



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VLIV VÝROBNÍCH NEPŘESNOSTÍ NA VÝSLEDNOU PODOBU SVĚTELNÉ STOPY AUTOMOBILOVÉHO SVĚTLOMETU

THE EFFECT OF MANUFACTURING INACCURACIES ON THE FINAL LIGHT INTENSITY DISTRIBUTION OF AN
AUTOMOTIVE HEADLAMP

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Tereza Březnová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Novotný, Ph.D.

BRNO 2022

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Studentka:	Bc. Tereza Březnová
Studijní program:	Strojírenská technologie
Studijní obor:	Moderní technologie osvětlovacích soustav
Vedoucí práce:	Ing. Jan Novotný, Ph.D.
Akademický rok:	2021/22

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

Vliv výrobních nepřesností na výslednou podobu světelné stopy automobilového světlometu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Výroba automobilového světlometu, včetně jeho optických ploch, podléhá celé řadě vlivů, které negativně ovlivňují cílové optické parametry světlometu. Původci vad jsou např. deformace reflektoru, tloušťky lakování na reflektoru, lakování skel a nerovnosti skel, přesnosti usazení LED světelného zdroje apod. Studie a popis těchto a dalších vlivů je důležitým předpokladem optimalizace celého vývojově – výrobního procesu. Během práce budou popsány nejčastější optické vady, simulován jejich dopad na výslednou distribuci světelné intenzity. Budou provedena 3D skenovací a fotometrická měření skutečného světlometu, který je v „industriální fázi vývoje“, tj. před sériovou výrobou. Teoretické simulace a naměřená data budou porovnávána s cílem získat komplexní popis efektu jednotlivých výrobních nepřesností.

Cíle diplomové práce:

- Popis možných vad světlometu a jejich dopad na podobu výsledné světelné stopy.
- Test reálného světlometu, vyhodnocení jeho světelné stopy a příp. identifikace příčin odchylek od ideální stopy.

Seznam doporučené literatury:

HABEL, J. Světlo a osvětlování. Praha: FCC Public, 2013. ISBN 978-80-86534-21-3.

SMITH, W. Modern Optical Engineering. McGraw-Hill Education. 4th Ed. 2006.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá problematikou vad světloometu, které vznikají v průběhu výroby, a jejich dopadem na výslednou světelnou stopu automobilového světloometu. V rámci práce byly popsány a analyzovány vady vznikající během jednotlivých korekčních smyček a byl proveden jejich rozbor za účelem opatření pro další projekty. Mezi hlavní vady, které byly vyhodnocovány, patří poloha světelného zdroje, kvalita optických ploch a související kvalita pokovení, nepřesnosti optických ploch, rozměrové odchylky vlivem technologie montáže a vady na krycím skle. Navržená opatření se týkají lisovacího nástroje, přesnosti obrábění a leštění povrchu. Součástí práce je i návrh řešení pro rychlou identifikaci kvality povrchu krycího skla pomocí vzdálené projekce. K jednotlivým vadám byli stanoveni jejich původci, jejich závažnost a opravitelnost. Na základě těchto informací byla navržena doporučená opatření k výrobě.

Klíčová slova

světlomet, reflektor, krycí sklo, vady, světelná stopa, plast, nástroj, lisovací nástroj, zrcadlový lesk, LED zdroj, homologace, optické simulace, 3D skenování, korekce nástroje

ABSTRACT

The thesis deals with the issue of headlamp defects arising during production and their impact on the resulting light trail. The thesis describes and analyses defects arising during individual correction loops. Their analysis was carried out in order to provide measures for other projects. The main defects that have been assessed include the position of the light source, the quality of the optical surfaces and the associated quality of the plating, inaccuracies of the optical surfaces, dimensional variations due to installation technology and defects on the cover glass. The proposed measures concern the pressing tool, accuracy of machining and surface polishing. The thesis also includes designing solutions for quick identification of the surface quality of the cover glass by remote projection. Individual defects were described by their originators, their seriousness and their reparability. Based on this information, recommendations for production are proposed.

Key words

headlamp, reflector, outer lens, defect, light trace, plastic, tool, molding machine, mirror polish, LED light source, homologation, optical simulation, 3D scanning, tool correction

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BŘEZNOVÁ, Tereza. *Vliv výrobních nepřesností na výslednou podobu světelné stopy automobilového světlometu* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-06-02]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/140590>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Jan Novotný.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou/diplomovou práci na téma Vliv výrobních nepřesností na výslednou podobu světelné stopy automobilového světlometu vypracovala samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

Brno, 20. 5. 2022

Bc. Tereza Březnová

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto vedoucímu práce Ing. Janu Novotnému Ph. D za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování diplomové práce. Dále děkuji firmě Marelli Automotive Lighting Jihlava za poskytnuté materiály a zejména oddělením optiky a support technology za pomoc a ochotu při vypracovávání diplomové práce.

OBSAH

ÚVOD.....	9
1 SVĚTLO.....	10
1.1 Základní fotometrické veličiny	10
1.1.1 Světelný tok	10
1.1.2 Svítivost	11
1.1.3 Jas	11
1.1.4 Světlení	11
1.1.5 Osvětlení (intenzita osvětlení)	12
1.2 Fyzikální principy využívané ve světlototech.....	12
1.2.1 Odraz a lom světla	12
1.2.2 Absorpce	14
1.3 Světelné zdroje využívané ve světlototech.....	14
1.3.1 Halogenové žárovky	15
1.3.2 Xenonové výbojky	15
1.3.3 Světlo emitující dioda (LED).....	16
1.3.4 Laser	17
1.3.5 Nové technologie	18
2 SVĚTLOMETY	20
2.1 Konstrukce optické soustavy světlotetů.....	20
2.1.1 Reflekční světlotety	20
2.1.2 Projekční světlotety.....	21
2.1.3 Kombinované světlotety	22
2.1.4 Světlovody	22
2.2 Typy světlotetů	23
2.3 Výroba světlotetů.....	24
2.3.1 Používané materiály.....	24
2.3.2 Vstřikování plastů	25
2.3.3 Výroba formy.....	26
2.3.4 Povrchové úpravy	27
2.3.5 Montáž	28
2.4 Vady vznikající při výrobě světlotetů	29
2.5 Vliv vad na optický výstup	29
2.5.1 Homogenita a rozložení světelného výstupu.....	30
2.5.2 Intenzita a barva světelného výstupu	31
3 HOMOLOGAČNÍ A ZÁKAZNICKÉ POŽADAVKY NA SVĚTLOMETY.....	32
3.1 Světelná laboratoř	32
3.2 Goniofotometr.....	34
3.3 Homologační parametry	34
3.4 Zákaznické požadavky.....	37
4 SHRUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI.....	39
5 MĚŘENÍ VLIVU VÝROBNÍCH NEPŘESNOSTÍ NA VÝSLEDNOU SVĚTELNOU STOPU	40
5.1 Popis vybraného světlotetu	40
5.2 Návrh a simulace optického výstupu	41
5.3 Reálná měření a porovnání se simulacemi.....	44
5.3.1 První dílce z lisovacích nástrojů	47
5.3.2 1. korekční smyčka	48
5.3.3 2. korekční smyčka	50
5.3.4 3. korekční smyčka	52
5.3.5 4. korekční smyčka	53
5.4 Vyhodnocení vad a jejich původců.....	54

5.4.1	Poloha světelného zdroje	57
5.4.2	Kvalita optických ploch a související kvalita pokovení	60
5.4.3	Vady na krycím skle	61
5.4.4	Nepřesnosti optických ploch	65
5.4.5	Rozměrové odchylky vlivem lisovacího nástroje	66
5.4.6	Rozměrové odchylky vlivem technologie montáže	67
6	VYHODNOCENÍ TYPŮ VAD A DOPORUČENÁ OPATŘENÍ	68
6.1	Doporučený postup opatření	69
	ZÁVĚR	70
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	71
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	75
	SEZNAM PŘÍLOH	76

ÚVOD

Tato diplomová práce byla vytvořena ve spolupráci s firmou Marelli Automotive Lighting Jihlava. Jedná se o jednoho z předních výrobců automobilových světel nejen v Evropě, ale i ve světě. Mezi hlavní zákazníky této firmy patří světové automobilky jako BMW, Volkswagen, Škoda, Audi, Mercedes a další.

Návrh a výroba automobilového světlometu je náročný proces, samotný vývoj trvá zpravidla dva roky. V rámci fáze vývoje světlometu je řešen nejprve virtuální 3D model zahrnující optické simulace, FEM/CFD simulace, z důvodu dominantního využívání plastů jsou zároveň řešeny optimalizace konceptu nástrojů pro vstřikování plastů. Součástí vývojové fáze je také optimalizace skutečných dílců a nástrojů před zahájením sériové výroby zahrnující korekce výsledného světelného výstupu.

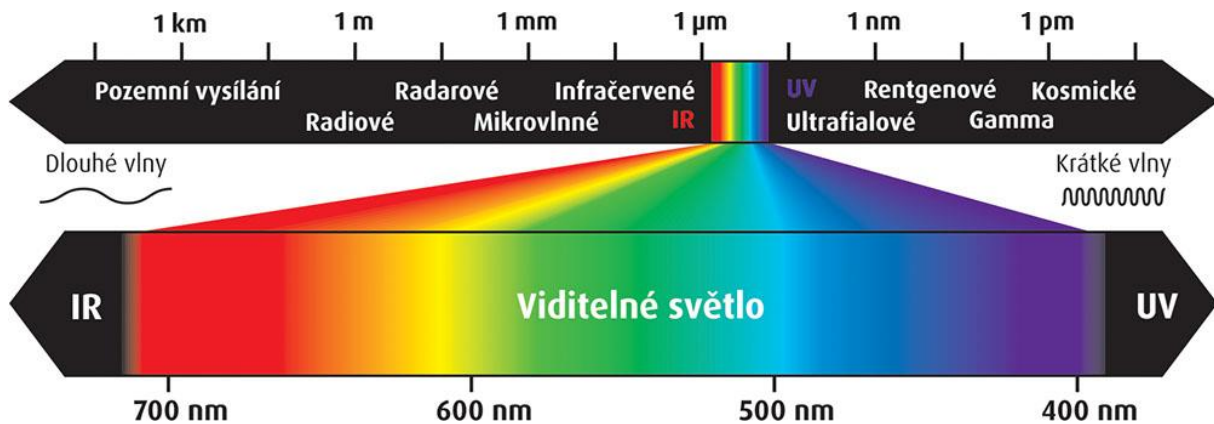
Podoba výsledné světelné stopy je v první řadě určována homologačními předpisy, každý zákazník však přidává své individuální vizuální požadavky. Protože je v poslední době světlomet považován za prvek identifikující danou automobilovou značku, kromě hlavního účelu „vidět a být viděn“ přidává zákazník i vysoké nároky na samotný design světlometu.

Pro fázi sériové výroby je nutno provést optimalizace technologického postupu výroby světlometů pro celou řadu oblastí, v řešeném případě se jednalo o oblast optického výstupu světlometu a souvisejících vad. Z důvodu využití plastů pro optickou soustavu světlometu jsou optické vady způsobeny odchylkami na lisovacím nástroji představujícím otisk dílce, a tyto odchylky se dále kombinují s variabilitou technologického procesu způsobujícího další nepřesnosti do optického výstupu.

V rámci této práce byla řešena pouze oblast optického výstupu a souvisejících korekcí na nástrojích pro výrobu plastového reflektoru a skla jednoho vybraného světlometu ve fázi optimalizace před zahájením sériové výroby. Rychlost korekcí optických vad světelného výstupu má vliv na celkové vývojové náklady na světlomet, a tedy je nutno systematicky popsat problematiku optických vad a jejich původců.

1 SVĚTLO

Světlo je viditelná část elektromagnetického záření vln prostupujících prostorem. Pro člověka představuje především důležitý zdroj získávání informací. Každá složka tohoto záření je charakterizována frekvencí f a vlnovou délkou λ . Seřazením složek dle těchto veličin získáváme spektrum záření (Obr. 1). Lidské oko je schopno vnímat vlnové délky v rozmezí cca 380–780 nm, přesné hranice stanovit nelze, protože jsou závislé jak na charakteristice daného světla, tak na citlivosti oka pozorovatele. Světlo s největší vlnovou délkou má červené zbarvení, naopak pro nejmenší vlnovou délku je charakteristická fialová barva. Lidské oko je nejcitlivější na vlnovou délku cca 555 nm, kterému odpovídá zelenožlutá barva [1].



Obr. 1 Viditelné spektrum záření [2].

1.1 Základní fotometrické veličiny

Fotometrie popisuje elektromagnetické záření ve viditelném optickém pásmu. Fotometrické veličiny jsou modifikací radiometrických veličin, tedy těch, kterou nejsou omezeny viditelným spektrem. Přehled radiometrických a k nim odpovídajících fotometrických veličin je uveden v Tab. 1 [1, 3, 4, 5].

Tab. 1 Radiometrické a fotometrické veličiny [6].

Radiometrické veličiny	Fotometrické veličiny
Zářivý tok Φ_e (W)	Světelný tok Φ (lm)
Zářivost ($W \cdot sr^{-1}$)	Svítivost I (cd)
Zář L_e ($W \cdot sr^{-1} \cdot m^{-2}$)	Jas L (nit)
Intenzita vyzařování H_e ($W \cdot m^{-2}$)	Světlení H ($lm \cdot m^{-2}$)
Ozáření E_e ($W \cdot m^{-2}$)	Osvětlení E (lux)

1.1.1 Světelný tok

Světelný tok vyjadřuje množství energie vyzářené zdrojem světla, přičemž na rozdíl od zářivého toku bere v potaz citlivost průměrného lidského oka na určité vlnové délky. Vyjadřuje tedy schopnost zářivého toku způsobit zrakový vjem. Světelný tok označujeme řeckým písmenem Φ a základní jednotkou je jeden lumen [lm] [4, 5].

1.1.2 Svítivost

Jedná se o základní fotometrickou veličinu a udává prostorovou hustotu světelného toku v různých směrech. Svítivost určujeme pro bodový zdroj a vyjadřuje jeho schopnost vyvolat v konkrétním směru zrakový vjem. Označujeme písmenem I a základní jednotkou je jedna kandela [cd]. Lze ji vypočítat pomocí světelného toku a prostorového úhlu pomocí vztahu (1.1) [4, 5]:

$$I = \frac{\Delta\Phi}{\Delta\Omega}, \quad (1.1)$$

kde: $\Delta\Phi$ - světelný tok [lm],
 $\Delta\Omega$ - prostorový úhel, ve kterém se paprsky šíří [°].

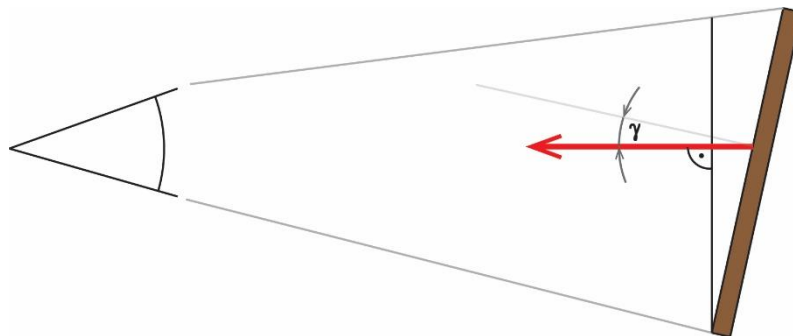
1.1.3 Jas

Tato veličina definuje intenzitu vyzařování plochy v daném směru. Určuje se jako podíl svítivosti zdroje v tomto směru a kolmého průmětu plochy ve směru stejném. S touto veličinou se můžeme setkat také pod názvem *luminance*. Značíme ji písmenem L . Základní jednotkou je kandela na metr čtvereční [cd·m⁻²]. Schematické znázornění je na Obr. 2. Lze ji vypočítat pomocí vztahů (1.2) a (1.3) [1, 4]:

$$L = \frac{dI}{dA \cdot \cos\gamma}, \quad (1.2)$$

$$L = \frac{d^2\Phi}{d\Omega \cdot dA \cdot \cos\gamma}, \quad (1.3)$$

kde: dI - svítivost [cd],
 dA - plocha kolmá k ose svazku paprsků [m²],
 γ - úhel svírající plocha dA s normálou [°],
 $d\Phi$ - světelný tok [lm],
 $d\Omega$ - prostorový úhel, ve kterém se paprsky šíří [°].



Obr. 2 Schematické znázornění jasu.

1.1.4 Světlení

Světlení vyjadřuje množství světla, které vychází z dané zářivé plochy. Rozdíl oproti jasu je ten, že v případě světlení jde o světelný tok vysílaný plochou do všech směrů, nikoliv jen do omezeného úhlu. Světlení označujeme písmenem H (nebo M) a základní jednotkou je lumen na metr čtvereční [lm·m⁻²]. K jeho výpočtu můžeme využít vztahu 1.4 [1, 6]:

$$H = \frac{d\Phi_v}{dA}, \quad (1.4)$$

kde: $d\Phi_v$ - plošná hustota světelného toku vyzařovaného z plochy dA [lm],
 dA - plocha [m^2].

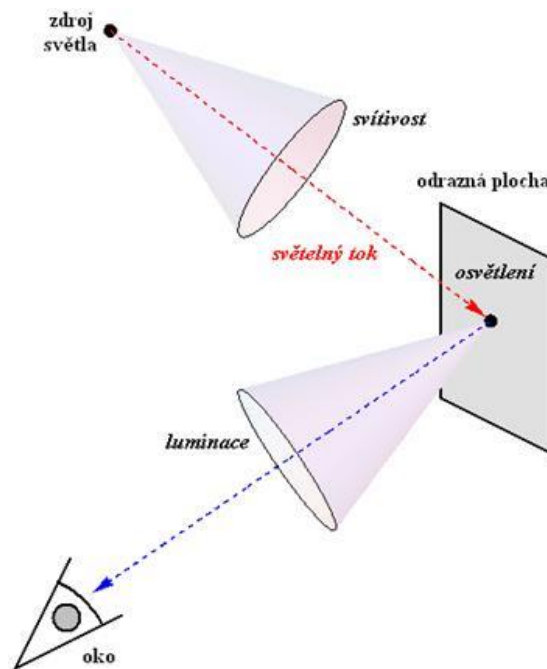
1.1.5 Osvětlení (intenzita osvětlení)

Osvětlení definuje množství dopadajícího světla na plochu o určité velikosti. Je tedy určeno světelným tokem dopadajícím na tuto plochu. Bereme v potaz normálovou složku světla, tedy kolmé osvětlení plochy. Vztah definující osvětlení je uveden v rovnici (1.5). Označujeme jej písmenem E a základní jednotkou je jeden lux [lx] [1, 4, 5].

$$E = \frac{d\Phi_d}{dA}, \quad (1.5)$$

kde: $d\Phi_d$ - plošná hustota světelného toku dopadajícího na plochu dA [lm],
 dA - plocha [m^2].

Schematicky je vztah všech fotometrických veličin zobrazen na Obr. 3.



Obr. 3 Vztah fotometrických veličin [5].

1.2 Fyzikální principy využívané ve světlotech

1.2.1 Odraz a lom světla

Odraz a lom světla jsou fyzikální optické jevy, které nastávají na rozhraní dvou různých prostředí. Při přechodu z jednoho prostředí do druhého dochází k tomu, že se část paprsku odrazí a část se láme. Úhel odrazu se řídí úhlem dopadu, přičemž se tyto úhly rovnají. Každé prostředí je charakterizováno indexem lomu n a v každém prostředí se světlo šíří rozdílnou rychlostí. Rozlišujeme absolutní a relativní index lomu. Absolutní index lomu popisuje, kolikrát

se světlo v daném prostředí šíří pomaleji než ve vakuu. Vztah mezi indexem lomu a rychlostí paprsku popisuje rovnice (1.6). Index lomu ve vakuu nabývá hodnoty 1, ostatní prostředí mají index lomu větší [7].

$$n = \frac{c}{v}, \quad (1.6)$$

kde: n - index lomu [-],
 c - rychlost světla ve vakuu [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$],
 v - rychlost šíření paprsku v daném prostředí [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$].

Relativní index lomu jsme schopni spočítat ze vztahu (1.7), jedná se o poměr rychlostí šíření světla v daných prostředích.

$$n_{12} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{v_1}{v_2}, \quad (1.7)$$

kde: n_{12} - relativní index lomu [-],
 n_1 - index lomu v prostředí 1 [-],
 n_2 - index lomu v prostředí 2 [-],
 v_1 - rychlost šíření paprsku v prostředí 1 [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$],
 v_2 - rychlost šíření paprsku v prostředí 2 [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$].

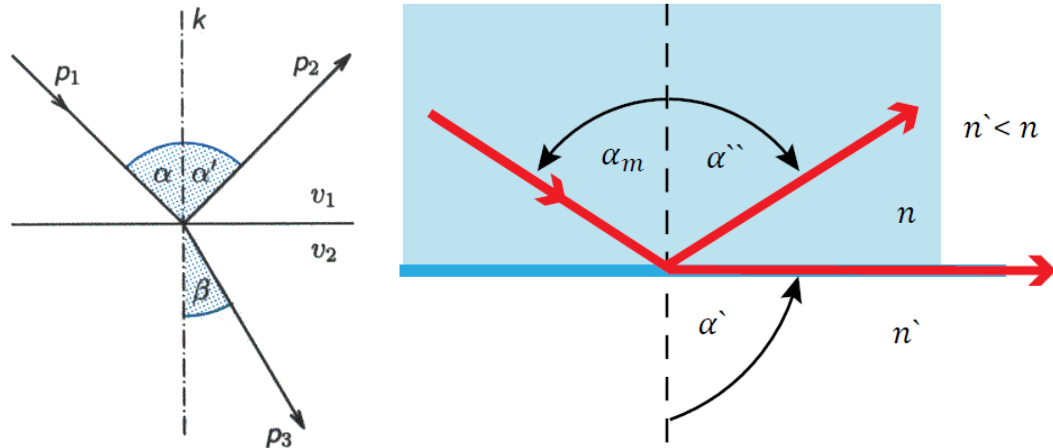
Charakter lomeného paprsku popisuje Snellův zákon (1.8). Ten v roce 1621 zformuloval nizozemský matematik Willebrord Snellius a lze jej odvodit z Fermatova principu, který říká, že „Světlo se mezi dvěma body šíří po takové dráze, aby ji urazilo za nejkratší dobu“ [7, 8].

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}, \quad (1.8)$$

kde: α - úhel dopadu [$^\circ$],
 β - úhel lomu [$^\circ$],
 n_1 - index lomu v prostředí 1 [-],
 n_2 - index lomu v prostředí 2 [-],
 v_1 - rychlost šíření paprsku v prostředí 1 [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$],
 v_2 - rychlost šíření paprsku v prostředí 2 [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$].

Mohou nastat dva případy lomu světla:

- lom ke kolmici – v případě, že se světlo šíří z opticky řidšího prostředí do opticky hustšího prostředí ($n_1 > n_2$),
- lom od kolmice – v případě, že se světlo šíří z opticky hustšího prostředí do opticky řidšího prostředí ($n_1 < n_2$) [7].



Obr. 4 Odraz a lom světla (vlevo) a totální odraz (vpravo) [7, 9].

Pokud odražený paprsek svírá s kolmicí úhel 90° , nastává speciální případ. Tomuto úhlu dopadu říkáme mezní úhel a jev, který nastává, pokud je dopadový úhel větší než tento mezní úhel, nazýváme totální odraz (Obr. 4). Totálního odrazu se využívá např. ve světlovodech (viz kapitola 2.1.4) [9].

1.2.2 Absorpce

Při dopadu světla na určitý povrch můžeme také sledovat jev zvaný absorpce. Jedná se o částečné pohlcení dopadajícího záření, které se projeví snížením intenzity. K absorpci může dojít tehdy, odpovídá-li energie dopadajícího fotonu rozdílu některých z atomových či molekulových energiových hladin přítomných částic. Světlo tvořené proudem fotonů je pohlcováno jinými elektrony atomů, které přecházejí mezi energiovými hladinami. Přecházející atom tak získává vyšší energii, která může být následně přeměněna na energii tepelnou (kinetickou) či na zpětné vyzáření, tedy světelnou (luminiscence). V přírodě nejčastějším jevem je selektivní absorpce, kdy dochází k pohlcování konkrétních vlnových délek, což má za následek „barevnost“ různých povrchů. Míru absorpce charakterizuje veličina zvaná transmittance T , případně absorbance A , která je jejím záporným logaritmem. Transmittance vyjadřuje množství světla o konkrétní vlnové délce prošlé materiálem. Jedná se o poměr intenzit vstupujícího a vystupujícího světla (1.9) [10].

$$T = \frac{I}{I_0}, \quad (1.9)$$

kde: T - transmittance [-],
 I - intenzita světla, které prošlo vzorkem [lx],
 I_0 - intenzita světla, které do vzorku vstoupilo [lx].

1.3 Světelné zdroje využívané ve světlotech

Osvětlení automobilů prošlo od svých úplných začátků poměrně rychlým vývojem. Prvním zdrojem světla využívaným pro osvětlení automobilů byly obyčejné svíčky, které později nahradily halogenové žárovky. Jedná se o zdroj světla, který je využívaný i dnes, přestože automobilové světlotechy prošly velkým vývojem a v osvětlování dominují nové technologie. Svého času byly velice populární xenonové výbojky, které poskytovaly mnohem lepší osvětlení než halogenové žárovky, avšak jejich cena byla značně vysoká, proto je poměrně rychle

nahradily světlo emitující diody (LED), které poskytují ještě vyšší světelnou intenzitu za menší náklady. Nejnovějším trendem v automobilových světlometech je využití laseru, který opět zvyšuje světelný výkon a otevírá nové možnosti nejen v osvětlování, ale i v komunikaci mezi řidičem a prostředím.

1.3.1 Halogenové žárovky

Nejstarším světelným zdrojem v automobilových světlometech jsou žárovky. Běžné žárovky sestávající z wolframového vlákna nedosahují příliš velké svítivosti ani dlouhé životnosti, proto se pro světlometry využívá žárovek halogenových. Halogenové žárovky (Obr. 5) jsou vyráběny z pevného křemičitého skla a plněny inertním plynem a halogenem. U motorových vozidel se využívá methylenbromid a jako halový prvek brom. V žárovkách probíhá tzv. halogenový cyklus, kdy dochází k uvolňování atomů wolframu z wolframového vlákna, které se následně slučují s atomy bromu a společně putují zpět k rozžhavenému vláknu. Zde se sloučené atomy opět rozpadají [11].

Halogenové žárovky jsou oproti běžným žárovkám konstrukčně menší, a to kvůli dosažení požadované teploty. Teplota chromatičnosti se pohybuje mezi 2 900 až 3 100 K. Nejčastěji využívanými typy halogenových žárovek jsou H4 a H7. Žárovka H4 dosahuje světelného toku až 1 000 lm, H7 dokonce 1 500 lm. Halogenové žárovky jsou v nových typech vozidel nahrazovány modernějšími zdroji světla, své využití však stále nachází v některých zemích jižní Ameriky nebo v Číně [1, 11, 12].

Ukázka osvětlení vozovky při použití těchto žárovek je na Obr. 6.



Obr. 5 Halogenová žárovka H7 [12].



Obr. 6 Osvětlení vozovky žárovkou H4 [12].

1.3.2 Xenonové výbojky

Jistý rozmach ve své době zaznamenaly xenonové výbojky (Obr. 7). Na rozdíl od žárovek u nich světlo vzniká výbojem mezi elektrodami umístěnými v plynu, v tomto případě v xenonu. Díky tomu se výbojky v provozu příliš nezahřívají, teplo je pouze průvodním jevem, nikoliv podmínkou vzniku. Výbojky jsou tvořeny skleněnou trubicí naplněnou příslušným plynem. Na koncích trubice se nachází elektrody, které po připojení ke zdroji napětí způsobí výboj a plyn začne vydávat světlo. Xenonové výbojky mají ve srovnání s halogenovou žárovkou větší světelný tok, a to až 3300 lm. Světlo výbojek se svojí teplotou okolo 4 000 K se oproti halogenovým žárovkám více blíží dennímu světlu a zajišťují mnohem lepší osvětlení krajnic vozovky [11, 12].

V současné době se tohoto zdroje světla v automobilech již nevyužívá, důvodem je příliš vysoká cena. Díky novým technologiím lze získat mnohem kvalitnější světelnou intenzitu za mnohem nižší cenu, než jakou poskytují xenonové výbojky.

Ukázka osvětlení vozovky při použití xenonové výbojky je na Obr. 8.



Obr. 7 Xenonová výbojka D2S [12].

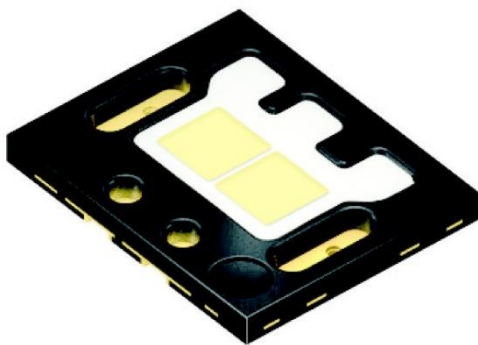


Obr. 8 Osvětlení vozovky xenonovou výbojkou [12].

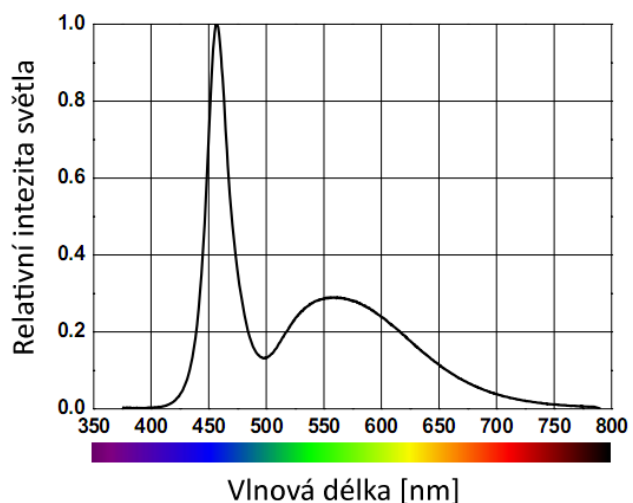
1.3.3 Světlo emitující dioda (LED)

Světlo emitující dioda (Obr. 9), zkráceně LED z anglického *Light Emitting Diode*, značí polovodičový prvek s PN přechodem. Její nespornou výhodou je nízký příkon a vysoká svítivost při malých nákladech, díky čemuž je její využití ve světlometech pro vozy novějších generací tak populární.

Pokud diodou prochází elektrický proud v propustném směru, přecházejí elektrony z části N, kde je jejich přebytek, do části P, kde je naopak nedostatek elektronů, tzv. díry. Při rekombinaci těchto elektronů dochází k uvolnění energie a následné emisi světla. Vyzařovaná barva diody je dána chemickými příměsemi polovodiče. Přímé bílé světlo, které u světlometů požadujeme, však emitovat nelze. Jednou z častých možností, jak toto světlo získat, je využití tzv. luminoforů. Využívají se diody vyzařující světlo modré a pomocí luminoforu dochází k transformaci části vyzařovaného světla na světlo žluté. Mísením těchto dvou barev potom vzniká požadované bílé světlo. Na Obr. 10 je zobrazeno spektrum bílé diody, pík v oblasti modrého světla vyzařovaného modrou diodou složenou se spektrem luminoforu [1, 13].



Obr. 9 LED od firmy OSRAM [14].



Obr. 10 Spektrální charakteristika bílé LED diody [15].

Oproti obyčejným žárovkám jsou dalšími velkými výhodami LED velice rychlý náběh do plného světelného výkonu (jednotky mikrosekund), malé rozměry a mechanická odolnost, vyzařování stálého barevného světla ve viditelném spektru a vysoká životnost [13].



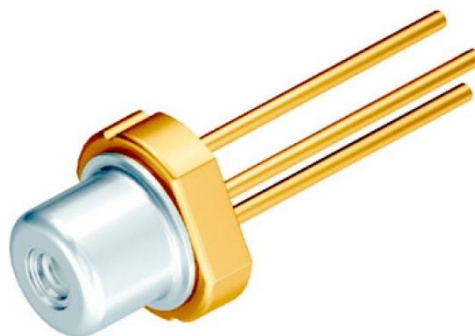
Obr. 11 Světelná distribuce potkávacích světel s LED [12].

1.3.4 Laser

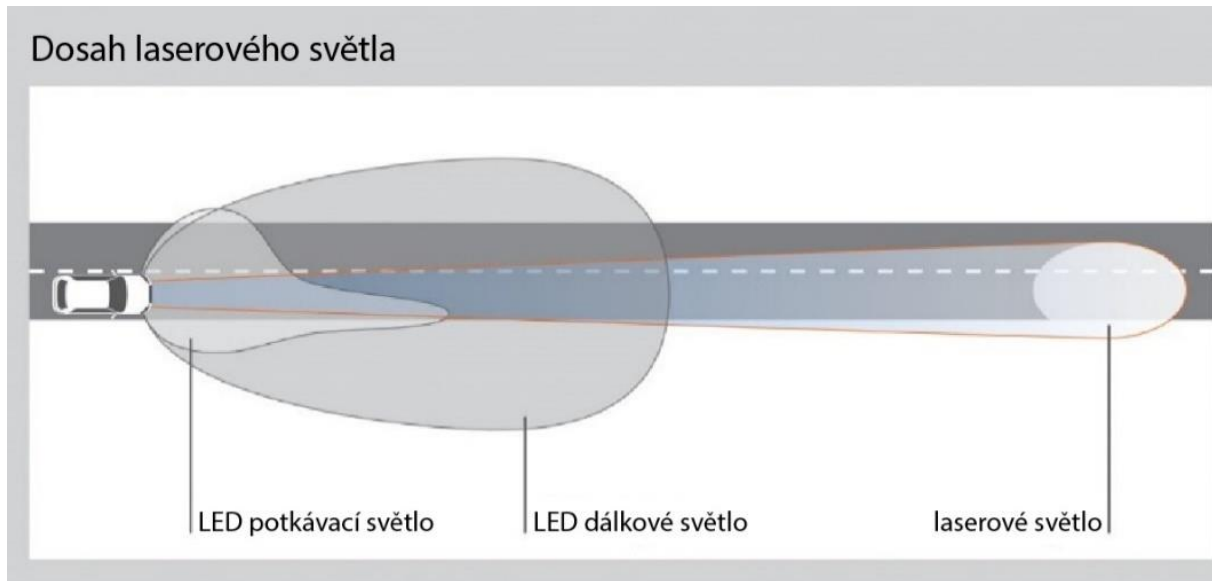
Neustále zdokonalující se technologie se promítly i ve zdrojích užívaných ve světlometech. V letech 2014–2015 přišel výrazný zlom otevírající nové možnosti v automobilovém průmyslu, na trh totiž přišly první sériově vyráběné vozy s laserovými světlometry. Byly jimi vozy BMW i8 a Audi R8 LMX, jejichž laserové světlometry vyvíjela společnost OSRAM [16].

Použití technologie laseru ve světlometech je takřka revoluční, dosah svícení je oproti LED technologii dvojnásobný – lasery dosvítí do vzdálenosti až 600 metrů, což je příznivé zejména kvůli bezpečnosti provozu. Jas laseru je v porovnání s LED dokonce čtyřnásobný, což umožňuje použití velmi malých optických komponentů. Příkladem je Nichia GigaWhite NUW902, která se dodává se svítivostí v rozmezí 300–600 lm při vstupním napájení 1,6 A. Laserová dioda vykazuje příkon cca 18 W ovšem výstupní paprsek je koherentní a umožňuje jednoduše jeho směřování na velkou vzdálenost, proto se využívá na přisvícení funkce dálkového světla s vysokým dosahem [16].

Laserové světlometry jsou kombinací laserových modulů integrovaných do dálkových světlometů s LED. Aktivují se při překročení rychlosti 70 km/h. Barvu světla laserových diod je nutné stejně jako u LED transformovat z modré na bílou, k čemuž se využívají stejné principy, tedy použití luminoforu. Protože se však jedná o naprostou novinku v automobilovém průmyslu, vývoj a výroba laserových světlometů jsou velice nákladné, a tak jsou v současné době instalovány pouze do vozů vyšších tříd, které jsou běžným uživatelům nedostupné. V souvislosti s použitím laserových světlometů jsou také kladeny vysoké nároky na bezpečnost [16].



Obr. 12 Laserová dioda [17].



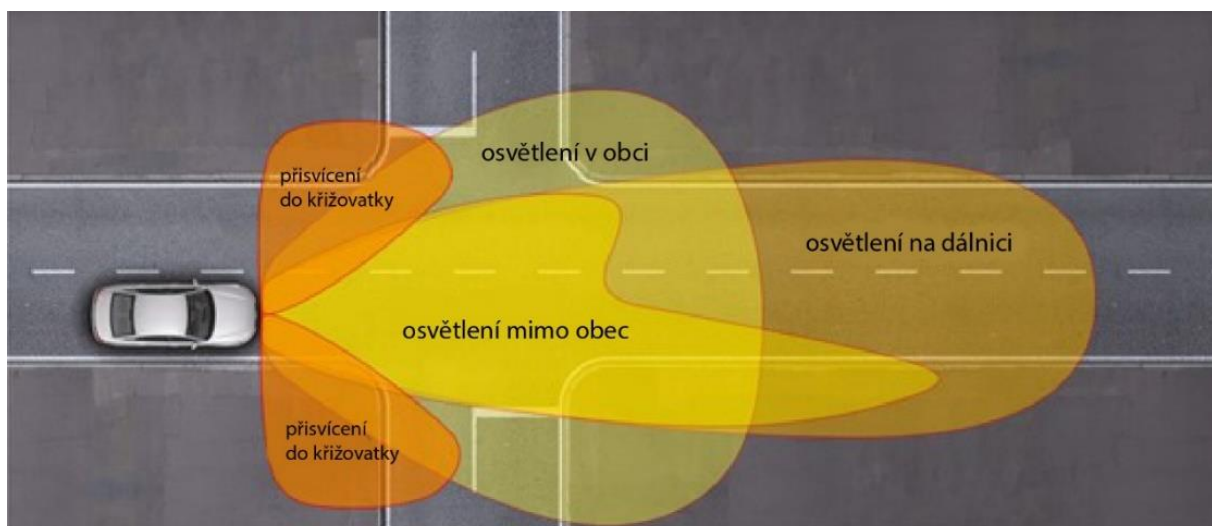
Obr. 13 Dosvit LED a laser světlometů [18].

1.3.5 Nové technologie

S cílem zajistit co největší pohodlí řidiče při zvýšené bezpečnosti jízdy se vyvíjejí nové technologie splňující tyto požadavky.

Adaptivní světlometry

Jak již z názvu vypovídá, adaptivní světlometry se dokáží přizpůsobit jízdě, respektive prostředí jízdy. Díky propojení s navigací jsou schopny rozpoznat jízdu městem, krajinou, či na dálnici, a pro každou z těchto možností vydávají jinou světelnou intenzitu a jiný dosvit. Na základě navigace jsou také světlometry schopny samy identifikovat typ provozu (pravostranný/levostranný) a automaticky mezi nimi přepínat. Další výhodou adaptivních světlometů je např. přisvícení do zatáčky nebo do křižovatky [19].



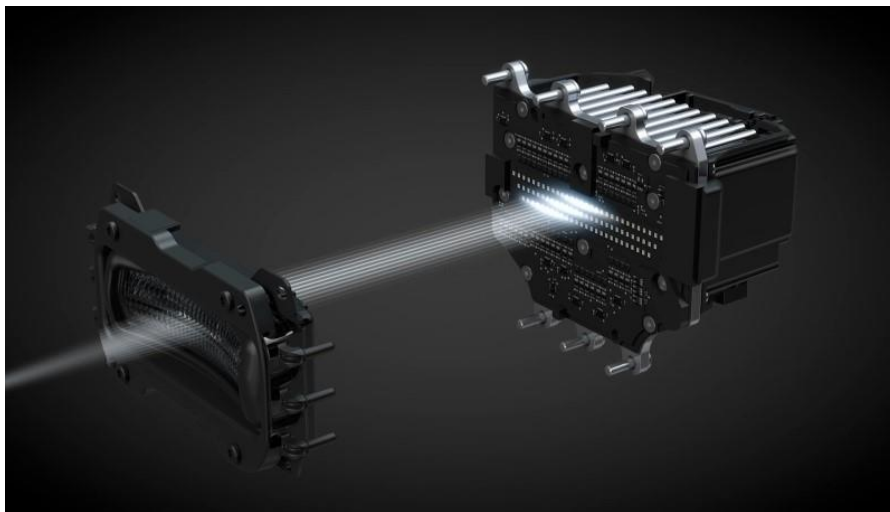
Obr. 14 Znárodnění dosvitu jednotlivých adaptivních světel [19].

Matrix technologie a projekce na vozovku

Matrix technologie s sebou přináší nové možnosti dálkového svícení. Principem je segmentace osvětlovaného prostoru a následné individuální osvětlování jakéhokoliv segmentu dle jízdni situace. Můžeme se u ní setkat s variantami s LED nebo s laserovými světly. U LED světelných jednotek je optická jednotka složena z jednotlivých segmentů, které reagují na kamerové senzory zachycující protijedoucí vozidlo. Světelné diody propojené s čočkami a reflektory se individuálně rozsvěčují, zhasínají nebo stmívají podle aktuální situace (Obr. 15). Nedochází tak k přepínání mezi dálkovými a tlumenými světly, jak tomu bylo doposud, inteligentní systém si pouze sám detekuje místo, kde mají konkrétní segmenty pohasnout, a tím nedochází k oslňování protijedoucích. Ukázka takového výřezu v osvětlení je na Obr. 16 [20, 21].

U varianty Matrix Laser dochází k vyzáření světla z modrých laserových diod, které dopadá na rychle se pohybující zrcátko miniaturních rozměrů. Světlo je odraženo na konvertor, kde je přeměněno na bílé světlo a vyzářeno na vozovku. Systém dokáže rozpoznat rychlost vozidla, a tak v nízkých rychlostech vydává na vozovku široký světelný kužel, zatímco ve vyšších rychlostech se kužel světla zužuje a zvyšuje se jeho intenzita [22].

Ještě větší posun dopředu můžeme spatřit v projekci světelných jednotek na vozovku. Díky komunikaci s navigací dochází např. k upozornění omezení rychlosti při jejím překročení, upozornění na možné nebezpečí, jako je třeba práce na silnici či ledovka, nebo promítání pruhů znázorňující šířku vozidla při zúžení vozovky. Technologie umožňující projekci na vozovku jsou založeny buď na technologii DMD (projektor), nebo na technologii SSL (Solid State Lighting) [23, 24].



Obr. 15 Modul systému Matrix [25].



Obr. 16 Výřez světelného kuželu technologií Matrix [26].

2 SVĚTLOMETY

Základním úkolem automobilového osvětlení je vidět a být viděn. Jedná se o jeden z nejdůležitějších prvků pasivní bezpečnosti vozidel. Kvalitní světlo mety splňují kompromis mezi dobrým osvětlením vozovky z pohledu řidiče a zároveň zamezují oslňování protijedoucích vozidel.

Kromě bezpečnosti je v poslední době také kladen velký důraz na design. Světlo mety jsou jedním z prvků, který udává charakteristický design každé automobilové značky. Typickým příkladem jsou kruhové světlo mety u vozů BMW.

Až do roku 1957 jsme se u vozů setkávali se symetrickým osvětlením vozovky, kdy světelný výstup levého i pravého světlo mety byl stejný. To byl ale problém z hlediska oslňování protijedoucího, dnes se již tedy setkáváme s osvětlením asymetrickým, kdy světlo met bližší krajnici vozovky (záleží na typu provozu) vydává silnější světelný výstup než světlo met bližší protijedoucímu vozidlu [27].

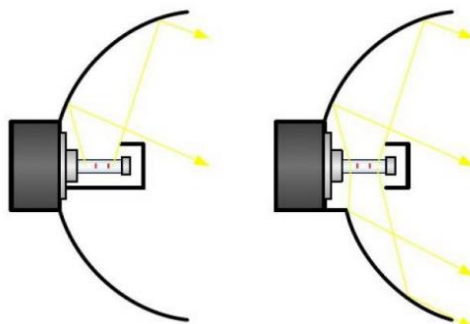
2.1 Konstrukce optické soustavy světlo met

Optickou soustavu světlo met lze rozdělit na dva základní typy. Korektního světelného výstupu je v každém případě docíleno jiným způsobem. V jednom případě konstrukce využívá principů odrazu světla, druhý typ je založen na principu projekce (kombinace reflexe a refrakce). Protože každý z typů má své výhody i nevýhody, často se setkáváme s jejich kombinací.

2.1.1 Reflektivní světlo mety

Parabolické světlo mety

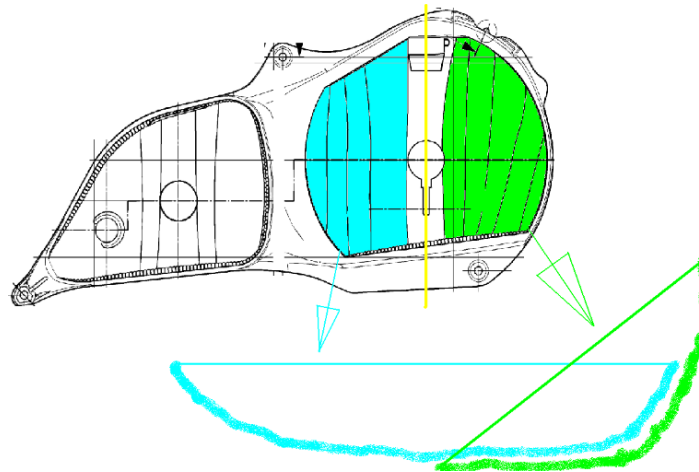
Jak z názvu vyplývá, tvar parabolických světlo met (Obr. 17) je určen paraboloidem. Ten se vyznačuje jedním ohniskem, které dokáže stigmaticky (tj. bez optických vad) zobrazit do nekonečna. Pro malou ohniskovou vzdálenost je typické intenzivní a homogenní osvětlení v blízkosti světlo mety, naproti tomu velká ohnisková vzdálenost zajišťuje kvalitní dosah světla. Z tohoto důvodu se využívá tzv. bifokálních světlo met (Obr. 17), kdy je konstrukce světlo mety tvořena dvěma různými paraboloidy s odlišnými ohniskovými vzdálenostmi. Tím je dosaženo možnosti využití obou částí pro tlumená světla. Zdrojem světla v parabolických světlo metech bývá žárovka, příp. dvouvláknová žárovka. Pro asymetrické osvětlení vozovky nutného kvůli zabránění oslňování protijedoucího vozidla se využívá clonky, která světelný tok odkloňuje k příslušné krajnici (závisí na typu provozu). Natočení clonky činí 15° . Korektní rozložení světla na vozovce je zaručeno optickými formami na krycím skle a jeho samotným tvarováním [11, 27].



Obr. 17 Schéma parabolického světlo mety (vlevo), bifokálního světlo met (vpravo) [28].

Free form reflektorové světlometry

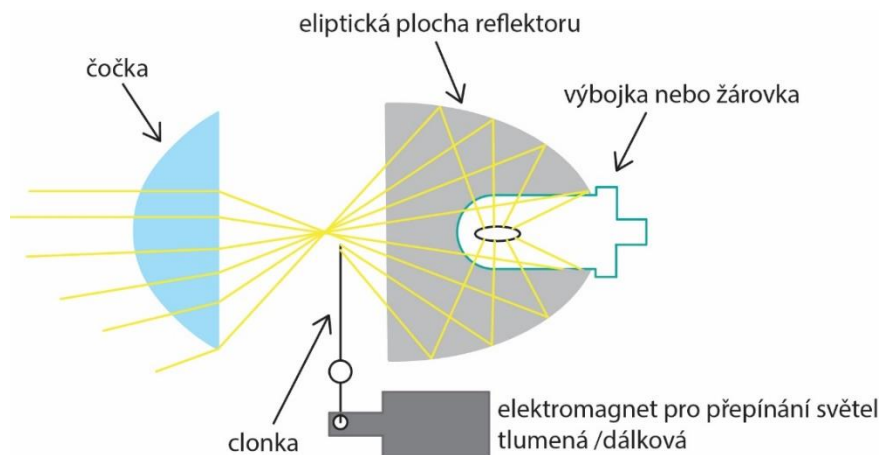
Tvar tohoto typu světlometu nevzniká rotací žádné konkrétní geometrie, není tedy symetrický jako předešlý zmíněný typ. Tento typ světlometu je navržen z několika dlouhých úzkých částí, které se nazývají fazety. Každá z fazet má charakteristické vlastnosti (poloměr zakřivení, odrazivost), a tvoří tak specifickou část požadované korektní světelné distribuce (Obr. 18). Návrh takových ploch je velice náročný a z velké části je k výpočtům využíváno počítačové techniky. Zkratka pro tento typ světlometů je FF ((Free Flat nebo Free Form popř. Frei Flächen). Nespornou výhodou světlometů s volnou plochou je odpadající nutnost tvarování krycího skla, které tak může být hladké a čiré [11, 27].



Obr. 18 Světelná distribuce jednotlivých fazet [12].

2.1.2 Projekční světlometry

Tvar projekčních (elipsoidních) světlometů je tvořen elipsou rotovanou kolem své delší osy. Na rozdíl od paraboly má elipsa dvě ohniska, stejně tak je tomu u rotovaného elipsoidu. Při umístění zdroje světla do jednoho z ohnisek dochází k promítnutí paprsků do ohniska druhého opět stigmaticky, pro konečný kuželovitý výstup ze světlometu je tedy zapotřebí ještě dalšího prvku – projekční čočky či jejich soustavy. Odtud také pochází název – projekční světlometry, zkratkou označené jako DE (Dreiaxse Elipsoid). Tento systém vytváří velmi kvalitní přechod světlo-tma, a z tohoto důvodu je výhodný zejména pro mlhová svítidla. Z hlediska konstrukce je elipsoidní světlomet menší než parabolický, což je žádoucí z hlediska montáže i designu [11, 27].



Obr. 19 Schéma projekčního světlometu.

2.1.3 Kombinované světlomety

Protože každý z uvedených typů světlometů s sebou nese určité výhody a nevýhody a každý je vhodný pro jiný typ svícení, vhodným řešením je kombinace předností každého z nich. Kombinované světlomety jsou tvořeny elipsoidním typem a typem s volnou plochou. Tím dosahujeme příznivých výsledků např. pro tlumené svícení, kdy je snížena ostrost hranice světlo-tma díky jednotlivým fazetám směřujícím odražené světlo do projekční čočky [11, 27].

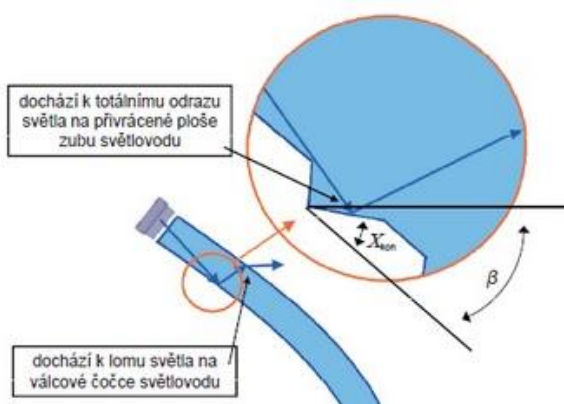


Obr. 20 Kombinovaný světlomet [29].

2.1.4 Světlovody

Velice hojně využívaným zprostředkovatelem osvětlení u moderních automobilů jsou světlovody. Světlovody pracují na principu totálního odrazu, kdy je paprsek světla veden od zdroje až do požadovaných míst, a to s minimální ztrátou energie. Díky drážkám v požadovaných místech dochází k přerušení podmínek pro totální odraz a světlo tak uniká ze světlovodu. Jsou to právě ta místa, kde požadujeme „rozsvícení“ světlovodu (Obr.21).

Nejčastější využití nacházejí světlovody u signálních funkcí světlometu, v současné době však dochází k velkému rozmachu této technologie, protože umožňuje jedinečné designové možnosti, a používá se např. i pro denní svícení v předních světlometech, v zadních potom pro brzdová či směrová světla. Světlovody s účelem automobilového osvětlení bývají vyrobené z polykarbonátu (PC) nebo z polymethylmethakrylátu (PMMA) [30].



Obr. 21 Princip vyvázání světla [30].



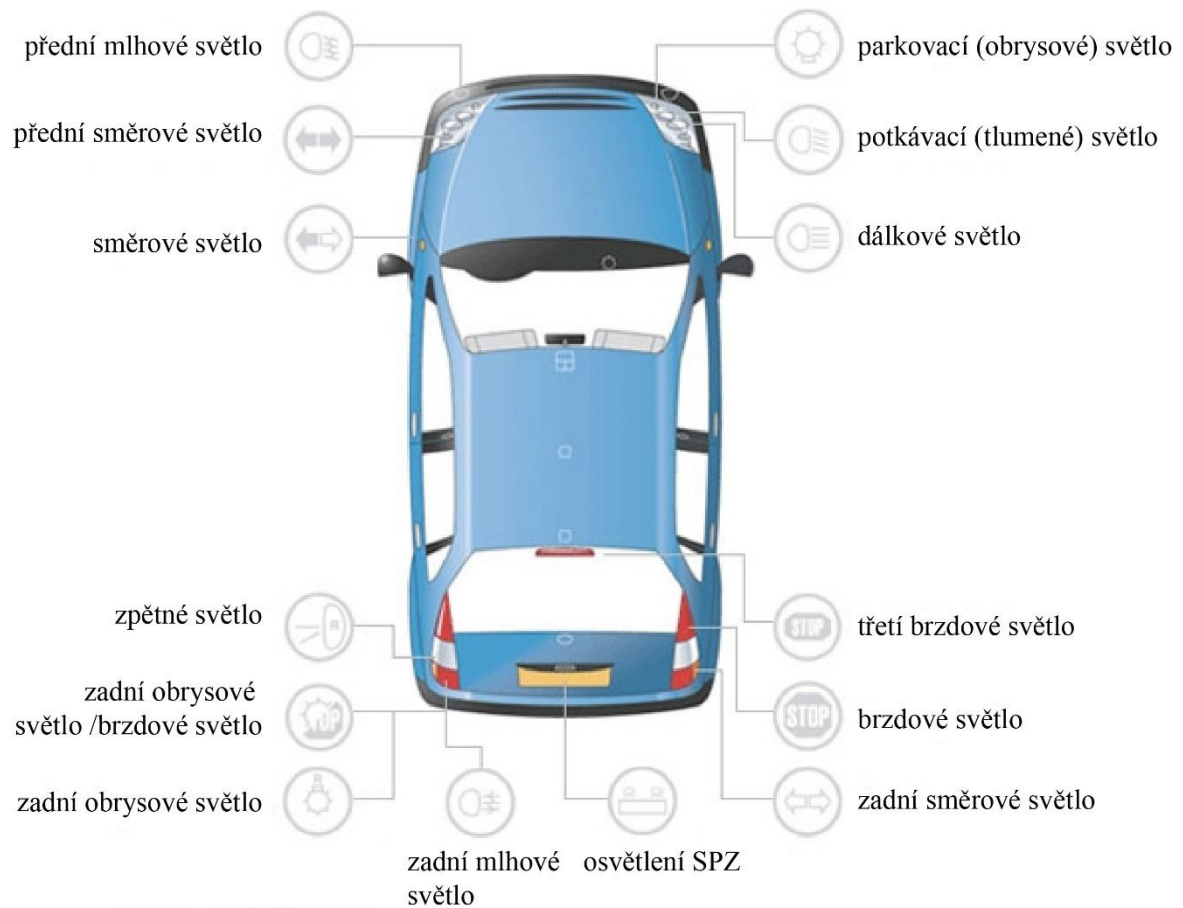
Obr. 22 Ukázka světlovodů Angel Eye BMW [31].

2.2 Typy světlometů

Typy světel dělíme podle funkcí, pro které jsou určena. Základním a nejčastěji používaným typem svícení je denní svícení. Slouží ke zviditelnění vozidla v běžném provozu za nesnížených podmínek viditelnosti, u moderních automobilů se zapíná automaticky po nastartování motoru. Starší typy automobilů jimi nejsou vybaveny a jejich náhradou jsou obrysová a potkávací světla. Za nepříznivého počasí jako je mlha, sněžení, či déšť, smí řidič použít přední mlhové světlomety a musí použít zadní mlhové světlomety [32, 33].

Pro osvětlení vozovky na velkou vzdálenost za tmy slouží dálková světla (high beam). Při míjení jiných vozidel či chodců nebo cyklistů je nutné použít tlumená světla (low beam), aby nedocházelo k oslnění. Dalšími typy světlometů je zpětný, který slouží k osvětlení vozovky při couvání, signalizační, tzv. blinkr, nebo brzdový [34].

Při současně vyvíjené technologii světlometů Matrix se můžeme potkat s adaptivními světlomety, které zajišťují např. lepší osvětlení při odbočování či zatáčení, při jízdě na dálnici či městem. Světelný svazek je schopen se během jízdy přizpůsobit na základě rychlosti, úhlu natočení volantu nebo zapnutí/vypnutí směrových svítílen [35, 36].



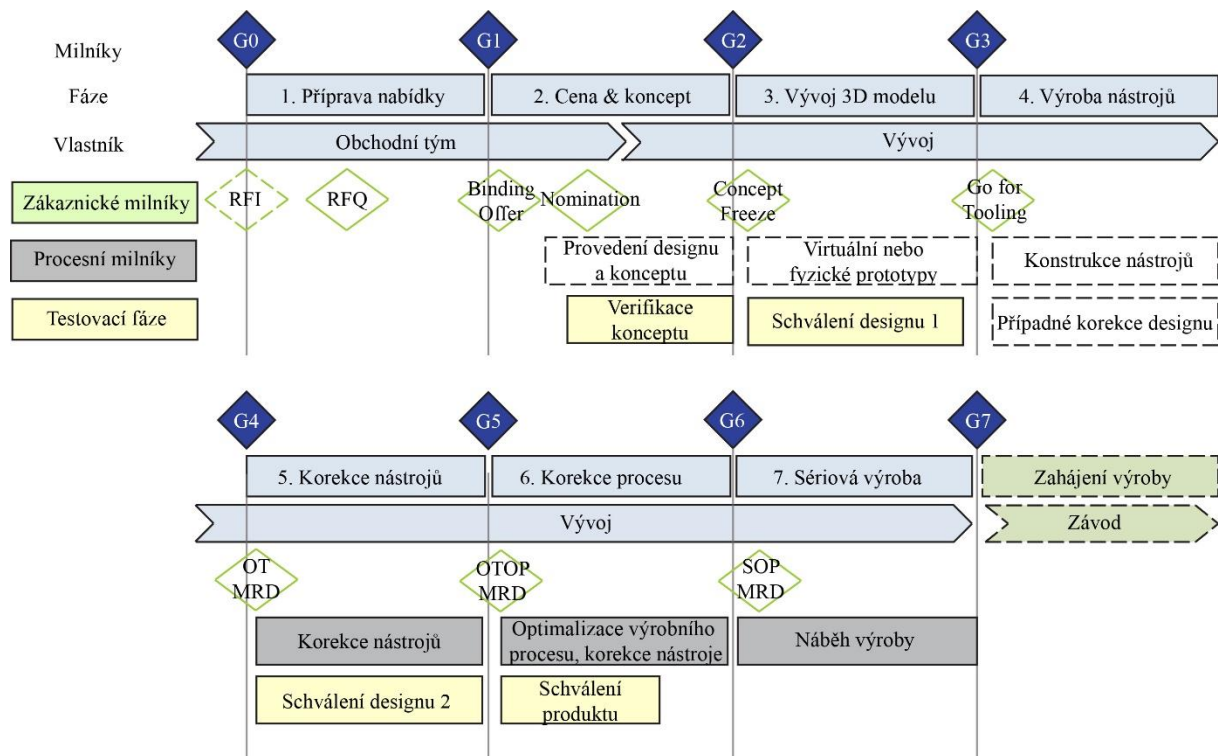
Obr. 23 Popis jednotlivých typů světel na automobilu [37].

2.3 Výroba světlometů

Zahájení projektu začíná nabídkou zákazníka. Po zpracování nabídky je zahájen cyklus, během kterého jsou vytvořena 3D data. Zákazník dodá požadované materiály, jako je požadovaný design světlometu a jeho parametry (požadované funkce, barva světla, světelný výkon, aj.). Na základě těchto dat je vytvořen 3D model světlometu, na kterém jsou pomocí softwaru provedeny simulace a analýzy optických vlastností. Tyto informace jsou žádoucí před zahájením výroby prototypu. Výsledkem celého procesu jsou modely schválené na základě simulací a výrobní dokumentace.

Jakmile jsou vytvořena digitální data, nastává výroba prototypu a náradí k výrobě. Současné světlometry jsou z převážné části vyrobené z plastu. Pro výrobu těchto dílců se využívá technologie vstřikování plastů, přičemž plasty tvoří dominantní skupinu dílů. Při výrobě světlometů jsou používány i další materiály a technologické postupy mimo plastových dílců jako např. technologie lití lehkých kovů (slitiny Al a Mg), technologie postupového tváření a jiné.

Jednotlivé milníky/fáze vývoje světlometu jsou zahrnuty na schématu níže (toto detailní provedení je platné pouze pro Marelli Automotive Lighting). Názvy zákaznických milníků jsou ponechány v anglickém jazyce.



Obr. 24 Milníky vývoje světlometu.

2.3.1 Používané materiály

Pro výrobu automobilových světlometů se využívá zejména různých druhů plastů. Tyto plasty dělíme na skupiny termoplastů a reaktoplastů (termosetů, duroplastů). Hlavním rozdílem je chování materiálů za tepla, kdy termoplasty lze při překročení teploty tavení opakovaně tvářet, kdežto reaktoplasty jsou po vytvrzení již neměnné [38].

- Termoplasty – lze rozdělit na konstrukční a optické plasty. Nejčastěji používaným konstrukčním plastem je polykarbonát (PC), polypropylen (PP), polybutylentereftalát

(PBT), polyoxymetylen (POM) a vysoce houževnaté PET. Tyto materiály mohou mít různá plniva v různých procentuálních poměrech. Skupina optických či transparentních plastů jsou PC a polymethylmetakrylát (PMMA) [39].

- Reaktoplasty – konstrukční materiály, v automotive používaný zejména BMC (z anglického Bulk Moulding Compound) materiál [40].

V rámci této diplomové práce budou primárně řešeny dílce vyrobené z materiálu PC (krycí sklo) a BMC (reflektor), proto jsou níže uvedeny specifikace pouze těchto materiálů.

PC je nejrozšířenějším termoplastem. Tento typ plastů je po ohřátí na teplotu tavení tvarován a po vychladnutí se stává pevným. Jeho výhodou je, že tento proces je opakovatelný. PC je vhodný materiál pro vstřikování plastů, je velice odolný a pružný. Má dobré optické vlastnosti, je čirý a teplotně odolný. Ve světlometech je využíván k výrobě krycích skel či světlovodů [41].

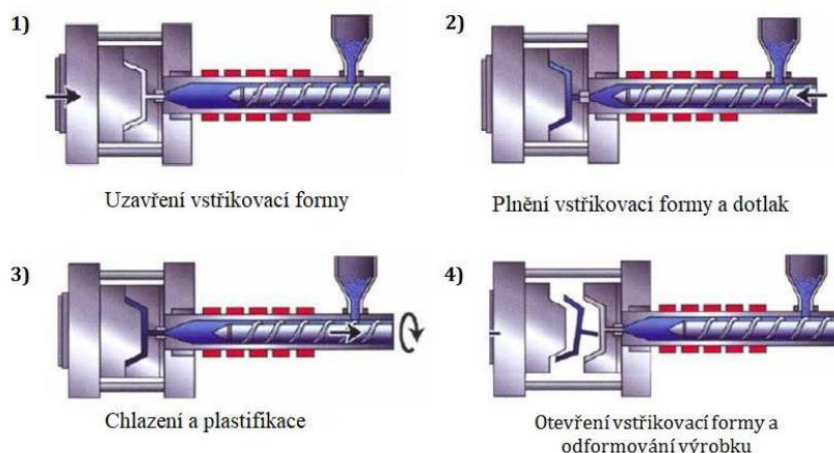
BMC je materiál tvořený převážně z termosetické pryskyřice a skelných vláken. Hojně se využívá k technologiím vstřikování plastů a lisování. Ve světlometech se z BMC vyrábí obecně díly určené pro pokovení, ať už reflektory či jiné designové prvky [40].

2.3.2 Vstřikování plastů

Vstřikování plastů spočívá ve vpravení homogenní taveniny vytvořené z granulátu do tvarové dutiny formy pomocí vstřikovacího tlaku. K výrobě světlometů se nejčastěji využívá termoplastů, které mají schopnost opakovaného tepelného tvarování. Jejich hlavní předností je nízká hmotnost, vysoká pevnost a nízké náklady na zpracování. Konkrétními typy používaných termoplastů jsou polypropylen a polykarbonát [42].

Vstřikovací cyklus začíná vpravením plastu ve formě granulátu do tavicí komory. K tomu slouží pracovní část stroje, kterou bývá šnek nebo píst. V této pracovní části stroje dochází k současnému posuvu materiálu a jeho tavení. Tavenina je následně vstříknuta do dutiny formy, která má negativní tvar výstřiku, tj. svým tvarem odpovídá tvaru finálního výrobku. Během formování výstřiku předává tavenina svoji teplotu formě, takže na konci procesu je finální výrobek zchladlý a ztuhlý. Forma se otevře a výstřik je vyhazovači odebrán. Proces je znázorněn na Obr. 25. Hlavní výhodou této technologie je možnost tvarově komplikovaných výrobků s vysokou přesností a kvalitou povrchu. Je vhodná zejména pro velkosériovou výrobu, protože výrobní čas je krátký [42].

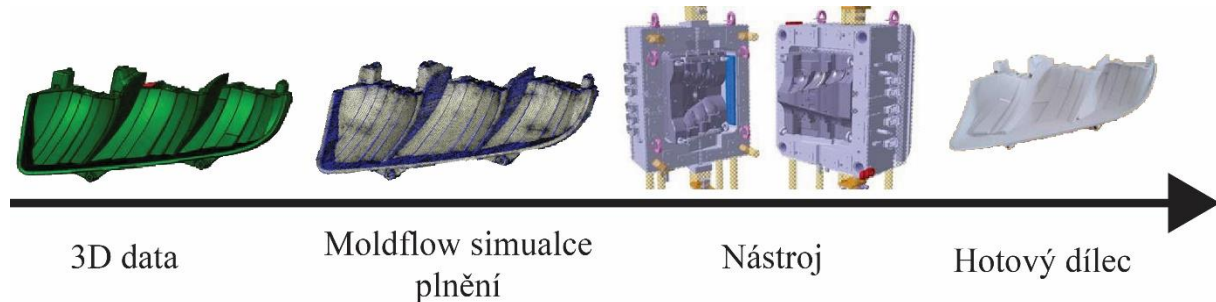
Finální výrobek může být ovlivněn celou řadou faktorů, od zvoleného materiálu, přes koncept formy, až po nastavení vlastních lisovacích parametrů a teplotu formy. Proces jako takový představuje komplexní rozsáhlou oblast. Využívá se zde masivně moldflow simulací za účelem návrhu nástroje a formy [42].



Obr. 25 Schéma vstřikovacího procesu termoplastů [43].

2.3.3 Výroba formy

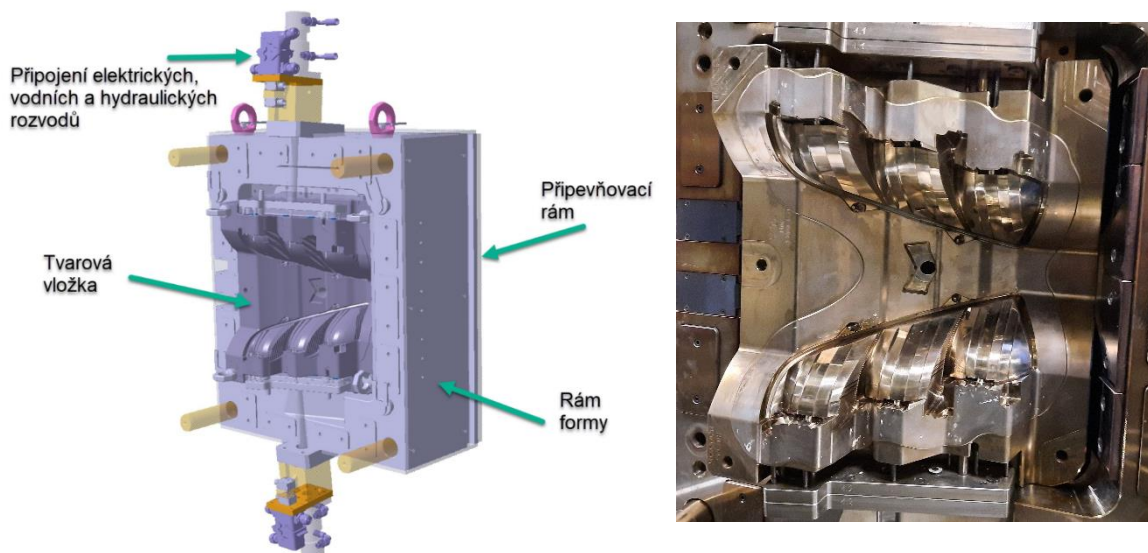
Řešená problematika vad optického výstupu reflektoru využívá a posuzuje defacto finální výrobek. Tento výrobek – reflektor – je ovšem „otiskem“ dutiny nástroje, a tedy případné korekce je nutno provádět nejprve na nástroji (konkrétně na jeho tvarových vložkách), následně dochází opět k posouzení dopadů korekcí na lisovaných dílcích.



Obr. 26 Schematické znázornění postupu výroby formy.

Pro reflektor, na kterém byla prováděna měření, je použit materiál ze skupiny termosetů, a jedná o materiál Lomix BMC 0035/P011. Důvodem pro preferování termosetů pro reflektory je především rozměrová stabilita materiálu (dílece) za teplotního zatížení, teplotní odolnost v kombinaci s cenou materiálu. Nevýhodou termosetů je nutnost lakování dílu před pokovením, což přináší z pohledu optických vlastností další rizika, jako např. tloušťka laku, ulpívání laku vlivem povrchového napětí na hranách optických fazet apod. U reflektorů na bázi termoplastů jsou obecně vyšší rizika spojená s deformací dílce za teplotního zatížení během provozu a souvisejícími dopady na distribuci světelného toku.

Nástroje pro dílce z reaktoplastových materiálů jsou navrhovány se smrštěním 0 % (dle materiálového listu 0,025 %), kdežto u termoplastových materiálů je používáno obvykle smrštění okolo 0,6 %. Prakticky to znamená, že u dílce z reaktoplastu je otisk tvarové vložky rozměrově shodný s dílcem, kdežto u termoplastů je tvarová vložka zvětšena o smrštění dílce.



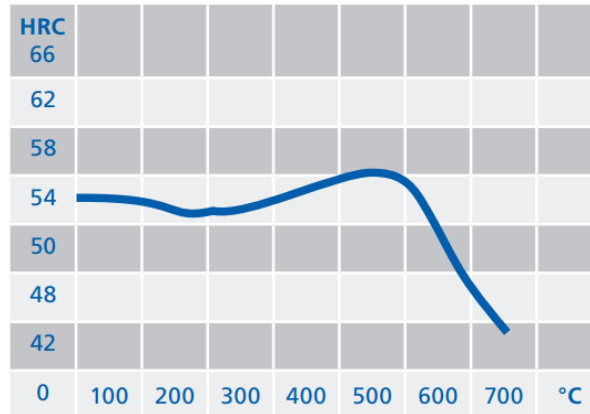
Obr. 27 Model vstřikovací formy (vlevo) a vstřikovací forma (vpravo).

Nástroj je řešen obvyklým způsobem, tedy je dělen na pevnou a pohyblivou část (jednokomponentní vstřikování). Každá polovina nástroje je řešena pomocí rámu formy, do kterého je připevněna tvarová vložka, a na zadní část rámu formy se připevňuje upevňovací

rám. Rám formy dále obsahuje topné patrony (v případě reaktoplastových materiálů), chladicí okruhy vody, hydraulické rozvody pro ovládací prvky (jako uzavírání odsávání vzduchu či pohyblivé segmenty pro formování „negativních“ geometrií) [44].

Tvarová vložka je z materiálu 1.2343ESU, jedná se o středně legovanou chrommolybdenovou nástrojovou ocel, která vykazuje velmi dobrou odolnost proti opotřebení za tepla, velmi dobrou tepelnou vodivost a umožňuje další povrchové úpravy jako nitridace, erodování, leptání, či velmi důležité zrcadlové leštění. Materiál 1.2343ESU zároveň umožňuje sekundární zpevnění při popouštění [44].

Na této tvarové vložce probíhají fyzické korekce na základě optického výstupu a požadovaných úprav distribuce světelného toku.



Obr. 28 Graf popouštěcí křivky sekundárního zpevnění.

2.3.4 Povrchové úpravy

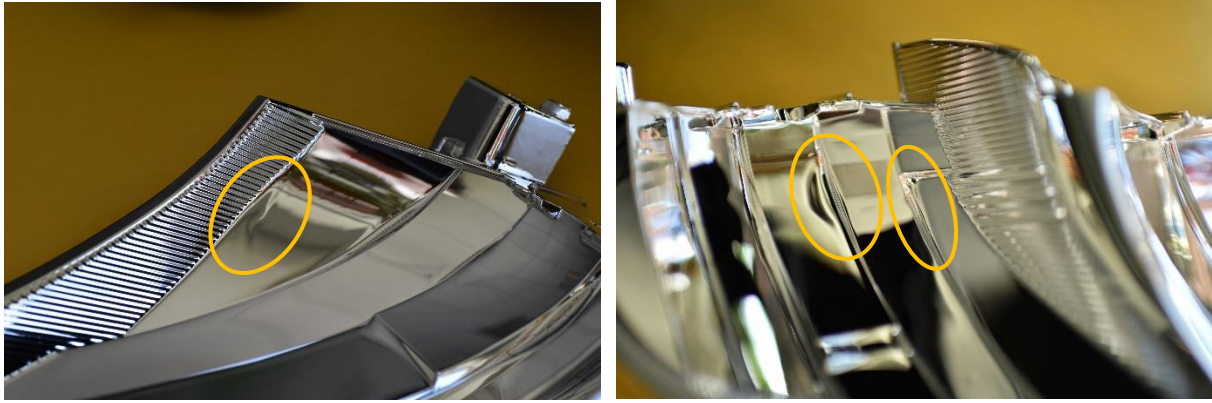
Důležitou součástí výroby automobilového světlometu jsou povrchové úpravy. Ty se dají rozdělit na technologické a estetické. Výrazem technologické povrchové úpravy je myšlena buď ochrana komponent, nebo technologický mezikrok pomocí dalších nanášených materiálových vrstev na dílce. Estetické povrchové úpravy pak zajišťují požadovaný vzhled dílců. Níže jsou uvedeny nejčastěji používané povrchové úpravy na světlometech.

Lakování

Lakování se používá zejména jako ochrana před UV zářením nebo jako technologický podklad před pokovováním. Typicky lakovaný dílec je čelní sklo světlometu, na které je z vnější strany aplikován vytvrditelný lak zajišťující ochranu před UV zářením a povětrnostními vlivy a zlepšující mechanickou odolnost skla. Z vnitřní strany krycího skla se nanáší lak proti zamlžování. Jeho vrstva má tloušťku 1–5 μm [45].

Další lakovaný komponent je BMC reflektor, kdy standardní BMC materiál vyžaduje mezivrstvu v podobě laku pro dosažení potřebné kvality následného pokovení. Ve světlometech se mohou vyskytovat i dílce, které jsou lakované z estetických důvodů, ty ale nebývají součástí optických soustav [45].

Nejčastějšími metodami nanášení laku jsou sprejování a lakování polevem. Jelikož se jedná o transparentní díl, musí být zachována čírost a propustnost dílce. Špatně nanesený lak, ať už na vnější nebo vnitřní straně krycího skla, je jedním z faktorů, které ovlivňují výslednou světelnou stopu. Proto je nutné dbát na jejich správné provedení a případně dokázat vyhodnotit kvalitu lakování komponent [45].



Obr. 29 Vady způsobené lakováním – ztečení vrstvy laku.

Pokovení

Pokovování, tedy proces, kdy nanášíme tenkou vrstvu kovu na plastový dílec světloometu, provádíme ze dvou důvodů. Duroplastové dílce, reflektory, pokovujeme za účelem získání vysoce odrazivé vrstvy, která bude sloužit jako opticky funkční plocha. Na termoplastové dílce, tedy různé designové prvky světloometu, nanášíme kov zejména kvůli estetickému hledisku. Vrstva kovu má tloušťku 50–100 nm, na ni je nanesena ještě organická vrstva zabráňující korozi naneseného kovu [46].

Barva pokovení závisí na použitém materiálu, kterým může být např. hliník, nerez nebo titan. Dopad na výslednou podobu má i tloušťka pokovené vrstvy. Celkové pokovení se může skládat až z pěti vrstev, přičemž každá vrstva odpovídá technologickému procesu, kterým byla vytvořena [46].

Pokovení musí splňovat požadavky na vysokou reflektivitu, přilnavost, odolnost proti korozi a zabarvení. Odolnost a kvalita pokovení se testuje pomocí testu přilnavosti, teplotních testů, testů za vysoké vlhkosti nebo testů v solné mlze aj. [46].

Ostatní povrchové úpravy

Součástí povrchových úprav výsledného světloometu je jeho označení. K tomu se využívá např. gravírování laserem nebo technologie zvané hot stamping, tedy horké ražení, aj.

Při procesu gravírování laserem dochází k odebrání materiálu laserovým paprskem. Výhodou této metody je vysoká trvanlivost a v automobilovém průmyslu se hojně využívá [47].

Hot stamping je technologie, ve které se využívá ohřáté raznice s motivem, která se za vysoké teploty otiskne přes speciální folii na produkt. Díky vysoké teplotě a tlaku se z folie oddělí vrstva, která přilne na potiskovanou plochu [48].

Povrchové úpravy jsou vyhodnocovány z hlediska vlivu na optický výstup.

2.3.5 Montáž

Kompletace světloometu probíhá na montážních linkách, jejichž součástí jsou technologické operace pro sestavení optických systémů, jejich kontrolní nasvícení a vyhodnocení zahrnující kontroly elektronických systémů. Montážní linka je spuštěna do sériové výroby (sériového taktu) na základě celé řady testů a optimalizací, a to jak na výrobní lince, tak i na prvních dílcích.

První vyrobené dílce, prototypy, prochází celou řadou testů. Zkoušky probíhají ve zkušebních komorách, kde je světlomet vystaven extrémním podmínkám. Jedná se o zkoušky, kde je testována mechanická odolnost, teplotní odolnost, odolnost proti vniknutí prachových částic či vody nebo jiné kapaliny a další. Doba testování se pohybuje v řádech hodin až dní. Pracovníci

provádějící tyto typy testů úzce spolupracují s optiky, kteří na prototypovém výrobku zkoumají správnost světelného výstupu, jakožto nejdůležitější úlohy světlometů.

Měření světelného výstupu probíhá ve světelných laboratořích. Světlomet se upevní do přípravku a světelná stopa je promítána na protilehlou stěnu. Parametry jako je vzdálenost stěny či obraz, který lze zkoumat, jsou dány normami. Více o těchto požadavcích v kapitole 3.

Výrobní linka má omezené možnosti nastavení optického výstupu, a proto je nutno pro výrobní fázi připravit rozměrově a kvalitativně veškeré komponenty během testovacích cyklů.

2.4 Vady vznikající při výrobě světlometů

Při výrobě světlometů dochází ke vzniku vad, které mají vliv na optický výstup. Maximální účinnost reflektivního systému z pohledu distribuce světelného toku se pohybuje kolem 60 %. Tuto účinnost dále zhoršují jakékoliv vady vzniklé při výrobě světlometu. Jedná se o ztráty způsobené z fyzikálního hlediska, tedy o ztráty na odrazových plochách, ztráty způsobené odrazivostí, absorpcí, případně přechodem mezi prostředími.

Dále se jedná o nepřesnosti, které vznikají v industriální fázi, tedy během výroby. Nejčastějšími vadami bývají:

- deformované dílce, které neodpovídají CAD modelům,
- nepřesnost sestavení optického systému,
- chybné usazení zdroje světla,
- nevhodný utahovací moment použitých šroubů,
- chybné pokovení,
- chybné lakování reflektoru nebo skla,
- kvalita zrcadlového lesku optických ploch nástroje,
- skladba optického systému s rizikem parazitních odlesků,
- aj.

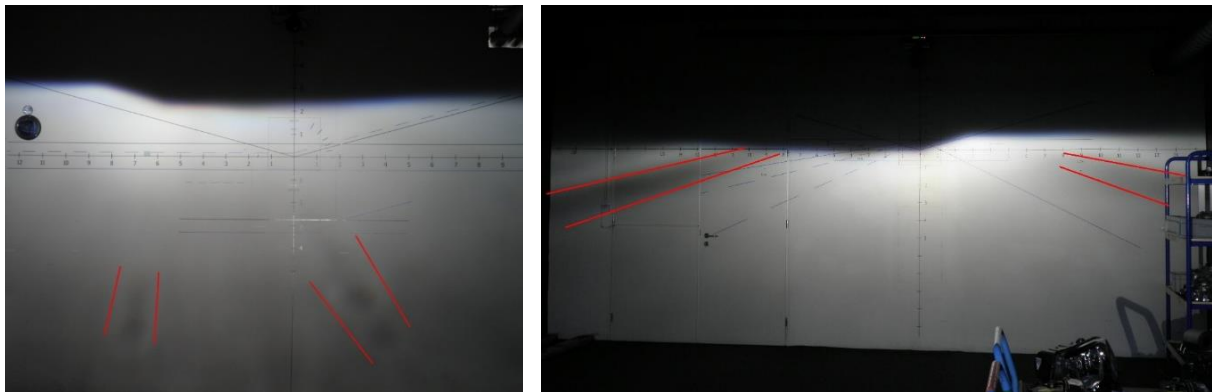
Kvantifikovat vliv na výstup lze pouze pro homologační požadavky, které představují intenzitu světelného toku v konkrétním měřicím bodě. Ostatní vizuální požadavky na světelný výstup a na světlomet nelze kvantifikovat, jsou předmětem subjektivního hodnocení zákazníka.

2.5 Vliv vad na optický výstup

Výslednou světelnou stopu světlometu ovlivňuje mnoho faktorů. Jedná se o ztráty světelného toku průchodem rozhraním mezi jednotlivými komponenty nebo o nepřesnosti ve směřování světelného toku. Zjednodušeně lze říct, že jsou posuzovány čtyři hlavní kategorie, a to homogenita, intenzita, barva a rozložení světelného výstupu. Za předpokladu, že ideální 3D model světlometu je navržen správně (bez optických vad), pak původci vad budou pocházet z výrobního procesu, což zahrnuje nepřesnosti obrábění lisovacích nástrojů, dále nepřesnosti spojené s technologií lisování plastů a nepřesnosti spojené s navazujícími technologickými postupy jako lakování či mechanické spojování s dalšími komponenty.

2.5.1 Homogenita a rozložení světelného výstupu

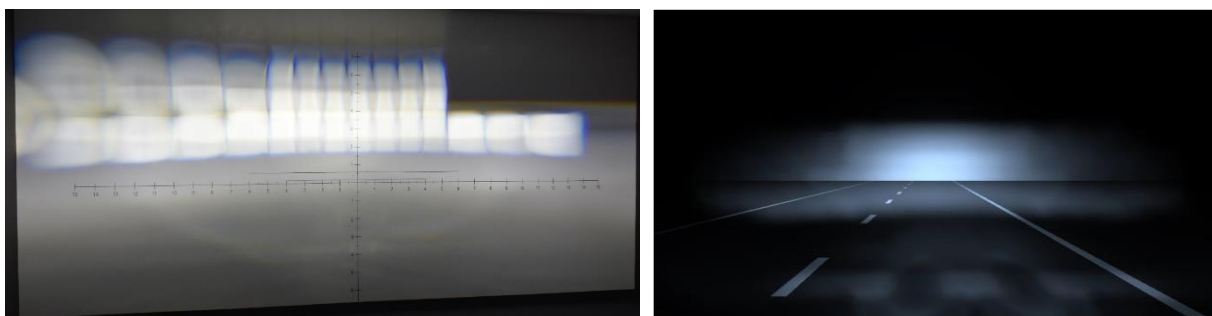
Světelný obraz by měl být v požadované oblasti homogenní (viz kapitola 3.3), při nedodržení homogenity dochází ke špatné koncentraci a únavě řidiče. Příčiny způsobující nehomogenní rozložení světelného toku se prakticky vždy liší dle konkrétního optického konceptu a nelze je jednoduše paušalizovat. Světelný výstup je narušený a vznikají v něm nežádoucí tmavá místa. Na Obr. 30 lze vidět příklad takové nehomogenity v podobě tmavých teček a pruhů. Jedná se o světelnou stopu z pohledu řidiče, vlevo pro levostranný provoz, vpravo pro pravostranný provoz.



Obr. 30 Nehomogenita světelného výstupu v podobě teček (vlevo) a pruhů (vpravo).

Problematika správného rozložení světelného toku se pojí zejména se systémy využívajícími více zdrojů světla, které je kombinováno do výsledného světelného výstupu. Příkladem je systém Matrix, který umožňuje osvětlit pouze vybrané segmenty osvětlovaného prostoru a zároveň tyto segmenty pomyslně spojit s další osvětlenou plochou – požadavkem je správné rozložení jednotlivých segmentů a jejich návaznost, což je v praxi na prvotních dílcích častý problém vlivem výrobních tolerancí před optimalizací sestav komponent.

Na Obr. 31 vlevo je zobrazen stav před optimalizací systému, vpravo simulace, jak by měl světelný výstup vypadat.



Obr. 31 Optický systém před (vlevo) a po (vpravo) optimalizaci.

V případě Matrix segmentů může být požadavek na homogenitu osvětlované oblasti doplněn o další požadavek, tzv. ostrost přechodu/ohraničení každého segmentu, tyto požadavky definuje zákazník (automobilka) již ve fázi tzv. „lastenheft“ (specifikace).

Hodnocení homogenity světelného toku se provádí především subjektivně v rámci měření ve světelném kanálu nebo v rámci tzv. „nočních jízd“ u zákazníka.

2.5.2 Intenzita a barva světelného výstupu

Světelný výstup je v první řadě ovlivněn volbou světelného zdroje. Na obrázcích níže je ukázáno měření s nekvalitními zdroji světla. Na první pohled lze vidět, že zdroj neodpovídá požadovaným parametrům, konkrétně barvě světelného výstupu. Žluté i modré zbarvení jsou nepřijatelné pro homologaci, proto není zapotřebí další měření jakýchkoliv světelných veličin.



Obr. 32 Nevhodná barva světelného zdroje.

Intenzita světelného toku je posuzována v luxech a na měřicí stěně by nemělo docházet k výrazným skokovým rozdílům v intenzitě světelného toku. Mimo měřicí homologační body je tato intenzita posuzována subjektivně.

Intenzita světelného toku také souvisí s požadavky automobilky na „výkon“ světelného výstupu dle konkrétní třídy vozidla. Často jsou požadavky na intenzitu světlometu definovány s ohledem na obchodní koncept, a tedy je vyžadován vizuální rozdíl z pohledu zákazníka mezi základní verzí světlometu a příplatkovou verzí světlometu. V dřívějších dobách spadajících do éry halogenových a xenonových výbojek byl tento rozdíl markantní, ale s nástupem LED systémů vznikla nová situace v podobě možnosti shodného světelného výkonu jak s reflektorovou verzí, tak i s projekční verzí světlometu. Pokud by zde zákazník subjektivně nevnímal jakýkoliv výkonový posun v intenzitě světelného výstupu u příplatkové verze světlometu, pak nemá důvod si za něj připlácet – v těchto případech může být požadováno snížení intenzity světelného výstupu u základní verze světlometu (u LED systémů lze řešit snížením napájecího proudu).

3 HOMOLOGAČNÍ A ZÁKAZNICKÉ POŽADAVKY NA SVĚTLOMETY

Aby byl světlomet schválen a mohl být instalován v automobilech, musí být homologován, tedy splňovat dané normy. Tyto právní předpisy se liší pro světlometry automobilů používaných v Evropě (a částečně v Asii), Spojených státech amerických, Kanadě a jiných amerických zemích, a v Číně. Každá homologace má svoji zkratku:

- ECE (EHK) – pro Evropu a částečně Asii,
- SAE – pro Spojené státy americké, Kanadu a další americké země,
- CCC – pro Čínu.

Z důvodů rozsáhlých informací v jednotlivých normách se diplomová práce zabývá pouze homologacemi ECE, tedy pro evropské země.

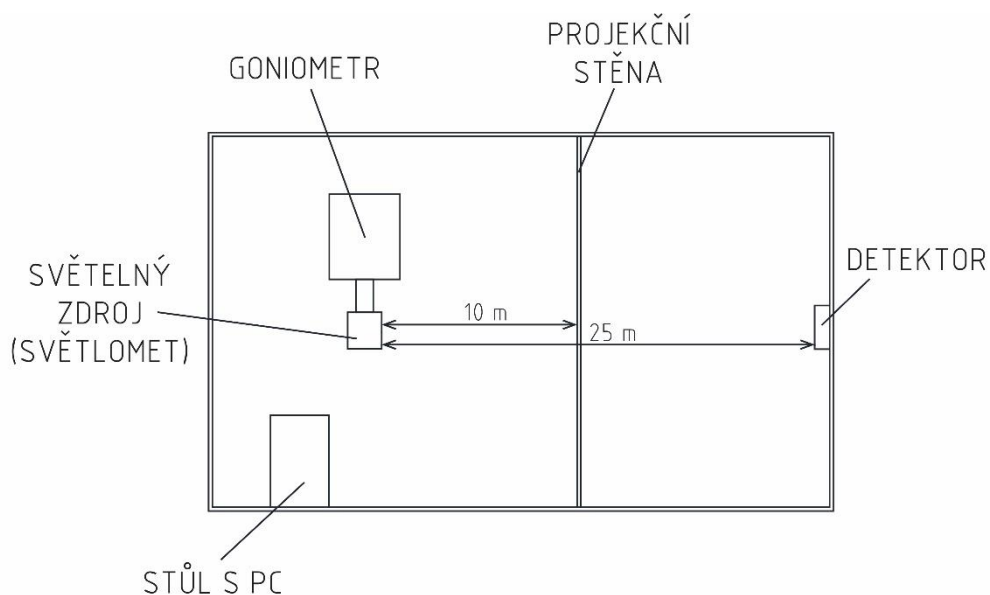
Homologované výrobky jsou značeny homologační značkou, kterou představuje písmeno E v kroužku s číslem, které je přiřazeno každé ze zemí. Pro Českou republiku je to číslo 8 (E1 – Německo, E2 – Francie, E3 – Itálie atd.) [49].

V České republice podléhá schválení použití motorových vozidel a jejich příslušenství v provozu zákonu č. 56/2001 Sb. Pro jeho uznání je zapotřebí předložit danou homologaci, kterou může provádět schválená laboratoř [50].

3.1 Světelná laboratoř

Měření světelného výstupu probíhá ve světelných laboratořích, které musí být certifikovány. Světelná laboratoř je tmavá místnost bez oken, ve které se nachází projekční stěna, goniometr a počítač s instalovaným softwarem na zpracování naměřených dat. Projekční stěna slouží k vizuální kontrole světelného výstupu. V místnosti se dále nachází detektor, který zaznamenává světelný výstup a komunikuje s instalovaným softwarem, který následně vyhodnocuje jednotlivé parametry.

Projekční stěna, která slouží k vizuálnímu odečítání správnosti světelného výstupu, je umístěná 10 metrů před světlometem v pravých úhlech k ose H-V a detektor, který snímá dané světlo, je umístěný 25 metrů před světelným zdrojem. Rozměr stěny musí být dostatečný k tomu,

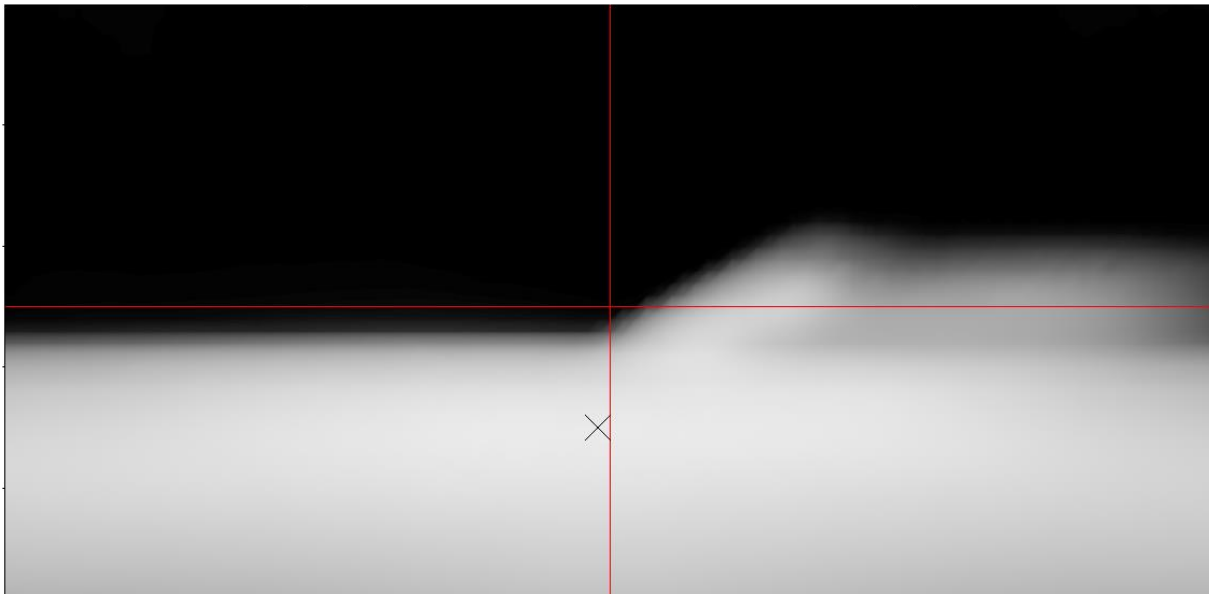


Obr. 33 Schéma měřicí světelné laboratoře.

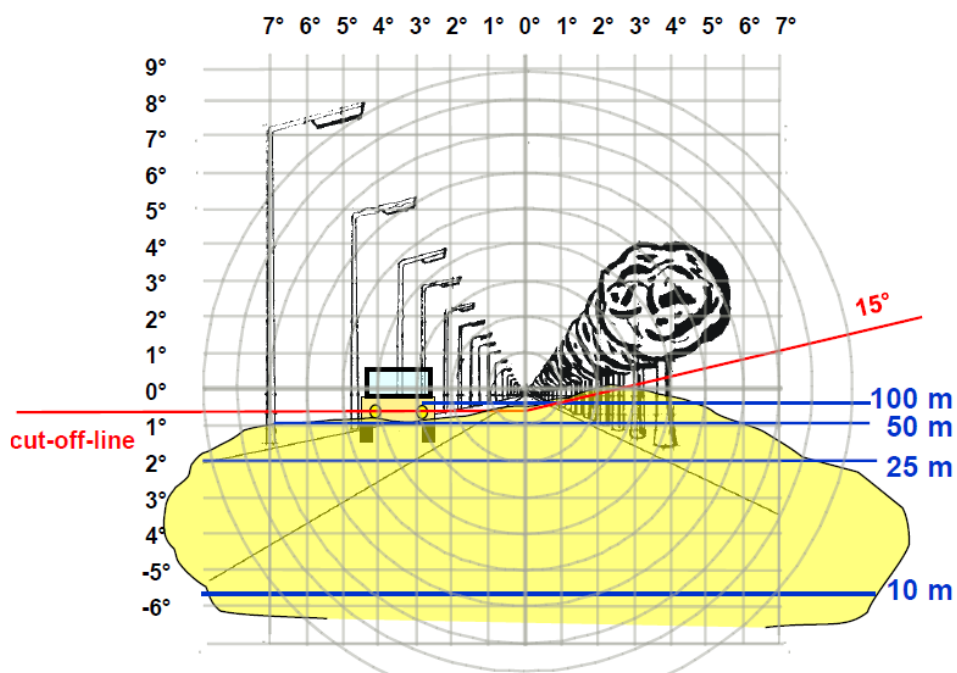
abychom byli schopni zkoumat hodnoty potkávacího světla aspoň o 5° na obě strany kolem V-V přímky.

Požadovaný obraz na měřicí stěně je zobrazen na Obr. 34. V levé části je vyzařované světlo ukončeno horizontální linií (přímka H-H), aby nedocházelo k oslňování protijedoucího vozidla. V pravé části světelný výstup stoupá pod úhlem 15° , dochází tedy k přehlednému osvětlení krajnic vozovky, případně značek umístěných u vozovky. Pro linii ohraničující světelný výstup se používá termín cut-off-line (COL). Zmíněný výstup platí pro pravostranný provoz, pro levostranný provoz je situace zrcadlově otočena.

Znázornění situace s protijedoucím vozidlem je na Obr. 35, modré linie ukazují polohu COL v dané vzdálenosti protijedoucího vozidla.



Obr. 34 Požadovaný obraz na měřicí stěně [13].



Obr. 35 Znázornění COL v provozu [13].

3.2 Goniometr

Základní charakteristika světelného výstupu je popsána rozložením svítivosti. K měření tohoto rozložení slouží goniometr [51].

Obecně je goniometr zařízení sloužící k měření úhlu nebo k natáčení objektu do dané úhlové polohy. Využití nachází v mnoha aplikacích, od medicíny přes geodézii až po měření světelných výstupů automobilového osvětlení [52].

Goniometr se skládá z mechanické části umožňující natáčení světlometu, který je pevně připevněn do přípravku tak, aby byla zafixovaná jeho poloha. Natáčení je možné v horizontálním i vertikálním směru [53].

V určité vzdálenosti od přístroje je umístěno světelné čidlo zaznamenávající světelný výstup. Vyhodnocují se následující parametry:

- prostorové rozložení svítivosti (cd),
- celkový světelný tok (lm),
- vyzařovací úhel ($^{\circ}$),
- měrný světelný výkon světelného zdroje (lm/W),
- další parametry podle konkrétních specifických požadavků zákazníka [51, 53].

Jako výsledek měření je vydáván protokol o akreditované zkoušce obsahujícím výsledná data [53].



Obr. 36 Goniometr Instrument Systems AMS 5000 [53].

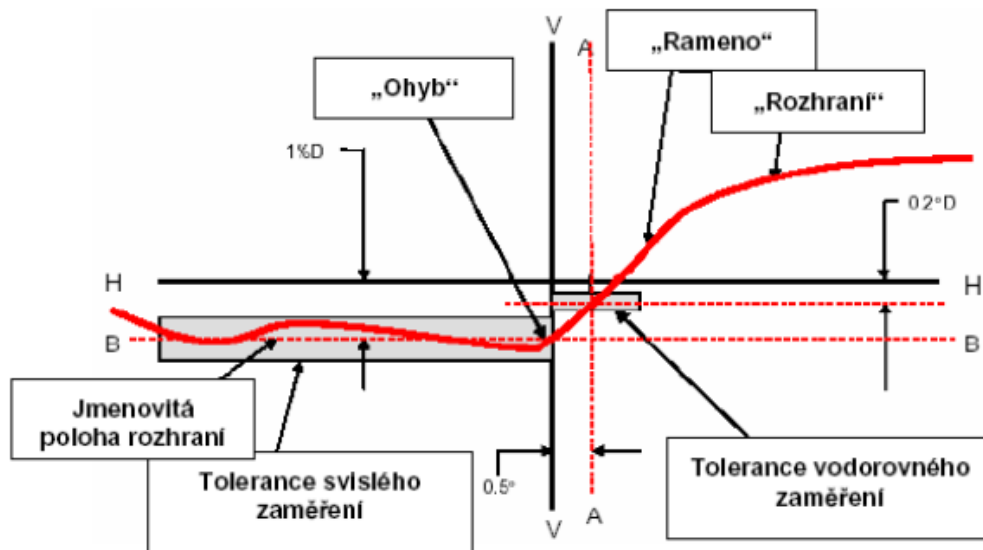
3.3 Homologační parametry

„Rozhraní“ je definováno rovnou vodorovnou částí směrem vlevo a zdviženou částí „ohyb-rameno“ směrem vpravo pro pravostranný provoz. Pro levostranný provoz analogicky. V obou případech musí mít část „ohyb-rameno“ ostrý okraj [55].

Parametry pro svislé nastavení pro pravostranný provoz: vodorovná část „rozhraní“ se z přímkou B posune do jmenovité polohy, tj. 1 % ($0,57^{\circ}$) pod přímkou H-H [55].

Parametry pro vodorovné nastavení pro pravostranný provoz: poloha vodorovné části „ohyb-rameno“ se posune následovně:

- nad přímkou $0,2^\circ D$ „rameno“ nesmí přesahovat přímku A vlevo,
- na přímce $0,2^\circ D$ nebo pod ní „rameno“ by mělo překročit přímku A,
- „ohyb“ ramene je umístěn uvnitř $\pm 0,5^\circ$ vlevo nebo vpravo od přímky V-V [55].



Obr. 37 Znárodnění požadovaných parametrů v rovině projekční stěny [54].

Barva vyzařovaného světla musí být bílá. Každý zákazník má určenou konkrétní oblast v barevném spektru, kde se musí nacházet zkušební body [55].

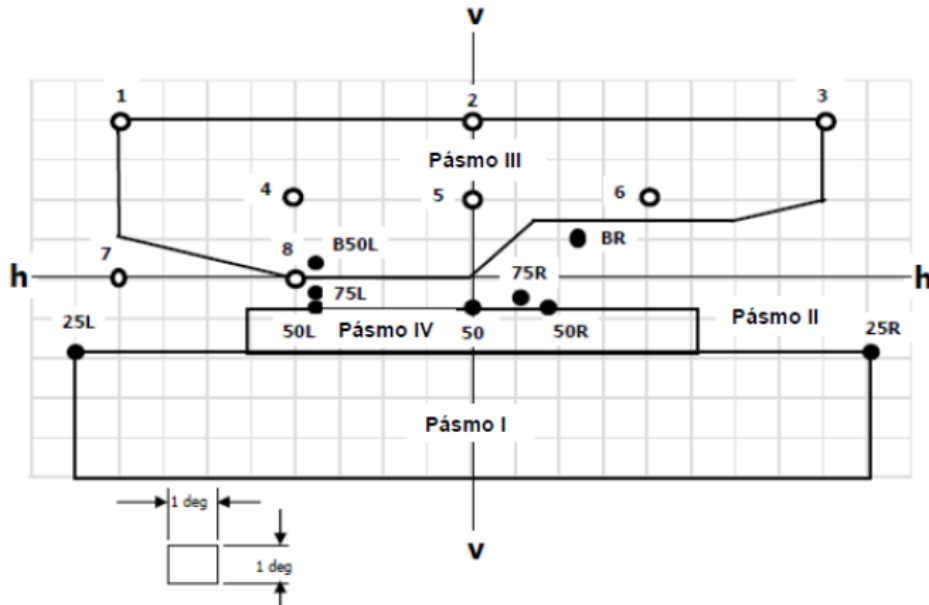
Pokud se jedná o světlomet, který slouží buď pouze pro potkávací, nebo jak pro potkávací, tak pro dálkové funkce, musí být splněny hodnoty zkušebních bodů, které jsou uvedeny v Tab. 2. Pozice jednotlivých zkušebních bodů je zobrazena na Obr. 38.

Vysvětlení zkratk použitých pro zkušební body:

- L – bod se nachází vlevo od přímky V-V,
- R – bod se nachází vpravo od přímky V-V,
- U – bod se nachází nad přímkou H-H,
- D – bod nebo pásmo se nacházejí pod přímkou H-H [55].

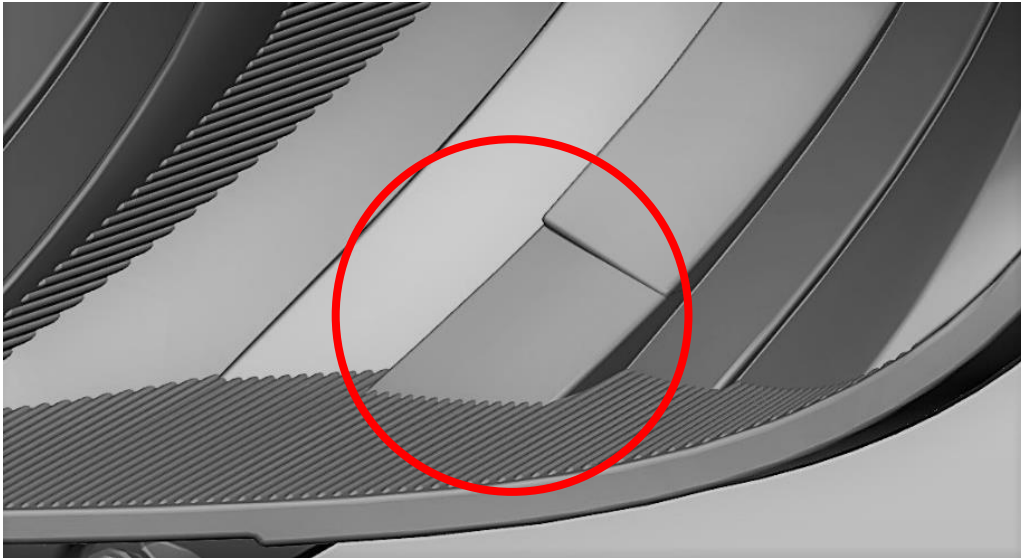
Tab. 2 Předepsané hodnoty zkušebních bodů [55].

Světlomety pro pravostranný provoz (RHT) ^{**/}		Světlomet třídy A		Světlomet třídy B	
Označení zkušebního bodu	Úhlové souřadnice zkušebního bodu (°)	Požadovaná svítivost (cd)		Požadovaná svítivost (cd)	
		Max	Min	Max	Min
B 50 L	0.57U, 3.43L	350		350	
BR	1.0 U, 2.5 R	1 750		1 750	
75 R	0.57D, 1.15R		5 100		10 100
75 L	0.57D, 3.43L	10 600		10 600	
50 L	0.86D, 3.43L	13 200 ***/		13 200 ***/	
50 R	0.86D, 1.72R		5100		10100
50 V	0.86D, 0				5 100
25 L	1.72D, 9.0 L		1 250		1 700
25 R	1.72D, 9.0 R		1 250		1 700
Libovolný bod v pásmu III (ohraničený následujícími souřadnicemi ve stupních) 8L 8L 8R 8R 6R 1.5R V-V 4L 1U 4U 4U 2U 1.5U 1.5U H-H H-H		625		625	
Libovolný bod v pásmu IV (0.86D až 1.72D, 5.15L až 5.15R)			1 700		2 500
Libovolný bod v pásmu I (1.72D až 4D, 9L až 9R)		17 600		< 2l */	



Obr. 38 Zkušební body [55].

Světelný výstup v pásmu III (Obr. 38) slouží pro nasvícení dopravních značek vysoko nad úrovní vozovky, tedy např. na dálnicích. Pro toto nasvícení je na každém reflektorovém systému vytvořena fazeta speciálně pro tuto funkci. Příklad takové fazety je vyobrazený na detailním snímku na Obr. 39.



Obr. 39 Detail fazety tvořící světlo v pásmu III.

3.4 Zákaznické požadavky

Světlomet je součástí předního osvětlení vozidla, přičemž snahy prakticky všech designerů automobilek míří na designové využití tohoto čelního osvětlení za účely jako „identifikace značky“ či jakýsi „designový podpis“, případně se jedná o různé projekce za účelem zvýšení bezpečnosti. V řadě designových studií automobilů je tento „designový podpis“ výraznější než samotné světelné funkce vozidla, což je v rozporu s homologačními požadavky. Každá světelná funkce předního osvětlení musí spadat do jedné z homologačních skupin, a tedy nelze jen tak umístit nějaké světlo na přední část vozidla. Součástí návrhu světlometu je tedy jeho optimalizace za účelem maximální možné integrace dalších vizuálních funkcí a efektů.

Ukázka takové situace je např. u vozu Mercedes V297 (EQS) (Obr. 40), kde zákazník požadoval designový „lightbar“, tedy světlovod spojující obě přední světlomety, a další malá světla v podobě zmenšených log automobilky. Jedná se sice o designové prvky, nicméně i ty tvoří část světelného výstupu, proto při homologacích muselo být počítáno i se světlem od nich.



Obr. 40 Světloved vozidla Mercedes V297 (EQS).

Další ukázkou je světlomet vozu Mercedes W223 (Obr. 41), kde se v blízkosti hlavních zdrojů světla nachází velké množství designových prvků.



Obr. 41 Světlomet vozu Mercedes W223 [56].

Zákaznické požadavky vycházejí z designového konceptu a ze strany zákazníka je vytvářen tlak na jejich maximální splnění mj. formou existence zákaznických milníků pro uvolnění designu.

Samostatnou kapitolu pak tvoří nový trend v podobě osvětlení čelní masky vozidla. Toto osvětlení má především designový důvod, zároveň ovšem pro funkcionalitu během provozu vozidla musí tento osvětlovací systém splňovat homologační požadavky.



Obr. 42 Ukázka osvětlení čelní masky vozidla značky Audi.

Výše uvedené obrázky ukazují jeden z konceptů automobilky Audi. Takovéto systémy vyžadují několik stovek LED čipů při aktuální technologické úrovni, případně do budoucna mohou existovat jiné technologie v podobě OLED panelů apod.

4 SHRNUÍ TEORETICKÉ ČÁSTI

Teoretická část popisuje problematiku světlometů především z oblasti industriální fáze náběhu výroby, kdy jsou řešeny výrobní vady prvních dílců a jejich korekce za účelem splnění homologačních požadavků a také vizuálních požadavků zákazníka. Splnění těchto požadavků pak umožňuje schválení zákazníka pro spuštění sériové výroby. A právě fáze optimalizace světlometu z pohledu optického výstupu před zahájením sériové výroby je předmětem této práce.

Teoretická část s ohledem na rozsah problematiky zmiňuje okrajově návrh světlometu, a stejně tak je okrajově zmíněn návrh a provedení lisovací formy včetně přehledu materiálů. Předmětem práce je řešení vad světelného výstupu světlometu, tyto vady jsou v teoretické části popsány, přičemž tyto vady nejčastěji souvisejí především s technologií výroby plastových dílů pomocí vstřikování taveniny do dutiny formy spolu s vlivem nepřesností na samotných lisovacích formách, dále je zde vliv výrobních nepřesností v závislostech na jednotlivých technologických postupech jako např. technologie lakování apod., a vliv tolerancí výsledné sestavy a technologického postupu montáže (např. vnášení napětí a souvisejících deformací dílců vlivem šroubování, teplotních deformací apod.).

V navazující praktické části je pak řešen konkrétní vybraný světlomet nacházející se v industriální fázi optimalizace dílců a optimalizace výrobního postupu.

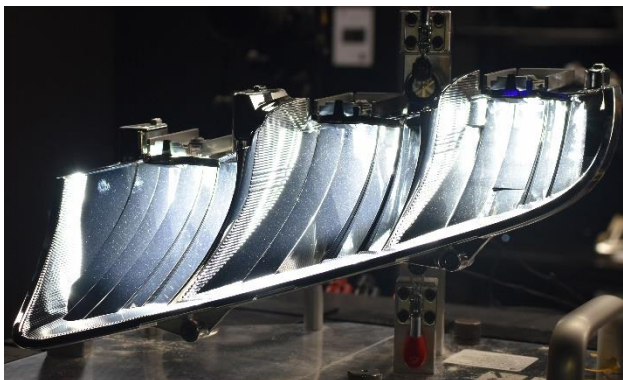
5 MĚŘENÍ VLIVU VÝROBNÍCH NEPŘESNOSTÍ NA VÝSLEDNOU SVĚTELNOU STOPU

Každému uvolnění světloometu do výroby předchází dlouhý vývoj, který trvá zpravidla dva roky. Součástí vývojové fáze je optimalizace dílců, kdy výrobou lisovacího nástroje je možno produkovat první dílce, a ty je nutno podrobit optimalizaci a korekcím pro požadovaný vzhled a funkcionalitu. Tato optimalizace se týká nejvíce vzhledových dílců a dílců optických soustav. Většinu fází výroby předchází počítačové simulace představující virtuální testování, díky kterým výrobce zamezuje finančním ztrátám způsobeným chybně vyrobenými díly a následnou nutností korekcí v již hotových lisovacích nástrojích. Vzhledem k tolerancím ve výrobě nelze vše řešit pomocí simulací, naopak rozměrově a tvarově sensitivní prvky je nutno prakticky vždy optimalizovat.

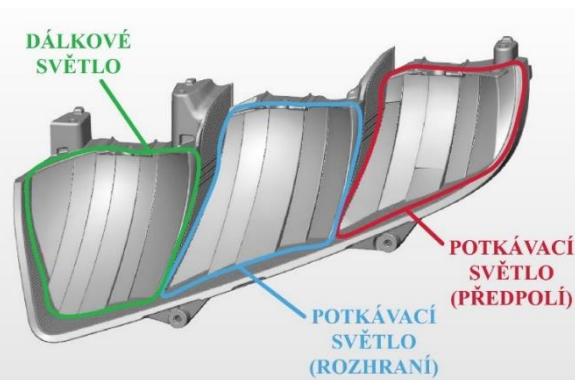
Pro testování vlivu výrobních nepřesností na výslednou světelnou stopu automobilového světloometu pro tuto diplomovou práci byla vybrána reflektorová verze světloometu vozidla z aktuálně připravované produkce – vozidlo střední/vyšší třídy. Tyto reflektorové systémy se používají u základních verzí světlometů prakticky u všech výrobců automobilů (Škoda, Volkswagen, Audi, Mercedes), jedná se obvykle o světlomet osazený reflektorem tvořeným většinou třemi nebo čtyřmi komorami dle optického konceptu s rozdílnými výkony optického zdroje.

5.1 Popis vybraného světloometu

Vybraný světlomet se nachází ve fázi ladění výroby a optimalizace dílů (viz kapitola 2.3), jedná se o proces korigování optického výstupu jednotlivých funkcí a následně o optické korekce celé soustavy pro splnění homologačních (výstup a rozložení světelného toku) a zákaznických požadavků (zákaznické požadavky kombinují homologační požadavky, vizuální požadavky a další požadavky jako intenzita světelného výstupu apod.).



Obr. 43 Měřený reflektor.



Obr. 44 Funkce jednotlivých komor.

Měření i simulace budou probíhat na levém světlometu určeném pro pravostranný provoz (anglicky *right hand traffic* – RHT/*left hand traffic* – LHT). Důvodem pro tuto redukci použitých verzí světloometu je zmenšení rozsahu potřebných měření (na přibližně 4 korekční smyčky je nutno vždy opakovat kompletní sérii měření).

Předmětný světlomet sestává ze tří komor. Dvě z komor slouží k nasvícení potkávacího světla (z anglického *low beam* – LB), třetí komora pak přidává nasvícení dálkového světla (z anglického *high beam* – HB) (Obr. 44). Prostřední komora, běžně nazývaná jako „low beam spot“ (klín/rozhraní), vytváří základní obraz rozhraní, kdy je zřetelně vidět „ohyb“ a „rameno“, které jsou popsány v kapitole 3.2. Komora „low beam base“, předpolí tlumeného světla, vytváří

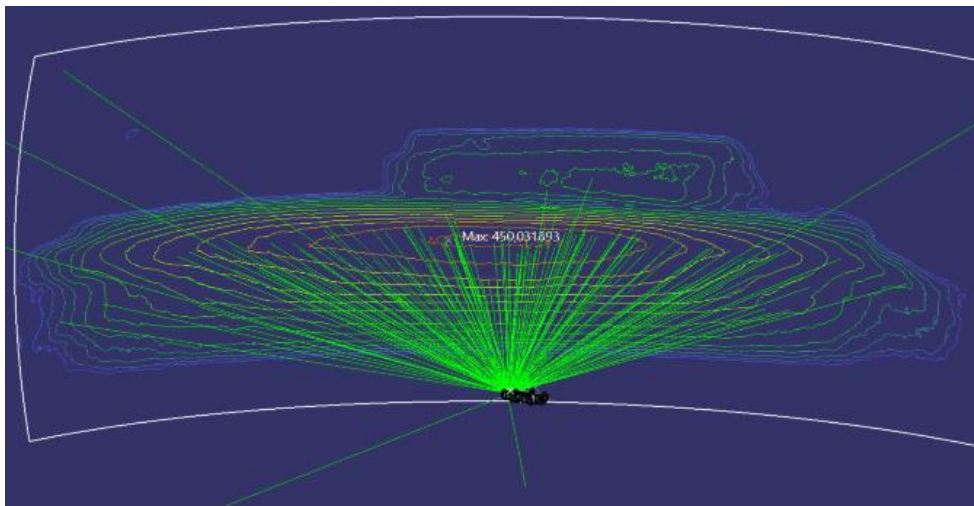
přisvícení tohoto systému, hlavně světlo v pásmu III, které slouží pro nasvícení dopravních značek umístěných vysoko nad úrovní vozovky, tedy např. na dálnicích.

5.2 Návrh a simulace optického výstupu

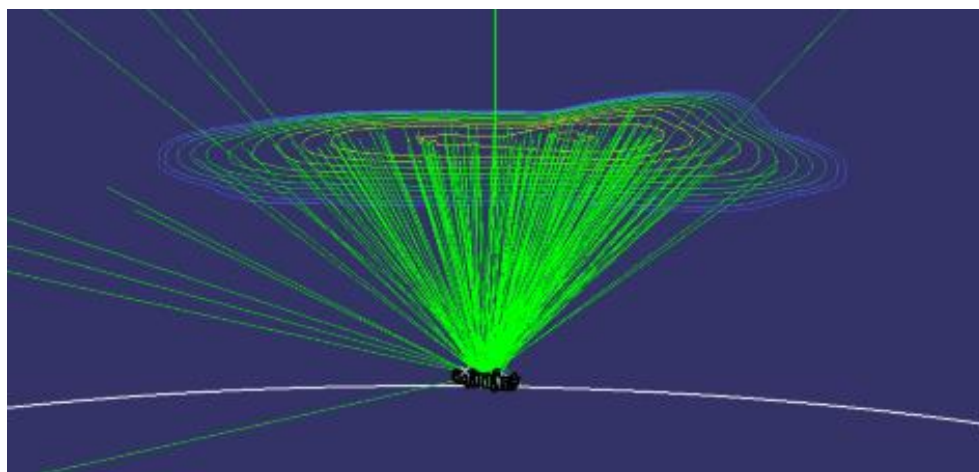
Simulace optického výstupu jsou jedním z hlavních hodnotících dokumentů, kdy tyto simulované optické výstupy jsou schváleny zákazníkem (automobilkou), a na základě jejich schválení je spuštěna výroba nástroje.

Jednotlivé fazety tvořící reflektorový systém jsou navrženy tak, aby výsledná světelná stopa splňovala požadavky homologací. Návrh takových fazet je náročný proces, který trvá v řádech měsíců. Každá fazeta má jinou velikost plochy a jiné zakřivení. Zdroje jsou usazené nad jednotlivými komorami a vyzařují světelný tok, který je reflektory odražen, čímž vzniká výsledná světelná stopa automobilového světlometu.

Software používaný pro návrhy optických systémů má název XCAL a jedná se o specializovaný software využívaný pouze ve společnosti Marelli Automotive Lighting. Software využívá princip trasování paprsků. Na obrázcích níže je ukázka výstupů ze softwaru XCAL pro vybraný světlomet.

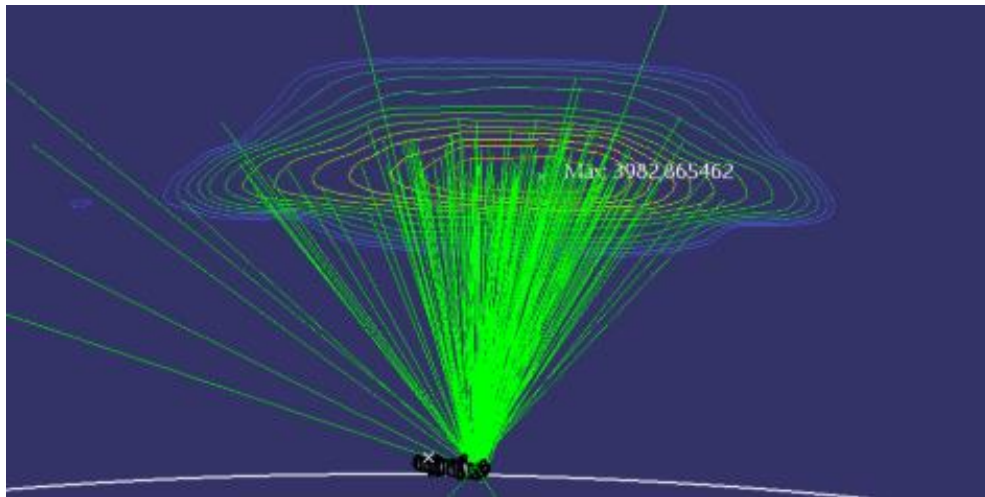


Obr. 45 Světelná stopa z LB base (předpolí).



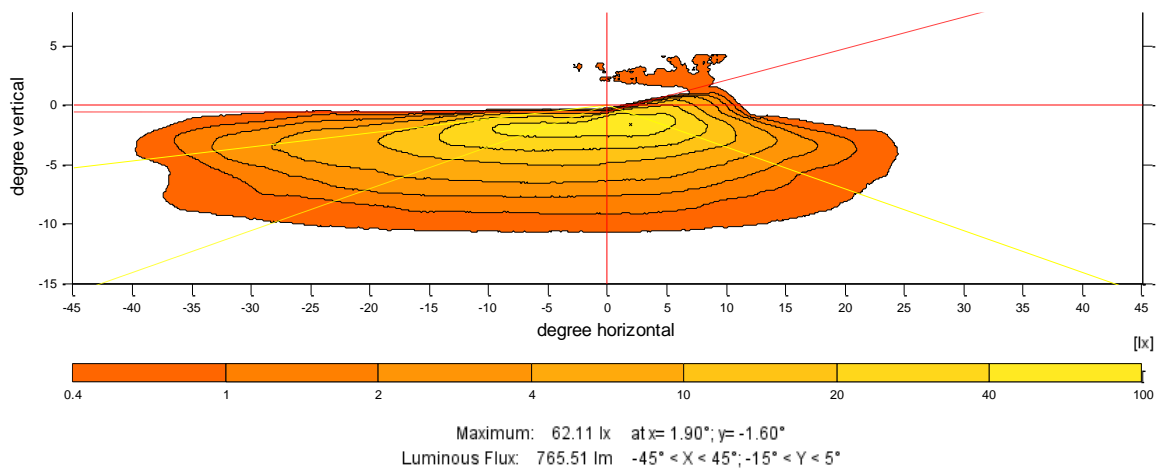
Obr. 46 Světelná stopa z LB spot (rozhraní).

Výše dva uvedené obrázky představují simulaci dvou komor reflektoru, jejich složením je tvořeno potkávací světlo (low beam).

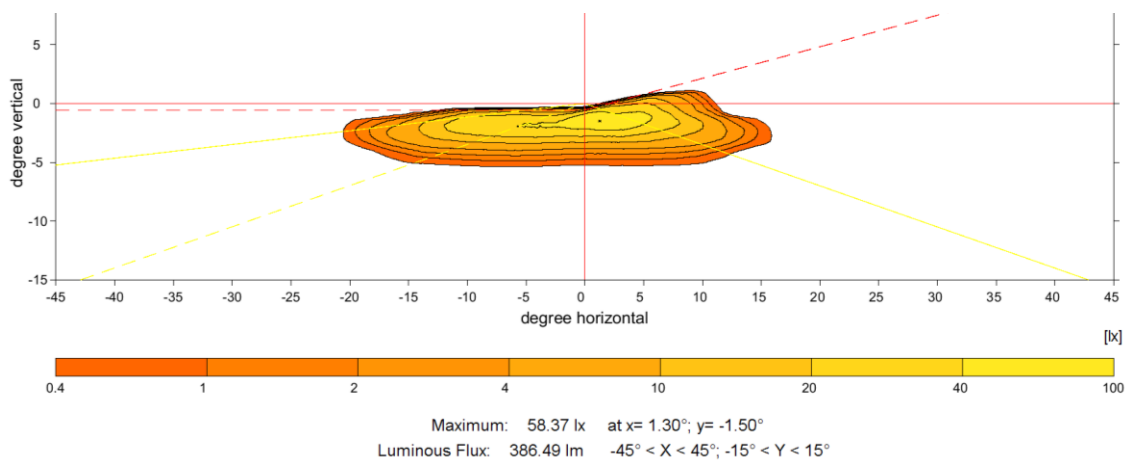


Obr. 47 Výsledná světelná stopa z HB.

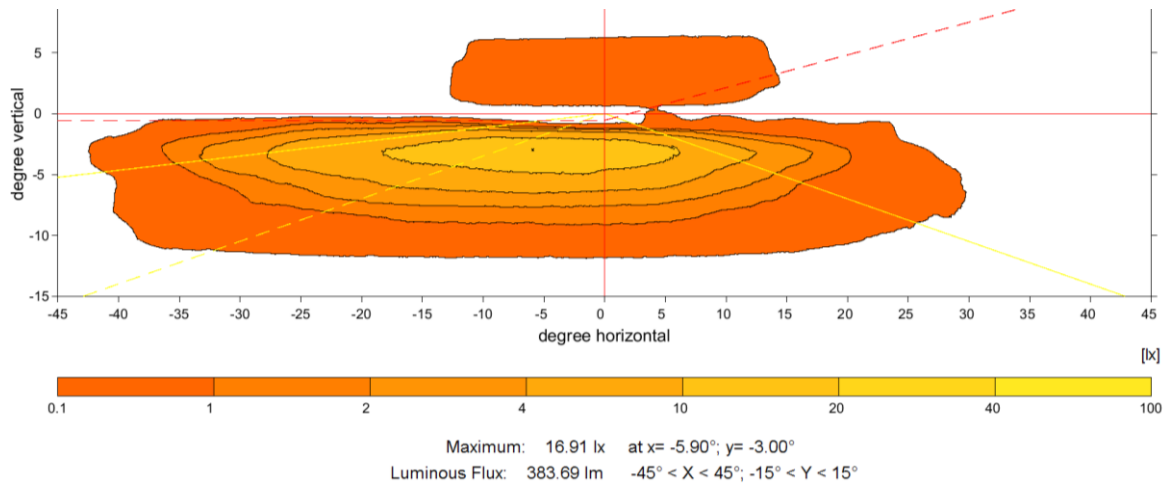
Pro reálné vyhodnocení požadovaných parametrů se používá izometrického zobrazení, kde lze na základě legendy určit velikost intenzity osvětlení. Na Obr. 48 je zobrazena simulace potkávacího světla. Na tomto obrázku část světelného výstupu v pásmu III není zcela patrná, protože světelná intenzita dané oblasti je nízká. Obr. 49 zobrazuje simulaci potkávacího světla – rozhraní. Obr. 50 potom zobrazuje simulaci potkávacího světla – předpolí. Na této simulaci je zmiňované světlo v pásmu III zřetelnější z důvodu posunutí spodní hranice hodnot zobrazení (z 0,4 lx na 0,1 lx). Obr. 51 představuje simulaci dálkového světla.



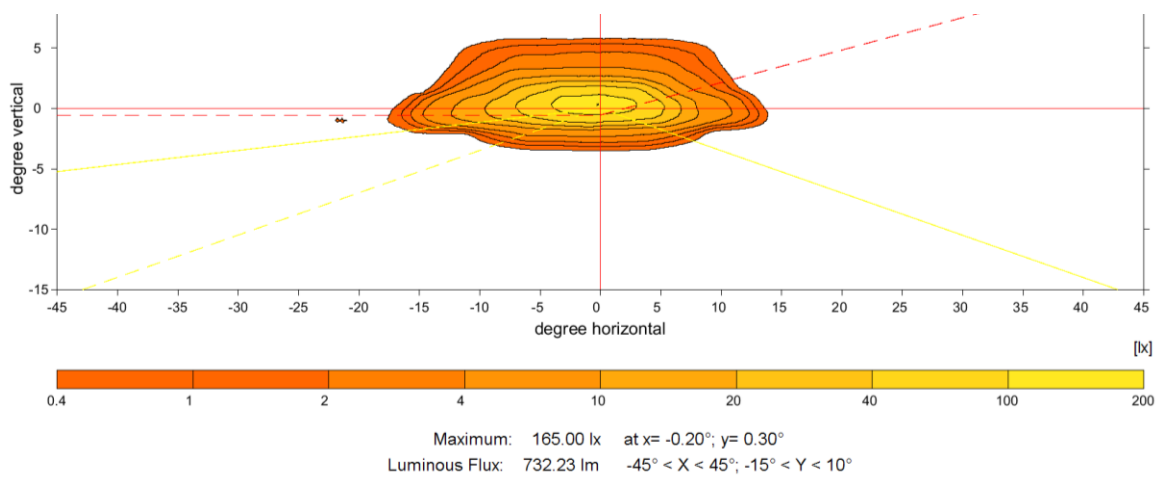
Obr. 48 Simulace světelného výstupu z komory pro potkávací světlo – předpolí a rozhraní.



Obr. 49 Simulace světelného výstupu z komory potkávací světlo (pouze rozhraní).

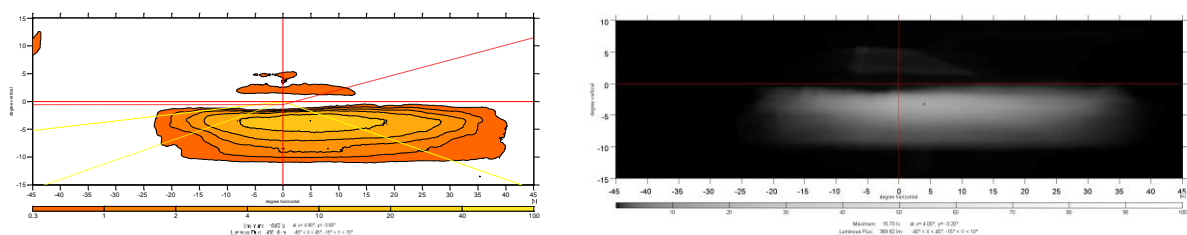


Obr. 50 Simulace světelného výstupu potkávacího světla (pouze předpolí).



Obr. 51 Simulace světelného výstupu z komory dálkové světlo.

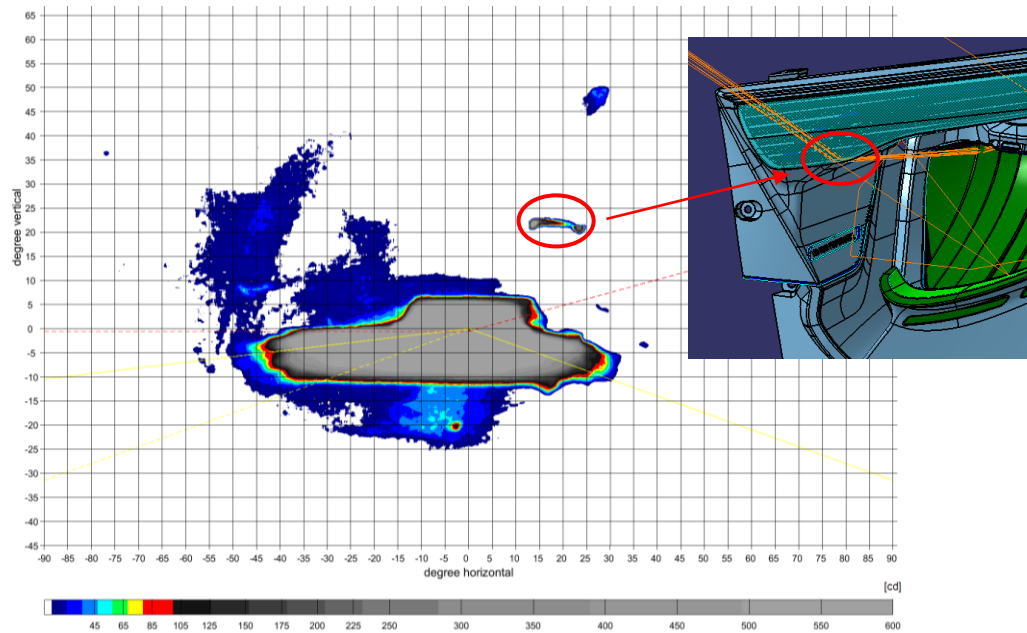
Výše uvedené izometrické zobrazení bude používáno pro srovnání simulace versus reálný stav, a to včetně porovnání skutečného optického výstupu. Zároveň je možno provádět analýzu pomocí 3D skenu skutečného dílce a následnou „re-simulací“ (porovnání simulace CAD dat a simulace skenu skutečného dílce). Hlavní princip porovnávací metody je naznačen níže.



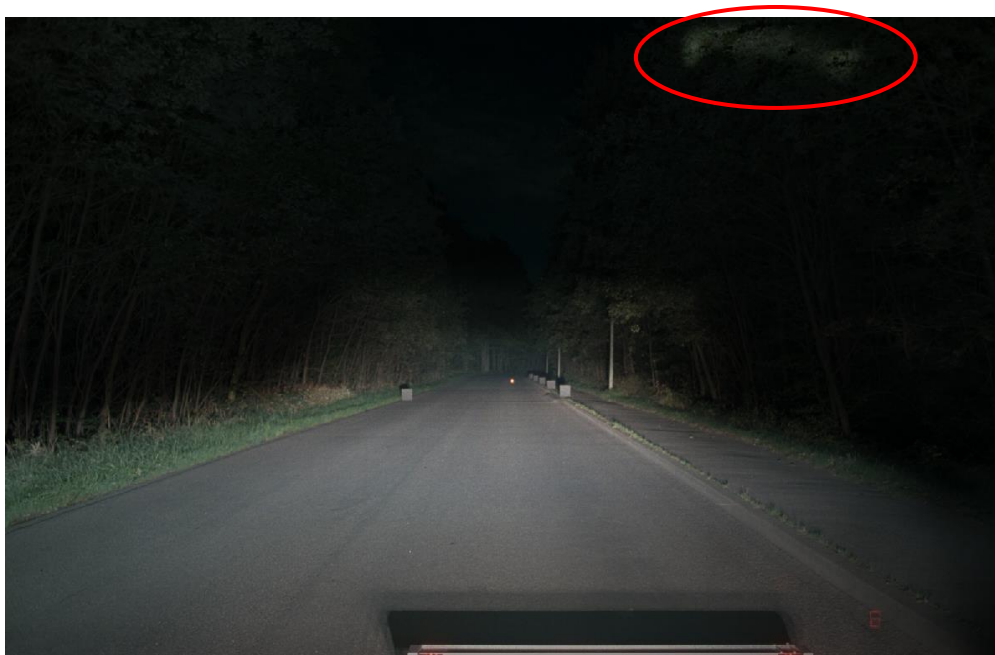
Obr. 52 Srovnávací metoda – simulace versus reálné měření.

Díky simulacím jsme schopni předurčit původce některých parazitních odrazů světla, např. na měřeném světlometu při rozsvícení dálkových světel můžeme pozorovat nechtěný odlesk v pravé části světelného výstupu. Daný odlesk je způsoben odrazem paprsků v nesprávném směru a následným odrazem od jiné součásti v zástavbě světlometu. Můžeme jej pozorovat i na simulaci vozovky. Parazitní odlesk se nachází mimo měřenou část, tedy by nijak neměl ovlivňovat požadovaný světelný výstup, nicméně problém způsobený tímto odleskem může nastat za zhoršeného počasí, konkrétně za mlhy, kdy se odlesky odráží od drobných kapek vody

a mohou řidiče oslňovat. Kromě toho zmiňovaný odlesk může mít za následek odvedení pozornosti řidiče.



Obr. 53 Příklad využití simulace ve fázi návrhu CAD dat pro eliminaci odlesku.

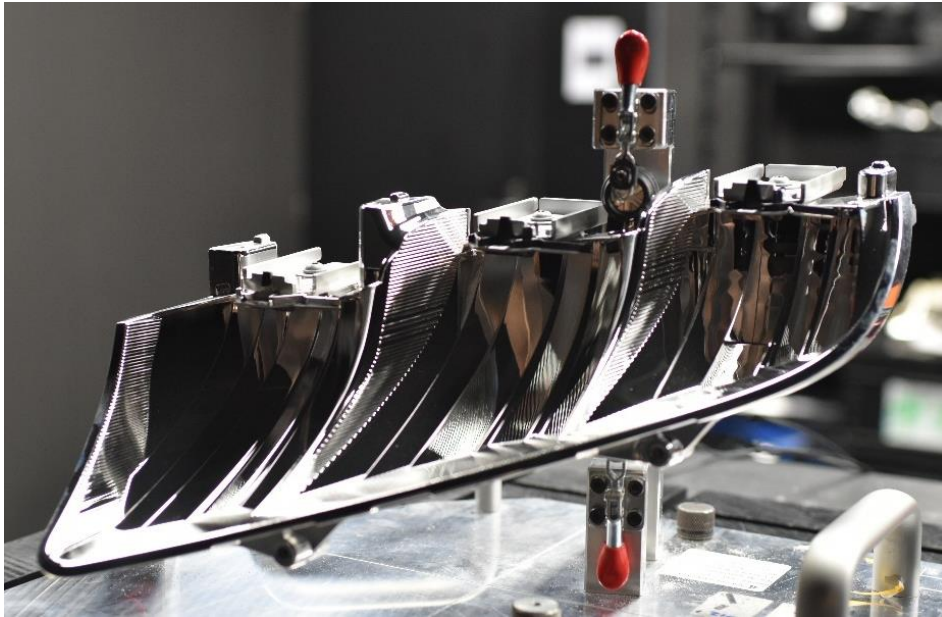


Obr. 54 Simulace odlesku na virtuální vozovce.

5.3 Reálná měření a porovnání se simulacemi

Měření probíhalo ve světelných laboratořích firmy Marelli Automotive Lighting Jihlava. Reflektor daného světlometu je na Obr. 55.

Měření probíhalo v různých fázích optimalizace dílců. Tyto fáze představují optimalizační smyčky, které umožňují postupné optimalizace dílců za účelem funkčního a výrobitelného provedení. Jednotlivé fáze se primárně liší kvalitou dílců, kdy první lisované dílce obsahují často závažné nedostatky, dílce z posledních fází by měly odpovídat sériovému stavu. Jednotlivé fáze jsou naznačeny v harmonogramu níže (Tab. 3).

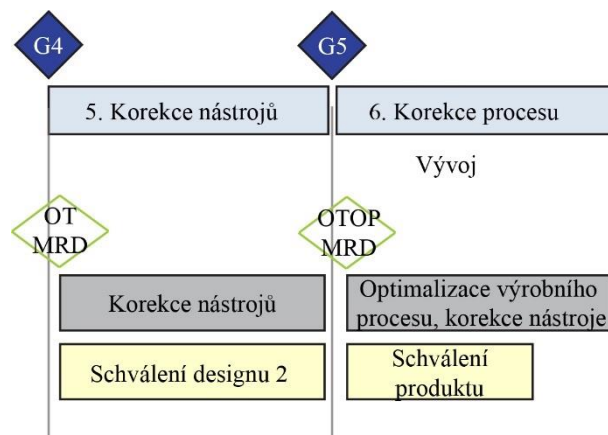


Obr. 55 Reflektor použitého světlometu.

Na vybraném světlometu byla prováděna měření v rámci jednotlivých fází, které jsou pro lepší přehlednost uvedeny v Tab. 4 V rámci každé fáze se lišily prováděné úkony. Cílem těchto měření je vytvořit seznam vad a následně provést jejich analýzu a doporučit opatření.

Tab. 3 Korekční fáze a odpovídající milníky (redukováno) [57].

Č. fáze	Popis	Doba trvání [dny]	Časová osa			
1	První dílce z nástroje	15				
2	1. korekční smyčka	30				
3	2. korekční smyčka	110				
4	3. korekční smyčka	35				
5	4. korekční smyčka	20				



Obr. 56 Detail vývojové fáze (5 – korekce nástrojů a 6 – korekce procesu).

V těchto vývojových fázích probíhaly korekční smyčky a související analýzy měření.

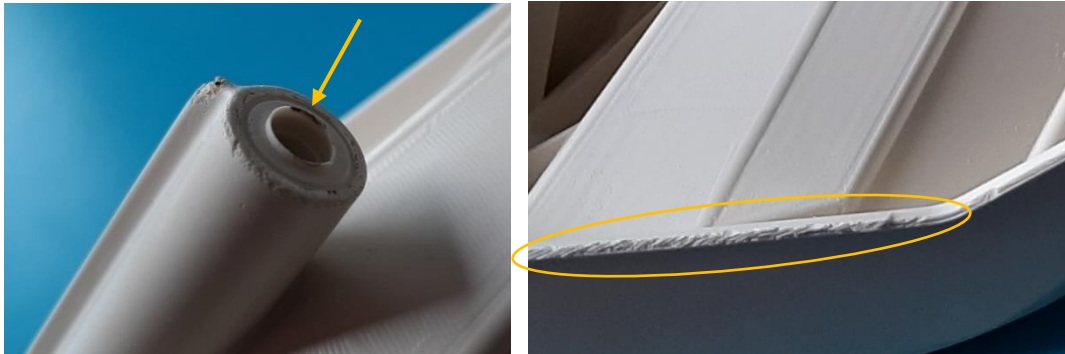
Tab. 4 Soupis měření [57].

Pořadí	Fáze	Doba trvání [dny]	Aktivita	Popis
1	První dílce z lisovacích nástrojů	15	Optické měření	Orientační měření
			Montážní koncept	Ověření montáže, kolizí apod.
			Soupis vad	Hrubé korekce prvních dílců
2	1. korekční smyčka	30	Optické měření	První fotometrické měření
			Dodatečné měření	Pomocné měření pro určení příčiny optických vad
			Analýza vad a korekce	Soupis vad, jejich analýza a možné korekce
			Vyhodnocení deformací	Vyhodnocení deformací reflektoru 3D sken
3	2. korekční smyčka optimalizace optických ploch	110	Optické měření	Fotometrické měření
			Dodatečné měření	Pomocné měření pro návrhy optimalizací
			Re-simulace pomocí 3D skenu	Porovnání simulace 3D dat versus skutečný dílec
			Korekce pro nástrojárnu	Návrhy korekcí pro nástrojárnu
			Analýza vad a korekce	Soupis vad, jejich analýza a možné korekce
			Vyhodnocení deformací	Vyhodnocení deformací reflektoru 3D sken
4	3. korekční smyčka zahrnuje noční jízdy	35	Optické měření	Fotometrické měření
			Dodatečné měření	Pomocné měření pro návrhy optimalizací
			Korekce pro nástrojárnu	Návrhy korekcí pro nástrojárnu
			Soupis vad	Soupis vad, jejich analýza a možné korekce
			Zákaznické noční jízdy	Noční jízdy a zpětná vazba zákazníka
			Analýza připomínek zákazníka	Analýza zpětné vazby zákazníka
5	4. korekční smyčka a uvolnění nástroje	20	Optické měření	Fotometrické měření
			Dodatečné měření	Pomocné měření pro srovnání
			Ověřovací měření	Studie pro účely DP
			Příprava na uvolnění nástroje	Finální stav fotometrie

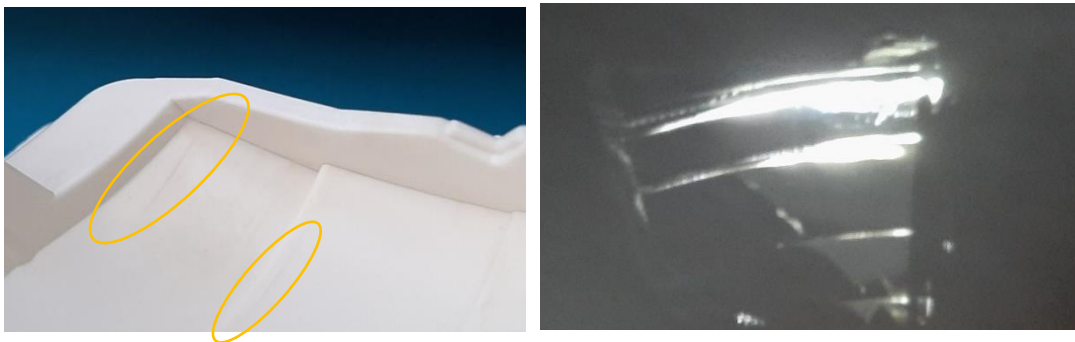
Výše uvedené fáze jsou zestručněny a zřehledněny, cílem je umožnit kategorizaci zjištěných vad a jejich strukturální seřazení pro další vyhodnocení či opatření.

5.3.1 První dílce z lisovacích nástrojů

První dílce z nástrojů nejsou určeny primárně pro optické měření, je zde příliš velké množství nedostatků, které jsou korigovány pro 1. korekční smyčku.



Obr. 57 Ukázka ořepu na komínku šroubu a ořep na dělicí hraně.



Obr. 58 Ukázka vady hrany fazetky.

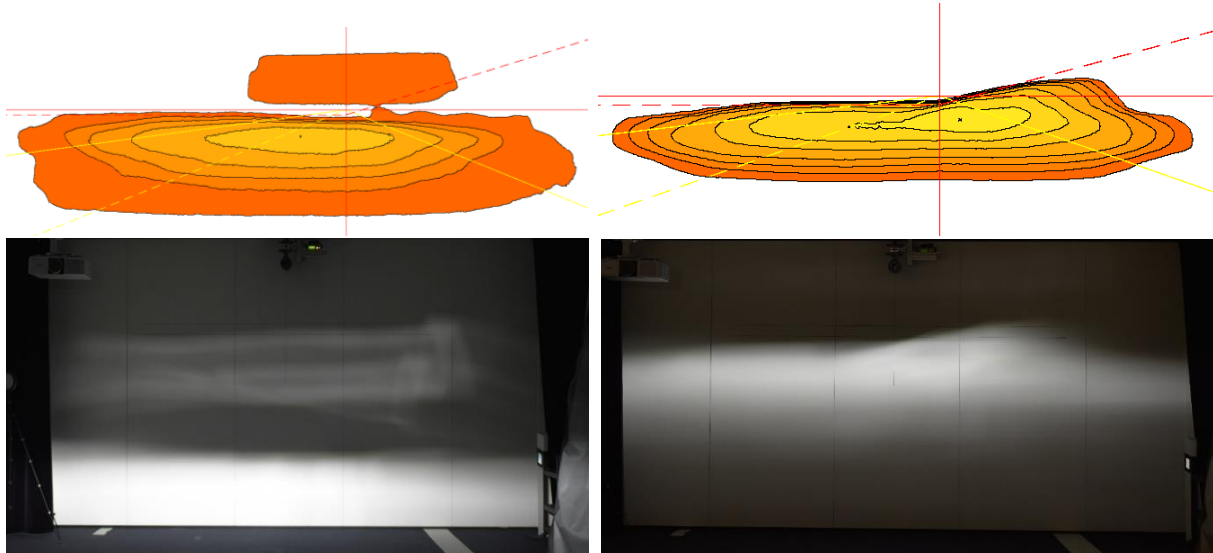


Obr. 59 Důsledek vady fazetky z Obr. 58 – parazitní odlesk, chybí ostrá hranice.

Účelem výroby prvních dílců z nástroje je umožnění zahájení fází optimalizací pro budoucí sériovou výrobu. Primárně se jedná o ověření montovatelnosti a přípravu na jednotlivé technologické operace se skutečnými dílci.

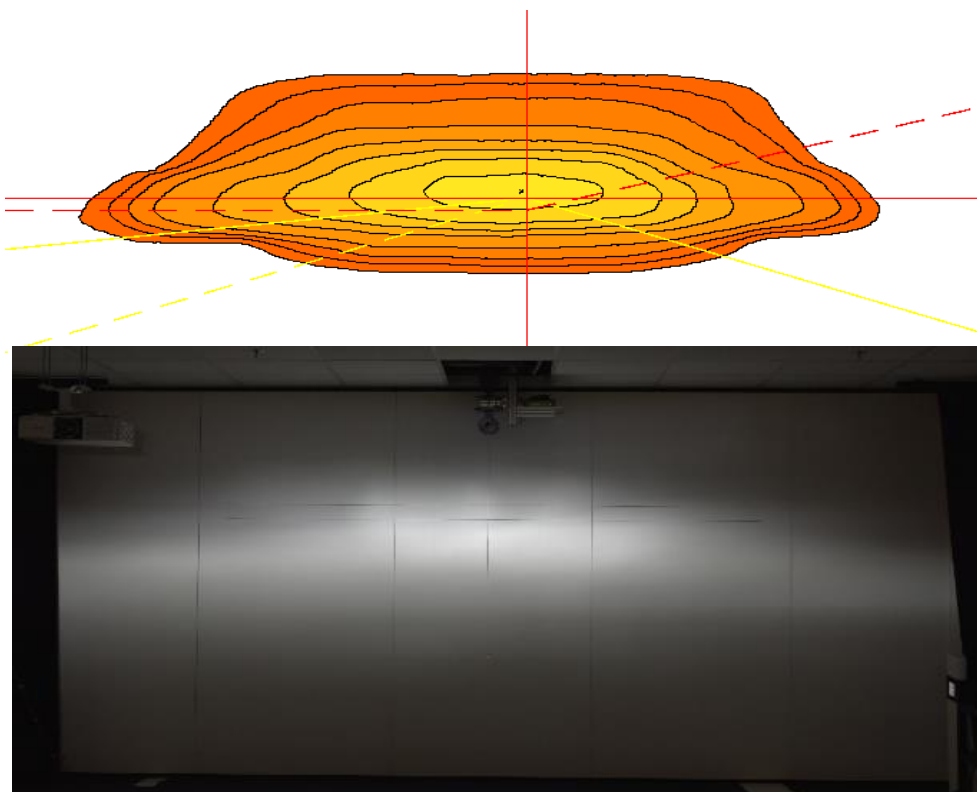
5.3.2 1. korekční smyčka

Tato smyčka představuje kvalitativní skok v provedení dílců a umožňuje první fotometrické měření a první návrhy korekcí lisovacích nástrojů, případně další připomínky k technologiím lakování, pokovování, či připomínky k montáži.



Obr. 60 Porovnání simulace a reálného měření pro jednotlivé komory potkávacího světla.

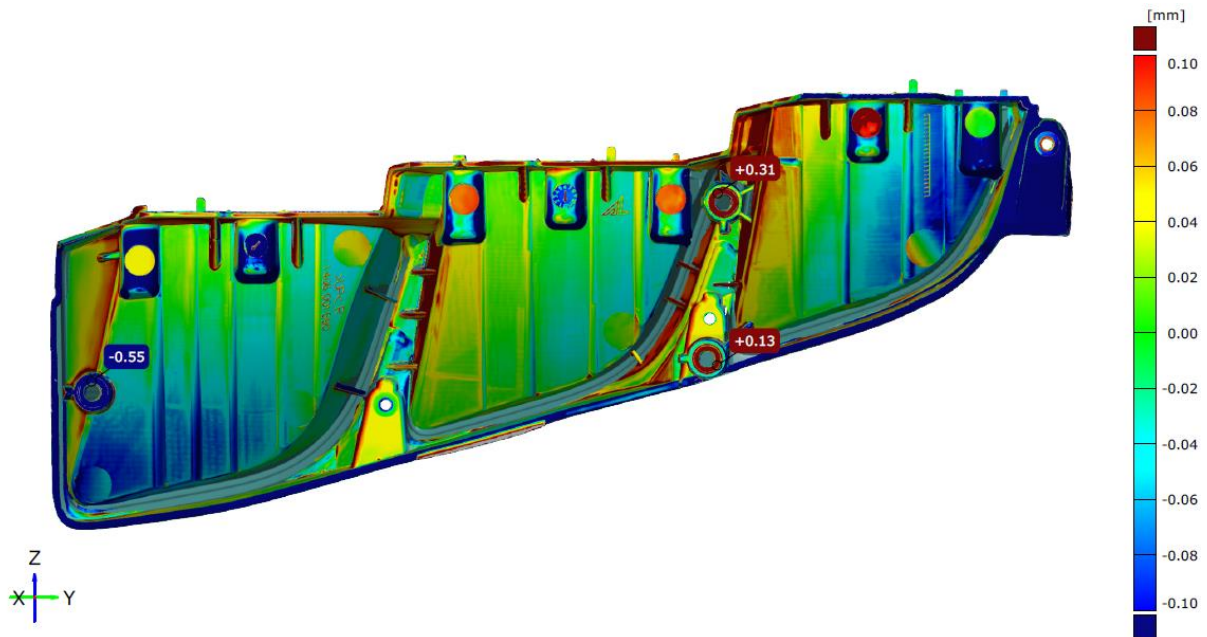
Obrázek výše představuje dvě komory potkávacího světla (base a spot). Levý horní obrázek (base) obsahuje světelné předpolí a dále „mlhovinu“ sloužící pro osvětlení dopravního značení.



Obr. 61 Porovnání simulace a reálného měření pro dálkové světlo.

V této fázi byla provedena fotometrická měření a došlo k prvnímu hodnocení vad, jednalo se o kombinace deformovaného reflektoru v kombinaci s celou řadou nepřesností a nedodělků na optických plochách. Příkladem jsou chybně provedené délky komínků pro šrouby a deformace nastavovacího systému způsobující chybnou polohu reflektoru ve světlometu.

Dále proběhlo měření samotného reflektoru bez vlivu deformací ze strany ostatních komponent světlometu za účelem určení ideální polohy světelného zdroje a souvisejících korekcí dosedacích ploch.



Obr. 62 3D sken a chybné délky komínků pro šrouby – chybná poloha reflektoru.

Dále byl zjištěn vliv krycího skla na optický výstup, který je zřejmý na Obr. 63. Okraje osvětlované oblasti vykazovaly řadu vertikálních pruhů a při odebrání skla ze světlometu tento efekt zmizel, tzn. jedná se o jednoznačný vliv skla.



Obr. 63 Světelná stopa bez použití (vlevo) a s použitím (vpravo) krycího skla.

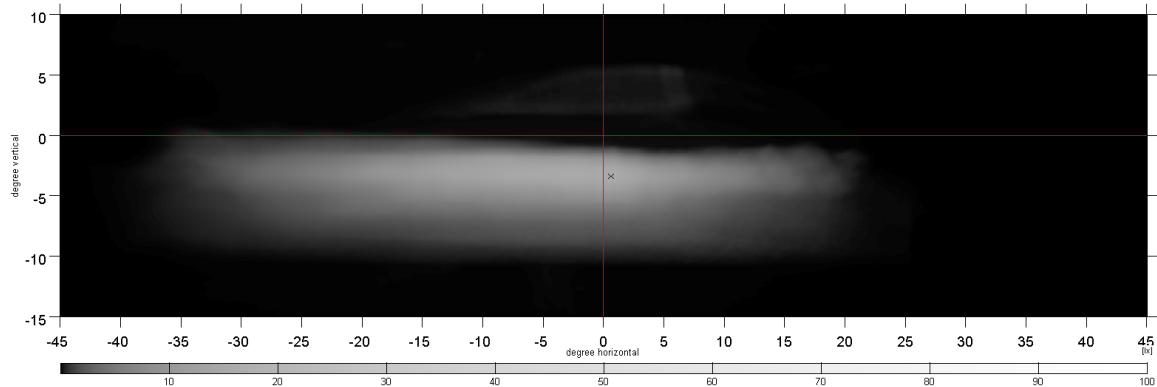
Vyhodnocení fotometrie potvrzuje chybnou polohu světelných zdrojů, světelný obraz vykazuje řadu odlesků a nehomogenity, což poukazuje na rozdíly v kvalitě zrcadlového lesku jednotlivých faset reflektoru.

V této fázi došlo především ke korekci hrubých vad a polohy optického zdroje tak, aby v následující korekční smyčce mohl být detailně posouzen optický výstup a detailní korekce.

5.3.3 2. korekční smyčka

Dílce v této fázi jsou určeny pro jemné ladění optického výstupu, po této smyčce by kvalita optického výstupu měla umožnit představení zákazníkovi.

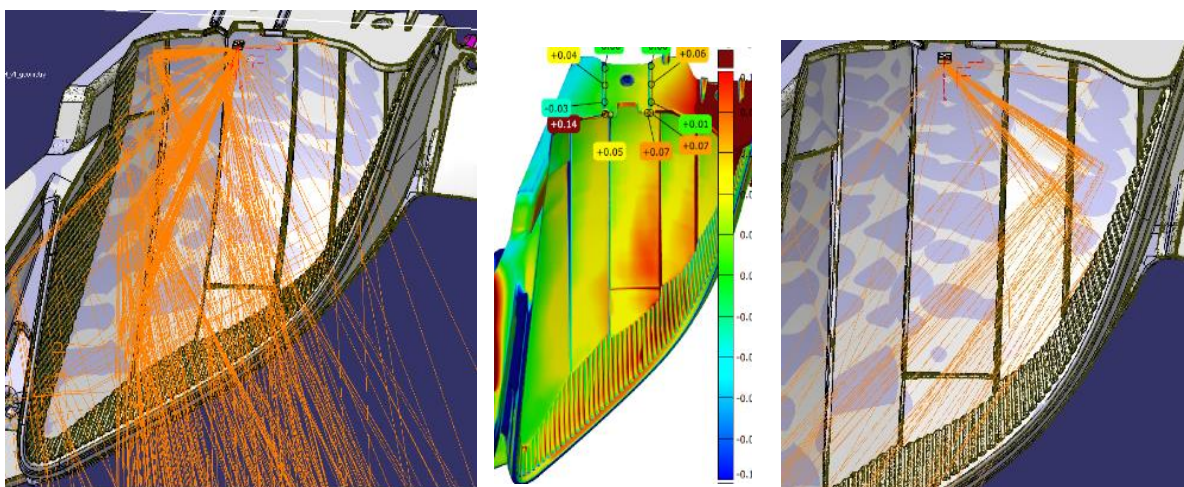
V rámci této fáze proběhly také re-simulace, tedy provedení 3D skenu dílce, následná implementace skutečných ploch do 3D modelu a re-simulace se skutečnými plochami.



Obr. 64 Měření LB předpolí – skutečný reflektor.

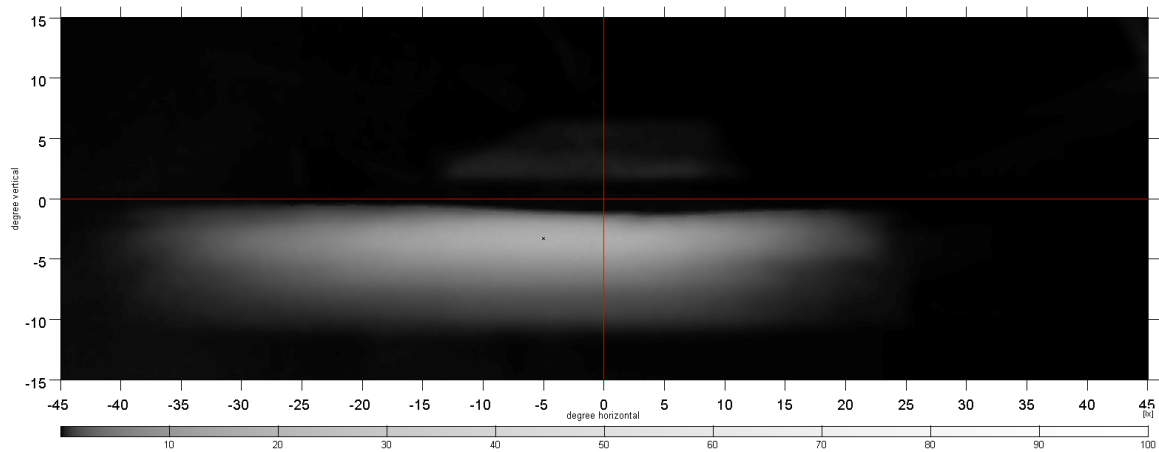
Na výše uvedeném obrázku jsou patrné dvě vady. Jedná se o oblasti pod vodorovnou částí kříže – vlevo i vpravo vznikají odchylky, „vlny“, v obraze. Pro ověření je využit 3D sken a následná re-simulace v programu XCAL pro potvrzení původu vady. Tento postup umožňuje jednak ověřit měření a přesnost simulace, ale zároveň umožňuje následně navrhnout potřebné korekce v nástroji dílce. Vadné oblasti jsou označeny na Obr. 67, kde byla provedena re-simulace naskenovaného dílce.

Níže je ukázka výstupu z XCAL s implementovanými plochami skutečného dílce ve formátu .STL do ideálního 3D modelu. Postup je následující: nejprve je pomocí 3D skenerů (GOM Atos) oskenován dílec a následně je výstup z 3D skeneru ve formátu .STL implementován do CAD programu Catia V5, kde je spuštěna optická simulace se skutečnými plochami. Tento postup umožňuje porovnat optický výstup ideálních 3D dat a optický výstup reálných dat pro navržení korekcí v nástroji.

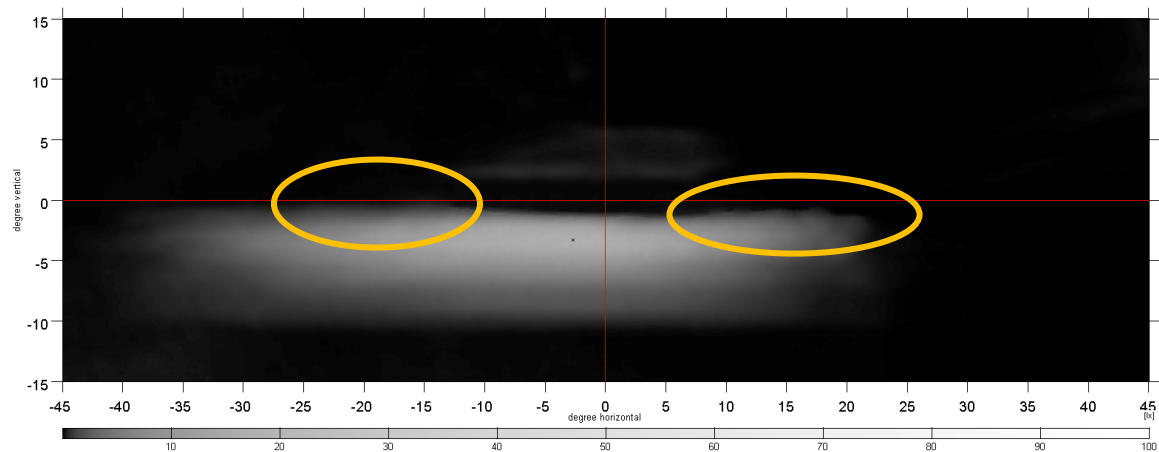


Obr. 65 Ukázka optické simulace s využitím skutečných oskenovaných ploch reálného dílce.

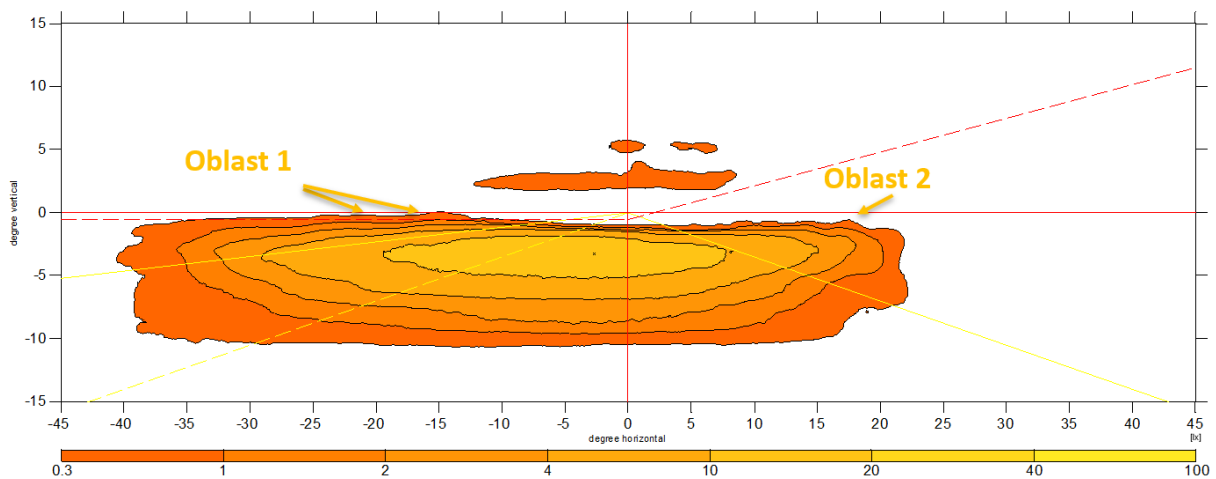
7 Výstupem je porovnání simulace ideálních 3D dat a re-simulace skutečných ploch.



Obr. 66 Simulace reflektoru předpolí – ideální 3D model.



Obr. 67 Simulace skutečného reflektoru předpolí – 3D sken dílce a označení problémových oblastí.

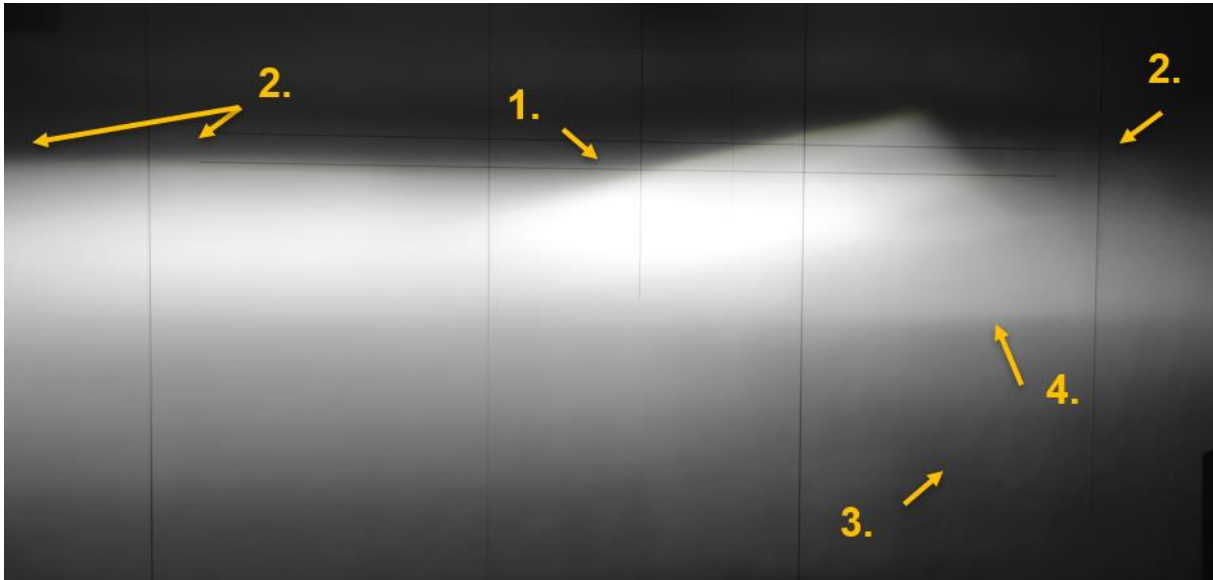


Obr. 68 Simulace reflektoru předpolí – 3D sken dílce a popis problémových oblastí.

Tato korekční smyčka zahrnovala detailní analýzu optického výstupu včetně návrhu korekce optických ploch v nástroji. Následně byly tyto korekce zapracovány do 3D modelů a do modelů nástrojů dat. Samotná korekce optických ploch v nástroji trvala přibližně 15 dní.

5.3.4 3. korekční smyčka

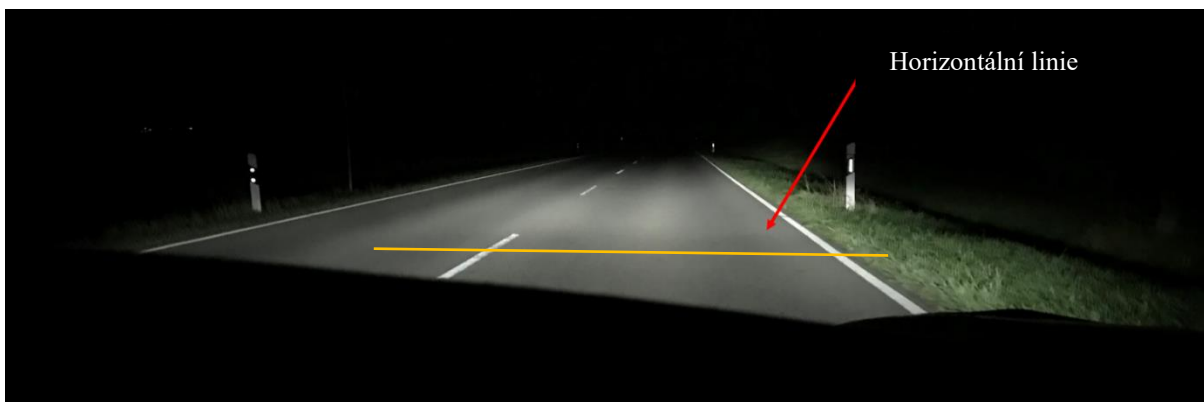
V této fázi dochází k téměř finálnímu ladění optického výstupu, a současně je představen světlomet zákazníkovi včetně nočních jízd v prototypovém voze. Na Obr. 69 je světelný výstup s několika vadami zobrazení, jednotlivé vady jsou detailněji popsány níže. Tato korekční smyčka již ukazuje výrazný skok v kvalitě optického výstupu.



Obr. 69 Popis chybných zobrazení světelného výstupu.

- 1 – Mírné rozdvojení horizontální části COL – vychází z nepřesnosti optických ploch a lakovacím procesem firmy Automotive Lighting, kdy odrazová plocha obsahuje strukturu, čímž způsobuje parazitní světlo,
- 2 – světelný výstup z komory base zasahuje nad komoru spot (řešena intenzita s ohledem na ECE RHT a CCC GBT 30036),
- 3 – „light scattering effect“ – způsobeno sklem a jeho strukturou povrchu,
- 4 – ostrý přechod mezi spot a base.

Ostrý přechod mezi spot a base je dobře zřetelný i na testovacích nočních jízdách (nightdrive test – NDT) (Obr. 70).



Obr. 70 Ostrý přechod mezi spot a base při testovacích nočních jízdách.



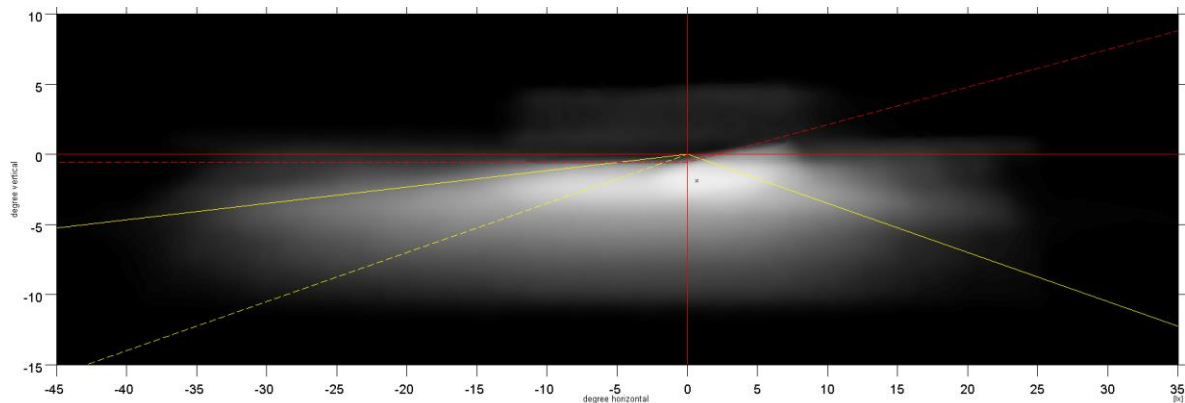
Obr. 71 Ukázka parazitních odlesků.

Tato korekční smyčka zahrnuje důležitý milník v podobě tzv. nočních jízd se zákazníkem, kde se vyhodnocuje mimo optických vlastností také vizuální dojem světelného toku a reflektoru. V rámci této smyčky byly zapracovány korekce reflekčních ploch, ale s chybně provedeným zrcadlovým leskem na některých fazetkách.

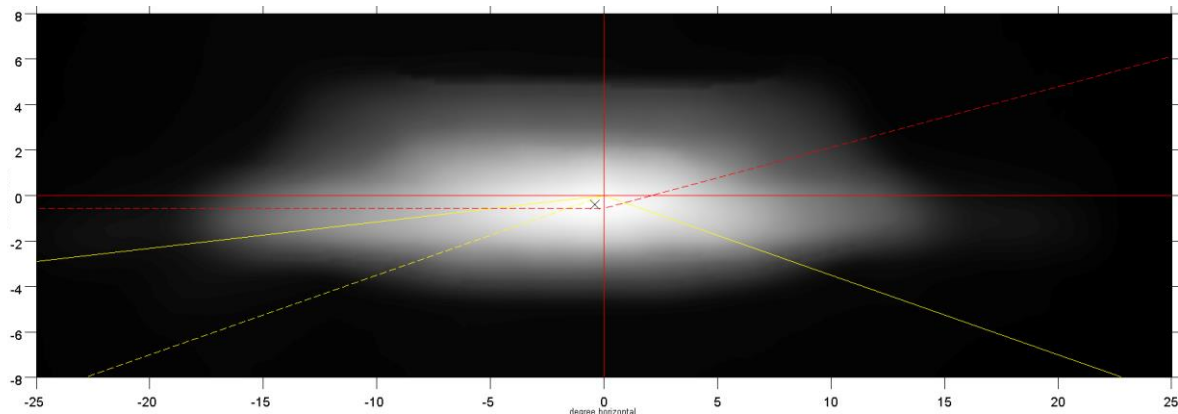
5.3.5 4. korekční smyčka

Tato korekční smyčka připravuje nástroj pro poslední korekce a jeho následný převoz z nástrojárny do výrobního závodu společnosti. Zároveň je připravováno homologační měření.

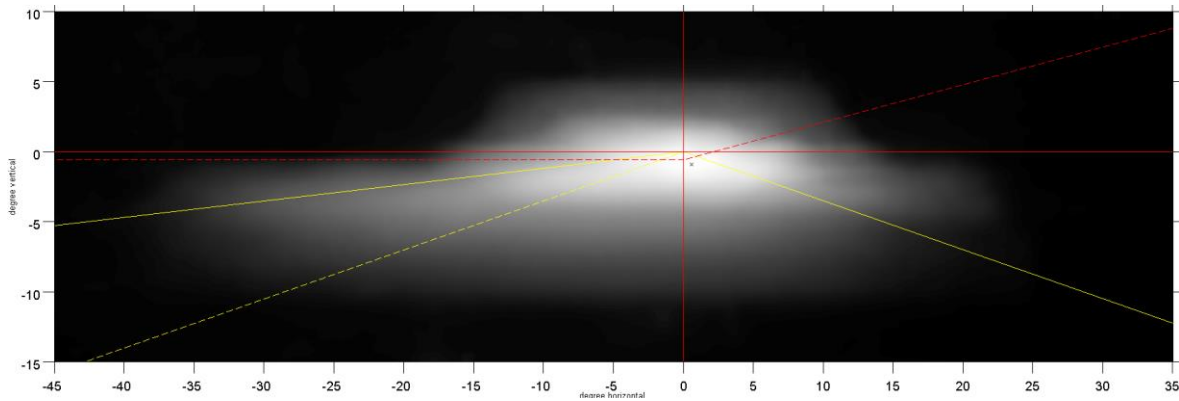
Po převozu nástroje se předpokládá minimum zásahů do nástroje a mělo by následovat uvolnění výrobní linky. V rámci této korekční smyčky se řeší primárně drobné korekce často ve spojení s navazujícím technologickým postupem a s optimalizací montáže sestavy včetně koncového výstupního optického testu na výrobní lince.



Obr. 72 LB spot + base (potkávací světlo).



Obr. 73 HB (dálkové světlo).



Obr. 74 LB + HB (celková distribuce).

V rámci uvolnění světlometu je nutno splnit homologační požadavky (homologační měření), ale zároveň je nutno splnit zákaznické požadavky, které se mohou od homologačních limitů lišit v konkrétních měřicích bodech (jedná se o měřicí body, kde jsou požadována minima hodnot). Např. automobilky koncernu VW/Škoda požadují, aby homologační měřicí body s hodnotami "min" splnily hodnoty na 130 %.

V rámci všech korekčních fází je světelný výstup světlometu připravován na splnění těchto požadavků, které jsou dány homologačními předpisy a zároveň specifikací zákazníka (dokument Lastenheft).

Tab. 5 Homologační předpisy a zákaznické požadavky [57].

EHK Homologační předpis		Zákaznický požadavek VW/Škoda		COP měření	
ECE R48	Splnění	ECE R48	Splnění	ECE R48	Splnění
Definice měřicích bodů (min/max)	100 %	Pro hodnoty min. a rozsahu od-do	130 %	Měřicí body dle ECE R48	80 %
bod 75 R min. 10100 cd	100 %	bod 75 R min. 10100 cd	130 % min. 13130 cd	bod 75 R min. 10100 cd	80 % min. 8080 cd

V tabulce výše je uvedeno měření Conformity of Product (COP), toto měření je určené pro fázi sériové výroby, kdy světlomet vždy musí plnit požadavek na hodnoty světelného výstupu v měřicích bodech min. 80 % hodnot v EHK.

Pokud je ze strany zákazníka definován požadavek na hodnoty 130 %, pak se jedná o měření určené pro uvolnění produktu ze strany zákazníka, přičemž v sériové výrobě jsou měřicí hodnoty COP stále 80 % EHK.

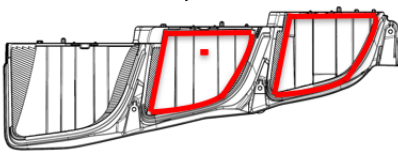
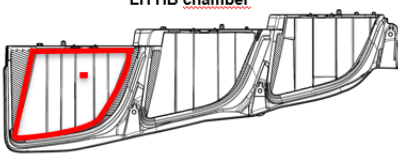
5.4 Vyhodnocení vad a jejich původců

Vyhodnocení vad proběhlo na základě měření uvedených v předchozí kapitole.

Veškeré vady optického výstupu se dají začlenit do dvou skupin.

První skupina vad souvisí s rozložením světelného toku (správnost návrhu virtuálního 3D modelu), druhá skupina vad představuje soubor lokálních vad (chyby v přechodech optických fazet, odlesky, homogenita, intenzita apod.).

Z hlediska smyslu zadání práce je nutno vyhodnocovat původce vad a nikoliv vady samotné.

LH LB Spot + Base		LB (LB spot + LB base) photometry requirements		
		Release + Requalification		Target 100% series control
		photometric characteristics	luminous intensity	Remark
 <p>*Right side of reflector is mirrored</p>		Point with maximum Intensity I_{max}	$I_{max} > 35\,000\text{ cd}$ $I_{max} < 55\,000\text{ cd}$	
		Intensity E50V	$I > 17\,000\text{ cd}$	
		Segment 10	$I < 13\,500\text{ cd}$	Remark: RHT: $H = -4,5^\circ \pm 2^\circ / V = -4^\circ$ LHT: $H = -2^\circ \pm 4,5^\circ / V = -4^\circ$
		Segment BRR/BLL	$I < 3\,500\text{ cd}$	Remark: RHT: $H = 8^\circ \pm 20^\circ / V = 0,57^\circ$ LHT: $H = -8^\circ \pm -20^\circ / V = 0,57^\circ$
		Intensity HV	$I < 625\text{ cd}$	
LH HB chamber		HB (only) photometry requirements		
		Release + Requalification		Target 100% series control
		photometric characteristics	luminous intensity	Remark
 <p>*Right side of reflector is mirrored</p>		Point with maximum Intensity I_{max}	$I > 95\,000\text{ cd}$	

Obr. 75 Měření fotometrie – zjednodušená tabulka splnění požadavků [57].

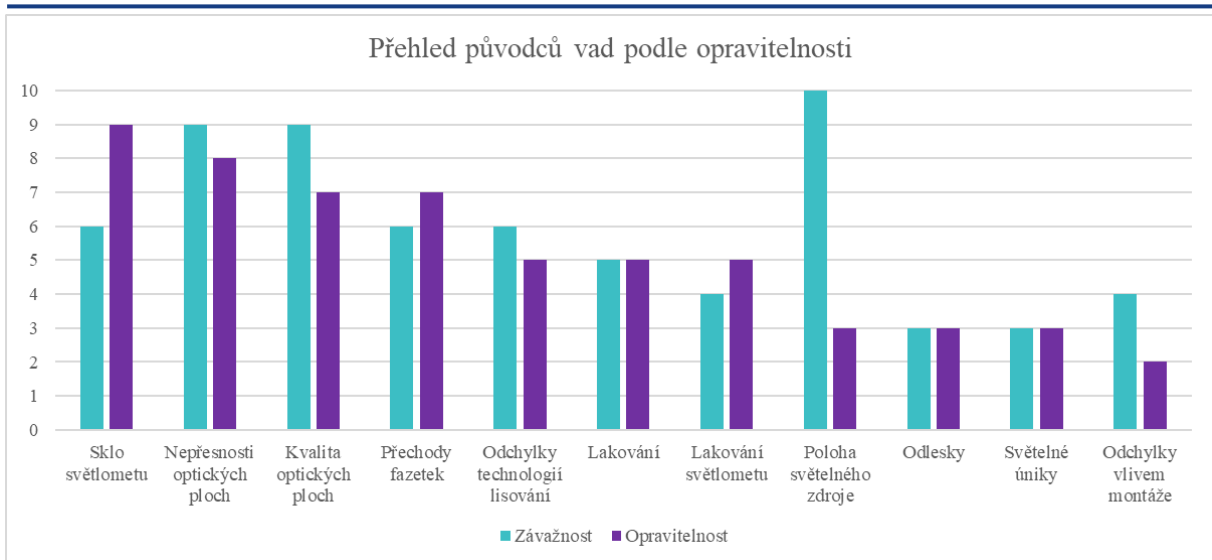
V Tab. 6 jsou uvedeni identifikovaní původci vad a jejich stručný popis.

Tab. 6 Původci vad a jejich popis.

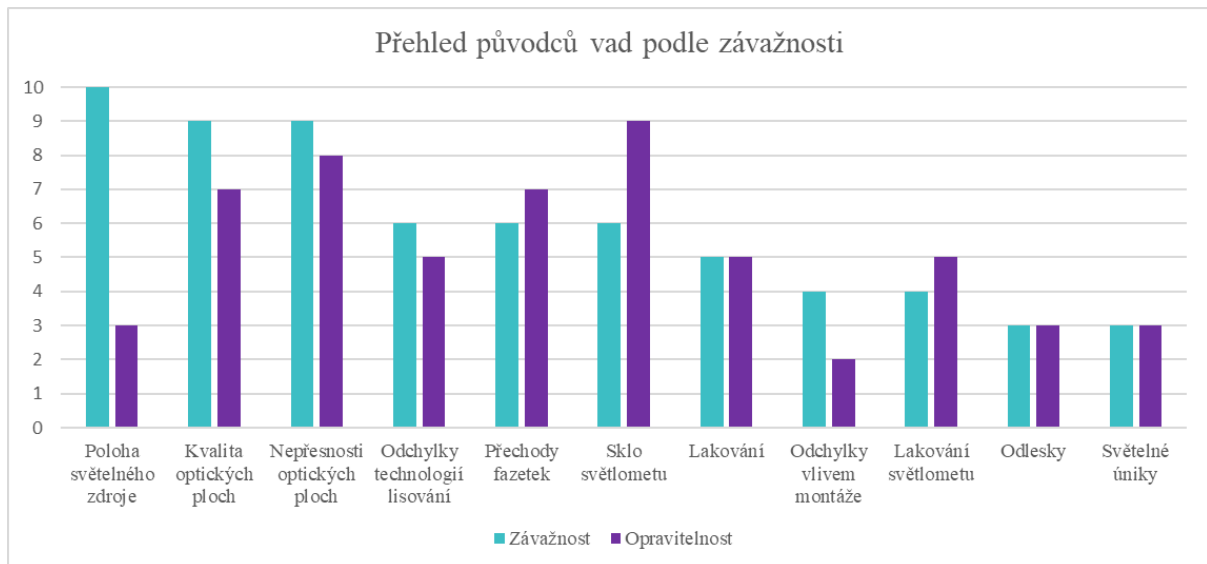
Původce	Popis
Poloha světelného zdroje	Odchylka světelného zdroje od ohniska
Rozměrové odchylky vlivem lisovacího nástroje	Původcem lisovací proces
Rozměrové odchylky vlivem technologie montáže	Deformace vlivem dalších dílců v sestavě a technologie montáže
Kvalita optických ploch	Kvalita pokovení
Nepřesnosti optických ploch	Přesnost obrábění a leštění
Lakování	Zbytky, přetoky, tloušťka laku
Přechody fazetek	Minimální technologické rádiusy obrábění
Sklo světlometu	Struktura povrchu
Lakování světlometu	Proměnlivá tloušťka laku
Osvícení okolních komponent reflektoru	Rizika odlesku
Světelné úniky	Vizuální vady narušující designovou funkci

Původce vad je nutno rozlišit z pohledu jejich závažnosti a také z pohledu opravitelnosti.

Níže je uveden přehled hlavních původců vad, jejich závažnost a opravitelnost. Závažnost i opravitelnost jsou ohodnoceny čísly 1-10, kdy 1 = nejlepší, resp. nejméně závažný/nejsnáze opravitelný, a 10 = nejhorší, resp. nejzávažnější/nejhůře opravitelný. Vady, které jsou vysoce závažné, ale snadno opravitelné, nepředstavují ve skutečnosti komplikace se zvýšenou časovou náročností při optimalizaci světelného výstupu světlometu. Vady, které jsou naopak špatně či komplikovaně opravitelné představují větší riziko na časovou náročnost oprav, proto je potřeba je analyzovat a následně se pokusit nalézt opatření pro zjednodušení opravitelnosti, z čehož vyplývá časová úspora při realizaci projektu.

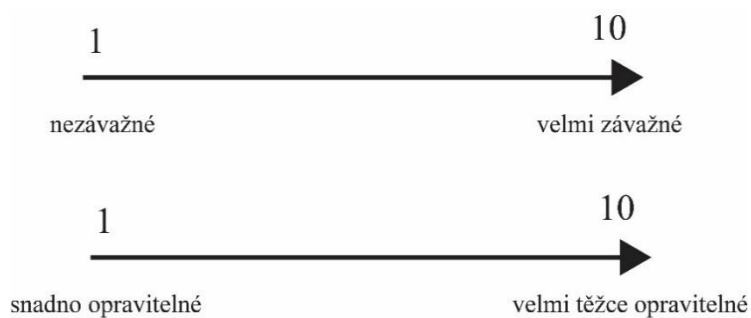


Obr. 76 Graf znázorňující přehled původců vad podle opravitelnosti.



Obr. 77 Graf znázorňující přehled původců vad podle závažnosti.

V následujících kapitolách jsou detailně popsáni původci vad, kteří v hodnocení závažnost/opravitelnost vyšli nejhůře. Každému původci byla přiřazena hodnota 1-10 na základě závažnosti/opravitelnosti.



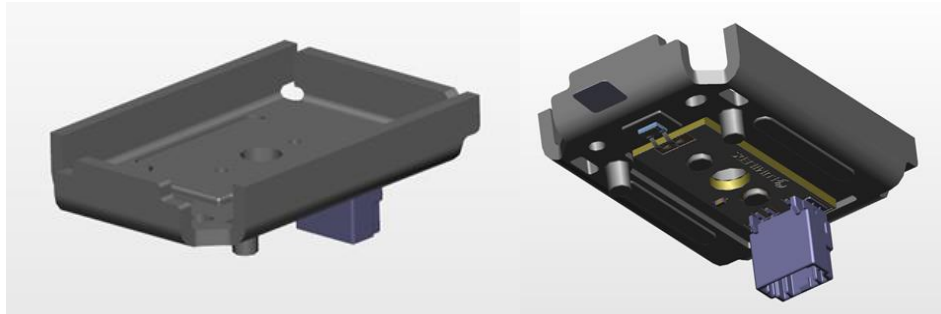
Obr. 78 Schematické vysvětlení číslování závažnosti/opravitelnosti.

5.4.1 Poloha světelného zdroje

Hodnocení:

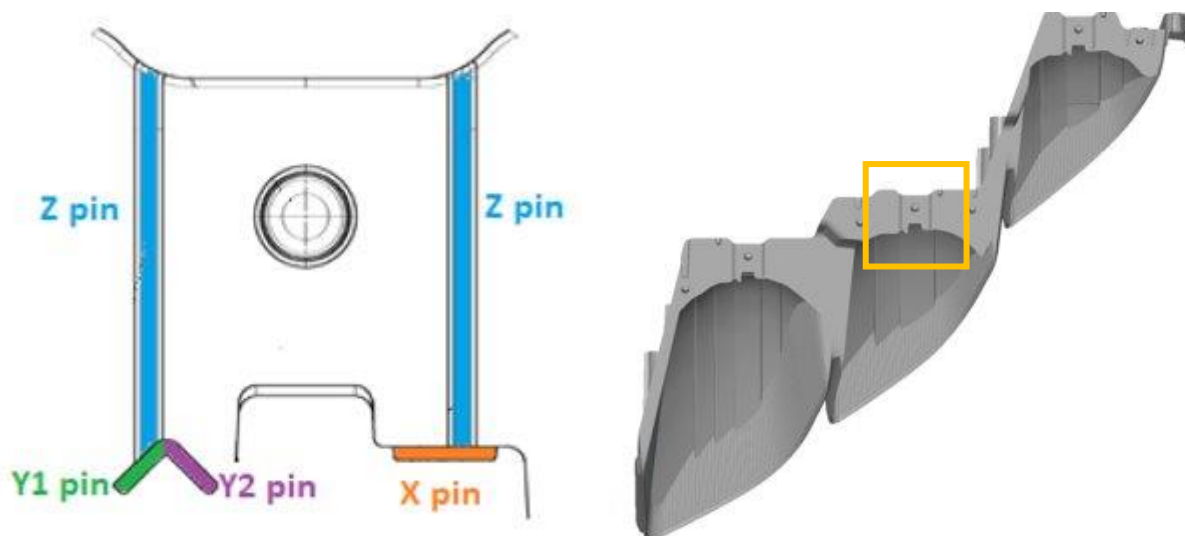
- Závažnost: 10
- Opravitelnost: 3

Světelný zdroj, v tomto případě LED čip, je umístěn na desce plošných spojů (PCB) osazené chladičem, a tvoří optický zdroj zvaný f-LUX (Obr. 79). Jedná se o nakupovaný zdroj světla od společnosti Lumiled. Polohování zdroje je zásadní pro světelný výstup, pohybem v určitých směrech dosáhneme rozdílných výsledků výsledného obrazu.



Obr. 79 f-LUX.

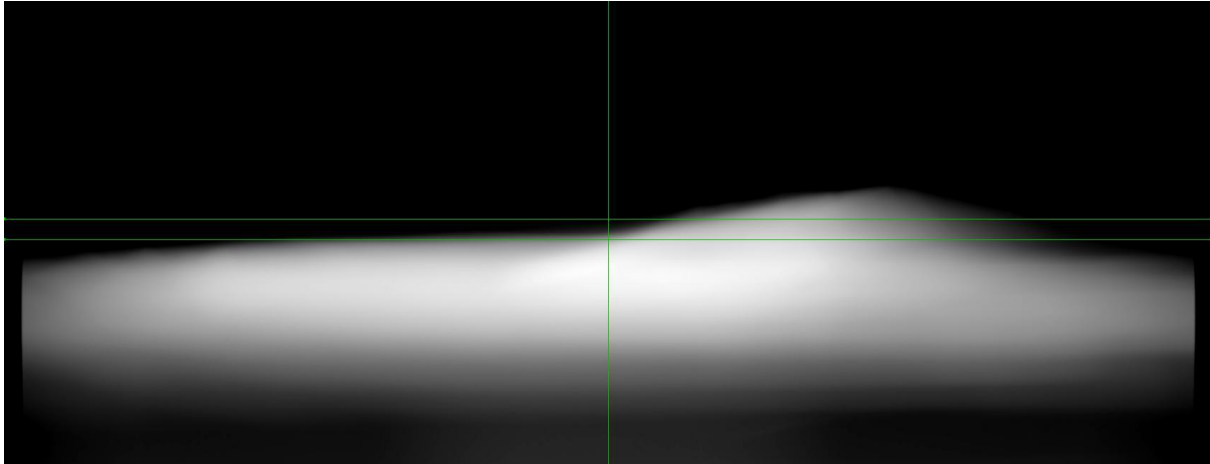
Polohy optického zdroje byly optimalizovány v prvních třech fázích (Tab. 4). Principem optimalizace je stanovení úběrů materiálů na dosedacích plochách optického zdroje na nástroji.



Obr. 80 Korekce polohy optického zdroje.

Výše uvedený obrázek ukazuje příklad jedné z korekcí dosedacích ploch optického zdroje na jedné z komor reflektoru. Korekčních smyček proběhlo několik. Z důvodu velkého rozsahu podkladů je níže uveden pouze jeden příklad z měření – řízený experiment – vliv utahovacího momentu fixačního šroubu na odchylení světelné stopy spolu s korekcí polohy světelného zdroje. Měření probíhalo při rozsvícení prostřední komory „LB spot“, protože její světelný výstup je nejlépe čitelný pro vyhodnocení polohy pouhým zrakem. Výsledná hodnota v protokolech vychází vyšší než povolená, a to proto, že měření probíhalo bez použití krycího skla, které danou hodnotu snižuje.

Nejprve byl testován utahovací moment šroubu zajišťující polohu světelného zdroje. Šroub se standardně utahuje momentovým šroubovákem se stanovenou hodnotou krouticího momentu 2 Nm. V tomto stavu byly zaznamenány hodnoty měření. Za účelem testování významnosti této stanovené hodnoty byl šroub zcela povolen a měření bylo provedeno znovu. Nominální hodnota je zobrazena na Obr. 81, konkrétní hodnoty svítivosti jsou uvedeny v Příloze 1.

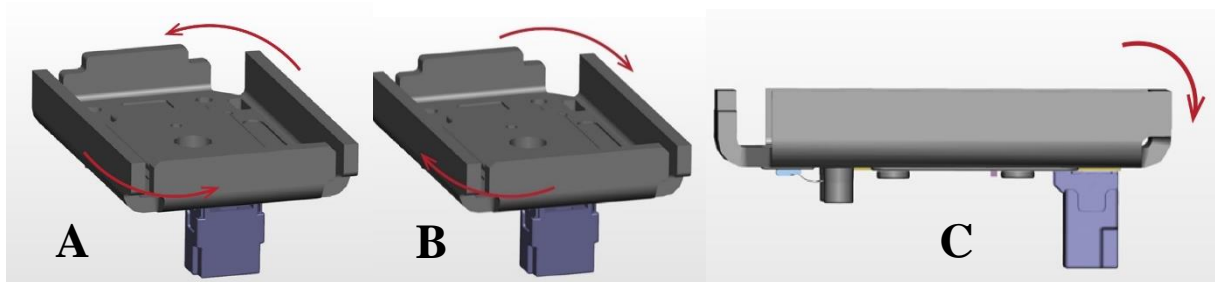


Obr. 81 Nominální světelný výstup.

Světelný výstup za stavu, kdy byl povolen šroub zajišťující polohu světelného zdroje se v porovnání s nominální hodnotou příliš nezměnil, konkrétní hodnoty svítivosti zkušebních bodů jsou uvedeny v Příloze 1. V porovnání s nominálními hodnotami jsou tyto hodnoty ve většině případů nižší, avšak stále spadají do požadovaného limitu.

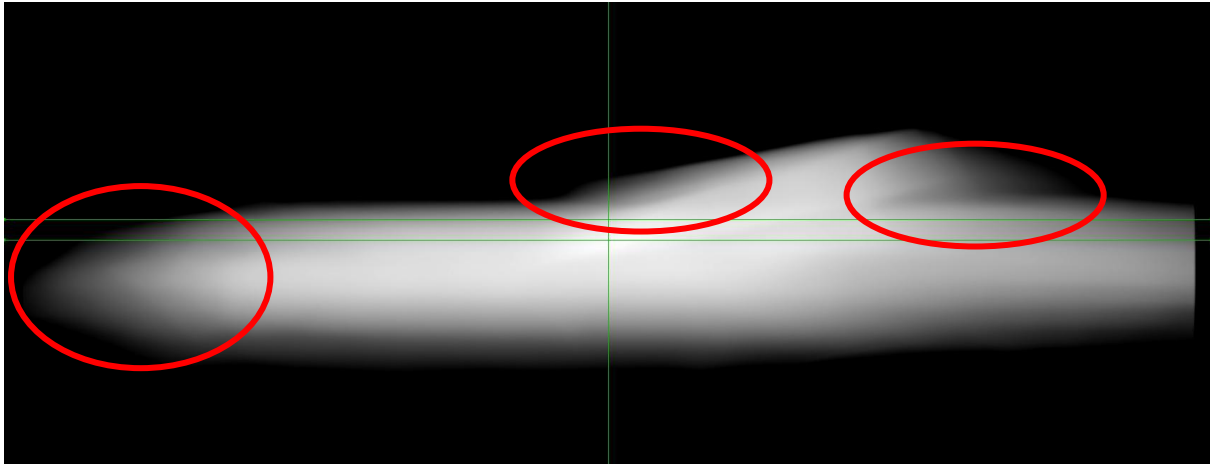
Dále bylo světelným zdrojem uměle natáčeno v různých směrech, abychom zjistili, jakou změnu světelného výstupu mají jednotlivé pohyby za následek. Jednotlivé pohyby jsou znázorněny na Obr. 82:

- pozice A – natočení proti směru chodu hodinových ručiček,
- pozice B – natočení po směru chodu hodinových ručiček,
- pozice C – natočení směrem dozadu.



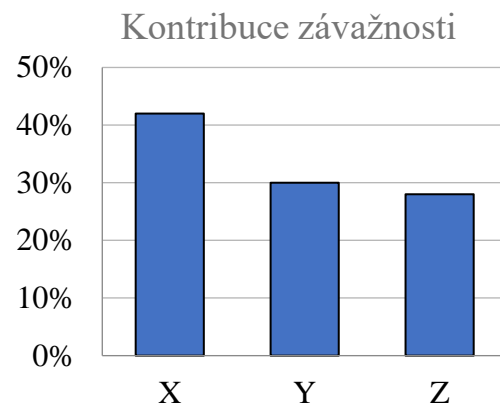
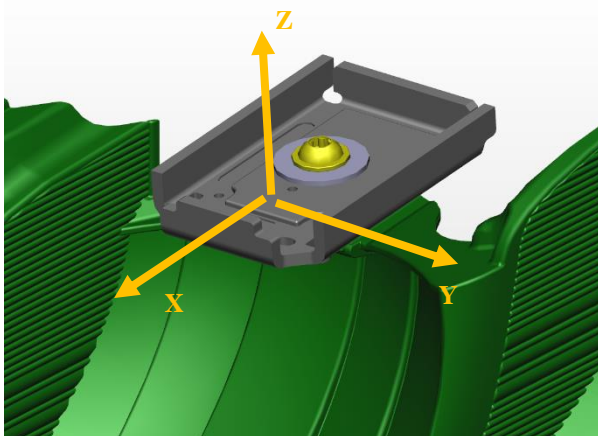
Obr. 82 Pohyby světelného zdroje.

Těmito pozicím odpovídající výstupy i s konkrétními naměřenými hodnotami vyhodnocené pomocí softwaru jsou uvedeny v Příloze 1. V porovnání s nominálním světelným výstupem je celkový obraz posunut ve směru vertikální osy nahoru, v pravé části vznikají nežádoucí stíny v oblasti stoupání světelného obrazu a levá část obrazu je zkrácena.



Obr. 83 Světelný výstup v pozici C.

Díky řízenému experimentu došlo k ověření, že největší dopad na změnu světelného výstupu má pohyb světelného zdroje v rámci osy x. Další osy (y a z) vykazují nižší dopad na optický výstup. Shrnutí je na Obr. 84.



Obr. 84 Naznačení souřadnicového systému a graf kontribuce závažnosti.

Vliv polohy světelného zdroje na světelný výstup je naprosto zásadní, ale zároveň je snadno korigovatelný za předpokladů, že je nástroj vyroben s materiálovými přídávky na dosedacích plochách optického zdroje, které lze jednoduše korigovat pomocí úběrů materiálu.

Zhodnocení

Při vyhodnocování vlivu pozice světelného zdroje na světelný výstup bylo zjištěno, že maximální odchylka ohniska LED zdroje od určené polohy je $\pm 0,1$ mm.

Opatření

Opatřením je vytvořit přídávky 0,8 mm materiálu na dosedacích plochách reflektoru, korekce probíhají formou ubírání materiálu na nástroji na základě pokynů optika.

5.4.2 Kvalita optických ploch a související kvalita pokovení

Hodnocení:

- Závažnost: 9
- Opravitelnost: 7

Kvalita optických ploch je daná přesností obrobení tvaru (polohy) a současně kvalitou vyleštění povrchu formy. Forma se leští na zrcadlový lesk. S kvalitou povrchu formy souvisí kvalita pokovení. Na obrázcích níže je porovnání nedostatečně a dostatečně vyleštěných optických ploch. Pokud jsou plochy nedostatečně vyleštěny, můžeme na nich pozorovat nerovnosti způsobující matování a rozostření odrazu.



Obr. 85 Nedostatečně vyleštěné optické plochy.



Obr. 86 Dostatečně vyleštěné optické plochy.

Na základě analýzy optických výstupů je předpokládána potřebná přesnost při obrábění tvarových optických ploch, budou-li dosaženy níže uvedené parametry, pak je kvalita optických ploch považována za vyhovující.

Zhodnocení

Dosáhnout přesnosti obrábění tvaru 0,06 mm, Rz 0,2 μm (použito pravidlo Ra = 0,1 Rz).

Opatření

Opatření je nutno konzultovat s nástrojárnou, jakým způsobem dosáhnout výše uvedených přesností a zároveň navrhnout optické plochy s přídávkem 0,3 mm.

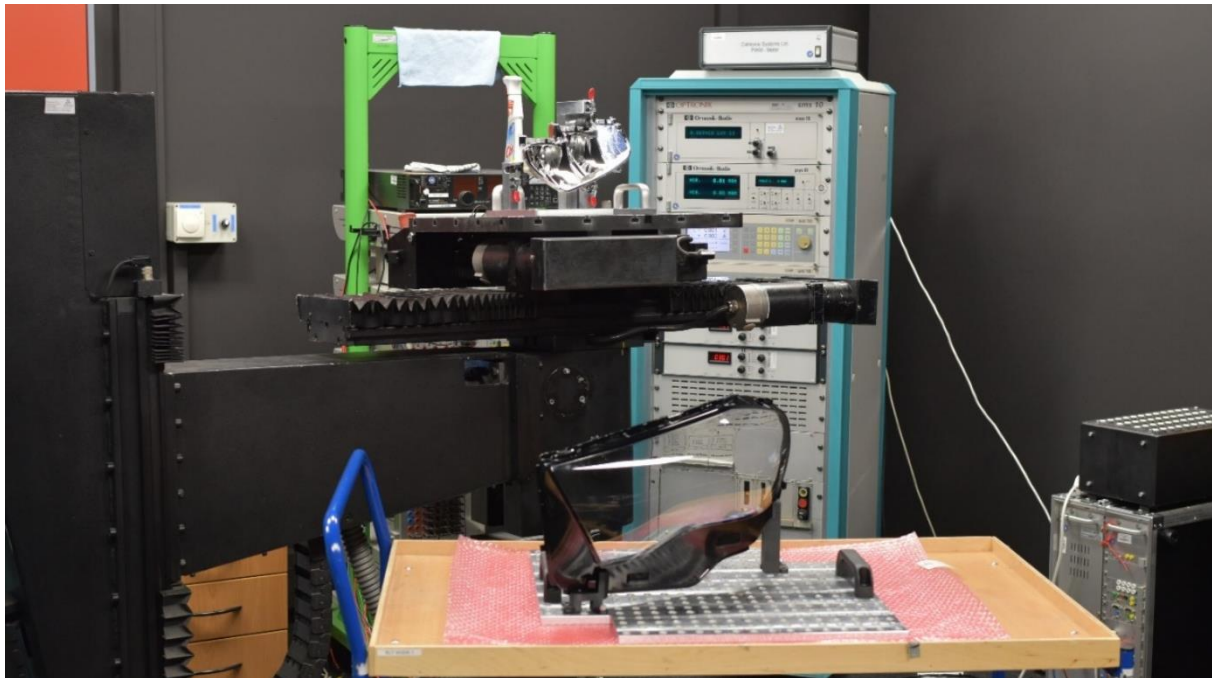
5.4.3 Vady na krycím skle

Hodnocení:

- Závažnost: 6
- Opravitelnost: 9

Krycí sklo a jeho polakování je dalším z faktorů, které zásadně ovlivňují světelný výstup. Materiál krycího skla není dokonale průsvitný, další odchylky mohou vznikat díky nanesené vrstvě laku, která je sice na pohled neviditelná, chod paprsků však určitým způsobem ovlivňuje. Při návrhu reflektorů se proto musí počítat s tím, že výsledný světelný výstup bez použití krycího skla se liší od toho, kdy před celý systém umístíme sklo. Pokud je sklo samotné nebo jeho polakování vadné, na měřicí zdi jsou viditelné zásadní odchylky od požadovaného obrazu.

V rámci pozorování vlivu krycího skla byl pomocí 3D tisku vyroben přípravek, do kterého se dané sklo upevnilo. Sklo bylo následně umístěno před světelný zdroj, který tvořila rozsvícená komora reflektoru pro předpolí potkávacího světla, a prosvětlováno jím. Celá sestava pro toto měření je zobrazena na Obr. 87.

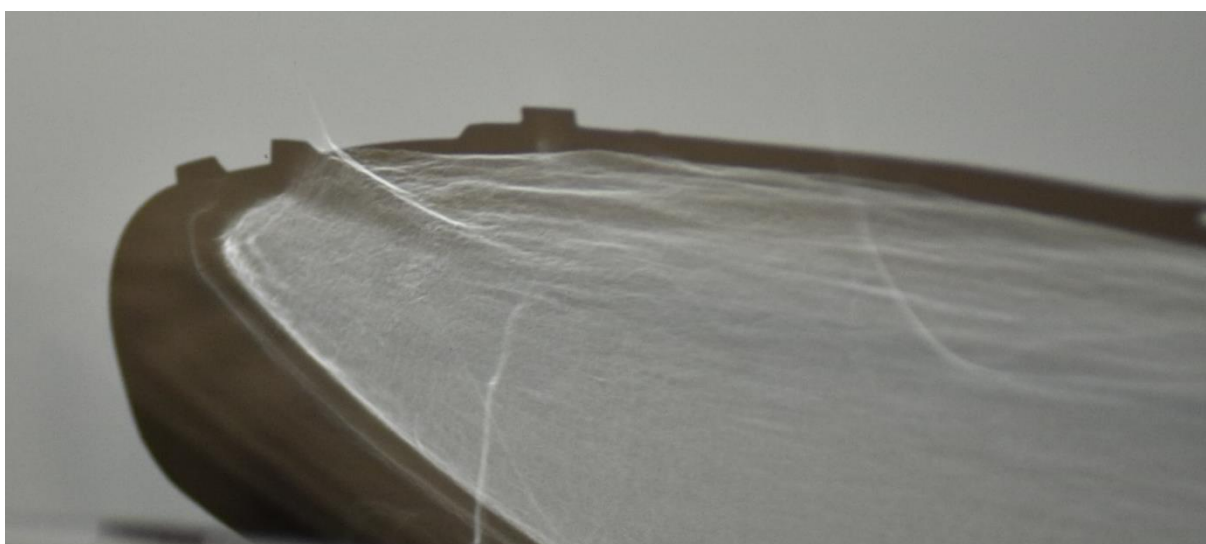


Obr. 87 Sestava pro měření vad krycího skla – světelný zdroj upevněný na goniometru a krycí sklo.

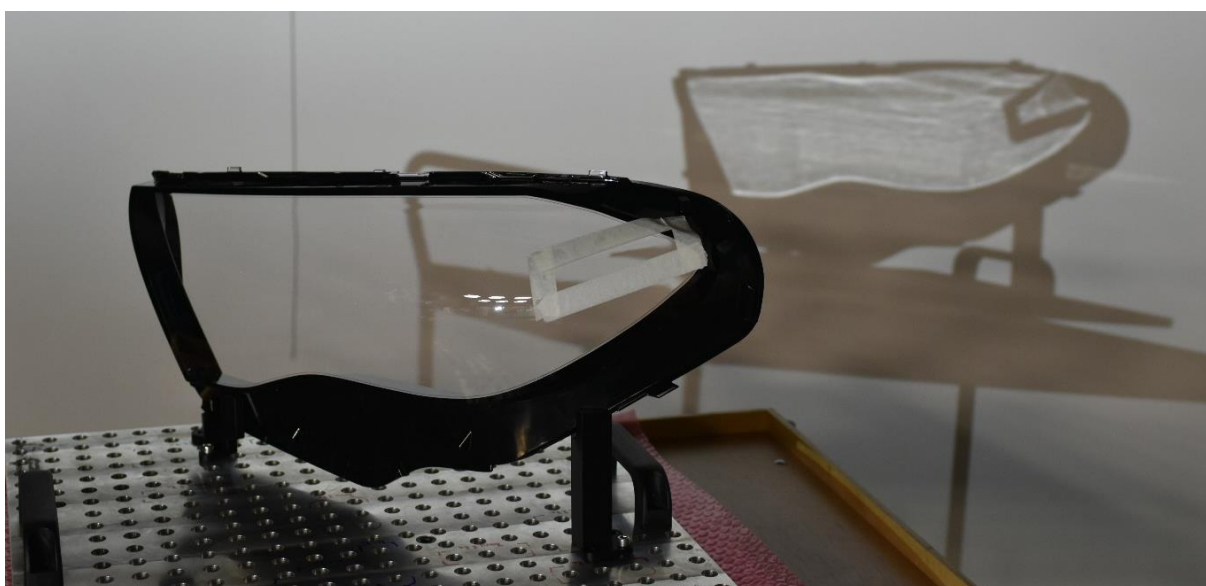
Při prosvětlování se jako nejčitelnější pozice jevila vzdálenost krycího skla 10 metrů od světelného zdroje, tedy těsně před měřicí stěnou. V této vzdálenosti byla na stěně zřetelně pozorována chybná struktura skla, která se projevila výstupkem stínu na měřicí stěně. V maximu tato struktura dosahovala 25 mm nad povrchem skla. Pozorovaná vada je zobrazena na **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** a Obr. 89. Stejný postup byl proveden pro měření dalších pět vzorků skel pro jiné typy automobilů. Výsledky těchto měření jsou zobrazeny v Příloze 2. Žádné z těchto skel nevykazovalo podobné zobrazení, s rozdílem míst, kde se nacházela ostrá hrana či jiná prudká změna tvaru. Na základě toho bylo určeno, že se jedná o místo, ve kterém dochází k vnitřnímu pnutí plastového dílce. Z fyzikálního hlediska je tato nerovnost způsobena chodem paprsků přes nepravidelný tvar skla.



Obr. 88 Optická projekce nerovnosti povrchu.

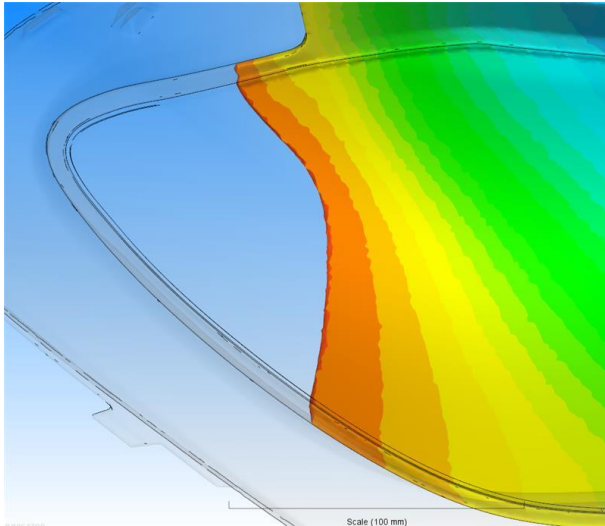


Obr. 89 Optická projekce nerovnosti povrchu – detail.

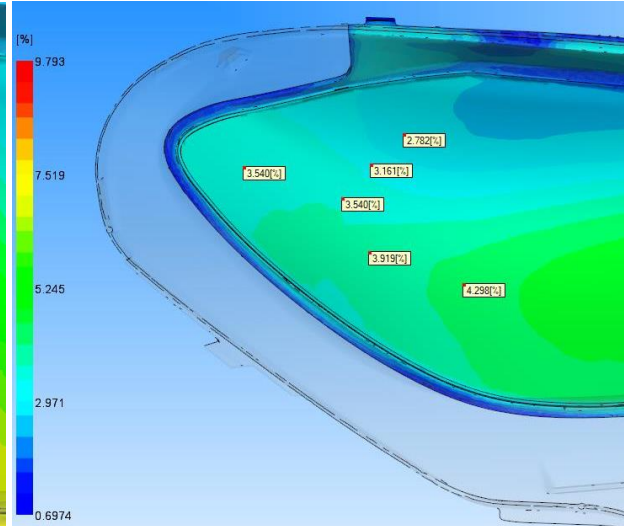


Obr. 90 Označení místa s nerovností povrchu.

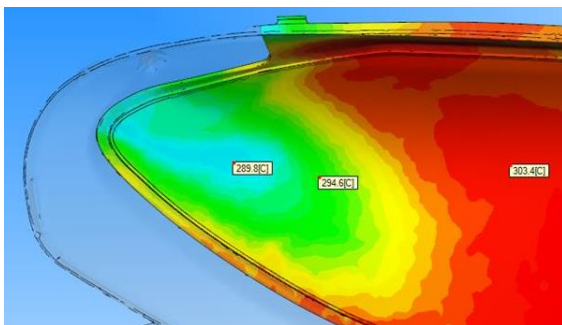
Na měřeném vzorku v místě chybného zobrazení se žádná tvarová změna nevyskytuje (Obr. 90), proto bylo dané místo zkoumáno pomocí simulací vstřikovacího procesu. Ten ukázal, že v místě nerovnosti vzniká vlnka, která se může v důsledku pomalejšího vstřiku nepatrně zvětšovat (Obr. 91). Tato oblast však není považována za kritickou, navíc vznikající vlnka má vertikální směr, zatímco nerovnost pozorovaná pomocí optické projekce je horizontální. Dále byly zobrazeny hodnoty smrštění plastu po vychladnutí (Obr. 92), které však v kritické oblasti nedosahují rapidně rozdílných hodnot, stejně tak byla zkoumána teplota na čele taveniny, kdy je rozdíl teplot ve zkoumaném místě minimální (Obr. 93).



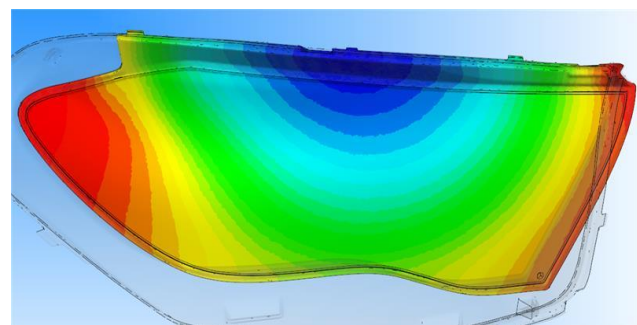
Obr. 91 Simulace vstřikovacího procesu [s].



Obr. 92 Hodnoty smrštění plastu [%].



Obr. 93 Teplota na čele taveniny [°C].



Obr. 94 Čas plnění [s].

Simulace moldflow (tečení taveniny v dutině formy) ukazuje rizika v jiných oblastech skla a jedná se o jiné typy vad výlisků (uzavírání vzduchu apod.).



Obr. 95 Lisovací forma na výrobu krycího skla.

Na obrázcích výše je zobrazen lisovací nástroj na dvoukomponentní sklo a detail na provedení povrchu zobrazující zrcadlový a technický lesk.

Na základě těchto zjištění lze tedy prohlásit, že vzniklá nerovnost je způsobena špatným leštěním povrchu lisovacího nástroje, které bylo pravděpodobně provedeno převážně v jednom směru bez dodržení požadavků na tvarovou přesnost.



Obr. 96 Světelná stopa bez použití (vlevo) a s použitím (vpravo) krycího skla.

Na Obr. 96 je světelný výstup bez a s použitím krycího skla (nejjednodušší test pro určení vlivu skla) a dále je vliv skla analyzován pomocí metody vzdálené projekce, která je uvedena na Obr. 88 – Obr. 90. Zmíněné obrázky ukazují vliv skla na osvětlované okrajové oblasti, zatímco obrázky níže znázorňují vady ve středu světelné oblasti.



Obr. 97 Světelná stopa s použitím vadného krycí skla.

Vliv čelního skla na optický výstup je především v oblasti drobných vizuálních vad. Předpokladem pro toto hodnocení je správný návrh nástroje bez problémů s plněním dutiny formy (bez propadů). Na základě posouzení skel z několika různých projektů a různých výrobců se jako původce optických vad jeví zrcadlové leštění povrchu formy. Pro tento typ nástroje je požadováno leštění do zrcadlového lesku se zvýšenými nároky na tvarovou přesnost.

Opravitelnost je komplikovaná z důvodu leštění velkých ploch (celá čelní plocha světloometu), pro určení kvality povrchu skla se dá již od prvních dílců využívat metody vzdálené projekce pro rychlou a jednoduchou identifikaci problémových oblastí.

Zhodnocení

Kvalita povrchu skla má vliv na homogenitu optického výstupu.

Opatření

Použití metody „vzdálené optické projekce“ pro vizuální vyhodnocení kvality povrchu skla. Povrch skla musí být bez anomálií.

5.4.4 Nepřesnosti optických ploch

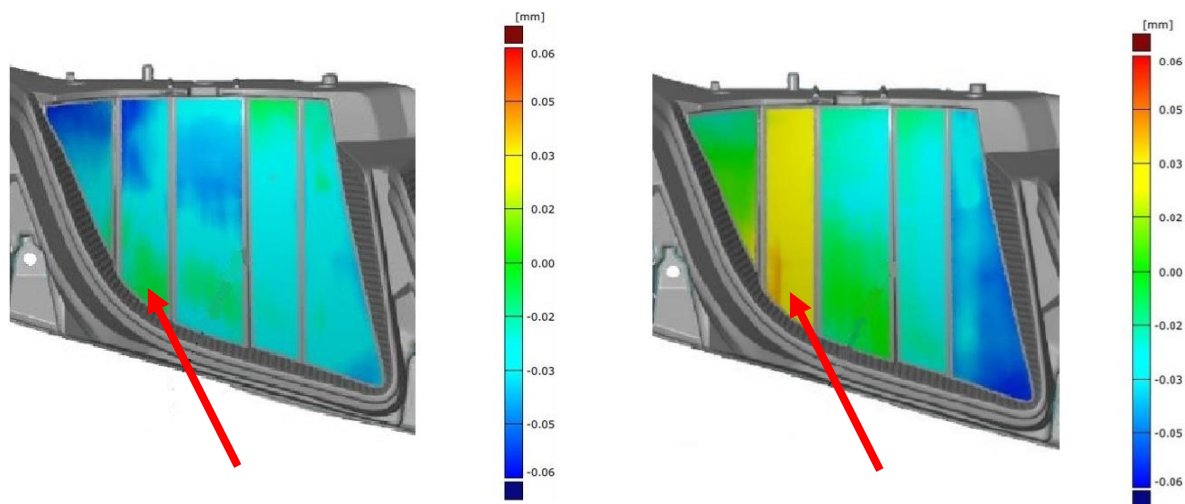
Hodnocení:

- Závažnost: 9
- Opravitelnost: 8

Reflektor jako celek definuje celkové rozložení světelného toku, přičemž jednotlivé optické fazety mohou být zdrojem lokálních optických vad. Původce představuje nepřesnosti obrábění konkrétních optických segmentů a jejich přechodů.

V rámci optické analýzy je vyhodnocena každá fazeta a následně jsou navrženy korekce optických ploch. Pro první dílce je forma reflektoru dokončena s přidavkem materiálu, který umožňuje korigovat drobné vady pomocí leštění.

Níže je zobrazena analýza tvarové odchylky jednoho optického segmentu reflektoru a stav po dopracování v nástrojárně (dokončení a zaleštění segmentu), který vedl k odstranění optické vady.



Obr. 98 Modifikace jedné z fazet.

Na základě analýzy optických výstupů pro předmětný reflektor byla stanovena doporučená tolerance tvaru 0,06 mm, ale zároveň maximální úhlová odchylka 0,05° na ploše 2x2 mm. Každá fazetka optické plochy musí být leštěna do zrcadlového lesku, důležité jsou také přechody mezi fazetkami, kde vzniká riziko ulpívání laku a s následným pokovením v těchto místech vzniká riziko tvarové odchylky odrazové plochy. Přechody mezi fazetkami je nutno optimalizovat již ve fázi 3D modelu, v rámci fáze korekce nepřesnosti optických ploch jsou úpravy nástroje limitovány.

Zhodnocení

Tvarové odchylky fazetek v nástroji a jejich dopady na optický výstup.

Opatření

Stanovení materiálového přídavku +0,1 mm pro všechny optické fazety s předpokladem následného dopasování dle optického výstupu. Optimalizace postupu obrábění a následného dokončení povrchů nástroje.

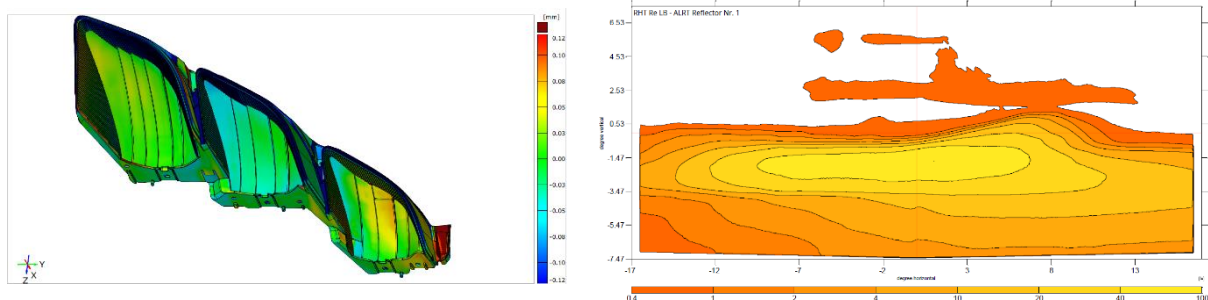
5.4.5 Rozměrové odchylky vlivem lisovacího nástroje

Hodnocení:

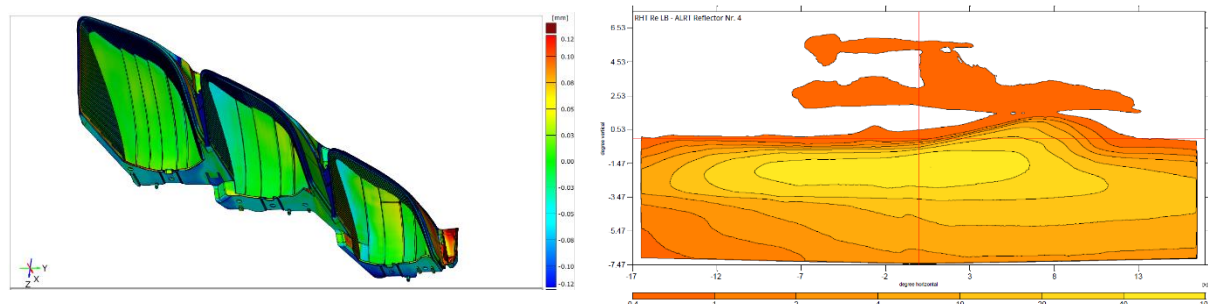
- Závažnost: 6
- Opravitelnost: 5

Tento původce vad byl zjištěn na prvních dílcích z nástroje a příčinou byly nedostatečně zaleštěny optické plochy – úkosy, odformovací úhly, které zvyšovaly potřebnou vyhazovací sílu na vyhození výlisku z nástroje. Zvýšené síly působící na reflektor během vyhození výlisku z nástroje způsobovaly tvarovou deformaci přibližně 0,2–0,4 mm na vnějších plochách reflektoru dle 3D skenu.

Níže je porovnání deformace reflektoru a světelné stopy před a po vyleštění technických ploch.



Obr. 99 Stav před vyleštěním technických ploch nástroje.



Obr. 100 Stav po vyleštění technických ploch nástroje.

Špatné zpracování úkosových ploch způsobuje deformace odpovídající celkové toleranci polohy zdroje. Bez dokončení úkosových ploch není možno zahájit korekce polohy optického zdroje.

Zhodnocení

Původce způsobuje celkové deformace reflektoru.

Opatření

Nástrojárna musí precizně dokončit veškeré technické plochy za účelem minimalizace deformace reflektoru během jeho vyhazování z formy. Optimalizace 3D dat a konceptu nástroje pro maximální přesnost výlisku.

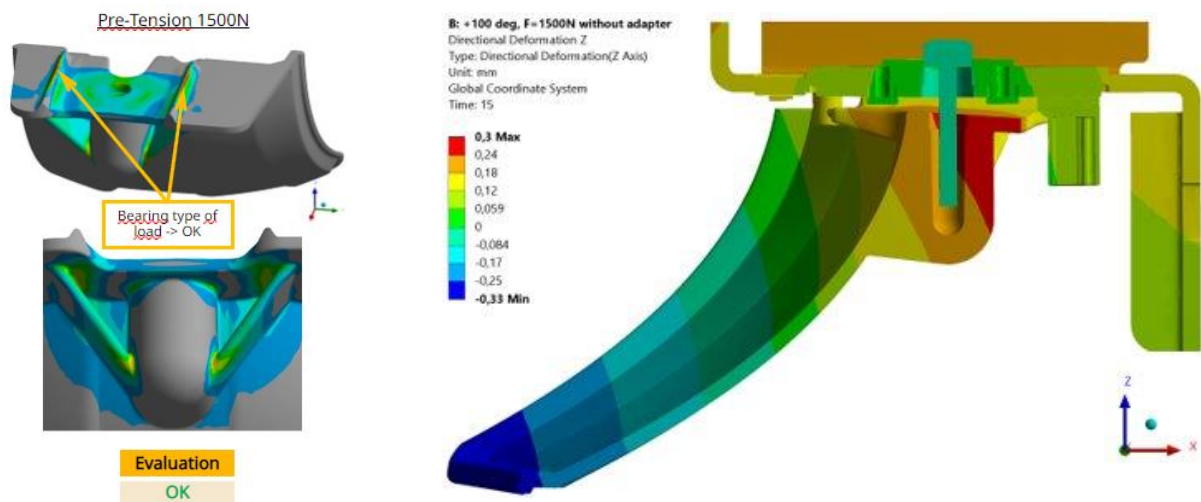
5.4.6 Rozměrové odchylky vlivem technologie montáže

Hodnocení:

- Závažnost: 4
- Opravitelnost: 2

Tento původce představuje technologické procesy montáže komponent na reflektor a jejich vliv na optický výstup. Především se jedná o šroubové spoje připevňující optický zdroj nebo připevnění kulových objímek a vzájemnou interakcí tolerančních odchylek ostatních komponent.

Níže je naznačen příklad montáže světelného zdroje šroubem 5x25 s předepínací silou v ose šroubu 1 500 N. Na příkladu je zobrazena FEM simulace předmětného reflektoru, reflektor vyhovuje na únosnost (pevnost v ohybu pro BMC je 72 MPa), ale dochází k vnesení tvarové odchylky mezi optický zdroj a odrazové plochy až 0,53 mm (v závislosti na teplotě a předepínací síle jsou odchylky okrajů optických ploch v rozmezí 0,1–0,5 mm).



Obr. 101 Deformace reflektoru vlivem vysokého utahovacího momentu.

Vysoký utahovací moment nebo rozptýl utahovacího momentu vnáší zbytečné odchylky do světelného výstupu s nemožností korigování světelného výstupu, proto je doporučeno použít přesný šroub s břitem optimalizovaný pro BMC materiál, např. od firmy Ejot, a zároveň dodržet utahovací moment $2 \pm 0,2$ Nm.

Zhodnocení

Původce způsobuje tvarové deformace vlivem vneseného napětí do montážní sestavy.

Opatření

Optimalizace technologického procesu spojování dílců, což zahrnuje jednak stabilitu výrobního procesu (konstantní a správně navrženy utahovací moment) a dále rozměrově přesné dílce navazující sestavy (např. deformace vnášené nastavovacím mechanismem).

6 VYHODNOCENÍ TYPŮ VAD A DOPORUČENÁ OPATŘENÍ

Jedním z cílů práce je vyhodnotit získaný přehled typů vad a navrhnout možný postup opatření za účelem zrychlení procesu optimalizace reflektoru. Tato opatření jsou především platná pro obdobný typ reflektoru a jeho uspořádání. Během praktické analýzy vad se ukázalo, že je vhodnější popisovat původce vad, a to z důvodu kombinovaného vlivu různých původců.

Pro vlastní vyhodnocení byla vytvořena následující přehledová tabulka obsahující dvě hlavní kategorie vad a k nim odpovídající typičtí původci vad včetně jejich hodnocení pomocí faktoru „závažnost“ a „výskyt“. Pro každého původce je uvedeno opatření (oblast opatření).

Tab. 7 Vyhodnocení původců vad.

Skupina vad	Původce	Popis	Závažnost	Opravitelnost	Opatření
Rozložení světelného toku a HDG	Poloha světelného zdroje	Odchylka světelného zdroje od ohniska	10	3	Materiálové přídavky kontaktních ploch pro dopasování polohy
	Rozměrové odchylky vlivem lisovacího nástroje	Původcem lisovací proces	6	5	Optimalizace tečení taveniny, úkosové odformovací úhly, dělicí roviny a vyhazovače
	Rozměrové odchylky vlivem technologie montáže	Deformace vlivem dalších dílců v sestavě a technologie montáže	4	2	Vnesení deformací vlivem utahovacího momentu šroubů, či montáží dalších skupin na reflektor
Intenzita, homogenita, odlesky, vizuální vady	Kvalita optických ploch	Kvalita pokovení	9	7	Kvalita leštění odrazových ploch určuje kvalitu pokovení
	Nepřesnosti optických ploch	Přesnost obrábění a leštění	9	8	Dokončení reflektoru s přídavky a prvotním leštěním pro další korekce pomocí úběru materiálu
	Lakování	Zbytky, přetoky, tloušťka laku	5	5	Viskozita laku a povrchové napětí, konstrukční řešení
	Přechody fazetek	Minimální technologické rádiusy obrábění	6	7	Konstrukční řešení, optický návrh
	Sklo světlometu	Struktura povrchu	6	9	Technologie leštění, optimalizace toku taveniny
	Lakování světlometu	Proměnlivá tloušťka laku	4	5	Technologický proces lakování a odstranění vnitřního pnutí
	Osvícení okolních komponent reflektoru	Rizika odlesku	3	3	Struktura povrchu, povrchová úprava, stínítka, simulace
	Světelné úniky	Vizuální vady narušující designovou funkci	3	3	Technické úpravy geometrie, stínítka, simulace

Obecně a zjednodušeně lze konstatovat, že z hlediska počtu optických vad byly identifikovány pouze dvě skupiny vad, a to první skupina vad hlavního rozložení světelného toku, a druhá skupina zahrnující ostatní vady jako homogenita, intenzita apod.

První skupina vad souvisí primárně se správností návrhu virtuálního 3D modelu reflektoru s ohledem na rozložení optického toku světla, tedy při správném navazujícím návrhu lisovacího nástroje lze vylisovat geometricky vyhovující reflektor, který definuje hlavní rozložení světelného toku. Samotný reaktoplastový materiál má smrštění 0,025 % (vysoce stabilní materiál), a tedy hlavním původcem vad jsou zde:

- deformace z procesu lisování,
- deformace technologickým procesem montáže,
- chybná poloha optického zdroje vůči ohnisku reflektoru.

Druhá skupina vad pak zahrnuje především skupinu lokálních vad, jako např. odlesků, homogenity apod., kdy tato skupina vad má celou řadu původců. Jako dominantní původce zde lze označit:

- přesnost obráběného povrchu nástroje,
- přesnost obrábění přechodů jednotlivých fazetek v nástroji,
- zrcadlové leštění ploch v nástroji,
- navazující technologické kroky jako lakování a pokovení reflektoru,
- montáž optického zdroje a montáž na nastavovací systém.

6.1 Doporučený postup opatření

Doporučený postup opatření zohledňuje jednotlivé optimalizační fáze a související kroky.

V rámci fáze prvních dílců z nástroje je nutné provést zaleštění technických ploch pro optimální „vyhazování“ reflektoru z formy, technické úkopy a rádiusy bez správně provedených povrchů zvyšují přídržnost dílce ve formě po vylisování a působící síly od vyhazovačů mohou zvětšovat rozměrové deformace. Cílem je dosáhnout rozměrově stabilního reflektoru z procesu lisování, protože bez rozměrově stabilního reflektoru nelze provést korekci polohy optického zdroje.

V navazující korekční fázi je doporučeno rozdělit analýzu do čtyř oblastí, a to do oblasti polohy optického zdroje, přesnosti provedení optických fazet včetně stupně zrcadlového leštění, vlivu povrchu skla na optický výstup (metoda vzdálené projekce) a do technologické oblasti. Jedná se o problematiku o rozsáhlé oblasti, přičemž oblasti korekce polohy zdroje a technologická oblast patří mezi jednoduše korigovatelné. Podle jednotlivých oblastí je doporučeno:

- korekce polohy zdroje – využití přídatku materiálu v nástroji, umožňující dopasování polohy světelného zdroje pomocí úběru materiálu,
- přesnost optických fazet – využití 3D skenu dílce a provedení re-simulace se skutečnými optickými plochami, cílem je určit rozsah korekcí v nástroji, tato oblast je nejkomplexnější a nejsložitější,
- vliv skla – určení vlivu skla na optický výstup pomocí metody vzdálené projekce, je doporučeno touto metodou kontrolovat provedení povrchu prvních dílců,
- technologická oblast – zaměření se na správně nastavený utahovací moment světelného zdroje, který umožní stabilitu a opakovatelnost fixace zdroje bez vnášení dalších deformací do reflektoru.

ZÁVĚR

Tato práce se zabývá optimalizací optického systému světlometu ve fázi náběhu výroby zahrnující zároveň fázi homologace světlometu. Fáze homologace světlometu vyžaduje splnění intenzity světleného toku v měřicích bodech, fáze náběhu výroby zahrnuje i vizuální hodnocení světleného výstupu. Optimalizační fáze trvala 210 dní a zahrnovala 4 hlavní korekční smyčky.

Dosažené výsledky:

- analyzovány vady příslušející každé korekční smyčce,
- proveden rozbor vad za účelem opatření pro nové projekty,
- hlavní opatření se týkají lisovacího nástroje reflektoru, přesnosti obrábění tvaru a leštění povrchu s ohledem na materiálové přídavky pro korekci pomocí úběru materiálu,
- navrženo řešení pro zjednodušené vizuální hodnocení kvality povrchu skla pomocí „vzdálené projekce“,
- provedeno hodnocení závažnosti a opravitelnosti původců vad,
- shrnutí dosažených výsledků je uvedeno v Tab. 7,
- zpracován doporučený postup opatření.

Vlastní soubor opatření souvisí z větší části s přesností výroby optických ploch lisovacího nástroje plastového reflektoru a s precizností dokončení optických ploch nástroje reflektoru do zrcadlového lesku, což v praxi znamená koordinaci mezi konstruktérem 3D modelu, optickým inženýrem a nástrojařem. Menší část opatření pak souvisí s navazujícím technologickým postupem jako je lakování, pokovování a montážní operace spojené s vnášením přídavného napětí a souvisejících deformací např. vlivem utahovacího momentu šroubových spojů či vlivem rozměrových nepřesností dalších komponent sestavy. Soubor opatření je postaven na předpokladu vhodně zvoleného optického konceptu reflektoru ověřeného pomocí optických simulací čímž lze získat ideální 3D model. Za tohoto předpokladu jsou pak veškeré vady způsobeny nepřesnostmi výroby formy lisovacího nástroje, a dále nepřesnostmi vlivem technologického procesu.

V rámci zpracování diplomové práce byl analyzován velký objem vzorků, dat a měření, řada kapitol byla redukována z důvodu přílišného rozsahu.

Cílem práce byl popis optických vad a jejich hodnocení za účelem zkrácení nebo zjednodušení postupu optimalizace reflektoru, a tedy zefektivnění fáze náběhu do výroby. Každá optická vada má svého původce nebo příčinu, ke které je možno hledat opatření. Vzhledem k reálným přesnostem výroby formy lisovacího nástroje a navazujícím technologickým krokům není možné optické vady odstranit bez korekčních smyček, ale je možno zjednodušovat korekce vad.

Cíle práce bylo dosaženo.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. HABEL, Jiří. Světlo a osvětlování. Praha: FCC Public, 2013, 622 s. : il. (převážně barev.) ; 21 cm. ISBN 978-80-86534-21-3.
 2. DUŠEK, Jiří. Zelené a UV lasery. *Megablog* [online]. 2012 [cit. 2022-04-12]. Dostupné z: <https://www.mega-blog.cz/lasery/zelene-a-uv-lasery/>.
 3. GHASSEMLOOY, Zabih, Luis Nero ALVES, Stanislav ZVÁNOVEC a Mohammad-Ali KHALIGHI. Visible light communications: theory and applications. Boca Raton: CRC Press, 2017, xxii, 567 stran : ilustrace ; 24 cm. ISBN 978-1-4987-6753-8.
 4. Radiometrické a fotometrické veličiny. *WikiSkripta* [online]. 2019 [cit. 2022-01-26]. Dostupné z: https://www.wikiskripta.eu/w/Radiometrick%C3%A9_a_fotometrick%C3%A9_veli%C4%8Diny
 5. Fotometrické veličiny. *Encyklopedie fyziky* [online]. [cit. 2022-01-26]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/535-fotometricke-veliciny>
 6. POŘÍZKA, Pavel. Fotometrie.
 7. Odraz a lom světla. *Webové stránky Pedagogické fakulty Jihočeské univerzity* [online]. [cit. 2022-02-24]. Dostupné z: http://www.pf.jcu.cz/stru/katedry/fyzika/prof/Tesar/diplomky/obr_dopl_optika/optika/zakl_prvky/odraz_lom.htm.
 8. KRÁLOVÁ, Magda. Willebrord Snellius. *Eduportál* [online]. [cit. 2022-02-24]. Dostupné z: <http://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/vedec/1318/snellius>.
 9. NOVOTNÝ, Jan. Šíření světla.
 10. Absorpce světla. *WikiSkripta* [online]. [cit. 2022-02-25]. Dostupné z: https://www.wikiskripta.eu/w/Absorpce_sv%C4%9Btlahttps://www.wikiskripta.eu/w/Spektrofotometrie.
 11. JAN, Zdeněk, Bronislav ŽDÁNSKÝ a Jindřich KUBÁT. Automobily. 6, Elektrotechnika motorových vozidel II. 3. vydání. Brno: Avid, spol. s r. o, 2013, 211 stran : ilustrace (převážně barevné). ISBN 978-80-87143-27-8.
 12. KUČERA, Ondřej. Optika a elektronika v automobilovém průmyslu [online]. Jihlava: Marelli Automotive Lighting. [cit. 2022-01-26]. Dostupné z: firemního sdíleného disku.
 13. Co je to LED dioda?. *LEDME* [online]. [cit. 2022-02-10]. Dostupné z: <https://ledme.cz/textove-novinky/clanky/co-je-LED-dioda>.
 14. Metal Can® TO38, PL 450B. *OSRAM* [online]. [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: https://www.osram.com/ecat/Metal%20Can%C2%AE%20TO38%20PL%20450B/com/en/class_pim_web_catalog_103489/prd_pim_device_2220052/.
 15. Diody. *SPŠE a OA Mohelnice* [online]. [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: <http://old.spsemoh.cz/vyuka/zel/diody.htm>.
 16. Laserová světla pro světlomety. *OSRAM* [online]. [cit. 2022-02-10]. Dostupné z: <https://www.osram.cz/am/specials/trendslighting-innovations/laser-light-new-headlight-technology/index.jsp>.
 17. OSLON® Black Flat S, KW2 HIL532.TK. *OSRAM* [online]. [cit. 2022-04-15]. Dostupné z:
-

-
- https://www.osram.com/ecat/OSLON%C2%AE%20Black%20Flat%20S%20KW2%20HL532.TK/com/en/class_pim_web_catalog_103489/prd_pim_device_7386258/.
18. Laserové světlo v automobilovém průmyslu: Otázky a odpovědi o inovativní laserové technologii. *OSRAM* [online]. [cit. 2022-02-10]. Dostupné z: <https://www.osram.cz/am/specials/trendslighting-innovations/laser-light-new-headlight-technology/questions-and-answers-on-innovative-laser-technology/index.jsp>.
 19. Adaptive light. *Audi Technology Portal* [online]. [cit. 2022-04-12]. Dostupné z: https://www.audi-technology-portal.de/en/electrics-electronics/lighting-technology/adaptive-light_en.
 20. Matrix LED headlights. *Audi Technology Portal* [online]. [cit. 2022-04-12]. Dostupné z: <https://www.audi-technology-portal.de/en/electrics-electronics/lighting-technology/matrix-led-headlights>.
 21. NOVÁK, Martin. Víte, jak fungují LED Matrix světlomety a proč je opravdu dobré je mít? Vysvětlíme vám to. *Autohled* [online]. 2019 [cit. 2022-04-12]. Dostupné z: <https://www.autohled.cz/magazin/vite-jak-funguji-led-matrix-svetlomety-a-proc-je-opravdu-dobre-je-mit-vysvetlime-vam-to/195>.
 22. Nové světlomety od Audi. Seznamte se s technikou Matrix Laser. *Louda Auto* [online]. [cit. 2022-04-12]. Dostupné z: <https://louda.cz/novinky/nove-svetlomety-od-audi-seznamte-se-s-technikou-matrix-laser-n449305.htm>.
 23. Projektor místo světlometů. *Moto Focus* [online]. 2018 [cit. 2022-04-12]. Dostupné z: <https://motofocus.cz/vyrobci/43176,projektor-misto-svetlometu>.
 24. HELLA receives further series orders for innovative chip-based headlamp system. *HELLA* [online]. [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: <https://www.hella.com/hella-com/en/press/Company-Technology-Products-26-08-2021-19759.html>.
 25. HELLA Show Up at 2017 Shanghai International Automobile Industry Exhibition. *HELLA* [online]. 2017. [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: <https://www.hella.com/hella-cn/en/Company-20-04-2017-3345.html>.
 26. What are adaptive and matrix LED headlights?. *Carbuyer* [online]. [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: <https://www.carbuyer.co.uk/car-technology/303879/what-are-adaptive-and-matrix-led-headlights>.
 27. VLK, František. Elektronické systémy motorových vozidel. Díl 2. Brno: František Vlk, 2002, vii, 299-592 s. : il. ISBN 80-238-7282-6.
 28. MARTÍNEK, M. *Osvětlovací technika moderních vozidel a měření dohlednosti na dosvit hlavních světlometů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2011. 126 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Aleš Vémola, Ph.D.
 29. PP světlomet H7+H1 Škoda Octavia II. *VSA Parts* [online]. [cit. 2022-04-13]. Dostupné z: <https://www.vsaparts.cz/pp-svetlomet-h7-h1-skoda-octavia-ii-facelift--hella>.
 30. MARTOCH, Jan. Návrh světlovodů pro použití v automobilovém osvětlení. *SVĚTLO* [online]. 2013 [cit. 2022-02-10]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/clanek/navrh-svetlovodu-pro-pouziti-v-automobilovem-osvetleni--609>.
 31. BMW 328i black car angel eyes. *Wallpaperbetter* [online]. [cit. 2022-03-11]. Dostupné z: <https://www.wallpaperbetter.com/cars-wallpaper/2013-bmw-328i-black-car-angel-eyes-229352>.
-

-
32. Kdy musím zapnout normální světla, kdy už nestačí světla pro denní svícení?. *Autoklub České republiky* [online]. [cit. 2022-03-11]. Dostupné z: <https://www.autoklub.cz/119118-kdy-musim-zapnout-normalni-svetla-kdy-uz-nestaci-svetla-pro-denni-sviceni/>.
 33. Světlo met automobilu. *Autolexicon* [online]. [cit. 2022-03-11]. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/svetlo-met-automobilu/>.
 34. Osvětlení motorového vozidla. *Wikipedie* [online]. [cit. 2022-03-11]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Osv%C4%9Btlen%C3%AD_motorov%C3%A9ho_vozidla.
 35. Vývoj a konstrukce světlometů ŠKODA AUTO a.s. *DocPlayer* [online]. [cit. 2022-03-11]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/20229404-Vyvoj-a-konstrukce-svetlometu-skoda-auto-a-s.html>.
 36. Světlo mety a elektronika světlometů. *Docplayer* [online]. [cit. 2022-03-11]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/15741460-Sv-tlometry-a-elektronika-sv-tlomet.html>.
 37. Comment choisir la meilleure ampoule?. *Ampoule voiture* [online]. [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: <https://www.ampoule-accessoire-auto.fr/>.
 38. Rozdělení a charakteristika polymerů. *Publi* [online]. [cit. 2022-04-18]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/04.html>.
 39. Termoplasty – základní druhy. *Publi* [online]. [cit. 2022-04-18]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/18.html>.
 40. BMC. *Prefa kompozity, a.s.* [online]. [cit. 2022-04-18]. Dostupné z: <https://www.prefa-kompozity.cz/produkty/ostatni/bmc/>.
 41. PC (POLYKARBONÁT). *KOPLAST* [online]. [cit. 2022-04-18]. Dostupné z: <https://www.koplast.cz/pc-polykarbonat/>.
 42. Technologie vstřikování plastů. *Publi* [online]. [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/03.html>.
 43. KUBÍČEK, František. *Technologie zpracování plastů*. Brno, 2018. 31 s, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí bakalářské práce Ing. Ladislav Žák, Ph.D.
 44. Vstřikovací forma reflektoru. Jihlava, 2016.
 45. MARELLI AUTOMOTIVE LIGHTING. Procesy lakování [online]. Jihlava, 2008. [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: firemního sdíleného disku.
 46. MRÁZEK, Dušan. Testování pokovení, vliv kvality pokovení na délku testů a finanční náročnost [online]. Jihlava: Marelli Automotive Lighting, 2014. [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: firemního sdíleného disku.
 47. Gravírování laserem. *TRUMPF* [online]. [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/cs_CZ/reseni/pouziti/laserove-oznacovani/gravirovani-laserem/.
 48. Hot Stamping. *ScienceDirect* [online]. [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/hot-stamping>.
 49. Certifikáty a homologace. *WAS* [online]. [cit. 2022-03-11]. Dostupné z: <https://www.was.eu/cz/certifikaty-a-homologace.php>.
 50. Homologace E8. *Elektrotechnický zkušební ústav* [online]. [cit. 2022-03-11]. Dostupné z: <https://ezu.cz/katalog-produktu/homologace-e8/>.
-

-
51. Goniophotometer for Automotive Lighting. *Instrument Systems* [online]. [cit. 2022-04-01]. Dostupné z: <https://www.instrumentsystems.com/en/products/goniophotometer-for-automotive-lighting>.
 52. Goniometr. *Encyclopedia* [online]. [cit. 2022-04-01]. Dostupné z: https://wikijii.com/wiki/goniometer#Light_measurement.
 53. GERNESCHOVÁ, Jana a Petr KLIMENT. Využití zrcadlového goniofotometru k měření parametrů LED světelných zdrojů a svítidel. *SVĚTLO* [online]. 2021 [cit. 2022-04-01]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/clanek/vyuziti-zrcadloveho-goniofotometru-k-mereni-parametru-led-svetelných-zdroju-a-svitidel—6407>.
 54. AMS 5000. *Instrument Systems* [online]. [cit. 2022-04-01]. Dostupné z: <https://www.instrumentsystems.com/de/produkte/goniophotometer-fuer-automotive/ams-5000>.
 55. *Jednotná ustanovení pro schvalování světlometů motorových vozidel, které vyzařují asymetrické potkávací světlo nebo dálkové světlo nebo obojí a které jsou vybaveny žárovkami a/nebo LED moduly*. 2. 2013.
 56. 2021 Mercedes-Benz S-Class revealed. In: Paultan [online]. [cit. 2022-04-13]. Dostupné z: <https://paultan.org/2020/09/02/2021-mercedes-benz-s-class-revealed-w223-to-get-certified-level-3-semi-autonomous-driving-next-year/>.
 57. Požadavky na světlomet. Jihlava, 2015.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symboly

Označení	Legenda	Jednotka
A	plocha	[m ²]
A	absorbance	[-]
E	osvětlení	[lx]
E _e	ozáření	[W·m ⁻²]
H	světlení	[lm·m ⁻²]
H _e	intenzita vyzařování	[W·m ⁻²]
I	svítivost	[cd]
I	intenzita světla	[lx]
I	elektrický proud	[A]
I _e	zářivost	[W·sr ⁻¹]
L	jas	[nit]
L _e	zář	[W·sr ⁻¹ ·m ⁻²]
R _z	drsnost	[μm]
T	transmitance	[-]
T	termodynamická teplota	[K]
c	rychlost světla ve vakuu	[m·s ⁻¹]
n	index lomu	[-]
v	rychlost šíření paprsku	[m·s ⁻¹]
α	úhel dopadu	[°]
β	úhel lomu	[°]
Φ	světelný tok	[lm]
Φ _e	zářivý tok	[W]
Ω	prostorový úhel	[°]

Zkratky

Označení	Legenda
BMC	Bulk Moulding Compound
CAD	Computer Aided Design
CCC	Čínská certifikace (<i>China Compulsory Certification</i>)
CFD	Simulace proudění tekutin (<i>Computational Fluid Dynamics</i>)
COL	Cut-off-line
DE	Projekční světlomety (<i>Dreiechse Ellipsoid</i>)
DMD	Digital Micromirror Device
ECE	Economic Commission for Europe, European Regulation
FEM	Metoda konečných prvků (<i>Finite element method</i>)
FF	Free Form reflektorové světlomety
HB	Dálkové světlo (<i>High Beam</i>)
LB	Potkávácí světlo (<i>Low Beam</i>)
LED	Světlo emitující dioda (<i>Light Emitting Diode</i>)
LHT	Levostranný provoz (<i>Left Hand Traffic</i>)
PBT	Polybutylentereftalát
PC	Polykarbonát
PCB	Deska plošných spojů (<i>Printed Circuit Board</i>)
PET	Polyethylentereftalát
PMMA	Polymethylmethakrylát
POM	Polyoxymetylen
PP	Polypropylen
RHT	Pravostranný provoz (<i>Right Hand Traffic</i>)
SAE	Americká certifikace (<i>Society of Automotive Engineers</i>)
SSL	Solid State Lighting
UV	Ultrafialové (<i>Ultraviolet</i>) (záření)

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Polohování světelného zdroje
Příloha 2 Prostup světla přes krycí sklo

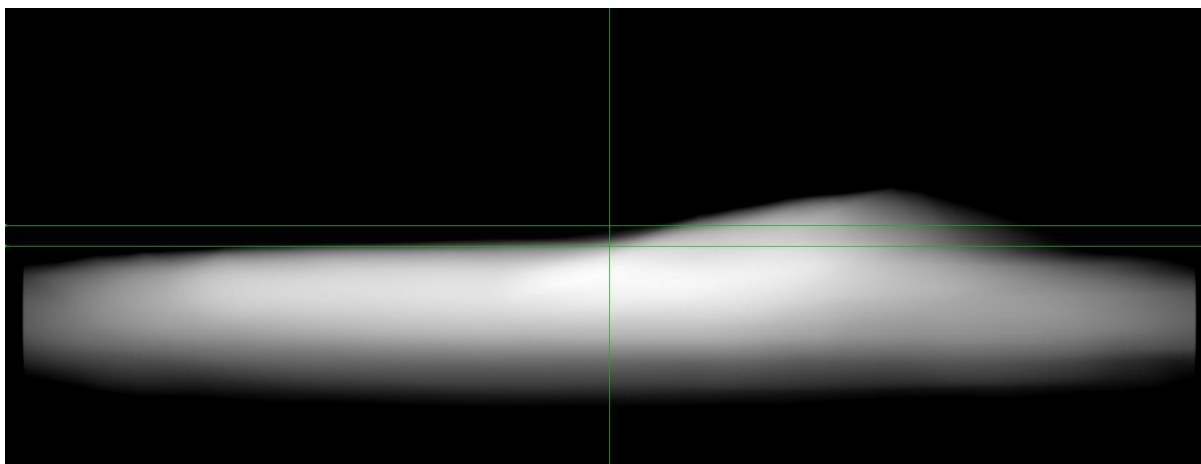


		x[°]		y[°]		x[°]	y[°]	
		Min.	Max.	Min.	Max.			
		-1,00	1,00	-1,00	1,00	0,00	0,00	
		ReAim		Set Val. [cd]		I [cd]		
Nr.	Measuring Position	X[°]	Y[°]	Min.	Max.			
1	B50L	-3,43	0,57	50	350	133		
2	HV	0	0	50	625	436		
3	BR	2,5	1	50	1750	140		
4	Segment BRR max	8	0,57		3550	1684		
5	Segment BRR min	16	0,57	50		83		
6	Segment BLL max	-9,75	0,57		625	119		
7	Segment BLL min	-15,83	0,57	50		96		
8	P	-7	0	63		248		
9	Zone IIIa_RHT_R123_C_01	0	0		625	436		
10	Zone IIIa_RHT_R123_C_02	0,24	0,25		625	324		
11	Zone IIIa_RHT_R123_C_03	0,5	0,5		625	177		
12	Zone IIIa_RHT_R123_C_04	0,51	0,75		625	146		
13	Zone IIIa_RHT_R123_C_05	0,97	1		625	135		
14	Zone IIIa_RHT_R123_C_06	-1,52	1,25		625	125		
15	Zone IIIa_RHT_R123_C_07	-1,57	1,5		625	121		
16	Zone IIIa_RHT_R123_C_08	-0,59	1,75		625	118		
17	Zone IIIa_RHT_R123_C_09	2	2		625	115		
18	S50RR	8	4		625	86		
19	S50	0	4		625	102		
20	S50LL	-8	4		625	97		
21	S100LL	-4	2		625	110		
22	S100	0	2		625	111		
23	S100RR	4	2		625	107		
24	75R	1,15	-0,57	10100		18991		
25	50V	0	-0,86	5100		26364		
26	50L	-3,43	-0,86	3550	18480	9299		
27	25LL	-16	-1,72	1180		2288		
28	25RR	11	-1,72	1180		7687		
29	Segment 10	-1,9	-4		12300	4018		
30	Maximum Imax	-0,55	-1,44	16900	44100	44955		
Sectional Views		Position/FWHM Tolerance [°]		Pos. Refer to/FWHM [°]		Set Val. Sharpn.		Sharpn.
No.	Measuring Position	Min.	Max.	Ref. Point	Reference	Min.	Max.	Value
1	Cut Off (absolute)	-1,00	0,00	-0,57	-0,57	0,20	0,40	0,36

Polohování světelného zdroje – hodnoty při povolení šroubu

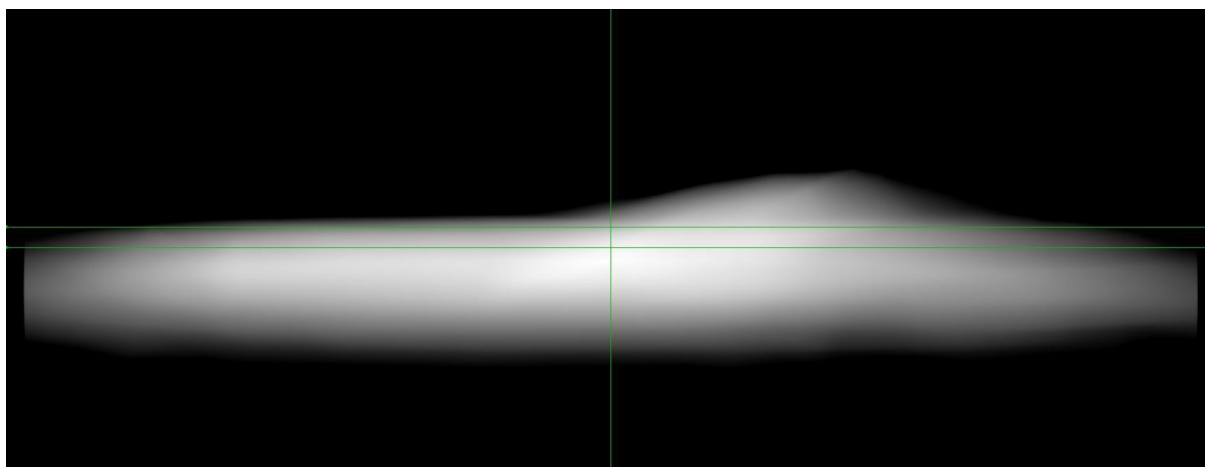


		x[°]		y[°]		x[°]	y[°]	
		Min.	Max.	Min.	Max.			
		-1,00	1,00	-1,00	1,00	0,00	0,10	
		Set Val. [cd]						
Nr.	Measuring Position	ReAim	X[°]	Y[°]	Min.	Max.	I [cd]	
1	B50L		-3,43	0,57	50	350	90	
2	HV		0	0	50	625	301	
3	BR		2,5	1	50	1750	101	
4	Segment BRR max		8	0,57		3550	2265	
5	Segment BRR min		16	0,57	50		50	
6	Segment BLL max		-10,09	0,57		625	85	
7	Segment BLL min		-15,9	0,57	50		56	
8	P		-7	0	63		129	
9	Zone IIIa_RHT_R123_C_01		0	0		625	301	
10	Zone IIIa_RHT_R123_C_02		0,24	0,25		625	188	
11	Zone IIIa_RHT_R123_C_03		0,5	0,5		625	139	
12	Zone IIIa_RHT_R123_C_04		0,63	0,75		625	110	
13	Zone IIIa_RHT_R123_C_05		1	1		625	96	
14	Zone IIIa_RHT_R123_C_06		1,24	1,25		625	87	
15	Zone IIIa_RHT_R123_C_07		-0,95	1,5		625	81	
16	Zone IIIa_RHT_R123_C_08		-0,66	1,75		625	76	
17	Zone IIIa_RHT_R123_C_09		2,01	2		625	73	
18	S50RR		8	4		625	49	
19	S50		0	4		625	61	
20	S50LL		-8	4		625	53	
21	S100LL		-4	2		625	65	
22	S100		0	2		625	72	
23	S100RR		4	2		625	67	
24	75R		1,15	-0,57	10100		18926	
25	50V		0	-0,86	5100		26779	
26	50L		-3,43	-0,86	3550	18480	9907	
27	25LL		-16	-1,72	1180		2107	
28	25RR		11	-1,72	1180		7828	
29	Segment 10		-2,12	-4		12300	2717	
30	Maximum Imax		-0,33	-1,44	16900	44100	47014	
Sectional Views		Position/FWHM Tolerance [°]		Pos. Refer to/FWHM [°]		Set Val. Sharpn.		Sharpn.
No.	Measuring Position	Min.	Max.	Ref. Point	Reference	Min.	Max.	Value
1	Cut Off (absolute)	-1,00	0,00	-0,47	-0,47	0,20	0,40	0,37



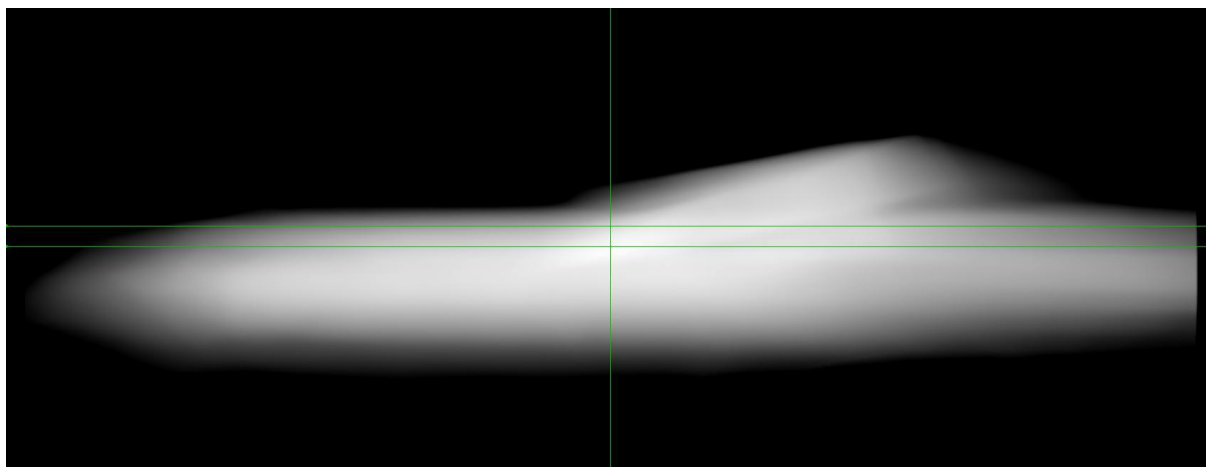
		x[°]		y[°]		x[°]	y[°]	
		Min.	Max.	Min.	Max.			
		-1,00	1,00	-1,00	1,00	0,00	0,10	
Nr.	Measuring Position	ReAim	X[°]	Y[°]	Set Val. [cd]		I [cd]	
1	B50L		-3,43	0,57	50	350	90	
2	HV		0	0	50	625	299	
3	BR		2,5	1	50	1750	99	
4	Segment BRR max		8	0,57		3550	2273	
5	Segment BRR min		16	0,57	50		50	
6	Segment BLL max		-9,86	0,57		625	85	
7	Segment BLL min		-15,27	0,57	50		56	
8	P		-7	0	63		129	
9	Zone IIIa_RHT_R123_C_01		0	0		625	299	
10	Zone IIIa_RHT_R123_C_02		0,24	0,25		625	187	
11	Zone IIIa_RHT_R123_C_03		0,5	0,5		625	139	
12	Zone IIIa_RHT_R123_C_04		0,62	0,75		625	109	
13	Zone IIIa_RHT_R123_C_05		0,97	1		625	96	
14	Zone IIIa_RHT_R123_C_06		0,42	1,25		625	86	
15	Zone IIIa_RHT_R123_C_07		-0,75	1,5		625	80	
16	Zone IIIa_RHT_R123_C_08		-0,77	1,75		625	76	
17	Zone IIIa_RHT_R123_C_09		-0,44	2		625	73	
18	S50RR		8	4		625	48	
19	S50		0	4		625	61	
20	S50LL		-8	4		625	53	
21	S100LL		-4	2		625	65	
22	S100		0	2		625	72	
23	S100RR		4	2		625	66	
24	75R		1,15	-0,57	10100		18821	
25	50V		0	-0,86	5100		26589	
26	50L		-3,43	-0,86	3550	18480	9888	
27	25LL		-16	-1,72	1180		2085	
28	25RR		11	-1,72	1180		7850	
29	Segment 10		-1,84	-4		12300	2668	
30	Maximum Imax		-0,58	-1,48	16900	44100	46474	
Sectional Views		Position/FWHM Tolerance [°]		Pos. Refer to/FWHM [°]		Set Val. Sharpn.		Sharpn.
No.	Measuring Position	Min.	Max.	Ref. Point	Reference	Min.	Max.	Value
1	Cut Off (absolute)	-1,00	0,00	-0,47	-0,47	0,20	0,40	0,37

Polohování světelného zdroje – hodnoty při pozici B



Nr.	Measuring Position	ReAim	X[°]	Y[°]	Set Val. [cd]		I [cd]	
					Min.	Max.		
1	B50L		-3,43	0,57	50	350	231	
2	HV		0	0	50	625	14904	
3	BR		2,5	1	50	1750	2141	
4	Segment BRR max		8	0,57		3550	2663	
5	Segment BRR min		16	0,57	50		69	
6	Segment BLL max		-8,22	0,57		625	203	
7	Segment BLL min		-16	0,57	50		75	
8	P		-7	0	63		4904	
9	Zone IIIa_RHT_R123_C_01		0	0		625	14904	
10	Zone IIIa_RHT_R123_C_02		0,24	0,25		625	6489	
11	Zone IIIa_RHT_R123_C_03		0,5	0,5		625	3002	
12	Zone IIIa_RHT_R123_C_04		0,74	0,75		625	979	
13	Zone IIIa_RHT_R123_C_05		1	1		625	268	
14	Zone IIIa_RHT_R123_C_06		1,24	1,25		625	141	
15	Zone IIIa_RHT_R123_C_07		6	1,5		625	935	
16	Zone IIIa_RHT_R123_C_08		6,81	1,75		625	244	
17	Zone IIIa_RHT_R123_C_09		-1,7	2		625	85	
18	S50RR		8	4		625	48	
19	S50		0	4		625	67	
20	S50LL		-8	4		625	56	
21	S100LL		-4	2		625	75	
22	S100		0	2		625	83	
23	S100RR		4	2		625	80	
24	75R		1,15	-0,57	10100		45323	
25	50V		0	-0,86	5100		54491	
26	50L		-3,43	-0,86	3550	18480	32770	
27	25LL		-16	-1,72	1180		3473	
28	25RR		11	-1,72	1180		8235	
29	Segment 10		-3,63	-4		12300	521	
30	Maximum I _{max}		-0,11	-0,96	16900	44100	55588	
	Sectional Views	Position/FWHM Tolerance [°]		Pos. Refer to/FWHM [°]		Set Val. Sharpn.		Sharpn.
No.	Measuring Position	Min.	Max.	Ref. Point	Reference	Min.	Max.	Value
1	Cut Off (absolute)	-1,00	0,00	0,22	0,22	0,20	0,40	0,43

Polohování světelného zdroje – hodnoty při pozici C



Nr.	Measuring Position	ReAim	X[°]	Y[°]	Set Val. [cd]		I [cd]	
					Min.	Max.		
1	B50L		-3,43	0,57	50	350	393	
2	HV		0	0	50	625	20124	
3	BR		2,5	1	50	1750	7632	
4	Segment BRR max		8	0,57		3550	8568	
5	Segment BRR min		16	0,57	50		242	
6	Segment BLL max		-9,71	0,57		625	371	
7	Segment BLL min		-16	0,57	50		53	
8	P		-7	0	63		5296	
9	Zone IIIa_RHT_R123_C_01		0	0		625	20124	
10	Zone IIIa_RHT_R123_C_02		0,24	0,25		625	11471	
11	Zone IIIa_RHT_R123_C_03		0,5	0,5		625	5364	
12	Zone IIIa_RHT_R123_C_04		0,74	0,75		625	3405	
13	Zone IIIa_RHT_R123_C_05		1	1		625	2091	
14	Zone IIIa_RHT_R123_C_06		1,24	1,25		625	1207	
15	Zone IIIa_RHT_R123_C_07		5,76	1,5		625	15432	
16	Zone IIIa_RHT_R123_C_08		6,53	1,75		625	11388	
17	Zone IIIa_RHT_R123_C_09		6,98	2		625	7251	
18	S50RR		8	4		625	56	
19	S50		0	4		625	67	
20	S50LL		-8	4		625	53	
21	S100LL		-4	2		625	74	
22	S100		0	2		625	101	
23	S100RR		4	2		625	214	
24	75R		1,15	-0,57	10100		35678	
25	50V		0	-0,86	5100		38435	
26	50L		-3,43	-0,86	3550	18480	24880	
27	25LL		-16	-1,72	1180		679	
28	25RR		11	-1,72	1180		7913	
29	Segment 10		-2,28	-4		12300	696	
30	Maximum Imax		0,12	-0,72	16900	44100	41568	
	Sectional Views	Position/FWHM Tolerance [°]		Pos. Refer to/FWHM [°]		Set Val. Sharpn.		Sharpn.
No.	Measuring Position	Min.	Max.	Ref. Point	Reference	Min.	Max.	Value
1	Cut Off (absolute)	-1,00	0,00	0,44	0,44	0,20	0,40	0,32

