

# Konstrukce vstřikovací formy pro výrobu části světlometu

Bc. Ondřej Pavlíček

---

Diplomová práce  
2019



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství  
akademický rok: 2018/2019

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Ondřej Pavlíček**  
Osobní číslo: **T17271**  
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**  
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Konstrukce vstříkovací formy pro výrobu části světlometu**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na dané téma
2. Provedte konstrukci 3D modelu zadaného dílu
3. Provedte konstrukci 3D sestavy vstříkovací formy
4. Návrh ověřte pomocí analýz
5. Nakreslete 2D řez sestavy vstříkovací formy

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. **ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: teorie a praxe. Praha: Grada Publishing, 2018, 455 s. ISBN 978-80-271-0614-1.**
2. **OSSWALD, Tim A., Lih-Sheng TURNG a Paul J. GRAMANN. Injection molding handbook. 2nd ed. Munich: Carl Hanser Publishers, c2008, xvii, 764 s. ISBN 978-1-56990-420-6**
3. **BEAUMONT, John P. Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers, c2007, xvi, 308 s. ISBN 978-1-56990-421-3.**

Vedoucí diplomové práce:

**doc. Ing. Michal Staněk, Ph.D.**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

**2. ledna 2019**

Termín odevzdání diplomové práce:

**17. května 2019**

Ve Zlíně dne 1. února 2019

L.S.

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.  
*děkan*

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

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <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 .....

.....

---

(3) <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.



(4) <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:

(5) 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).

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

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

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce se zabývá technologií vstřikování a návrhem nástroje pro zadaný plastový dílec. V teoretické části je téma vstřikování zpracováno z obecného hlediska formou literární rešerše. V praktické části je navržena za pomoci 3D software CATIA V5R19 vstřikovací forma sloužící k výrobě zadaného dílce, který je částí předního světlometu automobilu. Návrh vstřikovací formy je ověřen pomocí analýz tokového a chladicího systému v softwaru Autodesk Moldflow Synergy 2016 a je doplněn o 2D sestavu formy s kusovníkem.

Klíčová slova: technologie vstřikování, vstřikovací forma, polymery, CATIA V5, Moldflow

## **ABSTRACT**

This thesis deals with the injection molding and the design of the injection mold for the plastic part. In the theoretical part is the topic of injection molding is elaborated from the general point of view in the form of literary study. In the practical part is designed injection mold for specified part which is part of headlamp. Design of injection mold is verified by flow and cooling systems analyzes in Autodesk Moldflow Synergy 2016 and it's complemented by a 2D assembly of injection mold with BOM.

Keywords: injection molding, injection mold, polymers, CATIA V5, Moldflow

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat mému vedoucímu práce panu doc. Ing. Michalu Staňkovi, Ph.D. za odbornou pomoc, rady a čas, který mi věnoval.

Mé poděkování patří také především mé rodině a nejbližším, za umožnění získání tohoto vzdělání a za všestrannou podporu za celé ty roky studia.

Tímto čestně prohlašuji, že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. Dále také prohlašuji, že odevzdané verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

# OBSAH

<b>ÚVOD .....</b>	<b>13</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>14</b>
<b>1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ.....</b>	<b>15</b>
1.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS.....	16
1.2 PRŮBĚH VSTŘIKOVACÍHO CYKLU .....	17
1.3 VLIV TECHNOLOGICKÝCH PARAMETRŮ NA PROCES VSTŘIKOVÁNÍ .....	19
1.4 PROCESNÍ OKNO TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ .....	20
<b>2 POLYMERNÍ MATERIÁLY V TECHNOLOGII VSTŘIKOVÁNÍ .....</b>	<b>21</b>
2.1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ .....	21
2.2 TVAR A USPOŘÁDÁNÍ MAKROMOLEKUL POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ .....	21
2.2.1 Tvar makromolekul .....	22
2.2.2 Uspořádání makromolekul.....	22
2.3 PLASTY .....	23
2.3.1 Termoplasty.....	23
2.3.2 Reaktoplasty.....	23
2.4 ELASTOMERY.....	23
2.4.1 Kaučuky .....	23
2.5 VOLBA POLYMERNÍHO MATERIÁLU .....	24
2.6 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ TERMOPLASTŮ Z HLEDISKA POUŽITÍ .....	24
2.7 AMORFNÍ TERMOPLASTY .....	25
2.8 ČÁSTEČNĚ KRYSTALICKÉ TERMOPLASTY.....	25
2.9 KOMPOZITY S TERMOPLASTICKOU MATRICÍ.....	26
2.10 POLYMERNÍ SMĚSI.....	26
2.11 TERMOPLASTICKÉ ELASTOMERY .....	26
<b>3 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....</b>	<b>27</b>
3.1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ VSTŘIKOVACÍCH STROJŮ .....	28
3.2 VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE .....	28
3.3 VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKA.....	29
3.4 UZAVÍRACÍ JEDNOTKA.....	30
3.4.1 Uzavírací jednotka s kloubovým mechanismem.....	30
3.4.2 Uzavírací jednotka s hydraulickými systémy .....	31
3.4.3 Kombinované uzavírací systémy.....	31
3.4.4 Vyhazovací systémy .....	31
3.5 ŘÍDICÍ A OVLÁDACÍ JEDNOTKA.....	31
3.5.1 Pracovní režimy.....	32
3.6 PERIFERIE A POMOCNÉ ZAŘÍZENÍ VSTŘIKOVACÍCH STROJŮ .....	32
3.6.1 Zařízení pro sušení granulátů .....	32

3.6.2	Mlýny a drtiče .....	33
3.6.3	Směšovací zařízení .....	33
3.6.4	Temperační systémy .....	33
3.6.5	Roboty a manipulátory.....	33
<b>4</b>	<b>KONSTRUKCE A NÁVRH VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ .....</b>	<b>34</b>
4.1	ZAFORMOVATELNOST VÝSTŘIKU .....	34
4.2	TLOUŠŤKA STĚN .....	34
4.3	ÚKOSY STĚN .....	35
4.4	NÁVRH ŽEBER.....	37
4.5	NÁVRH NÁLITKŮ .....	37
4.6	ZAOBLNĚNÍ OSTRÝCH HRAN A ROHŮ .....	38
4.7	ZÁVITY NA VSTŘIKOVANÝCH VÝROBCÍCH.....	38
<b>5</b>	<b>KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍCH FOREM.....</b>	<b>40</b>
5.1	KONSTRUKČNÍ NÁVRH VSTŘIKOVACÍCH FOREM.....	40
5.2	ZÁKLADNÍ TYPY VSTŘIKOVACÍCH FOREM.....	41
5.3	ZÁKLADNÍ ČÁSTI VSTŘIKOVACÍCH FOREM .....	41
5.4	V TOKOVÉ SYSTÉMY.....	42
5.4.1	Studený vtokový systém (SVS).....	43
5.4.2	Zásady návrhu vtokových kanálů studených vtokových systémů .....	43
5.4.3	Vtoková vložka.....	44
5.4.4	Rozváděcí kanály.....	45
5.4.5	Vtoková ústí .....	45
5.4.6	Filmové, vějířové a zvonové ústí vtoku.....	46
5.4.7	Tunelové ústí vtoku .....	47
5.4.8	Banánové ústí vtoku .....	47
5.4.9	Deštníkové, talířové ústí vtoku.....	48
5.4.10	Horké vtokové systémy (VVS) .....	49
5.4.11	Typy a varianty provedení horkých rozvodů .....	49
5.4.12	Vyhřívané trysky .....	49
5.4.13	Horké rozvodné bloky .....	50
5.5	TEMPERAČNÍ SYSTÉM .....	51
5.5.1	Návrh temperačních systémů .....	52
5.5.2	Pasivní temperace .....	52
5.5.3	Aktivní temperace .....	52
5.5.4	Konformní temperace .....	53
5.5.5	Konstrukční prvky temperačních systémů .....	54
5.6	VYHAZOVAČÍ SYSTÉM .....	54
5.6.1	Vyhazovací paket a jeho hlavní součásti .....	55
5.6.2	Mechanický vyhazovací systém.....	55
5.6.3	Vyhazování vtokových zbytků.....	56
5.6.4	Pneumatický vyhazovací systém.....	56

5.7	ODVZDUŠNĚNÍ FOREM .....	56
5.8	MOŽNOSTI ODFORMOVÁNÍ PODKOSŮ A SLOŽITÝCH TVARŮ.....	57
5.8.1	Boční posuvné čelisti.....	58
5.8.2	Další možnosti zaformování podkosů a složitých tvarů .....	59
<b>6</b>	<b>VADY VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ A JEJICH ODSTRANĚNÍ .....</b>	<b>61</b>
6.1	PLNĚNÍ TVAROVÉ DUTINY FORMY .....	61
6.2	VNITŘNÍ PNUTÍ VE VÝSTŘICÍCH .....	62
6.3	VÝROBNÍ SMRŠTĚNÍ A DOSMRŠTĚNÍ .....	62
6.4	DEFORMACE VÝSTŘIKU .....	63
6.5	STUDENÉ SPOJE .....	63
6.6	PŘETOKY A OTŘEPY.....	64
6.7	PROPADLINY, VTAŽENINY.....	64
6.8	VAKUOVÉ BUBLINY - LUNKRY .....	64
6.9	SPÁLENÉ MÍSTA - DIESEL EFEKT .....	65
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>66</b>
<b>7</b>	<b>CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE .....</b>	<b>67</b>
<b>8</b>	<b>POUŽITÉ PROGRAMY .....</b>	<b>68</b>
8.1	CATIA V5R19 .....	68
8.2	AUTODESK MOLDFLOW 2016 SYNERGY.....	68
<b>9</b>	<b>VSTŘIKOVANÝ DÍLEC.....</b>	<b>69</b>
9.1	VOLBA POLYMERNÍHO MATERIÁLU .....	70
<b>10</b>	<b>PRVOTNÍ ANALÝZA DÍLCE.....</b>	<b>71</b>
10.1	TVORBA A KVALITA SÍTĚ 3D MODELU .....	71
10.2	VHODNOST UMÍSTĚNÍ VTOKOVÉHO ÚSTÍ (GATE SUITABILITY) .....	72
<b>11</b>	<b>KONSTRUKČNÍ NÁVRH VSTŘIKOVACÍ FORMY.....</b>	<b>73</b>
11.1	ZAFORMOVÁNÍ A VOLBA DĚLÍCÍCH ROVIN .....	74
11.2	RÁM A HLAVNÍ ČÁSTI VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	75
11.3	TVAROVÉ ČÁSTI VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	76
11.4	BOČNÍ POSUVNÉ ČELISTI.....	77
11.5	ODFORMOVÁNÍ VÝSTŘIKU .....	78
11.6	VTOKOVÝ SYSTÉM .....	80
11.7	TEMPERAČNÍ SYSTÉM .....	81
11.7.1	Temperace tvárnice.....	82
11.7.2	Temperace tvárníku .....	82
11.7.3	Temperace menší boční posuvné čelisti .....	83
11.7.4	Temperace větší boční posuvné čelisti .....	84

11.8	VYHAZOVACÍ SYSTÉM .....	85
11.9	ODVZDUŠNĚNÍ FORMY .....	86
11.10	VODÍCÍ A STŘEDÍCÍ A OSTATNÍ PRVKY VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	87
11.11	TRANSPORTNÍ A POJISTNÉ PRVKY FORMY .....	88
<b>12</b>	<b>PŘEDBĚŽNÁ ANALÝZA VSTŘIKOVACÍ FORMY .....</b>	<b>89</b>
12.1	ČAS PLNĚNÍ (FILL TIME) .....	89
12.2	RYCHLOST SMYKOVÉ DEFORMACE (SHEAR RATE) .....	90
12.3	UZAVÍRACÍ SÍLA (CLAMP FORCE) .....	90
12.4	PRŮBĚH VSTŘIKOVACÍHO TLAKU (PRESSURE AT INJECTION LOCATION) .....	91
12.5	VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE .....	92
<b>13</b>	<b>FINÁLNÍ ANALÝZA NAVRŽENÉ VSTŘIKOVACÍ FORMY .....</b>	<b>93</b>
13.1	VÝSLEDKY ANALÝZY PLNĚNÍ A DOTLAKU .....	93
13.1.1	Čas plnění (Fill time) .....	93
13.1.2	Rychlost smykové deformace (Shear rate) .....	95
13.1.3	Uzavírací síla (Clamp force) .....	96
13.1.4	Průběh vstřikovacího tlaku (Pressure at injection location) .....	97
13.1.5	Zamrznuté vrstvy (Frozen layer fraction) .....	98
13.1.6	Vzduchové kapsy (Air traps) .....	98
13.1.7	Propadliny (Sink marks) .....	100
13.2	VÝSLEDKY ANALÝZY TEMPERACE .....	101
13.2.1	Teplotní spád v temperačním okruhu (Circuit coolant temperature) .....	101
13.2.2	Tlak v temperačním okruhu (Circuit pressure) .....	102
13.2.3	Čas potřebný na dosažení teploty vyhození výstřiku (Time to reach ejection temperature, part) .....	102
13.3	ANALÝZA SMRŠTĚNÍ A DEFORMACÍ .....	103
13.3.1	Deformace způsobená chlazením (Deflection, differential cooling: Deflection) .....	103
13.3.2	Celková deformace (Deflection, all effects: Deflection) .....	104
13.4	POROVNÁNÍ NAVRŽENÝCH VARIANT A DISKUZE VÝSLEDKŮ .....	106
<b>14</b>	<b>EKONOMICKÝ ROZBOR .....</b>	<b>107</b>
14.1	CENA MATERIÁLU PRO POŽADOVANOU SÉRII 500000 KS .....	107
14.1.1	Cena materiálu pro SVS .....	107
14.1.2	Cena materiálu pro KVS .....	108
14.2	ČAS POTŘEBNÝ K VÝROBĚ POŽADOVANÉ SÉRIE 500000 KS .....	108
14.3	POŘIZOVACÍ CENA A PROVOZNÍ NÁKLADY HORKÉ TRYSKY .....	108
14.4	CELKOVÉ NÁKLADY SVS .....	109
14.5	CELKOVÉ NÁKLADY KVS .....	109
14.6	POČET SMĚN NEPŘETRŽITÉHO PROVOZU .....	109
14.7	DISKUZE VÝSLEDKU EKONOMICKÉHO ROZBORU .....	110
<b>15</b>	<b>DISKUZE VÝSLEDKŮ .....</b>	<b>111</b>

<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>113</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>114</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>117</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>119</b>
<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>122</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>123</b>



## ÚVOD

Využití polymerů jako konstrukčních materiálů v dnešní době roste velkým tempem a z plastů se tak stal v 21. století již téměř konvekční konstrukční materiál. Je to dáno především novými a neustále se zlepšujícími se znalostmi o vlastnostech polymerů, tak i díky zdokonalení a novým výrobním procesům. Při pohledu na vývoj nových polymerních materiálů (tzv. blendů), tedy směsí různých druhů polymerních materiálů se dá předpokládat, že tento trend bude jenom pokračovat. Technologie vstřikování se také neustále rozvíjí a vznikají její modifikace, které se začínají uplatňovat i v nových průmyslových odvětvích.

Cílem této diplomové práce je navrhnout vstřikovací formu na zadaný plastový dílec, jenž je částí světloometu osobního automobilu. Posléze navrženou vstřikovací formu ověřit za pomoci simulačních analýz.

V teoretické části je podrobně zpracována technologie vstřikování, vstřikovací cyklus a možnosti vstřikovacího procesu. Dále je rozebráno základní rozdělení polymerních materiálů se zaměřením na materiály vhodné k použití u technologie vstřikování. Součástí je také kapitola, jenž se věnuje popisu a základnímu rozdělení vstřikovacích strojů. Následuje část pojednávající o základních náležitostech a zásadách při konstrukci a návrhu vstřikovaných výrobků a jejich nástrojů - vstřikovacích forem. V poslední kapitole jsou probrány základní vady, které nejčastěji vznikají u výrobků vyrobených technologií vstřikování a jejich možnosti řešení.

Vstřikovací forma je navržena jako dvojnásobná s tím, že na jeden cyklus je vyroben jeden dílec pro pravý a levý světlomet, přičemž oba dva dílce jsou zrcadlově shodné. Dílec slouží jako reflektor k vedení LED světelného zdroje. Při návrhu formy je snahou použití co nejvíce normalizovaných součástí a je kladen důraz na případnou jednoduchost a vyrobitelnost vstřikovací formy.

Návrh vstřikovací formy je posléze ověřen za pomoci analýz v softwaru Autodesk Moldflow Synergy 2016. K navržené formě je navržena alternativa ke vtokovému systému, které jsou pomocí analýz porovnány a diskutovány.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Tato výrobní technologie prošla od svého vzniku dlouhou a úspěšnou cestu a stala se nejrozšířenější a nejčastěji využívanou technologií pro zhotovení výrobků z polymerních materiálů. Díky stále rozšiřujícím možnostem použití plastových dílců především v automobilovém, stavebním, elektrotechnickém průmyslu ale i v ostatních odvětvích průmyslu se tato technologie a její modifikace řadí k velice perspektivním technologiím. V dnešní době dochází k neustálému vývoji vstřikovaných materiálů, tak k rozvoji modifikací standardní technologie vstřikování. Mezi nejčastěji používané modifikace technologie vstřikování se řadí například:

- vícekomponentní vstřikování - technologie, která umožňuje na jednom výstřiku kombinovat více druhů polymerů či barev jednoho druhu polymeru,
- vstřikování dílců s podporou plynu [GIT] či vody [WIT] - dva obdobné procesy, které umožňují výrobu vnitřních dutin ve výstřiku přivedením inertního plynu nebo vody do polymerní taveniny do určeného místa, kde utvoří požadovanou dutinu. Tyto technologie umožňují výrobu tlustostěnných výstřiků bez propadlin a dlouhých časů chlazení, snížení smrštění a velikosti uzavíracích sil,
- technologie vstřikování strukturních lehčených pěn - umožňuje výrobu výstřiku s malou hustotou a hmotností za pomoci nadouvadec založených na chemickém či fyzikálním principu,
- technologie vstřikování sendvičů - umožňuje vstřikování dílců, které se skládají ze dvou vrstev (dva druhy polymeru), vnější - obalovou vrstvou a vnitřní, která tvoří jádro výrobku,
- kompresní vstřikování - forma je pootevřena a po následném vstřiknutí taveniny funkci dotlaku přebírá uzavírací jednotka vstřikovacího stroje, tedy uzavírací síla stroje,
- technologie zastřikování - do tvarové dutiny formy je vložen materiál (textil, kov, plast), který je poté zastříknut roztavenou taveninou polymeru. [1,2]

Účelem těchto modifikací je rozšíření oblastí a možnosti uplatnění technologie vstřikování za účelem zlepšení vlastností výsledných výrobků a zvýšení produktivity procesu. Téměř všechny tyto modifikace technologie vstřikování vychází ze základních principů vstřikování. Příslušný materiál - polymer, který se nejčastěji dodává ve formě granulí, je nutné roztavit v co nejvíce homogenní taveninu, která je následně pod tlakem vstříknuta do tvarové dutiny

vstřikovací formy. Následuje působení dotlaku, který slouží ke snížení celkového smrštění. Ihned po kontaktu s povrchem dutiny začíná k ochlazení výstřiku. Dokud nedojde k ochlazení na teplotu vyhození, poté se forma otevře a dojde k vyhození výrobku z tvarové dutiny ven z formy. [1,3]

Mezi hlavní výhody technologie vstřikování patří:

- energeticky úsporná výroba a nižší celkové náklady na výrobu dílců,
- přímé zpracování výchozí suroviny na finální výrobek s minimálním odpadem,
- jednoduché a energetické nenáročné zpracování odpadu zpět do výrobku,
- podstatně nižší hmotnost finálního výrobku ve srovnání s výrobkem kovovým.

Mezi hlavní nevýhody patří:

- vysoké investiční náklady (v porovnání s ostatními metodami výroby plastů),
- dlouhá doba výroby nástrojů (forem),
- nutnost použití strojního vybavení neúměrně většího než výrobku. [1,3,4]

## 1.1 Vstřikovací cyklus

Je tvořen sledem několika přesně specifikovaných kroků a fází, které se podílejí a umožňují výrobu vstřikovaných výrobků. Jedná se o proces, kdy polymer (výchozí materiál) prochází tlakovým a teplotním cyklem. Pro jednoznačný popis tohoto cyklu je nutné přesně definovat počátek cyklu v čase. Ten se s výhodou nejčastěji určuje jako podnět k uzavření vstřikovací formy. Průběh vstřikovacího cyklu v čase je možno vidět na obr. 1.[2,4]



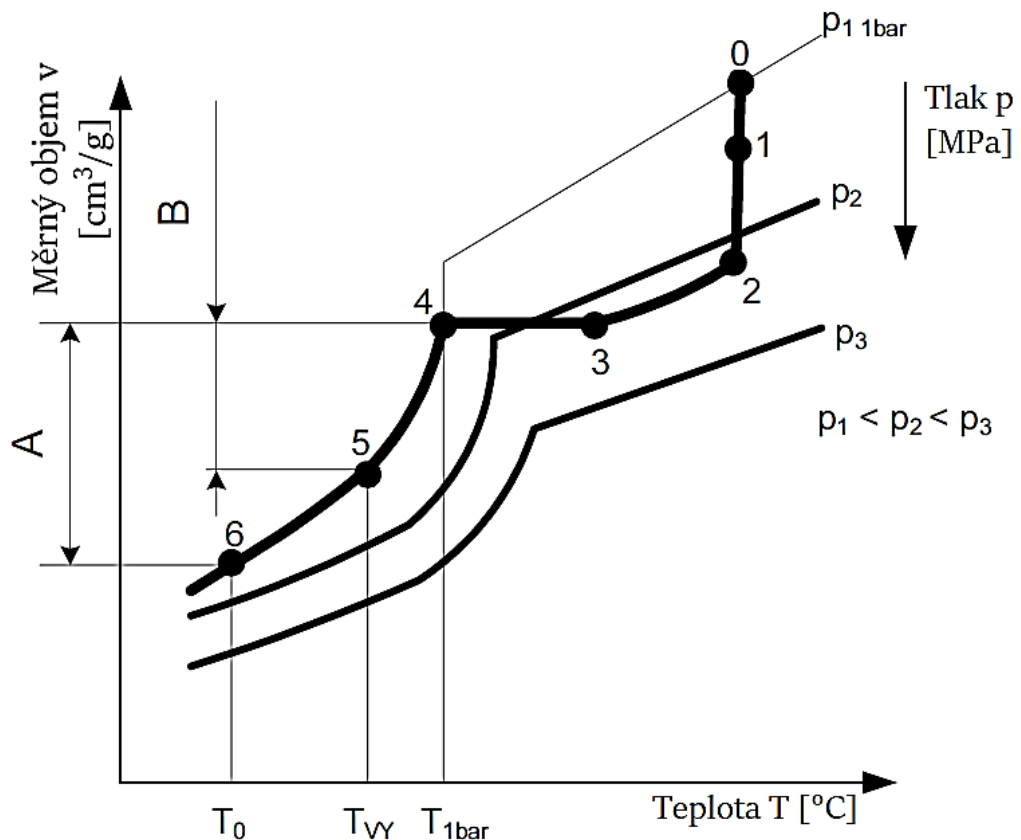
Obr. 1 Vstřikovací cyklus v čase [3]

Procesní cyklus technologie vstřikování, se většinou skládá z následujících kroků:

- Plastikace - před příprava dávky taveniny v plastikační jednotce, nejčastěji pomocí šneku, kde vlivem ohřevu z topných pásů a vlastním třením - disipací dochází k postupnému tavení polymerního polotovaru do homogenní taveniny,
- Vstřikování (plnění) - plnění tvarové dutiny předpřípravenou dávkou taveniny pod vstřikovacím tlakem,
- Dotlak - následuje po zaplnění dutiny, slouží ke kompenzaci smrštění,
- Chlazení - zafixování tvaru a postupné chlazení na vyhazovací teplotu,
- Pohyby vstřikovací formy - otevření, zavření a vyhození výstřiku. [3,4]

## 1.2 Průběh vstřikovacího cyklu

Průběh jednotlivých fází vstřikovacího procesu - cyklu je možno popsat pomocí stavových veličin a to konkrétně tlaku  $p$  [MPa], měrného objemu  $v$  [ $\text{cm}^3/\text{g}$ ] a teploty  $T$  [ $^{\circ}\text{C}$ ] v tzv.  $p$  $v$  $T$  diagramu. Průběh tohoto diagramu vzhledem k odlišným vlastnostem různých druhů materiálů bude mít vždy odlišnou podobu pro konkrétní druh polymeru. [1,5]



Obr. 2 Průběh vstřikovacího cyklu vstřikování termoplastů v  $p$  $v$  $T$  diagramu [5]

Kde jednotlivé body a označení popisují:

0-1: objemové naplnění dutiny formy taveninou

1-2: komprese taveniny

2-3: dotlak

3-4: isochorický přechod na teplotu  $T_{1\text{bar}}$

4-5: chlazení bez působení tlaku

5-6: chlazení mimo formu

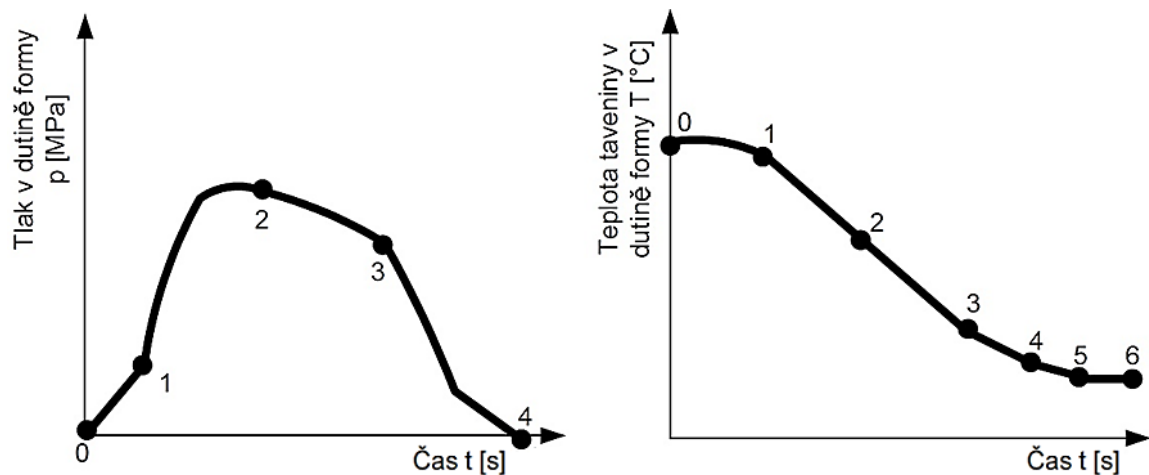
A: celkové objemové smrštění, B: výrobní objemové smrštění

$T_{\text{vy}}$ : teplota vyhození z formy,  $T_{\text{O}}$ : teplota okolí

Popis jednotlivých bodů pV-T diagramu:

- Bod 0: čelo šneku koná axiální pohyb a působí jako píst na předem připravenou taveninu o příslušné teplotě a homogenitě, čímž vyvolává vstřikovací tlak, který při požadované vstřikovací rychlosti dopraví přes všechny odpory vtokového systému taveninu do vtokového ústí.
- Bod 0-1: dochází k objemovému plnění tvarové dutiny vstřikovací formy taveninou, v bodě 1 je tvarová dutina vstřikovací formy objemově naplněna.
- Bod 1-2: tavenina v dutině formy je stlačována, v bodě 2 je za optimálních podmínek dosaženo nejvyšší hodnoty vnitřního tlaku.
- Bod 2: dochází k přepnutí z plnicí fáze na fázi dotlakovou (přepnutí ze vstřikovacího tlaku na dotlak).
- Bod 2-3: probíhá dotlaková fáze - dochází ke snižování tlaku a zároveň ke chladnutí taveniny čímž dochází k objemové kontrakci - smršťování. Tento jev je za pomoci dotlakové fáze kompenzován dodatečným doplňováním taveniny z plastikační jednotky vstřikovacího stroje.
- Bod 3: v bodě 3 dochází k zamrznutí vtokového ústí, proto další působení dotlaku neovlivňuje tvarovou dutinu, tavenina je dodávána pouze do vtokového systému.
- Bod 3-4: dochází ke snižování tlaku za konstantního objemu výstřiku, v bodě 4 hodnota tlaku v dutině vstřikovací formy dosáhne hodnoty atmosférického tlaku (1 bar). Poloha bodu 4 zásadně ovlivňuje výslednou kvalitu, rozměry a vlastnosti výstřiku.

- Bod 4-5: dochází k chlazení výstřiku za konstantního tlaku, v procesu chlazení dochází ke zvyšování tuhosti výstřiku, až dojde k ztuhnutí celého objemu a v bodě 5 je za teploty vyhazování  $T_{VY}$  výstřik vyhozen z tvarové dutiny formy.
- Bod 5-6: probíhá postupně chlazení výstřiku mimo prostor formy, kdy v bodě 6 dosáhne teploty okolí  $T_0$ . Tento děj probíhá obvykle minimálně 16 hod, maximálně 48 hod po vyhození výstřiku z formy. [2,5]



Obr. 3 Průběh tlaku a teploty v dutině formy v čase při vstřikování termoplastů [5]

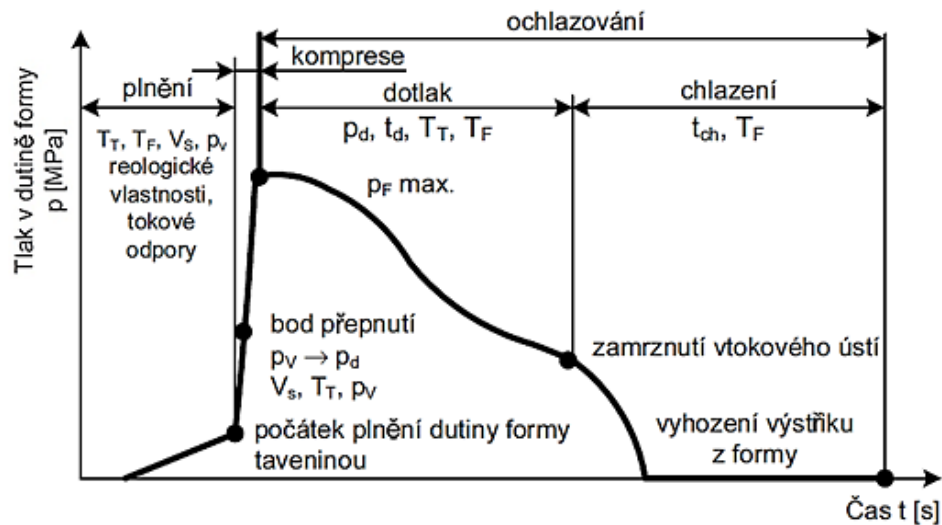
### 1.3 Vliv technologických parametrů na proces vstřikování

Vstřikování termoplastů je velice komplexní proces a jednotlivé fáze vstřikovacího procesu se navzájem ovlivňují. Samotné působení technologických parametrů určuje výsledný stav a tím i konečné vlastnosti výstřiku. Obecně např. platí, že zvýšení teploty taveniny zkracuje dobu plnění tvarové dutiny, umožňuje vstřikovat vyšší rychlostí a zdokonaluje zatékavost do tvarově komplexních míst vstřikovací formy. Zároveň ale prodlužuje dobu nutnou k chlazení a dobu nutnou pro působení dotlaku. Obdobný vliv bude mít zvýšení teploty formy. Mezi nejdůležitější technologické parametry, které významně působí na proces vstřikování, patří vstřikovací rychlost  $v_s$ , vstřikovací tlak  $p_v$ , tlak dotlaku  $p_d$ , a doba dotlaku  $t_d$ . Teplota taveniny  $T_T$  a teplota formy  $T_F$  a bod přepnutí (bod kdy dojde k přepnutí ze vstřikovacího tlaku na hodnotu tlaku dotlakové fáze). [2,5]

Vliv fází vstřikovací cyklu na jakost a vlastnosti výstřiku:

- plastikace: povrch a průřez výstřiku, mechanické vlastnosti, váha a rozměry,
- plnění: povrchové vlastnosti (barva, lesk, nerovnosti), orientace, úroveň krystalizace,
- komprese: ideálnost tvaru, váha, rozměry, přetoky, otřepy, poškození formy,

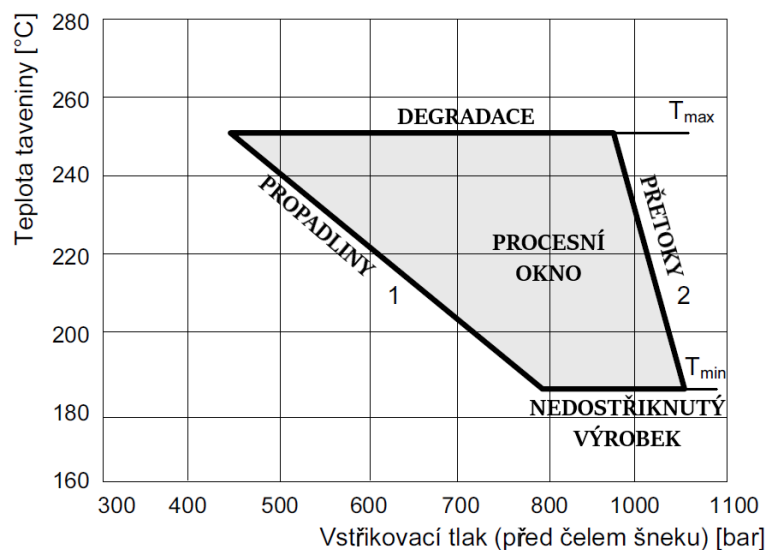
- dotlak: rozměry, vnitřní pnutí, při nízkém  $p_d$  propadliny, lunkry,
- chlazení: rozměry, krystalinita. [1,5]



Obr. 4 Vliv jednotlivých parametrů a fází vstřikovacího cyklu na proces vstřikování a výslednou kvalitu a vlastnosti výstřiku [5]

#### 1.4 Procesní okno technologie vstřikování

Pro každý výstřik, jeho formu, materiál a vstřikovací stroj lze vymezit tzv. procesní okno. Jedná se o plochu vymezenou křivkami hodnot procesních parametrů. Pokud budou při procesu použity parametry uvnitř tohoto okna, umožní to opakovatelnost výroby jakostních výstřiků dle požadovaných parametrů. Křivky jsou omezeny max. a min. hodnotami vstřikovacího tlaku a teploty taveniny jak je možno vidět na obr. 5. [2,5]



Obr. 5 Procesní okno technologie vstřikování [5]

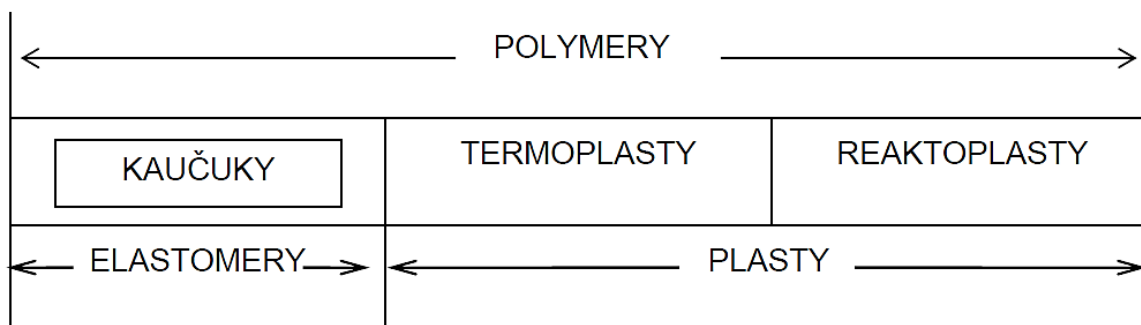


## 2 POLYMERNÍ MATERIÁLY V TECHNOLOGII VSTŘIKOVÁNÍ

Jako polymerní materiály jsou označovány vysokomolekulární látky přírodního či syntetického původu, jejichž makromolekuly se skládají z opakujících základních stavebních jednotek nazývaných mery, jež se v makromolekulovém řetězci nespočetně opakují. Ty obsahují většinou atomy vodíku, uhlíku, kyslíku často i dusíku a jiných chemických prvků. [6,7,8]

### 2.1 Základní rozdělení polymerních materiálů

Základní rozdělení polymerů z hlediska chování za zvýšené či běžné teploty je možno vidět na obr. 6. [7]



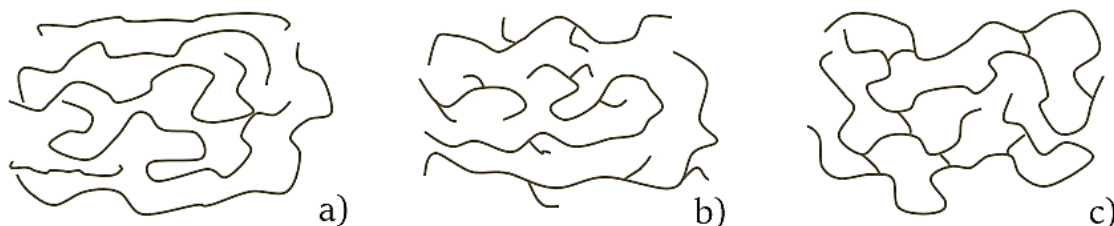
Obr. 6 Základní rozdělení polymerních materiálů [7]

### 2.2 Tvar a uspořádání makromolekul polymerních materiálů

Výsledné vlastnosti polymerních materiálů nejvíce závisí na jejich chemickém složení. Dále pak na jejich molekulové struktuře a nadmolekulárním uspořádání, tedy jejich struktuře. Makromolekulární řetězce nejsou pokládány za pevné útvary, ale vlivem pohybu svých tzv. segmentů nezávisle na sobě dochází k různým uspořádáním v prostoru. [6,7]

### 2.2.1 Tvar makromolekul

Základní rozdělení tvaru molekulárních řetězců je možno vidět na obr. 7.



Obr. 7 Rozdělení dle molekulární struktury polymerů [6]

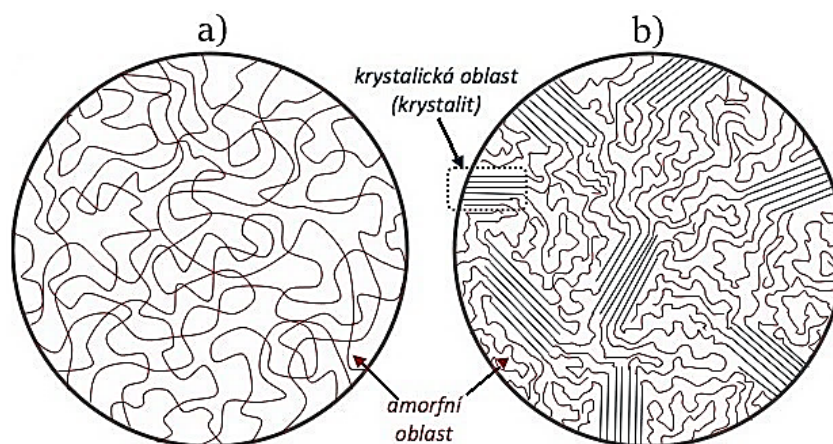
a) lineární, b) rozvětvená, c) síťovaná

- a) lineární polymery - makromolekuly jsou tvořeny jednoduchými řetězci,
- b) rozvětvené polymery - na hlavní řetězec jsou napojeny boční řetězce - rozvětvená struktura,
- c) zesíťované polymery - řetězce makromolekul utváří prostorovou síť, která je propojena vzájemně příčnými chemickými vazbami. [6,7]

### 2.2.2 Uspořádání makromolekul

Velký význam na výsledné vlastnosti polymerů má také vzájemné uspořádání makromolekul ve struktuře. Při chladnutí taveniny může u polymerů docházet k:

- a) nepravidelnému uspořádání, zcela náhodné - amorfní polymery,
- b) k částečně uspořádanému stavu - částečně krystalické polymery. [6]



Obr. 8 Schématické znázornění uspořádání makromolekul ve struktuře polymeru [6]

## 2.3 Plasty

Jsou označovány jako polymerní látky, které je možno za zvýšené teploty tvarovat a za běžných teplot se chovají jako tuhá tělesa. Za normálních podmínek jsou tvrdé, mnohdy i křehké. Dle podstaty změn ve struktuře a chování za zvýšených teplot je rozdělujeme na termoplasty a reaktoplasty. [6,8]

### 2.3.1 Termoplasty

Termoplasty při zvýšené teplotě měknou a stávají se plastickými, čímž je umožněno jejich tváření. Nad teplotou tání přechází do taveniny, kde se nachází jejich oblast použití při zpracování. Po následném zchladnutí pod teplotu tání dochází k fixaci tvaru a tuhnutí do pevného stavu. Při těchto tepelných pochodech nedochází k chemickým změnám struktury polymeru, ty jsou pouze fyzikálního charakteru a tak je možné tento proces opakovat. [6,8]

### 2.3.2 Reaktoplasty

Jsou to plasty, u nichž při zahřívání dochází k chemické reakci tzv. vytvrzování, kdy nastává vznik prostorové sítě, která již nelze převést zpět do fáze taveniny. Jedná se o nevratný proces a reaktoplasty po vytvrzení již není možné dále tvářet. Výrobky z reaktoplastů jsou charakteristické svou tvrdostí a tuhostí. Jsou vysoce odolné vůči chemikáliím a teple. [1,6]

## 2.4 Elastomery

Jsou velmi pružné polymery s poměrně malou tuhostí, které je možné značně deformovat malými silami. Deformace je převážně vratného charakteru. Typické jsou svou řídkou zesíťovanou strukturou. [1,6]

### 2.4.1 Kaučuky

Jsou nejpočetnější podskupinou elastomerů, z nichž se za pomoci procesu vulkanizace (nejčastěji za pomoci síry ale i jiných činidel) a teploty a tlaku vyrábí pryže. Mezi jednotlivými uzly vznikají vazby chemické povahy a proces je tímto nevratný. Typické jsou svou řídkou zesíťovanou strukturou s příčnými vazbami mezi jednotlivými makromolekulami. Pryže, jak název vypovídá, jsou velmi pružné materiály, které odolávají velkým deformacím. [1,6]

## 2.5 Volba polymerního materiálu

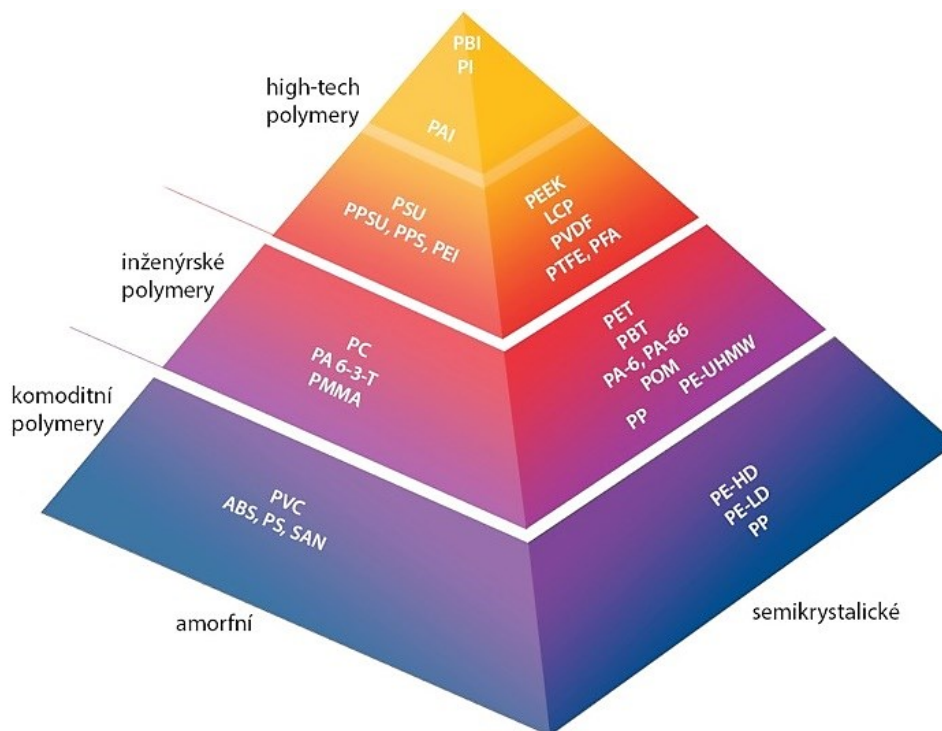
Při volbě polymerního materiálu je nutné zohlednit mnoho aspektů, aby bylo nejenom dosaženo požadovaných vlastností výstřiku, ale aby jej zvolenou technologií bylo možno vyrobit. Mezi nejvýznamnější faktory ovlivňující výběr materiálu při vstřikování patří:

- finanční (cena, náklady na proces),
- rozměrové (geometrie, rozměrová a tvarová přesnost, hmotnost, rozměrová a tvarová stabilita, použití dílce, smrštění a deformace),
- mechanické (tuhost, pevnost, houževnatost, rázová odolnost, únavové vlastnosti, životnost),
- procesní (druh zpracovatelská technologie),
- následující procesní operace (svařování, lakování, pokovování, lepení, potisk),
- regulátory a nařízení (voda, potraviny, hračky, medicína, zakázané přísady),
- ostatní (akustické, elektrické, životní prostředí). [8]

## 2.6 Základní rozdělení termoplastů z hlediska použití

Z hlediska možnosti použití lze polymery rozdělit do tří základních skupin, které se liší především svými vlastnostmi a cenou. Některé druhy polymerů a jejich modifikace lze nalézt i ve více skupinách najednou. Toto rozdělení je znázorněno na obr. 9. [6]

- komoditní polymery - plasty, které jsou nejčastěji využívané a tvoří nejvyšší procento použití, jsou vhodné pro běžné aplikace,
- inženýrské polymery - polymery, které jsou vhodné jako konstrukční materiály a poskytují také většinou i vyšší odolnost vůči vysokým teplotám,
- high-tech polymery - speciální druhy polymerů, které mají často jedinečné vlastnosti a využívají se ve specifických a velmi náročných aplikacích. [6]



Obr. 9 Rozdělení polymerů dle oblasti jejich využití [6]

## 2.7 Amorfni termoplasty

Při chladnutí z teploty tání nedochází ke vzniku krystalické fáze. Struktura je zcela neuspořádaná, tedy amorfni. Díky své struktuře mohou být čiré a jejich smrštění dosahuje obvykle hodnot nižších jak 1%. Nejdůležitějšími charakteristickými teplotami u amorfni termoplastů je teplota skelného přechodu  $T_g$  a teplota viskózního toku  $T_f$ . Nad teplotou  $T_f$  se nachází oblast zpracovávání technologií vstřikování, vytlačování atd. K největším změnám vlastností ale dochází v oblasti teploty skelného přechodu  $T_g$ . Ta je proto u amorfni termoplastů považována jako teoretická hranice možnosti použitelnosti amorfni termoplastů. Mezi hlavní představitele této skupiny termoplastů patří například: PS, ABS, SAN, PVC, PMMA, PC a mnohé další. [1,6,8]

## 2.8 Částečně krystalické termoplasty

Oproti amorfni termoplastům, zde při chladnutí z teploty tání vzniká částečně krystalická struktura, její podíl udává tzv. stupeň krystalinity. Obsah krystalického podílu je závislý především na technologických podmínkách a tloušťce stěny vstřiku. Tyto krystalické fáze se uskupují do tvaru lamel a utváří tzv. sférolity a ovlivňují i celkové smrštění, které je vyšší než u amorfni polymerů a dosahuje hodnot vyšších jak 1%. Nejdůležitější

charakteristickou teplotou částečně krystalických polymerů je teplota tání krystalického podílu  $T_m$ . Nad touto teplotou se nachází oblast zpracovávání technologií vstřikování, vytlačování atd. V oblasti teploty tání  $T_m$  dochází k nejvýraznějším změnám vlastností. Proto je tato teplota označována jako teoretická hranice možnosti použitelnosti částečně krystalických termoplastů. Mezi hlavní představitele této skupiny patří například: PP, LDPE, HDPE, PA, POM, PBT, PET a mnohé další. [1,6,8]

## 2.9 Kompozity s termoplastickou maticí

Jedná se o termoplasty plněné z důvodu vyztužení či k získání speciálních vlastností různými druhy plniv, která mohou být organického či anorganického charakteru. A to v podobě prášku, granulí, kuliček či vláken. Ty se nejčastěji přimíchávají do základní taveniny plastu v extrudéru. Mezi nejčastěji využívané plniva patří: skleněné vlákna (GF) a uhlíkové vlákna (CF) a práškové minerální plniva. Plnění má za následek anizotropii vlastností, tedy to, že materiál má rozdílné vlastnosti v různých směrech. [1,6,8]

## 2.10 Polymerní směsi

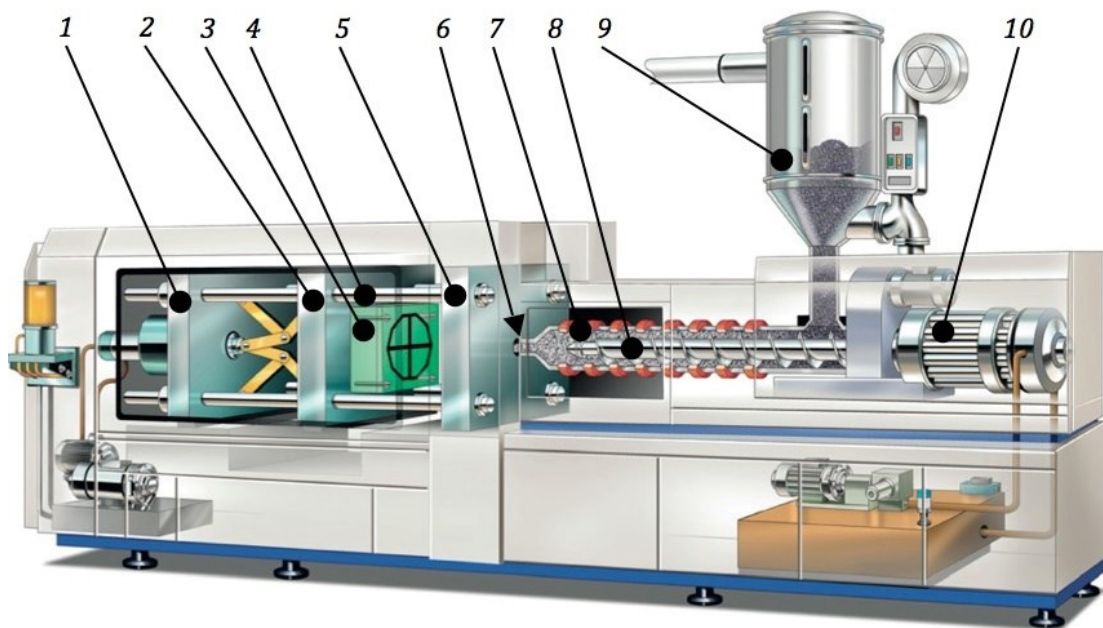
Jedná se o skupinu polymerních materiálů využívající kombinací alespoň dvou složek různých polymerů. Za pomoci tzv. kompatibilizátorů (látky, které mají schopnost slučovat se s polymery v směsi) je možné dnes kombinovat dokonce nemísitelné polymery. Díky tomu je možné získat vlastnosti přesně cílené na potřebnou aplikaci. Je možné využít a kombinovat výhodné vlastnosti jednotlivých druhů polymerů a vytvořit polymerní směs s unikátními vlastnostmi. Mezi nejčastěji využívané polymerní směsi patří: PP/EPDM, PP/PE, PC/ABS, PC/PBT, PC/PET, PA/ABS, PA/PP. [6,8,9]

## 2.11 Termoplastické elastomery

Oproti pryžím dochází ke vzniku u jednotlivých uzlů makromolekul pouze k vazbám fyzikálního charakteru. Proto je možno tyto materiály opakovaně zpracovávat. Tak jako kaučuky mají zesíťovanou strukturu, která je ale zde složena měkkými a tvrdými segmenty. Měkké segmenty jsou tvořeny částí elastomerní a tvrdé části segmentů částí termoplastů. Struktura je obvykle tvořena spojitou elastomerní částí, v které jsou rozptýlené části segmentů termoplastů. Velkou výhodou oproti kaučukům (pryžím), je to že je lze zpracovávat na běžných vstřikovacích strojích a lze je zpětně recyklovat. [1,6,8]

### 3 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Dnešní moderní vstříkovací stroje dokážou pracovat plně automaticky, což umožňuje velmi vysokou produktivitu práce. Existuje velmi mnoho typů konstrukčních uspořádání a výrobci vstříkovacích strojů umožňují zákazníkovi nakonfigurovat jednotlivé jednotky vstříkovacího stroje tak, že je možné pořídit stroj na míru. U vstříkovacích strojů je důležitá zejména opakovatelnost nastavených strojních a procesních parametrů, aby bylo možné opakovaně vyrábět výstřiky o požadované jakosti a vlastnostech. Proto je nutné stroj pravidelně udržovat, u hydraulických strojů to znamená pravidelnou výměnu a čištění oleje. Vstříkovací stroj musí také splňovat základní požadavky jako dostatečnou tuhost, potřebnou uzavírací sílu, dostatečnou kapacitu vstříkovací jednotky a její výkon. Dále je důležitá velikost a možnost upnutí vstříkovací formy na upínací desky. Každý vstříkovací stroj se skládá ze tří základních částí: vstříkovací jednotky, uzavírací jednotky a řídicí jednotky. Schematicky znázorněný vstříkovací stroj s popisem jeho hlavních částí je možno vidět na obr. 10. [4,8,9]



Obr. 10 Vstříkovací stroj a jeho hlavní součásti [3]

1 - uzavírací jednotka, 2 - pohyblivá upínací deska, 3 - levá pohyblivá část formy, 4 - vodící sloupky vstříkovacího stroje, 5 - pevná upínací deska, 6 - čelo špičky vstříkovací trysky, 7 - tavící komora, 8 - šnek, 9 - násypka pro plastový polotovar, 10 - pohonná jednotka šneku

### 3.1 Základní rozdělení vstřikovacích strojů

Z hlediska principu pohonu vstřikovací a uzavírací jednotky je možno vstřikovací stroje rozdělit na:

- hydraulické (vysoká spotřeba energie a ekologická zátěž, nižší přesnost),
- elektrické (nízká spotřeba energie, nízká ekologická zátěž, vysoká přesnost, omezená velikost),
- hybridní - využívající výhod dvou předcházejících typů pohonů. [1,11]

Z hlediska směru posuvu pohyblivé desky uzavírací jednotky:

- stroje horizontální (většinou pro plně automatickou výrobu),
- stroje vertikální (většinou pro poloautomatickou výrobu). [1,11]

Dle principu uzavírací jednotky na:

- stroje s přímým hydraulickým posuvem desky a větší dvoudeskové,
- stroje s posuvem desky za pomoci kloubového mechanismu [1]

Dle počtu vstřikovacích jednotek na:

- jednokomponentní (stroje s jednou vstřikovací jednotkou),
- vícekomponentní (stroje s více vstřikovacími jednotkami, umožňují vícekomponentní vstřikování). [1]

Podle použití předplastikace ve vstřikovací jednotce:

- s předplastikací
- bez předplastikace [11]

### 3.2 Volba vstřikovacího stroje

Při volbě vstřikovacího stroje je nutné zvážit, jakým typem technologie vstřikování bude výstřik vyráběn. Z rozměrů výstřiku a návrhu jeho zaformování vyplývá celkový rozměr vstřikovací formy a jeho celkový objem se vtokovým systémem vypovídá o nutném velikosti objemu vstřikované dávky. Z rozměru výstřiku lze také odvodit potřebnou uzavírací sílu. V praxi se obvykle navrhuje forma na již existující stroj ve vstřikovně. Základní a nejdůležitější údaje při volbě vstřikovacího stroje je možno vidět v tab. 1. [8]



Tab. 1 Základní parametry při volbě vstřikovacího stroje [2]

PARAMETR	JEDNOTKA
<b>Uzavírací jednotka</b>	
Maximální uzavírací síla	kN
Maximální vyhazovací síla	kN
Výška formy	mm
Velikost upínací desky	mm
Vzdálenost mezi vodícími sloupy stroje	mm
Maximální zdvih vyhazovačů	mm
<b>Vstřikovací jednotka</b>	
Průměr šneku	mm
Poměr šneku L/D	-
Maximální objem vstřikované dávky	cm <sup>3</sup>
Plastikační výkon	kg/hod
Maximální vstřikovací tlak	bar
Maximální vstřikovací rychlost	cm <sup>3</sup> /s
Maximální přitlačná síla trysky	kN

### 3.3 Vstřikovací jednotka

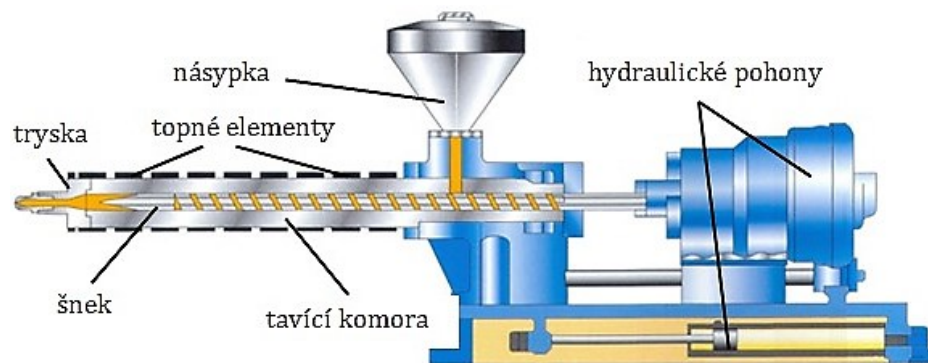
Vstřikovací jednotky lze rozdělit z hlediska hlavního pracovní členu na pístové a šnekové. Pístové jednotky jsou v dnešní době již velmi zřídka používány. Drtivá většina strojů obsahuje vstřikovací jednotku se šnekem. [4,11]

Vstřikovací jednotka má za úkol plnit dvě hlavní úlohy a to:

- plastikasi - materiál nejčastěji ve formě granulí je převeden do co nejvíce homogenní taveniny o požadované viskozitě. To je uskutečňováno za pomoci šneku, který je umístěn v tavicí komoře a koná rotační pohyb. Tavicí komora je ohřívána topnými pásy. Třením mezi šnekem a pláštěm válce tavicí komory a působením tepla z topných pásů dochází k postupnému tavení tuhých granulí v polymerní taveninu,
- plnění - vstřikovací jednotka je opatřena tryskou, která je určena k přesnému dosednutí a vystředění do sedla vtokové vložky vstřikovací formy. Ta musí také zajistit dostatečnou přitlačnou sílu, aby nedošlo ke ztrátě kontaktu dosedacích ploch. Předem naplastikovaná dávka taveniny je dopravena před čelo šneku, který poté koná pouze pohyb v axiálním směru a působí na dávku taveniny jako píst a zajišťuje

dopravu taveniny do tvarové dutiny vstřikovací formy pod vstřikovacím tlakem. Takto je zajištěno i působení dotlaku. [1,4,10,11]

Na obr. 11 je možno vidět schematický znázorněnou vstřikovací jednotku.



Obr. 11 Vstřikovací jednotka [11]

### 3.4 Uzavírací jednotka

Hlavními úkoly uzavírací jednotky vstřikovacího stroje, je zajištění upnutí a plynulého pohybu při otevírání a zavírání vstřikovací formy při procesu vstřikování. Tato jednotka také zajišťuje pohyby vyhazovacího systému. Především musí vyvodit dostatečnou uzavírací sílu, která musí být vyšší než tlak taveniny polymeru působící na tvarovou dutinu vstřikovací formy a udržet tak formu během vstřikování uzavřenou. Existuje spousta konstrukčních řešení. Většina uzavíracích jednotek se skládá z levé (pohyblivé) a pravé (pevné) upínací desky, vodících sloupů (existují i řešení bez sloupková) a uzavíracího mechanismu. [10,11]

#### 3.4.1 Uzavírací jednotka s kloubovým mechanismem

Nejjednodušší kloubové mechanismy jsou nejčastěji využívány pro menší vstřikovací stroje s uzavírací silou menší jak 500 kN. Pro stroje vyžadující vyšší uzavírací síly je nutné použít více kloubové mechanismy. Jsou význačné velkou rychlostí pohybů a jejich velmi dobrou regulovatelností a malou spotřebou energie (ve srovnání s hydraulickými systémy). Řízení pohybu je činěno hydraulicky či elektricky. Největší výhodou hydraulicky řízených kloubových mechanismů je jejich velikost a úsporná konstrukce. Nevýhodou je obtížněji regulovatelná uzavírací síla. [10,11]

### 3.4.2 Uzavírací jednotka s hydraulickými systémy

Hlavním členem je hydraulický válec. Ten je nejčastěji umístěn v ose stroje. V dnešní době je hlavní hydraulický válec často doplněn o pomocné menší válce, které jsou symetricky rozmístěny a umožňují tím rovnoměrnější rozložení sil. To umožňuje dosažení vyšších rychlostí pohybu formy a přesnějšího řízení. Stroje s uzavírací silou vyšší jak 6 MN jsou vybaveny závorováním. To je v podstatě mechanický zámek sloužící k fixaci vstřikovací formy před vstřikováním. Výhodou hydraulických uzavíracích jednotek je jednoduché a relativně levné provedení. Lepší nastavení uzavírací síly. Rychlé upnutí formy a jednodušší nastavení pohybů jednotky a její řízení. Mínusem je potřeba velkého množství hydraulické kapaliny v oběhu systému. [10,11]

### 3.4.3 Kombinované uzavírací systémy

Tyto typy uzavíracích jednotek kombinují výhody dvou předcházejících typů uzavíracích jednotek. Pohyby jsou vykonávány za pomoci kloubového mechanismu. Uzavírací síla a její řízení je iniciována za pomoci hydraulického válce s kombinací s mechanickým zámkem. To umožňuje rychlé a lehce ovladatelné pohyby pohyblivé části formy a řízené vyvozování uzavírací síly. [11]

### 3.4.4 Vyhazovací systémy

Uzavírací jednotka také zajišťuje pohyb vyhazovacího systému vstřikovací formy. To je možno řídit pomocí samotného pohybu pohyblivé části formy, kdy při otevírání dojde ke kontaktu vyhazovacího systému s dorazem, čímž je iniciován pohyb vyhazovacích desek. Zpětný pohyb je zajištěn pomocí tzv. vraccích kolíků. Rychlost a řízení je zde zcela závislá na nastavených pohybech uzavírací jednotky. Další způsobem, který je v dnešní době čím dál tím více využíván je iniciace pohybu samostatným hydraulickým válcem. Ten je možno řídit a nastavit nezávisle na pohybech uzavírací jednotky. [11]

## 3.5 Řídicí a ovládací jednotka

Možnost řízení a jednoduchá obsluha vstřikovacího stroje je v dnešní době samozřejmostí. K dosažení přesnosti a kvalitní výroby je nutné, aby byl stroj schopný velmi přesně opakovat nastavené procesní a technologické parametry. To je uskutečňováno za pomoci řídicí a kontrolní jednotky, která obsahuje regulační prvky. Nastavení vstřikovacího stroje je řízeno

regulátorem, který dostává zpětnou vazbu z naměřených hodnot na stroji. Pokud se nějaký parametr odlišuje, tak za pomoci regulačních prvků hodnotu upraví na požadovanou nastavenou hodnotu. Tento proces je řízen v dnešní době mikroprocesory, což umožňuje plně automatickou výrobu a kontrolu procesu vstřikování. Většina moderních strojů obsahuje dotykový displej. K nastavení vstřikovacího procesu je pro přehlednost a jednoduchost nejčastěji využíváno grafické formy, kdy každá část cyklu má svou specifickou ikonu. [9,11]

### 3.5.1 Pracovní režimy

Vstřikovací stroje mohou pracovat ve třech základních režimech:

- plně automatický - proces vstřikování je zcela automatický a není potřeba lidského pracovníka, stroj je řízen a vykonává proces dle nastavení programu,
- poloautomatický - nutná přítomnost lidského pracovníka, každý proces je nutné spustit ručně (nejčastěji se využívá u případu, kdy je nutné ručně něco zakládat do formy nebo odebírat hotové výstřiky z formy),
- manuální (seřizovací) - slouží u rozjíždění výroby a při nasazování formy na vstřikovací stroj, každý jednotlivý proces je ovládán ručně. [11]

## 3.6 Periferie a pomocné zařízení vstřikovacích strojů

Hlavním zařízením pro výrobu u technologie vstřikování je vstřikovací stroj. Ostatní vybavení a příslušenství je nazývanou jako periferní a pomocné vybavení. Bez něj není možné vyrábět výstřiky o požadované jakosti a přesnosti v automatizovaném procesu výroby. Mezi hlavní představitele periferních zařízení vstřikovacích strojů patří následující. [8,11]

### 3.6.1 Zařízení pro sušení granulátů

Před samotným použitím polotovaru materiálu (granulátu) je nutné jej vysušit, aby v něm nezůstala žádná zbytková vlhkost (nebo jen její přípustná hodnota). To platí především pro navlhavé druhy polymerů např. POM, PC, PA, kaučuky a další. Materiály plněné sajícím plnivem (skleněná vlákna, prášková minerální plniva) ale i směsi obsahující tyto polymery nebo plniva. Zbytková vlhkost by se mohla totiž negativně projevit na vyráběných výstřicích. K těmto účelům se využívají sušící zařízení. Ty mohou být integrované, součástí

vstřikovacího stroje či centrální umístěny mimo vstřikovou, zásobující více strojů najednou. [8,11]

### 3.6.2 Mlýny a drtiče

Termoplasty lze opakovaně zpracovávat a tak se toho s výhodou využívá. Mlýny a drtiče slouží ke zpracování odpadu (vtokových zbytků) a výstřiků, které nesplňují požadavky na jakost na drť. Výsledné rozměry částic regenerátu by měla odpovídat velikosti granulátu, s kterým bude smíchávána. Nejčastěji se používají nožové mlýny. Obsah regenerátu a jeho použití závisí na vyráběném výstřiku a jeho použití. Aby nebyly negativně ovlivněny vlastnosti výstřiku, obsah drtě by neměl překročit 25% z celkového množství. [8,11]

### 3.6.3 Směšovací zařízení

Za účelem smísení základního granulátu s aditivou se do násypky stroje přidává směšovací zařízení. Granulát materiálu se nejčastěji smíchává s regenerátem ale i s různými barvivy a aditivou, které upravují výsledné vlastnosti výstřiku dle požadavku. Směšovací zařízení zajišťuje přesné dávkování jednotlivých složek a jejich vzájemné mísení. [11]

### 3.6.4 Temperační systémy

Slouží k chlazení a vyhřívání vstřikovacích forem. Ty obsahují většinou vrtané kanály, kterým proudí temperační médium. Tyto kanály jsou napojeny systémem hadic na temperační jednotku, která zajišťuje a reguluje teplotní pole vstřikovací formy. Jako temperační médium se nejčastěji používá:

- voda (maximální teplotou do 95°C ),
- přetlaková voda, oleje, glykoly (maximální teplotou do 400°C). [8,11]

### 3.6.5 Roboty a manipulátory

Slouží k usnadnění výroby a umožňují plnou automatizaci výrobního procesu. Roboty se nejčastěji využívají k odebrání hotových výstřiků ze vstřikovací formy a jejich následné uskladnění nejčastěji na pásový dopravník. Rychlost jejich pohybů a rozsah možností předčí lidskou obsluhu ve všech směrech a urychlují tím celý výrobní cyklus. Manipulátory se využívají k odstranění vtokových zbytků popřípadě jejich oddělení od výstřiku. [8,11]

## 4 KONSTRUKCE A NÁVRH VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ

Základní pravidla pro konstrukci plastových dílců se vyvíjela v průběhu let a jsou zaměřena především na řešení problému při výrobě. Návrh plastových dílců je značně odlišný v porovnání s dílci kovovými a je nutná znalost technologie vstřikování a polymerních materiálů. Asi největším problémem pro správný návrh a výrobu plastového dílu je jeho výrobní smrštění a deformace. Hodnota smrštění je různá u každého materiálu a dokonce se může lišit u stejného druhu polymeru od různých dodavatelů. To znesnadňuje konstrukci a výrobní proces, aby bylo dosaženo výstřiku o požadovaných vlastnostech a rozměrech. U materiálu s vyšší hodnotou smrštění a u plněných materiálů jsou rizika s problémy způsobující smrštění vyšší. Jednou z nejdůležitějších zásad při konstrukci výstřiků je co nejvíce dodržovat jednotnou tloušťku stěn. Další pravidla a zásady již většinou navazují, jak ostatní prvky (žebra, nálitky apod.) připojit k základní stěně výstřiku. Každý navržený výstřik musí splňovat následující pravidla a zásady:

- funkčnost plastového dílce - musí splňovat všechny požadované funkce a vlastnosti (užitné, estetické, ergonomické, bezpečnostní),
- technologické (zaformovatelnost, jednotná tloušťka stěn, zaoblení, úkosy stěn, tvary stěn, tolerance, volba materiálu). [8,12,13]

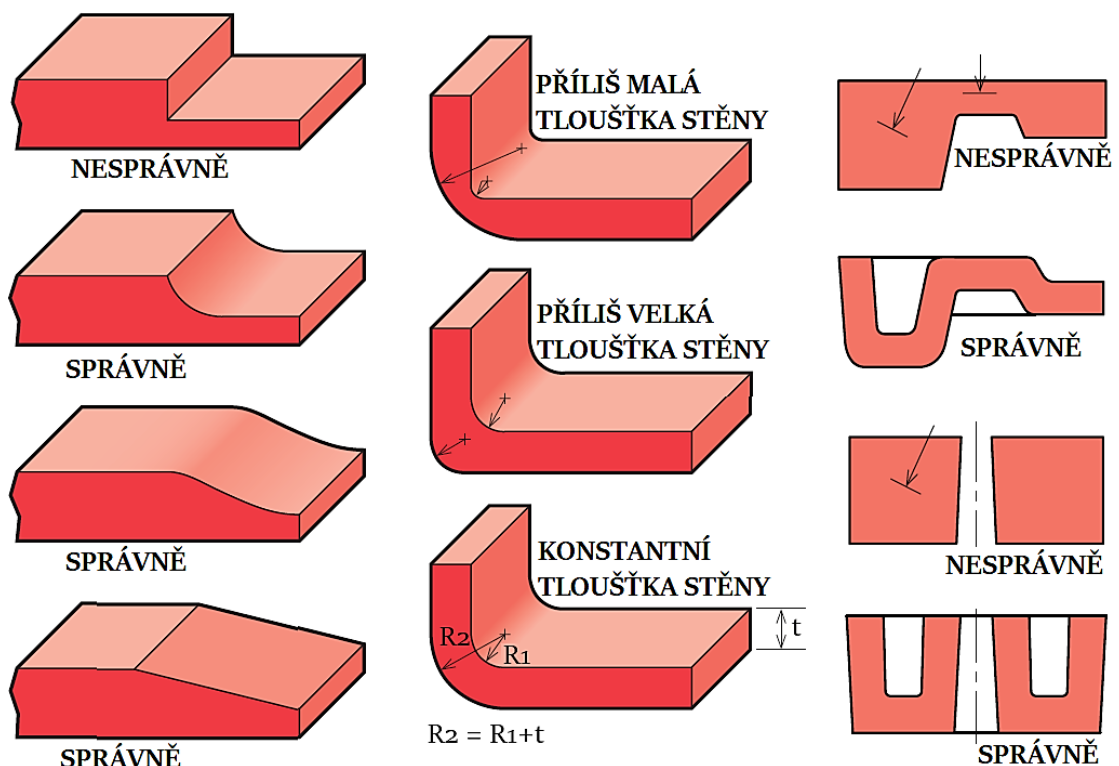
### 4.1 Zaformovatelnost výstřiku

Při samotném konstrukčním návrhu výstřiku je třeba myslet, jak bude dílec zaformován uvnitř vstřikovací formy. Tedy určení dělicích rovin. Z hlediska jednoduchosti a ceny výroby je nutná snaha o co nejmenší počet dělicích rovin. S rostoucím počtem dělicích rovin roste také složitost a náročnost výroby vstřikovací formy. Pokud to jinak nelze, je nutné navrhnout zaformování pomocí různých mechanismů (bočních posuvné čelisti, tvarové vyhazovače atd.), aby bylo možné výstřik zaformovat a proces vstřikování mohl probíhat v nejlepším případě plně automaticky. Od návrhu zaformování se odvíjí návrh vyhazování, vtokového systému a směru a velikosti úkosů apod. [8,9,12]

### 4.2 Tloušťka stěn

Při návrhu výstřiku by mělo být hlavní snahou konstruktéra o zachování konstantní tloušťky stěny. V každé části výstřiku s rozdílnou tloušťkou bude docházet k různě velkému smrštění. Nejenom že tyto rozdílné hodnoty smrštění budou komplikovat požadované dosažení

rozměru a jakosti výstřiku ale způsobí nechtěné deformace a zbytkové napětí ve výstřiku. Rozdílné tloušťky ve výstřiku také ovlivní plnicí a dotlakovou fázi vstřikovacího cyklu. Vlivem toho může docházet ke vzniku vzduchových kapes a studeným spojům, což bude mít negativní vliv na výsledné vlastnosti. Pokud se nedá změněm tloušťky vyhnout, je třeba, aby přechod byl co nejvíce pozvolný. Jak je možno vidět na obr. 12. Tloušťka stěny musí být dostatečná, aby zajistila požadovanou tuhost a pevnost výstřiku. Zároveň má být co nejmenší, čímž se výrazně zkrátí výrobní cyklus a hmotnost výrobku a tím pádem také náklady na výrobu. Zamezí se tak také vzniku propadlin a lunek, jež dochází nejčastěji u tlustostěnných výstřiků. [8,13]



Obr. 12 Přejít různých tlouštěk a řešení zaoblení rohů u vstřikovaných výrobků [14]

### 4.3 Úkosy stěn

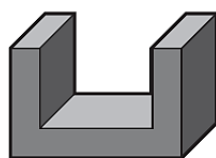
Jsou hodnoty odklonu stěn výstřiku kolmo k dělicí rovině. Hodnota úhlu úkosu je závislá především na použitém druhu polymeru, jeho smrštění a elasticitě či opracování povrchu stěn dutiny vstřikovací formy. Úkosy vnitřních a vnějších stěn vstřikovaných výrobků jsou nezbytné pro jejich bezproblémové odformování. Vnitřní stěny výstřiků vyžadují větší hodnoty úkosu než stěny vnější. Během procesu smrštění (smršťování) se vnější stěny

vstřikovaného dílce smršťují od tvarové dutiny formy, zatímco vnitřní stěny se smršťují na vnitřní stěny či jádra. Při nedostatečném úhlu zkosení může dojít k deformaci výstřiku při odformování. Doporučené hodnoty na zkosení na výstřicích je možno vidět v tab. 2. [3,9,15]

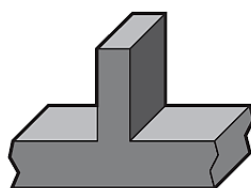
Tab. 2 Doporučené velikosti úkosu vstřikovaných výrobků [9]

ÚKOS PRO	VELIKOST ÚKOSU
Vnější plochy	30' - 2° (1°)
Vnitřní plochy	30' - 3° (2°)
Otvory do hloubky 2D	30' ÷ 1° (45')
Hluboké otvory	1° - 10°
Žebra, komínky	1° ÷ 10° (3°)
Výstupky	2° ÷ 10°

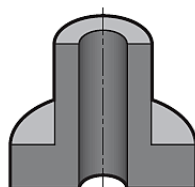
DÍLCE BEZ ÚKOSU



NESPRÁVNĚ

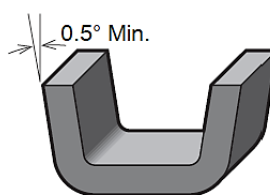


NESPRÁVNĚ

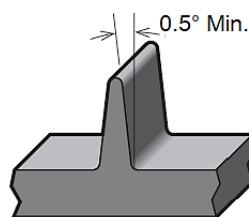


NESPRÁVNĚ

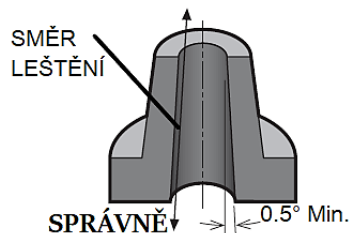
DÍLCE S ÚKOSY



SPRÁVNĚ



SPRÁVNĚ



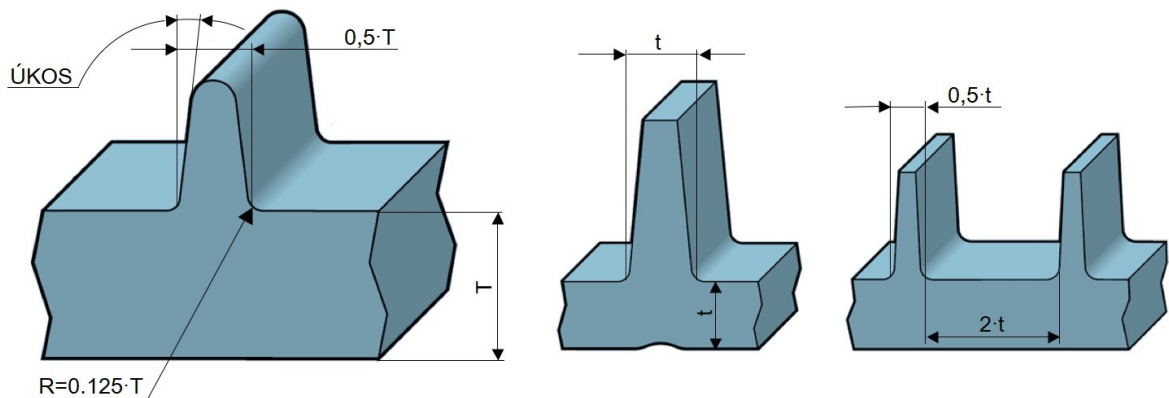
SPRÁVNĚ

Obr. 13 Návrh úkosů stěn vstřikovaných výrobků [14]



#### 4.4 Návrh žeber

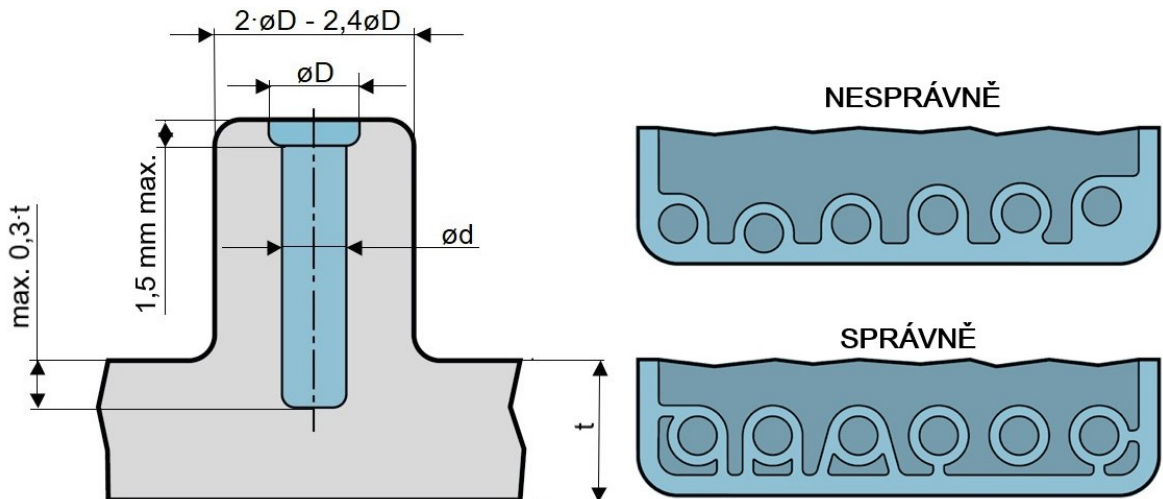
Žebra se primárně využívají u vstřikovaných výrobků za účelem zvýšení tuhosti a pevnosti. Mohou také plnit úlohu technologickou: umožňují optimální plnění dutiny formy, eliminují vznik propadlin a různých povrchových vad. Nejdůležitějším parametrem je tloušťka žebra. Při příliš velké tloušťce žebra může vlivem hromadění materiálu docházet k propadlinám a lunkrům. Ovlivňují také rychlost chladnutí taveniny čímž mají vliv na smrštění a případné deformace v okolí. Hodnota tloušťky žebra je závislá také na druhu polymeru. Výška žebra by neměla být vyšší než trojnásobek tloušťky stěny výstřiku, pokud je to možné je lepší volit více nižších žeber. To je výhodnější z pohledu plnění a odformovatelnosti tak vyrobitelnosti. Zamezí se také vzniku vzduchových kapes. Návrh a doporučené hodnoty rozměrů žeber u výstřiku je možno vidět na obr. 14. [3,9,12]



Obr. 14 Návrh rozměrů žeber u vstřikovaných výrobků [3]

#### 4.5 Návrh nálitků

Nálitky se nejčastěji využívají u výstřiků jako místa pro upevnění a montáž. Nejčastěji využívaný druh je výstupek válcového tvaru s otvorem pro šroub, či případně pro závitovou vložku. K omezení vzniku propadlin je nutné dodržovat stejné zásady jako při návrhu žeber. Tedy jeho poměr tloušťky stěny komínku vůči tloušťce výstřiku. Tak jako u žeber by jejich napojení na základní stěnu mělo být zaoblené a dodržovat jednotnou tloušťku stěny. Základní doporučené rozměry určuje většinou výrobce materiálu. Větší průměr  $D$  se doporučuje v rozmezí 2 až 2,4 násobku průměru  $d$ , který je roven průměru šroubu, který se do komínku našroubuje. Příklad návrhu rozměrů je možno vidět na obr. 15. [3,14]



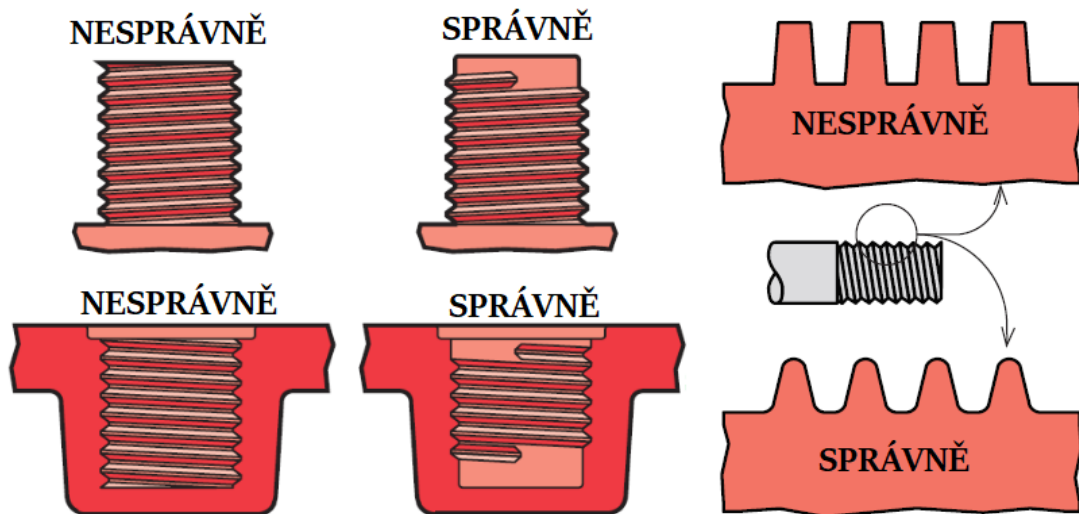
Obr. 15 Základní návrh rozměrů nálitků a jejich napojení na základní stěnu  
výstřiku [3]

#### 4.6 Zaoblení ostrých hran a rohů

U výstřiků je nutné odstranění ostrých hran a přechodů. V těchto místech dochází ke koncentraci napětí. Může zde dojít k prasknutí a to především u amorfních polymerů vlivem vnějších sil či vnitřního pnutí. Zaoblení ostrých hran usnadňuje také tok taveniny a snižuje opotřebení tvarové dutiny vstřikovací formy, díky možnosti použití nižších vstřikovacích tlaků než v případě součásti s ostrými hranami a přechody. Je také jednodušší z hlediska vyrobitelnosti. [9,11]

#### 4.7 Závity na vstřikovaných výrobcích

Závity na výstřicích jsou typické svou nižší pevností, proto je výhodnější vyrábět závity na větších průměrech s vyšším úhlem stoupání ve tvaru ideálně oblého, pilového či trapézového, které jsou z hlediska tvaru pro výrobu výstřiku výhodnější. Na výstřicích se často využívá přerušovaných závitů. Vnější závity se vyrábí nejčastěji pomocí bočních tvarových čelistí či rozpínacích trnů. Vnitřní závity se tvarují nejčastěji za pomoci vytáčecích závitových trnů. Nebo může být přetahován z trnu stírací deskou bez použití mechanismů, to umožňují jen některé typy závitů a materiálů. Závít na výstřiku musí být zaoblen a jeho začátek by neměl být na okraji výstřiku. [9,11]



Obr. 16 Doporučení pro návrh vnitřních a vnějších závitů na výstřicích [14]

## 5 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍCH FOREM

Vstřikovací forma je specifické a velmi důmyslné strojní zařízení sloužící k zajištění mnoha požadavků dané technologií vstřikování. Udává tvar výstřiku svými tvarovým částmi a to o požadované jakosti a přesnosti. Zajišťuje dopravu polymerní taveniny ze vstřikovací jednotky do tvarové dutiny formy. Dále musí odvádět přebytečné teplo a udržovat konstantní tepelné pole k zajištění opakovatelnosti cyklu a také musí zajišťovat rovnoměrné chlazení výstřiků. Další funkcí, kterou musí umožňovat je bezpečné a opakovatelné odoformování dílu a jejich vyhození z formy. Mohou existovat modulární vstřikovací formy, které umožňují výměnu tvarových částí. Ale nejčastěji se každá forma navrhuje na výrobu specifického výstřiku. Tím je dána jejich velká náročnost na konstrukci a výrobu z čehož vyplývají i celkové vysoké náklady. Vstřikovací formy musí splňovat tyto požadavky:

- vysoká přesnost a jakost funkčních ploch tvarové dutiny a funkčních dílců,
- maximální tuhost a pevnost formy (zachycení velkých tlaků a působících sil),
- snadnou manipulaci a obsluhu při výrobě výstřiků,
- ekonomické (vysoké využití vstřikovaného plastu, jednoduchost oprav formy),
- správnou funkčnost systému formy (vtokový systém, temperace, vyhazování, odvzdušnění apod.). [3,9,10,13]

### 5.1 Konstrukční návrh vstřikovacích forem

Před každým návrhem vstřikovací formy je nutné znát mnoho technických údajů, aby bylo možno formu úspěšně navrhnout a vyrobit. Mezi ty nejdůležitější patří následující:

- výkres výstřiku (definuje tvar, rozměry, přesnost a jakost výstřiku a jeho materiál), výstřik musí splňovat požadavky na dílec vyráběný vstřikováním,
- násobnost formy (velikost vyráběné série, ekonomie výroby, velikost a možnosti vstřikovacího stroje, životnost formy),
- vstřikovací stroj (velikost rozměrů při upnutí, vstřikovací kapacita, dostatečná uzavírací síla a vstřikovací tlak),
- speciální požadavky (robotizace, zvláštní požadavky na konstrukci apod.). [9]

Poté je provedeno samotné navržení zaformování výstřiku a volba hlavních a vedlejších dělicích rovin a umístění ve formě. Dělicí roviny by měly být navrženy co nejjednodušeji, což zajistí jednodušší výrobu a vzájemné lícování ploch. Je určeno umístění a typ ústí vtoku

a navržen vtokový systém. Na to navazuje navržení temperačního systému a vyhazovacího systému formy s rámem formy. Při konstrukčním návrhu vstřikovacích forem se ve velkém využívá normalizovaných dílců od specializovaných výrobců (HASCO, Meusburger apod.). To urychlí samotný návrh, výrobu ale i opravu forem a tím i ekonomii výroby. [8,9]

## 5.2 Základní typy vstřikovacích forem

Vstřikovací formy pro výrobu výstřiků jsou obecně klasifikovány na základě následujících kritérií:

- standardní formy (dvou deskové formy),
- formy s dělenými dutinami (dělené dělicí roviny),
- formy se stírací deskou,
- třídeskové formy (formy s dvěma dělicími rovinami),
- stahovací formy,
- formy s horkými rozvody,

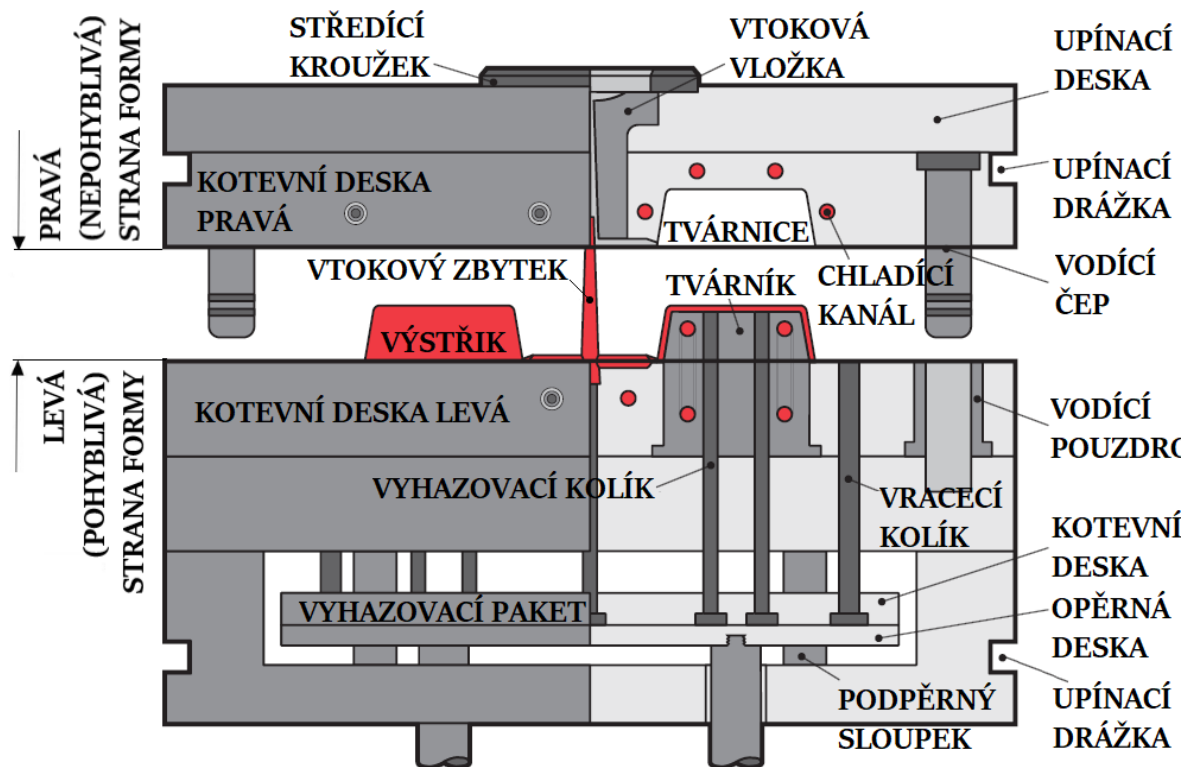
Obecně na základě zpracovávaného polymeru na vstřikovací formy:

- pro termoplasty,
- pro reaktoplasty,
- pro elastomery. [16]

## 5.3 Základní části vstřikovacích forem

Nejčastěji využívaným typem vstřikovacích forem je tzv. forma dvoudesková. Název vypovídá o tom, že v přímém kontaktu s taveninou polymeru jsou pouze dvě desky. Vstřikovací forma se dá rozdělit na pravou (nepohyblivou) stranu a na levou (pohyblivou), které jsou zvláště upnuty na vstřikovacím stroji. K vystředění na vstřikovacím stroji slouží středící kroužky. Každá vstřikovací forma se v podstatě skládá z mnoha desek, které jsou spojeny za pomoci šroubů. Středění a vedení zajišťují nejčastěji vodící čepy, které jsou uchyceny na jedné straně formy a vůči nim na straně druhé vodící pouzdra zajišťují vzájemné vystředění obou polovin formy. Vtoková vložka a vtokový systém zajišťuje rozvod taveniny ze vstřikovací jednotky do tvarových dutin formy. Ty mohou být zhotoveny přímo v desce nebo je často využíváno výměnných tvarových vložek, které jsou ukotveny tzv. kotevní desce. Vzájemné středění desek zajišťují středící trubky. Vyhazovací paket se skládá ze dvou desek, desky opěrné a desky kotevní, v níž jsou uchyceny vyhazovací kolíky. Na

obr. 17 je možné vidět schematicky znázorněnou dvoudeskovou formu se studeným vtokovým rozvodem a s popisem základních částí, z nichž se skládá: [3]



Obr. 17 Dvoudesková vstřikovací forma a její základní části [14]

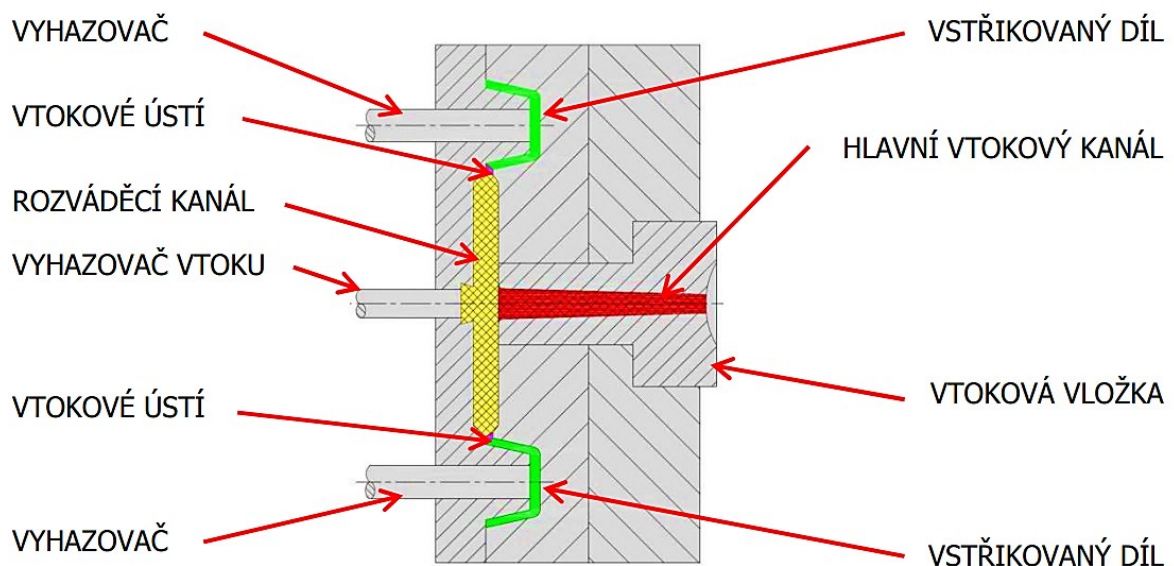
#### 5.4 Vtokové systémy

Hlavní funkcí vtokového systému je zajištění dopravy polymerní taveniny z vstřikovací jednotky do tvarové dutiny formy. A to v co nejnižším možném čase za minimálních odporů a tlakových ztrát. Musí být navržen tak, aby umožnil maximální dobu působení dotlaku. Návrh vtokového systému ovlivňuje spotřebu materiálu. Dále velikost, tvar a mechanické vlastnosti výstříku. Vtokový systém je jedním z nejdůležitějších prvků při návrhu vstřikovacích forem. Značné množství oprav a předělávek nových forem je z důsledku špatně navrženého vtokového systému. Vtokové systémy mohou být studené nebo vyhřívané (konstantní teplota taveniny je udržována za pomoci odporových elementů) nebo se užívá jejich vzájemná kombinace. Vtokové systémy se skládají nejčastěji z vtokové vložky, rozváděcích kanálů a ústí vtoku. U vyhřívaných vtokových systémů je to vyhřívaná vtoková vložka s rozvodným blokem a tryskami a příslušenstvím. [3,9,12,13]

### 5.4.1 Studený vtokový systém (SVS)

Studený vtokový systém se normálně skládá z vtokové vložky, rozváděcích kanálů a alespoň jednoho ústí vtoku. U forem s jednou tvarovou dutinou může být použito pouze vtokové vložky, zde závisí na možnosti použití druhu vtokového ústí. Formy se studenými vtokovými systémy jsou jednodušší na konstrukci a výrobu a s tím souvisí to, že ve srovnání s horkými vtokovými systémy jsou značně ekonomicky výhodnější. Fungování je také značně jednodušší, protože nevyžadují speciální čidla pro kontrolu teploty a není třeba řešit potenciální problémy jako zamrzání, kolísání, degradaci materiálu apod., které vznikají u horkých rozvodů. Hlavní nevýhodou je vznik vtokového zbytku a tím pádem i větší spotřeba plastu. Ten je nutný následně odstranit od výrobku a také vyhodit z formy.

Ihned po vstříknutí do studených kanálů začíná k tuhnutí krajních vrstev taveniny, která tvoří izolaci vnitřnímu proudu taveniny. Proto je důležité odstupňování velikosti rozvodných kanálů. A to především u více násobných forem k zajištění rovnoměrného plnění. Ústí vtoku musí umožnit dostatečně dlouhé působení dotlaku ke kompenzaci objemových změn vlivem smrštění. [9,17,18]



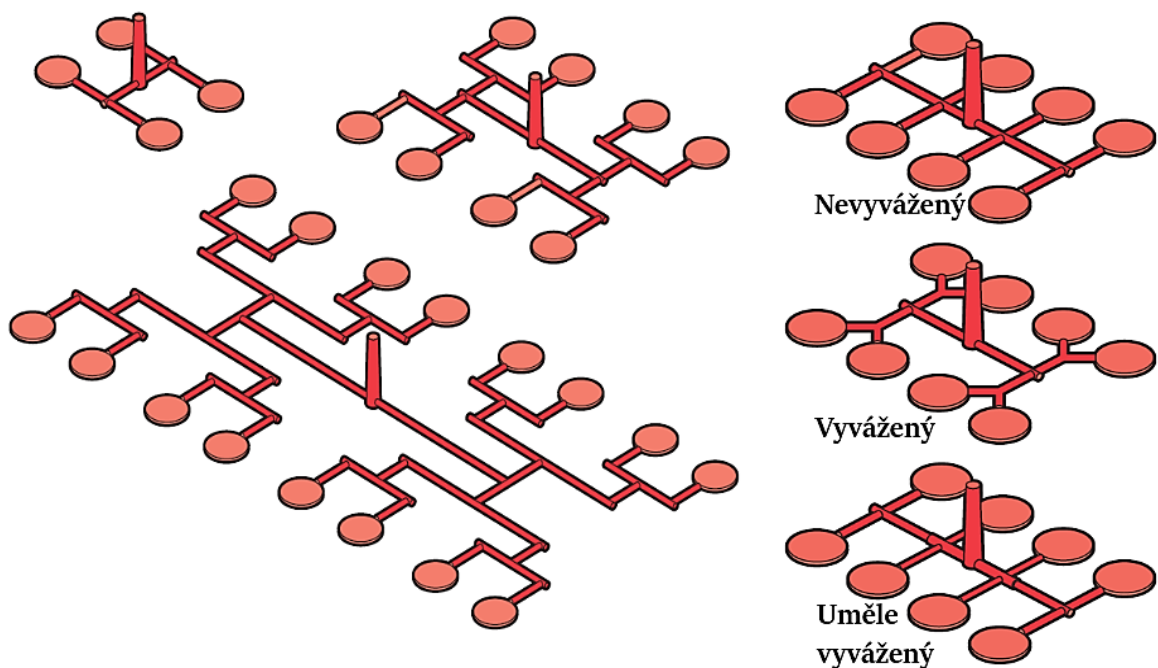
Obr. 18 Studený vtokový systém a jeho hlavní součásti [17]

### 5.4.2 Zásady návrhu vtokových kanálů studených vtokových systémů

U návrhu studených vtokových systémů musí být dodržováno obecných doporučení, aby bylo dosaženo správné funkčnosti a optimálního plnění. Mezi nejdůležitější patří:

- co nejkratší možná dráha toku (menší tlakové ztráty, menší vtokový zbytek),

- stejná vzdálenost dráhy toku ke všem tvarovým dutinám (rovnoměrné plnění, zaplnění všech tvarových dutin ve stejný čas),
- odstranění oblastí hromadění plastu, zaoblení hran (snížení tlakových ztrát, rovnoměrnější chlazení a zabránění vzniku turbulentního proudění),
- zachycení chladnějšího čela proudu taveniny (zabránění vzniku povrchových vad),
- dostatečně velký průřez vtokových kanálů (umožňující vznik plastického jádra a působení dotlaku),
- co největší průřez při minimální hodnotě jeho povrchu (to zajistí minimální ztráty při ochlazování, ideální je průřez kruhový),
- snadné vyjmutí vtokové zbytku (úkosovitost stěn vtoků). [9,17]



Obr. 19 Příklady návrhu vícenásobných vtokových systému [14]

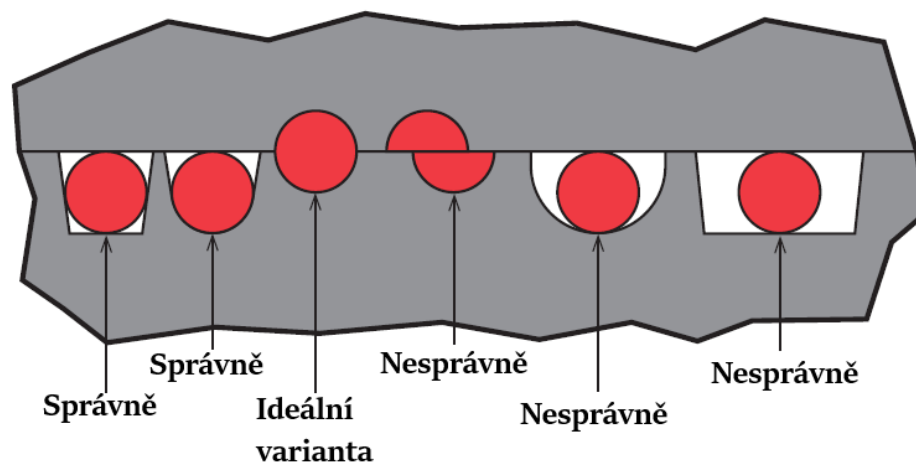
### 5.4.3 Vtoková vložka

Slouží k dopravě taveniny polymeru z vstřikovací jednotky nejčastěji do dělicí roviny formy. Má podobu kuželovitého kanálu, který může být zhotoven přímo ve formě, ale mnohdy je vyráběna jako normalizovaný dílec, jenž je do formy vložen. Úkos kanálu se pohybuje v rozmezí  $0,5^\circ$  až  $1^\circ$ . Čelo vtokové vložky má zhotovený rádius sloužící k zajištění pevného a těsného dosednutí plochy vstřikovací trysky vstřikovací jednotky. Jedná se o velmi namáhanou součást a proto je vyráběna z nástrojové oceli a je tepelně zpracovávána. [3,9]



#### 5.4.4 Rozváděcí kanály

Slouží k dopravě taveniny nejčastěji ze středu formy v dělicí rovině k ústí vtoku. Většinou jsou zhotoveny přímo do desky v dělicí rovině vstřikovací formy. Jak je možno vidět na obr. 20, tak mohou být zhotoveny jenom na jedné straně, či jako půlené. Ideální varianta je kruhový průřez, ale ten je nevýhodný z hlediska vyrobitelnosti, kde je potřeba vyrobit obě poloviny s přesností 0,05 mm. Z hlediska výroby jsou proto vhodnější trapézový a parabolický tvar kanálu. Velikost rozměrů kanálu je závislá především na vyráběném výstřiku (na jeho tloušťce stěn a době působení dotlaku) a tepelných a reologických vlastnostech daného polymery (viskozita) a parametrech vstřikovacího procesu. [3,9,13]



Obr. 20 Provedení průřezů vtokových kanálů [14]

#### 5.4.5 Vtoková ústí

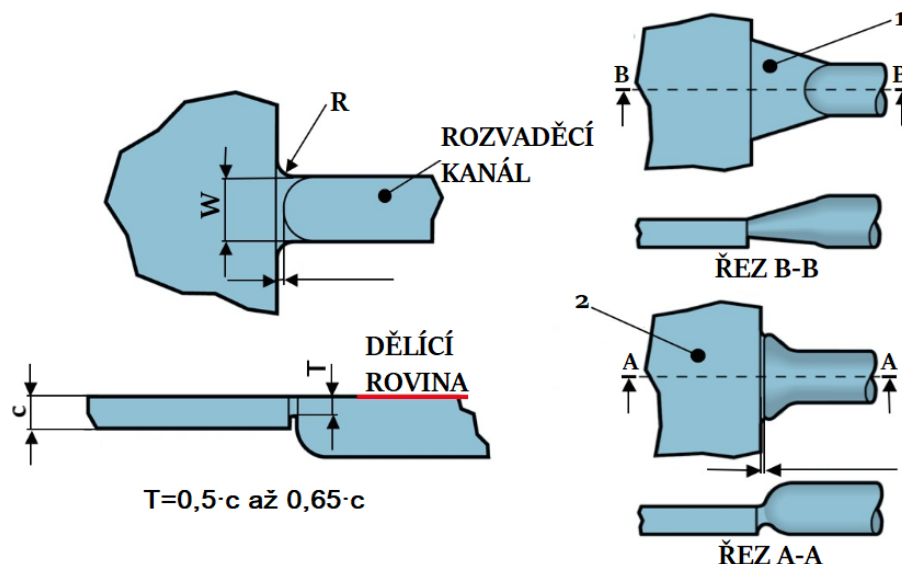
Vtoková ústí zajišťují spojení mezi výstřikem a vtokovým systémem. Obvykle se jedná o zúženou oblast, která usnadňuje oddělení vtokového systému od výstřiku. Velikost, tvar a umístění ústí vtoku může značně ovlivňovat konečné vlastnosti výstřiku. Klíčovou funkcí ústí vtoku je zajistit, nejlépe automaticky, oddělení výstřiku od vtokového systému zatímco umožňovat plnění a dotlak a po svém zamrznutí bránit zpětnému úniku taveniny do vtokového systému. Je žádoucí, aby bylo, ústí vtoku navrženo tak, aby umožňovalo snadné oddělení od výstřiku. To znamená, že jeho průřez musí být relativně malý. Nicméně příliš malý průřez může omezit plnění tvarové dutiny a způsobovat problémy jako degradaci materiálů vlivem příliš vysokého smykového napětí, tryskový tok, který je nežádoucí a další problémy spojené se špatně navrženým vtokovým ústím. Doporučuje se, aby tloušťka (průměr) vtokového ústí se pohybovala v rozmezí 0,4 až 0,7 násobku tloušťky stěny

výstřiku. Délka ústí vtoku musí být také co nejkratší a neměla by překročit hodnotu 2 mm. Při volbě umístění vtokového ústí by se měly dodržovat následující pravidla:

- ústí vtoku umístit do nejtlustšího místa výstřiku (lepší plnění dutiny a maximalizace možnosti působení dotlaku),
- pokud možno, za ústím vtoku by měla být překážka v toku (vyvarování se volnému tryskovému toku do dutiny - pohledová vada),
- nevolit místo vtoku v místě kde bude výstřik namáhán (ústí vtoku a okolí je místo s největší koncentrací napětí - nejslabší místo výstřiku),
- umístit vzhledem k minimalizaci vzniku studených spojů, nebo je pomocí umístění posunout na nenamáhaná a nevzhledová místa,
- volit místo s ohledem na možnost úniku vzduchu (vznik vzduchových kapes, Diesel efekt). [3,9,12,18]

#### 5.4.6 Filmové, vějířové a zvonové ústí vtoku

Jedná se o nejjednodušší typy vtokových ústí. Nejčastěji obdélníkového průřezu. Existuje velmi mnoho druhů ústí vtoku nacházejících se přímo v dělicí rovině. Používají se v případech, kdy není potřeba automatického oddělení vtokového systému od výstřiku. Výhodou je možnost použití pro plněné plasty. [3,17,18]

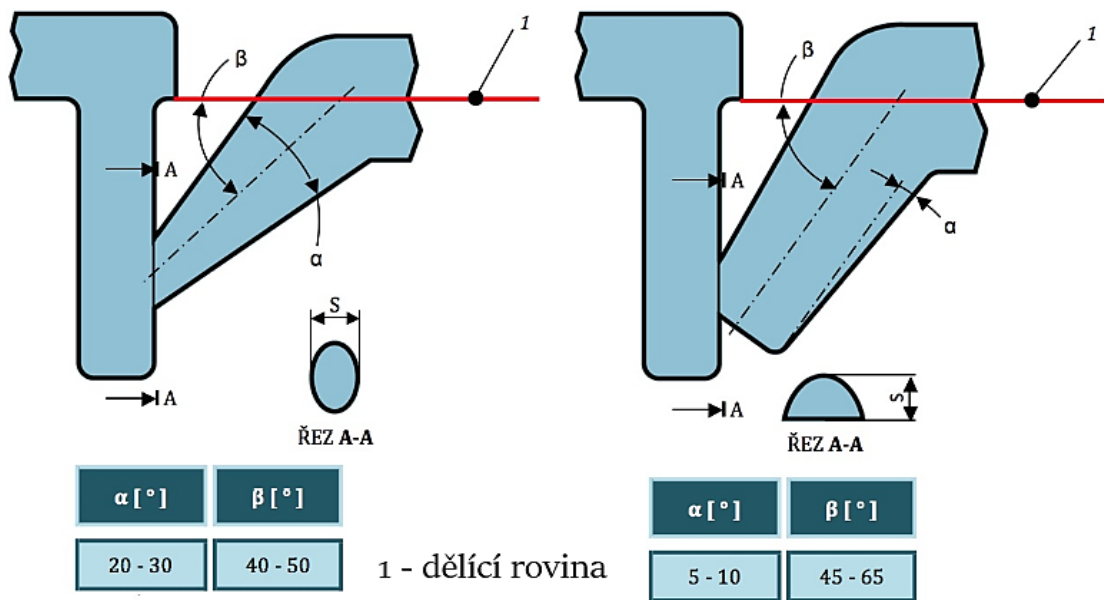


Obr. 21 Provedené filmového, vějířového a zvonového ústí vtoku [3]

$T$  - tloušťka filmového ústí vtoku,  $C$  - tloušťka stěny výstřiku,  $W$  - šířka filmového ústí vtoku, 1 - vějířové ústí vtoku, 2 - zvonové ústí vtoku

### 5.4.7 Tunelové ústí vtoku

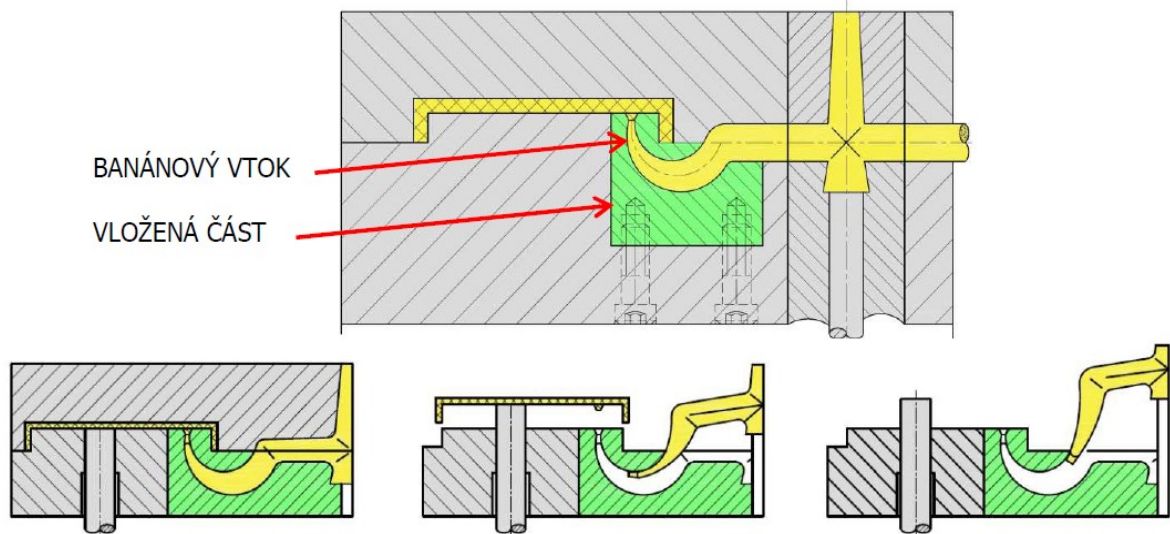
Je typický kuželovitým tvarem s nejmenším koncem kužele, který je spojuje s výstřikem a umožňuje automatické oddělení vtokového systému od výstřiku. Tento typ vtokového ústí je vhodný pouze pro plasty s vysokou elasticitou. Tímto typem ústí vtoku je možno plnit dutinu nacházející se mimo dělicí rovinu vstřikovací formy. Nutností je použití přídržovače vtoku, který přidrží vtokový systém na levé straně formy. Také je nutné umístit další vyhazovač vtoku ve vzdálenosti 12 až 15 mm od ústí vtoku, což zajistí správnou deformaci a oddělení vtoku od výstřiku. Vzhledem ke složitosti výroby tvaru se často využívá vložek specializovaných výrobců, v níž je složitý tvar před zhotoven. [3,9,18]



Obr. 22 Návrh a možnosti provedení tunelového ústí vtoku [3]

### 5.4.8 Banánové ústí vtoku

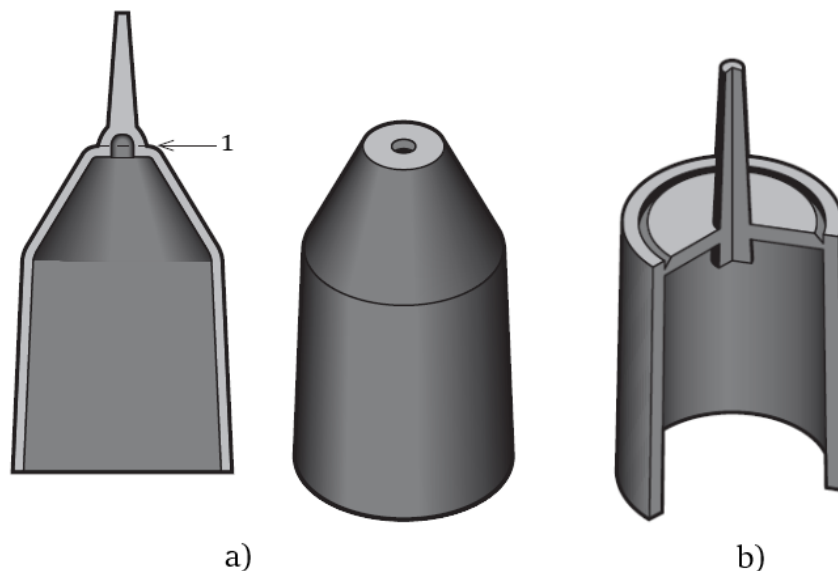
Jedná se o variantu tunelového ústí vtoku, které umožňuje umístění ústí vtoků do míst, které tunelový typ vtoku neumožňuje. Tak jako tunelový vtok je tento typ vtokového ústí vhodný pouze pro plasty s vysokou elasticitou. Vzhledem k velmi náročné výrobě se velmi často také využívá vložek od specializovaných výrobců. Hlavní výhodou je stejně, jako u tunelového ústí vtoku automatické oddělení vtoku od výstřiku a možnost zaústění vtoku na nepohledové straně výstřiku. [9,17,18]



Obr. 23 Řez banánovým ústím vtoku a ukázka jeho oddělení od výstříku [17]

#### 5.4.9 Deštníkové, talířové ústí vtoku

Tyto typy ústí vtoku umožňují symetrické plnění dutiny formy a nejčastěji se používají pro rotační výstříky jako kryty, ozubená kola, rotory apod. Symetrické plnění zabraňuje také vzniku studených spojů. Hlavní nevýhodou je velká spotřeba materiálu a nutnost odstranění vtokového zbytku, po kterém zůstává viditelná stopa. Na následujícím obrázku je možno vidět tyto dva typy ústí vtoku. [3,17]



Obr. 24 Deštníkové a talířové provedení ústí vtoku [3]

a) deštníkové ústí, b) talířové ústí vtoku, 1 - rovina oddělení vtokového zbytku

#### 5.4.10 Horké vtokové systémy (VVS)

V dnešní době jsou to nejpoužívanější typy rozvodu taveniny ve vstřikovacích formách. Princip funkce je založen na tom, že tavenina polymeru je udržována po celou dobu cyklu od trysky až po vtokové ústí (či rozvodný kanál) v plastickém stavu o stále viskozitě v celém svém průřezu. Po zamrznutí ústí vtoku je zabráněno úniku taveniny z horké vtokové soustavy při otevřené formě. Zamrzlé ústí je proraženo při dalším cyklu a cyklus plnění se opakuje. Existuje nepřeberné množství typů a možnosti použití, které je závislé především na použitém plasty a aplikaci. Horké vtokové systémy se kupují jako sestavy i s příslušenstvím od specializovaných výrobců. [3,9,19]

Mezi hlavní výhody VVS patří:

- automatizace výroby a zkrácení výrobního cyklu (vyšší produktivita),
- snížení spotřeby materiálu (bez vtokových zbytků),
- větší možnosti při volbě umístění ústí vtoku, lepší přenos tlaků,
- možnost řízení polohy studených spojů (řízené otevírání trysek).[3,9,19]

Mezi hlavní nevýhody VVS patří:

- vysoké finanční náklady při pořízení horkého rozvodu (značná část ceny formy - vhodný hlavně pro velkosériovou výrobu),
- vyšší energetická náročnost výroby,
- náročnější na konstrukční provedení zástavby formy,
- delší čas nutný na změnu druhu materiálu (tzv. přejezd materiálu). [3,9,19]

#### 5.4.11 Typy a varianty provedení horkých rozvodů

V dnešní době existuje spousta variant provedení horkých rozvodů od nejjednodušších vyhřívaných vtokových vložek, vyhřívaných trysek nebo vzájemných kombinací horkého rozvodného bloku s tryskami a vyhřívanou vtokovou vložkou. Je možno také využít horký rozvodný systém s kombinací studených rozvodných kanálů. [3]

#### 5.4.12 Vyhřívané trysky

Základním rozdělením je způsob vytápění jednotlivých komponentů. Trysky jsou vyhřívány za pomoci elektrické kabeláže, dle místa vytápění je rozděluje na: [19]

### *Trysky s vnějším vytápěním*

Těleso trysky je vyrobeno z tepelně vodivého materiálu a tavenina proudí vnitřním otvorem tělesa trysky. Při použití plastu plněného skelnými vlákny je materiál legován molybdenem. Nastavená teplota se udržuje za pomoci topných pásů, které jsou umístěny z vnějška. U těchto typů trysek dochází k nejmenšímu úbytku tlaku. [3,19]

### *Trysky s vnitřním vytápěním*

Ve vnitřním otvoru tělesa trysky je umístěno tzv. torpédo, které je zevnitř ohříváno topnou patronou, kterou tavenina obtéká. Torpédo musí být vyrobeno z velmi dobře tepelně vodivého materiálu. U těchto typů trysek je jednodušší regulace teploty taveniny u špičky trysky a jsou lépe izolovány od okolí než trysky s vnějším vytápěním. Tyto trysky není vhodné používat pro průhledné taveniny a pro výstřiky, kde jsou kladeny vysoké nároky na jakost a vzhled ploch. [3,19]

### *Zavedení ústí trysky do dutiny*

- zavedení do předkomůrky (z předkomůrky vtéká tavenina do tvarové dutiny - nevýhodou je možnost zatečení a tuhnutí do nechtěných míst a mísení barev polymerů při najíždění na nový druh materiálu),
- přímé zavedení do dutiny (odstraňuje předchozí nevýhody). [19]

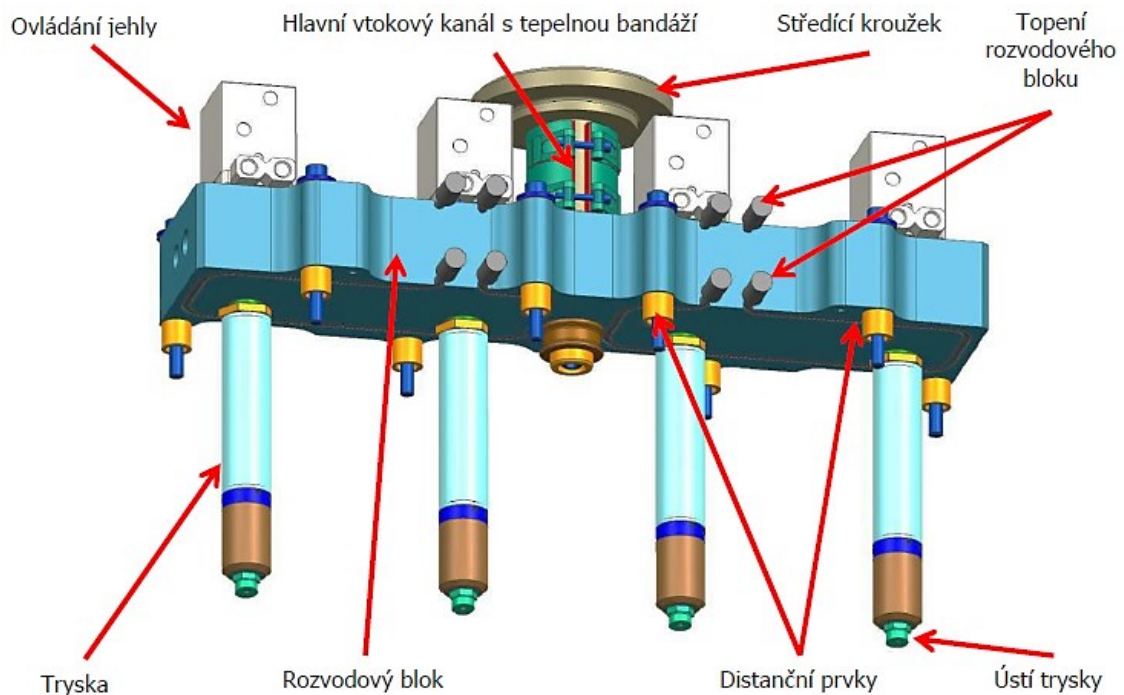
### *Druhy zakončení ústí hrotu*

- s hrotem,
- bez hrotu,
- uzavíratelné s jehlou (ovládání hydraulickými či pneumatickými válci). [19]

### **5.4.13 Horké rozvodné bloky**

Slouží k rozvodu taveniny ve vícenásobných formách a používají se v kombinaci s vyhřívanými tryskami. Jejich správná funkčnost je závislá na přesném provedení tokových kanálů, kde se nesmí nacházet mrtvá místa, kde by mohlo docházet k degradaci materiálu. Důležitý je především rovnoměrný ohřev taveniny uvnitř. K tomu se nejčastěji v dnešní době využívají elektrické odporové vodiče. Rozvodné bloky se vyrábí z oceli a jsou uloženy ve speciální desce mezi upínací a tvarovou desku na pravé straně vstřikovací formy a to včetně kabeláže. Jsou vystředěny vůči pootočení a upevněny pomocí distančních prvků. Přestupu

tepla je bráněno izolační vzduchovou mezerou mezi blokem a deskami. Vyrábí se ve tvaru I, H, X, Y či hvězdice a dodávají je specializovaní výrobci. [9,12,19]



Obr. 25 Horký rozvodný blok s tryskami ovládanými jehlami [19]

## 5.5 Temperační systém

Temperační systémy vstřikovacích forem slouží k udržování požadované teploty tvarové dutiny a udržování této teploty v minimálním rozsahu. Zabezpečuje také samotné chlazení výstřiku na vyhazovací teplotu a také vyhřívání na teplotu, při které je vhodné vstříkovat. Podílí se tedy svou činností na udržování konstantního teplotního profilu vstřikovací formy za cílem dosažení optimálně krátkého pracovního cyklu za zachování potřebných technologických parametrů. Svou činností tedy přímo ovlivňuje plnění a chlazení výstřiku. Správně navrženým systémem temperace lze tedy dosáhnout rozměrově a tvarově přesných výstřiků o požadované jakosti a mechanických vlastnostech. Při vstřikování se teplota dutiny formy zvyšuje a je potřeba přebytečné teplo odvést, u některých druhů materiálu převládají tepelné ztráty a tak je třeba formu naopak vyhřívát. Hlavními cíli při návrhu je tedy:

- dosažení rovnoměrné teploty tvarové dutiny formy,
- odvést přebytečné teplo z dutiny plné taveniny. [3,20]

### 5.5.1 Návrh temperačních systémů

Temperační systém se skládá nejčastěji z temperační a řídicí jednotky, temperačních kanálů, spojovacích prvků a temperačního média. Temperační systémy tvoří nejčastěji vrtané kanály zhotovené ve formě. Ty předávají nebo odvádí teplo z formy za pomoci vhodně zvolené kapaliny. Rozměry a rozložení kanálu se volí z ohledem na charakter výstřiku a celkovou koncepci formy. U složitějších výstřiku je nutné ověřit návrh za pomoci simulací (Moldflow, Cadmould). Při návrhu temperačních okruhů je třeba dodržovat tyto doporučení:

- vhodnější je volit větší počet kanálů o menším průřezu než menší počet kanálů s větším průřezem (rovnoměrnější rozložení teplot),
- temperační okruh nesmí obsahovat žádná mrtvá místa (nulová rychlost temperačního média) – hrozí vznik usazování nečistot, vodního kamene atd.
- u kanálu s průměry < 6 mm je třeba použít jako médium upravenou vodu (u menších průměrů je vyšší riziko zanášení nečistotami),
- temperační médium by mělo proudit kanálem od nejchladnějšího místo směrem k nejteplejšímu (u chlazení naopak),
- proudění by mělo být turbulentního charakteru (vyšší účinnost odvodu tepla),
- rozdíl teplot na vstupu a výstupu (teplotní spád) by neměl překročit 3°,
- při chlazení vícenásobných forem, je nutné navrhnout chlazení tak aby byl každý výstřik chlazen shodně. [3,20,21]

### 5.5.2 Pasivní temperace

Využívá se především tepelně vodivých a izolačních materiálů či jejich vzájemná kombinace. Ty působí na formu svými fyzikálními vlastnostmi. Jako izolační materiály se používají izolační desky, které brání úniku tepla do upínacích desek. Používají se ale i k izolaci boky forem na tvárníku a tvárnici. Využívá se materiálu jako sklotexit apod. Vodivé materiály se nejčastěji využívají k odvodu popřípadě přívodu tepla do míst, které jsou těžko temperovatelné běžnými prostředky. Například tenké tvárníky, malé tvarové jádra, vtokové trysky atd. Používá se především měď a její slitiny. [20,21]

### 5.5.3 Aktivní temperace

Jako aktivní prvky temperace se používají kapaliny, jenž proudí v okruhu vrtaných kanálů vstřikovací formy. Nejčastěji se využívají následující kapaliny: [20]



- obyčejná voda (do 90°C), výhodou je vysoký přestup tepla, ekologičnost, nízká cena, nevýhodou je vznik koroze a usazování vodního kamene,
- voda pro použití nad 90° je potřeba tlakových okruhů, omezení vzniku koroze lze potlačit úpravou vody,
- oleje (možnost použití nad 100°C), nevýhodou je horší přestup tepla,
- glykoly - omezení ucpávání a vzniku koroze, nevýhodou je stárnutí a znečišťování životního prostředí. [20]

#### 5.5.4 Konformní temperace

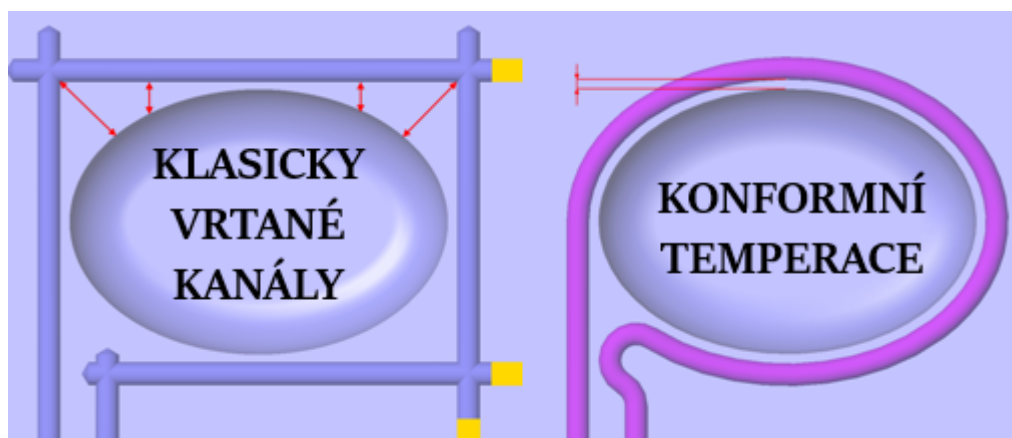
Umožňuje návrh temperačních kanálů libovolného tvaru a tak je možné kopírovat vlastní tvar výstřiku. Temperační kanály mohou být velmi malých průměrů (až 3 mm) a mohou být umístěny velmi blízko k stěně tvarové dutiny (až 3 mm). Tyto tvarové vložky se nejčastěji vyrábí frézováním vrstev, jenž jsou následně spájeny k sobě, či za pomoci 3D tisku založeného na laserové sintraci (spékání kovových prášků). [3,21]

Hlavními výhodami konformní temperace je:

- dosažení rovnoměrného teplotního pole i u velmi tvarově složitých výstřiků,
- snížení výsledné velikosti smrštění a deformací,
- efektivnější chlazení (zkrácení chladicího cyklu až o 40%).

Hlavními nevýhodami konformní temperace je:

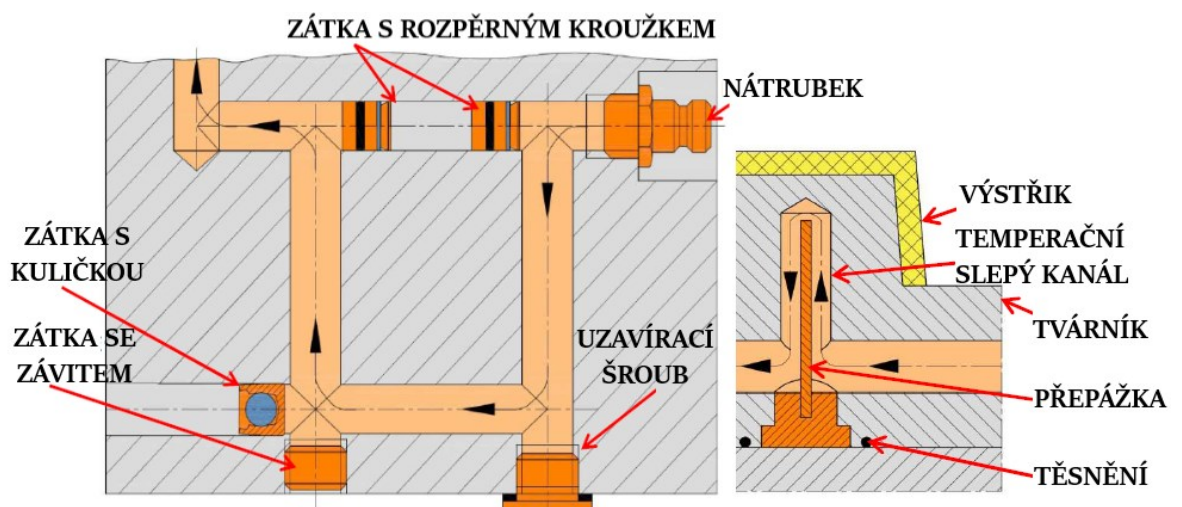
- vysoké náklady na výrobu,
- omezené možnosti oprav a úprav tvarových částí. [3,21]



Obr. 26 Srovnání vrtaných kanálů s konformní temperací [21]

### 5.5.5 Konstrukční prvky temperačních systémů

Je nutné zajistit přívod temperačního média do formy, ovládat velikost jeho průtoku a dopravit jej zpět do temperační jednotky. K tomu slouží periferie a pomocné vybavení temperačních systémů. K přívodu média z temperační jednotky se používají hadice, jejichž typ a druh závisí na použitém druhu média a provozních podmínkách teploty. Hadice jsou napojeny na formu za pomoci různých druhů rychlospojek či nátrubků. Směr proudění v temperačním okruhu je řízen pomocí vnitřních a vnějších ucpávek. Čímž je usměrněna cesta temperačního média. Pro teploty jinak těžko dostupných míst jako jsou různá jádra, se využívají přepážky, fontánky či spirálová jádra. [21]

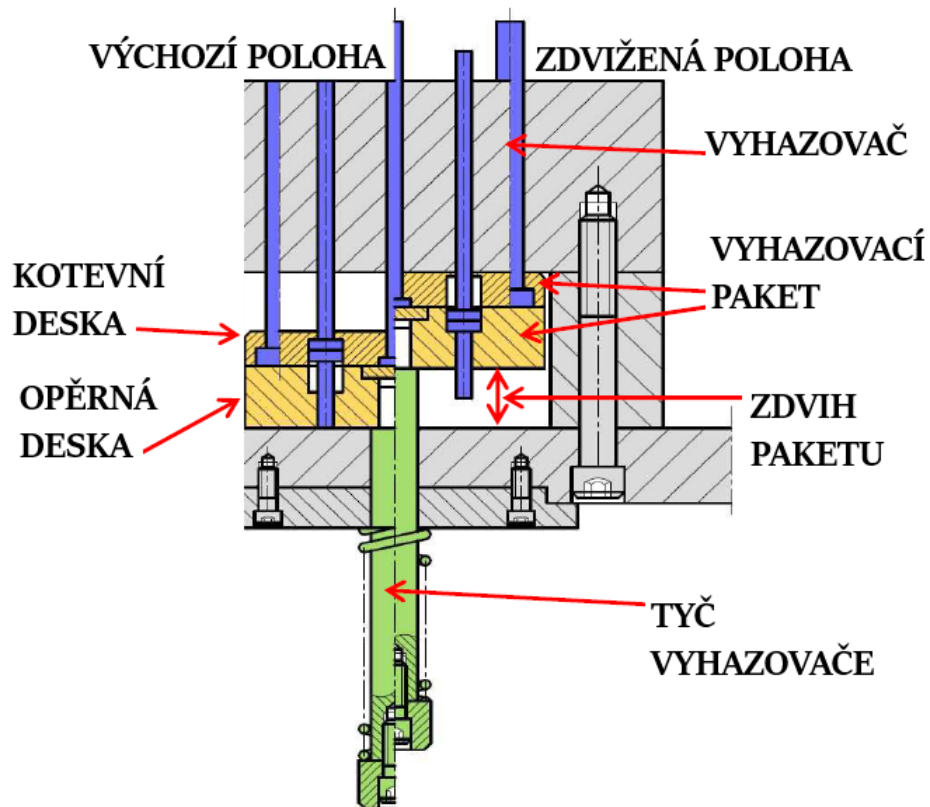


Obr. 27 Konstrukční prvky teploty vstřikovacích forem [21]

## 5.6 Vyhazovací systém

Musí zajišťovat bezproblémové odformování a vyhození výstříku z tvarové dutiny formy. Již při návrhu výstříku se musí uvažovat o jeho budoucím odformování z formy a výstřík je touto podmínkou značně ovlivněn. Úkosy stěn a hladký povrch umožňují bezproblémové vyhození výstříku a jsou nutností u plastových výrobků. Vyhazovací systém musí zajišťovat jak dopředný pohyb, tak zpětný a musí pracovat plně automaticky. Vyhazovací síla musí být dostatečná, ale nesmí být příliš vysoká, jinak by mohlo docházet k deformacím výstříku. Vyhazovací systém musí splňovat tyto požadavky:

- jednoduché odformování výstříku bez deformací,
- zajištění výstříku a vtokového systému při otevření na levé straně formy,
- odformování vtokového systému. [3,13,20]



Obr. 28 Sestava vyhazovacího systému [22]

### 5.6.1 Vyhazovací paket a jeho hlavní součásti

Jedná se o sestavu komponentů, jež slouží k vyhození výstřiku a vtokového systému z tvarové dutiny formy. Skládá se vyhazovacích desek - desky kotevní a opěrné. V nichž jsou ukotveny vyhazovacích kolíky. Dorazů a vedení, jež umožňuje pohyb nejčastěji zaopatřené vodicími čepy a vodicími pouzdry. Pohyb paketu je iniciován pomocí vyhazovací tyče, jež je připojena ke vstřikovacím stroji. Ten může zajišťovat i zpětný pohyb. Případně je zajištěn pomocí tzv. vraccích kolíků při uzavírání formy. [3,22]

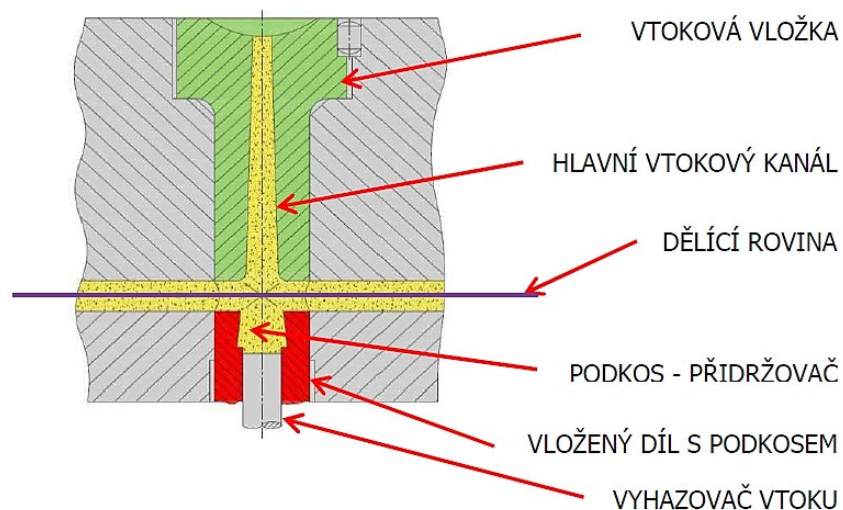
### 5.6.2 Mechanický vyhazovací systém

Jedná se o nejjednodušší a tím pádem také nejlevnější způsob vyhazování výstřiků. Pokud je možno, je nejčastěji i využíváno. Používá se mnoho provedení a jejich použití záleží především na druhu a tvaru výstřiku:

- vyhazování vyhazovacími kolíky,
- trubkové vyhazovače či stírací desky,
- postupné vyhazování, speciální vyhazování. [20]

### 5.6.3 Vyhazování vtokových zbytků

Je nutné zaručit, aby vtokový systém zůstal na levé straně formy (nejčastěji). To se zajišťuje za pomoci přidržovače vtoku, který je zhotoven buď ve formě, nebo vložen jako normalizovaný dílec. Ten tvoří určitý podkos, který zaručí přidržení vtokového zbytku při otevírání formy na levé straně. Vtokový zbytek je poté vyhozen vyhazovačem, který podkos přetlačí jak je možno vidět na nadcházejícím obr. 29. [17,20]



Obr. 29 Vyhození vtokového zbytku vyhazovačem [17]

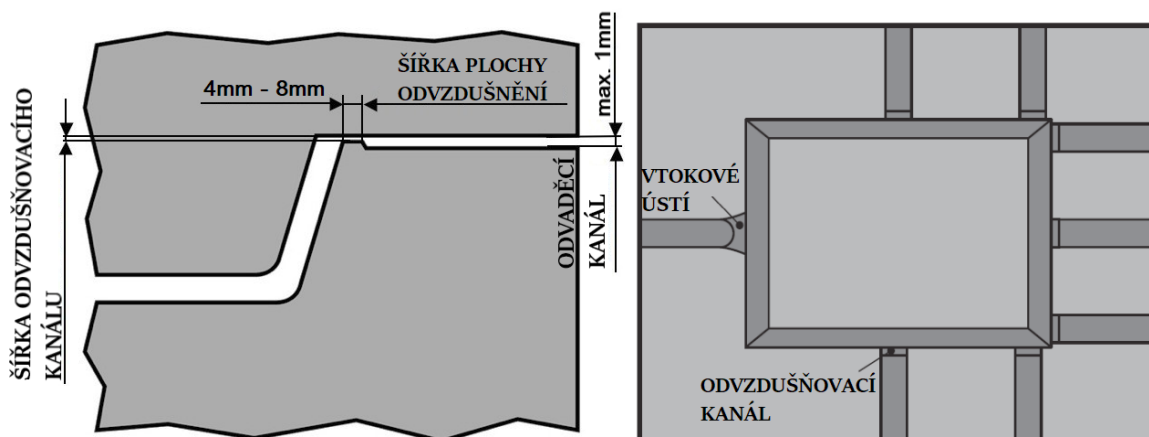
### 5.6.4 Pneumatický vyhazovací systém

Je nejčastěji využíván u velkorozměrných výstřiků a složitějších tvarů, kde je důležitá jakost vzhledových ploch. Pomocí kanálu se přivádí stlačený vzduch přes ventil, který se otevírá tlakem vzduchu a zavírá díky pružině. Vzduch vytváří vzduchový polštář, který vyvine malý zdvih a rovnoměrně oddělí výstřik od tvarové dutiny. Často je využíváno kombinace mechanického a pneumatického systému vyhazování. [20,22]

## 5.7 Odvzdušnění forem

Před samotným aktem vstřikování je dutina uzavřena s určitým množstvím vzduchu. Ten při vstřikování polymerní tavenina stlačuje, a pokud nemá kudy vzduch uniknout, dochází při značných rychlostech a tlacích u vstřikování ke stlačení a silnému ohřátí vzduchu, čímž vzniká tzv. Dieselův efekt (spálené místa na výstřiku). Čím je rychlost plnění vyšší, tím je zapotřebí účinnějšího odvzdušnění. Nejjednodušším způsobem je zhotovení odvzdušňovacích kanálků do dělicí roviny. Ty jsou jednoduše vyrobitelné a vhodné pro

většinu aplikací. Tyto kanálky je potřeba vhodně umístit. U jednodušších výstřiků je lze určit z praxe, u složitějších výstřiků je nutné použití CAE simulací. Šířka odvzdušňovacího kanálu je závislá na druhu plastu a jeho tekutosti. Doporučené hodnoty jsou uvedeny v tab. 3. [3,12,20]



Obr. 30 Doporučené rozměry a umístění při návrhu odvzdušnění [3]

Tab. 3 Doporučené hodnoty šířky odvzdušňovacích kanálů pro vybrané plasty [3,12]

TYP PLASTU	ŠÍŘKA ODVZDUŠŇOVACÍHO KANÁLU [mm]
PC, POM	Max. 0,05
PS, ABS	Max. 0,05
PA	0,02 – 0,03
PBT	Max. 0,05
Skelnými vlákny plněné plasty	0,04 – 0,07
Strukturní pěny	Max. 0,1

## 5.8 Možnosti odformování podkosů a složitých tvarů

V případě dílců, které nelze zaformovat běžným způsobem je potřeba použití určitého typu mechanismu, který umožní odformovat složité tvary a podkosy. Existuje spousta

konstrukčních řešení, jak lze tyto prvky funkčně zaformovat. U vstřikovacích forem se nejčastěji využívají následující:

### **5.8.1 Boční posuvné čelisti**

Používají se pro výrobu bočních otvorů, výstupků a tvarů, které nelze vytvořit běžným způsobem zaformování. Pohyblivé čelisti mohou kotvit jádra či tvarové části, které nelze jiným způsobem zaformovat. Čelisti bývají zpravidla ukotveny na levé (pohyblivé) straně formy. Sestava bočních posuvných čelistí se nejčastěji skládá z tvarové čelisti (šíbru), kluzného vedení a kolíku. Jejich pohyb je nejčastěji kolmý k ose formy ale používá se i pod různými úhly a je řízen nejčastěji za pomoci šikmých nebo lomených kolíků popřípadě hydraulickými či pneumatickými tahači. [20,23]

#### ***Šikmé válcové kolíky***

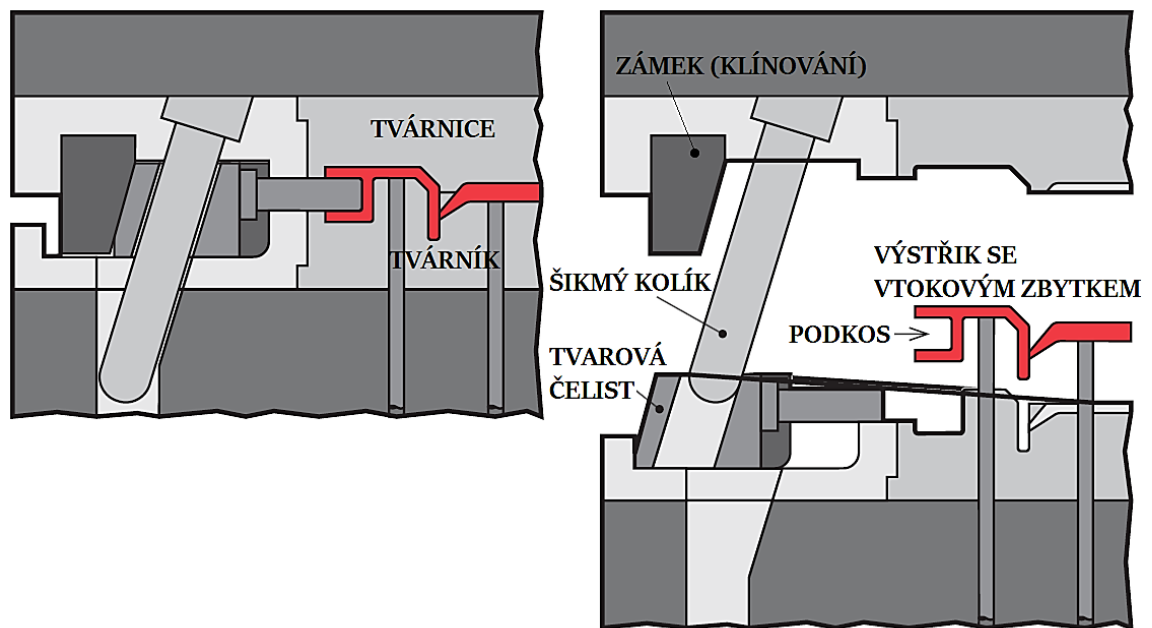
Využívají pohyb formy při otevírání a zavírání formy. Velikost zdvihu je závislá na úhlu kolíku, úhlu dráhy čelisti a délce šikmého kolíku. Úhel uložení kolíků se nejčastěji pohybuje v rozmezí 15 až 25°. Používají se tam, kde se nevyžaduje žádné či jen malé zpoždění vysunutí tvarových čelistí. Otevřená poloha se zajišťuje západkovým systémem nejčastěji kuličkou na pružině. Při vstřikování je čelist vystavená velkým tlakům a tak je potřeba její polohu zajistit tzv. uzamknout pomocí šikmých opěrných ploch vůči zámku zhotoveným či připevněným ve formě. [20,23]

#### ***Lomené kolíky***

Zajišťují pohyb stejně jako šikmé kolíky, ale s tím že umožňují poměrně velké zpoždění otevírání. Výhodou oproti šikmým kolíkům je menší úhel sklonu a tím pádem dosahují větší uzavírací síly. Úhel uložení kolíků se nejčastěji pohybuje v rozmezí 12 až 25°. Kolíky se vyrábějí s obdélníkovým průřezem a jejich zajištění je obdobné jak u šikmých kolíků. [20,23]

#### ***Hydraulické (pneumatické) tahače***

Využívají se hlavně v případech kdy je potřeba velkého zdvihu při pohybu tvarových čelistí a umožňují chod nezávisle na otevírání formy. Koncové polohy jsou hlídány koncovými spínači. Tvarovou čelist (šibr) je nutné také zaklínovat z důvodu působení velkých tlaků taveniny v uzavřené poloze. [23]



Obr. 31 Ukázka funkce posuvných tvarových čelistí ovládaných šikmým kolíkem [14]

### 5.8.2 Další možnosti zaformování podkosů a složitých tvarů

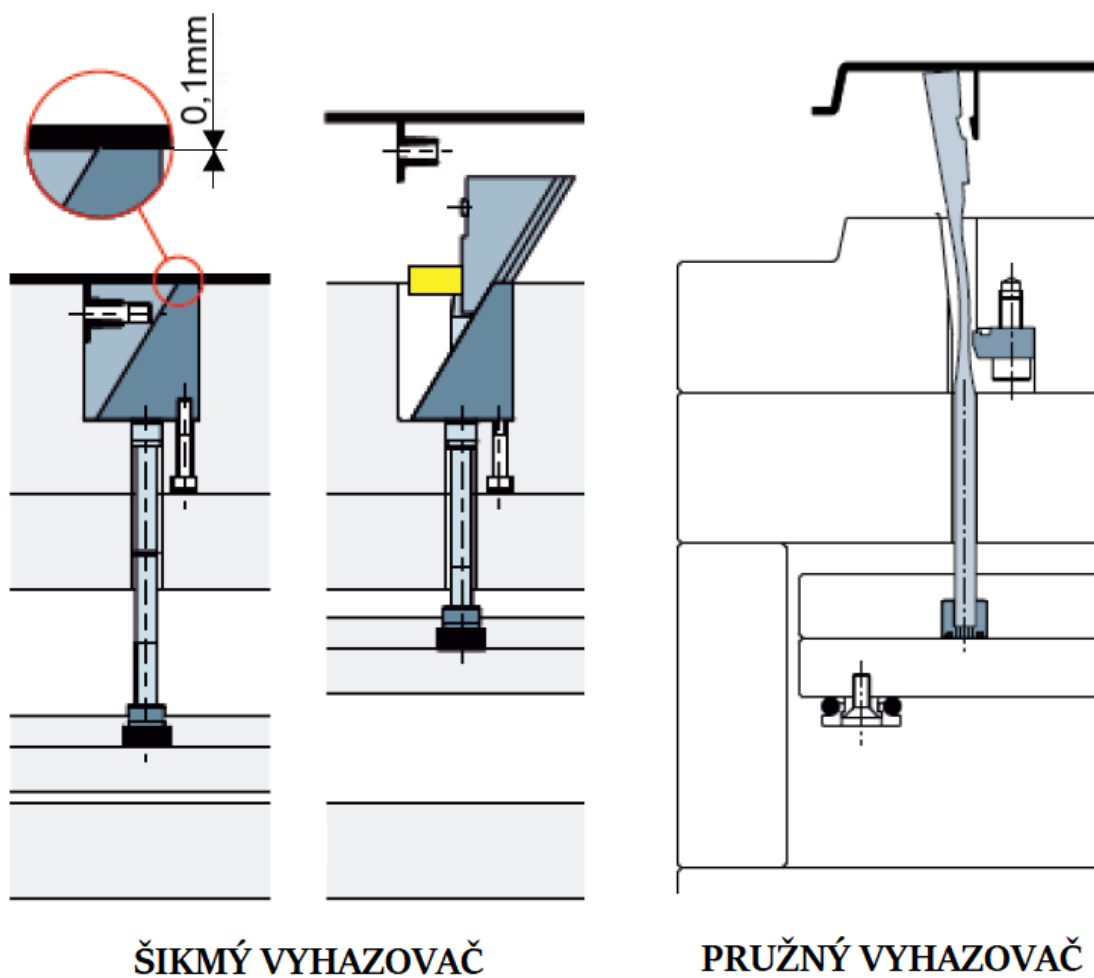
Posuvné tvarové čelisti se používají zejména při zaformování vnějších tvarů. Z hlediska vnitřních ploch je jejich použití značně omezené. Pro zaformování podkosů a složitých tvarů je možno využít speciální typy vyhazovačů: [23]

#### **Šikmé vyhazovače**

Jedná se o speciální typ vyhazovače, na kterém je zhotoven požadovaný tvar. Má šikmé vedení, které ho při vyhazování vede do strany a tím uvolní podkosový tvar. [23]

#### **Pružné vyhazovače**

Vyhazovač je uložen před pružený ve vedení, při pohybu vyhazovacího paketu se uvolní a vyhne a tím uvolní podkos výstřiku. [23]



Obr. 32 Ukázka funkce a použití šikmého a tvarového vyhazovače [23]

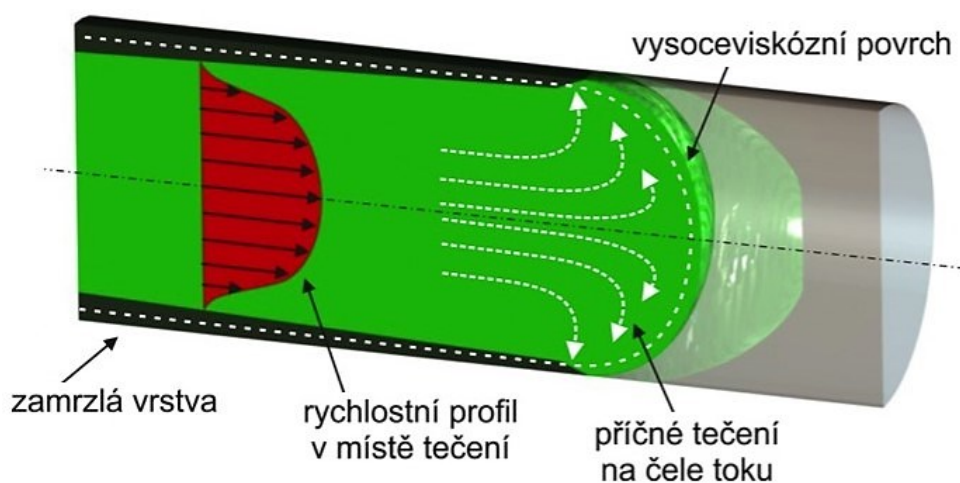


## 6 VADY VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ A JEJICH ODSTRANĚNÍ

Hlavním důvodem vzniku vad je nedodržení technologických procesních parametrů při vstřikování. Důvodem ale může být také špatně navržený výstřik. Nevhodně zvolený materiál či špatně navržená vstřikovací forma. Vady mohou také vznikat z důvodu špatně zvoleného vstřikovacího stroje nebo při vyhazování či manipulaci s výstřikem. V této kapitole budou popsány vybrané základní vady, které vznikají při výrobě technologií vstřikování a jejich možnosti řešení. [8]

### 6.1 Plnění tvarové dutiny formy

Proces plnění je velice složitý nestacionární a neizotermický proces, při kterém je tavenina o teplotě v rozmezí od cca 170 do 380 °C (záleží na druhu polymeru) vstřikována pod vysokým tlakem do 3 až 4 krát chladnější dutiny vstřikovací formy. Po styku taveniny s chladnějšími stěnami tvarové dutiny, dochází k okamžitému tunutí a vytvoření tzv. zamrzlé vrstvy na stěnách tvarové dutiny, která zároveň tvoří vzhledem k horší tepelné vodivosti polymerů tepelnou izolaci. Směrem ke středu proto probíhá chladnutí pomaleji a teplota se zvyšuje. Okolo středu se nachází plastické jádro s nízkou viskozitou, které umožňuje další průtok a postupné plnění tvarové dutiny. Při toku taveniny dochází k smykovému namáhání, které způsobuje orientaci makromolekul polymeru. Makromolekuly se napřimují a narovnávají ve směru toku. Při chladnutí mají tendenci se vracet do původního rovnovážného stavu (statického klubka). V některých vrstvách se nestihnou vrátit vůbec a v některých jen částečně a tak vzniká vnitřní pnutí. [2,8]



Obr. 33 Průběh rychlostního profilu a tečení neplněných plastů [2]

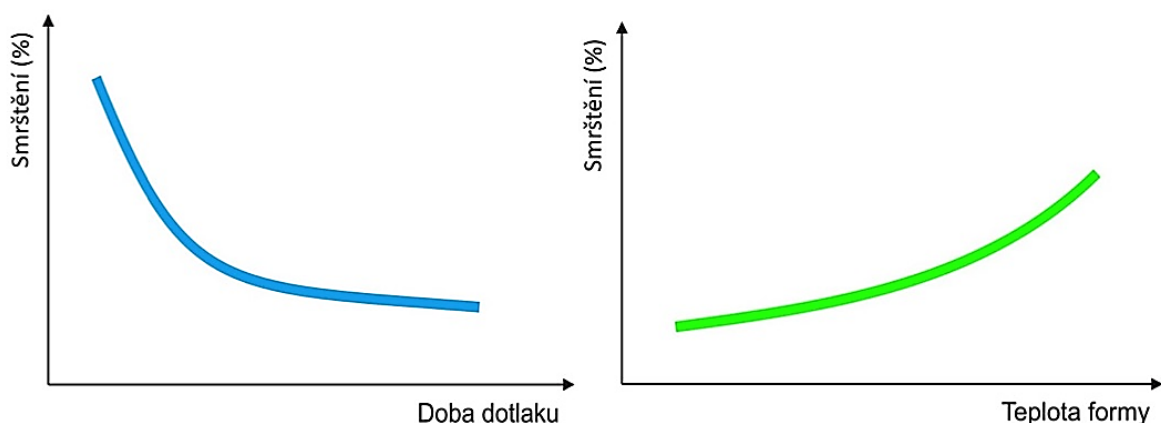
## 6.2 Vnitřní pnutí ve výstřicích

Každý výrobek, který byl vyroben technologií vstřikování, obsahuje vnitřní pnutí. Není možné jej zcela eliminovat, ale pouze potlačit za pomoci parametrů ovlivňující vstřikovací proces. Vnitřní pnutí vzniká vlivem orientace makromolekul, které mají snahu se vracet do původního rovnovážného stavu. Tepelné pnutí vzniká vlivem rozdílného chladnutí napříč tloušťkou stěny výstřiku. To ovlivňuje především chlazení výstřiku, čím méně je rovnoměrné, tím vzniká ve výstřiku vyšší tepelné pnutí. Deformační pnutí vzniká vlivem předčasného vyhození výstřiku z formy za stavu, kdy ještě není dostatečně tuhý.[8]

## 6.3 Výrobní smrštění a dosmrštění

Vlivem ochlazování taveniny polymeru dochází k objemové změně, ke smrštění. Finální rozměry výstřiku jsou závislé na velikosti smrštění. To je možno posuzovat z hlediska výstřiku jako celku, tedy o kolik se jeho celkové rozměry liší oproti tvarové dutině formy. Nebo z lokálního hlediska, kde se týká smrštění určitého místa na výstřiku, kde může docházet ke vzniku propadlin či lunek. Na velikost smrštění působí zejména:

- druh termoplastu (makromolekulární struktura),
- výstřik (tvar a tloušťka stěn),
- umístění vtoku (ovlivňuje orientaci makromolekul v tvarové dutině formy),
- technologické parametry (doba dotlaku, teplota formy, vstřikovací tlak a rychlost, teplota taveniny). [2,8]



Obr. 34 Závislost smrštění na době dotlaku a teplotě formy [2]

Rozměry po uplynutí 24 hodin ještě nejsou finální, vlivem relaxace (orientace makromolekul), popřípadě sekundární krystalizací u semi krystalických polymerů dochází k tzv. dosmrštění. [2,8]

#### 6.4 Deformace výstřiku

Deformace je jakákoliv změna tvaru a rozměrů vůči předepsaným údajům na výkrese. Výstřiky se po vyhození deformují a krouží vlivem teplotního smrštění a vnitřního pnutí. To může být způsobeno mnoha činiteli od špatně navrženého výstřiku, špatně zvoleného materiálu až po nevhodně navrženou vstřikovací formu (vtokový systém, temperace, vyhazování). Může to být také špatně nastavenými procesními parametry. Řešením může být:

- snížit teplotu formy anebo prodloužit dobu chlazení,
- snížit vstřikovací rychlost a vnitřní tlak taveniny,
- zvýšit efektivnost dotlaku,
- přepracovat návrh vtokového systému a ústí vtoku, popř. celého výstřiku. [1,8]

#### 6.5 Studené spoje

Vznikají v místech spojení dvou a více proudů polymerní taveniny např. při obtékání překážky anebo při plnění za pomoci více ústí vtoku. Spoj je vlivem již částečně ochlazených čel proudů taveniny, které se potkají zhoršený a v těchto místech vzniká vzhledová až dokonce povrchová vada. To vede také ke zhoršení mechanických vlastností v místech spoje (především pevnosti). Řešením je:

- zvýšit teplotu taveniny a stěny formy,
- zvýšit rychlost vstřikování, zvýšit dotlak,
- zvětšit tloušťku stěny (pokud je to možné),
- upravit vtoky a zkrátit dráhy toku,
- využít kaskádového vstřikování k posunutí studených spojů na kraj výstřiku,
- vyčistit odvzdušňovací kanály, přidat je obzvláště na konci toku. [1,8]

## 6.6 Přetoky a otrěpy

K jejich vzniku dochází zatečením polymerní taveniny do ne slícovaných částí formy (dělicí rovina, odvzdušňovací kanály, vyhazovače, posuvné tvarové čelisti). A to vlivem opotřebení či nepřesně vyrobených součástí vstřikovací formy. Obecně lze říci, že polymerní tavenina zateče do prostoru cca 0,02 mm a více. Důvodem vzniku může být také příliš vysoký tlak v tvarové dutině (nedostatečně velká uzavírací síla) anebo nedostatečná tuhost formy. Dohází k vytvoření tenké blány či přetoku. Řešení mohou být následující:

- nutnost opravy formy,
- zvýšit uzavírací sílu,
- zvýšit teplotu taveniny a stěny formy
- snížení kompresního tlaku vstřikování, rozfázování dotlakové fáze. [1,8]

## 6.7 Propadliny, vtaženiny

Vznikají v místech, kde dochází k hromadění materiálu (místech s velkou tloušťkou na výstřiku). V těchto místech dochází k pomalejšímu ochlazování, než v okolí čímž je zde rozdílná hodnota smrštění. Nejčastěji se vyskytují u napojení žeber, komínku a různých prvků na základní tloušťku výstřiku vlivem špatně navrhnutého výstřiku (nedodržení rovnoměrné tloušťky stěny). Příčinou může být také krátký nebo nízký dotlak. Řešením může být:

- zvýšit tlak anebo čas dotlakové fáze,
- zvýšení vstřikovací rychlosti,
- snížit bod přepnutí na dotlak ke zvýšení jeho účinnosti,
- zvýšit teplotu formy, snížit teplotu taveniny,
- změna umístění vtokového ústí. [1,8]

## 6.8 Vakuové bubliny - lunkry

Ve stěně výstřiku vzniká vlivem rozdílného chladnutí taveniny, kdy se vnitřní vrstvy smršťují na již ztuhnuté vrstvy. Materiál se rozestoupí od sebe a vytvoří tak dutiny, kde se uzavře vzduch ve formě vzduchové bubliny, to snižuje pevnost či optické vlastnosti (u čirých výstřiků). U neprůhledných plastů je lze zjistit za pomoci ultrazvuku. Vznik lunkrů je výhradně spojen se špatně navrženým výstřikem. Příčinou může být také ale vlhký granulát,

nehomogenní tavenina obsahující vzduch či špatné odvzdušnění vstřikovací formy. Řešení jsou následující:

- vysušit granulát vhodným sušícím zařízením,
- zvýšit zpětný odpor při plastifikaci,
- vyčistit odvzdušňovací kanálky,
- snížit uzavírací sílu a použít klesající profil vstřikovací rychlosti. [1,8]

## 6.9 Spálené místa - diesel efekt

Vzduch je uzavřený v tvarové dutině formy, kde nemá kudy uniknout. Dochází k prudkému stlačení vzduchu (diesel efekt), jehož teplota může dosahovat až několik set stupňů Celsia. Ten způsobuje místní spálení výstřiku, jenž má nejčastěji podobu černé skvrny nepravidelného tvaru. Zároveň může dojít k poškození tvarové dutiny vstřikovací formy. Příčinou může být nerovnoměrný tok taveniny v dutině formy a uzavírání vzduchu na jejich koncích. Řešením může být:

- v místech kde se uzavírá vzduch zhotovit odvzdušňovací kanály,
- upravit vtokovou soustavu a vtokové ústí,
- změřit vlhkost granulátu a usušit ho,
- vyčistit odvzdušňovací kanály. [1,8]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 7 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Dle zadání vedoucího diplomové práce byly stanoveny tyto cíle:

- vypracujte literární studii na dané téma,
- proveďte konstrukci 3D modelu zadaného dílu,
- proveďte konstrukci 3D sestavy vstřikovací formy,
- návrh ověřte pomocí analýz,
- nakreslete 2D řez sestavy vstřikovací formy.

Literární studie shrnuje základní poznatky o technologii vstřikování, polymerních materiálech a jejich volbě pro technologii vstřikování. Dále pak vstřikovací stroje a jejich základní části a periferie. Shrnuje zásady při konstrukci výstřiků a vstřikovacích forem a jejich jednotlivých částí a systémů. V poslední řadě se zabývá vadami výstřiku a možnostmi jejich odstranění při samotném procesu vstřikování.

Dále je vytvořen 3D model zadaného plastového dílce a na něj je posléze navržena dvojnásobná vstřikovací forma. A to za pomoci 3D CAD CATIA V5R19. Při konstrukčním návrhu bylo snahou použití normalizovaných dílců od specializovaných výrobců HASCO, Meusburger. Konstrukční návrh je ověřen za pomoci analýzy tokového a chladicího systému v programu Moldflow Synergy 2016. Doplněn je 2D řezem sestavy vstřikovací formy s kusovníkem.

## 8 POUŽITÉ PROGRAMY

### 8.1 CATIA V5R19

CATIA V5R19, dále jen „CATIA“ je špičkový 3D CAD software pro 3D konstrukční návrh. Používá se k návrhu, simulaci, analýze a výrobě produktů v různých průmyslových odvětvích např. v kosmonautice, automobilovém průmyslu, spotřebním zboží a průmyslových strojů. [24]

Program je specifický v tom, že obsahuje jednotlivé moduly sloužící pro nejrůznější úkony, které jsou zabudovány do jednoho programu. V této práci byly nejvíce využívány následující prostředí: Part design, Generative Shape Design, Mold Tooling Design, Assembly Design.

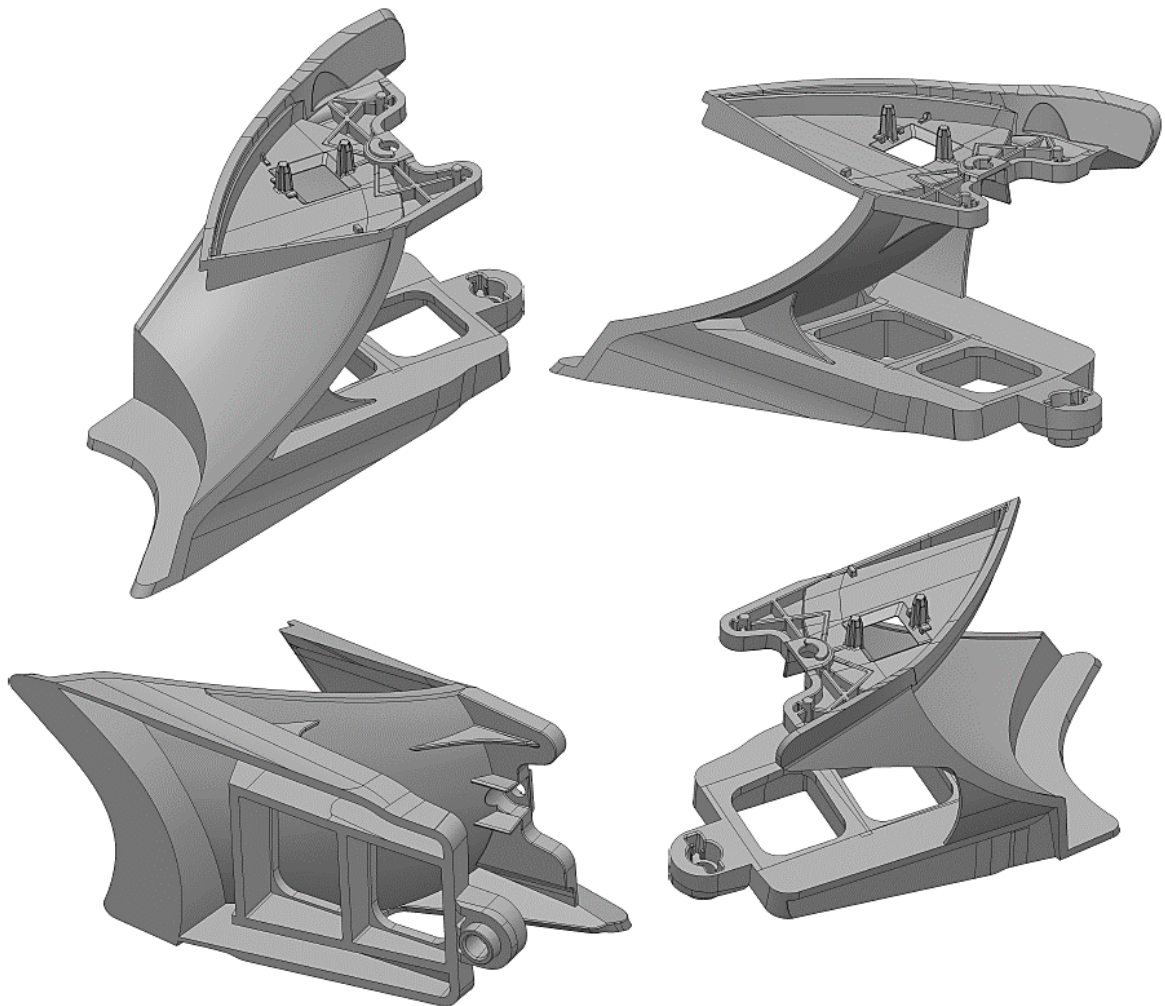
### 8.2 Autodesk Moldflow 2016 Synergy

Autodesk Moldflow 2016 Synergy, dále jen „Moldflow“ je simulační software společnosti Autodesk zaměřený na vstřikování plastů. Umožňuje výrobcům a konstruktérům navrhovat a optimalizovat jak plastové výrobky, tak vstřikovací formy a jejich vstřikovací proces. Díky tomu je možné ušetřit náklady na případné opravy či je možné odhalit možnosti vznikajících vad a problémů. Software umožňuje simulaci toku taveniny a plnění tvarové dutiny. Dále pak simulaci temperačního systému vstřikovací formy čímž je možnost zjistit její účinnost a popřípadě jej dále optimalizovat. Tyto simulace doplňuje možnost simulovat deformace vzniklé při procesu vstřikování. Výsledky je možno velmi dobře interpretovat a prezentovat díky zobrazené barevné škále a stupnici. Software je možno také použít pro různé typy modifikací standardního procesu vstřikování, jako je např. více komponentní vstřikování či vstřikování za podpory plynu. [25]



## 9 VSTŘIKOVANÝ DÍLEC

Vstříkovaný dílec je částí předního světlometu osobního automobilu. Jedná se o pohledový tvarový dílec, který slouží jako reflektor pro vedení LED světelného zdroje. Dílec je vyroben z polykarbonátu (PC) a následně pokoven. Při tvorbě 3D modelu byl kladen důraz na zásady konstrukce vstříkovaných výrobků. Byly vytvořeny celkem tři verze modelu. První model odpovídá zadanému fyzickému dílci, druhý model byl zvětšen o hodnotu smrštění, jenž u polykarbonátu činí 0,6 % a pomocí něj byly vytvořeny tvarové části formy. Třetí model byl upraven pro potřebu analýzy. Byly z něj odstraněny nežádoucí zaoblení a zkosení, jenž by mohly negativně ovlivnit tvorbu a kvalitu sítě. Modely byly vytvořeny v programu CATIA. Základní rozměry dílce jsou 71,8 x 62,3 x 125,2 mm (výška x šířka x délka) a jeho hmotnost je rovna 45 g.



Obr. 35 3D model zadaného dílce

## 9.1 Volba polymerního materiálu

Jako materiál byl zvolen polykarbonát (PC), jenž patří do skupiny amorfních termoplastů. Je to průhledný termoplast, který má dobré mechanické vlastnosti mezi které patří tvrdost, ale také i pevnost a tuhost. Má dobrou houževnatost a odolnost vůči lomu. Teplotně je dlouhodobě stálý do teploty 135 °C. Kvůli částečně polárnímu charakteru je navlhavý. Díky jeho výborným optickým vlastnostem se nejčastěji využívá u výroby čoček, brýlových skel a střešních skel automobilů. Dále se využívá u zadních světel a části reflektorů světlometů automobilů. Jeho základní vybrané vlastnosti je možno vidět v následující tabulce. [6]

Tab. 4 Vybrané vlastnosti polykarbonátu (PC) [6]

Hustota [g/cm <sup>3</sup> ]	Teplota zesklnění [°C]	Modul pružnosti [MPa]	Mez pevnosti [MPa]	Navlhavost [%]
1,2	150	56 ÷ 67	56 ÷ 67	0,1 ÷ 0,2 %

Polykarbonát byl vybrán z databáze programu Moldflow. od společnosti SABIC s označením Lexan 143R, dále jen „Lexan“. Doporučené procesní parametry je možno vidět v následující tabulce. Příslušný materiálový list zvoleného Lexanu je možno nalézt v příloze P I.

Tab. 5 Doporučené procesní parametry pro materiál Lexan 143R

PROCESNÍ PARAMETR	HODNOTA	JEDNOTKA
Teplota povrchu formy	95	[°C]
Teplota taveniny	300	
Doporučená teplota formy (rozmezí)	70÷120	
Doporučená teplota taveniny (rozmezí)	280÷320	
Maximální teplota taveniny	360	
Vyhazovací teplota	125	
Maximální smykové napětí	0,5	MPa
Maximální rychlost smykové deformace	40000	s <sup>-1</sup>

## 10 PRVOTNÍ ANALÝZA DÍLCE

V programu Moldflow byla nejprve vytvořena analýza vhodnosti umístění vtokového ústí, která pomohla při výběru umístění a polohy vtokového ústí a tím i zaformování výstřiku ve formě. Tento model byl poté taky použit k tvorbě prvotní a finální analýzy.

### 10.1 Tvorba a kvalita sítě 3D modelu

Model zvětšený o hodnotu smrštění a upravený pro analýzu byl naimportován do programu Moldflow a následně byla vytvořena síť typu Dual-domain (síť, která je vytvořena z rovnostranných trojúhelníků) a to o délce strany 2,3 mm. Následně byla upravena a poté ověřena její kvalita a přesnost. Statistiku vytvořené sítě je možno vidět na následujícím obrázku.

Triangles		
-----		
Entity counts:		
Triangles	22550	
Connected nodes	11265	
Connectivity regions	1	
Invisible triangles	0	
Area:		
(Mold blocks and cooling channels are not included)		
Surface Area:	347.926 cm <sup>2</sup>	
Volume by element types:		
Triangle:	35.9214 cm <sup>3</sup>	
Aspect Ratio:		
Maximum	Average	Minimum
13.90	1.91	1.16
Edge details:		
Free edges		0
Manifold edges		33825
Non-manifold edges		0
Orientation details:		
Elements not oriented		0
Intersection details:		
Element intersections		0
Fully overlapping elements		0
Match percentage:		
Match percentage		90.2%
Reciprocal percentage		91.1%

Obr. 36 Statistika vytvořené sítě typu Dual-Domain

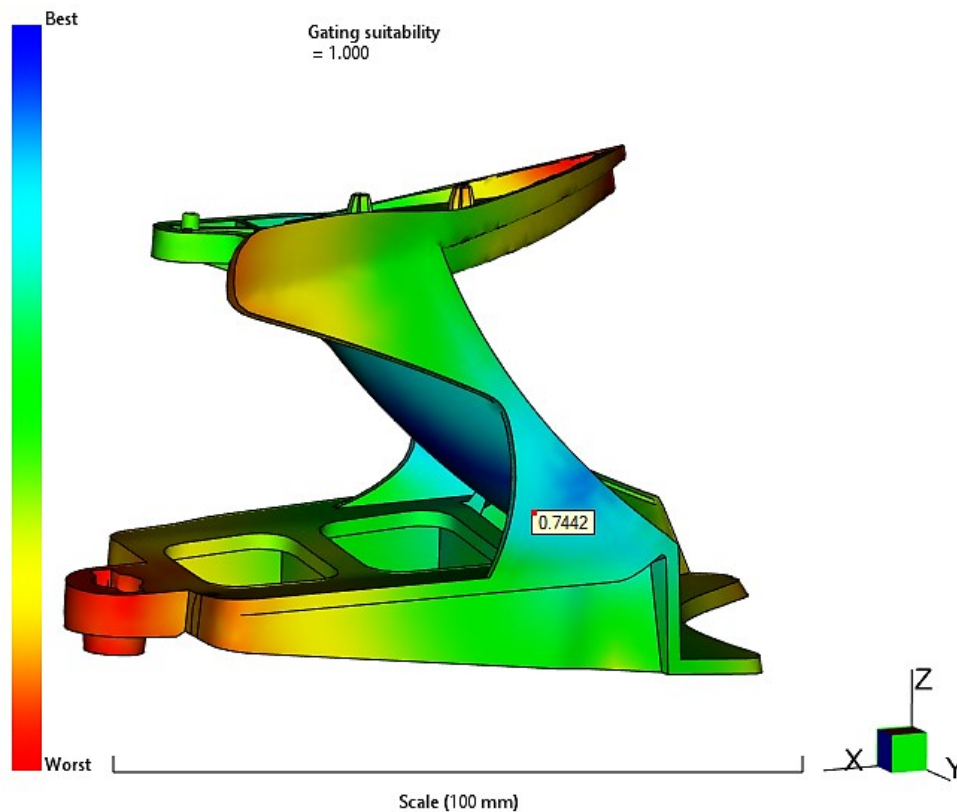
Kvalita sítě přímo ovlivňuje výsledky a celkově potřebný čas pro výpočet analýzy. Mezi nejdůležitější parametry patří max. hodnota Aspect Ratio, která by měla být nižší než 15 a její průměrná hodnota by měla být nižší než 2. Dále poslední dva parametry tedy procentuální shodnost s modelem, jenž by měla být v rozmezí 80÷97 %. Ze statistiky sítě vyplývá, že vytvořená síť je vhodná pro výpočet, protože splňuje všechny kritéria.

- poměr stran trojúhelníku (Aspect Ratio) - max. hodnota by měla být v rozmezí 6÷15,
- volné hrany (Free edges) - musí se rovnat nule,
- nepropojené hrany (Non-manifold edges) - musí se rovnat nule,
- neorientované elementy (Elements not oriented) - musí se rovnat nule,

- protínající se elementy (Element intersections) - musí se rovnat nule,
- překrývající se elementy (Fully overlapping elements) - musí se rovnat nule,
- procentuální shoda (kvalita) modelu (Match percentage) – v rozmezí 80÷97 %.

## 10.2 Vhodnost umístění vtokového ústí (Gate suitability)

Předběžná analýza a její procesní parametry bylo ponechaný na defaultních parametrech. S teplotou formy a taveniny dle doporučení materiálového listu.



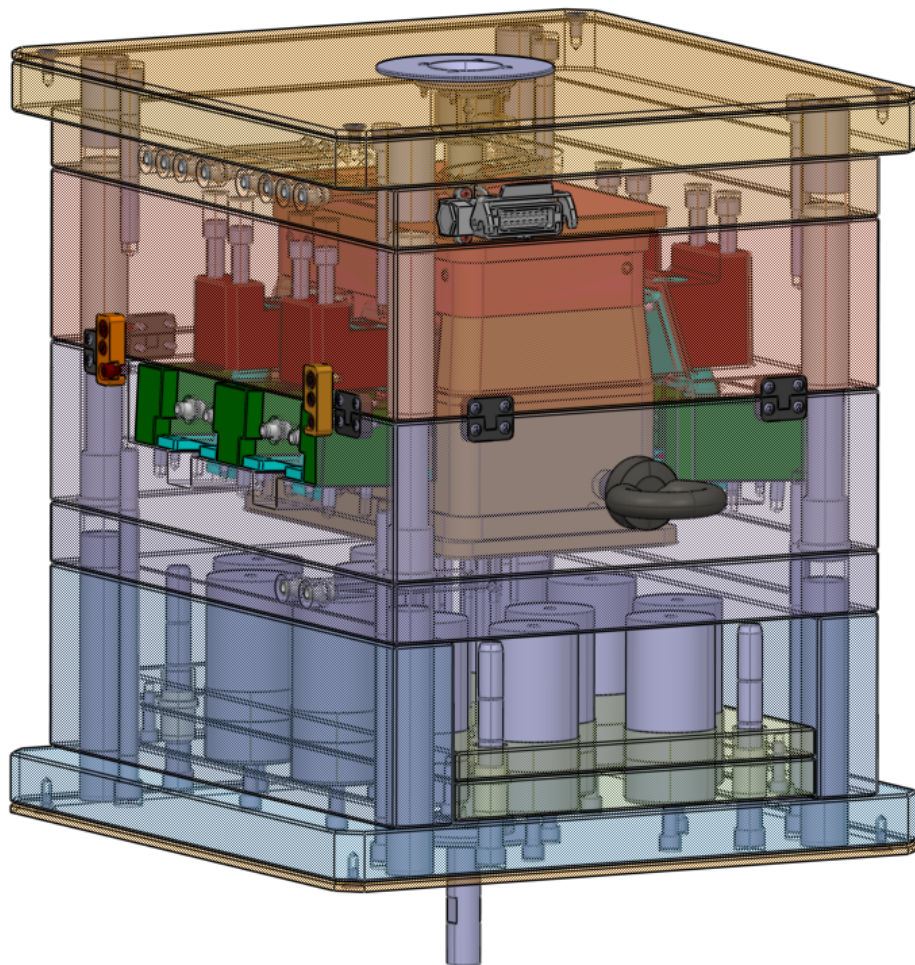
Obr. 37 Analýza vhodnosti umístění vtokového ústí

Výsledek této analýzy je grafické vyjádření vhodnosti umístění vtokového ústí a to za pomoci barevné škály. Jak je možno vidět na obrázku, nevhodnější místa jsou vyjádřena tmavě modrou barvou a nejméně vhodná barvou červenou. Vtokové ústí bylo umístěno na vyznačené místo do bočního žebra výstřiku s procentuální vhodností téměř 75%. Toto místo bylo zvoleno z důvodu složitosti zaformování dílce. Přední plocha dílce je funkční a také pohledová, a tak zde nebylo možné umístit přímé ústí vtoku do dutiny.



## 11 KONSTRUKČNÍ NÁVRH VSTŘIKOVACÍ FORMY

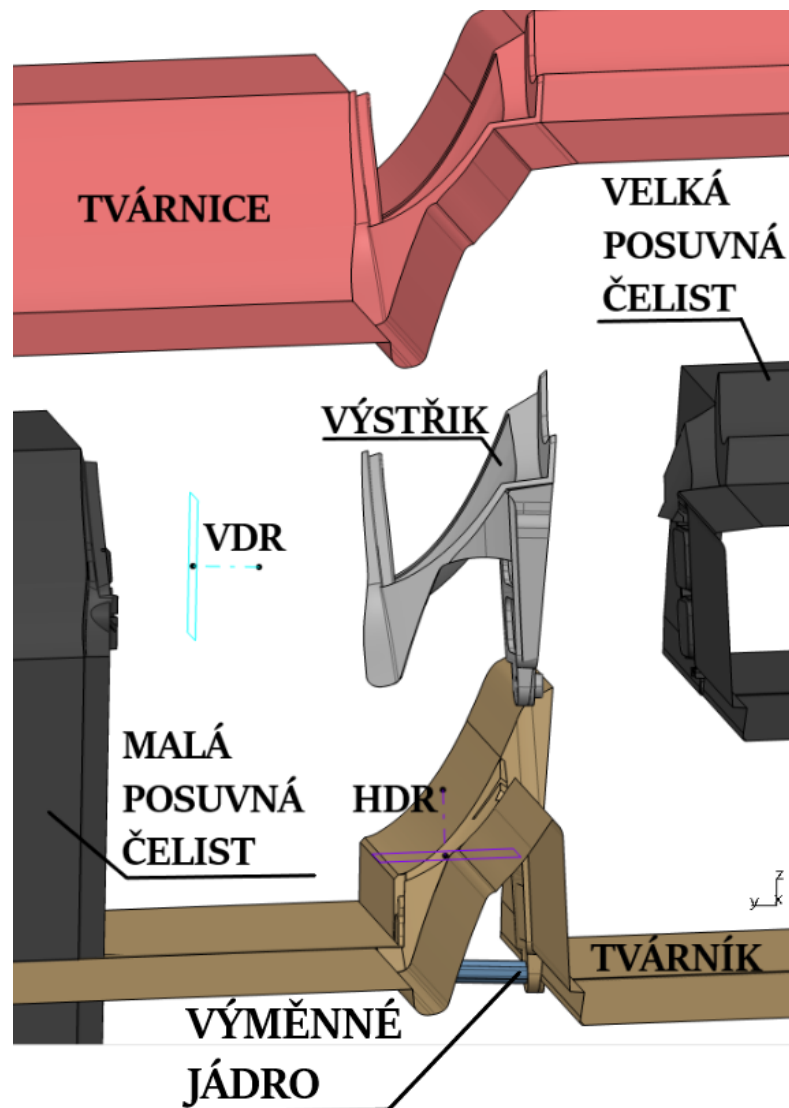
Dle zadání vedoucího diplomové práce je vstřikovací forma navržena jako dvojnásobná s tím, že na jeden cyklus je vyroben jeden dílec pro pravý a levý světlomet, přičemž tyto dva dílce jsou zrcadlově identické. Zaformování dílce je řešeno pomocí výměnných tvarových částí a dvou bočních posuvných čelistí pro každý výstřik. Pro vtokový systém bylo použito kombinace horkého a studeného rozvodu. V tvarových částech byly navrženy temperační kanály s přepážkami a temperace bočních posuvných čelistí. Tyto systémy byly posléze podrobeny analýze v programu Moldflow. Dále byly navrženy všechny potřebné prvky a součásti zajišťující funkčnost formy. Při samotném konstrukčním návrhu bylo snahou použít co nejvíce normalizovaných součástí od specializovaných výrobců, především Hasco (Meusburger), což by vedlo při případné výrobě k výraznému zrychlení a tím i zlevnění výrobního procesu a zjednodušení případných oprav.



Obr. 38 Sestava navržené vstřikovací formy

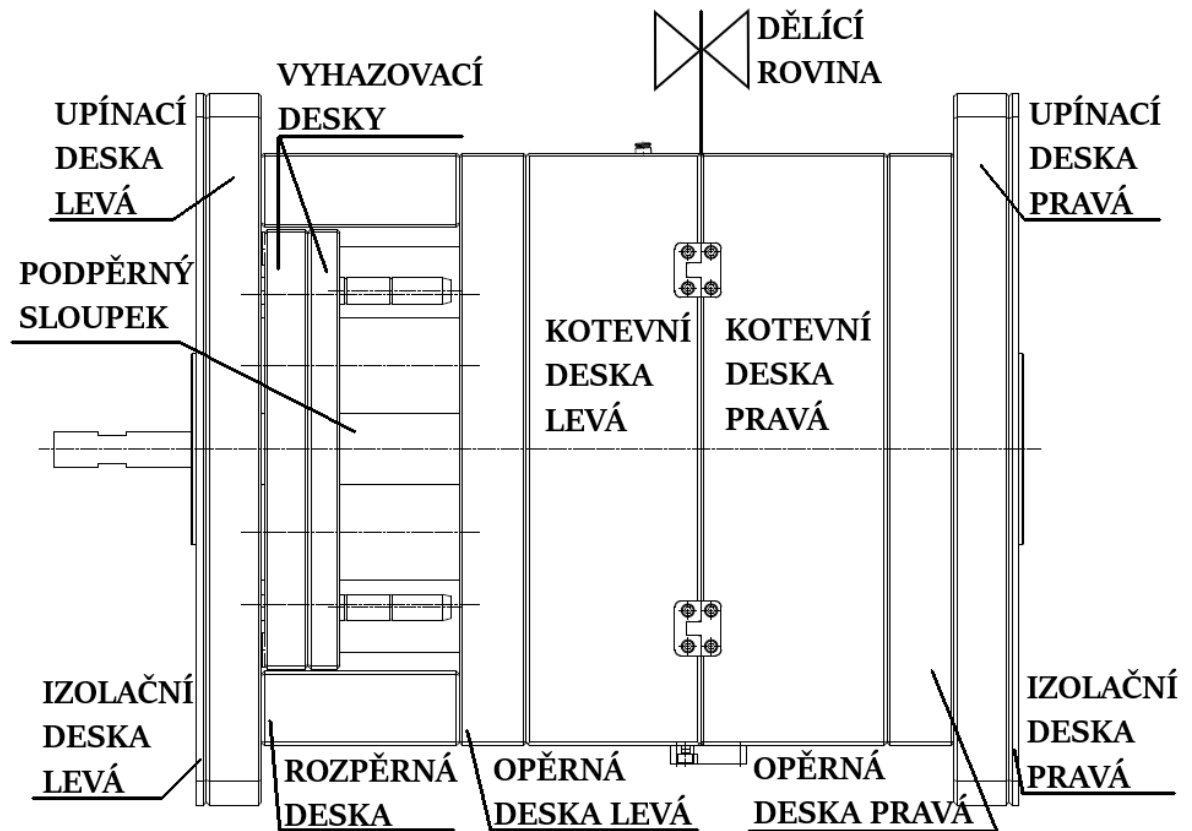
## 11.1 Zaformování a volba dělicích rovin

Vzhledem ke složitosti výstřiku bylo nutné použití více dělicích rovin. Kromě hlavní dělicí roviny (HDR) mezi tvárníkem a tvárnici bylo nutné použít také dvě vedlejší dělicí roviny (VDR), které utvářejí boční posuvné čelisti. Výstřik je polohován ve formě tak, aby jej bylo možné co nejlépe zaformovat a následně vyhodit, proto je ve formě umístěn mírně pod úhlem kvůli úkosům umožňující vyhození výstřiku z tvarové dutiny. Funkční otvor na spodním výstupku výstřiku je formován za pomoci výměnného tvarového jádra, jež je uchyceno na menší boční posuvné čelisti. Na následujícím obrázku jsou naznačeny jednotlivé dělicí roviny a použité směry hlavní dělicí roviny (HDR) a vedlejší dělicí roviny (VDR).



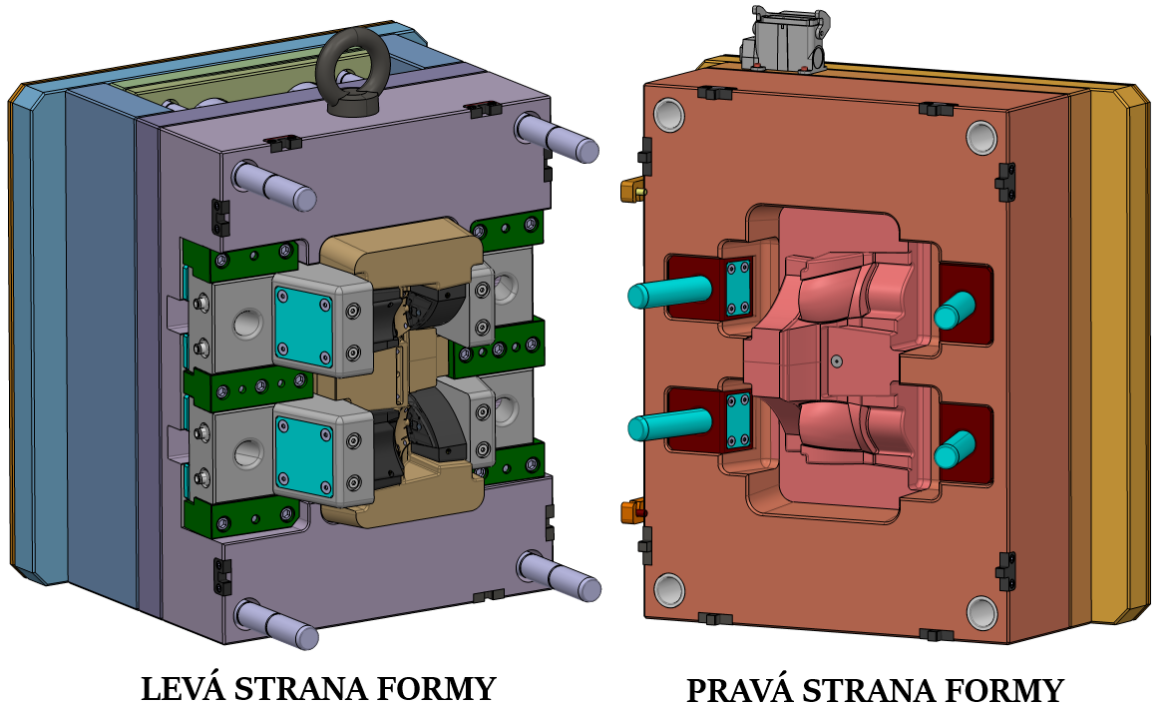
Obr. 39 Zaformování výstřiku ve formě

## 11.2 Rám a hlavní části vstřikovací formy



Obr. 40 Základní části navržené vstřikovací formy

Základní rozměry navržené vstřikovací formy jsou 646 x 496 x 689 mm (délka x šířka x výška). Jednotlivé desky, které byly použity, jsou od výrobce normálií Hasco. Jejich velikost a tloušťka byla volena na základě potřeby jednotlivých částí vstřikovací formy a jejich jednotlivých systémů. Vstřikovací forma se skládá ze tří základních podsestav. Právě (nepohyblivé strany) formy, levé (pohyblivé) strany formy a vyhazovacího systému. Forma je opatřena dvojicí izolačních desek Z121/596x646x8,5. Vzhledem k velké výšce formy bylo použito dvanáct podpěrných sloupků Z57/80x166, které zajistí dostatečnou tuhost formy a zamezí případnému průhybu desek při vstřikovacím procesu.



LEVÁ STRANA FORMY

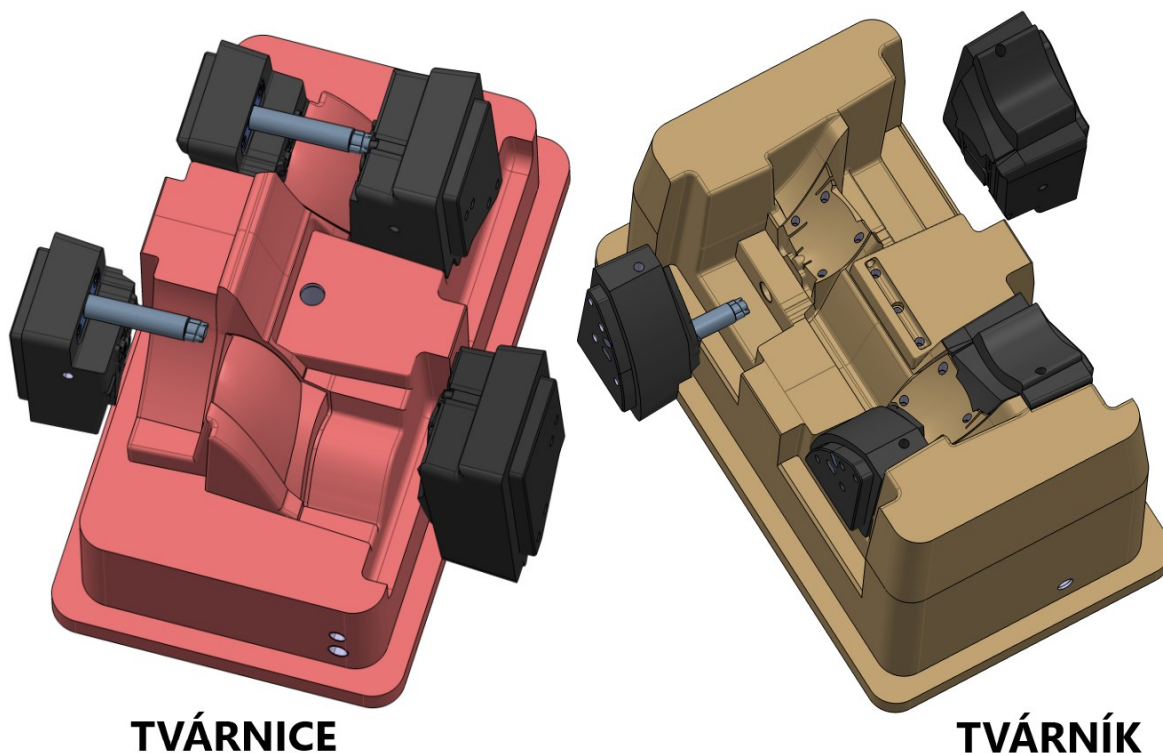
PRAVÁ STRANA FORMY

*Obr. 41 Levá a pravá strana navržené vstřikovací formy*

### 11.3 Tvarové části vstřikovací formy

Tvarové části formy jsou negativem vyráběného dílce a společně utvářejí tvarovou dutinu formy. Jsou zvětšeny o hodnotu smrštění zvoleného materiálu, jenž činí u polykarbonátu 0,6 %. Mezi tvarové části formy patří tvárník, tvárnice a dvě boční posuvné čelisti pro každý výstřik. Tvárník a tvárnice byly navrženy jako společné výměnné tvarové vložky pro oba výstřiky. Jejich výška odpovídá výšce kotevních desek, a jsou opatřeny osazením po obvodu, které slouží k uložení v kotevních deskách. V tvárníku je zhotoven studený rozvodný kanál s přidržovačem vtoku a s tunelovým ústím vtoku. Vrchní část tvárníku, která vyčnívá nad kotevní desku je opatřena zkosením po obvodu. To zajistí přesné dosednutí ploch bez možnosti kolize při pohybech formy. Na následujícím obrázku je možno vidět tvarové části formy s bočními posuvnými čelistmi v uzavřeném stavu a pro názornost také ve stavu odděleném. Všechny tvarové části jsou navrženy z nástrojové oceli 1.2343 a tepelně zpracovány na tvrdost 56 HRC.

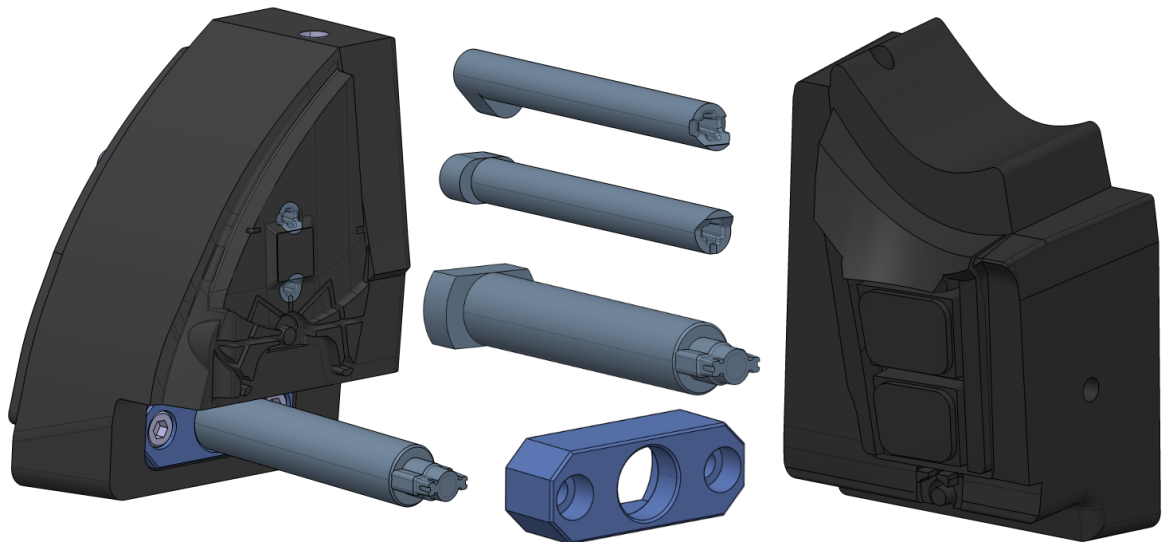




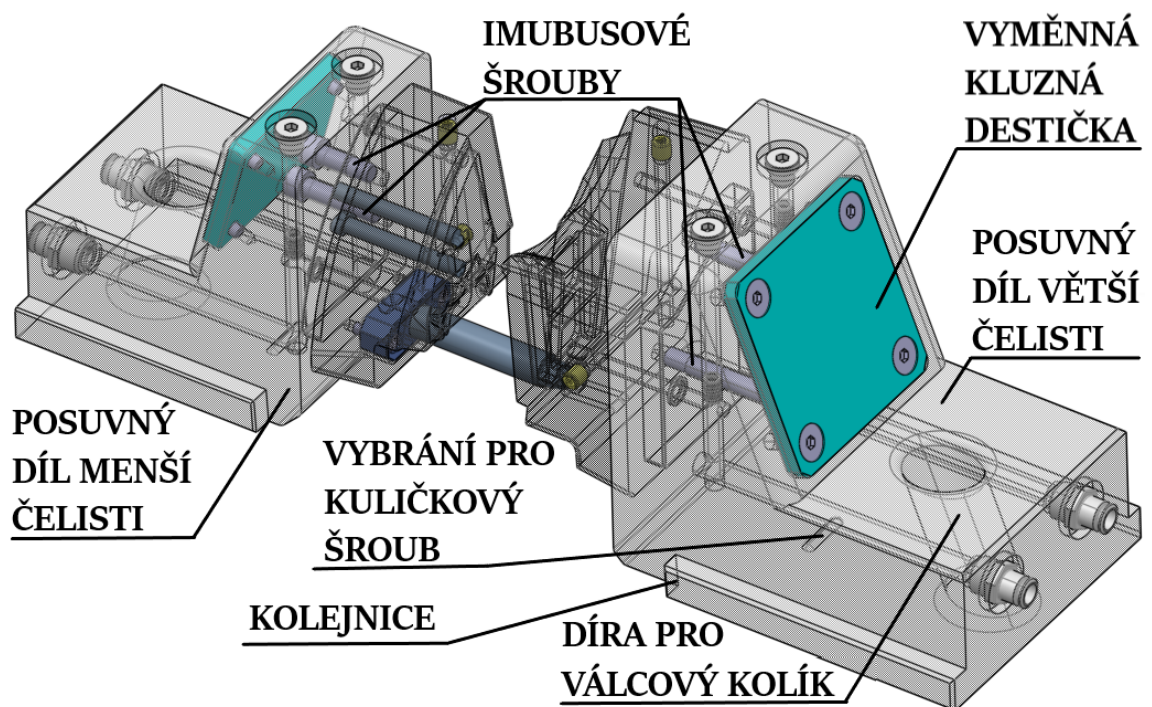
Obr. 42 Tvárnice a tvárník s bočními posuvnými čelistmi

#### 11.4 Boční posuvné čelisti

Vzhledem ke složitosti dílce bylo k zaformování nutné využít dvojici bočních posuvných čelistí pro každý výstřik. Jejich pohyb je iniciován za pomoci šikmých válcových kolíků. Vzhledem k rozměrům posuvných čelistí byla zvažována také varianta použití hydraulických tahačů, ale z důvodu úspory místa a velikosti formy bylo zvoleno mechanické ovládání s šikmými válcovými kolíky. U menších bočních posuvných čelistí byly navrženy dvě výměnné tvarové jádra, jež formují nálitky na nichž bude navařena LED dioda a to z důvodu možnosti utržení či poškození vzhledem k relativně malému průřezu a výšce nálitku a tím tak zajistit případnou snadnou opravitelnost a výměnu. Jejich ukotvení v čelisti je řešeno pomocí osazení. Menší posuvná čelist také formuje otvor pomocí dalšího výměnného tvarového jádra, jež je uchyceno na tvarovou čelist za pomoci výměnné podložky a dvojice šroubů. Obě boční posuvné čelisti jsou uchyceny na tělo posuvných dílců pomocí osazení, kde jsou přichyceny dvěma šrouby s vnitřním šestihranem.



Obr. 43 Boční posuvné čelisti a jejich výměnné části

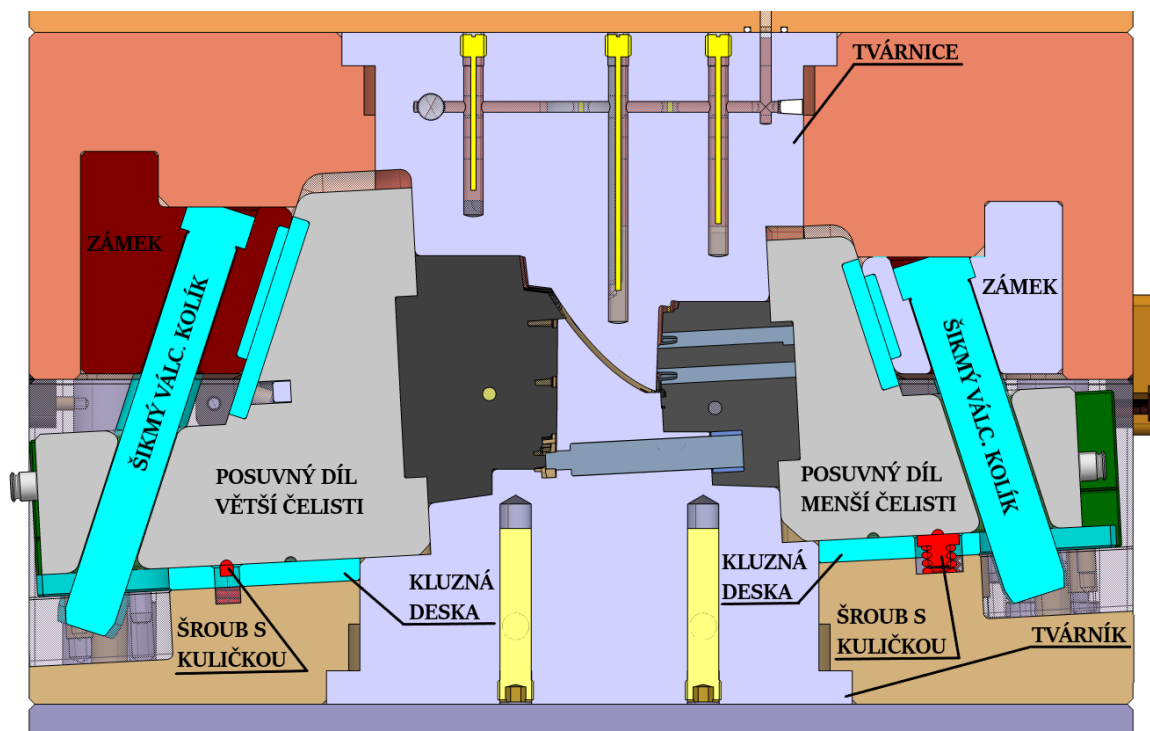


Obr. 44 Kompletní sestava bočních posuvných čelistí v uzavřeném stavu

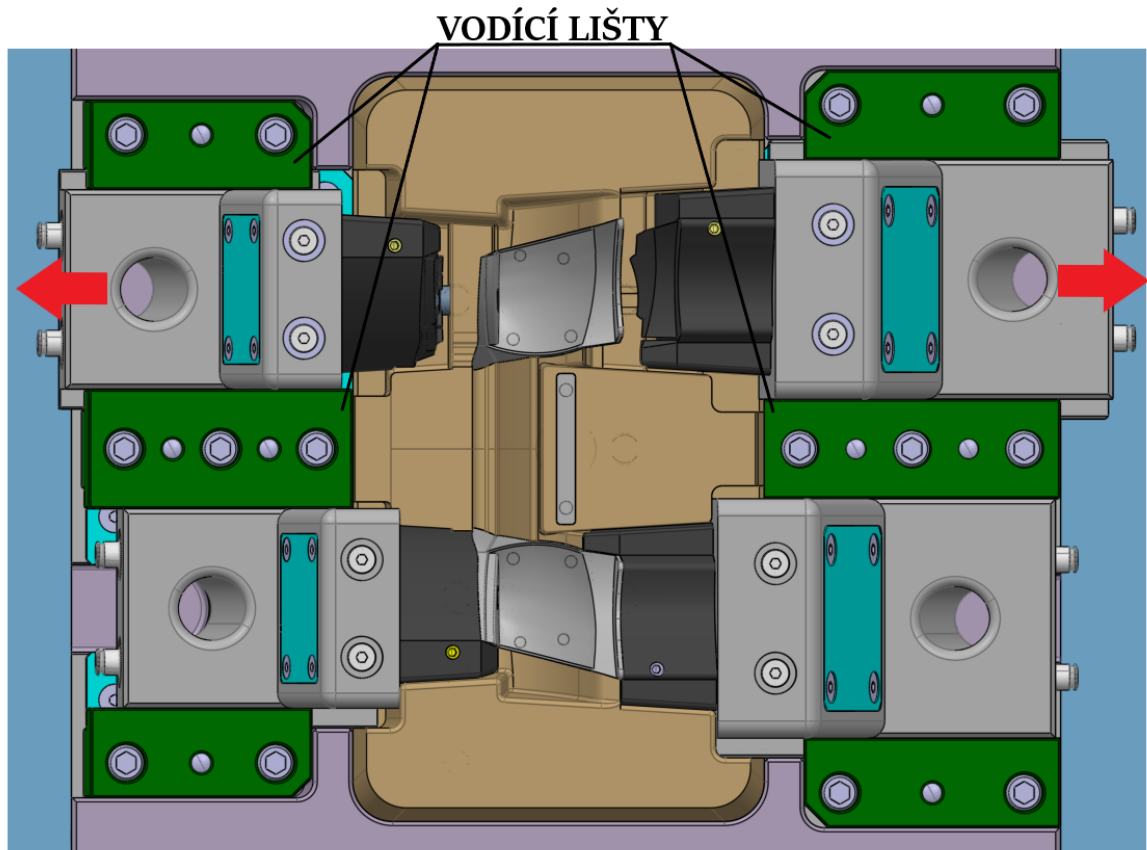
### 11.5 Odformování výstřiku

Odformování výstřiku je řešeno za pomoci dvou bočních posuvných čelistí pro každý výstřik, které jsou ovládány za pomoci šikmých válcových kolíků. Ty při otevírání formy odsunou posuvný dílec, který je veden vodícími lištami a tím se uvolní výstřik, a tak je možné jej vyhodit z formy ven. Obě boční čelisti jsou uchyceny na posuvném díleci,

ve kterém je zhotovená díra na vedení šikmého válcového kolíku Z01/30x200 pro větší čelist a Z01/30x160 pro čelist menší. Kolík je uložen pod úhlem 18° a je ukotven na pravé straně formy v zámečku, jenž je uchycen v pravé straně formy za pomoci dvojice šroubů. Posuvný díl má také zhotovenou šikmou opěrnou plochu, která se při zavření opírá o zámeček. Obě tyto kluzné plochy jak posuvného dílu, tak zámečku jsou opatřeny výměnnými kluznými destičkami, které jsou uchyceny čtveřicí zápusťných šroubů. Zámeček slouží k zajištění polohy tvarových čelistí při vstřikování. Otevřená poloha čelistí je zajištěna za pomoci šroubu s kuličkou Z1892/22x19,05. Posuvný dílec se pohybuje na výměnných kluzných deskách uchycených čtyřmi zápusťnými šrouby a jeho pohyb je veden, díky vodicím lištám jen jsou vystředěny válcovými kolíky a uchyceny pomocí šroubů na levé straně formy.



Obr. 45 Řez tvarových částí v uzavřeném stavu

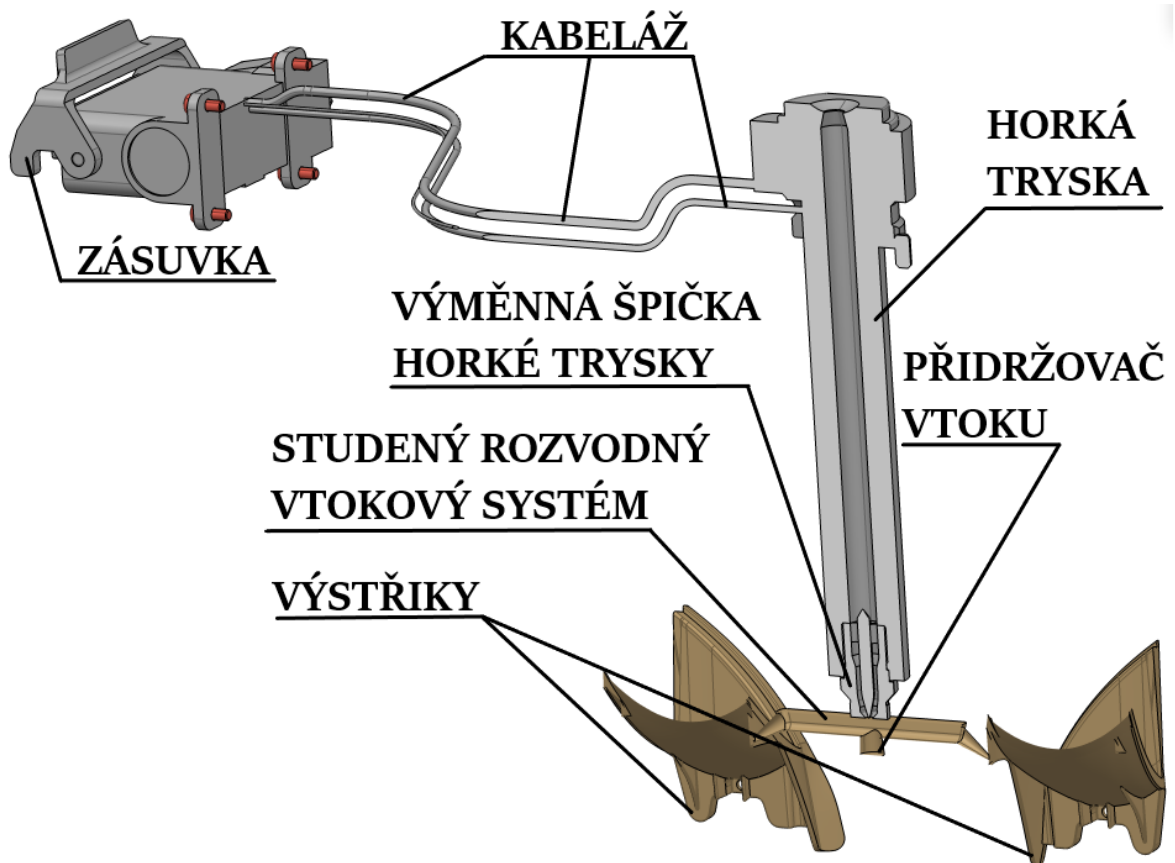


Obr. 46 Zaformování výstřiku v uzavřené a otevřené poloze

## 11.6 Vtokový systém

Vtokový systém byl navržen jako kombinace horkého a studeného rozvodu, jenž se skládá z horké trysky Meusburger smarttFILL s označením E 4000/37/180/16/8 s výměnnou špičkou horké trysky s válcovým ústím o průměru 3 mm s označením E 400 RA/37/M3,0 od stejného výrobce. Ta ústí do studeného vtokového rozvodného systému zhotoveného v tvárníku. Rozvodný kanál je lichoběžníkového průřezu o rozměrech spodní základny 7,5 mm s úkosem stěny 8° a hloubkou 7 mm. S tvarovou dutinou je spojen tunelovým ústím vtoku o vstupním průměru 6,7 mm a výstupním průměru rovným 1,6 mm pod úhlem 42,5° od dělicí roviny. Tunelové ústí vtoku zajišťuje automatické oddělení ústí vtoku od výrobku. V tvárníku je také zhotoven přídržovač vtoku o průměru 8,2 mm s úkosem stěny 5° a hloubce 9,5 mm. Ten zajišťuje přidržení vtokového zbytku s výstřikem na levé straně formy při jejím otevírání. V dostatečné blízkosti od vtokového ústí jsou umístěny vyhazovače, jenž zajistí odtržení ústí vtoku od výstřiku při vyhazování. Kombinovaný vtokový systém je finančně a energeticky náročnější než systém studeného vtoku. Jeho výhodou je ale snížená spotřeba snížení tvorby vtokových zbytků, což snižuje jak spotřebu polymeru, tak i náklady spojené

s jejich likvidací. Tím pádem při předpokládané velkosériové výrobě může výrazně snížit cenu výrobku. Celkový objem výstřiku se vtokovým zbytkem určený z programu CATIA je  $76,27 \text{ cm}^3$ . Objem jednoho výstřiku pak  $35,67 \text{ cm}^3$ .



Obr. 47 Navržený vtokový systém v řezu a jeho hlavní součásti

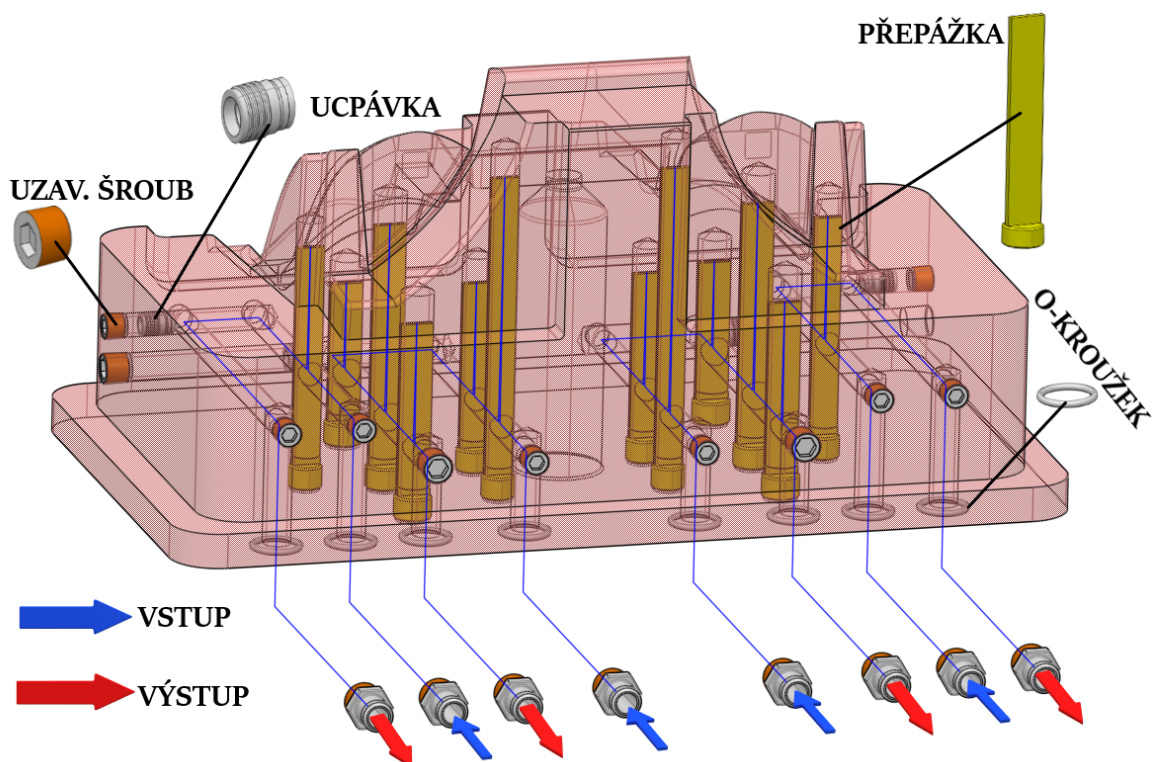
## 11.7 Temperační systém

Temperace vstřikovací formy byla navržena jako systém vrtaných kanálů v tvarových částech vstřikovací formy. Ten slouží k udržení co nejrovnoměrnějšího teplotního pole formy a k zajištění opakovatelnosti podmínek vstřikovacího cyklu. Celkově bylo použito devět temperačních okruhů. U temperace tvarových vložek bylo médium vyvedeno do opěrných desek, v kterých jsou našroubovány přípojky temperace Hasco s označením Z81/13/16x1,5. Ty byly také použity u temperace bočních posuvných čelistí. Při přechodu mezi deskami a tvary bylo použito těsnících o-kroužků stejného výrobce s označením Z98.



### 11.7.1 Temperace tvárnice

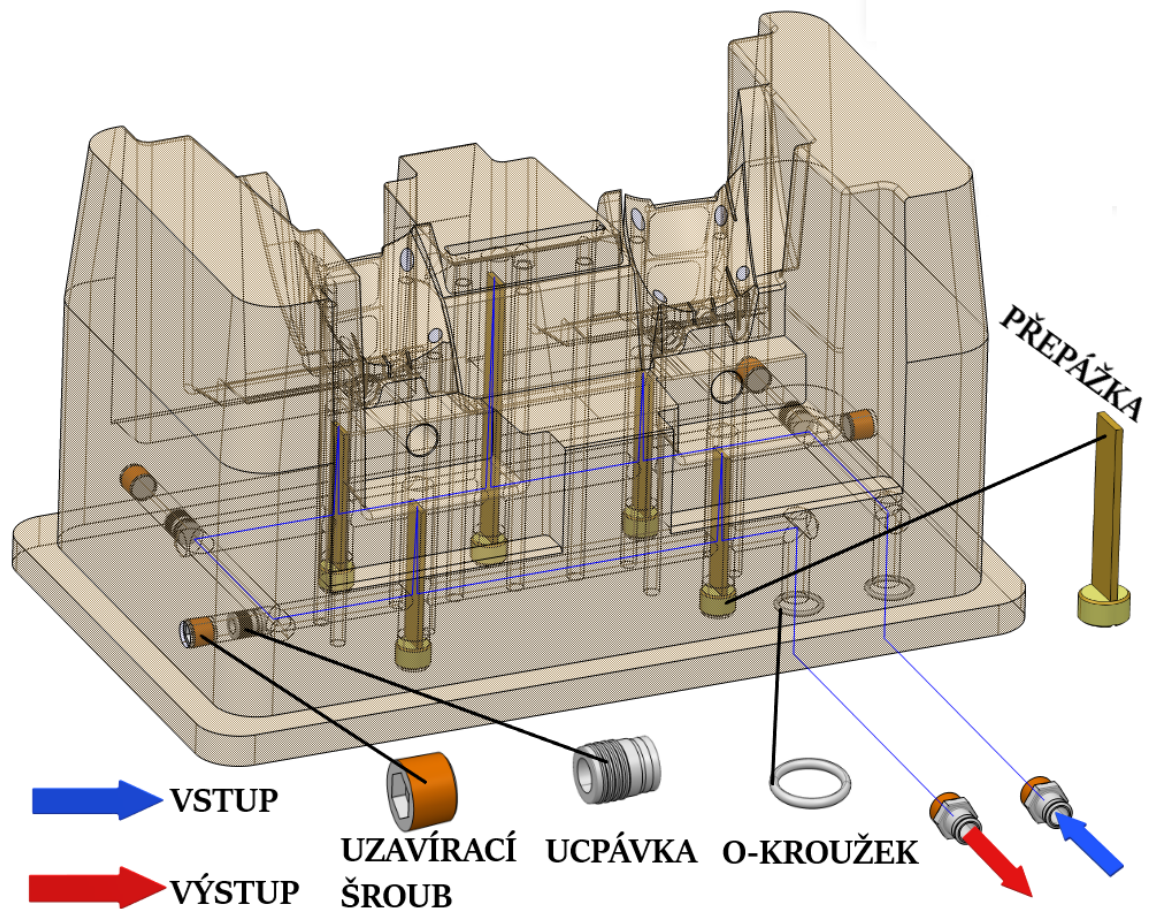
K temperaci tvárnice bylo použito celkem čtyř temperačních okruhů, jenž jsou tvořeny vrtanými kanály o průměru 12 a 10 mm a přepážkami se závitem. Celkem bylo použito šest přepážek Z9661/14x15x120 a šest přepážek Z9661/16x15x150, které byly zkráceny dle potřeby. Usměrnění temperačního média bylo uskutečněno za pomoci vnitřních ucpávek Z942/10 a Z942/12. Proti případnému úniku byly kanály uzavřeny konickými uzavíracími šrouby Z94/12x1,5 a Z94/14x1,5. Na následujícím obrázku je možno vidět směr a cestu proudění temperačního média a základní části temperačního systému tvárnice.



Obr. 48 Temperační systém tvárnice

### 11.7.2 Temperace tvárníku

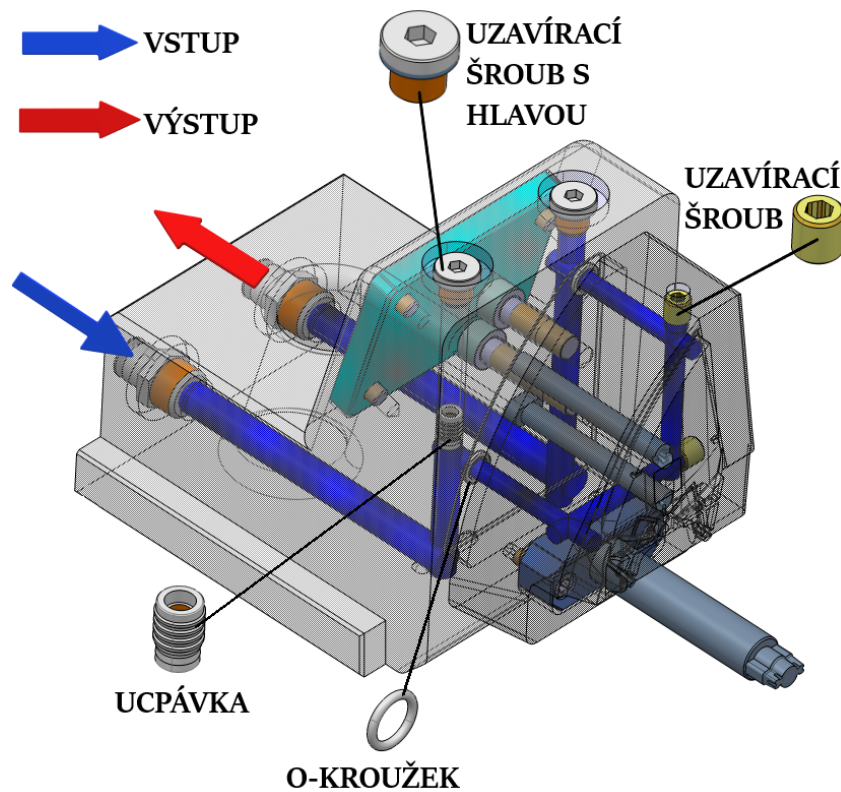
K temperaci tvárníku byl použit jeden temperační okruh, jenž je tvořen vrtanými kanály o průměru 12 mm a přepážkami se závitem. Celkem bylo použito pět přepážek Z9661/16x15x150, které byly zkráceny dle potřeby. Usměrnění temperačního média bylo uskutečněno za pomoci vnitřních ucpávek Z942/12. Proti případnému úniku byly kanály uzavřeny konickými uzavíracími šrouby Z94/14x1,5. Na následujícím obrázku je možno vidět směr a cestu proudění temperačního média a základní části temperačního systému tvárníku.



Obr. 49 Temperační systém tvárníku

### 11.7.3 Temperace menší boční posuvné čelisti

Temperace menší boční posuvné čelisti byla řešena vrtanými kanály. Vzhledem k malým rozměrům a nedostatku prostoru bylo nutné použití vrtání nepřímo na osu děr. Přípojky temperace jsou zašroubovány do posuvného dílu a přívodní kanál je větší o průměru 10 mm vedený do na něj kolmého kanálu o průměru 8 mm. Přes něj je provrtán kanál o průměru 6 mm, jenž spojuje posuvný díl s boční tvarovou čelistí. Přejechod mezi dílci je utěsněn o-kroužky. Temperační médium je usměrněno pomocí ucpávek Z942/8 a utěsněna uzavíracími šrouby Z9400/8x0,75 a uzavíracími šrouby s hlavou Z941/10x1. Na následujícím obrázku je možno vidět řešení temperačního okruhu pro jednu menší boční posuvnou čelist. Okruh pro druhý dílec je zrcadlově shodný a byly u něj použity naprosto stejné prvky.

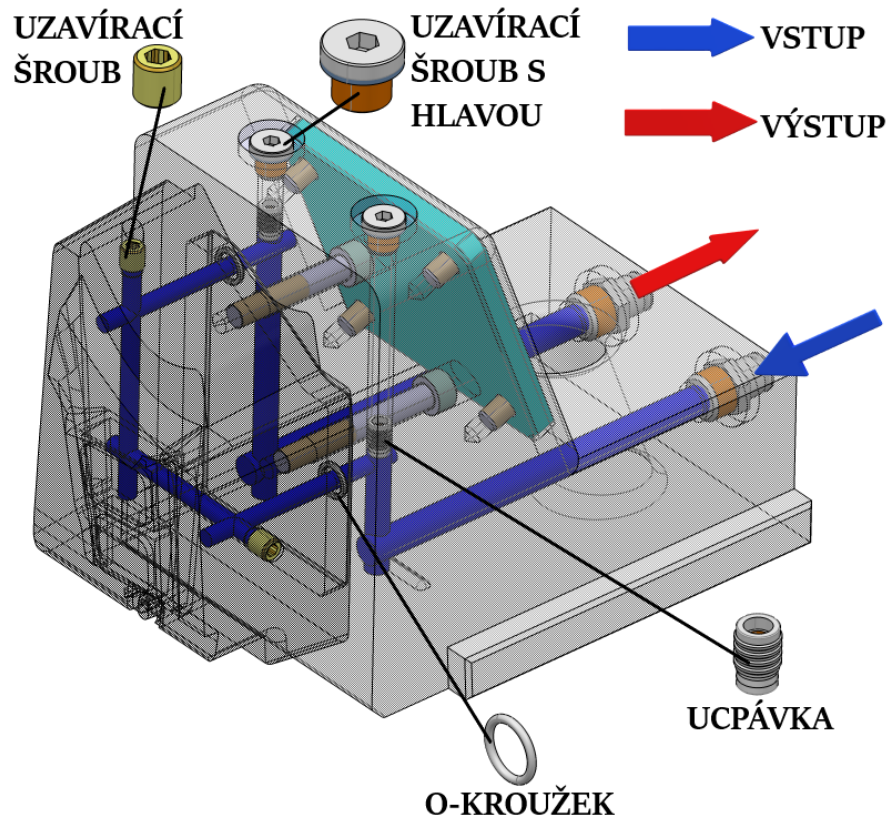


*Obr. 50 Temperační systém menší posuvné čelisti*

#### 11.7.4 Temperace větší boční posuvné čelisti

Temperace větší boční posuvné čelisti byla řešena obdobně jako menší čelisti a to vrtanými kanály. Vzhledem k malým rozměrům a nedostatku prostoru bylo nutné použití vrtání nepřímě na osu děr. Připojky temperace jsou zašroubovány do posuvného dílu a přívodní kanál je větší o průměru 10 mm vedený do na něj kolmého kanálu o průměru 8 mm. Přes něj je provrtán kanál o průměru 6 mm, jenž spojuje posuvný díl s boční tvarovou čelistí. Přejechod mezi dílci je utěsněn o-kroužky. Temperační médium je usměrněno pomocí ucpávek Z942/8 a utěsněna uzavíracími šrouby Z9400/8x0,75 a uzavíracími šrouby s hlavou Z941/10x1. Na následujícím obrázku je možno vidět řešení temperačního okruhu pro jednu větší boční posuvnou čelist. Okruh pro druhý dílec je zrcadlově shodný a byly u něj použity naprosto stejné prvky.

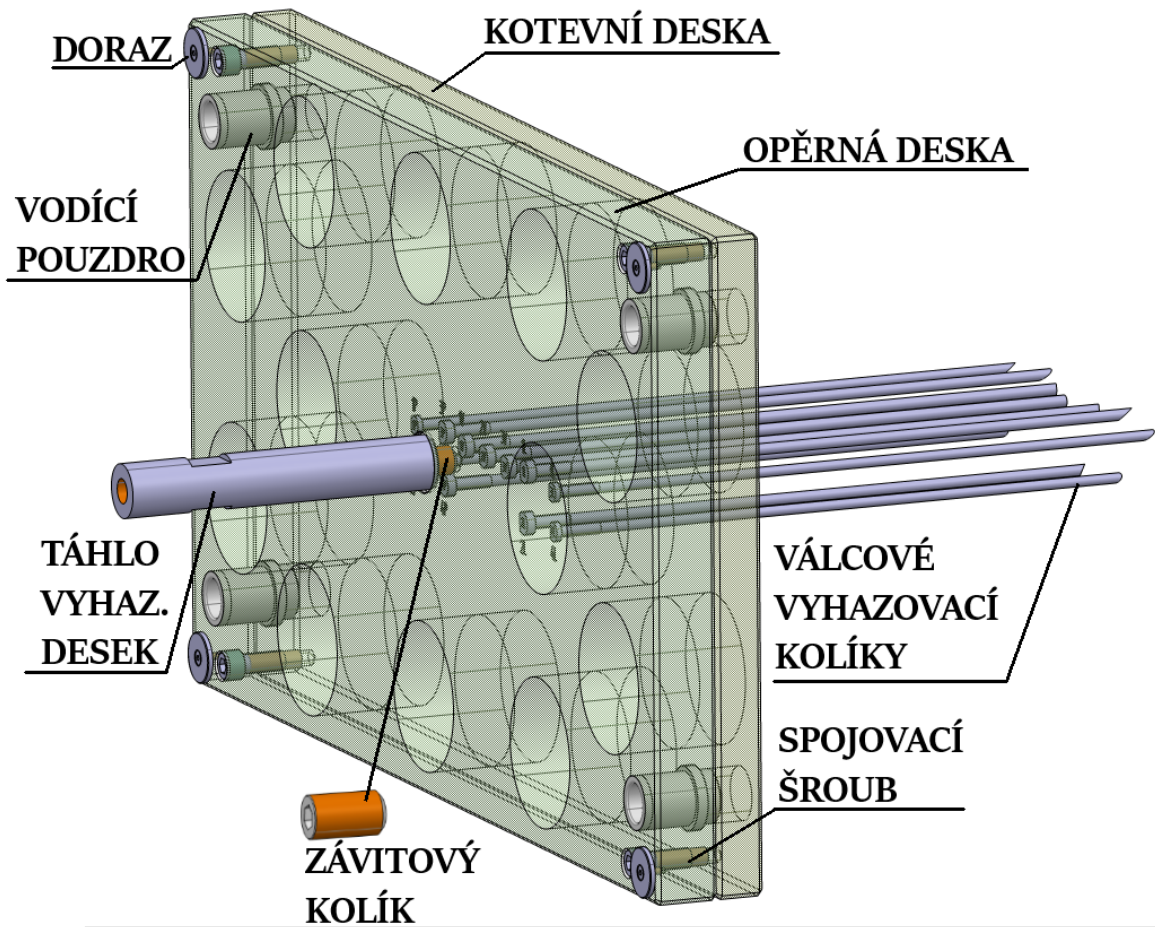




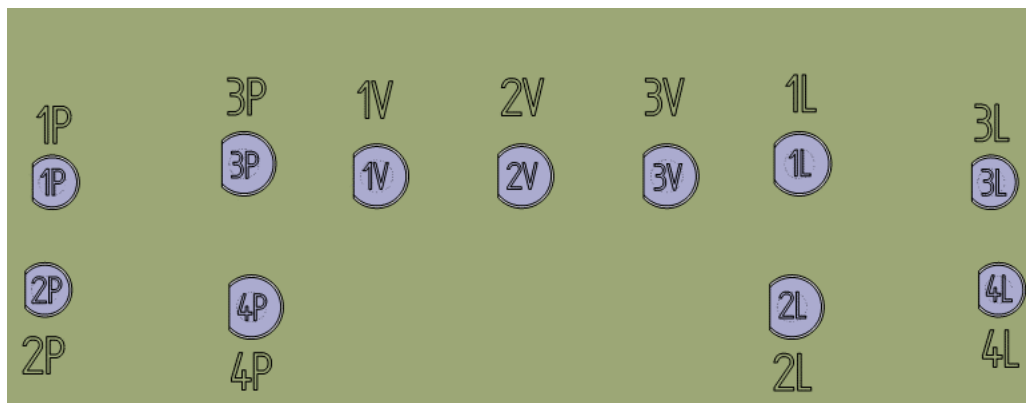
Obr. 51 Temperační systém větší posuvné čelisti

## 11.8 Vyhazovací systém

Vyhazovací paket je složen z normálií Hasco a skládá se z desky kotevní a opěrné, které jsou spojeny pomocí čtyř šroubů Z31/10x35. V deskách jsou ukotveny součásti vyhazovacího systému. Na desky jsou pomocí šroubů připevněny dorazy Z55/28x3. Pohyb vyhazovacího systému je umožněn pomocí táhla s označením Z02/30x180, které je spojeno s deskami za pomoci závitového kolíku Z35/16x30. Vystředění desek a jejich přesný pohyb je umožněn díky vodícím pouzdrům Z10/36 a v nich středících čepů Z011/22x220, které jsou ukotveny v levé upínací desce. Vyhazovací systém vstřikovací formy je tvořen válcovými vyhazovacími kolíky Hasco Z41. Celkem bylo použito jedenáct válcových vyhazovacích kolíků a to čtyři pro každý výstřik. Dva o průměru 5,5 mm a dva o průměru 6 mm. A další tři o průměru 6,5 mm slouží k vyhození vtokového systému. Jeden z nich slouží k vyhození přidržovače vtoku a další dva jsou umístěny dostatečně blízko k zajištění deformace a odtržení tunelového ústí vtoku od výstřiku a zároveň slouží také k vyhození vtokového zbytku. Konce válcových kolíků jsou tvarově obrobena dle tvaru výstřiku a vtokového systému a proto jsou hlavy vyhazovačů obrobena a označena spolu s označením na desce, což zajišťuje nezaměnitelnost válcových kolíků při montáži a demontáži.



Obr. 52 Sestava vyhazovacího paketu



Obr. 53 Ukotvení a označení použitých vyhazovacích válcových kolíků

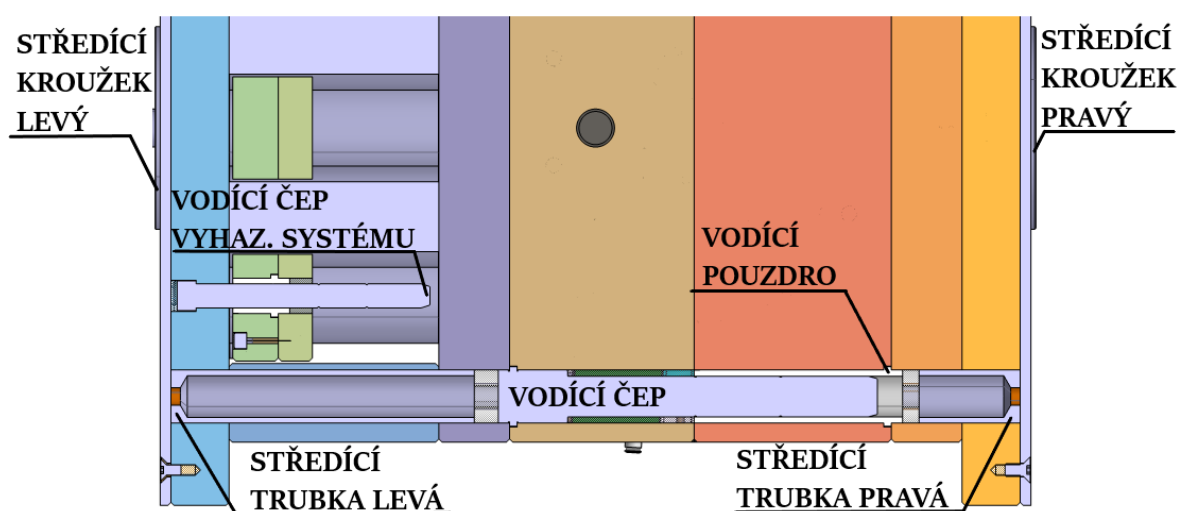
### 11.9 Odvzdušnění formy

Při vstřikování polymerní taveniny je nutné, aby byl vzduch z tvarové dutiny odveden mimo dutinu vstřikovací formy. Pokud by tomu tak nebylo, vzduch, který je taveninou stlačován by neměl kudy uniknout a začal by se ohřívat a mohlo by dojít k tzv. Diesel efektu, tedy

místnímu spálení na výstřiku. To by mohlo mít negativní důsledky na vzhled výstřiku a jeho výsledné vlastnosti. Odvzdušení vstřikovací formy nebylo řešeno z důvodu předpokladu, že vzduch unikne z tvarové dutiny dělicími rovinami a vůlemi mezi tvarovými částmi tzn. bočními čelistmi a tvárníkem a tvárnicí. Popřípadě vůlemi mezi tvárníkem a vyhazovači. To by se při skutečném provozu zjistilo při zkouškách formy. Pokud by bylo zjištěno, že vzduch v některých místech neuniká, bylo by třeba v těchto místech navrhnout odvzdušňovací kanály.

### 11.10 Vodící a středící a ostatní prvky vstřikovací formy

Forma je vystředěna na vstřikovací stroji za pomoci dvojice středících kroužků, které jsou k formě přišroubovány čtyřmi šrouby Z31/5x20. A to na pravé straně kroužkem s označením K100/160x16,5 a na levé straně s označením K500/160x16,5. Pravá strana formy je vystředěna za pomoci čtveřice středících trubek s označením Z20/42x80 a čtveřice vodících pouzder Z10/156/32 a je spojena čtveřicí šroubů s vnitřním šestihranem Z31/16x140. Levá strana formy je vystředěna za pomoci čtveřice středících trubek s označením Z20/42x240 a čtveřicí vodících čepů Z00/46/32x245 jenž zároveň zajišťují s vodícími pouzdry přesné vedení obou polovin vstřikovací formy vůči sobě. Desky levé strany formy jsou spojeny čtyřmi šrouby s vnitřním šestihranem Z31/16x300. Konečné do středění formy je uskutečněno pomocí pravoúhlého středění Z086/46x12, jenž bylo použito po dvojici na každé straně formy.

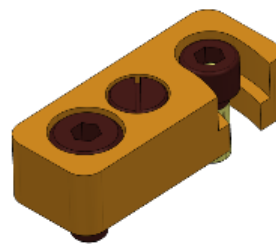
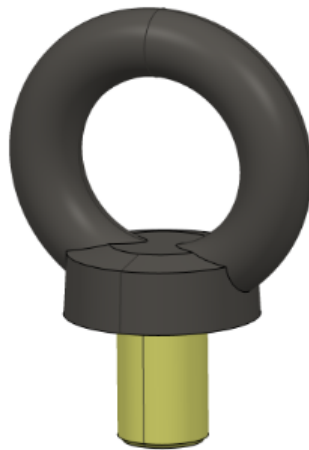


Obr. 54 Vodící a středící prvky vstřikovací formy

### 11.11 Transportní a pojistné prvky formy

K bezpečné možnosti manipulace a transportu vstřikovací formy byly použity dva zámky dělicí roviny s označením Z73/16x25x63. K manipulaci se vstřikovací formou bylo použito jedno závěsné oko s označením Z710/30, které je opatřeno závitem a zašroubováno do středu formy.

#### ZÁVĚSNÉ OKO



#### ZÁMEK

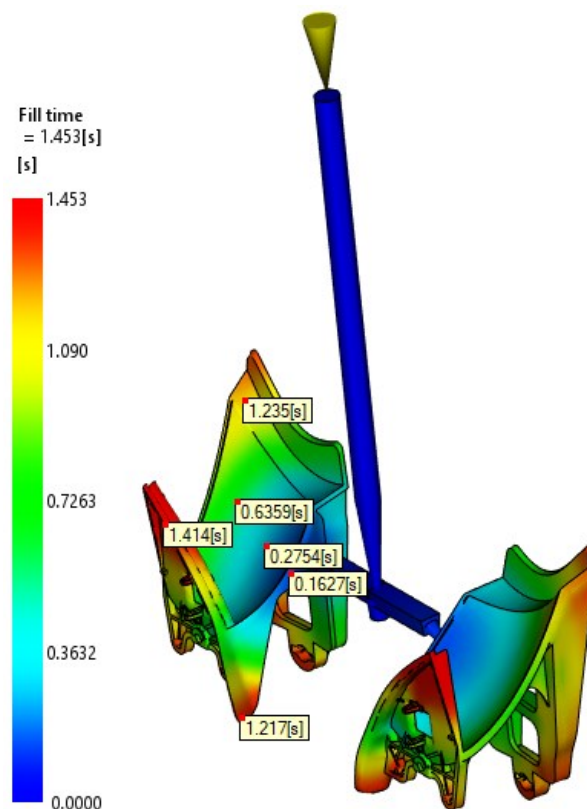
*Obr. 55 Transportní a pojistné prvky formy*

## 12 PŘEDBĚŽNÁ ANALÝZA VSTŘIKOVACÍ FORMY

Pro předběžnou analýzu byla použita analýza typu chlazení + plnění + dotlak + deformace (Cool + Fill + Pack + Warp). Ta ověřuje již navrženou vstřikovací formu. Procesní parametry byly ponechány na výchozích parametrech dle doporučení materiálového listu již zvoleného Lexanu. Základní použité procesní parametry vstřikovacího procesu jsou následující:

- Teplota taveniny 305 °C
- Čas plnění automaticky
- Bod přepnutí na dotlak automaticky
- Doba působení dotlaku 10 s
- Velikost dotlaku 90% z dosaženého vstřikovacího tlaku
- Teplota temperačního média 80 °C
- Tlak temperačního média 8 bar (všechny okruhy)
- Typ temperačního média voda

### 12.1 Čas plnění (Fill time)



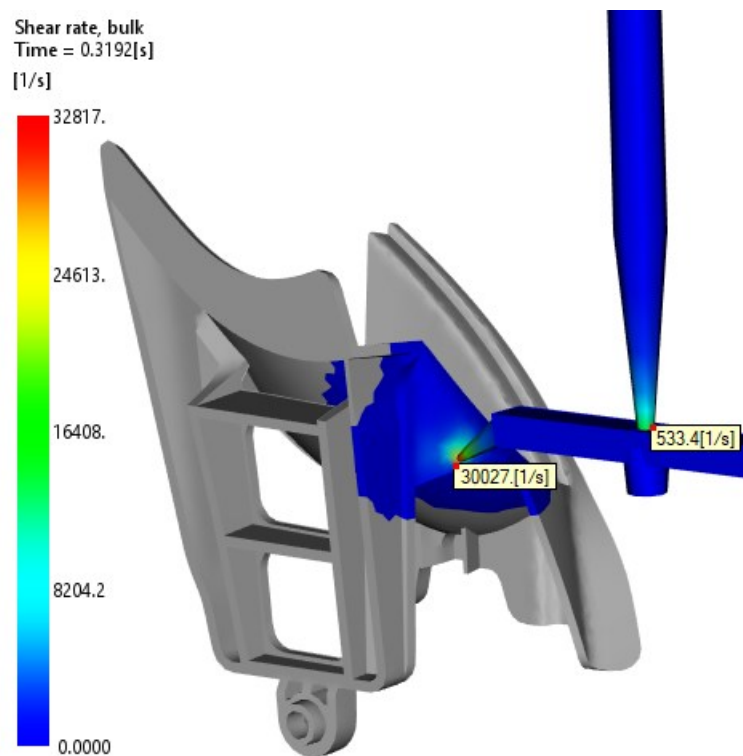
Obr. 56 Předběžná analýza - čas plnění



Výsledek této analýzy určuje průběh a celkový potřebný čas pro zaplnění dutiny vstřikovací formy, jenž je u námi navrženého systému roven 1,453 s. Z grafického vyjádření je možno zhodnotit také samotné plnění dutiny vstřikovaným materiálem a jak je vzhledem k výrobku vyvážené.

## 12.2 Rychlost smykové deformace (Shear rate)

Pro zvolený materiál je dle materiálového listu maximální dovolená hodnota rychlosti smykové deformace  $40\,000\text{ s}^{-1}$ . Maximální hodnota určená dle analýzy je  $32\,817\text{ s}^{-1}$ . Pokud by došlo k překročení této maximálně dovolené hodnoty, docházelo by k degradaci materiálu a tím by došlo ke zhoršení výsledných mechanických vlastností výstřiku.

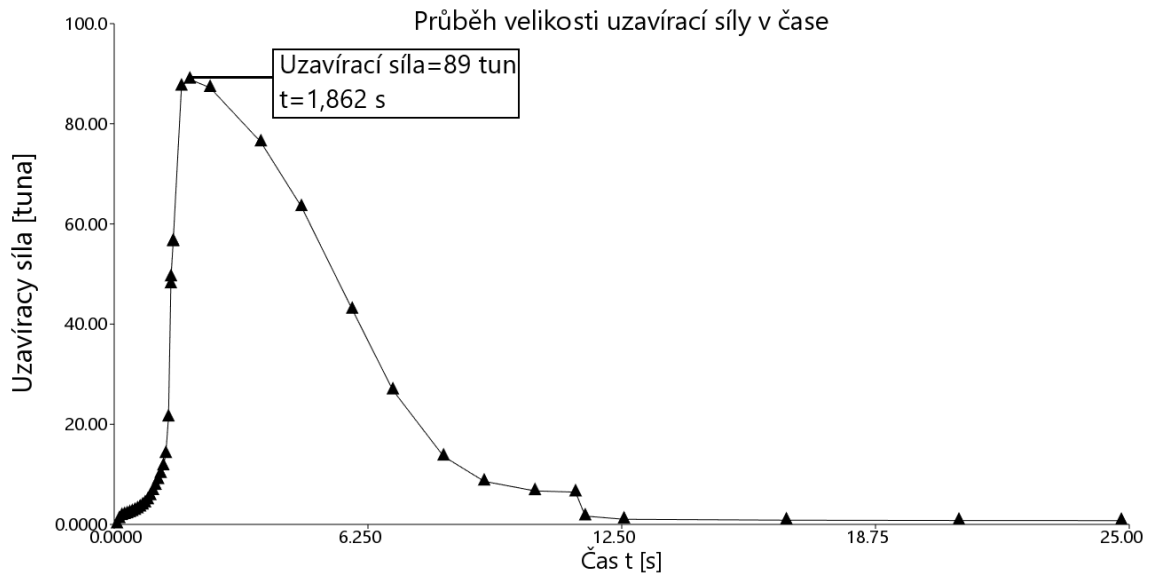


Obr. 57 Předběžná analýza - rychlost smykové deformace

## 12.3 Uzavírací síla (Clamp force)

Velikost uzavírací síly je jeden ze základních parametrů vstřikovacího stroje, a proto je znalost této hodnoty velmi důležitá pro jeho správnou volbu. Pokud by zvolený vstřikovací stroj nebyl zvolen správně a nedovedl by vyvinout dostatečně velkou uzavírací sílu, došlo by během vstřikování k pootevření formy a tím pádem k přetokům či neúplnému vyplnění tvarové dutiny formy. Výsledkem této analýzy je grafické vyjádření průběhu velikosti

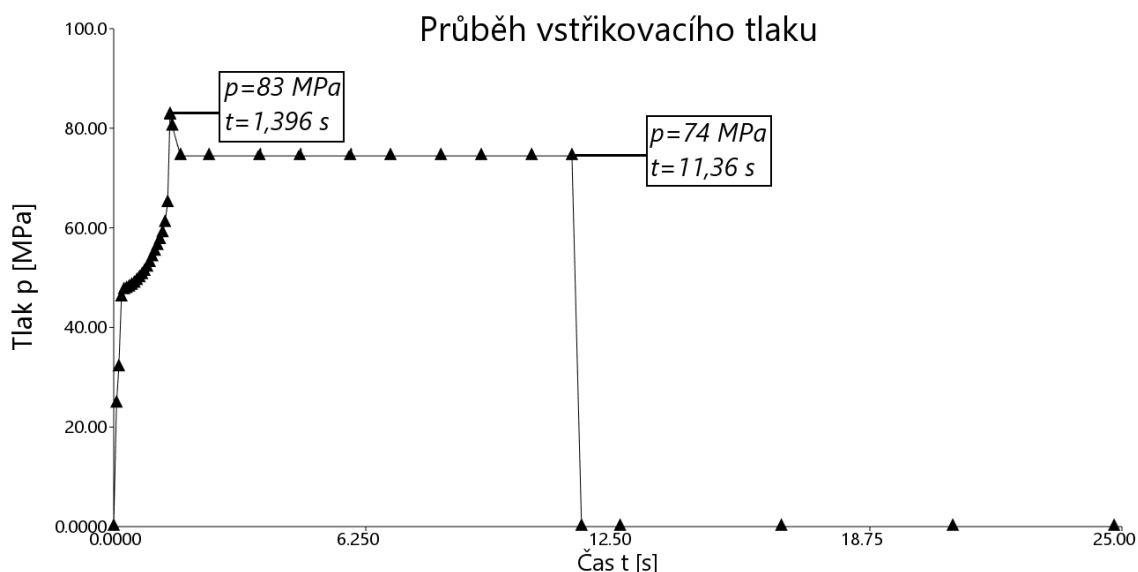
uzavírací síly v čase vstřikovacího procesu. Nejvyšší hodnoty je dosaženo v čase 1,862 s a to hodnoty uzavírací síly 89 tun což je rovno 873 kN.



Obr. 58 Předběžná analýza - průběh velikosti uzavírací síly v čase

## 12.4 Průběh vstřikovacího tlaku (Pressure at injection location)

Tento výsledek znázorňuje průběh vstřikovacího tlaku v čase vstřikovacího cyklu. V této grafické závislosti je možno vidět základní fáze vstřikovacího cyklu, kdy v první fázi dochází k nárůstu tlaku z nulové hodnoty až na hodnotu tlaku vstřikovacího, kdy největší hodnota tlaku je 83 MPa. Poté dochází k přepnutí na dotlakovou fázi a dochází tak ke snížení této hodnoty na tlak dotlaku a výdrž na tomto tlaku po dobu 10 s. Kompenzuje se tak velikost smrštění a dochází k doplňování taveniny a jejímu stlačování. Velikost tlaku v dotlakové fázi je roven 74 MPa. Na konci dotlakové fáze klesá tlak na nulovou hodnotu vlivem zamrznutí vtokového ústí a výstřík je chlazen až na vyhazovací teplotu.



Obr. 59 Předběžná analýza - průběh vstřikovacího tlaku

## 12.5 Volba vstřikovacího stroje

Vstřikovací stroj byl zvolen na základě předběžné analýzy, rozměrů a technických parametrů formy a to konkrétně model s označením ALLROUNDER 630 H 2500-800 od německé společnosti ARBURG. Jeho základní parametry a jejich porovnání s navrženou vstřikovací formou je možno vidět v následující tabulce. V databázi Moldflow byl použit stroj s označením 630 S, protože se v databázi stroj 630 H nenachází. Tyto dva stroje mají shodné technické parametry, co se týče uzavírací a vstřikovací jednotky, až na možnou výšku formy. Ta u navržené formy činí 689 mm a tak by ji na stroji 630 S nebylo možno upnout.

Tab. 6 Základní vybrané parametry zvoleného vstřikovacího stroje [26]

ARBURG ALLROUNDER 630 H	HODNOTA	JEDNOTKA	FORMA
<b>Uzavírací jednotka</b>			
Maximální uzavírací síla	2500	kN	873
Výška formy	300 - 750	mm	689
Vzdálenost mezi vodícími sloupy stroje	630 x 630	mm	646 x 596
Maximální zdvih vyhazovačů	225	mm	100
Průměr na středící kroužek stroje	160	mm	160
<b>Vstřikovací jednotka 800, průměr šneku 45 mm</b>			
Maximální objem vstřikované dávky	318	cm <sup>3</sup>	76,3
Maximální vstřikovací tlak	2470	bar	830



## 13 FINÁLNÍ ANALÝZA NAVRŽENÉ VSTŘIKOVACÍ FORMY

Pro finální analýzu byla opět použita analýza typu chlazení + plnění + dotlak + chlazení (Cool + Fill + Pack + Warp). Přičemž cílem bylo splnit základní podmínky vstřikovacího procesu a toku polymerní taveniny. Navržená varianta byla porovnána s variantou se studeným vtokovým systémem při stejných procesních podmínkách. Ta byla vytvořena z upraveného modelu z finální analýzy kde, byla nahrazena horká tryska studenou vtokovou vložkou o vstupním průměru 2,5 mm s úkosem pod úhlem 1°. Dle výsledků předchozí analýzy a materiálového listu zvoleného materiálu byly nastaveny následující procesní parametry vstřikovacího procesu:

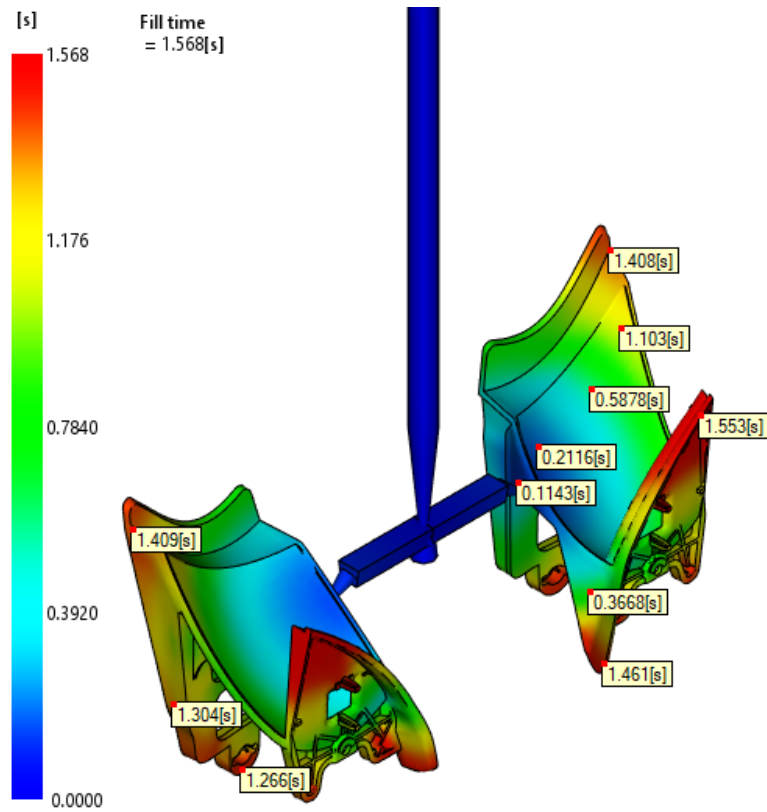
- Teplota taveniny 300 °C
- Čas plnění automaticky
- Bod přepnutí na dotlak 99,8% zaplnění dutiny
- Doba působení dotlaku 8 s
- Velikost dotlaku 85% z dosaženého vstřikovacího tlaku
- Teplota temperačního média 85 °C (tvárník, tvárnice)
- Teplota temperačního média 65 °C (boční posuvné čelisti)
- Tlak temperačního média 8 bar (tvárník, tvárnice)
- Tlak temperačního média 6 bar (boční posuvné čelisti)
- Typ temperačního média voda

### 13.1 Výsledky analýzy plnění a dotlaku

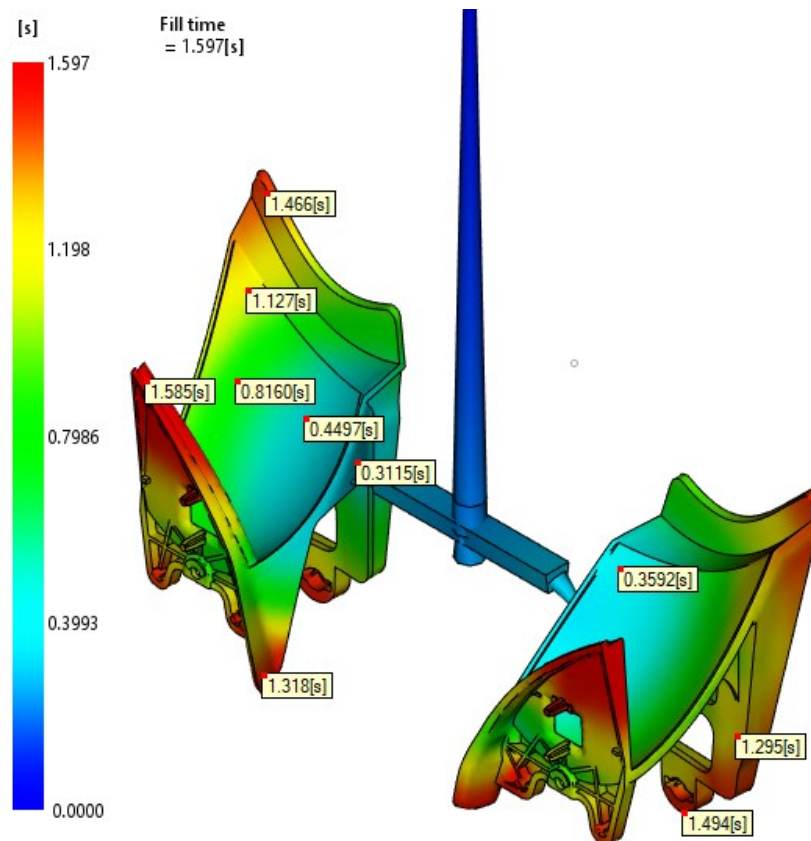
Výsledky analýzy plnění a dotlaku je možno nalézt pod záložkou tok (Flow). Tyto analýzy popisují průběh a charakter plnicího procesu a následující dotlakové fáze.

#### 13.1.1 Čas plnění (Fill time)

Jak lze vidět z výsledku analýzy, čas plnění je velmi podobný u obou variant. Je možno také vidět, že dutina je zcela vyplněna v obou případech. U kombinovaného vtokového systému v čase 1,568 s. Studený vtokový systém je vyplněn v čase 1,597 s. Tvarové dutiny formy se v čase plní shodně. Výsledek je podobný s výsledkem předběžné analýzy, a tak je možno konstatovat, že navržený vtokový systém je vybalancovaný.



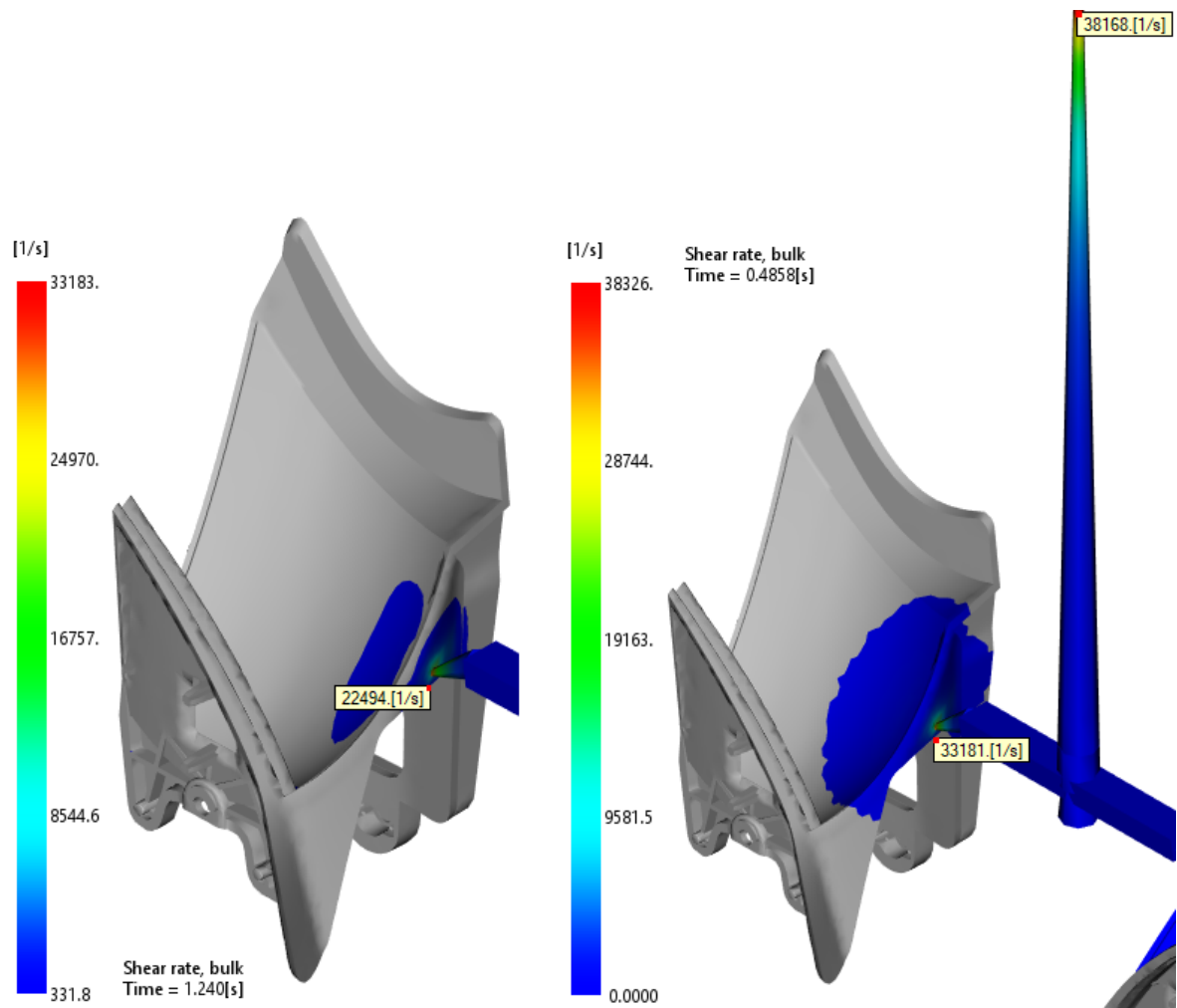
Obr. 60 Čas plnění - kombinovaný vtokový systém



Obr. 61 Čas plnění - studený vtokový systém

### 13.1.2 Rychlost smykové deformace (Shear rate)

Podmínka maximální dovolené rychlosti smykové deformace je u obou variant splněna. U studeného vtokového systému dosahuje vyšších hodnot a maximum určené analýzou je  $38826 \text{ s}^{-1}$ , a blíží se tak hraniční hodnotě zvoleného polykarbonátu ( $40000 \text{ s}^{-1}$ ). Nejvyšší hodnota rychlosti smykové deformace se nachází v nejmenším průřezu vtokového kuželu. Jak lze vidět na obrázku, maximální hodnota rychlosti smykové deformace pro kombinovaný vtokový systém je  $33183 \text{ s}^{-1}$ . Což je o něco málo menší hodnota než z předběžné analýzy. Rozdíl oproti variantě se studenou vložkou činí přesně  $5643 \text{ s}^{-1}$ .

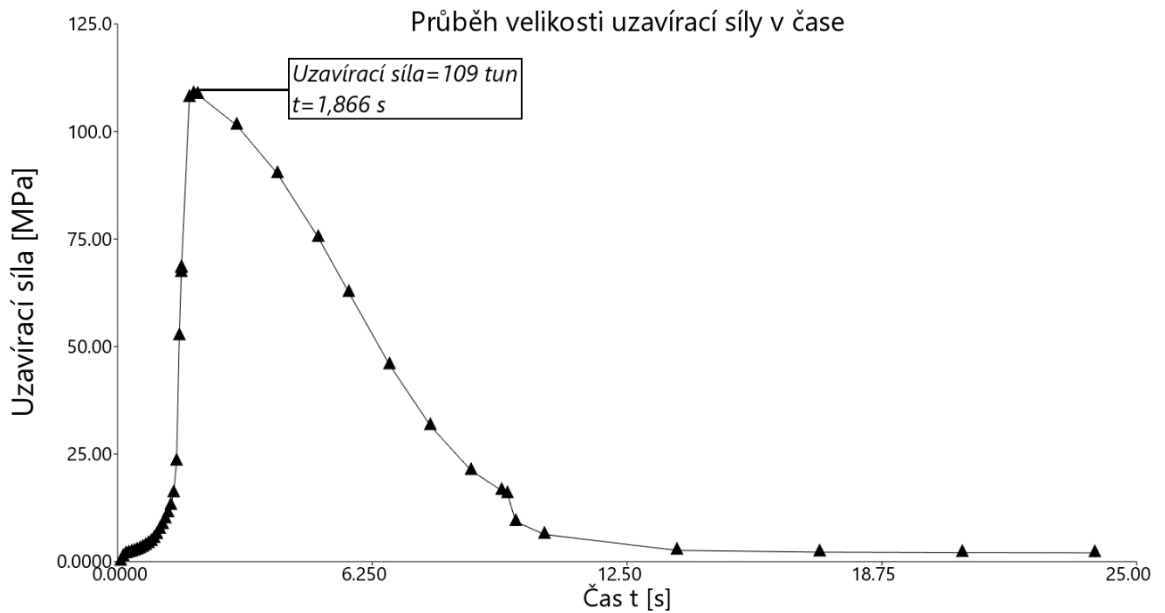


Obr. 62 Rychlost smykové deformace,

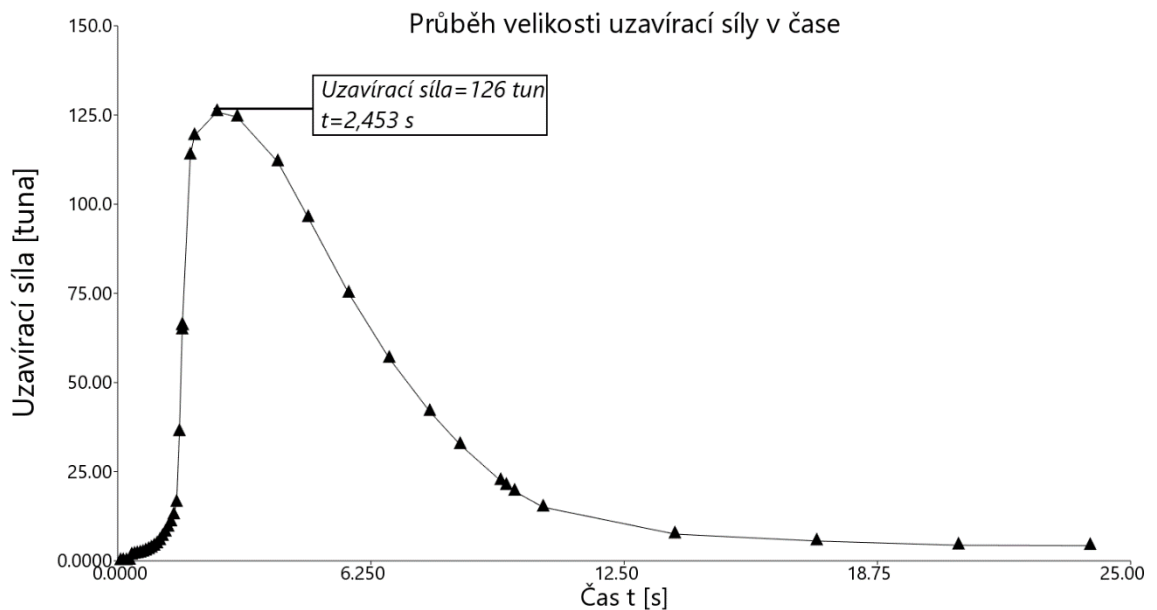
vlevo - kombinovaný vtokový systém, vpravo - studený vtokový systém

### 13.1.3 Uzavírací síla (Clamp force)

Z výsledku analýzy je možno vidět, že hodnota uzavírací síly je vyšší u studeného vtokového systému a to konkrétně o 17 tun. Nejvyšší hodnoty uzavírací síly je dosaženo v čase 2,453 s a to hodnoty 126 tun což je rovno 1236 kN. Hodnota uzavírací síly u kombinovaného vtokového systému dosahuje maximální hodnoty 109 tun (1069 kN) v čase 1,866 s. Zvolený vstřikovací stroj má více než dostačenou rezervu (2500 kN) pro obě varianty.



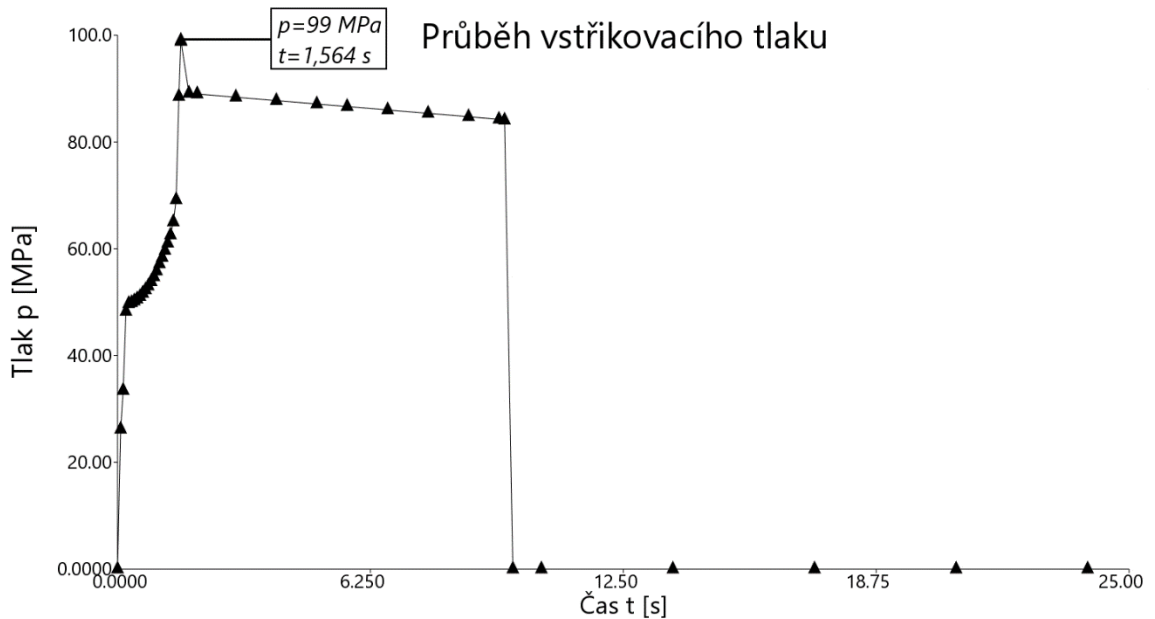
Obr. 63 Průběh velikosti uzavírací síly v čase - kombinovaný vtokový systém



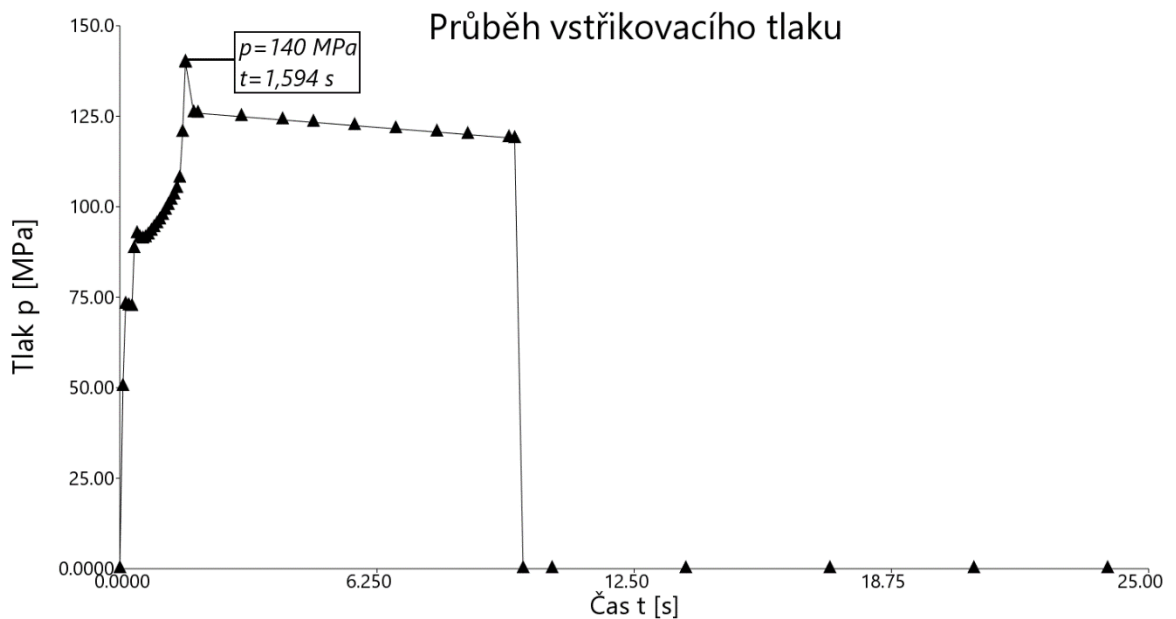
Obr. 64 Průběh velikosti uzavírací síly v čase - studený vtokový systém

### 13.1.4 Průběh vstřikovacího tlaku (Pressure at injection location)

Vůči předběžné analýze došlo i k nárůstu vstřikovacího tlaku, kdy největší hodnota tlaku u kombinovaného vtokového systému je rovna 99 MPa v čase 1,564 s. U varianty se studeným vtokovým systémem je hodnota maximálního vstřikovacího tlaku vyšší, a to konkrétně 140 MPa v čase 1,594 s. Zvolený vstřikovací stroj má ale více než dostatečnou rezervu pro obě varianty.



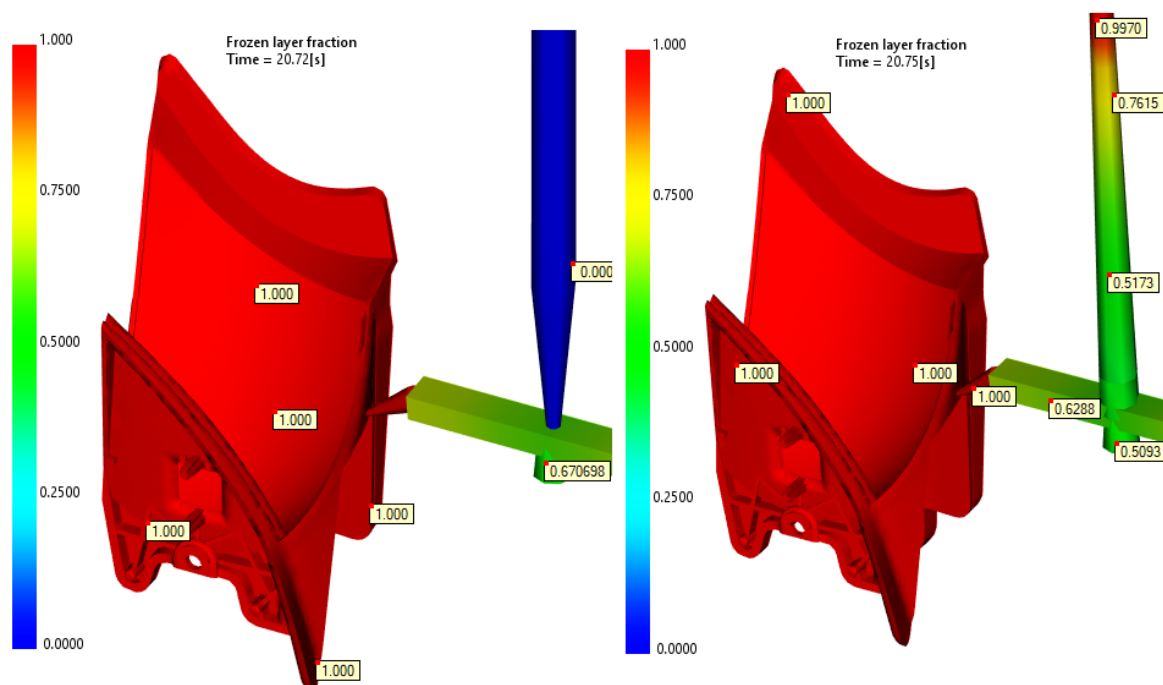
Obr. 65 Průběh vstřikovacího tlaku - kombinovaný vtokový systém



Obr. 66 Průběh vstřikovacího tlaku - studený vtokový systém

### 13.1.5 Zamrznuté vrstvy (Frozen layer fraction)

V této analýze je možné vidět, jak v čase zamrzá (tuhne) polymerní tavenina. Výsledek je vyjádřen graficky kde červená barva, tedy hodnota 1 reprezentuje již zcela zamrznutá (ztuhlá) místa a barva modrá, tedy hodnota 0 zcela tekutá, což dokazuje tok uvnitř trysky. Lze vidět, že v čase přibližně 20,7 s je výstřik s ústím vtoku již zcela ztuhnutý v obou případech. Je možné také vidět, že u obou variant je přidržovač vtoku v stejném čase více jak z 50 % ztuhnutý. Z toho lze usuzovat, že by výstřiky v tomto čase bylo možné již vyhodit. Případná vzniklá deformace vtokového zbytku je pro nás nepodstatná.



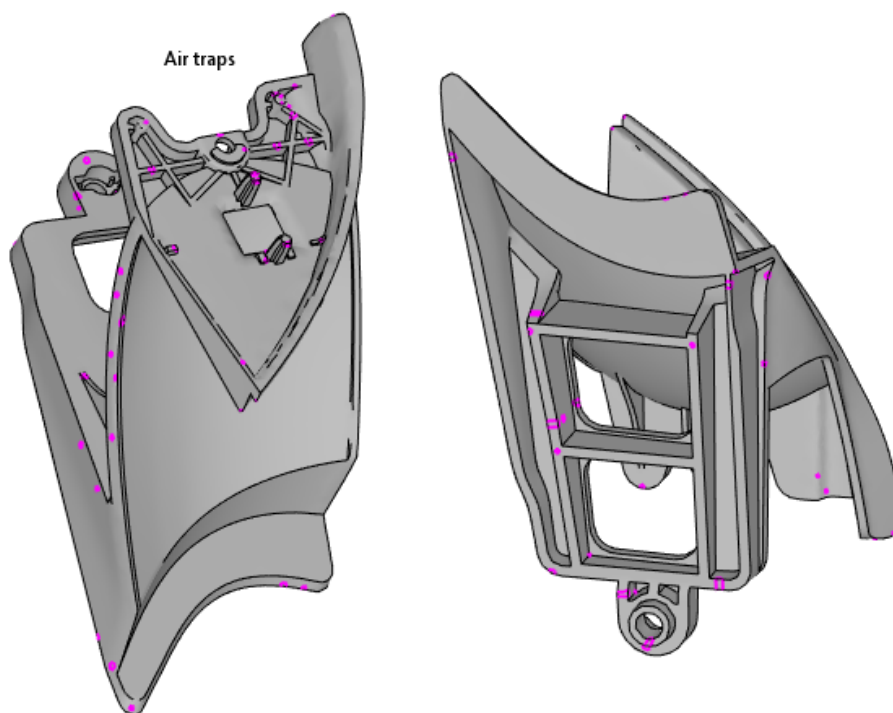
Obr. 67 Zamrznuté vrstvy

*vlevo - kombinovaný vtokový systém, vpravo - studený vtokový systém*

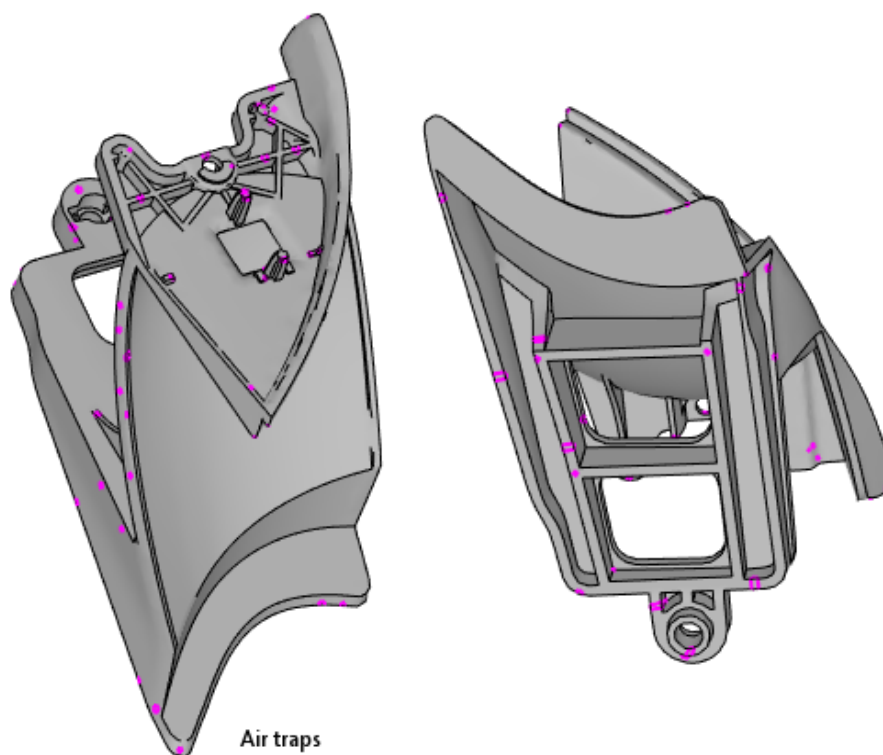
### 13.1.6 Vzduchové kapsy (Air traps)

Tato analýza graficky znázorňuje místa, kde dochází k uzavírání vzduchu. Jak je možno vidět, výskyt vzniku vzduchových kapes je vesměs stejný u obou variant. Je to způsobeno takřka stejným charakterem toku při plnění tvarové dutiny formy. Po důkladnějším pohledu je možno ale vidět, že varianta se studeným vtokovým systémem vytváří některé vzduchové kapsy, které v případě varianty kombinované nevznikají. Při návrhu formy se předpokládalo, že vzduch unikne vůlemy mezi dělicími rovinami (tvarovými částmi) a vůlemy mezi

vyhazovači. Pokud by se při zkouškách formy zjistilo, že dochází k uzavírání vzduchu, tak by tato analýza sloužila k návrhu odvzdušnění.



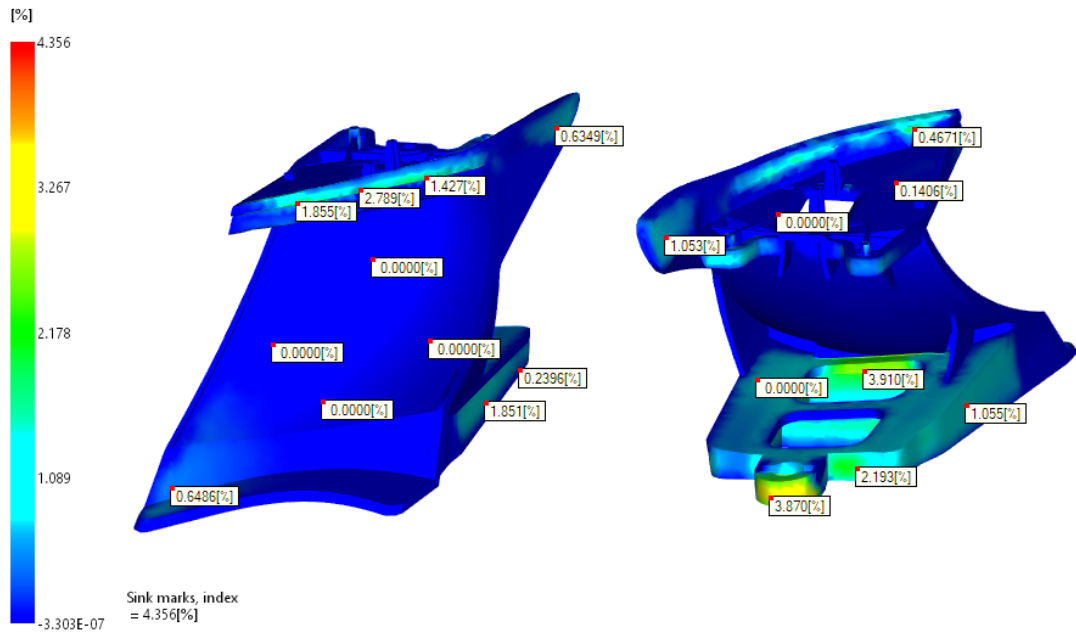
*Obr. 68 Vzduchové kapsy - kombinovaný vtokový systém*



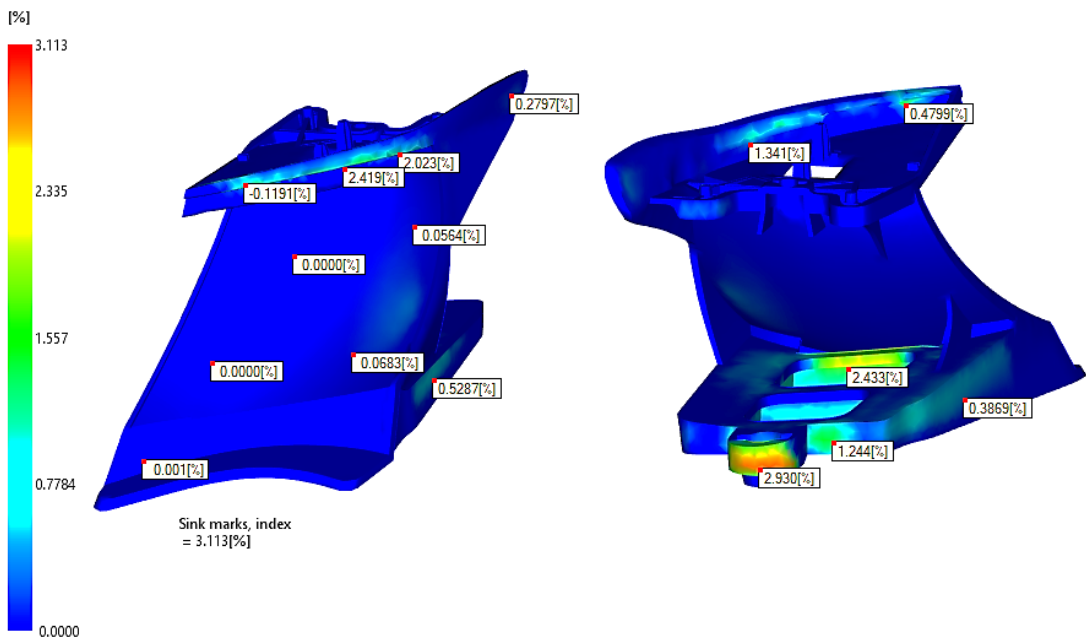
*Obr. 69 Vzduchové kapsy - studený vtokový systém*

### 13.1.7 Propadliny (Sink marks)

Výsledky této analýzy zobrazují propadliny vyjádřené v procentech. Varianta se studeným vtokovým systémem vykazuje lepší výsledky zhruba o 1,2 %. Maximální hodnota propadlin u kombinované varianty je okolo 4 %. Na nejdůležitější přední ploše, která je funkční a slouží, jako odrazová dochází ke vzniku propadlin s minimálními hodnotami a to u obou variant.



Obr. 70 Propadliny - kombinovaný vtokový systém



Obr. 71 Propadliny - studený vtokový systém

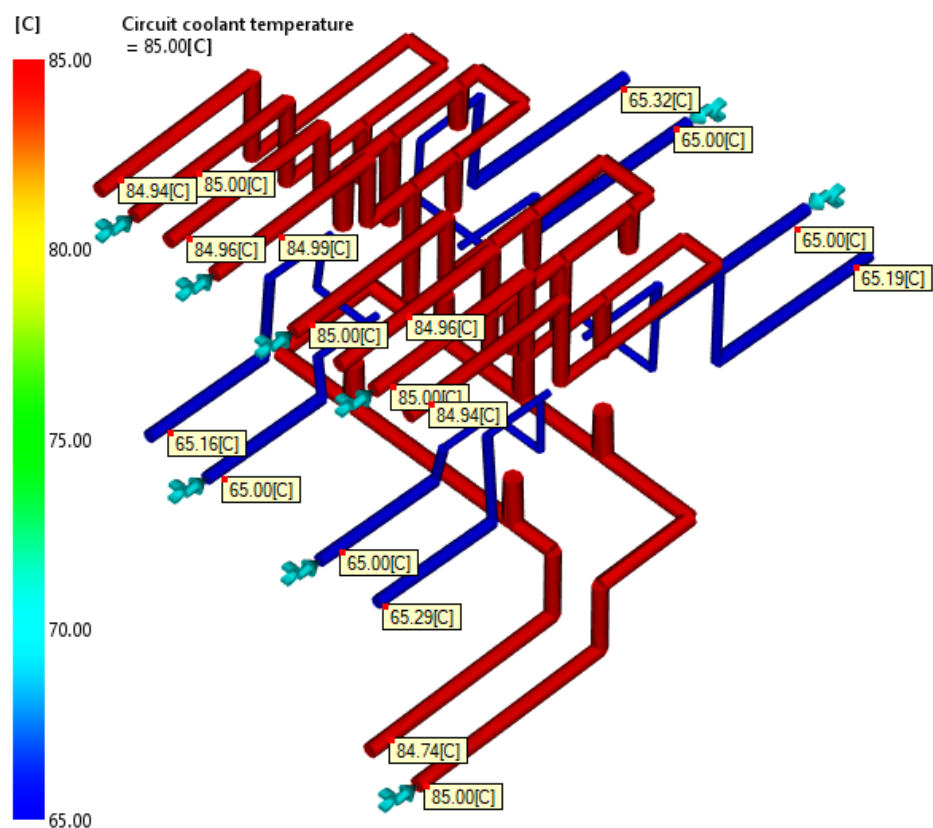


## 13.2 Výsledky analýzy teploty

Souhrnné výsledky analýzy navrženého temperačního systému je možno nalézt pod záložkou chlazení (Cool). Výsledky této analýzy obsahují informace o teplotních změnách, které se týkají samotného výrobku, vtokovém systému a temperačního systému a formy samotné, která je také zahrnuta do výpočtů. Vzhledem k totožnému nastavení temperačních okruhů, tedy teploty temperačního média a jeho tlaku jsou u obou variant výsledky takřka shodné. Proto jsou přiloženy pouze výsledky pro kombinovaný vtokový systém.

### 13.2.1 Teplotní spád v temperačním okruhu (Circuit coolant temperature)

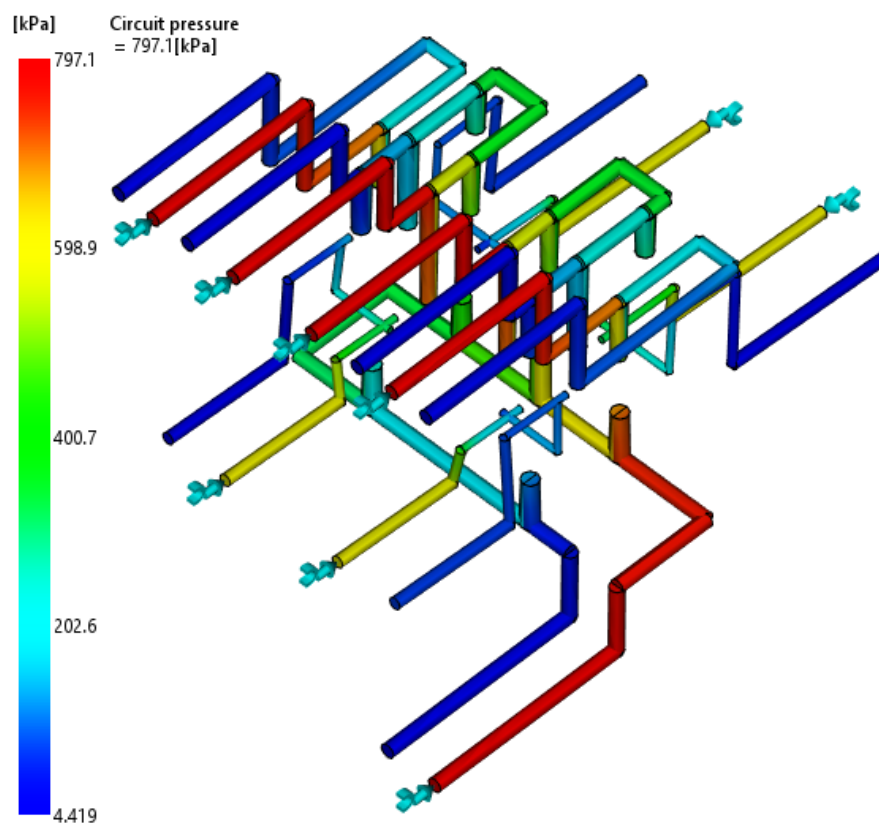
U temperačního systému musí platit zásada, že teplotní spád na vstupu a na výstupu nesmí přesáhnout rozdíl 5 °C. Jestliže by tato zásada (podmínka) nebyla dodržena, musela by se upravit samotná geometrie temperačního systému. V tomto případě je teplotní spád minimální, rozdíl činí max. 0,4 °C u obou variant. Navržený temperační systém, splňuje tedy podmínku teplotního spádu. Nedochozí tudíž k výraznému snížení teplotního spádu, a tak k rozdílnému chlazení výrobků v dutinách.



Obr. 72 Teplotní spád v temperačním okruhu - kombinovaný vtokový systém

### 13.2.2 Tlak v temperačním okruhu (Circuit pressure)

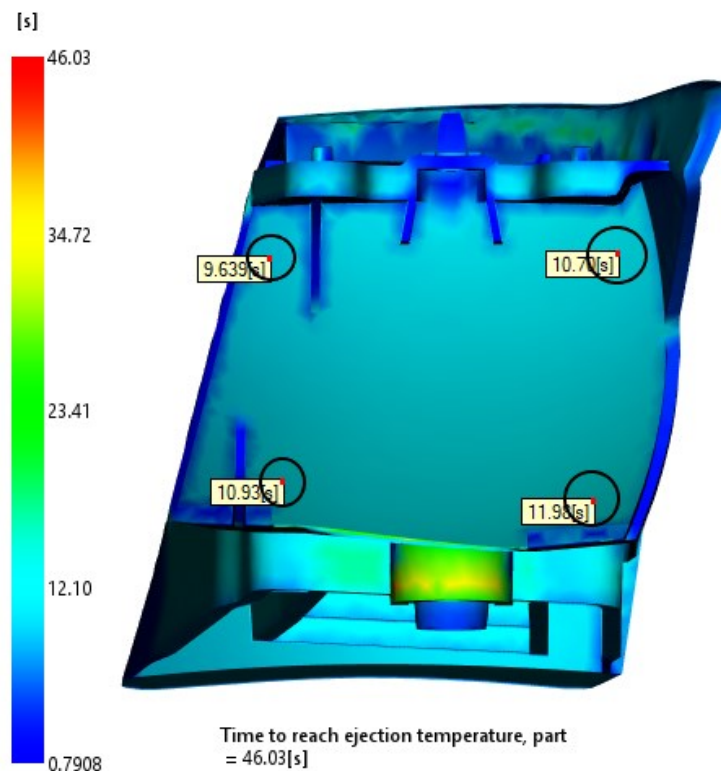
Tlak s rostoucí délkou temperačního kanálu přirozeně klesá a mění se i se změnou jeho průřezu. Je to způsobeno změnou v geometrii a překážkami vůči toku. Tlak v temperačním systému nesmí klesnout na nulovou hodnotu. Jinak by mohlo docházet ke vzniku tzv. mrtvých míst. V těchto místech by nedocházelo k pohybu temperačního média a tím by hrozilo zanesení systému nečistotami. Navržený temperační systém neobsahuje žádná mrtvá místa, tudíž vyhovuje této podmínce. Nejvyšší hodnota tlaku v okruhu dosahuje 797 kPa.



Obr. 73 Tlak v temperačním okruhu - kombinovaný vtokový systém

### 13.2.3 Čas potřebný na dosažení teploty vyhození výstříku (Time to reach ejection temperature, part)

Na obrázku je znázorněno přibližné umístění vyhadzovačů s hodnotou času, potřebnou na dosažení teploty vyhození (125 °C) v těchto místech. Lze vidět že, výstřík je možné teoreticky odformovat za doporučené teploty dle materiálového listu po čase přibližně 12 s od počátku výrobního cyklu. V místě s nejdelším časem rovným dle analýzy 46,03 s na dosažení teploty vyhození, se nenachází vyhadzovače a tak by nedošlo k deformaci výstříku při vyhození.



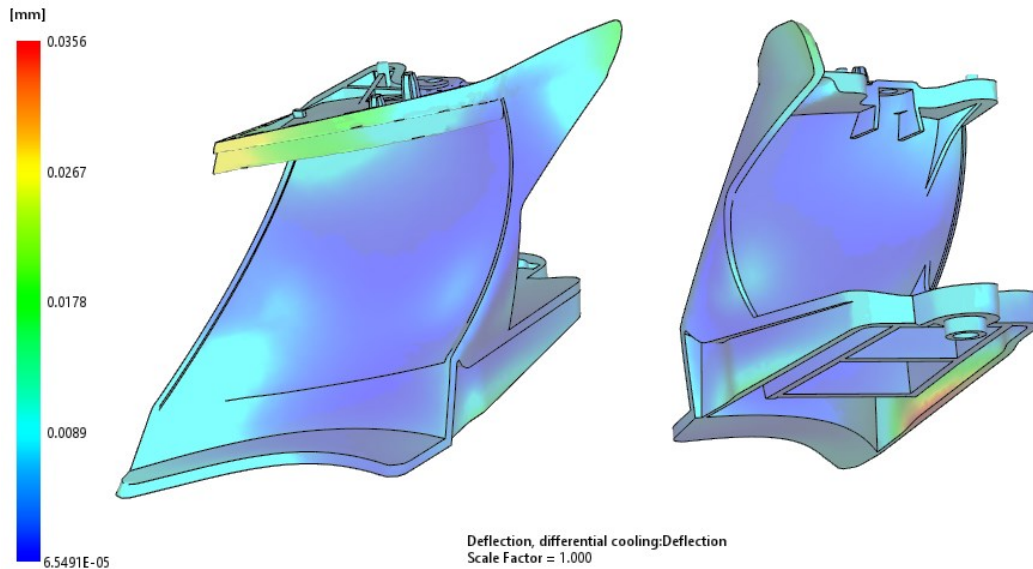
*Obr. 74 Čas potřebný na dosažení teploty vyhození,  
- kombinovaný vtokový systém*

### 13.3 Analýza smrštění a deformací

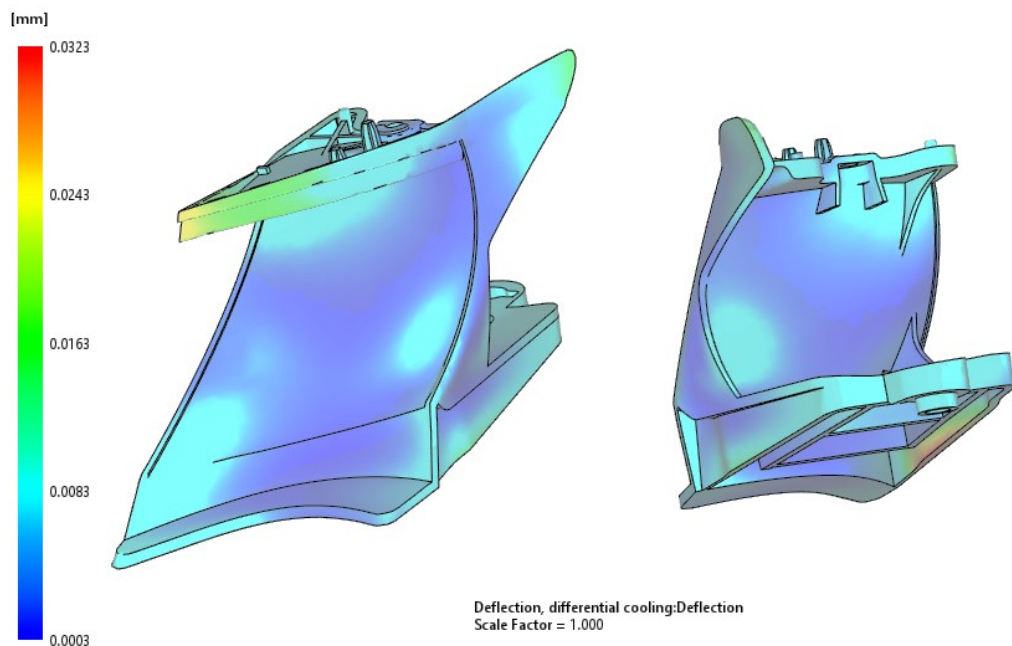
Výsledky analýzy smrštění a deformace je možno nalézt pod záložkou (Warp). Obsahují informace o smrštění, což je změnu objemu během tuhnutí vstříkovaného dílu. Výsledkem této analýzy jsou také různé druhy deformací.

#### 13.3.1 Deformace způsobená chlazením (Deflection, differential cooling: Deflection)

Tato analýza graficky zobrazuje velikost vzniklé deformace na výrobku, která je způsobena chlazením. Dosažené hodnoty jsou takřka shodné u obou variant a jejich hodnoty jsou minimální. K největším deformacím dochází v nejtenčím místě spodní základky, zde dosahují hodnot okolo 0,03 mm. Velikost těchto deformací je malá a tak z hlediska působení temperačního systému na výslednou deformaci je možno říci, že je navržen správně.



Obr. 75 Deformace způsobena chlazením - kombinovaný vtokový systém

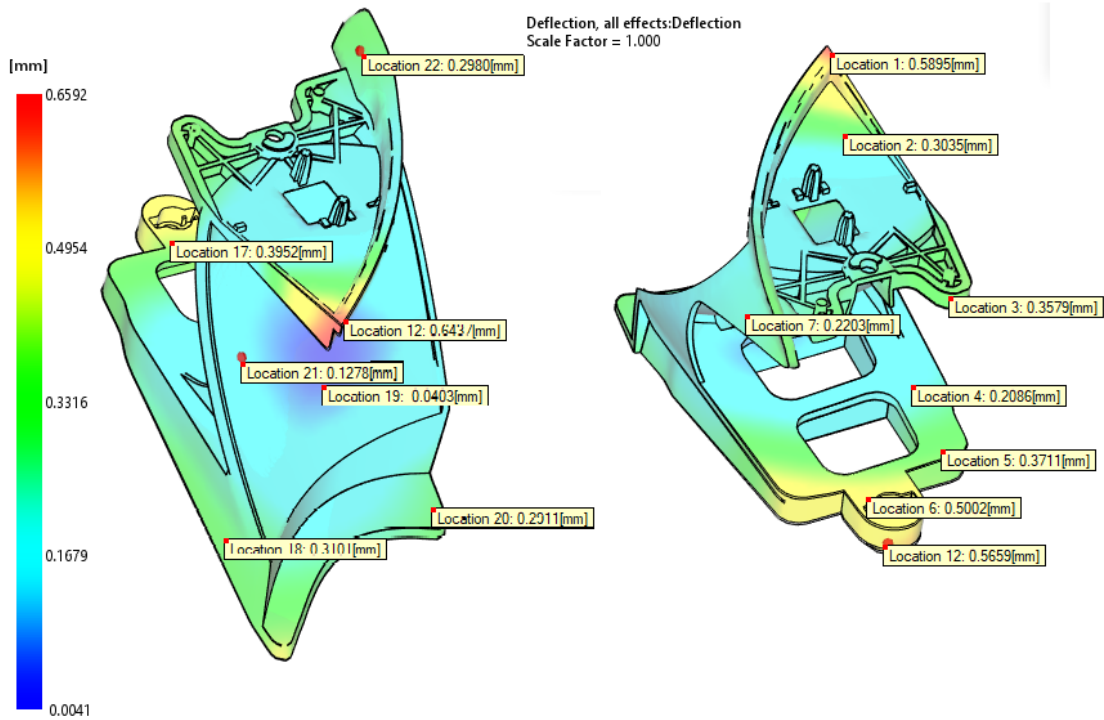


Obr. 76 Deformace způsobena chlazením - studenný vtokový systém

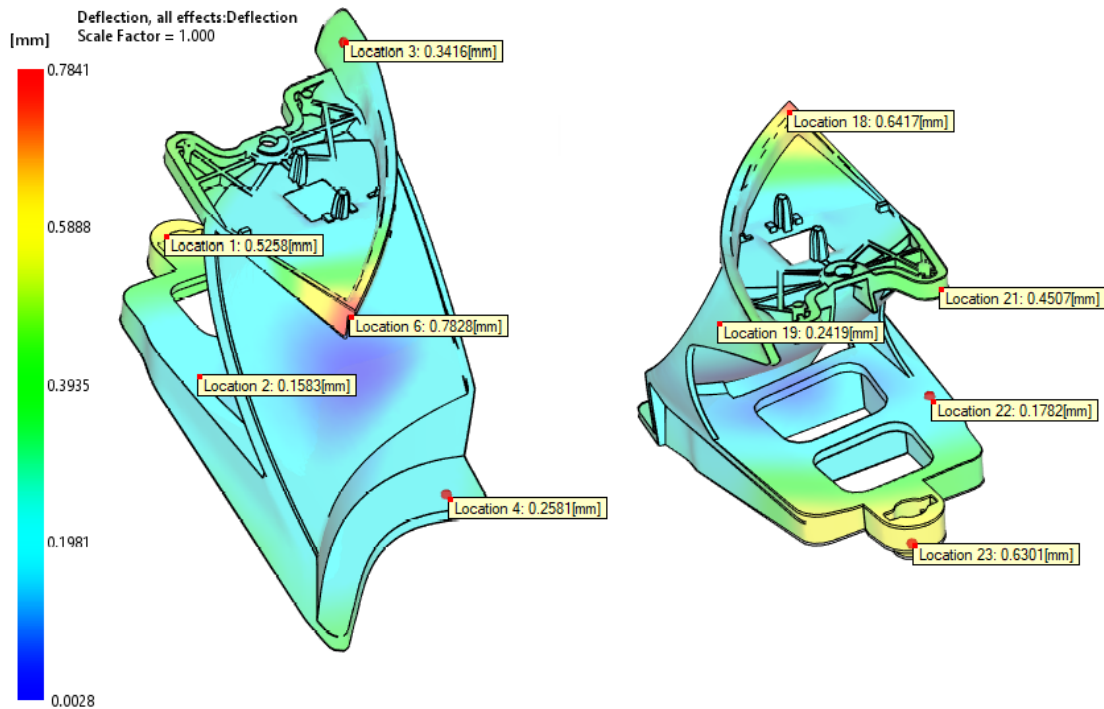
### 13.3.2 Celková deformace (Deflection, all effects: Deflection)

Tato analýza graficky zobrazuje velikost vzniklé deformace na výrobku, která je způsobena všemi vlivy. K největším deformacím dochází v obou variantách na horní ploše výstřiku a to v jejím rohu. Z hlediska toku taveniny se jedná o nejbližší místo. Tím pádem je zde nejobtížnější deformaci ovlivnit dotlakovou fází. Z důvodu nedostatku prostoru není zde také možné výstřik dostatečně temperovat. Jak je možno vidět varianta se studeným vtokovým systémem vykazuje vyšší hodnoty deformací. Nejvyšší hodnota deformace má

zde velikost 0,7841 mm. Rozdíl zde činí přibližně 0,13 mm. Co se týče přední funkční plochy, zde dochází u obou variant k deformaci pohybující se okolo 0,1 mm.



Obr. 77 Deformace způsobena všemi vlivy - kombinovaný vtokový systém



Obr. 78 Deformace způsobena všemi vlivy - studený vtokový systém

### 13.4 Porovnání navržených variant a diskuze výsledků

Jak vyplývá z výsledků analýzy plnění. Použití horké trysky bude výhodnější z hlediska nižších hodnot vstřikovacího tlaku a uzavírací síly při rychlejším zaplnění tvarové dutiny formy za stejných procesních parametrů. Tavenina bude také vystavena nižší rychlosti smykové deformace. Hodnota výsledné deformace výstřiku je také nižší u zvoleného kombinovaného vtokového systému.

Hlavní důvod použití kombinovaného vtokového systému u konstrukčního návrhu ale byl předpoklad velkosériové výroby, jelikož je výstřik součástí světloometu osobního automobilu. Náklady na horkou trysku a její provoz se rozloží do ceny za kus díky snížení celkové spotřeby polymeru potažmo snížení celkového objemu vtokového zbytku. To bude posléze ověřeno za pomoci ekonomického rozboru v následující kapitole.

## 14 EKONOMICKÝ ROZBOR

Na základě zvoleného kombinovaného vtokového systému je dalším cílem provedení ekonomické bilance, která ověří, zdali se na počátku větší investice do horké trysky z hlediska finanční stránky vyplatí. Vstupní data ekonomického rozboru jsou následující:

- doba pracovního cyklu 30 s (dva výrobky)
- cena materiálu 120 Kč/kg
- cena elektrické energie 4,28 Kč za 1kWh

Předpokládá se nepřetržitý osmihodinový provoz. Recyklace vtokového zbytku není brána v úvahu. Vtoková vložka pro studený vtokový systém není do kalkulace zahrnuta, tak jako úprava formy pro horkou trysku. Ukázkový výpočet bude demonstrován pro sérii 500000 ks výrobků s tím, že na jeden cyklus jsou vyrobeny 2 výrobky. To je rovno 250000 cyklům.

### 14.1 Cena materiálu pro požadovanou sérii 500000 ks

Z analýz jednotlivých vtokových variant byla z programu Moldflow určena hmotnost výrobku a vtokového zbytku pro obě varianty.

#### Studený vtokový systém, dále (SVS):

Hmotnost výrobku:  $m_{VS} = 78,6 \text{ g}$

Hmotnost vtokového zbytku:  $m_{ZS} = 15,8 \text{ g}$

#### Kombinovaný vtokový systém, dále (KVS):

Hmotnost výrobku:  $m_{VK} = 78,2 \text{ g}$

Hmotnost vtokového zbytku:  $m_{ZK} = 5,9 \text{ g}$

Rozdíl hmotností výrobků je dán působením různých dotlakových fází a rozdílným procesem plnění. Dále se bude počítat s jejich průměrnou hodnotou:  $m_V = 78,4 \text{ g}$ .

#### 14.1.1 Cena materiálu pro SVS

$$m_{CS} = m_V + m_{ZS} = 78,4 + 15,8 = 94,2 \text{ g} = 0,0942 \text{ kg}$$

$$C_{MS} = m_{CS} \cdot 120 = 0,0942 \text{ g} \cdot 160 = 11,3 \text{ Kč}$$

Celková cena materiálu pro formu se SVS je 11,3 Kč na jeden výrobní cyklus.

$$C_{MS250000} = C_{MS} \cdot 250000 = 11,3 \cdot 250000 = 2\,825\,000 \text{ Kč}$$

Cena materiálu pro formu se SVS pro 250000 cyklů, tedy 500000 ks výrobku je 2 825 000 Kč.

#### 14.1.2 Cena materiálu pro KVS

$$m_{CK} = m_V + m_{ZK} = 78,4 + 5,9 = 84,3 \text{ g} = 0,0843 \text{ kg}$$

$$C_{MK} = m_{CK} \cdot 120 = 0,0843 \cdot 120 = 10,1 \text{ Kč}$$

Celková cena materiálu pro formu s KVS je 10,1 Kč na jeden výrobní cyklus.

$$C_{MK250000} = C_{MK} \cdot 250000 = 10,1 \cdot 250000 = 2\,525\,000 \text{ Kč}$$

Cena materiálu pro formu s KVS pro 250000 cyklů, tedy 500000 ks výrobku je 2 525 000 Kč.

Rozdíl mezi SVS a KVS tedy činí při výrobě 500000 ks rovných 360000 Kč ve prospěch KVS v ceně za materiál.

### 14.2 Čas potřebný k výrobě požadované série 500000 ks

Doba cyklu:  $t_c = 30 \text{ s}$

$1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$

$P_S = 500000 \text{ ks}$

$$n = \frac{3600}{t_c} = \frac{3600}{30} \cdot 2 = 240 \text{ ks/h}$$

Za jednu hodinu se vyrobí 240 kusů výrobků, což je 120 výrobních cyklů. Celkový čas potřebný pro sérii o 500000 ks vypočteme jako požadovaný počet kusů děleno počtem kusů vyrobených za jednu hodinu.

$$t_{500000} = \frac{P_S}{n} = \frac{500000}{240} = 2083,3 \text{ h}$$

### 14.3 Pořizovací cena a provozní náklady horké trysky

Cena horké trysky s příslušenstvím (výměnná špička trysky, zásuvka) dle nabídky e-shopu Meusburger ze dne 7. 5. 2019 je 1432 EUR. Vzhledem k nutnosti menší úpravy pro potřeby navržené formy byla částka o 100 EUR navýšena na konečných 1532 EUR. Při kurzu 1 EUR = 25,734 Kč dle webu [www.kurzy.cz](http://www.kurzy.cz) ze dne 7. 5. 2019 celková cena činí:



$$C_T = 25,734 \cdot 1532 = 39\,425 \text{ Kč}$$

$$\text{Příkon (odběr) trysky } P_T = 790 \text{ W} = 0,79 \text{ kW}$$

Průměrná cena elektřiny za 1 kWh je  $P_E = 4,28 \text{ Kč}$

Cena energie na jeden výrobní cyklus činí:

$$C_E = \frac{P_T \cdot 4,28}{\frac{n}{2}} = \frac{0,79 \cdot 4,28}{\frac{240}{2}} = 0,028 \text{ Kč}$$

Cena energie na 250000 cyklů, tedy 500000 ks výrobků činí:

$$C_{E500000} = C_E \cdot 250000$$

$$C_{E500000} = 0,028 \cdot 250000 = 7000 \text{ Kč}$$

#### 14.4 Celkové náklady SVS

Celkové náklady SVS jsou rovny celkové ceně materiálu.

$$N_{SVS} = C_{Ms250000}$$

$$N_{SVS} = 2\,825\,000 \text{ Kč}$$

#### 14.5 Celkové náklady KVS

Celkové náklady KVS jsou součtem ceny materiálu, trysky a příslušenství a energie na její provoz.

$$N_{KVS} = C_{MK250000} + C_T + C_{E5000}$$

$$N_{KVS} = 2\,525\,000 + 39\,425 + 7\,000 = 2\,571\,425 \text{ Kč}$$

Rozdíl celkových nákladů je 253 575 Kč ve prospěch KVS.

#### 14.6 Počet směn nepřetržitého provozu

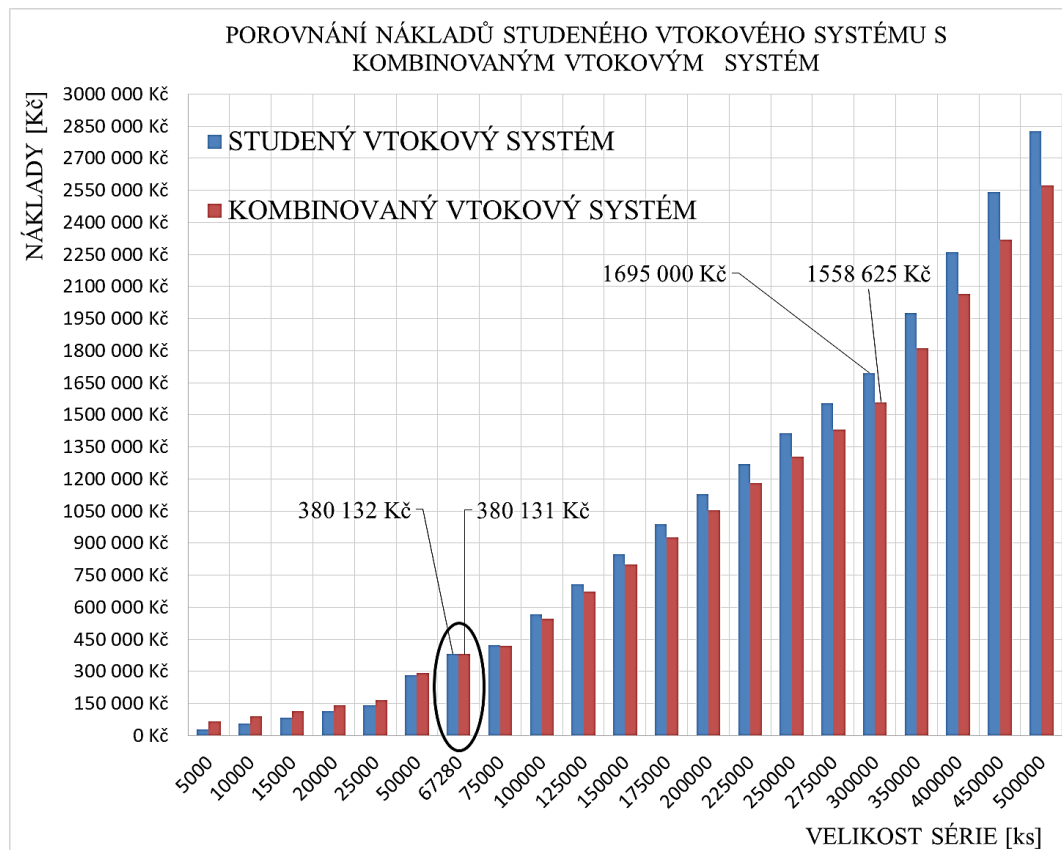
$$P_S = 67280 \text{ ks}$$

$$t_{67280} = \frac{P_S}{n} = \frac{67280}{240} = 280,3 \text{ h}$$

$$n_S = \frac{280,3}{8} = 35,04$$

Již po více jak 35 směnách je výhodnější použití při konstrukci kombinovaný vtokový systém z hlediska ekonomie výroby.

### 14.7 Diskuze výsledku ekonomického rozboru



Obr. 79 Porovnání nákladů diskutovaných vtokových systémů

Vzhledem k tomu, že vstřikovaný dílec je částí předního světlometu osobního automobilu, předpokládala se při konstrukci velkosériová výroba. Ekonomický rozbor porovnával dvě možné varianty použitého vtokového systému. A to studený vtokový systém s kombinovaným vtokovým systémem. Jak je možno vidět výše na sloupcovém grafu. Z hlediska menší sériové výroby o objemu nižším jak 67280 kusů výrobků, se z hlediska nákladů vyplatí použití studeného vtokového systému.

Pro použití při větších sériích, konkrétně nad hranicí 67280 kusů, již převáží úspora materiálu nad počátečními vysokými náklady na horkou trysku a z hlediska ekonomiky výroby se vyplatí použití kombinovaného vtokového systému, jenž byl použit v konstrukčním návrhu vstřikovací formy. Úspora nákladů např. u 300000 série činí 136375 Kč. Vyjádřeno v počtu směn jeli brán v úvahu nepřetržitý osmihodinový provoz, se tak již po 35 směnách vyplatí konstrukční řešení s kombinovaným vtokovým systémem.

## 15 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Hlavním cílem diplomové práce byl konstrukční návrh vstřikovací formy pro zadaný plastový dílec, jenž je součástí sestavy předního světlometu osobního automobilu. Jedná se o pohledový dílec, jenž slouží k vedení LED světelného zdroje. Konstrukční návrh byl proveden za pomoci 3D CAD CATIA V5R19 a následně byl ověřen pomocí simulačního softwaru Autodesk Moldflow Synergy 2016.

Jako první byl vytvořen 3D model zadaného plastového dílce, přičemž byl kladen důraz na zásady konstruování plastových dílů. Pro vymodelovaný dílec byl zvolen materiál polykarbonát, jenž se často využívá u optických dílů v automobilovém průmyslu. Konkrétně byl posléze z materiálové databáze programu Moldflow zvolen materiál od společnosti SABIC s označením Lexan 143R.

Poté byla provedena analýza v programu Moldflow o vhodnosti umístění vtokového ústí vymodelovaného dílce, jenž vedla k určení polohy vtokového ústí na výstřiku a tím také finálnímu určení způsobu zaformování dílce a určení konečných dělicích rovin.

Dle zadání vedoucího práce byla navržena dvojnásobná vstřikovací forma, která na jeden cyklus vyrobí jeden dílec pro pravý a levý světlomet, přičemž tyto dílce jsou zrcadlově shodné. 3D model dílce byl zvětšen o průměrnou hodnotu smrštění, jenž je u polykarbonátu 0,6 % a byly z něj vytvořeny pomocí modulu Core and Cavity v programu CATIA tvarové části formy. A to konkrétně tvárník a tvárnice jenž byly navrženy jako výměnné tvarové vložky společné pro dva výstřiky. Dále pak dvě boční posuvné čelisti pro každý výstřik, jenž společně utváří tvarovou dutinu formy. K ovládání a posuvu bočních posuvných čelistí je využito šikmých válcových kolíků, jenž jsou ukotveny na pravé straně formy v zámcích polohy bočních čelistí pod úhlem 18°. Zámky slouží k uzamčení polohy bočních posuvných čelistí při uzavřeném stavu formy. K zajištění posuvných čelistí v otevřeném stavu formy slouží šroub s kuličkou.

Jako vtokový systém byla použita kombinace horkého a studeného rozvodu, kde byla použita horka tryska ústící do studeného rozvodného kanálu lichoběžníkového tvaru zhotoveného v tvárníku spolu s přidržovačem vtoku. Bylo použito tunelového ústí vtoku, jenž zajistí automatické oddělení vtokového zbytku od výstřiků.

K temperaci vstřikovací formy byly využity konvekční vrtané kanály o průměru 12,10,8 a 6 mm s proudícím temperačním médiem. Jako temperační médium byla zvolena voda. Celkem

bylo navrženo devět temperačních okruhů. Z toho čtyři k temperaci tvárnice a to za pomoci soustavy vrtaných kanálu a přepážek. K temperaci a tvárníku byl navržen jeden temperační okruh s přepážkami. Temperovány byly také boční posuvné čelisti, jenž mají každá svůj vlastní okruh. Usměrnění média a utěsnění kanálu bylo řešeno za pomoci ucpávek a uzavíracích šroubů.

K vyhození výstřiku bylo použito celkem osm válcových kolíků. Z toho čtyři připadají na každý výstřik. Dále byl použit vyhazovač přidržovače vtoku a dva vyhazovače umístěné v blízkosti ústí vtoku zajišťující odtržení ústí vtoku od výrobku. Vyhazovače jsou ukotveny ve vyhazovacích deskách a pohyb vyhazovacího paketu je iniciován hydraulickým systémem vstřikovací stroje přes táhlo desek.

Odvzdušnění nebylo řešeno z důvodu předpokládaného úniku vzduchu dělicím rovinami mezi tvarovými částmi a vřely mezi tvárníkem a vyhazovači. K transportu a manipulaci je forma opatřena závěsným okem a k bezpečnému přenosu zámkem dělicí roviny.

K zaručení možnosti bezpečného transportu a manipulace se vstřikovací formou je forma opatřena závitovým okem a dvěma zámkem dělicí roviny.

Navržená vstřikovací forma byla podrobena prvotní analýze v programu Moldflow. Z výsledku analýzy a rozměrů navržené formy byl zvolen vstřikovací stroj výrobce Arburg s označením Allrounder 630 H 2500-800. Byla provedena optimalizace této analýzy a vytvořena alternativa k navrženému kombinovanému vtokovému systému a to studeným vtokovým systémem. Výsledky jednotlivých analýz byly vyhodnoceny a diskutovány. Ekonomický rozbor poté porovnal na základě nákladů a velikosti série, že při výrobě nad 67280 kusů se vyplatí použitý kombinovaný vtokový systém.

## ZÁVĚR

Tato diplomová práce byla vypracována na základě stanovených cílů dle oficiálního zadání.

V části teoretické je vypracována literární studie dané problematiky zahrnující technologii vstřikování, základní rozdělení polymerních materiálů, vstřikovací stroje, zásady při konstrukci a návrhu vstřikovaných výrobků a forem a základní vady vstřikovaných výrobků.

V praktické části je navržena vstřikovací forma pro zadaný plastový dílec za pomoci 3D CAD CATIA V5R19 a následně je konstrukční návrh ověřen pomocí analýzy v programu Moldflow Synergy 2016.

Zadaný plastový dílec je částí předního světlometu osobního automobilu a slouží jako reflektor k vedení LED světelného zdroje. Jako materiál byl použit polykarbonát od společnosti SABIC s označením Lexan 143R.

Návrh vstřikovací formy představuje stěžejní část diplomové práce. Forma je navržena dle zadání vedoucího práce jako dvojnásobná s tím, že na jeden cyklus je vyroben jeden dílec pro pravý a levý světlomet. Nejprve byl vymodelován 3D model dílce. Následně byla provedena analýza o vhodnosti určení místa ústí vtoku, která pomohla ke konečnému zaformování dílce ve formě. Vzhledem k složitosti dílce bylo za potřeby použít dvou vedlejších rovin. K zaformování byly navrženy dvě boční posuvné čelisti, které jsou ovládány válcovými šikmými kolíky. Tvarové části dále tvoří tvárník a tvárnice, které jsou navrženy jako výměnné vložky. Bylo použito kombinovaného vtokového systému skládajícího se z horké trysky a studeného rozvodného kanálu s tunelovým ústím vtoku. K temperaci bylo použito vrtaných kanálů, ve kterých proudí voda. Vyhazování výstřiku je zajištěno válcovými vyhazovacími kolíky. Při konstrukčním návrhu formy bylo snahou co největšího využití normálií Hasco a Meusburger.

Další částí bylo ověření návrhu formy pomocí tokové analýzy v programu Moldflow. Z prvotní analýzy a rozměrů formy byl zvolen vstřikový stroj Arburg Allrounder 630 H 2500-800. Byla provedena optimalizace této analýzy a byla navržena alternativa k navrženému vtokovému systému a výsledky byly vyhodnoceny a diskutovány. Ekonomický rozbor poté ukázal, že při výrobě nad 67280 kusů se vyplatí použitý kombinovaný vtokový systém.

Konstrukční návrh je doložen výkresovou dokumentací obsahující 2D řez sestavy vstřikovací formy s kusovníkem spolu s výkresy pohledů do dělicí roviny formy a výkresem vstřikovaného výrobku.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] MÉZL, Milan, 2012. *Základy technológie vstrekovania plastov*. Olomouc: Mapro, 301 s. ISBN 978-80-970749-7-5.
- [2] LENFELD, Petr. *Technologie vstřikování* [online]. 2015 [cit. 2019-01-14]. ISBN 978-80-88058-74-8. Dostupné z WWW: <https://publi.cz/books/184/Cover.html>
- [3] BOBEK, Jiří. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů* [online]. 2015 [cit. 2019-01-15]. ISBN 978-80-88058-65-6. Dostupné z WWW: <https://publi.cz/books/179/Cover.html>.
- [4] LENFELD, P. *Technologie II. - Vstřikování plastů* [online]. Technická univerzita Liberec Katedra strojírenské technologie. [cit. 2019-01-15]. Dostupná 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)
- [5] ZEMAN, Lubomír, 2009. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. Praha: BEN - technická literatura. ISBN 9788073002503.
- [6] BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery*. [online]. 2015 [cit. 2019-01-18]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z WWW: <https://publi.cz/books/180/Cover.html>.
- [7] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006, 190s. ISBN 8070806176
- [8] ZEMAN, Lubomír, 2018. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 455 s. ISBN 978-80-271-0614-1.
- [9] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů I. díl - vstřikování termoplastů*. 2. vyd. Brno: UNIPLAST, 1999. 134s.
- [10] KUTA, Antonín. *Technologie a zařízení pro zpracovávání kaučuků a plastů*. Praha: VŠCHT, 1999, 203s. ISBN 8070803673.
- [11] SEIDL, Martin. *Stroje pro zpracování polymerních materiálů* [online]. 2015. [cit. 2019-01-20]. ISBN 978-80-88058-71-7. Dostupné z WWW: <https://publi.cz/books/181/Cover.html>
- [12] ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce výlisku z plastů a forem pro zpracování plastů*. SEKURKON, organizační a vzdělávací servis. 225s. ISBN 80-86604-18-7.

- [13] BEAUMONT, John P., R. L. NAGEL a R. SHERMAN, c2002. *Successful injection molding: process, design, and simulation*. Munich: Hanser Publishers, xiii, 362 s. ISBN 1-56990-291-7.
- [14] LANXESS Inc. *Engineering Plastics: Part and Mold Design* [online]. LANXESS registered trademark. Printed in U.S.A. 2007 [cit. 2019-01-29]. 168 s. Dostupné z WWW:  
[https://techcenter.lanxess.com/scp/americas/en/docguard/Part\\_and\\_Mold\\_Design\\_Guide.pdf?docId=77015](https://techcenter.lanxess.com/scp/americas/en/docguard/Part_and_Mold_Design_Guide.pdf?docId=77015).
- [15] CAMPO, E. Alfredo. *The complete part design handbook: for injection molding of thermoplastics*. Munich: Hanser Publishers, c2006, xxi, 870 s. ISBN 1569903751.
- [16] GASTROW, Hans, Peter P(PETER) a E. LINDNER. *Injection molds: 130 proven designs*. 3rd ed. Munich: Hanser, 2002, x, 313 s. ISBN 3446214488.
- [17] HYNEK, M. a kol. KA 05 - PLASTOVÉ DÍLY: STUDENÉ A ŽIVÉ VTOKOVÉ SYSTÉMY [online]. Fakulta strojní - Západočeská univerzita v Plzni. [cit. 2019-02-13]. Dostupné z WWW:  
[https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK\\_PU/KA\\_05\\_publicace/KA05\\_Studene\\_a\\_zive\\_vtokove\\_systemy.pdf](https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publicace/KA05_Studene_a_zive_vtokove_systemy.pdf)
- [18] BEAUMONT, John P. *Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding*. Munich: Hanser, c2004, xvi, 286 s. ISBN 1569903476.
- [19] HYNEK, M. a kol. KA 05 - PLASTOVÉ DÍLY: HORKÉ VTOKY [online]. Fakulta strojní - Západočeská univerzita v Plzni. [cit. 2019-02-14]. Dostupné z WWW:  
[https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK\\_PU/KA\\_05\\_publicace/KA05\\_Horke\\_vtoky.pdf](https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publicace/KA05_Horke_vtoky.pdf)
- [20] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů, II díl-Vstřikování termoplastů*. 1. vydání Brno: UNIPLAST, 1999. 214s
- [21] HYNEK, M. a kol. KA 05 - PLASTOVÉ DÍLY: TEMPERACE VSTŘIKOVACÍCH FOREM [online]. Fakulta strojní - Západočeská univerzita v Plzni. [cit. 2019-02-14]. Dostupné z WWW:

- [https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK\\_PU/KA\\_05\\_publicace/KA05\\_Temperace\\_vstrikovacich\\_forem.pdf](https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publicace/KA05_Temperace_vstrikovacich_forem.pdf)
- [22] HYNEK, M. a kol. KA 05 - PLASTOVÉ DÍLY: VYHAZOVACÍ SESTAVA A VYHAZOVAČE [online]. Fakulta strojní - Západočeská univerzita v Plzni. [cit. 2019-02-14]. Dostupné z WWW:  
[https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK\\_PU/KA\\_05\\_publicace/KA05\\_Vyhazovaci\\_sestava\\_a\\_vyhazovace.pdf](https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publicace/KA05_Vyhazovaci_sestava_a_vyhazovace.pdf)
- [23] HYNEK, M. a kol. KA 05 - PLASTOVÉ DÍLY: KINEMATICKÉ ELEMENTY [online]. Fakulta strojní - Západočeská univerzita v Plzni. [cit. 2019-02-14]. Dostupné z WWW:  
[https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK\\_PU/KA\\_05\\_publicace/KA05\\_Kinematicke\\_elementy.pdf](https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publicace/KA05_Kinematicke_elementy.pdf)
- [24] NEZNÁMÝ AUTOR – CATIA V5 STUDENT EDITION [online]. [cit. 2019-04-18]. Dostupné z WWW:  
<https://academy.3ds.com/en/software/catia-v5-student-edition>
- [25] NEZNÁMÝ AUTOR – AUTODESK MOLDFLOW 2016 [online]. [cit. 2019-04-18]. Dostupné z WWW:  
<http://www.smartplast.cz/data/official/Moldflow-2016.pdf>
- [26] NEZNÁMÝ AUTOR – ARBURG [online]. [cit. 2019-04-18]. Dostupné z WWW:  
[https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/Mediathek/Technische\\_Daten/ARBURG\\_ALLROUNDER\\_630H\\_TD\\_680766\\_en\\_GB.pdf](https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/Mediathek/Technische_Daten/ARBURG_ALLROUNDER_630H_TD_680766_en_GB.pdf)



**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

3D	Trojrozměrný prostor
2D	Dvojměrný prostor
LED	Typ světelného zdroje
PC	Polykarbonát
GIT	Vstřikování plastů s podporou vody
WIT	Vstřikování plastů s podporou plynu
p	Tlak
Pa	Pascal
MPa	Megapascal
v	Měrný objem
cm <sup>3</sup>	Centimetr krychlový
g	Gram
T	Teplota
°C	Stupeň Celsia
T <sub>VY</sub>	Teplota vyhození
T <sub>O</sub>	Teplota okolí
T <sub>1bar</sub>	Teplota při tlaku jeden bar
bar	Vedlejší jednotka tlaku
t	Čas
s	Sekunda
T <sub>g</sub>	Teplota skelného přechodu
T <sub>f</sub>	Teplota viskózního toku
T <sub>m</sub>	Teplota tání krystalického podílu
GF	Skelná vlákna

---

CF	Uhlíková vlákna
PS	Polystyren
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
SAN	Styren-akrylonitril
PVC	Polyvinylchlorid
PMMA	Polymethylmethakrylát
PP	Polypropylen
LDPE	Nízko hustotní polypropylen
HDPE	Vysoko hustotní polypropylen
PA	Polyamid
POM	Polyoxymethylen
PBT	Polyethylentereftalát
PET	Polyethylentereftalát
EPDM	Ethylen-propylen-dién-terpolymerový kaučuk
mm	Milimetr
kg	Kilogram
N	Newton
SVS	Studený vtokový systém
VVS	Vyhřívaný vtokový systém
CAD	Počítačem podporované navrhování
HDR	Hlavní dělicí rovina
VDR	Vedlejší dělicí rovina
HRC	Tvrдость dle Rockwella
tuna	Vedlejší jednotka hmotnosti
s <sup>-1</sup>	Reciproká sekunda

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Vstřikovací cyklus v čase [3] .....</i>	16
<i>Obr. 2 Průběh vstřikovacího cyklu vstřikování termoplastů v pvT diagramu [5] .....</i>	17
<i>Obr. 3 Průběh tlaku a teploty v dutině formy v čase při vstřikování termoplastů [5] .....</i>	19
<i>Obr. 4 Vliv jednotlivých parametrů a fází vstřikovacího cyklu na proces vstřikování a výslednou kvalitu a vlastnosti výstřiku [5] .....</i>	20
<i>Obr. 5 Procesní okno technologie vstřikování [5] .....</i>	20
<i>Obr. 6 Základní rozdělení polymerních materiálů [7] .....</i>	21
<i>Obr. 7 Rozdělení dle molekulární struktury polymerů [6] .....</i>	22
<i>Obr. 8 Schématické znázornění uspořádání makromolekul ve struktuře polymeru [6] .....</i>	22
<i>Obr. 9 Rozdělení polymerů dle oblasti jejich využití [6] .....</i>	25
<i>Obr. 10 Vstřikovací stroj a jeho hlavní součásti [3] .....</i>	27
<i>Obr. 11 Vstřikovací jednotka [11] .....</i>	30
<i>Obr. 12 Přejít různých tloušťek a řešení zaoblení rohů u vstřikovaných výrobků [14] .....</i>	35
<i>Obr. 13 Návrh úkosů stěn vstřikovaných výrobků [14] .....</i>	36
<i>Obr. 14 Návrh rozměrů žeber u vstřikovaných výrobků [3] .....</i>	37
<i>Obr. 15 Základní návrh rozměrů nálitků a jejich napojení na základní stěnu výstřiku [3] .....</i>	38
<i>Obr. 16 Doporučení pro návrh vnitřních a vnějších závitů na výstřicích [14] .....</i>	39
<i>Obr. 17 Dvoudesková vstřikovací forma a její základní části [14] .....</i>	42
<i>Obr. 18 Studený vtokový systém a jeho hlavní součásti [17] .....</i>	43
<i>Obr. 19 Příklady návrhu vícenásobných vtokových systému [14] .....</i>	44
<i>Obr. 20 Provedení průřezů vtokových kanálů [14] .....</i>	45
<i>Obr. 21 Provedené filmového, vějířového a zvonového ústí vtoku [3] .....</i>	46
<i>Obr. 22 Návrh a možnosti provedení tunelového ústí vtoku [3] .....</i>	47
<i>Obr. 23 Řez banánovým ústím vtoku a ukázka jeho oddělení od výstřiku [17] .....</i>	48
<i>Obr. 24 Deštníkové a talířové provedení ústí vtoku [3] .....</i>	48
<i>Obr. 25 Horký rozvodný blok s tryskami ovládanými jehlami [19] .....</i>	51
<i>Obr. 26 Srovnání vrtaných kanálů s konformní temperací [21] .....</i>	53
<i>Obr. 27 Konstrukční prvky temperace vstřikovacích forem [21] .....</i>	54
<i>Obr. 28 Sestava vyhazovacího systému [22] .....</i>	55

<i>Obr. 29 Vyhození vtokového zbytku vyhazovačem [17] .....</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 30 Doporučené rozměry a umístění při návrhu odvodušnění [3] .....</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 31 Ukázka funkce posuvných tvarových čelistí ovládaných šikmým kolíkem [14].....</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 32 Ukázka funkce a použití šikmého a tvarového vyhazovače [23].....</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 33 Průběh rychlostního profilu a tečení neplněných plastů [2] .....</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 34 Závislost smrštění na době dotlaku a teplotě formy [2] .....</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 35 3D model zadaného dílce.....</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 36 Statistika vytvořené sítě typu Dual-Domain .....</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 37 Analýza vhodnosti umístění vtokového ústí .....</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 38 Sestava navržené vstřikovací formy .....</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 39 Zaformování výstřiku ve formě .....</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 40 Základní části navržené vstřikovací formy .....</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 41 Levá a pravá strana navržené vstřikovací formy .....</i>	<i>76</i>
<i>Obr. 42 Tvárnice a tvárník s bočními posuvnými čelistmi .....</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 43 Boční posuvné čelisti a jejich výměnné části .....</i>	<i>78</i>
<i>Obr. 44 Kompletní sestava bočních posuvných čelistí v uzavřeném stavu.....</i>	<i>78</i>
<i>Obr. 45 Řez tvarových částí v uzavřeném stavu .....</i>	<i>79</i>
<i>Obr. 46 Zaformování výstřiku v uzavřené a otevřené poloze .....</i>	<i>80</i>
<i>Obr. 47 Navržený vtokový systém v řezu a jeho hlavní součásti.....</i>	<i>81</i>
<i>Obr. 48 Temperační systém tvárnice.....</i>	<i>82</i>
<i>Obr. 49 Temperační systém tvárníku .....</i>	<i>83</i>
<i>Obr. 50 Temperační systém menší posuvné čelisti.....</i>	<i>84</i>
<i>Obr. 51 Temperační systém větší posuvné čelisti .....</i>	<i>85</i>
<i>Obr. 52 Sestava vyhazovacího paketu.....</i>	<i>86</i>
<i>Obr. 53 Ukotvení a označení použitých vyhazovacích válcových kolíků .....</i>	<i>86</i>
<i>Obr. 54 Vodící a středící prvky vstřikovací formy .....</i>	<i>87</i>
<i>Obr. 55 Transportní a pojistné prvky formy .....</i>	<i>88</i>
<i>Obr. 56 Předběžná analýza - čas plnění .....</i>	<i>89</i>
<i>Obr. 57 Předběžná analýza - rychlost smykové deformace.....</i>	<i>90</i>
<i>Obr. 58 Předběžná analýza - průběh velikosti uzavírací síly v čase.....</i>	<i>91</i>
<i>Obr. 59 Předběžná analýza - průběh vstřikovacího tlaku.....</i>	<i>92</i>
<i>Obr. 60 Čas plnění - kombinovaný vtokový systém.....</i>	<i>94</i>

<i>Obr. 61 Čas plnění - studený vtokový systém .....</i>	94
<i>Obr. 62 Rychlost smykové deformace, .....</i>	95
<i>Obr. 63 Průběh velikosti uzavírací síly v čase - kombinovaný vtokový systém .....</i>	96
<i>Obr. 64 Průběh velikosti uzavírací síly v čase - studený vtokový systém .....</i>	96
<i>Obr. 65 Průběh vstřikovacího tlaku - kombinovaný vtokový systém .....</i>	97
<i>Obr. 66 Průběh vstřikovacího tlaku - studený vtokový systém .....</i>	97
<i>Obr. 67 Zamrznuté vrstvy .....</i>	98
<i>Obr. 68 Vzduchové kapsy - kombinovaný vtokový systém .....</i>	99
<i>Obr. 69 Vzduchové kapsy - studený vtokový systém.....</i>	99
<i>Obr. 70 Propadliny - kombinovaný vtokový systém .....</i>	100
<i>Obr. 71 Propadliny - studený vtokový systém.....</i>	100
<i>Obr. 72 Teplotní spád v temperačním okruhu - kombinovaný vtokový systém.....</i>	101
<i>Obr. 73 Tlak v temperačním okruhu - kombinovaný vtokový systém .....</i>	102
<i>Obr. 74 Čas potřebný na dosažení teploty vyhození, .....</i>	103
<i>Obr. 75 Deformace způsobena chlazením - kombinovaný vtokový systém .....</i>	104
<i>Obr. 76 Deformace způsobena chlazením - studený vtokový systém .....</i>	104
<i>Obr. 77 Deformace způsobena všemi vlivy - kombinovaný vtokový systém .....</i>	105
<i>Obr. 78 Deformace způsobena všemi vlivy - studený vtokový systém.....</i>	105
<i>Obr. 79 Porovnání nákladů diskutovaných vtokových systémů.....</i>	110

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1 Základní parametry při volbě vstřikovacího stroje [2] .....</i>	<i>29</i>
<i>Tab. 2 Doporučené velikosti úkosu vstřikovaných výrobků [9] .....</i>	<i>36</i>
<i>Tab. 3 Doporučené hodnoty šířky odvzdušňovacích kanálů pro vybrané plasty [3,12] .....</i>	<i>57</i>
<i>Tab. 4 Vybrané vlastnosti polykarbonátu (PC) [6] .....</i>	<i>70</i>
<i>Tab. 5 Doporučené procesní parametry pro materiál Lexan 143R .....</i>	<i>70</i>
<i>Tab. 6 Základní vybrané parametry zvoleného vstřikovacího stroje [26] .....</i>	<i>92</i>

**SEZNAM PŘÍLOH**

P I MATERIÁLOVÝ LIST

P II VSTŘIKOVACÍ FORMA

P III VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE

P IV DVD DISK OBSAHUJÍCÍ:

- DIPLOMOVOU PRÁCI
- MODEL VÝROBKU
- MODEL VSTŘIKOVACÍ FORMY
- VÝKRESOVOU DOKUMENTACI
- ANALÝZY
- TECHNICKÝ LIST VSTŘIKOVACÍHO STROJE
- MATERIÁLOVÝ LIST

# PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST

## LEXAN<sup>TM</sup> RESIN 143R

REGION EUROPE

### DESCRIPTION

UL rated HB as of 10/97. 200 series recommended when V-2 rating required. Nonhalogenated. 10.5 MFR. UV-stabilized. Internal mold release.

### TYPICAL PROPERTY VALUES

Revision 20190214

PROPERTIES	TYPICAL VALUES	UNITS	TEST METHODS
<b>MECHANICAL</b>			
Taber Abrasion, CS-17, 1 kg	10	mg/1000cy	SABIC method
Tensile Stress, yield, 50 mm/min	63	MPa	ISO 527
Tensile Stress, break, 50 mm/min	70	MPa	ISO 527
Tensile Strain, yield, 50 mm/min	6	%	ISO 527
Tensile Strain, break, 50 mm/min	110	%	ISO 527
Tensile Modulus, 1 mm/min	2350	MPa	ISO 527
Flexural Stress, yield, 2 mm/min	90	MPa	ISO 178
Flexural Modulus, 2 mm/min	2300	MPa	ISO 178
Hardness, H358/30	95	MPa	ISO 2039-1
<b>IMPACT</b>			
Izod Impact, unnotched 80°10°3 +23°C	NB	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 180/1U
Izod Impact, unnotched 80°10°3 -30°C	NB	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 180/1U
Izod Impact, notched 80°10°3 +23°C	70	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 180/1A
Izod Impact, notched 80°10°3 -30°C	12	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 180/1A
Charpy 23°C, V-notch Edgew 80°10°3 sp=62mm	73	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1eA
Charpy -30°C, V-notch Edgew 80°10°3 sp=62mm	14	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1eA
Charpy 23°C, Unnotch Edgew 80°10°3 sp=62mm	NB	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1eU
Charpy -30°C, Unnotch Edgew 80°10°3 sp=62mm	NB	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1eU
Charpy Impact, notched, 23°C	35	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/2C
<b>THERMAL</b>			
Thermal Conductivity	0.2	W/m·°C	ISO 8302
CTE, 23°C to 80°C, flow	7.E-05	1/°C	ISO 11359-2
Ball Pressure Test, 125°C +/- 2°C	PASSES	-	IEC 60695-10-2
Ball Pressure Test, approximate maximum	140	°C	IEC 60695-10-2
Vicat Softening Temp, Rate A/50	153	°C	ISO 306
Vicat Softening Temp, Rate B/50	141	°C	ISO 306
Vicat Softening Temp, Rate B/120	142	°C	ISO 306
HDT/Be, 0.45MPa Edgew 120°10°4 sp=100mm	136	°C	ISO 75/Be
HDT/Ae, 1.8 MPa Edgew 120°10°4 sp=100mm	125	°C	ISO 75/Ae
Relative Temp Index, Elec	130	°C	UL 746B
Relative Temp Index, Mech w/impact	125	°C	UL 746B
Relative Temp Index, Mech w/o impact	125	°C	UL 746B
<b>PHYSICAL</b>			
Mold Shrinkage on Tensile Bar, flow	0.5 – 0.7	%	SABIC method



PROPERTIES	TYPICAL VALUES	UNITS	TEST METHODS
Density	1.2	g/cm <sup>3</sup>	ISO 1183
Water Absorption, (23°C/sat)	0.35	%	ISO 62
Moisture Absorption (23°C / 50% RH)	0.15	%	ISO 62
Melt Volume Rate, MVR at 300°C/ 1.2 kg	12	cm <sup>3</sup> /10 min	ISO 1133
<b>OPTICAL</b>			
Light Transmission, 2.54 mm	88 – 90	%	ASTM D 1003
Haze, 2.54 mm	<0.8	%	ASTM D 1003
Refractive Index	1.586	-	ISO 489
<b>ELECTRICAL</b>			
Volume Resistivity	>1.E+15	Ohm-cm	IEC 60093
Surface Resistivity, ROA	>1.E+15	Ohm	IEC 60093
Dielectric Strength, shorttime, 1.0mm	15	kV/mm	IEC 60243-1
Dielectric Strength, in oil, 3.2 mm	17	kV/mm	IEC 60243-1
Relative Permittivity, 1 MHz	2.7	-	IEC 60250
Dissipation Factor, 50/60 Hz	0.001	-	IEC 60250
Dissipation Factor, 1 MHz	0.01	-	IEC 60250
Comparative Tracking Index	250	V	IEC 60112
Relative Permittivity, 50/60 Hz	2.7	-	IEC 60250
<b>FLAME CHARACTERISTICS</b>			
UL Recognized, 94HB Flame Class Rating	0.75	mm	UL 94
UL Recognized, 94HB Flame Class Rating 2nd value	3	mm	UL 94
Glow Wire Flammability Index 850°C, passes at	1	mm	IEC 60695-2-12
Oxygen Index (LOI)	25	%	ISO 4589
<b>INJECTION MOLDING</b>			
Drying Temperature	120	°C	
Drying Time	2 – 4	hrs	
Maximum Moisture Content	0.02	%	
Melt Temperature	280 – 310	°C	
Nozzle Temperature	270 – 290	°C	
Front - Zone 3 Temperature	280 – 310	°C	
Middle - Zone 2 Temperature	270 – 290	°C	
Rear - Zone 1 Temperature	260 – 280	°C	
Hopper Temperature	60 – 80	°C	
Mold Temperature	80 – 110	°C	

## DISCLAIMER

Any sale by SABIC, its subsidiaries and affiliates (each a "seller"), is made exclusively under seller's standard conditions of sale (available upon request) unless agreed otherwise in writing and signed on behalf of the seller. While the information contained herein is given in good faith, SELLER MAKES NO WARRANTY, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING MERCHANTABILITY AND NON-INFRINGEMENT OF INTELLECTUAL PROPERTY, NOR ASSUMES ANY LIABILITY, DIRECT OR INDIRECT, WITH RESPECT TO THE PERFORMANCE, SUITABILITY OR FITNESS FOR INTENDED USE OR PURPOSE OF THESE PRODUCTS IN ANY APPLICATION. Each customer must determine the suitability of seller materials for the customer's particular use through appropriate testing and analysis. No statement by seller concerning a possible use of any product, service or design is intended, or should be construed, to grant any license under any patent or other intellectual property right.

## PŘÍLOHA II: VSTŘIKOVACÍ FORMA

