



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

PROBLEMATIKA CLONY V LED MODULU SVĚTLOMETU

PROBLEMS OF THE MIRROR SHUTTER IN THE LED MODULE OF THE HEADLIGHT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Mgr. Jan Ettler

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Milan Kalivoda

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Mgr. Jan Ettler**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Milan Kalivoda**
Akademický rok: 2019/20

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

Problematika clony v LED modulu světlometu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rešerše problematiky z výrobně–montážního procesu LED modulu světlometu automobilu se zaměřením na snížení rizik spojených s vlastní montáží.

Cíle bakalářské práce:

- Teorie ohledně tvorby světla a zdrojů světla.
- Funkce LED modulu ve světlometu.
- Zákaznické požadavky a platné zákony.
- Metody aretace clony v montážním procesu.
- Vzájemné porovnání metod aretace.
- Zhodnocení parametrů z porovnání.

Seznam doporučené literatury:

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření, plošné a objemové tváření. 3. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2013. 170 s. ISBN 978-80-214-4747-9.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

HLAVENKA, Bohumil. Manipulace s materiálem: Systémy a prostředky manipulace s materiálem. 4. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2008. 163 s. ISBN 978-80-214-3607-7.

HLAVENKA, Bohumil. Projektování výrobních systémů: Technologické projekty I. 3. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2005. 197 s. ISBN 80-214-2871-6.

IMAI, Masaaki. Kaizen. 1. vyd. Brno: Computer Press, a. s., 2004. 272 s. ISBN 80-251-0461-3.

JUROVÁ, Marie. Organizace přípravy výroby. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2009. 100 s. ISBN 978-8-214-3946-7.

LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky. 3. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 2000. 986 s. ISBN 80-7183-164-6.

MÁDL, Jan et al. Jakost obráběných povrchů. 1. vyd. Ústí nad Labem: UJEP, 2003. 180 s. ISBN 80-7044-639-4.

PERNIKÁŘ, Jiří a Miroslav TYKAL. Strojírenská metrologie II. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 180 s. ISBN 80-214-3338-8.

PÍŠKA, Miroslav et al. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2009. 252 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

Příručka obrábění, kniha pro praktiky. 1. vyd. Praha: Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.

PTÁČEK, Luděk et al. Nauka o materiálu I. 2. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 516 s. ISBN 80-72-4283-1.

PTÁČEK, Luděk et al. Nauka o materiálu II. 2. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 516 s. ISBN 80-72-4283-1.

SHAW, Milton Clayton. Metal Cutting Principles. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press, 2005. p. 651. ISBN 0-19-514206-3.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá různými způsoby fixace clonky v LED modulech předních světlometů. Cílem je srovnání třech způsobů fixace, které se využívají v jedné z platformových variant. Po popisu světelných zdrojů a funkcí LED modulů jsou tematizovány metody aretace: riveting, hot stamping a fixace pomocí zácvků. Rizika spojená s montáží clonky do světelného zdroje byla ohodnocena pomocí metody FMEA spolu s možným návrhem snížení rizik – implementací nasvícování světelného zdroje pomocí speciálního přípravku ve světelné laboratoři. Pro zjištění vlivu vibrací na clonku v LED modulu v rámci provozu byly provedeny vibrační zkoušky, které ukázaly, že i částečně provedený zácvak neohrožuje funkčnost modulu.

Klíčová slova

LED modul, clonka, fotometrie, fixace, validace

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with methods of attaching the mirror shutter in LED modules in headlamps. The aim is to compare three methods of attachment which are used in one of the platform variants. The following are the methods of attachment, followed by the description of the light sources and functions of the LED modules; they are: riveting, hot stamping and fixation with clips. Risk associated with the assembly of mirror shutter into the light source are analysed via FMEA analysis, including also measures and actions for risk reduction – implementation of lighting of produced light sources in a special jig in the light laboratory. Vibrations tests were carried out to find out the influence of vibration on the mirror shutter in LED modules in the traffic. The tests revealed that even if the clip is incorrectly fixed (not attached to the end position) it does not affect the functionality of the module.

Key words

LED module, mirror shutter, photometry, fixation, validation

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Citace elektronického zdroje:

ETTLER, Jan. *Problematika clony v LED modulu světlometu* [online]. Brno, 2020, 34 s. [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/121488>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Ing. Milan Kalivoda.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma *Problematika clony v LED modulu světlometu* vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

23. 06. 2020

Datum

Mgr. Jan Ettler

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu Ing. Milanu Kalivodovi za jeho ochotu a pomoc již od prvních konzultací této bakalářské práce. Děkuji za všechny připomínky a rady, které jsem v průběhu psaní této práce velmi ocenil.

Děkuji i své manželce, která mi poskytla úžasné zázemí a vhodné podmínky, aby tato práce mohla být napsaná i přes obtížné okolnosti, za kterých vznikala.

OBSAH

ABSTRAKT	3
BIBLIOGRAFICKÁ CITACE	3
PROHLÁŠENÍ.....	4
PODĚKOVÁNÍ	5
OBSAH.....	6
ÚVOD.....	8
1 ZDROJE SVĚTLA PRO SVĚTLOMETY A OPTICKÉ PRINCIPY	9
1.1 Zdroje světla.....	9
1.1.1 Žárovka	9
1.1.2 Xenonová výbojka	9
1.1.3 LED dioda.....	10
1.1.4 Laserová dioda.....	10
1.2 Optické systémy a trendy ve vývoji	11
1.3 Modul	11
1.4 Účel clonky v LED modulech.....	12
2 FUNKCE LED MODULU VE SVĚTLOMETU	13
2.1 Přehled světelných funkcí předních světlometů.....	13
2.2 Short Light platforma	13
2.3 Funkce matrix.....	14
3 ZÁKAZNICKÉ POŽADAVKY A PLATNÉ ZÁKONY.....	15
3.1 Provozy	15
3.2 Zákaznické požadavky	15
3.3 Měřicí body pro světlometry	15
3.4 Důležitost clonky	15
4 METODY ARETACE CLONY V MONTÁŽNÍM PROCESU	16
4.1 Riveting	16
4.1.1 Popis radiální rivetovací technologie.....	16
4.1.2 Parametry rivetovacího procesu.....	17
4.1.3 Kontrola kvality spoje.....	17
4.2 Fixace pomocí klipu.....	18
4.2.1 Popis technologie fixace pomocí klipu.....	18
4.2.2 Parametry procesu fixace pomocí klipu.....	18
4.2.3 Kontrola kvality spoje.....	18

4.3	Hot stamping	19
4.3.1	Popis technologie hot stamping	19
4.3.2	Parametry procesu.....	19
4.3.3	Kontrola kvality spoje.....	19
5	VSTUPY PRO VÝBĚR TECHNOLOGIE A KOMPONENTŮ	21
5.1	Obecné předpoklady.....	21
5.2	Cena zařízení a clonek	21
5.3	Kontrola správnosti provedení operace.....	21
6	ZHODNOCENÍ RIZIK SPOJENÝCH S MONTÁŽÍ	22
6.1	Analýza FMEA	22
6.2	Redukce rizik	24
6.3	Interpretace akčních opatření	25
6.4	Použití přípravku pro kontrolu světelných parametrů.....	26
7	DISKUZE	28
7.1	Vibrační zkouška.....	28
7.2	Interpretace výsledků vibrační zkoušky	28
7.3	Výhled.....	29
	ZÁVĚR	30
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	31
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	33
	SEZNAM PŘÍLOH.....	34

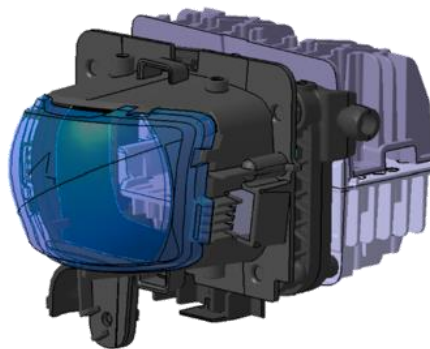
ÚVOD

Automobilový průmysl je velmi progresivní odvětví, které v mnoha ohledech udává trendy v oblasti technologií. V mém zaměstnání na oddělení kvality pro LED moduly a na oddělení mechanického designu ve společnosti, která patří k předním výrobcům světlometů pro prominentní automobily, mi bylo umožněno dotknout se velice aktuálních témat a problémů, týkajících se výroby světlometů.

S ohledem na silné konkurenční prostředí, které mezi dodavateli dílů pro výrobce automobilů panuje, jsou top managementem kladeny nároky na konkurenceschopnou cenu za dodržení požadované kvality produktu. Právě v takovém prostředí se rozhoduje, jakým způsobem se bude konstruovat a vyrábět celý světlomet s LED moduly a jaké technologie budou při montáži použity.

Světlomety i LED moduly, se stávají čím dál sofistikovanějšími výrobky s ohledem na funkční a estetické požadavky zákazníků. Úměrně s narůstajícím množstvím komponentů ve světlometu jako jsou řídicí jednotky, nastavovací elementy, vzhledové dílce, narůstá riziko, že světlomet nebude vyhovovat zákonným, zákaznickým či interním požadavkům.

V současné době je zcela běžnou záležitostí, že světlomet střední a vyšší cenové kategorie obsahuje alespoň jeden LED modul. LED moduly, které se ve světlometu používají, se od sebe velmi výrazně odlišují s ohledem na funkce, které mají plnit. Tato studie se pak zaměřuje na fixaci jednoho z klíčových dílů – na fixaci clonky v projekčních LED modulech s čočkou (Obr. 0). Clonka v modulu plní zásadní funkci – rozděluje hranici mezi světlem a tmou, díky čemuž nedochází k oslňování protijedoucimi vozidly. S ohledem na bezpečnost provozu je tato hranice přísně nastavená zákonem a její případné nedodržení by mělo za následek vyrobení světlometu, který by nebyl schválen k homologaci. Nesprávné vyrobení světlometu s nesprávně zafixovanou clonkou by mohl mít za následek i velké svolávací akce.



Obr. 0 modul [1].

1 ZDROJE SVĚTLA PRO SVĚTLOMETRY A OPTICKÉ PRINCIPY

Za posledních 30 let prošly světlometry velmi zásadními změnami. Od původní obyčejné žárovky se přes halogenovou žárovku, xenonovou výbojku, staly trendem světlometry s LED diodou, laserovou diodou. Aktuální novinkou je pak světlomet s digitálním projekčním modulem.

1.1 Zdroje světla

Jako zdroj světla (light source, LS) je označován díl, který vytváří světlo. Do světlometu se instaluje spolu s dalšími optickými komponenty, jako jsou reflektory, čočky, primární optiky clonky či světlovody.

Tab. 1.1 Přehled zdrojů světla užívaných ve světlometech [1, 2, 3, 4].

Světlomet s žárovkou	Světlomet s xenonovou výbojkou	LED světlomet	Laser světlomet
			

1.1.1 Žárovka

Halogenová žárovka patří mezi nejčastěji používané zdroje světla, a to díky jejím nesporným přednostem, kterými jsou: velmi nízká cena, jednoduchá vyměnitelnost a přirozený světelný výstup. Tyto klady dostatečně vyvažují nevýhody, mezi které patří nízká světelná intenzita a relativně krátká životnost. Jedná se o tepelný zářič, jímž prochází elektrický proud wolframovým vláknem. Při plné funkci se přemění přibližně 90 % energie na teplo a 10 % na viditelné světlo. [5]



Obr. 1.1 Halogenová žárovka [6].

1.1.2 Xenonová výbojka

Xenonová výbojka používaná v xenonových světlometech je založena na principu výboje, který probíhá v parách kovů a vzácných plynů. Zapálením plynu mezi dvěma elektrodami dochází v hořáku k elektrickému výboji. Pro iniciaci takového výboje je nutný vysokonapěťový impuls (1,8 až 5 kV). Dle norem Evropské hospodářské komise (EHK), která stanovuje pravidla pro homologaci, je nezbytné použití automatického seřizování potkávacího světla. V případě, že výbojka přesahuje výkon 25 W, je nutné do světlometu

integrovat ostříkovací systém pro čištění krycího skla (vnější čočky). Výhodami tohoto zdroje světla jsou: vysoká intenzita, a tedy i větší dosvit. Mezi nevýhody patří vyšší pořizovací náklady, vysoké náklady na opravu (v případě poruchy výbojky) či výměnu celého světlometu v případě již nemožné opravy [5].



Obr. 1.2 Xenonová výbojka žárovka [7].

1.1.3 LED dioda

LED čip je v současnosti druhým nejčastěji používaným druhem zdroje světla hned po žárovkách. Polovodičový čip s velmi malými rozměry při průchodu elektrického proudu vyzařuje monochromatické světlo (rekombinace elektronů a děr v polovodiči v oblasti přechodu PN). Světlometry s LED moduly se aplikují čím dál častěji díky klesající ceně. Jejich výhodou je vysoká životnost, nízký příkon, okamžité dosažení plné svítivosti, vysoká efektivita přeměny elektrické energie na světlo. Jako nevýhody lze zmínit náchylnost k elektrostatickému výboji, nemožnost jakékoli vyměnitelnosti/opravitelnosti a velmi výrazná hranice světla a tmy. [5]



Obr. 1.3 LED čip [8].

1.1.4 Laserová dioda

Laserová dioda je zdrojem monochromatického koherentního světla. Vyznačuje se fázovou vyrovnaností, velmi dobrými soustředovacími vlastnostmi (nerozptyluje se příliš do okolí) a vysokou energetickou hustotou (vysokým jasnem). [9]. Díky těmto vlastnostem mohl být LASER vyspělejším a dokonalejším nástupcem LED čipů, nicméně se ukázalo, že se jedná o slepou vývojovou větev. Laserová dioda klade velmi vysoké nároky na přesnost a pokovení reflektoru, v důsledku čehož dochází k větší zmetkovitosti během předvýroby a montáže. Navíc implementace laserové diody do světlometu s sebou nese bezpečnostní rizika spojená s kalibrací laseru a možným poškozením zraku při nesprávně nastaveném světelném zdroji. Zároveň je značně omezené při řízení spouštění laserového zdroje světla, např. laserová funkce je možná pouze jako dálkové světlo, zároveň nesmí jet v protisměru žádné auto, nesmí být v blízkosti chodec či živé zvíře atp.





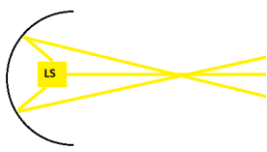
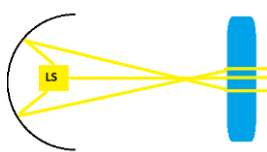
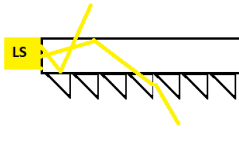
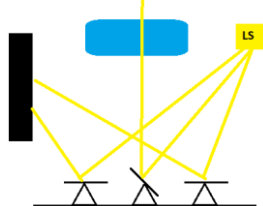


Obr. 1.4 Laserová dioda [10].

1.2 Optické systémy a trendy ve vývoji

Optické systémy procházejí vývojem, stejně jako světelné zdroje. Výrobci automobilů (Original equipment manufacturer, OEM) hledají způsoby, jak se odlišit od konkurence, a proto se neustále hledají nové systémy k implementaci do světlometů.

Tab. 1.2. Přehled optických systémů [11, 12, 13, 14]

Reflexní systém	Projekční systém	Světlovody [13]	Digitální projekční systémy
			
			

Reflexní systémy jsou tvořeny hlavně reflektory. V současné době jsou reflektory spolu s LED čipem nejlevnější variantou LED světlometu.

Projekční systémy v optické sestavě využívají k požadovanému toku světla kombinaci reflektoru a čočky nebo primární optiky a čočky. Právě tento optický systém je aplikován v Short Light modulech.

Funkce *světlovodů* je založena na principu totálního odrazu. Použití světlovodu a design jeho tvaru velmi určuje výraz finálního světlometu.

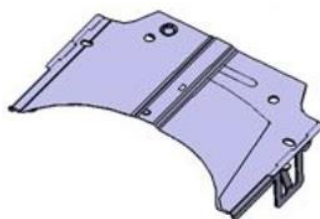
Digitální projekční systémy obsahují mikroskopicky (13 μm) malá zrcátka, jejichž pohyb je řízen dvěma páry elektrod, které vytvářejí elektrostatické pole. Každé zrcátko je individuálně řízeno a natáčeno, díky čemuž je segment protijedoucího auta vynechán, a tak neoslňuje protijedoucí řidiče a ostatní účastníky silničního provozu. Zároveň může být promítán na silnici informační symbol či výstražná informace (tab 1.2). Jedná se o technologii známou již např. z dataprojektů, ale její implementace do nejprestižnějších předních světlometů představuje revoluci [15,16].

1.3 Modul

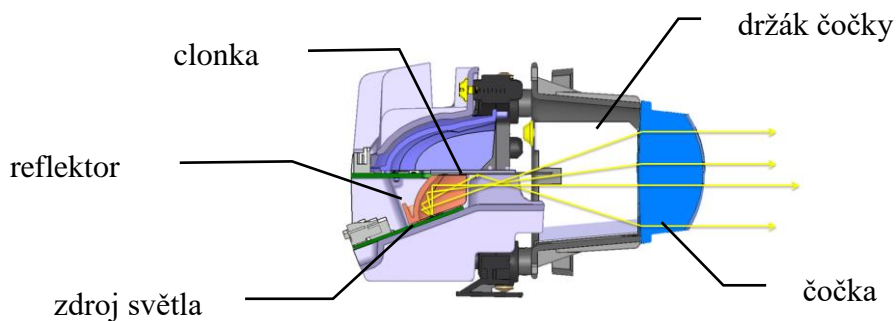
Základním prvkem modulu je světelný zdroj, sestávající se z chladiče (což je zároveň nosič), a čipem osazená deska plošných spojů. Pakliže se ke světelnému zdroji přidá další optický prvek (čočka, reflektor, světlovod), světelný tok je usměrněn do požadovaných směrů dle funkce, kterou modul ve světlometu plní (kap. 2.1).

1.4 Účel clonky v LED modulech

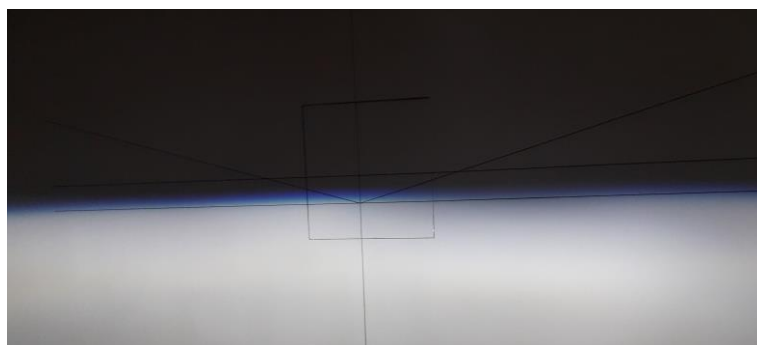
Jak již bylo zmíněno, pokud je zdrojem modulu LED dioda, pak je obvykle zřejmá velmi výrazná hranice mezi světlem a tmou (kap. 1.1.3). Pro dosažení správné hranice, která je v souladu s legislativními předpisy a požadavky zákazníka, umísťuje se komponent nazývaný clonka (obr. 1.5) mezi čočku a světelný zdroj (obr. 1.6). Clonka je pokovený a tvarovaný díl, vytvářející požadované rozhraní mezi světlem a tmou (obr. 1.7). Z toho důvodu jsou kladeny na clonku velké nároky na přesnost výroby, správnost napozicování a fixaci do definované pozice v průběhu montáže.



Obr.1.5 Clonka se zácvaky [5].



Obr. 1.6 Umístění clonky v modulu [5].



Obr.1.7 Hranice světlo-tma [5].

2 FUNKCE LED MODULU VE SVĚTLOMETU

V počátcích implementací LED čipů do osvětlení automobilů bylo možné použít LED diodu pouze pro denní svícení dle předpisů Evropské hospodářské komise. Nicméně v průběhu let došlo k velké inovaci i v oblasti legislativy.

2.1 Přehled světelných funkcí předních světlometů

Ve světlometu, který je marketingově označován jako FULL LED, jsou již všechny funkce tvořeny pomocí LED diod. Konkrétně se jedná o:

- a) dálkové světlo,
- b) tlumené světlo (též potkávací),
- c) denní světlo,
- d) obrysové světlo,
- e) ukazatel směru (blinkr),
- f) rohové světlo,
- g) mlhové světlo,
- h) vnější obrysové světlo (pro USA).

Na základě inovací a stále většího důrazu na estetiku světlometu došlo u předních světel k nahrazení vnějších krycích skel s původně vroubkovanou strukturou, která byla nezbytnou součástí optické sestavy, za již plně průhledná skla lisována z dvoukomponentního granulátu. Avšak tento fakt s sebou přináší daleko větší nároky na kvalitu zpracování zejména optických komponentů světelných zdrojů a modulů (kap. 1).

2.2 Short Light platforma

Platformou se rozumí koncept modulů či zdrojů světla, obsahující co nejvíce shodných optických a elektronických dílů napříč moduly, pakliže je to možné z hlediska technologie a zákaznických požadavků. Pro účely této studie byla vybrána platforma projekčních modulů, která je ve firmě označovaná jako Short Light. Tato platforma se aplikuje ve světlometech vyráběných pro velmi široké spektrum výrobců automobilů (např. pro první plně elektrické SUV).

Moduly z platformy Short Light se vyznačuje tím, že:

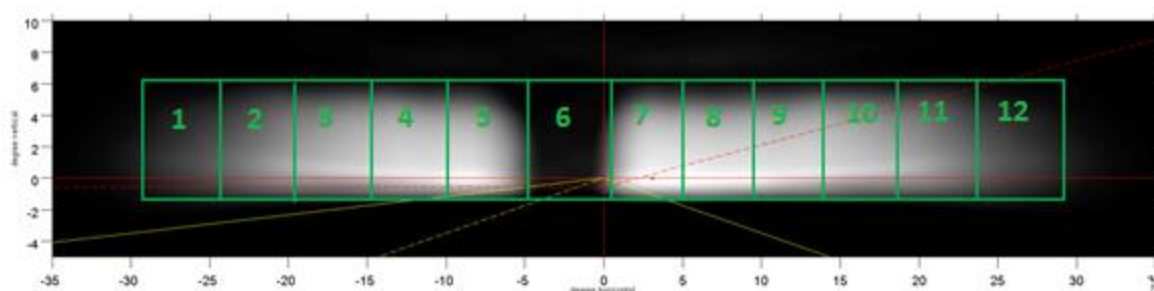
- a) k prvnímu usměrnění světelné distribuce používají malý reflektor,
- b) se v nich clonka či sestava clonky a primární optiky připevňuje přímo k desce plošných spojů (PCBA Printed circuit board assembled) na chladiči (v jiných modulech se clonka např. vkládá přímo do držáku čočky),
- c) jejich čočka spolu s držákem je vůči zdroji světla pozičně nastavitelná tak, aby bylo možné nastavit ostrost a barvu světelného výstupu.

Platforma Short Light zahrnuje tři typy modulu:

- a) monofunkční (mono) Short Light pro dálkové světlo,
- b) bifunkční (bi) Short Light pro dálkové a tlumené světlo,
- c) matrixový Short Light pro dálkové světlo s možností rozsvícení pouze některých segmentů a tlumené světlo.

2.3 Funkce matrix

Matrix v souvislosti s předními světlomety znamená, že LED modul umožňuje vypínat jednotlivé segmenty světelného – výstupu dálkových světel. Díky tomu není nutné manuálně vypínat dálkové světlo při míjení protijedoucího vozidla, protože k oslnění nedojde (obr 2.1). Jedná se o technologii, která nahradila původní automatické naklápění xenonových modulů při průjezdu zatáčkou. Funkce matrix je velmi progresivní a dá se očekávat, že bude čím dál hojněji využívána. Větší počet segmentů úměrně zvyšuje komfort řidiče při řízení. Nejobvyklejší počet světelných segmentů, které jsou tvořeny primární optikou jako v platformě matrix Short Light, je 7 a 12 segmentů.



Obr. 2.1 Ukázka matrixové funkce s vypnutým segmentem č. 6 [5]

3 ZÁKAZNICKÉ POŽADAVKY A PLATNÉ ZÁKONY

Světlomety podléhají přísným legislativním požadavkům. Důvodem je to, že nesprávně vyrobený či seřizený světlomet by mohl mít za následek smrtelnou nehodu způsobenou přílišným oslněním protijedoucího vozidla.

3.1 Provozy

S ohledem na to, jaký je podíl na trhu, jsou světlomety obvykle homologovány pro provoz v Evropě (ECE), Severní Americe (SAE) a Číně (CCC). Mezi menší trhy pak patří Taiwan (VSCC) a Indie (ARAI).

3.2 Zákaznické požadavky

Přestože se požadavky různých zákazníků (výrobců automobilů) od sebe odlišují, vždy se jejich požadavky musí pohybovat v mezích zákona. Někteří zákazníci například upřednostňují u LED modulů barvu rozhraní (světlo – tma) více do modra, jiní chtějí mít spíše žlutý odstín. Dále se pak odlišuje světelný výstup ve světlometu dle verzí, které jsou vyráběny pro daný model. Např. v jednom ze současných světlometů se vyrábí modul ve třech různých variantách, vypadající v nerozsvíceném stavu totožně, ale nejvyšší model má vyšší svítivost (900 lm), oproti nejnižšímu, který dosahuje pouze 650 lm.

Již ve fázi nabídky světlometu a jeho modulů jsou představeny světelné parametry, které zohledňují zadání od zákazníka, zákonné požadavky a technologickou proveditelnost. Světelné parametry jsou zpracovány i díky vysoce profesionálním softwarům, které umí dané podmínky nasimulovat (příloha 1).

3.3 Měřicí body pro světlomety

Předpisy stanovující světelné parametry jsou popsány v EHK normách (R112 a R123). Ty mimo jiné stanovují body, v nichž probíhá měření světelné intenzity. Součástí jsou taktéž měřicí body, ve kterých musí být předpisy bezpodmínečně splněny, aby světlo mohlo být homologováno.

Měření probíhá ve světelné laboratoři, kde je jediným zdrojem světla testovaný modul/světlomet, upnutý do speciálního přípravku. Světlo je promítáno na stěnu (příloha 2) ve vzdálenosti 10 metrů u hlavních světelných funkcí a je snímán detektorem ze vzdálenosti 25 metrů, který pracuje ve velmi vysokém rozlišení.

3.4 Důležitost clonky

S ohledem na měřicí body je finální pozice clonky velmi důležitá, protože její nepatrné vychýlení způsobené nesprávnou montáží či chybou vstupního materiálu by mohlo vést k velkému zvýšení zmetkovitosti, zákaznickým reklamacím, svolávací akci a nejhorším případě ke smrtelné nehodě způsobené oslněním protijedoucího řidiče na základě nesprávně nastaveného světlometu.

4 METODY ARETACE CLONY V MONTÁŽNÍM PROCESU

Existuje několik způsobů, jak se může clonka v LED modulu připevnit. Pro účely této studie byla vybraná modulová platforma, která je ve firmě označovaná jako Short Light. V této platformě se clonka fixuje k chladiči či primární optice (v případě matrixového modulu) pomocí několika metod. Jsou jimi:

- riveting,
- fixace pomocí klipů,
- hot stamping.

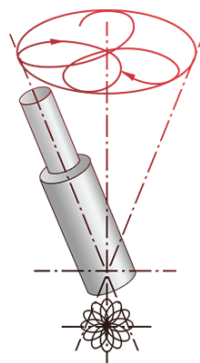
4.1 Riveting

V případě aretace clonky metodou rivetingu u monofunkčních Short Light modulů je clonka nasazena na čtyři piny chladiče, čímž je vymezena její pozice. Dva piny slouží k pozicování, zbylé dva jsou rozrivetovány pomocí rivetovacího stroje od firmy BalTec. Toto zařízení díky radiálnímu pohybu tvářecího nástroje přetvoří pin do tvaru čepu. Tím vznikne spoj.

4.1.1 Popis radiální rivetovací technologie

Rivetovací nástroj při procesu opisuje tvar hypocykloidy. Nýt je deformován ve třech směrech: radiálně ven, radiálně dovnitř a tangenciálně (obr. 4.1). U radiálního rivetovacího procesu se nástroj neotáčí. Tření mezi rivetovacím nástrojem a rivetovaným dílem je tedy minimální. Výsledkem je vynikající struktura povrchu. [...] Tangenciální riveting je druh radiálního riveting, kde nástroj neprochází středem nýtu.

Radiální rivetovací technologie se nejvíce využívá u výrobků, které mají vysoké požadavky na kvalitu spoje. Předností této technologie je krátký rivetovací cyklus a nižší potřebná síla. [17]

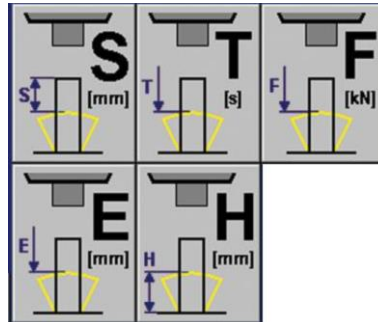


Obr. 4.1 Ukázka hypocykloidy – trajektorie rivetovacího nástroje [17].

4.1.2 Parametry rivetovacího procesu

Pro vhodné nastavení zařízení je možné nastavit následující parametry:

- 1) výšku pinu k rozrivetování (S),
- 2) čas rivetování (T),
- 3) sílu rivetování (F),
- 4) dráhu rivetovací hlavy v ose z (E),
- 5) výšku rozrivetované hlavy (H).



Obr. 4.2 Parametry rivetovacího procesu [18].

4.1.3 Kontrola kvality spoje

Na základě vhodné volby materiálu chladiče, tvaru rivetovacího nástroje a nastavených parametrů je možné dosáhnout velmi kvalitního spoje, který se vyznačuje bezvadným povrchem pinu bez otřepů ve tvaru kulového vrchlíku. Při uvolnění zařízení po instalaci zařízení do montážní linky je možné zjistit kvalitu vytvořeného spoje trhací zkouškou, jejíž výsledek udá, jakou silou by se muselo působit pro rozpojení spoje. Další možností je optická kontrola rozrivetovaného pinu pomocí kamery. Ale vzhledem k tomu, že je snímán lesklý povrch clonky a lesklý povrch chladiče, ukázalo se, že taková detekce není dostatečně spolehlivá.



Obr. 4.3 Rozrivetované piny chladiče [5].

4.2 Fixace pomocí klipů

V případě bifunkčního Short Lightu je clonka aretovaná k tělu chladiče pomocí zácvaků. Zácvaky jsou laserem navařeny k clonce a tato sestava už je součástí dodávky od dodavatele.

4.2.1 Popis technologie fixace pomocí klipů

Metoda fixace pomocí zácvaků je z hlediska nároků na strojní zařízení nejjednodušší. Pro montáž clonky stačí pouze manipulátor s přísavkou, který clonku přenesse ze základního přípravku na chladič do definované a koncové pozice, čímž zároveň dojde k zajištění pomocí klipů. V případě nesprávně zacvaknuté clonky je možné manuálně sestavu opravit a docvaknout do koncové pozice. Oproti ostatním dvěma typům fixace clonky je možné, že clonku nacvakne přímo na chladič obsluha linky v případě havarijního plánu.

4.2.2 Parametry procesu fixace pomocí klipů

Procesně se fixace clonky řídí pomocí naprogramované trajektorie a rychlosti pohybu manipulačního robota (KUKA), který má integrované vakuové přísavky. Vzhledem k velké variabilitě pohybů manipulátoru je možné dosáhnout velké přesnosti zakládání. Důležité je ale také dodržení stability rozměrů vstupního materiálu a správného usazení chladiče do základního přípravku.

4.2.3 Kontrola kvality spoje

Kontrolu správného zacvaknutí clonky do koncové pozice není možné provádět robotem s chapači, který přenáší clonku ze základního přípravku na chladič s PCBA. Důvodem je to, že robot nemá žádné detekční zařízení, které by to bylo schopné rozpoznat. Pokud je zajištěna dostatečná stabilita procesu tuhostí sestavy a přesnosti dílů, není třeba implementovat dodatečné kontrolní zařízení. V případě nutnosti či požadavku na kontrolu finální pozice clonky se zacvaknutými klipy je možné po dokončení procesu zařadit vizuální kontrolu provedenou zkušenou obsluhou linky.



Obr. 4.4 Clonka zafixovaná pomocí klipů [5].

4.3 Hot stamping

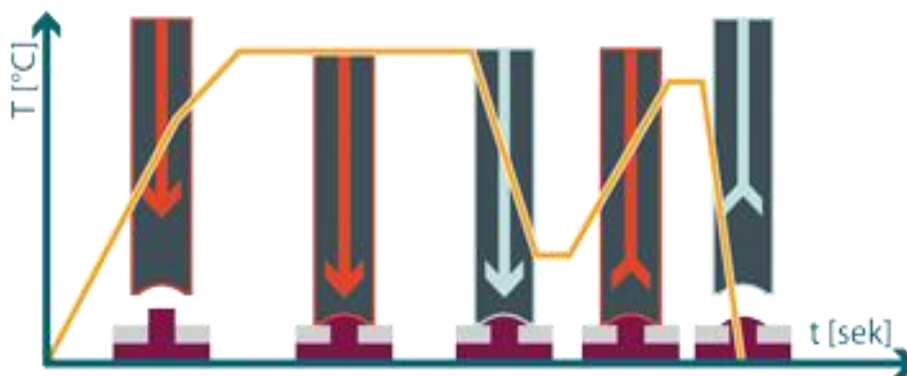
Metodou hot stampingu se fixuje kovová clonka k primární optice z termoplastu používaná u matrixového modulu (kap. 2.3). V současné době se jedná o jedinou technologii, která se ve firmě používá pro spojení kovu a plastu technologií tváření. Tato technologie je využívána pro zajištění požadavku na minimální mezeru mezi clonkou a primární optikou, která způsobuje nežádoucí parazitní světlo ve světelném výstupu. Jedním z výrobců stampovacích zařízení je firma bdtronic. [19]

4.3.1 Popis technologie hot stamping

Hot stamping je proveden tak, že se nejprve založí primární optika do přípravku a na ni je operátorem založena clonka. Následně se nástroj zahřeje do požadované teploty tavení plastu a poté sjede na pin určený ke stampování. Po dosažení koncové pozice je nástroj řízeně ochlazen tak, aby při odjetí stampovacího nástroje nedošlo k deformaci hotového pinu. Mezi výhody této technologie patří skutečnost, že se může termoplast spojit s jiným materiálem, nedochází k žádnému mechanickému vlivu na okolí a nevzniká tepelné namáhání.

4.3.2 Parametry procesu

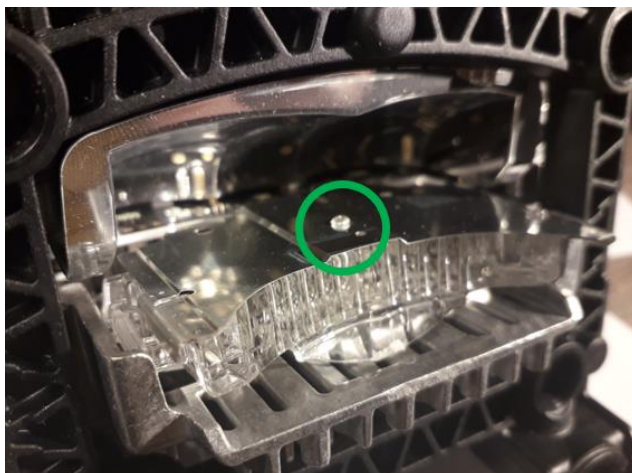
Parametry, které se mohou ovládat či kontrolovat jsou: monitorování a nastavení pozice, měření vzdálenosti (s přesností $\pm 0,1$ mm), řízení teploty (až do výše 350 °C s přesností ± 5 °C), monitorování počáteční a koncové pozice, měření výšky pinu a tvářecí síla (20 N až 120 N). [19]



Obr. 4.5 Metoda Hot stamping [19].

4.3.3 Kontrola kvality spoje

Po provedení hot stampingu je automatická kontrola čidlem či kamerou obtížná, protože primární optika je vyráběna z transparentního termoplastu. Proto je potřeba zahrnout dodatečnou kontrolu laserovým profilometrem, který skrz otvor v clonce snímá pozici (výšku) clonky a primární optiky a tyto hodnoty porovná.



Obr. 4.6 Zastampovaný pin primární optiky.

5 VSTUPY PRO VÝBĚR TECHNOLOGIE A KOMPONENTŮ

5.1 Obecné předpoklady

Určujícím parametrem pro volbu technologie, která je vybraná a implementovaná do návrhu modulu, je v první řadě požadavek zákazníka a z druhé řadě cena. Do kalkulací přímo ovlivněných procesem se obvykle zahrnuje: počet vyrobených kusů, náklady na montážní linku a její technické vybavení (montážní, kontrolní, hardwarové i softwarové), počet komponentů dle kusovníku, takt linky, možnost dointegrování nového projektu atd.

Dalším kritériem je technická proveditelnost. Například v případě matrixové technologie pro platformu Short Light neexistuje v současné době jiná alternativa pro fixaci clonky k primární optice než metoda hot stampingu a zácvaku. Důvodem pro to je, že už je tato platforma uzavřená a v případě nutnosti implementace jiného technického řešení se již musí vyvinout specifický modul či použít jiná platforma.

5.2 Cena zařízení a clonek

Ceny za zařízení, která se používají pro fixaci clonky, jsou velmi podobné. Jedná se o tyto stroje:

- a) *rivetovací zařízení* pro monofunkční Short Light modul,
- b) *manipulační robot* pro bifunkční Short Light modul,
- c) *stanice hot stampingu* pro matrix Short Light.

Částky se pohybují v rozmezí od 33 000 do 35 000 €. Je to cena, která reflektuje požadovanou konfiguraci zařízení s ohledem na jejich účel – aretaci fixaci clonky k primární optice či chladiči.

Co se týče ceny clonek, vyskytuje se zde velký rozdíl v návaznosti na složitost komponentu. Clonka pro bifunkční light source je totiž 3x dražší než ta pro monofunkční light source. V případě sestavy clonky a primární optiky (matrixový LS) je to již 5,2 násobek ceny pro clonky monofunkční zdroje světla. Clonky jsou pokovené a obsahují laserový DMC kód pro zajištění sledovatelnosti.

5.3 Kontrola správnosti provedení operace

Při výrobě jakéhokoliv produktu v rámci společnosti je dbáno na to, aby kontrolní stanoviště či kontrolní zařízení následovalo co nejdříve po samotné montáži. Díky tomu se snižují náklady a zmetkovitost, což je klíčový faktor pro udržení konkurenceschopnosti.

Samotná kontrola zafixovaných clonek je nezbytná a důležitá, protože se vyrábí velké množství různých light source, jejichž odladění je obtížné. Detekce clonky je problematická s ohledem na to, že se jedná o optické komponenty, které jsou buď lesklé (clonky) či průhledné (primární optiky). To je důvod pro nutnost použití optických senzorů popsanych v předchozí kapitole.

6 ZHODNOCENÍ RIZIK SPOJENÝCH S MONTÁŽÍ

6.1 Analýza FMEA

Expertní analýza FMEA (Failure Mode and Effect Analysis, česky Analýza možných způsobů a důsledků závad) je mandatorní nástroj pro odhalování a řízení rizik spojených s vývojem a výrobou produktu dodávaného zákazníkům – výrobcům automobilů, spadajících do skupin VDA (např. Škoda, Audi, VW, BMW, MBC) a AIAG (Ford, Toyota, Honda, Chrysler, General Motors). Tato analýza je zakotvena v rámci technické specifikace IATF 16 949 (International Automotive Task Force).

FMEA si klade za cíl odhalit rizika v procesu výroby v rané fázi plánování (jak produktu, tak výrobního procesu). To by mělo ušetřit nemalé finanční prostředky díky tomu, že:

- a) produkt se ještě může upravit – není ještě ve výrobě forma pro vstřikování,
- b) proces je ve fázi plánování – může se upravit specifikace pro objednávku montážní linky; např. se může upravit sled operací, může se objednat dodatečný robot či navrhnout a zakoupit vhodné detekční prostředky – kamery, přípravy, senzory atd.

Změny a úpravy jsou pochopitelně možné i poté, co je návrh produktu dokončen a montážní linka nainstalovaná. Ale to pak s sebou nese mnohonásobně větší finanční zátěž.

Analýza FMEA používá pro vyhodnocení rizik tři základní kritéria, kterými jsou:

- 1) **závažnost** (S = severity) vzniklé vady,
- 2) **přepokládaný výskyt** (O = occurrence) vady,
- 3) **detekci** (D = detection) – schopnost odhalit vadu v procesu.

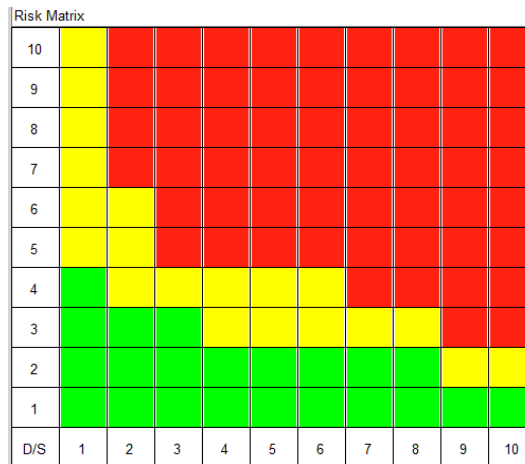
Každé kritérium se ohodnotí stupnicí od 1 do 10. S tím, že hodnocení 1 je nejlepší známka, 10 je nejhorší. Dříve (do roku 2018) bylo určujícím ukazatelem číslo RPN (risk priority number), které vzniklo součinem závažnosti, výskytu a detekce:

$$RPN = S \cdot O \cdot D \quad (1.1)$$

Dle nové metodiky z roku 2019 [20] je klíčovým kritériem pro hodnocení rizik pomocí *risk matrixů*, což jsou matice, do nichž se dosazuje součin vzniklý vynásobením:

- a) S . D (závažnost x detekce) (obr. 9.1)
- b) S . O (závažnost x výskyt)

Obě tyto matice mají stejné rozdělení rizik. Pakliže se součin závažnosti a detekce vyskytné v červené oblasti, je potřeba pro tuto možnou chybu vytvořit akční plán, pro žluté pole by se měl vytvořit akční plán a v zeleném poli jsou rizika bez nutnosti dalších opatření.



Obr. 9.1 S . D matrix.

V případě aplikace metody FMEA na proces aretace clonky v LED modulu by mohl vypadat vygenerovaný formulář vytvořený v softwaru APIS IQ RM takto:

Tab. 6.1 FMEA pro proces

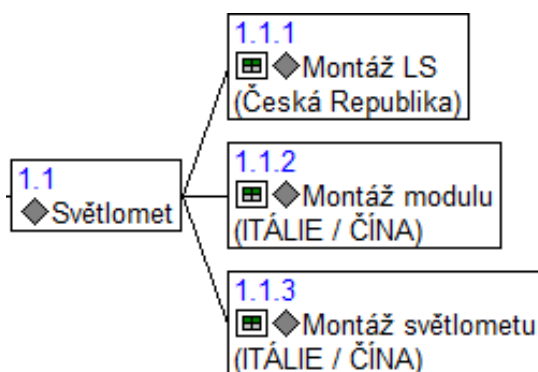
Následky chyb	Z	K	Druh chyb	Příčiny chyb	Preventivní opatření	V	Opatření detekce	D	RPN	O/T
Procesový element: <input checked="" type="checkbox"/> Fixace clonky metodou studeného nýtování (rivetingu)										
Monofunkční LS										
Funkce: <input checked="" type="checkbox"/> Zafixovat clonku k chladiči										
Z: 9 <input type="checkbox"/> Nesplněny zákonné požadavky na fotometrii	9	SC / L	<input checked="" type="checkbox"/> Clonka nezafixovaná či zafixovaná nesprávně	<input type="checkbox"/> Porucha rivetovacího zařízení pro fixaci	Stav opatření - počátek: 01.01.2020 Zkušenosti z předchozích projektů Navolené osvědčené hodnoty pro rivetovací proces		Automatická kontrola dynamickým profi- lometrem			Technolog
Procesový element: <input checked="" type="checkbox"/> Fixace clonky pomocí zácvaků										
Bifunkční LS										
Funkce: <input checked="" type="checkbox"/> Zafixovat clonku k chladiči										
Z: 9 <input type="checkbox"/> Nesplněny zákonné požadavky na fotometrii	9	SC / L	<input checked="" type="checkbox"/> Clonka nezafixovaná či zafixovaná nesprávně	<input checked="" type="checkbox"/> Poruchana manipulačního zařízení	Stav opatření - počátek: 01.01.2020 Uvolnění výroby Zkušenosti z předchozích projektů		Automatická kontrola dynamickým profi- lometrem			Technolog
Procesový element: <input checked="" type="checkbox"/> Fixace clonky metodou horkého nýtování (hot stampingu)										
Matrix LS										
Funkce: <input checked="" type="checkbox"/> Zafixovat clonku pomocí klipů k primární optice										
Z: 9 <input type="checkbox"/> Nesplněny zákonné požadavky na fotometrii	9	SC / L	<input checked="" type="checkbox"/> Clonka nezafixovaná či zafixovaná nesprávně	<input type="checkbox"/> Chyba operátora - nesprávné založení clonky na primární optiku	Stav opatření - počátek: 01.01.2020 Proškolení operátorů Pracovní návodka s vizualizací		Vizuální kontrola operátorem na pracovišti			Technolog
Funkce: <input checked="" type="checkbox"/> Zafixovat clonku pomocí metody hot stamping k primární optice										
Z: 9 <input type="checkbox"/> Nesplněny zákonné požadavky na fotometrii	9	SC / L	<input checked="" type="checkbox"/> Clonka nezafixovaná či zafixovaná nesprávně	<input type="checkbox"/> Porucha hotstampingovaného stroje	Stav opatření - počátek: 01.01.2020 Uvolnění výroby Zkušenosti z předchozích projektů		Automatická kontrola stacionárním profi- lometrem			Technolog

Vzhledem k tomu, že se jedná o důležitou analýzu, seskládá se expertní tým obvykle z technologa, inženýra kvality nových projektů, specialisty zákaznické kvality, konstruktéra, procesního inženýra a projektového manažera. Je potřeba, aby celý tým důsledně a pravdivě vzal v potaz své zkušenosti z předchozích projektů a odhadnul prázdná pole ve sloupci O (výskyt) a D (detekci). Tyto konkrétní hodnoty a přesná detekční zařízení patří k velkým know-how společnosti, které je bedlivě stráženo.

6.2 Redukce rizik

Mezi dodavateli pro automobilový průmysl je často kladen důraz na relativně nízké skladové zásoby z důvodu včasného odhalení možných neshodně vyrobených kusů. Důvodem tohoto trendu je snaha o schopnost pružně reagovat na požadavky zákazníků a různé ostatní vlivy. V případě, že je na výrobní lince modulu objeven problém z předmontážní linky light sourcu, musí se zpravidla překontrolovat celá skladová zásoba, která vznikla mezi datem výroby a detekcí na lince.

Podobně je tomu v případě, že je výroba světelného zdroje, modulu a světlometu v různých lokacích. V naší společnosti pro výrobu světlometů, modulů a LS není výjimkou, že se dodávají samotné light sourcy do výrobních závodů v Itálii či v Číně (obr. 6.2). V případě zámořské lodní dopravy může trvat i 6 týdnů, než bude LS použit na výrobní lince zahraničního výrobního závodu a v případě letecké je to pak přibližně týden. Během této doby hrozí výroba dalších neopravitelných light sourců, které by musely být sešrotovány.



Obr. 6.2 Schéma možné lokace výrobních linek.

Na základě know-how z projektů a zkušeností expertního týmu může být FMEA během meetingů doplněna a ohodnocena následujícím způsobem (tab 6.2):

Tab. 6.2: Kompletní FMEA včetně akčního plánu.

Následky chyb	Z	K	Druh chyb	Příčiny chyb	Preventivní opatření	V	Opatření detekce	D	RPN	O/T
Procesový element: <input checked="" type="checkbox"/> Fixace clonky metodou studeného nýtování (rivetingu)										
Monofunkční LS										
Funkce: <input checked="" type="checkbox"/> Zafixovat clonku k chladiči										
Z: 9 [] <input checked="" type="checkbox"/> Nesplněny zákonné požadavky na fotometrii	9	SC / L	<input checked="" type="checkbox"/> Clonka nezafixovaná či zafixovaná nesprávně	[] <input checked="" type="checkbox"/> Porucha rivetovacího zařízení pro fixaci	Stav opatření - počátek: 01.01.2020					
					Zkušenosti z předchozích projektů	4	Automatická kontrola dynamickým profi- lometrem	5	180	Technolog
					Navolené osvědčené hodnoty pro rivetovací proces					
					Stav opatření: 01.03.2020					
					Seřízení linky dle zkušeností	2	Kontrola světelných parametrů pomocí speciálního přípravku ve světelné laboratoři při uvolnění výroby	3	(54)	Technolog 01.04.2021 V rozhodování
					Automatická kontrola dynamickým profi- lometrem					
Procesový element: <input checked="" type="checkbox"/> Fixace clonky pomocí závčků										
Bifunkční LS										
Funkce: <input checked="" type="checkbox"/> Zafixovat clonku k chladiči										
Z: 9 [] <input checked="" type="checkbox"/> Nesplněny zákonné požadavky na fotometrii	9	SC / L	<input checked="" type="checkbox"/> Clonka nezafixovaná či zafixovaná nesprávně	[] <input checked="" type="checkbox"/> Poruchana manipulačního zařízení	Stav opatření - počátek: 01.01.2020					
					Uvolnění výroby	4	Automatická kontrola dynamickým profi- lometrem	5	180	Technolog
					Zkušenosti z předchozích projektů					
					Stav opatření: 01.03.2020					
					Seřízení linky dle zkušeností	3	Kontrola světelných parametrů pomocí speciálního přípravku ve světelné laboratoři při uvolnění výroby	3	(81)	Technolog 01.04.2021 V rozhodování
					Automatická kontrola dynamickým profi- lometrem					
Procesový element: <input checked="" type="checkbox"/> Fixace clonky metodou horkého nýtování (hot stampingu)										
Matrix LS										
Funkce: <input checked="" type="checkbox"/> Zafixovat clonku pomocí klípů k primární optice										
Z: 9 [] <input checked="" type="checkbox"/> Nesplněny zákonné požadavky na fotometrii	9	SC / L	<input checked="" type="checkbox"/> Clonka nezafixovaná či zafixovaná nesprávně na závčky	[] <input checked="" type="checkbox"/> Chyba operátora - nesprávné založení clonky na primární optiku	Stav opatření - počátek: 01.01.2020					
					Proškolení operátorů	5	Vizuální kontrola operátorem na pracovišti	8	360	Technolog
					Pracovní návodka s vizualizací					
Funkce: <input checked="" type="checkbox"/> Zafixovat clonku pomocí metody hot stamping k primární optice										
Z: 9 [] <input checked="" type="checkbox"/> Nesplněny zákonné požadavky na fotometrii	9	SC / L	<input checked="" type="checkbox"/> Clonka nezafixovaná či zafixovaná nesprávně	[] <input checked="" type="checkbox"/> Porucha hotstampingovaného stroje	Stav opatření - počátek: 01.01.2020					
					Uvolnění výroby	5	Automatická kontrola stacionárním profi- lometrem	5	225	Technolog
					Zkušenosti z předchozích projektů					
					Stav opatření: 01.03.2020					
					Zavedení vhodného přípravku	4	Kontrola světelných parametrů pomocí speciálního přípravku ve světelné laboratoři při uvolnění výroby	3	(108)	Technolog 01.04.2021 V rozhodování
					Seřízení linky dle zkušeností		Automatická kontrola stacionárním profi- lometrem			

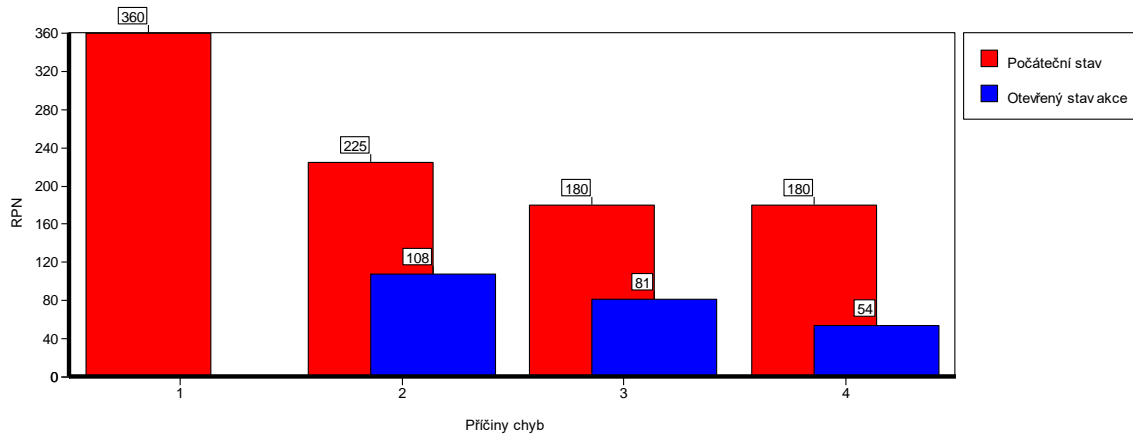
6.3 Interpretace akčních opatření

Ve FMEA formuláři byl doplněn ke každé příčině vady akční plán odlišený datem 1. 3. 2020. V případě, že už existují zkušenosti se stávajícím projektem a výpadky na lince jsou nižší, než se očekávalo, je možné snížit výskyt ve sloupci V.

Co se týče detekce uvedené ve sloupci *Opatření detekce*, tak zde přibyl návrh možné implementace následujícího řešení: *Kontrola světelných parametrů pomocí speciálního přípravku ve světelné laboratoři při uvolnění výroby*. To znamená, že první LS bude zkontrolován ve světelné laboratoři ve speciálním přípravku (atrapě) hned po vyrobení na začátku směny. Tato atrapa bude obsahovat nastavitelný držák čočky s příslušnou čočkou, díky němuž bude možné změřit finální fotometrické parametry – intenzita, pozice, gradient přechodu mezi hranicí světlo/tma, homogenita, bod zlomu (v případě modulu s funkcí

potkávacího světla) atp. Na světelném výstupu LS se dá kontrolovat pouze funkčnost – zdali svítí.

V případě zavedení dodatečné kontroly light source ve světelné laboratoři by se výrazně snížila rizika, která by mohla ohrozit výrobu na další montážní lince (obr. 6.3).

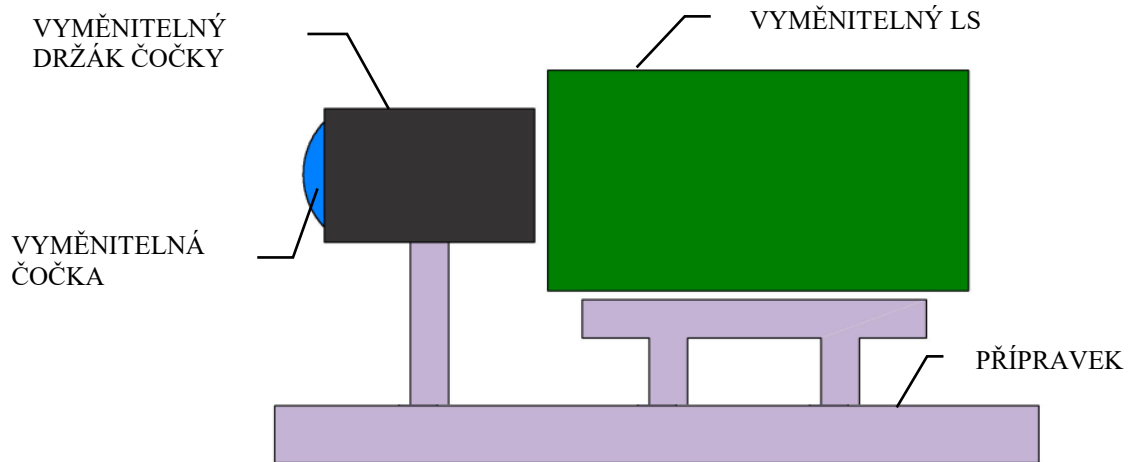


Obr. 6.3 Snížení rizik v procesu montáže FMEA.

Tento graf ukazuje, jak by se mohla snížit rizika v případě, že by byl na začátku každé směny zkontrolován jeden LS ve světelné laboratoři. Spolu s kontrolou každého kusu na lince by mohla být rizika již považována za akceptovatelná, protože největší RPN bylo redukováno z 360 na 108, a to i díky možnému snížení výskytu dle zkušeností posbíraných v průběhu projektu. Dodatečnou informací mohou být jednotlivé risk matrixy, které rozlišují rizik na počátku projektu a po zavedení nápravných opatření (příloha 3).

6.4 Použití přípravku pro kontrolu světelných parametrů

I díky know-how, které firma má v oblasti testování light source a modulů, byl navržen speciální kontrolní přípravek (obr. 6.4). Jedná se o univerzální přípravek, do nějž je možné založit různé light source. Přípravek bude umístěn ve světelné laboratoři ve výrobní hale. Na začátku každé směny bude komplexně otestován první kus, který bude na lince vyroben. Sice bude taková kontrola stát přibližně tolik jako 4 kusy vyrobených LS (v porovnání s provozními náklady světelné laboratoře). To se však jeví jako minimální výdaj, jenž by byl v případě odhalení nesprávného nastavení výrobní linky umožněn. Cena takového přípravku totiž odpovídá nákladům na dávku neshodně vyrobených světelných zdrojů za směnu.



Obr. 6.4 Schéma přípravku pro kontrolu LS.

Do kalkulací o implementaci takového přípravku vstupují:

- investice do přípravku (přípravků),
- náklady na provoz laboratoře,
- náklady na manipulaci a transport testovaného kusu do světelné laboratoře,
- ztráty vzniklé snížením počtu vyrobených kusů.

V případě zmetkovité produkce musí být zahrnut:

- počet vyrobených zmetkovitých LS do odhalení u zákazníka (v případě italského výrobního závodu výroba přibližně za 5 dní, v případě zámořské lodní dopravy výroba za 6 týdnů),
- náklady na třídění chybných LS ve skladové zásobě,
- náklady na ekologickou likvidaci,
- náklady na expresní dopravu v případě hrozících prostojů u interního zákazníka a potažmo u výrobce automobilů,
- náklady na interní reklamaci,
- implementace nápravných opatření (úprava strojních zařízení).

FMEA analýza odhalila rizika a nabídla opatření. Výpočty už její součástí nejsou. Do FMEA bude pouze zapsáno, zdali opatření budou implementována (do kdy a kým), nebo zda byla implementace zamítnuta (a proč).

7 DISKUZE

Součástí vývoje světlometů včetně všech jeho modulů jsou i validace, což jsou mechanické, klimatické, chemické, materiálové a elektronické testy, které probíhají v několika smyčkách dle předem stanoveného a zákazníkem odsouhlaseného plánu.

7.1 Vibrační zkouška

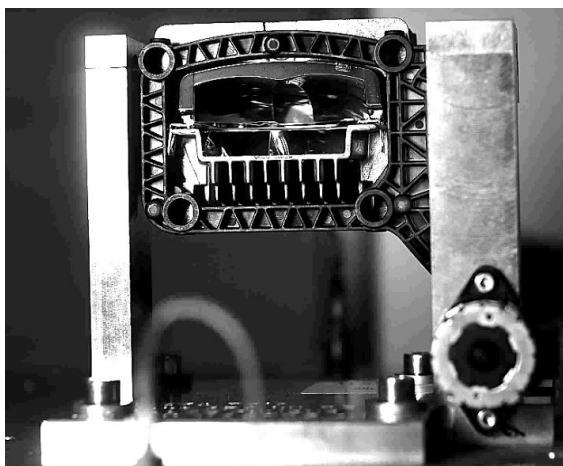
Pro zjištění kvality a odolnosti spoje byly provedeny vibrační zkoušky. Během vibračních zkoušek se nejprve světelné zdroje zafixovaly do speciálních přípravků určených pro vibrační zkoušky. Testovány byly pouze světelné zdroje, nikoliv kompletní moduly s čočkou, protože by sledované komponenty při snímání kamerou nebyly vidět skrz projekční čočku.

V dalším kroku byly light sourcey vybudeny 2 g o obvyklé frekvenci v pásmu 30 - 40 Hz na zařízení: SW2-2320APP (výkon 20 kN) od firmy RMS. Při těchto vibračních zkouškách se snímala zafixovaná clonka vysokorychlostní kamerou s 2000 snímky za vteřinu. Cílem pozorování bylo zjistit, zdali se clonka rozkmitá vlivem vibrací, nebo zda zůstane ve své pozici bez změn. Při analýze pořízeného videa bylo zjištěno, že se clonka nikterak nehýbe ani nedochází k žádné deformaci (průhybu) v žádném ze tří typů fixace.

Následně se nasimulovala nesprávná montáž zácvků v případě bifunkční Short Light modulu a matrixového modulu za buzení 7 g. Tím bylo zkoumáno, zda nesprávná montáž může vést ke ztrátě požadované funkce a naprostému selhání světelných parametrů v reálném provozu. I v tomto případě nedocvaknutých klipů vysokorychlostní záběry ukázaly, že nedochází k žádnému nežádoucímu jevu spojenému s (ne)zafixovanou clonkou.

7.2 Interpretace výsledků vibrační zkoušky

Výsledky vibrační zkoušky se mohou interpretovat tak, že pokud v montážním procesu dojde k selhání a clonka nebude správně zafixovaná, nehrozí riziko ztráty správné světelné funkce v provozu. V montážním procesu je tedy dostačující kontrola fotometrických parametrů, která ověří správnou montáž clonky do koncové pozice.



Obr. 7.1 Záběr z vysokorychlostní kamery [5]

7.3 Výhled

Možností, která se nabízí pro následující výzkum, je navržení takového optického řešení modulu, a zejména pak clonky umožňující více typů fixace. Problematika spočívá v tom, že tloušťka clonky nemůže být libovolná. Nadměrná tloušťka clonky způsobuje vznik parazitního světla či nedokonalý světelný výstup mezi tlumeným a dálkovým světlem.

Pro bifunkční a matrix modul je tloušťka clonky 0,1 mm pro zajištění dokonalého výstupu. Oproti tomu u mono Short Light modulu může být tloušťka clonky větší (i 0,7 mm) s ohledem na to, že se pro optický výstup používá pouze jedna strana.

V případě inovativního návrhu od optických inženýrů, který by umožnil clonku o větší tloušťce, by se mohla fixovat i pomocí rivetingu, což je levnější proces díky nižší ceně clonky. V současné době nemůže být clonka bifunkčního modulu rivetovaná, protože hrozí její prohnutí a nesplnění světelných požadavků.

Ukazuje se, že nejproblémovější a nejkomplikovanější ze všech způsobů je montáž clonky k primární optice v případě matrixového modulu. Zde by stála za zvážení možnost dalších technologických a konstrukčních řešení, které by umožnily styk mezi clonkou a primární optikou bez mezery.

ZÁVĚR

Cílem této rešerše bylo porovnání způsobů fixace clonky v LED modulu předních světlometů. Byla vybrána platforma, která je ve firmě označovaná jako Short Light a jejichž moduly tvoří dálkové a tlumené světlo. Tato platforma zahrnuje tři různé způsoby aretace clonky – ritevitng, fixace pomocí zácvků a hot stamping.

Při podrobnějším zkoumání bylo zjištěno, že složitost modulu přímo koresponduje s náklady na komponenty a na složitost detekčního zařízení. Z ekonomického hlediska je výhodnější využití metody aretace pomocí rivetingu vzhledem ke konstrukční jednoduchosti clonky, skládající se pouze z jednoho dílu (oproti clonce, v níž jsou zácvaky navařeny na tenký plíšek). Další výhodou metody rivetingu je velké množství parametrů, které lze v procesu řídit. Oproti tomu je fixace clonky pomocí hot stampingu a zácvků v rámci matrixového modulu technicky nejsložitější, protože se musí dodržet nulová mezera mezi clonkou a primární optikou. Cena této optické sestavy je 5,2 násobek ceny clonky pro monofunkční light source.

Pomocí metody FMEA byla vyjádřena možná rizika, která přímo souvisí s fixací clonky ve světelném zdroji LED modulu. Riziko nesprávně vyrobeného modulu je možné snížit použitím speciálního přípravku (atrapy), vytvářejícího spolu s LS kompletní optickou sestavu. Do takového přípravku je možné vložit LS a změřit fotometrické parametry, které není možné kontrolovat na samotném LS.

Na rozhodnutí managementu je, zda se bude investovat do nákupu takového kontrolního přípravku (v hodnotě jedné směny neshodný LS) a firma ponese náklady za pravidelnou kontrolu světelných parametrů ve světelné laboratoři na začátku každé směny. Druhou nabízející se možností je, že bude akceptovat riziko nesprávně vyrobených jedné a více dávek. Tyto LS nebude již možné pravděpodobně opravit a náklady vzniklé internímu zákazníkovi (výrobnímu závodu modulů) budou muset být uhrazeny.

Pro zjištění možného selhání fixace clonky během provozu byly provedeny vibrační testy se správně i nesprávně zafixovanými zácvky. Ukázalo se, že nehrozí uvolnění clonky, a proto je dostačující, pokud je zajištěna kontrola finální pozice clonky na výrobní lince a kontrola světelných parametrů ve světelné laboratoři.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

[0] První FULL LED světlomet pro elektromobil. *Tvoříme světlo* [online]. [cit. 2020-01-15]. Dostupné z: <https://www.tvorimesvetlo.cz/prvni-full-led-svetlomet-pro-elektromobil-audio-tron/>

[1] Škoda Fabia 1.4 16V - česká klasika jako firemní vozidlo. *TipCars* [online]. 2016 [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: <https://www.tipcars.com/magazin/recenze-uzivatele/skoda-fabia-1-4-16v-ceska-klasika-jako-firemni-vozidlo.html?fotogalerie=0>

[2] Headlamp. *Wikiwand* [online]. [cit. 2020-05-02]. Dostupné z: <https://www.wikiwand.com/en/Headlamp>

[3] Halogen vs LED Headlights - What's Better? *Autolist* [online]. 2019 [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <https://www.autolist.com/guides/halogen-vs-led-headlights>

[4] THE SHINING JOY OF DRIVING: The BMW M4 Concept Iconic Lights. *Bmw-m* [online]. 2015, 06.06.2019 [cit. 2020-03-20]. Dostupné z: <https://www.bmw-m.com/en/topics/magazine-article-pool/the-shining-joy-of-driving.html>

[5] Interní podklady společnosti Marelli Automotive Lighting Jihlava (Czech Republic) s.r.o.

[6] Standardní halogenová žárovka Osram H7, 55 W. *CONRAD* [online]. [cit. 2020-01-15]. Dostupné z: <https://www.conrad.cz/standardni-halogenova-zarovka-osram-h7-55-w.k839710>

[7] Xenonová výbojka. *Autolexicon* [online]. [cit. 2020-01-16]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/xenonove-svetlomety-vybojky/>

[8] Warm wit 10W LED Chip. *Open circuit* [online]. [cit. 2020-01-16]. Dostupné z: <https://opencircuit.shop/Product/Warm-wit-10W-LED-Chip>

[9] ZACHAR, Martin. *Tepelné a světelné poměry u automobilového světelného zdroje nové generace*. Brno, 2016. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.

[10] Nichia Laser Diode. *O-like* [online]. [cit. 2020-01-16]. Dostupné z: http://www.o-like.com/index.php?main_page=product_info&cPath=8&products_id=363

[11] Levé přední světlo Škoda Octavia III (5E) 13-17 AL. *Nejlepší Ceny* [online]. [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: <https://www.nejlepsceny.cz/tema/predni-svetlomety-skoda-octavia-iii.html>

[12] MALÍK, Tomáš. Škoda vsází na bezpečné Matrix-LED světlometry a prezentuje hlavní výhody. *Autoweb* [online]. 2019, 6.12.2019 [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <https://www.autoweb.cz/skoda-vsazi-bezpecne-matrix-led-svetlomety-prezentuje-hlavni-vyhody/>

[13] BMW E39 | X5 LED MARKER | ANGEL EYES. *RED POWER MOTORSPORT* [online]. [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <https://www.redpowermotorsport.ie/product/bmw-e39-x5-led-marker-angel-eyes/>

[14] Automotive lighting of the future: Osram's Oslon Boost HX opens up new concepts. *Osram: Opto Semiconductors* [online]. Trade Press, 2018, 2018 [cit. 2020-04-18]. Dostupné z: <https://www.osram.cz/os/press/press-releases/automotive-lighting-of-the-future-osram-oslon-boost-hx.jsp>

[15] VALA, Tomáš. *Optimalizace systémů osvětlení vozidel*. Brno, 2010. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.

[16] Digital Light Processing. *Wikipedia* [online]. [cit. 2020-01-16]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_Light_Processing

[17] RADIÁLNÍ NÝTOVACÍ TECHNOLOGIE. BalTec [online]. [cit. 2020-02-13]. Dostupné z: <https://baltec.com/cs/content/radi%C3%A1ln%C3%AD-n%C3%BDtovac%C3%AD-technologie>

[18] PROCESS MONITORING & CONTROLLER BY TIME SETTING. *Baltec.cz* [online]. [cit. 2020-05-02]. Dostupné z: <https://baltec.com/en/content/process-monitoring-controller-time-setting>

[19] BHS Hot Stamp®. *Joining Technology for Thermoplastics* [online]. [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: <https://www.bdtronic.com/hot-riveting/process-competence/bhs-hot-stamp/>

[20] *AIAG & VDA FMEA Handbook*. Automotive Industry Action Group, 2019. ISBN 978-1605343679.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka	Popis
AIAG	Automotive Industry Action Group
ARAI	Automotive Research Association of India
CCC	China Compulsory Certification
DMC	Data matrix code
DMD	Digital Micromirror Device
ECE	Economic Commission for Europe
EHK	Evropská hospodářská komise
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis
IATF	International Automotive Task Force
LED	Light Emitting Diode
LS	Light source (= světelný zdroj)
OEM	Original Equipment Manufacturer
PCBA	Printed circuit board assembled
RPN	Risk priority number (rizikové číslo, číslo rizikové priority)
SAE	Society of Automotive Engineers
SUV	Sport Utility Vehicle
VDA	Verband der Automobilindustrie
VSCC	Vehicle Safety Certification Center Taiwan

Symbol	Jednotka	Popis
D	[-]	detection = detekce chyby
O	[-]	occurance = výskyt chyby
S	[-]	severity = závažnost chyby
f	[Hz]	frekvence
G	[m.s ⁻²]; [g]	Tíhové zrychlení

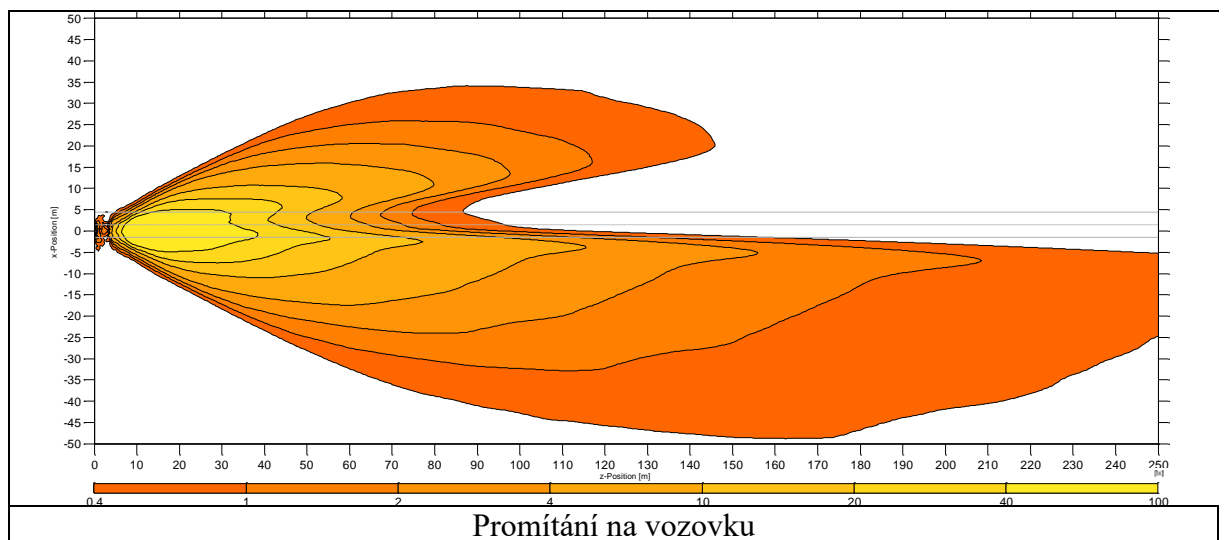
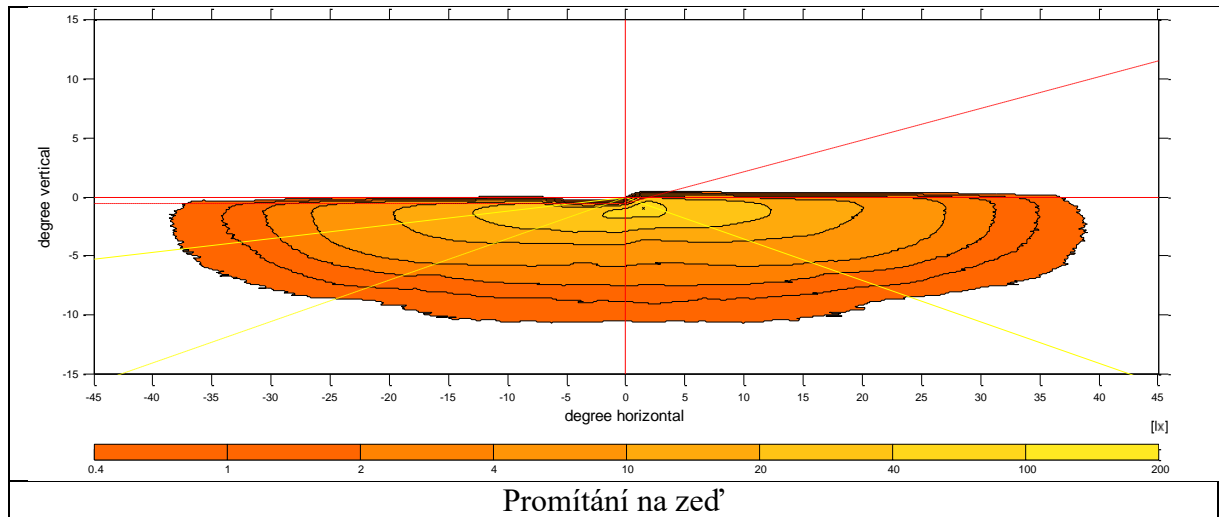
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Simulace
Příloha 2	Měřicí body pro přední světlometry
Příloha 3	FMEA risk matrixy

PŘÍLOHA 1

Simulace

Rastry – vizualizace distribuce s iso-liniemi

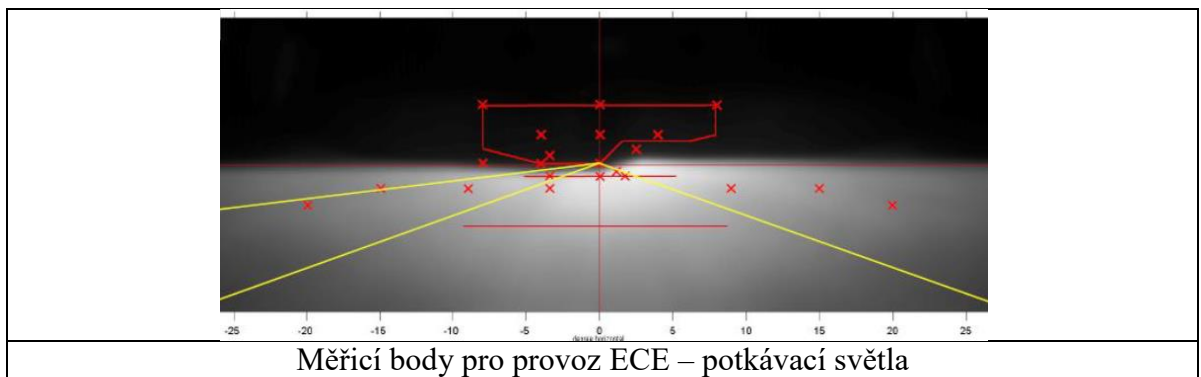


PŘÍLOHA 2

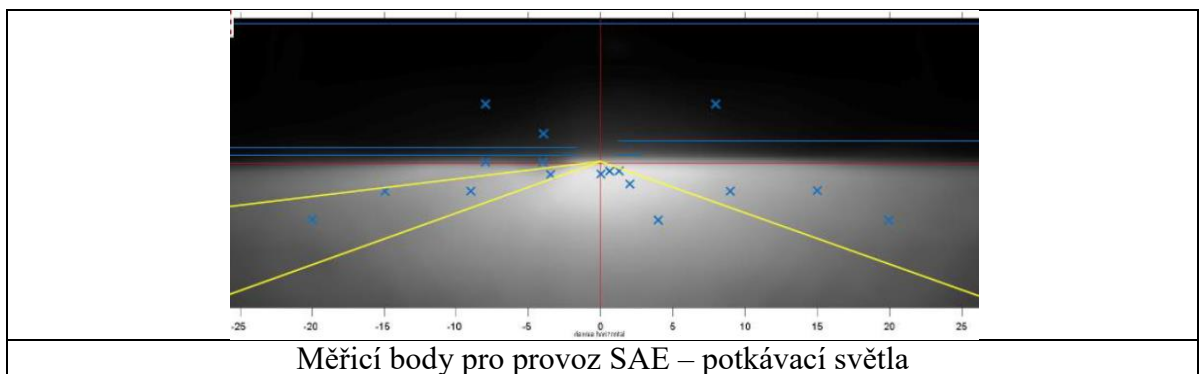
Měřicí body pro přední světlomety

Ukázka jednotlivých měřicích bodů v závislosti provozu a funkci modulu / světlometu

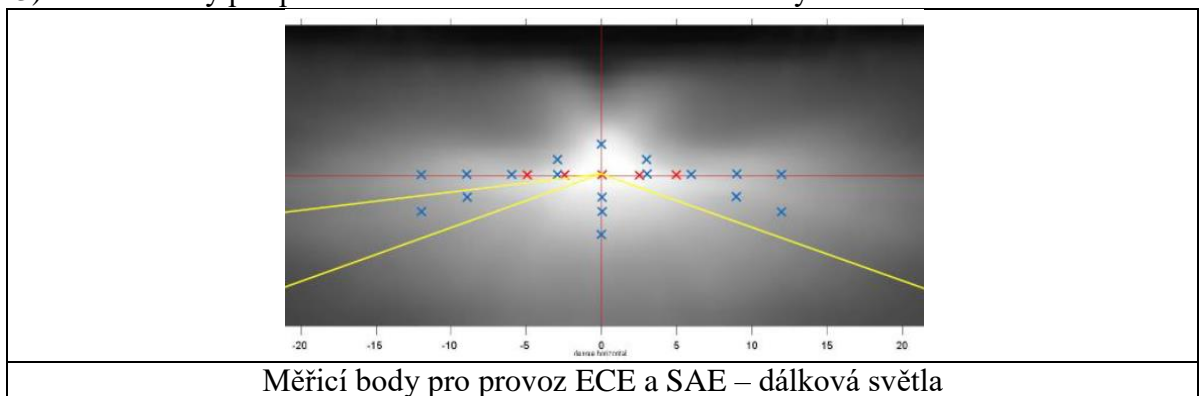
1) Měřicí body pro provoz ECE – potkávací světla



2) Měřicí body pro provoz SAE – potkávací světla



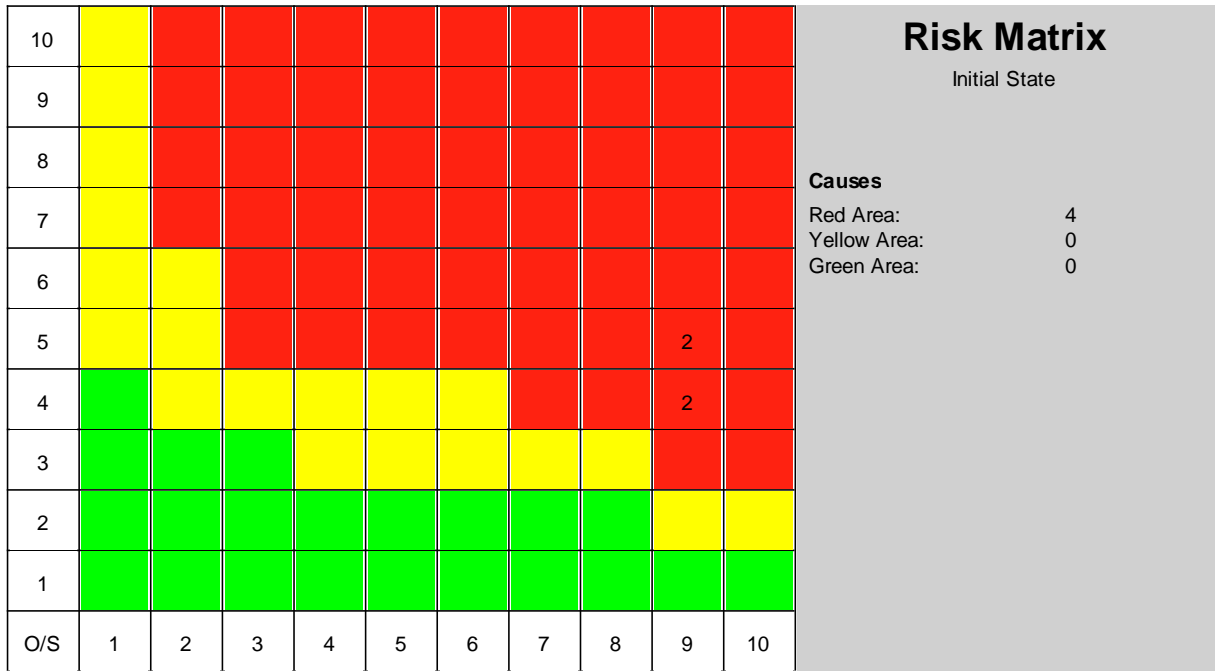
3) Měřicí body pro provoz ECE a SAE – dálkové světlometry



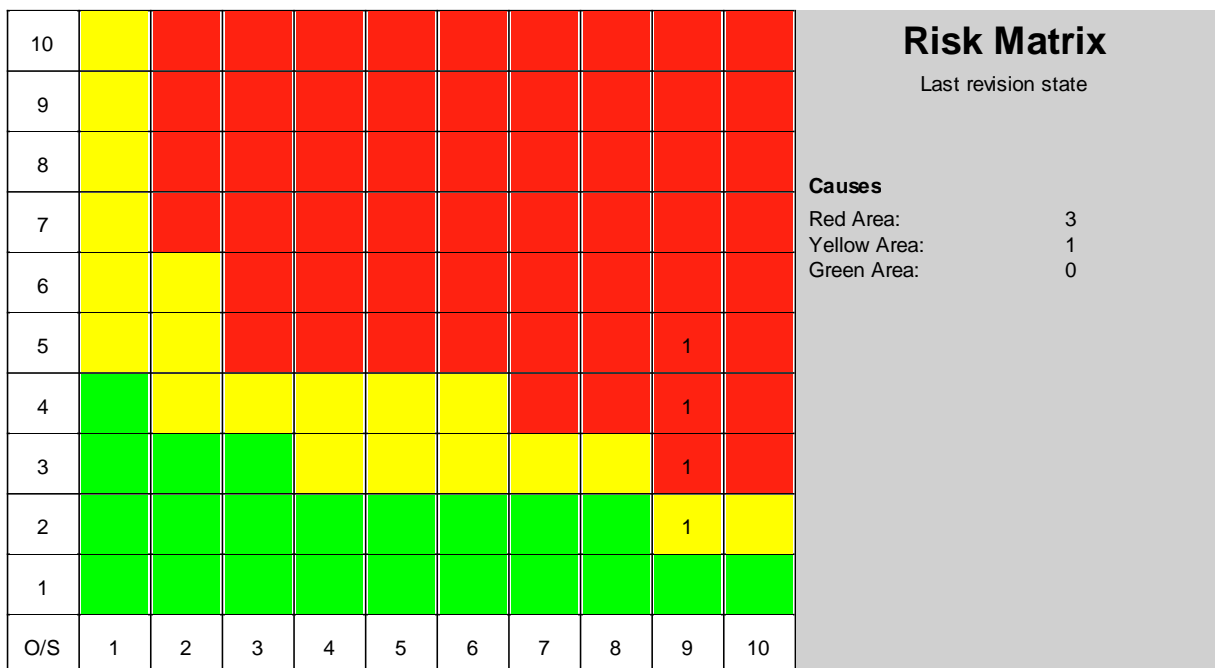
PŘÍLOHA 3 1/2

FMEA risk matrixy

1. Matrix S . O (initial state)



2. Matrix S . O (last revision state)



PŘÍLOHA 3 2/2

FMEA risk matrixy

3. Matrix S . D (initial state)

10	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
9	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
8	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	1	Red
7	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
6	Yellow	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
5	Yellow	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Red	3	Red
4	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red	Red	Red
3	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red
2	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Yellow
1	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
D/S	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Risk Matrix

Initial State

Causes

Red Area: 4
Yellow Area: 0
Green Area: 0

4. Matrix S . D (last revision state)

10	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
9	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
8	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	1	Red
7	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
6	Yellow	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
5	Yellow	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
4	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red	Red	Red
3	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	3	Red
2	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Yellow
1	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
D/S	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Risk Matrix

Last revision state

Causes

Red Area: 4
Yellow Area: 0
Green Area: 0