

# **Optimalizace výrobního nástroje pro vstřikování dílu části motoru automobilu v programu Autodesk Moldflow Synergy 2016.**

Bc. Karel Kopřiva

---

Diplomová práce  
2022

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2021/2022

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	<b>Bc. Karel Kopřiva</b>
Osobní číslo:	<b>T20107</b>
Studijní program:	<b>N0788A270002 Výrobní inženýrství</b>
Specializace:	<b>Stroje a nástroje pro zpracování polymerů a kompozitů</b>
Forma studia:	<b>Prezenční</b>
Téma práce:	<b>Optimalizace výrobního nástroje pro vstřikování dílu části motoru automobilu v programu MoldFlow.</b>

## Zásady pro vypracování

1. Vypracovat literární studii pro dané téma.
2. Provést 3D konstrukci modelu vstřikované součásti.
3. Vytvořit simulace procesu vstřikování v software MoldFlow.
4. Navrhnout optimalizace vstřikování a vyhodnocení jednotlivých variant.
5. Navrhnout 3D konstrukci vstřikovací formy pro zadaný díl s ohledem na vyrobiteľnosť.

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

**Seznam doporučené literatury:**

- ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: teorie a praxe. Praha: Grada Publishing, 2018, 455 s. ISBN 978-80-271-0614-1.
- KERKSTRA, Randy a Steve BRAMMER. Injection molding advanced troubleshooting guide. Munich: Hanser Publishers, 2018, 491 s. ISBN 978-1-56990-645-3.
- WANG, Maw-Ling, Rong-Yeu CHANG a Chia-Hsiang HSU. Molding simulation: theory and practice. Cincinnati: Hanser Publications, 2018, 513 s. ISBN 978-1-56990-619-4.
- YANG, Yi, Xi CHEN, Ningyun LU a Furong GAO. Injection molding process control, monitoring, and optimization. Munich: Hanser, 2016, 397 s. Progress in polymer processing series. ISBN 978-1-56990-592-0.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martin Ovsík, Ph.D.**  
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **3. ledna 2022**  
Termín odevzdání diplomové práce: **13. května 2022**

**prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.**  
děkan

L.S.

**prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D. v.r.**  
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 18. února 2022

## **PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou 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;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou 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);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové 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.

**Prohlašuji,**

- že jsem diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Vzhledem k tomu, že většina plastových výrobků se v dnešní době vyrábí za využití procesu vstřikování, bude takto diplomová práce popisovat princip optimalizace výrobního nástroje pro vstřikování dílu motoru automobilu. Požadovaný návrh dílu a vstřikovací formy, byl proveden v softwaru Catia V5R19. Poté co byl navržen požadovaný produkt, pomocí softwaru CatiaV5R19, byly provedeny různé realistické parametry a předpoklady studovaného návrhu součásti, následně aplikovány na simulační analýzu taveniny plastu. V konečné fázi byly tyto výsledky porovnávány a předpovídán výsledek pro reálnou výrobu vstřikovací formy.

Klíčová slova: Návrh dílu, Návrh formy, Simulace toku a vstřikování, Technologie vstřikování

## **ABSTRACT**

As of the fact that most plastic products are manufactured using the injection molding process nowadays, this thesis project brings to the surface the study of the underlying principle and theories of mold designing basics and proceeds along the way with an Optimization of a Production Tool for Injection Molding of a Car Engine Part using the software Autodesk Moldflow. Then after the required product design was achieved using the software CatiaV5R19, carried on different realistic parameters and assumptions of the part design studied, were then applied for simulation analysis of the plastic melt. In the final stage, these results are compared, contrasted, and forecasted these values and results for real-world injection molding production.

Keywords: Part Design, Mold Design, Melt Flow Simulation and Analysis, Injection Molding

Poděkování:

Rád bych zde poděkoval svému vedoucímu diplomové práce za všechny rady, připomínky a poznámky v průběhu práce, bez kterých bych práci nikdy nedokončil včas a ve správné kvalitě zpracování, pan doktor Martin Ovsík, mi po celou dobu, poskytoval průběžně veškeré nutné informace. Zároveň kontroloval dílčí části práce, aby bylo vše v pořádku již na poprvé a já měl jistotu, že jsem na správné cestě, za což jsem mu velmi vděčný.

# OBSAH

<b>ÚVOD.....</b>	<b>11</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>12</b>
<b>1 POLYMERY.....</b>	<b>13</b>
1.1 PLASTY .....	13
1.2 TERMOPLASTY .....	14
1.2.1 Rozdělení termoplastů.....	14
1.3 REAKTOPLASTY.....	15
1.3.1 Rozdělení reaktoplastů .....	15
<b>2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ TERMOPLASTŮ .....</b>	<b>16</b>
2.1 CYKlický PROCES VSTŘIKOVÁNÍ.....	16
2.2 STROJE PRO VSTŘIKOVÁNÍ POLYMERŮ.....	17
2.2.1 Funkce jednotlivých částí:.....	17
2.2.2 Požadavky na vstřikovací stroj.....	17
<b>3 VSTŘIKOVACÍ FORMA .....</b>	<b>18</b>
3.1 VTOKOVÁ SOUSTAVA .....	19
3.1.1 Druhy vtoků u vstřikovacích forem: .....	20
3.1.2 Studený vtokový systém .....	22
3.1.3 Vtoky ústící do obvodu výstřiku .....	23
3.1.4 Vtok se štěrbinovým ústím.....	23
3.1.5 Vtok s kruhovým ústím.....	23
3.1.6 Vtoková soustava u vícenásobných forem .....	23
3.2 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ VÍCENÁSOBNÝCH FOREM .....	24
3.2.1 Dvoudeskové řešení .....	24
3.2.2 Třideskové řešení vícenásobných forem.....	24
3.2.3 Vyhazování výstřiků a vtokových zbytků z formy .....	25
3.2.4 Temperování forem .....	27
3.2.5 Průřez kanálů.....	28
3.2.6 Odvzdušňování forem .....	28
3.2.7 Upínání formy na stroj .....	29
<b>4 VADY VÝROBKŮ PŘI VSTŘIKOVÁNÍ .....</b>	<b>31</b>
4.1 VADY POZOROVATELNÉ POUHÝM OKEM .....	31
4.1.1 Studený spoj .....	32
4.1.2 Spálená místa na výstřiku (Dieselův efekt).....	33
4.1.3 Výskyt stříbrných pruhů na výrobku.....	33
4.1.4 Vzduchové bubliny .....	34
4.1.5 Vady rozměru a tvaru dílu.....	35
4.2 PŘÍTOMNOST SKRYTÝCH VAD.....	35
<b>5 SIMULAČNÍ SOFTWARE.....</b>	<b>36</b>

5.1	AUTODESK SIMULATION MOLDFLOW .....	36
5.2	SIMULACE .....	37
5.3	EKONOMICKÉ VÝHODY VYUŽITÍ SIMULAČNÍCH SOFTWARE .....	37
5.3.1	Úspory ve vývoji .....	37
5.4	SÍTĚ V SIMULAČNÍM SOFTWARE MOLDFLOW .....	38
5.4.1	Typy podporované simulačním softwarem MoldFlow .....	38
5.5	SPOLUPRÁCE MOLDFLOW S JINÝMI CAD SOFTWARE .....	38
5.5.1	Import modelu .....	38
5.5.2	Oprava chyb v síti .....	38
5.5.3	Import trajektorií z CAD software .....	38
5.5.4	CAD Doctor .....	39
5.6	NÁSTROJE PRO ZVÝŠENÍ PRODUKTIVITY .....	39
5.6.1	Autodesk MoldFlow Communicator.....	39
5.6.2	Autodesk Moldflow Adviser.....	39
5.6.3	Komunikace se zákazníkem.....	39
5.6.4	Vytváření zpráv .....	40
5.6.5	Databáze materiálů.....	40
5.6.6	Cost Adviser.....	40
5.7	DRUHY SIMULACÍ.....	40
5.8	ZÍSKÁVANÉ VÝSLEDKY .....	41
2.	Vady ve výsledném dílu.....	41
3.	Simulované plnění dutin formy.....	41
4.	Simulace dotlaku ve formě.....	41
5.	Simulace vtokového systému.....	42
6.	Projektování vtokového ústí.....	42
7.	Modelování chladicích komponent .....	42
8.	Simulace chladicího okruhu.....	43
9.	Predikce smrštění vstřikovaného dílu smrštění.....	43
10.	Analýza předpokládané deformace .....	43
5.9	SROVNÁNÍ PRODUKTŮ MOLDFLOW .....	44
5.9.1	Autodesk MoldFlow Adviser.....	44
5.9.2	Autodesk MoldFlow Insight .....	44
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>45</b>
<b>6</b>	<b>CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE .....</b>	<b>46</b>
<b>7</b>	<b>ZPRACOVANÝ VÝROBEK .....</b>	<b>47</b>
7.1	VOLBA VSTŘIKOVANÉHO MATERIÁLU .....	47
7.1.2	Materiál ALTECH PA66 .....	48
7.2	ZVOLENÝ VSTŘIKOVACÍ STROJ .....	49
<b>8</b>	<b>NÁVRH FORMY .....</b>	<b>50</b>
8.1	NÁSOBNOST FORMY .....	50



8.2	ZVOLENÍ DĚLÍCÍCH ROVIN .....	51
8.3	TVAROVÁ DUTINA FORMY .....	52
8.4	SYTÉM BOČNÍHO ODFORMOVÁNÍ VÝROBKU .....	53
8.5	VTOKOVÝ SYSTÉM FORMY .....	54
8.6	TEMPERACE FORMY .....	55
8.7	VYHAZOVACÍ SYTÉM FORMY.....	56
8.8	FUNKČNÍ PRVKY UPÍNACÍ FORMY .....	57
<b>9</b>	<b>ANALÝZA VSTŘIKOVÁNÍ.....</b>	<b>60</b>
9.1	NASTAVENÍ SÍTĚ VÝROBKU .....	60
9.2	ANALÝZA Č.1 - UMÍSTĚNÍ VTOKU.....	61
9.3	ZVOLENÝ STUDENÝ VTOKOVÝ SYSTÉM .....	62
9.4	ZVOLENÉ PROCESNÍ PARAMETRY .....	63
9.5	ZPRACOVÁVANÉ PARAMETRY .....	64
9.6	ANALÝZA Č.2 – ORIGINALNÍ NÁVRH .....	64
9.6.1	Analýza č.2 - Čas potřebný k zaplnění formy .....	64
	<b>65</b>	
9.6.2	Analýza č.2 - Čas potřebný pro dosažení vyhazovací teploty.....	65
9.6.3	Analýza č. 2 - Tlak tavenin ve vtokovém ústí.....	66
9.6.4	Analýza č. 2 - Propadliny na výrobku.....	66
9.6.5	Analýza č.2 - Celková deformace výrobku způsobená všemi efekty .....	67
9.6.6	Analýza č.2 - Efektivita temperačního okruhu a teplota temperačního média .....	67
9.7	ANALÝZA Č.3 .....	68
9.7.1	Analýza č.3 - Čas potřebný k zaplnění formy .....	68
9.7.2	Analýza č.3 - Propadliny na výrobku.....	69
9.7.3	Analýza č.3 - Celková deformace výrobku způsobená všemi efekty .....	70
9.8	ANALÝZA Č. 4 .....	70
9.8.1	Analýza č.4 - Čas potřebný k zaplnění formy .....	70
9.8.2	Analýza č.4 - Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty .....	71
9.8.3	Analýza č.4 - Tlak tavenin ve vtokovém ústí.....	72
9.8.4	Analýza č.4 - Propadliny na výrobku.....	72
9.8.5	Analýza č.4 - Celková deformace výrobku způsobená všemi efekty .....	73
9.8.6	Analýza č.4 - Efektivita temperačního okruhu a teplota temperačního média .....	73
9.9	ANALÝZA Č.5 .....	74
9.9.1	Analýza č.5 - Čas potřebný k zaplnění formy .....	74
9.9.2	Analýza č.5 - Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty .....	75
9.9.3	Analýza č.5 - Tlak tavenin ve vtokovém ústí.....	76
	76	
9.9.4	Analýza č.5 - Propadliny na výrobku.....	76
9.9.5	Analýza č.5 - Celková deformace výrobku způsobená všemi efekty .....	77

9.9.6	Analýza č.5 - Efektivita temperačního okruhu a teplota temperačního média .....	77
9.10	ANALÝZA Č. 6 .....	78
9.10.1	Analýza č.6 - Čas potřebný k zaplnění formy .....	78
9.10.2	Analýza č.6 - Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty .....	79
9.10.3	Analýza č.6 - Tlak tavenin ve vtokovém ústí.....	79
9.10.4	Analýza č.6 - Propadliny na výrobku.....	80
9.10.5	Analýza č.6 - Celková deformace výrobku způsobená všemi efekty .....	80
9.10.6	Analýza č.5 - Efektivita temperačního okruhu a teplota temperačního média .....	81
<b>10</b>	<b>DISKUZE A POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ .....</b>	<b>82</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>83</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>84</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>88</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>89</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>91</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>92</b>

## ÚVOD

Využívání polymerů je v dnešní době široce rozšířené do téměř všech oblastí průmyslu, jedním nejrozšířenějších způsobů zpracování je vstřikování materiálu do navržené formy. Své uplatnění nachází při výrobě elektronických zařízení, automobilů a dalších. Jedná se o technologii, která se neustále posouvá kupředu díky vývoji vstřikovacích strojů, výpočetní techniky i samotných materiálů. Prvním materiálem, který je možné nazvat polymerem, byl parkesin, který se objevil poprvé v roce 1850. Jeho pojmenování vychází ze jména vynálezce Alexander Parkes. Následně byly objeveny další druhy polymerů, které byly v počátcích zpracovávány především odléváním nebo tvářením. Důvodem pro tak rozmanité využití těchto materiálů v průmyslu, jsou především jejich vlastnosti, dostupnost a snadné zpracování. I v dnešní době nachází technologie vstřikování stále nové možnosti uplatnění, kde nahrazuje v minulosti používané materiály. [1]

K velkému rozmachu této technologie přispělo také použití moderních výpočetních systémů, a to jak při návrhu konstrukce vstřikovací formy, tak i její optimalizace pro výrobu, kdy díky vysokému grafickému a výpočetnímu výkonu dnešních strojů, je možné získávat nespočet vyhodnocovaných výsledků, které jsou vždy důsledkem použitého návrhu a následně je návrh upravován tak, aby predikce výsledku splňovala požadavky na přesnost a kvalitu, dle přání zákazníka a to společně s optimální cenovou relací. Tyto výsledky jsou ve formě grafické reprezentace, kterou je možné využít pro prezentaci výsledků. [1, 2]

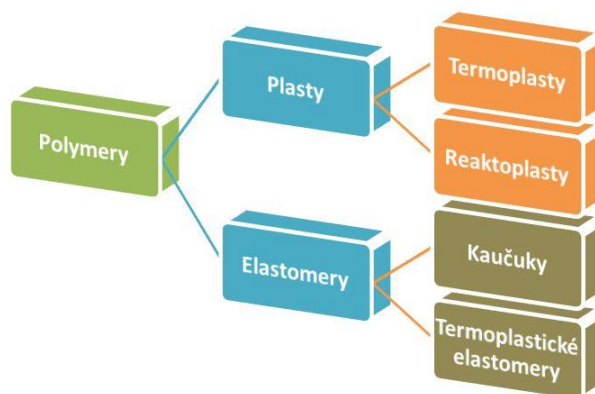
## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 POLYMERY

Za současných požadavků na materiály ve strojírenství představují polymerní materiály, naprosto dominující skupinu v konstrukčních materiálech. Rozdělují se na plasty a elastomery. Jejich popularita však stále roste, a to především díky jejich několikanásobně nižší hustotě než u kovového materiálu. V žádné výrobě, ani pro využití v domácnost se tudíž nenabízí vhodnější varianta, jelikož nikdo nechce manipulovat s těžkými výrobky. Kromě nízké hmotnosti polymerní materiály přinášejí lidstvu vyšší kvalitu výrobků, se zvýšenou užitnou hodnotou, nové technologie a příznivější ekonomiku výroby. Důležité jsou rovněž přínosy plastů pro estetické řešení výrobků. Kromě již zmíněné nízké hmotnosti, mají tyto materiály řadu zajímavých vlastností, které jsou permanentně využívány pro inovace výrobků a jsou nezbytným nástrojem k dosažení jejich konkurenceschopnosti. Jedná se o vlastnosti, jako je například korozní odolnost, elektro izolační vlastnosti, tlumení hluku a vibrací, snadná zpracovatelnost, vybavitelnost ve hmotě. Umocňují také zcela nové koncepční způsoby konstruování výrobků, založené na integraci jednoduchých dílů ve složitější vícefunkční součásti. Progresivním konstrukčním přístupem je především účelné využití kombinací plast-kov. Podstatné jsou tyto materiály především pro automobilový, letecký a strojírenský průmysl, ale můžeme je nalézt prakticky kdekoliv. [2, 3]

### 1.1 Plasty

První plast byl vyroben v roce 1855, jeho výroba byla postavena na využití umělé slonoviny (nitrát celulózy). Byl využit například na výrobu podešve bot. V následujících letech došlo k objevení plně syntetických plastů, jako je bakelit nebo první vinylové plasty. Mohou být transparentní, průsvitné ve vztahu k vodě hydrofilní nebo hydrofobní. Obecně se rozdělují na reaktoplasty a termoplasty. Základní rozdělení polymerů viz. Obr. 1. [4]



Obr. 1 Rozdělení polymerů [33]

## 1.2 Termoplasty

Jsou materiály, které při zahřátí měknou a následně je možné další zpracování. Po následné změně tvaru se opět ochladí a získají tvarovou stálost. Jejich fyzická změna je tedy vratná. [4]

### 1.2.1 Rozdělení termoplastů

- Polyethylen (PE) jedná se o poměrně měkký plast s vysokou rázovou houževnatostí. Při zvyšování hustoty stoupá rovněž jeho tuhost, tvrdost a pevnost. Nejnižší hustotou disponuje PE-HD, PE-HMW a PE-UHMW. Je vhodný spíše pro méně namáhané součásti, jakou jsou uzávěrky lahví, kbelíky, potrubní spojky apod. Nevýhodou PE, je jeho snadné vznícení a poškození povrchů z něj vyrobených.
- Polystyren (PS) je polymer vyznačující se především svou vysokou tvrdostí a dobrou tvarovou stálostí. Není ovšem odolný vůči chlorovaným uhlovodíkům. Hodí se na krabice, kořenky a jiné podobné předměty.
- Polypropylen (PP) vyniká vysokou odolností a tvrdostí, při teplotách pod 0° C ovšem křehne. Je odolný proti kyselinám, louhům nebo alkoholům. Využití nachází v různých odvětvích, využívá se ve velké míře jako konstrukční materiál pro různé nádoby a technická zařízení filtrace. Obložení nákladního prostoru chladírenských vozidel, výroba bazénů a technologických šachet.
- Polyvinylchlorid (PVC) často pro výplně proti průvanových lamelových clon, zamezuje úniku chladu z chladírenských zařízení nebo snižuje tepelné ztráty v zimě, za využití v různých aplikacích.
- Polykarbonát (PC) je trvanlivý a pevný materiál, vysoká odolnost proti nárazu, nikoliv proti poškrábání. Klíčovou vlastností polykarbonátu je jeho vysoká průhlednost.
- Polymethylmethakrylát (PMMA) jinak známý jako plexisklo nebo také akrylátové sklo, je průhledný syntetický termoplast.
- Polyethylentereftalát (PET), jehož výhodou je dobrá recyklovatelnost, naopak nevýhodou je neodolnost proti chemikáliím.

- Polyoxymethylen (POM) je plast s vysokou pevností a dobrými mechanickými vlastnostmi podobnými polyamidům. Je vhodný především pro výrobu velmi přesných dílů a součástek. [4]

### 1.3 Reaktoplasty

Na rozdíl od termoplastů, jsou tvarovatelné jen určitou dobu po zahřátí, dochází v nich totiž k chemickému zesíťování. Což je chemická reakce, jejímž následkem je vznik zesíťované struktury-Vytvrzený materiál již nelze dále opracovávat nebo přivést do stavu před zahřátím. Tato jeho forma je trvalá. Výrobky z reaktoplastů se vyznačují vysokou fyzickou i chemickou odolností. [4]

#### 1.3.1 Rozdělení reaktoplastů

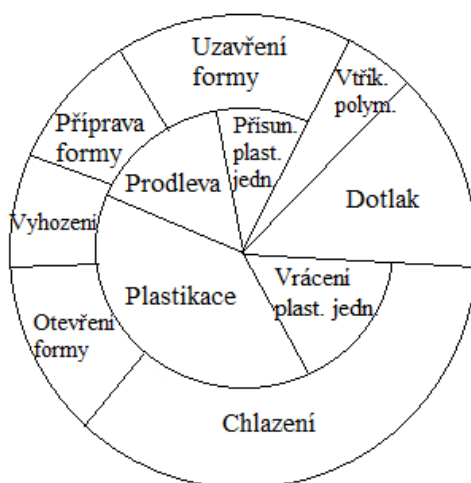
- Fenolformaldehydová pryskyřice (PF) má vysokou elektrickou izolaci, dobrou korozivzdornost a mechanickou odolnost, je dokonale rozpustná v aromatických a alifaktických uhlovodících, ketonech a rozpouštědlech obsahujících chlór.
- Epoxidovou pryskyřici (EP) výroba truhlářských výrobků, stolů, šperků a další. Začátku výrobního procesu tekutá látka se díky chemické reakci, která tvrdá několik hodin až dní, změní na tvrdý, chemicky odolný a tvarově stálý materiál. Epoxid se vytváří smícháním dvou složek pryskyřice a tvrdidla.
- Polyesterová pryskyřice (UP) používá se k opravám laminátových předmětů (lodí, bazénů apod.), ale také k výrobě laminátů kontaktní technologií, navíjením a injekčním laminováním. Dále k výrobě deskových konglomerátů z přírodního kamene. [4]

## 2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ TERMOPLASTŮ

Je nejčastěji využívaný způsob zhotovení výrobků z termoplastů, vhodný především pro velkosériovou a hromadnou výrobu. Díly vyrobené touto technologií nachází uplatnění především v automobilovém, leteckém nebo elektrotechnickém průmyslu. Jsou také často využívány v domácnostech nebo armádě. Tato technologie spadá do cyklických procesů, které jsou poměrně složité. Před samotným vstříknutím polymeru vstřikovacím strojem do dutiny formy, je nutné, aby spolu spolupracovalo více zařízení najednou v přesně definovaném režimu. Základní zařízení pro funkci takového procesu jsou vstřikovací stroj, plastikační jednotka a uzavírací jednotka. Funkce je následující, po vstříknutí polymeru do dutiny, materiál získá tvar přichystané dutiny a po následném ochlazení, vzniká finální výrobek s tvarovou stálostí. [1, 5]

### 2.1 Cyklický proces vstřikování

Nejdůležitější řešený parametr formy je její násobnost, která říká kolik finálních výrobků po každém cyklu získáme. Průběh výroby je následující, po uzavření formy ve stroji se zplastikovaný polymer o požadované teplotě vstříkuje za vysokého tlaku do tvarové dutiny. Následně vstříkнутá tavenina, ještě zůstává po určitou dobu pod tlakem, této fázi se říká dotlak, který končí, jakmile je polymer uvnitř dutiny z části ochlazen viz. Obr. 2. Po ukončení dotlaku dochází k oddálení vstřikovací jednotky od stroje a plastikaci nové dávky pro příští cyklus. Jakmile dojde k dostatečnému ochlazení materiálu uvnitř tvarové dutiny, je forma otevřena a výsledný finální výrobek vyhozen z dutiny formy. Formu je před dalším cyklem nutné vyčistit a připravit na pro opakování procesu. [4]



Obr. 2 Grafické zobrazení vstřikovacího cyklu





### 3 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Vstřikovací forma je vyměnitelnou součástí vstřikovacího stroje. Její úlohou je dát vstříknuté tavenině tvar výrobku a ten podržet až do ochlazení na teplotu při níž už nedojde k podstatné změně či deformaci výrobku. Vstřikovací forma musí být zkonstruována tak, aby odolávala vysokým tlakům při vstřikování a umožňovala snadné vyjmutí hotového výrobku, příklad konstrukce viz. Obr.4. Na rozdíl od jiných druhů forem se musí vstřikovací formy konstruovat s ohledem na chování taveniny pod tlakem, který se pohybuje od 15 až do 150 N/mm<sup>2</sup>. Vlivem hydraulického tlaku ve vstřikovací dutině je forma, hlavně její nosné části velmi namáhány. Konstrukce, formy musí umožňovat plně automatický provoz a dlouhou dobu životnosti. Jak konstrukce formy, tak i výroba jsou z finančního hlediska velice nákladné. Materiál použitý na výrobu formy závisí na tom, jaký druh plastu se bude zpracovávat a také na použitých technologiích. Především složitost výrobku a jeho rozměry určují, jak bude forma konstrukčně zpracována s ohledem na odolnost proti tepelnému namáhání, nebo mechanickému opotřebení. Konstrukce a konečné provedení formy s ohledem na cenu je dáno velikostí série. [5, 6]



Obr. 4 Příklad konstrukce vstřikovací formy [32]

Vstřikovací formy jsou svou konstrukcí značně rozdílné a nelze je přesně rozdělit. Nejčastěji se tyto nástroje dělí dle následujících parametrů:

- podle násobnosti-na jednonásobné a vícenásobné,
- podle způsobu zaformování a konstrukčního řešení na – dvoudeskové, třidedkové, etážové, čelist'ové, vytáčeční a jiné,
- podle konstrukce vstřikovacího stroje na formy se vstřikem kolmo k dělicí rovině a na formy se vstřikem do dělicí roviny.

Dále je možné formy dělit podle speciálního provedení respektující tvar výrobku, jako jsou formy s bočním jádrem, které je ovládáno mechanicky, pneumaticky, hydraulicky nebo podle způsobu vyhazování výstřiku pomocí vyhazovacích kolíků, stíracích desek, kroužků, případně vyhazování stlačeným vzduchem.

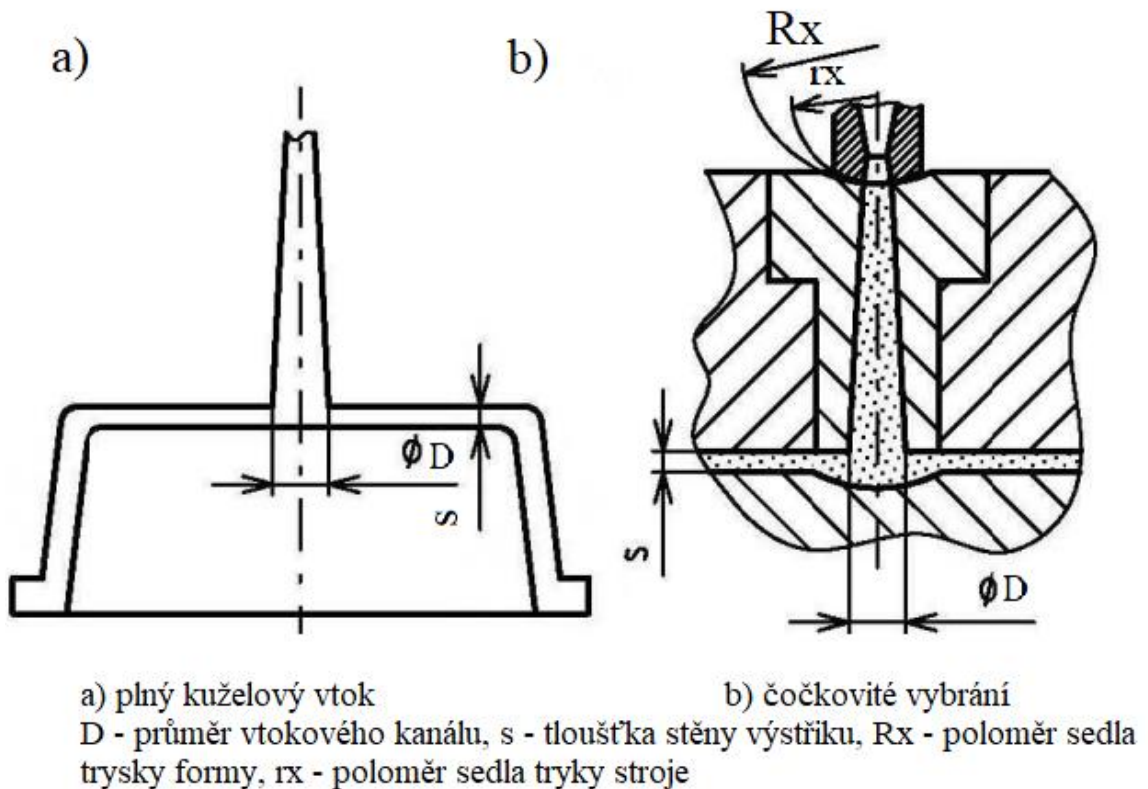
Součástí formy je také chladicí (temperační) systém. Jeho konstrukční návrh a zpracování má velký vliv na pracovní cyklus. [5, 6]

### 3.1 Vtoková soustava

Vtoková soustava je tvořena jedním nebo více kanály které spojují výstupní otvor vstřikovacího válce s tvarovou dutinou formy. Tento článek je velice důležitý z hlediska kvality výstřiku. Tokové poměry pro plnění forem jsou velmi komplikované a jsou stanovované vedle technologických parametrů také konstrukcí vtokové soustavy. Hlavním úkolem, který musí vtoková soustava splňovat je rovnoměrné plnění tvarové dutiny nebo tvarových dutin u vícenásobné formy, příklad řešení viz. Obr.5. Vtoková soustava je navržena tak aby odpovídala počtu tvarových dutin, jak jejich rozmístění, tak i konstrukčnímu provedení výstřiku. Tak aby byla vhodná pro vstřikovaný materiál ale také podle toho, jestli bude konstruovaná pro horký nebo studený systém. Vyústění vtoku do tvarové dutiny ovlivňuje např. velikost pnutí při chladnutí výrobku. Při konstrukci a umístění vtokové soustavy, je třeba dbát na snadné vyjímání výstřiků z formy. Další snahou je omezit objem vtokové soustavy (v tomto případě jde o vratný odpad) na minimum (ovšem se zřetelem na její funkci). Dále je třeba zajistit snadné začišťování, event, opracování výstřiku. [2]

Vtoková soustava se skládá z těchto částí:

1. vtoku;
2. rozváděcích kanálků (hlavního a vedlejšího);
3. ústí vtoku.



Obr. 5 Příklad řešení vtoku u vstřikovacích forem. [7]

### 3.1.1 Druhy vtoků u vstřikovacích forem:

Vtoková soustava u jednonásobné formy je v podstatě vlastní vtok, který je přímo napojen na tvarovou dutinu.

Kuželový vtok je základní a konstrukčně nejjednodušší. Používá se ho u masivnějších výrobků, které jsou jednodušší a symetrické, kde je nutná delší doba plnění. Jeho hlavní nevýhodou je pracnější odstraňování vtokového zbytku a nutnost začišťovat výstřiky.

Určení průměru kuželového vtoku se volí na straně ústí vtoku do tvaru (tj. na tlustším místě) zhruba o 1 až 1,5 mm větší, než je největší tloušťka stěny výstřiku. Dále je třeba, aby

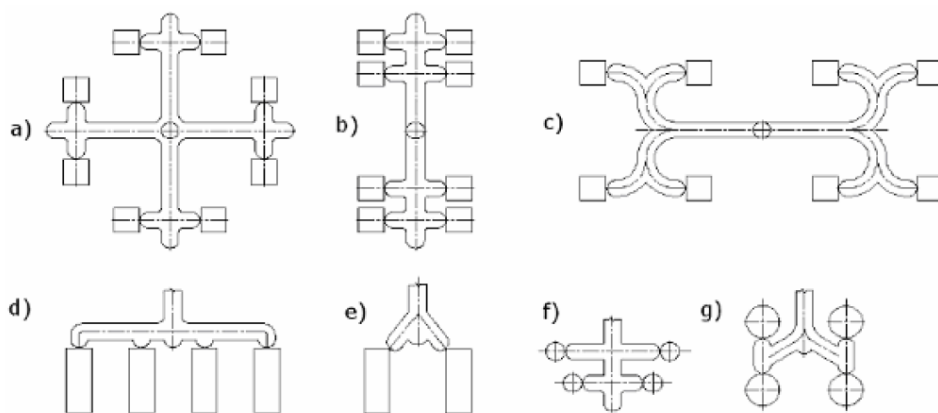
konstruktér výrobku, pokud možno dodržoval tzv. zásadu kuželovitosti: tloušťka stěny u vtoku má být největší a na nejvzdálenějším konci od vtoku nejmenší. Pokud se mezi ústím vtoku a nejvzdálenějším bodem od vtoku vyskytne nějaké větší zeslabení stěny, je nebezpečí předčasného zatuhnutí tohoto místa, přerušení dodávky taveniny v průběhu doplňování a vzniku studeného spoje za tímto místem. Orientačně lze volit menší průměr kuželového vtoku podle objemu výstřiku. Délka kuželového vtoku závisí na výšce vtokové vložky vsazené do formy. Tato výška je pak dána požadavkem na pevnost stěny formy, která určuje min. přípustnou tloušťku stěny v oblasti vtoku. Vtoková strana má také většinou chladicí kanály, které pevnost na této straně také ovlivňují a je nutné s nimi počítat. Délka vtoku se volí min. 15 mm, u velkých výstřiků je 80 až 120 mm. Kuželovitost vtoku se volí od 1: 15 do 1:50. Je-li průměr ústí mnohem větší než tloušťka stěny, je vždy nebezpečí propadlin (vtaženin) na vtokové straně výstřiku.

Bodový vtok, resp. vtok s bodovým ústím, je vcelku velmi rozšířený, zejména pro snadné a rychlé odtrhávání vtokového zbytku přímo ve formě. Kromě toho přispívá k ohřevu hmoty po plnění formy. Rozměry bodového vtoku jsou závislé na velikosti výstřiku a na tloušťce stěny. Pro výrobky do tloušťky 2 mm má být průměr ústí menší než 1 mm a výška v rozmezí od 0,8 do 1 mm. Bodový vtok může mít i jiné tvary vyústění např. půlkruhový, obdélníkový. [2, 1]

### 3.1.2 Studený vtokový systém

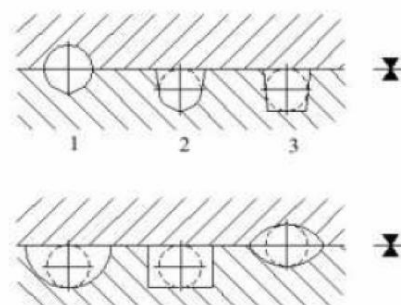
U volby vtokového systému se pracuje s fakte, že je tavenina vstřikována velkou rychlostí do relativně studené formy. To způsobuje prudký nárůst viskozity taveniny na vnějším povrchu a nižší viskozitu uprostřed. Výsledné řešení vtokového systému musí zabezpečit:

- stejnou délku dráhy toku pro všechny dutiny ve formě, pro dosažení rovnovážného plnění (Obr. 6 a,c,e,f,g) u případů b, g na Obr.5 je nutná korekce vtokových ústí,



Obr. 6 Obecné způsoby volby vtokových ústí. [7]

- co nejkratší dráhu toku, bez tlakových a časových ztrát,
- dostatečně velký průřez vtokových kanálů, aby bylo při vyplnění tvářecí dutiny zaručeno, že jádro taveniny bude stále v plastickém stavu a tím se umožní působení. Cílem je dosažení co nejmenšího povrchu a největšího průřezu. Díky tomu je možné minimalizovat ztráty ochlazováním. Tuto podmínku splňuje kruhový průřez, často se však z výrobních důvodů využívá průřez lichoběžníkový, viz. Obr.7. [6]



Obr. 7 Druhy průřezů vtokových kanálů [7]

- u více násobných forem se využítí odstupňování průřezu, pro zachování stejné rychlosti taveniny při průchodu formou k dutině,
- využití prodlouženého rozváděcího kanálu pro zachycení čela taveniny, což zabraňuje proniknutí chladnějšího čela proudu taveniny do tvarové dutiny a tím snížení povrchových vadů,
- aby se v systému neobjevovala místa s velkým nahromaděním materiálu. [6, 2]

### 3.1.3 Vtoky ústící do obvodu výstříku

Vtoků tohoto typu lze použít u všech výrobků které jsou symetrické k ose, např. válce, pouzdra, kotouče atd. Nejvhodnější tvar je kuželový vtok, který se v patě kuželu rozšiřuje na obvod vnitřního průměru výstříku a má tvar talíře nebo kotouče. Vtok tohoto typu je výhodný, protože plnění formy probíhá rovnoměrně a vylučuje tvoření studených spojů

### 3.1.4 Vtok se štěrbinovým ústím

Používá se ho zejména pro ploché výstříky s vtokovou hranou, které lze zaformovat tak, aby se materiál vstříkoval do dělicí roviny. Vlastní kuželový vtok ústí do rozváděcího kanálku, jehož délka odpovídá délce vtokového ústí; tento kanál se nejprve naplní taveninou. Tavenina pak postupuje úzkou štěrbinou přes hranu výstříku do tvarové dutiny. Tloušťka této štěrbiny má být max. polovina tloušťky stěny výstříku.

### 3.1.5 Vtok s kruhovým ústím

Je vhodný pro výstříky trubkového tvaru, větší délky, event menšího průměru, kde je nebezpečí vyosení nebo prohnutí jádra. U delších výstříků je tedy třeba vnitřní jádro fixovat, tj. uložit je na obou stranách formy. Jedinou možností, jak plnit formu po celém obvodu, je použít kruhový vtok.

### 3.1.6 Vtoková soustava u vícenásobných forem

Při geometrickém členění a dimenzování vtokové soustavy vícenásobných forem je nutné všechny dutiny plnit taveninou najednou a rovnoměrně. Jinak je tlak v tavenině v různých dutinách rozdílný, a tedy i trvání dotlaku je různé, což souvisí s rozměrovou souhlasností všech dutin jednoho výstříku. Vícenásobných forem se používá pro menší

výrobky (aby se využilo stroje) a pro velké série. V některých případech jde o využití upínací plochy uzavírací jednotky, jak tomu je např. u hlubokých výstřiků malého průměru nebo malého průřezu. Z hlediska konstrukce vtokové soustavy přistupují k hlavnímu vtokovému kanálu rozváděcí kanálky, jejichž účelem je rozvádět taveninu do jednotlivých dutin formy. [2, 5]

## **3.2 Konstrukční řešení vícenásobných forem**

### **3.2.1 Dvoudeskové řešení**

Forma se skládá prakticky z dvou polovin, z pevně uložené (v níž bývá tvárnice) a pohyblivé (s tvárníky). V dosedací ploše obou polovin je umístěna jak dělicí rovina tvaru, tak dělicí rovina rozváděcích kanálků.

Uspořádání polohy dutin a rozváděcích kanálků vzhledem k hlavnímu vtokovému kanálu může být velmi rozmanité. Základní dělení je hvězdicové nebo přes kruhový kanál.

Do této skupiny, patří též násobné formy s kruhovým vtokem, z něhož je po celém obvodu přechod na šterbinové nebo filmové ústí. Modifikací tohoto uspořádání je kruhový kanál, z jehož vnitřní stěny ústí do výstřiku soustava bodových ústí vtoku. Tato provedení vyžadují obvykle dodatečné odstranění vtokové soustavy od výrobku, což je poměrně pracné. Též vtokový zbytek je značný a jeho hmotnost (váha) bývá někdy větší než hmotnost vlastních výrobků. Tyto nevýhody řeší tzv. tunelový vtok. Tunelový vtok nahrazuje do jisté míry tzv. třideskové řešení. [5]

### **3.2.2 Třideskové řešení vícenásobných forem**

Při konstrukci vícenásobné formy na kalíškovitý, miskovitý nebo jiný hluboký tvar výstřiku by se u dvou deskového systému muselo volit vyústění vtoku do horního okraje dutiny. Toto řešení je velmi nepříznivé z těchto důvodů:

- a) tvoří se studené spoje,
- b) dráha taveniny od vtoku na nejvzdálenější místo nezaručuje rovnoměrné plnění,
- c) tlak taveniny působí jednostranně na jádro a snaží se dostat je do polohy mimo osu výstřiku (velikost uchýlení závisí na vůli),



d) je nebezpečí uzavírání vzduchu, který se kompresí může i přehřát nad teplotu rozkladu polymeru („diesel motorový efekt“). Proto je mnohem výhodnější tzv. tříděskový systém.

Forma má dvě dělicí roviny, v první dělicí rovině je zaformován výstřik, ve druhé rozváděcí kanál. Funkce formy: - při otevírání formy v první dělicí rovině zůstanou výstřiky na jádrech a utrhnou se od bodových vtoků. Při otevření v druhé dělicí rovině vypadne vtokový zbytek. Není-li zářez na jádrech a je nebezpečí, že by výstřik na jádrech v důsledku tření nezůstal, otevírá se forma nejprve v druhé dělicí rovině, kdy dojde k odtržení vtoků, a teprve potom v první dělicí rovině. Výstřik tentokrát bezpečně zůstává na jádrech a je z nich buď setřen stírací deskou anebo vyhozen vyhazovačem. [2, 6]

### 3.2.3 Vyhazování výstřiků a vtokových zbytků z formy

Vyhazování výstřiků je úkon, kdy se z tvarové dutiny formy po jejím otevření vyjme, vysune nebo vytlačí výstřik mimo oblast formy například pomocí některého z typů vyhazovacích kolíků viz. Obr. 8. Nejjednodušší je vyhazování výstřiků, které nejsou ve smršťování omezeny tvárníkem nebo tvarovými jádry.

Jsou to prakticky výrobky ploché, bez otvorů a vnitřních ploch (např. desky, kotouče, koule, rukojeti, držadla, ale také např. ozubená kola s kovovým nábojem, hřídelíkem atd.). Na druhé straně při smrštění výstřiku na tvárník, jádro, kolík apod. vzniká mezi plastickou hmotou a jádrem nebo tvárníkem napětí, které je závislé na geometrii výrobku. Aby se zmenšil odpor výstřiku při vyhazování, dělá se na těchto tvarech (tvárníku, jádru) vhodný úkos a povrch se upravuje na předepsanou kvalitu, tj. brousí se, leští, popř. lapuje a podle potřeby i chromuje. Aby se nepřilepovala plastická hmota na povrch dutiny formy, používá se u některých termoplastů tzv. separace povrchu, nejčastěji roztokem silikonového přípravku.

Z konstrukčního hlediska rozlišujeme tyto druhy vyhazovacích systémů:

a) vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků, popř. tvarových vyhazovačů

-vhodné pro široký sortiment výstřiků, např. ploché málo členité a nepřilíš hluboké tvary,

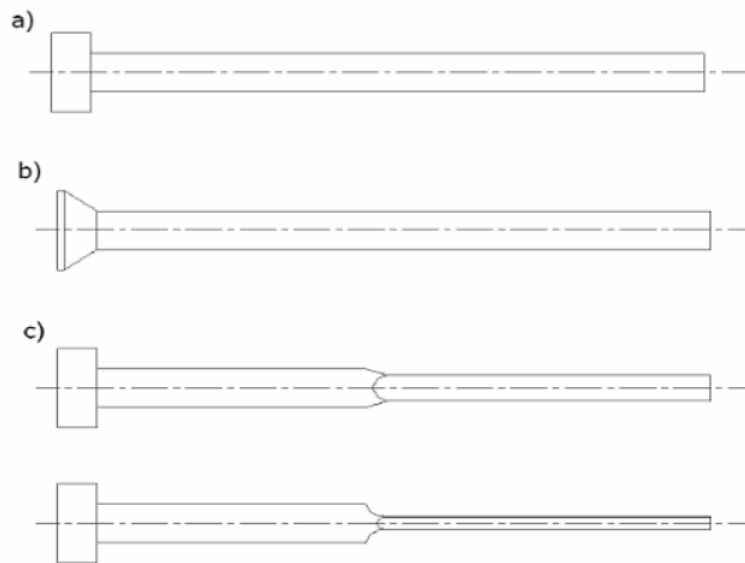
b) vyhazování pomocí stírací desky nebo kroužku

- pro výstřiky válcového tvaru,

c) vyhazování pomocí trubkového vyhazovače nebo stěrače

-pro pouzdra a podobné tvary,

d) vyhazování pneumatické - zejména pro rozměrné a hluboké tvary, např. kryty, bedny a voničky. [2]



Obr. 8 Vyhazovací kolíky [2]

Kromě základních typů se používá i speciálních způsobů, např. pomocí závitového jádra které se buď vyjme současně s výstřikem a vyšroubuje mimo formu, nebo je závitové jádro napojeno na pohon elektromotoru a vyšroubovává se přímo ve formě. Pro vnější závit nebo pro jakékoli vnější přesazení, slouží čelist'ové formy.

Tvarové čelisti jsou v tvárnici uloženy v rybinách nebo drážkách a vysunují se pomocí táhel případně hydraulicky nebo pneumaticky.

### Vyhazování vtokových zbytků

Existuje několik používaných způsobů:

- a) vložka vyhazovače (tahače) a vtokový zbytek s pod kosem-při otevření formy zůstane na pohyblivé desce a potom se vytlačí vyhazovacím kolíkem,
- b) vyhazovač a vtokový zbytek se zářezem: - tavenina zateče do zářezu tahače a při otevření se vtokový zbytek vytáhne a vyhodí kolíkem,
- c) vložka tahače a vtokový zbytek s rybinou-funkce jako,
- d) vyhazovač s kuličkou,
- e) vtokový zbytek a tahač s vybráním a kuželem + trubkový vyhazovač-vtokový zbytek se po vytažení tahačem setře trubkovým vyhazovačem. [2, 6]

### 3.2.4 Temperování forem

Během vstřikování se do formy přivádí teplo s taveninou, která se v dutině formy ochlazuje na teplotu vhodnou pro vyjmutí výstřiku, čímž se forma ohřívá. Pro tepelnou bilanci formy obecně platí, že čím je hmotnost vstřikovaného výstřiku větší, čím kratší je pracovní cyklus a čím větší je rozdíl teploty taveniny a teploty formy a tepelný obsah materiálu, tím více tepla je třeba za určitou časovou jednotku odvést. Vyžaduje se tedy, aby při určité teplotě formy, která je pro každý materiál charakteristická, bylo teplo přivedené taveninou během jednoho cyklu odváděno chladicí soustavou formy. Odvod tepla z formy je možný buď sáláním do volného prostoru, nebo vedením do upínacích desek a do rámu stroje, a nakonec pomocným chladicím systémem, umístěným přímo ve formě.

Některé materiály se musí zpracovávat při vyšších teplotách formy (např. polykarbonáty při 100 až 120 °C) a v tomto případě je množství tepla odváděné sáláním a vedením tak velké, že se forma naopak musí ohřívát. Také při zahájení směny je třeba nejprve vyhřát formu na pracovní teplotu, jinak by nebyla zaručena dobrá kvalita výstřiků. Ohřívání, popř. chlazení forem-obecně temperování na přede psanou teplotu-je tedy závislé na energetické bilanci.

Je-li např. třeba zjistit průtok chladicí vody chladicím systémem formy při dodržení těchto podmínek: vstupní teplota chladicí vody 15 °C, výstupní teplota 20 °C, výstřik z polypropylénu, hmotnost včetně vtoku 20 g, teplota taveniny 265 °C, teplota formy 40 °C, forma jednonásobná, cyklus 15 sekund, postupuje se takto: Při ochlazení taveniny polypropylénu z 265 °C na 40 °C se musí odvést teplo 150 cal/g (zjistí se z obr. 124); pro celý výstřik o hmotnosti 20 g je to tedy 3000 cal. Vstřikují-li se čtyři výstřiky za minutu, pak je třeba za 1 minutu odvést 12 000 cal. Podle zadání odvede 1 g chladicí vody 5 cal. Na odvedení 12 000 cal. se tedy spotřebuje 2400 g, tj. 2,4 kg nebo 2,4 l vody za minutu. Pro dostatečné ochlazování formy je tedy třeba zajistit průtok chladicí vody množství 2,4 l/min, tj. 144 l/h. V praxi je nutno počítat se značnými ztrátami tepla do okolí, ať již sáláním z povrchu (zejména v době otevření formy), anebo vedením třeba do konstrukce stroje. Tyto ztráty mohou být tak velké, že je třeba teplo dodávat. [5, 6]

Pro chlazení nebo temperování formy kapalným médiem (do 90 °C vodou, nad 90 °C olejem) je třeba konstrukčně vyřešit systém chladicích, resp. temperovacích kanálů. Při konstrukci nutno dodržovat tato pravidla:

- a) kanály je třeba umístit co nejbližší tvarové části formy při zachování dostatečné pevnosti stěn formy,
- b) kanály se umísťují a dimenzují tak, aby bylo intenzivněji odváděno teplo v místě, kde je forma ve styku s proudem čerstvé taveniny, tj. u vtoku,
- c) průtok kapaliny se reguluje tak, aby při chlazení proudila od nejteplejšího místa formy k nejtudenějšímu a při temperování opačně,
- d) temperovací systém nesmí překážet při otevírání formy, vyhazování výstřiku atd.,
- e) chladicí event. temperovací okruh pro obě poloviny forem a pro dlouhé tvárníky, nebo jádra je oddělený,
- f) průřez kanálů má být, pokud možno kruhový (ale z výrobních důvodů lze volit i jiný, např. obdélníkový. [5, 6])

### 3.2.5 Průřez kanálů

Jednotlivé kanály jsou propojeny buď do série, nebo paralelně. Pro předehřívání forem se používá odporového topení – topných patron (zejména pro rozběh výroby).

### 3.2.6 Odvzdušňování forem

Při plnění taveniny do tvarové dutiny formy musí být zároveň vytlačen z tvarové dutiny vzduch. Jelikož rychlost plnění bývá dosti značná, je třeba umožnit, aby vzduch z formy dostatečně rychle unikl a nezůstal v ní uzavřen.

To by způsobilo závažné vady výstřiků:

- a) nedostříknuti,
- b) vzduchové bubliny,
- c) spálená místa.

Ke „spálení“ (termooxidační degradaci) dochází na základě značného a rychlého stlačení vzduchu tlakem taveniny (200 až 1500 at), při čemž se vzduch místně ohřeje až na teplotu rozkladu termoplastu („dieselmotorový efekt“).

Často stačí vzduch uniknout dělicí rovinou nebo vedlejšími dělicími rovinami, vůlí mezi pohyblivými částmi formy atd. V ostatních případech je třeba formu opatřit odvodušňovacími kanálky. Jsou to obvykle ploché kanálky, jejichž průřez (zejména tloušťka) má být taková, aby vzduch stačil uniknout, ale aby do kanálku nezatékala tavenina. Záleží tedy také na typu materiálu a na jeho tokových vlastnostech (např. pro polyamid budou kanálky užší než pro polystyren). Obvykle se jejich tloušťka pohybuje od 0,05 do 0,1 mm. Odvodušňovací kanálky se umísťují tam, kde je nebezpečí vzniku vzduchového polštáře a uzavření vzduchu [5, 6]

### 3.2.7 Upínání formy na stroj

Při upínání formy na stroj je nutno dodržovat tyto zásady:

- a) otvor trysky stroje a vtokové vložky musí být souosé,
- b) jednotlivé části formy musí lícovat mezi sebou a upínacími deskami stroje,
- c) hlavní pozornost je třeba věnovat dělicí rovině formy a dosedu obou polovin.

na sebe jakákoli nepřesnost v dosedu obou polovin způsobuje zatečení taveniny a zvětšení činné plochy, na níž působí tlak taveniny.

Správné upnutí vstřikovací formy do osy stroje zaručují středící kroužky, jejichž vůle nemá být větší než 0,2 mm. Pomocí středících kroužku se upne vtoková část formy s tvárnici na vtokovou upínací desku a tvárník s vyhazovacím mechanismem na pohyblivou upínací desku. U vyhazovacího mechanismu se používá pomocného středění, aby se zabránilo jeho přičení. Obě poloviny forem jsou mezi sebou středěny pomocí vodících někdy také klínových lišt. Délka vodících sloupků se volí tak, aby k navedení obou polovin došlo dříve než k zasouvání tvarových částí formy (tvárníku do tvárnice).

Sloupky jsou vedeny ve vodících pouzdrech. Jejich počet se volí podle typu a velikosti formy (obvykle bývají dva až čtyři). Přitom jeden je odlišného průměru, aby se zabránilo pootočení části formy.

Sloupky se umísťují na nejvzdálenější okraj formy, aby středění bylo co nejúčinnější. Velmi důležité je dbát na uložení jader ve formě, zejména jader dlouhých a jader malého průměru. Forma se upíná zavřená na upínací desky. [1]

## 4 VADY VÝROBKŮ PŘI VSTŘIKOVÁNÍ

Díky aktuální úrovni technologii jsou již lidé při návrhu forem schopni predikovat případné vady výrobků předem, ještě před samotnou výrobou vstřikovací formy. Spolu s využitím těchto technologií a neustálým získáváním hlubších poznatků o materiálech a procesech, které ovlivňují výsledek vstřikování, jsou dnešní konstruktéři schopni poměrně přesně určit výsledek vstřikování při realizaci jejich návrhu, a to za různých procesních podmínek při využití nejrůznějších dostupných materiálů.

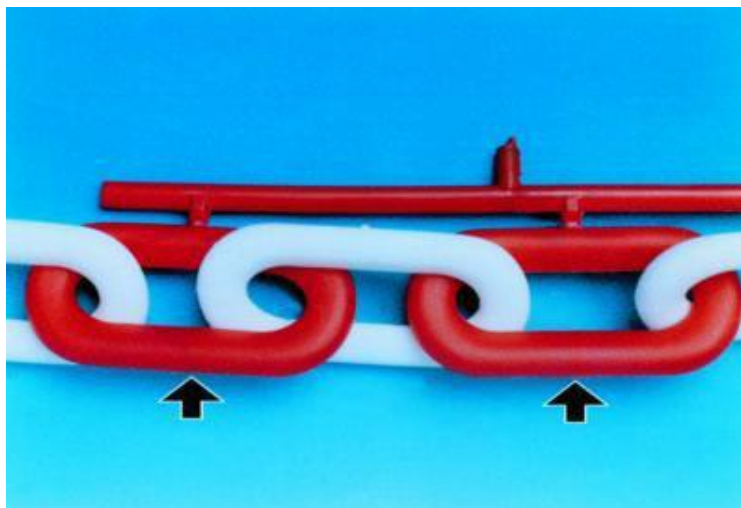
Soubor získaných výsledků následně umožňuje určit nejvhodnější řešení odformování výrobku, vyhazovacího systému a chlazení formy, tak aby výrobky získané vstřikováním vykazovali výjimečnou přesnost a minimum vad. Existují však i aspekty se kterými klasická simulace nepracuje, a to například problémy s čistotou materiálu, případně vady na vstřikovacích strojích jako jsou chyby při konstrukci šneku plastikační jednotky apod. Případná vlhkost surového materiálu rovněž vytváří problémy, z toho důvodu dochází často k sušení zpracovávaného materiálu, například suchým vzduchem za podmínek, dle materiálového listu výrobce. Klasickým příkladem vad je odchýlení výrobků od rozměrů na výrobním výkrese, propadliny nebo například stříbrné pruhy na povrchu výrobku [13].

### 4.1 Vady pozorovatelné pouhým okem

Jedná se o typ vad, které jsou patrné již při pouhém pohledu na výsledný výrobek, často se dělí na povrchové vady a tvarové vady. Jako běžné vady povrchu se uvádí například stříbrné pruhy na povrchu místa, která jsou proti zbytku povrchu viditelně matná, viditelné studené spoje, mikrotrhliny případně změny barvy výrobku, které se odchylují od očekávaného odstínu. Častá jsou také spálená místa na výrobku, nebo vzduchové bubliny, které vznikají například při špatném odvzdušnění formy. Oproti tomu tvarové vady jsou například případy s chybějícím materiálem, kdy nedošlo k dotečení polymeru do formy, častá je také delaminace, nebo nežádoucí stopy po vyhazovacím systému na pohledové straně výrobku [13].

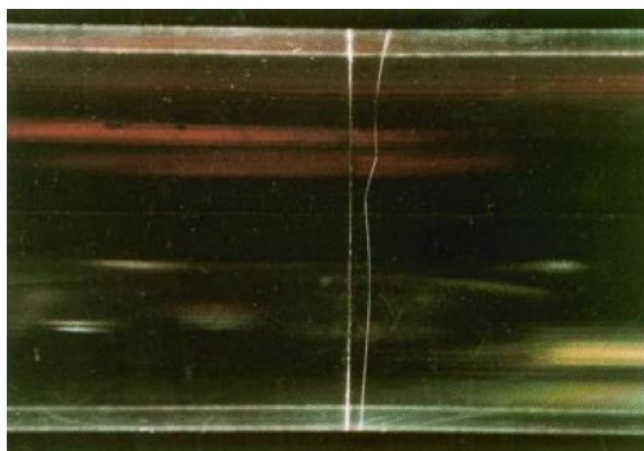
#### 4.1.1 Studený spoj

Jsou vady výrobků řadící se mezi vady vizuálních vlastností, vznikají v důsledku rozdělení a opětovného spojení roztaveného polymeru při průchodu dutinami v nástroji. Opětovné spojení bývá často při setkání čel taveniny, případně dochází k opětovnému spojení proudů bočními stranami. Typ s čelním spojením je co se týče pohledové kvality výstřiku a pevnostních parametrů nejméně problematickým.



*Obr. 9 Studený spoj vzniklý čelním napojením proudů taveniny [31]*

Závažnost vznikajících studených spojů je závislá na typu použitého materiálu, účelu výsledné součásti. Pokud je předpoklad, že bude díl pevnostně namáhán vada více problematická než při situacích, kdy se jedná například o okrasné předměty do interiéru. V některých případech, a to především u amorfního materiálu se mohou místa se sníženou pevností způsobenou touto vadou blížit vrubu viz. Obr.10. [11]

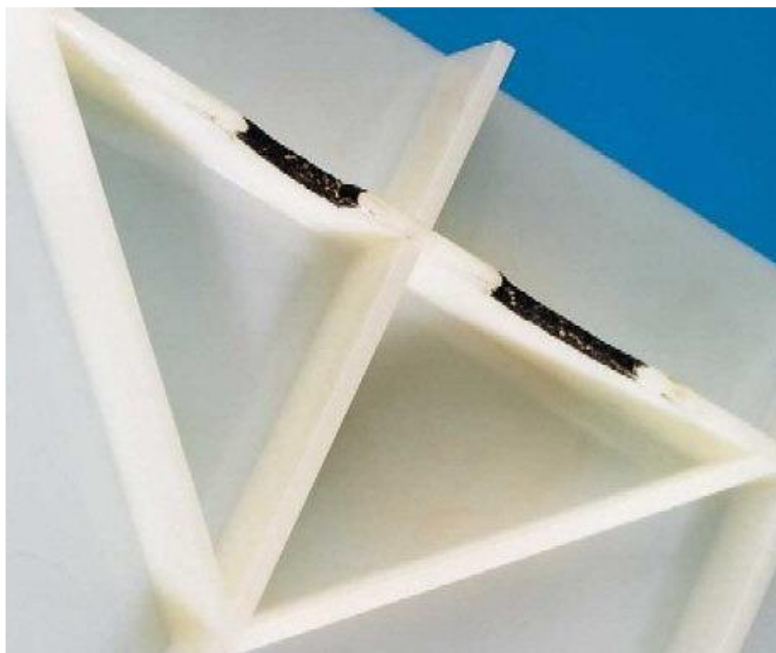


*Obr. 10 Příklad studeného spoje-vrub amorfního polymeru [31]*



#### 4.1.2 Spálená místa na výstřiku (Dieselův efekt)

Jedná se o vadu výstřiku vznikající především v důsledku špatného odvedení vzduchu z vnitřních prostor vstřikovací formy při plnění roztaveným termoplastem. Vzduch uvízný ve formě se při plnění stačuje a ohřívá což způsobuje výsledná poškození na výrobku. Zanechává po sobě místo s chybějícím materiálem viz. Obr. 11. Tento problém se řeší optimalizací návrhu tak, byl vzduch z dutiny včas odveden. Vada tohoto typu se také nazývá Dieselův efekt a vyznačuje se krom zmíněného chybějícího materiálu také charakteristickým tmavým až černým zabarvením v problematickém místě. Často jsou problematické především výrobky disponující vysokou tloušťkou stěn, u tohoto typu výstřiků, jsou časté objevující se rozptýlené bubliny vzduchu v roztaveném polymeru, z části je tento problém řešitelný správným stanovením vhodných technologických podmínek. [11, 10]



*Obr. 11 Spálená místa-Dieselův efekt [31]*

#### 4.1.3 Výskyt stříbrných pruhů na výrobku

Stříbrné pruhy jsou jedna z mnoha potenčních vad výstřiku více možnými příčinami vzniku, patří k nim především špatně zvolená teplota, nedostatečně vysušená použitého polymeru, případně při nadměrném tření v blízkosti vtokových ústí viz. Obr. 12.



*Obr. 12 Ukázka stříbrných pruhů na výrobku [31]*

#### **4.1.4 Vzduchové bubliny**

Vznik bublin a tím pádem míst s chybějícím materiálem může být způsoben přítomností vzduchu v roztaveném polymeru již před počátkem procesu vstřikování. Vzduch může být do taveniny přicházet tedy již při plastikaci v plastikační jednotce. Vzniklé bubliny často zůstávají ve stěnách dílu, a především v oblastech kde se setkávají proudy roztaveného materiálu. viz. Obr.13. [11, 10, 16]



*Obr. 13 Příklad vzduchových bublin na výrobku [31]*

#### 4.1.5 Vady rozměru a tvaru dílu

Vyznačují se odchýlením výsledného dílu od požadovaných rozměrů dle výrobního výkresu. Často vznikají nevhodným nastavením procesu vstřikování. Mohou se objevovat v různých formách, a to především jako deformovaný výstřik po vyhození z dutiny, stopy od vyhazovacího systému, jelikož způsobí vychýlení výrobku a špatné odformování, tím vzniká stopa na pohledové straně dále propadliny či otřepty na výrobku. [9, 10]

#### 4.2 Přítomnost skrytých vad

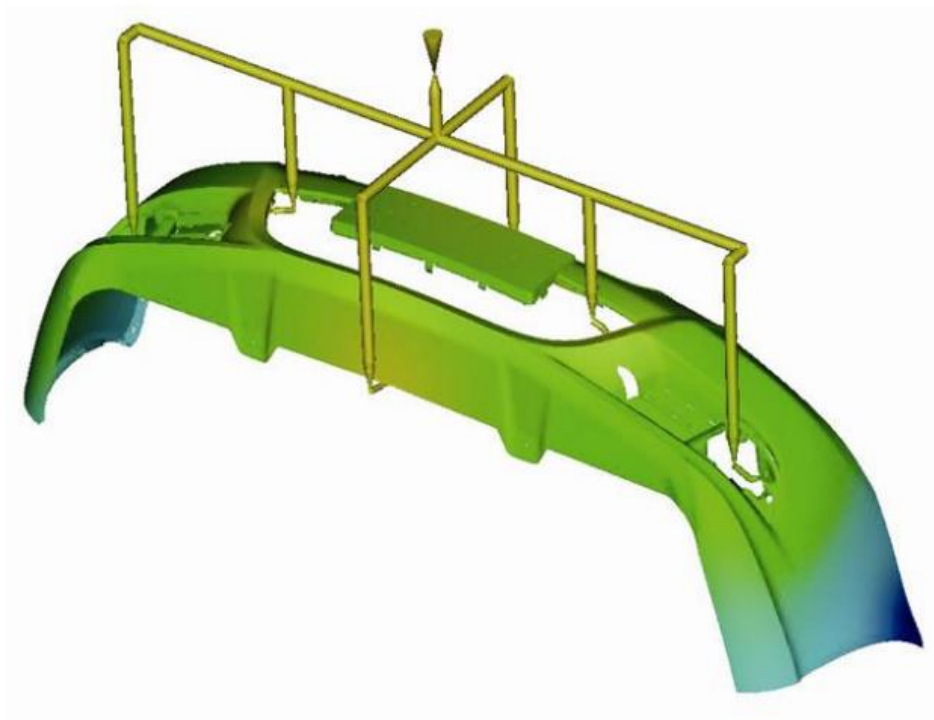
Tento typ vady není možné odhalit za pomoci vizuální kontroly, je tedy nutné použití laboratorních metod spolu se zkušebními zařízeními. Negativně ovlivňují pevnost a rozměrovou přesnost. Častým problémem je nevhodná orientace vláken u vyztužovaných materiálů, případně vznikající pnutí z nerovnoměrné krystalizace nebo z působení dotlakové fáze. Vnitřní pnutí je jedna z velmi nebezpečných vad, jelikož může vést k ovlivnění tvarové stálosti výrobku. V ojedinělých případech může vést až k destrukci výrobku. Metody k identifikaci vnitřních pnutí jsou převážně destruktivní, časté je například měření deformací při postupném oddělování jednotlivých vrstev metodou koroze za napětí u výstřiku. [9, 10]

## 5 SIMULAČNÍ SOFTWARE

V době jako je ta naše mají simulační software obrovský význam, a to hlavně proto že narůstá využití plastových dílů skoro ve všech oborech. Čím dál víc je požadováno snížení nákladů a rychlejší uvedení produktů na trh výrobků. Díky těmto simulačním software máme možnost získat velice precizní kontrolu nad celým procesem vstřikování. [12, 17]

### 5.1 Autodesk Simulation Moldflow

Je celosvětově známý a oblíbený software používaný k predikci chyb na výrobku při návrhu vstřikovacích forem. Poskytuje velké množství výsledků umožňující optimalizaci nástroje před samotnou výrobou. Autorem softwaru je společnost Autodesk, používanými variantami softwaru jsou Autodesk®Simulation Moldflow® Adviser a Insight. Jejich přínos pro firmy bezpochyby vyvažuje pořizovací cenu těchto programů. Snižují se náklady na prototypy, a zrychluje celý proces návrhu, příklad poskytovaných výsledků z praxe viz. Obr. 14. [12, 10]



Obr. 14 Příklad využití simulace v MoldFlow v praxi [34].

## 5.2 Simulace

Za využití tohoto softwaru je konstruktér vstřikovací formy schopný řešit problémy při návrhu a získané výsledky prezentovat případně diskutovat se zákazníkem. Software poskytuje velké množství výsledků, se kterými je možné efektivně pracovat. Na základě výsledků deformací, smrštění a dalších hodnot, je možné následně formu optimalizovat změnou upořádání, provedení vtokového systému, nebo například podmínek vstřikování jako jsou teplota taveniny, teplota formy, nebo vyhazovací teplota. Simulace pracují rovněž s temperačním médiem, které lze volit libovolně včetně jeho teploty a tlaku pod kterým do okruhu vstupuje. Nezanedbatelnou roli ve výsledcích procesu vstřikování hraje i vstřikovací stroj, který je v simulacích rovněž možné zvolit s možností úpravy velkého množství parametrů a najít tak nejlepší možné řešení. [18, 19]

Jednou z nejdůležitějších analýz je především analýza nejvhodnějšího umístění vtoku, která poskytuje velmi přesný obraz o způsobu zaformování výrobku, které je nutné provést, aby bylo možné vtokový kanál nasměrovat do míst s nejvyšší možnou vhodností umístění vtoku. [12, 15, 20]

## 5.3 Ekonomické výhody využití simulačních softwarů

Díky simulačním softwarům je možné vstřikovací proces provést s vyšší kvalitou, díky tomu je možné snížit výrobní náklady. Simulační software také umožňuje účinně optimalizovat tvar vstřikovaného výrobku tak, že je možné dosáhnout nižší spotřeby požitého polymeru, zkrátit čas vstřikování, a také zvýšit kvalitu výsledného dílu snížením smrštění a deformace.

### 5.3.1 Úspory ve vývoji

Nejefektivnější ve snižování nákladů, je simulační software v oblasti vývoje nového produktu, Výsledná cena výrobku je dána aspekty, jako cena vstřikovací formy, hmotnost polymeru potřebná k výrobě navrženého výrobku i s vtoky, cena vstřikovaného materiálu. Vývoj produktu představuje v nákladech spojených s výrobou nového výrobku až 70% výsledné ceny. Z tohoto důvodu je simulační software při využití ve vývoji neocenitelnou pomocí. [21, 23]

## 5.4 Síť v simulačním softwaru Moldflow

Při importu modelu výrobku, se kterým se v programu dále pracuje, je nutné v prvním kroku vybrat typ sítě, která bude k analýze použita. A to například dle tloušťky stěn zpracovávaného výrobku.

### 5.4.1 Typy podporované simulačním softwarem MoldFlow

1. 2D síť (Midplane mesh) – tloušťky stěn při simulaci, jsou reprezentovány střednicovou plochou, která představuje tvar modelu. Používá se nejčastěji pro tenkostěnné výrobky. Tento druh sítě se skládá z trojúhelníkových elementů.
2. 2,5D síť (Dual – Domain mesh) – konečné prvky v síti tvoří trojúhelníky, tloušťka stěn modelu je určována programem automaticky. Takto nastavená síť je vhodná především pro tenkostěnné výrobky.
3. 3D síť (3D tetrahedral mesh) - stěny o tloušťce  $t$  zpracovávaného modelu jsou vyplněny prostorovými elementy ve formě čtyřstěnů. Tímto způsobem je vyplněný celý zpracovávaný model. Tento typ sítě nachází uplatnění především u tlustostěnných výrobků a těch s nepravidelnou tloušťkou stěn. [24, 25]

## 5.5 Spolupráce MoldFlow s jinými CAD softwary

### 5.5.1 Import modelu

Pro provedení kompletní simulace programem MoldFlow, je nutná spolupráce s podporovanými softwary jako například Autodesk Inventor, SolidWorks, Catia a další. Případně využití podporovaných přípon souborů jako STEP, IGES.

### 5.5.2 Oprava chyb v síti

Tato funkce softwaru MoldFlow slouží především k opravě chyb, které vznikají importem mezi CAD softwary ve kterých se modely vytváří a MoldFlow.

### 5.5.3 Import trajektorii z CAD softwaru

Trajektorie vtoků a chladicího systému je možné vytvářet i přímo v programu MoldFlow. Ovšem z důvodu snahy o snížení času potřebného pro analýzu, je často využíváno trajektorii exportovaných z CAD softwaru ve kterém byl vytvořen i model a

sestava navržené formy. Pro úspěšný import do softwaru MoldFlow je ovšem nutný export vytvořených trajektorií v podporovaném formátu, jako je například .igs. [26, 28]

#### **5.5.4 CAD Doctor**

Tato funkce má schopnost importované modely z CAD softwaru připravit pro analýzu. Tím je myšleno zjednodušit model, zkontrolovat a opravit v něm chyby tam, aby při analýze nevznikaly problémy.

### **5.6 Nástroje pro zvýšení produktivity**

Za využití tohoto softwaru, je možné docílit zlepšení komunikace mezi kolegy a zákazníky, díky snadnému sdílení vizualizace výrobků, které se aktuálně řeší, nebo také jednotlivých analýz, ke kterým lze přidat příspěvky. MoldFlow obsahuje také databázi materiálů s jejich vlastnostmi, které lze libovolně volit pro jednotlivé analýzy a řešené výrobky. [29, 30]

#### **5.6.1 Autodesk MoldFlow Communicator**

Využití tohoto software je nejjednodušší možností, jak spolupracovníkům, kteří se podílejí na vývoji výsledného výrobku, prezentovat průběžné výsledky simulací, bez toho, aby byla nutná jejich osobní přítomnost u provedené analýzy. Tyto výsledky si může spolupracující osoba prohlížet a porovnávat s ostatními výsledky simulací, jak staršího data, tak i těch aktuálních. Tímto způsobem je možné řešit problémy, které je nutné v průběhu vývoje upravit, aby nedocházelo k výrobě nekvalitních výrobků.

#### **5.6.2 Autodesk Moldflow Adviser**

Je nástroj řešící kvalitu dílu v závislosti na provedené teplotě. Výsledek simulace se zobrazuje po kliknutí na některou z částí modelu a zároveň poukazuje na jednotlivé příčiny, které zhoršenou kvalitu dílu způsobují. Současně jsou zobrazeny i způsoby, jak odhalené příčiny eliminovat. Mohou to být například upozornění, která uživatele povedou k úpravě teplotních okruhů nebo změně vstřikovacích parametrů.

#### **5.6.3 Komunikace se zákazníkem**

Díky spojení Autodesk MoldFlow a Autodesk Showcase lze dosáhnout lepšího zhodnocení výsledků od zákazníka, a to díky téměř fotorealistickému zobrazení výsledné součásti za pomoci těchto nástrojů.

#### 5.6.4 Vytváření zpráv

Při komunikaci mezi výrobcem formy a jeho zákazníkem, jsou ve velké míře využívány nástroje MoldFlow Communicato a Report Generation, které slouží zaslání výsledků zákazníkovi spolu s komentáři k řešenému dílu, často i se změnami nutnými, k realizovatelnosti výroby zadaného dílu. Výsledky jsou také často prezentovány v běžně dostupných nástrojích jako Microsoft PowerPoint nebo Microsoft Word. [21, 24]

#### 5.6.5 Databáze materiálů

Knihovna materiálů dostupná v MoldFlow se skládá z více než 8500 různých druhů polymerů, spolu s veškerými informacemi o každém materiálu. Jsou to data získaná fyzikálním měřením nebo například reologické vlastnosti polymeru. Pro získání co nejpřesnějších výsledků simulace, je vždy nutné vybrat pro simulaci takový polymer, který se bude v reálných podmínkách do formy vstřikován za běžného provozu. Pokud v knihovně MoldFlow, není takový materiál dostupný, je možné ho nahradit jiným materiálem z knihovny, který disponuje podobnými vlastnostmi.

#### 5.6.6 Cost Adviser

Jedná se o nástroj sloužící ke zvýšení produktivity s využitím informací jako jsou doba cyklu, fixní náklady a zvolený materiál, je možné odhadnou, v jaké cenové relaci se budou pohybovat výrobní náklady. Je schopný pracovat s faktory, které mohou výrobu dílu prodražit a navrhuje opatření vedoucí k minimalizaci vlivu těchto faktorů na zvýšení konečné ceny. [25, 27]

### 5.7 Druhy simulací

#### 1. Plnění + Dotlak

Tento druh analýz je nejjednodušší. Při provádění této simulace je předpoklad, že stěny formy mají rovnoměrnou teplotu a při výrobě se vůbec nezahřívají. Tento druh se obecně používá při ranných fázích návrhu formy, k předpovědi způsobu plnění a zjištění některých slabin v konstrukci dílu, které by mohly zkomplikovat výrobu. Pracuje pouze se sítí výrobku a plnicích kanálů, díky čemuž analýza následně vyžaduje při spuštění mnohem méně času. Lze rovněž využít u forem, které disponují dostatečně účinným chladicím systémem, pro které získané výsledky tlaku mohou být dostatečně přesné.



## 2. Chlazení + Plnění + Dotlak

Tato analýza již bere v úvahu chladicí systém formy. Bere v úvahu množství tepla, které je do formy vneseno taveninou polymeru a je odebíráno skrz stěny formy a chladicí kanály během cyklu. V okamžiku, kdy rozdíl teplot formy mezi následujícími cykly klesne pod určitou hodnotu, nastává ustálený stav a dochází k získání teplotního profilu formy. Tento profil se poté používá při další analýze. Dochází rovněž k předpovědi akumulace tepla ve formě a tvarové vložce uvnitř formy, které ovlivňuje tok taveniny polymeru. Díky tomu, je možné získat dobu chlazení a účinnost chladicího systému.

## 3. Chlazení + Plnění + Dotlak + Deformace

Je druh analýzy, který je schopen získat stejné výsledky jako předchozí druhy analýz, ale navíc zkoumá případnou deformaci vstříkovaného výrobku za zadaných procesních podmínek. [28, 30]

# 5.8 Získávané výsledky

## 1. Tok taveniny

Simulace umožňuje optimalizovat proces plnění tvarové dutiny pro dosažení požadovaných výsledků.

## 2. Vady ve výsledném dílu

Dává představu o potenciálních problémech pomocí predikce výskytu vad, poskytuje například místa s předpokládaným výskytem propadlin, nebo deformací vyznačená v barevné škále s předpokládanými hodnotami.

## 3. Simulované plnění dutin formy

Umožňuje eliminaci chyb a výroby vadných dílů, pomocí predikce toku ve formě a plnění tvarové dutiny. Poskytuje čas kompletního zaplnění formy, zobrazuje případné nedotečení materiálu [15]

## 4. Simulace dotlaku ve formě.

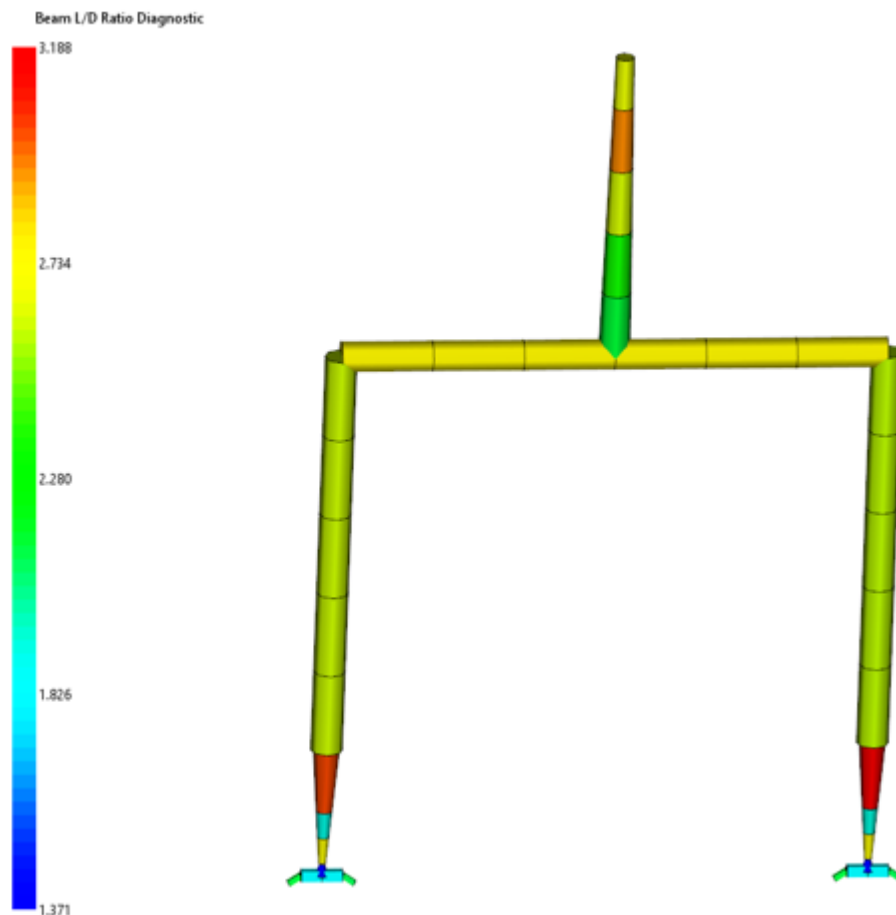
Pomáhá omezit vady jako jsou například propadliny a zobrazuje hodnoty smrštění, což je užitečné pro snížení deformací výrobku.

## 5. Simulace vtokového systému

Pomocí simulací je možné testovat různé navržené varianty vtokový kanálů, je možné měnit uspořádání kanálů, polohu vůči formě, případně jejich rozměry a průřez. Díky tomu je možné identifikovat optimální místo vtoku a tím snížit výskyt předpokládaných vad.

## 6. Projektování vtokového ústí

Při zadání parametrů pro jednotlivé úsečky importované do softwaru z jakéhokoli CAD programu, je možné simulovat konkrétní navržený vtok včetně vtokové vložky a vtokového ústí do tvarové dutiny libovolného průřezu.



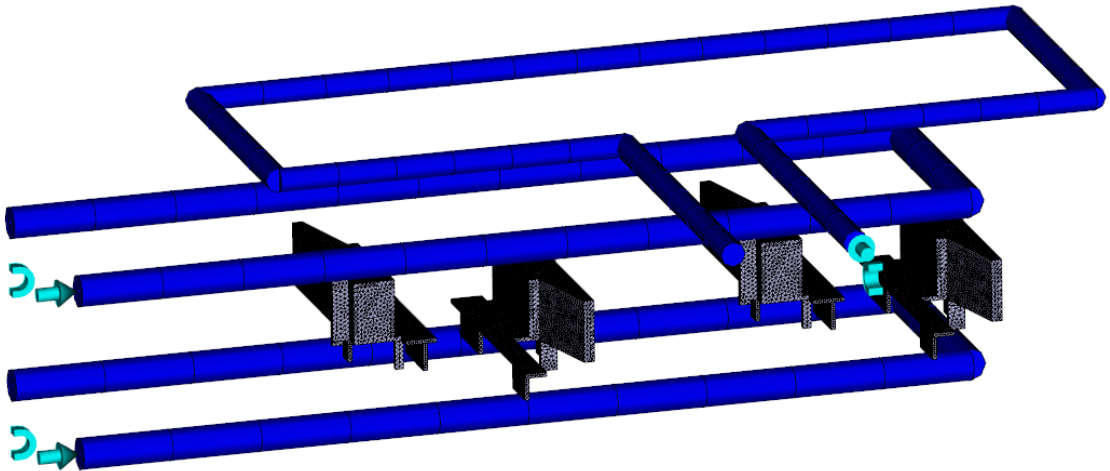
Obr. 15 Příklad vytvoření vtokového systému v programu MoldFlow

## 7. Modelování chladicích komponent

Stejně jako vtokové kanály lze navrhovat i chladicí kanály, a to včetně různých chladicích komponent jako jsou přepážky, vložky apod.

## 8. Simulace chladicího okruhu

Optimalizace chlazení umožňuje navržení temperačního okruhu tak, aby byl úběr tepla rovnoměrný a došlo ke zkrácení výrobního cyklu, což v konečné důsledku vede ke zvýšení ekonomiky výroby.



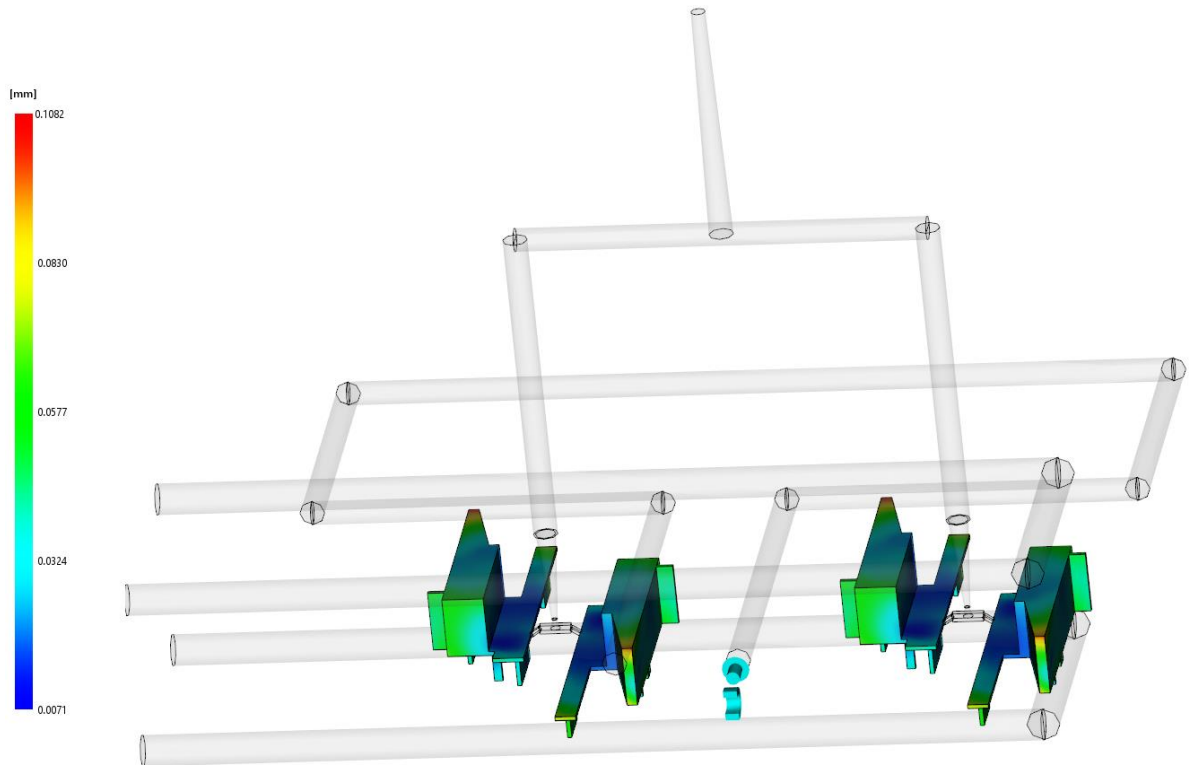
*Obr. 16 Model chladicího okruhu v programu MoldFlow*

## 9. Predikce smrštění vstřikovaného dílu smrštění

Pro dosažení požadovaného rozměru dílu je nutné využít simulaci smršťování, která vychází z dat výrobce konkrétního vstřikovaného materiálu. [11, 12]

## 10. Analýza předpokládané deformace

Umožňuje predikovat místa s předpokládaným výskytem deformací včetně konkrétních hodnot pro danou oblast v závislosti na zvoleném materiálu jeho procesních podmínkách a kompletním uspořádání formy, pro snížení výskytu deformací na výrobku. Simulace vychází z napětí, které se v průběhu simulace počítá. [15]



Obr. 17 Příklad získaných hodnot deformace z analýzy MoldFlow

## 5.9 Srovnání produktů MoldFlow

### 5.9.1 Autodesk MoldFlow Adviser

Je produkt sloužící především konstruktérům jednotlivých dílů a vstřikovacích forem v pokročilejších fázích návrhu. Poskytuje možnosti jako je zobrazení parametrů vstřikování nebo výpočet ceny výrobku. Má schopnost fungovat na pozadí CAD softwaru a umožňuje využívat analýzu v kterékoli fázi vývoje. Konstruktér díky tomu získává výsledky s popsány problémy a návrhy řešení, pro maximální využití potenciálu tohoto nástroje nejsou nutné pokročilé znalosti problematiky vstřikování a principů reologie. Funguje na principu konečných prvků s využitím sítí Dual Domain a 3D tetrahedral.

### 5.9.2 Autodesk MoldFlow Insight

Oproti nástroji MoldFlow Adviser zajišťuje kompletní analýzu celého procesu. Dovoluje vytváření simulací i pro dvoukomponentní vstřikování zástříků, GIT vstřikování, termosety apod. Disponuje rozsáhlou databází termoplastů, která obsahuje veškeré jejich specifické vlastnosti a to reologických, technologických, hodnot smrštění pro jednotlivé polymery spolu s diagramy jako je například PVT diagram jsou tyto vlastnosti potřebné k provedení bezchybné optimalizace. [24, 26]

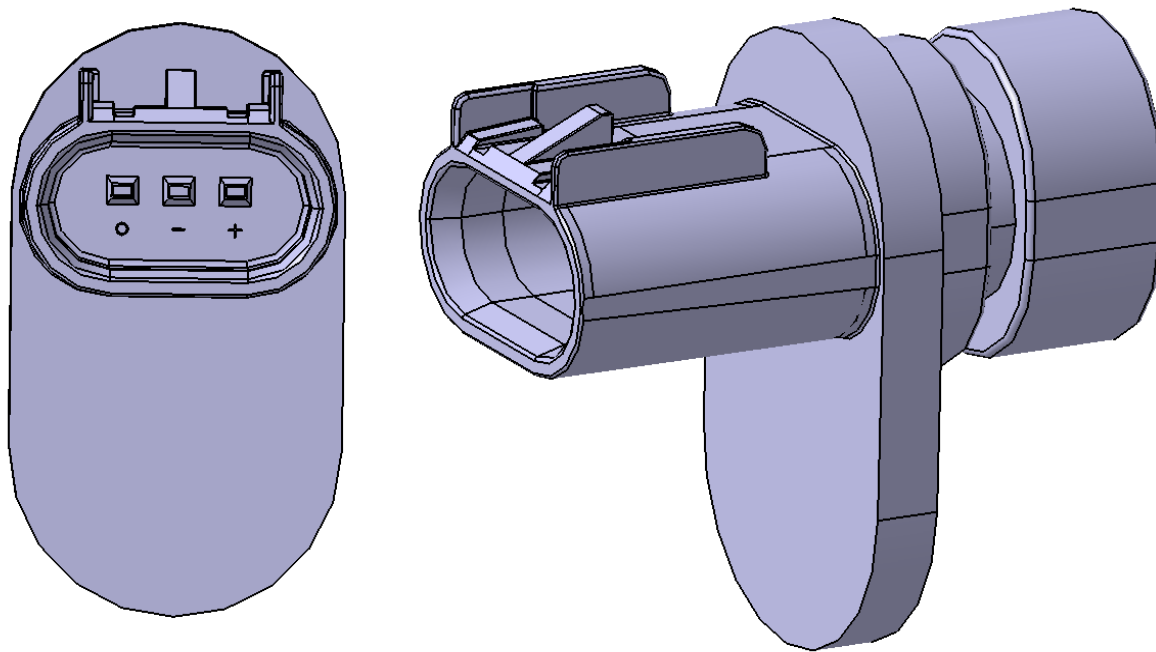
## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 6 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Tato diplomová práce má za cíl vytvořit simulace procesu vstřikování v softwaru MoldFlow pro díl části motoru automobilu a navrhnout optimalizaci vstřikování s vyhodnocením možných variant řešení. K tomuto účelu je nutné v první fázi vypracovat literární studijní pro přiblížení řešeného problému, v druhé fázi navrhnout konstrukci vstřikovaného dílu spolu s konstrukcí nástroje pro vstřikování ve formě vstřikovací formy v CAD softwaru. Z návrhu konstrukce budou následně exportovány trajektorie, které se využijí při simulaci v další fázi. Pro další návrhy optimalizace budou generovány trajektorie zvlášť a použity jako další možné návrhy řešení, které budou rovněž otestovány v simulaci. Bude se jednat o variantu se stejným vtokem, jako v originální konstrukci. Dále bude simulována varianta, ve které došlo k posunutí temperačního systému blíže k tvarové dutině než u originálního návrhu. Tato varianta bude zkoumat vliv na kvalitu výsledného výstřiku, pokud by došlo ke zmenšení mechanismu bočního odformování, jehož velikost tomuto konstrukčnímu řešení v originálním návrhu brání. Další možností bude optimalizovaná varianta s umístěním vtokového ústí dle prvotní analýzy a posunem temperace blíže k tvarové dutině. Simulovány budou varianty pro dva různé materiály. Po otestování jednotlivých variant budou vzájemně porovnány všechny navržené možnosti, získané výsledky diskutovány v kapitole s diskuzí a konečné závěry uvedeny na konci práce.

## 7 ZPRACOVANÝ VÝROBEK

Výrobkem, se kterým se pracuje v této práci, je jeden ze snímačů, který má za úkol zjišťovat stav motoru v reálném čase. Jedná se o součást vyráběnou firmou BOSCH.



Obr. 18 3D model zpracované součásti

### 7.1 Volba vstřikovaného materiálu

#### 7.1.1 Materiál SABIC GPM5500S ABS

Tento druh materiálu, je termoplastický materiál vznikající polymerací tří komponent, akrylonitrilu, butadienu a styrolu, z toho název akrylonitrilbutadienstyren(ABS). Tento materiál, je široce uznávaný jako konstrukční materiál, který lze přizpůsobit na míru, nabízí vynikající estetiku, tekutost, houževnatost, rozměrovou stálost, vynikající barevnost, odolnost proti poškrábání, odolnost vůči vysokým teplotám a velké škále chemikálii. Používá se převážně v průmyslu, své uplatnění ovšem nachází i při výrobě nábytku, cestovních zavazadel nebo například kostiček LEGO. Také je často používán pro výrobu kojeneckých lahví, kde vyniká vysokou tepelnou odolností a zdravotní nezávislostí. Zpracovává se do teploty 280 °C, při vyšších teplotách se již začne rozkládat. Většinou není možné ho recyklovat, z tohoto důvodu, patří do smíšeného odpadu. Je schválen úřadem pro kontrolu potravin a léčiv FDA.

Vlastnosti polymeru	Hodnoty	Jednotky SI	Testovací metody
Index toku taveniny			ISO 1133
při 220°C a 10kg	24	g/10min	
Hustota	1050	kg/m <sup>3</sup>	ASTM-D792
Absorbce vody	1	%	ISO 62
<b>Mechanické vlastnosti</b>			
Tahová zkouška			ISO 527
napětí při porušení	35	Mpa	(5mm/min)
prodloužení při porušení	25	%	(5mm/min)
Modul pružnosti	2,4	GPa	
<b>Tepelné vlastnosti</b>			
Teplota měknutí (Vicat)			ISO 306
Hodnocení B/50	98	°C	

Tab. 1 Vybrané vlastnosti zvoleného materiálu SABIC GPM5500S ABS [37]

### 7.1.2 Materiál ALTECH PA66

Polyamid je materiál s vysokou tvrdostí povrchu a pevností v tahu. Odolává nárazům a únavě materiálu. Není náchylný ke změnám teploty. Problémy při jeho použití vytváří především jeho špatná rozměrová přesnost tepelná roztažnost a absorbce vody, tyto parametry nepříznivě ovlivňují jeho rozměry. Používá se pro výrobu ložisek, ozubených kol, lan nebo například lopatek ventilátorů.

Vlastnosti polymeru	Hodnoty	Jednotky SI	Testovací metody
Rozsah smrštění			ISO 294-4
pro neplněný materiál	0,6 - 2,2	%	
Hustota	1130 - 1570	kg/m <sup>3</sup>	ISO 1183
Přípustný obsah vlhkosti	0,08 - 0,12	%	
<b>Procesní podmínky</b>			
Rozsah teploty taveniny	270 - 290	°C	
Rozsah teploty formy	40 - 80	°C	
Rychlost šneku	40	ot/min	
<b>Pre-procesní podmínky</b>			
Typ sušení	suchým vzduchem	-	
Teplota sušení	80	°C	
Doba sušení	2 - 12	hod	

Tab. 2 Vybrané vlastnosti materiálu ALTECH PA66 [38]



## 7.2 Zvolený vstřikovací stroj

Použitý stroj je volen dle parametrů navržené formy a výrobku, získaných pomocí výpočtu z naměřených hodnot pomocí softwaru Catia V5R19. Výčet uvažovaných hodnot je uveden níže:

- množství vstřikovaného polymerů získaná z objemů vtokového systému a objem výrobků v závislosti na násobnosti formy vynásobený hustotou z materiálového listu 102,64g (ABS) a 124,22g (PA66);
- rozměr nástroje 546x446x398 mm (v x š x d);
- průměr středících kroužků 125mm;
- délka nástroje při jeho maximálním otevření 550mm.

Na základě těchto informací byl zvolen stroj s označením ALLROUNDER 570C GOLDEN EDITION výrobce ARBURG. Originální technický list stroje je v k práci přiložen.



*Obr. 19 Foto zvoleného stroje ALLROUNDER 570C*

Vlastnosti	Hodnota	Jednotka
Maximální Upínací síla	2000	kN
Maximální Uzavírací síla	70	kN
Maximální Otevírací síla	50	kN
Velikost upínací desky	795x795	mm
Vzdálenost mezi vodícími sloupky	570x570	mm
Maximální délka otevření	550	mm
Maximální délka uzavřené formy	400	mm

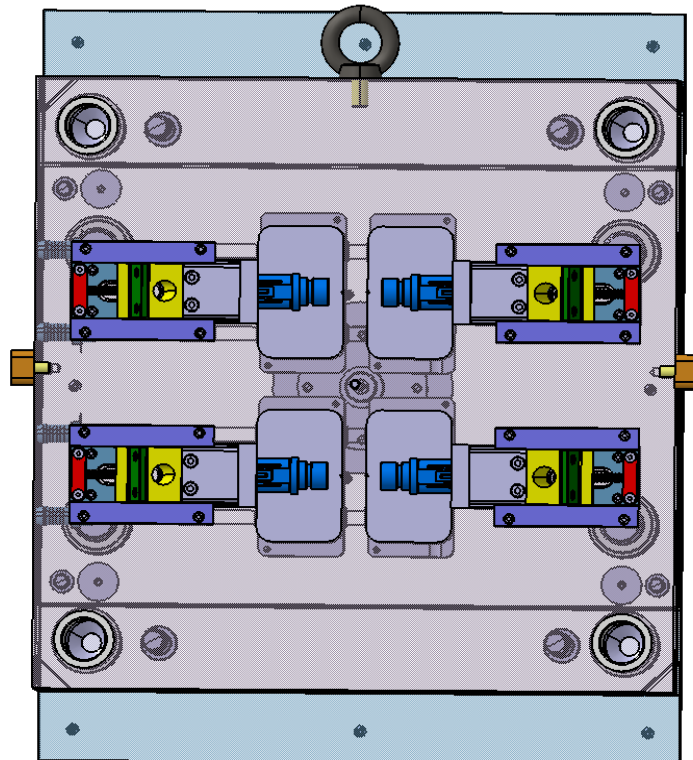
*Tab. 3 Hlavní parametry zvoleného stroje [36]*

## 8 NÁVRH FORMY

Návrh formy byl řešen s přihlédnutím k míře složitosti a přesnosti požadovaného výrobku. Byla snaha využít co možná největší množství normalizovaných dílů. Takto navržená forma by byla na výrobu jednodušší a levnější. V první části došlo k vytvoření modelu dílu v programu CATIA V5R19 s modulem Part Design. Dále byl vytvořen automaticky generovaný návrh formy za zvolení pouze základních rozměrů v modulu Mold Tooling Design. Následné kompletování celé sestavy probíhalo s využitím modulu Assembly Design a dalších již zmíněných.

### 8.1 Násobnost formy

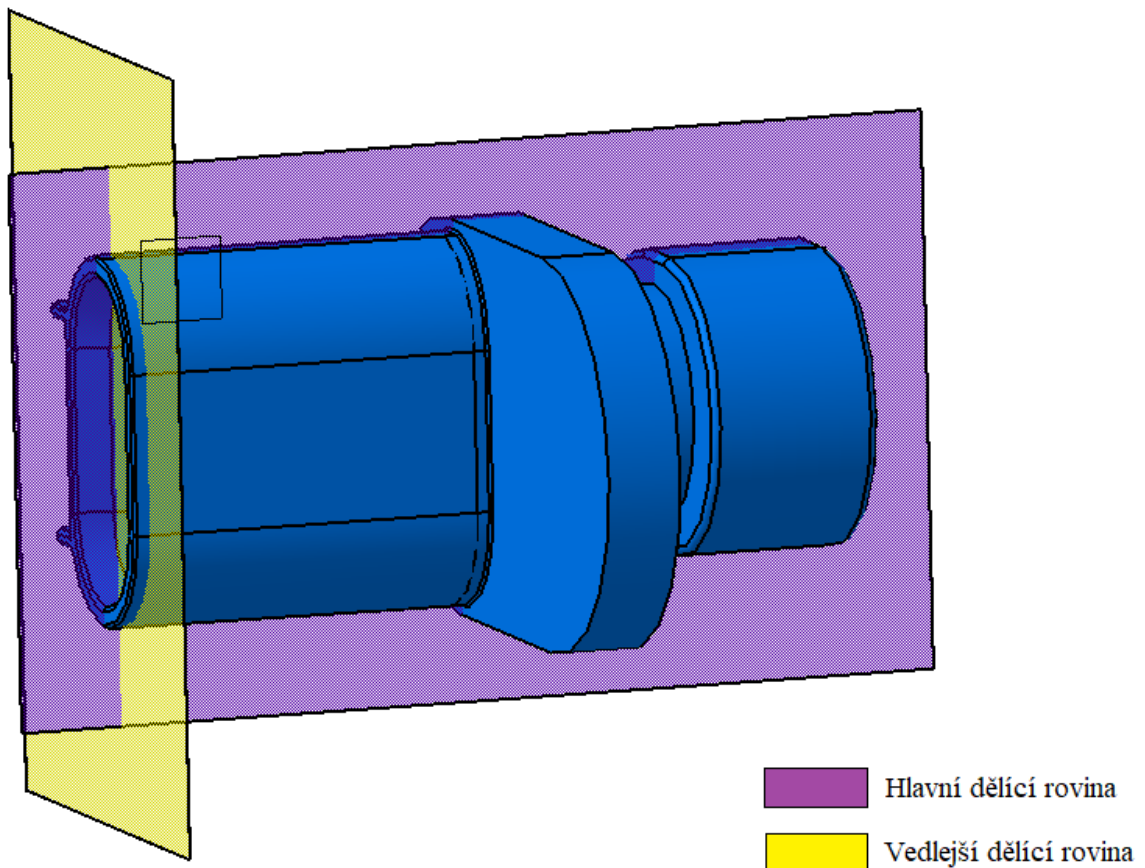
U volby násobnosti formy, bylo přihlédnuto k několika důležitým aspektům, které násobnost ovlivňují. Především se jednalo o, míru složitosti součásti s požadovanou přesností, kapacitu vstřikovací jednotky zvoleného stroje, náklady při výrobě formy a také cena vstřikovaného materiálu a požadovaná výrobní série. Pro dosažení lepší produktivity je vhodné zvolit vícenásobnou formu, tento krok však nesmí vést ke složitému odformování výrobku. Za přihlédnutí k výše zmíněným aspektům, byla zvolena čtyřnásobná forma s bočním odformováním. Díky čemuž je, možné získat na konci pracovního cyklu čtyři identické výrobky viz. Obr.21.



Obr. 20 Orientace výrobku ve formě.

## 8.2 Zvolení dělicích rovin

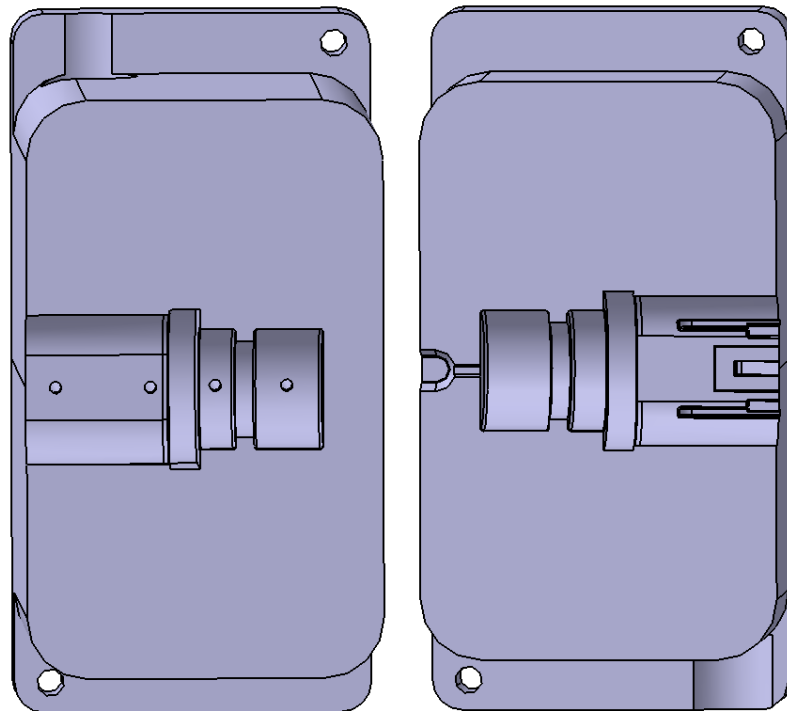
Pro zajištění bezchybné funkce formy, je naprosto nezbytné, aby došlo ke zvolení vhodné dělicí roviny viz. Obr.22. Správná volba dělicí roviny musí vést k co možná nejjednoduššímu odformování výrobku, je nezbytné, aby u výsledné formy tato volba zbytečně nezvyšovala komplikovanost její konstrukce. Dále je nutné, zvolení hlavní dělicí roviny uvažovat tak, aby umožnilo bezproblémové boční odformování. Při volbě je nutné také zahrnut potřebu dosažení bezproblémové funkce vyhazovacího systému na výsledné formě. Pokud jsou tyto aspekty volby dodrženy, výsledná forma disponuje nižšími náklady na výrobu a kvalitnějším utěsněním dělicích rovin.



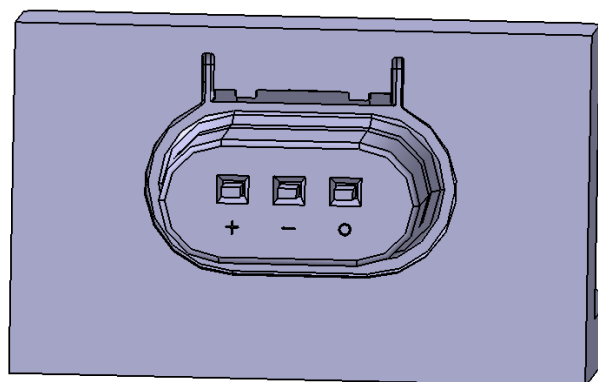
Obr. 21 Zvolené dělicí roviny.

### 8.3 Tvarová dutina formy

Vstříkovaná tavenina přejímá výsledný tvar ze sestavené tvarové dutiny, skládající se z tvárníku, tvárnice a čelisti pro boční odformování viz. Obr.23 a Obr.24. Při návrhu bylo přihlédnuto k nutnosti zachování jednoduché montáže bočního odformování s čelistí do desek vyhazovací formy. Výsledná tvarová dutina je zvětšena o smrštění uváděné prodejcem vstříkovaného materiálu z materiálového listu.



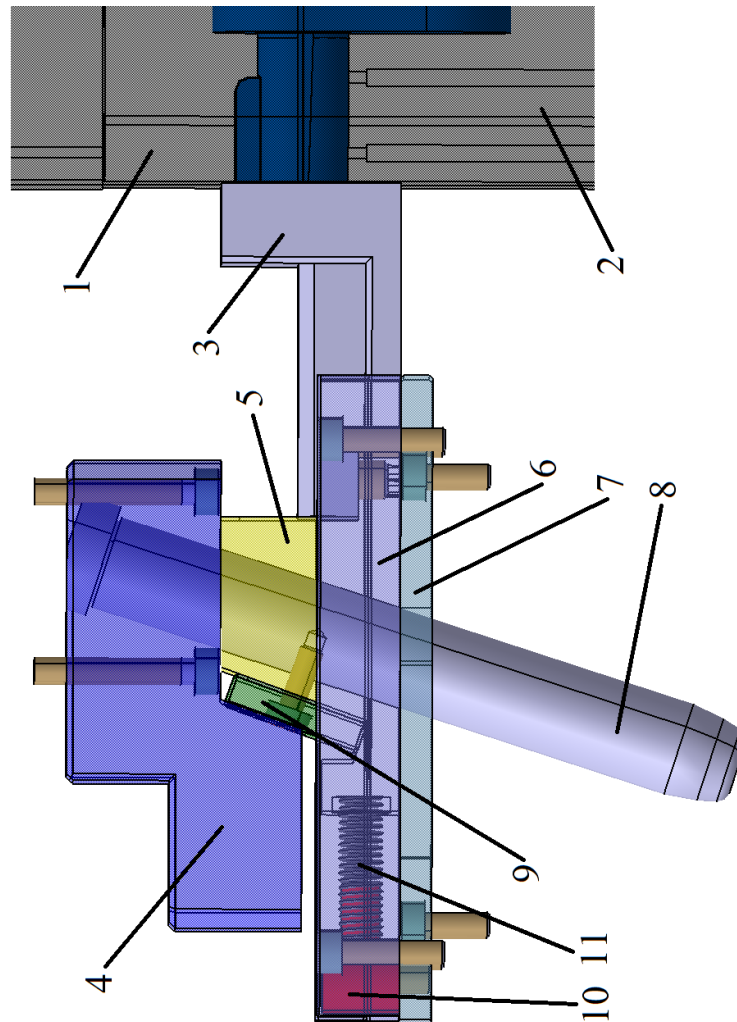
Obr. 22 Tvárnice a tvárník tvarové dutiny



Obr. 23 Čelist bočního odformování

## 8.4 Systém bočního odformování výrobku

Mechanismus bočního odformování výrobku je složen z několika dílčích částí, které spolu vytváří funkční celek. Korektní pohyb mechanismu při otevření formy zajišťuje šikmý vodící čep a kluzné části. Boční odformování je navrženo tak, aby ve vedlejší dělicí rovině výrobek odformovalo, před začátkem působení vyhazovacího systému. Tato funkce je nezbytná pro zamezení nekontrolovaného vyhození, případně poškození výrobku. Pružina, která je součástí mechanismu, je nasazena na vodícím čepu, a drží mechanismus ve správné pozici při otevření formy viz. Obr.24. Vodící lišty jsou vždy po dvou kusech s kluznou deskou pod čelistí a zámkem, což umožňuje pohyb jednotlivých dílů vůči sobě.



Obr. 24 Mechanismus bočního odformování

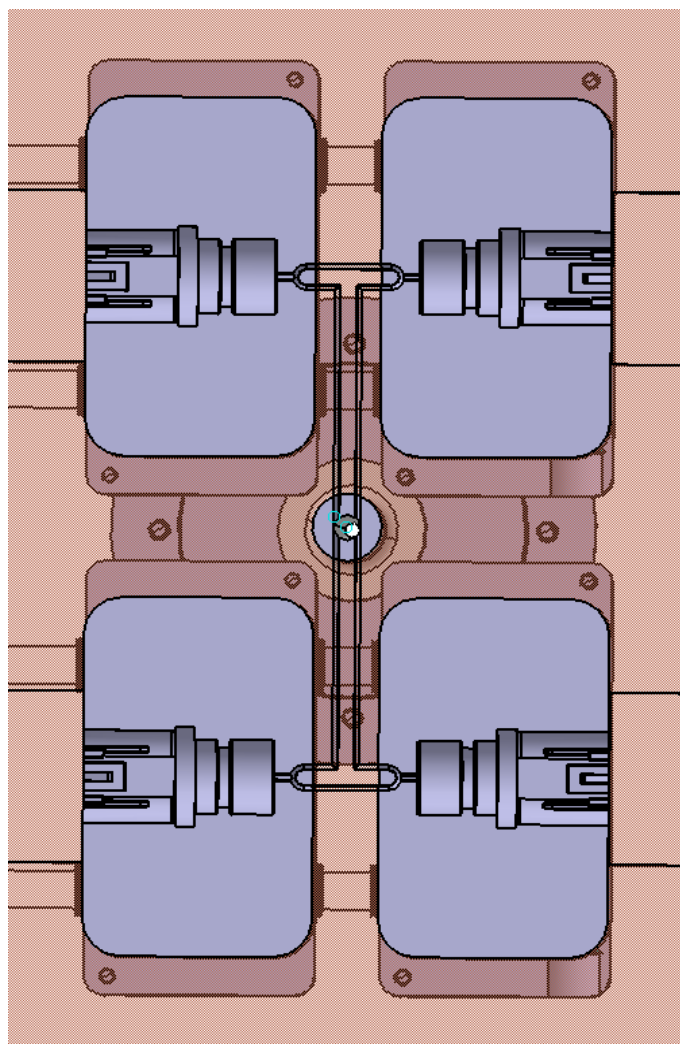
Mechanismus se skládá z následujících částí:

1 tvárnice, 2 tvárník, 3 posuvná čelist, 4 zámek, 5 posuvná kostka, 6 vodící lišta, 7 kluzná deska, 8 šikmý čep, 9 kluzná deska, 10 zarážka posuvné kostky, 11 pružina



## 8.5 Vtokový systém formy

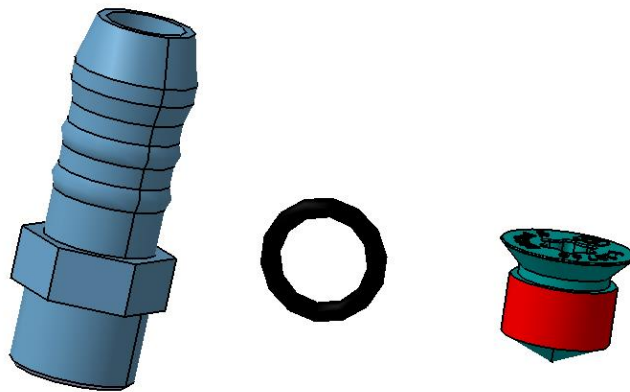
Pro tento případ byla zvolena varianta studených vtokových kanálů, převážně lichoběžníkového průřezu. Tato možnost je ekonomicky výhodnější, ovšem přináší sebou nutnost odstranit zbývající vtok po vstřiku. Což představuje větší množství odpadu při výrobě a vyšší náklad na vstřikovaný materiál, v poměru k ceně formy. Při předpokladu použití varianty s horkým vtokem, je tento způsob řešení, a to především díky nutnosti zvětšit formu stále cenově výhodnější. Plnění dutiny probíhá přes vtokovou vložku, poté se roztavený polymer dostává do rozvodných kanálů. Dochází k nárazu na jímku zachycující studené čelo taveniny. Tavenina se následně rozdělí do dvou směrů, a pokračuje dále směrem k tvarové dutině viz. Obr. 25. Vtok je symetrický, aby byla od vtokové vložky, ke každé tvarové dutině vždy stejně dlouhá dráha toku roztaveného materiálu. V opačném případě by docházelo k tvorbě vad na požadovaném dílu.



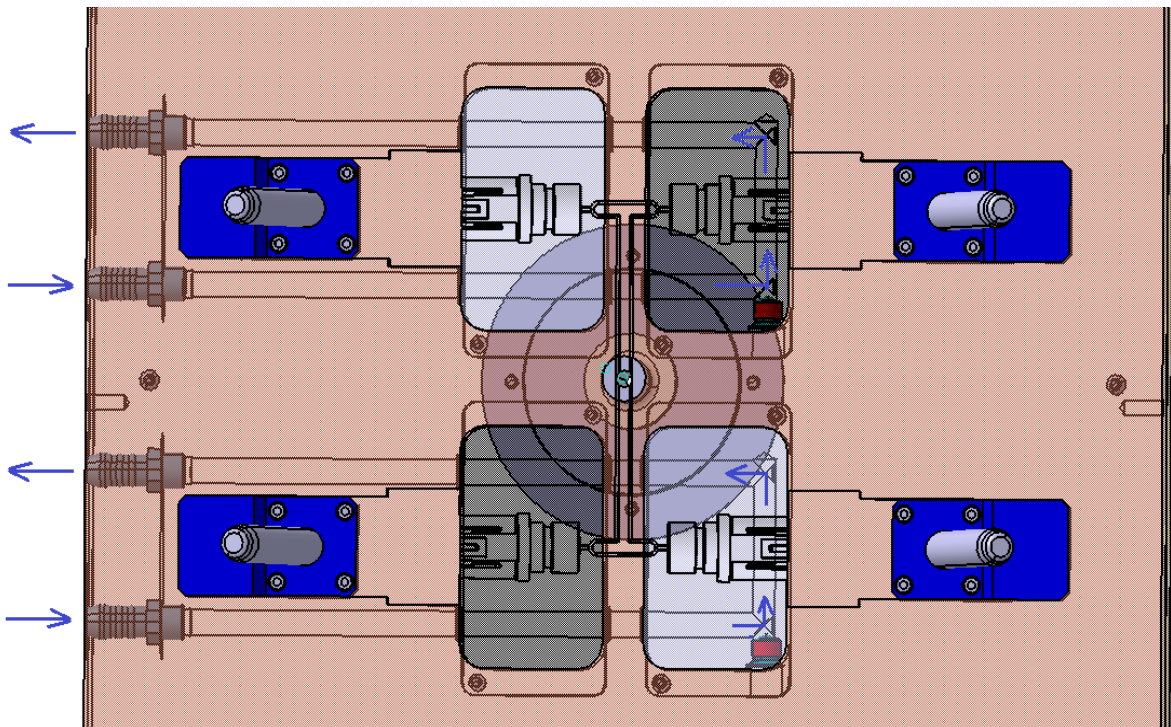
Obr. 25 Vtokový systém formy

## 8.6 Temperace formy

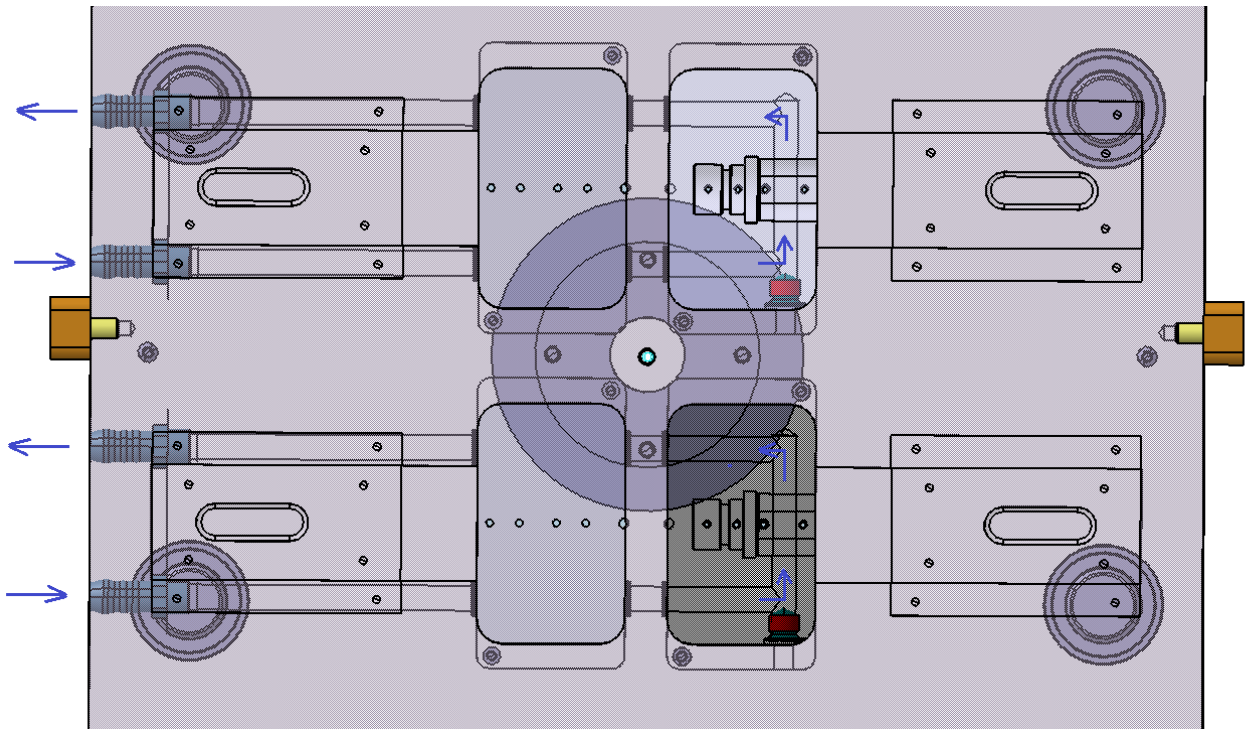
Temperování formy zajišťují čtyři oddělené větve kanálů o průměru 10mm, temperace využívá dostupných normálií viz. Obr. 26. Vstup do každé větve je opatřen koncovkou pro upevnění hadice, kterou bude přicházet nebo odcházet temperační médium. V deskách, ve kterých jsou tvárník s tvárnici zasazeny jsou těsnící kroužky sloužící k utěsnění okruhů v místech mezi deskami a těmito tvarovými vložkami. V místech propojení vrtaných kanálů příčně jsou v tvárníku a tvárnici použity k utěsnění šrouby s těsnícím kuželem viz. Obr. 27 a 28.



Obr. 26 Použitý nátrubek, těsnící kroužek a šroub s těsnícím kuželem



Obr. 27 Temperace v pravé části

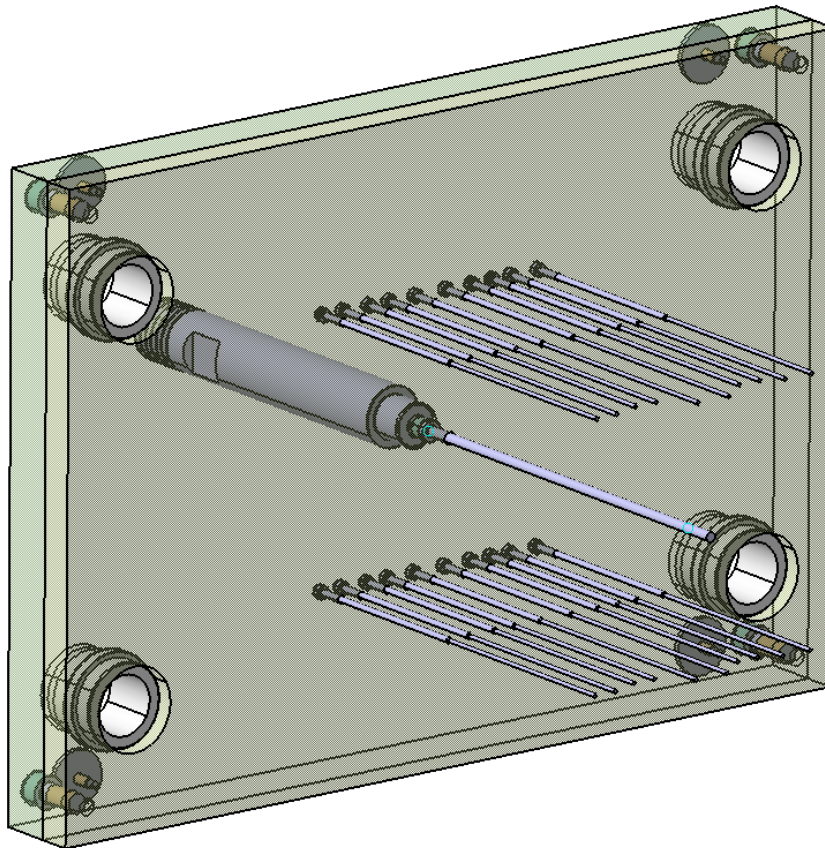


*Obr. 28 Temperační systém v levé části formy*

## 8.7 Vyhazovací systém formy

Při volbě vyhazovacího systému je nutné umístit vyhazovače vůči formě tak, aby při následném působení vyhazovačů na výstřik při vyhazování nedocházelo k deformaci výsledného výrobku. Pro tento konkrétní případ bylo použito celkem 21 vyhazovacích kolíků vždy po třech na každý výrobek, spolu s dalšími pěti, které mají za úkol působit na vtokový zbytek při odformování viz Obr.29. Ve tvarové dutině jsou vyhazovače vždy upraveny tak, aby kopírovaly tvar výrobku a tím tvořili funkční část tvarové dutiny při vyhození. Pro jejich bezchybný pohyb vůči výrobku při vyhození, slouží vodící prvky, umístěné v opěrné a kotevní desce vyhazovacího systému. Pohyb vyhazovacího systému ovládá táhlo, které je přišroubované k opěrné desce vyhazovacího systému šroubem. Obě desky jsou opět spojeny šrouby a k opěrné desce jsou navíc připevněny dosedací podložky, k zamezení dosedání vyhazovacího systému na desku za ním a vystředění vůči formě.

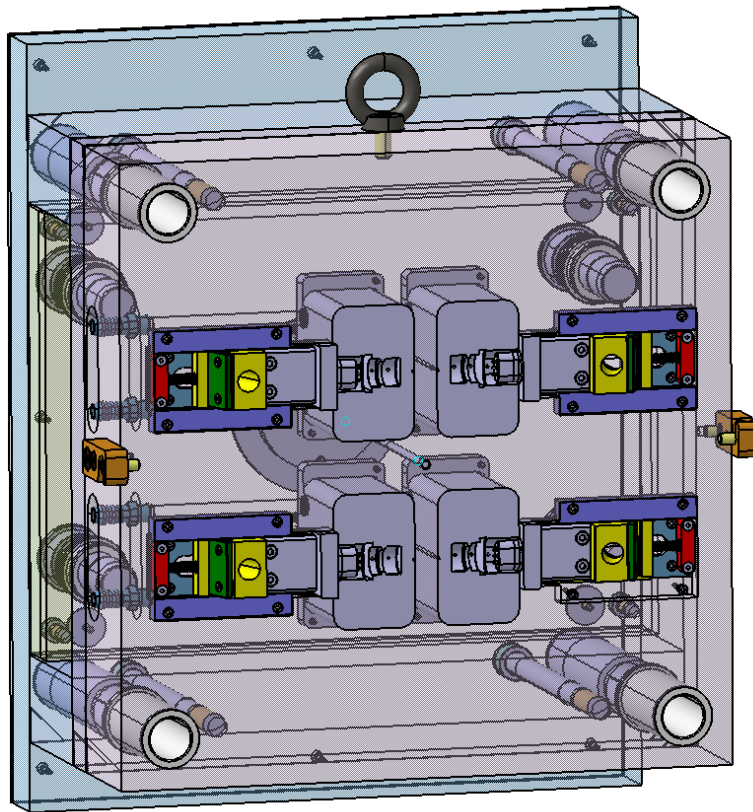




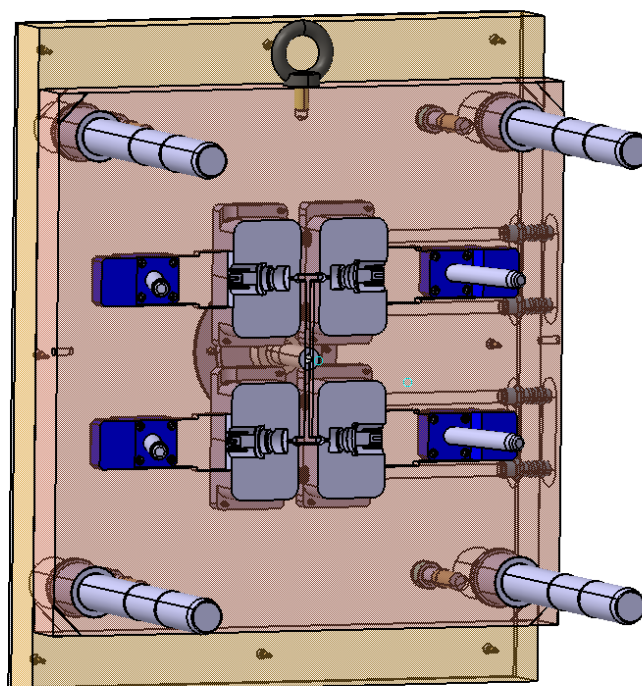
Obr. 29 Vyhazovací systém formy

## 8.8 Funkční prvky upínací formy

Většina použitých prvků patří do normálii HASCO, ostatní normálie jsou firmy Meusburger. Veškeré použité prvky byly voleny dle potřeb vycházejících ze zvolené velikosti, která byla určena na základě spojení rozměrů tvarových dutin a bočního odformování. Navržený mechanismus bočního odformování je robustní povahy pro zajištění dlouhodobé a bezproblémové funkce nástroje i za extrémních podmínek, kterým prvky formy při vstřikování čelí, jako jsou vstřikovací tlaky při výrobě a vysoké teploty. Desky pro upínání formy ve stroji jsou navíc izolovány pomocí PA6, pro zamezení narušení teplotního pole nástroje. Skrz tyto dvě desky byly na obou stranách formy upevnění středící kroužky, otevírání a zavírání formy je možné díky vodícím pouzdrům a čepům, které zapadají do středících trubek při zavření viz. Obr. 30. Pro snadnou manipulaci s formou při upevnění ve stroji, jsou na každé polovině formy upevněny manipulační oka pro připojení háku jeřábu a bezpečný přesun nástroje viz Obr. 30 a 31. V dělicí rovina forma disponuje zámky dělicí roviny, které při manipulaci, drží nástroj bezpečně uzavřený viz. Obr. 32.

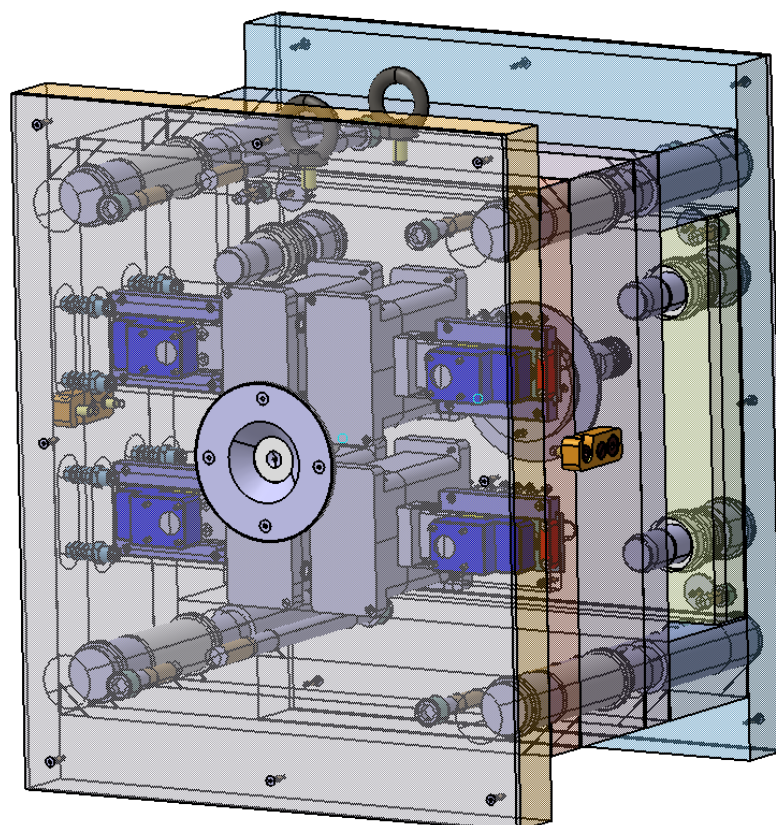


Obr. 30 Levá část formy



Obr. 31 Pravá část formy





*Obr. 32 Kompletní sestava formy*

## 9 ANALÝZA VSTŘIKOVÁNÍ

K analýze procesu byl využit software Autodesk MoldFlow z roku 2016. V analýze byla využita 3D síť typu Dual Domain také označovaná jako 2,5D síť, dále bylo navrženo několik možných způsobů temperace a tokových systémů. Došlo k vytvoření analýzy pro každou jednotlivou variantu. Spolu s analýzou pro určení nejlepšího místa k umístění vtokového systému, za pomoci softwaru. Analýzy jsou provedeny se studeným vtokovým systémem, celkem se jedná o 6 různých simulací, jako první byla zpracována analýza typu Gate location, pro získání nejvhodnějšího místa k umístění vtoku, dále analýza originálního návrhu. Třetí simulace měla vůči originálu z prvotního návrhu upravenou temperaci, která byla posunuta blíže k tvarové dutině. Což představuje možnost, kdy by bylo upraveno boční odformování tak, aby tuto variantu bylo možné prakticky použít. Varianta č.4 je simulace dle originálního návrhu s jiným materiálem. Simulace č. 5 a 6 jsou nastaveny se snahou dosáhnout lepšího výsledku, než u předchozích možností, pokaždé s jiným materiálem. Celkem je tedy v práci diskutováno 5 různých variant + analýza s umístěním vtoku viz. Tab.4, jejich procesní podmínky budou prezentovány níže.

Pořadí	Analýza	Materiál	Vtokový systém	Temperační systém
1	Gate location	SABIC GPM 5500S	-	-
2	Cool + Fill + Pack + Warp	SABIC GPM 5500S	originální návrh	originální návrh
3	Cool + Fill + Pack + Warp	SABIC GPM 5500S	originální návrh	odlišný
4	Cool + Fill + Pack + Warp	ALBIS ALTECH® PA66	originální návrh	originální návrh
5	Cool + Fill + Pack + Warp	SABIC GPM 5500S	odlišný	odlišný
6	Cool + Fill + Pack + Warp	ALBIS ALTECH® PA66	odlišný	odlišný

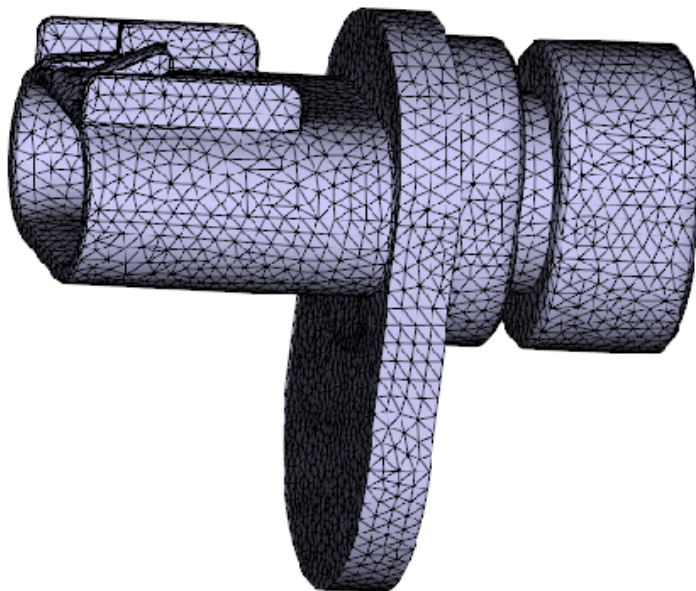
Tab. 4 Seznam provedených simulací

### 9.1 Nastavení sítě výrobku

Vysíťování výrobku bylo dosaženo za pomoci importu vytvořeného modelu z programu CATIA V5R19. Následně bylo provedeno síťování s využitím Dual Domain sítě s délkou hrany elementu 1,52mm. Jedná se o vysíťování trojrozměrnými objekty ve formě rovnostranných trojúhelníků. Poté byla výsledná síť zkontrolována pomocí funkce Mesh Statistic viz. Obr. 33. Při vyhodnocování kvality sítě bylo třeba dodržet několik základních parametrů určujících kvalitu a použitelnost vysíťovaného modelu, jako je například Aspect Ratio jeho hodnota, by měla být do 20, dále také Procentuální shoda sítě jejich ideální hodnota, by se měla pohybovat kolem 85 %. U výsledné sítě byla dále kontrolována také

přítomnost volných hran. a neorientovaných, případně překrývajících se elementů sítě. Získané vysíťování modelu, všechny tyto požadavky splňuje viz. Obr. 33.

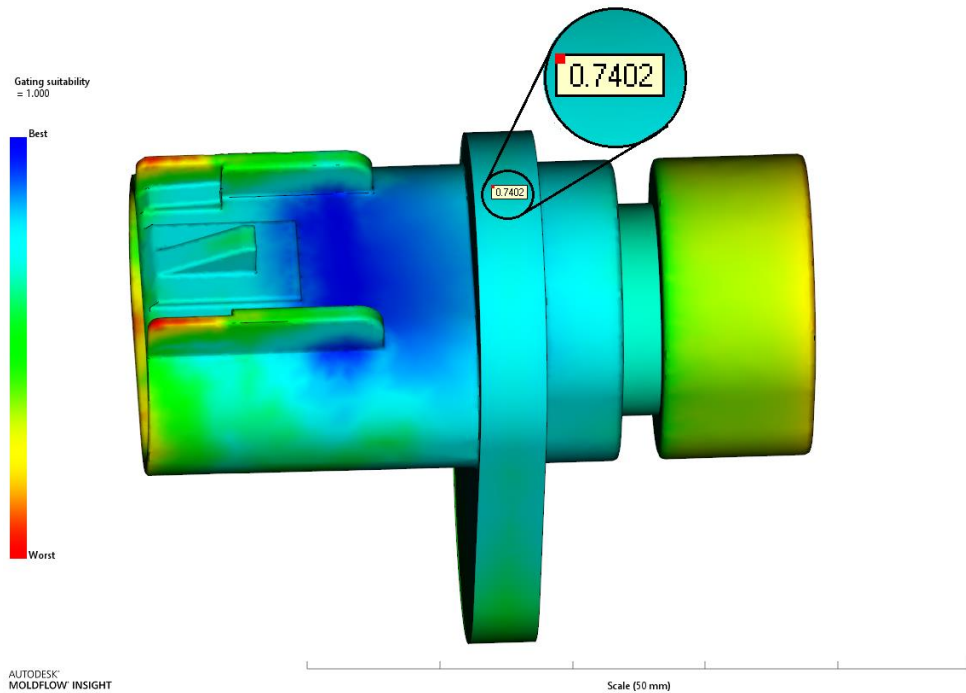
Area:			
(Mold blocks and cooling channels are not included)			
Surface Area:	297.059 cm <sup>2</sup>		
Volume by element types:			
Triangle:	71.0021 cm <sup>3</sup>		
Aspect Ratio:			
Maximum	Average	Minimum	
18.07	2.04	1.15	
Edge details:			
Free edges	0		
Manifold edges	66051		
Non-manifold edges	0		
Orientation details:			
Elements not oriented	0		
Intersection details:			
Element intersections	14		
Fully overlapping elements	0		
Match percentage:			
Match percentage	79.8%		
Reciprocal percentage	82.6%		



Obr. 33 Mesh Statistic pro vstřikovaný díl

## 9.2 Analýza č.1 - Umístění vtoku

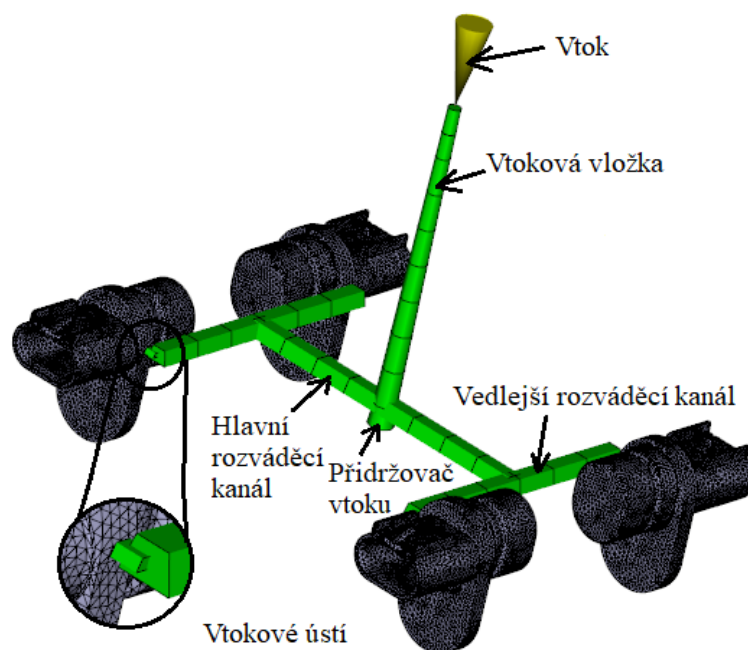
Na vstřikovaném dílu byla provedena analýza typu Gate Location, která poskytuje procentuální hodnotu reprezentující vhodnost umístění ústí vtokového kanálu na různých místech označených v barevné škále. Pro nejméně vhodné červenou barvou a modrou, pro naopak pro nejlepší možnou volbu viz. Obr. 34. Na základě získaných informací byl vtokový kanál upraven tak, aby se návrh co nejvíce blížil místu označenému modrou barvou, což by mělo vést k zamezení propadlin a dalším nedostatkům na výrobku. Pro řešení, které bylo zvoleno v tomto konkrétním případě je vhodnost 74 %.



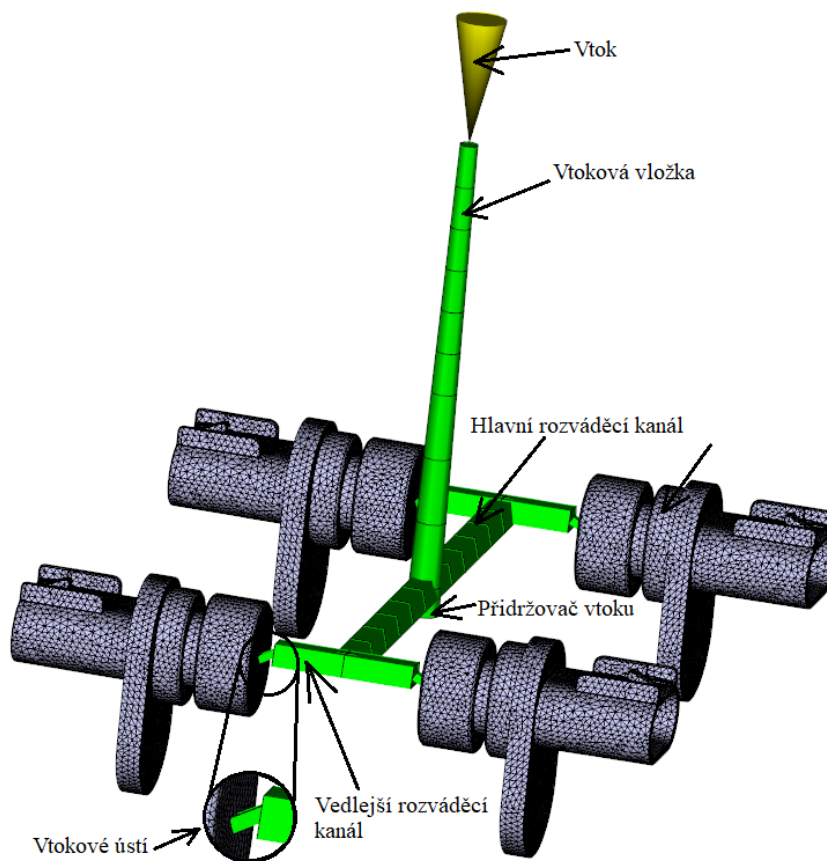
Obr. 34 Vhodnost umístění vtokového ústí

### 9.3 Zvolený studený vtokový systém

Studený vtokový systém je složen z několika dílčích částí, jedná se o rozváděcí kanály, vtokovou vložku, přídržovač vtoku a vtokové ústí. Hlavní i vedlejší kanál je lichoběžníkového průřezu s rozměry horní strany 4,5mm, spodní strana 7mm a výškou 4,5mm. Stejně tak vtokové ústí je lichoběžníkového průřezu, a to s rozměry horní strany 2mm, spodní strana 3mm a výškou 1.5mm, viz. Obr.35.



Obr. 35. Zvolený vtokový systém u optimalizované varianty návrhu



Obr. 36 Studený vtokový systém originálního návrhu.

#### 9.4 Zvolené procesní parametry

Pro analýzy byly zvoleny procesní parametry v závislosti na doporučených hodnotách pro konkrétní vstřikovaný materiál, jako jsou doba dotlaku, teplota povrchu formy, teplota taveniny a další viz. Tab. 5. Dále byly nastaveny, některé další procesní podmínky, které při simulacích zůstaly neměnné, a to:

- fáze plnění – automaticky,
- přepnutí na dotlak - při 98% zaplnění dutiny formy,
- čas otevření formy- 5s,
- kontrola plnění - zdvih vs rychlost šneku + rychlost šneku vs Čas,
- rychlost šneku kontrolována po krocích - počet kroků 20, krok Lineární,
- tlak kontrolováný po krocích – počet kroků 20, krok Konstantní.

Materiál	Použité temperační médium	Tlak v okruhu [bar]	Teplota [°C]
SABIC GPM 5500S	Ethylen glycol/Voda 50:50	3	50
ALBIS ALTECH® PA66	Ethylen glycol/Voda 50:50	3	65
Material	Teplota taveniny [°C]	Teplota povrchu formy [°C]	Vyhazovací teplota [°C]
SABIC GPM 5500S	260	60	85
ALBIS ALTECH® PA66	280	75	222

Tab. 5 Procesní podmínky volené při simulacích v závislosti na materiálu výrobku

## 9.5 Zpracovávané parametry

Po provedení simulací dochází k získávání velkého množství různých výsledků se získanými hodnotami. Pro účely této práce bylo na základě konzultace s vedoucím práce vybráno následujících 7 typů výsledků pro zpracování jednotlivých analýz:

- čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty,
- celkové deformace způsobená všemi vlivy,
- propadliny,
- efektivita temperačního okruhu,
- čas potřebný k naplnění formy taveninou,
- tlak ve vtokovém ústí,
- teplota temperačního média.

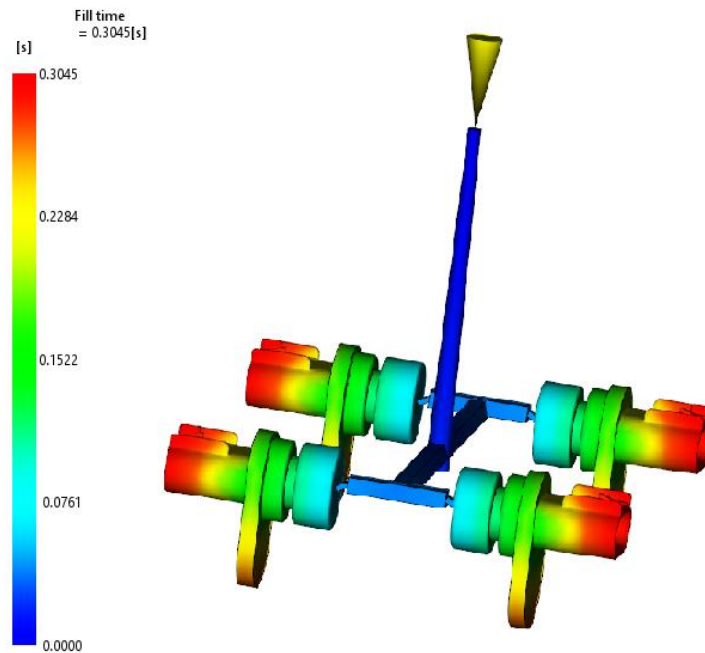
## 9.6 Analýza č.2 – Originální návrh

Při této analýze byl použit materiál SABIC GPM 5500S a pro něj doporučené podmínky poskytnuté softwarem Autodesk MoldFlow. Byla provedena analýza v celkovém možném rozsahu, s uspořádáním, dle originálního návrhu prezentovaného na výkresech a počátku praktické části práce.

### 9.6.1 Analýza č.2 - Čas potřebný k zaplnění formy

Jedná se o čas, během kterého se veškeré dutiny uvnitř formy zaplní taveninou. U této varianty návrhu byl výsledný potřebný čas 0,3045s, viz. Obr. 37. Nejvzdálenější místa od vtokové vložky, kterou do formy přichází tavenina jsou zaplněna jako poslední. Z tohoto důvodu, jsou vždy vyznačena červenou barvou a oblasti jako vtoková vložka naopak modrou, jelikož jsou zaplnění téměř ihned po začátku plnění. Tento typ výsledku je ovlivněn především nastavenou maximální teplotou taveniny, jelikož při vyšší teplotě, dochází ke snížení viskozity což urychluje naplnění všech dutin.

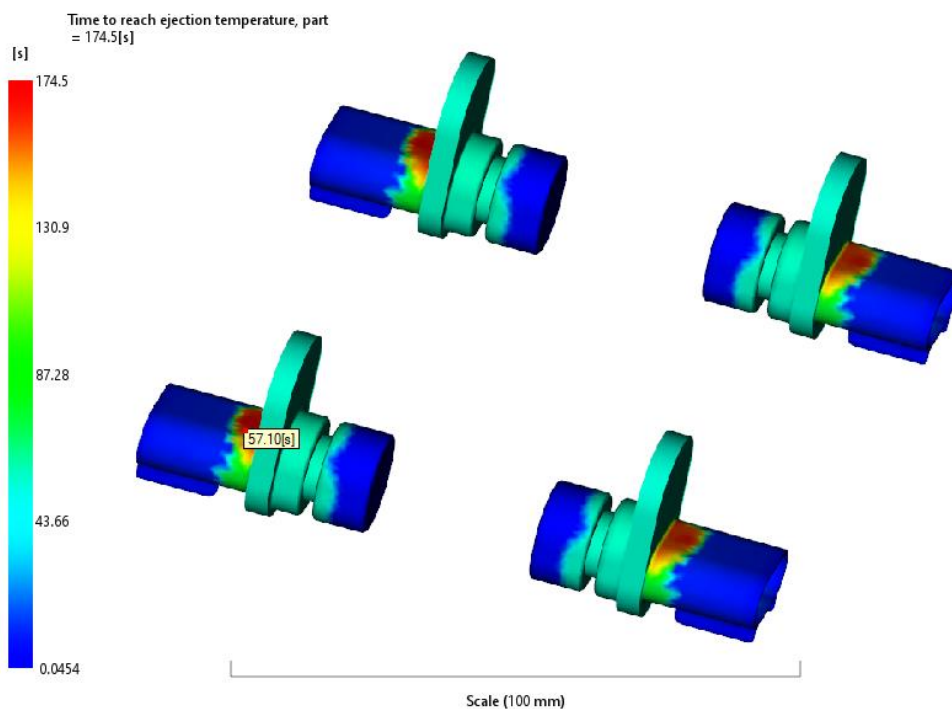




Obr. 37 Analýza č.2 - Čas zaplnění formy

### 9.6.2 Analýza č.2 - Čas potřebný pro dosažení vyhazovací teploty

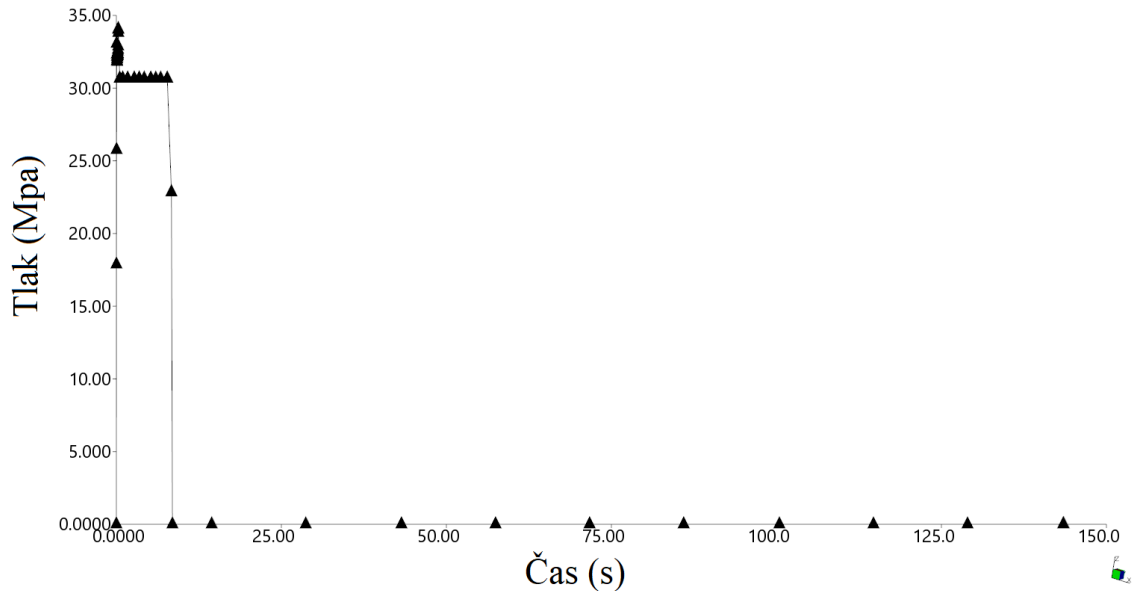
Tento čas ve vstřikovacím cyklu, tvoří nejdelší část, proto je především z ekonomického hlediska vždy snaha tento čas, co možná nejvíce zkrátit. Je ovšem nutné zajistit, že k vyhození výrobku z formy dojde až v momentě, kdy je výrobek dostatečně ochlazen, aby se při vyhození nepoškodil. Výsledný čas byl stanoven na 174,5s, viz. Obr.38. V praxi ovšem takto dlouhý čas není možný, jakmile jsou oblasti s vyhazovači schlazeny na vyhazovací teploty, dochází k vyhození výrobku z formy.



Obr. 38 Analýza č.2 - Čas dosažení vyhazovací teploty

### 9.6.3 Analýza č. 2 - Tlak taveniny ve vtokovém ústí

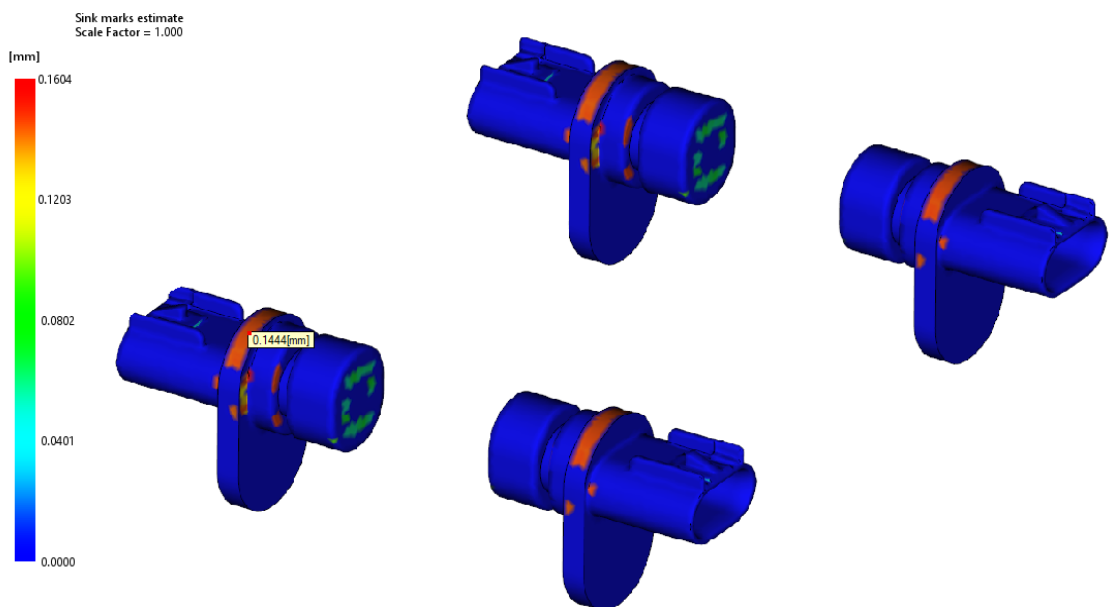
Průběh tlaku ve vtokovém ústí, je znázorněn v grafu jako závislost tlaku na čase. K přepnutí na dotlak dochází v momentě zaplnění dutiny z 98%. Následně je patrný prudký pokles tlaku po němž nastává krátké setrvání na konstantní úrovni viz. Obr. 39.



Obr. 39 Analýza č.2- Průběh tlaku taveniny ve vtokovém ústí.

### 9.6.4 Analýza č. 2 - Propadliny na výrobku

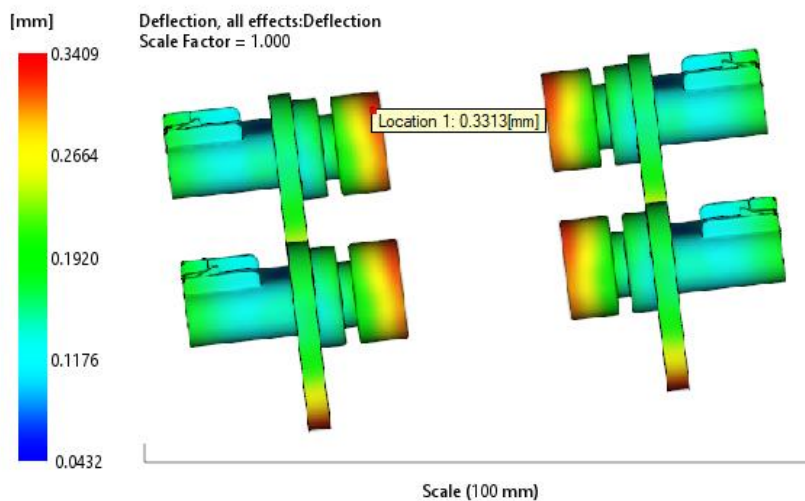
Tento druh analýzy poskytuje predikci míst s výskytem propadlin a jejich hodnotou v milimetrech, u této konkrétní situace je nejvyšší hodnota kolem 0,16 mm, viz. Obr. 40.



Obr. 40 Analýza č. 2- Propadliny

### 9.6.5 Analýza č.2 - Celková deformace výrobku způsobená všemi efekty

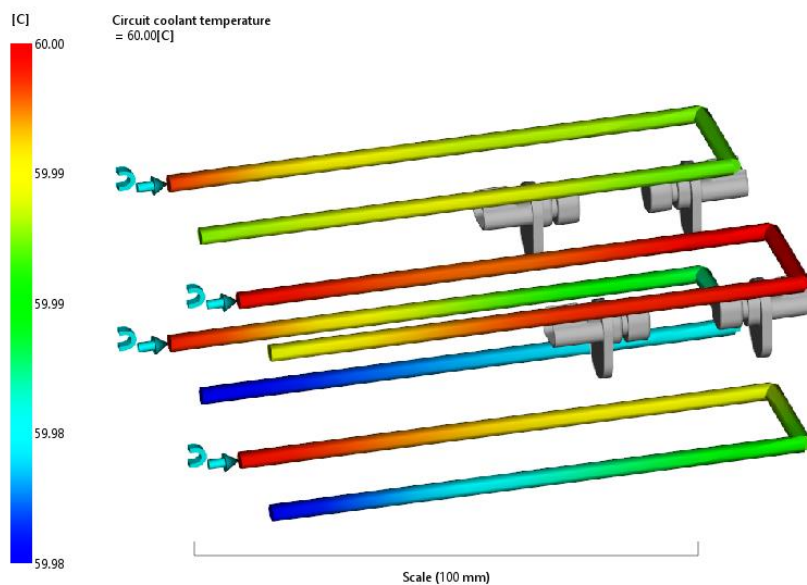
Je hodnota deformace vzniklé působením všech efektů uvažovaných v simulaci. K nejnižším deformacím dochází kolem vtokového ústí, kde je tento nežádoucí jev z části eliminován díky dotlaku. Nejvyšší hodnota v tomto konkrétním případě se pohybuje kolem 0,33 mm. Výskyt těchto vysokých hodnot na výrobku je vyznačen červenou barvou, viz. Obr. 41.



Obr. 41 Analýza č. 2 – Deformace způsobená všemi vlivy

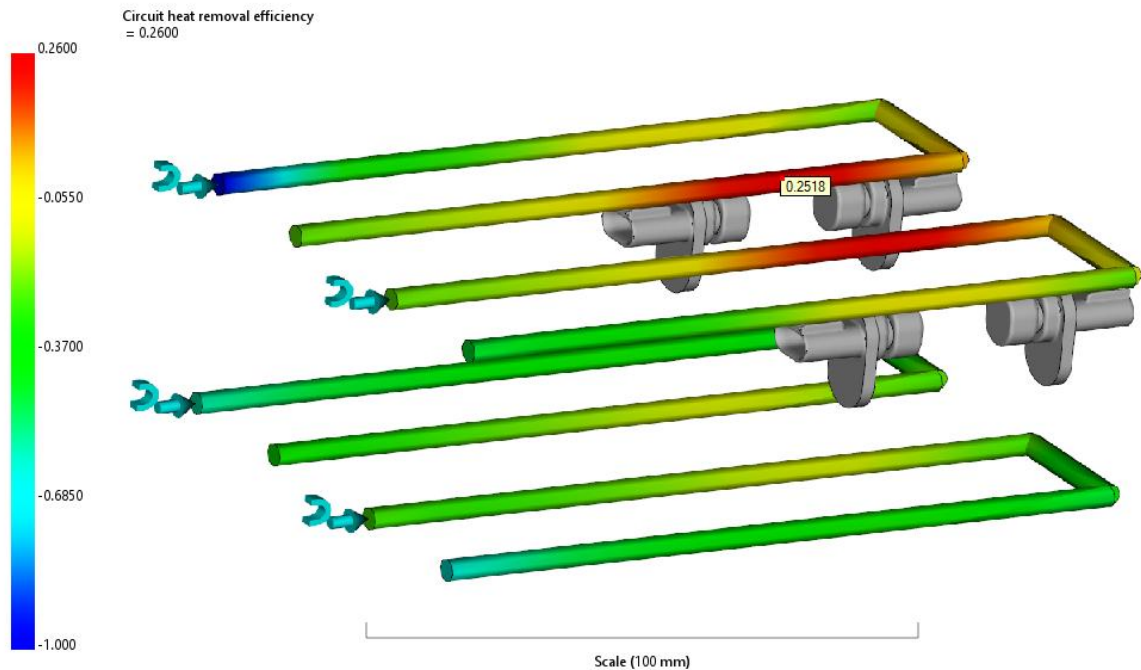
### 9.6.6 Analýza č.2 - Efektivita temperačního okruhu a teplota temperačního média

Rozdíl teplot na počátku a na konci chladicího okruhu je roven 0,02°C což nepřekračuje povolenou hodnotu 3 °C, viz. Obr. 42.



Obr. 42 Analýza č.2 Teplota temperačního okruhu

Efektivita temperačního okruhu je nejvyšší na straně plastikační jednotky, maximální efektivitu by při tomto způsobu zobrazení reprezentovala hodnota blízká jedné. Pro tento konkrétní případ je bezrozměrná hodnota efektivity rovna 0,26, viz. Obr. 43.



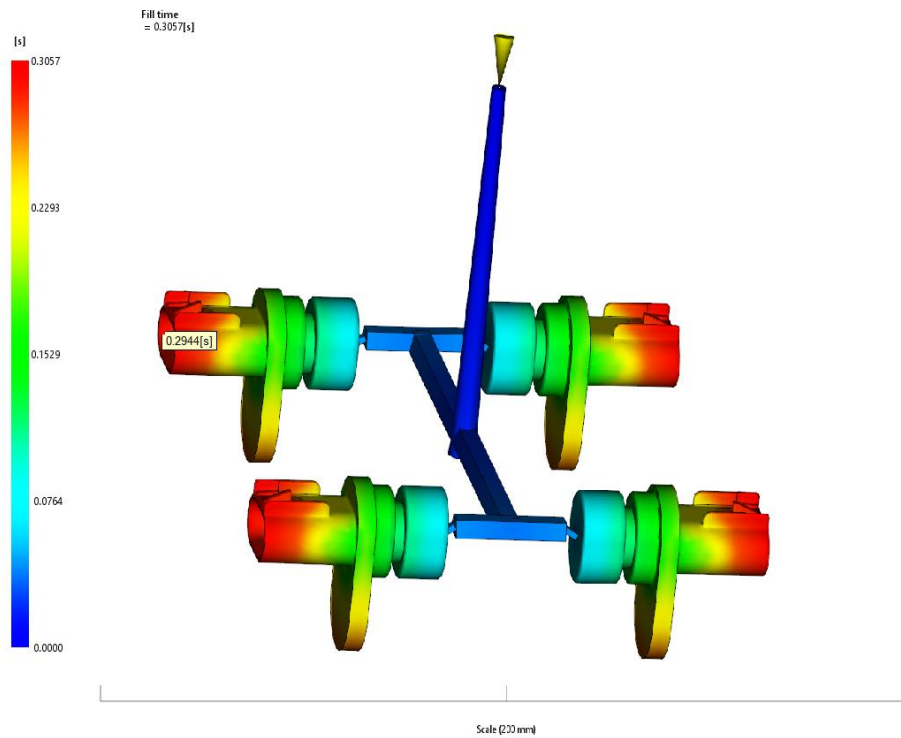
Obr. 43 Analýza č.2 - Efektivita temperačního okruhu.

## 9.7 Analýza č.3

Tato analýza byla provedena se stejnými procesními podmínkami a materiálem SABIC GPM 5500S, jako analýza pro originální návrh. Dle konzultace zde nejsou vyhodnocovány všechny výsledky, ale pouze čas plnění, propadliny a celkové deformace. Simulace je tímto způsobem provedena pro ověření, zda by případná úprava konstrukce předchozího návrhu s temperací na straně vyhazovacího systému při posunu temperace blíže k tvarové dutině, snížila deformace výsledného dílu.

### 9.7.1 Analýza č.3 - Čas potřebný k zaplnění formy

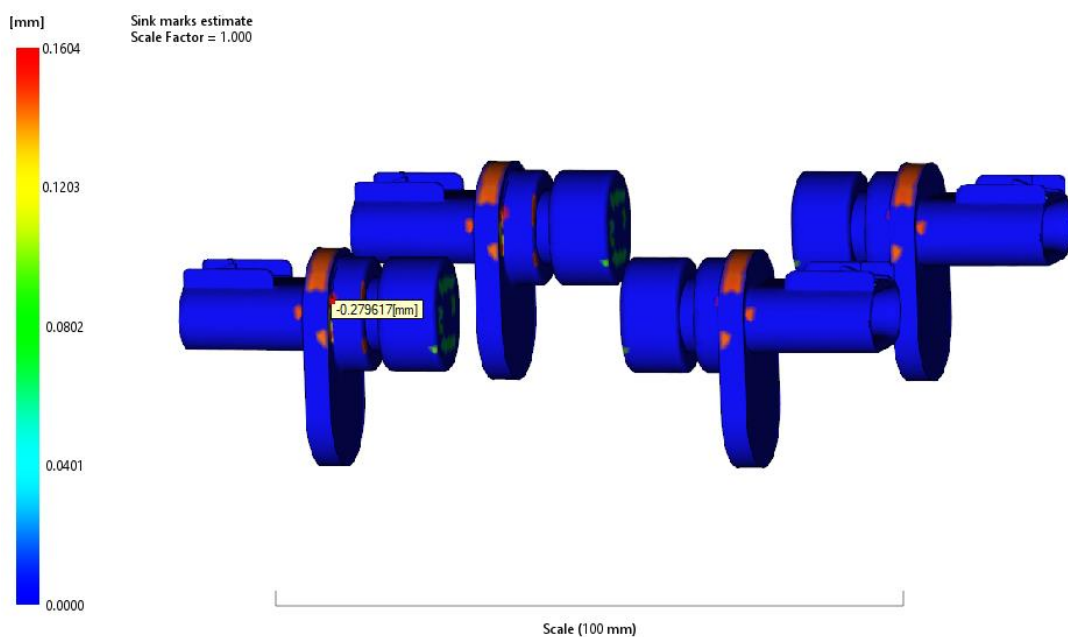
Doba potřebná k zaplnění formy byla dle očekávání téměř identická jako u varianty předešlé a to konkrétně 0,3057s, viz. Obr. 44. Zaplnění dutiny proběhlo stejně jako u simulace s originálním návrhem bez problému, vtokový systém je tedy co se týče plnění tvarové dutiny optimální.



Obr. 44 Analýza č. 3 - Čas zaplnění formy

### 9.7.2 Analýza č.3 - Propadliny na výrobku

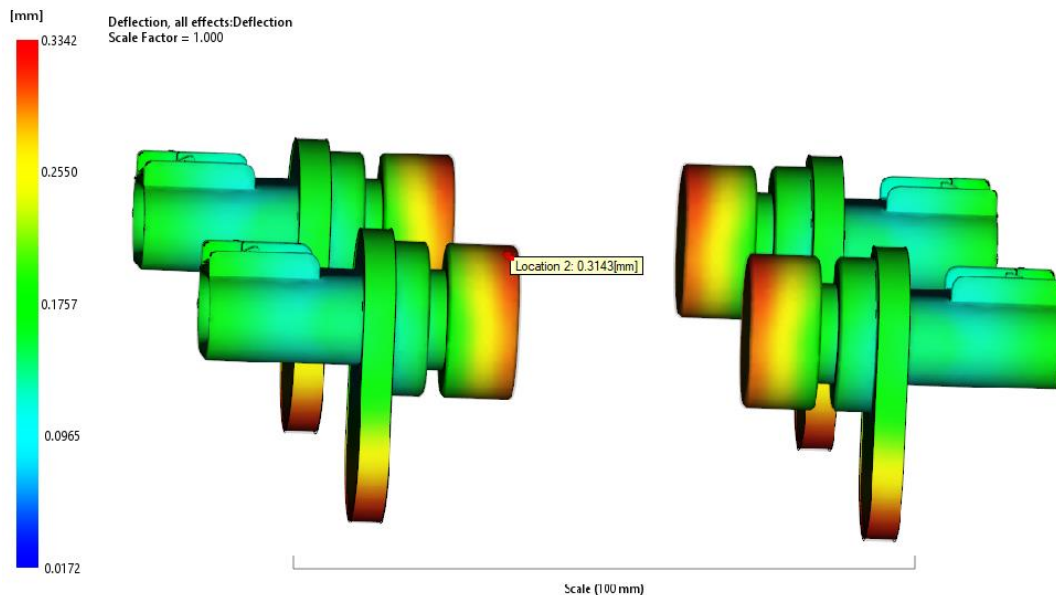
Získaný výsledek s místy výskytu propadlin a rozsahem jejich hodnot pro nejvíce problémová místa označena červenou barvou. V rozsahu hodnot predikovaných pro problémová místa s propadlinami nebylo dosaženo významných změn, což bude podrobněji diskutováno v závěru práce, viz. Obr. 45.



Obr. 45 Analýza č. 3 Predikce propadlin na výrobků

### 9.7.3 Analýza č.3 - Celková deformace výrobku způsobená všemi efekty

Z výsledku simulace, pro případ s úpravou temperačního systému, zůstala stejně jako v případě propadlin bez výrazné změny. Hodnoty deformací se pohybují kolem 0,31mm, viz. Obr. 46.



Obr. 46 Analýza č. 3 – Deformace způsobená všemi vlivy

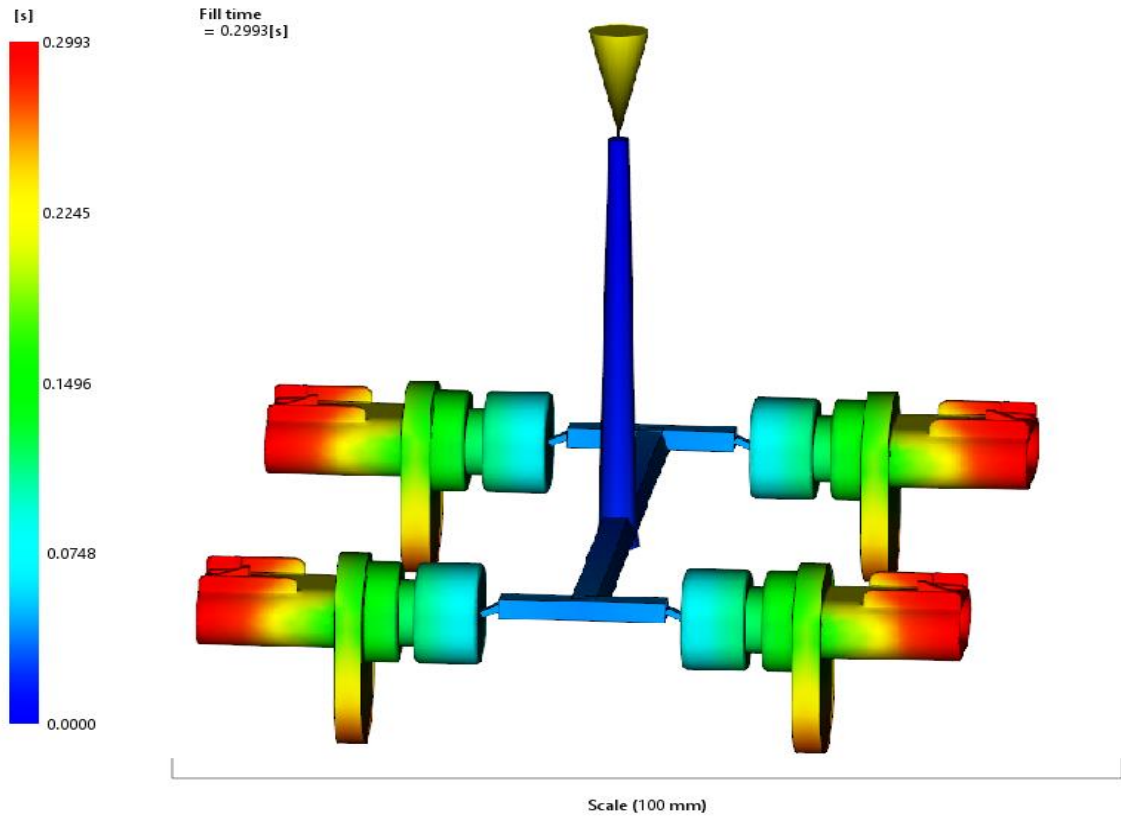
## 9.8 Analýza č. 4

V tomto případě se jedná o simulace s uspořádáním dle originálního návrhu formy, se změnou materiálu, a tedy i procesních podmínek. Výsledné parametry by měli být velmi odlišné od stejného návrhu s odlišným materiálem. Tato skutečnost je způsobena odlišnými vlastnostmi vstřikovaného termoplastu spolu s odlišnými teplotami při vstřikování, které vedou, k odlišné kvalitě výsledného výrobku.

### 9.8.1 Analýza č.4 - Čas potřebný k zaplnění formy

Doba potřebná pro úplné zaplnění formy byla nepatrně rozdílná, ovšem rozdíl se pohyboval pouze v rozsahu tisícín sekundy. To je způsobeno vyšší teplotou taveniny vstupující do formy. Konkrétně se jednalo o hodnotu 0,2993s viz. Obr. 47.

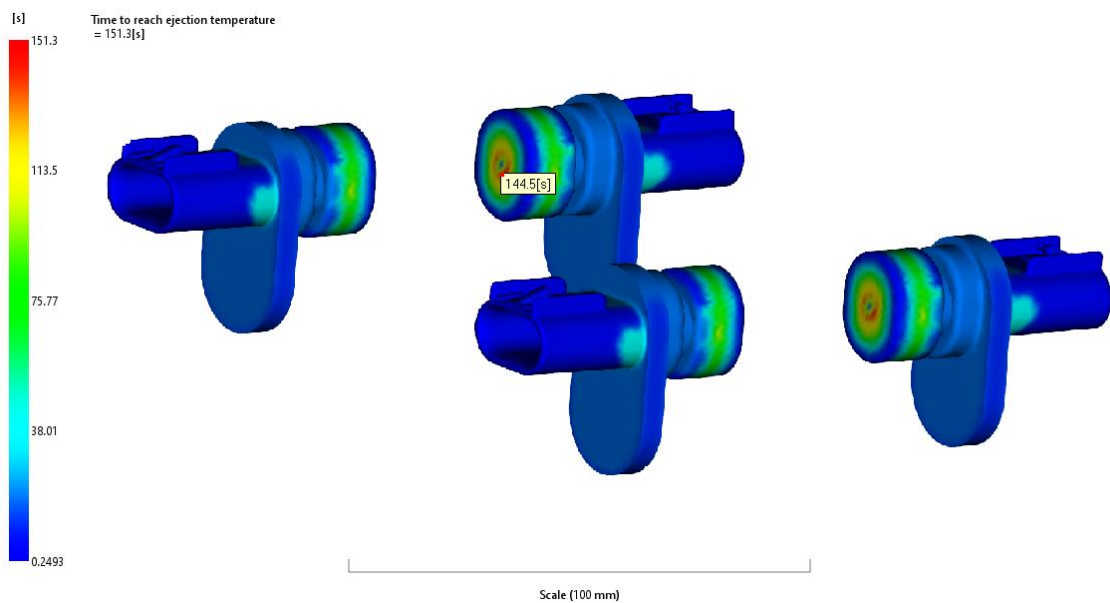




Obr. 47 Analýza č. 4 – Čas zaplnění formy

### 9.8.2 Analýza č.4 - Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty

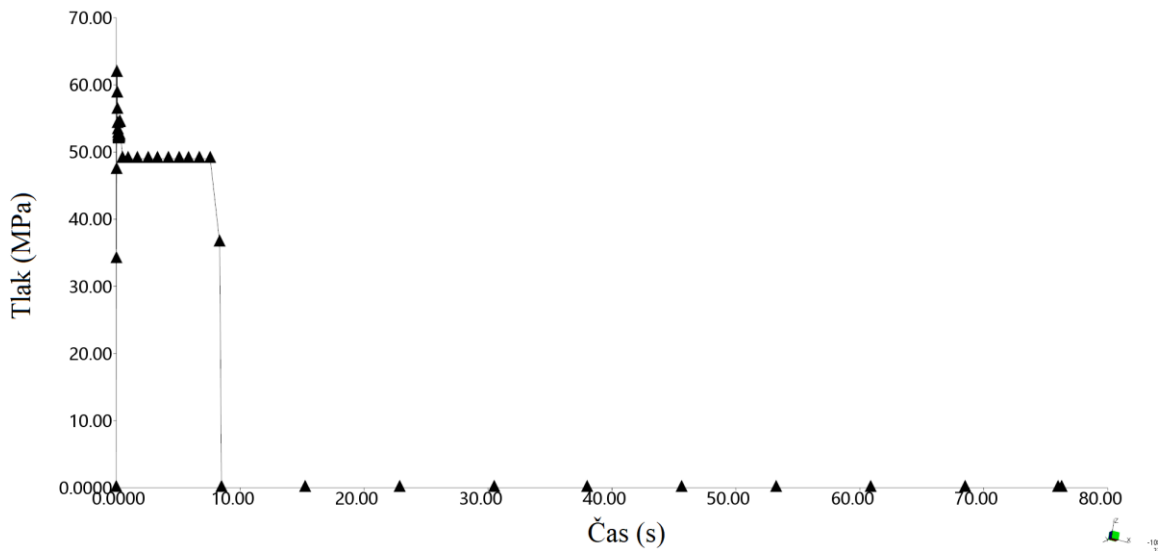
Predikce času potřebného pro dosažení vyhazovací teploty u originálního návrhu s odlišným materiálem, se pohybuje kolem 144,5s viz. Obr.48.



Obr. 48 Analýza č.4 - Čas dosažení vyhazovací teploty

### 9.8.3 Analýza č.4 - Tlak taveniny ve vtokovém ústí

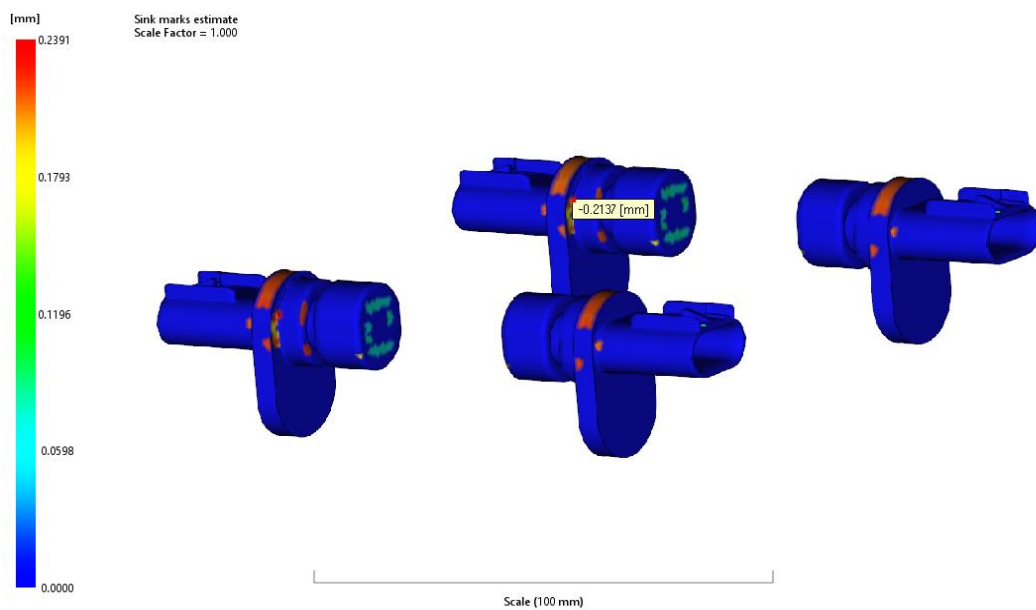
U průběhu tlaku taveniny ve vtokovém ústí pro originální návrh s odlišným materiálem lze pozorovat, že výsledné tlaky jsou v případě materiálu ALBIS ALTECH® PA66 prokazatelně vyšší, viz. Obr. 49.



Obr. 49 Analýza č.4- Průběh tlaku taveniny ve vtokovém ústí.

### 9.8.4 Analýza č.4 - Propadliny na výrobku

Předpokládaná místa s, výskytem propadlin a jejich hodnotou zobrazena v barevné škále, a to pro simulaci č. 2. Získané hodnoty se pohybovaly kolem -0,21 mm, viz. Obr.50.

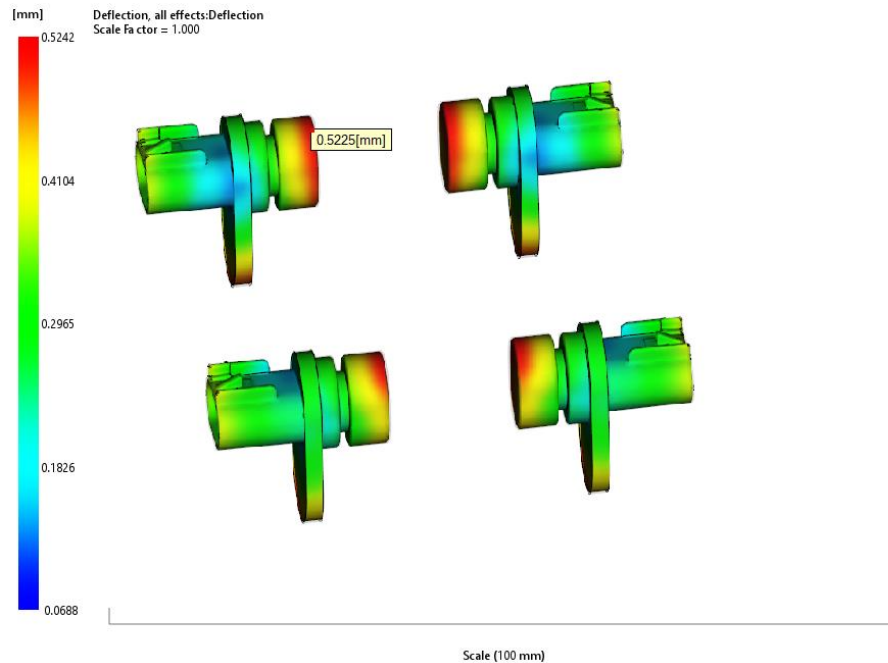


Obr. 50 Analýza č. 4 - Predikce výskytu propadlin na výrobku



### 9.8.5 Analýza č.4 - Celková deformace výrobku způsobená všemi efekty

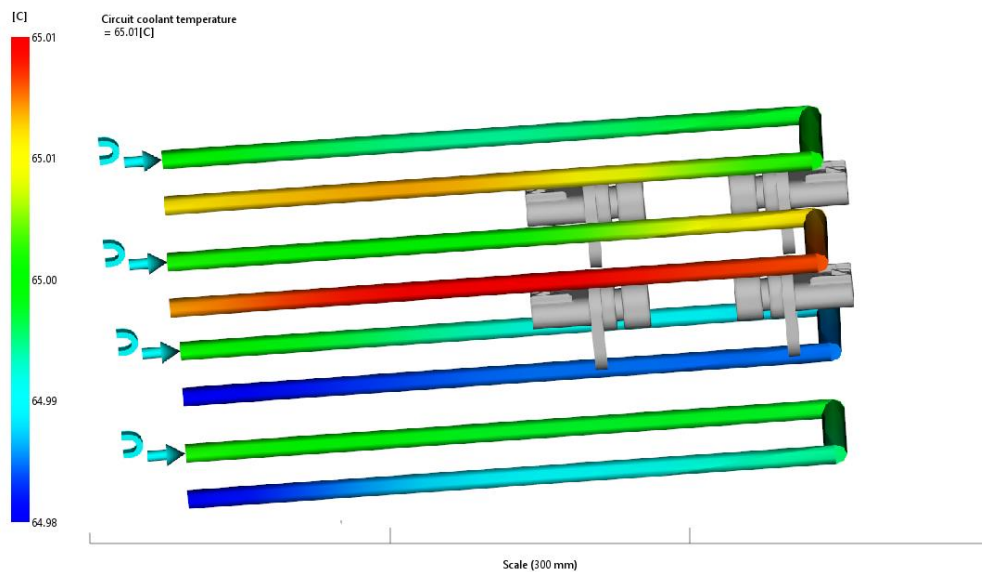
Výsledná celková deformace vychází ze simulace vyšší než u stejného návrhu s předchozím materiálem, a to v hodnotách pohybujících se kolem 0,52 mm, viz. Obr. 51.



Obr. 51 Analýza č.4 – Deformace způsobená všemi vlivy

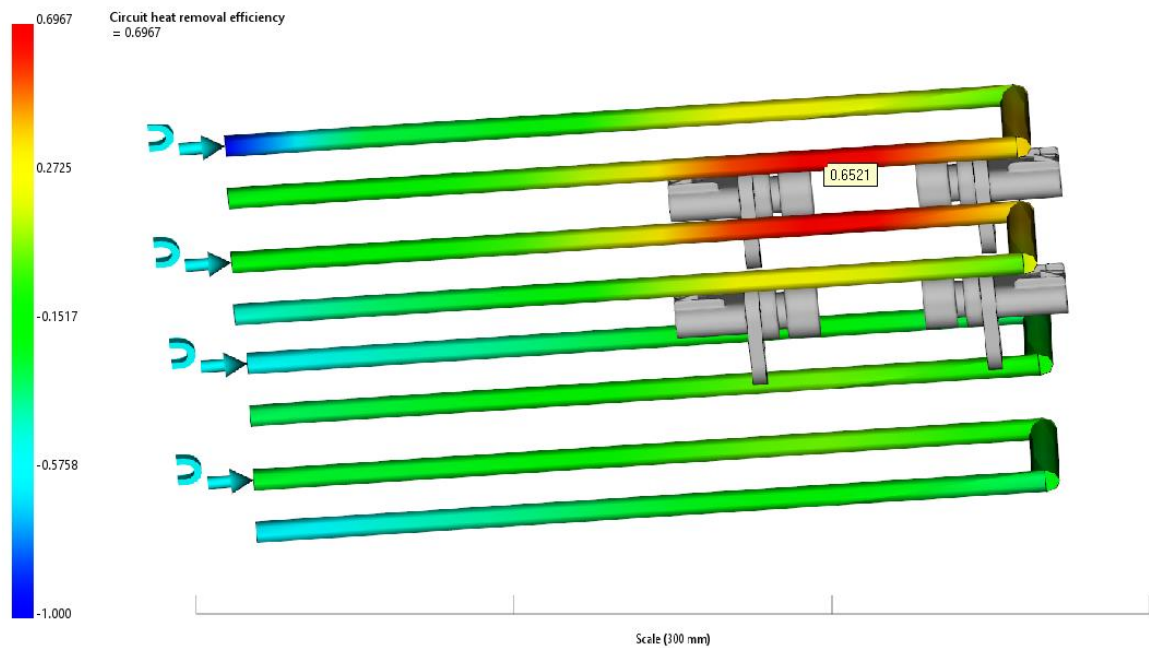
### 9.8.6 Analýza č.4 - Efektivita temperačního okruhu a teplota temperačního média

Rozdíl teplot na vstupu i na výstupu z temperačního okruhu je zanedbatelný a splňuje tedy podmínku pro maximální velikost rozdílu, viz. Obr. 52.



Obr. 52 Analýza č.4 - Teplota temperačního okruhu

Výsledná efektivita temperačního okruhu je ve srovnání se stejným návrhem za využití jiného materiálu výrazně vyšší a to až na hodnotu 0,7 viz. Obr. 53.



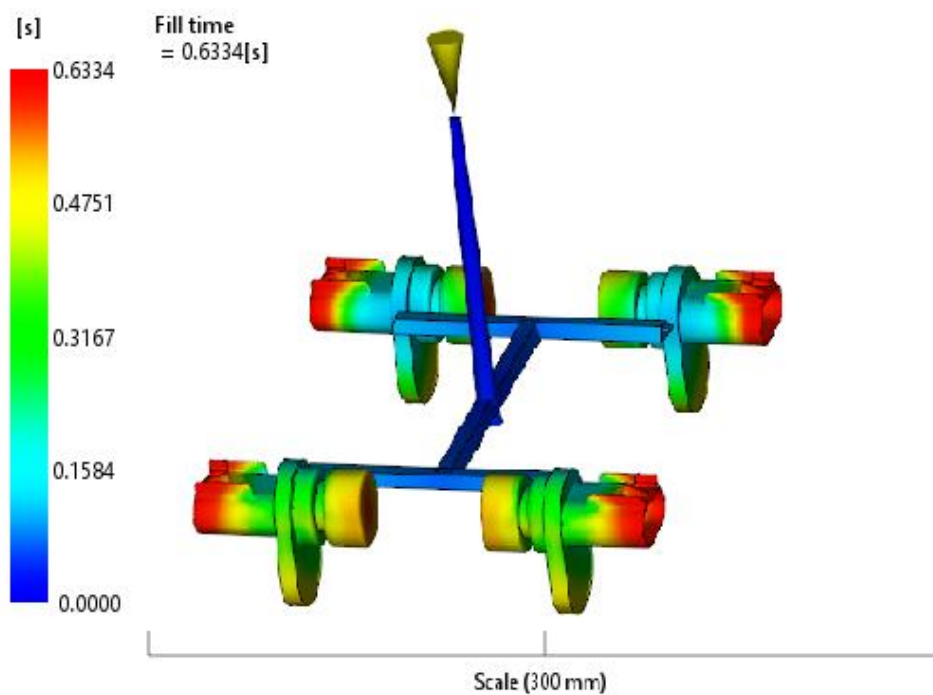
Obr. 53 Analýza č.4 - Efektivita temperačního okruhu.

## 9.9 Analýza č.5

V tomto případě se jedná o variantu, která byla upravena se snahou dosáhnout lepších výsledků a to následujícím způsobem, vtokové ústí je umístěno do vhodnějšího místa dle prvotní analýzy s vhodností vtoku a teploty je blíže k dutině, aby docházelo k efektivnějšímu chlazení. Celá simulace byla nastavena s materiálem SABIC GPM5500S spolu s doporučenými procesními podmínkami pro tento materiál.

### 9.9.1 Analýza č.5 - Čas potřebný k zaplnění formy

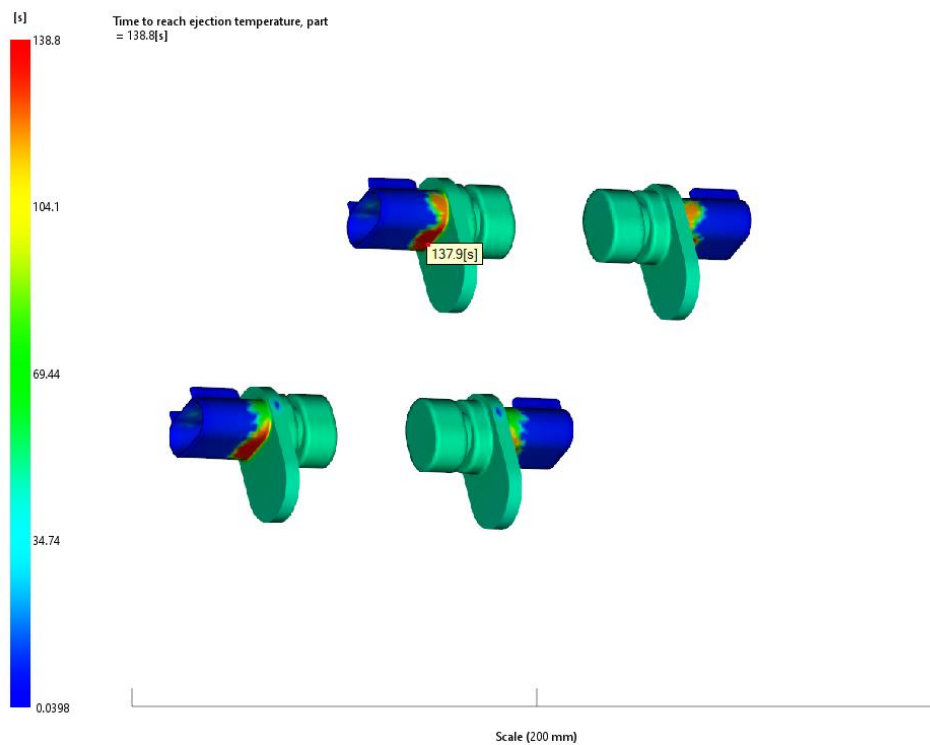
Doba nutná pro zaplnění formy při simulování této varianty, je ve srovnání s originálním návrhem za použití stejného materiálu rozdílná. Příčiny budou diskutovány v závěru. Z hlediska plnění je tato varianta vhodná, vtokový systém je souměrný a nejsou zde žádná nedotečená místa viz. Obr. 54. Konkrétní hodnota času plnění se pohybuje kolem 0,63s.



Obr. 54 Analýza č. 5 – Čas zaplnění formy

### 9.9.2 Analýza č.5 - Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty

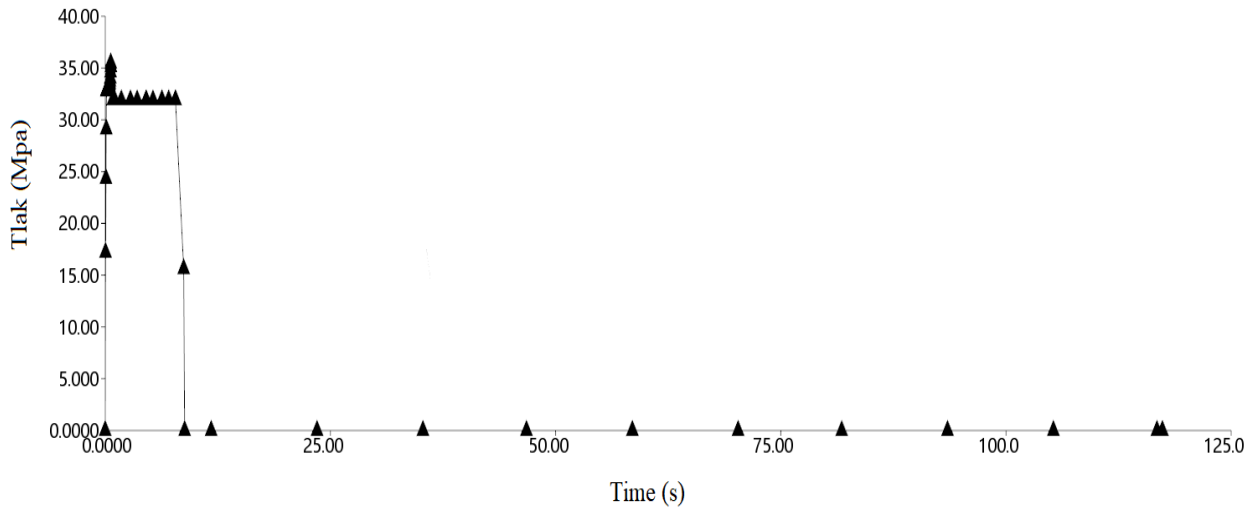
Potřebný čas pro dosažení vyhazovací teploty je ve srovnání s originálním návrhem kratší, konkrétně 138,8s, viz. Obr. 55.



Obr. 55 Analýza č.5 - Čas dosažení vyhazovací teploty

### 9.9.3 Analýza č.5 - Tlak tavenin ve vtokovém ústí

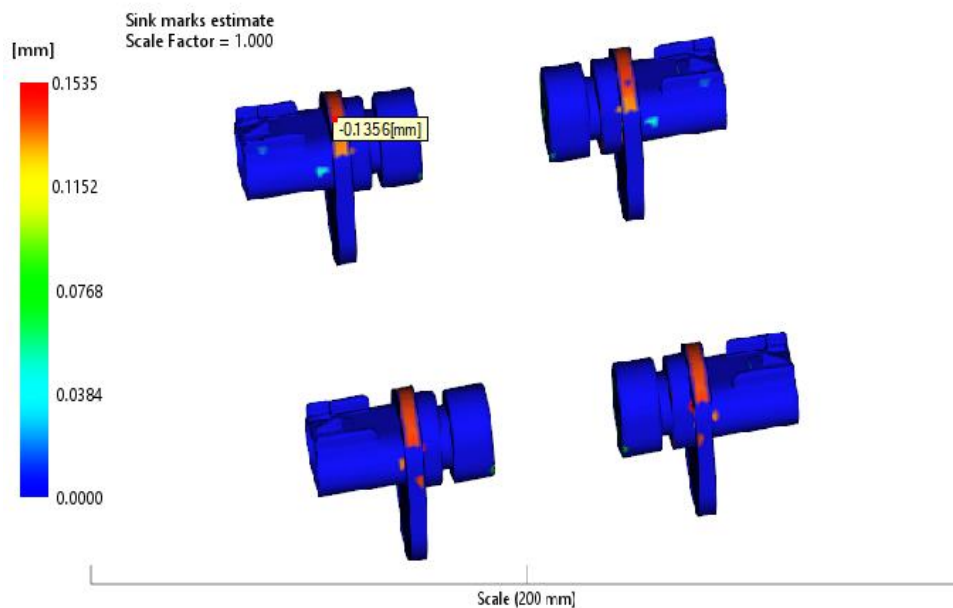
Výsledek analýzy pro průběh tlaku ve vtokovém ústí, vykazuje při změně polohy temperačních kanálů díky odlišnému provedení, změnu predikovaných hodnot. A to ve formě zvýšení maximálního tlaku vůči originálnímu návrhu, viz. Obr. 56.



Obr. 56 Analýza č.5- Průběh tlaku taveniny ve vtokovém ústí.

### 9.9.4 Analýza č.5 - Propadliny na výrobku

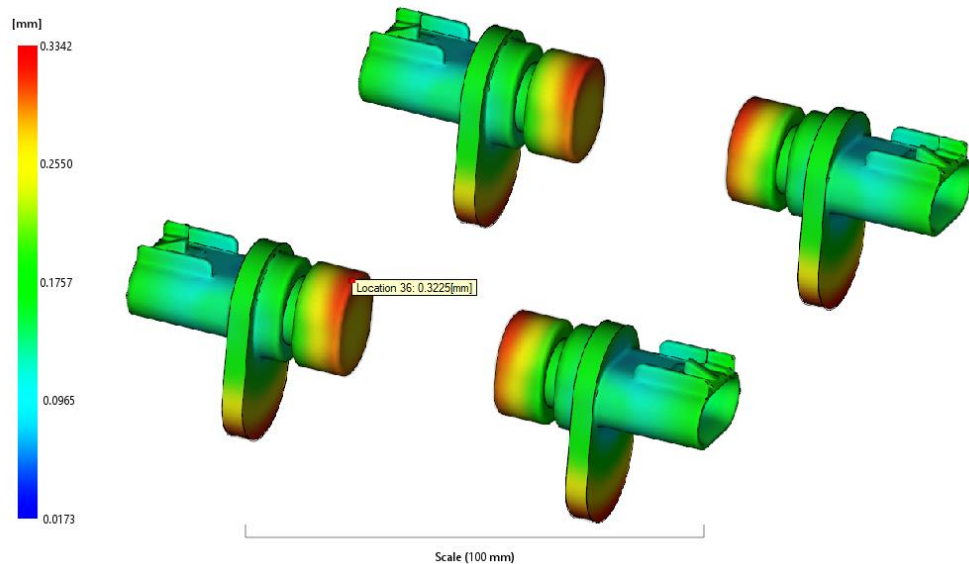
Pro optimalizovaný návrh bylo dle rozsahu hodnot pro oblasti propadlin získány lepší výsledky, viz. Obr. 57. Nejvyšší hodnota propadlin se pohybovala kolem hodnoty -0,13mm.



Obr. 57 Analýza č. 5 Predikce výskytu propadlin na výrobku

### 9.9.5 Analýza č.5 - Celková deformace výrobku způsobená všemi efekty

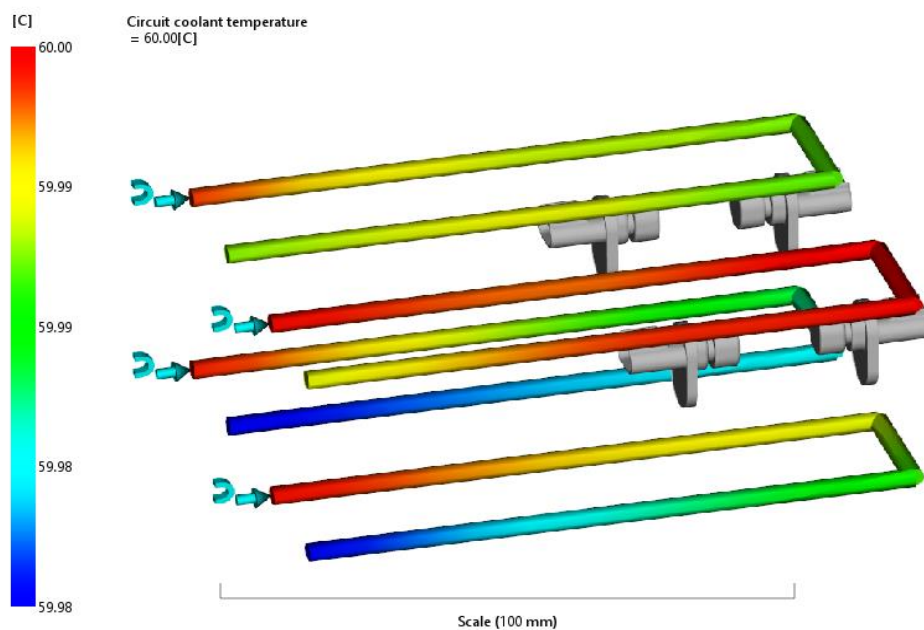
Výsledky získané pro hodnoty celkové deformace se pohybovali při měření v různých místech kolem hodnoty 0,32mm, tato varianta tedy vykazuje oproti originálu mírné zlepšení, které bude později diskutováno, viz. Obr. 58.



Obr. 58 Analýza č.5 – Deformace způsobená všemi vlivy

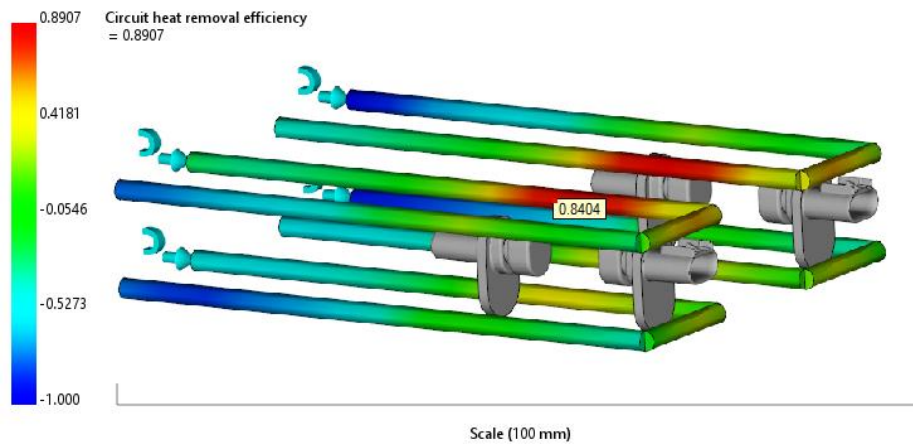
### 9.9.6 Analýza č.5 - Efektivita temperačního okruhu a teplota temperačního média

Výsledná teplota okruhu po provedení simulace s optimalizovanou verzí zůstala vůči originálnímu návrhu téměř bez změny, viz. Obr. 59. Rozdíl teplot ve vstupu a na výstupu stejně jako u předchozích variant není významný.



Obr. 59 Analýza č.5 - Teplota temperačního okruhu

Díky přiblížení kanálů blíže k tvarové dutině, vychází ve srovnání s originálním návrhem výrazně vyšší efektivita, a to až na hodnotu 0,9 viz. Obr. 60.



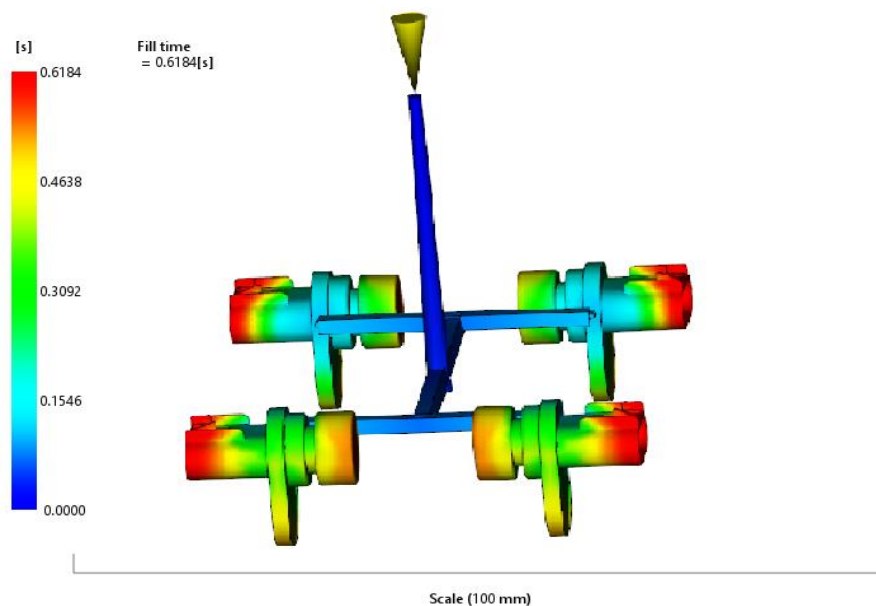
Obr. 60 Obr. 61 Analýza č.5 - Efektivita temperačního okruhu.

## 9.10 Analýza č. 6

Poslední simulovanou možností byla optimalizovaná varianta za použití materiálu ALBIS ALTECH® PA66. Jedná se o stejnou variantu jako analýza č.5 tedy se změnou vtokových kanálů a pozice temperace vůči tvarové dutině. Simulace byla provedena s doporučenými podmínkami pro zvolený materiál.

### 9.10.1 Analýza č.6 - Čas potřebný k zaplnění formy

Zaplnění dutiny pro tento konkrétní případ proběhlo v čase kolem 0,62s, tedy v kratším čase ve srovnání se stejnou variantou za využití jiného materiálu viz. Obr. 62.

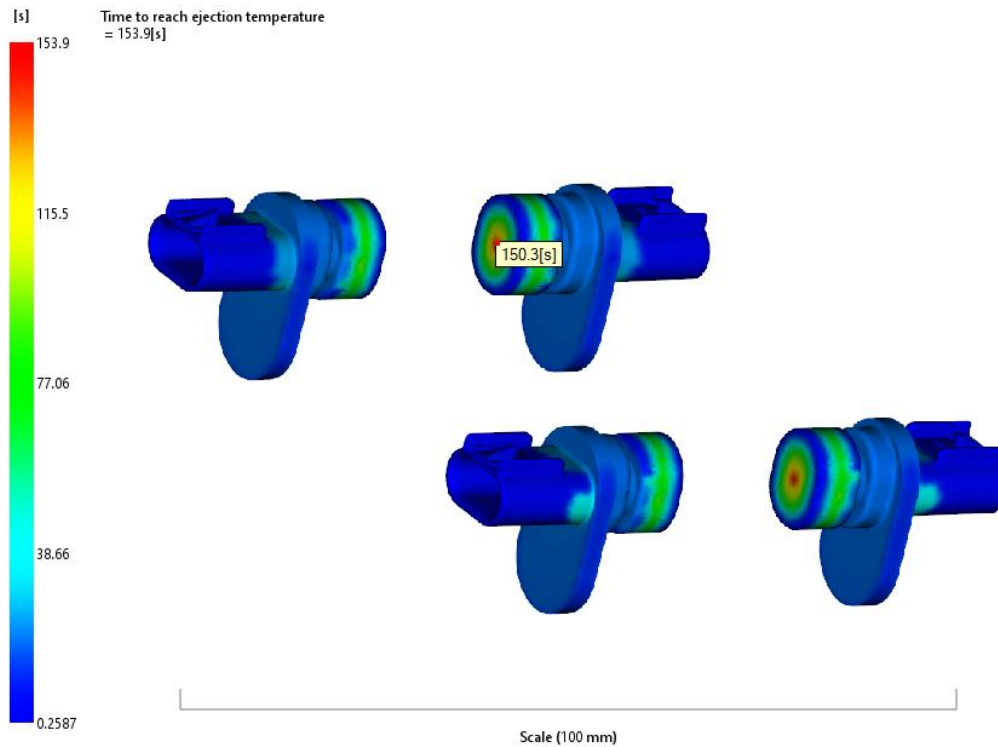


Obr. 62 Analýza č. 6 – Čas zaplnění formy



### 9.10.2 Analýza č.6 - Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty

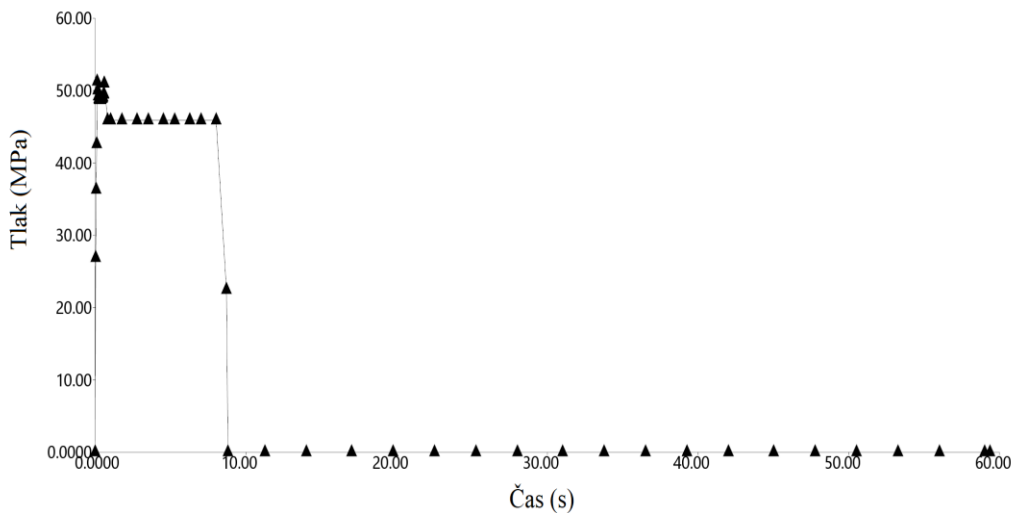
Doba nutná k dosažení teploty vhodné k vyhazování je v tomto případě 153,9s, což je ve srovnání se stejnou variantou simulace za použití jiného materiálu podstatně vyšší potřebný čas viz. Obr. 63.



Obr. 63 Analýza č.6 - Čas dosažení vyhazovací teploty

### 9.10.3 Analýza č.6 - Tlak taveniny ve vtokovém ústí

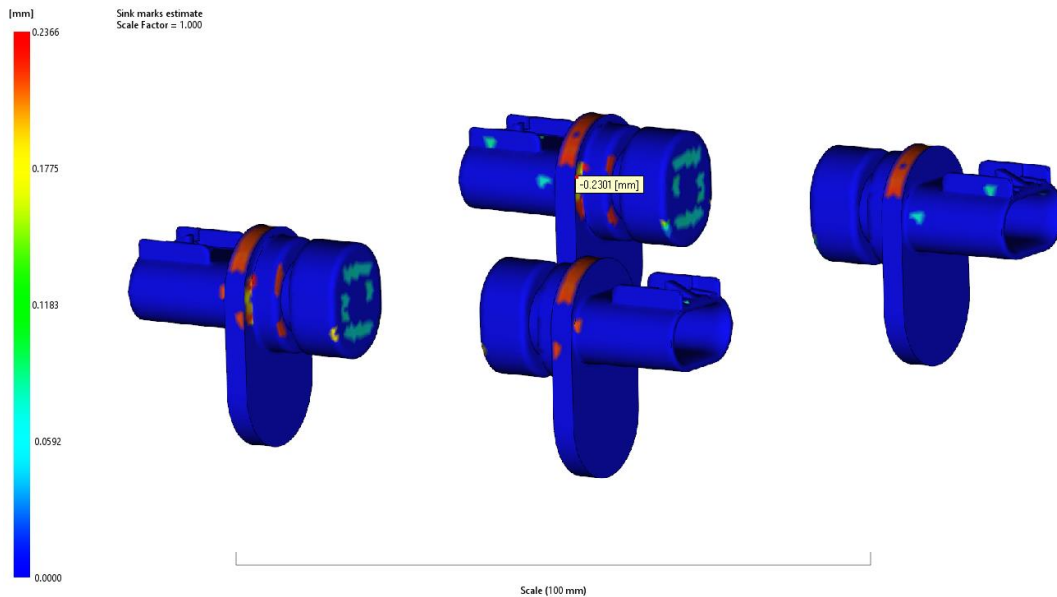
Výsledné hodnoty tlaků získané ze simulace při porovnání s originálním návrhem za použití stejného materiálu, vykazují podstatně nižší tlak viz. Obr. 64.



Obr. 64 Analýza č.6- Průběh tlaku taveniny ve vtokovém ústí

#### 9.10.4 Analýza č.6 - Propadliny na výrobku

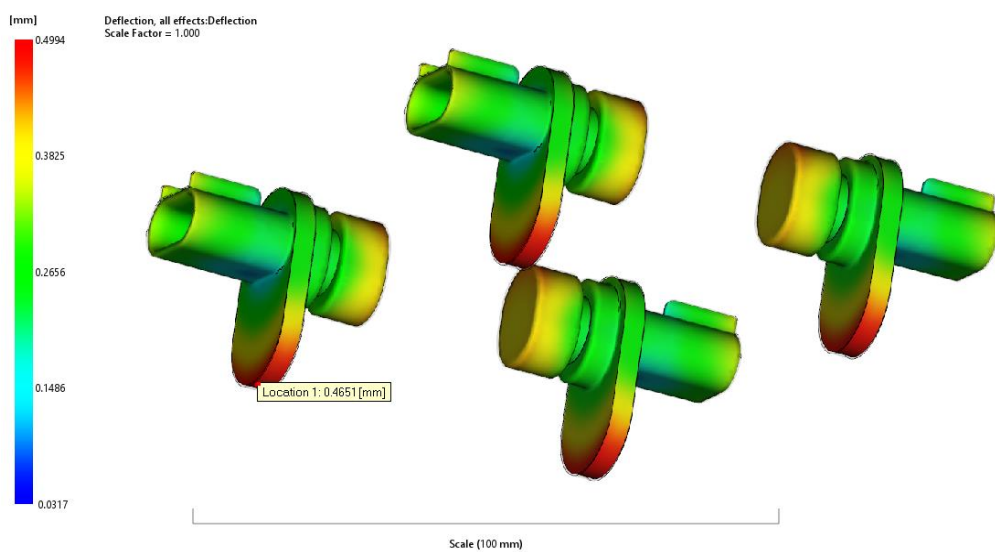
Získané predikce hodnot v místech s propadlinami se výrazně neodlišují od originálního návrhu. Nejvyšší nalezená hodnota v místech s propadlinami se pohybovala kolem -0,23mm viz. Obr.65.



Obr. 65 Analýza č. 6 Predikce výskytu propadlin na výrobku

#### 9.10.5 Analýza č.6 - Celková deformace výrobku způsobená všemi efekty

Získaná predikce pro celkové deformace modelu vykazuje vůči originální variantě návrhu zlepšení, nejvyšší nalezená deformace při procházení míst pro tuto konkrétní variantu se pohybovala kolem 0.49 mm viz.Obr. 66.

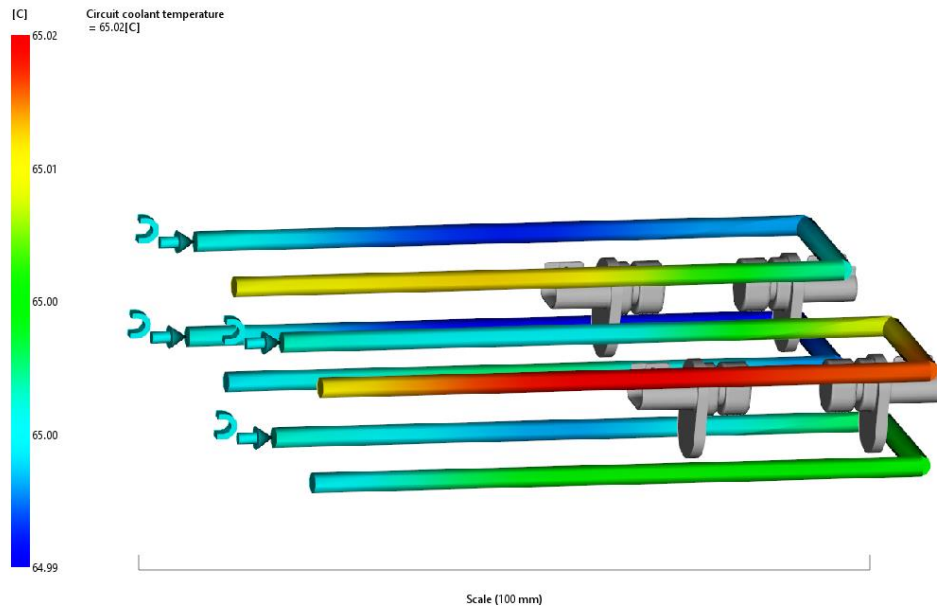


Obr. 66 Analýza č.6 – Deformace způsobená všemi vlivy



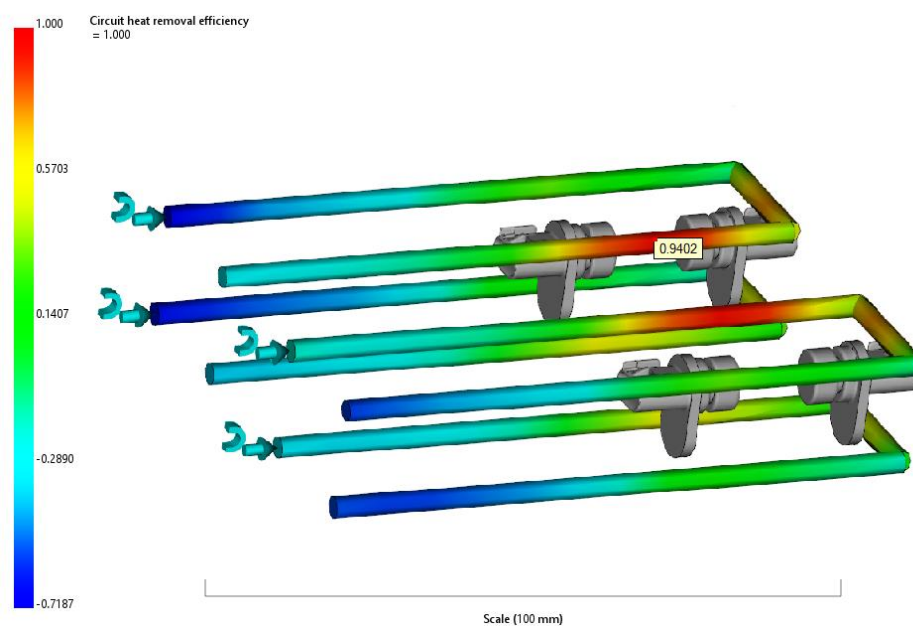
### 9.10.6 Analýza č.5 - Efektivita temperačního okruhu a teplota temperačního média

Získané hodnoty teplot temperačního okruhu pro tuto variantu, nevykazují stejně jako u předchozích výsledků, žádné výrazné změny na vstupu nebo výstupu do okruhu viz. Obr. 67.



Obr. 67 Analýza č.5 - Teplota temperačního okruhu

Efektivita temperačního okruhu je ve srovnání s originálním návrhem i optimalizovanou variantou s odlišným materiálem výrazně vyšší, v místech s nejvyšší efektivitou se již efektivita okruhu blíží jedné viz. Obr. 68.



Obr. 68 Analýza č.5 - Efektivita temperačního okruhu.

## 10 DISKUZE A POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ

Prvotní porovnání výsledků probíhalo mezi originálním návrhem č.2 a návrhem č.3 se změnou pozice temperačního systému, což však nemělo na výsledné deformace téměř žádný účinek, z tohoto důvodu, byly dále porovnávány pouze originální varianty vůči optimalizovaným návrhům. Z výsledků je patrné, že optimalizovaná varianta s umístěním vtoku do místa s vhodností 74 %, pro materiál SABIC GPM 5500S (č. 5), má nižší čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty, nižší propadliny, celkové deformace a vyšší efektivitu temperačního systému, než originální návrh se stejným materiálem (č.2). Druhá simulovaná varianta s předpokladem zlepšení výsledků byla analýza č. 6, se stejným vtokem a temperací jako u variant č.5, ale odlišným materiálem, vykazuje stejně jako v předchozím případě ve srovnání s originálním návrhem (č.4) se stejným materiálem, zlepšení v oblasti deformací, propadlin a efektivitu temperačního systému, ve srovnání s druhou optimalizovanou variantou č.5 ovšem nedošlo ke zkrácení času potřebného k dosažení vyhazovací teploty. Je tedy možné konstatovat, že bylo dosaženo lepších výsledků ve srovnání s originálním návrhem. Nejlepších výsledků konkrétně dosahuje analýza č. 5 s využitím materiálu SABIC GPM 5500S, a to především v oblasti celkových deformací spolu s propadlinami, ve srovnání s druhou optimalizovanou variantou č.6 s materiálem ALBIS ALTECH® PA66 má ovšem nižší efektivitu temperačního okruhu.

Analýza	1	2	3	4	5	6
Čas dosažení vyhazovací teploty [s]	-	174,5	-	151,3	138,8	153,9
Celkové deformace [mm]	-	0,3409	0,3342	0,5242	0,3342	0,4994
Propadliny [mm]	-	0,1604	0,1604	0,2391	0,1535	0,2366
Efektivita temperace [-]	-	0,26	-	0,6521	0,8404	0,9402
Čas Plnění [s]	-	0,3045	0,3057	0,2993	0,6334	0,6184

Tab. 6 Vybrané výsledky jednotlivých analýz

## ZÁVĚR

V této práci byla v první fázi vypracována literární studie na zadané téma pro přiblížení řešené problematiky a pojmů. Po seznámení s danou problematikou došlo k provedení návrhu vstřikovací formy pro zadaný díl v softwaru Catia V5R19 a zpracování odpovídající výkresové dokumentace, která je uvedena v příloze této práce. Následně byla vytvořena prvotní simulace pro zadaný díl, která umožnila určit nejvhodnější místo k umístění v tokového ústí, na základě této analýzy došlo k úpravě prvotního návrhu a vytvoření optimalizované varianty s cílem dosáhnout lepších výsledků ve srovnání s prvotním návrhem. Dále byla pro simulace navržena varianta odpovídající originálnímu návrhu s odlišným umístěním temperačního systému vůči tvarové dutině, pro zjištění vlivu polohy temperace na získané výsledky. Celkem bylo tedy vytvořeno šest odlišných analýz, ze kterých byly vybrány výsledky s relevantními změnami, které jsou diskutovány v kapitole s názvem, Diskuze výsledků. Ze všech provedených simulací byl jako nejvhodnější varianta s nejlepšími výsledky, vybrán optimalizovaný návrh č. 6. S využitím materiálu SABIC GPM 5500S.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] BEAUMONT, John P.; NAGEL, Robert; SHERMAN, Robert. Successful injection molding: process, design, and simulation. Munich : Hanser, 2002. 362 s. ISBN 3-446-19433-9.
- [2] ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů. 1. vyd. BEN-Technická literatura, 2009. 247 s. ISBN 978-80-7300-2.
- [3] DVOŘÁK, Zdeněk a Hana LÉDLOVÁ. ZÁKLADY VÝROBNÍCH PROCESŮ: Výrobní technologie zpracování polymerů vstřikováním. ZLÍN, 2007. Dostupné z: [www.utb.cz/file40836](http://www.utb.cz/file40836). UNIVERZITA Tomáše Bati ve Zlíně.
- [4] BĚHÁLEK, Luboš. Přehled základních termoplastů, reaktoplastů a termoplastických elastomerů: Vlastnosti a inženýrské aplikace plastů. Liberec, 2006. TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI.
- [5] MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM. Návrh vstřikovací formy očima konstruktéra. [online]. 2002, roč. 2002, č. 1, s. 46 [cit. 2022-01-16]. Dostupné z: [www.mmspektrum.com/clanek/navrh-vstrikovaci-formy-ocima-konstruktera.html](http://www.mmspektrum.com/clanek/navrh-vstrikovaci-formy-ocima-konstruktera.html)
- [6] ŘEHULKA, Zdeněk. Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů. SEKURKON. 2006, 225 s. ISBN 80-86604-18-7.
- [7] Vstřikovací formy. *Ústav strojírenské technologie* [online]. 2008 [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni\\_soubory/htn\\_tvareci\\_nastroje\\_vstrikovaci\\_formy\\_zak.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni_soubory/htn_tvareci_nastroje_vstrikovaci_formy_zak.pdf)
- [9] CARPENTER, Brian, PATIL, Sachin, HOFFMAN, Rebecca, LILLY, Blaine and CASTRO, Jose, 2006, Effect of machine compliance on mold deflection during injection and packing of thermoplastic parts. *Polymer Engineering & Science* [online]. 2006. Vol. 46, no. 7p. 844-852. [Accessed 18 January 2022]. DOI 10.1002/pen.20527. Retrieved from: <http://doi.wiley.com/10.1002/pen.20527>
- [10] KIM, J. K. and LEE, C. S., 2013, Fatigue life estimation of injection mold core using simulation-based approach. *International Journal of Automotive Technology* [online]. 2013. Vol. 14, no. 5p. 723-729. [Accessed 20 January 2022]. DOI 10.1007/s12239-013-0079-y. Retrieved from: <http://link.springer.com/10.1007/s12239-013-0079-y>
- [11] KENNEDY, Peter and ZHENG, Rong, 2013, Flow analysis of injection molds. 2nd edition. Cincinnati : Hanser Publishers. ISBN 978-1569905128.

- [12] ZIENKIEWICZ, O. C., TAYLOR, Robert L. and ZHU, J. Z., 2013, The finite element method: its basis and fundamentals. Seventh edition. Amsterdam : Elsevier, Butterworth-Heinemann. ISBN 978-1856176330.
- [13] KULKARNI, Suhas., 2017, Robust process development and scientific molding: theory and practice. 2nd ed. Cincinnati : Hanser Publications. ISBN 978-1-56990-586-9
- [14] ZIENKIEWICZ, O. C., TAYLOR, Robert L. and ZHU, J. Z., 2013, The finite element method: its basis and fundamentals. Seventh edition. Amsterdam : Elsevier, Butterworth-Heinemann. ISBN 978-1856176330.
- [15] SHIGLEY, Joseph Edward, MISCHKE, Charles R and BUDYNAS, Richard Gordon, 2010, Konstruování strojních součástí. Brno : Vysoké učení technické v Brně. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [16] BENRA, Friedrich-Karl, DOHMEN, Hans Josef, PEI, Ji, SCHUSTER, Sebastian and WAN, 2011, A Comparison of One-Way and Two-Way Coupling Methods for Numerical Analysis of Fluid-Structure Interactions. Journal of Applied Mathematics [online]. 2011. Vol. 2011, p. 1-16. [Accessed 22 January 2022]. DOI 10.1155/2011/853560. Retrieved from: <http://www.hindawi.com/journals/jam/2011/853560/>
- [17] M. Khan, S. K. Afaq, N. U. Khan, S. Ahmad, "Cycle Time Reduction in Injection Molding Process by Selection of Robust Cooling Channel Design", Hindawi Publishing Corporation, ISRN Mechanical Engineering Volume 2014, Article ID 968484, 8 pages
- [18] S. H. Masood, N. N. Trang, "Thermal analysis of conformal cooling channels in injection molding," Proceedings of the 3rd BSME-ASME International Conference on Thermal Engineering, Dhaka, Bangladesh, 2006. C. Y. Lin, M. Wu, J. A. Bloom, I. J. Cox, and M. Miller, "Rotation, scale, and translation resilient public watermarking for images," IEEE Trans. Image Process., vol. 10, no. 5, pp. 767-782, May 2001.
- [19] T. Azdast, A. H. Behraves, K. Mazaheri, M. M. Darvishi, "Numerical Simulation and Experimental Validation of Residual Stress Induced Constrained Shrinkage of Injection Molded Parts", Polimery 2008, 53, nr 4.
- [20] W. H. Yang, A. Peng, L. Liu, D. C. Hsu, R. Y. Chang "Integrated Numerical Simulation of Injection Molding Using True 3d Approach", ANTEC 2004.
- [21] R. Paclt, "Cooling / Heating System of the Injection Molds", Journal for Technology of Plasticity, Vol. 36 (2011), Number 2,

- [22] M.V. Candal et. al., “Influence of Mesh Density on Injection Molding Simulation Results”, *Journal of Plastics Technology, Zeitschrift Kunststofftechnik*, 3 2007 3.
- [23] S. Villarroel, M. Candal, O. Gonzales, “Efekty of Finite Element Meshing for Designing Plastics Pieces”, *Polymer Plastics Technology and Engineering*, 2005.
- [24] M. Jaworski, Z. Yuan, “Theoretical and Experimental comparison of the Four Major Types of Mesh Currently Used in CAE Injection Moulding Simulation Software”, *SPE’s ANTEC Proceedings*, 2003.
- [25] Z. Fan, R. Zheng, P. Kennedy, H. Yu, and A. Bakharev. Warpage analysis of solid geometry. *Society of Plastics Engineers, Technical Papers, ANTEC 2000*, 46, 2000.
- [26] Krebs, Josef; Sova, Miloš. *Termoplasty v praxi: praktická příručka pro konstruktéry, výrobce, zpracovatele a uživatele termoplastů*. 5. aktualizované vydání. Praha : Verlag Dashöfer, 1999-2000. 1 CD-ROM. ISBN 80-86229-15-7
- [27] Venerus, David & Schieber, Jay & Balasubramanian, Venkat & Bush, Kendall & Smoukov, Stoyan. (2004). Anisotropic Thermal Conduction in a Polymer Liquid Subjected to Shear Flow. *Physical review letters*. 93. 098301. 10.1103/PhysRevLett.93.098301.
- [28] Ilinca, Florin & Héту, Jean-Francois. (2001). Three Dimensional Filling and Post-filling Simulation of Polymer Injection Molding. *International Polymer Processing*. 16. 291-301. 10.3139/217.1643.
- [29] Yu, H. & Kietzmann, C. & Cook, Peter & Xu, S. & Costa, Franco & Kennedy, Peter. (2004). A new method for simulation of injection molding. *Annual Technical Conference - ANTEC, Conference Proceedings*. 1. 641-644.
- [30] Yu, Liyong & Lee, Ly & Koelling, Kurt. (2004). Flow and heat transfer simulation of injection molding with microstructures. *Polymer Engineering & Science*. 44. 1866 - 1876. 10.1002/pen.20188.
- [31] Příčiny vzniku vad a studené spoje. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2010 [cit. 2022-02-18]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-1-dil-priciny-vzniku-vad-a-studene-spoje>
- [32] Vstřikovací formy - Plast Form Service IM s.r.o.. *Plast Form Service IM s.r.o. - Komplexní služby v oboru vstřikování plastů* [online]. Copyright © Plast Form Service IM s.r.o. [cit. 18.02.2022]. Dostupné z: <https://pfservice.cz/vstrikovaci-formy/>

[33] Základní rozdělení polymerů. Plastov - 3D tisk Zlín [online]. Dostupné z: <https://www.plastov.cz/2020/05/zakladni-rozdeleni-polymeru.html>

[34] LENFELD P. Katedra tváření kovů a plastů – Skripta. Technologie II: Část II – Zpracování plastů. [Online] Technická univerzita Liberec – Fakulta strojní – Katedra strojírenské technologie – Oddělení tváření kovů a plastů. Dostupné z WWW: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/obsah\\_plasty.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/obsah_plasty.htm)

[36] *Home – ARBURG* [online]. Copyright ©Z [cit. 1.05.2022]. Dostupné z: [https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/Mediathek/Technische\\_Daten/ARBURG\\_ALLROUNDER\\_570C\\_GOLDEN\\_EDITION\\_TD\\_523681\\_en\\_GB.pdf](https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/Mediathek/Technische_Daten/ARBURG_ALLROUNDER_570C_GOLDEN_EDITION_TD_523681_en_GB.pdf)

[37] SABIC Innovative Plastics Cyclocac® GPM5500 ABS (Europe-Africa-Middle East) datasheet. Polymer Suppliers-Polycarbonate (PC),Acetal (POM),Nylon PA,polyplastics,Bayer,LNP,Celanese,DuPont,Basf,Sabic,Solvay-Songhan Plastics [online]. Copyright © lookpolymers.com All Rights Reserved [cit. 13.05.2022]. Dostupné z: [http://www.lookpolymers.com/polymer\\_SABIC-Innovative-Plastics-Cyclocac-GPM5500-ABS-Europe-Africa-Middle-East.php](http://www.lookpolymers.com/polymer_SABIC-Innovative-Plastics-Cyclocac-GPM5500-ABS-Europe-Africa-Middle-East.php)

[38] ALBIS Altech© PA66 [online]. Dostupné z: <https://www.albis.com/en/products/product-search#/product/albis/ALTECHPA66IQ2050100GF50?grade=Altech%20PA66>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

s	Jednotka času
kg/m <sup>3</sup>	Význam druhé zkratky
Mpa	Význam třetí zkratky
°C	Jednotka teploty
kN	Jednotka síly
mm	Jednotka délky
PC	Polykarbonát
PET	Polyethylen
PVC	Polyvinylchlorid
POM	Polyoxymethylen
PMMA	Polymethylmethakrylát
PS	Polystyren
PP	Polypropylen
PE	Polyethylen
PF	Fenolformaldehydová pryskyřice
EP	Epoxidová pryskyřice



## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1</i> Rozdělení polymerů [33] .....	13
<i>Obr. 2</i> Grafické zobrazení vstřikovacího cyklu .....	16
<i>Obr. 3</i> Zjednodušení zobrazení vstřikovacího stroje [6] .....	17
<i>Obr. 4</i> Příklad konstrukce vstřikovací formy [32] .....	18
<i>Obr. 5</i> Příklad řešení vtoku u vstřikovacích forem. [7] .....	20
<i>Obr. 6</i> Obecné způsoby volby vtokových ústí. [7] .....	22
<i>Obr. 7</i> Druhy průřezů vtokových kanálů [7] .....	22
<i>Obr. 8</i> Vyhazovací kolíky [2] .....	26
<i>Obr. 9</i> Studený spoj vzniklý čelním napojením proudů taveniny [31] .....	32
<i>Obr. 10</i> Příklad studeného spoje-vrub amorfního polymeru [31] .....	32
<i>Obr. 11</i> Spálená místa-Dieselův efekt [31] .....	33
<i>Obr. 12</i> Ukázka stříbrných pruhů na výrobku [31] .....	34
<i>Obr. 13</i> Příklad vzduchových bublin na výrobku [31] .....	34
<i>Obr. 14</i> Příklad využití simulace v MoldFlow v praxi [34] .....	36
<i>Obr. 15</i> Příklad vytvoření vtokového systému v programu MoldFlow .....	42
<i>Obr. 16</i> Model chladicího okruhu v programu MoldFlow .....	43
<i>Obr. 17</i> Příklad získaných hodnot deformace z analýzy MoldFlow .....	44
<i>Obr. 18</i> 3D model zpracované součásti .....	47
<i>Obr. 19</i> Foto zvoleného stroje ALLROUNDER 570C .....	49
<i>Obr. 20</i> Orientace výrobku ve formě. ....	50
<i>Obr. 21</i> Zvolené dělicí roviny. ....	51
<i>Obr. 22</i> Tvárnice a tvárník tvarové dutiny .....	52
<i>Obr. 23</i> Čelist bočního odformování .....	52
<i>Obr. 24</i> Mechanismus bočního odformování .....	53
<i>Obr. 25</i> Vtokový systém formy .....	54
<i>Obr. 26</i> Použitý nátrubek, těsnící kroužek a šroub s těsnícím kuželem .....	55
<i>Obr. 27</i> Temperace v pravé části .....	55
<i>Obr. 28</i> Temperační systém v levé části formy .....	56
<i>Obr. 29</i> Vyhazovací systém formy .....	57
<i>Obr. 30</i> Levá část formy .....	58
<i>Obr. 31</i> Pravá část formy .....	58
<i>Obr. 32</i> Kompletní sestava formy .....	59
<i>Obr. 33</i> Mesh Statistic pro vstřikovaný díl .....	61
<i>Obr. 34</i> Vhodnost umístění vtokového ústí .....	62

<i>Obr. 35. Zvolený vtokový systém u optimalizované varianty návrhu .....</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 36 Studený vtokový systém originálního návrhu. ....</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 37 Analýza č.2 - Čas zaplnění formy .....</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 38 Analýza č.2 - Čas dosažení vyhazovací teploty .....</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 39 Analýza č.2- Průběh tlaku taveniny ve vtokovém ústí. ....</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 40 Analýza č. 2- Propadliny .....</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 41 Analýza č. 2 – Deformace způsobená všemi vlivy .....</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 42 Analýza č.2 Teplota temperačního okruhu.....</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 43 Analýza č.2 - Efektivita temperačního okruhu. ....</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 44 Analýza č. 3 - Čas zaplnění formy.....</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 45 Analýza č. 3 Predikce propadlin na výrobků .....</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 46 Analýza č. 3 – Deformace způsobená všemi vlivy .....</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 47 Analýza č. 4 – Čas zaplnění formy .....</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 48 Analýza č.4 - Čas dosažení vyhazovací teploty .....</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 49 Analýza č.4- Průběh tlaku taveniny ve vtokovém ústí. ....</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 50 Analýza č. 4 - Predikce výskytu propadlin na výrobku.....</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 51 Analýza č.4 – Deformace způsobená všemi vlivy .....</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 52 Analýza č.4 - Teplota temperačního okruhu.....</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 53 Analýza č.4 - Efektivita temperačního okruhu.....</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 54 Analýza č. 5 – Čas zaplnění formy .....</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 55 Analýza č.5 - Čas dosažení vyhazovací teploty .....</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 56 Analýza č.5- Průběh tlaku taveniny ve vtokovém ústí. ....</i>	<i>76</i>
<i>Obr. 57 Analýza č. 5 Predikce výskytu propadlin na výrobku.....</i>	<i>76</i>
<i>Obr. 58 Analýza č.5 – Deformace způsobená všemi vlivy .....</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 59 Analýza č.5 - Teplota temperačního okruhu.....</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 60 Analýza č.5 - Efektivita temperačního okruhu.....</i>	<i>78</i>
<i>Obr. 62 Analýza č. 6 – Čas zaplnění formy .....</i>	<i>78</i>
<i>Obr. 63 Analýza č.6 - Čas dosažení vyhazovací teploty .....</i>	<i>79</i>
<i>Obr. 64 Analýza č.6- Průběh tlaku taveniny ve vtokovém ústí .....</i>	<i>79</i>
<i>Obr. 65 Analýza č. 6 Predikce výskytu propadlin na výrobku .....</i>	<i>80</i>
<i>Obr. 66 Analýza č.6 – Deformace způsobená všemi vlivy .....</i>	<i>80</i>
<i>Obr. 67 Analýza č.5 - Teplota temperačního okruhu.....</i>	<i>81</i>
<i>Obr. 68 Analýza č.5 - Efektivita temperačního okruhu.....</i>	<i>81</i>

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1 Vybrané vlastnosti zvoleného materiálu SABIC GPM5500S ABS .....</i>	<i>48</i>
<i>Tab. 2 Vybrané vlastnosti materiálu ALTECH PA66 .....</i>	<i>48</i>
<i>Tab. 3 Hlavní parametry zvoleného stroje [36] .....</i>	<i>49</i>
<i>Tab. 4 Seznam provedených simulací .....</i>	<i>60</i>
<i>Tab. 5 Procesní podmínky volené při simulacích v závislosti na materiálu výrobku .....</i>	<i>64</i>
<i>Tab. 6 Vybrané výsledky jednotlivých analýz .....</i>	<i>82</i>

**SEZNAM PŘÍLOH**

- PI Materialový list ALBIS Altech PA66
- PII Materiálový list SABIC GPM5500S ABS
- PIII Technický list zvoleného vstřikovacího stroje ALLROUNDER 570C GOLDEN EDITION
- PIV Kusovník
- PV Výkresová dokumentace:
- Řez A-A
  - Řez B-B
  - Řez C-C
  - Pohled A
  - Pohled B