

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta Elektrotechnická

Katedra elektroenergetiky a ekologie

Studijní obor:

AEk - Aplikovaná elektrotechnika



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh světelného zdroje pro osvit ovládacího prvku v automobilu

Autor:

Bc. Aleš Vohnický

Vedoucí práce:

Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.

Akademický rok 2011/2012

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Aleš VOHNICKÝ**
Osobní číslo: **E09N0035K**
Studijní program: **N2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Název tématu: **Návrh světelného zdroje pro osvit ovládacího prvku v automobilu**
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Zhodnoťte praktické možnosti návrhu světelného zdroje k osvětlování ovládacího prvku přístrojové desky automobilu ještě před výrobou jeho prototypu.
2. Proveďte teoretický rozbor problematiky osvětlování interiéru.
3. Objasněte metodu měření a validace osvětlení symbolů během technického návrhu ve světelné laboratoři s využitím CCD kamery.
4. Popište metodiku návrhu světelného zdroje před konstrukcí jeho prototypu.
5. Srovnejte pro konkrétní příklad návrhu teoretické předpoklady s dosaženými praktickými výsledky.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. Linda, J. : Elektrické světlo 1., 2.
2. Habel, J. : Světelná technika
3. Návod k obsluze LMK 2000, Techno Team Bildverarbeitung GmH

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **17. října 2011**

Termín odevzdání diplomové práce: **11. května 2012**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.

děkan




Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.

vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

Obsah

Poděkování	7
Prohlášení o autorství	8
Autorská práva.....	8
Anotace.....	9
Klíčová slova	9
Abstract.....	10
Key Words.....	10
Seznam hlavních použitých symbolů a zkratek.....	11
Předmluva.....	13
Úvod	14
1. Základní vlastnosti světla.....	15
1.1. Světlo.....	15
1.2. Šíření světla	15
1.3. Index lomu.....	16
1.4. Zákon odrazu a lomu světla.....	16
1.5. Úplný (totální) odraz	17
1.6. Odraz při lomu.....	17
2. Vlastnosti lidského oka a barevné vidění	18
2.1. Vznik světelného počítka	18
2.2. Barevné vidění.....	19
2.2.1. Definice barvy	19
2.2.2. Základní barvy.....	19
2.2.3. Vnímání barev	20
2.2.4. Vliv okolí na vnímání barev	20
3. Základní světelně technické veličiny.....	22
4. Světelné zdroje	23
4.1. Vlastnosti světelných zdrojů.....	23
4.2. Žárovkové zdroje.....	23
4.3. LED	23
4.3.1. Výhody a nevýhody LED diod proti žárovkovým zdrojům při použití v automobilu.....	24
5. Osvětlení interiéru	26
5.1. Sdružené osvětlení.....	27
5.2. Rovnoměrnost osvětlení	27
5.3. Oslnění.....	27
5.4. Kategorie osvětlení podle druhu vykonávané činnosti.....	28
5.4.1. Zraková pohoda	28
5.4.2. Podmínky zrakové pohody	28
5.5. Postup při návrhu osvětlení	28
5.5.1. Vyhodnocení požadavku na osvětlení	28
5.5.2. Volba osvětlující soustavy.....	29
5.5.3. Kontrolní výpočty.....	29
5.5.4. Technicko – ekonomické výpočty a zpracování dokumentace	30
6. Návrh osvětlení ovládacích prvků.....	31
6.1. Požadavky zákazníků na osvětlení ovládacích prvků automobilu	31
6.2. Hlavní zásady návrhu osvětlení symbolů	31
6.2.1. Určení minimální vzdálenosti LED od symbolu.....	32

6.3.	Standardní postup při návrhu osvětlení ovládacího prvku	33
6.3.1.	Určení zdroje světla	33
6.3.2.	Možnost mechanických úprav při návrhu osvětlení ovládacího prvku	34
6.3.3.	Úpravy vedoucí k zlepšení rovnoměrnosti	34
6.3.4.	Úpravy vedoucí ke zvýšení jasů symbolu	35
6.3.5.	Světlovodiče	35
6.3.6.	Omezení parazitního průniku světla	35
6.3.7.	Rozložení teplot na desce plošných spojů	36
6.3.8.	Finální nastavení jasů symbolu pro sériovou výrobu	36
6.4.	Měřicí přístroje využívané při návrhu osvětlení ovládacích prvků	38
6.4.1.	Jasoměr LMK 98–3	39
6.4.2.	Spektroradiometr Specbos 1201	40
6.4.3.	Termokamera Fluke Ti20	40
6.5.	Návrh světelného zdroje ovládacího prvku před konstrukcí prototypu	41
6.5.1.	Návrh světelného zdroje odhadem	42
6.5.2.	Návrh světelného zdroje pomocí speciálních počítačových programů	42
6.5.3.	Návrh světelného zdroje pomocí simulace	42
7.	Simulování ovládacích prvků pomocí přípravků	44
7.1.	Faktory ovlivňující velikost jasů a jeho rozložení na symbolu	44
7.1.1.	Barva a lesk aktivních povrchů	44
7.1.2.	Způsoby měření barvy a lesku povrchu, metametrie	45
7.2.	Výroba přípravků	46
7.2.1.	Popis a rozměry přípravků	47
7.3.	Využití přípravků k návrhu světelného zdroje ovládacích prvků	48
7.3.1.	Využití sady přípravků pro návrh světelných zdrojů konkrétního ovládacího prvku	
7.3.2.	Výběr světelných zdrojů pro tlačítkový modul NSF	50
7.3.3.	Ověření rovnoměrnosti jasů symbolu	51
7.3.4.	Výběr zdrojů světla pomocí sady přípravků	52
7.3.5.	Pracovní postup návrhu zdroje světla pomocí sady přípravků	52
7.3.6.	Návrh zdroje světla pro jednotlivé symboly	53
7.3.7.	Tabulka naměřených hodnot a navržené zdroje pro jednotlivé symboly	54
7.4.	Ověření návrhu světelných zdrojů	55
8.	Možnosti kontroly osvětlení v sériové výrobě	57
8.1.	Použití luxmetru pro kontrolu svítivosti LED na deskách plošných spojů tlačítkového modulu NSF 120	57
9.	Analýza vlivu konstrukce ovládacího prvku na výsledný jas symbolu a jeho rovnoměrnost	59
9.1.	Možnosti sady přípravků	59
9.2.	Ukázka částečné analýzy s použitím sady přípravků	59
9.3.	Zlepšení rovnoměrnosti jasů symbolu proměnnou tloušťkou stínítka	61
10.	Závěr	63
10.1.	Zhodnocení přesnosti návrhu zdroje osvětlení ovládacích prvků pomocí sady přípravků	63
10.2.	Získané poznatky při využívání sady přípravků	63
10.3.	Možnosti budoucího zlepšení osvětlení ovládacích prvků	63
10.4.	Přínos diplomové práce	64
11.	Seznam literatury	65
	Přílohy	66
	Příloha 1 (A, B)	66

Návrh světelného zdroje pro osvit ovládacího prvku v automobilu

Příloha 2.....	67
Příloha 3.....	68
Příloha 4.....	69
Příloha 5A.....	70
Příloha 5B.....	70
Příloha 5C.....	70
Evidenční list.....	71

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat zejména firmě Kostal za finanční podporu, která mi byla poskytnuta během celého vysokoškolského studia, dále pak za zapůjčení laboratorních přístrojů při řešení této práce. Speciální poděkování patří zejména Ing. Josefovi Ungrovi za zorganizování výroby přípravků a Ing. Zdeňku Sedláčkovi za přesné specifikování firmou používaných materiálů a mezních rozměrů ovládacích prvků. Dále děkuji vedoucímu diplomové práce Doc. Ing. Karlu Noháčovi, Ph.D., za věcné připomínky a odborné rady, které mi poskytl během vzniku diplomové práce.

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě Elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni. Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Autorská práva

Podle zákona č. 35/1965 Sb. (175/1996 Sb. ČR) o právu autorském § 17 a zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách je využití a společenské uplatnění výsledků diplomové práce včetně uváděných vědeckých a výrobně-technických poznatků nebo jakékoli nakládání s nimi možné pouze na základě autorské smlouvy za souhlasu autora, firmy Kostal s.r.o. a Fakulty elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Anotace

Diplomová práce se zabývá návrhem zdroje osvětlení ovládacích prvků automobilu před i po konstrukci prototypu. Osvit ovládacích prvků je řešen z hlediska vlivu konstrukce i vlastností světelného zdroje. V teoretické části práce je popsána problematika osvětlování interiérů.

Klíčová slova

Návrh zdroje osvětlení, ovládací prvky, automobil, LED, Kostal.

Abstract

This thesis is dealing with development of light source for manually operated vehicle devices before and after construction of prototype. Exposure control of element is solved from various points of view, as influence of construction or feature of luminous sources. Interior lighting method is described in theoretic chapter of this thesis.

Key Words

Proposal light sources, manually operated devices, car, LED, Kostal.

Seznam hlavních použitých symbolů a zkratek

$^{\circ}$	<i>úhlový stupeň</i>
ΔE	<i>barevná odchylka</i>
A	<i>osvětlená plocha srovnávací roviny</i>
a^*	<i>složka pravoúhlého barevného prostoru CIELAB</i>
b^*	<i>složka pravoúhlého barevného prostoru CIELAB</i>
C	<i>stupeň Celsia</i>
c	<i>rychlost světla</i>
c^*	<i>složka cylindrického barevného prostoru CIELCH</i>
cd	<i>kandela</i>
E	<i>osvětlenost</i>
E_h	<i>venkovní srovnávací osvětlenost necloněné vodorovné roviny</i>
E_{min}	<i>nejmenší osvětlenost v místě zraťového úkonu</i>
E_p	<i>osvětlenost místně průměrná na srovnávací rovině</i>
e	<i>činitel osvětlenosti</i>
f	<i>frekvence</i>
h	<i>Plankova konstanta</i>
h^*	<i>složka cylindrického barevného prostoru CIELCH</i>
I	<i>svítivost</i>
I_m	<i>střední svítivost svítivostní třídy LED při které bylo prováděno měření</i>
I_p	<i>střední svítivost svítivostní třídy LED pro kterou je hledán předřadný odpor</i>
I_x	<i>minimální střední svítivost LED, kterou je nutno použít do konstrukce</i>
K	<i>stupeň Kelvina</i>
L	<i>jas</i>
L_m	<i>maximální naměřený jas</i>
L_x	<i>požadovaný jas</i>
L^*	<i>složka pravoúhlého barevného prostoru</i>
lm	<i>lumen</i>
lx	<i>lux</i>
m	<i>metr</i>
n	<i>index lomu</i>
P	<i>příkon</i>
p	<i>poměrný příkon osvětlovací soustavy pro $E_p = 100lx$</i>
R_a	<i>index podání barev</i>
R_x	<i>předřadný rezistor</i>
R_m	<i>hodnota rezistoru získaná měřením</i>
r	<i>rovnoměrnost umělého osvětlení</i>
rad	<i>radián</i>
sr	<i>steradián</i>
T_c	<i>teplota chromatičnosti</i>
V	<i>volt</i>
W	<i>watt</i>
α	<i>úhel dopadu</i>
α_m	<i>mezní úhel dopadu</i>
α'	<i>úhel odrazu</i>
α''	<i>úhel lomu</i>
η_z	<i>energetická účinnost</i>
λ	<i>vlnová délka</i>

Návrh světelného zdroje pro osvit ovládacího prvku v automobilu

ϕ	<i>světelný tok</i>
φ	<i>rovinný úhel</i>
Ω	<i>prostorový úhel</i>

Předmluva

Návrh zdroje osvětlení pro ovládací prvek není obecně složitá úloha v případech, kdy toto osvětlení navrhujeme pro jednoduchý prvek, který máme fyzicky k dispozici, požadavky na přesnost výsledného jasů a jeho rovnoměrnosti na ovládacím prvku nejsou vysoké a klíčovým parametrem není cena ovládacího prvku. V automobilovém průmyslu jsou však běžné podmínky zcela opačné. Nároky na přesnost a rovnoměrnost jasů na ovládacím prvku často bývají na hranici možností masově vyráběných a tím cenově dostupných LED. Typická roční produkce jednoho typu ovládacího prvku se pohybuje v řádu statisíců až milionů kusů, neboť jednotlivé ovládací prvky jsou montovány do více druhů vozů. I malé zdražení v jednotkách korun na jeden ovládací prvek vlivem nesprávně navrženého osvětlení v praxi znamená náklady rovnající se mzdám výrobních pracovníků, kteří prvek vyrábějí na montážních linkách ve směnném provozu. Návrh zdroje světla v těchto podmínkách je již poměrně obtížný.

Náročnější úlohou je návrh zdroje osvětlení pro ovládací prvky, které jsou v ranné vývojové fázi a prototyp, na kterém by mohly být testovány jednotlivé světelné zdroje, neexistuje. Diplomová práce se primárně zabývá tímto typem návrhu, který je poněkud obtížnější, ale, jak bude popsáno níže, ekonomicky výhodnější. Metodika návrhu byla zvolena s ohledem k možností zavedení do běžné praxe. Měření byla provedena v technologickém centru firmy Kostal s.r.o.

Úvod

S rostoucím počtem funkcí v automobilu a zvyšujícími se nároky na bezpečnost vozů se úměrně zvyšuje množství jednotlivých ovládacích prvků. Většina těchto prvků musí být vzhledem k bezpečnosti a přijatelnému komfortu vozu osvětlena. Kvalitní osvětlení je důležité pro subjektivní dojem kvality u zákazníka a je mu ze strany automobilových společností věnována značná pozornost.

Ovládací prvky jsou osvětlovány dvěma základními druhy osvětlení. Je to jednak osvětlení funkční s vysokým jasem, které signalizuje sepnutí určité funkce, a dále pak slabé noční osvětlení, které zviditelňuje ovládací prvky v nočních hodinách. Pro oba typy existují zákazníkem definované úrovně jasu na symbolech, které jsou měřeny kolmo na zdroj světla osvětlující symbol. Při návrhu osvětlení ovládacích prvků v zásadě řešíme dvě úlohy, buďto se jedná o návrh osvětlení do stávající konstrukce ovládacího prvku (změna barvy osvětlení změna jasu, více funkcí atd.) nebo jde o zcela novou konstrukci.

U nových konstrukcí, které tvoří přes 90% vývoje, probíhá vývoj tak, že strojní inženýr navrhne podle designu ovládací prvek, ten je následně vyroben v různých stupních funkčnosti a teprve na konci vývoje je řešeno osvětlení samotného prvku. Tento standardní postup, který se prakticky neliší od návrhu osvětlení do stávající konstrukce, má v praxi níže uvedené nedostatky:

- neznámá cena světelného zdroje a tím jen přibližný odhad výrobních nákladů na začátku projektu, neboť ceny diod tvoří mnohdy více než 15% prodejní ceny produktu. Vzhledem k obvyklému zisku, který je pouze kolem 7 až 8%, se bez přesných kalkulací silně zvyšuje riziko prodělku nebo ztráty zakázky při nadsazené ceně.
- často je prvek neosvětlitelný dle požadavku zákazníka za přijatelných nákladů, což vede k nutnosti konstrukčních změn, nepředpokládanému navýšení nákladů na vývoj i výrobu.
- ovládací prvky jsou běžně produkovány ve statisícových až milionových sériích, neboť jsou montovány do více typů automobilů v rámci koncernu. Výrobci LED nejsou obecně schopni na tak objemné poptávky rychle reagovat. Dodací lhůty pro pravidelné dodávky LED jsou i 20 týdnů a protože se návrh ovládacího prvku provádí prakticky až po ukončení vývoje plastů i desek plošných spojů, je o tento čas, posunut termín zahájení sériové výroby. Prodlužuje se nejen vlastní vývoj produktu, ale i návratnost vložené investice do vývoje.

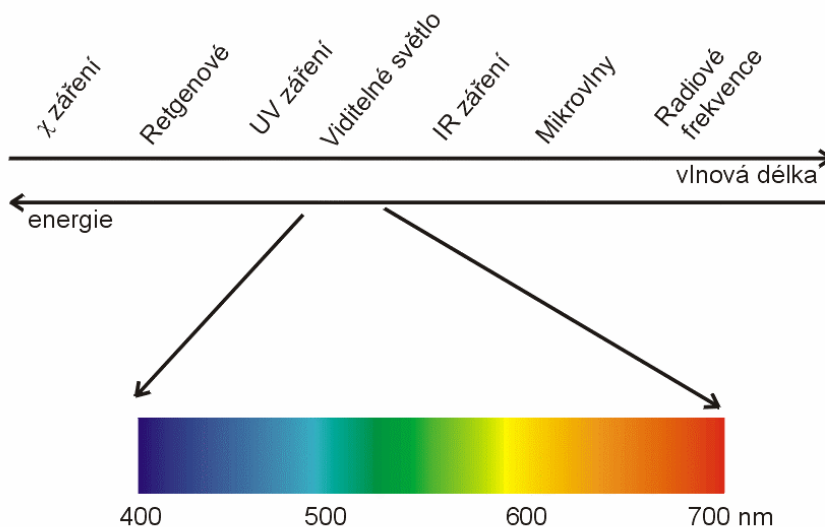
Tyto nevýhody lze odstranit, pokud návrh světelného zdroje pro ovládací prvek provedeme již při cenové kalkulaci výrobku, tedy v době, kdy prototyp fyzicky neexistuje, ale již známe na základě požadavku zákazníka konečné rozměry zástavového otvoru a design ovládacího prvku. Výrobce, který tento postup návrhu zvládne, může být ve značné konkurenční výhodě. Cílem práce je vytvoření praktické metodiky návrhu zdroje světla pro osvit ovládacích prvků před konstrukcí prototypu.

1. Základní vlastnosti světla

Pro úspěšný návrh osvětlení ovládacího prvku je nutná znalost geometrické optiky, fyzikálních vlastností světla a vlastností lidského oka. Teoretické minimum nutné k návrhu osvětlení bude popsáno v následující kapitole.

1.1. Světlo

Z fyzikálního hlediska je světlo úzké pásmo viditelného elektromagnetického záření (380 – 780 nm.), které se nachází mezi ultrafialovým a infračerveným spektrem, jak ukazuje obr. 1 Spektrum elektromagnetického záření. Vzhledem k vysoké frekvenci záření se u světla projevuje nespojitě rozložení energie světelného toku dle kvantové teorie světla. Velikost energie kvant je rovna $h \cdot f$, kde h je Plankova konstanta a f je frekvence záření. Albert Einstein nazval tyto kvanta fotony a pomocí fotonů vysvětlil jev fotoelektrické emise, za což mu byla udělena Nobelova cena. Vzhledem k velikosti kvant přisuzujeme světlu jak vlnové tak částicové vlastnosti. V geometrické optice však používáme často teorii korpuskulární, která nám umožňuje představit si světelné vlny jako paprsek, jenž představuje dráhu, po níž se pohybuje foton. Vzhledem k vlnové délce světla (nm) a velikosti prostředí, pro které budeme navrhovat osvětlení (cm), budeme světlo popisovat pomocí paprsků, které splňují geometrické zákony.



Obr. 1 Spektrum elektromagnetického záření [20]

1.2. Šíření světla

Ve stejnorodém prostředí se šíří světlo přímočaře ve tvaru světelných paprsků

- jednotlivé paprsky jsou na sobě nezávislé
- na rozhraní dvou stejnorodých prostředí platí pro světelné paprsky zákon lomu a odrazu

1.3. Index lomu

Elektromagnetické záření včetně viditelného světla se šíří ve vakuu konstantní rychlostí všeobecně známou jako rychlost světla $c = 299\,792\,458$ m/s. Je nejvyšší možnou rychlostí šíření signálu nebo informace. Rychlost šíření světla ve vakuu nezáleží na vlnové délce. V jiných prostředích je rychlost šíření funkcí vlnové délky, tento jev se nazývá disperze. Poměr rychlosti světla ve vakuu a rychlosti světla v látce při dané vlnové délce nazýváme indexem lomu světla:

$$n\lambda = c/v \quad (1),$$

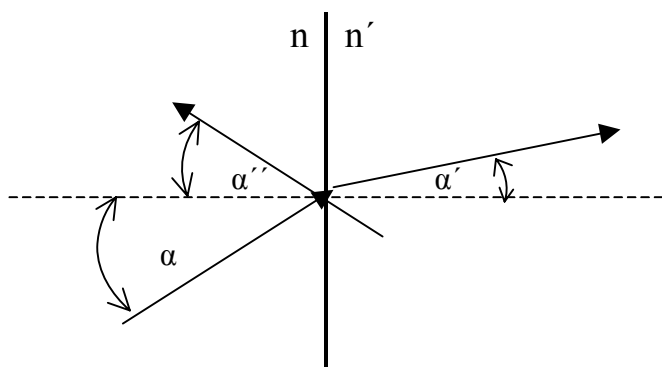
kde v je rychlost šíření světla a λ je vlnová délka.

Není-li uvedena vlnová délka, předpokládáme, že index lomu daného prostředí platí pro žluté sodíkové světlo o vlnové délce 589,3nm. Často je nutné znát index lomu pro libovolnou vlnovou délku, v převážné většině optických prostředí vzrůstá a platí pro něj Cornův vzorec (2). Pro určení konstant musíme znát index lomu daného materiálu pro 3 vlnové délky.[3]

$$n\lambda = n_0 + a / (\lambda - \lambda_0) \quad (2),$$

kde n_0 , a , λ_0 jsou konstanty.

1.4. Zákon odrazu a lomu světla



Obr. 2 Zákon odrazu a lomu světla

Dopadne-li paprsek monochromatického světla v prostředí o indexu lomu n na rozhraní, které jej odděluje od druhého s rozdílným indexem lomu, dojde obecně k jeho rozdělení na dva paprsky, jeden vstoupí do prostředí nového a stává se paprskem lomeným, druhý zůstává v prvním prostředí a nazývá se paprskem odraženým.

Úhel α svírající dopadající paprsek s kolmicí sestavenou v bodě dopadu k rozhraní nazýváme úhel dopadu.

Úhel α' , resp. α'' , který svírá s kolmicí dopadu paprsek lomený resp. odražený nazýváme úhel lomu resp. odrazu.

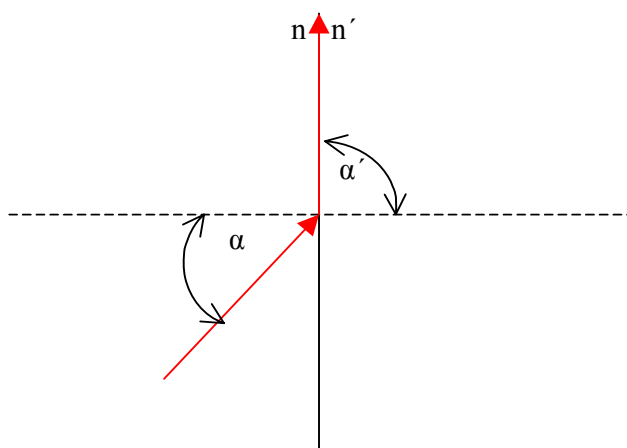
Úhly α , α' , α'' měříme od paprsku ke kolmici dopadu; ve směru hodinových ručiček je úhel považován za kladný a naopak. (viz obr.2 Zákon odrazu a lomu světla).

Směr lomeného (resp.odraženého) paprsku je popsán zákonem lomu (3) resp. odrazu (4).

$$n \sin \alpha = n' \sin \alpha' \quad (3)$$

$$-\alpha = \alpha'' \quad (4)$$

1.5. Úplný (totální) odraz



Obr. 3 Mezní úhel úplného odrazu

$$\alpha_m = \arcsin (n/n') \quad (5),$$

kde α_m je mezní úhel dopadu

Podle zákona o lomu světla, přechází-li paprsek z prostředí opticky hustšího do prostředí opticky řidšího, paprsek se láme směrem od kolmice, jak ukazuje obr. 3 Mezní úhel úplného odrazu. Při určitém úhlu dopadu, který nazýváme mezním, je úhel odrazu 90° . Dojde tedy k tzv. úplnému odrazu a paprsek neopustí hustší optické prostředí. Vztah pro určení mezního úhlu získáme odvozením ze zákona lomu (5).

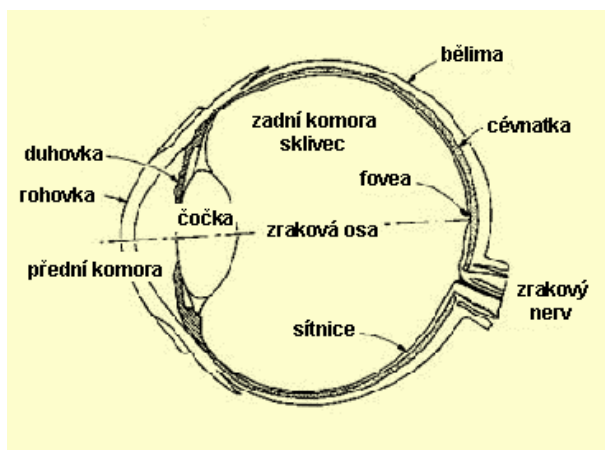
1.6. Odraz při lomu

Paprsek světla dopadající na vyleštěnou plochu jakéhokoliv průhledného prostředí se nejen láme, ale i odráží. Poměr mezi odraženým a lomeným paprskem je vyjádřen Fresnelovými vzorci. [2] Pro úhly dopadu do 30° je odrazivost prakticky stejná jako při kolmém dopadu a ztráty odrazem činí asi 5% z celkové energie paprsku.

2. Vlastnosti lidského oka a barevné vidění

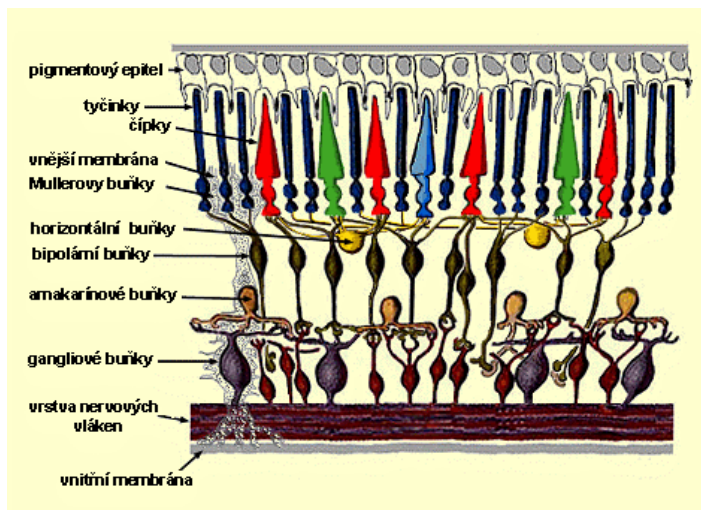
Při návrhu osvětlení jsou požadované hodnoty jasu přesně zadány a určeny designérem, stejně jako podoba symbolů na ovládacích prvcích. Nemusíme se tedy zabývat jinak důležitými vlastnostmi zraku - oslněním, minimálním kontrastem a celkovou ergonomií ovládacího prvku. Z vlastností lidského oka se proto zaměříme na barevné vidění.

2.1. Vznik světelného počítku



Percepce objektu je složitý fyziologický proces. Na obrázku 4 vidíme průřez lidským okem. Světlo přicházející z venku postupně prochází rohovkou, přední oční komorou, pak skrz čočku vstupuje do zadní oční komory, která je vyplněna rosolovitým sklivcem a nakonec dopadá na její zadní část, která je pokryta sítnicí, jenž je zobrazena na obr. 5. Struktura sítnice, s fotoreceptory. (barevné a černobílé).

Obr. 4 Průřez lidským okem [20]



Úkolem fotoreceptorů (tyčinek a čípků) je zachytit dopadající světlo a přeměnit je na nervové impulsy, které jsou pomocí zrakového nervu přenášeny do mozku. I přes velký pokrok vědy, zatím neexistuje žádný uspokojivý komplexní model, který by přesně popsal a vysvětlil jak náš zrak přesně pracuje. Což se netýká pouze vyšší sémantické analýzy, ale i práce sítnice.

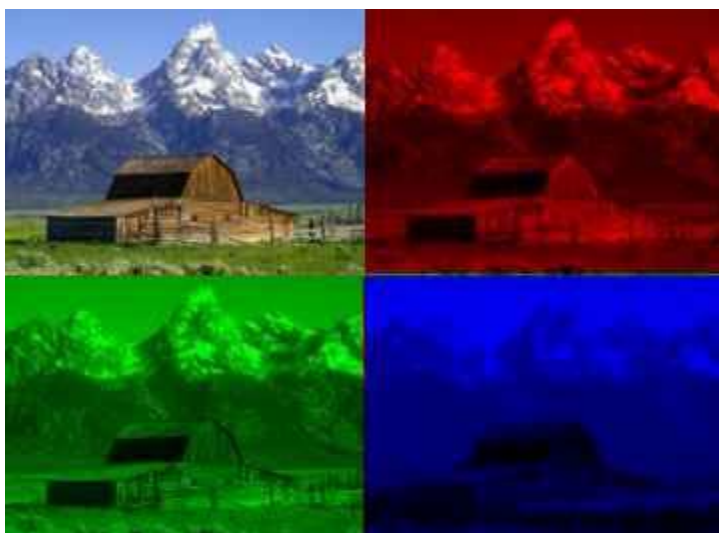
Obr. 5 Struktura sítnice [20]

2.2. Barevné vidění

2.2.1. Definice barvy

Formální definice barvy je obtížná, jedna z definic uvádí: Barva záleží na vlastnostech světla jiných než prostorové a časové nehomogenosti. Můžeme také říct, že barva záleží na spektrálním složení světla, které proniká do oka.

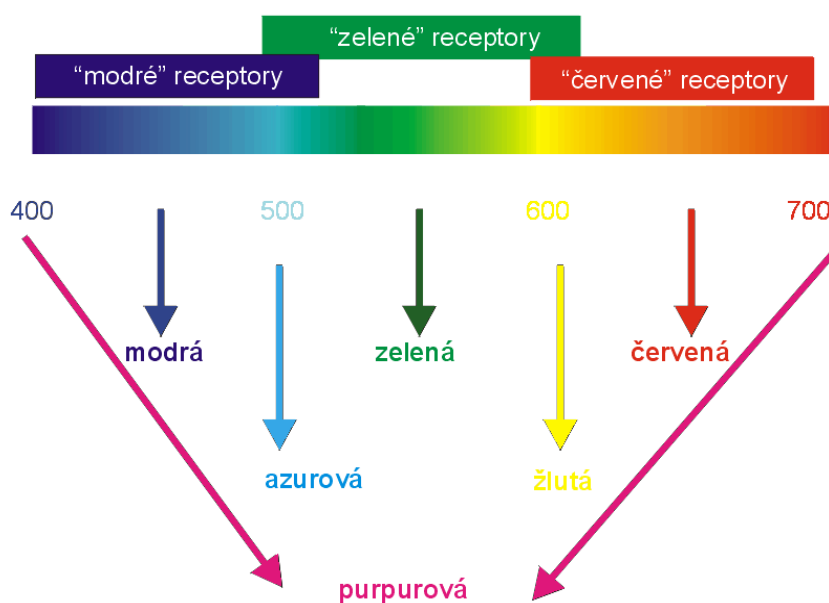
2.2.2. Základní barvy



Lidské oko obsahuje 3 druhy barevných fotoreceptorů, z nichž každý je citlivý na rozdílnou vlnovou délku 400 – 500 - modrý, 500-600 – zelený, 600-700 – červený. Jejich citlivost se navíc překrývá (viz obr. 6 Barevné vjemy způsobené jednotlivými vlnovými délkami). Každý obraz se tedy skládá ze 3 jednobarevných dílčích obrázků, jak ukazuje obr. 7 Dílčí obrázky tvořené základními barvami a výsledný obraz.

Obr. 7 Dílčí obrázky tvořené základními barvami a výsledný obraz

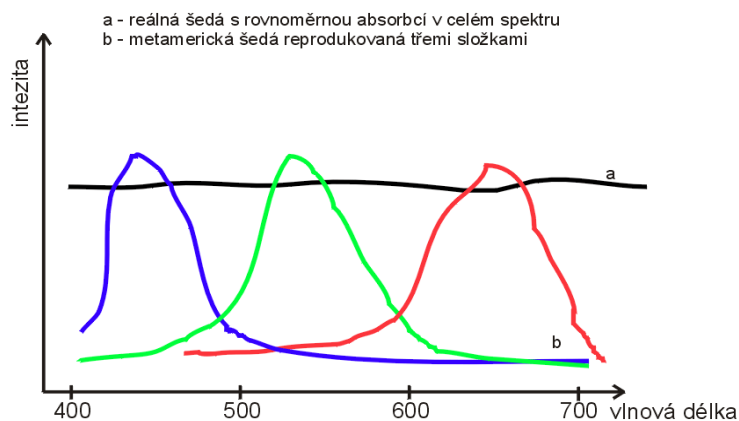
Pomocí kombinace tří základních barev můžeme vytvořit libovolnou barvu. (aditivní skládání barev).



Obr. 6. Barevné vjemy způsobené jednotlivými vlnovými délkami

2.2.3. Vnímání barev

Dle Grassmanových zákonů může oko rozpoznávat pouze 3 druhy změn a to jas, dominantní vlnovou délku a sytost.



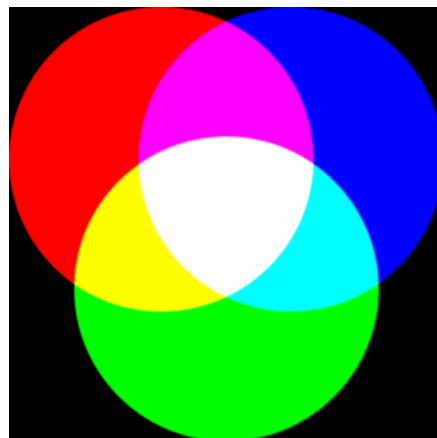
Logaritmický přírůstek jasu vnímá oko jako rovnoměrný přírůstek intenzity vnímaného světla.

Dominantní vlnovou délku nazýváme také barevným tónem. Označuje vlnovou délku monochromatického zdroje světla, která vyvolá stejný barevný vjem jako spektrální zdroj.

Obr. 8 Reprodukce šedé barvy. [20]

Oko nerozlišuje složení barevného spektra. Pomocí aditivního míšení můžeme navodit vjem jedné barvy teoreticky nekonečným množstvím kombinací základních barev. Na obrázku 8 můžeme vidět reprodukce šedé barvy.

Sytost neboli čistota barev říká, kolik bílé je přimícháno do barvy. Sytost barev roste klesajícím poměrem bílé barvy. Bílou barvu má spektrum s rovnoměrným zastoupením všech spektrálních barev, jak ukazuje obr. 9. Vznik bílé barvy. Nejsytější barvu má monochromatické záření.

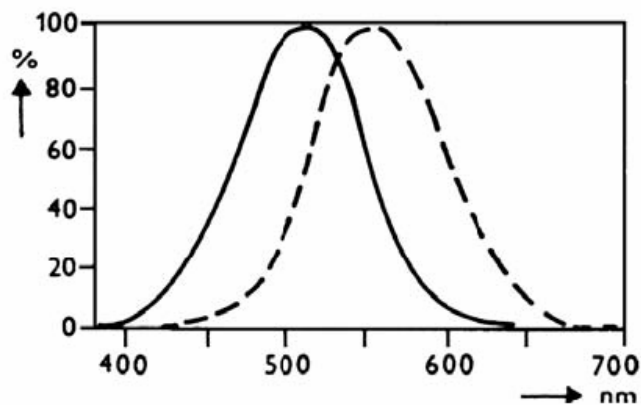


Obr. 9 Vznik bílé barvy

2.2.4. Vliv okolí na vnímání barev

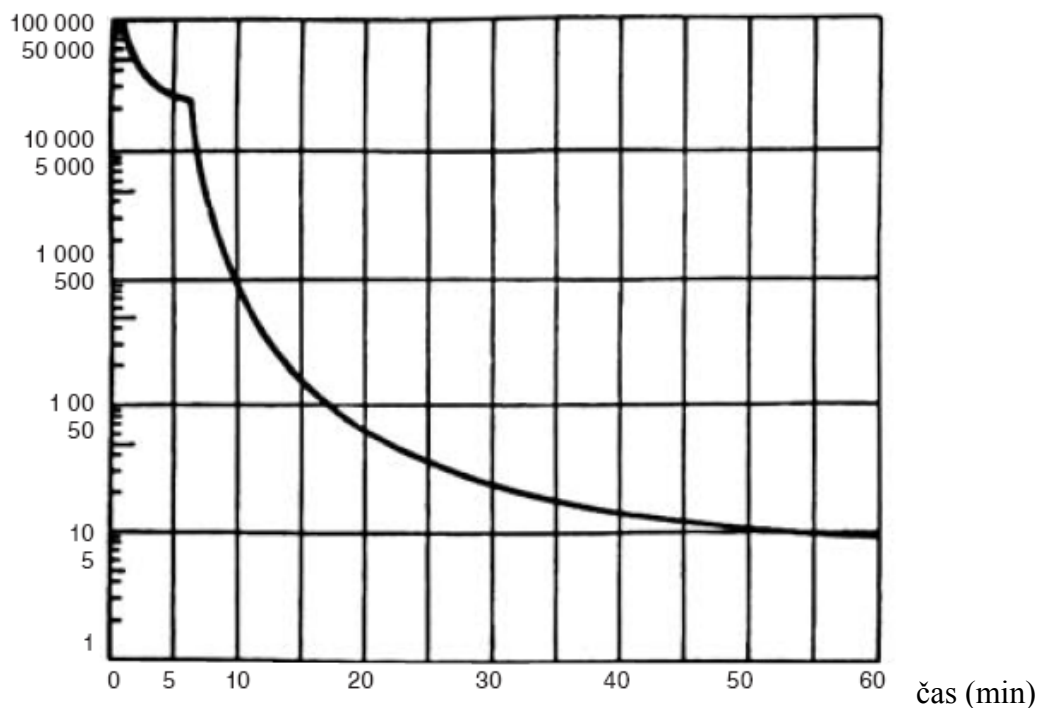
Vnímání barev lidským okem závisí na různých faktorech. Jedním z hlavních faktorů je úroveň jasu. Lidské oko obsahuje dva druhy fotoreceptorů – čípky a tyčinky. Čípky umožňují tzv. barevné neboli fotooptické vidění a to při jasech vyšších než 10 cd/m², jehož princip byl popsán v minulých odstavcích. Tyčinky umožňují vidění skotooptické, jsou nejcitlivější na modrofialové světlo a podstatně méně na světlo červenožluté.

Tyčinky jsou tisíckrát citlivější na světlo než čípky a uplatňují se při hladinách jasu nižších než 0,001 cd/m². Mezi těmito hladinami jasu leží pásmo mezioptické, v tomto pásmu se uplatňují oba druhy vidění. Rozdílná citlivost skotooptického a fotooptického vidění (obr. 10 Spektrální citlivost lidského oka při skotooptickém a fotooptickém vidění) způsobuje tzv. Purkyněův jev, tj. změnu barevného vnímání při sníženém osvětlení (např. za soumraku) se barva červená mění v tmavou až černou, modrá pak v zelenožlutou.



Mezní citlivost čípků i tyčinek se liší v závislosti na intenzitě osvětlení v němž se pohybujeme. Jestliže člověk vstoupí z osvětleného prostoru do prostoru tmavého, mění se citlivost čípků a tyčinek podle křivky zrakové adaptace na tmu, jak ukazuje obr. 11 Adaptace lidského oka na tmu. Celková adaptace trvá asi 1 hodinu, naopak adaptace na světlo jen několik minut. [9]

Obr.10 Spektrální citlivost lidského oka při skotooptickém (plná čára) a fotooptickém vidění.



Obr. 11 Adaptace lidského oka na tmu

3. Základní světelně technické veličiny

Základní pojmy a veličiny jsou v případě světelné techniky definovány s ohledem na člověka a jeho zrakový orgán. Vzhledem ke spektrální citlivosti lidského oka nelze používat radiometrické veličiny (zářivý tok [W], intenzita ozáření [W/m²]). Tato skutečnost dala vzniknout hlavním světelně technickým veličinám [5]

- světelný tok ϕ [lm],

množství světla vyzařovaného do prostoru posuzované z hlediska lidského oka

- svítivost I [cd],

prostorové rozložení světelného toku

- osvětlenost E [lx],

plošné rozdělení světelného toku

- jas L [cd/m²],

vjem světlosti svítícího tělesa nebo osvětlovaného tělesa (s plochou), jak je vnímá lidské oko

4. Světelné zdroje

Světelné zdroje jsou zařízení, která produkují světelné záření, jenž se po zhodnocení zrakovým systémem pozorovatele přeměňuje na světlo. Světelné zdroje zásadě rozlišujeme na zdroje přírodní (slunce) a umělé (žárovka, svíčka). [1] Vzhledem k zaměření diplomové práce se budu zabývat pouze umělými zdroji používanými v automobilovém průmyslu, tedy zdroji žárovkovými a svítivými diodami (LED).

4.1. Vlastnosti světelných zdrojů

Základními vlastnostmi světelných zdrojů jsou:

- životnost, která se udává v počtu provozních hodin
- energetická účinnost η_z

$$\eta_z = \phi/P \text{ [lm/W, lm,W]} \quad (6),$$

je určena světelným tokem připadající na 1W příkonu světelného zdroje, (teoretická maximální účinnost monochromatického záření o vlnové délce 555 nm je rovna hodnotě 683 lm/W. V současné době dosahujeme u nízkotlakých sodíkových výbojek účinnosti maximálně 200 lm/W)

- index podání barev

$R_a = 0 - 100$, (někdy označován jako CRI - color rendering index),

kde číslo od 0 do 100 určuje věrnost barev v porovnání s přírodním světlem. Nejvyšší kvalitu podání má přírodní světlo $R_a = 100$, při indexu $R_a = 0$ se barvy předmětů nedají rozlišit, např. u nízkotlakých sodíkových výbojek.

- teplota chromatičnosti T_c [K]

Uplatňuje se u zdrojů světla určených k osvětlování. Teplota chromatičnosti je teplotou ideálního černého tělesa, které při této teplotě vyzařuje stejný barevný tón světla jako světelný zdroj. Prakticky se setkáváme s teplotou chromatičnosti od 2700 K – teple bílá (žárovky, teplé zářivky) až po 5500 K – denní světlo (denní zářivky, rtuťové výbojky).

4.2. Žárovkové zdroje

Patří mezi tradiční všeobecně známé tepelné světelné zdroje. Průchodem elektrického proudu dochází k zahřátí vodivé pevné látky – většinou wolframu, přibližně na teplotu 2500°C. Přes nízkou účinnost (cca 10 lm/W) a omezenou životnost patří celosvětově žárovkové zdroje stále mezi rozšířené umělé zdroje světla, i když jejich význam silně klesá a v některých světových regionech je pro jejich nízkou účinnost již prodej některých druhů klasických žárovek zakázán. V automobilovém průmyslu se u nových modelů uplatňují modifikace žárovkových zdrojů již jen v hlavních předních nebo přídatných světlech.

4.3. LED

Z anglického light emitting diode, se jedná o polovodičovou diodu, která generuje světlo při průchodu proudu v propustném směru. První LED byla zkonstruována již v roce 1962 a od 70. let jsou svítivé diody běžně využívány v elektronických zařízeních pro indikaci provozních stavů. LED se vyznačují zejména velmi dlouhou dobou života – až 100 000

provozních hodin, neomezeným počtem sepnutí, snadnou stmívatelností a miniaturními rozměry.

Protože polovodičový přechod LED vyzařuje světlo pouze v úzkém monochromatickém spektru, nevyzařují LED UV ani INFRA záření (pokud nejsou určeny pro tuto oblast spektra). Vlnová délka záření je u jednočipových LED pevně dána velikostí zakázané oblasti PN přechodu. Integrací tří čipů do jednoho pouzdra a následným aditivním míšením je možné získat barevně proměnnou LED. Speciální variantou LED jsou bílé LED, kromě 3 čipových bílých LED se vyrábí z cenových důvodů také LED s modrým čipem, který je opatřen aktivní vrstvou s funkcí luminoforu. Výsledkem je téměř bílá barva, u bílých LED bývá výrobcem uváděna doba života 50 tisíc hodin.

Díky pokroku v polovodičové technice je možné používat LED i v osvětlovací technice. Výkonové verze LED mají v současnosti příkon až 20 W. V sestavě je možné využít LED i pro potkávací světla automobilu. Energetická účinnost η_z LED dosahovala v roce 2011 běžně 90 lm/W (obr. 12 vítěz ceny L Prize USA). Na veletrzích výrobci již prezentují LED



s účinností 160 lm/W. V laboratorních podmínkách bylo dosaženo u bílého světla účinnosti 249 lm/W, což je již blízko prakticky dosažitelného maxima, které je u bílých LED 290 lm/W, nicméně energetická účinnost diod je značně proměnná, závisí na typu LED, vlnové délce a výrobcí. Díky rychlému vývoji v oblasti výkonových LED se všeobecně očekává další nárůst energetické účinnosti a postupné snižování cen, což povede k většímu rozšíření těchto zdrojů v běžné osvětlovací technice.

Obr.12 Philips 9,7 W LED,
náhrada 60 W žárovky $\eta_z = 93,4 \text{ lm/W}$ $R_a = 93$

4.3.1. Výhody a nevýhody LED diod proti žárovkovým zdrojům při použití v automobilu

- Životnost – svítivé diody svojí životností vysoce převyšují celkovou životnost samotného automobilu; při průměrné rychlosti 60 km/h vydrží průměrná barevná LED svítit i po ujetí 6 milionů km. Při návrhu osvětlení pomocí LED nemusí být počítáno s výměnou zdroje světla, což celkově zlevňuje konstrukci ovládacího prvku.
- Velikost – díky miniaturizaci LED, jak ukazuje obrázek 13 Velikost LED diod v pouzdře pro povrchovou montáž oproti 5 W žárovce, lze integrovat násobně více osvětlených ovládacích prvků do prostorově omezené zóny v dosahu řidiče.



Obr. 13 Velikost LED diod v pouzdře
pro povrchovou montáž oproti 5 W žárovce

- Nevyzařuje tepelné záření – při žárovkovém osvětlení ovládacích prvků automobilu dochází velmi často k jejich nežádoucímu ohřevu (např. u Škody Felicia).
- Cena LED je mimo výkonových LED pro osvětlovací techniku nižší než cena žárovky.
- Montáž LED pomocí technologie SMT je o několik řádů levnější než montáž žárovky.
- Vysoká odolnost proti otřesům.
- Velká škála dostupných vlnových délek.
- Při stmívání se nemění dominantní vlnová délka v takovém rozsahu jako u žárovkového zdroje.
- Nižší spotřeba elektrické energie¹.
- Mezi hlavní nevýhody používání LED je jejich teplotní závislost, jenž záleží na vlnové délce LED. S rostoucí teplotou klesá energetická účinnost světelných diod a tím i svítivost a jas symbolu. Největší závislost vykazují žluté LED, u kterých může pokles svítivosti činit až desítky procent. Naopak nižší pokles účinnosti vykazují modré LED. V automobilu jsou LED obecně vystaveny velkým rozdílům teplot. Jedním z důvodů je rozsah teploty v kabině vozu. Velký podíl mají i tepelné ztráty v samotných ovládacích prvcích, z tohoto důvodu jsou všechny ovládací prvky standardně měřeny 20 minut po připojení ovládacího prvku k napájení a při teplotě okolí 20°C.
- Další nevýhodou je nerovnoměrné rozdělení světelného toku v prostoru. Běžné LED pro povrchovou montáž použitelné pro osvětlení standardních symbolů vykazují 50% úbytek svítivosti při vyzařovacím úhlu 120° nebo nižším. Důsledkem je vyšší nerovnoměrnost jasu symbolu ovládacího prvku oproti žárovkovým zdrojům.

¹ v minulosti považovaná teoretická hranice optické účinnosti 200 lm/W byla překonána Americkou společností CREE v roce 2010

5. Osvětlení interiéru

Elektrické světlo je nejčastěji využíváno k osvětlení interiéru. Tato problematika je nastíněna v následující kapitole. Vnitřní prostory mají společné obecné charakteristiky z hlediska osvětlování (ohraničení prostoru, možnost umístění světelných zdrojů atd.). Zároveň se velmi liší z hlediska požadavku na parametry osvětlení, které jsou dány typem činnosti a společenského využití osvětlovaného prostoru, viz tabulka 1 Minimální úrovně osvětlenosti pro vybrané činnosti.

<i>Požadavky na zrakové vnímání</i>	<i>Osvětlenost na srovnávací rovině (lx)</i>
Právě rozeznatelné rysy lidského obličeje	20 lx
Uspokojivé rozlišení lidského obličeje	200 lx
Optimální zrakové podmínky v běžných pracovních prostorech	2000 lx
Provádění kritických zrakových úkonů s jemnými detaily a malým kontrastem	20 000 lx

Tabulka 1 Minimální úrovně osvětlenosti pro vybrané činnosti [1]

Osvětlení vnitřních prostorů budov se navrhuje a posuzuje podle těchto základních hledisek:

- úroveň denního osvětlení (vyjádřená hodnotami činitele denní osvětlenosti)
- rovnoměrnost osvětlení
- oslnění
- rozložení světelného toku a převažující směr světla
- výskyt dalších jevů ovlivňujících zrakovou pohodu (například barva světla)

5.1. Sdružené osvětlení

Na osvětlování interiérů se velmi často podílí jak umělé, tak i denní světlo, které v tomto případě reprezentuje světlo pronikající do interiéru osvětlujícími otvory. Denní světlo a kontakt s venkovním prostředím okny je považován za nenahraditelný ve všech prostorech s trvalým pobytem lidí. Pro optimální rozložení jasu při sdruženém osvětlení zavádíme činitele denní osvětlenosti e . Minimální hodnota činitele je členěna podle typu činnosti – jde-li o prostory s trvalým pobytem lidí, je minimálně 1,5% srovnávací základny E_h a to i v případech, že základní norma pro tuto činnost umožňuje nižší hodnoty osvětlenosti.

$$e = E/E_h \cdot 100 \quad [\% ;lx;lx] \quad (7)$$

kde je:

e činitel osvětlenosti,

E průměrná osvětlenost v daném bodě vnitřního prostoru,

E_h venkovní srovnávací osvětlenost necloněné vodorovné roviny.

V prostorech, které jsou osvětlovány sdruženým osvětlením, lze z důvodů úspor elektrické energie instalovat čidla denní osvětlenosti, tím lze dosáhnout maximální účinnosti navržené osvětlovací soustavy.

5.2. Rovnoměrnost osvětlení

Dalším kvalitativním parametrem je rovnoměrnost osvětlení r , je definována vztahem (8). [10]

$$r = E_{min} / EP \quad [-;lx;lx] \quad (8)$$

kde je:

r rovnoměrnost umělého osvětlení,

E_{min} nejmenší osvětlenost v místě zrakového úkonu,

EP osvětlenost místně průměrná na srovnávací rovině.

5.3. Oslnění

Je nepříznivý stav, který vzniká překročením meze adaptability zraku v důsledku velkých prostorových nebo časových kontrastů jasů v zorném poli.

Podle umístění oslňujícího zdroje v zorném poli rozlišujeme oslnění na osově (centrální) a okrajové (periferní). Podle cesty světla pak na přímé nebo na oslnění odrazem. Zábranu oslnění osvětlovacími otvory denního osvětlení stanoví evropská norma pro osvětlování vnitřních prostorů, denní osvětlení musí být navrženo tak, aby uživatelé vnitřních prostor nebyli oslňováni jak při zatažené tak jasné obloze.

Hodnocení oslnění v interiérech se zaměřuje na přímé oslnění. Nejpoužívanějším způsobem, který hodnotí oslnění je založen na výpočtu indexu oslnění z různě modifikovaného empirického vzorce. Nejčastěji se pak používá systém UGR, doporučený mezinárodní komisí pro osvětlování.

5.4. Kategorie osvětlení podle druhu vykonávané činnosti

- A s velkými požadavky na zrakový výkon ($E = 2000 - 20\ 000\ \text{lx}$)
- B s průměrnými požadavky na zrakový výkon ($E = 200 - 2000\ \text{lx}$)
- C s malými požadavky na zrakový výkon ($E = 20 - 200\ \text{lx}$)
- D s přednostními požadavky na vnímání prostoru a barev. ($E = 20 - 500\ \text{lx}$)

Osvětlenost pro jednotlivé kategorie činností je měřena na srovnávací rovině 0,85 m nad zemí. Podrobný popis činností a předepsané osvětlenosti pro dané prostory popisuje lit. [1] (str. 208-215.) a norma ČSN EN 12464-1 V prostorách s trvalým pobytem osob² nesmí být hodnota osvětlenosti nižší než 200 lx a v prostorách bez denního osvětlení je nutno tuto hodnotou zvýšit na 300 lx. U kategorií A – C je rozhodující kritérium zrakový výkon, u kategorie D pak zraková pohoda.

5.4.1. Zraková pohoda

Subjektivní stav zrakového pohodlí vyvolaný světelným prostředím, vzhledem k rozdílnosti mezi pozorovateli, není možné zrakovou pohodu navodit u 100% pozorovatelů. Při správném návrhu osvětlení až 20 procent pozorovatelů vyhodnotí vždy úroveň osvětlenosti pro danou činnost jako příliš vysokou nebo naopak nedostatečnou.

5.4.2. Podmínky zrakové pohody

- Přijatelné rozložení jasů, který v zorném poli nepřesahuje tzv. adaptační jas
- Úroveň osvětlenosti, rovnoměrnost osvětlení a věrnost podání barev odpovídá požadavkům dle norem ČSN na danou činnost

5.5. Postup při návrhu osvětlení

5.5.1. Vyhodnocení požadavku na osvětlení

Jedná se o doplnění a zpřesnění požadavků na osvětlení na základě rozboru všech zrakových činností, uvedení požadavků do souladu s příslušnými normami a zajištění meziodborové spolupráce.

² pobyt lidí ve vnitřním prostoru nebo v jeho funkčně vymezené části, který trvá v průběhu jednoho dne (za denního světla) déle než 4 hodiny a opakuje se při trvalém užívání budovy více než jednou týdně.

<i>Administrativní prostory (kanceláře)</i>			
<i>Druh prostoru, úkolu nebo činnosti</i>	<i>E (lx)</i>	<i>UGR</i>	<i>Ra</i>
Zakládání dokumentů, kopírování	300	19	80
Psaní, psaní na stroji, čtení zpracování dat	500	19	80
Technické kreslení	750	16	80
Pracovní stanice CAD	500	19	80
Konferenční zasedací místnosti	500	19	80
Recepce	300	22	80
Archiv	200	25	80

**Tabulka 2 Požadavky na osvětlení administrativních prostor
vybraných činností dle ČSN EN 12464-1**

5.5.2. Volba osvětlující soustavy

Je volen druh světelných zdrojů, svítidel, jejich počet a rozmístění podle požadovaných parametrů osvětlení. Výkon osvětlovací soustavy je určen předběžným výpočtem, například metodou poměrných příkonů dle vzorce 9. Tabulku poměrných příkonů p uvádí literatura [1] na straně 278.

$$P = pA E_p / 10\eta_z \quad [W; W \cdot m^{-2}; m^2; lx; lm \cdot W^{-1}] \quad (9)$$

kde je:

P celkový příkon osvětlovací soustavy

p poměrný příkon osvětlovací soustavy pro $E_p = 100 lx$

A osvětlená plocha srovnávací roviny

E požadovaná úroveň osvětlenosti v bodech srovnávací roviny

η_z Energetická účinnost světelného zdroje

5.5.3. Kontrolní výpočty

Na základě zvolené osvětlovací soustavy se pomocí výpočtů zpřesňuje počet svítidel a výkon světelných bodů tak, aby výsledné parametry osvětlení byly v souladu s požadavky (vliv zastínění atd.). V případě nesouladu je nutno revidovat volbu osvětlovací soustavy a zvolenou soustavu opět ověřit výpočtem.

Výpočet je prováděn tokovou nebo bodovou metodou výpočtu, přičemž jsou velmi často využívány profesionální počítačové programy – existují jak samostatné produkty, jako program Wils, popř. Relux Suite, tak nástroje pro CAD SW. Výhodou firemních programů je často možnost jejich volného stažení. Příkladem může být program Wils, který používá tokovou i bodovou metodu výpočtu a obsahuje rozsáhlou databázi svítidel příslušných výrobců a světelných zdrojů. Lze využít i pro výpočet činitele oslnění UGR a umožňuje

automatické rozmístění svítidel ve zvolené místnosti libovolného tvaru. Kromě výpočtu osvětlení v interiéru lze využít i k návrhu veřejného osvětlení.

5.5.4. Technicko – ekonomické výpočty a zpracování dokumentace

Návrh světelné soustavy se často provádí v několika variantách přičemž výběr konečné varianty se provádí na základě ekonomických ukazatelů jednotlivých řešení. Vyhodnocuje se vliv světelné soustavy na okolí, zejména zvětšení tepelné zátěže. Na závěr je pro zvolenou soustavu zpracována prováděcí dokumentace.

6. Návrh osvětlení ovládacích prvků

6.1. Požadavky zákazníků na osvětlení ovládacích prvků automobilu

Základním požadavkem je hodnota jasu (v cd/m^2) a procentuální rozdíl mezi maximem a minimem, který se vyskytuje na symbolu ovládacího prvku, (dále jen symbolu). Neméně důležitá je také hodnota jasu parazitního světla, které uniká mimo symbol, např. do sousedního symbolu. Povolené hodnoty jasu parazitního světla bývají velmi malé, např. $0,08 \text{ cd/m}^2$ pro průnik funkčního osvětlení při denní intenzitě funkčního osvětlení.

Dále je definována dominantní vlnová délka použitého světelného zdroje, která určuje barvu symbolu. Na palubní desce automobilu můžeme najít výrobky mnoha dodavatelů, jenž jsou osvětleny různými zdroji světla. Pokud by nebyla striktně dodržena stejná dominantní vlnová délka všech zdrojů, docházelo by k nepatrným, ale okem viditelným rozdílům u barev symbolů jednotlivých výrobců.

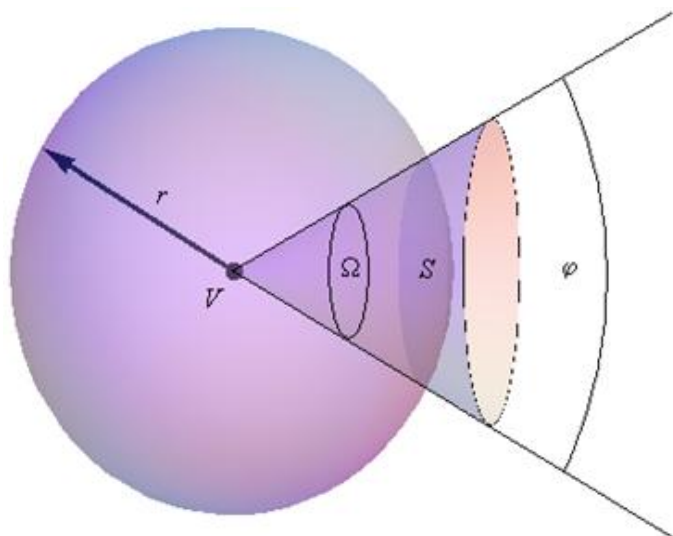
Dalším požadavkem je barva ovládacího prvku, například stínítka, přes které musí světlo projít (příkladem je červený výstražný trojúhelník). Definovaná je i barva všech viditelných částí ovládacího prvku. Z hlediska osvětlení mohou být u některých ovládacích prvků vnější stěny, jejichž barva je definována zákazníkem, které jsou zároveň reflektory mezi světelným zdrojem a stínítkem. Takto definované barvy většinou návrh osvětlení komplikují, jelikož se v zásadě jedná od odstíny černé s nízkým leskem a velkými světelnými ztrátami. Pro omezení ztrát jsou v ovládacích prvcích často používány vnitřní světlé reflektory nebo leštěné plochy z vnitřních stran tmavých stěn. Stínítka ovládacích prvků jsou stříkané průhledné materiály a obraz symbolu je následně vytvořen odebráním barvy pomocí ležru.

6.2. Hlavní zásady návrhu osvětlení symbolů

- Při mechanické konstrukci zajistit přímou viditelnost zdroje světla (dále jen LED) na celý symbol – pokud je to možné.
- Vzdálenost mezi LED a symbolem by měla být z hlediska osvětlení co nejmenší, ale taková, aby vyzařovaný sloupec světla přesahoval rozměry symbolu.
- Vhodným umístěním předřadných odporů zajistit malé teplotní namáhání LED
- Z cenových důvodů používáme vždy LED s nejmenší možnou svítivostí, (v některých případech může být levnější svítivější typ). Z důvodu dodržení dominantní vlnové délky by jmenovitý proud LED neměl být pod 10% proudu maximálního. Pokud se tak stane, je nutno ověřit dominantní vlnovou délku pomocí spektrometru, případně upravit mechanickou konstrukci tak, aby se zvětšily světelné ztráty, např. zvětšením tloušťky stěny symbolu, použitím jiného materiálu, zdrsnění světlovodiče apod.

6.2.1. Určení minimální vzdálenosti LED od symbolu

Diody používané pro osvětlování ovládacích prvků jsou typické svým kruhovým prostorovým vyzařovacím úhlem Ω , (obr.14 Prostorový úhel), který je dán výrobcem. Jelikož jsou



vyzařovací úhly kruhové, je matematicky výhodnější pracovat s rovinnými úhly. Pokud výrobce přímo neudává vyzařovací úhel diody pomocí úhlu φ , lze použít vztah (10) pro převod rovinného a prostorového úhlu. [21]

$$\Omega = 2\pi(1 - \cos\varphi) \quad [\text{sr, rad}] \quad (10)$$

kde je:

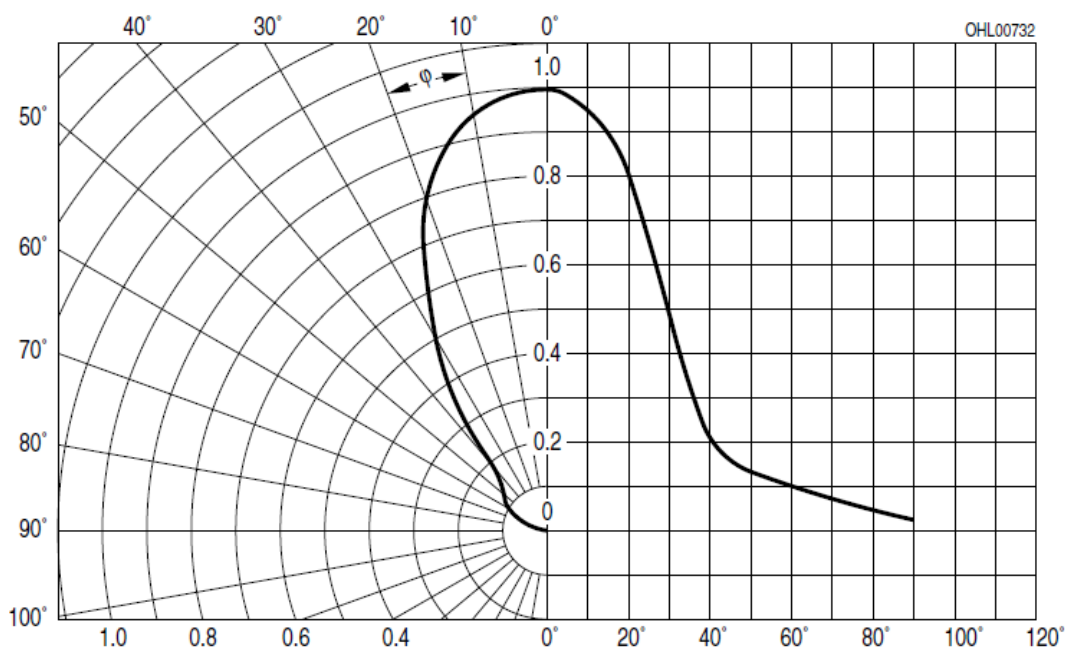
Ω prostorový úhel,

φ rovinný úhel.

Při znalosti úhlu φ můžeme pro daný vyzařovací úhel najít maximální délku delší strany symbolu použitím goniometrických

Obr.14 Prostorový úhel [21]

funkcí. V katalogu LED je úhel Ω popř. φ , definován jako úbytek světelného výkonu o 50%, což se obvykle neshoduje s tolerancí jasu na povrchu symbolu, který požaduje zákazník. Z tohoto důvodu je nutno znát vyzařovací charakteristiku příslušné diody, jak ukazuje obrázek 15, kterou udává pro své produkty výrobce. Z vyzařovací charakteristiky lze poté odečíst minimální vzdálenost diody pro příslušnou velikost symbolu a požadovanou toleranci jasu. Při návrhu je nutno počítat s určitou tolerancí, neboť jde o typický vyzařovací diagram definovaný při teplotě při 25°C a zejména u levnějších výrobců může být problém v jeho přesném dodržení v celém objemu sériové výroby.



Obr.15 Příklad vyzařovací charakteristiky, dioda LYE65F firmy Osram

6.3. Standardní postup při návrhu osvětlení ovládacího prvku

Standardní postup se provádí vždy na konci vývoje, kdy je ovládací prvek ve fázi předsériové výroby. Cílem návrhu je osvětlit prvek dle požadavků zákazníka – osvětlený symbol musí mít požadovaný jas, rovnoměrnost a odpovídající barvu v podobě vlnové délky.

6.3.1. Určení zdroje světla

Diody jsou definovány vyzařovacím úhlem (φ, Ω), svítivostí a dominantní vlnovou délkou, doplnkově pak celkovým světelným tokem. Vzdálenost diody od stínítka je dána mechanickou konstrukcí. Minimální vyzařovací úhel diody určíme dle kapitoly 6.2.1., z hlediska rovnoměrnosti je ale vždy výhodnější volit LED bez koncentrační optiky s větším vyzařovacím úhlem a to i z hlediska ceny diody, neboť LED s koncentrační optikou mají obvykle vyšší cenovou hladinu. Z důvodu větších světelných ztrát způsobených stěnami ovládacího prvku (reflektoru) musí být celkový světelný tok diod bez koncentrační optiky pro dosažení stejného jasů symbolu vyšší.

Jednotlivé druhy diod se vyrábějí ve svítivostních třídách s rozptylem svítivosti cca $\pm 12,5\%$ (tab. 3 Svítivostní třídy diody Osram LSM676). Výrobce není obecně schopen dodávat ve velkém množství vybrané svítivostní třídy diod, ale pouze jejich sady, například 3 až 4 druhy svítivostních tříd od jednoho typu diody. Osvětlení musí být navrženo tak, aby i nejméně svítivá třída LED zaručila validní osvětlení symbolu. Cena LED v rámci jednoho typu nestoupá lineárně s lepší svítivostní třídou, ale s možnostmi dodavatele dodávat větší množství svítivostních tříd. Popřípadě s možností dodávky svítivostních tříd, u nichž má dodavatel velkou výtěžnost z křemíkového monolitu. Z tohoto hlediska je nejvýhodnější výběr středních svítivostních tříd.

<i>Svítivostní třída</i>	<i>Svítivost [mcd/m²]</i>	<i>Světelný tok [lm]</i>
P2	56.0 až 71.0	190 (typ.)
Q1	71.0 až 90.0	240 (typ.)
Q2	90.0 až 112.0	300 (typ.)
R1	112.0 až 140.0	380 (typ.)
R2	140.0 až 180.0	480 (typ.)
S1	180.0 až 224.0	600 (typ.)
S2	224.0 až 280.0	760 (typ.)
T1	280.0 až 355.0	950 (typ.)

Tabulka 3 Svítivostní třídy diody Osram LSM676

Kromě svítivostních tříd jsou k dispozici i barevné třídy pro jednotlivé typy diod (tzv. barevné biny). Podobně jako svítivostní třídy není výrobce schopen dodávat jednotlivé biny, ale pouze minimálně jejich dvojici. V tabulce 4 je příklad barevných binů z katalogu Osram pro vybrané

typy žlutých a oranžových diod. Nejmenší tolerance vlnové délky je v tomto případě 6nm. Cena dodaných diod roste s vyššími požadavky na přesnost vlnové délky.

Gruppe Group	yellow		orange	
	min.	max.	min.	max.
2	580	583	600	603
3	583	586	603	606
4	586	589	606	609
5	589	592		
6	592	595		

Tabulka 4 Katalog Osram : barevné biny diod LYM676 a LOM676

Praktický návrh spočívá v měření jasů symbolu při použití sady diod odpovídající dominantní vlnové délky s cílem najít technicko – ekonomicky nejvýhodnější řešení.

6.3.2. Možnost mechanických úprav při návrhu osvětlení ovládacího prvku

Pokud je cena zdroje světla vychází vysoká, popřípadě se symbol stává neosvětlitelným z hlediska rovnoměrnosti nebo není dosažena požadovaná úroveň jasů je nutno přikročit k mechanickým úpravám v konstrukci symbolu. I drobné mechanické změny mívají obvykle významný účinek na výsledné parametry jasů a rovnoměrnosti symbolu. Základní nevýhodou tohoto postupu je finanční náročnost změn sériových nástrojů, pro výrobu ovládacího prvku s nejistým výsledkem.

6.3.3. Úpravy vedoucí k zlepšení rovnoměrnosti

- Základním nedostatkem LED je nerovnoměrné rozložení světelného toku (obr 15); střed symbolu, pod kterým je LED typicky umístěna, se stává nejjasnějším místem a směrem k krajům symbolu jas klesá. Tento nedostatek vyzařovací charakteristiky LED lze upravit zvýšením tloušťky stínítka ve středu symbolu oproti okrajům, tím dojde ke zvýšení rovnoměrnosti jasů. Tato úprava je velmi efektivní a lze teoreticky osvětlit poněkud větší symbol, než by odpovídalo výpočtu podle kapitoly 6.2.1. Praktická ukázka této metody je popsána v kapitole 9.3.
- Podobného efektu lze dosáhnout i zvýšením lesku tmavých stěn ovládacího prvku. Pokud jsou okraje symbolu blízko tmavého reflektoru, jsou nejvíce zatíženy světelnými ztrátami. Zvýšením lesku stěn lze tyto ztráty snížit, což se projeví zvýšením jasů na krajích symbolu a zlepšením rovnoměrnosti. Nicméně dojde i ke zvýšení celkové úrovně jasů. Pokud ovládací prvek obsahuje reflektory, jsou jejich vnitřní části vždy vyrobeny z lesklého materiálu.
- Další možnou úpravou je změna materiálu stínítka, kdy se využívá materiál s vyšším rozptylem světla. Výsledkem je lepší rovnoměrnost jasů na stínítku, klesne však jeho průměrná hodnota. Tuto mechanickou změnu lze realizovat jen v případě přebytku výkonu světelného zdroje.
- Poslední běžnou úpravou je zdrsňení spodní strany stínítka (úpravou výrobní formy). Toto opatření vede ke stejnému efektu jako v předchozím bodě.

6.3.4. Úpravy vedoucí ke zvýšení jasů symbolu

- Základní úpravou je zvýšení odrazivosti vnitřních stěn symbolu změnou barvy materiálu, případně vložením světlého reflektoru. Toto opatření vede obvykle k výraznému nárůstu jasů symbolu, bývá však ekonomicky náročné.
- Nízký celkový jas lze zlepšit vyleštěním spodní strany stínítka. Jde však o úpravu na úkor rovnoměrnosti, nicméně v praxi standardně prováděnou.
- Další běžnou úpravou je změna materiálu stínítka, kdy se využívá materiál s větším podílem transparentní složky. Opět se jedná o úpravu, která je na úkor rovnoměrnosti jasů symbolu.

6.3.5. Světlovodiče

Většina mechanických úprav zvyšuje rovnoměrnost na úkor jasů symbolu a naopak. Tuto nevýhodu odstraňují světlovodiče, které při správném návrhu zajistí výrazné snížení světelných ztrát a tím zvýšení jasů symbolu. Rozvedením světla na požadované plochy lze upravit vyzařovací diagram diody dle potřeby a tím zajistit lepší rovnoměrnost jasů symbolu.



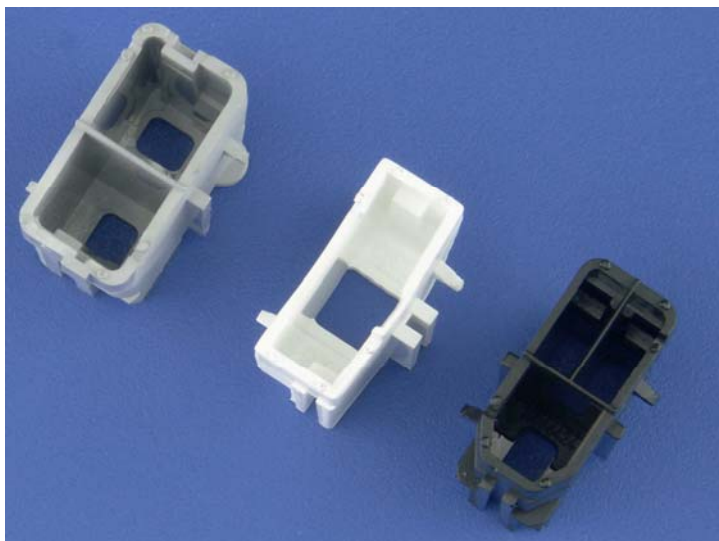
Obr. 16 Světlovodič pro otočný spínač světla koncernu VW

Návrh složitějších světlovodičů je obtížný a samotné světlovodiče jsou finančně nákladné. Z tohoto důvodu jsou složitější světlovodiče navrhovány jen v ojedinělých případech. Příkladem jsou ovládací prvky, kde dochází ke změnám polohy mezi symbolem a světelným zdrojem. Uspokojivé osvětlení takových prvků z jednoho zdroje světla bývá možné jen použitím složitých světlovodičů. Příkladem aplikace je otočný spínač světla koncernu VW, který reprezentuje nejsložitější osvětlený ovládací prvek v moderních automobilech, dnes vyráběný v řádově milionových sériích, jak znázorňuje obrázek 16. Světlovodič pro otočný spínač světla koncernu VW, který byl navržen v roce 2007. [9]

6.3.6. Omezení parazitního průniku světla

Pokud ovládací prvek obsahuje více než jeden osvětlený symbol je nutno věnovat pozornost parazitnímu průniku světla mezi jednotlivými symboly. Jelikož ovládací prvky bývají v zásadě pohyblivé, může parazitní světlo pronikat také mezi pohyblivou a pevnou částí ovládacího prvku, případně mezi ovládacím prvkem a palubní deskou automobilu.

Omezení parazitního světla se realizuje zejména světlotěsnými světelnými reflektory, jejichž nepropustnost může být zajištěna například černým lakováním neaktivní strany reflektoru. Nicméně v praxi se často vyskytují případy, kdy lakování není technicky možné, proto a též z cenových důvodů se častěji přistupuje k výrobě reflektorů z materiálu bez podílu transparentní složky, který je přirozeně světlotěsný a není nutné jeho lakování. Nevýhodou takového řešení jsou vyšší světelné ztráty. Příklady světelných reflektorů jsou znázorněny na obrázku 17 Světelné reflektory z rozdílných materiálů. Jednoduchý reflektor (bez



Obr.17 Světelné reflektory z rozdílných materiálů

přepážek) z bílého materiálu není světlotěsný, ostatní reflektory jsou vyrobeny z materiálu bez podílu transparentní složky. Vyobrazené reflektory mají jak funkci

světelnou tak mechanickou, neboť přenášejí spínací síly mezi tlačítky a spínací podložkou.

6.3.7. Rozložení teplot na desce plošných spojů

Napájení ovládacích prvků je v současné době stále zajišťováno plným palubním napětím automobilu (cca 13 V). Zejména vlivem předřadných rezistorů vznikají na desce plošných spojů ovládacího prvku tepelné ztráty, čímž dochází k tepelnému namáhání LED, jenž vede ke snížení svítivosti. Pro dosažení stejné úrovně jasu symbolu je u teplotně namáhaných diod nutné zvýšit jejich provozní proud. Zejména u složitějších ovládacích prvků s mnoha integrovanými funkcemi je nutno optimalizovat rozložení předřadných rezistorů a realizovat chladičí měděné plochy na deskách plošných spojů s cílem snížení tepelného namáhání diod. Optimalizace je významná z důvodů výše popsané kladné zpětné vazby. Výsledkem by měl být pokles provozní teploty v okolí světelných zdrojů, který vede k poklesu provozního proudu a tím i celkového ztrátového výkonu ovládacího prvku. V některých případech může být ohřev diod limitujícím faktorem pro jejich použití a proto je nutno použít diody s lepší světelnou účinností, popřípadě s optimálním vyzařovacím diagramem anebo zajistit menší světelné ztráty výše uvedenými mechanickými úpravami. Ověření provozní teploty elektroniky ovládacího prvku je vhodné provádět měřením pomocí termokamery.

6.3.8. Finální nastavení jasu symbolu pro sériovou výrobu

Na závěr návrhu je nutno nastavit správnou hodnotu jasu symbolu dle požadavku zákazníka tak, aby tato hodnota byla dodržena v sériové výrobě, a to pro všechny svítivostní třídy diod, které budou používány při výrobě ovládacího prvku. Měřením nalezneme správnou hodnotu jasu pro průměrnou svítivostní třídu z řady tříd dodávaných výrobcem diod. Tím získáme hodnotu předřadného rezistoru příslušné diody pro měřenou svítivostní třídu. Ostatní třídy nalezneme výpočtem dle vzorce (11). Optickou účinnost diod považujeme za lineární a teplotní závislost zanedbáváme, měření však provádíme za provozní teploty ovládacího prvku, tedy cca 20 minut po přiložení napětí a při aktivaci všech vzájemně se nevylučujících funkcí ovládacího prvku. Tímto postupem lze v praxi standardně dosáhnout uspokojivých výsledků.

$$R_x = R_m \cdot I_m / I_p \quad [\Omega; \Omega; \text{mCd}, \text{mCd}] \quad (11)$$

kde je:

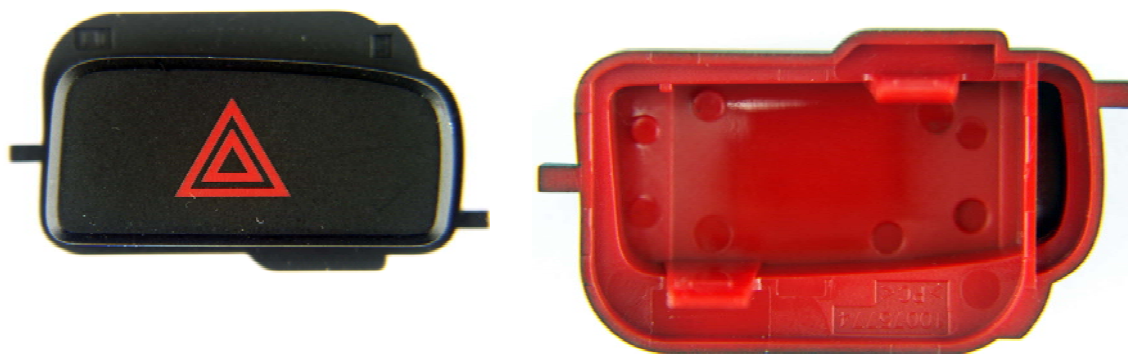
- R_x hledaný předřadný rezistor,
- R_m hodnota rezistoru získaná měřením,
- I_m střední svítivost svítivostní třídy, při které bylo prováděno měření,
- I_p střední svítivost svítivostní třídy, pro kterou je hledán předřadný odpor R_x .

Alternativní postup spočívá v postupném osazení ovládacího prvku všemi použitými svítivostními třídami LED a nalezení příslušných hodnot rezistorů měřením pro všechny třídy. Tím dojde ke kompenzaci vlivu ohřevu LED popsaného v kapitole 6.3.7 Tento postup lze efektivně využít pouze v případě, že ovládací prvek je osvětlován jedním typem LED, neboť kombinace svítivostních tříd u jednotlivých typů LED se při výrobě mění.

Jelikož vliv tepelného zatížení je největší u složitějších ovládacích prvků a tyto prvky mají velmi často několik typů světelných zdrojů, nelze použít alternativní postup. Proto je výhodné, aby jednotlivé typy LED byly do sériové výroby dodávány maximálně ve třech svítivostních třídách. Pokud provedeme měření pro střední třídu svítivosti, dopustíme se zanedbáním tepelných závislostí pro vedlejší třídy nejmenší možné chyby ve výpočtu. Ověření výpočtu lze provést osazením ovládacího prvku nejhoršími svítivostními třídami použitých LED a měřením jasů na jednotlivých symbolech pomocí vhodného jasoměru.

Dominantní vlnová délka LED se obecně prodlužuje s rostoucím proudovým a tepelným zatížením diody. Rozptyl dominantní vlnové délky je specifikovaný v objednávce diod a musí být nižší nebo stejný, než požaduje zákazník. Přestože výrobce tento rozptyl zaručuje, je vhodné před předáním hotového výrobku zákazníkovi ověřit dominantní vlnovou délku měřením.

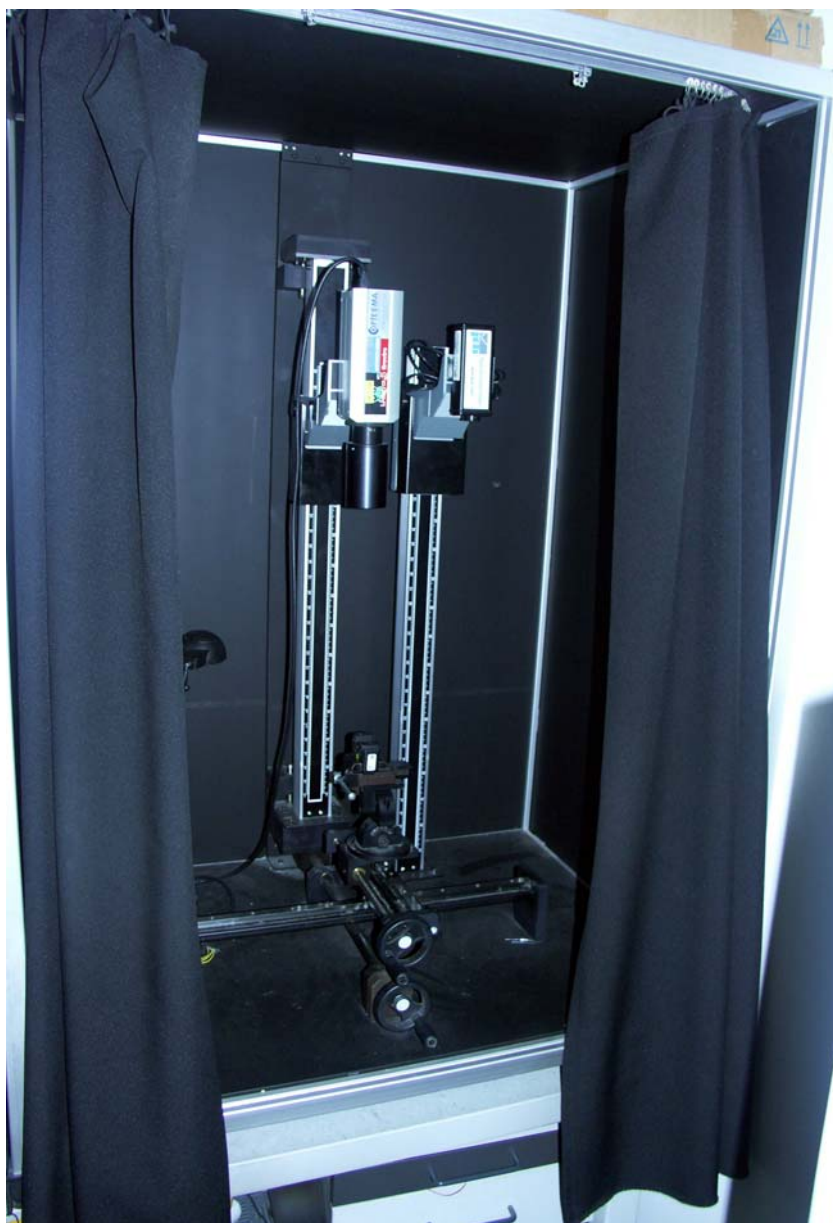
Stínítka některých ovládacích prvků mohou být vyrobena z barevného materiálu – v tomto případě je nutno věnovat velkou pozornost měření dominantní vlnové délky osvětleného symbolu, neboť výsledná dominantní vlnová délka není shodná s dominantní vlnovou délkou použité LED a může být mimo toleranci, než požaduje zákazník. V případě nevyhovující vlnové délky je nutno provést korekci změnou barevného binu LED tak, aby výsledná vlnová délka byla v souladu s požadavky zákazníka. Na obrázku 18 je zobrazeno barevné stínítko výstražného trojúhelníku automobilu VW –UP. Barva materiálu způsobí v tomto případě změnu dominantní vlnové délky osvětlení symbolu z původních 634,9 na 632,9 nm. S poklesem dominantní vlnové délky je nutno počítat při objednávce barevných binů příslušné LED. Celé měření je zobrazené v příloze 1 diplomové práce.



Obr. 18 Barevné stínítko výstražného trojúhelníku automobilu VW -UP

6.4. Měřicí přístroje vyžívané při návrhu osvětlení ovládacích prvků

Ověřování úrovně jasu symbolu, jeho rovnoměrnosti a vlnové délky je prováděno v temné komoře zobrazené na obrázku 19 za konstantní teploty okolí (20°C). Jasoměr a spektrometr jsou umístěny na vertikálně pohyblivých ramenech. Měřený díl je fixován na křížovém stole s posuvným horizontálním vedením, pomocí kterého je nastaven do požadované polohy.



Obr. 19 Temná komora

Měření je prováděno po zahřátí ovládacího prvku na provozní teplotu, nejdříve za 20 minut po připojení ovládacího prvku na napětí a při simulaci sepnutí všech vzájemně se nevylučujících funkcí. Oba přístroje jsou ovládány počítačem, který zajišťuje vizualizaci a zpracování dat.

Za stejné teploty okolí je prováděno měření ohřevu elektroniky pomocí termokamery. V tomto případě zjišťujeme pouze rozložení teplot v okolí diod pro účely optimalizace rozložení předřadných rezistorů, neboť absolutní hodnoty jsou z důvodu rozdílné emisivity povrchu desky pouze orientační. Vzhledem ke způsobu měření musí být elektronika měřena samostatně před zamontováním do ovládacího prvku, což dále snižuje objektivitu měření.

Posledním typem měření, které je prováděno při návrhu ovládacích prvků je měření barev povrchu a lesku pomocí spektrofotometru. Tento typ měření se neprovádí při standardním postupu návrhu a je detailně popsán v kapitole 7.

6.4.1. Jasoměr LMK 98–3

Jasoměr LMK 98 – 3 ovládaný softwarem LMK 2000 je zobrazen na obrázku 20. Jedná se o CCD kameru s vysokým rozlišením³ (1380 x 1030 bodů), velikost zobrazované plochy i rozlišení na cm² lze měnit pomocí výměnných objektivů. Možnost zobrazení rozložení jasů na velké ploše je vykoupena poněkud nižší přesností ($\pm 3\%$) oproti bodovým jasoměrům, které jsou však pro podobné aplikace nevhodné. Měřicí rozsah záleží na světelnosti použitého objektivu cca 0,01 až 10⁴ cd/m²; pro vyšší hodnoty jasů lze využít dodaný tmavý filtr.

Ovládací program LMK 2000 převádí data z CCD kamery do uživatelem zvolené grafické podoby (jak je znázorněno na obr. 33 Zelené noční osvětlení - rozložení jasů na symbolech). Každé úrovni jasů pak odpovídá uživatelem zvolená barva, přičemž zvolená barevná škála je zobrazena vedle vygenerovaného snímku. Tuto vlastnost lze využít i pro rychlou orientaci v měření, kdy validní hodnoty jasů symbolu dle specifikace zákazníka reprezentuje jedna přiřazená barva (v diplomové práci byly zvoleny odstíny zelené barvy). Dále je možné provádět měření jasů na vytvořeném snímku. Bodová měření lze využít pro zjištění rovnoměrnosti jasů symbolu. Průměrné hodnoty jasů zjistíme nástroji pro plošná měření.



Obr. 20 Jasoměr LMK 98–3

³ Podrobný popis jasoměru LMK 98–3 lze najít na internetových stránkách výrobce www.technoteam.de.

6.4.2. Spektroradiometr Specbos 1201

Na obrázku 21 je znázorněn Spektroradiometr firmy JETI Technische Instrumente⁴. Jedná se o přístroj, který měří vyzařovací diagram světelného zdroje ve zvoleném bodě, jehož velikost se mění se vzdáleností přístroje od měřeného objektu. Rozsah měření je 380 až 780 nm.



Obr. 21 Spektroradiometr firmy JETI Technische Instrumente

Ovládací program převádí naměřená data do zvolené grafické podoby (Příloha 1). a provádí výpočet dominantní vlnové délky a sytosti barvy.

Kromě měření barevného spektra je přístroj schopen doplňkově měřit i osvětlenost a provádí bodového měření jasu. Ve volitelném příslušenství jsou předřadné objektivy, které formují velikost měřicího bodu. Přesnost měření dominantní vlnové délky na kterou je přístroj kalibrován je 0,5 nm.

Připojení k počítači a napájení zajišťuje rozhraní USB. Přístroj má malé rozměry, snadné ovládání a relativně příznivou cenu.

Nevýhodou proti velkým spektroradiometrům je nemožnost měření svítivosti LED, delší doba měření u slabších zdrojů světla a menší přesnost přístroje.

6.4.3. Termokamera Fluke Ti20

Poslední přístroj používaný při klasickém návrhu je teplotní zobrazovač vyráběný firmou Fluke (obrázek 22 Termokamera Fluke Ti20). Výsledkem měření je termogram (zobrazený v Příloze 2) s rozložením teplot na měřeném objektu. Při znalosti teplotní emisivity umožňuje přístroj provádět přesná měření do teploty 350°C. Termogramy lze dále analyzovat pomocí dodaného SW InsideIR. Zařízení má univerzální použití, rozložení teplot lze měřit na objektech o velikosti v řádu cm, stejně tak lze přístroj použít pro měření teplot stěn budov. Minimální vzdálenost od měřeného objektu je 61 cm. Klíčovým parametrem pro absolutní přesnost měření je nastavení emisivity.⁵

Určení emisivity:

- Při neznámé emisivitě lze nalepit na část měřeného objektu pásku se známou emisivitou a po vyrovnání teplot změřit její teplotu. Po odlepení pásky nastavíme emisivitu přístroje tak, aby bylo dosaženo stejné teploty jako při měření s páskou. Nastavená emisivita je hledaná emisivita měřeného materiálu.

⁴ Internetové stránky výrobce : <http://www.jeti.com>

⁵ Emisivita je míra schopnosti objektu emitovat infračervené záření. Nabývá hodnot 0 až 1 (dokonalý reflektor, černé těleso)

- Další možností je použití kontaktního teploměru, kterým provedeme validní měření a dále pokračujeme bezkontaktním měřením pomocí termokamery a emisivitu nastavíme tak, aby naměřená teplota byla shodná s hodnotou naměřenou kontaktním teploměrem.

Obě tyto metody považují měřené těleso z hlediska emisivity za homogenní. Osazené desky plošných spojů v praxi tento předpoklad obecně neplní. Provedení validního měření pomocí kontaktního teploměru je obtížné z hlediska ovlivnění měřeného objektu. Přístroj je proto využíván jen pro zjištění rozložení teplot s cílem snížení provozní teploty světelných zdrojů.



Obr. 22 Termokamera Fluke Ti20

6.5. Návrh světelného zdroje ovládacího prvku před konstrukcí prototypu

Standardní postup návrhu, jenž byl popsán v kapitole 6.3 má celou řadu ekonomických nevýhod, popsaných v úvodu. Cílem další části diplomové práce je rozvinout alternativní postup návrhu světelného zdroje před zahájením prototypové výroby tak, aby tento postup mohl být standardně využíván při konstrukci nových ovládacích prvků automobilu. Úspěšný návrh předpokládá nalezení cenově optimální varianty, kdy výše nákladů na materiál pro výrobu reflektorů, světelné zdroje a případně i světlovodiče je nejnižší.

V zásadě můžeme použít 3 metody návrhu světelného zdroje před konstrukcí prototypu:

- Návrh světelného zdroje odhadem
- Návrh za použití speciálních počítačových programů
- Návrh pomocí simulace

6.5.1. Návrh světelného zdroje odhadem

Při tomto způsobu vycházíme ze skutečnosti, že ovládací prvky mají podobný tvar i velikost, a i jednotliví zákazníci mají podobné nebo totožné požadavky na úroveň jasu a jeho rovnoměrnost. Předpokládáme, že dříve navržený zdroj osvětlení pro podobný ovládací prvek vyhoví i do nové konstrukce a navrhujeme zdroj stejných parametrů. Základní nevýhodou tohoto návrhu je riziko omylu. Navíc nelze tvrdit, že úspěšnost roste s časem, neboť s obecným tlakem na zvyšující se kvalitu osvětlení ovládacích prvků se riziko omylu spíše zvyšuje. Výhodou tohoto návrhu je rychlost a nepotřebnost drahého vybavení. Pro některé aplikace je tato metoda zcela vyhovující.

6.5.2. Návrh světelného zdroje pomocí speciálních počítačových programů

Příkladem těchto programů je simulační program SPEOS od firmy Optis.⁶ Jedná se o plně integrovaný programový modul do CAD programů CATIA V5 nebo Solidworks. Je nabízen ve verzích pro jednotlivá průmyslová odvětví, jako je automobilový průmysl, letectví atd.



Obr. 23 Simulace programem Speos

Základem pro simulaci je návrh ovládacího prvku programem Catia V5, definice povrchů, reflektorů, tvaru stínítka a lezrem vytvořeného symbolu. Výsledkem simulace je rozložení jasu na symbolu podobným způsobem, jak jej prezentuje jasoměr LMK 98–3. (Příklad je uveden na obrázku 23 Simulace programem Speos). Světelný zdroj lze pak navrhnout na základě programem vypočítané svítivosti LED. Program dále umožňuje automatický návrh světlovodičů a byl již k tomuto účelu ve dvou případech zakázkově využit.

V prvním případě při návrhu světlovodiče pro spínač světel VW (jeho konečná podoba je znázorněna na obrázku 16) – navržený světlovodič pomocí SW nebyl v praxi použitelný. Druhá méně komplikovaná úloha směřovala k návrhu světlovodiče k osvětlení symbolu na obrázku .23 ani v tomto případě SW nenalezl optimální tvar světlovodiče pro osvětlení symbolu.

Přes tato omezení jsou simulační programy velmi dobrým podpůrným nástrojem pro návrh zdroje osvětlení ovládacího prvku. Za nevýhodu je však považována jejich vysoká pořizovací a provozní cena, která dána malým okruhem zákazníků, který tento SW používají. Náklady na pořízení SW Speos Automotiv Catia V5 se v současnosti pohybují v přepočtu 1,3 milionu Kč, měsíční poplatek za využívání SW a aktualizace pak činí 22 000,--Kč.

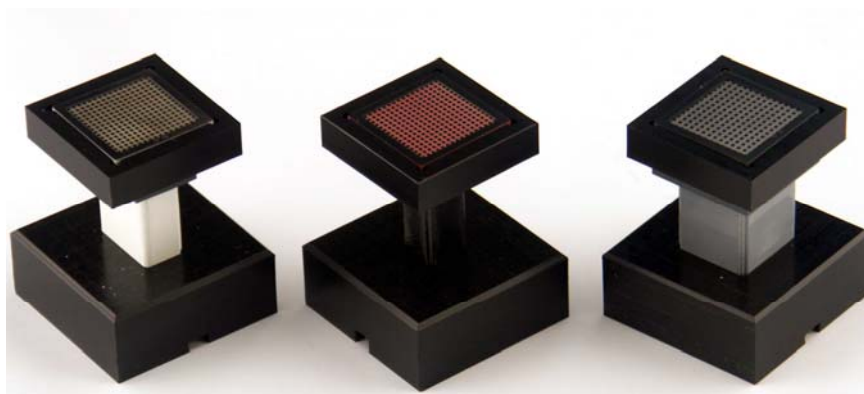
6.5.3. Návrh světelného zdroje pomocí simulace

Princip této metody spočívá v simulování ovládacího prvku pomocí přípravku se shodnými nebo podobnými rozměry ovlivňující rozložení a velikost jasu symbolu (ukázka přípravků pro návrh světelného zdroje ovládacího prvku je uvedena na obr. 24). Jednotlivé části přípravku musí mít z hlediska šíření světla podobné vlastnosti jako navrhovaný ovládací

⁶Internetové stránky výrobce : www.optis-world.com

prvek. Vhodný světelný zdroj pro přípravek pak bude vyhovovat i pro budoucí ovládací prvek.

Díky podobnosti ovládacích prvků (kapitola 6.5.1) není nutné vyrábět pro každý ovládací prvek speciální přípravek. Sestava přípravků umožní pokrýt základní spektrum ovládacích prvků automobilu. Výhodou této metody jsou zanedbatelné finanční náklady oproti simulačním programům a možnost simulace před konstruováním ovládacího prvku v SW CATIA V5. Hlavní nevýhodou je reálně omezený výběr materiálů, tloušťek stěn stínítka a rozměrů přípravku.



Obr. 24 Ukázka přípravků pro návrh světelného zdroje ovládacího prvku

7. Simulování ovládacích prvků pomocí přípravků

Vzhledem k reálné finanční nedostupnosti simulačních SW bude dále při návrhu zdroje osvětlení ovládacích prvků postupováno metodou simulace popsané v kapitole 6.5.3.

7.1. Faktory ovlivňující velikost jasu a jeho rozložení na symbolu

Základní faktory ovlivňující velikost jasu a jeho rozložení na symbolu jsou:

- Barva a lesk aktivních povrchů ovládacího prvku
- Vzdálenost LED od stínítka
- Rozměry reflektoru (obr. 17)
- Tloušťka stínítka
- Struktura povrchu stínítka a druh materiálu
- Druh materiálu a tvar světlovodiče
- Tvar symbolu a jeho vzdálenost od kraje reflektoru

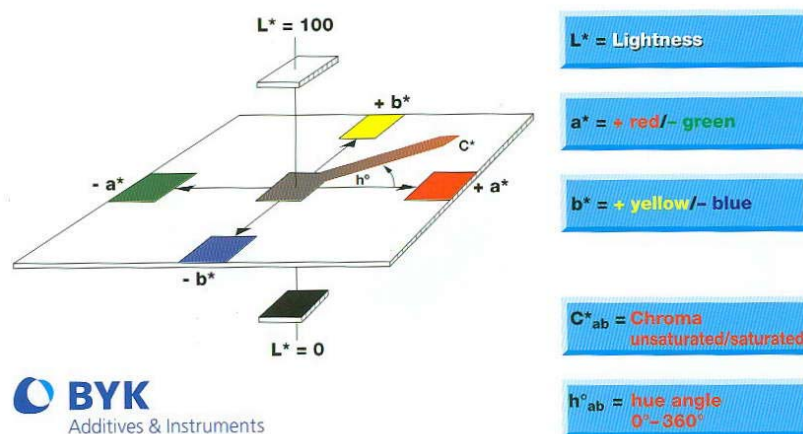
7.1.1. Barva a lesk aktivních povrchů

Pro analýzu vlivu barvy povrchů na výsledné osvětlení ovládacího prvku je nutno exaktně vyjádřit barvy. K objektivnímu popisu barvy je nutno znát její odstín, sytost a jas. Barvu tedy chápeme jako určitý bod v trojrozměrném prostoru. K tomuto účelu je dnes v praxi

nejpoužívanější barevný prostor CIELAB definovaný Mezinárodní komisí pro osvětlení (obr.25). Bližší popis barevných prostorů lze nalézt v lit. [17].

Dalším sledovaným parametrem povrchu je lesk, který významně ovlivňuje světelné ztráty. Je definován procentním poměrem mezi dopadajícím a odraženým světlem.

CIE L*a*b*-System

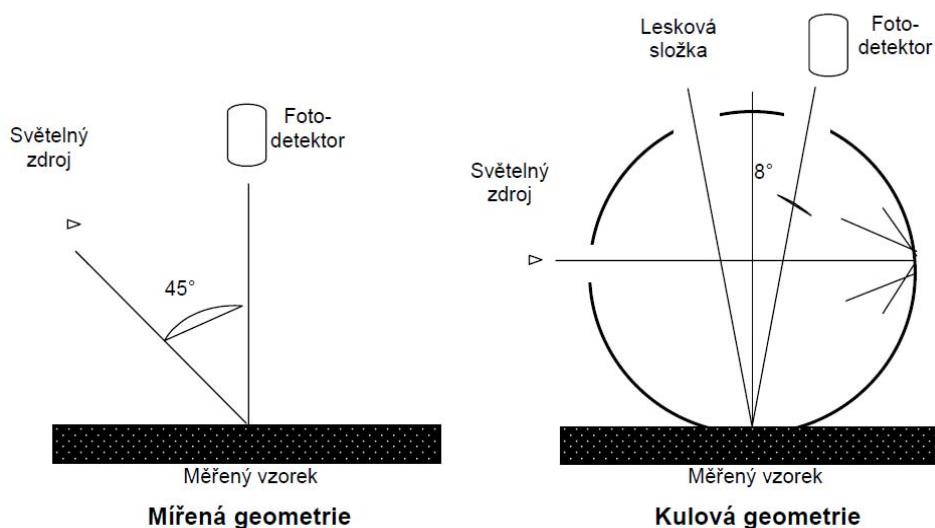


Obr. 25 Barevný prostor CIELAB, zdroj - BYK

7.1.2. Způsoby měření barvy a lesku povrchu, metametrie

Pro měření barev povrchu užíváme spektrofotometry, princip funkce spektrofotometru zobrazuje obrázek 26. Výhodou spektrofotometrů s mířenou geometrií je jejich citlivost na strukturu povrchu a lesk, neboť lesková složka dopadá mimo fotodetektor. Výsledky měření se tak blíží vjemu reálného pozorovatele. Logickou nevýhodou tohoto měřicího principu je závislost výsledku měření na struktuře povrchu a lesku, což je nevýhodné v případech, kdy porovnáváme jednotlivé barvy nanesené na různém povrchu. Z tohoto důvodu se v oblasti průmyslových barev využívá kulová optika, která není citlivá na povrch měřeného předmětu nebo lesk. U kulové optiky můžeme vyloučit lesk pomocí otevření otvoru pro leskovou složku (obr 26). Ani v tomto případě se výsledky měření mezi měřicími systémy obecně neshodují. Z tohoto důvodu je nutno u hodnot „ L^* “, „ a^* “, „ b^* “ (popř. „ L^* “, „ c^* “, „ h^* “) vždy uvádět druh měřicí optiky, dále pak druh osvětlení a úhel pozorování, pro který byly hodnoty vypočteny (např.: 45/0, D65/10). U měření barev povrchu dále zavádíme pojem metametrie (lit. [12]). Je to jev, kdy mezi dvěma měřenými objekty (standardem a výrobkem) se stejným zbarvením dochází ke změně barevné odchylky vlivem změny osvětlení (žárovkové, zářivkové, denní), změny úhlu pozorování atd. Tento jev nastává v praxi velmi často a je dán rozdílnými remisními křivkami objektů, které se protínají v několika bodech, v kterých se jeví jako shodné. V praxi se uplatňuje zejména metametrie osvětlení. Pro určení metametrie osvětlení zavádíme tzv. metametrický index, častěji však v prostoru CIELAB barevnou odchylku ΔE (lit. [17])

Pro účely diplomové práce byl použit spektrofotometr BYK 6802 S (fotografie na obrázku 27). Jedná se o moderní ruční přístroj s mířenou geometrií a integrovaným leskoměrem. Remisní křivka je měřena v rozsahu 400-700 nm v intervalu 10 nm. Naměřené hodnoty jsou následně přepočítávány pro zvolený typ barevného prostoru, pozorovatele a osvětlení. Lze vypočítat i metametrický index mezi standardem a měřeným vzorkem. Při měření barevného odstínu je zároveň měřen lesk. Přístroj je vybaven vnitřní pamětí pro zaznamenání naměřených hodnot barevných standardů a vzorků. Pro přesnost dat slouží rozhraní RS232.⁷



Obr. 26 Princip funkce spektrofotometru [15]

⁷ Internetové stránky výrobce : www.byk.com/instruments



Obr: 27 Používaný měřicí přístroj 6802 S firmy BYK-Gardner

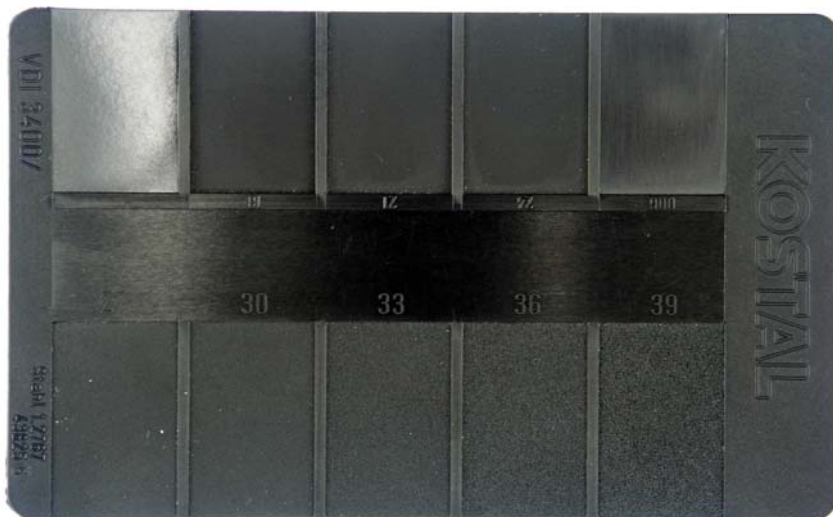
7.2. Výroba přípravků

Pro účely diplomové práce byla zadána výroba přípravků na náklady firmy Kostal ČR s.r.o. Přípravky byly vyrobeny z materiálů používaných v automobilovém průmyslu pro výrobu stínítek a reflektorů ovládacích prvků. Specifikované materiály k výrobě přípravků byly dodány ve formě testovacích desek a vyrobeny na základě objednávky pomocí vstříkolisů firmy Leopold Kostal GmbH & Co. KG (SRN).

Na základě dlouholetých zkušeností bylo vytipováno 7 druhů materiálů a dva druhy povrchu, které pokrývají velkou většinu vývojových projektů v technologickém centru firmy Kostal ČR. Přehled použitých materiálů pro výrobu přípravků je v tabulce 5. Pro materiály reflektorů jsou uvedeny hodnoty LAB (45/0, D65/10). Naměřené hodnoty lesku byly vyšší než 95%. U materiálů stínítek tyto hodnoty uvedeny nejsou, neboť se jedná o materiály s významným podílem transparentní složky.

<i>Materiály pro výrobu reflektorů</i>	<i>Hodnoty LAB</i>	<i>Materiály pro výrobu stínítek R_a</i>
A- bílý (PBT_MX21)	L=98,6; a=0,1; b=1,7	1) bílý VW (Makrolon 2407)
B- černý (Mastechbach)	L=8,6; a=-0,4; b=-1,3	2) bílý mercedes (Makrolon 2407)
C- šedivý (A+ příměs 1,5% B)	L=54; a=-1,4; b=-4,8	3) šedivý (Alcom PC)
		4) červený (Makrolon 2805)

Tabulka 5 Přehled materiálů pro výrobu přípravků



Obr. 28 Druhy povrchů dle normy VDI 3400

Obrázek 28 Druhy povrchů dle normy VDI 3400 zobrazuje zkušební destičku s typy povrchů. Aktivní povrch reflektorů byl z důvodu omezení světelných ztrát vždy upraven na dosažení maximálního lesku, vnitřní povrch stínítek byl po odfrézování na požadovanou tloušťku pro dosažení maximálního lesku ručně vyleštěn. Vnější povrch stínítek je typu VDI 3400/24.

7.2.1. Popis a rozměry přípravků

Každý přípravek obsahuje stínítka a reflektor, v jehož nitru je umístěný světelný zdroj. Vzdálenost zdroje od stínítka je volitelná v rozsahu 1 až 3 cm (obr. 24).

- Reflektory

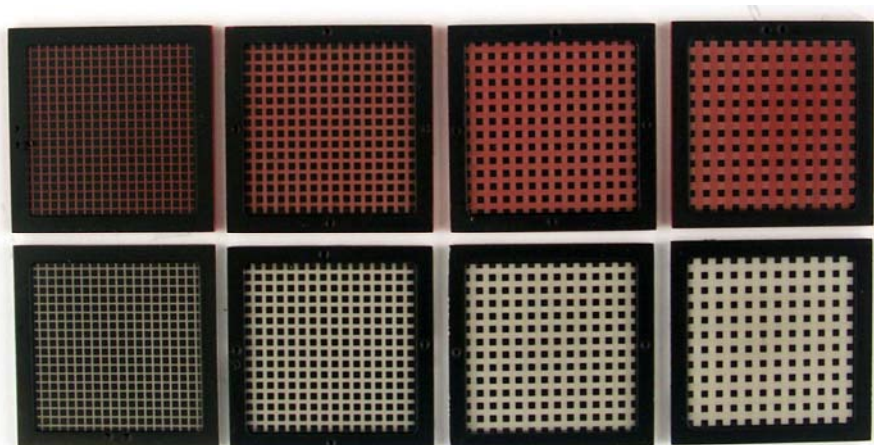
Byly vybrány 3 základní rozměry reflektorů 20 x 20, 20 x 10 a 10 x 10 mm. Výška reflektoru určuje maximální možnou vzdálenost LED od stínítka a byla zvolena na 3,5 cm. Vzhledem k množství funkcí v moderních automobilech dochází velmi často k integraci více funkcí do jednoho stínítka. Z tohoto důvodu bývají reflektory vybaveny přepážkami (obr.17). U bílých reflektorů dochází k průniku světla mezi jednotlivými přepážkami, což vede k nežádoucímu osvětlení neaktivních funkcí nebo vedlejších symbolů. V těchto aplikacích se proto bílé reflektory nahrazují černými, které mají citelně vyšší světelné ztráty, ale jsou světlotěsné. Poněkud nižší světelné ztráty při zachování světlotěsnosti vykazují reflektory z šedivého materiálu.

- Stínítka

Byla vyrobena jako univerzální s možností měření na všech třech typech reflektorů, celkem byly vybrány 4 materiály (tab. 5). Červený materiál se v praxi uplatňuje pouze pro symbol varovného trojúhelníku (obr. 18), z šedivého materiálu (Alcom PC) jsou vyrobeny symboly, které jsou viditelné pouze při aktivaci příslušné funkce. Stínítka byla vyrobena v tloušťkách 0,8, 1 a 1,2 mm. Na každém stínítku je vylejzrován symbol ve tvaru sítě (fotografie je na obrázku 29) s tloušťkami čar 1,2; 0,9; 0,6 a 0,3 mm. Rozteč sítě se zvětšuje s tloušťkou čar a je v rozmezí 1,3 až 2,2mm. Výsledkem zadání je tedy 48 druhů stínítek a aktivní rozměry jsou dány rozměrem použitého reflektoru.

- Světelné zdroje (LED)

Jsou vkládány do definované polohy na dno reflektoru. Přípravky jsou vyrobeny jako univerzální a lze do nich umístit všechny běžně používané LED pro osvětlení ovládacích prvků automobilu. V těsné blízkosti světelného zdroje je umístěn předřadný rezistor, který simuluje tepelné namáhání LED.



Obr. 29 Ukázka stínítek s vylejzrovaným symbolem (sít')

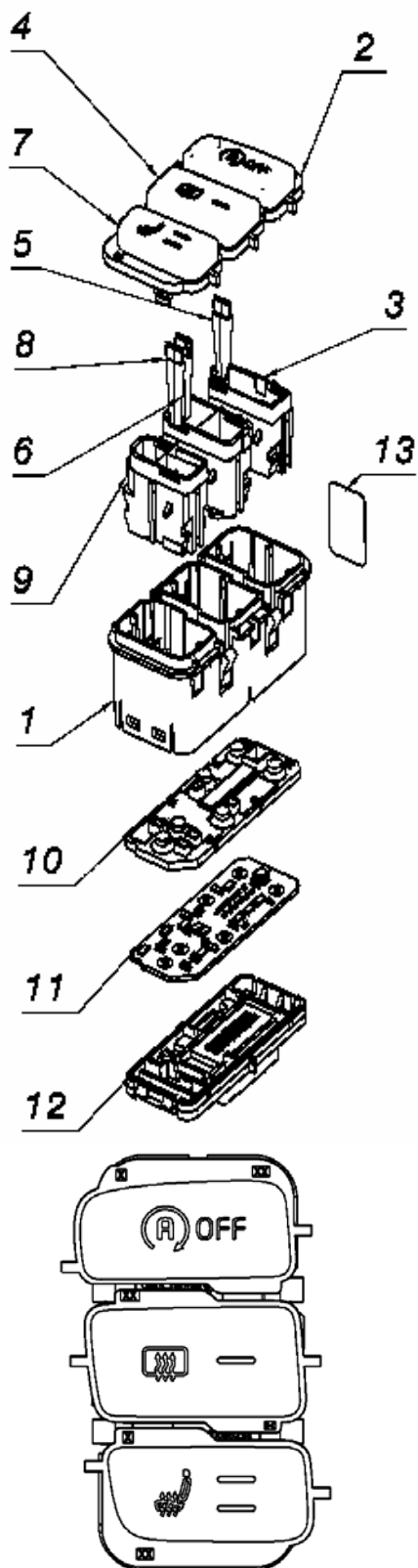
7.3. Využití přípravků k návrhu světelného zdroje ovládacích prvků

Výše uvedená souprava přípravků umožňuje při posuvu LED proti stínítku v 2 mm krocích provést 4752 různých měření pro jeden světelný zdroj umístěný do středu symbolu. Lze jí využít jak k simulaci konkrétního ovládacího prvku, tak k analýze vlivu konstrukce ovládacího prvku na výsledný jas symbolu. S používáním sady navíc vzniká databáze dat, měření jednou provedená už není třeba opakovat. V budoucnu lze navrhovat světelné zdroje bez použití sady pouze na základě měření provedených v minulosti.

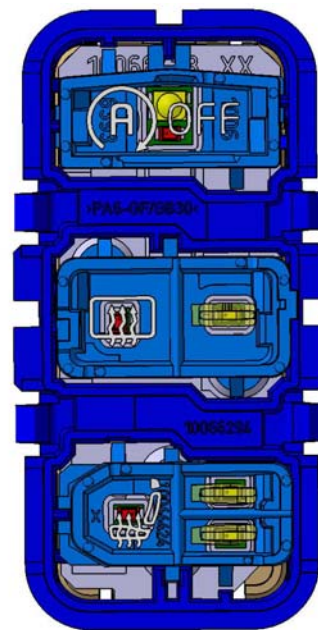
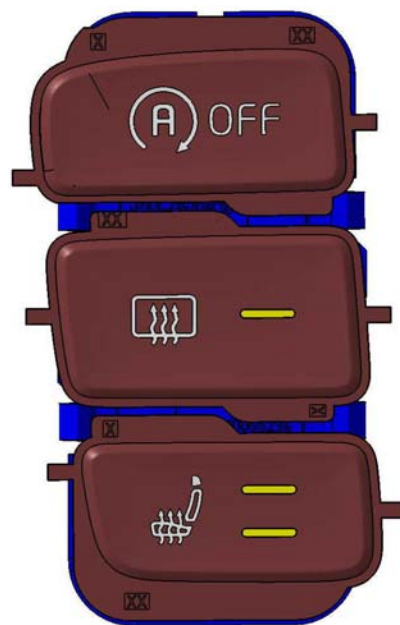
7.3.1. Využití sady přípravků pro návrh světelných zdrojů konkrétního ovládacího prvku

V letech 2010 a 2011 pobíhal v koncernu VW vývoj nového malého vozu VW-UP a Škoda Citigo. Pro tento vůz byl vyvíjen tlačítkový modul NSF 120, jenž bude vyráběn celkem v 6-ti pravých a levých variantách, které se vzájemně liší podle bohatosti výbavy vozu nebo místem prodeje (např. bez vyhřívání sedaček v Brazílské verzi). Pro účely ověření návrhu byla vybrána plná levá varianta tlačítkového modulu vyobrazená na obrázku 30. Z přiložené sestavy vyplývá, že světlo z LED (11) prochází otvory ve spínací podložce (10), dále reflektory (9), které zároveň slouží jako mechanický převod síly tlačítek na spínací destičku, a nakonec dopadá na jednotlivá stínítka (2, 4, 7). Vnější mechanickou konstrukci tvoří pouzdro (1) a spodní víčko (12). Funkční osvětlení symbolu vyhřívání sedaček a vyhřívání zadního skla je vedeno světlovodiči (3, 6, 8).

Pro návrh máme k dispozici rozměry reflektorů, dále vzdálenost LED od stínítek, je znám materiál stínítka a jeho tloušťka i rozměry a vzhled symbolů. Jsou specifikovány požadavky na jas, jeho rozložení a dominantní vlnové délky světla pro jednotlivé symboly, jak je uvedeno v tabulkách 6. Požadavky na osvit modulu NSF 120 a 7: Rozměry symbolů a reflektorů (v, š).



Obr.30 Sestava tlačítkového modulu a detail stínítka – symboly od shora A-OFF, HSH, SH



Obr. 31 Zobrazení NSF 120 pomocí SW Catia V5

<i>symbol</i>	<i>jas (cd/m²)</i>		<i>Dominantní vlnová délka, verze VW (nm)</i>		<i>Dominantní vlnová délka, verze Škoda (nm)</i>	
	funkční	noční	funkční	noční	funkční	noční
A-OFF	112–175	3-5	586–594	626–634	556–564	586–594
HSH	225–375	3-5	586–594	626–634	556–564	586–594
SH	225–375	3-5	586–594	626–634	556–564	586–594

Tabulka 6 Požadavky na osvit modulu NSF 120

<i>symbol</i>	<i>rozměry (mm)</i>	<i>reflektor (mm)</i>	<i>rozměr výstupu světlovodiče (mm)</i>
A-OFF	6,5 x 15	8 x 20	-----
HSH	5 x 6,6	9,5 x 9,2	0,9 x 5,5
SH	7 x 5	8 x 9	0,9 x 5,5

Tabulka 7: rozměry symbolů a reflektorů (v, š)

Na obrázku 31 je znázorněn tlačítkový modul pomocí CAD SW catia V5. Symbol *A-OFF* představuje funkci „Start-Stop“, symbol *HSH* vyhřívání zadního skla a symbol *SH* vyhřívání sedačky řidiče. Funkční osvětlení symbolů *HSH* a *SH* je řešeno pomocí světlovodičů, které ústí otvory ve stínítku. V případě symbolu *A-OFF* osvětluje funkční i noční osvětlení celý symbol. Světelné zdroje jsou vždy umístěny do středu reflektoru (světlovodiče). Vzdálenost desky plošných spojů od stínítka je ve všech případech 30 mm, tloušťky stínítek jsou 1 mm. Požadované hodnoty jasu uvedené v tabulce 6 a platí pro stav nestisknuto.

7.3.2. Výběr světelných zdrojů pro tlačítkový modul NSF

Z výše uvedeného popisu modulu a obrázku 31 je patrné, že k osvětlení celého ovládacího prvku bude nutno použít celkem 7 světelných zdrojů. Cílem návrhu je splnění parametrů osvětlení uvedených v tabulce 6 pro obě uvedené varianty při nejnižších celkových výrobních nákladech.

Reálná cena zdroje je dána jeho svítivostí, barvou a objemem výroby. Barva a její tolerance je součástí specifikace zákazníka. Požadavek na svítivost zdroje lze ovlivnit konstrukcí stínítka a barvou reflektorů. Velký objem výroby lze zajistit zejména využitím LED, které jsou masově využívány v rámci firemního koncernu Kostal a dále návrhem stejných druhů diod pro více pozic. Dalším parametrem pro výběr zdroje je kvalita sériové produkce výrobce LED. Z tohoto důvodu bude upřednostněn výrobce Osram.

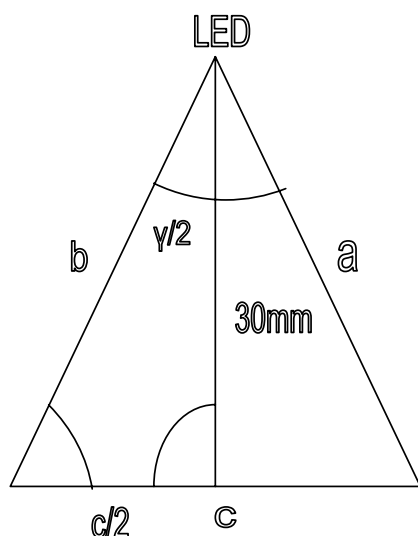
Podobně jako ceny LED jsou i ceny plastových dílů závislé na objemech výroby. Proto (a i z důvodu vyloučení možných chyb ve výrobě) není výhodné navrhovat jiné plastové díly pro červenou a jiné pro zelenou variantu spínače. U plastových dílů budou z cenových důvodů přednostně používány černé reflektory, neboť jejich cena je nejnižší v porovnání s dražší bílou a šedivou variantou, jejichž cenová hladina je na stejné úrovni. Dalším předpokladem je cenová výhodnost stínítek se stěnou konstantní tloušťky 1mm. Podle výše uvedených zásad návrhu bylo vytypováno 9 druhů LED uvedených v tabulce 8 Vytypované LED pro osvětlení

modulu NSF 120. Výrobce zelených LED je japonská Stanley⁸, výrobcem ostatních diod je Německá firma Osram.

<i>typ LED a vyzařovací úhel (°)</i>	<i>svítivost (mcd)⁹</i>	<i>cena LED</i>	<i>použití v modulu NSF</i>
LSM676 Q2R2, 120°	90–180	nejnižší	Noční osvětlení verze VW pro všechny symboly (626–634 nm)
LSM676 R1R2, 120°	112–180	+ 7,5%	
LYM676 Q2R2, 120°	90–180	nejnižší	Funkční osvětlení pro symboly HSH a SH (586–594nm)
LYM676 R1S1, 120°	112–224	nejnižší	
LYM676 S1S2, 120°	180–280	+ 8%	
VYBG1105W 4BX, 40°	56–120	nejnižší	Noční osvětlení verze Škoda pro všechny symboly (556–564nm)
VYBG1102W 4B6, 50°	27–68	+78%	
LYE65B ABCA, 60°	1400–3550	nejnižší	Funkční osvětlení pro symbol A–OFF (586–594nm)
LYE65F CBDB, 60°	3550–7100	+ 25%	

Tabulka 8: Vytipované LED pro osvětlení modulu NSF 120

7.3.3. Ověření rovnoměrnosti jasu symbolu



Obr. 32: Výpočet maximální velikosti symbolu.

Aby mohl být zdroj světla použit, musí být zákazníkem zajištěna požadovaná rovnoměrnost jasu symbolu (tabulka 6), která klesá s vyzařovacím úhlem LED a velikostí symbolu. Použitelnost LED pro osvit symbolu je vhodné ověřit rychlým orientačním výpočtem. Vzhledem ke stejné vzdálenosti všech LED od stínítka u spínače NSF není nutné ověřovat rovnoměrnost u všech LED, ale pouze u LED s nejnižšími vyzařovacími úhly u největších symbolů. Vždy ověřujeme pouze delší stranu symbolu. Způsob ověření rovnoměrnosti jasu byl popsán v kapitole 6.2.1. Výpočet byl proveden dle obr 32. Výška trojúhelníku představuje vzdálenost LED od symbolu. Hledaná maximální délka symbolu při požadované rovnoměrnosti ze strany zákazníka je dána délkou strany c . Velikost vyzařovacího úhlu odečteme z vyzařovacího diagramu LED. (kap. 6.2.1). Výpočet provedeme dle vztahu (12)

⁸ Internetové stránky výrobce : www.stanley-components.com

⁹ Svítivosti uvedeny dle katalogu výrobce.

$$c = 60 \operatorname{tg} (\gamma/2) \quad [\text{mm}, ^\circ] \quad (12)$$

kde je:

c délka symbolu s požadovanou rovnoměrností

γ vyzařovací úhel diody

Pro LED VYBG1105W 4BX vychází maximální délka symbolu pouze 16 mm, což v je v případě symbolu *A-OFF* blízko hranice použitelnosti. Při orientačním výpočtu zanedbáváme rozdíl ve vzdálenosti začátku symbolu od LED oproti jeho středu. Vliv reflektorů na celkovou rovnoměrnost je také negativní, neboť kraje symbolu jsou častěji osvětleny vícenásobnými odrazy. Z těchto důvodů byla pro symbol *A-OFF* vytipována i LED VYBG1102W 4B6 s větším vyzařovacím úhlem. Maximální délka symbolu pro tuto LED je 24 mm. Možnosti využití obou LED budou ověřeny pomocí sady přípravků v dalších kapitolách práce. Ověření zbývajících diod není vzhledem k vyzařovacím úhlům nutné.

7.3.4. Výběr zdrojů světla pomocí sady přípravků

Cílem návrhu zdroje světla jsou nejnižší celkové náklady tj. nejnižší součet vynaložených nákladů za reflektor a světelný zdroj. Cenově nejvýhodnější jsou reflektory černé barvy. Při porovnání ceny bílých a šedivých reflektorů s cenou LED uvedených v tabulce 8 se jeví výhodnější využít raději dražší LED (uvedené v tabulce 8), než bílé popř. šedé reflektory. Jelikož nelze z důvodu výrobních postupů měnit mechanické díly zvláště pro zelenou a červenou variantu modulu NSF 120 (tab. 6) budou tyto díly navrženy s ohledem na zelenou variantu (Škoda), neboť zelené LED mají výrazně nižší svítivosti než červené (tab.8). Nebarevné reflektory mají podobné světelné ztráty pro zelené i červené světlo, lze tedy očekávat, že návrh reflektorů pro zelenou variantu vyhoví i pro červené osvětlení. U symbolu *A-OFF* slouží reflektor kromě nočního také pro žluté funkční osvětlení. I zde lze vzhledem ke katalogovým údajům předpokládat větší rezervu výkonu u žluté LED a i u tohoto symbolu lze reflektor navrhnout výlučně s ohledem na zelené noční osvětlení varianty Škoda.

7.3.5. Pracovní postup návrhu zdroje světla pomocí sady přípravků

- výběr rozměru reflektoru (nejbližší rozměrům dle tabulky 7)
- výběr materiálu reflektoru
- vložení zdroje světla do přípravku a nastavení vzdálenosti LED od stínítka (30 mm)
- vložení validního stínítka (tloušťka 1 mm; tloušťky čar dle navrhovaného symbolu)
- provedení měření jasu stínítka pomocí jasoměru LMK 98–3
- přepočtení naměřených hodnot na svítivostní třídu s nejnižší svítivostí u navrhovaného typu diody
- zaznamenání naměřených (přepočtených) hodnot a jejich porovnání s požadavkem zákazníka
- v případě nevyhovujícího výsledku měření změna zdroje světla popř. materiálu reflektoru

7.3.6. Návrh zdroje světla pro jednotlivé symboly

Symbol A–OFF

- reflektor bez přepážek (obr.17) – lze použít všechny barevné varianty reflektorů (tab. 5, materiály A,B,C)
- ze sady přípravků volíme rozměr reflektoru 20x 10
- dle kapitoly 7.3.5. provedeme návrh zdroje zeleného nočního osvětlení
- dále již neměníme materiály reflektoru
- stejným způsobem provedeme návrh zdroje červeného nočního a žlutého funkčního osvětlení
-

Symboly HSH a SH

Noční osvětlení

- reflektory jsou s přepážkami (obr. 17) –nelze použít bílý reflektor (tab. 5, materiál A)
- dle kapitoly 7.3.5. provedeme návrh zdroje zeleného nočního osvětlení
- dále již neměníme materiály reflektorů
- provedeme návrh zdroje červeného nočního osvětlení

Funkční osvětlení

U symbolů HSH a SH je realizováno pomocí světlovodičů vyvedených otvory ve stínítkách, k návrhu světelného zdroje přistoupíme odhadem (kapitola 6.5.1.). Důvodem tohoto postupu je fakt, že výstupní rozměry světlovodiče jsou standardní a používají se u mnoha jiných typů ovládacích prvků (např. v koncernu Mercedes). Výroba přípravků by byla proto neúčelná. Z tabulky 8 vybereme svítivější verzi diody LYM676 R1S1, neboť její cena je shodná s méně svítivou verzí.

7.3.7. Tabulka naměřených hodnot a navržené zdroje pro jednotlivé symboly

<i>symbol</i>	<i>reflektor</i>	<i>LED</i>	<i>maximum jasu symbolu (cd/m²)</i>	<i>max. velikost delší strany symbolu (mm)*</i>	<i>použitelnost zdroje</i>
A-OFF	Černý (B)	VYBG1105W 4BX, 40°	5,4	13	N
		VYBG1102W 4B6, 50°	3,4	6,4	N
	Bílý (A)	VYBG1105W 4BX, 40°	7,1	13,4	N
		VYBG1102W 4B6, 50°	13,8	19,8	A
		LSM676 Q2R2, 120°	69,9	19,8	A
		LSM676 R1R2, 120°	87,4	19,8	A
		LYE65B ABCA, 60°	170	19,8	A
LYE65F CBDB, 60°	426,9	19,8	A		
HSH	Černý (B)	VYBG1105W 4BX, 40°	5,1	7	N
	Šedivý (C)	VYBG1105W 4BX, 40°	5,4	8	A
		LSM676 Q2R2, 120°	14	8,5	A
		LSM676 R1R2, 120°	17,5	8,5	A
SH	Černý (B)	VYBG1105W 4BX, 40°	5,1	7,5	A
		LSM676 Q2R2, 120°	13	9	A
		LSM676 R1R2, 120°	16,3	9	A
	Šedivý (C)	VYBG1105W 4BX, 40°	5,4	8	A
		LSM676 Q2R2, 120°	14	8,5	A
		LSM676 R1R2, 120°	17,5	8,5	A

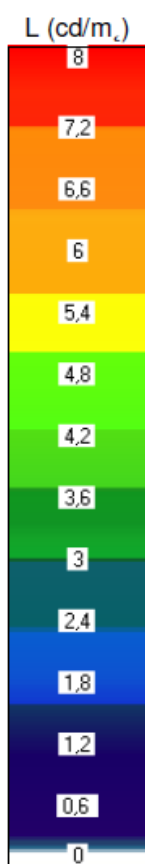
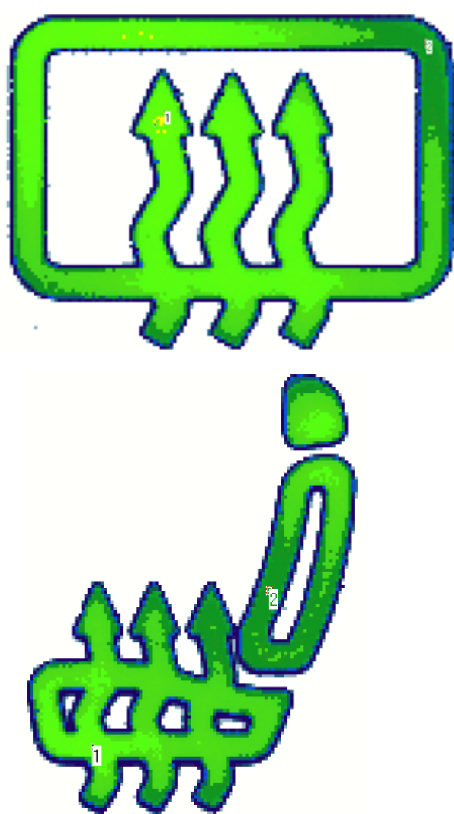
Tabulka 9 Naměřené hodnoty při simulaci modulu NFS

*Velikost delší strany symbolu při zachování rovnoměrnosti dle tabulky 6. Pojem delší strana symbolu používaný v diplomové práci je do určité míry zavádějící, neboť v tomto případě není brán ohled na tvar symbolu. Tento údaj lze tedy považovat za maximální možný a plně platí pouze v případě velmi úzkého symbolu. Z tohoto důvodu nebylo možné použít černý reflektor u symbolu HSH. (obr. 31). U symbolu SH bylo možno použít černý reflektor z důvodu specifického tvaru symbolu – bílé plochy hlavové opěrky.

Navržené zdroje světla a barvy reflektorů jsou v tabulce označeny zeleně. U funkčního osvětlení tlačítka A-OFF byl vybrán silnější zdroj světla než bylo nutné. Důvodem je ušetření jednoho předřadného odporu na desce, dále zajištění většího odběru této LED a snížení její

ceny v jiných produktech firmy Kostal. Nadále se očekává zvýšení ceny diody LYE65B, která nebude v budoucnu nasazována do nových konstrukcí.

7.4. Ověření návrhu světlených zdrojů



Ověření návrhu lze provést až po sestavení prototypu z dílů, jejichž vlastnosti jsou z hlediska osvětlení téměř totožné nebo shodné s díly vyrobených pomocí sériových nástrojů. Návrh předřadných rezistorů k diodám (kap. 6.3.8.) je vždy provedeno na konci vývoje produktu. Ověření návrhu bylo prováděno v prototypové výrobě, která probíhala v roce 2011. Podle předpokladu byla nejkritičtější zelená varianta nočního osvětlení, kde pro zákazníkem zvolenou vlnovou délku v současné době neexistují dostatečně výkonné LED, které by bylo možné z konstrukčních i ekonomických důvodů použít pro osvětlení modulu. Na základě dodaných vzorků a provedených měření dodavatelem i zákazníkem byl modul validován a uvolněn do sériové výroby.

Obrázek 33 zobrazuje zeleného nočního osvětlení pro jednotlivé symboly naměřené pomocí jasoměru LMK98-3. Hodnoty jasu v zelených odstínech jsou v zákazníkem požadované toleranci. Body 1 a 2 na jednotlivých symbolech představují regiony s maximálním a minimálním jasnem. Z obrázků je patrné, že se jedná o velmi dobrý výsledek. Veškeré naměřené hodnoty jsou uvedené v tabulce 10. Červená varianta spínače dosahuje lepší rovnoměrnosti z důvodu využití LED s vyšším vyzařovacím úhlem.

Obr. 33 Zelené noční osvětlení – rozložení jasu na symbolech

<i>symbol</i>	<i>jas (cd/m²)</i>		
	<i>Funkční</i>	<i>Noční</i>	
		<i>verze VW</i>	<i>verze Škoda</i>
A-OFF	115,4 – 175	3,5 – 4,7	3,2 – 4,9
HSH	243 – 322	3,7 – 4,6	3,4 – 5
SH	248 – 353	3,4 – 4,8	3,2 – 4,7
	224 – 370		

Tabulka 10 Naměřené hodnoty jasu u modulu NSF 120

8. Možnosti kontroly osvětlení v sériové výrobě

Po úspěšném návrhu osvětlení ovládacího prvku jednou z výše popsaných metod prochází výrobek řadou kontrol, na jejichž konci stojí sériová výroba. Denní produkce bývá v řádu tisíců kusů. Výrobci v zásadě spoléhají na certifikovaného dodavatele LED, který dodává diody příslušných svítivostních tříd. Jak bylo řečeno v úvodu, pro každý výrobek je potřeba používat více svítivostních tříd diod, které se mění v závislosti na aktuálním stavu skladu dodavatele. Při osazování je nutno dodržet spárování LED příslušné svítivostní třídy s navrženými předřadnými odpory. Správnost osazení už není možné vizuálně ověřit, neboť vzhled LED je pro všechny dodávané svítivostní třídy stejný. Na výrobních linkách jsou standardně instalovány pouze velmi hrubé způsoby kontroly jasu symbolu založené buďto na měření proudu diodou, popř. na vizuální kontrole při běžném osvětlení v montážní hale. Tímto způsobem lze odhalit pouze velmi výrazné odchylky od navržené úrovně jasu a to spíše pouze směrem k nižším hodnotám, nebo jinou základní barvu symbolu. Těmito systémy tedy v zásadě nelze odhalit špatné spárování předřadných rezistorů k LED příslušné svítivostní třídy, případně chybu v pájecí technologii nebo výrobní chybu dodavatele diod. Řešením je buď namátkové měření jasu symbolu pomocí jasoměru, které je však časově a tím i ekonomicky náročné a vyžaduje velmi drahý laboratorní přístroj, nebo alternativní řešení založené na použití luxmetru.

8.1. Použití luxmetru pro kontrolu svítivosti LED na deskách plošných spojů tlačítkového modulu NSF 120

Pro výše popsaný ovládací tlačítkový modul automobilu VW-UP byl vyvinut zkušební přípravek, sloužící k namátkové kontrole osazených desek plošných spojů v podmínkách sériové výroby, který je na obrázku 34. Princip měření je založen na spojení fotočlánku s přesným milivoltmetrem.



Obr. 34 Zkušební přípravek k ověření svítivosti diod

Deska plošných spojů je vložena do konektoru, který zajišťuje napájení diod a zároveň pevnou polohu desky proti fotočlánku, který je spojen s přesným milivoltmetrem. Z důvodu přesnosti a ceny je využit luxmetr, kdy milivoltmetr je kalibrován pro měření v luxech. K připojení napětí na jednotlivé diody slouží spínače umístěné v horní části přípravku. Pro jednotlivé varianty byly zpracovány pravdivostní tabulky. (příklad pravdivostní tabulky je na obrázku 35). Rozsah osvětlenosti byl získán pomocí jasoměru LMK98-3.

Návrh světelného zdroje pro osvit ovládacího prvku v automobilu

Kontrola prováděná na tomto principu je velmi rychlá a nevyžaduje obsluhu se specifickou kvalifikací. Nevýhodou tohoto způsobu zkoušení je nemožnost odhalení závady na ležrovacím stroji, materiálu stínítka a reflektorů, neboť jsou zkoušeny samotné desky plošných spojů, nikoli hotové výrobky. Avšak i přes tato omezení je tento způsob zkoušení velmi výhodný. Chyby na plastových dílech jsou odhalitelné rychlou vizuální kontrolou.

Modul P4

Poloha B

Spínače								Svítivé diody						Červená varianta		Zelená varianta	
krok	A	C	D	E	F	G	H	D1	D2	D3	D4	D5	D6	osvětlenost r.2000(lx)	prototyp	osvětlenost r.200(lx)!	prototyp
1	1	0	-	-	-	P	-	1	0	0	0	0	0	805-1340	1100		
Poloha A																	
2	1	-	0	0	0	-	1	0	1	0	0	0	0	636-1700	1170		
3	1	-	1	0	0	-	0	0	0	0	0	1	0	72-159	136		
4	1	-	0	1	0	-	0	0	0	0	1	0	0	43-98	92		
5	1	-	0	0	1	-	0	0	0	1	0	0	0	46-79	70	4,8-9,6	6,2

Obr. 35 Příklad pravdivostní tabulky pro práci se zkušebním přípravkem

9. Analýza vlivu konstrukce ovládacího prvku na výsledný jas symbolu a jeho rovnoměrnost

9.1. Možnosti sady přípravků

Jak bylo zmíněno v kapitole 7.3., sadu přípravků vyrobenou k simulaci ovládacích prvků lze využít i k analýze vlivu konstrukce na výsledný jas symbolu.

Lze proměřit následující vlivy:

- vzdálenost LED od stínítka
- tloušťka stínítka
- tloušťky čar tvořící symbol
- materiály reflektorů

(U nebarevných materiálů lze předpokládat nezávislost na barevném odstínu LED).

Dále lze proměřit vlastnosti světlených zdrojů:

- vliv rovnoměrnosti v závislosti na vyzařovacím úhlu LED
- vliv rovnoměrnosti v závislosti na umístění LED pod symbolem
- vliv jasu symbolu v závislosti na vyzařovacím úhlu LED
- vliv ohřevu LED
- vliv dominantní vlnové délky LED

Komplexní analýza je časově náročná, neboť se jedná řádově o tisíce měření s jedním zdrojem světla (dominantní vlnová délka, vyzařovací úhel). V praxi se spíše uplatní pouze částečné analýzy, které vedou k vyšetření vlastností zdroje v konkrétnějších případech aktuálně vyvíjených produktů.

9.2. Ukázka částečné analýzy s použitím sady přípravků

Pro analýzu byla vybrána LED LSM 676 svítivostní třídy Q2 (vyzařovací úhel 120°), materiál stínítka 2 (bílá koncernu Mercedes) z tabulky 5. Rozměry reflektoru 20 x 10 mm. Tloušťka čar na symbolech je 0,6 mm.

Budeme analyzovat:

- vliv vzdálenosti LED od stínítka
- vliv materiálu reflektoru
- vliv tloušťky stínítka

Pracovní postup:

Na každém typu reflektoru měříme pomocí jasoměru LMK98–3 jas na stínítku ve vzdálenosti od 10 do 30 mm po 2mm krocích. V každém kroku měříme 3 tloušťky stínítek a měření opakujeme pro reflektory z materiálů uvedených v tabulce 5. Výsledné hodnoty jasu jsou uvedeny v tabulce 11. Jas je přímo úměrný svítivosti použité LED a jejího vyzařovacího úhlu. Výsledky analýzy lze využít pro všechny LED s definovanou svítivostí a vyzařovacím úhlem 120°. Výpočet požadované svítivosti LED při návrhu do konstrukce provedeme dle vztahu

(13). Maximální velikost symbolu při poklesu jasu o 33% oproti naměřenému maximu udává tabulka 12. Tato hodnota je obecně shodná pro všechny LED s vyzařovacím úhlem 120°.

$$I_m/I_x = L_m/L_x \quad (13)$$

kde je:

I_m střední svítivost svítivostní třídy LED, při které bylo prováděno měření

I_x minimální střední svítivost LED, kterou je nutno použít do konstrukce

L_m maximální naměřený jas (tabulka 11)

L_x požadovaný jas

Podobným způsobem lze provést částečné analýzy pro ostatní materiály stínítek a LED s jiným často používaným vyzařovacím úhlem. Při dostatečném počtu částečných analýz lze dále návrh zdroje osvětlení pro ovládací prvky provádět velmi produktivně bez nutnosti dalších měření. Grafické zobrazení naměřených dat lze nalézt v Příloze 3 DP. Příloha 4 zobrazuje útlum jasu na symbolu při použití šedivého nebo černého reflektoru v závislosti na vzdálenosti LED od stínítka.

<i>vzdálenost LED od symbolu</i>	<i>Maximální jas (cd/m²) při tloušťce čáry symbolu 0,6 mm</i>								
	<i>tloušťka stínítek (v mm)</i>								
	<i>0,8</i>			<i>1</i>			<i>1,2</i>		
	<i>materiál reflektoru</i>			<i>materiál reflektoru</i>			<i>materiál reflektoru</i>		
	<i>bílý</i>	<i>Černý</i>	<i>šedivý</i>	<i>bílý</i>	<i>černý</i>	<i>šedivý</i>	<i>bílý</i>	<i>černý</i>	<i>šedivý</i>
30	59,2	11	13,2	52,5	9,7	11	40,5	7,2	8,5
28	59,8	12,3	14,9	54	10,9	12,7	42,3	8,1	9,5
26	62,9	14,3	16,3	55,1	12,5	14,2	43,5	9,5	11
24	66,4	15,47	18	59,7	13,8	15,9	45,3	10,3	12
22	70,3	17,6	21,3	61,2	15	18,3	47,2	11,4	13,5
20	73,9	20	25	64	17,3	21,7	50,6	13,5	16,5
18	77,8	23,2	30,5	68,1	20,3	26,6	54,3	14,9	19,9
16	82,2	30,2	35,5	71,1	26,2	30,9	58,2	20,3	24,8
14	92,7	37	49,1	80,7	30,6	41,2	65,2	23,8	30,7
12	104,1	50,2	66,2	87,8	44,3	56,8	69,5	33,3	44
10	115	77,7	94,1	102,3	67,6	81,3	82,6	49,2	63

Tabulka 11 Naměřené hodnoty jasu pro reflektor 20x10, při tloušťce čáry 0,6 mm (LED LSM676,Q2, I = 20 mA)

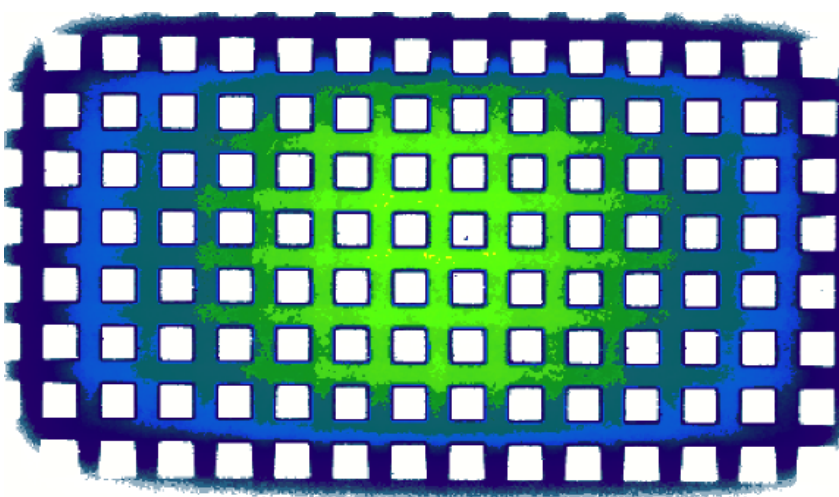
<i>Maximální délka delší strany symbolu (v mm)</i>											
<i>materiál reflektoru</i>	<i>vzdálenost LED od symbolu</i>										
	30	28	26	24	22	20	18	16	14	12	10
bílý	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,2	18,6	18,2	17	15	11,8
černý	19,5	19,5	19,5	19,5	19,2	18	16,6	16	12,3	10,2	8
šedivý	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	18,6	16,5	15	12	9,6	7,5

Tabulka 12 Maximální délka delší strany symbolu při poklesu jasu symbolu o 33%

9.3. Zlepšení rovnoměrnosti jasu symbolu proměnnou tloušťkou stínítka

Rovnoměrnost jasu na stínítku je obecně závislá na vyzařovacím úhlu LED a vzdálenosti LED od stínítka. V mnoha případech je v konstrukci výhodné použít LED s nižším vyzařovacím úhlem, popř. je nutno umístit LED blíže ke stínítku, než by bylo optimální, nebo je tento postup ekonomicky výhodnější. Výsledkem často bývá symbol s vyhovující střední úrovní jasu, ale s nevyhovující rovnoměrností.

Zlepšení rovnoměrnosti je při klasickém návrhu nákladné, protože je zapotřebí upravovat již existující sériové nástroje a to mnohdy opakovaně, jelikož konstruktér nemá možnost zjistit správnou tloušťku jednotlivých částí stínítka a provádí úpravy především na základě kvalifikovaného odhadu. Pomocí výše uvedené sady přípravků lze již během ranné vývojové fáze simulovat výsledné rozložení jasu na symbolu a definovat příslušné tloušťky pro jednotlivé části stínítka. Tím lze předejít vícenákladům na úpravách sériových nástrojů a snížení počtu konstrukčních hodin. Postup řešení bude pro názornost předveden na níže uvedeném příkladu.



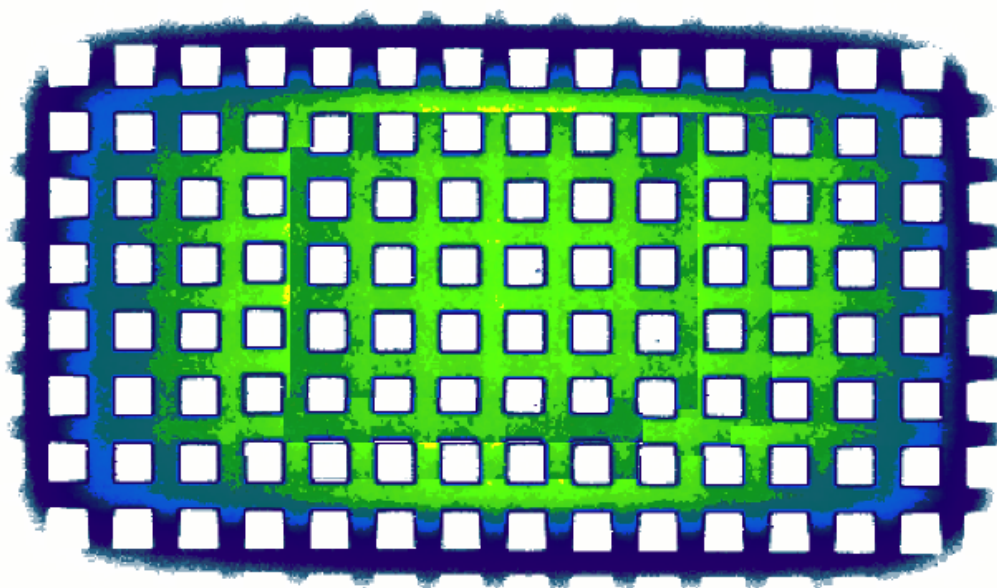
Obr. 36 Rozložení jasu na stínítku před úpravou tloušťky stínítka

zelené plochy). V takovém případě není nutná rezerva ve zdroji osvětlení. Efektu lze dosáhnout využitím obou výše popsanych metod.

Obrázek 36 zobrazuje rozložení jasu na symbolu na stínítku s tloušťkou 1 mm (zelená = vyhovující hodnota). Pokud je symbol větší než zelená oblast, budou jeho okraje mimo požadovanou toleranci jasu. Zlepšení rovnoměrnosti lze v zásadě řešit dvěma způsoby a to přidáním materiálu ve středu stínítka a zvětšením světelného toku LED, popř. ubráním materiálu na okrajích stínítka (mimo

Provedeme simulaci nejdříve se stínítkem 1,2 mm. Proud LED natavíme tak, aby maximum jasu byla na úrovni zákazníkem povoleného maxima. Proud LED neměníme a do sady vložíme stínítko tloušťky 1 mm a nakonec 0,8 mm (Přílohy 5A, 5B a 5C). Úpravu tloušťky stínítka provedeme následovně:

Zelené části symbolu v Příloze 5A budou odpovídat tloušťce 1,2 mm. V Příloze 5B 1 mm a v Příloze 5C 0,8 mm. Jak je vidět z náměrů zelené plochy se překrývají. Tento překryv lze využít k postupnému snižování tloušťky symbolu z hodnoty 1,2 mm na 1 mm a dále pak z 1 mm na 0,8 mm. Tím lze dosáhnout velmi rovnoměrného rozložení jasu na symbolu. Výsledné rozložení jasu na symbolu s proměnnou tloušťkou stínítka zobrazuje obrázek 37 (získáno grafickým složením náměrů z Přílohy 5). Použitelná velikost symbolu se úpravou oproti původní (obr. 36) výrazně zvýšila



Obr. 37 Rozložení jasu na stínítku po úpravě tloušťky stínítka

10. Závěr

10.1. Zhodnocení přesnosti návrhu zdroje osvětlení ovládacích prvků pomocí sady přípravků

Použití sady přípravků bylo konfrontováno s reálným měřením ovládacího prvku, kdy v sadě i ovládacím prvku byl použit stejný zdroj osvětlení a oba zdroje byly napájeny stejným proudem. Naměřený rozdíl jasu byl cca 10% ve prospěch sady přípravků. Přestože se nejedná o velkou přesnost simulace, je potřeba konstatovat, že rozdíl svítivosti v jedné svítivostní třídě je u standardních LED přibližně 25%, proto je pro návrh zdroje osvětlení 10% odchylka přípustná. Důvodem nepřesnosti sady jsou výrobní tolerance tloušťky symbolů a jiné průměry reflektorů, dále pak rozdílná teplota LED a zejména velký poměr vylejzrované plochy stínítek sady oproti stínítku reálného symbolu. Z tohoto důvodu jsou naměřené jasy na stínítku sady vyšší než na většině reálných symbolech. Tyto nepřesnosti lze snížit výrobou stínítek s větší roztečí vylejzrované sítě, nicméně pro zjištění rozložení jasu na symbolu by bylo nutné vyrobít minimálně dvojnásobný počet stínítek (vždy pouze s lichými a sudými čarami proti původním stínítkům (obr. 29)) a simulace by se tak skládala z dvojnásobného počtu měření. Současná přesnost simulace je kompromisem mezi pracností měření, jeho přesností a výrobními náklady na sadu přípravků.

10.2. Získané poznatky při využívání sady přípravků

Další možnosti sady byly popsány v kapitole 9. Sada přípravků obecně umožňuje mnohem rychlejší získání praktických zkušeností, než ve srovnání s prací pouze se skutečnými ovládacími prvky. Zejména konstrukce ovládacích prvků s proměnnou tloušťkou stínítka je díky sadě přípravků výrazně zjednodušena. Měření pomocí sady je časově náročné, nicméně naměřené hodnoty mají přesné parametry a jsou využitelné pro budoucí konstrukce. Jedním z poznatků při používání sady byl silný negativní vliv černých a šedivých reflektorů nejen na výsledný jas symbolu (Příloha 4), ale i na jeho rovnoměrnost, která byla zpracována v tabulce 12. Rozdíl v maximálních hodnotách rovnoměrnosti (cca 0,3 mm) je dán výrobními nepřesnostmi při ruční výrobě reflektorů.

10.3. Možnosti budoucího zlepšení osvitu ovládacích prvků

Požadavky zákazníků na jakost osvětlení ovládacích prvků jsou v současné době na hranici možností běžných zdrojů světla. Další zlepšení kvality osvětlení přinese v budoucnu standardní používání ovládacích prvků s proměnnou tloušťkou stínítka. Automobilové koncerny by se měly zaměřit zejména na snížení teplotního namáhání LED, neboť jak bylo zmíněno v kapitole 4.3.1., svítivost LED klesá s teplotou ovládacího prvku. Tím je do systému zaváděna kladná zpětná vazba, jelikož vyšší provozní teplota LED znamená v konečném důsledku nutnost zvýšení provozního proudu. V současné době jsou ovládací prvky napájeny plným nestabilizovaným palubním napětím a jednotlivé LED jsou z důvodu vyšší napěťové přetížitelnosti připojovány paralelně. To vede ke konstrukční jednoduchosti, ale také k velkým tepelným ztrátám na předřadných odporech jednotlivých LED. Snížení napětí na 5 V pro ovládací prvky by přineslo výrazné snížení provozní teploty LED a tím i zvýšení reálné kvality osvětlení při provozu automobilu. Otevřely by se tím i možnosti k vyšší integraci osvětlených ovládacích prvků.

Další možnosti zlepšení vycházejí z faktu, že lidské oko vnímá intenzitu jasu v závislosti na úhlu pozorování. Jas u ovládacích prvků je měřen kolmo ke zdroji světla a ignoruje tak fakt, že ovládací prvky se nacházejí v různých místech zorného pole řidiče. Tento nedostatek by bylo možné odstranit pulzním napájením ovládacích prvků s rozdílnou třídou pro určité skupiny ovládacích prvků. Jejich umístění by záviselo na výšce řidiče, kterou bychom zjišťovali sensoricky. Část ovládacích prvků v moderních automobilech je již v současné době napájena pulzním proudem, jehož střída se mění v závislosti na intenzitě osvětlení kabiny automobilu.

10.4. Přínos diplomové práce

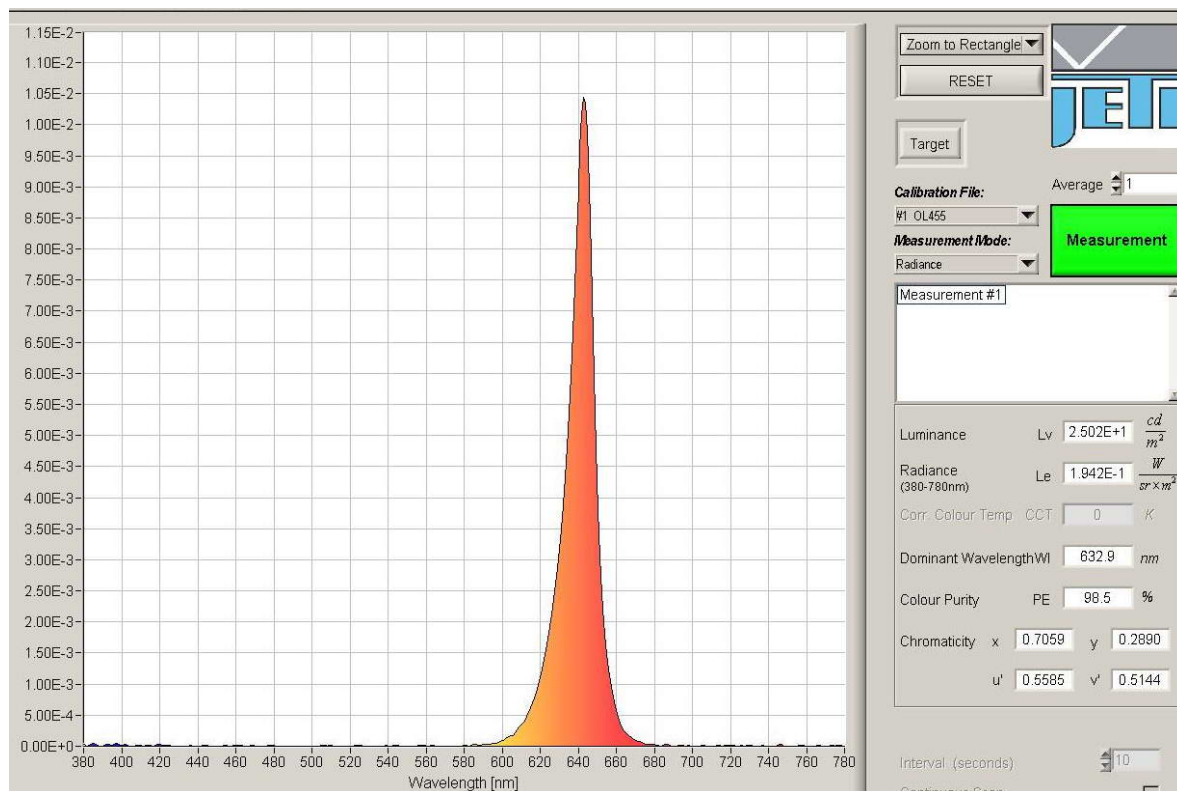
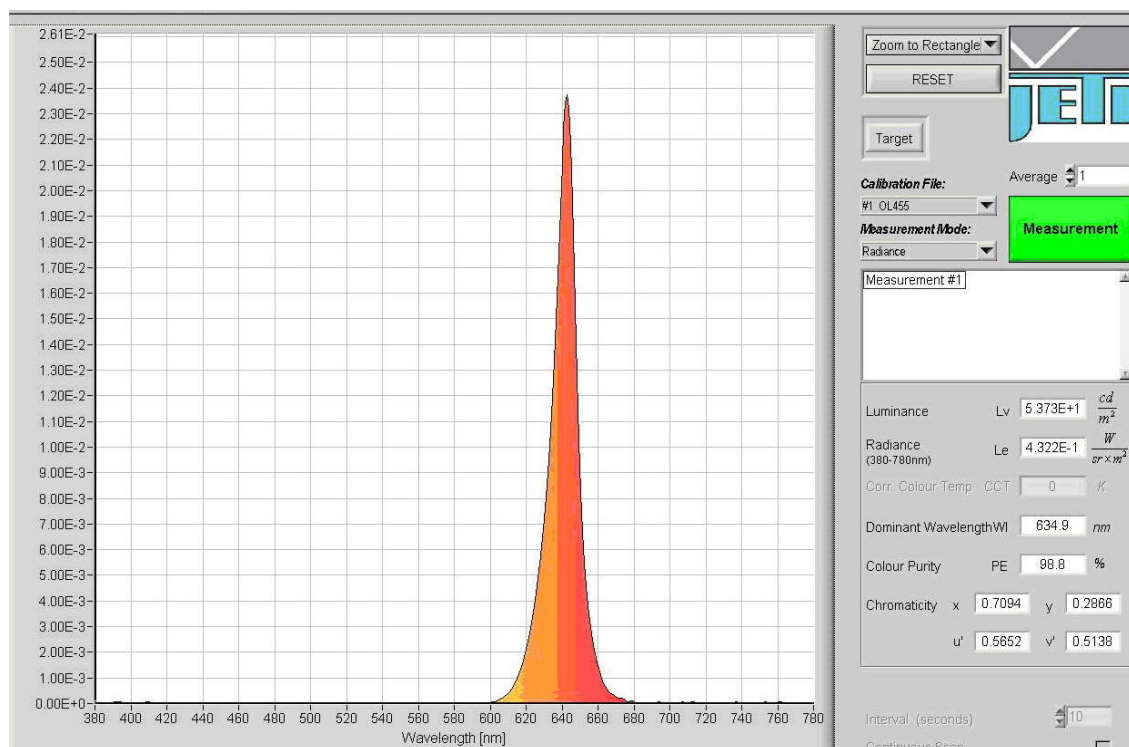
Kromě praktického a ekonomického přínosu práce, který byl zmíněn v úvodu, je jedním z hlavních přínosů DP poměrně komplexní zpracování metodiky návrhu osvitů ovládacích prvků vztažené nejen na zdroj osvětlení, ale i na konstrukci ovládacího prvku. Práce má vysoký rozsah vlastních poznatků a může sloužit i jako pomůcka pro světelné techniky a strojní inženýry, kteří pracují jako konstruktéři ve vývojových centrech a zabývají se konstrukcí ovládacích prvků v automobilovém nebo leteckém průmyslu. Přínosem je i ojedinělost práce, neboť práce na toto téma jsou často součástí duševního vlastnictví a nejsou veřejně dostupné.

11. Seznam literatury

- [1] Habel J. a kol.: Světelná technika a osvětlování, FCC Public, Praha 1995
- [2] Havelka.B.: Geometrická optika, Praha 1955
- [3] Havelka B., Fuka J.: Fyzikální Kompendium IV., Praha 1961
- [4] Kučera B.: Geometrická optika, Praha 1914
- [5] Linda J.: Elektrické světlo I, II, III, Plzeň 1995
- [6] Plch J., Mohelníková J., Suchánek P.: Osvětlení neosvětlitelných prostor, Praha 2004
- [7] Syka J., Voldřich L., Vrabc F.: Fyziologie a patofyziologie zraku a sluchu, Avicenum, Praha 1981
- [8] Časopis Světlo: ročníky 2002-2011, FCC Public
- [9] Vohnický A.: Osvětlení ovládacích prvků v Automobilovém průmyslu, Bakalářská práce, Plzeň 2008
- [10] Hurt L.: Optimalizace provozu osvětlovacích soustav, Disertační práce, Plzeň 2009
- [11] Marušinec O.:Osvětlení skladu KEG sudu, Diplomová práce Plzeň 2010
- [12] Časopis Spektra nátěrových hmot: 1/2001 str. 47-49
- [13] Časopis Spektra nátěrových hmot: 2/2002 str. 48-49, 52
- [14] Mezinárodní konference o nátěrových hmotách: Sborník referátů, str. 127–129, 156–159, Seč u Chrudimi 2000
- [15] Černý J., Koudelka M.: Praktické aspekty koloristiky, text přednášky
- [16] Koudelka M.: Měření barevnosti ve stavební praxi, Stavební chemie Slaný, a.s.
- [17] Vik M.: Měření barevnosti a vzhledu – barevné odchylky, Liberec
- [18] www.fluke.cz
- [19] www.technoteam.de
- [20] www.paladix.cz
- [21] www.wikipedia.org
- [22] www.tzb-info.cz/1303-umele-osvetleni-vnitriho-prostredi
- [23] www.jeti.com
- [24] www.optis-world.com
- [25] www.byk.com/instruments
- [26] www.lustry-svitidla.cz/vypocet-osvetleni
- [27] <http://optics.upol.cz/cs/vyuka-studijni-materialy>
- [28] www.Osram.de

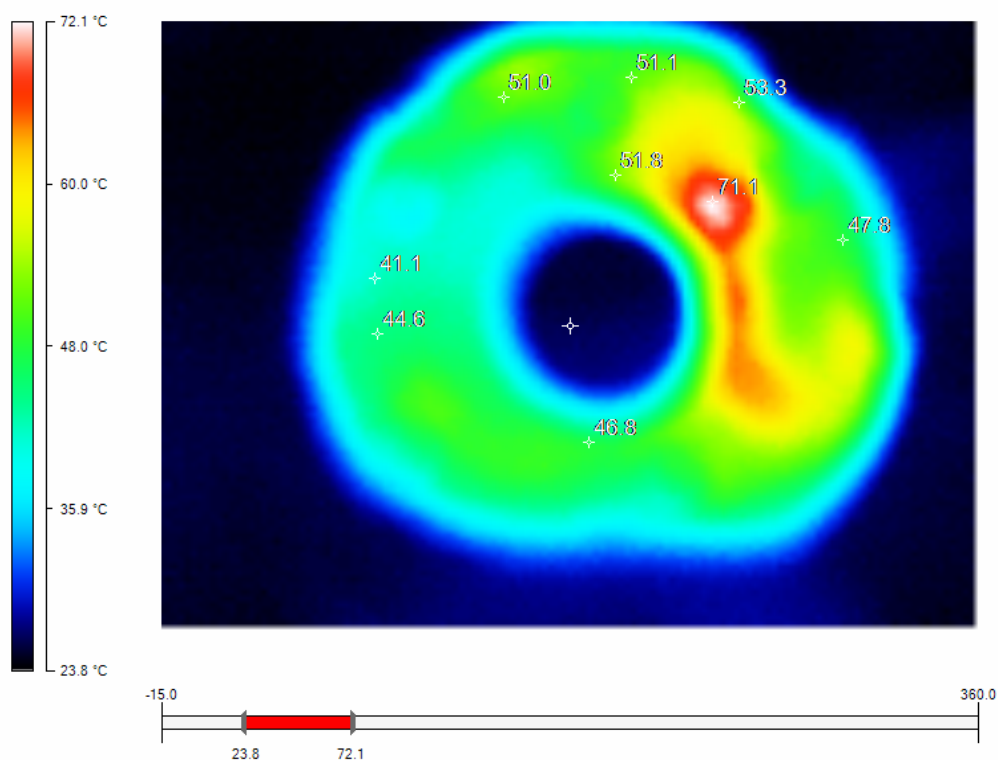
Přílohy

Příloha 1 (A, B)



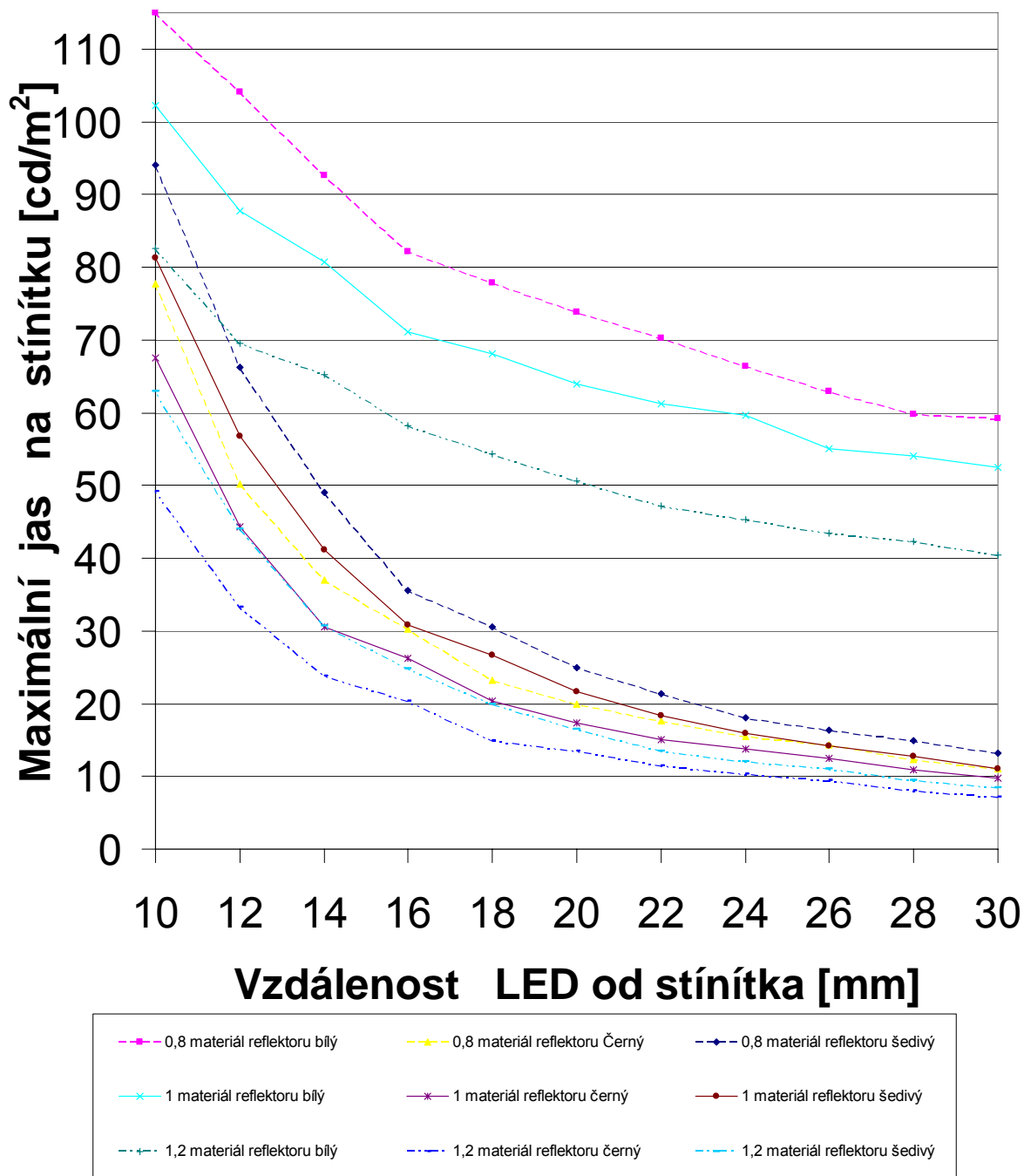
Vliv stínítka z červeného materiálu na dominantní vlnovou délku, měřeno Spektroradiometrem Specbos 1201, A - bílé stínítko, B- červené stínítko

Příloha 2



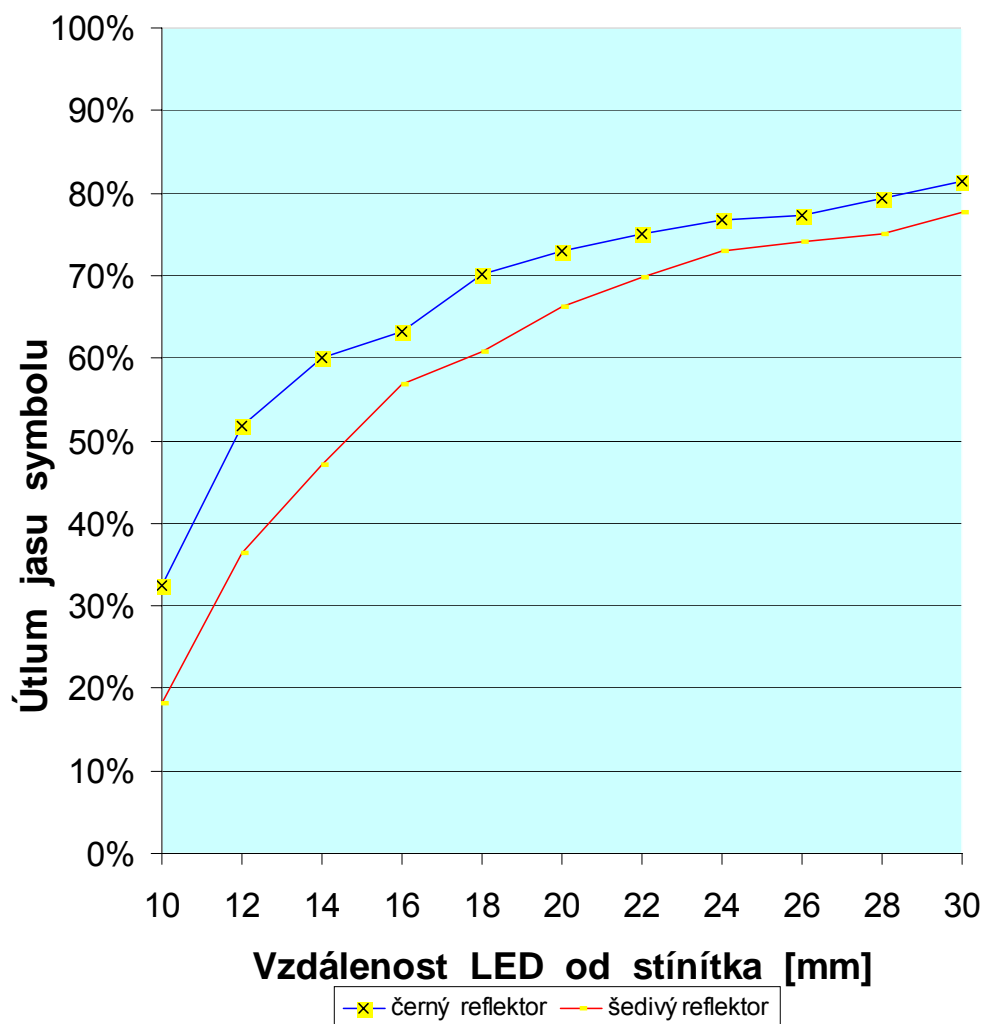
Termogram zobrazující rozložení teplot na desce plošných spojů , měřeno pomocí termokamery Ti20

Příloha 3



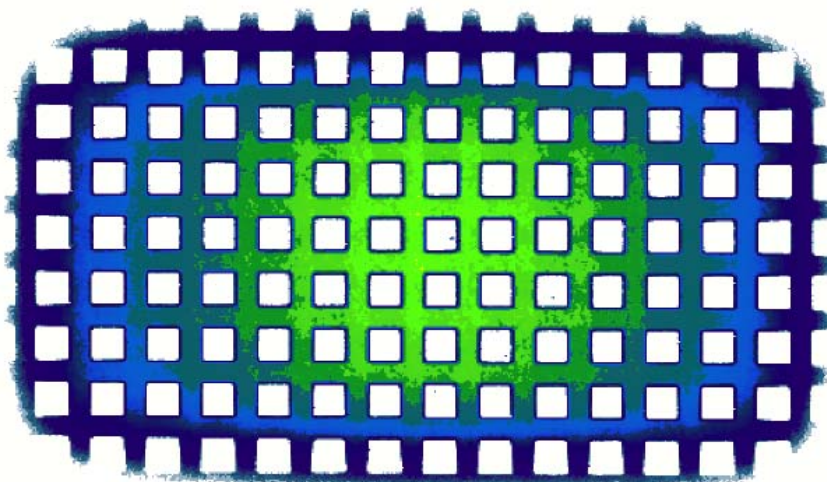
Ukázka částečné analýzy, graf naměřených hodnot

Příloha 4

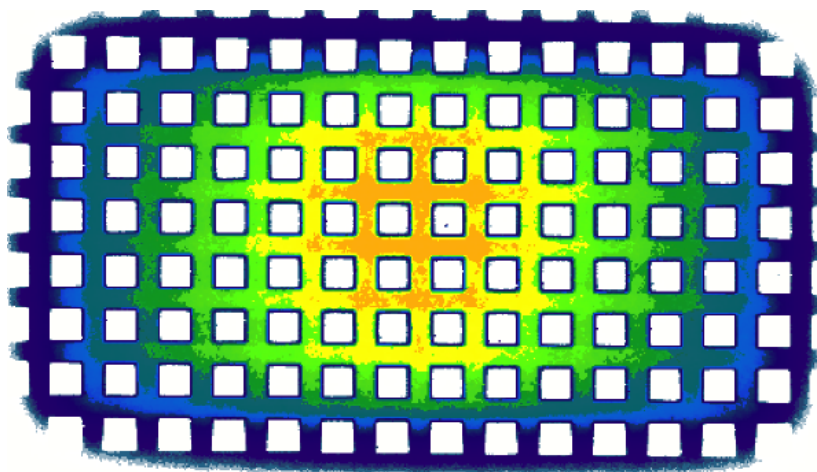


Ukázka částečné analýzy, útlum při použití reflektoru z černého a šedivého materiálu v závislosti na vzdálenosti LED od symbolu

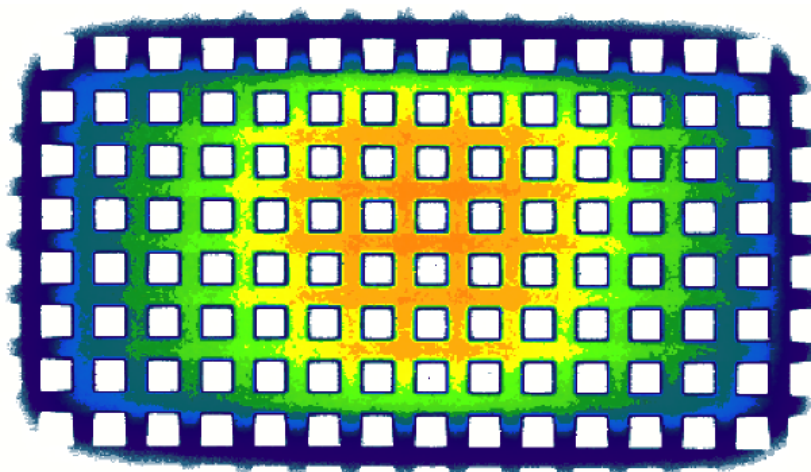
Příloha 5A



Příloha 5B



Příloha 5C



**Rozdílné úrovně jasu při změně tloušťky stínítka: 5A=1,2 mm ; 5B=1mm ; 5C=0,8mm
(měření provedeno za účelem zvýšení rovnoměrnosti kap.9.3.)**

