

# **Konstrukce vstřikovací formy pro díl světlometu**

Bc. Roman Školný

---

Diplomová práce  
2018



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství  
akademický rok: 2017/2018

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Roman Školný**  
Osobní číslo: **T15408**  
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**  
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Konstrukce vstřikovací formy pro díl světlometu**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracování literární studie dané problematiky
2. Provedte návrh vstřikovací formy a ověřte jej analýzami
3. Nakreslete 2D sestavu formy včetně kusovníku
4. Provedte zhodnocení návrhu

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

**Dle doporučení vedoucího DP**

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Vojtěch Šenkeřík, Ph.D.**  
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **18. května 2018**

Ve Zlíně dne 27. dubna 2018



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.  
*děkan*



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

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně 11.5.2018.



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

- (1) Vysoká škola nevdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.
- (2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.
- (3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

- (3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění

(4) školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

- (1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.
- (2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.
- (3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Cílem diplomové práce je návrh konstrukce formy pro výrobu technického dílu pro světlomet technologií vstřikování. Při konstrukci bylo využito moderní výpočetní techniky a softwaru. Teoretická část se zabývá popisem polymerních materiálů, technologií zpracování polymerů, vstřikovacími stroji a nástroji. Praktická část se zabývá konstrukčním návrhem vstřikovací formy. Pro vstřikovací formu je vyhotovena výkresová dokumentace.

Klíčová slova: polymer, vstřikovací stroj, vstřikovací forma

## **ABSTRACT**

The aim of the diploma thesis is the design of a mold for the production of a technical part for the headlight by injection technology. Modern computer technology and software have been used during construction. The theoretical part deals with the description of polymer materials, polymer processing technology, injection molding machines and tools. The practical part deals with the design of the injection mold. A drawing documentation is prepared for the injection mold.

Keywords: polymer, injection molding machine, injection mold

Chtěl bych poděkovat panu Ing. Vojtěchu Šenkeříkovi Ph.D. za odbornou pomoc a cenné připomínky pro zpracování této diplomové práce. Také děkuji za pomoc a vedení při realizaci praktické části.

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

Dále prohlašuji, že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

Ve Zlíně 11.5.2018



# OBSAH

ÚVOD.....	11
<b>I TEORETICKÁ ČÁST.....</b>	<b>12</b>
<b>1 POLYMERNÍ MATERIÁLY.....</b>	<b>13</b>
1.1 TEPLoty CHARAKTERISTICKÉ PRO POLYMERY.....	14
1.2 TERMOPLASTY.....	14
1.3 REAKTOPLASTY.....	16
1.4 TERMOPLASTICKÉ ELASTOMERY.....	16
1.5 ELASTOMERY.....	16
1.6 ÚPRAVA POLYMERŮ PRO ZPRACOVÁNÍ A POUŽITÍ.....	16
1.6.1 ADITIVA UPRAVUJÍCÍ ZPRACOVATELNOST TAVENINY.....	17
1.6.2 UV STABILIZÁTORY.....	17
1.6.3 PIGMENTY.....	17
1.6.4 PLNIVA.....	17
1.7 POLYMERY POUŽÍVANÉ V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU.....	18
<b>2 VSTŘIKOVÁNÍ.....</b>	<b>19</b>
2.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS.....	19
2.1.1 TLAKY PŘI VSTŘIKOVÁNÍ.....	20
2.1.2 DOBA VSTŘIKOVÁNÍ.....	20
2.1.3 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS FORMY.....	20
2.1.4 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS PLASTIKAČNÍ JEDNOTKY.....	21
2.2 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	21
<b>3 VSTŘIKOVANÉ VÝROBKY.....</b>	<b>22</b>
3.1 NÁVRH VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ.....	22
3.1.1 DĚLÍCI ROVINA.....	22
3.1.2 ZAOBLENÉ HRANY.....	22
3.1.3 TLOUŠŤKA STĚN.....	22
3.1.4 ŽEBRA.....	23
3.1.5 ÚKOSY A PODKOSY.....	24
3.1.6 OTVORY.....	24
3.1.7 VADY VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ.....	24
<b>4 VSTŘIKOVACÍ FORMA.....</b>	<b>28</b>
4.1 KONSTRUKČNÍ POSTUP PŘI NÁVRHU VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	29
4.1.1 ZAFORMOVÁNÍ VÝSTŘIKŮ.....	30
4.1.2 NÁSOBNOST FORMY.....	31
4.2 VTOKOVÉ SOUSTAVY.....	31
4.2.1 STUDENÝ VTOKOVÝ SYSTÉM.....	32
4.2.2 HORKÉ VTOKOVÉ SOUSTAVY.....	36
4.3 VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	38



4.3.1	MECHANICKÉ VYHAZOVÁNÍ.....	38
4.3.2	PNEUMATICKÉ VYHAZOVÁNÍ.....	43
4.3.3	HYDRAULICKÉ VYHAZOVÁNÍ.....	43
4.4	TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	43
4.5	ODVZDUŠNĚNÍ VSTŘIKOVACÍCH FOREM.....	45
<b>5</b>	<b>ZÁVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI.....</b>	<b>47</b>
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST.....</b>	<b>48</b>
<b>6</b>	<b>CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE.....</b>	<b>49</b>
<b>7</b>	<b>VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK.....</b>	<b>50</b>
7.1	MATERIÁL VÝROBKU.....	50
<b>8</b>	<b>POUŽITÝ SOFTWARE.....</b>	<b>52</b>
8.1	SOLIDWORKS 2015.....	52
8.2	MOLDEX3D.....	52
8.3	ATOS PROFESSIONAL.....	52
8.4	KATALOG NORMÁLIÍ MEUSBURGER.....	52
<b>9</b>	<b>VSTŘIKOVACÍ STROJ.....</b>	<b>53</b>
<b>10</b>	<b>KONSTRUKČNÍ NÁVRH FORMY.....</b>	<b>54</b>
10.1	RÁM VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	55
10.2	TVAROVÉ ČÁSTI FORMY.....	56
10.2.1	NÁVRH DĚLÍCÍ ROVINY.....	56
10.2.2	TVAROVÉ ČÁSTI FORMY.....	57
10.3	VTOKOVÝ SYSTÉM.....	60
10.4	VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	61
10.5	TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	61
10.6	PARAMETRY FORMY.....	64
<b>11</b>	<b>ANALÝZA VSTŘIKOVACÍHO PROCESU.....</b>	<b>65</b>
11.1	SÍŤ.....	65
11.2	ANALÝZA VHODNOSTI UMÍSTĚNÍ VTOKOVÉHO ÚSTÍ.....	66
11.3	ANALÝZA PLNĚNÍ.....	66
11.3.1	ČAS PLNĚNÍ.....	66
11.3.2	TLAK V DOBĚ PŘEPNUTÍ.....	68
11.3.3	TEPLOTA NA ČELE TAVENINY.....	69
11.3.4	RYCHLOST SMYKOVÉ DEFORMACE.....	70
11.3.5	PRŮBĚH UZAVÍRACÍ SÍLY.....	71
11.3.6	UZAVŘENÝ VZDUCH.....	71
11.3.7	STUDENÉ SPOJE.....	72
11.3.8	PROPADLINY.....	73
11.4	ANALÝZA CHLAZENÍ.....	73
11.4.1	TEPLOTA CHLADÍCÍCH OKRUHŮ.....	73
11.4.2	REYNOLDSOVO ČÍSLO A EFEKTIVITA ODVODU TEPLA.....	74
11.4.3	TEPLOTA PŘI VÝSTŘIKU PŘI VYHAZOVACÍM ČASE.....	75
11.5	ANALÝZA DEFORMACÍ.....	75
11.5.1	POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ DEFORMACE.....	77
11.6	DISKUZE VÝSLEDKŮ ANALÝZY.....	78

<b>12</b>	<b>VÝROBA A ZKOUŠENÍ FORMY.....</b>	<b>79</b>
	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>85</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>86</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>88</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>89</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>92</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>93</b>

## ÚVOD

V současné době se polymery řadí mezi nejpoužívanější konstrukční materiály a to díky jejich rozvoji a pokroku ve výpočetní technice. V dnešní době díky počítačům a vyspělým CAD/CAM systémům je možné konstruovat a vyrábět tvary, jak to dříve možné nebylo. To má za následek rozmanitost a komplikovanost výrobků z polymerů a také to rozšiřuje jejich uplatnění. Největší použití polymerních materiálů je v automobilovém, elektrotechnickém průmyslu. Výrobky z plastů nachází uplatnění v pohledových aplikacích (například interiérové prvky) a také technických aplikacích (například mechanické součásti a mechanismy).

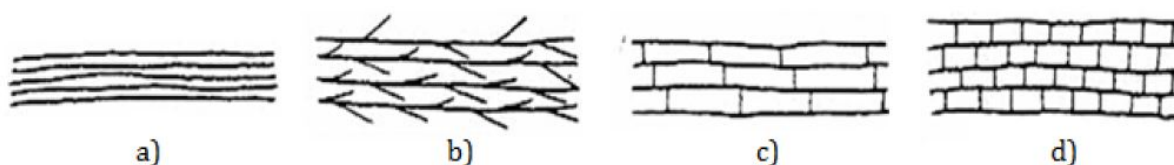
Tyto výrobky se vyrábí vstřikováním, které patří mezi nejrozšířenější způsoby výroby dílců z plastů. Vstřikování se vyznačuje složitým fyzikálním procesem, na kterém se v první řadě podílí polymer, vstřikovací stroj a forma. V průběhu vstřikování se roztavený plast ve vstřikovacím stroji dopravuje tlakem do dutiny formy a zde je následně ochlazován na požadovaný tvar vyráběné součásti. Volba správného typu polymerního materiálu i jeho kvalita, má velký vliv na konečný výrobní proces. Technologický postup je proto třeba dokonale znát a striktně ho během výroby dodržovat. Předmětem výroby jsou zejména výrobky konečné spotřeby a dále pak polotovary, které slouží ke zhotovení jiného výrobku. Výrobky vyrobené technologií vstřikování se vyznačují velmi dobrou tvarovou i rozměrovou přesností a vysokou reprodukovatelností mechanických a fyzikálních vlastností.

Nástrojem vstřikovacího stroje je vstřikovací forma. Ta je jedinečná pro každý výrobek. Vzhledem k vysoké ceně nástroje se pro návrh vstřikovací formy využívají analýzy vstřikování, jenž ukazují nedostatky v designu výrobku a dále optimalizují návrh vstřikovací formy před její výrobou. Při návrhu formy se využívají CAD softwary, v této diplomové práci je forma konstruována v CAD programu SolidWorks 2015. Cílem diplomové práce bude návrh konstrukce formy pro díl světloometu s využitím softwaru pro simulaci vstřikování.

## I. TEORETICKÁ ČÁST

## 1 POLYMERNÍ MATERIÁLY

Polymery jsou organické látky, kterou tvoří makromolekuly. Ty vznikají opakovaným spojováním základních jednotek – merů, které vznikají od výchozí molekuly – monomeru. Dalším spojováním dvou a více základních jednotek vznikají kopolymery. Makromolekuly jsou tedy řetězce opakujících se merů, které se dle struktury dělí na polymery lineární, rozvětvené a síťované. Základní chemické a fyzikální vlastnosti jsou určeny chemickým složením meru a způsobem jejich spojení. Celkový počet merů v řetězci určuje další vlastnosti. Počet merů v řetězci se nazývá polymerační stupeň [1]

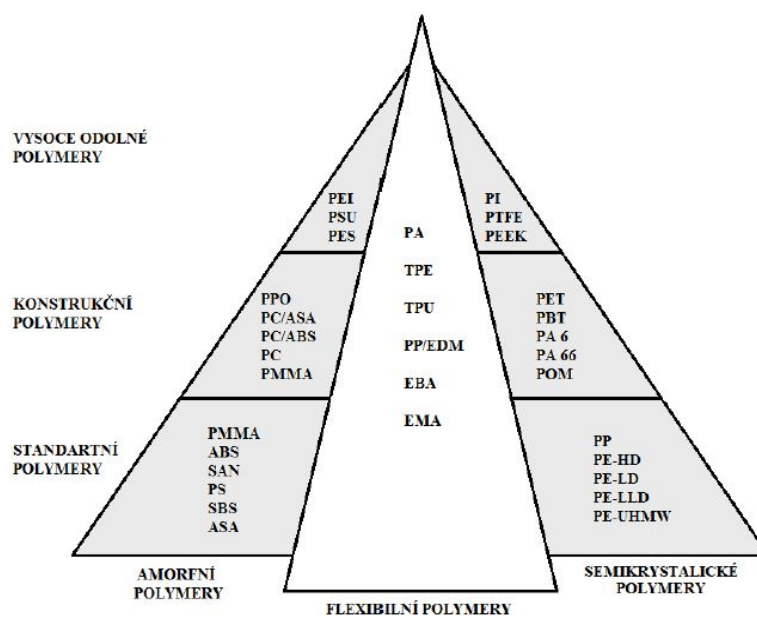


a) Lineární polymery, b) Rozvětvené polymery, c) Slabě síťované polymery, d) Silně síťované polymery

Obr. 1: Rozdělení makromolekul [1]

Polymerní materiály dělíme na tyto skupiny:

- termoplasty – amorfní a semikrystalické
- reaktoplasty – fenolické, epoxidové, polyesterové
- termoplastické elastomery – s nízkou a vysokou tvrdostí
- elastomery – NR, SBR, NBS



Obr. 2: Rozdělení termoplastů [2]

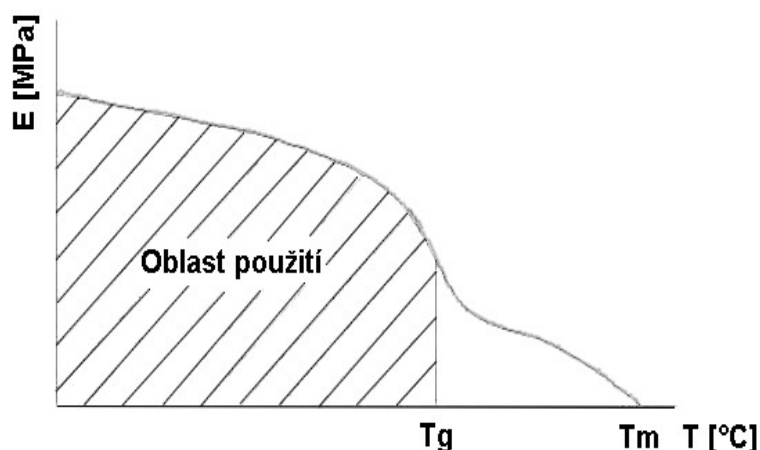
## 1.1 Teploty charakteristické pro polymery

Ve všech materiálech částice hmoty vykonávají rotačně vibrační pohyby, jejich intenzita a amplituda je úměrná jejich teplotě. Tyto pohyby se nazývají mikrobrownův pohyb a způsobují pohyb částí řetězců – segmentů. Pokud se zvyšuje teplota, pohyb se zvolňuje, díky tomu se mění vlastnosti segmentů. Při zvyšování teploty se uvolňuje pohyb segmentů a změnu u křehkého sklovitého chování na chování viskoelastické. Teplota, kdy ke změně dojde je označena  $T_g$ , teplota skelného přechodu. Při této teplotě intenzita tepelného pohybu převyšuje mezimolekulární síly a segmenty se začínají pohybovat. Při dalším zvýšení teploty se zvyšuje amplituda pohybu segmentů, dochází k jejich pohybu a řetězce se pohybují vůči sobě, dochází k toku. Tato teplota se označuje  $T_f$  – teplota tečení a vyskytuje se jen u amorfních polymerů. Ty se nad touto teplotou nacházejí ve stavu viskózní taveniny. Během krystalické fáze nedochází při zvyšování teploty k uvolnění pohybu segmentů, díky působení větších mezimolekulárních sil. Když se teplota zvýší až k uvolnění mezimolekulárních sil, struktura se přemění na viskózní taveninu. Dojde k tání krystalického podílu a teplota se nazývá  $T_m$ . Při dalším zvyšování teploty se řetězce rozpadají a polymer degraduje. Teplota se nazývá  $T_c$  – rozkladu polymeru. [2,6]

## 1.2 Termoplasty

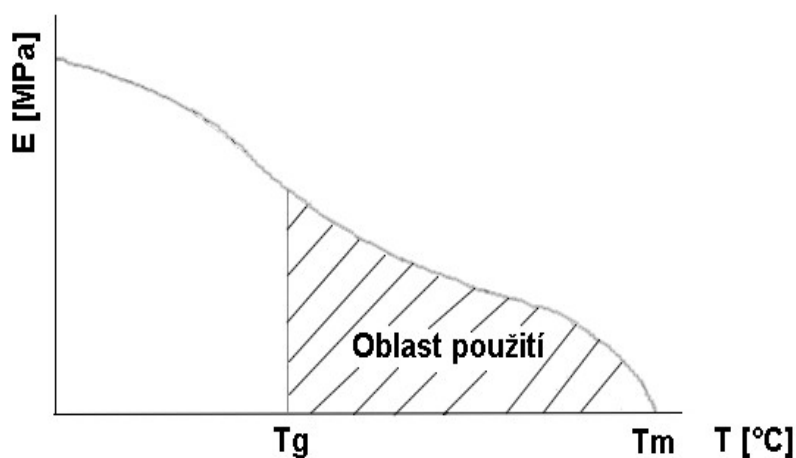
Termoplasty jsou makromolekulární látky, které tvoří lineární nebo rozvětvené řetězce. Jsou pomocí tepla tavitelné a ve stavu taveniny se díky tlaku vstříkují do forem, díky které získají svůj tvar a ochlazením jsou převedeny do tuhého stavu. Mezi nejpoužívanější termoplasty řadíme *PE*, *PP*, *PA*, *PC*, *PET*. Podle jejich vnitřní skupiny je dělíme na amorfní a semikrystalické.

Amorfní termoplasty mají řetězce uspořádané nepravidelně, výrobky jsou křehké, tvrdé, mají vysokou pevnost a modul pružnosti. Použití výrobků z amorních polymerů jsou v oblasti pod teplotou skelného přechodu  $T_g$ . Pod touto teplotou jsou amorfní termoplasty ve sklovitém stavu a modul pružnosti se mění řádově. Konkrétní hodnota  $T_g$  je v závislosti na velikosti makromolekulárních silách – čím větší jsou makromolekulární síly, tím vyšší je teplota  $T_g$ . Při překročení teploty  $T_g$  dochází ke slábnutí vnitřní soudržné síly, poté následuje slábnutí polymeru a polymer přechází z pevného stavu do viskózního. Při něm je možné polymer zpracovávat. [2,3]



Obr. 3: Oblast použití amorfních termoplastů [2]

Semikrystalické polymery mají části makromolekul vázány pevněji v lamelách a ve sférolitech krystalické fáze. Při zvyšování teploty se uvolňuje část makromolekul z amorfni oblasti a poté ostatní. Semikrystalické termoplasty mají oblast použití nad teplotou skelného přechodu  $T_g$  díky vysoké pevnosti a houževnatosti. [2,3]



Obr. 4: Oblast použití amorfních termoplastů [2]

### 1.3 Reaktoplasty

Při jejich zpracování dochází k chemické reakci díky účinkům tepla, záření nebo síťovacím činidlem. Vytvoří tak hustě zesíťované struktury, molekuly jsou spojeny kovalentními vazbami. Proces se nazývá vytvrzování a reaktoplasty jsou po vytvrzení znovu netavitelné a nerozpustné. [4]

### 1.4 Termoplastické elastomery

Termoplastické elastomery jsou polymerní materiály, jež mají při pokojové teplotě vlastnosti podobné elastomerům, ale při zpracování mají chování termoplastů. Jejich výhodou je, že těchto

vlastností dosahují bez potřeby vulkanizace, dochází totiž k fyzikálnímu zesílení. Jsou znovu tepelně zpracovatelné. Obsahují tvrdé i měkké domény, které mají různé teploty skelného přechodu  $T_g$  a tání  $T_m$ . [5]

## 1.5 Elastomery

Elastomery (pryže) jsou elastické polymery, u kterých pomocí malé síly dochází ke značným deformacím bez jejich porušení. Deformace je u nich vratná. Největším zástupcem elastomerů je kaučuk, při přidání přísad vytvoříme gumu. Vulkanizací gumy vzniká pryž. Jedná se o fyzikálně-chemický proces, při kterém působení teploty a tlaku za určitý čas vzniká vulkanizát. [5]

## 1.6 Úprava polymerů pro zpracování a použití

Základní polymer, který vznikne z monomeru chemickou cestou, se obvykle nezpracovává přímo, ale upravuje se, aby získal požadované vlastnosti. Pro získání těchto vlastností se polymer upravuje přísadami – aditivami. [6]

### 1.6.1 Aditiva upravující zpracovatelnost taveniny

Pro zlepšení zpracovatelských vlastností se využívají tyto přísady:

- tepelné stabilizátory – zvýšení stability taveniny v plastikačním válci,
- nukleační činidla – rovnoměrná krystalická struktura,
- vnitřní maziva – zlepšení tokových vlastností taveniny, zlepšení zatékavosti, snadné odformování výstřiků. [6]

### 1.6.2 UV stabilizátory

Zvyšují odolnost proti atmosférickému stárnutí, díky tomu mají výrobky delší životnost. Stabilizátory pohlcují záření vedoucí k degradaci polymeru, nepropouštějí světlo o vlnové délce 300 až 400 nm. [6]

### 1.6.3 Pigmenty

Díky pigmentům mají polymerní materiály barevný odstín. Aplikují se buď při výrobě vstřikovacího granulátu nebo formou barevných koncentrátů. Základní složkou koncentrátu je nosič, obsahuje daleko více pigmentů a barviv než původní polymer. Na barevné koncentráty je kladen požadavek na teplotní stálost, musí tedy bez změny projít výrobním procesem. Mezi další požadavky patří světelná stálost, tedy odolnost proti UV záření a povětrnostním vlivům. [6]



#### 1.6.4 Plniva

Pokud se k polymernímu materiálu přidá plnivo, vznikne kompozitní materiál, tedy materiál tvořený dvěma nebo více materiály se zcela odlišnými vlastnostmi. Jako plnivo se používají plniva částicová, vyztužující a nanoplňiva. Do plniv částicových patří minerální plniva. Tyto plniva zvyšují viskozitu taveniny (snižují tekutost), zvyšují tvrdost, tuhost a zmenšují smrštění výstřiků. Mezi částicová plniva řadíme:

- skleněné mikrokuličky – balotina
- talek – mastek
- kalion – kulový tvar
- slída – destičkový tvar
- grafit
- mikromletý křemen

Plniva mohou rovněž ovlivnit jiné vlastnosti jako pigment – saze, retardér hoření nebo jako nukleační látka, pokud je jejich velikost stejná nebo menší než velikost sférolitů.

Další plniva jsou vyztužující plniva, které zvyšují pevnost kompozitů, tuhost, odolnost ke studenému toku. Naopak snižují jejich ohebnost, tažnost. Vyztužující plniva mají vláknitou strukturu, mezi nejpoužívanější patří skelná vlákna. Efekt vyztužujících plniv spočívá v poměru jejich délky k jejich průměru –  $l/d$  větší než 10. Častá délka vláken je 0,2 – 0,4 mm až k 1 mm.

Mezi další plniva se řadí nanočástice, nejpoužívanější jsou vrstevnaté jíly. Velikost částic se blíží velikosti molekulám polymerní matrice. Díky tomu dochází k blízkému spojení matrice a plniva. Nanočástice zlepšují mechanické vlastnosti polymerní matrice, zlepšují odolnost vůči chemikáliím, zvyšují jakost povrchu výrobků. [6]

### 1.7 Polymery používané v automobilovém průmyslu

Díky svým technickým i konstrukčním možnostem se plastové výrobky uplatňují v řadě oborů, mezi největší zástupce patří automobilový průmysl. Ten na výrobky klade vysoké nároky a to má za následek posun technologie vstřikování polymerů. Mezi používané materiály se řadí termoplasty, termosety a elastomery. Výrobky v automobilovém průmyslu se dělí na pohledové a technické. Příkladem pohledového dílce je klika dveří automobilu, hlavní úlohu zde plní funkce vizuální. Vyrábí se technologií vstřikování s podporou plynu (GIT), dílec se dále chromuje. Použití technologie GIT je dáno konstrukcí kliky – je dutá. V případě plného materiálu by totiž na výstřiku vlivem množství hmoty vznikly propadliny. Pomocí technologie vstřikování s podporou plynu je

tedy možné vstříkovat s vnitřní dutinou a výrobky s jednotnou tloušťkou stěny. Příkladem technických výrobků jsou například pedály automobilu – brzdový, spojkový a plynový. Zde je kladen důraz na mechanické vlastnosti výrobku a vizuální stránka je u nich méně důležitá. [6]

## 2 VSTŘIKOVÁNÍ

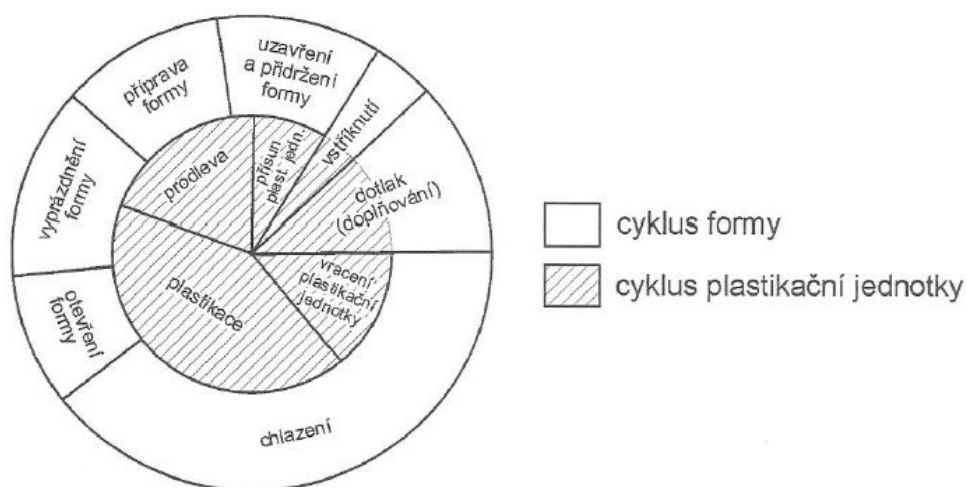
Vstřikování polymerů je termodynamický cyklický proces. Materiálu určený pro vstřikování je dodáván ve formě granulátu. Ten se zbavuje vlhkosti (suší se za teplot do 150 °C), poté je přemístěn do násypky, odkud je nabírán do plastikační jednotky, tam se nahřívá na požadovanou vstřikovací teplotu (150 °C – 400 °C). Z granulátu tak vzniká tavenina, která je vstřikovaná pod vysokým tlakem do vstřikovací formy (nástroj). Nástroje se často temperují na teplotu 20 °C – 150 °C.

Pro dokonalé zaplnění formy taveninou je nutné odvzdušnění formy – aby unikly plyny v dutině. Zpravidla stačí vůle v pohyblivých částech formy a dělicí rovině. Po zaplnění dutiny taveninou následuje dotlak, poté nastává chlazení, kdy se tavenina mění v pevné skupenství. Po dosažení vyhazovací teploty se forma otevře a výrobek je vyhozen za pomoci vyhazovačů z formy.

Vstřikování termoplastů je významná technologie pro zpracování termoplastů. Technologie je vhodná pro velkokapacitní produkci složitých dílů, které vyžadují rozměrovou přesnost. [6]

### 2.1 Vstřikovací cyklus

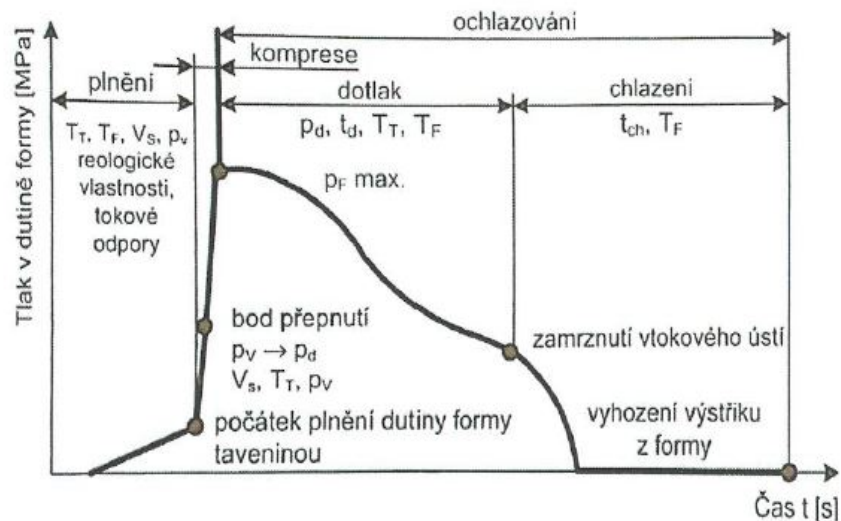
Začíná přivedením materiálu (granulát) do násypky vstřikovacího stroje, ze které je nejčastěji šnekem odebírán. Je dopravován do tavicí komory, kde za pomoci tepla z topných těles a třením vznikne tavenina, jež se hromadí před čelem šneku (otáčí se). Když dojde k nahromadění potřebného množství taveniny před šnekem, dojde k jeho zastavení a začne se chovat jako píst (začne konat axiální pohyb). Tavenina je přes trysku vstřikována do dutiny vstřikovací formy, poté následuje dotlaková fáze, chlazení a vyhození výrobku z formy. Poté se celý proces opakuje. [7]



Obr. 5: Vstřikovací cyklus[7]

### 2.1.1 Tlaky při vstřikování

Mezi tlaky měřitelné při vstřikování se řadí vnější vstřikovací tlak, který je měřený před čelem šneku, a vnitřní vstřikovací tlak, jež působí v dutině vstřikovací formy během vstřikování. Pro měření vnitřního tlaku je využito tlakových čidel, která dokáží vyhodnotit neshodný kus během procesu vstřikování a to díky sledování průběhu tlaku v dutině vstřikovací formy. [7]



Obr. 6: Průběh tlaku ve vstřikovací formě [7]

### 2.1.2 Doba vstřikování

Doba, za kterou dojde k zaplnění dutiny vstřikovaným materiálem, nazýváme vstřikovací doba. Čas vstřikování se pohybuje od zlomků sekund u malých výrobku až po sekundy u rozměrných výrobku. Doba vstřikování je závislá na velikosti a designu výrobku, na použitém polymeru, druhu vtokového systému a parametrech vstřikování (teplota taveniny, teplota formy). Pro technické výrobky se volí větší rychlost vstřikování, to má za následek lepší tekutost taveniny a příznivější orientaci makromolekul ve výrobku. Může však docházet k degradaci a spáleninám na výrobcích z důvodu překročení maximální hodnoty smykové rychlosti materiálu. [7]

### 2.1.3 Vstřikovací cyklus formy

Vstřikovací cyklus pro vstřikovací nástroj začíná uzavřením vstřikovací formy, poté nastává fáze vstřikování, kdy je dutina zaplněna polymerní taveninou. Dále následuje dotlak, který doplňuje dutinu formy z důvodu objemového smrštění výstřiku, které vznikne během chládnutí taveniny. Dotlak se však může u specifických druhů výrobku vynechat. Toho je využito u tenkostěnných výrobků a u vstřikování typu GIT, WIT. Dotlak působí až do zatuhnutí vtokového ústí. Poté následuje fáze chlazení, kdy tavenina v dutině chládně až výrobek dosáhne vyhazovací teploty.

Dojde poté k otevření formy a díky vyhadzovacímu systému k vyprázdnění dutiny vstříkovací formy. Poslední fázi cyklu vstříkovací formy je příprava formy na další vstříkovací cyklus. [7]

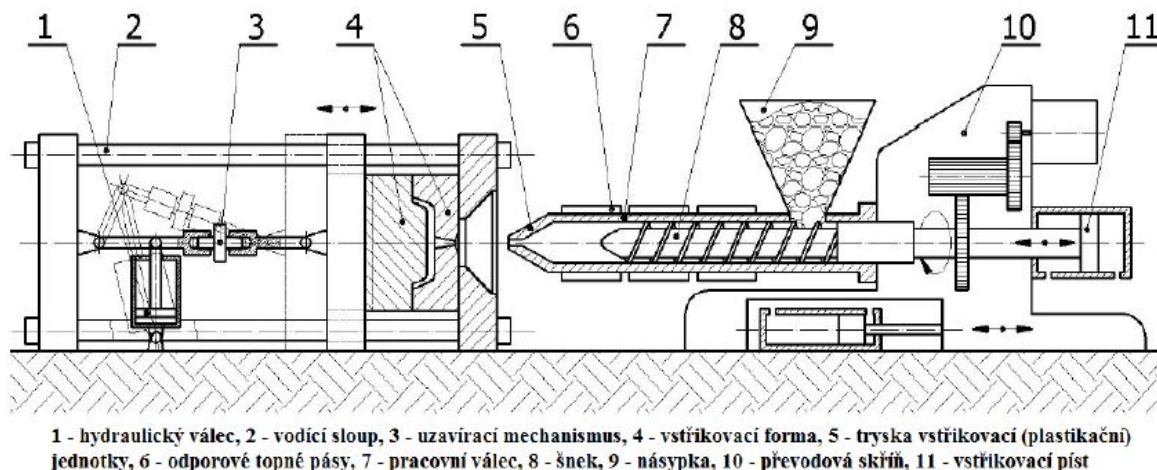
### 2.1.4 Vstříkovací cyklus plastikační jednotky

Vstříkovací cyklus plastikační jednotky začíná přísunem plastikační jednotky ke vstříkovacímu nástroji – formě. Ve fázi vstříkování taveniny do dutiny formy se šnek v plastikační jednotce chová jako píst. Svým posuvným pohybem vstříkuje vysokou rychlostí taveninu do dutiny formy. Po fázi dotlaku, který může nebo nemusí nastat po zaplnění dutiny, se plastikační jednotka vrátí do původní polohy. Materiál ve formě granulátu se tak dostane do prostoru šneku a díky působením tlaku a teploty je roztaven do taveniny. Tato část se nazývá plastikace. Nakonec cyklu nastává časová prodleva, během ní se vstříkovací nástroj připravuje na další vstříkovací cyklus. [7]

## 2.2 Vstříkovací stroj

Vstříkovací stroj je zařízení, které koná všechny pracovní pohyby, vyvolává pracovní tlaky a síly, pro proces vstříkování. Základní parametry vstříkovací stroje jsou uzavírací síla, rozměry mezi sloupky, maximální vstříkovací objem a maximální vstříkovací tlak. Konstrukci stroje dělíme podle:

- uzavírací jednotky
- vstříkovací jednotky
- pohonný systém
- řídicí a ovládací systém



Obr. 7: Schéma vstříkovacího stroje [8]

### 3 VSTŘIKOVANÉ VÝROBKY

Na vstřikované výrobky je kladeno několik požadavků, jako jsou pevnost, tuhost, houževnatost, rozměrovou přesnost. Zároveň ale snaha o co nejnižší výrobní náklady, snadnou vyrobiteľnost. Proto jsou nejvýhodnější jednoduché díly, které budou plnit pevnostní podmínky, mít rozměrovou stálost, jednoduší dutinu vstřikovací formy. Vstřikované výrobky budou vždy vyrobeny v určité toleranci, protože při výrobě vstřikovací formy vznikají nepřesnosti (díly mají výrobní toleranci), během vstřikovacího procesu mají vliv parametry vstřikování (například velikost dotlaku, teplota vstřikovací formy). Volí se také polymerní materiály s nízkou hodnotou smrštění. [13]

#### 3.1 Návrh vstřikovaných výrobků

Pro docílení požadované kvality a mechanických vlastností výrobků je potřeba zvolit vhodný design výrobku. Proto se dodržují následující konstrukční zásady.

##### 3.1.1 Dělicí rovina

Pro správné zaformování výstřiku je zapotřebí stanovit dělicí rovinu. Ta musí ve směru výrobku v takovém směru, aby jej bylo možné z dutiny vstřikovací formy odformovat. Probíhá v hranách výstřiku, tak aby neovlivnila jeho design, protože v její hraně vzniká malý otřep. Proto se často volí na nepohledových stranách výrobku. Je snaha o její jednoduchost, která má vliv na komplikovanost její výroby a na slícovatelnost. Dělicí rovina slouží také k odvzdušnění dutiny formy. [13]

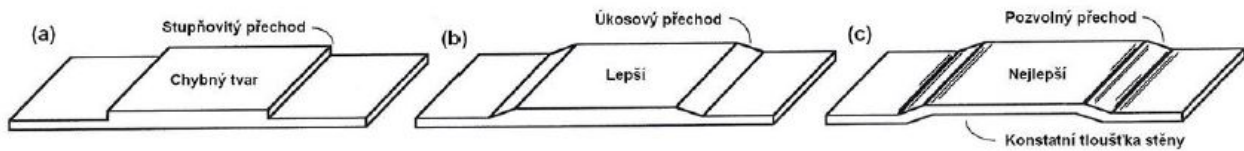
##### 3.1.2 Zaoblené hrany

V místech, kde protéká tavenina, se volí zaoblené hrany a kouty. Díky tomu se zlepší tok taveniny v dutině formy, snižuje vnitřní pnutí ve výrobku a usnadní odformování v dutiny vstřikovací formy. Zaoblená hrana bude mít také větší tuhost, než ostrý roh. Výroba ostrého rohu by byla i výrobně složitá, protože třískovým obráběním do nástroji zůstává zaoblená hrana. Během výroby vstřikovací formy se často volí menší rádius vnitřní zaoblené hrany, který se pak může zvětšit odebráním materiálu z dutiny. Díky tomu lze změnit výstřik po provedení prototypových dílů. [13]

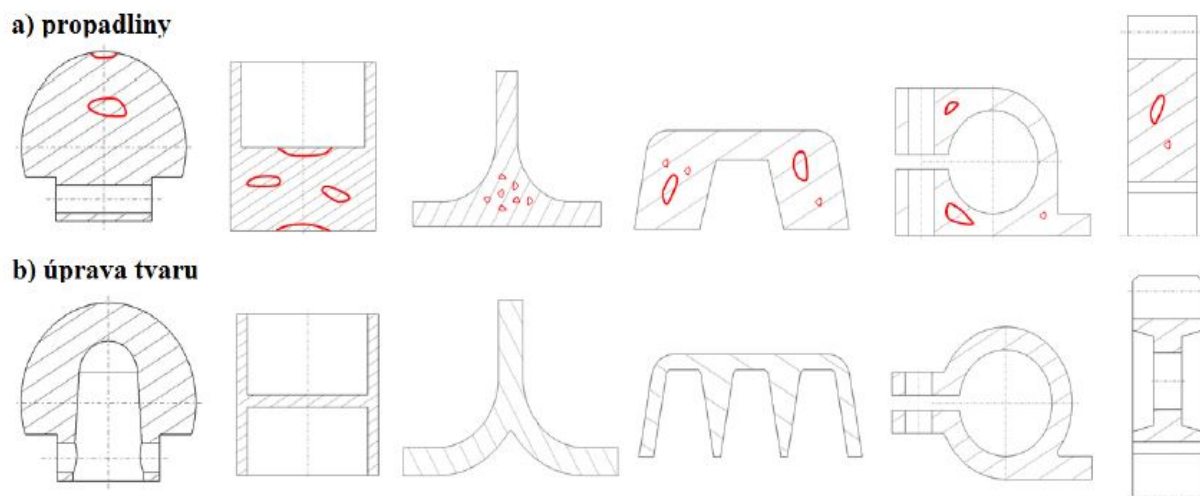
##### 3.1.3 Tloušťka stěn

Plnění dutiny probíhá v určitých směrech, které se dají dopředu určit. Díky tomu lze tloušťky stěn výstřiku navrhnout tak, aby při plnění dutiny nedocházelo k negativním jevům. Pokud tavenina teče úzkou stěnou, rychleji chladne. Tam, kde je stěna tlustá, je potřeba stěnu ochlazovat déle, než zbytek výstřiku. Pokud je tedy výrobek navržen s rozdílnou tloušťkou stěn, tuhnutí polymeru není

rovnoměrné, což má za následek vznik vnitřních pnutí, propadliny. Nejvhodnější je tedy výrobek s jednotnou tloušťkou stěn, bez ostrých hran. [15]



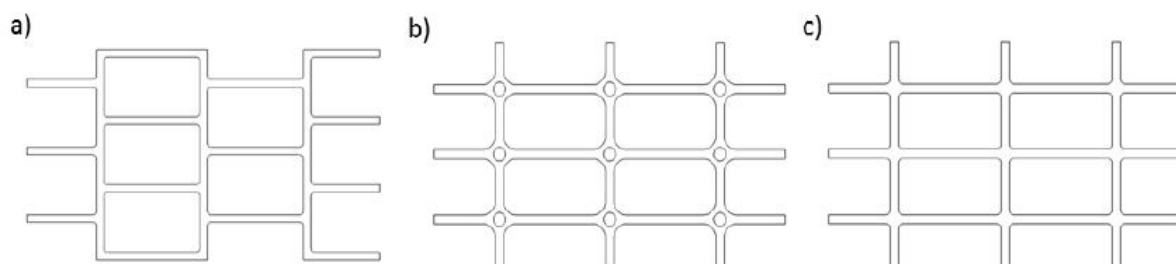
Obr. 8: Rozdílná tloušťka stěn [15]



Obr. 9: Tloušťka stěn výrobku (a - nevhodné řešení, b - vhodné řešení) [15]

### 3.1.4 Žebra

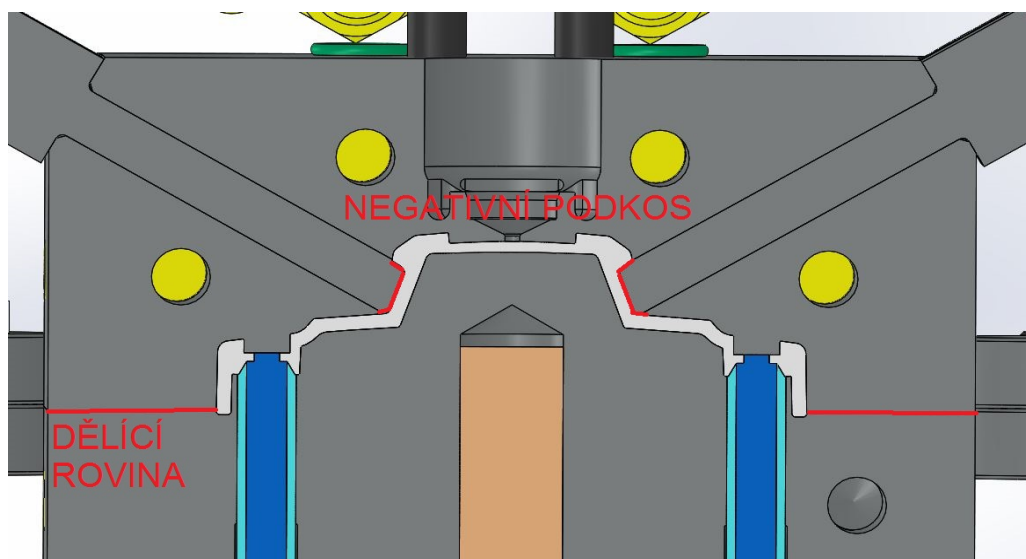
Slouží ke zvýšení tuhosti výrobků. Používají se žebra technická, která zvyšují tuhost a pevnost výrobků a žebra technologická, která ovlivňují tok taveniny v dutině formy a také zabraňují borcení stěn. Díky technologickým žebřům se eliminují vady na výstřicích. [15]



Obr. 10: Druhy žebber (a, c - technická žebra, b - technologická žebra) [15]

### 3.1.5 Úkosy a podkosy

Úkos je zásadní konstrukční prvek, který umožňuje odformování výstřiku z dutiny formy. Jedná se o sklon stěny kolmo na dělicí rovinu. Velikost sklonu bývá nejčastěji 1 stupeň. Pokud by výrobek neobsahoval úkosy, ale jen kolmé stěny, mohlo by při jeho odformování docházet k jeho poškození. Pokud výstřik obsahuje podkosy – tedy úkosy s negativním úhlem vůči dělicí rovině, celou konstrukci vstřikovací formy to komplikuje, protože výrobek nemůže být jednoduše odformován. Pro toto určité místo je nutné konstrukčně zajistit zaformování zvlášť, tak aby požadované místo na výrobku vzniklo a zároveň byl výrobek odformovatelný v kolmém směru na dělicí rovinu. [14]



Obr. 11: Odformování výrobku s negativním podkosem pomocí šikmých čelistí

### 3.1.6 Otvory

Otvory jsou umístovány kolmo na dělicí rovinu tak, aby nevytvářely na výrobku vady. Pokud se při toku taveniny v dutině spojí vlivem otvoru dvě čela taveniny, dojde ke studenému spoji. Díky tomu bude mít výrobek horší mechanické vlastnosti. Otvory ve výstřicích jsou často vytvořeny vyhazovači. Špatným úkosem v otvorech může docházet k praskání výrobku při odformování. [15]

### 3.1.7 Vady vstřikovaných výrobků

Během vstřikování výrobků vzniká řada chyb a defektů, ať už špatnou konstrukcí vstřikovací formy, špatnými vstřikovacími parametry či lidskou chybou. Těmto vadám se dá předcházet CAE analýzou vstřikování, která nedostatky odhalí ještě před samotnou výrobou vstřikovací formy. [17]

Největším nedostatkem výrobku je *nedostříklá část* výstřiku, kdy nebyla dutina vstřikovací formy zcela zaplněna. To může nastat z nejrůznějších příčin. Konstrukce výrobku může mít tenké stěny, kdy tavenina zchladne, než se naplní celá dutina formy nebo náhlé přechody z tenkých stěn do



tlustých. Z hlediska konstrukce formy může být nevhodně zvolená vtoková soustava, kdy jsou například poddimenzovány vtokové kanály formy nebo u víceotiskových forem mají kanály různé délky. Může to být také způsobeno špatným odvzdušněním vstřikovací formy, kde tavenina před sebou tlačí v dutině vzduch, který nemá kudy uniknout. V důsledku toho nedojde k zaplnění dutiny formy a výstřik bude nedostříknutý. [11]



*Obr. 12: Nedostříklý výrobek víčka nádrže*

*Přetoky* jsou designová vada výrobku, na které je v místě dělicí roviny otřep. Ten vznikne díky nesprávnému zavření formy v důsledku znečištění formy, opotřebení či špatnému slícování. Může také vznikat nesprávnými procesními parametry, jako je vysoký vstřikovací tlak. [10]



*Obr. 13: Přetok v dělicí hraně na výrobku*

*Propadliny* jsou také vzhledová vada výrobku, která vzniká smrštěním materiálu v nerovnoměrně navržených tloušťkách stěn. Vlivem tekutého jádra a chladného povrchu materiálu mají vrstvy

rozdílné smrštění a jádro stáhne okolní vrstvy k sobě. Vznikne tak deformace na výstřiku, například v oblasti žeber. [12]



*Obr. 14: Propadliny na výstřiku vlivem žeber*

*Lunkry* jsou skrytá vada výstřiků, jedná se o vzduchové kapsy ve stěnách, které snižují pevnost výrobku. Vznikají tehdy, když na ochlazující se povrchové vrstvy působí smrštění a při chládnutí vnitřní vrstvy dojde k objemové změně. Může být také způsoben uzavřeným vzduchem v dutině vstřikovací formy. [9]

*Studený spoj* je zároveň vzhledová i pevnostní vada výrobku. Vznikne tam, kde se spojí studená čela taveniny (například při obtékání jádra). Čím nižší je teplota čela taveniny, tím menší bude spoj méně kvalitní. Studeným spojům se lze vyhnout vhodnou konstrukcí vtokové soustavy, lze také využít kaskádové vstřikování. Jde o systém horkých trysek, které mají ovládané jehly a umožňují řízené vstřikování z jednotlivých trysek. [9]



*Obr. 15: Viditelný studený spoj na výstřiku*

*Dieseľefekt* je vzhľadová vada výstříků, kdy v důsledku uzavřeného vzduchu v dutině dojde k jeho zahřátí. Vytvoří na výrobku spálené místo, materiál je degradovaný a drolí se. Tomu lze zabránit správnou konstrukcí odvzdušnění dutiny formy. Na obrázku (Obr. 19) je spálené místo v důsledku příliš těsného otvoru pro prizmatický vyhazovač, vzduch neměl kudy uniknout. Po několika cyklech se otvor uvolnil, vznikla vůle pro únik vzduchu a výrobek byl bez dieseľefektu. [9]



Obr. 16: *Dieseľefekt*

*Jetting (volný proud taveniny)* nastane v důsledku nevhodně navržené vtokové soustavy. Tavenina při plnění dutiny postupuje středem, zastaví se o protější stěnu či překážku, teprve pak zaplňuje zbytek dutiny. Prvotní proud taveniny je ochlazený a na výstříku vznikne viditelný defekt jeho toku. Úprava této vady je komplikovaná, protože vyžaduje konstrukční zásah do vtokové soustavy formy. Případně je pak možné umístit proud taveniny do cesty nějakou konstrukční překážku, aby se o ni tavenina roztekla do všech směrů. [9]



Obr. 17: *Jetting*

## 4 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Vstřikovací forma má za úkol dopravit polymer ve formě taveniny do své tvarové dutiny, tuto taveninu pomocí temperačního systému ochladit na vyhazovací teplotu výstřiku. Dále musí vstřikovací forma zajistit vyhození výrobku z dutiny díky vyhazovacímu systému.

Vstřikovací forma se skládá ze dvou hlavních částí. První část je dutina formy, díky které získává výstřik svůj konečný tvar. Dutina bývá nejsložitější na výrobu, díky své tvarové složitosti a povrchové jakosti. Druhá část je rám formy, který obstarává mechanické vlastnosti formy a jeho konstrukce bývá u forem podobná. Z tohoto důvodu se používá stavebnicový systém forem, kde se u výrobců kupují jednotlivé části i celky rámců vstřikovacích forem. [10]

Na vstřikovací formy jsou kladeny tyto požadavky:

- tvarová dutina musí mít vysokou přesnost, jakost povrchu, teplotní zpracování,
- forma musí mít pevnost a tuhost,
- vhodně navržený vtokový a temperační systém,
- vhodně navržené odformování výstřiku (aby nedocházelo k jeho deformaci),
- dosažení stanovené životnosti formy.

Všechny vstřikovací formy jsou rozděleny hlavní dělicí rovinou na dvě části, pohyblivou a pevnou stranu. Pohyblivá (též vyhazovací strana) se v závěru vstřikovacího cyklu pohybuje od trysky stroje a její funkce je vyhození výstřiku z formy. Pevná strana formy (též vstřikovací strana) je připojena ke vstřikovací jednotce stroje a během vstřikovacího cyklu se nepohybuje. Má za úkol vést taveninu do dutiny formy. [11]

Vstřikovací forma se skládá s velkého počtu částí, z tohoto důvodu se při konstrukci formy využívají normalizované části od kvalitních dodavatelů – Meusburger, Hasco. Mezi nejčastěji kupované normálie patří desky a rámy formy, vodící elementy (čepy, pouzdra), vtokové vložky, centrovací prvky, vyhazovače, části temperačního systému (zátky, nátrubky) atd. Všechny dílce jsou v požadované jakosti včetně teplotního zpracování. Katalogy dodavatelů jsou přehledně řazené a rám formy je možné sestavit přes jejich konfigurátor. Získáme tak hrubou konstrukci formy, kterou upravíme dle požadavků. Díky tomu se samotná výroba zaměřuje na výrobu tvarových vložek dutiny a dalších specifických částí, které určuje samotný výrobek (například tvarové vyhazovače, čelisti). [12]

Při výrobě forem využíváme konvenční i nekonvenční technologie obrábění. Mezi konvenční technologie při výrobě forem patří frézování, soustružení, broušení a vrtání; mezi nekonvenční technologie se řadí elektroerozivní jiskření, elektroerozivní řezání a laserové obrábění. Díky tomu, že u vstřikovacích forem je kladen velký nárok na životnost forem, tvarové části jsou kaleny nebo nitridovány. [12]

Základní rozdělení vstřikovacích forem:

- dvoudeskové
- třideskové
- s bočními posuvovými čelistmi
- se stírací deskou
- s horkými vtoky
- etážové formy
- jejich kombinace [12]

#### **4.1 Konstrukční postup při návrhu vstřikovací formy**

Při konstrukci vstřikovací formy se musí zohlednit několik aspektů, které ovlivní samotnou konstrukční řešení vstřikovací formy, proto je potřeba ty aspekty posoudit.

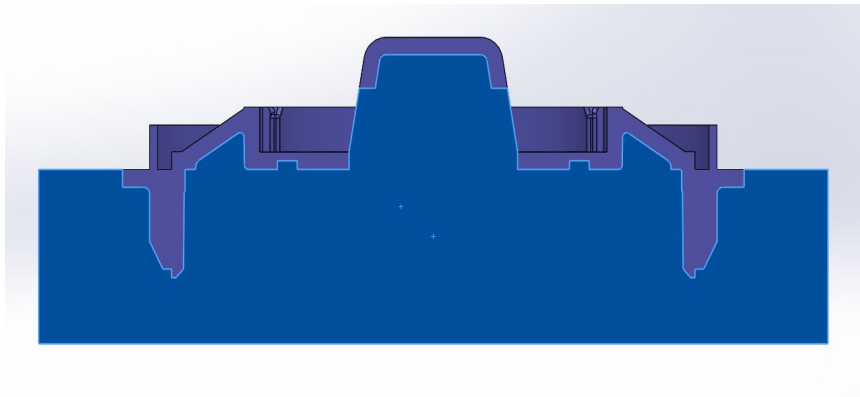
Postup samotného konstrukčního návrhu:

- posouzení vyrobiteľnosti, tvarů, násobnosti daného výrobku,
- posouzení nutných procesních parametrů a požadavků na vstřikovací stroj,
- volba vtokového systému,
- určení místa vtoku, způsobu jeho zaformování a rozmístěním vyhazovačů,
- stanovení částí vstřikovací formy (vyhazovacího systému, temperačního systému, odvzdušnění),
- návrh a konstrukce jednotlivých desek vstřikovací formy, aby plnily požadovanou funkci s ohledem na vstřikovací stroj,
- doplnění dalších částí formy (středících, temperačních, vyhazovacích elementů),
- kontrola vstřikovací formy z hlediska upínání a středění. [11]

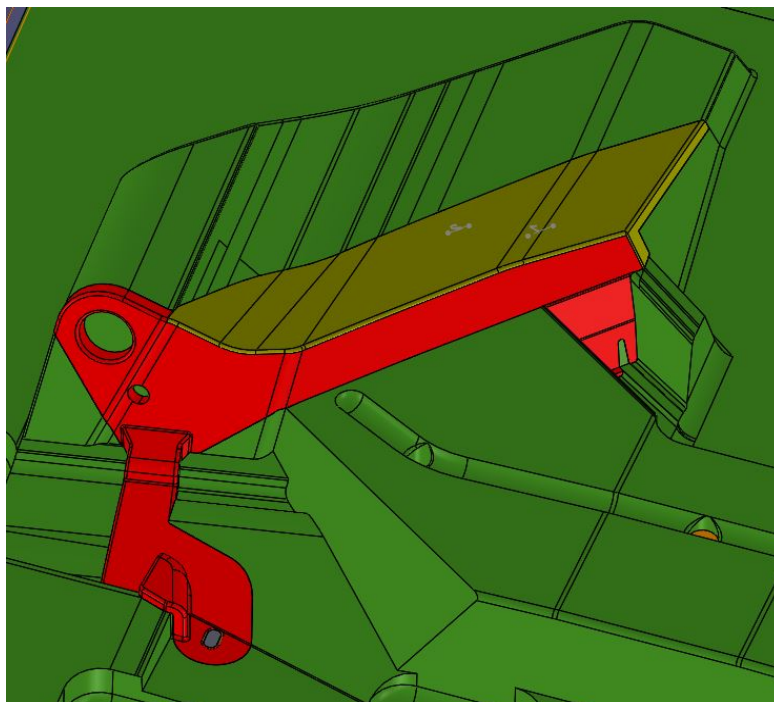
Celá konstrukce je vedena do jednoduchých a funkčních návrhů, s důrazem na splnění požadavků na vstřikovací formu. Vše je závislé na zkušenostech konstruktéra.

#### 4.1.1 Zaformování výstřiků

Volba dělicí roviny je zásadní pro konstrukci vstřikovací formy. Její tvar vychází z výstřiku, je snaha o její tvarovou jednoduchost a levnější výrobu. Často bývá dělicí rovina rovnoběžná s upínací rovinou stroje a na výstřik je kolmá. V určitých případech ale není jiná možnost a dělicí rovina může být šikmá či tvarová. Při negativních podkosech na výrobku je nutné jejich boční odformování a kromě hlavní dělicí roviny tak vznikají i vedlejší dělicí plochy. To ovšem způsobí složitější výrobu dutiny formy a výroba je dražší. Základním mechanismem pro tvorbu dělicí roviny je vytvoření kolmé roviny na všechny otvory či nálitky tak, aby nebyly jednotlivé části výstřiku v negativním podkosu vůči této rovině a byly odformovatelné z dutiny formy. [18]



Obr. 18: Dělicí rovina u jednoduchého výrobku



Obr. 19: Dělicí rovina u složitého výrobku

### 4.1.2 Násobnost formy

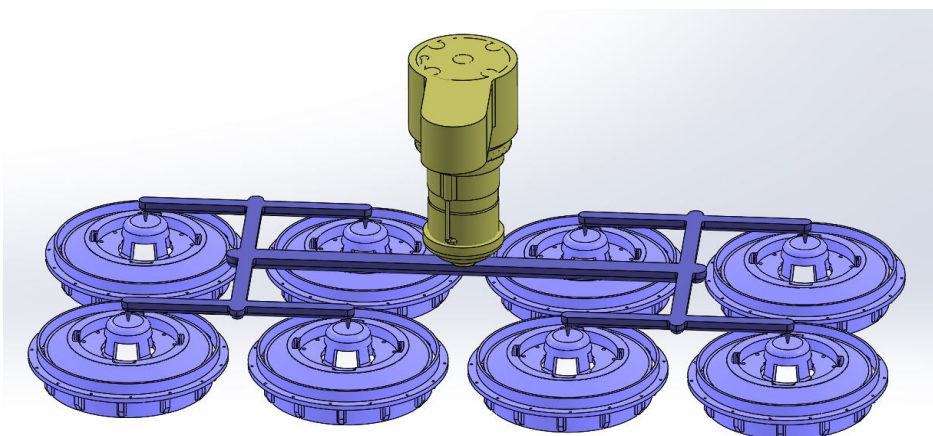
Násobnost formy udává, kolik výrobků se vyrobí během jednoho pracovního cyklu formy. U složitých a rozměrných výrobků, kde je konstrukce vstřikovací formy složitá, je ideální jednonásobná forma. Často je ale požadavek zákazníků vícenásobná forma a tak jsou celé konstrukční řešení a výroba komplikované. [15, 18]

Volba násobnosti by v ideálním případě měla vycházet z posouzení jednotlivých hledisek:

- požadovaném počtu výrobků
- velikosti a výrobním parametřům vstřikovacího stroje
- ekonomiky výroby
- termínu dodávky [9]

## 4.2 Vtokové soustavy

Vtoková soustava zajišťuje dopravu roztaveného polymeru z plastikační jednotky do dutiny vstřikovací formy. Koncepce vtokové soustavy má výrazný vliv na vzhled a rozměry finálního výrobku, také na spotřebu materiálu. Správně navržený vtokový systém zajišťuje vyvážené plnění dutiny formy, správné oddělení od výstřiku a bezchybné odformování vtokového zbytku. Poloha vtokového ústí určuje místa studených spojů, orientaci plniva, plnění dutiny formy. Volí se nejčastěji do nejsilnější stěny ve výrobku. Vtokové soustavy se dělí na dva typy – studený nebo horký. Je zde na zvážení, jaký systém použít. U studeného vtokového systému je nevýhoda, že při vstřikování je potřeba vysokých vstřikovacích tlaků v důsledku zvyšování viskozity na povrchu taveniny při toku v relativně studené formě. Horký vtokový systém je ale zase finančně náročnější. V praxi se využívá i jejich kombinace, kdy je použit centrální horký vtokový systém a ten je vyústěn do studeného rozvodného kanálu. [5]



Obr. 20: Centrální horký vtokový systém se studeným rozvodným kanálem

Na volbu vtokového systému se zohledňují tyto aspekty:

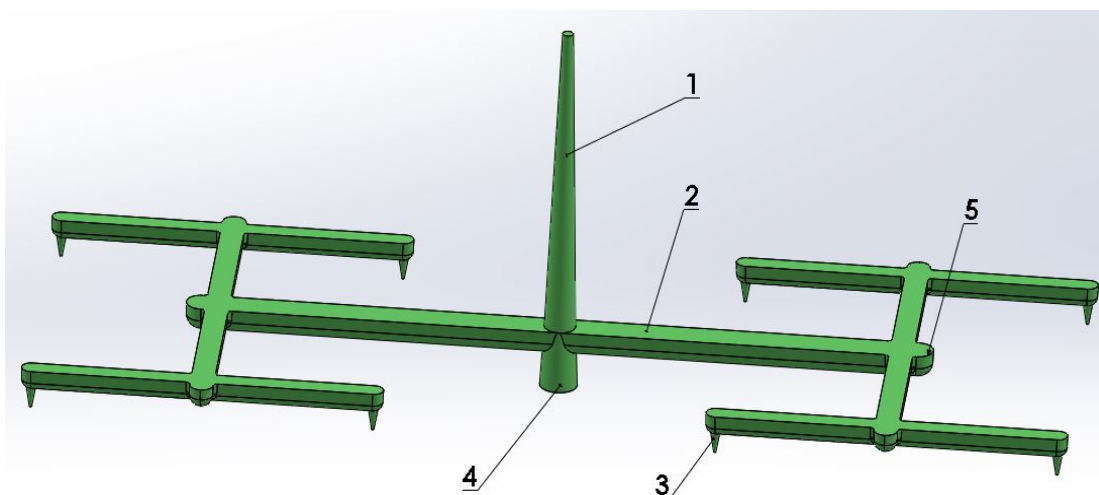
- vzhled výstřiku
- energetickou náročnost výroby
- spotřebu materiálu [5]

Konstrukční zásady, které se musí zohlednit při návrhu vtokové soustavy:

- dráha toku musí mít stejnou vzdálenost ke všem dutinám,
- dráha toku od vstřikovací trysky do dutin formy volit co nejkratší,
- vtokové ústí umísťovat tak, aby se dutina plnila od největšího průřezu výrobku k nejmenšímu,
- vtokové ústí volit co nejkratší (0,5 – 1) mm,
- u rozváděcích kanálů odstupňovat jejich průřezy, aby bylo plnění rovnovážné. [9]

#### 4.2.1 Studený vtokový systém

Studený vtokový systém nemá ve formě vyhřívanou trysku. Díky tomu dochází k chládnutí taveniny při jejím průtoku a tím zvyšuje svůj odpor vůči toku. Výhodou studených vtokových systémů je nízká cena oproti horkým vtokovým systémům, konstrukční jednoduchost, nízké provozní náklady. Naopak mezi hlavní nevýhody patří větší množství odpadu (díky vtokovému systému), větší opotřebení formy. Studený vtokový systém se skládá z vtokového kužele, rozváděcího kanálu, vtokového ústí a přidržovače vtoku. [7]

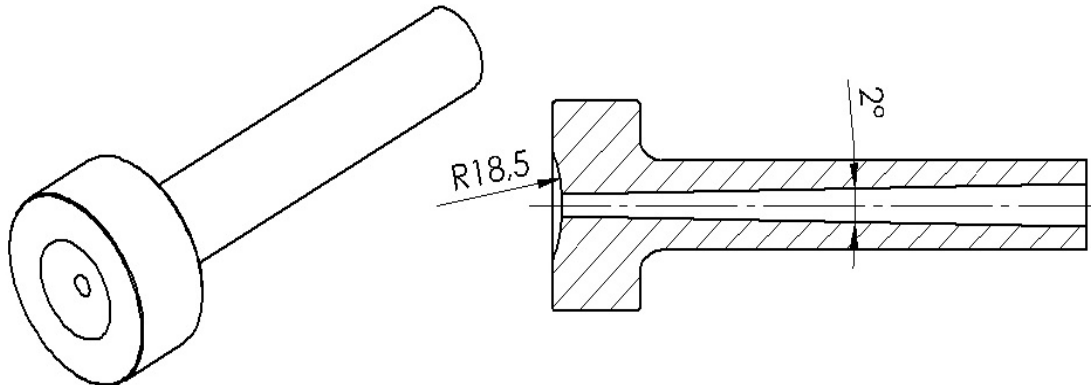


Obr. 21: Vtokový zbytek

1 – vtokový kanál, 2 – rozváděcí kanál, 3 – tunelové vtokové ústí,  
4 – přidržovač vtoku, 5 – jímka na čelo taveniny

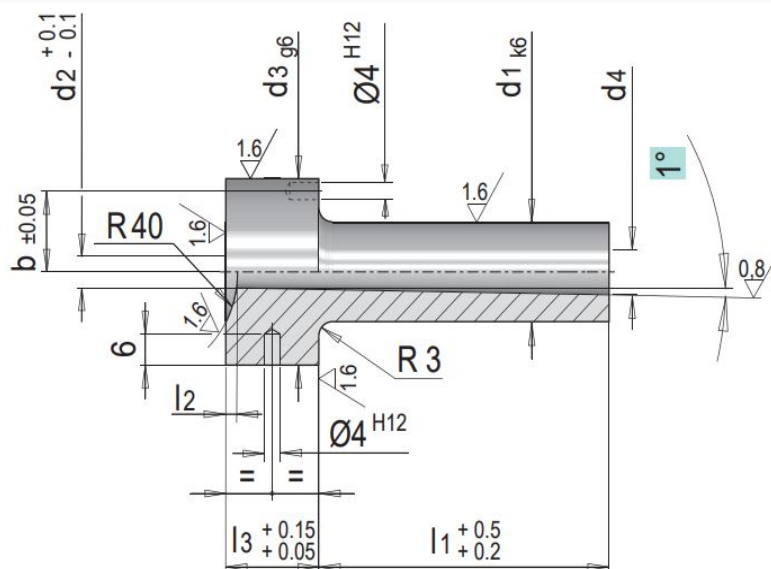


Vtokový kanál spojuje trysku plastikační jednotky s rozváděcími kanály. Nejčastější je kuželový vtokový kanál, který je vytvořen vtokovou vložkou. Ta se vyrábí z houževnaté, otěruvzdorné a tepelně zpracované oceli, protože je mechanicky i tepelně namáhána.



Obr. 22: Vtoková vložka

Vtoková vložka se kupuje jako polotovary od dodavatelů, lze si vybrat potřebné rozměry. Vložka je opatřena kolíkovými dírami, které slouží k vymezení vtokové vložky vůči pootočení. Materiál vložky je 1.2826 a je kalena na 54 HRC, takže je při úpravě jejího tvaru zapotřebí nekonvenčních metod obrábění.

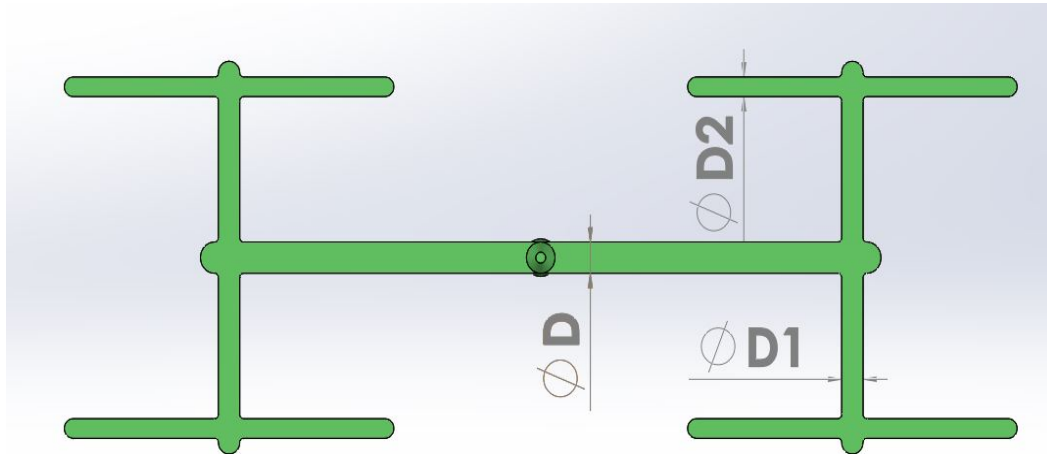


Mat.: 1.2826  $\approx$  54 HRC

Obr. 23: Nakupovaný polotovary vtokové vložky od f. Meusburger [20]

U rozváděcích kanálů musí být průřez dostatečně velký, aby po zaplnění dutiny formy bylo jádro taveniny v plastickém stavu a tím byl umožněn dotlak. Musí mít maximální objem při minimálním povrchu kvůli tepelným ztrátám, dostatečnou velikost pro zaplnění dutiny. V rozváděcích kanálech musí být zaoblené hrany. Díky jímce (prodlouženému rozváděcímu kanálu) se zachytí její čelo

taveniny, zabrání jeho proniknutí do formy a tím sníží povrchové vady na výrobku. U vícenásobných forem se stupňují průřezy rozváděcích kanálů, aby se zachovala rovnoměrná rychlost taveniny. [9]



Obr. 24: Vyvážení rozváděcích kanálů

Vtokové ústí propojení rozváděcích kanálů a dutiny formy. Druh, rozměr a jeho umístění má zásadní vliv na plnění dutiny vstříkovací formy.

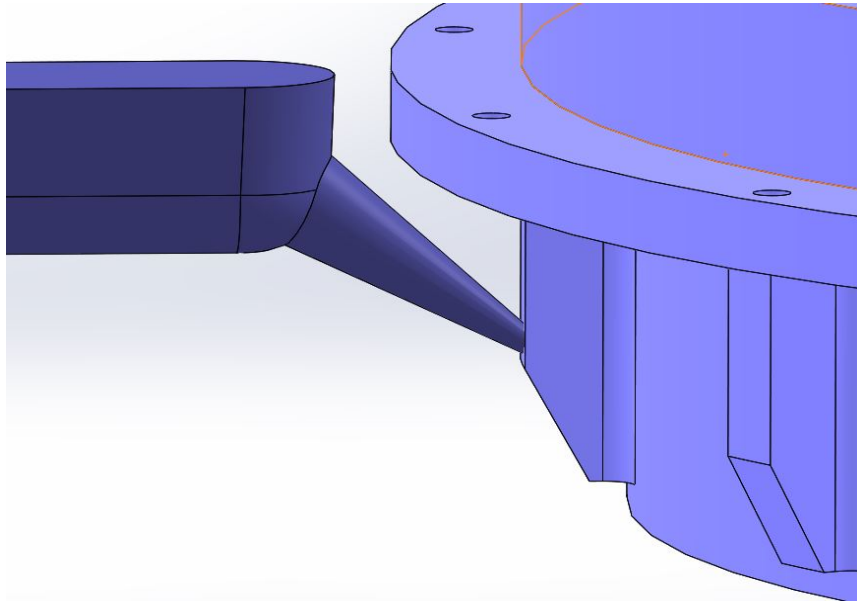
Požadavky na umístění vtokové ústí:

- umísťuje se tak, aby se zaplnila celá dutina vstříkovací formy a mohlo dojít k úniku vzduchu z dutiny,
- umísťuje se tak, aby tavenina při vtoku do dutiny narazila do stěny či nějaké překážky a nedošlo k volnému toku taveniny,
- umísťuje se na nepohledovou stranu, aby netvořilo vadu na pohledové straně,
- jeho umístěním by mělo vzniknout co nejméně studených spojů. [17]

Mezi nejpoužívanější typy vtokových ústí patří:

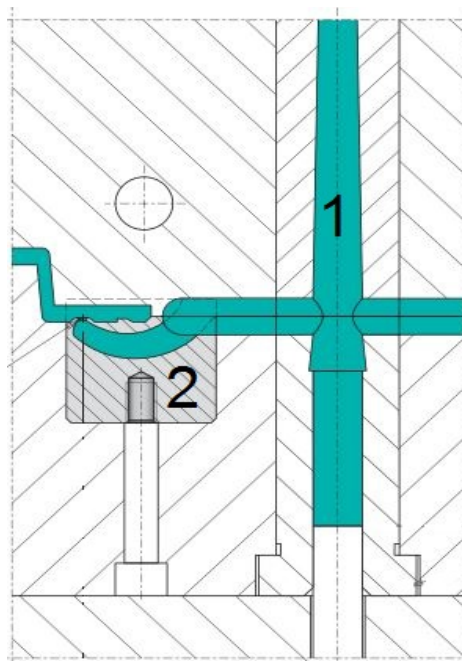
- tunelové ústí
- banánové ústí
- filmové ústí
- kuželové ústí
- talířové ústí

Ve vstříkovacích formách s nejčastěji používá tunelové ústí. Hlavní výhoda je v automatickém oddělení vtokového zbytku od výrobku a není tak potřeba třídeskové řešení formy. Jeho nevýhoda je v jeho složitější výrobě pomocí elektroerozivního obrábění. [17]



Obr. 25: Tunelové ústí do boku výstřiku

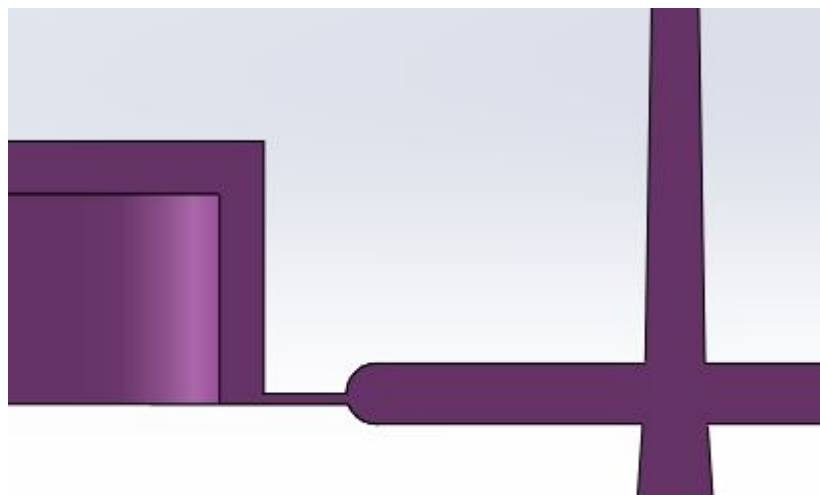
Dalším často používaným je banánové ústí, které umožňuje naplnění dutiny formy z protilehlé strany, proto na výrobku nevzniká žádná stopa po ústí. Díky své tvarové složitosti se používá vložka banánového vtokového ústí, pro kterou stačí v desce formy vyrobit dutinu a napojit konec ústí do dutiny formy. [18, 21]



Obr. 26: Banánové vtokové ústí řešené polotovarem od f. Meusbürger

1 – vtokový zbytek, 2 – vložka banánového vtoku [21]

Filmový vtok se využívá u plošných výrobků z materiálů s příměsí skelných vláken, protože naorientuje vlákna a makromolekuly jedním směrem. Nevýhodou je, že vtokový systém zůstává součástí výstřiku a je nutné jej dodatečně odstraňovat. [11]



Obr. 27: Filmové (štěrbinové) ústí

Důležitým prvkem vtokového systému je přidržovač vtoku, který vtokový zbytek zadrží na pohyblivé straně formy. Ta jej oddělí z pevné strany díky podkosu, při otevření zůstává na pohyblivé straně a poté je spolu s výstřikem vyhozen z pomoci vyhazovacího systému.

#### 4.2.2 Horké vtokové soustavy

Horké vtokové soustavy šetří pracovní čas i materiál, protože se jedná se o metodu vstřikování bez vtokového zbytku. Fungují na principu udržení polymeru ve stavu taveniny od vstřikovací jednotky po celou dobu vstřikovacího cyklu. To umožňuje vstřikovat díly s malou tloušťkou stěny, v krátkém vstřikovacím cyklu s dobrou regulací teploty. Používá se bodový vtok, v místě vstřiku se na výstřiku vytvoří čoučkovité zahloubení. Horký vtokový systém se dimenzuje pro každý výrobek a trhu je celá řada specializovaných firem (HASCO, Synventive, Svoboda), které dodávají horké vtokové systémy jako celky a při výrobě pak pro ně stačí do rámu formy vyrobit uložení. Celá soustava má snadnou montáž, demontáž i čištění. Horká vtoková soustava je však finančně náročná, vyžaduje kvalitní obsluhu i strojní vybavení, má vysokou energetickou náročnost. [13]

Výhody horké vtokové soustavy:

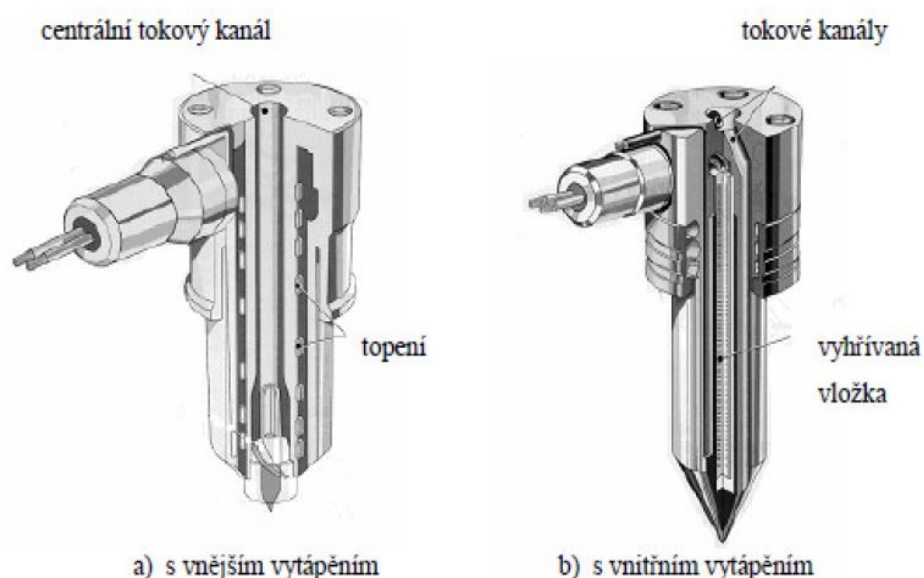
- automatizace výroby,
- snížení spotřeby vstřikovaného plastu,
- zkrácení výrobního cyklu. [13]

Nevýhody horké vtokové soustavy:

- energetická náročnost,
- počáteční vysoké náklady. [13]

*Vyhřívání trysky:*

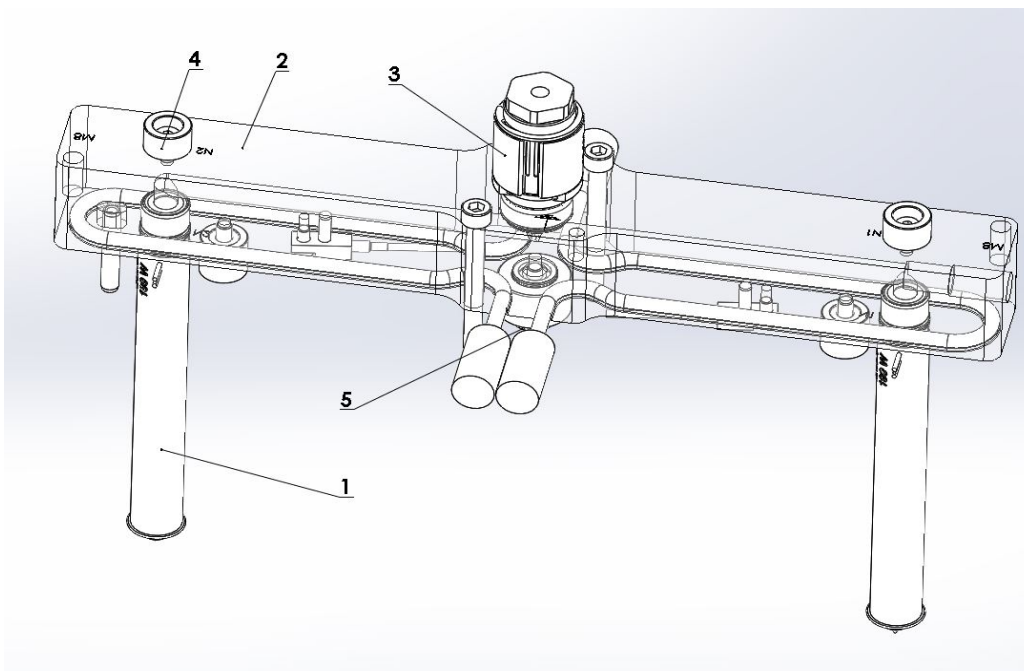
Konstrukce trysky umožňuje její připojení do dutiny formy. Má buď vlastní topný člunek i s regulací nebo je ohřívána jiným zdrojem vtokové soustavy. Vyhřívání trysky se dělí na přímo a nepřímě vyhřívání. Nepřímě vyhřívání trysky jsou vytápěny buď topným tělesem zabudovaným do ocelového pouzdra (jeho špička zasahuje do vyústění vtoku, je potřeba rychlý pracovní cyklus), nebo přenosem tepla z vyhřívání rozvodu vtoků na trysku (u vícenásobných forem). Přímě vyhřívání trysky se dělí na trysky s vnitřním topením, kde tavenina obtéká vyhřívání vložku (torpédo), nebo mají trysky vnější topení. [2]



Obr. 28: Přímě vyhřívání trysky [10]

*Horký rozvodný kanál:*

Horký rozvodný blok slouží k rozvedení taveniny do vícenásobných forem. Rozváděcí blok je z ocele, uložený mezi tvarovou a upínací desku na pevné části vstřikovací formy. Tvarově je přizpůsobený rozmístění rozváděcích kanálů a uložení trysek. Je tepelně oddělen od dalších částí formy vzduchovou mezerou. Do rámu formy je upevněn díky přítlačným kroužkům a je vystředěný a zajištěný proti pootočení ve formě. Jeho funkce záleží na rovnoměrném vytápění, jinak to ovlivní tokové chování taveniny a tlak v jednotlivých dutinách. Blok je vytápěn topením ve formě měděných hadů. Teplota polymerní taveniny je řízena regulátorem teploty a je ovládán tepelnými snímači v tryskách a rozvodném bloku. [2]



Obr. 29: Systém horkých trysek s vyhříváním rozvodným blokem

1 – horká tryška, 2 – rozvodný blok, 3 – vtoková vložka,  
4 – přítlačná podložka, 5 – středící kroužek

### 4.3 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém je součástí všech vstříkovacích forem a slouží k odformování (vyhození) výstřiku z dutiny formy. V ní výstříky zůstávají přichyceny vlivem smrštění a je proto potřeba vyhazovací síla, která oddělí výstřík z dutiny formy. Velikost této síly závisí na velikosti vlastním smrštění výrobku, jeho velikosti a tvaru, na jakosti dutiny a na technologických podmínkách vstříkování. Vyhazovací systém musí výstřík odformovávat rovnoměrně, aby nedošlo k deformaci výrobku, rozmístění vyhazovačů tedy musí být rovnoměrné a rozmanité. Základní podmínkou pro správné vyhození výstřiku jsou úkosy na stěnách ve směru otvírání. Vyhazovací systémy se dělí na mechanické, pneumatické a hydraulické. [16]

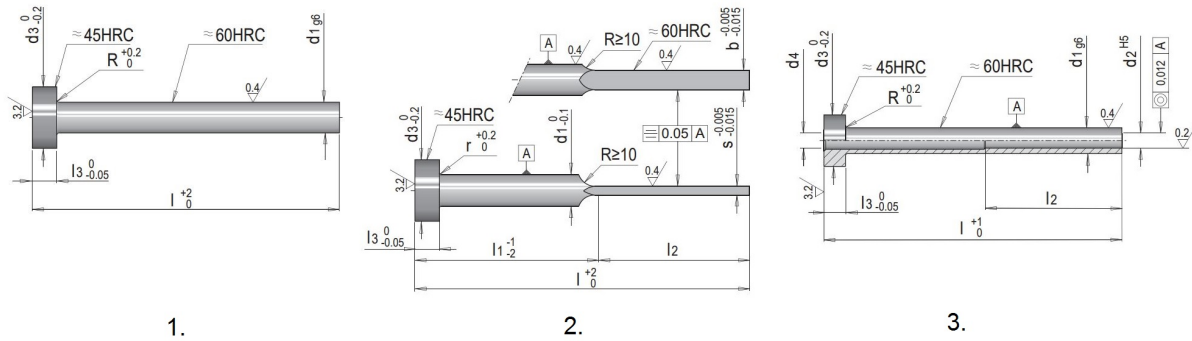
#### 4.3.1 Mechanické vyhazování

Jedná se o používanější vyhazovací systém. Vyhazovací mechanismus je v přímém kontaktu s výstříkem. [16]

*Vyhazovací kolíky:*

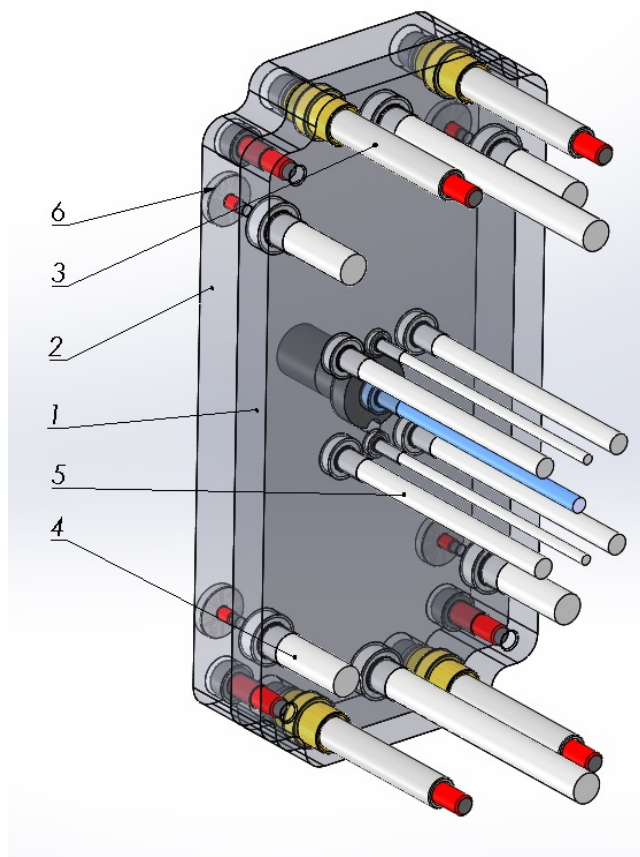
Nejčastěji používaný vyhazovací prvek. Umisťují se na plochy výstřiku, které jsou ve směru vyhazování a protože po jeho ploše zůstávají na výstříku stopy, umisťují se často na jeho nepohledovou stranu. Jedná se funkční a jednoduchý systém. Vyhazovací kolík se umísťuje na plochy výrobku i jeho žebra, nesmí ho však při vyhazování bortit a deformovat. Při velkém počtu

vyhazovacích kolíků se obtížně zhotovuje temperační systém. Vyhazovací kolíky jsou nejčastěji válcové, často mají upravenou upínací část proti pootočení (pokud je konec vyhazovače tvarový). Vodící část vyhazovače je většinou válcová a celý vyhazovač je kalený. Vůlí okolo vyhazovače lze také odvzdušnit výstřiky. Jedná se normálii, která se nakupuje u dodavatelů. [16]



Obr. 30: Vyhazovače f. Meusburger

1 – válcový vyhazovač, 2 – prizmatický vyhazovač, 3 – trubkový vyhazovač [22]



Obr. 31: Vyhazovací systém vstřikovací formy

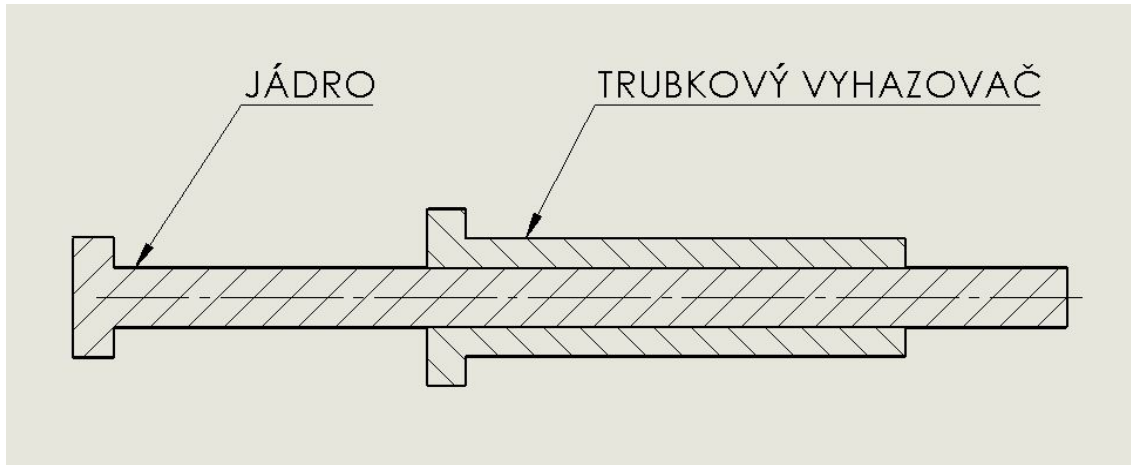
1 – kotvní vyhazovací deska, 2 – opěrná vyhazovací deska,

3 – vodící systém, 4 – vracecí kolík,

5 – válcové vyhazovače, 6 – dorazové kroužky

*Trubkový vyhazovač:*

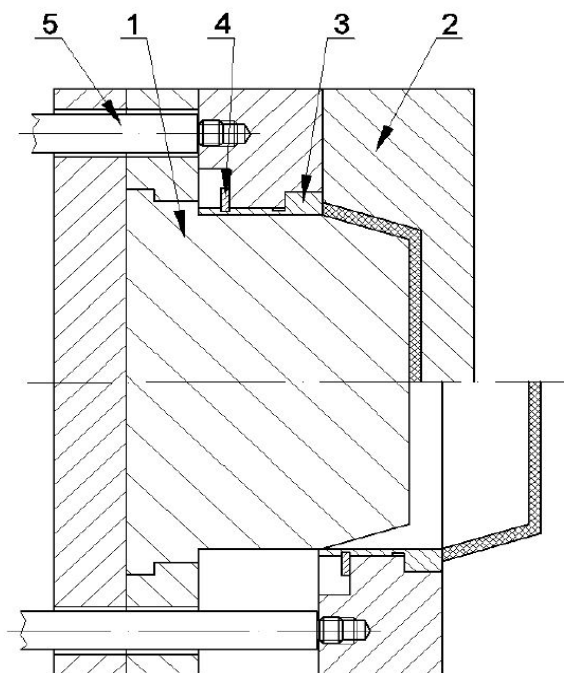
Trubkový vyhazovač se skládá ze dvou částí - pevné a pohyblivé. Pevná část je jádro a je součástí pevné desky. Jde vlastně o válcový vyhazovač a na výstřiku vytváří otvor. Pohyblivá část je vyhazovač s otvorem a funguje na principu stírání tlakem jako stírací deska. [16]



Obr. 32: Trubkový vyhazovač

*Stírací deska:*

Jde o specifický mechanismus pro odformování tenkostěnných výrobků, kde hrozí díky vyhazovací síle jejich deformace a rozměrných výstřiků, kde je zapotřebí velká vyhazovací síla. Výhoda stírací desky také spočívá v tom, že na výstřiku nezanechává stopu. Výstřik se stahuje z tvárniku po celém svém obvodu. [15]



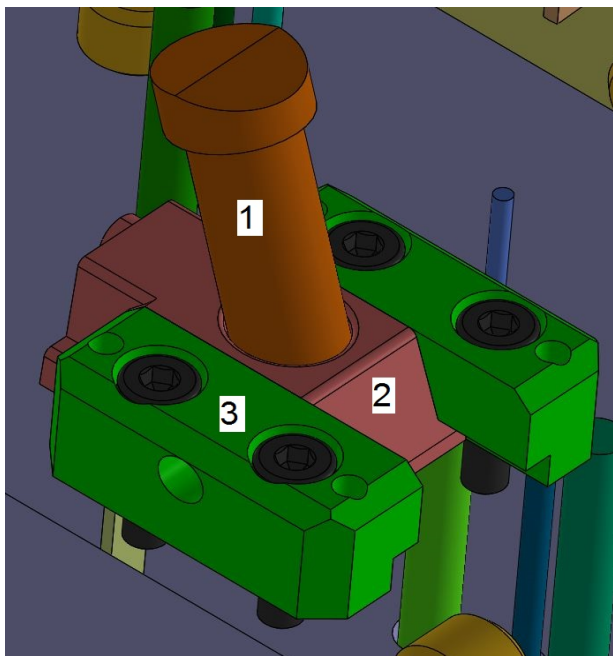
Obr. 33: Vyhazovací systém stírací desky [15]

1 – tvárník, 2 – tvárnice, 3 – stírací deska, 4 – pojistný kroužek, 5 - táhlo



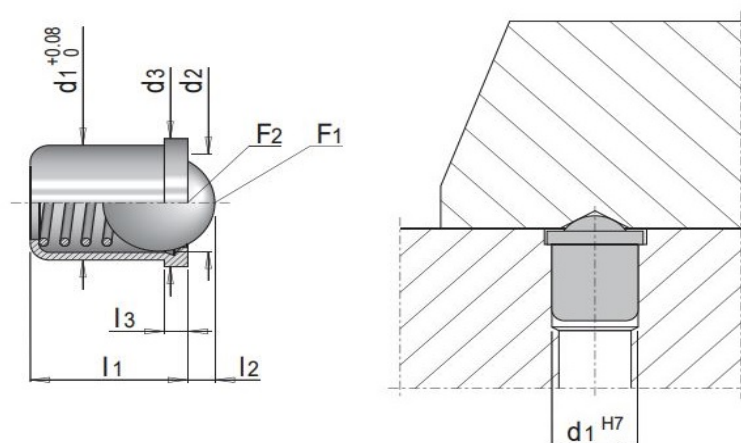
*Odformování podkosů:*

Při návrhu dělicí roviny na výstřiku je snaha o odformování tvarů v kolmém směru, někdy však není jiné možnosti a v dutině formy vznikne podkos – negativní úkos. Také místo je možné odformovat díky posuvným čelistem, šikmými vyhazovači či jinými specifickými mechanismy. Posuvné (pohyblivé) čelisti jsou mechanismus, kdy díky šikmému kolíku, který se při otvírání vstřikovací formy pohybuje, dochází vlivem úhlu na kolíku k přímočarému pohybu čelisti. Při zavírání vstřikovací formy se přisouvá k dutině a naopak. Šikmé kolíky jsou namáhány cyklickým ohybovým namáháním a proto se vyrábí z oceli ČSN 14220, jsou cementovány do hloubky 0,5 mm a kaleny na tvrdost 60 HRC. Součástí posuvných čelistí je zámek, který čelist zajistí při otevřené formě – často se jedná o pojistnou kuličku. [19]



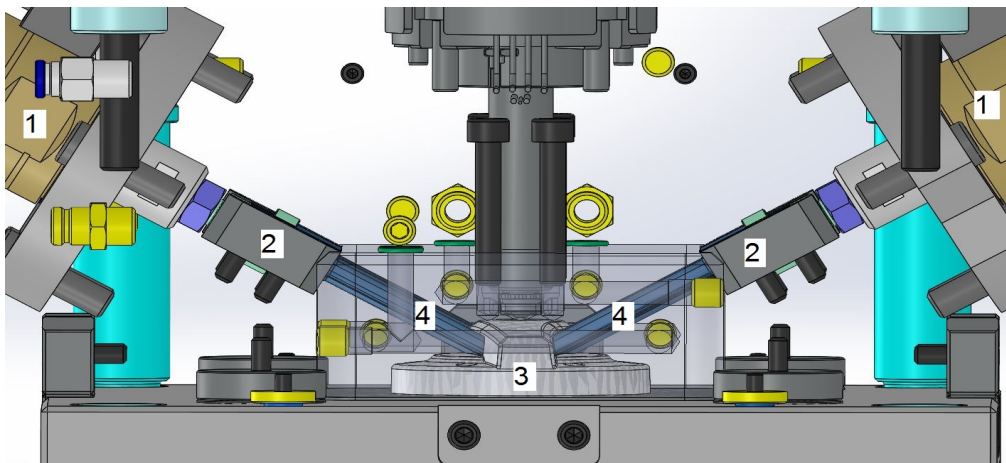
Obr. 34: Posuvná čelist

1 – šikmý kolík, 2 - tělo čelisti (tvoří výstřik), 3 – vodící kostky



Obr. 35: Kuličkové zajištění posuvné čelisti f. Meusburger [23]

Posuvná čelist může také být ovládána hydraulickým válcem. Tato varianta je využívána v případech, kdy je potřeba odformovat velkou hloubku, je požadováno nezávislého pohybu posuvné čelisti nebo jsou velké úhly podkosu vůči dělicí rovině. [19]

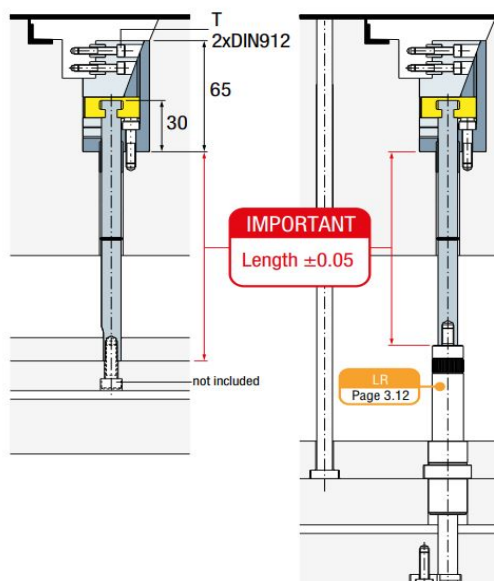


Obr. 36: Příklad posuvných čelistí ovládaných hydraulickými válci

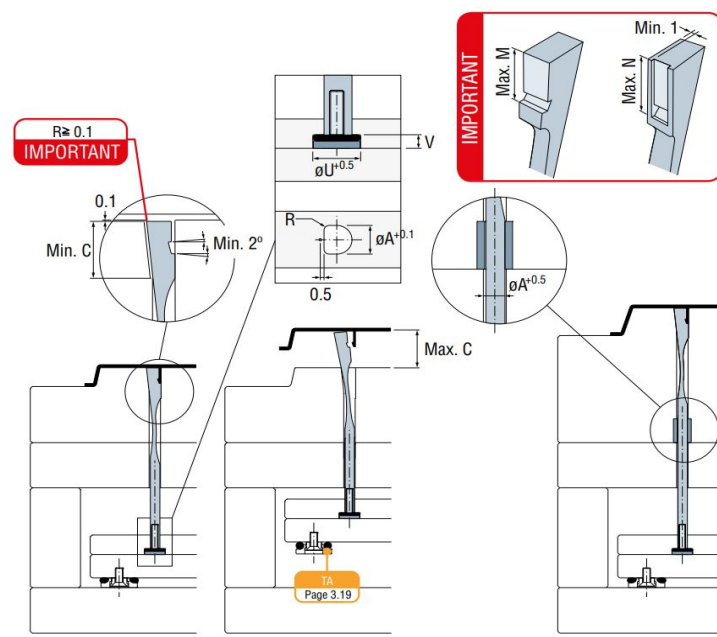
1 – hydraulický válec, 2 -vodící kostka, 3 – výrobek, 4 – posuvná čelist

Mezi specifické druhy mechanických vyhazovačů se řadí produkty firmy Cumsa, která se specializuje na mechanismy pro odformování tvarů, které jsou v podkosu. Jedná se o tvary, které na výstřiku tvoří klipy, zácvaky, otvory či technické nálitky.

Na obr. 38 je vyhazovací planžeta, která na výstřiku tvoří tvar zácvaku. Díky ní je tvořena dutina formy i vyhazovací systém v jednom dílu. Planžeta je v klidovém stavu zakřivená a má tvrdost 50 HRC. Při zavřeném stavu vstřikovaci formy je zasunuta ve tvárníku, při vyhazovacím cyklu je vlivem vyhazovacích desek z tvárníku vytlačena. Tímto pohybem odformuje výstřik (spolu s dalšími vyhazovači) a ohne se zpět do svého klidového stavu – dojde k uvolnění zácvaku. [24]



Obr. 37: Vyhazovací jednotka f. Cumsa [24]



Obr. 38: Vyhazovací planžeta pro zácvak f. Cumsa [24]

Na obr. 37 je vyhazovací jednotka, která odformovává ohyb, který je v negativním podkosu. Jedná se vlastně o posuvnou čelist, která je ovládána vyhazovacími deskami. Při jejich pohybu je výstřik odformován z tvárníku a zároveň dojde, díky šikmému pohybu vyhazovací jednotky, k odformování ohybu. [24]

#### 4.3.2 Pneumatické vyhazování

Pneumatické vyhazování se využívá u tenkostěnných výstřiků, které vyžadují při odformování zavzdušnění – dojde tak k jejich deformaci a nebudou na nich stopy po vyhazovačích. Typickým výrobkem je např. kbelík. Při použití mechanických vyhazovačů by kvůli jejich vysokému zdvihu bylo nutné zvětšit délku formy. Principem pneumatického vyhazování je přívod stlačeného vzduchu mezi výstřik a tvárník formy. [19]

#### 4.3.3 Hydraulické vyhazování

Hydraulické vyhazování se vyznačuje velkou vyhazovací silou a pomalým zdvihem. Často bývá použito k ovládní mechanických vyhazovačů. Jedná se hydraulické jednotky, pomocí kterých se ovládají vyhazovací kolíky stírací desky. [19]

### 4.4 Temperační systém

Temperační systém má velký vliv na kvalitu, smršťení a deformace na výstřiku. Jedná se systém temperačních kanálů ve vstřikovací formě, kde koluje temperační médium (olej, voda) a má vliv na teplotu formy. Kanály jsou do forem vrtány a tvoří tak soustavu, kde na jedné straně médium vtéká a

na druhé straně vytéká. Do tvarových částí formy – tvárník a tvárnice jsou vyráběny přepážky a spirály, aby i tyto části byly temperovány. Je snaha o docílení stejné teploty ve všech částech formy, aby bylo smrštění výstřiku pravidelné. Zásadním principem tvorby temperačních kanálů je pravidlo, že se volí větší množství kanálů s malým průřezem, než malé množství kanálů s velkým průřezem. [10]

Nejpoužívanější průřez temperačního kanálu je vrtaná díra, která je snadná na výrobu. Nejvhodnější průměr temperačního kanálu je 8mm a více. Nedoporučují se kanály nad 20mm, kdy se nezvětšuje odváděné teplo a dochází k negativním jevům jako velké průtočné množství a snížená tuhost desek. [13]

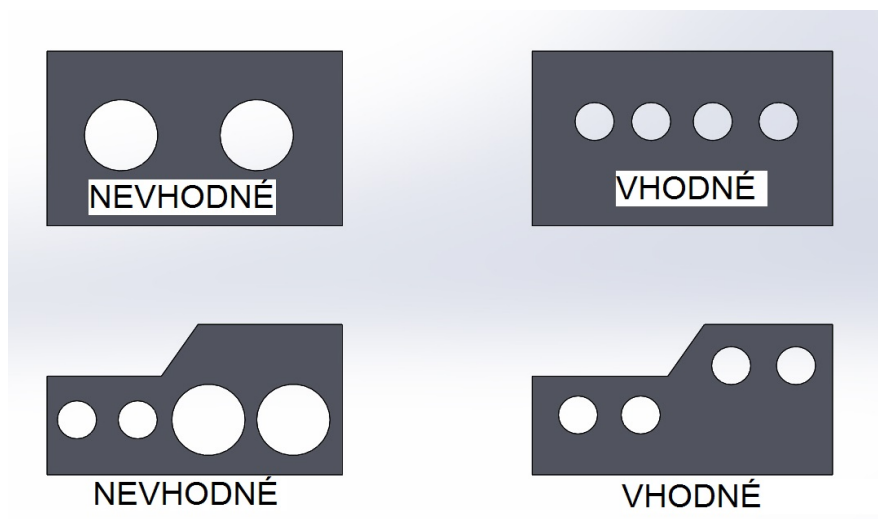
Temperační systém má tedy za úkol:

- zajistit rovnoměrnou teplotu ve všech tvarových částech vstřikovací formy
- odvádět teplo z dutiny formy, které je naplněno taveninou tak, aby celý byl celý cyklus co nejkratší [3]

Termoplast	Teplota taveniny [°C]	Teplota formy [°C]
ABS	190-250	50-85
PA 6	230-290	40-120
PC	280-320	85-120
HDPE	180-270	20-60
LDPE	180-270	20-60
PMMA	200-250	50-80
POM	180-220	50-120
PP	170-280	20-100
PS	180-260	55-80
PVC tvrdé	190-220	30-60
SAN	200-260	50-85
PSU	340-400	120-160
PAEK	380-430	160-220
LCP	310-360	65-95

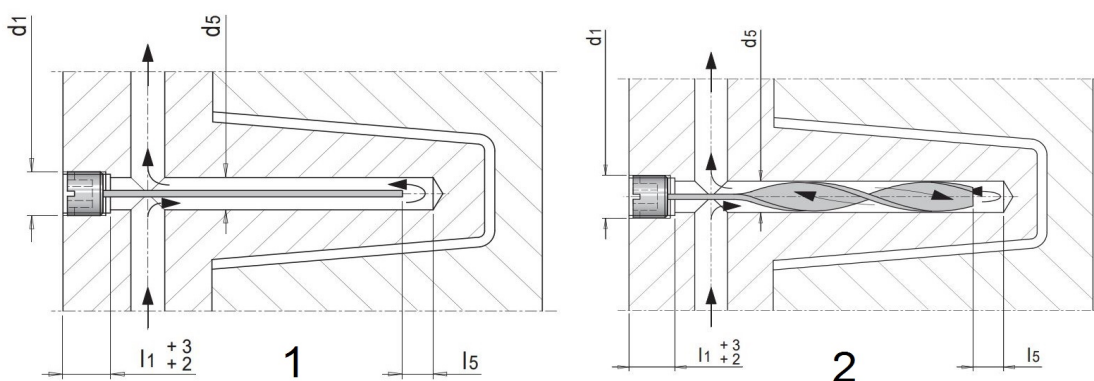
Obr. 39: Teploty tavenin a forem [3]

Konkrétní řešení je pro každý výrobek originální, jde o jeho tvar, rozmístění vyhazovačů apod. Je potřeba pevnost a tuhost tvarových částí dutiny a kolem dutiny se rozmisťují rovnoměrně ve stejné vzdálenosti. Při změně tloušťek stěn se vzdálenost kanálů mění. Nejmenší průměr kanálu je 6mm, u menších je riziko ucpání. Pokud je temperační systém dlouhý a komplikovaný, klesá v něm teplota temperačního média díky poklesu tlaku. Proto se délka volí co nejkratší, aby byly rozdíly teplot média na vstupu a výstupu co nejmenší. Vše je závislé na zkušenostech konstruktéra, ke správnému návrhu temperačního systému se využívají i softwary na analýzu tečení. Temperační systém má vliv na produktivitu vstřikovacího procesu a kvalitu výrobku. [3]



Obr. 40: Temperační kanály

Konstrukční řešení temperačního systému tvarových částí jsou nejčastěji přepážky, spirály. Je možno také využít slitin, které nahradí tvarové části formy. Takto se aplikuje například chlazení za pomoci vodivé beryliové mědi, která odvádí teplo rychleji než ocel. Slitina však nedosahuje tvrdosti kalené oceli a je také mnohem dražší. Lze takto temperovat tvarové části vstřikovací formy, kde není možné temperovat za pomoci vrtaných kanálů. [3]



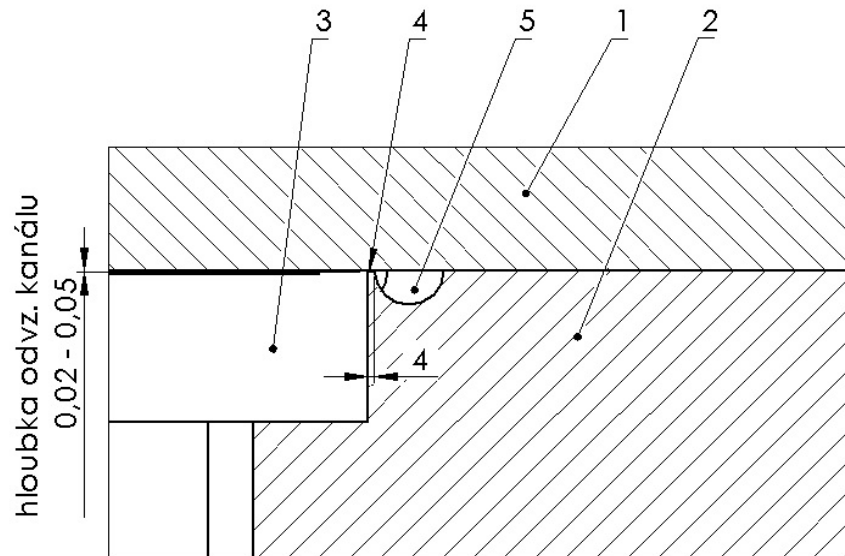
Obr. 41: Příklad temperačního systému tvárníku

1 – plochá přepážka, 2 – spirálová přepážka [25]

#### 4.5 Odvzdušnění vstřikovacích forem

Pro správné plnění dutiny a kvalitní výrobky je odvzdušňovací systém zapotřebí, protože tekoucí tavenina vzduch tlačí před sebou. Pokud by nedošlo k jeho odvzdušnění, na výstřiku by se projevovaly defekty. Typickým znakem nedostatečného odvzdušnění je nedotečení taveniny do všech míst dutiny (stlačený vzduch nedovolí zatečení místa) či spálená místa na výstřiku (vlivem tření stlačené vzduchu dochází k nárůstu teploty). Volba místa, kde odvzdušnění vytvořit, je závislá

na konstruktérovi a bývá na protilehlé straně vtoku. Nejčastěji se výstřiky odvzdušňují přes dělicí rovinu a vyhazovače, kde je vlivem volnějšího uložení vzduchu umožněno uniknout. V určitých případech je nutno využít konstrukční prvky k odvzdušnění – například ventilky či přetokové kapsy. Špatný odvzdušňovací systém je častý u nových forem, které jsou čerstvě slícovány. Dělicí rovina těsně dosedá a vzduch nemá kudy uniknout. Po několika pracovních cyklech se však ve formě vytvoří lehká vůle a výstřiky jsou již bez nedostříknutých míst. [25]



Obr. 42: Konstrukční řešení odvzdušňovacího kanálu

- 1 – tvárník, 2 – tvárnice, 3 – dutina formy,  
4 – odvzdušňovací kanál, 5 – odváděcí kanál

## 5 ZÁVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI

Teoretická část diplomové práce byla zaměřena na polymerní materiály a jejich rozdělení, technologii vstřikování s popisem procesu. Jsou také popsány vstřikovací stroje a jejich části. Dále se práce věnuje problematice vstřikovaných výrobků, návrhu jejich designu a také vadám, které při jejich vstřikování vznikají. Poslední kapitola popisuje vstřikovací formy, jejich konstrukční návrhy a řešení. Jsou také popsány dílčí systémy, které vstřikovací formu tvoří – vtokový, vyhazovací a temperační systém.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**



## 6 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

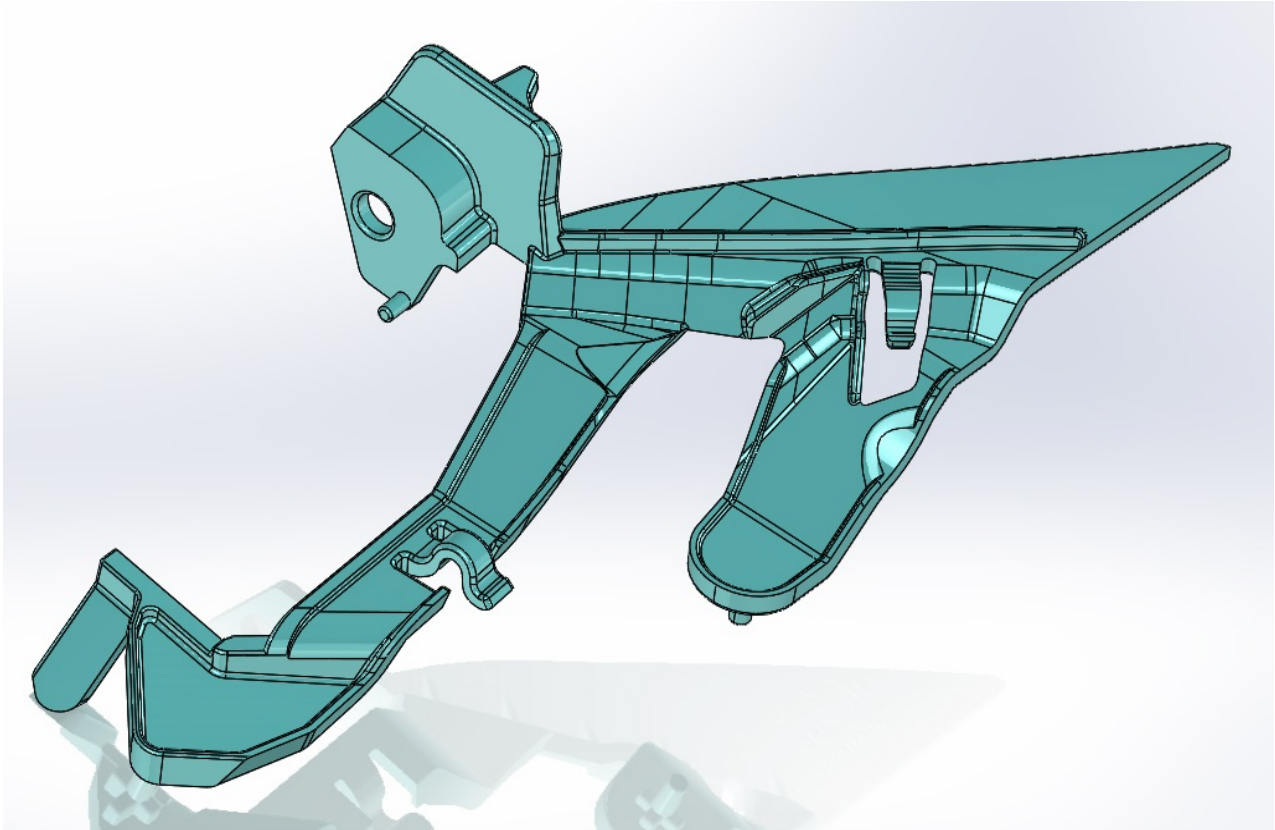
Diplomová práce má za cíl konstrukční návrh vstřikovací formy v CAD programu SolidWorks 2015. Při návrhu vstřikovací formy jsou použity normálie firmy Meusburger. Poté následovalo kontrola konstrukčního řešení vstřikovací formy za pomoci tokových analýz v softwaru Moldex3D.

Pro tuto diplomovou práci byly stanoveny tyto cíle:

- zpracovat literární studii dané problematiky,
- provést návrh vstřikovací formy a ověřit jej analýzami,
- nakreslit 2D sestavu formy včetně kusovníku
- provést zhodnocení návrhu

## 7 VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK

Vstřikovaným výrobkem je technický díl pro světlomet osobního automobilu. Patří do kategorie technických výstřiků, takže jsou jeho funkce nadřazeny vzhledu. Výstřik bude koncipován jako zrcadlený – levý a pravý kus.



Obr. 43: 3D model výrobku

### 7.1 Materiál výrobku

Materiál pro vstřikování výrobků je PC – polykarbonát. Jedná se konstrukční polymer, proto je pro technický dílec vhodný. Výrobcem granulátu je firma *Bayer MaterialScience* a jeho obchodní název je Makrolon 1260.

Charakteristika materiálu [26]:

- |                                    |                             |
|------------------------------------|-----------------------------|
| • Hustota tuhé fáze                | 1,2 [g/cm <sup>3</sup> ]    |
| • Objemový index toku taveniny MVR | 33 [cm <sup>3</sup> /10min] |
| • Index toku taveniny              | 36 [g/10min]                |
| • Smrštění                         | 0,7 [%]                     |
| • Modul pružnosti v tahu           | 2350 [MPa]                  |

Doporučené procesní parametry vstřikování a sušení polymeru [26]:

- Teplota sušení 120 [°C]
- Čas sušení 2 – 4 [hod]
- Teplota taveniny 280 – 320 [°C]
- Teplota formy 80 – 100 [°C]

## 8 POUŽITÝ SOFTWARE

Pro praktickou část byl využit software SolidWorks 2015, který slouží k tvorbě 3D modelů formy a 2D dokumentace. Pro tokové analýzy byl použit program Moldex3D a pro kontrolu částí vstřikovací formy a výstřiků software ATOS Professional.

### 8.1 SolidWorks 2015

Jedná se o využívaný CAD strojírenský software, díky kterému je možné modelování objemové, tak i plošné. K dispozici je režim sestav, kde se z jednotlivých dílců skládají celkové sestavy a je možné jejich vzájemné promítání – například při změně skici na úrovni jednoho dílce se mění jiný dílec sestavy. SolidWorks také obsahuje modul pro konstrukci forem, kde se dají jednoduše analyzovat úkosy na výrobcích, vytvářet dělicí roviny a získat tak tvarové části dutiny. Umožňuje také rychlou tvorbu technických tvarů např. montážních nálitků, kde stačí specifikovat jejich rozměry bez nutnosti modelování a funkce vygeneruje požadovaný tvar.

### 8.2 Moldex3D

Jde o simulační program, který optimalizuje konstrukci vstřikovaných dílů a vstřikovacích forem. Díky němu lze předcházet vadám na výrobcích a optimalizovat vstřikovací proces za pomoci simulace tečení taveniny v dutině formy. Obsahuje knihovnu polymerních materiálů s jejich vlastnostmi.

### 8.3 Atos Professional

Software Atos Professional vytváří díky 3D skeneru 3D síť ve formátu STL, která se poté využívá k analýzám tvarů a rozměrů. Tak je možné skutečný tvarový výstřik porovnat s 3D modelem a získat porovnání jejich tvarové a rozměrové odlišnosti. Toho se využívá už při samotné výrobě tvarových částí vstřikovací formy, kdy se průběžně 3D skenerem naskenují a rozměry se porovnají s vyráběnými daty a zjišťuje se výrobní odchylka. Takto se také kontroluje i samotný výstřik.

### 8.4 Katalog normálií Meusburger

Knihovna normálií Meusburger obsahuje dílce potřebné pro výrobu vstřikovacích forem. Slouží už při samotné konstrukci formy, kterou knihovna zrychluje díky intuitivního sestavení rámu vstřikovací formy, vyhazovacích systémů i temperace. Z knihovny je poté možné požadované normálie exportovat do CAD softwarů.

## 9 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Vstříkovací forma je navržena pro vstříkovací stroj Sumitomo Demag 120/470.



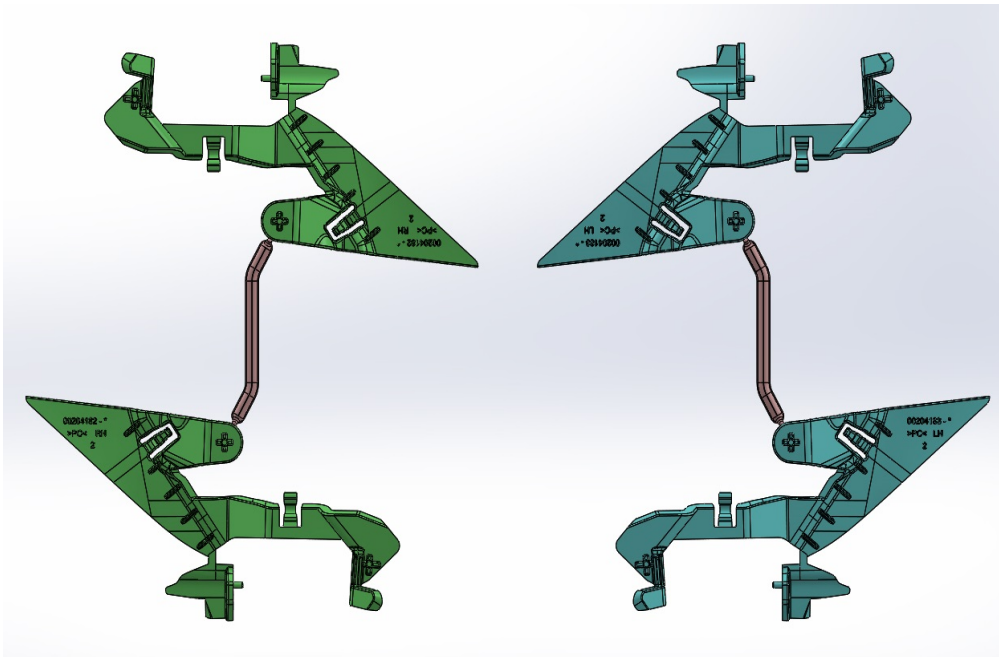
*Obr. 44: Vstříkovací stroj Sumitomo Demag [27]*

Parametry vstříkovacího stroje [27]:

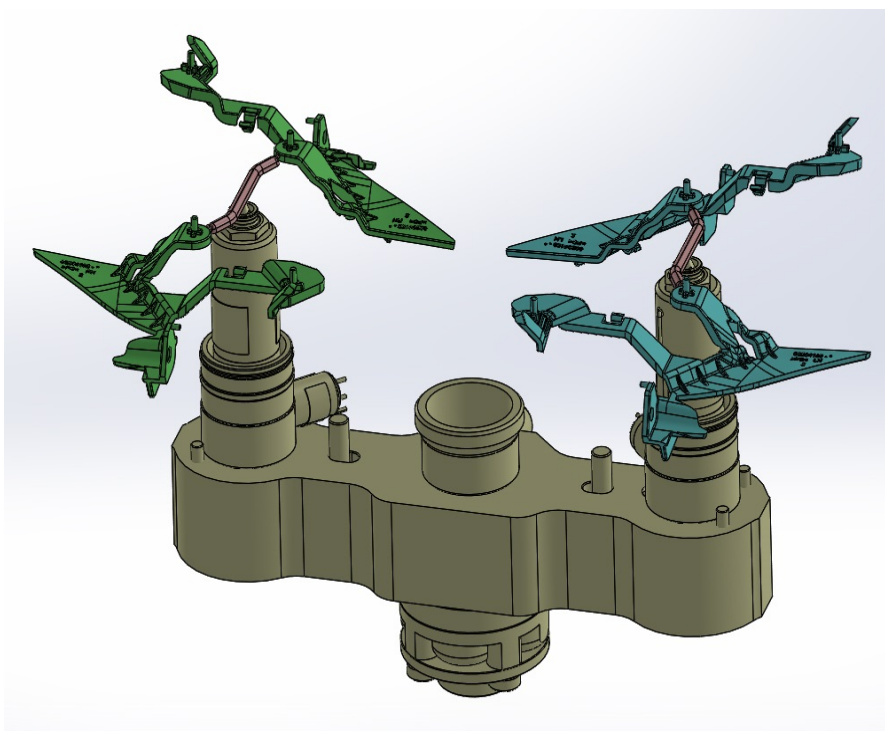
- Uzavírací síla 1200 [kN]
- Maximální výška formy 430 [mm]
- Velikost upínacích desek 620x620 [mm]
- Rozměr mezi sloupky 470x420 [mm]
- Maximální hmotnost formy 2000 [kg]
- Průměr středícího kroužku 125 [mm]
- Poměr šneku L/d 20
- Maximální hmotnost dávky 200 [g]

## 10 KONSTRUKČNÍ NÁVRH FORMY

Jeden výrobek má hmotnost 10 g a je koncipován jako zrcadlový. Požadavkem také byla dvojnásobná forma, v dutině se tedy budou nacházet čtyři výrobky. Forma je zvolena s horkým rozvodným kanálem pro každou dvojici výstřiků a výstřiky jsou mezi sebou dutiny plněny studeným vtokovým kanálem s tunelovým ústím.



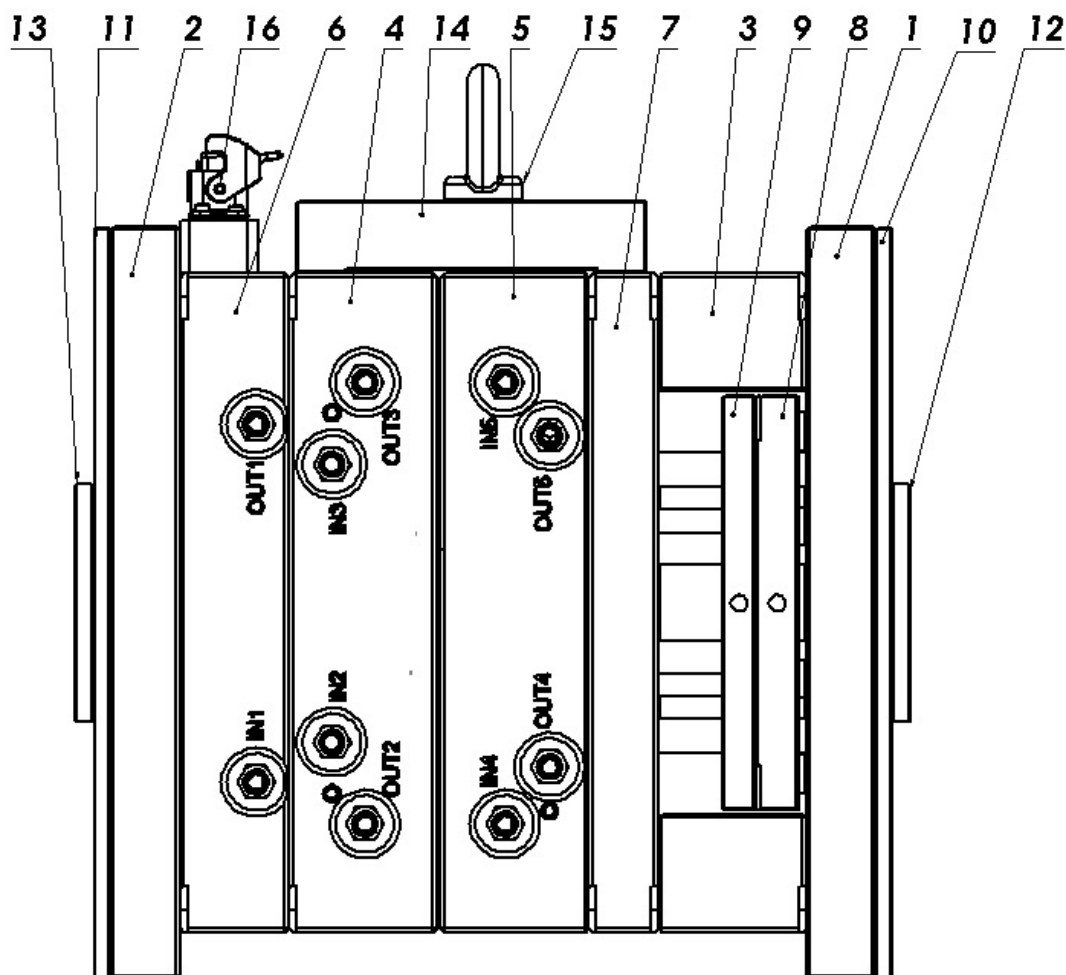
Obr. 45: Rozmístění výstřiků ve formě se studeným vtokovým kanálem



Obr. 46: Umístění horkého rozvodného kanálu pro dvojici výstřiků

## 10.1 Rám vstřikovací formy

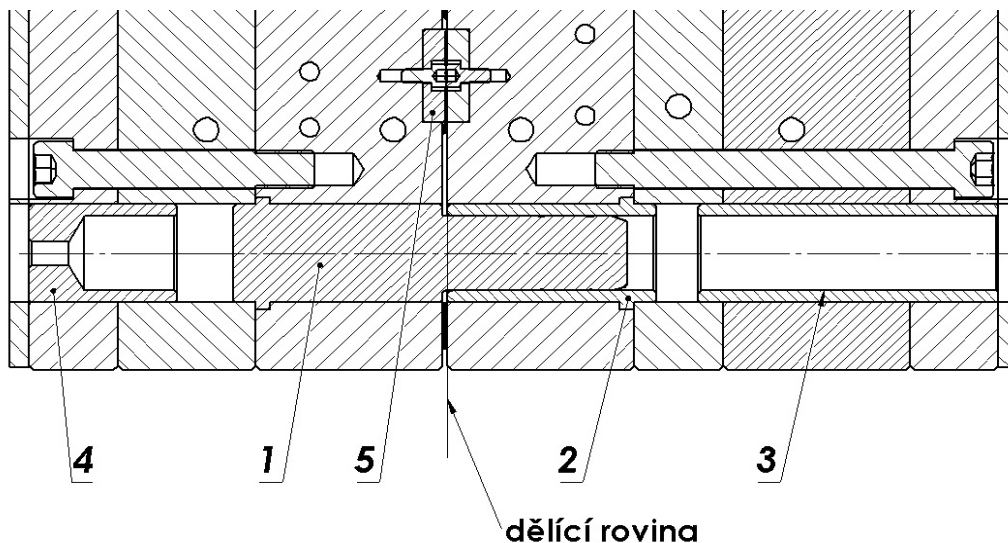
Rám formy je tvořen deskami, spojovacími, vodícími a středícími prvky. Rám se dělí na pevnou a pohyblivou stranu a uprostřed něj se nachází dutina s tvarovými částmi, které tvoří výrobek.



Obr. 47: Rám vstřikovací formy

1,2 – upínací desky; 3 – rozpěrné desky; 4,5 – tvarové desky; 6,7 – kotevní desky;  
 8 – vyhazovací deska opěrná; 9 – vyhazovací deska upínací; 10, 11 – izolační desky;  
 12,13 – středící kroužky; 14 – transportní kostka; 15 – oko; 16 – konektor horkého systému

Rám formy je tvořen deskami z normálií firmy Meusburger. Materiál desek je 1.1730 a tvarové části jsou z materiálu 1.2312. Desky jsou vůči sobě vystředěny čtyřmi středícími trubkami v každém rohu desky. Vedení pevné a pohyblivé části formy je zabezpečeno čtyřmi vodícími pouzdry a čepy, které jsou kalené. Jeden pár má odlišný průměr, aby nedošlo ke špatné orientaci desek. Na vstřikovací stroj je forma vycentrována díky středícím kroužkům průměru 125 mm. Pevná a pohyblivá část formy na sebe líčují za pomoci kalených dorazových opěrných kostek v dělicí rovině.



Obr. 48: Středění jednotlivých částí formy

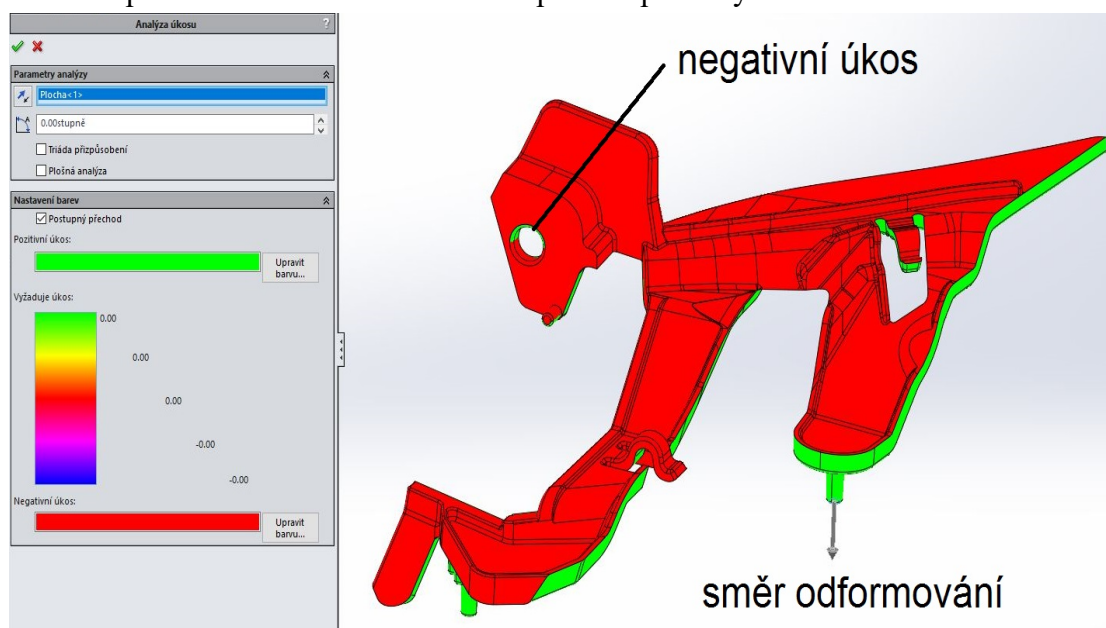
1 – středící čep; 2 – středící pouzdro; 3,4 – středící trubky; 5 – dorazové opěrné kostky

## 10.2 Tvarové části formy

Základem konstrukčního návrhu tvarových částí formy (tvárníku a tvárnice) je vytvoření dělicí roviny dle konstrukčních zásad.

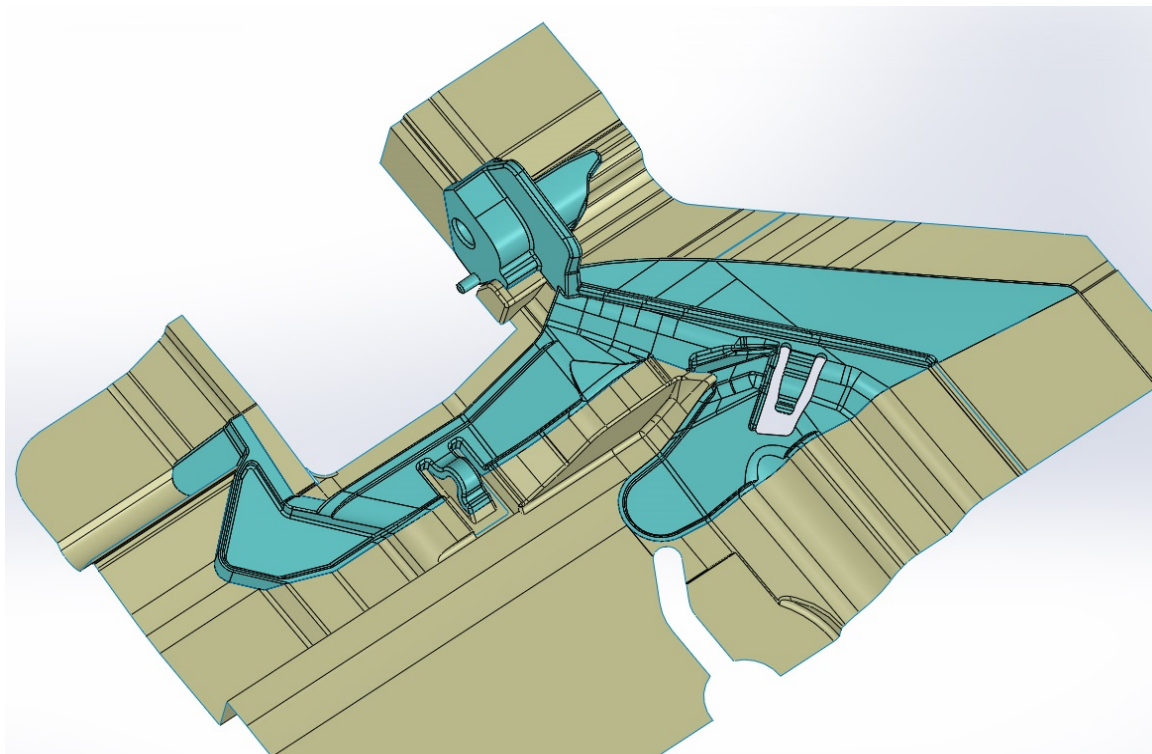
### 10.2.1 Návrh dělicí roviny

Pro tvorbu co nejjednodušší dělicí roviny bylo použito funkce *Analýza úkosu* v programu SolidWorks 2015. Byla tak určena plocha, jež rozděluje výstřik na dvě části tak, aby byly odformovatelné. Bohužel je na výrobku otvor, který je v negativním úkosu, tudíž bude k jeho odformování zapotřebí konstrukčního řešení za pomoci posuvných čelistí.



Obr. 49: Určení dělicí roviny v programu SolidWorks 2015

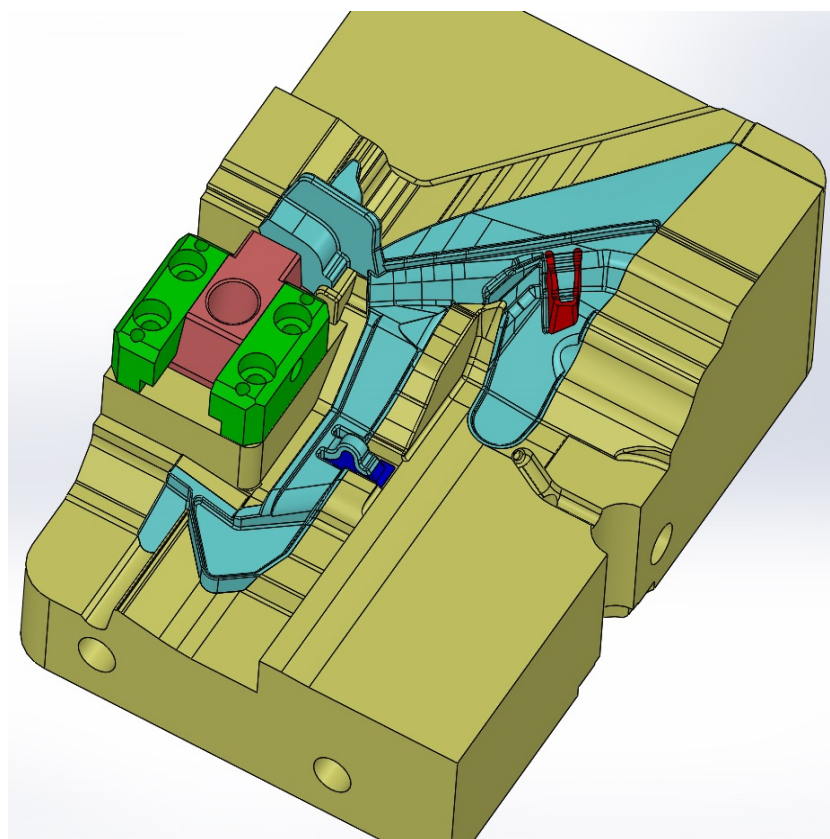




Obr. 50: Získaná dělicí rovina

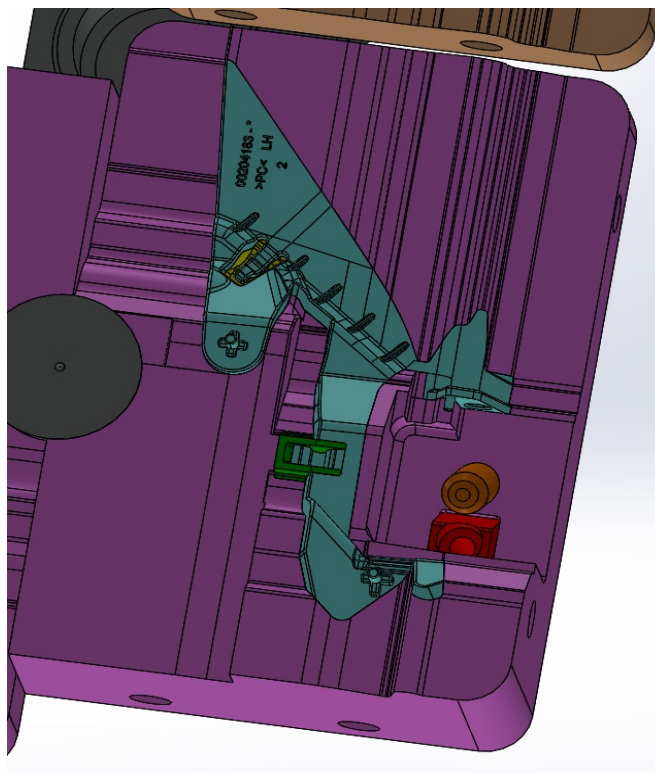
### 10.2.2 Tvarové části formy

Pomocí dělicí roviny je dutina rozdělena na dvě části – pevnou a pohyblivou. Tyto části jsou vyrobeny z materiálu 1.2312 a kaleny na 57 HRC.

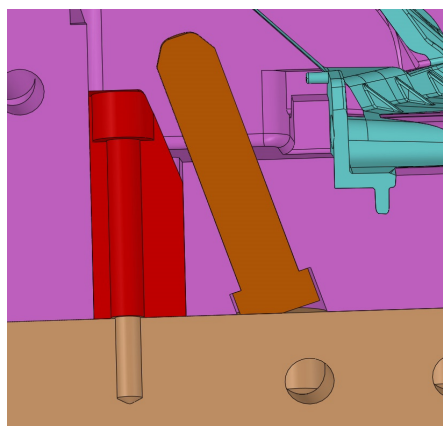


Obr. 51: Pohyblivá tvarová část formy

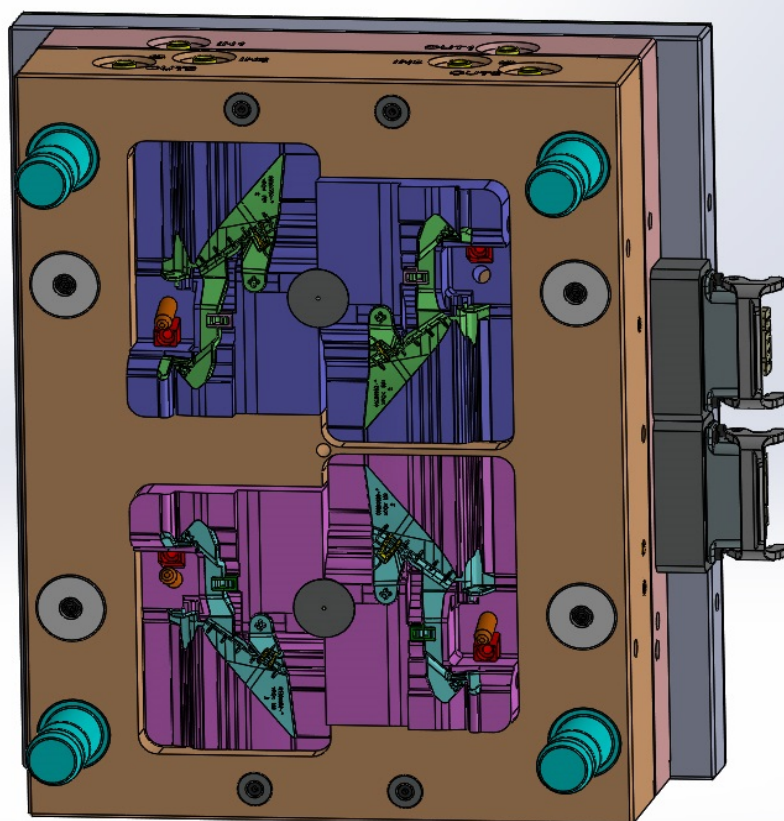
Ve tvarové části na pohyblivé straně formy se nachází vtokový kanál s tunelovým ústím, otvory pro vyhazovače a posuvná čelist, která na výrobku tvoří otvor. Pohyb čelisti je zajištěn pomocí šikmého kolíku, který se nachází na pevné části formy. Při jejím pohybu dojde vlivem sklonu kolíku k odjetí a odformování otvoru. Krajiní polohy čelisti jsou zajištěny pojistnou kuličkou, která při dosažení krajní polohy zapadne do zahloubení v čelisti. Chod čelisti je vymezen vodícími kostkami, které jsou zajištěny proti pohybu kolíky a klínem. Čelist je nutno mazat vazelínou. Součástí tvarové části jsou i vložky, které tvoří na výstřiku kulaté zácvaky. Je to z důvodu zjednodušení výroby a odvzdušnění formy. Ve tvarové části pevné strany formy se nachází otvor pro horký vtok a šikmý kolíkem s klínem pro posuvnou čelist. Uložení šikmého kolíku je zajištěno šikmou dosedací plochou.



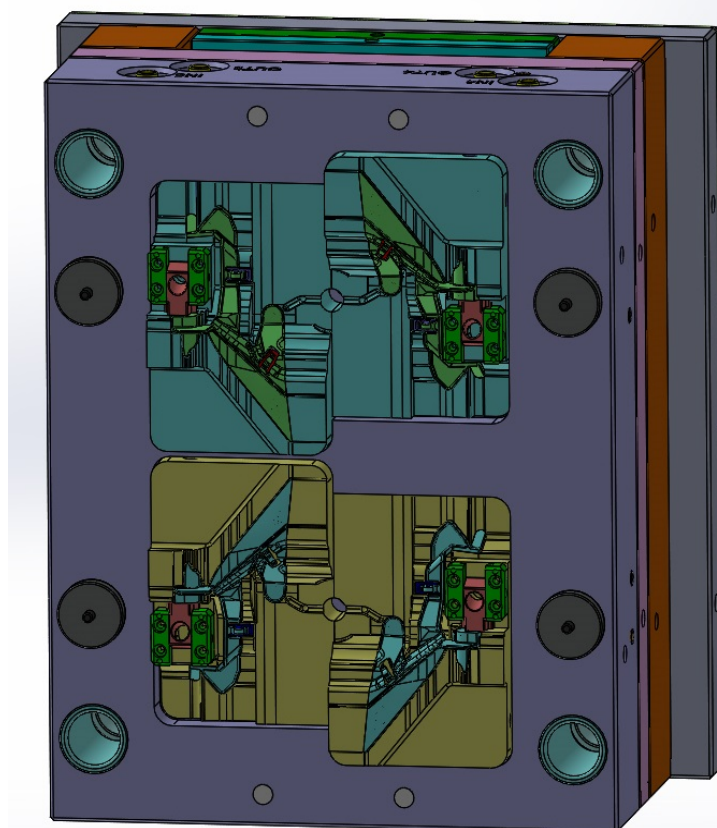
Obr. 52: Pevná tvarová část formy



Obr. 53: Uložení šikmého kolíku



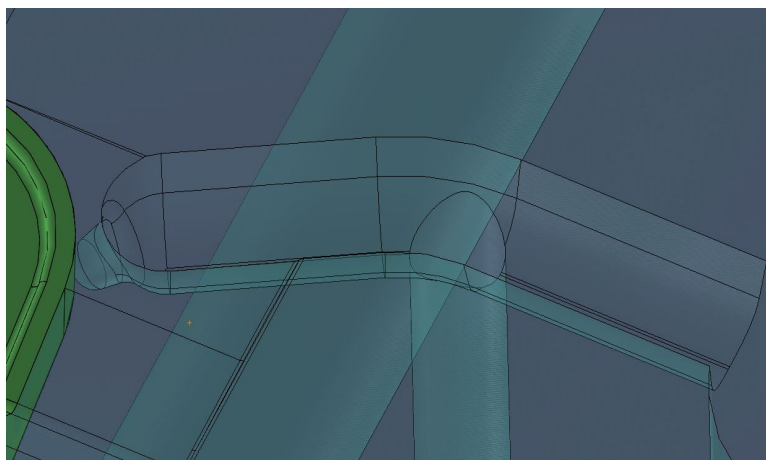
Obr. 54: Pevná strana vstřikovací formy



Obr. 55: Pohyblivá strana vstřikovací formy

### 10.3 Vtokový systém

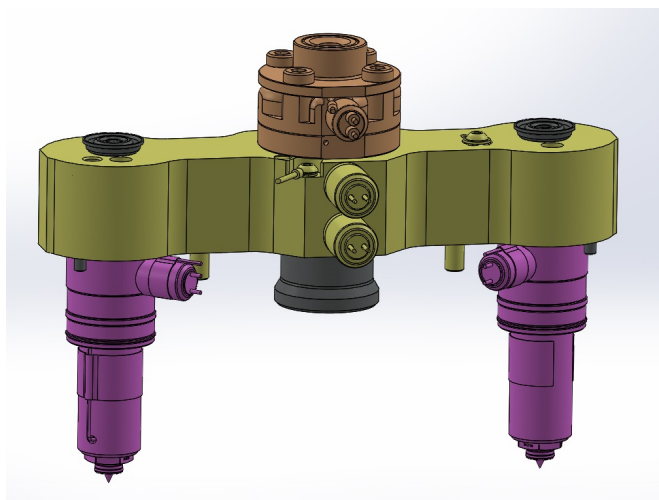
Ve formě bylo využito horkého vtokového systému se studeným rozvodným kanálem. Jeho výhodou je ta, že dopraví polymer ve stavu taveniny po celé dutině, což je pro plochý a tenký výrobek důležité. Tavenina je z horkého vtoku dopravena do rozvodného kanálu, který má lichoběžníkový průřez se zaoblením a je součástí tvarové vložky. Jeho výhodou je v jednoduché výrobě a nízkým tepelným a tlakovým ztrátám. Do dutiny je tavenina vstřikována skrz tunelové ústí, které se po vyhození výstřiku odděluje. Jeho nevýhodou je ale komplikovanější výroba, kdy se využívá elektroerozivní erodování.



Obr. 56: Rozvodný kanál s tunelovým ústím

#### *Horký vtokový systém:*

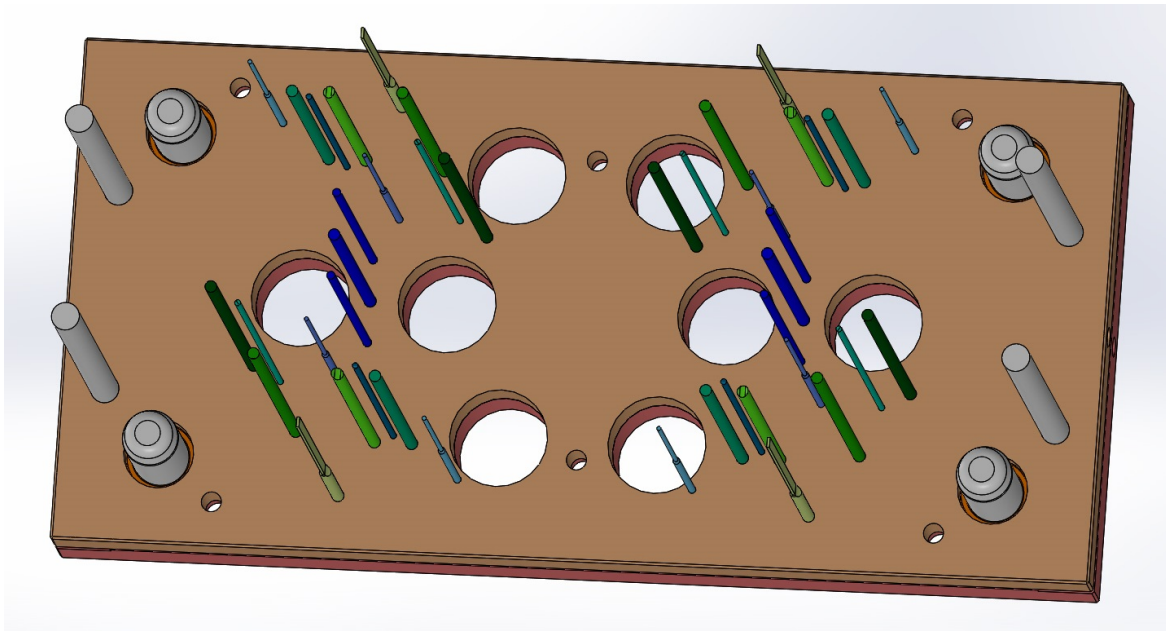
Horký vtokový systém byl dle požadavků vyroben firmou Mold Masters. Ten se skládá z vtokové vložky, přes kterou tavenina vstupuje do horkého vtoku, dále pak vyhřívaného rozvodného bloku a nakonec dvou vtokových trysek, přes které tavenina teče do rozvodného kanálu v tvarové části formy.



Obr. 57: Horký vtokový systém Mold Masters

## 10.4 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém je tvořený mechanickými vyhazovači, které jsou rozmístěny tak, že kopírují tvar dutiny. Jedná se hlavně o válcové vyhazovače, většina je rovných – dosedají na rovnou plochu, dva na každý otisk jsou však tvarové, protože vytvářejí tvarovou část výstříku. Je použit i jeden prizmatický vyhazovač, který dosedá na tenké žebro (1,2 mm). Tyto vyhazovače jsou zajištěny proti pootočení kolíkem. V rozích se nacházejí vratné kolíky, které brání posuvu vyhazovacích desek při zavření formě. Vyhazovače tak nemohou poškodit tvarovou část formy při jejich vysunutí. Vedení je zajištěno pomocí čtyř kluzných čepů a pouzder. Ve vyhazovacích deskách se nacházejí průchozí otvory pro podpěrné sloupky, které zajišťují tuhost vstřikovaci formy. Všechny vyhazovače, desky, středící i vodící prvky jsou od firmy Meusburger. Materiál vyhazovačů je ocel 1.2210 a jsou kalené, takže je pro výrobu tvarových vyhazovačů zapotřebí elektroerozivního erodování.



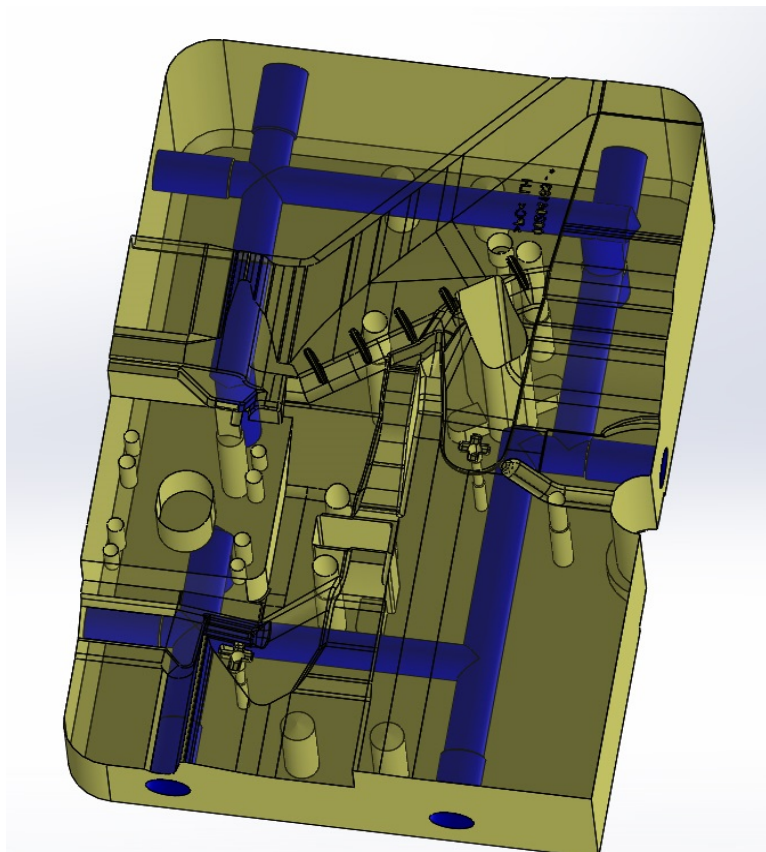
Obr. 58: Vyhazovací systém

## 10.5 Temperační systém

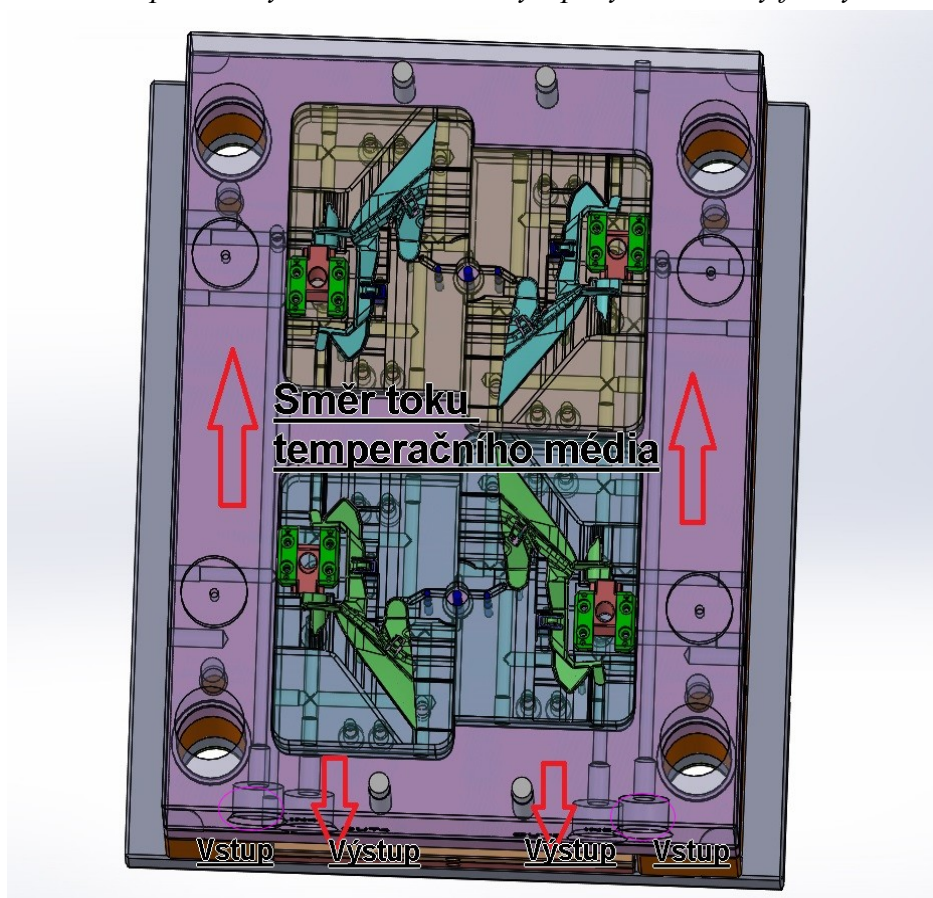
Temperační systém formy je tvořen okruhy z vrtaných kanálů průměru 9 mm. Jednotlivé kanály jsou spolu propojeny a temperační okruh tvoří ucpávky, napojení kanálů přes jednotlivé části formy je zajištěno pomocí o-kroužků. Temperační médium je olej.

Temperaci formy zajišťuje pět temperačních okruhů:

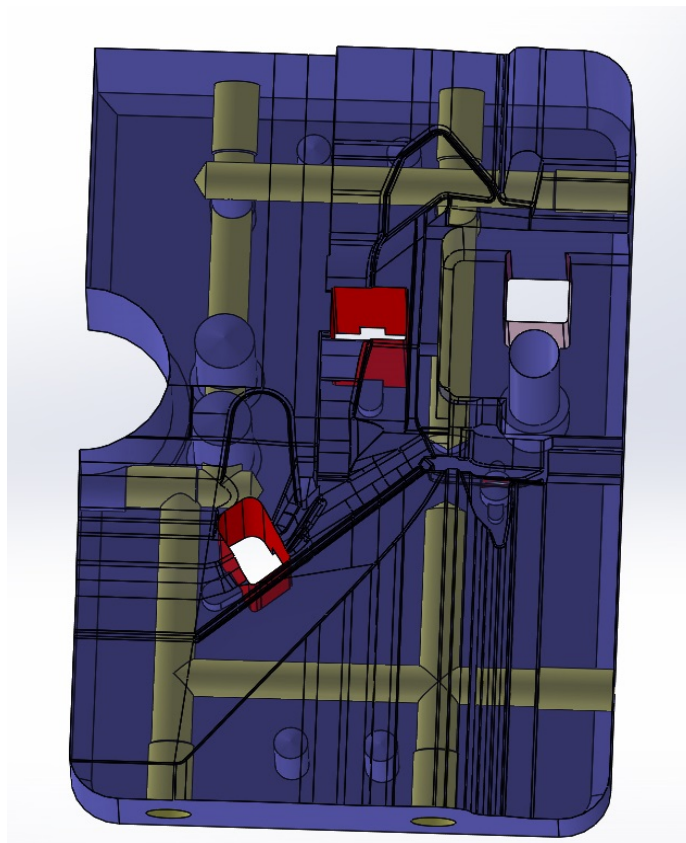
- jeden v kotvící desce okolo horkého vtokového systému
- dva v pevné straně formy pro každou dvojici otisků
- dva v pohyblivé straně formy pro každou dvojici otisků



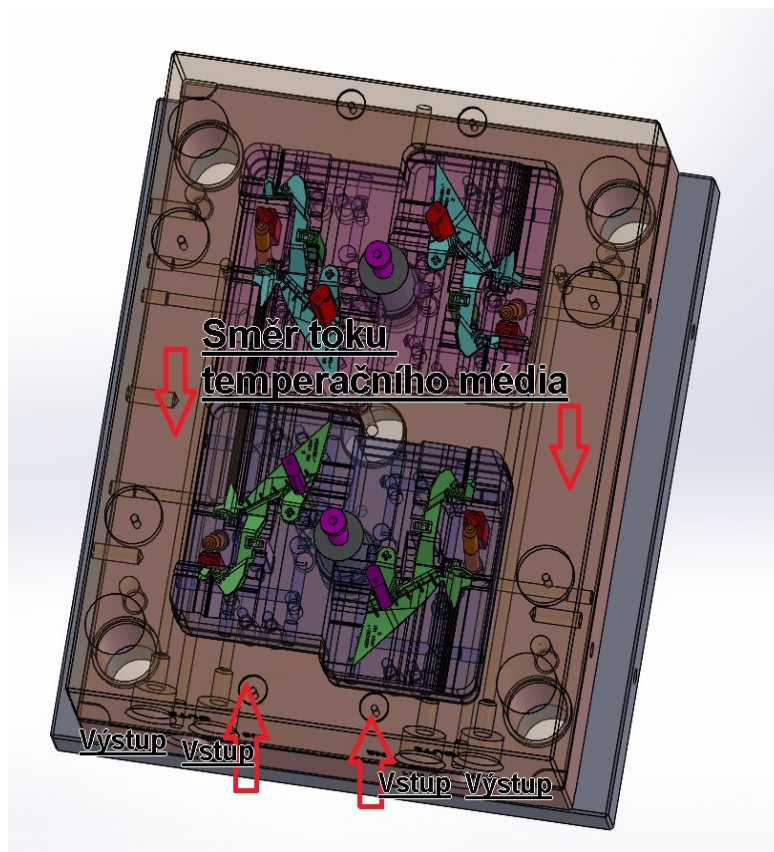
Obr. 59: Temperační systém tvarové vložky z pohyblivé strany formy



Obr. 60: Temperační systém pohyblivé strany formy - 2 okruhy



Obr. 61: Temperační systém tvarové vložky z pevné strany formy



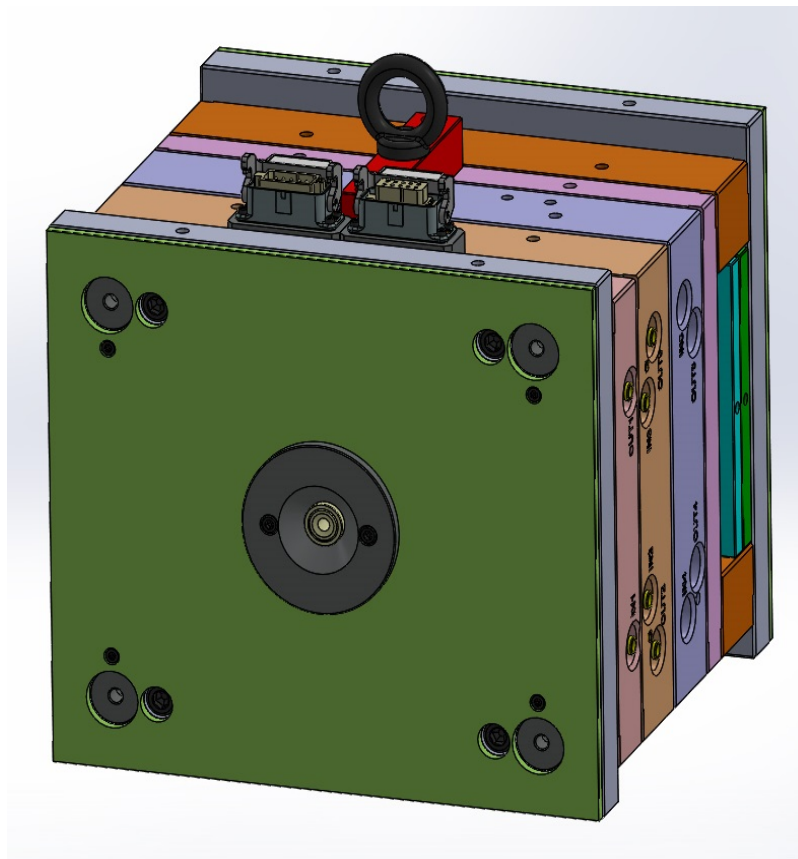
Obr. 62: Temperační systém pevné strany formy - 2 okruhy

## 10.6 Parametry formy

Mezi nejdůležitější parametry formy patří její šířka a uzavírací síla, které rozhodují na jakém vstřikovacím stroji bude forma pracovat. Je snaha o co nejmenší rozměry formy, se kterou lze vstřikovat na malém vstřikovacím stroji a tím snižovat výrobní náklady. Vše je závislé od velikosti a tvaru výrobku.

<i>Parametr</i>	<i>Hodnota</i>
Šířka	396 mm
Výška	410 mm
Délka	446 mm
Hmotnost pevné strany formy	210 kg
Hmotnost pohyblivé strany formy	250 kg
Celková hmotnost	460 kg
Průměr středících kroužků	125 mm

Tabulka 1: Základní parametry formy



Obr. 63: Vstřikovací forma



## 11 ANALÝZA VSTŘIKOVACÍHO PROCESU

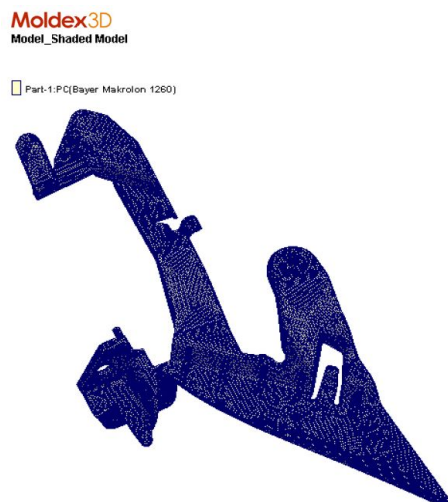
Analýza vstřikovacího procesu proběhla v programu Moldex3D. K vysíťování výrobku byla zvolena 3D síť, protože simuluje chování polymeru po celé tloušťce výstřiku a výsledky se blíží reálnému vstřikování.

<i>PC – Makrolon 1260</i>	<i>Nastavení</i>	<i>Hodnota ze simulace</i>
Teplota formy	90 °C	90 °C
Teplota taveniny	300 °C	300 °C
Čas vstřiku	automatické	0,9 s
Čas cyklu	30 s	32 s
Čas chlazení	automatické	20 s
Vstřikovací tlak	automatické	40 MPa
Hodnota dotlaku	75 % vstřikovacího tlaku	30 MPa
Bod přepnutí	95 % naplnění dutiny	-
Průtok temperačního média	120 cm <sup>3</sup> /s	120 cm <sup>3</sup> /s

Tabulka 2: Procesní parametry analýzy

### 11.1 Síť

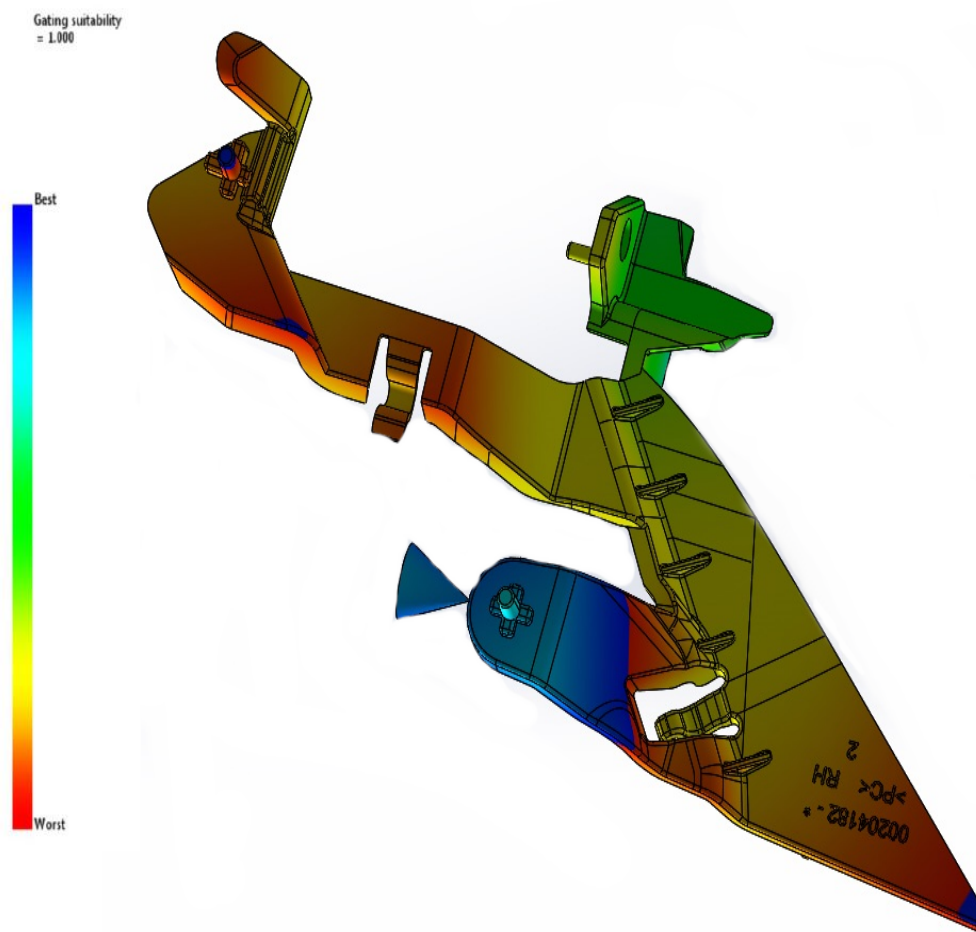
Síť byla vytvořena z modelu ve formátu STEP, aby byla síť vygenerována kvalitně díky vysoké hustotě polygonů. Byla použita 3D hybridní síť tvořená čtyřstěny a prizmatickými hranoly, protože mají poměr stran roven 1. Výpočty se tak blíží reálnému vstřikovacímu procesu.



Obr. 64: Vysíťovaný model výrobku

## 11.2 Analýza vhodnosti umístění vtokového ústí

Analýza určuje místo s nejmenším odporem toku taveniny. Výsledkem je barevná škála, která označuje místo vhodné pro vtokové ústí. Modrá barva označuje nejvhodnější umístění a červená barva nejméně vhodné místo. Jedná se o informativní výsledek, protože místo bylo předem zvoleno vzhledem ke konstrukčním možnostem. Z výsledku vyplývá, že umístění bylo vhodné. Vtokové ústí však musí být umístěno pod úhlem, aby nedocházelo k volnému toku.

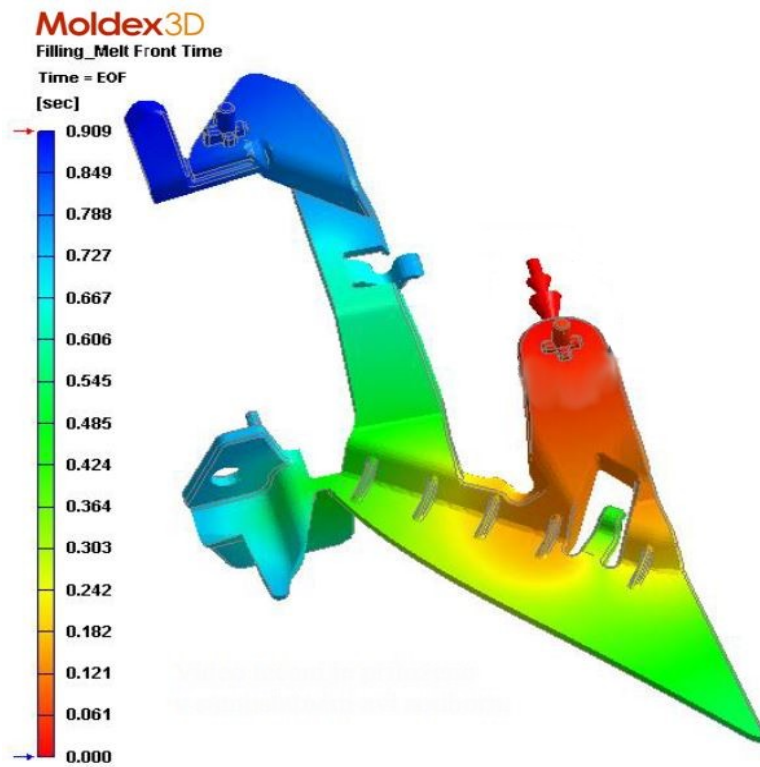


Obr. 65: Vhodnost umístění vtokového ústí

## 11.3 Analýza plnění

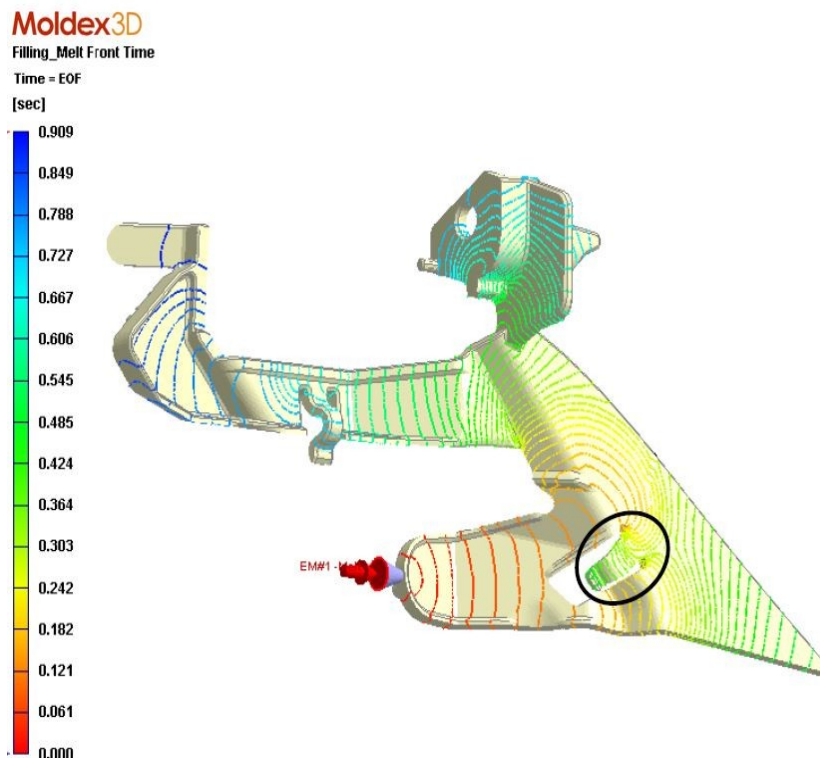
### 11.3.1 Čas plnění

Výsledek analýzy ukazuje, za jakou dobu tavenina naplní dutinu formy. Barevná škála ukazuje postup plnění dutiny, modré plochy jsou naplněny nejdříve. Tavenina nejdříve zatéká do bočních částí, poté je tok mírně zpomalen ztenčením stěny ve střední části (zelená barva). K naplnění dutiny výstřiku dojde za 0,9 s.



Obr. 66: Čas plnění dutiny

Izočáry plnění dutiny potvrzují, že postup čela taveniny v hlavní stěně dílu rovnoměrný. Jen v oblasti místa označeného kroužkem je plnění zpomaleno vlivem tvaru výrobku.

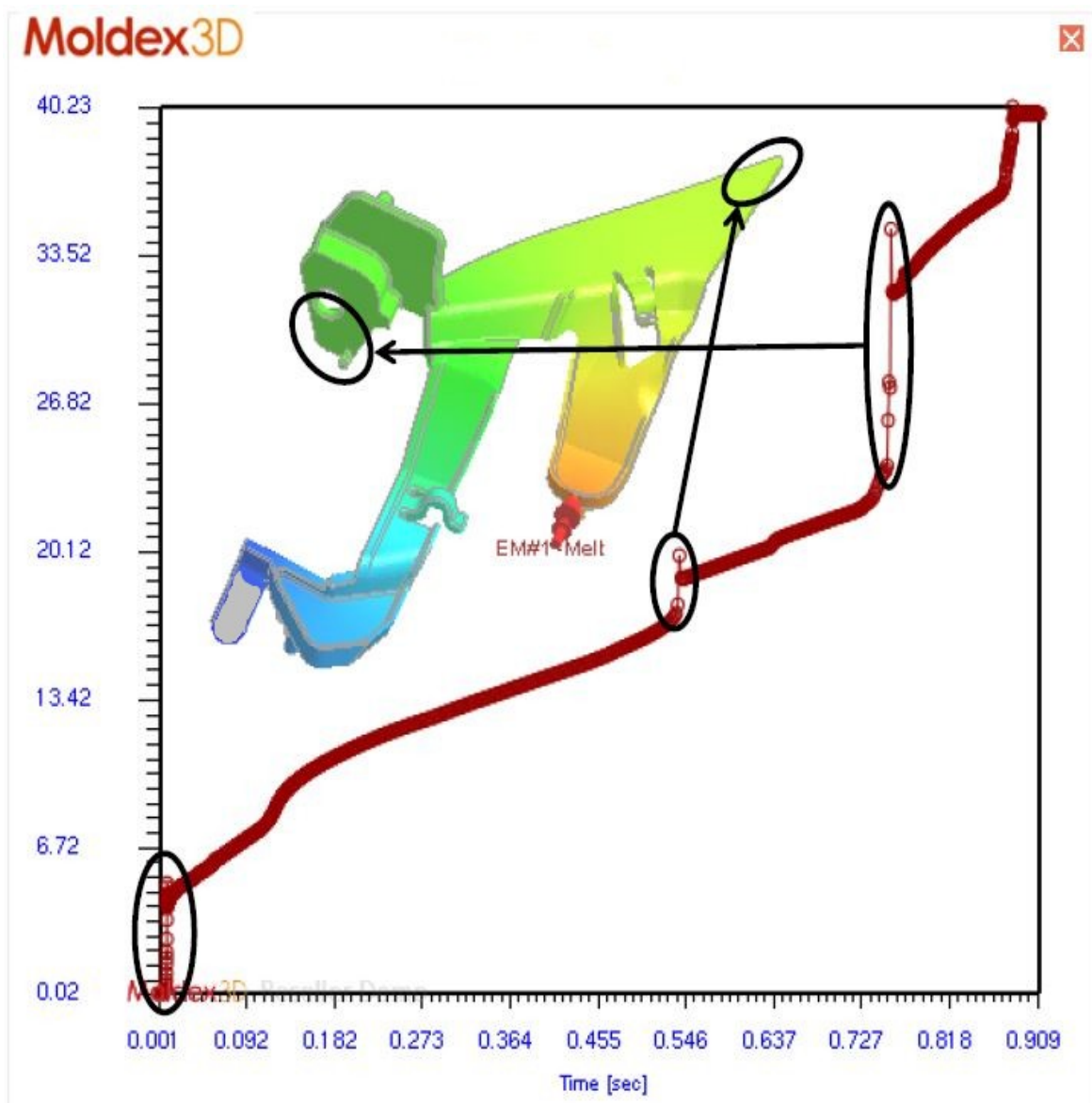


Obr. 67: Izočáry plnění

### 11.3.2 Tlak v době přepnutí

Při zaplnění 95% dutiny taveninou přejde vstříkací stroj k dotlaku. Na obr. 68 je na výstřiku barevná škála, která znázorňuje tlak v různých místech – na modrých plochách je nulový a v oblasti vtokového ústí maximální (40,23 MPa). Na obrázku je i viditelné šedé místo, které zůstalo nenaplněno a bude zaplněno taveninou pomocí dotlaku.

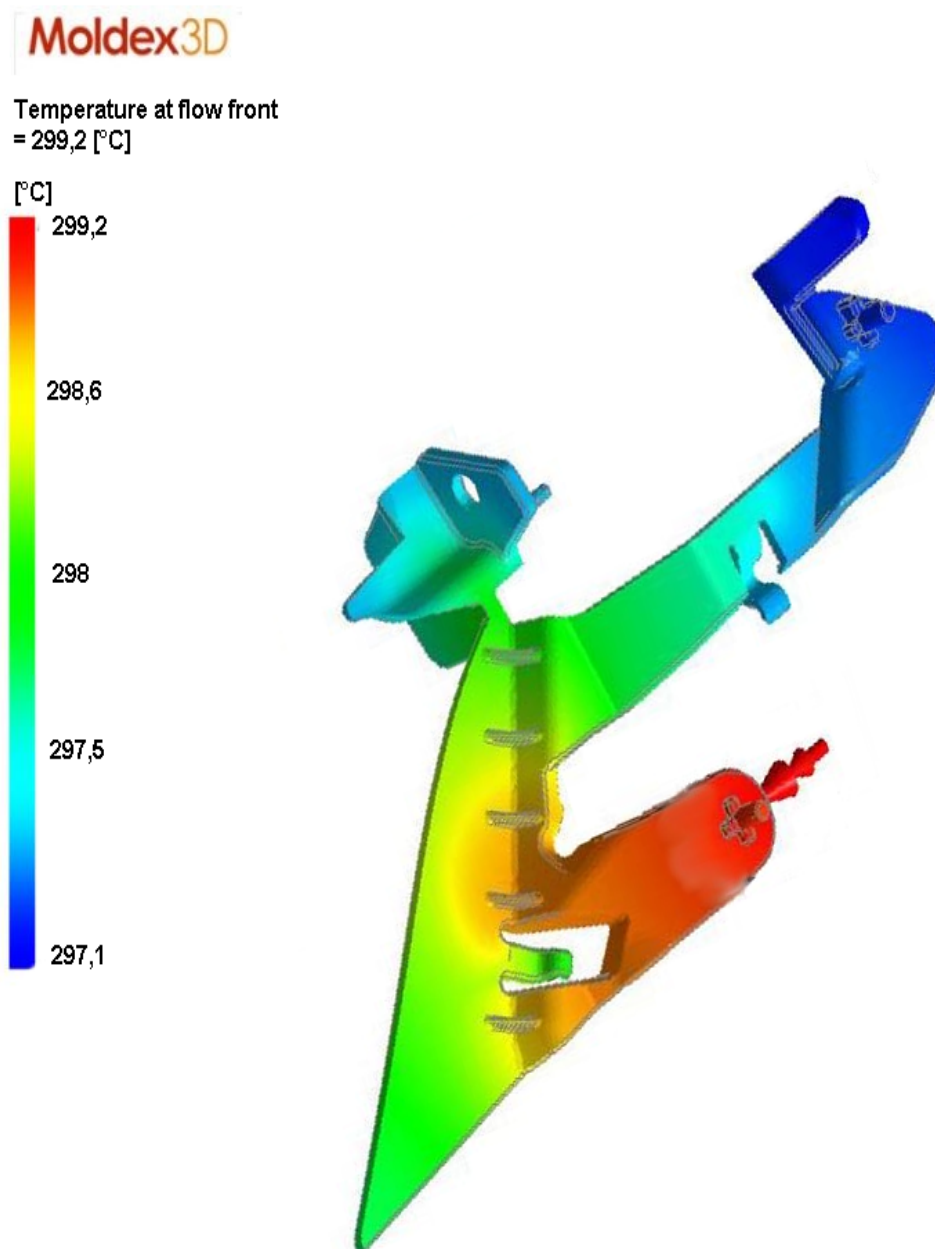
Součástí výsledku je i tlaková křivka, představující nárůst vstříkacího tlaku v čase, při 0,9 s dosáhne svého maxima. Obecně platí, že vstříkací tlak by neměl být větší než 100 MPa. To je tedy 75% maximálního vstříkacího tlaku stroje.



Obr. 68: Rozložení tlaku v době přepnutí na dotlak

### 11.3.3 Teplota na čele taveniny

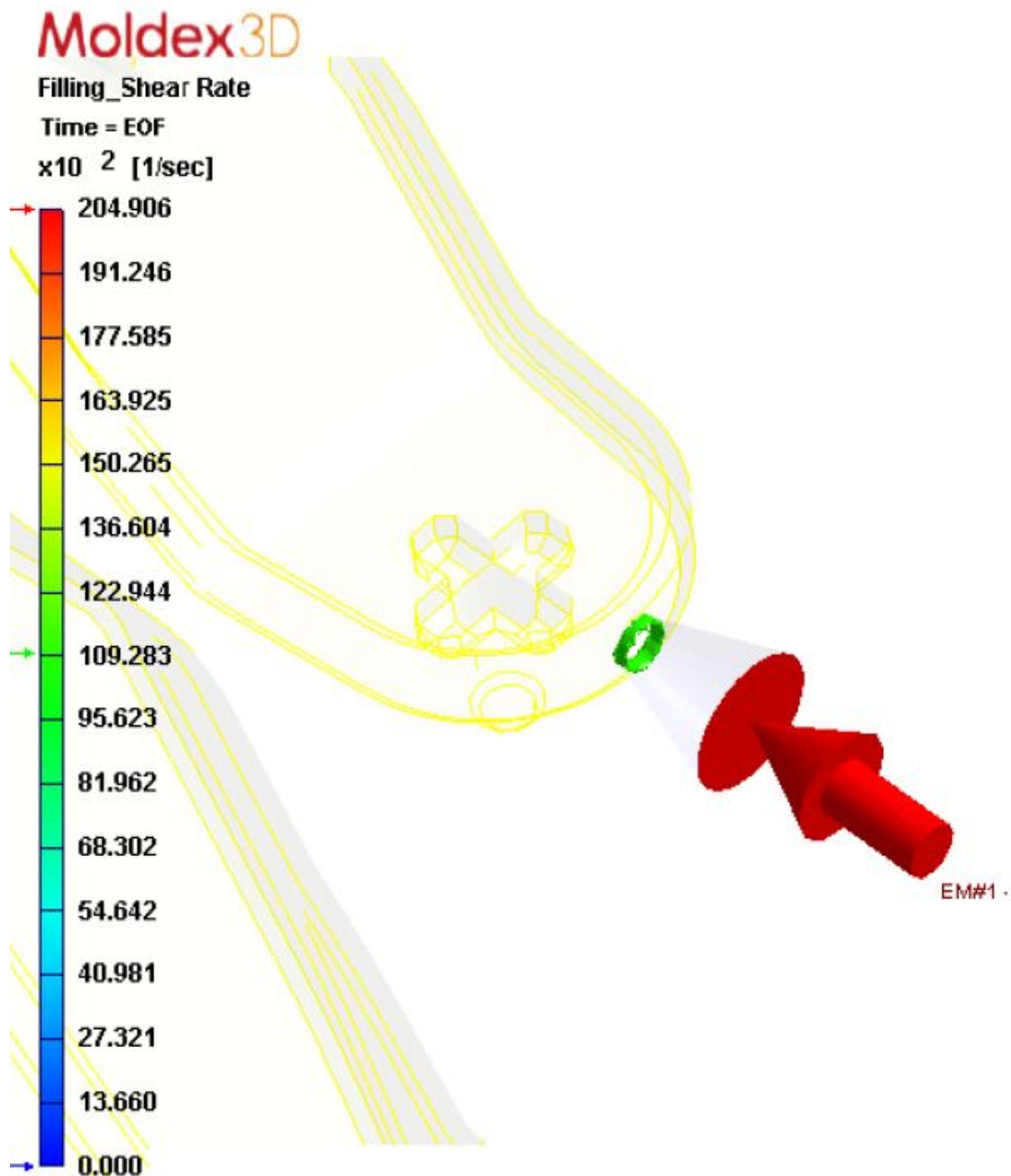
Analýza ukázala teplotu taveniny při zaplnění dutiny formy. Její teplota je 299 °C a tak nehrozí její degradace. Teplota čela taveniny by neměla klesnout o 5 °C během plnění dutiny, jinak by hrozilo neúplné naplnění dutiny formy v místech tenkých stěn výrobku. Pokud by byl teplotní pokles pod 5 °C, musela by nastat změna vstřikovacích parametrů – vyšší teplota formy či taveniny.



Obr. 69: Teplota na čele taveniny

### 11.3.4 Rychlost smykové deformace

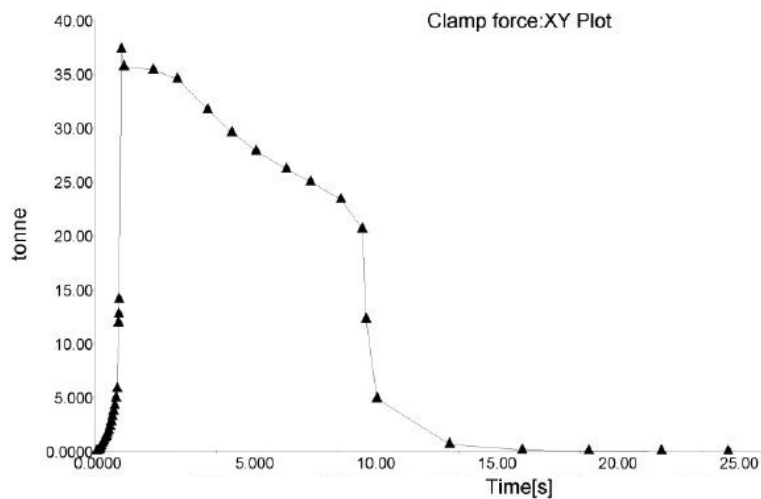
Pokud je rychlost smykové deformace vysoká, dochází k degradaci materiálu a výrobek má snížené mechanické vlastnosti – je lámavý, křehký. Na jeho povrchu také bude pohledová vada. Maximální hodnota rychlosti smykové deformace je dle materiálového listu 100 000 1/s a nebyla tedy překročena. Její nejvyšší hodnota je dle analýzy 20 500 1/s a dosáhne jí ve vtokovém ústí.



Obr. 70: Rychlost smykové deformace

### 11.3.5 Průběh uzavírací síly

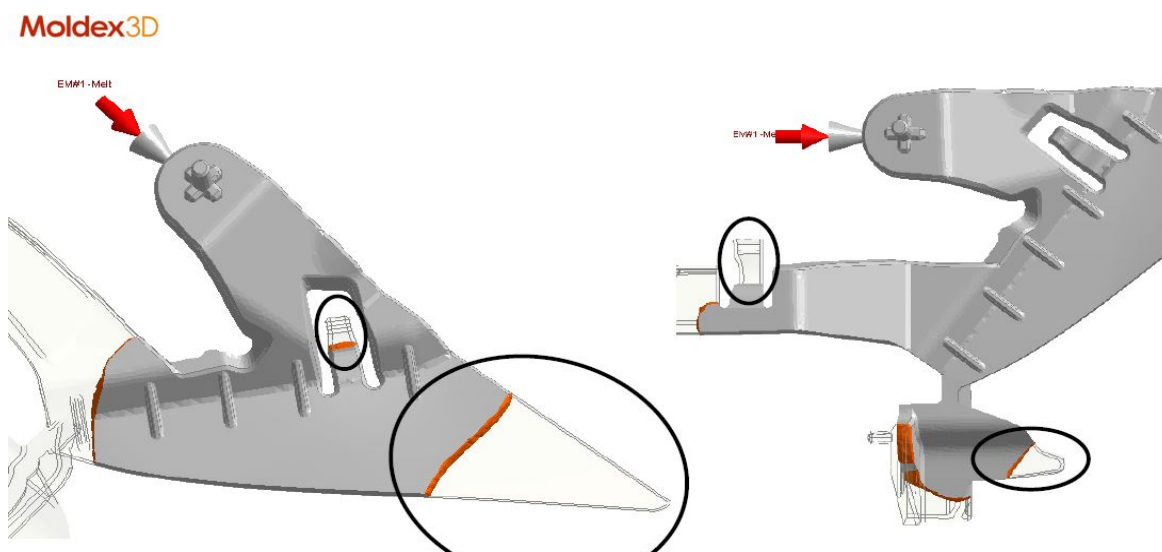
Potřebná uzavírací síla je 36 tun (360 kN), vzhledem ke vstřikovacímu stroji s uzavírací silou 120 tun (1200 kN) je zajištěna potřebná rezerva. Uzavírací síla by se měla pohybovat v rozmezí 20 až 80 procent uzavírací síly stroje. Je tedy využito 30 % uzavírací síly stroje.



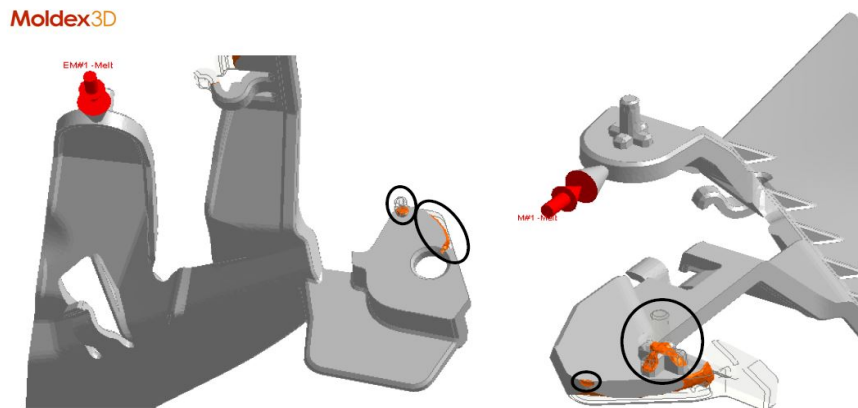
Obr. 71: Průběh uzavírací síly

### 11.3.6 Uzavřený vzduch

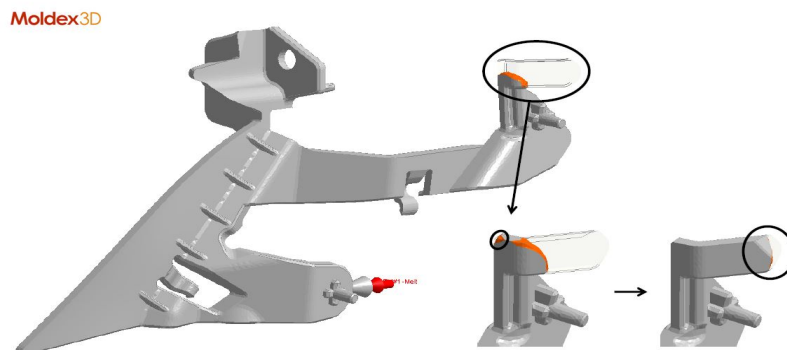
Výsledkem analýzy jsou místa (označena kroužkem), kde bude docházet k uzavření vzduchu vlivem toku taveniny. Při konstrukci byly tyto místa zohledněny a konstrukčně odzdušněny – v obvodových částech dělicí rovinou, ve středových závacích dělenými vložkami okolo kterých vzduch unikne.



Obr. 72: Analýza uzavřeného vzduchu



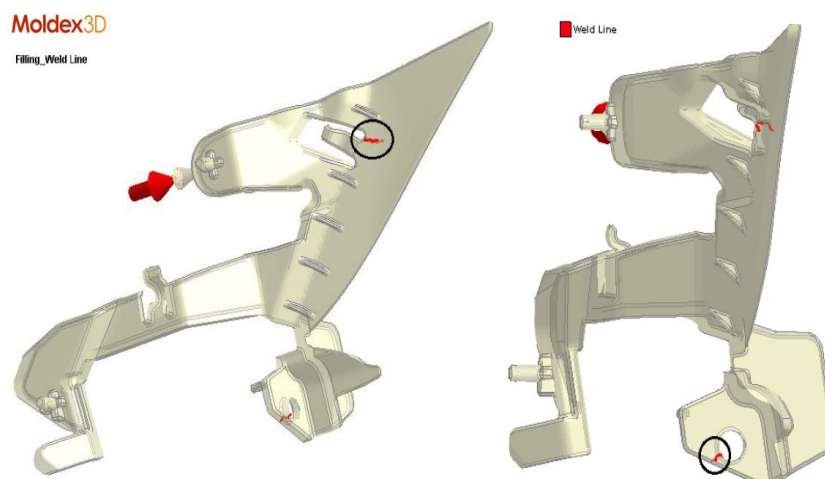
Obr. 73: Analýza uzavřeného vzduchu



Obr. 74: Analýza uzavřeného vzduchu

### 11.3.7 Studené spoje

Vznikají tam, kde dochází k obtékání taveniny kolem otvorů. Dojde k spojení dvou čel taveniny a výrobek bude v tomto místě mechanicky oslaben. Na mechanickou funkci tohoto výrobku však vliv mít nebudou, protože výrobek nebude mechanicky namáhán. Pokud by však studené spoje měly vliv na mechanické vlastnosti výrobku a jednalo by se o často mechanicky namáhaný výrobek, daly by se studené spoje redukovat vstřikovacími parametry – například zvýšením teploty taveniny, zvýšením teploty formy. V krajním případě by se muselo konstrukčně upravit vtokové ústí.

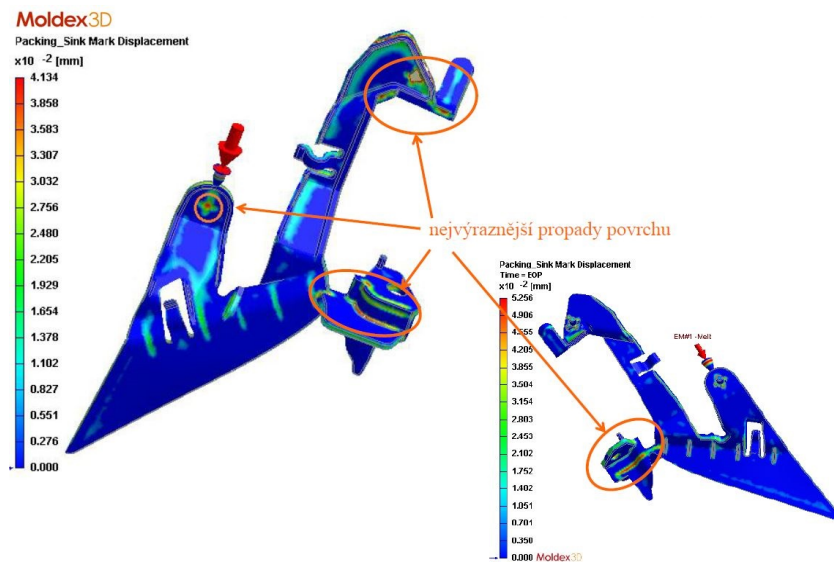


Obr. 75: Analýza studených spojů



### 11.3.8 Propadliny

Jedná se o závažné pohledové vady. Výrobek nespadá do pohledových dílů, nelze však tyto vady opomenout, vady se částečně dají kompenzovat vstřikovacími parametry. Na červených plochách jsou propadliny hloubky 0,05 mm. Je to dané designem výrobku, který není možné změnit. Uvedené propadliny jsou tedy akceptovány a nebudou mít na mechanickou funkci výrobku vliv.

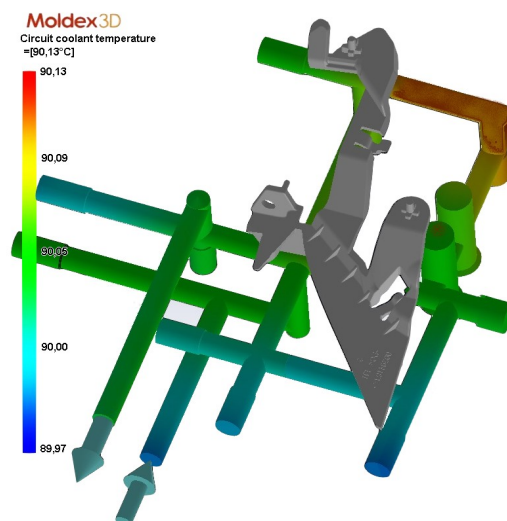


Obr. 76: Analýzy propadlin

## 11.4 Analýza chlazení

### 11.4.1 Teplota chladících okruhů

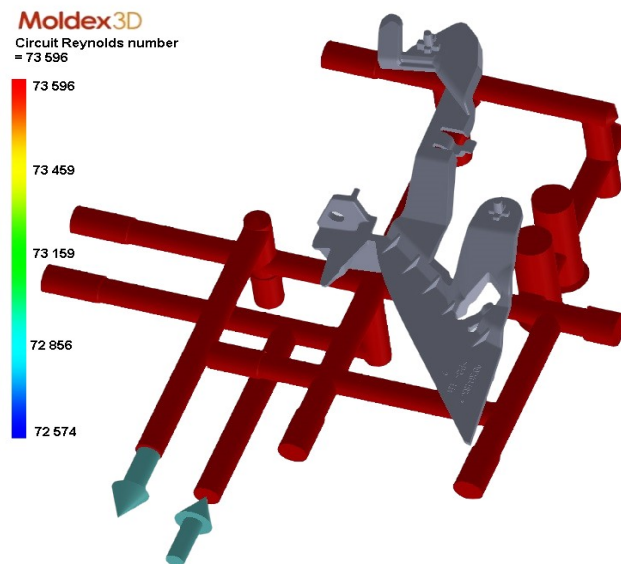
Rozdíl teplot temperačního média na vstupu a výstupu by neměl přesáhnout 5 °C, aby bylo temperování účinné. Dle analýzy byla tato podmínka splněna, protože rozdíl teplot je mezi vstupem a výstupem je 0,16 °C.



Obr. 77: Teplota temperačních okruhů

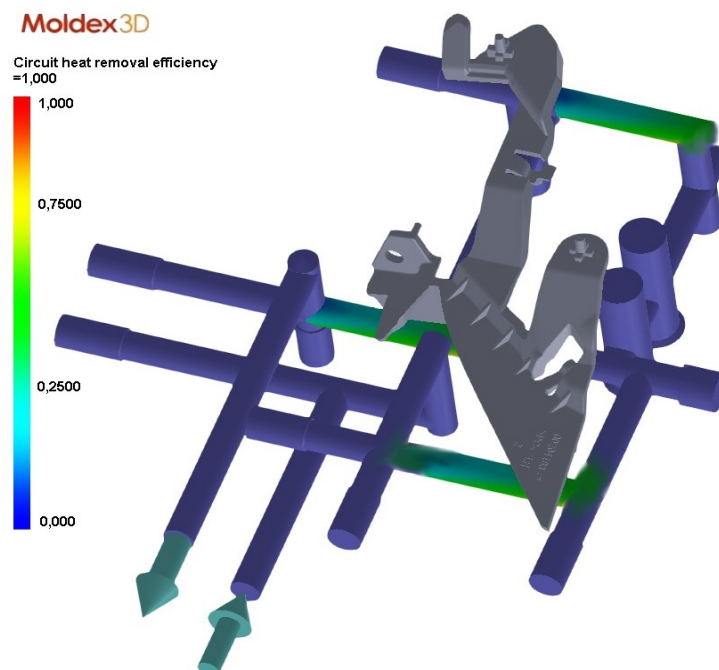
### 11.4.2 Reynoldsovo číslo a efektivita odvodu tepla

Výsledek analýzy udává, zda-li jde o tok turbulentní nebo laminární. Pro efektivní odvod tepla je potřeba turbulentní proudění temperačního média. Pokud je Reynoldsovo číslo větší než 4000, jde o turbulentní proudění. Z výsledku tedy vyplývá, že se jedná o turbulentní proudění temperační kapaliny a odvod tepla bude účinný.



Obr. 78: Reynoldsovo číslo

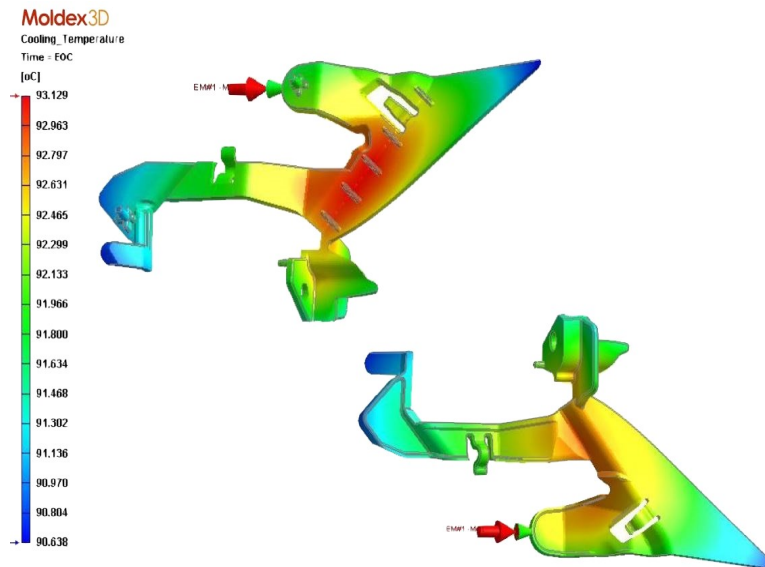
Na obr. 79 je analýza efektivity odvodu tepla. Nejúčinnější odvod tepla je označen 1. Všechny temperační kanály tedy mají nižší účinnost.



Obr. 79: Efektivita odvodu tepla

### 11.4.3 Teplota při výstřiku při vyhazovacím čase

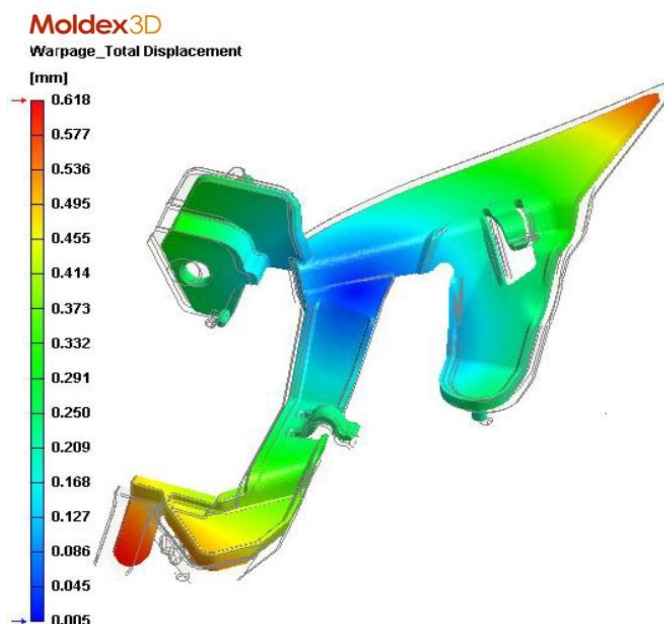
Analýza určila, jaká teplota bude na výstřiku po 20 s chlazení. Lze tak určit, že tato teplota je pro vyhození výstřiku vhodná, protože teplota v něm je téměř rovnoměrná. Největší teplota je ve středu výrobku, protože jde o nejtlustější stěnu.



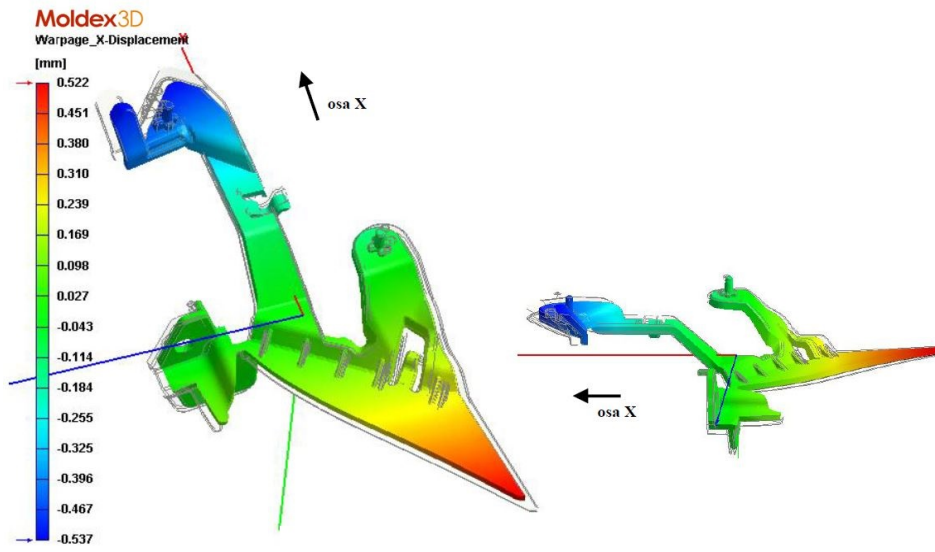
Obr. 80: Teplota výstřiku ve fázi vyhození

## 11.5 Analýza deformací

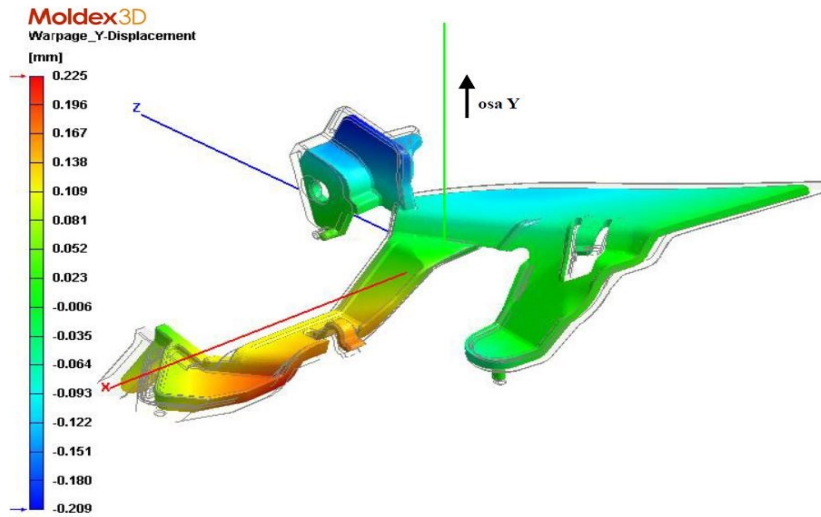
Velikost deformace je ovlivněna tvarem výrobku, jeho materiálu, technologií vstřikování nebo parametry vstřikování. Výsledek analýzy je vztážen ke zvolenému bodu, kterým je těžiště výrobku. Výsledek je graficky 8x zvětšen, aby byla deformace patrná. K největší deformaci dochází u koncových tvarů výlisku z důvodu tenké tloušťky. Největší celková deformace vyšla 0,618 mm.



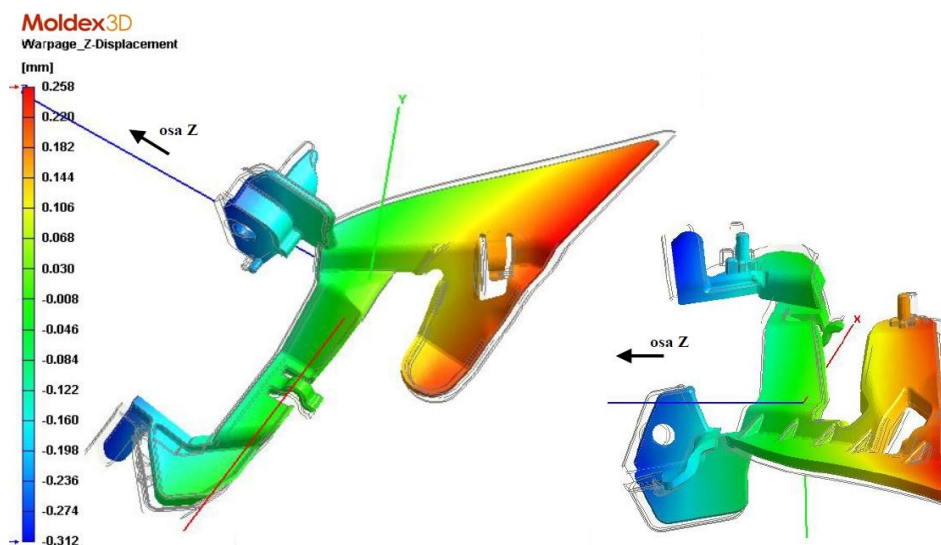
Obr. 81: Celková deformace



Obr. 82: Deformace v ose x



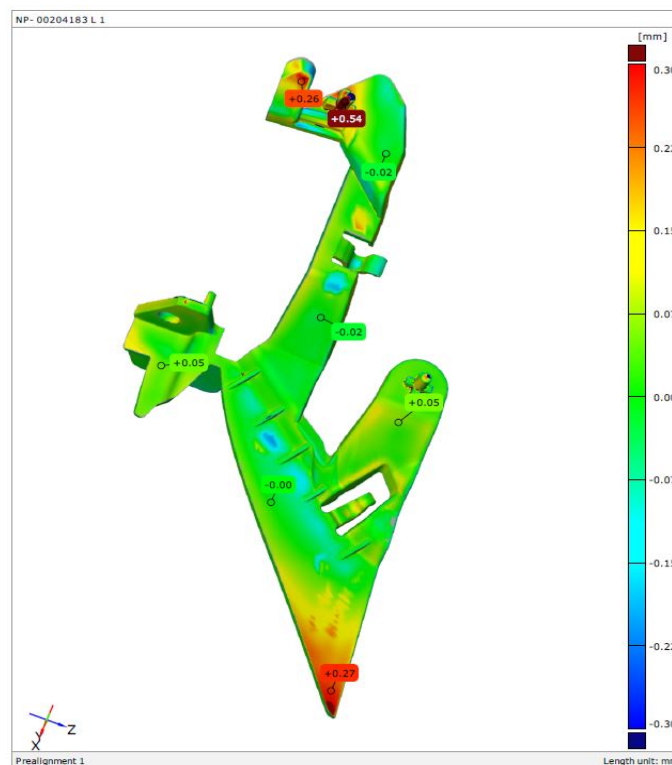
Obr. 83: Deformace v ose y



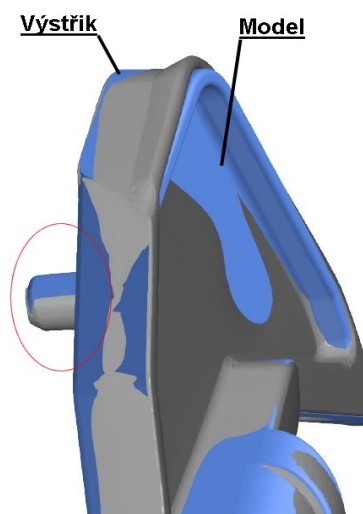
Obr. 84: Deformace v ose z

### 11.5.1 Porovnání výsledků deformace

Výsledky deformace z analýzy byly porovnány se vzorky výstřiků získaných při vstřikování. Z výsledků vyplývá, že se analýza přiblížila skutečným výrobkům, protože na kontrolovaných vzorcích byla změřena deformace 0,54 mm. Na krajních částech se výstřik ohl, tak jako při analýze. K největší deformaci docházelo v krajní části na kruhovém zácvaku (obr. 85), protože pod zácvakem vznikla propadlina a masa materiálu zácvak chlazením ohnula. To však zákazník akceptoval.



Obr. 85: Analýza výstřiku



Obr. 86: Porovnání modelu a výstřiku v místě deformace

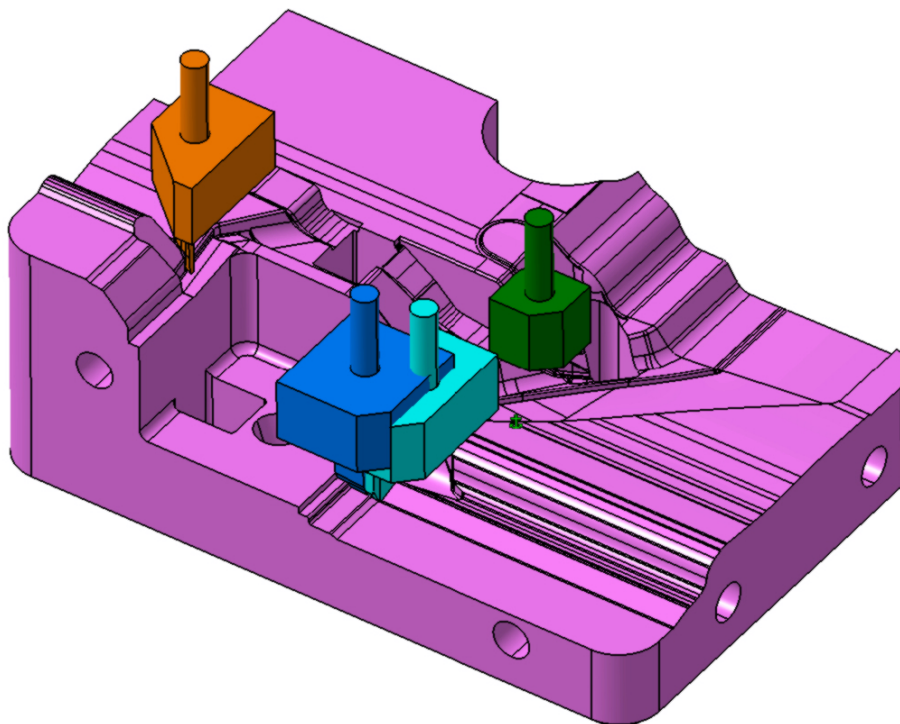
## 11.6 Diskuze výsledků analýzy

Na základě konstrukčního řešení formy a výsledku analýzy bylo zvoleno boční tunelové ústí do boční části výrobku. Díky tomu je zabezpečeno rovnoměrné plnění dutiny a nedochází ke zpomalení tečení taveniny vlivem rozdílné tloušťky stěn. Vtokové ústí však musí být umístěno do dutiny formy pod úhlem, aby nedocházelo k volnému toku taveniny. V případě vad na výrobku by bylo nutné při začátku plnicí fáze snižovat vstřikovací rychlost.

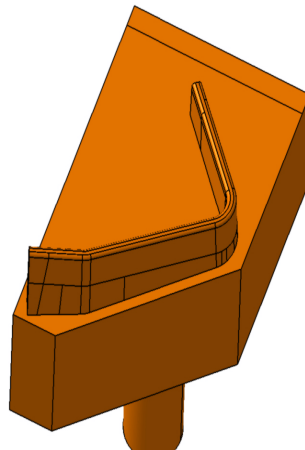
Vzhledem k tvarové členitosti výrobku není možné vyvážit plnění dutiny tak, aby byla zaplněna ve všech koncových oblastech současně. Koncová část výrobku bude tedy zaplněna dotlakem. Při obtékání otvorů dojde ke tvorbě studených spojů, které budou na výrobku tvořit vzhledové vady a budou snižovat jeho mechanické vlastnosti. Dojde také k uzavírání vzduchu v dutině formy v krajních částech výrobku, proto je konstrukčně navrženo odvzdušnění formy přes dělicí rovinu formy a vkládané vložky. Smyková rychlost dosáhne svého maxima  $20\ 500\ \text{s}^{-1}$  ve vtokovém ústí, což je pod limitem pro daný polymer. Vtokové ústí má tedy správnou geometrii a dobře navrženo, nebude docházet k degradaci materiálu. Efektivní doba dotlaku byla stanovena na 8 s. V oblastech napojení stěn a výstupků bude docházet k vyššímu objemovému smrštění, což povede k propadům na výrobku. Pro simulaci chladicí fáze byla zvolena teplota temperačního média  $90\ ^\circ\text{C}$ , doba chlazení 20 s. Při konci fáze chlazení se povrchové teplota dílu bude pohybovat v rozmezí  $91 - 93\ ^\circ\text{C}$  a dosáhne tedy vyhazovací teploty. K deformaci výrobku dojde díky lineárnímu smrštění výrobku a jeho geometrii. Dle analýzy bude největší deformace dosahovat 0,618 mm; ve skutečnosti byla na vstřikovaném výrobku změřena deformace 0,54 mm. Výsledky analýzy se tedy velmi blíží skutečnému procesu vstřikování.

## 12 VÝROBA A ZKOUŠENÍ FORMY

Po dokončení konstrukčního návrhu a analýzy byla zhotovena výkresová dokumentace, díky které je možné zahájit výrobní proces. Vše začíná nakoupením materiálu a polotovarů dle kusovníku, kdy je část formy (rám, vyhazovače, vodící prvky) objednána od firmy Meusbarger. Ty se pak dále obrábějí a vyrábí se v nich otvory pro vyhazovače, tvarové části, protože jsou specifické pro každý výrobek. Tvarové a atypické části se vyrábějí z ocelového polotovaru. Tyto části jsou nejprve na frézce naformátovány na rozměry s přídavkem materiálu, poté jsou na CNC frézkách obráběny do finálního tvaru. Obrábění je složeno z hrubovacího cyklu, kdy je za pomoci velkých nástrojů obrobena co největší množství materiálu. Poté následuje předšlichtovací cyklus, ve kterém se středními nástroji obrábí plochy na jemněji a obrábí se i zbývající materiál po předchozí operaci. Na konec jsou tvarové části obráběny malými nástroji do konečného tvaru – šlichtovací cyklus. Díky tomu, že tvary vstříkovaných výrobků jsou často složité, využívá se při dokončovacích operacích elektroerozivního hloubení, u kterého se používají grafitové elektrody. Nejprve je potřeba stanovit místo, kde je hloubení zapotřebí – jsou to často hluboká úzká místa, ostré rohy, úzké drážky. V tomto místě se vymodeluje elektroda, která je negativem požadovaného místa. Ta se třiskovým obráběním obrobí do požadovaného tvaru a místo ve formě je elektrodou vyerodováno do konečného tvaru. Pro dokončení pevné tvarové vložky byly použity čtyři elektrody, které tvoří tenká žebra.

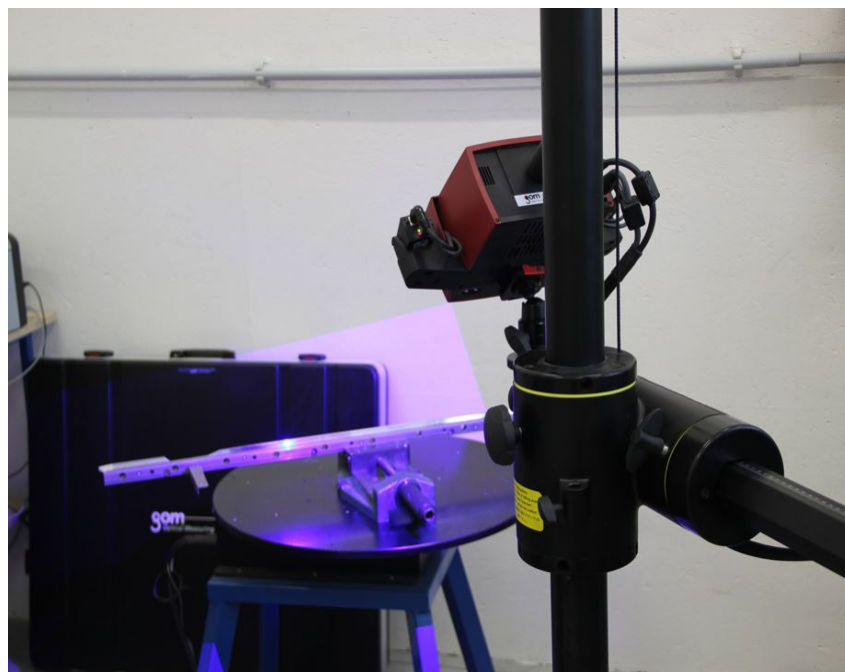


Obr. 87: Pevná tvarová vložka s elektrodami



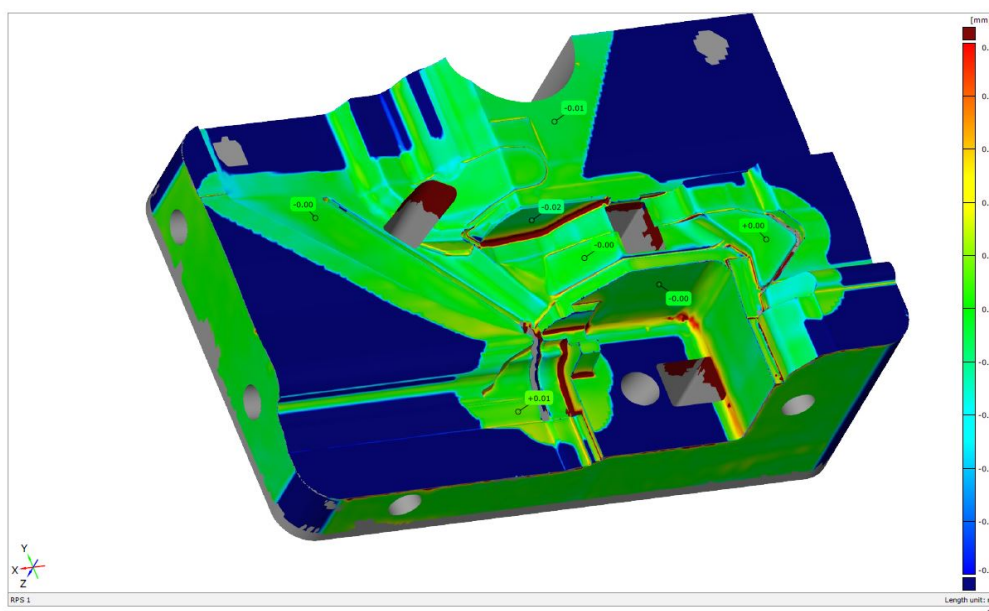
*Obr. 88: Detail elektrody*

Po dokončení výrobních operací jsou jednotlivé části zkontrolovány 3D skenerem Atos Core se softwarem Atos Professional, který měří s přesností setin milimetru. Vyrobené díly se nasnímají měřicí hlavou, kdy je potřeba správně nastavit rozlišení a velikost skenu. Snímání probíhá tak, že se dílce sprejují matným sprejem, aby nedocházelo k odleskům, na dílec se nalepí měřicí kontrolní body a dílec se z několika stran snímá. Celý povrch je naskenován bezkontaktně. Z naměřených bodů (v řádech milionů) vzniká tak triangulovaná polygonální síť STL, se kterou je možno pracovat – analyzovat tvary a rozměry či vytvářet měřicí protokoly. Ke tvorbě měřicí protokolu je zapotřebí síť porovnat s vyráběnými daty, poté dojde k usazení tvaru na sebe, vyhodnocení odchylek a vznikne tak měřicí protokol.



*Obr. 89: Měření 3D skenerem Atos Core*



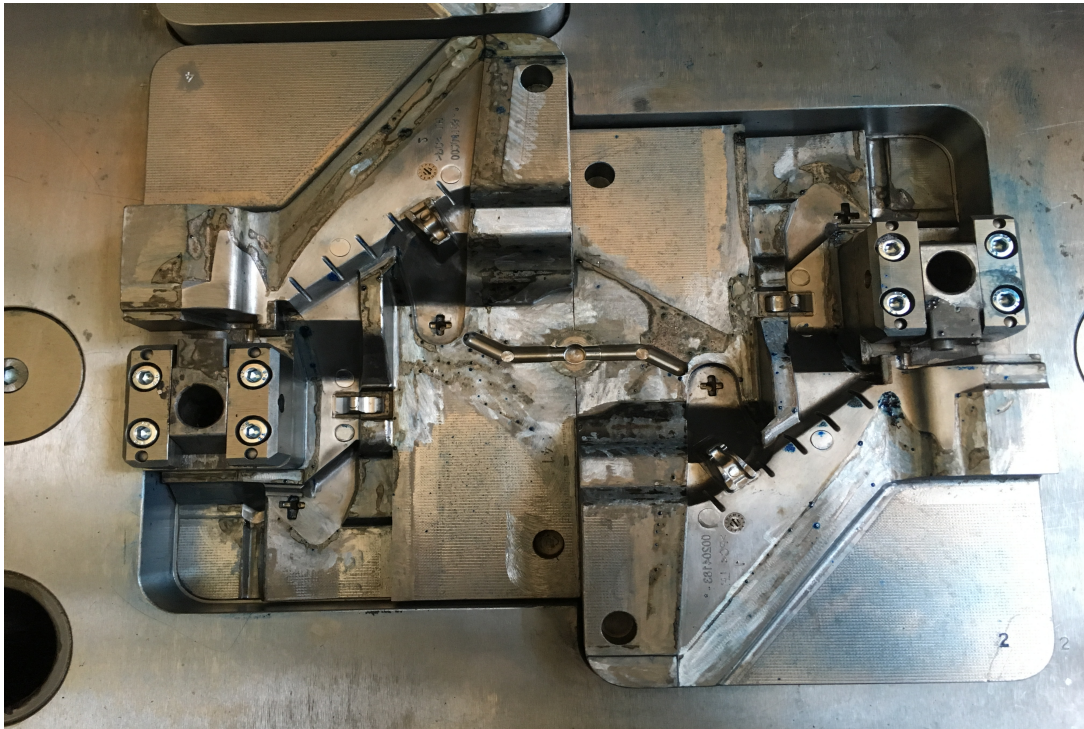


Obr. 90: Měřicí protokol získaný ze 3D skeneru

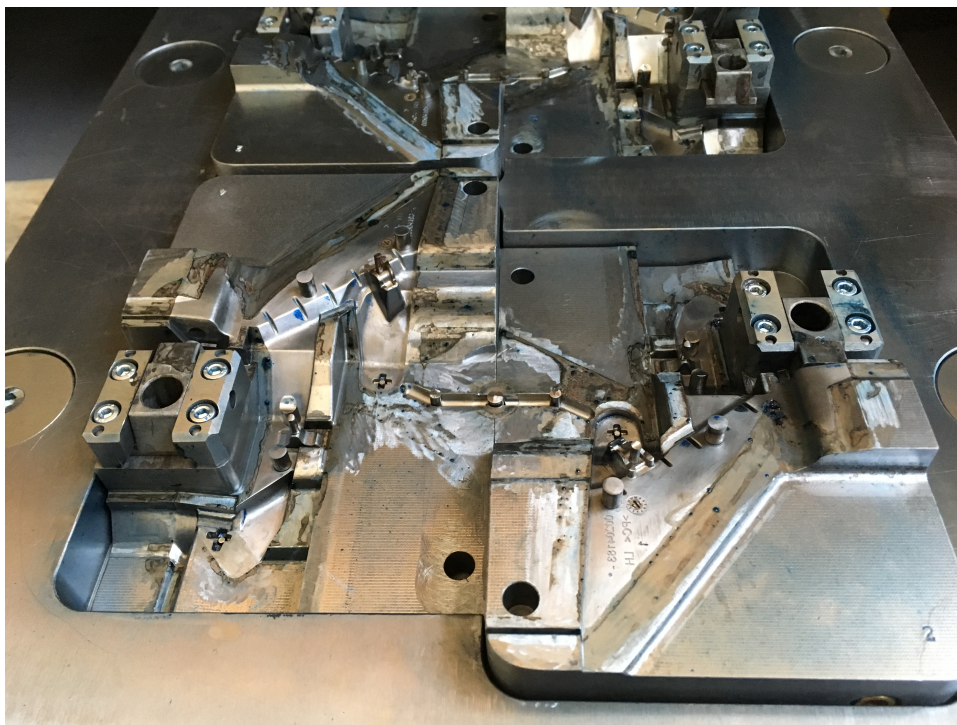
Na měřícím protokolu je vyhodnocena odchylka vyrobeného dílce a modelu. Měření probíhá při pokojové teplotě 21°C v kontrolním středisku. Zelené plochy jsou totožné s modelem, mají tedy nulovou odchylku. Modré plochy jsou v záporné odchylce – jsou nižší než model (tmavě modrá je -0,1 mm), materiál chybí. Červené plochy jsou naopak v kladné odchylce, jsou tedy vyšší než model (tmavě červená je +0,1 mm) a materiál přebývá. Znamená to tedy, že modrá oblast okolo dělicí roviny je vyrobena v toleranci -0,1 mm, což je výhoda pro lícování tvarových částí formy. Dutina tak těsní jen v dělicí rovině na délce 10 mm, ostatní plochy jsou odlehčené. Vytváří tak límeček okolo dutiny. Usnadní to tedy slícování tvarových částí formy proti sobě. Nenastane také problém, kdy by jednotlivé části na sobě ležely, ale nedoléhaly by na sebe v důsledku drobného zbytku po obrábění – nejčastěji v malých zaobleních a v ostrých rozích.

Posledním krokem ve výrobě je slícování a montáž vstřikovací formy. Tvarové části jsou broušeny do požadované jakosti, vyhazovače se zapravují, aby lícovaly s dutinou formy. Je zajištěný plynulý chod a promazání pohyblivých částí – posuvné čelisti, vyhazovače, vratné kolíky a vodící elementy. Nakonec je provedena tlaková zkouška temperačních okruhů za účelem zjištění těsnosti temperační soustavy. Při zkoušce byla použita voda s tlakem 10 bar a byly kontrolována kritická místa, zda-li nedochází k únikům. Po úspěšném testu byla forma vyexpedována pro odzkoušení vstřikovacího testu ve vstřikovně. Tam se kontrolovala její kompletnost, byla upnuta na vstřikovací stroj, poté byl zkoušen její chod naprázdno. Byl zapojen temperační systém, nastavena požadovaná teplota a tlak. Poté byly nastaveny ostatní procesní parametry a byla provedena plnicí studie. U ní dochází k postupnému zaplnění dutiny formy a působení dotlaku.

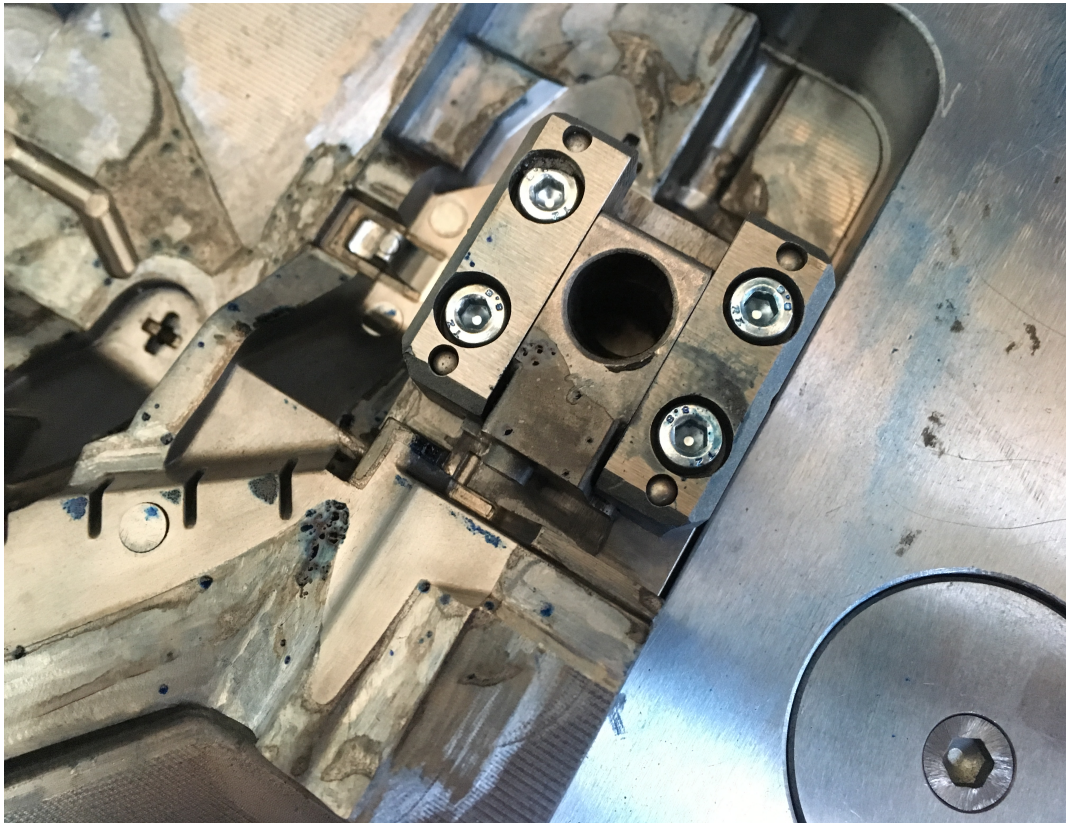
Nakonec byl odzkoušen vstřikovací cyklus v automatickém chodu formy. Během zkoušek se projevil nedostatek ve slícování posuvné čelisti u jednoho výstřiku, na kterém byly v dělicí rovině drobné přetoky. Tento nedostatek byl poté odstraněn. Byly získány vzorky, které se odeslaly zákazníkovi. Bylo provedeno měření výstřiků na 3D skeneru a zhotovily se měřicí protokoly. Poté se provedly mechanické korekce, které opravily odchylky výstřiků a po dalším odzkoušení byla forma zapojena do sériové výroby.



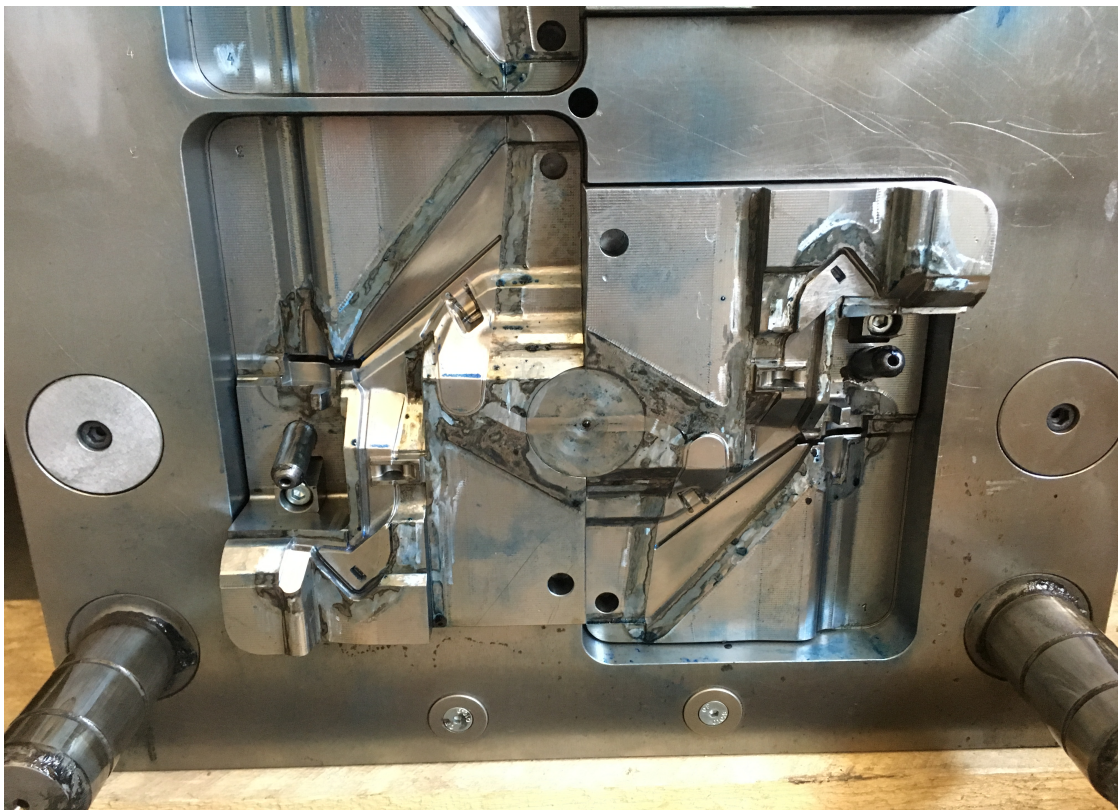
*Obr. 91: Pohyblivá část formy*



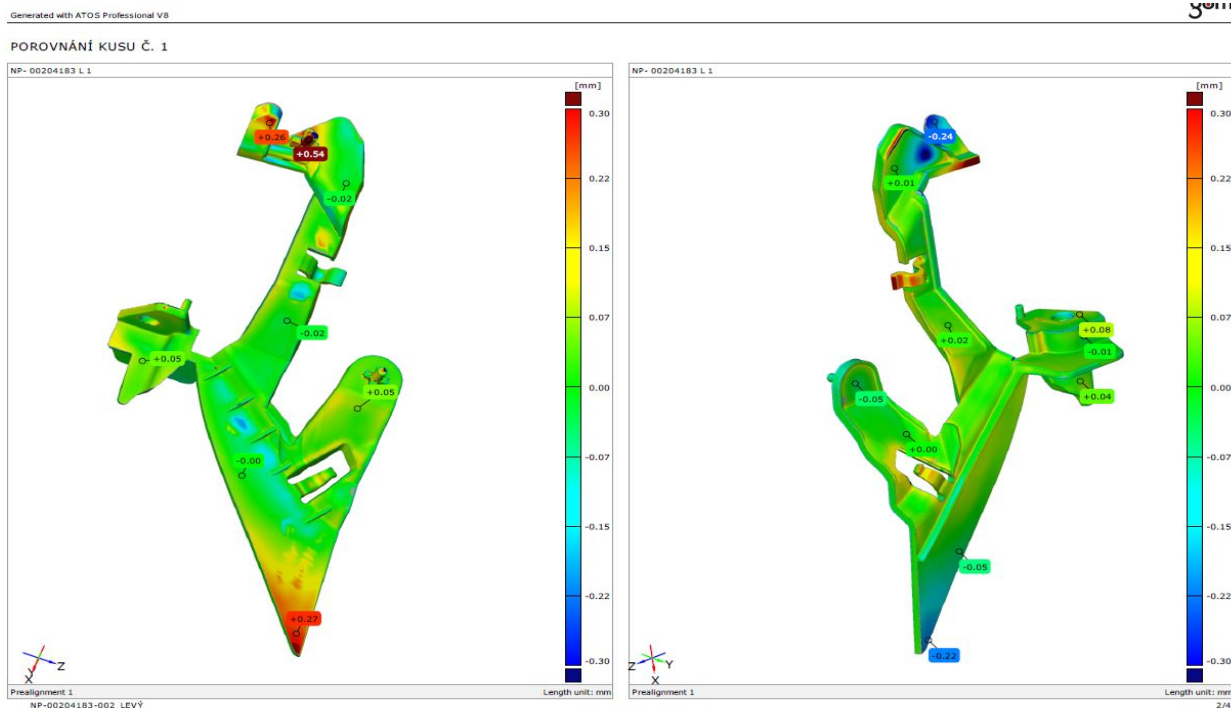
*Obr. 92: Pohyblivá část formy s vysunutými vyhazovači*



*Obr. 93: Posuvná čelist pohyblivé části formy*



*Obr. 94: Pevná část formy*



Obr. 95: Měřicí protokol výstřiku



Obr. 96: Konečný stav výstřiku

## ZÁVĚR

Diplomové práce měla za úkol konstrukční návrh vstřikovací formy pro díl světlometu. Na začátku teoretické části jsou popsány polymerní materiály, kde je v podkapitolách rozebráno základní rozdělení polymerů, zpracovatelské teploty, úpravy polymerů pro vstřikování. V závěru kapitoly jsou popsány polymery využívané v automobilovém průmyslu. Následující kapitola popisuje technologii vstřikování, je zde rozebrán vstřikovací cyklus a vstřikovací stroj. Třetí kapitola je zaměřena na vstřikované výrobky. V první podkapitole je popsán návrh vstřikovaných výrobků se zaměřením na jejich vzhled, geometrii. V závěru kapitoly jsou popsány nejběžnější vady vstřikovaných výrobků. Čtvrtou a závěrečnou kapitolou teoretické části je kapitola o vstřikovacích formách. Jsou zde popsány konstrukční řešení vstřikovacích forem, vtokové soustavy, vyhazovací a temperační systémy forem. Kapitulu uzavírá podkapitola o odvzdušnění forem.

Praktická část diplomové práce je rozdělena na tři hlavní části. První část je zaměřena na návrh vstřikovací formy pro díl světlometu. Je zde popsán vstřikovaný výrobek, jeho materiál, vstřikovací stroj, použitý software. Dále je zde rozebrána konstrukce vstřikovací formy a popsány její jednotlivé části – rám, tvarové části, vtokový, vyhazovací a temperační systém. Další část popisuje analýzu vstřikovacího procesu v programu Moldex3D s vyhodnocením výsledků analýzy. Výsledků analýzy je využito u konstrukčního řešení formy, díky kterým se předchází špatným návrhům a vadám na výrobku. V závěru praktické části je popsána samotná výroba a zkoušení vstřikovací formy, kdy byly získány finální vstřikované výrobky.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] DVOŘÁK, Z – R. LAMBOROVÁ: *Základy výrobních procesů I. - Konstrukční materiály a kompozity*, 1.vydání, Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2008
- [2] BOBČÍK, L: *Formy pro zpracování plastů I. Díl – Vstřikování termoplastů*, 2.vydání, Brno: Uniplast, 1999
- [3] BOBČÍK, L: *Formy pro zpracování plastů 2. Díl – Vstřikování termoplastů*, 2.vydání, Brno: Uniplast, 1999
- [4] *Plasty* [online], 2002 [cit. 2017-05-10], Dostupné z: <<https://www.opi.zcu.cz/plasty.pdf>>
- [5] TOMIS, F: *Základy gumátenské a plastikářské technologie*, 2.vydání, Brno: VUT, 1980
- [6] ZEMAN, L: *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*, 1.vydání, Praha: BEN, 2009
- [7] STOKLASA, K: *Zpracovatelské inženýrství I. - Základy gumárenské a plastikářské technologie*, Zlíně: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2009
- [8] MAŇAS, M. a HELFŠTÝN J: *Výrobní stroje a zařízení: Gumárenské a plastikářské stroje II.*, Brno: VUT, 1990
- [9] ZEMAN, L: *Vstřikování plastů*, 1.vydání, Praha: BEN, 2009
- [10] NESVADBA, M.: *Konstrukce vstřikovací formy pro výrobek z termoplastu*, DP, Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2007
- [11] PYTLÍK, T.: *Konstrukce vstřikovací formy pro dvoukomponentní vstřikování*, DP, Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2012
- [12] LENFELD, P.: *Technologie vstřikování*, Brno: Code Creator, 2016
- [13] BRUMMEL, M.: *Rozměrově přesné výrobky z plastu*, 1.vydání, Praha: VÚNM, 1977
- [14] GASTROW, H.: *Injection molds: 130 proven designs*, 3. vydání, Vienna: Hanser, 2002
- [15] KULHÁNEK, J.: *Formy pro tváření plastických hmot*, 1. vydání, Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1966
- [16] HENDRYCH, J., WEBER, A., DOLEŽEL, J.: *Standardizace rámců a součástí forem pro vstřikování termoplastů*, 1. vydání, Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986
- [17] BEAMONT, J.P., NAGEL, R., SHERMAN, R.: *Successful Injection Molding Process, Design and Simulation*, USA: Hanser Gardner Pub., 2002

- [18] BARLOG, P.: *Konstrukce mechanismu pro vstřikovací formy*, BP, Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2009
- [19] CAMPO, E.: *The Compete Part Design Handbook*, Munich: Hunser Publisher, 2006
- [20] MEUSBURGER: *Katalog polotovarů pro výrobu vstřikovacích forem* [online], 2017, [cit. 2017-05-10], Dostupný z: <https://ecom.meusburger.com/files/pdf/e/e1610.pdf>
- [21] MEUSBURGER: *Katalog polotovarů pro výrobu vstřikovacích forem* [online], 2017, [cit. 2017-05-10], Dostupný z: <https://ecom.meusburger.com/files/pdf/e/e1692.pdf>
- [22] MEUSBURGER: *Katalog polotovarů pro výrobu vstřikovacích forem* [online], 2017, [cit. 2017-06-10], Dostupný z: [https://ecom.meusburger.com/e\\_menu/index.asp?set\\_gruppe=7](https://ecom.meusburger.com/e_menu/index.asp?set_gruppe=7)
- [23] MEUSBURGER: *Katalog polotovarů pro výrobu vstřikovacích forem* [online], 2017, [cit. 2017-07-10], Dostupný z: <https://ecom.meusburger.com/files/pdf/e/e1265.pdf>
- [24] CUMSA: *Katalog polotovarů pro výrobu vstřikovacích forem* [online], 2017, [cit. 2017-07-10], Dostupný z: [https://www.cecho.cz/cs/galleries/download/1771/cumsa\\_catalogue.pdf](https://www.cecho.cz/cs/galleries/download/1771/cumsa_catalogue.pdf)
- [25] MEUSBURGER: *Katalog polotovarů pro výrobu vstřikovacích forem* [online], 2017, [cit. 2017-08-10], Dostupný z: [https://ecom.meusburger.com/e\\_menu\\_gruppen/index.asp?reset\\_gruppe=1](https://ecom.meusburger.com/e_menu_gruppen/index.asp?reset_gruppe=1)
- [26] PLASTICS COVERSTO: *Katalog polymerních granulátů* [online], 2017, [cit. 2018-02-02], Dostupný z : <https://www.plastics.covestro.com/en/Products/Makrolon/ProductList/201305212210/Makrolon-1260>
- [27] SUMITOMO DEMAG: *Katalog vstřikovacích strojů* [online], 2017, [cit. 2018-02-02], Dostupný z :<https://www.sumitomo-shi-demag.eu/>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

mm	milimetr
nm	nanometr
cm	centimetr
g	gram
kg	kilogram
s	sekunda
°C	stupeň Celsia
MPa	Megapascal
kN	Kilonewton
CAD	počítačem podporované projektování
CAM	počítačem podporované obrábění
CNC	počítačově číslicové ovládání
3D	trojrozměrný prostor
2D	dvojrzměrný prostor
CAE	počítačem podporované navrhování
HRC	zkouška tvrdosti dle Rockwella
STL	stereolitografie
NR	přírodní pryž
SBR	styrenbutanová pryž
T <sub>f</sub>	teplota tečení
T <sub>m</sub>	teplota tání
T <sub>g</sub>	teplota skelného přechodu
T <sub>c</sub>	teplota rozpadu
PE	polyethylen
PP	polypropylen
PA	polyamid
PC	polykarbonát
PET	polyethylentereftalát
UV	ultrafialové záření
WIT	vstřikování s podporou vody
GIT	vstřikování s podporou plynu



**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1: Rozdělení makromolekul [1].....	13
Obr. 2: Rozdělení termoplastů [2].....	13
Obr. 3: Oblast použití amorfních termoplastů [2].....	15
Obr. 4: Oblast použití amorfních termoplastů [2].....	15
Obr. 5: Vstřikovací cyklus[7].....	19
Obr. 6: Průběh tlaku ve vstřikovací formě [7].....	20
Obr. 7: Schéma vstřikovacího stroje [8] .....	21
Obr. 8: Rozdílná tloušťka stěn [15].....	23
Obr. 9: Tloušťka stěn výrobku (a - nevhodné řešení, b - vhodné řešení) [15].....	23
Obr. 10: Druhy žeber (a, c - technická žebra, b - technologická žebra) [15].....	23
Obr. 11: Odformování výrobku s negativním podkosem pomocí šikmých čelistí.....	24
Obr. 12: Nedostříklý výrobek víčka nádrže.....	25
Obr. 13: Přetok v dělicí hraně na výrobku.....	25
Obr. 14: Propadliny na výstřiku vlivem žeber.....	26
Obr. 15: Viditelný studený spoj na výstřiku.....	26
Obr. 16: Deselefekt.....	27
Obr. 17: Jetting.....	27
Obr. 18: Dělicí rovina u jednoduchého výrobku.....	30
Obr. 19: Dělicí rovina u složitějšího výrobku.....	30
Obr. 20: Centrální horký vtokový systém se studeným rozvodným kanálem.....	31
Obr. 21: Vtokový zbytek.....	32
Obr. 22: Vtoková vložka.....	33
Obr. 23: Nakupovaný polotovár vtokové vložky od f. Meusburger [20].....	33
Obr. 24: Vyvážení rozváděcích kanálů.....	34
Obr. 25: Tunelové ústí do boku výstřiku.....	35
Obr. 26: Banánové vtokové ústí řešené polotvarem od f. Meusburger.....	35
Obr. 27: Filmové (šterbinové) ústí.....	36
Obr. 28: Přímou vyhřívání trysky [10].....	37
Obr. 29: Systém horkých trysek s vyhříváním rozvodným blokem.....	38
Obr. 30: Vyhazovače f. Meusburger.....	39
Obr. 31: Vyhazovací systém vstřikovací formy.....	39
Obr. 32: Trubkový vyhazovač.....	40
Obr. 33: Vyhazovací systém stírací desky [15].....	40
Obr. 34: Posuvná čelist.....	41
Obr. 35: Kuličkové zajištění posuvné čelisti f. Meusburger [23].....	41
Obr. 36: Příklad posuvných čelistí ovládaných hydraulickými válci.....	42
Obr. 37: Vyhazovací jednotka f. Cumsa [24].....	42
Obr. 38: Vyhazovací planžeta pro zácvak f. Cumsa [24].....	43
Obr. 39: Teploty tavenin a forem [3].....	44

Obr. 40: Temperační kanály .....	45
Obr. 41: Příklad temperačního systému tvárníku.....	45
Obr. 42: Konstrukční řešení odvodušňovacího kanálu.....	46
Obr. 43: 3D model výrobku.....	50
Obr. 44: Vstřikovací stroj Sumitomo Demag [27].....	53
Obr. 45: Rozmístění výstřiků ve formě se studeným vtokovým kanálem.....	54
Obr. 46: Umístění horkého rozvodného kanálu pro dvojici výstřiků.....	54
Obr. 47: Rám vstřikovací formy.....	55
Obr. 48: Středění jednotlivých částí formy.....	56
Obr. 49: Určení dělicí roviny v programu SolidWorks 2015.....	56
Obr. 50: Získaná dělicí rovina.....	57
Obr. 51: Pohyblivá tvarová část formy.....	57
Obr. 52: Pevná tvarová část formy.....	58
Obr. 53: Uložení šikmého kolíku.....	58
Obr. 54: Pevná strana vstřikovací formy.....	59
Obr. 55: Pohyblivá strana vstřikovací formy.....	59
Obr. 56: Rozvodný kanál s tunelovým ústím.....	60
Obr. 57: Horký vtokový systém Mold Masters.....	60
Obr. 58: Vyhazovací systém.....	61
Obr. 59: Temperační systém tvarové vložky z pohyblivé strany formy.....	62
Obr. 60: Temperační systém pohyblivé strany formy - 2 okruhy.....	62
Obr. 61: Temperační systém tvarové vložky z pevné strany formy.....	63
Obr. 62: Temperační systém pevné strany formy - 2 okruhy.....	63
Obr. 63: Vstřikovací forma.....	64
Obr. 64: Vysít'ovaný model výrobku.....	65
Obr. 65: Vhodnost umístění vtokového ústí.....	66
Obr. 66: Čas plnění dutiny.....	67
Obr. 67: Izočáry plnění.....	67
Obr. 68: Rozložení tlaku v době přepnutí na dotlak.....	68
Obr. 69: Teplota na čele taveniny.....	69
Obr. 70: Rychlost smykové deformace.....	70
Obr. 71: Průběh uzavírací síly.....	71
Obr. 72: Analýza uzavřeného vzduchu.....	71
Obr. 73: Analýza uzavřeného vzduchu.....	72
Obr. 74: Analýza uzavřeného vzduchu.....	72
Obr. 75: Analýza studených spojů.....	72
Obr. 76: Analýzy propadlin.....	73
Obr. 77: Teplota temperačních okruhů.....	73
Obr. 78: Reynoldsovo číslo.....	74
Obr. 79: Efektivita odvodu tepla.....	74
Obr. 80: Teplota výstřiku ve fázi vyhození.....	75

---

Obr. 81: Celková deformace.....	75
Obr. 82: Deformace v ose x.....	76
Obr. 83: Deformace v ose y.....	76
Obr. 84: Deformace v ose z.....	76
Obr. 85: Analýza výstřiku.....	77
Obr. 86: Porovnání modelu a výstřiku v místě deformace.....	77
Obr. 87: Pevná tvarová vložka s elektrodami.....	79
Obr. 88: Detail elektrody.....	80
Obr. 89: Měření 3D skenerem Atos Core.....	80
Obr. 90: Měřicí protokol získaný ze 3D skeneru.....	81
Obr. 91: Pohyblivá část formy.....	82
Obr. 92: Pohyblivá část formy s vysunutými vyhazovači.....	82
Obr. 93: Posuvná čelist pohyblivé části formy.....	83
Obr. 94: Pevná část formy.....	83
Obr. 95: Měřicí protokol výstřiku.....	84
Obr. 96: Konečný stav výstřiku.....	84

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1: Základní parametry formy.....	64
Tabulka 2: Procesní parametry analýzy.....	65

## SEZNAM PŘÍLOH

PI: Výkres sestavy formy, kusovník

PII: DVD obsahující diplomovou práci, 3D model formy, výkres sestavy formy, kusovník, tokové simulace.