



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

POPIS A VYHODNOCENÍ MOMENTOVÉ CHARAKTERISTIKY ŠROUBOVÉHO SPOJE

DESCRIPTION AND EVALUATION OF FASTENER TORQUE CHARACTERISTICS OF SCREW
CONNECTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

ONDŘEJ VĚTROVEC

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JAN BRANDEJS, CSc.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav konstruování

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Ondřej Větrovec

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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

Popis a vyhodnocení momentové charakteristiky šroubového spoje

v anglickém jazyce:

Description and Evaluation of Fastener Torque Characteristics of Screw Connection

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je analýza a vyhodnocení závislosti krouticího momentu daných šroubů pro vybrané materiály užitím SW Catia v5.

Cíle bakalářské práce:

Bakalářská práce musí obsahovat: (odpovídá názvům jednotlivých kapitol v práci)

1. Úvod
2. Přehled současného stavu poznání
3. Cíl práce, vědecká otázka a pracovní hypotéza
4. Materiál a metody
5. Výsledky
6. Diskuze
7. Závěr
8. Bibliografie

Forma bakalářské práce: průvodní zpráva

Typ práce: teoretická

Účel práce: výzkum a vývoj

Seznam odborné literatury:

SHIGLEY, J. E., MISCHKE, Ch. R., BUDYNAS, R. G. Konstruování strojních součástí. Překlad
7. vydání, VUTIUM, Brno 2010, 1186 s.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Jan Brandejs, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 14.11.2012

L.S.

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá popisem a vyhodnocením momentové charakteristiky šroubových spojů plastových dílů ve světlometu a jejich problematikou. V rámci vyhodnocení bylo provedeno srovnání stejných tvářecích šroubů od tří různých dodavatelů. Předmětem srovnávání byl průběh krouticího momentu při šroubování. Práce také obsahuje analýzu současného stavu poznání v oblasti využití plastů v automobilovém průmyslu a spojování plastových součástí kde je kladen větší důraz na spojování tvářecími šrouby.

KLÍČOVÁ SLOVA

Krouticí moment, šroub, šroubový spoj

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with the description and evaluation of the torque characteristics of screw connection in plastic parts in headlight. The evaluation was compared with the same screws from three different suppliers. Compared was the course of torque when screwing. The work also includes analysis of the current state of knowledge in the use of plastics in the automotive industry and joining plastic parts. There is more emphasis on shaping joining screws.

KEYWORDS

Torque, screw, screw connection

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VĚTROVEC, O. *Popis a vyhodnocení momentové charakteristiky šroubového spoje*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 44 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jan Brandejs, CSc..

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Čestně prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jen literatury uvedené v seznamu použitých zdrojů.

V Brně dne

.....

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu doc. Ing. Janu Brandejsovi, CSc. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat vedoucímu konstrukčního oddělení firmy Automotive Lighting panu Ing. Pavlu Zemanovi za poskytnutí zkušební a výpočetní techniky pro řešení zadání této práce. Mé velké poděkování patří také Ing. Liboru Horkému a Ing. Bohuslavu Lysovi za odborné konzultace a rady.

OBSAH

ÚVOD	14
1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	15
1.1 Využití plastů v automobilovém průmyslu	15
1.2 Plasty ve světlometech	15
1.2.1 Termoplasty	16
1.2.2 Reaktoplasty	17
1.3 Spojování plastových součástí	17
1.3.1 Šroubové spoje	18
1.4 Šroubové spoje ve světlometech	18
1.4.1 Spojení tvářecími šrouby	18
1.5 Problematika šroubových spojů ve světlometech	21
2 CÍL PRÁCE, VĚDECKÁ OTÁZKA A PRACOVNÍ HYPOTÉZA	22
3 MATERIÁL A METODY	23
3.1 Zkoumané šrouby	23
3.2 Test korozní odolnosti	24
3.3 3D sken šroubů	25
3.4 Příprava PC vzorků	26
3.5 Metoda měření krouticího momentu	28
4 VÝSLEDKY	29
4.1 Výsledky testu korozní odolnosti	29
4.2 Výsledky z 3D skenu šroubů	30
4.2.1 3D sken šroubu E1	31
4.2.2 3D sken šroubu G1 a G2	32
4.2.3 3D sken L1	33
4.3 Průběh krouticího momentu	34
4.3.1 Obecný popis grafu	34
4.3.2 Problematika měření	35
4.4 Šroubování do polykarbonátu	37
4.4.1 Průměr otvoru pro šroub 3,6 mm	37
4.4.2 Průměr otvoru pro šroub 3,4 mm	38
4.5 Vliv velikosti průměru otvoru na průběh krouticího momentu	40
4.6 Šroubování do duroplastu	41
5 DISKUZE	43
6 ZÁVĚR	44
BIBLIOGRAFIE	45
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN	46
SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ	47
SEZNAM PŘÍLOH	48

ÚVOD

Světlomety jsou od počátku automobilismu nedílnou součástí všech typů vozidel. Původně byl princip osvětlení založen v podstatě pouze na žárovce a jednoduchém parabolickém reflektoru. V poslední době jsou světlomety důležitou součástí celkového designu automobilu a dotvářejí charakter konkrétního modelu. To má za následek zvyšování počtu dílů, ze kterých se světlomet skládá (až 330) a tím pádem složitější tvarové a konstrukční uspořádání. Zohledníme-li technickou náročnost nových zdrojů světla v podobě LED diod či známých xenonových výbojek, získáme velmi komplikovanou sestavu náročnou na bezpečné a spolehlivé spojení jednotlivých součástí (šroubových spojů je ve světlometu až 60). [1]

Při produkci světlometů v řádech miliónu kusů ročně je tedy třeba zvažovat i ekonomickou stránku výroby. To znamená výběr dodavatelů kupovaných součástí, jako jsou šrouby, žárovky, LED diody, nebo xenonové výbojky. Bohužel není zaručena bezproblémová zaměnitelnost součástí od různých dodavatelů a právě srovnání určitých vlastností stejných šroubů od několika dodavatelů je předmětem této práce.

Zadání práce vzešlo z konstrukčního oddělení české pobočky koncernu Automotive Lighting v Jihlavě, předního výrobce automobilových světlometů. V současné době dodává Automotive Lighting světlomety pro automobilky jako například Mercedes Benz, koncern General Motors, BMW, Porsche, Volkswagen, Audi, Ford, Honda. Kromě světlometů pro osobní automobily vyrábí Automotive Lighting také světla pro motocykly, autobusy a nákladní vozidla. Produkce světlometů je přibližně 25 miliónů za rok.



Obr. 1 Přední světlomet [1]

1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

1

1.1 Využití plastů v automobilovém průmyslu

1.1

Využití plastů pro různé průmyslové výrobky prošlo několika stadii vývoje. Nejdříve se plasty uplatnily při výrobě spotřebního zboží. Zde nejsou vysoké nároky na funkční vlastnosti a tváření plastů je poměrně jednoduché a rychlé. Výrobky jsou lehké a korozivzdorné. Druhou oblastí využití plastů byla elektrotechnika. Sem se plasty dostaly díky tomu, že z nich lze vyrábět složité tvary izolačních součástí s potřebnými izolačními vlastnostmi. Vývojem lehčených plastů, fólií, trubek a dalších, proniklo využití plastů i do stavebnictví a zemědělství. Poslední oblastí bylo strojírenství, kde jsou na součásti kladeny vysoké požadavky, jako je vysoká pevnost, tepelná stálost nebo tvarová a rozměrová stabilita. Tyto vlastnosti jsou typické pro kovové materiály, které jsou nahrazovány plasty kvůli nízké hmotnosti součástí, korozivzdornosti a především kvůli jednodušší a levnější výrobě. [6]

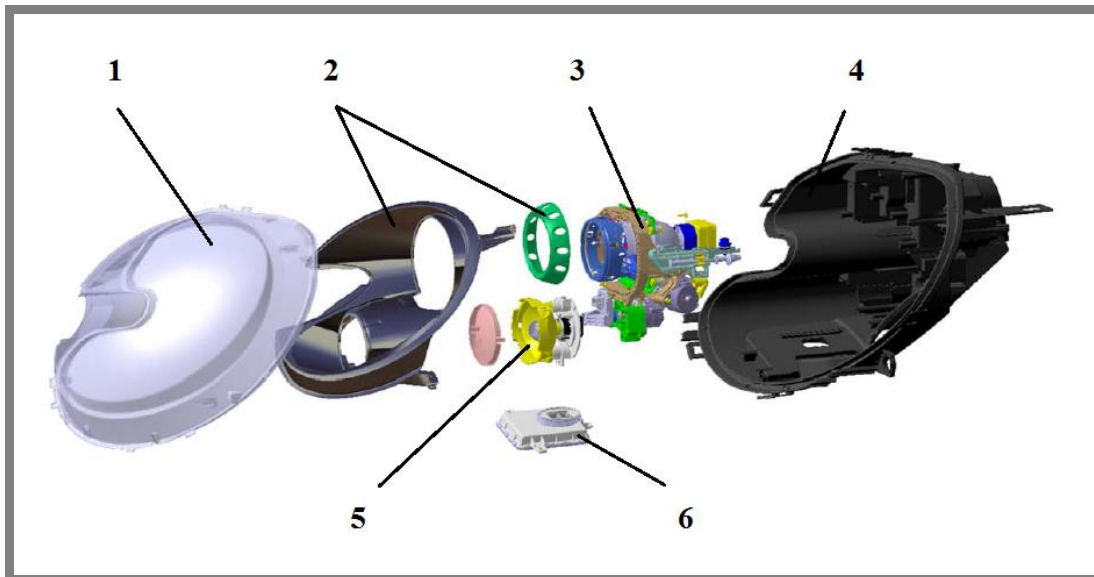
Do poslední oblasti spadá samozřejmě i automobilový průmysl. V současnosti je na světě přibližně 800 miliónů automobilů. Dle předpokladů se do roku 2030 zvýší jejich počet na dvě miliardy. Tyto prognózy činí z automobilového průmyslu jedno z nejperspektivnějších odvětví průmyslu pro nejbližších patnáct let.

Používání plastů v automobilovém průmyslu má dva hlavní důvody. Oba v oblasti úspory energie. Prvním je nahrazování kovových dílů plastovými tam, kde plast může kov nahradit plnohodnotně. Jedná se o většinu interiérových dílů jako je palubní deska, dveřní panely a další. Z plastů jsou vyrobeny i některé exteriérové díly jako například světlomety. Výroba a zpracování plastových dílů je energeticky méně náročné než výroba a zpracování dílů kovových nebo jiných, např. skleněných. Druhým důvodem je úspora hmotnosti automobilu, která vede ke snížení spotřeby paliva a tím pádem i ke snížení produkovaných emisí. Podle propočtů lze snížením hmotnosti automobilu o 100 kilogramů snížit spotřebu přibližně o 0,4 litru na 100 kilometrů. Důkazem těchto úspor je fakt, že začátkem devadesátých let minulého století byl podíl plastů v osobním automobilu asi 6 %, v současnosti je to přibližně 15 % a vzhledem k rychlému vývoji v této oblasti bude tento podíl dále vzrůstat.

1.2 Plasty ve světlometech

1.2

Převážná většina dílů automobilového světlometu je vyrobena z plastu. I krycí sklo, původně vyráběné ze skla, je nahrazeno plastovým, právě z důvodu úspory hmotnosti a zjednodušení výroby. Z jiných materiálů jsou pouze žárovky, řídicí jednotky, kabeláž, spojovací šrouby apod. Pro výrobu plastových dílů jsou používány plasty patřící do různých skupin, zejména pak polypropylen (dále pouze PP) a polykarbonát (dále pouze PC) patřící do termoplastů nebo některé reaktoplasty. [1]



Obr. 2 Základní části světlometu [2]

Základní části světlometu:

- ❑ 1 - Krycí sklo světlometu vyráběné z polykarbonátu.
- ❑ 2 - Rámečky, designové části. U určitých typů světlometů jsou podobné součásti nazývány reflektory, vyráběné z duroplastu a následně pokovené.
- ❑ 3 - Zdroj světla, xenonové výbojky, výkonné LED žárovky, halogenové žárovky.
- ❑ 4 - Tělo světlometu, vyráběné z polypropylenu.
- ❑ 5 - Vedlejší odbočovací světlomet.
- ❑ 6 - Řídící jednotka

1.2.1 Termoplasty

Termoplasty jsou polymery skládající se z lineárních makromolekul v dlouhých řetězcích. Řetězce jsou u sebe drženy slabými mezimolekulárními vazbami, které při zahřátí slábnou, a polymer měkne. Teplotní rozsah tání běžných termoplastů je mezi 100 a 130 °C. Díky tomu patří termoplasty k dobře zpracovatelným materiálům - lze je snadno tvarovat, lisovat, ohýbat, vyfukovat nebo vstříkovat. Mezi termoplasty patří například: [4],[5]

- ❑ *Polypropylen* je vlastnostmi podobný polyethylenu (další z termoplastů). Vyznačuje se dobrou chemickou odolností a velmi dobrými mechanickými vlastnostmi. Díky těmto vlastnostem se ve velkém měřítku uplatňuje jako konstrukční plast.

❑ *Polykarbonát* je snadno zpracovatelný plast například vstřikováním nebo lisováním za tepla. Má dobrou tepelnou odolnost, odolnost proti nárazu a dobré optické vlastnosti, je průhledný. Díky tomu je vhodným materiálem na výrobu krycího skla světloometu.

1.2.2 Reaktoplasty

1.2.2

Reaktoplasty (dříve nazývané termosety nebo duroplasty) jsou polymery, které ze svých molekul vytvářejí prostorovou trojrozměrnou síť. Tato síť vzniká při vytvrzování hmoty teplem, zářením nebo použitím katalyzátoru. Jakmile je vytvrzování dokončeno, není další tváření možné. Opětovným dodáváním tepelné energie již není možno hmotu roztavit. Mezi reaktoplasty patří například:

❑ *Epoxidové pryskyřice*, které mají díky svým dobrým chemickým a fyzikálním vlastnostem ve strojírenství široké využití. Především výbornou adhezí k materiálům jako je keramika, kovy a sklo. Tyto vlastnosti si udržují v široké teplotní škále. Často se využívají jako matrice kompozitů. V elektronice se dají použít jako izolanty. Epoxidy před vytvrzením bývají viskózní kapaliny a vytvrzení probíhá použitím katalyzátorů.

❑ *Fenolytické pryskyřice*. Vytvrzujícím činidlem je zde teplo. Tyto plasty jsou vysoce odolné proti vysokým teplotám a jsou nehořlavé. Fenolytické pryskyřice se také díky svým vlastnostem uplatňují ve strojírenském průmyslu, kde jsou součástí směsi lisovacích hmot.

❑ *Kaučuky* jsou polymery, jejichž vytvrzování se nazývá vulkanizace. Aby reakce proběhla, musí kaučuková směs obsahovat vulkanizační činidlo. Jedná se o chemickou reakci, která probíhá při teplotách kolem 200 °C. Důležité vulkanizační činidlo je síra, která dokáže spojit molekuly polymeru příčnými vazbami. Produkt vulkanizace se nazývá pryž neboli guma. Pryže mají výborné mechanické vlastnosti. Díky velké elastické deformaci snesou velké tahové namáhání. Například jsou odolné proti cyklickému namáhání, nepropouští vodu a jsou stálé i při některých chemických reakcích. V elektronice najdou uplatnění díky dobrým izolačním vlastnostem.

1.3 Spojování plastových součástí

1.3

Spojování plastových součástí se stejně jako spojování kovových součástí dělí do dvou základních skupin. Na rozebíratelné a nerozebíratelné spoje. Do nerozebíratelných spojů patří například svařované a lepené spoje. Do rozebíratelných spojů patří různé pružné spoje, západky a šroubové spoje. [3]

Většina spojů ve světlometech je řešena šroubovými spoji. Výjimkou je krycí sklo, které je z důvodu požadované těsnosti do těla světloometu vlepeno. Tato práce se zabývá popisem a vyhodnocením momentové charakteristiky šroubových spojů, a proto zde nebudou ostatní způsoby spojování součástí podrobněji popisovány.

1.3.1 Šroubové spoje

Šroubové spoje jsou spoje s předpětím zatěžované staticky nebo dynamicky. Velikost předpětí je dána dotažením šroubu, závisí tedy na velikosti krouticího momentu. Tyto spoje se používají jako spolehlivý způsob spojení jedné či více součástí, o šroubových spojích pojednává řada publikací a norem.

Šroubové spoje mohou být v plastech realizovány několika způsoby. Mohou být použity kovové šrouby a kovové matice, plastové šrouby a plastové matice, nebo jejich kombinace. Plastový šroub s kovovou maticí nebo kovový šroub s plastovou maticí. Další možností je použití kovových šroubů bez matic. Tyto šrouby se zašroubovávají přímo do otvoru v materiálu spojované součásti. Poslední zmíněný způsob spojení má několik provedení.

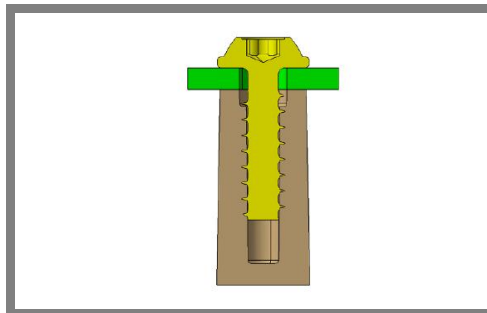
- spojení tvářecími šrouby
- spojení závitoreznými šrouby
- spojení závrtnými šrouby s metrickým závitem
- spojení zastříknutými kovovými závitovými vložkami
- spojení dodatečně vsazenými kovovými závitovými vložkami

1.4 Šroubové spoje ve světlometech

Při spojování plastových součástí světlometu je nejvyužívanějším způsobem spojení tvářecími šrouby. Jejich použití má několik důvodů. Tím hlavním je snadná a rychlá montáž světlometu. Dalším je úspora hmotnosti a relativně nízké náklady. Nezanedbatelným důvodem je také splnění určitých požadavků, jako je dostatečná pevnost spojů, odolnost proti samovolnému uvolňování a další. [2]

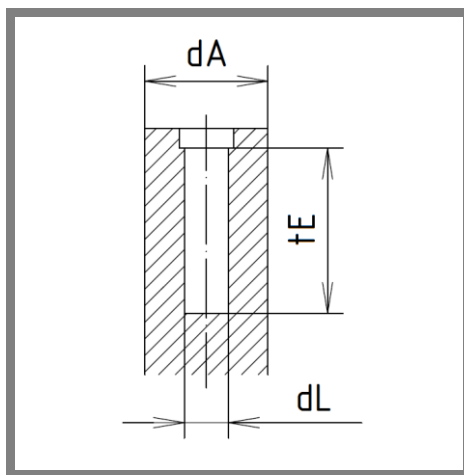
1.4.1 Spojení tvářecími šrouby

Tvářecí šrouby do plastu jsou velmi podobné tvářecím šroubům do plechu. Tyto šrouby se zašroubovávají do hladkého válcového otvoru v plastu, jehož průměr je menší než velký průměr závitu šroubu. Tento rozdíl průměrů způsobí, že šroub si závit v plastu sám vytvoří. [3]



Obr. 3 Spojení tvářecím šroubem [2]

Při šroubování těchto šroubů se plast v okolí závitu značně deformuje a vzniká velké vnitřní pnutí. Aby nedošlo ke vzniku trhlin výstupku pro šroub a byla zachována optimální pevnost, používá se nejčastěji pro širokou škálu plastů vnější průměr výstupku pro šroub $d_A \doteq 2,5D$ (obr. 1), kde D je velký průměr závitu šroubu. Průměr otvoru pro šroub se doporučuje v rozmezí $d_L = (0,8 \text{ až } 0,95)D$. Nižší hodnoty d_L se používají u otvorů v měkčích plastech, vyšší hodnoty pro otvory v plastech tvrdších. Hloubka otvoru se doporučuje minimálně $t_E = (2 \text{ až } 2,5)D$, pro měkčí materiály může být hloubka až $6D$. Se zvětšující se hloubkou a zmenšujícím se průměrem se rychle zvyšuje i potřebný utahovací moment.



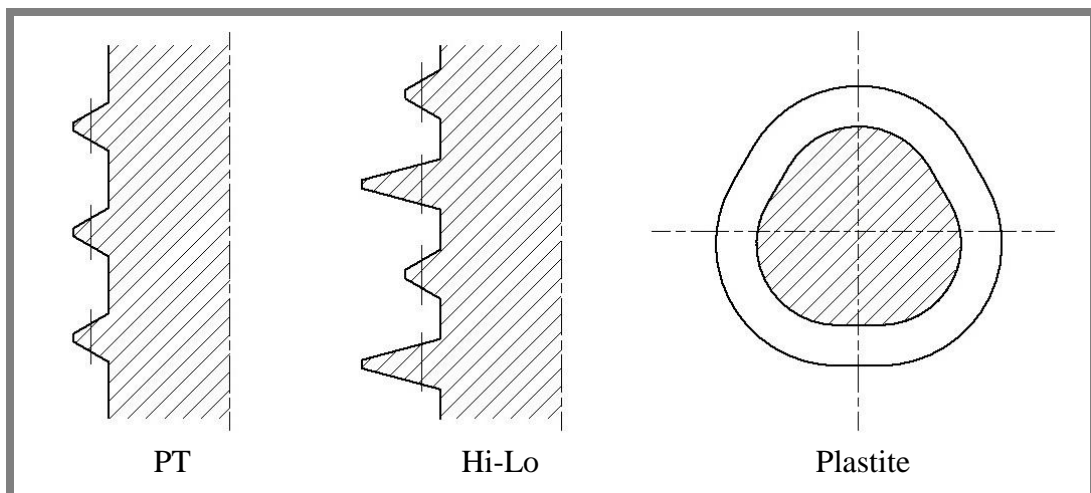
Obr. 4 Plastový výstupek pro šroub [2]

V porovnání se závitořeznými šrouby, kde je závit vyřezáván charakteristickým tvarem šroubu, vyžadují tvářecí šrouby vyšší utahovací moment a způsobují větší napětí v plastové součásti. Tvářecí šrouby mají ale vyšší únosnost než šrouby závitořezné a spoje jsou odolnější proti stržení závitu nadměrným utažením šroubu. Stejně jako závitořezné jsou i tvářecí šrouby odolné proti samovolnému uvolňování a nepotřebují žádné pojistné podložky. Z tohoto důvodu se také tvářecí šrouby nesmí před montáží mazat. Existuje velké množství šroubů klasifikovaných jako tvářecí šrouby do plastu, níže jsou uvedeny některé vybrané typy dle jednotlivých profilů závitu.

❑ *Základní profil šroubu PT a Delta PT* (patentovaný firmou EJOT) mají zvětšenou rozteč závitů a zvětšenou nosnou výšku závitového profilu. Tím snižují nebezpečí stržení závitu v plastu a otláčení. Jedná se o nejpoužívanější typy tvářecích šroubů.

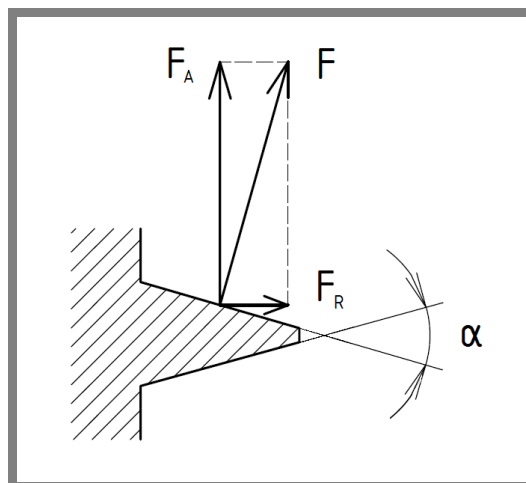
❑ *Šrouby typu Hi-Lo* jsou speciální šrouby s dvouchodým závitem. Jeden chod má větší průměr a funguje jako tvářecí i nosný profil zároveň, zatímco druhý s menším průměrem má pouze funkci nosnou. Tímto se omezuje vznik vnitřního pnutí v plastové součásti a zatížení spoje se rozkládá rovnoměrněji podél celé hloubky závitu. Šrouby Hi-Lo mají menší úhel buků profilu závitu a lze je snadněji zašroubovat. Potřebný utahovací moment pro zašroubování bývá 3 až 5krát menší než kritický moment, při němž by došlo ke stržení závitu v plastové součásti. Aby byly součásti spojeny dostatečnou silou, má být šroub utažen momentem rovným 50 až 70% z momentu kritického.

□ Šrouby typu *Plastite* mají nekruhový příčný průřez závitu. Ten má v průřezu trojúhelníkový tvar se značně zaoblenými vrcholy. Toto provedení způsobuje, že pružný plast se po zašroubování sevře kolem neokrouhlého šroubu a brání jeho samovolnému uvolnění při vibracích a otřesech. Protože je závit tvářen pouze zaoblenými částmi trojúhelníkového průřezu, čímž se snižuje tření, je zapotřebí menší utahovací moment.



Obr. 5 Profily speciálních tvárných šroubů do plastu [3]

Důvodem použití těchto typů závitu je snaha o optimální rozložení sil ve výstupku pro šroub, tedy minimalizování radiálních sil a navýšení axiálních sil. Radiální síly mají největší vliv na namáhání výstupku pro šroub.



Obr. 6 Rozložení sil na závitu

1.5 Problematika šroubových spojů ve světlotetech

Z finančních důvodů je v průběhu výroby prováděna náhrada šroubů od zavedených a spolehlivých dodavatelů, za levnější „kopie“ od jiných výrobců. Dle výkresové dokumentace by se mělo jednat o rozměrově a profilově totožné šrouby a neměl by tedy být problém se záměnou. Při použití těchto nových šroubů však dochází při montáži k občasným problémům, zejména pak k praskání plastových výstupků.

Dalším problémem je úroveň kvality povrchu levnějších šroubů. Nekvalitní, otřepený závit má výrazný negativní vliv na velikost potřebného utahovacího momentu. Při tváření závitu těmito šrouby může také docházet ke vzniku plastových třísek. Ty se mohou při přepravě sestaveného světlotetu k zákazníkovi uvolnit ze závitu a vlivem statického náboje přichytit například na vnitřní stranu krycího skla světlotetu. Taková situace je samozřejmě ze strany zákazníka nepřijatelná a může tak docházet k reklamacím.

2 CÍL PRÁCE, VĚDECKÁ OTÁZKA A PRACOVNÍ HYPOTÉZA

Cílem této bakalářské práce je analýza a vyhodnocení průběhu krouticího momentu daných šroubů pro vybrané materiály.

Důvodem vypracování této práce je ověření předpokládaných příčin problémů vznikajících při montáži automobilových světlometů při záměně dodavatele použitých šroubů. Příčinou problémů mohou být rozdílné průběhy a velikosti krouticích momentů při utahování šroubů. Tyto rozdíly jsou nejspíše způsobeny odchylkami tvaru a rozměru mezi šrouby různých dodavatelů, jako například jiné stoupání závitů, odlišné průměry nebo jiný profil závitů. Dále to může být různá povrchová úprava a kvalita povrchu šroubů.

Předpokládané tvarové a rozměrové rozdíly budou prokázány porovnáním CAD dat a naskenovaných skutečných šroubů pomocí laserového 3D skenu. Porovnání modelů bude provedeno pomocí softwaru CATIA V5. Odlišné povrchové úpravy budou ověřeny testem korozní odolnosti. Na závěr budou změřeny a porovnány průběhy krouticích momentů a vyhodnoceny výsledky.

3 MATERIÁL A METODY

Existující portfolio šroubů a jejich dodavatelů v kombinaci s aplikací těchto šroubů do různých materiálů tvoří nepřehlednou směs faktů. Z hlediska cíle této práce je nutno navrhnout metodiku umožňující porovnání šroubů. Proto je zvolen nejčastěji používaný šroub ve výrobě s profilem závitu Delta PT. Tento šroub je dodáván několika výrobci což umožňuje srovnání vybraných parametrů tvořené rozměrovým posouzením pomocí 3D skenu, test korozní odolnosti pro posouzení povrchové úpravy a momentové testy jednotlivých šroubů. Výše uvedené vybrané parametry by měli být dostačující z hlediska posouzení šroubů a návrhu srovnávací metodiky.

3.1 Zkoumané šrouby

3.1

Pro popis a vyhodnocení momentové charakteristiky šroubových spojů byl použit tvářecí šroub s interním označením 1 303 435 168 a jeho druhá varianta s jinou povrchovou úpravou s označením 1 303 435 198. Tato druhá varianta splňuje o třídu vyšší požadavky na odolnost proti korozi, jinak se jedná o stejné šrouby. Jak již bylo uvedeno, tyto šrouby jsou dodávány několika výrobci. Mezi tyto výrobce patří EJOT VERBINDUNGSTECHNIK GMBH (dále pouze EJOT), Gawel Zaklad Produkcji Srub S.A. (dále pouze GAWEL) a Lagus s.r.o. (dále pouze LAGUS). Šroub 1 303 435 168/198 je nejpoužívanějším typem při spojování součástí světlometů. Vyskytuje se prakticky ve všech světlometech vyráběných v Automotive Lighting. Pro rok 2013 je plánovaná spotřeba tohoto šroubu 18,5 milionu kusů. Přehled variant a výrobců použitých při měření krouticího momentu a dalších srovnáních je na následujících obrázcích. Značení šroubů v této práci je: xy, první je písmeno označující dodavatele (E - EJOT, G - GAWEL, L - LAGUS), druhé je číslo označující variantu šroubu (1 - 1 303 435 168, 2 - 1 303 435 198).



Obr. 7 Šroub E1



Obr. 8 Šroub L1



Obr. 9 Šroub G1



Obr. 10 Šroub G2

Výkres šroubů s přesnými rozměry a dalšími údaji je vložen v příloze. Jako referenční je zvolen šroub E1, protože se jedná o kvalitativně nejlépe provedený šroub s historickým prověřením v reálných aplikacích a bez problémů při používání. Ve výsledcích testů s ním tedy budou všechny ostatní šrouby porovnávány.

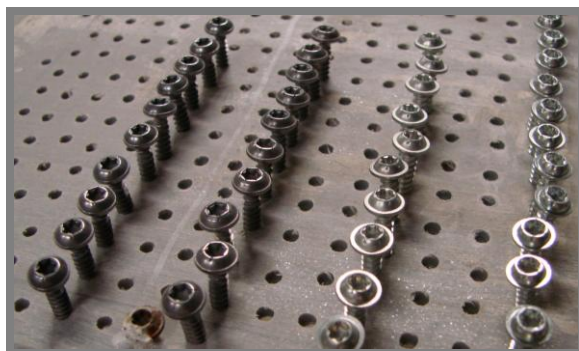
3.2 Test korozní odolnosti

Všechny uvedené šrouby byly kvůli prokázání rozdílů v provedené povrchové úpravě podrobeny testu korozní odolnosti (dále pouze TKO). Test proběhl v solné komoře na oddělení kontroly kvality. Byl proveden standardní test trvající 480 hodin. Po uplynutí této doby se na testované součásti nesmí objevit červená rez. U šroubů s označením 1 je zaručeno, že tento standardní test vydrží. Šrouby s označením 2 by měli vydržet i tzv. BMW standard, test trvající 720 hodin.



Obr. 11 Solná komora

Od každé varianty šroubu bylo otestováno 10 kusů. Ty byly částečně zašroubovány do plastového přípravku. Poté byly vystaveny 240 hodinám v solné mlze. Následně byly šrouby opláchnuty od zbytků solného roztoku a osušeny. Nakonec byly vyhodnoceny výsledky.



Obr. 12 Přípravek pro šrouby na TKO

3.3 3D sken šroubů

Za účelem porovnání tvarů a rozměrů šroubů s CAD daty byl proveden 3D sken všech typů. Skenování bylo provedeno pomocí přístroje ATOS Triple Scan III Rev. 02 na oddělení vstupní kontroly. Naskenované modely byly porovnány s počítačovým modelem pomocí softwaru CATIA V5. Z důvodu eliminace případných chyb při měření byly od každého šroubu naskenovány dva kusy.



Obr. 13 Sestava ATOS Triple Scan III [1]

Přístroj ATOS od firmy GOM je digitální bezdotykový optický skener pracující na principu triangulace. Využívá stereoeffektu dvou snímacích kamer. Měřený díl se položí na stůl nebo upevní do připraveného držáku a zahájí se snímání záběrů z různých úhlů pohledu. Projektor osvětluje povrch dílu kontrastními světelnými proužky. Tvar proužků na povrchu součásti je snímán dvěma kamerami. Počítačový program z nich automaticky vypočítá přesné 3D souřadnice jako mrak bodů, který obsahuje miliony bodů z jednoho záběru. Nejširší využití systému ATOS je v oblastech, kde je vyžadováno měření reálných součástí a jejich následné srovnání s teoretickým, počítačovým, modelem. Typ skeneru Triple Scan III dosahuje při snímání rozlišení několika milionů bodů (pixelů). Je určen pro nejnáročnější aplikace, jako je měření dílů s malými detaily na povrchu. [1]

Šrouby byly skenovány pomocí optiky 100x100 mm. Snímací rozlišení kamer 8 megapixelů, rozlišitelnost 0,01 mm při celkové rozšířené nejistotě měření 0,03 mm.

3.4 Příprava PC vzorků

Měření a vyhodnocení krouticího momentu probíhá při šroubování šroubu do otvoru v materiálu. Použití skutečných dílů světlometu by bylo ekonomicky nevýhodné a obtížně realizovatelné a neumožňovalo by přenositelnost metodiky do jiných závodů. Aby byly zajištěné stejné podmínky pro šroubování každého šroubu, bylo potřeba určit vhodný materiál a metodu přípravy vzorků nahrazující skutečné plastové díly. Jako nejvhodnější materiál byl zvolen PC, který svými vlastnostmi nejlépe koresponduje s vlastnostmi skutečných plastových dílů světlometů. Jeho další výhodou je také to, že je průhledný a po zašroubování tedy bude možné zhodnotit vytvořený závit.

Pro výrobu vzorků byl konkrétně použit PC s označením PC 1000 od firmy Quadrant Engineering Plastics Products, který byl dodán v podobě tyčových polotovarů o průměrech 10 a 20 mm a délce 1000 mm. Z těchto tyčí byly vyrobeny válečky a do každého byl ve středu čela vyvrtán přesný otvor s odsazením. Tyto válečky tedy simulují výstupky pro šrouby na skutečných součástech. Výroba vzorků probíhala na univerzálním soustruhu SPC-900 PA značky PROMA v dílně zkušební laboratoře spadající pod konstrukční oddělení.

Rozměry vzorků byly určeny podle následujících vztahů požívaných pro výpočet rozměrů plastových výstupků pro šrouby při konstruování světlometů. Tyto rozměry odpovídají doporučeným rozměrům uvedených na straně 19.

$$dA = 2,5D = 10 \text{ mm} \quad (1)$$

$$dS = 1,1D = 4,4 \text{ mm} \quad (2)$$

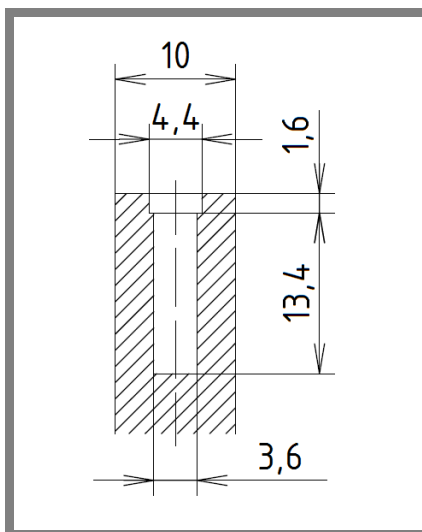
$$dL = 0,9D = 3,6 \text{ mm} \quad (3)$$

$$tS = 0,4D = 1,6 \text{ mm} \quad (4)$$

$$tE \geq 2D = 13,4 \text{ mm} \quad (5)$$

kde: D velký průměr závitu šroubu $D = 4 \text{ mm}$

Pro vyhodnocení momentové charakteristiky stačí šrouby zašroubovat pouze do jednoho kusu, nemusí být spojovány dvě součásti, jako je tomu při sestavování skutečných světlometů. Vnější průměr $dA = 10 \text{ mm}$ není pro měření krouticího momentu důležitý a z důvodu jednodušší výroby byl ponechán původní průměr PC tyčí, tedy $dA = 25 \text{ mm}$. Volba vnitřního průměru výstupku dL je klíčová z hlediska výsledné charakteristiky průběhu krouticího momentu. Proto se doporučený průměr ověří i s jinými hodnotami pro určení jejich dopadu na průběh momentu.



Obr. 14 Rozměry PC vzorku

Postup výroby vzorků:

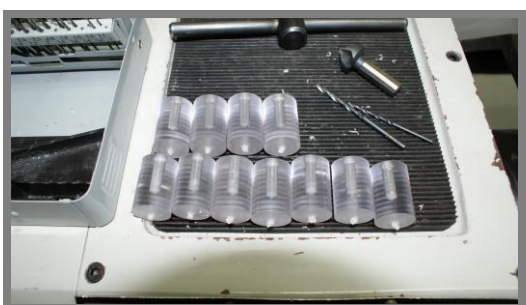
- navrtání čela výstředníkem
- vyvrtání otvoru
- vyvrtání odsazení
- upíchnutí na požadovanou délku
- začištění ořepu a odstranění třísek z otvoru



Obr. 15 Vyvrtání otvoru



Obr. 16 Upíchnutí



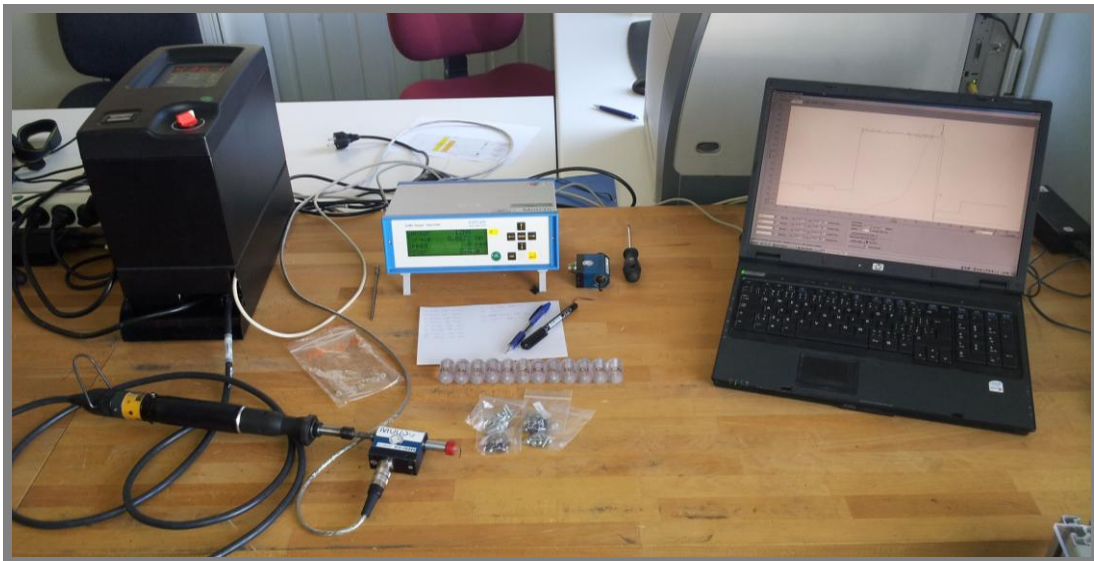
Obr. 17 Hotové PC vzorky



Obr. 18 Soustruh SPC-900 PA

3.5 Metoda měření krouticího momentu

Měření krouticího momentu proběhlo ve zkušební laboratoři. Na šroubování byl použit elektrický šroubovák od firmy ATLAS Copco. Pro měření byl použit snímač krouticího momentu CoMo Torque Type 4700 od firmy KISTLER. Snímač byl připojen k počítači a příslušný program zaznamenával a vyhodnocoval průběh krouticího momentu v závislosti na hloubce zašroubování tedy v závislosti na čase. Graf průběhu momentu je zobrazován v reálném čase na displeji počítače a potřebná data z měření program ukládá do listu aplikace Microsoft Excel. Bylo zašroubováno a změřeno několik šroubů od každého dodavatele. Výsledky byly zprůměrovány z důvodu možných odchylek při měření.



Obr. 19 Pracoviště měření krouticího momentu

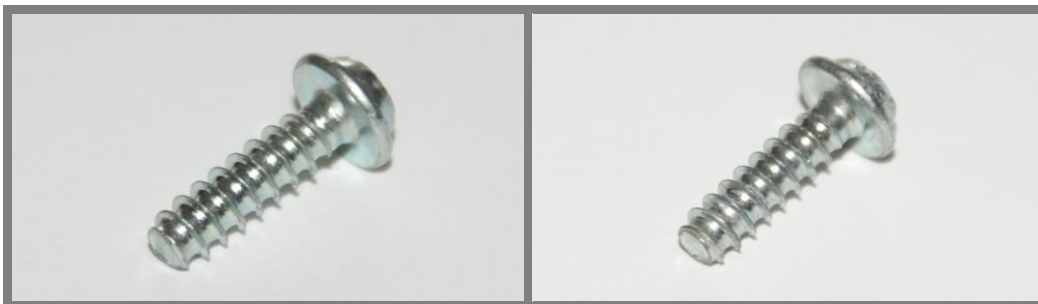
Postup měření:

- Sestavení a spuštění měřicí sestavy. Nastavení požadovaných parametrů šroubováku, tedy otáček. Spuštění programu a připojení snímače krouticího momentu. Nastavení snímacích parametrů jako např. frekvence zapisování hodnot.
- Upnutí PC vzorku do svěráku. Vzorek musí být upnut tak, aby nebyla svírána část s otvorem pro šroub. Takové upnutí by znehodnotilo výsledek měření.
- Spuštění záznamu, samotné zašroubování, ukončení záznamu.
- Vyhodnocení zaznamenaného průběhu krouticího momentu.

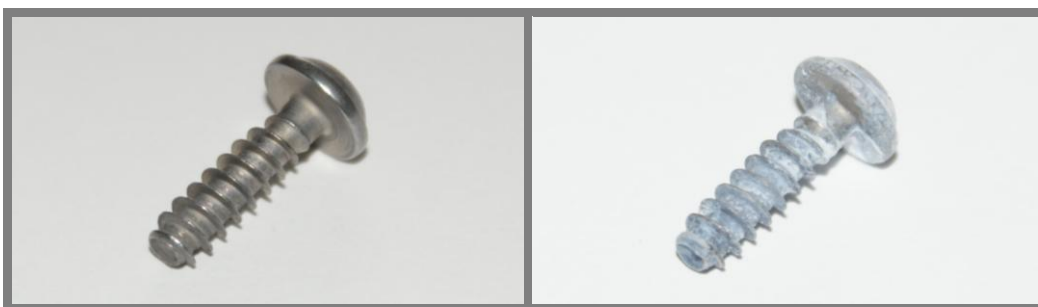
4 VÝSLEDKY

4.1 Výsledky testu korozní odolnosti

Jako první jsou porovnány výsledky testu korozní odolnosti. Na obrázcích jsou zobrazeny šrouby před testem (vlevo) a po testu (vpravo). Vždy se jedná o jeden reprezentativní kus z 10 testovaných.



Obr. 20 Šroub E1 před a po TKO



Obr. 21 Šroub G1 před a po TKO



Obr. 22 Šroub G2 pře a po TKO

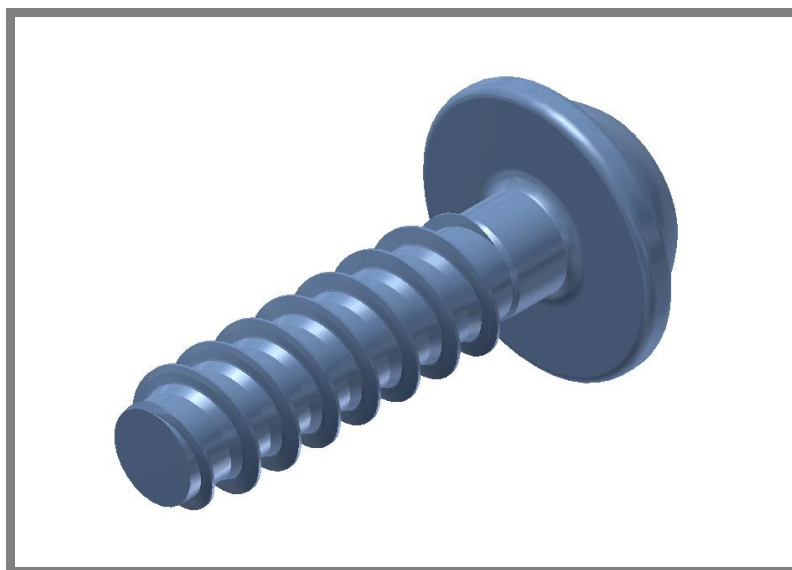


Obr. 23 Šroub L1 před a po TKO

Provedeným testem prošly úspěšně všechny testované šrouby, na žádném se neobjevily stopy červené rzi. Přesto jsou jasně viditelné rozdíly mezi jednotlivými šrouby. Ty dokazují různou kvalitu povrchu šroubů. Šroub E1 zůstal téměř beze změn, šroub L1 vykazuje po testu mírné zoxidování povrchu v závitové části, zejména dřívku šroubu. Šrouby G1 a G2 dopadly v testu nejhůře, obě verze jsou značně zoxidované po celém povrchu. Zajímavé je, že obě verze (G1 i G2) jsou zoxidovány velmi podobně a to přesto, že by verze G2 měla být vůči korozi odolnější.

4.2 Výsledky z 3D skenu šroubů

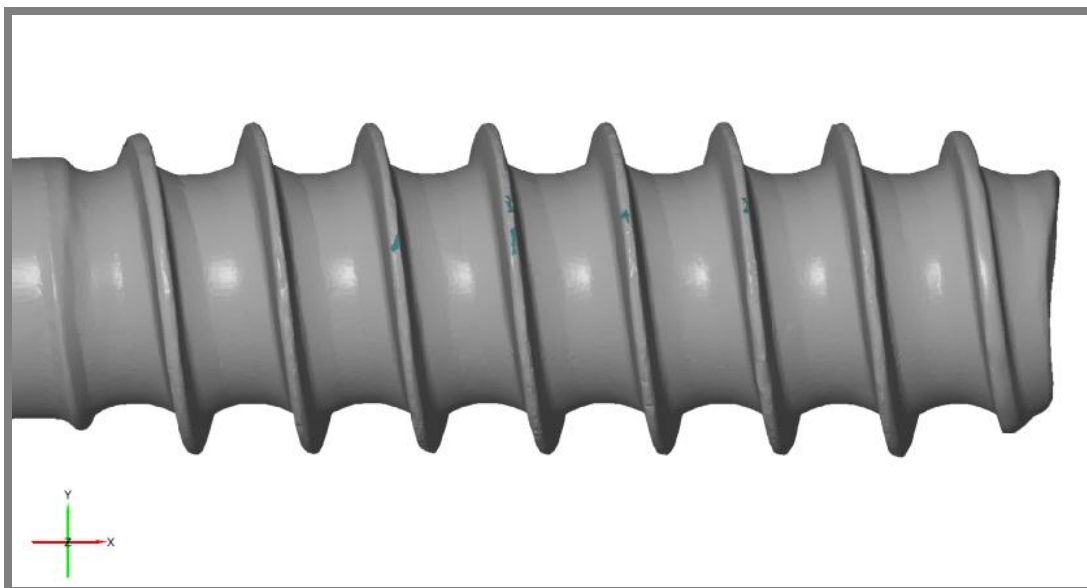
Následuje vyhodnocení 3D skenu. Kompletní protokoly s výsledky jsou vloženy v příloze. V každém protokolu je na první straně znázorněn počítačový 3D model šroubu a základní informace týkající se měření. Následuje obrázek naskenovaného povrchu závitové části šroubu. Zde jsou vidět případné vady šroubů a nerovnosti povrchů. Další je barevná mapa odchylek. Na této mapě jsou podle barevné škály vyznačeny rozměrové odchylky. Velikosti odchylek byly určeny pomocí programu CATIA V5, kde byl naskenovaný 3D model nasunut na přesný počítačový model používaný při konstruování světlometů. Na další straně je zobrazen řez obou modelů, naskenovaného i počítačového, kde jsou vidět rozdíly mezi profily závitů. Tyto rozdíly jsou také přesně odměřeny. Naskenovaná data jsou zobrazována šedou barvou a CAD data jsou zobrazována modrou barvou. Na závěr protokolu jsou uvedeny informace o měřicím zařízení.



Obr. 24 Počítačový 3D model šroubu [2]

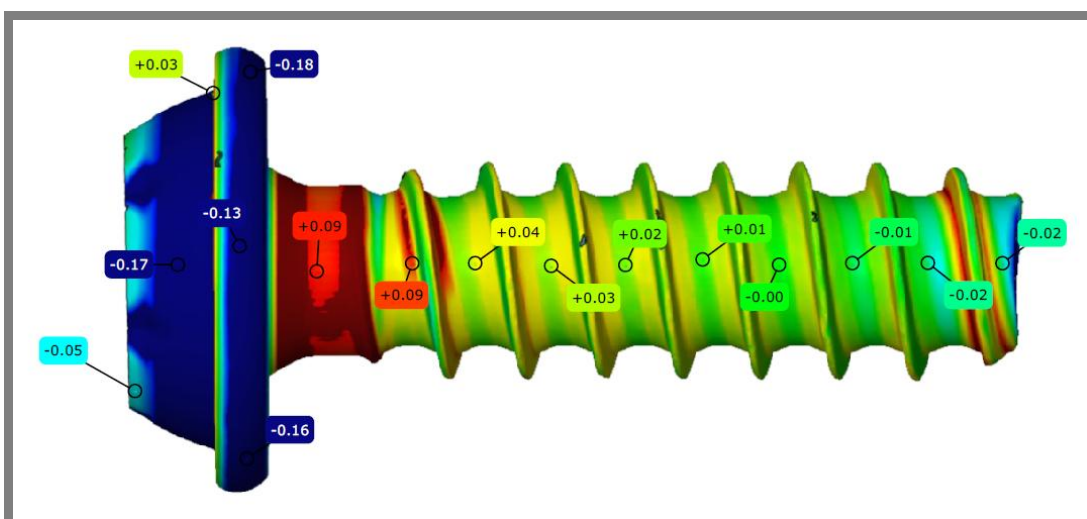
4.2.1 3D sken šroubu E1

Povrch těchto šroubů je více než dobrý. V závitové části se nevyskytují žádné vady, dřík i profil závitů je hladký a neporušený.



Obr. 25 Šroub E1 - povrch závitové části

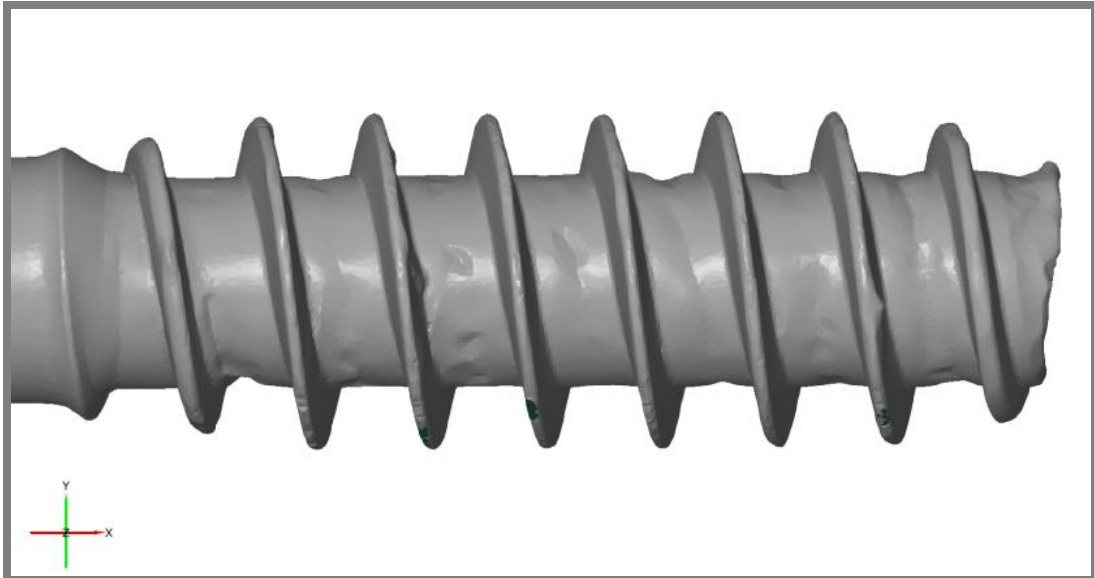
U šroubů E1 se odchylky v závitové části pohybují maximálně do hodnoty 0,04 mm. Nepatrně větší odchylky u hlavy šroubu jsou z hlediska vlivu na velikost potřebného utahovacího momentu zanedbatelné. Tato část nepřichází do styku s materiálem, do kterého se šroub zašroubovává. Odchylky rozměrů hlavy šroubu jsou samozřejmě také zanedbatelné. Co se týče odchylek v řezu, tak rozdíly ve stoupání závitů jsou minimální, spíše žádné. Tvar profilu je shodný s CAD daty.



Obr. 26 Šroub E1 - barevná mapa odchylek

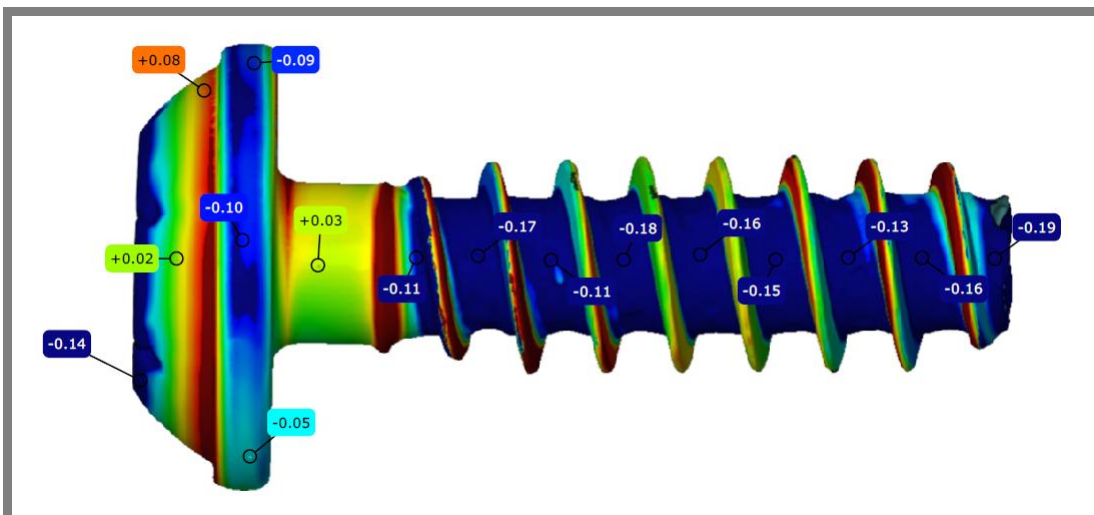
4.2.2 3D sken šroubu G1 a G2

Povrch těchto šroubů vykazuje výrazné vady. Dřík šroubu není hladký, vyskytují se zde výrazné nerovnosti. Závit je místy výrazně pokřivený narušuje tak původní šroubovici.



Obr. 27 Šrouby G1 a G2 - povrch závitové části

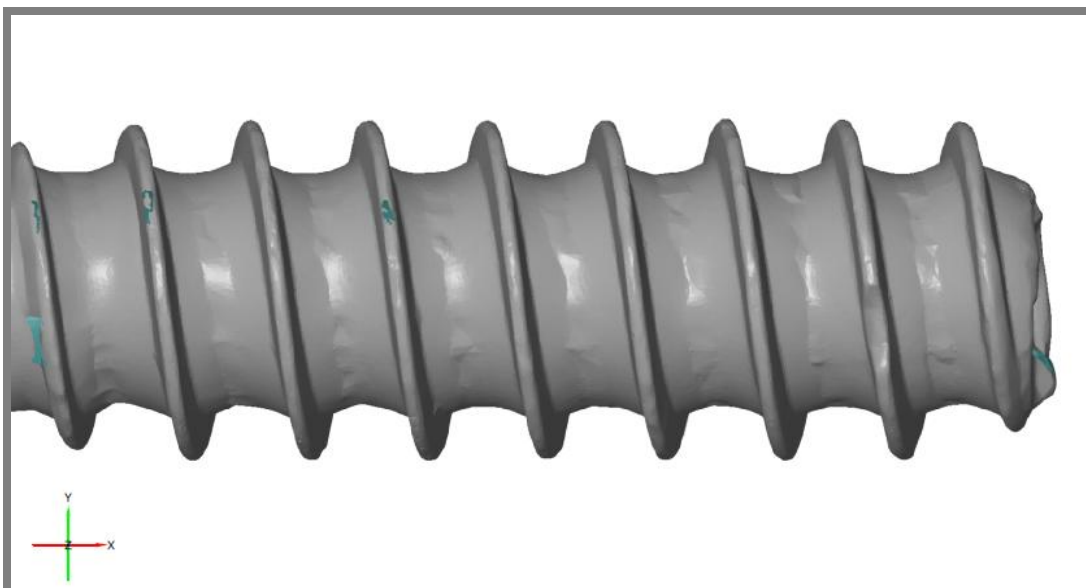
U obou verzí tohoto šroubu se odchylky v závitové části pohybují maximálně do hodnoty 0,19 mm. Odchylky rozměru hlavy šroubu jsou opět zanedbatelné, i když jsou výrazně větší než u šroubu E1. Rozdíly ve stoupání závitu jsou zde velmi znatelné. Díky jinému stoupání je odchylka vzdálenosti mezi prvním a posledním závitem až 0,5 mm. Tvar profilu je velmi odlišný, mezi dříkem a bokem závitu není žádné zkosení, pouze malý rádius. Obsah řezu profilu je menší než u šroubu E1.



Obr. 28 Šrouby G a G2 - barevná mapa odchylek

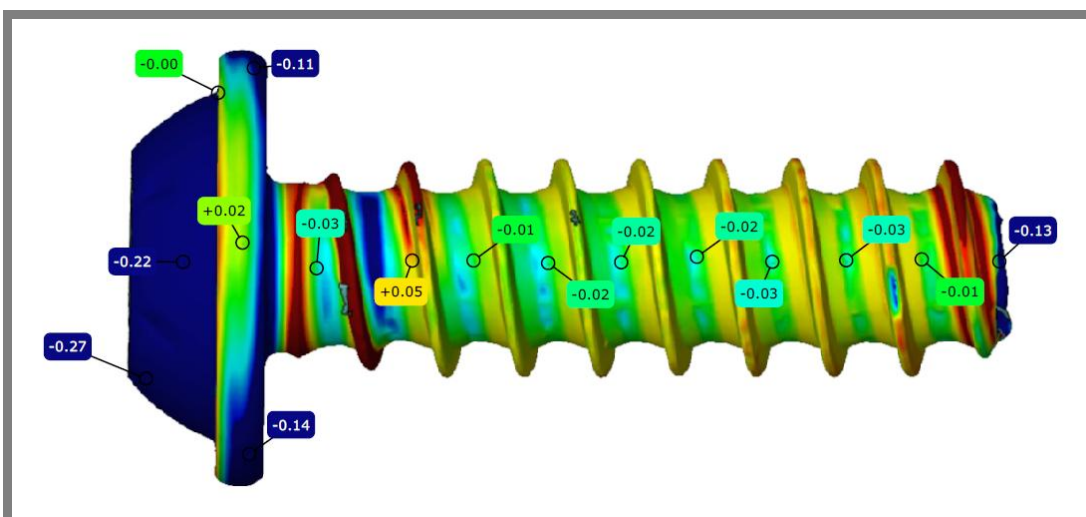
4.2.3 3D sken L1

Povrch těchto šroubů je dobrý. Vyskytují se zde pouze drobné nerovnosti na dříku. Profil závitu je hladký a bez porušení.



Obr. 29 Šroub L1 - povrch závitové části

Odchytky v závitové části se pohybují maximálně do hodnoty 0,03 mm, zejména průměr dříku nevykazuje téměř žádné odchytky. Odchytky rozměrů hlavy šroubu opět neovlivní průběh momentu při zašroubování. Rozdíly ve stoupání závitu jsou stejně jako u šroubů EJOT minimální nebo žádné. Obsah řezu profilu závitu je však větší oproti šroubu E1, dá se tedy předpokládat větší potřebný utahovací moment při vytváření závitu (šroubování).



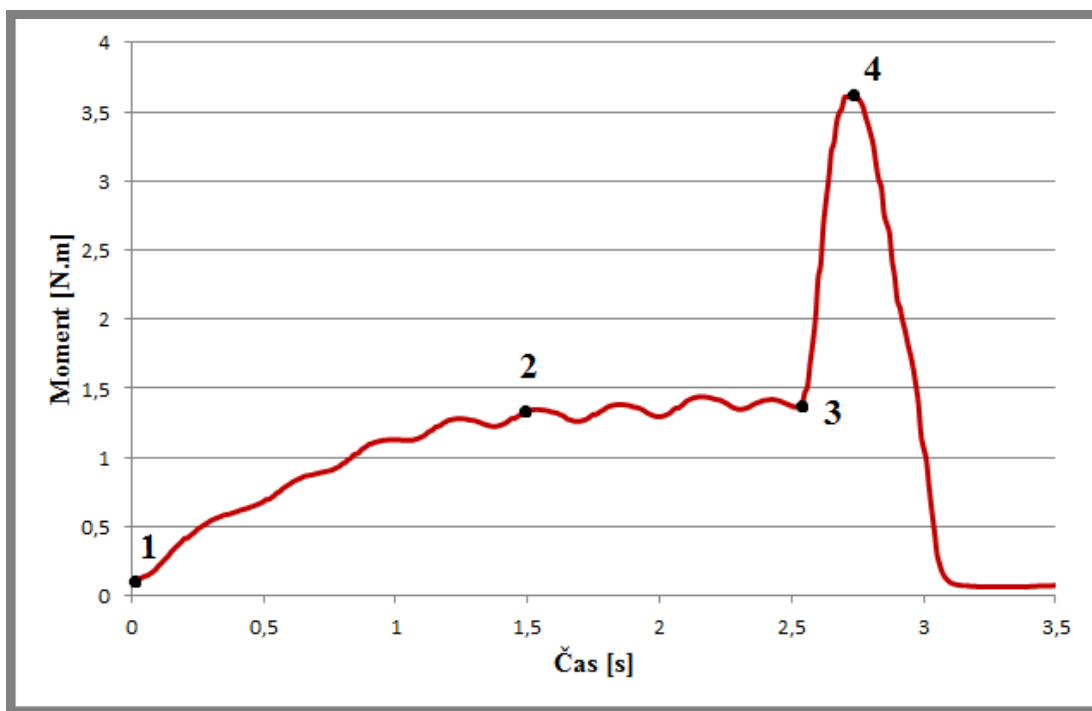
Obr. 30 Šroub L1 - barevná mapa odchylek

4.3 Průběh krouticího momentu

Jako poslední jsou porovnány výsledky z měření průběhu krouticího momentu v závislosti na čase. Jsou porovnávány průběhy v závislosti na použitém šroubu, dále na velikosti průměru otvoru pro šroub a nakonec v závislosti na použitém materiálu.

4.3.1 Obecný popis grafu

Na následujícím obrázku jsou vyznačeny důležité části grafu průběhu krouticího momentu. Jedná se o popis obecného grafu průběhu momentu pro jednodušší orientaci v následujících grafech.



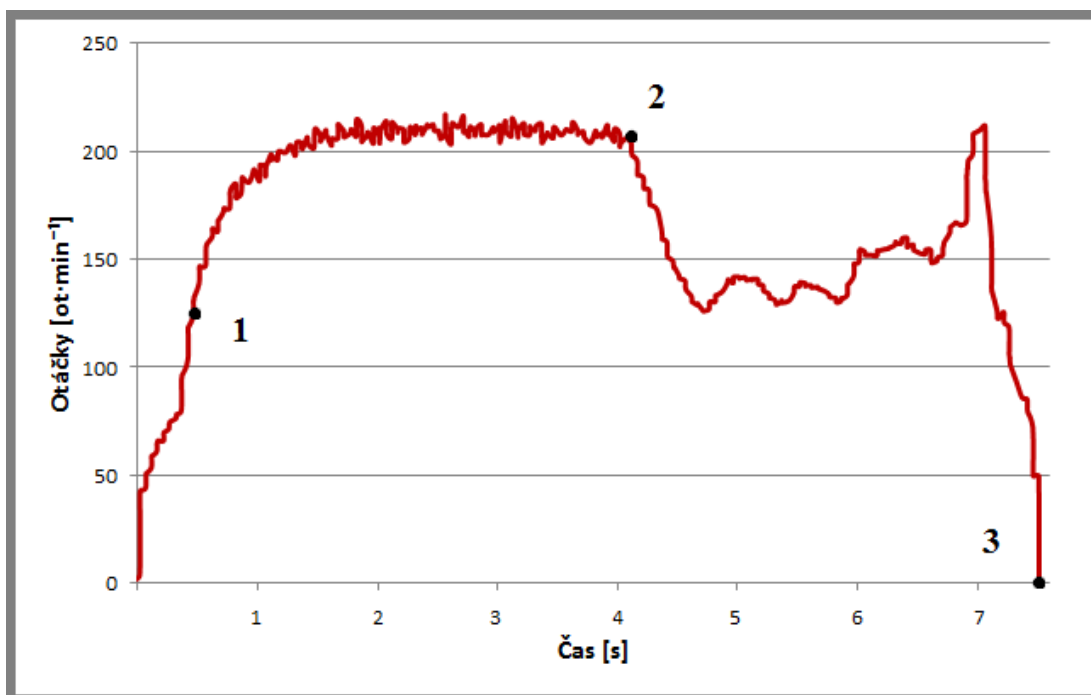
Graf 1 Obecný průběh krouticího momentu v závislosti na čase

Popis grafu:

- 1 - Začátek šroubování.
- 2 - Průběh šroubování. S narůstající délkou zašroubování se zvyšuje krouticí moment. Zvlněný průběh je nejspíše způsoben vibracemi v soustavě elektrického šroubováku a snímače krouticího momentu. Při zprůměrování několika měření dochází k vyhlazení křivky.
- 3 - Dosednutí hlavy šroubu. Důležitý bod grafu. Určuje velikost krouticího momentu potřebného pro zašroubování šroubu.
- 4 - Maximální krouticí moment. Mezi bodem 3 a 4 dochází k vytvoření tzv. předpětí, zmíněném na straně 18. Od maximálního krouticího momentu se odvíjí velikost vnitřního napětí ve výstupku pro šroub.

4.3.2 Problematika měření

Při prvních zkušebních měřeních krouticího momentu nastala komplikace. Původně byla pro šroubování použita akumulátorová vrtačka. Zbytek měřicí soustavy byl stejný. Stejný snímač krouticího momentu i vyhodnocování průběhů. Problémem použití akumulátorové vrtačky byl ten, že nebylo možné udržet při šroubování konstantní otáčky o požadované velikosti. Velikost otáček v závislosti na čase měla při šroubování průběh znázorněný na následujícím grafu.

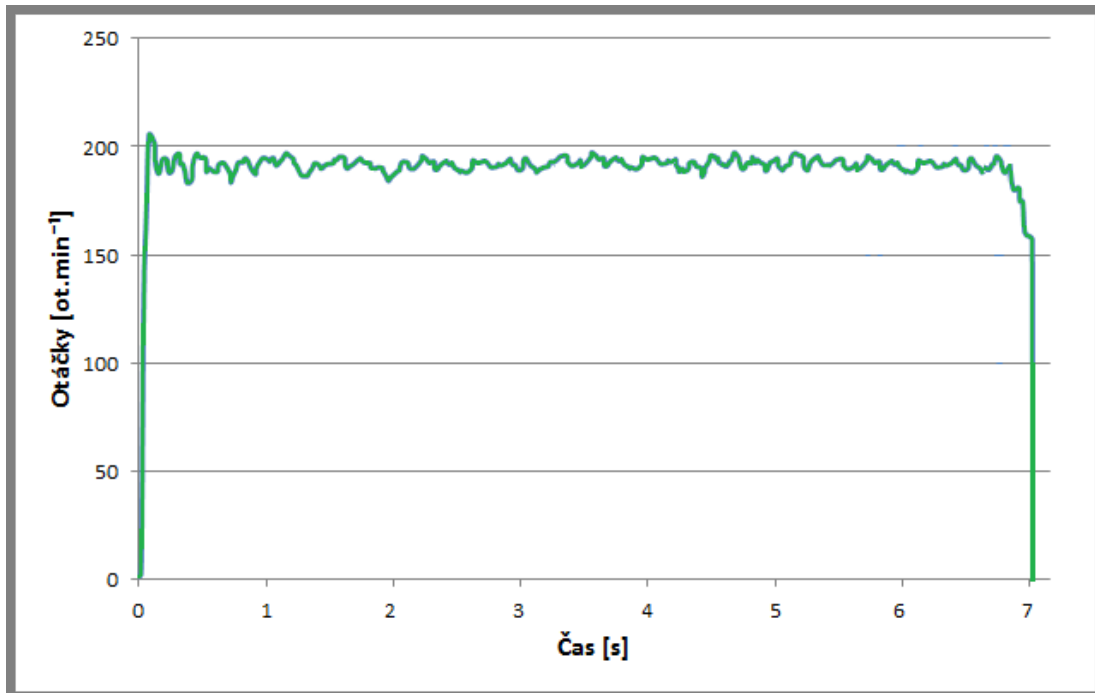


Graf 2 Nekonstantní otáčky

Popis grafu:

- ❑ 1 - Náběh otáček na přibližnou požadovanou hodnotu, v tomto případě cca $200 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$.
- ❑ 2 - Začátek šroubování přibližně ve 4 s, okamžitý pokles otáček.
- ❑ 3 - Konec šroubování.

Výsledné grafy průběhů krouticích momentů byly tedy tímto závažným nedostatkem znehodnoceny a muselo být nalezeno jiné řešení. Jako nejvhodnější náhrada akumulátorové vrtačky bylo použito elektrického šroubováku Atlas Copco. Tyto elektrické šroubováky, nazývané také dotahováky, se běžně používají při sestavování svétlometů na montážních linkách. Jeho výhodou je to, že při šroubování udržuje po celou dobu konstantní velikost otáček. Ve zkušební laboratoři byl k dispozici speciální typ tohoto šroubováku, s možností jednoduchého nastavení požadovaných parametrů pomocí počítače. Na dalším grafu je vidět průběh otáček v závislosti na čase při použití elektrického šroubováku Atlas Copco.



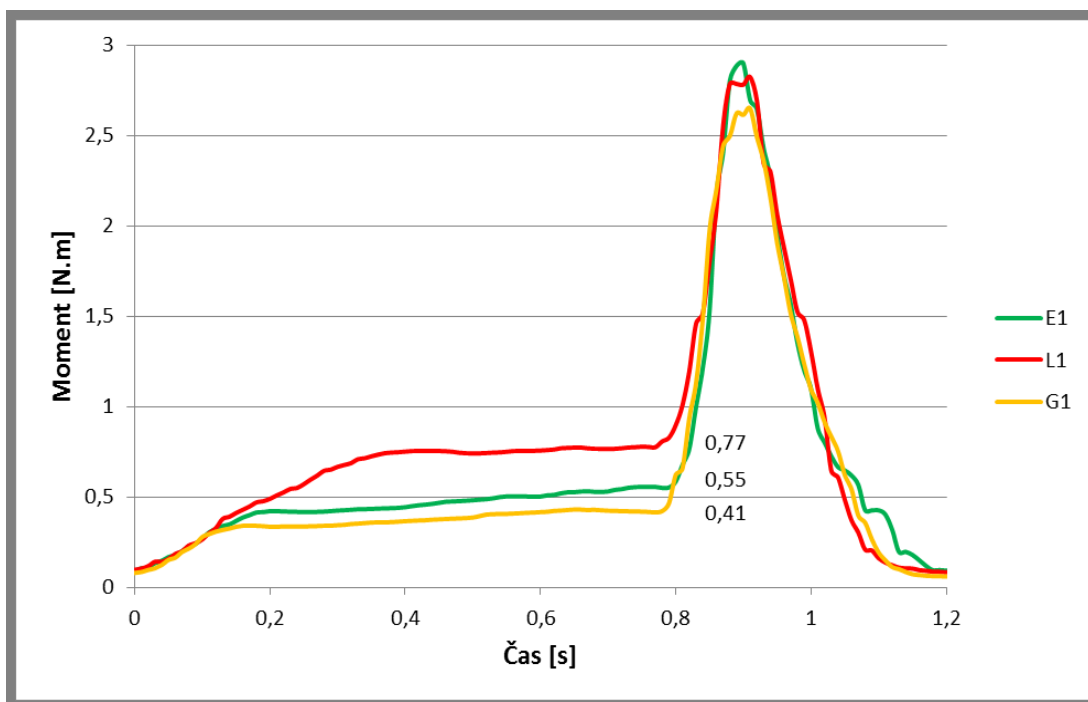
Graf 3 Konstantní otáčky

Otáčky se drží na konstantní hodnotě cca 200 ot·min⁻¹. Ve stejném čase začátku šroubování, tedy přibližně ve 4 s, nedochází k jakékoliv změně otáček jako v předchozím grafu. Použití elektrického šroubováku Atlas Copco tedy řeší problém udržení konstantních otáček po celý průběh šroubování a bude použit pro následující měření průběhů krouticích momentů.

4.4 Šroubování do polykarbonátu

4.4.1 Průměr otvoru pro šroub 3,6 mm

Jako první bylo provedeno měření krouticího momentu všech dostupných porovnávaných šroubů. Pro šroubování byly použity vyrobené PC vzorky s průměrem otvoru 3,6 mm určeným pro tento materiál. Velikost otáček šroubováku byla nastavena na hodnotu $600 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$, jedná se o standardně používané nastavení na montážních linkách. Této hodnotě otáček odpovídá čas šroubování přibližně 0,8 s.

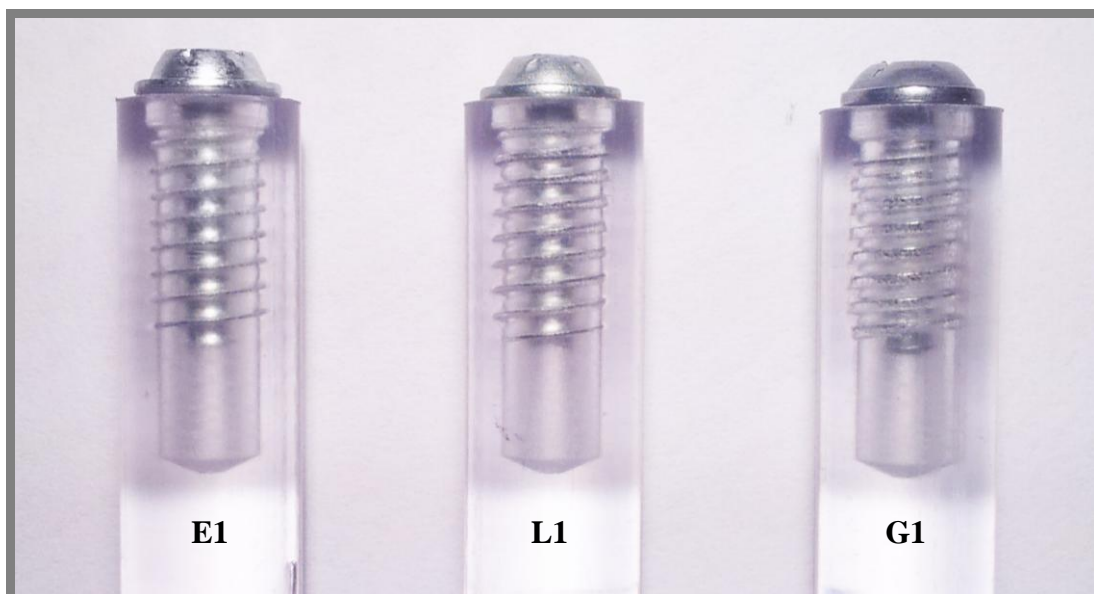


Graf 4 Srovnání krouticích momentů, průměr otvoru 3,6 mm, PC

Na výsledném grafu jsou jasně viditelné rozdíly mezi průběhy momentů jednotlivých šroubů. U referenčního šroubu E1 dosahuje hodnota momentu dosednutí hlavy šroubu $0,55 \text{ N} \cdot \text{m}$. U šroubu L1 dosahuje křivka hodnoty $0,77 \text{ N} \cdot \text{m}$. Oproti šroubu E1 tedy dochází k nárůstu velikosti momentu o 40%. U šroubu G1 dosahuje křivka hodnoty $0,41 \text{ N} \cdot \text{m}$. Oproti šroubu E1 tedy dochází k poklesnutí velikosti momentu o cca 25%.

Rozptyl velikostí momentů při dosednutí hlavy šroubu je $0,36 \text{ N} \cdot \text{m}$. Tento rozdíl samozřejmě způsobuje i různé velikosti sil a napětí ve šroubovém spoji a v krajních případech tedy může docházet k dříve zmíněnému problému praskání plastových výstupků pro šrouby.

Díky použitému polykarbonátu na výrobu vzorků, který je průhledný, lze po zašroubování zhodnotit vytvořený závit. Na následujícím obrázku je porovnání vzhledu závitů v PC vzorcích vyrobených z polykarbonátových tyčí o průměru 10 mm.

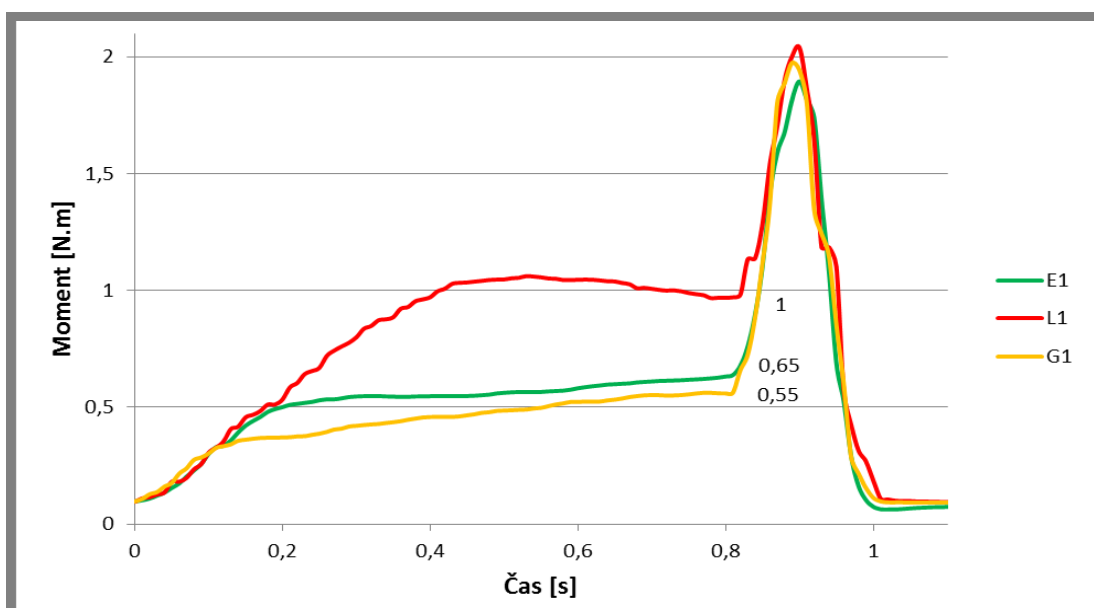


Obr. 31 Porovnání vytvořených závitů

Jak je vidět na obrázku, při vytváření závitu se projevily rozdíly v kvalitě povrchu zjištěné na 3D skenech šroubů. Referenční šroub E1 vytváří hladký závit bez otřepů. U závitu šroubu L1 je vidět, že byl přetvořen větší objem materiálu. V závitu vytvořeném šroubem G1 jsou dobře viditelné otřepy a došlo také k částečnému stržení závitu v materiálu.

4.4.2 Průměr otvoru pro šroub 3,4 mm

Jako další bylo provedeno stejné měření krouticího momentu všech dostupných porovnávaných šroubů. Otáčky byly stejné, tedy $600 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$. Průměr otvorů v PC vzorcích byl ale zmenšen na hodnotu 3,4 mm, s předpokladem, že se zvýrazní rozdíly mezi průběhy momentů jednotlivých šroubů.



Graf 5 Srovnání krouticích momentů, průměr otvoru 3,4 mm, PC

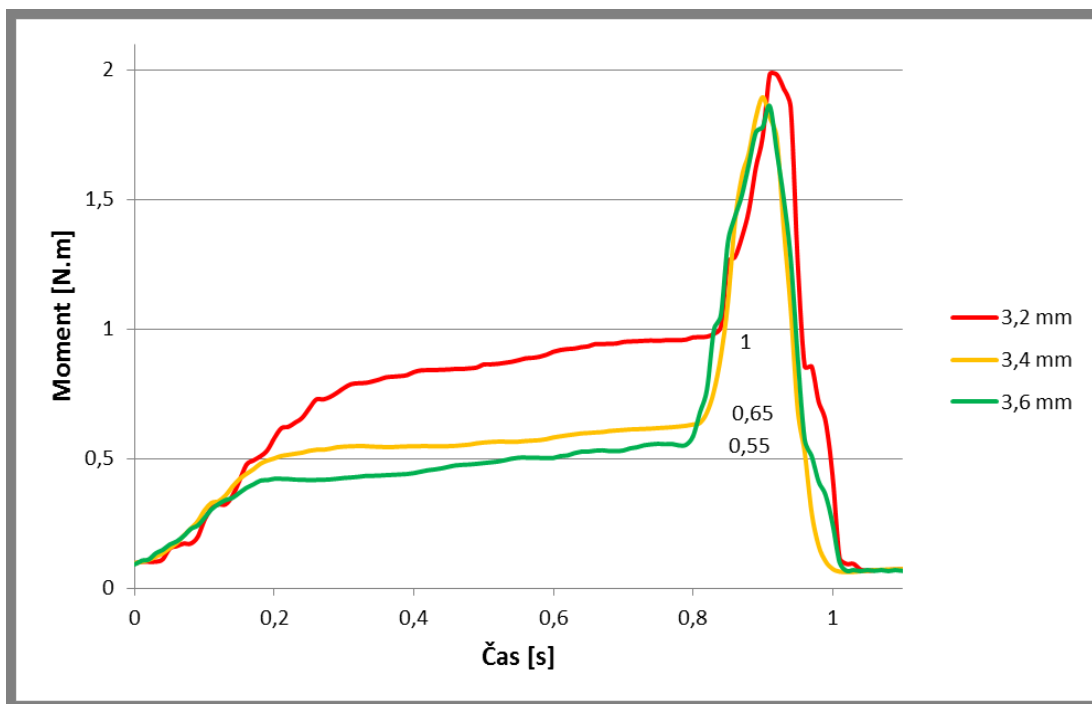
Při tomto měření se rozdíly mezi průběhy momentů dle předpokladu ještě více prohloubily. U referenčního šroubu E1 došlo k nárůstu velikosti momentu při dosednutí hlavy šroubu na hodnotu 0,65 N·m. U šroubu G1 došlo k podobnému nárůstu, rozdíl je tedy podobný jako při použití PC vzorků s průměrem otvorů 3,6 mm. U šroubu L1 došlo k výraznému nárůstu momentu na hodnotu 1 N·m. Oproti šroubům E1 a G1 je tedy velikost momentu větší o cca 66%. Při šroubování došlo dokonce v grafu k náhlému poklesnutí křivky v oblasti šroubování. Tento pokles může být způsoben zahřátím šroubu na vysokou teplotu v důsledku velkého tření. Při této teplotě se mohl roztavit plast v okolí šroubu a mohlo tedy dojít poklesu krouticího momentu. Teplo vzniklé třením bylo nejspíše způsobeno již zmíněnými rozdíly v profilech závitů šroubů.

Tato situace může mít kromě zmíněného vlivu tepla vzniklého třením ještě jinou, vážnější příčinu. Stoupání závitu šroubu nemusí být konstantní. V takovém případě by docházelo k tomu, že si každý závit vytváří v materiálu vlastní šroubovici. Krouticí moment by tedy díky většímu tření rychle narůstal.

Důležitým faktorem při šroubování elektrickým šroubovákem je nastavení dotahovacího momentu. Tedy maximální hodnoty momentu, který šroubovák při šroubování vyvine. Při testovacích měřeních byl tento moment nastaven na vyšší hodnotu. Dosahovalo se tedy maximálních krouticích momentů, při kterých dochází ke stržení závitu, nebo k utržení hlavy šroubu. Na elektrických šroubovácích na montážních linkách jsou samozřejmě nastaveny dotahovací momenty na určitou hodnotu, podle požadované hodnoty předpjetí. Pokud by tato hodnota byla například 1 N·m, tak by při použití šroubů L1 docházelo k nedotažení šroubového spoje. Dotahovací moment by musel být tedy nastaven na vyšší hodnotu (dle grafu alespoň na hodnotu 1,3 N·m) a tím pádem by se zvětšilo konečné napětí ve výstupku pro šroub a mohlo by docházet k praskání výstupků.

4.5 Vliv velikosti průměru otvoru na průběh krouticího momentu

Kvůli problémům zjištěným při zmenšování průměru otvoru pro šroub bylo provedeno třetí měření. Byly porovnány průběhy krouticích momentů šroubu E1 při použití průměrů otvorů v PC vzorcích 3,6 mm, 3,4 mm a 3,2 mm. Otáčky zůstávají stejné, tedy $600 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$.



Graf 6 Vliv průměru otvoru na krouticí moment

Z tohoto grafu je patrné, že velikost průměru otvoru pro šroub má výrazný vliv na velikost krouticího momentu a je tedy důležité dodržovat pravidla pro určování těchto průměrů v závislosti na použitém materiálu a kontrolovat reálné rozměry těchto otvorů. Zajímavostí tohoto grafu je to, že při šroubování šroubu E1 do otvoru o průměru 3,2 mm nedošlo v průběhu momentu k náhlému poklesu jako u šroubu L1 z předchozího grafu šroubovaného do otvoru o průměru 3,4. To potvrzuje rozdílnost v profilech závitů těchto šroubů.

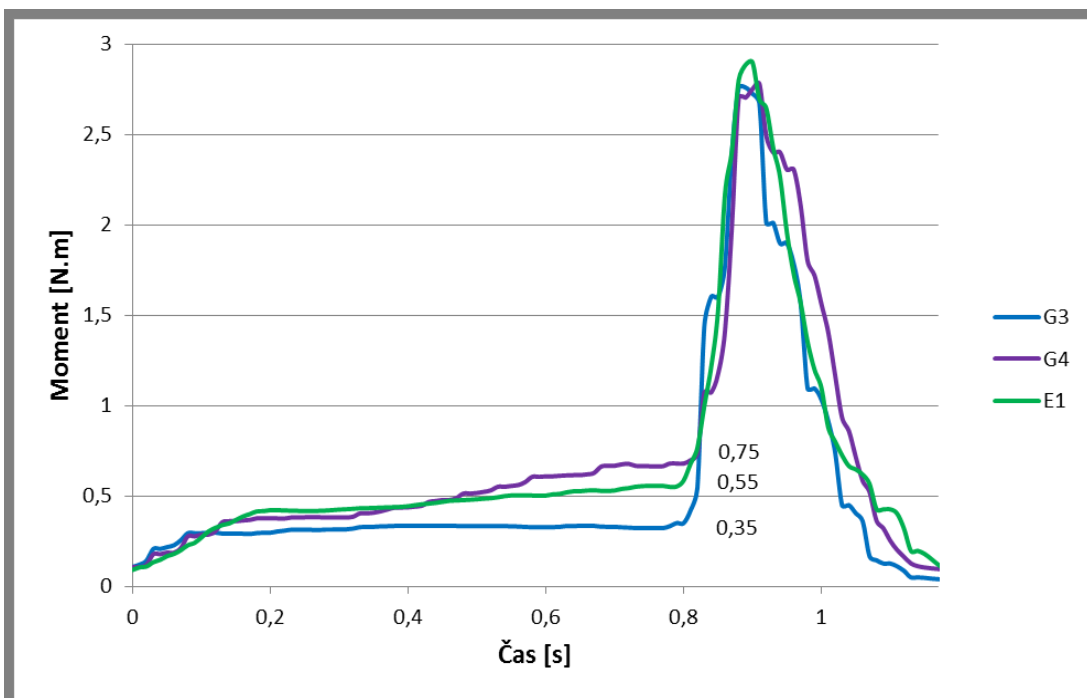
4.6 Šroubování do duroplastu

Pro srovnání velikostí a průběhů utahovacích momentů bylo také provedeno měření při šroubování do jiného materiálu než polykarbonát. Tento materiál představovaly skutečné reflektory vyráběné z duroplastu.



Obr. 32 Duroplastový reflektor

Při montáži těchto reflektorů dochází k již několikrát zmíněnému problému praskání plastových výstupků pro šrouby. Při použití jednoho nspecifikovaného šroubu od firmy GAWEL (dále označován jako G3) je montáž bezproblémová, při použití druhého (dále označován jako G4) dochází k praskání. Byl tedy změřen a zaznamenán průběh utahovacího momentu při šroubování těchto šroubů a porovnán s průběhem utahovacího momentu při šroubování referenčního šroubu E1.



Graf 7 Srovnání krouticích momentů, duroplast

V grafu jsou jasně viditelné rozdíly v průběhu utahovacích momentů. Mezi bezproblémovým šroubem G3 a problémovým šroubem G4 je rozdíl velikosti momentu při dosednutí hlavy 0,4 N·m. Tento poměrně velký rozdíl tedy nejspíše způsobuje praskáním výstupků pro šroub. V tomto případě je tvar plastového výstupku specifický. Zašroubovaný šroub totiž slouží pro bajonetové uchycení objímky žárovky reflektoru. Na následujícím obrázku je vlevo vidět bezproblémové zašroubování a na obrázku vpravo jsou vyznačena místa, kde došlo k prasknutí výstupku.



Obr. 33 Prasknuté výstupky pro šrouby

Šrouby G2 a G3 nemohly být ověřeny na 3D skenu protože jsem je spolu s duroplastovými reflektory dostal k dispozici až v závěru mého působení v Automotive Lighting před dokončením této bakalářské práce. Nebyl tedy dostatek času na jejich podrobné zkoumání.

Příčinou praskání duroplastových výstupků by nemusely být pouze používané šrouby. Je třeba zvážit možnost nedostatečného vytvrzení reflektorů při jejich výrobě. Při výrobě duroplastových součástí je kladen důraz na množství a rychlost výroby. Doba vytvrzování je tedy co nejkratší a díky tomu by mohlo docházet k rozdílným pevnostem u jednotlivých reflektorů.

5 DISKUZE

Z uvedených výsledků vyplývá, že problematika šroubových spojů ve světlometech je velmi rozsáhlá a měla by na ni být kladena větší pozornost.

Doporučení pro Automotive Lighting je takové, že by se měl zavést pečlivý systém testování všech šroubů při zavádění nových výrobců a typů šroubů. Také by se mělo provádět pravidelné kontrolování kvality současně používaných šroubů. Jak totiž ukázalo měření krouticího momentu v duroplastu, mohou se lišit i dvě různé série šroubů od stejného výrobce.

Doporučené kroky a metodika testování:

- ❑ Konfigurace zařízení na měření a záznam krouticího momentu na vstupní kontrole.
- ❑ Vytvoření databáze na ukládání výsledků pro pozdější srovnávání šroubů.
- ❑ Testovací materiál PC. Zhotovení formy na výrobu vzorků metodou vstříkáním plastů.
- ❑ Měření při $600 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$.
- ❑ Průměr otvoru ve vzorku dle rozměrů testovaného šroubu a materiálu vzorku.
- ❑ Minimálně 3 měření každého testovaného šroubu.
- ❑ Stanovení přípustných odchylek zjištěných z měření krouticího momentu.

6 ZÁVĚR

Byla provedena analýza a vyhodnocení závislosti krouticího momentu daných šroubů pro vybrané materiály. Srovnání průběhů krouticích momentů bylo provedeno u stejného šroubu od různých výrobců. Mimo to byla zkoumána a zhodnocena jejich tvarová a rozměrová odlišnost a rozdíly ve zpracování a kvalitě povrchu. Zadané cíle práce byly tedy splněny v plném rozsahu.

V samotné práci byl popsán postup k získání velikostí a průběhů krouticích momentů. Nejdříve byly porovnány průběhy krouticích momentů daných šroubů při šroubování do otvoru v polykarbonátu. Prokázaly se předpokládané rozdíly ve velikostech krouticích momentů a to až o velikosti 0,36 N·m. Dále byl ověřen vliv velikosti průměru otvoru pro šroub na velikost krouticího momentu. Se zmenšujícím se otvorem roste velikost krouticího momentu. Metodika vyhodnocování krouticího momentu byla úspěšně ověřena na praktickém příkladu při šroubování do duroplastových reflektorů, kdy byly prokázány rozdíly v krouticích momentech používaných šroubů o 0,4 N·m. Všechny naměřené rozdíly tedy ukazují na pravděpodobné příčiny problémů vznikajících při záměně šroubů. Ve výsledných protokolech z 3D skenů jsou jasně vidět nedostatky ostatních šroubů oproti referenčnímu šroubu E1. Test na korozní odolnost je spíše informativního charakteru. I zde jsou ale vidět rozdíly v povrchových úpravách a kvalitě povrchu.

V rámci vyhodnocování krouticích momentů jsem provedl přes 80 měření krouticího momentu a vyrobil stejné množství PC vzorků. Když jsem se před vypracováním této bakalářské práce podíval na automobil, přemýšlel jsem například, jaký má v sobě motor, na jaké palivo jezdí nebo jakou má převodovku. Nikdy by mě nenapadlo přemýšlet nad tím, jakými šrouby, nebo vůbec jakým způsobem, jsou k sobě spojeny jednotlivé díly světlometu. Už počet dílů, ze kterých se světlomet skládá, je sám o sobě překvapivý a spojovací šrouby jsou jeho nejmenšími součástmi. Přesto se za těmito šroubky skrývá mnoho vědy. Jejich používání při konstruování vyžaduje mnoho zkušeností a znalostí.

BIBLIOGRAFIE

- [1] *Propagační a informační materiály*, Automotive Lighting, Česká Republika, Německo, 2013
- [2] *Konstrukční návody, postupy, projektová data*, Automotive Lighting, Česká Republika, Německo, 2013
- [3] KOLOUCH, Jan. *Strojní součásti z plastů*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1981, 258 s.
- [4] KOLOUCH, Jan. *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986, 229 s.
- [5] ŠTĚPEK, Jiří, Antonín KUTA a Jiří ZELINGER. *Technologie zpracování a vlastnosti plastů: celostátní vysokoškolská příručka pro vysoké školy chemickotechnologické, studijní obor 28-10-8 Technologie výroby a zpracování polymerů*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989, 637 s.
- [6] *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2013 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/plasty-v-automobilovem-prumyslu.html>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

E1	- šroub EJOT 1 303 435 168
L1	- šroub LAGUS 1 303 435 168
G1	- šroub GAWEL 1 303 435 168
G2	- šroub GAWEL 1 303 435 198
PP	- polypropylen
PC	- polykarbonát
TKO	- test korozní odolnosti
D	[mm] - velký průměr závitu šroubu
dA	[mm] - vnější průměr plastového výstupku pro šroub
dS	[mm] - průměr odsazení
dL	[mm] - průměr otvoru
tS	[mm] - hloubka odsazení
tE	[mm] - hloubka otvoru

SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obr. 1 Přední světlomet	14
Obr. 2 Základní části světlometu	16
Obr. 3 Spojení tvářecím šroubem	18
Obr. 4 Plastový výstupek pro šroub	19
Obr. 5 Profily speciálních tvářecích šroubů do plastu	20
Obr. 6 Rozložení sil na závitu	20
Obr. 7 Šroub E1	21
Obr. 8 Šroub L1	23
Obr. 9 Šroub G1	21
Obr. 10 Šroub G2	23
Obr. 11 Solná komora	24
Obr. 12 Přípravek pro šrouby na TKO	24
Obr. 13 Sestava ATOS Triple Scan III	25
Obr. 14 Rozměry PC vzorku	27
Obr. 15 Vyvrtání otvoru	25
Obr. 16 Upichování	27
Obr. 17 Hotové PC vzorky	25
Obr. 18 Soustruh SPC-900 PA	27
Obr. 19 Pracoviště měření krouticího momentu	28
Obr. 20 Šroub E1 před a po TKO	29
Obr. 21 Šroub G1 před a po TKO	29
Obr. 22 Šroub G2 pře a po TKO	29
Obr. 23 Šroub L1 před a po TKO	29
Obr. 24 Počítačový 3D model šroubu	30
Obr. 25 Šroub E1 - povrch závitové části	31
Obr. 26 Šroub E1 - barevná mapa odchylek	31
Obr. 27 Šrouby G1 a G2 - povrch závitové části	32
Obr. 28 Šrouby G a G2 - barevná mapa odchylek	32
Obr. 29 Šroub L1 - povrch závitové části	33
Obr. 30 Šroub L1 - barevná mapa odchylek	33
Obr. 31 Porovnání vytvořených závitů	38
Obr. 32 Duroplastový reflektor	41
Obr. 33 Prasknuté výstupky pro šrouby	42
Graf 1 Obecný průběh krouticího momentu v závislosti na čase	34
Graf 2 Nekonstantní otáčky	35
Graf 3 Konstantní otáčky	36
Graf 4 Srovnání krouticích momentů, průměr otvoru 3,6 mm, PC	37
Graf 5 Srovnání krouticích momentů, průměr otvoru 3,4 mm, PC	38
Graf 6 Vliv průměru otvoru na krouticí moment	40
Graf 7 Srovnání krouticích momentů, duroplast	41

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 - protokol z 3D skenu šroubu E1
- Příloha 2 - protokol z 3D skenu šroubu L1
- Příloha 3 - protokol z 3D skenu šroubu G1
- Příloha 4 - protokol z 3D skenu šroubu G2
- Příloha 5 - písemný souhlas s poskytnutím protokolů a výňatků z nich třetí osobě
- Příloha 6 - výkres šroubu 1 303 435 168
- Příloha 7 - podrobné grafy průběhů momentů
- Příloha 8 - parametry 3D skenu ATOS
- Příloha 9 - CD - Ondřej Větrovec, Bakalářská práce, 2012/2013