

# Konstrukční návrh vstřikovací formy

Bc. Jan Šimara

---

Diplomová práce  
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství  
akademický rok: 2010/2011

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan ŠIMARA**  
Osobní číslo: **T09704**  
Studijní program: **N 3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**  
Téma práce: **Konstrukční návrh vstříkovací formy**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na dané téma.
2. Připravte 3D model plastového dílu.
3. Proveďte konstrukci vstříkovací formy pro zadaný díl.
4. Ověřte návrh pomocí analýz.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

**dle zadání vedoucího DP**

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Michal Staněk, Ph.D.**  
Ústav výrobního inženýrství

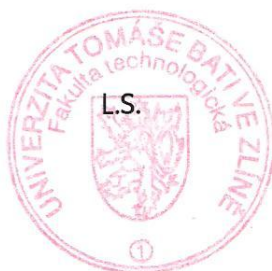
Datum zadání diplomové práce: **14. února 2011**

Termín odevzdání diplomové práce: **13. května 2011**

Ve Zlíně dne 6. ledna 2011



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.  
*děkan*



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.  
*ředitel ústavu*

Příjmení a jméno: .....

Obor: .....

## 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 .....

.....

---

<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 vzdělávacímu 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**

Diplomová práce se věnuje konstrukci vstřikovací formy, která je navržena pro výrobu plastových dílů. Konečný produkt je nástavec na holicí strojek.

V teoretické části je popsán princip vstřikování, materiál pro vstřikování a také se zde zabýváme materiály, z nichž se formy konstruuji.

V praktické části byly navrženy dvě vstřikovací formy. V programu CATIA V5R18 zhotoven 3D model výrobku a dvě vstřikovací formy. Jedna konstrukce je řešena se studeným vtokovým systémem a druhá s horkým vtokovým systémem. Na obou formách jsou provedeny tokové analýzy v programu Autodesk Moldflow Insight 2011. V těchto analýzách jsou zobrazeny procesní parametry a případné vady. Na závěr provedeme ekonomické porovnání.

Klíčová slova: vstřikovací forma, studený vtokový systém, horký vtokový systém, tokové analýzy.

## **ABSTRACT**

The master thesis is concerned the injection mold construction which is designed for a plastic part production. The final product is the shaver attachment.

In the theoretical part is explained the injection molding principle and the material description for a plastic product as well as for a metal mold.

In the practical part are performed two injection mold constructions. It was designed the 3D model of the product and each injection mold in CATIA V5R18. The first one is designed within the cold runner system besides the second one is constructed within the hot runner system. The flow analyses were performed for each mold in the Autodesk Moldflow Insight 2011. Resultant process parameters and possible errors are showed inside the analyses data. Finally the financial options and solutions were calculated as ending notes of the practical part.

Keywords: injection molding, cold runner system, hot runner system, flow analysis

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce panu Ing. Michalu Staňkovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a ochotu v průběhu celé diplomové práce.

### **Čestné prohlášení**

Čestně prohlašuji, že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, jak je uvedené na základě licenční smlouvy, budu uvedený jako spoluautor.

Ve Zlíně

.....

Podpis diplomanta

## OBSAH

<b>ÚVOD .....</b>	<b>11</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>12</b>
<b>1 POLYMERY PRO VSTŘIKOVÁNÍ.....</b>	<b>13</b>
1.1 PLASTY .....	14
1.1.1 Termoplasty.....	14
1.1.2 Reaktoplasty.....	15
1.2 ELASTOMERY .....	15
1.2.1 Termoplastické elastomery .....	16
<b>2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ.....</b>	<b>17</b>
2.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS.....	17
<b>3 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....</b>	<b>21</b>
3.1 TYPY VSTŘIKOVACÍCH STROJŮ.....	21
3.1.1 Šneková plastikační jednotka.....	22
3.2 VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKA.....	24
3.3 UZAVÍRACÍ JEDNOTKA.....	25
3.4 OVLÁDÁNÍ A ŘÍZENÍ VSTŘIKOVACÍHO STROJE.....	26
<b>4 FORMA .....</b>	<b>27</b>
4.1 ČÁSTI FORMY.....	28
4.2 VTOKOVÉ KANÁLY .....	29
4.2.1 Studený vtokový systém .....	29
4.2.2 Horký vtokový systém.....	33
4.3 TEMPERAČNÍ KANÁLY .....	33
<b>5 MATERIÁLY POUŽÍVANÉ PŘI VÝROBĚ FOREM .....</b>	<b>35</b>
5.1 OCELI NA FORMY .....	35
5.1.1 Požadované vlastnosti ocelí .....	35
5.1.2 Konstrukční oceli.....	36
5.1.3 Cementační oceli .....	37
5.2 SLITINY MĚDI.....	38
5.3 SLITINY HLINÍKU .....	38
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>40</b>
<b>6 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE.....</b>	<b>41</b>
<b>7 CHARAKTERISTIKA ZVOLENÉHO PLASTOVÉHO DÍLU .....</b>	<b>42</b>
7.1 VOLBA MATERIÁLU .....	42
7.1.1 Vlastnosti polykarbonátu .....	43
7.1.2 Použití polykarbonátu.....	43
7.2 VOLBA DĚLÍCÍ ROVINY .....	44
7.3 NÁSOBNOST FOREM.....	45
<b>8 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY – STUDENÝ VTOKOVÝ SYSTÉM.....</b>	<b>46</b>



8.1	VTOKOVÝ SYSTÉM .....	47
8.2	TVAROVÉ VLOŽKY .....	48
8.2.1	Tvarová vložka pravá .....	48
8.2.2	Tvarová vložka levá.....	48
8.2.3	Boční tvarové vložky .....	49
8.2.4	Čelní tvarová vložka .....	50
8.2.5	Vnitřní tvarová vložka .....	51
8.3	TEMPERACE .....	53
8.3.1	Temperace pravé tvarové vložky.....	54
8.3.2	Temperace levé tvarové vložky.....	55
8.3.3	Temperace boční tvarové vložky .....	56
8.3.4	Temperace čelní tvarové vložky.....	56
8.3.5	Temperace vnitřní tvarové vložky.....	58
8.4	SYSTÉM ODFORMOVÁNÍ.....	59
8.4.1	Odsun tvarových částí.....	64
8.5	VYHAZOVACÍ SYSTÉM .....	67
<b>9</b>	<b>KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY – HORKÝ VTOKOVÝ SYSTÉM.....</b>	<b>68</b>
9.1	VTOKOVÝ SYSTÉM .....	69
9.2	SYSTÉM ODFORMOVÁNÍ.....	70
<b>10</b>	<b>VSTUPNÍ PARAMETRY PRO ANALÝZU .....</b>	<b>72</b>
10.1	KONSTRUKCE DÍLU .....	72
10.2	FIKTIVNÍ VTOKOVÝ SYSTÉM.....	73
10.3	FIKTIVNÍ TEMPERAČNÍ SYSTÉM .....	74
<b>11</b>	<b>TOKOVÉ ANALÝZY V PROGRAMU MOLDFLOW .....</b>	<b>75</b>
11.1	MODEL VÝROBKU .....	75
11.1.1	Tvorba sítě.....	75
11.1.2	Kontrola sítě .....	75
11.2	UMÍSTĚNÍ VTOKU .....	78
11.2.1	Ukazatel odporu toku taveniny (Flow resistance indicator) .....	78
11.2.2	Vhodnost umístění vtoku (Gating suitability).....	79
11.3	PROCESNÍ PODMÍNKY .....	80
11.3.1	Procesní podmínky – Studený vtokový systém.....	81
11.3.2	Procesní podmínky – Horký vtokový systém .....	82
11.4	VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	83
11.4.1	Vstřikovací stroj pro formu se studeným vtokovým systémem.....	83
11.4.2	Vstřikovací stroj pro formu s horkým vtokovým systémem.....	84
11.5	VÝSLEDKY ANALÝZY .....	85
11.5.1	Čas plnění (Fill time).....	85
11.5.2	Tlak při přepnutí na dotlak (Pressure at V/P switchover).....	87
11.5.3	Teplota čela taveniny (Temperature at flow front).....	88
11.5.4	Rychlost smykové deformace (Shear rate, bulk).....	90
11.5.5	Zatuhnuté vrstvy (Frozen layer fraction) .....	91
11.5.6	Zatuhnuté vrstvy na konci fáze plnění (Frozen layer fraction at end of fill) .....	93

11.5.7	Teplota chladicího okruhu (Circuit coolant temperature).....	94
11.5.8	Objemový průtok (Circuit flow rate).....	96
11.5.9	Reynoldsovo číslo (Circuit Reynolds number).....	97
11.5.10	Deformace vlivem účinků temperace (Deflection, differential cooling: deflection) .....	99
11.5.11	Deformace způsobená vlivem smrštění (Deflection, differential shrinkage: deflection) .....	100
11.5.12	Celková deformace od všech působících vlivů (Deflection, all effects: deflection) .....	102
<b>12</b>	<b>EKONOMICKÁ ROZVAHA .....</b>	<b>104</b>
12.1	VÝROBNÍ FAKTORY .....	104
12.1.1	Cena materiálu.....	104
12.1.2	Cena elektrické energie.....	104
12.1.3	Požizovací cena horkého vtokového systému .....	105
12.2	CENA VÝSTŘIKU.....	106
12.3	BILANCE VÝPOČTU .....	108
<b>13</b>	<b>DISKUZE VÝSLEDKŮ .....</b>	<b>110</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>112</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>113</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>115</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>118</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>121</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>122</b>

## ÚVOD

V současné době se plastový materiál dostává do popředí jako konstrukční materiál. Z toho důvodu se současně rozvíjí i několik způsobů jeho zpracování.

Vstřikovací technologie představuje jednu z rozšířenějších možností, jak vyrobit téměř okamžitě zvolený plastový díl. Konstrukční řešení dílů je omezené jen způsobem odformování a také velikostí, ale jinak je možné vyrábět celou škálu různých výrobků. Tato technologie se ovšem dá použít i na jiné materiály než jen na polymery. Vstřikují se také např. keramické a kovové materiály.

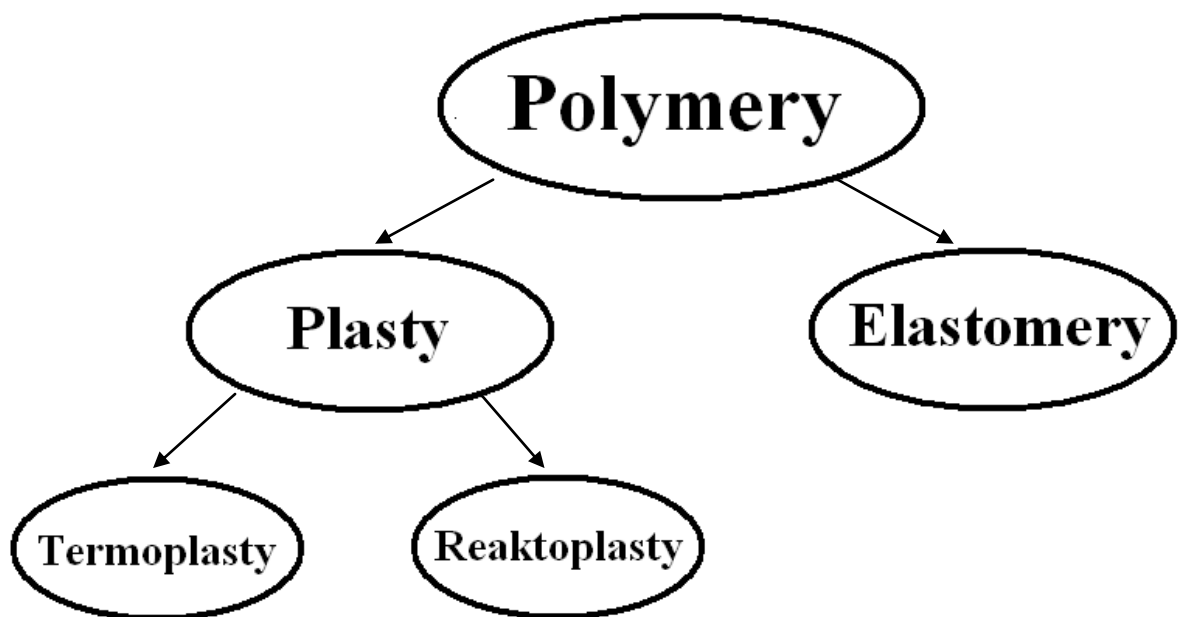
Cílem této diplomové práce bylo shrnout základy vstřikování a materiály, jenž se při konstrukci forem používají. Tím se také zabývá teoretická část této práce.

Praktická část obsahuje několik kapitol, je zde obsažen 3D model výrobku. Dále pak samotná konstrukce dvou vstřikovacích forem pro navržený 3D model. Práce popisuje vtokový systém, tvarové části formy a jejich temperaci, odformování, kde je použito několik různých prvků a samotný způsob vyhození výstřiku z formy. Na obou formách byla dále provedena toková analýza pomocí programu Autodesk Moldflow Insight 2011. Obdržené výsledky jsou spolu s jejich vyhodnocením shrnuty v samostatné kapitole. Poslední kapitola je věnována ekonomické rozvaze obou již zmíněných technických řešení forem.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 POLYMERY PRO VSTŘIKOVÁNÍ

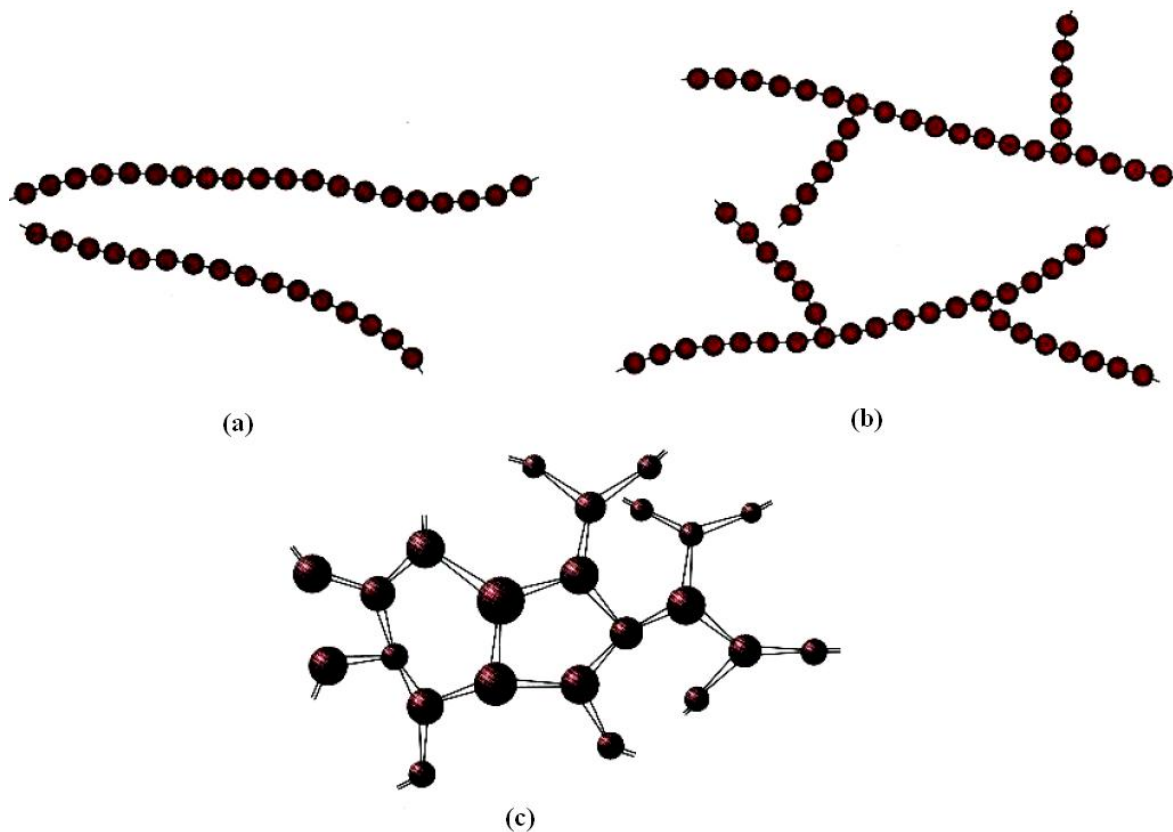
Polymery jsou chemické látky, které vykazují díky svým obrovským molekulám neobvykle širokou škálu vlastností. Polymery se dělí podle teplotního chování na plasty a elastomery. Podle druhu materiálu se volí režim vstřikování resp. podmínky vstřikování a jim pak odpovídá velikost smrštění výstřiku. Rozdělení polymerů je na obrázku 1.



Obr. 1 Rozdělení plastů pro vstřikování

Tvar makromolekul je dán funkcí monomerů, která rozhoduje o možnosti vzniku makromolekul lineárních nebo zesíťovaných. Rovněž reakční podmínky (teplota, tlak) mají vliv na to, zda při polymeraci vznikne polymer lineární nebo rozvětvený (např. u PE). Lineární a mírně rozvětvené polymery jsou rozpustné v některých rozpouštědlech, zesíťované polymery jsou nerozpustné, pouze bobtnají. [5]

Makromolekulární sítě (obr. 2) vznikají např. síťováním, tj. spojováním lineárních nebo mírně rozvětvených makromolekul. U síťování kaučuku mluvíme o vulkanizaci, při níž vzniká pryž a síťování lineárních nebo rozvětvených makromolekul reaktoplastů se nazývá vytvrzování. [5]



Obr. 2 a) makromolekulární síť lineární, b) makromolekulární síť rozvětvená, c) makromolekulární síťované polymery [1]

## 1.1 Plasty

Názvem plasty se označují materiály, jejichž podstatnou část tvoří organické makromolekulární látky (polymery). Kromě látek polymerní povahy obsahují plasty ještě přísady (aditiva), jejichž účelem je specifická úprava vlastností. Plasty se dělí na termoplasty a reaktoplasty. [1]

### 1.1.1 Termoplasty

Jsou plasty, které působením tepla mění své fyzikální vlastnosti a přecházejí do plastického stavu, kde je lze snadno tvářet a zpracovávat různými technologiemi. Zpět do tuhého stavu přecházejí ochlazením pod teplotu tání  $T_m$  u semikrystalických plastů a pod teplotu viskózního toku  $T_f$  u amorfních plastů. Protože při zahřívání nedochází ke změnám chemické struktury, lze proces měknutí a následného tuhnutí opakovat teoreticky bez omezení. Jedná

se pouze o fyzikální proces. Tvar makromolekul je dán funkčností monomerů, která rozhoduje o možnosti vzniku makromolekul lineárních nebo zesíťovaných. [3]

### 1.1.2 Reaktoplasty

Tyto plasty působením tepla, radiací nebo síťovacími činidly mění svojí chemickou strukturu, tzv. se vytvrzují (obr. 4). Molekuly jsou vzájemně pospojovány kovalentními vazbami. Reaktoplasty tedy nelze znovu následným zahřátím použít k opětovnému tváření (vstříkovaní). [3]



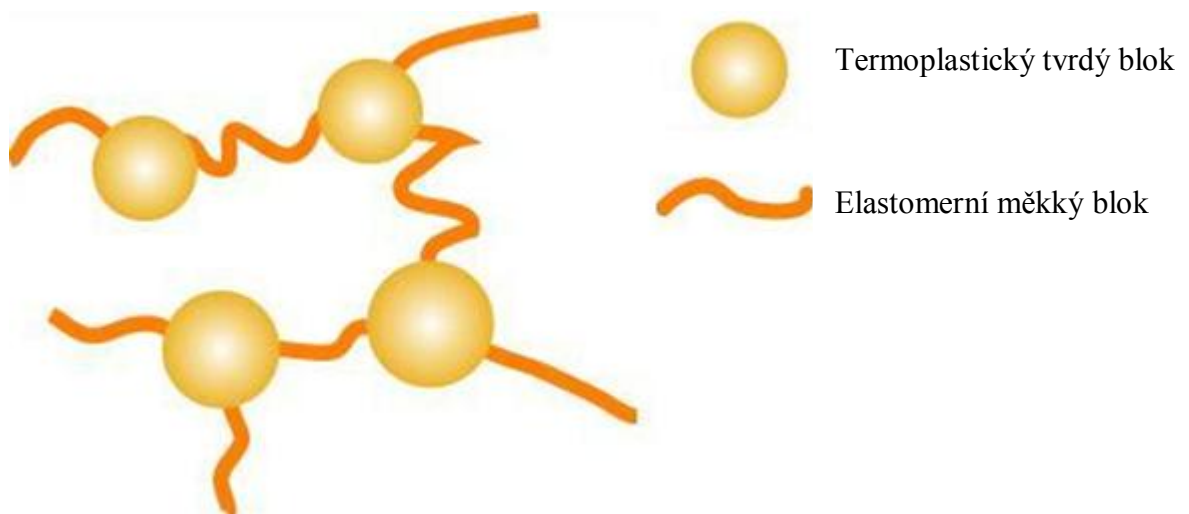
*Obr. 3 Schéma strukturní sítě vytvrzeného reaktoplastu [10]*

## 1.2 Elastomery

Tyto polymery lze také zahřátím převést do plastického stavu a tvářet, ale jen po omezenou dobu. Dalším zahříváním dochází u těchto výrobků z elastomerů v průběhu zpracování k chemické reakci. Molekuly vytvářejí prostorově zesíťované struktury, tato chemická reakce je nazývána vulkanizace. [3]

### 1.2.1 Termoplastické elastomery

Termoplastický elastomer (TPE) je polymerní materiál, který při pokojové teplotě má vlastnosti elastomeru, resp. pryže, ale dá se zpracovávat jako termoplast. Ve srovnání s pryží pak odpadá vulkanizace při zachování analogických užitečných vlastností. V podstatě jde o polymerní materiál, který obsahuje tvrdé a měkké domény (obr. 4), charakterizované různými teplotami zesklennění  $T_g$  nebo tání  $T_m$ . [4]



Obr. 4 Struktura TPE [6]



## 2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Technologie vstřikování plastů je známá již mnoho desítek let a je současně nejpoužívanější při výrobě plastových dílů. Reaktoplasty (termosety) se zpracovávaly již v první polovině 20. století, 50. léta jsou pak ve znamení rychlého nástupu termoplastů. A zejména vstřikovací technologie se neustále zdokonalují, a to jak v oblasti vývoje nových materiálů, tak i produkcí technicky náročnějších forem, zdokonalováním vstřikování a zaváděním automatizace. [7]

Vstřikovací technologie se řadí mezi diskontinuální a cyklické technologické procesy, která popisuje a definuje:

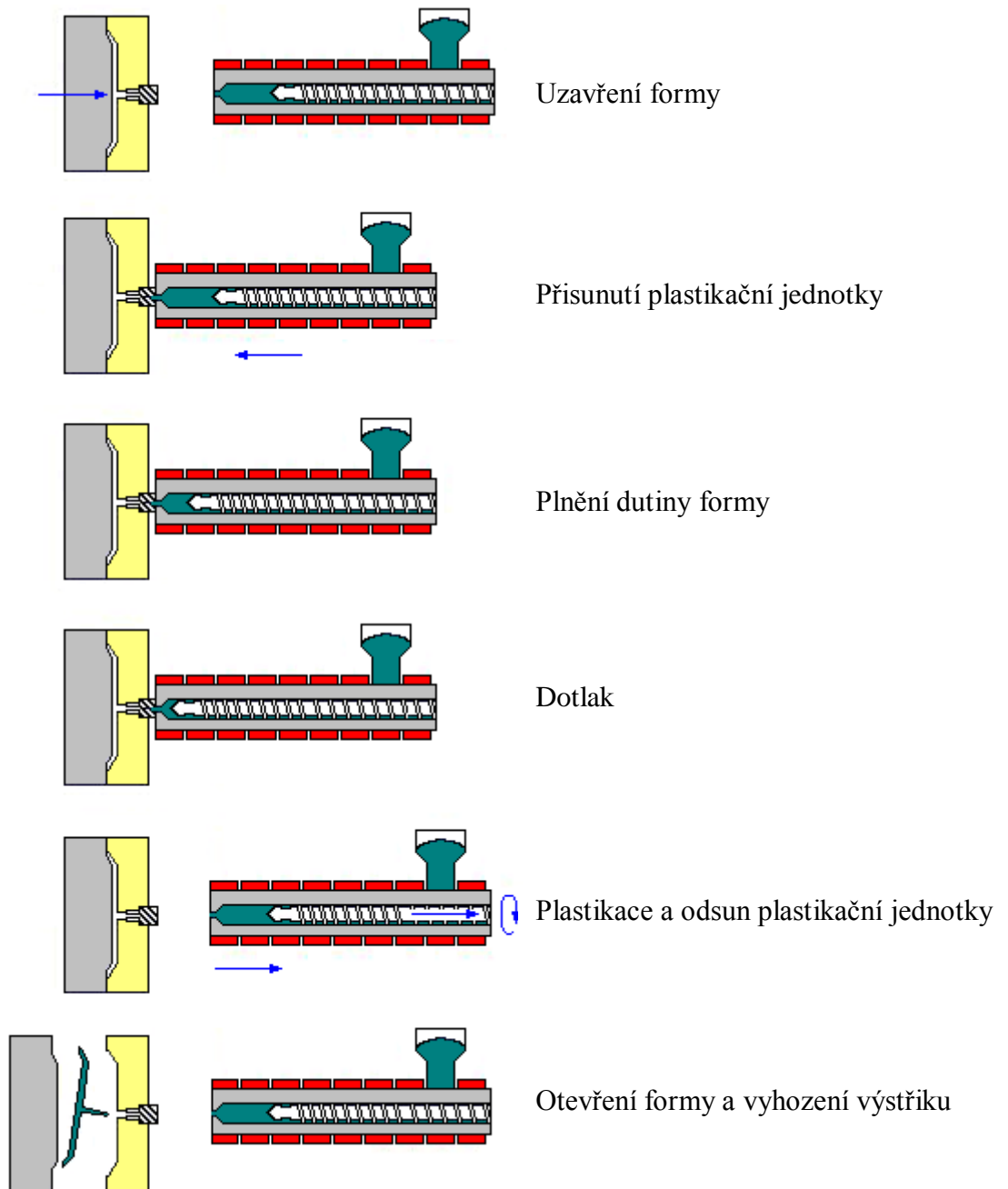
- vstřikovací cyklus,
- principy vstřikování,
- typy vstřikovacích strojů,
- tok a chování polymeru v průběhu vstřikování.

Při této technologii je polymer ve formě granulí (či v jiné podobě) nasypána do násypky plastikační jednotky, kde dojde vlivem topných patron a disipace, která vzniká při otáčení šneku, k plastikaci materiálu. Tato tavenina je posléze tlakem vyvozeným zpětným posuvným pohybem šneku vstříknuta přes trysku do temperované dutiny formy, kde zůstává pod tlakem až do ochlazení výrobku na vyhazovací teplotu, což je teplota, při níž se výrobek při vyhození nedeformuje.

### 2.1 Vstřikovací cyklus

Za počátek vstřikovacího cyklu (obr. 5) bývá nejčastěji považováno uzavření dutiny formy. Následně přijíždí plastikační jednotka a tryska dosedá na kruhový otvor vtokové vložky. Dochází k plnění dutiny formy vstřikovacím tlakem (šnek vstřikovacího stroje se posouvá směrem vpřed). Po vstřiku následuje dotlak. Dotlakem je doplňována do dutiny formy tavenina, kterou se nahrazuje smrštěný materiál. Dotlak může být dlouhý jen do té doby, než zatuhne polymer v oblasti vtokového systému (vtokového ústí). Jakmile skončí proces plnění dutiny formy, tj. vstřik + dotlak, odsouvá se plastikační jednotka zpět. Dochází k plastikaci nové dávky polymeru. Přitom se šnek vstřikovacího stroje otáčí a posouvá směrem vzad. Zároveň s plastikací dochází k ochlazení výstřiku (přesněji k chlazení do-

cháží už při vstřikování). Jakmile je výrobek dostatečně ochlazen, forma se otevírá a výrobek je pomocí vyhazovačů vyhozen z formy.



Obr. 5 Vstřikovací cyklus

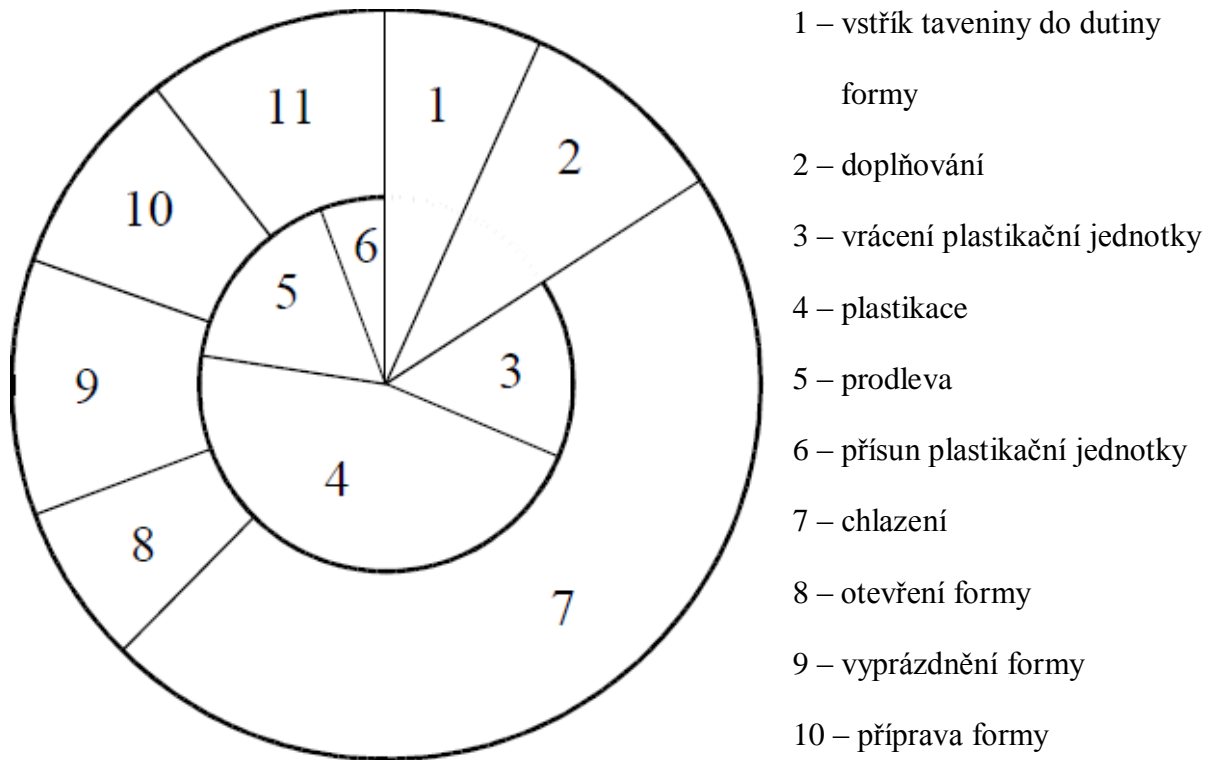
Vstřikovacím cyklem je důležité se zabývat zejména ze dvou hlavních důvodů a to z technologického a ekonomického. V případě krátkého cyklu může dojít k nedostatečnému ochlazení výrobku, krátkému dotlaku a tím větších deformací výrobku či nedostatečné plastikaci apod. Tím se výrazně ovlivní kvalita nebo úplně zničí vstřikovaná součást. Naopak při větším časovém intervalu cyklu se výroba neoplácí z ekonomického hlediska a to například nadměrným chlazením a dotlakem. Při tom dochází k zbytečnému prostoji stroje a větší spotřebě materiálu na výrobek.

Časový průběh vstřikovacího cyklu je zobrazen na obr. 6, vnitřní kruh zobrazuje cykly na plastikační jednotce a vnější na vstřikovací jednotce, které jsou:

- přísun plastikační jednotky,
- vstříknutí taveniny – účelem této fáze je dokonale naplnit tvarovou dutinu formy taveninou pod tlakem 50 až 200 MPa, podle viskozity taveniny, členitosti a tloušťky stěn výstřiku. Při vstřikování se šnek neotáčí, ale posune se hydraulicky vpřed a jako píst vytlačí taveninu z válce skrz trysku do formy, [11]
- dotlak – po ukončení vstřiku dotlačí další taveninu do formy, aby se nahradil úbytek objemu způsobený smršťováním materiálu během jeho chladnutí. Tím je omezen ve výstřiku výskyt staženin nebo povrchových propadlin,
- vrácení plastikací jednotky,
- plastikace – plastikací se rozumí roztavení granulovaného materiálu, který se tím homogenizuje a je připraven pro vstříknutí do formy. Provádí se v tavicí komoře stroje, v němž je otočně a posuvně uložen plastikační šnek. Teplo je asi z jedné třetiny přiváděno elektrickým topením a asi ze dvou třetin disipací,
- prodleva,
- uzavření formy – forma musí být dostatečně uzavřena, aby nedošlo při vstřiku taveniny a při dotlaku působením zvýšeného tlaku k úniku taveniny dělicí rovinou z dutiny formy,
- chlazení – představuje největší část cyklu a pohybuje se od několika sekund u tenkostěnných výstřiků do několika minut. Závisí na určující tloušťce stěny výstřiku, na druhu plastu, teplotě taveniny, teplotě formy a na teplotě výstřiku v okamžiku vyjímání z formy. Je snaha ji zkrátit na minimum účinným chlazením formy,

zejména těch míst, v nichž tavenina chladne nejpomaleji. Chladnutí začíná již během fáze vstřikování a pokračuje během dotlaku a dochází ke značným změnám stavových veličin, tlaku, měrného objemu a teploty. Fáze chladnutí ovlivňuje nejenom strukturu, tj. orientaci, krystalizaci a vnitřní pnutí, ale také kvalitu povrchu, zejména lesk [11],

- otevření formy – otevření formy na dobu potřebnou pro vyhození výrobku a pro případnou přípravu formy na další cyklus,
- vyhození výrobku – v této fázi dochází k vyhození výrobku z dutiny formy,
- příprava formy – vyžaduje-li výrobek jádra nebo ofuk dutiny.

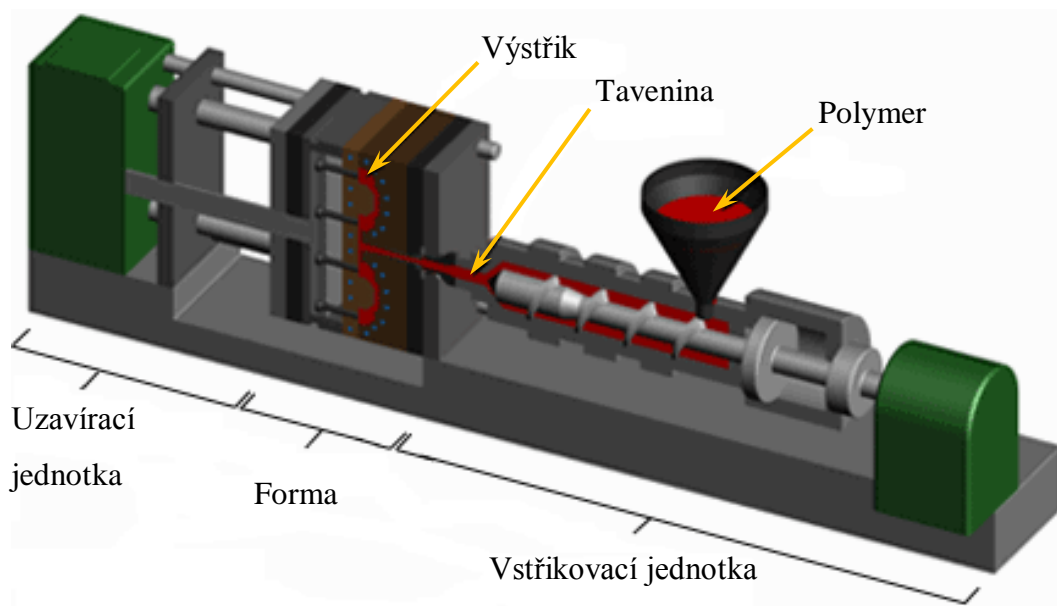


Obr. 6 Časový průběh vstřikovacího cyklu [19]

### 3 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Vstřikovací stroj se skládá z několika dílů, které spolu tvoří tři základní části (obr. 7):

- vstřikovací jednotka,
- uzavírací jednotka,
- regulace a řízení.



Obr. 7 Vstřikovací stroj [9]

#### 3.1 Typy vstřikovacích strojů

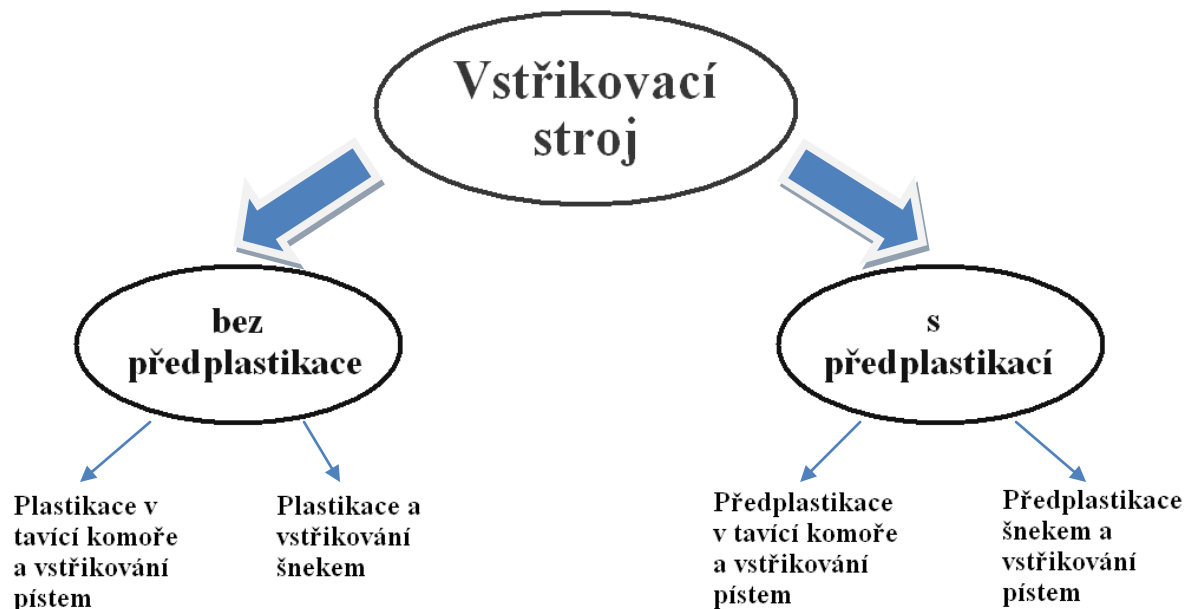
Vstřikovací stroj slouží k plastikaci polymerního materiálu, která probíhá v plastikační jednotce a následně generuje tlak pomocí kterého je polymerní tavenina vstříknuta do uzavřené dutiny formy. Vstřikovací stroje se dělí na s a bez předplastikace (obr. 8).

Ve vstřikovací jednotce bez předplastikace probíhá plastikace v tavicí komoře (pístová plastikace) nebo v pracovním válci (šneková plastikace). [8]

Zajištění dostatečného plastikačního výkonu a dokonalé homogenizace taveniny vedly k rozdělení vstřikovací jednotky na část plastikační a část vstřikovací. Zpracovávaný materiál se plastikuje v oddělené plastikační jednotce a takto připravená tavenina se dopravuje

do vstřikovacího válce, odkud se pak vstříkne pístem do formy. Toto uspořádání umožňuje i výrazné zkrácení vstřikovacího cyklu. [8]

Dále bude popsán šnekový stroje bez předplastikace.



Obr. 8 Typy vstřikovacích strojů

### 3.1.1 Šneková plastikační jednotka

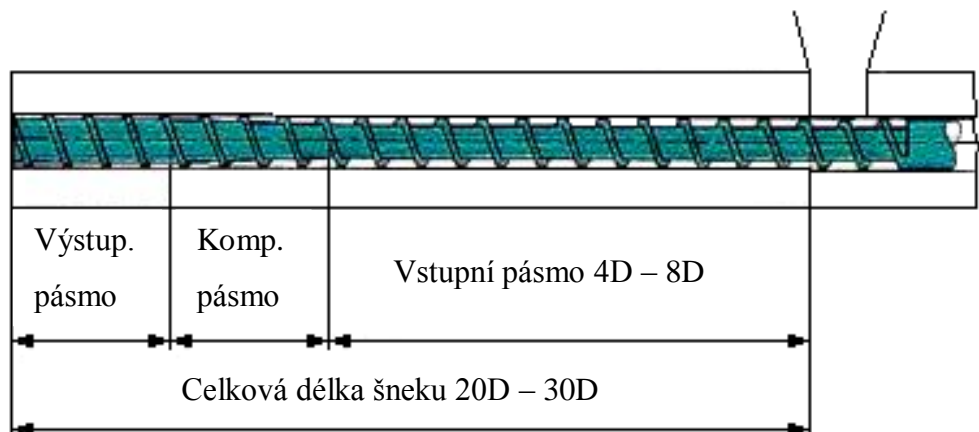
Šnek musí vykonávat několik činností, tj. dávkování a doprava materiálu, plastikace, hnětení a vstříknutí do formy. Samotný šnek se skládá ze tří pásem, vstupní, přechodové a výstupní, ale může být podle druhu materiálu dvoupásmový a dokonce i jednopásmový, obsahující pouze přechodové pásmo.

Základní pásma šneku (obr. 9):

- úkolem vstupního (dopravního) pásma je dávkovat vytlačovací stroj požadovaným množstvím materiálu. V tomto místě je největší hloubka mezi šnekem a válcem konstantního průměru. Maximální výkon je dán maximálním třením mezi materiálem a válcem a minimálním třením mezi materiálem a šnekem,
- přechodové (kompresní) pásmo přitlačuje materiál k vyhřívané stěně válce, tak aby docházelo k tavení materiálu. V kanálu se tedy vyskytuje jak tavenina, tak tuhé lóže. Na konci tohoto pásma se pevný materiál přemění působením disipace a tepla

z topných pásů na taveninu, která je zatím teplotně nehomogenní. Průměr jádra šneku se k trysce zvětšuje a hloubka kanálu se tím zmenšuje,

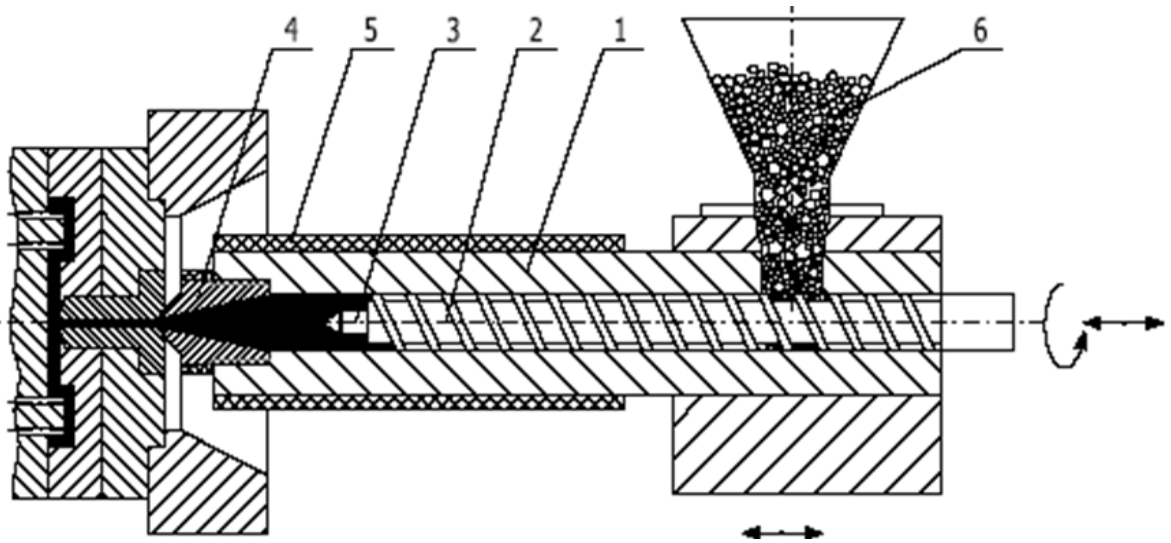
- výstupní pásmo šneku u vstřikování slouží k teplotní homogenizaci taveniny a k její dopravě. Tlak vygenerovaný přechodovým pásmem se zde spotřebovává. Hloubka kanálu je v tomto pásmu nejmenší o konstantním průměru.



Obr. 9 Šnek vstřikovacího stroje

U vstřikovací jednotky se šnekovou plastikací (obr. 10) vstupuje zpracováváný materiál z násypky do pracovního válce. V pracovním válci se tento materiál šnekem plastikuje, homogenizuje a dopravuje před špicí šneku. Šnek se otáčí a posouvá směrem dozadu, čímž vytváří prostor pro taveninu. Po zplastikování potřebného množství se materiál axiálním pohybem šneku vstříkne přes vstřikovací trysku do formy. Pracovní válec je opatřen topením. Přímočarý i rotační pohon šneku bývá většinou realizován přímočarým a rotačním hydromotorem, popř. elektropohonem s mechanickými převody. Aby byl umožněn axiální pohyb, je hnací kolo i hřídel šneku opatřen drážkováním. [8]

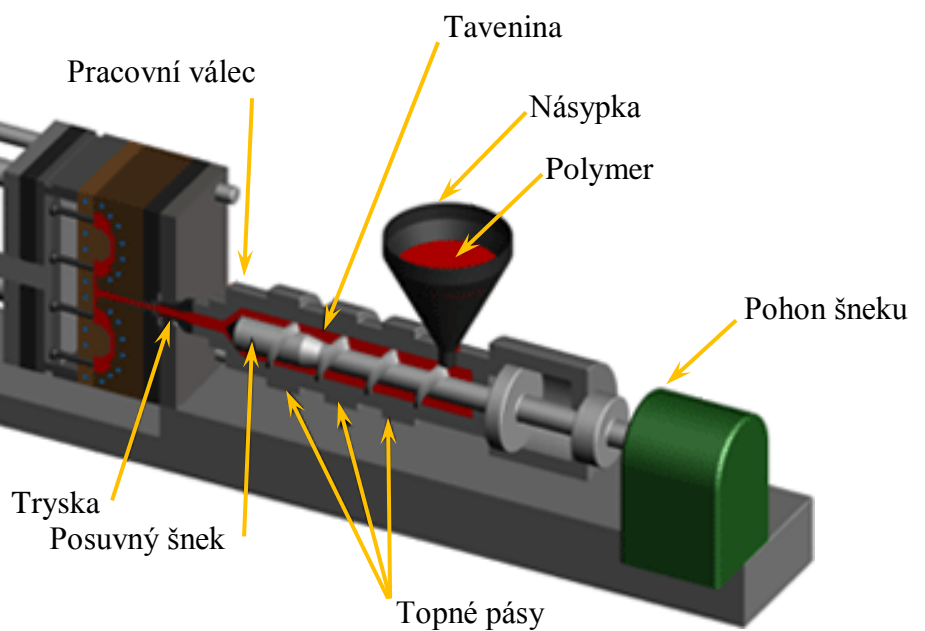
U nízkoviskozních materiálů má tavenina při vstřiku tendenci vracet se zpět do šnekového kanálu. Z těchto důvodů je na čele šneku zabudován zpětný uzávěr



Obr. 10 Šneková plastikace, 1 – pracovní válec, 2 – šnek, 3 – zpětný uzávěr,  
4 – vstříkovací tryska, 5 – topné těleso, 6 – násypka [8]

### 3.2 Vstříkovací jednotka

Vstříkovací jednotka (obr. 11) je zodpovědná za plastikaci a vstřík polymerní taveniny do dutiny formy. Polymer je přiváděn násypkou do pracovního válce kde působením topných pásů a disipace dochází k jeho plastikaci. Poté je tavenina dopravena otáčením šneku před něj a axiálním pohybem šneku vstříknuta přes trysku do dutiny formy.



Obr. 11 Vstříkovací stroj[9]



### 3.3 Uzavírací jednotka

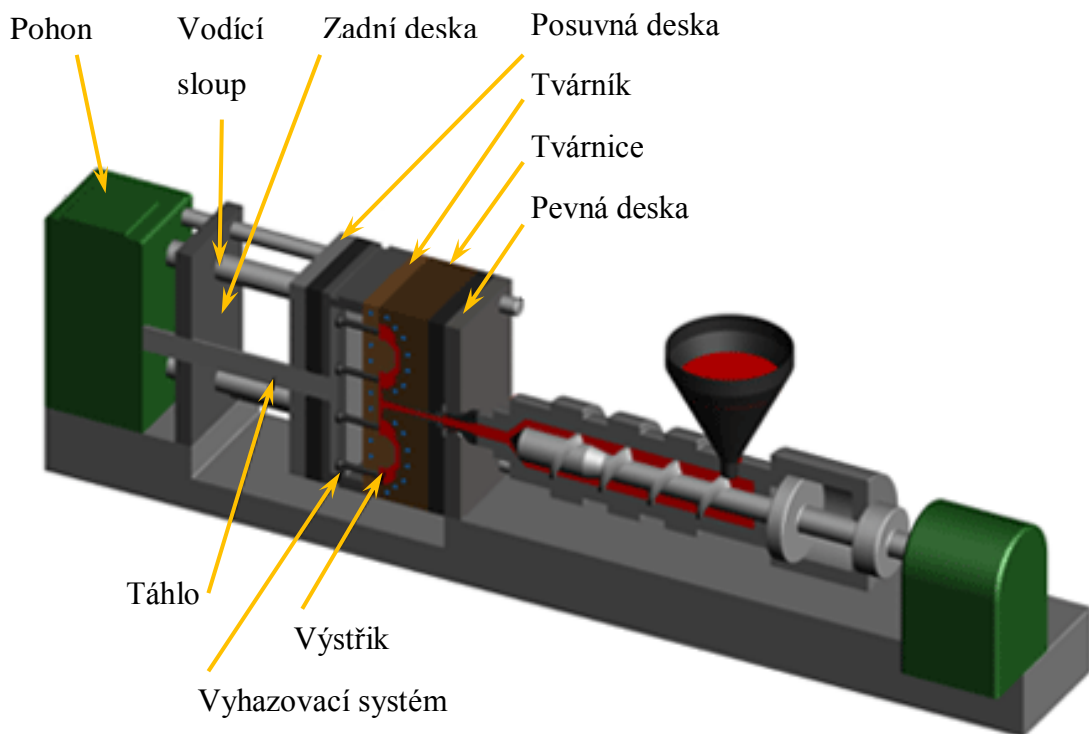
Otevření a bezpečné uzavření formy zajišťuje uzavírací ústrojí. Potřebná uzavírací síla je závislá na velikosti stroje, resp. na velikosti plochy průřezu výstříku v dělicí rovině a na velikosti vstřikovacího tlaku. [8]

Hlavní části uzavírací jednotky (obr. 12) jsou:

- základní deska pevná,
- vodící sloupky,
- uzavírací mechanismus,
- pohon.

Vstřikovací stroje mají nosnou konstrukci obvykle sloupovou. U menších strojů je dvou-sloupová a u větších čtyřsloupová.

Podle druhu pohonu lze rozdělit uzavírací jednotku na hydraulickou, hydraulickomechanickou a elektromechanickou. [8]



Obr. 12 Vstřikovací stroj [9]

### 3.4 Ovládání a řízení vstřikovacího stroje

Charakteristickým znakem kvality vstřikovacího stroje je stupeň řízení a snadná obsluha stroje. Velmi důležitým faktorem je schopnost stálé reprodukce technologických parametrů. V případě kolísání těchto parametrů se tato nerovnoměrnost a nepřesnost nepříznivě projeví na kvalitě výroby. Řízení stroje se musí zajistit vhodnými řídicími a regulačními prvky.

Nastavení stroje je řídicím systémem také kontrolováno (zpětná vazba). Na přesnosti a jakosti výstřiků má řízení stroje rozhodující vliv. Tím, že určuje a dodržuje přesnost:

- nastavení výše i doby vstřikovacího tlaku, dotlaku, rychlosti vstřiku a chlazení. Tyto parametry určují především přesnost a toleranci výstřiků,
- nastavením doby a výšky teploty taveniny, její homogenizací jsou určeny fyzikální a mechanické vlastnosti výstřiků.

Vedle stroje a plastu ovlivňuje tyto hodnoty i forma, její teplota a doba chlazení. [17]

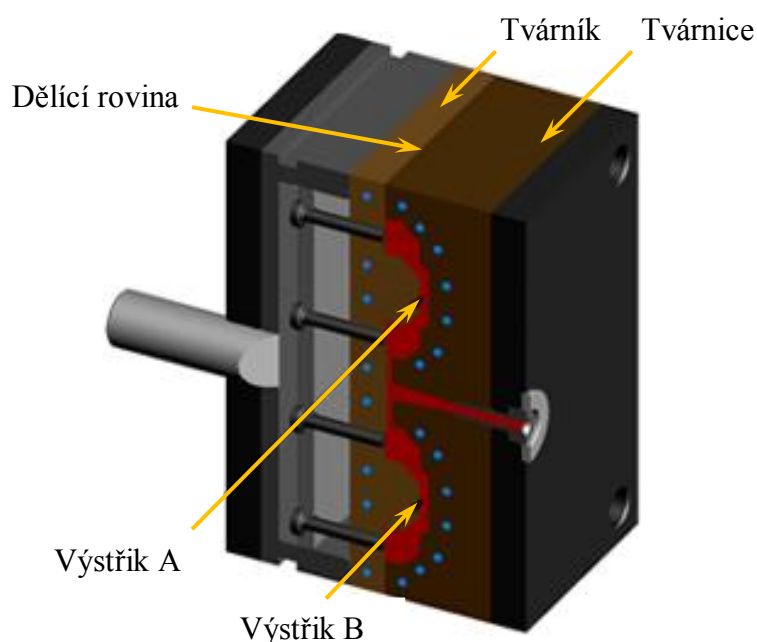
## 4 FORMA

Vstřikovací stroj využívá formy vyrobené z oceli. Forma se skládá z několika dílů a desek, přičemž může být rozdělena na dvě části (obr. 13). Obě poloviny jsou umístěny uvnitř vstřikovacího stroje a upnuty upínacími deskami ke vstřikovacímu stroji. Po odsunu vstřikovací jednotky se tedy odsune i polovina formy.

Vstřikovací formy jsou konstrukčně velmi rozmanité a lze je rozdělit do následujících skupin:

- podle násobnosti na jednonásobné a vícenásobné,
- podle způsobu zaformování a konstrukčního řešení na dvoudeskové, třideskové, etážové, čelist'ové, vytáčeční, apod.,
- podle konstrukce vstřikovacího stroje na formy se vstřikem kolmo na dělicí rovinu a na formy se vstřikem do dělicí roviny. [2]

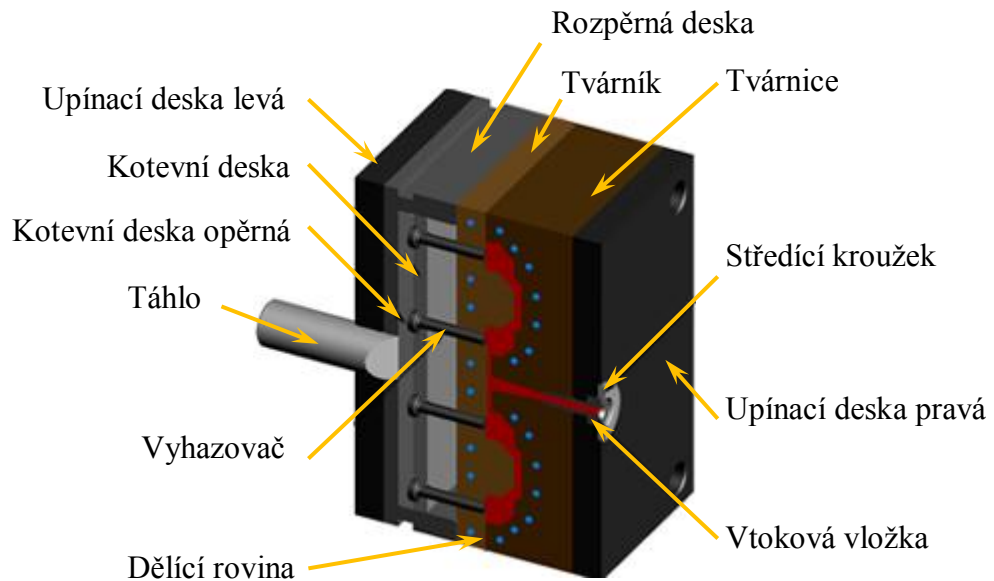
Nejdůležitější částí vstřikovací formy je tvárník a tvárnice, které spolu svírají plochu nazývanou dělicí rovina. Když je forma uzavřena, je prostor mezi tvárníkem a tvárnici vyplněn taveninou, která vytvoří požadovaný tvar. U vícenásobného vstřikování obsahuje dělicí rovina formy tolik dutin na kolik je dimenzován vstřikovací stroj (velikost stroje, uzavírací a vstřikovací tlak apod.). Jednotlivé dutiny jsou spojeny vtokovým systémem, který musí zabezpečit stejný přísun objemu materiálu do každé dutiny - vyvážený vtokový systém. [17]



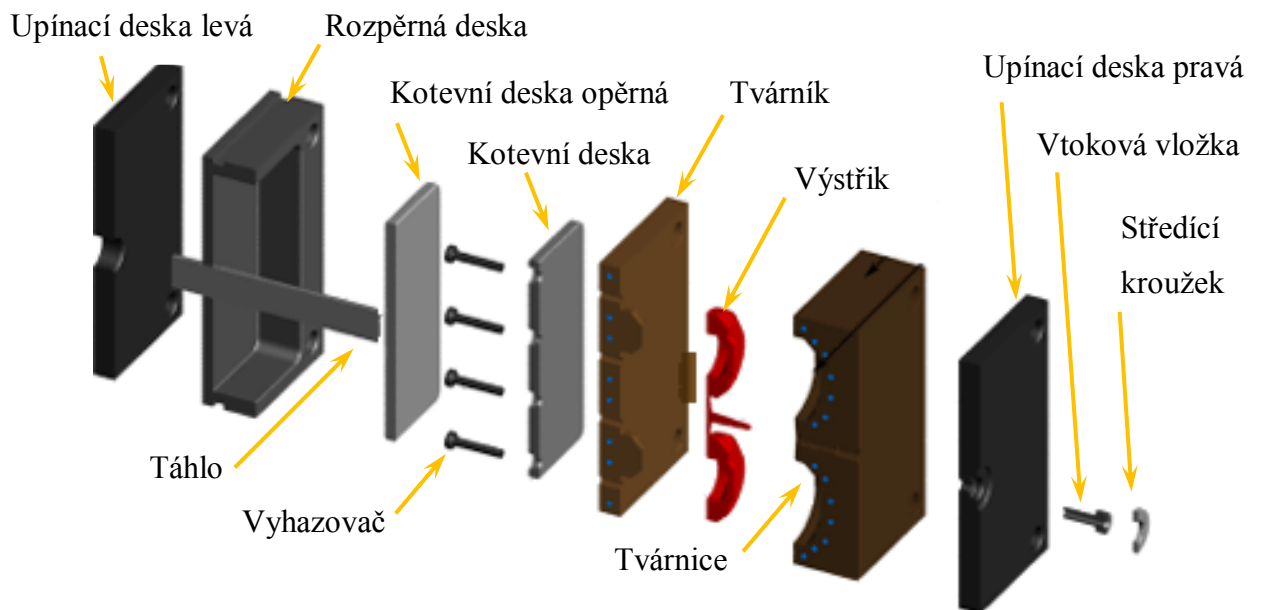
Obr. 13 Forma vstřikovacího stroje [9]

## 4.1 Části formy

Počet všech jednotlivých částí a desek tvořící formu (obr. 14 a 15) je velice individuální ať už podle zvoleného vtokového systému (horuky, studený) nebo podle způsobu vyhazování (stírací deska, vyhazovače apod.). Forma se studeným vtokovým ústím a vyhazovači se obvykle skládá ze šesti desek, ke kterým se mohou a nemusí přidat izolační desky pro omezení přestupu tepla mezi vstřikovacím strojem a formou.



Obr. 14 Forma vstřikovacího stroje [9]



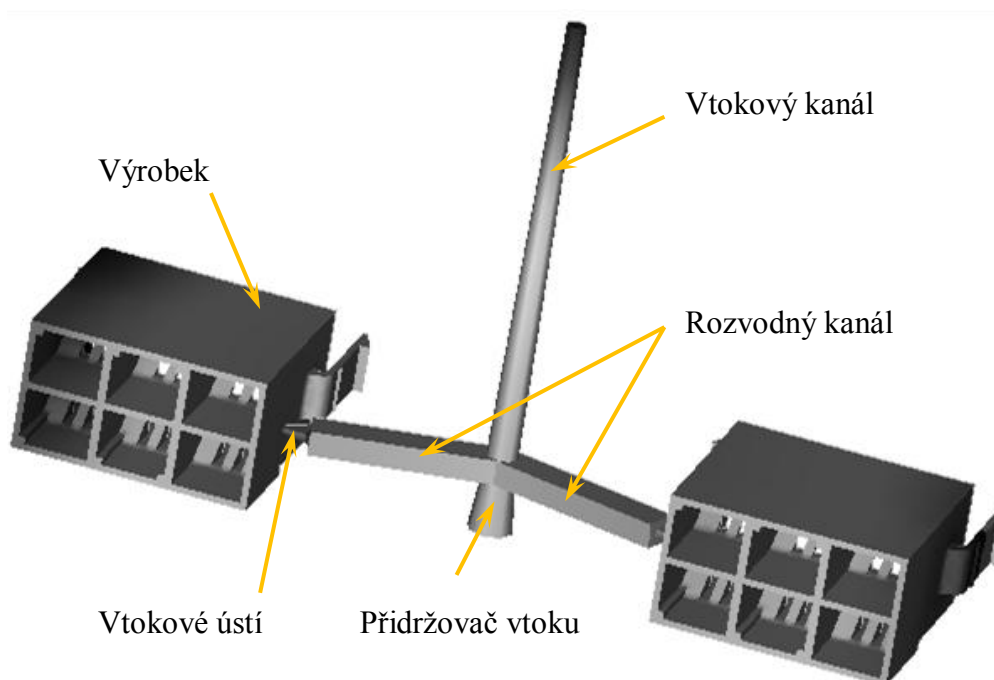
Obr. 15 Pohled na rozloženou formu [9]

## 4.2 Vtokové kanály

K tomu, aby tavenina mohla proudit do tvarové dutiny formy, slouží několik integrovaných kanálů, které musí správně naplnit formu v co nejkratším čase a s minimálním odporem. Dále musí zabezpečit snadné odtržení nebo oddělení výstřiku a bezproblémové vyhození vtokového zbytku. Tyto vtokové kanály jsou konstruovány podle počtu dutin a jejich rozmístění. Zejména u termoplastů má druh a umístění vtoku podstatný vliv na proudění taveniny ve formě, vytváření tzv. studených spojů, orientaci makromolekul a plniv, anizotropii vlastností a rozměrů, povrchový vzhled apod. Charakter výstřiku, způsob a ekonomika výroby určí, zda se použije studený vtokový systém nebo horký vtokový systém.

### 4.2.1 Studený vtokový systém

U studeného vtokového systému (obr. 16) SVS vstupuje tavenina nejdřív do vtokového kanálu. Následně je rozváděna rozvodnými kanály k dutinám, přičemž musí zabezpečit stejný objem materiálu pro každou dutinu. Mezi rozvodným kanálem a dutinou je ještě vtokové ústí, které směřuje proud taveniny a dochází v tomto místě k odtržení výrobku od vtokového systému. V případě potřeby se používá přídržovač vtoku, který přidržuje vtokový systém při odsunu vstříkovací jednotky na straně tvárníku a zjednodušuje tak jeho vyhození.



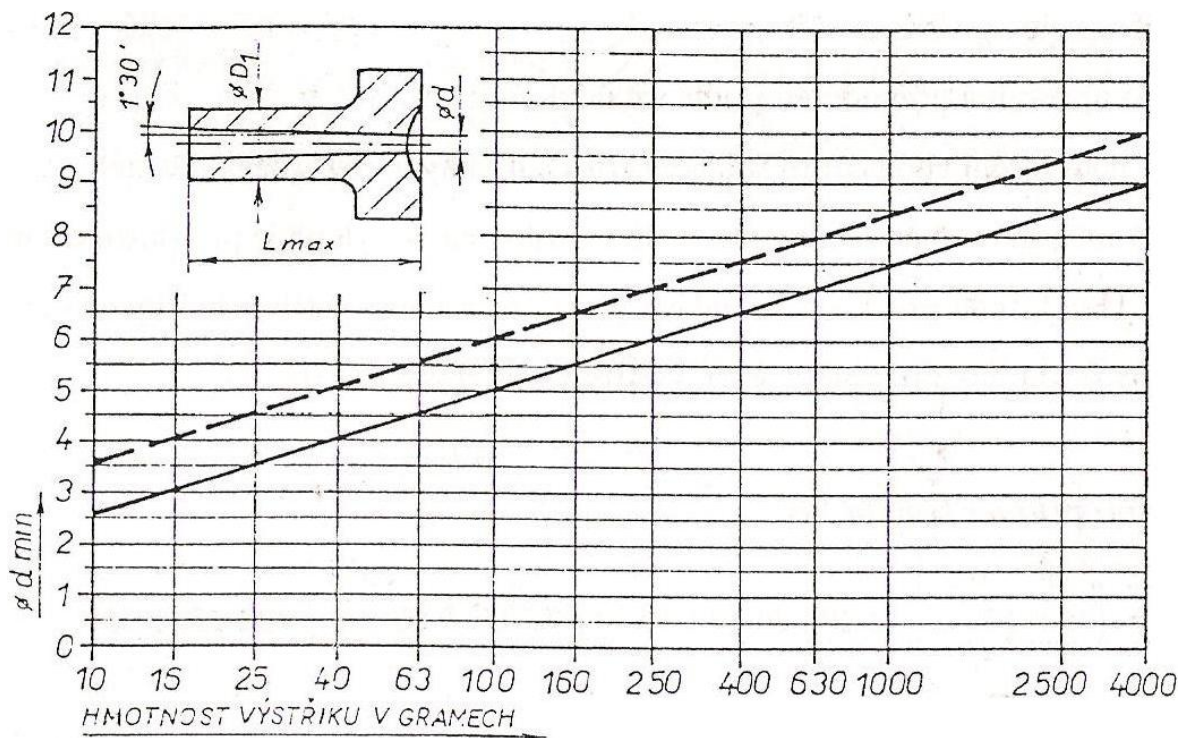
Obr. 16 Studený vtokový systém

Vtokový kanál má nejčastěji kuželový tvar vytvořený uvnitř vtokové vložky. Samotná vtoková vložka je velmi mechanicky a tepelně namáhána a proto se vyrábí z pevné, houževnaté a žárovečné oceli, kterou tepelně zpracováváme. [17]

Pokud ústí vtokový kanál do:

- rozvaděcích kanálů, je jeho větší průměr otvoru stejný, nebo nepatrně větší než rozvaděcí kanály. V místě spojení se doporučuje konstruovat jímku chladného čela taveniny jako přidržovače vtoku. Umožní se tím snadnější vyhození vtokového zbytku, [17]
- dutiny výstřiku, je vhodné vytvořit proti ústí vtoku čokkovité zahloubení, zvláště pro menší tloušťky stěn. Průměr kanálu se určuje většinou empiricky s ohledem na hmotnost výstřiku. Pro jednonásobné formy s plným ústí vtoku jsou jeho rozměry v tabulce 1. Graf slouží jen pro jeho orientační určení. V závislosti na délce toku, rozdílu tloušťky stěn, atd. je nutné upřesnit ostatní technologické podmínky. [17]

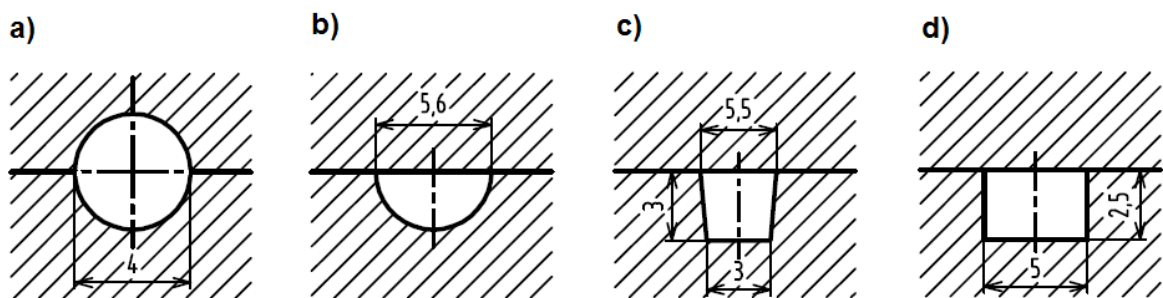
Tab. 1 Postup při určování vtokové vložky [17]



Plná přímka platí pro plasty: PS, PPO, SB, ABS, PEN, PP, CA

Čárkovaná přímka platí pro plasty: POM, PMMA, PC

Z několika druhů průřezů rozvodných kanálů je kruhový nejpoužívanější a také nejvhodnější. Výhodou kruhového kanálu je snadná výroba a jeho vhodnost se hodnotí podle tzv. smáčivého čísla  $a_s$ , které vyjadřuje poměr průtočného průřezu k smáčenému povrchu. Čím je číslo vyšší, tím je průřez vhodnější. Srovnání základních typů kanálů při stejném průřezu (obr. 17). [13]



Obr. 17 Srovnání základních typů kanálů podle smáčivého čísla

$$a_s = a) 1; b) 0,86; c) 0,84; d) 0,83 [13]$$

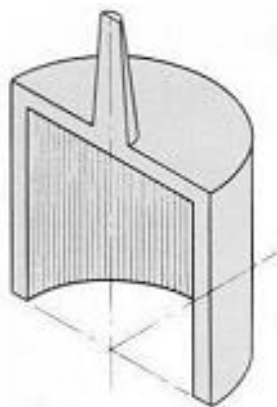
Vtokové ústí se vytváří zúžením rozváděcího kanálu. Jeho zúžením se zvýší klesající teplota taveniny před stupem do tvarové dutiny. Omezí se strhávání chladných vrstev z obvodu vtoku a tím i vytváření povrchových defektů. Délka zúženého ústí se volí co nejkratší. Jeho spodní hranice je však omezena pevností materiálu formy. [17]

Vtokové ústí (obr. 18.) se konstruuje podle výrobku jako:

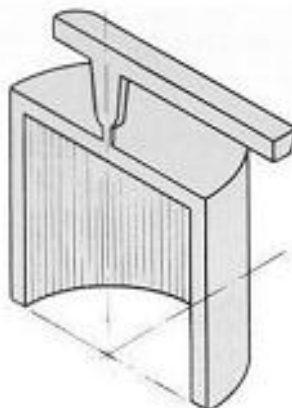
- plný kuželový vtok – přivádí taveninu do tvarové dutiny formy bez zúženého vtokového ústí. Je velmi účinný z hlediska působení dotlaku – vtok tuhne ve vstřikovací formě jako poslední. Velmi problematické je jeho odstranění, protože zanechává stopu na výrobku. Využívá se zejména u jednonásobných forem se symetricky uloženou dutinou, nebo u velkoobjemových výrobků. [17]
- bodový vtok – je nejznámější typ zúženého vtokového ústí, které leží mimo, nebo v dělicí rovině. Může vycházet přímo z vtokového kanálu, z předkomůrky nebo z rozvodných kanálů. Vyžaduje systém třídeskových forem. Po odtržení vtokového ústí může na výrobku zůstat výstupek nebo může nastat vytržení materiálu, kterému lze zabránit vytvořením čokovitěho nálitku proti ústí vtoku. [17]
- tunelový vtok – je zvláštním případem bodového vtoku, který má tu výhodu, že vtokový zbytek může ležet v téže dělicí rovině jako výrobek. Je výrobně náročný.

Předpokladem je existence ostrých hran pro oddělení vtokového zbytku od výrobku. Není-li zaústění do stěny výrobku možné, využívá se zaústění do nálitku. [17]

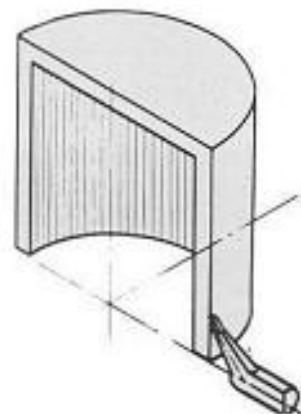
- d) srpkovitý (banánový) vtok - speciálním případem tunelového vtoku je srpkovitý vtok. Používá se v případech, kdy stopa po vtoku nesmí působit rušivě na pohledové straně výrobku. Není vhodný pro křehké materiály (SP, SAN, PMMA). [17]
- e) boční vtok – jeho průřez bývá obvykle obdélníkový, méně pak lichoběžníkový nebo kruhový. Vtokové ústí leží v dělicí rovině. Při odformování bývá vtokový zbytek od výrobku neoddělený. [17]
- f) filmový vtok – používá se zejména k plnění kruhových a trubicových dutin s vyššími požadavky na kvalitu. Rozvedení taveniny do jednotlivých míst vtokového ústí není rovnoměrné. [17]



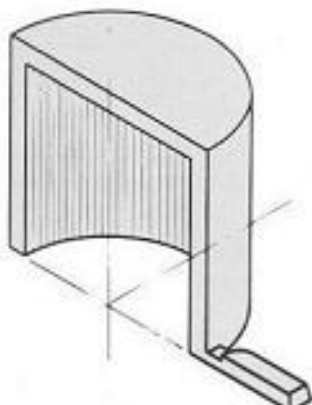
Koželový vtok



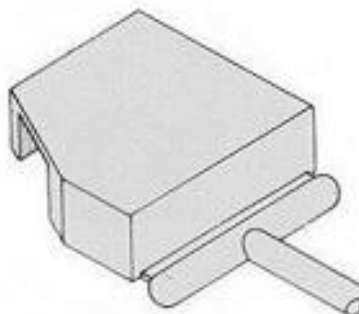
Bodový vtok



Tunelový vtok



Boční vtok



Filmový vtok

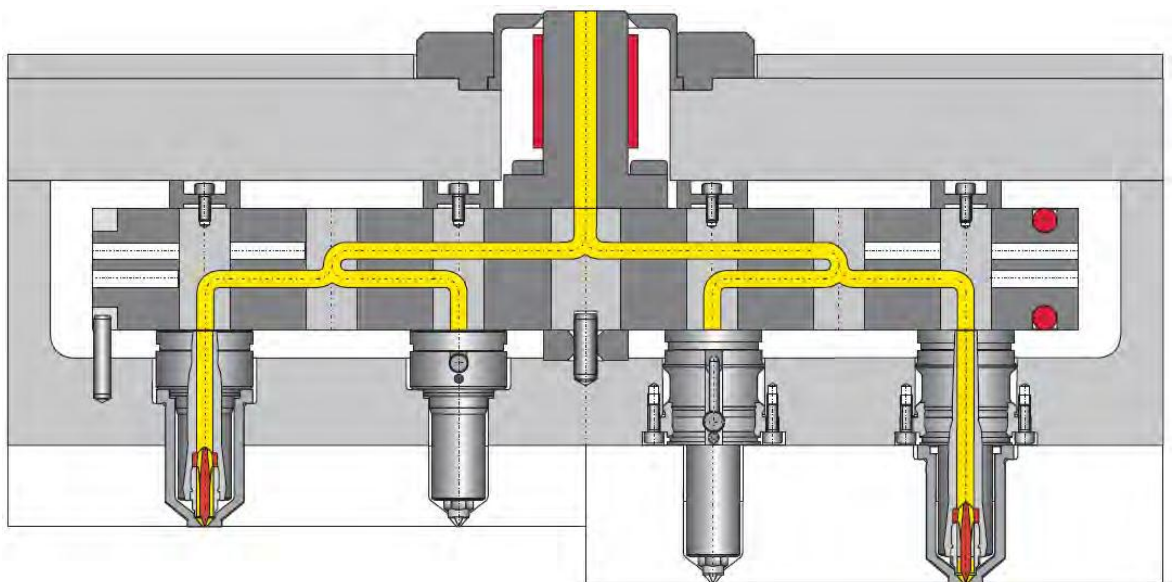
*Obr. 18 Vtoková ústí*



#### 4.2.2 Horký vtokový systém

Z technologických a ekonomických důvodů se používá vyhřívaných vtokových systému VVS především v sériové výrobě (obr. 19). Dnešním VVS předcházela řada jednodušších systémů (zesílené vtoky, izolované vtokové soustavy apod.) a jejich výrobou se zabývají specializovaní výrobci. Technologie spočívá v tom, že po naplnění dutiny vstřikovací formy zůstává polymer po celé délce VVS stále taveninou.

Výhodou VVS oproti SVS je možnost automatizace, snížení spotřeby materiálu, menší náklady na dokončovací operace, snadná montáž, demontáž, údržba a možnost regulace teploty všech svých částí. Naopak nevýhodou VVS je složitější provedení, nutnost zajistit regulátory a snímače teploty, větší energetická náročnost a pořizovací náklady. [19]



Obr. 19 Horký vtokový systém [13]

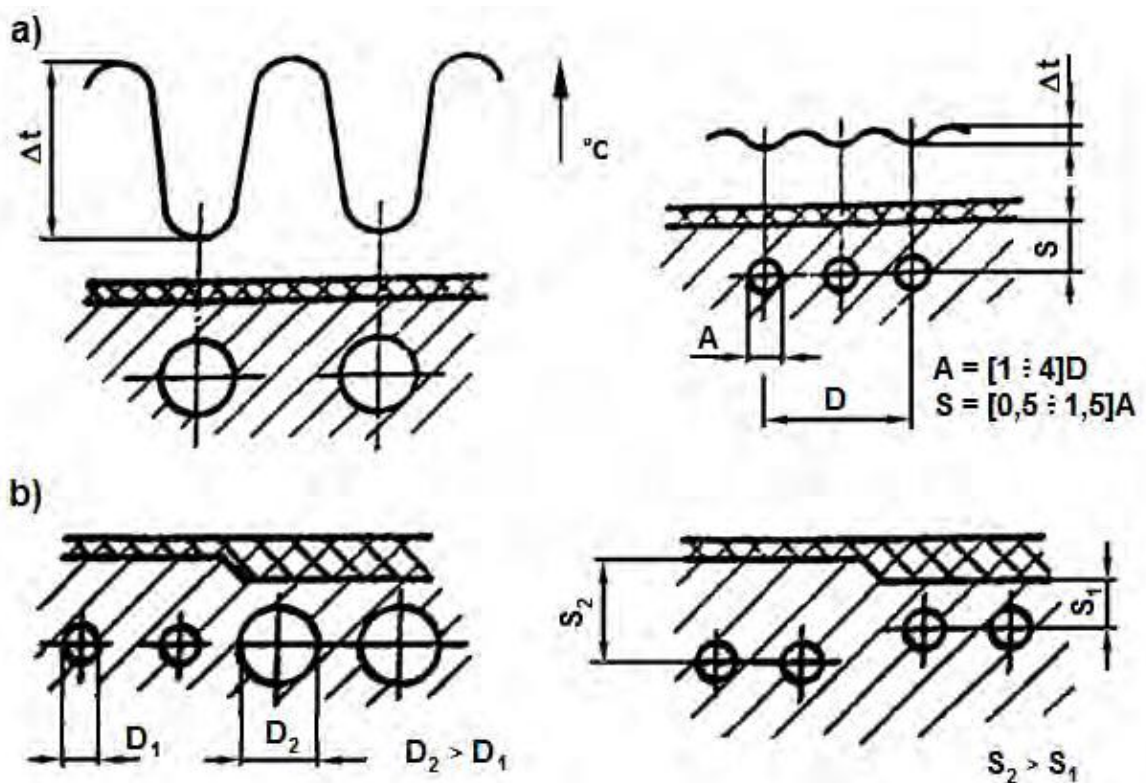
#### 4.3 Temperační kanály

Dutina formy je během vstřikování plněna taveninou, která je ve formě ochlazována na teplotu vhodnou k vyjmutí výstřiku. Temperační systém ovlivňuje plnění tvarové dutiny formy, kvalitu výstřiku a zajišťuje optimální tuhnutí a chladnutí plastu (odvodem tepla z tvarových částí formy).

Temperace musí zajistit:

- ohřev formy na požadovanou teplotu a její stálost během procesu vstřikování,
- zajistit rovnoměrné rozložení teploty formy po celém povrchu její dutiny,
- odvést teplo z dutiny formy naplněné taveninou tak, aby celý pracovní cyklus měl ekonomickou délku. [15]

Rozměry a rozmístění temperačních kanálů se volí tak, aby vzdálenost kanálů od funkční dutiny příliš nesnížila tuhost a pevnost stěn dutiny formy. Povrch temperačních kanálů slouží jako plocha pro přestup tepla z povrchu dutiny formy do temperačního média, případně naopak. Je proto vhodnější používat spíše více kanálů s menším průřezem a menší roztečí než kanály s větším průřezem a roztečí. Toto řešení zajistí menší kolísání teploty, jak je naznačeno na obrázku 20. [13]



Obr. 20 Vliv rozmístění temperačních kanálů na průběh teploty ve stěně formy: a) u stejné tloušťky výstřiku, b) u rozdílné tloušťky výstřiku [13]

## 5 MATERIÁLY POUŽÍVANÉ PŘI VÝROBĚ FOREM

Formy jakožto velmi drahé nástroje jsou sestaveny z několika funkčních a pomocných dílů, které musí zajistit replikovatelnost a požadovanou kvalitu výstřiků, dlouhou životnost a nízké pořizovací náklady. Velký vliv na splnění těchto podmínek má materiál forem, který je ovlivněn provozními podmínkami výroby:

- druhem vstřikovaného plastu,
- přesností a jakostí výstřiku,
- podmínkami vstřikování,
- vstřikovacím strojem. [18]

Používají se tedy takové materiály, které splňují provozní požadavky v optimální míře. [18]

### 5.1 Oceli na formy

Životnost a funkční vhodnost je závislá na konstrukci, dostatečném rozměru, správném zacházení a údržbě. Současně i způsob výroby a tepelné zpracování materiálu může celý výsledek ovlivnit. Nedostatečná kvalita povrchu zhoršuje vyhazování, kdežto vyleštěný povrch nám jí usnadňuje a současně je prostředkem proti korozi. Z těchto požadavků vyplývají i nároky na čistotu oceli. [18]

#### 5.1.1 Požadované vlastnosti ocelí

Z důvodu různé funkce jednotlivých dílů forem se liší i jejich specifické požadavky na volbu materiálu, z kterého budou vyrobeny. Jejich výběr a doporučená řada má dopovídat požadované funkci součásti, s ohledem na opotřebení a životnost. Tento přehled ocelí je v příloze 1. [18]

Od používaných materiálů na formy se vyžaduje především:

- dostatečná mechanická pevnost,
- dobrá obrobiteľnosť. [18]

Z hlediska technologie výroby výstřiků má ještě materiál funkčních dílů zajišťovat speciální požadavky na kvalitu struktury, která je dána:

- dobrou leštitelností a obrusitelností,
- zvýšenou odolností proti otěru,
- odolností proti korozi a chemickým vlivům plastů,
- stálostí rozměrů a minimální deformacemi při kalení,
- vhodnými fyzikálními vlastnostmi. [18]

### 5.1.2 Konstrukční oceli

Převážnou část spotřeby ocelí pro výrobu forem tvoří oceli konstrukční třídy 11. Vyrábí se z nich méně namáhané díly. Jsou to především oceli 11 373, 11 523, 11 600. Tyto obvykle zůstávají v přírodním nebo normalizačně žíhaném stavu. Jejich přehled a použití je zřejmé z následující tabulky 2. [18]

Tab. 2 Přehled použití [18]

Užití	ČSN	Zpracování	Poznámka
Rozpěrky	11 373	dobrá obrobiteľnosť	pevnost 370 – 450 MPa
	11 375		pevnost 370 – 450 MPa
	11 500		pevnost 500 – 620 MPa
	11 600		pevnost 600 – 720 MPa
Doraz	11 600	dobrá obrobiteľnosť	pevnost 600 – 720 MPa
	11 700		pevnost 600 – 720 MPa
Desky	11 373	dobrá obrobiteľnosť	málo namáhané
	11 375		málo namáhané
	11 500		středně namáhané
	11 600		značně namáhané

Šrouby	11 109	výborná obrobiteľnosť	málo namáhané
--------	--------	-----------------------	---------------

Nejvíce namáhané součásti tvarů desek apod. se vyrábí z cementačních ocelí 14 220 (14 221) a nástrojové oceli 19 786 (19 487), které jsou v těchto případech cementovány a kaleny na výslednou pevnost kolem 1 000 MPa. [18]

### 5.1.3 Cementační oceli

Tato skupina má poměrně nízkou pevnost v žíhaném stavu. Z toho pak plynoucí dobrou obrobiteľnosť, tváriteľnosť a malou náchylnost k praskání při kalení. [18]

Proto se s výhodou používají na tvárnice, vyráběné vytlačováním za studena. Vyšší pevnost a tvrdost se dosáhne cementací funkční povrchové vrstvy, která se zakalí až na tvrdost přes 700 HV. [18]

Pro široké použití převládá chrommanganová ocel 19 487, určená ke kalení v oleji. Má střední prokalitelnost (cca 40 mm), vysokou houževnatost a relativně dobrou odolnost proti opotřebení. [18]

Ocel 19 486 je svými vlastnostmi obdobná předchozí oceli. Vzhledem k nižšímu obsahu uhlíku (0,15 %C), má pevnost jádra asi o 200 MPa nižší. [18]

U méně náročných dílů se někdy nahrazují cementační nástrojové oceli podobnými, ale méně jakostními cementačními oceli 12 010, 12 020 nebo legovanými 14 220, 14 221, které mají vyšší pevnost v jádře než oceli uhlíkové. Přehled ukazuje tabulka 3. [18]

Tab. 3 Cementační oceli [18]

Užití	ČSN	Zpracování	Poznámka
funkční díly, pouzdra, kolíky	12 010	cementování	vtlačování
	14 220	cementování	dobrá obrobiteľnosť i leštiteľnosť
	19 486	cementování	dobrá leštiteľnosť
	19 487	cementování	dobrá leštiteľnosť

## 5.2 Slitiny mědi

Na výrobu forem se mimo ocelí začínají stále více prosazovat slitiny mědi. Nejen pro chladicí trny tenkých tvárníků, ale i na tvarové vložky, vytáček matice a šrouby, vyhazovací kolíky, vodící a středící pouzdra, různá vedení apod. To proto, že mají některé výhody oproti ocelím. Jsou to především:

- velmi dobrá tepelná vodivost,
- dobrá chemická odolnost,
- dobré kluzné vlastnosti. [18]

Vhodným využitím těchto vlastností se dosáhne:

- zkrácení vstřikovacího cyklu,
- vyšší kvalita výstřiku (výhodnějšími technologickými časy...),
- vyšší funkční bezpečnost (hladší plochy, vhodnější kluzné vlastnosti...). [18]

Velká tepelná vodivost Cu slitin jako jedna z nejdůležitějších vlastností, je oproti ocelím cca 4x vyšší. Z celkového vstřikovacího času je cca 70 % věnována chlazení, zkrácením tohoto času o 20 až 50 % využitím slitin Cu se zkrátí i celkový cyklus, a tím se dosáhne zlevnění ceny jednoho výstřiku. [18]

Při volbě optimální slitiny bude záležet na tom, která kritéria se upřednostní:

- slitiny CuSiNi jsou vhodné pro svoji tepelnou vodivost, ale mají nižší mechanické vlastnosti,
- slitiny CuAlFe, CuAlFeMn, CuAlFeCo, CuAlFeNi mají horší tepelnou vodivost, velmi dobrou chemickou odolnost (vhodné pro zpracování PVC) a nízký koeficient tření. Dále mají vysokou pevnost v tlaku (až 70 MPa). [18]

## 5.3 Slitiny hliníku

Formy ze slitin hliníku a některých dalších kovů mají své speciální použití. Nejsou tak pevné a odolné proti opotřebení jako oceli. Zato mají jiné vlastnosti (velkou tepelnou vodivost, korozivzdornost), které lze s výhodou u forem využít. [18]

Používají se například na formy pro strukturní pěny. Zde je vyžadován intenzivní chladicí účinek, dobrá chemická odolnost proti korozi i ostatním činidlům, vznikajícím při vstřikování plastů s nadouvadlem. Jejich vstřikovací tlaky jsou nižší (až 10x) oproti formám na vstřikování kompaktních plastů a proto nevyžadují tak velkou pevnost. [18]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**



## 6 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

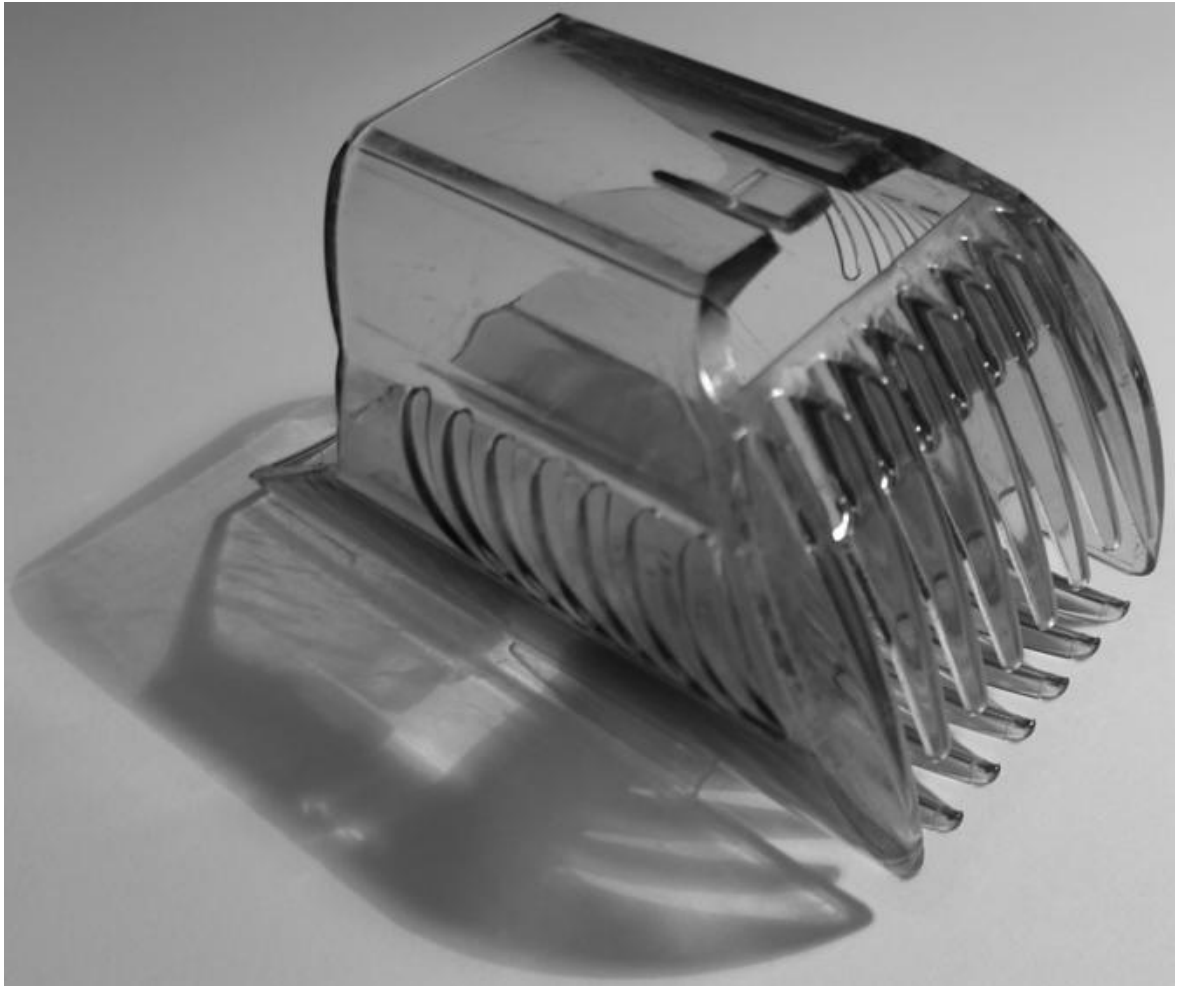
Cílem diplomové práce s názvem „Konstrukční návrh vstříkovací formy“ je pro zvolený plastový díl zkonstruovat dvě vstříkovací formy. Jedna forma bude řešena pro studený vtokový systém a druhá forma bude mít horký vtokový systém. Dále budou provedeny na výše jmenovaných formách tokové analýzy a vyhodnocena ekonomická rozvaha obou forem.

Zásady celé diplomové práce jsou následující:

1. Seznámení se s procesem vstříkování.
2. Sestrojení 3D modelu v programu CATIA V5R18 (dále jen CATIA).
3. Konstrukce dvou vstříkovacích forem pro zadaný díl taktéž pomocí programu CATIA a normalizovaných dílů z 3D knihovny katalogu od společnosti HASCO.
4. Nastavení a ověření procesních parametrů obou forem v programu Autodesk Moldflow Insight 2011 (dále jen Moldflow).
5. Ekonomická rozvaha.

## 7 CHARAKTERISTIKA ZVOLENÉHO PLASTOVÉHO DÍLU

Díl, pro něž jsou obě formy konstruovány, je nástavec na holicí strojek (obr. 21). Byl vybrán z důvodu tvarové rozmanitosti a složitosti. Celý díl je složen z jednoho kusu, který je opatřen uvnitř dutiny zářkami pro upnutí na holicí strojek.



*Obr. 21 Fotka nástavce na holicí strojek*

### 7.1 Volba materiálu

Vzhledem k funkční povaze plastového dílu nejsou nároky na materiál nijak vysoké. Výrobek bude používán při pokojové teplotě.

Požadavky na materiál jsou tedy následující:

- nízká hmotnost,
- tvarová stálost,

- pružnost,
- průhlednost (transparentnost).

Aby byly splněny předešlé materiálové požadavky, tak byl zvolen polykarbonát s názvem Makrolon DP1-1265 od výrobce Bayer MaterialScience.

### 7.1.1 Vlastnosti polykarbonátu

Mezi dobré vlastnosti polykarbonátu patří vysoká mechanická pevnost při nastalých nízkých i vysokých teplotách (-40°C až + 135°C), křehne při -140°C, vynikající tepelně izolační vlastnosti, dobrá světelná propustnost a odolnost proti povětrnostním vlivům, vysoká tvarová stálost vůči teplu (je vhodný pro přesné výstřiky), velmi nízká nasákavost, bezproblémové zpracování (leštění, lepení, potištění) a velmi nízká hmotnost.

Naopak mezi jeho slabosti řadíme citlivost na porušení, chemickou odolnost, horší odolnost proti oděru, houževnatost materiálu klesá pod -40°C, v průběhu času dochází k barevným změnám (žloutne). Vyšší viskozita taveniny způsobuje obtížné vstřikování. Má sklon k vnitřnímu pnutí. [17]

Tab. 4 Vlastnosti materiálu

Pozorované nominální smrštění	
Paralelní	0.7196 %
Kolmé	0,8016 %
Rozsah teploty taveniny	
Minimum	260 °C
Maximum	320 °C

### 7.1.2 Použití polykarbonátu

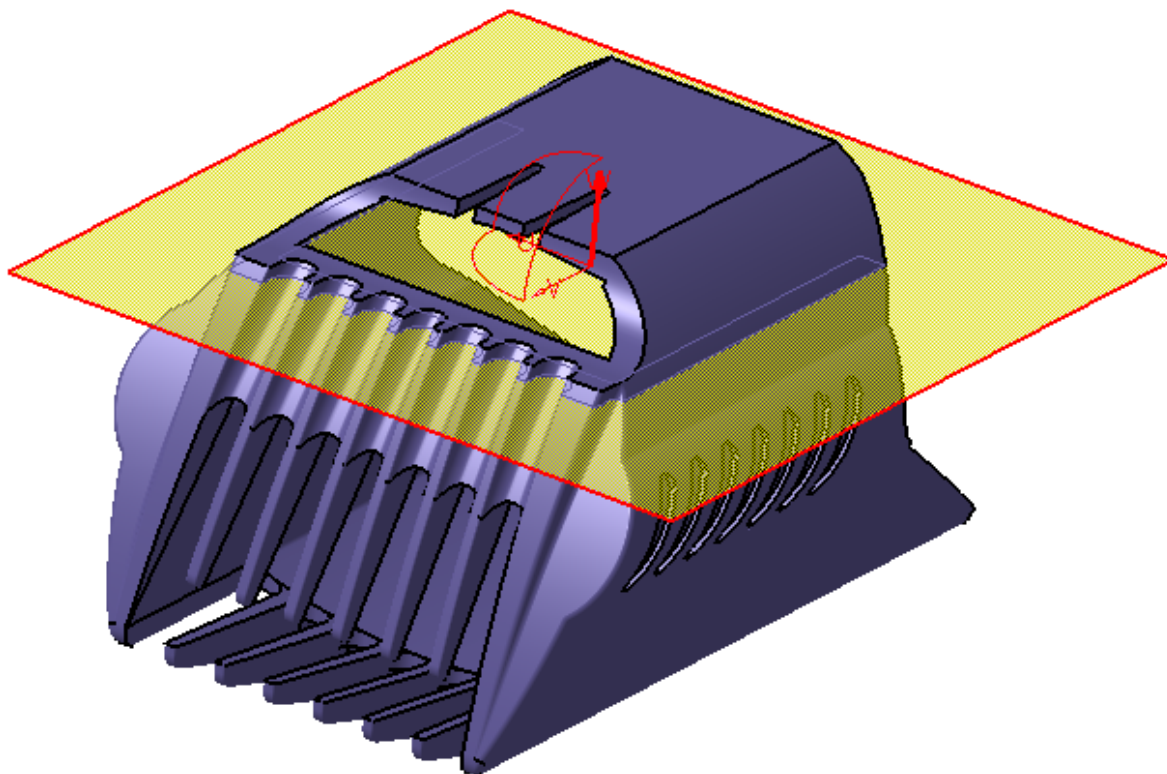
Polykarbonát patří k polymerům se širokou škálou použití. Používá se na obklady fasád, zastřešení teras, k výrobě zimních zahrad a skleníků, vnitřních stropů, světlíků, a světel-

ných pásů. Dále se tento plast uplatňuje ve sportovních halách, ve výrobě pergol a zastřešení pasáží, stavbě obchodů a veletrhů a při výrobě reklamních panelů a vývěsních štítů atd. Polykarbonát je také hojně využíván i v oboru designu interiérového nábytku. Dále se polykarbonát používá pro výrobu optických médií (CD, DVD), elektroniky, světel do automobilů, interiérů letadel nebo medicínských nástrojů (možnost sterilizace). [5]

## 7.2 Volba dělicí roviny

Před konstrukcí formy je důležité si správně rozmyslet vhodné umístění výrobku ve formě. Dělicí rovina byla volena s ohledem na umístění vyhazovačů a snadné vyhození výrobku, typ a umístění vtokového systému, snadný únik vzduchu z formy při vstřiku taveniny do dutiny, polohu výstřiku při otevření formy, tvar dílu a estetické hledisko.

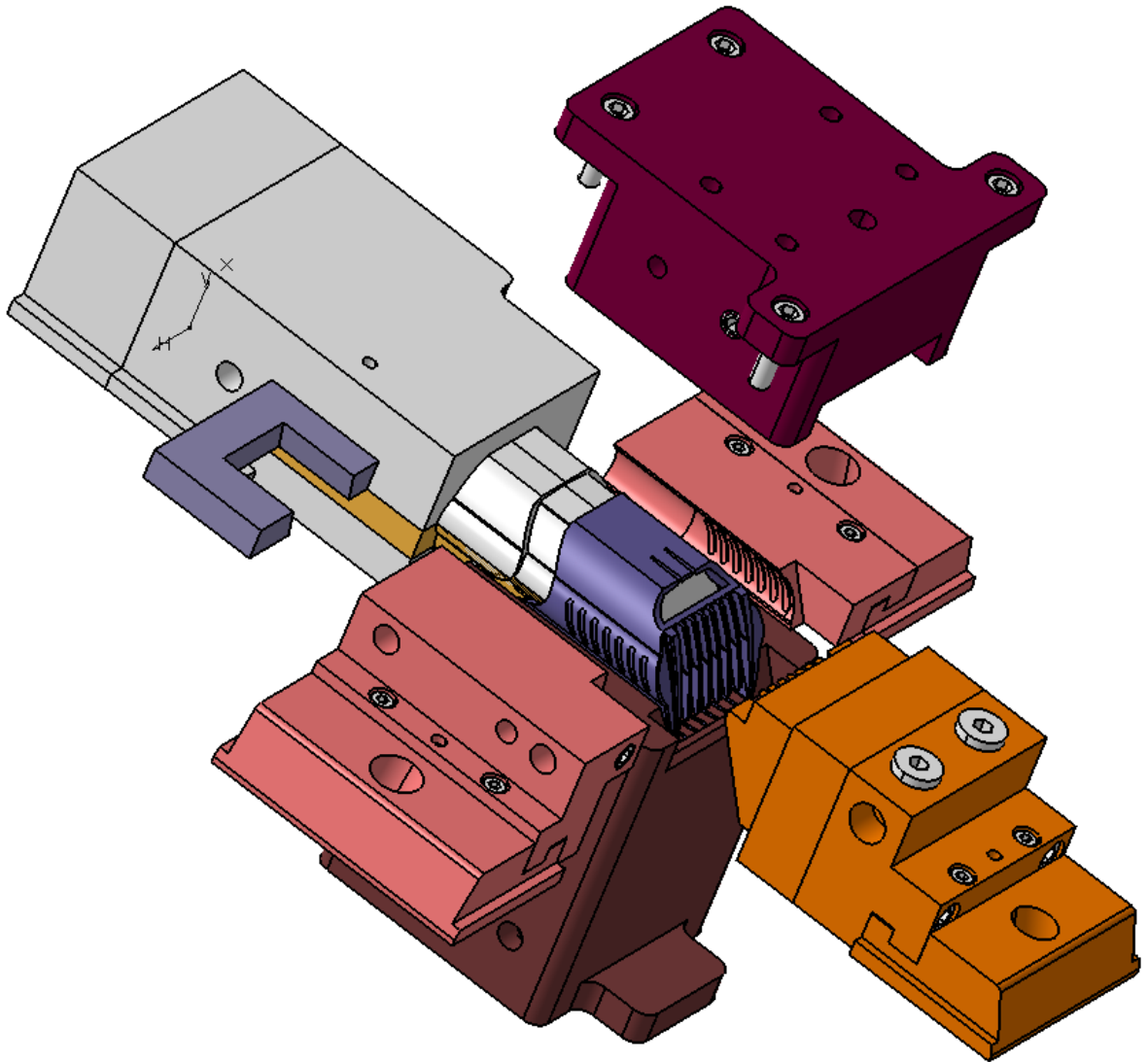
Na následujícím obrázku je zobrazena poloha dílu a dělicí roviny.



*Obr. 22 Poloha hlavní dělicí roviny*

Vzhledem ke kruhovému tvaru dílce a vhodné volbě dělicí roviny není třeba konstruovat úkosy.

Forma obsahuje další vedlejší dělicí roviny, které jsou dány boční, čelní a vnitřní tvarovou částí (obr. 23). Tyto tvarové části jsou závislé na složitosti dílu, přičemž je snaha o co nejjednodušší řešení. Mezery mezi těmito částmi mohou sloužit k uniku vzduch při vstříku taveniny do dutiny formy.



*Obr. 23 Části tvořící tvarovou dutinu*

### 7.3 Násobnost forem

Násobnost formy závisí na několika aspektech, do kterých patří: výkon stroje, rozměry formy a ekonomické hledisko. Pro zvolený plastový díl byla forma konstruována jako dvounásobná.

## 8 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY – STUDENÝ VTOKOVÝ SYSTÉM

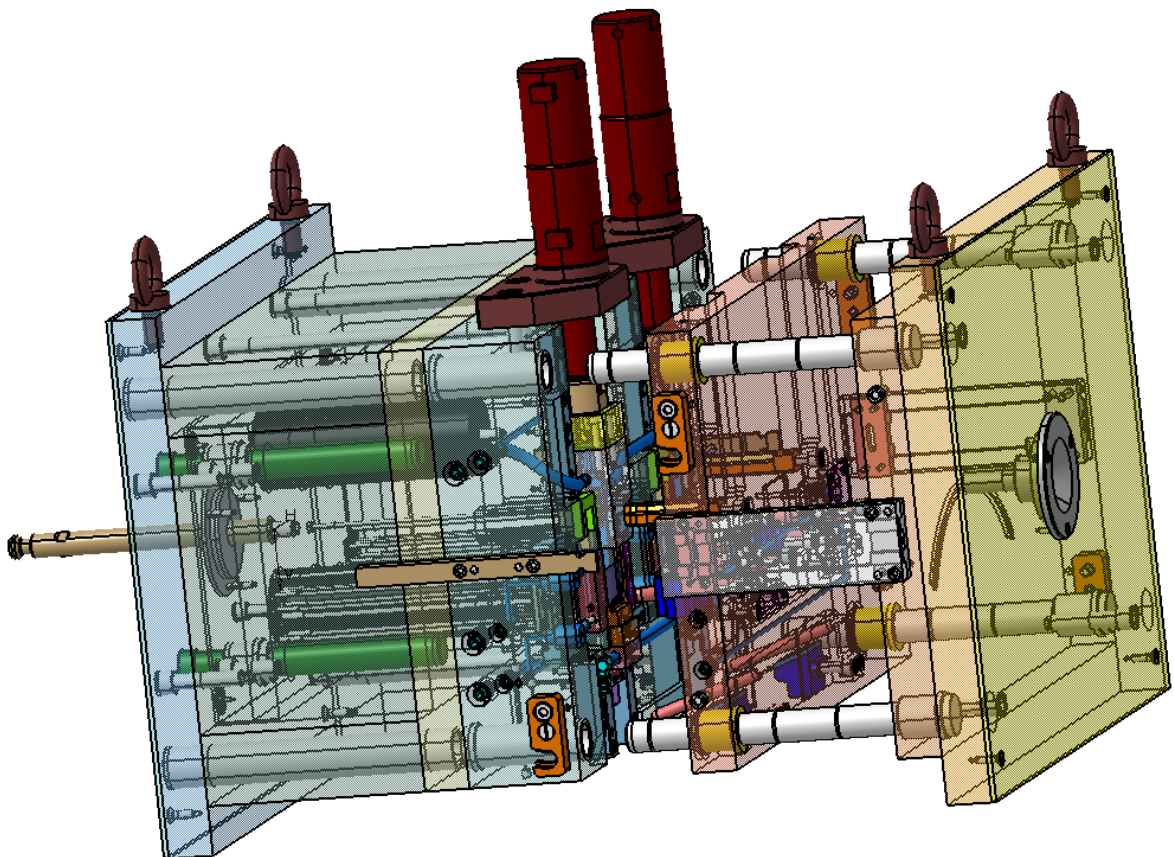
Konstrukce formy se odvíjí od tří celků, které jsou: vstřikovací, uzavírací a vyhazovací část (obr. 24).

Vstřikovací část má za úkol přivedení taveniny do dutiny formy a dělíme ji podle vtokového systému na horký nebo studený, popř. může být kombinace obou.

Uzavírací část slouží k uzavření a otevírání formy. Systém uzavírání může být řešen buď pomocí mechaniky, hydrauliky nebo pneumatiky.

Vyhazovací část umožňuje vyhození výstřiku. Samotné vyhození může být realizováno pomocí několika řešení a to například:

- vyhazovači,
- stírací deskou,
- stlačeným vzduchem.

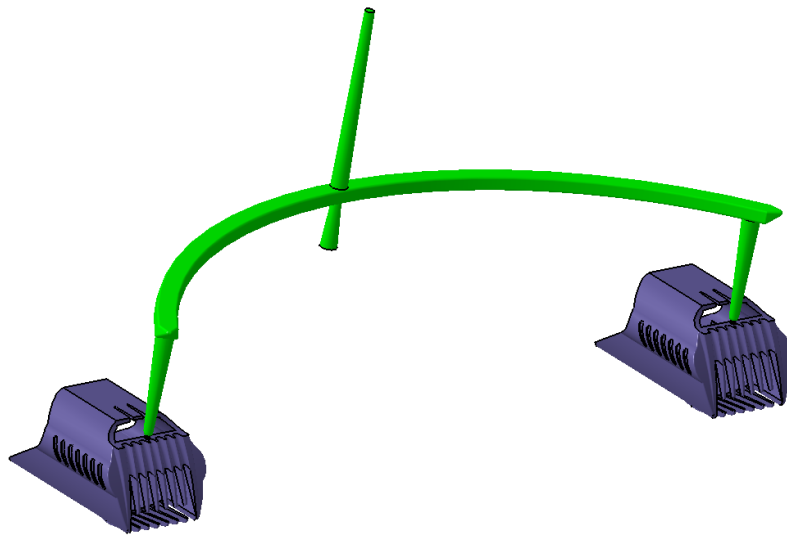


Obr. 24 Vstřikovací forma – studený vtokový systém

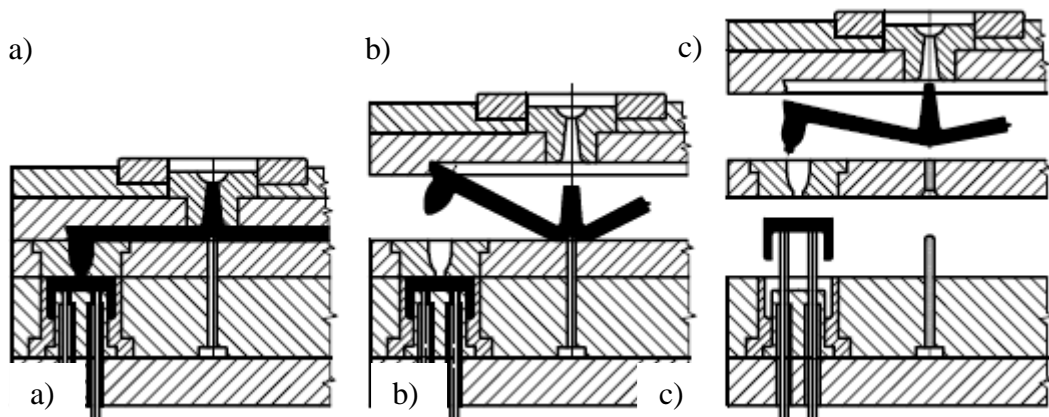
## 8.1 Vtokový systém

Vtokový systém (obr. 25) je konstruovaný jako studený, to znamená, že tavenina po vstříku do formy je ochlazována již ve vtokové vložce. Výhody a nevýhody systému jsou popsány v kapitole 4.2.

Vzhledem k tokové analýze umístění toku (kapitola 11.2) byl použit třideskový systém s bodovým vtokem. Jak ukazuje obrázek 26, tak při otevírání formy dochází k odtržení vtokového systému od výstříku. Tím odpadá nutnost pozdějšího oddělení vtokového systému od výstříku.



Obr. 25 Vtokový systém – studený



Obr. 26 Způsob vyhazování vtoku a výstříku u třideskové formy

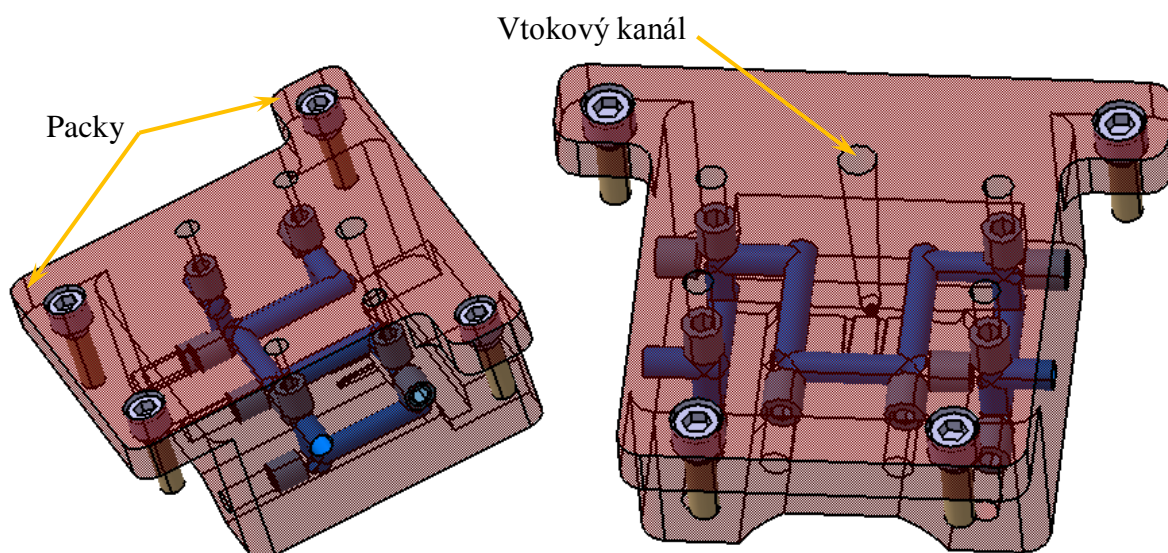
- a) po vstříku
- b) utržení vtoku
- c) vyhození vtoku a výstříku

## 8.2 Tvarové vložky

Na jeden výrobek je třeba použít 7 tvarových částí, přičemž jednotlivé části jsou popsány níže.

### 8.2.1 Tvarová vložka pravá

Pravá tvarová vložka, neboli také tvárnice, je uchycena šrouby v pravé tvarové desce. Šroubové uchycení je z důvodu třídeskového systému, jinak bývá zajištěna pouze opřením pomocí pacek o upínací nebo opěrnou desku pravou. Temperace je prováděna pomocí vrтанých kanálů a samotná dráha chladicího media je definována pomocí ucpávek (obr. 27). Kanály jsou pro lepší viditelnost zobrazeny modře.



Obr. 27 Pravá tvarová vložka

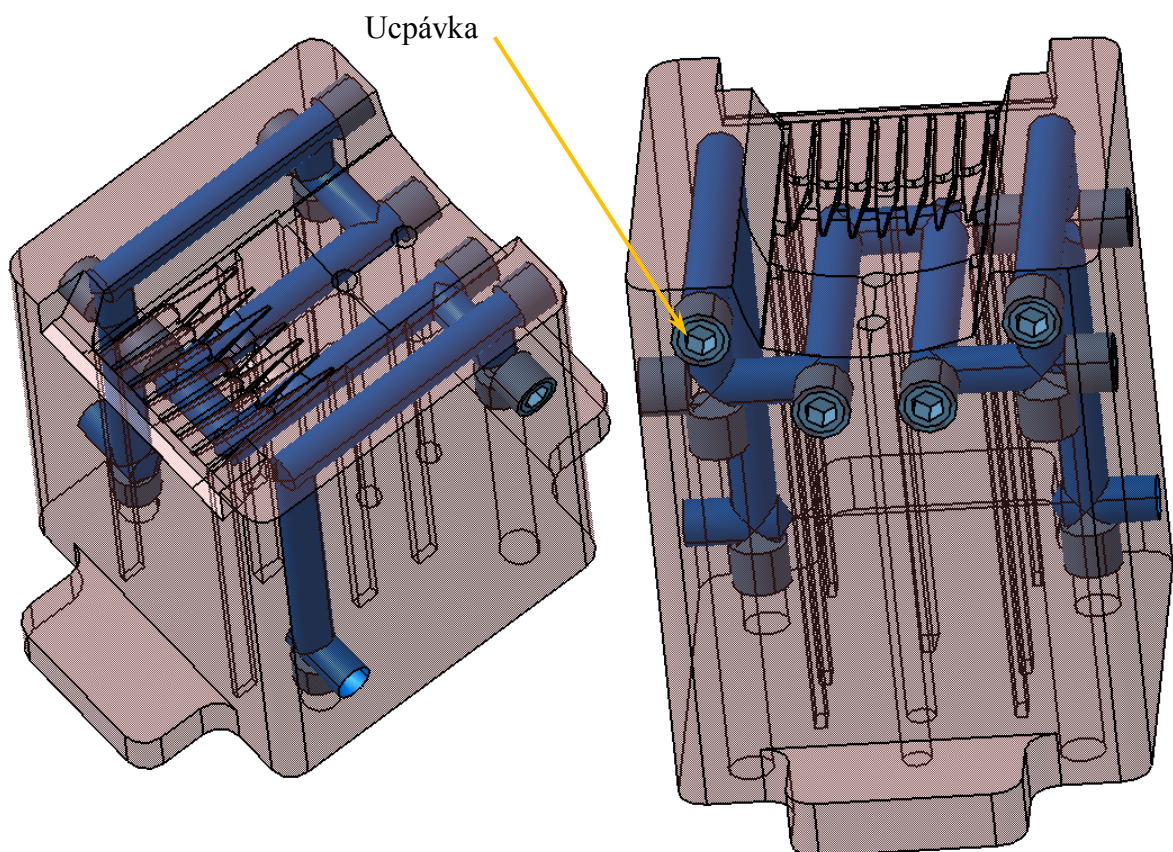
Ve tvárnici je zhotoven otvor pro tok taveniny do dutiny formy. Skládá se ze dvou částí a to z rozvodného kanálu a vtokového ústí (viz. kapitola 4.2).

### 8.2.2 Tvarová vložka levá

Levá tvarová vložka se také nazývá jako tvárník (obr. 28). Je uchycena mezi levou tvarovou deskou a levou opěrnou deskou, které jsou navzájem spojeny šroubem, tudíž zde není třeba použití šroubového spojení pro samotný tvárník.



Dále jsou ve tvárníku zhotoveny otvory pro vyhazovače, jenž umožňují vyhození výstřiku z formy. Samotná konstrukce a počet vyhazovačů je individuální podle tvaru výrobku. Měly by být rozprostřeny na stěně výstřiku tak, aby rovnoměrně působily silou na výrobek. Rovněž je žádoucí zhotovit mezi vyhazovačem a otvorem v němž je umístěn vůli cca 0,3 mm pro odvod vzduchu z dutiny formy při vstřiku taveniny. V opačném případě hrozí vznik nežádoucího jevu „Dieselův efekt“ či vznik bublin ve výrobku.



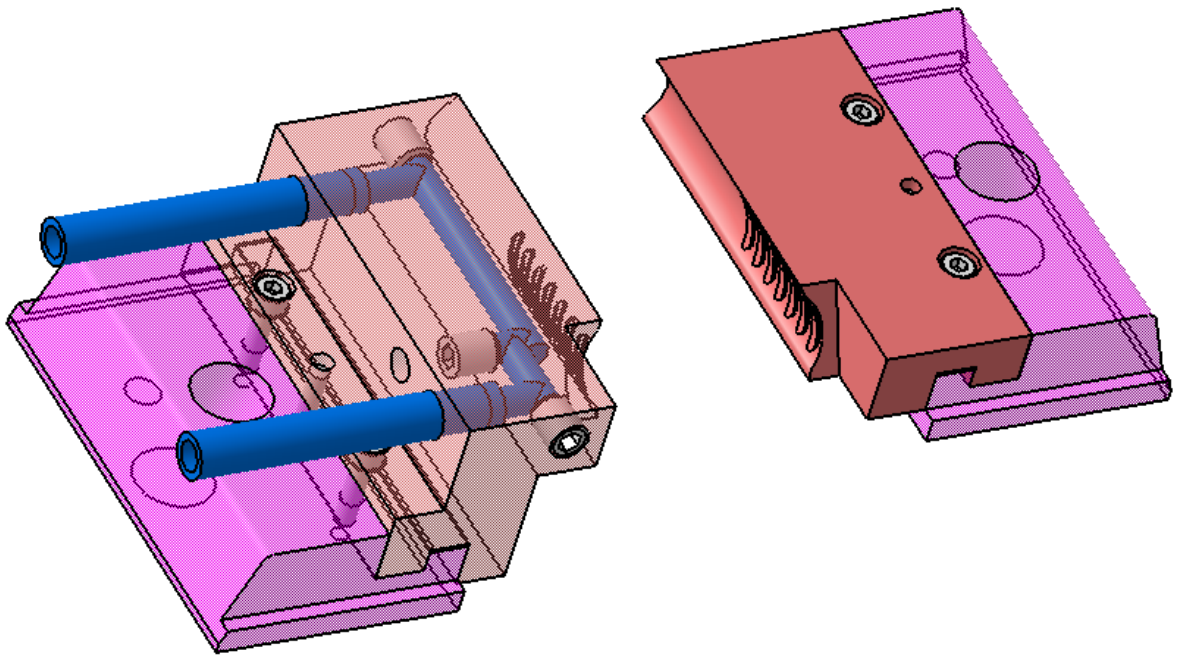
Obr. 28 Levá tvarová vložka

### 8.2.3 Boční tvarové vložky

Boční tvarové části jsou konstruovány tak, aby vytvořily drážky na bocích výrobku. Liší se od sebe zrcadlovým vzorem. V jedné tvarové části je také zavedeno chlazení a to z toho důvodu, že vnitřní tvarová část obsahuje chlazení pomocí přepážky, které je z technických důvodů vyosené od středu výrobku (více v kapitole 8.2.5). Tím pádem není nutné konstruovat chlazení na obou stranách tenkostěnného výrobku. Oba boční tvárníky jsou zobrazeny na obrázku 29.

Posuv obou tvarových částí zajišťuje šikmý čep, který je uchycen v pravé tvarové desce pomocí závitového kolíku. Při zdvihu formy se tedy šoupátko a tím i tvarová část posunuje po šikmém čepu. Jakmile se čep vysune ze šoupátka je tvarová část proti nechtěnému pohybu a možnému poškození formy při otevření zajištěna pružícím přitlačným kusem.

Posuv pomocí šikmých čepů reaguje okamžitě na zdvih formy.



Obr. 29 Boční tvarové části

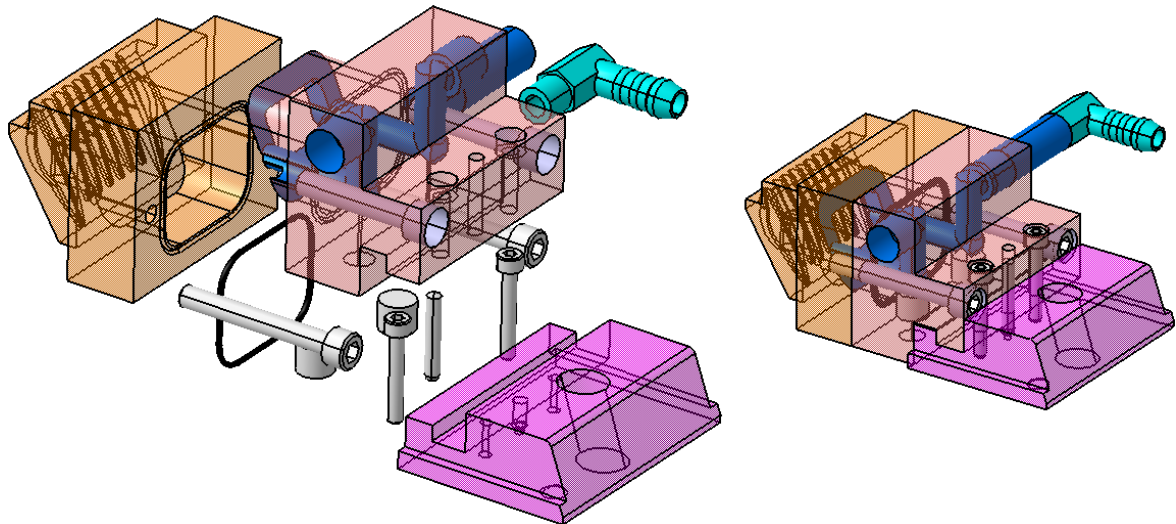
#### 8.2.4 Čelní tvarová vložka

Vzhledem k povaze výrobku a jeho užívání, bylo nutno vytvořit i čelní tvarovou část pro zaoblení hran zubu, které budou v kontaktu s kůží uživatele holícího nástavce. Posuv tvarové části je zajištěn opět pomocí šikmého čepu stejně jako posuv bočních tvarových částí.

Po odsunu vznikne mezi vnitřní tvarovou částí A a B mezera, do níž zajede vnitřní tvarová část B.

Jak je vidět na obrázku 30, tvarová část se skládá ze dvou částí, jenž jsou spojeny šrouby a mezi nimi je ještě ve vyfrézovanou drážce umístěno pryžové těsnění.

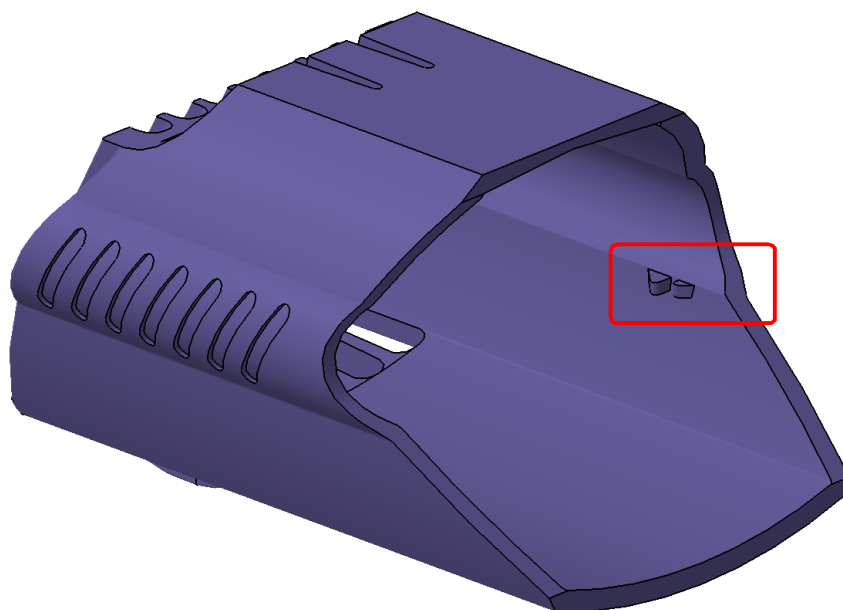
Také bylo vytvořeno chlazení, kterým vstupuje do čelní tvarové části hadicí temperační medium a v tvarové části se rozdělí na dvě samostatné větve a následně opět spojí a propojovací trubicou teče do druhého čelního tvárníku pro druhou dutinu.



Obr. 30 Čelní tvarová část

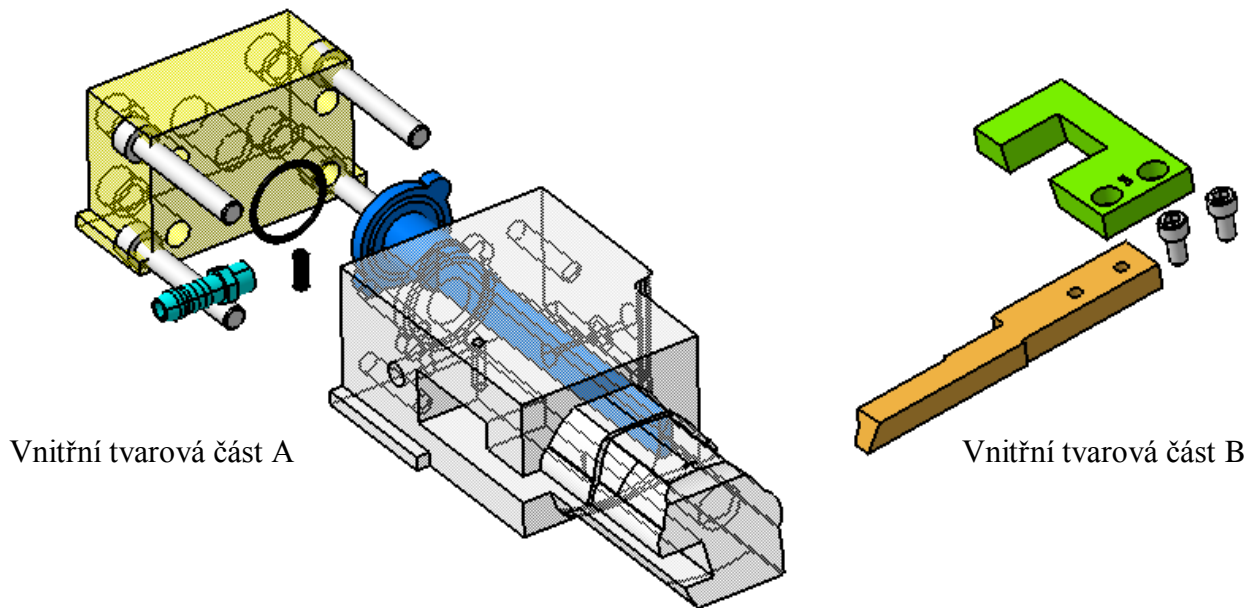
### 8.2.5 Vnitřní tvarová vložka

Vnitřní tvarová část slouží k vytvoření dutiny výrobku. Vzhledem k vnitřní zarážce (zvýrazněná část na obr. 31) bylo třeba zkonstruovat systém odformování i pro tuto zarážku.



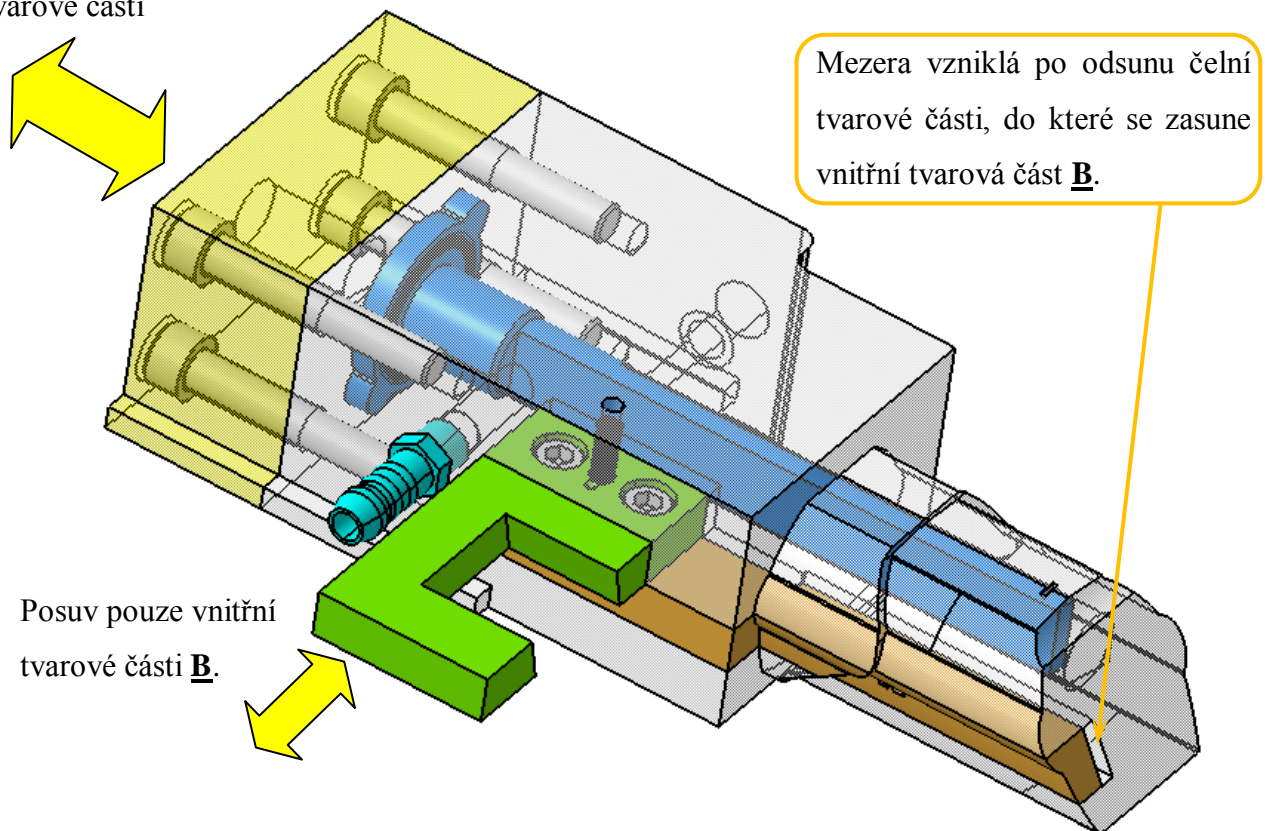
Obr. 31 Zarážka ve vnitřní dutině výrobku

Obrázek 32 ukazuje obě části rozložené na jednotlivé díly, přičemž obrázek 33 je ukazuje složené a ve výchozí poloze vůči sobě v době vstříku taveniny.



Obr. 32 Vnitřní tvarové části A a B – rozložené

Směr posuvu celé vnitřní tvarové části



Obr. 33 Vnitřní tvarové části

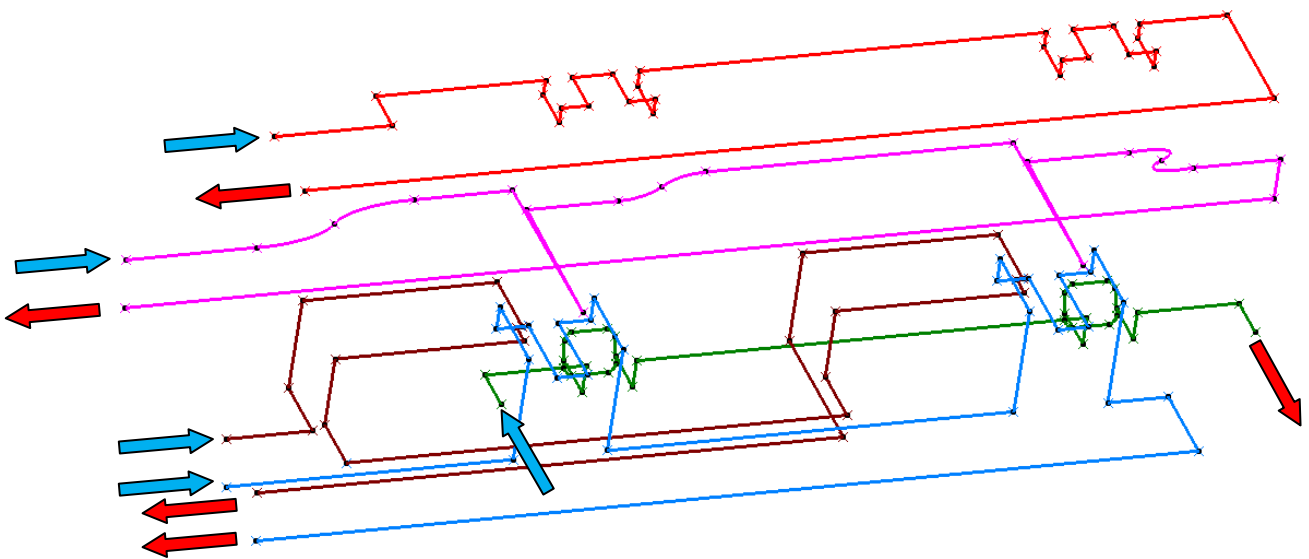
Vnitřní tvarová část A obsahuje chlazení, které je řešeno jako přepážka ve vrtané dutině. Chlazení ve formě přepážky je v tomto případě nejvhodnější řešení, neboť temperační medium je olej a k dosažení turbulentního proudění u chlazení v podobě „Bubbleru“ bylo zapotřebí velmi vysokého průtoku.

Posuv tvarové části je zajištěn pomocí hydraulického válce. Válec byl vybrán z toho důvodu toho, že než dojde k posuvu vnitřní tvarové části A musí proběhnout posuv čelní a vnitřní tvarové části B. Řešením by bylo i použití lomeného kolíku, ale z důvodu velkého požadavku na odsun formy byl vybrán hydraulický válec.

Vnitřní tvarová část B slouží pro odformování již zmíněné zarážky. Vzhledem k malým rozměrům části v něm není navrženo chlazení. Posuv obstarává lomený kolík upnutý v pravé tvarové desce. Zajištění této posuvné části po odjezdu lomeného kolíku je zajištěno taktéž pružícím přítlačným kusem.

### 8.3 Temperace

Pro ochlazení výstřiku je k dispozici 5 nezávislých chladících okruhu (obr. 34). Tyto dráhy jsou pro ochlazení tvárníku, tvárnice, boční, čelní a vnitřní tvarové části. U všech temperačních kanálů se jedná o vrtané dráhy.



Obr. 34 Temperační kanály

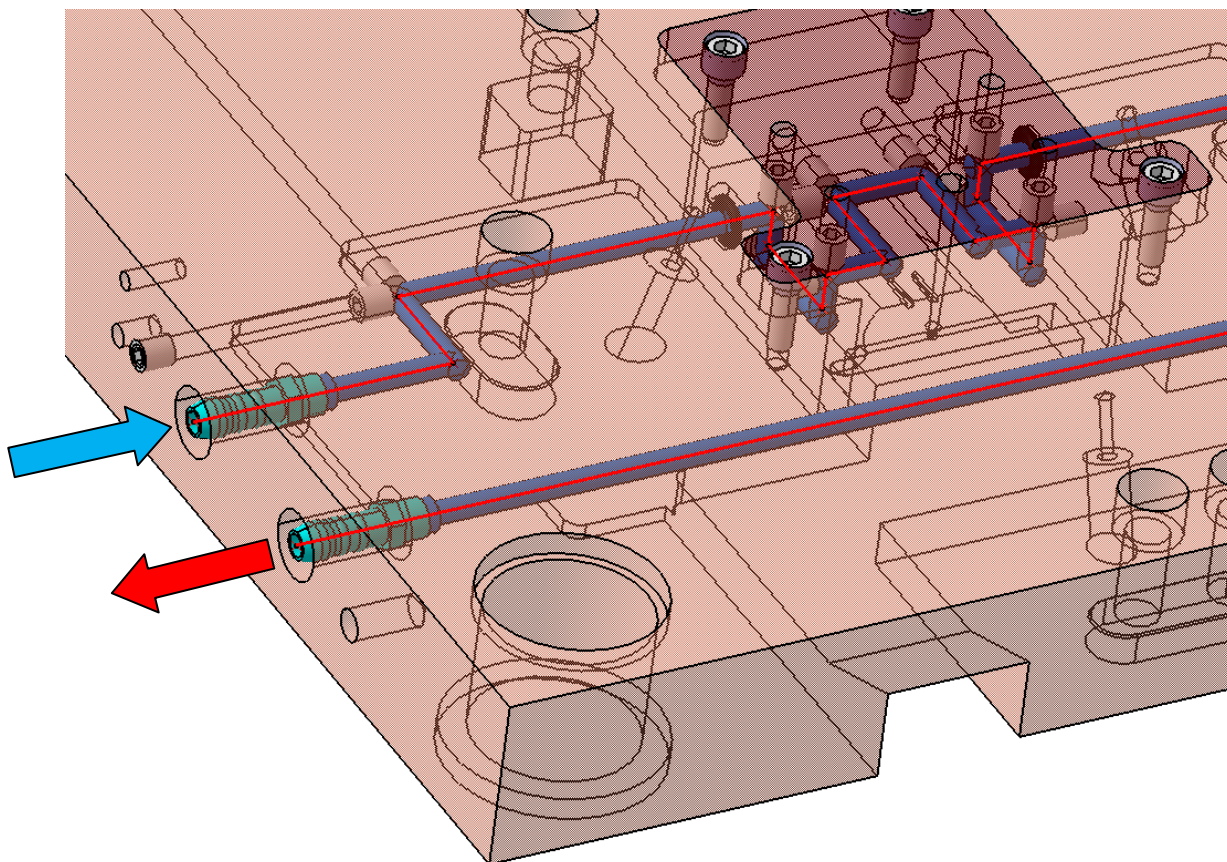
### 8.3.1 Temperace pravé tvarové vložky

Temperační medium vstupuje přívodní hadicí přes koncovku hadice do pravé tvarové desky. V místě, kde se nachází prostor ve tvarové desce pro pravou tvarovou část, přestupuje chladicí kapalina přes těsnící o-kroužek do pravé tvarové vložky.

Otvory jsou zhotoveny vrtáním o průměru 6 mm, a tudíž bylo nutno použít ucpávky, které definují trajektorii toku a zároveň zabraňují vytečení temperačního media.

Vstup i výstup je projektovaný tak, že obě přípojky na hadice jsou na totožné straně. Toto řešení je vhodnější oproti možnosti mít koncovky na protilehlých stranách z důvodu většího pracovního prostoru kolem vstřikovacího stroje. Tím se sníží riziko mechanického poškození například zaváděním tělem obsluhy.

Obrázek 35 ukazuje dráhu proudění kapaliny, která je znázorněná červeně. Modrá šipka značí vstup temperačního media.



Obr. 35 Temperace pravé tvarové vložky

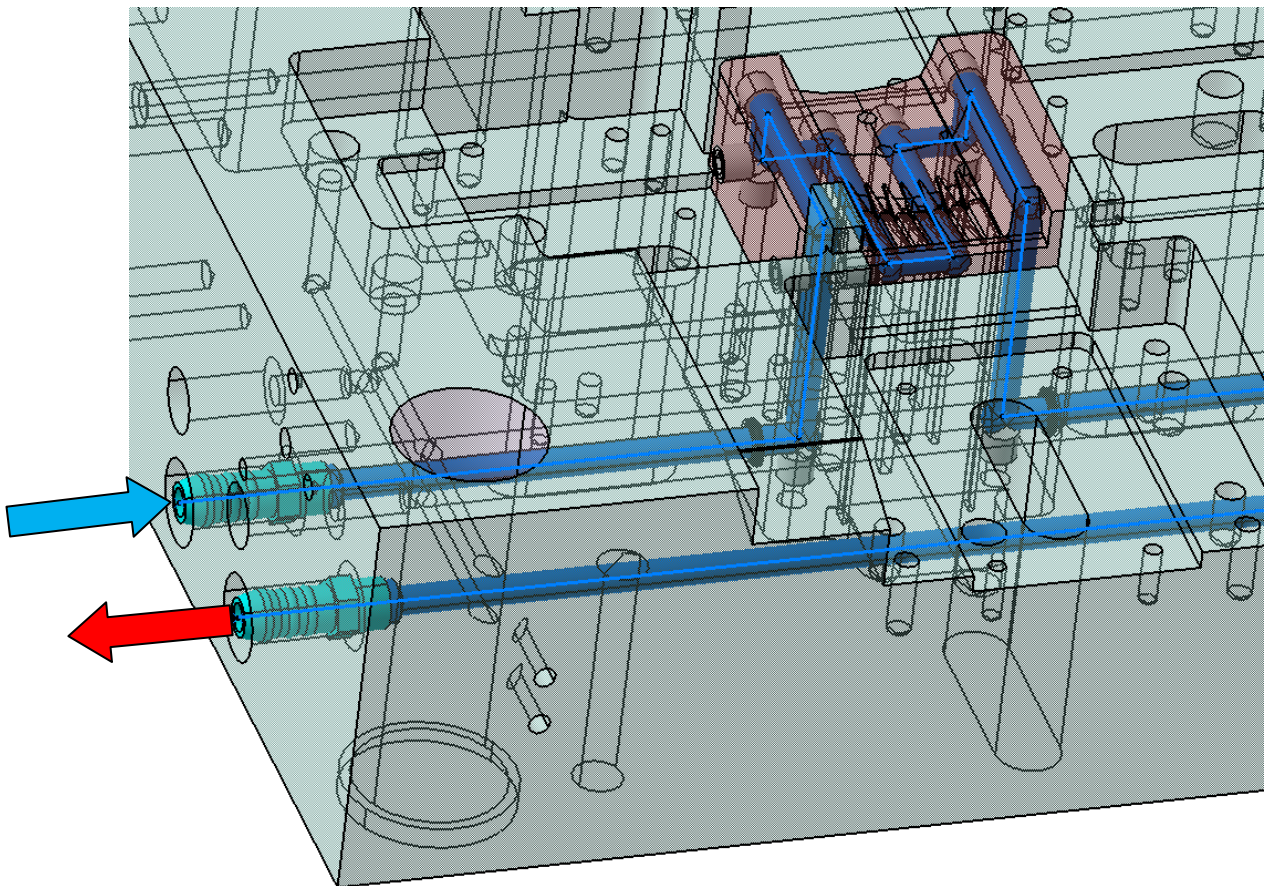
### 8.3.2 Temperace levé tvarové vložky

Kanály jsou opět vyvrtané a je nutné znovu použít ucpávky pro nadefinování trajektorie toku chladicí kapaliny. V místě přechodu media z tvarové desky do tvarové vložky je jako těsnící prvek použit o-kroužek.

Průměr kanálu je zde 8 mm a koncovky hadice jsou zapuštěny do tvarové desky. Přívod a odvod jsou na totožné straně, podobně jako u temperance v pravé části formy.

Mezera mezi kanály nepřekračuje doporučenou hodnotu materiálu 6 mm pro průměr kanálu 8 mm.

Vstup temperačního media na obrázku 36 je označen modrou šipkou.

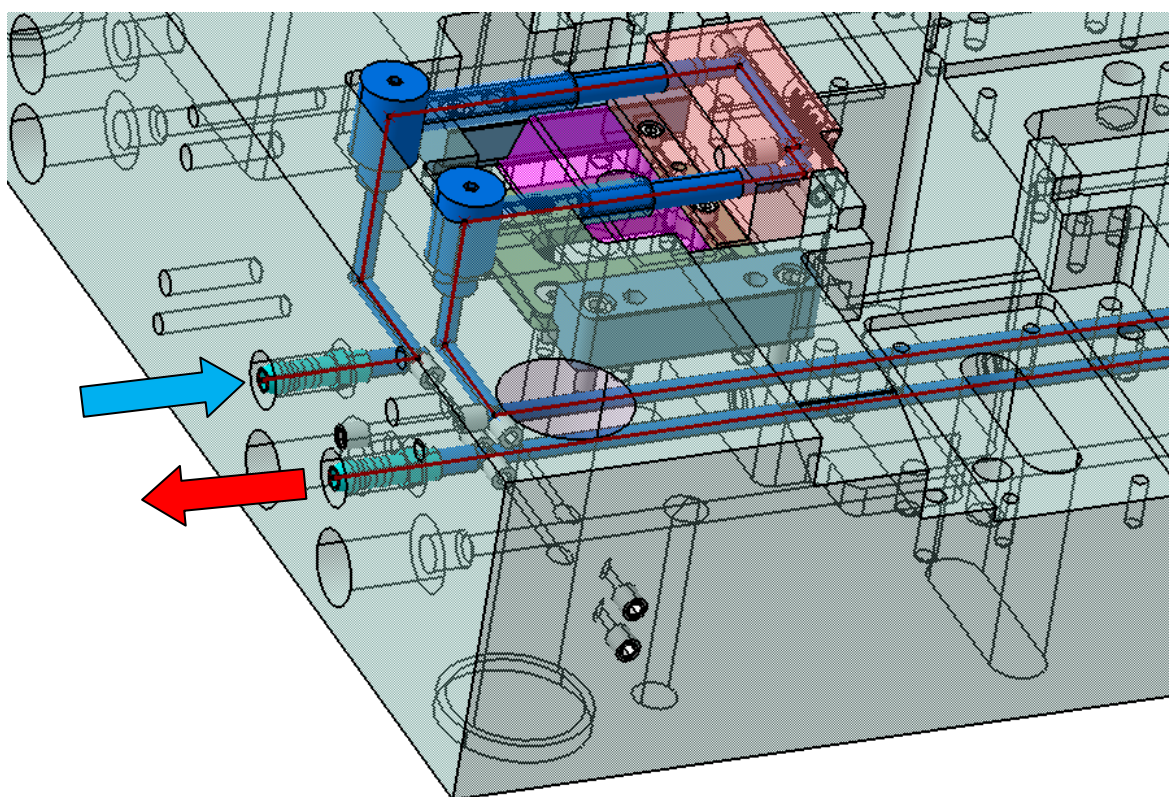


Obr. 36 Temperace levé tvarové vložky

### 8.3.3 Temperace boční tvarové vložky

Dráha chladicího media vstupujícího přes koncovku hadice do levé tvarové vložky a poté přes posuvnou spojku do boční tvarové části je vrtaná o průměru 6 mm. Kanály s tímto a vyšším průměrem by měly zaručovat průchodnost a eliminovat zanášení nečistotami.

Hnědá barva čar zobrazuje dráhu media, které po oběhnutí viditelné výseče teče do bočního tvárníku pro druhou dutinu a vytéká v místě, které je označeno červenou šipkou (obr. 37).



Obr. 37 Temperace boční tvarové vložky

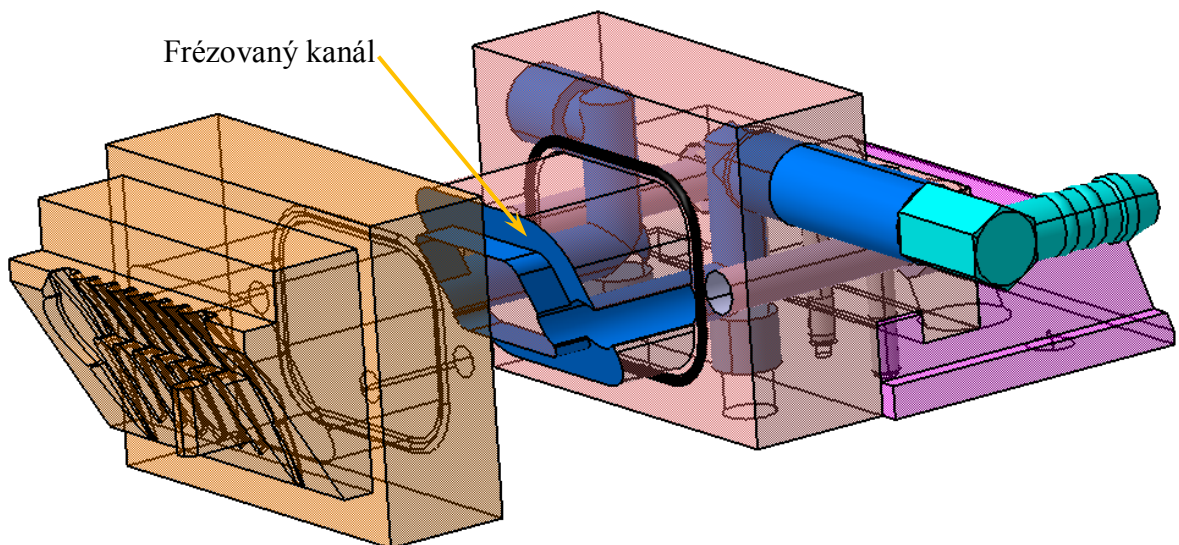
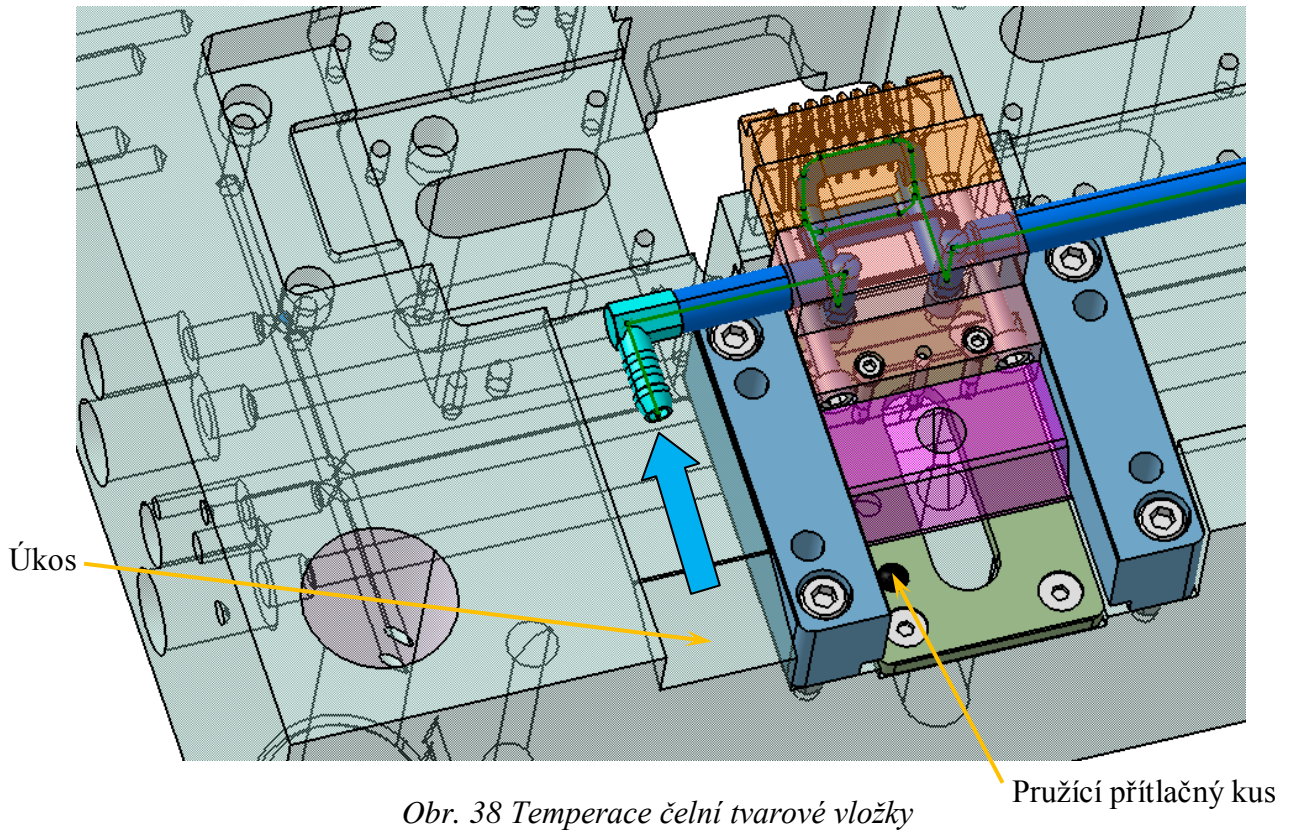
### 8.3.4 Temperace čelní tvarové vložky

Temperace je v tomto případě mimo pravou tvarovou desku. Aby byl zajištěn pohyb, je přívod nasazen přímo na čelní část (obr. 38). Přívodní hadice se bude tedy pohybovat a kopírovat pohyb čelní tvarové části. Na konci tvarových desek je zhotoven úkos, aby zde nedocházelo k poškozování přívodní hadice.



Dráha je označena zelenou barvou a přívod modrou šipkou. Výstup temperačního media je na celní tvarové části pro druhou dutinu. Trubky a vrtané kanály mají průměr 8 mm, pouze frézovaná část ve tvaru čtverce má délku stran 6 mm (obr. 39).

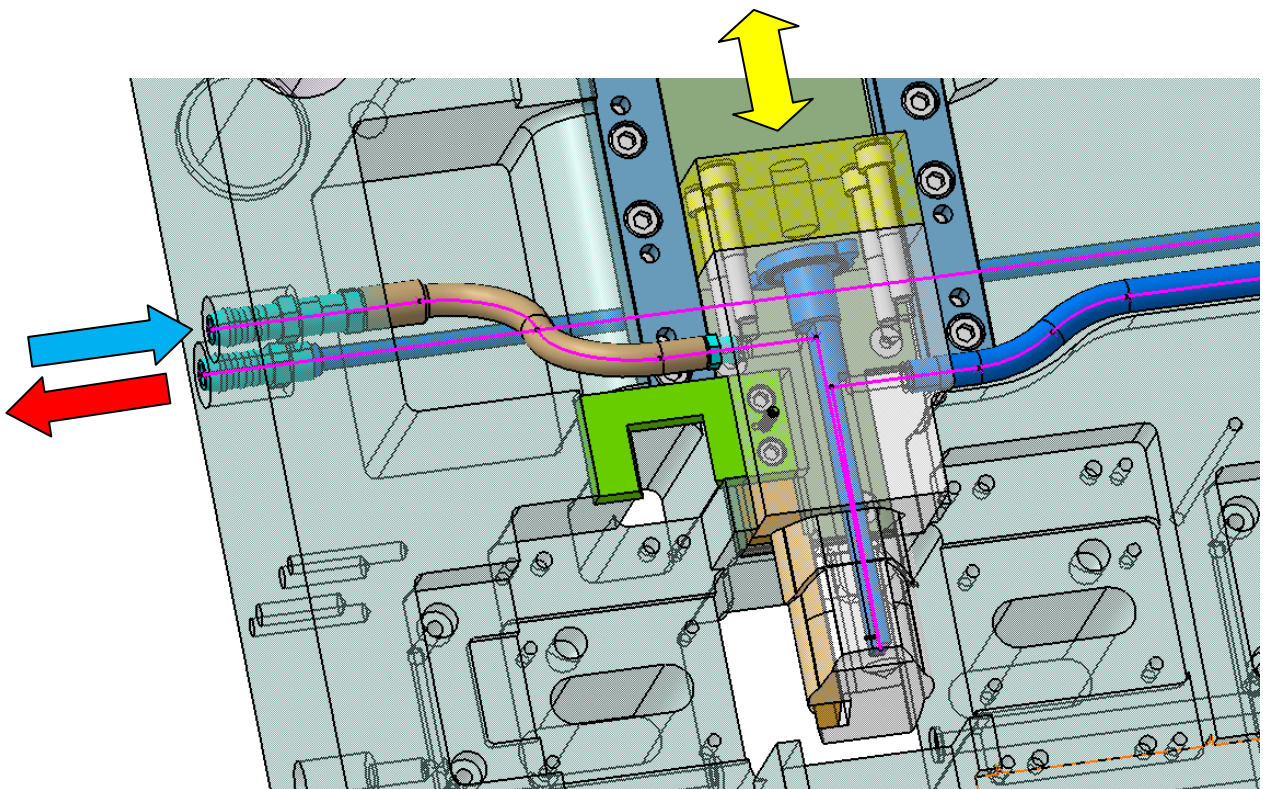
Aby nedošlo v otevřeném stavu formy k úplnému vyjetí celého tvářecího systému je na konci opatřen pružícím přitlačným kusem.



### 8.3.5 Temperace vnitřní tvarové vložky

Jak již bylo zmíněno v kapitole 8.2.5, temperační okruh je pouze ve vnitřní tvarové části A. Kapalina vstupuje přes koncovku hadice do propojovací hadice označené na obrázku 40 hnědou barvou, a pak do tvarové části, kde je vyvrtána díra o průměru 16 mm v ní vložená přepážka. Tím se kapalina donutí dotéct až na konec vyvrtané díry a poté mezerou mezi koncem díry a přepážkou proteče zpět na začátek a ven přes trubku do druhé vnitřní tvarové části.

Propojovací hadice je použita z důvodu vertikálního pohybu tvarové části. Také její délka je navržena tak, aby nedocházelo při pohybu k velkému namáhání a postupem času k rychlejšímu opotřebení.

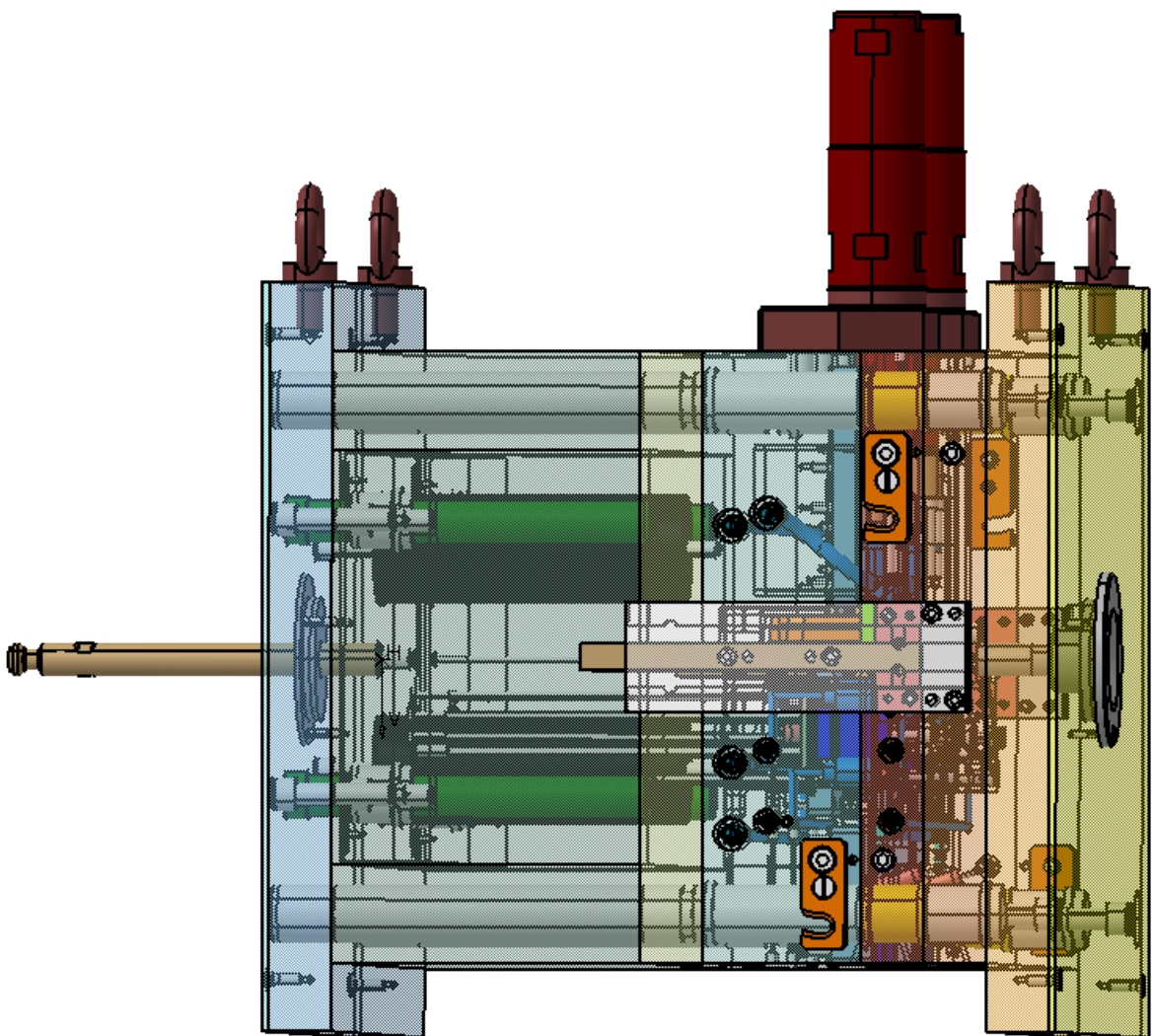


Obr. 40 Temperace vnitřní tvarové vložky

## 8.4 Systém odformování

Systém formy je konstruovaný tak, aby při otevření došlo nejen k vyhození výrobku, ale také o oddělení vtokového zbytku od výstřiku. Tím se dosáhne toho, že např. výrobky z formy spadnou do jedné krabice a vtokový systém do druhé. Díky tomu odpadá nákladné a zdlouhavé odstraňování výstřiků od vtokového zbytku.

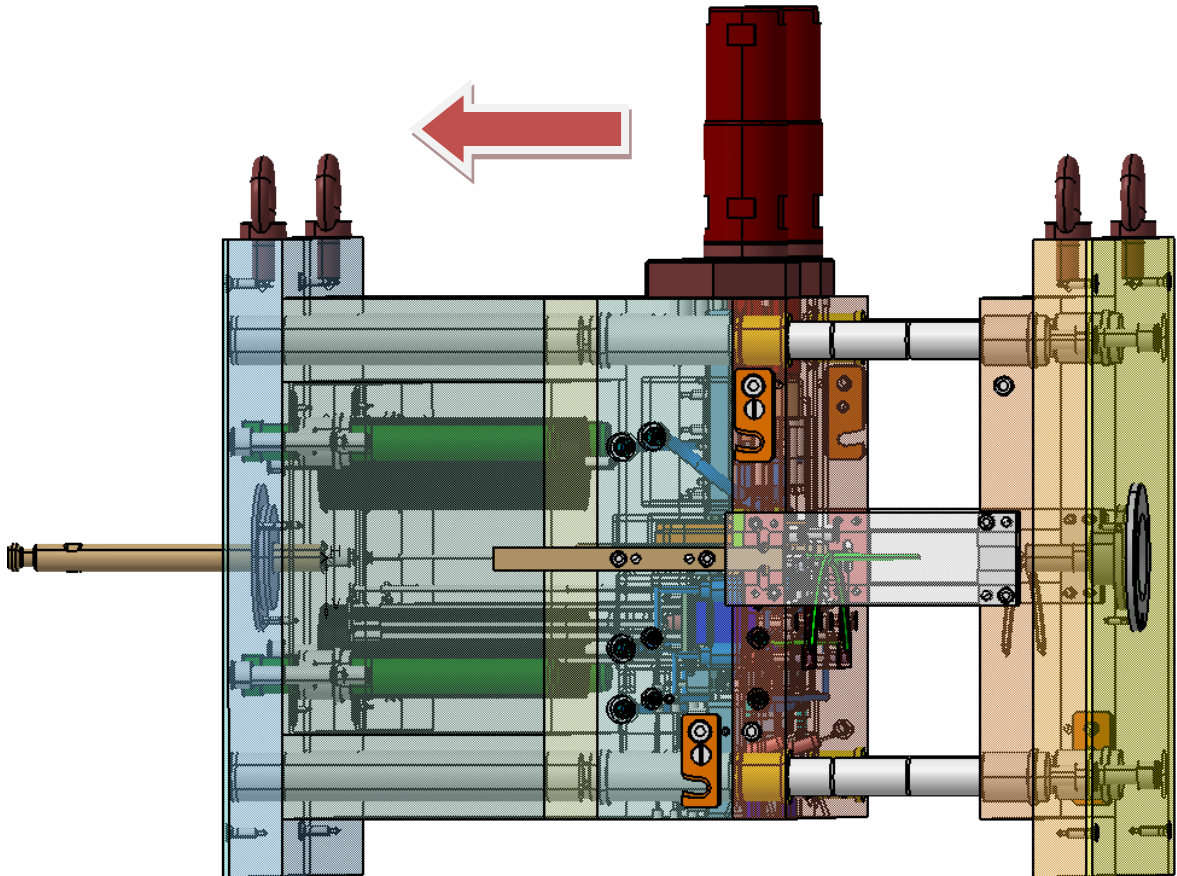
Obrázek 41 ukazuje formu po dokončení vstřikovacího cyklu a připravenou k otevření. Forma je uzavřená a v dutině je výstřik ochlazený na vyhazovací teplotu. Vyhazovače jsou ve výchozí poloze, což znamená, že jsou na levé straně.



*Obr. 41 Forma po dokončení vstřikovacího cyklu*

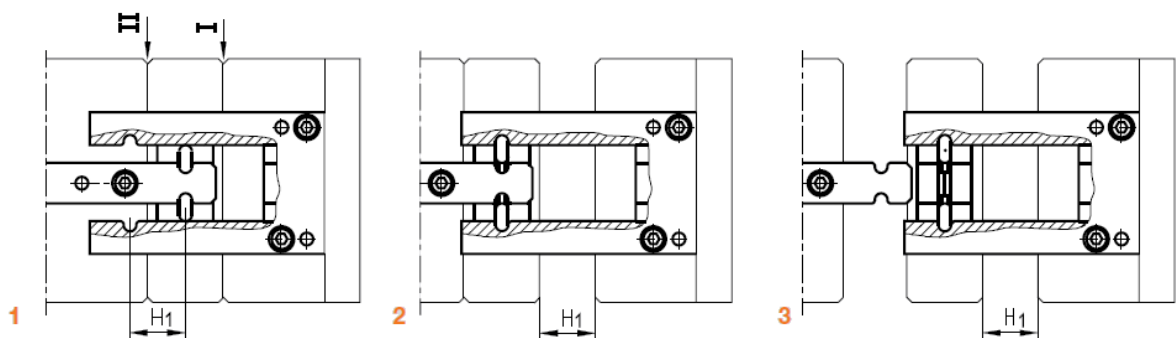
Dalším krokem je postupné otevírání formy. V tomto okamžiku dochází k několika na sobě nezávislým krokům.

Západkový tažný systém přidržuje pravou tvarovou desku, která se současně s levou stranou formy posouvá doleva. Taktéž i vyhazovací systém. Tento průběh je zobrazen na obrázku 42.



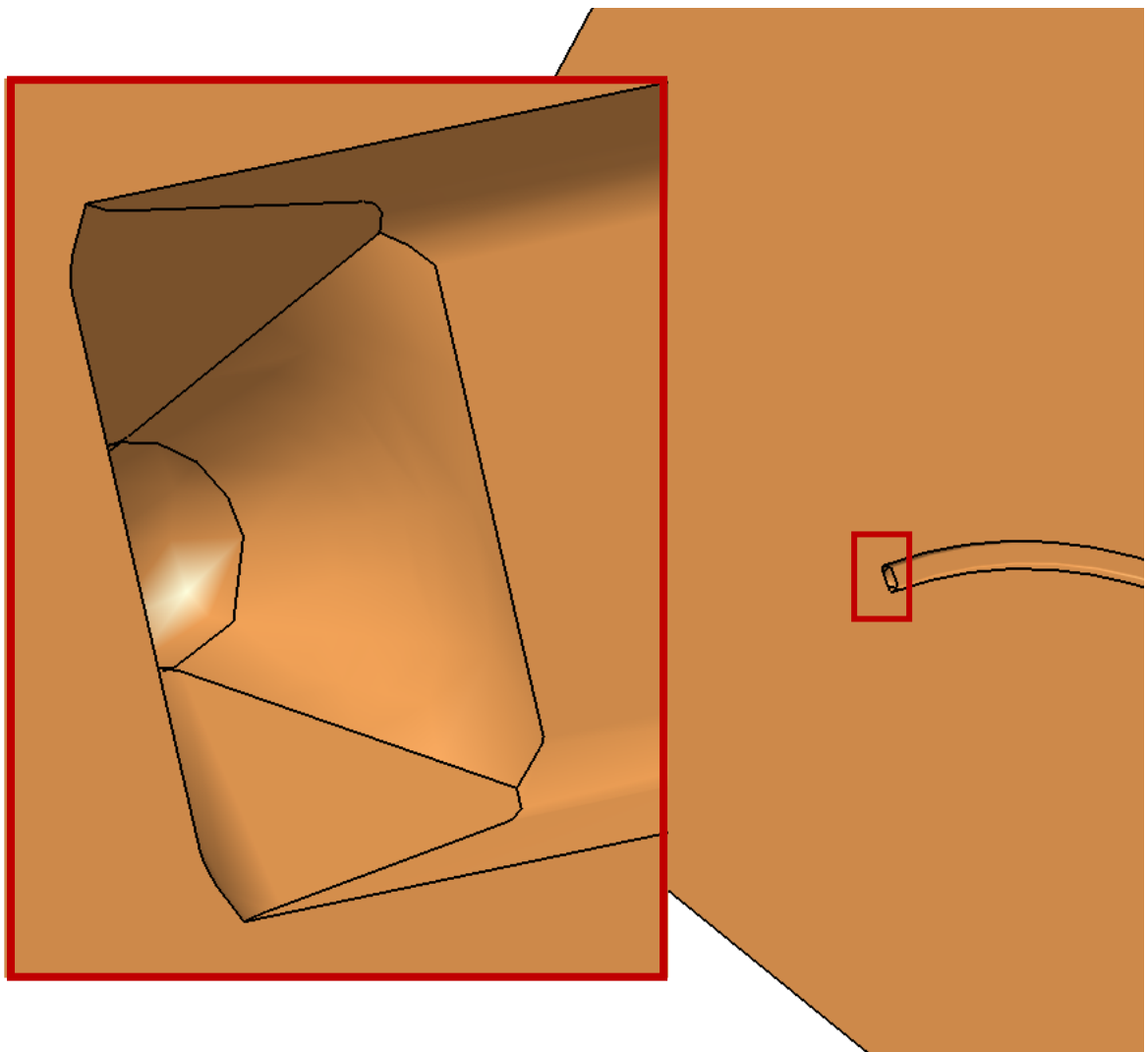
Obr. 42 Otevírání vstřikovací formy

Tento stav trvá do té doby, než západkový tažný systém dorazí na svůj konec. Funkci tažného systému popisuje obrázek 43.



Obr. 43 Tažný západkový systém

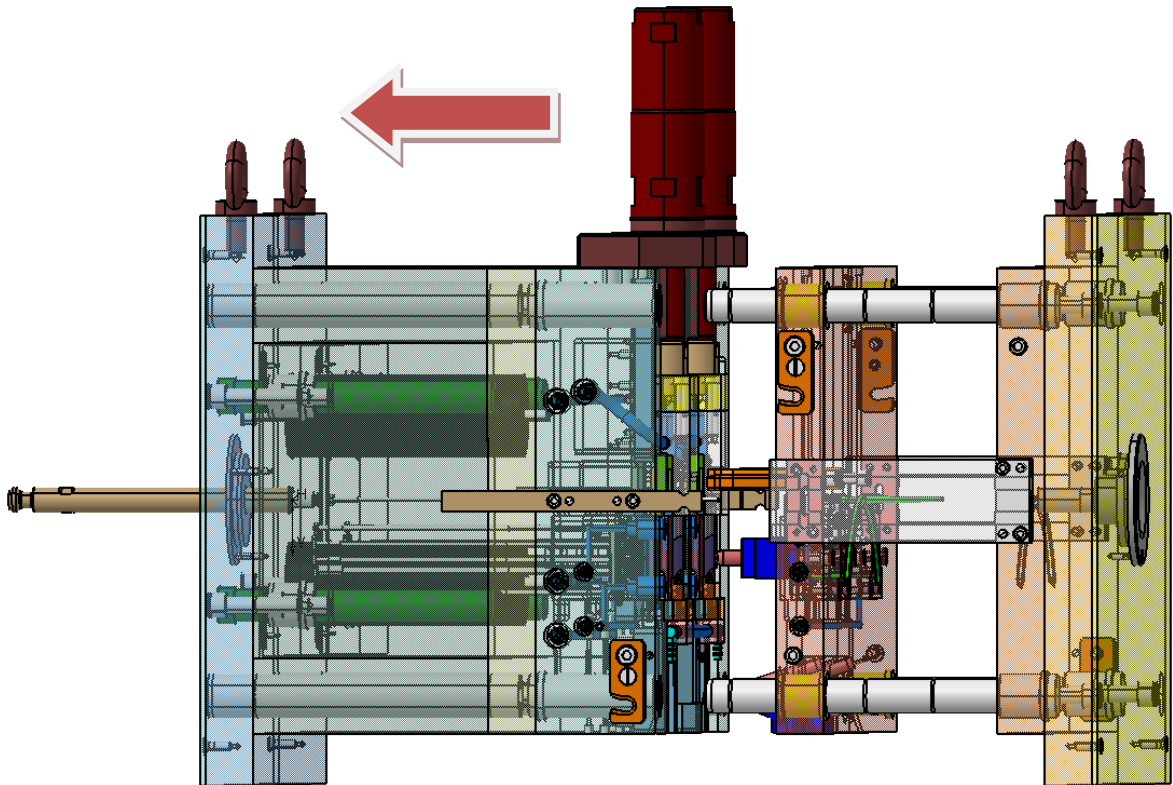
V tomto časovém intervalu právě dochází k odtržení vtokového zbytku od výrobků. Ve vyfrézované dutině (obr. 44) na pravé straně formy je zachycen vtokový zbytek. Tím dojde k odtržení v místě vtokového ústí od výrobku, který se posunuje se zbytkem formy doleva. Aby nevznikla situace, při níž by vtokový systém zůstal na pravé straně, kde není možnost ho z formy nijak odstranit (kromě manuální činnosti), je přidržen na levé straně pomocí přidržovače vtoku. Průběh oddělení je zobrazen v kapitole 8.2 obrázkem 26.



*Obr. 44 Vyfrézovaná drážka v rozvodném kanále*

Jako další krok je fáze, kdy dochází k pokračování odsunu levé strany formy, ale pravá tvarová deska se již dále nepohybuje. Při tomto kroku dochází také k posuvu tvarových

částí, které jsou voděny na šikmých čepech a taktéž opožděný posuv částí voděných lomným kolíkem a hydraulickým systémem.

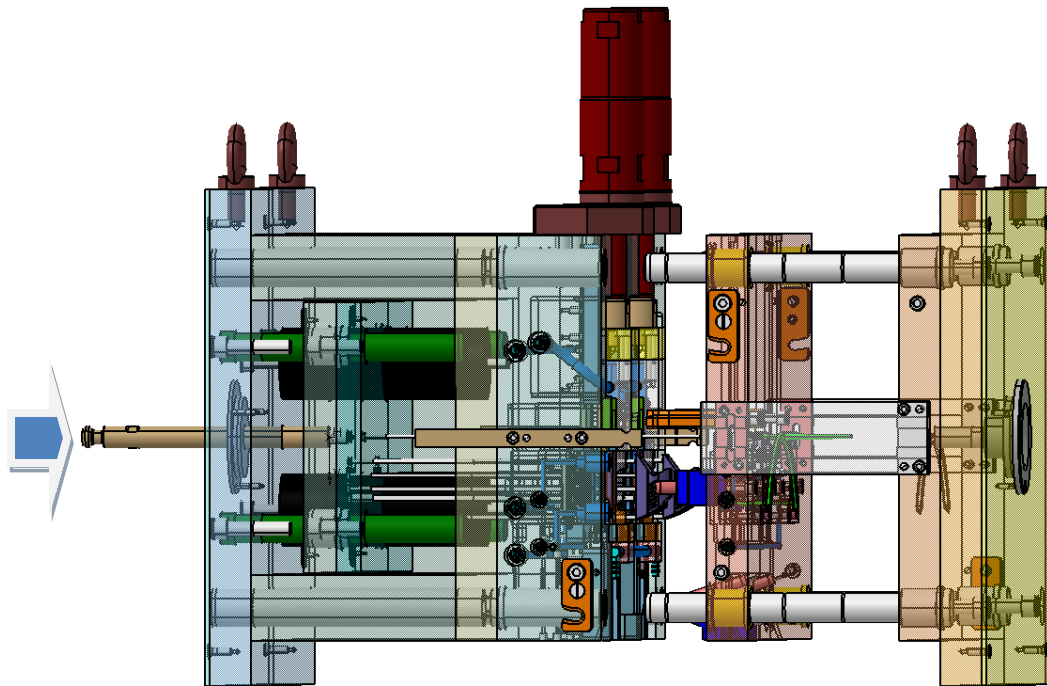


*Obr. 45 Otevírání vstřikovací formy – plné otevření formy*

Po odformování výrobku je jeho poloha na levé straně formy a zbývá pouze jeho vyhození (obr. 45). V této fázi se již forma nepohybuje, pohyb vykonává pouze vyhazovací systém. Ten se skládá ze tří částí a to:

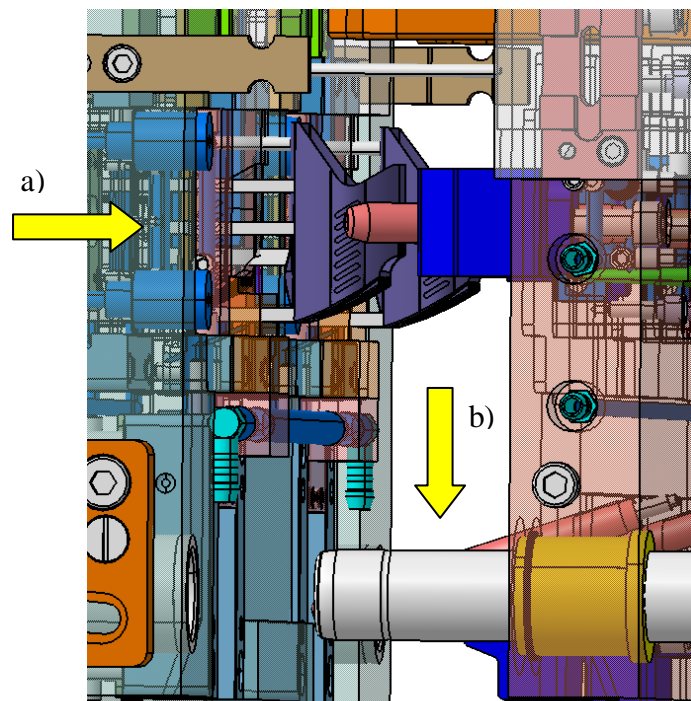
- vyhození výrobku,
- prodlevy - při níž vypadne výrobek,
- vyhození vtokového zbytku, který je stále přidržován pomocí přidržovače na pravé tvarové desce.

Obrázek 46 ukazuje vyhození výrobku, což zahrnuje samotné vyhození vyhazovači a již zmíněnou prodlevu, kdy může výrobek volně padat, aniž by do něj narážely vyhazovače.



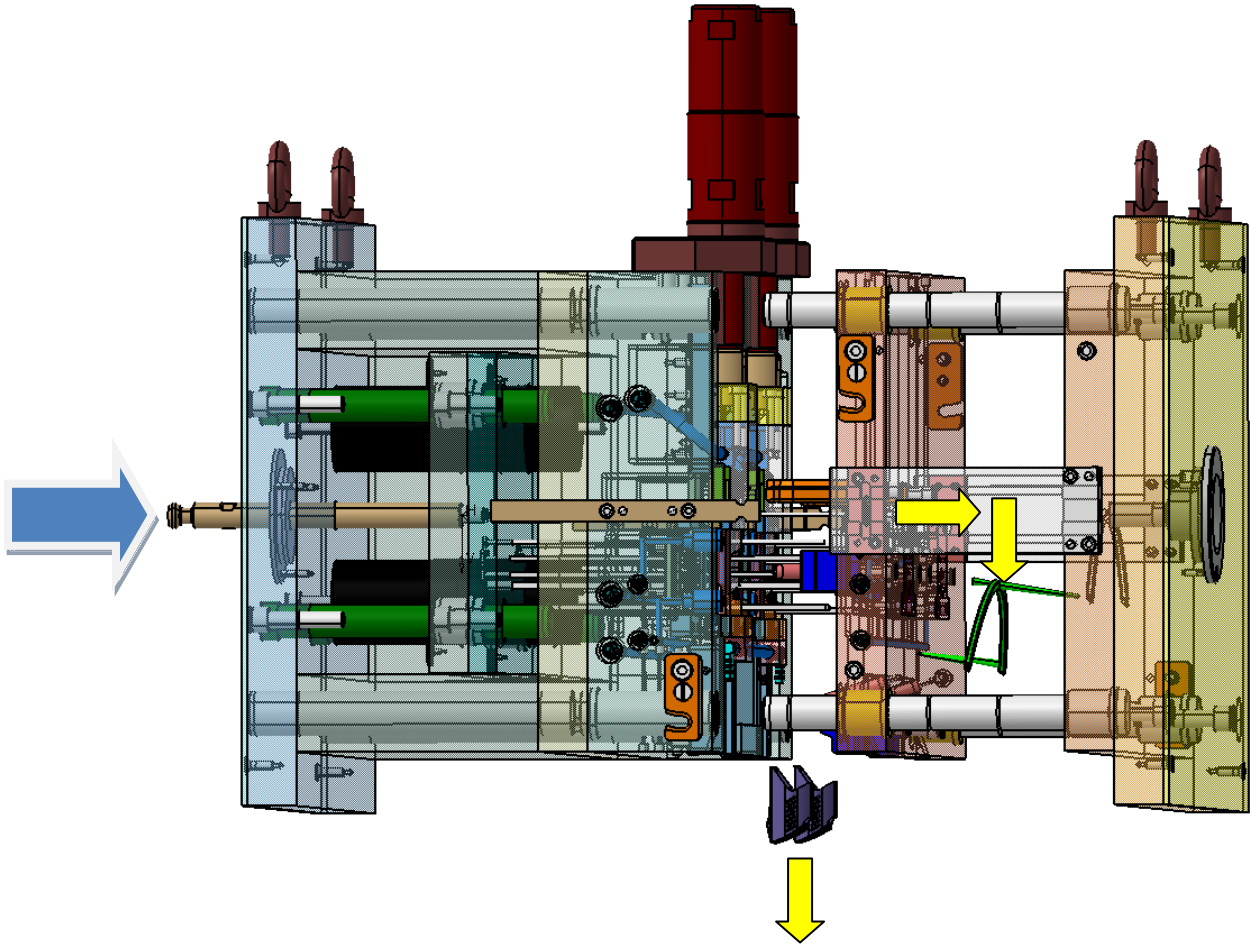
Obr. 46 Vyhození výrobku

Detailnější pohled na vyhození výrobku na obrázku 47



Obr. 47 Detailnější pohled na vyhození výrobku  
a) vytlačení výrobku vyhazovači; b) pozastavení vyhazovacího systému a volný pád výrobku

Po vyhození výrobku zbývá vyhodit pouze vtokový zbytek (obr. 48). Toho se docílí opětovným pohybem vyhazovačů, respektive kruhovým vyhazovačem umístěným naproti přídržovači vtoku.



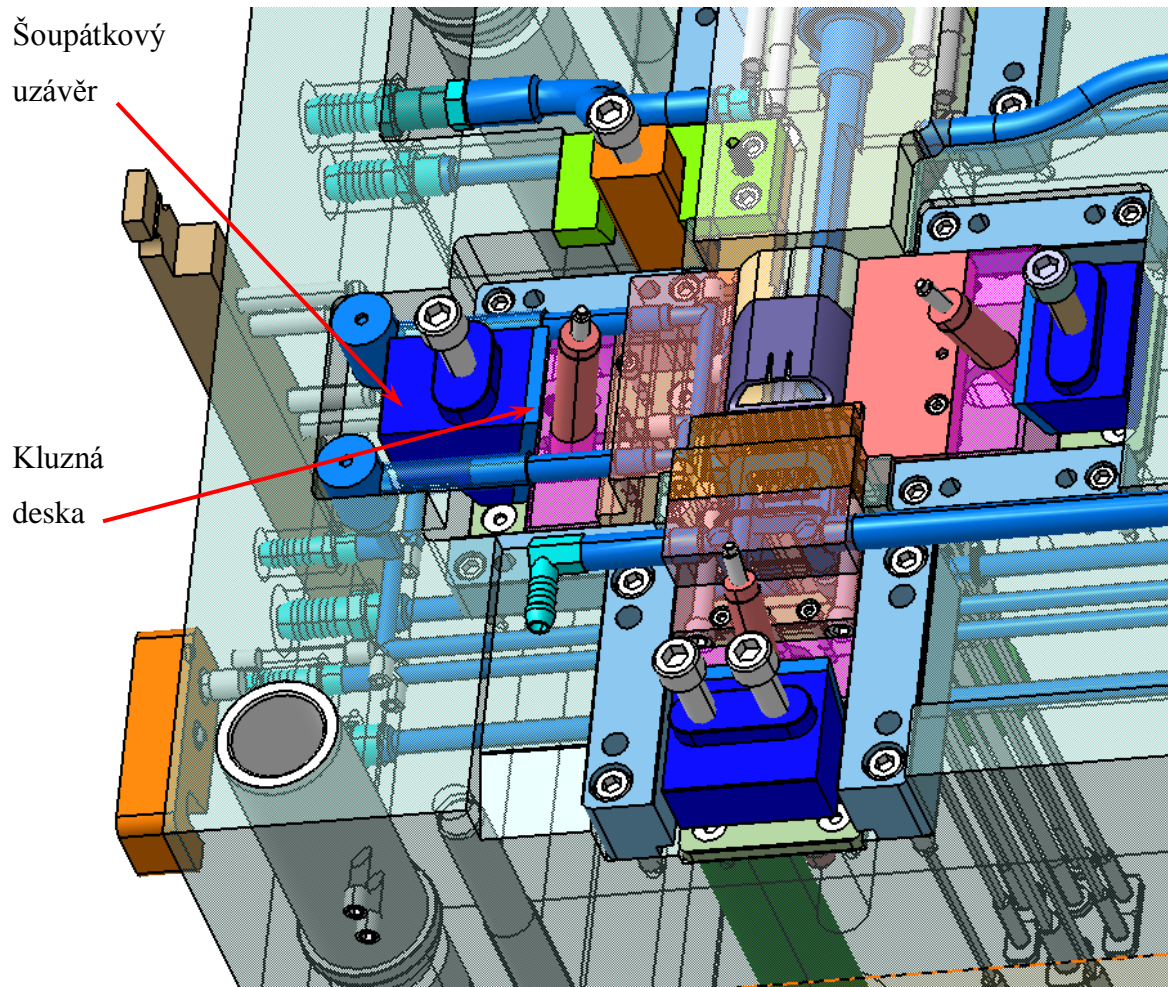
Obr. 48 Vyhození vtokového zbytku

#### 8.4.1 Odsun tvarových částí

Jak je vidět na obrázku 49, tak v uzavřené poloze nevystředuje tvarové části šikmý čep, ale šoupátkový uzávěr. Uchycený je pomocí šroubů na pravé straně formy ve tvarové desce a ještě je opatřen o kluznou desku.

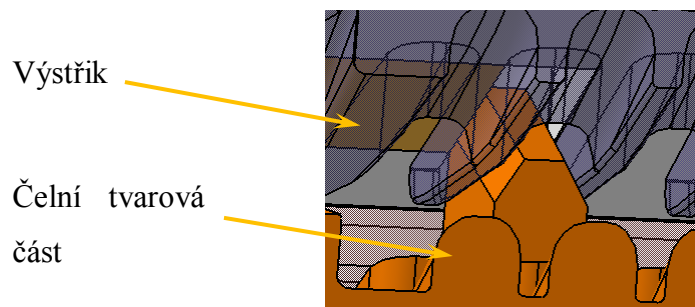
Mezi šikmým čepem a šoupátkem je vždy jistá vůle, v tomto případě 0,5 mm.



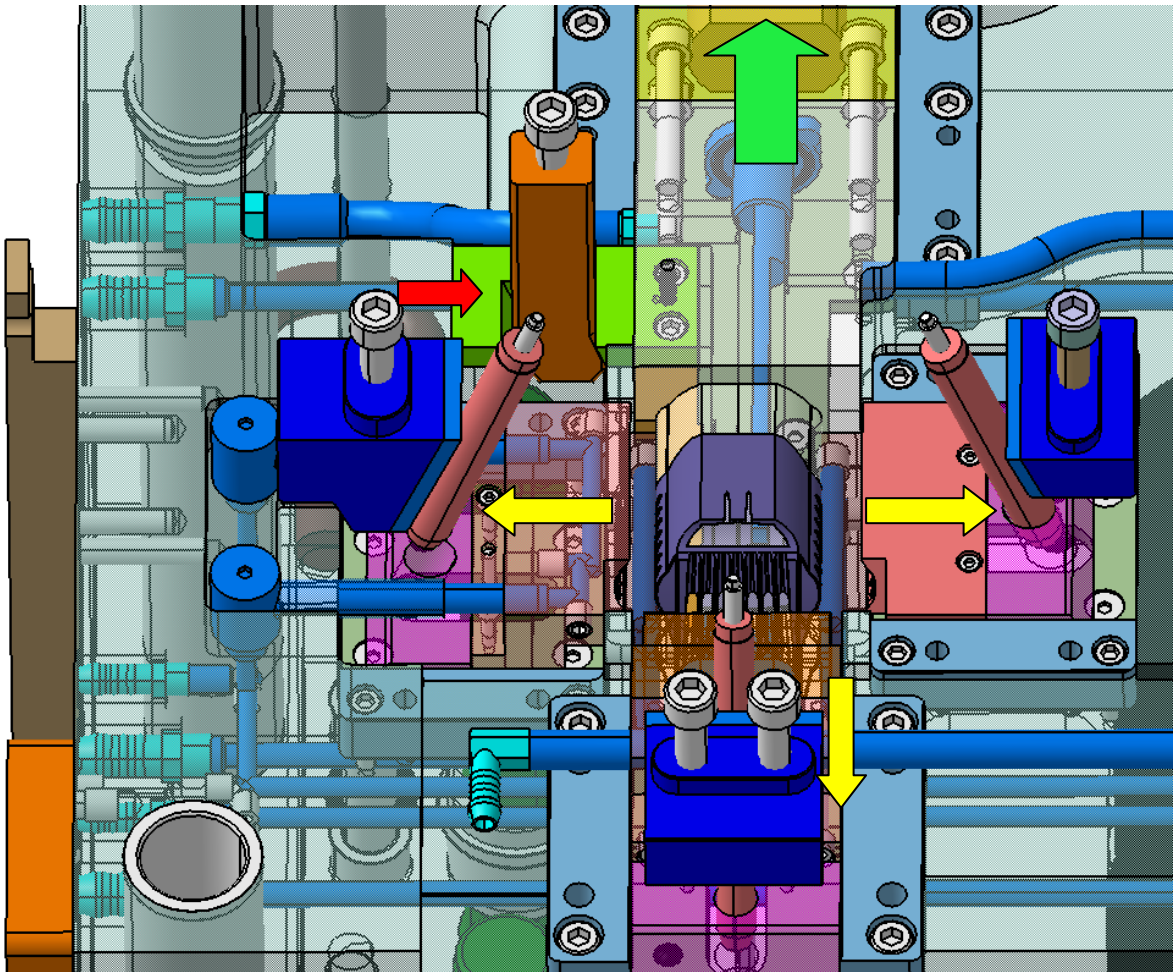


Obr. 49 Detail formy na šoupátkový systém

Další krok (tj. asi po 53,5 mm) ukazuje obrázek 51. Jedná se o odsun všech tvarových částí, které jsou řízeny šikmým čepem. Tím jsou myšleny boční tvarové části a čelní tvarová část. Po odsunu čelní tvarové části vznikne mezera (obr. 50), v níž se bude moct pohybovat po lomeném kolíku vnitřní tvarová část B.



Obr. 50 Vznik mezery po odsunu čelní tvarové části



Obr. 51 Posun tvarových částí

V následujícím časovém úseku, jenž je vyvolán stále se otevírající formou, dochází k záběru lomeného kolíku. Ten přiměje vnitřní tvarovou část **B** k posuvu. Posuv je znázorněn na obrázku 51 červenou barvou a probíhá v mezeře vytvořené odsunutím čelní tvarové části.

Tím došlo k vytvoření dostatečného prostoru pro odsun vnitřní tvarové část **B**, která slouží pro vytvoření zářezky (obr. 31). Nyní se může celá vnitřní tvarová část (**A** i **B**) odsunout pomocí hydraulického pístu. Posuv pístu je znázorněn zelenou šipkou.

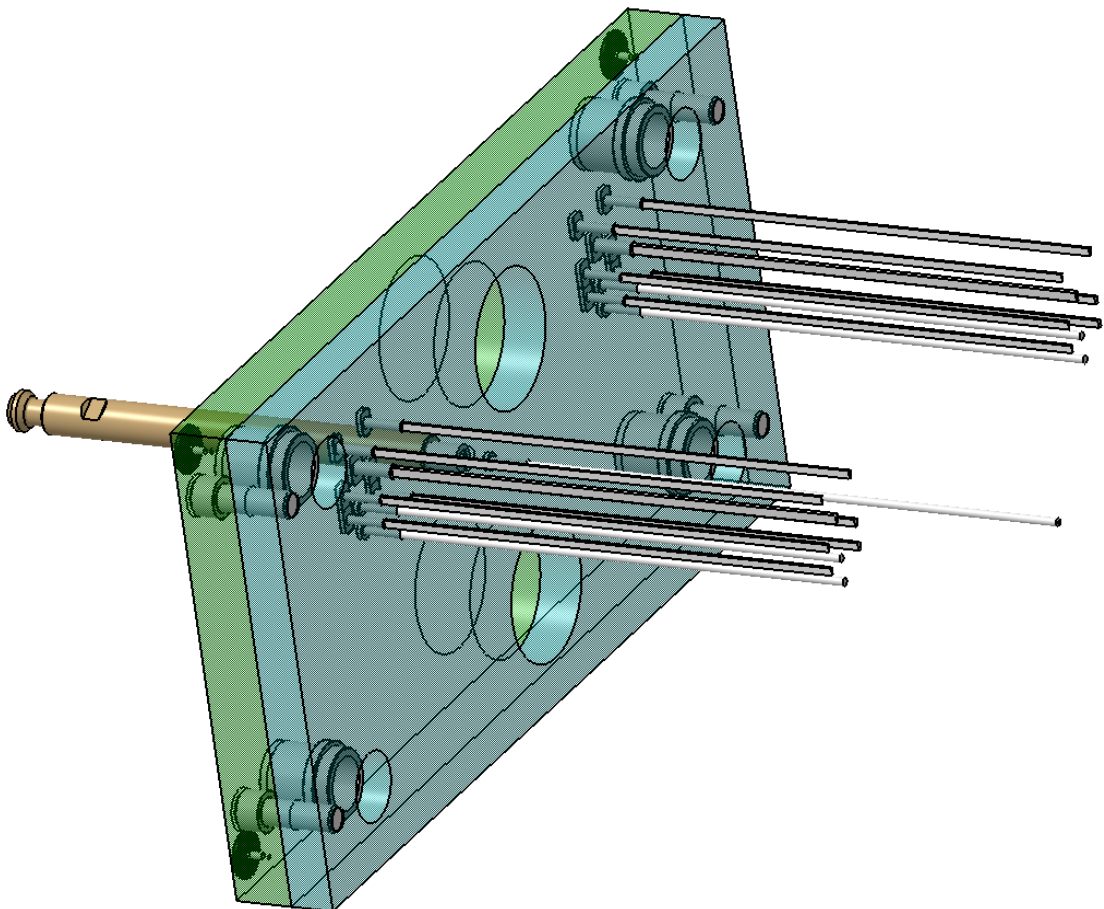
Tím se docílilo odformování výrobku v průběhu otevírání formy.

## 8.5 Vyhazovací systém

Vyhazování výrobku je realizováno pomocí válcových a prizmatických vyhazovačů rozmístěných tak, aby působily rovnoměrně na plochu vyhazovaného dílu. Táhlo umožňuje manipulaci s celým vyhazovacím systémem. Spojení s vyhazovacími deskami je zajištěno závitovým kolíkem mezi táhlem a opěrnou vyhazovací deskou. Opěrná deska se nedostává do přímého kontaktu s levou upínací deskou, toho se dosahuje dorazovými podložkami, které jsou spojeny šrouby s opěrnou vyhazovací deskou.

Dále systém obsahuje vodící pouzdra, díky kterým se může pohybovat na vodících čepech, které jsou uchyceny v levé upínací desce. Také zde jsou otvory pro válcové podpěry, jenž zvyšují tuhost levé části. Ke zvýšení tuhosti a bezpečnosti byly přidány rozpěrné desky i po stranách formy.

Vyhazovací systém s vyhazovači je zobrazen na obrázku 52.



Obr. 52 Vyhazovací systém

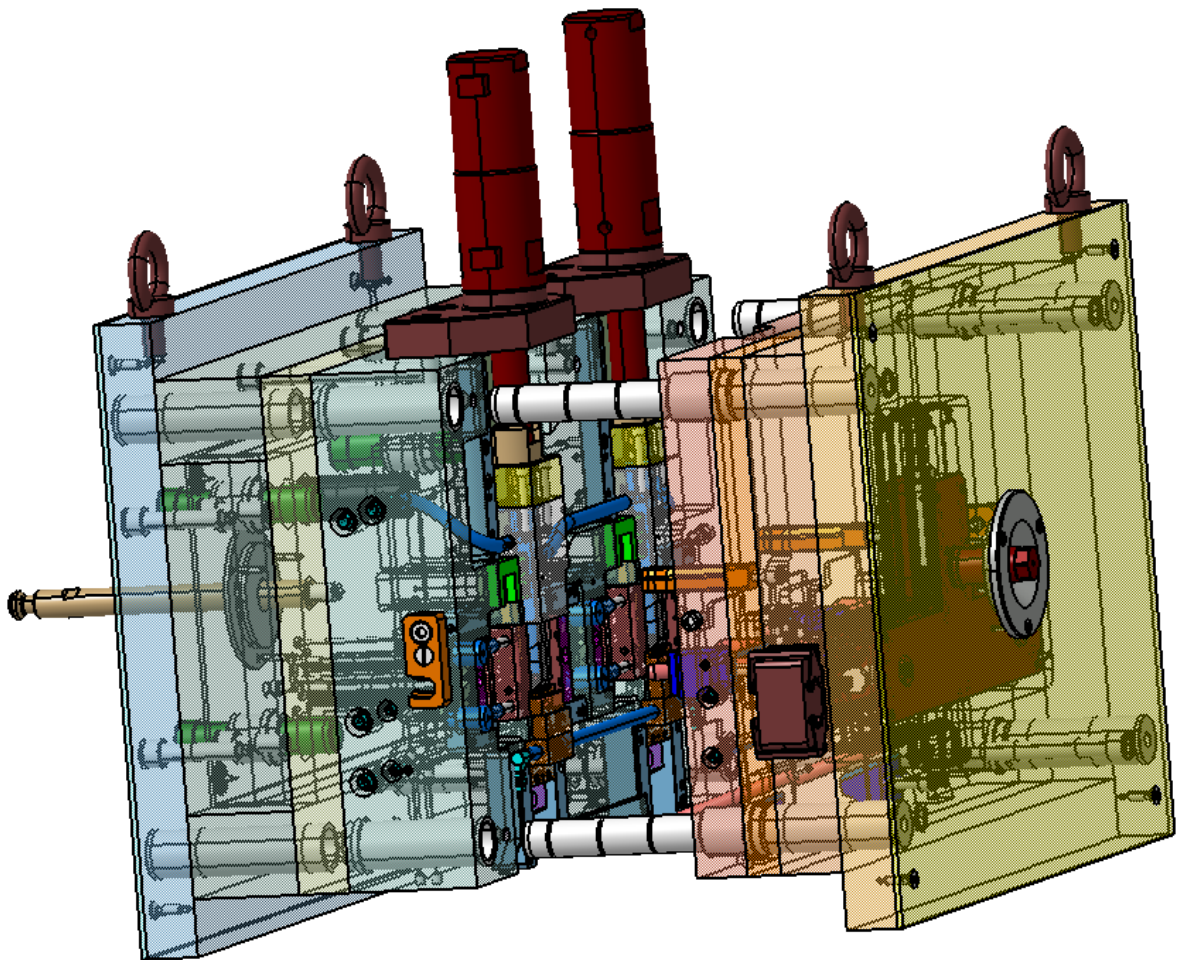
## 9 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY – HORKÝ VTKOVÝ SYSTÉM

Jak předešlá konstrukce formy se studeným vtokovým systémem, tak i forma s horkým vtokovým systémem (obr. 53) se skládají ze tří větších částí.

Vstřikovací část je navíc vybavena otopným blokem a horké trysky. Tím je zajištěno roztavení polymeru v celé horké vtokové soustavě. Dále také o přívodní napájecí kabeláž pro topné pásy a teplotní čidla. Vyhazovací cyklus může být zkrácen, neboť není třeba odsun mezidesky na pravé straně formy.

Uzavírací a vyhazovací část má shodnou konstrukci jako u předešlé sestavy. Rozdíl je v kratší délce rozpěrných desek a délce jednotlivých vyhazovačů z důvodu již zmiňované absence odsunu mezidesky.

Dále budou popsány pouze části, které se od předešlé formy výrazně odlišují. Tudíž se bude jednat o vtokový systém a systém odformování.



Obr. 53 Vstřikovací forma – horký vtokový systém

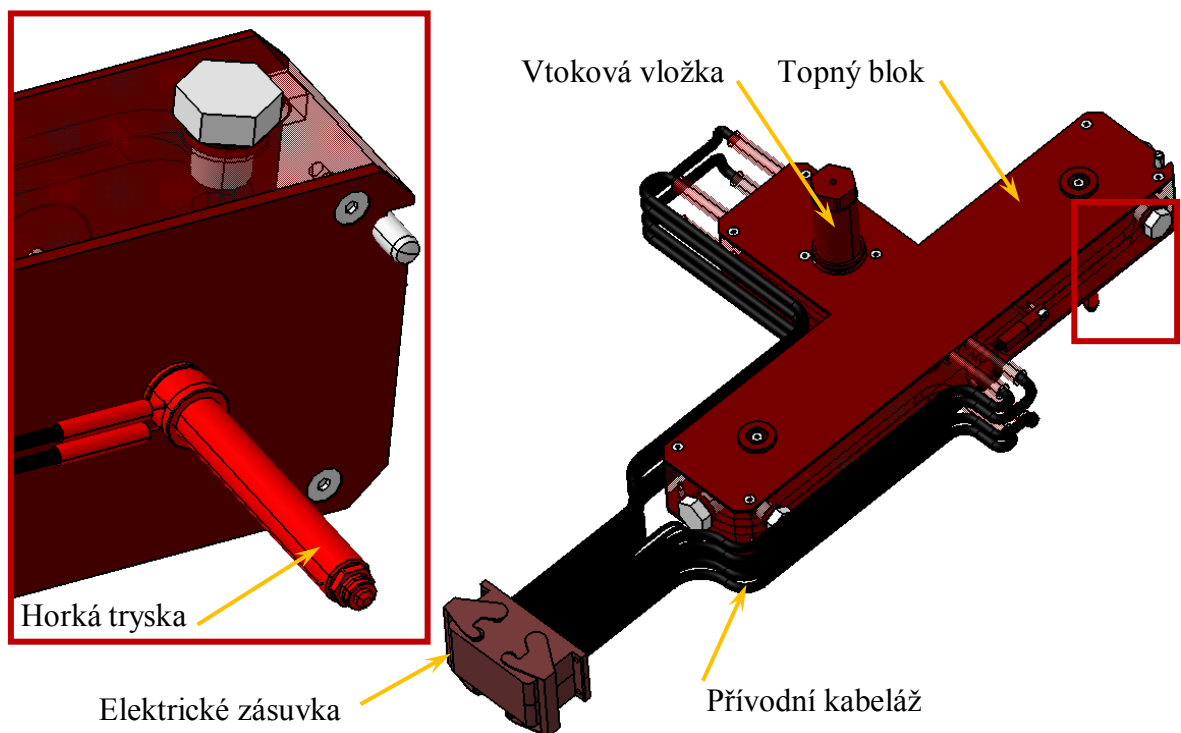
## 9.1 Vtokový systém

Horký vtokový systém (obr. 54) se skládá z několika částí:

- topného bloku,
- vtokové vložky,
- horké trysky,
- přívodní kabeláže,
- zásuvky.

Tavenina vstupuje z plastikačního válce stroje přes horkou vložku do topného bloku kde je udržována nastavená teplota taveniny. Poté se tavenina dostane do horké trysky a přes vtokové ústí do dutiny výrobku.

Výhody a nevýhody této soustavy jsou zmíněny v kapitole 4.2.

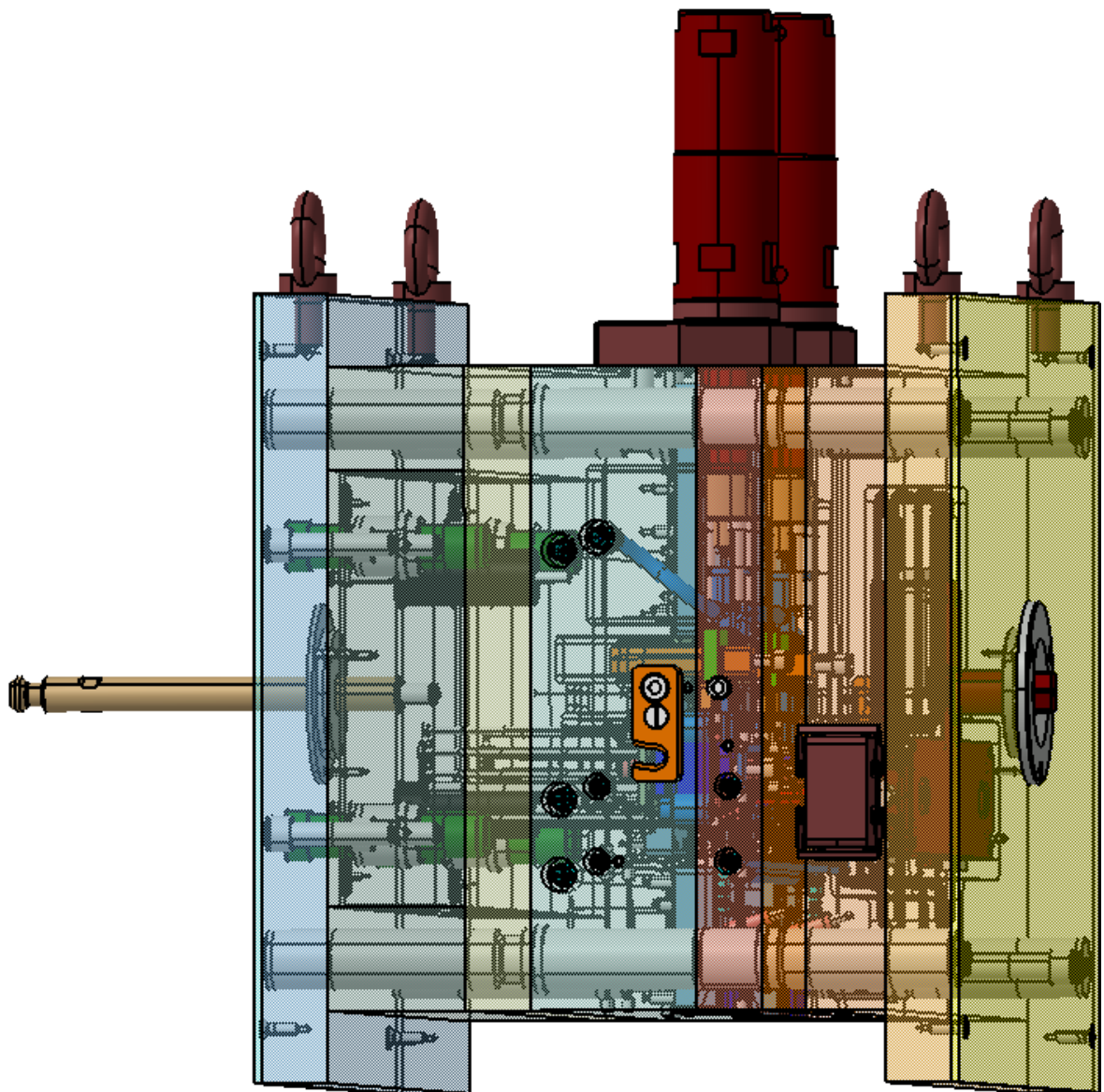


Obr. 54 Topná soustava

## 9.2 Systém odformování

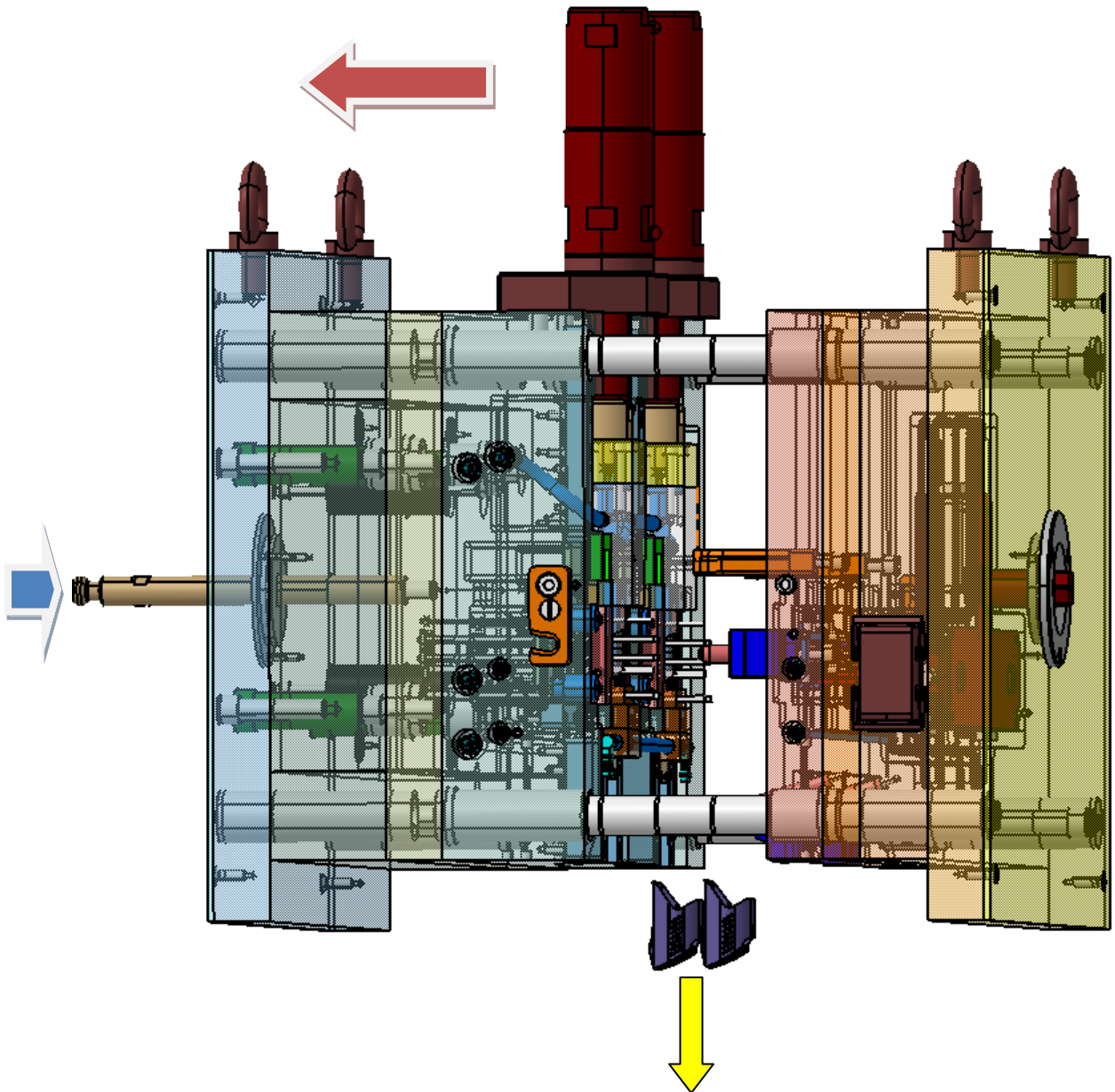
Odformování tvarové části není stejné jako u předchozí formy. Rozdíl je v délce a charakteru otevírání formy.

Obrázek 55 ukazuje formu v okamžiku, kdy je výrobek ochlazen na vyhazovací teplotu a chystá se její otevření.



*Obr. 55 Forma po dokončení vstřikovacího cyklu*

Postup otevření formy a vyhození výrobku je rozdělen do několika fází. Prvním krokem je otevření formy. Poté dojde k aktivaci vyhadzovacího systému, který pomocí válcových a prizmatických vyhadzovačů vyhodí výrobek z levé části formy (obr. 56).



Obr. 56 Vyhození výrobku

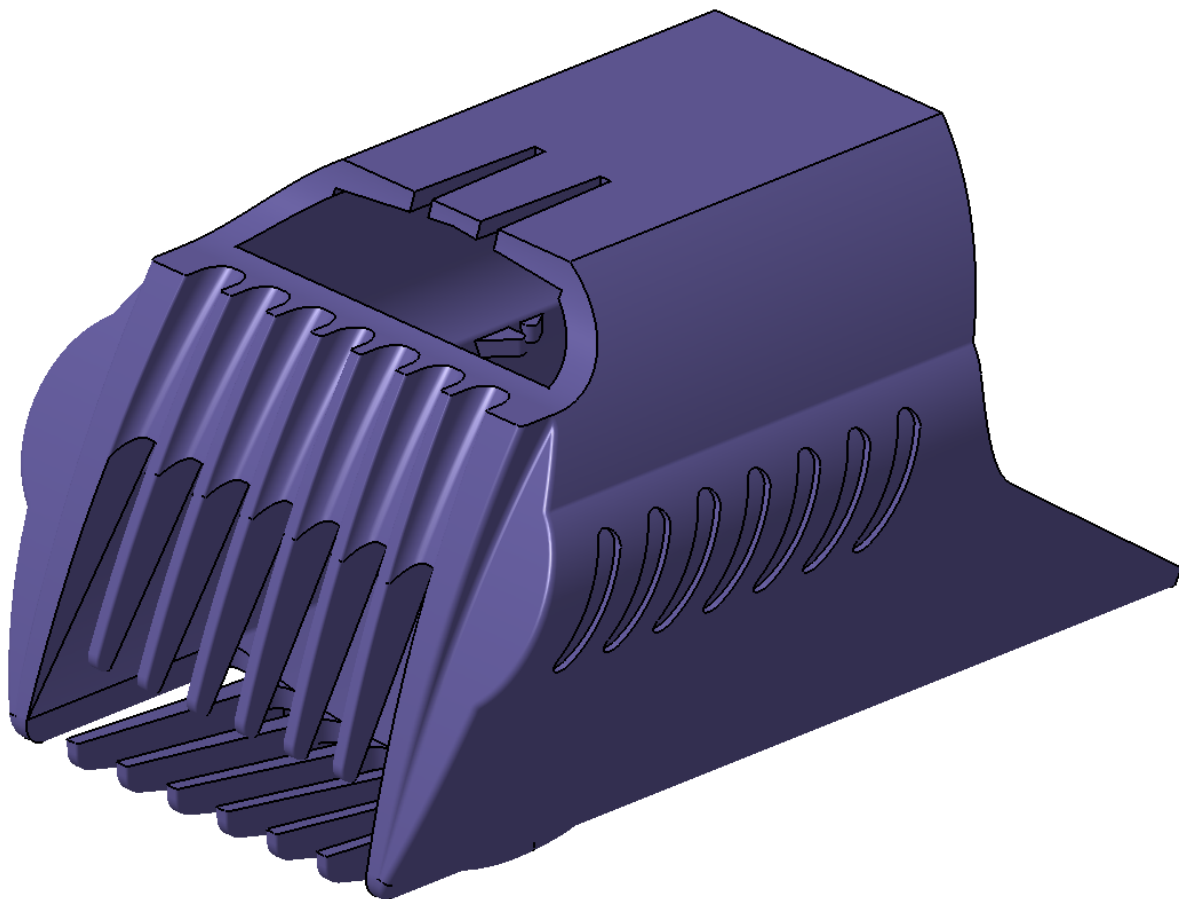
Oproti předchozímu systému vyhadzování zde není důvod rozdělit samotné vyhození výrobku na 3 fáze. Neboť tu není vtokový zbytek.

## 10 VSTUPNÍ PARAMETRY PRO ANALÝZU

Pro simulaci v programu Moldflow je třeba si předem připravit model výrobku, dráhy vtoku a dráhy chlazení.

### 10.1 Konstrukce dílu

Výrobek byl vymodelován v programu CATIA jako identická kopie zadaného výrobku (obr. 57). Pro konstrukci tvarové dutiny a analýzy byl zvětšen o přídavky na smrštění. Také byl ještě pro potřeby analýz zbaven zaoblení hran z důvodu lepšího průběhu analýzy a poté uložen ve formátu \*.stl. Všechny tyto soubory jsou přiloženy na DVD a je tedy možno prohlédnout si model podrobněji pomocí příslušných programů.



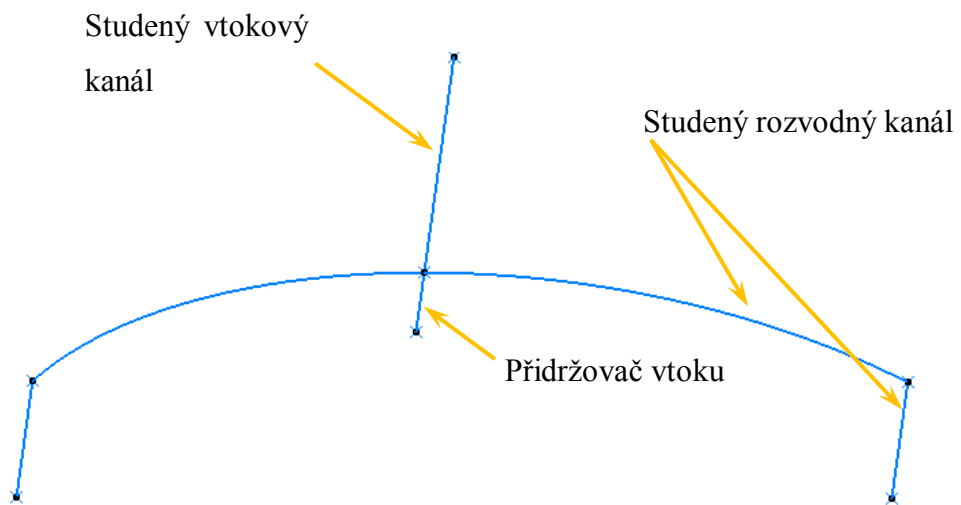
Obr. 57 Identický model výrobku



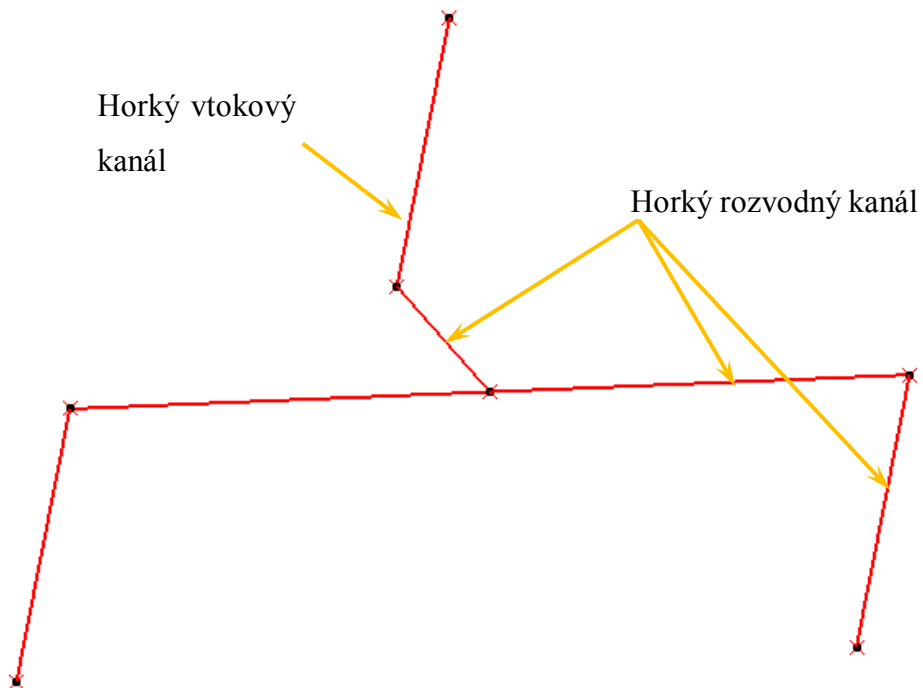
## 10.2 Fiktivní vtokový systém

Trajektorie studeného a horkého vtokového systému byly vytvořeny opět pomocí programu CATIA. Jedná se o prosté čáry a body reprezentující tok taveniny a jednotlivé části vtokového systému. Výsledný návrh exportovaný do souboru \*.igs slouží jako základ pro podrobné definování průřezů kanálů v programu Moldflow.

Na obrázku číslo 58 je vidět studený vtokový systém a na obrázku 69 horký vtokový systém, včetně popisu jeho jednotlivých částí.



Obr. 58 Studený vtokový systém

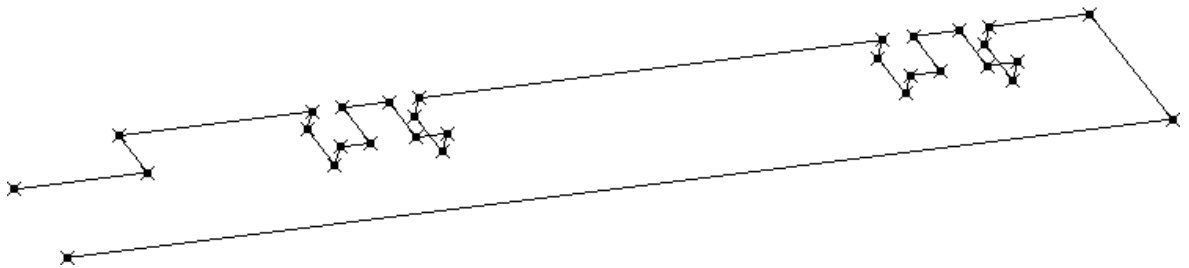


Obr. 59 Horký vtokový systém

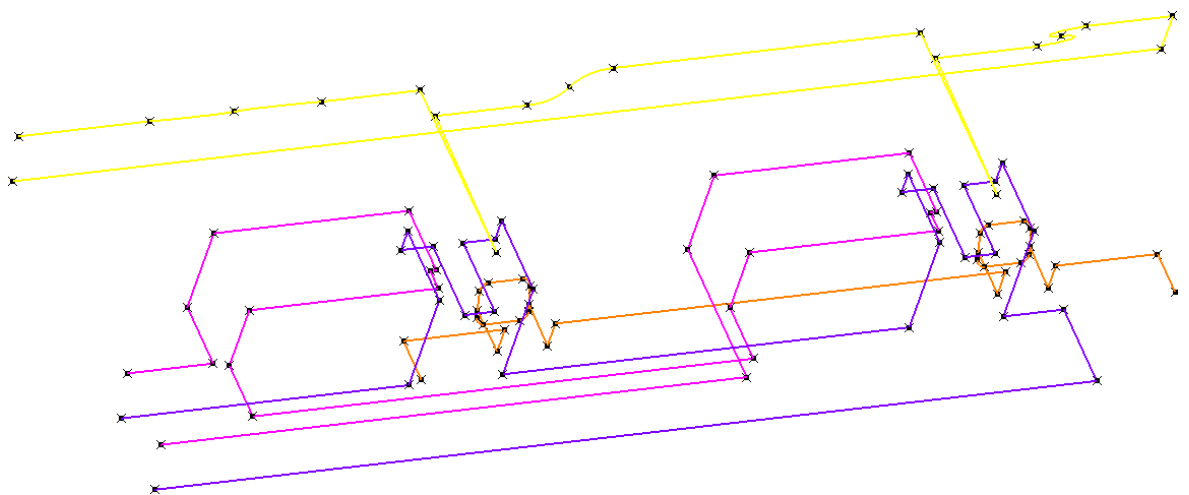
### 10.3 Fiktivní temperační systém

Trajektorie temperačního systému je také vytvořena pomocí programu CATIA obdobně jako vtokový systém. Čáry představují trajektorie toku chladicího média, jenž budou dále definovány až v programu Moldflow, kam budou jako \*.igs soubory přidány.

Temperační systém se skládá ze dvou částí. Pravá a levá strana formy je temperována zvlášť. Pravá strana (obr. 60) je chlazena jednou větví, levá strana (obr. 61) za pomoci čtyř větví. V levé straně jsou vnitřní tvarové části chlazeny pomocí přepážek (Baffle) v samostatné větvi, další okruh je věnován bočním tvarovým částem a zbývající dva jsou pro čelo výrobku a tvárník.



Obr. 60 Temperační systém pravé strany



Obr. 61 Temperační systém levé strany

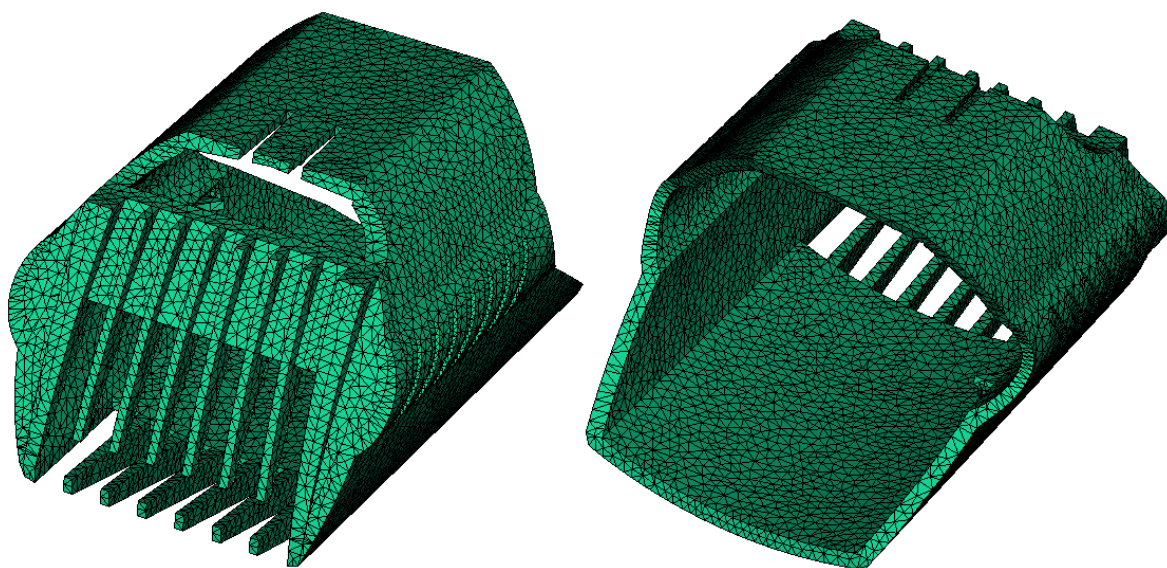
## 11 TOKOVÉ ANALÝZY V PROGRAMU MOLDFLOW

### 11.1 Model výrobku

Předem připravený výrobek programem CATIA ve formátu \*.stl se importuje do programu Moldflow.

#### 11.1.1 Tvorba sítě

Použitý model pro síťování je Dual-Domain s délkou strany 1,3 mm. Jedná se o rovinné síťování trojrozměrných objektů pomocí rovnostranných trojúhelníků. Při analýze je objem modelu představován vrstvami této 2D sítě proložené rovnoběžně po celé tloušťce modelu. Po vysíťování výrobku (obr. 62) je nutné zkontrolovat kvalitu sítě.



Obr. 62 Vysíťovaný výrobek v programu Moldflow

#### 11.1.2 Kontrola sítě

Vytvořená síť ovlivňuje přesnost výsledků analýz. Provede se tedy kontrola některých parametrů za účelem dosažení co nejlepších výsledků.

Za tímto účelem se využívá Mesh statistic (obr. 63), který udává souhrn parametrů vytvořené sítě. Je důležité zajistit, aby se na modelu nevyskytovaly žádné volné hrany, neorien-

tované elementy, protínající se elementy, překrývající se elementy, duplicitní elementy atp. Dále je zde uvedeno Aspect ratio, které bude zmíněno později. A velmi důležitý parametr Match percentage, jehož hodnota při Warp analýze by měla být vyšší než 90% pro dosažení potřebné přesnosti výsledků analýz.

<b>Entity counts</b>	
Surface triangles	23522
Nodes	11759
Beams	0
Connectivity regions	1
Mesh volume	13.9977 cm <sup>3</sup>
Mesh area	173.944 cm <sup>2</sup>
<b>Edge details</b>	
Free edges	0
Manifold edges	35283
Non-manifold edges	0
<b>Orientation details</b>	
Elements not oriented	0
<b>Intersection details</b>	
Element intersections	0
Fully overlapping elements	0
Duplicate beams	0
<b>Surface triangle aspect ratio</b>	
Minimum aspect ratio	1.156000
Maximum aspect ratio	5.994000
Average aspect ratio	1.876000
<b>Match percentage</b>	
Match percentage	91.9%
Reciprocal percentage	91.0%

Obr. 63 Mesh statistic

#### Aspect ratio diagnostic

Aspect Ratio je poměr nejdelší strany trojúhelníka k výšce trojúhelníka na tuto stranu kolmou (obr. 64).



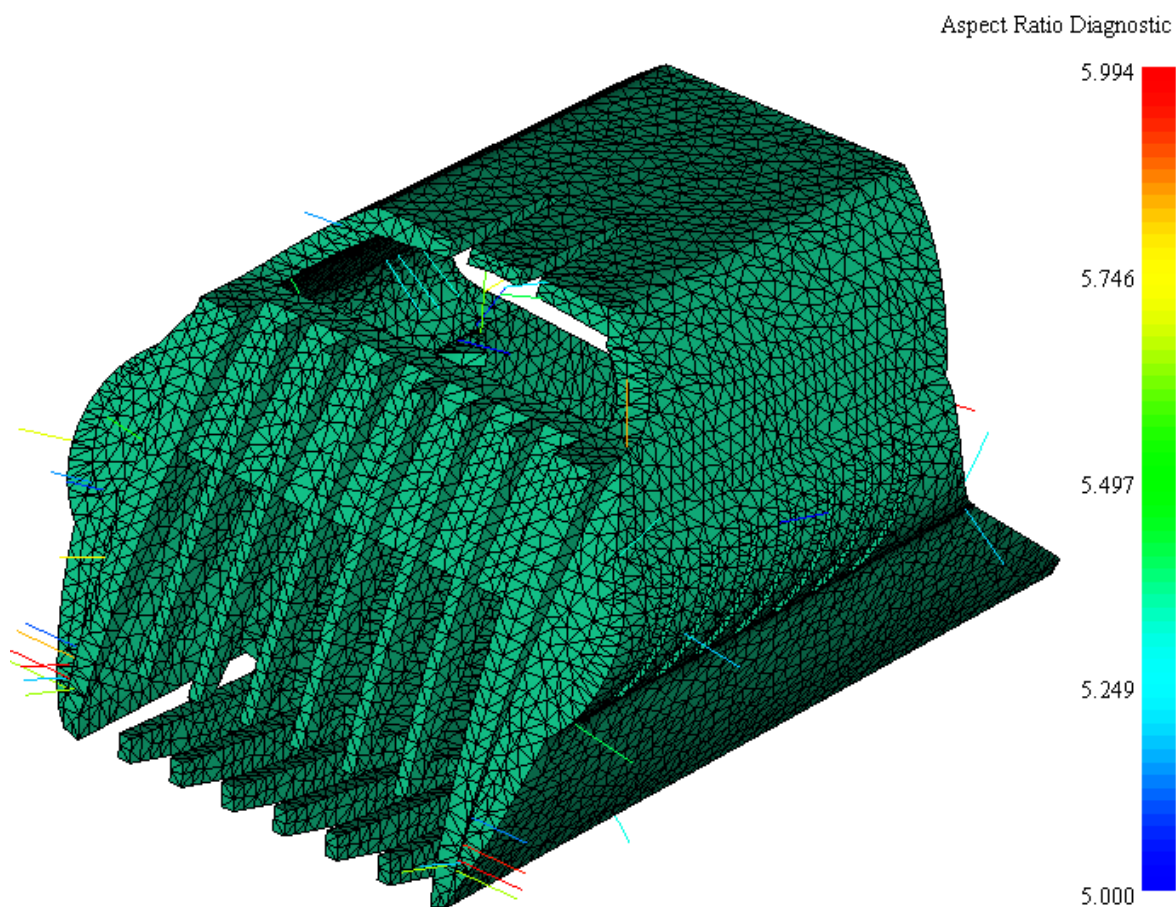
Obr. 64 Aspect ratio

Hodnoty Aspect ratio by měli být ideálně nižší než hodnoty uvedené v tabulce 5.

Tab. 5 Hodnoty Aspect ratio

Pro případ:	Max. Aspect Ratio
Midplane/Dual Domain	6:1
Midplane/Dual Domain—nekritické oblasti	20:1
Tetra elementy	50:1
Dual Domain před konverzí do 3D	20:1
Cool a Warp analýza	6:1

Cílem bylo dostat se pod hodnotu 6. Jak ukazuje následující obrázek 65, tak tato hodnota nebyla překročena, což je ideální.



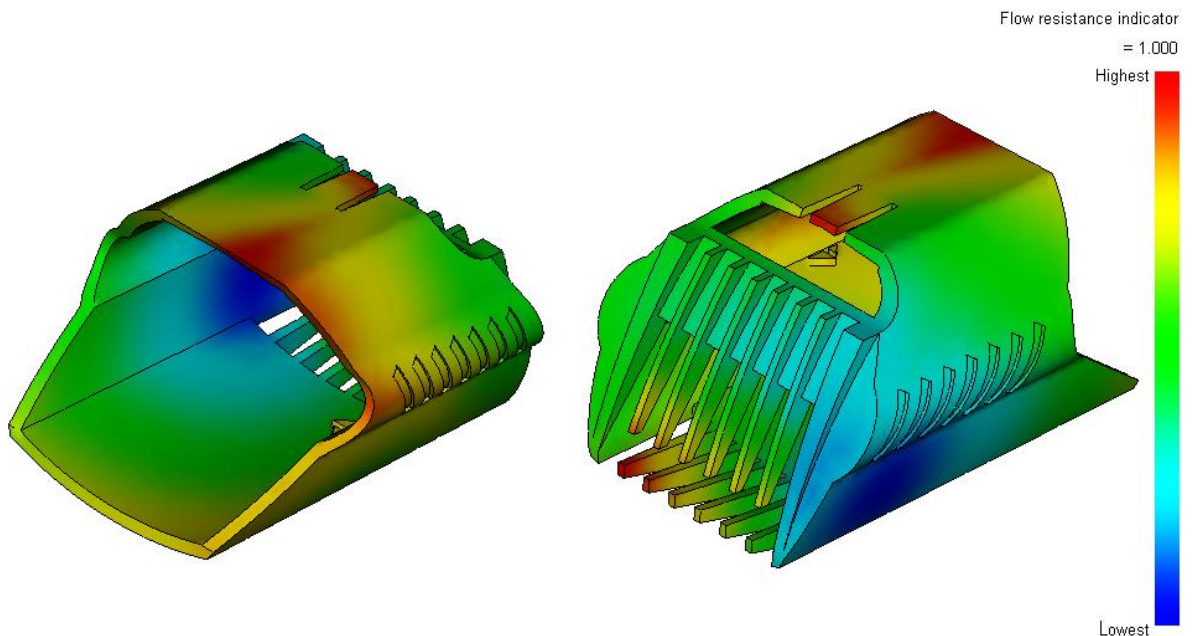
Obr. 65 Aspect ratio diagnostic

## 11.2 Umístění vtoku

Program umožňuje spustit analýzy vhodnosti umístění vtoku na výrobek. Výsledky těchto analýz jsou tak přesné jak kvalitní je vytvořená mřížka. Vtok na výrobek byl umístěn s přihlédnutím k výsledkům těchto analýz. Výsledné umístění na vnější straně tělesa, která bude patrně pohledová, způsobí, že po odstranění vtoku zůstane na výrobku drobná vada. Ať již jako drobná rozměrová nebo tvarová nepřesnost, nebo jako pohledový kaz.

### 11.2.1 Ukazatel odporu toku taveniny (Flow resistance indicator)

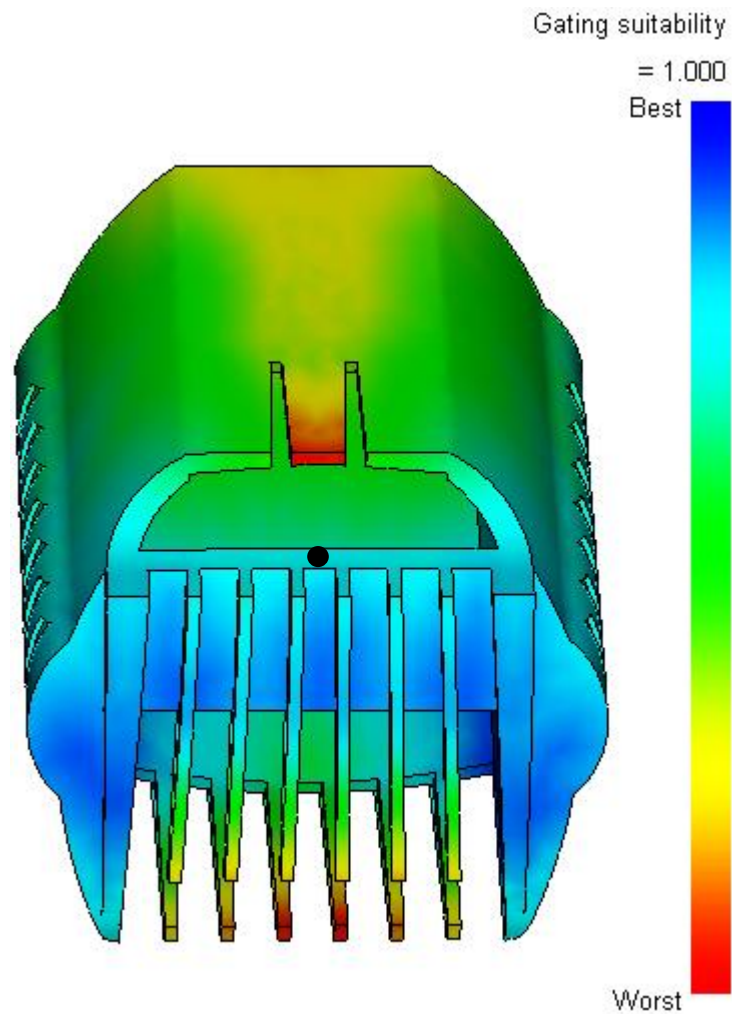
Analýza zobrazuje místa na výrobku různou barvou podle odporu tečení taveniny v těchto místech. Červenou barvou jsou znázorněny místa s nejvyšším odporem proti tečení, modrou místa s nejmenším odporem proti tečení taveniny, která jsou vhodná k umístění vtoku (obr. 66).



Obr. 66 Flow resistance indicator

### 11.2.2 Vhodnost umístění vtoku (Gating suitability)

Analýza zobrazuje vhodnost umístění vtokového ústí na výrobku. Modrá barva jako nejvhodnější místo, červená jako nejnevhodnější místo (obr. 67). Z důvodu konstrukce formy nebylo ústí vtoku zvoleno uvnitř dutiny výrobku a ani na jeho zubech, ale na rozhraní zelené a modré barvy na povrchu (viz. černý puntík).



Obr. 67 Gating suitability

### 11.3 Procesní podmínky

Posledním krokem před spuštěním analýzy je definování procesních podmínek. Je zde zahrnuta také volba materiálu a vstřikovacího stroje. Procesní podmínky byly voleny právě s ohledem na materiálovou charakteristiku a doporučující hodnoty některých veličin výrobcem. Poté je již spuštěna analýza typu cool-fill-pack-warp.

Process settings wizard umožňuje velmi detailní nastavení mnoha různých veličin. V některých případech se hodnoty zjistí experimentálně zpuštěním již přednastavené analýzy a podle toho se pak odvíjí přesnější nastavení další analýzy.

Na první stránce v procesních podmínkách je nabídnuta možnost nastavení teplot a délky cyklu. Zvolený materiál má rozsah teploty formy od 80 – 105 °C a teplotu taveniny od 280 – 320 °C.

Další stránka se věnuje nastavení doby vstřiku taveniny do dutiny a je zde možnost nastavení hodnoty a doby přepnutí na dotlak. Také je zde možnost nastavení vstřikovacího stroje z knihovny, kterou vložil do programu samotný výrobce Moldflow.

Poslední stránka umožňuje následující možnosti nastavení:

- teplotní roztažnost formy,
- izolovat příčiny deformace,
- uvažovat vliv rohů.



### 11.3.1 Procesní podmínky – Studený vtokový systém

Pro zvolený tenkostěnný výrobek je nastavení procesních podmínek následující.

The figure displays three sequential screenshots of the 'Process Settings Wizard' software interface, specifically for a cold-chamber die casting process. Each screenshot shows a different page of the wizard, with a 3D model of a part on the left and configuration options on the right.

- Page 1 of 3: Cool Settings**
  - Mold surface temperature: 105 C
  - Melt temperature: 310 C
  - Mold-open time: 5 s [0:600]
  - Injection + packing + cooling time: Specified of 20 s [0:6000]
  - Button: Cool solver parameters...
- Page 2 of 3: Fill+Pack Settings**
  - Filling control: Injection time of 1.7 s [0:]
  - Velocity/pressure switch-over: By %volume filled at 95 % [0:100]
  - Pack/holding control: %Filling pressure vs time (with Edit profile... button)
  - Advanced options... button
  - Fiber orientation analysis if fiber material
- Page 3 of 3: Warp Settings**
  - Consider mold thermal expansion
  - Isolate cause of warpage
  - Consider corner effects
  - Matrix solver: Automatic

Obr. 68 Procesní podmínky – studený vtokový systém

### 11.3.2 Procesní podmínky – Horký vtokový systém

U formy s horkým vtokovým systémem byly do procesních podmínek nastaveny následující hodnoty.

The figure displays three sequential screenshots of the 'Process Settings Wizard' for a hot injection system, showing the following settings:

**Process Settings Wizard - Cool Settings - Page 1 of 3**

- Mold surface temperature: 105 C
- Melt temperature: 290 C
- Mold-open time: 5 s [0:600]
- Injection + packing + cooling time: Specified of 20 s [0:6000]
- Buttons: Cool solver parameters...

**Process Settings Wizard - Fill+Pack Settings - Page 2 of 3**

- Filling control: Injection time of 1 s [0:]
- Velocity/pressure switch-over: By %volume filled at 99 % [0:100]
- Pack/holding control: %Filling pressure vs time (Edit profile... button)
- Advanced options... button
- Fiber orientation analysis if fiber material

**Process Settings Wizard - Warp Settings - Page 3 of 3**

- Consider mold thermal expansion
- Isolate cause of warpage
- Consider corner effects
- Matrix solver: Automatic
- < Zpět button

Obr. 69 Procesní podmínky – horký vtokový systém

## 11.4 Vstřikovací stroj

Správná volba vstřikovacího stroje je velmi důležitá a samotný stroj se volí podle několika hledisek. Základním a zjevným faktorem je velikost formy, respektive se volí velikost stroje, do něž se forma vejde.

Dále se bere zřetel u plastikační jednotky především na vstřikovací tlak a objem vstřikované taveniny.

U uzavírací jednotky to je především pojezd samotné uzavírací jednotky při otevírání formy a taktéž uzavírací síla a pojezd vyhazovacího systému.

### 11.4.1 Vstřikovací stroj pro formu se studeným vtokovým systémem

Pro formu byl zvolen stroj 275i\_A od firmy ROBOSHOT z důvodu nejlepší schody parametru s rozměry formy.

Limitující byl především dostatečný pojezd vyhazovacího systému, aby mohl vyhodit i vtokový systém uchycený v mezidesce na pravé straně. Podrobné parametry jsou zobrazeny v tabulce 6 (detailnější přehled je v příloze 2), které udává samotný výrobce na svých stránkách.

Tab. 6 Specifikace vstřikovacího stroje ROBOSHOT 275i\_A

	Jednotky	A	B	C	D
Maximální vstřikovací kapacita	g	178	252	300	416
Pojezd šneku	mm	150	176	176	208
Poměr L/D u šneku	-	20:1	20:1	20:1	20:1
Uzavírací síla	tons	275			
Maximální/minimální výška formy	mm	650/300			
Maximální pojezd uzavírací jednot.	mm	600			
Velikost upínací desky	mm	950x950			
Rozteč vodících čepů	mm	630x630			

Pojezd vyhazovačů	mm	150
Maximální vyhazovací síla	tons	385

#### 11.4.2 Vstřikovací stroj pro formu s horkým vtokovým systémem

U této verze není potřeba tak velký pojezd vyhazovačů, takže postačí stroj i z nižších kategorií.

Stroj byl volen opět podle několika údajů, ale z těch základních to jsou:

- rozměry formy,
- uzavírací síla,
- vstřikovaný objem,
- pojezd vyhazovacího systému
- pojezd uzavírací jednotky.

Jako vyhovující od stejného výrobce ROBOSHOT vyšel stroj 110i\_D, více v tabulce 7.

Tab. 7 Specifikace vstřikovacího stroje ROBOSHOT 110i\_D

	Jednotky	A	B	C	D	E	F	G
Maximální vstřikovací kapacita	g	27	48	55	97	138	171	206
Pojezd šneku	mm	75	95	95	128	144	144	144
Poměr L/D u šneku	-	20:1	20:1	20:1	20:1	20:1	20:1	20:1
Uzavírací síla	tons	110						
Maximální/minimální výška formy	mm	450x150						
Maximální pojezd uzavírací jednot.	mm	350						
Velikost upínací desky	mm	610x610						
Rozteč vodících čepů	mm	410x410						

Pojezd vyhazovačů	mm	100
Maximální vyhazovací síla	tons	2,75

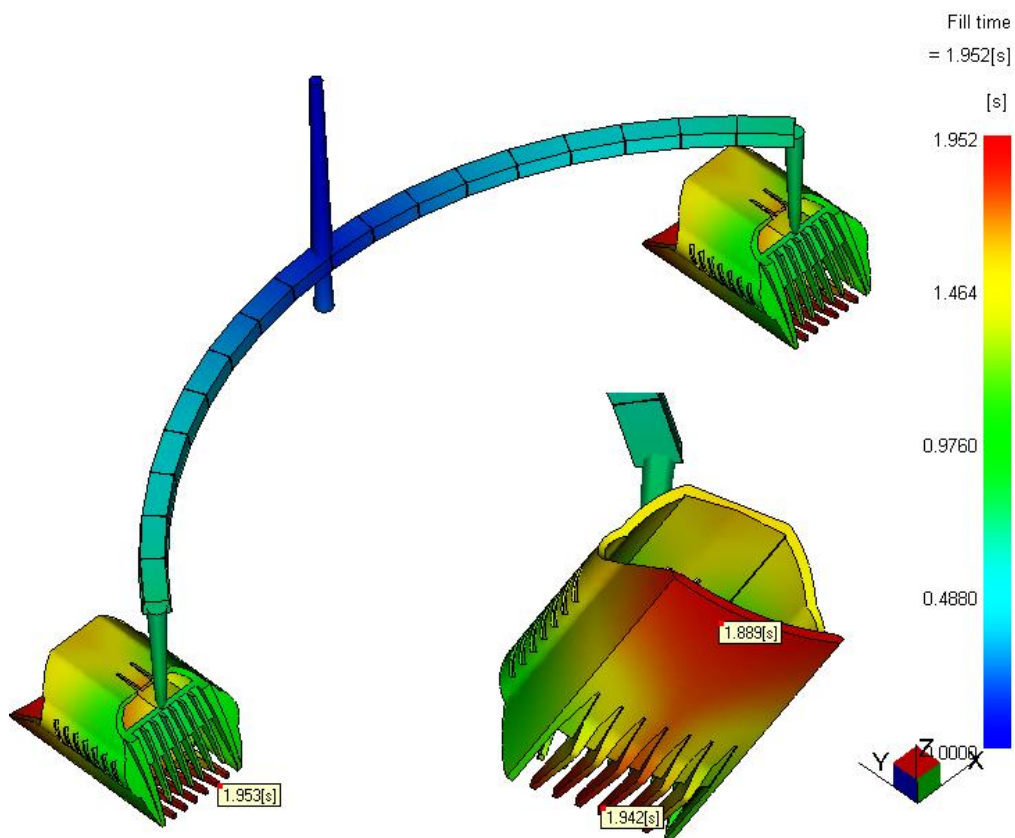
## 11.5 Výsledky analýzy

Po dokončení výpočtu se výsledky analýzy zobrazí v adresářové struktuře pracovního okna Moldflow, kde je možné jejich prohlížení a další editování. Jako například zobrazení přesné hodnoty v daném bodě, filtrování výsledků podle zadaných rozmezí a další. Tato kapitola bude věnována výsledkům analýz, s jejichž pomocí bude zhodnocen výsledný produkt. Navržený výrobek.

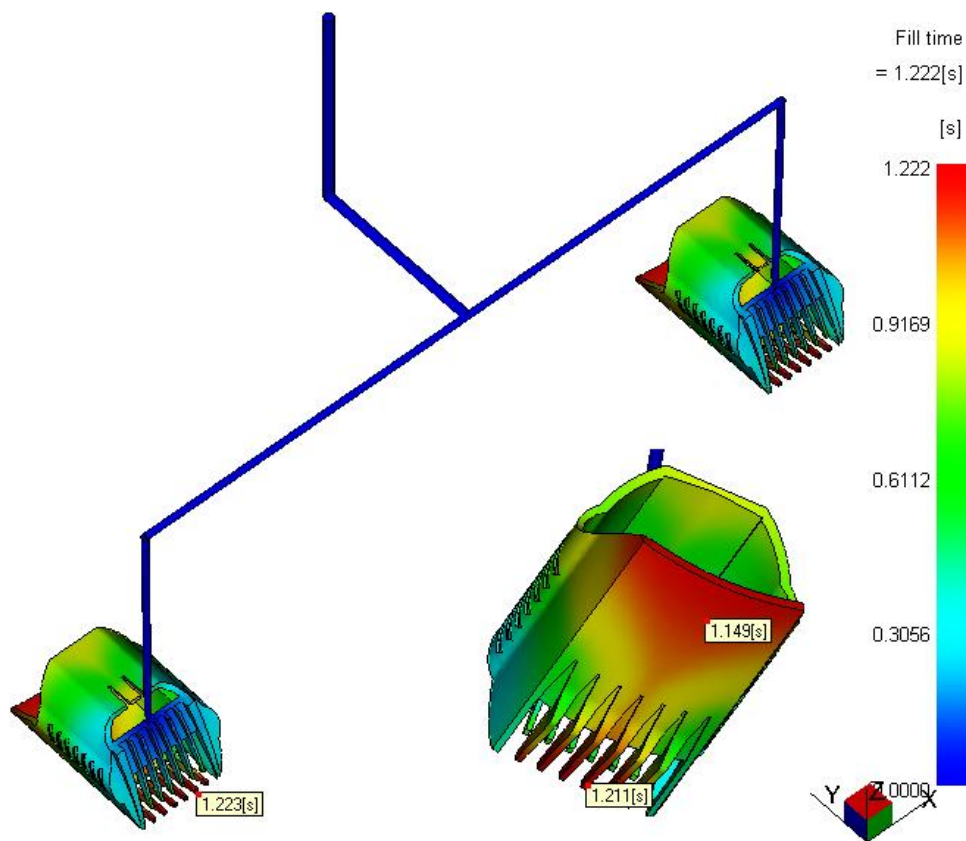
Z nastavených parametru viz. kapitoly 11.3 a 11.4 jsou obdrženy následující výsledky analýzy toku, chlazení a deformací.

### 11.5.1 Čas plnění (Fill time)

Fill time je vypočtený čas potřebný k vyplnění dutiny formy při zadaných procesních podmínkách. Čas plnění byl nastaven v process settings wizard na straně 2 v kapitole 11.3. Injection time byl u studeného vtokového systému nastaven na 1,7 s a u horkého byl čas vstříku nastaven na 1s. Byl to ale zvolený údaj, ke kterému se měla analýza přiblížit. Přesný čas plnění v této simulaci je tedy 1,952 s a 1,222 s. Při výrobě se tedy na vstříkovacím stoji nastaví čas vstříku 2 s a 1,3 s. Na obrázku 70 a 71 je ukázáno v jakém čase po vstříknutí taveniny se obě části přibližně zaplní.



Obr. 70 Fill time – studený vtok

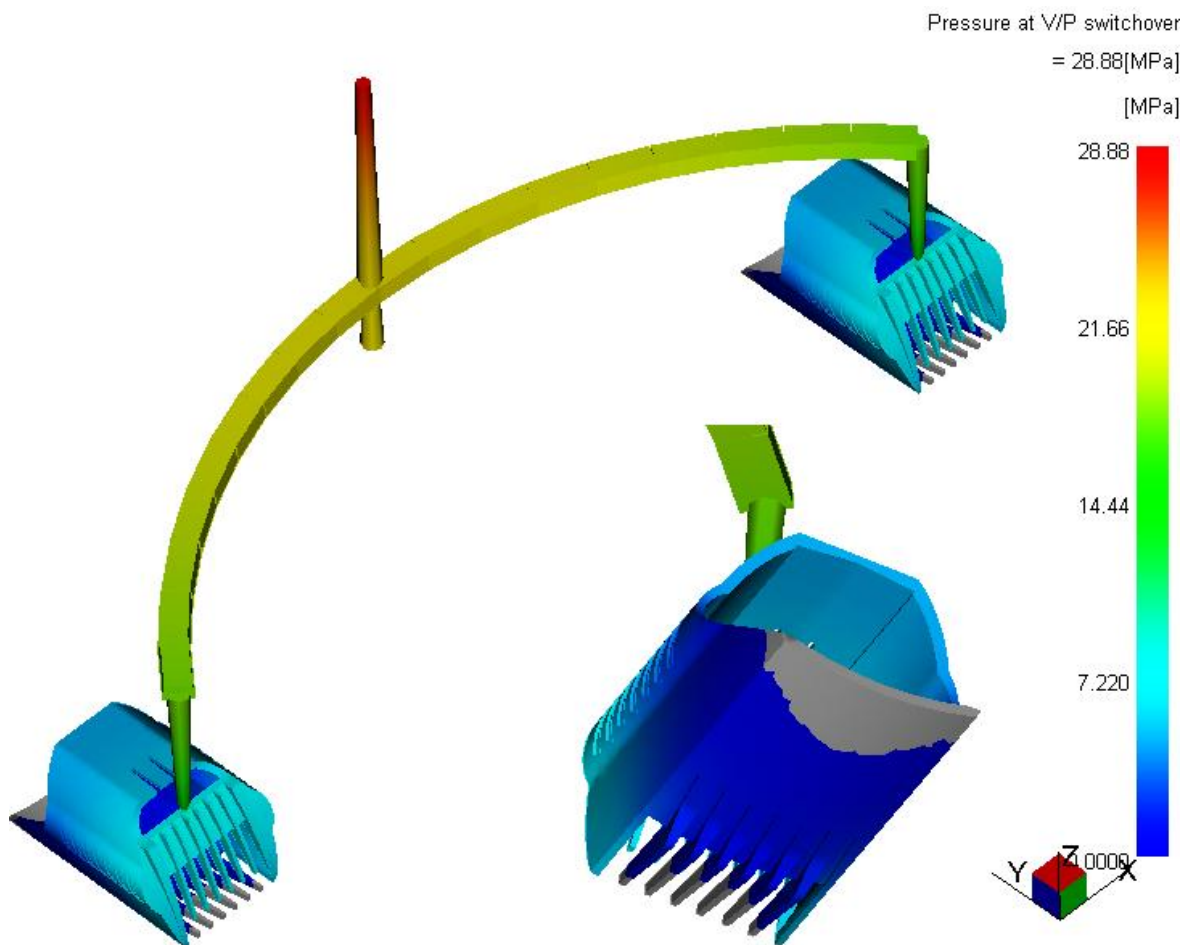


Obr. 71 Fill time – horký vtok

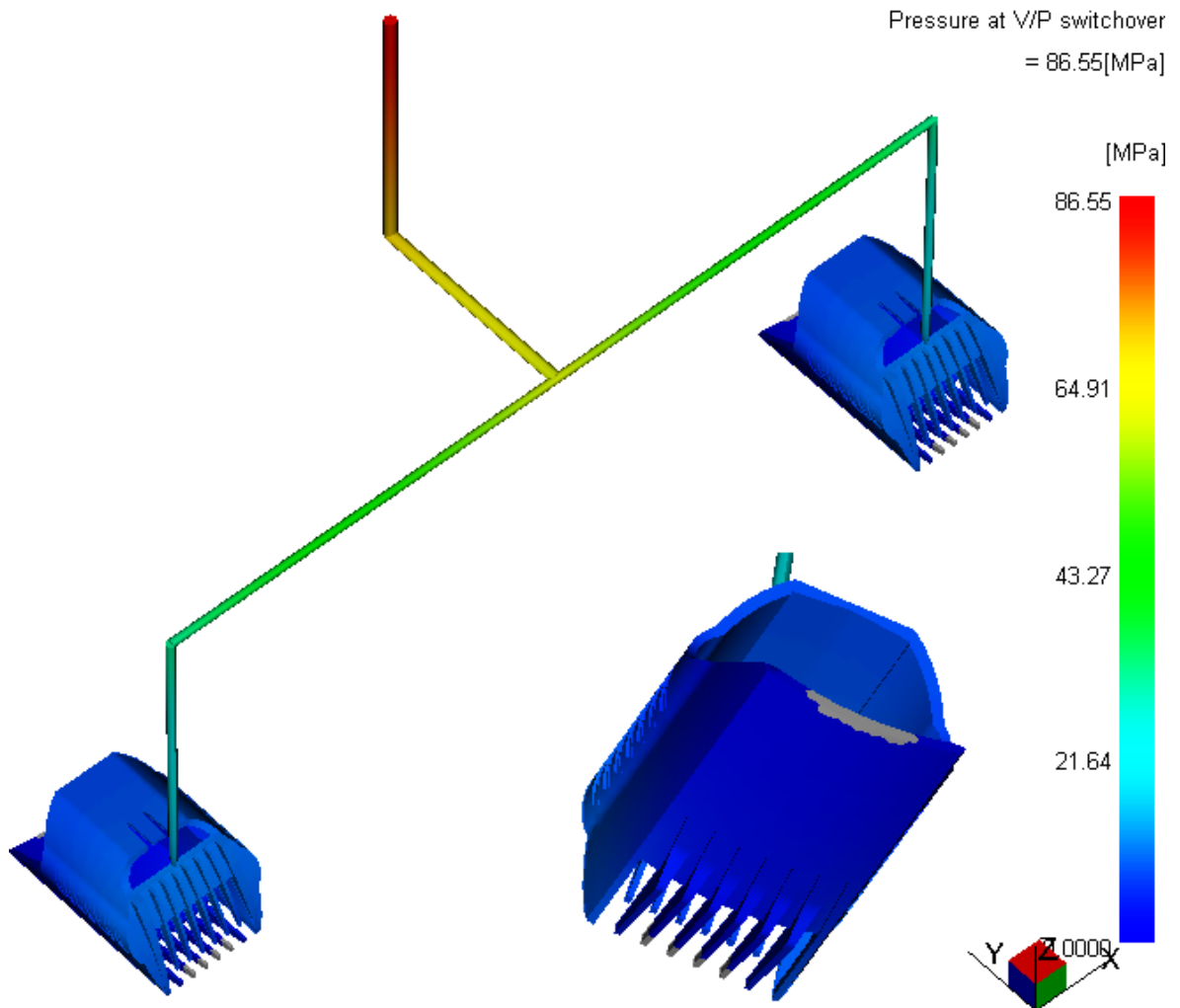
### 11.5.2 Tlak při přepnutí na dotlak (Pressure at V/P switchover)

Forma v tomto čase ještě není kompletně zaplněna. Zaplnění se odvíjí opět podle nastavení v procesních podmínkách od přepnutí na dotlak. V prvním případě se dotlak zapne při 95% naplnění dutiny taveninou a u druhého případu v 99%.

Vypočtená hodnota je 28,88MPa u studeného vtoku a tlak u horkého vtoku vyšel 86,55. Obrázek 72 a 73 ukazuje jaký tlak je aktuálně ve vtokovém systému v momentě přepnutí na dotlak.



Obr. 72 Pressure at V/P switchover – studený vtok



Obr. 73 Pressure at V/P switchover – horký vtok

### 11.5.3 Teplota čela taveniny (Temperature at flow front)

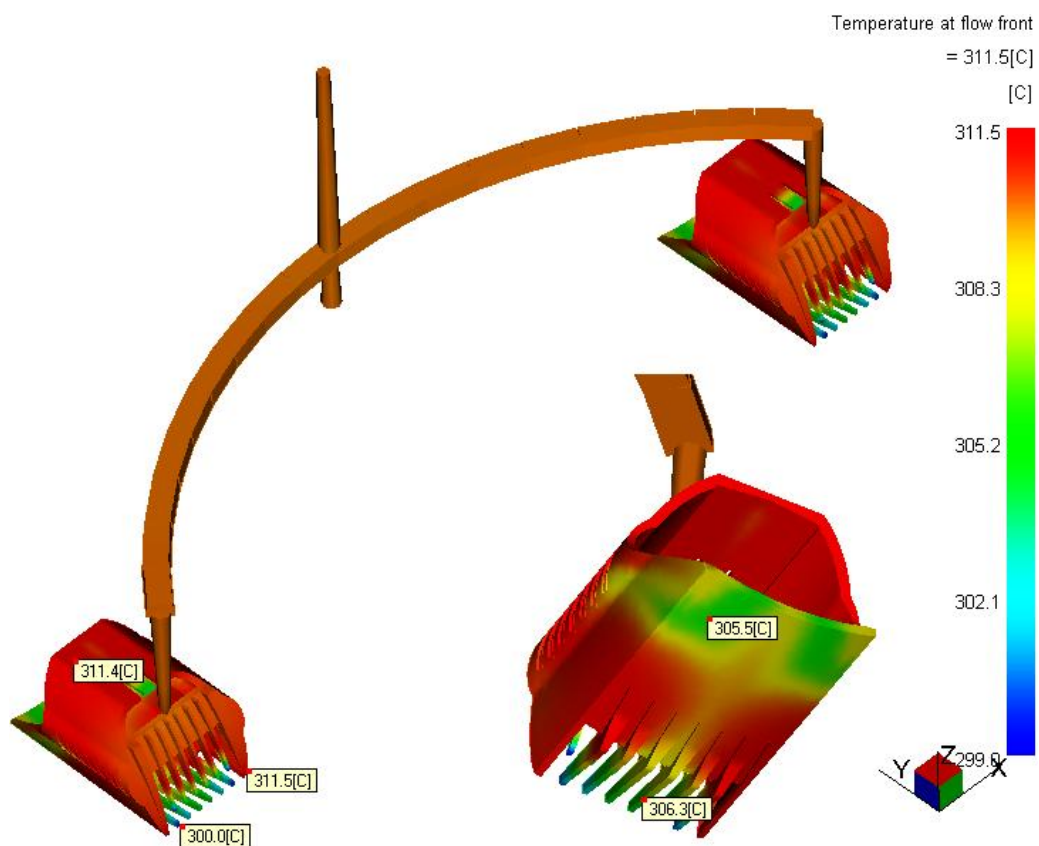
Teplota na čele taveniny ukazuje teplotu polymer, kterou tavenina dosáhla v určitém bodu.

Teplota čela taveniny by neměla klesnout o více než 2 – 5 °C během plnicí fáze. Větší rozsah často naznačuje, že vstřikovací čas je příliš krátký nebo existují oblasti s prodlevou.

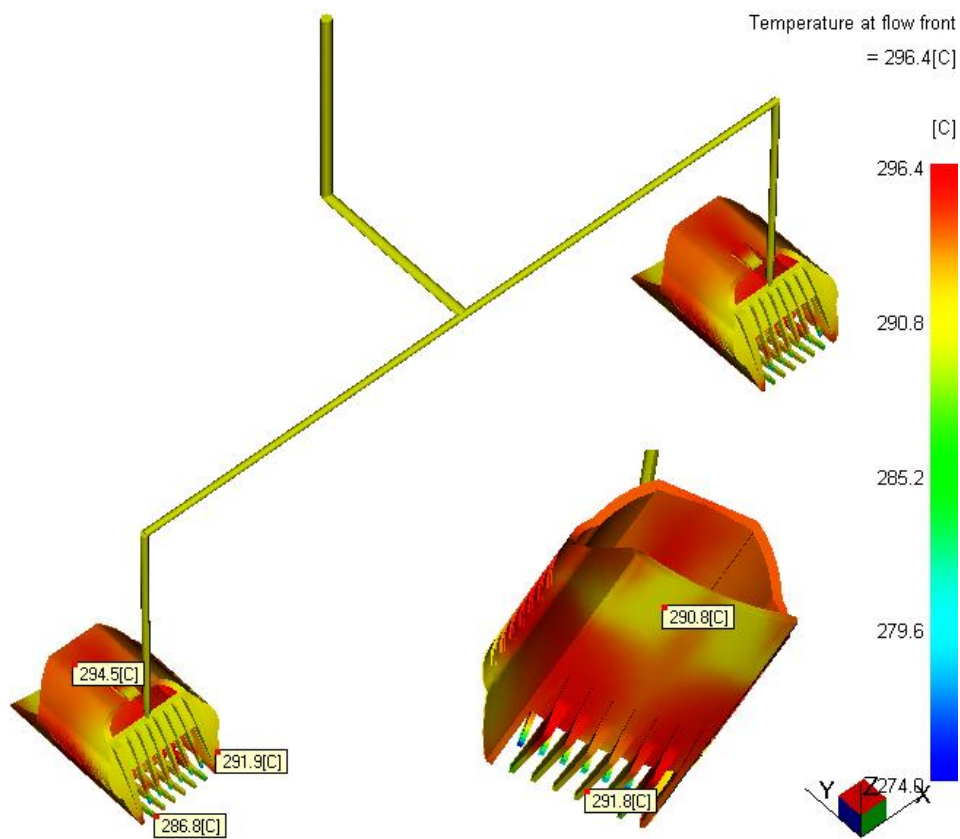
Když teplota čela taveniny je příliš nízká v tenčích místech dílce, může dojít k nezatečení materiálu při krátkém vstřiku. V oblastech, kde se teplota čela taveniny zvýší o několik stupňů, dochází k degradaci materiálů a mohou se objevit poruchové vady.

Jednotlivé průběhy teplot jsou na následujících obrázcích. U horkého vtokového systému klesla teplota pod doporučené rozmezí zpracovávací teploty, které je pro zvolený materiál 280°C – 320°C. Jedná se o malý výskyt na konci zubů.





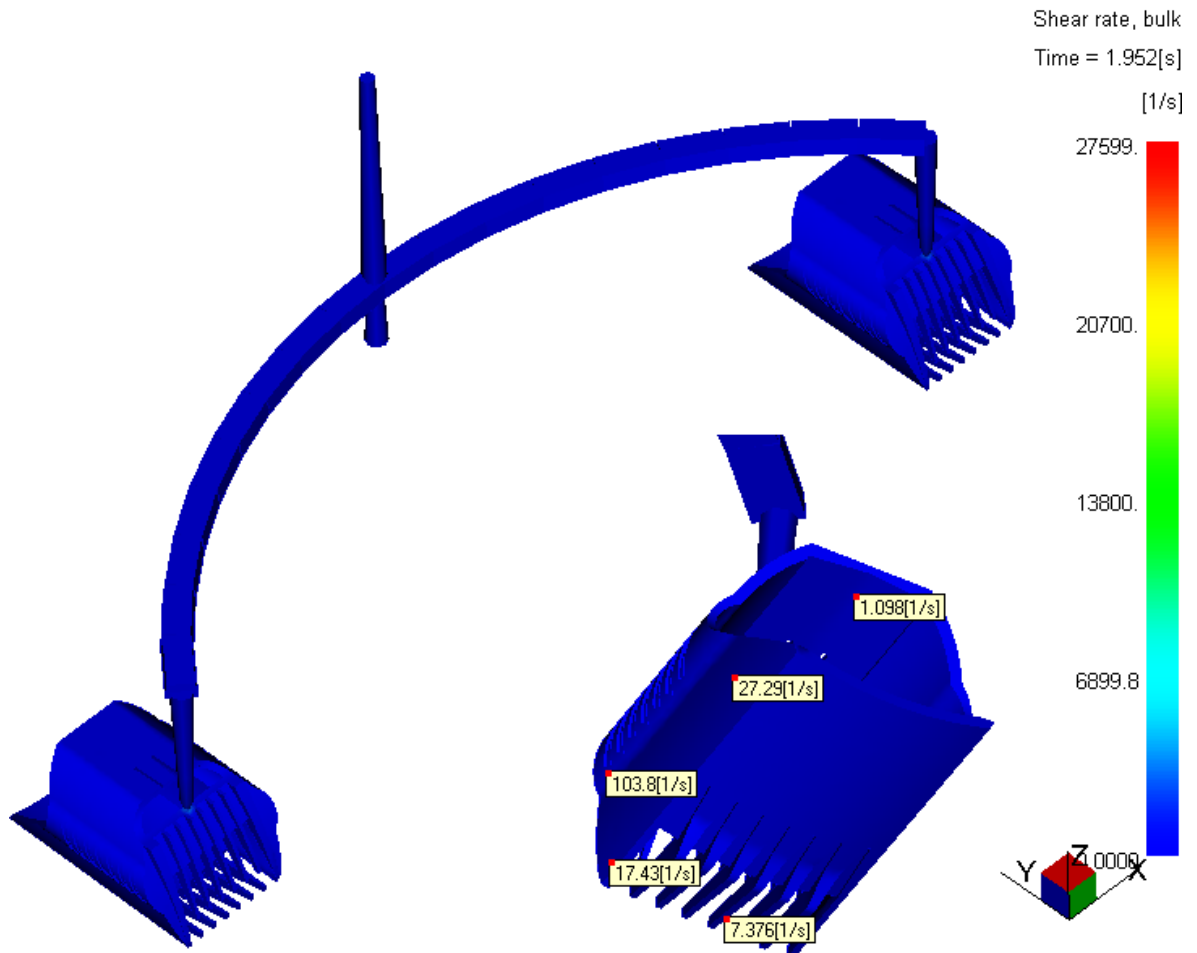
Obr. 74 Temperature at flow front – studený vtok



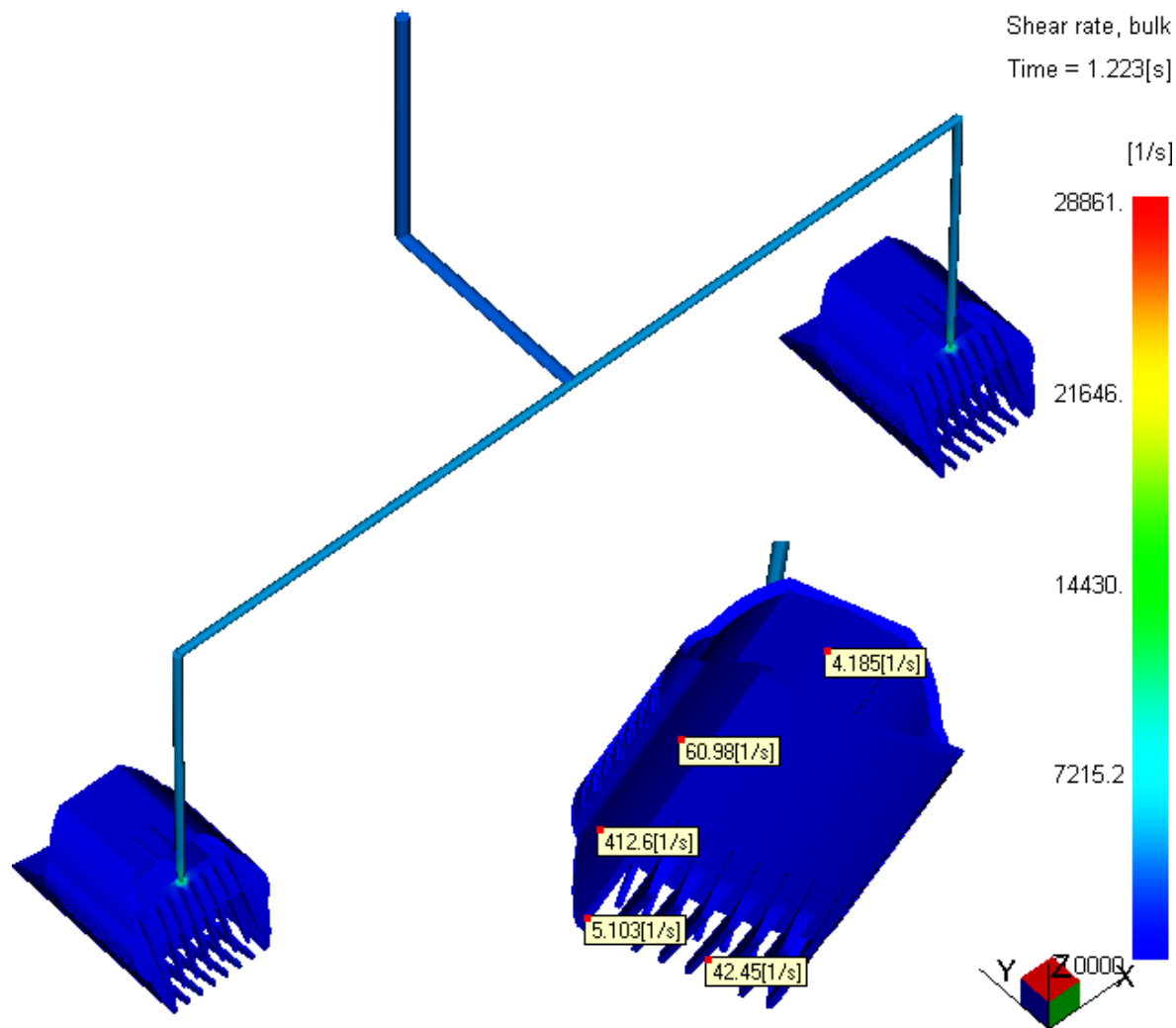
Obr. 75 Temperature at flow front – horký vtok

#### 11.5.4 Rychlost smykové deformace (Shear rate, bulk)

Podle materiálového listu je maximální dovolená hodnota rychlosti smykové deformace  $40000\text{s}^{-1}$ . Obrázek 76 a 77 ukazuje, že byla naměřena maximální hodnota  $27599\text{ s}^{-1}$  a  $28861\text{ s}^{-1}$ . U obou případů se jedná pouze o bodový výskyt a jeho umístění je nejspíše v ústí vtoku, ale i tak je podmínka rychlosti smykové deformace splněna.



Obr. 76 Shear rate, bulk – studený vtok



Obr. 77 Shear rate, bulk – horký vtoku

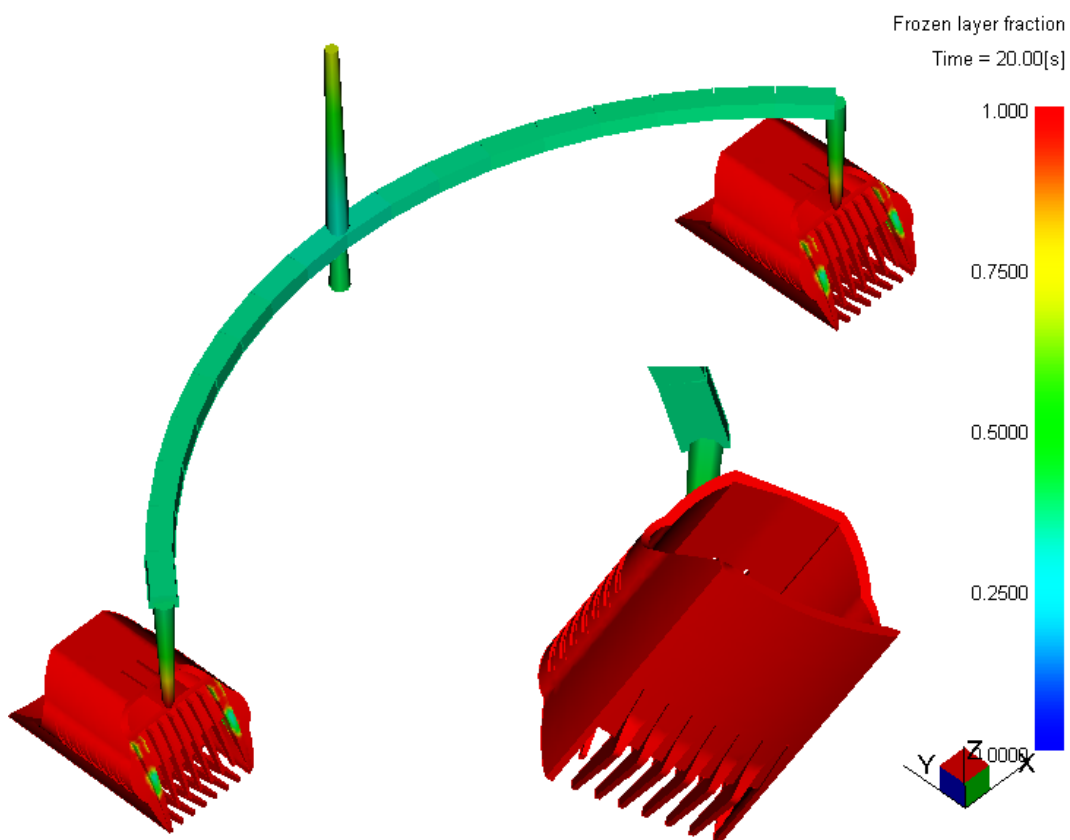
### 11.5.5 Zatuhnuté vrstvy (Frozen layer fraction)

Tento výsledek ukazuje, jak jsou v čase 20 s vrstvy zamrznuté.

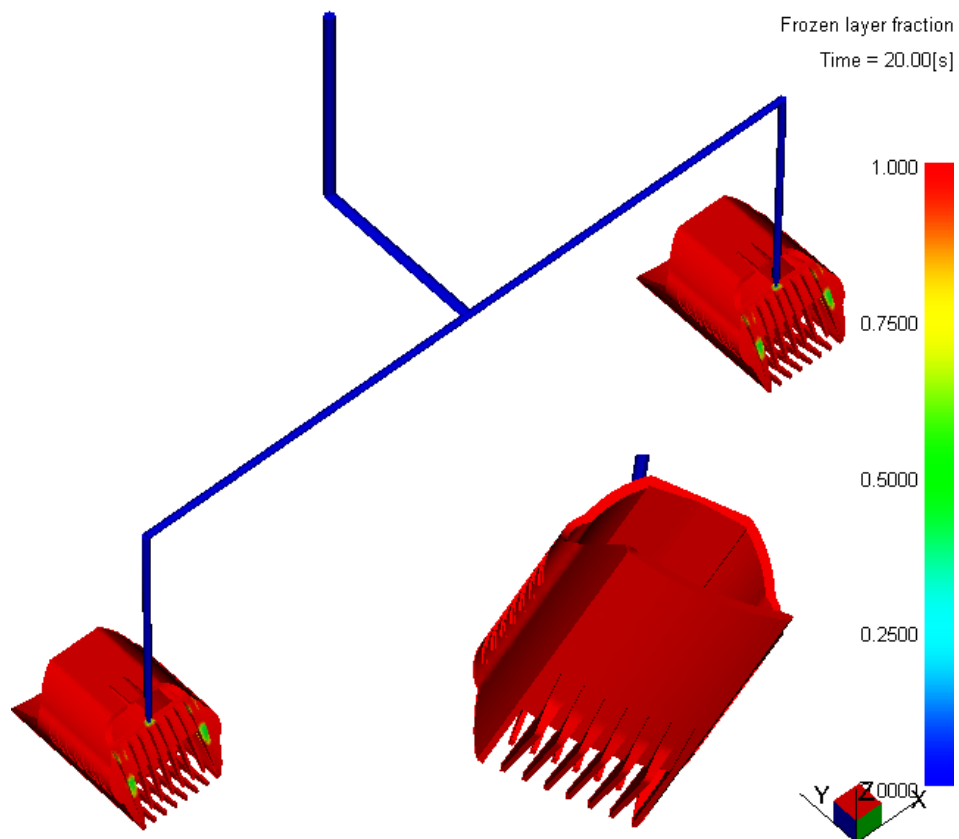
Hodnoty se pohybují v rozmezí od 0 do 1. Vyšší hodnoty představují zmrzlejší (zatuhlejší) vrstvy a tím vyšší odpor proti dalšímu tečení.

Jak ukazuje obrázek 78 a 79 je již výrobek po 20s téměř úplně zatuhlý a může nastat vyhazování výrobku. Přidržovač vtoku u studeného vtoku vykazuje přes 50% zatuhnutého materiálu a k vyhazování to je dostatečná hodnota. Dá se ale u něj předpokládat deformace, což vzhledem k odpadové povaze části nevádí.

Jelikož je tavenina v horkém vtokovém systému pořád v tekutém stavu, je jasné, že na obrázku bude znázorněna modře.



Obr. 78 Frozen layer fraction – studený vtok

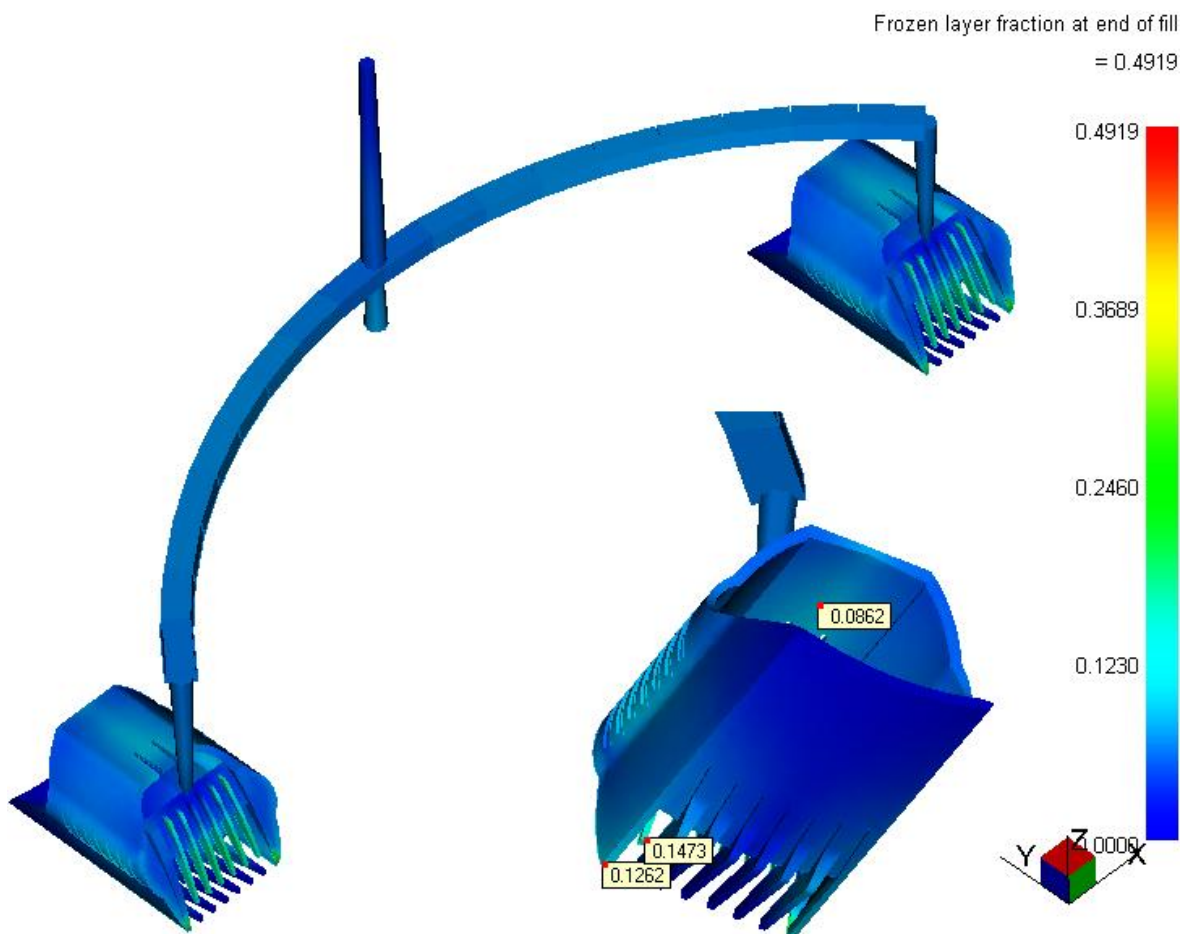


Obr. 79 Frozen layer fraction – horký vtok

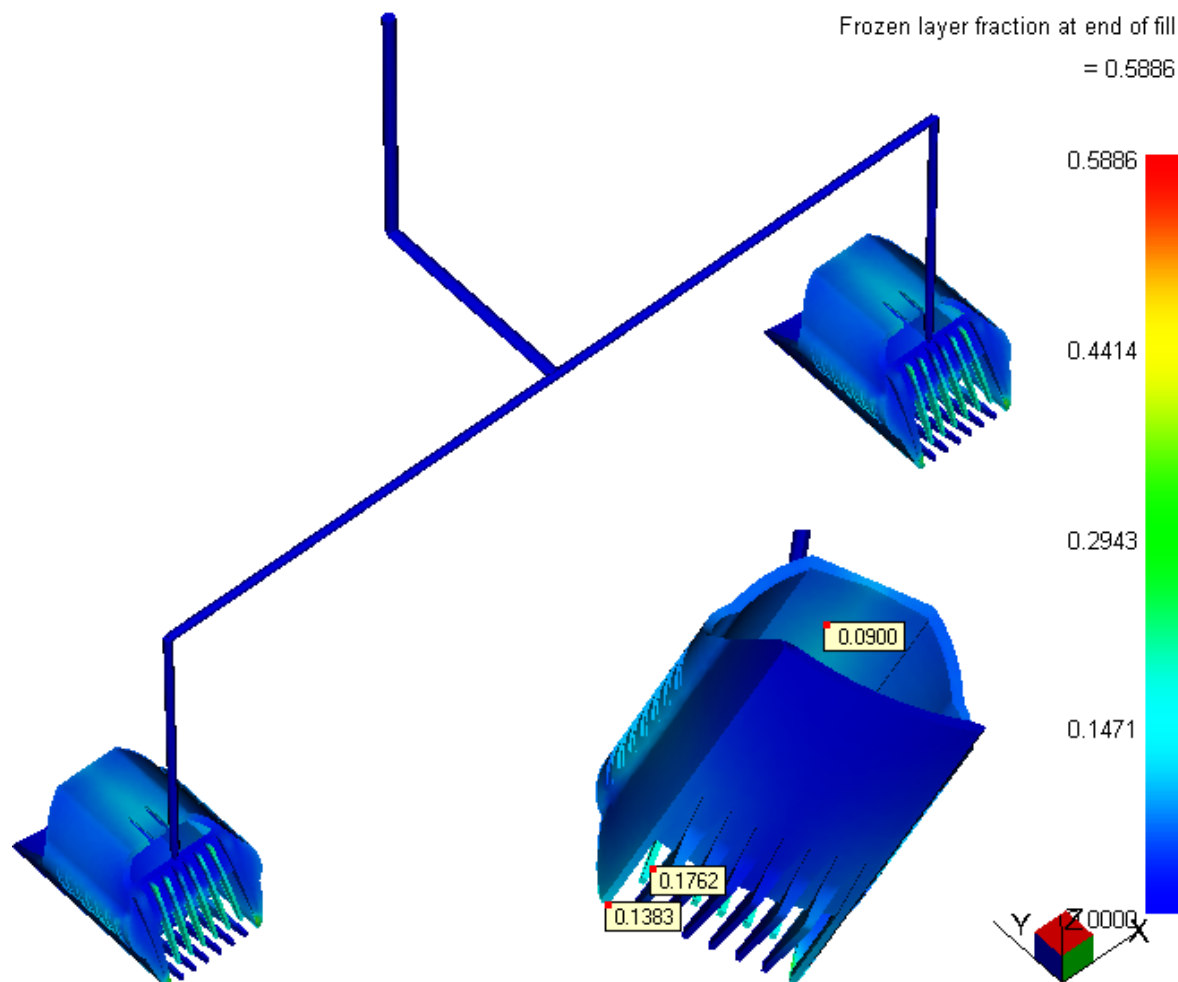
### 11.5.6 Zatuhnuté vrstvy na konci fáze plnění (Frozen layer fraction at end of fill)

Zamrzlé vrstvy na konci fáze plnění. Červeně označené místa s hodnotou 1 jsou již plně zatuhlé. Modré s hodnotou 0 nejsou vůbec tuhnoucí. Na obrázku 80 a 81 je ukázáno v jakém stádiu tuhnutí se tavenina nachází na konci fáze plnění.

Po této fázi má ještě nastat dotlak a proto je žádoucí aby tavenina nebyla zatuhlá.



Obr. 80 Frozen layer fraction at end of fill – studený vtok



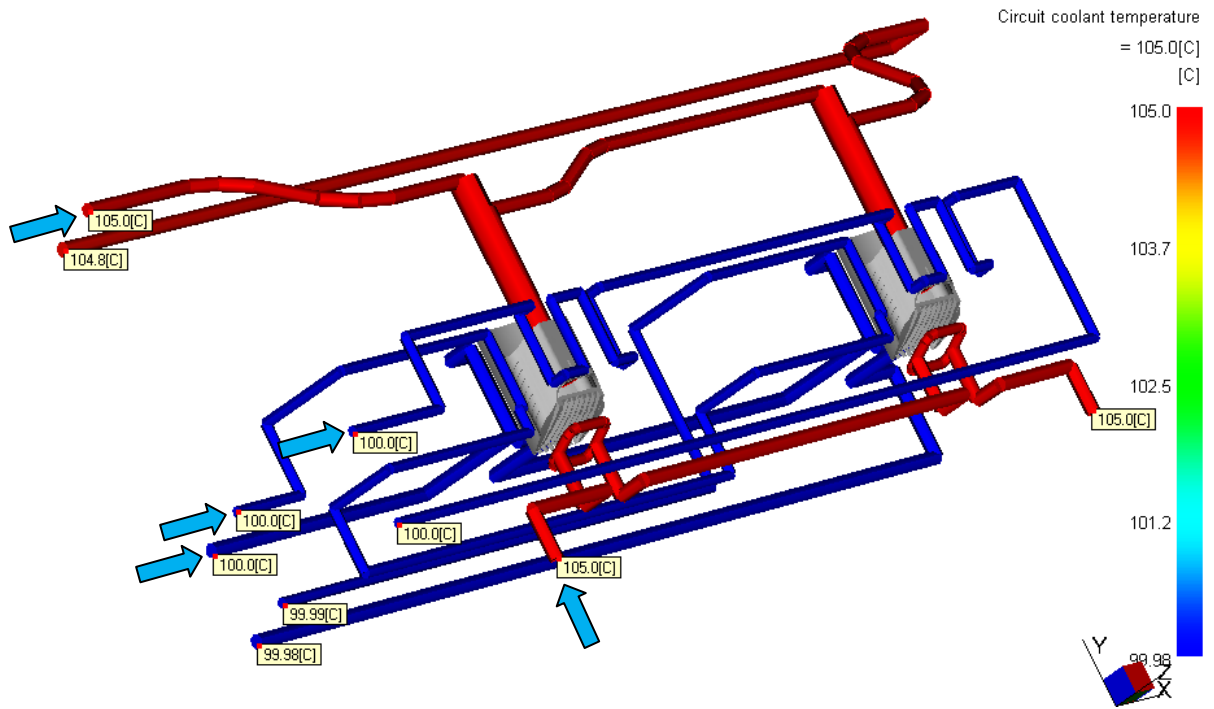
Obr. 81 Frozen layer fraction at end of fill – horký vtok

### 11.5.7 Teplota chladicího okruhu (Circuit coolant temperature)

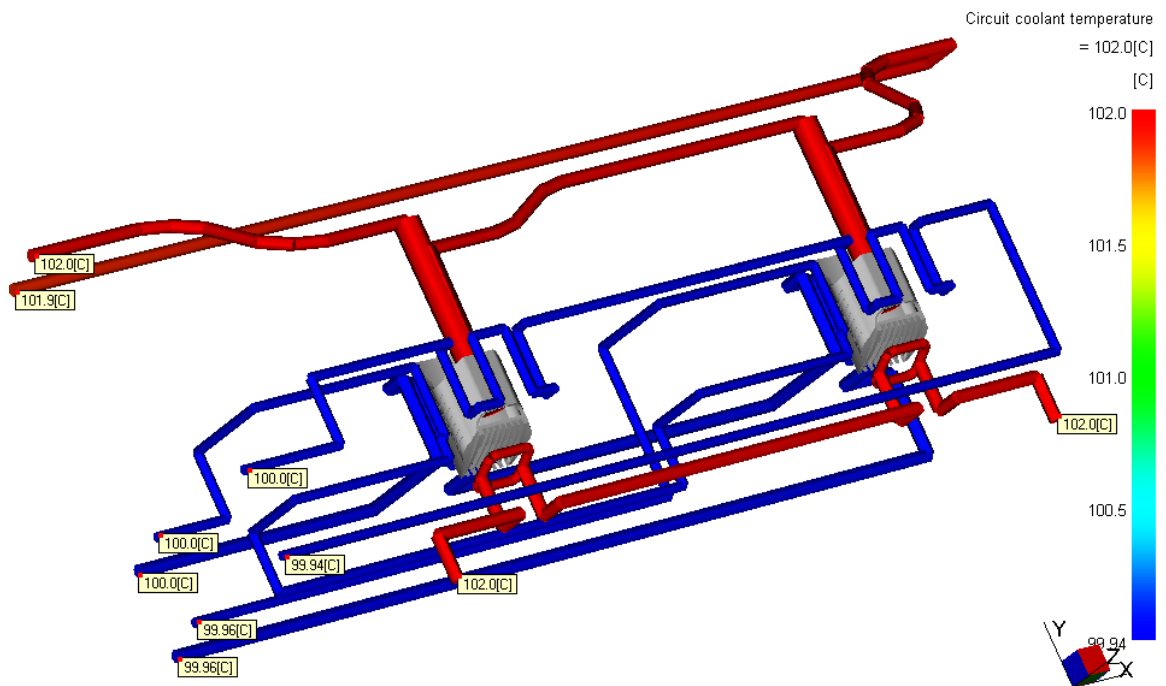
Pro studený vtokový systém byla teplota ve dvou větvích nastavena na 105°C a to u chlazení na vnitřních a čelních tvarových vložkách, ostatní chladicí okruhy jsou nastaveny na 100°C. Koncepte formy s horkým vtokovým systémem obsahuje také dvě rozdílné teploty temperačních větví a to 102°C a 100°C.

Rozdíl mezi teplotou na vstupu a výstupu je u obou sestav prakticky zanedbatelný, řádově se pohybuje v desetínách (obr. 82 a 83).

Tak nízký rozdíl je dán dostatečně velkým průtokem. Teplota je tedy z tohoto hlediska vyhovující.



Obr. 82 Circuit coolant temperature – studený vtok



Obr. 83 Circuit coolant temperature – horký vtok

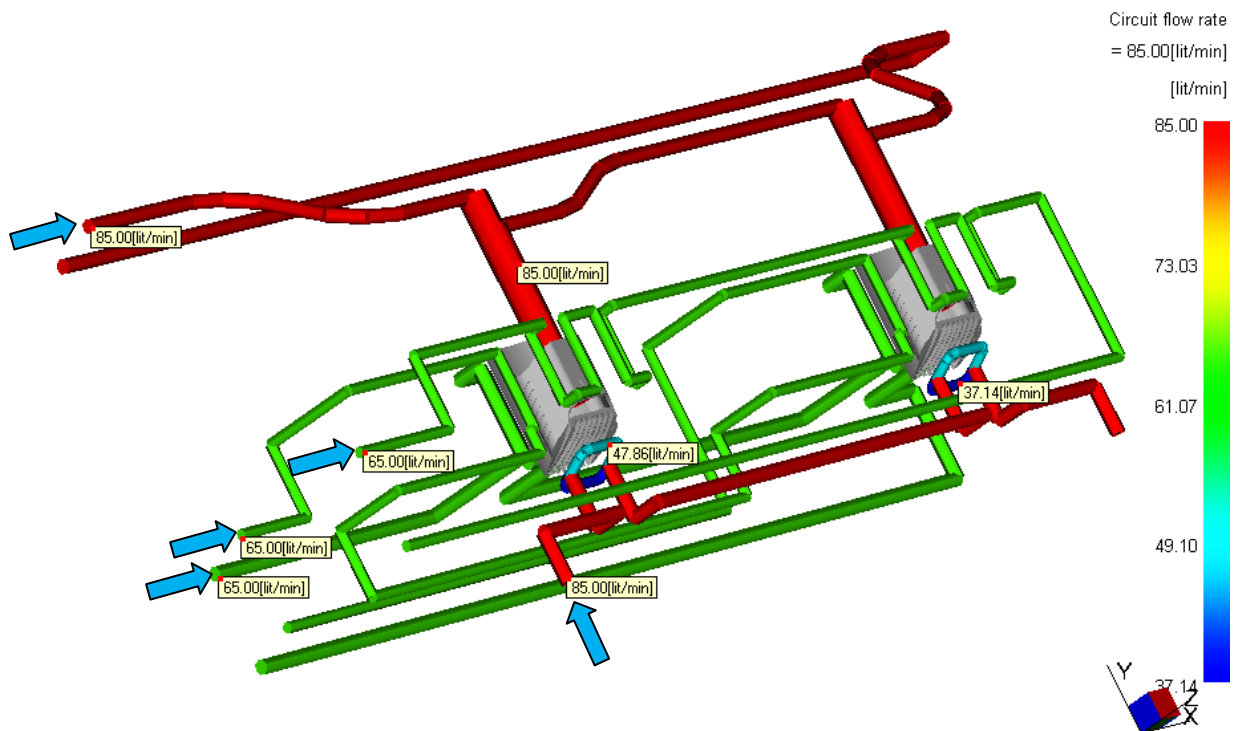
### 11.5.8 Objemový průtok (Circuit flow rate)

Hodnota objemového průtoku chladicími okruhy je nastavená již v Set coolant inlet a to na hodnoty na 85 a 65 l/min pro obě sestavy forem.

Jako temperační médium byl zvolen olej a to z důvodu vysoké teploty formy, která je 105 °C. Vzhledem k vysoké viskozitě temperačního media je zapotřebí použití vysokých průtoků pro zajištění turbulentního proudění.

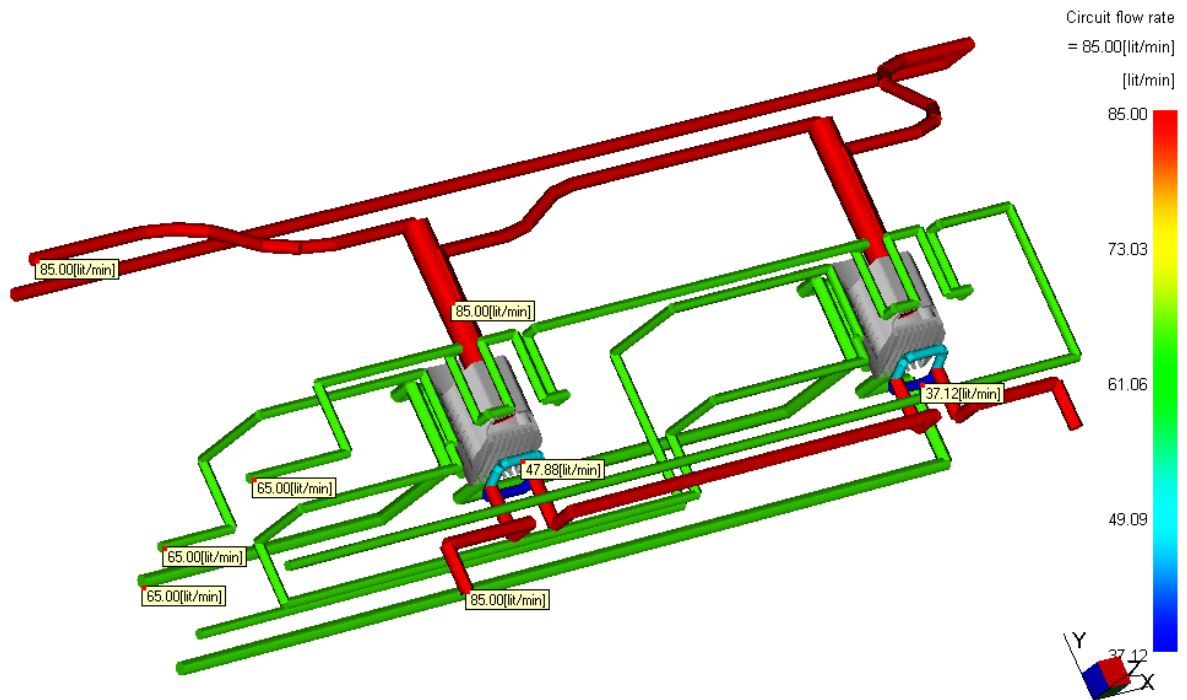
Průtok je ve všech větvích po celé délce stejný, pouze v místě čelní tvarové vložky klesá a to z důvodu rozdělení chladicího kanálu na dva menší. V jednom je průtok přes 47 l/min a v druhém 37 l/min viz. obrázek 84 a 85.

Při výrobě je zapotřebí zajistit v okruhu čerpadlo s dostatečným tlakem a objemovým průtokem.



Obr. 84 Circuit flow rate – studený vtok

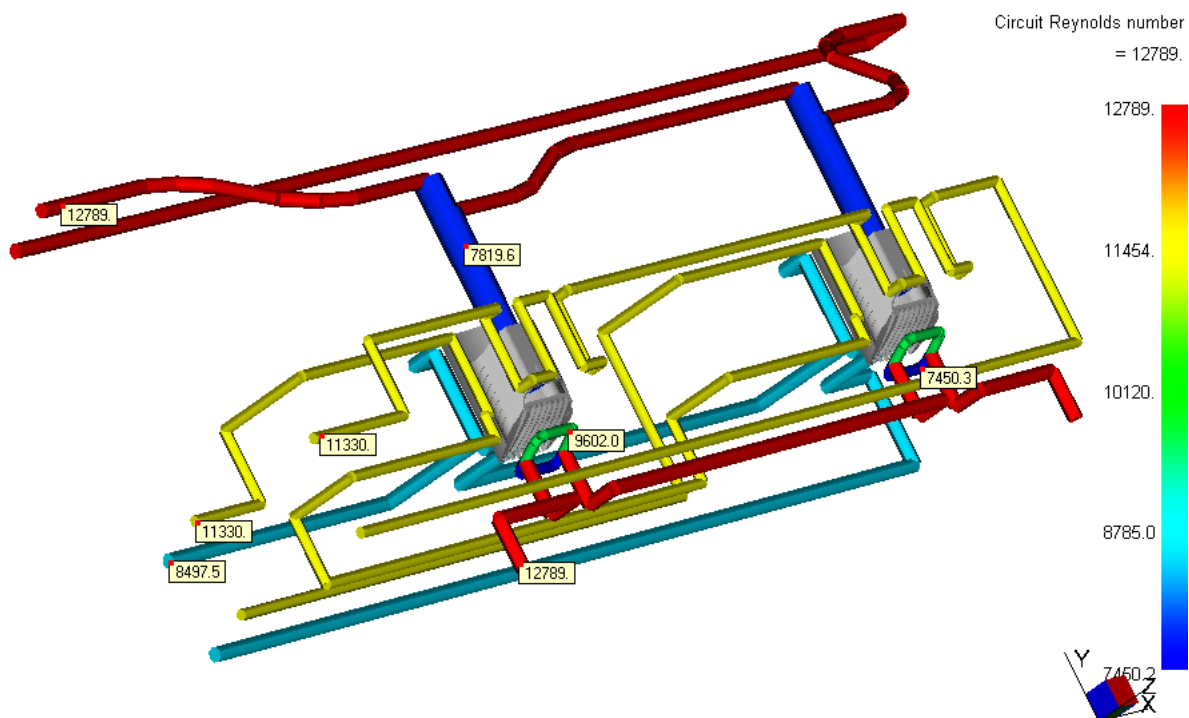




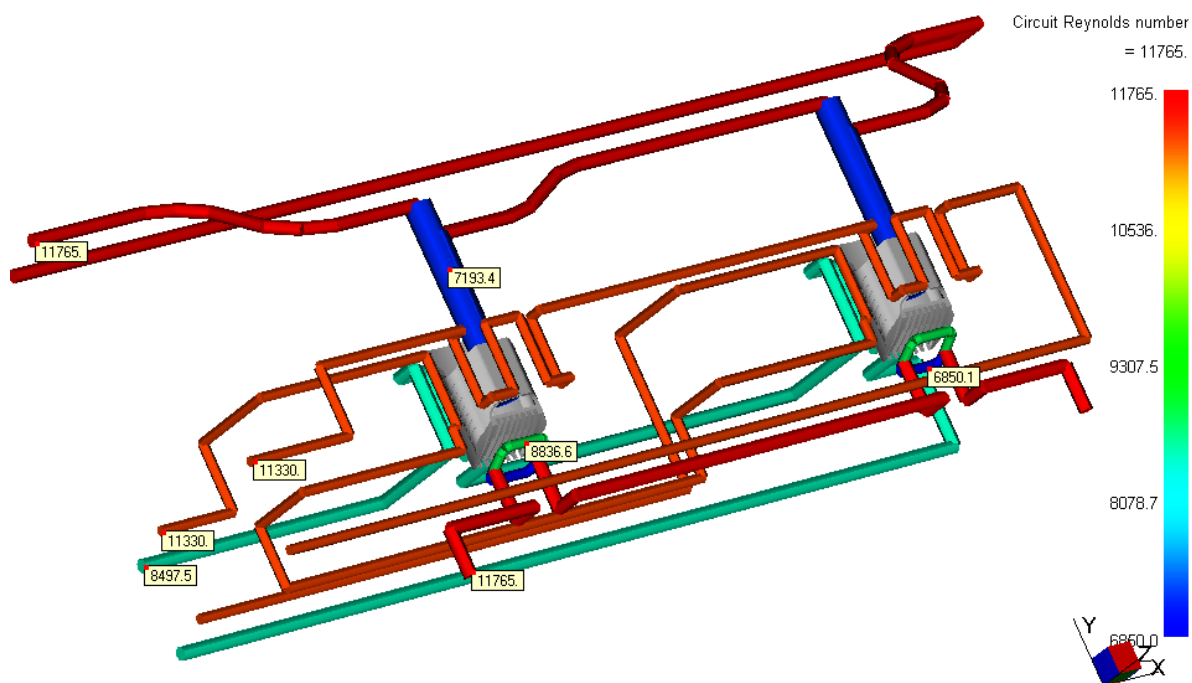
Obr. 85 Circuit flow rate – horký vtok

### 11.5.9 Reynoldsovo číslo (Circuit Reynolds number)

Snažíme se o dosažení turbulentního proudění, které začíná vznikat již při hodnotě 2500. Pro chlazení vstřikovací formy se nastavuje na hodnotu 10000, aby byla zajištěna jeho existence. V tomto případě stačí i hodnota přes 7000 a to z důvodu již vysokého průtoku pro tuto hodnotu (kapitola 11.5.8). Při snaze nastavit ve všech kanálech 10000 by bylo třeba průtok přes 320 l/min což je dáno velkou viskozitou oleje. Proudění dosahuje po celé délce hodnoty 10000 jen ve dvou větvích (viz. obr. 86 a 87). V místě přepážek chladicí médium této hodnoty nedosahuje a taktéž u temperace pro čelní tvarovou část. Zde jsou nízké hodnoty dány konstrukcí formy. Kdežto u temperace levé tvarové vložky (tvárníku) je tato hodnota dána z důvodu vyrovnanosti, respektive podobnosti průtoků, aby nebylo potřeba více různých čerpadel.



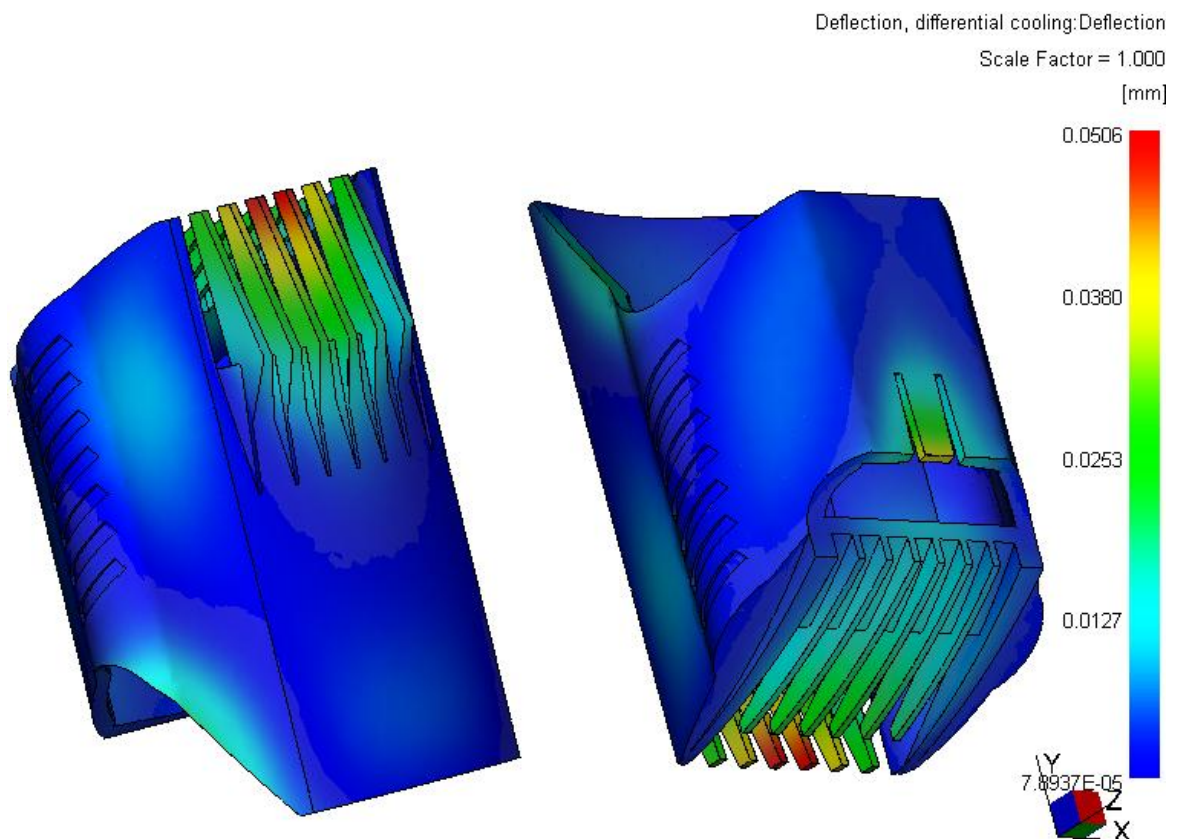
Obr. 86 Circuit Reynolds number – studený vtok



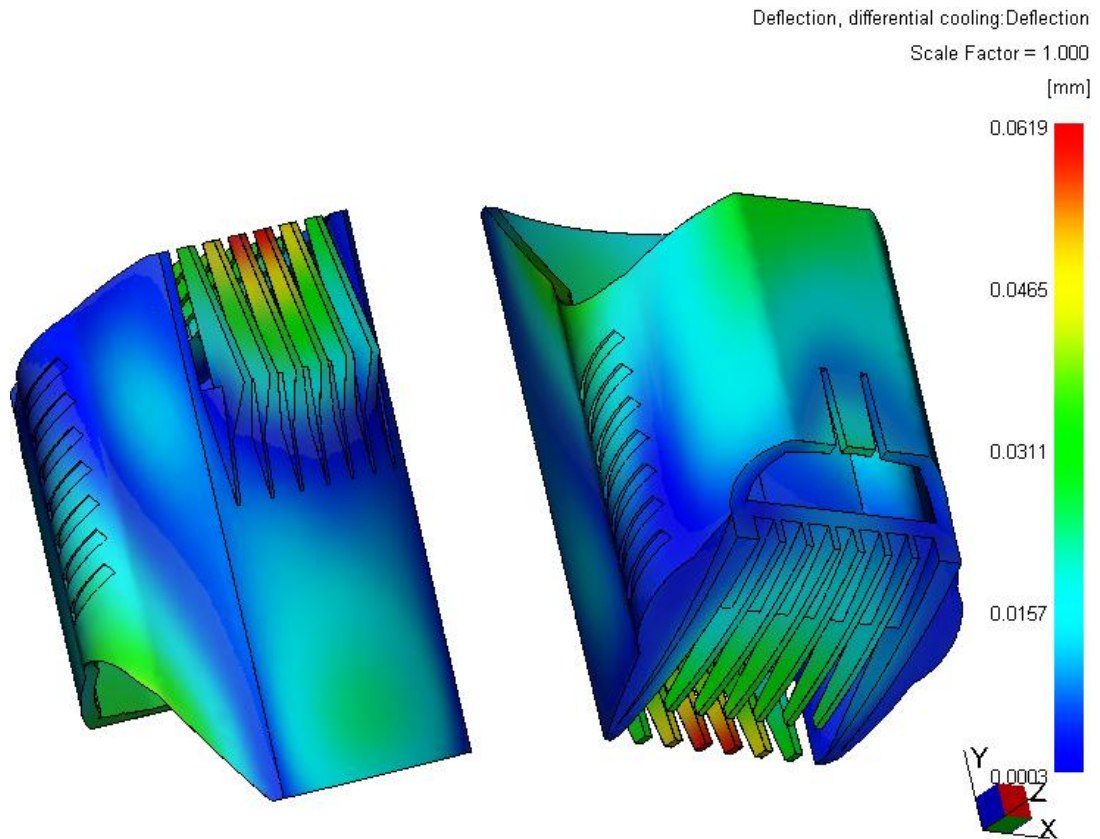
Obr. 87 Circuit Reynolds number – horký vtok

### 11.5.10 Deformace vlivem účinků teploty (Deflection, differential cooling: deflection)

Hodnota této deformace (obr. 88 a 89) je prakticky zanedbatelná. Menší výkyv je pouze na zubech a u horkého vtoku je menší kolísání i na plochách. Navržený temperační systém tedy vyhovuje i po této stránce.



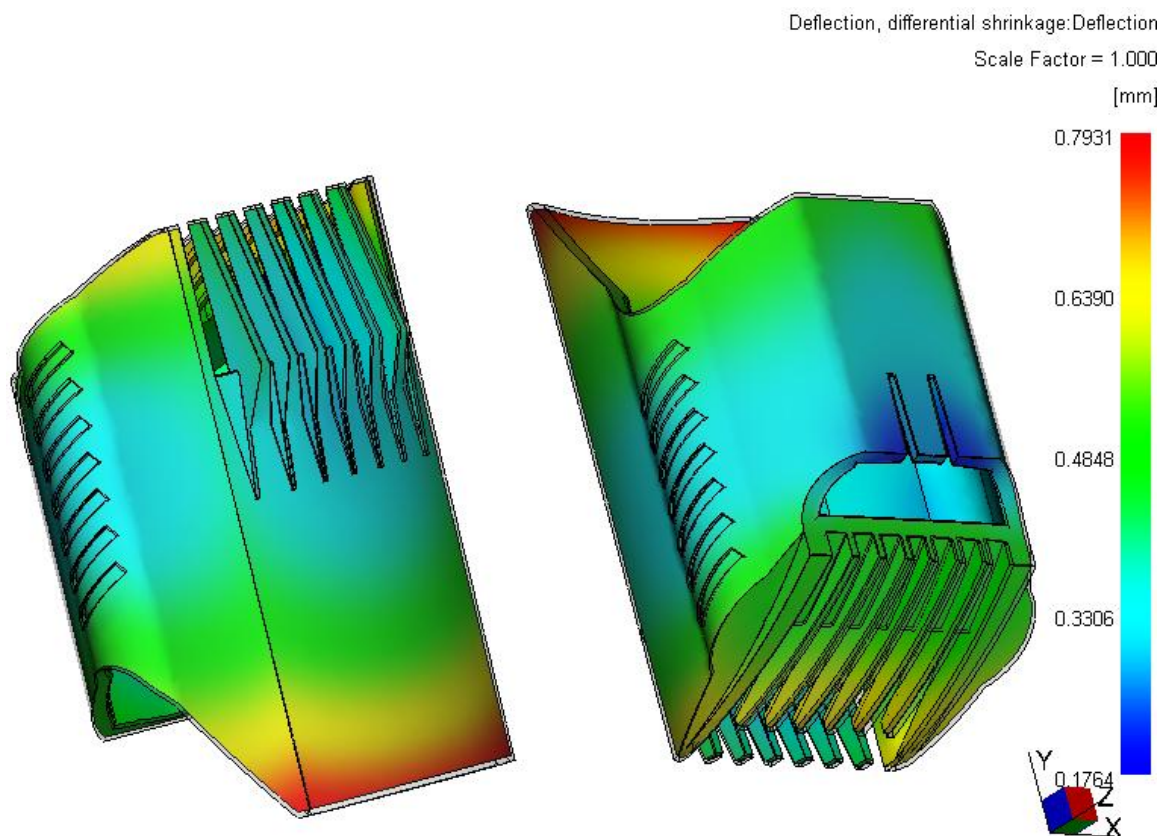
Obr. 88 Deflection, differential cooling: deflection – studený vtok



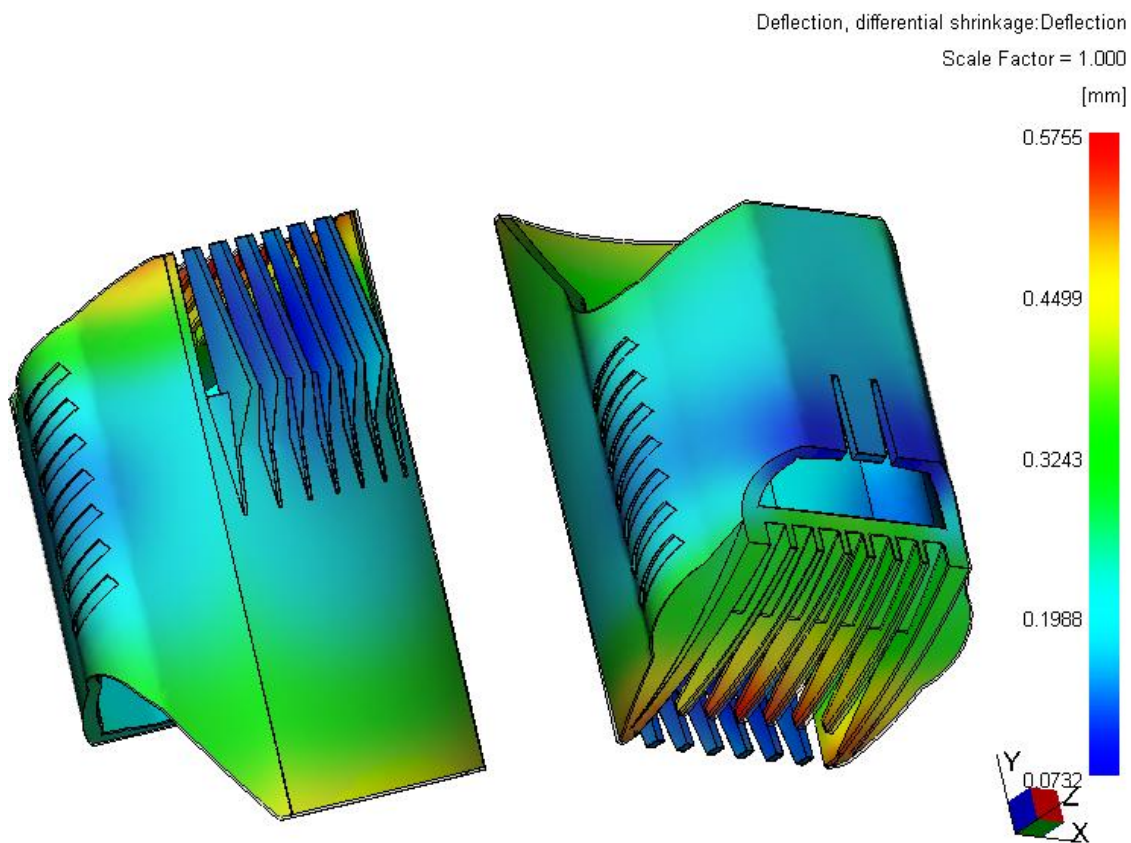
Obr. 89 Deflection, differential cooling: deflection – horký vtok

#### 11.5.11 Deformace způsobená vlivem smrštění (Deflection, differential shrinkage: deflection)

Velikost smrštění je na obrázku 90 a 91 zobrazena různými barvami. Od nejvyšší červené hodnoty po modrou. Maximální vypočtená hodnota smrštění je 0,7931 mm u studeného vtokového systému kde byl snížen dotlak jak v délce trvání tak i jeho samotná hodnota z důvodu rostoucího smykového napětí na stěně. U horkého vtokového systému jsme si mohli dovolit nechat dotlak působit déle a podle toho také kleslo smrštění.



Obr. 90 Deflection, differential shrinkage: deflection – studený vtok

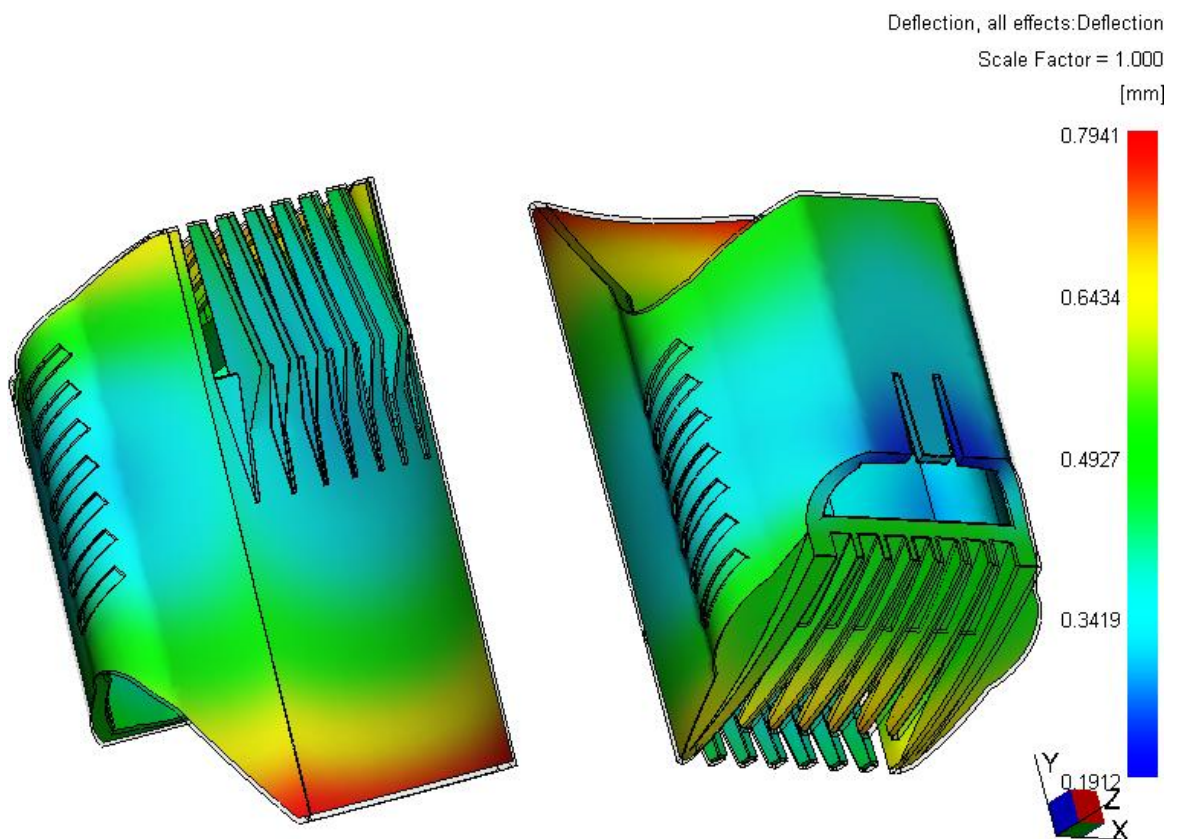


Obr. 91 Deflection, differential shrinkage: deflection – horký vtok

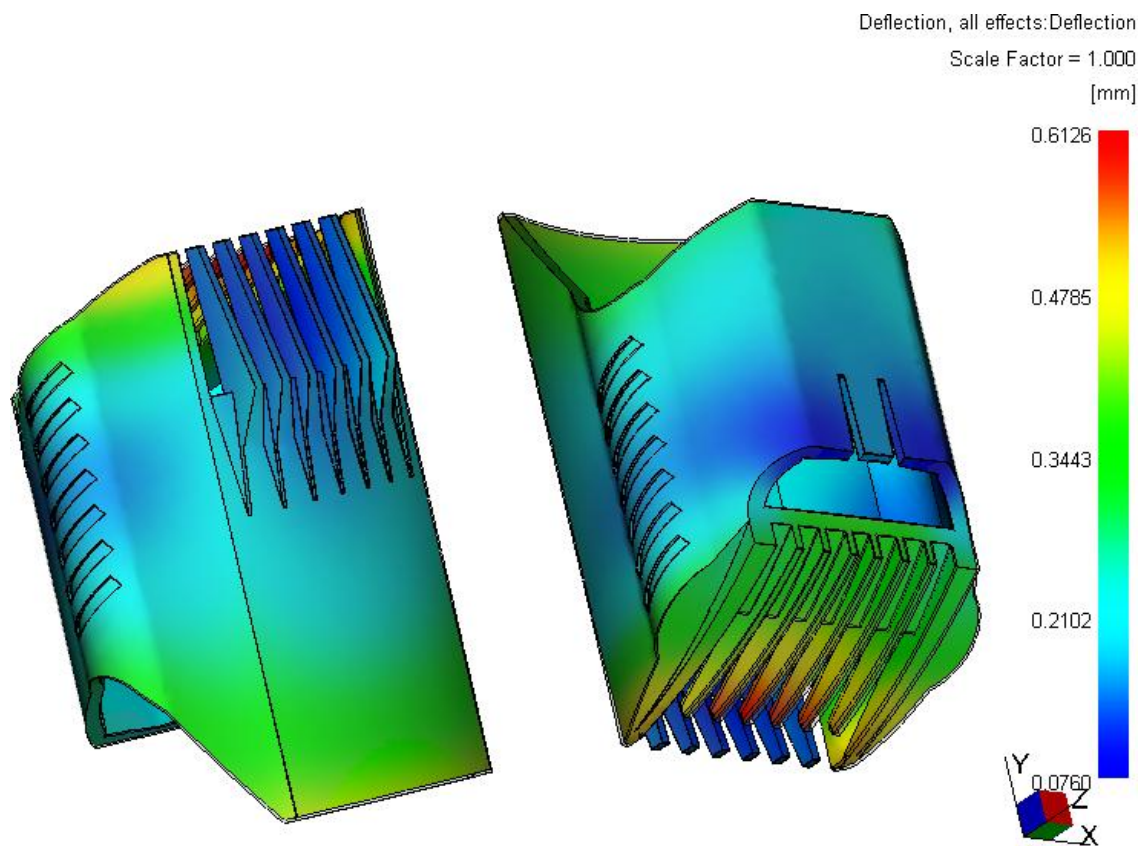
### 11.5.12 Celková deformace od všech působících vlivů (Deflection, all effects: deflection)

Vypočtená hodnota je 0,7941 mm pro studený vtokový systém a pro horký 0,6126 mm v místech označených červenou barvou na obrázku 92 a 93. Hodnota je celkem uspokojivá.

Smrštění má na celkové deformaci nejvýznamnější podíl. Jestliže má hodnota smrštění ještě více klesnout, chtělo by to zkusit jiné nastavení hodnoty dotlaku (zvýšení dotlaku nebo doby trvání).



Obr. 92 Deflection, all effects: deflection – studený vtok



Obr. 93 Deflection, all effects: deflection – horký vtok

## 12 EKONOMICKÁ ROZVAHA

Dalším cílem je porovnat dobu a počet kusů, za kterou se vyplatí použít sice investičně počátečně dražší horký vtokový systém od levnějšího studeného systému.

### 12.1 Výrobní faktory

Mezi výrobní faktory řadíme cenu horkého vtokového systému, cenu materiálu a cenu elektrické energie.

#### 12.1.1 Cena materiálu

Pro již vybraný materiál Makrolon DP1-1265 od výrobce Bayer MaterialScience je cena za kilogram 40 yuan / kg.

Pro aktuální kurz udávaný Českou Národní bankou ze dne 2.5.2011 je 1 yuan = 2,511 Kč

$$40 \cdot 2,511 = 100,44 \text{ Kč/kg} \quad (1)$$

Cena jednoho kilogramu materiálu je tedy 100,44 Kč.

#### 12.1.2 Cena elektrické energie

Cena elektrické energie ze dne 2.5.2011 je podle [www.kurzy.cz](http://www.kurzy.cz) 57 euro za 1 MW/h.

Aktuální kurz eura ze dne 2.5.2011 je 1 EUR = 24,18 Kč.

$$57 \cdot 24,18 = 1378,26 \text{ Kč} \quad (2)$$

Cena elektrické energie za 1 MW/h je 1378,26 Kč, tj. 1 kW/h je 1.38 Kč.



### 12.1.3 Pořizovací cena horkého vtokového systému

Za základ horkého bloku byl vzat horký blok z HASCO jehož cena byla 1380 EUR a odběr  $P_B = 800 W$ . Jelikož tento díl byl mírně pozměněn, aby vyhovoval našim potřebám, navýšíme i jeho cenu na 1450 EUR z důvodu kusové výroby.

$$1450.24,18 = 35\,061\text{ Kč} \quad (3)$$

Cena topného bloku je  $p_B = 35061\text{ Kč}$  a odběr  $P_B = 800 W$ .

Horké trysky byly převzaty také z katalogu HASCO. Cena jedné horké trysky je 687 EUR a odběr  $P_T = 315 W$ .

$$687.24,18.2 = 33223,32\text{ Kč} \quad (4)$$

Cena obou trysek  $p_T = 33223,32\text{ Kč}$

Celková cena horkého systému:

$$\begin{aligned} p_{HS} &= p_B + p_T \\ p_{HS} &= 35061 + 33223,32 \\ p_{HS} &= 68284,32\text{ Kč} \end{aligned} \quad (5)$$

Celková příkon horkého systému:

$$\begin{aligned} P_H &= P_B + P_T \\ P_H &= 800 + (2 * 315) \\ P_H &= 1430 W \end{aligned} \quad (6)$$

## 12.2 Cena výstřiku

Hmotnost obou výrobků a vtokového systému u formy se studeným vtokem je podle analýzy Moldflow 53,6 g a z toho hmotnost obou výrobků je 30,3 g a vtokového systému 23,3g. Kdežto hmotnost výrobků u formy s horkým vtokovým systémem je 31,7 g.

hmotnost vtoku  $m_s = 23,3$  g

hmotnost výrobku u studené vtokové soustavy  $m_{v1} = 30,3$  g

hmotnost výrobku u horké vtokové soustavy  $m_{v2} = 31,7$  g

Rozdíly v hmotnosti výrobků jsou dány hodnotami dotlaku, která se mění v závislosti na deformaci podle potřeb výrobce, a proto se bude počítat se sjednocenou hodnotou hmotnosti a to s  $m_v = 31$  g.

***Cena materiálu výrobků a vtokového zbytku u formy se studeným vtokovým systémem v jednom cyklu:***

$m_v = 31$  g

$m_s = 23,3$  g

$$m_{c1} = m_v + m_c$$

$$m_{c1} = 31 + 23,3 \tag{7}$$

$$m_{c1} = 54,3 \text{ g} = 0,0543 \text{ kg}$$

$$p_s = m_{c1} \cdot 100,44$$

$$p_s = 0,0543 \cdot 100,44 \tag{8}$$

$$p_s = 5,4538 \doteq 5,45 \text{ Kč}$$

Celková cena použitého materiálu u této formy je 5,45 Kč.

*Cena materiálu výrobků vyrobených formou s horkým vtokovým systémem v jednom cyklu:*

$$m_v = 31 \text{ g}$$

$$p_H = m_v \cdot 100,44$$

$$p_H = 0,031 \cdot 100,44 \quad (9)$$

$$p_H = 3,1136 \doteq 3,11 \text{ Kč}$$

Celková cena použitého materiálu je 3,11 Kč.

*Cena jednoho výrobního cyklu u formy s horkým vtokovým systémem:*

Cena elektrické energie byla zjištěna, že je 1 kW/h = 1,38 Kč a odběr celé soustavy  $P_H = 1,430 \text{ kW}$ .

Počet kusů vyrobených za hodinu (3600 s) při výrobním cyklu 25 s na dva výrobky (dvounásobná forma):

$$s = \frac{3600}{25} \cdot 2 \quad (10)$$

$$s = 288 \text{ kusů, tj. } 144 \text{ pracovních cyklů}$$

Při přepočtu ceny energie na jeden výrobní cyklus (2 výrobky), jehož doba trvá 25 s je následující:

$$p_E = (P_H \cdot 1,38) / s$$

$$p_E = (1,43 \cdot 1,38) / 144 \quad (11)$$

$$p_E = 0,014 \text{ Kč}$$

Cena materiálu a elektrické energie na jeden výrobní cyklus:

$$p_{HC} = p_H + p_E$$

$$p_{HC} = 3,11 + 0,014 \quad (12)$$

$$p_{HC} = 3,124 \text{ Kč}$$

### 12.3 Bilance výpočtu

Cílem je zjistit od jakého počet vyrobených kusu se vyplatí horký vtokový systém.

Pořizovací cenu vtokové a středící vložky studeného vtokového systému a tažného systému zanedbáme a naproti tomu u horkého systému zanedbáme zásuvku s kabeláží, to z důvodu podobných pořizovacích nákladů.

Recyklaci vtokového zbytku také nebereme v úvahu vzhledem k požadavku na transparentnost výrobku.

*Studený vtokový systém = Horký vtokový systém*

$$p_S \cdot x = p_{HC} \cdot x + p_{HS}$$

$$5,45 \cdot x = 3,124 \cdot x + 68284,32 \quad (13)$$

$$2,326 \cdot x = 68284,32$$

$$x = 29356,97 \doteq 29\,357 \text{ pracovních cyklů}$$

$$x \cdot 2 = 58\,714 \text{ vyrobených kus}$$

Z toho můžeme vypočítat časový údaj:

Jeden cyklus trvá 25 s

$$t = x \cdot 25$$

$$t = 29\,357 \cdot 25 \quad (14)$$

$$t = 733\,925, \text{ tj. } 203 \text{ hodin, } 52 \text{ minut a } 5 \text{ sekund}$$

Počet směn při úvaze nepřetržitého osmihodinového provozu:

$$t_s = \frac{t}{8} \quad (15)$$

$$t_s = 25,48 \text{ směn}$$

Jedná se tedy o 25 směn plného provozu vstřikovacího stroje a 3 hodiny, 52 minut a 5 sekund provozu v následující směně.

Z předešlých výpočtů byla zjištěna cena jednoho výrobního cyklu formy s horkým a studeným vtokovým systémem. Jedná se o náklady 5,45 Kč u studeného vtoku a 3,12 Kč u horkého vtoku na pracovní cyklus, ve kterém se vyrobí dva výrobky – dvounásobná forma. Byla zde započtena cena materiálu výstřiků (výrobek a vtokový zbytek) a cena elektrické energie na zajištění funkčnosti horké soustavy.

Dále bylo provedeno porovnání od jakého počtu pracovních cyklů (výroba dvou výrobků) se oplatí použití horké soustavy oproti studené soustavě. Jak ukazuje výpočet 13, jedná se o 29 357 výrobních cyklů, což odpovídá 58 714 vyrobeným kusům výrobků. Při přepočtu na nepřetržitý 8 hodinový provoz jde o 25 směn a necelé 4 hodiny následující směny.

### 13 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Pro vybraný plastový díl (nástavec na holící strojek) byl zvolen vyhovující materiál s přihlédnutím na jeho materiálové vlastnosti. Jedná se o polykarbonát s obchodním názvem Makrolon DP1-1265 od výrobce Bayer MaterialScience.

Dalším krokem byla konstrukce samotných vstřikovacích forem.

Jedna forma je konstruována se studeným vtokovým systémem. Toto řešení se používá spíše v kusové výrobě, popřípadě při výrobě netransparentních výrobků, kde můžeme vtokový zbytek opět rozemlít a použít s původním čistým materiálem.

Bylo zde s přihlédnutím na analýzu plnění použito třideskového systému. Tento systém používá bodového vtoku a také dochází při otevírání formy k odtržení vtokového systému od výrobku. Tím se sníží náklady na dokončovací operace. Nevýhodou je poněkud složitější konstrukce v porovnání s ostatními vtoky (boční, plný kuželový, tunelový...).

Druhá forma obsahuje místo studeného vtokového systému horký vtokový systém. Ten se skládá z několika dílů, přičemž mezi nejzákladnější patří horký rozvodný blok a horké trysky. Dále obsahuje ještě napájecí zásuvku a kabeláž. Úspěšně se využívá v sériových výrobcích, kde odpadá použití velkého množství materiálu na vtokový zbytek. Jeho hlavní výhodou je tedy bezodpadová výroba. Na druhou stranu je třeba zajistit napájecí napětí, topné čidla a regulátory. Tím se navýší počáteční cena celého systému.

Po konstrukci obou forem byla provedena toková analýza tvarové dutiny a obou vtokových systémů.

Nejprve, ale bylo třeba připravit samotný model výrobku v programu CATIA a to tak, že byl zvětšen o přídavky na smrštění a také byly odstraněny konstrukční rádiusy a úkosy. Tímto je zajištěna dobrá kvalita sítě po vysíťování výrobku. Také trajektorie vtokových systému a temperačních kanálů byly zhotoveny v programu CATIA. Jak výrobek tak i vtokový a temperační kanály byly vysíťovány a jejich síť byla následně upravena pro potřeby analýz. Poté je již spuštěna analýza typu cool-fill-pack-warp (chlazení-plnění-dotlak-deformace).

Z následujících výsledků je možné určit chování daného výrobku podle nastavených parametrů. Čas plnění byl nastaven s přihlédnutím na výsledky analýzy s již přednastavenými parametry. Poté upraven, aby byly splněny materiálové parametry. Jak se dalo očekávat,

výrobek s horkým vtokovým systémem je naplněn dříve. Je to dáno i tím, že tavenina u výrobku se studeným vtokem musí také zaplnit vtokový zbytek.

Temperační okruhy jsou nastaveny a konstruovány podobně, čemuž odpovídají i výsledky obou konstrukcí forem.

Výsledek celkové deformace se skládá z deformace vlivem účinku chlazení a deformace vlivem smrštění. U deformací vlivem chlazení vyšli uspokojivé hodnoty. Tím je vidět, že navržená teplota je účinná. Kdežto u deformací vlivem smrštění jsou hodnoty výrazně vyšší. Je to především způsobeno menším dotlakem, který by ono smrštění eliminoval (snížil). Dotlak byl nastaven na menší hodnotu z toho důvodu, neboť při větších hodnotách nebylo splněno rozmezí smykového napětí pro daný materiál. Větší hodnoty smrštění jsou však v místech, které nemají vliv na funkci výrobku, a tudíž tyto deformace jsou únosné.

Poslední kapitola se zabývá ekonomickou rozvahou obou forem. Byly do ní zahrnuty ceny materiálu, elektrické energie a samotného horkého vtokového systému. Nebyla brána v potaz recyklace vtokového zbytku z důvodu požadavku na transparentnost výrobku, která by se tím snížila. Jak se dalo čekat, horký vtokový systém se i přes své vysoké prvotní investice vyplatí při sériové výrobě. Jak ukazují výpočty, tak za necelých 26 směn nepřetržitého provozu je výhodnější u této konstrukce upřednostňovat formy s horkým vtokovým systémem. Studený vtokový systém je spíše vhodný pro kusovou výrobu.

## ZÁVĚR

Úkolem této práce bylo navrhnout pro zvolený plastový díl dvě vstřikovací formy. Jejichž konstrukce se měla lišit ve vtokovém systému (horký a studený vtokový systém).

Teoretická část popisuje technologii vstřikování, resp. vstřikovací cyklus. Také se zde věnujeme vstřikovacímu stroji, kapitola obsahuje samotné rozdělení a jeho hlavní části.

Jsou zde uvedeny materiály pro vstřikování a také materiály, z nichž se formy konstruují a její popis.

Praktická část je zaměřena na konstrukci obou forem v programu CATIA. Je zde vysvětlen princip a konstrukce vtokového systému, tvarových vložek, temperace, systému odformování a vyhazovacího systému. Po té byla provedena toková analýza v programu Moldflow, která zobrazuje předpokládané chování polymeru v dutině forem. Poslední kapitola praktické části je věnována ekonomické rozvaze, která nastiňuje výhodnost použití obou typů forem.



**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] Ateam.zcu.cz [online]. 2008, aktualizováno 2.12.2008 [cit. 2011-01-10]. Plasty. Dostupné z WWW: <<http://www.ateam.zcu.cz/download/plasty.pdf>>.
- [2] PRIBAN, Jiří. Vyrobaforem.cz [online]. 19.3.2010 [cit. 2011-01-12]. Nástrojárna Protool s.r.o. Dostupné z WWW: <<http://www.vyrobaforem.cz/cs/formy.html>>.
- [3] Dixi.cz [online]. 2010 [cit. 2011-01-10]. Výroba plastových obalů. Dostupné z WWW: <<http://www.dixi.cz/technologie.html>>.
- [4] DUCHÁČEK, Vrastislav. Chemicke-listy.cz : Termoplastické elastomery - Moderní polymerní materiály [online]. Praha : 7.10.1996, 1997 [cit. 2011-01-10]. Chemické listy. Dostupné z WWW: <[http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/1997\\_01\\_23-29.pdf](http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/1997_01_23-29.pdf)>.
- [5] PROVAZNÍKOVÁ, Tereza. Earchitekt.dnh.cz [online]. 3.3.2006 [cit. 2011-03-10]. Polykarbonát | vlastnosti, výhody, použití. Dostupné z WWW: <<http://earchitekt.dnh.cz/clanek/1951-polykarbonat-vlastnosti-vyhody-pouziti.aspx>>.
- [6] CRISENZA, Tommaso. Mater.unimib.it [online]. 2010 [cit. 2011-01-10]. Synthesis and Characterization of Novel Polymeric Nanostructures. Dostupné z WWW: <<http://www.mater.unimib.it/utenti/simonutti/Interests.htm>>.
- [7] KOHOUTEK, Jan. Zdokonalené postupy vstřikování plastů a automatizace při výrobě. MM Průmyslové spektrum [online]. 2007 / 1, 070117, [cit. 2011-01-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/zdokonalene-postupy-vstrikovani-plastu-a-automatizace-pri-vyrobe>>.
- [8] Manas, M.- Helštýn, J.: Výrobní stroje a zařízení – Gumárenské a plastikářské stroje II, VUT Brno, 1990
- [9] Custompartnet.com [online]. 2007 [cit. 2011-01-11]. Injection Molding. Dostupné z WWW: <<http://www.custompartnet.com/wu/InjectionMolding>>.
- [10] Ksp.tul.cz [online]. 2008-11-26 [cit. 2011-01-11]. Katedry strojírenské technologie. Dostupné z WWW: <[http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/01-plasty%20uvod/09-zesiteni.jpg](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01-plasty%20uvod/09-zesiteni.jpg)>.

- [11] Ksp.tul.cz [online]. 2008-11-26 [cit. 2011-01-11]. Katedry strojírenské technologie. Dostupné z WWW: <[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)>.
- [12] Thebranfordgroup.com [online]. 2000 [cit. 2011-03-11]. Roboshot i. Dostupné z WWW: <<http://www.thebranfordgroup.com/Sales/BETT0909/Roboshot.pdf>>.
- [13] Ust.fme.vutbr.cz [online]. 2005, Poslední aktualizace: 20.12.2010 [cit. 2011-01-11]. Odbor technologie tváření kovů a plastů. Dostupné z WWW: <[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)>.
- [14] LINDNER, Edmund; UNGER, Peter. Injection Molds : 130 Proven Designs. 3rd edition. Munich : Hanser Publishers, 2002. 313 s. ISBN 3-446-21448-8.
- [15] Ksp.tul.cz [online]. 2008-11-26 [cit. 2011-01-11]. Katedry strojírenské technologie. Dostupné z WWW: <[http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud\\_materialy/tzn/c6/TS.pdf](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c6/TS.pdf)>.
- [16] DYN, Joseph B. Injection Molds and holding : A Practic Manual. United States : Kluwer Academic Publishers, 2001. 395 s.
- [17] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů: I.díl - Vstřikování termoplastů*. 2.vydání – Brno: Uniplast, 1999. 134s.
- [18] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů: II.díl - Vstřikování termoplastů*. 1.vydání – Brno: Uniplast, 1999. 214s.
- [19] STANĚK, M. *přednášky T5KF*

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

$T_m$	Teplota tání [°C]
$T_f$	Teplota viskózního toku [°C]
$T_g$	Teplota skelného přechodu [°C]
D	Průměr [mm]
$a_s$	Smáčivé číslo [-]
DVD	Digitální optický datový nosič
SVS	Studený vtokový systém
VVS	Vyhřívaný vtokový systém
TPE	Termoplastický elastomer
PE	Polyetylen
PS	Polystyren
PPO	Polyfenyloxid
SB	Styren – butadien
ABS	Akryl Butadien Styren
PEN	Polyethylen naftalát
PP	Polypropylen
CA	Acetát celulózy
POM	Polyoxymethylen
PMMA	Polymethylmetakrylát
PC	Polykarbonát
SAN	Styren-akrylonitrilový kopolymer
%C	Procentuální obsah uhlíku
HV	Jednotka tvrdosti podle Vickerse
Cu	Chemická značka mědi

---

%	Procenta
°C	Stupně Celsia
mm	Milimetry
MPa	Megapascaly
CuSiNi	Slitina mědi, křemíku a niklu
CuAlFe	Slitina mědi, hliníku a železa
CuAlFeMn	Slitina mědi, hliníku, železa a Manganu
CuAlFeCo	Slitina mědi, hliníku, železa a cobaltu
CuAlFeNi	Slitina mědi, hliníku, železa a niklu
EUR	Euro
Kč	Česká koruna
MW/h	Megawatthodina
kW/h	Kilowatthodina
$P_B$	Příkon horkého bloku [W]
$p_B$	Cena horkého bloku [Kč]
$P_T$	Příkon horkých trysek [W]
$p_T$	Cena horkých trysek [Kč]
$p_{HS}$	Cena horkého vtokového systému [Kč]
$P_H$	Celkový příkon horké vtokové soustavy [W]
$m_S$	Hmotnost vtoků [kg]
$m_{V1}$	Hmotnost výrobku studené vtokové soustavy [kg]
$m_{V2}$	Hmotnost výrobku horké vtokové soustavy [kg]
$m_V$	Hmotnost výrobku [kg]
$m_{C1}$	Hmotnost materiálu a vtokového zbytku studené vtokové soustavy [kg]
$p_S$	Cena materiálu výrobků a vtokového zbytku studené vtokové soustavy [Kč]
$p_H$	Cena materiálu dvou výrobků horké vtokové soustavy [Kč]

---

s	Počet kusů
$p_E$	Cena el. energie jednoho cyklu horké vtokové soustavy [Kč]
$p_{HC}$	Cena materiálu a energie jednoho cyklu horké vtokové soustavy [Kč]
$t_S$	Počet směn
t	Čas [s]

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Rozdělení plastů pro vstřikování</i> .....	13
<i>Obr. 2 a) makromolekulární síť lineární, b) makromolekulární síť rozvětvená, c) makromolekulární síťované polymery [1]</i> .....	14
<i>Obr. 3 Schéma strukturní sítě vytvrzeného reaktoplastu [10]</i> .....	15
<i>Obr. 4 Struktura TPE [6]</i> .....	16
<i>Obr. 5 Vstřikovací cyklus</i> .....	18
<i>Obr. 6 Časový průběh vstřikovacího cyklu [19]</i> .....	20
<i>Obr. 7 Vstřikovací stroj [9]</i> .....	21
<i>Obr. 8 Typy vstřikovacích strojů</i> .....	22
<i>Obr. 9 Šnek vstřikovacího stroje</i> .....	23
<i>Obr. 10 Šneková plastikace, 1 – pracovní válec, 2 – šnek, 3 – zpětný uzávěr, 4 – vstřikovací tryska, 5 – topné těleso, 6 – násypka [8]</i> .....	24
<i>Obr. 11 Vstřikovací stroj [9]</i> .....	24
<i>Obr. 12 Vstřikovací stroj [9]</i> .....	25
<i>Obr. 13 Forma vstřikovacího stroje [9]</i> .....	27
<i>Obr. 14 Forma vstřikovacího stroje [9]</i> .....	28
<i>Obr. 15 Pohled na rozloženou formu [9]</i> .....	28
<i>Obr. 16 Studený vtokový systém</i> .....	29
<i>Obr. 17 Srovnání základních typů kanálů podle smáčivého čísla</i> .....	31
<i>Obr. 18 Vtoková ústí</i> .....	32
<i>Obr. 19 Horký vtokový systém [13]</i> .....	33
<i>Obr. 20 Vliv rozmístění temperačních kanálů na průběh teploty ve stěně formy: a) u stejné tloušťky výstřiku, b) u rozdílné tloušťky výstřiku [13]</i> .....	34
<i>Obr. 21 Fotka nástavce na holicí strojek</i> .....	42
<i>Obr. 22 Poloha hlavní dělicí roviny</i> .....	44
<i>Obr. 23 Části tvořící tvarovou dutinu</i> .....	45
<i>Obr. 24 Vstřikovací forma – studený vtokový systém</i> .....	46
<i>Obr. 25 Vtokový systém – studený</i> .....	47
<i>Obr. 26 Způsob vyhazování vtoku a výstřiku u třídeskové formy</i> .....	47
<i>Obr. 27 Pravá tvarová vložka</i> .....	48
<i>Obr. 28 Levá tvarová vložka</i> .....	49
<i>Obr. 29 Boční tvarové části</i> .....	50

<i>Obr. 30 Čelní tvarová část.....</i>	51
<i>Obr. 31 Zarážka ve vnitřní dutině výrobku.....</i>	51
<i>Obr. 32 Vnitřní tvarové části A a B – rozložené .....</i>	52
<i>Obr. 33 Vnitřní tvarové části .....</i>	52
<i>Obr. 34 Temperační kanály .....</i>	53
<i>Obr. 35 Temperace pravé tvarové vložky .....</i>	54
<i>Obr. 36 Temperace levé tvarové vložky .....</i>	55
<i>Obr. 37 Temperace boční tvarové vložky .....</i>	56
<i>Obr. 38 Temperace čelní tvarové vložky .....</i>	57
<i>Obr. 39 Temperace čelní tvarové vložky – vyfrézované dva okruhy.....</i>	57
<i>Obr. 40 Temperace vnitřní tvarové vložky .....</i>	58
<i>Obr. 41 Forma po dokončení vstřikovacího cyklu .....</i>	59
<i>Obr. 42 Otevírání vstřikovací formy .....</i>	60
<i>Obr. 43 Tažný západkový systém .....</i>	60
<i>Obr. 44 Vyfrézovaná drážka v rozvodném kanále .....</i>	61
<i>Obr. 45 Otevírání vstřikovací formy – plné otevření formy .....</i>	62
<i>Obr. 46 Vyhození výrobku .....</i>	63
<i>Obr. 47 Detailnější pohled na vyhození výrobku a) vytlačení výrobku vyhazovači; b) pozastavení vyhazovacího systému a volný pád výrobku .....</i>	63
<i>Obr. 48 Vyhození vtokového zbytku .....</i>	64
<i>Obr. 49 Detail formy na šoupátkový systém .....</i>	65
<i>Obr. 50 Vznik mezery po odsunu čelní tvarové části .....</i>	65
<i>Obr. 51 Posun tvarových částí.....</i>	66
<i>Obr. 52 Vyhazovací systém .....</i>	67
<i>Obr. 53 Vstřikovací forma – horký vtokový systém.....</i>	68
<i>Obr. 54 Topná soustava.....</i>	69
<i>Obr. 55 Forma po dokončení vstřikovacího cyklu .....</i>	70
<i>Obr. 56 Vyhození výrobku .....</i>	71
<i>Obr. 57 Identický model výrobku .....</i>	72
<i>Obr. 58 Studený vtokový systém.....</i>	73
<i>Obr. 59 Horký vtokový systém .....</i>	73
<i>Obr. 60 Temperační systém pravé strany .....</i>	74
<i>Obr. 61 Temperační systém levé strany .....</i>	74

<i>Obr. 62</i>	<i>Vysířovaný výrobek v programu Moldflow</i>	75
<i>Obr. 63</i>	<i>Mesh statistic</i>	76
<i>Obr. 64</i>	<i>Aspec ratio</i>	76
<i>Obr. 65</i>	<i>Aspec ratio diagnostic</i>	77
<i>Obr. 66</i>	<i>Flow resistance indicator</i>	78
<i>Obr. 67</i>	<i>Gating suitability</i>	79
<i>Obr. 68</i>	<i>Procesní podmínky – studený vtokový systém</i>	81
<i>Obr. 69</i>	<i>Procesní podmínky – horký vtokový systém</i>	82
<i>Obr. 70</i>	<i>Fill time – studený vtok</i>	86
<i>Obr. 71</i>	<i>Fill time – horký vtok</i>	86
<i>Obr. 72</i>	<i>Pressure at V/P switchover – studený vtok</i>	87
<i>Obr. 73</i>	<i>Pressure at V/P switchover – horký vtok</i>	88
<i>Obr. 74</i>	<i>Temperature at flow front – studený vtok</i>	89
<i>Obr. 75</i>	<i>Temperature at flow front – horký vtok</i>	89
<i>Obr. 76</i>	<i>Shear rate, bulk – studený vtok</i>	90
<i>Obr. 77</i>	<i>Shear rate, bulk – horký vtok</i>	91
<i>Obr. 78</i>	<i>Frozen layer fraction – studený vtok</i>	92
<i>Obr. 79</i>	<i>Frozen layer fraction – horký vtok</i>	92
<i>Obr. 80</i>	<i>Frozen layer fraction at end of fill – studený vtok</i>	93
<i>Obr. 81</i>	<i>Frozen layer fraction at end of fill – horký vtok</i>	94
<i>Obr. 82</i>	<i>Circuit coolant temperature – studený vtok</i>	95
<i>Obr. 83</i>	<i>Circuit coolant temperature – horký vtok</i>	95
<i>Obr. 84</i>	<i>Circuit flow rate – studený vtok</i>	96
<i>Obr. 85</i>	<i>Circuit flow rate – horký vtok</i>	97
<i>Obr. 86</i>	<i>Circuit Reynolds number – studený vtok</i>	98
<i>Obr. 87</i>	<i>Circuit Reynolds number – horký vtok</i>	98
<i>Obr. 88</i>	<i>Deflection, differential cooling: deflection – studený vtok</i>	99
<i>Obr. 89</i>	<i>Deflection, differential cooling: deflection – horký vtok</i>	100
<i>Obr. 90</i>	<i>Deflection, differential shrinkage: deflection – studený vtok</i>	101
<i>Obr. 91</i>	<i>Deflection, differential shrinkage: deflection – horký vtok</i>	101
<i>Obr. 92</i>	<i>Deflection, all effects: deflection – studený vtok</i>	102
<i>Obr. 93</i>	<i>Deflection, all effects: deflection – horký vtok</i>	103



**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1 Postup při určování vtokové vložky [17]</i> .....	30
<i>Tab. 2 Přehled použití [18]</i> .....	36
<i>Tab. 3 Cementační oceli [18]</i> .....	37
<i>Tab. 4 Vlastnosti materiálu</i> .....	43
<i>Tab. 5 Hodnoty Aspect ratio</i> .....	77
<i>Tab. 6 Specifikace vstřikovacího stroje ROBOSHOT 275i_A</i> .....	83
<i>Tab. 7 Specifikace vstřikovacího stroje ROBOSHOT 110i_D</i> .....	84

**SEZNAM PŘÍLOH**

P I Vlastnosti ocelí.

P II Specifikace vstřikovaných strojů

P III Výkresová dokumentace

P IV DVD disk obsahující:

- bakalářskou práci
- modely forem a výrobku
- výkresovou dokumentaci
- tokové analýzy

## PŘÍLOHA P I: VLASTNOSTI OCELÍ

Užití	ČSN	cementační	nitridační	kalená v oleji	kalená ve vodě	kalená na vzduchu	malé dílce	střední dílce	velké dílce	tenké dílce	tvarově složitě	značně namáhané	výborně leštitelné	korozivzdornost	dobrá obrobitelnost	špatná obrobitelnost	výborná otěruvzdornost	výborná houževnatost	výborná pevn. jádro
tvárnice, tvárníky, jádra	19 015	x									x		x						
	19 083				x		x												
	19 191				x		x												
	19 312			x			x	x	x			x	x		x				
	19 313			x			x	x	x			x	x		x				
	19 421			x	x		x												
	19 435			x			x	x	x				x	x		x	x	x	
	19 436			x		x	x	x	x	x		x				x	x	x	x
	19 452			x			x			x		x					x		
	19 486	x		x			x		x		x		x		x				x
	19 487	x		x			x		x				x		x				x
	19 614			x			x	x			x	x						x	
	19 663					x			x			x							
vtokové vločky	19 312			x				x									x		x
	19 313			x				x									x		x
	19 436			x		x		x	x			x			x	x	x		
	19 452			x			x					x		x		x			



## PŘÍLOHA P II: SPECIFIKACE VSTŘIKOVACÍCH STROJŮ

# ROBOSHOT *i*

# 110i

### INJECTION UNIT SPECIFICATIONS

	ENGLISH	A	B	C	D	E	F	G	METRIC	A	B	C	D	E	F	G
Inj. Capacity, Max. GPPS	oz.	0.95	1.68	1.95	3.42	4.87	6.02	7.28	Grams	27	48	55	97	138	171	206
Theoretical Disp.	in <sup>3</sup>	1.74	3.08	3.57	6.28	8.94	11.04	13.36	cm <sup>3</sup>	28.5	50.4	58.5	102.9	146.6	181.0	219.0
Max. Inj. Press. Notes 1,2	psi	35,550	35,550	32,706	28,440	24,174	21,330	21,330	bar	2,452	2,452	2,256	1,961	1,667	1,471	1,471
Max. Inj Rate Notes 1,2	in <sup>3</sup> /sec	4.64	6.48	7.51	9.81	12.42	25.30	18.554	cm <sup>3</sup> /sec	76.0	106.2	123.2	160.8	203.6	414.7	304
Max. Pack Press Notes 1,2	psi	35,550	32,706	29,862	24,174	21,330	18,486	18,486	bar	2,452	2,256	2,059	1,667	1,471	1,275	1,275
Max. Inj. Press. Notes 1,2	psi	36,972	36,972	34,128	31,284	27,018	N/A	N/A	bar	2,550	2,550	2,354	2,158	1,863	N/A	N/A
Max. Inj Rate Notes 1,2	in <sup>3</sup> /sec	7.65	10.69	12.40	16.19	20.49	N/A	N/A	cm <sup>3</sup> /sec	125.4	175.2	203.2	265.4	335.9	N/A	N/A
Max. Pack Press Notes 1,2	psi	36,972	36,972	31,284	28,440	24,174	N/A	N/A	bar	2,550	2,550	2,158	1,961	1,667	N/A	N/A
Screw Stroke	in	2.95	3.74	3.74	5.04	5.67	5.67	5.67	mm	75	95	95	128	144	144	144
Screw Dia.	in	0.87	1.02	1.10	1.26	1.42	1.57	1.73	mm	22	26	28	32	36	40	44
Screw L/D Ratio		20:1	20:1	20:1	20:1	20:1	20:1	20:1		20:1	20:1	20:1	20:1	20:1	20:1	20:1
<b>Screw Performance</b>																
Screw Speed, Max.	rpm	300	300	300	300	300	450	300	rpm	300	300	300	300	300	450	300
Screw Speed, Max. Note 2	rpm	450	450	450	450	450	N/A	N/A	rpm	450	450	450	450	450	N/A	N/A
Nozzle Touch Force	tons	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	Tonf	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
<b>Barrel Heat Control</b>																
No. of Pyrometers (Barrel/Nozzle)		3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1		3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1
Total Heat Capacity	kw	3.8	6.5	7.2	7.8	9.1	9.1	9.1	kw	3.8	6.5	7.2	7.8	9.1	9.1	9.1

### CLAMP UNIT SPECIFICATIONS

	English	Metric
Tonnage	tons	110
Maximum Daylight	in	31.50
Max/Mn Mold Height	in	17.7/5.9
Max. Clamp Stroke	in	13.78
Clamp Speed		
Dry Cycle Time Note 3	sec	1.88
Platen Size	in	24.0x24.0
Tie Bar Spacing	in	16.1x16.1
Tie Rod Diameter	in	2.76
Ejector Stroke	inch	3.94
Max. Ejector Force	tons	2.75

### MACHINE SPECIFICATIONS

	English	Metric
<b>Dimensions Overall</b>		
Length	in	164.1 (175.6 G)
Width	in	39.1
Height	in	64.9
Shipping Weight (Est.)	lbs	9,460
<b>Electric Specifications</b>		
Input Power Source		200 VAC or 220 VAC +/- 10% 3Ph 50Hz or 60Hz
Machine	kVA	22.6
External Outlets	kVA	35.0
Max. Total Capacity	kVA	57.6
<b>Main Breaker Size</b>		
Standard	Amp	60
Optional Note 2,4	Amp	150
<b>Water Requirements</b>		
Feedthroat Only		Connect 3/8" Hose Barb

NOTES: 1) Limitations may apply in certain conditions 2) High Speed/High Pressure Option. Other combinations Psi/Rates are possible. 3) Half stroke w/o eject. 4) Large capacity barrel F

## INJECTION UNIT SPECIFICATIONS

	ENGLISH	A	B	C	D	METRIC	A	B	C	D
Inj. Capacity, Max GPPS	oz.	6.27	8.90	10.59	14.69	Grams	178	252	300	416
Theoretical Disp Note 1	in <sup>3</sup>	11.50	16.33	19.43	26.95	cm <sup>3</sup>	188.5	267.6	318.5	441.7
Max. Inj. Press. Note 1	psi	24,174	21,330	18,486	22,752	bar	1,667	1,471	1,275	1,569
Max. Inj. Rate Note 1	in <sup>3</sup> /sec	15.3	18.6	22.1	42.76	cm <sup>3</sup> /sec	251	304	362	700.8
Max. Pack Press. Note 1	psi	21,330	18,486	15,642	22,752	bar	1,471	1,275	1,079	1,569
Max. Inj. Press. Note 1,2	psi	36,972	31,284	27,018	N/A	bar	2,550	2,158	1,863	N/A
Max. Inj. Rate Note 1,2	in <sup>3</sup> /sec	25.30	30.61	36.43	N/A	cm <sup>3</sup> /sec	414.7	501.8	597.2	N/A
Max. Pack Press Note 1,2	psi	36,972	31,284	27,018	N/A	bar	2,550	2,150	1,863	N/A
Screw Stroke	in	5.91	6.93	6.93	8.19	mm	150	176	176	208
Screw Dia.	in	1.57	1.73	1.89	2.05	mm	40	44	48	52
Screw L/D Ratio		20:1	20:1	20:1	20:1		20:1	20:1	20:1	20:1
<b>Screw Performance</b>										
Screw Speed, Max.	rpm	300	300	300	400	rpm	300	300	300	400
Screw Speed, Max.	rpm	400	400	400	N/A	rpm	400	400	400	N/A
Nozzle Touch Force	tons	3.3	3.3	3.3	3.3	Tonf	3.0	3.0	3.0	3.0
<b>Barrel Heat Control</b>										
No. of Pyrometers (Barrel/Nozzle)		3/1	3/1	3/1	3/1		3/1	3/1	3/1	3/1
Total Heat Capacity	kw	14.9	15.9	17.9	20.2	kw	14.9	15.9	17.9	20.2

## CLAMP SPECIFICATIONS

	English	Metric
Tonnage	tons	275
Maximum Daylight	in	49.21
Max./Min. Mold Height	in	25.6/11.8
Max. Clamp Stroke	in	23.62
Clamp Speed		
Dry Cycle Time Note 3	sec	3.19
Platen Size	in	37.4 x 37.4
Tie Bar Spacing	in	24.8 x 24.8
Tie Rod Diameter	in	5.12
Ejector Stroke	in	5.91
Max. Ejector Force	tons	3.85

## MACHINE SPECIFICATIONS

Dimensions Overall	English	Metric			
Length	in	238.9			
Width	in	63.5			
Height	in	78.4			
Shipping Weight (Est.)	lbs	23,760			
<b>Electric Specifications</b>					
Input Power Source		200 VAC or 220 VAC +/- 10% 3Ph 50Hz or 60Hz			
Power Supply Capacity	Machine	kVA	33.0	64.8	Note 2,4
	External Outlet	kVA	35.0	35.0	Note 2,4
	Max. Total Capacity	kVA	68.0	99.8	Note 2,4
Main Breaker Size					
Standard	Amp	75	125	Note 2,4	
Optional	Amp	175	225	Note 2,4	
<b>Water Requirements</b>					
Feedthroat only		Connect 3/8" Hose Barb			

NOTES: 1) Limitations may apply in certain conditions 2) High Speed/High Pressure Option. Other combinations Psi/Rates are possible. 3) Half stroke w/o eject 4) Large capacity barrel D