

Význam Moldflow analýzy při konstrukci a optimalizaci vstřikovacích forem

Bc. Lukáš Kulhavý

Diplomová práce
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Lukáš Kulhavý**
Osobní číslo: **T13527**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Význam MOLD FLOW analýzy při konstrukci
a optimalizaci vstřikovacích forem**

Zásady pro vypracování:

1. **MOLD FLOW analýzy**
2. **Vliv polohy vtoku na kvalitu výrobku, studené spoje, odzdušnění, pálení výstřiku vlivem diesel efektu**
3. **Vliv konstrukce výrobku na deformaci, očekávaná rizika na základě analýzy**
4. **Porovnání vlastních analýz studenta na 5-ti realizovaných projektech s analýzami firmy PPT s.r.o.**
5. **Porovnání skutečných parametrů procesu vstřikování s analýzou**
6. **Návrh optimalizačních kroků při testování 5-ti realizovaných forem, shrnutí úspěšnosti**

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího DP

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Martin Ovsík, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

30. ledna 2015

Termín odevzdání diplomové práce:

13. května 2015

Ve Zlíně dne 30. ledna 2015


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně ..22.4...2015

.....
.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²³ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

²⁴ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídí k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Má diplomová práce pojednává o problematice vstřikovacího procesu s využitím simulačního softwaru Moldflow. V teoretické části se zabývám přiblížením softwaru Moldflow, možnostmi vtokových systémů, odvzdušněním a nežádoucími účinky, jako jsou studené spoje a dieselefekt.

V praktické části jsem vytvořil Moldflow analýzy. U vygenerovaných simulací jsem vyhodnocoval výsledné hodnoty deformací, smrštění, plnění, údaje o rozmístění a poloze studených spojů a vzduchových kapes s následnými optimalizačními návrhy pro lepší dosažení výsledků v procesu vstřikování. Poté jsem porovnával skutečný vstřikovací proces s Moldflow analýzou. V závěru práce je obsaženo shrnutí optimalizačních návrhů po odzkoušení vstřikovacích forem.

Klíčová slova: Moldflow, vtokový systém, odvzdušnění, studené spoje, dieselefekt

ABSTRACT

My master thesis deals with issues of injection process with the use of simulation software Moldflow. In teoretical part I dedicate to aproximation of Moldflow software, runner system options, venting and undesirable effects as weld lines and dieseleffect.

In practical part I made Moldflow analyses. I evaluated final values of deformations at generated simulations, shrinkage, filling, fact about placement and location of weld lines and air traps with consequential optimalizatin suggestion for better achievment of results in the process of injection. After that I compared real injection process with Moldflow analysis. In the end of thesis the summary of optimalization suggestions after the examination of injection molds is included.

Keywords: Moldflow, runner system, velting, weld lines, dieseleffect

Touto formou bych chtěl poděkovat panu Ing. Martinu Ovsíkovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady, obětavý přístup a hlavně za čas, který věnoval moji diplomové práci. Dále bych chtěl poděkovat společnosti PP&T za možnost realizace diplomové práce v rámci jejich problematiky, za věcné rady, které mi byly poskytnuty, věnovaný čas a profesionální přístup.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	12
I TEORETICKÁ ČÁST	13
1 MOLD FLOW ANALÝZY	14
1.1 EKONOMICKÁ ÚSPORA POMOCÍ SIMULAČNÍCH SOFTWARE	14
1.1.1 Největších úspor nákladů lze dosáhnout ve vývoji	14
1.2 VYHODNOCENÍ A OPTIMALIZACE DESIGNU PLASTOVÝCH DÍLŮ	15
1.3 PRODUKTOVÁ ŠKÁLA AUTODESK MOLDFLOW	16
1.4 SIMULACE	16
1.4.1 Simulace vtokového systému	17
1.4.2 Vytvoření vtokového systému.....	17
1.4.3 Vyvážení vtokového systému	17
1.4.4 Vytvoření temperančních systémů	20
1.4.5 Simulace temperace forem	20
1.4.6 Analýzy temperačních systémů.....	20
1.4.7 Analýzy toku taveniny	20
1.4.8 Vady výrobků.....	21
1.4.9 Analýza plnění	21
1.4.10 Simulace dotlaku	21
1.4.11 Simulace smrštění a deformace.....	22
1.4.12 Smrštění.....	22
1.4.13 Deformace	22
1.4.14 Analýza orientace vláken	22
1.5 SPOLUPRÁCE MOLDFLOW S JINÝMI CAD SOFTWARE A POŽÍVÁNÍ SÍTÍ	22
1.5.1 Import CAD modelu	23
1.5.2 Kontrola a oprava chyb	23
1.5.3 Nahrávání a exportování trajektorií	23
1.5.4 Autodesk Moldflow CAD Doctor	24
1.6 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ A NÁSTROJE PRO ZVÝŠENÍ PRODUKTIVITY.....	24
1.6.1 Autodesk Moldflow Communicator	24
1.6.2 Zobrazení výsledků v Autodesk Moldflow Adviser	24
1.6.3 Vizualizace dat	25
1.6.4 Nástroje pro vytvoření zpráv	25
1.6.5 Data a databáze materiálu	25
1.6.6 Cost Adviser.....	25
1.6.7 Design Adviser.....	25
1.7 SROVNÁNÍ PRODUKTŮ MOLDFLOW	26
1.7.1 AMA Autodesk Moldflow Adviser	27
1.7.2 AMI Autodesk Moldflow Insight.....	27
2 VLIV POLOHY VTOKU NA KVALITU VÝROBKU, STUDENÉ SPOJE, ODVZDUŠNĚNÍ, PÁLENÍ VÝROBKU VLIVEM DIESEL EFEKTU	28
2.1 VADY, PŘÍČINY VAD A JEJICH ODSTRANĚNÍ	29
2.2 VLIV POLOHY VTOKU NA KVALITU DÍLU.....	30
2.2.1 Vtokový systém.....	30
2.2.2 Studený vtokový systém	32

2.2.3	Horké vtokové systémy.....	36
2.3	STUDENÉ SPOJE	36
2.3.1	Zabránění vzniku studených spojů.....	38
2.3.2	Designové vady vytvořené studeným spojem.....	38
2.3.3	Stopy po volném proudu taveniny	38
2.4	ODVZDUŠNĚNÍ.....	41
2.4.1	Vliv technologických parametrů vstřikování na odvzdušnění.....	42
2.4.2	Volba místa pro odvzdušnění.....	43
2.4.3	Tvorba odvzdušnění	43
2.5	DIESELEFEKT.....	44
II	PRAKTICKÁ ČÁST	46
3	CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	47
4	VLIV KONSTRUKCE VÝROBKU NA DEFORMACI, OČEKÁVANÁ RIZIKA NA ZÁKLADĚ ANALÝZY	48
4.1	DEFORMACE.....	48
4.2	SMRŠTĚNÍ.....	49
4.3	OBECNÉ NASTAVENÍ ANALÝZY.....	50
4.3.1	Vytvoření sítě	50
4.3.2	Násobnost formy a vtokový systém	53
4.3.3	Tvorba temperačních okruhů	54
4.3.4	Nastavení parametrů.....	54
4.3.5	Blok formy	55
4.4	VYHODNOCENÍ PRVNÍHO VÝROBKU NA DEFORMACE A SMRŠTĚNÍ	55
4.4.1	Hodnocení vtokového ústí na zadní straně výrobku	56
4.4.2	Hodnocení při změně polohy vtokového ústí.....	59
4.5	VYHODNOCENÍ DRUHÉHO VÝROBKU NA DEFORMACE A SMRŠTĚNÍ	61
4.5.1	Deformace bez úpravy modelu	62
4.5.2	Deformace po úpravě modelu	64
5	POROVNÁNÍ VLASTNÍCH ANALÝZ STUDENTA NA 5-TI REALIZOVANÝCH PROJEKTECH S ANALÝZAMI FIRMY PPT S.R.O.....	68
5.1	PRVNÍ VÝROBEK.....	68
5.1.1	Mnou navržená poloha vtokového systému a vtokového ústí	69
5.1.2	Výsledek plnění.....	70
5.1.3	Zákazníkem navržená poloha vtokového systému a vtokového ústí po úpravě.....	70
5.1.4	Výsledek plnění po úpravě vtokových ústí	71
5.1.5	Porovnání analýzy mnou vypočtené s analýzou firmy PP&T	72
5.2	DRUHÝ VÝROBEK.....	72
5.2.1	Umístění vtokového systému a vtokového ústí.....	73
5.2.2	Výsledek plnění.....	74
5.2.3	Úprava vtokového systému a vtokového ústí.....	75
5.2.4	Výsledek plnění po úpravě.....	76
5.2.5	Porovnání studených spojů	78
5.2.6	Porovnání analýzy plnění mnou vypočtené s analýzou firmy PP&T	79

5.2.7	Porovnání analýzy studených spojů mnou vypočtené s analýzou firmy PP&T	80
5.3	TŘETÍ VÝROBEK	80
5.3.1	Umístění vtokového systému a ústí vtoku	81
5.3.2	Výsledek plnění	81
5.3.3	Studené spoje	82
5.3.4	Porovnání analýzy mnou vypočtené s analýzou firmy PP&T	83
5.3.5	Porovnání analýzy studených spojů mnou vypočtenou s analýzou firmy PP&T	84
5.4	ČTVRTÝ VÝROBEK	84
5.4.1	Umístění vtokového ústí	85
5.4.2	Výsledek plnění	85
5.4.3	Umístění vtokového ústí po první úpravě	86
5.4.4	Výsledek plnění po první úpravě	87
5.4.5	Umístění vtokového ústí druhá úprava	87
5.4.6	Výsledek plnění po posunutí vtokového ústí	88
5.4.7	Vzduchové kapsy	89
5.4.8	Studené spoje	91
5.4.9	Porovnání plnění výrobku s analýzou společnosti PP&T	93
5.4.10	Porovnání vzduchových kapes a studených spojů výrobku s analýzou společnosti PP&T	93
5.5	PÁTÝ VÝROBEK	94
5.5.1	Umístění vtokového systému a vtokového ústí	95
5.5.2	Výsledek plnění dutiny formy	96
5.5.3	Vzduchové kapsy	96
5.5.4	Studené spoje	98
5.5.5	Porovnání plnění mnou vytvořené analýzy se skutečnou analýzou společnosti PP&T	99
5.5.6	Porovnání vzduchových kapes a studených spojů mnou vytvořenou analýzou se skutečnou analýzou společnosti PP&T	100
6	POROVNÁNÍ SKUTEČNÝCH PARAMETRŮ PROCESU VSTŘIKOVÁNÍ S ANALÝZOU	101
6.1	VSTŘIKOVACÍ PARAMETRY PRO PRVNÍ VÝROBEK	103
6.2	VSTŘIKOVACÍ HODNOTY PRO DRUHÝ VÝROBEK	105
6.3	VSTŘIKOVACÍ HODNOTY PRO TŘETÍ VÝROBEK	107
6.4	VSTŘIKOVACÍ HODNOTY PRO ČTVRTÝ VÝROBEK	109
6.5	VSTŘIKOVACÍ HODNOTY PRO PÁTÝ VÝROBEK	111
7	NÁVRH OPTIMALIZAČNÍCH KROKŮ PŘI TESTOVÁNÍ 5-TI REALIZOVANÝCH FOREM, SHRUTÍ ÚSPĚŠNOSTI	114
7.1	PRVNÍ VÝROBEK	114
7.2	DRUHÝ VÝROBEK	115
7.3	TŘETÍ VÝROBEK	115
7.4	ČTVRTÝ VÝROBEK	115
7.5	PÁTÝ VÝROBEK	116
	ZÁVĚR	118
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	120

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	122
SEZNAM OBRÁZKŮ	123
SEZNAM TABULEK.....	127
SEZNAM PŘÍLOH.....	128

ÚVOD

V dnešní době je mnoho dílů, které se dříve vyráběly z různých materiálů do širokého spektra průmyslových odvětví, nahrazováno plastovými komponenty. Jelikož jsou kladeny vysoké požadavky na co nejmenší náklady při výrobě a co nejkratší dobu uvedení výrobku na trh, jsou polymerní materiály a jejich směsi vhodným řešením. Z těchto důvodů je nezbytně nutné používat simulační software pro zjištění chování polymeru ve formě při vstřikování. Tímto způsobem je možné zjistit a odbourat případné vady ještě před samotnou konstrukcí výroby výrobku.

Procesem vstřikování se produkují výrobky, které mají charakteristiku konečného dílu a nebo se jedná o polotovary nebo výrobky potřebné ke zkompletování samostatného celku. Vstřikované výrobky jsou velmi tvarově a rozměrově přesné s vysokou opakovatelností mechanických a fyzikálních vlastností. Vstřikovací proces je nejrozšířenější technologií zpracování polymerů. Je možné vstřikovat všechny druhy termoplastů, dále lze v omezeném rozsahu zpracovávat některé reaktoplasty a kaučuky.

Výhodou procesu vstřikování je možnost vyrábět tvarově složité výrobky s vysokými tolerancemi rozměrů a s velmi dobrou povrchovou rozměrů. Další výhodou je krátký čas cyklu. Mezi nevýhody vstřikovacího procesu v porovnání s jinými druhy zpracování polymerů patří například vysoké náklady, časově náročná výroba vstřikovacích forem. Další nevýhodou je nutnost využití výrobního stroje, který je oproti vyráběnému výrobku několiknásobně větší.

Při procesu vstřikování je polymer ve formě granulí dopravován z násypky do pracovní části vstřikovacího stroje. Pracovní část vstřikovacího stroje může být šnek a nebo píst. Za pomoci šneku nebo pístu je vstřikovaná hmota dopravována do tavicí komory, kde vlivem součastného působení tření a topení polymer taje, čímž vzniká tavenina. Tavenina je poté vstřikována do tvarové dutiny formy. Po zaplnění tvarové dutiny formy následuje dotlaková fáze, která má za úkol snížit smrštění a rozměrové změny. Polymer předává vstřikovací formě teplo a chladnutím ztuhne v konečný výrobek. Poté následuje otevření formy a vyhození výrobku z tvarové dutiny formy. Po vyhození výrobku se celý vstřikovací proces opakuje.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 MOLD FLOW ANALÝZY

Moldflow analýzy jsou využívány ve společnostech za účelem vytvoření co nejlepších vstřikovacích parametrů před samotným procesem vstřikováním. Na základě těchto simulací lze vyhodnotit a upravit plno aspektů. Například určit místa výskytu studených spojů, vzduchových kapes, účinnosti temperačních okruhů, simulace plnění, vyhodnocení deformací a smrštění.

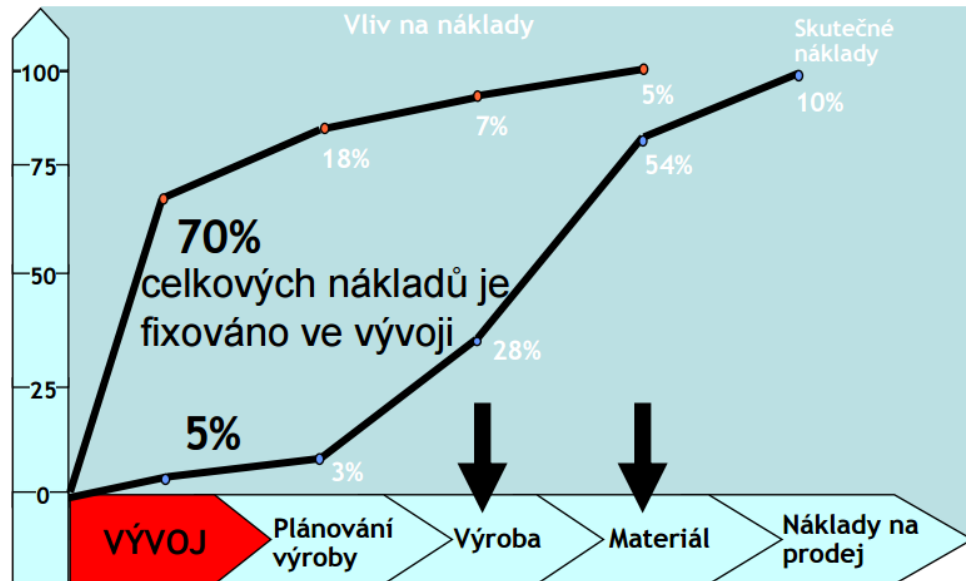
1.1 Ekonomická úspora pomocí simulačních softwarů

Za přispění simulačních softwarů lze vstřikovací proces zkvalitnit, čímž lze dosáhnout snížení výrobních nákladů. Pomocí softwarů je možné optimalizovat tvar výrobku, což může mít za následek snížení spotřeby polymeru, dále je možné zkrátit vstřikovací čas, zkvalitnit vyrábění díl, snížením smrštěním a deformací. [1]

Návrh budoucího tvaru výrobku závisí na designérovi a konstruktérovi formy. Úspěšnost jejich návrhu dílu se pozná až po výrobě vstřikovací formy, prvním zkoušení formy a při prvních výrobcích. Parametry pro vstřikovací proces jsou nastavovány technologiemi. Aby byl vstřikovací proces nastaven kvalitně, je důležité, aby technolog maximálně využil svých nabytých zkušeností. [1], [2]

1.1.1 Největších úspor nákladů lze dosáhnout ve vývoji

Konečná hodnota výrobku se odvíjí podle následujících aspektů, jako jsou, cena vstřikovací formy, cena polymeru, dobou vstřikovacího procesu, hmotností výrobku i se vtoky. Jednotlivé ceny jsou dány za přispění nákladů na návrh dílu, konstrukci vstřikovací formy a technologické přípravy výroby. Vývoj produktu dosahuje až 70% nákladů související s výrobou, zatímco vývojová fáze zahrnuje 5% nákladů. K vývojové fázi by měla být soustředěna velká pozornost z důvodu toho, že s částkou, která odpovídá 5% výrobních nákladů, je možné ušetřit desítky procent celkových výrobních nákladů. [1], [2]

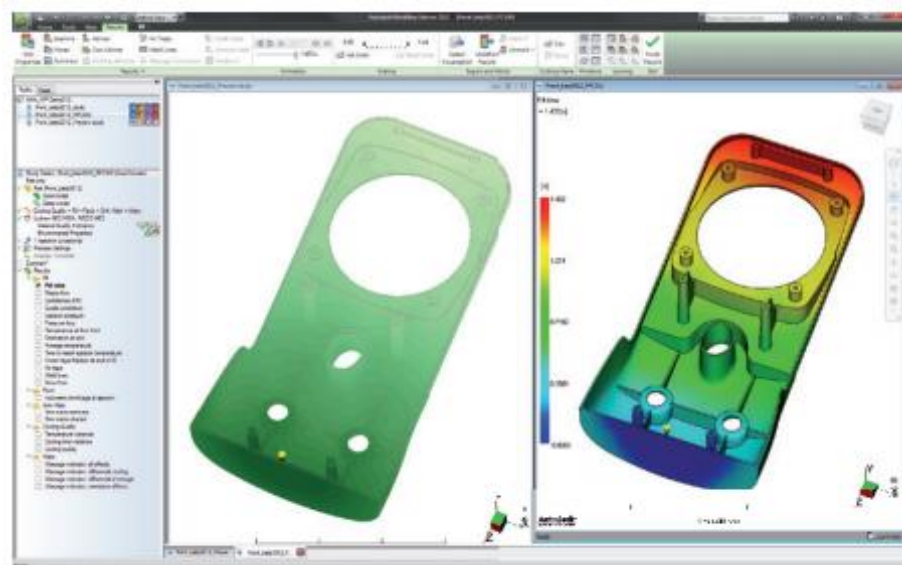


Obr. 1. Důvod optimalizovat. [4]

1.2 Vyhodnocení a optimalizace designu plastových dílů

Autodesk Simulation Moldflow je software pro simulování vstřikování polymerů a zároveň je jedním z nejpoužívanějších simulačních softwarů na světě. Na základě výsledků analýz mohou výrobci vstřikovacích forem zjistit vady, optimalizovat vstřikovací formy a samotný vzhled výrobku před zahájením výroby po kontaktování samotného zákazníka. [3]

Dalšími softwary, které se používají, jsou Autodesk Simulation Moldflow Adviser a Autodesk Simulation Moldflow Insight. Za přispění obou softwarů se minimalizuje tvorba vad, tudíž lze na trh uvést v co nejkratším časovém úseku inovované výrobky. [3]



Obr. 2. Ukázka ze softwaru Moldflow. [3]

1.3 Produktová škála Autodesk Moldflow

Společnost Autodesk dodává velké množství simulačních programů pro vstřikování polymerů. Inženýrům, projektantům, analytikům v oboru CAE, lidem zabývajícím se samotnou výrobou a jiným odborníkům na vstřikování polymerů pomáhá vytvořit lepší, kvalitnější prototyp výrobku s nižšími vstupními náklady na trh. [3]

1.4 Simulace

Software Autodesk Moldflow nabízí celou řadu možností. Mezi jednotlivé simulace patří například analýza vhodného umístění vtokového systému, účinnost temperančního systému, analýza plnění a dotlaku, analýzy smrštění a deformace, za pomoci kterých se vyhodnocují budoucí výrobky a jejich případné vady. Moldflow analýzy pomáhají výrobcům forem před samotnou výrobou optimalizovat formy tak, aby měl budoucí výrobek požadované vlastnosti určené zákazníkem a byl na trhu spolehlivý a konkurenceschopný. Na základě simulací je možné prodiskutovat se zákazníkem jeho požadavky na výrobek a možné potenciační vady, které mohou vzniknout. Z výsledných podkladů je možné vhodně upravit například umístění polohy vtokových ústí, kanálů, upravit temperanční systém, plnění formy, správně nastavit podmínky dotlaku a mnoho jiných aspektů nezbytně nutných pro výrobu bezproblémového funkčního výrobku.

Například změnou rozměrů stěn a žeber výrobku je možné zmenšit teploty v kritických místech součásti, snížit deformace dílu způsobené přetlakem a snížení Von Misesova napětí. Dále je možné úpravou rozměrů dosáhnout kratšího času pro vyhazování výrobku z formy a rapidní snížení tvorby propadlin. [4]

V neposlední řadě je možné v Autodesk Moldflow vytvořit požadovaný počet násobností výrobků pro vstřikovací formu. Díly lze rozmístit tak, aby splnily požadovanou násobnost a daly se co nejlépe vyrobit. Jelikož software nabízí databázi širokého spektra materiálů, je tedy možné nasimulovat kompletní proces vstřikování s požadovanými parametry vstřikování, vtokovým systémem, násobností a teperací.

Na konci po provedení simulace se výsledky rozdělí do čtyř základních skupin.

Prvním výsledkem je analýza polohy vtoku. Do této skupiny patří analýza vhodnosti umístění vtokového systému a analýza indikátoru odporu tečení. Tento výsledek je cenná informace pro konstruktéra formy.

Druhým výsledkem je analýza temperance. Do podskupiny temperance patří simulace teploty a tlaku v temperančním okruhu, určení Reynoldsova čísla, čas na dosažení vyhazovací teploty výrobku a další. Výsledky analýz temperací jsou důležité pro konstruktéra a výrobce formy.

Třetí a zároveň nejobsáhlejší skupinou jsou výsledky analýz plnění a dotlaku. Do podskupiny těchto analýz patří například čas plnění, smyková rychlost, studené spoje, vzduchové kapsy, smykové napětí na stěně. S těmito výsledky pracují výrobci forem a pracovníci lisovny.

Poslední skupinou výsledků jsou analýzy smrštění a deformace. Mezi výsledky této skupiny patří celková deformace od všech efektů, deformace vlivem chlazení, deformace vlivem smrštění materiálu. S výslednými analýzami pracuje konstruktér formy s pracovníky, kteří jsou zodpovědní za výrobu daného dílu.

1.4.1 Simulace vtokového systému

Simulace vtokového systému umožňuje vytvořit studený vtokový kanál, horký vtokový kanál nebo jejich kombinaci. Následně je možné umístit vtokové ústí na místo nebo na místa při více vtokových ústí, které vyhodnotíme jako nejlepší variantu, abychom dostali co nejkvalitnější povrch se sníženým rizikem deformací v co nejkratším čase plnění. [3]

1.4.2 Vytvoření vtokového systému

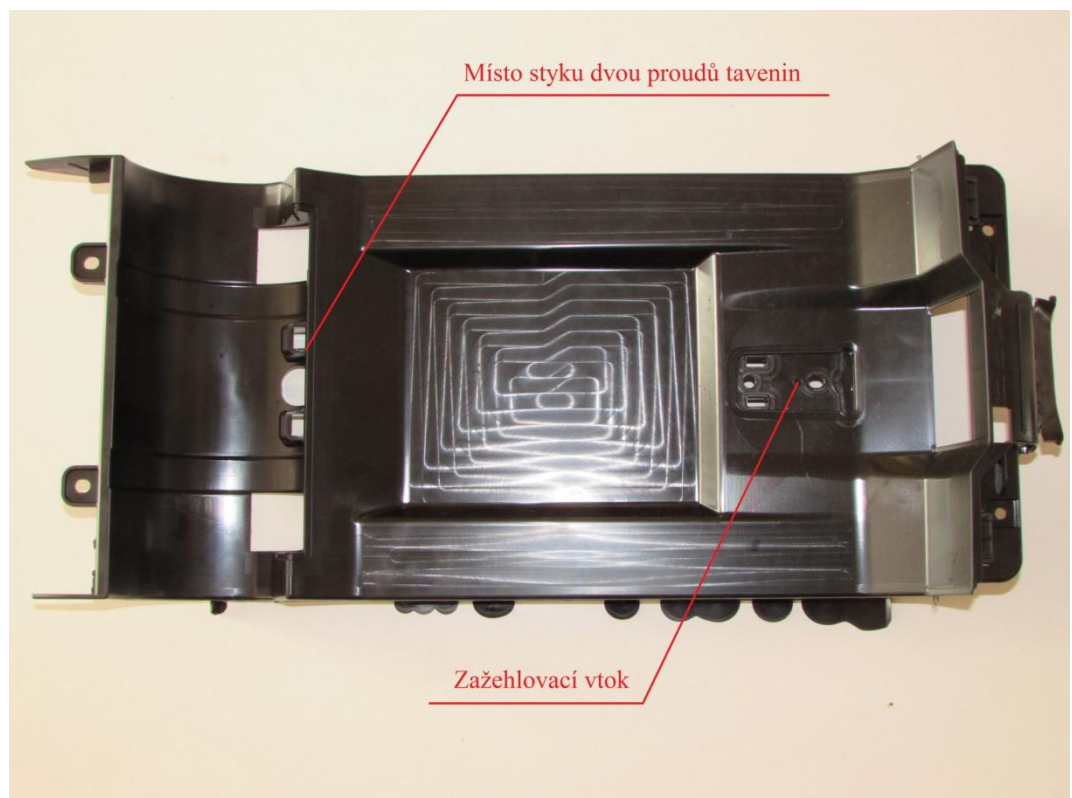
System dovoluje vytvořit libovolný požadovaný vtokový systém, který je určen preferencemi zákazníka. Můžeme vytvořit i více vtokových ústí pro zajištění rovnoměrného toku taveniny. Je možné zadávat konkrétní parametry, tvary vtokového systému a jejich velikost s ohledem na budoucí tvar a velikost výrobku. [3]

1.4.3 Vyvážení vtokového systému

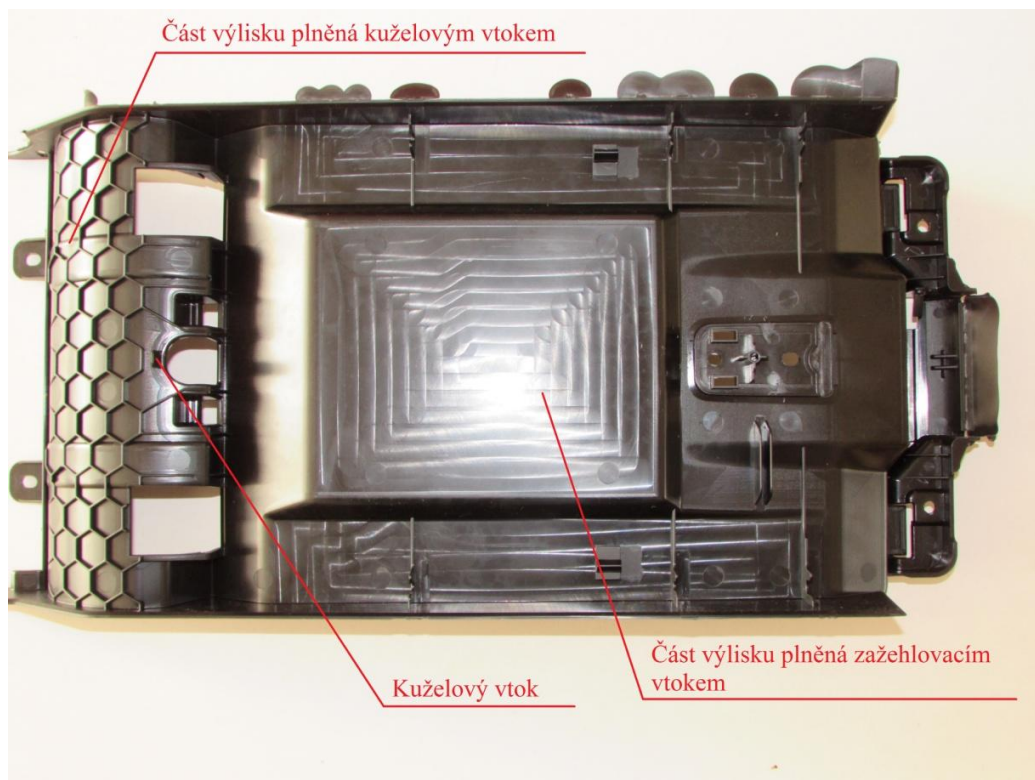
Za přispění této analýzy se upravuje rozmístění vtokových ústí tak, aby se snížilo smykové namáhání polymeru. Změna probíhá umístěním vtokových ústí na místa, která zajistí současné a rovnovážné plnění dutiny polymerem, čímž se sníží také objem polymeru, který je potřeba pro zaplnění celé tvarové dutiny formy. Je zapotřebí umístit vtokové ústí tak, aby nebyl ovlivněn design výrobku. [5]

Nevyváženým vtokovým systémem mohou vznikat značné problémy. Jelikož vtokové ústí je určeno zákazníkem, může docházet k nevyváženosti vtokového systému. Na

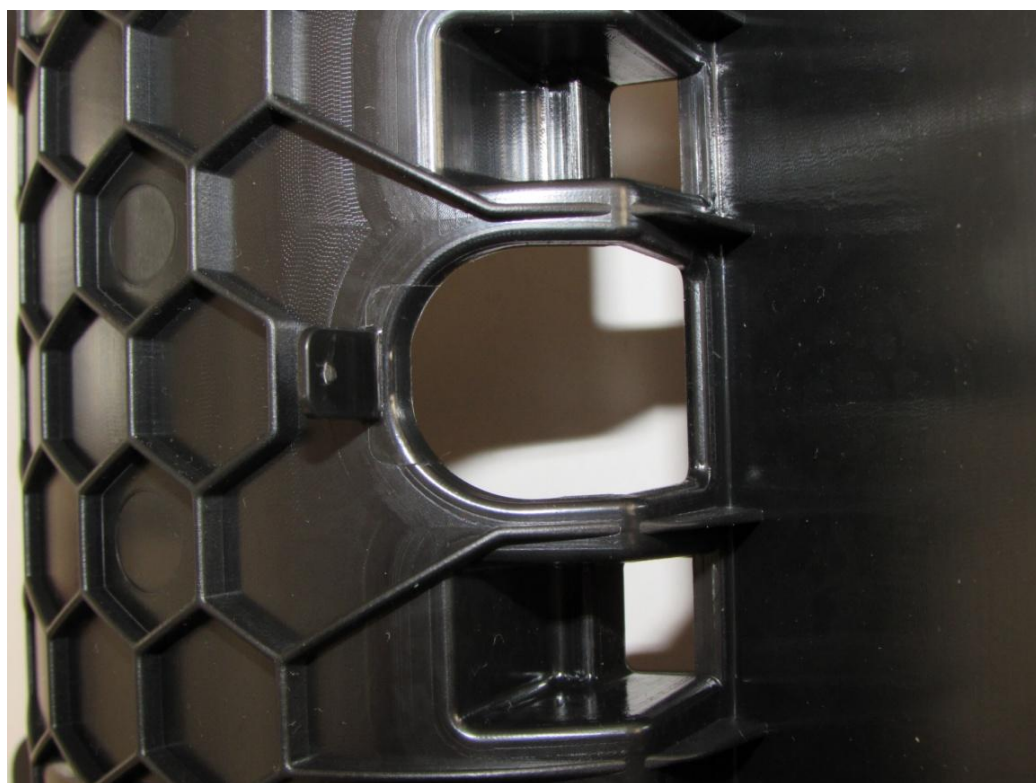
obr. 3, obr. 4 a obr. 5 je uveden konkrétní příklad dílu, který byl plněn nevyváženým vtokovým systémem. Vtokové ústí bylo povoleno zákazníkem na přední straně dílu a ve spodní části do žebra, oba vtokové systémy byly plněny rozdílnými teplotami taveniny. Nevyvážením vtokového systému v tomto případě došlo tím, že díl byl plněn dvěma různě velkými vtokovými ústí. Spodní část byla plněna kuželovým vtokem a horní zažehlovacím horkým vtokem. Díl byl oběma vtokovými ústí plněn zároveň, čímž došlo k nárazu obou proudů tavenin. Z důvodů toho, že kuželovým vtokem proudila tavenina o nižší teplotě, došlo k tomu, že proud rychleji tuhl a tavenina ze zažehlovacího horkého vtoku narazila do polymeru a vrátila se zpět ke vtoku, kde vlivem horkého vtoku vznikly na bočních stěnách výrobku značné přetoky. Nevyvážený vtokový systém jde eliminovat změnou polohy a velikosti vtokových ústí, zvýšením uzavírací síly nebo využitím kaskádového účinku s postupným plněním dutiny formy.



Obr. 3. Přední strany dílu + zažehlovací vtok.



Obr. 4. Zadní strana dílu + kuželový vtok.



Obr. 5. Detail kuželového vtoku.

1.4.4 Vytvoření temperačních systémů

V programu Autodesk Moldflow je možné navrhnout temperační systém z různých parametrů temperačních okruhů a přepážek. Například můžeme zvolit vhodné temperační médium obíhající v systému temperace a rozměry temperačních okruhů. Na základě vytvořeného temperačního okruhu se vyhodnocuje účinnost temperování formy. Do softwaru lze importovat vytvořený temperační systém v jiném programu. [5]

1.4.5 Simulace temperace forem

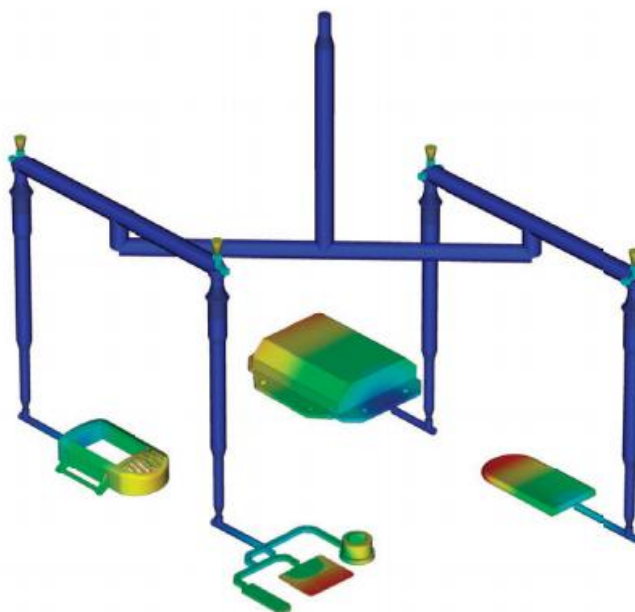
Pomocí této simulace máme možnost vyhodnocovat účinnost temperačního systému, který má vliv na kvalitu povrchu, rozměrovou stabilitu a umožňuje zkrátit dobu celého cyklu. [3]

1.4.6 Analýzy temperačních systémů

Pomocí analýzy je možné optimalizovat navržený temperační systém tak, aby bylo prováděno rovnoměrné a co nejideálnější temperování dílu. Dále lze dosáhnout zkrácení temperačního cyklu, čímž dochází k úsporám výrobních nákladů a snížení rizika deformace součásti. [5]

1.4.7 Analýzy toku taveniny

S přispěním této analýzy je možné zlepšit proces vstřikování termoplastů. Dále lze snížit zmetkovitost polymerních výrobků, způsobenou výskytem vad například studenými spoji. Simulace přispívá ke zlepšení konečného designu výrobku a celé vstřikovací formy. [3]



Obr. 6. Ukázka vygenerované simulace plnění. [5]

1.4.8 Vady výrobků

Pomocí simulace lze zabránit vadám, které by mohly vzniknout, jako jsou například studené spoje, propadliny a místa, ze kterých by se hůře odváděl vzduch. Na základě výsledků analýzy a označení kritických míst se projekt vyhodnotí a případná kritická místa se vhodným způsobem eliminují. [5]

1.4.9 Analýza plnění

Simulací plnění lze predikovat průběh plnění dutiny formy taveninou. Pomocí analýzy můžeme dosáhnout rovnoměrného plnění formy, čímž klesá zmetkovitost. Dále je možné zabránit tvorbě vad, které jsou spojeny s výskytem studených spojů a se špatným odvodušněním. [3]

1.4.10 Simulace dotlaku

Analýzou lze nastavit neoptimálnější bod přepnutí vstřikovacího stroje na dotlak, čímž se zabráňuje tvorbě propadlin, což jsou nežádoucí útvary na výrobku. V simulaci je důležité správně nastavit velikost dotlaku a také vytvořit jednotlivý průběh tlaků v určitém časovém úseku. Správné nastavení dotlaku zabráňuje deformacím polymerních dílů. [3]

1.4.11 Simulace smrštění a deformace

Výsledek analýzy ukazuje stav technologického dílu a vstřikovací formy. Na základě výsledku lze lépe určovat smrštění a deformace výrobku. [5]

1.4.12 Smrštění

Rozměrové tolerance součásti dodržíme předvídáním smrštění dílu, která je určována na základě procesních parametrů a materiálových informací pro konkrétní polymer. Každý polymer je odlišný svými procesními parametry a materiálovými informacemi. [3]

1.4.13 Deformace

Při vstřikování termoplastů vznikají různá napětí, která deformují jednotlivé části výrobku. Pomocí analýzy lze lépe odhadnout místa výskytu deformací, a tudíž na základě výsledků se dá upravit konečný vzhled výrobku, použité procesní parametry, vstřikovaný polymer tak, aby konečný výrobek byl v toleranci předepsané zákazníkem. [5]

1.4.14 Analýza orientace vláken

Nesprávná orientace vláken při vstřikování způsobuje deformace výrobku a jeho smrštění. Na základě analýzy se může předejít těmto nežádoucím vlivům a změnit podmínky vstřikování tak, aby ke špatné orientaci vláken nedocházelo. [5]

1.5 Spolupráce Moldflow s jinými CAD softwary a používání sítí

Při nahrávání modelu výrobku do softwaru si můžeme jako první krok vybrat geometrii nebo-li síť, se kterou chceme pracovat. Síť můžeme nastavit na základě tloušťky stěn konečného výrobku.

Autodesk Moldflow podporuje tři základní typy sítě:

1. Mildplane mesh (2D síť)

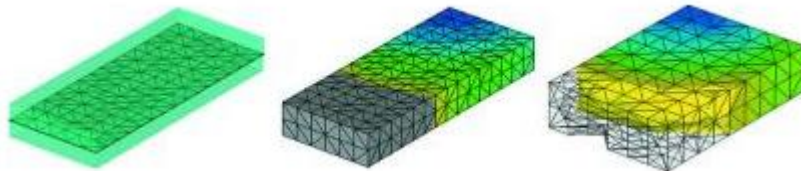
- Tloušťky stěn t analyzovaného modelu jsou zjednodušeny na střednicovou plochu, která představuje samotný tvar modelu. Síť je složena z trojúhelníkových elementů. Používá se nejčastěji pro tenkostěnné výrobky. [5]

2. Dual – Domain mesh (2,5D síť)

- Síť konečných prvků je tvořena trojúhelníky, přičemž tloušťka stěn se určuje automaticky. Nastavení analýzy se sítí Dual – Domain mesh je vhodné pro tenkostěnné výrobky. [3]

3. 3D tetrahedral mesh (3D síť)

- Tloušťky stěn t analyzovaného modelu jsou vyplněny prostorovými elementy - čtyřstěny, tímto způsobem je vyplněn celý objekt. Uvedené sítě se využívá při tlustostěnných výrobcích a také při komponentech, které mají nepravidelnou tloušťku stěn. [5]



Obr. 7. Ukázka sítí 2D, 2,5D, 3D. [2]

K analýze je potřeba vybrat jednu ze tří uvedených sítí. Při výběru sítě pro analýzu musíme brát v potaz fakt, že čím kvalitnější síť, tím je propočít přesnější, ale zároveň více časově náročnější. Nejpřesnější a tudíž časově nejnáročnější je síť 3D tetrahedral mesh.

1.5.1 Import CAD modelu

Pro importování CAD modelu, s následným použitím uvedených sítí, se dá provést ze širokého spektra softwarů. Těmito podporovanými softwary jsou například Autodesk Inventor, Pro/ENGINEER, SolidWorks, Siemens, Creo, CATIA a další. Pro nahrávání do systému lze také využít přípon s koncovkou STEP, IGES. [5]

1.5.2 Kontrola a oprava chyb

Je to funkce zabývající se kontrolou a případně opravou chyb nahrávaného modelu, které mohou vzniknout importem mezi Moldflow a CAD systémem, ve kterém byl díl vy-modelován. [3]

1.5.3 Nahrávání a exportování trajektorií

Přímo v softwaru Autodesk Moldflow je možné vytvořit vtokový a temperační systém. Jelikož se požaduje analýza v co nejkratším časovém rozmezí, je možné a často

využívané řešení importu a následně exportu pro úpravu námi vytvořeného vtokového systému nebo temperančního systému v jiném CAD softwaru. Pro import do Moldflow je důležité uložit vytvořené trajektorie v podporovaných koncovkách, jako je *.igs. [3]

1.5.4 Autodesk Moldflow CAD Doctor

Funkce CAD doctor má za úkol nahrané modely z CAD softwaru připravit na analýzu. To znamená zjednodušit modely, kontrolovat, zdokonalovat a případně opravit chyby tak, aby mohla proběhnout kompletní bezchybná analýza. [5]

1.6 Vyhodnocení výsledků a nástroje pro zvýšení produktivity

Velkou výhodou softwaru je možnost využití nástrojů pro rychlejší komunikaci s kolegy nebo se zákazníky. Je možné snadno zasílat pověřeným osobám jednotlivé vizualizace výrobků, které vyžadují, ale také jednotlivé analýzy, ke kterým lze přidat příspěvek týkající se simulace daného modelu. Jak už bylo zmíněno, Moldflow obsahuje databázi materiálů. Lze vybrat konkrétní materiál a společně s ním provést analýzu. Dále software obsahuje široké spektrum dalších výhodných aplikací pro zvýšení efektivnosti simulací. [3]

1.6.1 Autodesk Moldflow Communicator

Software Autodesk Moldflow Communicator je nejjednodušší způsob, jak osobám, které jsou zodpovědné za výsledný výrobek, prezentovat výsledky simulací, aniž by byly přítomni osobně u vytvořené analýzy. Jedná se o produkt pro zasílání vytvořených simulací, které si příslušná osoba může prohlížet a zároveň hodnotit a porovnávat výsledky simulací na základě vlastních požadavků. Tímto způsobem lze případně označit kritická místa, která jsou zapotřebí před výrobou vstřikovací formy upravit, aby nedocházelo k výrobě zmetků. [5]

1.6.2 Zobrazení výsledků v Autodesk Moldflow Adviser

Je nástroj, který pomáhá v otázce kvality vyráběného dílu v závislosti na teplotě. Výsledek se zobrazí po kliknutí na jakoukoliv část modelu a zobrazí se jednotlivé příčiny, které vedou ke zhoršené kvalitě výrobku. Zároveň se objeví možnosti, kterými lze vady dílu odstranit. Například se objeví informace o úpravě výrobku, teplotě, vstřikovací formy nebo nastavení vstřikovacích parametrů. [3]

1.6.3 Vizualizace dat

Na základě propojení Autodesk Moldflow se softwarem Autodesk Showcase lze zlepšit celkové hodnocení výrobku zákazníkem, jelikož se součást zobrazuje téměř fotorealisticky. [5]

1.6.4 Nástroje pro vytvoření zpráv

Pro komunikaci mezi zákazníky a výrobci forem je možné využít nejen Autodesk Moldflow Communicator, ale také program Report Generation. Jedná se o systém na podobné bázi jako Moldflow Communicator. S výslednými simulacemi jsou zasílány také věcné komentáře týkající se daného dílu, případně úprav potřebných pro zajištění výroby požadovaného výrobku. [5]

Dalším nástrojem, ve kterém je možné prezentovat výsledky simulací, je vytvoření prezentací v programu Microsoft PowerPoint nebo v Microsoft Word. [3]

1.6.5 Data a databáze materiálu

Z knihovny materiálů si lze vybrat z více než 8500 polymerů. Každý materiál má v databázi své specifické hodnoty, kterými se vyznačuje. Jedná se jak o odměřená fyzikální data, tak o reologické vlastnosti polymeru. [3]

Pro vytvoření co nejpřesnější simulace je důležité použít materiál, který se bude později vstříkovat do dutiny formy. Není-li v nabídce vstříkovaný polymer, je potřeba ho nahradit materiálem, který se vyznačuje podobnými vlastnostmi. [5]

1.6.6 Cost Adviser

Je nástrojem pro zvýšení produktivity. Na základě podkladů jako jsou fixní náklady, doba cyklu a volba materiálu se může odhadnout, v jaké výši se budou pohybovat výrobní náklady. Dokáže vybrat důležité faktory, které ovlivňují zdražení výroby dílu, a zároveň navrhne opatření, které může pomoci minimalizovat náklady. [3]

1.6.7 Design Adviser

Design Adviser je nástroj, který pomáhá vyhledat místa, která neodpovídají požadovanému technologickému vzhledu součásti, která požaduje zákazník. [5]

1.7 Srovnání produktů Moldflow

Na základě obr. 8 lze porovnat jednotlivé produkty společnosti Autodesk Moldflow. Tabulka obrázku porovnává dva hlavní produkty společnosti. Každý produkt má tři podskupiny dle vybavení softwaru. Zákazník si jednoduše může vybrat produkt na základě požadavků, které vyžadují jeho hlavní partneři. Tabulka je rozdělena do jednotlivých skupin. První skupina je jakou síť daný prvek využívá. Dále podle možností CAD systémů, které je možné využít, nabídky simulací, procesů nastavení formy a nabídky databází, které daný produkt v sobě zahrnuje. Vše se samozřejmě odvíjí od možných financí, které mohou být investovány a celkových možností firmy na základě využitelnosti celého softwaru.

	Autodesk Simulation Moldflow Adviser Standard	Autodesk Simulation Moldflow Adviser Premium	Autodesk Simulation Moldflow Adviser Ultimate	Autodesk Simulation Moldflow Insight Standard	Autodesk Simulation Moldflow Insight Premium	Autodesk Simulation Moldflow Insight Ultimate
MESHING TECHNOLOGY						
Dual Domain	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3D		✓	✓	✓	✓	✓
Midplane				✓	✓	✓
CAD INTEROPERABILITY						
CAD Solid Models	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Parts	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Assemblies				✓	✓	✓
SIMULATION CAPABILITIES						
Thermoplastic Filling	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Part Defects	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Gate Location	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Molding Window	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Thermoplastic Packing			✓	✓	✓	✓
Runner Balancing		✓	✓	✓	✓	✓
Cooling			✓		✓	✓
Warpage			✓		✓	✓
Fiber Orientation			✓		✓	✓
Insert Overmolding				✓	✓	✓
Two-Shot Sequential Overmolding						
Core Shift Control					✓	✓
MOLDING PROCESSES						
Thermoplastic Injection Molding	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Reactive Injection Molding				✓	✓	✓
Microchip Encapsulation					✓	✓
Underfill Encapsulation						✓
Gas-Assisted Injection Molding						✓
Injection-Compression Molding						✓
Co-Injection Molding						✓
MuCell®						✓
Birefringence						✓
DATABASES						
Thermoplastics Materials	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Thermoset Materials				✓	✓	✓
Molding Machines				✓	✓	✓
Coolant Materials					✓	✓
Mold Materials					✓	✓

Obr. 8. Porovnání simulačních produktů Autodesk. [5]

1.7.1 AMA Autodesk Moldflow Adviser

Jedná se o produkt, který je určený hlavně pro konstruktéry jednotlivých součástí a vstřikovacích forem. Slouží pro tvorbu analýz v pokročilých stádiích návrhu, například si technolog může zobrazit parametry vstřikování nebo výpočet ceny výrobku. Daný program umožňuje chod v pozadí CAD softwaru a konstruktérovi dovolí vytvořit analýzu v jakékoli části návrhu dílu. Tímto softwarem konstruktér dostává jednoznačný výsledek analýz s popisem problémů a návrhem pro řešení a opravu daného problému. Autodesk Moldflow Adviser nevyžaduje dokonalou znalost vstřikování, reologie a polymerů. Pracuje na bázi konečných prvků a analýzy mohou probíhat v sítích Dual Domain a 3D tetrahedral. [1]

1.7.2 AMI Autodesk Moldflow Insight

Autodesk Moldflow Insight je software, který zajistí kompletní analýzu vstřikovacího procesu. Generátor sítí konečných prvků dovoluje zhotovovat analýzy na střednicových sítích, na síti Dual Domain a na síti objemové, která využívá prvky Tetra 4 i Tetra 10. [2]

Tento software zajistí kompletní analýzu vstřikování i s optimalizací. Dále zprostředkuje simulaci dvoukomponentního vstřikování, zástříků, vstřikování technologií GIT, vstřikování termosetů a další. V databázi materiálu je obsaženo více jak 8000 termoplastů s jejich charakteristikou jako je například PVT diagram, technologické podmínky, reologické vlastnosti, teploty, hodnoty smrštění, které jsou důležité pro optimalizaci návrhu výrobku. [2]

Výběr sítě, se kterou provedeme analýzu, je velice důležitý, jelikož výsledky sítě konečných prvků velkou měrou ovlivňují konečné hodnoty simulací hlavně u výrobků, které jsou tlustostěnné nebo s tvary a průřezy, které nejsou konstantní. U takových dílů je zapotřebí využít síť, která je vytvořena za pomoci objemových elementů s tetrahedrony, aby konečné výsledky nebyly ovlivněny a byly dostatečně kvalitní. [1]

2 VLIV POLOHY VTOKU NA KVALITU VÝROBKU, STUDENÉ SPOJE, ODVZDUŠNĚNÍ, PÁLENÍ VÝROBKU VLIVEM DIESEL EFEKTU

Při vstřikování termoplastů do vstřikovací formy může docházet k nežádoucím vlivům, které způsobují vady dílů. Abychom zabránili výskytu vad, je zapotřebí dodržovat technologické zásady při výrobě vstřikovacích forem. Před zahájením výroby vstřikovacích forem se mohou provádět Moldflow analýzy, které zjišťují, jaké chování lze očekávat od vstřikovaného polymeru ve vstřikovací formě při procesu vstřikování. Na základě výsledků se mohou provést úpravy před výrobou vstřikovací formy. Je možné upravit tepe- rační okruhy, vtokové systémy, polohu vtokového ústí. Jelikož se jedná o výsledky analý- zy, je zapotřebí zvážit možné úpravy v praxi. Vzhledem k tomu, že Moldflow není ideální způsob zjišťování chování polymeru, je zapotřebí uvážit kompromis k úpravě částí formy na základě výsledků a zkušeností z praxe.

Vznik nežádoucích účinků může být úzce spjat například se špatnou polohou vtokové- ho systému, špatně navrženým tepe račním systémem, špatně zvolenými parametry vstři- kování, nedostatečným odvzdušněním a dalšími aspekty.

Při procesu vstřikování může vzniknout široké spektrum vad, které ovlivní samotný design, technologičnost a funkci výrobku. Vady, které mohou nastat při procesu vstřiková- ní, rozdělujeme na vady zjevné a vady skryté. [6]

Vady zjevné lze určit pouhým očním kontaktem při porovnání vyrobeného dílu s výrobkem schváleným zákazníkem. [6]

Tyto vady se dále rozdělují na vady:

- Tvaru – vrásnění, propadliny, deformace, otřepy, rozměrové vady, nedotečená místa. [6]
- Povrchu – nedostatečný lesk, matná místa, stopy po vlhkosti, špatně vyrobený de- zén, tokové čáry, delaminace, žloutnutí povrchu, změna barvy u barevných materi- álů, spálená místa (diesel efekt). [6]

Vady skryté jsou takové vady, které nelze zjistit pouhým okem, ale ovlivňují vlast- nosti vystříknutého dílu a zhoršují jeho celkové vlastnosti, které mají za následek, že výro- bek nemůže plnit svoji požadovanou funkci. [6]

Skryté vady jsou například:

- Studené spoje.
- Anizotropie fyzikálně-mechanických vlastností.
- Vnitřní pnutí.
- Vzduchové kapsy. [7]

U termoplastů je nutné se studenými spoji počítat vlivem:

- Nerovnoměrné orientace makromolekul nebo vláken.
- Degradčních procesů vedoucích ke snížení pevnosti a houževnatosti.
- Nerovnoměrné krystalizace semikrystalických polymerů.
- Vnitřních defektů (lunkrů). [6]

V praxi se neobjevují pouze vady výrobku, ale také často vady samotného vstřikovacího procesu a vady vstřikovací formy. Tyto vady přímo ovlivňují kvalitu a technologičnost budoucího dílu. [7]

Vady při vstřikovacím procesu a vady formy mohou být:

- Netěsnost zpětného uzávěru šneku.
- Špatný dosed trysky stroje na vtokovou vložku formy.
- Nedostatečné odvzdušnění formy.
- Deformace výrobku při vyhazování z formy. [7]

2.1 Vady, příčiny vad a jejich odstranění

Vady mohou vznikat v důsledku špatné technologie, vstřikovacího stroje, nebo ve zpracovatelském materiálu, ve vstřikovací formě, ve špatném tvaru výrobku. Pro odstranění vad je nejjednodušší když se nežádoucí účinky objevují vlivem špatné technologie. V takovém případě je nutné pro optimalizaci změnit jeden nebo více technologických parametrů. Problém s odstraněním vad nastává, jestliže se neobjevují vlivem technologických parametrů. V takovém případě je nutné hledat příčiny v konstrukci formy, v nastavení vstřikovacího stroje, v parametrech materiálu, temperačním okruhu nebo vtokovém systému.

Při procesu vstřikování je vysoké riziko, že může nastat celá řada vad a jiných nežádoucích procesů. Proto není žádné pravidlo, které by jednoznačně ukazovalo, kterého původu je daná vada. [7]

V praxi se pro určení vad a jejich následné odstranění využívají odborné znalosti pověřených lidí, především v oblasti zpracování polymerů, konstrukce forem a vstřikovacích strojů. Počet vad, které v procesu vstřikování mohou nejčastěji vzniknout, se pohybuje kolem čtyřiceti. [6]

Hlavní příčiny vzniku vad:

- V polymeru – vlhkost, nečistoty, tekutost polymeru.
 - Ve vstřikovacím stroji – malá uzavírací síla, nerovnoměrné dávkování.
 - V technologii – nesprávné nastavení, tlaku, dotlaku, rychlosti vstřikování, teploty.
 - Ve formě – špatné slícování, nesprávné rozměry tvarové dutiny formy, ve vtocích.
 - Nevhodný tvar výrobku – ostré rohy, vznik vnitřního pnutí, nestálá tloušťka stěn.
- [8]

2.2 Vliv polohy vtoku na kvalitu dílu

Poloha vtoku na výrobku je určena zákazníkem. V simulaci Moldflow lze na základě výsledku analýzy, času na dosažení vyhazovací teploty výrobku, určit optimální umístění vyhazovacího systému ve formě. Jelikož se jedná o analýzu, je potřeba v praxi brát v potaz, aby vyhazovací systém a také umístění vtokového ústí bylo mimo pohledovou stranu dílu. Zda-li by tomu tak nebylo, objevily by se na pohledové straně výrobku nežádoucí zbytky vtokového ústí a také by mohlo dojít k poškození designu vlivem vyhazovačů.

Pro správnou funkci vstřikovacího tlaku a následného dotlaku se navrhuje umístit vtokové ústí na nejtlustší stěnu výrobku. Tímto umístěním vtokového ústí se docílí dřívějšího zatuhnutí stěn s menší tloušťkou, zatímco tavenina je stále dopravovaná přes kritickou tloušťku výrobku. Naopak vstřikováním s pomocí nadouvadla se naopak doporučuje umístit místo vtoku na nejtenčí stěnu výrobku. Při konstrukci vtokového ústí je důležité dodržet kuželový princip. [7], [9]

2.2.1 Vtokový systém

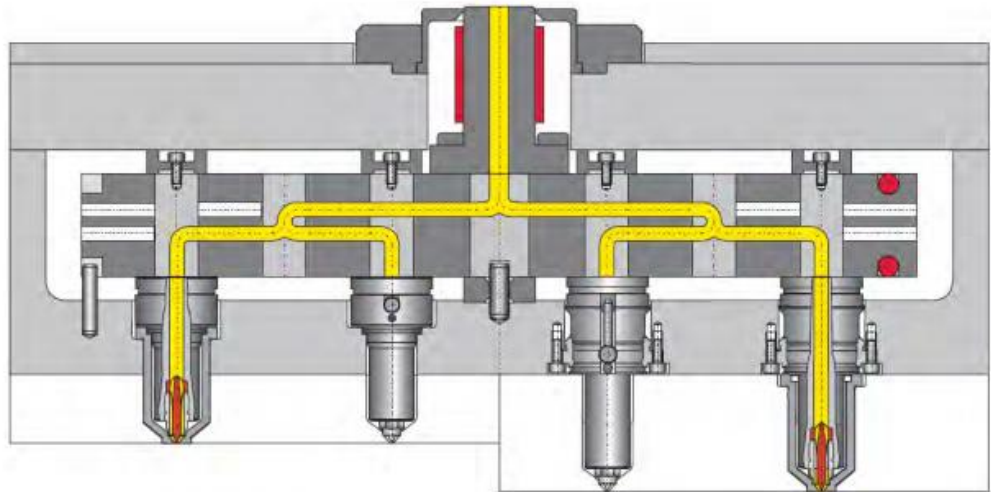
Vtokový systém se skládá z hlavního vtokového kanálu, rozváděcích vtokových kanálů, přidržovače a vtokového ústí. Funkcí vtokového systému je dopravovat taveninu z plastikační jednotky stroje do dutiny formy v co nejkratším čase s co nejmenšími odpory tak, aby bylo dosaženo rovnoměrného plnění dutiny formy taveninou. [10]

Vtokové ústí je důležité volit správně z důvodů:

- Aby na výrobku nevznikaly studené spoje.
- Aby dosažení zbytkového napětí ve výrobku bylo co nejmenší.
- Aby vyhození dílu a vtokového zbytku z dutiny formy bylo co nejjednodušší.
- Aby čištění vtoků na výrobku bylo co nejjednodušší. [10]

Tvar rozměry, umístění vtoků a ústí vtoku do dutiny formy ovlivňuje:

- Rozměry, vzhled a vlastnosti výstřiku.
- Spotřeba polymeru.
- Náročnost začištění vtoků na výstřiku.
- Energetická náročnost výroby. [11]



Obr. 9. Vstřikovací systém. [10]

Uspořádání vtokového systému je dáno konstrukcí formy a její násobností. Při vstřikování termoplastů má druh a poloha vtokového systému významný vliv na tvorbu nežádoucích účinků jako jsou studené spoje, orientaci vláken, design výrobku a další. Vtokový systém je důležité vytvořit tak, aby tavenina byla dopravována co nejkratší cestou do dutiny formy, rovnoměrně s co nejmenšími teplotními a tlakovými ztrátami. [11]

Jestliže je forma vícenásobná, je nezbytně nutné, aby tok taveniny zaplnil všechny tvarové dutiny rovnoměrně při stejném tlaku a teplotě. Vtokové kanály by měly být co nejkratší a stejně dlouhé, aby bylo možné vytvořit pro každou dutinu stejné technologické podmínky. Těto metody se využívá hlavně pro výrobky, které jsou rozměrově velmi přesné. Tvarové dutiny ve formě mohou být seskupeny buď do hvězdy, nebo do řady. Z důvodů vytvoření stejných technologických podmínek pro každou dutinu formy je jed-

nodušší využívat uspořádání do hvězdy. Při uspořádání tvarových dutin v řadě je nutné změnit rozměry jednotlivých vtokových kanálů, abychom zajistili rovnoměrné zaplnění dutin při stejných teplotách a tlacích. [11]

Je možné využívat tři základní vtokové systémy:

- Studený vtokový systém – využívá se v malosériové výrobě pro jednodušší díly.
- Horký vtokový systém – používá se v hromadné výrobě pro složitější výrobky.
- Kombinace studeného a horkého vtokového systému. [11]

2.2.2 Studený vtokový systém

Ve studeném vtokovém systému při tečení taveniny roste její viskozita na vnějším povrchu. Vnitřní proud je tekutý a plní dutinu tvarové formy. Ztuhlá vrstva poskytuje vnitřnímu proudu tepelnou izolaci. V momentě zaplnění dutiny formy se zvýší vnitřní odpor a klesne průtok taveniny. Teplo se odvádí do stěny formy a probíhá tuhnutí plastu v dutině formy, ale i ve vtoku. Za pomoci dotlaku, který pomáhá generovat teplo ve vtokovém ústí, se oddálí zatuhnutí taveniny ve formě. Při růstu protitlaku až do hodnot, které vstřikovací stroj nepřekoná, nastane snížení vstřikovací rychlosti, což vede následně k ochlazení polymeru na vyhazovací teplotu. [11]

Vtokový systém zabezpečuje:

- Co nejkratší vzdálenost toku taveniny od plastikační jednotky do dutiny formy.
- Aby vzdálenost toku taveniny ke všem tvarovým dutinám formy byla stejná.
- Dostatečně velký průřez vtokových kanálů pro dopravu taveniny.
- U vícenásobných forem zachovat stejnou rychlost taveniny.
- Vyústění do dutiny formy s následným spojením a ochlazením taveniny. [11]

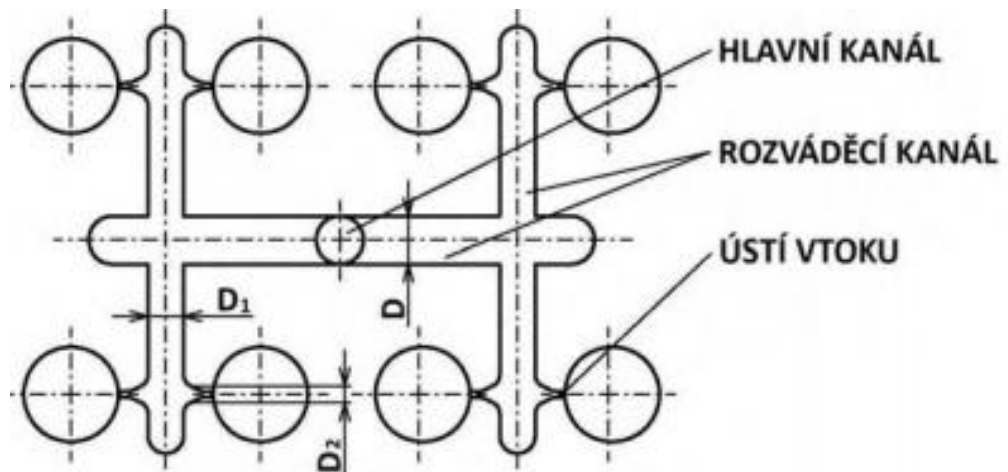
Aby vtokový systém plnil svoji úlohu, je nezbytně nutné:

- Všechny hrany vtokových kanálků zaoblit.
- Stanovit úkoso vtoků ke snadnému doformování.
- Větvení vtoků neprovádět pod ostrým úhlem.
- Odstranit ve vtoku místa, která jsou riziková z důvodu nahromadění polymeru. [11]

Jednotlivé části vtokového systému:

- Hlavní vtokový kanál – vtoková část bývá o 0,5 – 1 mm větší než průměr trysky, je vytvořena jako kuželový segment. [7]

- Rozváděcí kanál – rozměrově je větší než vtokové ústí v některých případech mohou být stejně velké. U rozváděcích kanálů je důležité zhotovení vybrání na konci každého kanálu. Jelikož proud taveniny na čele chladne, dojde k ucpání vybrání na konci rozváděcího kanálu, což má za následek, že tavenina je dopravována v požadované teplotě až do vtokového ústí. [7]
- Vtokové ústí – je zúžené, větší průměr má v místě rozvodného kanálu, musí mít co nejmenší rozměry, aby se jednoduše dal vtok odstranit z výrobku. Čím menší, tím se ve vtokovém ústí generuje větší teplo, které je potřeba pro rozvod taveniny do dutiny formy. Nesprávně navržené vtokové ústí může mít za následek vznik vnitřního prnutí a také znehodnotí dotlakovou fázi, čímž se zvyšuje smrštění dílu. [7]

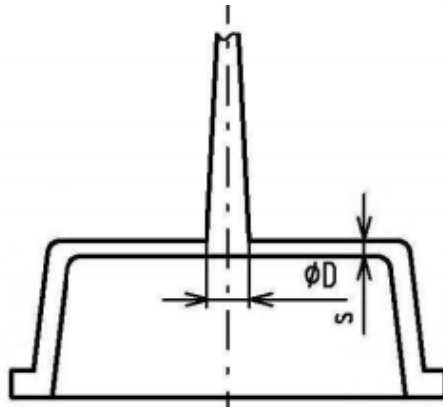


Obr. 10. Vtokový systém a jeho části. [11]

Vtokové ústí může být kuželové, bodové, tunelové, boční a vícenásobné.

Kuželové vtokové ústí:

- Výhodou tohoto vtokového ústí je vysoká účinnost dotlaku, ale nevýhodou je, že se vtok z výrobku velmi špatně odstraňuje. Používá se pro jednonásobné formy a pro tlustostěnné výrobky. [11]



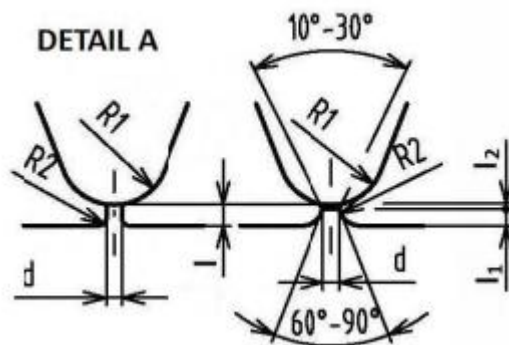
Obr. 11. Plný kuželový vtok. [11]

Bodové vtokové ústí:

- Má kruhový průřez a je velmi často používané. Používá se pro vtokové ústí z rozvodných kanálů, předkomůrky a z vtokového kanálu. Využití pro tekuté a plněné polymery je nevhodné. [11]

Vtokové ústí se umísťuje:

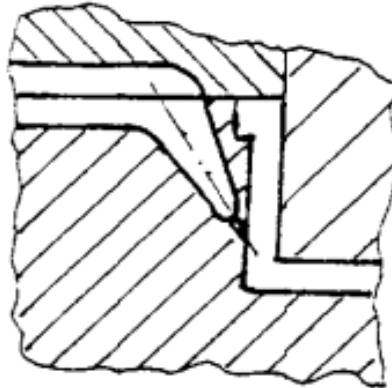
- Do nejtlustější stěny výrobku.
- Do středu geometrie dutiny.
- U tvarů obdélníků se umísťuje vtok na delší strany.
- Neumísťuje se na pohledovou stranu dílu.
- Tak aby nedocházelo k volnému toku taveniny, které by mělo za účinek nežádoucí turbulentní proudění.
- Na plochy, které nebudou namáhány, aby nedošlo k porušení technologičnosti výrobku.
- Ve směru orientace žeber. [11]



Obr. 12. Bodové vtokové ústí. [11]

Tunelové vtokové ústí:

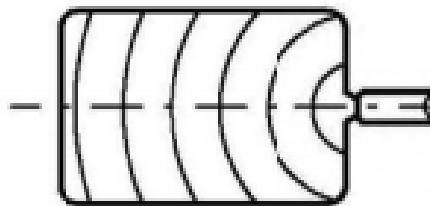
- Tunelové vtokové ústí je výhodné používat v případech ušetření nákladů za výrobu formy. Odstranění vtoku se docílí otevřením formy nebo vyhozením výrobku z dutiny formy pomocí vyhazovacího systému. Tunelový vtok je složité vyrobit, vtokové ústí nesmí obsahovat ostré hrany a využívá se u pohledově obtížných dílů. [11]



Obr. 13. Tunelový vtok. [11]

Boční vtokové ústí:

- Vtokové ústí po vyhození dílu z formy zůstává jeho součástí. V praxi se vtokové ústí odlamuje ručně, ale zůstává stopa vtokového ústí na výrobku. Důležitá je úprava vtokového ústí, aby se nemohla tavenina samovolně vstříkovat do dutiny formy. [11]



Obr. 14. Boční běžný vtok. [11]

Vícenásobné vtokové ústí:

- Tento vtok se používá do míst, kdy jeden vtok by nemusel být efektivní, a nedocházelo by k zaplnění dutiny formy. U vícenásobných vtoků rapidně stoupá riziko studených spojů a dalších vad, které by mohly vzniknout například nedostatečným odvzdušněním formy. [11]

2.2.3 Horké vtokové systémy

Horké vtokové systémy se často využívají v hromadné výrobě. Při výrobě formy se klade vysoký důraz na vysokou přesnost rozměrů, protože forma je při používání vystavována vysokým tepelným a mechanickým vlivům. Čím větší přesnost, tím se zvyšuje výrobní cena formy, tudíž se formy s tímto vtokovým systémem nevyužívají při kusové výrobě. Formy mohou být jak jednonásobné, tak vícenásobné. U jednonásobných forem je vstřikovací tryska připojena ke vtokovému ústí do dutiny formy. Naopak u vícenásobných forem je součástí horkého vtokového systému horký rozváděcí segment s tryskami, který dopravuje taveninu buď do vtokových kanálů, nebo do dutiny tvarové formy. [9], [11]

Výhody horkého vtokového systému:

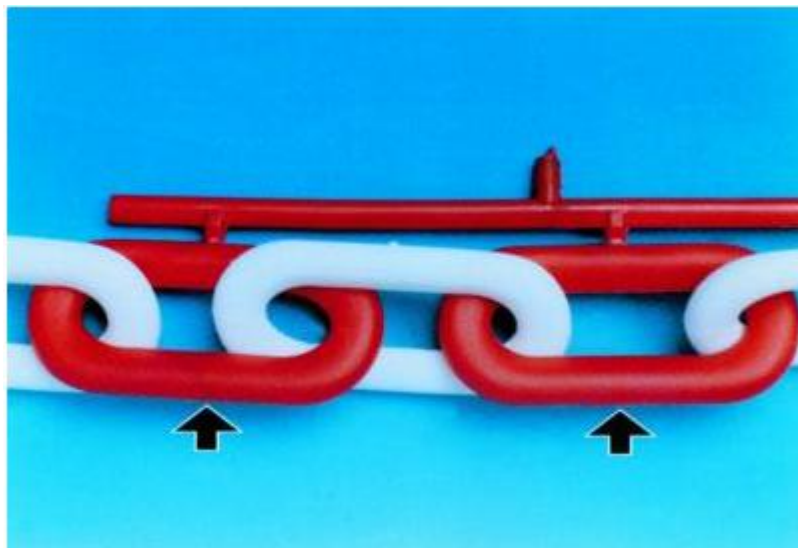
- Podstatné zkrácení času chlazení.
- Nepotřebují odstraňovat vtokové zbytky.
- Výrobu lze automatizovat.

Nevýhody horkého vtokového systému:

- Potřeba kvalifikovaných zaměstnanců.
- Cenově náročné formy.
- Dostatečné vybavení vstřikovacích dílen. [9]

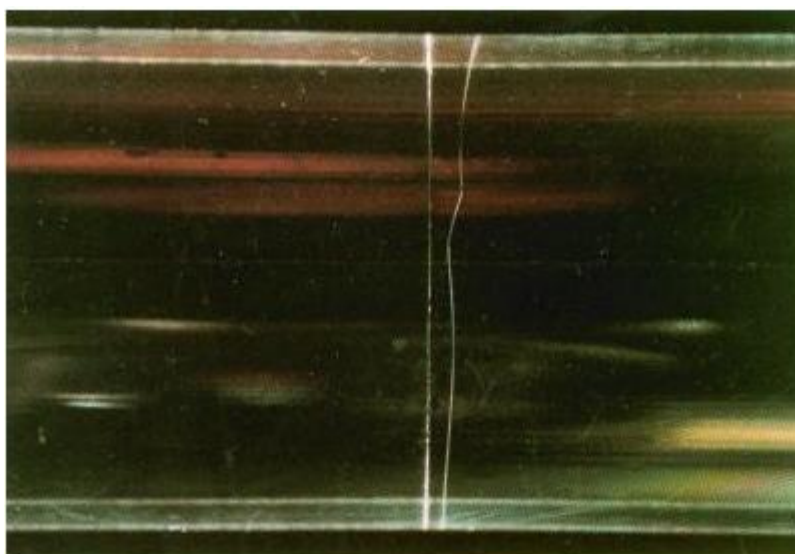
2.3 Studené spoje

Studené spoje jsou vady, které významným způsobem ovlivňují vzhled a pevnost výrobku. Tyto nežádoucí vlivy vznikají nejčastěji při použití více vtokových ústí v dutině formy. Mohou také vznikat z důvodů tvarových výstupků a žeber ve formě a také v důsledku vzduchu v dutině formy. Proud taveniny obtéká tvarová místa a následně se spojuje čelně, bočně nebo tangenciálně. Nejproblémovější studené spoje jsou zapříčiněny čelním spojením. [6], [9]



Obr. 15. Primární studené spoje. [6]

U výrobků, které budou v praxi namáhány mechanicky, je pevnost velmi důležitá. Z toho důvodu je potřebné vybrat i správný termoplast, jelikož dobrý výběr polymeru může snížit riziko pevnostního oslabení. U amorfních materiálů se v místech vzniku studených spojů snižuje pevnost materiálu, která může mít za následek tvorbu vrubu. Naopak semikrystalické materiály reagují na studené spoje lépe a ne tak drasticky. Vzniklým studeným spojem prorůstá sferolitická struktura, čímž se kladně ovlivňuje snížená pevnost dílu. Dalším důležitým faktorem, který ovlivňuje účinek studených spojů je tloušťka stěny v rizikové oblasti. U menší tloušťky stěny vlivem studených spojů vzniká větší snížení pevnosti. [6]



Obr. 16. Vruby vzniklé v poloze studeného spoje. [6]

2.3.1 Zabránění vzniku studených spojů

Pro vznik studeného spoje záleží na vtokovém systému a samotném vtokovém ústí. V softwaru Moldflow je možné vytvořit simulaci a zjistit, ve které oblasti výrobku studené spoje vzniknou. Jestliže leží v oblasti, která bude v budoucnu pevnostně namáhána, je možné na základě výsledků přesunout vtokové ústí s vtokovým systémem do jiného místa výrobku. Dále je vhodné vytvořit odvzdušnění, a nebo v případě realizovaného odvzdušnění zvětšit jeho rozměry. Pevnost studeného spoje je velmi ovlivněna použitím pigmentů, retardérů hoření, plniv. Nedoporučuje se používat separátory, jako jsou silikonové oleje pro ošetření povrchu dutiny formy. [6], [7]

Pevnost studeného spoje lze kladně ovlivnit zvýšením teploty taveniny, formy a odvzdušněním mezi proudy taveniny, naproti tomu dotlaková fáze snižuje pevnost ve studeném spoji. Fáze plnění při vstřikování je dobré optimalizovat a zároveň využít vlastností vstřikovací rychlosti. Jestliže vstřikování taveniny do dutiny formy je příliš pomalé, dochází k ochlazení na čele taveniny, tudíž dojde k tvorbě spoje, který je nedokonalý. Naopak při příliš vysoké rychlosti vstřikování taveniny do dutiny formy může docházet k uzavírání vzduchu, kompresi a následnému lokálnímu přehřátí. Uvedené problémy mohou vést až k další vadě, dieselefektu, čímž v místě styku proudů tavenin dochází ke snížení pevnosti. [6], [9]

Jestliže místa studeného spoje jsou dopředu známá z výsledků analýz, je možné do kritických míst použít lokální ohřev vměstnáním topných tělísek s chvilkovým ohřevem formy, použitím samotného temperančního okruhu nebo vložky, které mají temperanční kanály pro ohřev. [6], [9]

2.3.2 Designové vady vytvořené studeným spojem

Při použití plniv a aditiv dochází ve výrobku ke zvýraznění míst studených spojů na povrchu výrobku. Výrazné stopy na dílu mohou vzniknout také vlivem špatného odvzdušnění formy a nevhodně zvolenými vstřikovacími rychlostmi. [6]

2.3.3 Stopy po volném proudu taveniny

Jedná se o designovou vadu výrobku v kombinaci se sníženou pevností způsobenou vlivem sekundárního studeného spoje. Stopy po volném proudu taveniny vznikají špatně zvoleným umístěním vtokového ústí a jeho konstrukcí převážně u amorfních termoplastů. Tato vada vzniká hlavně zvolením vtokového ústí na čelní plochu výrobku, kdy tavenina

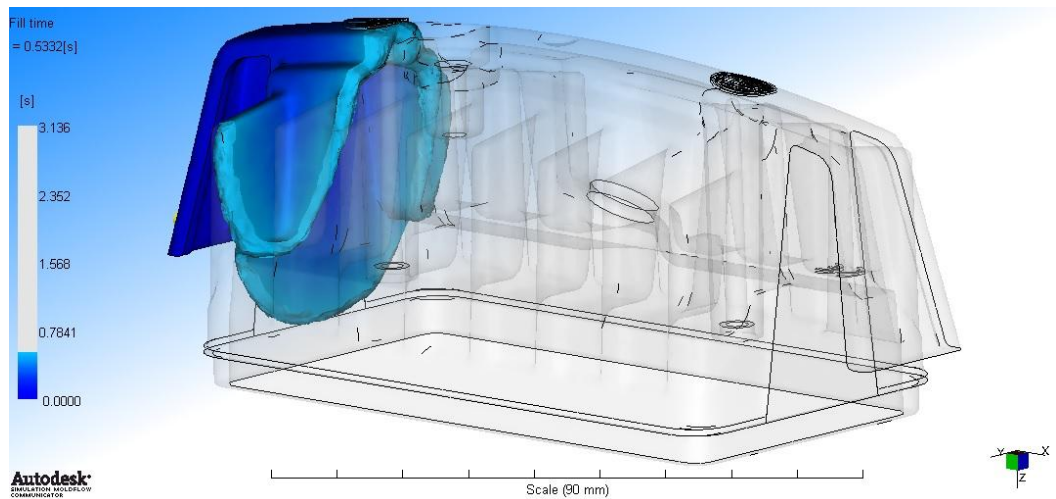
prochází středem dílu a je zastavena až protější stěnou nebo překážkou v tvarové formě a teprve poté dochází k dotečení taveniny do celé tvarové dutiny formy. Tato vzhledová vada vznikne ochlazením proudu taveniny na obvodu výrobku. [6]

K odstranění této vady se používá nejčastěji úprava umístění vtokového systému tak, aby proud taveniny při vstupu do dutiny formy narazil na stěnu a poté rovnoměrně zaplnil tvarovou dutinu formy. Jestliže nelze upravit umístění vtokového systému je zapotřebí u místa vtoku vytvořit překážku, která volný proud taveniny neumožní. [6]

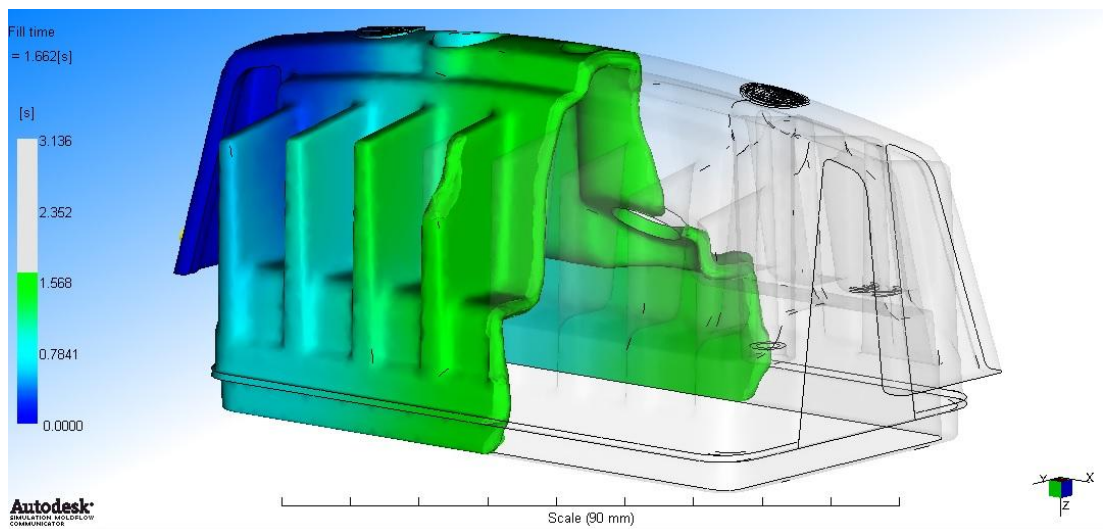


Obr. 17. Stopy po volném proudu. [6]

Příklad vzniku studených spojů je na obr. 18 a obr. 19. Výrobek je plněn jedním vtokovým ústím, které je umístěno v boční části výrobku. Při plnění dílu postupuje tavenina rychleji v horní části výrobku, než ve spodní části. Z toho důvodu v žebrech dílu, kromě prvního žebra, bude docházet ve středu ke styku dvou proudů taveniny. Spojení těchto různých směrů taveniny má za následek vytvoření studených spojů, které mohou vést ke snížení mechanických vlastností v těchto částech výrobku. Je zapotřebí minimalizovat možnost vytvoření těchto vlivů. Jednou z možností je po domluvě se zákazníkem vytvoření dvou vtokových ústí s přemístěním do horní části výrobku, čímž by bylo zajištěno lepší plnění. Další možností je vytvoření vložek pro odvod vzduchu ze vstřikovací formy z problematických míst žeber.

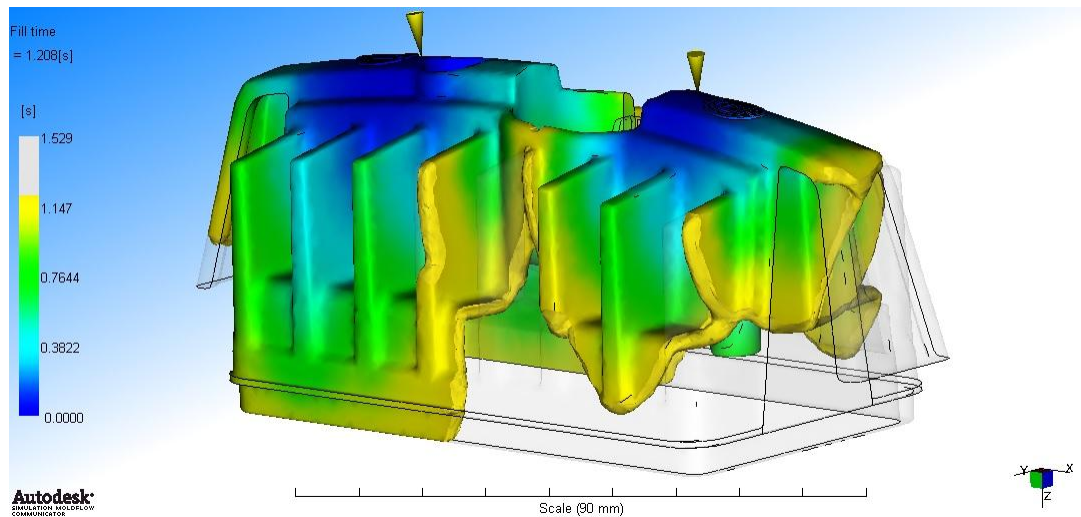


Obr. 18. Plnění prvního žebra.

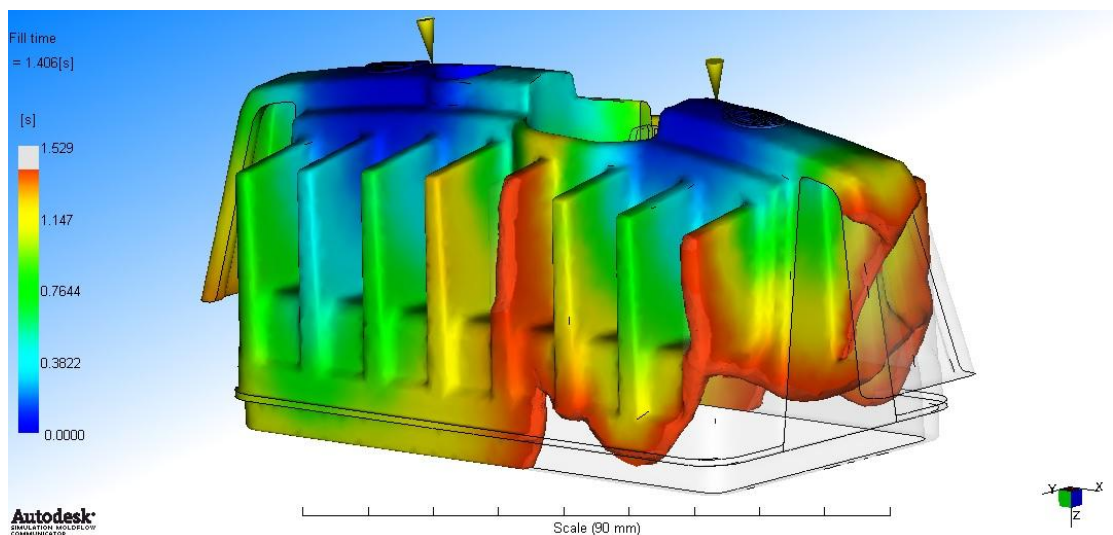


Obr. 19. Plnění dalších žebra.

Při vytvoření dvou vtokových ústí na horní straně výrobku se docílilo lepšího plnění žebrových tvarů. Jak je vidět na obr. 20 a obr. 21, dochází ve středu výrobku stále ke styku dvou proudů. Z toho důvodu se vložkám pro odvod vzduchu nelze vyvarovat s tím, že při řešení plnění pomocí dvou vtokových ústí by bylo potřeba menšího množství těchto vložek.



Obr. 20. První problémové žebro.



Obr. 21. Další problémová žebra.

2.4 Odvzdušnění

Špatně navrhnuté odvzdušnění tvarové dutiny formy způsobuje nedostatečné mechanické vlastnosti a také vzhled výrobku není dostatečně kvalitní. Tyto vady se většinou zjistí až při zkoušení daného výrobku. Pro vytvoření kvalitního a dostatečně funkčního odvzdušnění je zapotřebí kvalifikovaných a zkušených pracovníků, jelikož u některých výrobků je zhotovení odvzdušnění složitá záležitost. [7], [8]

Nedostatečné odvzdušnění může způsobit:

- Dieselův efekt.
- Nedotečená místa v dutině formy.
- Vznik studených spojů.
- Vnitřní pnutí.
- U tlustostěnných výrobků způsobuje uzavírání vzduchu. [7], [8]

2.4.1 Vliv technologických parametrů vstřikování na odvzdušnění

Účinnost odvzdušnění je dána rychlostí plnění dutiny formy. Čím je rychlost vstřikování větší, tím musí být lepší a kvalitnější odvzdušnění. Před samotným procesem vstřikování taveniny je dutina formy zaplněna vzduchem. Při vstřikování taveniny je potřeba zachytit místa, kterými odchází vzduch a případné vzniklé zplodiny. [7], [8]

Základní vlastnosti výrobku velmi ovlivňuje volba vstřikovací rychlosti. Jedním z častých úkazů při velmi vysoké rychlosti vstřikování je vznik stlačeného vzduchu, který se postupně ohřívá a způsobuje nežádoucí dieselefekt. Tento efekt způsobuje ve výrobku vady, kdy dochází ke snížení pevnosti a ke spáleným místům, která jsou na výrobku nepřijatelná. Tento problém je možné eliminovat dostatečně kvalitním odvzdušením. [7], [8]

I při pomalejším plnění dutiny formy taveninou vznikají problémy. Při pomalém plnění formy se objevují místa, která jsou dříve zatuhlá a mohou se ze stěn uvolňovat do proudu toku taveniny. Tyto uvolněné částice způsobují ve výrobku vměstky, které vedou k porušení rozměrové stability. Nepochází pouze k rozrušení rozměrové stability dílu, ale také se podílejí na tvorbě studených spojů, které se zásadním způsobem podílejí na snížení mechanických vlastností. [7], [8]

Dalším problémem nekvalitního odvzdušnění v dutině formy je tvorba vnitřního pnutí. Vnitřní pnutí může vzniknout tak, že taveniny je dopravována do dutiny formy pomocí tlaku, který se na konci plnění zvyšuje. Na taveninu působí tlak, ve formě se nachází stlačený vzduch, který způsobuje tavenině protitlak, který je dán odvzdušením. A právě v tento moment může vzniknout vnitřní pnutí z důvodu zvyšování vstřikovacího plnění způsobené nekvalitním odvzdušením. [7], [8]

U výrobků, které jsou charakteristické tenkými stěnami, je riziko nedotečení materiálu do celé dutiny formy. Tento jev může vzniknout při použití nízké rychlosti vstřikování, nízkého tlaku a teploty taveniny, kdy stlačený vzduch z dutiny působením protitlaku

nemůže ustoupit tavenině. U dílů s tlustšími stěnami se může stlačený vzduch v dutině formy smístit s taveninou, čímž po ochlazení vznikají na povrchu výrobku bublinky. Bublinky vzniklé tímto způsobem se objevují na protilehlé straně od místa vtokového ústí, čímž se odlišují od bublinek, které vznikly vlhkostí nebo přehřátím polymeru. [7], [8]

2.4.2 Volba místa pro odvzdušnění

Určení místa odvzdušnění se odvíjí od polohy umístění vtokového ústí a toku taveniny v dutině formy, na budoucí funkci dílu a tloušťce stěn výrobku. Jelikož umístit odvzdušnění do dutiny formy není vždy jednoznačné, je možné ho vytipovat při zkoušení formy a to tak, že se objeví nedotečená nebo spálená místa, která mohou vzniknout absencí odvzdušnění. Je důležité podniknout takové kroky, které poté dovolí odvzdušnění formy zhotovit. [8]

Jelikož odvzdušnění může být viditelné na některých dílcích, je doporučováno se vyhnout odvzdušnění na pohledových stranách výrobku, aby nedocházelo ke zjevným vadám. [8]

2.4.3 Tvorba odvzdušnění

Odvzdušnění v dutině formy vytvářet v místech, kde vzniká uzavírání vzduchu. [7]

Tyto místa mohou být zjištěna pomocí:

- Softwarů pro tvorbu analýz, které vyhodnotí místa vzniku studených spojů a dalších nežádoucích účinků, které lze eliminovat použitím odvzdušnění.
- Pomocí zkušeností konstruktéra formy, který je povinen označit místa pro realizaci odvzdušnění a navrhnout je tak, aby se po zkoušení formy daly jednoduše vyrobit.
- Optimalizaci formy na základě nedotečených míst, spálených částí výrobků a dalších podkladů. [7]

Možnosti odvzdušnění:

- Hlavní dělicí rovinou a vedlejšími dělicími rovinami.
- Odvzdušňovacími kanálky.
- Vůlemi mezi pevnými částmi formy.
- Vůlemi mezi pohyblivými částmi formy. [7]

Problémy s odvzdušněním:

Potíže mohou nastat u nově vyrobených vstřikovacích forem, které mají velmi dobře slícované dělicí roviny, vyhazovače, tvarové části, ale vlivem používání formy se vůle mezi jednotlivými prvky zvětšuje, tudíž odvzdušnění zlepšuje svoji funkci. Další problémy mohou nastat u forem, které pracují s vysokou pracovní teplotou. [7]

Rozměry odvzdušňovacích kanálů:

Důležité pravidlo je, aby tloušťka odvzdušnění nevytvářela přetoky na výrobku. Pro každý vstřikovaný polymerní materiál je odlišná tloušťka odvzdušňovacích kanálů v závislosti na viskozitě, technologických podmínkách, na typu plnění, ale obecně platí, aby bylo zajištěno kvalitní odvzdušnění, nesmí jeho tloušťka přesáhnout 0,018 – 0,02 mm. [7]

2.5 Deselefekt

Jako deselefekt se označuje místo na výrobku, které je spálené. Deselefekt vzniká nedostatečným odvzdušněním dutiny formy a vysoké rychlosti vstřikování taveniny. Deselefekt patří mezi zjevné vady, které je možné odhalit vizuální kontrolou. Na výrobku ovlivněném deselefektem je oblast nedoplněného materiálu a viditelné spálení tmavou až černou barvou. U tmavých výrobků se spálená oblast pozná pomocí zvrásněného povrchu, který vytváří necelistvou strukturu. [6]

Dieselův efekt je způsoben tím, že tavenina je vstřikována vyšší rychlostí do dutiny formy a stlačuje vzduch, který zůstal v dutině formy. Působením tlaku se neodvedený vzduch ohřívá do takové teploty, až dojde ke spálení vstřikovaného materiálu. Dalším problémem deselefektu je ten, že vlivem působení tlaku může dojít k nezaplnění celé dutiny formy taveninou. U výrobků s větší tloušťkou stěny je možný vznik bublinek působením vzduchu, který se dostal mezi vstřikovanou taveninu. [6], [7]



Obr. 22. Výrobek s bublinkami.

V oblastech, kde dochází k nahromadění vzduchu je potřeba vytvořit odvzdušňovací kanálky. Rozměry odvzdušňovacích kanálů jsou realizovaný podle vstříkovaného materiálu, teploty, tlaku a rychlosti vstříkovaní. [6]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem mé diplomové práce je vytvořit dle zadaných 3D modelů od firmy PP&T Moldflow analýzy. Simulace budou tvořeny v softwaru Autodesk Simulation Moldflow Synergy 2014. První část Moldflow analýz se soustředí na deformace a smrštění výrobků, vyhodnocení vzniklých rizik s učiněnými nápravnými opatřeními k dosažení lepší rozměrové stability dílů. Druhá část Moldflow simulací se zabývá problematikou plnění, vzduchových kapes a studených spojů. Jednotlivé vytvořené analýzy budu vyhodnocovat a případně budou učiněny optimalizace pro dosažení lepších výsledků. Vytvořené optimalizované analýzy budou následně porovnávány se simulacemi, podle níž se řídila společnost PP&T. Dále budou porovnány reálné vstříkovací hodnoty s údaji, které jsou vygenerovány ve vytvořených analýzách. V poslední části budou posuzovány optimalizační návrhy vstříkovacích forem, které byly učiněny po prvních zkoušeních. Jedná se hlavně o posouzení optimalizací, zda-li mohly být dopředu predikovány ze simulací a dalo se jím dodatečně předejít, a nebo se jedná o rozměrové úpravy a korekce ve vstříkovací formě.

4 VLIV KONSTRUKCE VÝROBKU NA DEFORMACI, OČEKÁVANÁ RIZIKA NA ZÁKLADĚ ANALÝZY

Deformace je způsobená velkým množstvím různých aspektů, jako jsou například propadliny, vnitřní pnutí, lineární smrštění a jiné.

4.1 Deformace

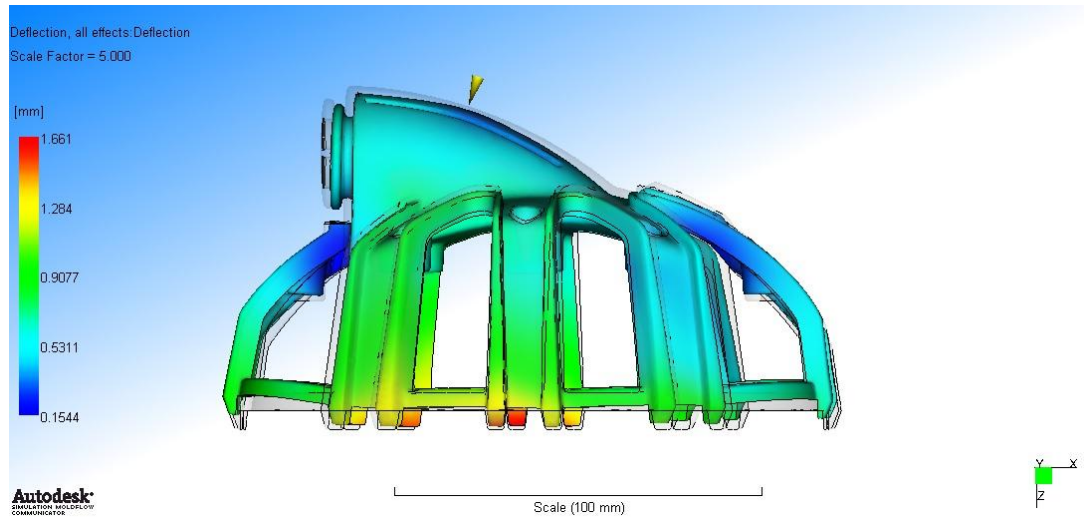
Při deformaci dochází ke změně tvaru při ponechání konstantního objemu výrobku. Výsledné deformace jsou z velké části zapříčiněny celkovým smrštěním, které je dáno různými složkami. [7]

Ovlivňující složky:

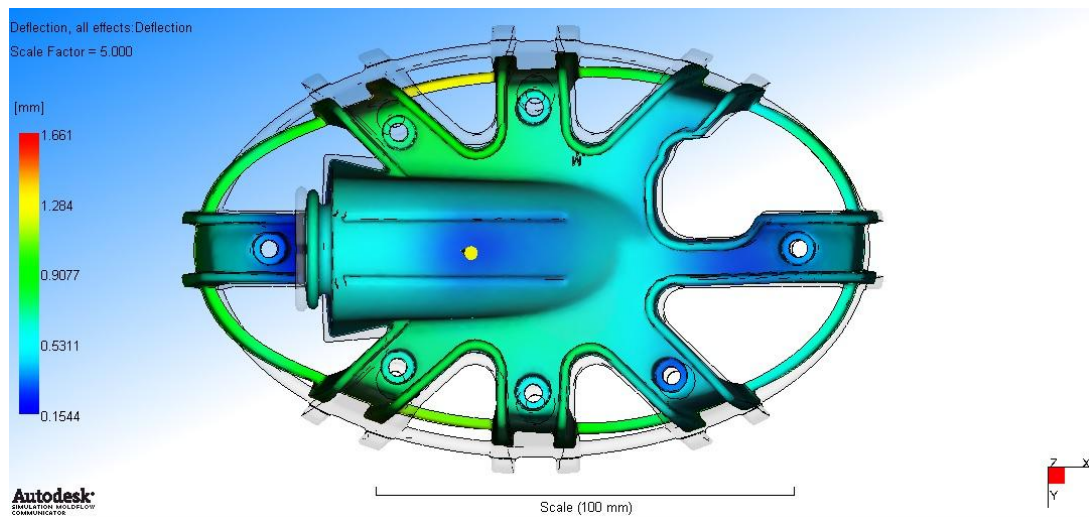
- Různé smrštění ve směru toku taveniny a ve směru kolmém na tok taveniny u plněných materiálů, u kterých je kladen důraz na anizotropii materiálů.
- Rozdílné hodnoty smrštění u výrobků, které mají různou tloušťku stěn.
- Nestejné lokální smrštění způsobené vlivem místních změn teploty formy.
- Různé smrštění vzniklé rozdílným dotlakem při vstřikování. [7]

V porovnání materiálů amorfních a částečně krystalických termoplastů vznikají větší deformace u částečně krystalických termoplastů, které vykazují i vyšší hodnoty smrštění a jsou dále umocněny vyztužujícími vláknitými plnivými. [7]

Na obr. 23 a obr. 24 jsou vidět velké deformace. Největší deformace vznikají v oblasti tzv. „pavoučích noh“. Jelikož jsou deformace velmi velké a nepřijatelné, je zapotřebí daný problém konstrukčně řešit. Jedním z řešení, které se nabízí, je to, že konstruktér vytvoří v oblasti problémových míst „pavoučích noh“ temperační kanály, čímž by mělo dojít k lepšímu temperování problémových míst a snížení deformace. Dalším řešením, které by bylo možné realizovat je vytvoření větší tvarové dutiny o hodnotu smrštění dílu. Tímto řešením by se docílilo toho, že výrobek by se po vystříknutí smrštil o svou hodnotu smrštění, čímž by bylo dosaženo potřebných rozměrů výrobku.



Obr. 23. Deformace „pavouka“ z přední strany.



Obr. 24. Deformace „pavouka“ z horní strany.

4.2 Smrštění

Smrštění je jev, který postihuje všechny druhy plastů, jak amorfni (například PS, ABS, PC, PMMA), tak také částečně krystalické materiály (PP, LDPE, PET). U všech těchto materiálů platí, že rozměry výrobku naměřené po vyhození z formy se liší od rozměrů naměřených po určité době od konce výroby výrobku. [7]

Smrštění je definováno jako změna objemu při tuhnutí taveniny, způsobené stlačitelností, tepelnou rozpínavostí a kontrakcí polymerů, které následuje po vyhození dílu z tvarové dutiny formy. [7], [12]

Rozeznávají se dva typy smrštění:

- Výrobní smrštění – je ovlivňováno druhem polymeru, tvarem výrobku a tloušťkou jeho stěn, umístěním vtokového ústí a technologickými podmínkami. Výrobní smrštění se zvyšuje s teplotou formy, s tlustší stěnou výrobku a se zkrácením doby temperace. [12], [13]
- Dodatečné smrštění – je rozdílné jak v podélném, tak příčném směru, což je zapříčiněno rozdílnou orientací plniva a makromolekul. Dodatečné smrštění je ovlivňováno nedostatečnou teplotou formy. Tento jev je problematický, protože se může projevit až s funkčními rozměrovými změnami dílu, což může mít za následek, že výrobek nebude moci plnit svoji požadovanou funkci. Dodatečné smrštění lze vyvolat dříve pomocí tepelného zpracování, čímž nedojde k nežádoucí rozměrové změně v průběhu využívání výrobku. [12], [13]

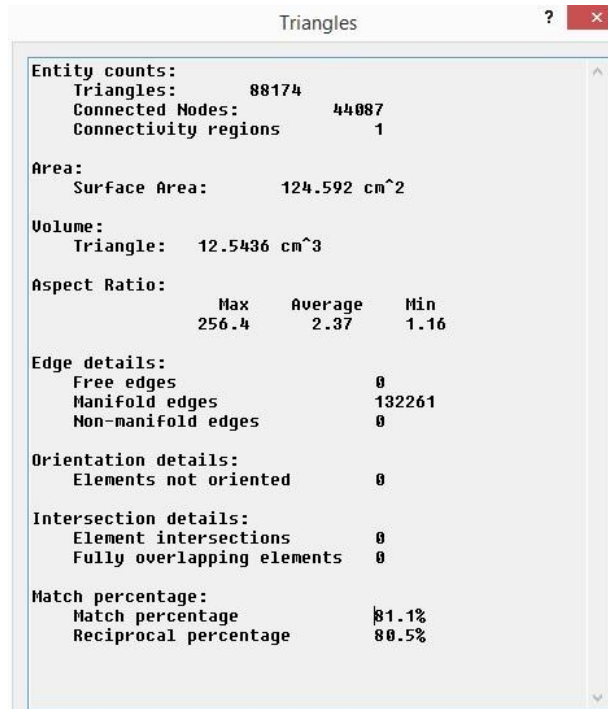
4.3 Obecné nastavení analýzy

Dle zadaných 3D modelů výrobků od firmy PP&T byly vytvořeny Moldflow analýzy v softwaru Autodesk Simulation Moldflow Synergy 2014. Jednalo se o nastavení vhodného typu analýzy s navržením a vytvořením vtokových systémů, temperačních okruhů, vhodnou volbu materiálu, procesních nastavení a velikost vstřikovací formy.

Před importem 3D modelů do softwaru Moldflow byly odstraněny malé rádiusy a zkosení, které zabraňovaly výpočtu analýzy. Po nezbytné úpravě byl model přeuložen do příslušného formátu *.stl a poté importován do Autodesk Moldflow Synergy 2014.

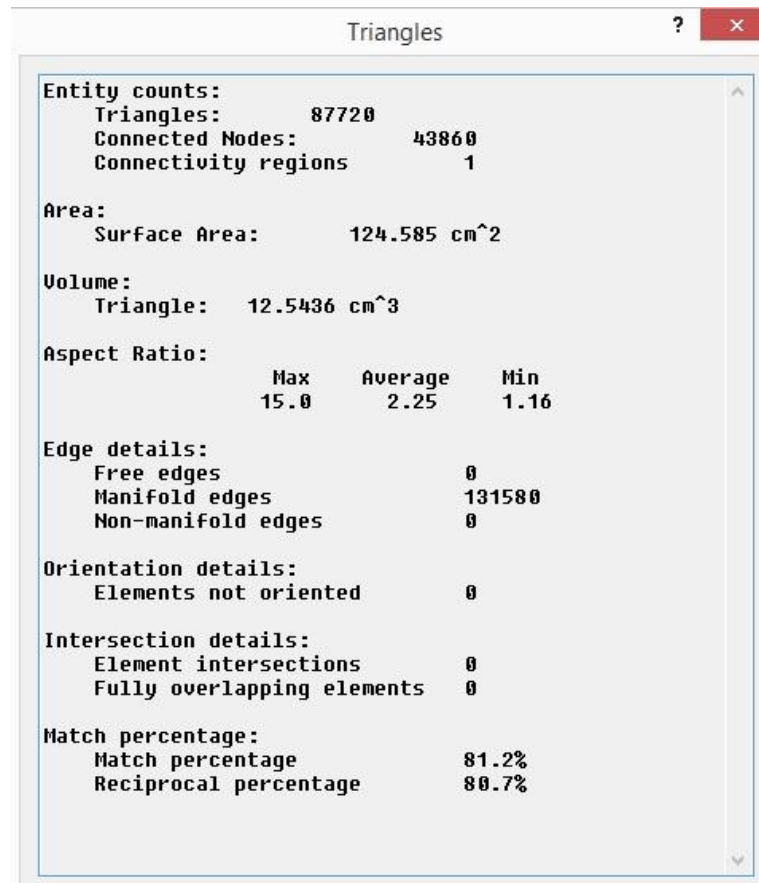
4.3.1 Vytvoření sítě

Importování modelu bylo provedeno do sítě Dual - Domain s následným vysítováním. Po vysítování je nezbytně nutné provést kontrolu sítě pomocí Mesh Statistics a na základě hodnot Aspect Ratio provést ruční úpravu sítě, nejčastěji pomocí funkcí Merge Nodes a Insert Nodes.

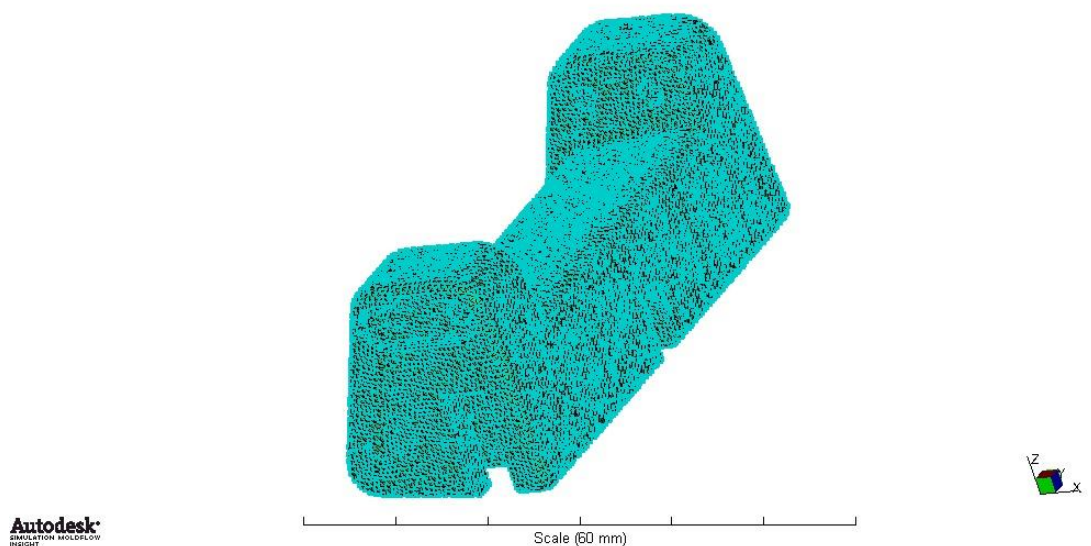


Obr. 25. Mesh statistics před úpravou.

Úprava sítě je u konce, jestliže je dosaženo hodnoty Aspect Ratio menší, než která byla zadána do příkazu pro úpravu sítě. Další důležité hodnoty, které se musí kontrolovat a mají obsahovat nulovou hodnotu jsou Free edges, Non-manifold edges, Elements not oriented, Element intersections a Fully overlapping elements. Další zásadní údaj je Match percentage, podle něhož se volí druh analýzy. Kompletní analýza musí mít více jak 85% Mesh percentage. Zda-li je hodnota nižší, například v rozmezí 80 - 85%, lze vytvořit pouze analýzu, která neobsahuje výsledky temperací. Jestliže všechny hodnoty v Mesh Statistics jsou odpovídající a správné, následuje další krok, kterým je vytvoření požadované násobnosti formy a vtokového systému.



Obr. 26. Mesh statistics po úpravě sítě.



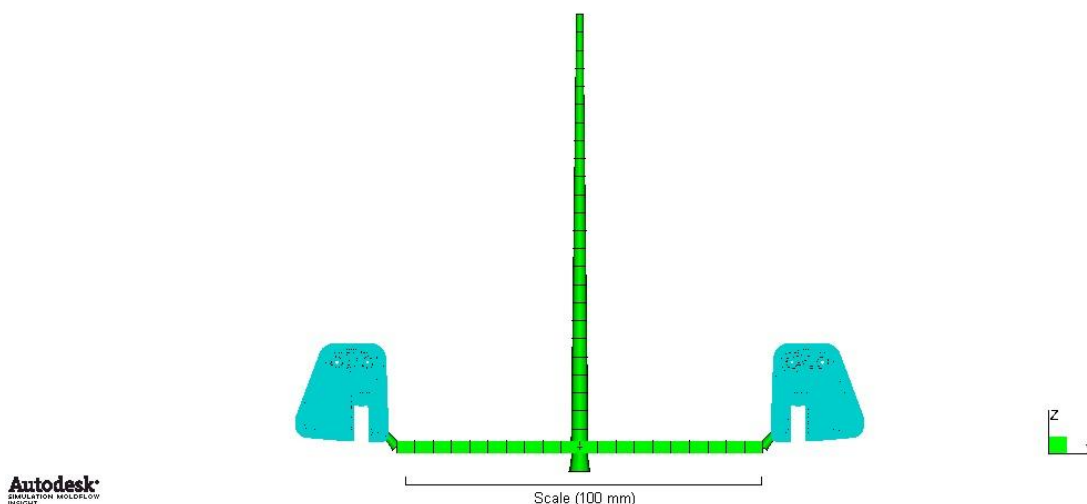
Obr. 27. Vysíťovaný model.

4.3.2 Násobnost formy a vtokový systém

Násobnost formy se odvíjí dle zadání a požadavků zákazníka, který určí počet výrobků, které musí být vstřikovacím procesem vyrobeny za určitý časový úsek. Násobnost vstřikovací formy se v softwaru Moldflow určuje podle funkce Cavity Duplication, kde lze nastavit vzdálenost jednotlivých výrobků v osách x i y.

Jelikož byl vtokový systém konstruován přímo v softwaru Moldflow, byl pro mě výhodnější a rychlejší následující postup. Jako první bylo zvoleno místo vtokového ústí na modelu, od kterého byl vytvořen vtokový kanál a dále vtoková vložka. V případech studených vtokových systémů je nezbytnou součástí přídržovač vtoku. U horkých vtoků se přídržovače vtoku nepoužívají. Dalším vtokovým systémem, který byl využíván, byla kombinace vtokových systémů horkých a studených. Po vytvoření trajektorií čar vtokového systému bylo použito v záložce Move nejčastěji funkce Reflect, čímž bylo dosaženo požadované násobnosti formy v ose x. Pouze u čtyřnásobné formy bylo využito Cavity Duplication pro posun v ose y.

Poté bylo k jednotlivým čarám vtokového systému vytvořeno prvků a nastaveno jejich funkce s odpovídajícími parametry a následným vysítování, čímž se vytvořil funkční vtokový systém.

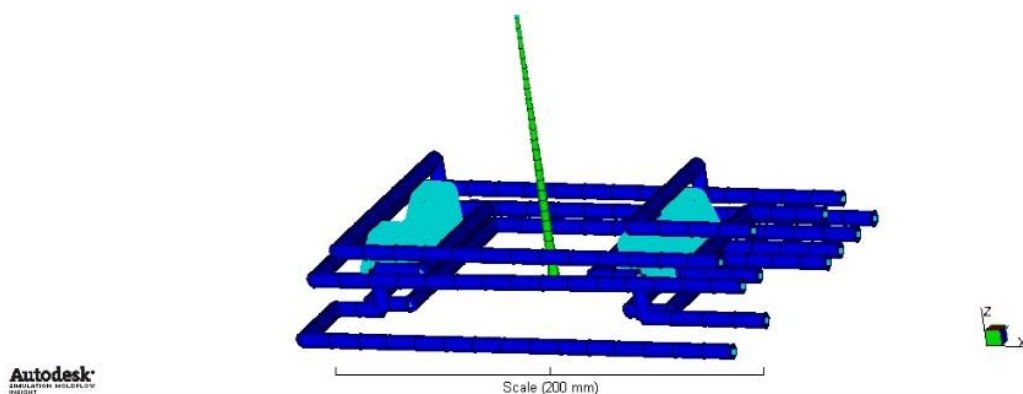


Obr. 28. Násobnost formy + vytvořený kompletní vtokový systém.

4.3.3 Tvorba temperačních okruhů

Temperační okruhy byly vytvořeny podle trajektorií čar a bodů v softwaru SolidWorks 2014. Čáry temperační soustavy byly uloženy ve formátu *.igs, aby mohly být importovány do softwaru Moldflow.

Po importu byl čarám temperací nastaven typ funkce, kterou budou zastávat. Jedná se například o kanály, přepážky a následně jim byly zadány vhodné parametry pro temperaci a vysítovány tak, aby vznikl temperační systém, který bude dostatečně plnit svoji funkci pro temperování tvarové dutiny formy.



Obr. 29. Dutina formy s temperačním systémem.

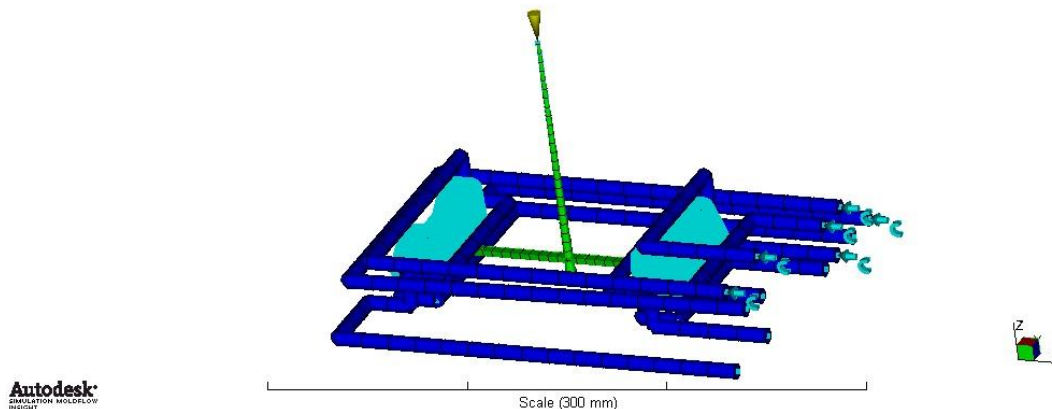
4.3.4 Nastavení parametrů

Jakmile byly vytvořeny temperační okruhy, následovalo vybrání typu analýzy tak, aby bylo dosaženo požadovaných výsledků, například plnění + dotlak + chlazení + deformace, a nebo dále bylo využito výpočtu analýzy pro plnění + dotlak + deformace. Typ analýzy byl volen na základě hodnot Match percentage u jednotlivých modelů.

Následovalo vybrání vhodného materiálu, ze kterého bude výrobek vstříkován. V softwaru Moldflow je na výběr z početné škály různých materiálů.

Dalším krokem bylo nastavení vstupu u vtokového systému pro taveninu, kterým bude proudit až do dutiny vstříkovací formy. U analýz, u kterých se počítalo s temperací, bylo nutné nastavit vstupy jednotlivým větvím temperačního systému s hodnotami teplot temperačního média, druhem média, které proudí temperačním systémem a tlakovým průtokem.

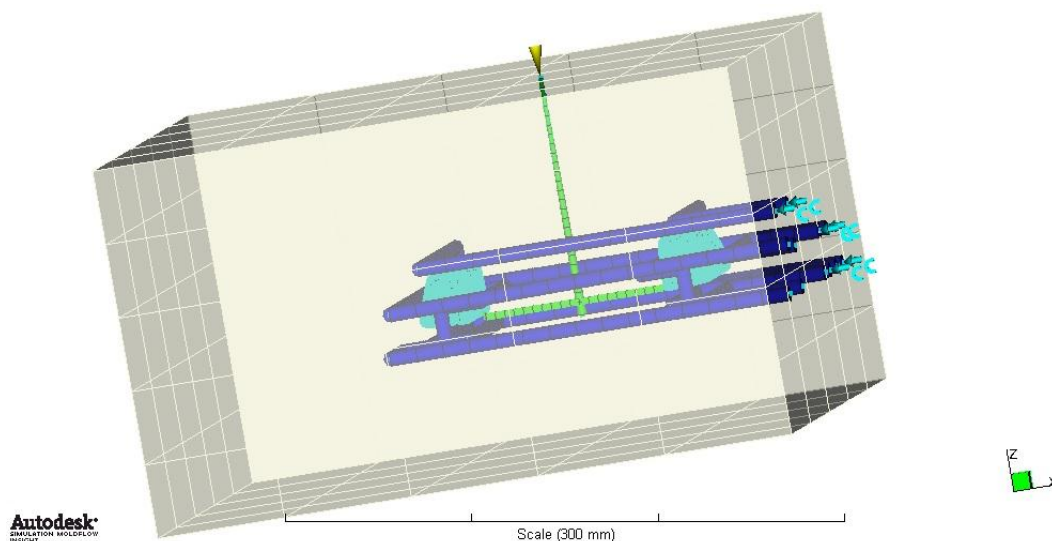
Posledním nastavením jsou procesní parametry, které se skládají z teploty formy, doby otevření formy, z doby plnění, času přepnutí na dotlak, dotlakové fáze, nastavení stroje a dalších nastavení, například k výpočtu deformace a smrštění.



Obr. 30. Nastavení vstupů chlazení a přívodu taveniny.

4.3.5 Blok formy

Jako poslední krok před vypočtením analýzy je nastavení bloku formy pomocí funkce Mold Surface. Vytvořené části se do bloku formy vloží tak, aby temperační systém a vtokový systém byl zároveň s hranami formy, aby jednotlivé části nevyčnívaly z bloku vstřikovací formy ven.

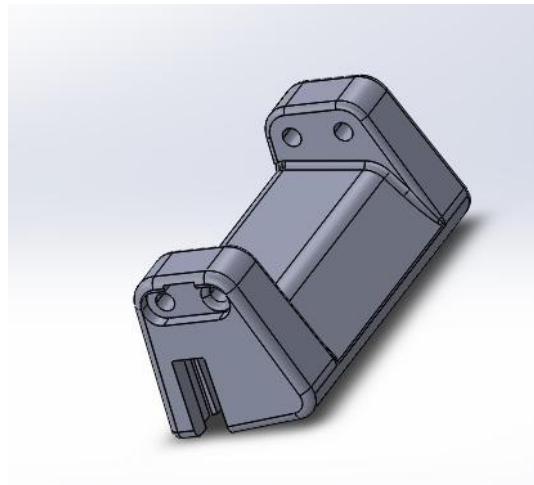


Obr. 31. Blok formy.

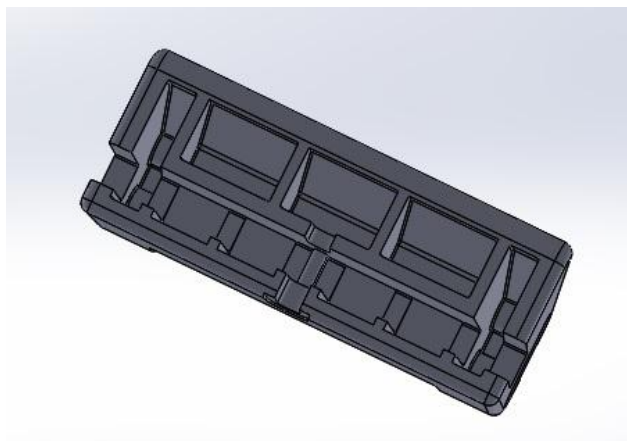
4.4 Vyhodnocení prvního výrobku na deformace a smrštění

Výrobek se bude využívat v praxi pro uchycení pásu rehabilitačního přístroje. Je vyroben z materiálu POM. Pro analýzu bylo využito dvojnásobné formy s přívodem tave-

niny pomocí studeného vtokové systému. Analýzy byla spuštěna jako kompletní simulace chlazení + plnění + dotlak + deformace.



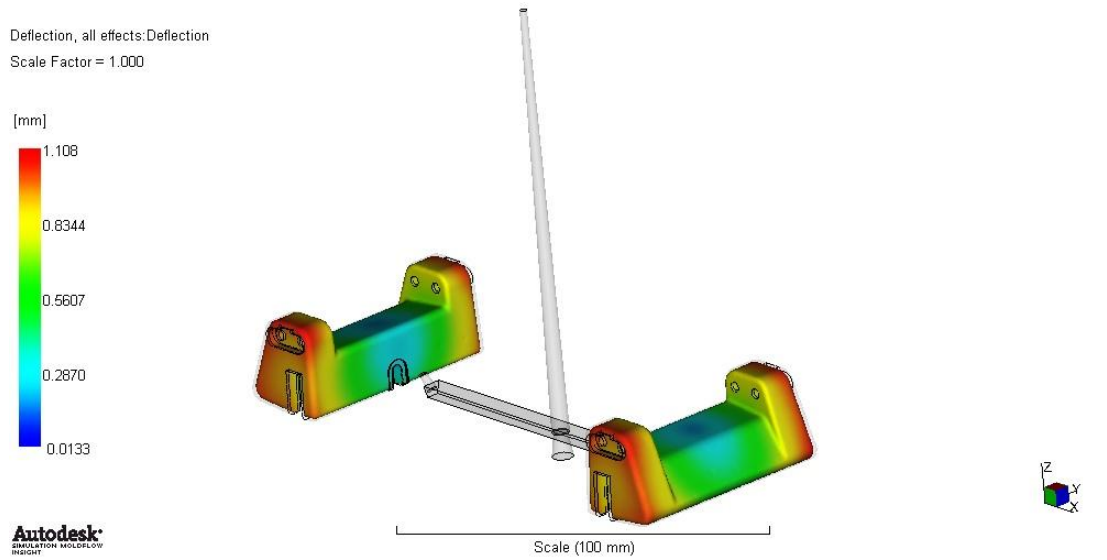
Obr. 32. 3D model přední strana.



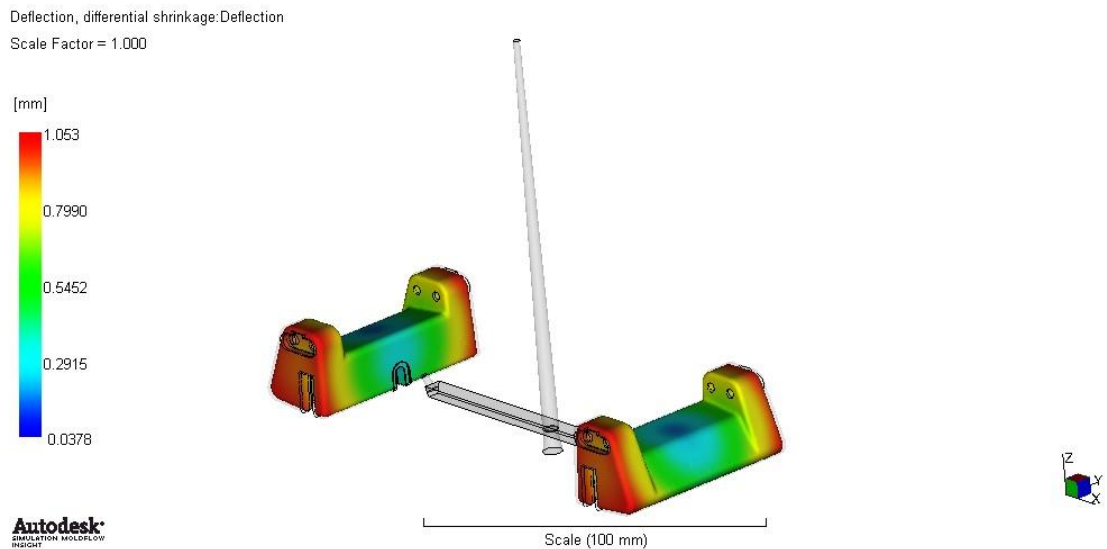
Obr. 33. 3D model zadní strana.

4.4.1 Hodnocení vtokového ústí na zadní straně výrobku

Při umístění vtokového systému do zadní části výrobku bylo dosaženo celkové deformace všech efektů 1,108 mm a deformace pomocí smrštění 1,053 mm, což jsou nepřijatelné hodnoty, které neodpovídají tolerancím určených zákazníkem.

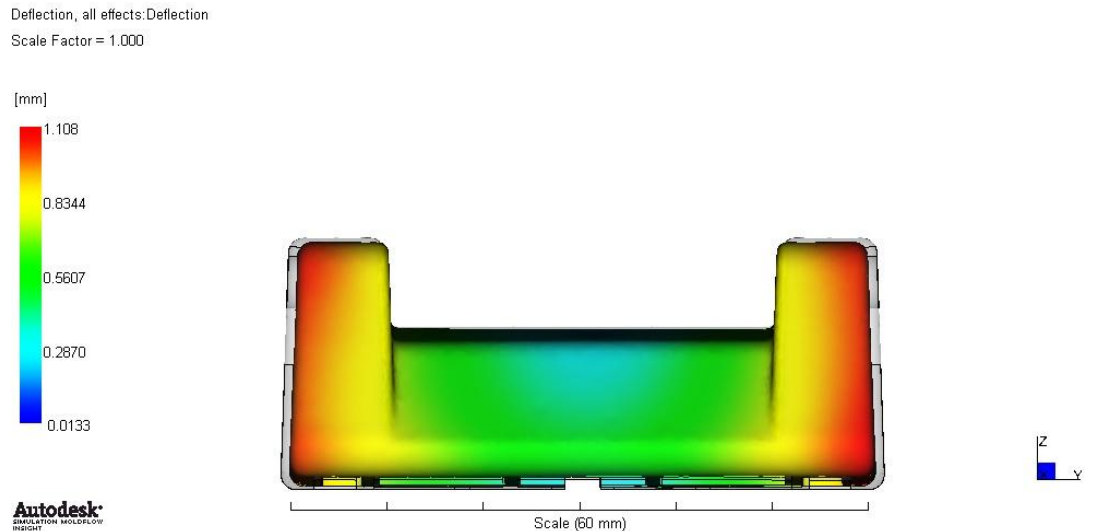


Obr. 34. Celková deformace všech efektů.

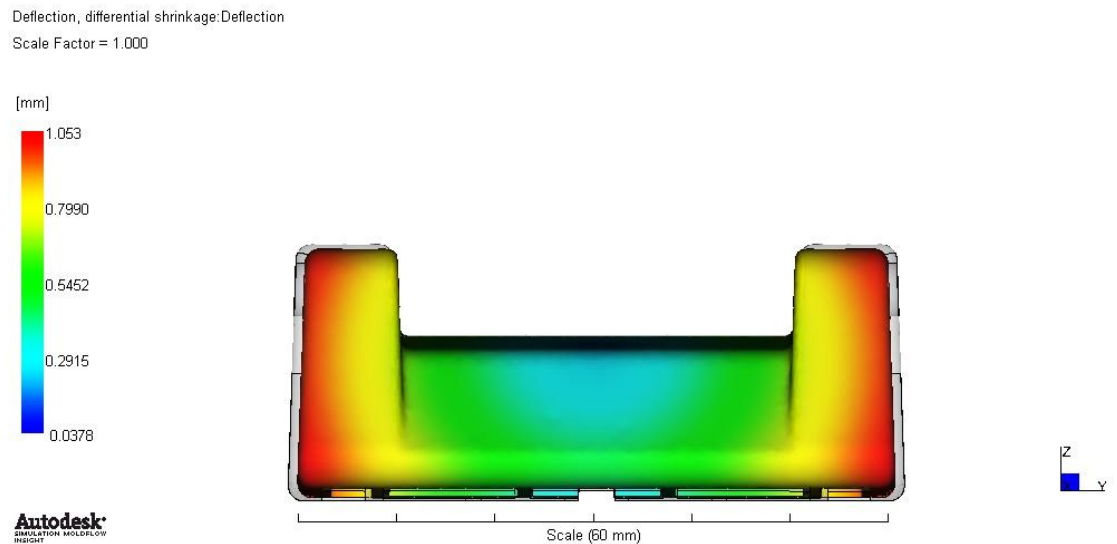


Obr. 35. Smrštění.

V detailu je možné vidět, že k největším deformacím a smrštění dochází na koncích výrobku. Stěny konce výrobku se přibližují směrem ke středu, čímž dojde k degradaci výrobku. Vstříkovat díl tímto způsobem znamená vyrábět zmetky, které není možné uvést do provozu.



Obr. 36. Detail celkové deformace všech efektů.

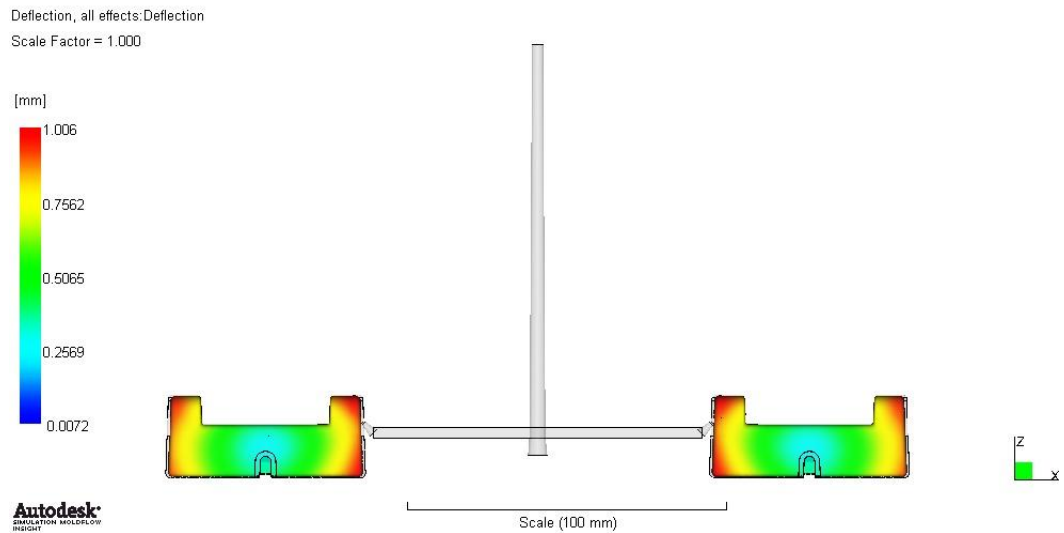


Obr. 37. Detail smrštění.

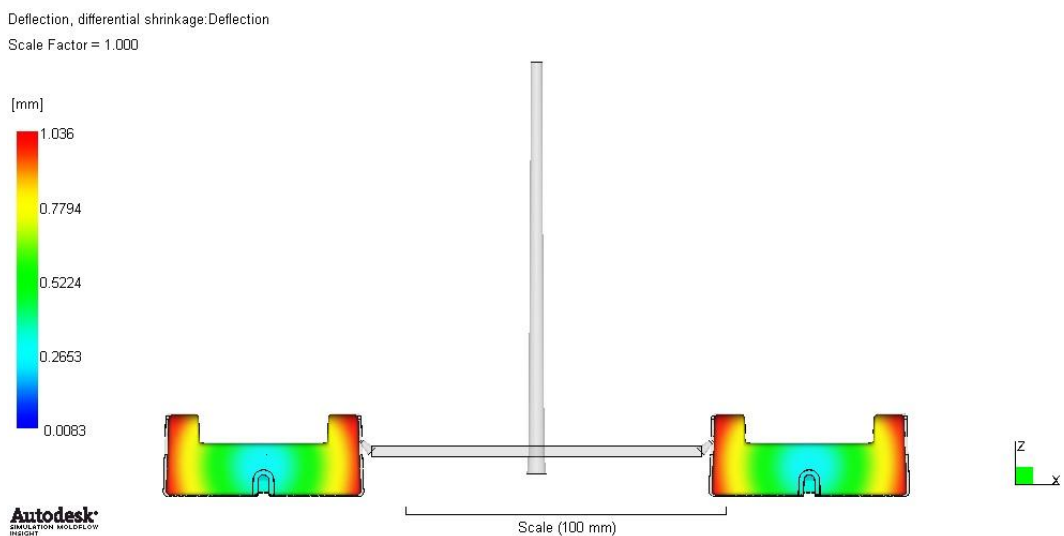
Na základě těchto výsledků deformací a smrštění je nutné zmenšit výsledné hodnoty, což lze docílit buď optimalizací nastavených procesních parametrů, například snížením teploty formy, snížením teploty taveniny a nebo změnou dotlakové fáze a úpravou teploty. Další možností jak snížit deformace a smrštění je změna umístění vtokového ústí. Změna vtokového ústí musí být schválena zákazníkem. Bylo tedy rozhodnuto, že procesní parametry budou zachovány a zkusí se pouze změnit poloha vtokového systému tak, že vtokové ústí bude umístěno do problematické boční stěny výrobku.

4.4.2 Hodnocení při změně polohy vtokového ústí

Při zachování stejných procesních parametrů a při změně polohy vtokového ústí, přemístěním do boční stěny výrobku, bylo dosaženo snížení hodnot deformací a smrštění. Jednalo se o velmi nepatrné snížení výsledných hodnot.

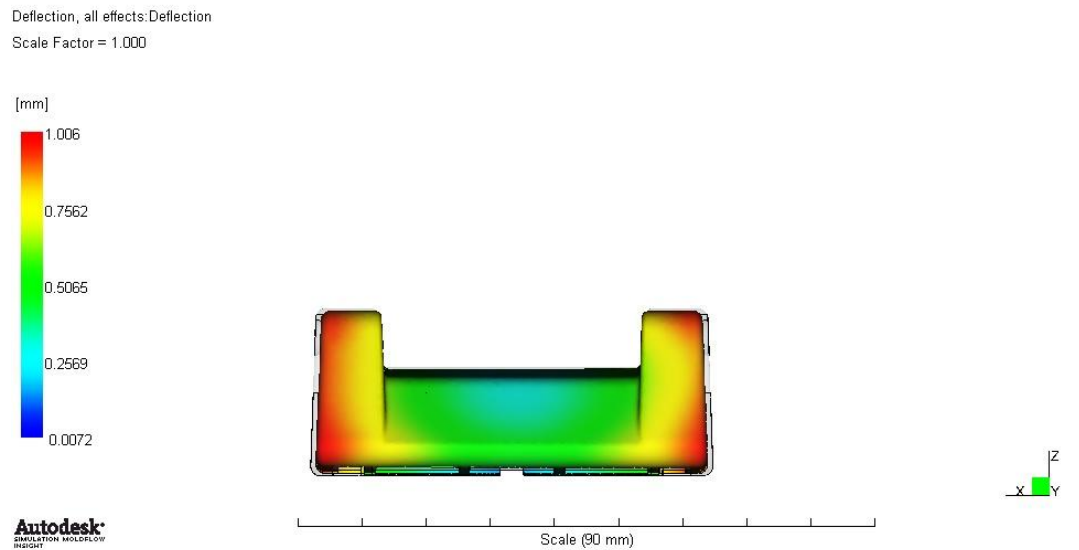


Obr. 38. Celková deformace všech efektů po změně polohy vtokového ústí.

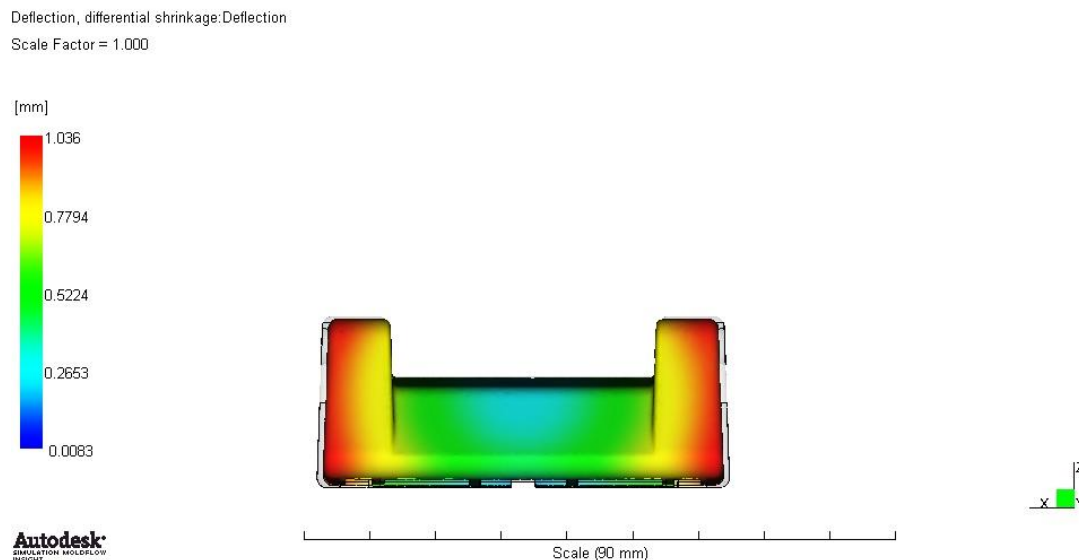


Obr. 39. Smrštění po změně polohy vtokového ústí.

Celková deformace všech efektů po úpravě je 1,006 mm a deformace pomocí smrštění se snížila na údaj 1,036 mm. Maximální uvedené hodnoty jsou stále ve stejných místech, ve kterých se nacházely i před úpravou.



Obr. 40. Detail deformace všech efektů po změně umístění vtokového ústí.



Obr. 41. Smrštění po změně umístění vtokového ústí.

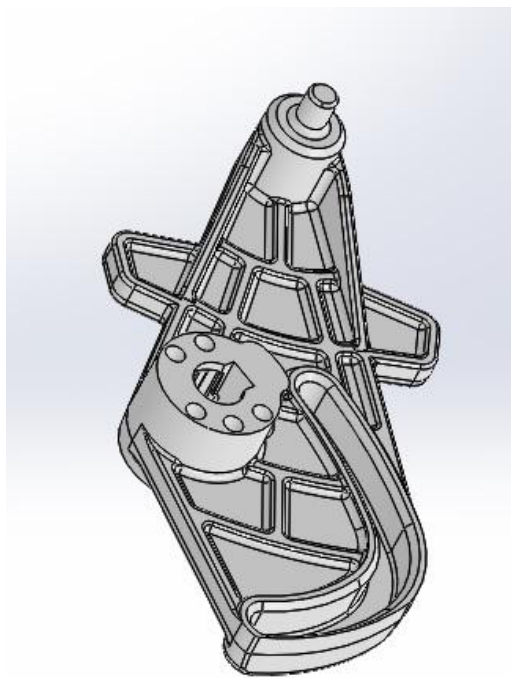
Jelikož změna polohy vtokového ústí do boční stěny nepřispěla k rapidnímu snížení hodnot deformací a smrštění, je nutné se vrátit k původnímu návrhu vtokového ústí do zadní stěny výrobku. Dané umístění vtokového ústí je vhodnější s tím, že k dosažení lepších výsledků je zapotřebí upravit procesní parametry, optimalizovat temperační systém tak, aby z míst největších deformací bylo lépe odváděno teplo a následně vygenerovat novou analýzu. Další možností je stávající analýzu zachovat a vytvořit dutinu vstřikovací formy s posunutím bočních stěn a otvorů v ní, se zkosením o příslušný úhel deformace tak, aby se po deformaci a smrštění docílilo požadovaných rozměrů výrobku.



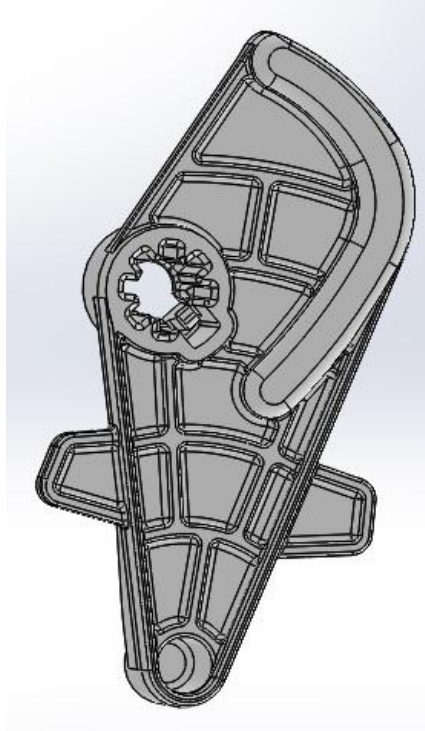
Obr. 42. Výrobek v praxi

4.5 Vyhodnocení druhého výrobku na deformace a smrštění

Druhý výrobek je vyžíván pro kinematiku klimatizace v automobilovém průmyslu. Je vyráběn z materiálu POM ve dvojnásobné formě. Dutina vstříkovací formy je plněna studeným vtokovým systémem. Vtokové ústí je pevně dáno zákazníkem na přední straně výrobku. K vygenerování analýzy byl využit typ simulace plnění + dotlak + deformace, jelikož hodnota Match percentage nebyla v potřebném rozpětí pro kompletní analýzu.



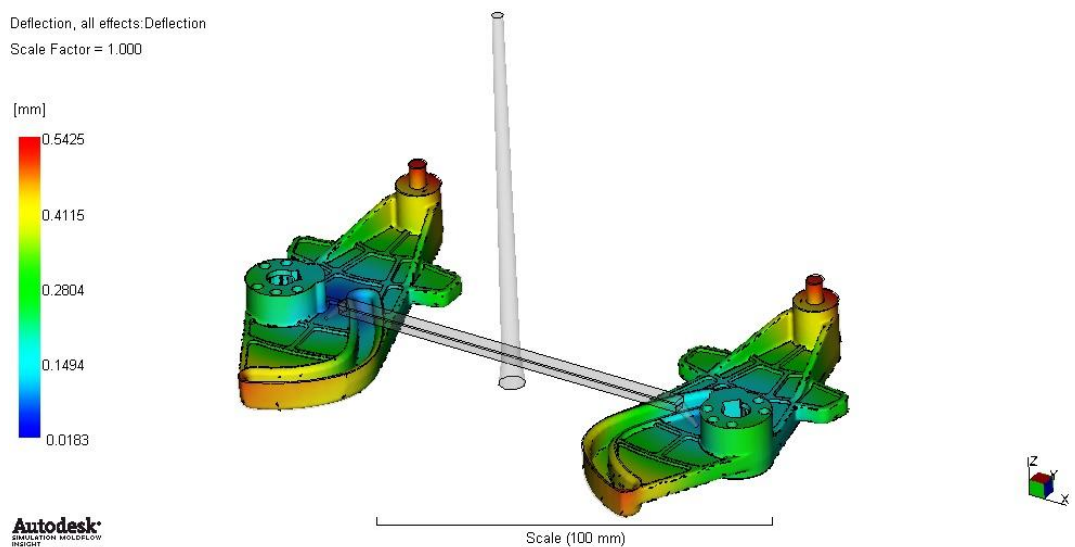
Obr. 43. 3D model přední strana.



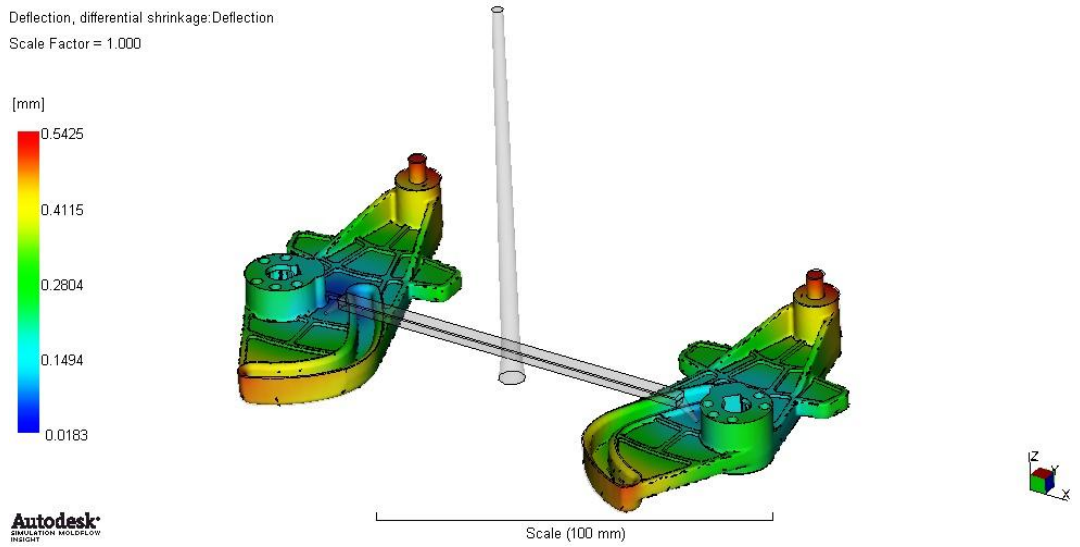
Obr. 44. 3D model zadní strana.

4.5.1 Deformace bez úpravy modelu

Po vytvoření a vypočtení analýzy plnění + dotlak + deformace byly vygenerovány výsledky deformací a smrštění, které mají stejné hodnoty přibližně 0,54 mm. Výsledné hodnoty není možné schválit. Největší hodnoty deformací a smrštění jsou v místech, která jsou zákazníkem tolerovaná a budou v praxi funkčně využívána.

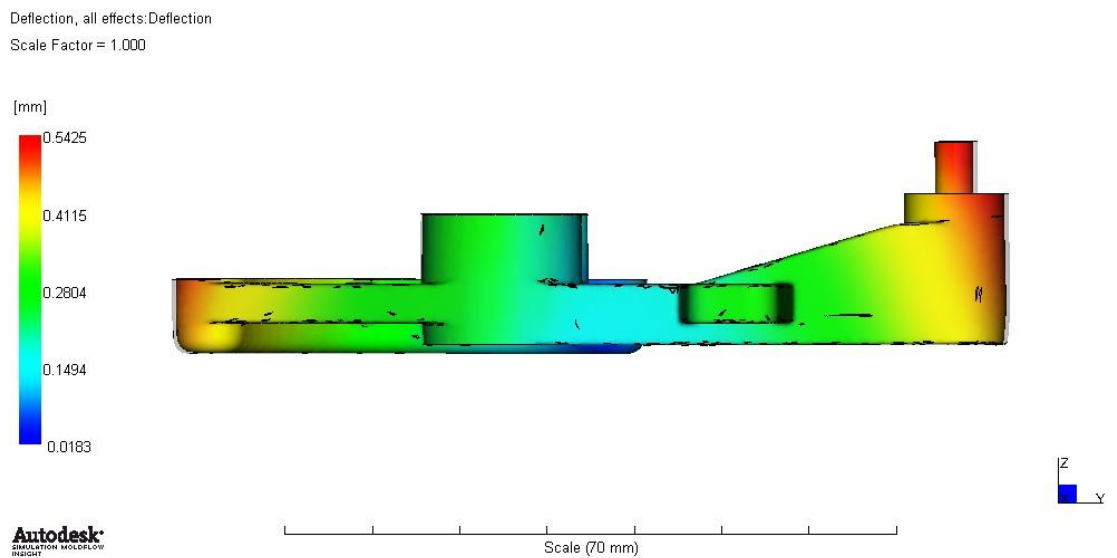


Obr. 45. Celková deformace všech efektů.

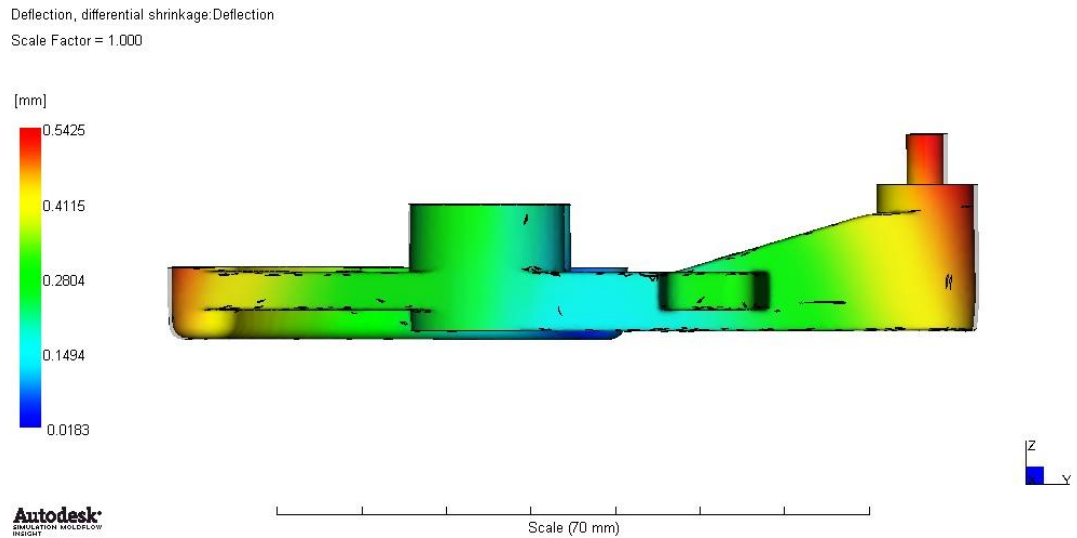


Obr. 46. Smrštění.

Na přiloženém detailním obrázku výrobku je vidět, že největší deformace jsou na obou koncích výrobku. Deformace a smrštění se dějí směrem ke středu výrobku. Výslednou hodnotu deformace a smrštění je zapotřebí snížit.



Obr. 47. Detail celkové deformace všech efektů.

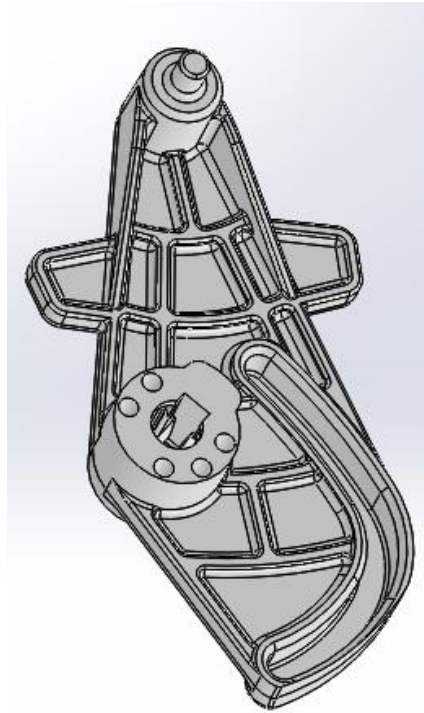


Obr. 48. Detail smrštění.

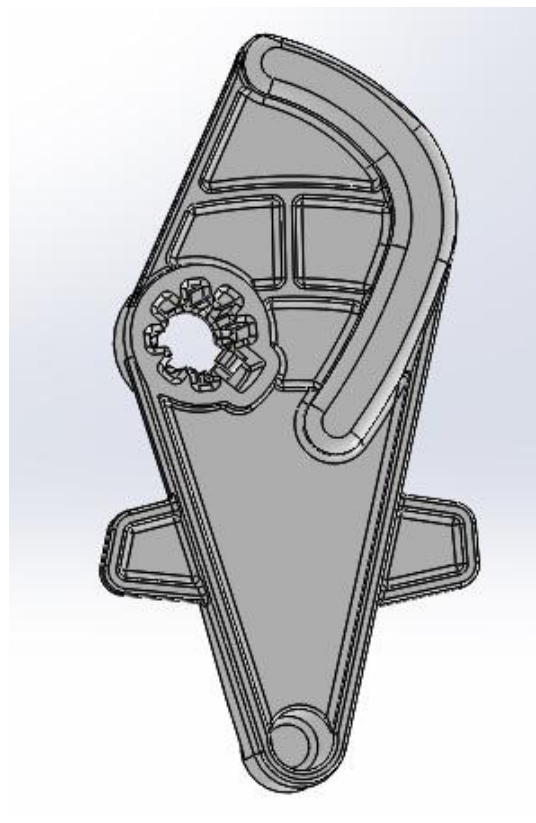
Jelikož místo polohy vtokového ústí je striktně dáno a nelze ho změnit, je jednou z možností k dosažení nižších kritických hodnot optimalizovat procesní parametry. Optimalizace by se dotýkala například teploty formy, změn hodnot dotlaku nebo snížení teploty vstřikované taveniny. U změny dotlaku by muselo dojít ke změně času dotlaku nebo k jeho velikosti. Další možností, po prokonzultování jednotlivých řešení problému se zákazníkem, je úprava žebrované části výrobku, ke které se zákazník nakonec přiklonil.

4.5.2 Deformace po úpravě modelu

Úprava 3D modelu spočívala hlavně v úpravě spodní žebrované části, která byla z velké části odebrána. Přední část zůstala nezměněna, přičemž došlo pouze k prohloubení ploch v mezižebních oblastech o 1 mm.

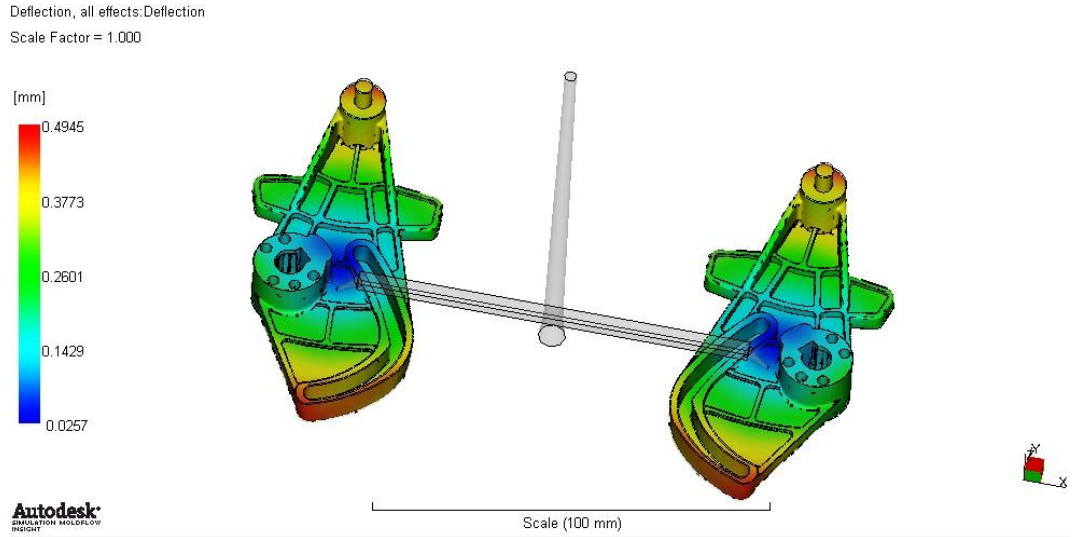


*Obr. 49. 3D model po úpravě
přední strana.*

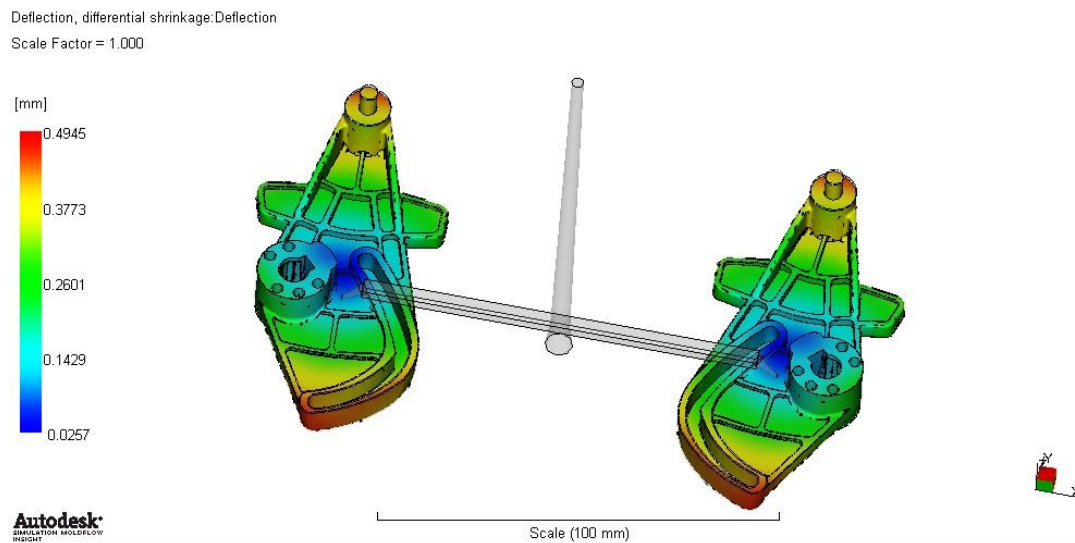


Obr. 50. 3D model po úpravě zadní strana.

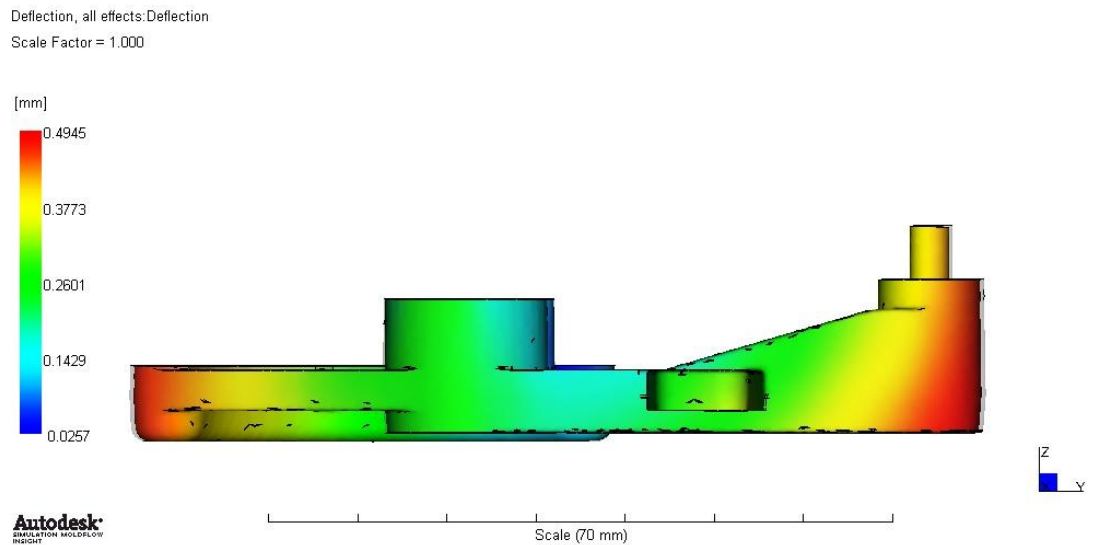
Zmíněná provedená úprava se ukázala jako správný krok k lepším výsledkům, jelikož za stejných procesních podmínek, jako před úpravou, se hodnoty deformace a smrštění snížily na koncích výrobku přibližně na 0,49 mm.



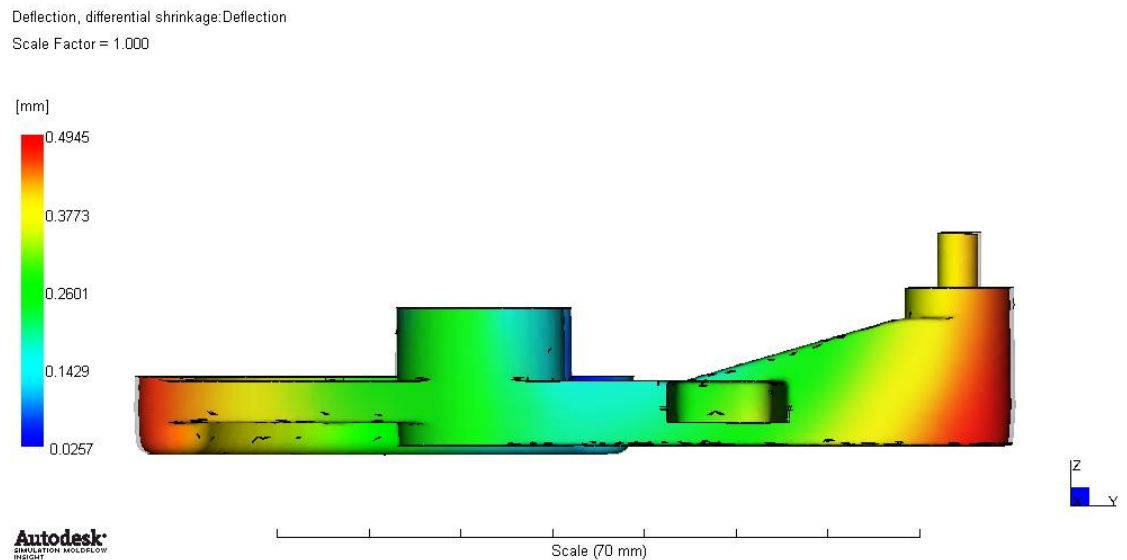
Obr. 51. Celkové deformace po úpravě.



Obr. 52. Smrštění po úpravě.



Obr. 53. Detail celkové deformace všech efektů po úpravě.



Obr. 54. Smrštění po úpravě.

Snížení deformace a smrštění je dále možné učinit obdobnými kroky, tedy odstraněním žebér či jejich prohloubením. Zda-li by bylo potřeba dosáhnout ještě lepších výsledků, je možné dále optimalizovat procesní parametry, čímž by bylo možné docílit ještě nižších hodnot deformací a smrštění na koncích výrobku. Dalším aspektem, který by byl nápomocný, je vytvoření dostatečně účinného temperačního systému pro odvod tepla z tvarové části dutiny formy.

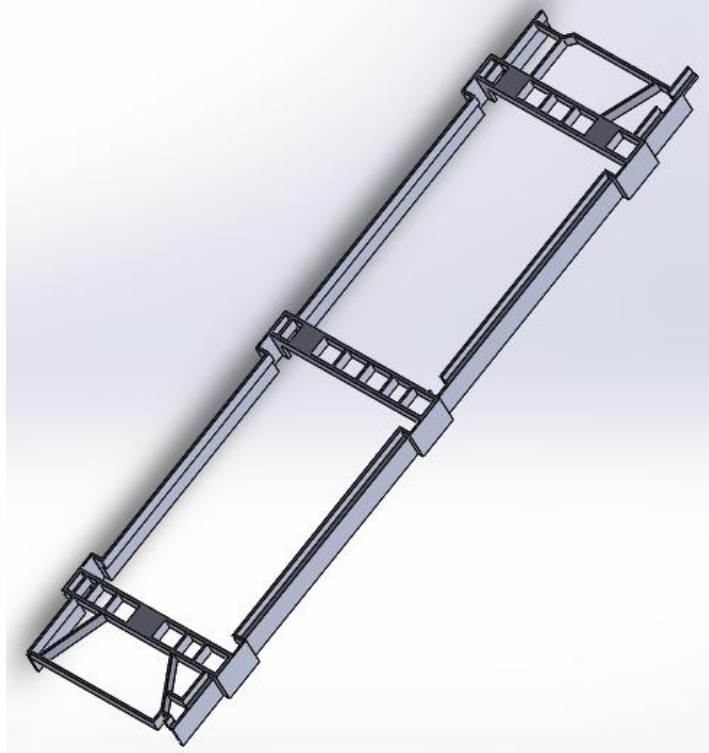
5 POROVNÁNÍ VLASTNÍCH ANALÝZ STUDENTA NA 5-TI REALIZOVANÝCH PROJEKTECH S ANALÝZAMI FIRMY PPT S.R.O.

Všechny modely s vygenerovanými analýzami budou vyhodnocovány na průběh plnění tvarové dutiny formy. Dále u vybraných modelů půjde o vyhodnocení vzduchových kapes a studených spojů. Na jednotlivých modelech byla v případě nutnosti měněna pouze poloha umístění vtokových ústí bez radikálních úprav modelu výrobku. Poloha vtokových ústí byla změněna na základě nedostatečně kvalitního plnění tvarové dutiny formy, s cílem zajistit lepší průběh plnění dutiny formy. Pro výrobky a následné úpravy bylo využito jednotných procesních parametrů. Pouze u druhého výrobku se k optimalizaci analýzy plnění využilo snížení teploty formy a jiného vstřikovacího stroje.

5.1 První výrobek

Daný díl se vyrábí za účelem použití ve výztuhách výplně dveří automobilu. Je vstřikován polymerem PA66 s příměsí 30% skleněných vláken. Vstřikování taveniny do dutiny formy je prováděno s využitím kombinace horkého a studeného vstřikovacího systému. Čas plnění byl nastaven v procesním nastavení na 3 s. Simulace byla spuštěna jako kompletní analýza obsahující plnění + dotlak + chlazení + deformace.

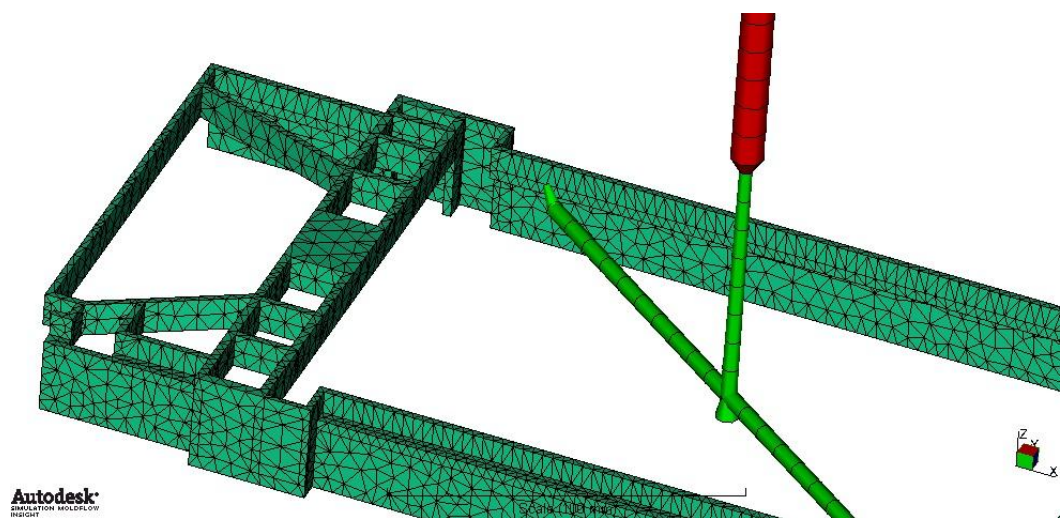
Originální model od společnosti PP&T byl tvarově velice složitý a v původním formátu byl výpočet analýzy velmi komplikovaný a zdlouhavý. Na základě toho bylo zapotřebí zjednodušit 3D model v softwaru SolidWorks 2014, kde došlo k překreslení součástí bez rádiusů a malých vybrání, které ovlivňují rychlost a přesnost výpočtu simulace.



Obr. 55. 3D model prvního výrobku.

5.1.1 Mnou navržená poloha vtokového systému a vtokového ústí

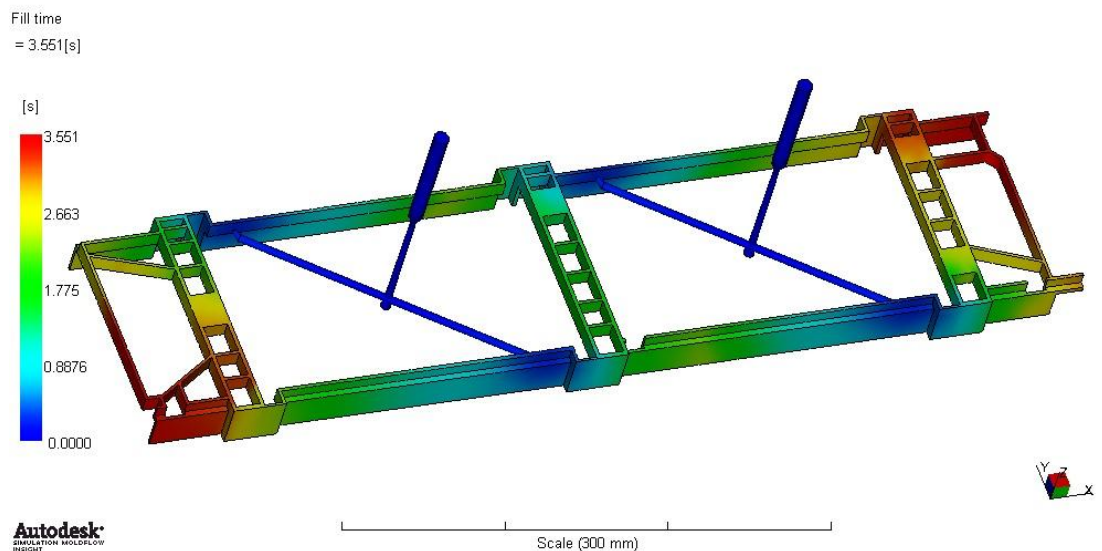
Pro první analýzu bylo vytvořeno dvou kombinovaných vtokových systémů, umístěných do volných okének výrobku mezi žebříkovité části, které výrobek propojují. U každého vtokového systému byla zvolena dvě studená vtoková ústí s vyvedením do horních vnitřních částí stěn výrobku.



Obr. 56. Detail vtokového ústí.

5.1.2 Výsledek plnění

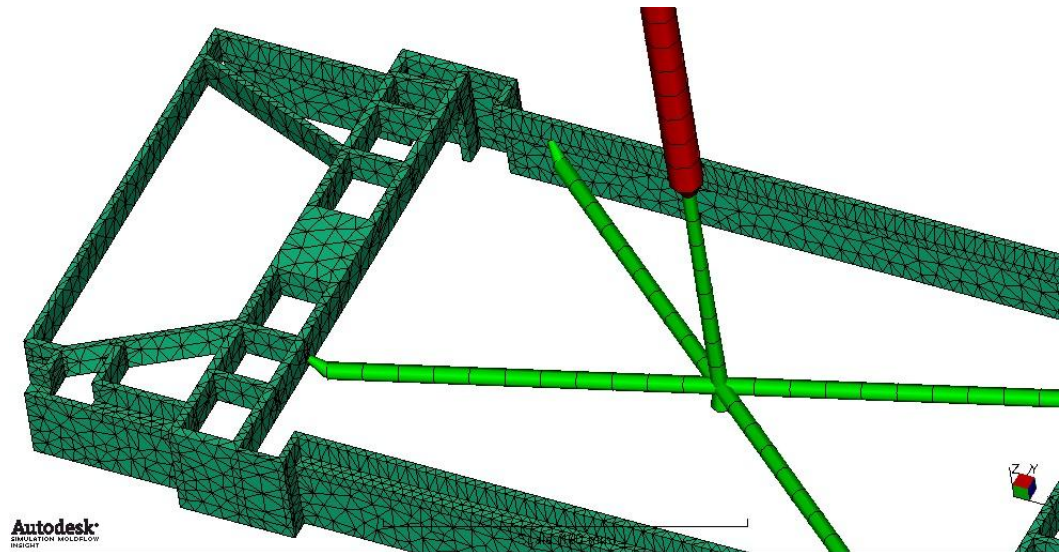
Z analýzy vyplývá, že kompletní zaplnění tvarové dutiny formy bude přibližně v čase 3,6 s, což je více, než bylo nastaveno v procesním nastavení. Zvoleným umístěním vtokového systému je dosaženo optimálního výsledku, kdy jako poslední jsou plněna nejvzdálenější místa výrobku. Rychlost plnění lze snížit nastavením kratšího času plnění.



Obr. 57. Konec plnění prvního výrobku.

5.1.3 Zákazníkem navržena poloha vtokového systému a vtokového ústí po úpravě

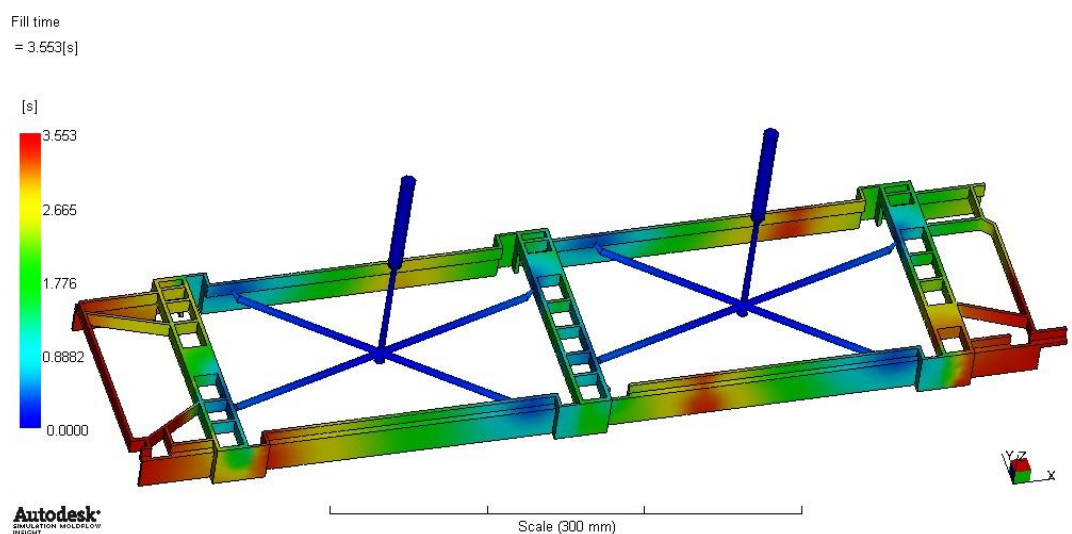
Jelikož byla požadována čtyři vtoková ústí s využitím pro umístění vtokového ústí nejen stěn výrobku, ale i žebříků, byly přidány ke každému kombinovanému vtokovému systému další dva rozvodné kanály s dalšími dvěma vtokovými ústí. Vtokové kanály byly konstruovány do tvaru kříže. Výrobek je plněn více vtoky, oproti předchozí analýze, tudíž by mělo dojít ke zkrácení výsledného času plnění tvarové dutiny formy.



Obr. 58. Detail vtokových ústí po úpravě.

5.1.4 Výsledek plnění po úpravě vtokových ústí

Čas plnění se překvapivě nezkrátil, ale dokonce zvýšil, i když pouze řádu tisícín sekund, což je zanedbatelný výsledek. Po zaokrouhlení dosahuje konečný čas plnění stále zhruba 3,6 s. Výsledek plnění vypočtený simulací je o poznání horší. Zvýšilo se množství míst, která budou zaplněna taveninou v konečné fázi plnění. Několik takových míst je dokonce i na plochých stěnách, u kterých by mohl vlivem pozdního spojení proudů taveniny a jejich různých směrů vzniknout nežádoucí studené spoje. V kritických místech by studené spoje mohly vést například k porušení celistvosti výrobku.



Obr. 59. Konec plnění po úpravě.

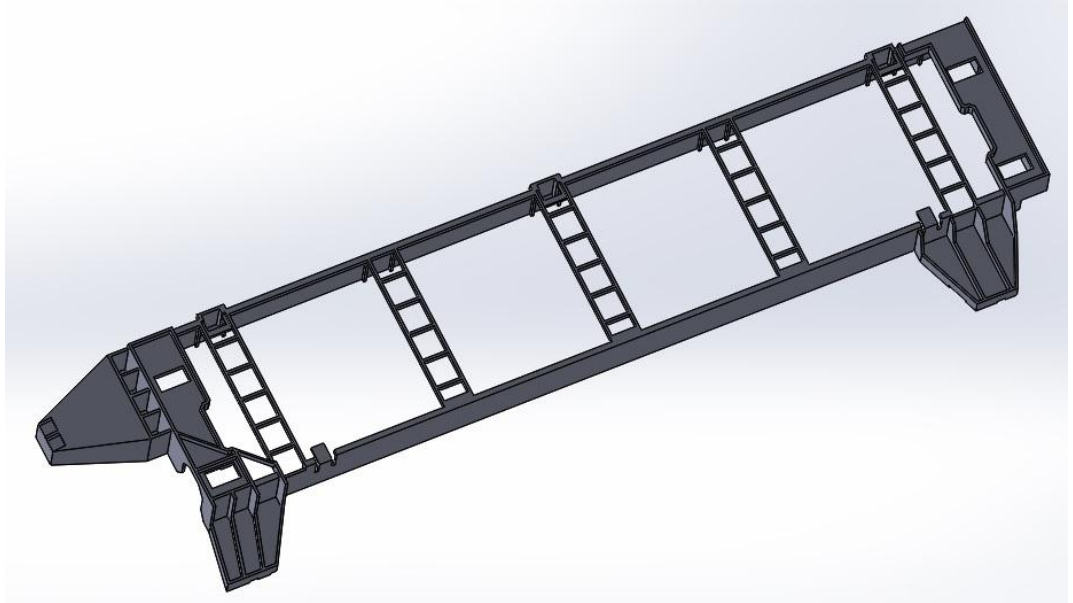
5.1.5 Porovnání analýzy mnou vypočtené s analýzou firmy PP&T

Vstřikovací forma byla pro daný výrobek navržena a konstruována se čtyřmi vtokovými ústí, protože bylo myšleno, že tímto plněním dojde ke kratšímu času vstřikování do dutiny formy. Tento typ výrobku názorně ukazuje nutnost věnovat se umístění a počtu vtokových ústí. První navržená analýza probíhala již v době, kdy byla vstřikovací forma vyráběna. Podle vyjádření pracovníků firmy PP&T je velkou škodou, že výsledky nebyly známy již v době konstrukce formy. Forma si vyžádala abnormálně dlouhý čas optimalizace. Je dost dobře možné, že při postupu, když by se začínalo s menším počtem vtoků a další se přidávaly dle potřeby, by se čas výroby formy a optimalizace snížil. V důsledku toho by byly ušetřeny nemalé vynaložené náklady. Dle první navržené varianty umístění vtokových ústí by měl být konečný výrobek kvalitnější, s menším vtokovým odpadem. S tím že čas plnění se čtyřmi vtokovými ústí a osmi vtokovými ústí je téměř totožný.

5.2 Druhý výrobek

Výrobek se po uvedení do praxe bude využívat jako jedna ze součástí výztuhy výplně dveří automobilu. Výrobek je vstřikován materiálem PA66, který je plněný 30% skleněných vláken. Jelikož se jedná o rozměrově velký výrobek, je vstřikovací forma jednonásobná. Tavenina do tvarové dutiny vstřikovací formy prochází přes kombinovaný horký a studený vtokový systém. Čas plnění tvarové dutiny formy byl nastaven v procesních podmínkách na 3,5 s. Simulace byla spuštěna jako kompletní analýza plnění + dotlak + chlazení + deformace.

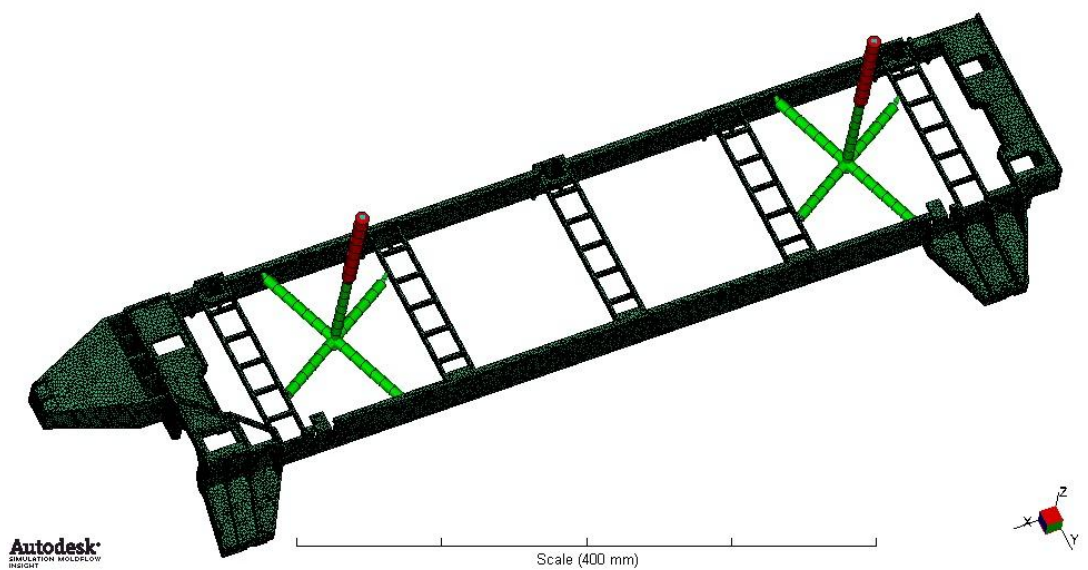
Originální výrobek ze společnosti byl velice náročný na výpočet. Obsahoval velké množství malých rádiusů, zkosení a malých hran. Aby byly minimalizovány rizika malých rádiusů, zkosení a malých hran, které vytváří při výpočtu problémy, byl 3D model překreslen v softwaru SolidWorks 2014 do zjednodušené podoby tak, aby bylo možné analýzu na příslušné výpočetní technice bez problémů spočítat.



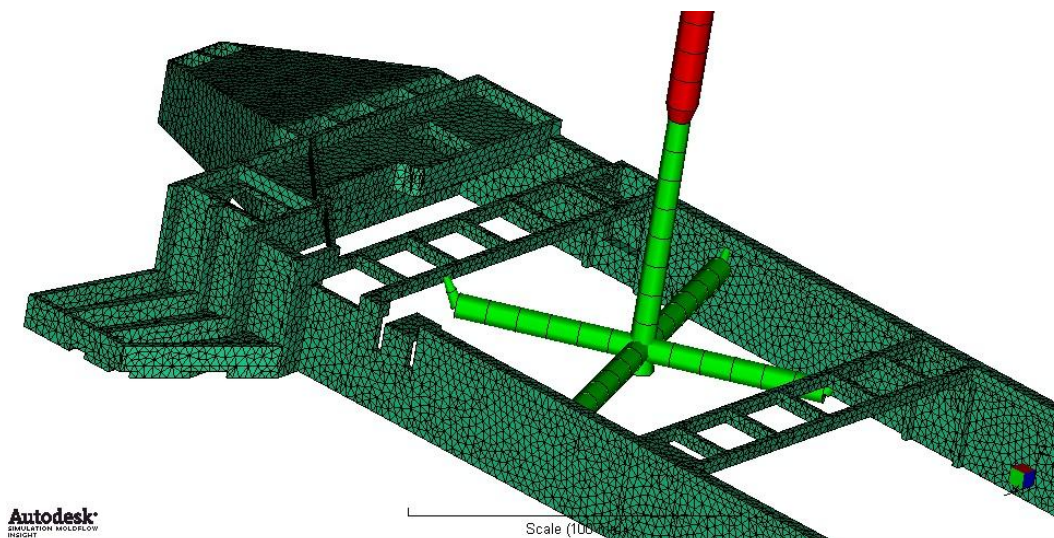
Obr. 60. 3D model druhého výrobku.

5.2.1 Umístění vtokového systému a vtokového ústí

Zákazník požadoval dva kombinované vtokové systémy, kdy každý vtokový systém bude obsahovat čtyři studená vtoková ústí. Jeden kombinovaný vtokový systém byl umístěn ve volném okénku na začátku výrobku a druhý kombinovaný vtokový systém ve volném okénku na konci výrobku. Realizace studených rozvodných kanálů a vtokových ústí do výrobku, byla provedena do křížového tvaru. Studená vtoková ústí byla umístěna do žebříků a bočních stěn výrobku.



Obr. 61. Umístění vtokových systémů.

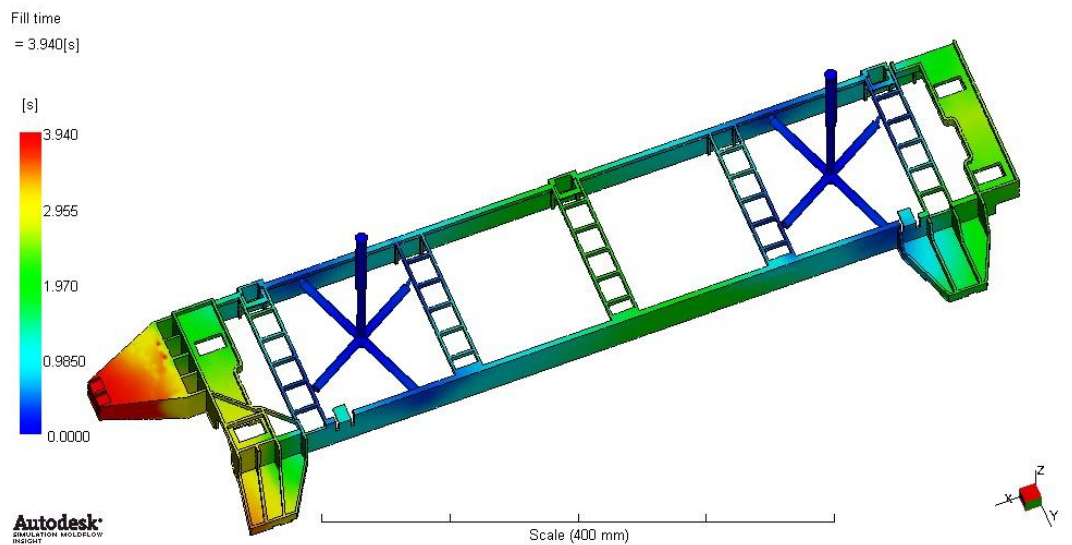


Obr. 62. Detail vtokových ústí.

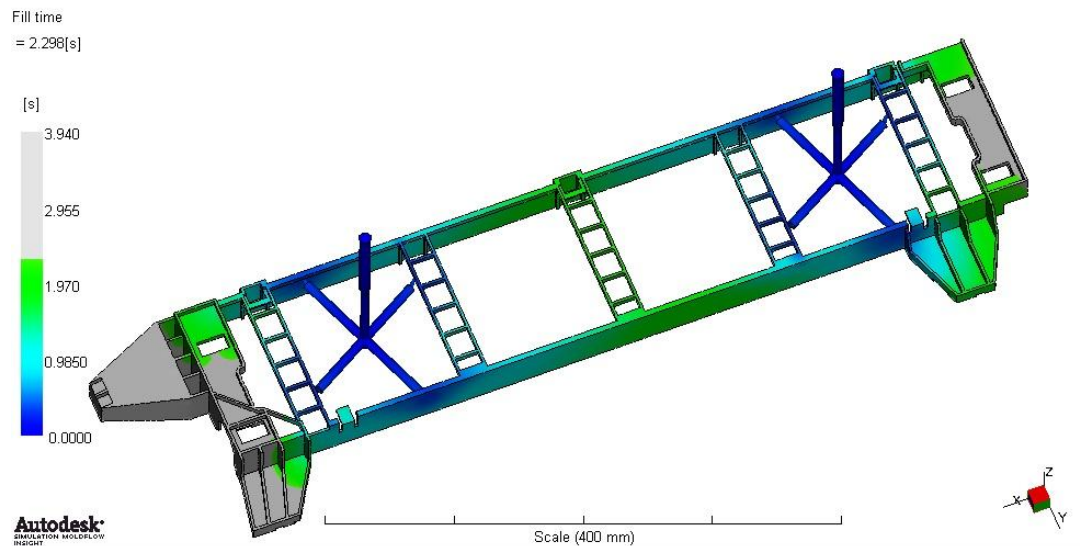
5.2.2 Výsledek plnění

Z výsledku simulace lze vyčíst, že výsledný čas plnění, který je potřebný pro kompletní zaplnění tvarové dutiny formy činí po zaokrouhlení 3,9 s, což je oproti procesnímu nastavení vyšší čas. Dutina formy je čtyřmi studenými vtokovými ústí plněna rovnoměrně a jako poslední bude zaplněna nejobjemnější část na začátku výrobku. Tento výsledek plnění můžeme považovat za dostačující.

Jelikož výrobek je sestaven z pěti žebříků, přičemž do čtyř z nich je vyvedeno vtokové ústí, může následovat nebezpečí u prostřední žebříkovité části výrobku, do které není vyvedeno žádné vtokové ústí. Nebezpečí může konkrétně spočívat v tom, že spojením dvou různých proudů taveniny, v čase přibližně 2,3 s, může dojít ke vzniku studených spojů, které by později mohly mít za následek porušení pevnosti spoje žebříkovité části. Zda-li by k porušení opravdu došlo, znamenalo by to velké problémy, protože se jedná o funkční část budoucího výrobku. Je tedy nutné zamezit případné tvorbě studeného spoje v daném místě žebříku.



Obr. 63. Dokončení plnění tvarové dutiny formy.

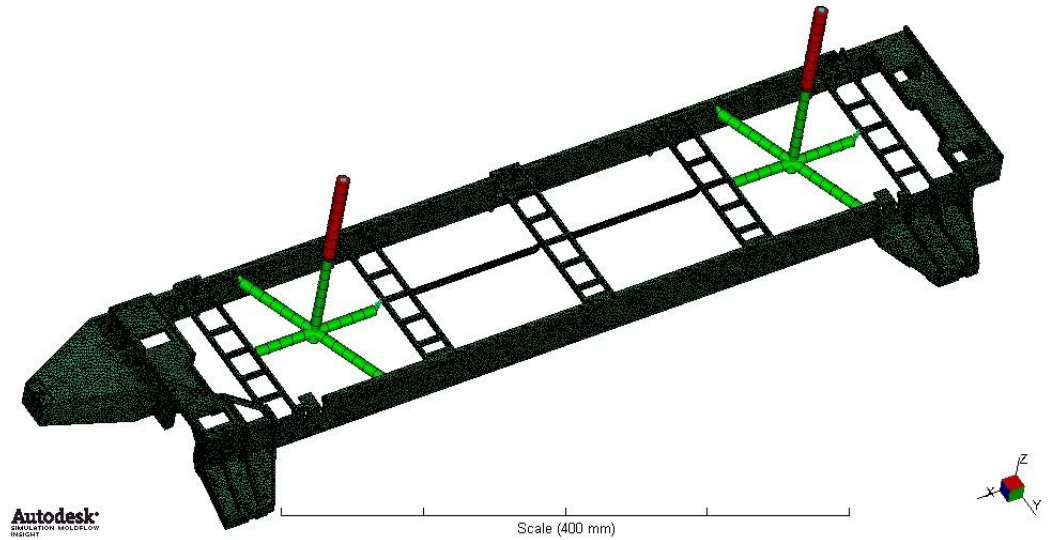


Obr. 64. Zaplnění prostředního žebra v čase 2,3 s.

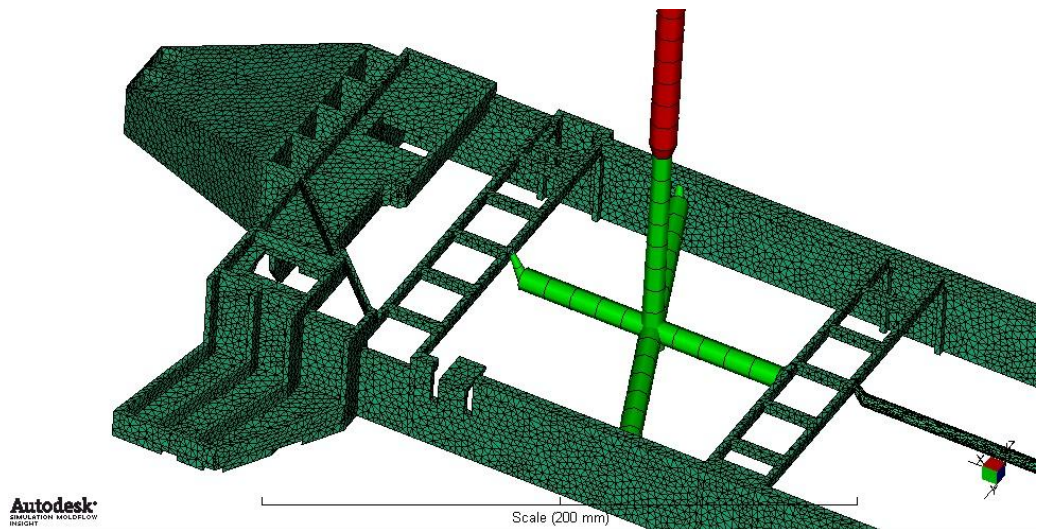
5.2.3 Úprava vtokového systému a vtokového ústí

Jelikož při původním návrhu byl výrobek vstřikován rovnoměrným plněním, ale s možností vzniku studených spojů v prostředním žebříku, bylo po dohodě se zákazníkem zanecháno umístění vtokového systému. Následovala jediná změna a tou bylo posunutí vtokových ústí u žebříkových částí do jejich středu. Samotná změna polohy umístění vtokového ústí by nic neřešila, proto bylo dále navrženo spojovacích kanálů mezi druhým a třetím žebříkem a třetím a čtvrtým žebříkem.

Spojovací kanály byly vytvořeny a připojeny k 3D modelu v softwaru Autodesk Inventor Professional 2011, jelikož bylo zapotřebí zajistit jejich plnou funkčnost při vypočtení simulace.



Obr. 65. Umístění vtokových systémů po úpravě.

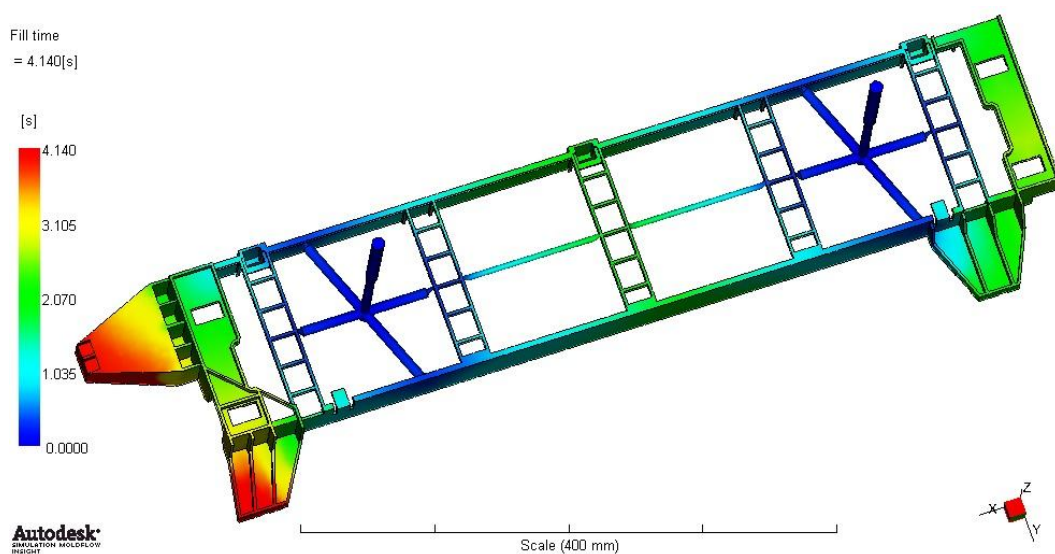


Obr. 66. Detail vtokových ústí po úpravě.

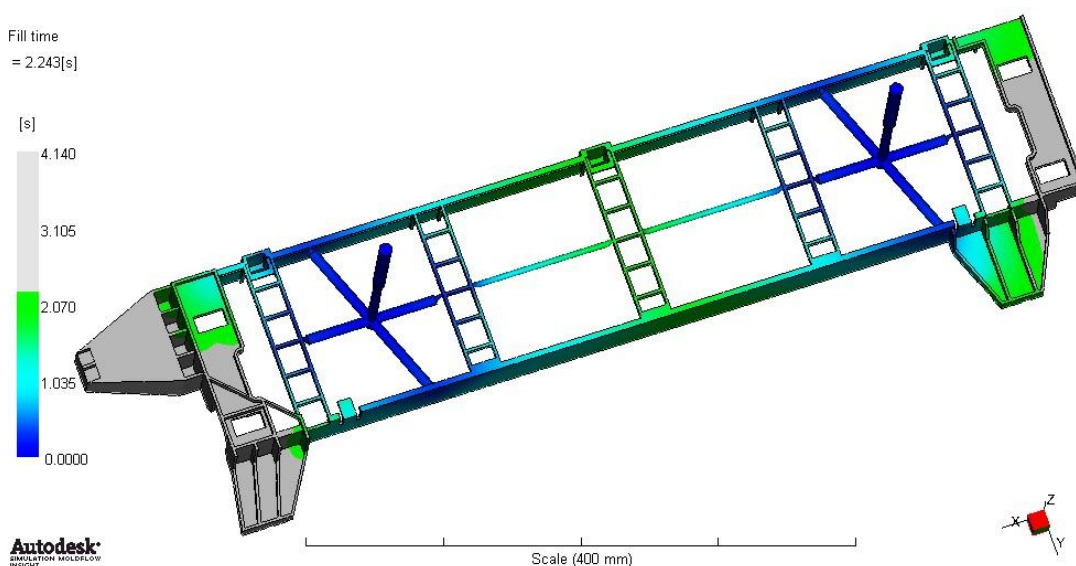
5.2.4 Výsledek plnění po úpravě

Výsledný čas plnění se oproti původní analýze zvýšil o 0,2 s, po zaokrouhlení činí 4,1 s, což je zanedbatelný údaj s vlivem na kvalitu budoucího vstřikovaného výrobku. Bylo zachováno kvality plnění, což znamená rovnoměrnost plnění tvarové dutiny formy. Plnění výrobku v konečné fázi je stále na nejobjemnější části výrobku společně s ploutví, která je na začátku výrobku, což je dáno úpravou polohy vtokových ústí.

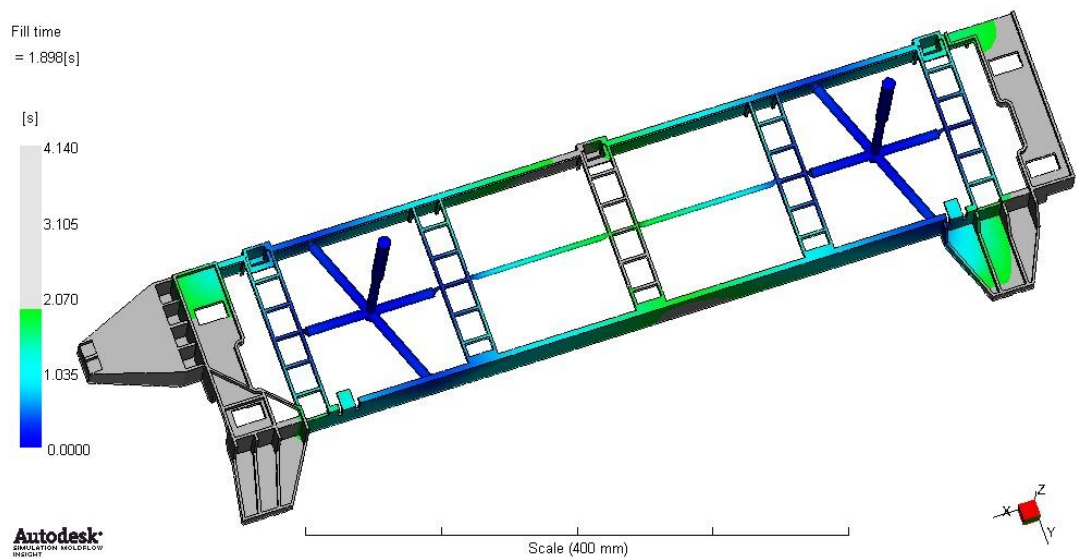
Při původním plnění tvarové dutiny vstřikovací formy byl velký problém v podobě vzniku studených spojů v prostředním žebříku. Po vytvoření spojovacích kanálů a umístěním vtokových ústí doprostřed žebříku se docílilo, oproti původní analýze, rychlejšího zaplnění středu žebříku, přibližně v čase 1,9 s. Následné spojení celého prostředního žebříku je dokončené v čase po zaokrouhlení 2,2 s, což je nepatrné zkrácení původního času. Provedenou úpravou se snížilo možné riziko pro vytvoření studených spojů v problematické středové části výrobku. Větší úspora času, pro kompletní zaplnění prostředního žebříku, by mohla být realizována rozměrovou optimalizací spojovacího kanálu pro lepší průchod vstřikované taveniny.



Obr. 67. Zaplnění celé dutiny po úpravě.



Obr. 68. 2,2 s zaplnění prostředního žebrování.



Obr. 69. 1,9 s moment začátku plnění prostředního žebrování.

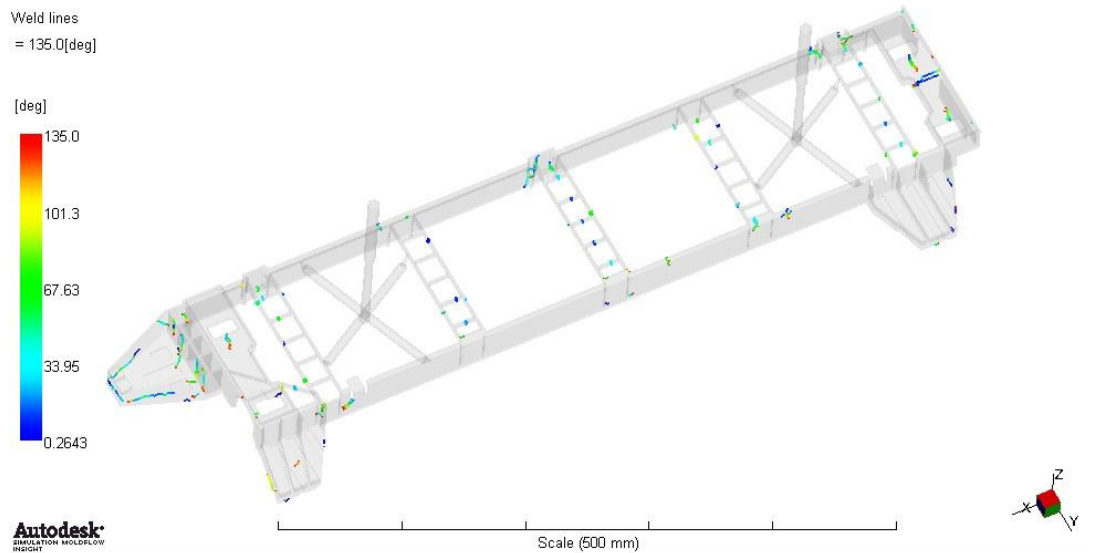
5.2.5 Porovnání studených spojů

Studené spoje vznikají v místech, ve kterých dochází ke spojení jednotlivých proudů taveniny. V místech ovlivněných studenými spoji dochází k rapidnímu snížení mechanických vlastností a také dochází k ovlivnění vzhledu výrobku. Studené spoje jsou dány charakteristikou výrobku. Dále mohou být způsobeny nízkou teplotou formy, nízkou teplotou vstříkovaného materiálu, nedostatečným odvodušněním a jinými aspekty.

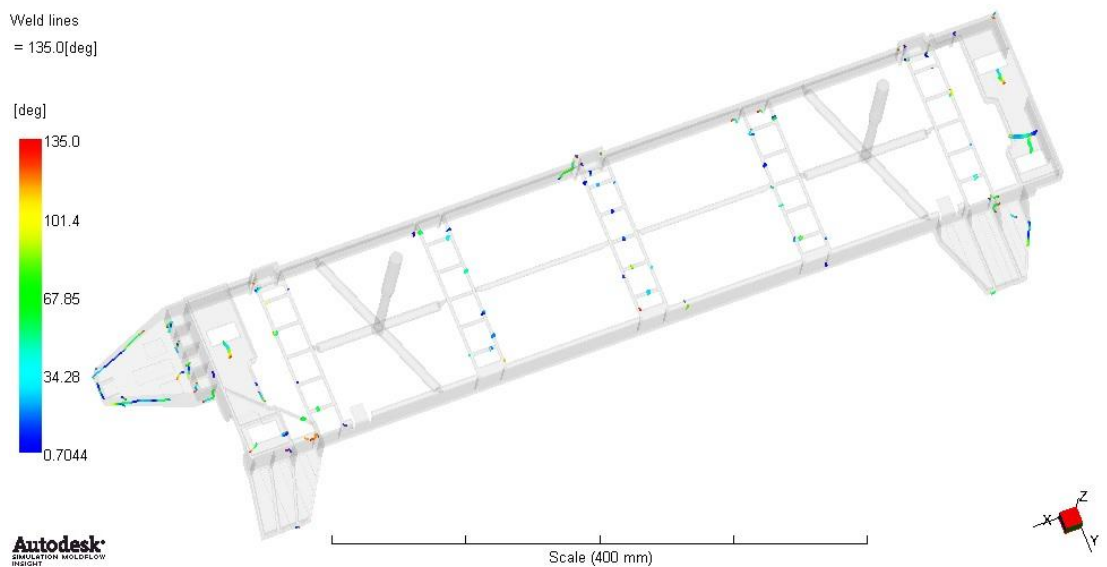
U výrobku před úpravou je jasně patrný velký počet studených spojů nerovnoměrně rozmístěných. Velké množství studených spojů je v přední části výrobku a zadní části výrobku. Dále studené spoje ohrožují pevnost výrobku v prostředním žebříku, který patří mezi funkční části dílce. Největší nebezpečí spočívá právě v prostřední části žebříku, ve kterém se objevila tři potenciální místa výskytu studeného spoje, která mohou mít za následek snížení mechanických vlastností. Z toho důvodu byla provedena úprava přidáním spojovacích kanálů a posunutím vtokového ústí do středu žebříků.

Po provedené úpravě je zřetelně vidět úbytek studených spojů. Studené spoje se stále vyskytují na začátku a na konci dílce, ale oproti původnímu návrhu se počet studených spojů v těchto místech snížil. V prostředním žebříku se realizováním spojovacích kanálů dosáhlo odsunutím studených spojů ze střední části žebříku do méně nebezpečných oblastí. Z výsledku lze poznat, že jedno místo studeného spoje se stále nepodařilo odstranit. Tudíž je nutné zavést opatření, například zvýšit teplotu vstříkovaného materiálu, teplo-

tu formy, provést lokální ohřev problematického místa a nebo zajistit dostatečně kvalitní odvzdušnění tak, aby se i daný potencionální studený spoj podařilo odstranit.



Obr. 70. Studené spoje před úpravou.



Obr. 71. Studené spoje po úpravě.

5.2.6 Porovnání analýzy plnění mnou vypočtené s analýzou firmy PP&T

Při porovnání výsledků mnou vytvořených analýz a simulací pro společnost PP&T najdu mezi oběma analýzami několik odlišností. Asi hlavním rozdílem jsou vtoková ústí, která vedou do stěn výrobku přímo přes rozvodné kanály, které jsou vytvořeny ve tvaru kříže. V mé analýze bylo zvoleno vyvedení rozvodných kanálů i s vtokovými ústí do kří-

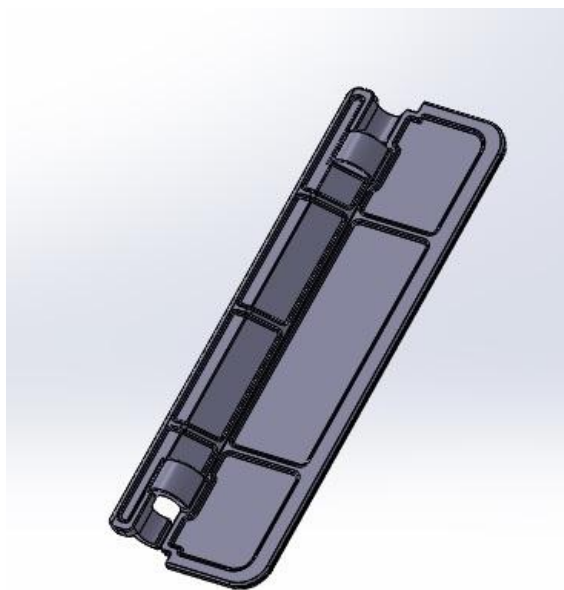
žového tvaru. Dalším rozdílem je čas plnění, který v analýze pro společnost činí přibližně 4,3 s. V mé analýze dosahuje konečný čas plnění nižší hodnoty, z toho důvodu by mohlo následovat zvýšení hodnoty času plnění v procesních parametrech. Plnění tvarové dutiny formy je v mém případě i v případě simulace pro společnost stejné.

5.2.7 Porovnání analýzy studených spojů mnou vypočtené s analýzou firmy PP&T

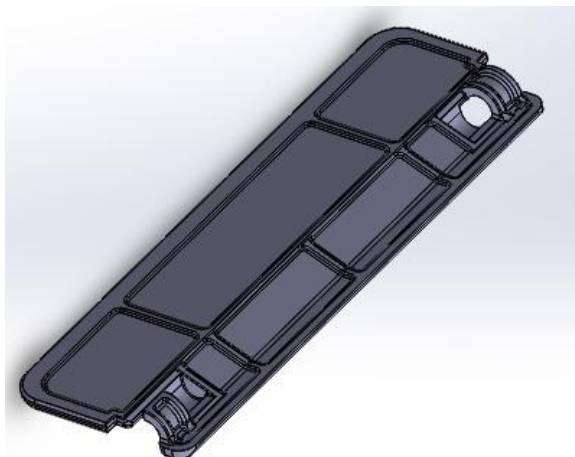
Studené spoje se v simulaci před úpravou vytvořené pro společnost téměř neliší v porovnání s mojí vytvořenou analýzou. Oblasti výskytu a množství studených spojů v obou simulacích byla téměř totožná. Po vytvořené úpravě a následném porovnání se v simulaci pro společnost podařilo odstranit studené spoje ze střední části prostředního žebříku. Celkový počet studených spojů, v porovnání s původním návrhem, se stejně jako v mé analýze snížil.

5.3 Třetí výrobek

Zhotovený výrobek se po vyrobení metodou vstřikování bude využívat jako součást klimatizačního systému v automobilu. Jako materiál k analýze byl použit PP s 20% přísadami mastku. Bylo vytvořeno analýzy pro vstřikování do čtyřnásobné formy. Tudiž dva výrobky jsou umístěny ve formě za sebou v ose y a další dva zrcadlově posunuty do osy x. Simulace proběhla v kompletním složení plnění + dotlak + chlazení + deformace. Vtoková soustava se skládá z kombinace studeného a horkého vtokového systému. Čas plnění byl nastaven v procesních podmínkách na 1,5 s.



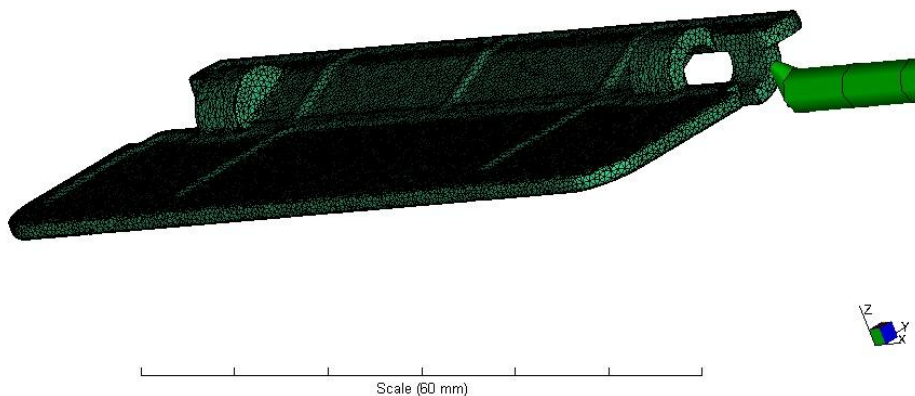
Obr. 72. 3D model výrobku přední část



Obr. 73. 3D model výrobku zádň část

5.3.1 Umístění vtokového systému a ústí vtoku

Každá tvarová dutina formy byla plněna jedním studeným vtokovým ústím. Vtok zákazník požadoval do spodní části výrobku s umístěním do boční stěny výstupku. Kombinovaný vtokový systém byl vytvořen tak, aby horká vtoková vložka byla uprostřed tvarových dutin, čímž by se dosáhlo rovnoměrného plnění dutiny formy.



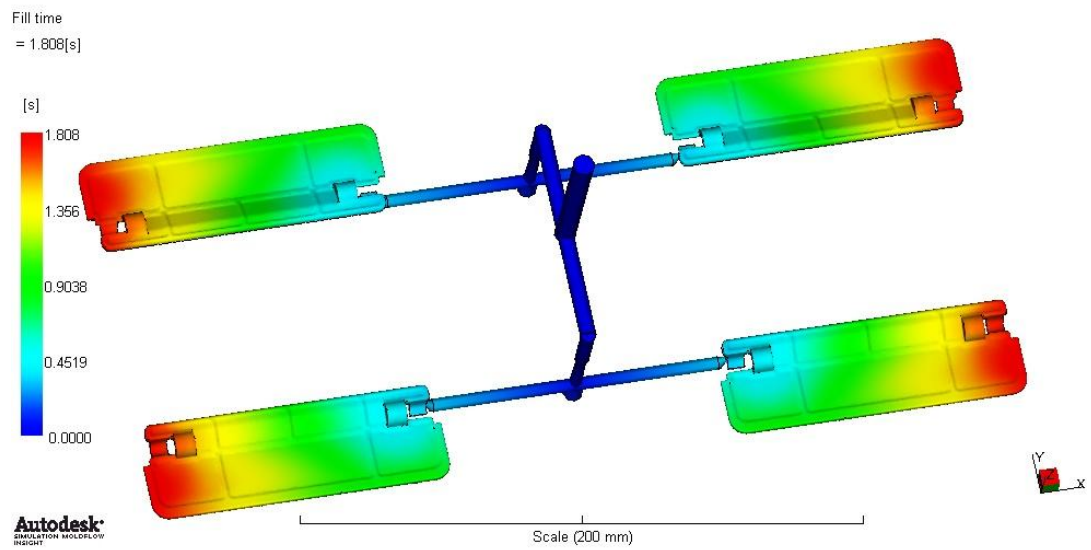
Obr. 74. Detail vtokového ústí.

5.3.2 Výsledek plnění

Čas plnění činí přibližně 1,8 s. Zákazníkem požadované umístění vtokového ústí se dle výsledku simulace projevilo jako správná varianta. Jednotlivé tvarové dutiny formy budou plněny rovnoměrně. Nejvzdálenější místa od vtokového ústí budou plněna jako poslední. Jestliže kvalita výrobku na konci plnění by nebyla dostatečně odpovídající, je možné ve vstříkovací formě vyrobit sběrný kanál. Uvedená možnost sběrného kanálu by zvýši-

la kvalitu dílu, protože by sběrný kanál sloužil k zachycení přebytečné taveniny při procesu vstřikování. Dalším způsobem, jak zlepšit případnou kvalitu výrobku, je zhotovení dostatečně funkčního a kvalitního odvzdušnění.

Jestliže by místo vtokového ústí bylo zvoleno ve středu součásti, hrozilo by, že se budou značně deformovat a smršťovat oba konce stěn budoucího výrobku, což by vedlo k degradaci výrobku a nebylo by možné ho použít v praxi.

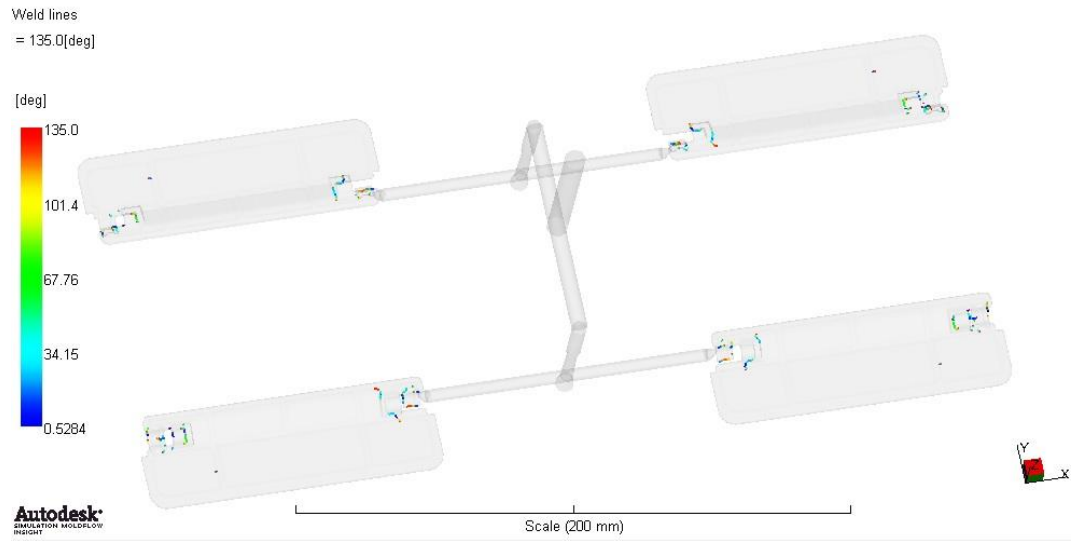


Obr. 75. Konec plnění tvarové dutiny formy.

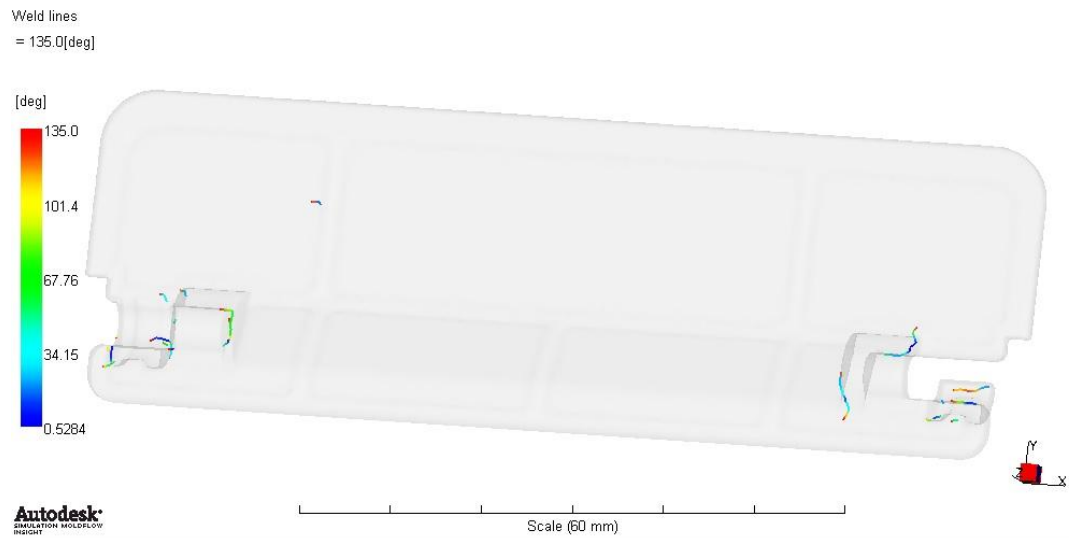
U zobrazené analýzy byla správně určena první poloha vtokového systému, tudíž jsem nenavrhol žádná další opatření pro zlepšení plnění tvarové dutiny vstřikovací formy. Zda-li by bylo potřeba zajistit lepší vstřikovací podmínky, mohlo by dojít k optimalizaci procesních parametrů vstřikování, jako je čas plnění, teplota formy, změna dotlakové fáze nebo zvolit jiný temperační systém výrobku.

5.3.3 Studené spoje

V konkrétním případě výrobku vznikají studené spoje převážně na obou koncích dílu, přesněji na tvarových výstupcích v nejčlenitějších částech dílu. Jelikož výstupky jsou na pohledových stranách výrobku a musí si zachovat mechanické vlastnosti je prioritou jejich odstranění. Jednou z možností odstranění studených spojů je přesunutí vtokového ústí. Jelikož je plnění daným umístěním vtokového ústí plně vyvážené a optimální, není optimální měnit jeho polohu. Další možností k odstranění studených spojů je vytvoření odvzdušnění v kritických místech. Dále zvolit vhodnou teplotu vstřikovaného materiálu, jeho rychlost, optimální teplotu formy a nebo vytvořit lokální ohřevy.



Obr. 76. Studené spoje.



Obr. 77. Detail studených spojů.

5.3.4 Porovnání analýzy mnou vypočtené s analýzou firmy PP&T

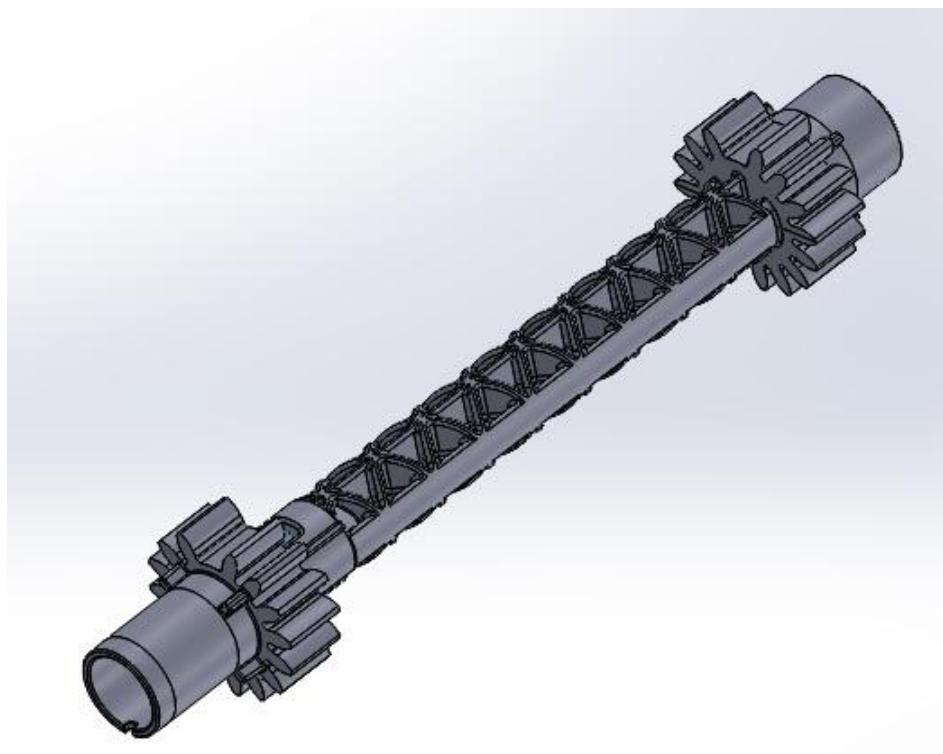
Z důvodu totožného umístění vtokového ústí je plnění čtyřnásobné tvarové dutiny formy, stejně jako u mnou vytvořené simulace, dostatečně vyvážené. U analýzy vytvořené pro společnost PP&T činí čas zaplnění tvarové dutiny formy taveninou přibližně 1,3 s, což v porovnání s mojí vytvořenou simulací je o poznání kratší čas. V mé analýze proběhne kompletní zaplnění tvarové dutiny formy taveninou přibližně za 1,8 s, přičemž by šlo čas zkrátit nastavením kratšího času plnění.

5.3.5 Porovnání analýzy studených spojů mnou vypočtenou s analýzou firmy PP&T

Studené spoje se v analýze vytvořené pro společnost v porovnání s mojí navrženou analýzou téměř neliší. Nacházejí se ve stejných oblastech i v podobném množství. V mé analýze vzniká studený spoj i na ploché stěně, přičemž v simulaci pro společnost PP&T se studené spoje objevovaly pouze na obou koncích výrobku. Tudíž je důležité vytvořit kvalitní odvzdušnění a co nejvíce optimalizovat reálný proces vstřikování.

5.4 Čtvrtý výrobek

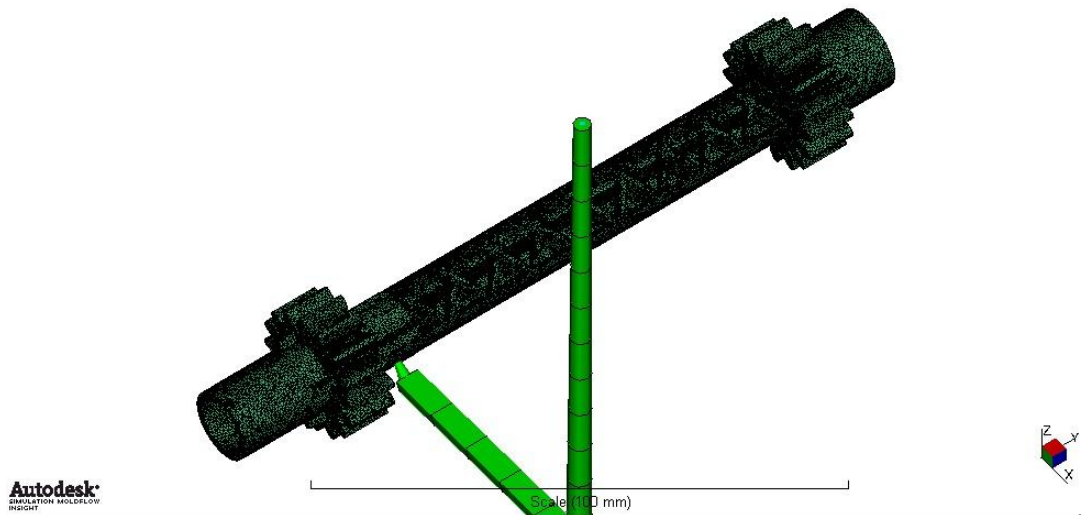
Výrobek se bude používat jako jeden z komponentů pro klimatizaci automobilu. Výrobek bude vstřikován neplněným POM, který bude proudit přes studenou vtokovou soustavu do studeného vtokového ústí. Vstřikovací forma bude dvojnásobná, kdy tvarová dutina formy bude posunuta zrcadlově v ose x. Jelikož výrobek v 3D modelu obsahoval velké množství malých rádiusů, které nebylo možné odstranit, byla zvolena z důvodu nízké hodnoty Match percentage analýza plnění + dotlak + deformace. Čas plnění byl nastaven 1,5 s.



Obr. 78. 3D model čtvrtého výrobku.

5.4.1 Umístění vtokového ústí

Vtokové ústí po domluvě se zákazníkem bylo vytvořeno před tvarové žebrování do volné plochy. Tvarová dutina formy byla plněna jedním studeným vtokovým ústím. Vtokové ústí se nacházelo na souřadnici -117,88 na ose y, která byla odečtena ze softwaru Moldflow.

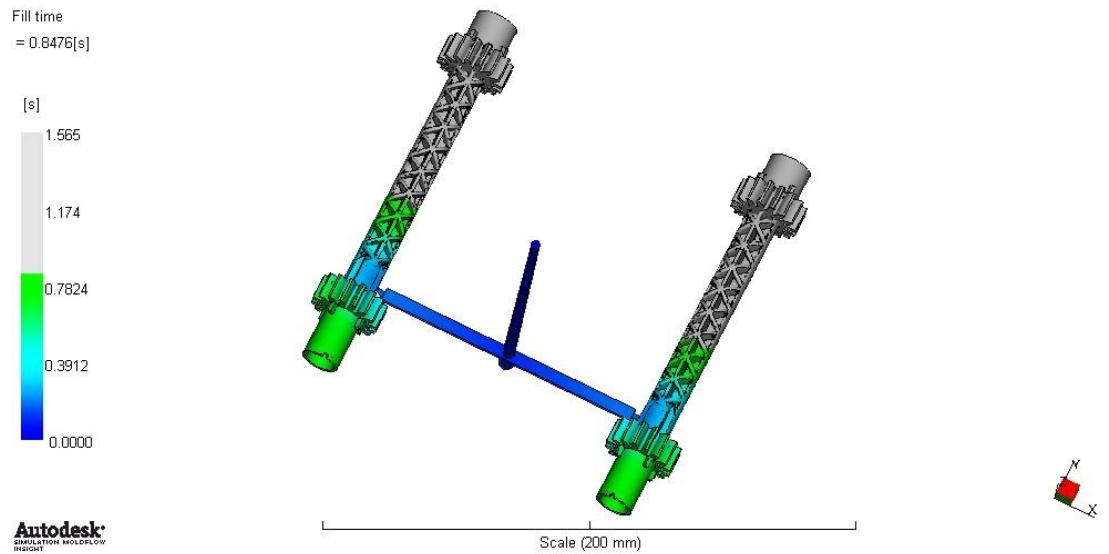


Obr. 79. Detail vtokového ústí na souřadnici -117,88 v ose y.

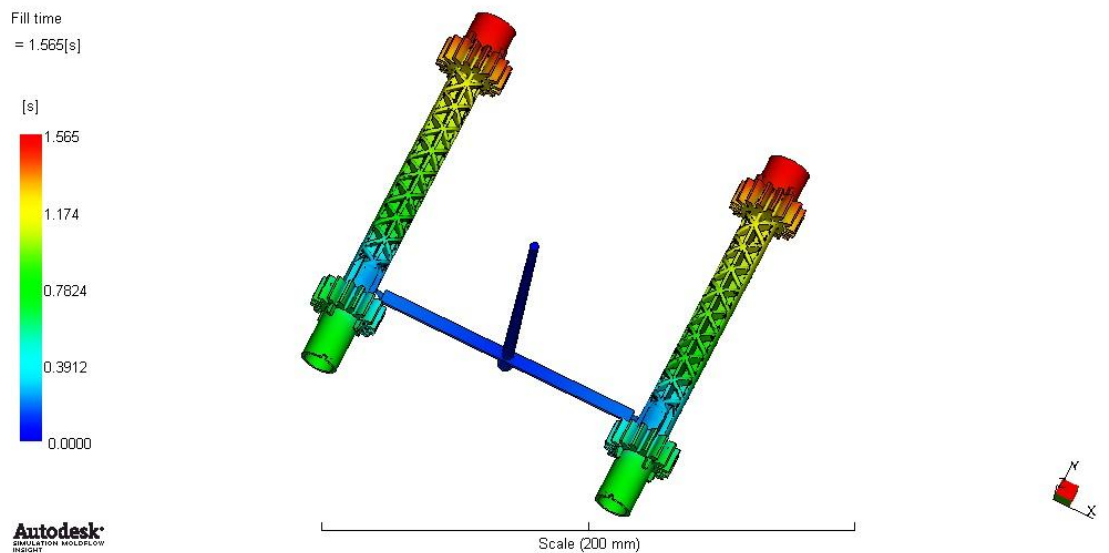
5.4.2 Výsledek plnění

Kompletní zaplnění tvarové dutiny formy nastane přibližně v čase 1,6 s, což je vyšší čas oproti nastavení v parametrech vstřikování. Daným umístěním vtokového ústí dojde k nerovnoměrnému plnění tvarové dutiny formy. Z toho důvodu se může stát, že konec výrobku, který je plněn v poslední fázi plnění, bude mít horší kvalitu jak pohledovou, tak funkční než u konce dílu, který je zaplněn v čase 0,8 s.

Konce výrobku jsou tolerovaných rozměrů. Je zapotřebí, aby plnění dutiny formy probíhalo rovnoměrně a oba konce dílu byly zaplněny ve stejnou dobu. Jediný způsob, jak této podmínky dosáhnout, je posunutí vtokového systému a vtokového ústí směrem ke středu výrobku. U daného umístění vtokového ústí by nebylo možné docílit vyváženého plnění změnou procesních podmínek.



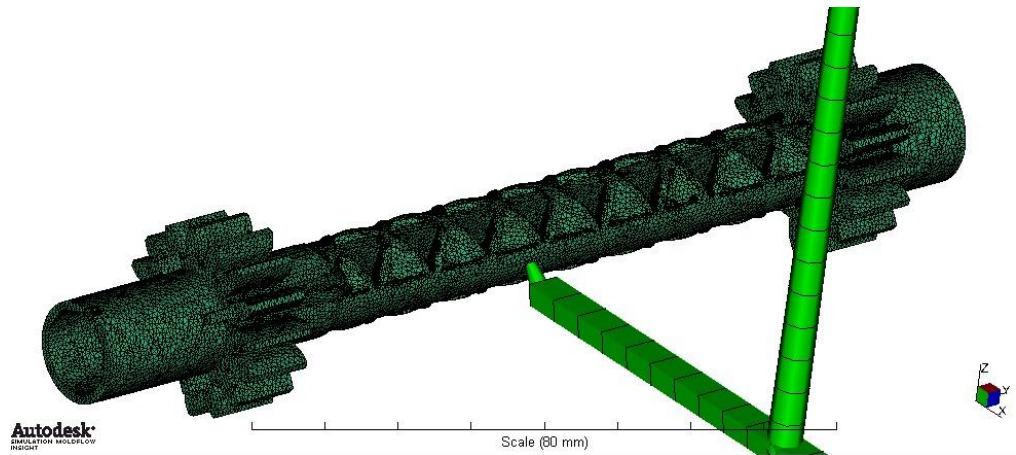
Obr. 80. Zaplnění tvarové dutiny formy v čase cca 0,8 s.



Obr. 81. Konec plnění.

5.4.3 Umístění vtokového ústí po první úpravě

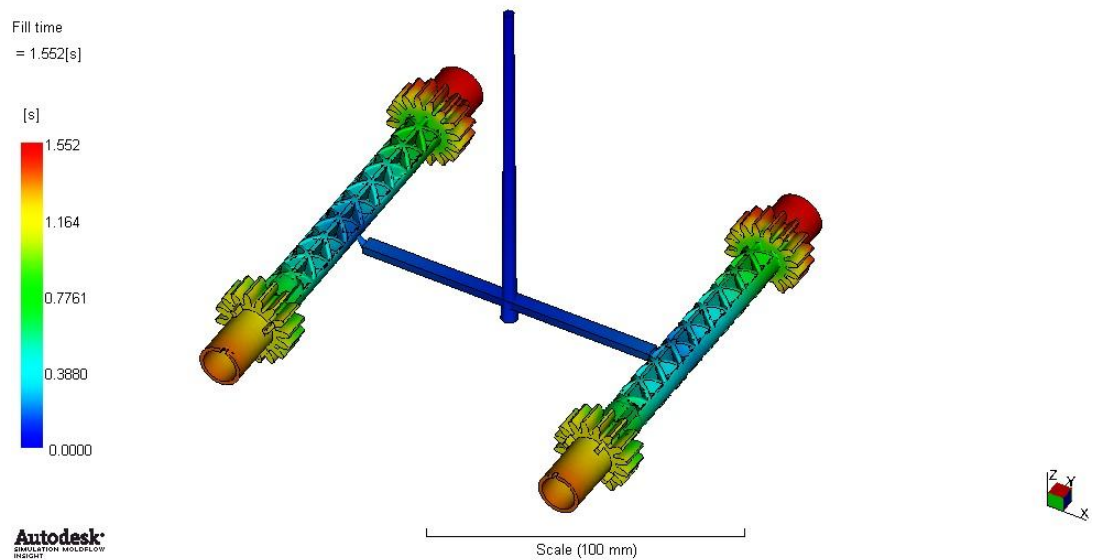
Na základě výsledku první analýzy povolil zákazník změnu umístění studeného vtokového ústí. Nová poloha vtokového ústí byla určena ve středu součásti do plné plochy pod žebrované tvary. Umístění vtokového ústí do středu součásti bylo provedeno v souřadnici -78,25 na ose y.



Obr. 82. Detail vtokového ústí.

5.4.4 Výsledek plnění po první úpravě

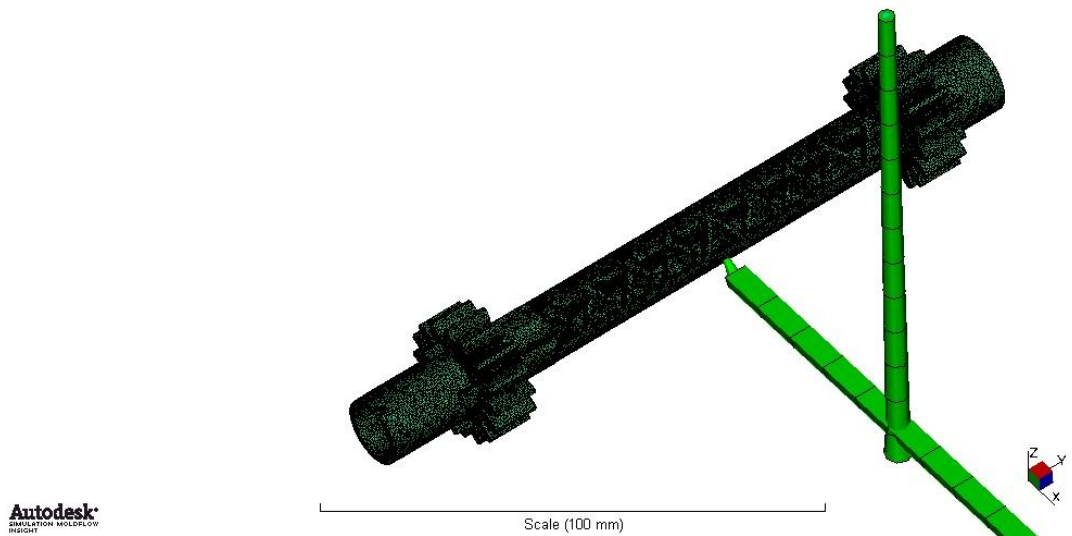
Čas plnění se z nastavených 1,5 s zvýšil na přibližně 1,6 s, což jsou totožné údaje jako při předešlé analýze. Velkým problémem je stále umístění vtokového ústí v daném případě do středu součásti. Tvarová dutina vstřikovací formy je stále plněna nevyváženě. Nevyvážené plnění je dáno tím, že oba konce jsou rozměrově rozdílné. Liší se délkou a průměrem ozubených pastorků, ale také délkou a průměrem na koncích výrobku.



Obr. 83. Konec plnění tvarové dutiny formy.

5.4.5 Umístění vtokového ústí druhá úprava

Vtokové ústí bylo po opětovné dohodě se zákazníkem přesunuto blíže k mohutnějšímu konci. Vtokové ústí bylo posunuto na souřadnici -70,59 mm v ose y. Což znamená posun vtokového ústí v ose y o 7,66 mm od středu výrobku.



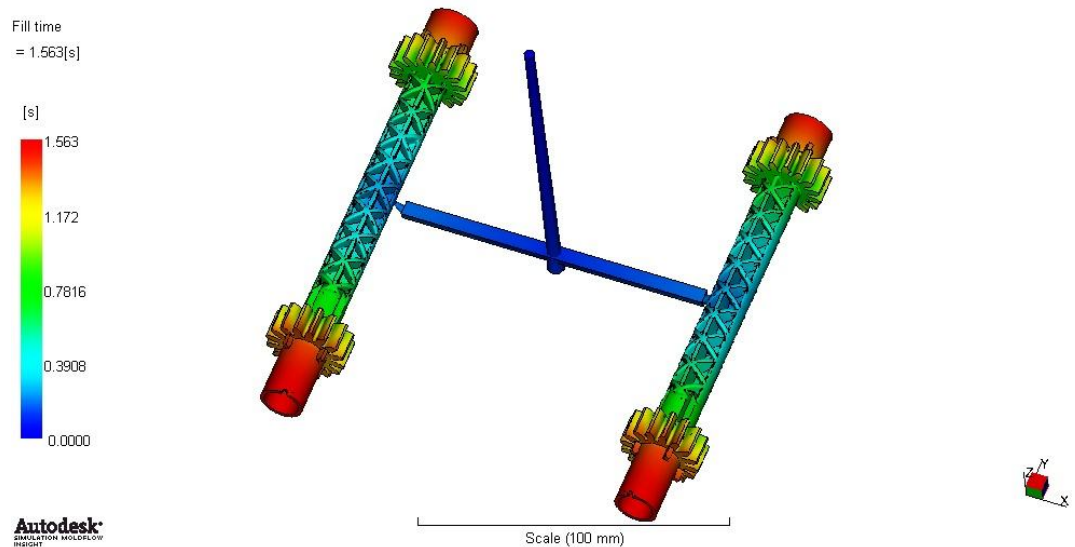
Obr. 84. Detail vtokového ústí.

5.4.6 Výsledek plnění po posunutí vtokového ústí

Po realizaci přesunutí polohy vtokového ústí na danou souřadnici v ose y bylo dosaženo rovnoměrného plnění tvarové dutiny formy, což je optimální a zároveň požadovaný výsledek plnění pro danou součást.

Oproti vtokovému ústí, které bylo uprostřed součásti, se zvýšil čas plnění součásti v řádech tisícín sekund. Stále dosahuje hodnoty přibližně 1,6 s. Zvýšení času plnění je zanedbatelný výsledek, protože bylo dosaženo lepšího plnění dutiny formy.

Jelikož optimálního místa pro polohu vtokového ústí bylo dosaženo, je možné pro lepší proces vstříkování upravit vstříkovací parametry, kterými jsou dotlaková fáze, optimalizace temperačního systému, teplota formy a další parametry, kterými lze optimalizovat výsledek vstříkování.

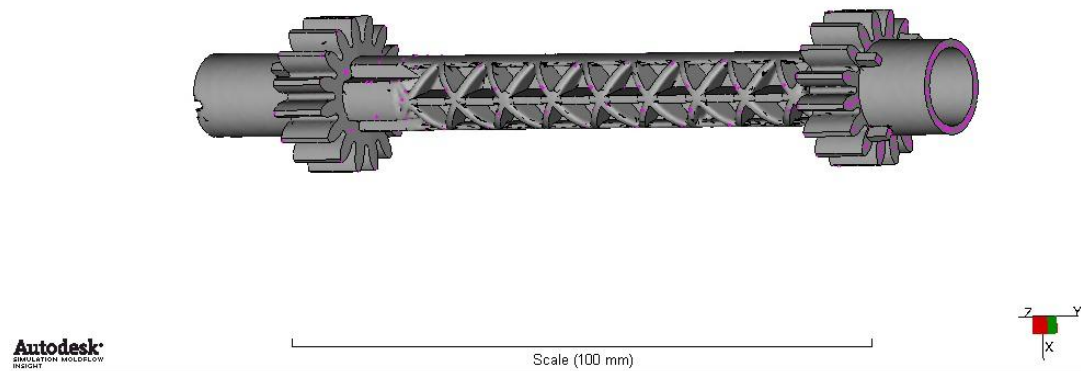


Obr. 85. Konec plnění - optimální stav.

5.4.7 Vzduchové kapsy

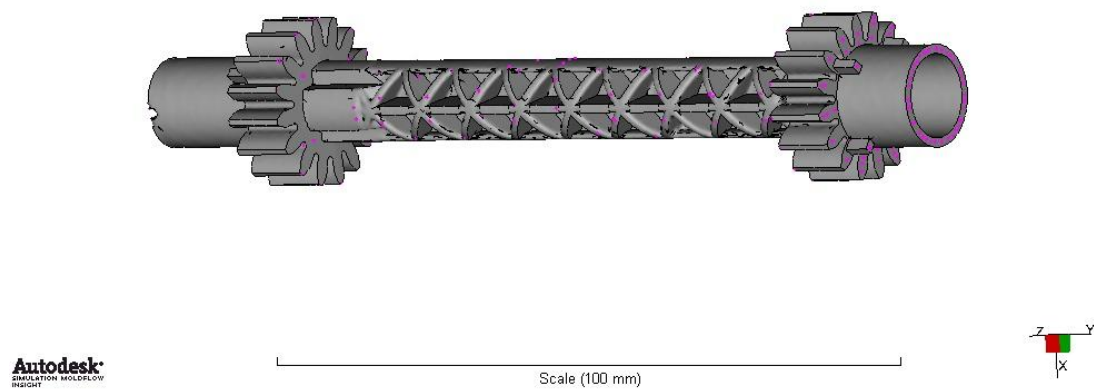
Výrobek byl simulován ve více variantách umístění vtokového ústí. Je možné vidět, že poloha vtokového ústí nemá na vznik vzduchových kapes téměř žádný podíl. Ve všech třech variantách je obsaženo zhruba podobného množství vzduchových kapes. Největší množství vzduchových kapes je obsaženo v tvarově složité části mezi ozubenými pastorky. Další vzduchové kapsy se nachází na plochách ozubených pastorků a na plochách konce dílu. Aby se zabránilo vzhledovým deformacím, je nutné zamezit vzniku těchto nežádoucích jevů. Jednou z možností je, aby konstruktér vstříkovací formy navrhl dostatečně kvalitní odvzdušnění. Dále je možné optimalizovat samotné vstříkávání, například zvýšením teploty vstříkovací formy.

Air traps



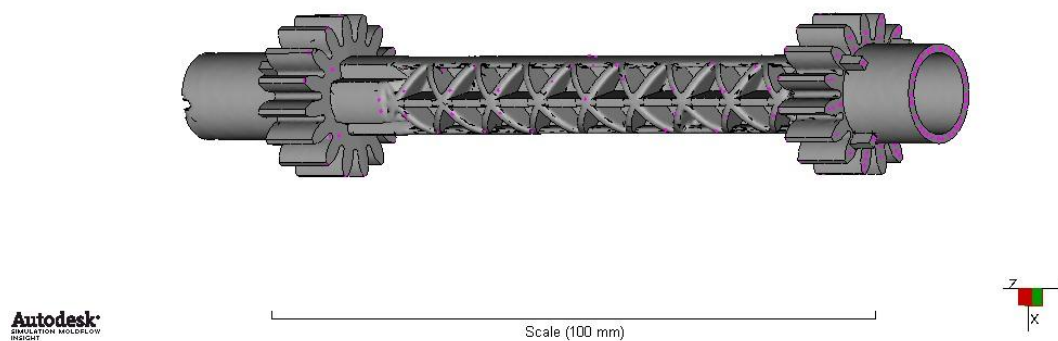
Obr. 86. Vzduchové kapsy s původní návrh vtokového ústí.

Air traps



Obr. 87. Vzduchové kapsy s posunutí vtokového ústí na střed.

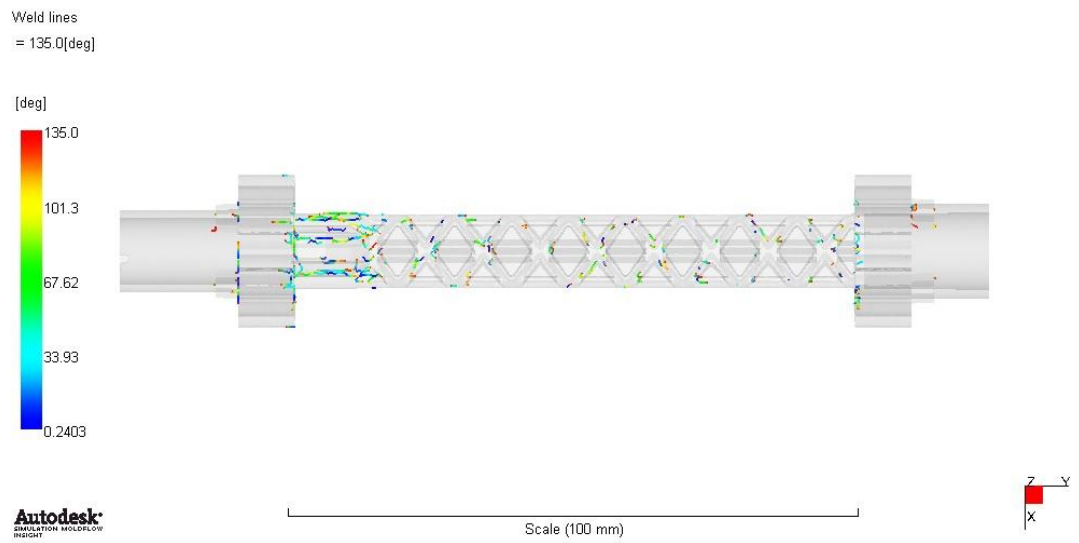
Air traps



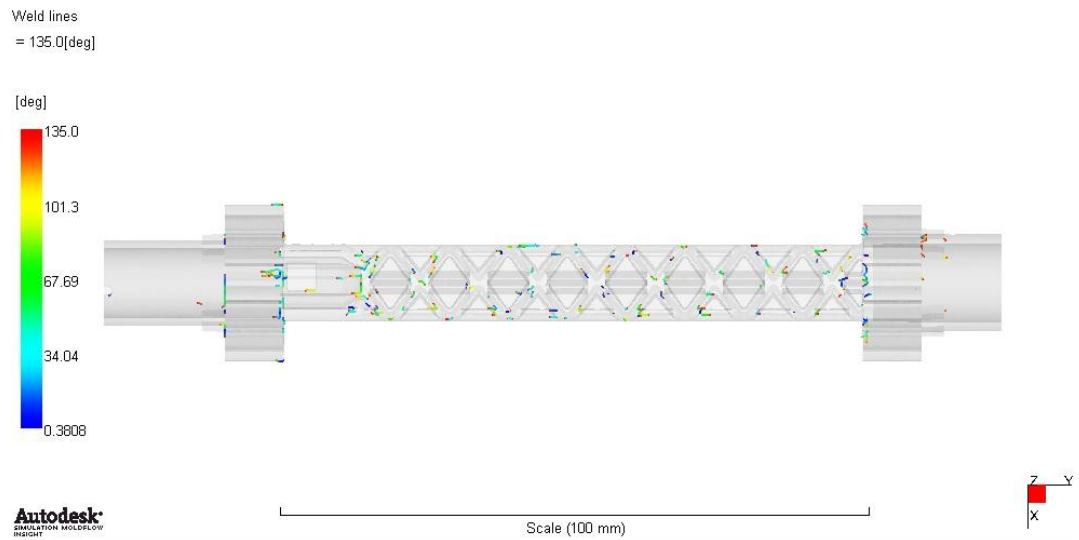
Obr. 88. Vzduchové kapsy s posunutí vtokového ústí poslední úprava.

5.4.8 Studené spoje

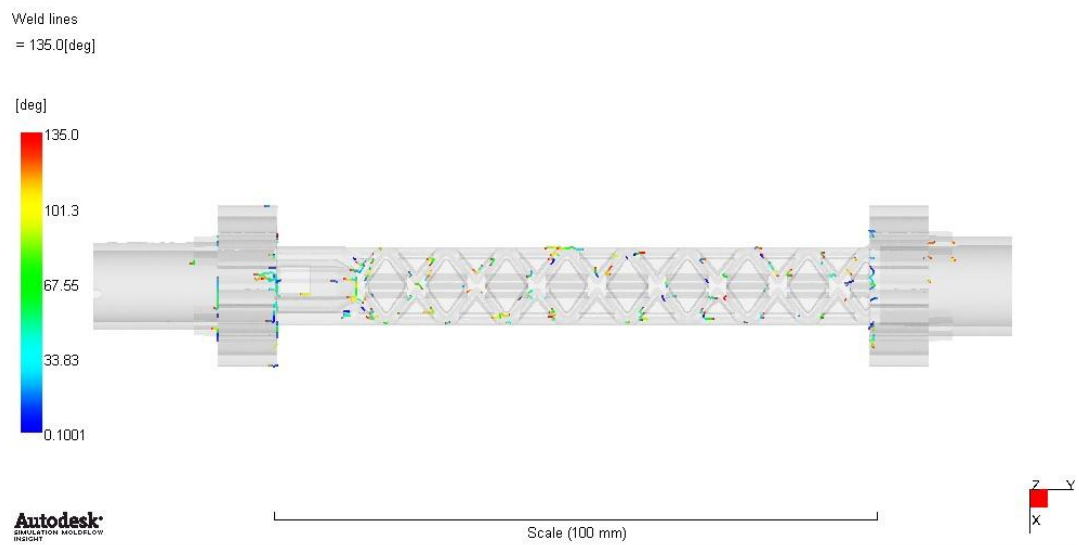
U uvedených výrobků je zřetelně vidět, jak jsou studené spoje ovlivňovány umístěním vtokového ústí. Při prvním návrhu vznikly nežádoucí studené spoje z velké části na ploše před tvarovým žebrováním výrobku. Výsledek plnění, ale také studených spojů, byl neakceptovatelný, z toho důvodu se realizovalo přesunutí do středu součásti. Tímto krokem se odbouralo studených spojů na ploše před tvarovým žebrováním. Studené spoje byly nadále v žebrování výrobku, ale také v ozubených pastorcích. Jelikož tímto způsobem nebylo dosaženo rovnoměrného plnění, bylo vtokové ústí dále posunuto. Tímto posunutím bylo docíleno rovnoměrného plnění s tím, že ve středovém žebrování došlo ke snížení studených spojů oproti vtokovému ústí ve středu součásti. Studené spoje ale dále zůstávají v ozubených pastorcích. Protože vtokové ústí nelze dále posunout a je nutné odstranit studené spoje, aby byl díl v požadované kvalitě a vzhledu, musí být v kritických místech vyrobeny odvzdušňovací kanály. Další snížení studených spojů je možné docílit vhodným nastavením rychlosti vstřikování, teplotou formy a vstřikovacím tlakem.



Obr. 89. Studené spoje původní návrh vtokového ústí.



Obr. 90. Studené spoje s posunutí vtokového ústí na střed.



Obr. 91. Studené spoje s posunutí vtokového ústí poslední úprava.

5.4.9 Porovnání plnění výrobku s analýzou společnosti PP&T

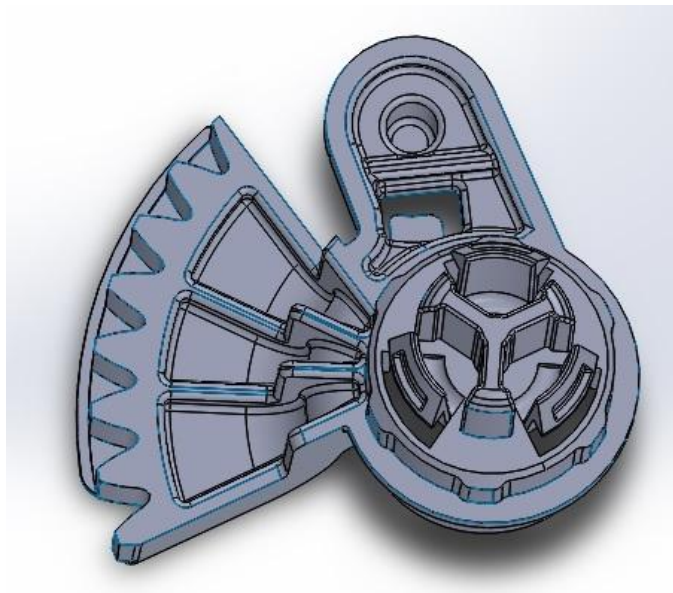
Vypracovaná analýza pro společnost PP&T má několik odlišností oproti simulaci, která byla mnou navržena. Prvním rozdílem je čas plnění, který v analýze pro společnost činí 1,18 s. Časová odchylka oproti mé simulaci může být dána tím, že čas plnění byl v analýze nastaven na 1,5 s. Významnějším rozdílem v analýze plnění je skutečnost, že k docílení rovnoměrného plnění tvarové dutiny formy byl posunut studený vtokový systém. Ve vypracované analýze pro společnost je rozdíl v posunutí a natočení druhé tvarové dutiny formy. Dutiny jsou k sobě otočeny opačnými konci s tím, že druhá tvarová dutina formy je vychýlena v ose y, tudíž není rovnoměrně s první dutinou formy. U první tvarové dutiny formy je vtokové ústí ve středu výrobku. Jelikož druhá tvarová dutina je posunuta v ose y, s vtokovým ústím ve středu výrobku, je vytvořeno vtokových kanálů, které jsou pootočené tak, aby bylo zajištěno rovnoměrného plnění tvarových dutin formy.

5.4.10 Porovnání vzduchových kapes a studených spojů výrobku s analýzou společnosti PP&T

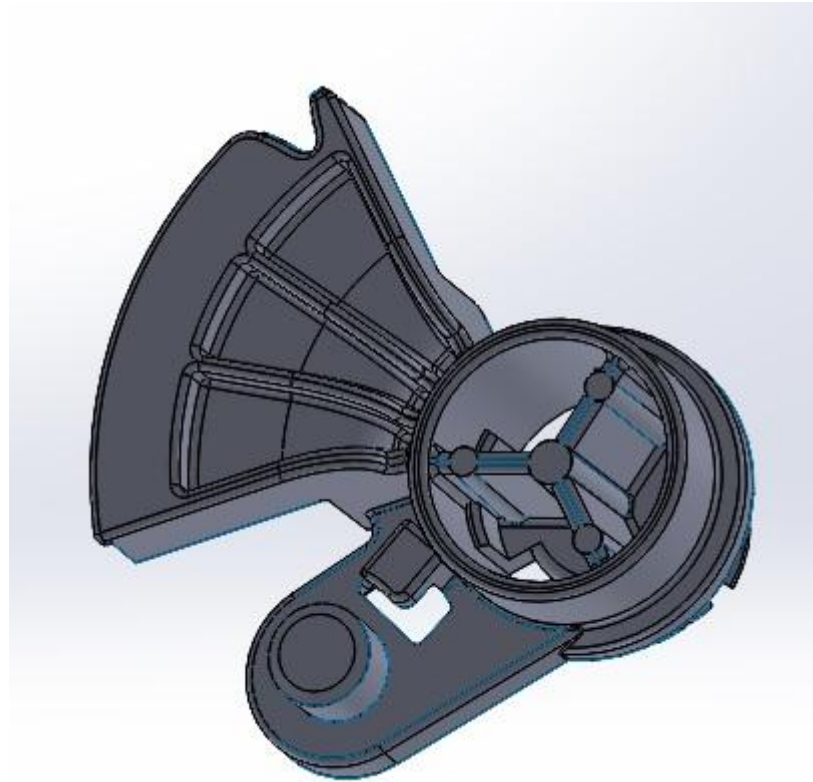
Simulace pro společnost PP&T obsahuje podobné množství vzduchových kapes a studených spojů jako mnou vytvořená analýza. Vzduchové kapsy a studené spoje se vyskytují nejčastěji v tvarovém středovém žebrování a ozubených pastorcích, přičemž vzduchové kapsy se neobjevují na koncových plochách. Jako navržené opatření je nutnost vytvoření odvzdušnění u žebrování, ale také u obou pastorků.

5.5 Pátý výrobek

Výrobek po zhotovení bude součástí klimatizace. Polymer k analýze byl zadán zákazníkem, který požadoval plnění PBT s příměsí 30% skleněných vláken. Vstřikovací forma pro daný výrobek bude dvojnásobná. K docílení dvojnásobné formy bylo využito funkce zrcadlení. Model jsem zrcadlil v ose x, čímž bylo dosaženo reálného uspořádání tvarových dutin ve vstřikovací formě. Výrobek je menších rozměrů a obsahuje drobné, členité tvarové části. Z toho důvodu byla k výpočtu zvolena analýza plnění + dotlak + deformace. Tvarová dutina formy je plněna horkým vtokovým systémem s časem plnění, který byl nastaven v procesním nastavení 0,8 s.



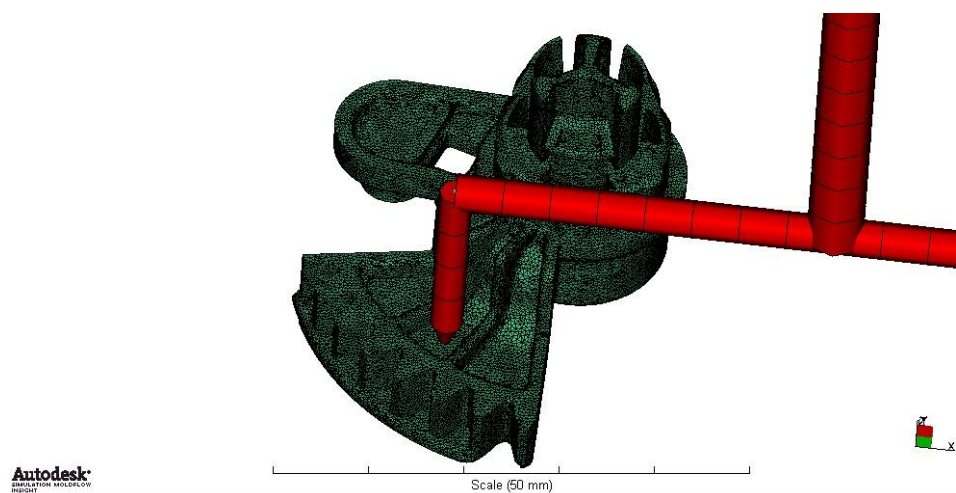
Obr. 92. 3D model výrobku pohled z vrchu.



Obr. 93. 3D model výrobku pohled ze spodu.

5.5.1 Umístění vtokového systému a vtokového ústí

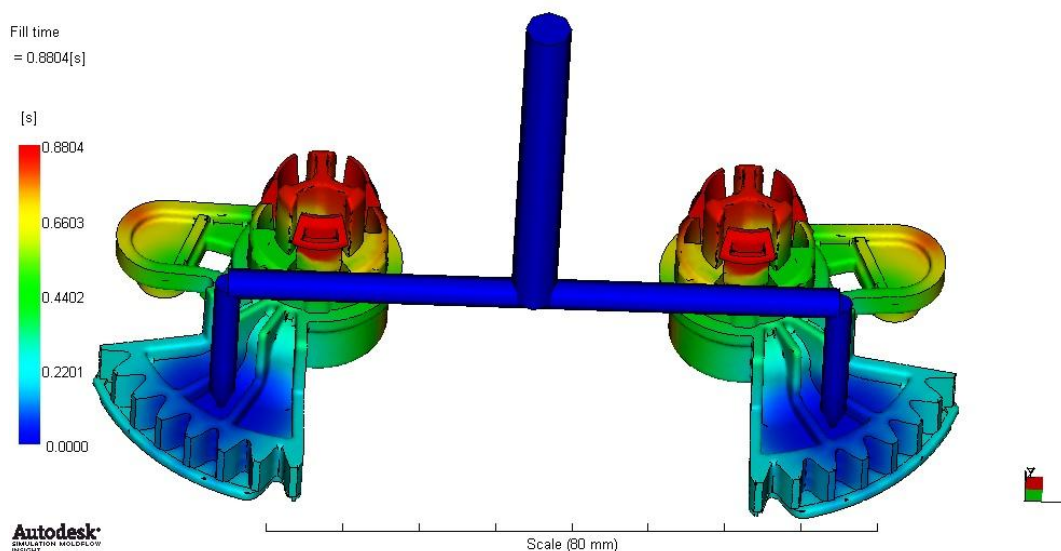
Vtokové ústí zvolil zákazník na přední stranu výrobku do prostředního vybrání. Průměr vtokového ústí byl zadán 1 mm. Rozměry vtokového systému musí být k dané násobnosti symetrické, aby bylo dosaženo rovnoměrného plnění obou tvarových dutin vstříkovací formy.



Obr. 94. Detail polohy vtokového ústí.

5.5.2 Výsledek plnění dutiny formy

Tvarové dutiny, ve vytvořené vzdálenosti s navrhnutým vtokovým systémem, se budou plnit rovnoměrně. Čas plnění dutiny formy se oproti nastavené hodnotě v procesním nastavení nepatrně zvýšil přibližně na 0,88 s. Výrobek bude plněn jako poslední v nejvyšších místech, která jsou zákazníkem tolerovaná. Na konci výrobku vlivem plnění v poslední fázi mohou vznikat velké deformace a smrštění výrobku. Těmto nežádoucím jevům, které mohou ohrozit funkčnost výrobku, je nutné předejít. Jelikož místo vtokového ústí je dané zákazníkem a nelze měnit jeho polohu, je jednou z možností vyložkování problematického místa v tvarové dutině formy, čímž dojde ke snížení pravděpodobnosti výskytu nežádoucích jevů.



Obr. 95. Konec plnění dutin formy.

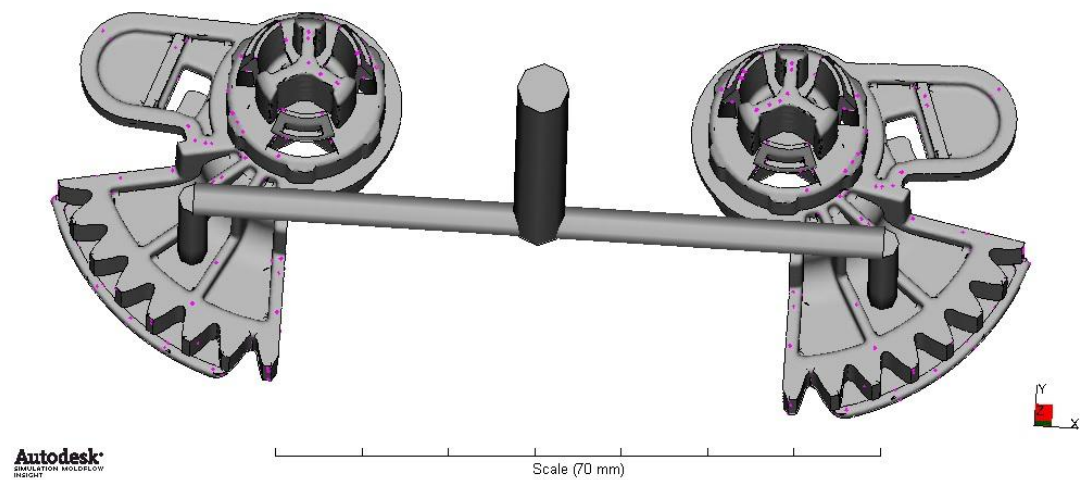
Vygenerované plnění dutiny formy je plně vyhovující, tudíž se mohou optimalizovat pouze procesní podmínky, ale tím lze pouze upravit vstříkovací proces nikoliv místo, které bude v tvarové dutině formy plněno jako poslední.

5.5.3 Vzduchové kapsy

Výrobek vykazuje velké množství vzduchových kapes. Vzduchové kapsy se objevují jak na přední straně výrobku, tak také na zadní straně. Vzduchové kapsy mohou v daném případě vznikat složitostí a členitostí dílu. Na základě výsledku analýzy je nutné při výrobě vstříkovací formy počítat s dostatečným odvzdušněním, aby se zabránilo vzniku nežádoucích vlivů, které dále ovlivňují vlastnosti výrobku, hlavně vzhledové. Jestliže by

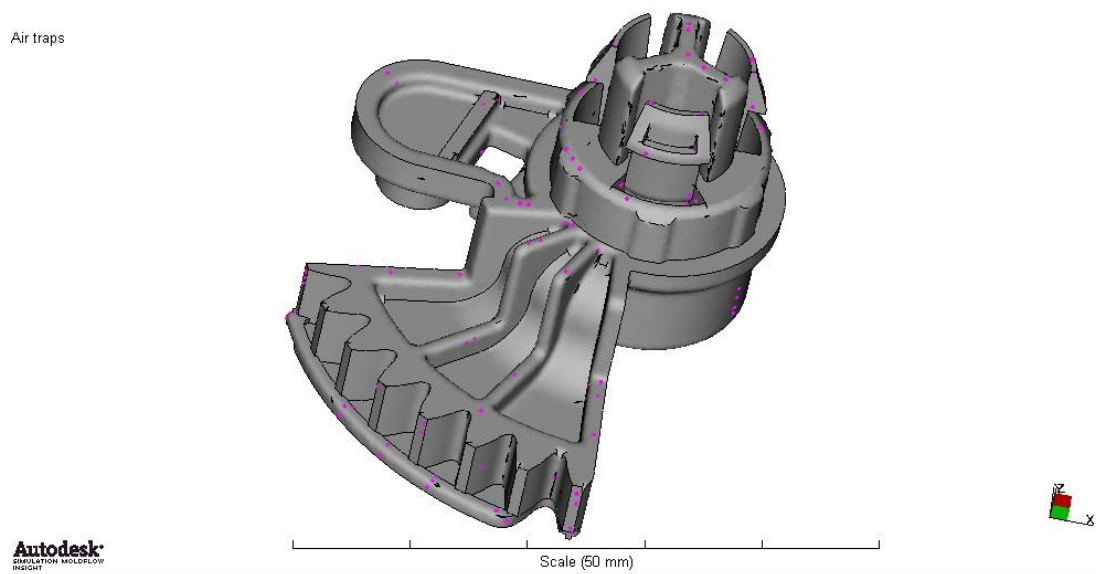
vytvořené odvzdušnění nepomohlo a vzduchové kapsy by se dále tvořily, bylo by zapotřebí optimalizovat vstřikovací proces ať teplotu formy nebo zvýšením vstřikovacího tlaku.

Air traps

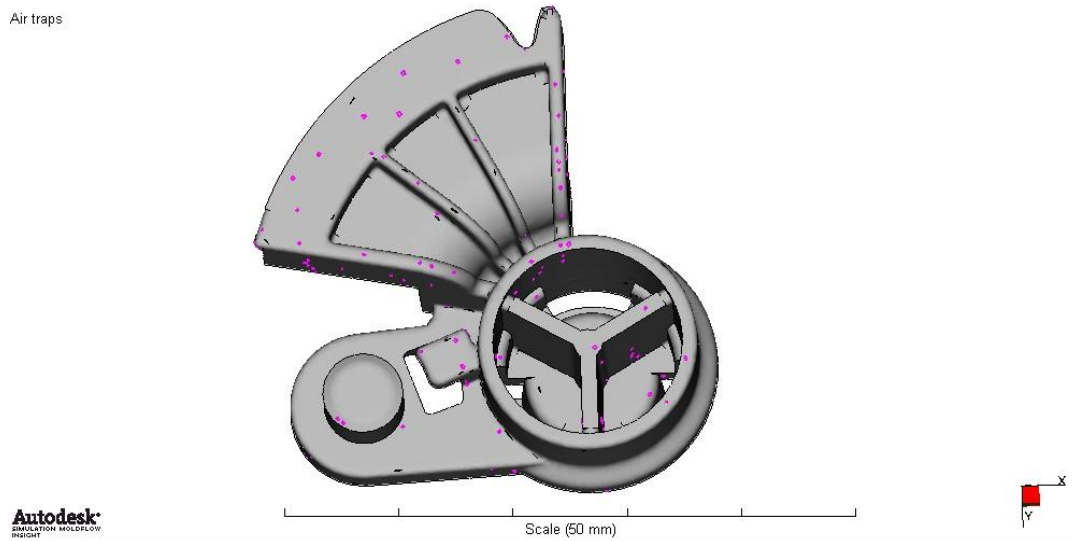


Obr. 96. Vzduchové kapsy.

Air traps



Obr. 97. Detail ze shora - vzduchové kapsy.

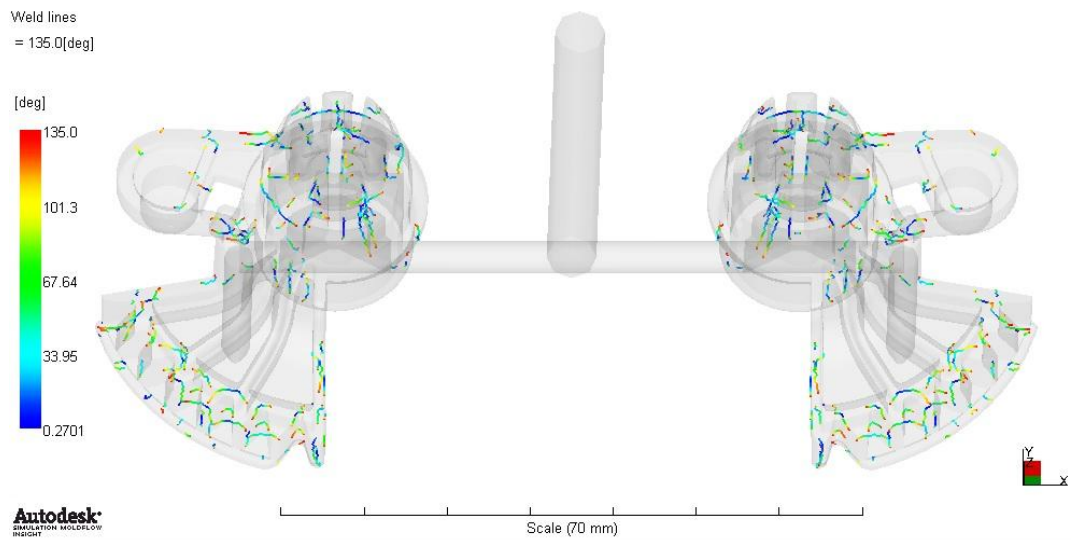


Obr. 98. Detail ze spodu - vzduchové kapsy.

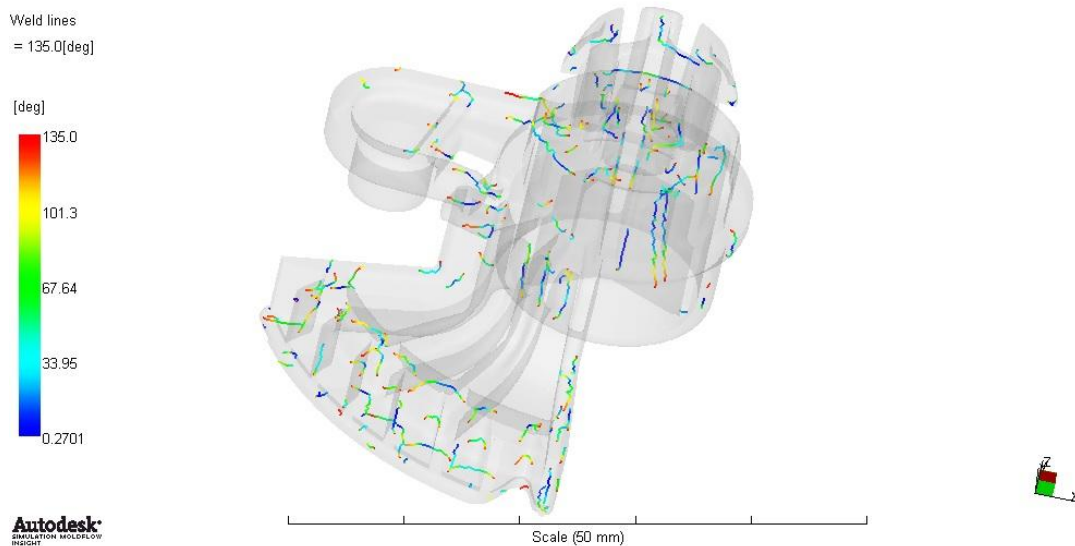
5.5.4 Studené spoje

Daný výrobek obsahuje velké množství studených spojů, které se tvoří hlavně v členitých a tvarově složitých oblastech. Jelikož se jedná o malý díl, je velké nebezpečí, že kritické studené spoje, kterých je velké množství, způsobí snížení mechanickým vlastností, které mohou později vést k degradaci výrobku. Je nezbytně nutné snížit množství studených spojů ve výrobku. Jednou z možností by bylo přesunutí vtokového ústí. Jelikož zákazník pevně určil místo vtokového ústí, není možné ho přesunout, tudíž je zapotřebí optimalizovat vstřikovací rychlost materiálu, vstřikovací tlak, teplotu formy. Druhou možností v kombinaci se změnou parametrů vstřikování je konstruktérem vytvoření kvalitního odvzdušnění.

Další možností ke snížení studených spojů je vytvoření sběrných kanálů v dělicí rovině formy. Před vstřikem materiálu do tvarové dutiny formy se přes vytvořené sběrné kanály odsaje vzduch z dutiny formy, čímž vznikne vakuum. Vytvořením vakua dojde k lepšímu plnění tvarové dutiny formy s tím, že se sníží počet míst se studenými spoji, ale zároveň i míst, kde je pravděpodobné vytvoření vzduchových kapes.



Obr. 99. Studené spoje.



Obr. 100. Detail studených spojů.

5.5.5 Porovnání plnění mnou vytvořené analýzy se skutečnou analýzou společnosti PP&T

Analýza společnosti PP&T ke konkrétnímu výrobku se liší nejvíce v čase plnění. Reálný čas plnění v mé analýze činí 0,88 s. V simulaci vytvořené pro společnost je čas plnění dutiny formy kratší a dosahuje hodnoty přibližně 0,45 s. Průběh plnění tvarové dutiny formy je stejný, protože místo vtokového ústí bylo zvoleno jednotně na stejném místě. Horní část výrobku je i dle analýzy pro společnost důležité vyvločkovat, jelikož nesmí dojít k porušení rozměrových tolerancí na tvarových částech v horní oblasti výrobku.

5.5.6 Porovnání vzduchových kapes a studených spojů mnou vytvořenou analýzou se skutečnou analýzou společnosti PP&T

Při porovnání vzduchových kapes a studených spojů v mnou vytvořené analýze s analýzou pro společnost PP&T bylo zjištěno, že v mé analýze jsou oba nežádoucí účinky více zastoupeny. Je to dáno do jisté míry tím, že simulace pro společnost byla vytvářena s ohledem na kvalitu výrobku s tím, že bylo docíleno kratšího času plnění.

6 POROVNÁNÍ SKUTEČNÝCH PARAMETRŮ PROCESU VSTŘIKOVÁNÍ S ANALÝZOU

V této části diplomové práce se budu zabývat srovnáním jednotlivých údajů reálného vstřikovacího procesu s hodnotami vygenerovanými ze softwaru Autodesk Moldflow 2013 mnou navržených analýz. Reálné údaje byly použity při vstřikování taveniny do dutiny formy ve společnosti PP&T. Srovnání spočívá v osmi základních údajích, které jsou důležité při vstřikování. Technologický postup při reálném lisování obsahuje velké množství údajů, přičemž některé z nich nejsou porovnatelné s údaji, které vyhodnotí software Moldflow.

Technologický list vstřikování společnosti PP&T obsahuje například:

- údaje o stroji - na jakém stroji probíhá vstřikování s jak velkou uzavírací silou.
- údaje o materiálu - druh materiálu, obsah stabilizátorů a barviv.
- údaje o formě - jak velká je uzavírací síla.
- údaje o teplotách - teplota jednotlivých zón válce, teplota násypky, teplota formy s hodnotami teplot chlazení u pohyblivé a pevné strany formy.
- údaje o vstřiku - vstřikovací rychlost, vstřikovací tlak, čas vstřiku.
- údaje o dotlaku - jak je velký dotlak, čas dotlaku, čas cyklu.
- údaje o plasťifikaci - otáčky šneku, velikost dávky, čas dávkování, bod přepnutí, zpětný tlak a jiné důležité údaje k procesu vstřikování.

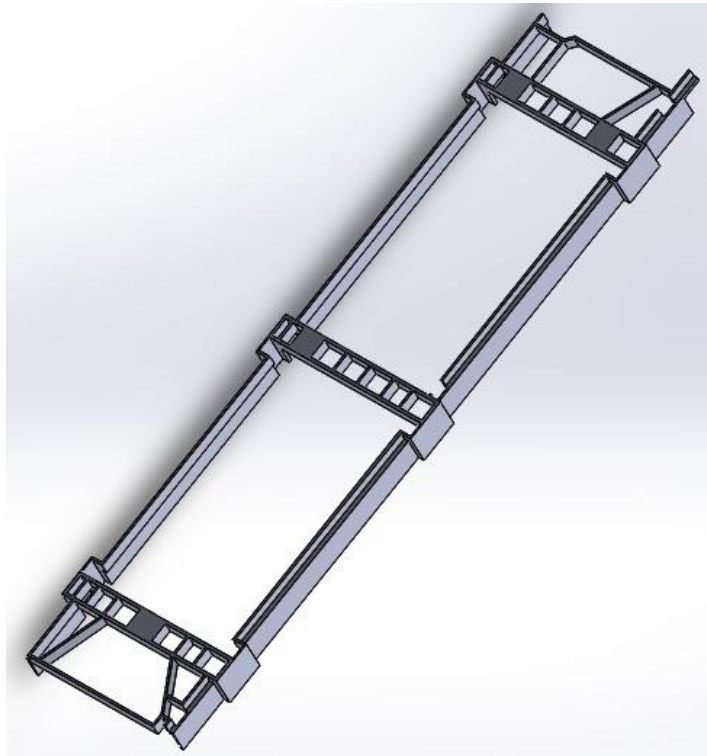
PP&T		Technologický postup a pracovní návod PQ-07-14							39264	
Díl	Název dílu						Číslo dílu			
	Číslo výkresu						Indexová změna			
Stroj	Typ stroje	KRAUSS MAFEI 760					Číslo lisu			
	Uzavírací síla	120 t					Ø šneku	45 mm		
Materiál	Materiál	POB - HOSAPOB07 C 907					Sušení			
	Barvivo						%		NE	
Forma	UV stabilizátor	-					%			
	Číslo formy	39264		Program číslo		39264		Uzavírací síla	120 t	
Teploty	Válec	Tryska	Zóna 1	Zóna 2	Zóna 3	Zóna 4	Zóna 5	Zóna 6	Náсыпка	
		210 °C	215 °C	210 °C	205 °C	200 °C	— °C	— °C	45 °C	
	Teplota formy	Pevná strana	CHLADIT °C		180 °C	Pohyblivá strana		UHLANT °C		
					180 °C					
Vstřik	Horké vtoky	NE					Počet pásem			
	Vstřikovací tlak	150 bar	Vstřikovací rychlost		55 mm/s		Extruze			
Dotlak	Čas vstřiku	2,03 s	Profil vstřiku				Extruze			
	Čas dotlaku	4 s	Profil dotlaku							
Plasťifikace	Dotlak	110 bar	Čas cyklu		33,21 s					
	Čas chlazení	19 s								
Plasťifikace	Otáčky šneku	55 ot/min	Zpětný tlak		5 bar					
	Velikost dávky	86 mm	Dekomprese		Před	-	Po			
	Čas dávkování	5,63 s	Polštář		9,3 mm					
	Bod přepnutí	75 mm	Dráha otevření formy		350 mm					

Obr. 101. Technologický postup a pracovní návod vstřikování.

V diplomové práci bylo porovnáváno pět analýz, které byly v minulé kapitole rozebírány na plnění, vzduchové kapsy a studené spoje. Jelikož bylo navrženo více analýz a většinou i s následnými úpravami, proto pro porovnání se skutečnými parametry vstřikování budou uváděny vždy upravené simulace. Porovnání údajů jednotlivých vstřikovacích forem bude spočívat ve srovnání typu stroje, na kterém probíhalo vstřikování, v použitém materiálu, ve velikosti uzavírací síly, vstřikovacího tlaku, času vstřiku, času dotlaku, síly dotlaku a času cyklu.

Ze simulace byla po úspěšném vygenerování jednotlivých údajů vybrána k porovnání vždy nejvyšší hodnota. Například nejvyšší hodnota, která byla vyhodnocena u síly dotlaku, vstřikovacího tlaku a uzavírací síly.

6.1 Vstřikovací parametry pro první výrobek



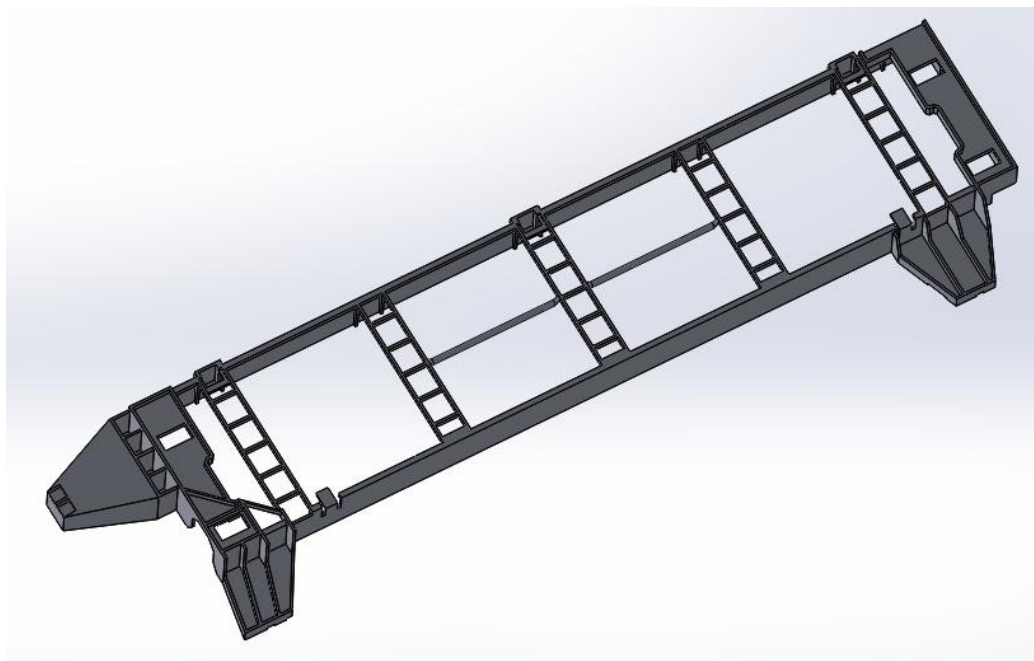
Obr. 102. Vstřikovaný výrobek.

Tab. 1. Porovnání technologických údajů společnosti PP&T s mojí analýzou.

Porovnávané údaje	Reálné hodnoty vstřikování firmy PP&T	Hodnoty mnou navržené ana- lýzy
Typ stroje	ES 2000/400	Allrounder 570 C 240 tons 29.1 oz (70mm)
Materiál	M00197 ZYTEL 70G30 HR BK 23591	J66GF6 : BIP Chemicals Ltd
Uzavírací síla [kN]	2500	570,6
Vstřikovací tlak [MPa]	12	51,41
Čas vstřiku [s]	3,64	3,48
Čas dotlaku [s]	4	15
Dotlak [MPa]	7	47,63
Čas cyklu [s]	54	30

Z výsledku analýzy je vidět rozdíl, jak se hodnoty reálného vstřikování liší od hodnot mnou vytvořené analýzy. Do určité míry to může být dáno výběrem vstřikovacího stroje a materiálu, jelikož materiál může mít odlišné například reologické vlastnosti, smršťující vlastnosti, mechanické vlastnosti a jiné. Dalším aspektem je, že by muselo dojít k optimalizaci vytvořené analýzy a to například zvětšit průměry jednotlivých vtokových kanálů, čímž by došlo ke snížení vstřikovacího tlaku, změnit teplotu formy, optimalizovat temperační systém i s hodnotami teplot temperačních kanálů. Jelikož je čas vstřikování v reálných podmínkách větší, je možné zvýšit čas vstřikování v procesních podmínkách konkrétně u času plnění, čímž by se snížil i vstřikovací tlak. Dalšími hodnotami, které jsou potřeba optimalizovat, jsou hodnoty síly dotlaku a času dotlaku, jelikož je čas dotlaku velmi dlouhý v mé analýze, je zapotřebí v nastavení parametrech dotlaku uvedenou dobu zkrátit. Síla dotlaku je v mé analýze několikanásobně větší, ke snížení síly dotlaku je zapotřebí optimalizovat rozměry vtokového systému tak, aby se snížil tlak vstřikování a průtokové množství taveniny. Dále je zapotřebí zvětšit uzavírací sílu, aby bylo využito maximálních hodnot stroje, což je důležité, aby nevznikaly přetoky ve tvarové dutině formy. Dalším rozličným parametrem je čas cyklu, který byl nastaven v procesních parametrech na 30 s, jeho optimalizací by také mohlo dojít k výraznému zlepšení parametrů v procesu vstřikování, protože v reálném vstřikování je čas cyklu téměř jednou tak velký, protože se společnost PP&T řídila vyrobením výrobku s co nejvyšší možnou kvalitou, zatímco já v analýze dbal na ekonomičnost. Z toho důvodu byl také zvolen zmíněný čas cyklu na 30 s. Dalším aspektem, který rozhodl u společnosti PP&T pro vyšší čas cyklu byla skutečnost, že v ročním množství požadovaných kusů výrobků zákazníkem se čas cyklu do ceny výrobku výrazně neprojeví.

6.2 Vstřikovací hodnoty pro druhý výrobek



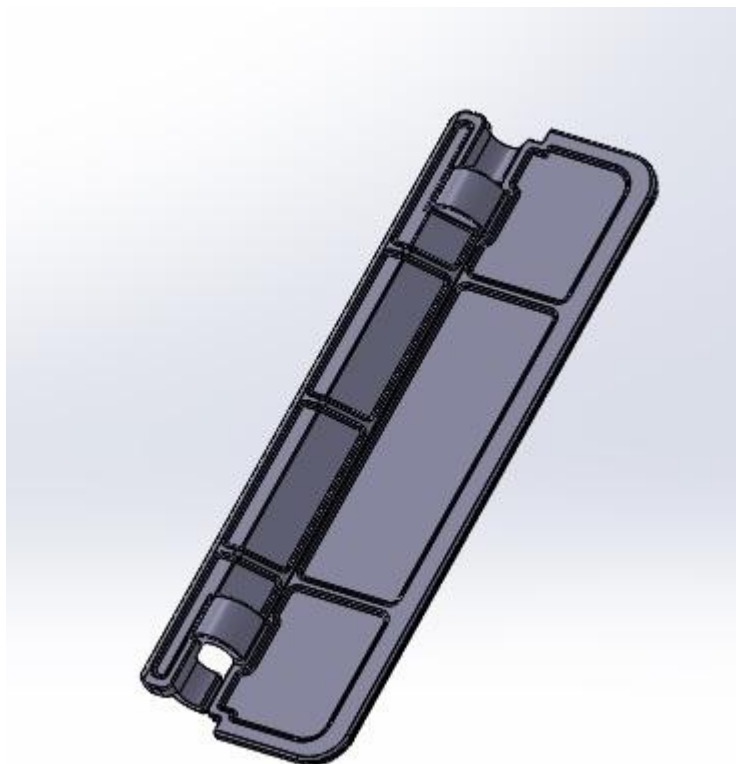
Obr. 103. Druhý vstřikovaný výrobek.

Tab. 2. Porovnání technologických údajů společnosti PP&T s mojí analýzou.

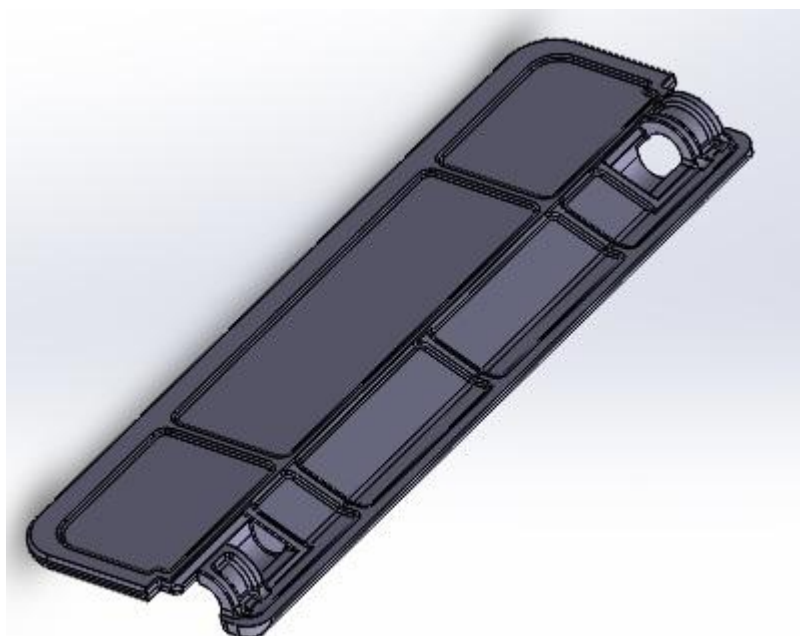
Porovnávané údaje	Reálné hodnoty vstřikování společnosti PP&T	Hodnoty vygenerované mnou navrženou analýzou
Typ stroje	ES 2000/400	NN 500 495 tons 66,2 2 oz (90mm)
Materiál	M00197 ZYTEL 70G30 HR BK 23591	J66GF6 : BIP Chemicals Ltd
Uzavírací síla [kN]	3800	777,4
Vstřikovací tlak [MPa]	12	21,52
Čas vstřiku [s]	4,3	4,09
Čas dotlaku [s]	5	15
Dotlak [MPa]	6	25,82
Čas cyklu [s]	65	40

Dle výsledných hodnot lze vyčíst velmi odlišné údaje při reálném vstřikování a mnou vytvořené analýzy. Jelikož nebyl k dispozici seznam vstřikovacích strojů, které společnost využívá, byl vybrán typ stroje s maximální uzavírací silou 4489,15 kN. Vypočtená uzavírací síla je několikanásobně menší, jak uzavírací síla stroje a uzavírací síla při reálném vstřikování, které použila společnost PP&T. Uzavírací sílu je důležité zvýšit, aby se snížila možnost tvorby přestříků. Uzavírací síla lze zvýšit pracovníkem, který obsluhuje vstřikovací stroj. Uzavírací síla je ovlivňována také vstřikovacím tlakem, který je v mém případě oproti skutečnosti vysoký. Vstřikovací tlak lze snížit optimalizací rozměrů vtokového systému, ale i zvýšením času vstřiku. V mém případě čas vstřiku činí 4,09 s a v reálném případě činí 4,3 s. Je možné jej upravit zvýšením času plnění v procesních parametrech. V procesních podmínkách lze také upravit čas cyklu, který v mém případě je o poznání kratší a velmi ovlivňuje dané parametry, tudíž k optimalizaci je zapotřebí čas cyklu zvýšit, protože má simulace byla soustředěna hlavně na ekonomičnost vstřikování, zatímco společnost zvolila čas cyklu při reálném vstřikování vyšší z důvodu co nejlepší a nejvyšší kvality vyrobeného výrobku. Síla dotlaku je několikanásobně vyšší v mé analýze, přičemž by bylo nutné sílu dotlaku optimalizovat. Síla dotlaku je dále ovlivňována rozměry vtokového systému, průtokovým množstvím taveniny a tlakem vstřikování. Dalším rozdílným aspektem je čas dotlaku, jelikož v procesních parametrech byl určen dotlak na 15 s, přičemž v reálném vstřikovacím procesu činí pouze 5 s, tudíž k optimalizaci vstřikování by bylo zapotřebí uvedenou hodnotu v mé analýze snížit z důvodu toho, že při porovnání času dotlaku nemá čas vyšší jak 5 s významný vliv na lepší kvalitu vstřikovaného dílu. Jelikož jsem preferoval oproti společnosti PP&T, která se zaměřila hlavně na kvalitu výrobku ekonomičnost, bylo by vhodné najít kompromis mezi kvalitou vstřikovaného dílu a ekonomičností procesu vstřikování.

6.3 Vstřikovací hodnoty pro třetí výrobek



Obr. 104. Třetí vstřikovaný výrobek - pohled shora.



Obr. 105. Třetí vstřikovaný výrobek - pohled zespoda.

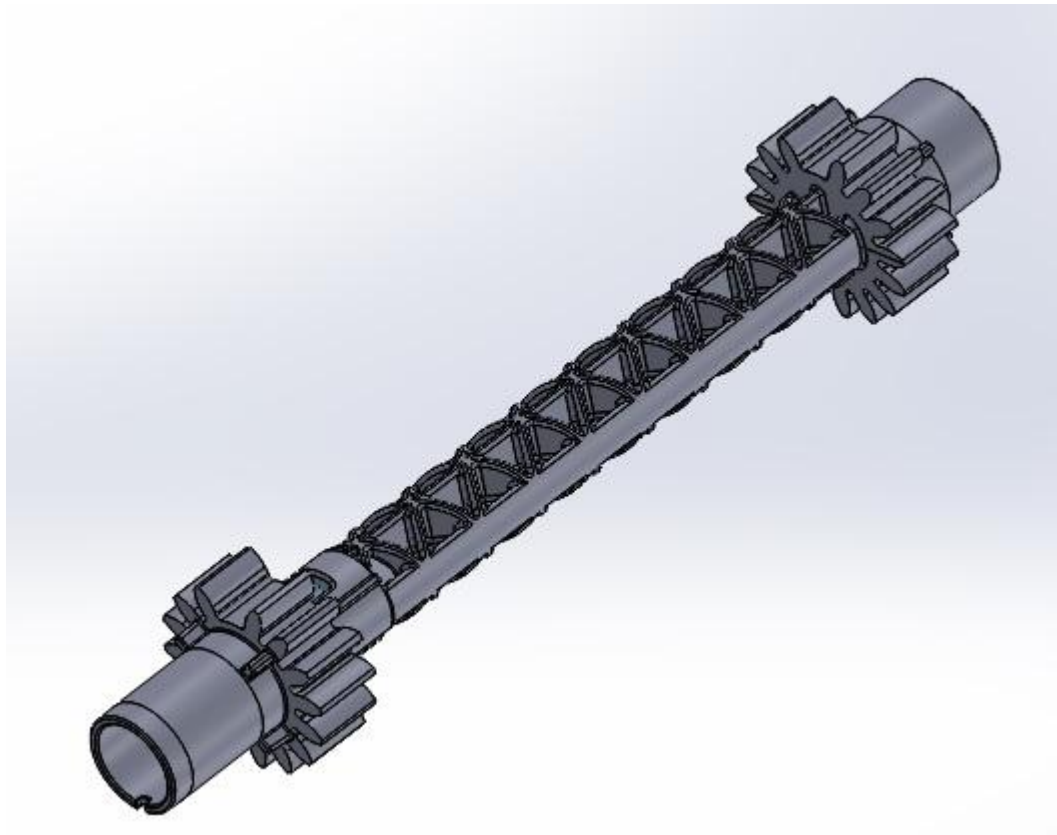
Tab. 3. Porovnání technologických údajů společnosti PP&T s mojí analýzou.

Porovnávané údaje	Reálné hodnoty vstřikování společnosti PP&T	Hodnoty vypočtené při mnou navržené simulaci
Typ stroje	KM 160	Allrounder 1200 T 220 tons 16,4 oz (55mm)
Materiál	PP-TD 20% (Hostacom M2)	Hostacom M2 N11: Targot
Uzavírací síla [kN]	1500	421
Vstřikovací tlak [MPa]	10	40,12
Čas vstřiku [s]	1,26	1,79
Čas dotlaku [s]	4	8
Dotlak [MPa]	30	39,57
Čas cyklu [s]	22,50	25

Při reálném vstřikování daného výrobku a mnou navrženou analýzou jsou rozdíly například ve výběru materiálu, který může do jisté míry ovlivňovat proces vstřikování a kvalitu vyráběného dílu. Další rozdíl je ve využití uzavíracích sil stroje při procesu vstřikování. Ve skutečném vstřikování taveniny do tvarové dutiny formy bylo využito síly 1500 kN, zatímco v mé analýze byla využita uzavírací síla 421 kN. Jelikož byl zvolen stroj s maximální uzavírací silou 1995,19 kN, což je více než bylo využito v reálném vstřikování, je možné zvýšit uzavírací sílu, čímž by se zabránilo možné tvorbě přetoků. Tlak vstřikování vypočítaný v mé analýze má vyšší hodnotu, než vstřikovaný tlak při vstřikování ve společnosti PP&T. Ke snížení vstřikovacího tlaku by bylo zapotřebí optimalizovat rozměry vtokové soustavy v mé analýze, konkrétně by bylo možné zvětšit vtoková ústí, rozvodné kanály a vtokovou vložku u obou způsobů, jak u horké vtokové soustavy, tak studené vtokové soustavy. Dále v mé analýze byl nastaven delší čas plnění tvarové dutiny formy oproti skutečnosti, což k optimalizaci lze změnit v procesních parametrech, kde se čas plnění dutiny formy zadává. Dále v procesních parametrech lze optimalizovat délku času dotlaku, který v mém případě činí 8 s, což oproti skutečnosti je delší čas, z čehož vyplývá, že čas větší jak 4 s v reálném vstřikovacím procesu, nemá reálný vliv na provedení výrobku. Při vyšším dotlaku není dosaženo požadovaného dotlaku směrem do výrobku. Jelikož by bylo

zapotřebí optimalizovat vstřikovací tlak, změnou rozměrů vtokové soustavy by bylo možné docílit i snížení síly dotlaku, která je v mém případě větší než oproti reálnému vstřikovacímu procesu. Dalším rozdílným aspektem je čas cyklu, který se liší o 2,5 s. Společnost nastavila čas cyklu nižší, protože tímto časem se docílí potřebné kvality výrobku s dostatečnou ekonomičností procesu vstřikování, tudíž abych docílil lepší ekonomičnosti je zapotřebí v procesních nastaveních čas cyklu zkrátit.

6.4 Vstřikovací hodnoty pro čtvrtý výrobek



Obr. 106. Čtvrtý vstřikovaný výrobek.

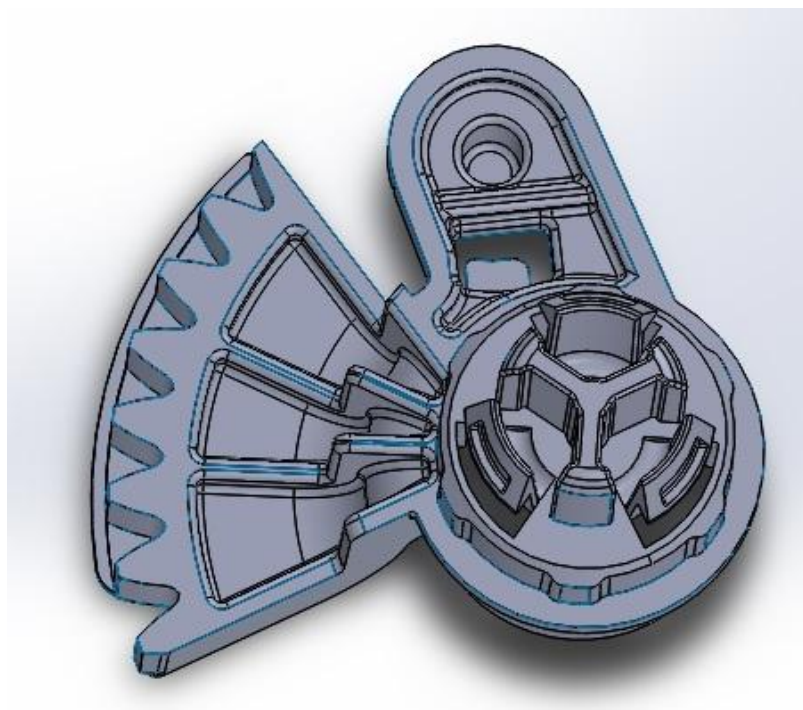
Tab. 4. Porovnání technologických údajů společnosti PP&T s mojí analýzou.

Porovnávané údaje	Hodnoty reálného vstřikování využité ve společnosti PP&T	Mnou navržená analýza s vygenerovanými hodnotami
Typ stroje	Neuveden	Allrounder 470 C 143 tons 16,4 oz (55mm)
Materiál	POM	Hostaform C 52021: Ticona (Europe Revised)
Uzavírací síla [kN]	1700	329,1
Vstřikovací tlak [MPa]	1500	52,65
Čas plnění [s]	1,18	1,56
Čas dotlaku [s]	3,45	8
Dotlak [MPa]	Neuveden	51,83
Čas cyklu [s]	28,9	24,55

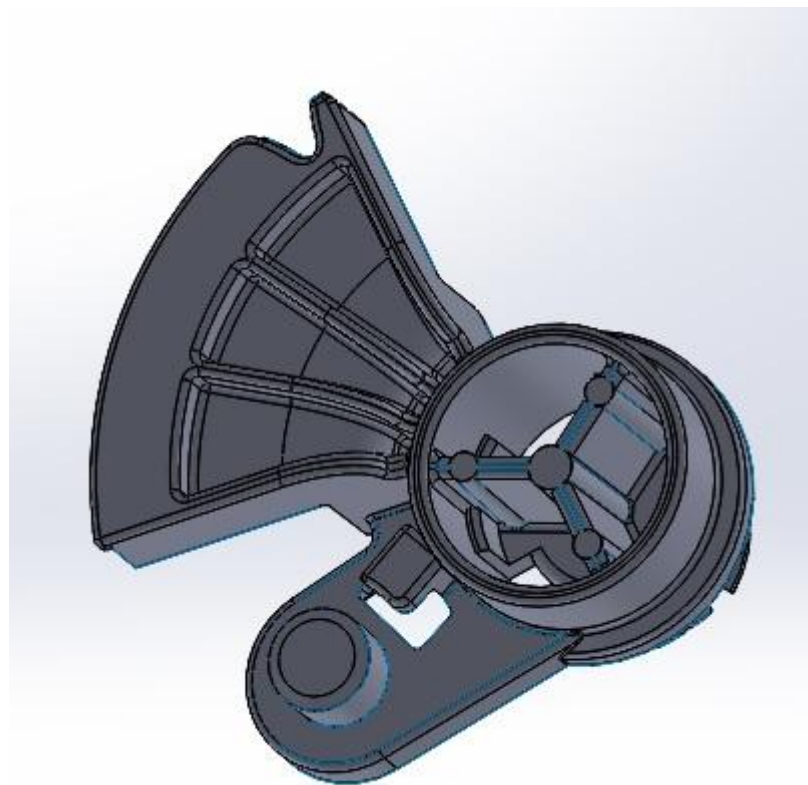
Reálné vstřikování daného výrobku neprobíhalo ve společnosti PP&T. Z toho důvodu nejsou ve vstřikovacím listě uvedeny údaje o stroji a síle dotlaku. Porovnání vstřikovacích parametrů pro konkrétní výrobek bude spočívat v uzavírací síle, vstřikovacím tlaku, času plnění, času dotlaku a času cyklu. Z těchto parametrů je poznat, že reálné vstřikování bylo orientováno hlavně na vyrobení co nejkvalitnějšího dílu. Jelikož má analýza byla zaměřena hlavně na ekonomičnost, byl nastaven kratší čas cyklu, který činí 24,55 s, přičemž při reálném vstřikování dosahuje času 28,9 s. Další rozdílná hodnota v mnou vytvořené analýze, která se oproti reálnému vstřikování liší, je čas plnění tvarové dutiny formy. Jelikož hodnota v mé analýze je větší v řádu desetin, je možné k jejímu snížení upravit hodnotu času plnění v procesních parametrech. Dalším odlišným údajem v mnou vytvořené simulaci s reálným vstřikováním je čas dotlaku. Při porovnání jednotlivých hodnot vyplývá, že v reálném vstřikování je dostačující dotlak po dobu 3,45 s, s tím že při překročení udané hodnoty je dotlak neefektivní, protože nepůsobí na výrobek. Z toho důvodu je možné k optimalizaci simulace nastavit v procesních parametrech kratší čas dotlaku. Několikanásobně vyšší, oproti mé analýze, jsou hodnoty reálného vstřikovacího tlaku a uzavírací síly. Dle analýzy by k zaplnění tvarové dutiny formy stačil tlak 52,65 MPa. Protože zkoušení

vstřikování probíhalo mimo PP&T, byl výrobek vstřikován maximálním tlakem 1500 MPa. Takto vysoký tlak byl využit z důvodu zjištění, jestli při tak velkém namáhání nedojde k porušení jednotlivých částí a dílů vstřikovací formy a jestli jde vystříknutý výrobek bez problémů vyhodit z tvarové dutiny formy. Uzavírací síla v mnou vytvořené analýze činí 329,1 kN, což je hodnota, která je menší než maximální uzavírací síla stroje, který byl k analýze zvolen. Z toho důvodu lze obsluhou vstřikovacího stroje zvýšit uzavírací sílu, aby se zabránilo tvorbě přetoků. V reálném procesu vstřikování byla uzavírací síla zvýšena až na maximální hodnotu, kterou vstřikovací stroj umožnil, tudíž 1700 kN.

6.5 Vstřikovací hodnoty pro pátý výrobek



Obr. 107. Pátý vstřikovaný výrobek - pohled shora



Obr. 108. Pátý vstříkovaný výrobek - pohled zespoda.

Tab. 5. Porovnání technologických údajů společnosti PP&T s mojí analýzou.

Porovnávané údaje	Hodnoty vstříkování společnosti PP&T	Vygenerované hodnoty na základě mnou navržené analýzy
Typ stroje	KM 160	Allrounder 420 C 143 tons 16,4 oz (55mm)
Materiál	PBT - CELANEX	Celanex 4300: Ticona
Uzavírací síla [kN]	800	81,2
Vstříkovací tlak [MPa]	14	53,21
Čas vstříku [s]	0,44	0,87
Čas dotlaku [s]	3	6
Dotlak [MPa]	4	52,56
Čas cyklu [s]	20,66	16,87

Při porovnání údajů z reálného vstřikování společnosti PP&T a mnou navržených analýz je vidět rozdíl jednotlivých údajů. V mnou vytvořených analýzách bylo dbáno na ekonomičnost vstřikování, zatímco společnost PP&T se zaměřila hlavně na co největší kvalitu vstřikovaného výrobku. Z důvodu ekonomičnosti byl nastaven čas cyklu 16,87 s, zatímco v reálném vstřikování činí 20,66 s. Další rozdíl oproti mé analýze s reálným vstřikováním je v použitém typu stroje a materiálu, který také do jisté míry ovlivňuje proces vstřikování. Jelikož nebyly dispozici přesné údaje typu stroje a materiálu, byl vybrán typ stroje s uzavírací silou 1296,87 kN, což je dle vypočtené analýzy několikanásobně větší stroj s uzavírací silou, než by bylo dostačující i v porovnání s údaji společnosti. Protože uzavírací síla souvisí s možným vznikem přetoků při vstřikování, doporučoval bych její optimalizaci, aby se zamezilo riziku vznikání přetoků materiálu. V analýze, která byla mnou navržena je vysoký vstřikovací tlak, tudíž by bylo možné optimalizovat rozměry vtokového systému tak, aby došlo k jeho snížení. Dalším údajem, který se oproti skutečnosti odlišuje, je čas vstřiku do tvarové dutiny formy. Čas vstřiku je možné snížit v procesních parametrech, čímž by se dosáhlo rychlejšího zaplnění tvarové dutiny formy. Dalším parametrem, který by se mohl optimalizovat, je čas dotlaku, protože při porovnání času dotlaku v mé analýze s reálným procesem vstřikování vyplývá, že čas větší než 3 s, které byly využity při reálném vstřikování, nemá významný vliv na provedení dílu, jelikož při delší době dotlaku je neefektivní, protože dotlak nepůsobí do dílu. Dále k lepší kvalitě vstřikovaného výrobku by v mnou navržené analýze bylo zapotřebí optimalizovat sílu dotlaku. Optimalizace by spočívala ve změně rozměrů vtokového systému, čímž by se změnilo průtokové množství taveniny a tlak vstřikování, protože jde o aspekty, které ovlivňují sílu dotlaku.

7 NÁVRH OPTIMALIZAČNÍCH KROKŮ PŘI TESTOVÁNÍ 5-TI REALIZOVANÝCH FOREM, SHRnutí ÚSPĚŠNOSTI

V dané kapitole budu posuzovat jednotlivé optimalizační kroky vstřikovací formy, které byly navrženy a realizovány. Jednotlivé optimalizační návrhy byly vytvořeny na základě prvních odzkoušení jednotlivých vstřikovacích forem a vystříknutých výrobků. Optimalizace vstřikovací formy může být například rozměrovou korekcí jednotlivých částí formy, čímž se docílí lepšího vyhazování výrobku z dutiny formy, lepšího dosedání jednotlivých částí formy. Další možností optimalizace je úprava spojená s kontrolou vystříknutých dílů. Zda-li jsou na výrobku viditelná například spálená místa, je zapotřebí učinit patřičné nápravné kroky. Například přidat do kritických míst odvzdušnění nebo zvětšit v daném místě už realizované odvzdušnění.

Jednotlivé vady v procesu vstřikování příslušná osoba sepiše a zápis potřebných úprav pro provedení optimálního vstřikování předá konstruktérovi. Konstruktor vyhodnotí zápis závad a poté realizuje konstrukční změny tak, aby bylo zajištěno optimalizace vstřikovacího procesu. Vstřikovacím simulačním softwarem lze předejít a minimalizovat výskyt například studených spojů, vzduchových kapes, protože vyhodnotí riziková místa vzniku a konstruktor vstřikovací formy navrhne příslušná opatření ještě před prvním procesem vstřikování.

7.1 První výrobek

Po návrhu vstřikovací formy, její konstrukci a samotné výrobě následoval vstřikovací proces. Při zkoušení formy se zjistilo několik nedostatků, které je zapotřebí odbourat. Po vyhození výrobku z tvarové dutiny formy byla zjištěna spálená místa na díle. Spálená místa vznikají v žebříkovité části výrobku. Příslušná osoba navrhla, jako opatření proti tvorbě spálených míst na výrobku, přidání odvzdušnění ve vstřikovací formě. Odvzdušnění je zapotřebí také pro snížení rizika vzniku studených spojů a vzduchových kapes.

Dalšími závadami, které byly zjištěny, ale které nesouvisí se simulačním vstřikovacím softwarem je špatné zapuštění datumovek a vznik zástříků. V těchto případech byla navržena opatření pro konstruktéra, aby se zabýval korekcí jednotlivých rozměrů, zhotovením přídržovačů a broušením vyhazovačů.

7.2 Druhý výrobek

Vstřikovací forma po realizaci jak konstrukční, tak výrobní, byla odzkoušena. Při procesu vstřikování bylo zjištěno několik závažných nedostatků, které je nutné optimalizovat. Největší problém spočívá ve spálených místech, které se objevují nejen v prostředních částech žebříku, ale také v přední a zadní části výrobku. V těchto místech bylo simulací zjištěno riziko vzniku studených spojů. Z toho důvodu v těchto místech mělo být vyrobeno odvzdušnění, aby se těmto nežádoucím vlivům předešlo. Plnění tvarové dutiny formy probíhá bez problémů, bez vzniku přetoků.

Spálená místa nejsou jediným problémem, který je nutné vyřešit do dalšího vstřikovacího procesu. Při vstřikování vznikla stejná závada jako v předešlém výrobku a tou je hlubší zapuštění datumovek, než je zapotřebí. Tudíž konstruktér po dodání zápisu ze vstřikování bude muset učinit korekci příslušných rozměrů, aby byla zjednána náprava pro bezproblémové vstřikování.

7.3 Třetí výrobek

Po konstrukci a výrobě vstřikovací formy pro konkrétní výrobek bylo po prvním vstřikování zjištěno, že naproti vtokovému ústí dochází na výrobku ke spáleným místům. Daná místa jsou také ovlivňována studenými spoji. Tyto účinky jsou neakceptovatelné, z toho důvodu je zapotřebí spálená místa a studené spoje minimalizovat. Jako nápravné opatření bylo navrženo příslušnou osobou doděláním odvzdušnění do problematických míst. Vytvořená analýza varovala před problémovým místem s tím, že bude zapotřebí v těchto místech dostatečně kvalitní odvzdušnění.

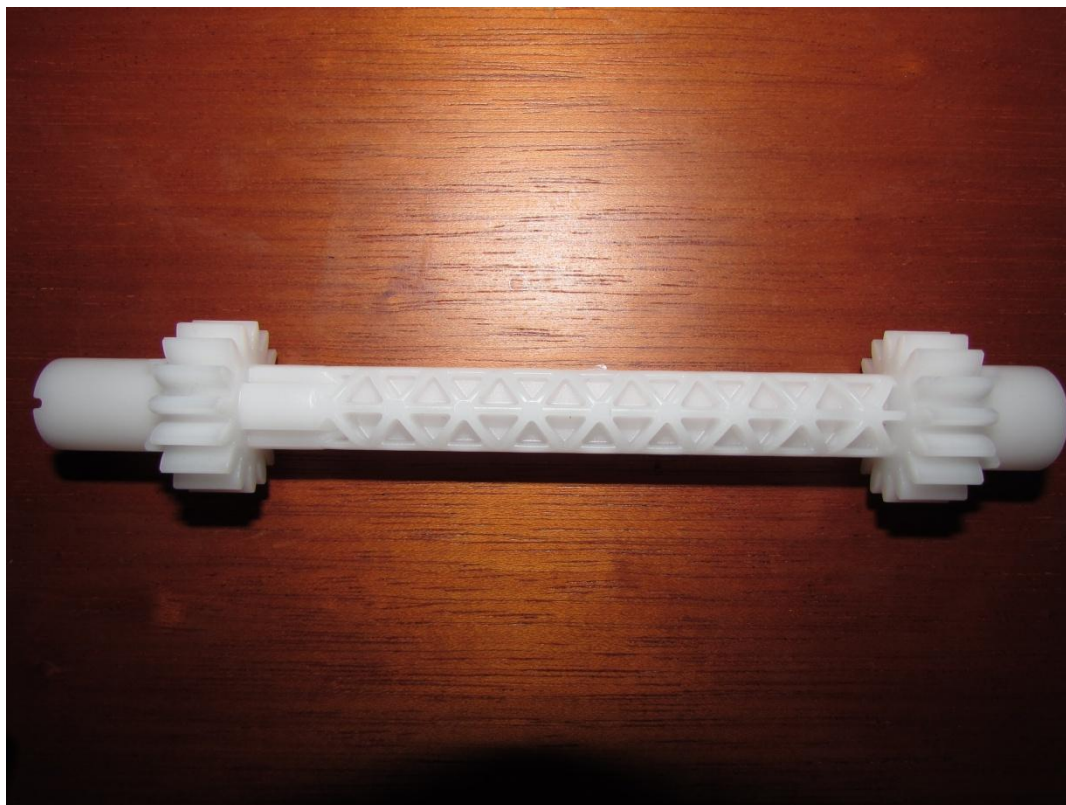
Další úpravy, které byly navrženy, se netýkaly problémů, které řeší simulační software. Jednalo se o doděláním štítků, zaoblení vtokových ústí a úpravu tvarových vložek. Plnění a provoz vstřikovací formy byl zcela v pořádku.

7.4 Čtvrtý výrobek

Pro daný výrobek byla vstřikovací forma konstruována a poté vyrobena ve společnosti PP&T. Následné zkoušení vstřikovací formy bylo provedeno u zákazníka. Po vyhození výrobku ze vstřikovací formy nebylo zjištěno žádných spálených míst na díle. Plnění tvarové dutiny bylo absolutně bezproblémové. Na základě vytvořené analýzy bylo navrže-

no odvodušnění, které dostatečně splnilo svůj funkční účel. Kvalitním odvodušnění se předešlo vzniku dieselefektu na výrobku.

Následné optimalizační kroky vstřikovací formy se nebudou týkat okolností, které lze ovlivnit simulačním vstřikovacím softwarem. Dle vstřikovacího zápisu se konstruktér bude zabývat korekcí rozměrů vyhazovačů a přidržovačů, které je zapotřebí upravit do opětovného vstřikovacího procesu.



Obr. 109. Vystříknutý čtvrtý výrobek

7.5 Pátý výrobek

Vstřikovací forma pro daný výrobek po konstrukci a vyrobení byla zkoušena při reálném procesu vstřikování. Při prvním zkoušení vstřikovací formy bylo zjištěno, že výrobek nejde vyhodit ze vstřikovací formy. Konkrétně díl pevně držel v pevné straně vstřikovací formy. Po vyjmutí výrobku bylo patrné, že plnění tvarové dutiny formy bylo bezproblémové a odvodušnění plně funkční. Jelikož špatné vyjmutí z formy nelze predikovat simulačním softwarem je zapotřebí, aby konstruktér po zhlédnutí zápisu závad navrhl patřičná opatření. V konkrétním případě bylo navrženo přidání přidržovacích drážek.

Po vykonané úpravě a následném vstřikování bylo zjištěno stejného problému, tentokrát na pohyblivé straně formy. Jako v předchozím případě bylo zajištěno bezproblémového plnění tvarové dutiny formy a funkce odvzdušňovacích kanálů. Jelikož se jednalo o stejnou závadu, byla navržena úprava přidržovacích drážek v daném problémovém místě ve vstřikovací formě.

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo vytvoření Moldflow analýz s následným vyhodnocením vygenerovaných výsledků. Teoretická část se zabývala softwarem Moldflow, vtokovými systémy, odvzdušněním, problematikou studených spojů a dieselefektu. V praktické části byly vytvořeny nejprve dvě Moldflow analýzy, které byly posuzovány na deformace a smrštění. V dalších krocích bylo navrženo pět Moldflow simulací s následným vyhodnocením výsledků. Jednotlivé analýzy se lišily v diskuzích výsledků. Obecně se diskuze výsledků zabývala plněním, vzduchovými kapsami a studenými spoji. Těchto pět Moldflow analýz s hodnotami vstřikování bylo následně srovnáváno se skutečným procesem vstřikování. V poslední části byly řešeny optimalizační kroky, které byly učiněny po zkoušení forem pro jednotlivé díly.

V analýzách týkajících se deformací a smrštění bylo docíleno závěru, že u prvního výrobku má změna polohy vtokového ústí nepatrný vliv na výsledek deformací a smrštění. Z toho důvodu by bylo zapotřebí vyrobit v daném případě tvarovou dutinu formy větší o hodnoty kritických deformací a smrštění. U druhého posuzovaného výrobku nebylo možné změnit polohu vtokového ústí, tudíž ke snížení hodnot deformací bylo zapotřebí provést konstrukční úpravy dílu. Konkrétně se jednalo o odstranění několika žeber ve spodní části výrobku a prohloubení žeber v horní části výrobku.

Z navržených pěti analýz týkajících se výsledků plnění, vzduchových kapes a studených spojů bylo zjištěno, že první výrobek, který byl v reálném vstřikování vstřikován dvěma vtokovými systémy a osmi vtokovými ústí, by bylo optimálnější vstřikovat dvěma vtokovými systémy se čtyřmi vtokovými ústí. Tím by se docílilo kvalitnějšího zaplnění tvarové dutiny formy. Daný způsob plnění nebyl ve společnosti uvažován, což je škoda, protože by se zvýšila kvalita vstřikovaného dílu. U druhého výrobku se vyskytoval problém v plnění prostřední žebříkovité části výrobku. V tomto místě se objevovaly studené spoje. Za pomoci realizace spojovacích kanálů byly vytlačeny do oblastí méně ohrožující mechanické vlastnosti dílu. Uvedené kanály byly vyvedeny ze druhého a čtvrtého žebříku do prostřední žebříkové části, do které nebyly umístěny vtokové systémy výrobku. Dále došlo k natočení vtokových ústí na střed žebříkovitých částí. Třetí výrobek byl plněn rovnoměrně s tím, že studené spoje se vyskytovaly na obou koncích výrobku, tudíž v těchto místech je zapotřebí odvzdušnění. U čtvrtého výrobku bylo zapotřebí docílit vyváženého plnění. U tohoto výrobku byla poloha vtokového ústí několikrát změněna, až se dosáhlo

rovnovážného plnění. Změnou poloh vtokových ústí bylo patrné, jak se mění studené spoje. U výrobku, který vyšel nejhůře na plnění, bylo zjištěno nejvíce studených spojů. Vzduchové kapsy se změnou polohy vtokových ústí téměř neliší, protože ve všech případech se objevovaly ve stejných oblastech. Pátý výrobek je rozměrově malý a velmi členitý, tudíž na základě analýzy je vysoké riziko výskytu velkého počtu vzduchových kapes a studených spojů. V těchto místech je zapotřebí odvzdušnění, aby se minimalizoval výskyt těchto vlivů a nebo je možné vytvořit sběrný kanál.

Při porovnání analýz se skutečným vstřikováním je patrné, že hodnoty vstřikovací tlaků, síly dotlaků a uzavíracích sil se liší. Do jisté míry je to dáno tím, že pracovník u vstřikovacího stroje optimalizuje dávky materiálu a vstřikovací parametry k co nejlepšímu vstřikování.

Optimalizační návrhy se ve většině případů netýkaly kroků ohledně analýzy. Docházelo ke spáleným místům na výrobku, která vznikala v místech studených spojů, ve kterých na základě analýzy mělo být realizováno odvzdušnění a tím by nedocházelo ke spáleným místům. Další úpravy se týkaly nejčastěji špatného vyhazování dílu z tvarové dutiny formy.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Snižování výrobních nákladů pomocí simulační analýzy. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2010 [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/snizovani-vyrobnich-nakladu-pomoci-simulacni-analyzy.html>
- [2] Snižování výrobních nákladů pomocí Autodesk® Moldflow® analýzy. *Istrojirenství* [online]. 2010 [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: <http://www.istrojirenstvi.cz/it/precist.php?navez=snizovani-vyrobnich-nakladu-pomoci-autodesk-moldflow-analyzy&id=21>
- [3] Vstřikování plastů dovedené k dokonalosti. *CAD studio* [online]. 2014 [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: <http://www.cadstudio.cz/dl/Autodesk-Simulation-Moldflow.pdf>
- [4] Snižování výrobních nákladů pomocí analýzy vstřikovacího procesu. *SMARTPLAST* [online]. 2010 [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: http://smartplast.cz/data/smartplast/halaska_snizovani_vyrobnich_nakladu_prezentace_cz.pdf
- [5] Vstřikování plastů dovedené k dokonalosti. *SMARTPAST* [online]. 2014 [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: http://smartplast.cz/data/official/simulation_moldflow_brozura_cz.pdf
- [6] Příčiny vzniku vad a studené spoje. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2010 [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-1-dil-priciny-vzniku-vad-a-studene-spoje.html>
- [7] ZEMAN, Lubomír. *VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ*. Praha: BEN - technická literatura, 2009, ISBN 978-80-7300-250-3.
- [8] *Formy pro zpracování plastů: vstřikování termoplastů*. 1. vyd. Brno: Uniplast, 1999, 214 s.
- [9] ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů: polymery*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 230, 28 s. ISBN 978-80-7204-833-5.
- [10] KULHÁNEK, Jan. *Formy pro tváření plastických hmot*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1966, 220 s.

- [11] Vstřikovací formy. *Ústav strojírenské technologie* [online]. 2008 [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni_soubory/htn__tvareci_nas troje_vstrikovaci_formy__zak.pdf
- [12] Technologie vstřikování. *Katedra strojírenské technologie* [online]. 2010 [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c2/Jevy.pdf
- [13] *Vstřikování*. Zlín.
- [14] DYM, Joseph B. *Injection molds and molding: a practical manual*. 2nd ed. New York: Nostrand Reinhold, c1987, xvi, 395 s. ISBN 0-442-21785-4.
- [15] DYM, Joseph B. *Injection molds and molding: a practical manual*. New York: Van Nostrand Reinhold, c1979, xiv, 400 s. ISBN 0-442-22223-8.
- [16] WEIR, Clifford L. *Introduction to injection molding*. Brookfield: Society of plastics engineers, c1975, ix, 83 s.
- [17] BEAUMONT, John P, R NAGEL a R SHERMAN. *Successful injection molding: process, design, and simulation*. Munich: Hanser Publishers, c2002, xiii, 362 s. ISBN 1-56990-291-7.
- [18] GASTROW, Hans, Klaus STOECKHERT a K BLAUERT. *Gastrow injection molds: 102 proven designs*. Munich: Hanser Publishers, c1983, 247 s. ISBN 3-446-13663-0.
- [19] BRUMMEL, Michal. *Rozměrově přesné výrobky z plastů*. 1. vyd. Praha: VÚNM, 1977, 278 s.
- [20] HENDRYCH, Josef; WEBER, Antonín; DOLEŽEL, Jaroslav. *STANDARDIZACE RÁMŮ A SOUČÁSTÍ FOREM PRO VSTŘIKOVÁNÍ TERMOPLASTŮ*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, n.p., 1986, ISBN 04-248-86.
- [21] ŠTĚPEK, Jiří; ZELINGER, Jiří; KUTA, Antonín. *TECHNOLOGIE ZPRACOVÁNÍ A VLASTNOSTI PLASTŮ*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, n.p., 1989, ISBN 04-602-89.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CAE	Computer Aided Engineering - počítačová podpora inženýrských analýz
t	Tloušťka
CAD	Computer Aided Design - počítačem podporované navrhování
GIT	Gas Injection Technology - technologie vstřikování s plynem
3D	3 Dimensional - třírozměrný
PP&T	Plastic Parts & Technology
PS	Polystyren
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
PC	Polykarbonát
PMMA	Polymethylmethakrylát
PP	Polypropylen
LDPE	Nízkohustotní polyethylen
PET	Polyethylentereftalát
POM	Polyoxymetylén
mm	Jednotka délky
PA66	Polyamid 66
s	Jednotka času
PBT	Polybutylen-tereftalát
kN	Jednotka síly
MPa	Jednotka tlaku

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Důvod optimalizovat. [4]</i>	15
<i>Obr. 2. Ukázka ze softwaru Moldflow. [3]</i>	15
<i>Obr. 3. Přední strany dílu + zažehlovací vtok.</i>	18
<i>Obr. 4. Zadní strana dílu + kuželový vtok.</i>	19
<i>Obr. 5. Detail kuželového vtoku.</i>	19
<i>Obr. 6. Ukázka vygenerované simulace plnění. [5]</i>	21
<i>Obr. 7. Ukázka sítě 2D, 2,5D, 3D. [2]</i>	23
<i>Obr. 8. Porovnání simulačních produktů Autodesk. [5]</i>	26
<i>Obr. 9. Vstříkovací systém. [10]</i>	31
<i>Obr. 10. Vtokový systém a jeho části. [11]</i>	33
<i>Obr. 11. Plný kuželový vtok. [11]</i>	34
<i>Obr. 12. Bodové vtokové ústí. [11]</i>	34
<i>Obr. 13. Tunelový vtok. [11]</i>	35
<i>Obr. 14. Boční běžný vtok. [11]</i>	35
<i>Obr. 15. Primární studené spoje. [6]</i>	37
<i>Obr. 16. Vruby vzniklé v poloze studeného spoje. [6]</i>	37
<i>Obr. 17. Stopy po volném proudu. [6]</i>	39
<i>Obr. 18. Plnění prvního žebra.</i>	40
<i>Obr. 19. Plnění dalších žeber.</i>	40
<i>Obr. 20. První problémové žebro.</i>	41
<i>Obr. 21. Další problémová žebra.</i>	41
<i>Obr. 22. Výrobek s bublinkami.</i>	45
<i>Obr. 23. Deformace „pavouka“ z přední strany.</i>	49
<i>Obr. 24. Deformace „pavouka“ z horní strany.</i>	49
<i>Obr. 25. Mesh statistics před úpravou.</i>	51
<i>Obr. 26. Mesh statistics po úpravě sítě.</i>	52
<i>Obr. 27. Vysíťovaný model.</i>	52
<i>Obr. 28. Násobnost formy + vytvořený kompletní vtokový systém.</i>	53
<i>Obr. 29. Dutina formy s temperačním systémem.</i>	54
<i>Obr. 30. Nastavení vstupů chlazení a přívodu taveniny.</i>	55
<i>Obr. 31. Blok formy.</i>	55
<i>Obr. 32. 3D model přední strana.</i>	56

<i>Obr. 33. 3D model zadní strana.</i>	56
<i>Obr. 34. Celková deformace všech efektů.</i>	57
<i>Obr. 35. Smrštění.</i>	57
<i>Obr. 36. Detail celkové deformace všech efektů.</i>	58
<i>Obr. 37. Detail smrštění.</i>	58
<i>Obr. 38. Celková deformace všech efektů po změně polohy vtokového ústí.</i>	59
<i>Obr. 39. Smrštění po změně polohy vtokového ústí.</i>	59
<i>Obr. 40. Detail deformace všech efektů po změně umístění vtokového ústí.</i>	60
<i>Obr. 41. Smrštění po změně umístění vtokového ústí.</i>	60
<i>Obr. 42. Výrobek v praxi</i>	61
<i>Obr. 43. 3D model přední strana.</i>	61
<i>Obr. 44. 3D model zadní strana.</i>	62
<i>Obr. 45. Celková deformace všech efektů.</i>	62
<i>Obr. 46. Smrštění.</i>	63
<i>Obr. 47. Detail celkové deformace všech efektů.</i>	63
<i>Obr. 48. Detail smrštění.</i>	64
<i>Obr. 49. 3D model po úpravě přední strana.</i>	65
<i>Obr. 50. 3D model po úpravě zadní strana.</i>	65
<i>Obr. 51. Celkové deformace po úpravě.</i>	66
<i>Obr. 52. Smrštění po úpravě.</i>	66
<i>Obr. 53. Detail celkové deformace všech efektů po úpravě.</i>	67
<i>Obr. 54. Smrštění po úpravě.</i>	67
<i>Obr. 55. 3D model prvního výrobku.</i>	69
<i>Obr. 56. Detail vtokového ústí.</i>	69
<i>Obr. 57. Konec plnění prvního výrobku.</i>	70
<i>Obr. 58. Detail vtokových ústí po úpravě.</i>	71
<i>Obr. 59. Konec plnění po úpravě.</i>	71
<i>Obr. 60. 3D model druhého výrobku.</i>	73
<i>Obr. 61. Umístění vtokových systémů.</i>	73
<i>Obr. 62. Detail vtokových ústí.</i>	74
<i>Obr. 63. Dokončení plnění tvarové dutiny formy.</i>	75
<i>Obr. 64. Zaplnění prostředního žebra v čase 2,3 s.</i>	75
<i>Obr. 65. Umístění vtokových systémů po úpravě.</i>	76

<i>Obr. 66. Detail vtokových ústí po úpravě.</i>	<i>76</i>
<i>Obr. 67. Zaplnění celé dutiny po úpravě.</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 68. 2,2 s zaplnění prostředního žebrování.</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 69. 1,9 s moment začátku plnění prostředního žebrování.</i>	<i>78</i>
<i>Obr. 70. Studené spoje před úpravou.</i>	<i>79</i>
<i>Obr. 71. Studené spoje po úpravě.</i>	<i>79</i>
<i>Obr. 72. 3D model výrobku přední část.</i>	<i>80</i>
<i>Obr. 73. 3D model výrobku zadní část.</i>	<i>81</i>
<i>Obr. 74. Detail vtokového ústí.</i>	<i>81</i>
<i>Obr. 75. Konec plnění tvarové dutiny formy.</i>	<i>82</i>
<i>Obr. 76. Studené spoje.</i>	<i>83</i>
<i>Obr. 77. Detail studených spojů.</i>	<i>83</i>
<i>Obr. 78. 3D model čtvrtého výrobku.</i>	<i>84</i>
<i>Obr. 79. Detail vtokového ústí na souřadnici -117,88 v ose y.</i>	<i>85</i>
<i>Obr. 80. Zaplnění tvarové dutiny formy v čase cca 0,8 s.</i>	<i>86</i>
<i>Obr. 81. Konec plnění.</i>	<i>86</i>
<i>Obr. 82. Detail vtokového ústí.</i>	<i>87</i>
<i>Obr. 83. Konec plnění tvarové dutiny formy.</i>	<i>87</i>
<i>Obr. 84. Detail vtokového ústí.</i>	<i>88</i>
<i>Obr. 85. Konec plnění - optimální stav.</i>	<i>89</i>
<i>Obr. 86. Vzduchové kapsy s původní návrh vtokového ústí.</i>	<i>90</i>
<i>Obr. 87. Vzduchové kapsy s posunutí vtokového ústí na střed.</i>	<i>90</i>
<i>Obr. 88. Vzduchové kapsy s posunutí vtokového ústí poslední úprava.</i>	<i>91</i>
<i>Obr. 89. Studené spoje původní návrh vtokového ústí.</i>	<i>92</i>
<i>Obr. 90. Studené spoje s posunutí vtokového ústí na střed.</i>	<i>92</i>
<i>Obr. 91. Studené spoje s posunutí vtokového ústí poslední úprava.</i>	<i>93</i>
<i>Obr. 92. 3D model výrobku pohled z vrchu.</i>	<i>94</i>
<i>Obr. 93. 3D model výrobku pohled ze spodu.</i>	<i>95</i>
<i>Obr. 94. Detail polohy vtokového ústí.</i>	<i>95</i>
<i>Obr. 95. Konec plnění dutin formy.</i>	<i>96</i>
<i>Obr. 96. Vzduchové kapsy.</i>	<i>97</i>
<i>Obr. 97. Detail ze shora - vzduchové kapsy.</i>	<i>97</i>
<i>Obr. 98. Detail ze spodu - vzduchové kapsy.</i>	<i>98</i>

<i>Obr. 99. Studené spoje.</i>	99
<i>Obr. 100. Detail studených spojů.</i>	99
<i>Obr. 101. Technologický postup a pracovní návod vstřikování.</i>	102
<i>Obr. 102. Vstříkovaný výrobek.</i>	103
<i>Obr. 103. Druhý vstříkovaný výrobek.</i>	105
<i>Obr. 104. Třetí vstříkovaný výrobek - pohled shora.</i>	107
<i>Obr. 105. Třetí vstříkovaný výrobek - pohled zespoda.</i>	107
<i>Obr. 106. Čtvrtý vstříkovaný výrobek.</i>	109
<i>Obr. 107. Pátý vstříkovaný výrobek - pohled shora</i>	111
<i>Obr. 108. Pátý vstříkovaný výrobek - pohled zespoda.</i>	112
<i>Obr. 109. Vystříknutý čtvrtý výrobek</i>	116

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Porovnání technologických údajů společnosti PP&T s mojí analýzou.</i>	103
<i>Tab. 2. Porovnání technologických údajů společnosti PP&T s mojí analýzou.</i>	105
<i>Tab. 3. Porovnání technologických údajů společnosti PP&T s mojí analýzou.</i>	108
<i>Tab. 4. Porovnání technologických údajů společnosti PP&T s mojí analýzou.</i>	110
<i>Tab. 5. Porovnání technologických údajů společnosti PP&T s mojí analýzou.</i>	112

SEZNAM PŘÍLOH

- PI Technologický postup a pracovní návod pro 1. vstřikovaný výrobek (CD)
- PII Technologický postup a pracovní návod pro 2. vstřikovaný výrobek (CD)
- PIII Technologický postup a pracovní návod pro 3. vstřikovaný výrobek (CD)
- PIV Technologický postup a pracovní návod pro 4. vstřikovaný výrobek (CD)
- PV Technologický postup a pracovní návod pro 5. vstřikovaný výrobek (CD)
- PVI Zápis optimalizací pro 1. výrobek (CD)
- PVII Zápis optimalizací pro 3. výrobek (CD)
- PVIII Zápis optimalizací pro 5. výrobek A (CD)
- PIX Zápis optimalizací pro 5. výrobek B (CD)