



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

OPTIMALIZACE TECHNOLOGICKÝCH PARAMETRŮ VSTŘIKOVÁNÍ PLASTOVÉHO DÍLCE

OPTIMIZATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF INJECTION PLASTIC PARTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

BC. RICHARD HAMÁČEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

ING. BOHUMIL KANDUS

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Richard Hamáček

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

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

Optimalizace technologických parametrů vstřikování plastového dílce

v anglickém jazyce:

Optimization of technological parameters of injection plastic parts

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Na základě stávající technologie výroby tělesa světloometu vypracovat řešení na technologii vstřikování plastů do forem, uvést možnosti a způsoby měření geometrické přesnosti (tvarové a rozměrové) plastového dílce včetně rozměrových změn v časové závislosti na historii probíhajícího smrštění materiálu ve formě i po odformování dílce.

Cíle diplomové práce:

Cílem práce je optimalizace vstřikovacího procesu na základě měření souřadnic referenčních bodů na plastovém dílci - tělese světloometu jako odezvy na smrštění materiálu v závislosti na technologických parametrech pomocí počítačové analýzy a na úrovni technologického postupu zpracování takto získaných dat včetně potřebných výpočtů pro minimalizaci vlivu smrštění na geometrickou přesnost.

Seznam odborné literatury:

- ŠTĚPEK, Jiří, ZELINGER, Jiří, KUTA, Antonín. Technologie zpracování a vlastnosti plastů. 1. vyd. Praha, Bratislava : SNTL, Alfa, 1989. 638 s. ISBN DT 678.5(075.8).
- SOVA, Miloš, KREBS, Josef. Termoplasty v praxi. 1. vyd. Praha : Verlag Dashöfer, 2001. 2 sv. (580, 425 s.). ISBN 80-86229-15-7.
- ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů. 1. vyd. Praha : Nakladatelství BEN, 2009. 248 s. ISBN 978-80-7300-250-3.
- MENGES, Georg, MOHREN, Paul. How to Make Injection Molds. 2nd edition. München, Wien : Carl Hanser Verlag, 1993. 558 s. ISBN 1-56990-062-0.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Bohumil Kandus

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/11.

V Brně, dne 23.11.2010




prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.
Ředitel ústavu


prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

ABSTRAKT

HAMÁČEK Richard: Optimalizace technologických parametrů vstřikování plastového dílce.

Tento projekt se zabývá optimalizací vstřikovacího procesu plastového tělesa světlometu pro projekt DCW 204 Mopf halogen. Cílem práce je dosáhnout kratšího vstřikovacího cyklu při dodržení požadované jakosti plastového dílce. Optimalizace proběhne na základě modifikace času dotlaku taveniny v nástroji. Sleduje se deformace v ose X v nejproblémovějších bodech tělesa užitím bezdotykové optické technologie měření ATOS III Triple Scan. Dále byla využita simulační analýza vstřiku pro predikci deformace plastové dílce do odformování při všech zvolených časech dotlaků. Na základě takto získaných dat bylo možno provést porovnání predikované deformace do odformování a deformací reálnou na tělese po odformování. Na základě získaných dat v různých časových intervalech byl sledován průběh deformace v závislosti na čase.

Klíčová slova: těleso světlometu, deformace, světlomet, vstřikování, optimalizace, optická, Moldflow

ABSTRACT

HAMÁČEK Richard: Optimization of technological parameters of injection plastic parts

This project is dealt with optimalization of moulding procedure of plastic housing of headlamp for project DCW 204 Mopf halogen. The aim is reach a shorter injection moulding cycle time with keeping of claim quality of plastic part. Optimalization will be done based on modification of moulding pressing time. We observe warpage in axis X in the most problematical points of housing by using of contactless measuring optical technologie ATOS III Triple Scan. Simulation analysis for injection moulding was used for prediction of housing warpage up to unforming in every chosen moulding pressing time. According to reaching data in this way comparison of predicted warpage was able to done up to unforming time and real warpage of housing after unforming. According to reaching data in a different period of time warpage of housing during time flowing was observed.

Key words: housing, warpage, headlamp, injection, optimalization, Moldflow

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HAMÁČEK, Richard. *Optimalizace technologických parametrů vstřikování plastového dílce*. Brno, 2011. x s., CD. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Bohumil Kandus.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci na téma “*Optimalizace technologických parametrů vstřikování plastového dílce*“ jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené odborné literatury a pramenů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Brně dne 25.5.2011

.....

podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Bohumilovi Kandusovi za vedení práce a technické konzultace. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Petrovi Tyráčkovi, Ing. Bohuslavu Lysovi, Ing. Liborovi Horkému z oddělení EAP1, Ing. Janu Hrbáčkovi, PhD. z oddělení předvýroby za drahocenné rady, poskytnuté dokumenty a podpoření v realizaci zkoušek v rámci společnosti ALCZ. Dále bych chtěl poděkovat přítelkyni Martině Štočkové DiS., dědovi Josefu Hamáčkovi a Bc. Miroslavě Martinové za podporu v rámci celého studia.

OBSAH

Titulní list

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

1	ÚVOD	- 11 -
2	TEORETICKÁ ČÁST	- 13 -
2.1	TEORIE PLASTŮ	- 13 -
2.1.1	Příprava plastů	- 13 -
2.1.2	Rozdělení plastů	- 14 -
2.1.3	Plasty pro strojírenskou výrobu	- 17 -
2.2	POLYPROPYLEN	- 19 -
2.2.1	Historie polypropylenu	- 19 -
2.2.2	Vlastnosti polypropylenu	- 19 -
2.2.3	Aplikace polypropylenu	- 20 -
2.3	VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ	- 20 -
2.3.1	Princip vstřikování	- 21 -
2.3.2	Jednotlivé fáze vstřikovacího cyklu	- 21 -
2.3.2.1	Fáze dávkování + plastikace	- 22 -
2.3.2.2	Fáze vstřikování taveniny do dutiny formy	- 23 -
2.3.2.3	Fáze dotlaku	- 24 -
2.3.2.4	Fáze chlazení	- 25 -
2.3.3	Časové rozvržení vstřikovacího cyklu	- 25 -
2.4	SMRŠTĚNÍ	- 27 -
2.4.1	Úvod	- 27 -
2.4.2	Definice a vliv dosmrštění	- 28 -
2.4.2.1	Souhrn vlivů technologických podmínek na smrštění	- 29 -
2.4.3	Orientace a dezorientace makromolekul plastu	- 29 -
2.4.3.1	Souhrn vlivů technologických podmínek na orientaci makromolekul	- 30 -
2.4.4	Zbytkové napětí	- 31 -
2.4.4.1	Souhrn vlivů technologických podmínek na zbytkové napětí	- 31 -
2.5	VLIVY TEPLOTNÍCH ÚČINKŮ NA ROZMĚROVÉ ZMĚNY	- 32 -
2.5.1	Deformace dílce ochlazováním	- 32 -
2.6	BEZDOTYKOVÉ TECHNOLOGIE MĚŘENÍ ROZMĚRŮ	- 33 -
2.6.1	Úvod	- 33 -
2.6.2	Optické 3D skenery	- 34 -
2.6.3	ATOS (Advanced Topometric Sensor) – 3D skener	- 36 -

3	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	- 38 -
3.1	NAVRHOVANÉ CÍLE DP.....	- 39 -
3.2	SPOLEČNOST AUTOMOTIVE LIGHTING s.r.o	- 39 -
3.3	CHARAKTERISTIKA PROJEKTU DC W246 Mopf – halogen	- 40 -
3.3.1	Těleso světlometu – housing	- 41 -
3.4	POUŽITÉ APLIKACE.....	- 43 -
3.4.1	Moldflow Plastic Insight 6.0 (MPI)	- 43 -
3.5	ZVOLENÉ PARAMETRY + VARIANTY.....	- 43 -
3.5.1	Vstřikovací parametry standardní a modifikované.....	- 43 -
3.5.2	Parametry vstřikovacího lisu	- 47 -
3.5.3	Řešené varianty.....	- 47 -
3.6	POUŽITÍ MOLDFLOW ANALÝZY A JEJÍ DISKUZE.....	- 49 -
3.7	PŘÍPRAVA SKENOVÁNÍ.....	- 55 -
3.7.1	Přípravek.....	- 55 -
3.7.2	Volba a vizualizace pracoviště pro skenování.....	- 56 -
3.8	SKENOVÁNÍ DÍLCE	- 57 -
3.8.1	Možné způsoby vyhodnocení a vizualizace naskenovaných dat	- 59 -
3.9	VÝBĚR KRITICKÝCH BODŮ A JEJICH VYHODNOCENÍ.....	- 62 -
3.9.1	Výběr řešených bodů v lepícím kanále.....	- 62 -
3.9.1.1	Vyhodnocení softwarově naměřených dat (MPI) v nejproblémovějších bodech lepícího kanálu a jejich diskuze	- 63 -
3.9.1.2	Hodnocení dosažených výsledků (MPI) a jejich diskuze	- 68 -
3.9.1.3	Vyhodnocení naměřených dat bezdotykovou technologií měření dílce v nejproblémovějších bodech lepícího kanálu a jejich diskuze	- 70 -
3.9.1.4	Hodnocení dosažených výsledků (ATOS III) a jejich diskuze	- 73 -
3.10	KOMPARACE PREDIKOVANÉ DEFORMACE DÍLCE V OSE X PŘI ODFORMOVÁNÍ S DEFORMACÍ REÁLNÉHO DÍLCE.....	- 77 -
3.11	OPTIMALIZACE VSTŘIKOVACÍCH PARAMETRŮ NA ZÁKLADĚ NAMĚŘENÝCH DAT REÁLNÝCH DÍLCŮ	- 79 -
3.11.1	Diskuze optimalizace vstřikovacích parametrů	- 83 -
3.12	TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ OPTIMALIZACE	- 86 -
4	ZÁVĚR.....	- 88 -
5	RESUMÉ	- 90 -
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	- 91 -
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	- 93 -
	SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ	- 95 -
	SEZNAM PŘÍLOH	- 99 -

1 ÚVOD

Téma diplomové práce „Optimalizace technologických parametrů vstřikování plastového dílce“ vzniklo ve spolupráci s předvýrobním a konstrukčním oddělením společnosti Automotive Lighting s.r.o. se sídlem v Jihlavě. Společnost Automotive Lighting s.r.o. je předním výrobcem nejmodernějších světlometů s velkým portfoliem zákazníků a partnerů.

Z hlediska množství produkce prodělal automobilový průmysl za poslední desetiletí enormní růst. S tím je úzce spjat tlak, který byl, je a bude vynakládán na vývoj nových technologií a materiálů užitých ve strojírenském průmyslu, nejen při výrobě automobilů. Osvětlení automobilu, tedy světlomety tomuto vývoji podlehly v plném rozsahu. Výroba světlometů v současnosti spočívá v technologii vstřikování plastových hmot. Tím je možné vyrábět světlomety lehčí, různých tvarů s modernějšími funkcemi, které zvyšují bezpečnost provozu na pozemních komunikacích. Světelné zdroje světlometů zaznamenaly také velice progresivní vývojové změny od elektrických žárovek přes xenonové výbojky až k LED diodám, které v kooperaci s moderními funkcemi světlometu bezpečnost provozu automobilu ještě umocňují.

Pro úspěšnost výrobní společnosti v konkurenčním boji je snaha vyrábět své produkty za co možno nejnížší cenu, avšak při zachování požadované kvality. Velmi důležitá je také schopnost společnosti reagovat, případně se adaptovat na zákaznické potřeby a požadavky z hlediska kvality i požadovaného množství v různých termínech dodání. Výše zmíněného v oblasti výroby předních světlometů je možné dosáhnout mimo jiné větším využitím simulačních aplikací s technologií umožňující rychlou inspekci výrobku. Simulační analýzy napomáhají analyzovat vstřikovací cyklus a predikovat tak případné nedostatky nebo naopak možnosti změny nastavení vstřikovacích parametrů či možné úpravy nástroje již v období vývoje nástroje. Úpravy prováděné na nástroji po jeho vyrobení jsou již mnohem nákladnější. Požadavek pro dodržení kvality a její rychlou inspekci dnes zastávají v čím dál větší míře bezdotykové technologie nahrazující technologie dotykové.

Jeden z cílů práce je zkracování výrobního procesu, resp. zvyšování výrobního taktu při dodržení kvality vyrobených dílců a zjištění velikosti rozměrových změn vlivem přenastavení vstřikovacích parametrů. Ty však nelze měnit libovolně z důvodů možnosti

vzniku následné zmetkovitosti v podobě nedostříknutí dílce v průběhu vstřikovacího procesu, deformace nebo smrštění výstřiku či jiných defektů přímo ovlivňujících jakost výrobků. Na otázku, kde jsou hraniční možnosti změn vybraných vstřikovacích parametrů, aniž by se zhoršila požadovaná kvalita vyrobeného dílce, bude zodpovězeno primárním odladěním zvolených vstřikovacích parametrů aplikací Moldflow Plastic Insight 6.0 s následnou aplikací vstřikovacích parametrů ve výrobě. Oskenováním reálně vyrobených dílců za uvedených parametrů bezkontaktním měřícím systémem ATOS III Triple Scan 6.0 získáme reálné deformace dílce v různých časech po odformování a možnost přibližného srovnání shody reálné deformace s deformací predikovanou aplikací Moldflow Plastic Insight 6.0. Vlastní měření pomocí bezdotykové měřicí technologie je prováděno v jihlavském výrobním závodě mimo jiné za účelem předvedení managementu společnosti schopnosti a využitelnost tohoto zařízení v sériové výrobě.

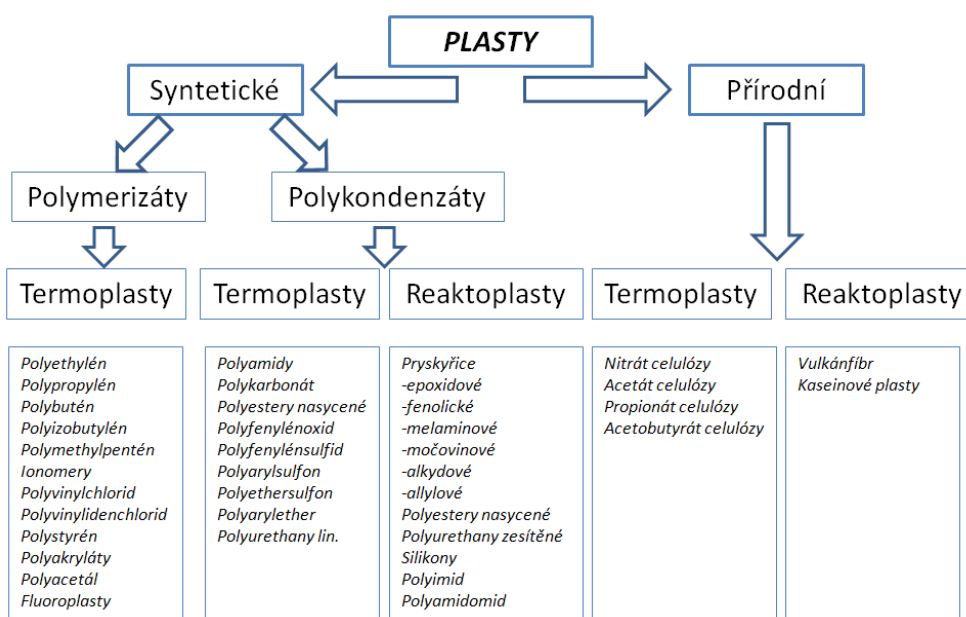
2 TEORETICKÁ ČÁST

V teoretické části diplomové práce je popsána vstřikovací technologie výroby plastových dílů z termoplastů s jednotlivými vstřikovacími parametry a jejich následnými vlivy na výstřik společně s charakteristikou a historií použitého materiálu. Dále je popsán bezkontaktní měřicí systém ATOS, jeho souhrnné využití a benefity při měření rozměrů v porovnání s kontaktními měřicími systémy.

2.1 TEORIE PLASTŮ

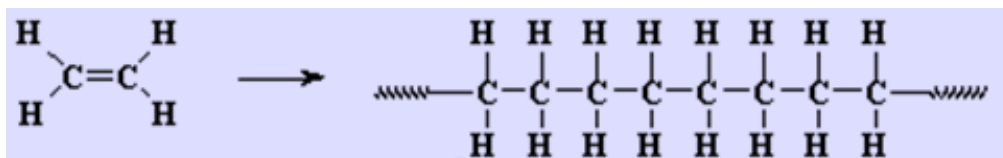
2.1.1 Příprava plastů [1]

Plast je materiál založený na makromolekulárních látkách, polymerech. Polymery jsou sloučeniny syntetické nebo přírodní viz. obrázek č.1. Synteticky připravované látky vznikají polyreakcemi (polymerace, polykondenzace, polyadice).



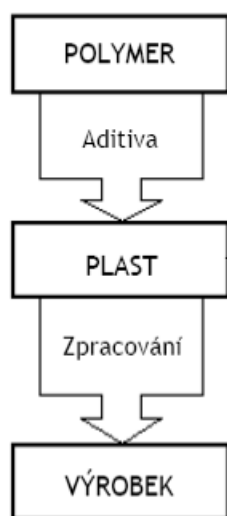
Obr. 1: Schéma rozdělení plastů

Jedná se o velmi jednoduché, mnohokrát se opakující reakce. K zahájení reakce je nutné dvojnou vazbu rozštěpit dodáním energie, například již zmíněnou chemickou reakcí. Tím je počáteční nízkomolekulární sloučenina monomer přivedena ve vysokomolekulární látku zvanou polymer. V polymerní makromolekule tedy dochází k opakování základní monomerní jednotky (obr. 2).



Obr. 2: Vznik polymeru následným řazením monomerů [1]

Tím je umožněna oproti kovům proměnlivost struktury i vlastností finálních látek. Plast vhodný pro další technologické zpracování (granule, prášek, tablety apod.) je získán smísením polymerních látek s dalšími nezbytnými přísadami (aditivy) pro výrobu konečného plastového výrobku (obr. 3). Polymer představuje chemickou látku, zatímco plast je technický materiál s vhodnými užitnými vlastnostmi.



Obr. 3: Etapy výroby a zpracování plastu [3]

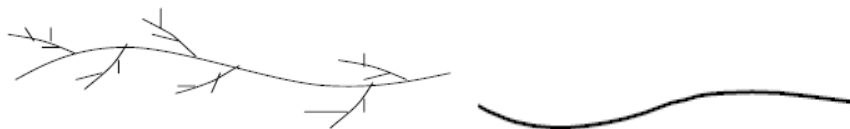
2.1.2 Rozdělení plastů [2], [3], [4], [5], [6]

Plasty je možné rozdělovat dle různých hledisek. Mezi nejdůležitější dělení je možné považovat dělení na základě chování plastů při různých teplotách, tedy *chemické struktury*:

- ✓ Termoplasty
- ✓ Reaktoplasty
- ✓ Kaučuky, pryže a elastomery

Vzhledem k materiálům užitých pro diplomovou práci bude dále pojednáno pouze o termoplastech s částečnou komparací s reaktoplasty.

Termoplasty jsou makromolekulární látky s lineárními nebo rozvětvenými řetězci (obr. 4). Mohou být semikrystalické i amorfní. Při zahřátí jsou schopny se převést do taveniny. V tomto stavu jsou snadno tvářitelné a dají se zpracovávat různými technologiemi. Proces měknutí a opětovného tuhnutí lze provádět teoreticky opakovaně bez omezení z důvodů neměnné chemické struktury při zahřívání, na rozdíl od reaktoplastů. Ty v první fázi měknou a lze je tvářet, ale pouze po omezenou dobu. V případě dalšího zahřívání totiž dochází k prostorovému zesíťování struktury zvané vytvrzování (vulkanizace v případě kaučuků). Pokud je termoplast po vyrobení roztaven více než jedenkrát, poté již hovoříme o recyklátu. Vlastnosti plastu v podobě recyklátu se zhoršují se zvyšujícím se počtem upotřebení převážně z důvodu trhání řetězců. Převážná většina zpracovávaných plastů jsou termoplasty jako *polyethylen (PE)*, *polypropylen (PP)*, *polystyren (PS)*, *polyvinylchlorid (PVC)*, *polyamid (PA)* a jiné.



Obr. 4: Molekulární struktura plastů.
Rozvětvená struktura vlevo, lineární struktura vpravo [1]

Podle nadmolekulární struktury:

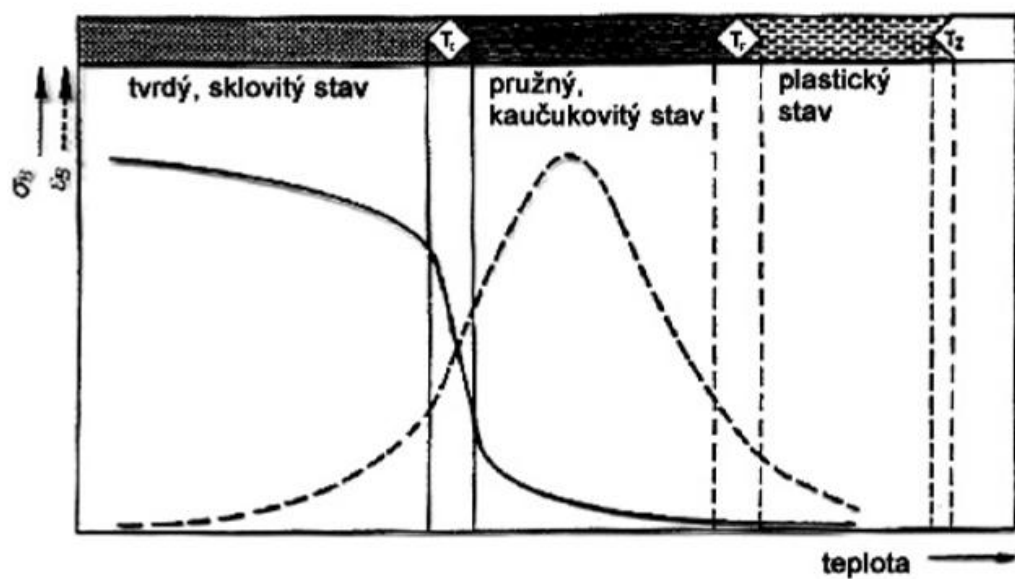
- ✓ Amorfní plasty
- ✓ Krystalické (semikrystalické) plasty

Amorfní plasty a jejich makromolekuly zaujímají nahodilou pozici. Jsou typické vysokou pevností, modulem pružnosti, tvrdostí a křehkostí. Díky nízkému indexu lomu mohou být průhledné, dle propustnosti světla (přibližně 92 %) u PMMA téměř čiré. Vlastnosti plastů jsou závislé na teplotě. Jak amorfní tak semikrystalický plast má teplotní oblasti, ve kterých se vlastnosti mění skokově. Tyto oblasti jsou nazývány přechodové teploty (obr. 5):

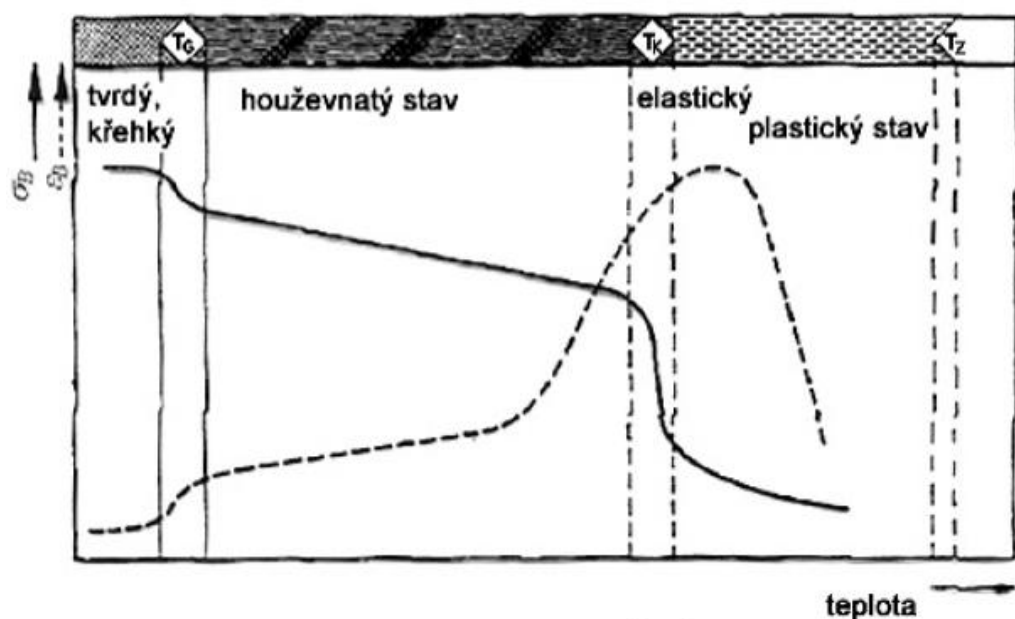
T_g - teplota zesklnění

T_f - teplota viskózního toku (amorfní plasty)

T_m – teplota tání (semikrystalické plasty)



σ_B ... mez pevnosti v tahu ϵ_B ... prodloužení na mezi pevnosti v tahu



σ_B ... mez pevnosti v tahu ϵ_B ... prodloužení na mezi pevnosti v tahu

Obr. 5: Termodynamické vlastnosti polymerů [15]
průběh pro amorfní termoplasty (horní obrázek)
průběh pro semikrystalické termoplasty (dolní obrázek)

V přechodové oblasti T_g dochází ke skokové změně meze pevnosti v tahu, koeficient teplotní roztažnosti cca o 100 %. V oblasti teploty T_f hmota ztrácí kaučukovité vlastnosti a dochází ke změně na vysoce viskózní kapalinu. Oblast nad teplotou T_f je tedy oblast zpracovatelských teplot. Při zvýšení teploty do oblasti T_z a výš začne probíhat tepelná degradace polymeru. Amorfní polymery jsou použitelné do nástupu teploty T_g .

Semikrystalické plasty vykazují určitý stupeň uspořádání. Tato uspořádanost je označována jako stupeň krystalinity. To znamená podíl uspořádaných oblastí mezi oblastmi amorfními. Semikrystalické plasty nemohou nikdy dosáhnout 100 % uspořádanosti, proto jsou krystalické plasty nazývány plasty semikrystalickými. Vizuálně se jeví jako mléčně zakalené s charakteristickou houževnatostí materiálu. Modul pružnosti a pevnosti je odvislý od stupně krystalinity. Semikrystalické polymery nejrychleji mění své vlastnosti v oblasti T_m . Při této teplotě dochází k rozpadu krystalitů. Tím se mění stav polymeru ze stavu tuhého na stav kapalný. Konkrétní teplotní hodnota je závislá na velikosti mezimolekulárních sil a velikosti makromolekul. Jak již bylo zmíněno, vlivem určitého podílu amorfní složky, je možné u semikrystalických polymerů také stanovit teplotu zesklnění. Probíhající změny mají vliv pouze na amorfní část hmoty. Znamená to tedy, že s vyšším stupněm krystalinity polymeru změny při T_g klesají. Použitelnost semikrystalických polymerů je do nástupu teploty T_m .

2.1.3 Plasty pro strojírenskou výrobu [2], [3], [4], [5], [6]

Plast je materiál disponující mnoha výhodami, které jsou při konstrukčních aplikacích vhodně využívány. V textu jsou uvedeny i nevýhody.

Výhody:

- ✓ Nízká měrná hmotnost
- ✓ Výborné zpracovatelské vlastnosti
- ✓ Elektrická a korozní rezistence
- ✓ Částečná absorpce rázů a chvění

Nevýhody:

- ✓ Nízké mechanické vlastnosti
- ✓ Křep
- ✓ Ekologická zatížitelnost
- ✓ Použitelnost pouze do určitých teplot

V současnosti je na trhu plastů k dispozici několik tisíc druhů. V praxi se převážně uplatňují polyolefiny, styrenové hmoty a polyvinylchloridy. Strojírenské výrobky

v automobilovém průmyslu jsou postupem času podrobovány přísnějším nárokům. Je žádána zvýšená pevnost při statickém i dynamickém namáhání, zvýšená tuhost, pevnost a deformovatelnost, dále dodržení rozměrových tolerancí i v případech expozice dílce zvýšené teplotě, mrazu, vlhkosti, povětrnosti, UV záření, chemikáliím nebo elektrického napětí. Je také žádoucí dodržení požadované životnosti při určité funkčnosti výrobku při celkové rentabilitě vyrobeného dílce vzhledem k užití výrobní technologii. Nejdůležitější skupinou materiálu vhodnou pro tyto účely jsou termoplasty umožňující velice produktivní a levné zpracování s možností široké škály vlastností a barev.

V případě volby materiálu a jeho ceny je také nutno pamatovat i na zpracovatelnost materiálu. Zpracovatelský proces společně s chemickou a fyzikální strukturou značně ovlivňují vlastnosti a odolnost polymerů, tedy vhodnost pro následnou aplikaci. V tabulce č. 1 je znázorněna aplikace nejpoužívanějších plastů při výrobě automobilů.

Tab. 1: Volba plastu pro automobilové komponenty [15]

	držáky, klíčky	kostra palubní desky	palubní deska	součásti brzd	nárazník	systém chlazení	součásti karburátoru	přístrojová deska, prvky	vnější klíčky	elektrické komponenty	palivová nádrž	přední maska	držák palivové nádrže	palivové potrubí	řadič páka	mřížka	výplň sedaček	součásti zapalování	části potrubí	kryty přístrojů	vnitřní vybavení	světla a jeho součásti	okolí volantu	zpětná zrcátka	přístrojová deska	sedadla	zvuková izolace	volant	prvky pod kapotou	těsnění	části vodního čerpadla	podběhy blatníků	mechanismus ovládání oken
ASA								*								*																	
ABS			*					*								*																*	
PA		*				*				*	*		*	*	*				*				*		*		*		*	*	*	*	
PVC							*														*												
EP, PF				*																	*												
POM	*						*		*	*			*	*	*			*	*									*	*			*	
PBT	*								*	*				*	*	*		*	*		*	*	*				*	*	*			*	
PC					*				*	*									*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
PEI						*												*						*	*	*	*	*	*	*	*	*	
PET									*	*																		*	*			*	
PE								*	*	*	*							*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
PMMA						*		*		*			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
PPS							*		*	*						*		*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
PPO							*	*		*						*		*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
PPA					*			*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
PP	*	*	*	*	*			*				*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
PTFE	*															*							*										
PUR																									*	*	*	*	*	*	*	*	
PUR [pro RIM]		*	*	*	*	*		*								*		*							*	*	*	*	*	*	*	*	
UP		*	*	*	*						*				*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	

Jak je z tabulky č. 1 zřejmé, pro výrobu světlometů je užito materiálů jako je PC, PMMA (krycí sklo světlometu), PP (převážně těleso světlometu). Diplomová práce je

fokusována především na těleso světloometu a jeho rozměrovou přesnost při změně určitých vstřikovacích parametrů. Proto v následující kapitole bude pojednáno o polypropylenu.

2.2 POLYPROPYLEN

Polypropylen (dále pouze PP) s chemickým vzorcem $\left(\begin{array}{c} \text{CH}-\text{CH}_2 \\ | \\ \text{CH}_3 \end{array} \right)_n$ spadá do skupiny polyolefinů. Tato skupina je množstevně největší skupinou syntetických plastů. Majoritním důvodem jejich expanze v rámci využití je snadná dostupnost surovin, jejich relativně levné a snadné zpracování a v neposlední řadě pro dobrou a širokou využitelnost konečných vlastností.

2.2.1 Historie polypropylenů [1]

Začátek významnosti PP se datuje od roku 1954, kdy G.Natta (1903-1979) zjistil, jakým způsobem polymerovat propylén na vysokomolekulární polymery s pravidelnou strukturou, vysokým bodem tání a dobrými mechanickými vlastnostmi. Mnohostranné použití PP si zasloužilo přední příčky ve významnosti mezi ostatními polymery. G.Natta také objasnil rozdílnost vlastností různých PP podle uspořádání řetězců atomů na *Izotaktický PP*, *Syndiotaktický PP*, *Ataktický PP*.

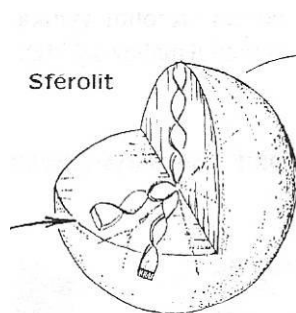
2.2.2 Vlastnosti polypropylenů [1], [3]

PP je polymer krystalický, jehož stupeň krystalinity je 60 až 75 %. Tím je tedy PP neprůhledný. PP vykazuje nízkou hustotu okolo 0,9 až 0,92 g cm⁻³. Dále se vyznačuje výbornými elektroizolačními vlastnostmi díky nepolární struktuře. PP disponuje relativně vysokou tvrdostí, pevností v ohybu a dobrou odolností proti kyselinám i zásadám. Použitelnost PP je vhodná pro teploty okolo 100 °C a krátkodobě pro teploty do 135 °C. Při teplotě 0 °C dochází ke zkřehnutí materiálu. Modifikované typy PP křehnou při -7 °C. Z uvedeného je možno říci, že optimální pracovní podmínky jsou v rozmezí od 10 °C do 100 °C. Modifikace je možno dosáhnout:

- a) Během polymerace (produkci homopolymeru, kopolymeru)
- b) Při zpracování (pomocí aditiv případně vytvořením polymerní směsi z kaučuku)
- c) Konečnou úpravou povrchu finálního výrobku

Při exponování materiálu slunečnímu záření po dobu několika týdnů, dochází ke zkřehnutí materiálu. To lze eliminovat užitím stabilizátorů jako aditiv. Krystalická

struktura PP je ovlivnitelná zpracovatelskými podmínkami. Prudké ochlazením taveniny PP je využito při výrobě fólií a jiných tenkostěnných výrobků. Ochlazením totiž vznikají sférolity (obr. 6) malých průměrů. Je důležité si uvědomit, že s rostoucím průměrem sférolitů klesá houževnatost a stoupá tuhost. Zpracování PP se provádí při teplotě 205°C až 280°C vstřikovací a vytlačovací technologií při teplotách v rozmezí 200°C až 270°C.



Obr. 6: Kulový útvar – SFÉROLIT [15]

2.2.3 Aplikace polypropylenu [1], [3]

Využitelnost PP je vzhledem k dobrým vlastnostem rozsáhlá. Jak uvádí tabulka č. 1, PP je využíván v automobilovém průmyslu (palubní deska, nárazník, přední maska, mřížka, komponenty interiéru). Ve spotřebním průmyslu (součásti ventilátorů, mixérů, hraček), potravinářství, stavebnictví (trubky, izolace) a díky odolnosti materiálu relativně vysokým sterilizačním teplotám také v medicíně. PP se uplatňuje při výrobě textilních vláken s vhodnými mechanickými vlastnostmi. Stříž z PP se používá do látek, koberců, dekoračních látek a technických tkanin.

2.3 VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ [2], [3], [4]

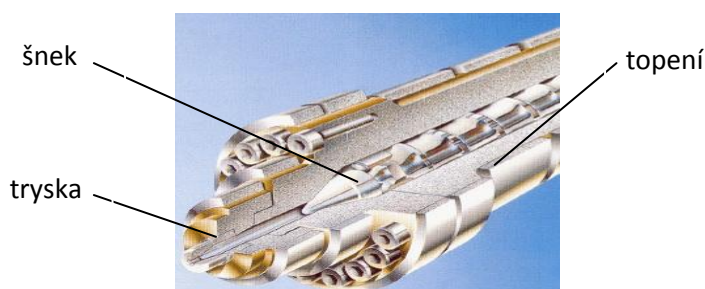
V oblasti zpracování plastů je technologie vstřikování klasifikována jako nejdůležitější a nejrozšířenější technologií v plastikářském průmyslu vůbec. S plastovými výrobky je možno se setkat prakticky ve všech oblastech lidské činnosti a to hlavně z důvodů možnosti výroby dílců o velké tvarové členitosti, relativně vysoké rozměrové přesnosti, vysokému využití zpracovávaného materiálu a v neposlední řadě pro možnost automatizace procesu. Technologie je však vhodná hlavně pro velkosériovou výrobu z důvodu vysokých investičních nákladů vstřikovacího stroje a nástroje. První vstřikovací stroje pracovaly na bázi přímo vratného pohybu pístu. Tyto stroje se udržely do poloviny 20. století, kdy byly nahrazeny stroji šnekovými, které jsou využívány v současném plastikářském odvětví.

2.3.1 Princip vstřikování [2], [3], [4]

Technologie tváření termoplastů pomocí vstřikování spočívá zjednodušeně v přenesení přesně stanoveného množství taveniny do uzavřené tvarové dutiny kovové formy za působení velké vstřikovací rychlosti kde tavenina vlivem teplotního gradientu rychle tuhne ve finální výrobek. Řízení vstřikovacího procesu má značný vliv na kvalitu finálního výrobku, především na kvalitu povrchu a geometrický tvar finálního výrobku. Nástroj, resp. forma je stěžejní prvek celého procesu, protože případné chyby při projekci a výrobě formy jsou nevratné a nemohou být během vstřikovacího procesu již odladěny. Z tohoto důvodu je čím dál častěji při konstrukční fázi nástroje užíváno softwarových simulačních analýz pro odhalení případných nedostatků nástroje nebo navrhovaných procesních parametrů na určitém nástroji. Po otevření nástroje je výrobek vyjmut z jeho dutiny a proces je opakován. Vstřikovací proces je tedy děj cyklický, kdy plast prochází teplotním cyklem.

2.3.2 Jednotlivé fáze vstřikovacího cyklu [2], [3], [4]

Plast v podobě granulí (válečky, čočky, krychličky, kuličky – dobré sypací a dávkovací vlastnosti) je přenesen do násypky přetlakovým nebo podtlakovým systémem z granulátovny. Pomocí pracovního elementu vstřikovacího stroje, tedy šnekem (obr. 7), dříve pístem, je hmota dopravena do tavící komory, kde se mění v taveninu za spolupůsobení tepelného a třecího účinku.

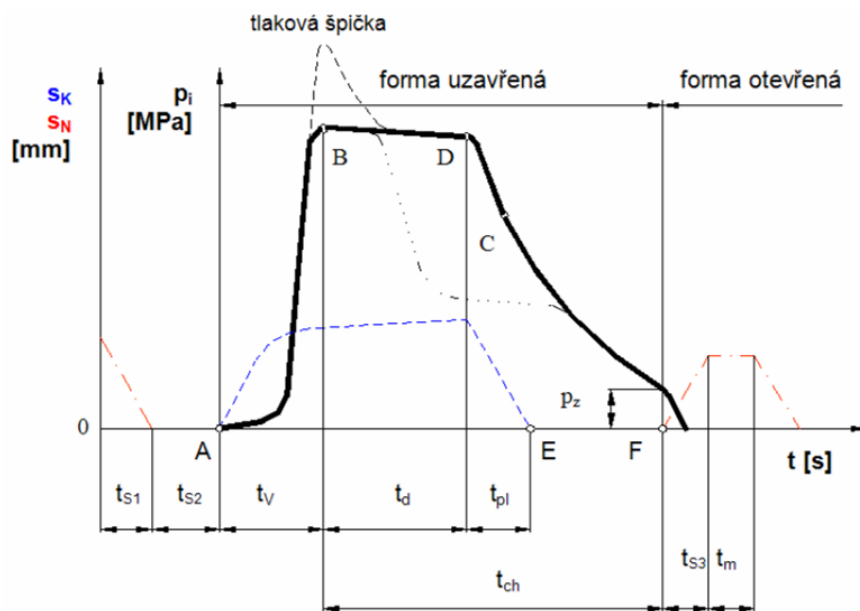


Obr. 7: Vstřikovací šnek [15]

Tavenina je následně vstřikována do dutiny nástroje kde zaujme její tvar. Pro snížení smrštění a zamezení rozměrových změn je aplikována tlaková fáze. V průběhu této fáze již tavenina předává teplo formě a dochází tak ke ztuhnutí plastu ve finální výrobek. Následně je výrobek vyhozen z nástroje a proces se opakuje. Cyklus vstřikovacího procesu je složen z přesně stanovených operací. Pro možnost následného popisu vstřikovacího

cyklu je stanoven jako počátek celého vstřikovacího cyklu okamžik započetí uzavírání nástroje.

Pro snazší názornost a vizualizaci celého vstřikovacího cyklu je využit diagram průběhu tlaku v dutině formy na čase (obr. 8). Tento tlak je nazýván vnitřním tlakem se značením p_i . Je to tlak vztažený na jednotku plochy průřezu šneku.



Obr. 8: Diagram průběhu tlaku během vstřikovacího cyklu [2]

— — — pohyb šneku - - - - - pohyb formy (nástroje) ——— p_i vnitřní tlak

t_{s1} -doba uzavírání formy, t_{s2} -doba přísuvu vstřikovací jednotky k formě,
 t_{s3} -doba otevírání formy, t_m -doba otevření formy, t_v -doba vstřikování, t_d -doba dotlaku, t_{pl} -
doba plastikace, t_{ch} -doba chlazení

A-začátek vstřikování, B-konec plnění formy, C-začátek dotlaku, D-konec dotlaku,
E-konec plastikace (pohyb šneku), F-začátek pohybu formy

2.3.2.1 Fáze dávkování + plastikace [2], [3], [4]

Účelem plastikace je připravit homogenní taveninu plastu a nahromadit tak výrobní dávku do prostoru před čelo šneku pro možnost následného vstříknutí zhomogenizované taveniny do dutiny formy.

Možnosti ovlivnění homogeneity taveniny:

- ✓ Konstrukcí šneku
- ✓ Otáčkami šneku

- ✓ Zpětným tlakem
- ✓ Objemem vstřikovací dávky

Pro dokonalost procesu musí být zajištěn vhodný objem zplastikované dávky pro vyplnění tvarové dutiny formy i vtokového systému a postupným doplňováním taveniny tak eliminovat objemové změny dílce při smršťování vlivem ochlazování. Objem dávky je nutné navýšit o 5 až 10 % z důvodů vytvoření materiálového “polštáře“ před čelo šneku v přední poloze ke konci vstřikovací fáze. Při plastikaci šnek nabírá granulovaný plast z násypky a pomocí rotace kolem vlastní osy se současným posuvem vzad, je hmota plastikována a přemísťována do prostoru před čelo šneku. Ohřev granulátu potřebného pro plastikaci jedné dávky je vyvinut přibližně ze dvou třetin pomocí frikčního tepla vznikajícího třením hmoty o stěny komory a povrch šneku a z jedné třetiny z elektrického odporového topení ve stěnách válce. Teplotu taveniny je nutné dodržovat, protože přímo ovlivňuje viskozitu taveniny, průběh tlaku a jeho velikost, dobu chladnutí výstřiku a orientaci makromolekul. V případě vybavení tavící komory samouzavírací tryskou, je plastikace možná i při otevřené formě.

2.3.2.2 Fáze vstřikování taveniny do dutiny formy [2], [3], [4], [7]

V této fázi celého vstřikovacího cyklu je nejdůležitější dokonale vyplnit dutinu formy taveninou pomocí vstřikovacího šneku (obr. 7), který vykonává axiální pohyb a plní tak funkci pístu.

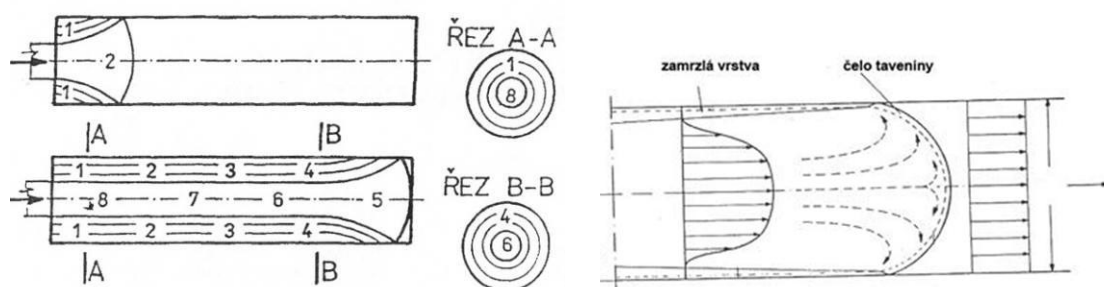
Vstříknutí je možné rozdělit na:

- ✓ Objemové plnění tvarové dutiny taveninou
- ✓ Komprese taveniny

Objemové plnění tvarové dutiny taveninou - plnění se volí pokud možno v co nejkratším čase, protože v okamžiku první interakce taveniny s povrchem dutiny formy dochází k okamžitému předávání tepla z taveniny na formu. Tavenina tak začne ihned tuhnout na stěnách dutiny formy a vytvoří tak nepohyblivou vrstvu hmoty, která izoluje zbytek proudící taveniny. To znamená, že směrem k ose vstřikovací dutiny vzniká zóna nazývaná *plastické jádro*. Plastické jádro má nižší viskozitou taveniny, která umožňuje další průtok taveniny do dutiny formy směrem ke stěnám dutiny formy, než dojde k celkovému vyplnění dutiny. Obrázek č. 9 znázorňuje postup plnění formy taveninou.

Z důvodu zvyšování viskozity taveniny směrem ke stěně formy dochází ke zmenšování příčného průřezu vtoku. To vede k rostoucí rychlosti plastického jádra a k zakřivení čela taveniny (obr. 9). Je možné říci, že závislost mezi rychlostí plnění dutiny formy a rychlostí ochlazování, tedy tuhnutí taveniny je rozhodující pro možnost vyhotovení konečného výrobku požadovaného tvaru.

Vstřikovací rychlost je závislá na technologických podmínkách, převážně na teplotě taveniny T_{tav} , na tlaku vstřikování p , teplotě přehřáté formy, objemu a tloušťce výstřiku a v neposlední řadě na složitosti geometrického tvaru, druhu plastu i rozmístění vtoků. Je ale také důležité si uvědomit možnosti kombinace nastavených parametrů. Ke zvolené vstřikovací rychlosti musíme také volit vhodný tlak vstřiku. Z uvedeného je zřejmá nemožnost nastavení diametrálně rozdílných parametrů. Přínosem vysoké vstřikovací rychlosti je sice vhodná orientace makromolekul, na druhou stranu je nutné pamatovat na možnost vzniku spálení, resp. přehřátí a následnou degradaci taveniny.



Obr. 9: postup plnění dutiny formy taveninou (vlevo),

laminární tok taveniny plastu (vpravo)

[3], [2]

2.3.2.3 Fáze dotlaku [2], [3], [4]

Po vyplnění celé dutiny formy následuje komprese hmoty. V tom okamžiku tlak ve formě tedy i v hydraulice stroje skokově vroste a rychlost náhle klesne. V případě setrvání na hodnotě vstřikovacího tlaku by došlo ke vzniku kompresní špičky. To by mělo za následek nadměrné namáhání formy v podobě pružného prohnutí formy – *dýchnutí*. To by vedlo ke vzniku nežádoucích přetoků na dílci v místech dělicí roviny. Je proto důležité v určitém okamžiku celého vstřikovacího procesu přepnout na dotlak.

Předčasného přepnutí vstřikovacího tlaku na dotlak - nízký dotlak v tvarové dutině formy může vyvolat hlavně u tlustostěnných výstřiků nebo jeho částí vznik propadlin, vnitřních staženin či mikropórů.

Pozdní okamžik přepnutí vstřikovacího tlaku na dotlak – příliš vysoký dotlak v tvarové dutině formy je příčinou omezení pohyblivosti makromolekul v tavenině v průběhu chlazení. Tím vyvolá vnitřní napětí v tavenině. Dotlak tedy kompenzuje rozměrové změny vyvolané při smrštění výrobku ve formě v průběhu ochlazování dotlačením malého množství taveniny (polštáře) umístěného před čelem šneku do dutiny formy. Proto je dotlak důležitý z hlediska budoucích vlastností výrobku. V okamžiku ztuhnutí ústí vtoku je dotlačování již neúčinné.

2.3.2.4 Fáze chlazení [2], [3], [4]

Jedná se o nejdelší část celého cyklu závisící na několika faktorech. U tenkostěnných výstřiku se chlazení pohybuje okolo několika sekund, u tlustostěnných výstřiků několik minut. Dobu chlazení dále ovlivňuje druh plastu, teplota taveniny, teplota formy a teplota výstřiku při vyjímání z formy. Je žádoucí chladicí fázi zkrátit na co nejkratší dobu za pomoci chlazení formy v místech, kde je větší množství taveniny, resp. v místech, kde hmota chladne nejpomaleji.

2.3.3 Časové rozvržení vstřikovacího cyklu [3], [4]

Vstřikovací cyklus je složen z časového sledu operací, které na sebe navazují (obr. 8). Každý úsek vstřikovacího cyklu trvá různě dlouhou dobu. Časová náročnost jednotlivých úseku je dána nejen geometrií výstřiku, ale i technologickými podmínkami vstřikovacího procesu.

Doba t_{s1} začíná v nulovém čase, kdy stroj dostane impuls k uzavření prázdné formy přísunem pohyblivé části formy k části pevné. V tom okamžiku je forma uzavřena a uzamčena. Doba t_{s1} je označována jako doba strojní, stejně jako doba pro otevření formy t_{s3} a doba pro přísun tavící komory k formě t_{s2} . Z důvodů zvýšení výrobního taktu je zde snaha o zkracování strojní doby na minimální možnou dobu. Zkracování doby je docíleno pomocí zvýšené rychlosti pohybující se části formy při jejím uzavírání. Uzavírací rychlost není po celé dráze konstantní. Na počátku zavírání formy je rychlost uzavírání vysoká. Ve vzdálenosti před dovřením formy je rychlost snížena pro eliminaci možnosti poškození obou částí forem při špatném dosednutí. Stejně je tomu tak i při otevírání formy, kdy je forma prvotně otevírána vysokou rychlostí a před úplným otevřením formy je rychlost opět snížena. U starších typů strojů rychlost otevření formy ovlivňovala také rychlost vysunutí vyhazovacích kolíků pro vyjmutí výstřiku z formy. Celková strojní doba ($t_{s1} + t_{s2} + t_{s3}$)

trvá několik málo sekund. Strojní doby
 $t_{s1} - t_{s3}$ nejsou oproti jiným dobám vstřikovacího cyklu překryty dobou chlazení (obr. 8).

Doba, ve které probíhá plnění dutiny formy se nazývá doba vstřikování s označením t_v . Vstřikovací proces je započat v bodě A (obr. 8). V této fázi šnek koná pouze axiální pohyb bez rotace a zastává tak funkci pístu. Délka vstřikovací doby je závislá na rychlosti axiálního pohybu šneku v tavící komoře. Tato rychlost se odvíjí dle faktorů pojednaných v kapitole 2.3.2.2. Doba vstřiku se pohybuje od zlomku sekundy po několik málo sekund. Je žádoucí dobu vstřikování realizovat v co nejkratším čase viz. 2.3.2.2. Po naplnění dutiny formy je tavenina ještě stlačena na maximální hodnotu. Vstřikování je ukončeno v bodě B (obr. 8). Při naplnění dutiny formy taveninou dochází k okamžitému chladnutí vlivem předávky tepla z taveniny na formu.

Fáze chladnutí výstřiku označována t_{ch} trvá až do otevření formy t_{s3} a následného vyjmutí z dutiny formy. Proto je tato doba nejdelší část cyklu a pohybuje se od několika sekund po dobu dvou až tří minut. Vše je závislé na faktorech uvedených v kapitole 2.3.2.4. V praxi je tato doba rozdělena na chladnutí při plném vstřikovacím tlaku a při tlaku klesajícím. Při procesu chladnutí se hmota smršťuje s následným zmenšením objemu. To je kompenzováno aplikací dotlaku pro vtlačení malého množství taveniny do dutiny formy.

Tento úsek je nazýván dobou dotlaku s označením t_d . Její trvání závisí především na příčném průřezu vtokového kanálu. Zpravidla trvá několik sekund až desítky sekund. Je možné setrvat po celou dobu dotlaku na tlaku stejném jako maximální tlak p_i , nebo je možné dotlak ponížít a chladit tak výstřik při sníženém tlaku. Dotlak a jeho doba končí v bodě D (obr. 8), kdy začíná doba plastikace t_{pl} . V této době se šnek začne otáčet a nabírá dávku plastu v podobě granulí, kterou plastikuje a dopravuje ji před čelo šneku. Plastikace je ukončena v bodě E (obr. 8), zastavením otáčivého pohybu šneku. Pro udržení roztavené hmoty v trysce následuje odsunutí tavící komory od formy. Doba je označována t_k . V případě neodsunutí tavící komory od formy by byla tryska ochlazována nižší teplotou formy vlivem jejího chlazení.

Pro celý vstřikovací proces a následné vlastnosti výstřiku je důležitý bod C (obr. 8), ve kterém dochází k zatuhnutí hmoty ve vtokovém kanále. Při zatuhnutí vtokového kanálu nemůže totiž šnek již působit na taveninu a ovlivňovat tak tlakové poměry ve formě. Dotlak je tedy bezúčelný.

K otevření formy dojde v bodě F (obr. 8). K tomu je zapotřebí strojní doba t_{s3} . Poté následuje vyhození výstřiku pomocí vyhazovacích tyčí. Z dutiny formy je výstřik vysunut vyhazovacími kolíky. V případě využití manipulátoru pro vyjmutí výstřiku z dutiny formy je tato doba označována jako manipulační doba t_m .

2.4 SMRŠTĚNÍ

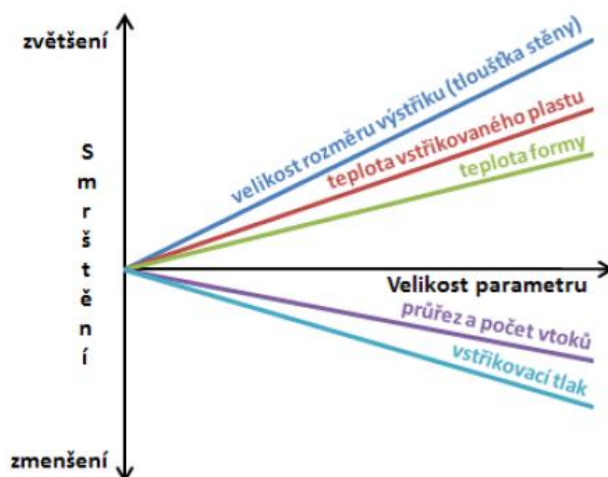
2.4.1 Úvod [3], [4], [5]

Při zpracování plastů vstřikovacími technologiemi dochází ke změnám objemu, resp. jmenovitých rozměrů výstřiku vlivem ochlazování ze zpracovatelských teplot. Rozdílné rozměry studeného nástroje od rozměrů výrobku z něj vyrobeného se uvádí v procentech. V tabulce č. 2 jsou uvedeny hodnoty smrštění některých termoplastů.

Tab. 2: Tabulka výrobních smrštění některých termoplastů [3]

Druh plastu	VS (%)	Druh plastu	VS (%)
PS,SAN,ABS	0,4 - 0,6	PE-LD	1,5 - 3,0 (4,0)
SB	0,4 - 0,9	PE-HD	1,0 - 2,5 (4,0)
PMMA	0,2 - 0,7	PP	1,5 - 3,0
PC	0,6 - 0,75	POM	2,0 - 3,5
PA	1,0 - 2,0		

Smrštění lze definovat vzhledem k délce ale i objemu vyrobeného dílce. Změnu objemu je možné posuzovat vzhledem k celkovému výrobku (výrobní smrštění). Změny objemu se mohou také týkat pouze lokálních míst výrobku projevujících se vznikem propadlin a vnitřních dutin v daném místě. Na smrštění se podílí mnoho faktorů ovlivňující velikost odchylky výstřiku od nominálních rozměrů formy. Tyto faktory jsou dány *druhem plastu*, kdy plast je oproti kovům materiál s vyšší teplotní roztažností, resp. kontrakcí při teplotní diferenci, dále *nadmolekulární strukturou* materiálu (stupeň krystalinity u semikrystalických polymerů, které podléhají většímu smrštění než amorfni) a v neposlední řadě variantou vyjmutí výstřiku z formy, tedy *odformováním* výstřiku. Na smrštění mají také z velké míry vliv *tvar finálního výstřiku* a *tloušťka jednotlivých stěn*, *umístění vtoků* na výstřiku, *technologické podmínky* (teploty, délka časových intervalů vstřikovacích fází, velikost vstřikovacích tlaků) a *teplota taveniny* a *formy*. Vizualizace vlivu některých faktorů je na obrázku č. 10.



Obr. 10: Vliv nejvýznamnějších faktorů na smrštění [3]

Smrštění je možné posuzovat ve dvou fázích. První fází jde výrobní smrštění (VS) představující 90% celkového smrštění. Určuje se do 24 hodin po výrobě dílce s následujícím vztahem:

$$VS = \frac{L_f - L_v}{L_f} * 100$$

VS - výrobní smrštění (%)

L_f - rozměr formy (m)

L_v – odpovídající rozměr výstřiku (m)

2.4.2 Definice a vliv dosmrštění [3], [4]

Po 24 hodin ještě nejsou rozměry výstřiku konečné vlivem pokračujících změn vnitřního stavu výstřiku, jako jsou uvolňování vnitřních napětí, relaxací (dezorientací) makromolekul, anizotropií smrštění a sekundární krystalizací (obr. 11). Tento děj je nazýván dosmrštění výstřiku (druhá fáze smrštění) a projevuje se dodatečnými změnami rozměrů. Nejmenší hodnoty dosmrštění pod 0,2 % vzniká u plastů plněných minerály. U amorfních plastů jsou hodnoty nižší 0,2 – 0,5 % než u plastů krystalických. Při nevhodném tvaru nebo při nevhodných technologických podmínkách smrštění může dosahovat až 1 %. Dodatečné smrštění výstřiku s označením DS trvá po dobu několika dnů a vypočítá se dle následujícího vztahu:

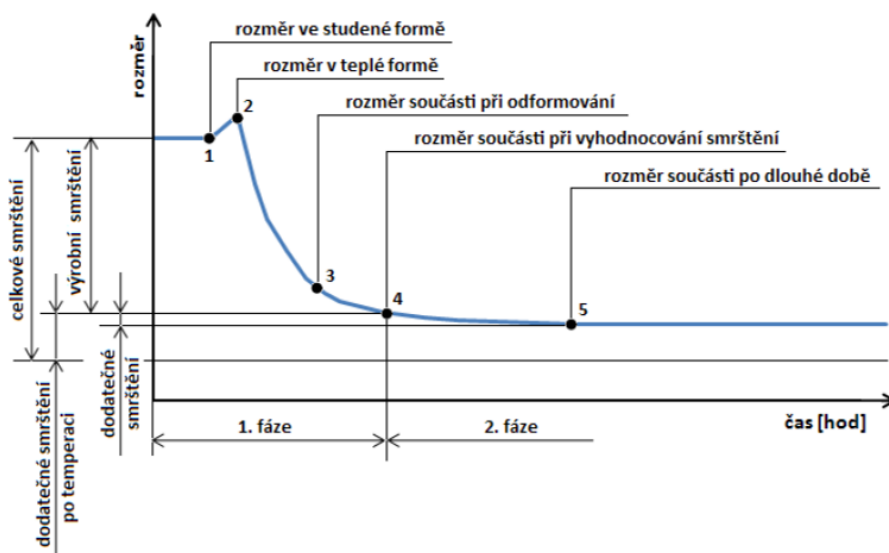
$$DS = \frac{L_{v0} - L_{v1}}{L_{v0}} * 100$$

DS - dodatečné smrštění (%)

L_{v0} - výchozí rozměr výstřiku před expozicí (mm)

L_{v1} – konečný rozměr výstřiku po expozici (mm)

Z důvodů uvedených v předcházejícím odstavci se kontrolní měření provádí do 48 hodin, nejdéle 168 hodin po vstřikovacím procesu. Pro objektivnost měření musí být výrobek uložen v prostředí o teplotě $23 \pm 2^\circ\text{C}$ a při relativní vlhkosti $50 \pm 5\%$. Kolísání teploty ovlivňuje změny rozměrů výstřiku ve větší míře než změny technologických podmínek. Změny rozměrů ovlivněné teplotou jsou však vratné.



Obr. 11: Průběh rozměrových změn výstřiku [3]

2.4.2.1 Souhrn vlivů technologických podmínek na smrštění [2]

- ✓ Vyšší dotlak ; delší doba dotlaku $\Rightarrow$ značné zmenšení smrštění
- ✓ Nižší teplota formy ; vyšší teplota taveniny $\Rightarrow$ mírné zmenšení smrštění

Vstřikovací tlak a rychlost nemají znatelný vliv na smrštění.

2.4.3 Orientace a dezorientace makromolekul plastu [3], [4], [5]

K pochopení problematiky orientace a dezorientace makromolekul je nutno analyzovat děje odehrávající se ve tvarové dutině formy, především při plnění dutiny

formy taveninou. Je možné říci, že tato fáze vstřikovacího cyklu je pro orientaci rozhodující.

Vlivem velkého teplotního gradientu mezi taveninou (130°C až 180°C) a předeřátou formou (30°C až 80°C) je tavenina okamžitě ochlazovaná a tuhne směrem k ose vtoku a tvoří tak pomyslnou trubku z nepohyblivé ztuhlé hmoty. Ve vrstvě dotýkající se trubky je rychlost téměř nulová. Do osy trubky se rychlost zvětšuje, jak již bylo popsáno v kapitole 2.3.2.2. Dochází tak ke vzniku smykových napětí, které následně působí na základní útvar struktury, tedy makromolekuly plastu. Nepravidelně zkroucené makromolekuly (klubička) se pod vlivem vysokých smykových napětí ve směru toku taveniny narovnávají do nerovnovážné polohy a v této poloze setrvávají do ztuhnutí. O vyšším stupni orientace mluvíme v případě větší hustoty rovnání makromolekul vedle sebe. Jakmile přestane na taveninu působit smykové napětí vyvolávající orientaci dříve, než tavenina ztuhne, narovnané (orientované) makromolekuly mají tendenci zaujmout zpět rovnovážnou, zkroucenou polohu a orientace se tak neprojeví nebo pouze v minimální míře. Z nerovnovážného stavu makromolekul, rozvinutých klubiček, mají makromolekuly snahu se vrátit zpět do stavu rovnovážného, tedy snižují stupeň orientace, poté mluvíme o *dezorientaci*. Smrštění je tedy větší ve směru toku (orientace) vlivem přirozené snahy makromolekul k dezorientaci. K dezorientaci dochází již při plnění formy a také v případě vystavení výrobku vyšším teplotám (nad T_g). Dezorientace je všeobecně spjata s trvalými deformacemi výstřiku.

Smrštění vlivem orientace makromolekul je rozdílné ve směru toku taveniny, resp. ve směru orientace, než ve směru kolmém. Poté hovoříme o anizotropii smrštění. Anizotropie a její difference v podélném a příčném směru je také dána druhem materiálu, stupněm krystalinity, vstřikovací teplotou a typem plniva.

2.4.3.1 Souhrn vlivů technologických podmínek na orientaci makromolekul [2]

- ✓ Vyšší teplota taveniny; vyšší teplota formy $\Rightarrow$ menší orientace
- ✓ Vyšší dotlak $\Rightarrow$ vyšší orientace a anizotropie
- ✓ Vyšší vstřikovací rychlost $\Rightarrow$ mírně větší na povrchu,
značně menší uvnitř průřezu

2.4.4 Zbytkové napětí [3], [4], [5]

Po procesu vstřikování může vznikat ve výstřiku zbytkové napětí, které může z části ovlivnit pevnostní a deformační chování, a následně tak rozměrovou přesnost. Zbytkové napětí může vést až k úplnému porušení výrobku za spolupůsobení vnější síly. Poté je možné porušit výrobek již při podstatně menším namáhání. Zbytkové napětí výstřiku lze odstranit procesem zvaným temperance. Výstupem jsou však vyšší výrobní náklady, nevratné a nepravidelné deformace výrobku. Rozeznáváme několik druhů vnitřních pnutí:

- ✓ *Orientační napětí* (kapitola 2.4.4)
- ✓ *Krystalizační napětí* vzniká vlivem rozdílného smršťování v rozdílných krystalických oblastech.
- ✓ *Ochlazovací napětí (také tepelná napětí)* vzniká v důsledku nerovnoměrnosti ochlazování, resp. nerovnoměrnosti smršťování jednotlivých vrstev výstřiku. Vliv dvou vrstev je dán vzájemným působením vůči sobě, kdy první vrstva brzdí změny probíhající v druhé vrstvě.
- ✓ *Expanzní napětí* vzniká v okamžiku otevření formy, kdy je výstřik stále pod tlakem následkem pružné deformace formy vlivem užití vysokého vstřikovacího tlaku. Výstřik po vyjmutí z formy tedy expanduje důsledkem ne zcela ztuhlých částí výstřiku. Této expanzi však brání již ztuhlá povrchová vrstva. Důsledkem toho jsou rozdílná pnutí v jádru a na povrchu výstřiku.

2.4.4.1 Souhrn vlivů technologických podmínek na zbytkové napětí [2]

- ✓ Nižší teplota taveniny ⇒ větší orientační napětí
- ✓ Nižší teplota formy ⇒ větší orientační a ochlazovací napětí
- ✓ Vyšší dotlak ⇒ větší orientační napětí
- ✓ Nadměrný vstřikovací tlak ⇒ expanzní napětí

2.5 VLIVY TEPLOTNÍCH ÚČINKŮ NA ROZMĚROVÉ ZMĚNY [8], [16]

Teplotním zatížením termoplastového dílce dochází k nežádoucím změnám rozměrů vlivem dilatace. Jestliže je dílec uložen staticky neurčitě, následně dochází k nemožnosti tepelné dilatace v případě rozdílných teplot, tedy teplotou výchozí (např. vstřikovací) a teplotou konečnou (např. montážní). Výrobek se tedy deformuje tím směrem, jakým je mu umožněno a vzniká tak teplotní pnutí. O povaze teplotního napětí je možné si udělat představu pokusem vrátit dílec zpět do původního tvaru při vyvinutí potřebného momentu. V případě uvolnění (staticky určité uložení) výrobku je dilatace umožněna, takže při ochlazení, resp. zahřátí dílce k teplotní napjatosti nedochází. Všeobecně je tedy charakter a velikost deformace závislá na materiálu, uložení dílce a geometrii dílce.

2.5.1 Deformace dílce ochlazováním [8], [16]

Při dnešních konstrukčních nárocích na plastové dílce, kdy dílce disponují proměnnou tloušťkou stěn, vydutím stěn a jinými konstrukčními prvky, které rychle mění objem materiálu v daném místě, je těžké stanovit rozložení teplot v průběhu ochlazování. V oblastech s větším objemem materiálu probíhá chladnutí pomaleji, než v místech s malým objemem. Jinak řečeno, teplota není rovnoměrně rozložena po tloušťce stěny dílce v průběhu chladnutí. Důsledkem je gradient teploty ve stěně s rozdílnými teplotami na povrchu stěny. Tím stěna získává charakter vrstevnaté konstrukce. To ovlivňuje tvarovou přesnost při ochlazování dílce.

Zjednodušeně je možné si představit desku libovolného (homogenní, izotropní, staticky určité uložena) tvaru konstantní tloušťky. Při ovlivnění desky nerovnoměrným ohřevem (teplotním gradientem), je možné říci, že má deska charakter vrstevnaté konstrukce. Je to tedy stěna, skládající se z mnoha tenkých vrstev ekvidistantně rozložených od střednice desky. Za předpokladu shodné teplotní roztažnosti všech vrstev desky bude docházet k jejímu zakřivení do kulové plochy (nevelké průhyby). Uvedený jev je způsoben rozdílnou deformací ekvidistantních ploch v chladnějším (menší roztažení) resp. teplejším (větší roztažení) oblastech.

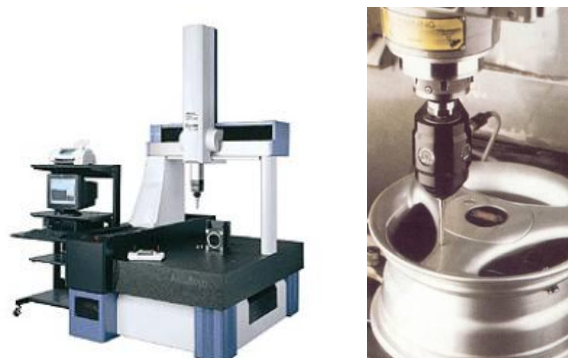
Kulové zakřivení desky nevytváří napětí v případě, že jsou okraje desky volné a deska se může volně deformovat. Jestliže však budeme chtít tuto desku vrátit zpět do původní polohy, bude nutné vyvinout napětí stejně velké, jako teplotní napjatost ohybové povahy vzniklé při pevném uchycení okrajů desky zamezující zakřivení.

2.6 BEZDOTYKOVÉ TECHNOLOGIE MĚŘENÍ ROZMĚRŮ

2.6.1 Úvod [9], [10], [11], [12], [13]

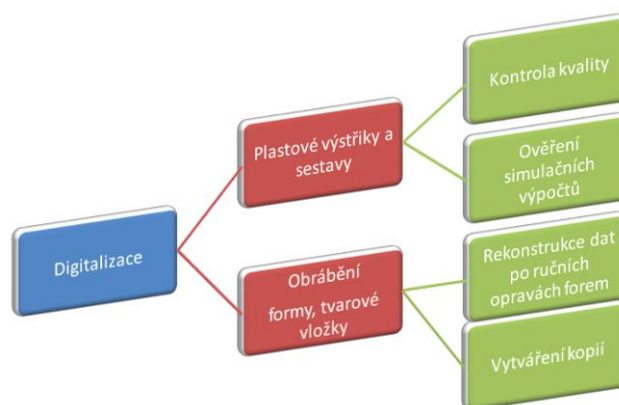
V automobilovém průmyslu a všeobecně ve strojírenství vůbec, je věnováno velké úsilí na zlevnění a zkvalitnění výroby způsobem zkrácení vývojového a výrobního cyklu nového výrobku, společně s jeho včasným představením trhu. To je důvodem velké progrese 3D měřících technologií v oblasti metrologie. Cílem je proměřit trojrozměrný objekt pomocí snímání prostorových bodů z povrchu objektu. Výstupem sběru dat je následná představa o tvaru a rozměrech měřených objektů s možností současného vyhodnocení jakosti povrchu při dodržení určité přesnosti. Přesnost měření a mnoho dalších aspektů je odvislé od typu měřícího systému. Při současných technologiích je možno uvedeného dosáhnout dvojím způsobem, a sice metodou kontaktní (měřící zařízení musí být v interakci s měřeným objektem), nebo bezkontaktní metodou (metody laserové, optické, ultrazvukové, magnetická rezonance, rentgen). V současnosti je ve strojírenském průmyslu využíván převážně systém dotykový (3D souřadnicové systémy s měřící dotykovou sondou obr. 12). Dřívější vize o možnosti využitelnosti bezdotykových měřících metod se dnes však stávají realitou a to především metody optické (3D skenery, nebo také digitizéry), díky rozvoji počítačové a optické techniky.

Optická metoda bezkontaktního měření (digitalizace) v rovině i prostoru je zajištěna digitální kamerou, kdy výsledky měření jsou vyhodnoceny pomocí softwaru, který zpracovává digitální obraz měřeného výrobku. Tím jsme schopni v relativně krátkém čase získat počítačový model měřeného objektu, tedy i jeho přesnou geometrii. Proces je také možno nazývat Reverse Engineering (dále pouze RE). Standardní proces výroby spočívá v tvorbě CAD modelu v příslušném softwaru pro pozdější vyrobení dílce. Proces RE je obrácený. Tuto technologii bezesporu přivítají konstruktéři, kteří by tvorbě výkresové dokumentace resp. modelu museli věnovat oproti metodě RE mnohem více času (obr. 13).



Obr. 12: 3D souřadnicové systémy

Optické systémy umožňují zjistit časové deformace nebo deformace vlivem vnějších zatížení, analyzovat vibrace a porovnat rozměry oskenovaného dílce s etalonem (CAD model) nebo jiným skenem (například dutiny vstřikovací formy). Z uvedeného je zřejmý trend strojírenských firem v přechodu nejčastěji z tří souřadnicových dotykových stanic na systémy optické. Důvodem jsou jednoznačné výhody optických systémů, o kterých bude blíže pojednáno v následující kapitole. Dotykové systémy se potýkají s nutností správného ustavení výrobku do přípravku určeného pro daný typ výrobku (tzn. velký počet přípravků), s rostoucím měřicím časem při měření složitějších dílců, pracností vyhodnocování a relativně malou objektivností výstupu. Po změření nadefinovaných měřicích bodů můžeme po určitém čase “narazit” na nutnost potřeby opětovného proměření stejného výrobku na jiném místě. To v mnoha případech již není možné, protože původně měřený díl již není ve firmě a data nejsou archivována.

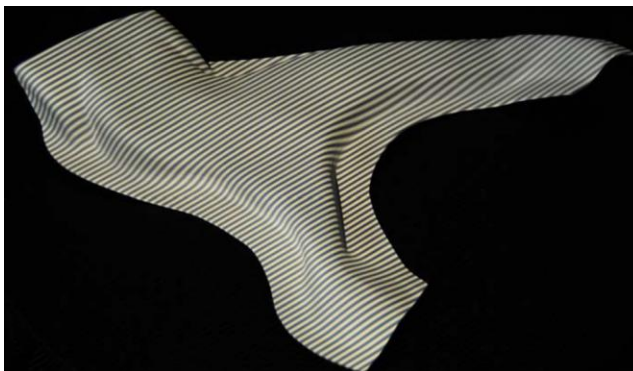


Obr. 13: Využití optické digitalizace při vstřikování plastů

2.6.2 Optické 3D skenery [10], [11], [12], [13]

Z kapitoly 2.6.1 je již zřejmé, že se jedná o 3D digitalizaci, tedy měření bezdotykovým způsobem. Pro získání třetího rozměru z 2D obrazu na 3D obraz je využit princip

triangulace, k čemu je využito stereoefektu dvou snímacích kamer při současném vysílání pruhů zvaných pattern na snímáný objekt (obr. 14).



Obr. 14: Projekce patternu na povrch skenovaného dílce [12]

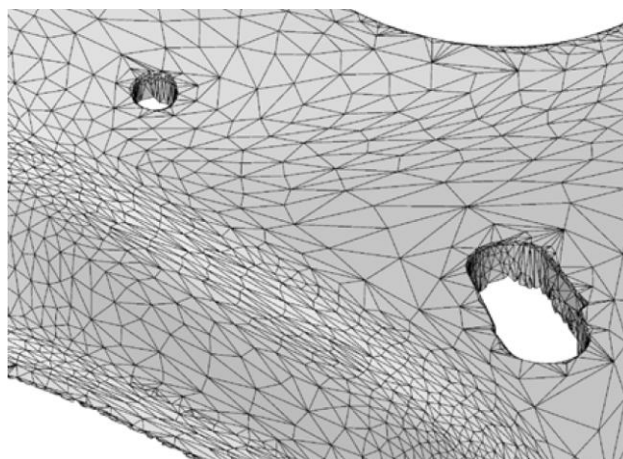
Měřený objekt musí být oskenován z několika úhlů. To je možné docílit ručně nebo pomocí softwarově ovládaného rotačního stolu, který je využíván převážně při opakovaném měření stejných objektů. Při užití průmyslového robota Kuka se 6 stupni volnosti lze dosáhnout plně automatizovaného procesu měření (obr. 15) probíhající dle zvoleného programu. Data získaná z různých úhlů jsou softwarově zpracována a digitalizovaný model je vytvořen metodou aproximace. Před započítím samotného skenovacího procesu je však nutné snímáný objekt polepit orientačními body (minimálně třemi) pro preciznější poskládání obrazů. Je žádoucí v průběhu měření zajistit stálé světelné podmínky. V opačném případě probíhá online kontrola světelných podmínek, ale také kalibrace systému a vibrací. 3D skenovací systém ATOS využit při zpracování diplomové práce je blíže specifikován v následující kapitole.



Obr. 15: Automatizovaný proces měření průmyslovým robotem Kuka s měřicí hlavou ATOS

2.6.3 ATOS (Advanced Topometric Sensor) – 3D skener [10], [11], [12], [13]

Výrobce 3D skeneru ATOS je německá společnost GOM s cílem vývoje rychlého, přesného a mobilního skenovacího zařízení pro získání 3D skenu snímaného objektu v krátkém čase, bezmála 0,8 sekundy. Pro dosažení těchto vlastností využila společnost GOM při vývoji ATOS skeneru dříve zmíněný princip triangulace. Systém je schopen snímat, resp. měřit celý objekt najednou a zachytit tak celou geometrii měřeného objektu s následnou transformací do společného souřadného systému. Je zřejmé, že v případě optického systému je možno naskenovat objekt pouze na viditelných oblastech. Jestliže jsou na objektu například hluboké díry či průchozí otvory, skener ATOS není schopen tyto objekty zachytit. Výstupem digitalizace je získána optimalizovaná polygonální síť (obr. 16), “popisující” povrch objektu.



Obr. 16: Generovaná polygonální síť

ATOS pracuje s rozlišením od 800×10^3 až $4\,000 \times 10^3$ bodů na jeden snímek. Vzdálenost dvou bodů na jeden milimetr délky je 0,07 mm až 1 mm. Tím je dosažena vysoká přesnost využitelná v současných CAD, CAM technologiích. Získaná data je možné uložit nebo exportovat do mnoha standardních formátů. Díky možnosti systému snímat rozměry bez přímé interakce s objektem, tedy bezkontaktním způsobem, je možné snímat a měřit materiály bez ovlivnění vlastního měřicího procesu vnějšími vlivy. Technologie není omezena hmotností dílu, materiálem ani velikostí dílu. V případě snímání průhledných objektů je nutné povrch upravit tak, aby nebylo možné povrch prosvítit skrz. Dle typu 3D skeneru ATOS je možnost měřit objekty v rozsahu od 30 mm x 30 mm do 2000 mm x 2000 mm. Vysoké rozlišení přineslo do oblasti metrologie možnosti

měřit plastové objekty vyrobené vstřikovací technologií o půdorysné ploše několika čtverečních mm. V kombinaci s fotogrammetrickým systémem TRITOP je proveditelné měření a kontrola objektů téměř neomezených velikostí (nejčastěji osobní automobily, letadla). Obrovským potenciálem ATOS systému je jeho mobilita díky vlastním rozměrům a váze od 4 kg do 7,4 kg dle typu skeneru s ovládáním pomocí notebooku. Po transportu je kompletace celého systému otázkou minut. Koncepčně je systém vyvinut tak, aby bylo sestavení možné v co nejkratším čase. K možnosti snadného nastavení měřicí hlavy kolem měřeného objektu je docíleno fotografickým stativem (obr. 17). Za pomoci pomocných bodů nalepených na objektu není nutné objekt snímat v přesně definovaných místech či úhlech vůči objektu. Vyhodnocení pozice získaného snímku proběhne automaticky.



Obr. 17: Výškově stavitelný stativ měřicí hlavy ATOS

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Návrh experimentu:

Experimentální část se zabývá porovnáním rozměrových změn v ose X na plastovém dílci vyrobeném vstřikovací technologií při různých časech dotlaků. Porovnání bude provedeno na základě výsledků softwarové simulace vstřiku Moldflow Plastic Insight 6.0 (dále pouze MPI) a reálným dílcem měřeným bezdotykovou technologií ATOS III Triple Scan. Na základě geometrické změny dílce je možné dále posuzovat zkrácení času dotlaku, resp. zkrácení vstřikovacího cyklu a optimalizovat tak vstřikovací proces.

Počátečním odladěním parametrů v aplikaci MPI je možné získat prediktivní informace o deformaci materiálu v nástroji pouze do doby odformování. Přesnost takto získaných deformací jsou pro konečnou geometrii dílce nedostačující. Reálná deformace dílce po odformování může být zcela odlišná od softwarového zobrazení, proto je sledována pomocí optického skeneru ATOS III Triple Scan. Za pomoci užití těchto technologií je zajištěna možnost sledovat průběh deformace dílce s časem od zaplnění celé dutiny nástroje přes odformování, až po celkově vyrelaxovaný dílec. V případě dodržení stejného času skenování dílce po odformování je možné zjistit vliv zvoleného času dotlaku na velikost rozměrové deformace a provést tak optimalizaci vstřikovacích parametrů na konečném oskenovaném dílci po 43 hod na základě dodržení požadované tolerance deformace.

Realizace experimentu:

Pro experiment byl vybrán projekt světlometu DC W204 Mopf Halogen, u kterého docházelo k největší deformaci převážně v nejzazších místech od vtoku, tedy lepícím kanále především v ose X . Na základě této problematiky a následné konzultace s konstrukčním oddělením bylo společností Autmotive Lighting s.r.o. (dále pouze ALCZ) vypsáno toto téma DP. V rámci experimentu není výběr orientace světlometu rozhodující, protože vstřikování je realizováno ve dvojnásobné formě (pravé i levé těleso světlometu na jeden zdvih lisu), tedy obě strany světlometu jsou vyrobeny za totožných podmínek. Libovolně byl zvolen jako hodnocený dílec LE světlomet. Vzhledem k požadavku společnosti ALCZ byl

experiment prováděn pomocí zmiňovaného systému ATOS III Triple Scan (současná top verze bezdotykového měřicího zařízení společnosti MCAE) a softwaru MPI ve výrobních prostorách společnosti při dohledu managementu pro představení využitelnosti bezdotykové technologie měření ve výrobě. V průběhu letošního roku se připravuje iniciativa na koupi dvou skenerů uvedeného typu.

3.1 NAVRHOVANÉ CÍLE DP

- A) komparace predikované deformace dílce při odformování (Moldflow Plastic Insight 6.0) a reálným dílcem skenovaným do 5 min. po odformování (ATOS III Triple Scan). Možnost zjištění věrohodnosti predikce Moldflow analýzy od skutečného stavu a zjištění průběhu deformace v závislosti na čase od vstřiku taveniny do nástroje až po vyrelaxovaný dílec.
- B) optimalizace vstřikovacích parametrů vzhledem k deformacím v ose X na základě dat získaných skenováním reálného dílce.

3.2 SPOLEČNOST AUTOMOTIVE LIGHTING s.r.o [17]



Obr. 18: Letecký snímek jihlavského závodu Automotive Lighting s.r.o

Jihlavský závod ALCZ (obr. 18) spadá do jednoho z největších nadnárodních holdingů zabývajících se vývojem a výrobou automobilové světelné techniky. Holding vznikl v kooperaci společností Magneti Marelli a Robert Bosch v roce 1999. Prvotně disponovali obě společnosti 50% podílem akcií. V roce 2001 Magnety Marelli odkoupila ALCZ v celém rozsahu. Jihlavský závod s přibližně 2000 zaměstnanci tak spadá mezi dalších 20 dceřiných společností s lokací v Evropě, Asii a USA. Hlavním portfoliem výrobků společnosti ALCZ, je výroba a vývoj předních světlometů, mlhových světel, směrových ukazatelů a emblémů pro sériovou výrobu i pro výrobu náhradních dílů. K hlavním odběratelům světelné techniky patří přední světové automobilové značky jako je BMW, Ford, Honda, Land Rover, koncern Škoda auto s VW, Mercedes-Benz (obr. 19).



Obr. 19: Portfolio nejvýznamnějších zákazníků společnosti ALCZ

3.3 CHARAKTERISTIKA PROJEKTU DC W246 Mopf – halogen [18]

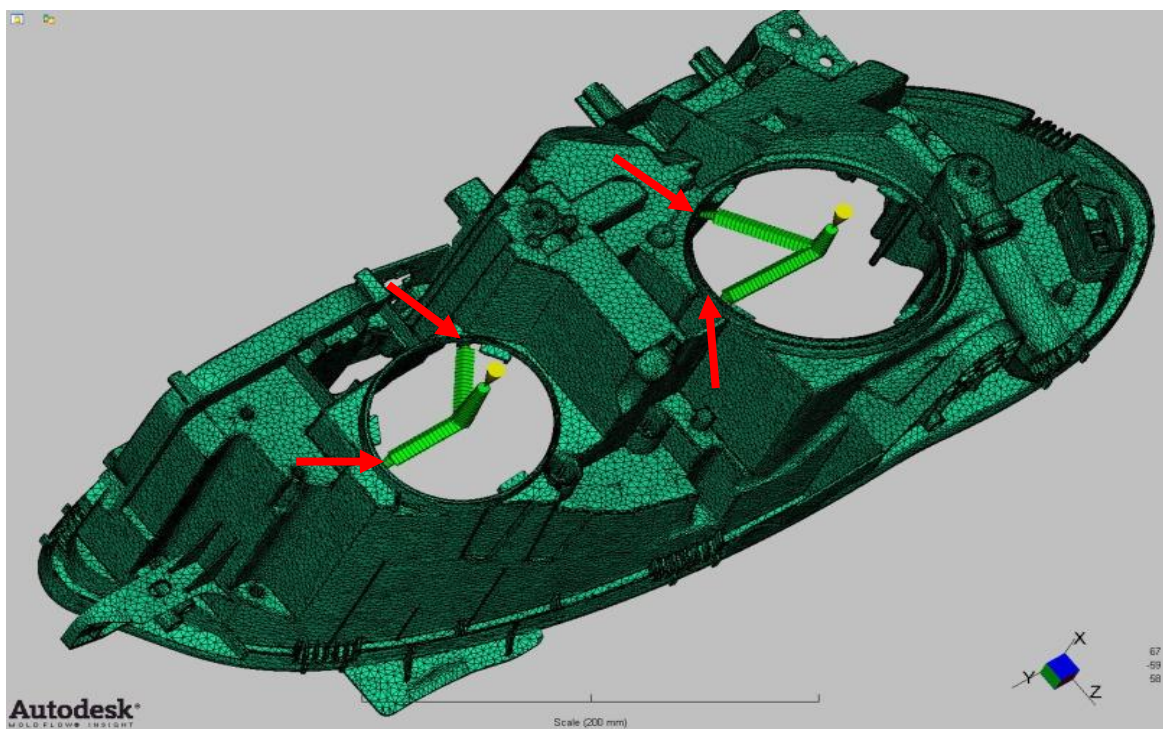
Světlomet a jeho označení DCW 204 Mopf Halogen je projektem automobilky Daimler – Mercedes Benz třídy C (obr. 20). Světlomet a jeho bližší koncepce spočívá v polohování skupiny reflektorů (dálkové a potkávací světlo) v horizontálním a vertikálním směru. Polohování reflektorů je zajištěno pomocí vodících držáků, na které je kladen požadavek vysoké tuhosti a geometrické přesnosti. Vše je doplněno designovými prvky (pokovené rámečky, reflektory, vnitřní a vnější sklo) podporující celkový vzhled automobilu. Podrobný rozpad světlometu v příloze č. 1.



Obr. 20: Projekt DCW 204 Mopf Halogen

3.3.1 Těleso světlometu – housing

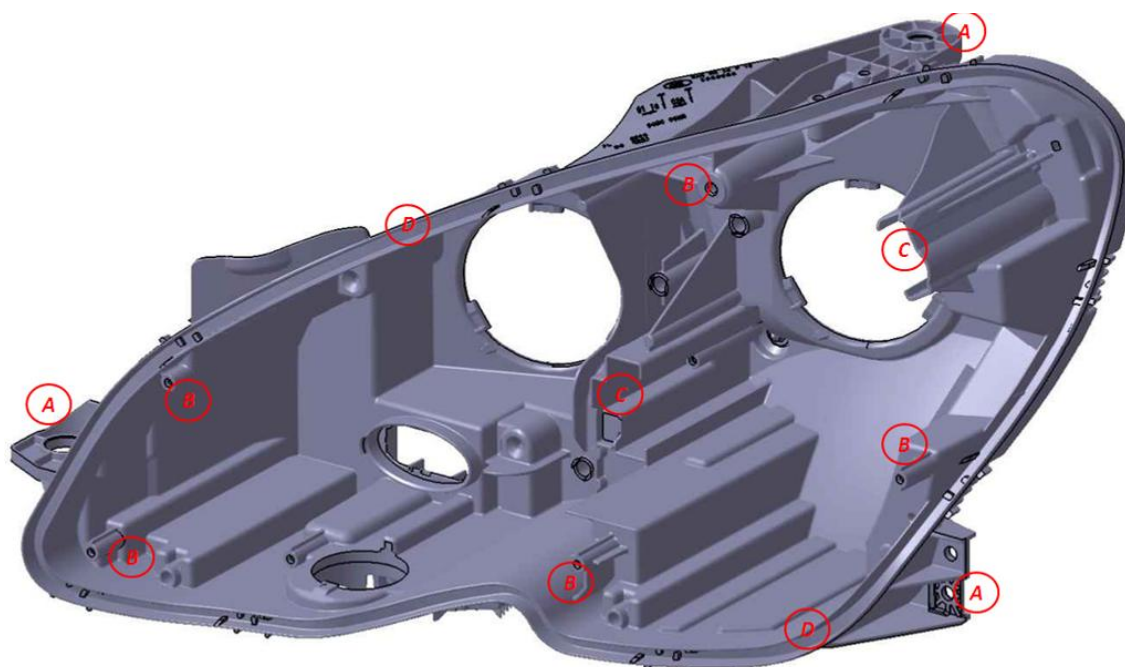
Těleso světlometu je tvarově složitý dílec s tloušťkou stěny od 1,5 mm do 2,25 mm. Rovnoměrné plnění tvarové dutiny je řešeno čtyřmi bodovými ústí vtoku umístěnými v nepohledové oblasti dílce (obr. 21) vybalancované tak, aby bylo zajištěno 100% vylisování dílce v požadované kvalitě. Je žádoucí teplotní a rozměrová stálost dílce s dostatečnou tuhostí v následujících oblastech dílce (obr. 22):



Obr. 21: Umístění bodových vtoků na tělese světlometu

- A) Montážní body světlometu (RPS body) - požadavek na rozměrovou přesnost pro následnou montáž světlometu do vozidla
- B) Montážní domečky šroubů – požadavek na rozměrovou přesnost pro montáž elementů do tělesa světlometu

- C) *Vedení vodících držáků* – požadavek na rozměrovou přesnost a tuhost pro možnost polohování reflektorů ve světlometu v horizontálním a vertikálním směru při průjezdu automobilu zatáčkou, při vysoké akceleraci nebo naopak brzdění automobilu, kdy se společně s automobilem natáčí také světlomet. Polohováním reflektorů ve světlometu je zajištěn požadující směr světelného kužele (příloha č. 2).
- D) *Lepicí kanál* – požadavek na rozměrovou přesnost pro přesné usazení PC skla do tělesa a konečné slícování karoserie automobilu se smontovaným světlometem (případně následná modifikace v ose *X* pomocí korekčních žebírek)



Obr. 22: Těleso světlometu s vyznačenými oblastmi

Materiál použitý pro výrobu je polypropylen s plnivý (10% skelných vláken, 20 % mastek) s obchodním názvem Tecnoprene VKM24 (příloha č. 3) dodávaný společností P-Group.

Tab. 3: Vybrané fyzikální a mechanické vlastnosti materiálu Tecnoprene VKM24

VLASTNOST	JEDNOTKA	HODNOTA
Hustota	g/cm ³	1,13
Hmotnostní index toku taveniny	g/10min	15
Mez pevnosti v tahu	MPA	90
Tvrdost dle Rockwella	R	108

3.4 POUŽITÉ APLIKACE

3.4.1 Moldflow Plastic Insight 6.0 (MPI) [18], [19]

Software je využíván pro vyhodnocování, kontrolu a optimalizaci plastového dílce resp. vstřikovací formu společně s možností modifikace procesních parametrů na základě simulace vstřiku. MPI umožňuje predikci procesu plnění a eliminovat tak často vznikající defekty jako nedostříknutá místa, studené spoje, diesel efekt a jiné výrobní problémy způsobené špatnou koncepcí nástroje nebo zvolenými procesními parametry.

Simulace vstřiku taveniny do formy zohledňuje vzájemný vliv výběru materiálu, konstrukci nástroje, celkovou geometrii dílce a aplikovaných procesních parametrů a vše optimalizovat již v období vývoje před samotným započítáním výroby. Tím je možno MPI považovat z hlediska šetření finančních prostředků při počáteční projekci formy za velice účinný nástroj, protože změny ve fázi vývoje představují minimální náklady oproti nutným pozdějším změnám.

Software MPI disponuje také nejrozsáhlejší databankou materiálů pro analýzy vstřikování. Databáze dále obsahuje vhodné materiály pro výrobu formy, vhodná temperovací média a soubor modelů vstřikovacích strojů.

3.5 ZVOLENÉ PARAMETRY + VARIANTY

3.5.1 Vstřikovací parametry standardní a modifikované

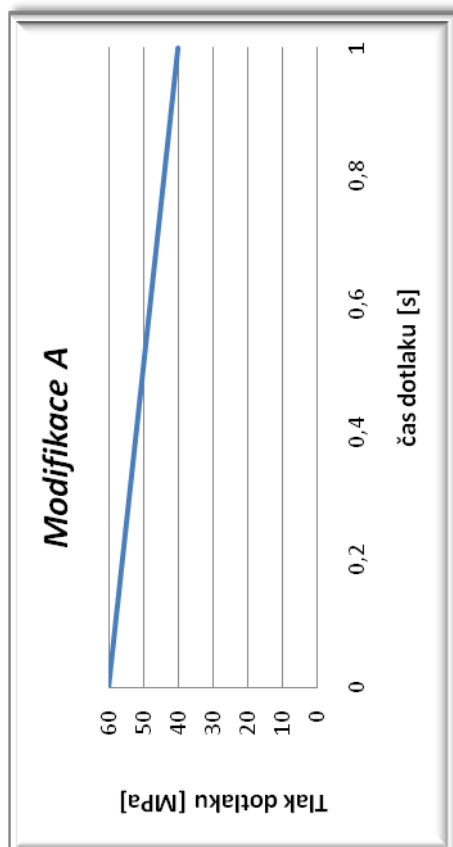
Z důvodu snahy zkrácení výrobního procesu, resp. zvýšení výrobního taktu byla prvotně snaha zvolit ze všech parametrů z KVP (karta výrobních parametrů příloha č. 4) parametry časové a to čas dotlaku a čas chlazení. Vzhledem k možnosti rozsahu diplomové

práce bylo nakonec od parametru času chlazení upuštěno. Hodnota dotlaku po ukončení vstřikovací fáze začíná na 60bar. a končí na 40bar. Standardní doba dotlaku je 5 sekund. Tato doba dotlaku je využívána v ALCZ při náběhu do výroby, resp. vzorkování nového projektu, v našem případě tělesa světloometu projektu DCW 204 Mopf Halogen. Doba dotlaku o délce 5 sekund slouží v rámci této práce jako hodnota základní. Znamená to, že softwarové vyhodnocení a sken bude proveden také na dílci vyrobeném za tohoto času dotlaku pro možnost srovnání. Cyklus čas při standardním času dotlaku je 57 sekund, snahou však je tento čas snížit na 55 sekund (3 sekundy čas dotlaku) případně 52 sekund (1 sekunda čas dotlaku) při dosažení stejné jakosti výrobku. Pro porovnání vlivu času dotlaku na geometrickou jakost dílce byly zvoleny také časy dotlaku vyšší než standardní a to 10 sekund přinášející prodloužení času cyklu až na hodnotu 62 sekund. Standardní procesní parametry vstřikování jsou uvedeny v tabulce č. 4 korespondující s KVP. Uvedené parametry časů dotlaků jsou zadávány do softwaru MPI a nastaveny na lisu při vstřikování pro možnost následného skenování.

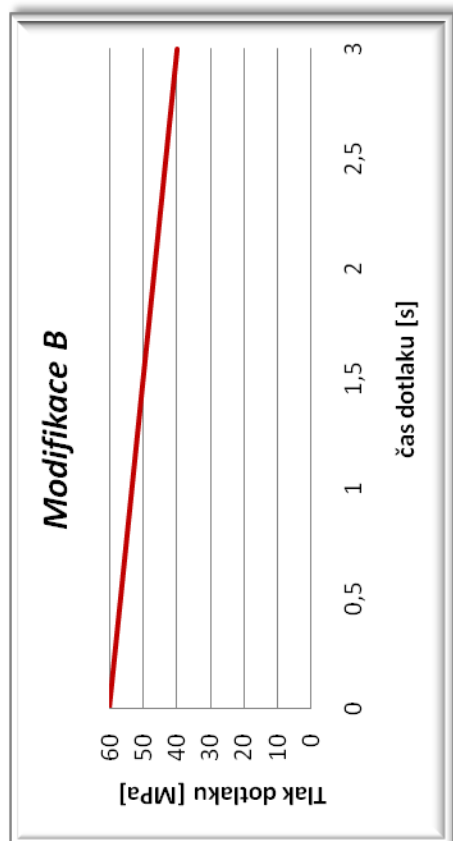
Tab. 4: Standardní nastavení vstřikovacích parametrů

<i>Materiál</i>	<i>Tecnoprene VKM24</i>
<i>Teplota válce</i>	250-260°C
<i>Rychlost vstřiku</i>	20-70 mm/sec.
<i>Tlak vstřiku</i>	100 bar.
<i>Čas vstřiku</i>	3,94 sec.
<i>Čas dotlaku</i>	5 sec.
<i>Tlak dotlaku</i>	40-60 bar.
<i>Čas chlazení</i>	20 sec.
<i>Čas cyklu</i>	57 sec.
<i>Polštář</i>	8,5 mm

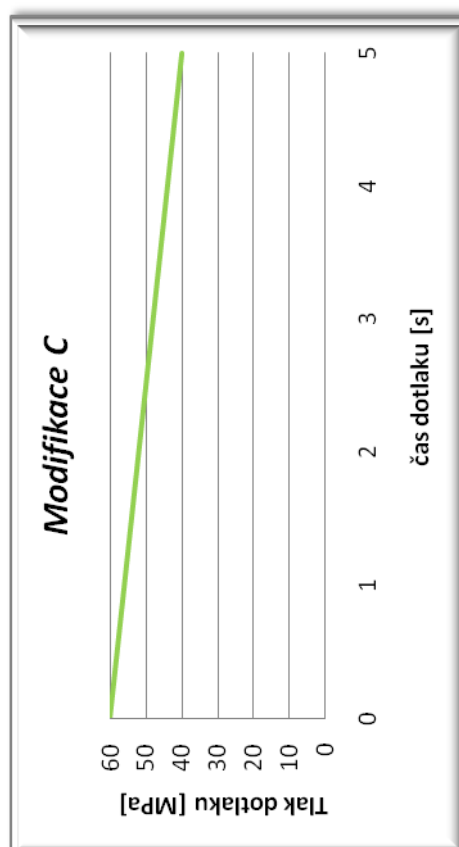
Modifikace parametru času dotlaku “A“, “B“, “D“ a standardní nastavení času dotlaku “C“ užívané pro tento experiment jsou uvedeny v grafech číslo 1-4. Při všech modifikacích času dotlaku je užit stejný polštář jako u standardního nastavení procesních parametrů o velikosti 8,5 mm před čelem šneku, čemuž odpovídá objem materiálu 54cm^3 .



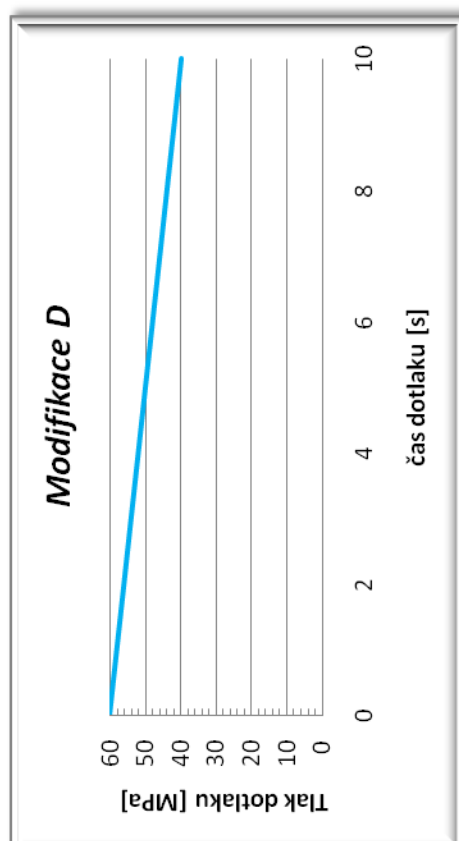
Graf č. 1: Modifikace času dotlaku na 1sekundu
(cyklus čas 52 sekund)



Graf č. 2: Modifikace času dotlaku na 3 sekundy
(cyklus čas 55 sekund)



Graf č. 3: Standardní doba dotlaku na 5 sekund
(čas cyklu 57 sekund)



Graf č. 4: Modifikace času dotlaku na 10 sekund
(cyklus čas 52 sekund)

3.5.2 Parametry vstřikovacího lisu

Lis ENGEL ES 5550/900 DUO

Tab. 5: Parametry vstřikovacího lisu užíteho při lisování ES 5550/900 DUO

Zdvihový objem šneku (cm³)	Průměr šneku (mm)	Zdvih šneku (mm)	Specifický vstřikovací tlak (bar)	Průchod mezi vodícími sloupy (mm)	Maximální vzdálenost mezi upínacími deskami (mm)
2740	80	430	1910	1170x1000	2500
Stavební výška formy min.(mm)	Stavební výška formy max. (mm)	Uzavírací síla (kN)	Počet tahačů jader (ks)	Velikost středícího otvoru pevná/pohyblivá (mm)	
500	1500	9000	3+3	250 / 250	

3.5.3 Řešené varianty

Za účelem dosažení cílů diplomové práce jsou zpracovávány čtyři varianty (tab.6 - 9). Každá varianta pracuje s jednou z uvedených modifikací A – D se 3 dílci měřeními ve 4 stejně odstupňovaných časových intervalech skenování po odformování. Hodnocené časy nebyly voleny libovolně. Vše bylo odvislé od rychlosti získání prvního skenu po odformování a od rychlosti samotného procesu skenování dílce. V takto získaných časových intervalech byla snaha skenovat všechny ostatní dílce u každé ze zvolených variant. Samozřejmě nebylo možné dosáhnout přesně stejných intervalů jednotlivých skenů dílců u všech variant, nicméně je předpokladem, že v rámci několika rozdílných minut proběhnou minimální, resp. nulové rozměrové změny dílce. Z těchto důvodů jsou uváděny maximální časové intervaly dosažené při skenování dílce v jednotlivých intervalech. To zajišťuje možnost dosažení cílů DP a to sledování reálné deformace dílce v závislosti na čase a zároveň porovnání reálné deformace mezi jednotlivými variantami pracující s různými modifikacemi času dotlaků, tedy možnost optimalizace vstřikovacích parametrů. Z důvodů využití bezdotykového zařízení ATOS III Triple Scan pouze po dobu jednoho pracovního dne, který obsahoval také představení zařízení managementu ALCZ bylo provedeno měření dílců ve třech různých časových

intervalech po odformování v prostorách ALCZ, čtvrtý poslední interval (s odstupem dvou dnů) byl proveden ve společnosti MCAE, kam bylo zařízení převezeno společně se všemi skenovanými dílci. V tomto časovém odstupu po odformování dílce by již dosmrštění, resp. dodatečné změny rozměrů neměly probíhat (viz. 2.4.2).

Značení dílců v tabulce například 5.3.a: 5 - sekundový čas dotlaku, 3 – třetí dílec z daného intervalu po odformování, a - první interval skenování po odformování.

Tab. 6: Časové uspořádání jednotlivých skenů dílce pro 1 variantu

VARIANTA Č.1 (dotlak 5s) – standardní hodnota dotlaku			
Pořadí skenu	Označení dílce	Čas skenování po odformování (minuta)	Časový úsek (minuta)
1 sken	5.1a,5.2a,5.3a	4	do 5 min.
2 sken	5.1b,5.2b,5.3b	61	do 70 min.
3 sken	5.1c,5.2c,5.3c	172	do 175 min.
4 sken	5.1d,5.2d,5.3d	2542	do 43 hod.

Tab. 7: Časové uspořádání jednotlivých skenů dílce pro 2 variantu

VARIANTA Č.2 (dotlak 3s) – snížení cyklus času o 2 sekundy			
Pořadí skenu	Označení dílce	Čas skenování po odformování (minuta)	Časový úsek (minuta)
1 sken	3.1a,3.2a,3.3a	5	do 5 min.
2 sken	3.1b,3.2b,3.3b	63	do 70 min.
3 sken	3.1c,3.2c,3.3c	169	do 175 min.
4 sken	3.1d,3.2d,3.3d	2548	do 43 hod.

Tab. 8: Časové uspořádání jednotlivých skenů dílce pro 3 variantu

VARIANTA Č.3 (dotlak 1s) – snížení cyklus času o 4 sekundy			
Pořadí skenu	Označení dílce	Čas skenování po odformování (minuta)	Časový úsek (minuta)
1 sken	1.1a,1.2a,1.3a	4	do 5 min.
2 sken	1.1b,1.2b,1.3b	65	do 70 min.
3 sken	1.1c,1.2c,1.3c	171	do 175 min.
4 sken	1.1d,1.2d,1.3d	2550	do 43 hod.

Tab. 9: Časové uspořádání jednotlivých skenů dílce pro 4 variantu

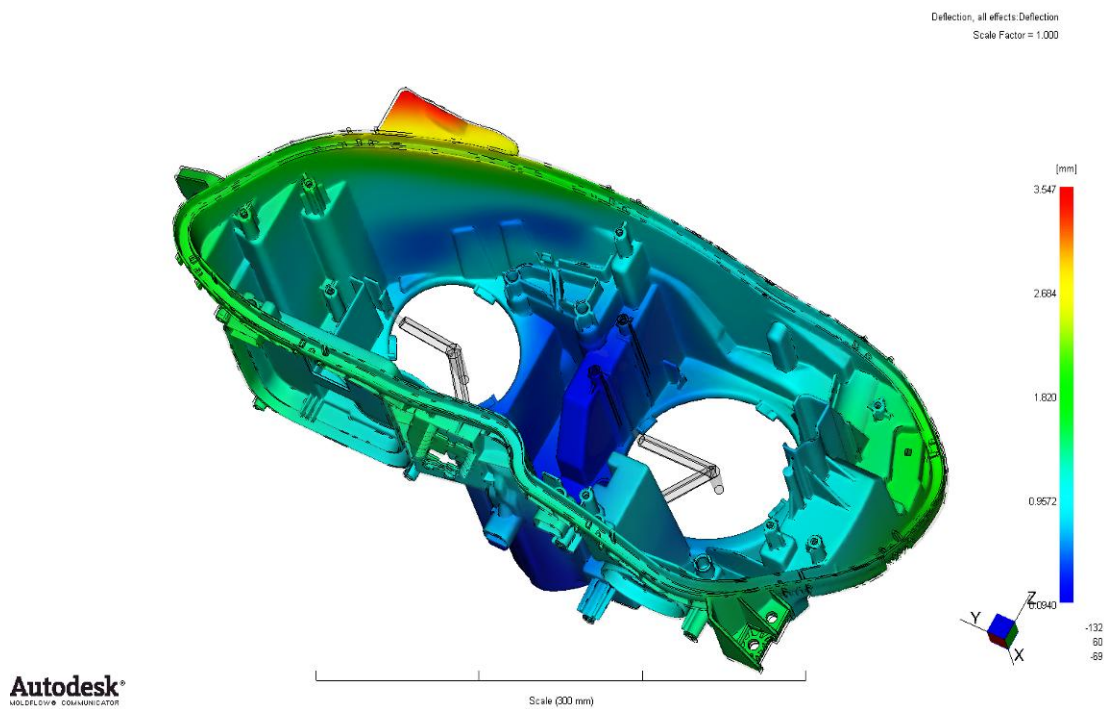
VARIANTA Č.4 (dotlak 10s) – navýšení cyklus času o 5 sekund			
Pořadí skenu	Označení dílce	Čas skenování po odformování (minuta)	Časový úsek (minuta)
1 sken	10.1a,10.2a,10.3a	4	do 5 min.
2 sken	10.1b,10.2b,10.3b	68	do 70 min.
3 sken	10.1c,10.2c,10.3c	174	do 175 min.
4 sken	10.1d,10.2d,10.3d	2555	do 43 hod.

3.6 POUŽITÍ MOLDFLOW ANALÝZY A JEJÍ DISKUZE

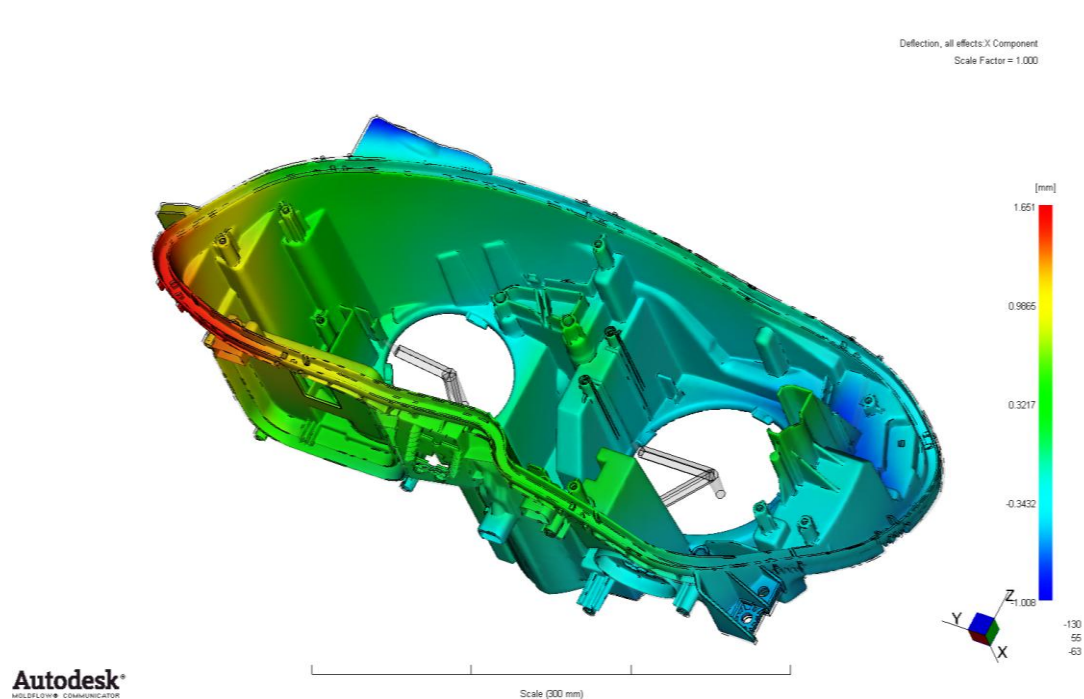
Analýza byla provedena na základě parametrů dle KVP (příloha č. 4). Změněné hodnoty parametrů jsou pouze časy dotlaků užitých při vstřikování dílce dle modifikací A-D (graf č. 1-4). Pro analýzu bylo zapotřebí načtení 3D dat nástroje označené statusem 2 (v ALCZ jsou takto označeny data, která jsou již neměnná a uvolněná pro výrobu nástroje. Tím je zaručeno použití k simulaci 3D dat, na kterých již neprobíhají žádné změny a podle kterých je vyroben nástroj, na kterém bylo provedeno lisování dílce) a zadání parametrů (druh materiálů, vstřikovací teplota taveniny, čas plnění, čas přepnutí na dotlak, objem materiálu pro dotlačení, čas chlazení, počet vtoků, definice polohy ústí, typ ústí vtoků a jiné). Následným spuštěním softwarového výpočtu, který trvá vzhledem ke složitosti dílce až 24 hodin, je dosaženo vyhodnocení predikované deformace dílce na konci celého vstřikovacího cyklu, tedy do času odformování. Z důvodů malých celkových deformací na

dílci, řádově 1 mm až 2 mm jsou získané protokoly z (MPI) upraveny na určité měřítko deformace. V našem případě je měřítko deformace 1 násobné (uvedeno na každém protokolu MPI vpravo nahoře) oproti CAD datům. Takto upravené měřítko napomáhá snazší vizualizaci a poskytuje lepší představu o velikosti deformace v konkrétních částech dílce oproti hodnotám nominálním. V případě vypočtených deformací by bylo vhodné užít větší měřítko. Výsledné predikované deformace na základě softwarového výpočtu mohou být zobrazeny jako vektor deformace, tedy jako reálná celková deformace vyhodnocená ve všech směrech, nebo pouze v jedné ze tří os. V práci je experimentálně zjišťována deformace v ose X . Proto jsou výsledné predikované deformace při jednotlivých časech dotlaků v protokolech zobrazeny s deformací v ose X (deformace, se kterými bude dále pracováno), ale i deformací celkovou pro srovnání. Snadné odečtení velikosti deformace na tělese ve všech místech zajišťuje barevná mapa odchylek.

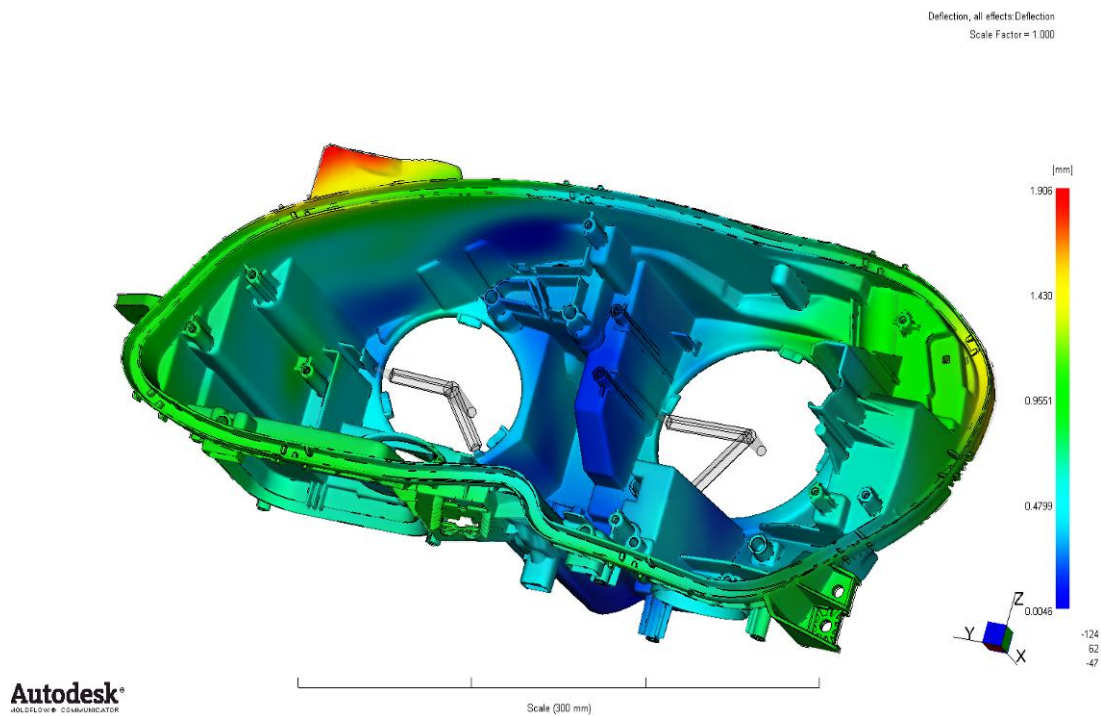
Na obrázcích 23-30 je těleso zobrazeno v natočené poloze s vyhodnocením předpokládané celkové deformace a deformace v ose X při modifikovaném času dotlaku 1s, 3s, 5s, 10s. Dle hodnot barevné mapy je již zřejmý rozdíl ve velikosti predikovaných deformací dle užitého času dotlaku. Rozdílné hodnoty deformací jsou také rozdílné pro celkovou deformaci (obr. 23, 25, 27, 29) a deformaci v ose X (obr. 24, 26, 28, 30).



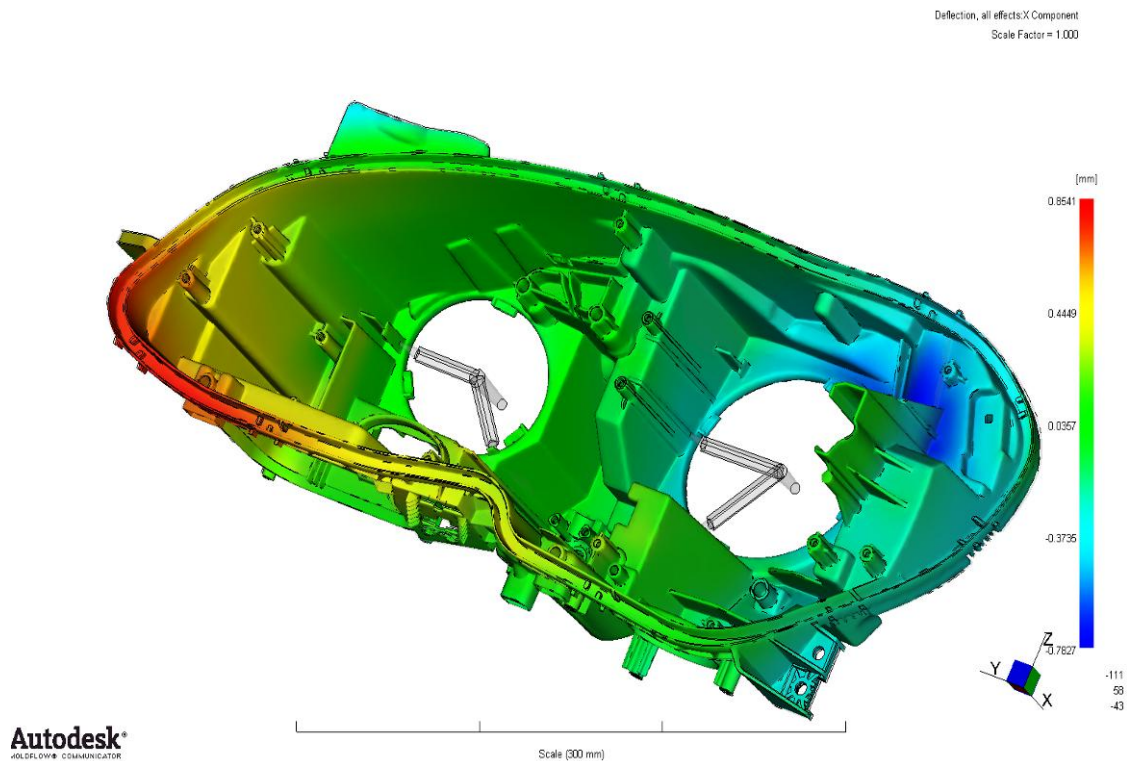
Obr. 23: Predikovaná celková deformace dle MF analýzy na tělese při dotlaku 1s



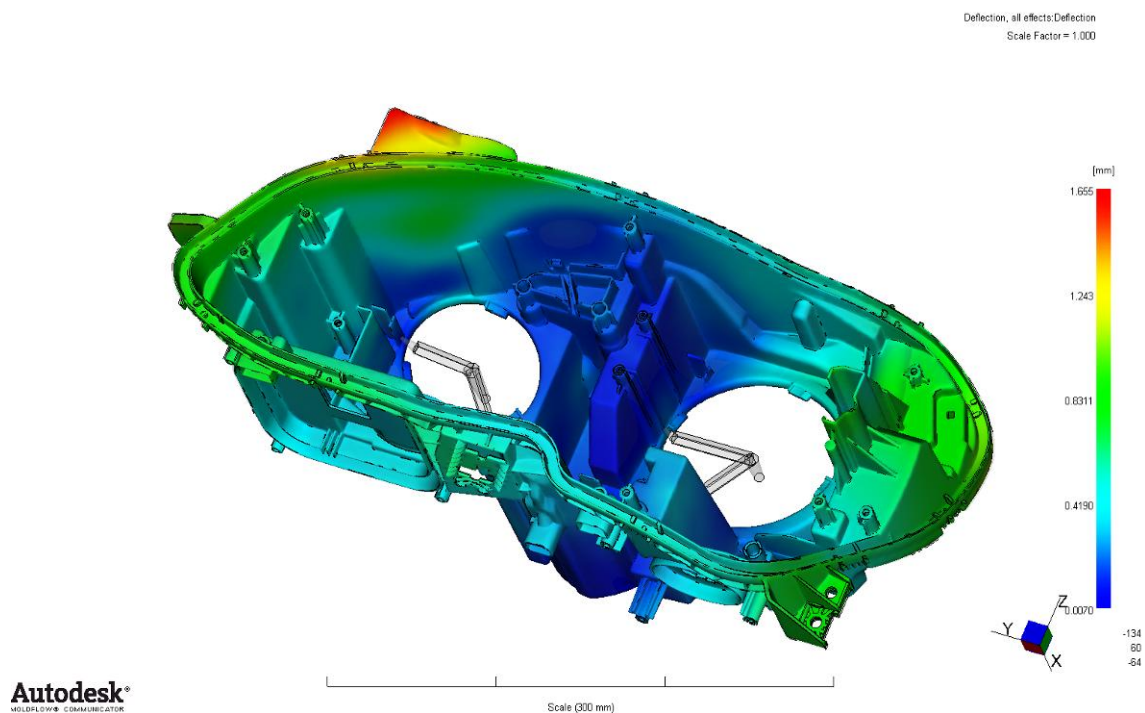
Obr. 24: Predikovaná deformace v ose X dle MF analýzy na tělese při dotlaku 1s



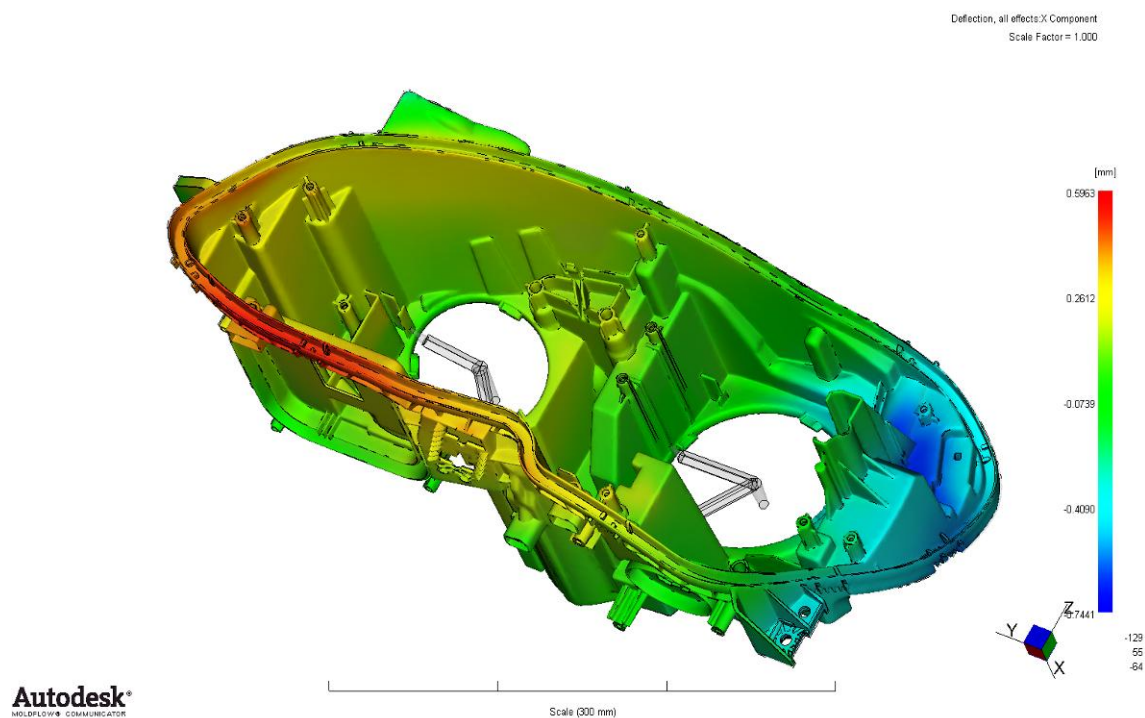
Obr. 25: Predikovaná celková deformace dle MF analýzy na tělese při dotlaku 3s



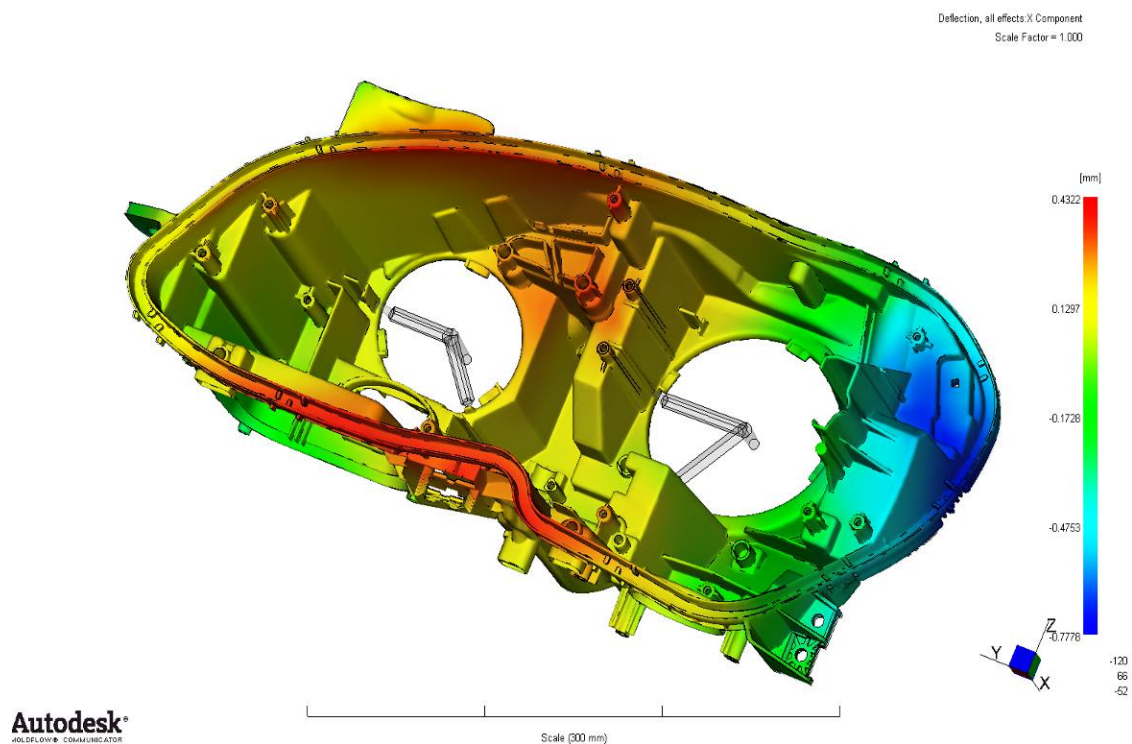
Obr. 26: Predikovaná deformace v ose X dle MF na tělese při dotlaku 3s



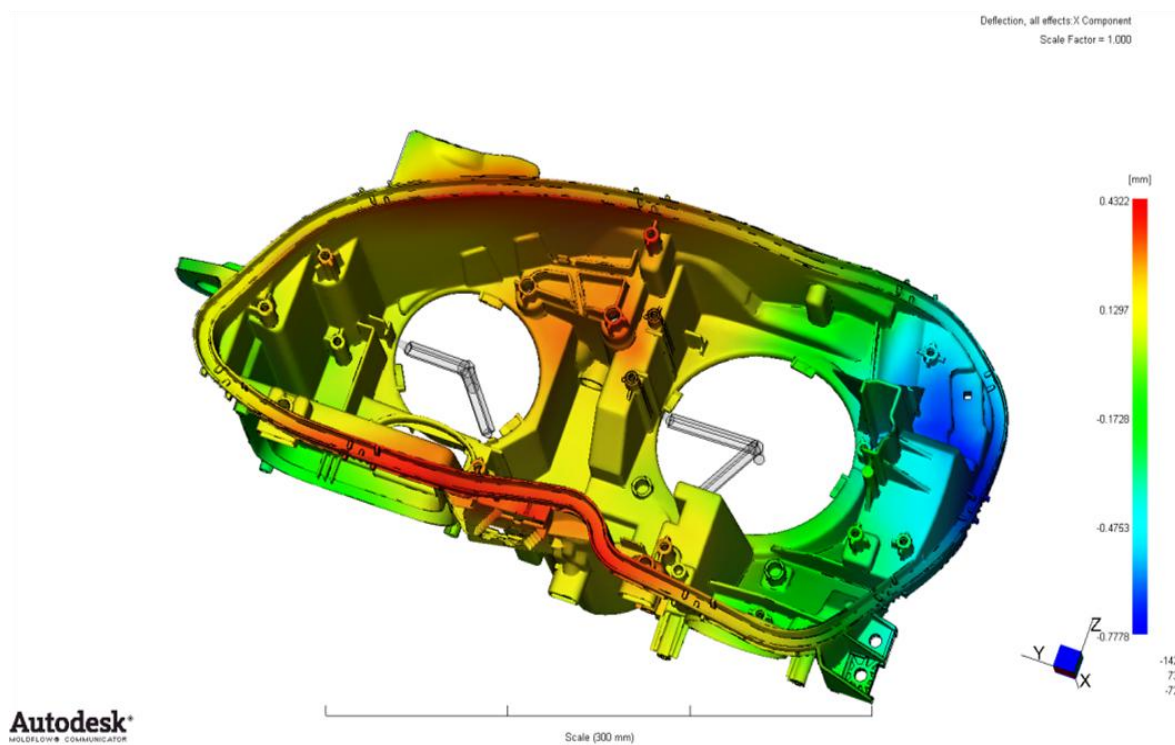
Obr. 27: Predikovaná celková deformace dle MF analýzy na tělese při standardním dotlaku 5s



Obr. 28: Predikovaná deformace v ose X dle MF analýzy na tělese při standardním dotlaku 5s



Obr. 29: Predikovaná celková deformace dle MF analýzy na tělese při dotlaku 10 s



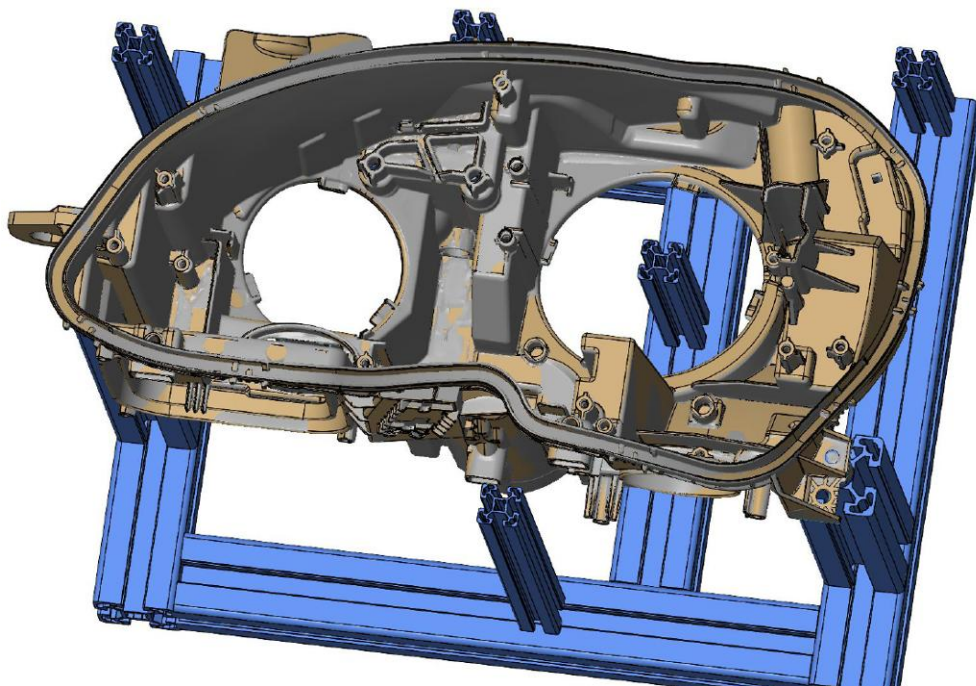
Obr. 30: Predikovaná deformace v ose X dle MF analýzy na tělese při dotlaku 10s

3.7 PŘÍPRAVA SKENOVÁNÍ

3.7.1 Přípravek

V případě sériového měření je nutné primárně připravit měřicí program a způsob ustavení měřeného dílce. Bylo tedy nutné vyrobit měřicí přípravek (obr. 31) pro jednoznačné ustavení dílce v prostoru a pro dosažení výhodné polohy pro skenování lepicího kanálu dílce. Podle přípravku včetně ustaveného tělesa byl nastaven měřicí objem na 460 mm x 530 mm x 410 mm (šířka x výška x hloubka). Samozřejmě čím menší měřicí objem, tím přesnější data ze skenu získáváme a naopak.

Koncepce přípravku musí zajistit možnost přímého nasvícení pruhů (viz. kapitola 2.6.2) na dílec. Nesmí však docházet ke vzniku tenzí vyvolávající rozměrové deformace přípravku či dílce při ustavování. Tím je zaručeno shodné založení každého následujícího měřeného dílce. Ustavení tělesa světlometu v přípravku je koncepčně totožný s atrapou užívanou při dotykovém měření na souřadnicovém měřicím stroji, kde jsou tělesa ustavována také za RPS body. Měřicí proces je zaměřen pouze na měření lepicího kanálu.



Obr. 31: Koncepce měřicího přípravku

Přípravek je vyroben ze čtvercových Bosch profilů z důvodů snadnosti zpracování a vysoké tuhosti profilů (příloha č. 5, 6). Celý přípravek se skládá ze tří hlavních částí a to *podstava*, *hlavní stojiny* (3x) a *vedlejší stojiny* (5x), na které jsou užity dva základní

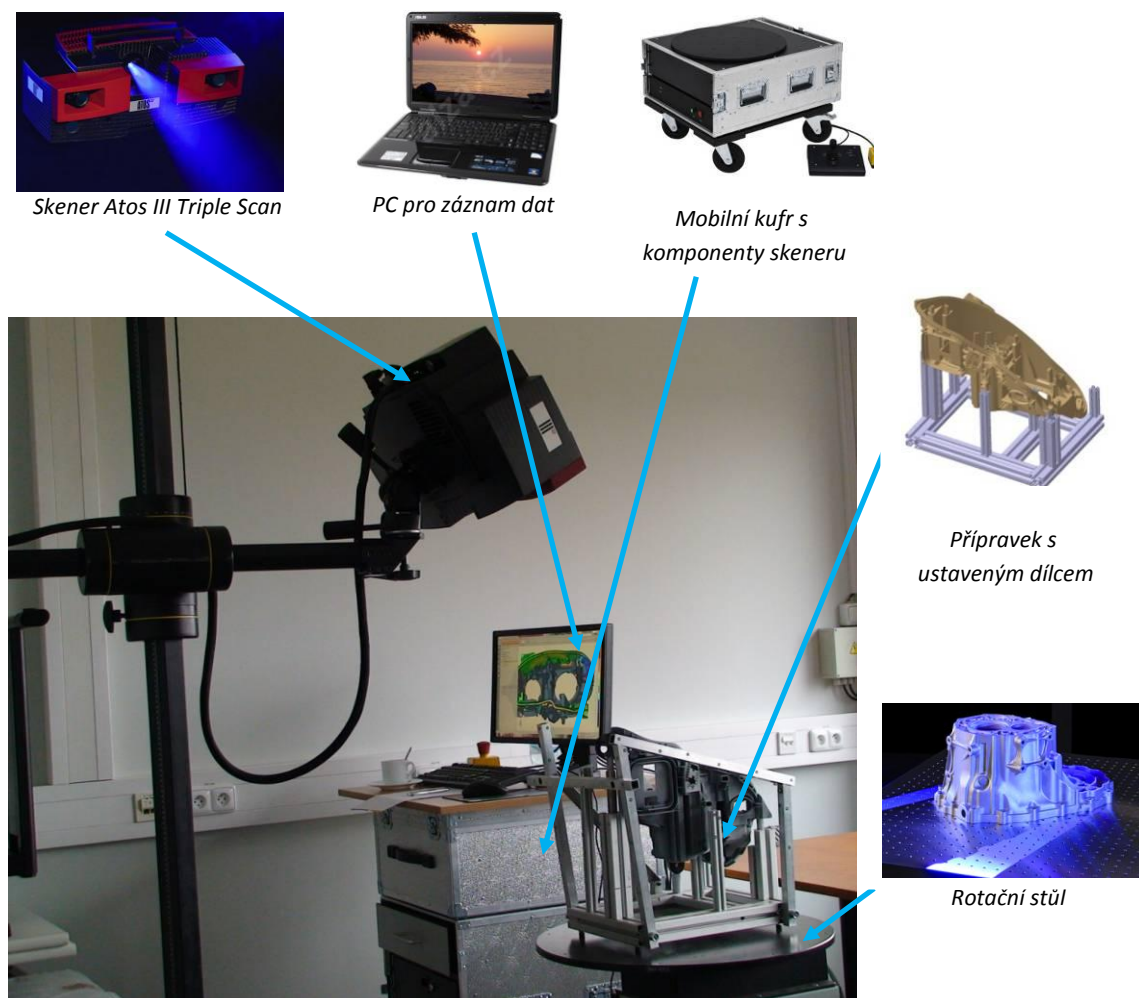
rozměry profilů (45x45 mm; 25x25 mm). Pro snazší zajištění vodorovné polohy přípravku v případě nerovného povrchu je podstava obohacena o výškově stavitelné šrouby.

Hlavní stojiny jsou zakončeny piny kruhového průřezu s osazením přesného průměru pro ustavení dílce za RPS body. Takto jsou konstruovány dvě hlavní ustavovací stojiny, za třetí je možné považovat samotný pin, který plní funkci pouze opěrného RPS bodu. Dosažení, resp. kontrola výškových rozměrů stojin bylo dosaženo odměřováním na CNC frézce.

Vedlejší stojiny slouží pouze jako pomocné pro ohraničení měřeného objemu. Na stojinách jsou proto nalepeny orientační body (kapitola 2.6.2) rozmístěné na přípravku tak, aby byly při pohledu shora viditelné a přesahovali přes půdorys dílce.

3.7.2 Volba a vizualizace pracoviště pro skenování

Z důvodu možnosti měřit vylisované dílce online po vylisování bylo požadováno najít vhodné prostory pro měřicí pracoviště co nejbližší od lisu, avšak v místech, které by nebylo ovlivněno vibracemi z výrobní haly. Na přesnost zařízení totiž mají velký vliv podmínky měření (teplota, osvětlení, vibrace a zvolený měřicí objem). Díky nejnovější generaci užitého skeneru nebyl proces limitován vhodnými světelnými podmínkami pro dosažení maximální přesnosti skeneru. Vybraný pracovní prostor (obr. 32) byl vzdálen přibližně 2 minuty od lisu. Včetně ustavení dílce s jeho naprášením křídovým sprejem pro eliminaci lesku dílce bylo tedy možné skenovat první dílec nejdříve po 5 minutách po odformování.



Obr. 32: Sestava měřicího zařízení

3.8 SKENOVÁNÍ DÍLCE

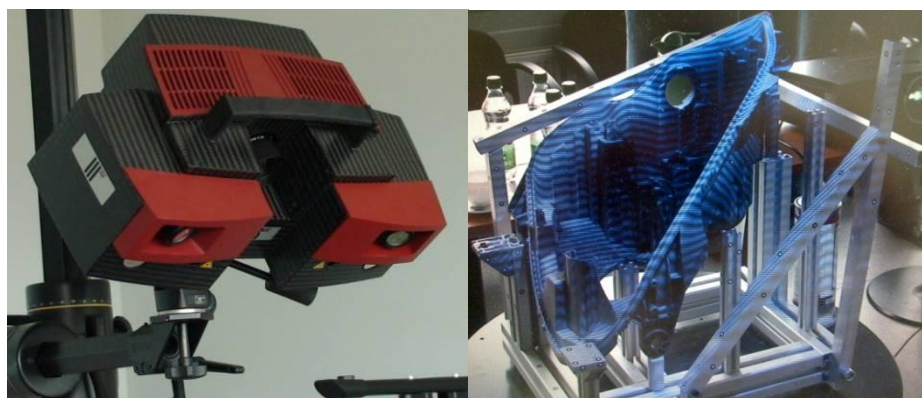
Pro dosažení rychlejšího času skenování dílce bylo jeho vyjímání z lisu prováděno ihned po otevření formy (vyřazení vyjímacího Kuka robotu z funkce). Vyjímání bylo prováděno manuálně ihned po uvolnění bezpečnostních dveří lisu z důvodu minimalizace chladnutí dílce. Před započatím skenování byl dílec popsán a nastříkán křídovým sprejem pro snížení odrazivosti světla od tělesa, které ovlivňuje přesnost a rychlost měření. Měřicí proces je zaměřen pouze na měření lepícího kanálu s vyhodnocením definovaných bodů v lepícím kanále, proto stačilo naprášit pouze lepící kanál a jeho nejbližší okolí (obr. 33). Skenováním pouze lepícího kanálu získáme kratší cyklus skenování dílce, díky kterému bylo možné získat více skenů v rámci měřicího dne.



Obr. 33: Naprášení lepicího kanálu křídovým sprejem

Takto předpřipravené těleso bylo jednoznačně ustaveno do přípravku (viz. kapitola 3.6.1) stejně jako každé následující. Pro skenování byl předem připraven program vyhodnocující 16 pozic skenu otočením rotačního stolu vždy o $1/16$ celkově do 360° . Tím bylo zaručeno, že potřebná oblast kolem lepicího kanálu a kanál samotný bude dostatečně viditelný, resp. nasvícený pro získání kvalitních skenů (příloha č. 7).

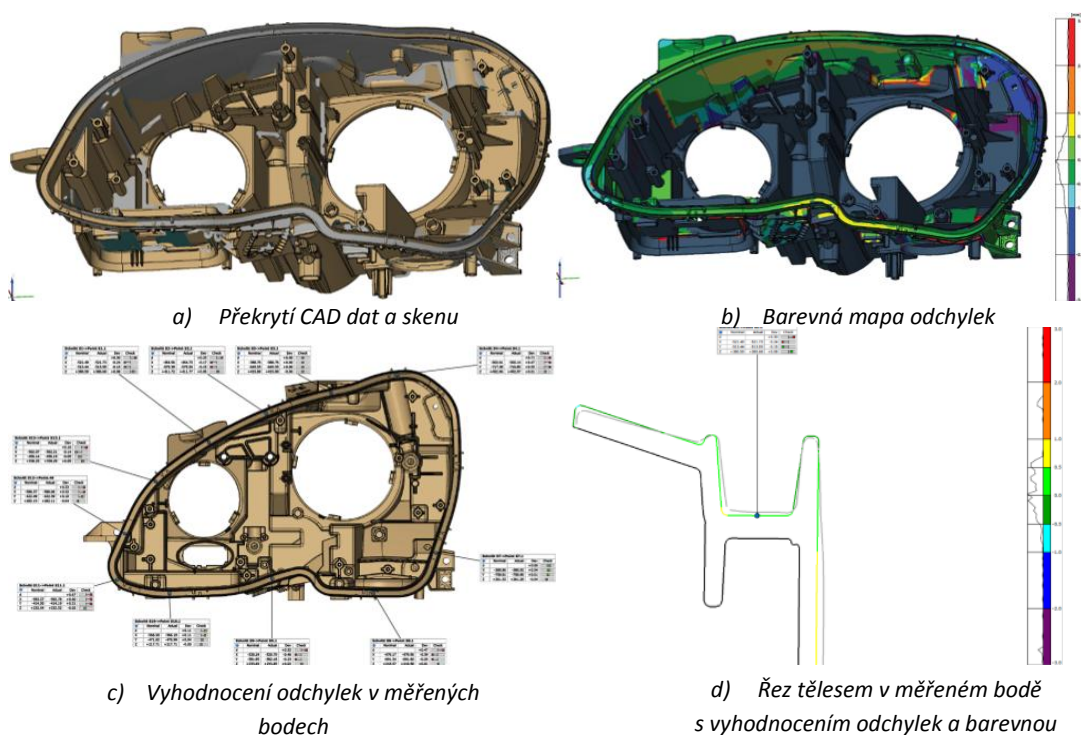
Jedno natočení rotačního stolu o $1/16$ v praxi znamená pořízení jednoho skenu (obr. 34). Každý sken trvá přibližně 6 sekund. Celkové vyhodnocení jednoho měření lepicího kanálu trvá přibližně 116 sekund, tedy necelé 2 minuty.



Obr. 34: Projekce světelného vzoru (modré pruhy) na uložený dílec v přípravku (hlava skeneru Atos III Triple Scan – vlevo, ustavený dílec v přípravku – vpravo)

3.8.1 Možné způsoby vyhodnocení a vizualizace naskenovaných dat

Při získání všech 16 skenů software automaticky vypočítá polygonální síť a barevnou mapu odchylek a hodnoty automaticky vygeneruje do předem předpřipravených protokolů (obr. 35).



Obr. 35: Vizualizace generovaných protokolů

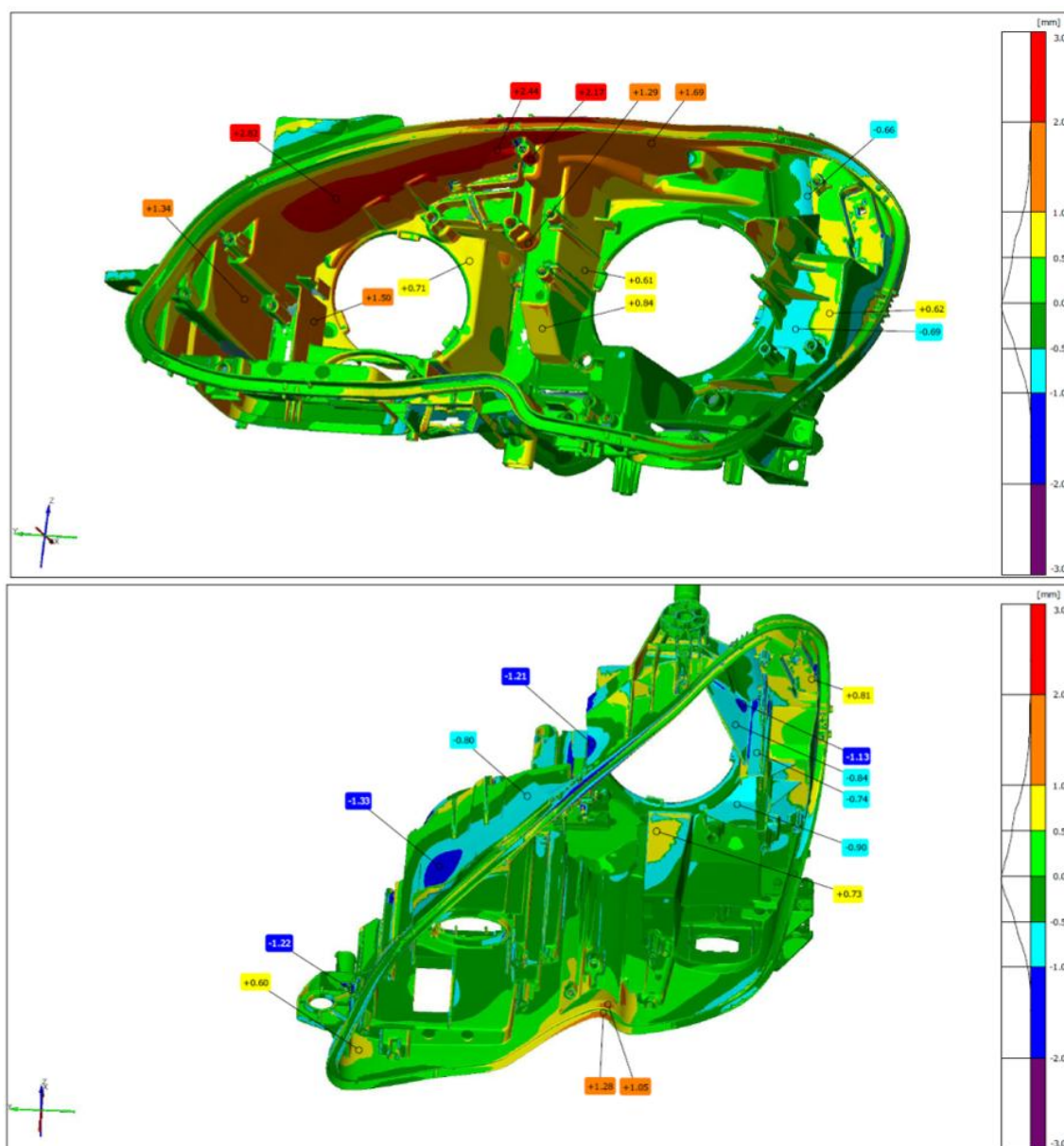
Protokol (obr. 35a) představuje komparaci dat z CAD modelu versus data získané skenem. Hnědá barva na protokolu vyjadřuje CAD data dílce a šedá barva data získané skenem dílce. Z protoklu je zřejmé, že při stejném ustavení dílců dochází k deformacím převážně na horní a spodní stěně dílce. Horní i dolní stěna dílce je vůdči CAD modelu propadlá dovnitř tělesa. Z tohoto protoklu však již není zřejmá velikost ani směr difference mezi CAD daty a daty pořízených skenování. Představu o velikosti difference mezi daty nominálními a naskenovanými je možné získat z protoklu (obr. 35b), kde je v oblasti skenování analyzována barevná mapa odchylek se stupnicí, kde ke každé barvě náleží určitá hodnota odchylky. Dle zbarvení jsme schopni říci, v jakých hodnotách se difference mezi daty CAD a daty skenu pohybuje. Napomáhá to k rychlému posouzení vhodnosti dílce v závislosti na předem definovaných tolerancích. V opačném případě, když chceme znát přesné hodnoty v nadefinovaných bodech na tělese slouží protokol (obr. 35c). Ten vyhodnocuje všechny měřené body v lepícím kanále. V každém měřeném bodě je tedy uvedena hodnota bodu umístěném v souřadném systému v osách X,Y,Z pro CAD data

a data skenu s vypočítanou diferencí a finálním vektorem deformace. Je rovněž znázorněno, jestli se měřený bod nachází v tolerančním poli v jednotlivých osách nebo celkové deformaci či nikoliv (obr. 36). Velice dobrou názornost také poskytuje protokol (obr. 35d), na kterém je vizualizován řez měřeným bodem včetně stejného vyhodnocení definovaného bodu jako v protokolu (obr. 35c). V řezu je opět viditelná odlišnost od CAD dat a dat skenu a poskytuje tak nejjasnější názornost směru deformace dílce. Takto získané protokoly je možné generovat a dále modifikovat pomocí softwaru *GOM inspect V7 SR2* volně stažitelného na webových stránkách.

Schnitt S1->Point S1.1				
	Nominal	Actual	Dev	Check
d			+0.30	
X	-521.49	-521.73	-0.24	
Y	-513.44	-513.59	-0.15	
Z	+380.59	+380.68	+0.08	

Obr. 36: Příklad vyhodnocení měřeného bodu

Pokud nás zajímají odchylky i v jiných bodech, je možné provést inspekci dílce ve zmíněném software. Po kliknutí na požadované místo je zobrazena přímo odchylka skenu od CAD dat nikoliv kóta (obr. 37).



Obr. 37: Vizualizace protokolu s vynesení finální odchylky v daném bodě

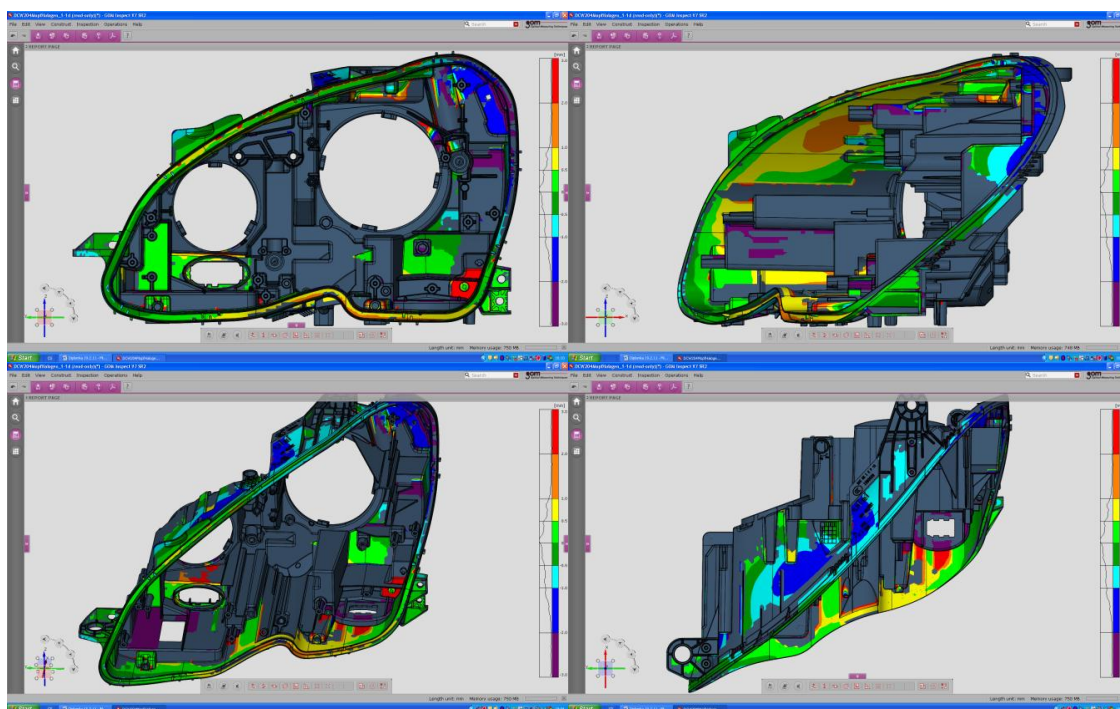
Podle orientace zamontovaného světlometu do automobilu je možné hovořit o horní a dolní stěně světlometu. Z uvedeného obrázku je možné pozorovat propad horní části dílce potvrzující kladné hodnoty (obr. 37 - horní protokol) a záporné hodnoty na opačné stěně stejného dílce (obr. 37 – dolní protokol). Takto získané protokoly slouží k získání dat pro vypracování práce. Uvedené protokoly s vizualizací velikosti a směru deformace je velkým přínosem při rychlé inspekci dílce. Oproti současným protokolům získaných v ALCZ jsou čitelnější a srozumitelnější.

3.9 VÝBĚR KRITICKÝCH BODŮ A JEJICH VYHODNOCENÍ

V lepicím kanále je třináct definovaných bodů (příloha č. 8), které jsou proměřovány a vyhodnocovány měrovým oddělením v ALCZ. Některé z bodů však není nutné do experimentu diplomové práce zahrnovat, protože v těchto bodech dochází k minimálním deformacím oproti ostatním bodům v lepicím kanále, které jsou z hlediska deformace mnohem zásadnější. To je dáno hlavně samotnou geometrií dílce, kdy je v některých místech dílec více tuhý a naopak díky žebrování.

3.9.1 Výběr řešených bodů v lepicím kanále

Výběr bodů, které budou dále analyzovány byl proveden na základě získaných 3D dat reálného dílce z posledního skenování (obr. 38), to znamená na dílci měřeném do 43 hodin po odformování při modifikovaném času dotlaku 1 sekunda u kterého je předpokladem největší deformace vlivem krátké doby dotlaku, tedy dílec s označením 1.1d (nebo 1.2d, 1.3d) - varianta č. 3.



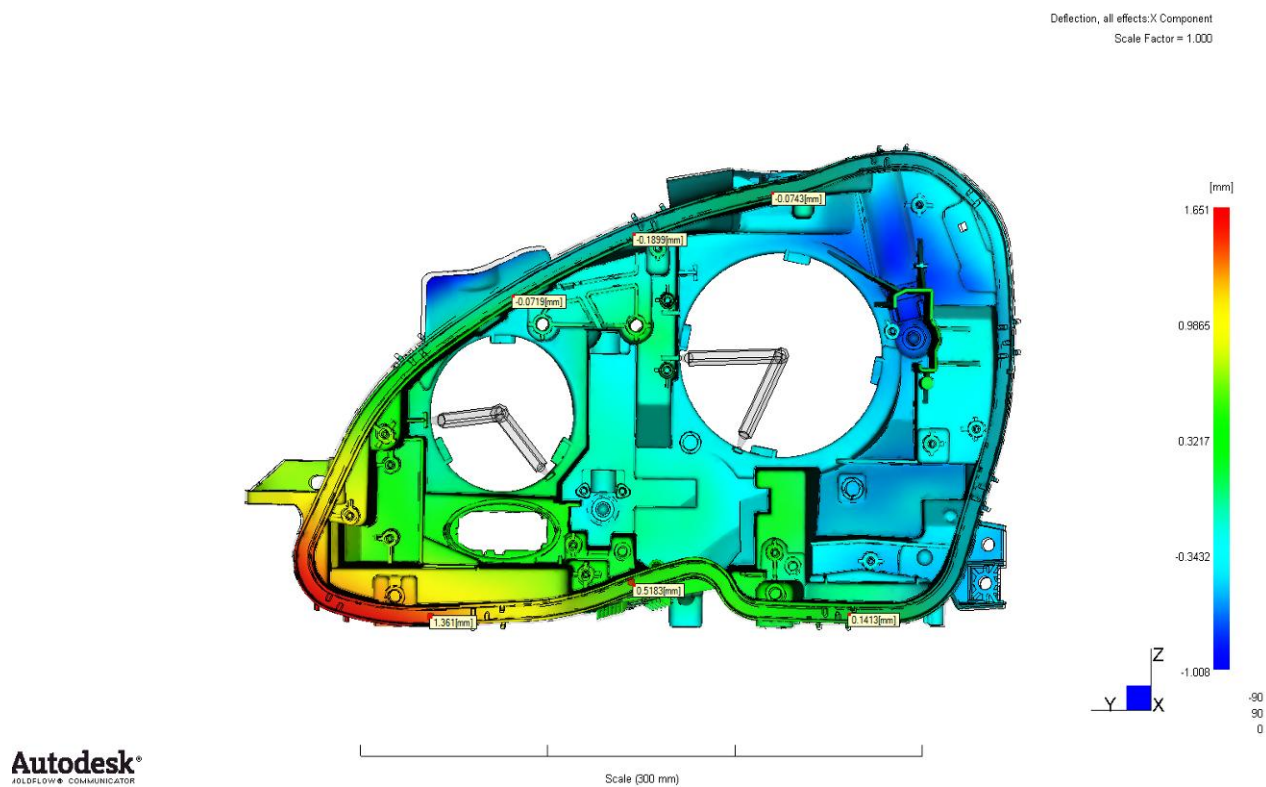
Obr.38: 3D data skenu vs. CAD pro dílec 1.1d s modifikací dotlaku na 1 sekundu

Z obrázků je zřejmá deformace reálného dílce od CAD dat s maximální celkovou odchylkou až o 3 mm, jak znázorňuje barevná mapa odchylek. Dle obrázků je znatelný propad horní a dolní stěny dovnitř tělesa dílce ovlivněné nedostačujícím vyztužením stěn vnitřním žebrováním.

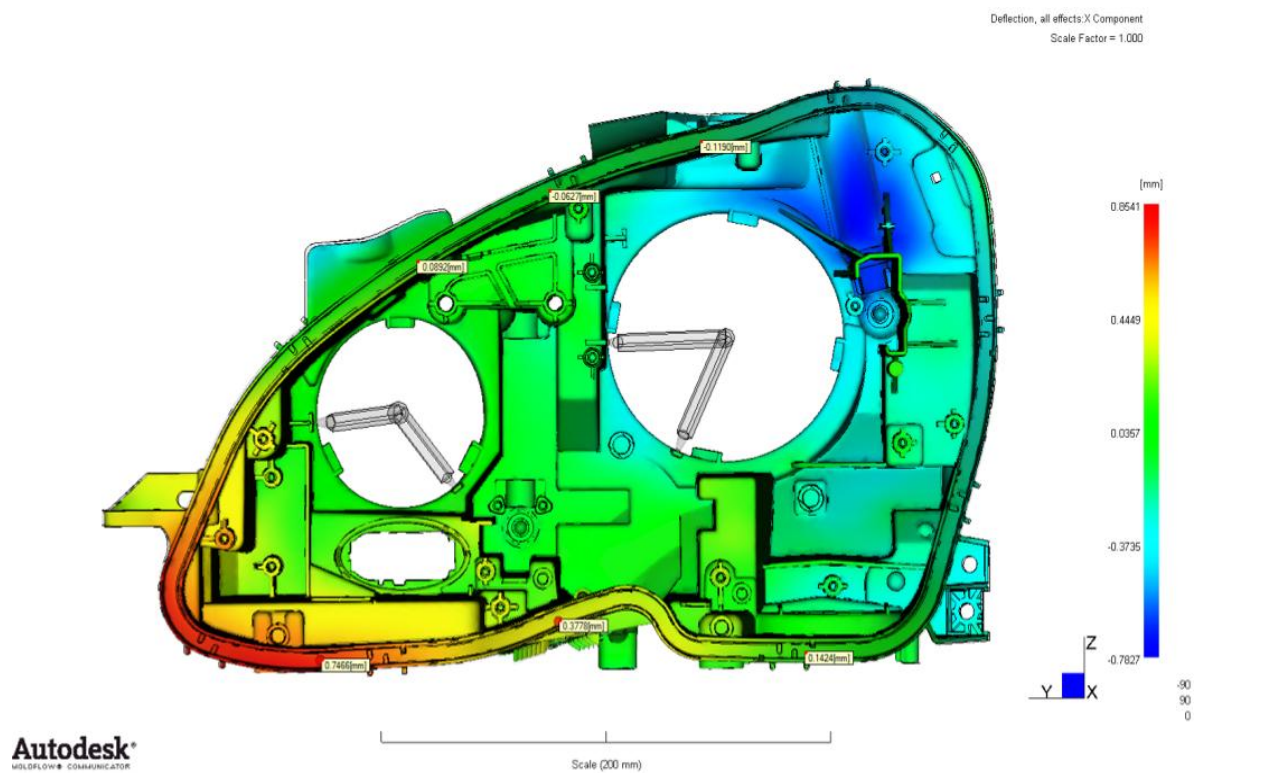
Výběr bodů, které podléhají největší deformaci jsou v technickém výkresu (příloha č. 8) označeny jako body *S1*, *S2*, *S3* - horní stěna tělesa světlometu, *S7* (pro účely DP *S8*), *S8* (pro účely DP *S9*), *S9* (pro účely DP *S10*) - dolní stěna tělesa světlometu. Tyto body jsou voleny z hlediska deformace jako nejproblémovější. Jejich bližší rozbor a analýza bude provedena v následujících kapitolách.

3.9.1.1 Vyhodnocení softwarově naměřených dat (MPI) v nejproblémovějších bodech lepicího kanálu a jejich diskuze

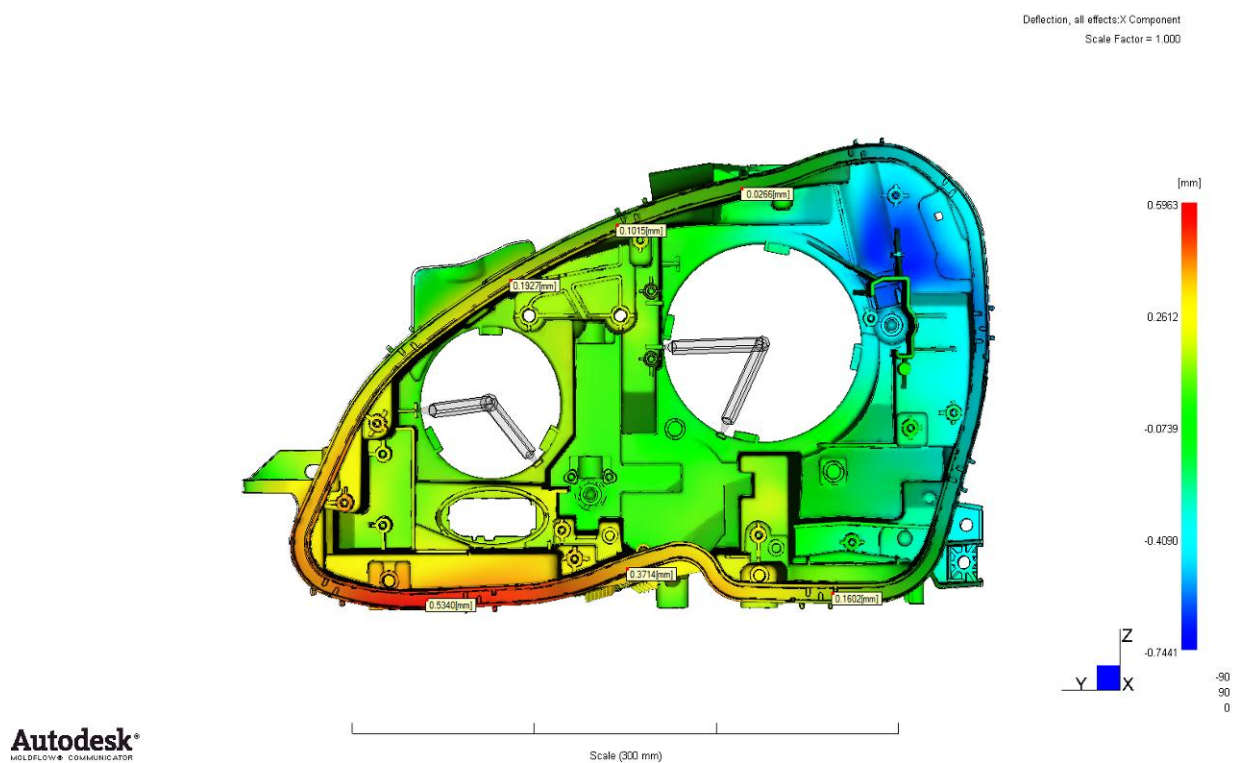
Celkem bylo vyhodnocováno 6 bodů, které jsou z hlediska deformace v ose *X* v lepicím kanále nejproblémovější. V případě predikovaných hodnot deformací v ose *X* získaných softwarovou analýzou MPI (obr. 39-42) není nutné měření provádět ve více opakováních jako tomu je u skenu. Výsledky by při stejné zadaných hodnotách byly softwarově vypočítány vždy stejně. Získané hodnoty predikovaných deformací MF analýzou v nejproblémovějších bodech jsou souhrně uvedeny v tabulce č. 10. Pro definování velikosti deformace v jednotlivých bodech lepicího kanálu je použito barevné mapy odchylek.



Obr. 39: Predikovaná deformace dílce v ose X v čase odformování při dotlaku 1 sekunda



Obr. 40: Predikovaná deformace dílce v ose X v čase odformování při dotlaku 3 sekundy



Obr. 41: Predikovaná deformace dílce v ose X v čase odformování při dotlaku 5 sekund (standardní čas dotlaku)



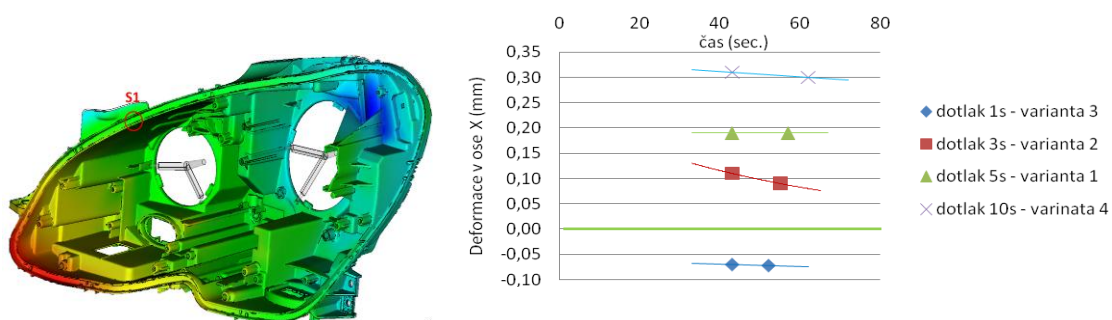
Obr. 42: Predikovaná deformace dílce v ose X v čase odformování při dotlaku 10 sekund

Tab. 10: Hodnoty difference dílce v ose X od nominálních hodnot – CAD dat (dle MPI)

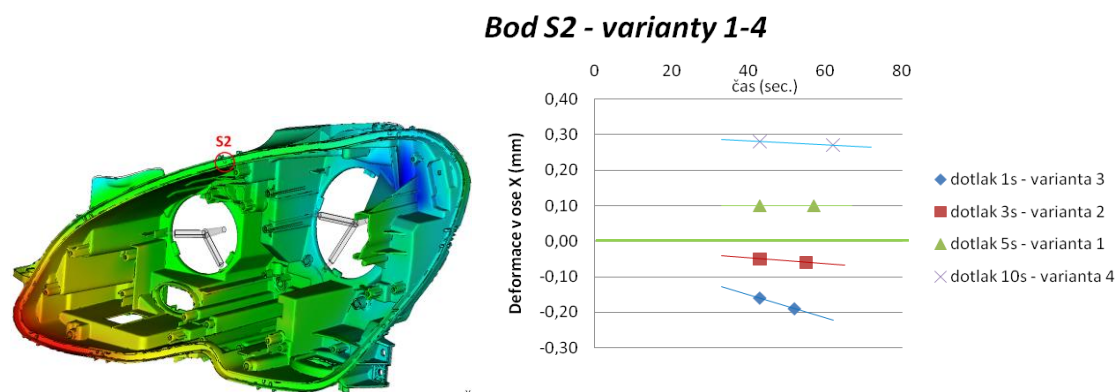
Deformace v kritických bodech v ose X (MPI)								
<i>horní stěna tělesa světlometu - dev. osy X [mm]</i>					<i>spodní stěna tělesa světlometu - dev. osy X [mm]</i>			
čas dotlaku	čas softwarového měření vstřiku	S1	S2	S3	čas dotlaku	S8	S9	S10
1 sekunda	43 sekund	-0,07	-0,16	-0,07	1 sekunda	0,14	0,51	1,36
	čas odformování (52s)	-0,07	-0,19	-0,08		0,14	0,51	1,36
3 sekundy	43 sekund	0,11	-0,05	-0,12	3 sekundy	0,15	0,38	0,75
	čas odformování (55s)	0,09	-0,06	-0,12		0,14	0,38	0,75
5 sekund (standard)	43 sekund	0,19	0,10	0,03	5 sekund (standard)	0,16	0,37	0,54
	čas odformování (57s)	0,19	0,10	0,02		0,16	0,37	0,53
10 sekund	43 sekund	0,31	0,28	0,14	10 sekund	0,22	0,36	0,35
	čas odformování (62s)	0,30	0,27	0,13		0,21	0,35	0,30

Získané hodnoty bodů S1, S2, S3, S8, S9, S10 v čase 43 sekund a při odformování pro jednotlivé časy dotlaků jsou vyneseny do grafů znázorňující deformaci v ose X u vybraných bodů (obr. 43-48).

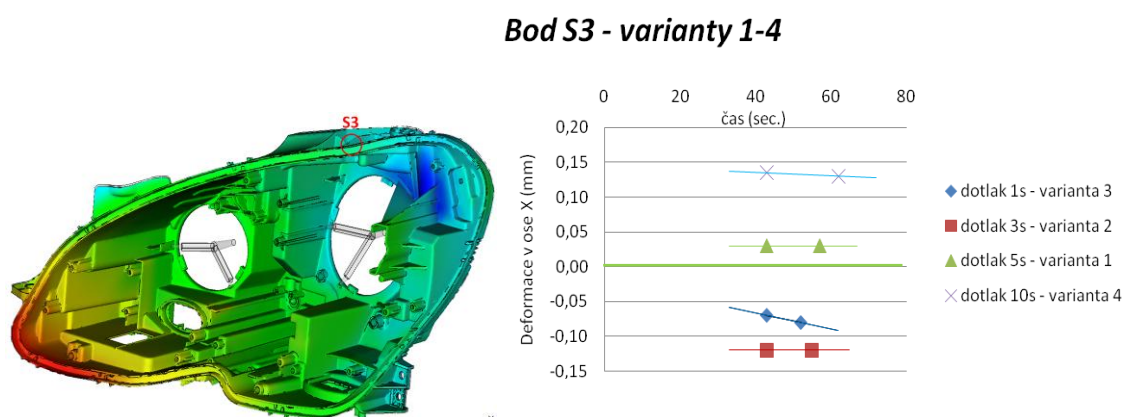
Bod S1 - varianty 1-4



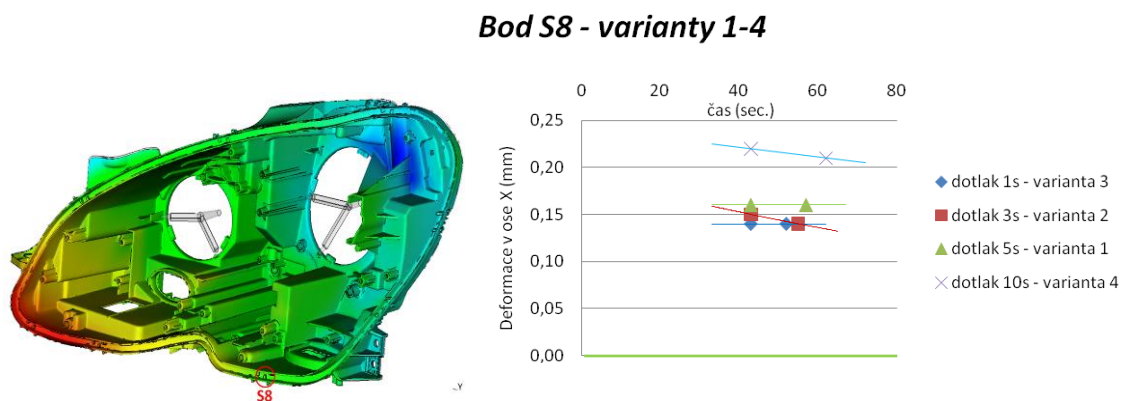
Obr. 43: Predikovaná deformace dílce v bodě S1 u zvolených modifikací dotlaku (1, 3, 5, 10s)



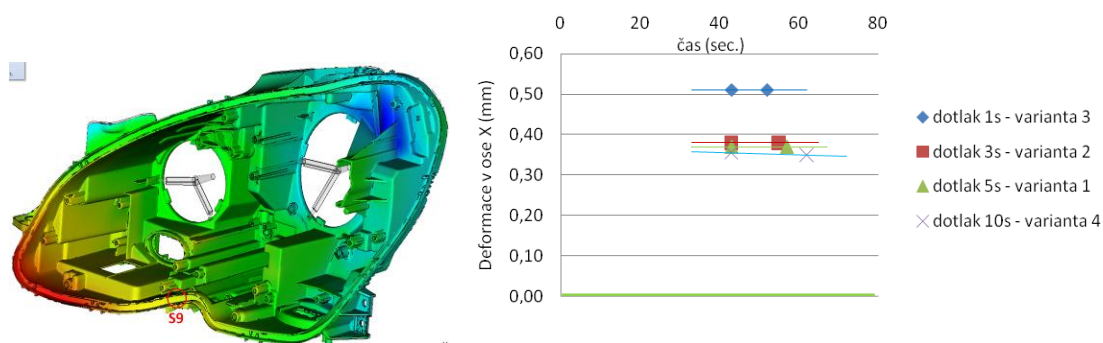
Obr. 44: Predikovaná deformace dílce v bodě S2 u zvolených modifikací dotlaku (1, 3, 5, 10s)



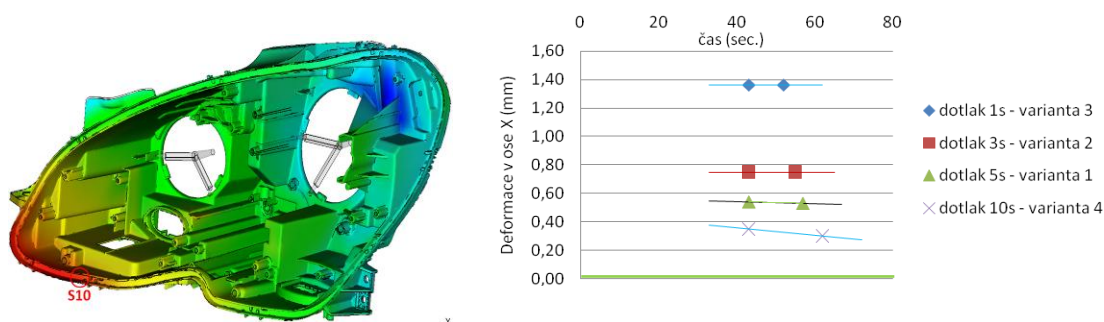
Obr. 45: Predikovaná deformace dílce v bodě S3 u zvolených modifikací dotlaku (1, 3, 5, 10s)



Obr. 46: Predikovaná deformace dílce v bodě S8 u zvolených modifikací dotlaku (1, 3, 5, 10s)

Bod S9 - varianty 1-4

Obr. 47: Predikovaná deformace dílce v bodě S9 u zvolených modifikací dotlaku (1, 3, 5, 10s)

Bod S10 - varianty 1-4

Obr. 48: Predikovaná deformace dílce v bodě S10 u zvolených modifikací dotlaku (1, 3, 5, 10s)

3.9.1.2 Hodnocení dosažených výsledků (MPI) a jejich diskuze

Ze získaných dat softwaru MPI a následně sestavených grafů (obr. 43-48) pro hodnocené body na dílci jsme schopni pozorovat v jednotlivých bodech různé rozměrové změny při vstřikovacím procesu, které popisuje křivka rozměrových změn (obr. 11). Tato křivka vychází z nominálních hodnot dílce, dále roste nad tuto hodnotu (účelné % zvětšení vstřikovací dutiny) a následně klesá z důvodů výrobního a dodatečného smrštění. Nominální hodnota, tedy hodnota dle CAD dat dílce je v grafech (obr. 43 – 48) znázorněna zelenou čarou. Doba komprese, resp. dotlaku zajišťuje dotlačení taveniny do celé dutiny nástroje. V průběhu vstřikování byla doba dotlaku volena 1, 3, 5, 10 sekundami.

Horní stěna světlometu (body S1, S2, S3)

Pro všechny tři body měřené v průběhu vstřikovacího cyklu (od 43 sekund do odformování) platí, že delší doba dotlaku zajistí v tomto čase dotlačení taveniny v dutině nad nominální hodnotu, se snižujícím se časem dotlaku se dostáváme k nominální hodnotě, případně pod tuto hodnotu tedy do záporných hodnot. Při 1 sekundovém dotlaku se již nacházíme v těchto třech bodech pod nominální hodnotou. V tomto časovém intervalu při daném dotlaku již dochází ke smrštění. V tom případě hovoříme o výrobním smrštění před odformováním. Z grafů (obr. 43-48) je také patrný trend smrštění v závislosti na čase pozorovatelný u většiny zvolených časů dotlaku.

Dle obrázku č.11 je možné říci, že v průběhu vstřikovacího cyklu (1 fáze) se hodnoty rozměrů dílce mění od maximálních rozměrových hodnot, přes hodnotu nominální do hodnot záporných ke konci vstřikovacího cyklu.

Dolní stěna světlometu (body S8, S9, S10)

Všechny hodnocené body v této části dílce uvádějí v daném časovém intervalu (od 43 sekund po čas odformování) hodnoty nad nominální hodnotou. Rozdíl od horní stěny světlometu je, že 1 sekundový dotlak uvádí téměř stejné hodnoty jako hodnoty časů dotlaků 3 a 5 sekund v bodě S8. V bodě S9 uvádí 1 sekundový čas dotlaku hodnoty nejvyšší a je kontinuální s časem, tedy počínaje začátkem měřeného času vstřikovacího cyklu až po odformování. K deformaci s časem nedochází ani u dotlaků 3 a 5 sekund, deformace jsou také totožné v měřených časech. 10 sekundový dotlak má mírně klesající tendenci, kdy dochází pozvolna ke smrštění k nominálním hodnotám dílce. V ideálním případě by se deformace na těchto hodnotách zastavila i po dodatečném smrštění. Poté bychom mluvili o ideálním stavu. V bodě S10 je vliv času dotlaku zcela obrácený oproti bodům horní stěny světlometu. V měřeném intervalu vstřikovacího cyklu je tavenina dotlačena pouze 0,3 mm nad hranici nominálních rozměrů při 10 sekundovém dotlaku. S klesající dobou dotlaku jsou naměřené hodnoty nad nominálem vyšší.

Podle grafů na obrázcích číslo 43 - 45 lze konstatovat, že v horní stěně dochází v měřeném čase vstřikovacího cyklu do jeho odformování ke smrštění z hodnot nad nominálem a dále pod nominální hodnotu v závislosti na velikosti užitě době komprese resp. době dotlaku. Poté hovoříme o výrobním smrštění probíhající v době před odformováním. V dolní stěně jsou hodnoty drženy nad nominálem. To znamená, že v době

odformování bude dolní stěna světlometu ještě stále držet tvar dutiny nástroje v hodnotách těsně nad hodnotami požadovanými, tedy nominálními. Prediktivně bychom mohli říci, že po odformování by dolní stěna měla vykazovat menší deformace v rámci dodatečného smrštění (obr. 11 - druhá fáze), které bude dále hodnoceno pomocí technologie bezdotykového měření.

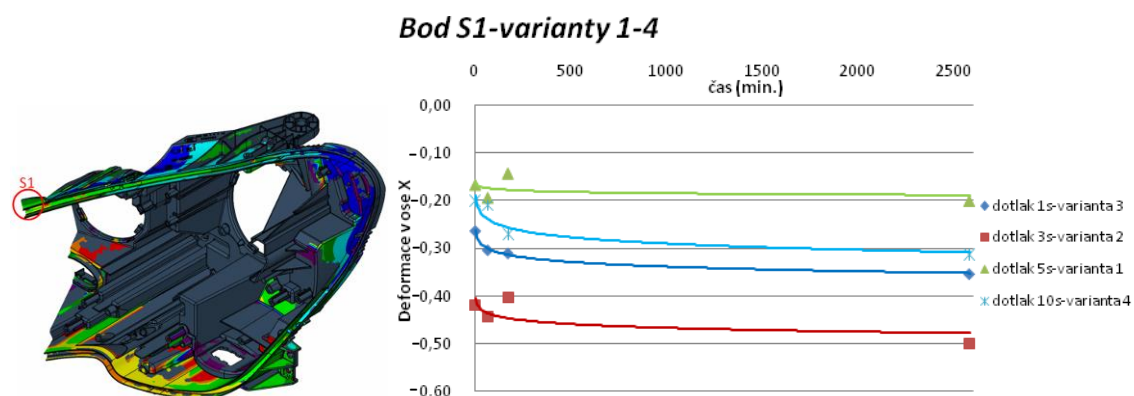
3.9.1.3 Vyhodnocení naměřených dat bezdotykovou technologií měření dílce v nejproblémovějších bodech lepícího kanálu a jejich diskuze

Celkem bylo proměřováno 12 vylisků, od každého z uvedených parametrů 3 kusy pro vyloučení případné chyby měření. V příloze č. 9 - 23 jsou uvedeny protokly z prvního měření dílců vyrobených při 1, 3 a 5 sekundovém dotlaku. Pro první skenovaný dílec 1- sekundového dotlaku jsou přiloženy protokoly za všech 4 intervalů skenování, u druhého dílce stejného dotlaku pouze sken prvního intervalu, tedy získaný do 5 minut po odformování. Stejným způsobem jsou vloženy protokoly i pro 3 a 5 sekundový dotlak. V příloze č. 24 jsou zobrazeny všechny naměřená data včetně jejich vyhodnocení. Získaná data byla statisticky vyhodnocena a uvedena v tabulce č. 11, kde jsou zobrazeny pouze výsledné hodnoty diferencí dílce v ose X od hodnot nominálních – CAD dat dílce.

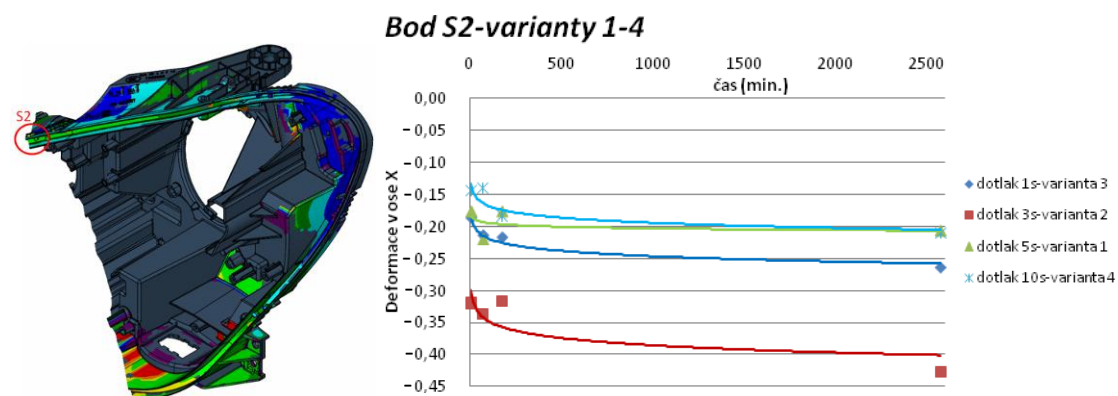
Tab. 11: Výsledné hodnoty difference dílce v ose X od nominálních hodnot – CAD dat (dle skenů ATOS III Triple Scan)

Deformace definovaných bodů									
horní stěna tělesa světlometu - dev. osy X [mm]					spodní stěna tělesa světlometu - dev. osy X [mm]				
čas dotlaku	interval skenu	průměr S1	průměr S2	průměr S3	čas dotlaku	interval skenu	průměr S8	průměr S9	průměr S10
1 sekunda	do 5 min.	-0,26	-0,19	-0,01	1 sekunda	do 5 min.	-0,39	-0,43	0,14
	do 70min.	-0,30	-0,21	0,00		do 70min.	-0,56	-0,71	-0,10
	do 175 min.	-0,31	-0,22	-0,02		do 175 min.	-0,64	-0,75	-0,12
	do 43 hod.	-0,35	-0,26	-0,02		do 43 hod.	-0,72	-0,91	-0,17
3 sekundy	do 5 min.	-0,42	-0,32	-0,14	3 sekundy	do 5 min.	-0,28	-0,24	0,16
	do 70min.	-0,44	-0,34	-0,13		do 70min.	-0,46	-0,51	-0,03
	do 175 min.	-0,40	-0,32	-0,11		do 175 min.	-0,54	-0,58	-0,03
	do 43 hod.	-0,52	-0,43	-0,19		do 43 hod.	-0,58	-0,66	-0,08
5 sekund (standard)	do 5 min.	-0,17	-0,18	-0,03	5 sekund (standard)	do 5 min.	-0,29	-0,29	0,03
	do 70min.	-0,19	-0,22	-0,06		do 70min.	-0,35	-0,42	-0,10
	do 175 min.	-0,14	-0,18	-0,05		do 175 min.	-0,44	-0,48	-0,12
	do 43 hod.	-0,20	-0,21	-0,05		do 43 hod.	-0,52	-0,54	-0,15
10 sekund	do 5 min.	-0,20	-0,14	-0,02	10 sekund	do 5 min.	-0,28	-0,32	0,01
	do 70min.	-0,21	-0,14	-0,03		do 70min.	-0,44	-0,50	-0,09
	do 175 min.	-0,27	-0,18	-0,06		do 175 min.	-0,45	-0,56	-0,14
	do 43 hod.	-0,31	-0,21	-0,07		do 43 hod.	-0,60	-0,74	-0,22

Statisticky vyhodnocené hodnoty bodů *S1*, *S2*, *S3*, *S8*, *S9*, *S10* pro jednotlivé varianty jsou vyneseny do grafů znázorňující deformaci v nejproblémovějších bodech dílce v ose *X* v závislosti na čase (obr.49-54). Pro vizualizaci lokace měřeného bodu na dílci jsou také vloženy obrázky.

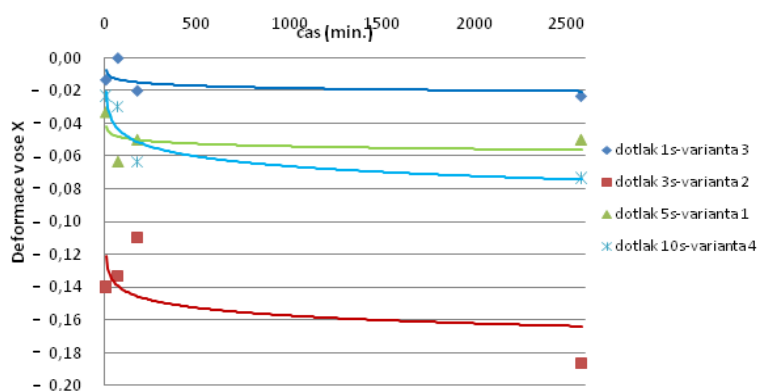
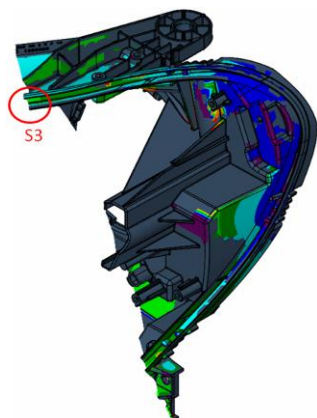


Obr. 49: Průběh deformace dílce v bodě *S1* u všech zvolených modifikací dotlaku



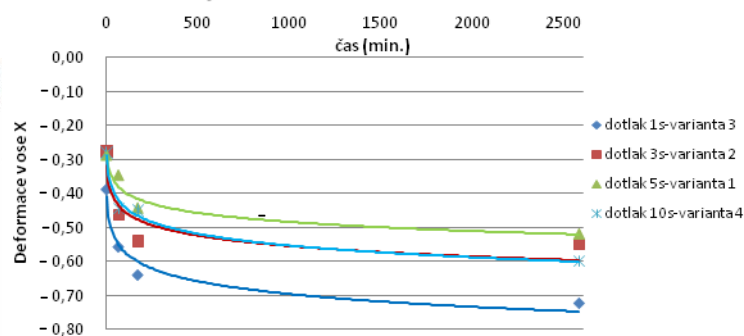
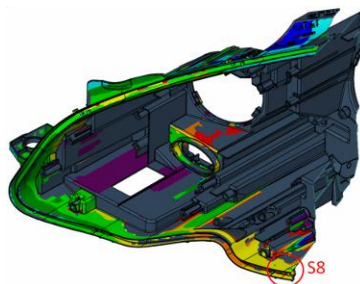
Obr. 50: Průběh deformace dílce v bodě *S2* u všech zvolených modifikací dotlaku

Bod S3-varianty 1-4



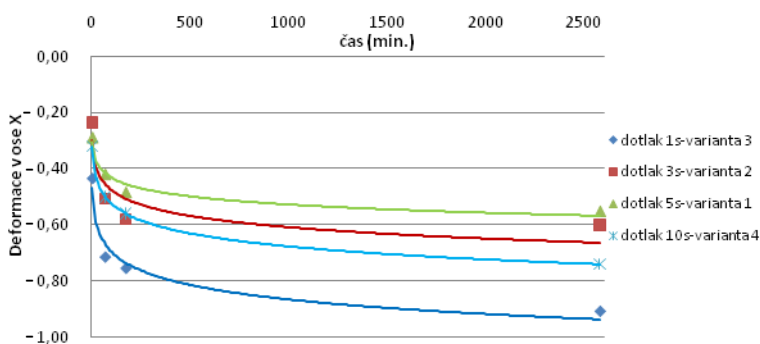
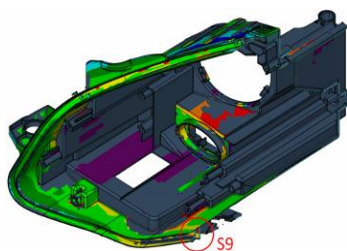
Obr. 51: Průběh deformace dílce v bodě S3 u všech zvolených modifikací dotlaku

Bod S8-varianty 1-4

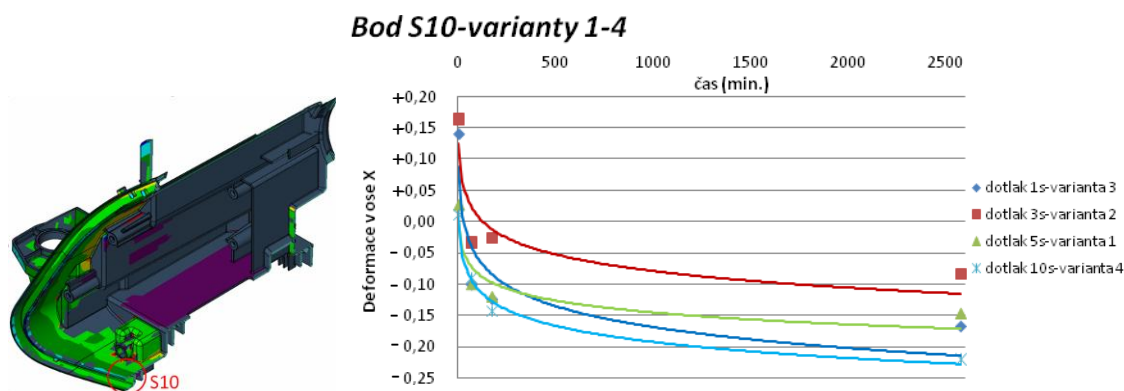


Obr. 52: Průběh deformace dílce v bodě S8 u všech zvolených modifikací dotlaku

Bod S9-varianty 1-4



Obr. 53: Průběh deformace dílce v bodě S9 u všech zvolených modifikací dotlaku



Obr. 54: Průběh deformace dílce v bodě S10 u všech zvolených modifikací dotlaku

3.9.1.4 Hodnocení dosažených výsledků (ATOS III) a jejich diskuze

Ze všech skenování získaných dat a následně sestavených grafů (obr. 49-54) pro hodnocené body na dílci je patrný trend smrštění, který můžeme pozorovat u všech variant modifikací dotlaku. Smrštění má převážně exponenciální průběh, především u prvních třech skenů získaných do 175 minut po odformování. Postupně průběh získává nepatrnou dávku linearitu až do poslední hodnoty získané skenem dílce do 43hodin po odformování. Tím je možné říci, že největší deformace na dílci probíhají bezprostředně ihned po odformování a s postupem času velikost deformace klesá.

Zvolením různých hodnot času dotlaku jsme také schopni analyzovat rozdílnost tohoto parametru z hlediska tvarové stálosti dílce v ose X ve všech nejproblémovějších bodech (3.9.1) a vyhodnotit, zdali je možné využít pro výrobu dílce nižší časy dotlaků než standardní 5 vteřinový z hlediska rozměrové jakosti dílce. Je předpokladem, že se snižujícím se časem dotlaku od dotlaku standardního bude rozměrová přesnost dílce horší a naopak, tedy se zvyšujícím časem dotlaku od standardu lepší tak jak je popsáno u horní stěny tělesa světlometu v případě softwarové predikce deformace MPI. Z hlediska finančních benefitů by bylo nejideálnější, kdyby deformace dílce v ose X , ať už při dotlaku 3 sekundy nebo 1 sekunda byly stejné jako při standardním dotlaku 5 sekund nebo alespoň nepřesahovaly tolerovanou mez $\pm 0,5$ mm. To by přineslo benefity v podobě zkrácení času vstřikovacího cyklu, tedy finančním úsporou při výrobě jedné sady dílců. V jednotlivých bodech se deformace při různých variantách odehrává následovně.

Horní stěna tělesa světlometu (body S1, S2, S3)

Bod S1 - nejmenší deformace v bodě S1 probíhá při standardním dotlaku 5 sekund přibližně (od -0,17 mm do -0,2 mm), největší deformace při 3 sekundovém dotlaku (od -0,42 mm do -0,52 mm). Přibližně uprostřed těchto intervalů deformací vychází deformace při dotlaku 1 sekundy. Na základě tohoto je možné říci, že při maximální tolerované deformaci $\pm 0,5$ mm v ose *X* je možné upravit dotlak na 1 i 3 sekundu.

Bod S2 - k nejmenší deformaci dochází při navýšeném dotlaku od standardu o 5 sekund, tedy při 10 sekundovém dotlaku (od -0,14 mm do -0,21 mm). Největší deformace dochází při 3 sekundového dotlaku (od -0,32 mm do -0,43 mm), nicméně nepřesahuje maximální toleranci. Při dotlaku 1 sekundy deformace dosahuje středních hodnot největší a nejmenší deformace v tomto bodě (od -0,19 mm do -0,26 mm). Je tedy možné nastavit hodnotu dotlaku na 1 nebo 3 sekundy a snížit tak cyklus čas vstřikovacího procesu.

Bod S3 - v tomto bodě dochází k nejmenším deformacím v ose *X* ze všech hodnocených bodů u všech variant dotlaků. Bod S3 se nachází v oblasti, kde je na těleso plynule napojeno jedno ze 3 hlavních montážních ramen, které je realizováno několika vyztužujícími žebry. Tyto žebra jsou téměř kolmé na horní část tělesa světlometu. To je primárním aspektem všeobecně menších deformací. Nejmenší deformace v tomto bodě vzniká při dotlaku 1 sekundy (od 0 mm do -0,02 mm). Maximální deformace nastává při dotlaku 3 sekund (od -0,11 mm do -0,19 mm). V tomto bodě není zdaleka dosaženo maximální tolerující hranice $\pm 0,5$ mm. Podle popsané a znázorněné deformace (obr. 51) je možné nastavit parametr dotlaku na 3 sekundy ale i na 1 sekundu, tzn. úsporu až 4 sekund při dosažení tolerujících deformací v nejproblémovějších bodech lepícího kanálu.

Dolní stěna tělesa světlometu (body S8, S9, S10)

Na základě obrázků vyhodnocující body dolní stěny světlometu jsou viditelné větší deformace než na stěně horní. Předpokladem existence tohoto jevu je fakt, že spodní stěna lepícího kanálu je ve větší vzdálenosti od vtoků (obr. 21), resp. je možnost větší tvarové deformace z důvodu větších ploch, které snáze podléhají tvarové deformaci bez vhodného vyztužení. Do jisté míry bude mít vliv i to, že dílec se smršťuje ve všech osách a dochází tak i k zavírání dovnitř tělesa vlivem smrštění, tedy i změnu hodnot v ose *X*. Zajímavé je, že dle predikce deformace v ose *X* dle MPI spodní stěna tělesa světlometu podléhá menším

deformacím. To do jisté míry potvrzuje větší rozsah deformace spodní stěny po odformování dílce v prvních třech skenech získaných do 175 minut. Tím je možné říci, že po odformování dílce všeobecně probíhají větší deformace na spodní stěně tělesa světlometu než na horní z již zmíněných konstrukčních důvodů.

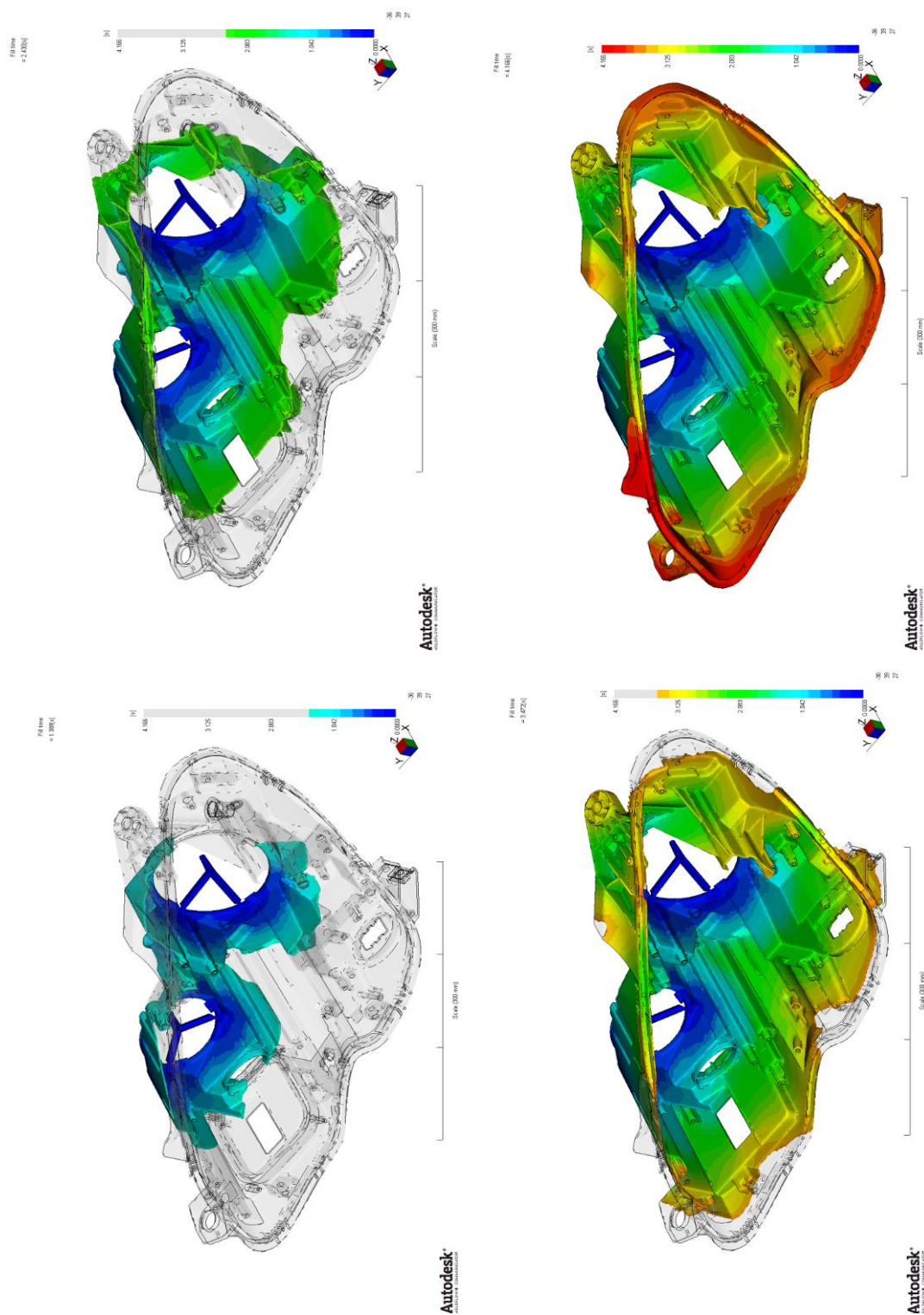
Bod S8 - nejmenší deformace jsou v rámci hodnot (od -0,29 mm do -0,52 mm) při dotlaku 5 sekund a největší (od -0,39 mm do -0,72 mm) při dotlaku 1 sekundy. Z důvodů jednoznačného překročení maximální tolerance $\pm 0,5$ mm není předběžně vyhovující ani jeden z testovaných časů dotlaku tedy ani standardní 5 sekundový.

Bod S9 - v tomto bodě jsou naměřeny největší deformace ze všech hodnocených bodů lepicího kanálu tělesa. Nejmenší deformace jsou naměřeny při standardním dotlaku 5 sekund (od -0,29 mm do -0,54 mm). Největší deformace byla naměřena na tělese vstřikovaném při dotlaku 1 sekunda (od -0,43 mm do -0,91 mm). Z důvodů jednoznačného překročení maximální tolerance $\pm 0,5$ mm, není předběžně vyhovující ani jeden z testovaných parametrů.

Bod S10 - v tomto bodě lepicího kanálu probíhají relativně malé deformace. Nejmenší deformace při 3 sekundovém dotlaku (od 0,16 mm do -0,08 mm). Naopak největší při 10 sekundovém dotlaku (od -0,01 mm do -0,22 mm). Žádný ze zvolených variant dotlaku nepřekračuje toleranci $\pm 0,5$ mm, proto je možné snížit čas dotlaku na 3 nebo 1 sekundu a ušetřit tak až 4 sekundy z celého cyklu.

Podle grafů a fotek dílců v řezu na obrázcích 49 - 54 lze celkově konstatovat, že čím je hodnocený bod v lepicím kanále dále od místa vtoku, tím jsou deformace větší, resp. geometrická přesnost v ose *X* menší. Problémem vzdálenějších bodů od vtoku je problematické dopravení taveniny do těchto míst a následné dotlačení taveniny v poslední fázi vstřikovacího cyklu. Velkou roli v případě hodnoceného dílce také sehrává tenkostěnnost dílce 1,5 mm až 2,25 mm. Transport materiálu dutinou formy a jeho dotlačení ve fázi dotlaku je proveditelné, avšak problematické s následkem větší tvarové difference nežli v bodech bližších. Jak již bylo uvedeno, lepicí kanál je nejzazší část dílce od vtoku, nicméně rozdílnou trajektorií lepicího kanálu, resp. hodnocených bodů v lepicím kanále jsou také tyto body vystavené vstřikovacím parametrům rozdílně. To přináší výše zmíněné hodnoty deformací. Na obrázku č. 55 je zobrazen postup plnění taveniny do dutiny formy včetně doby plnění, kterou zobrazuje barevná mapa odchylek s vynesemím

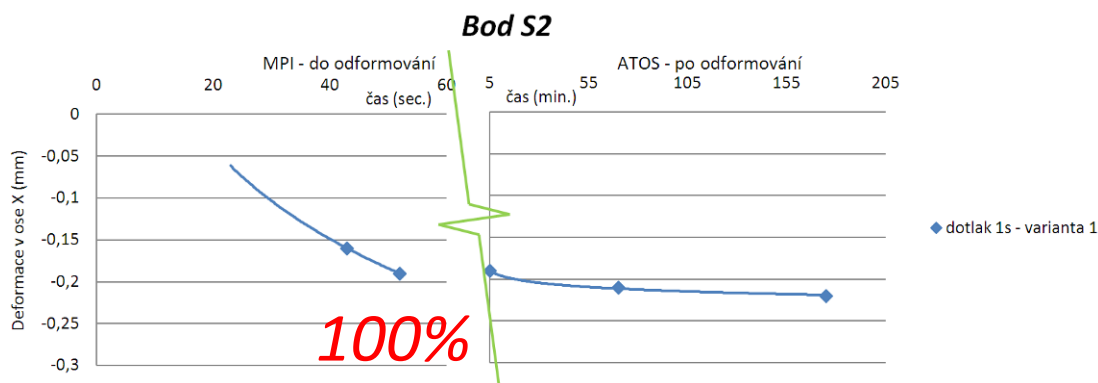
celkového času vstřiku 4,16 sekundy. Z obrázku je také viditelné, že spodní stěna se vyplní taveninou po delší době, než horní stěna lepícího kanálu.



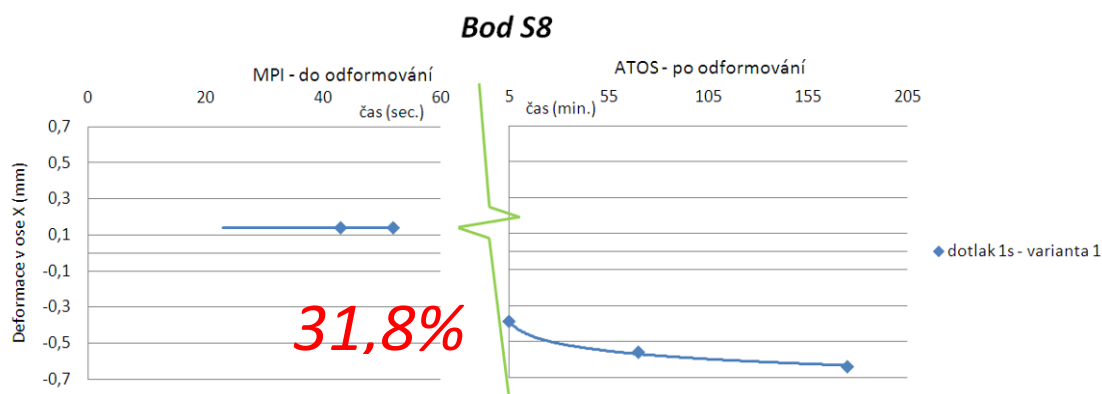
Obr. 55: Postup plnění taveniny do dutiny formy

3.10 KOMPARACE PREDIKOVANÉ DEFORMACE DÍLCE V OSE X PŘI ODFORMOVÁNÍ S DEFORMACÍ REÁLNÉHO DÍLCE

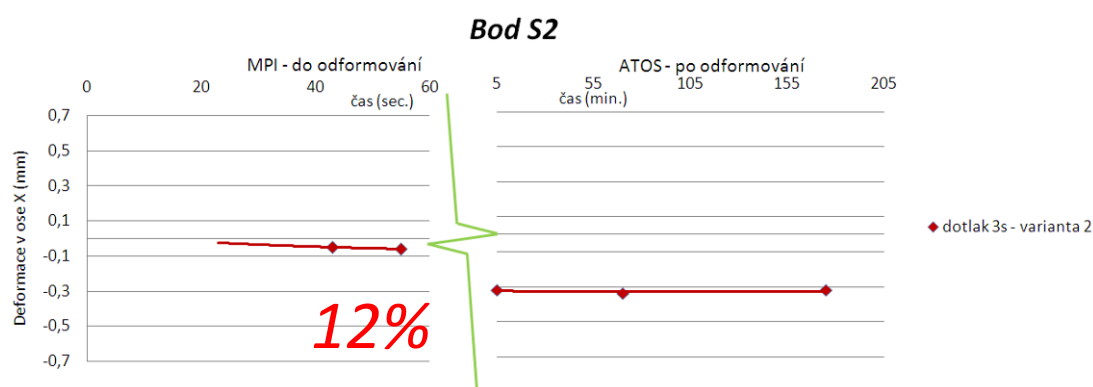
Jak již bylo zmíněno v kapitole 3.6, analýza MPI je schopna predikovat rozměrové deformace plastového dílce od zaplnění celé dutiny nástroje taveninou do odformování nástroje. To umožňuje pozorovat předpokládané výrobní smrštění. Uvedenou technologií jsme schopni popsat rozměrové změny výstřiku v první fázi (obr. 11). Po odformování již hovoříme o druhé fázi, kdy rozměrové změny dílce vznikají dodatečným smrštěním. Tuto fázi jsme s velkou přesností schopni určit pomocí bezdotykové technologie měření ATOS III Triple Scan. První skenování dílce proběhlo 5 minut po odformování. Časový rozdíl mezi jednotlivými fázemi, resp. od odformování po první sken dílce je 5 minut. Důvodem časové prodlevy je příprava dílce na skenování (kapitola 3.7.2). V rámci 5 minut však na tělese proběhnout zanedbatelné rozměrové změny. Za těchto podmínek je možné posoudit věrohodnost predikce výrobního smrštění dílce do doby odformování s reálně oskenovaným dílcem po odformování v jednotlivých časech dotlaků. Porovnání bude provedeno na jednom bodě z horní i dolní stěny dílce, libovolně tedy body S2 a S8 s časy dotlaků 1 a 3 sekundy. Celkem čtyři možné srovnání.



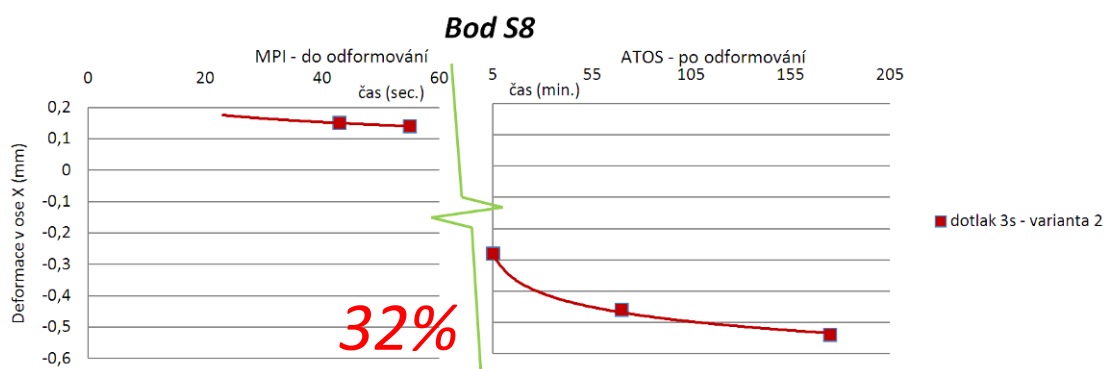
Graf č.5: Procentuelní vyjádření shody predikovaného výrobního smrštění a dodatečného smrštění v bodě S2 při dotlaku 1 sekunda



Graf č.6: Procentuelní vyjádření shody predikovaného výrobního smrštění a dodatečného smrštění v bodě S8 při dotlaku 1 sekunda



Graf č.7: Procentuelní vyjádření shody predikovaného výrobního smrštění a dodatečného smrštění v bodě S2 při dotlaku 3 sekundy

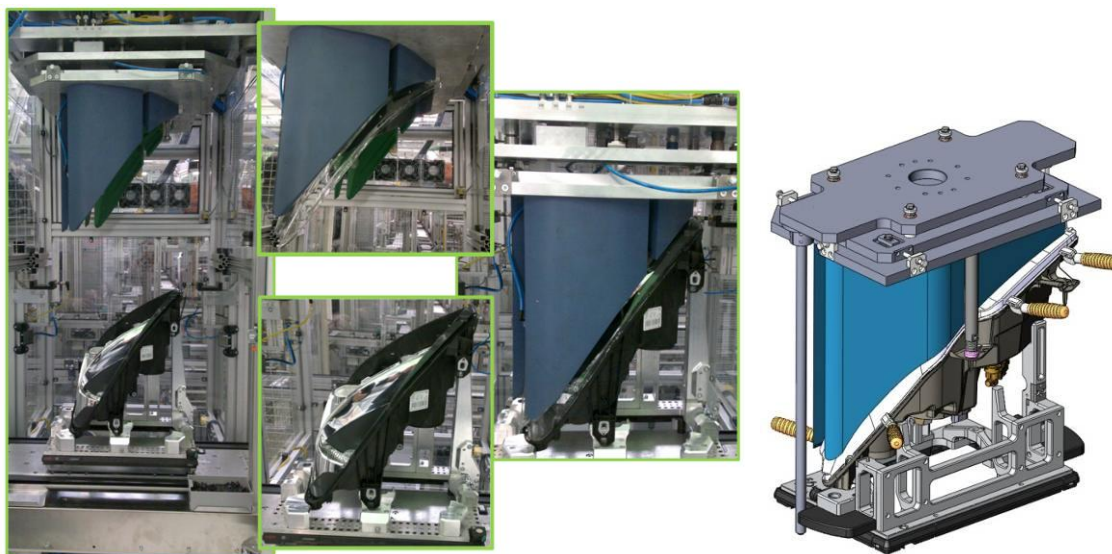


Graf č.8: Procentuelní vyjádření shody predikovaného výrobního smrštění a dodatečného smrštění v bodě S8 při dotlaku 3 sekundy

V grafech číslo 5 - 8 jsou zachyceny rozměrové změny dílce predikované softwarem MPI do času odformování (levá část grafu) a rozměrové změny naměřené bezdotykovou technologií ATOS III Triple Scan na reálném dílci 5 minut po odformování (pravá část grafu). Mezi hodnotami jsou znatelné rozdíly vyjadřující neshodu deformací ve zvolených bodech mezi jednotlivými technologiemi, která je procentuálně vyjádřena. Souhrnně lze konstatovat, že na základě grafů číslo 5 – 8 je věrohodnost predikované deformace softwarem MPI od reálného stavu deformace 44 %.

3.11 OPTIMALIZACE VSTŘIKOVACÍCH PARAMETRŮ NA ZÁKLADĚ NAMĚŘENÝCH DAT REÁLNÝCH DÍLCŮ

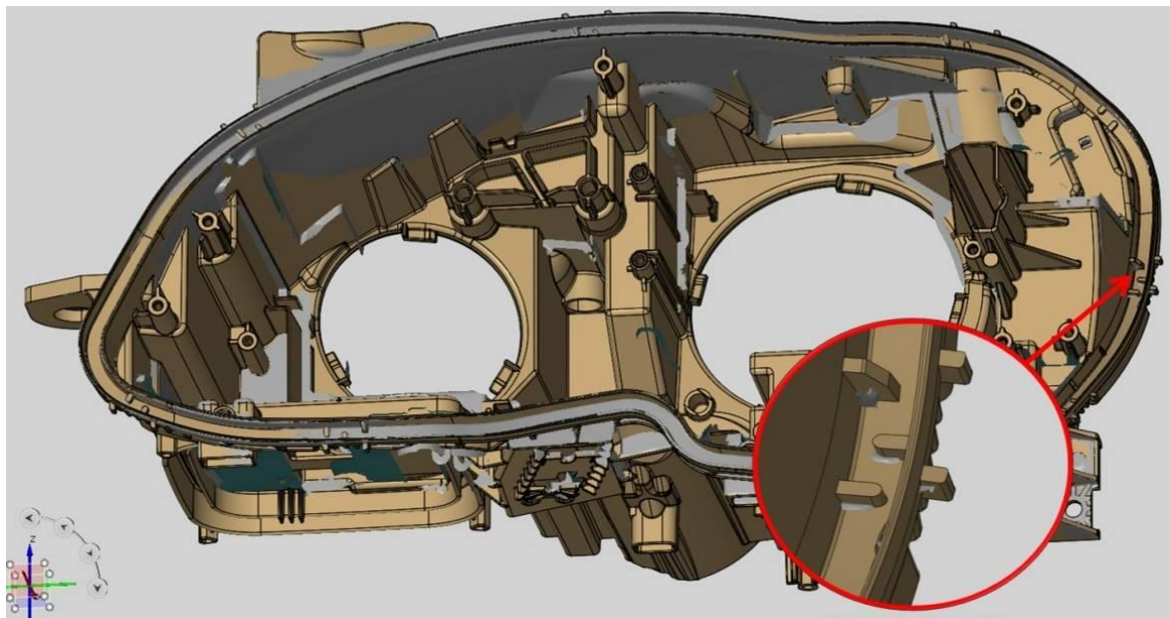
Při konstrukci tělesa světlometu se šířka lepícího kanálu nevolí libovolně. Tato drážka slouží pro nanesení lepidla a zapolohování skla v tělese světlometu. Důvodem je možnost odtoku lepidla vytlačeného sklem při jeho dosednutí do kanálu a zároveň zajištění stoprocentního navedení skla na těleso při procesu natlačování (obr. 56). Sestavené sklo s rámečkem je po procesu natlačení skla ještě manuálně zajištěno k tělesu světlometu po jeho obvodě pomocí sponek (obr. 56).



Obr. 56: Proces poloautomatického natlačení skla do tělesa světlometu (vlevo) + sponkování (vpravo)

Z uvedených důvodů je šířka lepícího kanálu předimenzovaná, aby zmíněné bylo zaručeno. To do jisté míry umožňuje kladení menšího důrazu na dodržení přesnosti v osách Y, Z na rozdíl od osy X. Přesné dopolohování skla do tělesa světlometu v osách Y, Z je

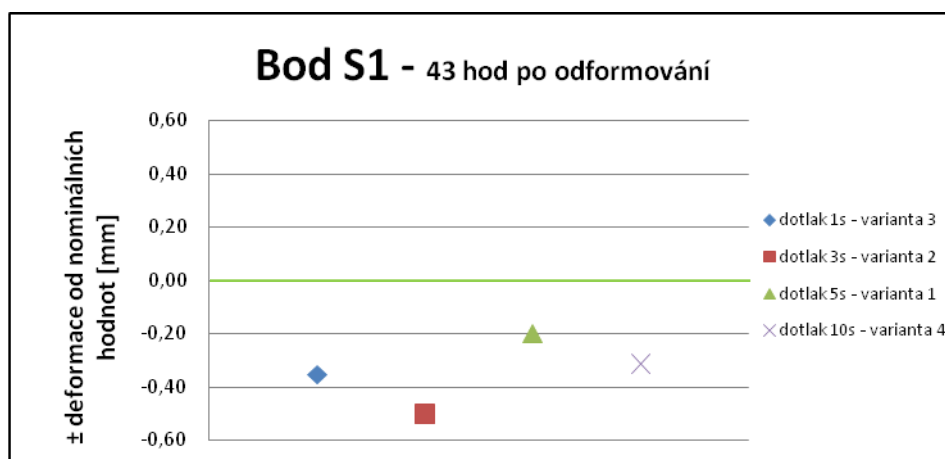
zajištěno pomocí korekčních žebírek na štěnách lepícího kanálu, které jsou po proměření dodatečně přidány, tzn. modifikovat nástroj. V ose X jsou taktéž voleny korekční žebírka (obr. 57).



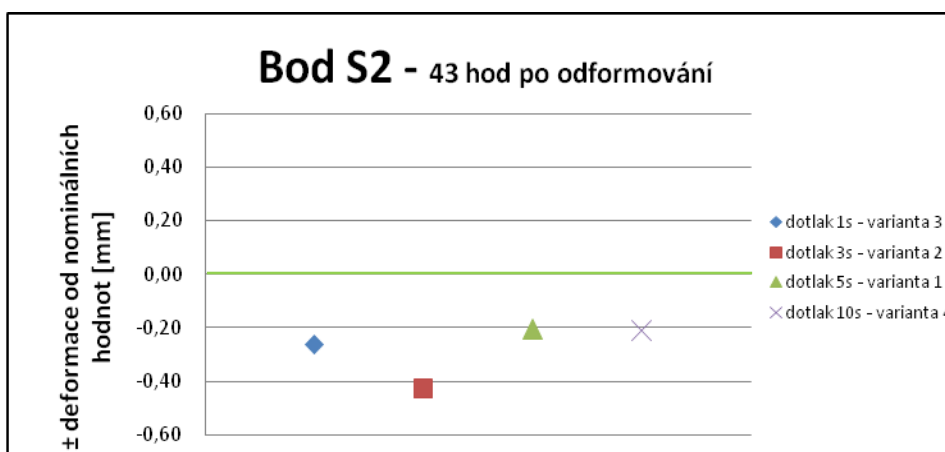
Obr. 57: Vizualizace korekčních žebírek v lepícím kanálu u projektu DCW 204 Mopf Halogen

Optimalizace dotlaku je z výše uvedených důvodů možná hlavně na základě geometrických deformací v ose X u všech zvolených modifikací dotlaku. Je potřeba si uvědomit nutnost posuzování vhodnosti určitého dotlaku až na základě vyrelaxovaného dílce, v našem případě na dílci reálně oskenovaném do 43 hodin.

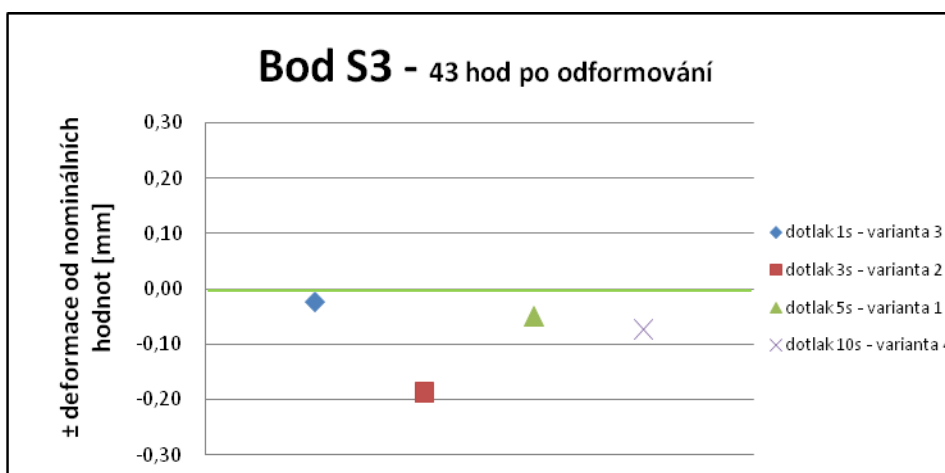
V následujících grafech č. 9-14 jsou zobrazeny hodnoty deformací dílce v jednotlivých bodech 43 hodin po odformování. Nomální hodnota, resp. hodnota CAD dat jednotlivých bodů je stanovena jako nula zviditelněna zelenou čarou. Jednotlivé difference v ose X jsou záporné od nominálu. Z velikosti vzdálenosti bodů (skenem naměřené hodnoty deformací u jednotlivých dotlaků) od nominální hodnoty budeme schopni posoudit, jaký dotlak je pro vstřikovací proces vhodný, resp. zda-li bude lepší setrvat na stávající standardní hodnotě dotlaku 5 sekund, nebo bude možné čas dotlaku zkrátit při dosažení stejné jakosti a zkrátit tak dobu vstřikovacího cyklu.



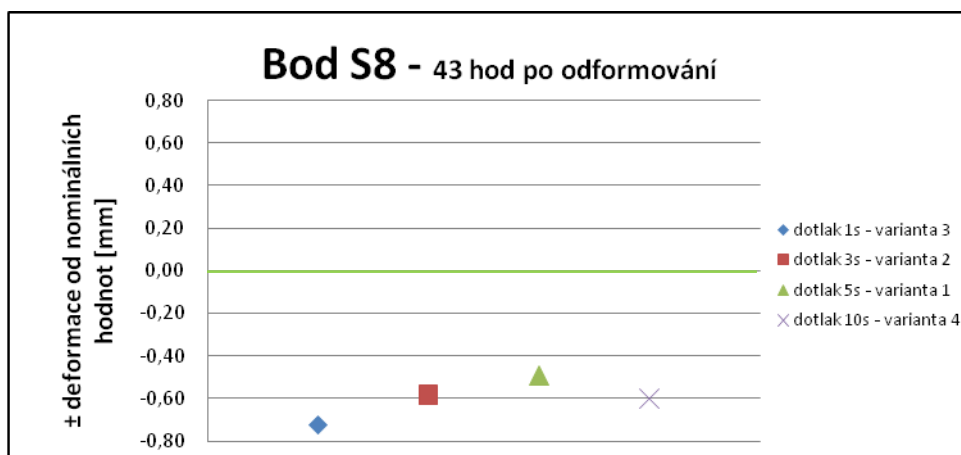
Graf 9: Hodnoty deformací bodu S1 po 43 hod. pro všechny stanovené časy dotlaků



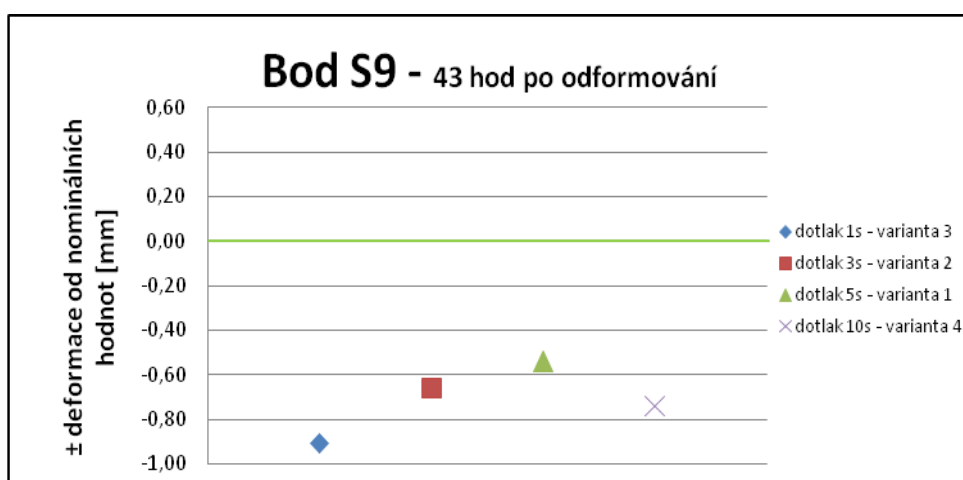
Graf 10: Hodnoty deformací bodu S2 po 43 hod. pro všechny stanovené časy dotlaků



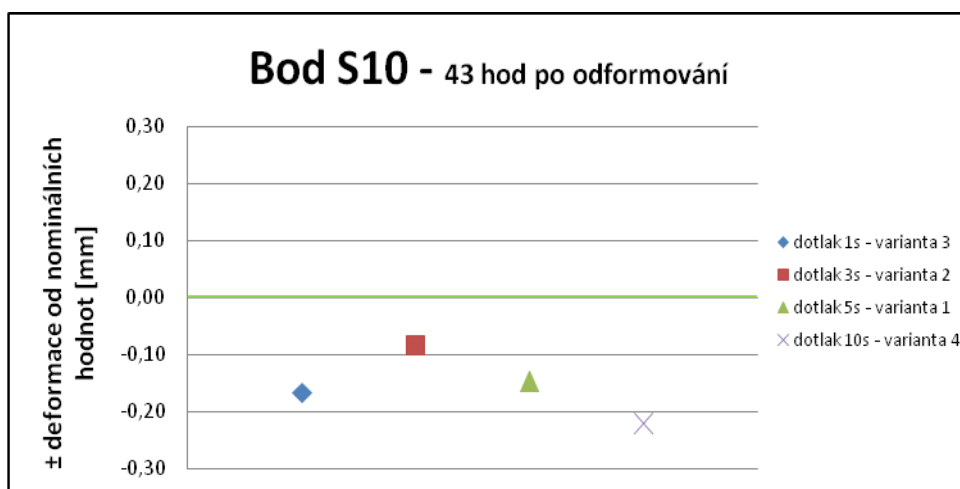
Graf 11 : Hodnoty deformací bodu S3 po 43 hod. pro všechny stanovené časy dotlaků



Graf 12: Hodnoty deformací bodu S8 po 43 hod. pro všechny stanovené časy dotlaků



Graf 13: Hodnoty deformací bodu S9 po 43 hod. pro všechny stanovené časy dotlaků



Graf 14: Hodnoty deformací bodu S10 po 43 hod. pro všechny stanovené časy dotlaků

3.11.1 Diskuze optimalizace vstřikovacích parametrů

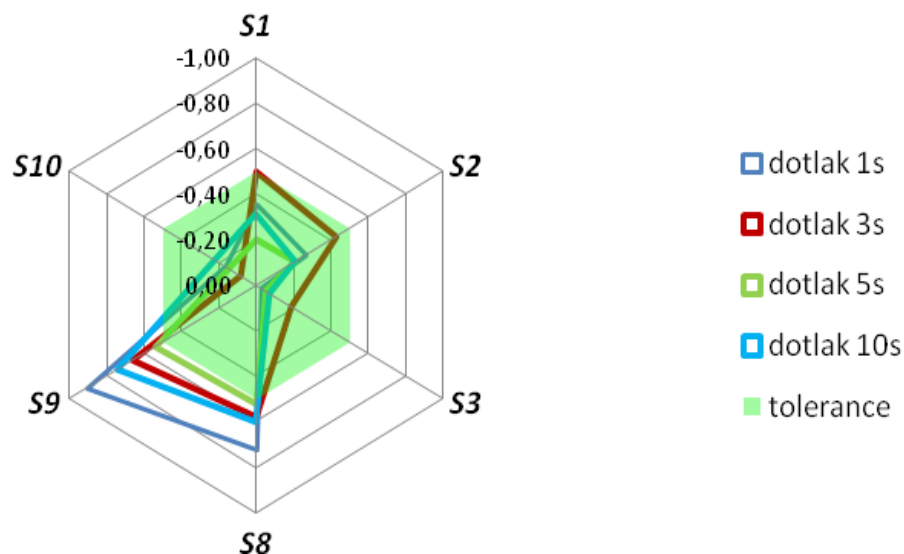
Z grafů č. 9 - 14 je zřetelné, že dochází ke změnám jmenovitých rozměrů vlivem ochlazování ze zpracovatelských teplot. Naměřené hodnoty od hodnot nominálních v ose X jdou do záporných hodnot, jedná se tedy o smrštění.

Pro výrobce těles světlometů, tedy ALCZ ale i jejich subdodavatele v případě jiných projektů je rozhodující kompletně vystříknutý dílec bez jakýchkoliv jakostních vad a samozřejmě výsledné rozměry na vyrelaxovaném dílci, v našem případě na dílci skenovaném 43 hodin po odformování. Nyní jsou v ALCZ odladěny parametry dle karty výrobních parametrů (příloha č. 4), s časem dotlaku 5 sekund a celkovým vstřikovacím cyklem 57 sekund. Snahou je tento cyklus zkrátit. Ze zkušenosti ALCZ jsou nejproblematictější místem na tělese lepící kanál, který podléhá největším rozměrovým deformacím. Oskenováním lepícího kanálu a následným vygenerováním protokolů v softwaru *GOM inspect V7 SR2* byla vizuálně potvrzena největší deformace lepícího kanálu včetně možnosti určení nejproblémovějších bodů na horní a dolní stěně tělesa.

Při změně času dotlaku na časy kratší, bylo prvotním předpokladem zhoršení rozměrové přesnosti a naopak. Čím delší doba dotlaku bude na taveninu působit, tím přesnějších rozměrů by mělo být dosaženo. Dle MPI tento předpoklad souhlasil pouze pro horní stěnu dílce v bodech $S1$, $S2$, $S3$. U spodní stěny tento předpoklad podle MPI nekorespondoval. Dle zmíněné úvahy by měly být tedy časy dotlaků řazeny v záporných hodnotách od 10 sekundového dotlaku směrem k 1 sekundovému. V grafech č. 9-14 je viditelné potlačení tohoto předpokladu na reálném dílci.

Při optimalizaci bude posuzováno, jestli naměřená hodnota v bodě na lepícím kanále bude v toleranci či nikoliv při různých časech dotlaku (graf 15).

Deformace v bodech



Graf č. 15: Deformace v ose X v nejproblémovějších bodech lepicího kanálu v různých časech dotlaku po 43 hodinách

Z grafu je zřejmé, že všechny zvolené časy dotlaku vyhovují toleranci $\pm 0,5$ mm v bodech S1, S2, S3, S10, nikoliv v bodech S8, S9. Tyto body můžeme hodnotit jako *nejkritičtější*. Limitující pro volbu vhodnosti jednotlivých parametrů jsou hodnoty deformací v nejkritičtějších bodech S8, S9. Zmíněné body vykazují vyšší hodnoty deformace než hodnota tolerující $\pm 0,5$ mm ve všech zvolených časech dotlaků (časy dotlaků pod i nad standardním 5 sekundovým dotlaku).

Analýza deformace v nejkritičtějších bodech dílce:

dotlak 1 sekunda - v bodech S8 a S9 takto krátký čas dotlaku zapříčiňuje deformace přesahující tolerující hranici o 0,22 mm v bodě S8 a 0,41 mm v bodě S9. To je z hlediska kvality nedostačující tzn., že tuto hodnotu dotlaku není možné použít.

dotlak 10 sekund - předpokladem 10 sekundového dotlaku je, že deformace bude všeobecně menší ve všech definovaných bodech v porovnání s ostatními časy dotlaků. Primárně byl tento čas dotlaku vybrán pro potvrzení předpokladu minimální změny geometrické přesnosti oproti dotlaku standardnímu 5 sekundovému nebo kratších. Ve skutečnosti po oskenování jsou však deformace při 10 sekundovém dotlaku větší, než při 3 sekundovém dotlaku v bodech S8, S9, S10 a větší ve všech definovaných bodech

oproti standardnímu 5 sekundovému dotlaku. V bodě S8 jsou deformace dílce větší od tolerované hodnoty o 0,1 mm a v bodě S9 o 0,24 mm. Modifikace času dotlaku na 10 sekund by bylo kontraproduktivní, protože by přineslo prodloužení vstřikovacího cyklu včetně markantního zhoršení geometrické přesnosti dílce.

dotlak 5 sekund – je standardní doba dotlaku užívaná v ALCZ pro projekt DCW 204 Mopf halogen. Dle grafu č.15 je tento dotlak nevyhovující opět v bodech S8 o 0,02 mm a S9 o 0,04 mm. Takto naměřené deformace na tělese v definovaném bodě je na protokolu z měrového oddělení společnosti ALCZ již označeno červeně, jako nevyhovující. Nicméně deformace v těchto kritických bodech je tak malá, že je možné ji zanedbat a stanovit tak tento čas dotlaku jako **vyhovující**. Tím je potvrzena jednoznačná vhodnost současného 5 sekundového dotlaku z pohledu deformací v ose X. Velice blízké hodnoty 5 sekundového dotlaku jsou hodnoty dotlaku 3 sekundového. Deformace v nejkritičtějších bodech jsou větší, než při dotlaku standardním. Deformace jsou větší o 0,08 mm v bodě S8 a 0,16 mm v bodě S9 než maximální tolerance. V případě snahy zkrácení vstřikovacího cyklu je to jediný čas dotlaku kratší než čas standardní, který přesahuje tolerovanou mez deformace pouze ve dvou bodech v takto malých hodnotách překračující tolerovanou deformaci. Proto je nutné se pozastavit nad možností využití tohoto času dotlaku za účelem zkrácení vstřikovacího cyklu o 2 sekundy.

Prvotně je nutné si uvědomit, že nikdy nedosáhneme geometricky ideálně přesného protikusu, v případě světlometu skla. Sklo je vyráběné z polykarbonátu (PC), u kterého je předpokládáno také určité výrobní smrštění (tab. 2). Deformace o velikosti 0,1 mm není tedy vzhledem k dodržení požadované přesnosti limitující a dá se s ní vypořádat po proměření smontovaného světlometu, kdy sklo může být deformované ve stejném místě ale v opačném směru a přesahující deformaci na tělese tak vyrovnat. V jiném případě je možnost doladění rozměrů pomocí korekčních žebírek (obr. 57). Tím bude také dosaženo přesných rozměrů zaručující požadované slícování světlometu s karoserií automobilu.

3.12 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ OPTIMALIZACE

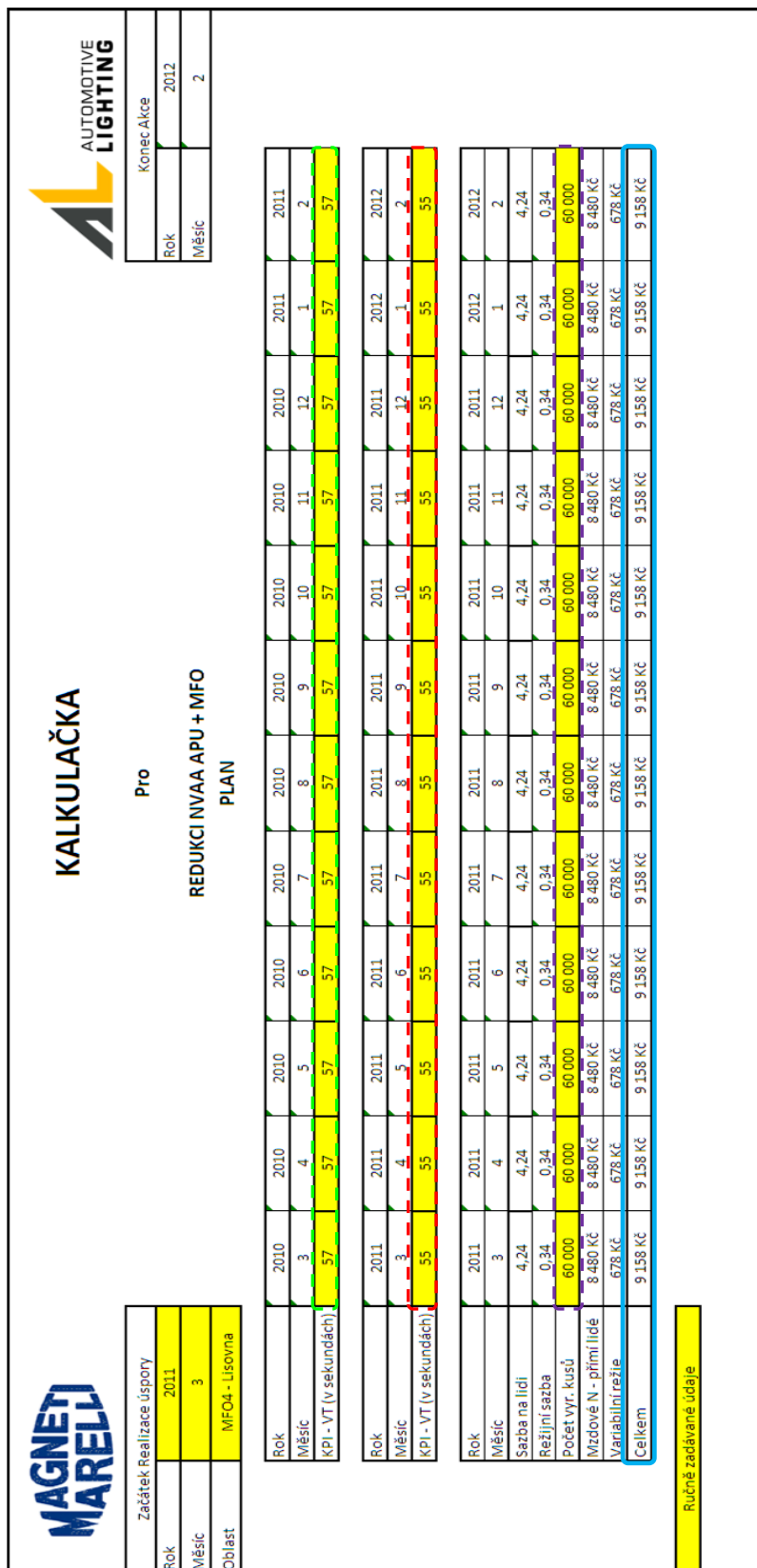
Čas vstřikovacího cyklu je v současné době pro hodnocený projekt DCW 204 Mopf halogen 57 sekund. Standardní doba užitého času dotlaku je 5 sekund. Modifikací času dotlaku na 3 sekundy se vstřikovací cyklus zkrátí na 55 sekund. Plánovaná produkce je 30 000 sad měsíčně (levá + pravá strana) po dobu 4 let, kdy má přijít na trh nová verze světlometu označovaná DC W203 Mopf. Celkem tedy hovoříme o produkci 1 440 000 sad těles světlometů do konce sériové výroby tohoto projektu ve společnosti ALCZ. Pro snazší výpočet a konečné ověření technicko-ekonomického zhodnocení je použita kalkulačka využívána předvýrobním odd. společnosti ALCZ (obr. 58). V kalkulačce jsou zadány hodnoty ceny obsluhy a režijní sazby lisu platné na následující kalendářní rok.

Cena obsluhy lisu: 4,24 Kč / min.

Režijní sazba lisu: 0,34 Kč / min. (elektrická energie, režijní materiál)

V dalších třech letech se ceny mohou lišit. Následně výsledek úspory 2 sekund na základě optimalizace doby dotlaku v průběhu celé 4 leté životnosti projektu tedy nebude plně exaktní.

Dle výsledku kalkulace se jedná o úsporu 9158 Kč / měsíčně. Roční úspora na základě zkrácení vstřikovacího cyklu tedy bude 109 896 Kč / rok, za předpokládané produkční období projektu by úspora činila 439 584 Kč. Do kalkulace není započten zisk za větší produkce schopnost stroje z důvodu neznámosti prodejní ceny tělesa světlometu. V jiném případě je možnost nahlížet na úsporu 2 sekund při vstřikovacím cyklu jako možnosti vyrobení požadovaného počtu kusů v kratším výrobním období s následnou vyšší využitelností vstřikovacího lisu na jiném projektu. Z uvedeného jsou zřejmé další finančního benefity na základě zkrácení vstřikovacího cyklu.



4 ZÁVĚR

U projektu DCW 204 Mopf Halogen je za nejproblémovější část považován lepicí kanál, který podle konstrukčního oddělení ALCZ podléhá největší deformaci v ose X . Deformace v této ose stěžuje kompletaci tělesa světlometu se sklem a následné finální slícování vmontovaného světlometu do karoserie automobilu. Práce je zaměřena především na lepicí kanál tělesa světlometu s použitím bezdotykové technologie měření s účelem seznámení managementu ALCZ s tímto zařízením a názornosti využití 3D digitalizace plastových výrobků při inspekci plastového výlisků.

Cílem této práce bylo využít moderních technologií aplikovaných v současném průmyslu a to softwarové simulační analýzy vstřikování Moldflow Plastic Insight 6.0 a bezdotykového měřicího zařízení ATOS III Triple Scan pro zjištění deformace plastového tělesa světlometu s časem před a po odformování při užití různých časů dotlaků při lisování dílce. První měření probíhalo na základě softwarového výpočtu deformace v ose X v době 43 sekund od vstřiku taveniny do nástroje a po odformování dílce. Následně bylo na reálně vylisovaném dílci provedeno měření, kdy první probíhalo 5 minut po odformování dílce. Další měření probíhalo s odstupem několika hodin, poslední po dvou dnech mimo prostory ALCZ. Na základě uvedeného bylo provedeno porovnání predikce deformace simulační analýzy s reálnou deformací tělesa světlometu vyrobeným za stejných časů dotlaku. Tím získáme možnost představy o přesnosti softwarové analýzy co se predikce deformací plastové dílce týče s deformací reálnou. Porovnání bylo provedeno na základě deformace v ose X v libovolně vybraných bodech lepicího kanálu tělesa světlometu, kdy výsledná shoda predikované a skutečné deformace je 44 %.

Pomocí získaných dat v různých časových intervalech skenování bylo možné pozorovat exponenciální průběh deformace v prvních hodinách po odformování. Postupně průběh získává nepatrnou dávku linearitu až do poslední hodnoty získané skenem dílce do 43 hodin po odformování. Největší deformace na dílci znatelně probíhají v prvních hodinách po odformování, kdy deformace s postupem času klesá. Dle naměřených hodnot dochází k největším deformacím na dolní stěně světlometu oproti stěně horní. Jedním z důvodů tohoto jevu je samotná geometrie plastového dílce.

Získané informace o deformaci oskenovaného dílce v ose X v rámci vybraných bodů lepicího kanálu při různých časech dotlaku poskytlo možnost optimalizace tohoto

parametru za účelem zkrácení výrobního cyklu. Pro zákazníka jsou nejdůležitější finální rozměry zkompleťovaného světlometu zamontovaného v karoserii automobilu. Optimalizaci proto bylo možné posuzovat pouze na základě deformací tělesa skenovaného do 43 hodin po odformování (poslední sken dílce), kdy je předpokladem celkové vyrelaxování dílce. Jako nejkritičtější body vyšli body S8 a S9 ve všech zvolených časech dotlaku. V současné době je využíváno při vstřikovacím procesu 5 sekundový čas dotlaku s celkovým vstřikovacím cyklem 57 sekund. Cílem bylo tento čas dotlaku zkrátit a dosáhnout tak zkrácení celého vstřikovacího procesu resp. zvýšení výrobního taktu. Z hlediska velikosti deformace a možné rozměrové tolerance vyšlo nejlépe pro optimalizaci 3 sekundový dotlak. Při tomto dotlaku je maximální tolerovaná deformace překročena o 0,08 mm v bodě S8 mm a 0,16 mm v bodě S9 lepicího kanálu. Zbytek zvolených bodů lepicího kanálu tolerovanou hranici při tomto dotlaku nepřekročilo.

Prvotně je nutné si uvědomit nemožnost dosažení geometricky ideálně přesného protikusu, v případě tělesa světlometu tedy skla. Sklo je vyráběné z polykarbonátu, které také podléhá geometrickým deformacím. Deformace mohou být ve stejném místě, ale v opačném směru a přesahující deformace nad tolerovanou mez na tělese tak vyrovnat. Při lisování skla do deformovaného tělesa světlometu definovanou silou je možné tuto deformaci také eliminovat díky poddajnosti polykarbonátového skla. Tím bude také dosaženo přesných rozměrů zaručující slícování světlometu s karoserií automobilu. Zkrácení času dotlaku na 3 sekundy a dosáhnout tak snížení výrobního cyklu resp. zvýšení výrobního taktu je možné. Přínosem je ušetření financí při jednom zdvihu lisu. Při předpokládané měsíční produkci 30 000 světlometů a délce sériové výroby tohoto typu světlometu v ALCZ je finanční zisk přibližně 439 600 Kč. Do kalkulace není započten zisk za větší produkce schopnost stroje a schopnost vyrobení požadovaného počtu kusů v kratším výrobním období s následnou vyšší využitelností vstřikovacího lisu na jiném projektu.

5 RESUMÉ

Tato práce se primárně zabývá optimalizací vstřikovacího procesu platového tělesa světlometu projektu DCW 204 Mopf halogen. Pro optimalizaci byl zvolen parametr doba dotlaku taveniny v nástroji. Sleduje se deformace v ose X v nejproblémovějších bodech tělesa pomocí bezdotykové technologie měření. Dále byla využita simulační analýza pro predikci deformace plastového tělesa světlometu do doformování při všech zvolených časech dotlaků. Tato predikovaná deformace byla následně porovnána s deformací na reálně vylisovaném a následně oskenovaném dílci. To umožnilo komparaci deformace softwarové analýzy, která je v průmyslu využívána ve fázi designu nástroje, s reálným stavem dílce po odformování. Pomocí zvolení různých časových intervalů jednotlivých skenů plastového dílce byl sledován průběh deformace v závislosti na čase.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MLEZIVA, Josef. *Polymery-výroba, struktura, vlastnosti a použití*. Praha: Sobotáles, 1993. 525 s. ISBN 80-901570-4-1
- [2] LENFELD, Petr. *Technologie II.-2 část*. Liberec: TU v Liberci, 2005. 139 s. ISBN 80-7372-037-X
- [3] SOVA, Miloš. KREBS, Josef. a kol. *Termoplasty v praxi I, II*. Praha: Nakladatelství s.r.o. v Praze, 1999-2004. CD
- [4] KOLOUCH, Jan. *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním*. Praha: SNTL, 1986. 232 s.
- [5] KREBS, Josef. *Teorie zpracování nekovových materiálů-část I*. Liberec : TU v Liberci, 2006. 250 s. ISBN 80-7083-074-3
- [6] ŠTĚPEK, Jiří; ZELINGER, Jiří; KUTA, Antonín . *Technologie zpracování a vlastnosti plastů. 1 vydání*. Praha, Bratislava: SNTL, ALFA, 1989. 638 s. ISBN DT678.5(075.8)
- [7] ŠAFARÍK, Miloslav. *Nástroje pro tváření kovů a plastů*. Liberec: Vysoká škola strojní a textilní v Liberci, 1991. 181 s.
- [8] ŠUBA, Oldřich. *Dimenzování a navrhování výrobků z plastů*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2005. 112 s. ISBN 80-7318-287-4
- [9] KUPCOVÁ, Lenka. *Aplikace moderních metod pro sledování změn plastového dílu po vyrobení*. Liberec: TU v Liberci, 2009. 68 s.
- [10] SKOUPY Pavel. *3D Optické měření a skenovací systém pro strojírenství*. Diplomová práce. Brno: VUT-FSI, 2007. 64 s.
- [11] *Optical Measuring Techniques* [online]. 2010 [cit. 2010-08-10] Dostupné z World Wide Web: <<http://www.mcae.cz>>.
- [12] *3D digitální technologie* [online]. 2010 [cit. 2010-08-15] Dostupné z World Wide Web: <<http://www.mcae.cz>>.
- [13] Optický scanner v průmyslové praxi. *MM Průmyslové spektrum*. 2008, 6, s 2.

- [14] Digitalizace-její princip. *MM Průmyslové spektrum*, 2004, 6, s 2.
- [15] LENFELD, Petr. *Nástroje pro zpracování plastů* [online]. Studijní opory TU v Liberci, Fakulta strojní, 2005, Dostupné na World Wide Web: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/>.
- [16] JÁGROVÁ, Jitka; MARVALOVÁ, Bohdana . *Inovace předmětů studijních programů strojního inženýrství v oblasti teplotního namáhání*. Liberec: TU v Liberci, 2007
- [17] ALCZ General presentation. Automotive lighting s.r.o. Jihlava. Czech Republic, Zář 2007
- [18] PROKEŠ Radim. *Optimalizace tloušťky stěny tělesa světlometu*. Diplomová práce v oboru „Strojírenská technologie – tváření“. Brno: VUT-FSI, Ústav strojírenské technologie. 2010. 56 s.
- [19] SMARTPLAST [online]. 2010 [cit. 2011-01-15] Dostupné z World Wide Web: <<http://www.smartplast.cz/software.php>>.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Označení	Legenda	Jednotka
T_g	Teplota zesklnění	[°K]
T_f	Teplota viskózního toku	[°K]
T_m	Teplota tání	[°K]
T_z	Teplota degradace	[°K]
T_{tav}	Teplota taveniny	[°K]
p_i	Vnitřní tlak	[MPa]
t_{s1}	Doba uzavírání formy	[s]
t_{s2}	Doba přísuvu vstřikovací jednotky k formě	[s]
t_{s3}	Doba otevírání formy	[s]
t_m	Doba otevření formy	[s]
t_v	Doba vstřikování	[s]
t_d	Doba dotlaku	[s]
t_{pl}	Doba plastikace	[s]
t_{ch}	Doba chlazení	[s]
VS	Výrobní smrštění	[%]
L_f	Rozměr formy	[m]
L_v	Odpovídající rozměr výstřiku	[m]
DS	Dodatečné smrštění	[%]
L_{v0}	Výchozí rozměr výstřiku před expozicí	[mm]
L_{v1}	Konečné rozměry výstřiku po expozici	[mm]
RE	Reverse Engineering	
PE	Polyethylen	
PP	Polypropylen	
PS	Polystyren	
PVC	Polyvinylchlorid	
PA	Polyamid	
CAD	Computer - aided design	

CAM Computer - aided manufacturing

3D 3 dimensional

2D 2 dimensional

SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ

Obrázek	Str.
Obr. 1: Schéma rozdělení plastů	13
Obr. 2: Vznik polymeru následným řazením monomerů	14
Obr. 3: Etapy výroby a zpracování plastu	14
Obr. 4: Molekulární struktura plastů	15
Obr. 5: Termodynamické vlastnosti polymerů	16
Obr. 6: Kulový útvar – SFÉROLIT	20
Obr. 7: Vstřikovací šnek	21
Obr. 8: Diagram průběhu tlaku během vstřikovacího cyklu	22
Obr. 9: Postup plnění dutiny formy taveninou, laminární tok taveniny plastu	24
Obr. 10: Vliv nejvýznamnějších faktorů na smršťení	28
Obr. 11: Průběh rozměrových změn výstřiku	29
Obr. 12: 3D souřadnicové měřicí systémy	34
Obr. 13: Využití optické digitalizace při vstřikování plastů	34
Obr. 14: Projekce paternu na povrch skenovaného dílce	35
Obr. 15: Automatizovaný proces měření průmyslovým robotem Kuka	35
Obr. 16: Generovaná polygonální síť	36
Obr. 17: Výškově stavitelný stativ měřicí hlavy ATOS	37
Obr. 18: Letecký snímek jihlavského závodu Automotive Lighting s.r.o	39
Obr. 19: Portfolio nejvýznamnějších zákazníků společnosti ALCZ	40
Obr. 20: Projekt DCW 204 Mopf Halogen	41
Obr. 21: Umístění bodových vtoků na tělese světlometu	41
Obr. 22: Těleso světlometu s vyznačenými oblastmi	42
Obr. 23: Predikovaná celková deformace dle MF analýzy na tělese při i dotlaku 1s...	51
Obr. 24: Predikovaná deformace v ose X dle MF analýzy na tělese při dotlaku 1s.	51
Obr. 25: Predikovaná celková deformace dle MF analýzy na tělese při dotlaku 3s.	52
Obr. 26: Predikovaná deformace v ose X dle MF analýzy na tělese při dotlaku 3s.	52
Obr. 27: Predikovaná celková deformace dle MF analýzy na tělese při dotlaku 5s.	53

Obr. 28: Predikovaná deformace v ose X dle MF analýzy na tělese při dotlaku 5s.	53
Obr. 29: Predikovaná celková deformace dle MF analýzy na tělese při dotlaku 10s. ...	54
Obr. 30: Predikovaná deformace v ose X dle MF analýzy na tělese při dotlaku 10s. ...	54
Obr. 31: Koncepce měřicího přípravku	55
Obr. 32: Sestava měřicího zařízení	57
Obr. 33: Naprášení lepícího kanálu křídovým sprejem	58
Obr. 34: Projekce světelného vzoru (modré pruhy) na uložený dílec v přípravku	58
Obr. 35: Vizualizace generovaných protokolů	59
Obr. 36: Příklad vyhodnocení měřeného bodu	60
Obr. 37: Vizualizace protokolu s vynesemím finální odchylky v daném bodě	61
Obr. 38: 3D data skenu vs. CAD pro dílec 1.1d s modifikací dotlaku na 1s.	62
Obr. 39: Predikovaná deformace dílce v ose X v čase odformování při dotlaku 1s.	64
Obr. 40: Predikovaná deformace dílce v ose X v čase odformování při dotlaku 3s.	64
Obr. 41: Predikovaná deformace dílce v ose X v čase odformování při dotlaku 5s.	65
Obr. 42: Predikovaná deformace dílce v ose X v čase odformování při dotlaku 10s.	65
Obr. 43: Predikovaná deformace dílce v bodě S1 u zvolených modifikací dotlaku (1, 3, 5, 10s)	66
Obr. 44: Predikovaná deformace dílce v bodě S2 u zvolených modifikací dotlaku (1, 3, 5, 10s)	67
Obr. 45: Predikovaná deformace dílce v bodě S3 u zvolených modifikací dotlaku (1, 3, 5, 10s)	67
Obr. 46: Predikovaná deformace dílce v bodě S8 u zvolených modifikací dotlaku (1, 3, 5, 10s)	67
Obr. 47: Predikovaná deformace dílce v bodě S9 u zvolených modifikací dotlaku (1, 3, 5, 10s)	68
Obr. 48: Predikovaná deformace dílce v bodě S10 u zvolených modifikací dotlaku (1, 3, 5, 10s)	68
Obr. 49: Průběh deformace dílce v bodě S1 u všech zvolených modifikací dotlaku ..	71
Obr. 50: Průběh deformace dílce v bodě S2 u všech zvolených modifikací dotlaku ..	71
Obr. 51: Průběh deformace dílce v bodě S3 u všech zvolených modifikací dotlaku ..	72
Obr. 52: Průběh deformace dílce v bodě S8 u všech zvolených modifikací dotlaku ..	72
Obr. 53: Průběh deformace dílce v bodě S9 u všech zvolených modifikací dotlaku ..	72

Obr. 54: Průběh deformace dílce v bodě S10 u všech zvolených modifikací dotlaku..	73
Obr. 55: Postup plnění taveniny do dutiny formy	76
Obr. 56: Proces poloautomatického natlačení skla do tělesa světlometu + sponkování ..	79
Obr. 57: Vizualizace korekčních žebírek v lepícím kanálu u projektu DCW 204 Mopf Halogen	80
Obr. 58: Kalkulačka předvýrobního odd. ALCZ pro zkrácení času vstřikování cyklu ...	87

Graf

Graf 1	Modifikace času dotlaku na 1 sekundu (cyklus čas 52 sekund)	46
Graf 2	Modifikace času dotlaku na 3 sekundy (cyklus čas 55 sekund)	46
Graf 3	Standardní doba dotlaku 5 sekund (čas cyklu 57 sekund)	46
Graf 4	Modifikace času dotlaku 10 sekund (cyklus čas 52 sekund)	46
Graf 5	Procentuelní vyjádření shody predikovaného výrobního smrštění a dodatečného smrštění v bodě S2 při dotlaku 1 sekunda	77
Graf 6	Procentuelní vyjádření shody predikovaného výrobního smrštění a dodatečného smrštění v bodě S8 při dotlaku 1 sekunda	78
Graf 7	Procentuelní vyjádření shody predikovaného výrobního smrštění a dodatečného smrštění v bodě S2 při dotlaku 3 sekundy	78
Graf 8	Procentuelní vyjádření shody predikovaného výrobního smrštění a dodatečného smrštění v bodě S8 při dotlaku 3 sekundy	78
Graf 9	Hodnoty deformací bodu S1 po 43 hod. pro všechny stanovené časy dotlaků	81
Graf 10	Hodnoty deformací bodu S2 po 43 hod. pro všechny stanovené časy dotlaků	81
Graf 11	Hodnoty deformací bodu S3 po 43 hod. pro všechny stanovené časy dotlaků	81
Graf 12	Hodnoty deformací bodu S8 po 43 hod. pro všechny stanovené časy dotlaků	82
Graf 13	Hodnoty deformací bodu S9 po 43 hod. pro všechny stanovené časy dotlaků	82
Graf 14	Hodnoty deformací bodu S10 po 43 hod. pro všechny stanovené časy dotlaků	82
Graf 15	Deformace v ose X v nejproblémovějších bodech lepícího kanálu v různých časech dotlaku po 43 hodinách	84

Tabulka

Tab. 1: Volba plastu pro automobilové komponenty	18
Tab. 2: Tabulka výrobních smrštění některých termoplastů	27
Tab. 3: Vybrané fyzikální a mechanické vlastnosti materiálu Tecnoprene VKM 24	43
Tab. 4: Standardní nastavení vstřikovacích parametrů	44
Tab. 5: Parametry vstřikovacího lisu užitého při lisování ES 5550/900 DUO	47
Tab. 6: Časové uspořádání jednotlivých skenů dílce pro 1 variantu	48
Tab. 7: Časové uspořádání jednotlivých skenů dílce pro 2 variantu	48
Tab. 8: Časové uspořádání jednotlivých skenů dílce pro 3 variantu	49
Tab. 9: Časové uspořádání jednotlivých skenů dílce pro 4 variantu	49
Tab. 10: Hodnoty difference dílce v ose X od nominálních hodnot – CAD dat (dle MPI)	66
Tab. 11: Výsledné hodnoty difference dílce v ose X od nominálních hodnot – CAD dat (dle skenů ATOS III Triple Scan)	70

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Rozpad světlometu DCW 204 Mopf Halogen
Příloha 2	Vertikální polohování světelného kužele světlometu
Příloha 3	Materiálový list Tecnoprene VKM24
Příloha 4	Karta vstřikovacích parametrů
Příloha 5	Technický výkres přípravku
Příloha 6	Měřicí přípravek pro skenování dílců
Příloha 7	Proložení skenu 3D daty
Příloha 8	Technický výkres tělesa světlometu
Příloha 9-23	Protokoly jednotlivých skenů
Příloha 24	Naměřené hodnoty v jednotlivých bodech s průměrným vyhodnocením jednotlivých bodů