



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU MONTÁŽE SVĚTELNÉHO LED ZDROJE NA REFLEKTOR SVĚTLOMETU AUTOMOBILU

TECHNOLOGICAL PROCESS OF MOUNTING OF THE LED LIGHT SOURCE ON THE REFLECTOR FOR A
CAR HEADLAMP

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Kateřina Wiecková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Josef Chladil, CSc.

BRNO 2020

Specification Master's Thesis

Department: Institute of Manufacturing Technology
Student: **Bc. Kateřina Wiecková**
Study programme: Industrial Engineering
Study branch: Industrial Engineering
Supervisor: **doc. Ing. Josef Chladil, CSc.**
Academic year: 2019/20

Pursuant to Act no. 111/1998 concerning universities and the BUT study and examination rules, you have been assigned the following topic by the institute director Master's Thesis:

A technological process of mounting of the LED light source on the reflector for a car headlamp

Concise characteristic of the task:

It is a compact source called. "F–Lux", which is fixed to the surface of the reflector. The aim is to optimize the mounting procedure with a view to finding the correct optical position of the light source and reflector assembly, followed by fixing the position.

Goals Master's Thesis:

- The proposal of a technological procedure of mounting the light source on the reflector, which is part of the headlight of the car.
- The light source is mounted at the assembly station. – The technological procedure involves positioning and fixing the light source with respect to the desired optical output and serial clock of the line.

Recommended bibliography:

FOREJT, M., PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje, Vyd. 1., Brno Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.

HUMÁR, A. Technologie I: Technologie obrábění – 1. část. Brno. 2003. Dostupné také z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf. Syllabus. Vysoké učení technické v Brně.

KOCMAN, K. Technologické procesy obrábění. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM. 2011. ISBN 978-80-7204-722-2.

SHAW, M. C. Metal Cutting Principles. New York Oxford University Press. 2nd. edition. 2005. ISBN 0-19-514206-3.

SHIGLEY, J. E., Ch. R. MISCHKE, R. G. BUDYNAS, M. HARTL a M. VLK. Konstruování strojních součástí. V Brně: VUTIUM, 2010, xxv, 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0.

Deadline for submission Master's Thesis is given by the Schedule of the Academic year 2019/20

In Brno,

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Director of the Institute

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
FME dean

ABSTRAKT

ÚVOD

Tato práce byla vytvořena ve spolupráci se společností Marelli Automotive Lighting se sídlem v Jihlavě v České republice, která je jednou z předních mezinárodních společností v oblasti automobilového exteriérového osvětlení. Automotive Lighting je jedním z největších výrobců automobilových světlometů v Evropě s 30 závody v 16 zemích na 4 kontinentech. Hlavními zákazníky jsou značky vozidel: BMW, Volkswagen, Honda, Opel a další.

Cílem této práce je optimalizace pracoviště, kde je prováděna montáž sestavy optického systému využívajícího světelný zdroj s interním označením „F-LUX“. Optická sestava kombinující reflektor a světelný zdroj (F-LUX) je koncipována jako „low-cost“ či „effective-cost“ řešení, kdy světelný zdroj je navržen s variabilitou světelného výkonu (2-3-4 chip), a využívá unifikované montážní rozhraní na reflektoru. Tato sestava musí být montážně sestavena s ohledem na světelný výstup a homologační požadavky. S ohledem na sériovou výrobu v rozsahu cca 1 milionu kusů byl na základě optimalizačních smyček a cenové dopady zvolen fixační (montážní) koncept zahrnující dva kroky. Prvním je polohování zdroje světla do optické polohy. Druhým krokem je fixace polohy pomocí samořezného šroubu. Na základě malosériových testů a nízkého výrobního taktu byl systém dostatečně funkční, ale při vyšším výrobním taktu dochází k navýšení výpadků nad plánovanou mez. Toto navýšení výpadků je vzhledem k celkovým objemům výroby zcela zásadní a vyžaduje optimalizaci montážního pracoviště s ohledem na požadovaný výrobní takt a plánovaný počet možných výpadků.

V současné době se celý proces nachází ve stavu před sériovou výrobou a vykazuje četnost výpadků, která osciluje okolo 15%. Cílem této práce je nalezení příčin výpadků, jejich eliminaci a snížení jejich četnosti na 3%.

Tato práce se zabývá optimalizací technologického procesu, který zahrnuje umístění a fixaci LED zdroje na reflektoru ve vztahu k požadovanému optickému výstupu a sériovému taktu linky. Práce je rozdělena do několika částí: teoretický rozbor, popis současného procesu, analýza současného technologického postupu a optimalizace procesu s návrhem řešení, diskuse a závěr.

TEORETICKÝ ROZBOR

LEGISLATIVA

Legislativa je soubor pravidel, předpisů, norem, směrnic a zákonů, které jsou vytvořeny příslušnými orgány za účelem splnění požadavků na správnou funkci a bezpečnost. V současné době existuje snaha sjednotit právní předpisy na celém světě, protože vzhledem k tomu, že doprava je nepřetržitá, je důležité, aby místní, národní, mezinárodní předpisy a potřeby nebyly v rozporu. Výrobek musí splňovat požadavky legislativy. Nejsou-li podmínky splněny, nelze produkt uvést na trh [4, 15, 18].

V České republice je legislativa řešena Ministerstvem dopravy České republiky. Na mezinárodní úrovni je za právní předpisy odpovědná Evropská hospodářská komise, Evropské hospodářské společenství, Organizace spojených národů a Společnost automobilových inženýrů [4].

Hlavní rozdělení právních předpisů je na EKH (státy Evropy a částečně Asie, bez USA a dalších zemí Ameriky) a SAE (USA, Kanada a některé další americké země).

Podle EHK se předpisy pro automobilové součásti dělí do tří základních skupin: součásti pro aktivní bezpečnost, součásti pro pasivní bezpečnost, součásti pro ochranu životního prostředí [18].

U nově vznikajících předpisů je snaha o sjednocení pro všechny vyspělé státy světa. Díky postupné harmonizaci předpisů by mělo být dosaženo snižování nákladů vývoje, výroby, testování výrobků, které jsou vyráběny jak pro země, kde se využívá EHK legislativa, tak pro země s SAE legislativou [4, 18].

Každý nový výrobek v automobilovém průmyslu musí být nejdříve přijat a homologován EHK, nebo jiným odpovědným orgánem, před uvedením na trh. Tento schvalovací proces může trvat velmi dlouho a některé výrobky nemusí být schváleny [18].

TYPY AUTOMOBILOVÉHO OSVĚTLENÍ

Světlomety automobilů jsou prvky, které napomáhají k větší bezpečnosti: umožňují vidět a být vidět [14].

Kvalita světlometu automobilu je ovlivněna výrobou prvků, které jej tvoří, jejich instalací, materiály a použitou výrobní technologií. Prvky, které tvoří světlomety, musí být dokonale upevněny tak, aby byla sestava vodotěsná, prachotěsná a aby se zabránilo znečištění osvětlení. Světlometry jsou rozděleny na dvě skupiny: přední a zadní světlometry [22].

Tato práce je zaměřena na přední světlomet, zejména na reflektor, který zajišťuje hlavní funkci osvětlení: potkávací a dálková světla.

U prvních světlometů bylo rozložení světla na vozovce symetrické, to znamená, že světelný paprsek byl stejný z levého i pravého světlometu. Od roku 1957 nastala změna požadavků na asymetrické rozložení světla, aby se získal větší rozsah potkávacích světel, ale zároveň s minimalizací ozáření protijedoucích vozidel. Požadované rozložení světla závisí na konstrukci světlometu.

Potkávací světla poskytují asymetrický vzor osvětlení. Země s levostranným provozem mají potkávací světla tlumená doprava, aby se dosáhlo dostatečného osvětlení, avšak s minimalizací oslnění vůči protijedoucím vozidlům a jiným účastníkům silničního provozu. Pro země s pravostranným provozem je lehký pokles doleva [38, 39, 40].

Dálkové světlo poskytuje osvětlení dlouhého dosahu k maximalizaci pozorovací vzdálenosti řidiče a má středově vážený vzor rozložení světla bez jakékoli kontroly oslnění. Dálkové světlo dokončí vzor dolního paprsku, je symetrické a osvětlená oblast je dvakrát delší [38a, 39, 40].

OPTICKÉ SYSTÉMY

Optické systémy jsou komplexní systémy složené z několika technologií. Optické systémy použité v konstrukci světlometů slouží k řízení a vedení světelného paprsku v daném směru. Přední světlometry vozidla mohou používat optické systémy založené na třech typech technologií, kterými jsou: reflexní a projekční systémy, světlovody a pomocné čočky.

Světelné zdroje používané v těchto systémech jsou: základní světelné zdroje (halogenové žárovky, xenonové výbojky, LED světelné zdroje) a inovativní světelné zdroje využívající LED zdroj.

Reflekční optické systémy

Reflekční optické systémy jsou založeny na využití reflektoru (tvaru elipsoidu nebo paraboloidu), který odráží světlo ze světelného zdroje na vozovku.

Parabolický reflektor (Fresnelova čočka a free form)

Tělo světlometu má podobu paraboloidu (Figure 1.4.1.2) a využívá vlastnosti parabolického zrcadla. Zdrojové světlo je umístěno do ohniska paraboloidu, takže paprsek se odráží rovnoběžně s optickou osou. K získání požadovaného rozložení světla se používají optické formy na krycím skle (Fresnelovy čočky). Svislý válcovaný profil se používá k dosažení horizontálního rozložení světla a hranolová struktura ve výšce optické osy se používá k posunu světla k dosažení nezbytného asymetrického silničního osvětlení [4, 33, 40, 41].

S vyššími požadavky na design světlometů automobilu byl vytvořen nový typ technologie: free form (FF), reflexní parabolický povrch je rozdělen do velkého počtu malých segmentů, které odráží světelný paprsek do přesně definovaného směru. Krycí sklo je čiré.

V tomto typu reflektorů se používají nejčastěji halogenové žárovky (H1, H2 nebo H7) a xenonové výbojky (D1R nebo D2R) [33].

Projekční optické systémy

Projekční optické systémy využívají čoček. Zdroj světla je opatřen primární optikou nebo reflektorem, který usměrní paprsky do čočky, která je promítá na vozovku.

Litronic, Bi-Litronic a kombinované systémy projektorů

Litronic je systém světlometu, který byl vytvořen ve společnosti Bosch v roce 1991. Litronic se skládá z reflektoru, výbojky a elektronické přepínací jednotky [42, 47].

Bi-Litronic kombinuje výhody kompaktního systému Litronic a přidává možnost přepnutí z dálkového světla na potkávací světlo pouze s jednou výbojkou. Spínání světla je dosaženo dvěma polohami výbojky - jedna pro dálkové světlo, druhá pro potkávací světlo a to pomocí elektromagnetických nastavovacích prvků [43, 42].

V případě, že se nepoužívá elektromagneticky ovládaná clona, musí reflektor kombinovat technologii elipsoidního reflektoru (stejný princip jako u parabolického reflektoru, ale tvar reflektoru je elipsoid) pro dálková světla a technologii freeform pro tlumená světla.

POŽADAVKY NA SVĚTELNÝ VÝSTUP

Požadavky na světelný výstup jsou definovány legislativou a klientem. Jsou rozděleny v závislosti na typu světla. V této diplomové práci je analyzována část předního světlometu, proto budou popsány požadavky na výstup z reflektoru předního světlometu: potkávací a dálkové osvětlení. Hlavními požadavky na výstup, které jsou testovány, jsou intenzita světla, přesná pozice testovaných bodů a barva světla (Figure 1.5.1.2).

Potkávací světla EKH definuje parametrizovanou čarou COL-cut-off line. COL je rozdělena do tří segmentů: cut-off, „rameno“ a „loket“. Linka má svoji polohu s tolerančními body a zónami, které je nutné respektovat. Na obrázku jsou definovány tyto oblasti a tvar čáry [38, 39, 40].

Pro dálková světla jsou definovány testovací body, kde se testuje intenzita a poloha v tolerančním poli.

SVĚTELNÉ ZDROJE

Zdroje světla jsou vyvinuty tak, aby byly efektivní (dlouhá životnost, nízké náklady, snadná údržba) s vysokým jasem a světelným tokem. Požadavky jsou kladeny zejména na bezpečnost, pohodlí řidiče a všech účastníků provozu. Barva světla by se měla co nejvíce blížit barvě denního světla. Zdroj světla by měl být kompaktní, aby byl prostor pro design.

Neustálý vývoj světelných zdrojů umožňuje dosáhnout lepších výsledků ve všech doménách požadovaných parametrů.

Základní světelné zdroje

Mezi základní světelné zdroje patří halogenová žárovka, xenonová výbojka a LED zdroj (Figure 1.5.3.1).

Halogenová žárovka je tvořena malou skleněnou baňkou pro dosažení požadované teploty. Menší žárovka je kompaktnější a umožňuje více prostoru pro design, barva světla je do oranžova 2900-3100 K, jedná se o ne příliš výkonný světelný zdroj. Halogenová žárovka může mít dvě vlákna, takže může mít kombinovanou funkci potkávacího a dálkového světla [27, 28, 29].

Xenonové výbojky nemají vlákno, světlo je vytvářeno přímým výbojem mezi dvěma elektrodami. Barva světla závisí na atomové struktuře použitého plynu. Teplota barev je vyšší než u halogenových žárovek, to znamená, že barva je více podobná barvě denního světla, což je lepší pro řidiče vozidla. Xenonové výbojky produkují o 200% více světla než halogenové světlomety. Pokles spotřebované energie je na méně než třetinu. Xenonové výbojky se většinou používaly pro dálkové světlomety [2, 26, 30].

LED zdroj umožňuje delší životnost s nižší spotřebou energie. Barva světelného paprsku se nejvíce blíží barvě denního světla, jedná se o velmi kompaktní zdroj, ve světlometu je více prostoru pro design. LED je elektronické polovodičové zařízení obsahující P-N přechod.

Náběh na plný světelný výkon trvá velmi krátkou dobu, jednotky milisekund. LED zdroje pokrývají celé spektrum barev, takže jejich použití je rozsáhlé. V minulosti se LED diody používaly pro brzdová světla a směrové signály, nyní se svým použitím rozšířily na všechna světla automobilu (potkávací světla, dálková světla atd.). LED zdroje mohou být tvořeny jedním nebo více čipy [4, 31].

Světelný zdroj v sériové výrobě v automobilovém průmyslu musí mít maximální variabilitu designu v kombinaci s vysokou účinností, dlouhou životností a dalšími požadavky, jako je barva denního světla nebo vysoká svítivost. Všechny tyto požadavky jsou splněny LED zdroji.

Inovativní světlomety využívající technologii LED

Advanced LED a laser

Advanced LED technologie je založena na nepřetržité spolupráci zdrojové matice LED a modulů, které vytváří několik hlavních režimů osvětlení v různých kombinacích. Řidič nemusí přepínat světlo (potkávací / dálková světla), protože jsou korigovány automaticky

pomocí systému řízeného počítačem, který přijímá data o rychlosti, překážkách na silnici, ostatních vozidlech a podle potřeby plynule upravuje světelný tok [2].

První aplikací laseru jsou bodové laserové dálkové paprsky, které byly poprvé představeny v roce 2014 v BMW i8. Rovněž se vyvíjejí systémy, které lze použít pro všechny typy osvětlení. Laser se skládá z modulu se čtyřmi diodami. Laserové diody jsou obzvláště působivé díky své malé velikosti: jedna laserová dioda vytváří téměř bodový světelný zdroj velikosti několika tisíců milimetrů. Světlo z diod je nasměrováno do fluorescenční fosforové vrstvy, kde se barevná teplota laseru mění z modrého na bílé (5500 K). Jas je čtyřikrát větší než u zdrojů LED, mají také dvojnásobný dosah (až 600 metrů) a 30% vyšší účinnost. Použití na trhu je zatím omezeno z důvodu bezpečnostních rizik [58, 64].

Pixel/matrix světelné zdroje

Tato technologie umožňuje programovat a s bodovou přesností promítat světlo na vozovku. Pixelové světlomety fungují na principu DMD- digital micromirror devices. Jedná se o čip, který je nosičem několika stovek tisíc zrcátek, každé o velikosti jednoho pixelu, každý z těchto bodů je možné regulovat a programovat samostatně. Tato technologie umožní promítání symbolů na vozovku, použití dálkových světel v normálním provozu- neoslňující dálkový světlomet, kde oblast ve které se nachází protijedoucí vozidlo není ozářena [42, 58, 60].

KONSTRUKCE SVĚTLOMETŮ

Při vývoji nového produktu je kladen důraz na bezpečnost, funkčnost, vzhled, náklady, dobu výroby, počet kusů a v neposlední řadě na kvalitu.

Životní cyklus projektu

Každý projekt má několik hlavních částí, které musí být provedeny před sériovou výrobou. Vše začíná nabídkou klienta. Nabídka je zpracována a zahajuje první část životního cyklu projektu, tj. 3D data, druhou část tvoří nástroje a poslední část je rampa a sériová výroba. Tento proces trvá měsíce.

Během celého procesu vývoje se používají prostředky, které usnadňují předcházení problémům, jedná se o metodiky vyvinuté pro řízení kvality, funkčnosti a správného procesu vývoje. Jednou z nejpoužívanějších metodik je FMEA (Režim selhání a analýza efektů). FMEA doprovází vývoj od začátku do konce, je to otevřený dokument, který je dynamicky upravován po každé změně návrhu, optimalizace, po reklamaci, velký šrot. Cílem je zvýšit bezpečnost funkcí, spolehlivost výrobku, snížit náklady, prodloužit životnost a detekovat chyby v nejranější možné fázi vývoje. S FMEA lze zjistit 70-90% možných nesrovnalostí. O kvalitě produktu se v předvýrobních fázích rozhoduje na 80%.

3D data

Proces vývoje je založen na požadavcích klienta a začíná zpracováním 2D + 3D dat. Zákazník dodává model a specifikace, které popisují parametry produktu, jako je funkce, světelný výkon nebo barva. Rovněž obsahuje specifikace konstrukce karoserie, vnějšího povrchu světlometu a požadavky na zpracování.

Na základě zadání modelu a specifikací od zákazníka je vytvořena počítačová vizualizace a ukázka světla. V této fázi jsou definovány pouzdro světlometu, ozdobné a funkční části světlometu, načež následuje vytvoření objemového vzorku, vzhled optického systému světlometu a jeho instalace.

Dalším krokem je simulace pomocí softwaru, který usnadňuje analýzu světlometů. CAE (počítačem podporované inženýrství) umožňuje vytváření deformační a tepelné analýzy, nalezení okrajových podmínek, které pomáhají optimalizovat model před výrobou prototypu. Po simulacích v softwaru CAE jsou vytvořeny kompletní modely a výrobní dokumentace v CAD (computer aided design).

Nástroje

Po dokončení všech 3D dat a vytvoření dokumentace začíná další část životního cyklu projektu, která je spočívá ve výrobě prototypu, náradí k výrobě a testování.

Nástroje používané pro výrobu jsou rozděleny na prototypové a sériové. Většina částí světlometu je vyrobena z plastu za předpokladu, že nejsou zahrnuty elektronické součásti a malé části, které jsou často vyrobeny z kovových výlisků nebo polotovarů.

Plasty používané k výrobě světlometu jsou nejčastěji ze dvou skupin, kterými jsou termoplasty a termosety.

Termoplast

Termoplasty mají schopnost být opakovaně tvarovány. Orientace vlákna je náhodná, takže se kompozit chová jako izotropní materiál. V závislosti na jejich chemickém složení může být termoplast podobný kaučuku nebo může nahradit hliníkové součásti. Jsou lehké, vysoké pevnosti a náklady na proces zpracování jsou nízké. Bod tání je nízký, proto je vhodné použít plniva ke zvýšení schopnosti odolávání vyšší teplotě [67, 68].

Hlavními představiteli této skupiny jsou polypropylen, polykarbonát a polybutylentereftalát.

Termosetové plasty jsou tvořeny dlouhými řetězci molekul. Rozdíl mezi termosetovým plastem a termoplastem spočívá v tom, že termosetový plast nelze znovu tvarovat, pokud je

jednou tvarován a formován. Mají vysokou teplotu tání, vysokou pevnost v tahu. Tento typ plastu nelze recyklovat [73, 74].

Vstřikování plastů

Tvar produktu je určen 3D modelem. Konstrukce výrobku musí zohledňovat vhodné umístění dělicí roviny: metoda formování; vstupní a vypouštěcí systém, větrání, zkosení, přesnost, vzhled atd.

Technologie je rozdělena na: tváření - velké změny výchozího tvaru materiálu (vstřikování, lisování, lití, válcování a další), tvarování - od polotovaru (tvarovací desky nebo ohýbací trubky), doplňková - příprava granulátu, potisk nebo pokovování finálního produktu.

K získání požadovaného konečného produktu se obvykle používají všechny tři technologie.

Výroba forem

Výroba forem a jejich povrchová úprava hrají důležitou roli v konečné kvalitě povrchu vyráběných dílů.

Vysoký počet výroby vstřikovacích forem se provádí obráběním nebo elektroerozí. Je třeba zkrátit dobu výroby a náklady, takže se stále více využívá vysokorychlostní frézování nebo použití 5-osých frézek [89, 92, 94].

Pro požadované technologie obrábění jsou zapotřebí speciální stroje, které jsou schopny splnit všechny požadavky na výrobu forem (frézování s větším objemem materiálu, frézování kapes, frézování složitých forem...).

Forma je vytvořena z různě využívaných částí, takže celá forma není pouze z jednoho materiálu. Forma je rozdělena na části, které jsou pod vysokým tlakem, ostatní jsou funkční nebo konstrukční části.

Důležité faktory pro výběr materiálu formy jsou: velká znalost vstřikovaného polymeru, forma konečného produktu - jeho složitost, rozměry, počet vyrobených kusů, obrobiteľnosť formovacího materiálu, požadované fyzikální a mechanické vlastnosti, cena [91, 92, 93].

Nejpoužívanějšími materiály pro výrobu forem jsou oceli. Existuje mnoho druhů ocelí se specifickými vlastnostmi. Pro získání formy s dlouhou životností a vysokou kvalitou jsou upravovány tepelným nebo chemickým zpracováním, povrchovou úpravou odolnou proti korozi [79-82].

Hotová forma se leští, aby se dosáhlo požadované drsnosti povrchu. Díly se dále upravují pokovováním a lakováním.

TESTOVANI A NABEH VÝROBY

Každá část světlometu automobilu musí být homologována, musí být v souladu s předpisy a musí splňovat životnost celku. Po splnění všech požadavků jsou prototypy testovány a optimalizovány do finálního produktu podle požadavků klienta [14, 34, 35].

Po výrobě prototypu probíhá část testování, měření a certifikace. Přestože velká část testů byla prováděna ve formě simulací pomocí CAE, je stále nezbytné provést fyzické testy, aby byla zajištěna dostačující bezpečnost. Jedná se o metodu konečných prvků FEM, tepelné zkoušky, vibrační zkoušky a zkoušky propustnosti.

Komponenty světlometů musí být spojeny dohromady a nesmí se dále pohybovat. Přední světlometry jsou složitější než zadní světlometry a vyžadují více zkoušek a komplexnější kontrolu. Komponenty jsou sestaveny jako uzavřené systémy, kde musí být chráněny vodotěsnými kryty [14, 30].

SÉRIOVÁ VÝROBA

Po testování, optimalizaci a schválení prototypu může být zahájena sériová výroba. Počet kusů, které budou vyrobeny, hraje důležitou roli. Velké série, které produkují miliony kusů ročně pocítí i malé cenové rozdíly v použitých komponentech, které mohou hrát rozhodující roli při ovlivňování ceny. Ve velkovýrobě bude vhodné investovat do co nejautomatizovanějšího procesu, aby se zachoval plánovaný takt linky i kvalita produktu. V případě malých sérií by nákup drahých nástrojů mohl příliš ovlivnit výslednou cenu.

POPIS SOUČASNÉHO PROCESU

F-LUX

F-lux je sestava PCB (Printed circuit board) s vícečipovým LED zdrojem, rezistorem R bin (pro informace LED binningu), NTC (negative temperature coefficient - teplotní senzor pro řízení teploty), ECU (electronic control unit), konektory a chladič (Figure 1.7.9.1)..

K PCB destičce (s ECU, NTC a R-bin rezistorem, LED zdrojem) jsou přidány dva piny (tyto piny vytváří referenční spoj F-lux s reflektorem). Spojení PCB destičky s chladičem je pomocí šroubu.

F-lux může být v konfiguraci s 2, 3 nebo 4 čipovými LED (v závislosti na požadavcích na intenzitu světla), na počtu LED čipů závisí tvar chladiče. S vyšší intenzitou LED čipu, který také zvyšuje své emitované teplo, se musí měnit tvar chladiče, aby bylo teplo co nejefektivněji odváděno.

Chladič je z plechu, který je vyroben z hliníkových slitin. PCB destička je z PCB FR-4, jedná se o sklem vyztužený epoxidový laminátový materiál. Šroub je tzv. samotváreční šroub, který je vyroben z oceli 19MnB4, s mezí kluzu 1000 MPa.

REFLEKTOR

Reflektor má několik referenčních bodů / oblastí se stanovenými tolerancemi. Pro každou osu existuje jeden nebo více referenčních bodů / oblastí.

Spojení reflektoru a F-luxu hraje klíčovou roli v požadavcích na výstupní světlo. Referenční body jsou nastaveny tak, aby zaručovaly co nejpřesnější polohu, ve které bude F-lux připevněn k reflektoru. Obrázek Figure 2.1.4.1 ukazuje referenční body/ oblasti oranžovou barvou. Polohovací piny jsou na reflektoru, takže obsluha si může být jistá, že vybrala F-lux, který je orientován správným směrem (F-lux může být zrcadlově převrácený nebo může mít jinou konstrukci chladiče v závislosti na počtu LED čipů).

Referenční oblasti v ose X jsou rovný prvek s půlkruhovým průřezem a druhý ve tvaru V. Piny na F-luxu se dotýkají pouze bodově, aby se vyloučilo nežádoucí tření povrchů. Referenční oblasti v ose Y je prvek na hraně reflektoru ve tvaru písmene V s půlkruhovým průřezem. Referenční oblasti v ose Z jsou dva prvky na horní straně reflektoru, jedná se o dvě „linie“, které mají půlkruhový průřez, takže F-lux se dotýká co nejmenší oblasti, aby nezvýšil třecí plochu. Reflektor je vyroben z plastu BMC, který je pokoven a lakován.

TEORETICKÝ POSTUP MONTAZE

Teoretický postup byl navržen tak, aby byl co nejjednodušší, ale zároveň efektivní. Cílem je upevnit F-lux k reflektoru v přesně určené poloze, což zaručuje, že výstupní světlo splní všechny požadavky (intenzita světla, ostré přechody v dolním paprsku, neporušený světelný kužel atd.). Postup připevnění F-luxu k reflektoru je načtení kódu DMC na zadní straně chladiče, položení F-lux na nosnou plochu reflektoru, zajištění kontaktu pinů v referenčních bodech (hlavně v osách x, y) reflektoru, lehké stlačení F-lux, upevnění F-lux (ve směru x) s max. silou 50 N, pomocí táhla s pneumatickým systémem. F-lux je pevně přitlačen k reflektoru a zašroubován.

PŘÍKLAD REFLEKTORU SE TŘEMI MODULY

Tří-modulové reflektory jsou složeny ze tří F-luxů, intenzita světla je dána počtem LED čipů, které mohou být 2 čipové LED, 3 čipové LED nebo 4 čipové LED. Jedná se o reflektor s fazetovým optickým. Fazety lámou světlo z LED čipů tak, aby bylo dosaženo požadovaného světelného výstupu.

Potkávací světla

Potkávací světlo se skládá z LB spotu, který definuje COL (cut off line) a základny LB (LB base), které doplňuje světelný výstup pro získání úplného světelného obrazu (Figure 2.4.1.1). Základna LB má upravený tvar reflektoru, který osvětluje i oblasti, ve kterých se nacházejí dopravní značky, aby řidiči zajistily lepší viditelnost a orientaci.

Dálkové světlo

Dálkové světlo se skládá ze světla všech tří modulů - LB spot, LB base a HB. Světlo dálkových světel doplňuje potkávací světelný výstup a vytváří světelný obraz, který intenzivněji a na větší vzdálenost osvětluje vozovku před vozidlem (Figure 2.4.2.).

AKTUÁLNÍ PROCES MONTÁŽE

Proces montáže na této části výrobní linky sestává z montáže F-lux (světelný zdroj) na reflektor. Operace na tomto pracovišti jsou rozděleny na tři části: montáž F-lux na reflektor, optické testování a balení. Je třeba vzít v úvahu, že na tomto pracovišti je více projektů, často pro různé klienty. Proto na lince není pouze jeden typ reflektoru. Pro každý typ existuje jiný upevňovací přípravek. Operátoři musí být připraveni a vyškoleni jak pro vlastní montáž zkoušky a balení, tak pro výměnu montážního přípravku (na montážním stanovišti a také u optického testování) tak, aby proces probíhal bez narušení taktu linky. F-lux na linku přichází již sestaven (PCB destička s ECU, LED čipy, piny a chladič)(Figure 2.4.2.5). První částí je montáž F-luxu na reflektor. Přesnost tohoto procesu je velmi důležitá. Výsledky optických výstupů, které jsou testovány v dalším kroku linky, závisí na správném umístění F-luxu. V případě nesprávné montáže, kdy produkt neprojde optickým testováním, je vyřazen, což způsobuje finanční ztráty a ovlivňuje takt linky. Přípravek pro montáž daného typu reflektoru a F-luxu je umístěn na pracovním stole pomocí čtyř pinů a je zafixován šroubem. Proces montáže není automatizován, provádí jej operátor. Stůl je vybaven vším, co operátor potřebuje k montáži.

Prvním krokem po upevnění montážního přípravku je umístění a upevnění reflektoru. Reflektor je umístěn na montážním přípravku a je upevněn.

Některým z F-lux musí být přidělané plastové prvky, které slouží k řízení toku světla.

Dalším krokem je umístění F-luxu na reflektor a jeho připevnění. Proces je založen na teoretickém popisu z kapitoly XY. F-lux je umístěn na táhlo s pneumatickým systémem, které slouží k napolohování pinů do přesně definované polohy, kontakt pinů v poloze x, y - referenčních oblastech dotyku s reflektorem. Táhlo táhne předepsanou silou pomocí pneumatického systému, díky čemuž se piny usazují na referenčních plochách.

Když je F-lux správně napolohován ve všech osách, postupuje operátor k sešroubování pomocí samořezného šroubu, který je zašroubován předem určeným utahovacím momentem (Figure 2.4.2.6). Montáž se provádí pomocí přímého pneumatického šroubováku. Šroub má na povrchu lepidlo, které zabraňuje znečištění reflexní části reflektoru prachem a částicemi, které by se normálně vytvářely během šroubování.

Po sešroubování všech tří F-lux s reflektorem, jsou uvolněna všechna polohovací a fixační opatření a modul pokračuje na další část linky.

PRACOVISTĚ

Pracoviště výrobní linky je v hale na Stříteži. Každá část výrobní linky má své číslo a všechny provedené procesy (skenování produktu, testování, počet chyb, čas montáže, čas testování, počet produktů a další) jsou uloženy v systému DAQIS. Na této části výrobní linky, kde probíhá montáž F-lux s reflektorem, pracuje jeden nebo dva operátoři (v závislosti na projektu). Jeden na montážním stanovišti, druhý na testovacím, čistícím a balícím stanovišti.

Pracoviště je logicky organizováno s odkládacími místy, kde může obsluha umístit předpřipravený produkt, dokud s ním nemůže pokračovat. Veškerý potřebný pracovní materiál je připraven na daných pozicích. Každá část pracoviště je opatřena kontrolními návodkami a instrukčními listy, které pomáhají operátorům v problematických bodech montáže, upevnění v montážním přípravku nebo například při závěrečné kontrole. Takt linky je jedním z nejdůležitějších bodů v sériové výrobě. Jednoduchý a jasný tok linky umožňuje udržovat bezproblémový chod linky.

Montážní část

Montážní post je rozdělen na dvě části, v první je samotná montáž F-lux na reflektor, ve druhé jsou k reflektoru přišroubovány referenční/upínací body, kterými je následně celý modul (F-lux na reflektoru) polohován do další zástavby světlometu (Figure 2.7.3.1).

Testovací část

Druhou částí pracoviště je optické testování sestavené jednotky (F-lux na reflektoru). Operátor vezme modul a umístí ho na montážní přípravek pomocí referenčních bodů na reflektoru. Přípravek je na rotačním stole, který se otočí, když je reflektor připraven. Během několika sekund jsou provedeny všechny testovací operace na potkávací a dálková světla (Figure 2.7.4.1).

EOL

Zkušební stroj „EOL“ pracuje na principu Fresnelovy čočky. Protože na lince není dostatek místa pro stroj na měření světelného výstupu ve vzdálenostech 25 m, 10 m a 5 m, promítá se světlo pomocí Fresnelovy čočky tak, aby bylo možné testovat všechny požadované vzdálenosti, ale na pracovišti, a to ve stroji na vzdálenosti 0,5 m.

Golden sample

Testování se provádí podle golden sample. Jedná se o 100% správně nastavený světlomet. EOL se nastaví podle něj a ostatní reflektory se s ním srovnávají.

Balení a finální kontrola

Pokud reflektory projdou optickým testováním, postupují do poslední části tohoto pracoviště - kontroly a balení. Reflektor s F-lux je očištěn od případných nečistot stlačeným

vzduchem a je vizuálně zkontrolován. Operátor načte finální kód, modul je zabalen a umístěn do krabice, která bude pokračovat do další části linky, kde bude nainstalován do světlometu (Figure 2.7.5.1).

Hodnocení Z Daqis

Společnost Automotive Lighting využívá systém DAQIS. Každý proces a operace prováděné na výrobních linkách jsou zaznamenány v DAQIS. Je možné stanovit, která výrobní linka bude analyzována (každá výrobní linka má své vlastní číslo), v jakém časovém období, ze které směny i pro který produkt. Z hodnot uložených v DAQIS jsou pro tuto diplomovou práci nejdůležitější dvě části - zprávy o kvalitě a zprávy o výrobě.

Z těchto grafů a tabulek je možné provést analýzu, která ukáže, kolik produktů bylo vyrobeno, v jakém časovém období, kterou skupinou operátorů, jaká byla míra chyb.

Každý příspěvek na lince má předem stanovený cíl - počet produktů, které by měly být vyrobeny za směnu. Tato data jsou uložena ve zprávě o produkci, kde je možné najít informace o tom, která směna byla (třísměnný provoz), kolik kusů bylo skutečně vyrobeno, kolik kusů bylo vadných.

Ve zprávách o kvalitě je možné najít tabulku, která je seřazena podle času. V ní jsou zaznamenány všechny informace o produktu a jeho testování. Pokud byly hodnoty v poli tolerance, je značeno OK. Pokud se výsledky odchylují od požadovaných hodnot, je výsledek označen jako NOK a je k dispozici chybová zpráva.

Ve zprávě o výrobě jsou zpracované grafy ukazující počet OK a NOK kusů, dále graf, který dělí NOK kusy podle typu výpadku.

VÝPADKY

LB check- Kontrola rozhraní NOK

Nejčastější chyba se nazývá Kontrola rozhraní. Jedná se o chybu v rovinnosti, krutu a ostrosti rozhraní. Tento typ výpadku se vyskytuje ve více než 38% případů. Rovinnost horizontální části COL je ověřena svislými řezy rozložení světla. Poté je stanoven gradient logaritmu osvětlení těchto vertikálních řezů a poloha maximálního gradientu musí být v předem definovaném rozsahu. Kromě rovinnosti a krutu je ostrost COL. Gradient G se vyhodnocuje v několika svislých řezech. Hodnota gradientu G nesmí být menší než 0,13 (minimální ostrost) a nejvýše 0,40 (maximální ostrost). Hodnoty gradientu G musí být v předdefinovaném rozsahu.

LB spot bod zlomu = Rozhraní LB_spot

Druhá nejběžnější skupina chyb (30% výpadků) je v poloze rozhraní LB spot. Výpadek může být ve vodorovné, horizontální nebo úhlové poloze. Každá z těchto poloh má specifikované toleranční pole, ve kterém musí být měřená hodnota.

HB bod zlomu = Rozhraní HB

Tento výpadek může být naměřen pro vertikální nebo horizontální polohu, když hodnota neodpovídá tolerančnímu poli. Výpadek rozhraní HB se vyskytuje ve 14% četnosti.

Tyto tři chyby dohromady tvoří 80% všech výpadků.

PŘÍČINY

Je vidět, že příčiny jsou rozděleny do čtyř hlavních skupin: Poruchy mechanické polohy, automatický kontrolní stroj, výpadky způsobené variabilitou výrobního procesu reflektoru, montážní přípravek.

Mechanické poruchy polohy

Mechanické poruchy polohy spočívají ve špatné schopnosti / riziku utažení ve špatné poloze.

Automatický kontrolní stroj

Další možností výpadků je kontrolní stroj. Řídicí jednotka může ovlivnit světelný výkon v několika bodech. V zásadě to může být problém s nastavením stroje, jeho napájením, které neumožňuje správné měření a způsobí výpadky.

V kontrolním stroji se právě vyrobené kusy porovnávají se standardně zlatým vzorkem. Nesprávné nastavení a nastavení normy ovlivní kontrolu ostatních kusů.

Nesprávné usazení v přípravku může vést k tomu, že naměřené hodnoty nebudou správné, i když jsou správně umístěny při správné montáži. I když má každý měřicí bod své vlastní toleranční pole, může se stát, že nesprávné vyrovnání způsobené nesprávným umístěním v přípravku způsobí, že naměřená hodnota již nebude v tolerančním poli.

Výpadky způsobené variabilitou výrobního procesu reflektoru

Proces výroby reflektoru byl popsán v teoretické části práce. Faktory, které mohou ovlivnit výsledný světelný výkon, jsou již přítomny při výrobě forem. Forma musí být leštěna, aby se vyloučila možnost nerovností na povrchu dílu.

Materiál, ze kterého jsou reflektory vyrobeny - termosetové plasty BMC, je porézni a má nerovnosti. Aby se povrch sjednotil a vyrovnal, je reflektor natřen a mezilehlý hliníkem. Hliník má vlastnost oxidace, takže na konci procesu dochází k pasivaci. Při malování se může

barva na povrchu reflektorů akumulovat, což může ovlivnit úhel, ve kterém se světlo odráží na silnici, a tím měnit polohu měřených bodů.

Montážní přípravek

Nejběžnější skupinou, kde může dojít k chybě, je montážní přípravek.

Montážní přípravek se liší podle projektu na lince, takže je mobilní a je nahrazen obsluhou. K první z možných komplikací může dojít, když je produkt umístěn na pracovním stole.

Jakmile je montážní přípravek upevněn, je do něj vložen a upevněn reflektor. V tomto okamžiku může nastat stejný problém jako při upínání součásti k inspekčnímu stroji. Pokud reflektor není upnut přesně, může být F-lux umístěn nesprávně.

Další možností je tlakový systém, který se má použít k namontování F-luxu na reflektor před montáží. Pokud je způsob lisování zvolen nesprávně, může být F-lux na reflektoru posunutý.

Dalším krokem montáže je umístění F-luxu pomocí táhla. Táhlo je umístěna na chladiči F-lux a piny by měly spočívat na referenčních plochách na reflektoru. Táhlo funguje pomocí pneumatického systému. Faktory, které ovlivňují polohování, jsou: tvar táhlo, umístění otvoru na chladiči F-lux, umístění táhlo v otvoru na chladiči F-lux, počet stupňů volnosti táhla. Přišroubováním F-luxu na samotný reflektor může dojít k deformaci, která ovlivní polohu LED čipu.

Vzhledem k tomu, že se jedná o složitý problém, bude v této diplomové práci diskutována skupina montážních přípravků a poruch mechanické polohy, které ovlivňují většinu poruch. Optimalizace dalších skupin by vyžadovala čas a peníze.

NÁVRHY ŘEŠENÍ

Analýza z DAQIS ukázala, že ve většině případů jsou výpadky způsobeny nesprávným umístěním F-luxu na reflektoru. Díky metodě DOE (kdy byly ručně napolohovány všechny části do správné polohy) bylo zjištěno, že chyby jsou spojeny s nesprávným polohováním pinů v jejich referenčních polohách - spojené s táhlem, přítlačným systémem a šroubováním.

Příčiny výpadků jsou rozděleny na dvě skupiny: výpadky ovlivněné polohováním, výpadky ovlivněné fixací na přípravku.

V ideálním případě budou piny napolohovány na referenčních plochách reflektoru a zůstanou na místě během montáže i následné manipulace, a testované parametry budou v tolerančních polích označených OK. Současný stav je takový, že i když je F-lux napolohován do požadované polohy, může se pootočit vlivem šroubování při samotné montáži (vysoké třecí síly na ploše kontaktu hlavy šroubu a F-lux).

OPTIMALIZACE POLOHY OTVORU PRO TÁHLU

V ideálním případě jsou táhlo a piny plně pohyblivé po referenčních plochách (součinitel tření je roven nule), což umožní úplné napolohování pinů. Pin 1, vykonává posuvný pohyb, Pin 2 rotační a posuvný. V současném stavu není poloha F-Lux s reflektorem vždy stejná při procesu montáže. Je třeba najít polohu otvoru táhla, ve které jsou síly působící na piny takové, že je umožněn jejich pohyb, a tudíž napolohování do požadované referenční polohy.

Pro zjištění ideální polohy otvoru táhla byl proveden silový rozklad. Byla navržena hypotéza (podkapitola 4.4.1.), že pokud by se táhlo posunulo do polohy 1. pod pinem 1, tak by se nacházelo v blízkosti středu rotace S (odvozený z rovnic (4-16)) - pohyb F-lux by byl pouze rotační. Pin 1 by se nepohyboval, byl by fixován, protože by na něj působila jen síla F, která by byla v ose síly, kterou působí táhlo. Pohyb by byl umožněn jen pinu 2. V případě posunutí otvoru do polohy 2. pod pinem 2 by se docílilo pohybu obou dvou pinů. Pin 1 by vykonával posuvný pohyb (klouzáni) a pin 2 by vykonával jak posuvný, tak rotační pohyb, čímž by se dosáhlo ideálního stavu dosednutí pinů do požadované polohy díky napolohování táhla. Pro potvrzení hypotézy bylo zvoleno řešení namodelování problematiky v Catii. Jedná se o statický rozklad sil, které působí na pin 1 a pin 2. Pin 1 je na rovině, zatímco pin 2 je na nakloněné rovině (náklon je pod úhlem 45°). Rozložení sil je promítnuté ve stejném souřadnicovém systému (Figure 4.4.2.2). Síla F působí silou 12 N, která je dána působením táhla na pneumatickém systému. V současné situaci působí síla F stejně na pin 1 a pin 2, protože se nachází uprostřed (úhly α a β se rovnají). Vzdálenosti na schématu i na modelu v Catii odpovídají reálným rozměrům F-lux. Po vytvoření rovnic (rovnice (17-28)) bylo schéma namodelováno do Catii ve funkci sketch a za hodnoty F1 a F2 byly dosazeny vypočítané rovnice s využitím reálných hodnot síly F a úhlů (Figure 4.4.2.3). Bod b (reprezentace bodu dotyku táhla s F-luxem) byl posouván vždy o 2,5 mm po horizontální ose, která vznikla prodloužením spodní hrany otvoru, které tvoří referenční plochu dotyku táhla s Fluxem. Hodnoty rozkladu sil byly zaznamenány do tabulky (Table 4.4.3.1) a následně byly vytvořeny grafy (Figure 4.4.3.4), které ukazují velikosti sil v závislosti na vzdálenosti bodu b od nuly - nulou je výchozí poloha, ve které se táhlo nachází při současném montážním procesu. Z grafu je patrná symetrie x složek, jejich součet je vždy roven 0. Součet y složek musí být vždy roven 12 N, síle, kterou působí síla F táhlem na F-lux.

Mezními body jsou: bod b pod pinem 1 (ve středu rotace S), bod b v 0 (současná situace), bod b pod pinem 2.

Bod b se nachází ve středu rotace S (Figure 4.4.4.3). Limitní hodnota odchylky $d=-8$ mm znázorňuje polohu, kdy se táhlo nachází pod pinem 1 ($x=x_1$, $y=y_{1-R}$) a je zároveň ve středu rotace S. Síla, která působí na piny je pouze síla F1 a to hodnotou 12 N, to znamená, že v tomto bodě je $F1=F$ a ostatní síly jsou rovny nule ($F2=0$). V této poloze je F-lux omezen pouze na pohyb rotační, který je ale znemožněn zafixováním pinu 1 silou F1, která působí jen v y složce, a tudíž je pohyb znemožněn.

Současný stav (Figure 4.4.4.4). Při předpokladu, že zanedbáme, že pin 2 leží ve vyšší poloze než pin 1, je možné předpokládat, že síla F působí stejně na pin 1 a pin 2 (úhel α a β jsou stejné velikosti). Rozklad sil v $d=0$ je tedy symetrický podle osy y .

Bod b se nachází pod pinem 2 (Figure 4.4.4.5). Dalším mezním bodem je umístění táhla pod pin 2. Síla F_2 je maximální a ostatní síly jsou zanedbatelné, jedná se o stejný případ jako pro táhlo, které se nachází pod pinem 1. Rozdíl je v položení pinu na nakloněnou rovinu a vzdálenost od středu rotace. Od tohoto limitního bodu síla působící na F_2 začne klesat, ale síly na pin 1 otočí svoji orientaci. To znamená, že síly působí do druhého směru, a tudíž se může F -lux pohybovat a to jak pin 1, tak pin 2. Síly na pinu 1 s každým posunutím bodu b narůstají (Figure 4.4.4.5).

Navrhovaným řešením je posunutí otvoru na táhlo o 7,5 a více milimetrů (Figure 4.4.4.6).

Chladiče jsou v sériové výrobě, která neprobíhá ve společnosti. Protože je chladič vyroben ze skládaného a vyráženého plechu, muselo by se manipulovat i s nástroji. V případě změny konstrukce nástroje a chladiče by čekací doba na změnu byla až kolem 12 týdnů. Z nutnosti zachování taktu linky není možné pozastavit výrobu na takto dlouhou dobu. Navrhovaným řešením je výroba mezikusu, který by sloužil jako řešení při čekací době na úpravu nástroje a znovuzavedení sériové výroby. Mezikus by byl zkonstruován mezi otvorem a táhlem tak, aby se poloha působení sil posunula do nově navržené polohy.

PŘÍTLAČNÝ SYSTÉM

Přítlačný systém hraje důležitou roli pro fixaci F -lux na reflektor pomocí šroubového spoje. Přítlačný systém slouží k zatlačení na horní stranu F -lux ve chvíli, kdy byly napolohovány na reflektor. Systém se nachází na sklápěcí desce. Při dosavadně využívaném procesu jsou na přítlačení F -lux využívány odpružené šrouby, které by při kontaktu s F -lux měly zaručit dostatečnou fixaci, ale zároveň chladič nedeformovat.

Při šroubování vzniká tření mezi hlavou šroubu a F -luxem což může vést k pootočení F -lux.

Optimalizaci lze provést přidáním dalšího prvku do tlakového systému-přítlačný pin.

Řešení 1

První řešení je jednoduché a levné bez využití pružiny. Pin bude fixován v předdefinované poloze lepidlem, aby se nepohyboval v závitu. Pin by byl na přípravek předělán na stejném principu jako odpružené šrouby-předvrtáním otvoru s požadovaným závitem a upevněním pomocí matice. Jednou z možností je stavěcí šroub s vnitřním šestihranem a hrotem, označení DIN EN ISO 4027.

Řešení 2

Druhé řešení bylo vytvořeno jako 3D model v Catii. Přítlačný pin se skládá z pohyblivých a stabilních částí. Pohyb zajišťuje pružina s předdefinovaným tlakem. Systém je na přípravku upevněn pomocí dvou šroubů M4. Navrženým materiálem je slitina EN AW-6060 (AlMgSi), která se používá ve všech obráběných kusech přípravku. Pin má lepší předpoklady pro udržení F-luxu v poloze než odpružený šroub, protože hrot pinu má menší kontaktní plochu, což znamená, že s předem definovaným tlakem způsobí malou plastickou deformaci na F-luxu vtlačněním hrotu do chladiče (jelikož F-lux není designový prvek ani není viditelnou částí světloometu, není problém otláčení), která udrží F-lux v poloze. Navrhované řešení udržuje F-lux v požadované poloze pomocí tří kontaktních bodů s předdefinovaným tlakem.

ŠROUBOVÁNÍ

Dalším bodem montáže, který může být optimalizován je fixace F-Lux na reflektor pomocí samořezného šroubu.

Síla předpětí je stanovena ze simulací EJOT. Síla 690 N je aplikovaná ve chvíli dosednutí hlavy šroubu, čímž je zajištěno dostatečné utažení a současně zaručení vysokého bezpečnostního faktoru (hodnota 10), který zůstane vysoký i po relaxaci materiálu (snížení až o 30% síly předpětí u některých plastových materiálu).

Otvor v F-luxu je větší než v reflektoru, po použití šroubu se jeho první závit dotýká pouze reflektoru. V reflektoru je pouze otvor bez závitu. Po zahájení šroubování se v materiálu BMC vytvoří závit (působí rezné síly). Veškeré nečistoty jsou absorbovány lepidlem Precotem, které je aplikováno po obvodu šroubu. V okamžiku, kdy hlava šroubu přijde do kontaktu s F-luxem, přestává se tvořit závit a působící síly jsou pouze třecí síly. Utahovací moment překonává třecí síly v závitu a pod hlavou šroubu. V tomto bodě vzniká předpínací síla šroubového spoje.

Experimentální měření točivého momentu v Atlas Copco

Zkoušky točivého momentu byly provedeny na reflektorech se všemi třemi fixovanými F-luxy. Každý graf obsahuje tři křivky, které odpovídají šroubování tří F-luxů.

Většina křivek (Figure 4.6.7.5 a Figure 4.6.7.6) znázorňuje stabilní šroubový spoj.

Graf reflektoru 3 (Figure 4.6.7.7) obsahuje jednu křivku, která se liší od ostatních. Jedná se o šroub, který způsobil házivost. Házení je způsobeno nekvalitním šroubem, může mít za následek poškození reflektoru, a proto nekvalitní šroubové spojení.

Kroutící moment je zvolen správně a není nutné měnit hodnotu, problém spočívá v kvalitě šroubu.

Jedná se o samořezný šroub, který je opatřen lepidlem Pecote, které na šroubu zachycuje nečistoty, které by mohly kontaminovat odrazný povrch reflektoru nebo designovou, viditelnou část.

Optimalizace pomocí softwaru Toolsnet 8

Optimalizace problému házení je použití softwaru přímo na výrobní lince. Jedním z možných software může být Toolsnet 8 od společnosti Atlas Copco.

Tento software umožňuje sledovat průběh šroubování a ukládat hodnoty v systému. Hlavní výhodou je okamžitá možnost vyhodnocení a analýzy na pracovišti, díky níž může operátor nahradit šroub s nízkou kvalitou, čímž se sníží náklady na jakékoli nutné stažení výrobku.

Software umožňuje nastavení točivého momentu pro jednotlivé šrouby. Hodnota utahovacího momentu se nebude počítat od začátku šroubování, ale od dosednutí hlavy šroubu.

DISKUZE

Nadnárodní firmy, jakou je i Automotive Lighting, by měly veškeré procesy neustále aktualizovat, optimalizovat a modernizovat, aby eliminovaly zastaralé technologie a zlepšovaly stávající stav všech sektorů od managementu po výrobní linky. V konkurenčním prostředí je nutné vyniknout, to je možné i pomocí rychlého přizpůsobování prostředí trhu, požadavků klienta i současným trendům.

Výroba automobilových světlometů je komplexní proces skládající se z mnoha článků. Aby mohl takto rozsáhlý systém být přizpůsobivý, je žádoucí mít veškeré procesy pod neustálou kontrolou a možností zásahů, Jednou z metodik, které využívá i Automotive Lighting je FMEA, další je kontrolní plán a kontrolní návodka. Všechny procesy jsou zaznamenávány v těchto otevřených dokumentech, které jsou navzájem provázány a mohou být kdykoliv aktualizovány a optimalizovány.

Na výrobních linkách jsou kontrolní návodky, které sledují technologické postupy na pracovišti. Technologický postup na lince, kde probíhá montáž světelného LED zdroje na reflektor světlometu automobilu vykazuje výpadky optického výstupu a taktu linky. Proto bylo navrženo provedení optimalizace.

Po analýze všech možných příčin výpadků (mezi které se řadí i problematika výroby forem, leštění, pokovování, vstřikování, samotná montáž i optická kontrola) pomocí analýzy na pracovišti, analytického systému DAQIS a pomocí dalších metodik (DOE, Pareto, Ishikawa), bylo zjištěno, že hlavními příčinami jsou špatné napolohování F-lux na přípravku a jeho následná fixace samořezným šroubem na reflektor. Nejvlivnějšími třemi možnostmi, kde bylo možné provést optimalizaci bylo umístění táhla v otvoru na F-lux, přítlačný systém a šroubování F-lux na reflektor.

Při optimalizaci táhla byla zvolena metoda statického silového rozkladu. Po namodelování v programu Catia byla současná poloha táhla vyhodnocena jako nevyhovující a bylo navrženo změna umístění otvoru pro táhlo na F-luxu. Chladiče nejsou vyráběny v Automotive lighting, jejich optimalizace (posunutí otvoru do požadované polohy) by znamenala zásah do nástroje. Zpracování takového požadavku by trvalo několik týdnů. Z hlediska zachování taktu linky není možné zastavit výrobu a čekat na nové kusy. Dalším postupem je navržení mezikusu, který by byl umístěn mezi táhlem a F-luxem tak, aby se silové působení posunulo do požadované polohy. Vzhledem k časové náročnosti zpracování této problematiky se tato práce nezabývá návrhem mezikusu. Toto téma je navrženo jako možné téma disertační práce nebo na interní zpracování v Automotive Lighting.

Dalším bodem optimalizace na montážním přípravku je přítlačný systém, který se skládá ze dvou odpružených šroubů, které ale nebyly dostačující a docházelo k vychýlení F-lux z požadované polohy. Návrhem je přidání dalšího přítlačného prvku. Byly navrženy dvě řešení: neodpružený a odpružený trn. Pro optimalizaci je doporučen odpružený trn, který má

vhodnější požadované vlastnosti. Dalším možným postupem je výpočet přitlačné síly, kterou je potřeba tláčit na F-lux, aby se i při šroubování na vyšší moment nevychýlil z požadované polohy. Výpočet nebyl z časových důvodů uskutečněn.

Poslední optimalizací byl šroubový spoj. Po provedených experimentech bylo zjištěno, že výpadek nesouvisí natolik s momentem, ale více s kvalitou samořezných šroubů. Jedním z problémů je házení. Návrhem řešení je využití systému Toolsnet 8, který se přizpůsobuje každému šroubu (hodnotě dosednutí hlavy šroubu, počáteční poloha šroubu, ...) a kontroluje hodnotu utahovaného momentu.

Celá práce je postavena na analytickém rozboru problematiky a návrhu řešení se splněním požadavků na světelný výstup a takt linky. Touto prací byly navrženy základy optimalizace (popsány u jednotlivých optimalizací), dalším zkoumaným hlediskem by mohla být ekonomická analýza a komplexnější pohled na celou problematiku (formy, vstřikování).

Na základě Paretova diagramu a dalších analytických metod, byly nalezeny hlavní příčiny, které způsobují nejčtenější výpadky. Tyto příčiny byly analyzovány a po aplikaci navržených řešení do praxe, se očekává snížení výpadků na 3%.

ZÁVĚR

Tato práce se zabývá podrobným popisem problematiky, následnou analýzou výpadků a návrhem optimalizace. Při vypracování bylo několikrát navštíveno pracoviště na výrobní lince určené k optimalizaci, aby bylo důkladně porozuměno celému procesu montáže a kontrol.

Prvním, nejdůležitějším, poznatkem je nevhodně navržený otvor pro táhlo. Vzhledem k jeho umístění je pohyb pinů blokován a nejsou napolohovány v požadované poloze. Vypočítaná poloha otvoru je minimálně +7.5 mm (pod pinem 2 a dál) vzdálena od současné polohy táhla (uvažováno jako bod 0).

Druhý bod optimalizace je návrh dvou řešení přitlačného trnu (neodpružený a odpružený trn), jehož účelem je eliminace dalších silových vlivů během fixace šroubováním, Jednalo by se o přídavné řešení k již používaným odpruženým šroubům. V případě neodpruženého trnu se jedná o jednodušší a ekonomičtější řešení, ale fixování trnu v jedné poloze může mít za následek příliš velkou přitlačnou sílu a možnou deformaci F-luxu, nebo naopak nedosednutí na F-lux. Přitlačný trn, který je opatřen pružinou funguje na stejném principu jako odpružené šrouby a přizpůsobuje se reflektoru s F-luxem. Odpružený trn je v kontaktu s F-luxem menší plochou než odpružené trny, proto dochází k mírnému vtlačení trnu do F-luxu a tím i k fixaci v požadované poloze. Na základě porovnání je doporučeno využití řešení 2, přitlačný odpružený trn.

Bylo experimentálně zjištěno, že používané šrouby nedosahují příliš vysoké kvality a můžou se vyskytovat šrouby, které budou ovlivňovat šroubování házivostí. Třetí optimalizací tedy je návrh na využívání systému Toolsnet 8 k regulaci a kontrole šroubovacího momentu a jeho přizpůsobení šroubům.

Tato práce navrhuje možné optimalizace montážního přípravku, které můžou firmě sloužit jako podklady pro komplexnější analýzu a návrh dalších řešení. Návrh posunutí otvoru na táhlo může být využito pro další generaci F-lux. Dalším postupem, který může být uskutečněn v nejbližší době, je návrh mezikusu, který by byl umístěn mezi táhlem a F-luxem tak, aby se silové působení posunulo do požadované polohy a tím se zajistilo korektní napolohování pinů. Vzhledem k časové náročnosti zpracování této problematiky se tato práce nezabývala návrhem mezikusu.

Cílem práce bylo snížení četnosti výpadků v testovací fázi ze současných 15% na 3%. Díky analýze (data z DAQIS, Pareto diagram, Ishikawa diagram, ...) byly nalezeny hlavní příčiny, které způsobovaly většinu výpadků. Poloha otvoru pro táhlo, přitlačný systém a šroubování byly hlavní tři skupiny, kterých se optimalizace týkala. Optimalizace bylo dosaženo pomocí korekce montážního přípravku bez nutnosti zásahu do lisovacího nástroje (optických či dosedacích ploch). Využití navržených řešení by měly snížit četnost výpadků na 3% (tyto výpadky souvisí se stabilitou výroby. Tím byl splněn cíl práce.

ABSTRACT

INTRODUCTION

Cette thèse a été créée en collaboration avec l'entreprise Marelli Automotive Lighting situé à Jihlava, en République tchèque, qui fait partie des principales sociétés internationales dans le domaine de l'éclairage extérieur automobile. Automotive Lighting est l'un des plus gros producteurs de phares automobiles en Europe: 30 sites dans 16 pays sur 4 continents sont concernés. Les principaux clients sont des marques de véhicules: BMW, Volkswagen, Honda, Opel et autres.

Le but de ce thesis est l'optimisation du lieu de travail de montage d'un sous-groupe (assemblage) d'un système optique utilisant une source lumineuse avec la désignation interne "F-LUX". L'assemblage optique combinant réflecteur et source lumineuse (F-LUX) est conçu comme une solution «low-cost» ou «effective-cost», où la source lumineuse est conçue avec une variabilité de sortie lumineuse (chip 2-3-4). Cet ensemble doit être assemblé en tenant compte des exigences de rendement lumineux et d'homologation. En ce qui concerne la production en série d'environ 1 million de pièces, basée sur des boucles d'optimisation, le concept de fixation (assemblage) a été choisi., Il comprenant deux étapes, où la première consiste à positionner la source de lumière sur la position optimale, puis la deuxième étape consiste à fixer la position en utilisant 1 vis autotaraudeuse. Sur la base de tests en petites séries et d'un tact de production bas, le système était suffisamment fonctionnel, mais à un tact de production plus élevé ($x10 = \text{série}$), le nombre de défaillance augmente au-dessus de la limite prévue. Cette augmentation des défaillances est cruciale compte tenu des volumes de production totaux et nécessite l'optimisation du site d'assemblage au regard du cycle de production requis et des défaillances prévus. et en même temps fait l'objet de ce thesis.

Actuellement, ce processus est dans l'état avant la production en série et présente une fréquence de coupures, qui oscille autour de 15%. L'objectif de ce travail est de trouver les causes des pannes, leur élimination et de réduire leur fréquence à 3%.

Ce travail porte sur l'optimisation du processus technologique, qui comprend le placement et la fixation de la source LED sur le réflecteur en fonction de la sortie optique requise et du tact de la ligne de production. Le travail est divisé en plusieurs parties: recherche bibliographique, description du processus actuel, analyse du processus technologique actuel et optimisation du processus avec une proposition de solution, discussion et conclusion.

RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

LEGISLATION

La législation est un ensemble de règles, règlements, normes, directives et lois élaborés par les autorités compétentes pour répondre aux exigences de bon fonctionnement et de sécurité. À l'heure actuelle, on s'efforce d'unifier la législation dans le monde, car, étant donné que le tact de ligne est continu, il est important que les réglementations et les besoins locaux, nationaux et internationaux ne soient pas en conflit. Un produit doit répondre aux exigences de la législation pour être mis sur le marché [4, 15, 18].

En République tchèque, la législation est traitée par le ministère des transports de la République tchèque. Au niveau international, la législation relève de la responsabilité de la Commission Economique pour l'Europe, de la Communauté Economique Européenne, des Nations Unies et de la Society of Automotive Engineers [4a].

La principale division de la législation est en CEE (pays européens et partiellement en Asie, à l'exclusion des États-Unis et d'autres pays américains) et SEA (États-Unis, Canada et certains autres pays américains). Selon la CEE, les réglementations relatives aux composants automobiles sont divisées en trois groupes de base: composants de sécurité active, composants de sécurité passive, composants de protection de l'environnement [18].

Pour les réglementations émergentes, il y a un effort d'unification pour tous les pays développés. L'harmonisation progressive des réglementations devrait conduire à une réduction des coûts de développement, de production et d'essai des produits fabriqués à la fois pour les pays où la législation de la CEE ou de SEA est utilisée [4, 18].

Tout nouveau produit dans l'industrie automobile doit d'abord être accepté et approuvé par la CEE, ou un autre organisme responsable, avant de pouvoir être mis sur le marché. Ce processus d'approbation peut prendre très longtemps et certains produits peuvent ne pas être approuvés [18].

TYPES D'ECLAIRAGE AUTOMOBILE

Les phares de voiture sont des éléments qui contribuent à une plus grande sécurité: ils permettent de voir et d'être vu [14].

La qualité d'un phare de voiture est affectée par la production des éléments qui le composent, leur installation, les matériaux et la technologie utilisée. Les éléments constituant les projecteurs doivent être parfaitement fixés de manière à ce que l'ensemble soit étanche à l'eau, à la poussière (les protections IP) et évite la contamination de l'éclairage. Les projecteurs sont divisés en deux groupes: les projecteurs avant et arrière [22].

Ce travail se concentre sur le phare, en particulier le réflecteur, qui assure la fonction principale de l'éclairage: feux de croisement et feux de route.

SYSTEMES OPTIQUES

Les systèmes optiques sont des systèmes complexes composés de plusieurs technologies. Les systèmes optiques utilisés dans la construction des phares sont utilisés pour contrôler et guider le faisceau lumineux dans une direction choisie. Les phares du véhicule sont des systèmes optiques basés sur trois types de technologie, à savoir: les systèmes réfléchissants et de projection, les guides de lumière et les lentilles auxiliaires.

Systèmes optiques réfléchissants

Les systèmes optiques réfléchissants sont basés sur l'utilisation d'un réflecteur (ellipsoïde ou paraboloïde) qui réfléchit sur la route la lumière issue d'une source lumineuse.

Réflecteur parabolique (lentille de Fresnel et forme libre)

Le corps du phare a la forme d'un paraboloïde (Figure 1.4.1.2) et utilise les propriétés d'un miroir parabolique. La lumière source est placée au foyer du paraboloïde de sorte que le faisceaux soit réfléchis parallèlement à l'axe optique. Des formes optiques sur un verre de protection (lentilles de Fresnel) sont utilisées pour obtenir la répartition lumineuse souhaitée.

Le profil laminé vertical est utilisé pour obtenir une répartition horizontale de la lumière et une structure prismatique à la hauteur de l'axe optique est utilisée pour décaler la lumière afin d'obtenir l'éclairage routier asymétrique nécessaire [4, 33, 40, 41].

Avec des exigences plus élevées sur la conception des phares de voiture, un nouveau type de technologie a été créé: forme libre (FF-free form), la surface parabolique réfléchissante est divisée en un grand nombre de petits segments qui réfléchissent le faisceau lumineux dans une direction précisément définie. Le verre de protection est transparent.

Les lampes halogènes (H1, H2 ou H7) et les lampes au xénon (D1R ou D2R) sont le plus souvent utilisées dans ce type de réflecteur [33].

Systèmes optiques de projection

Les systèmes optiques de projection utilisent des lentilles. La source lumineuse est équipée d'optiques primaires ou d'un réflecteur qui dirige les rayons dans une lentille qui les projette sur la route.

Systèmes de projecteurs Litronic, Bi-Litronic et combinés

Litronic est un système de phares qui a été créé chez Bosch en 1991. Le Litronic se compose d'un réflecteur, d'une lampe à décharge et d'une unité de prétension électronique [42, 47].

Bi-Litronic combine les avantages du système Litronic compact et ajoute la possibilité de passer des feux de route aux feux de croisement avec une seule lampe. La commutation de la lumière est réalisée par deux positions de la lampe - l'une pour le faisceau-route, l'autre pour le faisceau-croisement à l'aide d'éléments de réglage électromagnétiques [43, 42].

Le principal avantage des systèmes de projection est la grande netteté du cône lumineux. La source lumineuse peut être des lampes halogènes (H1, H4, H7...) ou des lampes au xénon (D1S, D2S,...). Le verre de protection est propre, sans optique supplémentaire.

Récemment, les systèmes de projection ont été principalement utilisés avec des sources lumineuses LED. Une autre option est une source de DMD, qui est également toujours en développement.

EXIGENCES DE RENDEMENT LUMINEUX

Les exigences de rendement lumineux sont définies par la législation et le client. Ils sont répartis en fonction du type de lumière. Dans cette thèse de diplôme, une partie du phare est analysée, donc les exigences pour la sortie du réflecteur de phare seront décrites: feux de croisement et feux de route. Les principales exigences de sortie testées sont l'intensité lumineuse, la position exacte des points de test et la couleur de la lumière (Figure 1.5.1.2).

Selon ECC le feu de croisement est défini par une ligne de coupure COL paramétrée.

Le COL est divisé en trois segments: cut-off, «épaule» et «coude». La ligne a sa position avec des points de tolérance et des zones à respecter. Sur la figure, ces zones et la forme de la ligne sont définies [38, 39, 40].

Pour les feux de route, sont défini les test points et les zones de tolérances qui doivent être respectés.

SOURCES LUMINEUSES

Sources lumineuses de base

Les sources lumineuses de base comprennent une ampoule halogène, une lampe au xénon et une source LED (Figure 1.5.3.1). L'ampoule halogène a une petite ampoule en verre pour atteindre la température désirée. Plus petite ampoule est plus compacte et laisse plus d'espace pour le design, la couleur de la lumière est orange entre 2900K et 3100 K, n'est pas une source de lumière très puissante [27, 28, 29].

Les lampes au xénon n'ont pas de filament, la lumière est générée par une décharge directe entre deux électrodes. La température de couleur est supérieure à celle des ampoules halogènes, ce qui signifie que la couleur est plus proche de la couleur de la lumière du jour, ce qui est meilleur pour le conducteur du véhicule. Les lampes au xénon produisent 200% plus de lumière que les phares halogènes. La baisse de la consommation d'énergie est inférieure à

un tiers. Les lampes au xénon étaient principalement utilisées pour les feux de route [2, 26, 30].

La source LED permet une durée de vie plus longue avec une consommation d'énergie moindre. La couleur du faisceau lumineux est la plus proche de la couleur de la lumière du jour, c'est une source très compacte, il y a plus de place pour le design dans le phare. La LED est un dispositif électronique à semi-conducteur contenant une jonction P-N. L'augmentation sur la puissance lumineuse maximale prend très peu de temps, en millisecondes. Les sources LED couvrent tout le spectre des couleurs, leur utilisation est donc étendue. Dans le passé, les LED étaient utilisées pour les freins et les signaux directionnels, maintenant elles ont été étendues à tous les feux de voiture (feux de croisement, feux de route, etc.). Les sources LED peuvent être constituées d'une ou plusieurs puces pour obtenir meilleure intensité de lumière [4, 31].

Phares innovants utilisant la technologie LED (Table 1.6.2.1)

LED et laser avancés

La technologie LED avancée est basée sur la coopération continue de matrices et de modules de sources LED, ce qui crée plusieurs modes d'éclairage principaux dans diverses combinaisons. Le conducteur n'a pas à changer les feux (feux de croisement / feux de route) car ils sont corrigés automatiquement par un système commandé par un ordinateur qui reçoit des données sur la vitesse, les obstacles sur la route, les autres véhicules et ajuste en continu le flux lumineux selon les besoins [2].

Les premières applications laser (utilisant LED source) sont les longs faisceaux laser spot, qui ont été introduits pour la première fois en 2014 dans la BMW i8. Des systèmes sont également en cours de développement pouvant être utilisés pour tous les types d'éclairage. Le laser se compose d'un module avec quatre diodes. La lumière des diodes est dirigée dans la couche de phosphore fluorescent, où la température de couleur du laser passe du bleu au blanc (5500 K). La luminosité est quatre fois supérieure à celle des sources LED, elles ont également deux fois la portée (jusqu'à 600 mètres) et un rendement 30% supérieur [58, 64].

Sources lumineuses pixel / matrice

Cette technologie permet de programmer et de projeter la lumière sur la route avec une précision ponctuelle. Les phares Pixel fonctionnent sur le principe des micro miroirs numériques DMD. C'est une puce qui est porteuse de plusieurs centaines de milliers de miroirs, chacun d'environ la taille d'un pixel, chacun de ces points peut être réglé et programmé séparément. Cette technologie permettrait de projeter des symboles sur la route, d'utiliser les feux de route en fonctionnement normal sans être éblouissants [42, 58, 60].

CONSTRUCTION DES PHARES

Données 3D

Le processus de développement de produit est basé sur les exigences du client et commence par le traitement des données 2D + 3D. Le client fournit un modèle et des spécifications qui décrivent les paramètres du produit tel que la fonction, le rendement lumineux ou la couleur. Il contient également les spécifications de la structure de la carrosserie, de la surface externe du projecteur et des exigences de traitement.

Sur la base de l'entrée du modèle et des spécifications du client, une visualisation informatique et une visualisation informatique de la lumière sont créées. Dans cette phase, le boîtier du projecteur, les parties esthétiques et fonctionnelles du projecteur sont définis, suivies de la création d'un échantillon volumique, de l'aspect du système optique du projecteur et de son installation.

L'étape suivante est la simulation à l'aide d'un logiciel qui facilite l'analyse des phares. CAE (computer aided engineering) permet la création de déformations et d'analyses thermiques, en trouvant des conditions aux limites qui aident à optimiser le modèle avant le prototypage. Après des simulations dans le logiciel CAE, des modèles complets et une documentation de production sont créés en CAO (conception assistée par ordinateur).

Outils

Après avoir rempli toutes les données 3D et créé la documentation, la prochaine partie du cycle de vie du projet commence, qui comprend la production de prototypes, les outils de production et les tests.

Les outils utilisés pour la production sont divisés en prototype et en série. La plupart des pièces du phare sont en plastique, à l'exception des composants électroniques et de petites pièces, qui sont souvent constitués d'estampes métalliques ou de produits semi-finis.

Thermoplastique

Les thermoplastiques ont la capacité d'être remodelés. L'orientation de la fibre est aléatoire, de sorte que le composite se comporte comme un matériau isotrope. En fonction de leur composition chimique, le thermoplastique peut être de type caoutchouc ou remplacer des composants en aluminium. Ils sont légers, de haute résistance et le coût du processus de traitement est faible. Le point de fusion est bas, il est donc conseillé d'utiliser des charges pour augmenter la capacité à résister à des températures plus élevées [67, 68].

Les principaux représentants de ce groupe sont le polypropylène, le polycarbonate et le polybutylène téréphtalate.

Thermodurcissable

Les plastiques thermodurcis sont constitués de longues chaînes de molécules. La différence entre un plastique thermodurci et un thermoplastique réside dans le fait qu'un plastique thermodurcissable ne peut pas être remodelé une fois qu'il a été formé et moulé. Ils ont un point de fusion élevé, une résistance à la rupture élevée. Ce type de plastique ne peut pas être recyclé [73, 74].

Injection plastique

La forme du produit est déterminée par un modèle 3D. La conception du produit doit tenir compte de l'emplacement approprié du plan de joint: méthode de moulage; système d'entrée et de sortie de plastique, ventilation, chanfreinage, précision, aspect, etc.

La technologie est divisée en: formage - grands changements dans la forme initiale du matériau (injection, pressage, coulée, laminage, etc.), formage - à partir du produit semi-fini (formage de plaques ou de tubes de cintrage), additionnel - préparation du granulé, impression ou placage du produit final.

Production de moules

La production de moules et leur traitement de surface jouent un rôle important dans la qualité de surface finale des pièces fabriquées.

Un grand nombre de moules d'injection sont réalisés par usinage ou électroérosion. Le temps et les coûts de production doivent être réduits, de sorte que le fraisage à grande vitesse ou l'utilisation de fraiseuses à 5 axes sont de plus en plus utilisés [89, 92, 94].

Les technologies d'usinage requises nécessitent des machines spéciales capables de répondre à toutes les exigences de la production de moules (fraisage d' plus grand volume de matière, fraisage de poches, fraisage de moules complexes ...).

Le moule est composé de différentes parties utilisées, donc le moule entier n'est pas qu'un seul matériau. Les facteurs importants pour le choix du matériau du moule sont: une grande connaissance du polymère injecté, du moule du produit final - sa complexité, ses dimensions, le nombre de pièces fabriquées, l'usinabilité du matériau de moulage, les propriétés physiques et mécaniques requises, le prix [91, 92, 93].

Les matériaux les plus utilisés pour la production de moules sont les aciers. Pour obtenir un moule à longue durée de vie et de haute qualité, ils sont traités par traitement thermique ou chimique, un traitement de surface anticorrosion. Le moule fini est poli pour obtenir la rugosité de surface souhaitée [79-82].

Test et démarrage de la production

Chaque partie du phare de la voiture doit être homologuée, doit être conforme à la réglementation et doit répondre à la durée de vie de l'ensemble. Après avoir satisfait à toutes les exigences, les prototypes sont testés et optimisés dans le produit final selon les exigences du client [14, 34, 35].

Après la production du prototype, une partie des tests, mesures et certifications a lieu. Il s'agit de la méthode des éléments finis FEM est utilisées pour des tests thermiques, des tests de vibration et des tests de perméabilité.

Les composants des projecteurs doivent être réunis et ne doivent pas bouger. Les phares avant sont plus complexes que les phares arrière et nécessitent plus de tests et un contrôle plus complet. Les composants sont assemblés sous forme de systèmes fermés, qui doivent être protégés par des couvercles étanches [14, 30].

Production en série

Après avoir testé, optimisé et approuvé le prototype, la production en série peut commencer. Le nombre de pièces qui seront produites joue un rôle important dans le choix de la méthode de production. Les grandes séries, qui produisent des millions de pièces par an, ressentiront également de légères différences de prix dans les composants utilisés, ce qui peut jouer un rôle déterminant pour influencer le prix. Dans la production en grande échelle, il conviendra d'investir dans le processus le plus automatique possible afin de maintenir le tact de ligne prévu et la qualité du produit. Dans le cas des petites séries, l'achat d'outils coûteux pourrait avoir un effet trop important sur le prix final.

DESCRIPTION DU PROCESSUS ACTUEL

F-LUX

F-lux est un assemblage de carte de circuit imprimé (PCB) avec une source LED multi-chip, une résistance R bin (pour les informations de binning LED), coefficient de température négatif (NTC), unité de contrôle électronique (ECU), connecteurs et dissipateur thermique (Figure 1.7.9.1).

Deux pins sont ajoutées au dissipateur de chaleur (ces pins forment la connexion de référence de F-lux avec le réflecteur). La connexion de la carte PCB au dissipateur thermique se fait au avec une vis.

F-lux peut être dans une configuration avec 2, 3 ou 4 LED chips (selon les besoins d'intensité lumineuse), la forme du dissipateur thermique dépend du nombre de LED chips. Avec les LED chips d'intensité plus élevée, qui augmente sa chaleur rayonnée, la forme du dissipateur thermique doit être adaptée afin que la chaleur soit dissipée le plus efficacement possible.

REFLECTEUR

Le réflecteur a plusieurs points/zones de référence avec des tolérances spécifiées. Il existe un ou plusieurs points ou zones de référence pour chaque axe.

La combinaison du réflecteur et du F-lux joue un rôle clé dans les exigences d'éclairage de sortie. La Figure 2.1.4.1 montre les points/zones de référence en orange. Les pins de positionnement sont sur le réflecteur, de sorte que l'opérateur peut être sûr qu'il a choisi un F-lux qui est orienté dans la bonne direction (le F-lux peut être inversé en miroir ou peut avoir une conception de dissipateur de chaleur différente en fonction du nombre de LED chips).

PROCEDURE D'ASSEMBLAGE THEORIQUE

La procédure théorique a été conçue pour être aussi simple que possible, mais tout en restant efficace. L'objectif est de fixer le F-lux au réflecteur dans une position déterminée avec précision, ce qui garantit que la lumière de sortie répond à toutes les exigences (intensité lumineuse, transitions nettes dans le faisceau inférieur, cône lumineux intact, etc.). La procédure de fixation du F-lux au réflecteur est de lire le code DMC à l'arrière du dissipateur thermique, de placer le F-lux sur la surface de support du réflecteur, d'assurer le contact des pins aux points de référence (principalement dans l'axe X, Y) du réflecteur, d'appuyer légèrement sur le F-lux (dans la direction x) avec une force maximale de 50 N, au moyen d'une tige avec un système pneumatique. Le F-lux est fermement pressé contre le réflecteur puis vissé.

EXEMPLE DE REFLECTEUR A TROIS MODULES

Les réflecteurs à trois modules sont composés de trois F-lux, l'intensité lumineuse est déterminée par le nombre de LED chips, qui peuvent être 2 LED chips, 3 LED chips ou 4 LED chips. C'est un réflecteur avec une optique facettée. Chaque facette réfracte la lumière des LED chips pour obtenir le rendement lumineux souhaité.

Feu de croisement

Le feu de croisement se compose d'un spot LB (low beam), qui définit le COL (cut-off-line), et d'une base LB, qui complète le flux lumineux pour obtenir une image lumineuse complète (Figure 2.4.1.1). La base LB a une forme de réflecteur modifiée, qui éclaire également les zones où se trouvent des panneaux de signalisation pour assurer une meilleure visibilité et une meilleure orientation pour les conducteurs.

Feux de route

Le feu de route se compose de la lumière des trois modules - spot LB, base LB et HB (high beam). Les feux de route complètent la sortie des feux de croisement et créent une

image lumineuse qui éclaire la route devant le véhicule de manière plus intensive et à une plus grande distance (Figure 2.4.2.).

PROCESSUS D'ASSEMBLAGE ACTUEL

Le processus d'assemblage sur cette partie de la ligne de production consiste en l'assemblage du F-lux (source lumineuse) sur le réflecteur. Les opérations de ce processus sont divisées en trois parties: le montage du F-lux sur le réflecteur, les tests optiques et l'emballage. Il faut tenir compte du fait qu'il y a plusieurs de projets dans un même lieu d'assemblage, souvent pour des clients différents. Par conséquent, il n'y a pas qu'un seul type de réflecteur sur la ligne. Il existe un appareil différent pour chaque type. Les opérateurs doivent être préparés et formés à la fois pour l'assemblage pour le test et pour l'emballage, ainsi que pour le remplacement du gabarit d'assemblage (sur le site d'assemblage et également pour les essais optiques) afin que le processus se déroule sans perturber le cycle de la ligne. Le F-lux arrive sur la ligne déjà assemblé (carte PCB avec ECU, LED chips, pins et dissipateur thermique).

La première partie est l'installation du F-lux sur le réflecteur (Figure 2.4.2.5). La précision de ce processus est très importante. Les résultats des sorties optiques qui sont testées à l'étape suivante de la ligne dépendent de l'emplacement correct du F-lux. En cas de montage incorrect, lorsque le produit ne passe pas les tests optiques, il est jeté, ce qui entraîne des pertes financières et affecte le cycle de la ligne. Le gabarit pour le montage du type donné de réflecteur et de F-lux est placé sur la table de travail au moyen de quatre pins et est fixé avec une vis. Le processus d'assemblage n'est pas automatisé, il est réalisé par l'opérateur. La table est équipée de tout ce dont l'opérateur a besoin pour l'assemblage.

Lorsque le F-lux est correctement positionné dans tous les axes, l'opérateur le fixe avec une vis autotaraudeuse vissée avec un couple de serrage prédéterminé (Figure 2.4.2.6). L'assemblage est réalisé à l'aide d'un tournevis pneumatique direct. La vis a un adhésif sur la surface qui empêche la partie réfléchissante du réflecteur de se salir avec de la poussière et des particules qui se formeraient normalement pendant le vissage.

LIEU DE TRAVAIL

Le lieu de travail de la ligne de production se trouve dans le hall de Střítež. Chaque partie de la ligne de production a son propre numéro et tous ses détails (numérisation du produit, tests, nombre d'erreurs, temps d'assemblage, temps de test, nombre de produits et plus) sont stockés dans le système DAQIS. Un ou deux opérateurs (selon le projet) travaillent sur cette partie de la ligne de production, où sont assemblés le F-lux et le réflecteur. L'un au poste de montage, l'autre au poste d'essais, de nettoyage et d'emballage.

Tout le matériel de travail nécessaire est prêt pour les positions données. Chaque partie du poste de travail est équipée d'instructions d'inspection et de fiches d'instructions, qui aident

les opérateurs dans les points de montage problématiques, la fixation dans le gabarit de montage ou, par exemple, lors de l'inspection finale.

La partie d'assemblage

Le dispositif de montage est divisé en deux parties, dans la première le F-lux est monté sur le réflecteur, dans la seconde les points de référence / de serrage sont vissés au réflecteur, par lequel l'ensemble du module (F-lux sur le réflecteur) est ensuite positionné dans l'installation de phare suivante (Figure 2.7.3.1).

Partie de testing

La deuxième partie du lieu de travail est le test optique de l'unité assemblée (F-lux sur le réflecteur). L'opérateur prend le module et le place sur le gabarit de montage en utilisant les points de référence sur le réflecteur. Le gabarit se trouve sur un plateau tournant qui tourne lorsque le réflecteur est prêt. En quelques secondes, toutes les opérations de test des feux de croisement et des feux de route sont effectuées (Figure 2.7.4.1).

EOL

La machine d'essai "EOL" fonctionne sur le principe d'une lentille de Fresnel. Comme il n'y a pas assez d'espace sur la ligne pour que la machine mesure le rendement lumineux à des distances de 25 m, 10 m et 5 m, la lumière est projetée à l'aide d'une lentille de Fresnel afin qu'il soit possible de tester toutes les distances requises, mais sur le lieu de travail dans la machine à une distance de 0,5 m.

Échantillon d'or

Le test est effectué en fonction de l'échantillon d'or. Il s'agit d'un phare correctement réglé, l'EOL est réglé en fonction de celui-ci et les autres phares lui sont comparés.

Emballage et contrôle final

Si les réflecteurs réussissent les tests optiques, ils passent à la dernière partie de la ligne de production : les inspections et l'emballage. Le réflecteur avec F-lux est nettoyé de toutes impuretés avec de l'air comprimé et est inspecté visuellement. L'opérateur lit le code final, le module est emballé et placé dans une boîte qui se poursuivra jusqu'à la partie suivante de la ligne, où il sera installé dans le phare (Figure 2.7.5.1).

ANALYSE

ÉVALUATION DES DONNEES DE DAQIS

Automotive Lighting utilise le système DAQIS. Tous les processus et opérations effectués sur les lignes de production sont enregistrés dans DAQIS. Il est possible de déterminer quelle ligne de production sera analysée (chaque ligne de production a son propre

numéro), dans quelle période, à partir de quel quart de travail et pour quel produit. Parmi les valeurs stockées dans DAQIS, les plus importantes pour cette thèse de diplôme sont deux parties - les rapports de qualité et les rapports de production.

À partir de ces graphiques et tableaux, il est possible d'effectuer une analyse qui montrera combien de produits ont été fabriqués, dans quelle période, par quel groupe d'opérateurs, quel était le taux d'erreur.

Chaque contribution sur la ligne a un objectif prédéterminé - le nombre de produits qui doivent être produits par équipe. Ces données sont stockées dans le rapport de production, où il est possible de trouver des informations sur le quart de travail (opération à trois équipes), le nombre de pièces réellement produites, le nombre de pièces défectueuses.

Dans les rapports de qualité, il est possible de trouver un tableau trié par ordre chronologique, de sorte que toutes les informations sur le produit soient enregistrées et s'il a été testé, si les valeurs étaient dans le champ de tolérance, il est marqué OK. Si les résultats diffèrent des valeurs requises, le résultat est marqué comme NOK et un message d'erreur est disponible. Le rapport de production contient des graphiques indiquant le nombre de pièces OK et NOK, ainsi qu'un graphique qui divise les pièces NOK en fonction du type de panne.

D'après le graphique créé par le programme DAQIS, il est clair que le taux d'erreur de la ligne est d'environ 15%. Le deuxième graphique montre les erreurs décrites plus en détail. Les noms des pannes dans le graphique ne sont que les noms des groupes de pannes, la division individuelle sera décrite ci-dessous.

La plupart des erreurs sont dues à la mauvaise position des points mesurés. Chaque point de mesure a un champ de tolérance prescrit dans lequel sa valeur doit correspondre, sinon le produit sera évalué comme défectueux.

PANNES

'LB check'- 'Kontrola rozhraní NOK'

L'erreur la plus courante est appelée Vérification d'interface. Il s'agit d'une erreur dans la planéité, la torsion et la netteté de l'interface. Ce type de panne survient dans plus de 38% des cas.

La planéité de la partie horizontale du COL (cut off line) est vérifiée par des coupes verticales de la distribution lumineuse. Ensuite, le gradient du logarithme de l'illumination de ces sections verticales est déterminé et la position du gradient maximal doit être dans une plage prédéfinie. En plus de la planéité et de la torsion, la netteté est COL. Le gradient G est évalué dans plusieurs sections verticales. La valeur de gradient G ne doit pas être inférieure à 0,13 (netteté minimale) et pas supérieure à 0,40 (netteté maximale). Les valeurs de gradient G doivent être comprises dans une plage prédéfinie.

'LB spot bod zlomu' = 'Rozhraní LB_spot'

Le deuxième groupe d'erreurs le plus courant (30% des pannes) est la position de l'interface spot LB. La panne peut être en position horizontale, horizontale verticale ou angulaire. Chacune de ces positions a un champ de tolérance spécifié dans lequel la valeur mesurée doit être.

'HB bod zlomu' = 'Rozhraní HB'

Cette erreur peut être mesurée pour une position verticale ou horizontale lorsque la valeur ne correspond pas au champ de tolérance. L'erreur de l'interface HB (Erreur de position) se produit à une fréquence de 14%.

Ces trois erreurs représentent ensemble plus de 80% de toutes les pannes rencontrées.

CAUSES

On constate que les causes sont réparties en quatre groupes principaux: Défauts de position mécanique, automate de commande, pannes dues à la variabilité du processus de fabrication du réflecteur, dispositif d'assemblage.

Pannes mécaniques de position

Les erreurs mécaniques de position consistent en une faible capacité / un risque de serrage de F-lux dans la mauvaise position.

Machine de contrôle automatique

Une autre possibilité de pannes est une machine de contrôle. L'unité de commande peut influencer le rendement lumineux en plusieurs points. En gros, il peut y avoir un problème de réglage de la machine ou, de son alimentation, ce qui ne permettra pas une mesure correcte, mais qui provoquera des pannes.

Dans la machine de contrôle, les pièces qui viennent d'être produites sont comparées à un échantillon d'or standard. Un ajustement et un réglage incorrects de la norme affecteront l'inspection d'autres pièces.

Un positionnement incorrect dans le gabarit peut entraîner des valeurs mesurées incorrectes même si elles les différentes parties sont correctement positionnées avec le montage correct. Même si chaque point de mesure a son propre champ de tolérance, il peut arriver que le désalignement dû à un placement incorrect dans le gabarit fasse en sorte que les valeurs mesurées ne soient plus dans le champ de tolérance.

Pannes causées par la variabilité du processus de production des réflecteurs

Le processus de fabrication du réflecteur a été décrit dans une recherche théorique. Les facteurs qui peuvent affecter le rendement lumineux résultant sont déjà présents dans la fabrication des moules. Le moule doit être poli pour éliminer la possibilité d'irrégularités sur la surface de pulvérisation.

Le matériau à partir duquel les réflecteurs sont fabriqués - les plastiques thermodurcissables BMC, est poreux et présente des irrégularités. Afin d'unifier et de niveler la surface, le réflecteur est peint et intermédiaire plaqué d'aluminium, l'aluminium a la propriété de l'oxydation, de sorte que la passivation a lieu à la fin du processus. Lors de la peinture, la peinture elle-ci peut s'accumuler sur les surfaces du réflecteur, ce qui peut affecter l'angle sous lequel la lumière est réfléchi sur la route et ainsi modifier la position des points mesurés.

Dispositif de montage

Le groupe le plus courant dans lequel une erreur peut se produire est le dispositif d'assemblage. Le dispositif d'assemblage diffère selon le projet sur la ligne, il est donc mobile et est remplacé par les opérateurs.

Une fois le luminaire fixé, un réflecteur y est inséré et fixé. A ce stade, le même problème peut survenir que lors du serrage de la pièce sur la machine d'inspection. Si le réflecteur n'est pas serré avec précision, le F-lux peut être mal positionné.

Une autre option est un système de pression, qui doit être utilisé pour monter le F-lux sur le réflecteur avant le montage. Si la méthode de pressage n'est pas sélectionnée correctement, le F-lux sur le réflecteur peut être décalé.

La prochaine étape d'assemblage consiste à positionner le F-lux à l'aide d'un tirant. La tige est située sur le radiateur F-lux et les broches doivent reposer sur les surfaces de référence du réflecteur. Le timon fonctionne à l'aide d'un système pneumatique. Les facteurs qui affectent le positionnement sont: la forme de la tige, l'emplacement du trou sur le radiateur F-lux, l'emplacement de la tige dans le trou sur le radiateur F-lux, le nombre de degrés de mouvement de la tige. Le vissage du F-lux sur le réflecteur lui-même peut entraîner une déformation qui affectera la position de la chip LED.

En raison du fait qu'il s'agit d'une question complexe, dans cette thèse de diplôme, un groupe de gabarits d'assemblage et de erreurs de la position mécanique, qui affectent la plupart des erreurs, seront discutés. L'optimisation d'autres groupes prendrait du temps et de l'argent.

LA SUGGESTION DE SOLUTIONS

L'analyse de DAQIS a montré que dans la plupart des cas, les pannes sont causées par un placement incorrect du F-lux sur le réflecteur. Grâce à la méthode DOE (mettre manuellement toutes les pièces de positionnement au bon endroit), il a été constaté que des erreurs sont associées à un positionnement incorrect des pins dans leurs positions de référence - associées à la tige, au système de pression et au vissage.

Les causes des pannes sont divisées en deux groupes: les pannes affectées par le positionnement, les pannes affectées par la fixation sur le gabarit.

Idéalement, les pins seront positionnées sur les surfaces de référence du réflecteur et resteront en place pendant l'assemblage, la manipulation ultérieure, et les paramètres testés seront dans les champs de tolérance marqués OK. L'état actuel est tel que même si le F-lux est positionné dans la position souhaitée, il peut tourner lui-même lors du montage grâce au vissage (forces de frottement élevées au niveau de la zone de contact de la tête de vis et du F-lux).

OPTIMISATION DE LA POSITION DU TROU POUR LA TIGE

Idéalement, la tige et les goupilles sont entièrement mobiles le long des surfaces de référence (le coefficient de frottement est nul), ce qui permet un positionnement complet des goupilles. La pin 1 effectue un mouvement de glissement, tandis que la pin 2 tourne et glisse.

Dans l'état actuel, la position du F-Lux sur le réflecteur n'est pas toujours la même au milieu du processus d'assemblage. Il faut trouver la position du trou de la tige, dans laquelle les efforts agissant sur les goupilles sont tels que leur mouvement est autorisé et donc leur placement à la position de référence souhaitée.

Pour déterminer la position idéale du trou de la barre de traction, une décomposition des forces a été effectuée. Il a été proposé l'hypothèse (sous-chapitre 4.4.1.) que si la tige était déplacée en position 1 sous la pin 1, elle serait située près du centre de rotation S (dérivée des équations (4-16)), et donc le mouvement F-lux serait en rotation seulement. La pin 1 ne bougerait pas, elle serait fixe, car elle ne serait actionnée que par une force F, qui serait dans l'axe de la force exercée par la tige. Seule la pin 2 serait autorisée à bouger. Si le trou est déplacé en position 2 sous la pin 2, les deux pins se déplaceraient. La pin 1 effectuerait un mouvement de coulissement et la pin 2 effectuerait à la fois un mouvement de glissement et de rotation, réalisant ainsi un état idéal de butée des pins dans la position souhaitée grâce au positionnement de la tige. Pour confirmer l'hypothèse, une solution de modélisation du problème dans Catia a été choisie. Il s'agit d'une décomposition statique des forces agissant sur la pin 1 et la pin 2. La pin 1 est sur un plan, tandis que la pin 2 est sur un plan incliné (l'inclinaison est à un angle de 45 °). La distribution des forces est probatementée dans le même système de coordonnées (Figure 4.4.2.2). La force F agit avec une force de 12N, qui est donnée par l'action de la tige sur le système pneumatique. Dans la situation actuelle, la force F

agit de la même manière sur la pin 1 et la pin 2, car elle est située au milieu (les angles α et β sont égaux). Les distances sur le diagramme et sur le modèle dans Catia correspondent aux dimensions réelles du F-lux. Après avoir défini les équations (équations (17-28)), le schéma a été modélisé en Catia dans la fonction d'esquisse, et les équations calculées ont été remplacées par les valeurs F1 et F2 en utilisant les valeurs réelles de la force F et les angles (Figure 4.4.2.3). Le point b (dans la représentation, ce sera le contact de la tige avec F-lux) a toujours été décalé de 2,5 mm le long de l'axe horizontal, qui a été créé en prolongeant le bord inférieur du trou, qui forme la zone de référence de contact de la tige avec F-lux. Les valeurs de distribution des forces ont été enregistrées dans le tableau (Tableau 4.4.3.1), puis des graphiques ont été créés (Figure 4.4.3.4), qui montrent les amplitudes des forces en fonction de la distance du point b par rapport au zéro (qui est la position initiale dans laquelle la tige est située au courant du processus d'assemblage). Le graphique montre la symétrie des composantes x, leur somme est toujours égale à 0. La somme des composantes y doit toujours être égale à 12N, qui est la valeur de la force exercée par la force F sur la tige F-lux.

Les points limites sont: le point b sous la pin 1 (au centre de rotation S), le point b en 0 (situation actuelle), le point b sous la pin 2.

Le point b est situé au centre de rotation S (figure 4.4.4.3). La valeur limite d'écart $d = -8$ mm indique la position lorsque la tige est située sous la pin 1 ($x = x_1$, $y = y_1 - R$) et est également au centre de rotation S. La force agissant sur les pins est uniquement la force F1 avec une valeur de 12N, c'est-à-dire à ce point $F_1 = F$ et les autres forces sont nulles ($F_2 = 0$). Dans cette position, F-lux est limité uniquement au mouvement de rotation, qui est cependant empêché par la fixation de la pin 1 par une force F1, qui n'agit que dans le composant y, et ainsi le mouvement est empêché.

Dans l'état actuel (Figure 4.4.4.4), en supposant que l'on néglige que la pin 2 se trouve dans une position plus haute que la pin 1, il est possible de supposer que la force F agit de la même manière sur la pin 1 et la pin 2 (les angles α et β sont de la même grandeur). La distribution des efforts à $d = 0$ est donc symétrique selon l'axe y.

Le point b est situé sous la pin 2 (Figure 4.4.4.5). Un autre point limite est l'emplacement de la tige sous l'axe 2. La force F2 est maximale et les autres forces sont négligeables. C'est le même cas que pour la tige située sous l'axe 1. A partir de ce point limite, la force agissant sur F2 commence à diminuer, mais les forces sur la pin 1 inversent leur orientation. Cela signifie que les forces agissent dans l'autre sens et donc F-lux peut se déplacer. Les forces sur la pin 1 augmentent à chaque déplacement du point b (Figure 4.4.4.5).

La solution proposée est de déplacer le trou sur la tige de 7,5 mm ou plus (Figure 4.4.4.6).

Les dissipateurs de chaleur sont produits en série, ce qui n'a pas lieu dans l'entreprise. Comme le dissipateur thermique est fait de tôles pliées et gaufrées, des outils devraient également être manipulés. Si la conception de l'outil et du dissipateur thermique est modifiée, le temps d'attente pour le changement serait d'environ 12 semaines. En raison de la nécessité de maintenir la ligne, il n'est pas possible de suspendre la production pendant une période aussi longue. La solution proposée est la réalisation d'un adaptateur, qui servirait de solution pendant le temps d'attente pour la modification des outils et l'introduction de la production en série. La pièce intermédiaire serait conçue entre le trou et la tige de sorte que la position des forces se déplace vers la position nouvellement conçue.

SYSTEME DE PRESSION

Le système de pression joue un rôle important dans la fixation du F-lux sur le réflecteur au moyen d'un raccord à vis. Le système de pression est utilisé pour pousser la face supérieure du F-lux lorsqu'il a été positionné sur le réflecteur. Le système est situé sur la plaque basculante. Dans le processus utilisé jusqu'à présent, des vis à ressort sont utilisées pour presser le F-lux, ce qui devrait garantir une fixation suffisante en contact avec le F-lux, mais en même temps ne pas déformer le radiateur.

Lors du vissage, il y a frottement entre la tête de vis et le F-lux, ce qui peut conduire à la rotation du F-lux.

L'optimisation peut être effectuée en ajoutant un autre élément au système de pression - la goupille de pression.

Solution 1

La première solution est simple et bon marché sans l'utilisation d'un ressort. La pin sera fixée dans une position prédéfinie avec de la colle pour qu'elle ne bouge pas dans le fil. La goupille serait redessinée en gabarit sur le même principe que les vis à ressort - en préperçant un trou avec le filetage requis et en le fixant avec un écrou. L'une des options est une vis de réglage à six pans creux et une pointe, marquée DIN EN ISO 4027.

Solution 2

La deuxième solution a été créée sous forme de modèle 3D dans Catia. La goupille de pression se compose de pièces mobiles et stables. Le mouvement est assuré par un ressort avec une pression prédéfinie. Le système est fixé au gabarit avec deux vis M4. Le matériau proposé est l'alliage EN AW-6060 (AlMgSi), qui est utilisé dans toutes les pièces usinées du gabarit. La pin a de meilleures conditions pour maintenir le F-lux en position que la vis à ressort, car la pointe de la pin a une zone de contact plus petite, ce qui signifie qu'avec une pression prédéfinie, elle provoque peu de déformation plastique sur le F-lux en poussant la pointe dans le dissipateur de chaleur, ce qui maintient le F-lux en position. La solution

proposée maintient le F-lux dans la position requise au moyen de trois points de contact avec une pression prédéfinie.

FIXATION AVEC UNE VIS

Un autre point de montage qui peut être optimisé est la fixation du F-Lux sur le réflecteur à l'aide d'une vis autotaraudeuse. Les pannes suivantes peuvent survenir lors de l'installation (Figure 4.6.2.1):

- Faux-rond de la vis lors du montage: cette erreur peut se produire si la vis n'est pas droite. Le battement peut endommager l'attache.
- Un autre problème est le moment (peu clair) du point où la tête de vis entre en contact initial avec le matériau, de sorte que le F-lux n'a pas à être vissé avec la force de précontrainte requise.

Contact doux de la tête de vis avec le réflecteur

Cette erreur peut survenir lorsque la déformation de la fixation commence avant que la tête de vis ne soit posée sur la pièce. Il n'est pas possible de reconnaître le point de contact de la tête de vis et donc de ne pas effectuer le montage correctement.

Rotation du filet

Cela peut se produire si la zone de contact de la vis dans le boîtier de la vis est trop courte (les filets de vis sont vissés trop profondément et tordus). Une autre possibilité est un couple trop élevé, si la valeur est supérieure à la valeur limite du couple de vis recommandé, le filetage sera détruit.

Relaxation d'une vis

La question de la relaxation dépend du temps de relaxation, des matériaux utilisés et de la température. Les matières plastiques ont cette propriété, ce qui signifie que la force de précontrainte peut chuter jusqu'à 30%.

La force de précharge est déterminée à partir de simulations EJOT. La force de 690 N est appliquée lorsque la tête de vis est assise, ce qui assure un serrage suffisant et en même temps garantit un facteur de sécurité élevé (valeur 10), qui reste élevé même après relaxation du matériau (réduction jusqu'à 30% de la force de précontrainte dans certaines matières plastiques).

Le trou dans le F-lux est plus grand que dans le réflecteur. Après avoir utilisé la vis, son premier filetage ne touche que le réflecteur, donc il n'y a qu'un trou non fileté dans le réflecteur. Au début du vissage, un filetage est formé dans le matériau BMC (les forces de coupe agissent). Toutes les impuretés sont absorbées par la colle Precot qui est appliquée autour du périmètre de la vis. Au moment où la tête de vis entre en contact avec le F-lux, le filet cesse de se former et les forces agissant ne sont que des forces de frottement. Le couple

de serrage dépasse les forces de frottement dans le filetage et sous la tête de vis. À ce stade, la force de précontrainte de l'assemblage vissé est créée.

Mesure expérimentale du couple dans Atlas Copco

Des tests de couple ont été effectués sur des réflecteurs avec les trois F-lux fixes. Chaque graphique contient trois courbes qui correspondent au vissage de trois F-lux.

La plupart des courbes (Figure 4.6.7.5 et Figure 4.6.7.6) montrent une connexion à vis stable.

Le graphique réflecteur 3 (Figure 4.6.7.7) contient une courbe qui diffère des autres. C'est la vis qui a provoqué le battement. Le battement est causé par une vis de mauvaise qualité, cela peut endommager le réflecteur, et donc une connexion vissée de mauvaise qualité.

Le couple est choisi correctement et il n'est pas nécessaire de changer la valeur, le problème réside dans la qualité de la vis.

Il s'agit d'une vis autotaraudeuse, qui est fournie avec de la colle Pecote, qui capte les impuretés sur la vis qui pourraient contaminer la surface réfléchissante du réflecteur ou la partie visible de la conception.

Optimisation avec le logiciel Toolsnet 8

L'optimisation du problème de battement se fait grâce à l'utilisation de logiciels directement sur la ligne de production. Un logiciel potentiel peut être Toolsnet 8 d'Atlas Copco.

Ce logiciel permet de suivre la progression du vissage et de stocker les valeurs dans le système. Le principal avantage est la possibilité immédiate d'évaluation et d'analyse sur le lieu de travail, grâce à laquelle l'opérateur peut remplacer la vis de mauvaise qualité, réduisant ainsi le coût de tout rappel de produit nécessaire.

Le logiciel vous permet de régler le couple de chaque vis. La valeur du couple de serrage ne sera pas calculée à partir du début du vissage, mais à partir de la butée de la tête de vis.

DISCUSSION

Les entreprises multinationales telles qu'Automotive Lighting doivent constamment mettre à jour, optimiser et moderniser tous les processus afin d'éliminer les technologies obsolètes et d'améliorer l'état actuel de tous les secteurs, de la gestion aux lignes de production. Il est nécessaire d'exceller dans un environnement concurrentiel et cela est également possible en adaptant rapidement l'environnement de marché, les exigences des clients et les tendances actuelles.

La production de phares de voiture est un processus complexe composé de nombreuses cellules. Pour qu'un système aussi grand soit adaptable, il est souhaitable d'avoir tous les processus sous contrôle constant et les interventions possibles. L'une des méthodologies utilisées par Automotive Lighting est l'AMDEC (FMEA en anglais), une autre est un plan de contrôle et un manuel de contrôle. Tous les processus sont enregistrés dans ces documents ouverts, qui sont interconnectés et peuvent être mis à jour et optimisés à tout moment.

Il y a des instructions de contrôle, sur les lignes de production, qui suivent les procédures technologiques sur le lieu de travail. Le processus technologique sur la ligne, où l'installation de la source de lumière LED sur le réflecteur du phare de la voiture est en cours, a montré des défaillances de la sortie optique et de l'horloge de ligne. Par conséquent, une optimisation a été proposée.

Après l'analyse de toutes les causes possibles de défaillances (y compris la production de moules, le polissage, le placage, l'injection, l'assemblage lui-même et l'inspection optique) à l'aide d'une analyse sur site, d'un système d'analyse DAQIS et d'autres méthodologies (DOE, Pareto, Ishikawa), il a été trouvé que les causes principales sont liées à un mauvais positionnement du F-lux sur le gabarit, mais aussi à la fixation ultérieure du F-lux avec une vis auto taraudeuse sur le réflecteur. Les trois options les plus influentes, où il était possible d'optimiser, étaient de placer la tige dans le trou du F-lux, le système de pression et de visser le F-lux sur le réflecteur.

Lors de l'optimisation de la tige, la méthode de décomposition de la force statique a été choisie. Après modélisation sur le logiciel Catia, la position actuelle de la tige a été jugée insatisfaisante et il a été proposé de changer l'emplacement du trou pour la tige en F-lux. Les dissipateurs ne sont pas fabriqués par Automotive Lighting, leur optimisation (déplacer le trou à la position souhaitée) signifierait interférer avec l'outil. Il faudrait plusieurs semaines pour traiter une telle demande. Du point de vue du maintien du tact de la ligne, il n'est pas possible d'arrêter la production et d'attendre de nouvelles pièces. Une autre procédure consiste à concevoir une pièce intermédiaire, qui serait placée entre la tige et le F-lux afin que l'action de force soit déplacée vers la position souhaitée. En raison du traitement fastidieux de ce problème, ce travail ne concerne pas la conception de l'adaptateur. Ce sujet est proposé comme sujet possible de la thèse ou pour un traitement interne en éclairage automobile.

Un autre point d'optimisation du gabarit de montage est le système de pression, qui se compose de deux vis à ressort, qui n'étaient pas suffisants et le F-lux s'est écarté de la position souhaitée. La suggestion est d'ajouter un autre élément de pression. Deux solutions ont été proposées: un pin suspendu et un pin à ressort. Pour l'optimisation, un pin à ressort est recommandé, qui a des propriétés requises plus appropriées. Une autre procédure possible consiste à calculer la force de pression qui doit être exercée sur le F-lux afin qu'il ne dévie pas de la position souhaitée, même lors du vissage à un couple plus élevé. Le calcul n'a pas été effectué en raison de contraintes de temps.

La dernière optimisation était une connexion à vis. Après les expériences, il a été constaté que la défaillance n'est pas tant liée au couple, mais plus à la qualité des vis auto taraudeuses. L'un des problèmes est de battement. La solution proposée est d'utiliser le système Toolsnet 8, qui s'adapte à chaque boulon (valeur de position de la tête de vis, position initiale du boulon,...) et vérifie la valeur du couple de serrage.

L'ensemble du travail est basé sur une analyse analytique du problème et la conception d'une solution pour répondre aux exigences de rendement lumineux et de cycle de ligne. Ce travail proposait les bases de l'optimisation (décrites pour les optimisations individuelles). Un autre point de vue pourrait être l'analyse économique et une vision plus complète de l'ensemble de la problématique (moules, moulage par injection).

Sur la base du diagramme de Pareto et d'autres méthodes analytiques, les principales causes des pannes les plus fréquentes ont été trouvées. Ces causes ont été analysées et après application des solutions proposées dans la pratique, il est prévu de réduire les pannes à 3% (ces pannes sont liées à la stabilité de la production). Cela a atteint l'objectif proposé du travail.

CONCLUSION

Ce travail porte sur une description détaillée du problème, l'analyse ultérieure des pannes et la conception de l'optimisation. Au cours du développement, le lieu de travail sur la ligne de production a été optimisé à plusieurs reprises pour optimiser, de sorte que l'ensemble du processus d'assemblage et de contrôle puisse être parfaitement compris.

La première, le plus important, constatation est un trou mal conçu pour la tige. Du fait de son emplacement, le mouvement des pins est bloqué et ils ne sont pas positionnés dans la position souhaitée. La position du trou calculée est au moins à +7,5 mm (sous la broche 2 et au-delà) de la position actuelle du tirant (considérée comme le point 0).

Le deuxième point d'optimisation est la conception de deux solutions de pin de pression (pin sans ressort et pin avec ressort), dont le but est d'éliminer les autres forces lors de la fixation par vissage. Ce serait une solution supplémentaire aux vis à ressort déjà utilisés. Dans le cas d'un pin sans ressort, c'est une solution plus simple et plus économique, mais la fixation du pin dans une position peut entraîner une force de pression trop importante et une éventuelle déformation du F-lux, ou, au contraire, une incapacité à reposer sur le F-lux. Le pin de pression, qui est équipé d'un ressort, fonctionne sur le même principe que les vis à ressort et s'adapte au réflecteur avec Flux. Le pin à ressort est en contact avec le F-lux avec une surface plus petite que les mandrins à ressort, il y a donc un léger pin à enfoncer dans le F-lux et donc une fixation dans la position souhaitée. Sur la base de la comparaison, il est recommandé d'utiliser la solution 2, un pin à ressort de pression.

Il a été constaté expérimentalement que les vis utilisées ne sont pas de très haute qualité et qu'il peut y avoir des vis qui affectent le vissage par projection. La troisième optimisation est donc une proposition qui consiste à utiliser le système Toolsnet 8 pour réguler et contrôler le couple de vissage et l'adapter aux vis.

Ce travail suggère des optimisations possibles du gabarit d'assemblage, qui peuvent servir de base à l'entreprise pour une analyse plus complète et la conception d'autres solutions. La conception du déplacement du trou sur la tige peut être utilisée pour la prochaine génération de F-lux.

Le but des thésis était de réduire la fréquence des pannes de 15% actuel à 3%. Grâce à l'analyse (données DAQIS, diagramme de Pareto, diagramme d'Ishikawa,...), les principales causes à l'origine de la plupart des pannes ont été trouvées. La position du trou pour le tige, le système de pression et le vissage étaient les trois principaux groupes impliqués dans l'optimisation. L'optimisation a été réalisée en corrigeant le gabarit d'assemblage sans qu'il soit nécessaire d'intervenir dans l'outil de pressage (surfaces optiques ou d'appui). L'utilisation des solutions proposées devrait réduire la fréquence des pannes à 3% (ces pannes sont liées à la stabilité de la production). Cela a atteint l'objectif des ce thésis.

ABSTRACT

The objective of this work was to analyze the current situation of the technological process of assembly of LED source on car headlights and to find and propose solutions to reduce the number of scrap parts in production. The assembly technological process involves positioning and fixing the LED source with the internal designation "F-LUX" on the reflector. The assembly assures the desired optical output and the serial tact of the line. Based on the analysis of the technological process various optimizations are proposed.

Keywords: technological process, LED source, screw, headlamp, car reflector, mounting jig, optimization

BIBLIOGRAFIC CITATION

WIECKOVÁ, Kateřina. *Návrh technologického postupu montáže světelného LED zdroje na reflektor světometu automobilu*. Brno, 2020. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 155 s. 4 přílohy. Vedoucí práce doc. Ing. Josef Chladil, CSc.

Declaration

I declare that this master's thesis **A technological process of mounting of the LED light source on the reflector for a car headlamp** is a presentation of my original research work and that I wrote it with use of sources mentioned in the list, which forms an appendix to this work.

Datum

Kateřina Wiecková

ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to gratefully thank to my supervisors doc. Ing. Josef Chladil, CSc. from VUT and prof. FROMENTIN Guillaume, MSc. Ph.D. from ENSAM, for their help and support.

I would also like to thank to my supervisor from Automotive Lighting Ing. Bohuslav Lysa for his time and help with working on this thesis, and all other employees from the company, primarily to Bc. Michal Vobr, for help in solving the diploma thesis, Ing. Miloš Milichovský and Mr. Petr Kohout for valuable consultations and advices.

Thanks belong also to Ing. Jan Králík for consultations and assistance in solving this thesis.

I would like to thank to prof. Ing. Miroslav Píška CSc. for his assistance and help during the study period.

Lastly, I would like to thank my family and my all my friends, especially to Specottes, for their support given during my whole studying period.

CONTENT

Abstract	48
Declaration	49
Acknowledgements	50
Introduction	54
1 Literature research	55
1.1 Fundamentals of optics	56
1.1.1 Optical and physical properties of the light	56
1.1.2 Photometry quantities	57
1.2 Legislation	58
1.3 Types of car headlights	59
1.3.1 Low beam	61
1.3.2 High beam	61
1.4 Optical systems	61
1.4.1 Reflective optical systems	62
1.4.2 Projector optical systems	63
1.5 Output requirements	67
1.5.1 Light colour	67
1.5.2 Low beam	68
1.5.3 High beam	70
1.6 Light sources	70
1.6.1 Basic light source	72
1.6.2 Innovative headlights using LED technology	76
1.7 Construction of headlamps	77
1.7.1 Project life cycle	78
1.7.2 3D Data	78
1.7.3 Tooling	79
1.7.4 Thermoplastics	79
1.7.5 Thermosetting	80
1.7.6 Plastic injection	80
1.7.7 Production of moulds	81
1.7.8 Testing and ramp up	82

1.7.9	Serial production.....	82
2	Description of the current process	83
2.1	F-lux (light source).....	83
2.1.1	Heatsink material	84
2.1.2	PCB material.....	84
2.1.3	Screw	84
2.1.4	The Master/Slave configuration.....	85
2.2	Reflector.....	85
2.3	Theoretical assembly sequence	86
2.4	Example of the three module reflector.....	87
2.4.1	Low beam	88
2.4.2	High beam.....	89
2.6	The current assembly process	91
2.7	Workstation.....	94
2.7.1	Workstation schema.....	95
2.7.2	Production line flow.....	96
2.7.3	Assembly post.....	96
2.7.4	Testing post.....	98
2.7.5	Cleaning and packing post.....	100
2.7.6	Evaluation from DAQIS	100
3	Analysis	103
3.1	Errors.....	103
3.1.1	'LB check' - 'Kontrola rozhraní' NOK	105
3.1.2	'LB spot bod zlomu'='Rozhraní LB_spot'	107
3.1.3	'HB bod zlomu'='Rozhraní HB'	109
3.1.4	'LB base bod zlomu'='Rozhraní LB_base'	109
3.1.5	'HB check'='Kontrola rozhraní HB'	109
3.2	Causes	110
3.2.1	Mechanical position failures	111
3.2.2	Automatic control machine.....	111
3.2.3	Outages caused by variability of the reflector production process.....	111
3.2.4	Mounting device	111

4	Proposition of solutions	113
4.1	Ideal situation	113
4.2	Current situation.....	113
4.3	The rod in the cut-out.....	113
4.3.1	Ideal state	114
4.3.2	Current situation	114
4.3.3	Force decomposition.....	114
4.4	Optimization- Replacement of a cut-out.....	118
4.4.1	Hypothesis	118
4.4.2	Representation and calculation	118
4.4.3	Description of forces.....	122
4.4.4	Limit values	123
4.5	Pressure system	128
4.5.1	Solution 1	129
4.5.2	Solution 2.....	131
4.6	Screwing.....	135
4.6.1	Definition of the pre-tightening area	135
4.6.2	Torque error situations.....	136
4.6.3	The runout of the screw during assembly.....	137
4.6.4	The soft sit of the screw	137
4.6.5	Thread destruction	137
4.6.6	Relaxation of the screw with the result of loosening the joint and loose fixing of the F-Lux.....	137
4.6.7	Experimental torque measurement in Atlas Copco	139
4.6.8	Optimization with Toolsnet software 8	144
5	Discussion.....	146
6	Conclusion	148
7	Citations	149
8	List of used symbols and abbreviations.....	156
9	List of Annexes.....	158

INTRODUCTION

This thesis was created in collaboration with company Marelli Automotive Lighting in Jihlava, Czech Republic, which belongs to the international leading companies in the area of automotive exterior lighting. Automotive Lighting is one of the biggest producers of automotive headlights in Europe and has in total 30 sites in 16 countries on 4 continents. The main customers of the company are vehicle manufacturers: BMW, Volkswagen, Honda, Opel and more.

The aim of this project was the optimization of the assembly of a sub-assembly of an optical system using a light source with the internal designation "F-LUX". Optical assembly combining reflector and light source (F-LUX) is designed as a "low-cost" or "cost-effective" solution, where the light source is designed with variability of light output (2-3-4 chip), and uses a unified mounting interface on the reflector.

This assembly must be assembled to meet light output and homologation requirements. The size of the series is about 1 million units per year. Based on optimization loops and price effects, the fixing (assembly) concept was chosen, including two steps. The first step is positioning of the light source to the optical position. The second step is the fixation of the light source with a self-tapping screw. The assembly process was tested on a small series with low production cycle. During the test, the system was found sufficiently reliable. On the other hand, when the assembly process was applied to a bigger series (ten times the size of the small test series), the number of scrap parts was higher than expected and above acceptable limit. This increase in scrap parts is non-negligible given the total production volumes. Optimization of the assembly process was required and set as a goal of this thesis. Decrease in number of scrap part in production was the main criteria of optimisation.

For example, in the mass production of 1 000 000 pcs per year, where each cost 20 euro, is the 15 % of the scrap leading to financial loss in the amount 3 000 000 euro.

The large number of scrap part at the workstation represents an unacceptable financial loss. Assembly jigs and camera control system clearly needed optimisation. The incoming components used in the assembly are a metallized reflector and the light source. The reflector cannot be modified as it would imply modifying the mould which is expensive. The light source cannot be modified as well for qualification and validation related issues. All optimisations should be aimed towards the assembly process and not the design and production of the components themselves.

Currently, the whole process is in a state before series production and shows a frequency of outages, which oscillates around 15%. The aim of this work is to find the causes of outages, their elimination and reducing their frequency to 3%.

1 LITERATURE RESEARCH

During the last decade, there has been a rapid evolution of science and technology and therefore of technology. This has influenced all areas of the industry, including the automotive industry. New technologies, improvements and high demands on vehicles also increase the need for safety.

During the last decade, there has been a rapid evolution of science and technology. This fact has influenced all areas of the manufacturing industry, including the automotive industry. New technologies and improvements allow meeting higher demands on vehicles and their safety equipment including headlights.

Vehicle safety has become one of the most important priorities. Active safety equipment includes all systems that prevent a collision and help manage the situation at critical moments. Technologies based on light signals therefore often participate in active safety, the development of car headlights being the best example of the use of this type of technology.

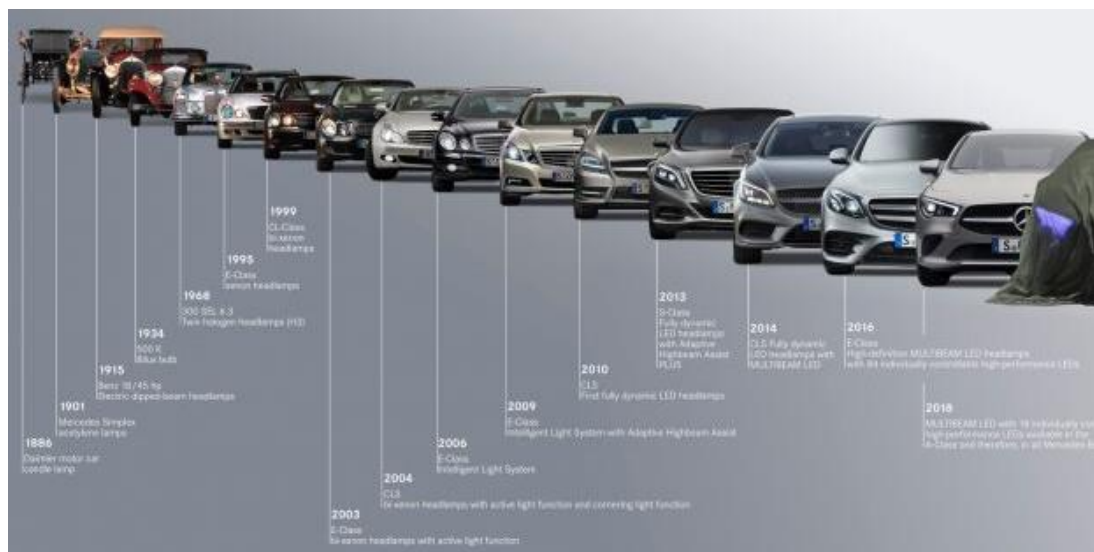


Figure 1.1 Evolution of Mercedes Benz headlights [1].

1.1 FUNDAMENTALS OF OPTICS

1.1.1 Optical and physical properties of the light

- Light

Light is the term that stands for the visible part of electromagnetic radiation spectrum, observable in a vacuum range of 380-800 nm. The light speed in vacuum is $c = 299\,792\,458\text{ ms}^{-1}$ [4].

- Wavelength [m]

Wavelength indicates the distance between the two nearest wave points. Different wavelengths correspond to different colours of the light [4, 5].

Wavelength is given in meters (m).

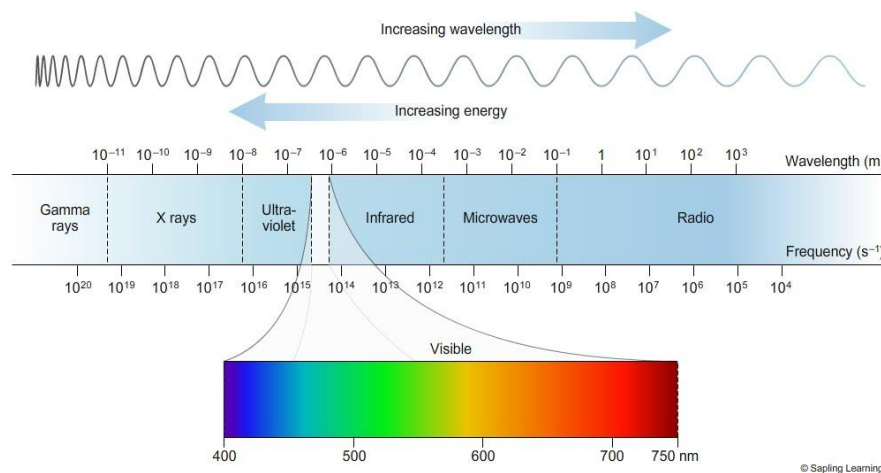


Figure 1.1.1.1 Wavelengths and the visible light [6].

- Black body

Black body is a theoretical standardized material which absorbs all the radiation. There does not exist any reflection or transmission of the light. Every object with a temperature higher than absolute zero emits energy- electromagnetic radiation. The spectral distribution of the thermal energy radiated by a black body depends only on its temperature [8, 10].

- Colour temperature [K]

The colour of the light depends on its spectral composition. Chromaticity denotes colour quality compared to “black body”. As the colour spectrum is defined by wavelength, each colour has a different colour temperature. The temperature of the daylight white is around 5000-6500K. The colour temperature is given in degrees Kelvin (K). [7, 8, 9]

1.1.2 Photometry quantities

In the table 1.1.2.1 some of SI photometry quantities are described.

Table 1.1.2.1 Photometry quantities [9, 11, 12].

Name	Symbol	Unit	Description
Luminance	L_v	cd/m^2	Luminance is an amount of the light emitted from defined area in an given direction.
Luminous flux	Φ	lm	Luminous flux is defined by the amount of energy emitted by the light source over a duration of one second.
luminous intensity	I_v	cd	It is the basic quantity of the light. Luminous intensity is the density of the luminous flux that falls on the surface.
Illuminance	E_v	lx	The illumination is defined as the ratio of the light quantity emitted to the defined area.
Luminous energy	Q_v	lm.s	The luminous amount is the product of the luminous flux and the time the light source is lit.
Luminous efficacy of radiation	K	lm/W	Ratio of luminous flux to radiant flux.
Luminous efficacy of a source	η	lm/W	Ratio of luminous flux to power consumption.
Luminous exposure	H_v	lx.s	Time-integrated illuminance.

1.2 LEGISLATION

Legislation is a set of rules, regulations, standards, directives and laws that are created by the competent authorities to meet the right function and safety requirements. At present, there is an effort to unify legislation globally, because as the transport is not area restricted, it is important that local, national, international regulations and needs are not in contradiction.

The product has to fulfill the requirements of the legislation. If the conditions are not met, the product cannot be placed on the market. [4, 15, 18].

In Czech Republic, the legislation of means of transport is handled by the Ministry of Transport of the Czech Republic. At the international level, legislation is the responsibility of the European Economic Commission, the European Economic Community, the United Nations and the Society of Automotive Engineers [4].

The main division of legislation is ECE and SAE:

- ECE - the United Nations Economic Commission for Europe, in which are the states of Europe and partly Asia, without the United States and other countries of America.
- SAE-Society of Automotive Engineers (United States, Canada and some others American countries).

Some countries have their own legislation, eg: China or India.

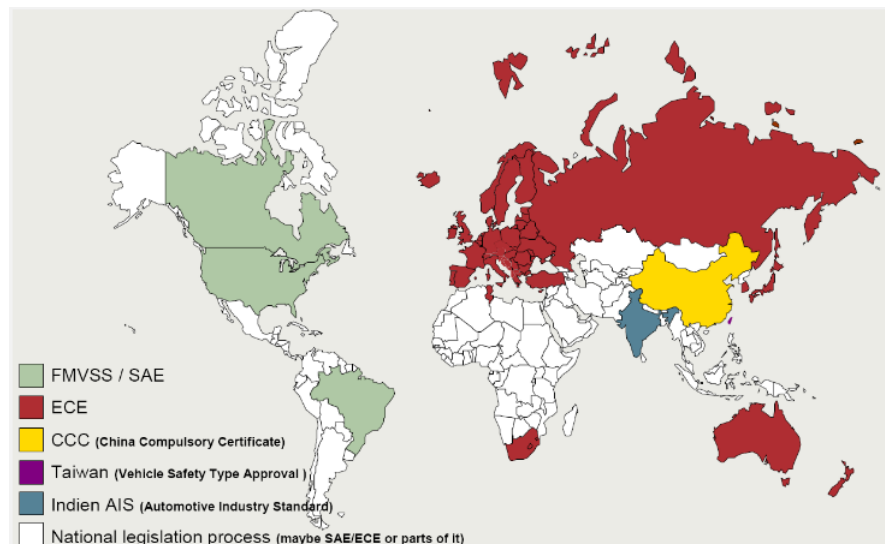


Figure 1.1.2.1 The division of the legislation on the world map [9].

According to ECE, regulations for automotive components are divided into three basic groups [18]:

- active safety components,
- passive safety components,
- components for environmental protection.

The newly emerging regulations seek unification for all developed countries of the world. The gradual harmonization of regulations should reduce the costs of developing, manufacturing, testing products that are produced (in some enterprises) both for countries where ECE legislation is used and for countries with SAE legislation [4, 18].

Every new product in automotive lighting has to be accepted and be homologized before launching the market by ECE or other responsible authority. This approval process can take several months or years [18].

In the legislation are described every requirement on the lighting as placement of the light source, its colour, intensity of the light and more. For example the regulations for the high beam [18, 20].

1.3 TYPES OF CAR HEADLIGHTS

Car headlights are elements which contribute to safety: they allow the projection of a light cone in the desired orientation and make it possible to illuminate the road over a sufficient distance. They also improve visibility of vehicle by other road users [14].

The quality of the car headlight is influenced by the production of the elements that compose it, their installation, the materials and used production technology. Components that make up the headlights must be perfectly assembled so that the assembly is waterproof, dustproof and thus avoiding pollution of the lighting. Car headlights are divided according to their use. The two main groups are: the front lights and the rear lights [22].



Figure 1.1.2.1 Different types of car lights [23].

This thesis is focused on the front headlight, especially on the reflector which provides the main function of the lighting: low beam and high beam.

In case of the headlamps on the right in the figure below, the light distribution on the roadway was symmetric, it means that the light beam was the same from on the left and right headlamp. From 1957 it was changed to an asymmetrical distribution of the light to obtain a greater range of low beam but with lower glare of oncoming drivers. The required distribution of the light is dependent on the construction of the headlamp. The construction determines all needed parameters [34, 37].

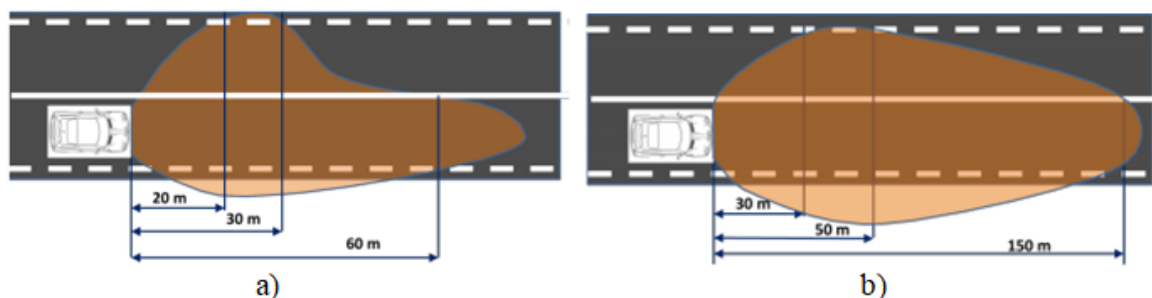


Figure 1.1.2.2 a) the right-hand traffic, asymmetrical low beam pattern, b) the unrestricted symmetrical high beam pattern [38].

1.3.1 Low beam

Low beam provides an asymmetrical illumination pattern. The left-hand traffic countries have the low beam dipped to the right to obtain sufficient illumination but with minimizing the glare towards oncoming vehicles and other road users. For right-hand traffic countries is the light dip to the left [38, 39, 40].

1.3.2 High beam

High beam provide long range illumination to maximize the viewing distance of the driver and have a centre weighted light distribution beam pattern without any glare control. High beam completes the low beam pattern, is symmetrical and the illuminated area is twice longer [38, 39, 40].

1.4 OPTICAL SYSTEMS

Optical systems are complex systems composed of several technologies. The optical systems used in the headlamp design serve to direct and guide the light beam in a given direction. The vehicle front headlamps can use optical systems based on three main types of technologies:

- reflective,
- projective,
- lightguides and ancillary lenses.



Figure 1.3.2.1 Examples of the optical systems a) reflection, b) projection and c) lightguides and ancillary lenses optical systems [2].

The car headlamps are composed of the variety of these three possibilities.



Figure 1.3.2.2 The car headlamp with the variety of the optical systems [2].

Light sources used in this systems are:

- basic light sources (halogen bulbs, xenon discharge, LED light sources),
- innovative light sources using LED source.

LED sources can be used in connection with these optical systems:

- LED with reflector,
- LED with projector,
- LED with total reflection system,
- Laser,
- DMD,
- Micro.

1.4.1 Reflective optical systems

Reflectivity

The reflectivity is the ratio of the reflected energy to the arrived energy.

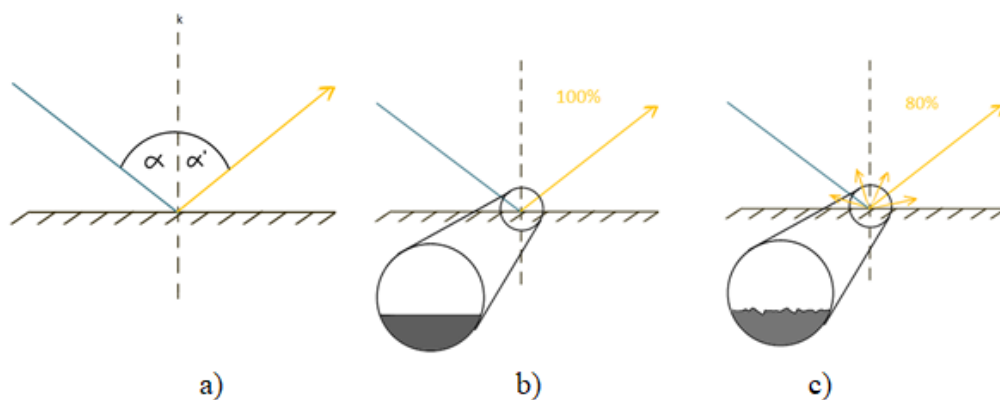


Figure 1.4.1.1 a) the angle of incidence is equal to the angle of reflection, b) the total reflexion on the smooth material, c) part of the light is diffused and part is reflected on the rough material.

The reflectivity depends on the surface of the material. If the material is perfectly smooth, the reflection is total (100%), if the surface is rough, the light is partly diffused so the energy of the reflected beam is lower [5, 9].

Parabolic reflector (Fresnel lens and Free form)

The body of the headlight has the shape of a paraboloid and uses the properties of a parabolic mirror. The source light is placed to the focus of the paraboloid, so the resulting beam is reflected parallel with the optical axis. To obtain the required light distribution, the optic shapes on the cover glass (Fresnel lens) are used. The vertical cylindrical profile is used to achieve horizontal light distribution and a prismatic structure at the height of the optical axis is used to shift the light to achieve the necessary asymmetric road lighting [4, 33, 40, 41].

With higher requirements on the esthetical design of the car headlamps, a new type of technology free form (FF) was created, the reflective parabolic surface is divided into a high

number of small segments, which reflects the light beam to an exactly defined direction and the glass cover is clear. The design of the free form (FF) is created by using a specialized software that enables to create precisely defined segments of the reflector that is the most important for optical properties. As the final light beam is done by bevels, there is no need to use apertures and cylindrical profile to achieve the necessary asymmetric road lighting [24].

In this type of reflectors are used halogen bulbs (H1, H2 or H7) and xenon discharge lamps (D1R or D2R) also [33].

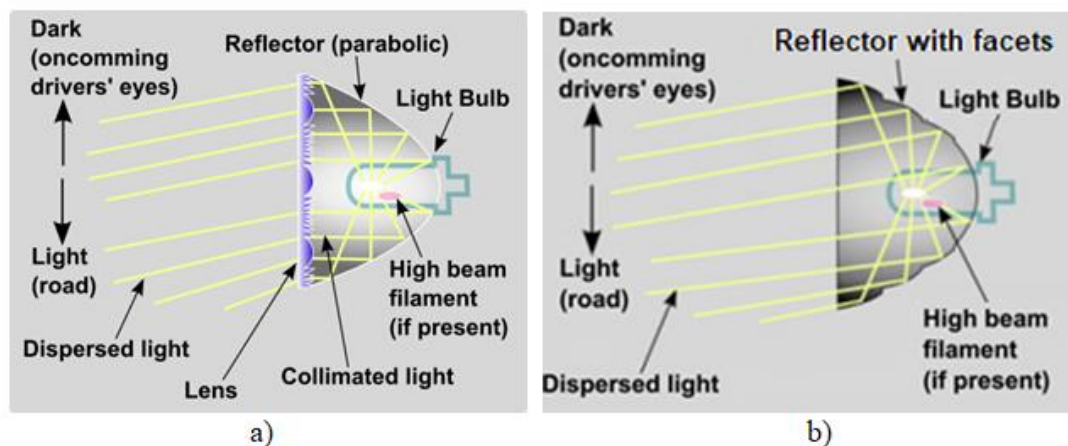


Figure 1.4.1.2 The Parabolic reflector a) Fresnel lens and b) reflector with facets [44, 45].

1.4.2 Projector optical systems

1) Optical environments

The light is affected by the environments in which it diffuses. Every material has different properties and the velocity of the lights may change. The properties could be described on the most common environment, glass: The light passes without any change through clear glass (Figure 1.4.2.1, a)). Through the colored glass passes only the light of certain wavelengths, others wavelengths are absorbed (Figure 1.4.2.2, b)). Matte glass changes the direction of propagated light - so called dispersion (Figure 1.4.2.3, c)). And the mirror reflects the light - reflection (Figure 1.4.2.4, d)). [9a, 15a].

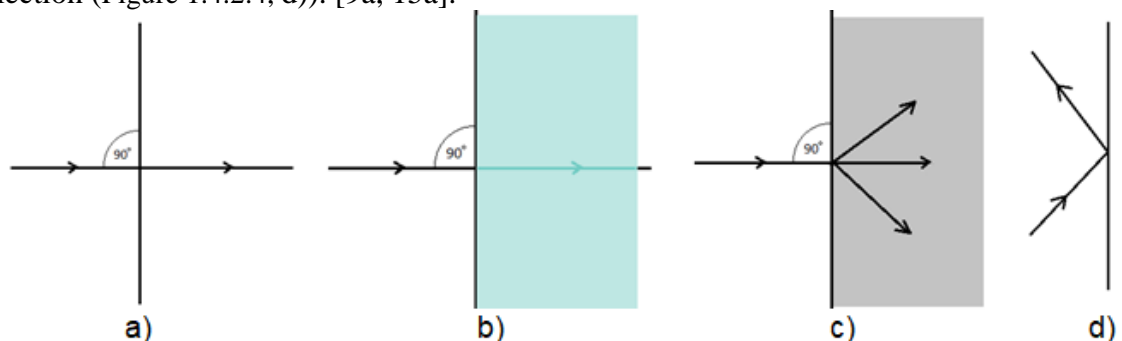


Figure 1.4.2.5 The light propagation in different optical environments: a) the clear glass, b) the colored glass, c) the matte glass, d) the mirror.

Refractive index n

The velocity of the propagated light in an optical environment can be described by a refractive index. Refractive index is a non-dimensional quantity defined as the ratio of light in vacuum and the velocity in a given environment. A homogeneous environment has the same optical properties in all its volume. The refractive index is dependent on the wavelength [5a, 9a].

The following formula is used to calculate the refractive index:

$$n = \frac{c}{v} \quad (1)$$

From the formula (1), the refractive index of air/vacuum is 1.0.

Snell's law

Refracted light beam is propagated to another environment under an angle of refraction β .

$$n_1 \cdot \sin \alpha = n_2 \cdot \sin \beta \quad (2)$$

In the formula (2) n_1 and n_2 are refractive indexes of the first and second environment.

Refraction

When the light beam strikes on the interface of two environments with different refractive index, it is partly reflected and partly refracted in the material as can be seen in the Figure 1.4.2.2 a). The light beam strikes under angle α and is reflected under angle α' . The angle is measured from the perpendicular k . The angle of reflection is equal to the angle of incidence $\alpha = \alpha'$. Another part of the light beam is refracted under the angle of refraction β . Size of the angle of refraction β depends on Snell's law. When α is bigger than the limit angle α_m , there is a total reflexion [5a, 9a, 15a].

When the light refract, two possibilities can arise: at first, the light is propagated from the environment with lower refractive index to the environment with higher refractive index. The angle of refraction β will be smaller than the angle of incidence α (according to Snell's law) seen in Figure 1.4.2.2 b) or the light is propagated from the environment with higher refractive index to the environment with lower refractive index. The angle of refraction β will be bigger than the angle of incidence α (according to Snell's law), in the Figure 1.4.2.2 c) [5a, 9a, 15a].

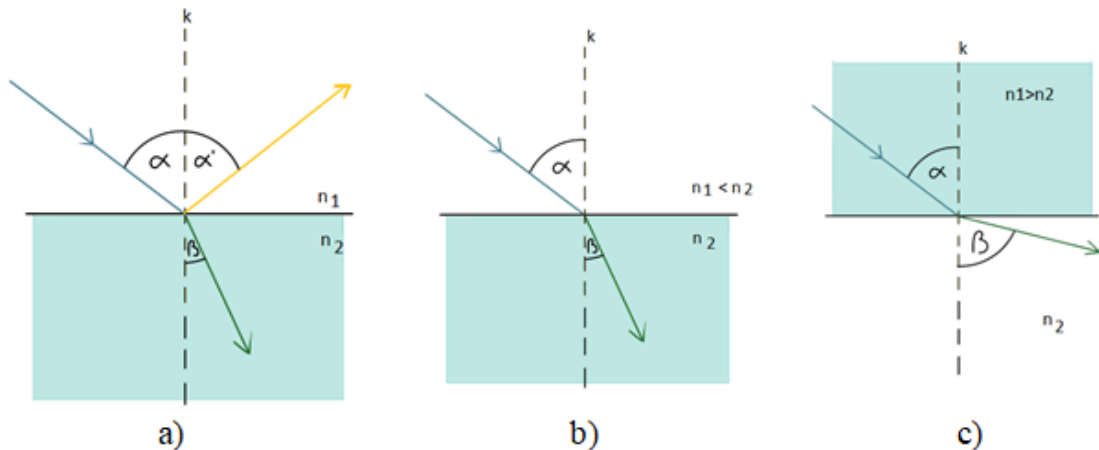


Figure 1.4.2.2 a) refraction and total reflexion, b) propagated light beam from $n_1 < n_2$ to n_2 , c) propagated light beam from $n_1 > n_2$ to n_2 .

Lens view

Lens view is based on Snell's law. Snell's law is described on the principle of rayon passing from one to other environment so it means that this law has to be used twice because the light beam is passing from one environment to lens propagate in the lentic and then is going out from the lens to other (normally the first environment) [17a].

The lens can be divided by its shape to couplings and diffusers (Figure 1.4.2.3 a), b)). As for the mirror, for the lens is also needed to define the optical axe which is going through lens center O.

The final image is overturned but the same size as can be seen in the Figure 1.4.2.3 c).

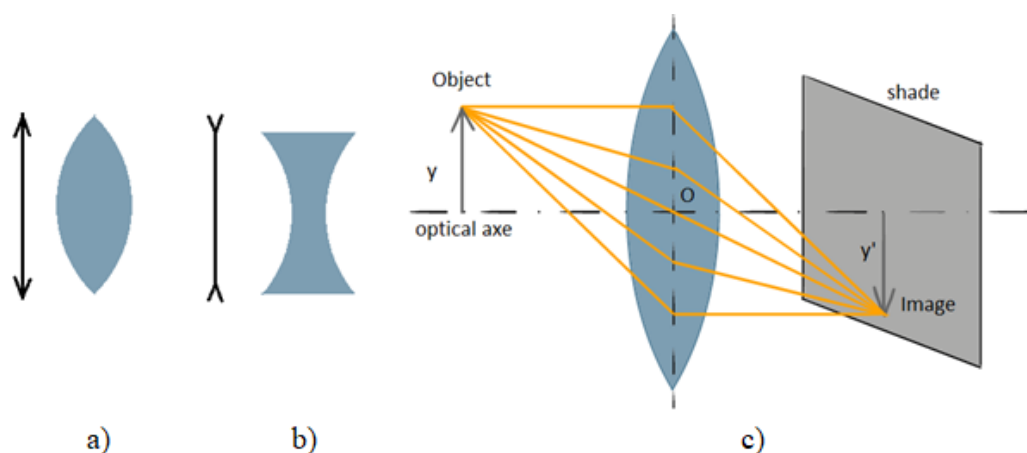


Figure 1.4.2.3 a) the couplings, b) the diffusers, c) the refraction of the light by the couplings lens.

Primary optics and reflector

The projector systems use primary optics or reflector in front of the light source to direct the light flux. The light is directed on the lens which projects the light on the road.

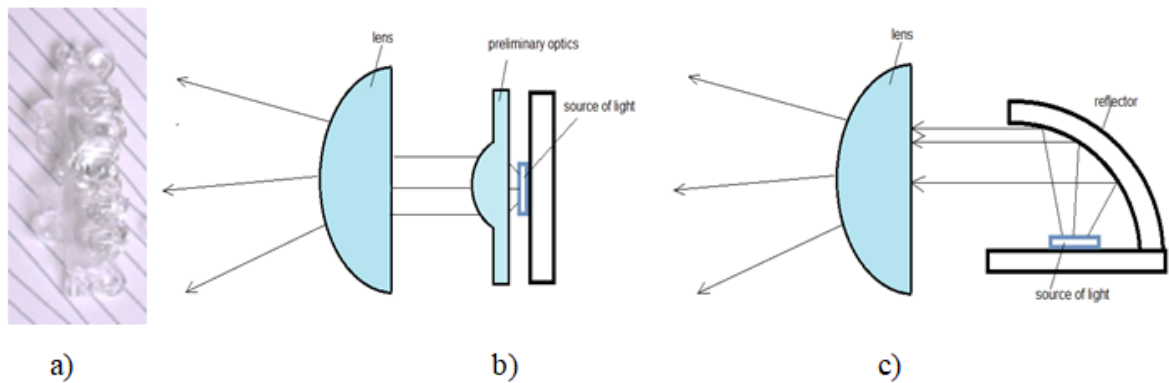


Figure 1.4.2.4 a) primary optics, b) schema of the system with primary optics, c) schema of the system with reflector [95].

Litronic, Bi-Litronic and combined projector systems

Light-electronics is a headlamp system which was created in the company Bosch in 1991. The Litronic is composed of a reflector, a gas-discharge lamp and an electronic pre-switching unit [42, 47].

Bi-Litronic combines the advantages of a compact Litronic system and adds the possibility of changing from the high beam to the low beam only with one discharge lamp. Switching light is achieved by two positions of discharge lamp- one for high beam, other for the low beam, using electromagnetic adjusting elements the light can be switched [43, 42].

In case when the electromagnetically controlled screen is not used, the reflector has to combine the ellipsoid reflector technology (same principle as for parabolic reflector, but the shape of the reflector is an ellipsoid) for high beam and the free form technology for dim lights, it is called two chambered systems [60, 33, 40]

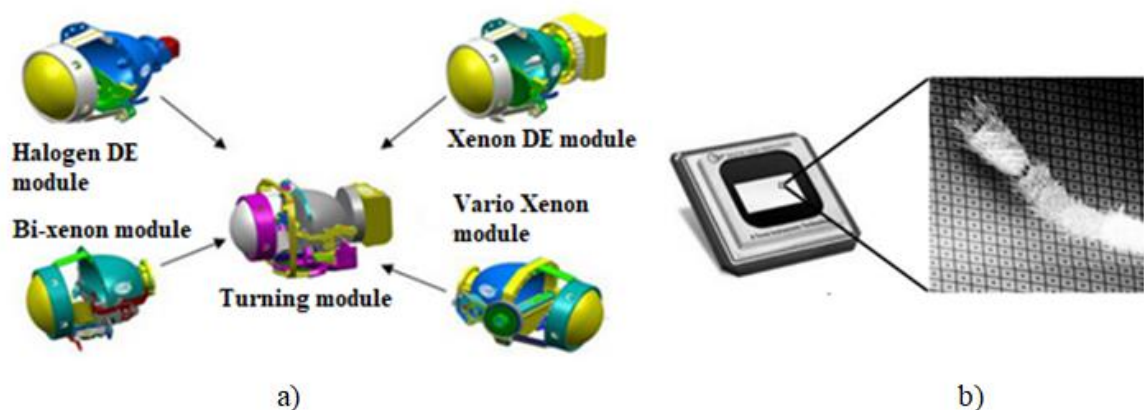


Figure 1.4.2.6 a) types of the turning modules, b) DMD source [42, 56].

The main advantage of projector systems is great sharpness of the light cone. The light source can be halogen bulbs (H1, H4, H7...) or xenon discharge lamps (D1S, D2S,...). The cover glass is purely protective, without changing the beam path.

Recent projector system use mostly LED light sources. Another possibility which is in development is DMD source (described in chapter Light sources).

1.5 OUTPUT REQUIREMENTS

Light output requirements are defined by legislation and the client. They are divided depending on the type of light. In this diploma thesis, a part of the headlight is analysed, therefore the requirements for the output from the headlight reflector will be described: low beam and high beam. The main output requirements that are tested are the light intensity, the exact position of the test points and the colour of the light [97].

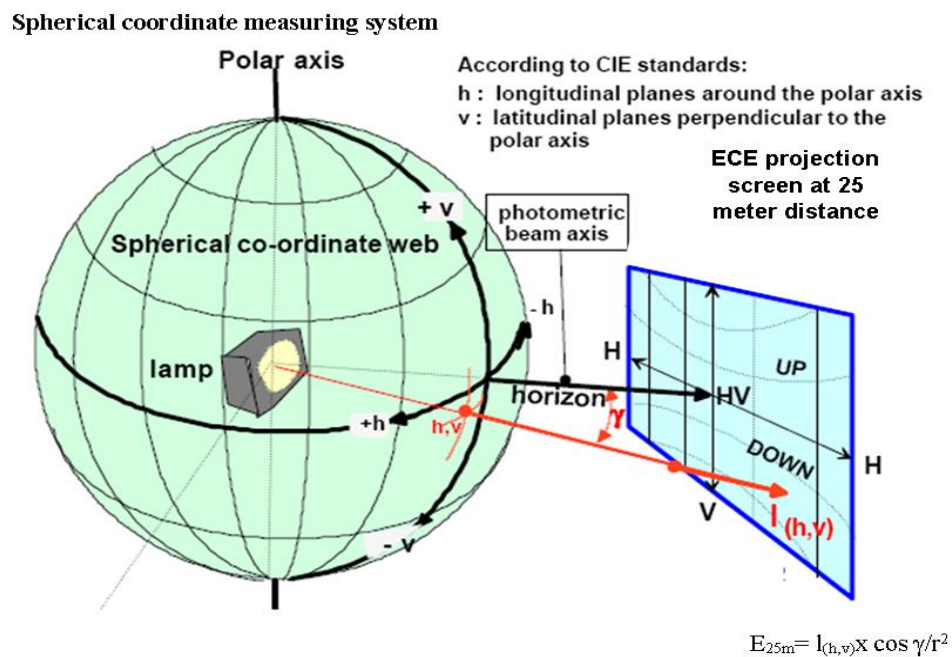


Figure 1.4.2.1 The spherical coordinate measuring system [97].

The light output as well as the testing point are mirrored for left-hand traffic (LHT) and right-hand traffic (RHT) along the V-V line. Vertical axis, called V-V is passing through the optical axis of the headlamp. Horizontal axis is called H-H. Both lines have the scale in degrees [97].

1.5.1 Light colour

As was already said in the chapter: Fundamentals of optics, the colour of the light is derived by the colour of the black body. The colors are defined in colour space, for LED sources the required colour is defined by binning.

The regulation Addendum 47: Regulation No. 48 defines the light colors for car headlamps:

2.29. *Colour of the light emitted from a device*

2.29.1. "White" means the chromaticity coordinates (x,y)⁴ of the light emitted that lie inside the chromaticity areas defined by the boundaries:

W ₁₂	green boundary	$y = 0.150 + 0.640 x$
W ₂₃	yellowish green boundary	$y = 0.440$
W ₃₄	yellow boundary	$x = 0.500$
W ₄₅	reddish purple boundary	$y = 0.382$
W ₅₆	purple boundary	$y = 0.050 + 0.750 x$
W ₆₁	blue boundary	$x = 0.310$

With intersection points:

	x	y
W ₁	0.310	0.348
W ₂	0.453	0.440
W ₃	0.500	0.440
W ₄	0.500	0.382
W ₅	0.443	0.382
W ₆	0.310	0.283

Figure 1.5.1.1 Description of the coordinates of the 'white' colour [97].

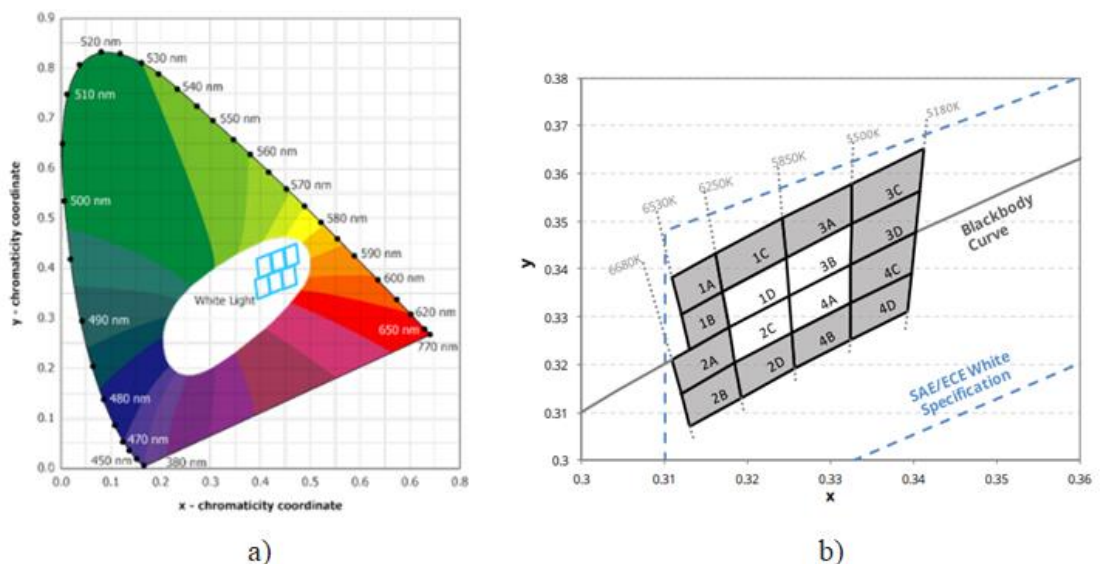


Figure 1.5.1.2 Graphics showing a) colour bins in the colour space, b) example of the colour bin structure in CIE 1931 space [87, 88].

1.5.2 Low beam

The ECE defines low beam by parameterized line COL- cut-off line. The COL is divided into three segments: cut-off, shoulder and elbow. The line has its position with tolerance points and zones which has to be respected. In the figure below these areas and the shape of the line are defined [38, 39, 40].

Points or segments	Designation (**)	Luminous intensity (cd)		Horizontal angle (degrees)	Vertical angle (degrees)						
		Max	Min								
Any point in zone A (bounded by the following coordinates in degrees)											
8L	8L	8R	8R	6R	1,5R	V-V	4L	625			
1U	4U	4U	2U	1,5U	1,5U	H-H	H-H				
2		B 50 L									
3		75 R							12 500	1,15 R	0,57 D
4		50 L						18 480		3,43 L	0,86 D
5		25 L1						18 800		3,43 L	1,72 D
6		50 V							7 500	0	0,86 D

Figure 1.5.2.3 Example of requirements on testing points [97].

1.5.3 High beam

Testing points for high beam are on the h-h line. They are tested for correct position and intensity.

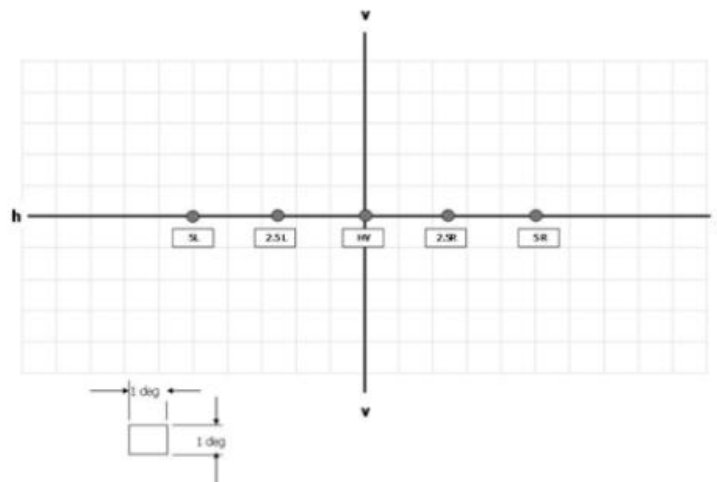


Figure 1.5.3.1 High beam testing points [97].

1.6 LIGHT SOURCES

Sources of light for headlights are developed to be efficient (long lifetime, low costs, easy maintenance) with high luminance and luminous flux. The requirements for headlight light sources are concentrated especially on the safety and comfort for the driver and all traffic participants. The light colour is demanded to be close to the colour of daylight. The light source has to be compact to be possible to install to different designs of headlights.

Current light sources can be separated to two groups:

- basic light sources (halogen bulbs, xenon discharge, LED),
- innovative light sources using LEDs.

The development of the light sources allows to achieve better results in all domains of required parameters.

Table 1.5.3 Comparison of the basic light sources [9]:

Light source	Luminous flux [lm]	Efficiency [lm/W]	Colour temperature [K]	Luminance [Mcd/m ²]
Halogen	1500-1860	26	2900-3100	20-30
HID	2400-3200	80-89	4000	90
LED	1800	128	6000	100-500

For LED sources the efficiency and luminance are more than five times larger compared to halogen bulbs.

The high requirements are posed on the colour of the light. Depending on the legislation of different countries, some colour varieties can be forbidden. The most desirable colour for the front car headlamp is the daylight white colour (4600-6100 K). This requirement is best met by LED sources. The halogen bulbs have a colour temperature in the range of 2900-3100 K, which means that the output colour is more orange. The xenon discharge lamp has a colour around 4000K, so the colour is more blue tinted. LED sources can meet the required daylight white colour, which has around 6000 K [9, 96, 97].

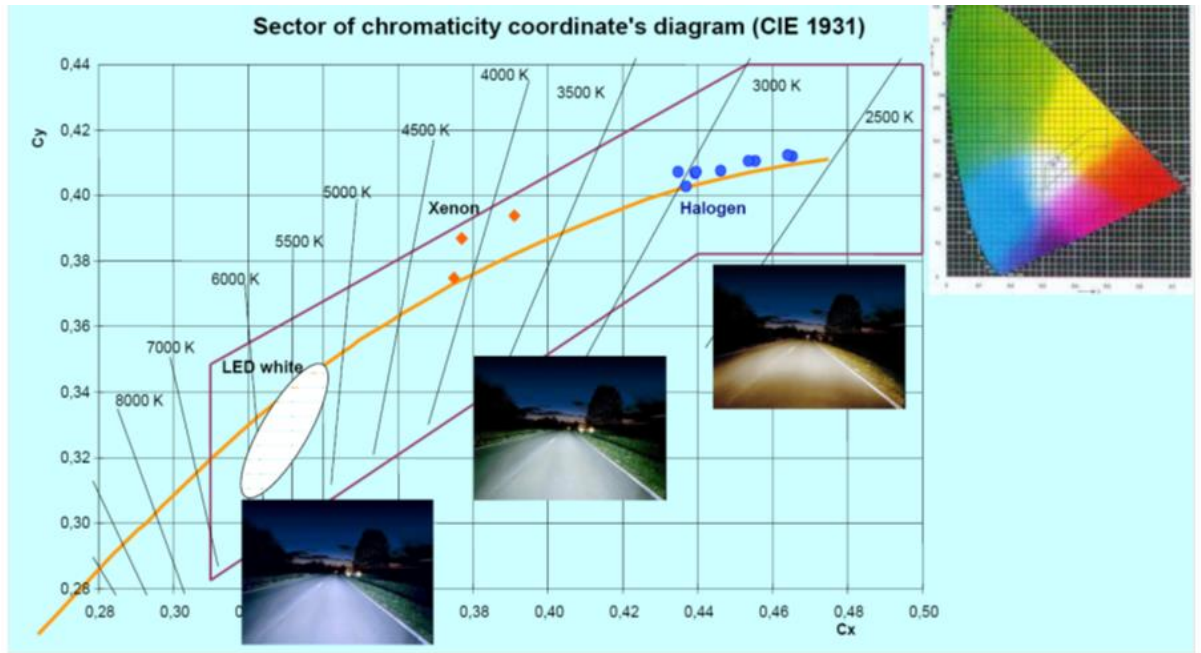


Figure 1.5.3.1 Sector of chromaticity coordinate's diagram [9].

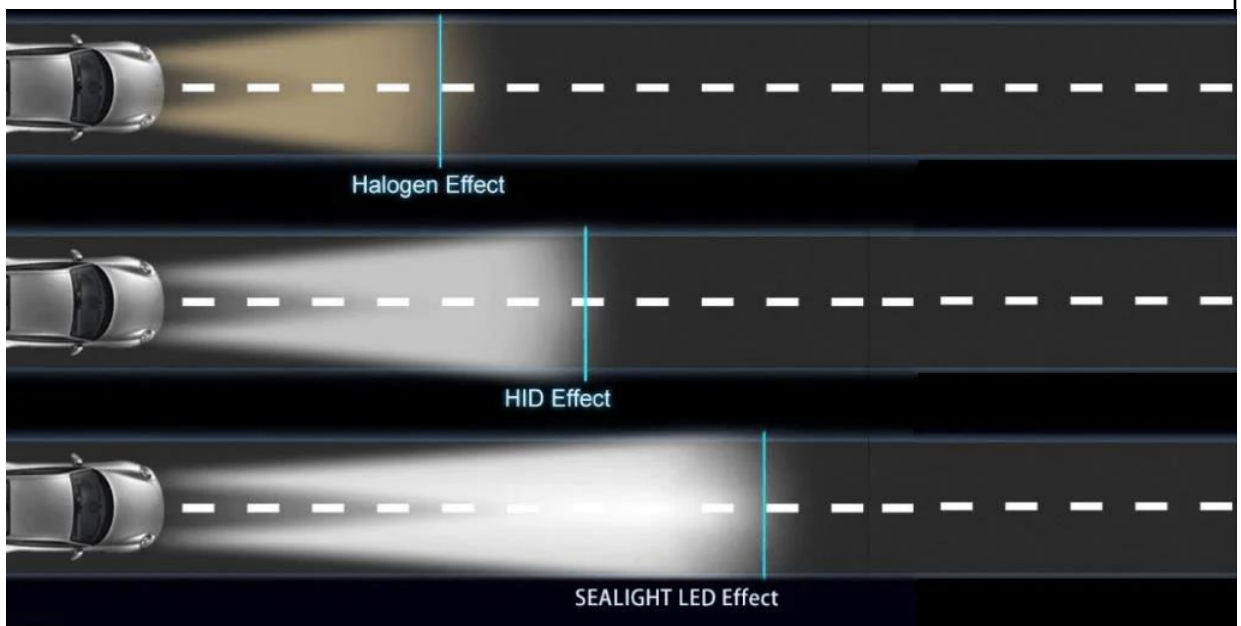


Figure 1.5.3.2 Comparison of the halogen, HID (xenon) and LED light pattern [32].

1.6.1 Basic light source

Halogen bulbs

Halogen bulbs has been used since the 60s. The gas in the bulb is a mixture of iodine and bromine [2, 22, 24].

The halogen light bulb is usually a small glass bulb to reach the desired temperature. The smaller bulb is more compact and keeps more places to headlight design, but the glass of the

bulb is made of silicon, which is prone to impurities that can cause the bulb to explode [28, 29].

A halogen bulb can have two filaments, therefore can fulfil combined function of the low beam and high beam [27].

Halogen bulbs are marked with letters and numbers e.g. H1 (high beam), H3 (fog light), H4 (two fibre bulb for low beam headlamps and high beam of the main car headlamp) or H7 (low beam headlamps).



Figure 1.6.1.1 Example of a headlamp with a halogen bulb a) in the final form, b) decomposed [2].

Xenon lamp

Xenon lamps are so called HID (high intensity discharge light source). Discharge lamp does not have a filament, light is produced by direct discharge between two electrodes. The electrodes are mainly made by tungsten because of high temperatures of the discharge (over 3000°C). The discharge is formed by impulse (around 24 000V) from the start-up module, which is part of the xenon lamp (as the electric control unit also). The discharge usually takes place in xenon vapours. The colour of the light depends on the atomic structure of the used gas. The colour temperature of xenon lamps is higher than in case of halogen bulbs, that means that the colour is closer to the colour of daylight, which is better for the conductor of the vehicle [26, 30].

Xenon headlights produce approximately 200% more light than halogen headlights. The decrease in consumed energy is less than a third [2, 30].

Xenon lamps are mostly used for high beam headlamps. When the lamp can change from low beam light to high beam light it is called Bi-xenon lamps [30].

The most used xenon lamps are D1/D2 (because the contain of the mercury is less used), D3/D4 (without mercury).



Figure 1.6.1.2 Example of a headlamp with a xenon lamp a) in the final form, b) decomposed [2].

LED

The LED technology allows longer service life with lower energy consumption of headlights.

This light source is very compact so there is more space in the headlamp and therefore more possibilities for design of the reflector.

The LED is an electronic semiconductor device containing a P-N junction [2, 14].

The rise to full light power takes a very short time, units of milliseconds. LEDs cover the entire light spectrum, so their use is extensive. Its colour temperature is the closest to the colour of light [31].

In the past, LEDs were used for brakes and turn signals, now with their use they have spread to all car lights (low beam, high beam, etc.) [4].

LED sources can be a single chip (where there is only one LED source on the PCB) or multiple chips (in this case there are more P-N transition chips).

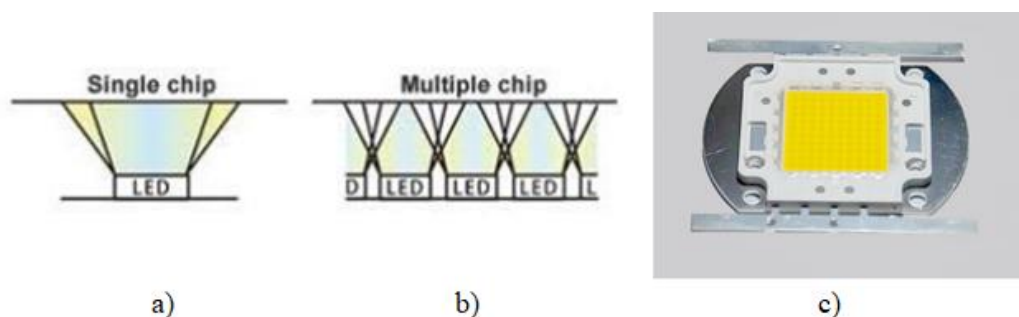


Figure 1.6.1.3 Schema of the a) single LED chip source, b) multiple chip sources, c) chip source photo [53].



Figure 1.6.1.4 Example of a headlamp with a LED source a) in the final form, b) decomposed [2].

The advantages of LED diodes [2, 14, 30]:

- very efficient and energy efficient,
- very long service life,
- vibration resistant,
- low heat loss,
- coverage of the entire light spectrum,
- almost monochromatic light source.

The disadvantages of LED diodes [2, 24]:

- in case of high heat, the operation decreases,
- high price.

LED sources can be used in connection with several optical systems as LED in reflector systems, LED in projector systems, LED with total reflection system, laser, DMD or micro.

Defogging and cooling systems

Headlights must have a defogging function. For LED sources which are highly heated, there are also requirements for cooling, which can be passive or active [34, 52].

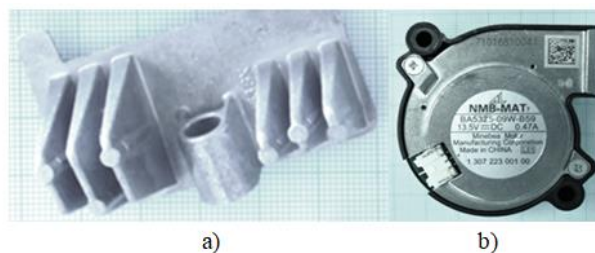


Figure 1.6.1.4 LED cooling systems a) passive, b) active [52, 55].

Conclusion for the light sources

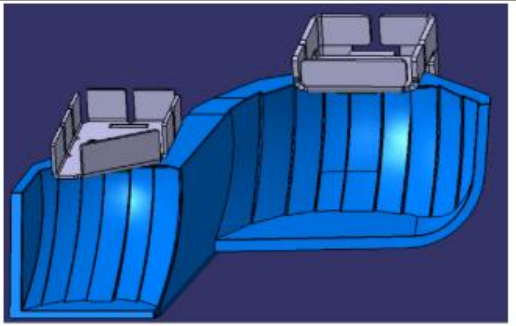
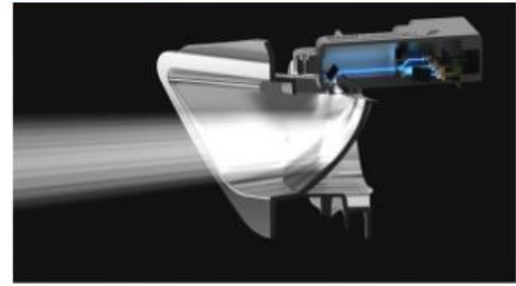
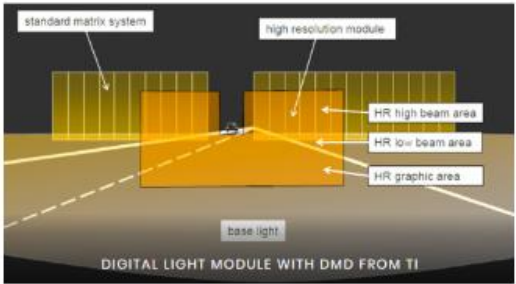
The light sources in mass production in the automotive industry must allow maximal design variability in combination with high effectiveness, long service life and other

requirements as the daylight colour or high luminance. All these requirements are met by LED sources.

1.6.2 Innovative headlights using LED technology

The systems using LED technology can be divided into three groups.

Table 1.6.2.1 Division of the LED sources [2, 66, 95]:

Basic LED		Basic LED source (described earlier)
High performance LED		Advanced LED, Laser
Advanced <u>techlonogy</u>		Pixel/matrix, DMD (Technology in development)

Advanced LED and Laser

The technology of advanced LED is based on a continuous collaboration of an LED source matrix and modules which creates several main lighting modes in different combinations. The driver does not need to switch the light (low/high beam) because it is made automatically by the computer-driven system control that receives data about the speed, other vehicles and obstacles on the road and modify the final light as required [2].

The laser's first application is spot laser high beam systems, first introduced in 2014 in the BMW i8. Systems are also being developed that can be used for all types of lighting.

The laser consists of a module with four diodes. Laser diodes are particularly impressive due to their small size: one laser diode generates an almost spot luminous flux of a few thousandths of a millimeter. The light from the diodes is directed to the fluorescent phosphor layer, where the colour temperature of the laser is changed from blue light to white light (5500 K). The brightness of a laser headlights is four times larger than for LED sources, they also have twice the range (up to 600 meters) and 30% greater efficiency. The use on the market is so far limited due to safety risks (risk of eye damage) [58, 64].

Pixel/matrix highlights

This technology allows to program and to project the light onto the road with spot accuracy. Pixel high beams works on the principle of DMD- digital micromirror devices. On the chip of a pixel light source, there are thousands of small micromirrors of the size of one pixel (depending on the resolution), every of these points can be regulated by a program. Every headlight has three of these chips. Thanks to this technology, it is possible to project information symbols on the road. In the future it may be also be possible to use high-beam headlamps in normal traffic (glare-free high-beam headlamps), where the area in which the oncoming vehicle is not irradiated [42, 58, 60].

Marelli Automotive Lighting started the development of the DMD technology and micro-LED arrays, for both technologies is combined the HR module (high resolution) and the supporting conventional background matrix system with 12 to 84 segments [56].

1.7 CONSTRUCTION OF HEADLAMPS

The main function of the headlamp is lighting, for the user to see, for the pedestrian to be seen, on this aspect is made the legislation all the process of development, testing and construction [34].

In the development of a new product, emphasis is placed on safety, functionality, appearance, cost, production time, number of pieces and, last but not least, quality.

1.7.1 Project life cycle

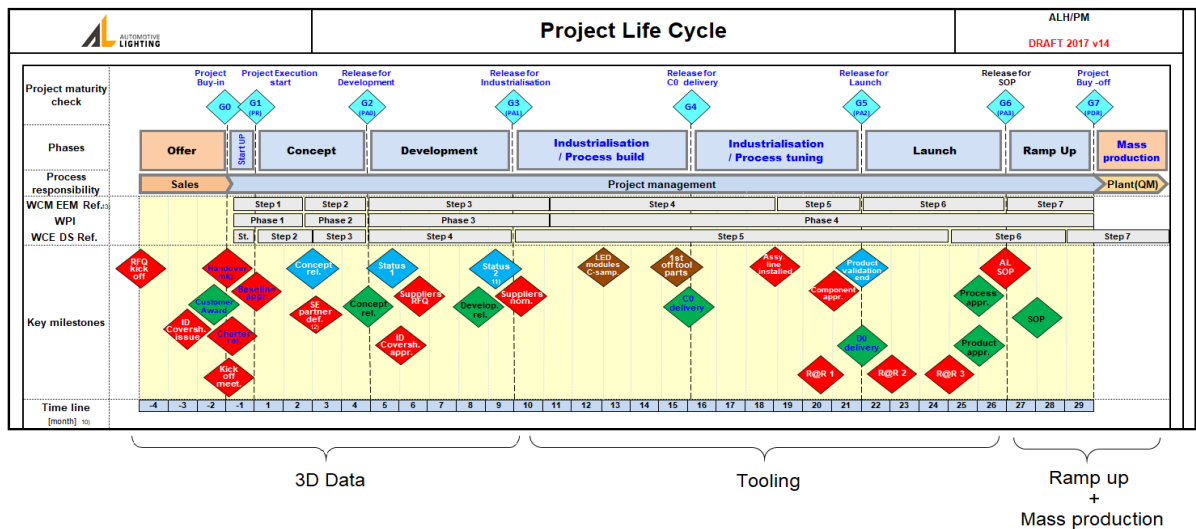


Figure 1.7.1.1 Example of the project life cycle graphics used in Automotive Lighting company [96]. Every project has several main steps which have to be completed before the serial production. The task begins with an offer made by a client. The offer is then processed and the first part of the project starts – life cycle which is 3D data. The second part is tooling and the last one is ramp up and serial production. This process takes months.

During the whole development process, means that facilitate the prevention of problems are used. These prevention means are methodologies developed to control the quality, functionality and proper development of the process. One of the most used models is FMEA (Failure mode and effects analysis). FMEA accompanies the development from the beginning to the end, it is an open document that is dynamically modified after each design change, optimization, after complaints, large scrap. The aim is to increase the safety of functions, product reliability, reduce costs, extend service life and to detect errors at the earliest possible stage of development. With FMEA, 70-90% of possible discrepancies can be detected. The quality of the product determined at 80% by the pre-production stages.

1.7.2 3D Data

The process of development is based on the client's requirements and starts with 2D+3D data creating. The customer delivers a model and specifications that describes the product parameters such as function, light output or colour. It also encloses the specifications of the body structure, the external surface of the headlamp and the processing requirements [96].

Based on the input of the model and specifications from the customer a computer visualization and a light sample are created. In this phase the headlamp housing are defined and the decorative and functional parts of the headlamp are chosen. Then a 3D model is created to prepare appearance of a prototype and of the optical system of the headlight and its installation in the assembly [96].

The next step is simulation using software that facilitates headlight analysis. CAE (computer aided engineering) allows the creation of stress-strain, thermal, stress analysis and finding boundary conditions that help optimize the model before prototype production [96].

After simulations in the CAE software, are created complete models and production documentation in CAD (computer aided design).

1.7.3 Tooling

When all 3D data is completed and the technical documentation is made, the next part of the project life cycle starts. The next step is tooling [96].

The tools used for production are divided into prototype and serial. Most parts in a headlight are made of plastic, apart from electronic components and small parts which are often made of metal stampings or blanks [96].

The plastics used to make the headlight can be divided into two groups:

- thermoplastics,
- thermosets.

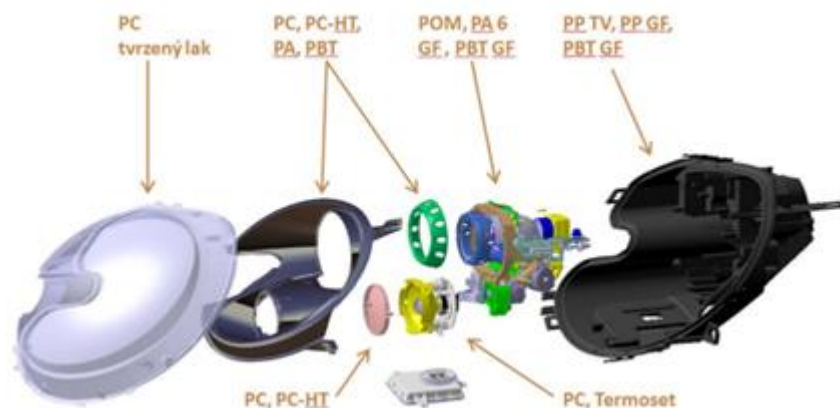


Figure 1.7.3.1 Decomposed headlamp showing plastic material used to the construction [35].

1.7.4 Thermoplastics

Thermoplastics have the capacity of being molded and remolded repeatedly. The orientation of fibres is random, so the composite behaves as an isotropic material. Depending on their chemical composition and structure, thermoplastic can be like rubber or can replace aluminium parts. They are lightweight, high strength and the cost of the process of their treatment is low. It's point of melting is low so it is favourable to use fillers to increase the heat resistant capability [67, 68].

The main representatives of thermoplastics for headlights are PP polypropylene, PC polycarbonate and PBT polybutylentereftalat.

PP polypropylene

Polypropylene is a semi crystalline thermoplastic. These types of plastics are flexible and tough, resistant to UV lighting, alcohol and organic solvents. Polypropylene is well weldable, but sticks badly. It is not prone to internal stress [35, 69, 70].

PC polycarbonate

Polycarbonate is a non-crystallin amorphous transparent thermoplastic. Its main advantage is high-performance tough, high impact strength, high dimensional stability, good electrical properties and also great heat and chemical resistance. For its very good optical properties it is usually used in production of lenses, windows of vehicles, cover glass etc [35m 71, 72].

PBT polybutylentereftalat

PBT is a semi-crystalline technical thermoplastic made of polyester. Its main characteristics are high strength, hardness, stiffness and resistance to thermal deformation and solvents. It has good friction and wear properties [84, 85].

1.7.5 Thermosetting

Thermosetting plastics are formed from long chains of molecules. The difference between thermosetting plastic and thermoplastic is that thermosetting plastic cannot be remoulded if it is once shaped and moulded. They have high melting point, high tensile strength. This type of plastic cannot be recycled [73, 74].

BMC duroplastics

A bulk moulding compound (BMC) is a bulky mixture of chopped glass fibres, resin, paste and fillers. BMC has low tensile properties, high thermal resistance and is low cost. BMCs are fireproof. They represent the most efficient replacement of aluminium and thermoplastics [75, 76, 77].

1.7.6 Plastic injection

The shape of the product is determined by its 3D model. The design of the product must take into account the appropriate position of the parting plane: method of moulding; inlet and ejection system, venting, bevels, accuracy, appearance, etc.

The technology of moulding is divided to:

- forming- big changes of default shape of material (injection moulding, pressing, casting, rolling and others)
- shaping- starting from a blank (shaping plates or bending pipes)

- complementary- preparation of the granulate, printing or plating of final product

Usually, all three technologies are used to obtain the required final product.

1.7.7 Production of moulds

The production of moulds and their surface treatment play an important role in the final surface quality of manufactured parts. Most of the injections forms are fabricated by milling or electroerosion. A decrease of production time and the cost is desired, therefore more and more forms are fabricated by high speed milling or use of 5-axis milling machines [89, 92, 94].

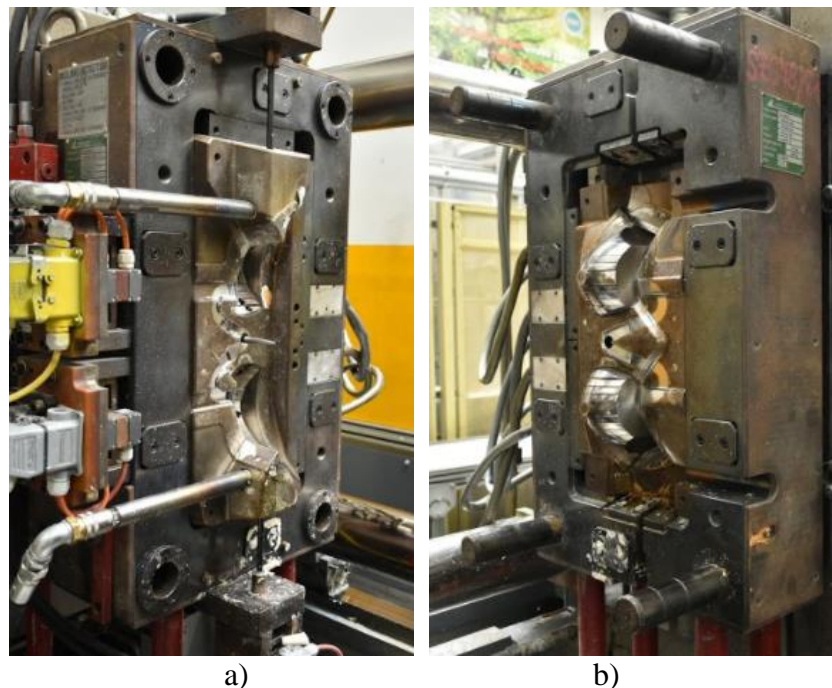


Figure 1.7.7.1 The used in Automotive Lighting company forms placed in the plastic injection machine.

The objective of recent milling technologies is to increase the taken volume of material and increase cutting forces. For demanding machining technologies there is a need for special machines which are able to meet all requirements for form production (milling with taking larger volumes of material, milling pockets, milling complex forms...). The mould is formed from differently used parts so the whole form is not from only one material. The mould is divided into parts which are under high pressure; others are functional parts, construction parts [91, 92, 93].

The important factors to choose great material are [90]:

- great knowledge of the injected polymer,
- form of the final product- its complexity, dimensions,
- number of produced pieces,

- machinability of the mould material,
- required physical and mechanical properties,
- price.

The most used materials for moulds are steels. There exist a lot of types of steels with its specific properties. To obtain the mould with long lifetime and great quality, they are edited with thermal or chemical treatments, corrosion resistant finishing but also good form handling. The finished mould is then polished to achieve the desired surface roughness. The parts coming from the moulds are further modified by plating and varnishing [79-82].

1.7.8 Testing and ramp up

Every part of the car headlamp has to be homologated and must comply with regulations and have to fulfil the lifetime of the whole. When all requirements are defined, prototypes are tested and the final product are gradually developed according to client's choice. After the production of the prototype, part of testing, measurement and certification takes place. Although a large part of the tests were performed in the form of simulations using CAE, it is still necessary to perform physical tests to ensure safety. These are the FEM-finite element method, thermal tests, vibration tests and permeability tests [14, 34, 35].

The headlight components must be assembled and must stay fixed. The front headlights are more complex than the rear headlights and demand more testing and more precious control. The components are assembled as closed systems, where they must be protected by waterproof covers [14, 30].

1.7.9 Serial production

When the prototype is tested, optimized and approved by the client, serial production can start. The number of pieces that will be produced plays an important role. Large series consist of producing millions of pieces per year. That is why even small differences of price of the components used, can play a crucial role in influencing the production cost. In large-scale production, it is be appropriate to invest in the most automated process possible in order to maintain both the planned line cycle and product quality. In the case of small series, the purchase of expensive tools could affect the final price of the product too much.

2 DESCRIPTION OF THE CURRENT PROCESS

In this chapter the main concerned components are going to be described: F-lux (light source) and reflector. Then following aspects of the process are going to be described: technical process of assembling, workstation on the line, testing parts and tools.

The procedure of assembling of the optical sub-assembly consists of two main steps. The first step being mechanical positioning and fixing. The second step is optical illumination test and evaluation of light parameters. These two steps are consecutive and are part of the assembly line. Mechanical positioning consists of placing the light source in optically correct position, and then tightening/fixing the position using a self-tapping screw provided with "Precote" adhesive. Subsequent optical inspection is performed by means of a single-purpose automatic device, which on the one hand gradually lights up all optical sources, and at the same time evaluates the optical image of the respective reflector by means of a camera system. It is this optical system that is the source of the assessment of the conformity of the product with the standard, and at the same time the control mechanism eliminating non-conforming products.

To understand the problematics it is needed to understand all components of the assembly. The literature research part was made to understand automotive lighting in general to be able to analyse and optimize current problems on the assembly line.

2.1 F-LUX (LIGHT SOURCE)

F-lux is assembly of PCB (Printed circuit board) with multiple chip LED source, an R bin resistor (for LED flux bin information), a NTC (negative temperature coefficient-temperature sensor for thermal management), ECU (electronic control unit), connectors and heatsink.

The heatsink with PCB board (with ECU, NTC and R-bin resistor, LED source) has additional two pins (these pins are to put the F-lux in position in the assembly with the reflector), main connection of the PCB board with heatsink is made by the screw.

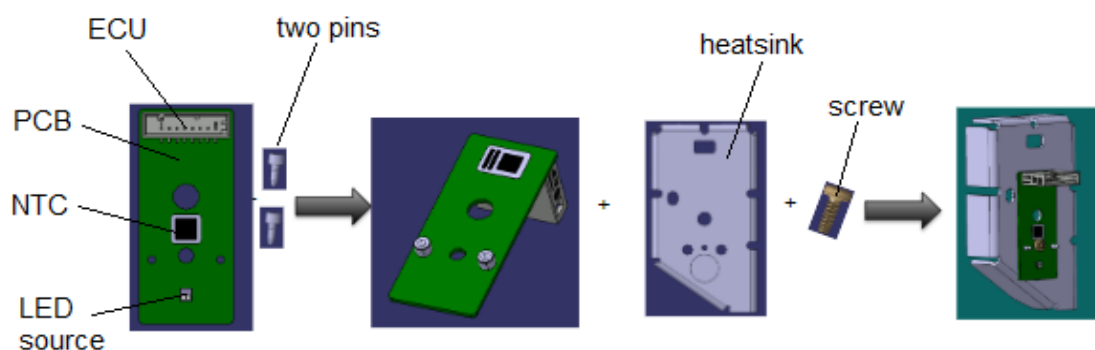


Figure 1.7.9.1 Assembly of the standard light source consisting of PCB with LED, NTC and R-bin, ECU, connector and heatsink [96].

F-lux can be in configuration with 2, 3 or 4 chip LEDs (depending on requirements on intensity of the light).

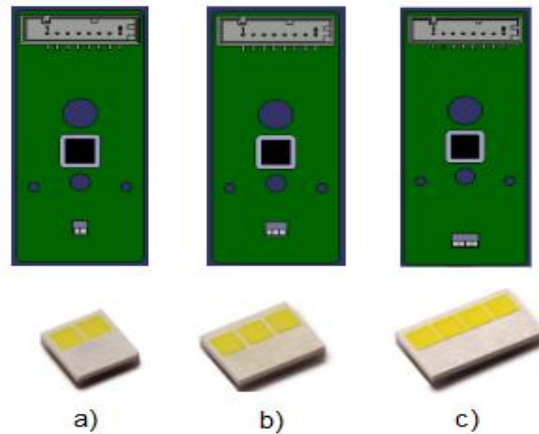


Figure 1.7.9.2 Assembly of F-lux: a) 2 chip LED source, b) 3 chip LED source, c) 4 chip LED source [67].

The shape of the heatsink depends on the number of LED chips. With higher intensity of the LED chip increasing its emitted heat also, the heatsink has to vary to dissipate heat as efficiently as possible.

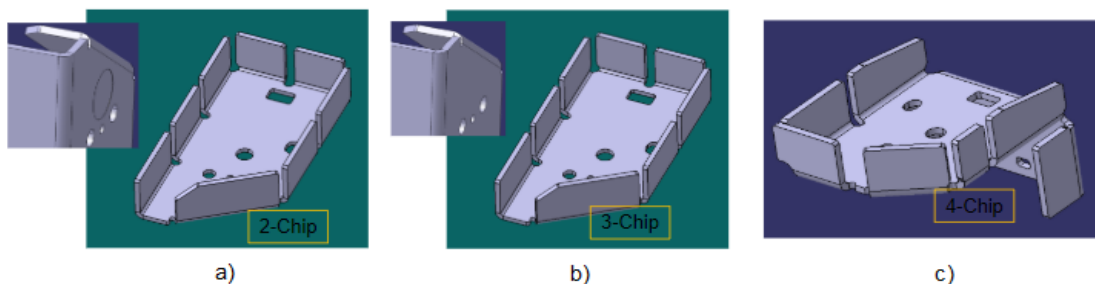


Figure 1.7.9.3 Heatsinks variety: a) heatsink for 2-chip LED source (with 150µm pocket below LED), b) heatsink for 3-chip LED source (with flat plate), c) heatsink for 4-chip LED source (with shape modification) [96].

2.1.1 Heatsink material

The heatsink is made of sheet metal, which is made of aluminum alloys. Alloys are used, due to the need for sheet metal ductility and lower hardness (HB 50).

2.1.2 PCB material

The PCB board is made of FR-4 PCB, the material is non-flammable woven glass reinforced with epoxy resin.

2.1.3 Screw

It is a self-sealing screw, which is made of 19MnB4 steel, with a yield strength of 1000 MPa.

2.1.4 The Master/Slave configuration

The Master/Slave configuration is an asymmetrical control, where the main device (Master) controls other devices (Slave) to reduce cost (ECU only on Master F-lux). Master F-lux can control the current (nominal and over the temperature) supplied to the unit in connection with ECU. The Master F-lux has to take place on the hotter area on the reflector. Slave F-lux cannot control the current but supplied in serial with the Master unit.



Figure 2.1.4.1 Example of Master/Slave configuration [96].

2.2 REFLECTOR

Reflector has several reference points/areas with specified tolerances. For every axis one or more reference points/areas exist.

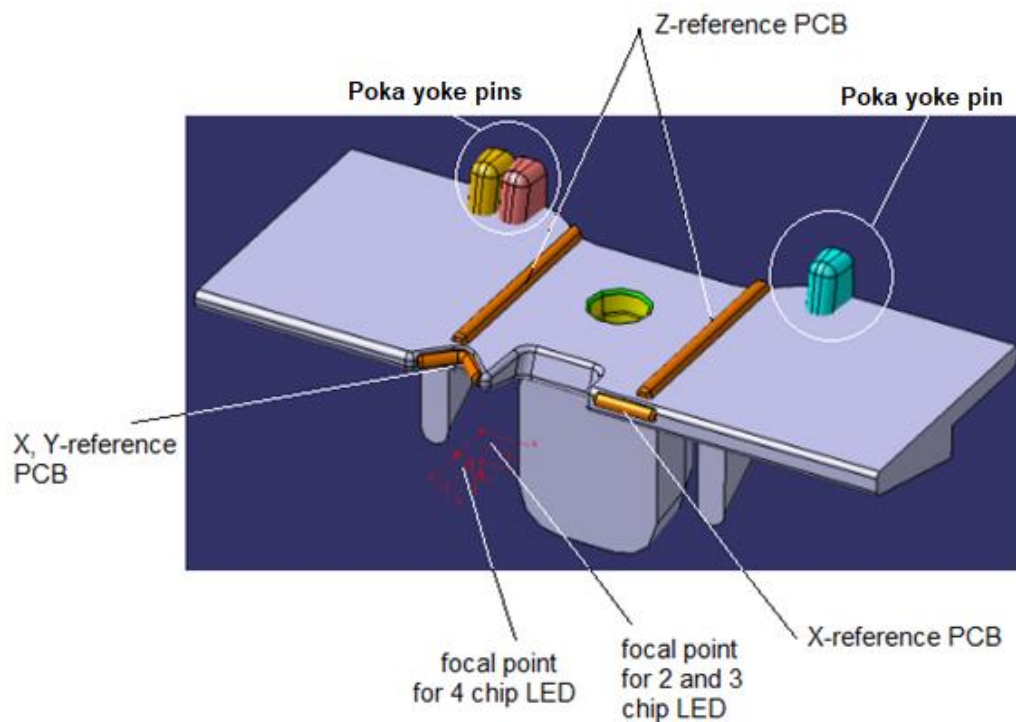


Figure 2.1.4.1 Description of top part of the reflector, area where the F-lux is positioned and attached. [96].

The connection of reflector and F-lux plays a crucial role in the output light requirements. The reference points are adjusted to guarantee the most accurate position in which the F-lux will be fixed to the reflector. Figure 2.1.4.1 shows the reference points/ areas in orange. The position pins are on the reflector so that the operator can be sure that he has selected an F-lux that is oriented in the right direction (the F-lux may be mirror-inverted or may have a different heatsink design depending on the number of LED chips).

The reference areas in axis X are: one straight surface and another one in V-shape, the pins on the F-lux are in touch only pointly to eliminate the unwanted friction of two surfaces.

The reference area in axis Y is V-shaped surface.

The reference area in axis Z are two surfaces on the top of the reflector, these are two "lines" that have a semicircular cross-section so that the F-lux touches as small area as possible to not raise further friction, but at the same time to hold it stable.

The poka yoke pins are on the reflector to define the right shape of the heatsink of F-lux, the F-lux can vary and poka yoke pins are there to help operator to use the right one.

The reflector is made of BMC plastic, which is plated with aluminum and painted.

2.3 THEORETICAL ASSEMBLY SEQUENCE

The theoretical procedure was designed to be as simple as possible, but at the same time effective. The aim is to fix the F-lux to the reflector in a precisely determined position, which guarantees that the output light will meet all requirements (light intensity, sharp transitions in the low beam, intact light cone, etc.).

The procedure for fixing the F-lux to the reflector is:

1. Read DMC-code on the rear side of the heatsink.
2. Put F-lux on the supporting surface.
3. Ensure contact of pins in the reference points (mainly in X,Y axis) of the reflector.
4. Push F-lux slightly down.
5. Pull back F-lux (in x direction) with max. force 50 N. (Reflector is assembled in a jig. F-LUX will be placed on top of the reflector and located into the pulling back cylinder.)

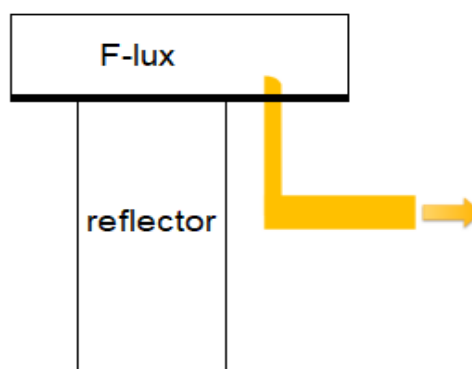


Figure 2.1.4.1 Scheme of the side for step 5.

6. Push the F-lux hard down and fix with a screw.

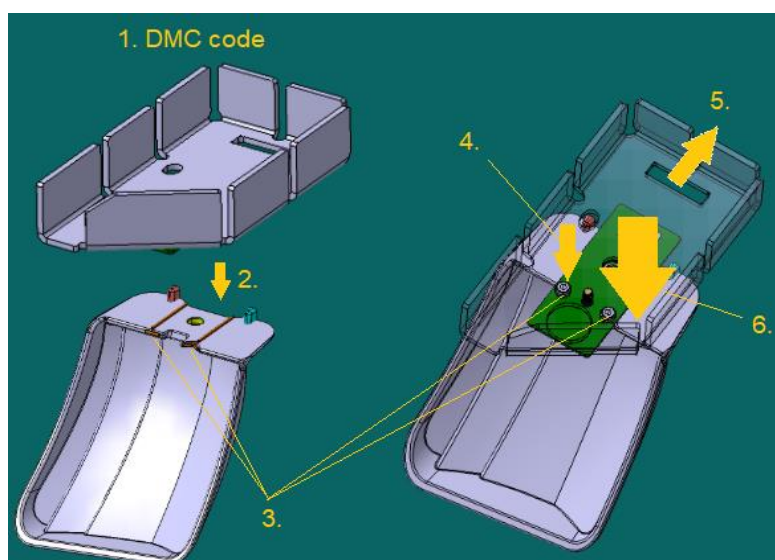


Figure 2.1.4.2 Steps to assembly F-lux with reflector [96].

2.4 EXAMPLE OF THE THREE MODULE REFLECTOR

As has already been stated, the reflector can have various forms, but the optical requirements are the same- low beam with strictly defined COL and HB with longer afterglow distance (higher intensity of the output light).

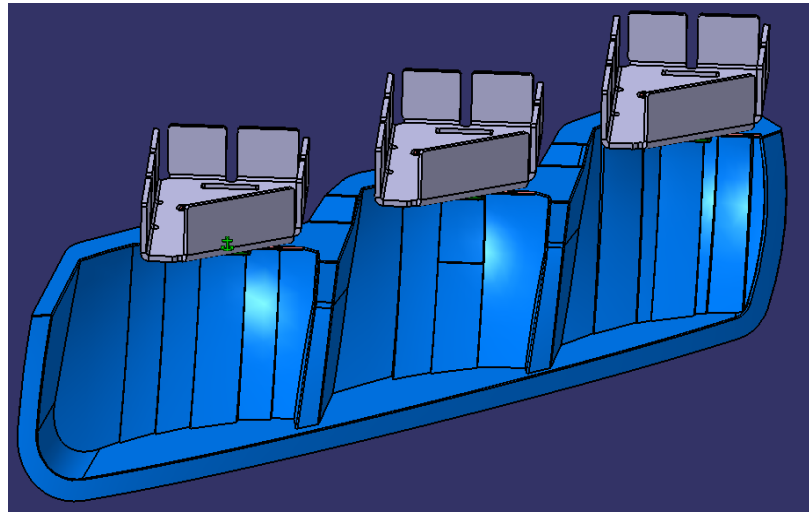


Figure 2.1.4.1 Application of a three module reflector [96].

Three module reflector is composed with three F-lux, the intensity of the light is done by number of LED chips, which can be 2 chip LED, 3 chip LED or 4 chip LED, the intensity changes (usually to increase) can be demanded by the client, but cannot exceed the value given by the legislation. Also the Master/Slave configuration could be used.

The reflector is mounted within the reflector optical system, with veneers. The veneers refract light from the LED chips into the desired light output.

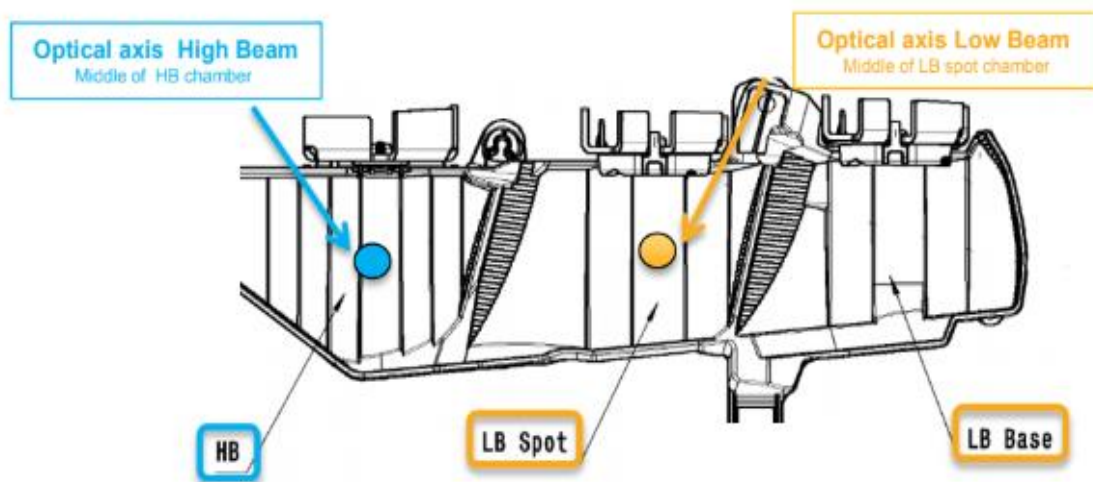


Figure 2.1.4.2 Description of exemplar three module reflector [96].

2.4.1 Low beam

The low beam is composed by LB spot- which defines the COL and the LB base which complete the light output to obtain full LB light image as can be seen on the schema (figure a)) and the photo of the low beam light figure b).



Figure 2.4.1.1 LB composed by LB spot and LB base: a) photo from testing, b) schema [96].

The Figure 2.4.1.2 a) shows a low beam spot module with veneers and its light distribution which is dissipated more on the right side of the V-V line. LB spots define the COL and the main light of the low beam. To illuminate all the roadway, LB base (Figure 2.4.1.2b)) has its center of highest intensity of the light on the left side of the V-V line. The LB base has a modified shape of the reflector to illuminate areas of the traffic signs to guarantee the driver better visibility and orientation.

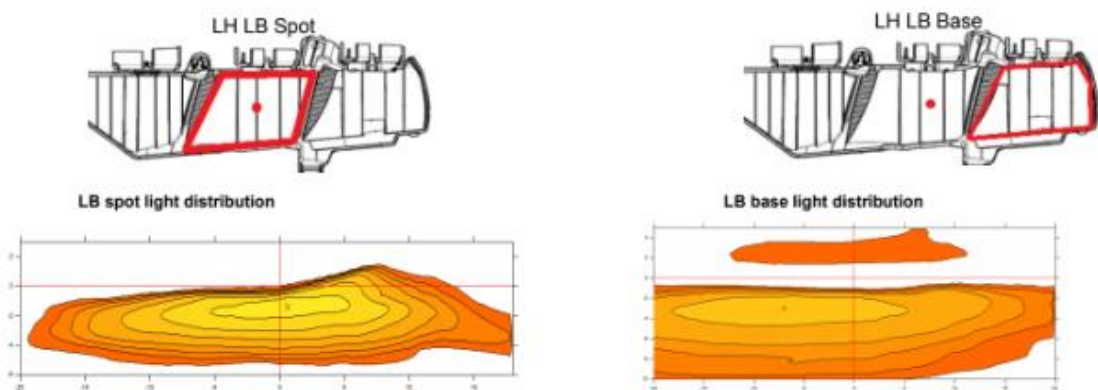


Figure 2.4.1.2 Light distribution of a) LB spot and b) LB base [96].

LB (LB spot + LB base) photometry requirements		
photometric characteristics	luminous intensity	Remark
Point with maximum Intensity I_{max}	$I_{max} > 32\ 000\ cd$	
Intensity E50R	$I > 24\ 000\ cd$	
Intensity E50V	$I > 18\ 000\ cd$	
Intensity HV	$I < 600\ cd$	

Figure 2.4.1.3 Photometry requirements for the low beam [96].

2.4.2 High beam

High beam is composed of the light of all three modules- LB spot, LB base and HB. Light of high beam complements the light of low beam and creates a light image that illuminates a larger area in front of the vehicle, more intensely and over a longer distance.

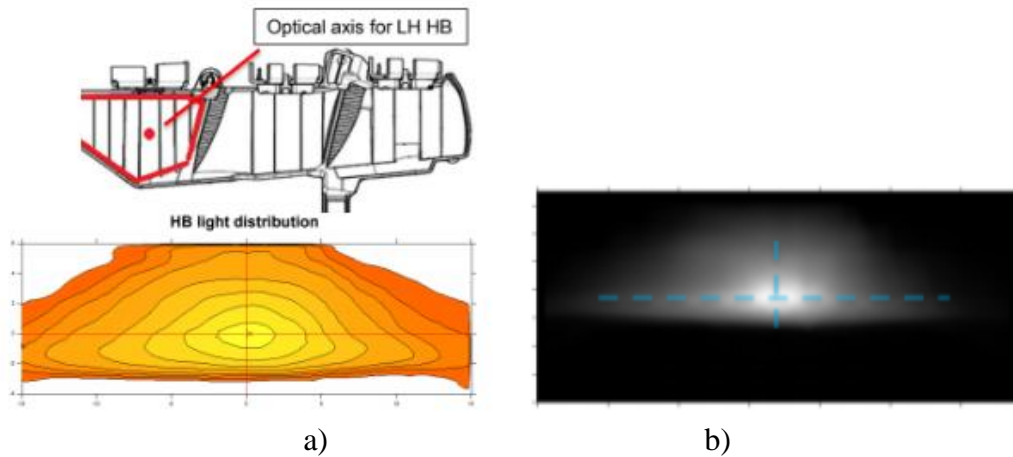


Figure 2.4.2.1 HB light distribution a) reflector with optical axis for high beam and the light distribution schema, b) photo from testing chamber [96].

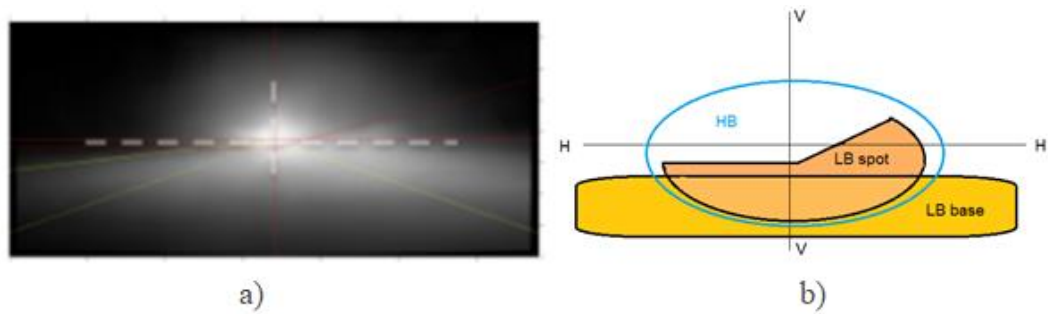
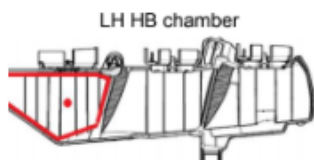


Figure 2.4.2.2 HB light distribution: a) photo from testing, b) schema of composition of three modules output light [96].



HB (only) photometry requirements		
photometric characteristics	luminous intensity	Remark
Point with maximum Intensity I_{max}	$I > 85\ 000\ cd$	

Figure 2.4.2.3 Photometry requirements for the high beam [96].

2.6 THE CURRENT ASSEMBLY PROCESS

The assembly process on this part of the production line consists of assembly of the F-lux (light source) and the reflector respecting the positioning and optical requirements as intensity of the light and correct lighting of modules of the reflector (low beam spot + base, high beam).

The operations at this workstation are divided into assembly of the F-lux on the reflector, optical testing and packing part.

It is necessary to take into account that at this workstation there are more projects, often for different clients. Therefore, there is not only one type of reflector on the line. There is a different mounting fixture for each type. Operators must be prepared and trained both for the actual assembly of testing and packing, and for the replacement of the assembly jig (in the assembly post and in the optical testing also) so that the process takes place without disturbing the tact of the line, while at the same time all safety requirements are met. F-lux comes to the workspace already assembled (PCB board with ECU, LED chips and the heatsink).

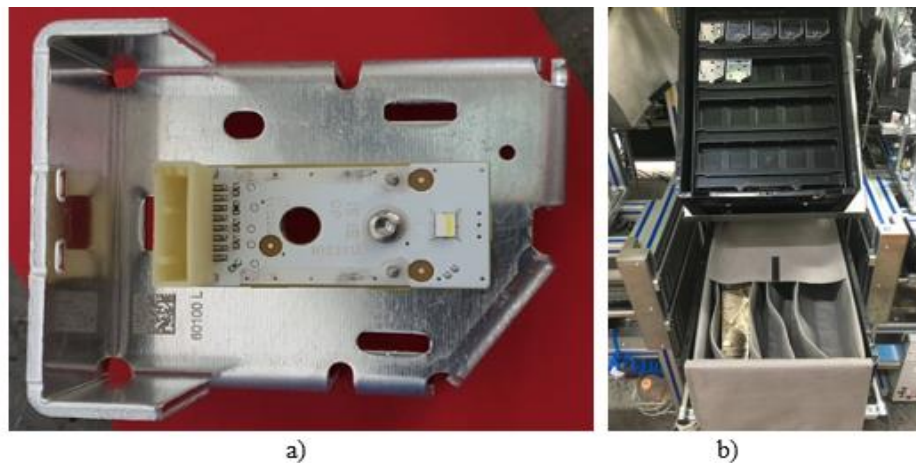


Figure 2.4.2.1 a) F-lux, b) storage of F-lux and reflectors on the workstation.

The first part is assembly of the F-lux on the reflector. The precision of this process is very important. The results of the optical outputs, which are tested in the next step of the line, depend on the correct positioning of the F-lux. In the case of incorrect assembly, when the product does not pass optical testing, it is discarded, which causes both financial losses and affects the takt of the line. The jig for mounting the given type of reflector and F-lux is positioned on the working table with four pins and maintained with a screw. The table is equipped with everything the operator needs for assembly. The assembly process is not automatized; it is made by an operator.

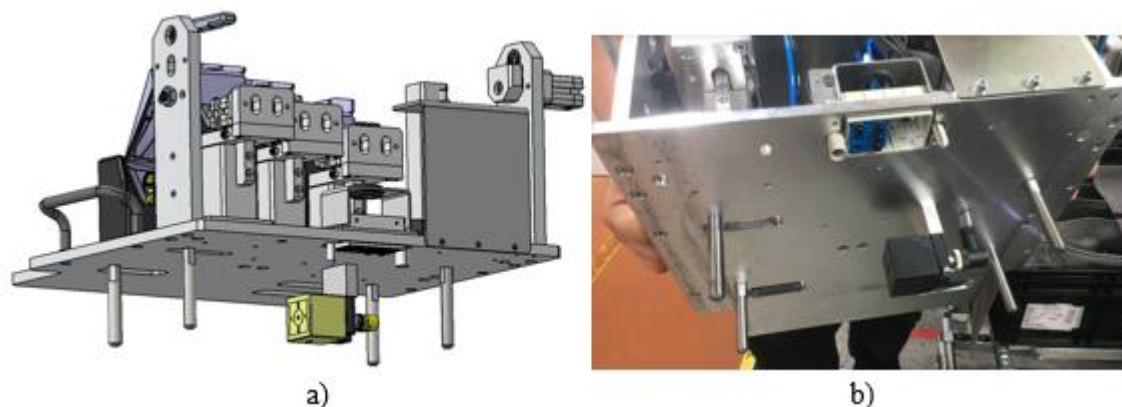


Figure 2.4.2.2 The mounting jig a) Catia model, b) photo on the production line.

The first step after fixing the mounting jig is to position and fix the reflector. The reflector is positioned on the mounting jig and is fixed.

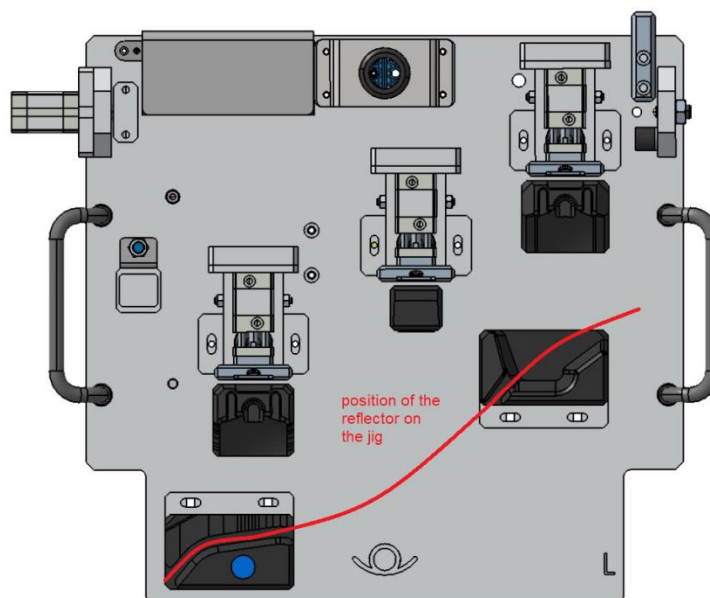


Figure 2.4.2.3 The mounting jig with marked position for fixation of the reflector.

Some of the F-lux needs to be equipped with plastic parts which are there to direct the flow of light.



Figure 2.4.2.4 a) the plastic part to direct the light flow, b) the plastic part on the F-lux.

The next step is to position the F-lux on the reflector and mount it. The process is based on the theoretical description from Chapter 2.3. The F-lux is positioned on the rod with a pneumatic system, which is used for fastening the pins in the contact in the X, Y position with reflector.

The rod pulls with the prescribed force by means of a pneumatic system, thanks to which the pins settle on the reference surfaces. In the Z axis, the F-lux is placed on a larger area of the reflector and then pressed by means of a plate, which is folded from above.



Figure 2.4.2.5 a) Detail on the pneumatic system, b) positioning of the F-lux.

When the F-lux is positioned in all axes, the operator proceeds to the assembly using a self-tapping screw that is screwed in with a predefined tightening torque. The assembly is performed with a direct pneumatic screwdriver. The screw is provided with an adhesive that prevents clogging of the reflective part of the reflector with dust and particles that would normally be formed during screwing.



Figure 2.4.2.6 Assembly of the F-lux on the reflector with the screw using a direct pneumatic screwdriver.

After assembling all F-lux with the reflector, the rod is released, the positioning plate is removed and, as well as the reflector is released.

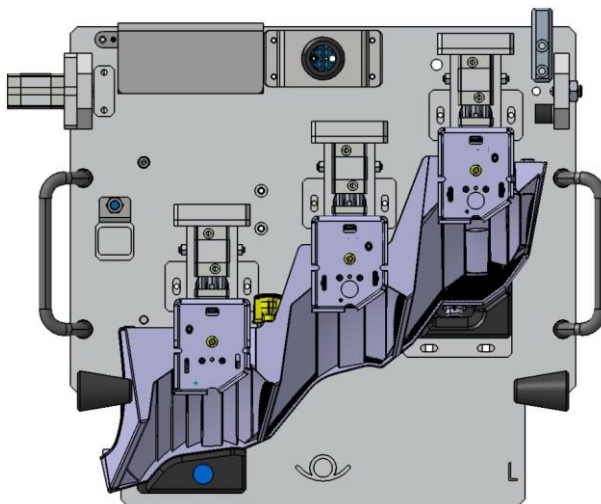


Figure 2.4.2.7 a) Positioning of the reflector, b) detail on the pneumatic system.

2.7 WORKSTATION

The workstation on the production line is in the hall in Střítež. Every part of the production line has its number and all the processes made (scanning of the product, testing, number of errors, scraps, time of assembly, time of testing, number of products and more) are stored in the internal system (DAQIS).

On the part of the production line where is assembled F-lux work one or two operators (depending on the project). One on the assembly post, other on testing, cleaning and packing post.

This workstation is divided into three main parts:

- assembly post,
- testing part,
- cleaning and packing post.

2.7.1 Workstation schema

As was already stated, the workstation is divided into three main parts: assembly post, testing post and cleaning and packing post. The workstation is organized logically with storage places where operator can put prepared product in the line until they can continue with it.

All needed work material is prepared in a specified position. Each part has inspection instructions and comment sheets, which help the operators in problematic points of assembly, attachment in the assembly jig or, for example, in the final inspection.

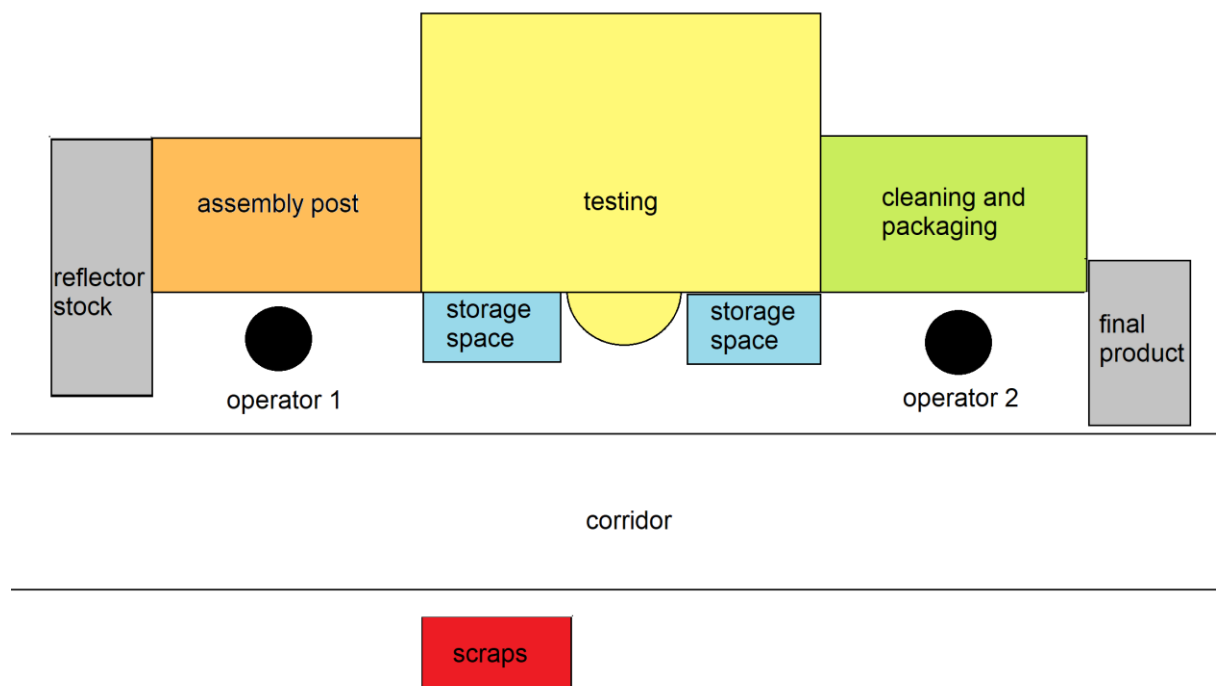


Figure 2.7.1.1 Workstation schema.

2.7.2 Production line flow

The tact of the line is one of the most important points in the serial production. Simple and clear line flow allows maintaining the line cycle.

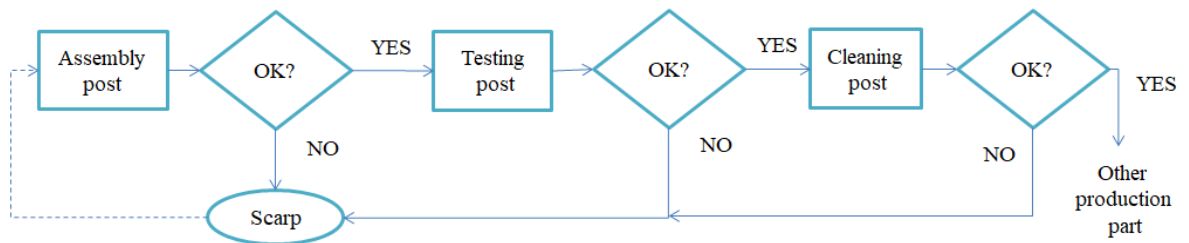


Figure 2.7.2.1 Production line flow.

2.7.3 Assembly post

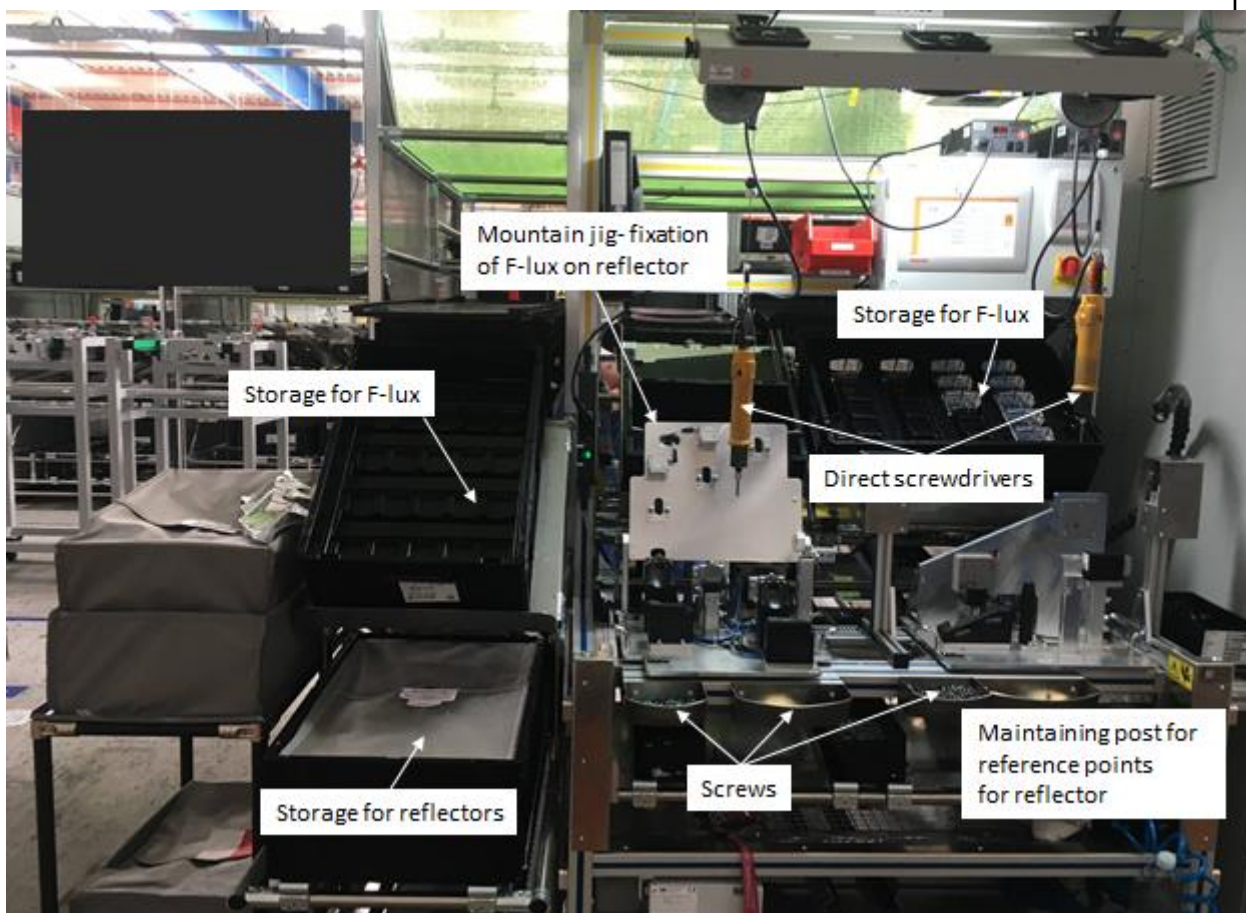


Figure 2.7.3.1 The assembly post.

The assembly post is divided into two parts. Assembly of F-lux on reflector part (described in the chapter The current assembly process) and fixation of the reference parts on the assembled module.

The post is equipped with the main parts- reflector and F-lux in separated boxes. The mounting jigs are stocked near the workstation to be available for the easy and fast exchanges.

The screws and additional plastic parts are stored in boxes connected to the worktable. The direct pneumatic screwdrivers are hanging from the partition above the workstation.

After the F-lux has been mounted on the reflector, the finished product is moved to the next part of the assembly post, where clamping (reference) points are screwed onto the reflector, by means of which is fixed for further installation of the car headlamp.

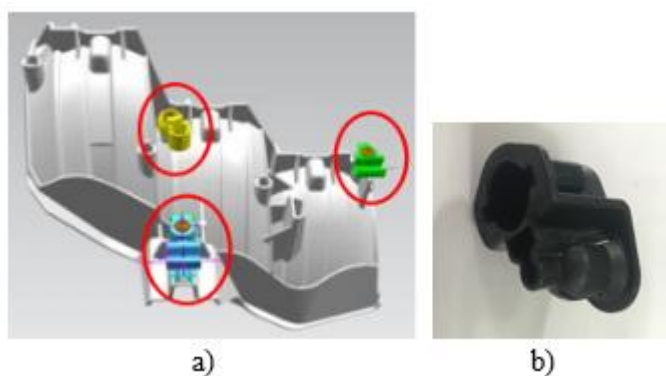


Figure 2.7.3.2 a) the Catia model of the reflector with marked reference parts b) reference part.

2.7.4 Testing post

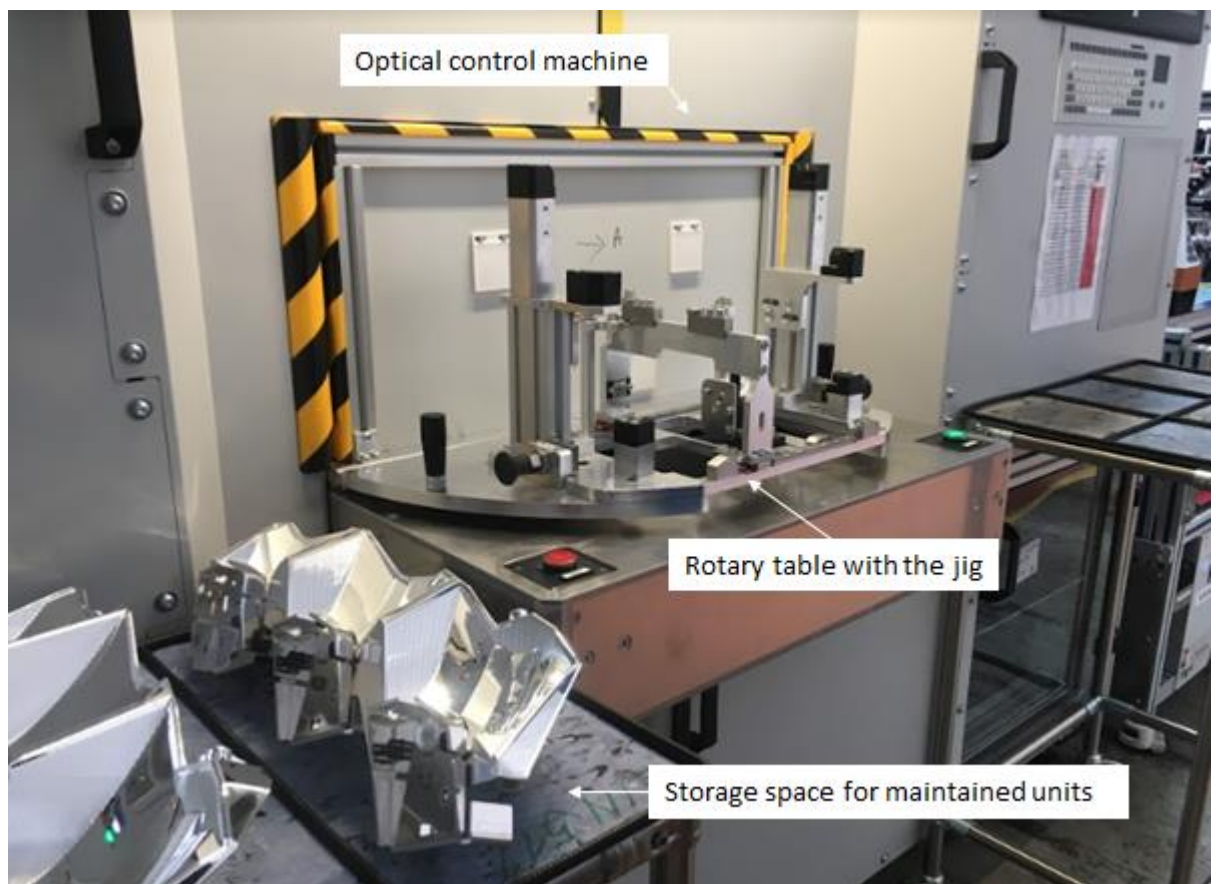


Figure 2.7.4.1 The testing post.

Second part of the workstation is the optical control of the assembling unit (F-lux on the reflector). Operator takes the unit and positions it on the mounting jig using the reference areas on the reflector. The mounting jig is on the turning table. When the reflector is ready, the table turns in the machine where all lighting tests are made for low and high beam.

EOL (end of the line)

The testing machine “EOL” works on the principle of Fresnel lens.

Because there is not enough space on the line for a machine to measure distances of 25m, 10m and 5m, the light is projected through a Fresnel lens, which breaks the light from the headlamp so that it can be tested at a distance of 0.5m.

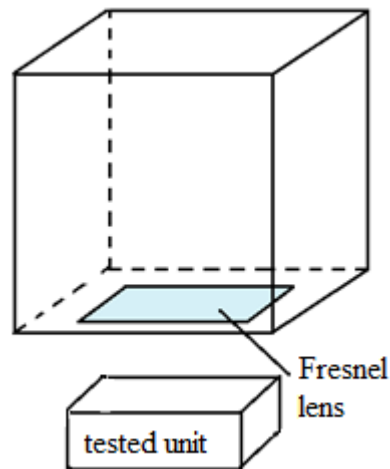


Figure 2.7.4.2 Tested unit (reflector with F-lux) in the EOL with a Fresnel lens

Golden sample

Testing is performed according to the Golden sample. This is a headlight that is 100% correctly adjusted, the EOL is adjusted according to it and the others are tested.

The required output depends on the standards given by the country for which the light is produced, as well as on the client's requirements.

There is a system throughout the production line where the information about the products are stored, the stages in which they are located, the testing they go through, the errors that occur.

At each station of the line, the piece is scanned and the obtained values are stored in the DAQIS system, in which any part of the line, any product, can be traced.

DAQIS

Company Automotive Lighting uses the system DAQIS. Every process and operation made on production lines is recorded in DAQIS. It is possible to set which production line will be analysed (each production line has its own number), in which time period, for which shift, for which product.

2.7.5 Cleaning and packing post

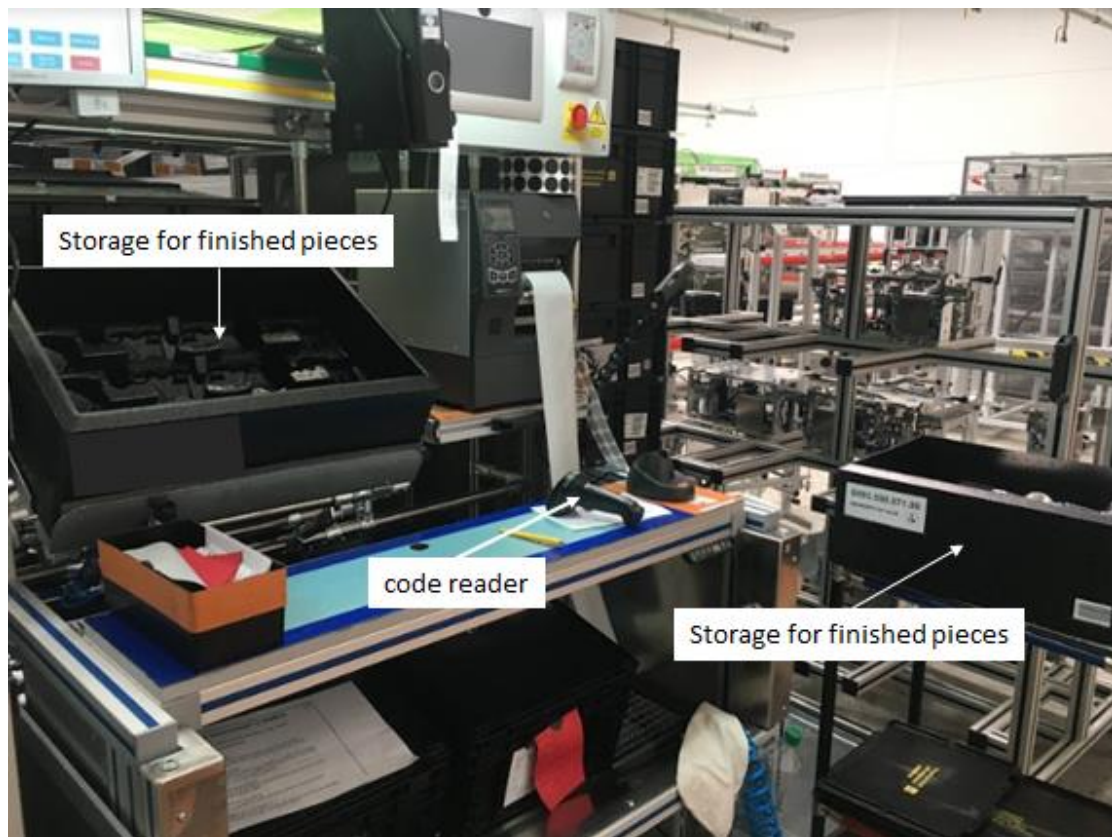


Figure 2.7.5.1 Cleaning and packing post.

If the reflectors pass optical testing, they proceed to the last part of this workstation - inspection and packaging.

The F-flux reflector is cleaned of possible impurities with compressed air and is visually controlled. The operator loads the final code, and the module is packaged and placed in a box, which will continue to the next part of the line, where it will be installed in the headlight.

2.7.6 Evaluation from DAQIS

As mentioned in 2.7.4, DAQIS is a system used in Automotive Lighting to create a product record. Of the values stored in DAQIS, the most important for this diploma thesis are two parts- reports of quality, reports of production.

From graphs and tables from DAQIS it is possible to make an analysis that will show how many products were produced, in what time period, by what group of operators, what was the error rate. Each post on the line has a predetermined goal - the number of products that should be produced per shift. These data are stored in the production report, where it is possible to find information about which shift was (three-shift operation works), how many pieces were actually produced, how many pieces were faulty.

Production report

Production							Error rate (Part)				Error rate (%)				Error rate PPM - ma		
Shift line	Team	Shift	MA	Plan	Produced	Difference	KOSU (%)	Repaired	Dismantled	Scrapped	Total	Repaired	Dismantled	Scrapped	Total	Repaired	Dismantled
LIN512	8I	Afternoon shift (8h)	2	193	0	-193	0	0	0	0	0						
LIN512	8G	Morning shift (8h)	2	100	0	-100	0	0	0	0	0						
LIN512	8K	Night shift (8h)	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
LIN512	8I	Afternoon shift (8h)	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
LIN512	8G	Morning shift (8h)	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
LIN512	8K	Morning shift (8h)	2	375	130	-245	34.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LIN512	8I	Night shift (8h)	1	189	360	171	190.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LIN512	8G	Afternoon shift (8h)	2	375	378	3	100.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LIN512	8K	Morning shift (8h)	2	376	13	-363	3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LIN512	8G	Afternoon shift (8h)	2	422	195	-227	46.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LIN512	8I	Morning shift (8h)	2	422	184	-238	43.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Records count: 11

Results per pag

Summarizing

Production							Error rate (Part)				Error rate (%)				Error rate PPM - max 3I	
Shift line	MA	Plan	Produced	Difference	KOSU (%)	Repaired	Dismantled	Scrapped	Total	Repaired	Dismantled	Scrapped	Total	Repaired	Dismantled	
LIN512	15	2452	1260	-1192	69.83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Figure 2.7.6.1 The example of production report.

In the reports of quality, it is possible to find a table that is sorted by time, so that all information about the product and its testing is recorded, if the values were in the tolerance field, it is marked OK. If the results deviated from the required values, the result is marked as NOK and an error picture from the tester is available. All operations made on the production line are recorded in the system where it is possible to find description of the product, its serial number, information about the product but also the results of the testing. The data sheet is available for successful tests and for not successful also.

D	26.02.2020 09:35:43	STATUS20110K3B0K4A0K3B****14080030920028022005067	1 408 003 092	AP26	OK	
D	26.02.2020 09:35:12	STATUS20110K3B0K4A0K3B****14080030920028022005066	1 408 003 092	AP26	OK	
D	26.02.2020 09:32:37	STATUS20110K3B0K4A0K3B****14080030920028022005065	1 408 003 092	AP26	OK	
D	26.02.2020 09:32:05	STATUS20110K3B0K4A0K3B****14080030920028022005064	1 408 003 092	AP26	OK	
D	26.02.2020 09:31:35	STATUS20110K3B0K4A0K3B****14080030920028022005063	1 408 003 092	AP26	OK	
D	26.02.2020 09:27:27	STATUS20110K3B0K4A0K3B****14080030920028022005062	1 408 003 092	AP26	NOK	[CheckBox: Start testu/OACheckBox 2 'StartTesting' " 0 0 (Wait=TRUE)/OAEERROR 'QInfo: 'LedModuleCheckTestState 5 'Stopped'/QAI/Acore_0
D	26.02.2020 09:25:11	STATUS20110K3B0K4A0K3B****14080030920028022005061	1 408 003 092	AP26	NOK	[CheckBox: Start testu/OACheckBox 2 'StartTesting' " 0 0 (Wait=TRUE)/OAEERROR 'QInfo: 'LedModuleCheckTestState 5 'Stopped'/QAI/Acore_0
D	26.02.2020 09:24:33	STATUS20110K3B0K4A0K3B****14080030920028022005060	1 408 003 092	AP26	NOK	[CheckBox: Start testu/OACheckBox 2 'StartTesting' " 0 0 (Wait=TRUE)/OAEERROR 'QInfo: 'LedModuleCheckTestState 5 'Stopped'/QAI/Acore_0
D	26.02.2020 09:15:37	STATUS20110K3B0K4A0K3B****14080030920028022005059	1 408 003 092	AP26	NOK	[CheckBox: Start testu/OACheckBox 2 'StartTesting' " 0 0 (Wait=TRUE)/OAEERROR 'QInfo: 'LedModuleCheckTestState 5 'Stopped'/QAI/Acore_0
D	26.02.2020 09:08:01	STATUS20110K3B0K4A0K3B****14080030920028022005058	1 408 003 092	AP26	NOK	[Vyprel as pro potvrzen ukonen vypalovachho cyklu. Vypalov bude ukoneno.
D	26.02.2020 09:06:39	STATUS20110K3B0K4A0K3B****14080030920028022005057	1 408 003 092	AP26	NOK	[CheckBox: Start testu/OACheckBox 2 'StartTesting' " 0 0 (Wait=TRUE)/OAEERROR 'QInfo: 'LedModuleCheckTestState 5 'Stopped'/QAI/Acore_0

Figure 2.7.6.2 The detailed description of the testing pieces.

In case that the testing was successful, the line is marked OK. In the data sheet all the results are equal 1.

D	25.02.2020 08:47:33	STATUS20110K3B0K3B0K3B****14080030920013022005472	1 408 003 092	AP26	OK
D	25.02.2020 08:47:03	STATUS20110K3B0K3B0K3B****14080030920025022005128	1 408 003 092	AP26	OK
D	25.02.2020 08:45:53	STATUS20110K3B0K3B0K3B****14080030920025022005127	1 408 003 092	AP26	OK
D	25.02.2020 08:44:56	STATUS20110K3B0K3B0K3B****14080030920025022005126	1 408 003 092	AP26	OK

Figure 2.7.6.3 The 'OK' results of testing.

When there are some incorrections in the testing, the line is red and there is marked NOK.

D	25.02.2020 08:39:39	STATUS20110K3B0K3B0K3B****14080030920025022005120	1 408 003 092	AP26	OK	
D	25.02.2020 08:38:06	STATUS20110K3B0K3B0K3B****14080030920025022005119	1 408 003 092	AP26	NOK	Kontrola rozhran HB NOK Imax HB NOK
D	25.02.2020 08:36:04	STATUS20110K3B0K3B0K3B****14080030920025022005119	1 408 003 092	AP26	NOK	Kontrola rozhran HB NOK Imax HB NOK
D	25.02.2020 08:34:50	STATUS20110K3B0K3B0K3B****14080030920025022005118	1 408 003 092	AP26	OK	

Figure 2.7.6.4 The 'NOK' results of testing.

In the data sheet is marked equal 1 when the result is OK and 0 when there is the result with mismatched values (NOK).

```
[LB_Base]
ResultOK=0
KinkPointX=-1.324
KinkPointY=-1.101
AimboxLeftUp=-5.000,1.100
AimboxRightDown=5.000,-1.100

[HB]
ResultOK=1
KinkPointX=-0.196
KinkPointY=-0.439
AimboxLeftUp=-0.500,0.500
AimboxRightDown=0.500,-0.500
```

Figure 2.7.6.5

Example of the data sheet with both: result 'OK' =1, and result 'NOK'=0.

Thanks to the analysis of errors using DAQIS, it is possible to find the cause of the error rate and optimize it.

Quality report

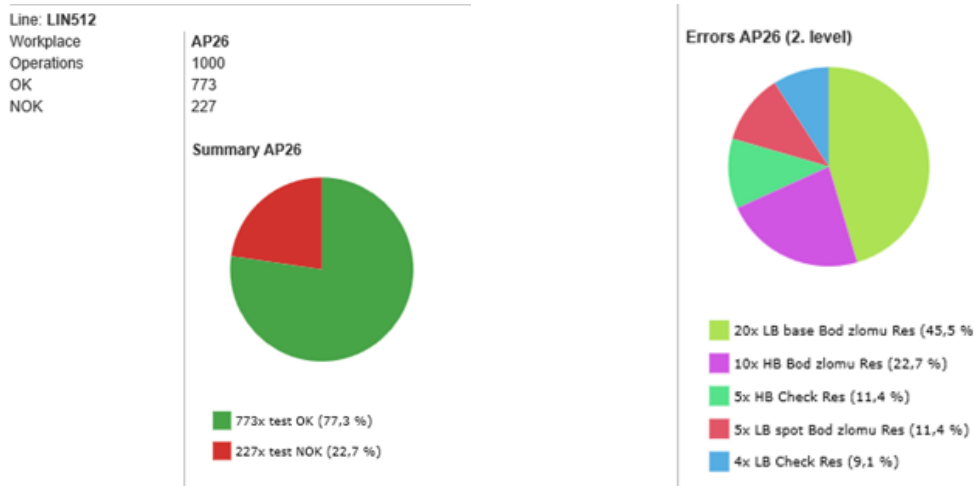


Figure 2.7.6.6 Example of the quality report.

The analyse graphics show how many products were made, how much of them was successful (OK) and which one was not (NOK). From the second group (NOK) is displayed another graphic with description of errors.

3 ANALYSIS

This part of the thesis is about analysing the current technological process to find the errors and its causes to be able to understand the real problematics and propose the optimization and new solutions which can help to increase the production with minimizing the scraps.

3.1 ERRORS

From the graphic Figure 3.1.1.created by DAQIS, it is clear that the error rate of the production line where the F-lux is fixed on the reflector is around 15%. The second graph shows the errors described in more details. The error names in the chart are just the names of the error groups.

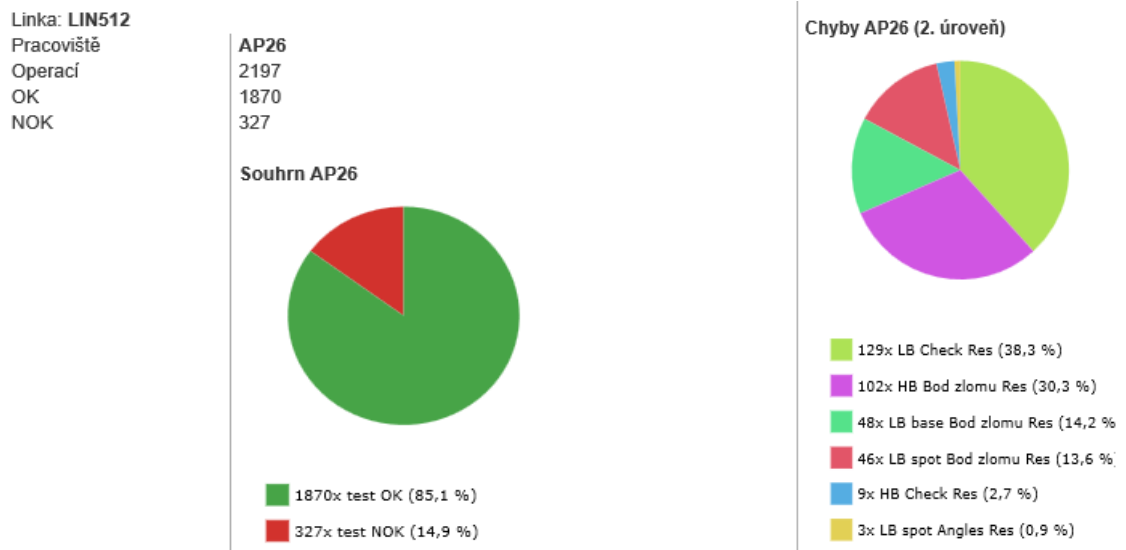


Figure 2.7.61. The results of quality report for February 2020.

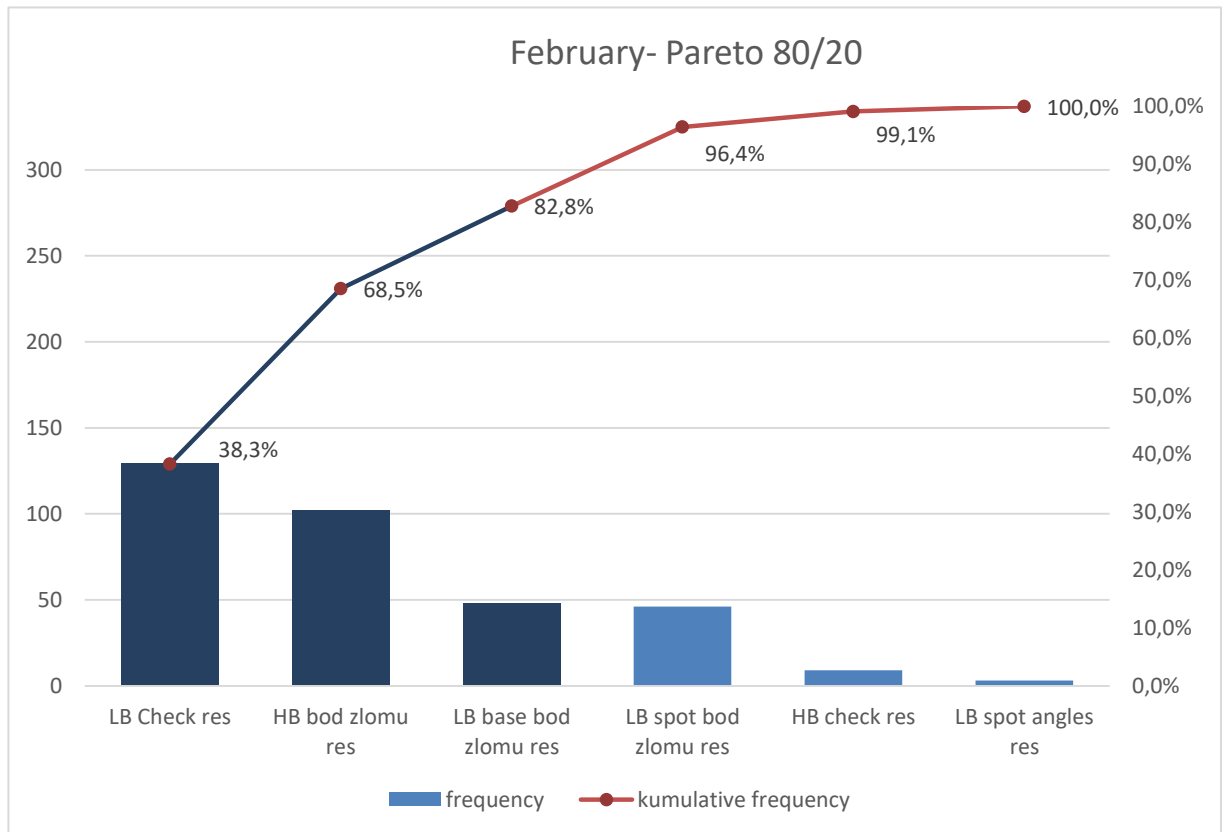


Figure 2.7.6.1 The Pareto diagram.

Pareto diagram: 80-95% of errors with quality is caused by 5-20% causes. By eliminating the two main defects, it is possible to achieve an improvement of 80% of the current error rate.

Table 2.7.6.1 Table of the errors:

Name according to quality report	Name according to production report	Subgroups	Meaning
'LB check'	'Kontrola rozhraní LB NOK'	-	gradient (intensity)
'LB spot bod zlomu'	'Rozhraní LB _spot'	vertical	position
		horizontal	position
		angle of the COL	position
'HB bod zlomu'	'Rozhraní HB'	vertical	position

		horizontal	position
'LB base bod zlomu'	'Rozhraní LB_base'	-	position
'LB spot angle'	'LB spot angle'	-	position
'HB check'	'Kontrola rozhraní HB'	I max	intensity
'LB změnový index'	'LB změnový index'	-	position

As can be seen from the Table 2.7.6.1, most errors are a problem with the wrong position of the measured points. Each measuring point has a prescribed tolerance field.

3.1.1 'LB check'- 'Kontrola rozhraní' NOK

The most common error is called the Interface Check. This is a defect of flatness, torsion and sharpness of the interface.

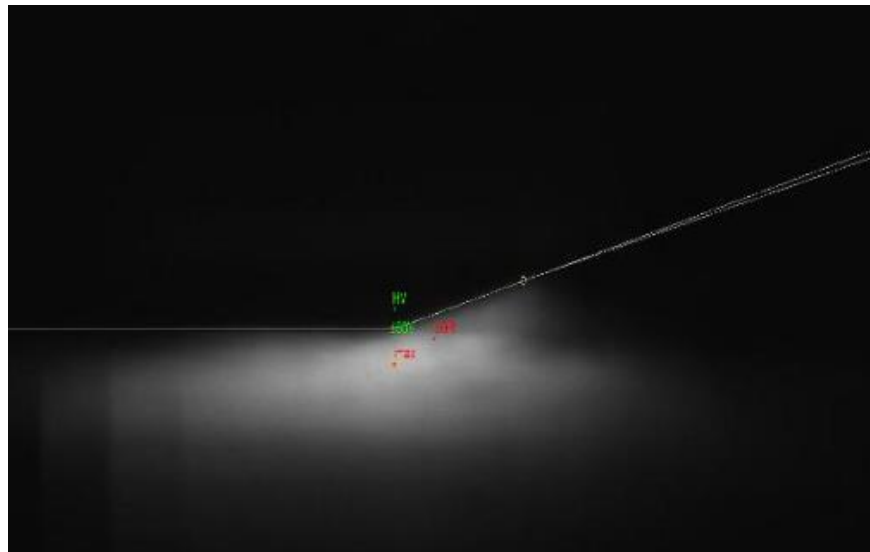


Figure 3.1.1.1 'Kontrola rozhraní' LB NOK.

The flatness of the horizontal part of the COL is verified by vertical cuts of the light distribution. Then the gradient of the logarithm of illuminance of these vertical cuts is determined and the position of the maximum gradient has to be in predefined range.

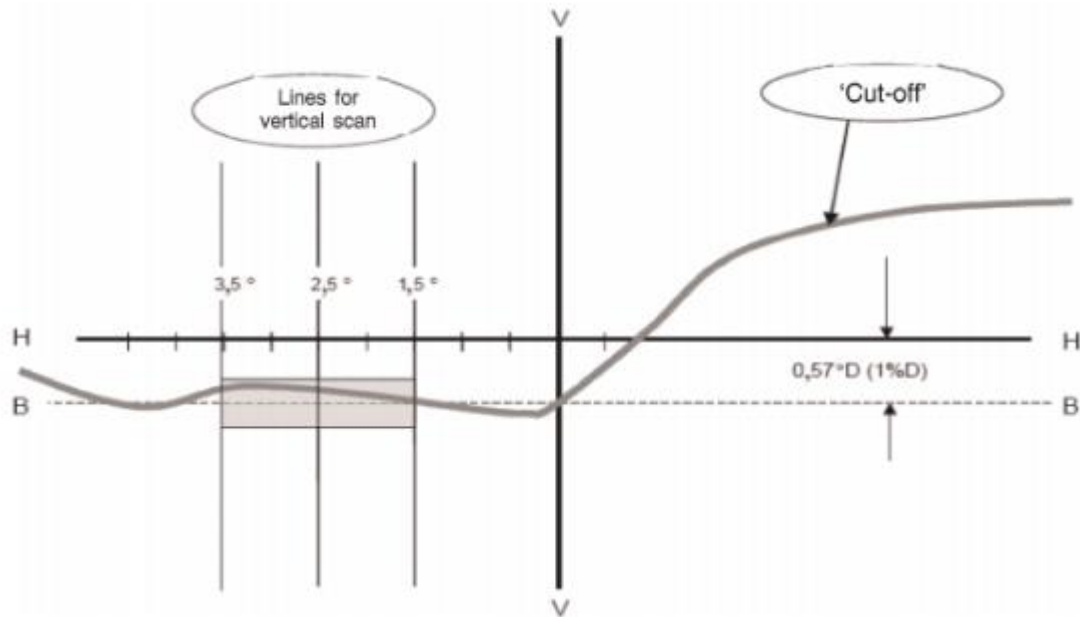


Figure 3.1.1.2 LB – Flatness and Torsion of Cut-Off Line [96].

Table 3.1.1.1 Low Beam – Flatness of Cut-Off Line [97].

Variant	Horizontal Position (h) of vertical Slice	Max. Range of vertical Positions $ \Delta v $
ECE RHT	-1.5° / -2.5° / -3.5° / -4.5°	0.2°
ECE LHT	+1.5° / +2.5° / +3.5° / +4.5°	0.2°

Table 3.1.1.2 LB – Torsion of Cut-Off Line [97].

Variant	Horizontal Position (h) of vertical Slice	Vertical Position v
ECE RHT	-1.5° / -4.5°	$-0.47^\circ < v < -0.67^\circ$
ECE LHT	+1.5° / 4.5°	$-0.47^\circ < v < -0.67^\circ$

In addition to the flatness and torsion is the sharpness of the COL. The gradient G is evaluated in several vertical cuts. The value of G must not be less than 0.13 (minimum

sharpness) and not more than 0.40 (maximum sharpness). The values of the gradient G have to be in predefined range.

The formula for the gradient is:

$$G = \log E(v) - \log E(v + 0.1^\circ) \quad (3)$$

with E =illuminance; v = vertical position in degree.

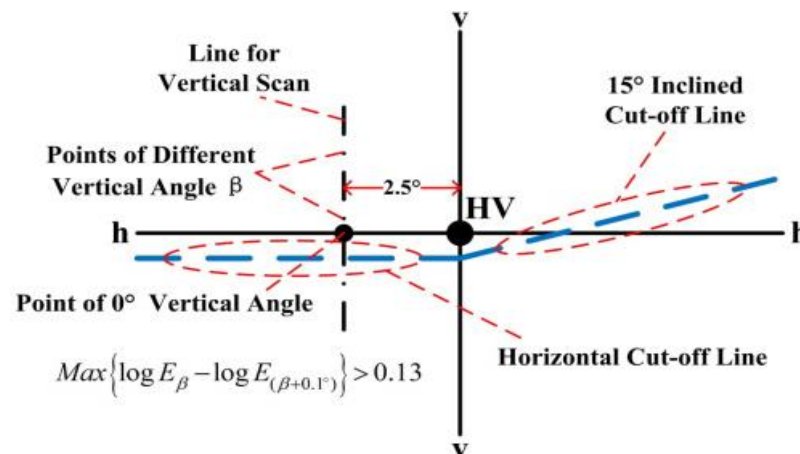


Figure 3.1.1.3 Sketch diagram of gradient of the horizontal cut-off line [97].

Table 3.1.1.3 Gradient [97].

Variant	Horizontal Position (h) of vertical Slice	Range of maximum Gradient G
ECE RHT	-1.5° / -2.5° / -3.5°	>0.20
ECE LHT	+1.5° / +2.5° / +3.5°	>0.20

3.1.2 'LB spot bod zlomu'='Rozhraní LB_spot'

Horizontal, Vertical or angle

The second most common group of errors is in the positioning of the low beam spot interface. The error can be horizontal, vertical or angled. Each of the errors has a specified tolerance field in which the measured value must be.

```
[LB_Spot]
ResultOK=0
KinkPointX=1.05
KinkPointY=0.50
AimboxLeftUp=-1.00,1.00
AimboxRightDown=1.00,-1.00
```

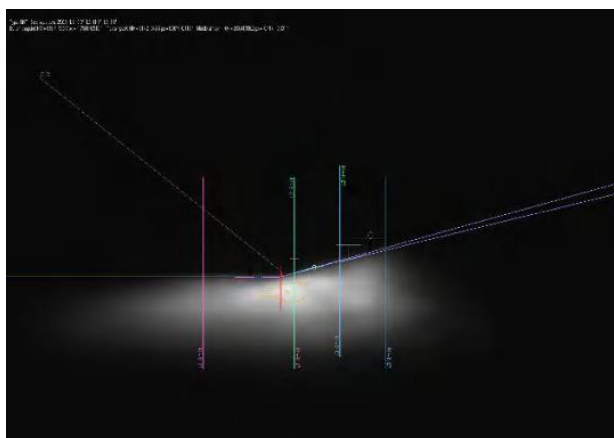


Figure 3.1.2.1 Error description and image from DAQIS for 'LB spot bod zlomu'-horizontal NOK.

```
[LB_Spot]
ResultOK=0
KinkPointX=-0.07
KinkPointY=0.50
AimboxLeftUp=-1.00,0.50
AimboxRightDown=1.00,-0.50
```

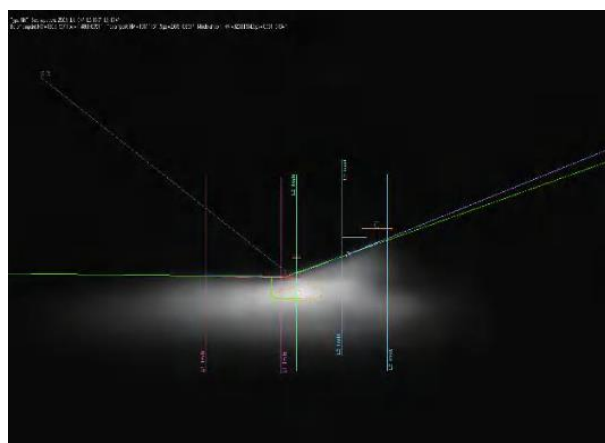


Figure 3.1.2.2 Error description and image from DAQIS for 'LB spot bod zlomu'-vertical NOK.

```
[LB_Spot_Angles]
ResultOK=0
FlatAngle=0.01
FlatAngleMin=-5.00
FlatAngleMax=5.00
SlantingAngle=8.32
SlantingAngleMin=9.00
SlantingAngleMax=20.00
```

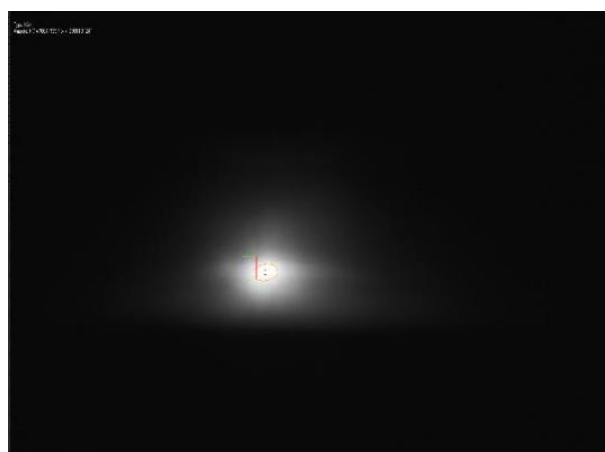


Figure 3.1.2.3 Error description and image from DAQIS for 'LB spot bod zlomu'-angle NOK.

3.1.3 'HB bod zlomu'= 'Rozhraní HB'

Vertical or horizontal

As with the LB spot error, the tolerance field in which the measured value is to be located is determined for this group of errors.

```
[HB]
ResultOK=0
KinkPointX=0.473
KinkPointY=-0.748
AimboxLeftUp=-0.500,0.500
AimboxRightDown=0.500,-0.500
```



Figure 3.1.3.1 Error description and image from DAQIS for 'HB bod zlomu'-horizontal NOK.

3.1.4 'LB base bod zlomu'= 'Rozhrani LB_base'

The LB-base error is another of the positioning errors. The LB_spot and LB-base interfaces must be in the exact position to meet the required interface sharpness. The values of the measured points have a specified tolerance field of values.

```
[LB_Base]
ResultOK=0
KinkPointX=-1.253
KinkPointY=0.804
AimboxLeftUp=-5.000,0.500
AimboxRightDown=5.000,-0.500
```

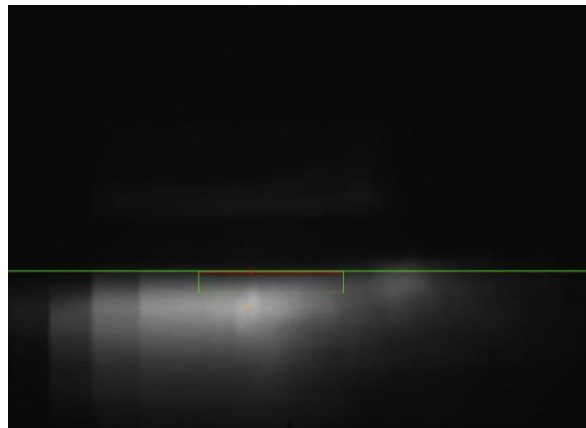


Figure 3.1.4.1 Error description and image from DAQIS for 'LB base bod zlomu' NOK.

3.1.5 'HB check'= 'Kontrola rozhrani HB'

I max

This error is caused by a deviation in the value of the maximum high beam intensity.

```
[HB_Check]
ResultOK=0
Imax=171.0
ImaxMin=175.0
ImaxMax=220.0
```



Figure 3.1.5.1 Error description and image from DAQIS for 'HB check' NOK.

3.2 CAUSES

All causes of output that does not meet the conditions are shown in the Ishikawa graphics.

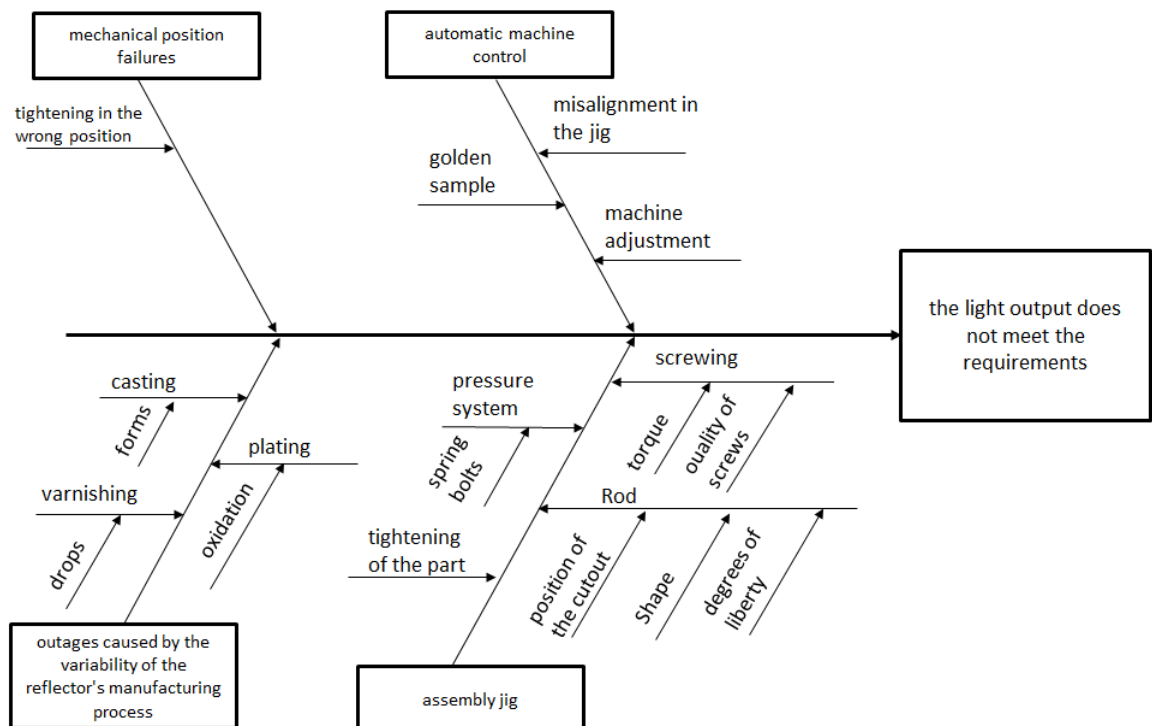


Figure 3.1.51 The Ishikawa diagram representing the causes of the errors.

It can be seen that the causes are divided into four main groups:

- mechanical position failures,
- automatic control machine,

- outages caused by variability of the reflector production process,
- mounting device.

3.2.1 Mechanical position failures

Mechanical position failures consist in the poor ability/risk of tightening in the wrong position.

3.2.2 Automatic control machine

Another cause of the error is a control machine. The control unit can influence the light output at several points. Basically, there can be a problem with adjusting the machine, its power supply, which will not allow correct measurement, but will cause outages.

In the control machine, the products are compared with a standard-golden sample. Improper adjustment and setting of the standard will affect the inspection of other products.

Inaccurate seating in the jig can lead to the measured values not being correct even if they are correctly positioned with the correct mounting. Even if each measuring point has its own tolerance field, it can happen that the misalignment due to incorrect placement in the jig will cause the measured value to no longer be in the tolerance field.

3.2.3 Outages caused by variability of the reflector production process

The process of manufacturing the reflector was described in a theoretical research. Factors that can affect the resulting light output are already present in the manufacture of moulds. The mould must be polished to eliminate the possibility of unevenness on the surface of a plastic product.

The material from which the reflectors are made - BMC thermosetting plastics, is porous and has unevenness. In order to unify and level the surface, the reflector is varnished and subsequently plated with aluminium. Aluminium has the property of oxidation, so passivation takes place at the end of the process. When varnishing, varnish can accumulate on the reflector surfaces, which can affect the angle at which light is reflected on the road and thus change the position of the measured points.

3.2.4 Mounting device

The most common group where a failure can occur is the assembly jig.

The assembly jig differs according to the project on the line, so it is mobile and is replaced by operators. Once the jig is fixed, a reflector is inserted and positioned in it. At this point, the problem can arise as when clamping the part to the inspection machine. If the reflector is not clamped precisely, the F-lux may be positioned incorrectly.

Another option is a pressure system, which is to be used to mount the F-lux on the reflector before mounting. If the pressing method is selected incorrectly, the F-lux on the reflector may be offset.

The next assembly step is to position the F-lux using a tie rod. The rod is located on the F-lux heatsink and the pin should rest on the reference surfaces on the reflector. The rod works using a pneumatic system. Factors that affect positioning are: the shape of the rod, the location of the hole on the F-lux radiator, the location of the rod in the hole on the F-lux radiator, the number of degrees of movement of the rod. Screwing the F-lux onto the reflector itself can result in deformation that will affect the position of the LED chip.

Due to the fact that this is a complex issue, in this diploma thesis, a group of assembly jig and failures of the mechanical position, which affect most failures, will be discussed. Optimizing other groups would be time and money consuming.

4 PROPOSITION OF SOLUTIONS

Analysis from DAQIS showed that in most cases the outages are caused by incorrect positioning of the F-lux on the reflector. Due to DOE method (manually positioning all the part to the correct position) was found that the errors are connected with the incorrect positioning of the pins on their reference positions- connected with the rid, pressing system and screw fixation.

The causes of the two main groups of errors are divided into two groups:

- the errors affected by positioning,
- the errors affected by fixation on the post.

4.1 IDEAL SITUATION

Ideally, the pins will rest on the reference surfaces of the reflector and will remain in place during installation and subsequent handling, and the tested parameters will be in the tolerance fields marked OK.

4.2 CURRENT SITUATION

Even if the desired position of the pins is met, the error can occur while the pressing system doesn't press the F-lux with sufficient force and then the F-lux can move due to a screw torque moment which can move the position- caused by the influence of the friction force created between the screw head and the heatsink (the torque is too high). Another possible error can occur when the torque is too low and the screw is not screwed in sufficiently.

4.3 THE ROD IN THE CUT-OUT

The rod is connected to a pneumatic system (movement only in the x-axis), which acts at a pressure of 6 bar. The rod is in contact with the cut-out in the F-lux only by touching the reference surfaces.

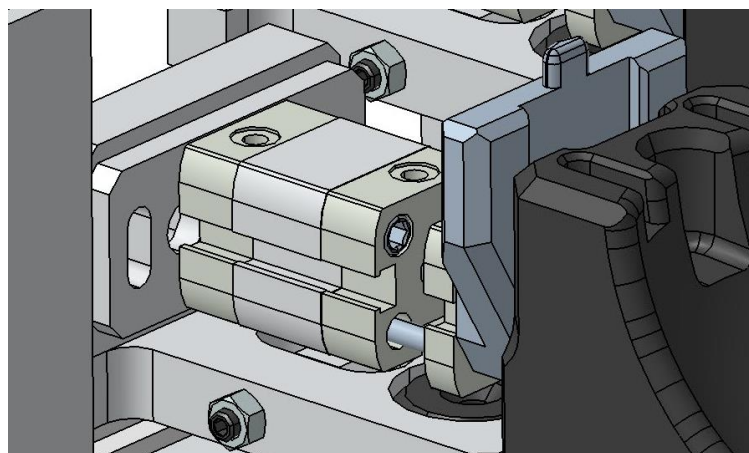


Figure 3.2.4.1.1 The detailed view on the rod.

4.3.1 Ideal state

The tie rod and pins are fully movable along the reference surfaces (coefficient of friction is zero), which allows complete positioning of the pins. Pin 1, performs a sliding movement, Pin 2 rotary and sliding.

4.3.2 Current situation

In the current state is not the position F-Lux with reflector same at every time in the assembly process. There is the need to find a place where both fixing points (pins) move and so the jig will hold every piece in the same way.

4.3.3 Force decomposition

The force decomposition is performed to obtain information about the ideal position of the rod, the force acting on the F-lux so as to guarantee the contact of the pins on the reflector in the reference positions.

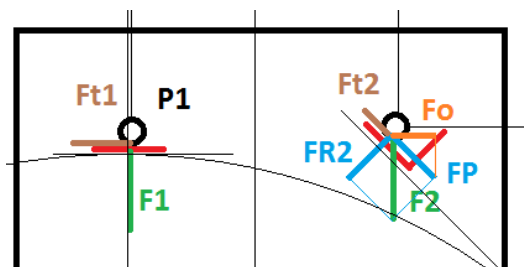


Figure 4.3.3.1 The decomposition of the static forces on the pins.

The following forces act on pin 1:

F_1 ... force on pin 1 (rod)

F_{t1} ... friction force on pin 1

The following forces act on pin 2:

F_2 ... force on pin 2 (rod)

F_{t2} ... friction force on pin 2

F_p ... sliding force

F_{R2} ... binding force

F_0 ... component from F_p in the feed direction

The rod acts on the F-lux:

F... main force

F_{t_0} ... friction between the body and the mounting

F_u component of the force F perpendicular to |SP|

L... distance of the cut-out from the pins (in axis y)

L_1+L_2 ... distance in the x-axis between pins p_1, p_2

Friction force

$$F * t \quad (4)$$

F.. acting force

t... friction constant, varies according to whether it is immobile (static friction) or movable (nonlinear speed dependence)

Formulas for forces:

$$F = F_{t_0} + F_1 * \frac{L_1}{L_1+L_2} + F_2 * \frac{L_2}{L_1+L_2} \quad (5)$$

$$F_{t_1} = F_1 * t \quad (6)$$

$$F_o = F_2 * (\sin(\varphi) - \cos(\varphi) * t) * \cos(\varphi) \quad (7)$$

If the force F_o acting on pin 2 has a greater value than the friction force on pin 1, then F-lux will move as desired.

$$F_o > F_{t_1} \quad (8)$$

Expression by moment:

$$|SP| * F_u = |SP_1| * F_o \quad (9)$$

Since one of the pins is to perform a rotational movement, to find a suitable position of the rod, the center of rotation S is determined by means of two tangents.

One tangent is guided horizontally with the surface on which pin 1 rests, the other parallel to the surface on which pin 2 rests.

$P_1=[x_1,y_1]; P_2=[x_2,y_2]$

$$\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} = L_1 + L_2 \quad (10)$$

The center of rotation $S = [x_s, y_s]$

Law of sinus

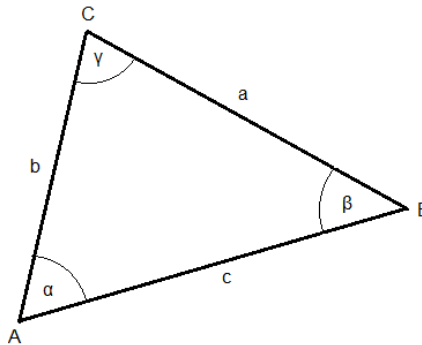


Figure 4.3.3.2 The description of the triangle.

$$\frac{a}{\sin(\alpha)} = \frac{b}{\sin(\beta)} = \frac{c}{\sin(\gamma)} \quad (11)$$

Using the law of sinus, it is possible to calculate the radius R , thanks to which the center of rotation is determined.

$$\frac{L1+L2}{\sin(180-\alpha-(90-\gamma))} = \frac{\text{hypotenuse}}{\sin(\alpha)} \quad (12)$$

$$\frac{\text{hypotenuse}}{\sin(\alpha-90)} = \frac{R}{\sin(\gamma)} \quad (13)$$

$$R = \frac{\sin(\gamma)}{\sin(\alpha-90)} * \frac{\sin(\alpha)*(L1+L2)}{\sin\left(180-\alpha-\left(90-\frac{180-(\alpha-90)}{2}\right)\right)} \quad (14)$$

$$R = \frac{\sin\left(135-\frac{\alpha}{2}\right)*\sin(\alpha)}{\sin(\alpha-90)*\sin\left(225-\frac{3}{2}*\alpha\right)} * (L1 + L2) \quad (15)$$

For $y_1 = y_2$

$$S = [x_1, y_{1-R}]$$

The maximum efficiency of the rod occurs in a position where the distance of the pins from the cut-out for the rod is equal to the radius of rotation R .

$$L = R \quad (16)$$

The center of rotation is located below pin 1 at a distance R . Construction of the center of rotation.

The center of rotation is located below pin 1 at a distance R .

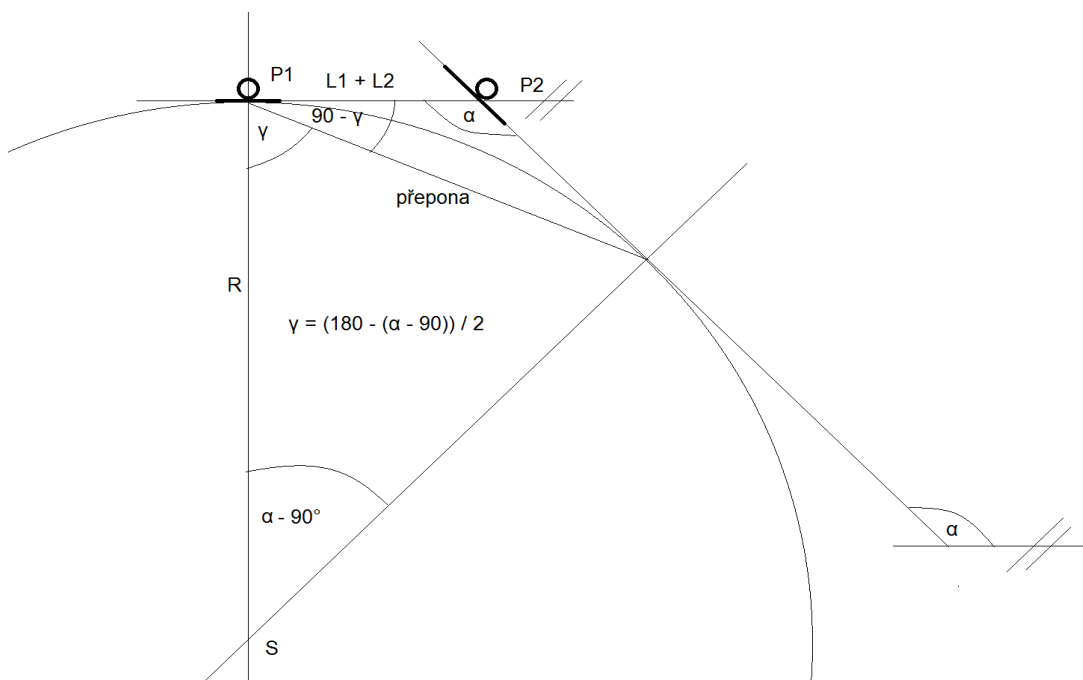


Figure 4.3.3.3 Construction of the center of rotation

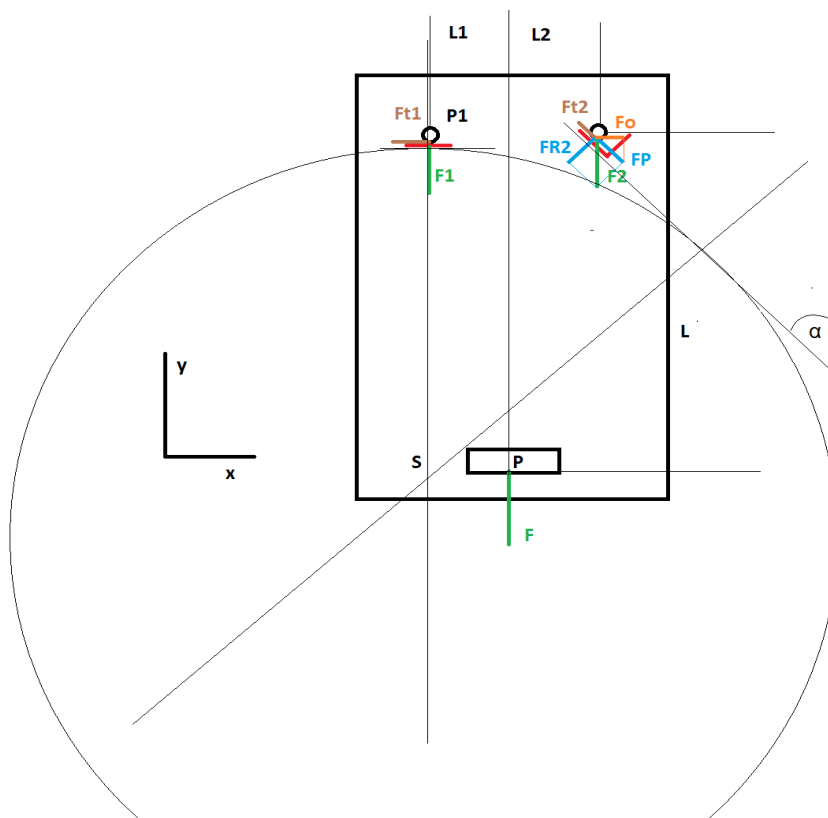


Figure 4.3.3.4 Construction of the center of rotation with representation on F-lux

4.4 OPTIMIZATION- REPLACEMENT OF A CUT-OUT

By determining the centre of rotation S , it is possible to find the optimal position of the rod position so that the force F_0 is greater than F_{t1} and the pins about the desired position.

The cut-out is currently located in the middle of the lower part of the heatsink. At a distance L from the pins.

4.4.1 Hypothesis

If the rod were moved to position 1, it would be close to the centre of rotation S - the movement F -lux would be only rotational. Pin 1 would not move, it would be fixed, because only the force F_1 , which would be in the axis of the force exerted by the rod, would act on it. Only pin 2 would be allowed to move.

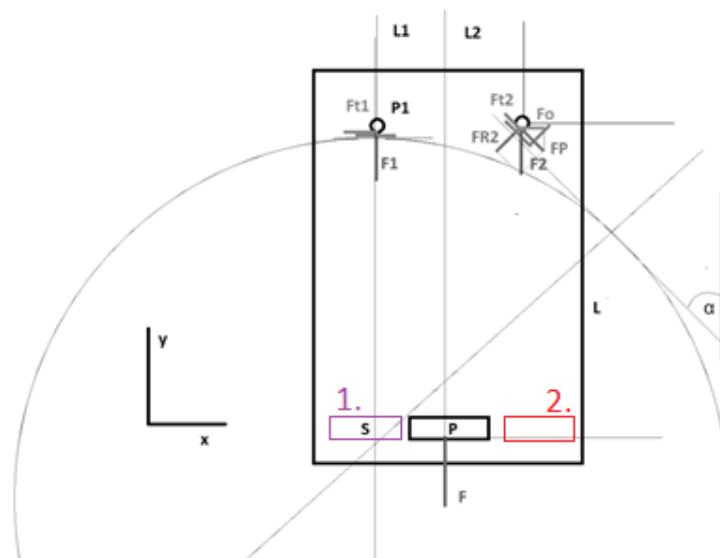


Figure 4.4.1.1 Three positions of the cut-out on the heatsink.

If the cut-out is moved to position 2, the movement of both pins would be achieved. Pin 1 would perform a sliding movement and pin 2 would perform both a sliding and a rotational movement, thus achieving an ideal state of abutment of the pins in the desired position due to the positioning of the rod.

4.4.2 Representation and calculation

For this representation was taken a simplified static model in which friction is neglected.

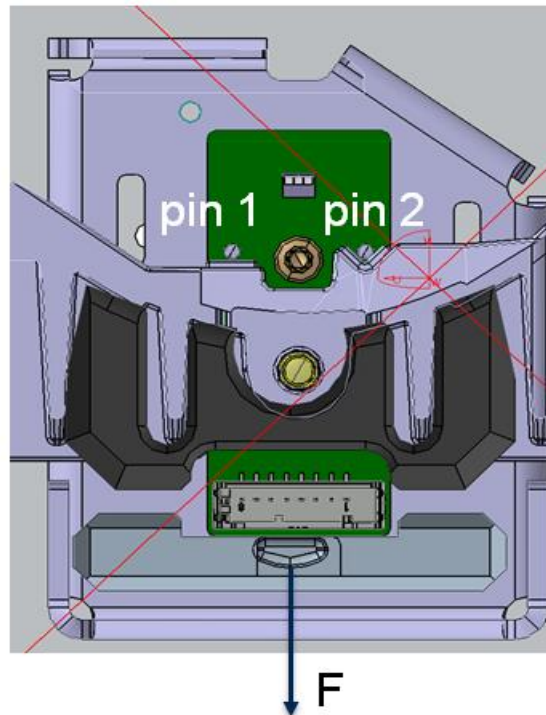


Figure 4.4.2.1 The downside view on the position of the pins on reflector's reference points and the representation of the force F from the rod.

To confirm the hypothesis, a solution for modelling the problem in Catia was chosen.

This is a static decomposition of the forces acting on pin 1 and pin 2. Pin 1 is on a plane, while pin 2 is on an inclined plane (the inclination is at an angle of 45°). The distribution of forces is projected in the same coordinate system so that they can be taken into account.

The force F acts with a force of 12N, which is given by the action of the rod on the pneumatic system. In the current situation, the force F acts the same on pin 1 and pin 2, because it is located in the middle (angle α and β are the same magnitude).

The distances on the diagram and on the model in Catia correspond to the real dimensions of the F-lux.

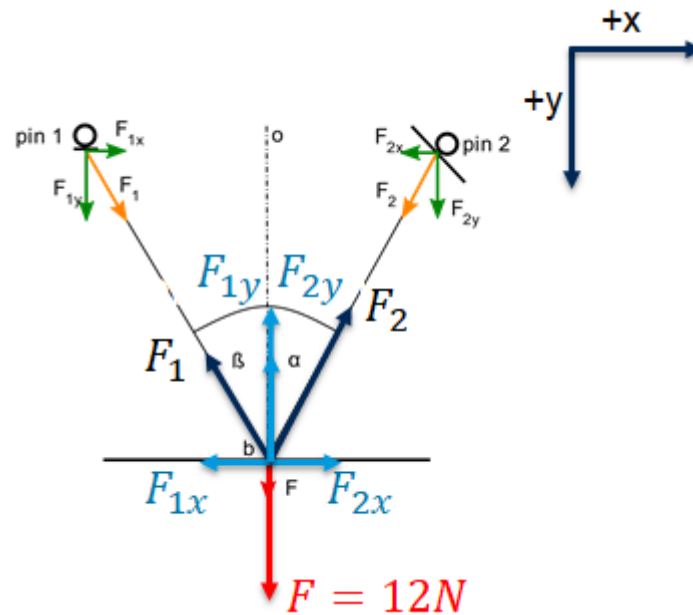


Figure 4.4.2.2 The decomposition of the main force F on the pins.

o ... axis between pin 1 and force F connector and pin 2 and force F connector

b ... the point at which the force F acts

F_1 ... force acting on pin 1 (with components F_{1x} , F_{1y})

F_2 ... force acting on pin 2 (with components F_{2x} , F_{2y})

$F = 12\text{N}$

β ... the angle between the axis o and the line connecting pin 1 to point b

α ... the angle between the axis o and the line connecting pin 2 to point b

Two equations for the distribution of forces in the x -axis and in the y -axis were created from the diagram.

The aim was to express the forces F_1 and F_2 as a function of F and angles.

Components in the y -axis:

$$F - (F_2 * \cos \alpha + F_1 * \cos \beta) = 0 \quad (17)$$

Components in the x -axis:

$$F_1 * \sin \beta - F_2 * \sin \alpha = 0 \quad (18)$$

Expression of force F_1 a F_2 :

$$F_1 = \frac{F_2 * \sin \alpha}{\sin \beta} \quad (19)$$

$$F_2 = \frac{F_1 * \sin \beta}{\sin \alpha} \quad (20)$$

Expression of F_1 depending on the F :

$$F - (F_2 * \cos \alpha + F_1 * \cos \beta) = 0 \quad (21)$$

$$F - \left(F_2 * \cos \alpha + \frac{F_2 * \sin \alpha}{\sin \beta} * \cos \beta \right) = 0 \quad (22)$$

$$F - F_2 (\cos \alpha + \cot \beta * \sin \alpha) = 0 \quad (23)$$

$$F_2 = \frac{F}{\cos \alpha + \cot \beta * \sin \alpha} \quad (24)$$

Expression of F_2 depending on the F :

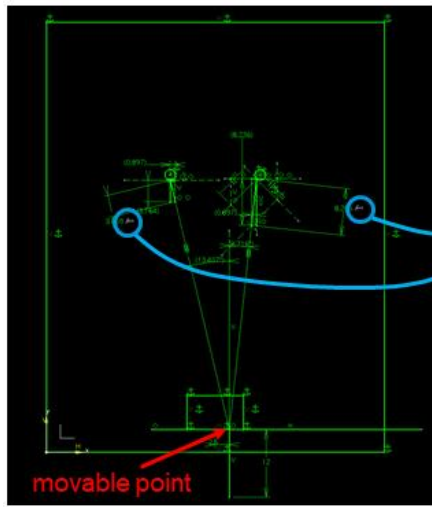
$$F - (F_2 * \cos \alpha + F_1 * \cos \beta) = 0 \quad (25)$$

$$F - \left(\frac{F_1 * \sin \beta}{\sin \alpha} * \cos \alpha + F_1 * \cos \beta \right) = 0 \quad (26)$$

$$F - F_1 (\sin \beta * \cot \alpha + \cos \beta) = 0 \quad (27)$$

$$F_1 = \frac{F}{\sin \beta * \cot \alpha + \cos \beta} \quad (28)$$

After creating the equations, the scheme was modelled into Catia in the sketch function, and the calculated equations were substituted for the F_1 and F_2 values using the real values of the force F and the angles.



$f(x)$

$$F_1 = \frac{F}{\sin \beta * \cot \alpha + \cos \beta} \quad F_2 = \frac{F}{\cos \alpha + \cot \beta * \sin \alpha}$$

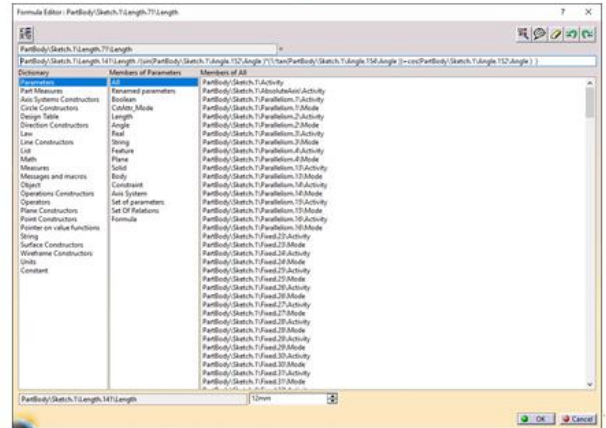


Figure 4.4.2.3 The equations insertion in the sketch to calculate different position of the rod with real values.

The scale was chosen 1mm = 1N.

Point b was always assessed by 2.5 mm along the horizontal axis, which was created by extending the lower edge of the cut-out, which forms the reference area of contact of the rod with Flux.

4.4.3 Description of forces

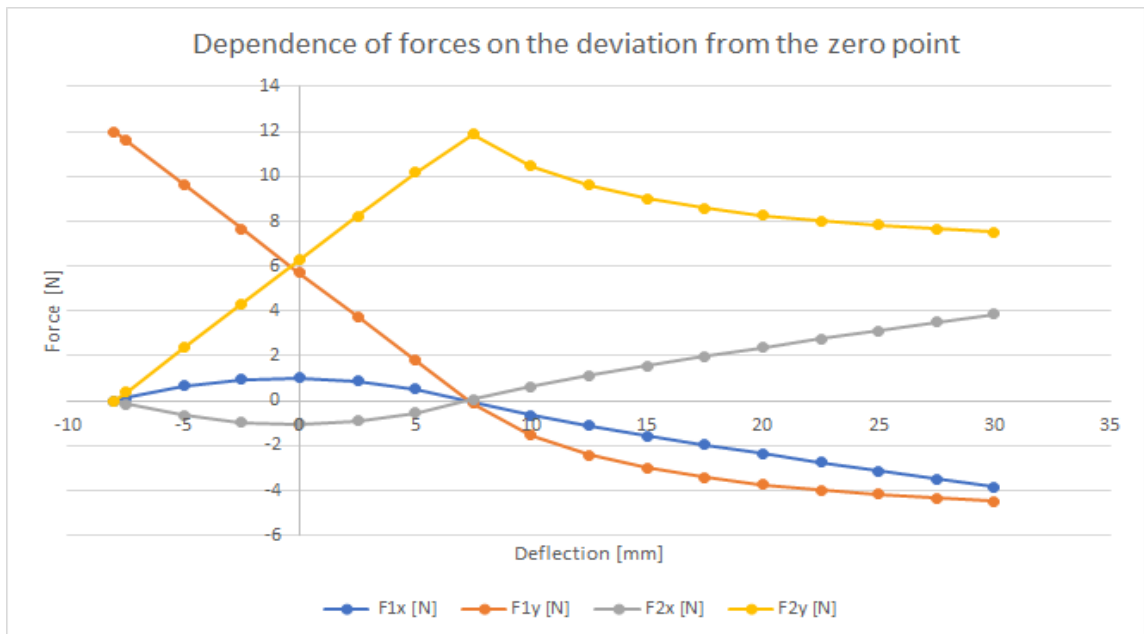


Figure 4.4.3.1 The graphics of forces applied in x and y axis on the pins.

Table 4.4.3.1 The table of calculated values for pin 1 (F1x and F1y) and pin 2 (F2x and F2y) for values {-8, 30} mm.

Point deviation from 0 [mm]	F1x [N]	F1y [N]	F2x [N]	F2y [N]
-8	0	12	0	0
-7,5	0,132	11,606	-0,132	0,394
-5	0,656	9,639	-0,656	2,361
-2,5	0,959	7,677	-0,959	4,323
0	1,038	5,718	-1,038	6,282
2,5	0,897	3,764	-0,897	8,236
5	0,535	1,813	-0,535	10,187
7,5	-0,046	-0,131	0,046	11,869
10	-0,63	-1,542	0,63	10,458
12,5	-1,119	-2,405	1,119	9,595
15	-1,56	-2,987	1,56	9,013
17,5	-1,972	-3,406	1,972	8,594
20	-2,366	-3,723	2,366	8,277
22,5	-2,748	-3,97	2,748	8,03
25	-3,122	-4,168	3,122	7,832
27,5	-3,49	-4,331	3,49	7,669
30	-3,853	-4,466	3,853	7,534

The values of force distribution were listed in a table and then a graph was created, which shows the magnitudes of forces depending on the distance of point b, zero is the initial position in which the rod is located in the current assembly process. The symmetry of x components is evident from the graph, their sum is always equal to 0. The sum of the y components must always be equal to 12N, the force exerted by the force F on the rod F-lux.

4.4.4 Limit values

The limit values are marked in the Table 4.2.4.1 and in the Figure 4.2.4.1.

Table 4.4.44.1 Table with marked limit values.

Point deviation from 0 [mm]	F1x [N]	F1y [N]	F2x [N]	F2y [N]
-8	0	12	0	0
-7,5	0,132	11,606	-0,132	0,394
-5	0,656	9,639	-0,656	2,361
-2,5	0,959	7,677	-0,959	4,323
0	1,038	5,718	-1,038	6,282
2,5	0,897	3,764	-0,897	8,236
5	0,535	1,813	-0,535	10,187
7,5	-0,046	-0,131	0,046	11,869
10	-0,63	-1,542	0,63	10,458
12,5	-1,119	-2,405	1,119	9,595
15	-1,56	-2,987	1,56	9,013
17,5	-1,972	-3,406	1,972	8,594
20	-2,366	-3,723	2,366	8,277
22,5	-2,748	-3,97	2,748	8,03
25	-3,122	-4,168	3,122	7,832
27,5	-3,49	-4,331	3,49	7,669
30	-3,853	-4,466	3,853	7,534

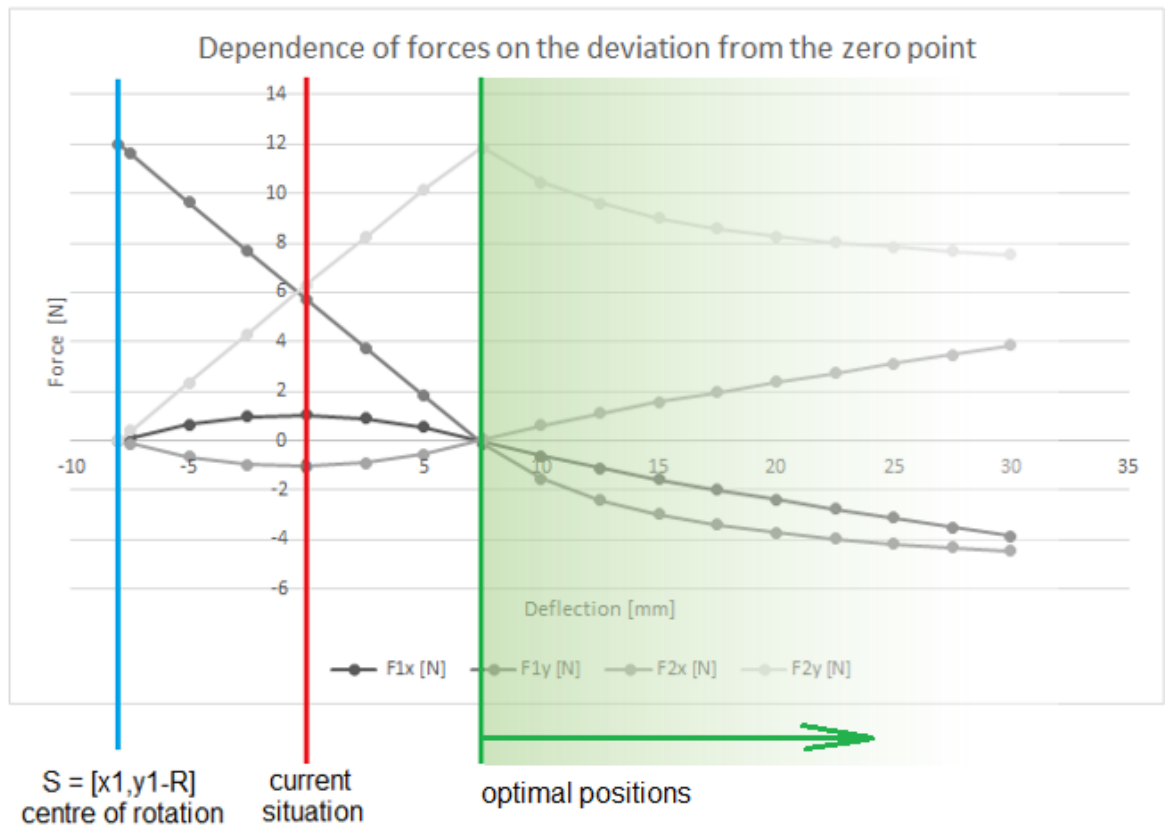


Figure 4.4.4.1 The graphics shows three important areas: blue line is the limit value where the rod is in position of centre of rotation, red line shows current position of the rod and the green area shows the possibilities of the optimal position of the rod.

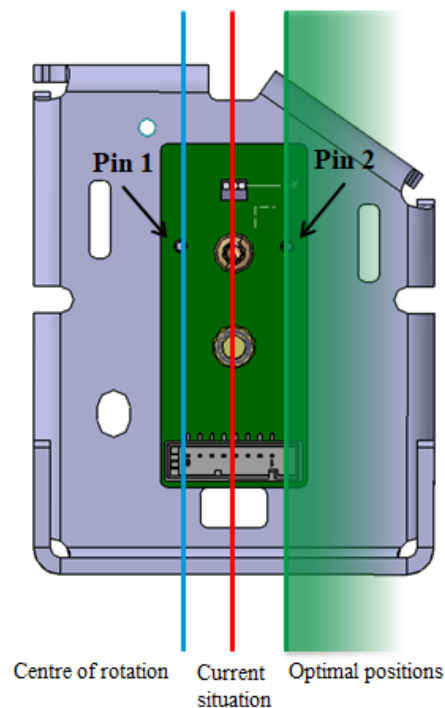


Figure 4.4.4.2 The limit values of the cut-out on the F-lux.

The limit points are:

- point b below pin 1 (in the centre of rotation S),
- point b in 0 (current situation),
- point b below pin 2.

Point b is located in the centre of rotation S

The deviation limit value $d = -8\text{mm}$ shows the position when the rod is located under pin 1 ($x = x_1, y = y_{1-R}$) and is also in the centre of rotation S. The force acting on the pins is only the force F_1 with a value of 12N , that is, at this point $F_1 = F$ and the other forces are zero ($F_2 = 0$). In this position, F-lux is limited only to rotational movement, which is, however, prevented by fixing pin 1 by a force F_1 , which acts only in the y component, and thus movement is prevented. In the annex 1 is the whole image of the F-lux with decomposed forces and the position of the rod.

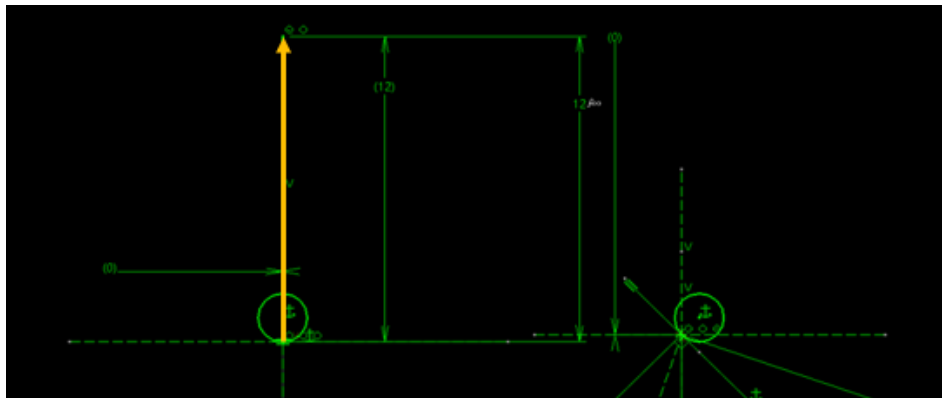


Figure 4.4.4.1 Detailed view in the force decomposition on the pin 1 and pin 2 in the position where the rod is in the centre of rotation.

Current situation

Assuming that we neglect that pin 2 lies in a higher position than pin 1, it is possible to assume that the force F acts the same on pin 1 and pin 2 (angle α and β are the same magnitude). The distribution of forces at $d = 0$ is therefore symmetrical along the y-axis (full size image in Annex 3).

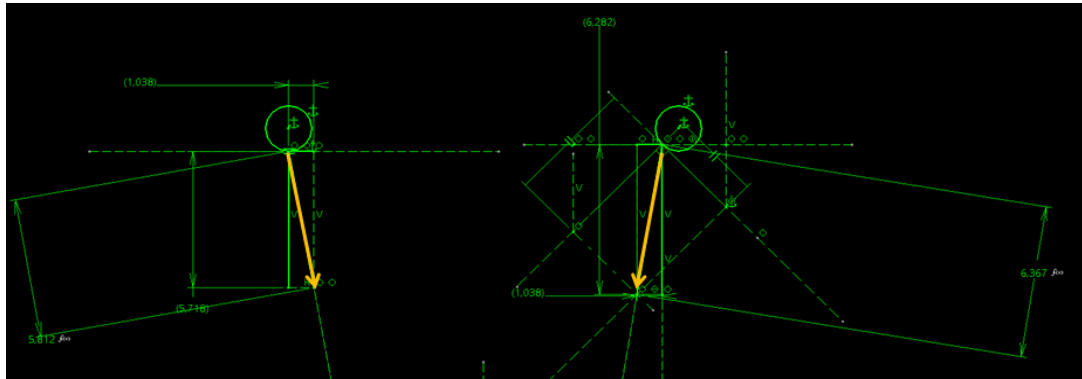


Figure 4.4.4.4 Detailed view in the force decomposition on the pin 1 and pin 2 in the position where the rod is in the middle of the heatsink.

Point b is located below pin 2

Another limit point is the location of the rod under pin 2. The force F_2 is maximum and the other forces are negligible. This is the same case as for the rod located under pin 1. The difference is in placing the pin on an inclined plane and the distance from the centre of rotation (full size image in Annex 3).

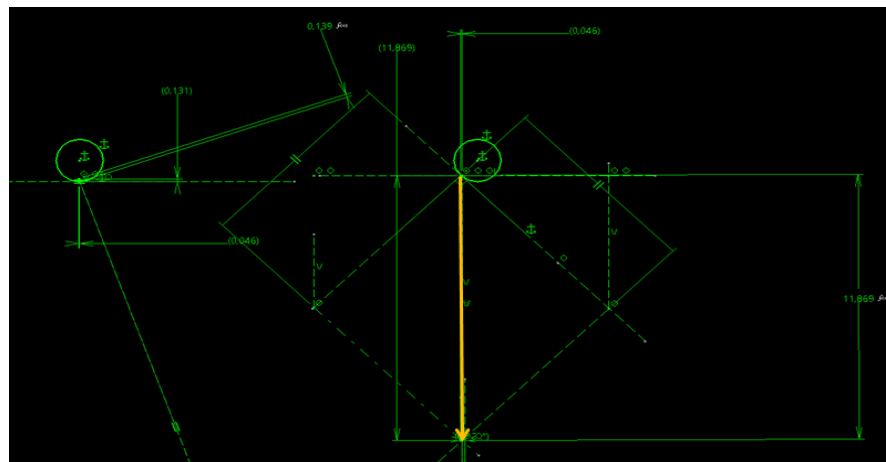


Figure 4.4.4.5 Detailed view in the force decomposition on the pin 1 and pin 2 in the position where the rod is under the pin 2.

From this limit point, the force acting on F_2 begins to decrease, but the forces on pin 1 reverse their orientation. This means that the forces act in the second direction and therefore the F -lux can move, both pin 1 and pin 2. The forces on pin 1 increase with each displacement of point b.

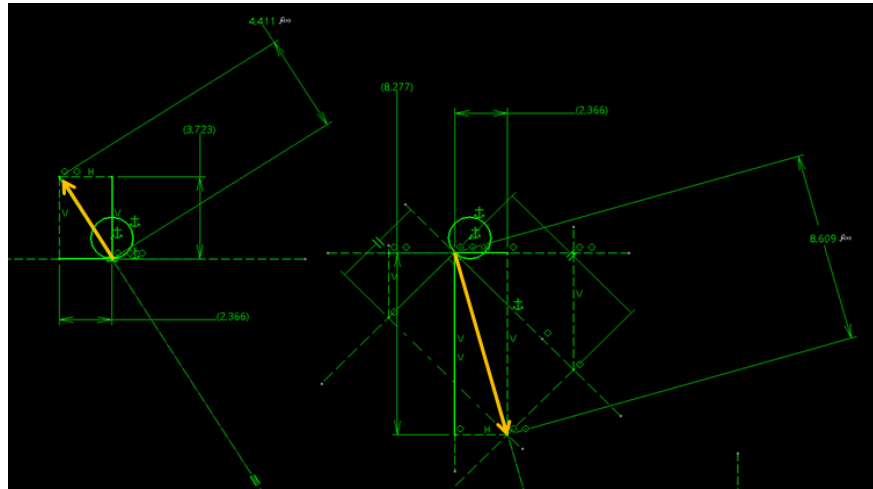


Figure 4.4.4.2 Detailed view in the force decomposition on the pin 1 and pin 2 in the position where the rod is in the area behind the limit position of the rod.

The proposed solution is to move the cut-out on the handle by 7.5 or more mm.

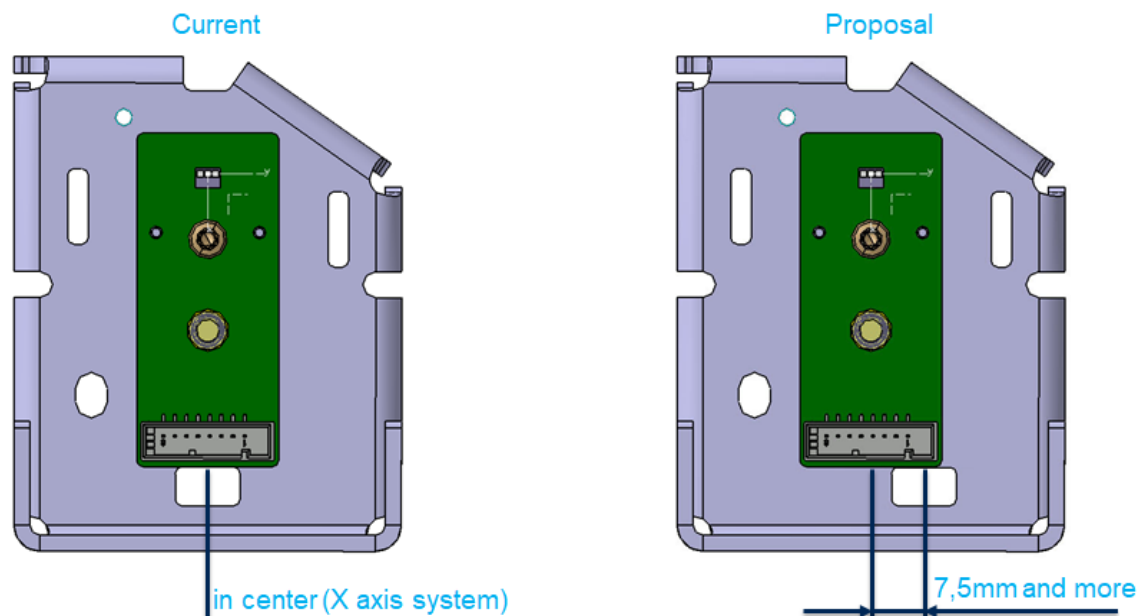


Figure 4.4.4.6 Proposition of the optimisation.

The heatsinks are in serial production, which does not take place in the company. For this reason, the optimization of the heatsink is almost complicated due to the losses that would occur when starting new production and discarding unused pieces. As the heatsink is made of folded and cut sheet metal, the tool would have to be tampered with. In the event of a change in tool and heatsink design, the waiting time for a change would be up to around 12 weeks, which is not possible to wait because of clients, the necessary takt of the production lines and the losses which can occur.

4.5 PRESSURE SYSTEM

The pressure system plays an important role for fixing the F-lux screw connection to the reflector. The pressure system is used to push on the upper side of the F-lux when all have been positioned on the reflector by the operator. The system is located on the tilting plate.

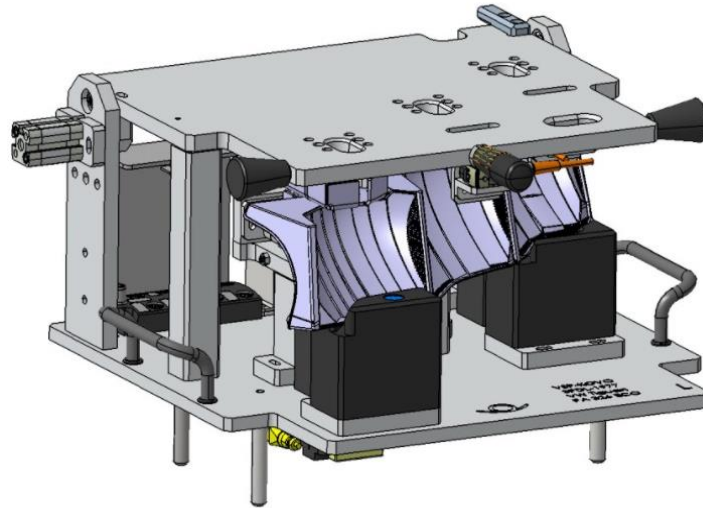


Figure 4.4.4.1 The mountain jig with the reflector and F-Lux.

In the process used so far, spring-loaded screws are used to press the F-lux, which should guarantee sufficient fixation when in contact with the F-lux, but at the same time adapt and not deform.

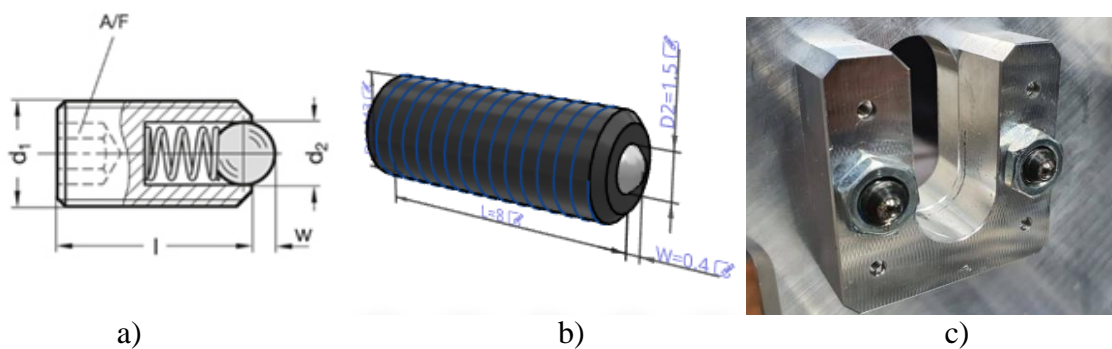


Figure 4.4.4.2 a) The cut of the spring-loaded screw, b) the model of the spring-loaded screw, c) the photo of the spring-loaded screw on the jig (current situation) [98].

GN 615.3-K/KS

Indication	d1	d2	l±0.1	w	A/F	Initial spring pressure [N]	Final spring pressure [N]	⊕
GN 615.3-M3-K	M3	1.5	8	0.4	1.5	3	4.5	1
GN 615.3-M4-K	M4	2.5	12	0.8	2	8.5	14	1
GN 615.3-M5-K	M5	3	14	0.9	2.5	8	14	1
GN 615.3-M6-K	M6	3.5	15	1	3	11	18	2
GN 615.3-M8-K	M8	4.5	18	1.5	4	18	31	4
GN 615.3-M10-K	M10	6	23	2	5	24	45	8
GN 615.3-M12-K	M12	8	26	2.5	6	26	49	13

Figure 4.4.4.3 The table shows the values of the used spring-loaded screw [98].

When screwing, the screw head on the F-lux heatsink rubs and at high torque there may be a rotation in the reflector thread, which leads to the rotation of the F-lux.

This optimization can be made by adding another element to the pressure system - pressure pin.

4.5.1 Solution 1

The first solution of the pin is simple and low-cost solution without spring. That means that the pin will be fixed in the predefined position with glue to do not move in the thread.

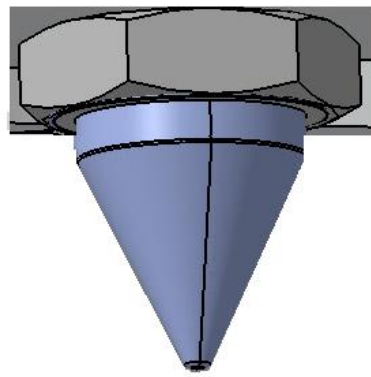


Figure 4.5.1.1 3D model of the pin fixed in the nut.

Current

Proposal

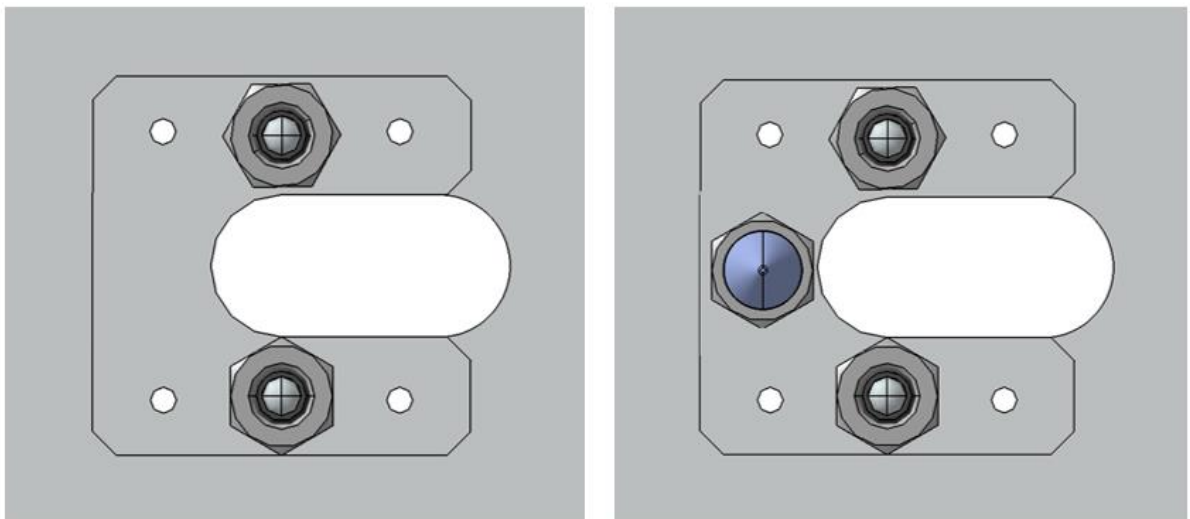


Figure 4.5.1.2 Comparison the preload-spring system with the proposed solution with additional pin.

The adjustment screw would be mounted to the spring bolt system using the same principle - by pre-drilling a hole with the required thread and fixing the nut.

One of the options is an adjusting screw with a hexagon socket and a point, marked DIN EN ISO 4027.

- the pin will press the F-lux with too high force and will cause plastic deformation which could bench the heatsink and influence the light output,
- the pin will not be in contact with the heatsink.

When the F-lux on the reflector is in the correct position, none of these problems should occur. Another option that eliminates these possible errors is a solution 2 using the spring system.

4.5.2 Solution 2

The second solution was made as 3D model in Catia. The pressure pin is composed from moving and stable parts. The movement is ensured by the spring with predefined pressure.

The machined parts are: the pin and the housing.

The ordered parts are:

- sliding bush,
- spring,
- screws.

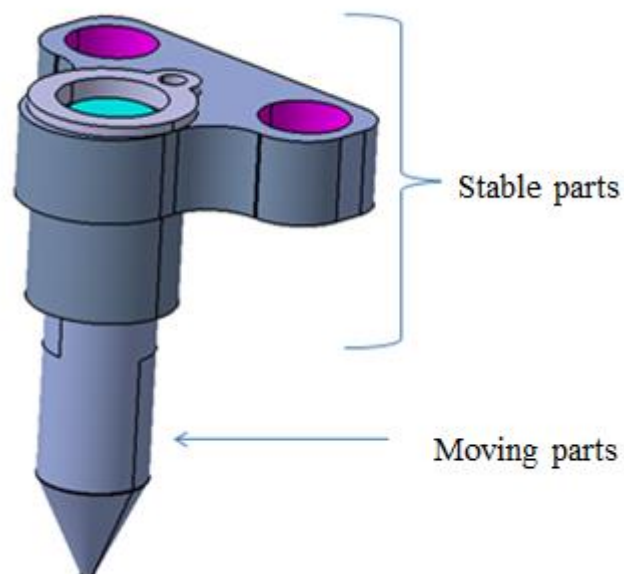


Figure 4.5.2.1 The 3D model of the pressure pin system.

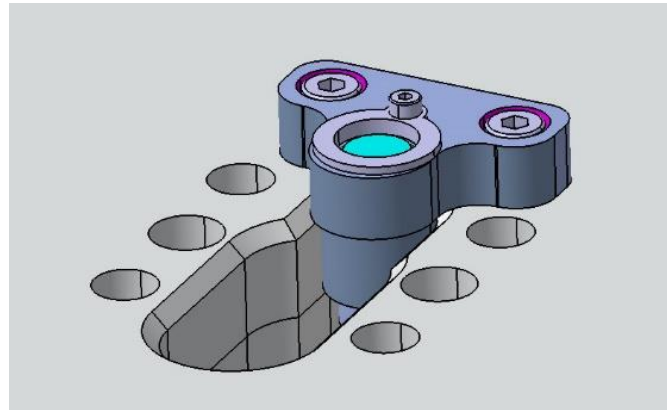


Figure 4.5.2.2 Detail on the fixation on the mountain jig.

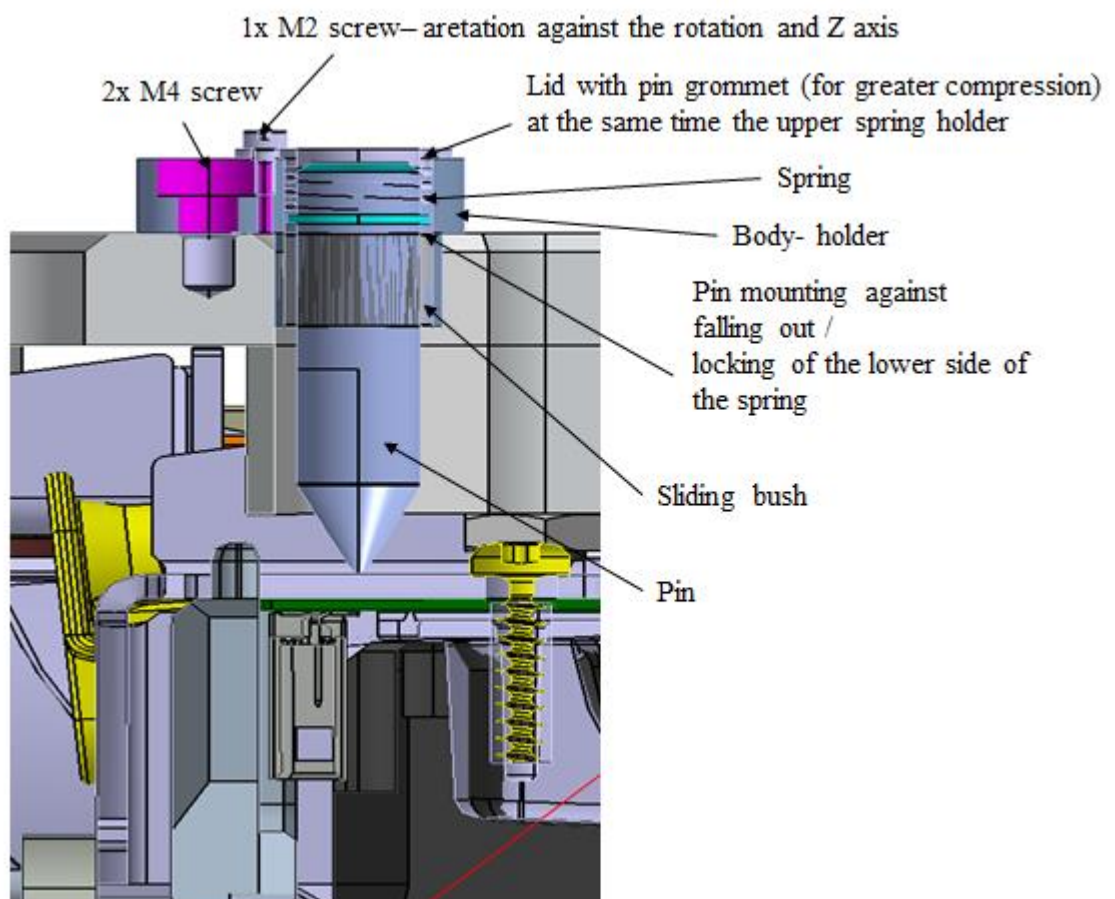


Figure 4.5.2.3 Described pressure pin system.

The pressure pin system is mounted on the jig using two M4 screws. The proposed material to use is alloy EN AW-6060 (AlMgSi) which is used in all manufactured pieces of the jig.

The pin has better assumptions to maintain the F-lux on the position than the spring-loaded screw because the top of the pin has smaller contact surface which means that the contact under predefined pressure will cause small plastic deformation on the F-lux (which is not important problem because the F-lux is not neither design neither visible part of the headlamp) which will keep the F-lux on position.

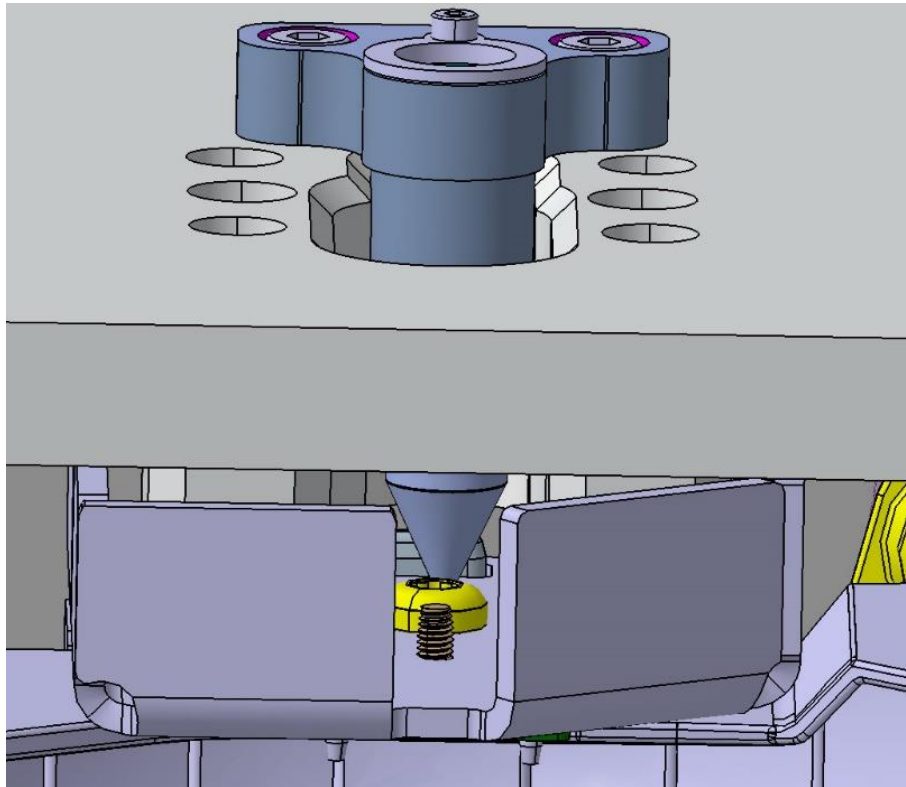
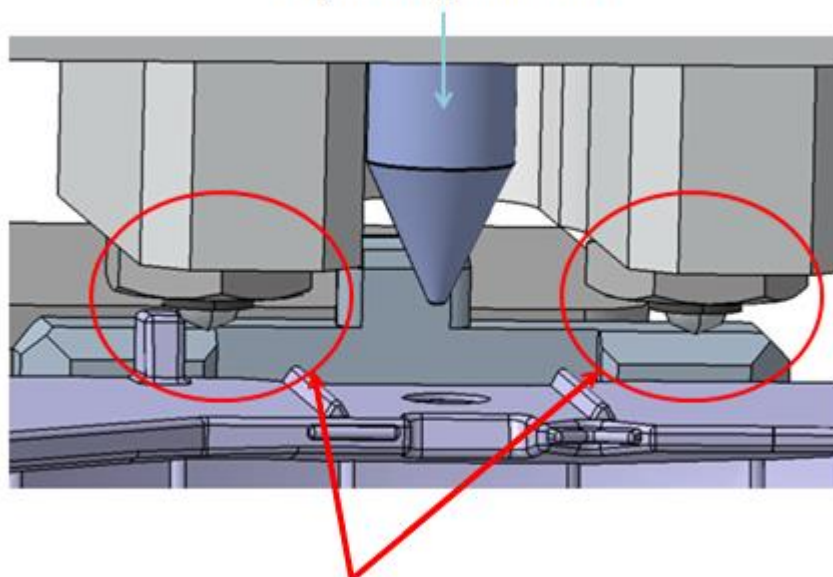


Figure 4.5.2.4 The pressure pin system fixed on the mountain jig, pressing down the F-lux.

Proposed optimization



Current situation

Figure 4.5.2.5 The spring-loaded screws and the pressure pin (without F-lux).

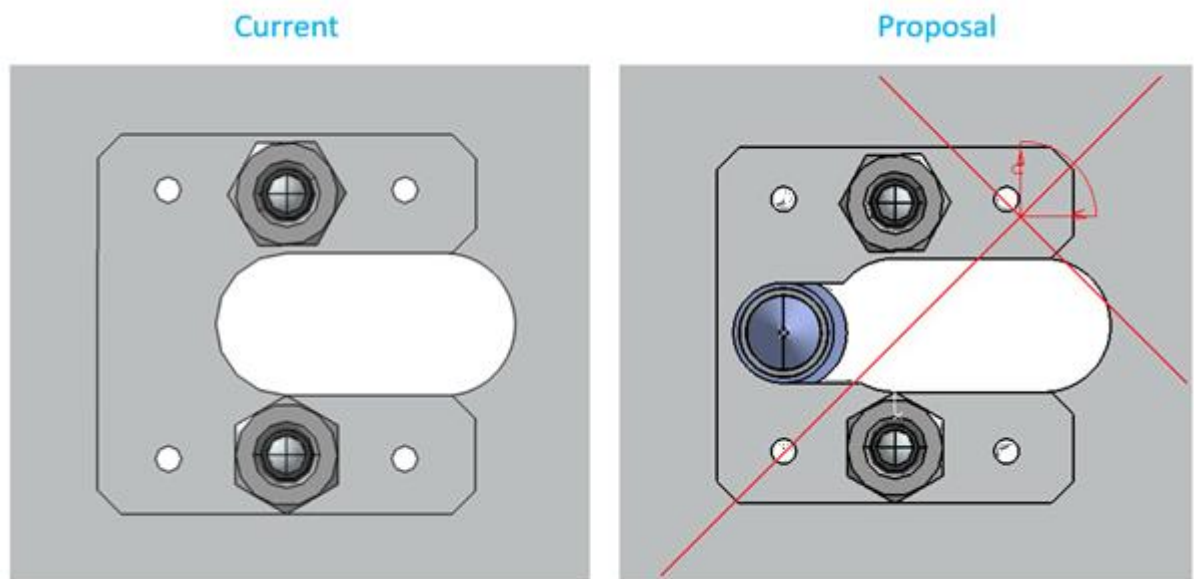


Figure 4.5.2.6 Comparison of the current pressing system with the proposal.

The proposed solution will keep the F-lux on its position using in three contact points with predefined pressure.

4.6 SCREWING

Another mounting point that can cause outages is screwing the F-Lux onto the reflector.

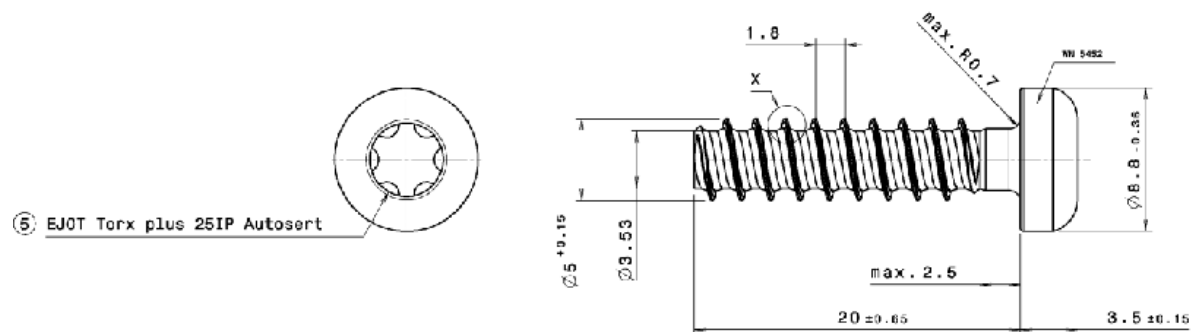


Figure 4.5.21 The drawing of the screw without the glue 'Precote'.

4.6.1 Definition of the pre-tightening area

The Figure 4.4.1.1 shows the main parts of the screwdriving process. The main areas are:

- Area 1: thread cutting in the reflector and screwing in the screw.

The scale of rotation speed is from 0 to n1: first contact of the screw and the material. The screw starts cutting the thread.

The scale of rotation speed is from n1 to n2: cutting of the thread. When the thread is cut by first threads, other threads complete the helix. The torque needed to this part is given the frictional resistance in the threads.

- Point 2: the screw head contact with the reflector.
- Area 3: tightening to a defined preload.

The scale of rotation speed is from n2 to n3: the torque is partly used to preload of the parts but the major part is used by friction in threads and the friction under the screw head Figure 4.4.1.1.

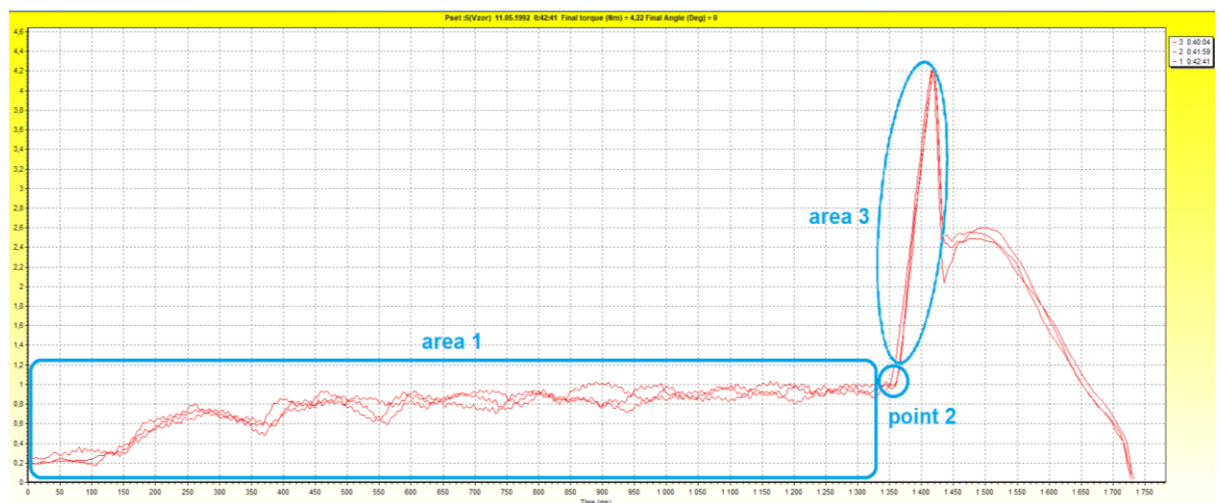


Figure 4.6.1.1 Description of the main phases of the evolution of the screwing torque in the Atlas Copco.

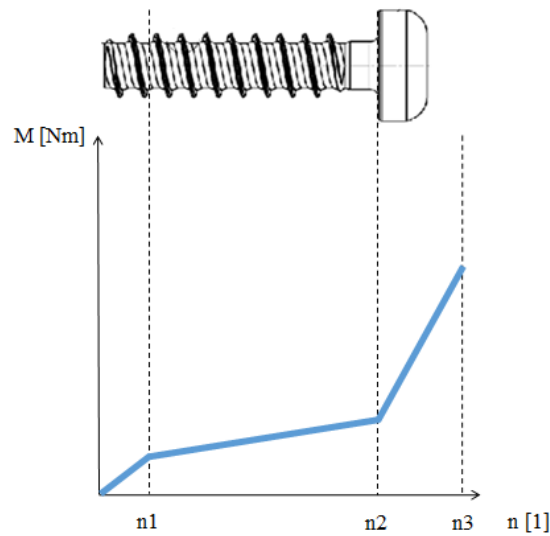


Figure 4.6.1.2 The evolution of the torque depending on the rpm.

4.6.2 Torque error situations

When screwing, several errors can occur that affect the output values:

- runout of the screw during assembly,
- soft sit of the screw,
- thread destruction,
- relaxation of the screw with the result of loosening the joint and loose fixing of the F-Lux.

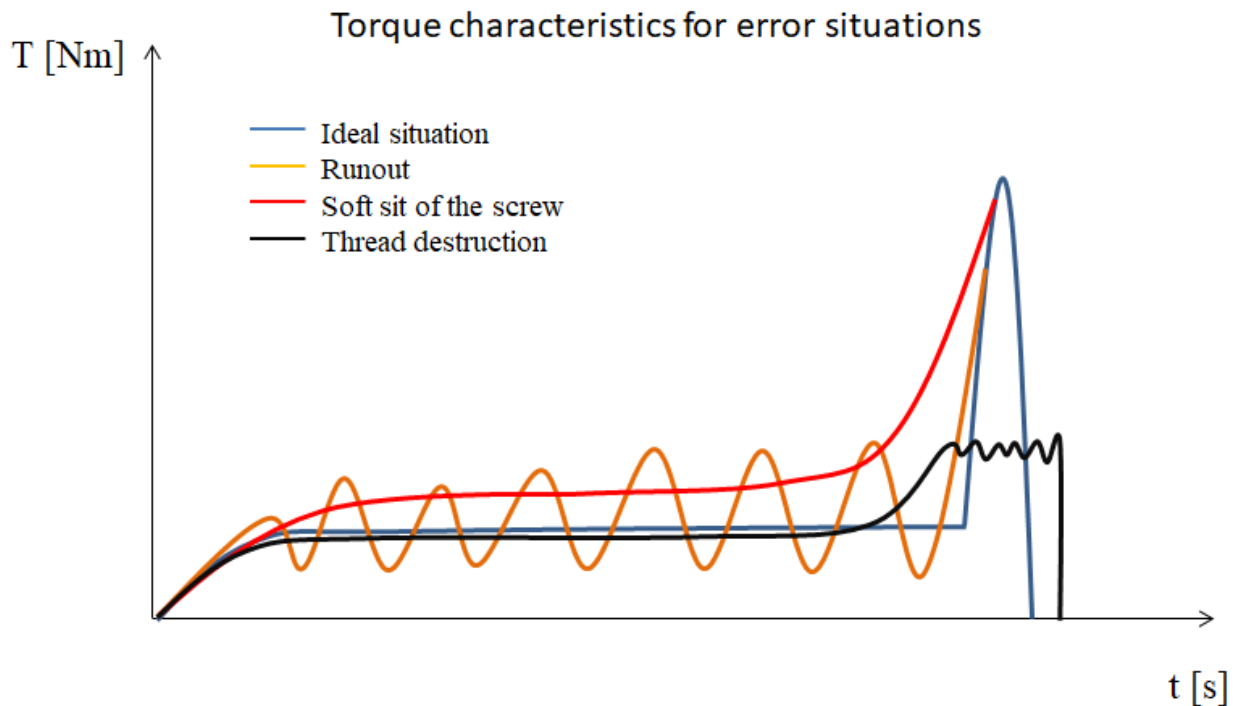


Figure 4.6.2.1 Torque characteristics for error situations.

4.6.3 The runout of the screw during assembly

This error can occur when the screw is not straight. This error is represented by the orange curve in the Figure 4.4.2. Runout can cause the damage of the connecting material and the connection can be incorrect. Other problem is the unclear moment of the point where the head of the screw comes to the initial contact with the material.

4.6.4 The soft sit of the screw

In the Figure 4.4.2.1 is this error curve in red colour. This error can occur when the deformation of the connection material starts before the sit of the screw head on the part.

4.6.5 Thread destruction

This situation can occur when the contact of the screw in the hole is too short and the thread may be destroyed, this error is the black curve in the Figure 4.4.2.1. Another possibility is too high torque so the value will be above the limit of the safety screwing and the thread will be destroyed.

4.6.6 Relaxation of the screw with the result of loosening the joint and loose fixing of the F-Lux.

The problematics of relaxation depends on the time, used materials and the temperature. Plastic materials have the property of relaxation, so the preload force may decrease. The reflector has only a hole, the thread is formed by a self-tapping screw, which is provided with glue to prevent contamination of the reflecting surface.

When mounting with a self-tapping screw, there is a small part of the supplied torque for overcoming the adhesive on the screw, deformation of the thread, another part for the assembly itself (Figure 4.4.2.1 the description of the torque without the overcoming adhesive torque).

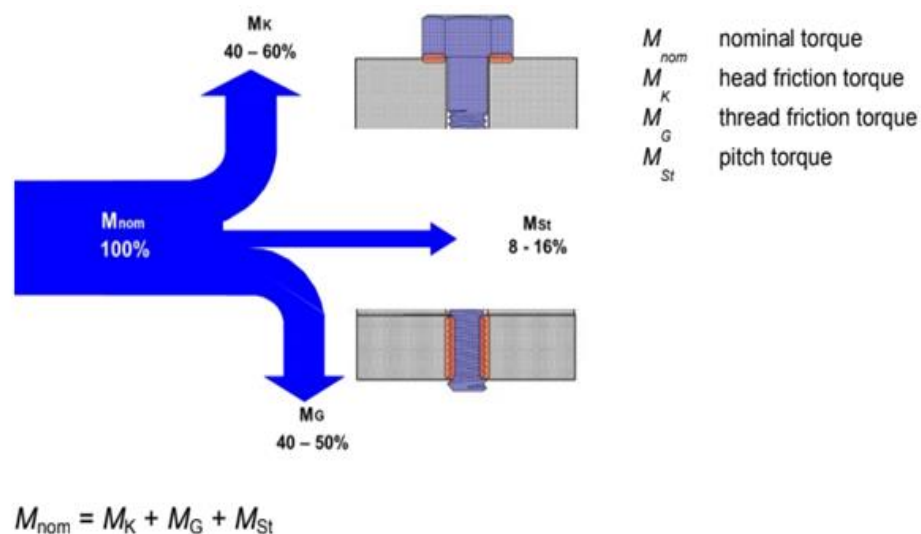


Figure 4.6.6.1 The repartition of the torque [100].

The preload force is determined from EJOT simulations, which add a force of 690N from the moment when the screw head is seated, thus ensuring sufficient tightening and at the same time guaranteeing a high safety factor (for example value 10) even after the material relaxes (decrease of up to 30% of preload force for some plastic materials).

The screwdriver capability can be ± 0.2 Nm, but in the resultant, when the torque is 7 Nm, and the preloaded force is 690 kN, every move of 0,1 Nm respond to rounded 90N. The capability of the screwdriver which vary from -0.2 to 0.2 means variation of 180N to each side. That is why EJOT calculate with higher preload force- even when there is difference of ± 180 N, there will be high coefficient of the security.

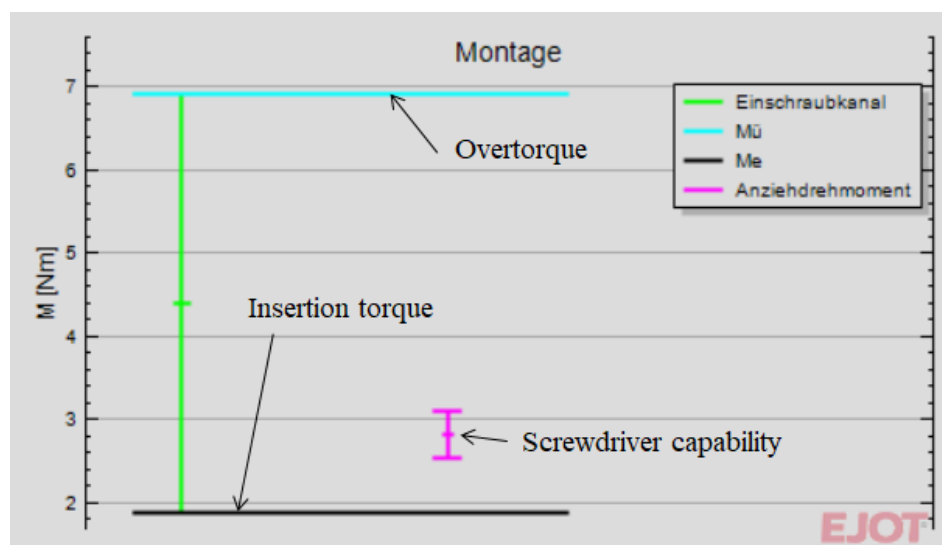


Figure 4.6.6.2 The values of the torque for defined screw from EJOT [101].

The plastic material has the property of relaxation. While relaxing the screw connection the preload force can decrease by tens of percent depending on time and temperature. That is another reason why the preload force has so high value.

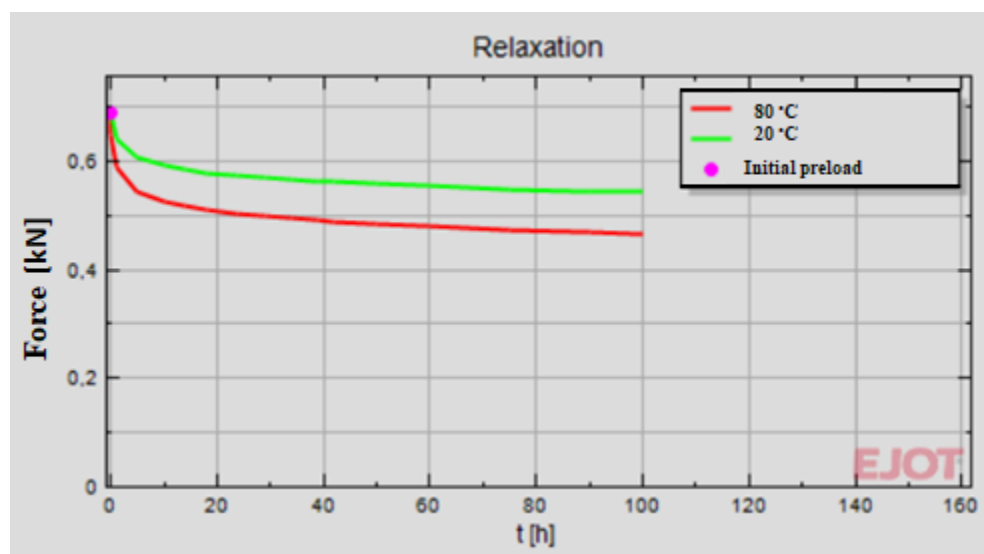


Figure 4.6.6.3 The graphics of relaxation: red curve for relaxation in temperature 80 °C, the green

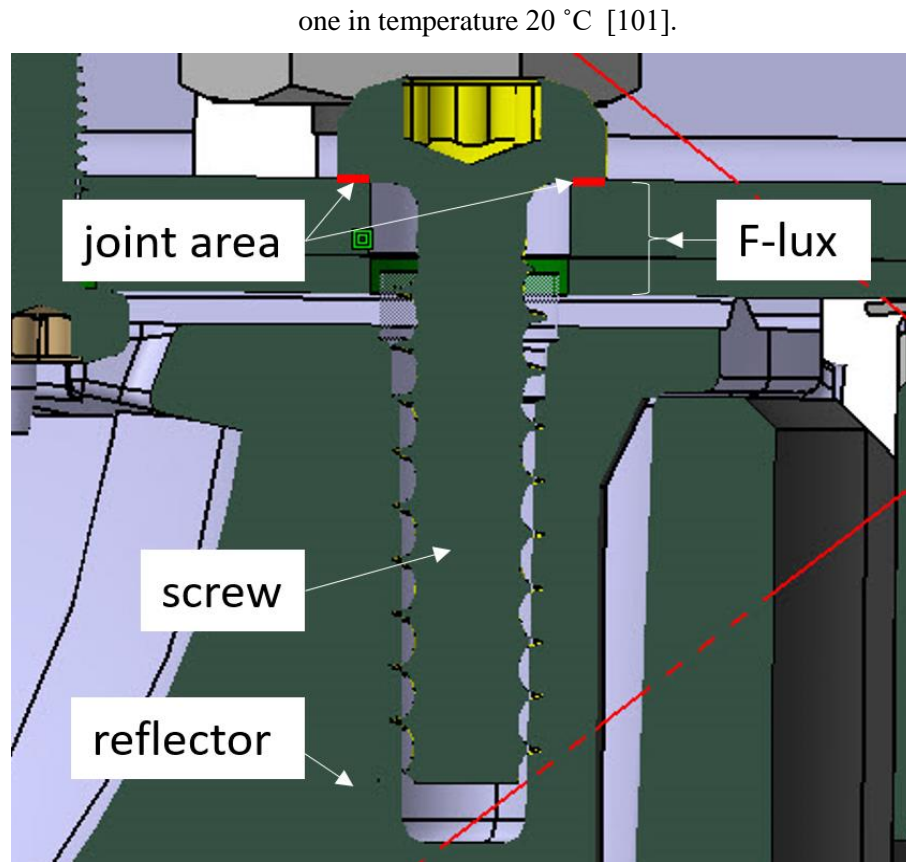


Figure 4.6.6.4 Cut of the 3D model of the screw connection of the F-lux with the reflector.

The reflector is seated in the jig and F-lux are positioned on it in the appropriate positions using a pneumatic system. After lowering the plate with the pressure system, the F-lux is also fixed in the z-axis and screwing can take place.

The hole in the F-lux is larger than in the reflector, after applying the screw, its first thread only touches the reflector. There is only a hole without a thread in the reflector. When screwdriving starts, a thread is formed in the BMC material (cutting forces act). All dirt is absorbed by the glue located on the screw.

The moment the screw head came to contact with the F-lux, the thread ceases to form and the forces acting are only frictional forces. The tightening torque exceeds the frictional forces and in the thread and under the screw head. At this point, the connection between the F-lux and the reflector is preloaded.

4.6.7 Experimental torque measurement in Atlas Copco

The program uses a strategy of tightening to input into the system, which means that the two main parameters are input:

- speed: 300 rpm,
- torque size: 4 Nm.

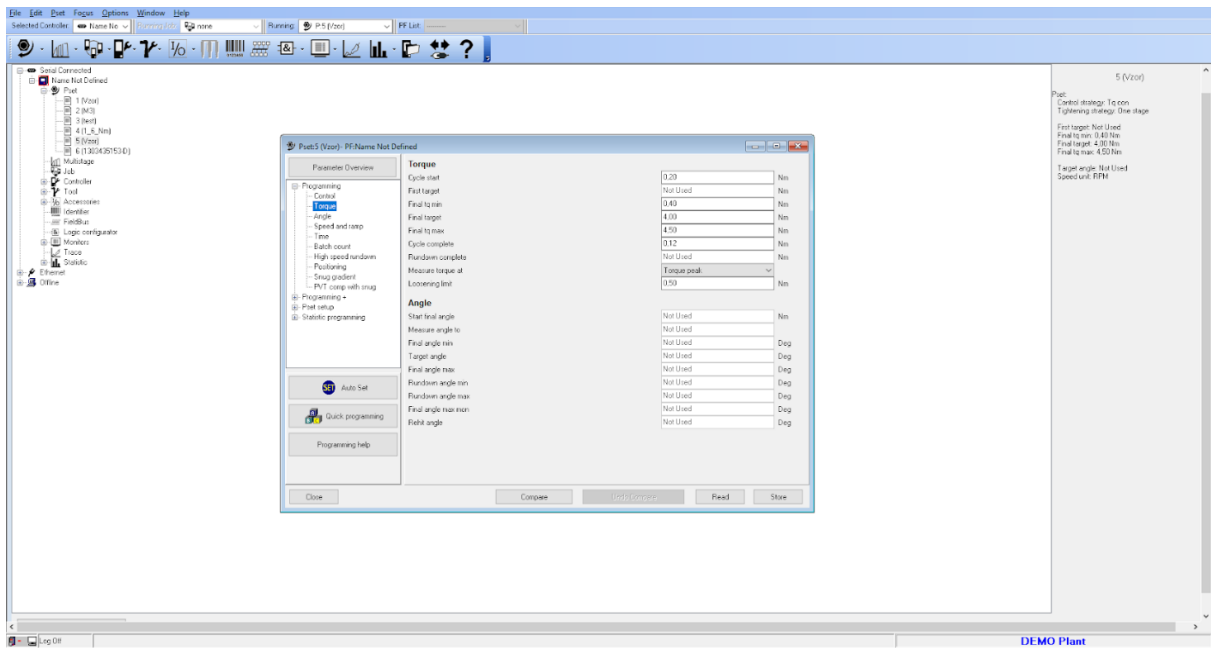


Figure 4.6.7.1 Tightening strategy of input in the Atlas Copco.

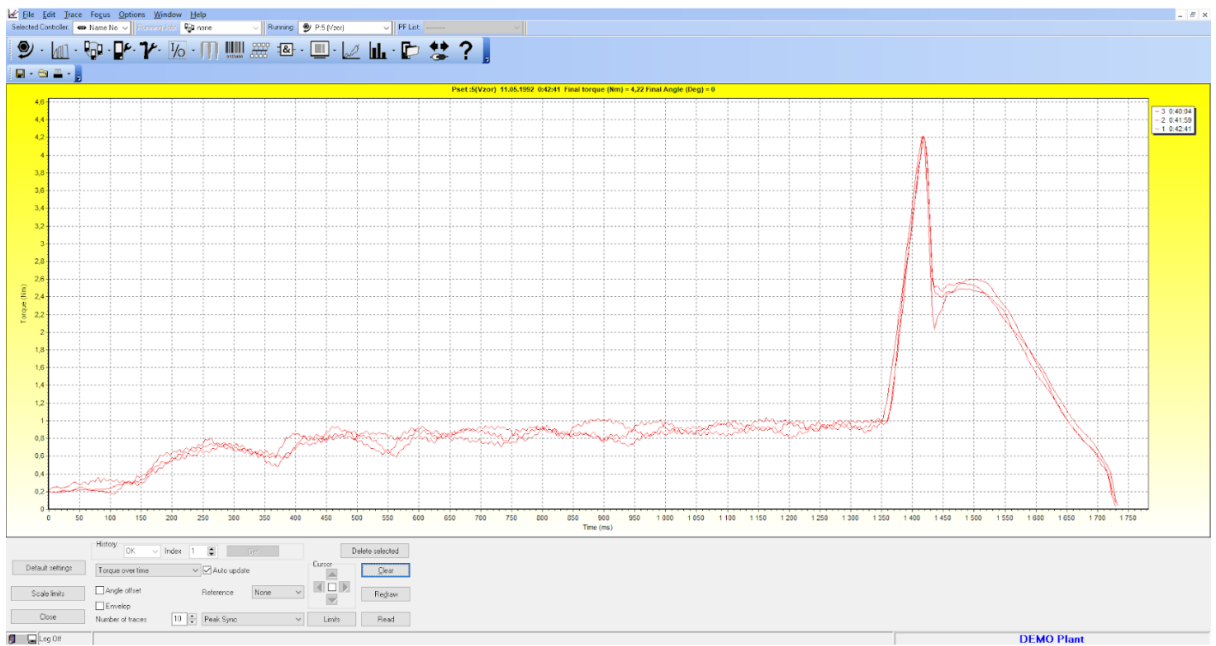


Figure 4.6.7.2 Example of the result of the measured torque using the tightening strategy of input in Atlas Copco.

Values inserted in Atlas Copco are the ramp speed and the final torque target.

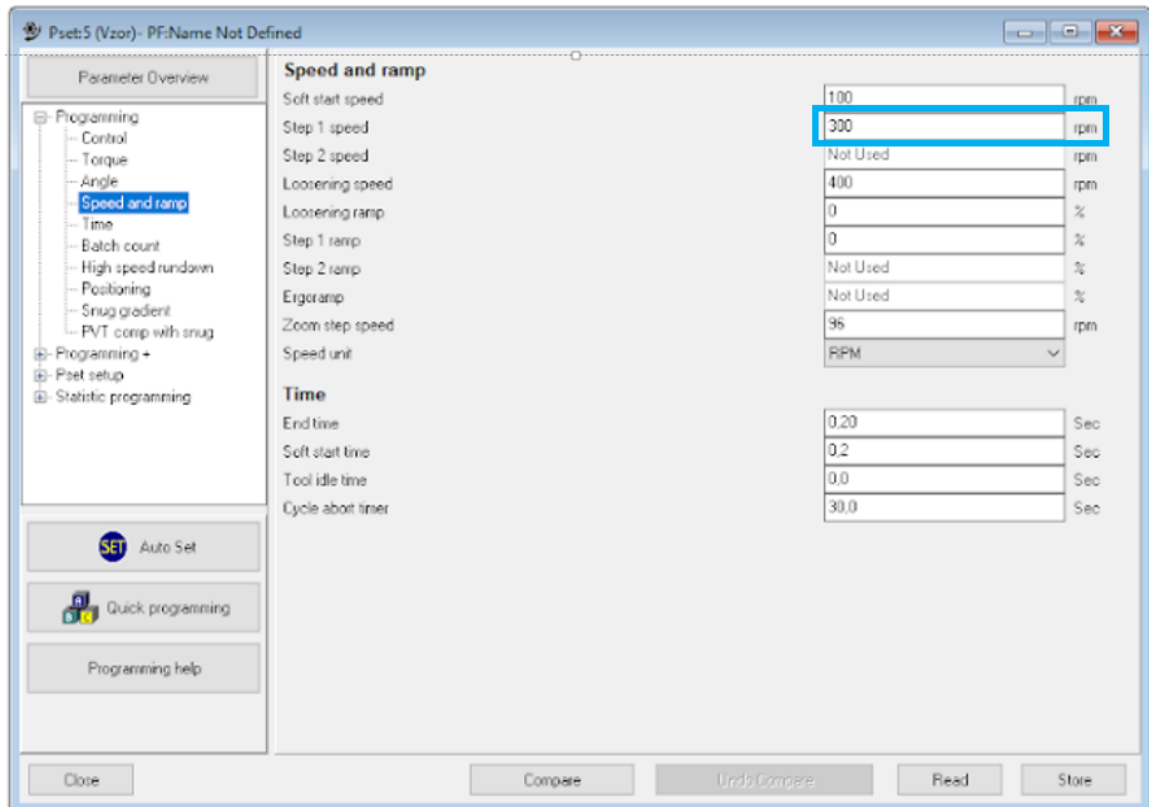


Figure 4.6.7.3 The speed and ramp inputted in system.

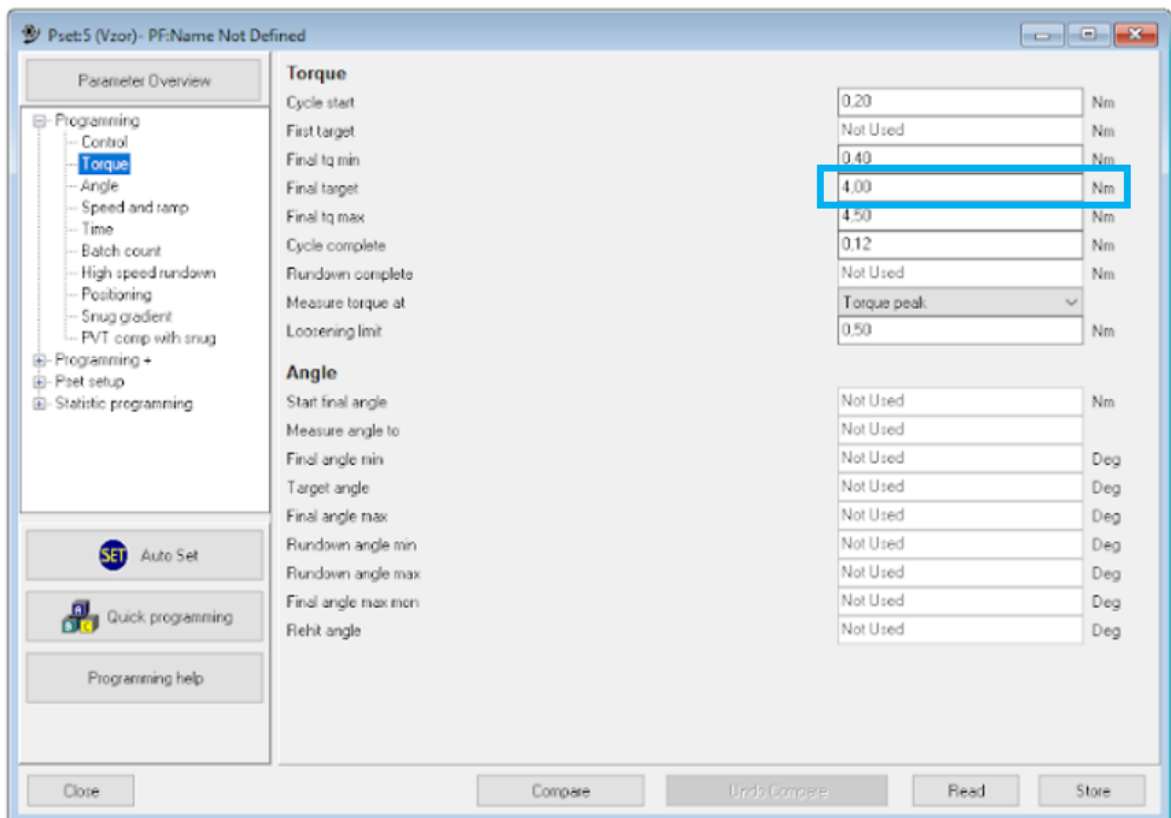


Figure 4.6.7.4 The torque input in system Atlas Copco.

Torque tests were performed on reflectors with all three F-lux fixed. Each graphic contains three curves that correspond to the screwing of three F-lux. There were made more experiences but the most significative were selected and displayed for demonstration below:

Normal process of the screwing: Reflector 1

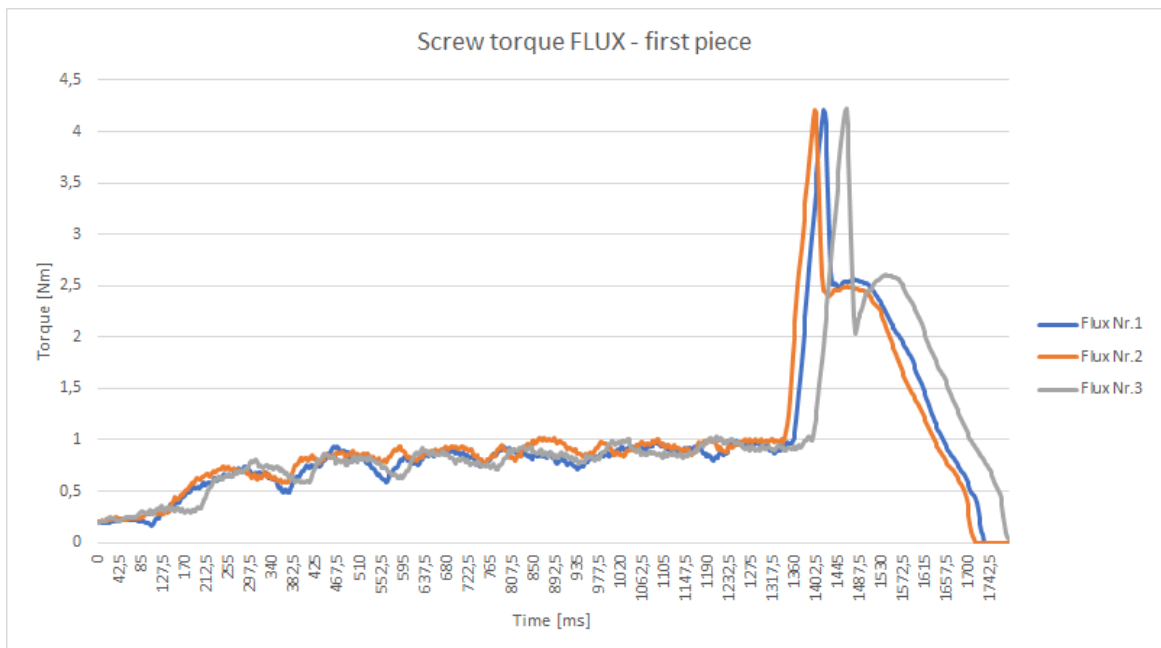


Figure 4.6.7.5 The graphics for torque of screwing three F-Lux on the reflector 1. All three curves provide the stability of the tightening torque.

Delay of the curves: Reflector 2

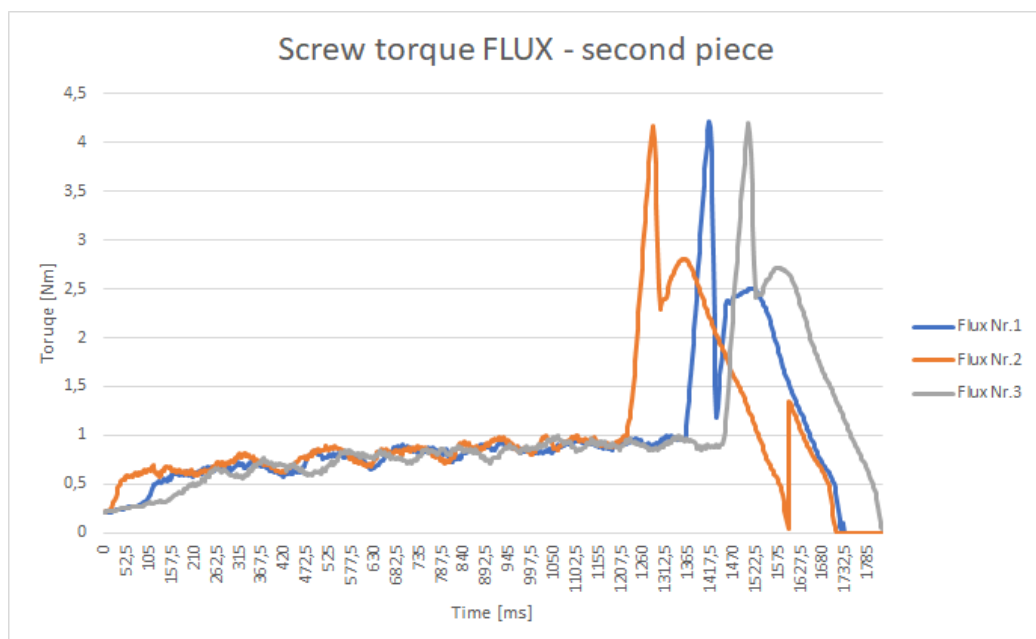


Figure 4.6.7.6 The graphics for moments of screwing three F-Lux on the reflector 2.

All three curves provide the stability of the tightening torque, but it can be seen the delay of the curves. This is caused by the initial rotation of the screw. The delay is just the different time of the screwing process.

This is one of the reasons why EJOT uses tightening strategy. Using strategy where the input time would cause the non-finished screw connection in some cases where the initial position of the screw were rotated.

Runout of the screw during assembly: Reflector 3

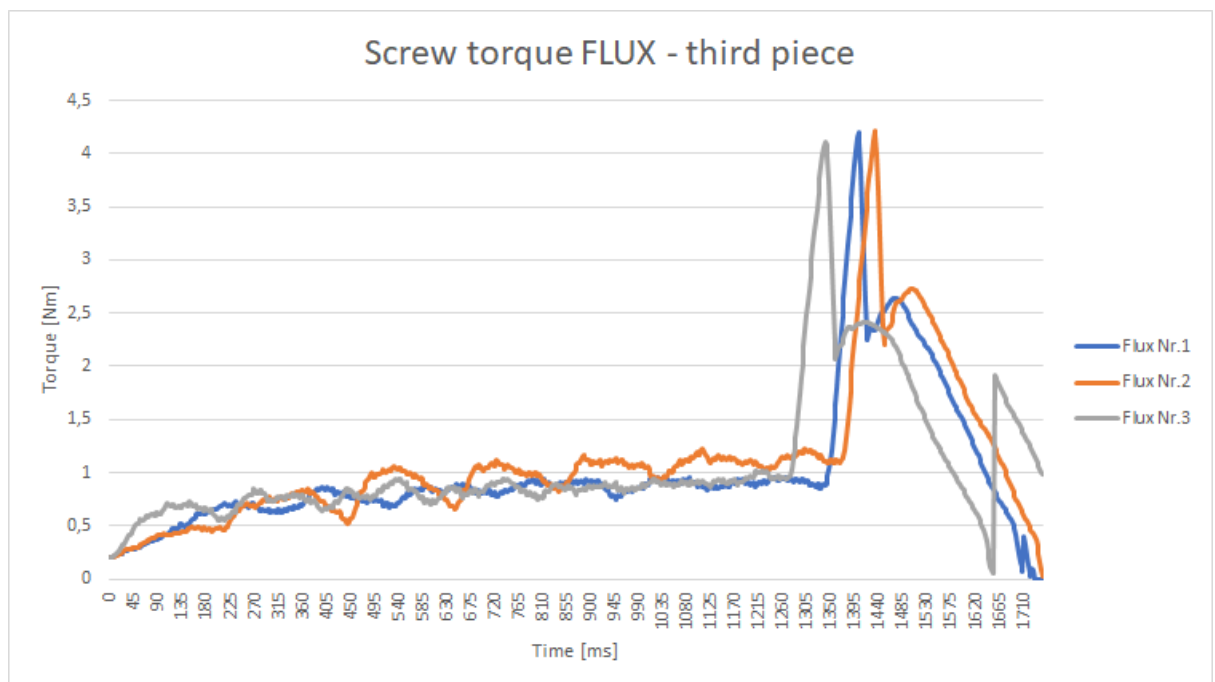


Figure 4.6.7.7 The graphics for moments of screwing three F-Lux on the reflector 3.

The curves for F-luc Nr. 1 and Nr. 3 provides the stability of the tightening torque. The curve for F-lux Nr. 2 provide signs of the runout. The problematic of runout was explained on the beginning of this chapter.

When the obtained graphics are compared with the graphics on Figure 4.4.1 (Torque characteristics for error situations), it can be seen that the graphs for the first and second parts show the stability of the tightening torque.

On the graph of the third part, for the assembly of the second F-lux (orange curve) it is possible to observe an anomaly of the shape-so called runout, which is caused by poor screw quality. As a result, the screw is runout, which can result in damage to the plastic part and therefore a poor quality screw connection.

The torque is chosen correctly and it is not necessary to change the value, the problem lies in the quality of the screw.

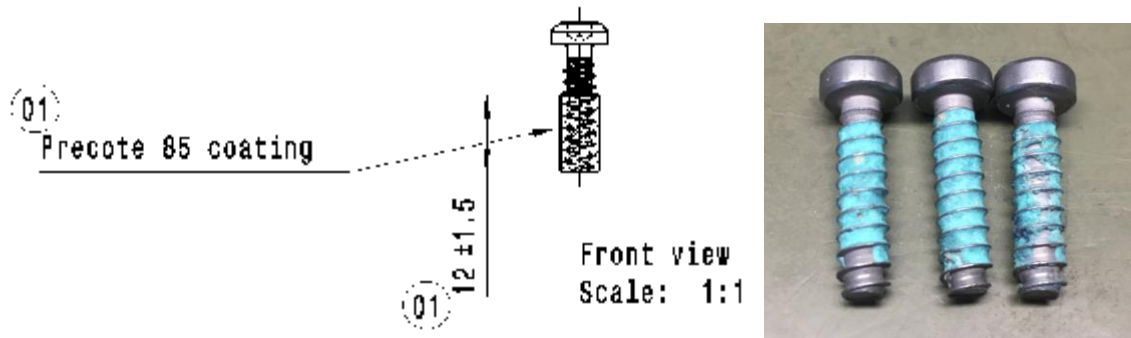


Figure 4.6.7.8 The drawing of the screws with glue Precote and the photo of the screws with the glue.

It is a self-tapping screw, size 5x20 with pt thread. The slope is 1.7 mm. The screw is provided with Pecote adhesive, which is on the screw to trap dirt that could contaminate the reflective surface of the reflector or the design, visible part.

Parts per million (ppm)

In large-scale production, even a small mistake can cause huge losses.

The screw are low-cost and can be of poor quality, in case the bolt is thrown and therefore possible damage, but still the bolt is left in the joint and the headlight reaches the client, two cases can occur:

- outages from 0 kilometres
- outages from the field

Outages of 0 kilometers

This is an outage that is detected when testing the headlight in the car. The vehicle has not yet come out of the production, but the headlight cannot be used due to an error rate. This case leads to fines for the headlight manufacturer.

Outages from the field

This type of outage occurs when it is found while the vehicle is in operation. In this case, the amount of the fine may be in the thousands of euros per headlight.

In both cases, headlamp manufacturers have to pay heavy fines, so a target of 20 ppm-20 parts per million is set in production, which means a tolerance of twenty damaged pieces.

4.6.8 Optimization with Toolsnet software 8

The optimization of the runout problem is the use of software on the line. One possible software may be Toolsnet 8 from Atlas Copco.

This software allows monitoring the progress of screwdriving and storing values in the system. The main advantage is the immediate possibility of evaluation and analysis in the workstation, thanks to which the operator can replace a poor quality screw, thus reducing the cost of any necessary product recall.

The software allows torque adjustment for individual screws. The value of the tightening torque will not be calculated from the beginning of the screwdriving, but from the abutment of the screw head.

5 DISCUSSION

Multinational companies such as Automotive Lighting should constantly update, optimize, and modernize all processes in order to eliminate obsolete technologies, improve the current state of all sectors from management to production lines. It is necessary to excel in a competitive environment and this is also possible by quickly adapting the market environment, client requirements and current trends.

The production of car headlights is a complex process consisting of many steps. In order for such a large system to be adaptable, it is desirable to have all processes under constant control and possible interventions. One of the methodologies used by Automotive Lighting is FMEA, another is a control plan and a control manual. All processes are recorded in these open documents, which are interconnected and can be updated and optimized at any time.

There are control instructions on the production lines, which follow the technological procedures at the workstation. The technological process on the line, where the installation of the LED light source on the reflector of the car headlight is in progress, showed failures of the optical output and the line clock. Following solution was designed and proposed.

After the analysis of all possible causes of failures (including the production of moulds, polishing, plating, injection, assembly itself and optical inspection) using on-site analysis, DAQIS analytical system and other methodologies (Pareto, Ishikawa), it was found that the main causes are bad location (position) F-lux on the jig and its subsequent fixation with a self-tapping screw on the reflector. The three most influential options where optimization was possible were to place the rod in the hole on the F-lux, the pressure system and screwing the F-lux onto the reflector.

When optimizing the rod, the method of static force decomposition was chosen. After modelling in the Catia software, the current position of the rod was evaluated as unsatisfactory and it was proposed to change the location of the hole for the rod to F-lux. The heatsinks are not manufactured in Automotive lighting, their optimization (moving the hole to the desired position) would mean interfering with the tool. It would take several weeks to process such a request. From the point of view of maintaining the line's tact, it is not possible to stop production and wait for new component. Another procedure is to design an intermediate component, which would be placed between the rod and the F-lux so that the force action is shifted to the desired position. Due to the time-consuming processing of this issue, this work does not deal with the design of the adapter. This topic is proposed as a possible topic of the dissertation or for internal processing in Automotive lighting.

Another point of optimization on the mounting jig is the pressure system, which consists of two spring screw, which were not sufficient, and the F-lux deviated from the desired position. The suggestion is to add another pressure element. Two solutions have been proposed: a non-sprung and a sprung pin. For optimization, a sprung pin is recommended,

which has more suitable required properties. Another possible procedure is to calculate the pressing force that needs to be pressed on the F-lux so that it does not deviate from the desired position even when screwing to a higher torque. The calculation was not performed due to time limitations.

The last optimization was a screw connection. After the experiments, it was found that the failure is not so much related to the torque, but more to the quality of self-tapping screws. One of the problems is the runout process. The proposed solution is to use the Toolsnet 8 system, which adapts to each bolt (screw head seating value, initial bolt position, ...) and checks the tightening torque value.

The whole work is based on an analysis of the issue and the design of a solution to meet the requirements for light output and line cycle. This work proposed the basics of optimization (described for individual optimizations), another point of view could be economic analysis and a more comprehensive view of the whole issue (moulds, injection moulding).

Based on the Pareto diagram and other analytical methods, the main causes that cause the most frequent outages were found. These causes have been analyzed and after applying the proposed solutions in practice, it is expected to reduce outages to 3% (these outages are related to the stability of production). This achieved the proposed goal of the work.

6 CONCLUSION

This thesis describes the whole issue, the subsequent analysis of outages and the design of optimization. During the development, the workstation on the production line was modified several times to optimize, so that the whole process of assembly and control could be thoroughly understood.

The first, the most important, finding is an incorrectly designed hole for the rod. Due to its location, the movement of the pins is blocked and they are not positioned in the suitable position.

The computed hole position is at least +7.5 mm (below pin 2 and beyond) away from the current tie rod position (considered as point 0).

The second point of optimization is the design of two solutions of the pressure pin (unsprung and spring-loaded pin), the purpose of which is to eliminate other forces during fixation by screwing. It would be an additional solution to the already used spring screw. In the case of a non-sprung pin, this is a simpler and more economical solution, but fixing the pin in one position can lead to too high pressing force and possible deformation of the F-lux, or, conversely, failure to rest on the F-lux. The pressure pin, which is equipped with a spring, works on the same principle as the spring screw and adapts to the reflector with Flux. The spring-loaded pin is in contact with the F-lux with a smaller area than the spring-loaded pins, therefore there is a slight indentation of the pin into the F-lux and thus fixation in the desired position. Based on the comparison, it is recommended to use solution 2, a pressure spring pin.

Thanks to the experiment it was found out that the used screws do not have enough quality and there may be screws that will affect the screwing by runout. The third optimization is therefore a suggestion to use the Toolsnet 8 system to regulate and control the screwing torque and to adapt it to the screws.

This work proposes possible optimizations of the assembly jig, which can serve the company as a basis for more comprehensive analysis and design of other solutions. The design of moving the hole on the rod can be used for the next generation of F-lux.

The aim of the work was to reduce the frequency of outages from the current 15% to 3%. Thanks to the analysis (data from DAQIS, Pareto diagram, Ishikawa diagram...) the main causes that caused most of the outages were found. The position of the rod hole, the pressure system and the screwing were the three main groups involved in the optimization. The optimization was achieved by correcting the assembly jig without the need to intervene in the pressing tool (optical or bearing surfaces). The use of the proposed solutions should reduce the frequency of outages to 3% (these outages are related to the stability of production. This met the goal of the work.

7 CITATIONS

- [1] The Evolution of Mercedes-Benz Headlight Tech: Candles to LEDs. In: *DSF* [online]. [quot. 2020-05-24]. Available on: <https://www.dsf.my/2019/12/mb-lighting-evolution/>
- [2] History of Marelli Automotive Lighting. In: *The world of Automotive Lighting* [online]. [quot. 2020-05-24]. Available on: <https://www.al-lighting.com/company/history/>
- [3] Phare (automobile). In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [quot. 2020-05-24]. Available on: [https://fr.wikipedia.org/wiki/Phare_\(automobile\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Phare_(automobile)).
- [4] ŽALUDOVÁ, Lenka. *Vnější osvětlení osobních automobilů*. Praha, 2010. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze.
- [5] KOPEČNÝ, Jan. *ZÁKLADY FYZIKY Modul 4 – Optika a atomové jádro* [online]. , 106 [quot. 2020-05-24]. Available on: https://www.studopory.vsb.cz/studijnimaterialy/Zaklady_fyziky/Modul4.pdf
- [6] Electromagnetic Spectrum. In: *Sapling learning* [online]. [quot. 2020-05-24]. Available on: <https://sites.google.com/site/chempendix/em-spectrum>
- [7] Teplota chromatičnosti. *Is.mendelu* [online]. [quot. 2020-05-24]. Available on: https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=9104
- [8] ABRAMOWITZ, Mortimer a Michael W. DAVIDSON. Colour Temperature. In: *Olympus* [online]. [quot. 2020-05-24]. Available on: <https://www.olympus-lifescience.com/en/microscope-resource/primer/lightandcolor/colortemp/>
- [9] DOSTÁL, František. Výukové materiály Hella Automechanik: Základy optiky. 2014.
- [10] Blackbody Radiation. In: *Cosmos* [online]. [quot. 2020-05-24]. Available on: <https://astronomy.swin.edu.au/cosmos/B/Blackbody+Radiation>
- [11] Lightness, Luminosity, Luminance and Other Tonal Descriptors. In: *Changing minds* [online]. [quot. 2020-05-24]. Available on: http://changingminds.org/explanations/perception/visual/lightness_variants.htm
- [12] II.7. Basic photometric quantities. In: *Gigahertz-Optik* [online]. [quot. 2020-05-24]. Available on: <https://light-measurement.com/basic-photometric-quantities/>
- [13] BIRON, Michel. *Thermoplastics and Thermoplastic Composites*. 2nd Edition. William Andrew, 2012. ISBN 9781455778980.
- [14] HLOCH, Karel. *Světelná technika motorových vozidel*. Brno, 2012. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně. Vedoucí práce Ing. Jiří Čupera, Ph.D.
- [15] HÉBERT, Mathieu, Patrick EMMEL a Roger D. HERSCH. *Fundamentals of Optics and Radiometry for Colour Reproduction* [online]. 2014 [quot. 2020-05-24]. Available on: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/9781118798706.hdi062>
- [16] Zobrazení kulovým zrcadlem. In: *Encyklopedie fyziky* [online]. [quot. 2020-05-24]. Available on: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/475-zobrazeni-kulovym-zrcadlem>

- [17] Optika - zobrazení, čočky a zrcadla, přístroje. In: *ITnetwork.cz* [online]. [quot. 2020-05-24]. Available on: <https://www.itnetwork.cz/maturitni-otazka-fyzika-zobrazeni-cocky-zrcadla-pristroje>
- [18] KOCIÁN, Martin. Současný stav a vývoj mezinárodních předpisů pro osvětlení automobilů. In: *Světlo, časopis pro světlo a osvětlování* [online]. [quot. 2020-05-24]. Available on: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/soucasny-stav-a-vyvoj-mezinarodnich-predpisu-pro-osvetleni-automobilu--16930>
- [19] Regulatory Standards. In: *Lumis, lighting a modern world* [online]. [quot. 2020-05-24]. Available on: <http://www.lumis.co.nz/reference-information/regulatory-standards>
- [20] CONBOY, John. Headlight Colours. In: *Power bulbs* [online]. 16th December 2019 [quot. 2020-05-24]. Available on: <https://www.powerbulbs.com/blog/2018/01/headlight-colours>
- [21] HID Xenon Colour Chart - Ultimate Headlight Temperature Guide. In: *Xenon Pro* [online]. [quot. 2020-05-24]. Available on: <https://www.xenonpro.com/hid-xenon-temperatures-colour-chart-ultimate-headlight-guide>
- [22] Les différents éléments appartenant à l'éclairage des automobiles. In: *Ornikar* [online]. [quot. 2020-05-24]. Available on: <https://www.ornikar.com/code/cours/mecanique-vehicule/feux>
- [23] Comment savoir quelle ampoule faut-il pour sa voiture ? In: *Ampoule voiture* [online]. [quot. 2020-05-24]. Available on: <http://www.ampoule-accessoire-auto.fr/>
- [24] 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.
- [25] OSVĚTLENÍ. In: *Lážova knihovna* [online]. [quot. 2020-05-24]. Available on: <http://lazo.czechian.net/elektrika/osvetleni.htm>
- [26] Xenon lamps and arc lamps. In: *Explain that stuff* [online]. [quot. 2020-05-24]. Available on: <https://www.explainthatstuff.com/how-xenon-lamps-work.html>
- [27] KRYŠTOF, Tomáš. *Vyhodnocování parametrů automobilových světlometů*. Ostrava, 2015. Diplomová práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava.
- [28] KUBÁT, J. a ŽDÁNSKÝ, B. *Elektrotechnika motorových vozidel*. Brno : Avid, 2003. 155 s.
- [29] BROŽ, J. a TRNKA, L. *AutoExpert: časopis profesionálů v autoopravárenství : technika - autodílna - obchod*. Praha: Vogel Publishing, 1995-. ISSN issn1211-2380.
- [30] ŽLEBEK, Michal. *Osvětlení automobilu*. Brno, 2013. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [31] CHRENŠČ, V. Když svítí LED. *Auto Expert*. 2007, 12 (11), s. 36-37. ISSN 1211-2380
- [32] A Complete Guide to Car Headlights. In: *The Filter* [online]. 18 October 2018 [quot. 2020-05-25]. Available on: <https://www.micksgarage.com/blog/complete-guide-car-headlights>
- [33] ŠEVČÍK, František. *Vývoj a konstrukce světlometů* [online]. In: . 2017 [quot. 2020-05-25]. Available on: <https://docplayer.cz/20229404-Vyvoj-a-konstrukce-svetlometu-skoda-auto-a-s.html>

- [34] DAŇKOVÁ, Andrea. *Osvětlovací systémy vozidel*. Plzeň, 2013. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni.
- [35] LYSA, Bohuslav. Náhrada šroubového spoje dílců světlometu plastovým trnem. Brno, 2010. 57 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Aleš POLZER, Ph.D.
- [36] DRGA, Tomáš. *Výukové materiály Hella Automechanik: Simulace, způsobilost výrobku a testování*. 2011.
- [37] VLK, František. *Elektronické systémy motorových vozidel*. Brno: František Vlk, 2002. ISBN isbn80-238-7282-6.
- [38] Photometric Specification of Automotive Headlamp. In: *Konica Minolta* [online]. [quot. 2020-05-25]. Available on: <https://sensing.konicaminolta.asia/wp-content/uploads/2018/06/Photometric-Specification-of-Automotive-Headlamp.pdf>
- [39] SCHOETTLE, Brandon, Michael SIVAK a Michael J. FLANNAGAN. *High-beam and low-beam headlighting patterns in the U.S. and Europe at the turn of the millennium*. Michigan, 2001. Report No. UMTRI-2001-19. The University of Michigan.
- [40] HAVEL, Jan. *Současný stav a vývojové tendence v konstrukci prvků aktivní bezpečnosti vozidel*. Brno, 2008. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Ondřej Blaťák.
- [41] Konstrukce světlometů a směrových světél. In: *ISS Slaný* [online]. [quot. 2020-05-25]. Available on: <http://zak.iss-slany.cz/?id=700&action=detail&presenter=Material>
- [42] VLK, František. *Elektrická zařízení motorových vozidel*. Brno: František Vlk, 2005. ISBN isbn80-239-3718-9.
- [43] RAINEY, Adam M. a Michael W. DAVIDSON. Elliptical Reflectors. In: *Zeiss* [online]. The Florida State University [quot. 2020-05-25]. Available on: <http://zeiss-campus.magnet.fsu.edu/tutorials/ellipticalreflectors/indexflash.html>
- [44] Lens optics, side view. Light is dispersed vertically (shown) and laterally (not shown). In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [quot. 2020-05-25]. Available on: <https://en.wikipedia.org/wiki/Headlamp#/media/File:Headlight lens optics schematic.png>
- [45] Reflector optics, side view. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [quot. 2020-05-25]. Available on: <https://en.wikipedia.org/wiki/Headlamp#/media/File:Headlight reflector optics schematic.png>
- [46] Projector optics, side view. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [quot. 2020-05-25]. Available on: <https://en.wikipedia.org/wiki/Headlamp#/media/File:Headlight projector schematic.png>
- [47] STRAKA, Ivo a Willi GLATTER. *Výukové materiály Hella Automechanik: Konstrukce automobilového osvětlení*. 2014.
- [48] Litronic System. In: *Euromotor* [online]. [quot. 2020-05-25]. Available on: <https://www.euromotor.org/mod/resource/view.php?id=21784>

- [49] Adaptive front lighting systems. In: *Cars innovation* [online]. [quot. 2020-05-25]. Available on: <https://inocar.blogspot.com/2011/05/adaptive-front-lighting-system.html>
- [50] Moderní systém předního osvětlení automobilů (AFS). *Světlo, časopis pro světlo a osvětlování* [online]. FCC Public, 2002, (03/2002) [quot. 2020-05-25]. Available on: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/moderni-system-predniho-osvetleni-automobilu-afs--16881>
- [51] AFS (Adaptive front-lighting system. In: *Mazda* [online]. [quot. 2020-05-25]. Available on: https://www.mazda.com/en/innovation/technology/safety/active_safety/afs/
- [52] VOCHYÁN, Josef a Radek POCHYLÝ. *Výukové materiály Automotive Lighting: Základy optiky a elektroniky*. 2014.
- [53] GERLA, Tomáš. *Chlazení LED světlometu*. Ostrava. VŠB - Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Ing. Zdeněk Noga, CSc.
- [54] GLEVA, Mark. *Enhanced active cooling of high power led light sources by utilizing shrouds and radial fins*. Georgia, 2009. Disertační práce. Georgia Institute of Technology.
- [55] Cree XHP70 coldwhite 6200K 1710lm with PCB (Star) Rating: 96% of100. In: *LedRise* [online]. [quot. 2020-05-26]. Available on: <https://www.ledrise.eu/leds/cree-xhp70-coldwhite-6200k-1710lm-pcb-star.html>
- [56] A Visit to Marelli Automotive Lighting HQ. In: *Driving vision news* [online]. January 28, 2020 [quot. 2020-05-26]. Available on: <https://www.drivingvisionnews.com/a-visit-to-marelli-automotive-lighting-hq/>
- [57] REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Technologie DMD. In: *Encyklopedie fyziky* [online]. [quot. 2020-05-26]. Available on: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/1562-technologie-dmd>
- [58] Automotive lighting of the future: Osram's Oslon Boost HX opens up new concepts. In: *Osram* [online]. [quot. 2020-05-26]. Available on: <https://www.osram.com/os/press/press-releases/automotive-lighting-of-the-future-osram-oslon-boost-hx.jsp>
- [59] VLK, František. *Osvětlení motorových vozidel* [online]. In: . 2006 [quot. 2020-05-24]. Available on: <http://www.sinz.cz/archiv/docs/si-2006-05-292-300.pdf>
- [60] PAŘÍZEK, Jiří. *Moderní systémy osvětlení vozidel*. Brno, 2008. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [61] What are matrix headlights and do they work? In: *Practical Motoring* [online]. [quot. 2020-05-26]. Available on: <https://practicalmotoring.com.au/car-advice/what-are-matrix-headlights-and-do-they-work/>
- [62] Glarefree High Beam Pixel. In: *The world of Automotive Lighting* [online]. [quot. 2020-05-26]. Available on: <https://www.al-lighting.com/technology/frontlighting/glarefree-high-beam-pixel/>

- [63] Laserové světlomety – postrach tmy. In: *Technickyportal.cz* [online]. [quot. 2020-05-26]. Available on: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/ekonomika-byznys/laserove-svetlomety-postrach-tmy_32367.html
- [64] Laserová světla pro světlomety. In: *Osram* [online]. [quot. 2020-05-26]. Available on: <https://www.osram.cz/am/specials/trendslighting-innovations/laser-light-new-headlight-technology/index.jsp>
- [65] VAVERKA, Lukáš. Žárovka, výbojka, diody a laser: Jak fungují různé typy světlometů. In: *Autobible* [online]. 15-4-2019 [quot. 2020-05-26]. Available on: <https://autobible.euro.cz/zarovka-vybojka-diody-laser-funguji-ruzne-typy-svetlometu/>
- [66] BMW Explains the Laser Headlights Used on the i8. In: *Autoevolution* [online]. [quot. 2020-05-26]. Available on: <https://www.autoevolution.com/news/bmw-explains-the-laser-headlights-used-on-the-i8-video-73192.html>
- [67] Thermoplastics. *Scotts tools* [online]. [quot. 2020-08-03]. Available on: <https://www.scottstool.com/thermoplastic.htm>
- [68] Plastic. *Encyclopædia Britannica* [online]. Encyclopædia Britannica, December 09, 2019 [quot. 2020-08-03]. Available on: <https://www.britannica.com/science/plastic>
- [69] PP (Polypropylen). *Koplast* [online]. [quot. 2020-08-03]. Available on: <https://www.koplast.cz/pp-polypropylen/>
- [70] Polypropylen - PP. *VM Plast s.r.o.* [online]. [quot. 2020-08-03]. Available on: <https://www.vmplast.cz/sortiment/polypropylen>
- [71] BĚHÁLEK, PH.D., Ing. Luboš. *Polymery: Podpora přírodovědného a technického vzdělávání v Pardubickém kraji.* publi.cz, 2016. ISBN 978-80-88058-68-7. [online]. [quot. 2020-08-03] Available on: <https://publi.cz/books/180/18.html>
- [72] SPECIALCHEM. A Complete Guide to Polycarbonate (PC). *Omnexus* [online]. [quot. 2020-08-03]. Available on: <https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/polycarbonate-pc-plastic>
- [73] Difference Between Thermoplastic And Thermosetting Plastic. *Byju's* [online]. [quot. 2020-08-03]. Available on: <https://byjus.com/chemistry/difference-between-thermoplastic-and-thermosetting-plastic/>
- [74] The Difference Between Thermoplastic and Thermosetting Plastic. *Osborne* [online]. May, 2017 [quot. 2020-08-03]. Available on: <https://www.osborneindustries.com/news/difference-between-thermoplastic-thermosetting-plastic/>
- [75] Vstřikování reaktoplastů. *Arburg* [online]. [quot. 2020-08-03]. Available on: <https://www.arburg.com/cs/cz/mediateka/video/postup/vstrikovani-reaktoplastu/>
- [76] Bulk Moulding Compound. *Science Direct* [online]. [quot. 2020-08-03]. Available on: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/bulk-moulding-compound>
- [77] BMC. *Federal* [online]. [quot. 2020-08-03]. Available on: https://federal.com.tr/en/wp-content/uploads/2015/07/32_BMC.pdf
- [78] XIE, Lei & Shen, BINGYAN Longjiang & Jian, (2011). Modelling and Simulation for Micro Injection Molding Process. 10.5772/16283. [quot. 2020-08-03]. Available on:

- <https://www.researchgate.net/publication/221913235> Modelling and Simulation for Micro Injection Molding Process
- [79] JÍLEK, Bohumil. *Výroba vstřikovací formy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 83 s., 2 přílohy. Vedoucí práce doc. Ing. Miroslav Píška, CSc.
- [80] LENFELD, Petr. *Katedra tváření kovů a plastů - Skripta. Technologie II: Část II - Zpracování plastů*. Technická univerzita Liberec –Fakulta strojní – Katedra strojírenské technologie - Oddělení tváření kovů a plastů, 2008. [online]. Available on: [WW:http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/obash_plasty.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/obash_plasty.htm)
- [81] GASTROW, H., *Der Spritzgieß-Werkzeugbau in 130 Beispielen*, Hansen, 1998
- [82] SKOPEČEK, Tomáš, HOFMANN, Petr. *Frézovací strategie při výrobě forem a zápustek*. MM Průmyslové spektrum [online]. 2005, č. 5 [quot. 2020-08-03]. Dostupný z WWW: <https://www.mmspektrum.com/clanek/frezovaci-strategie-pri-vyrobe-forem-a-zapustek.html>. ISSN 1212-2572.
- [83] Fei Chen, Kai Wang, Zong Qin, Dan Wu, Xiaobing Luo, and Sheng Liu, "Design method of high-efficient LED headlamp lens," *Opt. Express* 18, 20926-20938 (2010) https://www.osapublishing.org/DirectPDFAccess/76AAC788-D078-2EE5-A48867AB03EDBD2A_205791/oe-18-20-20926.pdf?da=1&id=205791&seq=0&mobile=no
- [84] Polybutylentereftalát - PBT. *Cegan* [online]. [quot. 2020-08-15]. Available on: <https://www.cegan.eu/cz/vyroba/zpracovavane-materialy/19-polybutylentereftalat-pbt>
- [85] PBT – polybutylentereftalát. *Ensinger* [online]. [quot. 2020-08-15]. Available on: <https://www.ensingerplastics.com/cs-cz/polotovary/konstrukcni-plasty/material-pbt>
- [86] *Templota chromatičnosti* [online]. [quot. 2020-08-25]. Available on: https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=9104
- [87] *LED Colour Mixing: Basics and Background* [online]. CREE. , 23 [quot. 2020-08-25]. CLD-AP38 REV 1F. Available on: https://www.cree.com/led-components/media/documents/LED_colour_mixing.pdf
- [88] LUXEON Altilon SMD: DS175 LUXEON Altilon SMD Product Datasheet. *Lumileds* [online]. [quot. 2020-08-25]. Available on: <https://www.lumileds.com/wp-content/uploads/files/DS175.pdf>
- [89] *Technická příručka obrábění*. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZs.r.o. Dánsko: Stibo Graphic. Říjen 2005. C-2900:3-CZE/01
- [90] FOREJT, M., PÍŠKA, M. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*, Vyd. 1., Brno Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
- [91] HUMÁR, A. *Technologie I: Technologie obrábění – 1. část*. Brno. 2003. Dostupné také z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf. Syllabus. Vysoké učení technické v Brně.
- [92] KOCMAN, K. *Technologické procesy obrábění*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM. 2011. ISBN 978-80-7204-722-2.

- [93] SHAW, M. C. Metal Cutting Principles. New York Oxford University Press. 2nd. edition. 2005. ISBN 0- 19-514206-3.
- [94] SHIGLEY, J. E., Ch. R. MISCHKE, R. G. BUDYNAS, M. HARTL a M. VLK. Konstruování strojních součástí. V Brně: VUTIUM, 2010, xxv, 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [95] Design instructions, procedures, project data, Automotive Lighting, Czech Republic, Germany, 2017
- [96] *Regulation No 98 of the Economic Commission for Europe of the United Nations (UN/ECE) — Uniform provisions concerning the approval of motor vehicle headlamps equipped with gas-discharge light sources: Supplement 4 to the 01 series of amendments.* 2014. [quot. 2020-08-25]. Available on: <http://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29fdocstts.html>
- [97] *Regulation 112: UNIFORM PROVISIONS CONCERNING THE APPROVAL OF MOTOR VEHICLE HEADLAMPS EMITTING AN ASYMMETRICAL PASSING BEAM OR A DRIVING BEAM OR BOTH AND EQUIPPED WITH FILAMENT LAMPS AND/OR LIGHT-EMITTING DIODE (LED) MODULES.* Revision 3. [quot. 2020-08-25]. Available on: <http://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29fdocstts.html>
- [98] Odpružené šrouby: Katalog výrobků. *Elesa-Ganter* [online]. © 2020 Elesa S.p.A [quot. 2020-08-08]. Available on: <https://www.elesa-ganter.cz/cs/cze/Zaji%C5%A1%C5%A5ovaci-prvky--Odpru%C5%BEene-%C5%A1rouby-GN6153-KKS?err=second>
- [99] Šrouby stavěcí s vnitřním šestihranem a s hrotem: Katalog výrobků. *Fasteners* [online]. © 2014 Fasteners.eu [quot. 2020-08-08]. Available on: <http://www.fasteners.eu/cs/standards/ISO/4027/>
- [100] Capability of Measurement Processes for the Torque Inspection on Bolted Joints. *Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA)*. Henrich Druck Medien, 2013, 03/2013(1), 50. ISSN 0943-9412.
- [101] Katalogový list – Samovrtné šrouby EJOT® SAPHIR. Machine Design [online]. [quot. 2020-08-25]. Available on: http://www.ejot.cz/picture/katalog_ETICS_2012/sverna-kapacita-jt.png

8 LIST OF USED SYMBOLS AND ABBREVIATIONS

Symbol	Unit	Description
b	-	The point at which the force f acts
c	m/s	Speed of the light
d	mm	The distance of point b from axis o
E_v	lx	Illuminance
F	N	Main force
F_0	N	Component from F_p in the feed direction
F_1	N	Force on pin 1
F_2	N	Force on pin 2
F_p	N	Sliding force
F_{R2}	N	Binding force
F_{t0}	N	Friction between the body and the mounting
F_{t1}	N	Friction force on pin 1
F_{t2}	N	Friction force on pin 2
F_u	N	Component of the force f perpendicular to $ sp $
G	-	Gradient
H_v	lx.s	Luminous exposure
K	lm/W	Luminous efficacy of radiation
L	m	Distance Of The Cut-out From The Pins (In Axis Y)
L_v	cd/m ²	Luminance
lv	cd	Luminous intensity
n	-	Refractive index
o	-	Axis between pin 1 and force f connector and pin 2 and force f connector
Q_v	lm.s	Luminous energy
R	-	Radius of rotation
S	-	Centre of rotation
t	-	Friction constant
v	m/s	Speed in the environment
η	lm/W	Luminous efficacy of a source
Φ	lm	Luminous flux
α	°	The angle between the axis o and the line connecting pin 2 to point b

β	◦	The angle between the axis o and the line connecting pin 1 to point b
BMC	-	Bulk molding compound
CAD	-	Computer aided design
CAE	-	Computer aided engineering
COL	-	Cut-off line
DMD	-	Digital micromirror devices
ECE	-	European economic community
ECU	-	Electronic control unit
EOL	-	End of the line
FF	-	Free form
HB	-	High beam
HID	-	High intensity discharge
LB	-	Low beam
LED	-	Light emitting diode
LHT	-	Left-hand traffic
NTC	-	Negative temperature coefficient
PBT	-	Polybutylentereftalat
PC	-	Polycarbonate
PCB	-	Printed circuit board
RHT	-	Right-hand traffic
SAE	-	Society of Automotive Engineers
US	-	United states
UV	-	Ultra violet

9 LIST OF ANNEXES

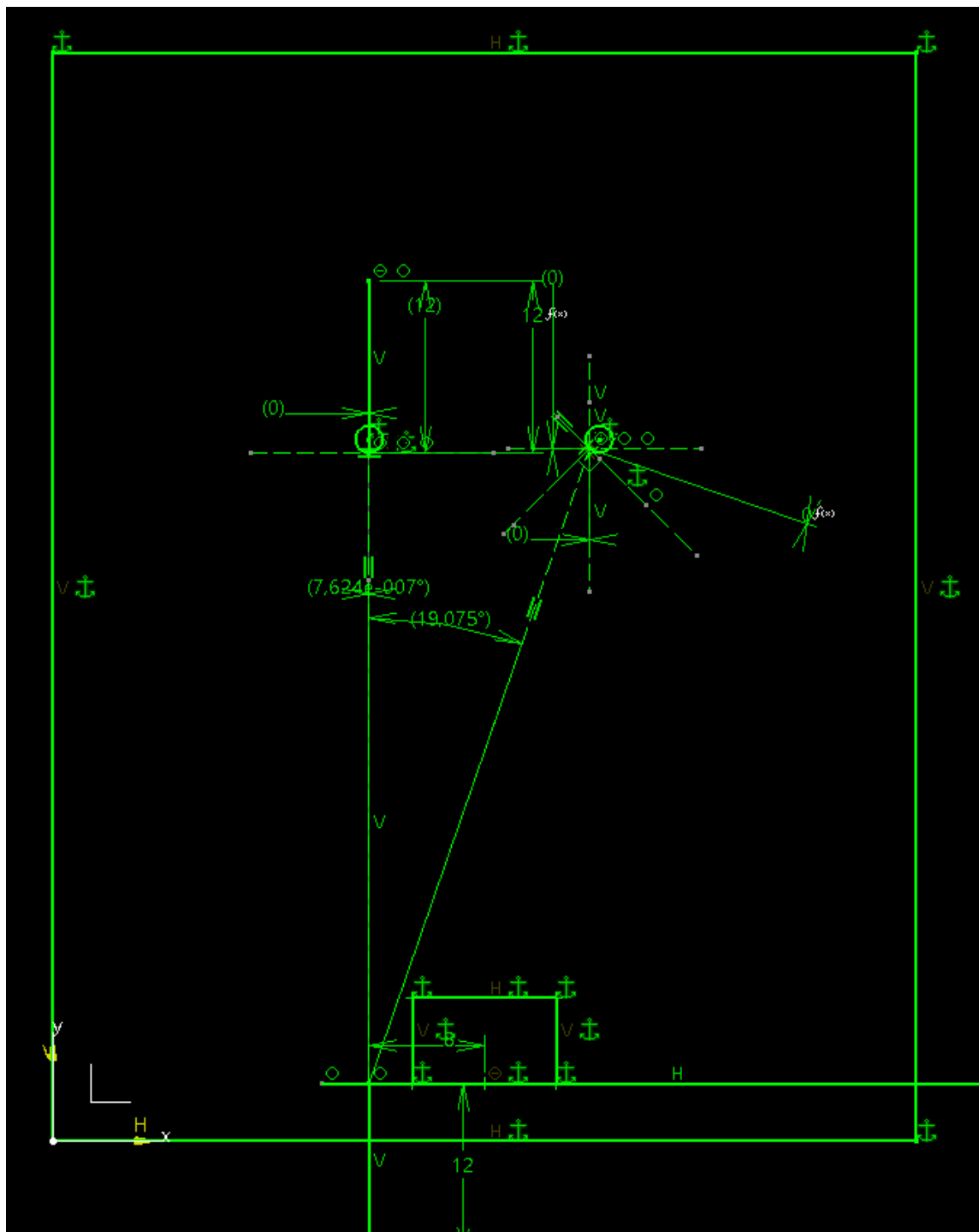
Annex 1: Additional image of the force decomposition (Point b located in the center of rotation S, $b=-8$)

Annex 2: Additional image of the force decomposition (Current situation $b=0$)

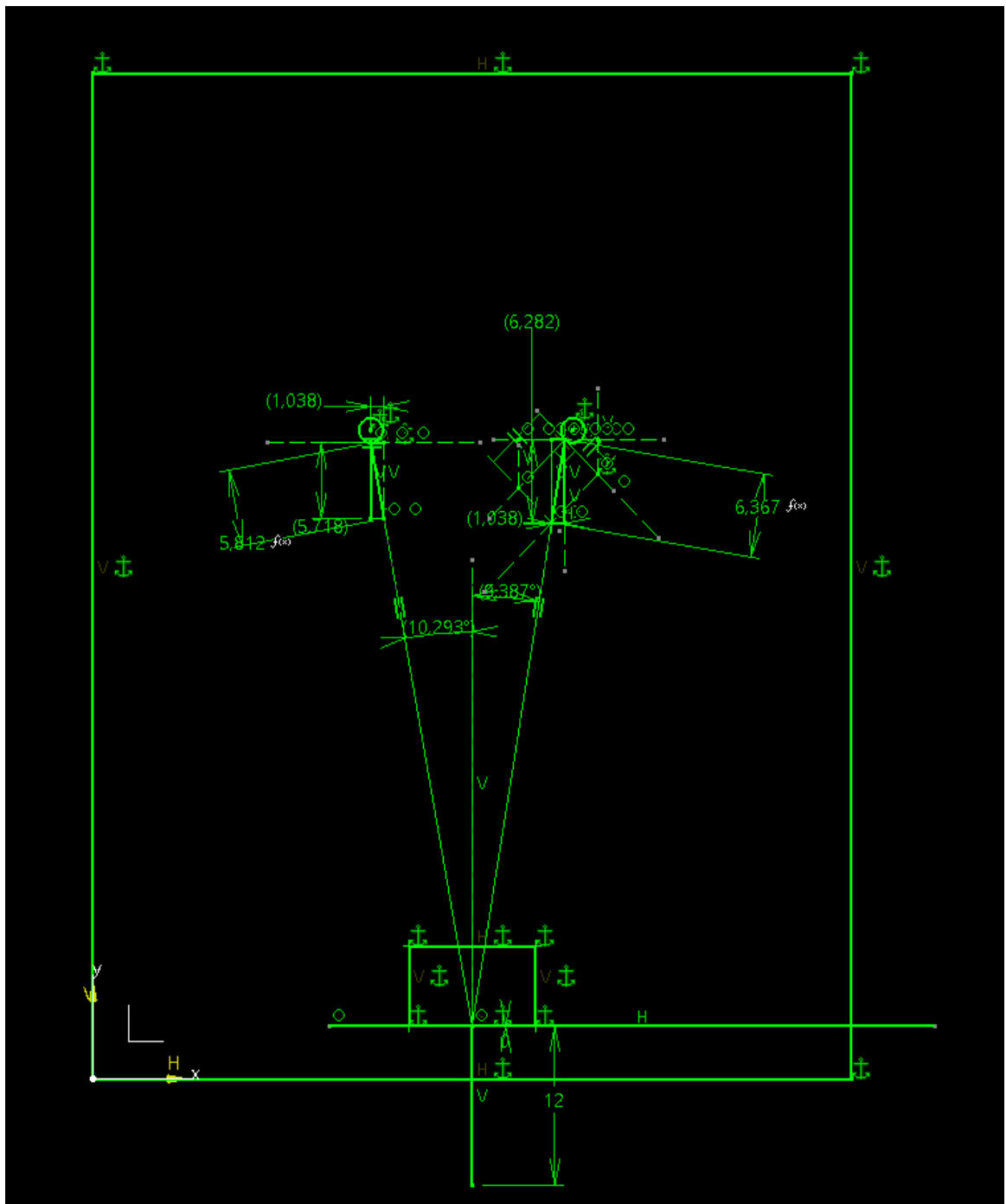
Annex 3: Additional image of the force decomposition (Point b located below pin 2)

Annex 4: Additional image of the force decomposition (Cut-out in position $b=20$)

Annex 1: Additional image of the force decomposition (Point b located in the center of rotation S)



Annex 2: Additional image of the force decomposition (Current situation)



Annex 4: Additional image of the force decomposition (Cut-out in position $b=20$)