházejících chodcích.

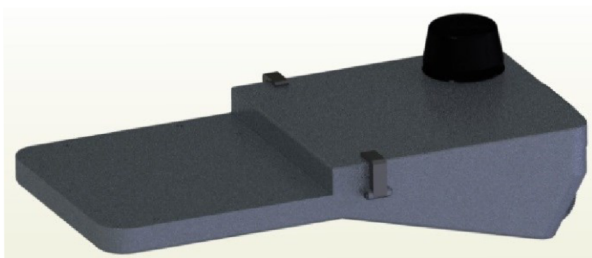


Obr. 4.15: Koncept Radar – princip fungování

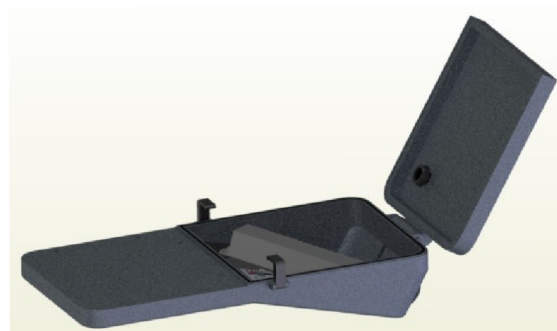
Po konstrukční stránce je svítidlo složeno z nosného spodního hliníkového krytu, který je rozdělen na dvě části (viz. Obr. 4.16: Koncept Radar – rozpad, Obr. 4.17: Koncept Radar, Obr. 4.18: Koncept Radar – odklopený kryt). První část je určena pro uložení elektrických komponent, což je LED driveru a mikrovlnného radaru. Aby zorné pole radaru bylo namířeno přímo na komunikaci, je spodek krytu sešikmený. Je v něm otvor zakrytý polykarbonátovým krytem pro umožnění průchodu mikrovlnného záření z radaru i zpět. Horní hliníkový kryt elektrické výbavy je upevněn na otočném čepu tvořícím pant nad přírubou. Na druhém konci je připevněn dvěma sponkami pro rychlou demontáž. Na kryt je připevněno ovládací a komunikační zařízení se světelným senzorem. Druhá část spodního krytu obsahuje LED modul. Ten je však společně s reflektory připevněn na horní desce, která je ke spodnímu krytu přišroubována. Krycí sklo je lepeno z vnitřní strany spodního krytu. Součástí spodního krytu je zabudovaná část příruby.



Obr. 4.16: Koncept Radar – rozpad



Obr. 4.17: Koncept Radar



Obr. 4.18: Koncept Radar – odklopený kryt

Řídicí zařízení (controller) umožňuje komunikaci jak mezi jednotlivými svítidly, tak s řídicí centrálou. Aby nebyly komunikační kanály s centrálou zbytečně přetěžovány, zasílají si svítidla informace z radarů o pohybujících se objektech pouze mezi sebou navzájem. Svítidla tak tvoří tzv. mlhu (Nazýváno též *fog networking*). Tento princip lokálního řízení a výpočetního výkonu je běžně využíván pro internet věcí. LED driver podporuje připojení Dopplerova senzoru.

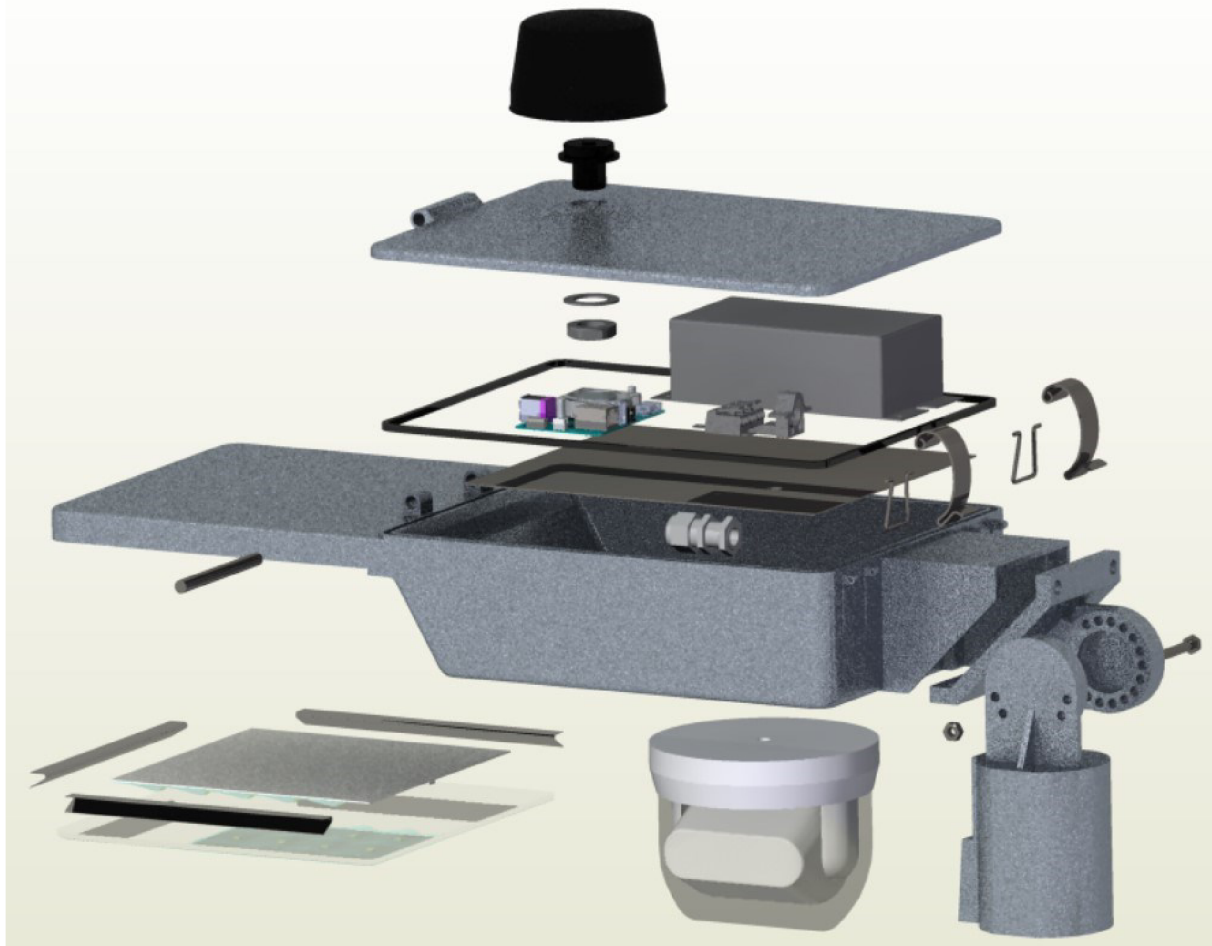
4.4.4 Koncept – V2X

Koncept V2X dostal název podle své funkce, a to komunikace s vozidly. (vehicle to x communication). Svítidlo je vybaveno TOF kamerou (viz. kapitola 4.2.2 Search – TOF kamera (Panasonic)), která sleduje situaci na komunikaci, případně v jejím blízkém okolí. Kamera je schopna zachycovat běžný 2D obraz a díky TOF senzoru zároveň měřit vzdálenost objektů ve třetím rozměru. Každé svítidlo je zároveň vybaveno výpočetním hardwarem pro rozpoznání objektů z obrazu. Tento systém dokáže rozpoznat objekty na vozovce a zařadit do předem stanovených základních kategorií, jako je například účastník silničního provozu pohybující se obvyklým způsobem, účastník dopravního provozu pohybující se neobvyklým způsobem, nebo stojící na místě a třetí kategorií jsou neidentifikované objekty nacházející se na vozovce, které mohou znamenat potenciální nebezpečí pro automobily. Dalším případem rozpoznání objektu mohou být například pohybující se vozidla IZS, která jsou v obraze dobře identifikovatelná díky blikajícím majákům. Informace zpracované svítidlem jsou následně vysílány do okolí pomocí komunikačního zařízení pracujícího s technologií ITS-G5, která je určena pro V2X komunikaci. Vozidlo tak může získat informaci o dopravní situaci, která je pro řidiče nebo detekční systémy autonomního vozidla mimo viditelnou oblast. Včasné varování na nebezpečí skrývajících se například za zatáčkou, rohem budovy nebo jakoukoliv jinou překážkou napomůže zvýšení bezpečnosti provozu a může předejít vážné dopravní nehodě.

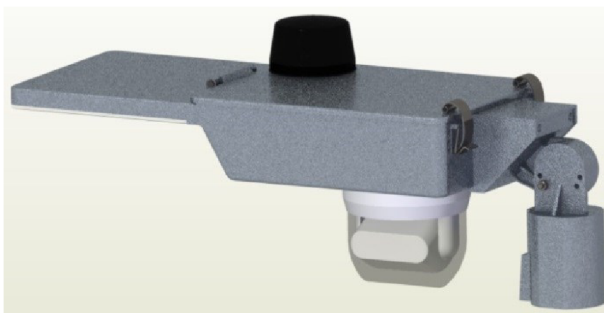
Systém sestávající z TOF kamery a modulu pro komunikaci s vozidly nabízí široké možnosti dalších funkcí, které by mohly být implementovány. Například detekce různých situací a reakce na tuto situaci spočívající v regulaci osvětlení a šíření informace o nestandardní situaci. Například rozpoznání dopravní nehody, požáru, vozidla IZS stojícího na místě, dopravní kolony, případně přibližné měření rychlosti vozidel, hustoty provozu, atd. Podle typu zjištěné situace může svítidlo zaslat informaci o ní příslušným směrem, tedy do blízkého okolí, nebo do centra řídicího systému VO, případně do IZS.

Základním konstrukčním prvkem konceptu V2X je spodní hliníkový kryt, ke kterému jsou připevněny všechny ostatní díly (Obr. 4.19: Koncept V2X – rozpad,

Obr. 4.20: Koncept V2X, Obr. 4.21: Koncept V2X – odklopený kryt). Blíže přírubě se nachází oddělení pro elektroniku. Zde vidíme LED driver a výpočetní hardware pro rozpoznání obrazu z TOF kamery. TOF kamera je připevněna ze spodní strany krytu. Úhel natočení kamery je možné měnit pro její optimální nasměrování. Je tak možné nastavit správný úhel záběru v případě různě vysokých stožárů VO nebo při instalaci ve skloněném terénu. Prostor pro elektroniku je z horní strany přikryt sklopným víkem s otočným kloubem u LED modulu a dvěma sponkami na straně příruby. K víku je připevněno také řídicí a komunikační zařízení. Druhá část spodního krytu svítidla slouží pro přichycení LED modulu s reflektory. Nakonec je přilepeno krycí sklo. Připojení příruby ke svítidlu je totožné s původním řešením výchozího svítidla.



Obr. 4.19: Koncept V2X – rozpad



Obr. 4.20: Koncept V2X



Obr. 4.21: Koncept V2X – odklopený kryt

Způsob komunikace svítidel V2X využívá, podobně jako koncept Radar, principu mlhy (fog networking) s využitím lokálního výpočetního výkonu a snížení objemu dat proudících komunikačními kanály.

V případě realizace svítidla navrženého podle popsaného konceptu V2X by bylo nutné dořešit několik poměrně komplexních a složitých úloh. Jedná se například o úlohu komunikace svítidla. Z mého pohledu by bylo ideální vyvinout řídicí a komunikační zařízení, které by bylo schopno jak běžné komunikace s centrálním řídicím systémem a mezi svítidly navzájem, tak s vozidly. Každý z těchto tří typů komunikace využívá jinou technologii, tedy frekvenční pásmo a liší se vzdálenost dosahu vln. Zařízení pro komunikaci mezi svítidly a s centrálním bodem jsou již běžně dostupná (řídicí zařízení – controllery VO). Komunikaci s vozidly by bylo však nutné přidat buď do tohoto běžného controlleru VO a nebo do svítidla instalovat samostatný modul umožňující komunikaci pouze s vozidly. Především sémantiku, ale i syntaxi komunikace s vozidly by bylo nutné řešit ve spolupráci s automobilkami. Zde by byla otázkou ochota spolupráce automobilek spočívající v částečném odhalení jejich know-how spojeného s komunikací vozidel (V2X).

Další náročnou úlohou, kterou by bylo nutné vyřešit, je software pro rozpoznání objektů. TOF kamery jsou zatím běžně používány spíše v interiéru ve spojení s počítači a chytrými telefony, čemuž odpovídá i dosah pouze několik metrů u většiny z TOF kamer. Vývoj softwaru je tak zaměřen především na tyto aplikace.

Jedná se například o záznam mimiky člověka ve 3D a živé přenesení této mimiky na animovanou postavičku na obrazovce počítače, nebo skenování objektů a vytvoření jejich virtuálního 3D modelu. Vývoj softwaru schopného rozpoznat objekty v silničním provozu na základě obrazu z TOF kamery by byl úkolem spíše pro tým vývojářů, než pro jednotlivce. Proces by se neobešel bez dat z reálného provozu a bez komplexního testování, které by potvrdilo spolehlivost systému před jeho sériovým nasazením. Porovnejme komplexitu úkolu vyhodnocení objektů v dopravní situaci pomocí TOF kamery umístěné na svítidle VO s úkolem autonomního řízení vozidla. Orientace v prostoru a vyhodnocení okolních objektů je možná nejkomplicovanějším prvkem autonomního řízení a jedním z důvodů, proč stále neexistují autonomní vozidla 4. a 5. stupně dle SAE. Další komplikovanou záležitostí autonomních vozidel jsou také právní záležitosti spojené se škodami způsobeným při dopravní nehodě. Pokud se vrátíme zpět k detekování objektů svítidlem VO, je situace jednodušší v tom, že svítidlo VO je statické a nepohybuje se vůči okolním objektům. Může tedy porovnávat zachycené snímky s těmi předchozími, kde jsou některé kontury prostředí stále stejné. Rozpoznání pohyblivých objektů je tak daleko snazší. Svítidlo také nemusí nutně být schopno predikce pohybu objektů, a to buď vůbec, nebo jen v omezenější míře, než je tomu u autonomního vozidla. V porovnání s autonomním vozidlem je úloha rozpoznání objektů pomocí VO snazší, ale i tak by během vývoje softwaru pro svítidlo bylo nutné vyřešit spoustu úloh.

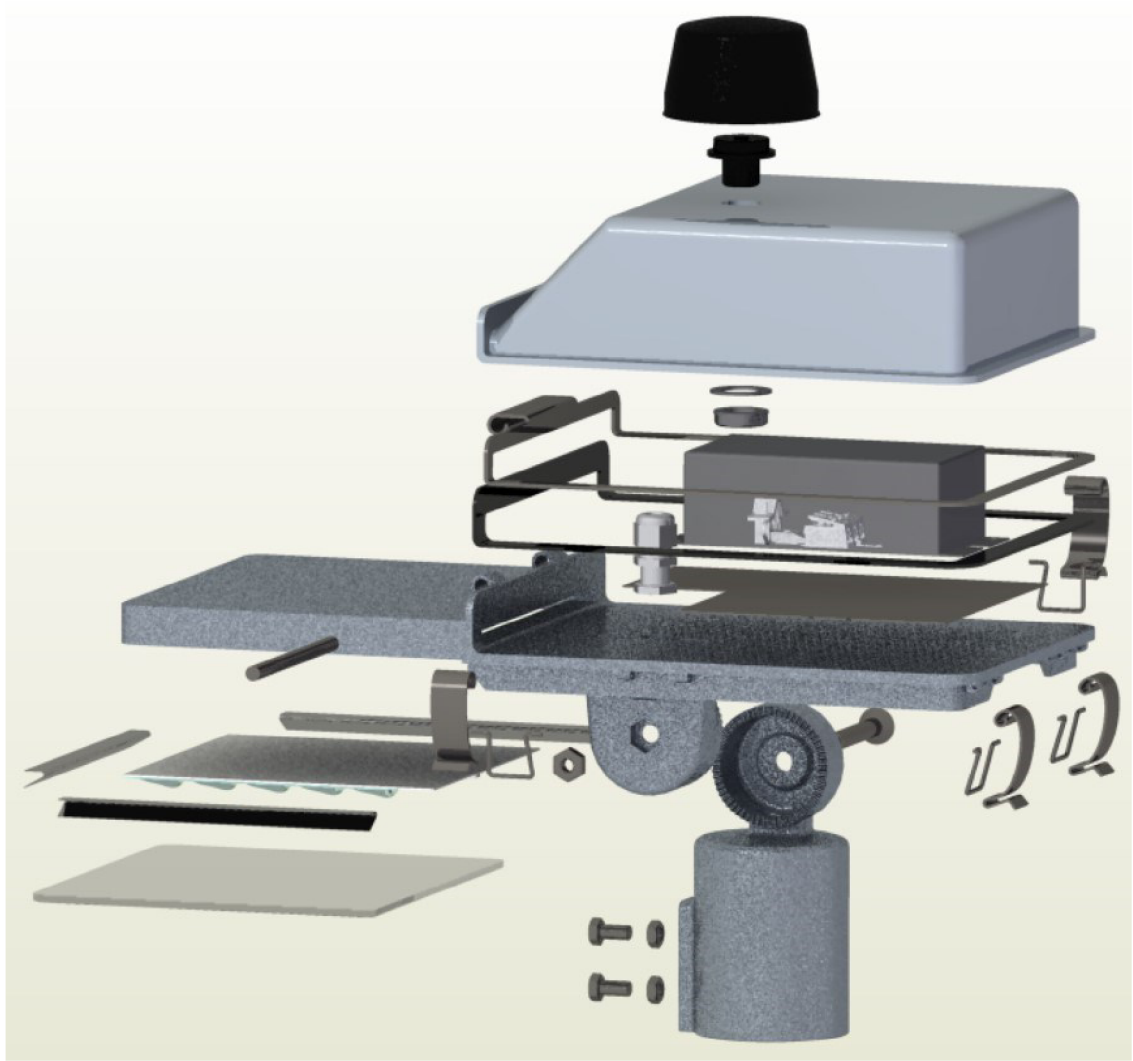
Pokud by byly výše zmíněné úlohy úspěšně vyřešeny, stalo by se svítidlo nástrojem nabízejícím prostor pro širokou škálu dalších funkcí a aplikací. Potenciál TOF kamer je silný díky jejich nízké ceně v porovnání s lidarem a díky jejich lepším schopnostem skenování prostředí. Výhodou oproti lidarů je snadnější propojení záznamu třetího rozměru s 2D obrazem. Tím jsou zjednodušeny algoritmy na vyhodnocení obrazu a rozpoznání objektů. Nakonec i Elon Musk (CEO automobilky Tesla) se vyjadřuje ve smyslu, že TOF kamery jsou budoucností pro autonomní automobily a budou jimi nahrazeny lidary.

4.4.5 Koncept – Kompozit

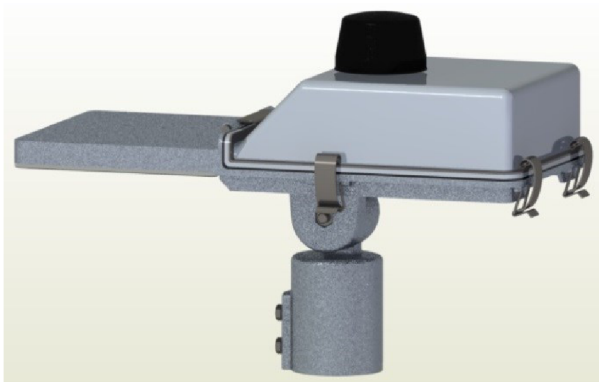
Koncept pojmenovaný **Kompozit** má za cíl snížit hmotnost svítidla. V dotazníku zákaznického šetření byla mezi známými nevýhodami LED svítidel

často uváděna právě vysoká hmotnost svítidla. Při tvorbě konceptu tedy byla snaha nahradit co největší možnou část hliníkového krytu svítidla kompozitním materiálem, který má v porovnání s hliníkem nižší hustotu. Problematický je LED modul vyžadující chlazení. Z hlediska poměru tepelné vodivosti a ceny se jeví jako ideální materiál pro pasivní chlazení LED modulu právě hliník. Proto alespoň chladič LED modulu musí být hliníkový. Připomeňme, že dostatečné chlazení LED čipů je klíčové pro dosažení jejich dlouhé životnosti. Dále se zaměříme na oblast příruby. Příruba přenáší sílu vyvozenou hmotností svítidla, větrem a případně setrvačnou sílu svítidla vyvozenou kýváním stožáru. Kryt svítidla v okolí příruby je tedy značně mechanicky namáhán. Proto se nabízí tuto část krytu vyrobit také z hliníku namísto kompozitního materiálu. Nakonec se jako rozumné řešení ukázalo využití kompozitního materiálu pouze pro horní kryt svítidla.

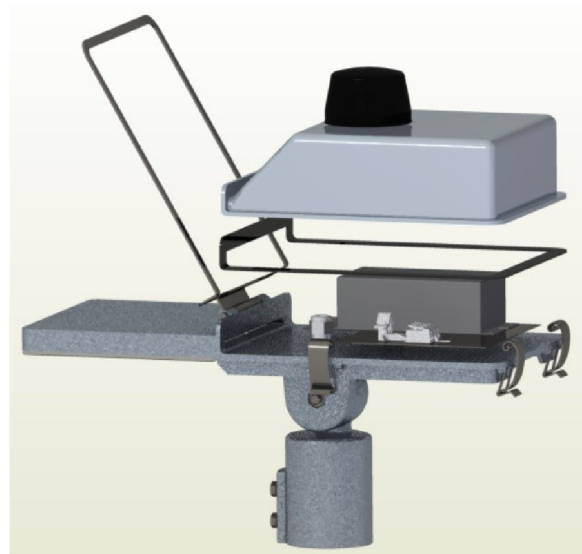
Koncept Kompozit je tvořen základní hliníkovou deskou zpevněnou vystupujícími profily na okrajích a kolmými stěnami v oblasti pro LED modul (Obr. 4.22: Koncept Kompozit – rozpad, Obr. 4.23: Koncept Kompozit, Obr. 4.24: Koncept Kompozit – uvolněný kryt). Deska je však navržena tak, aby bylo minimalizováno množství potřebného materiálu. Z pevnostního hlediska tomu napomáhá i umístění příruby blíže středu svítidla, tedy blíže těžišti. Na desku tak působí menší ohybový moment. Na základní desku jsou montovány všechny ostatní komponenty, tedy LED modul s reflektory a krycím sklem v přední části. Montážní deska pro elektroniku s LED driverem v části zadní. Zadní část je opatřena horním krytem z kompozitního materiálu. Horní kryt je zajištěn pomocí 4 ocelových sponek. Rovnoměrnému rozložení přitlačné síly napomáhá sklápěcí ocelový lem. Tím je zajištěno jak rovnoměrné namáhání kompozitního materiálu, tak rozložení přitlačné síly na pryžové těsnění vložené mezi horní kryt a základní desku svítidla. K hornímu krytu je upevněno řídicí a komunikační zařízení.



Obr. 4.22: Koncept Kompozit – rozpad



Obr. 4.23: Koncept Kompozit



Obr. 4.24: Koncept Kompozit – uvolněný kryt

Vybavení svítidla po funkční stránce je stejné, jako v případě konceptu Sklopné svítidlo. LED driver s komunikací DALI a řídicí a komunikační zařízení se světelným senzorem pro řízení doby spínání.

4.4.6 Řešení přírub

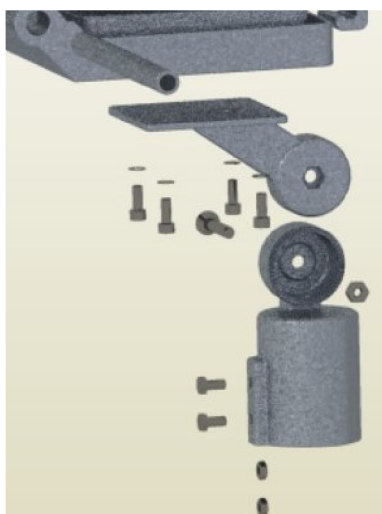
V této kapitole je věnován bližší pohled návrhům přírub, které byly zahrnuty ve výše popsanych konceptech svítidel. Zapracované koncepční odlišnosti od výchozí příruby je možné shrnout ve 3 bodech:

- 1) Tvar dosedací plochy ke svítidlu
- 2) Integrace části příruby do odlitku svítidla
- 3) Princip mechanismu naklápění svítidla

Bod 3) je možné aplikovat samostatně, nebo kombinovat s bodem 1), nebo 2). Následuje bližší popis koncepcí přírub.

Tvar dosedací plochy ke svítidlu

V konceptu Sklopného svítidla si můžeme všimnout příruby, která má dosedací plochu ke svítidlu rovnou a je připevněna pomocí 4 šroubů (Obr. 4.25: Příruba s rovnou dosedací plochou – rozpad, Obr. 4.26: Příruba s rovnou dosedací plochou). Výhodou tohoto řešení je možnost umístění příruby na spodní část svítidla, čímž dochází ke snížení ohybového momentu přenášeného přírubou.



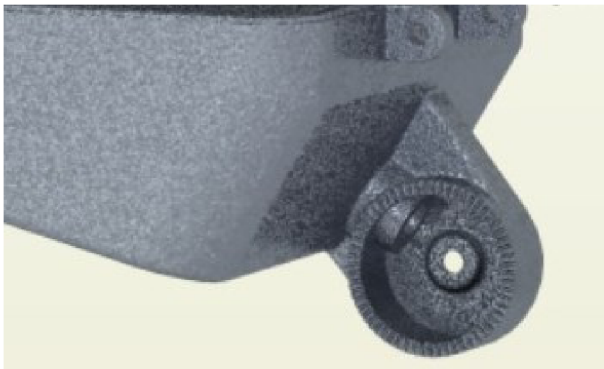
Obr. 4.25: Příruba s rovnou dosedací plochou – rozpad



Obr. 4.26: Příruba s rovnou dosedací plochou

Integrace části příruby do odlitku svítidla

Část příruby integrovanou do odlitku krytu svítidla můžeme vidět u konceptů Radar a Kompozit, též na Obr. 4.27: Část příruby integrovaná v odlitku krytu svítidla – koncept Radar, Obr. 4.28: Část příruby integrovaná v odlitku základní desky svítidla – koncept Kompozit. Toto řešení přináší výhodu v odpadnutí nutnosti montáže jedné části příruby ke svítidlu. Zároveň je možné ušetřit část materiálu a snížit tak součtovou hmotnost příruby a svítidla. Naopak komplikace spočívá ve zvýšení složitosti tvaru odlitku, který obsahuje část příruby. Z hlediska funkční analýzy zde dochází k tomu, že funkci „držet svítidlo“ přestává plnit vynechaná část příruby a namísto toho ji plní kryt svítidla.



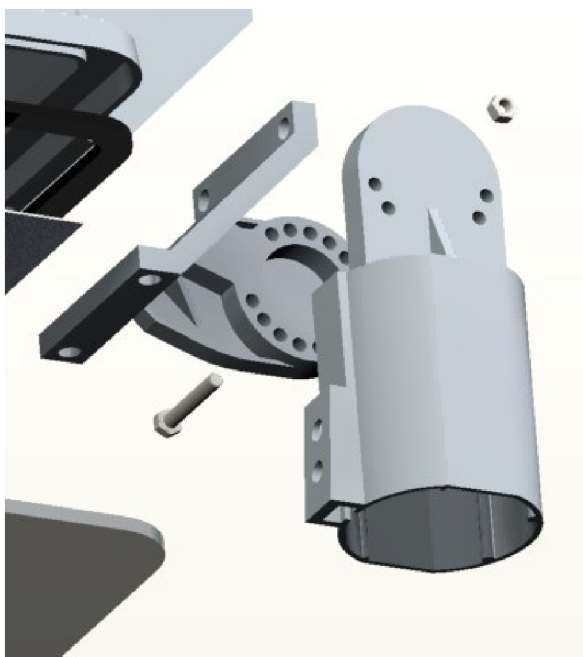
Obr. 4.27: Část příruby integrovaná v odlitku krytu svítidla – koncept Radar



Obr. 4.28: Část příruby integrovaná v odlitku základní desky svítidla – koncept Kompozit

Princip mechanismu naklápění svítidla

Původní princip naklápění svítidla využívá čelního ozubení na obou dílech příruby. Tato ozubení do sebe vzájemně zapadají a jsou přitlačována šroubem. Natočení svítidla je možné měnit po 6 stupních. U konceptů MODUS 2 a V2X nebo na Obr. 4.29: „revolverová“ koncepce příruby – koncept MODUS 2, Obr. 4.30: „revolverová“ koncepce příruby – koncept V2X si můžeme všimnout „revolverové“ koncepce příruby, která využívá vnitřního kruhového osazení pro zachycení radiální síly a lícovaného šroubu pro zachycení tečné síly.

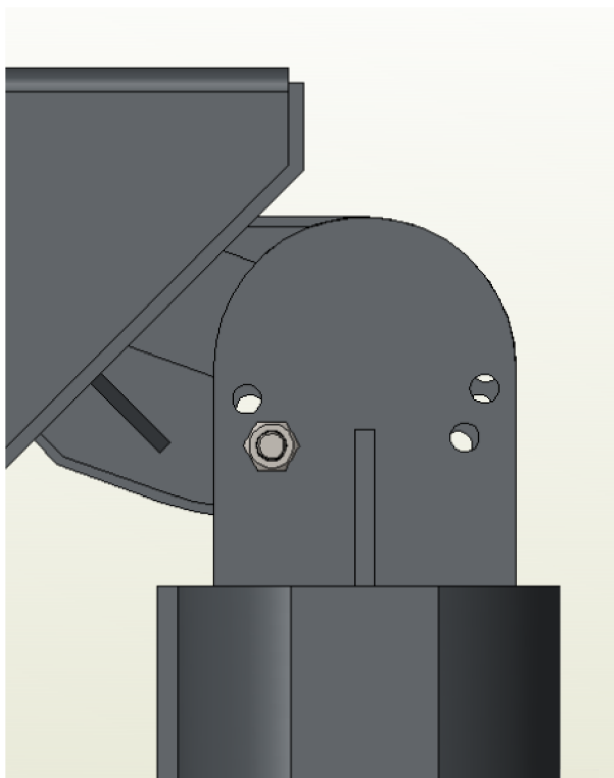


Obr. 4.29: „revolverová“ koncepce příruby – koncept MODUS 2



Obr. 4.30: „revolverová“ koncepce příruby – koncept V2X

Rozteč děr na z našeho pohledu zadní části příruby je pravidelná. Rozteč děr na z našeho pohledu přední části příruby je nepravidelná, a to takovým způsobem, že při využití různých dvojic otvorů pro vložení lícovaného šroubu je možné dosáhnout naklápění svítidla po 5 stupních. Polohu děr s nepravidelnou roztečí můžeme vidět na Obr. 4.31: Poloha děr s nepravidelnou roztečí.



Obr. 4.31: Poloha děr s nepravidelnou roztečí

5 Výběr finálního konceptu

V této kapitole bude proveden výběr finálního konceptu. Vybraný koncept bude následně dále rozpracován. Pro výběr konceptu bude použita metoda analytického hierarchického procesu AHP, která nám umožňuje segmentovat rozhodovací problém, následně provést párové porovnání dvou prvků a tak získat dílčí hodnocení alternativ. Následnou syntézou jednotlivých hodnocení získáme celkový výsledek. [66]

5.1 Hodnotící kritéria

Hodnotící kritéria jsou zvolena tak, aby zahrnovala co nejobsáhlejší množinu významných silných a slabých stránek konceptů. Kritéria postihují jak informace získané z průzkumu zákaznických potřeb, tak podněty výrobce výchozího svítidla, výsledky cílové výrobkové specifikace QFD, ekonomickou stránku, inovativnost konceptu, jeho přínos a vylepšení funkcí. Tímto způsobem bude projevena snaha dosáhnout maximální objektivitu výběrového procesu. Následuje výčet kritérií zvolených pro výběr finálního konceptu včetně popisu faktorů, které pod jednotlivá kritéria spadají.

- 1) **Funkce** – toto kritérium zahrnuje všechny funkcionality konceptu a kvalitu jejich plnění. Jedná se například o detekci vozidel, řízení osvětlení, světelný senzor, rozpoznání objektů, možnosti komunikace. Čím více funkcí a vyšší kvalita jejich plnění, tím lépe.
- 2) **Zatížení příruby** – jednoduše odhad sil a ohybového momentu zatěžující příruby. Je zde vlastně zohledněna i celková hmotnost svítidla. Čím nižší síly a moment, tím lépe.
- 3) **Údržba** – míra nutnosti údržby a náročnost provedení údržby. Čím méně údržby a nižší náročnost, tím lépe.
- 4) **Cena** – odhadované výrobní náklady na svítidlo zahrnující odhadovanou cenu všech jeho komponent. Čím nižší cena, tím lépe.

- 5) **Spolehlivost a životnost** – pod toto kritérium patří odhad životnosti jak svítidla jako celku, tak jednotlivých jeho komponent. Zároveň sem patří odhad rizika poruchy svítidla, respektive jeho jednotlivých komponent. Čím delší životnost a méně poruch, tím lépe.
- 6) **Provozní náklady** – celkové náklady potřebné na provoz svítidla, které jsou snižovány efektivitou svítidla a možnostmi úspory energie a zvyšovány například nutností údržby nebo jakýchkoliv úkonů vyžadovaných provozem svítidla. Čím nižší náklady, tím lépe. Pozn. nízké provozní náklady mohou v dlouhodobějším časovém horizontu (až desítky let) vykompenzovat vyšší pořizovací cenu svítidla, nebo dokonce vejít ve finanční výhodu nad úvodní vyšší pořizovací cenou.

5.2 Párové porovnání

Následuje párové porovnání hodnotících kritérií. Poté párové porovnání konceptů na základě každého jednotlivého kritéria. Přiřazení hodnot významnosti probíhá na základě následující Tab. 5.1: Saatyho škála – přiřazení hodnot významnosti.

Hodnota významnosti	Slovní popis
1	Oba prvky jsou stejně významné
3	Řádkový prvek je mírně významnější než sloupcový
5	Řádkový prvek je silně významnější než sloupcový
7	Řádkový prvek je velmi silně významnější než sloupcový
9	Řádkový prvek je extrémně významnější než sloupcový

Tab. 5.1: Saatyho škála – přiřazení hodnot významnosti

Párové porovnání kritérií

Kritérium	Funkce	Zatíž. přír.	Údržba	Cena	Spol. a živ.	Prov. nákl.
Funkce	1	5	5	5	1	3
Zatíž. Přír.	1/5	1	1	1/5	1/3	1/7
Údržba	1/5	1	1	1/3	1/7	1/7
Cena	1/5	5	3	1	1/5	1/7
Spol. a živ.	1	3	7	5	1	1/3
Prov. nákl.	1/3	7	7	7	3	1

Tab. 5.2: Párové porovnání kritérií

Kritérium	Funkce	Zatíž. přír.	Údržba	Cena	Spol. a živ.	Prov. nákl.	Relativní priorita
Funkce	0,341	0,227	0,208	0,270	0,176	0,630	0,3087
Zatížení	0,068	0,045	0,042	0,011	0,059	0,030	0,0425
Údržba	0,068	0,045	0,042	0,018	0,025	0,030	0,0381
Cena	0,068	0,227	0,125	0,054	0,035	0,030	0,0899
Spol. a živ.	0,341	0,136	0,292	0,270	0,176	0,070	0,2141
Prov. nákl.	0,114	0,318	0,292	0,378	0,529	0,210	0,3066

Tab. 5.3: Normalizovaná matice kritérií a jejich relativní priorita

Koncepty jsou v následujících tabulkách označeny těmito zkratkami:

- MODUS 2 – M2
- Radar – R
- Sklopné svítidlo – S
- Kompozit – K
- V2X – V2X

Pro snadnější orientaci je možné využít obrázkový přehled konceptů včetně příslušných zkratk – viz. Příloha E).

Koncept	M2	S	R	K	V2X
M2	1	1/3	1/9	1/3	1/9
S	3	1	1/7	1	1/7
R	9	7	1	7	1/5
K	3	1	1/7	1	1/7
V2X	9	7	5	7	1

Tab. 5.4: Párové porovnání konceptů – funkce

Koncept	M2	S	R	K	V2X	Relativní priorita
M2	0,04	0,02	0,02	0,02	0,07	0,034
S	0,12	0,06	0,02	0,06	0,09	0,071
R	0,36	0,43	0,16	0,43	0,13	0,300
K	0,12	0,06	0,02	0,06	0,09	0,071
V2X	0,36	0,43	0,78	0,43	0,63	0,525

Tab. 5.5: Normalizovaná matice konceptů a jejich relativní priorita (hodnocení funkcí)

Koncept	M2	S	R	K	V2X
M2	1	1/3	3	1/5	5
S	3	1	5	1/3	7
R	1/3	1/5	1	1/5	3
K	5	3	5	1	9
V2X	1/5	1/7	1/3	1/9	1

Tab. 5.6: Párové porovnání konceptů – zatížení příruby

Koncept	M2	S	R	K	V2X	Relativní priorita
M2	0,10	0,07	0,21	0,11	0,20	0,139
S	0,31	0,21	0,35	0,18	0,28	0,268
R	0,03	0,04	0,07	0,11	0,12	0,075
K	0,52	0,64	0,35	0,54	0,36	0,483
V2X	0,02	0,03	0,02	0,06	0,04	0,035

Tab. 5.7: Normalizovaná matice konceptů a jejich relativní priorita (hodnocení zatížení příruby)

Koncept	M2	S	R	K	V2X
M2	1	1/7	1/5	0,2	1/5
S	7	1	3	5	7
R	5	1/3	1	3	3
K	5	1/5	1/3	1	1
V2X	5	1/7	1/3	5	1

Tab. 5.8: Párové porovnání konceptů – údržba

Koncept	M2	S	R	K	V2X	Relativní priorita
M2	0,04	0,08	0,04	0,01	0,02	0,039
S	0,30	0,55	0,62	0,35	0,57	0,479
R	0,22	0,18	0,21	0,21	0,25	0,213
K	0,22	0,11	0,07	0,07	0,08	0,110
V2X	0,22	0,08	0,07	0,35	0,08	0,160

Tab. 5.9: Normalizovaná matice konceptů a jejich relativní priorita (hodnocení údržby)

Koncept	M2	S	R	K	V2X
M2	1	3	5	3	9
S	1/3	1	3	1	7
R	1/5	1/3	1	0,33	5
K	1/3	1	3	1	7
V2X	1/9	1/7	1/5	1/7	1

Tab. 5.10: Párové porovnání konceptů – cena

Koncept	M2	S	R	K	V2X	Relativní priorita
M2	0,51	0,55	0,41	0,55	0,31	0,464
S	0,17	0,18	0,25	0,18	0,24	0,204
R	0,10	0,06	0,08	0,06	0,17	0,095
K	0,17	0,18	0,25	0,18	0,24	0,204
V2X	0,06	0,03	0,02	0,03	0,03	0,032

Tab. 5.11: Normalizovaná matice konceptů a jejich relativní priorita (hodnocení ceny)

Koncept	M2	S	R	K	V2X
M2	1	3	5	3	7
S	1/3	1	3	1	5
R	1/5	1/3	1	1/3	5
K	1/3	1	3	1	5
V2X	1/7	1/5	1/5	1/5	1

Tab. 5.12: Párové porovnání konceptů – spolehlivost a životnost

Koncept	M2	S	R	K	V2X	Relativní priorita
M2	0,50	0,54	0,41	0,54	0,30	0,459
S	0,17	0,18	0,25	0,18	0,22	0,198
R	0,10	0,06	0,08	0,06	0,22	0,104
K	0,17	0,18	0,25	0,18	0,22	0,198
V2X	0,07	0,04	0,02	0,04	0,04	0,041

Tab. 5.13: Normalizovaná matice konceptů a jejich relativní priorita (hodnocení spolehlivosti a životnosti)

Koncept	M2	S	R	K	V2X
M2	1	1/3	1/7	1/3	3
S	3	1	1/5	1	5
R	7	5	1	5	7
K	3	1	1/5	1	5
V2X	1/3	1/5	1/7	1/5	1

Tab. 5.14: Párové porovnání konceptů – provozní náklady

Koncept	M2	S	R	K	V2X	Relativní priorita
M2	0,07	0,04	0,08	0,04	0,14	0,077
S	0,21	0,13	0,12	0,13	0,24	0,166
R	0,49	0,66	0,59	0,66	0,33	0,548
K	0,21	0,13	0,12	0,13	0,24	0,166
V2X	0,02	0,03	0,08	0,03	0,05	0,042

Tab. 5.15: Normalizovaná matice konceptů a jejich relativní priorita (hodnocení provozních nákladů)

5.3 Finální koncept

V Tab. 5.18: Tabulka celkových priorit jednotlivých konceptů můžeme vidět výsledné celkové priority jednotlivých konceptů a závěrečné seřazení konceptů dle výsledného umístění v analytickém hierarchickém procesu. Vítězným konceptem je tedy Radar. Následují za ním koncepty V2X a MODUS 2, které od sebe navzájem mají poměrně malý rozdíl v prioritách. Nejhůře v hodnocení dopadly koncepty Sklopné svítidlo a Kompozit.

Koncept	Relativní priorita konceptu dle kritéria					
	Funkce	Zatíž. přír.	Údržba	Cena	Spol. a živ.	Prov. nákl.
M2	0,034	0,139	0,039	0,464	0,459	0,077
S	0,071	0,268	0,479	0,204	0,198	0,166
R	0,300	0,075	0,213	0,095	0,104	0,548
K	0,071	0,483	0,110	0,204	0,198	0,166
V2X	0,525	0,035	0,160	0,032	0,041	0,042

Tab. 5.16: Přehled relationích priorit konceptů dle kritérií

Kritérium	Relativní priorita
Funkce	0,3087
Zatíž. přír.	0,0425
Údržba	0,0381
Cena	0,0899
Spol. a živ.	0,2141
Prov. nákl.	0,3066

Tab. 5.17: Přehled relationích priorit jednotlivých kritérií

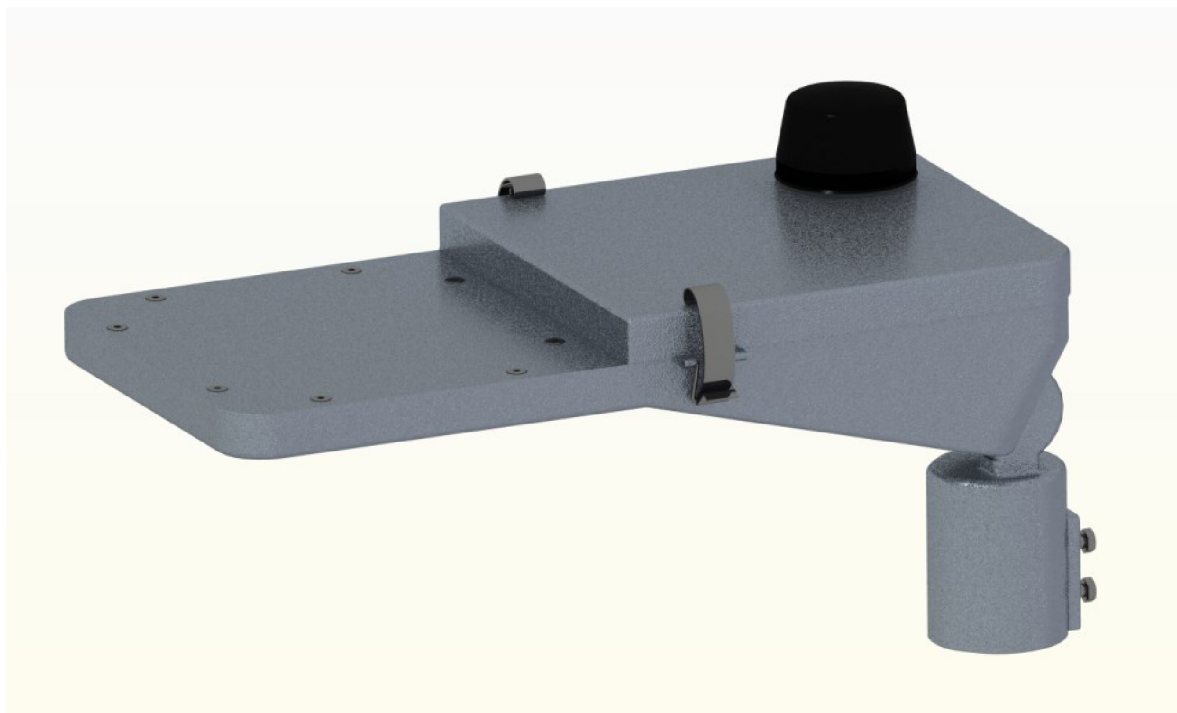
Koncept	Priorita	Pořadí
M2	0,181	3
S	0,163	4
R	0,303	1
K	0,158	5
V2X	0,194	2

Tab. 5.18: Tabulka celkových priorit jednotlivých konceptů

6 Konstrukční návrh

Byl proveden konstrukční návrh vítězného svítidla. Montážní výkres sestavy svítidla nalezneme v příloze. Jako materiál odlitků byla zvolena hliníková slitina EN AC-46300, označovaná též AC-ALSi₇Cu₃Mg. Díky obsahu Si 6,5 – 8 % je vhodná pro gravitační lití. Obsah Cu 3 – 4 % zlepšuje tepelnou vodivost slitiny a 0,3 – 0,6 % Mg zlepšuje pevnost materiálu. Smluvní mez kluzu této slitiny $R_{p0,2}$ je min. 100 MPa a mez pevnosti v tahu R_m min. 180 MPa. [73]

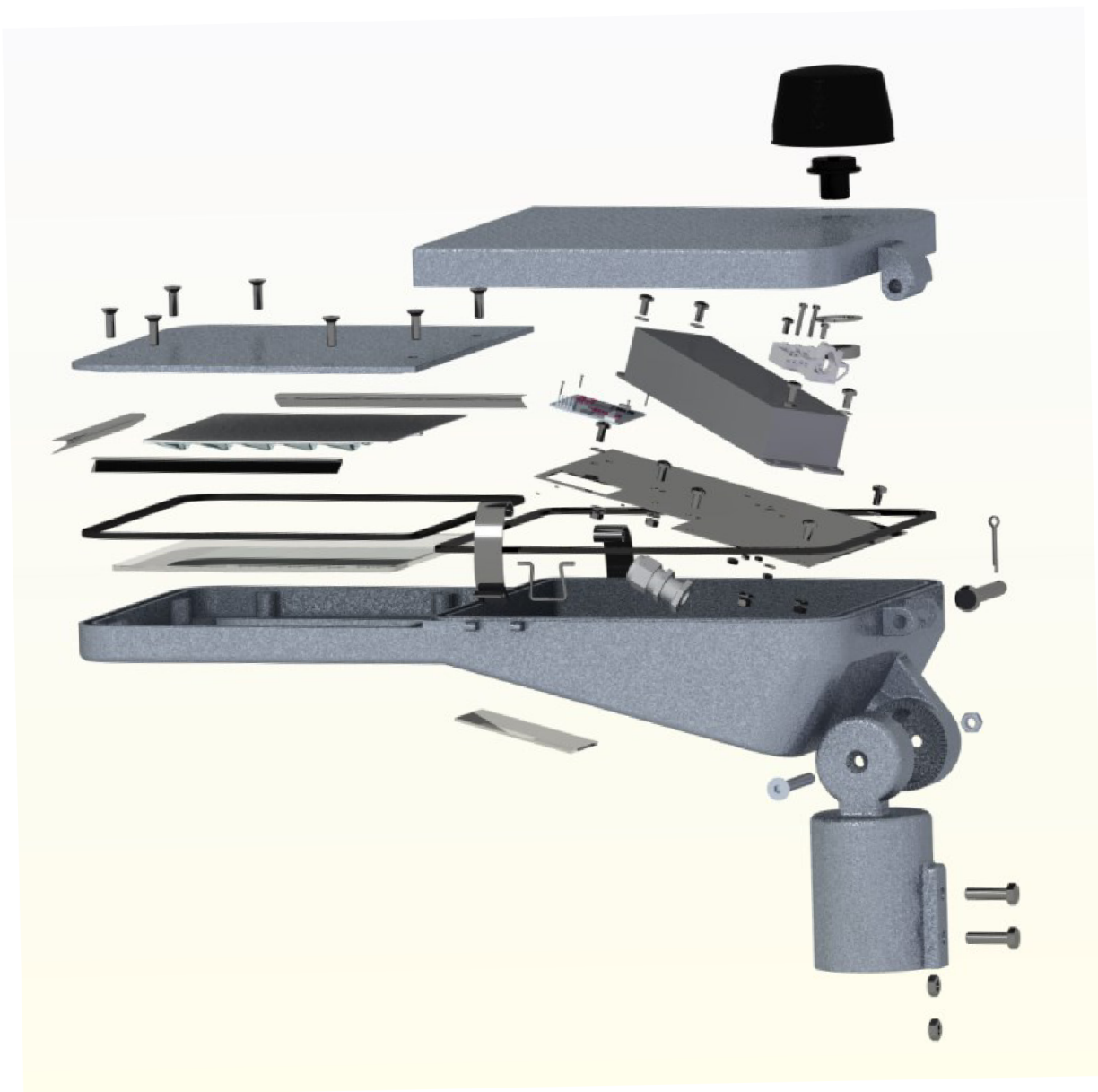
Na následujících obrázcích můžeme vidět různé pohledy na 3D konstrukční sestavu svítidla (Obr. 6.1: Konstrukční sestava svítidla 3D, Obr. 6.2: Konstrukční sestava svítidla – otevřený kryt, Obr. 6.3: Konstrukční sestava svítidla - rozpad).



Obr. 6.1: Konstrukční sestava svítidla 3D



Obr. 6.2: Konstrukční sestava svítidla – otevřený kryt



Obr. 6.3: Konstrukční sestava svítidla - rozpad

7 Prověření konstrukčního návrhu a jeho úpravy

Tato kapitola se zabývá zhodnocením konstrukčního řešení a navržením případných úprav, které odstraní zjištěné nedostatky.

7.1 FMEA

Metoda FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) slouží k analýze projevů a důsledků poruchových stavů. Umožňuje systematickou kontrolu produktu. Je pomocí ní možné kvantifikovat poruchové stavy a jejich následky a na základě těchto zjištění navrhnout nápravná nebo preventivní opatření. Pokud hovoříme o revizi konstrukčního řešení, máme na mysli metodu FMEA-K (FMEA-konstrukční). [1]

Provedení analýzy FMEA-K nalezneme v Příloha F). Jelikož se jedná o analýzu konstrukce, jsou zde vyhodnoceny pouze poruchové stavy související s mechanickými komponenty svítidla. Pro poruchové stavy, u kterých vyšlo rizikové číslo větší, než 100, byla doporučena preventivní opatření, která vedou ve většině případů ke zvýšení pravděpodobnosti odhalení příčiny závady, a tím dosahujeme snížení výsledného rizikového čísla pod hodnotu 100.

7.1.1 Doporučená opatření nevyžadující další analýzu

Některá doporučená opatření mohou být jednoduše aplikována a nevyžadují další výpočty, simulace nebo investigativní aktivity. Zmíněná opatření jsou popsána v této podkapitole.

Šroub příruby

Pro bezpečné upevnění příruby je doporučena aplikace lepidla speciálně určeného pro zajištění rozebíratelných šroubových spojů – Loctite 243. Lepidlo bude aplikováno na šroub zajišťující přírubu na stožáru. Bude tak předejito případnému povolování šroubu vlivem vibrací způsobených například průjezdem těžkých vozidel.

Spojovací materiál

Pro předejití korozi bude použit spojovací materiál z nerezové oceli. Tento způsob přináší vyšší stupeň antikorozi ochrany, než použití spojovacího materiálu z uhlíkové oceli s povrchovou úpravou (např. pozinkování).

LED modul

Jednou z možných závad LED modulu je snížení svítivosti. To může být způsobeno použitím nekvalitních LED čipů, které vlivem stárnutí budou ztrácet svůj výkon nepřiměřeně rychle. Jako preventivní opatření bylo doporučeno použití LED čipů od renomovaného výrobce. Společnost Samsung, jejíž LED čipy byly zvoleny, by měla jakožto světový výrobce elektroniky naše kritérium splňovat.

7.2 Opatření vycházející z analýzy FMEA-K

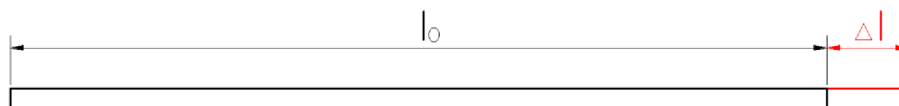
V této kapitole jsou popsána další opatření provedená na základě doporučení analýzou FMEA-K. Jedná se o výpočty, simulace a investigativní aktivity.

7.2.1 Krycí sklo a jeho délková teplotní roztažnost

Tvrzené krycí sklo je lepeno k hliníkovému korpusu svítidla. Vzhledem k rozdílné teplotní délkové roztažnosti obou materiálů je na místě provést rozvahu nad schopností lepidla kompenzovat rozdílnou změnu délky obou slepených komponent.

Předpokládejme, že montáž svítidla ve výrobě bude probíhat při teplotě 20 ± 5 °C. Pracovní teplota LED čipů je -40 až +85 °C. To znamená, že teplota v blízkosti LED modulu může teoreticky dosahovat blízkých hodnot. Pro konzervativní přístup uvažujme hodnoty totožné. Teplotní rozdíl mezi teplotou při výrobě a mezními provozními teplotami může být až 70 °C v případě minimální uvažované teploty při montáži (15 °C) a maximální provozní teploty (85 °C). Teplotní rozdíl v případě maximální uvažované teploty při výrobě (25 °C) a minimální provozní teploty (-40 °C) činí 65 °C.

Výpočet teplotní délkové roztažnosti



Obr. 7.1: Změna délky vlivem teplotní délkové roztažnosti

Teplotní délková roztažnost způsobuje prodloužení předmětu s jeho rostoucí teplotou, jak můžeme vidět na schématu Obr. 7.1: Změna délky vlivem teplotní délkové roztažnosti. Provedeme výpočet změny délky jak krycího skla, tak hliníkového korpusu svítidla. Rozdíl vypočtených délek poskytne představu o tom, jak velký relativní posun splených komponent musí lepidlo být schopno vykompenzovat. Do výpočtu vstupují následující hodnoty:

$l_0 = 200 \text{ mm}$ původní délka (delší ze stran obdélníku) krycího skla, případně části korpusu,

$\Delta t = 70 \text{ °C}$ změna teploty,

$\alpha_{sklo} = 5,9 \cdot 10^{-6} \text{ m m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ koeficient lineární teplotní roztažnosti skla [67],

$\alpha_{Al} = 22,2 \cdot 10^{-6} \text{ m m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ koeficient lineární teplotní roztažnosti hliníku [67],

a chceme určit Δl , tedy rozdíl změn délek skla a hliníkové části. Pro výpočet použijeme následující vztahy:

$$\Delta l_{sklo} = \alpha_{sklo} \cdot l_0 \cdot \Delta t = 5,9 \cdot 10^{-6} \cdot 200 \cdot 70 = 0,083 \text{ [mm]} \quad (7.1)$$

$$\Delta l_{Al} = \alpha_{Al} \cdot l_0 \cdot \Delta t = 22,2 \cdot 10^{-6} \cdot 200 \cdot 70 = 0,311 \text{ [mm]} \quad (7.2)$$

$$\Delta l = \Delta l_{Al} - \Delta l_{sklo} = 0,331 - 0,083 = 0,228 \text{ [mm]} \quad (7.3)$$

Výslednou hodnotu podělíme 2, protože ve skutečnosti dojde k situaci, že střed skla zůstane nehybný vůči příslušnému bodu na hliníkovém korpusu svítidla. Směrem od tohoto výchozího místa ke koncům skla se bude projevovat teplotní délková roztažnost. Změna délky však bude na každém konci skla poloviční oproti vypočtené délce Δl .

$$\frac{\Delta l}{2} = \frac{0,228}{2} = 0,114 \text{ [mm]} \quad (7.4)$$

Výsledná hodnota maximálního relativního pohybu skla vůči korpusu svítidla je dosažena na koncích skla a je rovna **0,114 mm**. Lepený spoj tedy musí být schopný vykompenzovat tento vzájemný pohyb.

Konzultace s výrobcem lepidel

Pro uskutečnění lepeného spoje bylo zvoleno **WEICON Lepidlo pro čelní sklo** [68] určené na lepení čelních skel aut. Toto lepidlo na polymerní bázi je flexibilní (pružné) a mělo by být schopno jednak kompenzovat vzájemný pohyb lepených komponent a zároveň dlouhodobě odolávat venkovním vlivům.

Vhodnost lepidla pro tuto aplikaci byla konzultována s technickou podporou společnosti WEICON. Byla doporučena aplikace vrstvy lepidla o tloušťce přibližně 2 – 3 mm, která by měla zajistit dostatečnou flexibilitu pro vykompenzování vypočteného relativního posuvu lepených komponent. Dle zkušeností se lepidlo běžně používá i pro lepení mnoha dalších materiálů a dílů jiných, než jsou pouze čelní skla aut. Kromě strojního průmyslu nachází uplatnění např. ve stavebnictví.

7.2.2 Montáž příruby na stožár – výpočet

Na základě analýzy FMEA-K je doporučeno provést výpočet šroubového spoje pro upevnění příruby ke stožáru. Příruba je ke stožáru připevněna dvěma šrouby M8. Postup výpočtu bude následující. Zvolíme utahovací moment šroubů připevňujících přírubu ke sloupu. Na základě utahovacího momentu vypočítáme osovou sílu šroubu, která působí na stožár. Následně zavedeme boční zatěžující sílu působící na svítidlo přibližně v polovině jeho délky. Poté provedeme rozbor sil působících na svítidlo (zatěžující sílu a proti ní působící síly od stožáru na přírubu svítidla). Tyto síly musí být v rovnováze. Z rovnic silové rovnováhy získáme velikost maximální zatěžující síly, kterou navržené spojení umožňuje.

Výpočet osově síly šroubového spoje

Vstupní hodnoty do výpočtu jsou následující:

$$M_u = 15\,000 \text{ Nmm}$$

$$d_2 = 7,188 \text{ mm}$$

$$P = 1,25 \text{ mm}$$

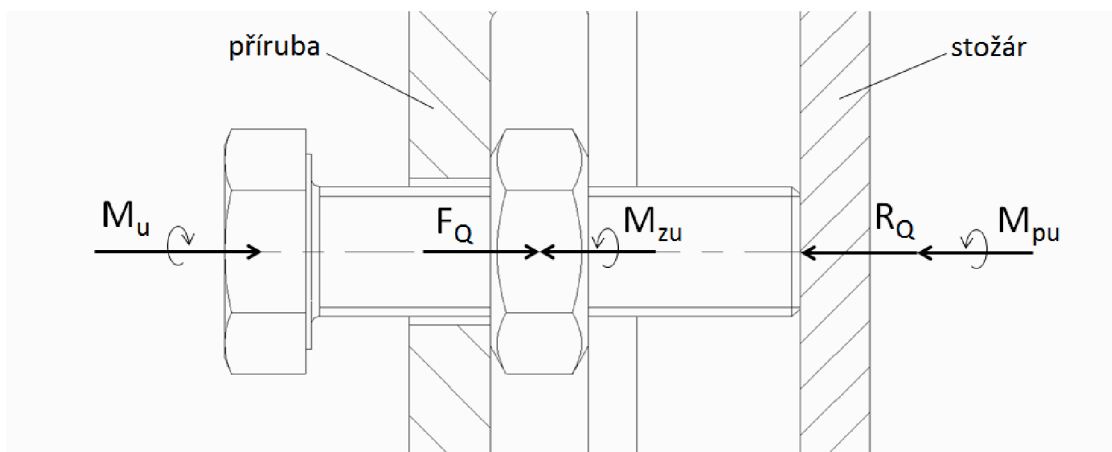
$$f_z = 0,15 \text{ [-]}$$

$$\alpha = 60^\circ$$

$$f_p = f_z = 0,15 \text{ [-]}$$

$$D_p = 2,25 \text{ mm}$$

Na Obr. 7.2: Schéma šroubového spoje stožár – příruba vidíme znázornění sil působících na šroub, který připevňuje přírubu ke stožáru. Vstupní známou veličinou je utahovací moment M_u působící od klíče na šroub. Mezi závitem matice a šroubu vzniká odporový třecí moment M_{zu} a osová síla F_Q , která je přenášena šroubem na přírubu, kde proti ní působí stejně velká reakční síla R_Q . Na styku šroubu s přírubou zároveň vzniká odporový třecí moment M_{pu} .



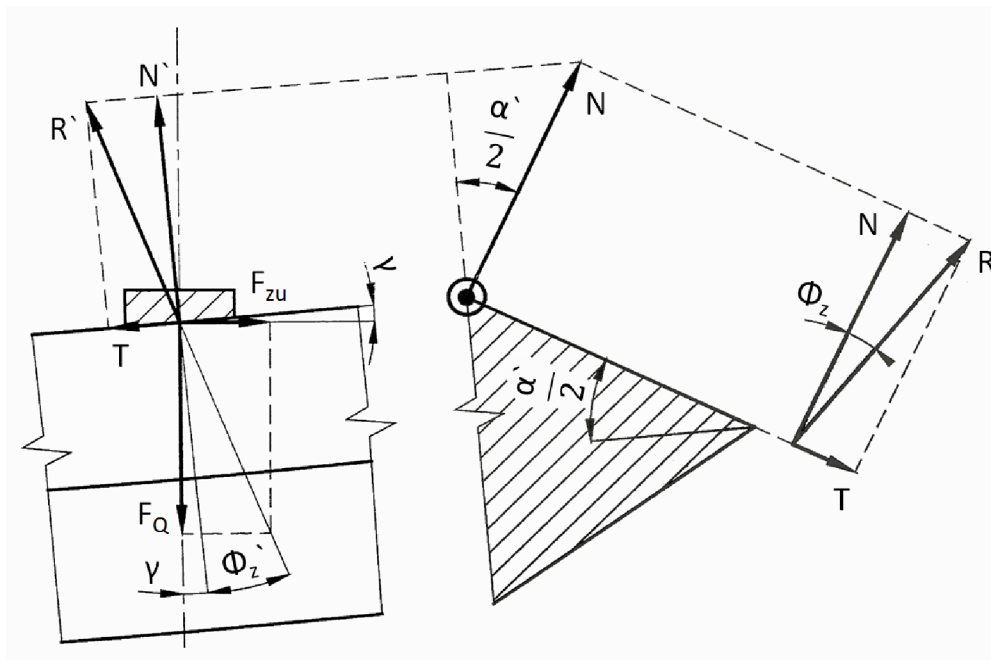
Obr. 7.2: Schéma šroubového spoje stožár – příruba

Při utahování šroubu musí moment od klíče překonávat odporový třecí moment v závitu a mezi čelní plochou konce šroubu a přírubou. Platí:

$$M_u = M_{zu} + M_{pu} . \tag{7.5}$$

Poznámka: Většina vztahů použitých pro výpočet je přebrána ze zdroje [69], případně upravena pro náš případ šroubového spoje.

Nyní pojďme blíže rozebrat síly působící na závit šroubu. Na Obr. 7.3: Silové poměry na závitu šroubu [69] vidíme část závitu šroubu s náhradním tělískem, které nahrazuje matici.



Obr. 7.3: Silové poměry na závitu šroubu [69]

Pro odporový třecí moment závitu platí:

$$M_{zu} = \frac{1}{2} d_2 F_Q \operatorname{tg}(\gamma + \varphi'_z), \quad (7.6)$$

kde d_2 je střední průměr závitu, γ je úhel stoupání závitu, který lze vypočítat z rozteče závitu P a obvodu kružnice o průměru d_2 pomocí vztahu:

$$\gamma = \operatorname{arctg}\left(\frac{P}{\pi d_2}\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{1,25}{\pi 7,188}\right) = 3,168^\circ. \quad (7.7)$$

Pro třecí úhel φ'_z lze odvodit vztah:

$$\varphi'_z = \operatorname{arctg}\left(\frac{f_z}{\cos\left(\frac{\alpha'}{2}\right)}\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{0,15}{\cos\left(\frac{60}{2}\right)}\right) = 9,826^\circ. \quad (7.8)$$

Úhel boční strany závitu α' můžeme položit roven úhlu α díky tomu, že úhel stoupání γ je malý. Dále platí vztah pro odporový moment tření mezi čelní plochou konce šroubu a stožárem M_{pu} :

$$M_{pu} = f_p F_Q \frac{D_p}{2}, \quad (7.9)$$

kde f_p je součinitel tření mezi šroubem a stožárem a D_p je poloviční průměr čelní plochy konce šroubu dosedající na stožár.

Dosazením vztahů (7.6) a (7.9) do (7.5) a následnou úpravou získáme výsledný vztah pro utahovací moment M_u :

$$M_u = \frac{F_Q}{2} [d_2 \operatorname{tg}(\gamma + \varphi'_z) + f_p D_p], \quad (7.10)$$

ze kterého vyjádříme osovou sílu F_Q :

$$F_Q = \frac{2 M_u}{d_2 \operatorname{tg}(\gamma + \varphi'_z) + f_p D_p} = \frac{2 \cdot 15\,000}{7,188 \cdot \operatorname{tg}(3,168^\circ + 9,826^\circ) + 0,15 \cdot 2,75} = 6\,581 \text{ [N]}. \quad (7.11)$$

Vypočtená osová síla nám nyní poslouží jako vstup do dalšího kroku výpočtu.

Výpočet maximální boční síly působící na svítidlo

Vstupní hodnoty do výpočtu jsou následující:

$$F_Q = 6\,581 \text{ N}$$

$$r = 35 \text{ mm}$$

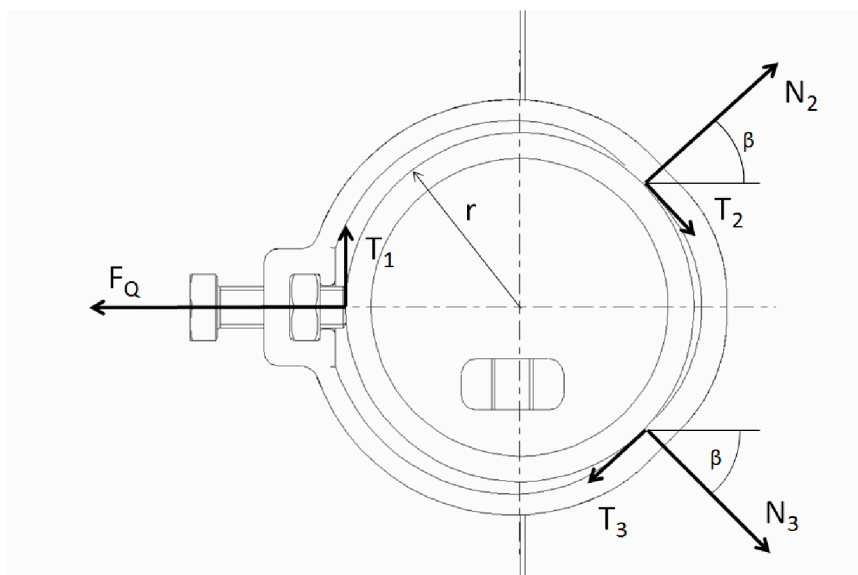
$$\beta = 45^\circ$$

$$l = 271,5 \text{ mm}$$

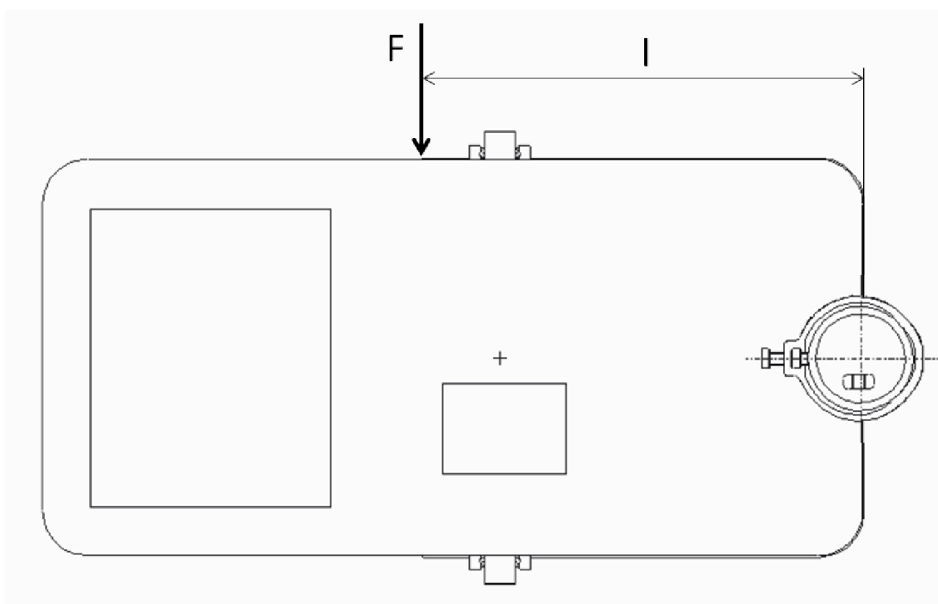
$$f = 0,15 \text{ [-]}$$

Nyní zavedeme boční zatěžující sílu F působící na svítidlo přibližně v polovině jeho délky. Půjde nám o to, určit velikost síly F na základě známé osově síly F_Q , kterou vyvozuje každý ze dvou šroubů. Problém budeme řešit ve vodorovné rovině, tedy nebudeme uvažovat svislé síly. Silové poměry působící na svítidlo s přírubou můžeme vidět na Obr. 7.4: Detail silové poměry na přírubě a Obr. 7.5:

Silové poměry na svítidle. Oba obrázky je nutno vnímat jako jeden celek. Pohledy jsou zdola.



Obr. 7.4: Detail silové poměry na přírubě



Obr. 7.5: Silové poměry na svítidle

Rovnice silové rovnováhy:

$$\text{směr x: } -2 F_Q + N_2 \cos(\beta) + T_2 \cos(\beta) + N_3 \cos(\beta) - T_3 \cos(\beta) = 0, \quad (7.12)$$

$$\text{směr y: } -F + T_1 + N_2 \cos(\beta) - T_2 \cos(\beta) - N_3 \cos(\beta) - T_3 \cos(\beta) = 0. \quad (7.13)$$

Využíváme zde toho, že úhel β je roven 45° , tedy svislé i vodorovné složky sil N_2 , T_2 , N_3 , T_3 , lze vyjádřit pomocí jedné goniometrické funkce, a to \sin nebo \cos . Osovou sílu šroubu F_Q násobíme dvěma, protože máme 2 šrouby.

Rovnice momentové rovnováhy ke středu stožáru:

$$-F l + T_1 r + T_2 r + T_3 r = 0. \quad (7.14)$$

Vztahy mezi normálovými a tečnými silami:

$$T_1 = 2 F_Q f, \quad (7.15)$$

$$T_2 = N_2 f, \quad (7.16)$$

$$T_3 = N_3 f. \quad (7.17)$$

Vztahy (7.12) až (7.17) tvoří 6 rovnic o 6 neznámých (N_2 , T_2 , N_3 , T_3 , T_1 a F). Výsledkem řešení této soustavy rovnic bude síla F . Z důvodu velkého objemu textu nebude zapsán postup řešení soustavy rovnic, ale pouze uvedeny výsledné síly vypočítané dosazením číselných hodnot do odvozených vztahů:

$$N_2 = 9\,666 \text{ N}$$

$$N_3 = 8\,821 \text{ N}$$

$$F = 611 \text{ N}$$

Výsledná boční síla působící na svítidlo je $F = 611 \text{ N}$.

Závěr

V případě montáže svítidla na svislý stožár při utahovacím momentu šroubů 15 Nm může na svítidlo působit boční síla s působištěm přibližně uprostřed délky svítidla maximálně $F = 611 \text{ N}$. Pokud by praxe ukázala, že je tento způsob upevnění nedostatečný, bylo by možné zvýšit únosnost připojení příruby na stožár

- a) zvýšením utahovacího momentu šroubů (až na 24 Nm v případě šroubů pevnostní třídy 8.8)
- b) úpravou tvaru příruby takovým způsobem, aby úhel svíraný nositelkami sil N_2 , a N_3 byl větší, než 90° . V takovém případě by při

zachování stejné osově síly šroubů bylo dosaženo větší třecí síly mezi stožárem a přírubou.

7.2.3 Simulace tepelné disipace

Na základě doporučení analýzou FMEA-K je provedena simulace tepelné disipace ze svítidla. Použité LED čipy mají relativně vysoký poměr příkonu k velikosti. Proto lze očekávat nutnost přidání chladičích žebber na chladič LED modulu.

Jako vstupní veličinu pro tepelnou simulaci chladiče LED modulu je nutné znát množství tepla generovaného LED modulem. Ideální by bylo znát tepelnou (nebo zářivou) účinnost LED čipů, tedy vědět jak velká část elektrického příkonu vstupujícího do LED čipu je přeměna ve světlo a jak velká v teplo. Bohužel tento údaj výrobce v katalogu neudává. Z informací v katalogu by teoreticky bylo možné analyticky vypočítat množství energie přenášené zářením LED čipu. Obnášelo by to však přepočítání světelného toku, který je udáván grafem s nezávisle proměnnou vlnovou délkou, na zářivý tok. Z grafu by bylo možné pomocí integrace (funkce, jejíž zápis známe pouze v grafické podobě) vypočítat zářivý tok a z něj získat celkovou energii přenášenou zářením. Tento postup výpočtu by byl poměrně pracný a z důvodu výpočtu založeného na grafickém zobrazení komplikované matematické funkce poměrně nepřesný. Proto pro stanovení světelné účinnosti LED čipu využijeme informaci ze studie o LED čípech s bílým světlem [70], ve které je uvedeno, že v LED čípech pouličních svítidel je cca 70 – 80 % elektrické energie přeměněno v teplo a pouze zbývajících 20 – 30 % ve světlo. Mějme na paměti, že zde hovoříme o skutečné světelné účinnosti, tedy poměru elektrické energie přeměněné ve světlo. Nepleťme si tento pojem s měrným světelným výkonem, který je blíže popsán v kapitole 2.1 *Základní pojmy – Měrný světelný výkon*. Některé zdroje uvádějí světelnou účinnost vyšší, a to 40 %, 50 % až 90 % [71], [72]. V případě reálné výroby svítidla by bylo nejlepší získat přesnou informaci o světelné účinnosti LED čipů přímo do výrobce. Pro účely této práce však zůstaneme na straně bezpečnosti a použijeme konzervativní hodnotu světelné účinnosti pouze 20 %.

Vstupní údaje pro tepelnou analýzu chladiče LED modulu:

$\eta = 20 \%$ světelná účinnost LED čipu,
 $U_{jmstř} = 6,2 \text{ V}$ jmenovité střední napětí LED čipu,
 $I_{jmstř} = 640 \text{ mA}$ jmenovitý střední proud LED čipu,
 $i = 25 [-]$ počet LED čipů v LED modulu,
 $\lambda = 192,2 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ tepelná vodivost hliníku,
 $t = 35 \text{ °C}$ teplota okolního vzduchu,
 $\alpha = 10 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ součinitel přestupu tepla ze stěny do vzduchu.

Nyní potřebujeme dopočítat celkový tepelný výkon LED modulu P_{Ct} . Celkový příkon jednoho LED čipu P_1 dostaneme ze vztahu:

$$P_1 = U_{jmstř} \cdot I_{jmstř} = 6,2 \cdot 0,64 = 3,9 \text{ [W]}, \quad (7.18)$$

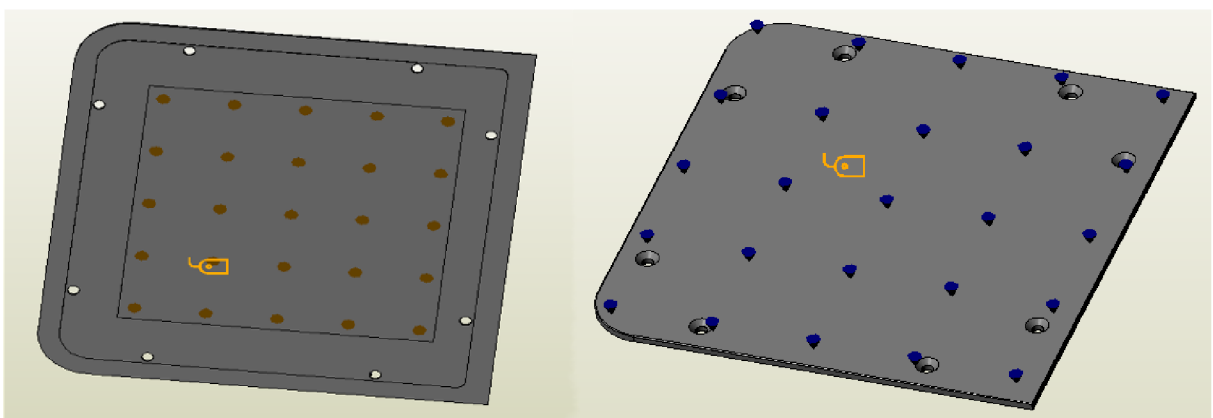
celkový příkon LED modulu P_c :

$$P_c = i \cdot P_1 = 25 \cdot 3,9 = 99,5 \text{ [W]} \quad (7.19)$$

a celkový tepelný výkon LED modulu potom bude:

$$P_{ct} = P_c \cdot (1 - \eta) = 99,5 \cdot (1 - 0,2) = 79,6 \text{ [W]} \quad (7.20)$$

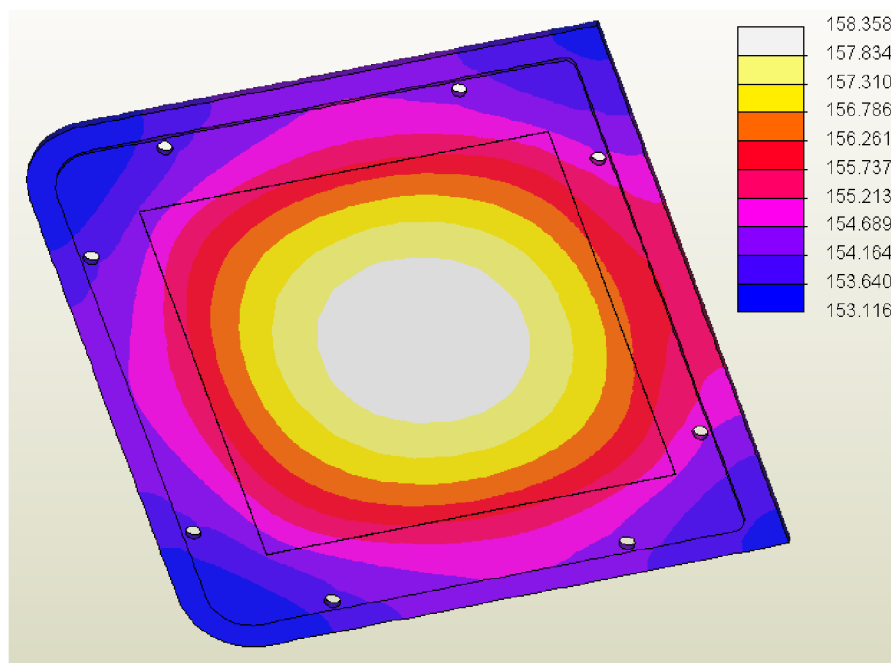
Tepelná analýza byla provedena s výše uvedenými hodnotami v softwaru PTC Creo Simulate 3. Okrajové podmínky byly aplikovány dle Obr. 7.6: Aplikace okrajových podmínek. Část spodní plochy chladiče LED modulu je zatížena teplem generovaným LED modulem. Na horní plochu chladiče, včetně případných žebek, je aplikována podmínka konvekce tepla do okolního vzduchu.



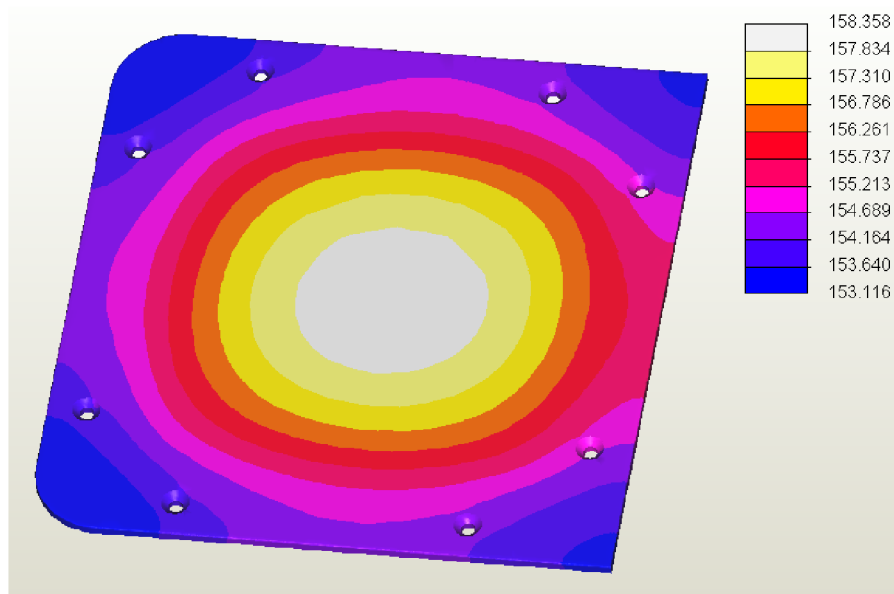
Obr. 7.6: Aplikace okrajových podmínek

Teplota chladiče dle analýzy

Na následujících obrázcích můžeme vidět barevně znázorněnou teplotu chladiče. Jednotkou stupnice každého obrázku jsou °C.

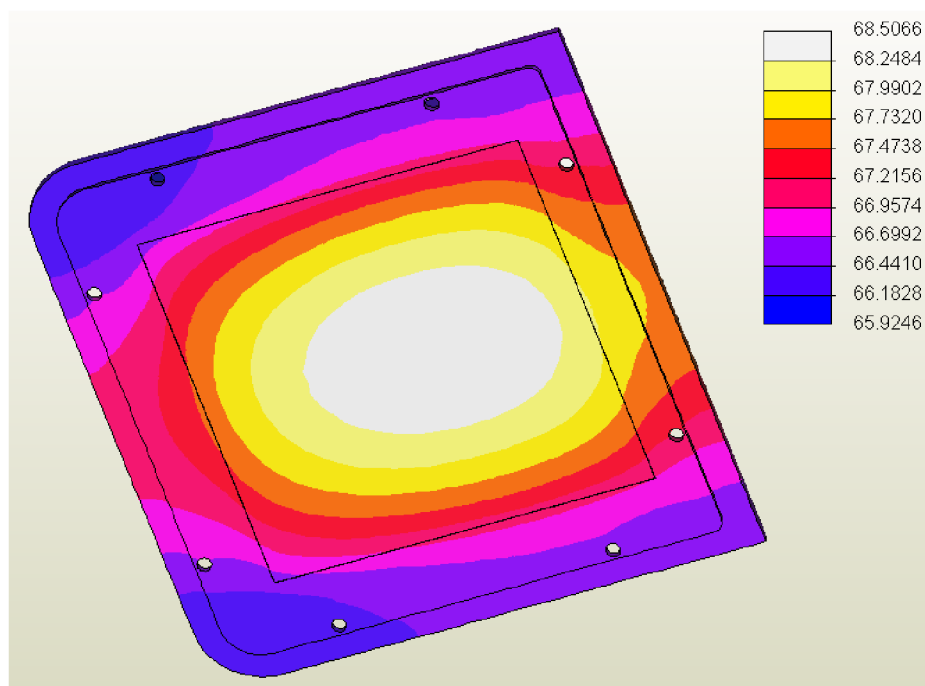


Obr. 7.7: Chladič bez žeber – teplota [°C] spodní části

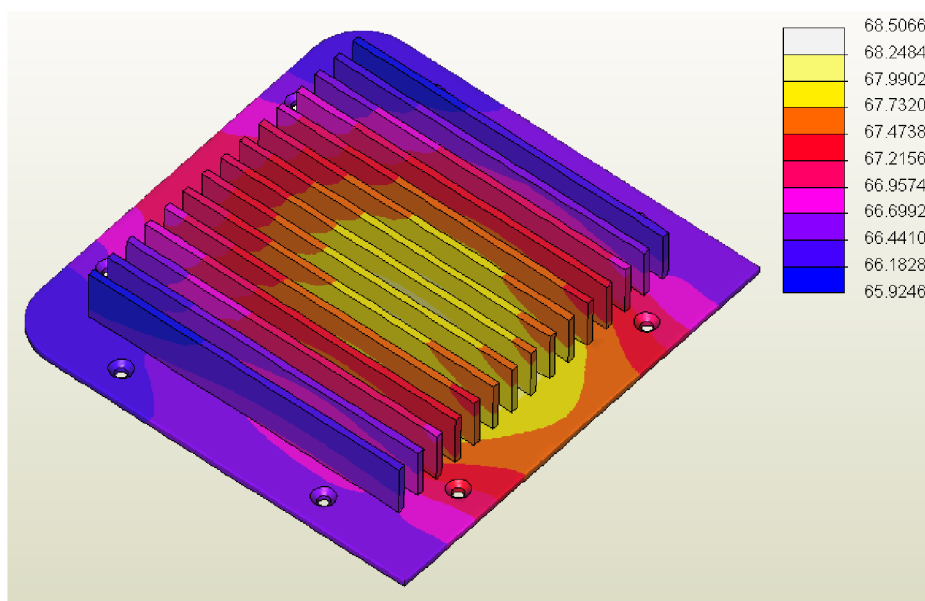


Obr. 7.8: Chladič bez žeber – teplota [°C] horní části

Podle Obr. 7.7: Chladič bez žeber – teplota [°C] spodní části a Obr. 7.8: Chladič bez žeber – teplota [°C] horní části vidíme, že maximální teplota na chladiči dosahuje až 158 °C, což je hodnota nepřijatelná pro provoz LED čipů. Proto byla na chladič přidána jednoduchá chladičí žebra.

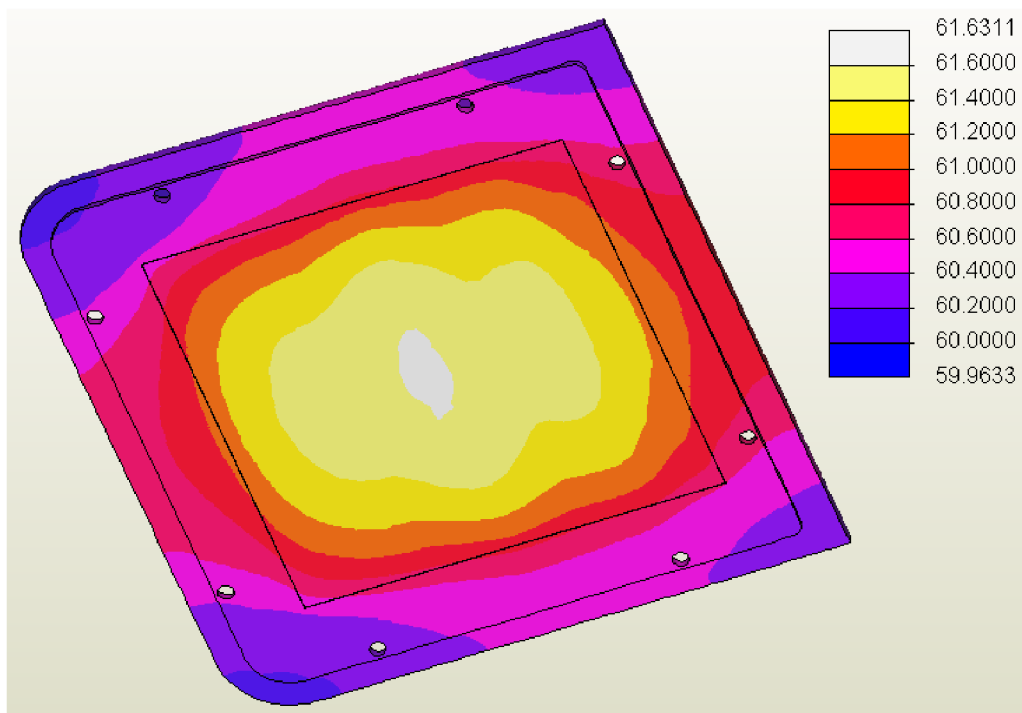


Obr. 7.9: Chladič s žebry – teplota [°C] spodní části

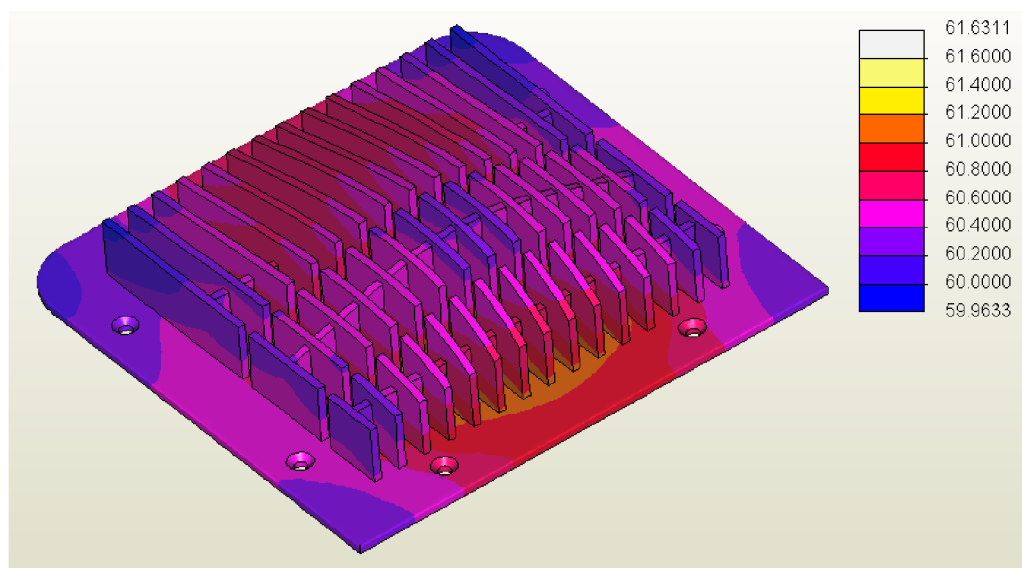


Obr. 7.10: Chladič s žebry – teplota [°C] horní části

Na Obr. 7.9: Chladič s žebry – teplota [°C] spodní části a Obr. 7.10: Chladič s žebry – teplota [°C] horní části vidíme, že přidaná žebra přináší značný chladicí účinek. Maximální teplota dosahuje už jen 68,5 °C. Na pohledu zespodu vidíme však poměrně asymetrické rozložení teploty a zároveň 68,5 °C není optimální provozní teplota pro zaručení dlouhé životnosti LED čipu. Proto byla žebra tvarově optimalizována.



Obr. 7.11: Chladič s optimalizovanými žebry – teplota [°C] spodní části



Obr. 7.12: Chladič s optimalizovanými žebry – teplota [°C] horní části

Na Obr. 7.11: Chladič s optimalizovanými žebry – teplota [°C] spodní části a Obr. 7.12: Chladič s optimalizovanými žebry – teplota [°C] horní části vidíme tvar optimalizovaných žebry. Můžeme si všimnout, že rozložení teploty na spodní části chladiče je symetričtější a zároveň maximální teplota dosahuje přibližně 61,6 °C.

Shrnutí tepelné analýzy

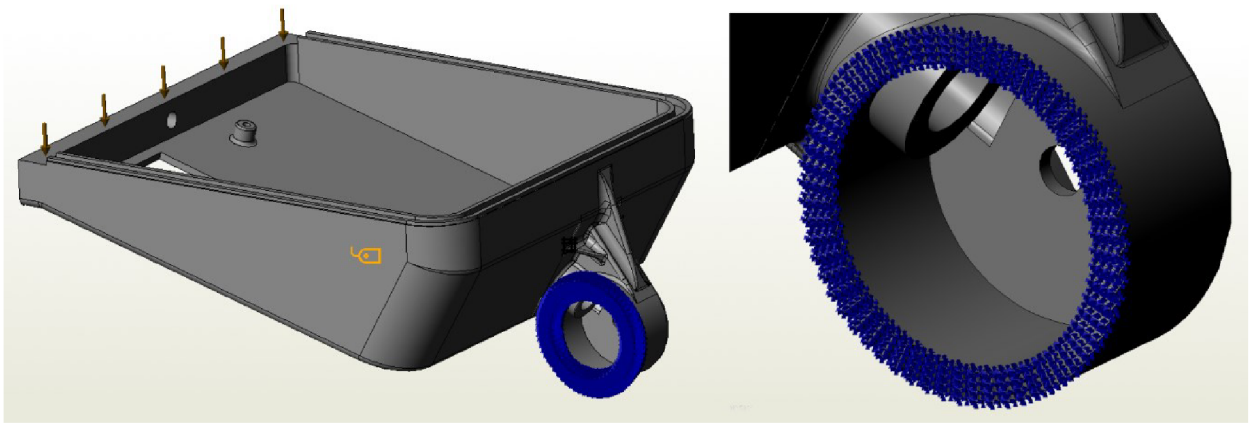
Analýza byla provedena poměrně konzervativně a je pravděpodobné, že běžně bude svítidlo provozováno v tepelně přívetivějších podmínkách, než je teplota okolního vzduchu 35 °C. Zároveň světelná účinnost LED čipů bude pravděpodobně vyšší, než uvažovaných 20 %. Tím pádem tepelné zatížení chladiče bude nižší, což je rovněž pozitivní skutečnost pro dosažení dlouhé životnosti LED čipů. Na druhou stranu teoreticky mohou krátkodobě nastat i náročnější podmínky, například při kolísání napětí LED driveru, nebo nastavení výkonu svítidla na více, než 100 %. Pokud by chladičový výkon nebyl dostatečný, bylo by možné dále optimalizovat chladičové žebra, nebo použít materiál s vyšší tepelnou vodivostí, jako například měď.

7.2.4 Pevnostní analýza

Na základě analýzy FMEA-K bylo doporučeno provést pevnostní analýzu přírubové části dolního nosného krytu svítidla. Analýza byla provedena v softwaru PTC Creo Simulate 3. Jelikož z hlediska pevnosti lze předpokládat, že nejkritičtější bude právě oblast přírubové části, byl model dolního krytu za účelem simulace zjednodušen. To můžeme považovat za část preprocessingu, kde nám zjednodušení modelu sníží nároky na výpočetní výkon, případně zkrátí dobu potřebnou pro proběhnutí výpočtu.

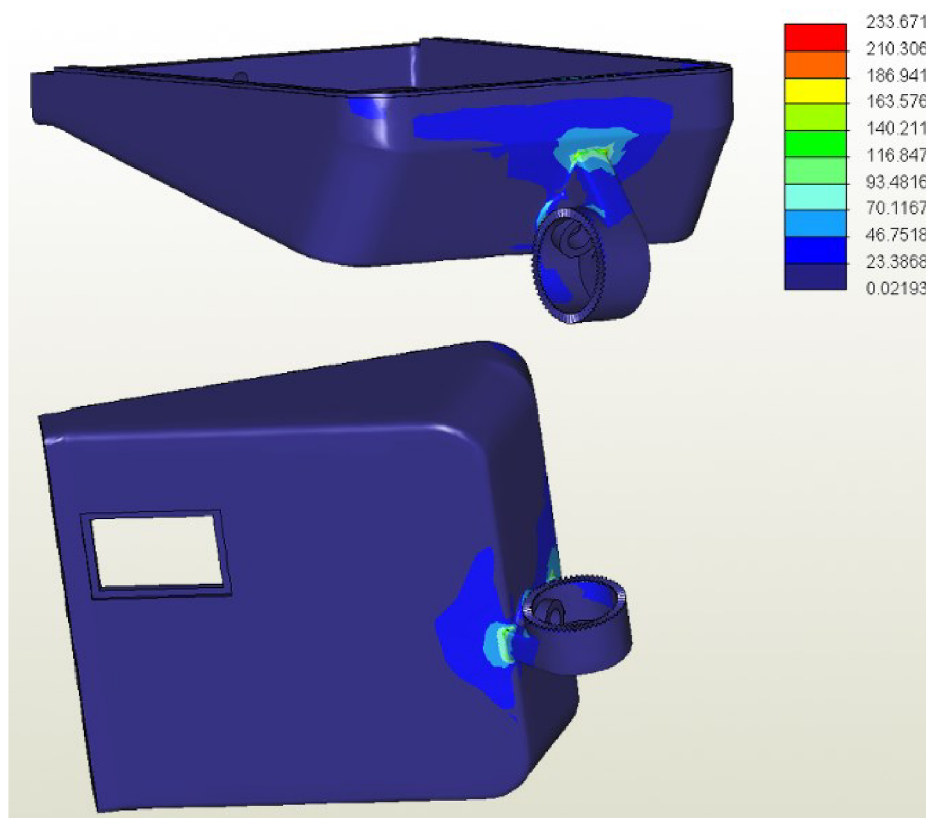
Analýza a optimalizace

Do první fáze analýzy vstupuje model s geometrií navrženou při konstrukci. Okrajové podmínky byly stanoveny dle Obr. 7.13: Okrajové podmínky, kde vidíme sílu 1000 N aplikovanou na hranu svítidla, která se nachází přibližně uprostřed jeho délky. Tato okrajová podmínka simuluje zatížení svítidla vlastní tíhou a navíc případné síly působící od větru nebo sněhu na svítidle nebo od dynamických sil způsobených kýváním stožáru. Síla 1000 N je přibližně jednadvacetinásobkem hmotnosti svítidla (cca 4,75 kg). Na spojovací zuby s přírubou byla aplikována podmínka zamezení pohybu ve všech směrech, tedy vetknutí. Tato okrajová podmínka neodpovídá úplně přesně skutečnosti, ale z možností, které software nabízí, se skutečnosti nejvíce přibližuje. Spoj je zde zajištěn tvarovou vazbou zubů umístěných v plném úhlovém rozsahu 360° na čelní ploše. Po zajištění přítlačným šroubem se spoj chová přibližně jako vetknutí.



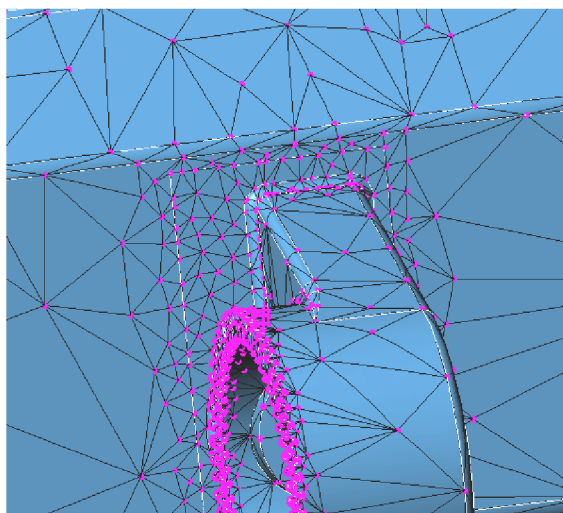
Obr. 7.13: Okrajové podmínky

První krok výpočtu byl proveden s automaticky generovanou sítí. Výsledky vidíme na Obr. 7.14: První krok výpočtu – napětí [MPa]. V přírubové oblasti vidíme koncentraci napětí s poměrně malým detailem barevné mapy. Pro detailnější výsledek provedeme lokální zhuštění sítě.



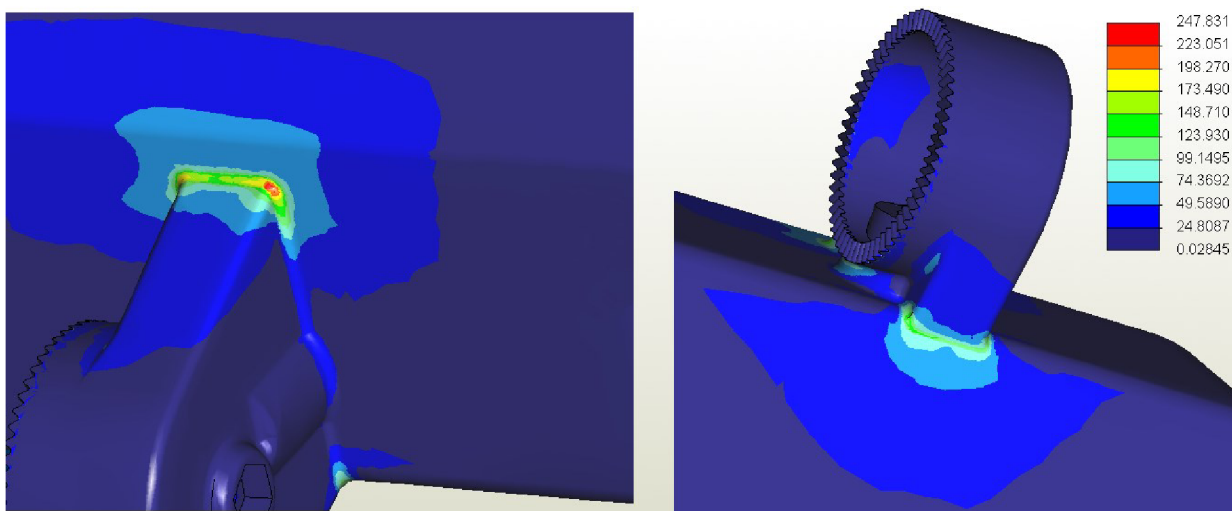
Obr. 7.14: První krok výpočtu – napětí [MPa]

Na Obr. 7.15: Zhuštění sítě v oblasti přírubové části můžeme vidět lokální zhuštění sítě v oblasti přírubové části, kde dochází k největšímu napětí. Tím dosáhneme zpřesnění výsledků



Obr. 7.15: Zhuštění sítě v oblasti přírubové části

Detailní výsledek druhého kroku vidíme na Obr. 7.16: Druhý krok výpočtu = napětí [MPa], kde napětí v oblasti koncentrace dosahuje až do intervalu 223 – 247 MPa.

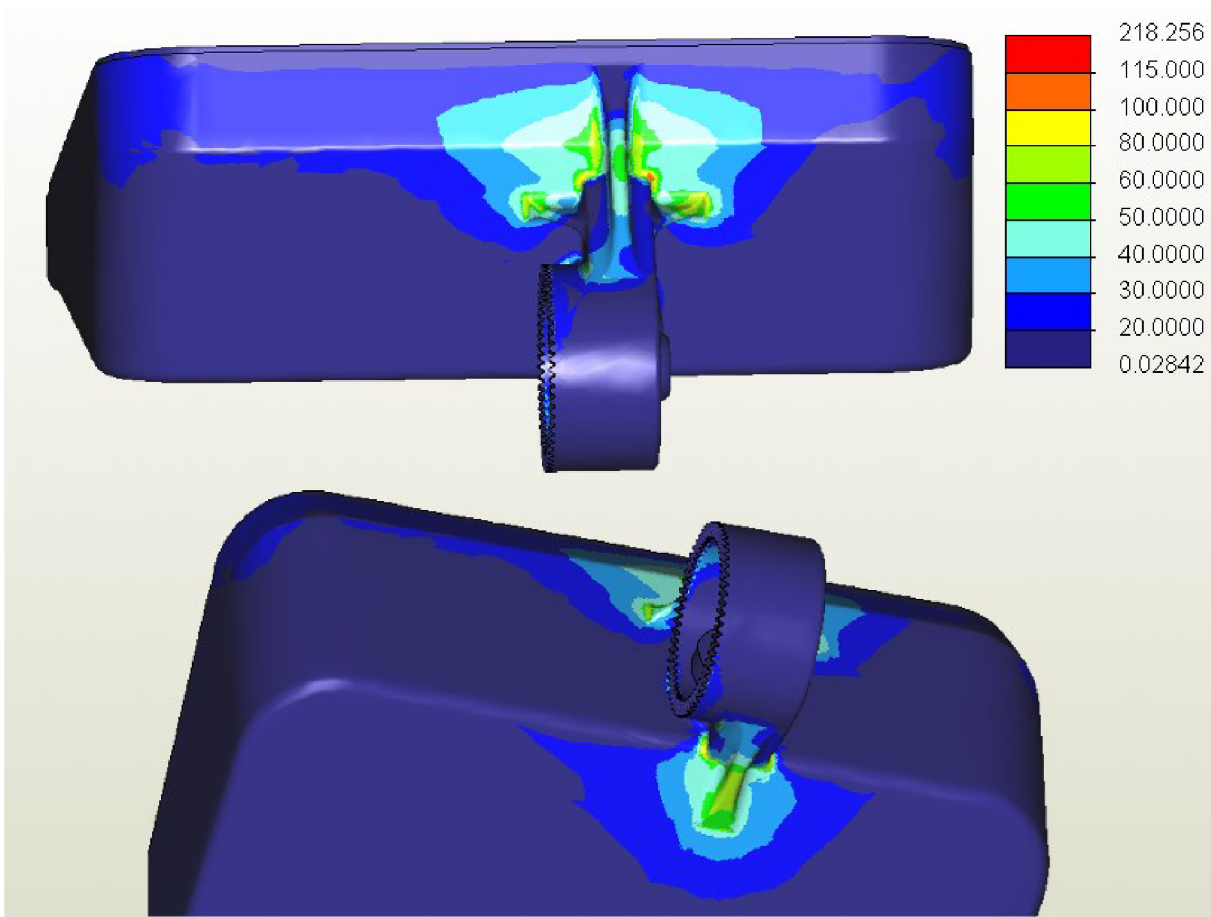


Obr. 7.16: Druhý krok výpočtu = napětí [MPa]

Smluvní mez kluzu výchozího materiálu je 100 MPa. Proto je nutné přidat žebra pro vyztužení.

Výsledný stav s žebry

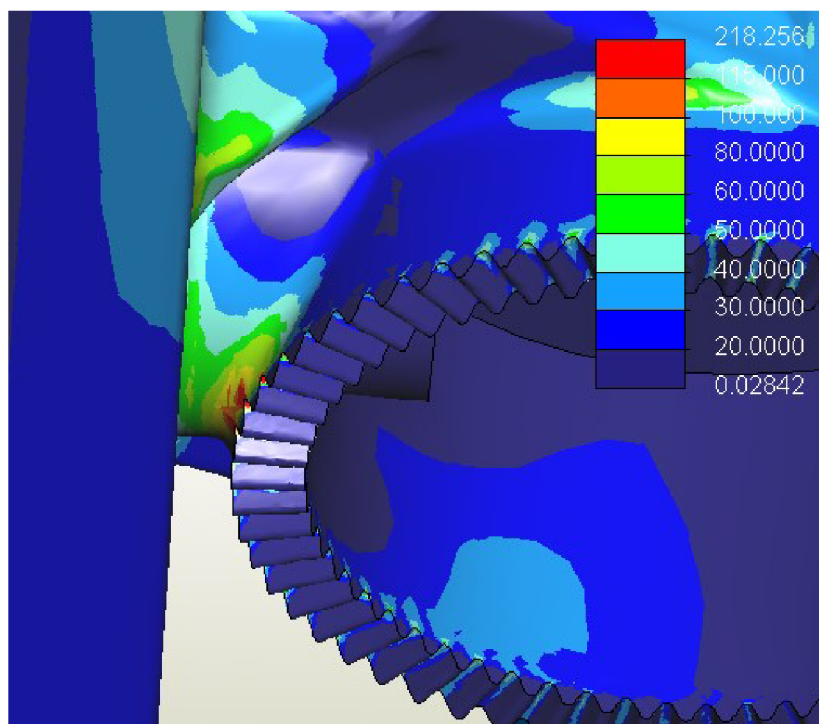
Žebra byla optimalizována, až bylo dosaženo stavu dle Obr. 7.17: Optimalizovaná žebra – napětí [MPa]. Pozn.: síť konečných prvků byla opět lokálně zhuštěna v kritické oblasti.



Obr. 7.17: Optimalizovaná žebra – napětí [MPa]

Maximální napětí dle viditelné barevné mapy na obrázku je v intervalu 100 – 115 MPa. To je hodnota přijatelná vzhledem k velikosti oblasti s touto hodnotou napětí a k tomu, že mez kluzu je smluvní, tedy v materiálu nedochází k zásadním plastické deformaci při překročení smluvní meze kluzu. Mez pevnosti je min. 180 MPa, což je hodnota ještě poměrně vzdálená. Bezpečnost spočívá v předimenzování zatěžující síly, která byla pro analýzu aplikována.

Podívejme se nyní na oblast s maximálním napětím, tedy 218 MPa. Tu vidíme na Obr. 7.18: Maximální napětí [MPa]. Výsledek v této oblasti bude pravděpodobně zkreslený zadáním okrajové podmínky vetknutí na plochy zubů. Reálně lze předpokládat napětí nižší. Kdyby byl tento úsudek milný, i v takovém případě jsme na straně bezpečnosti díky velikosti zatěžující síly uvažované v simulaci.



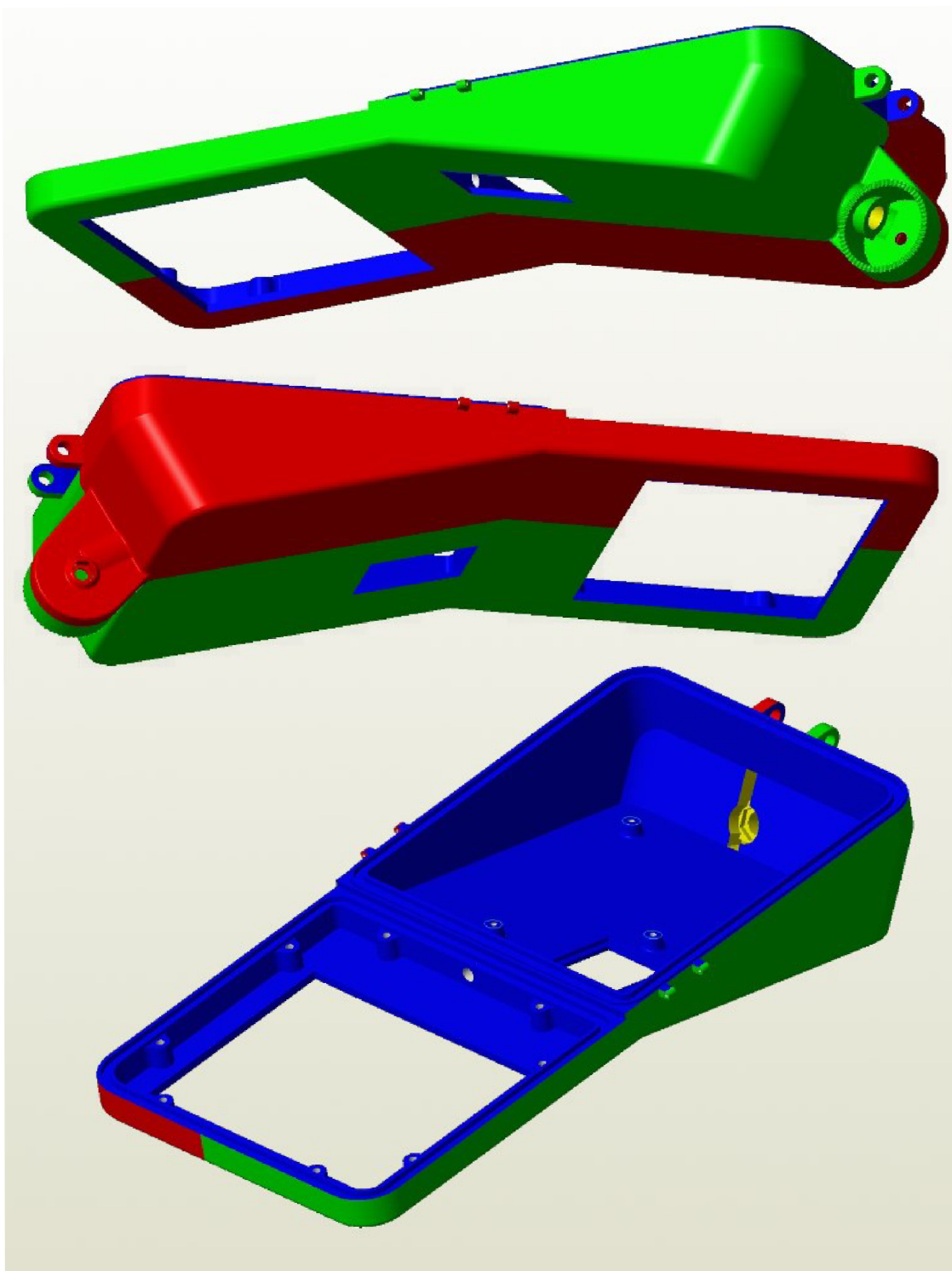
Obr. 7.18: Maximální napětí [MPa]

7.3 DFX

Na svítidlo byly aplikovány některé z principů detailního konstruování, tedy DFX (Design for X). Jejich účelem je snížení nákladů na výrobu, případně provoz a údržbu svítidla.

7.3.1 DFM (Design for Manufacturing)

Konstruování s ohledem na výrobu. Dolní kryt svítidla bude vyráběn jako odlitek. Bude se jednat o gravitační lití do kovové formy. Pro umožnění zaformování dílu byly navrženy dvě dělicí roviny – jedna vodorovná a jedna svislá. Forma bude dělena na 3 části, z nichž dolní dvě části se budou od vychladnutého odlitku vytahovat směrem do stran (Obr. 7.19: Zaformování odlitku dolního krytu – zelené a červené plochy) a horní část směrem nahoru (modré plochy). S ohledem na tento fakt byly na odlitku vytvořeny úkosy stěn. Na zmíněném obrázku můžeme vidět barevné znázornění ploch vytvořených příslušnými částmi formy. Dále se zde vyskytují plochy žluté, které vzniknou pomocí jednoho jádra umístěného ve formě.



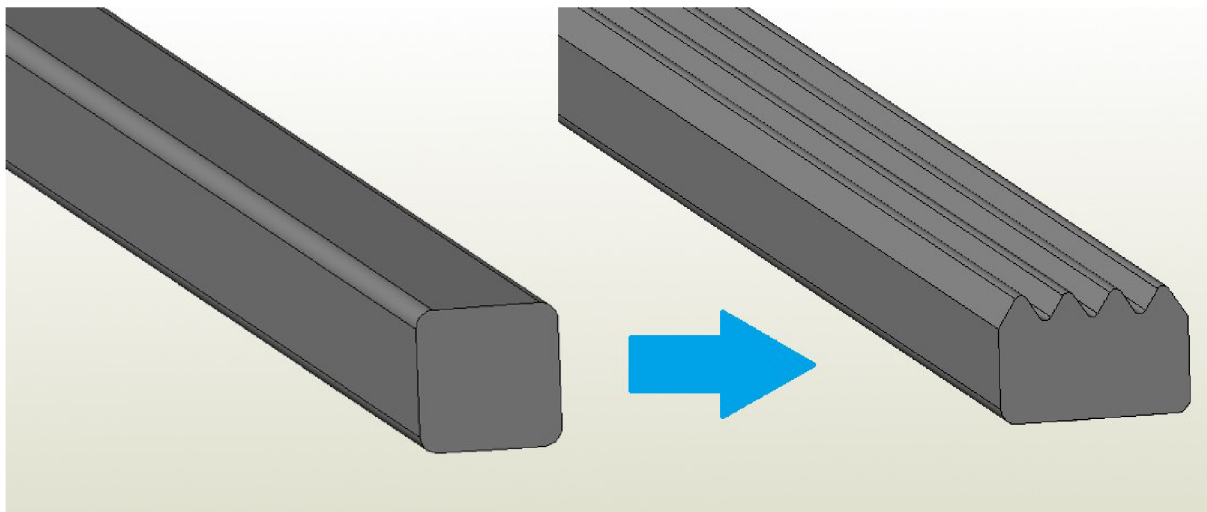
Obr. 7.19: Zaformování odlitku dolního krytu

7.3.2 DFR (Design for Reliability)

Konstruování s ohledem na spolehlivost.

Těsnění

Z pohledu spolehlivosti byl změněn tvar průřezu těsnění chladiče LED modulu a těsnění horního krytu svítidla z čtvercového průřezu na obdélníkový průřez s drážkami, které zajistí lepší kontakt těsnění s krytem a zvýší tak ochranu proti vniknutí vody do svítidla. Změnu můžeme vidět na Obr. 7.20: Úprava těsnění.



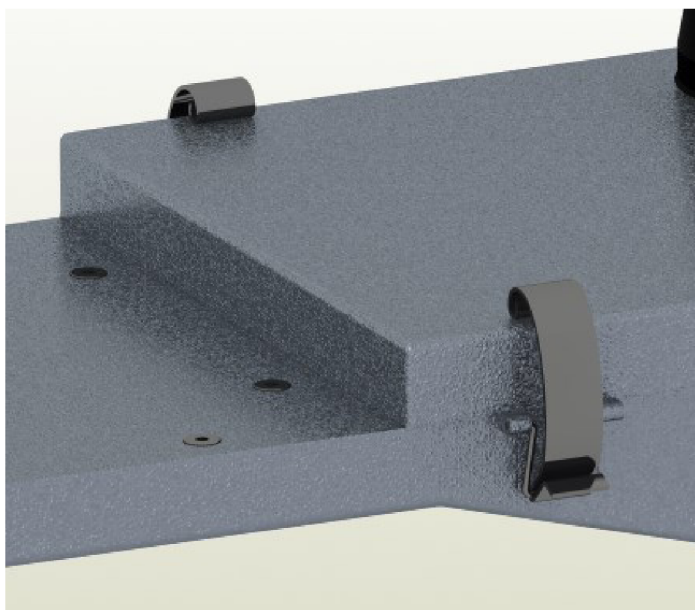
Obr. 7.20: Úprava těsnění

Sklon radarové části

Z pohledu spolehlivosti bylo již během návrhu svítidla myšleno na sklon části spodního krytu, na které je uložen radar, a to takovým způsobem, aby zorné pole radaru zaznamenávalo co největší část vozovky, případně chodníku.

7.3.3 DFD (Design for Disassembly)

Z hlediska konstruování s ohledem na demontáž byly přebrány z původního svítidla MODUS sponky pro upevnění horního krytu. Sponky zajišťují rychlou demontáž v případě nutnosti servisu nebo výměny elektronických komponent svítidla. Sponky můžeme vidět na Obr. 7.21: Sponky horního krytu. Přínos sponek může být též vnímán z pohledu konstruování s ohledem na údržbu.



Obr. 7.21: Sponky horního krytu

8 Ekonomické zhodnocení

V této kapitole je provedena ekonomická úvaha o vyráběném svítidle a odhadnuta jeho prodejní cena. Většina komponent svítidla je nakupována od externích dodavatelů. Jedná se o veškerou elektroniku, odlitky korpusu svítidla a spojovací materiál. Vyráběn pomocí vlastních kapacit je LED modul a smontování všech komponent dohromady. V Tab. 8.1: Tabulka cen můžeme vidět cenu jednotlivých nakupovaných komponent svítidla, případně cenu montáže a zpracování polotovaru s využitím vlastních kapacit nebo cenu za montáž a balení svítidla.

Komponent nebo operace	Cena [Kč]	
	Nákup komponent nebo materiálu	Výroba, operace
Dolní kryt	811	-
Horní kryt	338	-
Chladič LED modulu	317	-
Krycí sklo	186	-
LED modul	613	350
LED driver	1042	-
Radar	3192	-
Controller	948	-
Těsnění	253	-
Montážní deska	43	140
Spojovací materiál a drobné komponenty	126	-
Montáž	-	700
Balení a expedice	-	450
Celkem	9509	

Tab. 8.1: Tabulka cen

Cena 9 509 Kč je tedy celková výrobní cena svítidla. K té je potřeba připočítat ještě 25 % z celkové částky, tedy 3 496 Kč na další výdaje, jako je testování a vývoj, provoz kanceláří a administrativní výdaje a další výdaje spojené s provozem výrobní společnosti. Do celkové částky nakonec započteme zbývajících 7 % jako marži, tedy 979 Kč. Celková cena za svítidlo bez DPH je tedy 13 984 Kč.

V tabulce cen si můžeme všimnout položky 3 192 Kč za radar. Tvoří cca 25 % celkové ceny svítidla, což je značná část. Počáteční vyšší investice do svítidla však

bude mít návratnost v podobě uspořené energie z provozu svítidla. Návratnost investice může být vysoká při uvážení provozu svítidla po dobu 20 – 30 let.

9 Závěr

Byla provedena inovace LED svítidla pro veřejné osvětlení. V úvodu práce jsme se seznámili s prostředím společnosti Modus. Přiblížili jsme cíle práce a zamýšlený postup. Tento postup byl dodržen. Byla provedena rešerše v oblasti osvětlovací techniky s důrazem na veřejné osvětlení. Zaměřili jsme se i na historický vývoj osvětlení (především pouličního) a nabyté poznatky jsme později podrobili víceúrovňovému schématu myšlení. Následovala rešerše stávajícího stavu techniky především v oblasti LED technologie a jejich možností. Pojednáno bylo i o systémech řízení VO.

Následovala identifikace inovačních příležitostí. Nejprve bylo popsáno výchozí svítidlo pro inovaci vyráběné společností Modus. Následoval rozsáhlý průzkum trhu, do kterého bylo zahrnuto celkem 21 svítidel výrobců jak českých, tak zahraničních, jak renomovaných, tak méně známých. Poznatky z průzkumu trhu byly shrnuty z různých úhlů pohledů. Po průzkumu trhu bylo pojednáno o trendech společenských, trendech v technice a v oblastech souvisejících s VO. Všechny dosavadní poznatky byly podrobeny již zmíněnému víceúrovňovému schématu myšlení, nazývanému též jako 9 oken. Pokračovali jsme identifikací zákaznických potřeb pomocí dotazníků vyplněných provozovateli VO. Proběhla i osobní konzultace na řídicím centru správy VO v Liberci.

Následovalo generování konceptů. Proces započal stanovením cílové výrobové specifikace s využitím metody QFD. Následovaly metody tvůrčí kreativity, tedy funkčně objektová analýza, která vedla na trimming části příruby. Druhou aplikovanou metodou byla search, kde byla vyhledána technická řešení v patentech a v odborné literatuře. Nalezená technická řešení byla následně implementována do navržených 5 konceptů svítidel. Jednotlivé koncepty se lišily mírou inovativnosti, tedy dosahují různých inovačních řádů a zaměřují se jak na inovaci v oblasti mechanických komponent svítidla, tak v oblasti elektronických komponent, které umožňují široké spektrum nových funkcí svítidla. Kromě konceptů svítidel byly řešeny i možnosti konceptů přírub.

5 konceptů svítidel bylo podrobena vyhodnocení s využitím rozhodovací metody AHP, s pomocí které byl vybrán vítězný koncept.

Vítězný koncept byl následně zpracován konstrukčně ve 3D a poté byl vyhotoven výkres montážní sestavy svítidla.

Konstrukční návrh byl podroben metodám určeným k prověření konstrukčního návrhu. Jedná se o analýzu poruchových stavů FMEA-K a principy detailního konstruování DFX. Na základě těchto postupů byly navrženy úpravy některých komponent svítidla. Také byla provedena opatření vycházející z analýzy poruchových stavů. Jednalo se o výpočet teplotní délkové roztažnosti krycího skla a dolního krytu a volbu vhodného lepidla pro spojení těchto dvou dílů. Dále šlo o výpočet montážní síly příruby ke stožáru, o tepelnou analýzu chladiče LED modulu a pevnostní analýzu přírubové části dolního krytu svítidla. I v těchto případech byly navrženy úpravy dílů svítidla.

Na závěr bylo provedeno ekonomické zhodnocení navrženého svítidla.

Seznam obrázků

Obr. 1.1: Souvislost mezi frekvencí inovací a hospodářskými cykly [1]	13
Obr. 1.2: S-křivka [1].....	14
Obr. 1.3: Svítidlo MODUS PARK [4]	16
Obr. 1.4: Svítidlo MODUS FLY [4]	16
Obr. 2.1: Příklad diagramu svítivosti bodového zdroje [4]	19
Obr. 2.2: Knotová petrolejová pouliční lucerna z 60. let 19. století [17].....	22
Obr. 2.3: Závěsná žárová petrolejová lampa bez knotu z 20. let 20. století [18].....	22
Obr. 2.4: Lampa s přímým osvětlením z hořícího plynu [22]	23
Obr. 2.5: Konfigurace LED čipů, (a) zastříknutá LED dioda, (b) kalíšek plněný fosforovou směsí, (c) kalíšek s odlehlou fosforovou vrstvou, (d) uzpůsobený povlak [29]	27
Obr. 2.6: DIP LED modul [30]	29
Obr. 2.7: SMD LED modul [30]	29
Obr. 2.8: COB LED modul [30]	30
Obr. 2.9: Barevné spektrum různých světelných zdrojů [36].....	31
Obr. 3.1: Svítidlo LV LEDOS [4]	35
Obr. 3.2: Chladič LV LEDOS [4]	36
Obr. 3.3: DALYA-S, OMS [38].....	39
Obr. 4.1: Úprava modelu funkční analýzy (trimming)	51
Obr. 4.2: Svítidlo dle patentu US20150023020A1 [45]	53
Obr. 4.3: Schéma zapojení komponent [47].....	55
Obr. 4.4: OpenSky Zhaga IoT Streetlight Controller [75]	56
Obr. 4.5: Zpracování obrazu TOF senzorem [52].....	58
Obr. 4.6: Modul THEO-P173 [61]	60
Obr. 4.7: Výpočetní deska Odroid XU4Q [64]	61
Obr. 4.8: LED čip Samsung řada LH502C [65]	62
Obr. 4.9: Koncept MODUS 2 – rozpad.....	64
Obr. 4.10: Koncept MODUS 2	64
Obr. 4.11: Koncept MODUS 2 z boku	64

Obr. 4.12: Koncept Sklopné svítidlo – rozpad	66
Obr. 4.13: Koncept Sklopné svítidlo.....	66
Obr. 4.14: Koncept Sklopné svítidlo – odklopené	66
Obr. 4.15: Koncept Radar – princip fungování.....	68
Obr. 4.16: Koncept Radar – rozpad	69
Obr. 4.17: Koncept Radar.....	69
Obr. 4.18: Koncept Radar – odklopený kryt	69
Obr. 4.19: Koncept V2X – rozpad	71
Obr. 4.20: Koncept V2X.....	72
Obr. 4.21: Koncept V2X – odklopený kryt	72
Obr. 4.22: Koncept Kompozit – rozpad	75
Obr. 4.23: Koncept Kompozit.....	75
Obr. 4.24: Koncept Kompozit – uvolněný kryt.....	75
Obr. 4.25: Příruba s rovnou dosedací plochou – rozpad.....	76
Obr. 4.26: Příruba s rovnou dosedací plochou	76
Obr. 4.27: Část příruby integrovaná v odlitku krytu svítidla – koncept Radar.....	77
Obr. 4.28: Část příruby integrovaná v odlitku základní desky svítidla – koncept Kompozit	77
Obr. 4.29: „revolverová“ koncepce příruby – koncept MODUS 2	78
Obr. 4.30: „revolverová“ koncepce příruby – koncept V2X.....	78
Obr. 4.31: Poloha děr s nepravidelnou roztečí	79
Obr. 6.1: Konstrukční sestava svítidla 3D	85
Obr. 6.2: Konstrukční sestava svítidla – otevřený kryt.....	86
Obr. 6.3: Konstrukční sestava svítidla - rozpad	87
Obr. 7.1: Změna délky vlivem teplotní délkové roztažnosti.....	90
Obr. 7.2: Schéma šroubového spoje stožár – příruba	92
Obr. 7.3: Silové poměry na závitu šroubu [69].....	93
Obr. 7.4: Detail silové poměry na přírubě.....	95
Obr. 7.5: Silové poměry na svítidle	95
Obr. 7.6: Aplikace okrajových podmínek.....	98
Obr. 7.7: Chladič bez žeber – teplota [°C] spodní části	99
Obr. 7.8: Chladič bez žeber – teplota [°C] horní části.....	99

Obr. 7.9: Chladič s žebry – teplota [°C] spodní části	100
Obr. 7.10: Chladič s žebry – teplota [°C] horní části	100
Obr. 7.11: Chladič s optimalizovanými žebry – teplota [°C] spodní části.....	101
Obr. 7.12: Chladič s optimalizovanými žebry – teplota [°C] horní části	101
Obr. 7.13: Okrajové podmínky	103
Obr. 7.14: První krok výpočtu – napětí [MPa].....	103
Obr. 7.15: Zhuštění sítě v oblasti přírubové části.....	104
Obr. 7.16: Druhý krok výpočtu = napětí [MPa]	104
Obr. 7.17: Optimalizovaná žebra – napětí [MPa].....	105
Obr. 7.18: Maximální napětí [MPa]	106
Obr. 7.19: Zaformování odlitku dolního krytu.....	107
Obr. 7.20: Úprava těsnění	108
Obr. 7.21: Sponky horního krytu.....	109

Seznam tabulek

Tab. 1.1: Ukázka růstu měrného výkonu světelných zdrojů [2]	14
Tab. 2.1: Parametry různých typů světelných zdrojů [2] [9]	33
Tab. 3.1: Shrnutí vybraných parametrů z průzkumu trhu	37
Tab. 3.2: Víceúrovňové schéma systémového myšlení	43
Tab. 3.3: Významnost zákaznických potřeb	45
Tab. 4.1: Rozpracované zákaznické potřeby	47
Tab. 4.2: Technické charakteristiky výrobku	48
Tab. 4.3: Hodnoty parametrů navržené na základě QFD	50
Tab. 4.4: Porovnání senzorů Infineon [50]	57
Tab. 5.1: Saatyho škála – přiřazení hodnot významnosti	81
Tab. 5.2: Párové porovnání kritérií.....	81
Tab. 5.3: Normalizovaná matice kritérií a jejich relativní priorita.....	82
Tab. 5.4: Párové porovnání konceptů – funkce	82
Tab. 5.5: Normalizovaná matice konceptů a jejich relativní priorita (hodnocení funkcí).....	82
Tab. 5.6: Párové porovnání konceptů – zatížení příruby	82
Tab. 5.7: Normalizovaná matice konceptů a jejich relativní priorita (hodnocení zatížení příruby)	82
Tab. 5.8: Párové porovnání konceptů – údržba.....	83
Tab. 5.9: Normalizovaná matice konceptů a jejich relativní priorita (hodnocení údržby).....	83
Tab. 5.10: Párové porovnání konceptů – cena	83
Tab. 5.11: Normalizovaná matice konceptů a jejich relativní priorita (hodnocení ceny)	83
Tab. 5.12: Párové porovnání konceptů – spolehlivost a životnost	83
Tab. 5.13: Normalizovaná matice konceptů a jejich relativní priorita (hodnocení spolehlivosti a životnosti).....	83
Tab. 5.14: Párové porovnání konceptů – provozní náklady.....	83

Tab. 5.15: Normalizovaná matice konceptů a jejich relativní priorita (hodnocení provozních nákladů)	83
Tab. 5.16: Přehled relativních priorit konceptů dle kritérií	84
Tab. 5.17: Přehled relativních priorit jednotlivých kritérií	84
Tab. 5.18: Tabulka celkových priorit jednotlivých konceptů	84
Tab. 8.1: Tabulka cen	110

Seznam použitých zdrojů

- [1] MAŠÍN, Ivan. *Inovační inženýrství: plánování a návrh inovovaného výrobku*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2012. ISBN 978-80-7372-852-6.
- [2] GIGA CZ. Parametry světelných zdrojů. *GigaLighting* [online]. Copyright © 2018 GigaLighting [cit. 30. 8. 2018]. Dostupné z: <http://www.gigalighting.cz/parametry-svetelnych-zdroju.htm>.
- [3] MODUS. Modus | Český výrobce svítidel. *Modus*. [online]. © 2018 Modus.cz [cit. 27. 7. 2018]. Dostupné z: <https://www.modus.cz/>.
- [4] MODUS. Katalog produktů Modus - českého výrobce svítidel. *Modus*. [online]. © 2018 Modus.cz [cit. 27. 7. 2018]. Dostupné z: <https://www.modus.cz/katalog/>.
- [5] REICHL, Jaroslav. Radiometrické veličiny. *Encyklopedie fyziky*. [online]. © 2006 - 2018 [cit. 10. 11. 2018]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/536-radiometricke-veliciny>.
- [6] REICHL, Jaroslav. Fotometrické veličiny. *Encyklopedie fyziky*. [online]. © 2006 - 2018 [cit. 10. 11. 2018]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/535-fotometricke-veliciny>.
- [7] SOKANSKÝ, Karel. *Světelná technika*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04941-9.
- [8] GLAMOX. LED and lifetime. *Glamox*. [online]. Copyright Glamox AS [cit. 22. 12. 2018]. Dostupné z: <https://glamox.com/gmo/led-and-lifetime>.
- [9] HABEL, J., K. DVOŘÁČEK, V. DVOŘÁČEK a P. ŽÁK. *Světlo a osvětlování*. Praha: FFC Public, 2013. ISBN 978-80-86534-21-3.
- [10] MONZER, Ladislav. *Osvětlení a svítidla v bytech*. Praha: Grada, 1998. ISBN 80-7169-620-X.
- [11] LNĚNIČKOVÁ, Jitka. Olejová svítidla – I. část. *Odborné časopisy: Časopis Světlo*. [online]. © 2014 – 2018 – FCC Public s. r. o. [cit. 29. 7. 2018]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/olejova-svitidla-i-cast-15626>.

- [12] LNĚNIČKOVÁ, Jitka. Olejová svítidla – II. část. *Odborné časopisy: Časopis Světlo*. [online]. © 2014 – 2018 – FCC Public s. r. o. [cit. 29. 7. 2018]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/ Svetlo/casopis/tema/olejova-svitidla-ii-cast--15599>.
- [13] LNĚNIČKOVÁ, Jitka. Svítidla na kapalné uhlovodíky (část 1). *Odborné časopisy: Časopis Světlo*. [online]. © 2014 – 2018 – FCC Public s. r. o. [cit. 29. 7. 2018]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/ Svetlo/casopis/tema/svitidla-na-kapalne-uhlovodiky-cast-1--15504>.
- [14] LNĚNIČKOVÁ, Jitka. Svítidla na kapalné uhlovodíky (část 2). *Odborné časopisy: Časopis Světlo*. [online]. © 2014 – 2018 – FCC Public s. r. o. [cit. 29. 7. 2018]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/ Svetlo/casopis/tema/svitidla-na-kapalne-uhlovodiky-cast-2--15537>.
- [15] LNĚNIČKOVÁ, Jitka. Lihová svítidla 1. část. *Odborné časopisy: Časopis Světlo*. [online]. © 2014 – 2018 – FCC Public s. r. o. [cit. 29. 7. 2018]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/ Svetlo/casopis/tema/lihova-svitidla-1-cast--16115>.
- [16] LNĚNIČKOVÁ, Jitka. Lihová svítidla 2. část. *Odborné časopisy: Časopis Světlo*. [online]. © 2014 – 2018 – FCC Public s. r. o. [cit. 29. 7. 2018]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/ Svetlo/casopis/tema/lihova-svitidla-2-cast--15765>.
- [17] LNĚNIČKOVÁ, Jitka. Svítidla na kapalné uhlovodíky (část 3). *Odborné časopisy: Časopis Světlo*. [online]. © 2014 – 2018 – FCC Public s. r. o. [cit. 29. 7. 2018]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/ Svetlo/casopis/tema/svitidla-na-kapalne-uhlovodiky-cast-3--15566>.
- [18] LNĚNIČKOVÁ, Jitka. Svítidla na kapalné uhlovodíky (část 4). *Odborné časopisy: Časopis Světlo*. [online]. © 2014 – 2018 – FCC Public s. r. o. [cit. 29. 7. 2018]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/ Svetlo/casopis/tema/svitidla-na-kapalne-uhlovodiky-cast-4--15463>.
- [19] ANON. Lamy. *Časopis czech industry*. [online]. STUDIO P+P s.r.o., © 2013 - 2018 [cit. 30. 7. 2018]. Dostupné z: <http://www.casopisczechindustry.cz/products/lamy/>.

- [20] LNĚNIČKOVÁ, Jitka. Plynová svítidla salonů, kuchyní a ložnic. *Odborné časopisy: Časopis Světlo*. [online]. © 2014 – 2018 – FCC Public s. r. o. [cit. 29. 7. 2018]. Dostupné z:
<http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/plynova-svitidla-salonu-kuchyni-a-loznic--16419>.
- [21] LNĚNIČKOVÁ, Jitka. Acetylen – zapomenuté světlo budoucnosti. *Odborné časopisy: Časopis Světlo*. [online]. © 2014 – 2018 – FCC Public s. r. o. [cit. 29. 7. 2018]. Dostupné z:
<http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/acetylen-zapomenute-svetlo-budoucnosti--16439>.
- [22] ANON. Ideal Natural Gas Outdoor Lighting with Discover the Many Possibilities Of Natural Gas In the Home. *Lamps and Lighting Ideas* [online]. © 2018 Firepaperapp.com, 10. dubna 2018 [cit. 30. 7. 2018]. Dostupné z:
<https://firepaperapp.com/natural-gas-outdoor-lighting/ideal-natural-gas-outdoor-lighting-with-discover-the-many-possibilities-of-natural-gas-in-the-home/>.
- [23] WHELAN, M. Arc Lamps. *Edison Tech Center* [online]. Copyright 2016 Edison Tech Center [cit. 2. 8. 2018]. Dostupné z:
<http://edisontechcenter.org/ArcLamps.html>.
- [24] HORŇÁK, P., V. V. TREMBACĚ a J. B. AJZENBERG. *Svietidlá a svetelné zdroje*. Bratislava: Alfa, 1983, 404 s. Edícia elektrotechnickej literatúry.
- [25] DVOŘÁČEK, Vladimír. Světelné zdroje – halogenové žárovky. *Odborné časopisy: Časopis Světlo*. [online]. © 2014 – 2018 – FCC Public s. r. o. [cit. 4. 8. 2018]. Dostupné z:
<http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/svetelne-zdroje-halogenove-zarovky--15892>.
- [26] LNĚNIČKOVÁ, Jitka. Neony začínají zářit do noci. *Odborné časopisy: Časopis Světlo*. [online]. © 2014 – 2018 – FCC Public s. r. o. [cit. 4. 8. 2018]. Dostupné z:
<http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/neony-zacinaji-zarit-do-noci--16147>.
- [27] GENDRE, Maxime F. *Two Centuries of Electric Light Source Innovations*. [online]. Eindhoven: Eindhoven University of Technology, Department of Applied

- Physics [cit. 4. 8. 2018]. Dostupné z:
http://www.einlightred.tue.nl/lightsources/history/light_history.pdf.
- [28] PEDDINTI, Vijay Kumar. *Light Emitting Diodes (LEDs)*. 2008. [cit. 2. 8. 2018].
Dostupné z: <http://www.ele.uri.edu/Courses/ele432/spring08/LEDs.pdf>.
- [29] WINKLER, H., Q. TRINH, P. BODROGI a T. Q. KHANH. *LED lighting: technology and perception*. Weinheim: Wiley-VCH, 2015. ISBN 978-3-527-67017-8.
- [30] OMKO DIGITAL. Druhy LED čipů. *TechniLED.cz* [online]. © 2014 – 2018
TechniLED.cz, 2018 [cit. 27. 8. 2018]. Dostupné z: <http://www.techniled.cz/34-druhy-led-cipu/>.
- [31] INSTYLE LED. LED Chips Explained - differences between 3528s, 5050s and other SMDs. *InStyle LED* [online]. Copyright InStyle LED Ltd 2013 [cit. 30. 8. 2018]. Dostupné z: <https://www.instyleled.co.uk/support/what-are-the-differences-between-types-of-led-chip/>.
- [32] JINHUA SUNMASTER SOLAR TECHNOLOGY. What is COB led? What is an SMD led?. *SUNMASTER: Solar Lights Manufacturer* [online]. © 2018 [cit. 30. 8. 2018]. Dostupné z: <https://www.solarlightsmanufacturer.com/cob-led-smd-led/>.
- [33] LIGHTSPOT. What is COB LED chips on board. *Lightspot* [online]. [cit. 30. 8. 2018]. Dostupné z: <http://www.cob-led.com/What-is-cob-LED-chips-on-board.html>.
- [34] MAX. The Best COB LED Grow Lights 2018 - Buyer's Guide & Reviews. In: *Green and Vibrant* [online]. 17. června 2018 [cit. 30. 8. 2018]. Dostupné z: <https://www.greenandvibrant.com/best-cob-led-grow-lights>.
- [35] STOKSTAD, Erik. LEDs: Good for prizes, bad for insects. *Science | AAAS* [online]. © 2019 American Association for the Advancement of Science, 7. října 2014 [cit. 30. 8. 2018]. Dostupné z: <http://www.sciencemag.org/news/2014/10/leds-good-prizes-bad-insects>.
- [36] SOUSEDÍKOVÁ, Kristýna. Dopad LED osvětlení na lidský organismus. *Odborné časopisy: Časopis Světlo*. [online]. © 2014 – 2018 – FCC Public s. r. o., 15. prosince 2017 [cit. 30. 8. 2018]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/clanek/dopad-led-osvetleni-na-lidsky-organismus--2660>.

- [37] FLAGSTAFF DARK SKIES COALITION. Spectrum and Light Pollution. *Flagstaff Dark Skies Coalition*. [online]. © 2019 Flagstaff Dark Skies Coalition, 22. října 2018 [cit. 14. 2. 2019]. Dostupné z: <http://www.flagstaffdarkskies.org/for-wonks/lamp-spectrum-light-pollution/>.
- [38] OMS LIGHTING. Dalya S. *OMS lighting | The manufacturer of architectural, commercial and industrial LED luminaires*. [online]. © Copyright 2019, OMS spol. s r.o. [cit. 25. 01. 2019]. Dostupné z: <http://www.omslighting.com/products/type/A0K>.
- [39] KYBA, Christopher C. M., a kolektiv. Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent. *Science Advances*. [online]. Copyright © 2019, 22. listopadu 2017 [cit. 14. 02. 2019]. Dostupné z: <http://advances.sciencemag.org/content/3/11/e1701528>.
- [40] TÝM NEJMENOVANÝCH ODBORNÍKŮ. Modré světlo: Pomáhá nebo škodí?. [online]. [cit. 20. 1. 2020]. Dostupné z: <http://www.modresvetlo.cz/>.
- [41] NDJIONGUE, Alain Richard a Ferreira HENDRIK. An Overview of Outdoor Visible Light Communications. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*. [online]. Copyright © 2008 - 2001 ResearchGate GmbH, 2018. [cit. 20. 03. 2021]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/325131215_An_Overview_of_Outdoor_Visible_Light_Communications.
- [42] ÚŘAD PRŮMYSLOVÉHO VLASTNICTVÍ. *Úřad průmyslového vlastnictví* [online]. © 2020 Úřad průmyslového vlastnictví. [cit. 07. 04. 2021]. Dostupné z: <https://upv.gov.cz/>.
- [43] GOOGLE. *Google Patents* [online]. [cit. 07.04.2021]. Dostupné z: <https://patents.google.com/>.
- [44] PATENTINSPIRATION. *Search and analyze patents - PatentInspiration* [online]. [cit. 07. 04. 2021]. Dostupné z: <https://www.patentinspiration.com/>.
- [45] ENEL SOLE S.r.L.. *Patent Application Publication: LIGHTINGAPPARATUS* [online]. United States, Jan. 22, 2015 [cit. 07. 04. 2021]. US 2015/0023020 A1. Dostupné z:

- <https://patentimages.storage.googleapis.com/13/2e/38/6f7dcfa225dd81/US20150023020A1.pdf>.
- [46] DIGITAL ILLUMINATION INTERFACE ALLIANCE. *Digital Illumination Interface Alliance* [online]. © 2021 Digital Illumination Interface Alliance. [cit. 25.04.2021]. Dostupné z: <https://www.dali-alliance.org/>.
- [47] SIGNIFY MY TECHNOLOGY PORTAL NAM. *Download Center* [online]. © 2018 [cit. 25. 04. 2021]. Dostupné z: <https://www.na.mytechnology.portal.signify.com/public-dashboard/public-download-center.html?folderUUID=864d710d-7244-42bf-9011-e4f6bfb10309>.
- [48] ZHAGA CONSORTIUM. *Zhaga Consortium* [online]. © 2020 Zhaga Consortium [cit. 25. 04. 2021]. Dostupné z: <https://www.zhagastandard.org/>.
- [49] APATEAN. Anca a Rogozan, a Rusu, a Bensrhair a Abdelaziz. (2007). *Sensors for Obstacle Detection in Traffic Scene Situation*. [online]. Acta Tehnica Napocensis. Electronics and Telecommunications, leden 2017. [cit. 25. 04. 2021]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/281368351_Sensors_for_Obstacle_Detection_in_Traffic_Scene_Situation.
- [50] INFINEON. *Industrial radar sensing* [online]. © 2. 2. 2018 Infineon Technologies AG [cit. 27. 04. 2021]. Dostupné z: https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-Presentation%2024GHz%20Sensing-PPT-v02_00-EN.pdf?fileId=5546d4625debb399015e0a4773e042e7.
- [51] INFINEON. *Position2Go development kit* [online]. © 2. 2. 2018 Infineon Technologies AG [cit. 27. 04. 2021]. Dostupné z: https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-Position2Go_development_kit-PB-v01_00-EN.pdf?fileId=5546d46267c74c9a0167cab70cd0120.
- [52] PANASONIC. *Panasonic Develops Long-range TOF Image Sensor with High Ranging Accuracy* [online]. Osaka, Japan, © 18. 2. 2020 Panasonic Corporation [cit. 3.05.2021]. Dostupné z: <https://news.panasonic.com/global/press/data/2020/02/en200218-2/en200218-2.html?fbclid=IwAR1LBVakyjPdWgDh2qnUuKiF4pIdQj-HCEweorS9y0UnZribrSVPV5jOQqg>.

- [53] PANASONIC. *Panasonic Develops Long-range TOF Image Sensor* [online]. Copyright © Panasonic Corporation [cit. 07.06.2021]. Osaka, Japan, © 19. 6. 2018 Panasonic Corporation [cit. 3.05.2021]. Dostupné z: <https://news.panasonic.com/global/press/data/2018/06/en180619-3/en180619-3.html>.
- [54] ESPACENET. *Espacenet – patent search: Cooperative Patent Classification* [online]. 26. 8. 2019, 6.3.5.00.1; 35p [cit. 4. 05. 2021]. Dostupné z: https://worldwide.espacenet.com/classification?locale=en_EP#!/CPC=G01S17/10.
- [55] HOWARD, Bill. *V2V: What are vehicle-to-vehicle communications and how do they work?* [online]. © 6. 2. 2014, Ziff Davis, LLC [cit. 05. 05. 2021]. Dostupné z: <https://www.extremetech.com/extreme/176093-v2v-what-are-vehicle-to-vehicle-communications-and-how-does-it-work>.
- [56] C-ROADS. *C-Roads Czech Republic* [online]. © 2021 C-Roads Czech Republic [cit. 06. 05. 2021]. Dostupné z: <https://c-roads.cz/cs/>.
- [57] C-ROADS. *Technologie C-ITS* [online]. © 2021 C-Roads Czech Republic [cit. 06. 05. 2021]. Dostupné z: <https://c-roads.cz/cs/systemy-c-its/technologie-c-its/>.
- [58] WARRENDALE. *SAE International Releases Updated Visual Chart for Its “Levels of Driving Automation” Standard for Self-Driving Vehicles* [online]. © 11. 12. 2018 SAE International [cit. 07. 05. 2021]. Dostupné z: <https://www.sae.org/news/press-room/2018/12/sae-international-releases-updated-visual-chart-for-its-%E2%80%9Clevels-of-driving-automation%E2%80%9D-standard-for-self-driving-vehicles>.
- [59] LYUBENOV, Lyuben. *THEO-P173 ITS G5, 802.11p Module, host-based, 2 antenna pins* [online]. © 23. 2. 2016 Hardware-Pro.com [cit. 09. 05. 2021]. Dostupné z: https://www.hardware-pro.com/2016/02/23/theo-p173-its-g5-802-11p-module-host-based-2-antenna-pins/?fbclid=IwAR3KCTm7o9h5VDTrXjBIIzNiroM_89b662B1B1W02gS1-X9Kkvop_fCtX78.
- [60] JIANG, D. L. DELGROSSI. *IEEE 802.11p: Towards an International Standard for Wireless Access in Vehicular Environments* [online]. červen 2008 Mercedes-Benz Research & Development North America, Inc., [10.1109/VETECS.2008.458](https://doi.org/10.1109/VETECS.2008.458) [cit.

09. 05. 2021]. Dostupné z:
https://www.researchgate.net/publication/224314431_IEEE_80211p_Towards_an_International_Standard_for_Wireless_Access_in_Vehicular_Environments.
- [61] U-BLOX. *THEO-P173* [online]. © U-BOX [cit. 10. 05. 2021]. Dostupné z:
https://www.u-blox.com/sites/default/files/THEO-P173_ProductSummary_%28UBX-15020429%29.pdf.
- [62] HONGYU, H., a kolektiv. *Fast Pedestrian Recognition Based on Multisensor Fusion* [online]. 2012, [10.1155/2012/318305](https://doi.org/10.1155/2012/318305) [cit. 11. 05. 2021]. Dostupné z:
<https://www.hindawi.com/journals/ddns/2012/318305/?fbclid=IwAR3ulS5ORpddfKkExUuTuWq9uTMLRk1WuifaWc4R4bHinFW5u4pNII3IMgk>.
- [63] KRYJAK, T. a kolektiv. *Real-time hardware–software embedded vision system for ITS smart camera implemented in Zynq SoC* [online]. 4. 5. 2016, Springer.com [cit. 12. 05. 2021]. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11554-016-0588-9?fbclid=IwAR2JvK1TFV1xGfXvPxiEd1cVcXY5Osgc6FBhU9Q-J6icNWgYdKp9bsbDGxk>.
- [64] ODroid UK. *Odroid XU4Q [77410]* [online]. 172.31.13.1, © 2021 ODroid UK [cit. 13. 05. 2021]. Dostupné z:
https://www.odroid.co.uk/index.php?route=product/product&product_id=813.
- [65] SAMSUNG. *LH502C: High Power LEDs* [online]. © 1995 – 2021 SAMSUNG [cit. 14. 05. 2021]. Dostupné z: <https://www.samsung.com/led/lighting/high-power-leds/5050-leds/lh502c/>.
- [66] JANDOVÁ, V. *AHP - její silné a slabé stránky* [online]. Olomouc, 30. 3. 2012 Univerzita Palackého v Olomouci [cit. 18. 05. 2021]. Dostupné z:
https://theses.cz/id/5j4i3e/Jandova_-_AHP_Jeji_silne_a_slabe_stranky.pdf.
- [67] KRATINA, J. *Lineární teplotní roztažnost materiálů* [online]. 7. 4. 2013, © 2013 - 2017 E-konstruktor [cit. 18. 05. 2021]. Dostupné z: <https://e-konstruktor.cz/prakticka-informace/linearni-teplotni-roztaznost-mateialu>.
- [68] WEICON. *Technické listy: Lepidlo na čelní sklo* [online]. 11. 1. 2021, © WEICON [cit. 20. 05. 2021]. Dostupné z:
https://www.weicon.cz/media/pdf/64/59/6a/TDS_13711310_CS_Lepidlo_na_eln_sklo.pdf.

- [69] PEŠÍK, L. *Části strojů: 1 díl*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015. ISBN 978-80-7494-183-2.
- [70] SANTOS, E. R. a kolektiv. *Study of temperature and performance for LED devices with white emission* [online]. říjen 2019, [10.17563/rbav.v38i2.1129](https://doi.org/10.17563/rbav.v38i2.1129) [cit. 25. 05. 2021]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/336659210_Study_of_temperature_and_performance_for_LED_devices_with_white_emission.
- [71] DIAL. *Efficiency of LEDs: The highest luminous efficacy of a white LED* [online]. 15. 6. 2016, ©2021 DIAL GmbH [cit. 27. 05. 2021]. Dostupné z: https://www.dial.de/en/blog/article/efficiency-of-leds-the-highest-luminous-efficacy-of-a-white-led/?fbclid=IwAR3gb29b3mz82rOi4bpZypCQMv0wu1rI_rS3m7o2L_y3a5tpF0hAq_FTW2k.
- [72] VÁCLAVA, Martin. *Inovace svítidla z oblasti veřejného osvětlení s využitím technologie LED* [online]. Liberec, 2015, Technická univerzita v Liberci [cit. 2. 06. 2021]. Dostupné z: https://dspace.tul.cz/bitstream/handle/15240/19393/DP_MVaclava.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- [73] ČERNOCH, VÁVRA a kolektiv. *Strojnické tabulky on-line: Metalurgie slitin hliníku* [online]. © 1997 - 2014 by Dashöfer Holding [cit. 05. 06. 2021]. Dostupné z: <https://www.strojnicketabulkyonline.cz/odlevani/metalurgie-slitin-hliniku/>.
- [74] SIGNIFY. *LED Driver: Xitanium SR XI150C070V235VSF1* [online]. © 2019 Signify Holding [cit. 05. 05. 2021]. Dostupné z: [https://www.na.mytechnology.portal.signify.com/dam/jcr:537c367b-a3d3-4f3f-9e8e-71a2e884f0c0/Advance%20Xitanium%20SR%20\(Sensor%20Ready\)%20150W%200.07-0.70A%20Datasheet%20XI150C070V235VSF1%20\(Pad-1635DS\).pdf](https://www.na.mytechnology.portal.signify.com/dam/jcr:537c367b-a3d3-4f3f-9e8e-71a2e884f0c0/Advance%20Xitanium%20SR%20(Sensor%20Ready)%20150W%200.07-0.70A%20Datasheet%20XI150C070V235VSF1%20(Pad-1635DS).pdf).
- [75] TVILIGHT PROJECTS BV. *OPENSKY ZHAGA IoT* [online]. verze 11, © 2020 Tvilight Projects B.V. [cit. 05. 05. 2021]. Dostupné z: https://tvilight.com/wp-content/uploads/2021/04/IoT_Zhaga_Street_Light_Controller-Leaflet-OpenSky.pdf.

[76] TVILIGHT PROJECTS BV. *SKYLITE PRIME: PR155901 SkyLite Prime Zhaga*
[online]. květen 2021, © Tvilight Projects B.V. [cit. 05. 05. 2021]. Dostupné z:
[https://tvilight.com/wp-
content/uploads/2021/04/Outdoor_Streetlight_Controller_OLC_Datasheet-
SkyLite_Prime.pdf](https://tvilight.com/wp-content/uploads/2021/04/Outdoor_Streetlight_Controller_OLC_Datasheet-SkyLite_Prime.pdf)

Seznam příloh

- A) Průzkum trhu
- B) Dotazník zákaznických potřeb
- C) Matice QFD
- D) Funkčně objektová analýza
- E) Přehled konceptů
- F) FMEA-K

Výkres montážní sestavy svítidla