

# Konstrukce vstřikovací formy včetně simulací pro díl vrtačky

Bc. Radan Kolář

---

Diplomová práce  
2016



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2015/2016

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Radan Kolář**

Osobní číslo: **T14536**

Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Výrobní inženýrství**

Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Konstrukční návrh vstřikovací formy včetně simulací pro díl vrtačky**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na dané téma.
2. Nakreslete model daného dílu ve 3D.
3. Provedte konstrukci vstřikovací formy pro zadaný dílu.
4. Návrh ověřte pomocí tokových simulací.
5. Nakreslete 2D sestavu vstřikovací formy.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

**Dle zadání vedoucího diplomové práce.**

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Vojtěch Šenkeřík**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

**8. ledna 2016**

Termín odevzdání diplomové práce:

**13. května 2016**

Ve Zlíně dne 26. ledna 2016



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

L.S.



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 10.5.2016



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

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

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

<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 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**

Tato diplomová práce se zabývá návrhem vstřikovací formy pro plastový díl, určený jako část chlazení pro vrtací stroje. V teoretické části je shrnuto rozdělení polymerů, seznámení se vstřikovacím cyklem, vstřikovacím strojem a podrobné rozdělení částí vstřikovací formy. Praktická část se zabývá konstrukčním návrhem vstřikovací formy v programu Autodesk Inventor Professional 2014. Jde o návrh, ze kterého je vyrobena reálná forma. Dále je provedena analýza v programu Autodesk Moldflow Synergy 2016 pro ověření návrhu formy.

Klíčová slova: Vstřikování polymerů, vstřikovací forma, Autodesk Inventor, Moldflow, analýza

## **ABSTRACT**

This diploma thesis describes the design of injection molds for plastic part, designated as part of the cooling system for drilling machines. The theoretical part summarizes the distribution of polymers, familiarization with the injection cycle, injection molding machine and a detailed distribution of parts of the injection mold. The practical part deals with the structural design of the injection mold in Autodesk Inventor Professional 2014. From this design is made a real mold. Further analysis in Autodesk Moldflow Synergy 2016 for design verification of mold.

Keywords: Injection molding, injection mold, Autodesk Inventor, Moldflow, analysis

Rád bych poděkoval mému vedoucímu diplomové práce panu Ing. Vojtěchu Šenkeříkovi za cenné připomínky, skvělou spolupráci, trpělivost a čas, který mi během vypracování této práce věnoval.

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

# OBSAH

ÚVOD.....	10
<b>I TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>11</b>
<b>1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ POLYMERŮ .....</b>	<b>12</b>
1.1 TERMOPLASTY .....	12
1.1.1 Amorfnní termoplasty .....	12
1.1.2 Semikrystalické termoplasty .....	13
1.2 REAKTOPLASTY.....	15
1.3 ELASTOMERY .....	16
1.3.1 Kaučuky.....	16
<b>2 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS.....</b>	<b>17</b>
<b>3 VSTŘIKOVACÍ STROJ .....</b>	<b>20</b>
3.1 VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKA.....	20
3.2 UZAVÍRACÍ JEDNOTKA.....	22
<b>4 VSTŘIKOVACÍ FORMA .....</b>	<b>23</b>
4.1 VTKOVÝ SYSTÉM.....	23
4.1.1 Studený vtokový systém (SVS).....	25
4.1.2 Vyhříváný vtokový systém (VVS) .....	26
4.2 VYHAZOVÁNÍ VÝROBKŮ Z FORMY.....	28
4.2.1 Mechanické vyhazování .....	28
4.2.2 Vyhazování vyhazovacími kolíky .....	29
4.2.3 Vyhazování stírací deskou.....	31
4.2.4 Vyhazování šikmými vyhazovači.....	32
4.2.5 Dvoustupňové vyhazování .....	33
4.2.6 Boční posuvné čelisti forem.....	34
4.3 TEMPEROVÁNÍ FOREM .....	36
4.3.1 Pasivní temperování .....	36
4.3.2 Aktivní temperování.....	37
4.4 ODVZDUŠNĚNÍ FOREM .....	38
4.5 RÁMY FOREM .....	39
4.5.1 Volba typu materiálu pro jednotlivé díly vstřikovací formy .....	40
4.5.2 Upínací deska .....	40
4.5.3 Tvárnice.....	41
4.5.4 Tvárník .....	41
4.5.5 Opěrná deska .....	41
4.5.6 Rozpěrné desky .....	41
4.5.7 Vyhazovací desky.....	42
4.5.8 Středící a vodící prvky .....	42
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>45</b>
<b>5 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....</b>	<b>46</b>



5.1	CÍL PRÁCE .....	46
<b>6</b>	<b>VÝROBEK.....</b>	<b>47</b>
6.1	MATERIÁL VÝROBKU.....	47
<b>7</b>	<b>VSTŘIKOVACÍ STROJ .....</b>	<b>48</b>
<b>8</b>	<b>NÁVRH VSTŘIKOVACÍ FORMY.....</b>	<b>49</b>
8.1	NÁVRH TVÁRNÍKU A TVÁRNICE .....	49
8.2	RÁM FORMY .....	51
8.2.1	Pevná část formy .....	51
8.2.2	Pohyblivá část formy.....	52
8.3	VTKOVÝ SYSTÉM.....	56
8.4	TEMPERAČNÍ SYSTÉM .....	58
<b>9</b>	<b>REALIZACE VSTŘIKOVACÍ FORMY.....</b>	<b>61</b>
<b>10</b>	<b>ANALÝZA .....</b>	<b>66</b>
10.1	TVORBA SÍTĚ .....	66
10.2	VTKOVÝ SYSTÉM.....	67
10.3	TEMPERAČNÍ SYSTÉM .....	68
10.4	VOLBA MATERIÁLU .....	69
10.5	VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE.....	70
10.6	VÝSLEDKY ANALÝZY .....	70
10.6.1	Analýza plnění.....	70
10.6.2	Analýza smykové rychlosti .....	71
10.6.3	Vzduchové kapsy .....	72
10.6.4	Studené spoje .....	73
10.6.5	Čas dosáhnutí vyhazovací teploty .....	73
10.6.6	Celková deformace.....	75
10.6.7	Orientace vláken.....	76
10.6.8	Potřebná uzavírací síla stroje.....	78
10.6.9	Analýza tlaku taveniny ve vtokovém ústí .....	78
10.6.10	Analýza teploty v temperačním systému.....	79
10.6.11	Analýza tlaku v temperačním systému.....	79
10.6.12	Analýza účinnosti odvodu tepla .....	80
10.6.13	Analýza Reynoldsova čísla.....	81
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>83</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>84</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>87</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>89</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>92</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>93</b>

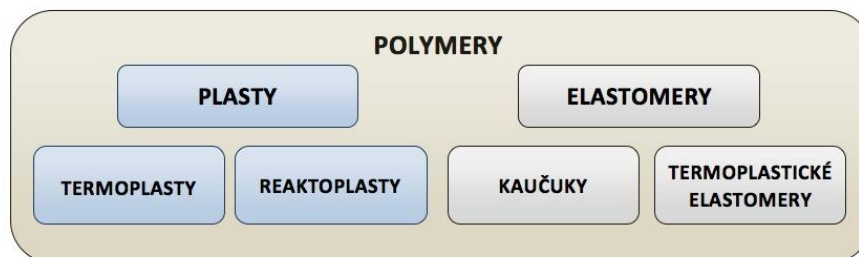
## ÚVOD

Technologie vstřikování je nejpoužívanější technologií pro zpracování termoplastů, polymerních směsí, kompozitů, ale i reaktoplastů a termoplastických elastomerů. Tato technologie vychází svým principem z technologie tlakového lití, ale za výrazně odlišných teplot zpracování a tokových vlastností tavenin termoplastů. Tato technologie je vhodná pro velkosériovou a hromadnou výrobu a to i z důvodu vysokých pořizovacích cen vstřikovacích strojů, které pracují buďto poloautomaticky s obsluhou, která odebírá výlisky z formy a zakládá je do připravených krabic nebo zcela automaticky bez obsluhy vstřikovacího stroje. Ale pro velkosériovou a hromadnou výrobu je vhodná hlavně kvůli vysokým cenám vstřikovacích forem, které se oplatí až pro velké množství výrobků. Pro menší počty kusů by se neoplatilo vyrábět vstřikovací formy z oceli, ale pro tyto účely jsou formy vyráběny např. z hliníku, kdy životnost formy je uváděna v počtu zdvihů, kterých zvládne v řádu tisíců. Nebo jsou vyráběny ze slitin hliníku, kdy je forma schopná až několika desetitisíců zdvihů. Na ocelové formy je nejčastější požadavek, aby zvládly milion zdvihů bez oprav.

# **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ POLYMERŮ

Polymer je látka s velkými molekulami, které obsahují většinou atomy H, C, O, často N, Cl a jiných prvků. V určitém stádiu zpracování se polymer nachází v kapalném stavu, který umožňuje udělit tvar budoucímu výrobku ze zvýšené teploty a tlaku. Samotný výrobek pak slouží v tuhém stavu. [1]



Obr. 1. Dělení polymerů [2]

Plasty jsou za běžných podmínek tvrdé, často křehké. Za zvýšených teplot se často stávají plastickými a tvarovatelnými, ale jsou i případy, kdy jsou měkké i za normální teploty. [1]

## 1.1 Termoplasty

Termoplast je materiál, který je vratně převeditelný do plastického stavu pomocí tepla a zpětně do tuhého stavu ochlazením. Díky snadné recyklaci většiny těchto materiálů je výhodné jejich použití nejen z ekonomického hlediska, ale také z ekologického, proto zhruba 80% ze všech použitých plastů tvoří právě termoplasty. Z hlediska aplikačního použití a z hlediska vlastního procesu je velmi důležité rozdělení na amorfnní a semikrystalické, protože chování při zahřívání i následném vstřikování je pro obě skupiny odlišné a projevuje se i ve vlastnostech finálních výstřiků. [1,3]

### 1.1.1 Amorfnní termoplasty

Amorfnní termoplasty jsou tvrdé, křehké, mají vysokou pevnost, jsou transparentní a jsou dobře rozpustné v organických rozpouštědlech. Jejich makromolekulární řetězce jsou nepravidelně prostorově uspořádány. [1]

Tyto polymery jsou díky svému relativně nízkému smrštění proti formě zvýhodněné, oproti jiným materiálům, při výrobě rozměrově přesných dílů a součástí. Pro amorfnní termoplasty je jak z hlediska technologie, tak i z aplikačního hlediska dominantní teplota skelného





## 1.2 Reaktoplasty

Kromě vstřikování termoplastů se mohou vstřikovat i reaktoplasty. Vstřikování reaktoplastů má oproti starší technologii lisování a přetlačování reaktoplastů následující výhody:

- přehřev hmoty,
- dávkování,
- plastikace a vstřikování se uskutečňuje v jedné jednotce,
- proces lze automatizovat,
- použití mnohem kratších vytvrzovacích časů,
- není zde technologický odpad, pokud neuvažujeme vtokový systém.

Hlavní rozdíl mezi vstřikováním termoplastů a vstřikováním reaktoplastů spočívá jednak v rozdílné závislosti viskozity na teplotě, jak ve velikosti smrštění tak i v tom, že doba chlazení je nahrazena dobou vytvrzování, při které dochází k vytvoření zesíťované struktury. Vstřikovací forma je vyhřívána na vytvrzovací teplotu, nechladí se. Reaktoplasty jsou oproti termoplastům plastikovány při poměrně nízkých teplotách (45 až 115 °C). Doba vstřikovacího cyklu je zde dána dobou vytvrzování, kdy hmoty s lepší tekutostí potřebují delší vytvrzovací časy. Při technologii vstřikování reaktoplastů je velmi důležité kvalitní odvzdušnění vstřikovací formy, neboť plyny, které vznikají při ohřevu reaktoplastů, se musí odvést z tvarové dutiny vstřikovací formy, jinak by došlo k tvarovým defektům na konečných plastových dílech. Při této technologii se používá kromě klasických odvzdušňovacích kanálů a způsobů odvzdušnění i technologický způsob, který spočívá v pootevření vstřikovací formy po fázi vstřiku.

Princip je následující:

- během fáze vstřikování je do dutiny formy vstříknuta tavenina reaktoplastu o objemu 80 až 95 % celkového objemu dutiny,
- následuje redukce uzavírací síly,
- odvzdušnění,
- opětovné uzavření a doplnění objemu.

Kromě výše uvedených technologických rozdílů se liší také konstrukce stroje a šneku, který má potlačenou kompresní část, aby nedošlo k přílišnému smykovému namáhání a tím k předčasnému vytvrzení reaktoplastu v tavicí komoře. [4]

### 1.3 Elastomery

Elastomery jsou polymery, které lze za běžných podmínek malou silou značně deformovat bez porušení, přičemž deformace je převážně vratná. [1]

#### 1.3.1 Kaučuky

Kaučuk je elastomer, který se po smíchání se síťovacími činidly a dalšími látkami stává gumou, která má schopnost být vulkanizací převedena na pryž. Vulkanizace gumy je proces, při kterém se z termoplastické gumy stává termoplastická pryž. [1]

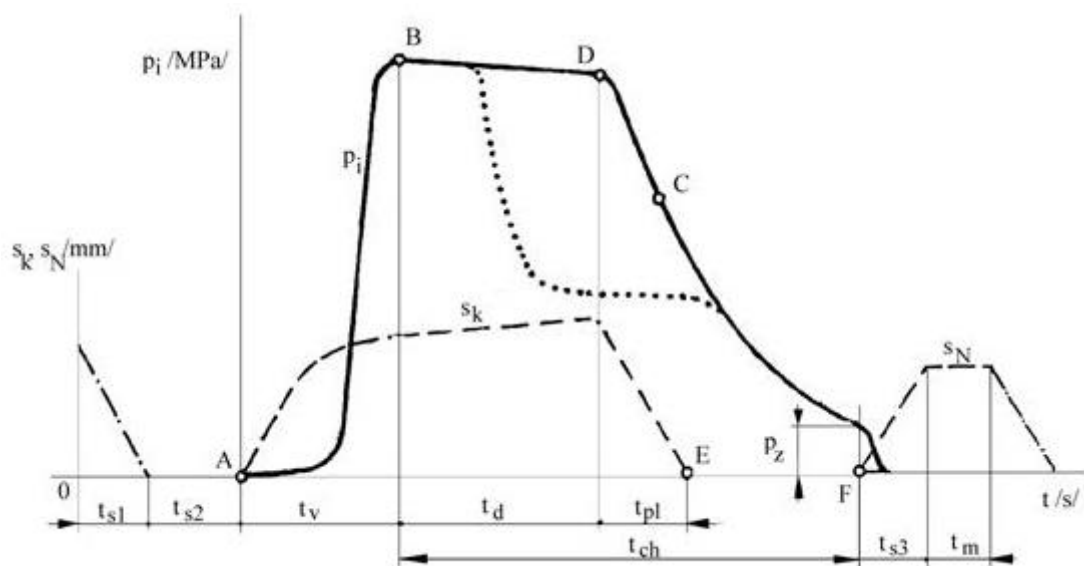
Stejně jako termoplasty a reaktoplasty, tak i kaučuky a pryže mohou být zpracovávány vstřikováním do forem. Obdobně jako u reaktoplastů, tak i u kaučuků a pryží probíhá plastikace za relativně nízkých teplot. Vstřikovací formy jsou vytápěny na teplotu, při které dochází k vytvoření slabé zesíťované struktury, vulkanizaci. Pracovní část, šnek, je buď obyčejný (kompresní poměr je nulový), anebo je kompresní poměr šneku kolem 1,5:1. Poměr L / D šneku je výrazně menší, než u vstřikování, obvykle kolem 14:1. [4]



## 2 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS

Vstřikovací cyklus tvoří sled přesně specifikovaných úkonů. Jedná se o neizotermický proces, během kterého plast prochází teplotním cyklem, který je realizován na vstřikovacím stroji. [5]

Délka pracovního cyklu je dána součtem všech časových průběhů technologických úkonů stroje, včetně chladicího účinku formy. Kromě procesů během vstřikování, tak i vhodně zvolená konstrukce výrobku, může ovlivnit délku vstřikovacího cyklu. [7]



Obr. 4. Průběh vnitřního tlaku během vstřikování [5]

$p$  – vstřikovací tlak;  $s_k$  – pohyb šneku;  $s_N$  – pohyb nástroje;  $t_{s1}$  – čas zavření

formy;  $t_{s2}$  – čas potřebný na uzamknutí formy;  $t_{s3}$  – čas otevření formy;

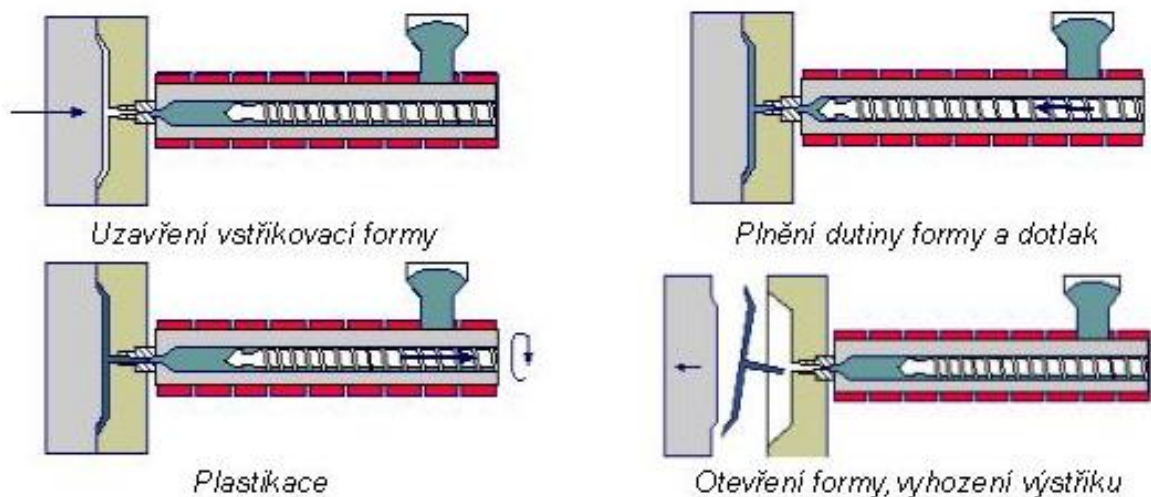
$t_v$  – doba plnění dutiny formy;  $t_{tav}$  – teplota taveniny;  $t_d$  – doba dotlaku;

$t_{pl}$  – doba plastikace;  $t_{ch}$  – doba chlazení;  $t_m$  – doba manipulace;

A – začátek vstřikování; B – konec vstřikování, začátek dotlaku, začátek chlazení;

C – okamžik zatuhnutí materiálu ve studeném vtokovém kanálu; D – konec

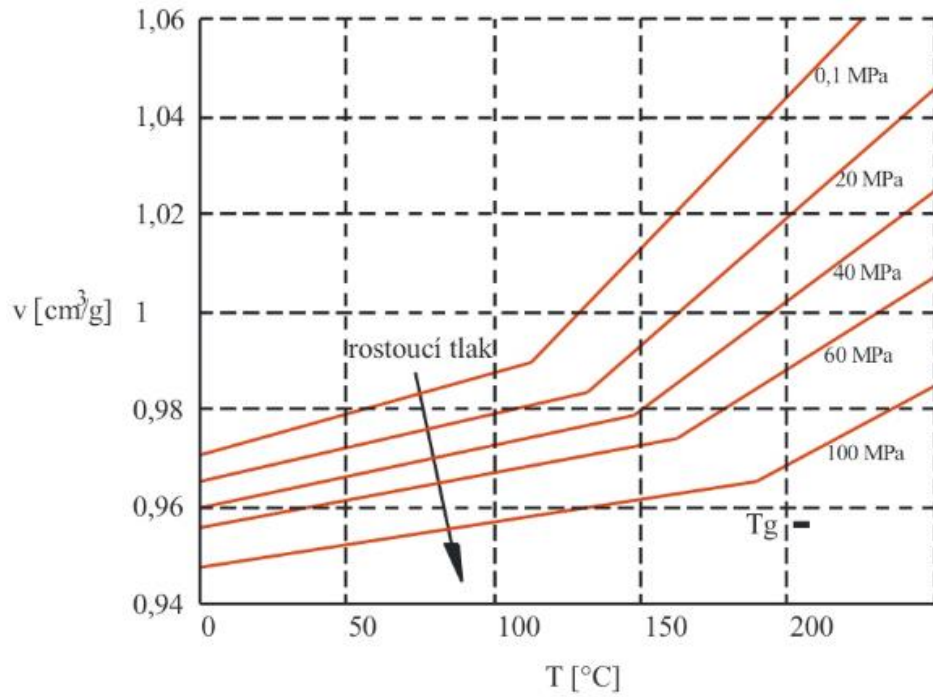
dotlaku; E – konec plastikace; F – konec chlazení



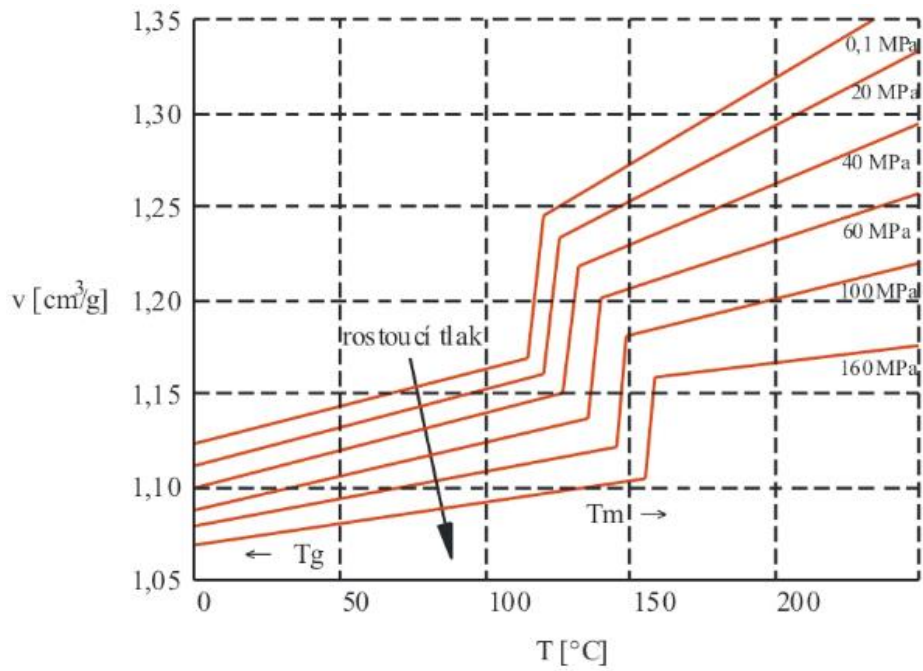
Obr. 5. Vstřikovací cyklus [5]

Za počátek cyklu lze považovat okamžik odpovídající impulsu k uzavření formy. Nato je plastifikovaný materiál, vyhřátý na požadovanou teplotou, vstříknut určitou rychlostí a tlakem do dutiny formy. Tavenina (plastikovaná hmota) je po určitou dobu stále dopravována pod tlakem a následně dojde k působení dotlaku. Dotlak končí se zamrznutím vtokového ústí, přičemž teplota taveniny stále klesá. Následuje odjezd plastikační jednotky a začíná plastikace další dávky. Poté co teplota výrobku klesne v místech působení vyhazovačů na hodnotu vyhazovací teploty, je možné výrobek bezpečně vyhodit z dutiny formy pomocí vyhazovacího systému. Poté, vyžaduje-li si to dutina formy, následuje očištění a příprava formy k dalšímu pracovnímu cyklu. [5, 7]

Dále je možné vstřikovací cyklus popsat, kromě závislosti vstřikovacího cyklu na čase, také pomocí diagramů  $p-v-T$ , což jsou stavové termodynamické veličiny  $p$  – tlak,  $v$  – měrný objem a  $T$  – teplota hmoty. Průběh těchto veličin je ovlivněn volbou materiálu, tvarem výrobku, tloušťkou stěn, vstřikovacím tlakem, dotlakem, vstřikovací rychlostí, teplotou taveniny a teplotou formy. [8]



Obr. 6. Příklad diagramu  $p - v - T$  pro amorfni termoplast [8]

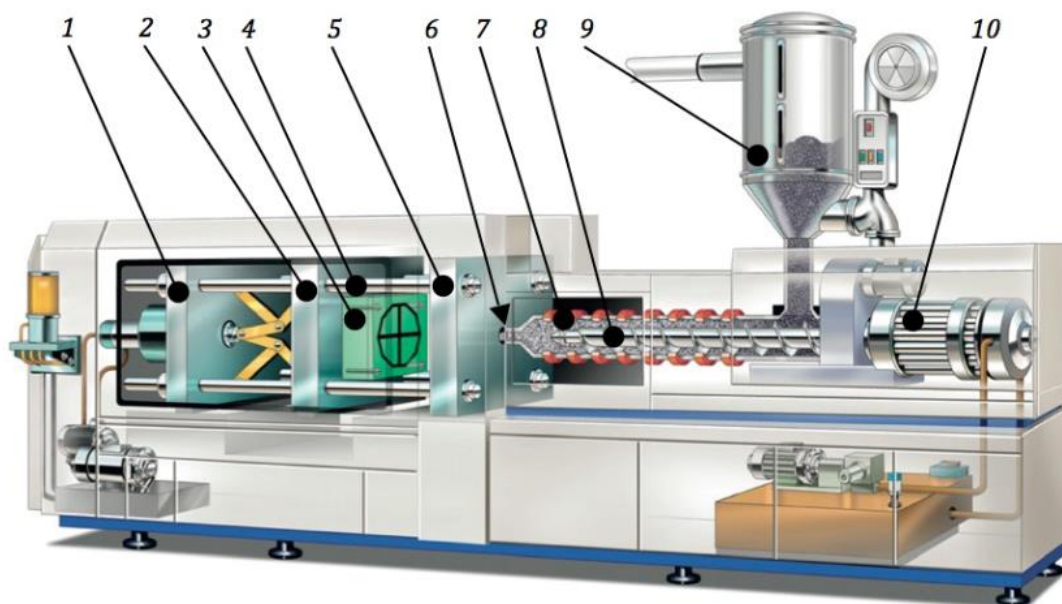


Obr. 7. Příklad diagramu  $p - v - T$  pro semikrystalický termoplast [8]

### 3 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Vstřikovací proces probíhá na moderních strojích buďto plně automaticky, kdy není potřeba žádné obsluhy nebo poloautomaticky, kdy je třeba pracovník, který odebírá výrobky ze stroje a skládá je. Tím pádem se dosahuje vysoké produktivity práce. Pořizovací cena strojního zařízení i vstřikovací formy je však značně vysoká. Především z tohoto důvodu je tato technologie vhodná pro velkosériovou a hromadnou výrobu. [5]

Vstřikovací stroj se skládá ze vstřikovací jednotky, uzavírací jednotky, z řízení a regulace. Dle konstrukce vstřikovacích jednotek se vstřikovací stroje rozdělují na stroje bez předplastikace a s předplastikací. [5,9]



Obr. 8. Schéma vstřikovacího stroje se šnekovou plastikací [6]

1 – uzavírací jednotka; 2 – pohyblivá upínací deska vstřikovacího stroje; 3 – pohyblivá část vstřikovací formy; 4 – vodící sloupky vstřikovacího stroje; 5 – pevná upínací deska vstřikovacího stroje; 6 – čelo špičky vstřikovací trysky vstřikovacího stroje; 7 – tavicí komora; 8 – šnek; 9 – násypka pro plastový polotovar; 10 – pohonná jednotka šneku

#### 3.1 Vstřikovací jednotka

Vstřikovací jednotka plní dva hlavní úkoly:

- přeměňuje granulát plastu na homogenní taveninu o dané viskozitě,
- vstřikuje taveninu vysokou rychlostí a velkým tlakem do dutiny formy.

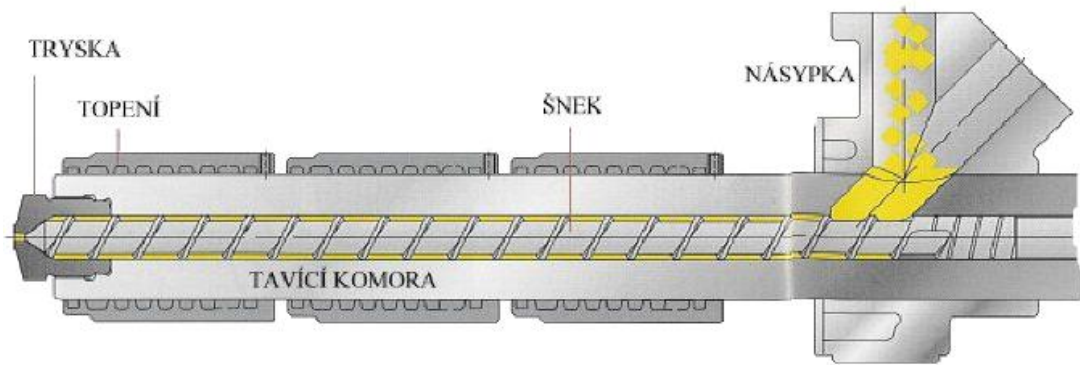
Objem dopravované taveniny na jeden zdvih musí být menší, než kapacita plastikační jednotky. Při vstřikování málo objemových výrobků může dojít k degradaci, způsobené dlouhým setrváním taveniny uvnitř jednotky. Řešením tohoto problému je urychlení cyklů výroby. Z důvodu rezervy materiálu, použitého pro doplnění úbytku hmoty při smrštění, by maximální vstřikované množství nemělo překročit 80 až 90 % kapacity jednotky. [5,7]

První plastikační jednotky pro vstřikování plastů byly jednotky pístové, které byly postupně vytlačovány jednotkami šnekovými. [5]

Mezi hlavní výhody šnekových strojů patří:

- dobrá homogenizace a spolehlivá plastikace roztaveného plastu,
- je možné zabránit přehřívání materiálu v tavicí komoře,
- velikost výstřiku lze teoreticky libovolně zvyšovat, z důvodu vysokého plastikačního výkonu i velkého zdvihového objemu,
- odstranění potíží při čištění komory při výměně materiálu,
- přesné dávkování hmoty,
- nízké ztráty tlaku během pohybu hmoty,
- vyšší účinnost zásahu do vstřikovacího procesu, např. řízením dotlaku. [5]

Při plastikaci se v hrdle násypky nabírá granulovaný plast pomocí otáčejícího se šneku. Tento materiál je stlačován a dopravován do vytápěných částí tavicí komory, kde je materiál natavován a jako tavenina hromaděna před čelem šneku. Šnek během otáčení ustupuje dozadu. Po zplastikování potřebného množství materiálu se otáčky šneku zastaví a šnek začne působit jako píst a to tak, že se bez otáčení pohybuje dopředu a vstřikuje taveninu do dutiny formy. Oproti pístovým strojům je u šnekových celý výrobní cyklus kratší a to z toho důvodu, že plastikace nové dávky plastu může probíhat už ve fázi chlazení výstřiku ve formě. K dalším výhodám šnekových vstřikovacích strojů patří jednoduché dávkování, plnit plnivý, dodatečně barvit nebo přidávat další přísady až při zpracování. [5]

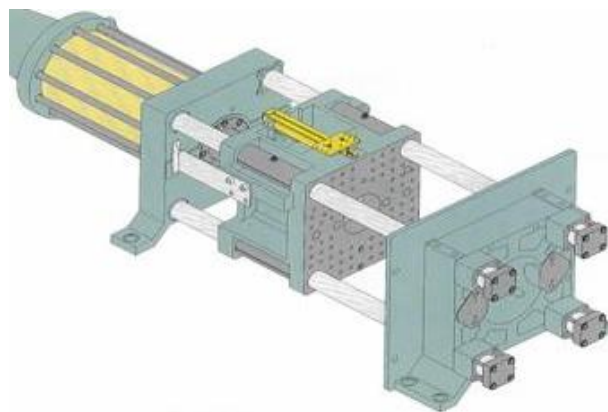


Obr. 9. Řez vstřikovací jednotkou [5]

### 3.2 Uzavírací jednotka

Úkolem uzavírací jednotky je otevírání a uzavírání formy dle vstřikovacího procesu a zajištění formy takovou silou, aby nedošlo k otevření formy působením vstřikovacího tlaku během vstřikování. Současné stroje mají programovatelnou rychlost a sílu uzavírání vstřikovací formy. [5]

Hlavní části uzavírací jednotky jsou desky upínací, pohyblivé desky, desky opěrné, vodící sloupy, uzavírací mechanismus. [5,10]



Obr. 10. Schéma uzavírací jednotky [5]

Vstřikovací stroje v současné době používají různé druhy uzavíracích systémů. Tyto systémy mohou být zkonstruovány jako mechanické, hydraulické nebo jako jejich kombinace. V poslední době je používáno i elektrických systémů. [5]

## 4 VSTŘIKOVACÍ FORMA

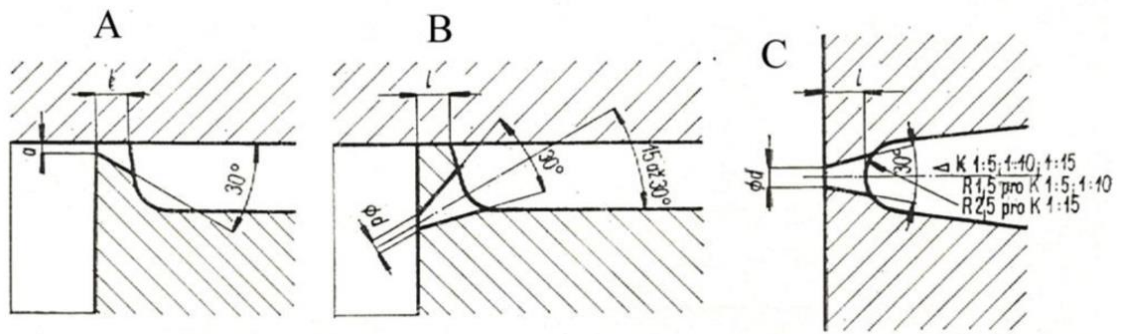
Vstřikovací formy musí mít odolnost vůči vysokým tlakům a zároveň musí plnit požadavky na vysokou přesnost vstřikovaných dílů. Dále musí umožnit jejich snadné vyjmutí z formy pomocí vyhazovacího systému a musí pracovat automaticky po celou dobu své životnosti, která je závislá na použitém materiálu vstřikovací formy. Konstrukce a výroba těchto forem je náročná nejen z ekonomického hlediska, ale také na odborné znalosti. Volba materiálu vstřikovacích forem závisí především na ceně a na požadovaném počtu zdvihů, určujících životnost formy, ale dále také na druhu zpracovávaného materiálu, použité technologii, na velikosti a tvaru výrobku a jeho celkové složitosti, na tepelné odolnosti a odolnosti proti opotřebení a korozi. Důležitým faktorem, určujícím životnost formy je provedené tepelné zpracování na tvarových částech nástroje. Dále je při konstrukci forem důležité stanovení rozměrů a výrobních tolerancí tvarových částí. Pro výpočet a určení těchto rozměrů je rozhodující jak smrštění a tolerance jednotlivých rozměrů vylisku, tak i opotřebení činných částí nástroje. [5]

### 4.1 Vtokový systém

Jde o systém kanálů a ústí vtoku. Vtokový systém musí zajišťovat při vstřiku vedení proudu taveniny z plastikační jednotky do dutiny formy a správné naplnění dutiny formy v co nejkratším možném čase s minimálními odpory. Musí zajistit snadné vyhození vtokového zbytku z formy a snadné odtržení od vylisku. [1,10]

**Tvar, umístění a rozměry vtokového systému ovlivňují:**

- rozměry, vzhled i vlastnosti výrobku,
- spotřebu materiálu,
- náročnost opracování a začistění výrobku,
- energetickou náročnost výroby. [1]

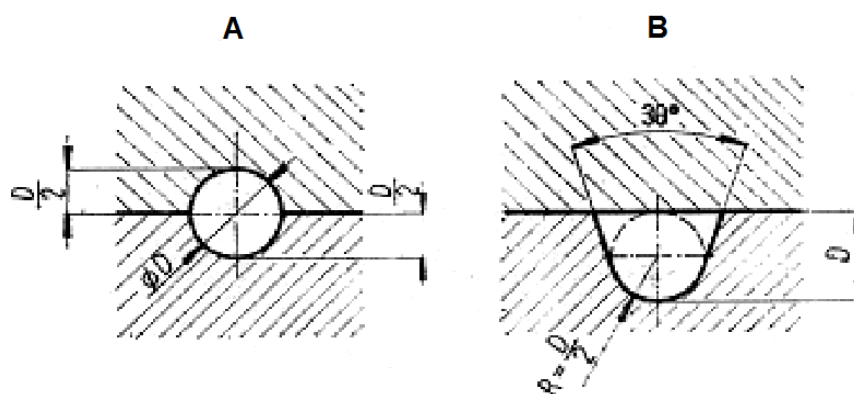


Obr. 11. Nejčastější způsoby řešení ústí vtoku [11]

A – boční štěrbinové ústí, B – tunelové ústí, C – přímé bodové ústí

Vtoková soustava je navrhována podle počtu tvarových dutin, jejich rozmístění, konstrukčního provedení výstřiku, materiálu plastu a také dle toho, zda je požadována konstrukce studeného nebo vyhřívaného systému. Druh, velikost a umístění vtoku má především u termoplastů podstatný vliv na proudění taveniny ve formě, povrchový vzhled, orientaci plniva a makromolekul, rovnoměrnost krystalizace, anizotropii vlastností a rozměrů, apod. Vtok musí být řešen tak, aby byla dutina formy naplněna ve všech částech ve stejném čase, nejkratší možnou cestou bez teplotních a tlakových ztrát. Při konstrukci vícenásobné formy musí dojít k zaplnění všech dutin formy současně, při stejných technologických podmínkách a při stejné teplotě taveniny a vstřikovacím tlaku. [10,11]

Zaoblení všech ostrých hran vtokových kanálů by mělo být minimálně  $R = 1$  mm. Je důležité dodržovat úkosovitost všech vtoků, aby došlo ke snadnému odformování. Úkosy se volí minimálně  $1,5^\circ$ . [1]



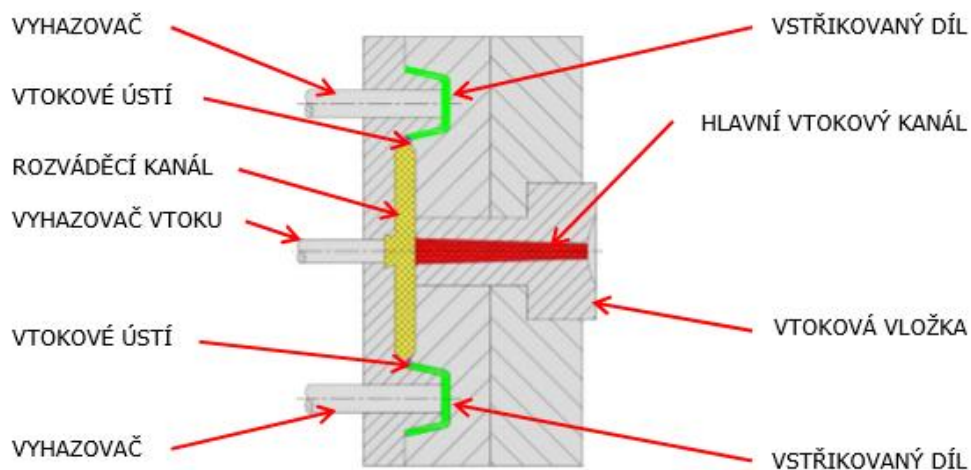
Obr. 12. Obvyklé průřezy rozváděcích kanálů [11]

A – Kruhový průřez, B – Modifikovaný lichoběžníkový průřez



#### 4.1.1 Studený vtokový systém (SVS)

Tavenina, tekoucí studeným vtokovým systémem, začíná na jeho stěnách okamžitě tuhnout a tím roste na vnějším povrchu její viskozita. Tato ztuhlá povrchová vrstva vytváří tepelnou izolaci stále tekoucímu vnitřnímu proudu, jenž zaplní celou dutinu formy. Jakmile dojde k zaplnění dutiny formy, tak prudce vzroste vnitřní odpor a poklesne průtok. Tuhnutí plastu v dutině a ve vtocích pokračuje odvodem tepla do stěn formy. Vlivem dotlaku dochází k vývinu tepla ve vtokovém ústí a tím se oddaluje úplné zatuhnutí taveniny. K poklesu vstřikovací rychlosti a k úplnému ochlazení plastu dojde v okamžiku, kdy protitlak, který je způsoben vlivem tuhnoucí taveniny, dojde na hodnotu, kterou již vstřikovací stroj není schopen překonat. [10,12]



Obr. 13. Studený vtokový systém [12]

#### Hlavní části studeného vtokového systému:

- hlavní vtokový kanál (vtoková vložka),
- rozváděcí kanál,
- vtokové ústí. [12]

#### Výhody studených vtokových systémů:

- levnější a jednodušší provedení formy než jsou horké vtoky,
- komponenty (vtoková vložka) jsou dodávány jako normálie (standardizované díly),
- nepotřebují energetické připojení,
- jednoduché provedení vícenásobné formy. [12]

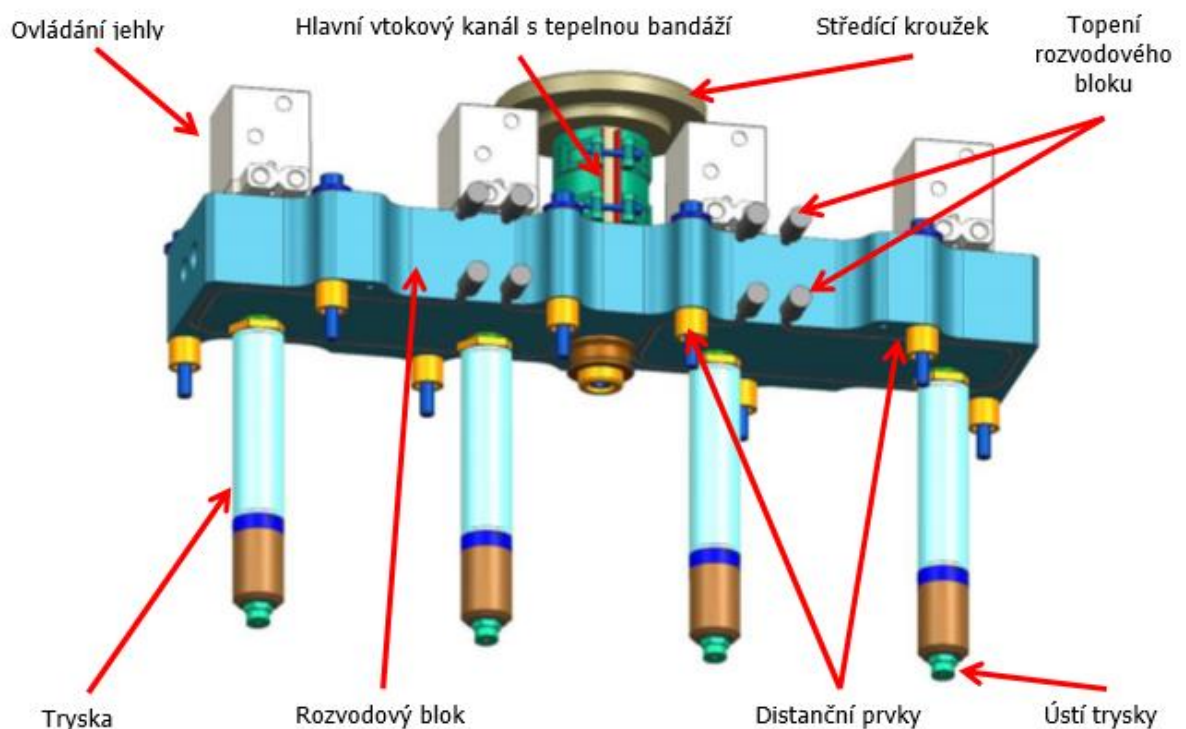
**Nevýhody studených vtokových systémů:**

- větší spotřeba plastu než u horkého vtoku (zbytek vtoku),
- zajistit oddělování zbytků vtokového systému,
- nutnost přidržování (po otevření formy musí vtokový zbytek zůstat na pohyblivé části formy) a vyhazování vtokového zbytku. [12]

**4.1.2 Vyhříváný vtokový systém (VVS)**

Vyhříváný vtokový systém je sestava vyhříváných komponent, udržující vstříkovaný polymer při konstantní teplotě až do dutiny formy. Oproti studenému vtokovému systému má polymer stálou viskozitu, zaručenou od začátku vtoku, až po ústí dutiny formy v celé jeho délce a celém jeho průřezu.

Tyto systémy se využívají hlavně u forem, určených pro velkosériovou a hromadnou výrobu. Je vyžadována větší tuhost formy a tím pádem i větší přesnost její výroby a to z důvodu značného tepelného a mechanického namáhání soustavy rozvodu taveniny. Celková výsledná cena formy s tímto rozvodem je tím pádem vyšší a tyto formy nejsou ekonomicky vhodné pro krátkodobý či přerušovaný provoz. [10,13]



Obr. 14. Vyhříváný vtok s jehlou [13]

**Výhody vyhřívaného vtokového systému:**

- snížení času výrobního cyklu,
- výroba vtokových kanálů není zapotřebí,
- klesající náklady na dokončovací operace z důvodu eliminace odpadu,
- není potřeba obnovy vtokové soustavy,
- v důsledku odstranění vtokových kanálů je snížena vstřikovací doba,
- výrazné zmenšení tlakových ztrát v důsledku přímého dopravení horké taveniny do dutiny formy,
- oproti studenému vtoku je tavenina do dutiny formy dopravena pod menším tlakem,
- regulací teploty se ovlivňují vlastnosti vstřikovaného výrobku,
- modularita jednotlivých systémů,
- jednodušší výměna poškozeného vtoku,
- možnost postupného otevírání jednotlivých trysek – řízená poloha studených spojů,
- menší uzavírací síla stroje. [13]

**Nevýhody vyhřívaného vtokového systému:**

- náročnější konstrukce formy,
- větší pořizovací cena, vyšší nároky na obsluhu,
- potřeba konzultace s dodavatelskou firmou při první zástavbě,
- zvýšení provozních nákladů,
- obtížné dodatečné úpravy polohy vtoků, oproti studenému systému je nutná komplexní změna formy,
- pro některé materiály s velkou citlivostí na teplo nelze použít. [13]

## 4.2 Vyhazování výrobků z formy

Vyhazování výrobku z formy je činnost, kdy se z dutiny formy vysune výrobek. K vyhození slouží různá vyhazovací zařízení, která fungují automaticky nebo poloautomaticky. [1]

**Vyhazování má dvě fáze:**

- dopředný pohyb – vlastní vyhazování,
- zpětný pohyb – návrat vyhazovacího zařízení do původní polohy. [1]

**Základní podmínkou dobrého vyhazování výrobku je:**

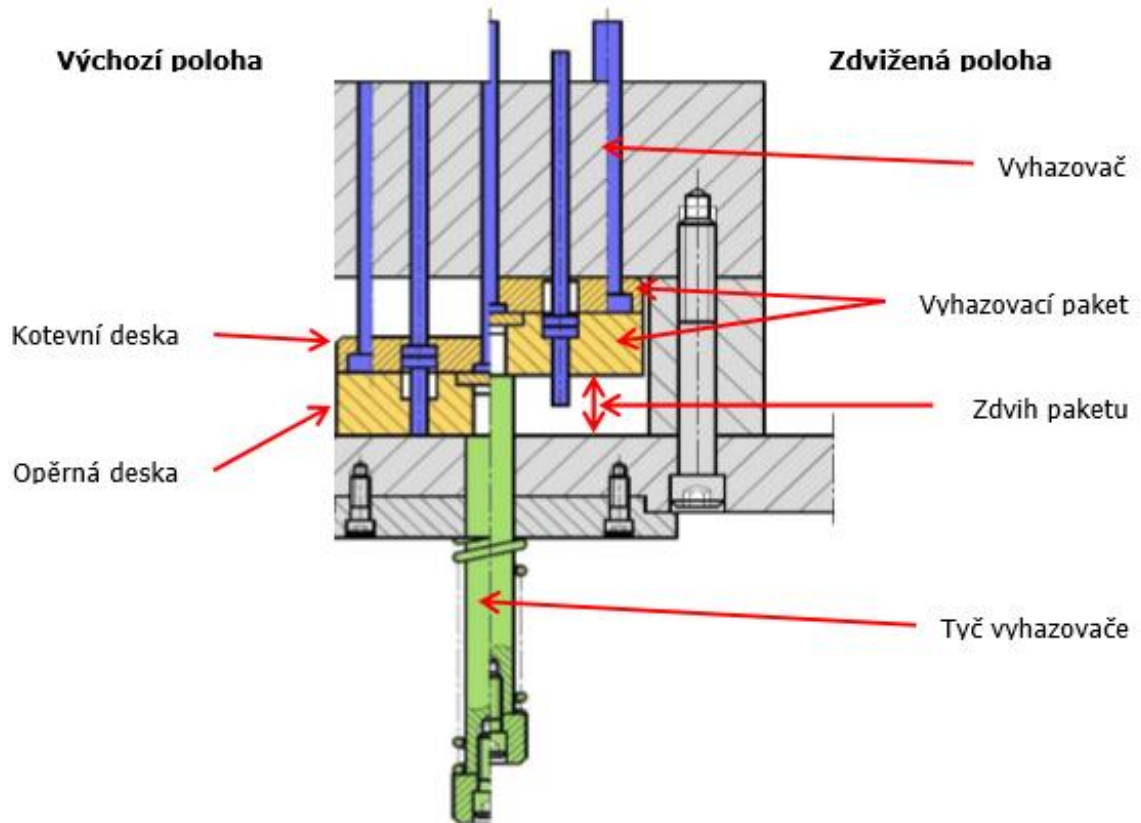
- hladký povrch a úkosovitost jejich stěn ve směru vyhazování. Úkosy nemají být menší než 30°,
- vyhazovací síla musí na výrobek působit rovnoměrně, aby nedošlo k jeho přičení a tím ke vzniku deformací nebo k jinému poškození,
- stopy po vyhazovacím zařízení musí být minimální. [7]

### 4.2.1 Mechanické vyhazování

Je to nejrozšířenější vyhazovací systém. Používá se všude tam, kde je to jen možné. [1]

**Jeho konstrukce má různá provedení, která představují:**

- vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků,
- vyhazování pomocí stírací desky nebo trubkových vyhazovačů,
- vyhazování šikmými vyhazovači,
- vícestupňové vyhazování,
- speciální vyhazování. [1,7]



Obr. 15. Popis činného vyhazovacího paketu [14]

#### 4.2.2 Vyhazování vyhazovacími kolíky

Díky své výrobní jednoduchosti a zaručenou funkčností je vyhazování vyhazovacími kolíky nejčastější i zároveň nejlevnější způsob vyhazování. Použití tohoto způsobu vyhazování je vhodné všude tam, kde je možné umístit vyhazovače proti ploše výstřiku ve směru vyhození. Vyhazovací kolíky mají nejčastěji válcový tvar, ale mohou být také trubkové, ploché nebo speciální. Musí splňovat dostatečnou tuhost a být snadno výrobitelné. Jejich uložení ve formě bývá nejčastěji v tolerancích H7/g6, H7/h6, H7/j6 podle požadované funkce a tekutosti plastu. Použitým uložení se získává dostatečná vůle, která zajišťuje odzdušnění formy. K ovládání funkce vyhazovacích kolíků a jejich ukotvení slouží vyhazovací desky. [7,10]

**Typy vyhazovačů:**

- Válcové



*Obr. 16. Válcové vyhazovače [14]*

- Trubkové



*Obr. 17. Trubkový vyhazovač [14]*

- Ploché



*Obr. 18. Plochý vyhazovač [14]*

- Speciální (tvarové, pružné, šikmé, atd.)

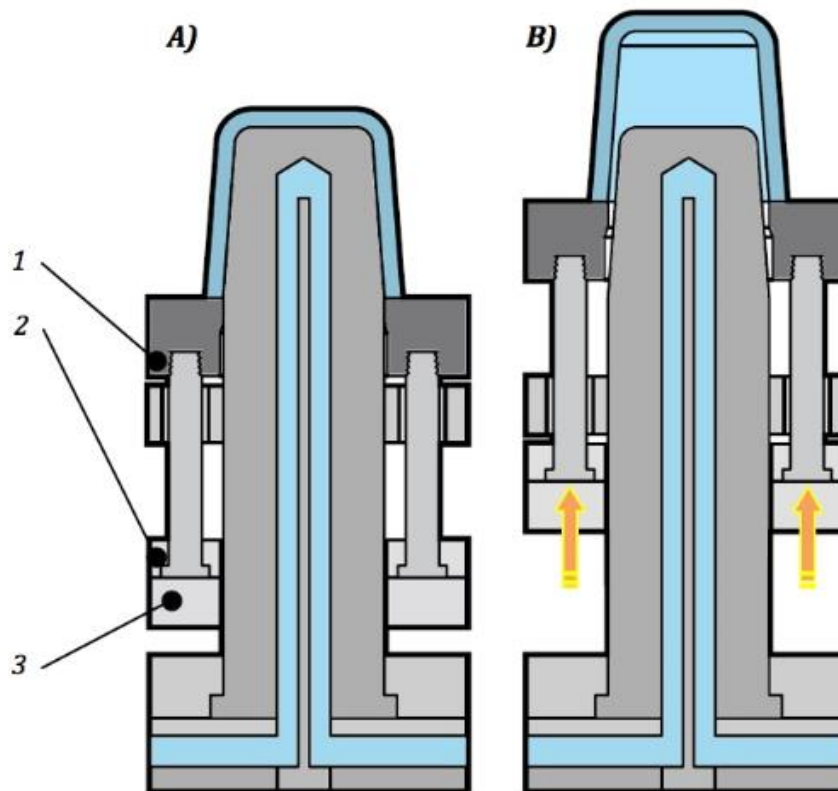
Tvar hlavy vyhazovače může být válcový nebo tvarově zajištěný proti pootočení.



*Obr. 19. Válcový vyhazovač s pojištěním  
proti pootočení [14]*

#### **4.2.3 Vyhazování stírací deskou**

Vyhazování pomocí stírací desky funguje na principu stírání výstřiku z tvárníku po celém jeho obvodu. Vhodnost tohoto vyhazování je u výstřiků, na kterých je nežádoucí stopa po vyhazovačích. Vzhledem k velké ploše tato metoda nezanechává na výstřiku žádné stopy po vyhazování a také způsobuje minimální deformace výstřiku. Použití je nejčastěji u tenkostěnných výstřiků a všude tam, kde by hrozila velká deformace od vyhazovačů a tam, kde potřebujeme mít velkou vyhazovací sílu. Výstřik musí dosedat na stírací desku v rovině, popřípadě v mírně zakřivené ploše, jinak použití vyhazování stírací deskou není jinak omezeno. Tento způsob se používá i pro vícenásobné formy, někdy se doplňuje systémem oddělování výstřiku od stírací desky. [7,10]



Obr. 20. Princip funkce stírací desky [15]

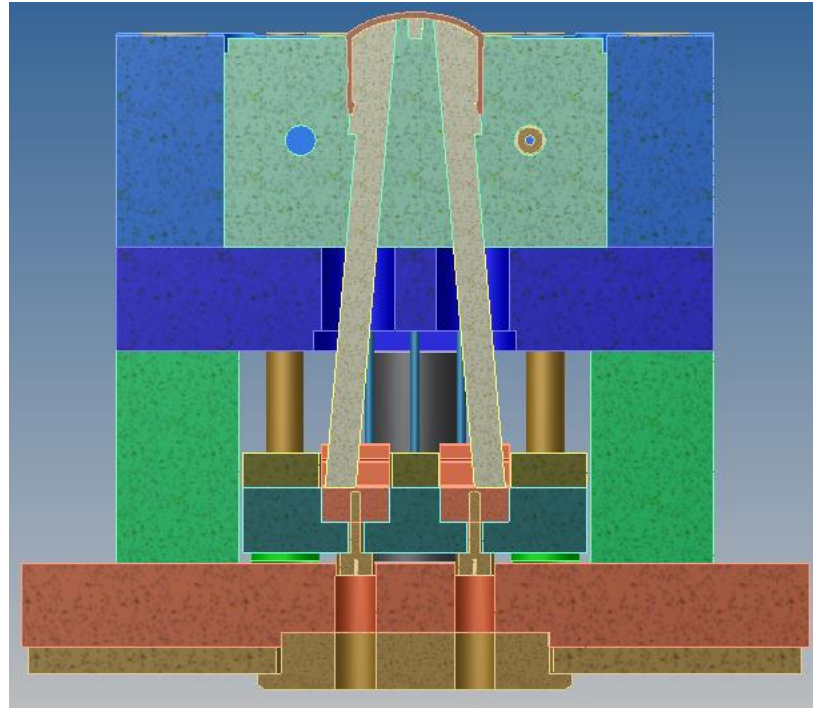
1 – stírací deska, 2 – přidržovací stírací desky, 3 – hlavní vyhazovací deska, A – vyhazovací systém v zadní pozici, B – vyhazovací systém v pohybu do přední pozice

Pohyb stírací desky může být vyvozen tlakem vyhazovacího systému nebo ve speciálních případech tahem, obvykle při rozevírání formy jeho pevnou deskou. [10]

#### 4.2.4 Vyhazování šikmými vyhazovači

Jde o speciální způsob mechanického vyhazování, při kterém je využíváno kolíků, umístěných vůči dělicí rovině pod různými úhly. Využití je především u malých nebo středních výlisků, které jsou s mělkým vnitřním či vnějším zápichem. Díky této metodě není zapotřebí náročných posuvných čelistí s klínovým mechanismem. [7,10]

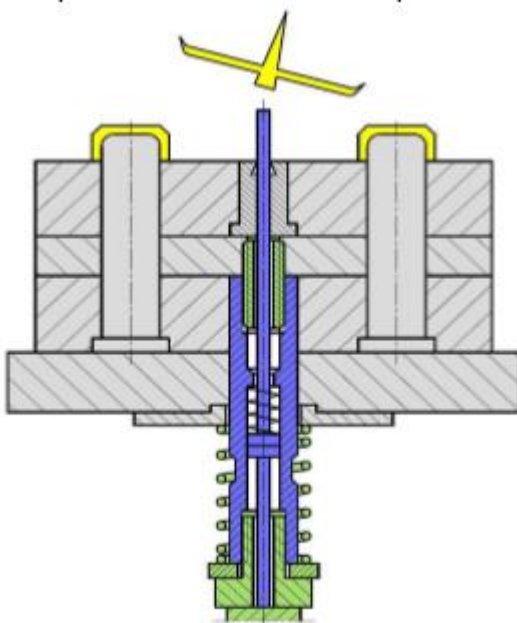




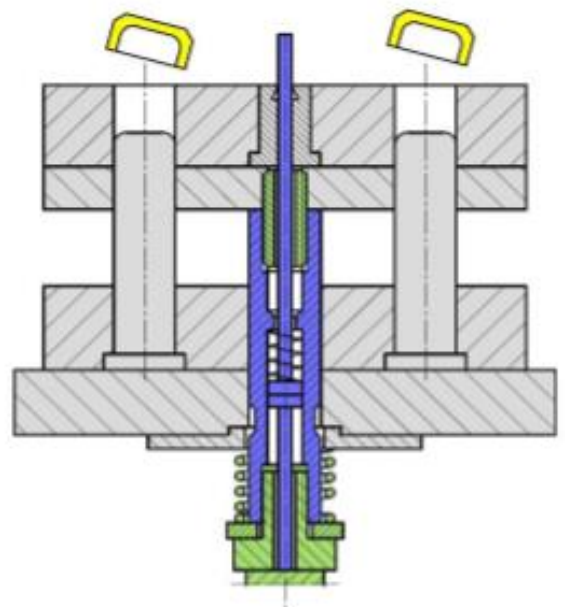
Obr. 21. Šikmé vyhazovače

#### 4.2.5 Dvoustupňové vyhazování

Jedná se o kombinaci dvou systémů, navzájem se ovlivňujících. Díky tomuto systému je umožněno vyhazování výstřiků s rozdílnou délkou vyhazovacího zdvihu i s jeho rozdílným časovým rozložením. Jeho využití je například u šikmého vyhazování výstřiku se zápichem. [10]



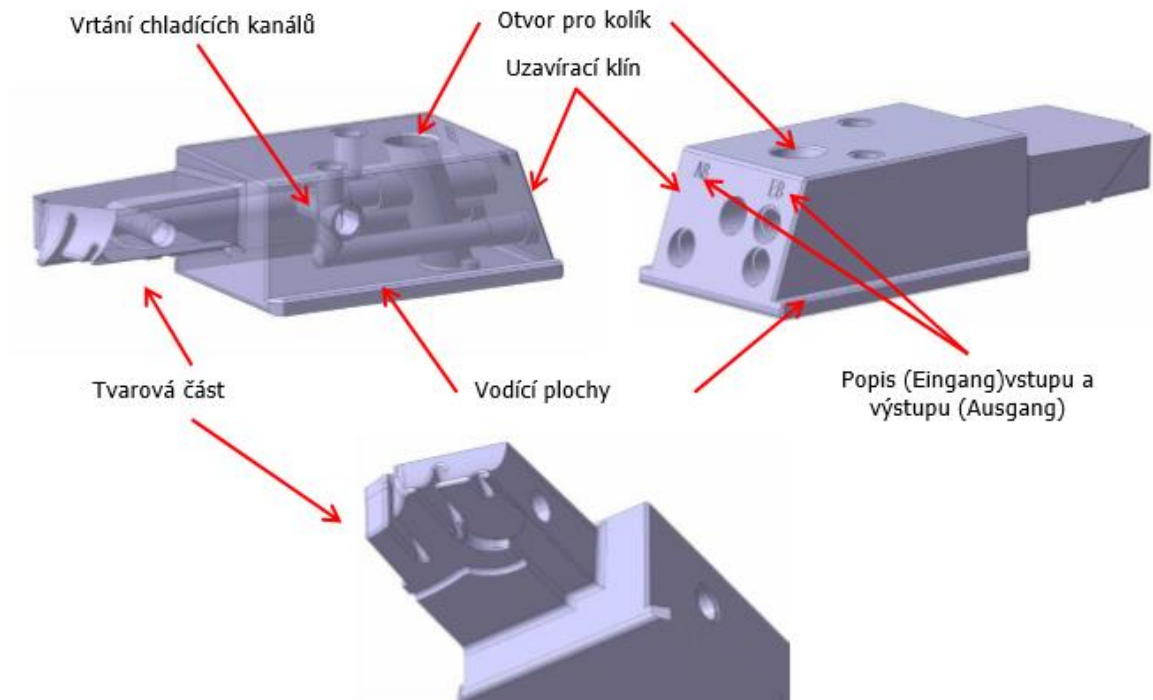
Obr. 22. Vyhození studeného vtoku [14]



Obr. 23. Vyhození výrobku [14]

#### 4.2.6 Boční posuvné čelisti forem

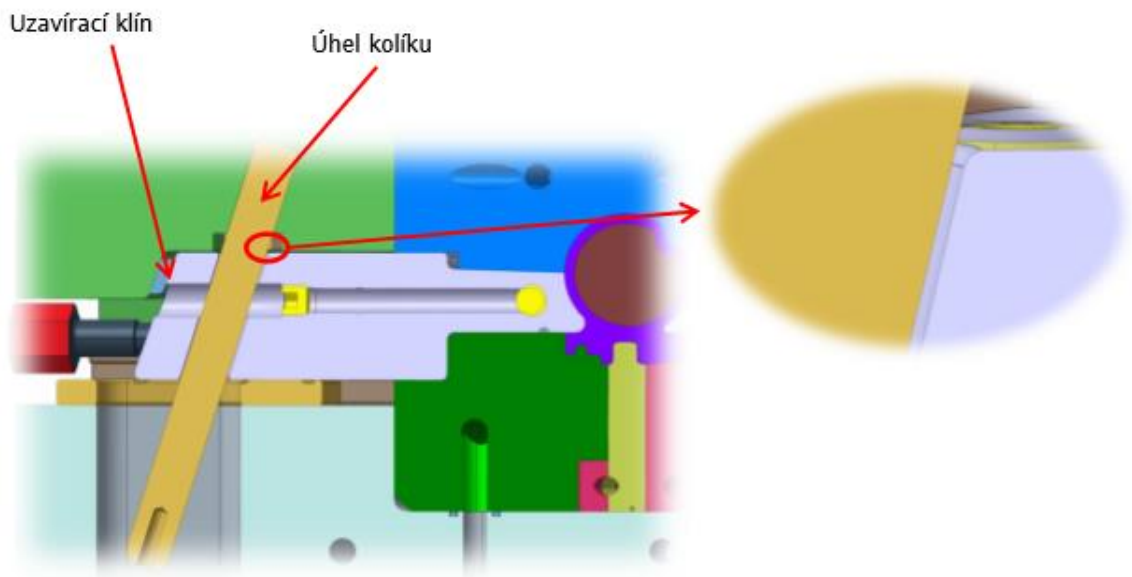
Toto vyhazování se používá pro výstřiky s různými zahloubeními, které leží kolmo k ose, pro výstřiky s výstupky nebo s bočními otvory. Ovládání bočních posuvných čelistí je využito mechanických, pneumatických nebo hydraulických prvků. Tyto části formy někdy tvoří i další přídavné dělicí roviny. [7]



Obr. 24. Popis posuvné čelisti [19]

#### Šikmé válcové kolíky

Jedná se o nejčastější ovládací prvek posuvných čelistí na formě. Celkový zdvih je závislý jak na úhlu nastavení kolíku, tak i na úhlu dráhy čelisti a délce šikmého kolíku. Tyto kolíky se vysouvají současně s otevíráním formy, jen s nepatrným zpožděním, které je ovlivněno vůlí v otvoru šikmého kolíku. Sklon se pohybuje od 15° až do 25°, výjimečně 30°, vůle bývá 0,2 mm. [7,19]



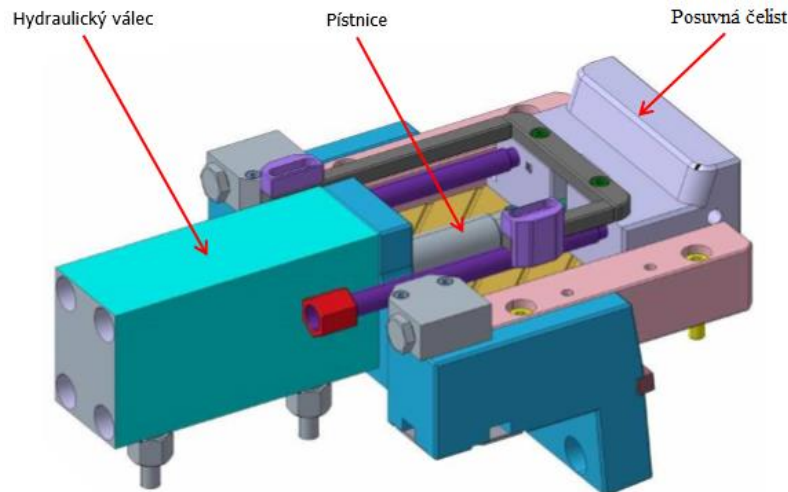
Obr. 25. Vůle mezi kolíkem a posuvnou čelistí [19]

### Lomené kolíky

Tyto kolíky fungují na podobném principu jako šikmé a také zajišťují pohyb bočních čelistí při otevírání a uzavírání formy. Rozdíl mezi nimi a šikmými kolíky je ten, že lomené umožňují poměrně delší zpoždění odsunu čelistí při otevírání formy. Díky tomu je možnost vytáhnutí čelisti s jádrem při jakémkoliv otevření formy. Vůle mezi kolíkem a otvorem bývá 0,2 až 0,5 mm. [7]

### Posuvné čelisti ovládané hydraulickým válcem

Používá se v případě dlouhého chodu posuvných čelistí, kdy by při použití šikmého kolíku, kolík výrazně překračoval rozměry formy. Nebo kvůli potřebě pohybu čelistí nezávisle na pevné části, na velkých naklonech vůči základní rovině, popřípadě pro postupné vytahování více jader. [7,19]



Obr. 26. Hydraulicky ovládaná posuvná čelist [18]

Čelisti lze ovládat a otevřít:

- před otevřením formy, pokud nemá uzamykací systém,
- v jakékoliv fázi otevření formy,
- až po celkovém otevření formy. [7]

### 4.3 Temperování forem

Temperování forem je zajištěno temperačním systémem, který se skládá z jednotlivých temperačních okruhů. Tento systém má za úkol zajistit správnou teplotu formy v jednotlivých úsecích vstřikovacího cyklu. Správným návrhem temperačního systému, dostatečným ochlazováním, popřípadě vyhříváním celé formy nebo jejích částí, je dosaženo optimálně krátkého pracovního cyklu vstřikování, při dodržení všech technologických požadavků na výrobu. Teploty, na kterých je nutno formu udržovat se liší dle druhu vstřikovaného plastu. [10,16]

Temperace se dělí na:

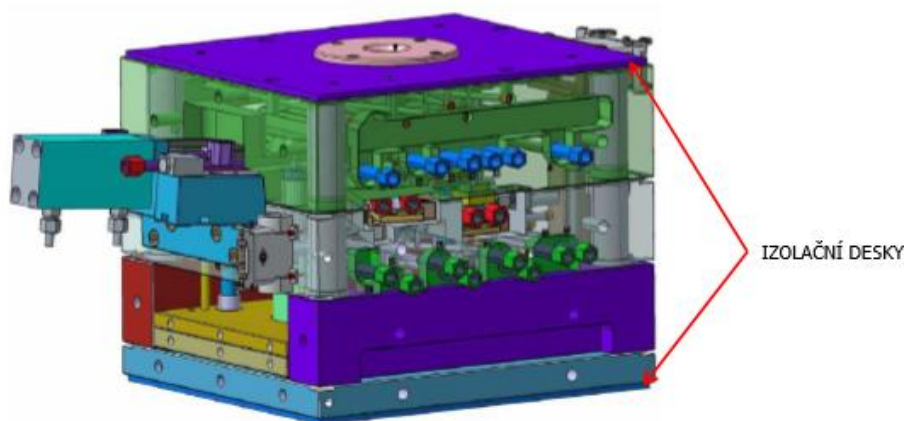
- pasivní temperování,
- aktivní temperování. [16]

#### 4.3.1 Pasivní temperování

Pasivní temperování je temperování, při kterém se využívá kombinace tepelně vodivých a izolačních materiálů. Tepelně vodivé materiály slouží k dobrému vedení tepla v místech,

kteře jsou špatně dostupné nebo pro místa, které mají malou plochu pro odvádění tepla a je zde tedy potřeba materiálů, které dobře vedou teplo. Jako materiál se používají například slitiny hliníku nebo mědi. Kvůli dostatečnému odvodu tepla musí být tepelně vodivé vložky spojeny s aktivním chlazením.

U forem, které je nutné přehřát na požadovanou teplotu, se využívá izolačních materiálů. Aby nedocházelo k únikům tepla sáláním a vedením, jsou formy odizolovány pomocí izolačních desek. Tyto desky nemusejí izolovat pouze upínací desky, ale také i boky formy na tvárníku a tvárnici. Nejčastější materiály izolačních desek jsou na bázi reaktoplastů, nekovových organických látek, apod. Pro lepší montáž a demontáž formy je vhodné opatřit izolační desky otvory nad hlavami šroubů. [10,16]



Obr. 27. Izolační desky na formě [16]

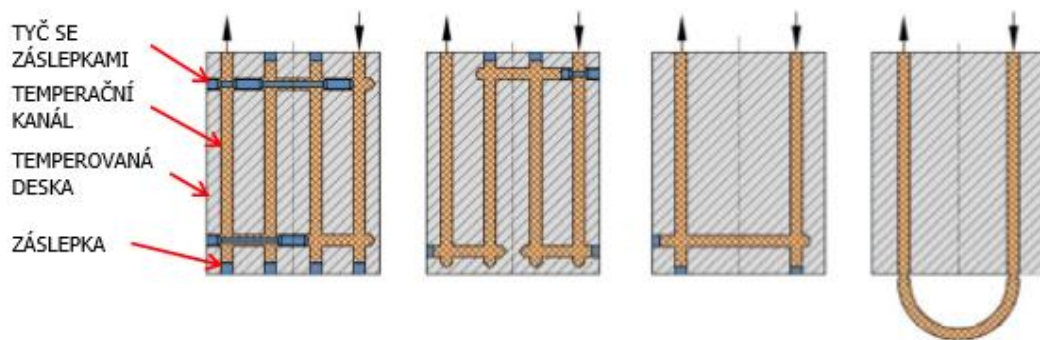
#### 4.3.2 Aktivní temperování

Aktivní temperováním se rozumí přímé odvádění nebo dodávání tepla do formy pomocí temperačního média, které je určené k přenosu tepla. [16]

Tab. 1. Aktivní temperační prostředky [10]

Typ	Výhody	Nevýhody
Voda	Dobrý přestup tepla, nízká viskozita, nízká cena, ekologická nezávadnost	Použitelné do 90°C, vznik koroze, usazování kamene
Olej	Možnost temperace i nad 100 °C	Zhoršený přestup tepla
Glykoly	Omezení koroze a ucpání systému	Stárnutí, znečišťování prostředí

Tyto temperační média proudí kanály, vytvořenými ve formě, které se nacházejí jak v pevné, tak i v posuvné části formy. Celá temperace probíhá dle potřeby pro obě tyto části. Temperační kanály mohou mít kromě průřezů kruhových tvarů, které jsou vyráběné nejčastěji vrtáním, také obdélníkové průřezy, vyráběné frézováním. Obdélníkové průřezy jsou zajištěny tak, že se buďto vodotěsně překryjí nebo jsou do nich vloženy tenkostěnné měděné trubky, které jsou pro zvýšení tepelného styku zalité nízkotavitelným kovem. Pro optimální rozložení temperačních kanálů, zejména u složitějších, technických výlisků, by mělo být použito simulace vstřikování. Proudění v celém temperačním systému by mělo být turbulentní a rozdíl teplot na vstupu a výstupu jednotlivých temperačních okruhů by nemělo překročit 3 až 5 °C. [10,16]



Obr. 28. Příklady jednoduchých temperačních kanálů v desce [16]

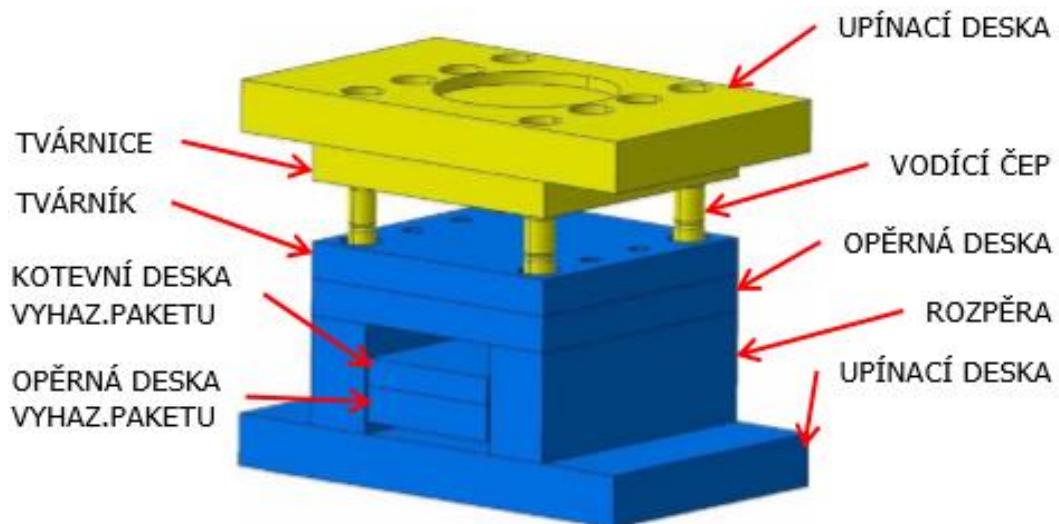
#### 4.4 Odvzdušnění forem

Vhodná poloha pro umístění odvzdušnění tvarových dutin forem vyplyne obvykle až po odzkoušení již hotového nástroje, ale místa kde je potřeba odvzdušnění lze zjistit pomocí simulace vtoku. Tato místa jsou na výstřiku poznat podle nekvalitního vzhledu nebo jeho nízkých mechanických vlastností. K uzavření vzduchu uvnitř dutiny formy dochází, když tavenina vstupuje do dutiny formy a tím před sebou velmi rychle tlačí vzduch, který po uzavření formy v dutině zůstal a není schopen dostatečně rychlého úniku z dutiny formy. Jakmile se začne tento vzduch stlačovat, narůstá jak tlak, tak i teplota. Při příliš vysokému nárůstu tlaku, může dojít k vznícení vstřikovaného plastu (Dieslův efekt). Při nedostatečném odvzdušnění se také zvýrazňují studené spoje. Zvýšený tlak vzduchu nejen, že může vznítit vstřikovaný plast, ale také může dojít k průniku tohoto vzduchu do taveniny a tím způsobit uvnitř výstřiku vzduchové bubliny. Většina vzduchu unikne přes dělicí rovinu, popřípadě vodíci plochami vyhazovačů nebo pohyblivých jader, ale i tak

musí být většina vstřikovacích forem opatřena dalšími konstrukčními prvky, které umožní kompletní a co nejrychlejší odvod vzduchu z dutiny vstřikovací formy. [7,17,18]

#### 4.5 Rámy forem

Rám formy se dělí na dvě části a to na část pravou, která je připojena k pevné části vstřikovacího stroje a část levou, která je připevněna na pohyblivou stranu vstřikovacího stroje. Celkově jde o skupinu vzájemně spojených desek, propojených vodícím, středícím a spojovacím příslušenstvím. Funkční tvarové části, dutiny a vtoky, které se nachází uvnitř rámu, jsou vyrobené buďto jako vložky, které jsou vloženy do rámu tvárníku nebo tvárnice nebo jsou vypracované přímo v deskách. Rámy, které jsou doplněny o další funkční celky, tvoří kompletní formu s požadovanou funkcí. [7,20]



Obr. 29. Rám formy [20]

Rám musí umožnit:

- správné ukotvení na vstřikovacím stroji,
- dokonalé a bezpečné upnutí na upínacích plochách stroje,
- přesné vedení pohyblivých částí formy v požadované přesnosti,
- snadné upevnění tvarových vložek a ostatních funkčních dílů,
- vhodné umístění temperačního a vyhazovacího systému, aby byla zajištěna jejich správná funkce. [7,20]

#### 4.5.1 Volba typu materiálu pro jednotlivé díly vstřikovací formy

Tab. 2. Vybrané typy materiálů používaných při konstrukci vstřikovacích forem [21]

Označení materiálu	Základní vlastnosti	Doporučené použití
1.0577	ZÁKLADNÍ KONSTRUKČNÍ OCEL Dobrá svařitelnost, nekalená	Obyčejné díly formy bez požadavku na vyšší mechanické vlastnosti
1.1730	NÁSTROJOVÁ OCEL Desková ocel	Netvrzené díly forem a přípravků, upínací desky forem, rozpěrky
1.2083	PROKALITELNÁ OCEL Částečná korozivzdornost, legovaná Vhodná k leštění	Vložky dutiny forem, tvarové desky
1.2085	NÁSTROJOVÁ OCEL Přetvrzená, korozivzdorná Dobrá obrobiteľnosť, legovaná	Korozně odolné díly forem – vložky apod.
1.2162	OCEL K LOKÁLNÍMU KALENÍ Legovaná	Desky forem
1.2210	ZA STUDENA OBRÁBĚNÁ OCEL Odolnost proti opotřebení	Jádrové kolíky, malé soustružené díly
1.2311	NÁSTROJOVÁ OCEL Legovaná a předtvrzená Vhodná pro nitridování a leštění	Desky forem, vložky a mechanicky namáhané díly
1.2312	NÁSTROJOVÁ OCEL Legovaná a předtvrzená Dobrá obrobiteľnosť, legovaná	Desky a díly vysoce mechanicky namáhané
1.2316	NÁSTROJOVÁ OCEL Předtvrzená, korozivzdorná Vhodná pro leštění	Díly forem pro korozivní polymery
1.2379	OCEL K PROKALENÍ Rozměrová stálost Vysoká tvrdost, odolnost proti opotřebení Dobrá obrobiteľnosť	Desky forem, vložky
1.2738	NÁSTROJOVÁ OCEL Předtvrzená ocel s rovnoměrnými mech. vlastnostmi	Velké desky s hlubokými dutinami např. pro formy na nárazníky či přístrojové desky
1.7131	OCEL K LOKÁLNÍMU KALENÍ Legovaná	Vodící elementy, jádra

#### 4.5.2 Upínací deska

Upínací desky se nachází na obou částech vstřikovací formy a slouží k upnutí jak části pevné, tak i pohyblivé ke vstřikovacímu stroji. Obě upínací desky jsou ke zbytku formy



přípevněny pomocí šroubů. Ke vstřikovacímu stroji jsou upnuty pomocí upínek, šroubů nebo magnetických desek stroje. [20]

#### 4.5.3 Tvárnice

Tvárnice slouží jako funkční deska pevné strany formy. V této desce je vyrobena část negativu tvaru vstřikovaného dílu, takzvaná tvarová dutina. Buďto může být vyrobena jako celá deska nebo jako vložka, přípevněná do rámu tvárnice. Kromě tvarové dutiny se zde nacházejí i další prvky, které zajišťují její přesné sestavení s tvárníkem. [20]

#### 4.5.4 Tvárník

Tvárník slouží jako funkční deska pohyblivé strany formy. V této desce je stejně jako v tvárnici, vyrobena část negativu tvaru vstřikovaného dílu, takzvaná tvarová dutina. Stejně jako tvárnice, i tvárník může být vyroben jako celá deska nebo jako vložka, přípevněná k rámu tvárníku. Na tvárníku jsou kromě dalších prvků, zajišťujících přesné sestavení s tvárnicí, taky vyhazovací prvky a vtoková ústí. [20]

#### 4.5.5 Opěrná deska

Opěrná deska nemusí být použita u všech forem. Slouží k podepření tvárníku, aby se zabránilo jeho průhybu, které by bylo následkem přetečení formy. Dále slouží k upevnění tvarové vložky uvnitř rámu tvárníku. [20]

#### 4.5.6 Rozpěrné desky

Rozpěrné desky doplňují rám především v jeho pohyblivé části, v některých případech i v části pevné. Jejich průřez bývá buďto kruhový nebo i jiný, výrobně jednoduchý. Jejich umístění a rozměry jsou voleny tak, aby byla dostatečná tuhost rámu a aby byl minimální průhyb desek. [7]

**Jsou nutné z toho důvodu, že:**

- zvětšují stavební výšku, aby se dosáhlo jejího minimálního rozměru pro daný stroj,
- vytváří ve formě prostor pro umístění vyhazovacích desek a potřebný zdvih s vyhazovači,

- zmenšují stykovou plochu mezi funkční a upínací částí formy, aby tepelné ztráty vedením při temperaci formy byly minimální,
- u forem s vyhřívanými tryskami vytváří prostor pro vytápěné rozvodné bloky. [7]

#### 4.5.7 Vyhazovací desky

Vyhazovací desky slouží především k ovládnání a zajištění vyhazovačů v jejich pracovním i zpětném pohybu, ale také k jejich ukotvení a vedení. Tyto desky jsou obvykle uspořádány jako deska kotevní, ve které jsou ve správné poloze ustaveny vyhazovače a pak deska opěrná, která slouží k pevnému sevření vyhazovačů, opřených o tuto desku k desce kotevní. U menších desek je jejich vedení řešeno pomocí dvou vodících kolíků, u těch větších je potřeba kolíků čtyř, nejlépe doplněných o kuličkové vedení. Je-li ve formě více vyhazovačů dostatečné tuhosti, tak lze zhotovit vyhazovací desky i bez vedení. [7,20]



Obr. 30. Vyhazovač mezi deskami [20]

#### 4.5.8 Středící a vodící prvky

Rámy forem, dělicí se na pevnou a pohyblivou část, jsou sestaveny z jednotlivých desek, které jsou vzájemně ustředěny, vedeny a spojeny pomocí vodících kolíků, pouzder a dalších, ve většině případů, normalizovaných součástí. Přičemž středící prvky ve formě slouží k jejímu správnému ustavení ve vstřikovacím stroji a vodící prvky umožňují pohyblivých částí formy při otevírání a uzavírání. [7,20]

**Středící prvky:**

- **Středící lišty** – Používají se pro přesné sesazení pohyblivé a nepohyblivé části formy, při zavírání formy ve stroji. [20]
- **Středící zámky** – Tyto prvky mají podobnou funkci jako středící lišty s tím rozdílem, že jsou montovány vně vstřikovací formy a mohou být dodatečně namontovány na vnější strany desek. Jsou tvořeny ze dvou částí, které díky svému vzájemnému tvaru a rozměry zajišťují přesné ustavení pevné části formy vůči pohyblivé nebo dalších, vůči sobě pohyblivých částí vstřikovací formy, u kterých je nutné zajistit přesnou polohu jejich styku. [20]
- **Středící kroužky** – Tyto kroužky, umístěné do obou polovin formy, slouží kromě přesného ustředění formy ke vstřikovacímu stroji také k jejímu zajištění proti případnému sklouznutí z desky stroje při její manipulaci. Dle použitého vstřikovacího stroje, jsou přiřazeny i jejich rozměry. [7]
- **Středící trubky** – Slouží k vystředění rozpěrných desek vůči desce opěrné a upínací. Při zavření formy dojde k zajištění vodícího sloupku do díry ve vodícím pouzdru. [20]

#### **Vodící prvky:**

- **Vodící čepy** – Tyto vodící komponenty slouží jako vedení pohyblivých částí formy. Pro zlepšení mazání jsou tyto čepy vybaveny mazacími drážkami. Pohybují se po nich například vyhazovací desky, kdy jsou vodící čepy pevně ukotveny v upínací desce pohyblivé straně formy a druhý konec je přesně ustaven v pouzdře, zapuštěném do tvárníku. Celé vyhazovací desky se po vodících čepech pohybují pomocí pouzder, které jsou v nich umístěny a umožňují jejich pohyb. [20]
- **Vodící sloupky** – Tyto sloupky mohou být dle druhu vstřikovací formy použity jak v pevné straně formy, tak na straně pohyblivé. Oproti vodícím čepům zajišťují vedení pohyblivé strany formy na začátku a na konci vstřikovacího cyklu. Jsou stejně jako vodící čepy vybaveny mazacími drážkami. [20]
- **Kolíky** – Jejich nejčastější použití je jako vedení bočních posuvných čelistí, u kterých je nutné zajištění odformování vylisku s bočními otvory nebo podkosem. K upevnění kolíku je možné použití normalizovaných dílů. [20]

- **Vodící pouzdra** – Tyto součásti jsou ve vstřikovací formě použity jako protilehlé součásti k vodícím čepům a sloupkům, které jsou v nich vedeny tak, aby byla zajištěna správná funkce formy. [20]
- **Jednotky kuličkových vedení** – Jejich nejčastější použití je v místech, kde jsou kladeny vysoké nároky na přesné vedení formy, nejčastěji ve vyhazovacích deskách. Jejich cena je oproti kluzným vedením vyšší, musejí se mazat a mají větší zástavbové rozměry, ale mají nízké ztráty. [20]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

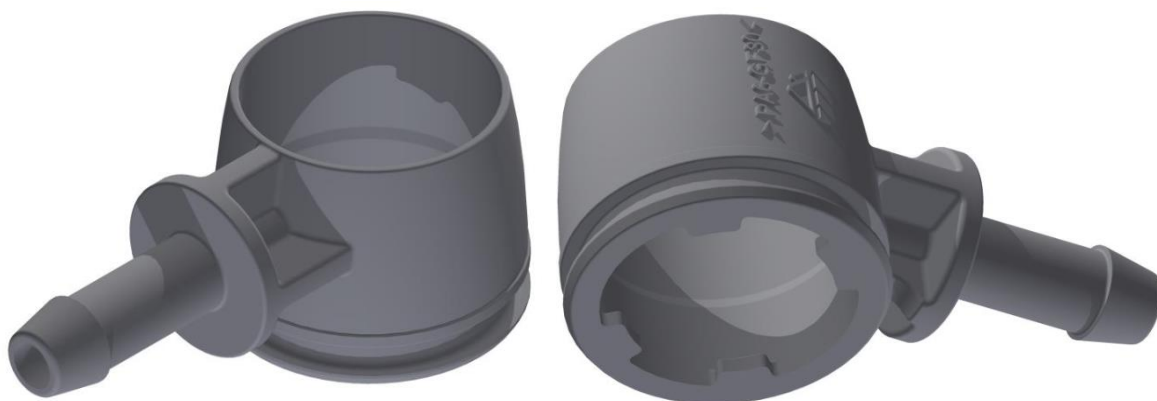
### 5.1 Cíl práce

Cílem této diplomové práce je naplnění zadání diplomové práce. V teoretické části je shrnuto základní rozdělení polymerů, seznámení se vstřikovacím cyklem, vstřikovacím strojem a popisem jednotlivých částí vstřikovací formy, jako je vtokový systém, vyhazování výrobků, temperace forem, odvzdušnění, posuvné čelisti a druhy desek a jejich použití ve vstřikovací formě.

V praktické části je cílem zkonstruovat vstřikovací formu, podle požadavků zákazníka a provést u ní analýzu plnění v programu Autodesk Moldflow. Dle dodaného modelu sestavit návrh vstřikovací formy se všemi normalizovanými i nenormalizovanými díly, dále vytvořit výkres sestavy s pozicemi použitých komponent a vytvoření kusovníku, podle kterého se objednává materiál a normalizované díly. Následně jsou na daném modelu provedeny analýzy, které by měly přiblížit reálný výsledek vstřikování při zvolených parametrech.

## 6 VÝROBEK

Model výrobku je o rozměrech (50 x 24,9 x 19,3) mm s hmotností 5 g a je určen jako část přípravku pro chlazení vrtacích strojů.



Obr. 31. CAD model výrobku

### 6.1 Materiál výrobku

Zvolený materiál výrobku je Secomid B 30 GF, což je Polyamid 6 vyztužený 30% skelnými vlákny od výrobce Poliblend S.p.a. Jedná se o italského výrobce technických surovin granulí a prášku pro vstřikování a vytlačování. Specializují se na PA6, PA66, PBT a termoplastické gumy. [21,22]

Tab. 3. Materiálový list [22]

Fyzické vlastnosti	Jmenovitá hodnota (English)	Jmenovitá hodnota (SI)
Hustota	1,35 g/cm <sup>3</sup>	1,35 g/cm <sup>3</sup>
Smrštění	0,4 až 0,8 %	0,4 až 0,8 %
Absorbce vody (73°F (23°C), 24 hr)	0,90%	0,90%
<b>Mechanické vlastnosti</b>		
Modul pružnosti v tahu	1,23E+6 psi	8500 MPa
Napětí v tahu	23200 psi	160 MPa
<b>Teplotní vlastnosti</b>		
Teplota sušení	194 až 212°F	90 až 100°C
Čas sušení	>3 hr	>3 hr
Teplota taveniny	446 až 500°F	230 až 260°C
Teplota formy	158 až 194°F	70 až 90°C

## 7 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Zvolený vstříkovací stroj je Engel 50t VC 200/28. Jedná se o reálný stroj, na kterém bude prováděno vstříkování daného dílu. Disponuje uzavírací silou 490 kN, s průměrem šneku 18 mm, objemem vstříkovaného materiálu 99 cm<sup>3</sup> a maximálním vstříkovacím tlakem 215 MPa. Vzdálenost mezi sloupky je (410 x 350) mm a maximální velikost formy 400 mm, čímž je nutno se řídit při návrhu velikosti formy.



*Obr. 32. Vstříkovací lis Engel 50t [23]*



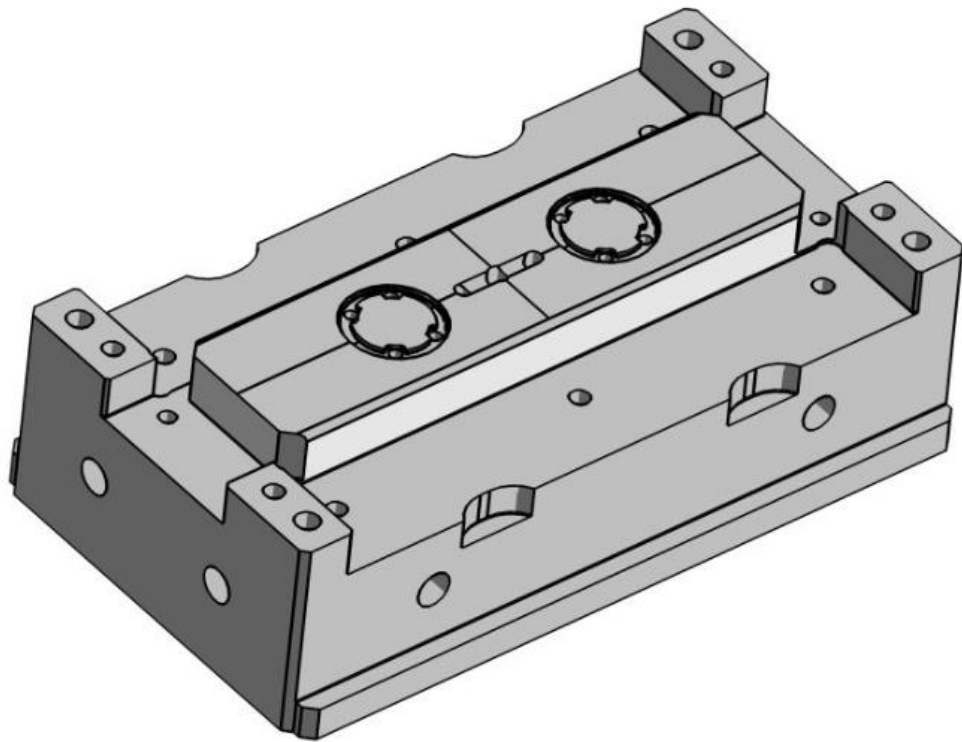
## 8 NÁVRH VSTŘIKOVACÍ FORMY

Pro návrh vstřikovací formy byl použit program Autodesk Inventor Professional 2014 s využitím modulu Mold Design a pro vkládání normalizovaných komponent byl využit program Hasco Dako Modul.

Dle požadavků jde o dvou-otiskovou formu se studenou tryskou do studeného kanálu s tunelovými vtoky. Forma s vyšší násobností by v tomto případě nebyla možná, jelikož jde o výrobek s tvary složitějšími na odformování, rozměrově omezený vstřikovacím strojem a celkovou cenou, která by při vyšší násobnosti vzrostla. Smrštění materiálu je dáno dle materiálového listu 0,4 – 0,8 %, zvoleno je 0,5 % s nadsazením pro korekci rozměrů. Odvzdušnění formy prozatím navrhuto nebylo, jelikož nebylo předpokládáno s problémy s ním spojené a dle první zkoušky reálného nástroje zde nebyly viditelné stopy po uzavřeném vzduchu. Kdyby naskytly problémy s výskytem uzavřeného vzduchu, tak je případné odvzdušnění možné na formě udělat i dodatečně.

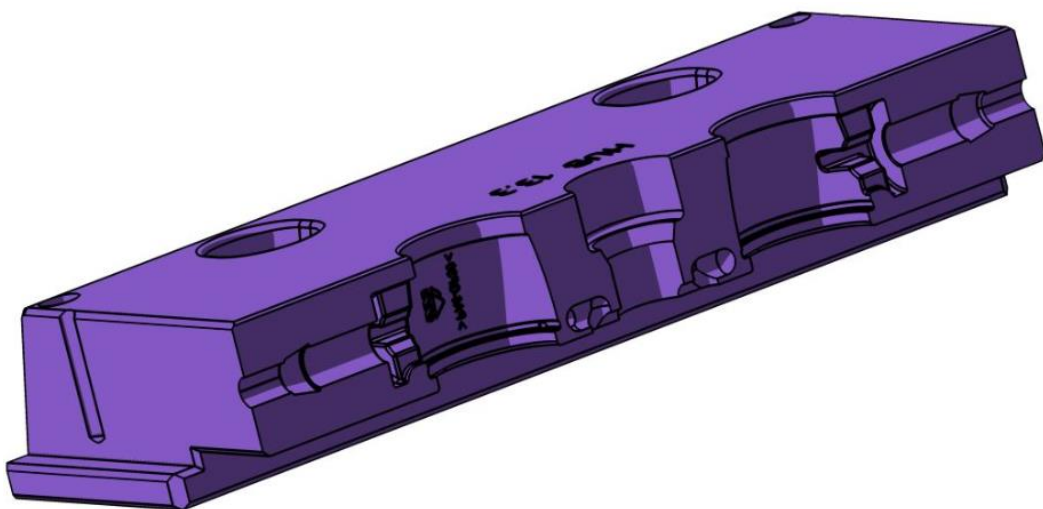
### 8.1 Návrh tvárníku a tvárnice

Tvárník je zvolen jako vložka do rámu, kdežto tvárnice je zvolena, kvůli složitějšímu tvaru, jako boční posuvné čelisti. Vnitřní tvar modelu je zajištěn pomocí jader, dvou vycházejících z pevné části formy, kde jsou zapolohovány proti pootočení a dvou pomocí bočních posuvných čelistí. Obě jsou vůči sobě uzamknuty tak, aby nedošlo k jejich poškození při otevření formy. Dále je zajištěno, aby boční posuvné čelisti s jádrem odjížděly dříve než boční posuvné čelisti s tvarem, jinak by nebylo možné díl udržet ve vhodné poloze pro vyhazování. Čelisti by bylo vhodné zpozdřit lomenými kolíky, v tomto případě je voleno levnější alternativy, a to zpozdřit rozevírání čelistí zvětšením šikmých děr pro šikmé kolíky.



*Obr. 33. Tvárník*

Materiál tvárníku i bočních posuvných čelistí zvolen 1.2343, což je nástrojová legovaná ocel s vysokou prokalitelností. Rozměry materiálu pro tvárník voleny (110 x 190 x 58) mm, pro boční posuvnou čelist (70 x 160 x 30) mm. Při návrhu tvárníku je počítáno s použitím vodících komponent pro boční posuvné čelisti, které jsou připevněny jak k tvárníku, tak k rámu pohyblivé části formy. Dále pro snadnější manipulaci při montáži a demontáži formy jsou ve spodní části tvárníku umístěny závity M8.

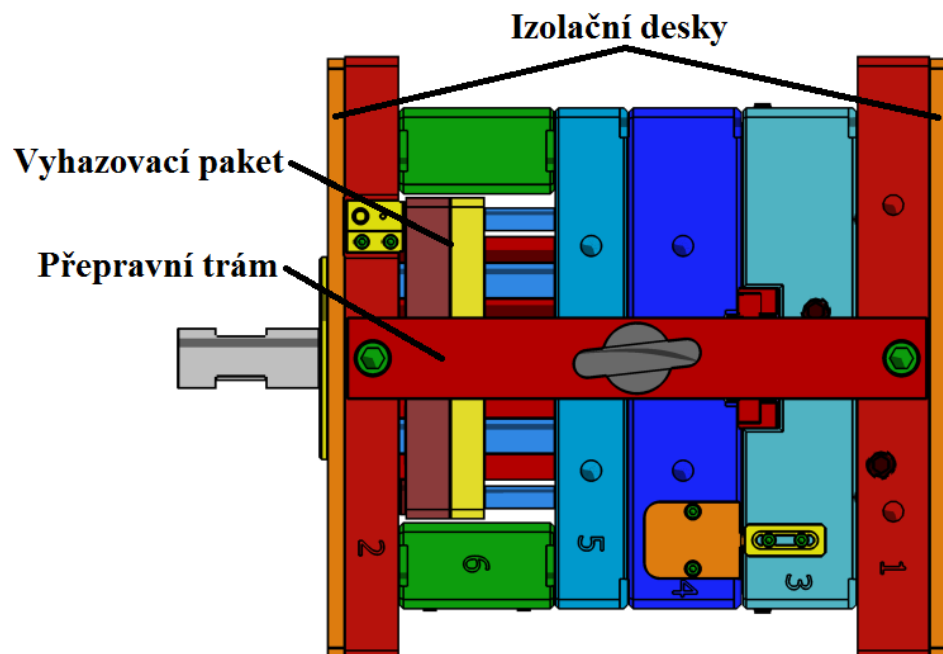


*Obr. 34. Boční posuvná čelist s tvarem*

## 8.2 Rám formy

Rám formy je rozdělen na dvě části. První je část pevná, druhá pohyblivá. Dále je k rámu formy připevněn přepravní trám, který slouží k přepravě formy a brání jejímu otevření během přepravy a při manipulaci s celou formou.

V závislosti na velikosti posuvů čelistí pro snadné odformování a vzhledem k maximální velikosti formy pro vstřikovací stroj, byla určena velikost formy (296 x 346 x 304) mm, přičemž velikost rámu tvárnice, tvárníku a opěrné desky je menší o 50 mm kvůli možnosti upnutí na vstřikovací stroj.



Obr. 35. Forma

1 – upínací deska pevné strany; 2 – upínací deska pohyblivé strany 3 – rám tvárnice;

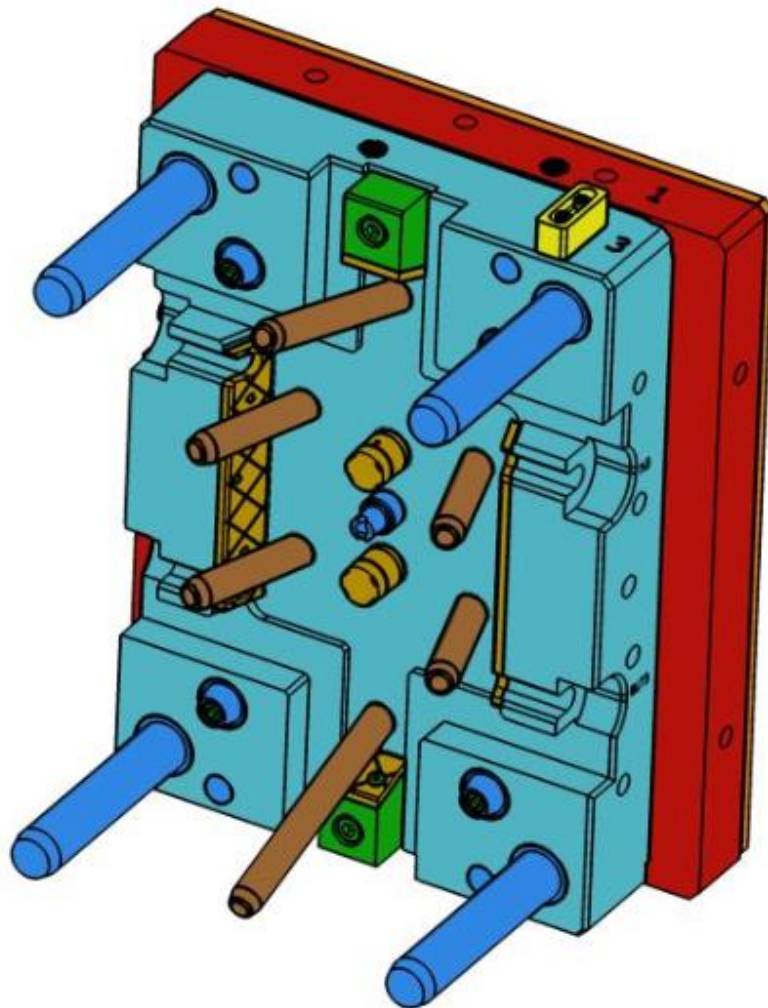
4 – rám tvárníku; 5 – opěrná deska, 6 – rozpěrky

### 8.2.1 Pevná část formy

Pevná část formy je složena z upínací desky, sloužící k upnutí ke vstřikovacímu stroji, vystředěné pomocí středícího kroužku. Pod středícím kroužkem se nachází tryska, která vede materiál do dělicí roviny, kde je dále rozveden pomocí kanálů do dutin formy. Aby nedocházelo k unikání tepla z formy, je izolována od vstřikovacího stroje izolační deskou, která je přišroubována k upínací desce. Dále jsou do izolační desky vyvrtány díry

v místech, kde je upínací deska přišroubována k rámu tvárnice pro snadnější montáž a demontáž formy.

Dále se skládá z rámu tvárnice, na kterém jsou připevněny normalizované díly pro posuv čelistí. Dále je zde středění a vodící kolíky, které přesně zapadají do vodících pouzder na posuvné části vstřikovací formy a tím zajišťují vystředění pevné a posuvné části formy proti sobě.

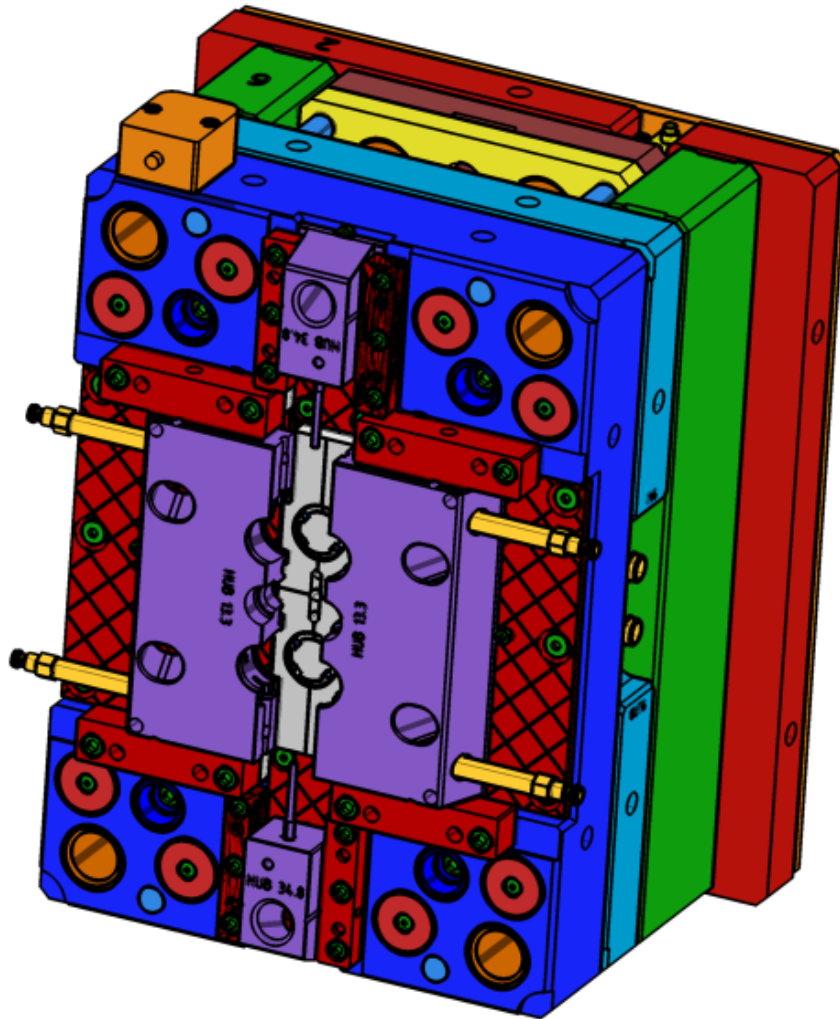


Obr. 36. Pevná část formy

### 8.2.2 Pohyblivá část formy

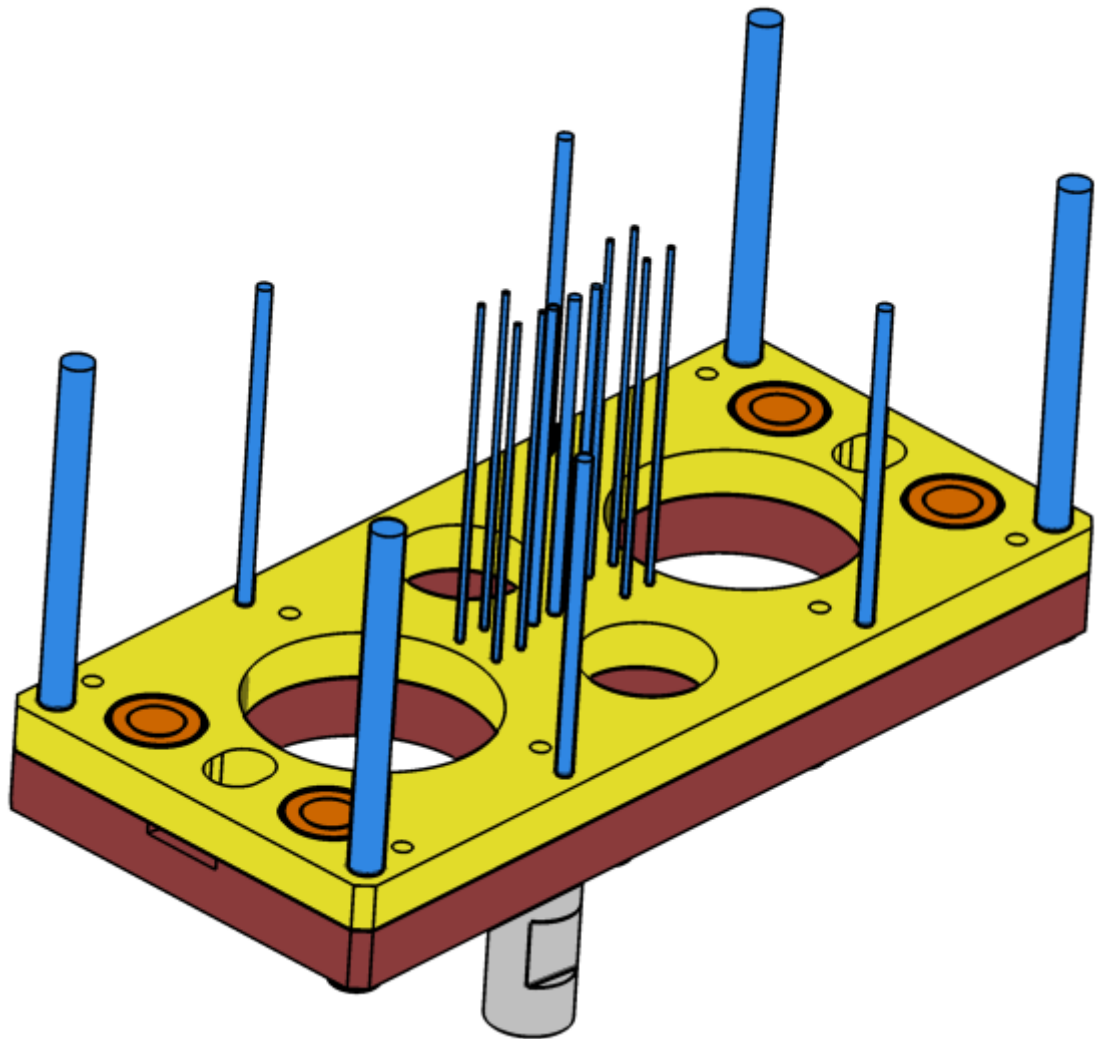
Pohyblivá část formy je složena z rámu tvárníku, na kterém se nachází normalizované vodící komponenty pro posun čelistí a jejich zajištění v otevřené poloze. Dále se zde nachází středící komponenty pro vystředění pohyblivé části formy k pevné části formy. Do rámu je zasunuta vložka tvárníku, zajištěná opěrnou deskou.

Rám tvárníku je připevněn s opěrnou deskou, rozpěrkami a upínací deskou pomocí šroubů M12, vedoucích z upínací desky, vystředěné pomocí středících pouzder. Stejně jak na pevné straně, se i na pohyblivé nachází izolační deska, přišroubována k upínací desce a celá upínací deska je vystředěna ke stroji pomocí středícího kroužku.



Obr. 37. Pohyblivá část formy

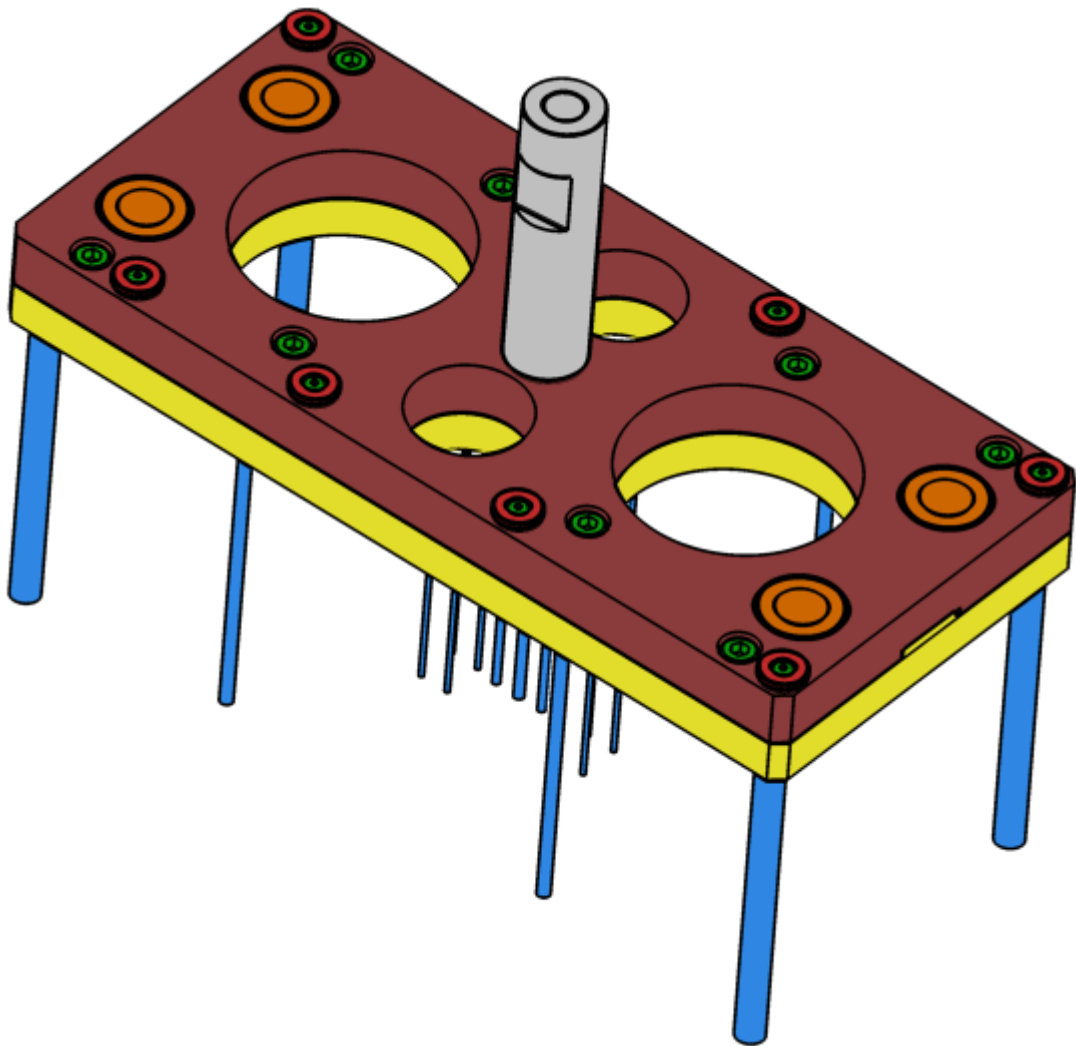
Dále se pohyblivá část formy skládá z vyhazovacího paketu, který je složen z vyhazovací desky opěrné a vyhazovací desky kotevní. V obou deskách se nachází kuličkové vodící pouzdra, pro vedení vyhazovacího paketu po vodících kolících, upevněných v upínací desce. Celý paket je pro lepší montáž, demontáž a následné vedení zmenšen o 1 mm na stranu oproti formě a stejná mezera je i mezi paketem a rozpěrkami.



Obr. 38. Vyhazovací paket – pohled na kotevní desku

V kotevní vyhazovací desce se nachází jak vyhazovače tvarové, které jsou zapolohovány proti pootočení, tak vyhazovače vtoku, pojistné vyhazovače a zpětné kolíky. Všechny jsou v desce zajištěny vyhazovací deskou opěrnou, která je přišroubována ke kotevní.

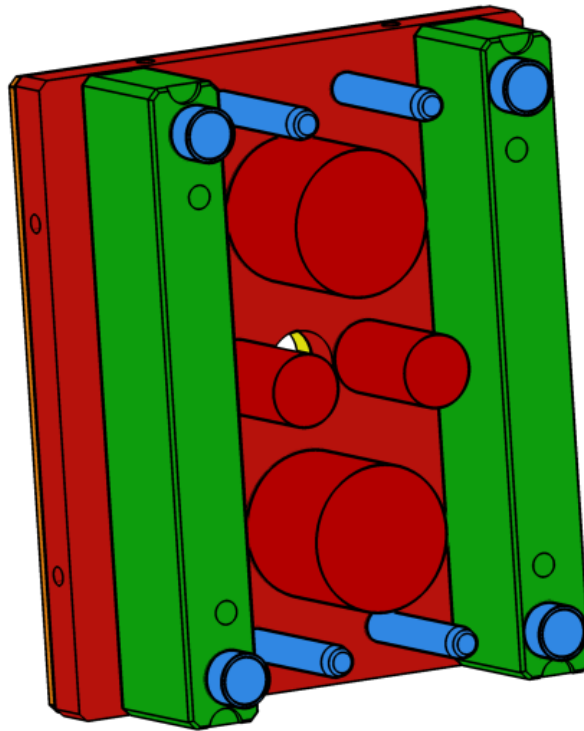
Tvarové vyhazovače slouží k vyhazování výrobku a jejich plochy kopírují tvar výrobku v tvárníku. Vyhazovače vtoku vyhazují vtok a slouží i jako přídržovače vtoku. Pojistné vyhazovače slouží k zapolohování čelistí při jejich otevření a zpětné kolíky slouží pro vrácení vyhazovacího paketu při zapomenutí vrácení vyhazovacího paketu zpět do výchozí polohy a zabraňují následnému zalomení tvarových vyhazovačů při zavření formy.



Obr. 39. Vyhazovací paket – pohled na opěrnou desku

Na opěrné vyhazovací desce se nachází dorazové podložky, které jsou rozvrženy na opěrné vyhazovací desce tak, aby nebránily koncovému snímači, umístěnému v upínací desce, plnit jeho funkci, jelikož není ve středu formy, kvůli umístění přepravního trámu. Dále je v opěrné vyhazovací desce, kvůli velkému průměru závitu vyhazovací tyče, vložena podložka, která zajišťuje vyhazovače vtoku. K opěrné vyhazovací desce je přišroubována vyhazovací tyč, která prochází skrz upínací desku, izolační desku, středící kroužek, je připevněna ke vstřikovacím stroji a slouží k pohybu vyhazovacích desek při následném vyhazování výrobku na stroji.

Skrz vyhazovací paket prochází čtyři válcové rozpěrky, zajišťující zpevnění formy a jsou uchyceny k upínací desce pomocí šroubů M12.

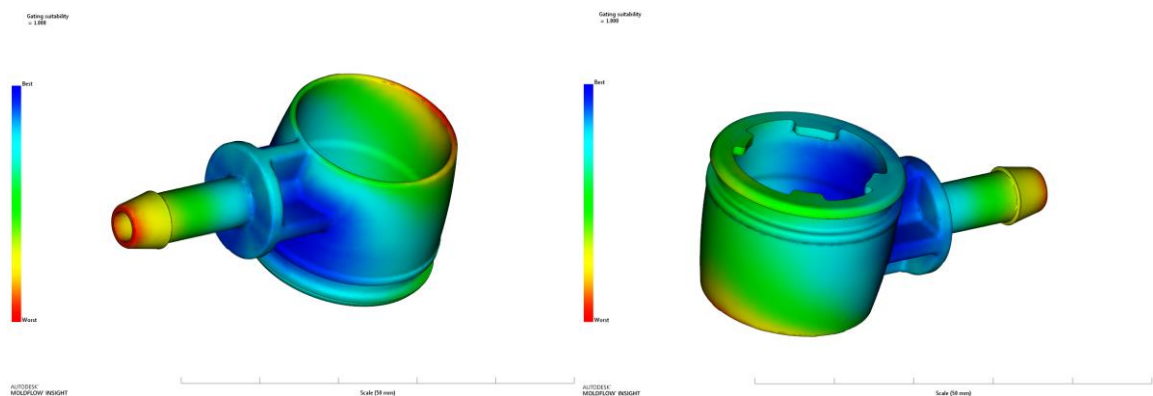


Obr. 40. Rozpěrné desky

### 8.3 Vtokový systém

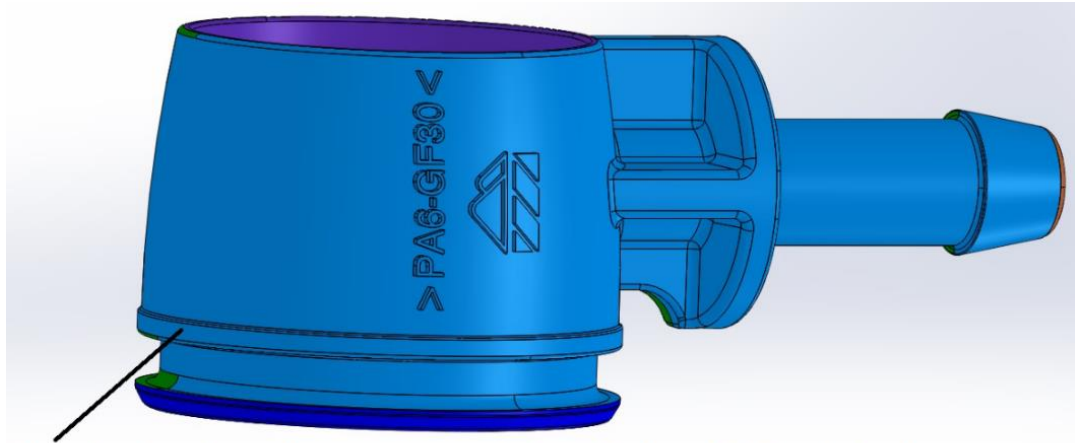
Vtokový systém byl vytvořen jako studený s ohledem na velikost součástí a formy. Dle parametrů stroje byla vtoková vložka volena s rádiusem R40.

S použitím analýzy Moldflow a požadavků na tunelový vtok bylo určeno nejlepší místo pro umístění vtoku, kdy červená část zobrazuje nejhorší a modrá nejlepší místo pro umístění vtoku.



Obr. 41. Vhodnost polohy vtoku



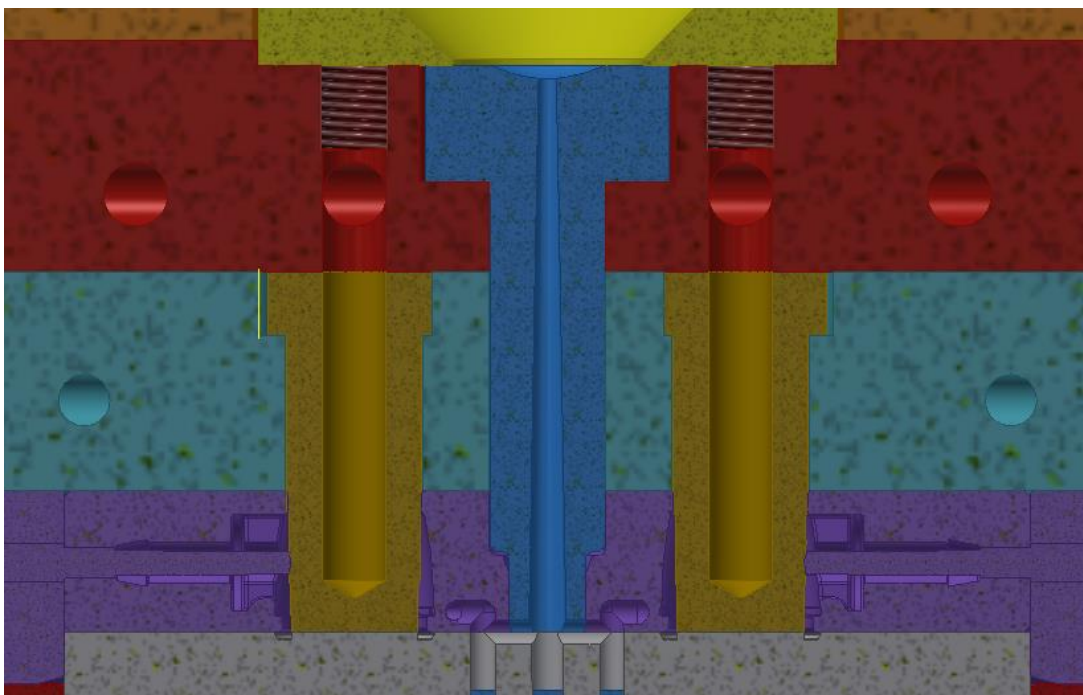


**Tunelový vtok zvolen v tomto místě, výše je pohledová plocha**

*Obr. 42. Volba tunelového vtoku*

Místo pro tunelový vtok nebylo zvoleno v optimálních místech dle analýzy Moldflow z důvodu, že tyto místa jsou v pohledových částech výrobku. Dále je tento vtok volen podle umístění tvaru výrobku ve vstřikovací formě. Toto umístění je dáno použitím bočních čelistí pro snadné odformování.

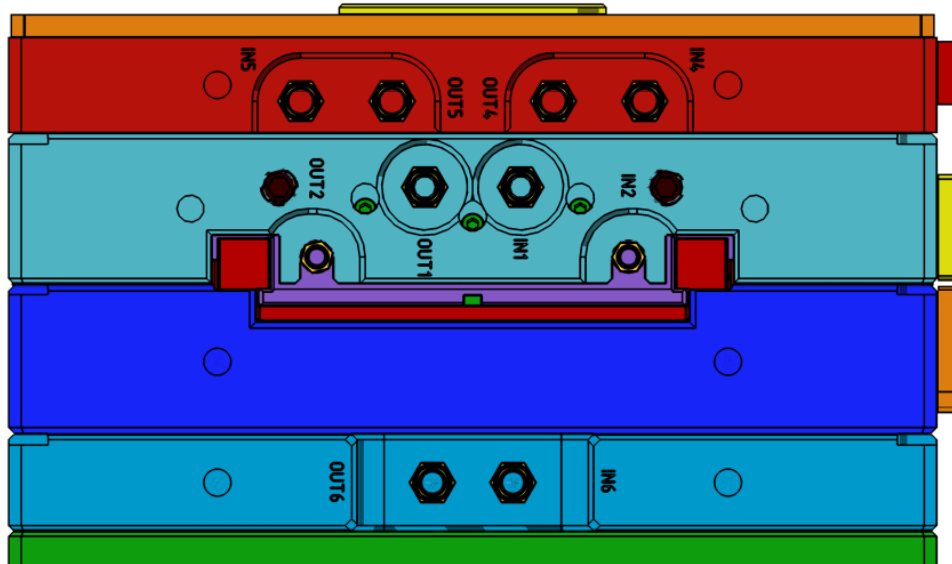
Velikost studené vtokové vložky bylo určeno z katalogu firmy Hasco. Její celková výška je 88 mm a přivádí taveninu do dělicí roviny, kde je dále rozvedena pomocí studených kanálů do tvarů. Studené vtokové kanály se nacházejících jak v tvárníku, tak přímo v bočních posuvných čelistech.



*Obr. 43. Řez vtokovým systémem*

## 8.4 Temperační systém

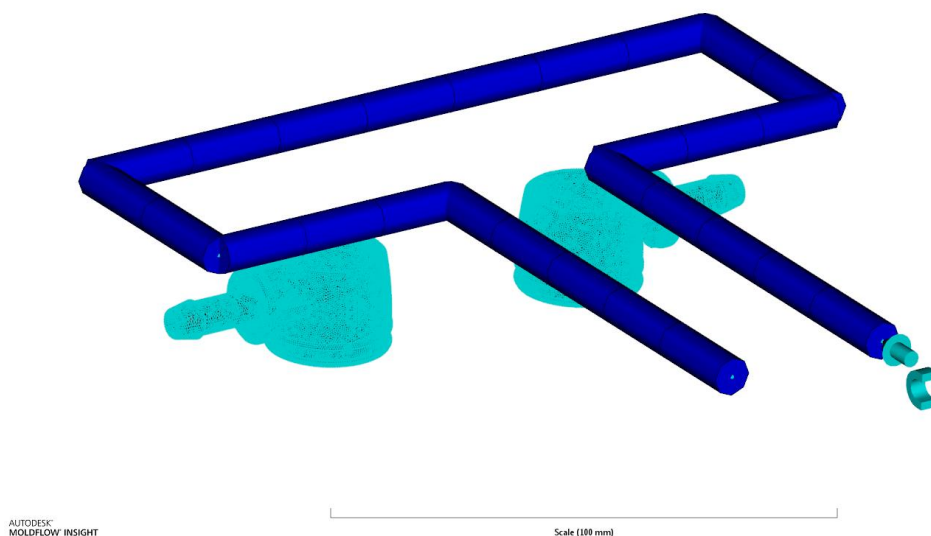
Temperační systém formy je rozdělen na 6 jednotlivých okruhů a slouží k udržení požadované teploty formy během vstřikování.



Obr. 44. Temperační systém na formě

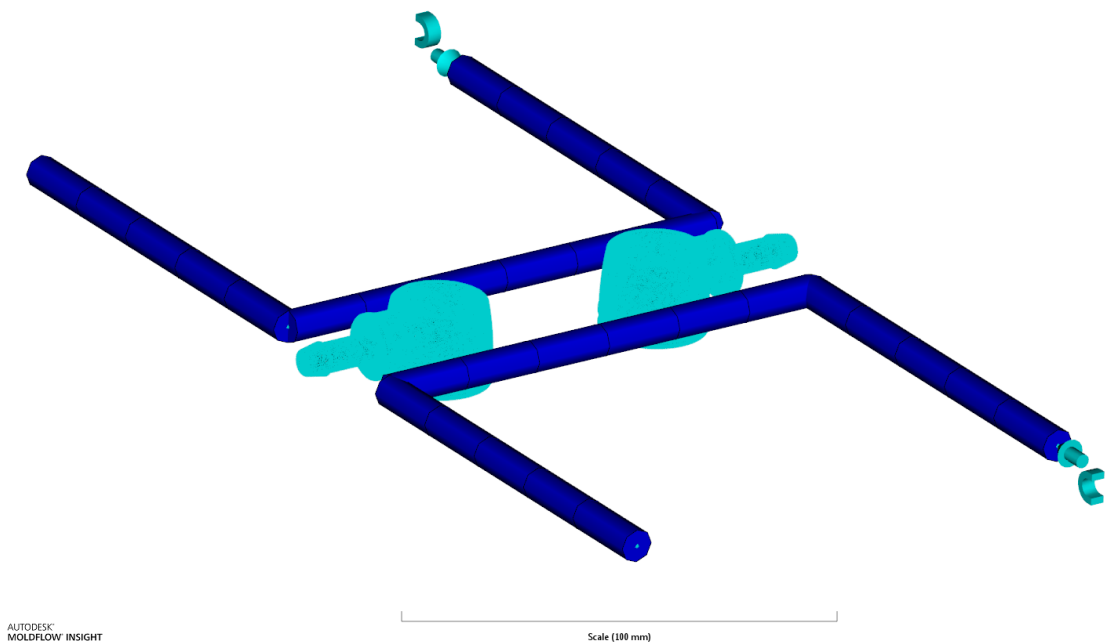
Všechny chladicí kanály jsou vyvrtány o průměru 8 mm s náustky s trubkovým závitem G1/4". U bočních posuvných čelistí je pro přivedení temperačního média použit prodloužený náustek.

První okruh se nachází v rámu tvárnice na pevné straně formy a je vyvrtán kolem jádra, vtokové vložky a ovlivňuje jejich teplotu.



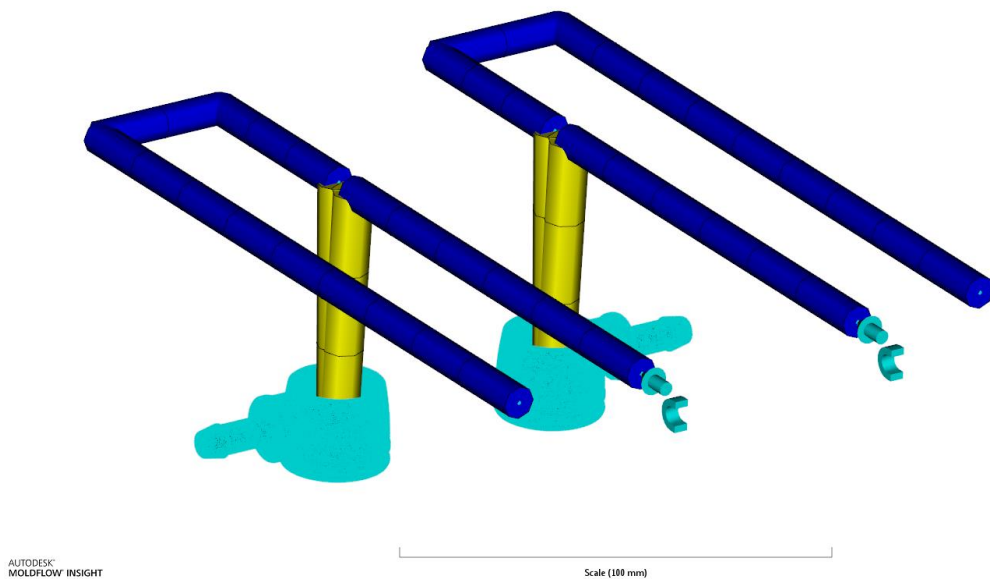
Obr. 45. První temperační okruh

Druhý a třetí okruh se nachází přímo v bočních posuvných čelistích a tím chladí jádro v okolních tvarech.



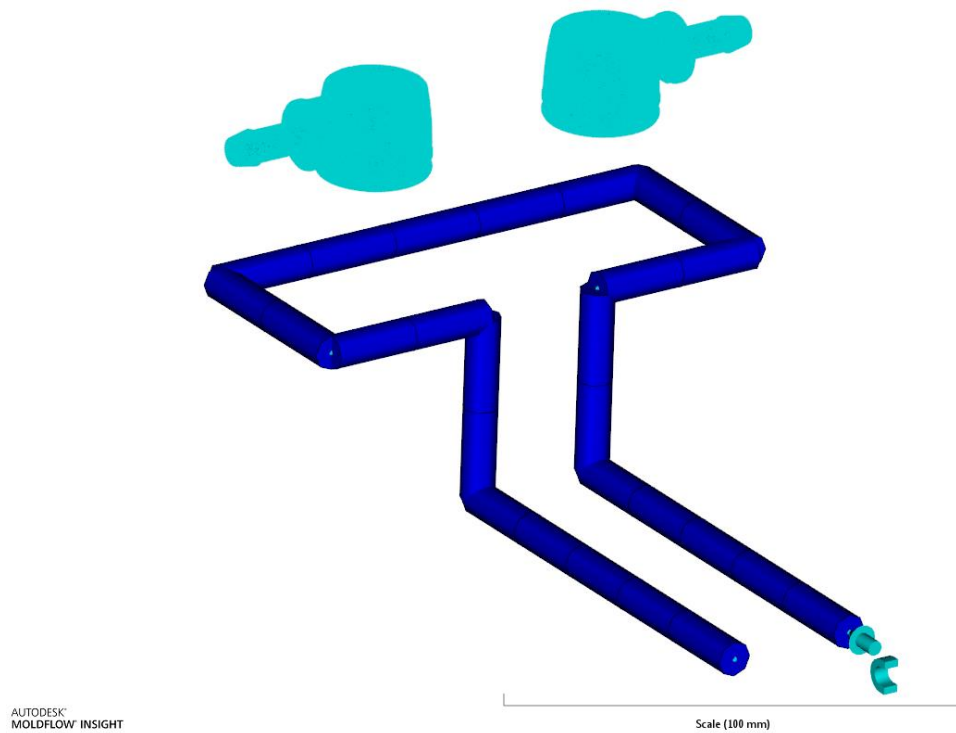
*Obr. 46. Druhý a třetí temperační okruh*

Okruhy číslo 4 a 5 jsou v upínací desce pevné části formy a chladí jak vtokovou vložku, tak i jádro. V jádru je vložena přepážka, přes kterou obtéká temperační médium a tím chladí jádro zevnitř.



*Obr. 47. Čtvrtý a pátý temperační okruh*

Šestý okruh je umístěn v opěrné desce a prochází do tvárníku, který chladí. Těsnění mezi tvárníkem a opěrnou deskou je řešeno pomocí O-kroužků.



*Obr. 48. Šestý temperační okruh*

## 9 REALIZACE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Dle vytvořeného návrhu vstřikovací formy byla forma realizována v nástrojárně Ing. Zdeněk Kolář.

Zahájení její výroby bylo provedeno po schválení návrhu formy zákazníkem dne 14. 3. 2016. Jednalo se o nákup materiálu desek na rám formy, materiálu na tvarové části formy a normalizovaných dílů od firmy Hasco. Materiál rámu formy byl zvolen jako nástrojová ocel 1.1730, rám tvárníku a tvárnice byl volen z konstrukční oceli 1.2312 a na tvárník, boční posuvné čelisti, jader, vložek a vedení čelistí byla použita konstrukční ocel 1.2343.

Pět dní od objednání materiálu bylo zahájeno frézování desek na stroji VMC 1260 E, následováno broušením na brusce BPH 300.

Dle 3D modelů byl vytvořen CAM program pro obrábění jak desek rámu formy, tak na výrobu polotovarů tvárníku a bočních posuvných čelistí. Jejich výroba byla provedena na obráběcím centru MCFV 1050.

Následovalo kalení tvárníku, tvárnice, bočních posuvných čelistí, jader, vložek a vedení čelistí.

Po zakalení, broušení a úhlování polotovarů tvárníku, tvárnice a bočních posuvných čelisti na brusce BPH 300 následovala výroba tvarů pomocí elektroerozivního obrábění na CNC hloubičce Mitsubishi EA8-S grafitovými elektrodami, vyrobenými na obráběcím centru VMC 500 dle CAM programu.

Celková výroba celé vstřikovací formy trvala jeden měsíc od zahájení její výroby, následována montáží, slícováním tvarů a dodáním zákazníkovi.

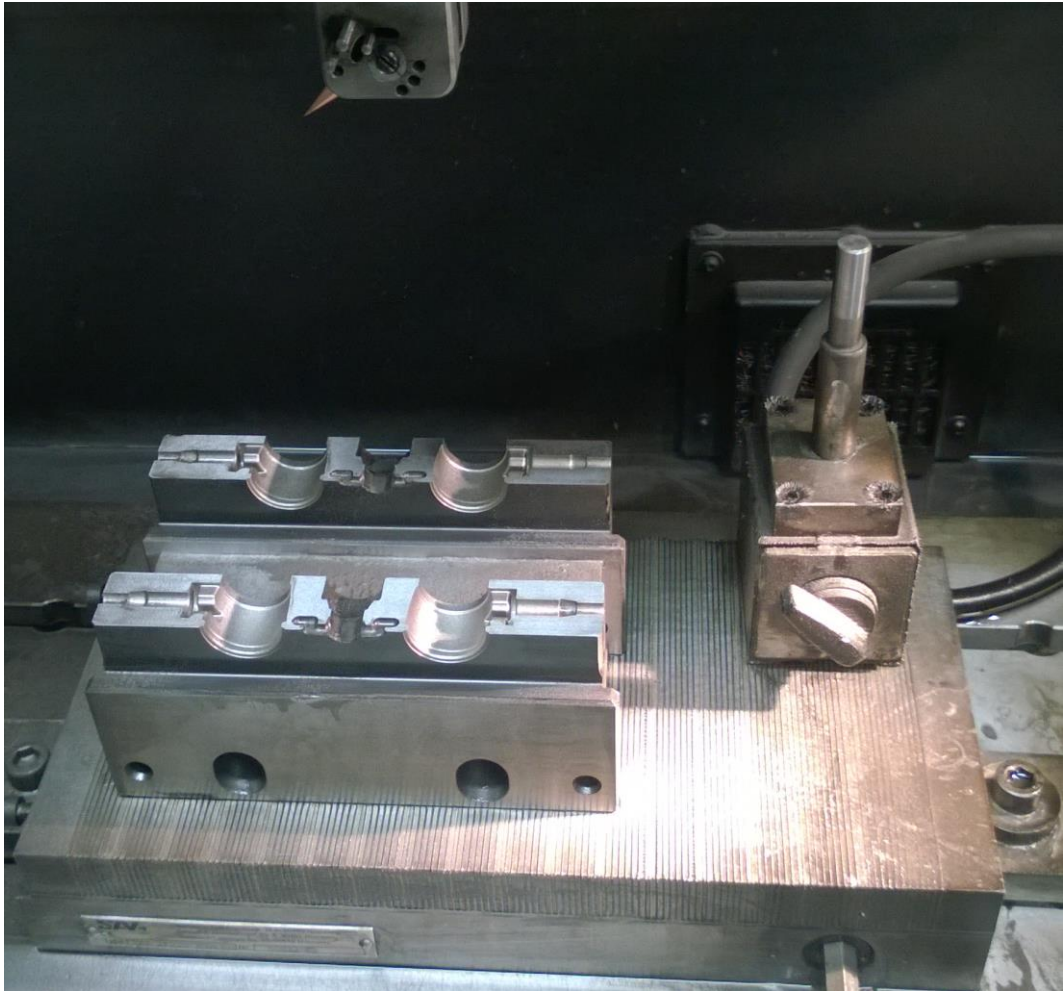
Po předání byla dne 21. 4. 2016 provedena zkouška formy.



*Obr. 49. Boční posuvné čelisti před hloubením*



*Obr. 50. Elektrody pro tvar na bočních posuvných čelistech*



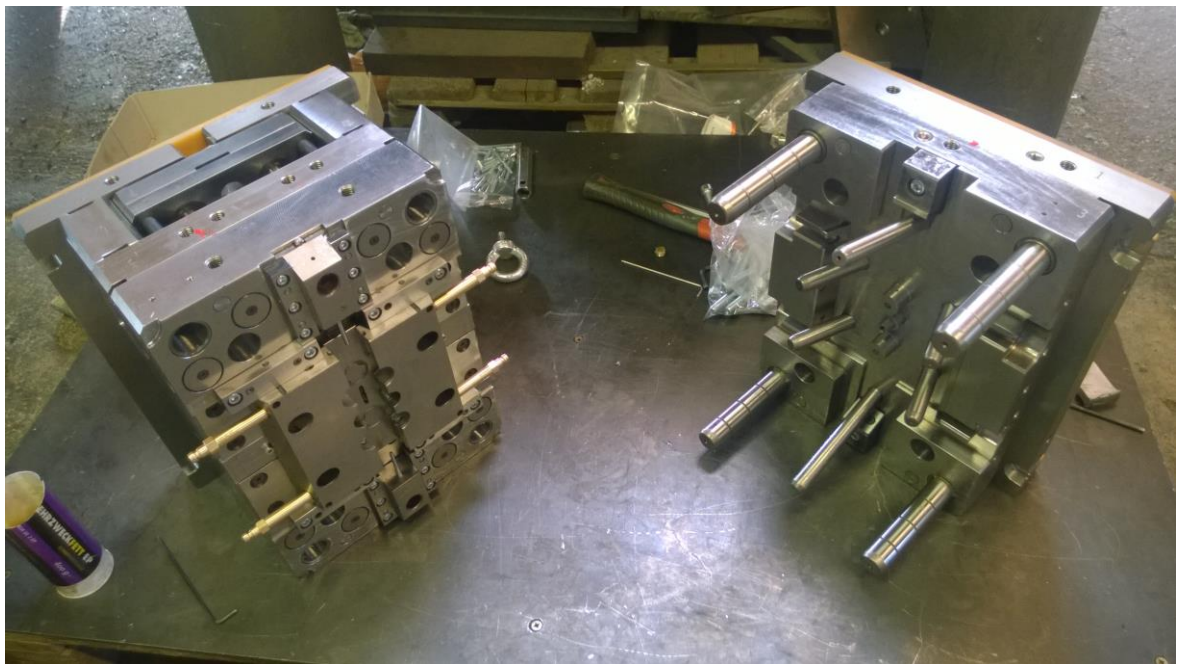
*Obr. 51. Hloubení tunelových vtoků bočních posuvných čelisti*



*Obr. 52. Tvarové vložky (vpravo před a vlevo po vyhloubení tvaru)*



*Obr. 53. Pohled na vyhazovací paket při montáži*



*Obr. 54. Pevná a posuvná část formy při montáži*





*Obr. 55. Reálná podoba formy*



*Obr. 56. Zkušební výstřik*

## 10 ANALÝZA

Veškeré analýzy byly provedeny v programu Autodesk Moldflow Synergy 2016. Model z programu Autodesk Inventor Professional 2014 byl vložen ve formátu .stp, chladicí okruhy a vtokový systém byl uložen ve formátu .igs.

### 10.1 Tvorba sítě

V programu Autodesk Moldflow Synergy 2016 bylo na vloženém modelu provedeno vysítování typu Dual Domain a následně bylo provedena kontrola mesh statistics a následná úprava pomocí Aspect Ratio.

Síť byla vytvořena tak, aby v Aspect Ratio nebyla překročena krajní hodnota 15. Pro větší přesnost byla následně upravena na co nejmenší hodnotu tak, aby nedošlo ke zdeformování povrchu vloženého modelu.

```
Triangles
-----
Entity counts:
  Triangles           116020
  Connected nodes    58008
  Connectivity regions 3

  Invisible triangles      488

Area:
(Mold blocks and cooling channels are not
included)
  Surface Area:      87.6942 cm^2

Volume by element types:
  Triangle:      7.13833 cm^3

Aspect Ratio:
  Maximum   Average   Minimum
    7.76     1.62     1.16

Edge details:
  Free edges           0
  Manifold edges     174030
  Non-manifold edges  0

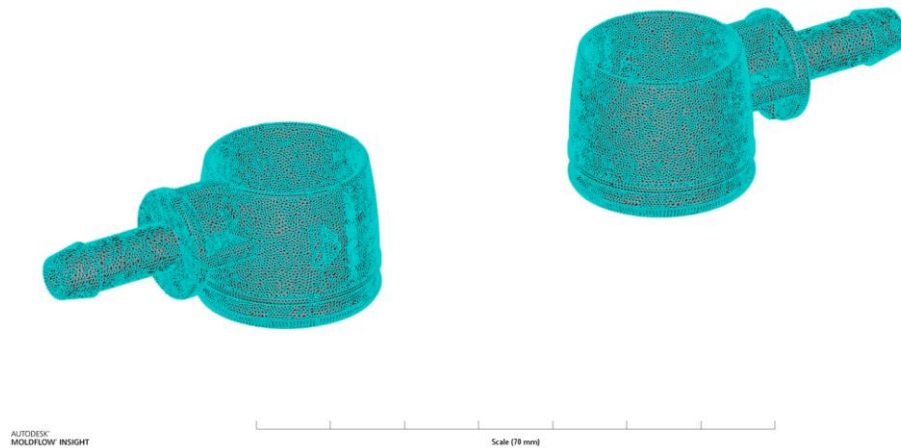
Orientation details:
  Elements not oriented  0

Intersection details:
  Element intersections  15
  Fully overlapping elements  0

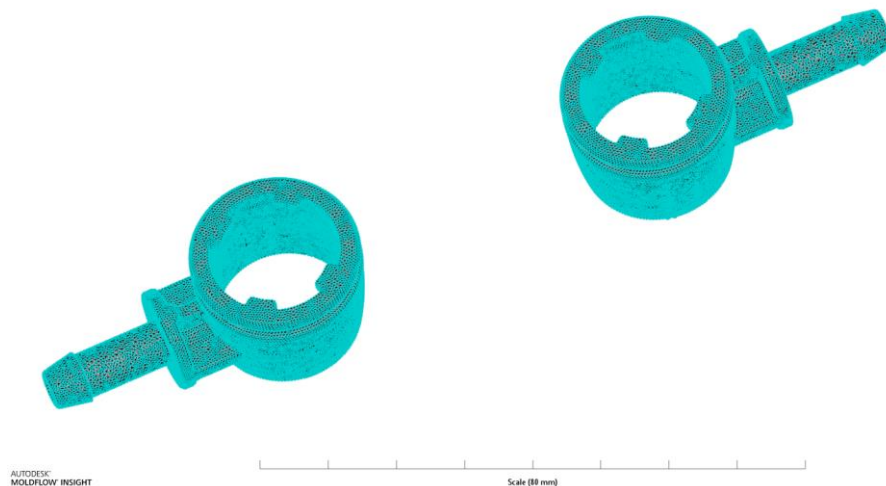
Match percentage:
  Match percentage      86.0%
  Reciprocal percentage  85.6%
```

Obr. 57. Statistika sítě

Procento kvality sítě je dle provedené diagnostiky 86%, což je dostačující pro analýzu Cool + Fill + Pack + Warp. Dále diagnostika kromě kvality sítě ukázala počet elementů, volné hrany, nepropojené hrany, neorientované elementy, protínající se elementy a překrývající se elementy. V mém případě se protíná 15 elementů, což je však způsobeno protnutím chladících kanálů s vytvořeným blokem formy.



*Obr. 58. Model výrobků s upravenou sítí*



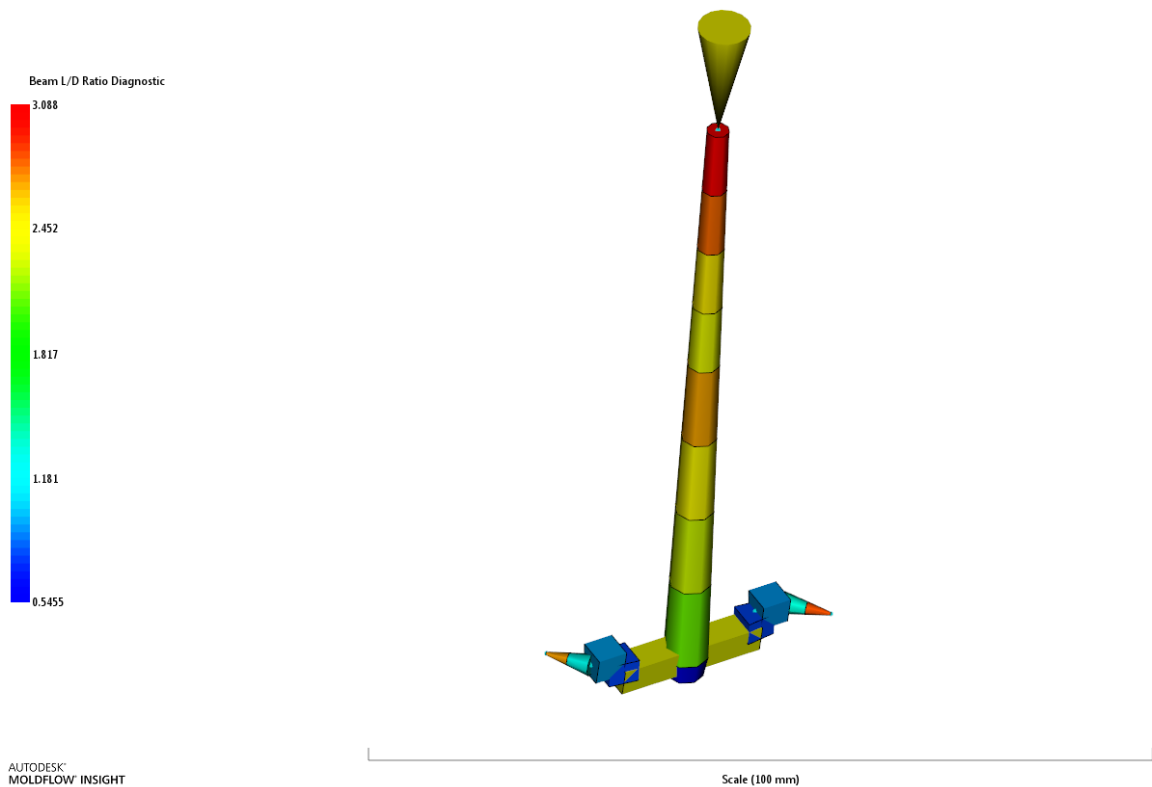
*Obr. 59. Model výrobků s upravenou sítí*

## 10.2 Vtokový systém

Vtokový systém je vytvořen jako studený, obsahuje studený vtokový kanál, studený rozvodný kanál a studené vtokové ústí. Kontrola vtokového systému byla provedena pomocí L/D Ratio a ukázala, že se její hodnota pohybuje okolo 2,5, což je nutné pro provedení analýzy.

Tab. 4. Rozměry a geometrie vtokového systému

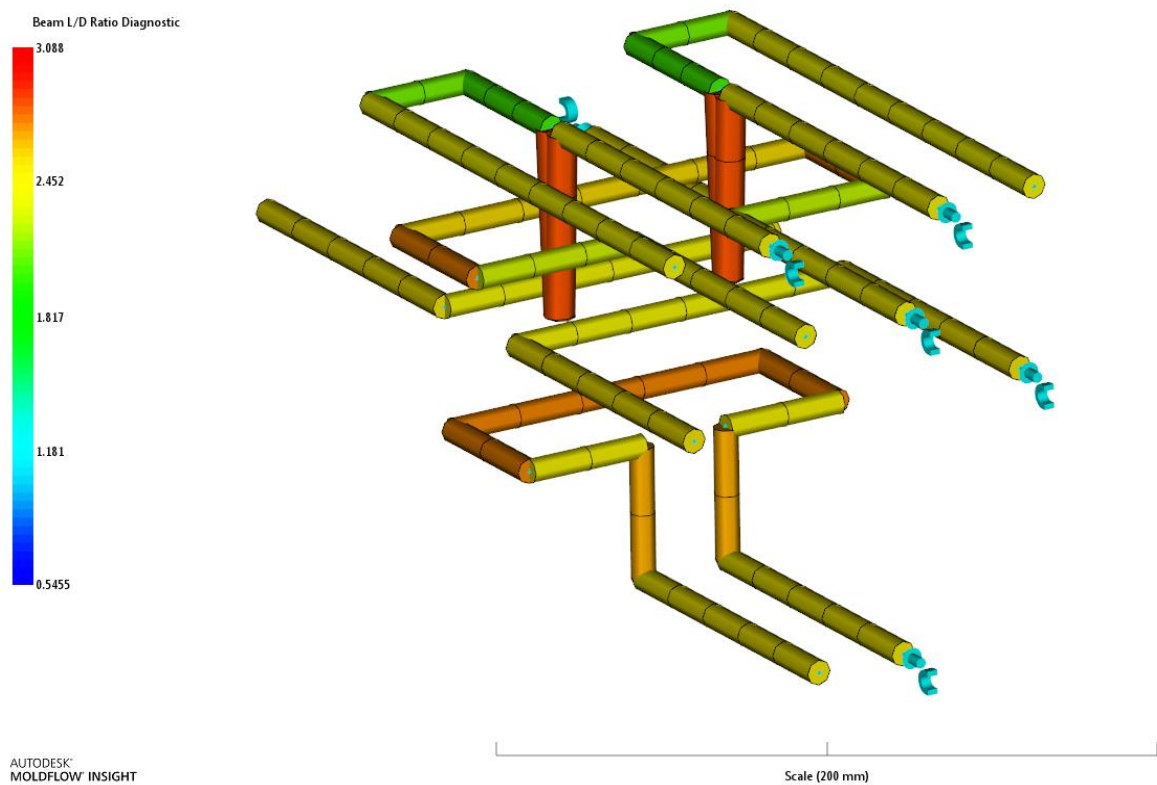
Název součásti	Geometrie	Rozměry [mm]
Studená vtoková vložka	Kužel	$\text{ØD} = 6$ $\text{Ød} = 3$ $L = 88$
Studený rozvodný kanál 1	Lichoběžník	$\text{Š} = 5$ - $V = 4$ - $L = 24$
Studený rozvodný kanál 2	Lichoběžník	$\text{Š} = 5$ - $V = 4$ - $L = 8$
Studený rozvodný kanál 3	Lichoběžník	$\text{Š} = 5$ - $V = 4$ - $L = 4$
Studené vtokové ústí	Komolý kužel	$\text{ØD} = 3$ $\text{Ød} = 0,5$ $L = 5$



Obr. 60. Analýza L/D vtokového systému

### 10.3 Temperační systém

Při návrhu temperačních okruhů se vycházelo z vytvořeného návrhu formy v programu Autodesk Inventor Professional 2014, hodnoty zadané do programu Autodesk Moldflow Synergy 2016 jsou reálné hodnoty, použité při zkušebním vstřikování. Chladicí medium je ve všech okruzích stejná a tím je voda, tlak 0,3 MPa a teplota 55 °C. Provedená diagnostika L/D Ratio ukázala, že temperační systém se pohybuje okolo hodnoty 2,5, což je nutné pro provedení analýzy.



Obr. 61. Analýza L/D temperačního systému

## 10.4 Volba materiálu

Materiál volen dle daného materiálového listu jako PA6 GF 30, což je Polyamid 6, plněný 30% skelnými vlákny. Materiál daný při návrhu formy nebyl v knihovně programu Autodesk Moldflow Synergy 2016 k nalezení, proto byl zvolen stejný materiál od jiného dodavatele a to od výrobce Nanjing Julong Science and Technology Co Ltd.

Tab. 5. Hodnoty zvoleného materiálu

Procesní parametry	Hodnota
Teplota taveniny	220 – 280 °C
Teplota formy	80 – 90 °C
Maximální smykové napětí	0,5 MPa
Maximální rychlost smykové deformace	60 000 s <sup>-1</sup>

## 10.5 Volba vstřikovacího stroje

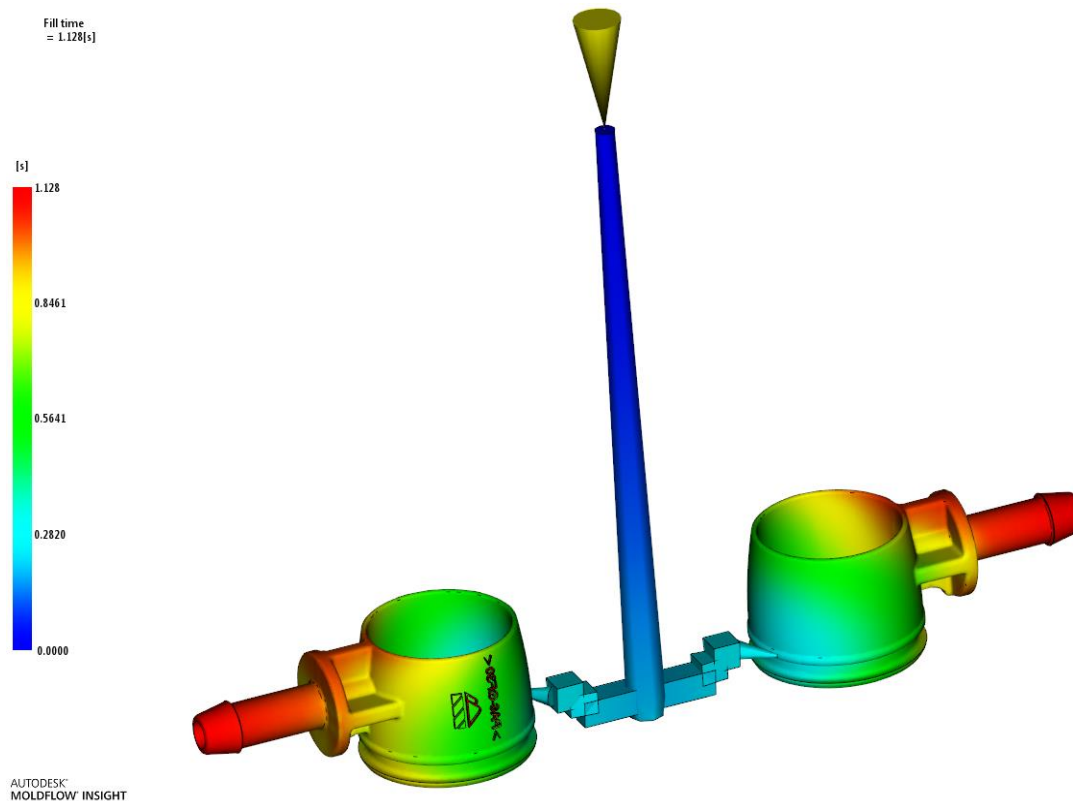
Jelikož daný vstřikovací stroj nebyl nalezen v nabídce programu Autodesk Moldflow Synergy, bylo nutné ho do programu zadat ručně.

Tab. 6. Parametry stroje

Parametry stroje	Zadaná hodnota
Maximální zdvih stroje	600 mm
Výkon stroje	99 cm <sup>3</sup> /s
Průměr šneku	18 mm
Maximální vstřikovací tlak	215 MPa
Maximální uzavírací síla	490 kN

## 10.6 Výsledky analýzy

### 10.6.1 Analýza plnění

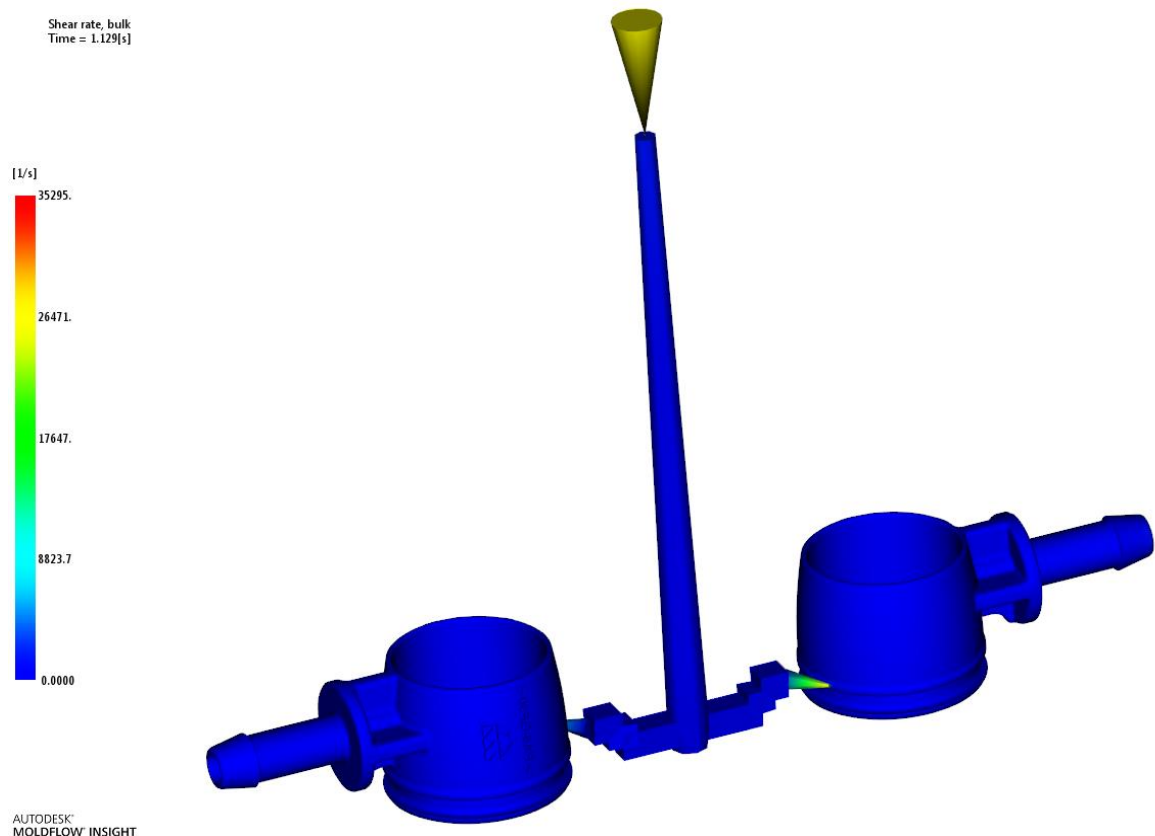


Obr. 62. Čas plnění

Analýza plnění je zobrazení doby potřebné pro naplnění celé dutiny formy. Z této analýzy lze určit, jestli byly parametry analýzy správně nastaveny a tím pádem dílec pokryl celou dutinu formy. Z výsledků lze vidět, že hodnoty na obou tvarech jsou stejné a nejsou vidět nedotečená místa. Celková doba vstřikování polymeru je 1,128 s.

### 10.6.2 Analýza smykové rychlosti

Tato analýza zobrazuje intenzitu smykového toku. Nejvyšší hodnota je v místě vtoku ve výrobku, ale nepřevyšuje dovolenou hodnotu  $60000 \text{ s}^{-1}$ , takže nejsou očekávány žádné problémy z reologického hlediska a není potřeba nápravných opatření. Pokud by došlo k překročení této hodnoty, mohly by nastat problémy s tokovým chováním taveniny a mohlo by tím pádem dojít ke změně kvality výrobku. Náprava by byla možná pomocí zvětšení průřezu vtokového ústí nebo snížením vstřikovacího tlaku.

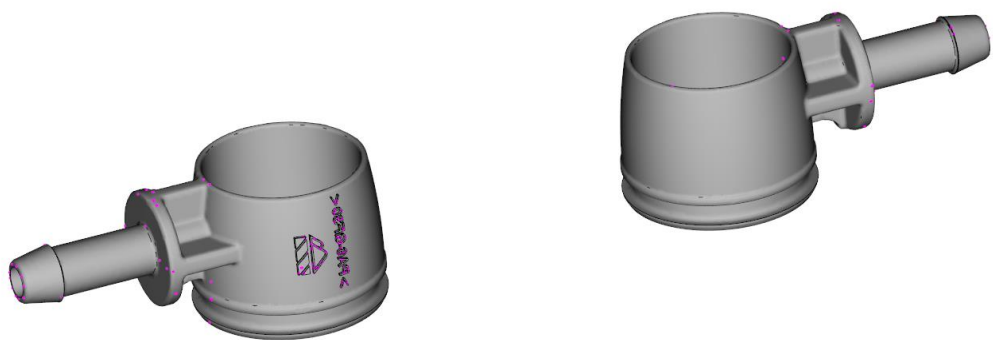


Obr. 63. Smyková rychlost

### 10.6.3 Vzduchové kapsy

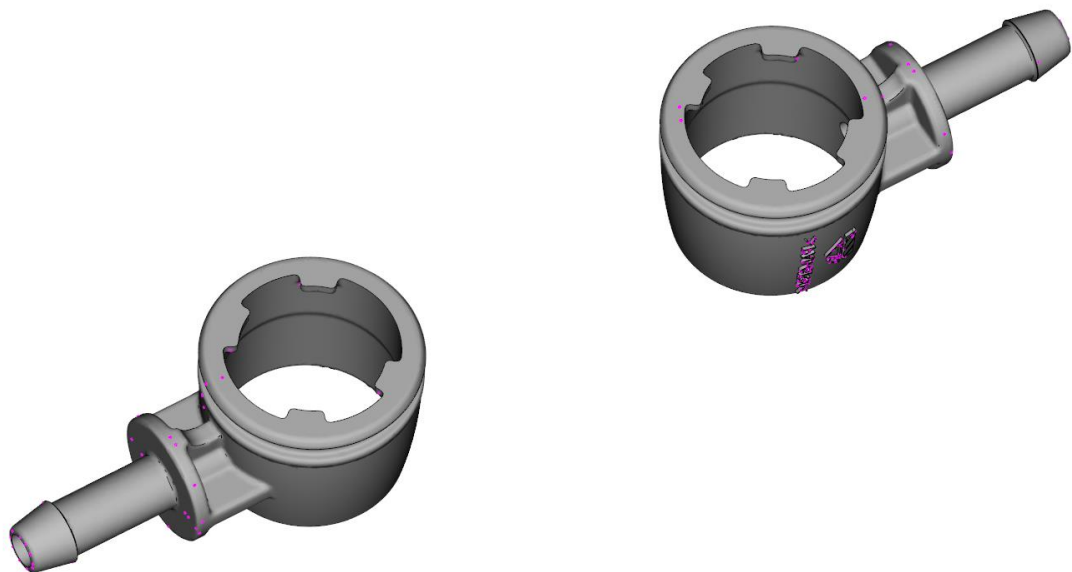
Vzduchové kapsy jsou především v místech popisu a na krajích výrobku. Ve vzduchových kapsách se hromadí vzduch, který může způsobit problémy s kvalitou výrobku. Možným řešením je vytvoření odvzdušnění, které tento vzduch odstraní, popřípadě úpravou vstřikovacího tlaku a vstřikovací rychlosti.

Air traps

AUTODESK  
MOLDFLOW INSIGHT

Obr. 64. Vzduchové kapsy

Air traps

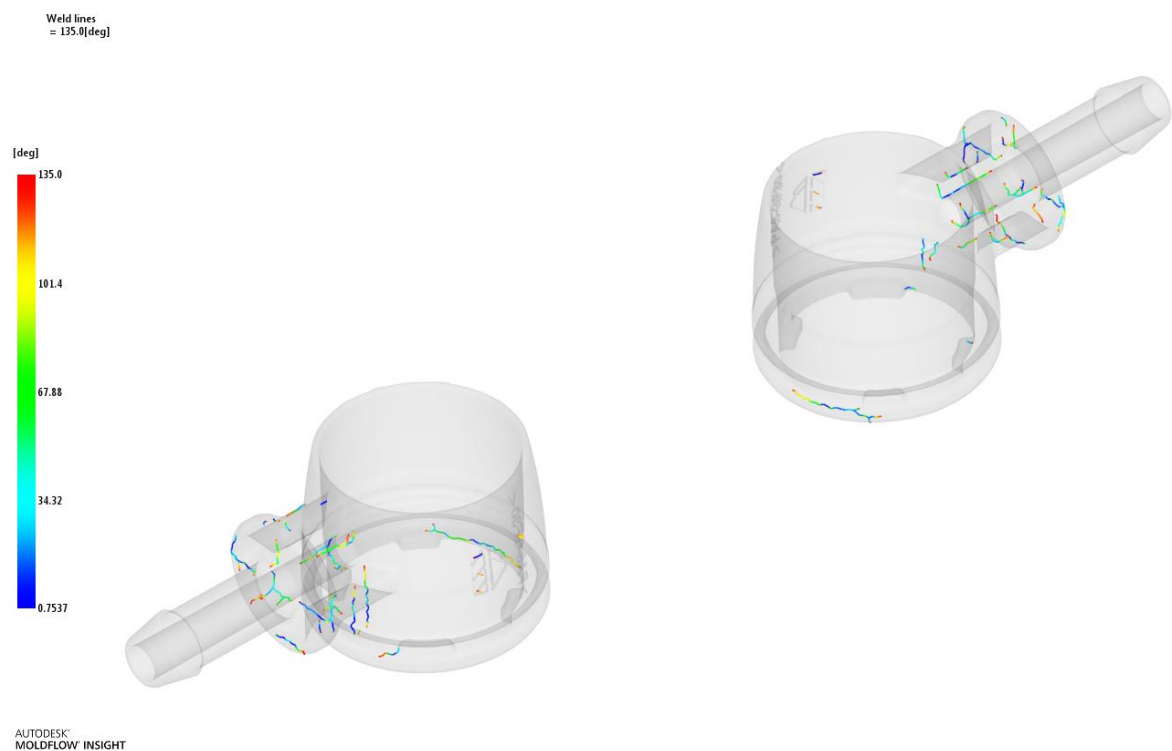
AUTODESK  
MOLDFLOW INSIGHT

Obr. 65. Vzduchové kapsy



### 10.6.4 Studené spoje

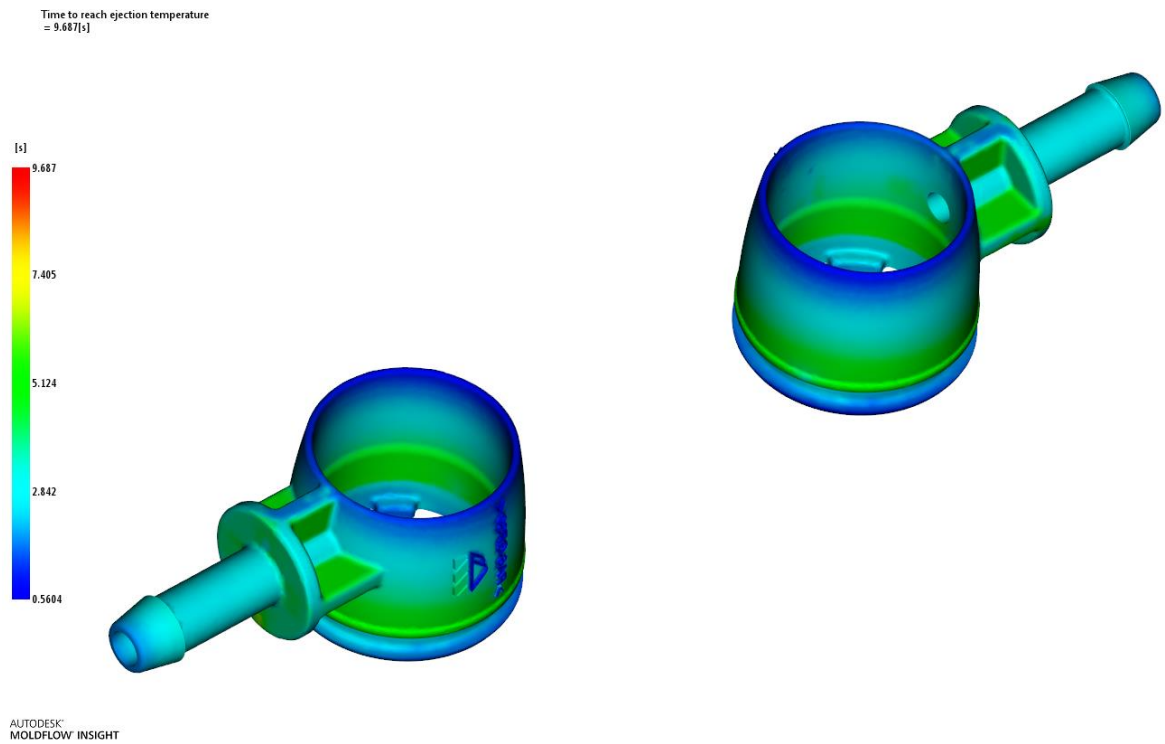
V místech studených spojů dochází u výrobku ke snížení mechanických vlastností a zhoršení jeho vzhledu. Vznik těchto spojů je především ve spojení dvou proudů taveniny do jednoho. Vliv na jejich viditelnost je možno snížit zvýšením teploty formy nebo zvýšením teploty taveniny.



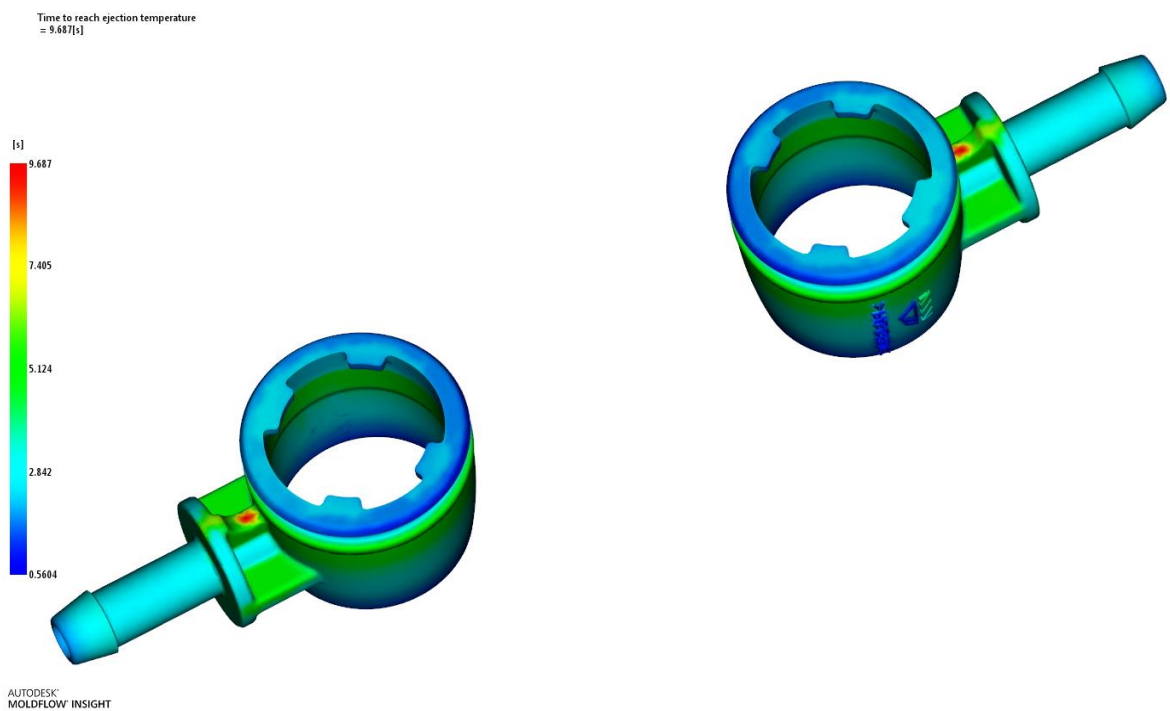
Obr. 66. Studené spoje

### 10.6.5 Čas dosažení vyhazovací teploty

Tato analýza určuje čas, potřebný pro dosažení optimální teploty pro vyhození výrobku z formy. V tomto případě bude této teploty dosaženo v čase  $t = 9,68$  s. Nejdále se budou ochlazovat místa, od kterých je chladicí okruh vzdálen nejdále.



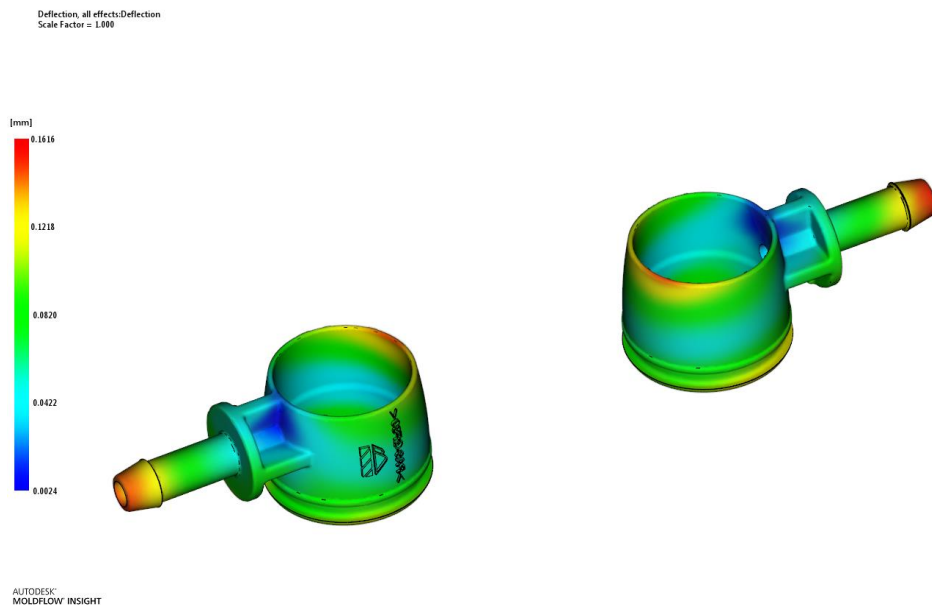
Obr. 67. Čas dosáhnutí vyhazovací teploty výrobku



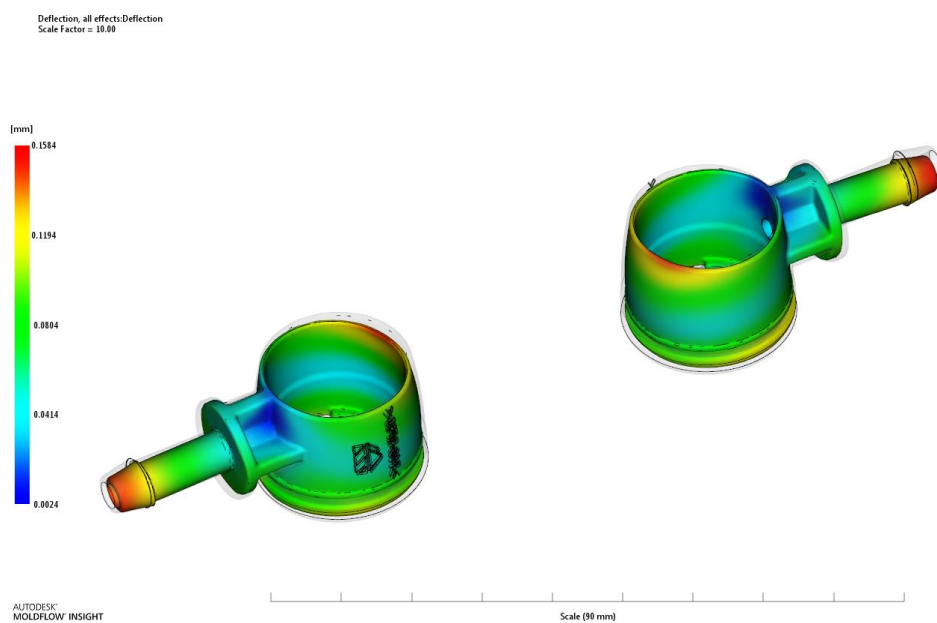
Obr. 68. Čas dosáhnutí vyhazovací teploty výrobku

### 10.6.6 Celková deformace

Dle této analýzy lze vidět velikost vzniklé deformace na výrobku, která je způsobena jak chlazením, tak i smrštěním materiálu. V tomto případě jsou hodnoty vzniklé deformace maximálně 0,16 mm. Snížením této hodnoty by bylo možné snížení teploty formy, lepším nastavením dotlakové fáze vzhledem k umístění vtokového systému a k místu smrštění nebo přenastavení procesních podmínek pro vstřikování.



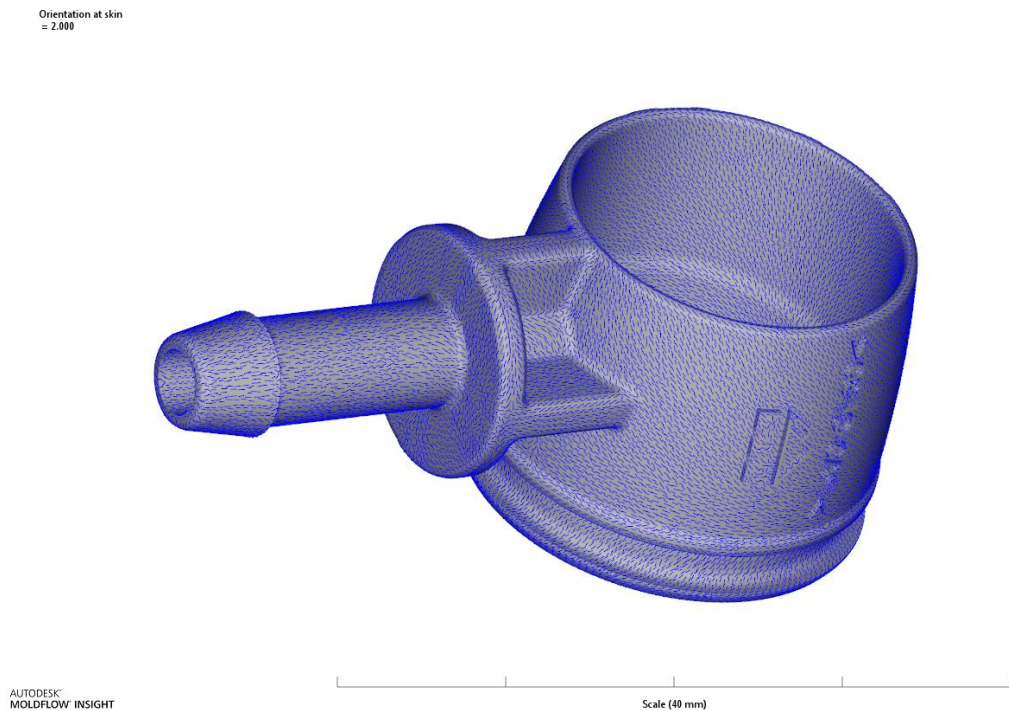
Obr. 69. Celková deformace výrobku



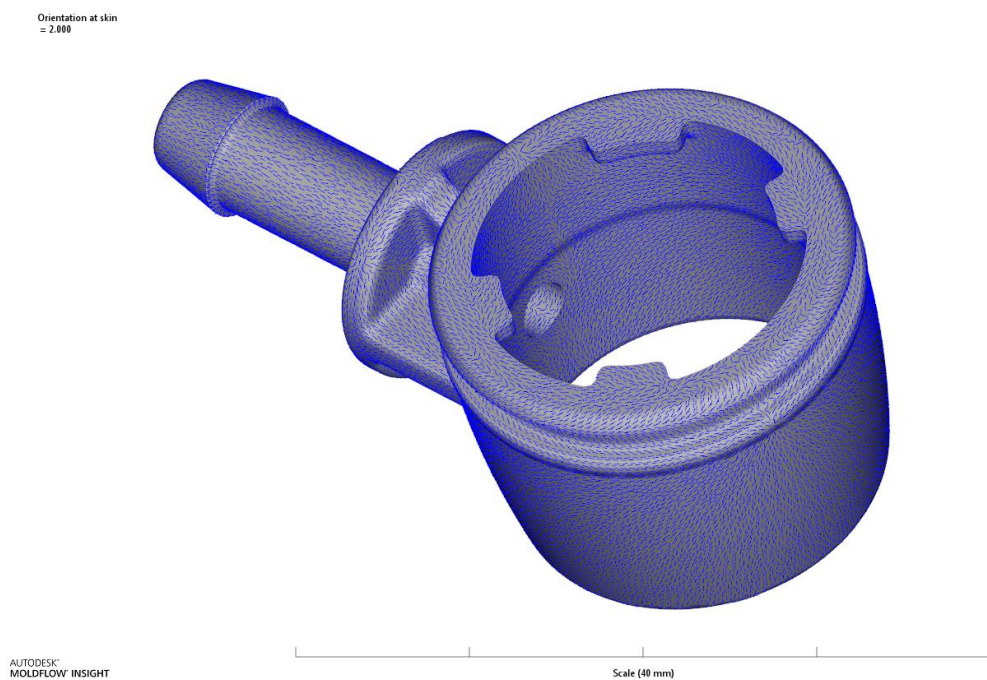
Obr. 70. Celková deformace výrobku v měřítku 10:1

### 10.6.7 Orientace vláken

Tato analýza ukazuje orientaci vláken jak na povrchu, tak i uvnitř výrobku. Orientace vláken je dána tokem polymeru i jeho následným tuhnutím a má velmi významný vliv na mechanické vlastnosti výrobku.

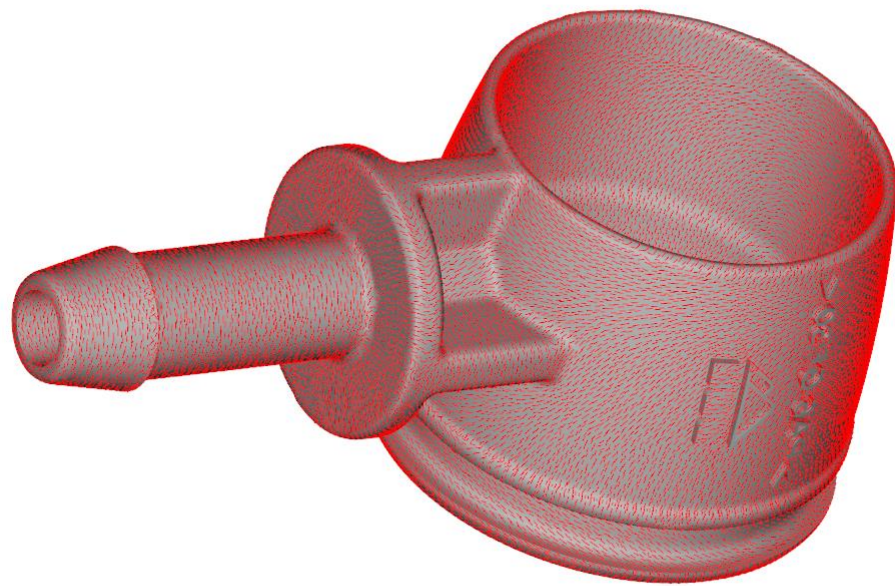


*Obr. 71. Orientace vláken na povrchu výrobku*



*Obr. 72. Orientace vláken na povrchu výrobku*

Orientation at core  
= 1.000

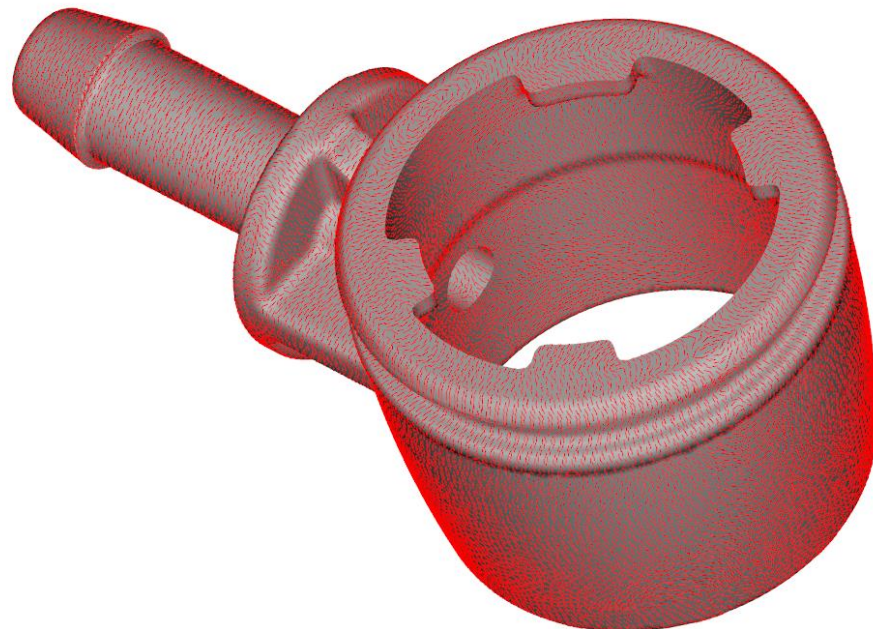


AUTODESK  
MOLDFLOW INSIGHT

Scale (40 mm)

*Obr. 73. Orientace vláken uvnitř výrobku*

Orientation at core  
= 1.000



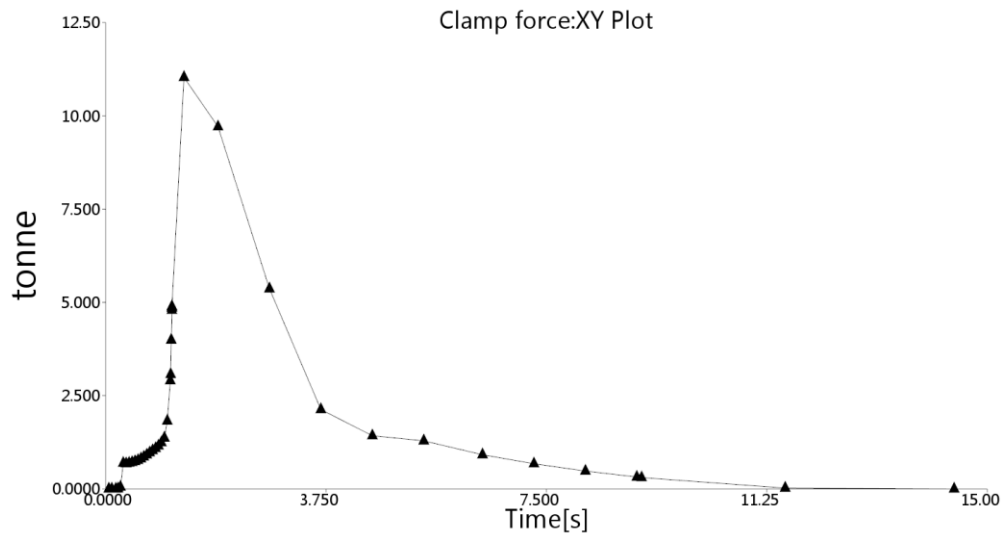
AUTODESK  
MOLDFLOW INSIGHT

Scale (40 mm)

*Obr. 74. Orientace vláken uvnitř výrobku*

### 10.6.8 Potřebná uzavírací síla stroje

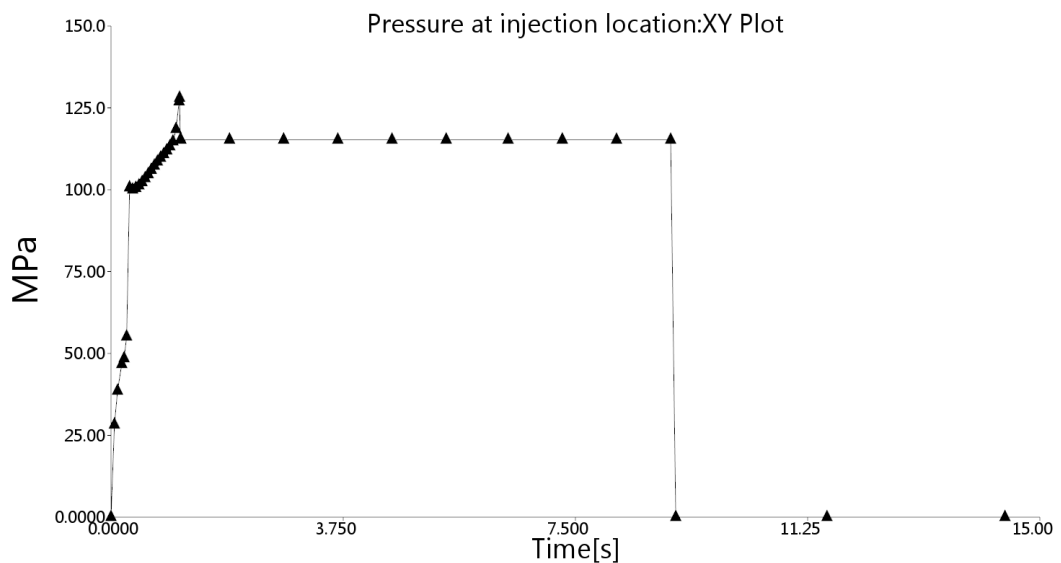
Analýza potřebné uzavírací síly vstřikovacího stroje ukazuje, že potřebná uzavírací síla je kolem 108 kN. Použitý stroj disponuje uzavírací silou až 490 kN, která nebyla překročena. Dle analýzy by bylo možné použít i vstřikovací stroj s menší uzavírací silou, ale je ponechán vstřikovací stroj dle zadání v návrhu konstrukce vstřikovací formy.



Obr. 75. Uzavírací síla stroje

### 10.6.9 Analýza tlaku taveniny ve vtokovém ústí

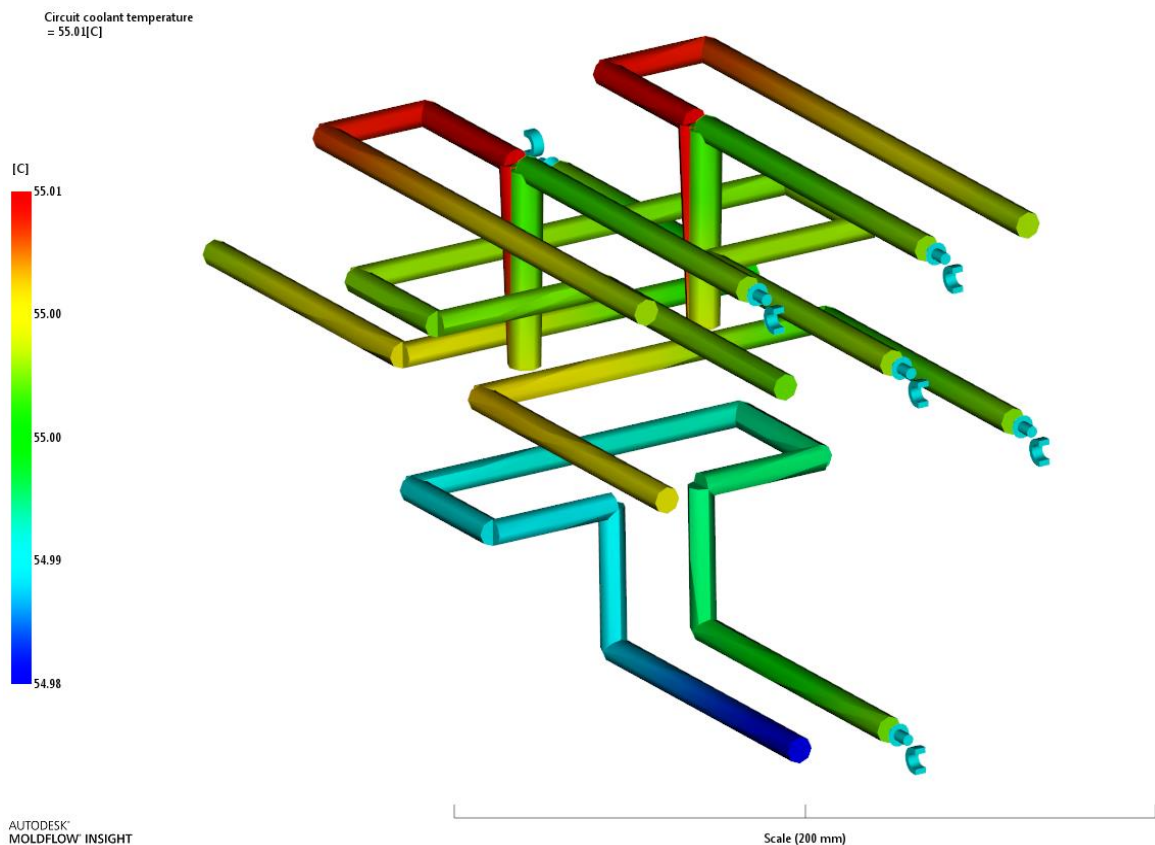
Největší hodnota tlaku je na konci plnění a při přechodu na fázi dotlaku, jeho maximální velikost je 128 MPa.



Obr. 76. Tlak taveniny ve vtokovém ústí

### 10.6.10 Analýza teploty v temperačním systému

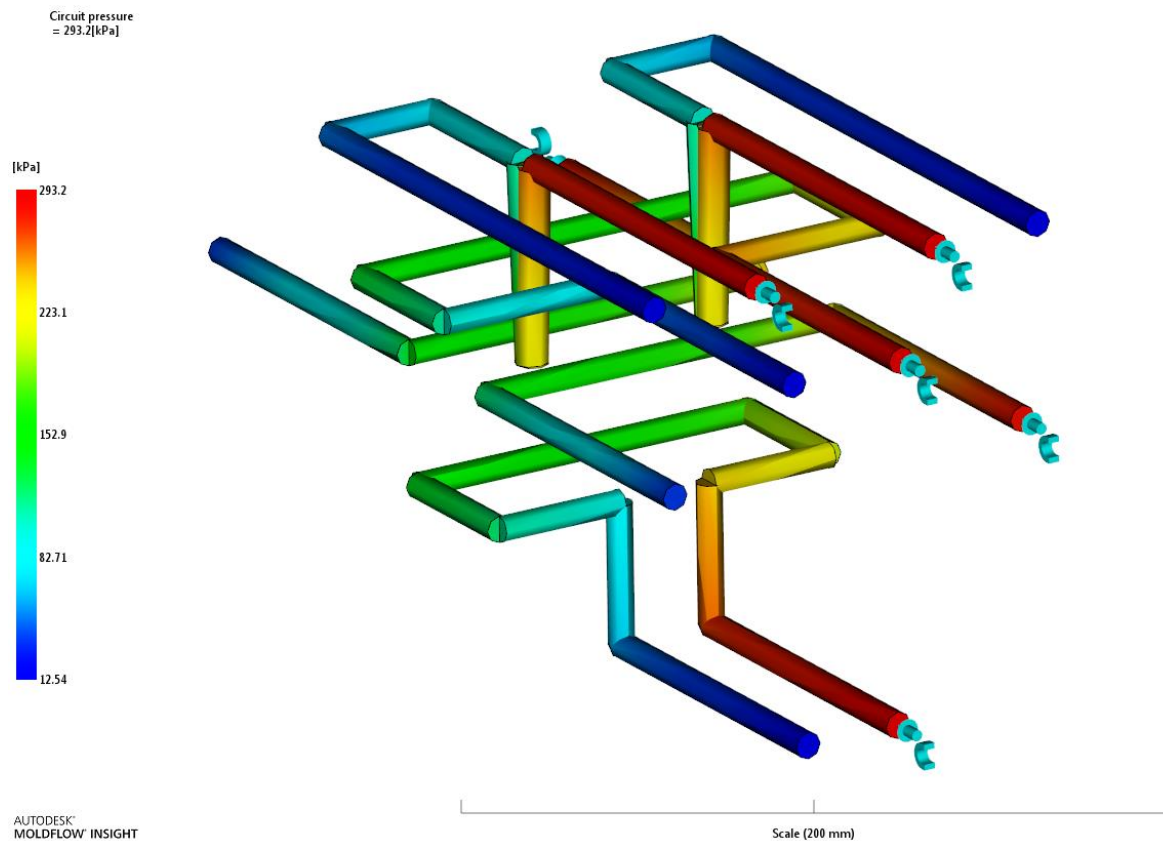
Tato analýza zobrazuje teploty temperačního média v temperačním systému formy. Rozdíl těchto teplot na vstupu a výstupu by nemělo překročit hodnotu 5 °C. Kdyby došlo k překročení této hodnoty, byla by špatná konstrukce temperačního systému. V tomto případě rozdíl teplot nepřekračuje hodnotu 5 °C, tím pádem navržený temperační systém vyhovuje.



Obr. 77. Teploty v temperačním systému

### 10.6.11 Analýza tlaku v temperačním systému

Tato analýza zobrazuje, jakým způsobem se mění tlak uvnitř temperačního systému. Na vstupu je největší a postupem k výstupu se zmenšuje. Důvodem je rostoucí délka temperačního okruhu. Kdyby došlo k tomu, že by tlak v některých místech temperačního systému ukazoval nulovou hodnotu, znamenalo by to, že se temperační médium v daném okruhu nepohybuje a celý návrh by byl chybný. V tomto případě nikde nedochází k nulovému poklesu tlaku a tím pádem temperační systém vyhovuje.

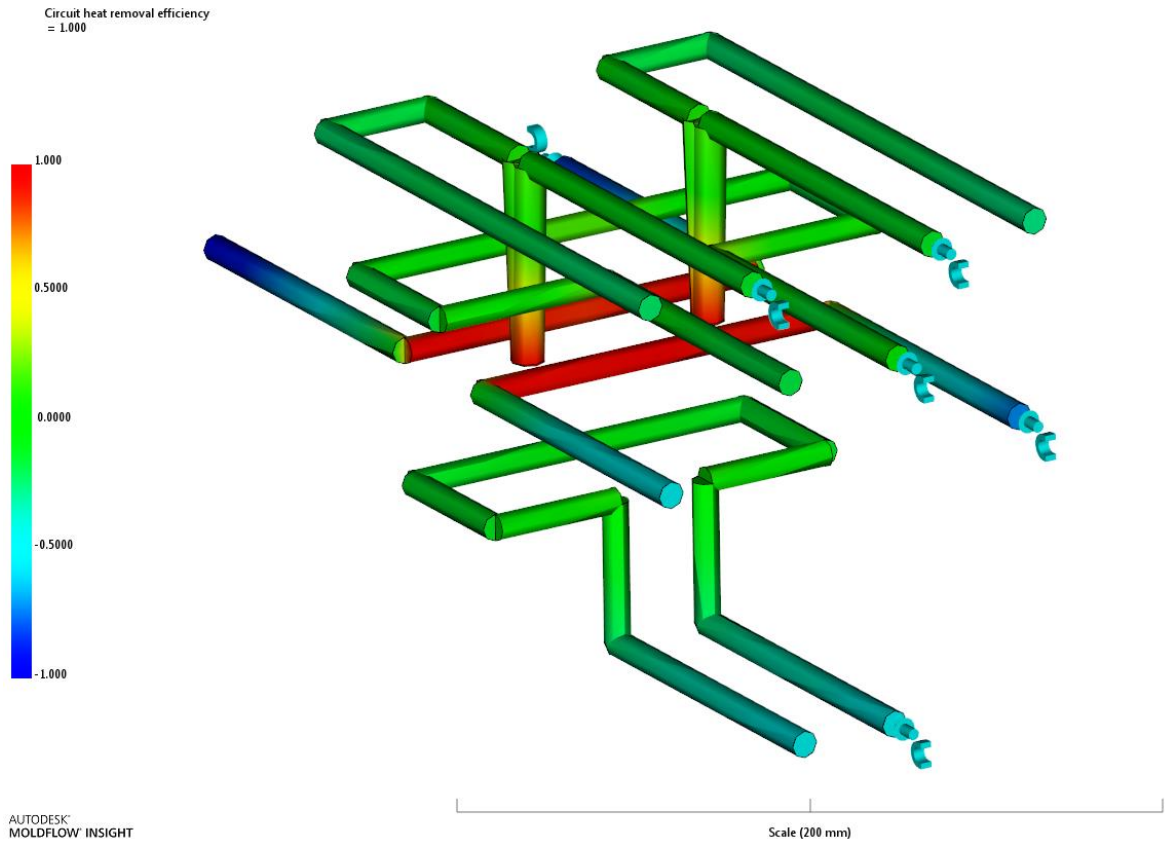


Obr. 78. Tlak v temperačním systému

### 10.6.12 Analýza účinnosti odvodu tepla

Analýza účinnosti odvodu tepla zobrazuje využití jednotlivých částí temperačního systému. Z výsledků lze pozorovat, že nejúčinněji odebírá teplo okruh, umístěný v bočních posuvných čelistech a pak také okruh, chladící tvarové jádra vstřikovací formy. V některých částech chladícího systému je možné vidět, že se dostává do záporných hodnot, což znamená, že temperační okruh neodebírání žádné teplo, ale naopak v těchto místech teplo dodává. Jedná se ale o vstupy a výstupy temperačního okruhu, nezbytných pro přivedení temperačního média k tvaru vstřikovací formy. Navržený okruh je tudíž v pořádku.

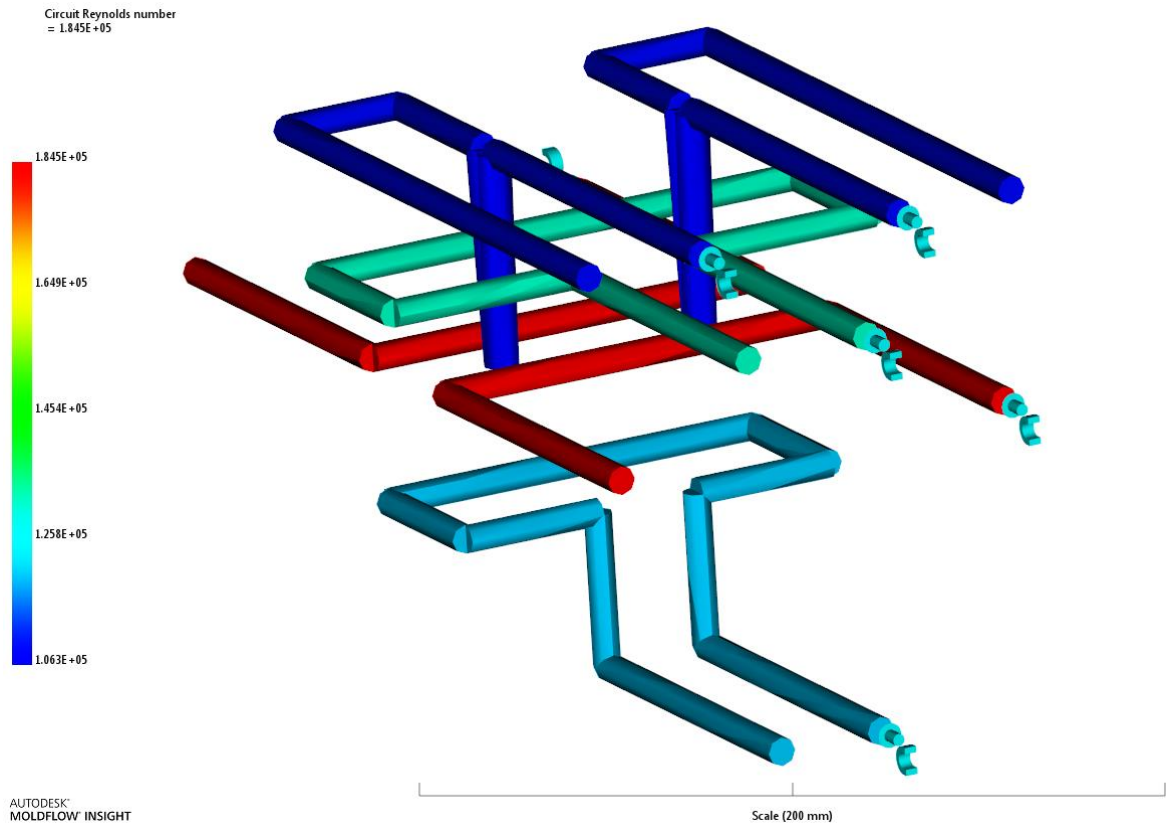




Obr. 79. Účinnost odvodu tepla

### 10.6.13 Analýza Reynoldsova čísla

Tato analýza má prokázat, že se pro správný odvod tepla z formy nachází v oblasti turbulentního proudění. To znamená, aby bylo Reynoldsovo číslo větší než hodnota 10 000. Čím vyšší je toto číslo, tím jsou podmínky pro odvod tepla v temperačním systému lepší. V tomto případě je tato podmínka splněna, v celém systému je toto číslo vyšší. Nejvyšší hodnoty jsou v místech bočních posuvných čelistí, nejmenší v okruhu s chlazením tvarových vložek. Pokud by byla hodnota menší než hodnota  $Re = 10\,000$ , musel by se zvýšit tlak v daném temperačním okruhu.



Obr. 80. Reynoldsovo číslo

## ZÁVĚR

Diplomová práce naplnila požadavky dle zadání. V teoretické části této diplomové práce je shrnuto základní rozdělení polymerů, je zde popsán vstřikovací cyklus a vstřikovací stroj. Dále je v teoretické části shrnut popis vstřikovací formy, rozdělení vtokového systému, druhy vyhazování výlisků z dutiny formy, popis temperování forem, odvzdušnění forem a popis komponent, používaných u vstřikovacích forem.

Praktická část se zabývá přímo konstrukcí vstřikovací formy dle reálného modelu, určeného jako část chlazení pro vrtací stroje. Dán je kromě modelu výrobku také reálně používaný vstřikovací stroj a materiál od italského výrobce. Celá forma byla reálně vyráběna dle konstrukčního návrhu, vytvořeného v programu Autodesk Inventor Professional 2014, použitého v této diplomové práci a dodatečně byla vytvořena analýza v programu Autodesk Moldflow Synergy 2016.

Analýza plnění zde dopadla v pořádku, celá dutina bez větších problémů dotekla v čase 1,13 s. Dle analýzy smykové rychlosti je také vše v pořádku, jelikož hodnoty nepřevyšují maximální dovolenou hodnotu, zjištěnou dle použitého materiálu. Při zjištění míst vzniku vzduchových kapes je výsledek ten, že by bylo vhodné provést v návrhu formy odvzdušnění. Jde především o krajní místa a o popis výrobku. Při reálném návrhu jsou tyto výrobky mezi bočními posuvnými čelistmi a celkový návrh odvzdušnění bude k dispozici až po odzkoušení vstřikovací formy a následným navrhnutým úpravám od zákazníka. Dále je provedena analýza na studené spoje, které vznikají hlavně kvůli spojení dvou proudů materiálu, čímž je zčásti zabráněno navrženým tunelovým vtokem umístěným na výrobku tak, aby tyto spoje byly co nejmenší. Dosažení vyhazovací teploty dle analýzy je 9,68 s. Celkové deformace výrobku jsou minimální a jsou v toleranci.

Dle navrženého vstřikovacího stroje byla také provedena analýza, zda není potřeba větší uzavírací síly, než jaké je stroj schopen. Tento výsledek je daleko nižší, než jakou uzavírací silou disponuje zadaný vstřikovací stroj.

Poslední analýzou je analýza temperačního systému formy. Temperační médium, v tomto případě voda, účinně odvádí teplo z formy, dosaženo je požadovaného turbulentního proudění uvnitř temperačního systému, rozdíl teplot v temperačním systému je minimální. Celkový výsledek temperace je ten, že navržené temperační okruhy jsou navrženy v pořádku.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] STANĚK, Michal. Přednášky z Konstrukce forem. FT UTB ve Zlíně. 2015
- [2] Rozdělení a charakteristika polymerů [online]. [cit. 2016-01-27]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/04.html>
- [3] *Polymery amorfni a semikrystalické z hlediska vstřikování* [online]. 2012 [cit. 2016-01-27]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/polymery-amorfni-a-semikrystalicke-z-hlediska-vstrikovani.html>
- [4] *Speciální technologie vstřikování plastů* [online]. [cit. 2016-01-27]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/04.html>
- [5] *Vstřikování plastů* [online]. [cit. 2016-01-27]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/04.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm)
- [6] *Vstřikovací stroj* [online]. [cit. 2016-01-27]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/01.html>
- [7] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů: vstřikování termoplastů*. 2. opr. vyd. Brno: Uniplast, 1999, 133 s.
- [8] *Technologie vstřikování plastů* [online]. [cit. 2016-01-27]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/03.html>
- [9] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006, 278 s. ISBN 80-708-0617-6.
- [10] *Vstřikovací formy* [online]. [cit. 2016-01-27]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni\\_soubory/htn\\_tvareci\\_nastroje\\_vstrikovaci\\_formy\\_\\_zak.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni_soubory/htn_tvareci_nastroje_vstrikovaci_formy__zak.pdf)
- [11] *Vtoková soustava* [online]. [cit. 2016-01-27]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud\\_materialy/tzn/c8/Vs.pdf](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c8/Vs.pdf)
- [12] *Studené a živé vtokové systémy* [online]. [cit. 2016-01-27]. Dostupné z: [https://www.kks.zcu.cz/projekty-ver-fin/OPVK\\_PU/KA\\_05\\_publicace/KA05\\_Studene\\_a\\_zive\\_vtokove\\_systemy.pdf](https://www.kks.zcu.cz/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publicace/KA05_Studene_a_zive_vtokove_systemy.pdf)

- [13] *Horké vtoky* [online]. [cit. 2016-01-27]. Dostupné z: [https://www.kks.zcu.cz/projekty-ver-fin/OPVK\\_PU/KA\\_05\\_publikace/KA05\\_Horke\\_vtoky.pdf](https://www.kks.zcu.cz/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Horke_vtoky.pdf)
- [14] *Vyhazovací sestava a vyhazovače* [online]. [cit. 2016-01-27]. Dostupné z: [https://www.kks.zcu.cz/projekty-ver-fin/OPVK\\_PU/KA\\_05\\_publikace/KA05\\_Vyhazovaci\\_sestava\\_a\\_vyhazovace.pdf](https://www.kks.zcu.cz/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Vyhazovaci_sestava_a_vyhazovace.pdf)
- [15] *Vyhazovací systém* [online]. [cit. 2016-01-27]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/07.html>
- [16] *Temperace vstřikovacích forem* [online]. [cit. 2016-01-27]. Dostupné z: [https://www.kks.zcu.cz/projekty-ver-fin/OPVK\\_PU/KA\\_05\\_publikace/KA05\\_Temperace\\_vstrikovacich\\_forem.pdf](https://www.kks.zcu.cz/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Temperace_vstrikovacich_forem.pdf)
- [17] *Odvzdušnění dutiny vstřikovací formy* [online]. [cit. 2016-01-27]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/11.html>
- [18] *Odvzdušnění* [online]. [cit. 2016-01-27]. Dostupné z: [https://www.kks.zcu.cz/projekty-ver-fin/OPVK\\_PU/KA\\_05\\_publikace/KA05\\_Odvzdusneni.pdf](https://www.kks.zcu.cz/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Odvzdusneni.pdf)
- [19] *Kinematické elementy* [online]. [cit. 2016-01-27]. Dostupné z: [https://www.kks.zcu.cz/projekty-ver-fin/OPVK\\_PU/KA\\_05\\_publikace/KA05\\_Kinematicke\\_elementy.pdf](https://www.kks.zcu.cz/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Kinematicke_elementy.pdf)
- [20] *Rámy vstřikovacích forem* [online]. [cit. 2016-01-27]. Dostupné z: [https://www.kks.zcu.cz/projekty-ver-fin/OPVK\\_PU/KA\\_05\\_publikace/KA05\\_Ramy\\_vstrikovacich\\_forem.pdf](https://www.kks.zcu.cz/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Ramy_vstrikovacich_forem.pdf)
- [21] *Návrh a výběr desek vstřikovací formy* [online]. [cit. 2016-01-27]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/06.html>
- [22] *Poliblend SpA* [online]. [cit. 2016-04-30]. Dostupné z: <http://cz.kompass.com/c/poliblend-spa/it0298460/>
- [23] *Secomid B 30 GF* [online]. [cit. 2016-04-30]. Dostupné z: <http://plastics.ulprospector.com/datasheet/e280733/secomid-b-30-gf>

- [24] *Engel 50t* [online]. [cit. 2016-04-30]. Dostupné z:  
<https://www.engelglobal.com/de/at/news-presse/news-pressemitteilungen/detail/news/detail/News/willkommen-bei-engel-auf-der-fakuma-2014.html>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

ABS		akrylonitrillbutadienstyren
C		uhlík
Cl		chlor
ØD	[mm]	průměr
Ød	[mm]	malý průměr
H		vodík
L	[mm]	délka
O		kyslík
N		dusík
p	[MPa]	vstřikovací tlak
PA		polyamid
PBT		polybutylentereftalát
PE		polyetylen
PC		polykarbonát
PMMA		polymethylmetakrylát
POM		polyoxymetylen
PP		polypropylen
PS		polystyren
R	[mm]	poloměr
Re	[-]	Reynoldsovo číslo
SB		styren-butadien
SAN		styrenakrylnitrin
Š	[mm]	šířka vtokového kanálu
T	[°C]	teplota taveniny

---

t	[s]	čas
T <sub>g</sub>	[°C]	teplota skelného přechodu
T <sub>m</sub>	[°C]	teplota tání
t <sub>d</sub>	[s]	doba dotlaku
t <sub>ch</sub>	[s]	doba chlazení
t <sub>m</sub>	[s]	doba manipulace
t <sub>pl</sub>	[s]	doba plastikace
t <sub>s1</sub>	[s]	čas zavření formy
t <sub>s2</sub>	[s]	čas potřebný na uzamknutí formy
t <sub>s3</sub>	[s]	čas otevření formy
t <sub>tav</sub>	[s]	teplota taveniny
t <sub>v</sub>	[s]	doba plnění dutiny formy
V	[mm]	výška vtokového kanálu
v	[cm <sup>3</sup> /g]	měrný objem



## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Dělení polymerů [2]</i> .....	12
<i>Obr. 2. Výstřiky z amorfních termoplastů [3]</i> .....	13
<i>Obr. 3. Semikrystalické termoplasty [3]</i> .....	14
<i>Obr. 5. Průběh vnitřního tlaku během vstřikování [5]</i> .....	17
<i>Obr. 4. Vstřikovací cyklus [5]</i> .....	18
<i>Obr. 6. Příklad diagramu <math>p - v - T</math> pro amorfní termoplast [8]</i> .....	19
<i>Obr. 7. Příklad diagramu <math>p - v - T</math> pro semikrystalický termoplast [8]</i> .....	19
<i>Obr. 8. Schéma vstřikovacího stroje se šnekovou plastikací [6]</i> .....	20
<i>Obr. 9. Řez vstřikovací jednotkou [5]</i> .....	22
<i>Obr. 10. Schéma uzavírací jednotky [5]</i> .....	22
<i>Obr. 11. Nejčastější způsoby řešení ústí vtoku [11]</i> .....	24
<i>Obr. 12. Obvyklé průřezy rozváděcích kanálů [11]</i> .....	24
<i>Obr. 13. Studený vtokový systém [12]</i> .....	25
<i>Obr. 14. Vyhřívání vtok s jehlou [13]</i> .....	26
<i>Obr. 15. Popis činného vyhazovacího paketu [14]</i> .....	29
<i>Obr. 16. Válcové vyhazovače [14]</i> .....	30
<i>Obr. 17. Trubkový vyhazovač [14]</i> .....	30
<i>Obr. 18. Ploché vyhazovače [14]</i> .....	30
<i>Obr. 19. Válcový vyhazovač s pojištěním proti pootočení [14]</i> .....	31
<i>Obr. 20. Princip funkce stírací desky [15]</i> .....	32
<i>Obr. 21. Šikmé vyhazovače</i> .....	33
<i>Obr. 22. Vyhození studeného vtoku [14]</i> .....	33
<i>Obr. 23. Vyhození výrobku [14]</i> .....	33
<i>Obr. 24. Popis posuvné čelisti [19]</i> .....	34
<i>Obr. 25. Vůle mezi kolíkem a posuvnou čelistí [19]</i> .....	35
<i>Obr. 26. Hydraulicky ovládaná posuvná čelist [18]</i> .....	36
<i>Obr. 27. Izolační desky na formě [16]</i> .....	37
<i>Obr. 28. Příklady jednoduchých temperačních kanálů v desce [16]</i> .....	38
<i>Obr. 29. Rám formy [20]</i> .....	39
<i>Obr. 30. Vyhazovač mezi deskami [20]</i> .....	42
<i>Obr. 31. CAD model výrobku</i> .....	47

<i>Obr. 32. Vstřikovací lis Engel 50t [23]</i> .....	48
<i>Obr. 33. Tvárník</i> .....	50
<i>Obr. 34. Boční posuvná čelist s tvarem</i> .....	50
<i>Obr. 35. Forma</i> .....	51
<i>Obr. 36. Pevná část formy</i> .....	52
<i>Obr. 37. Pohyblivá část formy</i> .....	53
<i>Obr. 38. Vyhazovací paket – pohled na kotevní desku</i> .....	54
<i>Obr. 39. Vyhazovací paket – pohled na opěrnou desku</i> .....	55
<i>Obr. 40. Rozpěrné desky</i> .....	56
<i>Obr. 41. Vhodnost polohy vtoku</i> .....	56
<i>Obr. 42. Volba tunelového vtoku</i> .....	57
<i>Obr. 43. Řez vtokovým systémem</i> .....	57
<i>Obr. 44. Temperační systém na formě</i> .....	58
<i>Obr. 45. První temperační okruh</i> .....	58
<i>Obr. 46. Druhý a třetí temperační okruh</i> .....	59
<i>Obr. 47. Čtvrtý a pátý temperační okruh</i> .....	59
<i>Obr. 48. Šestý temperační okruh</i> .....	60
<i>Obr. 49. Boční posuvné čelisti před hloubením</i> .....	62
<i>Obr. 50. Elektrody pro tvar na bočních posuvných čelistech</i> .....	62
<i>Obr. 51. Hloubení tunelových vtoků bočních posuvných čelisti</i> .....	63
<i>Obr. 52. Tvarové vložky (vpravo před a vlevo po vyhloubení tvaru)</i> .....	63
<i>Obr. 53. Pohled na vyhazovací paket při montáži</i> .....	64
<i>Obr. 54. Pevná a posuvná část formy při montáži</i> .....	64
<i>Obr. 55. Reálná podoba formy</i> .....	65
<i>Obr. 56. Zkušební výstřik</i> .....	65
<i>Obr. 57. Statistika sítě</i> .....	66
<i>Obr. 58. Model výrobků s upravenou sítí</i> .....	67
<i>Obr. 59. Model výrobků s upravenou sítí</i> .....	67
<i>Obr. 60. Analýza L/D vtokového systému</i> .....	68
<i>Obr. 61. Analýza L/D temperačního systému</i> .....	69
<i>Obr. 62. Čas plnění</i> .....	70
<i>Obr. 63. Smyková rychlost</i> .....	71
<i>Obr. 64. Vzduchové kapsy</i> .....	72

---

<i>Obr. 65. Vzduchové kapsy.....</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 66. Studené spoje.....</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 67. Čas dosáhnutí vyhazovací teploty výrobku.....</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 68. Čas dosáhnutí vyhazovací teploty výrobku.....</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 69. Celková deformace výrobku.....</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 70. Celková deformace výrobku v měřítku 10:1.....</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 71. Orientace vláken na povrchu výrobku.....</i>	<i>76</i>
<i>Obr. 72. Orientace vláken na povrchu výrobku.....</i>	<i>76</i>
<i>Obr. 73. Orientace vláken uvnitř výrobku.....</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 74. Orientace vláken uvnitř výrobku.....</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 75. Uzavírací síla stroje.....</i>	<i>78</i>
<i>Obr. 76. Tlak taveniny ve vtokovém ústí.....</i>	<i>78</i>
<i>Obr. 77. Teploty v temperačním systému.....</i>	<i>79</i>
<i>Obr. 78. Tlak v temperačním systému.....</i>	<i>80</i>
<i>Obr. 79. Účinnost odvodu tepla.....</i>	<i>81</i>
<i>Obr. 80. Reynoldsovo číslo.....</i>	<i>82</i>

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1. Aktivní temperační prostředky [10]</i> .....	37
<i>Tab. 2. Vybrané typy materiálů používaných při konstrukci vstřikovacích forem [21]</i> .....	40
<i>Tab. 3. Materiálový list [22]</i> .....	47
<i>Tab. 4. Rozměry a geometrie vtokového systému</i> .....	68
<i>Tab. 5. Hodnoty zvoleného materiálu</i> .....	69
<i>Tab. 6. Parametry stroje</i> .....	70

## SEZNAM PŘÍLOH

- PI Kusovník
- PII Sestava formy
- PIII Pevná strana formy
- PIV Pohyblivá strana formy