

# Konstrukce vstřikovací formy pro plastový díl a ověření funkčnosti pomocí software Moldflow

Bc. David Vajdák

---

Diplomová práce  
2024



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2023/2024

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. David Vajdák**  
Osobní číslo: **T22377**  
Studijní program: **N0788A270008 Konstrukce nástrojů**  
Forma studia: **Prezenční**  
Téma práce: **Konstrukce vstřikovací formy pro plastový díl a ověření funkčnosti pomocí software Moldflow**

## Zásady pro vypracování

1. Vypracovat literární studii pro dané téma.
2. Provést konstrukci modelu zadané součásti.
3. Navrhnout 3D konstrukci vstřikovací formy pro zadaný díl s ohledem na vyrobiteľnost.
4. Ověřit funkčnost navrženého řešení pomocí simulace v software MoldFlow.
5. Nakreslit 2D řez vstřikovací formou s kusovníkem.

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

Seznam doporučené literatury:

- 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
- 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
- WANG, Maw-Ling, Rong-Yeu CHANG a Chia-Hsiang HSU. Molding simulation: theory and practice. Cincinnati: Hanser Publications, [2018], xviii, 513 s. ISBN 978-1-56990-619-4
- KERKSTRA, Randy a Steve BRAMMER. Injection molding advanced troubleshooting guide. Munich: Hanser Publishers, 2018, 491 s. ISBN 978-1-56990-645-3.

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

Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2024**  
Termín odevzdání diplomové práce: **10. května 2024**

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

L.S.

**doc. Ing. Martin Bednařík, Ph.D. v.r.**  
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 27. února 2024

## **PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

### **Prohlašuji,**

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

Ve Zlíně dne: 10.5.2024

Jméno a příjmení studenta: David Vajd'ák

.....  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Cílem této diplomové práce je konstrukce vstřikovací formy pro výrobu regulačního ventilu topení. V teoretické části jsou shrnuty poznatky o polymerech, technologii vstřikování, konstrukci vstřikovaných výrobků, vstřikovacích formách a simulacích procesu vstřikování. V praktické části je vytvořen model ventilu a návrh konstrukce vstřikovací formy. Tento návrh je ověřen pomocí tokové analýzy v softwaru Moldflow. Konstrukce formy je provedena v programu Catia s využitím normálií od firmy Meusburger. Součástí práce je výkresová dokumentace s kusovníkem.

Klíčová slova: polymery, technologie vstřikování, vstřikovací forma, analýza vstřikování, Catia, Moldflow

## **ABSTRACT**

The aim of this master thesis is the design of an injection mold for the production of a heating control valve. The theoretical part summarizes knowledge about polymers, injection molding technology, design of injection molded products, injection molds and simulations of the injection process. In the practical part, the valve model and design of the injection mold are created. This design is verified using flow analysis in Moldflow software. The mold design is performed in Catia software using Meusburger normals. The drawing documentation with a part list are part of the thesis.

Keywords: polymers, injection molding technology, injection molds, injection analysis, Catia, Moldflow

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé diplomové práce doc. Ing. Martinu Ovsíkovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a čas strávený při jejím vedení. Dále bych rád poděkoval své rodině za podporu během celého studia.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 POLYMERNÍ MATERIÁLY</b> .....	<b>12</b>
1.1 ROZDĚLENÍ POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ .....	13
1.1.1 Rozdělení podle chování polymeru při zvýšené teplotě .....	13
1.1.2 Rozdělení podle tvaru makromolekul .....	14
1.1.3 Rozdělení podle uspořádání makromolekul .....	15
1.2 PŘÍSADY POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ .....	16
1.2.1 Plniva.....	16
1.2.2 Barviva .....	16
1.2.3 Stabilizátory .....	16
1.2.4 Změkčovadla .....	17
1.2.5 Retardéry .....	17
1.2.6 Maziva.....	17
1.3 REOLOGIE POLYMERNÍCH TAVENIN .....	17
<b>2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ</b> .....	<b>20</b>
2.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS .....	20
2.1.1 Uzavření formy .....	21
2.1.2 Plastikace.....	21
2.1.3 Vstřikování a dotlak .....	22
2.1.4 Chlazení.....	23
2.1.5 Vyhození výrobku .....	24
2.1.6 Vstřikovací cyklus v pvT diagramu .....	24
2.2 PROCESNÍ OKNO .....	25
2.3 TOK MATERIÁLU .....	26
2.4 VADY VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ.....	27
2.4.1 Studené spoje .....	28
2.4.2 Propadliny .....	28
2.4.3 Bublíny a lunkry.....	29
2.4.4 Neúplný výstřik .....	29
2.4.5 Spálená místa .....	30
2.4.6 Stříbrné pruhy.....	30
2.4.7 Volný tok taveniny .....	31
2.4.8 Přetoky .....	31
2.5 VSTŘIKOVACÍ STROJE.....	32
2.5.1 Vstřikovací jednotka .....	33
2.5.2 Uzavírací jednotka .....	34
<b>3 KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU</b> .....	<b>36</b>
3.1 TLOUŠŤKA STĚNY.....	36
3.2 ZAOBLNĚNÍ HRAN.....	37

3.3	ÚKOSY .....	37
3.4	ŽEBROVÁNÍ .....	38
3.5	KOMÍNKY .....	38
3.6	POVRCH VÝROBKŮ .....	39
<b>4</b>	<b>VSTŘIKOVACÍ FORMY .....</b>	<b>40</b>
4.1	BOČNÍ ODFORMOVÁNÍ .....	42
4.2	VTKOVÝ SYSTÉM .....	43
4.2.1	Studený vtokový systém .....	43
4.2.2	Horký vtokový systém .....	47
4.3	TEMPERAČNÍ SYSTÉM .....	49
4.3.1	Aktivní temperace .....	49
4.3.2	Pasivní temperace .....	51
4.4	VYHAZOVACÍ SYSTÉM .....	52
4.4.1	Mechanické vyhazování .....	52
4.4.2	Pneumatické vyhazování .....	54
4.5	ODVZDUŠNĚNÍ .....	54
4.6	POSTUP KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍCH FOREM .....	55
<b>5</b>	<b>SIMULACE PROCESU VSTŘIKOVÁNÍ .....</b>	<b>56</b>
5.1	AUTODESK MOLDFLOW .....	56
5.1.1	Typy analýz .....	57
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>59</b>
<b>6</b>	<b>STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE .....</b>	<b>60</b>
<b>7</b>	<b>ZADANÁ SOUČÁST .....</b>	<b>61</b>
7.1	MATERIÁL .....	62
<b>8</b>	<b>KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY .....</b>	<b>63</b>
8.1	ZAFORMOVÁNÍ SOUČÁSTI .....	65
8.2	TVAROVÉ ČÁSTI FORMY .....	66
8.3	POSUVNÉ BOČNÍ ČELISTI .....	67
8.4	NÁSOBNOST FORMY .....	68
8.5	VTKOVÝ SYSTÉM .....	68
8.6	TEMPERAČNÍ SYSTÉM .....	71
8.7	VYHAZOVACÍ SYSTÉM .....	72
8.8	ODVZDUŠNĚNÍ .....	74
8.9	TRANSPORTNÍ ZAŘÍZENÍ .....	74
<b>9</b>	<b>VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE .....</b>	<b>75</b>
<b>10</b>	<b>OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI NÁVRHU VSTŘIKOVACÍ FORMY .....</b>	<b>76</b>



10.1	NASTAVENÍ ANALÝZY .....	76
10.1.1	Tvorba sítě.....	76
10.1.2	Volba parametrů okrajových podmínek.....	77
10.2	ANALÝZA PLNĚNÍ A DOTLAKU (FILL + PACK) .....	80
10.2.1	Čas plnění (Fill time) .....	80
10.2.2	Rychlost smykové deformace (Shear rate, bulk) .....	81
10.2.3	Smykové napětí na stěně (Shear stress at wall) .....	82
10.2.4	Teplota na čele taveniny (Temperature at flow front).....	84
10.2.5	Průběh uzavírací síly (Clamp force: XY Plot) .....	85
10.2.6	Tlak v místě vtokového ústí (Pressure at injection location: XY Plot).....	86
10.2.7	Studené spoje (Weld lines).....	86
10.2.8	Vzduchové kapsy (Air traps) .....	88
10.3	ANALÝZA CHLAZENÍ (COOL).....	89
10.3.1	Teplota temperačního média (Circuit coolant temperature) .....	89
10.3.2	Čas pro dosažení vyhazovací teploty (Time to reach ejection temperature) .....	89
10.3.3	Efektivita odvodu tepla (Circuit heat removal efficiency).....	90
10.3.4	Průtok temperačního média v temperačním systému (Circuit flow rate).....	91
10.4	ANALÝZA DEFORMACE A SMRŠTĚNÍ (WARP).....	92
10.4.1	Celková deformace (Deflection, all effects).....	92
10.5	DISKUZE VÝSLEDKŮ ANALÝZY .....	92
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>94</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>95</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>99</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>102</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>105</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>106</b>

## ÚVOD

Polymery patří díky své široké škále vlastností mezi hojně používané materiály a nahrazují tak kovy, dřevo, keramiku a sklo. Je možné se s nimi setkat v téměř všech průmyslových odvětvích. Polymery je možné zpracovávat několika výrobními technologiemi (např. lisování, válcování, vytlačování). Jednou z nejpoužívanějších technologií je vstřikování. Princip této technologie spočívá v roztavení polymeru a jeho dopravení do tvarové dutiny formy, kde se ochladí a následně vyhodí z formy. Tímto způsobem je možné rychle vyrábět velmi složité součásti, s kvalitním povrchem a vysokou rozměrovou přesností.

Při konstrukci vstřikovaného výrobku je podstatná znalost technologie vstřikování a dodržení doporučených zásad. Nástrojem je vstřikovací forma, která se skládá z několika částí a pořizovací cena je tak velmi vysoká. Pro snížení nákladů na výrobu formy se používají normalizované součásti od specializovaných výrobců (např. Hasco, Meusburger). Konstrukce se většinou provádí v softwaru s 3D prostředím (např. Catia, Inventor, SolidWorks). Během vstřikování mohou vznikat různé vady, které je možné v některých případech odstranit změnou procesních parametrů. Pokud se tím vada neodstraní, je potřeba provést změnu konstrukce formy a případně i výrobku. Pro předejití dodatečných změn se využívá simulačních analýz (např. Moldflow, Cadmould), pomocí kterých je možné ověřit funkčnost navržené vstřikovací formy.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 POLYMERNÍ MATERIÁLY

Polymerní materiály jsou přírodního nebo syntetického původu. Skládají se z velkých molekul (tzv. makromolekul), v nichž se mnohokrát opakuje základní konstituční jednotka mer. Řecká předpona poly znamená mnoho nebo více. Délka makromolekul může být vyjádřena molární hmotností, která u polymerů přesahuje hodnotu  $10^4$  g/mol. Hlavní řetězec makromolekul (zvaný páteř řetězce) je většinou tvořen atomy uhlíku, mohou se v něm však vyskytovat i jiné prvky jako kyslík, dusík a křemík. Na atomy tvořící páteř řetězce jsou vázány další atomy uhlíku, vodíku, kyslíku, dusíku, chloru, fluoru nebo jiných prvků. Atomy makromolekul jsou spojeny kovalentními vazbami. Jejich vazebná energie ovlivňuje mechanickou pevnost polymeru, jeho stabilitu za zvýšených teplot a odolnost při působení chemikálií. Polymery tedy představují chemickou stavebnici, která umožňuje neobyčejnou proměnlivost struktur i vlastností materiálu. [1,2]

Syntetické polymery vznikají různými chemickými reakcemi:

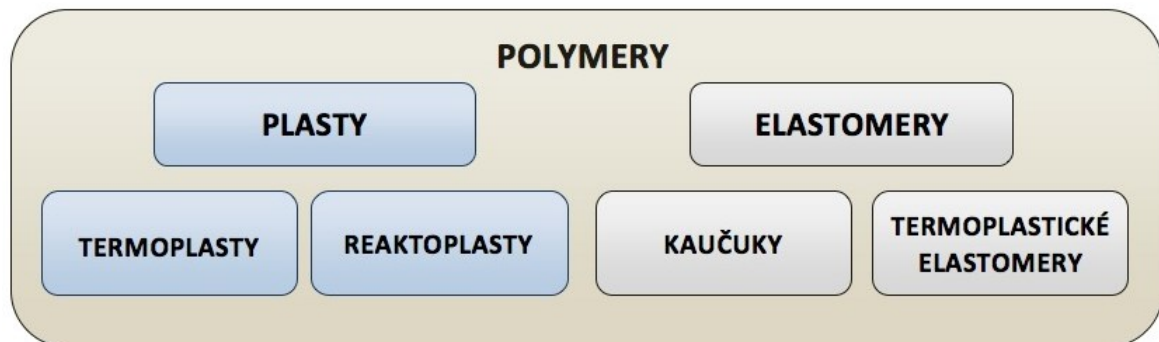
- Polymerace je řetězová reakce velkého počtu molekul monomeru, při které vznikají dlouhé makromolekuly polymeru. Při této reakci nevzniká vedlejší produkt a chemické složení polymeru je stejné jako chemické složení monomeru. Rychlost polymerace a velikost vznikajících makromolekul je dána rychlostmi jednotlivých dílcích dějů, ze kterých se polymerace skládá (z počátku reakce – iniciace, jejího růstu – propagace, končení – terminace). Pro zahájení polymeračního procesu je potřeba aktivační energie, která převádí částice reagující látky do aktivní formy. Molekuly lze aktivovat účinkem tepla, záření nebo aktivující látkou (tzv. iniciátorem). [3]
- Polykondenzace je stupňovitá reakce, při které se spojují molekuly monomerů do dlouhých řetězců. Při každém připojení další monomerní jednotky se odštěpí vedlejší produkt (molekula vody, chlorovodík nebo amoniak). Výsledný polymer má jiné chemické složení než nízkomolekulární látky, ze kterých vznikl. Reakci je možné v libovolném stádiu přerušit a opět v ní pokračovat například až při zpracování materiálu na finální výrobek. [1,3]
- Polyadice je stupňovitá reakce dvou odlišných monomerů obsahující v molekule reaktivní atomové skupiny. Nevzniká přitom žádný vedlejší produkt, ale vodíkový atom se přesouvá z jedné reaktivní skupiny na jinou, čímž probíhá slučování (adice). Složení produktu se od výchozích látek neliší, ale liší se struktura. [1,3]

## 1.1 Rozdělení polymerních materiálů

Polymery je možné rozdělit například podle chování při zvýšené teplotě, podle tvaru a uspořádání makromolekul.

### 1.1.1 Rozdělení podle chování polymeru při zvýšené teplotě

Základní rozdělení polymerů podle chování při zvýšené teplotě je na plasty a elastomery.



Obrázek 1 Základní rozdělení polymerů [1]

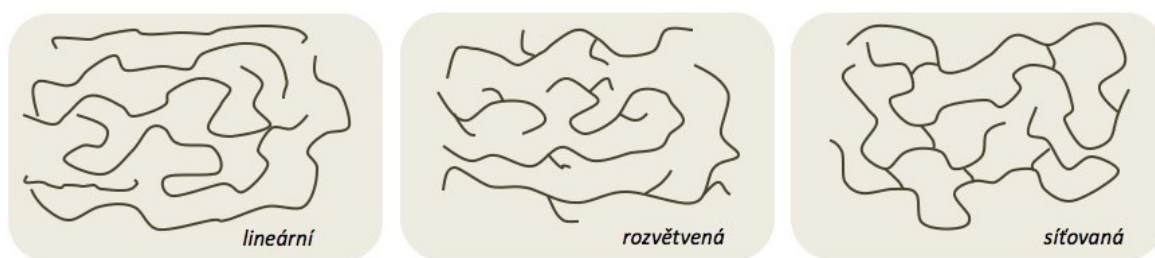
Plasty jsou polymery, u kterých při vnějším namáhání dochází převážně k deformaci nevratného charakteru. Za normálních podmínek jsou většinou tvrdé a často i křehké. Plasty se dále dělí na termoplasty a reaktoplasty. Termoplasty jsou materiály, které při zahřívání přechází do plastického stavu (lze je tvářet) a při překročení teploty tání přechází do oblasti taveniny. Ochlazením pod tuto teplotu přecházejí opět do tuhého stavu. Při zahřívání neprobíhá chemická reakce a během zpracování se nezmění jejich chemická struktura. Materiál prochází pouze změnami fyzikálního charakteru a proces měknutí a tuhnutí je vratný. Termoplasty jsou amorfni i semikrystalické. Reaktoplasty jsou materiály, které jsou tavitelné a tvarovatelné jen určitou dobu po zahřátí. Dalším zahříváním dochází k chemické změně, molekuly zesít'ují a od tohoto okamžiku jsou reaktoplasty netavitelné a nerozpustné. Tato chemická reakce se nazývá vytvrzování. Výrobky z reaktoplastů mají vysokou tepelnou a chemickou odolnost, tuhost a tvrdost. Reaktoplasty jsou amorfni. [1,4]

Elastomery jsou vysoce pružné materiály s nízkou tuhostí, které lze za běžných podmínek malou silou značně deformovat. Tato deformace je bez porušení a převážně vratného charakteru. Typickým představitelem jsou kaučuky, ze kterých se vulkanizací (zesít'ováním) vyrábí pryže. Pryž je vysoce pružný materiál, odolný trvalé deformaci a v důsledku zesí'tění je amorfni polymerem. Termoplastické elastomery mají velmi podobné vlastnosti jako pryže. Struktura je tvořena tvrdými segmenty (termoplasty) a měkkými segmenty (elastomery). Termoplastické elastomery mají taktéž zesít'ovanou strukturu. Zvýšením

teploty přechází na rozdíl od pryží do tekutého stavu a lze je zpracovávat podobně jako termoplasty. Hlavní rozdíl mezi termoplastickými elastomery a pryžemi je dán rozdílem ve vlastnostech uzlů sítě. U pryží jsou chemické povahy a u termoplastických elastomerů jsou fyzikální povahy. Termoplastické elastomery nemají tak dobré elastické vlastnosti jako pryže, ale jejich výhodou je možnost vstřikování na strojích určených pro termoplasty a možnost recyklace. [1,4]

### 1.1.2 Rozdělení podle tvaru makromolekul

Tvar řetězce makromolekul polymeru je dán funkcí monomerů, která udává kolikrát se daný monomer může zúčastnit reakce. Makromolekuly mohou být lineární, rozvětvené nebo síťované. Lineární makromolekuly tvoří monomery s dvěma funkčními skupinami. Vícefunkční monomery vytvářejí rozvětvené nebo síťované makromolekuly. [2]



Obrázek 2 Molekulární struktura polymerů [1]

Tvar makromolekul ovlivňuje vlastnosti vzniklého polymeru. Základní vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1 Vlastnosti polymerů v závislosti na tvaru makromolekul [1]

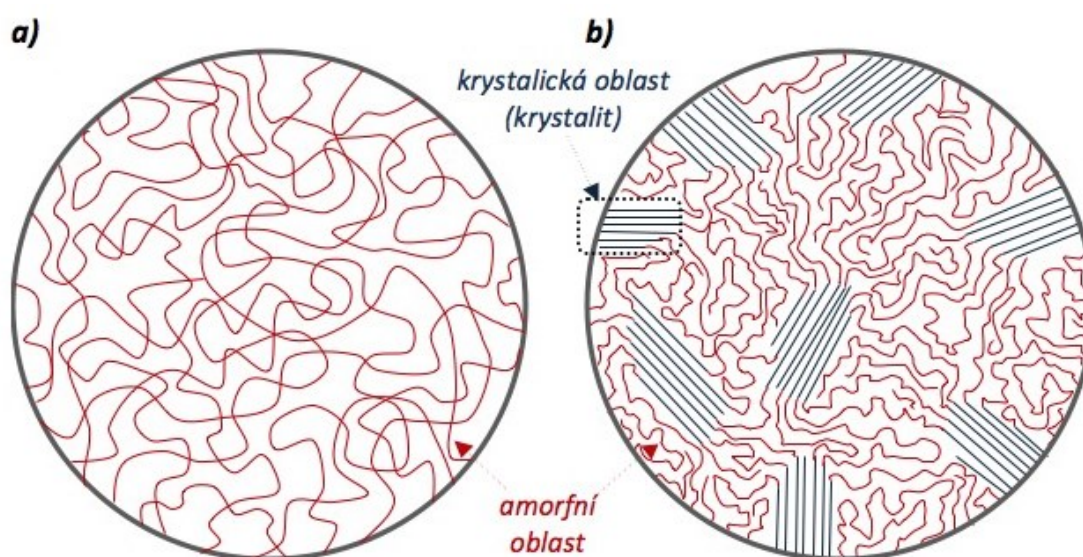
Lineární	Rozvětvené	Síťované
<ul style="list-style-type: none"> <li>• vyšší hustota materiálu</li> <li>• vyšší pevnost</li> <li>• vyšší modul pružnosti</li> <li>• nižší tažnost</li> <li>• vyšší teplotní odolnost</li> <li>• dobrá tekutost taveniny</li> <li>• snadná krystalizace</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• nižší hustota materiálu</li> <li>• nižší pevnost</li> <li>• nižší modul pružnosti</li> <li>• vyšší tažnost</li> <li>• nižší teplotní odolnost</li> <li>• nižší tekutost taveniny</li> <li>• nižší schopnost krystalizace</li> </ul>	<p>Vlastnosti závisí na hustotě sítě, s vyšší hustotou se materiál vyznačuje zpravidla:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• vysokou pevností</li> <li>• vysokým modulem pružnosti</li> <li>• vysokou teplotní odolností</li> <li>• velmi nízkou tažností</li> </ul>

Rozvětvené makromolekuly mají na základním řetězci krátké boční substituenty, které zhoršují jejich pohyblivost. To má za následek jejich vzájemné oddálení, které způsobí pokles sil mezi makromolekulami a tím i zhoršení vlastností polymeru. Síťované

makromolekuly vznikají z lineárních makromolekul spojením sousedních řetězců na různých místech příčnými chemickými vazbami a tím se omezí pohyblivost makromolekul. Tyto polymery ztrácejí rozpustnost a tavitelnost. Výsledné vlastnosti závisí na hustotě zesíťení a podstatně se mění ve všech směrech. [1,2,5]

### 1.1.3 Rozdělení podle uspořádání makromolekul

Vlastnosti polymeru jsou výrazně ovlivněny i vzájemným uspořádáním makromolekul ve struktuře. Při ochlazování taveniny se makromolekuly některých typů polymerů mohou více nebo méně pravidelně uspořádat. Může nastat uspořádání amorfnní a semikrystalické. Amorfnní polymery mají makromolekuly nepravidelně uspořádané a mohou být i propletené. Semikrystalické polymery mají makromolekuly částečně uspořádané. Vytváří se oblasti uspořádaných makromolekul, které jsou obklopené amorfnními oblastmi. Tento proces se nazývá krystalizace. Úplné krystalizace se v reálných podmínkách nelze docílit, je to možné pouze za příznivých laboratorních podmínek. Delší postranní řetězce makromolekuly, její chemická nepravidelnost a objemové substituenty krystalizaci znesnadňují. Polymery s velmi nepravidelnou strukturou makromolekul nekystalizují. Podíl krystalického obsahu ve struktuře polymeru se nazývá stupeň krystalinity. Amorfnní polymery jsou tvrdé, křehké, transparentní a dobře rozpustné v organických rozpouštědlech. Semikrystalické polymery jsou houževnaté, mléčně zakalené až neprůhledné a s rostoucí krystalinitou se zvyšuje pevnost. Amorfnní a semikrystalické polymery mohou dosahovat teploty skelného přechodu ( $T_g$ ), teploty toku ( $T_f$ ) a semikrystalické i teploty tání ( $T_m$ ). [1,5]



Obrázek 3 Schéma nadmolekulární struktury polymerů [1]

a) amorfnní, b) semikrystalické

## 1.2 Příklady polymerních materiálů

Polymery se v čistém stavu téměř nepoužívají, protože nesplňují potřebné vlastnosti pro správnou funkci výrobku a snadné zpracování. Příspěvy mohou tyto vlastnosti zlepšit, chránit před degradací anebo snížit cenu. Přidávají se v malém množství (kromě plniv) a musí být rovnoměrně rozmístěny v celém objemu polymeru, aby nedocházelo k anizotropii vlastností. [1,3]

### 1.2.1 Plniva

Plniva jsou organické nebo anorganické materiály, které slouží ke zlepšení vlastností a snížení ceny výrobku. Přidáním plniva dochází ke změně reologických vlastností (např. zvýšení viskozity) a tím dochází ke zhoršení zpracovatelnosti materiálu. Plniva je možné rozdělit na částicové, vláknité a nanoplňiva. Mezi částicová plniva patří velká řada minerálních plniv o různé velikosti a tvaru. Může se jednat o skleněné kuličky, saze, koks, dřevo, práškové kovy a jejich slitiny. Tyto plniva zlepšují mechanické vlastnosti (tuhost, tvrdost), zmenšují smrštění a nezpůsobují anizotropii vlastností. Vláknitá plniva mohou být použity pro zvýšení pevnosti v tahu a modulu pružnosti. Používají se skleněná, uhlíková, aramidová, ocelová a další vlákna s délkou od jednotek milimetrů do několika desítek milimetrů. Různorodost orientace vláken způsobuje anizotropii vlastností výsledného výrobku. Mezi nejčastěji používané nanoplňiva patří vrstevnaté jíly. Velikost částic je v nanometrech a řádově se tedy blíží k velikosti molekul termoplastu. Nanoplňiva zlepšují mechanické vlastnosti, odolnost vůči chemikáliím a navlhavost. Z důvodu snížení prašnosti a automatického navažování se prášková plniva často granulují. [3,5]

### 1.2.2 Barviva

Barviva zajišťují obarvení polymeru na požadovaný barevný odstín. Mohou být organického nebo anorganického původu. Organická barviva jsou na rozdíl od anorganických barviv v polymeru rozpustná a zachovávají tak jeho průhlednost. Barviva jsou nejčastěji ve formě granulí, ale mohou být i prášková nebo kapalinová. [6]

### 1.2.3 Stabilizátory

Stabilizátory zpomalují degradaci vlivem tepla nebo slunečního záření. Degradace se projevuje zhoršením vlastností polymeru a jeho zbarvením. Tepelné stabilizátory umožňují zvýšení teploty při zpracování, prodloužení doby při této teplotě, a tedy úpravu reologických vlastností materiálu. Světelné stabilizátory absorbují nebo nepropouštějí světlo o vlnové



délce 300 až 400 nm a zajišťují přeměnu na tepelnou energii (případně záření o větší vlnové délce, které je pro polymery neškodné). [1,5]

#### 1.2.4 Změkčovadla

Změkčovadla jsou organické látky s vysokým bodem varu, které ovlivňují tuhost a plasticitu polymeru. Funkčnost změkčovadel spočívá ve zvýšení vnitřní pohyblivosti makromolekulárních řetězců, jejich oddálení a pokles sil mezi nimi. Aby k tomu docházelo, musí být změkčovadlo pro daný polymer rozpouštědlem. Používají se především při přípravě kaučukových směsí, protože usnadňují míchání, válcování a vytlačování. Do termoplastů se přidávají nejčastěji pro snížení teploty skelného přechodu (většinou o desítky stupňů). [3,6]

#### 1.2.5 Retardéry

Retardéry jsou látky, které zpomalují proces hoření. Mají negativní vliv na zpracovatelské vlastnosti, zkracují výdrž na zpracovatelské teplotě a zhoršuje se vzhled výrobku. Jako přísada snižující hořlavost se pro termoplasty i kaučuky používá oxid antimonitý. Další přísady zamezující hoření jsou látky, které se rozkládají při zvýšených teplotách a uvolněné plyny způsobují buď tvorbu pěnového (tepelně izolujícího) polštáře nebo přímo zhášení plamene. [3,6]

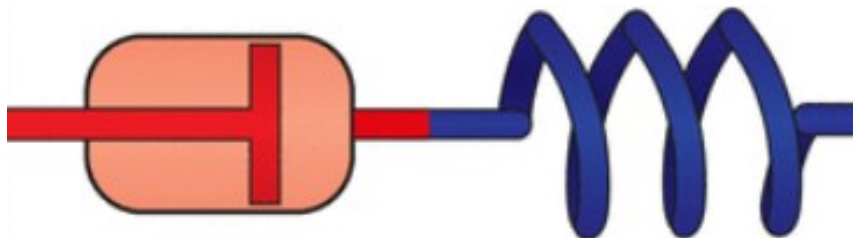
#### 1.2.6 Maziva

Maziva se používají pro zlepšení zpracovatelnosti polymerních materiálů. Podle účinku se dělí na maziva s vnějším a vnitřním účinkem. Maziva s vnějším účinkem jsou málo rozpustná v polymeru, proto vystupují na jeho povrch a vytvářejí vrstvu, která usnadňuje odformování výrobku z dutiny formy. Maziva s vnitřním účinkem jsou dobře rozpustná v polymeru, proto snižují viskozitu taveniny a množství vznikajícího tepla třením. [3,6]

### 1.3 Reologie polymerních tavenin

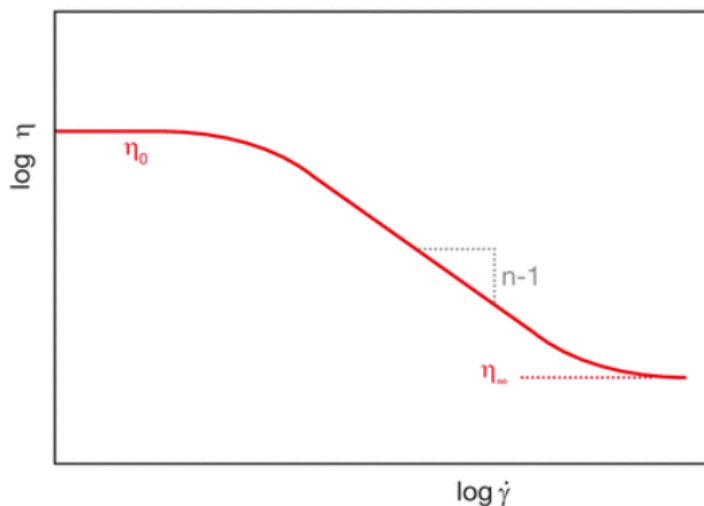
Reologie se zabývá chováním polymerních tavenin během toku a popisuje vztah mezi napětím, deformací a časem. Znalost chování polymerní taveniny během zpracování je důležitá pro dodavatele a zpracovatele materiálů, pro výrobce strojů a konstruktéry nástrojů na zpracování polymerů. Materiály podléhají různým typům deformačního chování a je možné vymezit dva limitní stavy. Prvním je model ideální viskózní tekutiny, která reaguje na působení napětí jako píst (deformuje se s časovým zpožděním a nevratně). Druhý je model ideálně elastické látky, která se při působení napětí chová jako pružina (deformuje se

okamžitě a dokonale vratně). Chování polymerní taveniny je viskoelastické a lze jej popsat modelem spojujícím sériově píšť a pružinu. Takto definovaný model se nazývá Maxwellův model. [4,7,8]



Obrázek 4 Schéma viskoelastického Maxwellova modelu [7]

Hlavní vlastností polymerní taveniny je viskozita, která určuje míru odporu proti toku (čím je vyšší viskozita, tím materiál hůře teče). Viskozita může být smyková a elongační (tahová). O smykovou viskozitu se bude jednat u toku, při kterém dochází ke změně rychlosti kolmo ke směru toku. O elongační viskozitu se bude jednat u toku, při kterém dochází ke změně rychlosti ve směru toku. Viskozita je závislá především na teplotě, tlaku, molekulové hmotnosti a rychlosti smykové nebo elongační deformace. S rostoucí teplotou a rychlostí deformace nebo s klesající molekulovou hmotností a tlakem viskozita klesá. Závislost smykové viskozity na rychlosti smykové deformace popisuje toková křivka, která je uvedena na obrázku 5. [7,8]



Obrázek 5 Závislost smykové viskozity na rychlosti smykové deformace [7]

Nejjednodušší model na popis tokové křivky je Newtonův zákon, ale většina polymerních tavenin se během toku chová newtonsky jen při velmi nízkých rychlostech smykové deformace (tato část tokové křivky je označována jako první newtonské plato). Při vyšších rychlostech smykové deformace dochází ke klesání viskozity. Směrnice této závislosti

určuje stupeň neneutonského chování. Tuto část tokové křivky dobře popisuje Power-Law model (mocninový zákon). Poslední částí je druhé newtonské plato. Pro popis celé tokové křivky je velice často používán Carreau-Yasuda model. [7,8]

Newtonův zákon:

$$\tau_{xy} = \eta_0 \cdot \dot{\gamma}_{xy} \quad (1)$$

kde:  $\tau_{xy}$  – smykové napětí [Pa]

$\eta_0$  – newtonská viskozita [Pa·s]

$\dot{\gamma}_{xy}$  – rychlost smykové deformace [s<sup>-1</sup>]

Power-Law model:

$$\eta(T, \dot{\gamma}) = m \cdot \alpha \cdot \dot{\gamma}^{n-1} \quad (2)$$

kde:  $\eta$  – viskozita [Pa·s]

$T$  – teplota [°C]

$\dot{\gamma}$  – rychlost smykové deformace [s<sup>-1</sup>]

$m$  – index konzistence [Pa·s<sup>n</sup>]

$\alpha$  – teplotní funkce [-]

$n$  – index neneutonského chování [-]

Carreau-Yasuda model:

$$\eta(T, \dot{\gamma}) = \frac{\eta_0 \cdot \alpha}{[1 + (\lambda_0 \cdot \alpha \cdot \dot{\gamma})^a]^{\frac{1-n}{a}}} \quad (3)$$

kde:  $\eta$  – viskozita [Pa·s]

$T$  – teplota [°C]

$\dot{\gamma}$  – rychlost smykové deformace [s<sup>-1</sup>]

$\eta_0$  – newtonská viskozita [Pa·s]

$\alpha$  – teplotní funkce [-]

$\lambda_0$  – makroskopický relaxační čas [s]

$a$  – intenzita přechodu z newtonské do pseudoplastické oblasti [-]

$n$  – index neneutonského chování [-]

## 2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

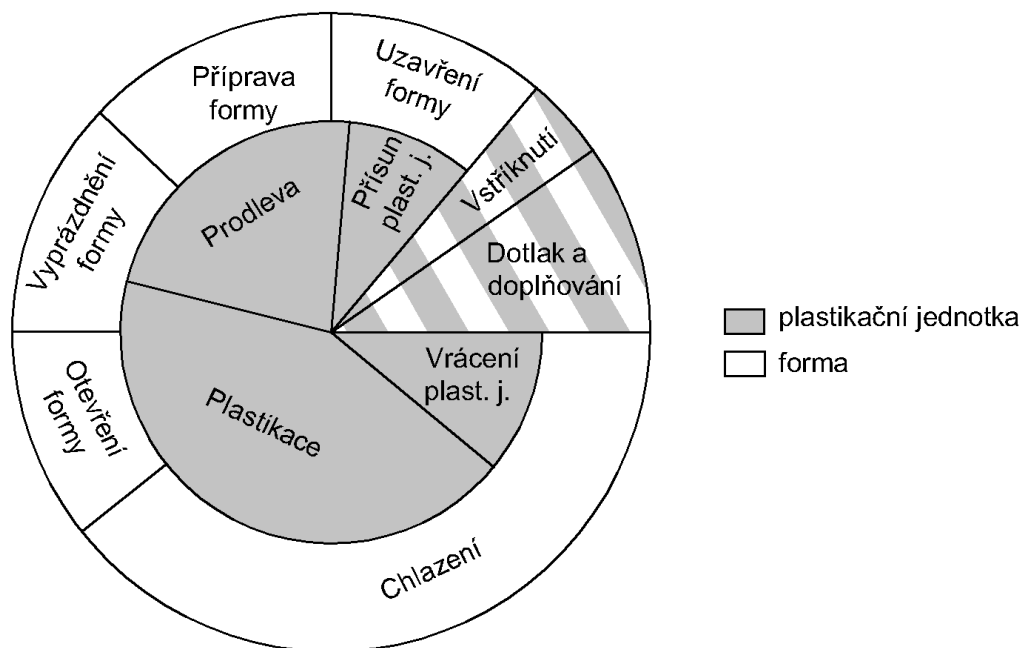
Vstřikování je jednou z nejpoužívanějších technologií pro zpracování polymerů. Podstata vstřikování je založena na cyklickém opakování jednotlivých částí výrobního celku. Jedná se o způsob tváření, při kterém je roztavený materiál vstříknut do uzavřené dutiny formy. Materiál přebírá tvar dutiny, dochází k jeho tuhnutí a následně se výrobek vyjme. Tímto způsobem je možné vyrábět konečné výrobky, polotovary nebo díly pro zkompletování výrobního celku. Vstřikované výrobky nacházejí využití v domácnosti, elektrotechnice, optice, strojírenském a automobilovém průmyslu. Výhodou vstřikování je, že na jeden výrobní cyklus je možné získat konečný díl, schopnost vyrábět tvarově složité výrobky s vysokou rozměrovou i tvarovou přesností, dobrá kvalita povrchu a velmi krátké výrobní cykly. Nevýhodami jsou vysoké investiční náklady na nákup strojů a forem, nutná dlouhá doba pro výrobu forem a používání strojů, které jsou neúměrně velké v porovnání s vyráběným výrobkem. Z těchto důvodů je vstřikování vhodné pro velkosériovou a hromadnou výrobu. [9,10]

V současnosti existuje mnoho modifikací technologie vstřikování, které byly vyvinuty pro tvorbu tvarově specifických výrobků a pro různé aplikace. Mezi tyto technologie patří např. vícekomponentní vstřikování, které kombinuje dva nebo více polymerních materiálů. Do první dutiny formy je vstříknut první polymer, dojde k přesunu (pootočení) polotovaru do druhé dutiny a je vstříknut druhý polymer. Tato technologie se často používá na výrobky obsahující kombinaci termoplastu a termoplastického elastomeru. Na výrobu dutých výrobků se používá technologie vstřikování s podporou plynu (GIT) nebo s podporou vody (WIT). Princip spočívá ve vstříknutí inertního plynu nebo vody do taveniny, čímž se vytvoří dutina. Po zatuhnutí výrobku se voda odčerpá. Plyn je možné odsát a znovu použít nebo nechat uniknout do okolí. Další možností snížení hmotnosti výrobku je vstřikování strukturních pěn. Prvním způsobem výroby je vstřikování granulátu s nadouvadlem do dutiny formy. V důsledku ohřevu polymeru dochází k aktivaci nadouvadla. Při plnění se dutina formy zcela nenaplní taveninou, protože k doplnění dochází pomocí expanze nadouvadla. Druhým způsobem je přivádění plynu do taveniny pomocí speciálního injektoru, který je součástí vstřikovací jednotky. [11,12,13]

### 2.1 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus je tvořen přesně specifikovanými kroky, které na sebe navazují a podílí se na výrobě vstřikovaných výrobků. Pro popis cyklu je nutné definovat jeho začátek, za

který lze považovat uzavření vstřikovací formy. Před začátkem vstřikovacího cyklu je nutné upnutou formu vytemperovat na provozní teplotu. Dobu trvání jednotlivých částí cyklu ovlivňuje několik parametrů, např. konstrukce výrobku, materiál, technologické podmínky, typ stroje a konstrukce vstřikovací formy. Pro zajištění nízkého obsahu vlhkosti se některé polymery musí před vstřikováním sušit. Ve většině případů se cyklus automaticky opakuje, ale v některých případech (např. ruční vyjmutí výrobku z formy nebo vkládání kovových insertů) je spuštěn obsluhou stroje. [10,12]



Obrázek 6 Schéma vstřikovacího cyklu

### 2.1.1 Uzavření formy

V první fázi vstřikovacího cyklu dochází k uzavření vstřikovací formy, které by mělo probíhat co nejrychleji. Rychlost uzavírání formy není konstantní. Nejdříve se levá strana formy pohybuje velkou rychlostí a těsně před dosednutím na pravou stranu formy se rychlost sníží, aby nedošlo k poškození dělicí roviny. Velikost uzavírací síly musí být dostatečně velká, aby se během vstřikování a působení dotlaku forma nepootevřela a nedostala se tavenina do dělicí roviny. [9,12]

### 2.1.2 Plastikace

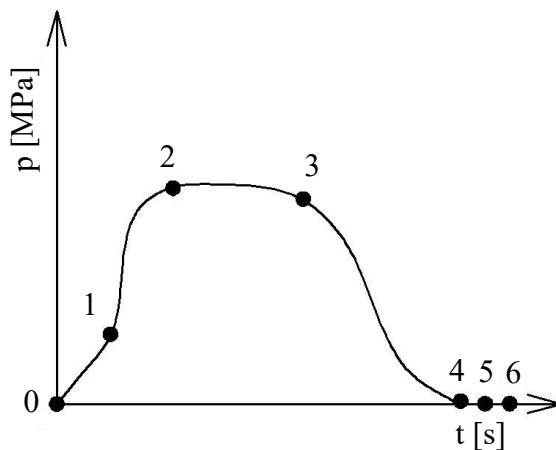
Polymer (nejčastěji ve formě granulí) je přiváděn do násypky, z které vstupuje do podávací zóny šneku. Rotující šnek opakovaně přivádí materiál do kontaktu s ohřívanou stěnou válce a dochází i k disipaci. Tím je materiál plastikován a za pomoci šneku promícháván a dopravován k trysce. Kromě otáčení se šnek posouvá směrem dozadu a tím dochází

k nahromadění materiálu před jeho čelem. Množství plastikovaného materiálu je dáno objemem všech dutin formy, vtokovým systémem a polštářem, který slouží k doplňování materiálu během dotlakové fáze. Pro získání kvalitních výrobků je důležitá teplotní a viskozitní homogenita taveniny. Případná nehomogenita se negativně projeví na povrchu výrobku. Mohou vznikat tokové čáry, lesk, studené spoje, vnitřní pnutí a další. S rostoucí teplotou taveniny klesá orientace makromolekul a vlastnosti výrobku se stávají více izotropní. Současně ve směru toku taveniny mohou klesat mechanické vlastnosti (pevnost v tahu a houževnatost), ale zlepšuje se pevnost studených spojů a snižuje se vnitřní pnutí. [4,11]

### 2.1.3 Vstříkování a dotlak

Úkolem vstříkovací fáze je naplnění dutiny formy taveninou a zajištění konstantní rychlosti čela taveniny v celém průřezu dutiny. To je víceméně možné splnit u jednoduchých výrobků s konstantní tloušťkou stěny, ale u tvarově složitých výrobků s různou tloušťkou stěny je to velice problematické. Při vstříkování se šnek posouvá dopředu (jako píst) a velkým tlakem a rychlostí tlačí taveninu před sebou. Vstříknutí taveniny by mělo být co nejrychlejší, protože se tavenina při kontaktu s chladnější formou ochlazuje a tím zvyšuje svoji viskozitu. Rychlost plnění má vliv na povrchové defekty výrobku, proto je důležité optimalizovat rychlost vstříkování, teplotu taveniny a formy tak, aby nedocházelo ke vzniku vysokých smykových napětí. Doba plnění je ovlivněna velikostí výrobku. Pohybuje se v řádech desetin sekund až několika sekund. Při zaplnění dutiny formy z 95 – 99 % objemu dochází k přepnutí na dotlak. Pokud dojde k přepnutí příliš pozdě, vzniká vysoké pnutí ve výrobku a přeplnění dutiny formy polymerem. [4,12]

Dotlak slouží ke kompenzaci objemové změny, která vzniká v dutině formy vlivem smrštění ochlazeného polymerního materiálu. Velikost dotlaku se volí stejná nebo nižší než hodnota vstříkovacího tlaku. Často se na začátku dotlakové fáze volí největší tlak a postupně se snižuje. Délka dotlaku závisí na mnoha faktorech (např. typ materiálu, teplota formy, velikost a geometrie výrobku). Maximálně může trvat do doby, než zatuhne vtokové ústí, protože dále není možné dopravovat taveninu do dutiny. Dotlak nemusí být vždy zařazen do vstříkovacího cyklu (např. při vstříkování lehčených struktur, vstříkování s dolisováním, vstříkování s podporou vody nebo plynu, při výrobě příliš malých výrobků s velmi tenkými stěnami). Působení dotlaku je možné kontrolovat pomocí velikosti polštáře, který zůstal na konci dotlakové fáze před čelem šneku. [10,11]

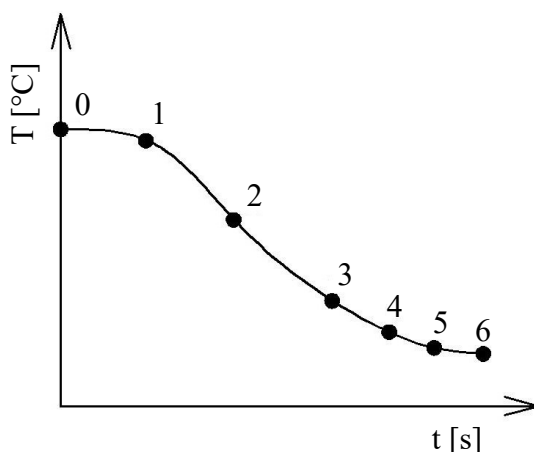


- 0 - 1: objemové plnění dutiny formy
- 1 - 2: komprese taveniny
- 2 - 3: dotlak
- 3 - 4: izochorické chlazení
- 4 - 5: ochlazování na vyhazovací teplotu
- 5 - 6: ochlazování na pokojovou teplotu

Obrázek 7 Průběh tlaku v dutině formy během vstřikovacího cyklu

### 2.1.4 Chlazení

Chlazení materiálu v dutině formy začíná už na začátku plnění dutiny formy. Minimální doba chlazení musí zajistit dostatečné ztuhnutí výrobku (dosažení vyhazovací teploty), tak aby byl vyhozen z formy bez vzniku deformací nebo vad od vyhazovacího systému. Jedná se o nejdelší část cyklu u termoplastů a u elastomerů je chlazení nahrazeno ohřevem a vulkanizací. U tenkostěnných výrobků se doba chlazení pohybuje od několika sekund do desítek sekund a u tlustostěnných výrobků může trvat i několik minut. Z ekonomického hlediska by měla být doba chlazení co nejkratší, ale příliš rychlé chlazení může vést k vzniku defektů na výrobku (např. vznik zamrzlého vnitřního pnutí, zhoršení mechanických vlastností). Chlazení je nejčastěji realizováno průtokem chladicího média (voda, olej) systémem kanálů vytvořených kolem dutiny. [4,11]



- 0 - 1: objemové plnění dutiny formy
- 1 - 2: komprese taveniny
- 2 - 3: dotlak
- 3 - 4: izochorické chlazení
- 4 - 5: ochlazování na vyhazovací teplotu
- 5 - 6: ochlazování na pokojovou teplotu

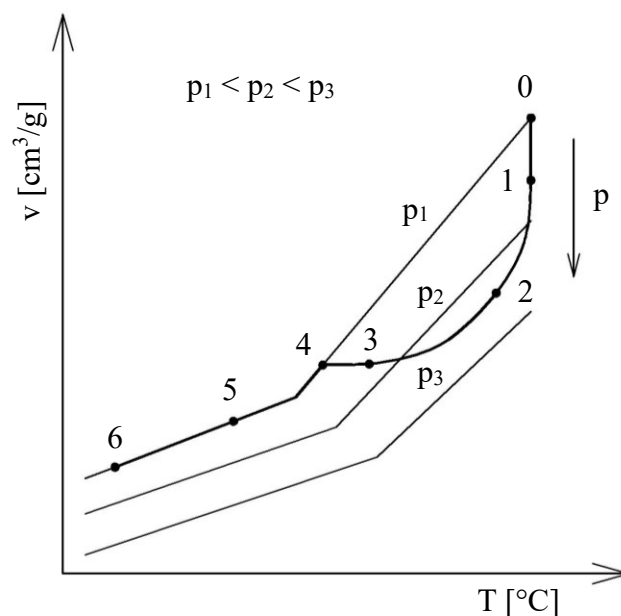
Obrázek 8 Průběh teploty polymeru během vstřikovacího cyklu

### 2.1.5 Vyhození výrobku

Po ochlazení na vyhazovací teplotu je potřeba výrobek vyjmout z formy. Otvírání formy probíhá stejně jako zavírání (nejdříve je vysoká rychlost otevírání a před dojezdem na doraz se rychlost sníží). Potřebná velikost otevření je dána rozměrem výrobku ve směru otevírání formy. Musí být minimálně tak velká, aby bylo možné odformovat výrobek bez nebezpečí vzpříčení v dělicí rovině nebo zajistit dostatek prostoru pro činnost robota. Rychlost vyhození by měla být co nejrychlejší, ale nesmí dojít k poškození výrobku (např. deformaci). Pro zkrácení výrobního času umožňují některé vstřikovací stroje pohyb vyhazovačů již během částečného otevření formy. [10,12]

### 2.1.6 Vstřikovací cyklus v pvT diagramu

Vstřikovací cyklus je možné popsat i pomocí pvT diagramu. Jedná se o závislost specifického objemu  $v$  (převrácená hodnota hustoty) na teplotě  $T$  při různých tlacích  $p$ . Slouží ke stanovení změny měrného objemu  $v$  průběhu vstřikování, což umožňuje určit smrštění a následně i deformace při simulačních výpočtech. Pro každý polymer je tento diagram odlišný. Do průběhu pvT diagramu není zahrnuta funkce času a diagramy tak neberou zřetel na gradient chlazení jako důležitý parametr pro ovlivnění smrštění (významný zejména u semikrystalických polymerů). Dále diagram nepracuje s ovlivněním změny objemu  $v$  důsledku vnitřního pnutí ve výrobku. Z průběhu diagramu je patrné, že s rostoucí hodnotou tlaku se zmenšuje specifický objem (tavenina se více stlačuje) a zvyšují se teploty fázové přeměny. [4,13]



Obrázek 9 Vstřikovací cyklus zakreslený v pvT diagramu pro amorfni polymer

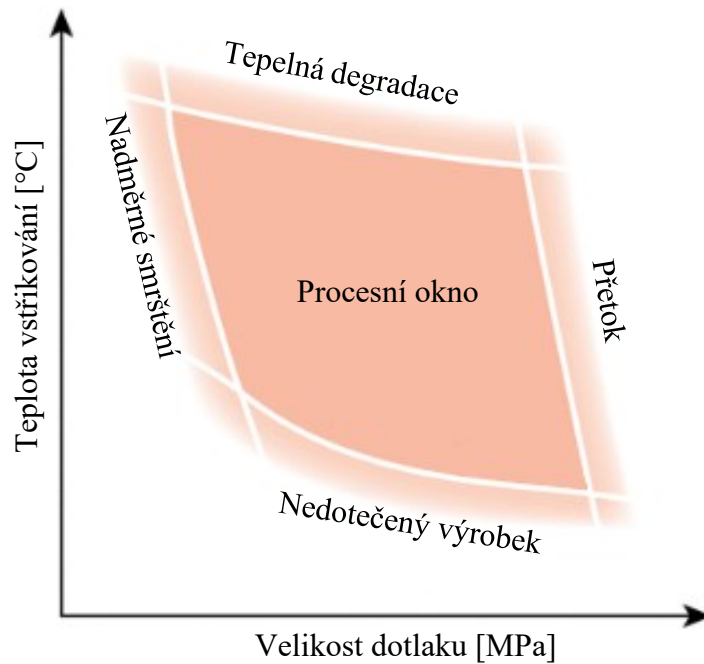


Dosažením časového průběhu tlaku a teploty získáme znázorněný vstřikovací cyklus v  $p$  $v$  $T$  diagramu:

- Bod 0 - 1: Objemové plnění tvarové dutiny formy taveninou. Vstřikovací tlak postupně stoupá.
- Bod 1 - 2: Tavenina je pod tlakem doplňována do dutiny formy a je stlačována. Současně začíná tavenina od stěn tvarové dutiny chladnout.
- Bod 2: Dochází k přepnutí vstřikovacího tlaku na dotlak. Při špatném nastavení bodu přepnutí může dojít k nedotečení taveniny do všech míst dutiny (při předčasném přepnutí) nebo k přeplnění dutiny a vzniku přetoků (při pozdním přepnutí).
- Bod 2 - 3: Probíhá působení dotlaku a chlazení výrobku v dutině formy. Vznikající smrštění je kompenzováno pomocí dotlaku, který dopravuje do dutiny taveninu z plastikační jednotky.
- Bod 3: Dochází k zamrznutí vtokového ústí a ukončení působení dotlaku, protože další působení by bylo neúčinné (taveninu již není možné do dutiny dodávat).
- Bod 3 - 4: Výrobek se ochlazuje a dochází k poklesu tlaku v dutině formy až na atmosférický tlak.
- Bod 4 - 5: Chlazení za konstantního tlaku na vyhazovací teplotu.
- Bod 5: Výrobek je z formy vyhozen.
- Bod 5 - 6: Chlazení výrobku mimo formu až do dosažení konečného rozměru a tvaru. Hodnocení výrobku po 16 až 48 hodinách (nejčastěji po 24 hodinách). [4]

## 2.2 Procesní okno

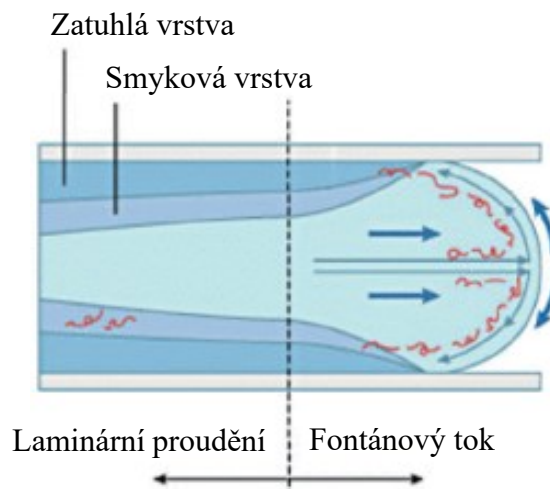
U vstřikování je poměrně velké množství technologických parametrů. Mezi nejvýznamnější parametry patří teplota a tlak. Pro výrobní proces lze stanovit tzv. procesní okno. Procesní okno představuje oblast (nastavení tlaku a teploty), ve které je možné vyrobit kvalitní výrobek. Nastavení nízké teploty taveniny bude mít za následek nezaplnění celé dutiny formy a vysoká teplota taveniny způsobí degradaci materiálu. Nastavení nízké hodnoty dotlaku způsobí nadměrné smrštění výrobku a tvorbu propadlin. Pokud bude velikost dotlaku příliš vysoká, tak bude docházet k tvorbě přetoků. [12,13]



Obrázek 10 Procesní okno [13]

### 2.3 Tok materiálu

Teplota vstřikovací formy je mnohem menší než teplota taveniny, proto při styku stěny formy a taveniny dochází k okamžitému ztuhnutí polymeru a vytvoření nepohyblivé vrstvy. Tloušťka této vrstvy je ovlivněna rychlostí taveniny, tloušťkou stěny, teplotou taveniny a formy. Polymerní tavenina dále teče mezi ochlazenými vrstvami. V oblasti čela toku se tavenina převrací ze středu k povrchu dutiny, dochází k tzv. fontánovému toku. Čelo taveniny je namáháno elongací. Za čelem tavenina proudí laminárně s největší rychlostí ve středu dutiny a nulovou rychlostí na povrchu zamrzlé vrstvy. [9,14]



Obrázek 11 Fontánový tok taveniny [14]

## 2.4 Vady vstřikovaných výrobků

I přes snahu všech pracovníků, kteří se podílejí na výrobě vstřikovaných výrobků, se v praxi vyskytuje určitý podíl výrobků s vadou. Za vadu je možné považovat každou odchylku, kterou se výrobek liší od schváleného standardu stanoveného výkresem nebo referenčním výrobkem. Odchylka se může týkat tvaru, rozměrů, hmotnosti, vzhledu, vnitřního stavu výrobku nebo jeho mechanických a fyzikálních vlastností. Důsledkem těchto odchylek je změna užitných vlastností výrobku až ztráta jeho funkčnosti. Jako jednu společnou příčinu vzniku vad lze považovat podstatu vstřikovacího procesu, který je cyklický a tak není možné z objektivních důvodů zaručit ve všech fázích výrobního procesu stejný průběh procesních a technologických výrobních parametrů. Technologický proces není jedinou příčinou vzniku vad. Dalším zdrojem může být nesprávně zvolený materiál, špatná konstrukce výrobku, nedostatky při konstrukci formy nebo nevhodně zvolený vstřikovací stroj. Některé vady mohou vznikat až při manipulaci nebo nesprávném skladování výrobku. Vady se dělí na skryté a viditelné. Skryté vady nelze odhalit vizuální kontrolou, ale pomocí laboratorních zkoušek, které mohou být destruktivního charakteru. [4,15]

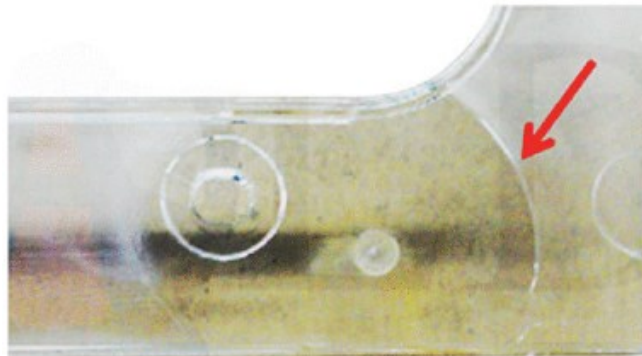
Viditelné vady vstřikovaných výrobků je možné rozdělit do čtyř skupin:

- Všeobecně přijatelné vady, které nemají vliv na životnost a funkci výrobku (např. nedostatečný nebo nerovnoměrný lesk).
- Omezeně přijatelné vady, které neovlivňují použitelnost výrobku. Tato vada je přijatelná pokud její velikost a množství nepřekročí míru, která je dána dohodou mezi výrobcem a odběratelem (např. studené spoje).
- Opravitelné vady, které je možné vhodným způsobem opravit, aniž by byla ovlivněna použitelnost výrobku (např. přetoky v dělicí rovině).
- Nepřijatelné vady, které není možné odstranit nebo pouze způsobem, který by ovlivnil použitelnost výrobku (např. deformace tvaru výrobku nebo trhliny). [4]

Každá vada výrobku má nějakou příčinu, i když není vždy možné ji rychle rozpoznat a analyzovat. Pouze správně identifikované a odstraněné příčiny mohou zabránit opětovnému výskytu vad. Během vstřikovacího procesu může vznikat velké množství vad. V následujících kapitolách budou uvedeny nejčastější z nich. [4]

### 2.4.1 Studené spoje

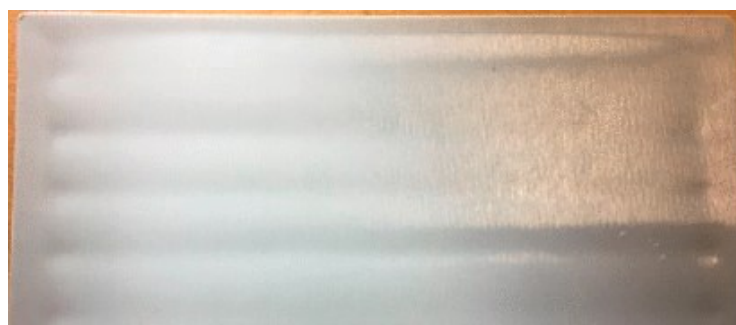
Studené spoje vznikají v místě spojení dvou nebo více čel polymerní taveniny během plnění dutiny formy. Ke spojení čel může docházet, pokud tavenina musí obtékat nějakou překážku (např. jádro) nebo při plnění dutiny více vtoky. Studené spoje způsobují zhoršení mechanických vlastností (zejména pevnost v tahu nebo ohybu a rázovou houževnatost). Současně způsobují vznik vzhledové a u transparentních polymerů i optické vady. Na pevnost studeného spoje má značný vliv teplota taveniny, při které dochází ke spojení čel (čím je teplota vyšší, tím bude spoj kvalitnější). Umístění studených spojů je možné ovlivnit umístěním vtokového systému. Dále je možné použít kaskádové vstřikování. Jedná se o systém uzavíratelných horkých trysek, který umožňuje vstřikovat taveninu z různých trysek nezávisle na sobě. [15]



Obrázek 12 Studený spoj [14]

### 2.4.2 Propadliny

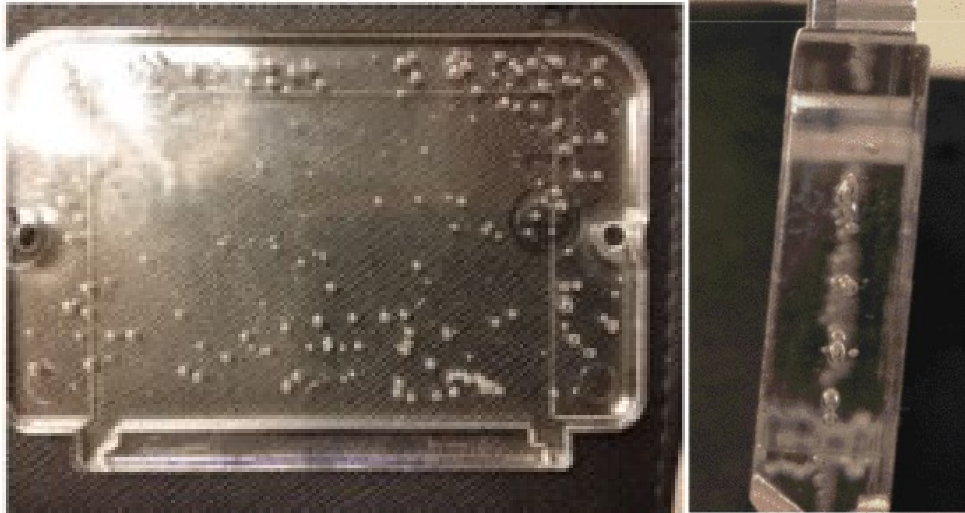
Propadliny jsou z jedné strany otevřené dutiny ve stěně výrobku. Vznikají smršťováním polymeru při jeho tuhnutí. Vyskytují se zejména v místech s velkým množstvím materiálu (např. v místě napojení žebra na základní stěnu). Pro minimalizování propadlin je možné upravit procesní parametry, např. snížení teploty povrchu formy, zvýšení vstřikovacího tlaku nebo dotlaku. [15]



Obrázek 13 Propadliny [15]

### 2.4.3 Bubliny a lunkry

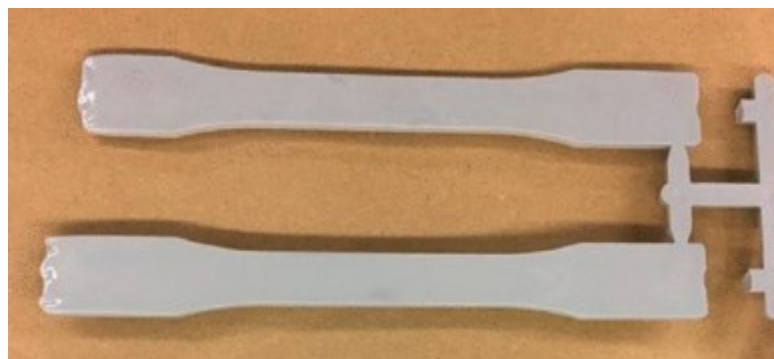
Bubliny a lunkry jsou uzavřené duté prostory uvnitř výrobku, které snižují jeho mechanické vlastnosti a u transparentních polymerů zhoršují i vzhledové a optické vlastnosti. Příčinou vzniku může být nesprávné odvzdušnění formy, nízký vstřikovací tlak, náhlé přechody v tloušťkách stěny a velká tloušťka stěny výrobku. [15]



Obrázek 14 Bubliny [16]

### 2.4.4 Neúplný výstřik

Neúplný výstřik vzniká, když polymerní tavenina nevyplní celý objem tvarové dutiny formy. Nevyplněná část je zpravidla nejvíce vzdálená od vtokového ústí nebo v místě s příliš malou tloušťkou stěny. Příčinou této vady může být malá vstřikovací dávka, nevhodné umístění vtoku, nízká teplota taveniny nebo formy, nízký vstřikovací tlak a předčasné přepnutí ze vstřikovacího tlaku na dotlak. [15]



Obrázek 15 Neúplný výstřik [15]

### 2.4.5 Spálená místa

Spálená místa (označována také jako Diesel efekt) vznikají v důsledku špatného odvzdušnění dutiny formy. Na začátku vstřikovacího cyklu je dutina formy zaplněna vzduchem, který je následně vstříknutou taveninou stlačován. Dochází k adiabatickému stlačování vzduchu, které vede k zvýšení teploty, což může způsobit lokální degradaci polymeru (projeví se vznikem černé skvrny na výrobku). Odstranění této vady je možné vytvořením odvzdušňovacích kanálků v místech, ve kterých se uzavírá vzduch. [15]



Obrázek 16 Spálená místa [15]

### 2.4.6 Stříbrné pruhy

Jedná se o soustavu paprsků vycházejících ze společného středu (mají vějířovitý tvar) na povrchu výrobku. Nejčastěji vznikají při vstřikování špatně vysušeného materiálu s velkou vlhkostí. Vada vznikne tím, že se částice vody mění při zpracování na plyn a dochází k prasknutí vzduchové bubliny. Tím dochází k rozstříknutí roztaveného polymeru do směru proudící taveniny a vzniku stříbrného pruhu. Další příčinou vzniku může být vysoké smykové namáhání polymerní taveniny a vysoká teplota taveniny. [15]



Obrázek 17 Stříbrné pruhy [14]

### 2.4.7 Volný tok taveniny

K volnému toku taveniny (označovanému jako jetting) dochází při nevhodném umístění vtokového ústí v dutině formy. Dutina formy není plněna fontánovým tokem, ale pomocí úzkého paprsku. Proud polymerní taveniny volně postupuje dutinou, dokud nenarazí na protilehlou stěnu, jádro nebo jinou překážku. Po ochlazení se vytvoří vzhledová i mechanická vada. Řešením může být změna parametrů vstřikování (např. snížení vstřikovací rychlosti nebo zvýšení teploty formy). Pokud změna procesních parametrů neodstraní tuto vadu, je nutné změnit umístění vtokového ústí tak, aby proud taveniny přišel do kontaktu se stěnou ihned po vstupu do dutiny formy. [15]



Obrázek 18 Volný tok taveniny [15]

### 2.4.8 Přetoky

Přetoky vznikají tak, že polymerní tavenina zateče do špatně slícovaných spár, opotřebovaných dělicích rovin nebo špatně vytvořeného odvzdušnění (polymerní tavenina obvykle zateče do prostoru o tloušťce 0,04 mm a více). Další příčinou může být vysoký vstřikovací tlak nebo nízká uzavírací síla, čímž dojde k pootevření dělicí roviny. Odstranění této vady je možné úpravou procesních parametrů nebo výměnou opotřebovaných dílů. [15]

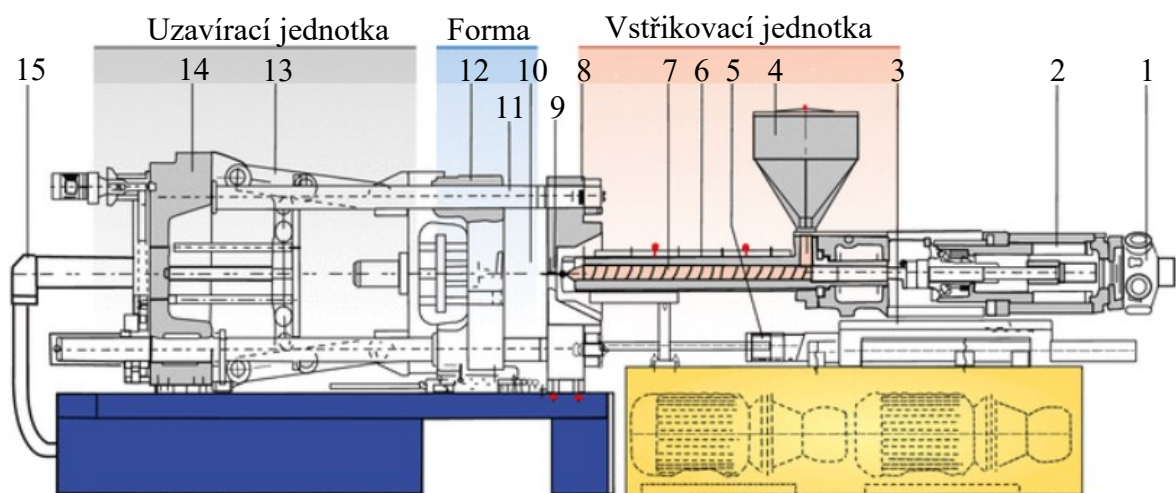


Obrázek 19 Přetoky [15]



## 2.5 Vstřikovací stroje

Vstřikovací stroje jsou určeny na zpracování polymerního materiálu (jeho převedení do plastického stavu a dopravení do vstřikovací formy). Tyto stroje se skládají ze vstřikovací a uzavírací jednotky, které jsou ovládány řídicí jednotkou. Dále může být ke stroji připojen robot, manipulátor, dopravník a další stroje pro zajištění úplné automatizace výrobního procesu. Vstřikovací stroje je možné rozdělit podle pohonu na hydraulické, elektrické a hybridní. Dále se mohou rozdělit podle druhu pracovního členu ve válci na pístové a šnekové vstřikovací stroje. V současné době jsou nejvíce rozšířené šnekové vstřikovací stroje a pístové se používají pouze na speciální aplikace. Mezi základní parametry patří např. maximální objem vstřikované dávky taveniny, vstřikovací tlak, parametry šneku, velikost uzavírací síly, velikost upínacích desek, vzdálenost mezi sloupky, minimální a maximální velikost formy. Vstřikovací jednotka může být orientovaná libovolně. Nejběžnější je horizontální a vertikální orientace, ale při používání více vstřikovacích jednotek na jednom stroji je možné použít vstřikovací jednotku orientovanou pod úhlem (nejčastěji 45°). Schéma vstřikovacího stroje i s popisem jednotlivých částí je zobrazen na obrázku 20. [16,17]



Obrázek 20 Schéma vstřikovacího stroje [13]

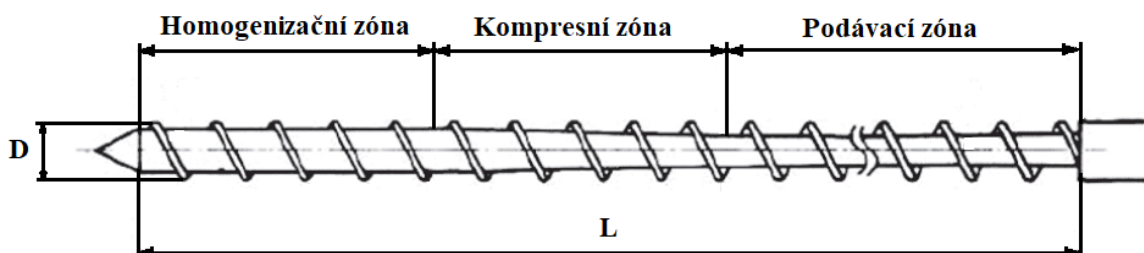
- 1 – rotační hydromotor šneku, 2 – přímočarý hydromotor šneku, 3 – vedení vstřikovací jednotky, 4 – násypka, 5 – pohon vstřikovací jednotky, 6 – pracovní válec, 7 – šnek, 8 – pevná upínací deska, 9 – vstřikovací tryska, 10 – prostor pro formu, 11 – vodící sloup, 12 – pohyblivá upínací deska, 13 – mechanismus uzavírací jednotky, 14 – rám stroje, 15 – pohon uzavírací jednotky



### 2.5.1 Vstříkovací jednotka

Hlavním úkolem vstříkovací jednotky je převedení polymerního granulátu na viskózní taveninu a její doprava do dutiny formy. Vstříkovací jednotka se skládá z násypky, pracovního válce opatřeného topnými pásy, šneku a trysky. Podle způsobu plastikace se vstříkovací jednotky rozdělují na jednotku bez předplastikace a s předplastikací. U vstříkovací jednotky s předplastikací je zpracováván materiál plastikován v předplastikační komoře, odkud je dopraven do pracovního válce a vstříknut do tvarové dutiny formy. [17,18]

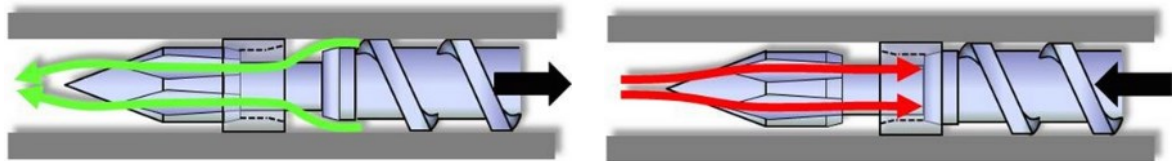
Násypka tvoří vstupní část vstříkovací jednotky a dopravuje zpracováváný materiál do pracovního válce. Je podstatné zabránit ohřevu pracovního válce v těsné blízkosti násypky, aby nedocházelo k natavení granulátu v ústí násypky a tím se zabránilo plynulé dopravě. Válec je vyroben nejčastěji z nitridované oceli s povrchovou úpravou, protože je během zpracování materiálu značně namáhán. Na povrchu válce jsou topné pásy s nezávisle nastavitelnými zónami (počet zón je dán především délkou válce). Uvnitř válce je uložen šnek. Aby byl zajištěn plynulý pohyb materiálu, je potřeba hrubý povrch válce a velice hladký povrch šneku. [16,18]



Obrázek 21 Zóny šneku [16]

Šnek je pracovním členem vstříkovací jednotky a dopravuje materiál od násypky až po vstříkovací trysku. Je vysoce namáhán na ohyb, krut, tlak a vzpěr, proto se stejně jako válec vyrábí z nitridované oceli. Profil šneku není po celé jeho délce stejný (mění se hloubka i stoupání šroubovice). Mezi nejdůležitější parametry šneku patří poměr délky a průměru ( $L/D$ ). Dále je podstatný kompresní poměr, který vyjadřuje podíl hloubky kanálu na konci šneku ku hloubce kanálu na začátku šneku. Tyto poměry jsou specifické pro různé typy materiálů. Standartní šneky se skládají ze tří odlišných zón. První je označována jako podávací (vstupní), nachází se pod násypkou a slouží k dopravě materiálu k topným zónám válce. Šnek má v této zóně velkou hloubku šroubovice a je po celé délce konstantní. Druhá zóna je kompresní. Hloubka šroubovice postupně klesá a materiál je tak stlačován. Dochází k plastikaci materiálu pomocí tepla od topných pásů a disipací vlivem tření materiálu mezi

válcem a šnekem. Přibližně 70 % tepla vzniká třením. Poslední zóna je homogenizační. Materiál je zcela roztaven a je intenzivně míchán, aby byla zajištěna rovnoměrná teplota taveniny. Hloubka šroubovice je nejmenší a je po celé délce konstantní. Ideální délka každé z těchto zón závisí na použitém polymeru (zejména kompresní zóna, která bude u amorfních polymerů delší než u semikrystalických). U nízkoviskózních materiálů má tavenina při vstřikování tendenci vracet se zpět do závitu šroubovice. Z těchto důvodů je šnek na svém konci opatřen zpětným ventilem, který umožňuje dosažení vysokých vstřikovacích tlaků. [16,17,18]



Obrázek 22 Polohy zpětného ventilu [17]

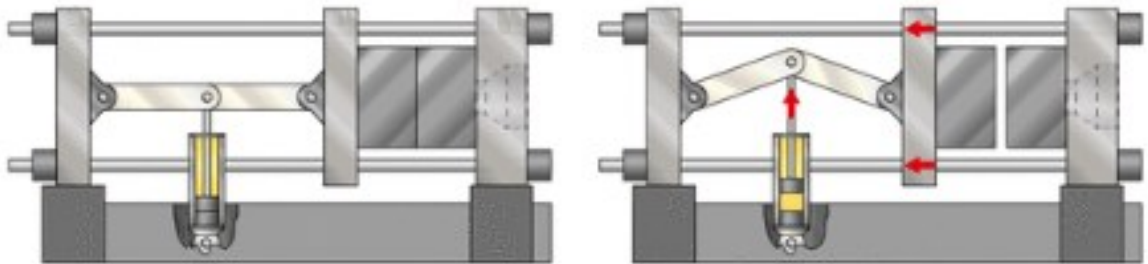
Z homogenizační zóny prochází tavenina přes trysku do vstřikovací formy. Tryska zajišťuje pomocí rádiusu přesné dosednutí vstřikovací jednotky na vtokovou vložku formy. Tryska je vyhřívána, aby nedocházelo k tuhnutí taveniny. Výstupní průměr trysky musí být menší než průměr vstupního otvoru vtokové vložky. Tryska je uchycena k pracovnímu válci pomocí šroubů nebo závitem přímo na trysce. Používají se dva základní typy trysek, otevřené a uzavíratelné. [16,17]

### 2.5.2 Uzavírací jednotka

Úkolem uzavírací jednotky je zajistit plynulé uzavření formy, vyvinout potřebnou uzavírací sílu během vstřikování a otevření formy s následným vyhozením výrobku. Skládá se z upínacích desek (pevné a pohyblivé), vodících sloupků (může být i bezsloupková konstrukce) a pohonu. Malé vstřikovací stroje mohou mít dva vodící sloupky, ale většina strojů je vybavena čtyřmi sloupky. Vodící sloupky musí být dostatečně tuhé, aby bylo zajištěno přesné dosednutí funkčních ploch vstřikovací formy. Vzdálenost mezi vodícími sloupky určuje maximální velikost formy, kterou lze na stroji upnout bez odmontování jednoho ze sloupků. Vstřikovací formu je možné uchytit na upínací desky pomocí upínek, bajonetového, magnetického a hydraulického upínacího systému. Uzavírací jednotka může být konstruována jako mechanická, hydraulická nebo hydraulicko-mechanická. [13,18]

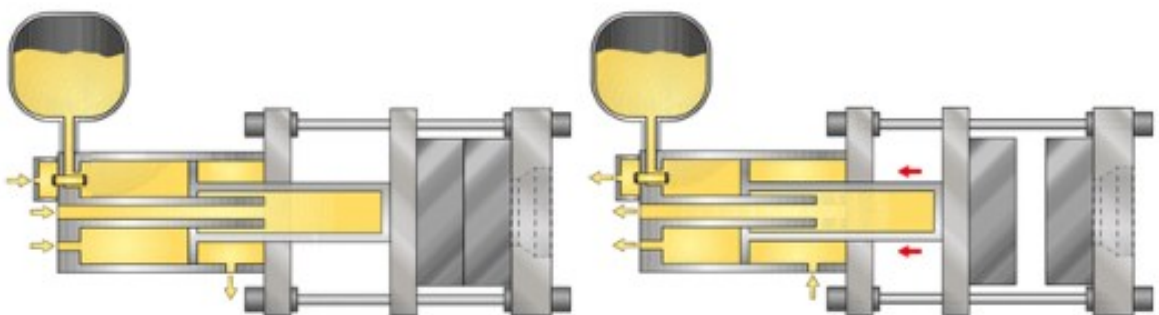
Mechanický kloubový mechanismus je jeden z nejefektivnějších uzavíracích systémů, má velmi dobře regulovatelnou rychlost pohybů a je málo energeticky náročný. Pro pohyb

kloubu se využívá hydraulický nebo elektrický pohon. Nejjednodušší kloubové mechanismy se používají u malých vstřikovacích strojů. Pokud je potřeba větší uzavírací síla, používají se vícebodové kloubové mechanismy. Vhodnou volbou geometrie mechanismu je možné dosáhnout velkých uzavíracích sil při minimálních dosedacích rychlostech. Nevýhodou je možnost vyvinout maximální uzavírací sílu jen v zcela vysunutě poloze. [16,17]



Obrázek 23 Kloubový mechanismus s hydraulickým pohonem [13]

U hydraulického uzavíracího systému se využívá hydraulického pístu, který je napojen na pohyblivou upínací desku. Výhodou je jednoduchost a rychlé přizpůsobení různým rozměrům formy (lze dosahovat maximálních sil v jakémkoliv bodě). Pro dosažení velkých uzavíracích sil jsou potřeba velké rozměry hydraulických válců a velké množství hydraulické kapaliny. Pro odstranění těchto nevýhod je možné použít uzavírací jednotku s pomocnými hydraulickými válci. [17,18]



Obrázek 24 Hydraulická uzavírací jednotka [13]

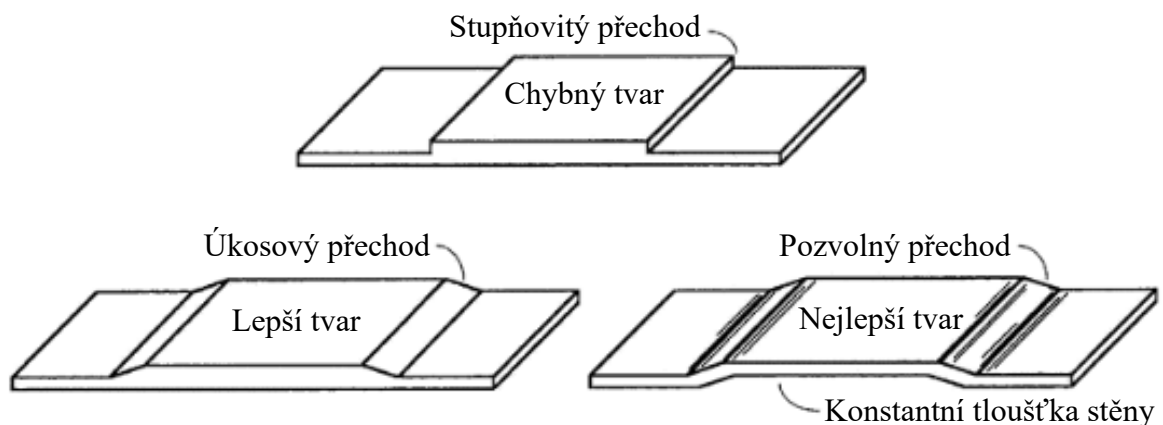
Pro maximální zefektivnění se používají hydraulicko-mechanické systémy. Hlavní posuv pohyblivé desky je zajištěn kloubovým mechanismem a hydraulický válec v kombinaci s mechanickým závorováním slouží k vybudování a udržení uzavírací síly. Každý z uvedených systémů má své výhody i nevýhody a neexistuje optimální univerzální konstrukce uzavíracího systému. [18]

### 3 KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU

Konstrukční návrh výrobku z polymeru se v porovnání s kovovými výrobky řídí zcela odlišnými zásadami a nelze je vyrobit ve stejné jakosti a přesnosti. Na kvalitě výrobku se podílí vlastnosti zpracovávaného materiálu, výrobně technologické parametry a konkrétní využití výrobku v praxi. Rozměry výrobku jsou jedním z hlavních ukazatelů přesnosti, ale není nutné je zbytečně upřesňovat (výrazně se zvyšují náklady na výrobu). Běžná přesnost polymerních výrobků je IT 12 až IT 15 a zvýšená přesnost je IT 9 až IT 10. Do tolerancí se zahrnuje pouze smrštění při tváření a dodatečné smrštění se zanedbává. Při konstrukci výrobku je důležitá znalost technologie vstřikování a dodržování doporučených konstrukčních zásad. Je potřeba zohlednit vhodnou polohu dělicí roviny (zaformování výrobku), umístění vtokového a vyhazovacího systému. [19]

#### 3.1 Tloušťka stěny

Tloušťka stěny ovlivňuje zejména mechanickou odolnost, hmotnost, cenu a vzhled výrobku. Při volbě tloušťky stěn se musí zohledňovat dráha toku polymeru i případné vady (hromadění materiálu, vnitřní pnutí, propadliny, lunkry). U plochých dílů se zvýšením tloušťky o 10 % zvýší tuhost přibližně o 33 %, ale tím se samozřejmě zvýší hmotnost výrobku, doba cyklu a spotřeba materiálu. Pro zvýšení tuhosti je vhodnější použít žebra, zakřivení nebo zvlnění. Tyto prvky zvýší tuhost dílu stejně nebo více než zvýšení tloušťky stěny, a to při mírném zvýšení hmotnosti výrobku. Velmi nízké tloušťky stěny mohou vést ke zvýšení vstřikovacího tlaku. Tím se zvýší náklady na výrobu a může dojít k anulování úspory dosažené snížením tloušťky stěny. Je vhodné navrhnout stejnou tloušťku stěn, protože různé tloušťky se rozdílně smršťují, a to způsobí vznik deformací. [20,21]



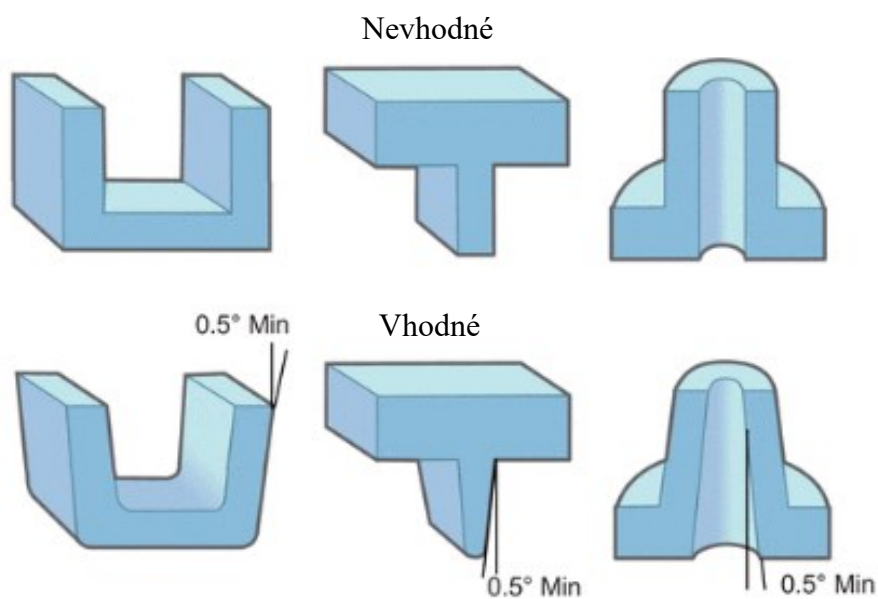
Obrázek 25 Řešení přechodů tloušťky stěn [21]

### 3.2 Zaoblení hran

Vstříkovaný výrobek by neměl obsahovat ostré hrany, protože v nich dochází ke koncentraci napětí při zatížení a sníží se tak mechanická odolnost výrobku. Zaoblením hran se usnadní tok taveniny, sníží se opotřebení dutiny formy a zvýší se rázová houževnatost výrobku až o 50 %. Vliv rádiusu u kořene konzoly na koncentraci napětí definuje faktor koncentrace, který strmě klesá s rostoucím poměrem rádiusu a tloušťky stěny ( $R/h$ ). Při velkém poměru  $R/h$  vzniká velká tloušťka stěny, která může vést ke vzniku propadlin nebo staženin. Není nutné všechny hrany opatřit rádiusem, protože některé části výrobku se tak mohou stát obtížně zaformovatelné a to může vést ke zvýšení nákladů při výrobě vstříkovací formy. Při tvorbě vnitřního a vnějšího rádiusu je rozdíl ve velikosti rádiusů tloušťka stěny výrobku. [22,23]

### 3.3 Úkosy

Hlavní důvod tvorby úkosů je zlepšení odformovatelnosti vstříkovaných dílů. Zaformování výrobku určuje umístění a velikost úkosů. Vytváří se na všech površích, které jsou rovnoběžné se směrem odformování. Velikost nejvíce ovlivňuje druh polymeru (jeho smrštění a elasticita) a povrch stěny formy (leštěné povrchy vyžadují menší úkosy). Pro většinu materiálů je minimální úkos  $0,5^\circ$ . Menší úhel zvyšuje riziko poškození výrobku nebo je potřeba speciální úprava povrchu dutiny formy, která prodlouží výrobu a tím zvýší náklady. [14,22]



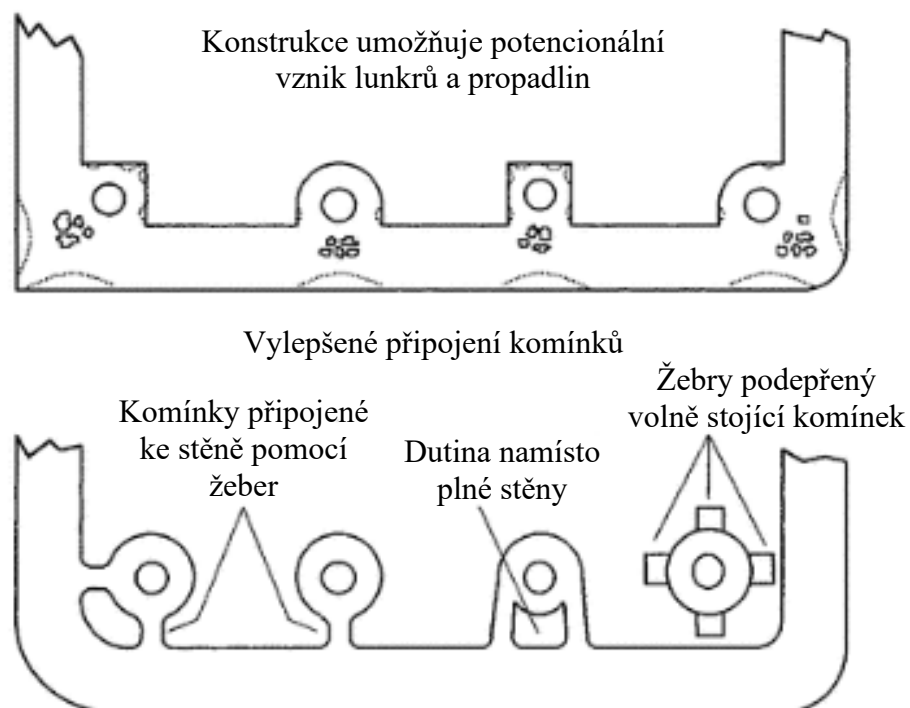
Obrázek 26 Návrh úkosů na výrobku [14]

### 3.4 Žebrování

Vhodnou konstrukcí žeber je možné zvýšit tuhost a pevnost výrobku při malé tloušťce stěn. Dále umožňují eliminovat povrchové vady (propadliny), brání zborcení stěn a zlepšují plnění dutiny formy. Rozměry žeber závisí na použitém materiálu. Tloušťka by měla být 40 % až 80 % tloušťky stěny výrobku. Příliš velká tloušťka obvykle způsobuje vznik propadliny na protějším povrchu, naopak velmi tenká žebra zase způsobují komplikace s plněním. Výška žebra by neměla přesáhnout trojnásobek tloušťky stěny výrobku, protože z důvodu opatření žebra úkosem ( $0,5^\circ$  až  $1,5^\circ$ ) by mohlo docházet k minimalizaci tloušťky na jeho konci. Z tohoto důvodu je vhodnější (pokud je to možné) navrhnout více menších žeber. Vzdálenost mezi dvěma sousedními žebry by neměla být menší než dvojnásobek tloušťky stěny výrobku. [21]

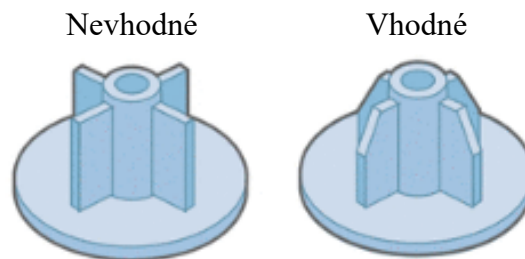
### 3.5 Komínky

Komínky slouží jako body pro připojení a montáž. Obvykle mají válcový tvar s vnitřním otvorem, který slouží k zašroubování šroubu. Vnější průměr komínku je většinou 2 až 2,5 násobek průměru šroubu. Stejně jako u žeber hrozí vznik propadlin na protějším povrchu a platí tak stejná doporučení pro tloušťku stěny. Dále může dojít k zvýšení tloušťky stěny přímým napojením komínku na boční stěnu výrobku. Pokud je toto napojení nutné, je vhodné využít propojujících žeber nebo otevřeného komínku. [21,23]



Obrázek 27 Možnosti připojení komínků ke stěně [21]

Vysoké komínky (více než pětinašobek vnějšího průměru komínku) mohou způsobit komplikace při plnění dutiny formy. Dále s chlazením a mechanickou odolností jader, která tvoří vnitřní otvor komínku. Tento problém je možné vyřešit dvoustranným komínkem nebo bočními výztuhami. Výztuhy komplikují odvzdušnění, protože se jedná o slepé vnitřní otvory a vzduch nemá kudy unikát (je nutné přizpůsobit jejich geometrii). [14,20]



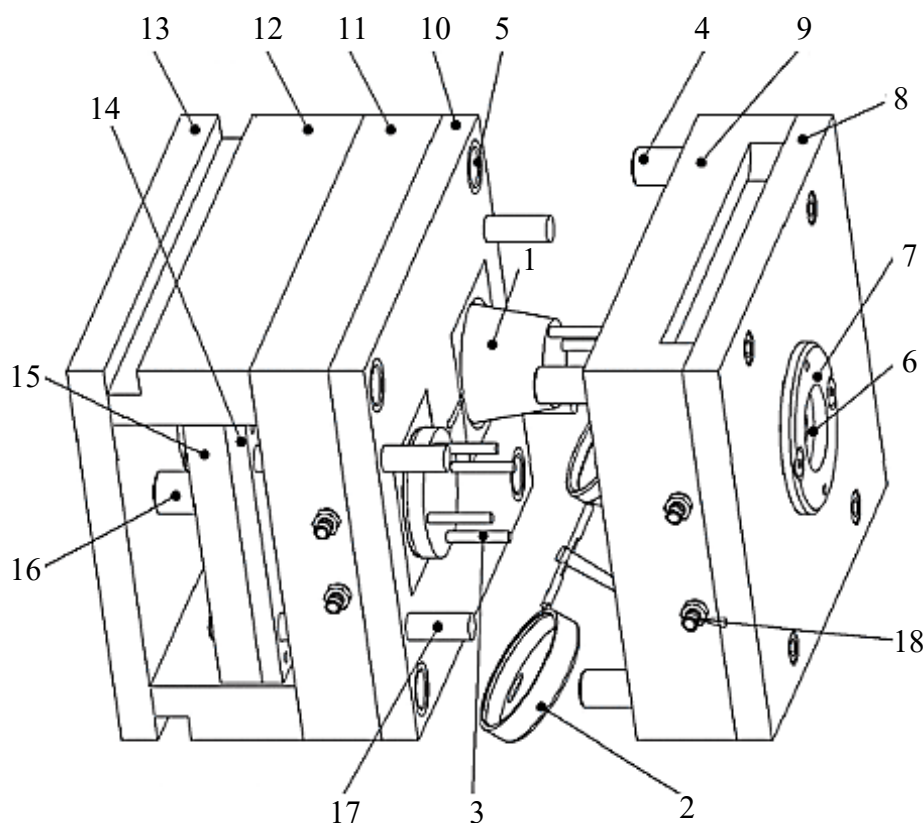
Obrázek 28 Úprava žeber pro lepší odvzdušnění [14]

### 3.6 Povrch výrobků

U technologie vstřikování je jakost povrchu výrobku obrazem povrchu tvarové dutiny formy. Matný povrch je výrobně nejjednodušší a tak i nejekonomičtější. Dále tento povrch může zakrýt některé vzhledové nedostatky výrobku (např. studené spoje a stopy po vtoku). Získat lesklý povrch je výrobně velice náročné a nejméně ekonomické. Zároveň jsou na tomto povrchu zvýrazněny veškeré nedostatky dutiny formy i technologie výroby (např. stopy po vtoku). Další možností je na povrchu vytvořit dezén. Jeho zhotovení je limitováno pouze umístěním ve formě a druh se volí podle vzorníku. Slouží k zvýraznění požadovaných částí výrobku a pro usnadnění manipulace. U stěn s dezénem je nutné pro snadné odformování zvolit větší úkosity. Jakost povrchu u méně náročných forem dosahuje Ra 1,6  $\mu\text{m}$  a u tvarových částí opracovaných na vysoký lesk až Ra 0,05  $\mu\text{m}$ . Horší jakost povrchu má za následek horší odformování výrobku. Pokud barevnost výrobku nevyhovuje požadavkům, tak je možné přistoupit k nátěru (případně nástřiku) povrchu. [19]

## 4 VSTŘIKOVACÍ FORMY

Vstřikovací forma je komplexní nástroj, který uděluje tvar budoucímu výrobku a skládá se z několika částí. Základní funkcí vstřikovací formy je dopravení polymerní taveniny do tvarové dutiny, účinný odvod tepla z taveniny a vyhození výrobku z formy bez nadměrného namáhání. Existuje více typů vstřikovacích forem, které se odvíjí od tvaru výrobku. Běžně se skládají ze dvou částí, a to nepohyblivé (pravé) a pohyblivé (levé). Součástí pohyblivé části je vyhazovací systém. [20]



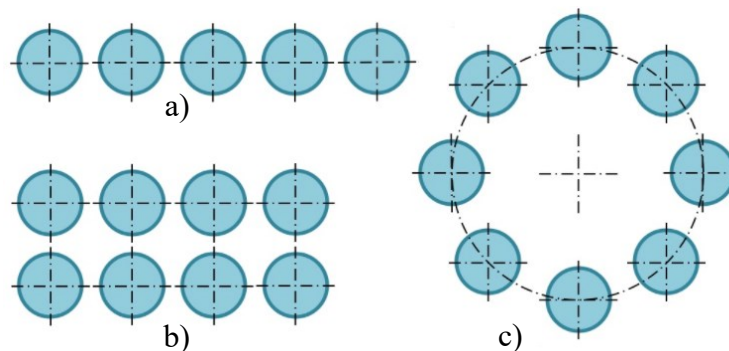
Obrázek 29 Otevřená vstřikovací forma [24]

- 1 – tvárník, 2 – vstřikovaný výrobek, 3 – válcový vyhazovač, 4 – vodící čep,  
 5 – vodící pouzdro, 6 – vtoková vložka, 7 – středící kroužek, 8 – upínací deska pravá,  
 9 – tvarová deska pravá, 10 – tvarová deska levá, 11 – opěrná deska, 12 – rozpěrná deska,  
 13 – upínací deska levá, 14 – vyhazovací deska kotevní, 15 – vyhazovací deska opěrná,  
 16 – táhlo vyhazovacích desek, 17 – vratný kolík, 18 – přípojka chlazení

Na obrázku 29 je zobrazena dvojnásobná vstřikovací forma. Násobnost formy udává kolik se vyrobí výrobků za jeden cyklus. Volí se podle plánovaného množství výrobků za celou dobu životnosti vstřikovací formy, termínu dodání, velikosti a složitosti výrobku. Dále mají na násobnost vliv i parametry vstřikovacího stroje. Tvarově složité a velké výrobky se



nejčastěji vyrábějí v jednonásobných formách, protože s rostoucí násobností klesá přesnost výroby. Ve formě se mohou nacházet i dvě rozdílné dutiny (např. pravé a levé zrcátko od auta). U jednonásobných forem se dutina nejčastěji umísťuje do středu, ale u vícenásobných forem je možné uspořádat dutiny do několika základních rozmístění. První je umístění v řadě vedle sebe, které je jednoduché, ale pokud nejsou výrobky dlouhé destičky, tak není vhodné. Toto rozmístění může vést k nevyváženému vtokovému systému (vzdálenost, kterou musí tavenina urazit ke každé dutině není stejná) a to může mít za následek nestabilitu vstřikovacího procesu (např. nerovnoměrně rozložené vstřikovací tlaky). Alternativou pro umístění v řadě je uspořádání do mřížky, které má vhodnější poměr stran plochy ohraničující dutiny. Další výhodou je jednodušší dosažení vyváženého vtokového systému. Toto rozmístění se obvykle používá pro velké objemy výroby, kdy je počet dutin násobkem 2. Poslední možností je umístění dutin do kruhu, které umožňuje rovnoměrné plnění i při jednoduchém vtokovém systému. Nevýhodou je malý počet dutin (většinou do 8) a potřebná větší velikost formy než u uspořádání do mřížky. [24,25]



Obrázek 30 Umístění dutin [20]

a) umístění v řadě, b) umístění do mřížky, c) umístění v kruhu

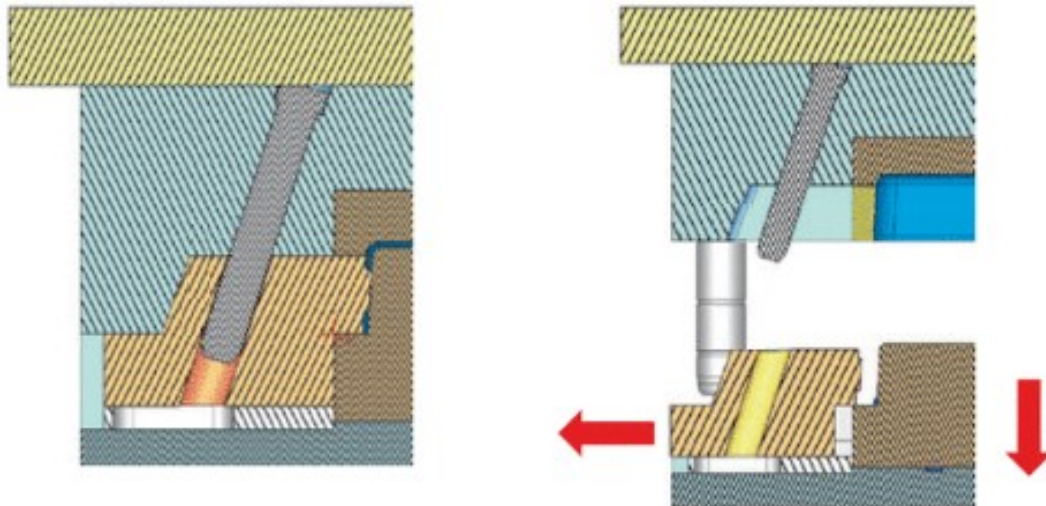
Vstřikovací forma je komplikovaná sestava skládající se z desek, spojovacích, vodících a středících prvků. Při návrhu je možné téměř všechny prvky vybírat z normalizovaných součástí od specializovaných výrobců (např. Hasco, Meusburger). Tím se výrazně urychlí konstrukce a výroba formy. Současně se sníží celkové náklady na pořízení a následnou údržbu formy. Jednotlivé desky jsou k sobě spojeny pomocí šroubů. Na obou stranách formy se nachází upínací desky a slouží k bezpečnému upnutí formy na vstřikovací stroj. Většinou se na tyto desky připevňují izolační desky, které zabraňují přestupu tepla z formy do stroje. Tvarové desky slouží k vytvoření dutiny nebo pro ukotvení tvarových vložek. Části formy, které jsou v kontaktu s polymerem musí být vyrobeny z odolnějších a tak i dražších materiálů. Z tohoto důvodu je vhodné použít tvarové vložky, protože tvarové desky pro

ukotvení je možné vyrobit z levnějšího materiálu. Základní tvarové vložky se nazývají tvárník a tvárnice. Tvárník je zpravidla umístěn v pohyblivé části formy a tvárnice v nepohyblivé. Plocha, kterou se tyto tvarové vložky dotýkají se nazývá hlavní dělicí rovina. Rozpěrné desky vytvářejí prostor pro vyhazovací systém, který je tvořen pomocí dvou desek a válcových vyhazovačů. Kotevní deska slouží k uložení vyhazovačů ve správné poloze. Vyhazovače jsou opřeny o opěrnou desku. Vracení vyhazovacího systému je v tomto případě řešeno pomocí vratných kolíků, které současně brání v pohybu během transportu. Forma je vystředěna na stroji pomocí středících kroužků. K přesnému vedení pohyblivé části formy vůči nepohyblivé a pro vedení vyhazovacího systému se používají vodící čepy a pouzdra. Pro vystředění jednotlivých desek se používají středící trubky. Formy musí být vybaveny prostředky pro bezpečnou manipulaci. Nejčastěji se používají závěsná oka nebo transportní můstky. Dále je potřeba použít transportní pojistku, aby nedošlo během transportu k otevření formy. Vstřikovací formy jsou v mnoha případech obtížně vyrobitelné (nejkomplikovanější jsou tvarové části). Proto se na výrobu používají konvenční i nekonvenční metody obrábění, tepelné úpravy kovů a povlakování. [20,26,27]

#### 4.1 Boční odformování

Výrobky obsahující podkoso, zahloubení, otvory kolmé nebo pod úhlem k hlavní dělicí rovině vstřikovací formy je potřeba odformovat pomocí posuvných čelistí, které svou povahou tvoří vedlejší dělicí roviny a jsou zpravidla umístěny na levé straně formy. Posuvné čelisti je možné ovládat mechanicky (pomocí šikmých válcových nebo lomených kolíků), pneumaticky nebo hydraulicky.

Šikmé válcové kolíky umožňují vysunutí posuvné čelisti současně s otevíráním formy s žádným nebo nepatrným zpožděním, které je ovlivněno vůlí mezi kolíkem a čelistí (obvykle 0,2 mm, ale může dosahovat až 3 mm). Sklon šikmého kolíku je v rozmezí od 15° do 25° (výjimečně i 30°). Lomené kolíky pracují obdobně jako šikmé kolíky. Rozdíl mezi nimi je v možnosti zpoždění posuvu čelistí při otevírání formy. Lomené kolíky se vyrábí s obdélníkovým průřezem a poměrem stran 1:1,5 až 2. Posuvná čelist v otevřené poloze formy se musí zajistit, aby nedošlo k jejímu samovolnému pohybu a následné kolizi. K zajištění se nejčastěji používá kulička s pružinkou. V uzavřené poloze formy (během vstřikování) je potřeba čelist pevně uzamknout. Tím se zachytí síly vyvolané vstřikovacím tlakem. [25,27]



Obrázek 31 Odformování bočního otvoru pomocí šikmého kolíku [25]

Hydraulické tahače se používají pro dlouhé nebo těžké posuvné čelisti, případně pro tažení několika posuvných čelistí naráz. Výhodou je možnost ovládat čelisti v jakékoliv fázi otevírání formy. Hydraulické válce jsou napojeny na hydraulický obvod vstřikovacího stroje nebo mají vlastní hydraulický agregát. Při použití pneumatických tahačů je potřeba brát v úvahu stlačitelnost vzduchu, která může zapříčinit nerovnoměrný nebo trhavý pohyb čelisti. [25,26]

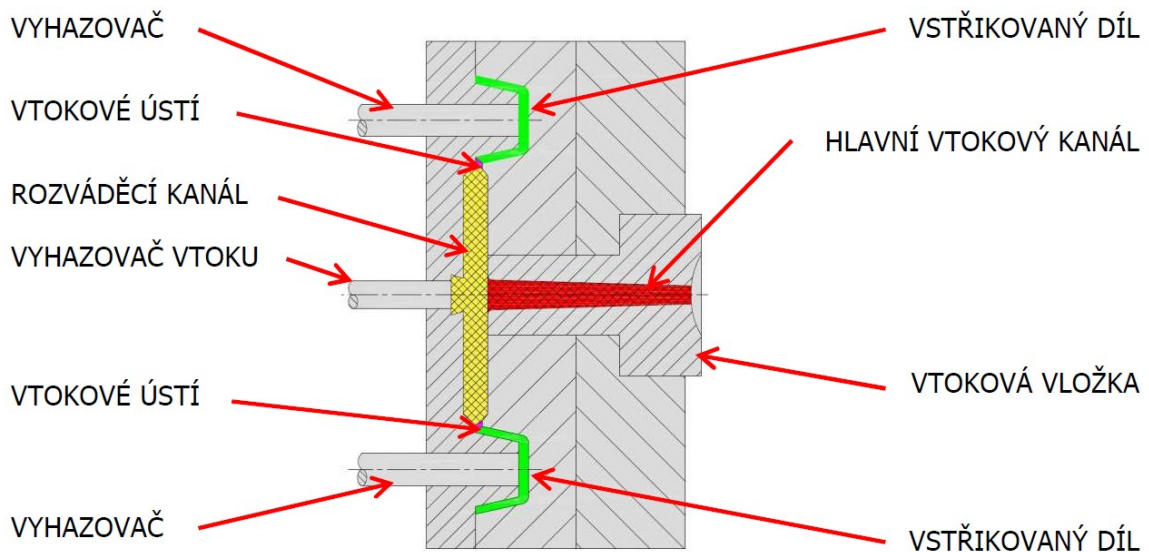
## 4.2 Vtokový systém

Úkolem vtokového systému je dopravit polymerní taveninu z trysky vstřikovacího stroje do tvarové dutiny formy. Tvar a rozměry vtokového systému závisí na konstrukci výrobku, násobnosti formy a materiálu. Vhodným návrhem dochází k rovnoměrnému zaplnění dutiny v nejkratším možném čase a s minimálními odpory. Základní rozdělení vtokových systémů je na studené a horké, ale využívá se i jejich kombinace. [19]

### 4.2.1 Studený vtokový systém

U studeného vtokového systému je polymerní tavenina ihned po opuštění trysky vstřikovacího stroje v kontaktu se studenou formou a dochází tak k jejímu ochlazení. Při ochlazení se zvýší viskozita a na zaplnění dutiny formy jsou tak potřeba větší vstřikovací tlaky. Studený vtokový systém je levnější, nepotřebuje energetické připojení a formy jsou konstrukčně jednodušší než u horkých vtokových systémů. Nevýhodou je větší spotřeba polymeru, který ztuhne ve vtokovém systému a je ho potřeba po vyvození z formy oddělit od výrobku. V některých případech může mít vtokový zbytek větší objem než je objem výrobku. Tento zbytek je možné regranulovat a v malém množství přivádět znovu do

násypky k novému granulátu. Studený vtokový systém se skládá z vtokového kanálu, rozváděcího kanálu a vtokového ústí. [28,29]



Obrázek 32 Schéma studeného vtokového systému [29]

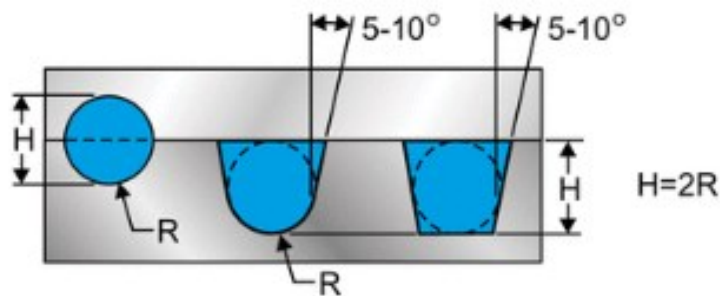
Při tvorbě kanálů se v oblastech změny směru toku taveniny vytváří jímky na zachycení studeného čela taveniny. Při otevírání formy je nutné, aby vtokový zbytek zůstal na pohyblivé straně formy. K tomu slouží přídržovač vtoku, který může mít různé tvary. Nejčastěji se umísťuje naproti vtokového kanálu a u delších rozváděcích kanálů i pod tyto kanály. [28,29]



Obrázek 33 Používané tvary přídržovače vtoku [28]

Do vtokového kanálu je tavenina přiváděna přímo z trysky stroje. Nejčastěji je tento kanál vytvořen ve vtokové vložce. Průměr kanálu v nejužším místě je o 0,5 až 1 mm větší než průměr trysky stroje. Pro snadnější odformování je kanál rozšiřován pod úhlem  $0,5^\circ$  až  $1,5^\circ$  směrem k dělicí rovině. Vtokový kanál může ústít přímo do dutiny formy nebo do rozváděcího kanálu. Vtoková vložka je dodávána jako normálie. Hlava vložky bývá opatřena rádiusem o velikosti R15,5 nebo R40, který slouží k dosednutí čela vstříkovací trysky. Vtoková vložka je vyráběna z oteruvzdorné nástrojové oceli s tepelným zpracováním, protože je velmi tepelně a mechanicky namáhaná. [28,29]

Rozváděcí kanály slouží k dopravě taveniny od vtokové vložky k vtokovému ústí a jsou vytvořeny v dělicí rovině. Tvar kanálu by měl zajistit co nejmenší tepelné a tlakové ztráty. Vhodnost tvaru kanálu určuje hodnota smáčivého průměru (čím je vyšší, tím je průřez vhodnější), který vyjadřuje poměr průřezu ke smáčenému povrchu. Optimální tvar je kruhový, ale musel by se obrábět do obou stran dělicí roviny a to zvyšuje riziko nepřesného tvaru průřezu. Alternativou jsou kanály lichoběžníkové, parabolické nebo půlkruhové. Na velikost průřezu kanálu má vliv velikost výrobku, vlastnosti taveniny (např. viskozita a tepelná vodivost) a vstřikovací stroj (např. vstřikovací tlak a vstřikovací rychlost). Příliš velké průřezy prodlužují výrobní cyklus a zvyšují tak náklady na výrobu. Naopak příliš malé průřezy způsobují zvýšení vstřikovacího tlaku. S ohledem na tlakové ztráty by měly být rozváděcí kanály co nejkratší. [20,28]



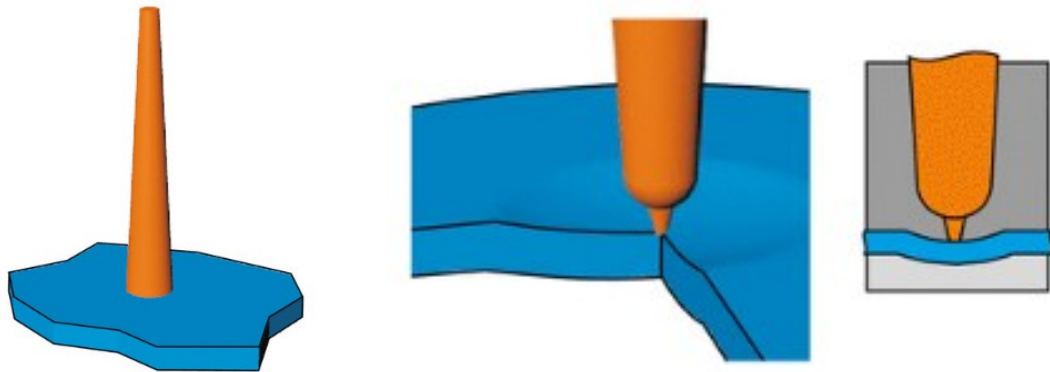
Obrázek 34 Kruhový (vlevo), parabolický (uprostřed) a lichoběžníkový (vpravo) tvar rozváděcího kanálu [28]

Vtokové ústí spojuje rozváděcí kanály s dutinou vstřikovací formy. Jedná se o zúženou část vtokového systému, která zvyšuje teplotu taveniny, omezuje strhávání chladných vrstev a tím vytváření povrchových defektů. Rozměry vtokového ústí se volí co nejmenší, aby bylo možné oddělit vtokový zbytek od výrobku a vzniklá stopa byla snadno začistitelná. Ústí by mělo být umístěno na nepohledové straně a v nejtlustším místě výrobku. [28,29]

Druhy vtokových ústí:

- Plný kuželový vtok přivádí taveninu do tvarové dutiny formy bez zúženého vtokového ústí. Využívá se zejména u jednonásobných forem, pro tlustostěnné a velkoobjemové výrobky. Výhodou je jednoduchá výroba a velmi dobrá účinnost z hlediska působení dotlaku, protože vtok zatuhne ve vstřikovací formě jako poslední. Nevýhodou je jeho problematické odstranění a vždy zanechá stopu na výrobku. [28]
- Bodový vtok je nejpoužívanější typ zúženého vtokového ústí, které může ležet mimo nebo v dělicí rovině. Vychází přímo z vtokového kanálu, z předkomůrky nebo

z rozváděcích kanálů, u kterých je zapotřebí třídeskový systém formy. Nejdříve dochází k odtrhnutí vtokového ústí a následně se otevře dělicí rovina s tvarovou dutinou. Na výrobku může zůstat výstupek po odtržení vtoku nebo může dojít k vytržení materiálu, kterému je možné zabránit vytvořením čoučkovitého zahloubení naproti ústí vtoku. Bodový vtok není vhodné použít pro výrobky větších rozměrů z méně viskózních a plněných polymerů. [28,29]



Obrázek 35 Plný kuželový (vlevo) a bodový (vpravo) vtok [28]

- Tunelový vtok je zvláštním případem bodového vtoku, který může ležet v stejné dělicí rovině jako výrobek (není potřeba systém třídeskové formy). K oddělení vtokového zbytku dochází při otevírání formy nebo při vyhazování výrobku. Předpokladem pro oddělení vtoku od výrobku je existence ostrých hran. Nevýhodou je náročná výroba pomocí elektroerozivního hloubení a omezení v použití vstříkovaného materiálu (není vhodný pro polymery vyztužené vláknitým plnivem). [28]
- Banánový vtok (někdy označován jako srpkovitý) je speciální typ tunelového vtoku. Používá se pokud nemůže být stopa po vtoku na pohledové straně výrobku. Nevýhodou je náročná výroba a nelze ho použít pro křehké materiály. [28]

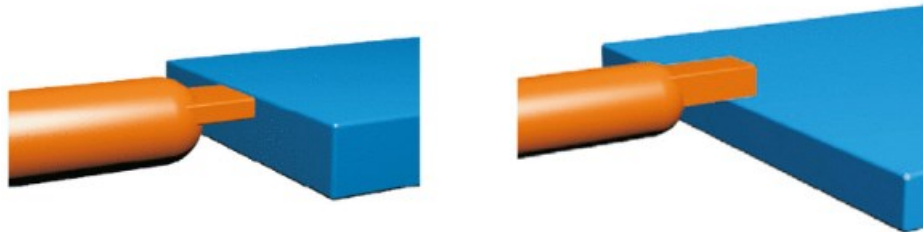


Obrázek 36 Tunelový (vlevo a uprostřed) a banánový (vpravo) vtok [28]

- Boční vtok má obvykle obdélníkový průřez (někdy může být i lichoběžníkový nebo kruhový) a ústí leží v dělicí rovině. Pro zamezení volného toku taveniny se ústí



upravuje do tvaru vějíře. Při odformování nedochází k oddělení vtokového zbytku a je tak nutné ho odstranit dodatečně. U optických a velmi mechanicky namáhaných výrobků (výrobky vylučující vznik velkých vnitřních pnutí) se používají nepřímé boční vtoky. [28]



Obrázek 37 Typický boční (vlevo) a boční s překryvem (vpravo) vtok [28]

- Filmový vtok patří do skupiny bočních vtoků. Vtokové ústí taktéž leží v dělicí rovině a při odformování nedochází k odstranění vtokového zbytku. Na rozdíl od standartního bočního vtoku není dutina plněna jen v jednom bodě, ale plochým, tenkým a širokým ústím. Rozvádění taveniny do jednotlivých míst vtokového ústí není rovnoměrné (tlak klesá s rostoucí vzdáleností od rozváděcího kanálu), což se řeší proměnnou tloušťkou ústí nebo rozváděcího kanálu. K filmovému vtoku se řadí i vtoky diskové, prstencové, deštníkové a další. [28,29]

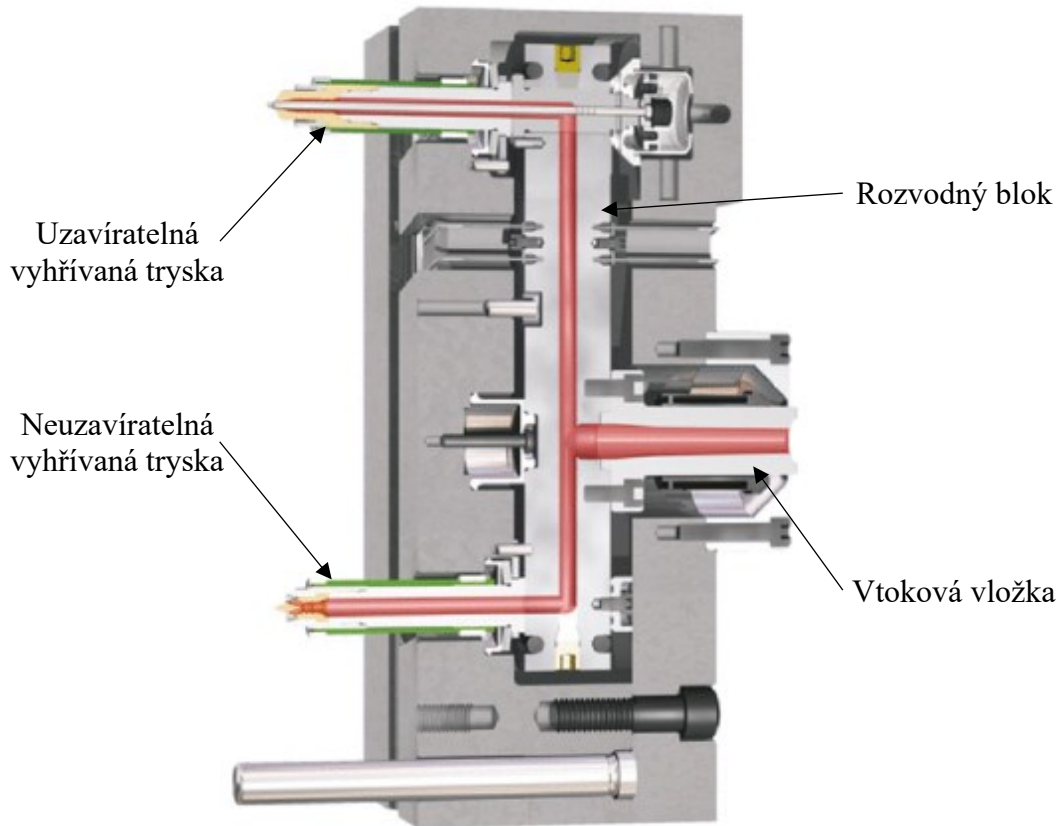


Obrázek 38 Filmový vtok [28]

#### 4.2.2 Horký vtokový systém

Horký vtokový systém udržuje konstantní teplotu taveniny až k vstupu do dutiny formy a prakticky se tak jedná o prodloužení trysky stroje. Může být tvořen vyhřívanou tryskou nebo vyhřívaným rozvodným blokem osazeným jednou, či více tryskami. Jednoduché horké vtokové systémy je možné zakoupit jako normálie a pro vícenásobné formy jsou vyráběny na zakázku. Mezi výhody patří absence vtokového zbytku (tzv. bezvtokové vstřikování), snížení nákladů na dokončovací operace, snížení velikosti uzavírací síly, možnost postupného otevírání jednotlivých trysek pro řízení polohy studených spojů, regulace teploty všech částí horkého vtoky, možnost plné automatizace a zkrácení výrobního cyklu.

Nevýhodou je náročnější konstrukční provedení vstřikovací formy, nelze použít pro tepelně citlivé polymery, obtížné dodatečné změny polohy vtoků, větší nároky na obsluhu, vysoké pořizovací a provozní náklady. [28,30,31]



Obrázek 39 Řez horkým vtokovým systémem [28]

Trysky jsou ohřívány pomocí topného článku s regulací. Mohou být nepřímo a přímo vyhřívány. Mezi nepřímo vyhřívány patří dotápěná tryska, která má miniaturní topné těleso zabudované do ocelového pouzdra, jehož špička zasahuje do vyústění vtoku. Přímou vyhřívání tryska může být s vnitřním nebo vnějším ohřevem. U vnitřního ohřevu tavenina proudí kolem vyhřívajícího torpéda, které je z vodivého materiálu. Výhodou je lepší regulace teploty taveniny a je lépe tepelně izolovaná od okolí. Vnější ohřev je zajištěn navinutým topným svazkem a tavenina proudí středem trysky. Dochází k menšímu úbytku tlaku než u trysek s vnějším ohřevem. Ústí trysky může být s jedním otvorem nebo s více otvory (obvykle dva otvory po 180° nebo tři otvory po 120°). Trysky mohou být s uzavírací jehlou. V trysce se nachází jehla, která může být ovládaná pružinkou, pákou, hydraulicky nebo pneumaticky. Využívá se u složitých a velkých výrobků. Výhodou je rychlejší plnění dutiny díky zvětšenému ústí vtoku a odstranění stopy po vtoku. Nevýhodou jsou větší nároky na údržbu a seřízení. [30,31]



Vyhřívaný rozvodný blok slouží k rozvodu taveniny k vyhřívaným tryskám a používá se převážně u vícenásobných forem. Topení je řešeno pomocí topných hadů zalitých v mědi nebo topných patron. Kanál pro taveninu musí být bez ostrých hran a mrtvých koutů, ve kterých by se tavenina mohla zdržovat a degradovat. Rozvodný blok se umísťuje na nepohyblivou stranu formy mezi upínací a tvarovou desku, od kterých musí být co nejlépe odizolován. Využívá se vzduchové mezery a minimální teplosměnné plochy pomocí distančních podložek. Tvar rozvodného bloku určuje počet vstřikovaných výrobků, jejich tvar a uspořádání ve formě. Nejčastěji se vyrábějí ve tvaru I, H, X, Y a hvězdice. [30,31]

### 4.3 Temperační systém

Temperační systém slouží k udržování konstantního teplotního pole vstřikovací formy a má vliv na kvalitu výrobku, dobu výrobního cyklu, velikost výrobního a dodatečného smrštění. Opakovaným vstřikováním polymeru dochází k ohřevu formy a přebytečné teplo je potřeba odvést pomocí temperačního systému. Dobře řešený temperační systém a dostatečná hmotnost formy zajistí dobrou tepelnou stabilitu a malé nebezpečí deformace formy při vysokých vstřikovacích tlacích. Ohřívání nebo ochlazování formy na požadovanou teplotu záleží na celkové energetické bilanci formy i okolního prostředí. Teplo se z formy neodvádí pouze temperačním systémem, ale i upínacími plochami stroje, okolním vzduchem a vyzářením do okolí. Temperační systémy je možné rozdělit na aktivní a pasivní. [19,32]

#### 4.3.1 Aktivní temperace

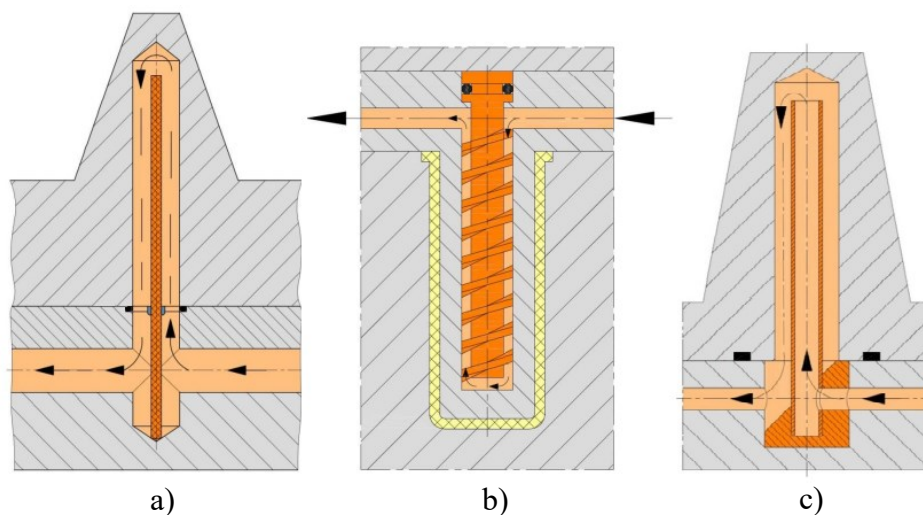
Aktivním temperováním se rozumí přímé odvádění nebo dodávání tepla do formy pomocí média. Temperačním médiem může být voda, olej nebo glykol, případně jejich kombinace. Temperační kanály se nejčastěji vyrábějí vrtáním a tok média je usměrněn pomocí ucpávek. Průměr kanálů by neměl být menší než 6 mm, protože hrozí nebezpečí ucpání nečistotami a vodním kamenem. Temperační okruh nesmí obsahovat mrtvé kouty, ve kterých by mohlo docházet k usazování nečistot a následně dojít ke korozi. Rozměry a rozmístění temperačních kanálů se volí tak, aby se příliš nesnížila tuhost a pevnost stěn dutiny formy. Povrch temperačních kanálů slouží jako teplosměnná plocha. Je proto vhodné volit větší počet menších kanálů než menší počet větších kanálů, protože je zajištěno menší kolísání teploty na povrchu dutiny formy. Teplotní spád v jednom temperačním okruhu nesmí překročit 3°C. Pokud dojde k překročení je vhodné rozdělit temperační okruh na více samostatných okruhů. Účinnost temperačního okruhu závisí na druhu proudění v kanálu. Pro

největší účinnost by mělo proudění být turbulentní. Dále by mělo médium protékat tak, aby při chlazení proudilo od nejteplejšího místa k nejchladnějšímu. [19,29,31]

Tabulka 2 Doporučené vzdálenosti temperačních kanálů od dutiny formy [19]

	$\phi d$ [mm]	6	8	10	12	14	16	18	20
	$s$ [mm]	4	6	8	12	15	20	25	30
	$t$ [mm]	10	14	17	20	24	27	30	34
	$b$ [mm]	4	5	7	8	10	11	12	14

Přepážkový systém slouží pro temperaci míst, ve kterých není možné vytvořit klasické temperační kanály. Existují tři základní konstrukce přepážkových systémů a každá z nich dosahuje různého efektu temperace. U systému ploché přepážky je vedlejší temperační kanál rozdělen na dva menší kanály a médium proudí kolem této přepážky. Systém spirálové přepážky funguje na stejném principu, ale oproti plochým přepážkám se dosahuje rovnoměrnějšího teplotního pole. Posledním je systém fontánek. Médium proudí přepážkou ve tvaru trubičky ke dnu vedlejšího kanálu a po stěnách vedlejšího kanálu se vrací zpět do hlavního kanálu. [20,32]



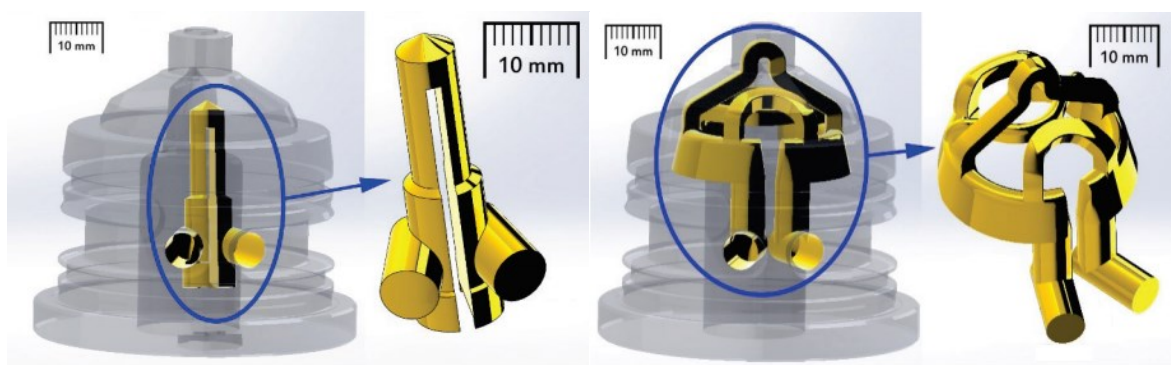
Obrázek 40 Přepážkový systém [29]

a) systém ploché přepážky, b) systém spirálové přepážky, c) systém fontánek

Topné patrony se používají pokud je nutné vyhřívát formu na vyšší teplotu nebo na lokální ohřev blízko tvarové dutiny, aby nedocházelo ke vzniku studeného spoje. Aktivní povrch patrony musí vždy být v těsném kontaktu s povrchem formy, aby nedocházelo k lokálnímu přehřátí nebo k porušení patron. Lepší, ale náročnější způsob uložení patron je zalití dobře

tavitelným materiálem přímo do dané části formy. Při použití elektrických topných patron je nutné vstřikovací formu uzemnit. [32]

Pro zefektivnění temperace je možné použít konformní chlazení. Temperační kanály kopírují tvar dutiny formy v co nejmenší vzdálenosti. Tím se zajistí rovnoměrnější teplotní pole, sníží deformace a zvýší rozměrová přesnost. Konformním chlazením je možné snížit čas vstřikovacího cyklu až o 40 %. Tvarové části s konformním chlazením se vyrábějí metodou SLM (Selective Laser Melting). Jedná se o spékání kovového prášku v tenkých vrstvách pomocí laserového paprsku. Nevýhodou jsou vysoké náklady na výrobu tvarových částí. [33,34]



Obrázek 41 Porovnání konvenčního (vlevo) a konformního (vpravo) chlazení [33]

#### 4.3.2 Pasivní temperace

Na pasivní temperaci se využívá kombinace vodivých a izolačních materiálů. Temperace tepelně vodivými materiály se využívá k odvodu tepla z míst jiným způsobem obtížně temperovaných (např. tenké tvárníky). Mezi nejpoužívanější materiály patří měď, hliník a jejich slitiny. Omezením mohou být požadavky na vlastnosti tvarových částí (např. pevnost, tvrdost, ořezuvzdornost a rozměrová stabilita). Tepelně izolační materiály se používají pro omezení přestupu tepla z formy do upínacích desek stroje. Nejpoužívanější jsou materiály na bázi vyztužených reaktoplastů nebo nekovových anorganických látek. Dále je možné použít izolační materiály pro omezení ztrát tepla vyzařováním do okolí (z boční strany formy). Pokud má forma vysokou teplotu, tak se doporučuje povrch leštit, chromovat, niklovat nebo pokrýt hliníkovou fólií. Dalším pasivním temperačním prostředkem je tepelná trubice. Jedná se o zařízení, které umožňuje intenzivní přenos tepla z oblasti o vyšší teplotě do oblasti s nižší teplotou i při malém teplotním rozdílu mezi nimi. Tepelná trubice využívá výparného tepla látky cirkulující uvnitř v důsledku teplotního spádu. Tímto způsobem je možné zvýšit odvod tepla až o řád (ve srovnání s čistou mědí). [19,32]

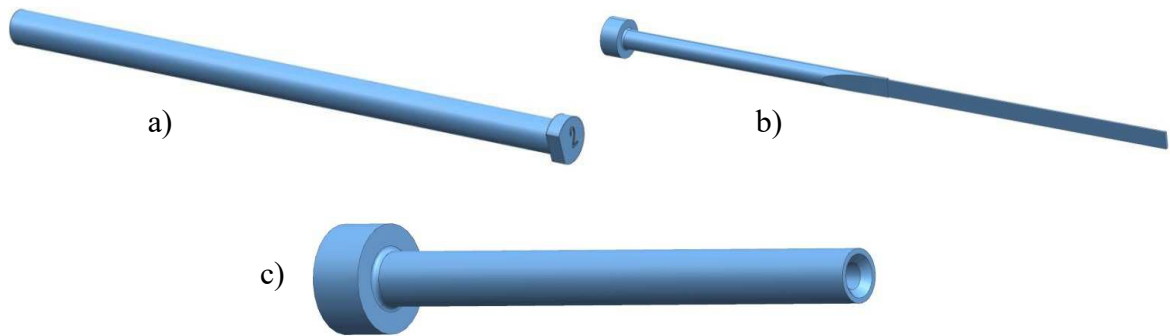
## 4.4 Vyhazovací systém

Po ochlazení taveniny na vyhazovací teplotu se otevře forma a pomocí vyhazovacího systému je výrobek včetně vtokového zbytku vyjmut z formy. K vyjmutí slouží různá zařízení, které mohou fungovat automaticky nebo poloautomaticky. Vyhazovací systém pracuje ve dvou fázích. Jedná se o pohyb vpřed (vlastní vyhazování) a pohyb vzad (návrat vyhazovacího zařízení do původní polohy). Vyhazovací systém může být mechanický, pneumatický nebo hydraulický. Zvolený vyhazovací systém musí zajistit vyvození potřebné vyhazovací síly. Velikost vyhazovací síly závisí na velikosti smrštění, které vyvolá mezi výrobkem a formou tlak způsobující tření. Pro správnou funkci je tak potřeba hladký povrch tvarové dutiny formy a úkosovitost stěn výrobku (alespoň  $0,5^\circ$ ) ve směru vyhazování. Vyhazovací síla musí na výrobek působit rovnoměrně, aby se zamezilo přičení výrobku a tím vzniku trvalých deformací nebo k poškození. Určit konkrétní velikost potřebné vyhazovací síly je v podstatě nemožné a v praxi se tato síla nezjišťuje, protože síla vyhazovacího systému je vždy značně předimenzovaná a potřebná síla se pro správnou funkci odzkouší. Zpětný pohyb vyhazovacího systému slouží k setření výrobku přichyceného na vyhazovačích a návrat vyhazovacího systému do výchozí polohy pro další vstřikovací cyklus. Tento pohyb může být zajištěn mechanicky (vratné kolíky, pružiny, klíny, vačky), pneumaticky nebo hydraulicky, případně jejich kombinace. Většina výrobků může po vyhození spadnout na pás nebo do nádoby, ale přesné výrobky s kvalitním povrchem (např. nárazníky automobilů) je nutné vyjmout z formy robotem. [19,24,31]

### 4.4.1 Mechanické vyhazování

Mechanické vyhazování je nejlevnější a nejpoužívanější vyhazovací systém. Konstrukčně může mít různá provedení a uskutečňuje se pomocí vyhazovacích kolíků, stírací desky, šikmých vyhazovačů a víceúhlového vyhazování.

Mezi vyhazovací kolíky patří válcový, prizmatický a trubkový vyhazovač. Je možné je použít všude tam, kde je možné umístit vyhazovače proti ploše výrobku ve směru vyhazování. Jejich uložení bývá nejčastěji v tolerancích H7/g6, H7/h6 nebo H7/j6 podle použitého polymeru, protože vůle v uložení slouží také jako odvzdušnění. Vyhazovací kolík zanechává na výrobku stopu, proto by se měl opírat o nepohledovou stěnu nebo žebro, které se nesmí bortit. Pokud mají vyhazovače tvarově upravené čelo je nutné je zabezpečit proti pootočení. Zajištění může být pomocí kolíku nebo zploštěním. [19,25]



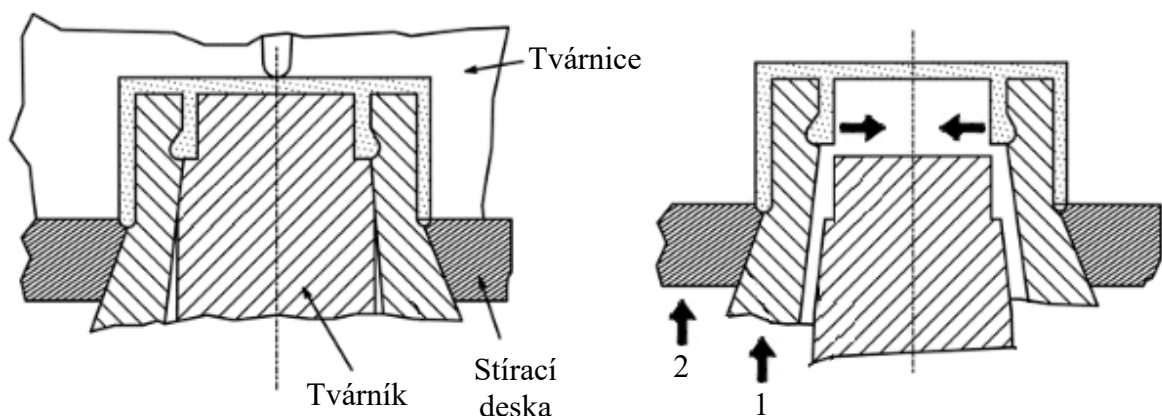
Obrázek 42 Mechanické vyhazovače [29]

a) válcový vyhazovač, b) prizmatický vyhazovač, c) trubkový vyhazovač

Stírací deska při stahování výrobku z tvárníku působí po celém jeho obvodu a nezanechává stopy po vyhazování. Používá se pro rozměrné a tenkostěnné výrobky, které vyžadují velkou vyhazovací sílu. Obvodový okraj výrobku musí být v dělicí rovině, která může být mírně zakřivená. Velká styková plocha způsobuje minimální deformace výrobku. Pohyb stírací desky může být vyvozen tlakem vyhazovacího systému nebo pohybem desek při otevírání formy (systém třídeskových forem, přes západky, pružiny nebo odpružený kolík). Pro zvýšení životnosti se na stírací desku přidávají stírací kroužky. [24,27]

Šikmé vyhazovače se řadí mezi speciální způsoby mechanického vyhazování. Tyto vyhazovače jsou umístěny vůči dělicí rovině pod různými úhly. Používají se na odformování mělkých vnitřních nebo vnějších zápichů, které mohou být vytvořeny přímo na šikmém vyhazovači nebo na šikmo uloženém kolíku s pevně připojenou čelistí. [24]

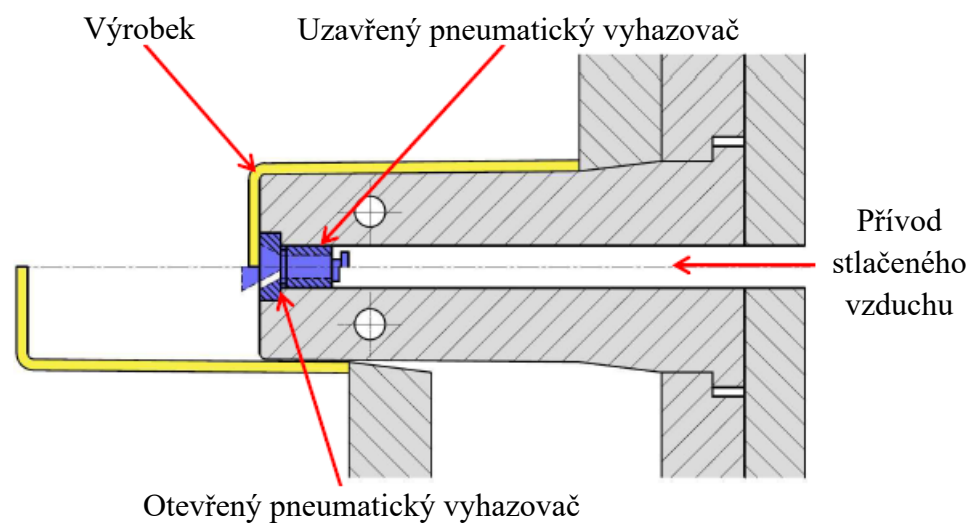
Dvoustupňové vyhazování se skládá ze dvou vyhazovacích systému, které se navzájem ovlivňují (např. kombinace stírací desky s válcovými vyhazovači). Tento způsob umožňuje vyhazovat výrobky s časovým posunem a rozdílnou velikostí vyhazovacího zdvihu. [27]



Obrázek 43 Dvoustupňové vyhazování [27]

#### 4.4.2 Pneumatické vyhazování

Pneumatické vyhazování je vhodné pro tenkostěnné výrobky velkých rozměrů ve tvaru nádoby, které by se mechanickým vyhazováním zdeformovali a byl by potřeba velký zdvih. Stlačený vzduch se přivádí mezi výrobek a líc vstříkovací formy. Dochází tak k rovnoměrnému oddělení výrobku od tvárníku, vyloučí se tím místní přetížení a nevzniknou stopy po vyhazovačích. Vzduch se do formy přivádí přes talířový nebo jehlový ventil, případně přes zavzdušňovací kolík. Otevření ventilu je řízeno tlakem a zavření pomocí pružiny. [29]



Obrázek 44 Pneumatický vyhazovač [29]

#### 4.5 Odvzdušnění

Dutina formy je před vstříkáním zaplněna vzduchem a je potřeba zajistit únik vzduchu a případných zplodin. Žádné nebo nedostatečné odvzdušnění může být příčinou nekvalitního vzhledu výrobku nebo jeho nízkých mechanických vlastností. Čím je rychlost plnění větší, tím účinnější musí být odvzdušnění tvarové dutiny. Vzduch je z dutiny odváděn dělicí rovinou a vůlemi mezi tvarovými díly nebo vyhazovači. Takové odvzdušnění nemusí být vždy dostačující a je potřeba vytvořit odvzdušňovací kanálky. Jejich umístění se může volit podle znalostí a zkušeností konstruktéra, ale vhodnější je použití tokové analýzy pro simulaci plnění tvarové dutiny. Velikost odvzdušňovacích kanálků je závislá na vstříkovaném materiálu. Doporučené šířky kanálků jsou uvedeny v tabulce 3. Potíže s odvzdušněním jsou zejména u nových forem, které mají přesně slícované díly. Provozem vznikají větší vůle a vzduch lépe uniká. [20,26]

Tabulka 3 Doporučené šířky odvzdušňovacích kanálů [20]

Polymer	Šířka [mm]
PC	max. 0,05
POM	max. 0,05
PS	max. 0,05
ABS	max. 0,05
PA	0,02 - 0,03
PA + GF	max. 0,05
PBT	max. 0,03

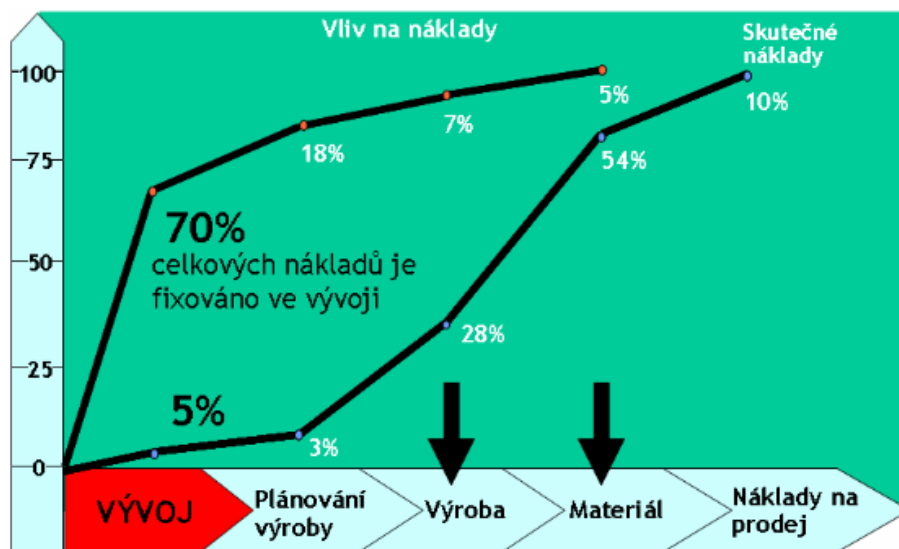
#### 4.6 Postup konstrukce vstřikovacích forem

Konstruktér podle obdržených podkladů (např. výkres nebo model součásti, násobnost formy, zvolený stroj) navrhne vstřikovací formu. Levnější formy někdy vedou k neefektivním procesům nebo horší kvalitě výrobků. Formy by měly být navrženy tak, aby produkovaly výrobky přijatelné kvality s minimální náklady na cyklus. Postup konstrukce je následující:

- Z hlediska tvaru a rozměrů součásti určit polohu dělicích rovin tak, aby byla forma co nejjednodušší a aby dělicí roviny procházely hranami výrobku (kvůli vzhledovým vadám).
- Stanovit rozměry (s ohledem na smrštění) a uspořádání tvarových dutin.
- Zvolit vhodnou konstrukci vtokového, temperačního a vyhazovacího systému. Pokud je potřeba tak vytvořit odvzdušňovací kanálky.
- Zvolit velikost rámu formy.
- Určit vhodný materiál na jednotlivé části formy s ohledem na technologické podmínky vstřikování.
- Zvolit druh vystředění a upnutí formy na stroj.
- Provést kontrolu všech funkčních parametrů formy s ohledem na zvolený vstřikovací stroj. [19,27]

## 5 SIMULACE PROCESU VSTŘIKOVÁNÍ

Cena vstřikovaného výrobku je ovlivněna několika hledisky. Z největší části se jedná o cenu vstřikovací formy, cenu polymeru, hmotnost výrobku včetně vtokového zbytku a délku vstřikovacího cyklu. Na výši těchto cen má vliv design výrobku, konstrukce formy a nastavení technologických podmínek vstřikovacího procesu. Ve vývoji je fixováno až 70 % celkových nákladů na výrobu, přičemž vývojová fáze představuje zhruba 5 % výrobních nákladů. Z tohoto důvodu je vhodné věnovat vývojové fázi velkou pozornost a využívat simulace procesu vstřikování. Tyto simulace pomohou stanovit optimální procesní podmínky a výrobu kvalitnějších výrobků. [14,35]



Obrázek 45 Vliv jednotlivých etap na růst nákladů na uvedení výrobku na trh [35]

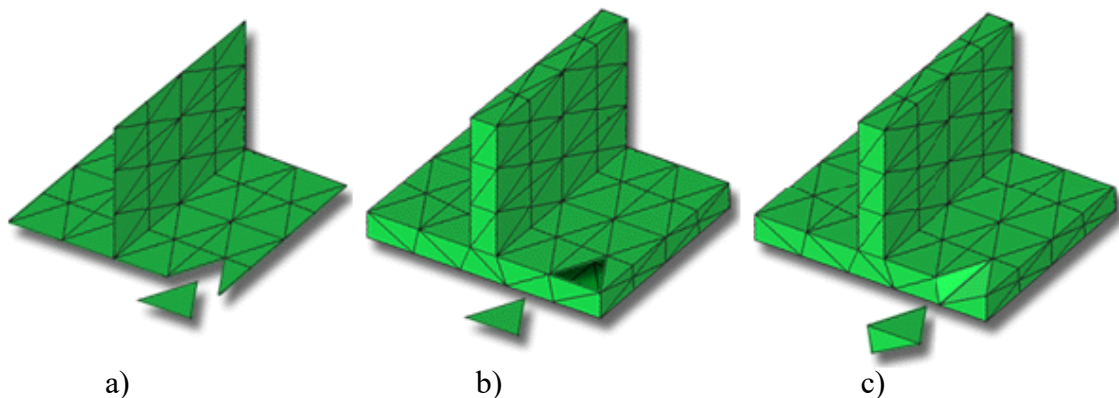
### 5.1 Autodesk Moldflow

Software Autodesk Moldflow umožňuje provedení simulace vstřikování a poskytuje kvalitní výsledky pro ověření designu výrobku, formy nebo zvolených procesních parametrů. Tento software obsahuje databázi s velkým množstvím polymerů (u každého z nich jsou uvedeny doporučené procesní podmínky, reologické vlastnosti, pV-T diagram, velikost smrštění, teplotní a mechanické vlastnosti) a vstřikovacích strojů. Moldflow pracuje na bázi metody konečných prvků (FEM – Finite Element Method). Dochází k nahrazení 3D modelu konečným počtem uzlových bodů. S vyšším počtem uzlových bodů (vyšší hustota sítě) je výpočet přesnější, ale časově náročnější. Z tohoto důvodu je vhodnější lokální zahuštění sítě v místech, kde jsou potřeba přesnější výsledky. K dispozici jsou tři typy sítí a každý z nich je vhodná pro jiný typ výrobků. [35,36]



Typy sítí:

- Midplane mesh – se skládá z trojúhelníkových elementů se třemi uzly, které tvoří jednorozměrný tvar součásti vytvořený ve střední rovině. Tato metoda síťování se používá pro jednoduché tenkostěnné výrobky.
- Dual domain mesh – se skládá opět z trojúhelníkových elementů se třemi uzly, která je v tomto případě vytvořena na celém povrchu součástí a vytváří dutý model výrobku. Používá se pro síťování tenkostěnných výrobků s několika místy s větší tloušťkou.
- 3D mesh – se skládá z čtyřstěnných elementů se čtyřmi uzly a součást je tak kompletně vyplněna. Tato metoda síťování je vhodná pro tlustostěnné výrobky a poskytuje nejpresnější reprezentaci modelu, ale výpočet analýzy je časově náročnější. [14,36]



Obrázek 46 Typy sítí v programu Autodesk Moldflow [36]

a) Midplane mesh, b) Dual domain mesh, c) 3D mesh

### 5.1.1 Typy analýz

Software Autodesk Moldflow nabízí čtyři základní typy analýz, které je vhodné kombinovat pro získání komplexních výsledků.

Analýza umístění vtoku (Gate location) graficky znázorní místa na výrobku, které jsou nejvhodnější pro umístění vtokového ústí. Dalším výsledkem je zobrazení míst s největším a nejmenším odporem taveniny proti tečení. Tyto výsledky jsou pouze informativní, protože analýza nezohledňuje zaformování výrobku. [36]

Analýza plnění a dotlaku (Fill + Pack) zobrazuje jak polymerní tavenina zaplňuje dutinu formy při zadaných procesních podmínkách a zda dojde k úplnému zaplnění dutiny. Pomocí

této analýzy je možné určit např. čas plnění, vznik studených spojů a vzduchových kapes, hodnotu smykové rychlosti a smykového napětí při plnění. [36]

Analýza chlazení (Cool) simuluje tepelné procesy ve formě. Umožňuje určit optimální rozvržení a velikost temperačních kanálů, případně nastavení procesních podmínek pro nejvyšší efektivitu chlazení. Mezi výsledky patří např. průběh teploty a tlaku temperačního systému, efektivita odvodu tepla, doba potřebná pro dosažení na vyhazovací tepotu. [36]

Analýza deformace (Warp) se používá k diagnostice příčiny deformace výrobku. Zobrazuje celkovou deformaci způsobenou všemi vlivy nebo deformaci způsobenou jednotlivými vlivy (chlazením, smrštěním nebo orientací). Pomocí těchto výsledků je možné zajistit požadovanou tvarovou a rozměrovou přesnost. [36]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

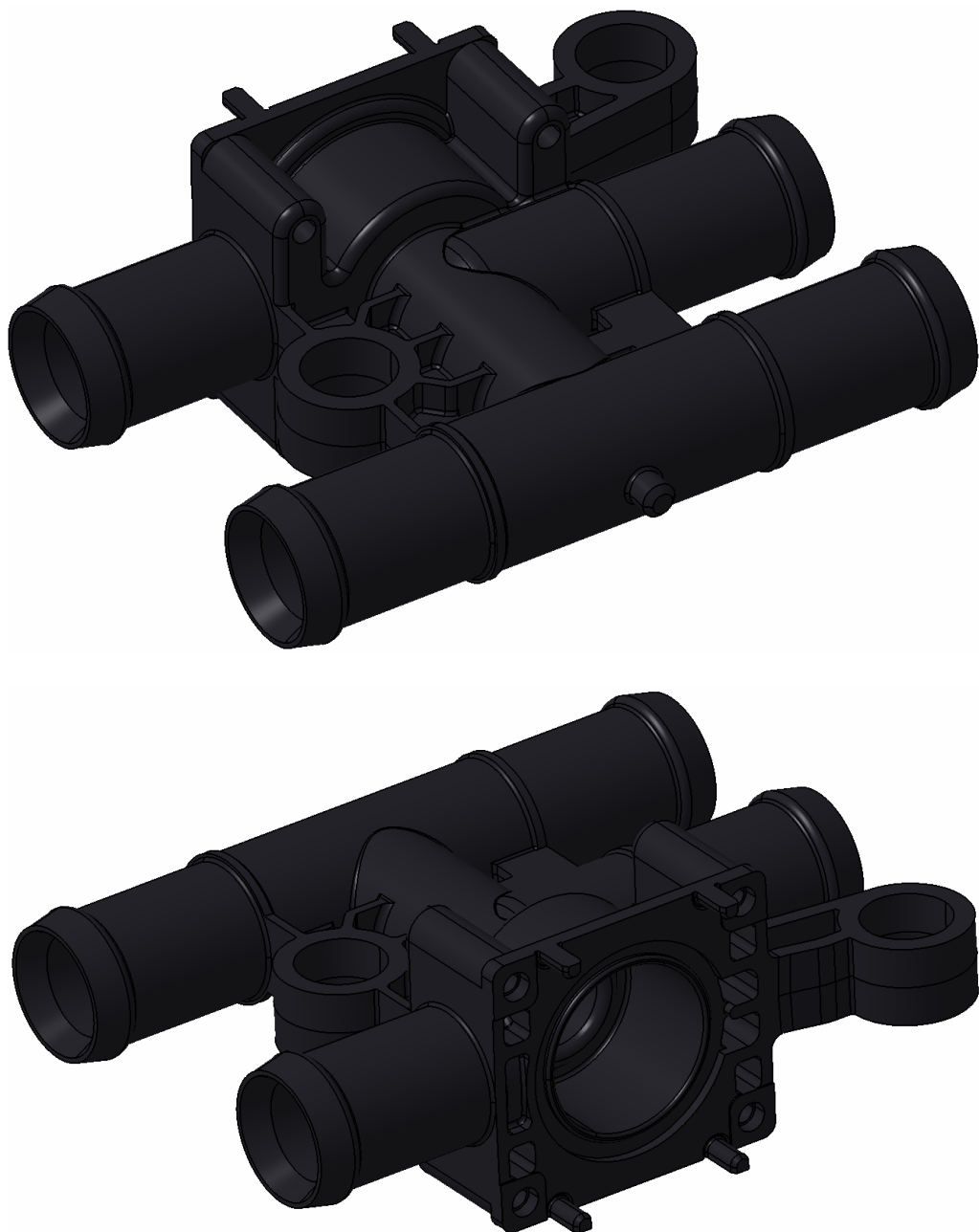
## 6 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Pro tuto diplomovou práci byly stanoveny následující cíle:

- Vypracovat literární studii pro dané téma.
- Provést konstrukci modelu zadané součásti.
- Navrhnout 3D konstrukci vstřikovací formy pro zadaný díl s ohledem na vyrobiteľnost.
- Ověřit funkčnost navrženého řešení pomocí simulace v software MoldFlow.
- Nakreslit 2D řez vstřikovací formou s kusovníkem.

## 7 ZADANÁ SOUČÁST

Zadanou součástí pro konstrukci vstřikovací formy je regulační ventil topení automobilu. Tato součást je tvořena čtyřmi přípojkami na hadice, otvorem pro magnetické ovládání ventilu a dvou otvory pro upnutí. Jedná se o nepohledovou technickou součást, u které je podstatnější její funkčnost než vzhled. Model ventilu byl vytvořen na základě reálné součásti v softwaru Catia V5R19. Největší rozměry ventilu jsou 107,5 x 90,1 x 42 mm a objem je 55,43 cm<sup>3</sup>.



Obrázek 47 3D model regulačního ventilu topení

## 7.1 Materiál

Jako materiál ventilu byl zvolen PA6T GF35 od firmy Mitsui Chemicals s obchodním názvem Arlen G335. Jedná se o modifikovaný polyamid 6 plněný z 35 % skelnými vlákny. Vyznačuje se vysokou tuhostí i při vysokých teplotách (teplota skelného přechodu je 140°C), rozměrovou stabilitou a chemickou odolností. Navíc má snížen na minimum vliv absorpce vody, která je slabinou polyamidů. Tento materiál je vhodný pro výrobu částí chladicího systému, kryty hlavy válců, pouzdra termostatů, písty hydraulického systému a další části v motorovém prostoru automobilu. Základní vlastnosti tohoto materiálu jsou uvedeny v tabulce 4 a materiálový list výrobce je uveden v příloze P I. [37]

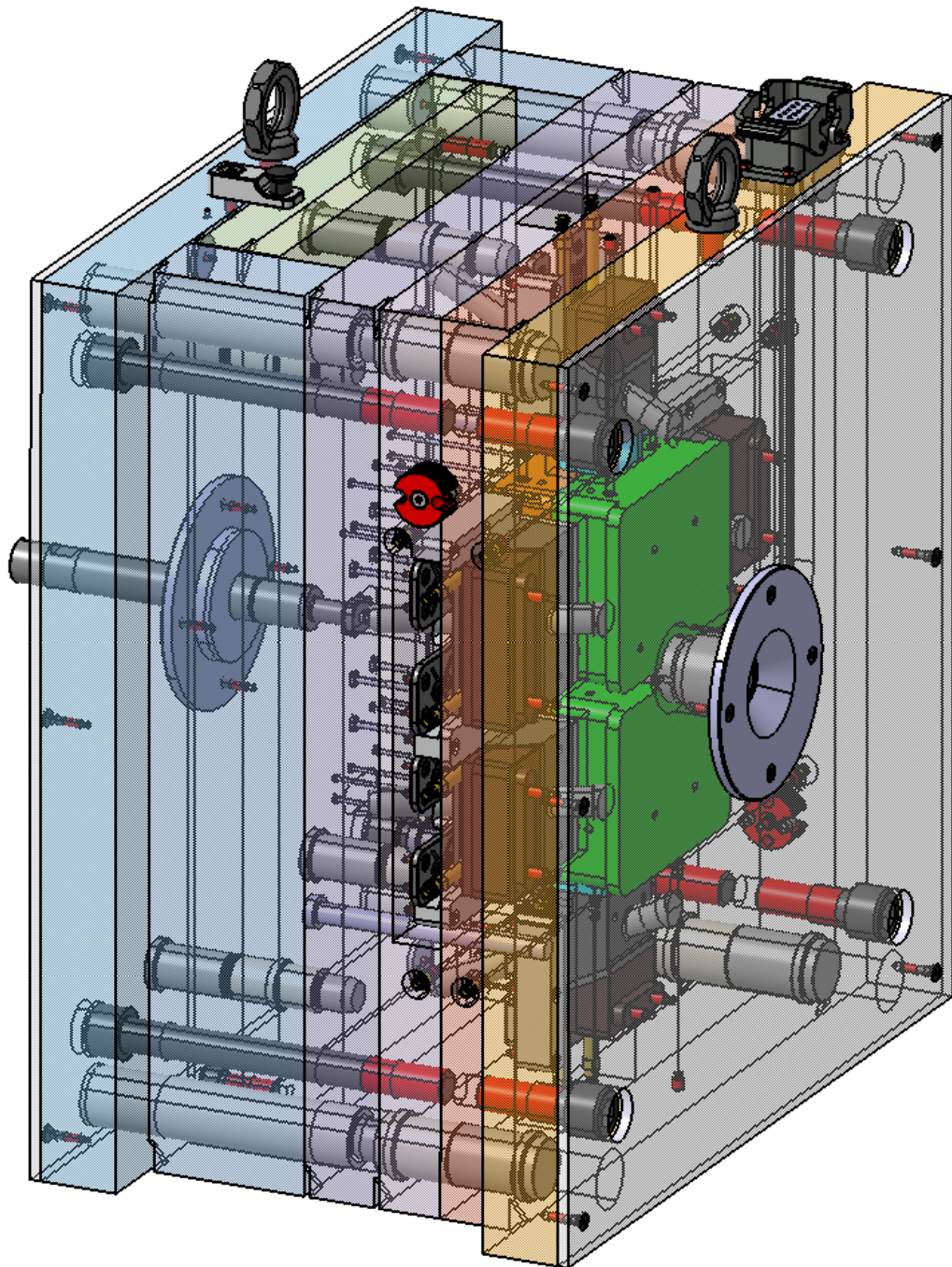
Tabulka 4 Základní vlastnosti materiálu Arlen G335 [37]

Parametr	Hodnota	Jednotka
Hustota	1,47	g/cm <sup>3</sup>
Smrštění	0,2 - 0,9	%
Teplota taveniny	310 - 350	°C
Teplota formy	130 - 150	°C
Teplota sušení	110	°C
Čas sušení	2 - 6	h
Pevnost v tahu	200	MPa
Pevnost v ohybu	340	MPa



## 8 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

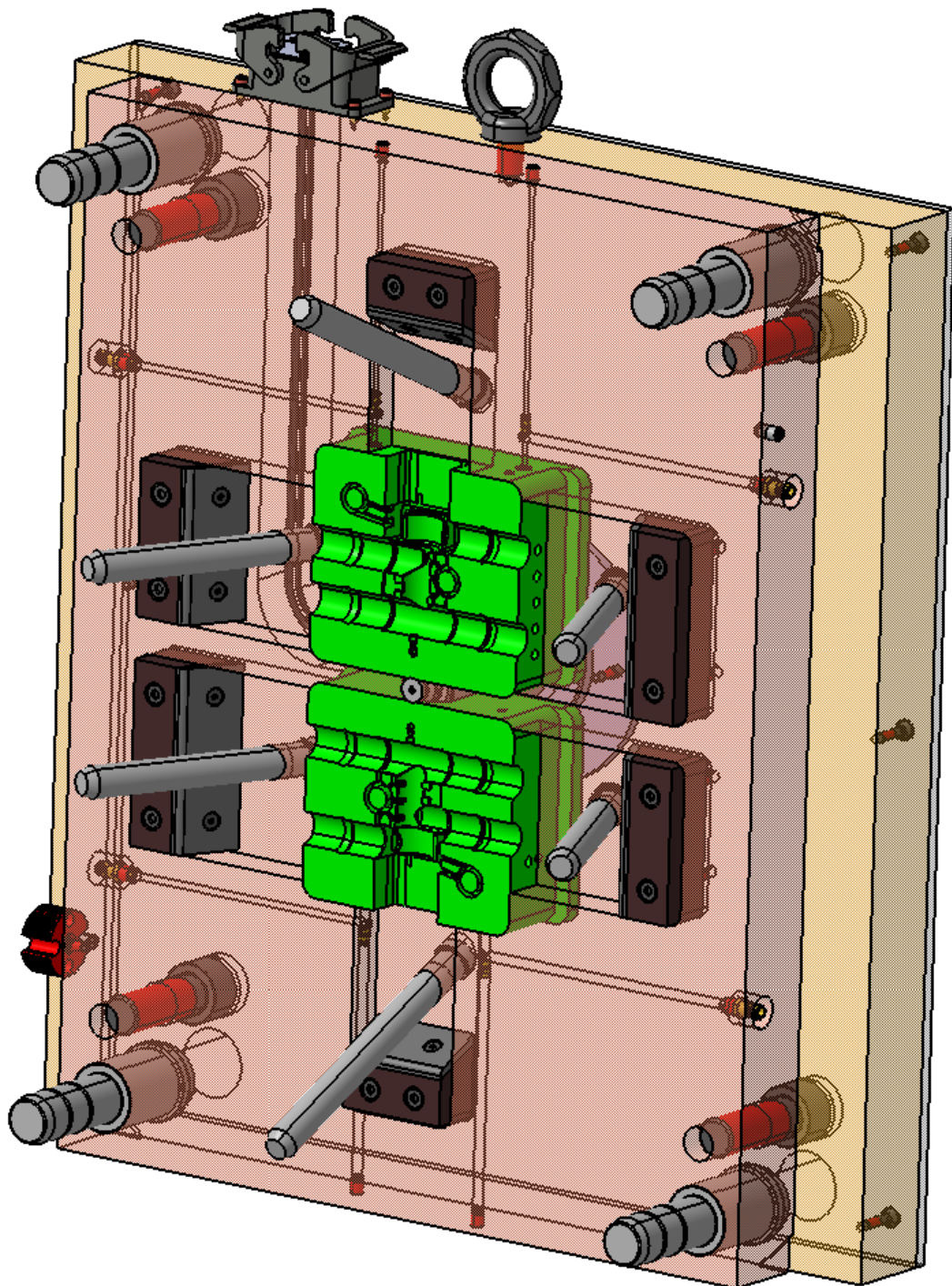
Vstřikovací forma byla navržena s ohledem na rozměry a tvarovou složitost výrobku, s kterou souvisí počet dělicích rovin a způsob zaformování. Při konstrukci byla snaha dosáhnout minimálních rozměrů formy. Konstrukční návrh formy byl proveden v softwaru Catia V5R19 a skládá se z normálií od firmy Meusburger, které sniží náklady na výrobu formy a usnadní její konstrukci. Navržená vstřikovací forma má největší rozměry desek 596 x 646 x 402 mm (šířka x délka x výška).



Obrázek 48 Navržená vstřikovací forma



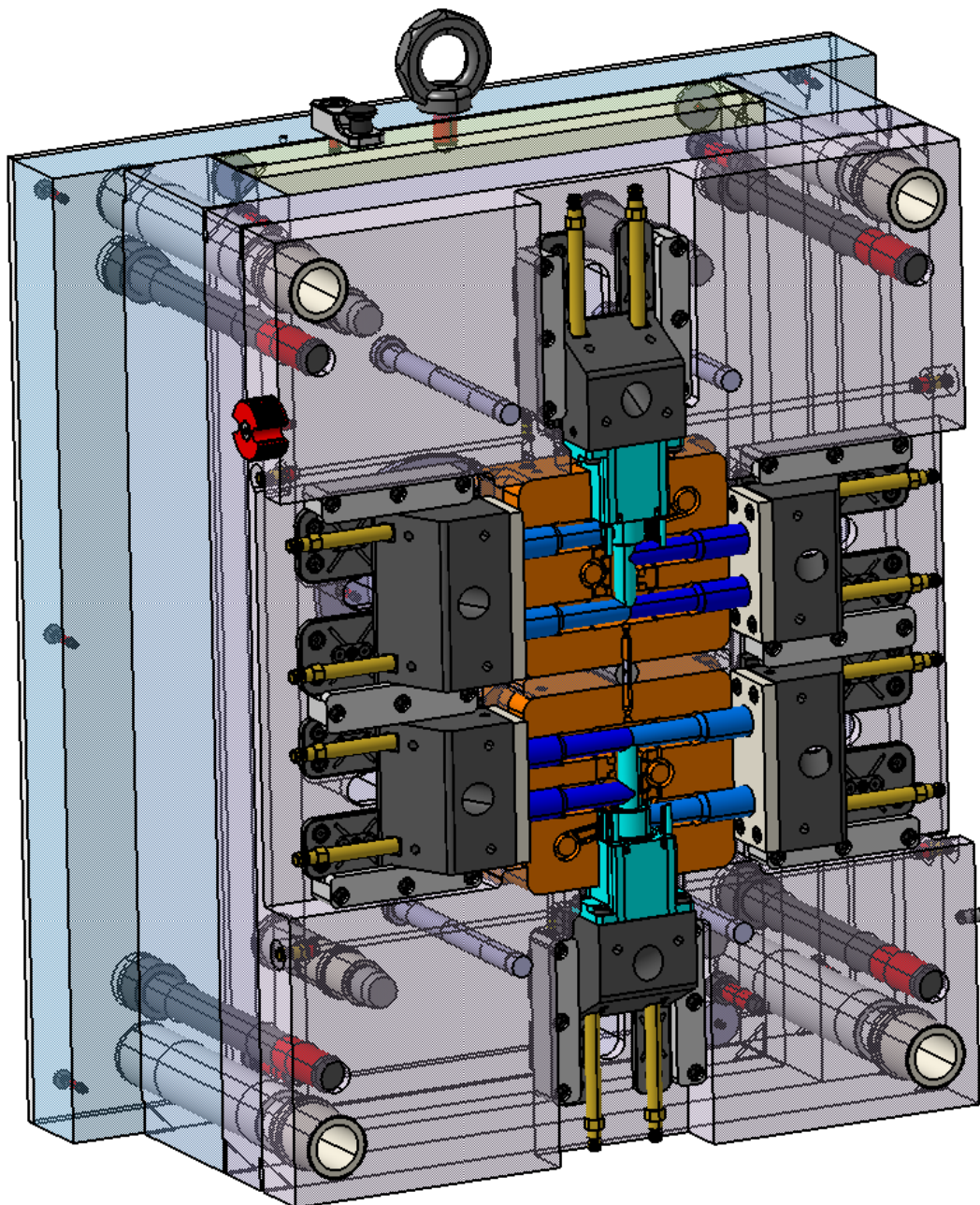
Rám formy se skládá z jednotlivých desek, které jsou spojeny šrouby a vzájemně vystředěny pomocí středící trubky, vodícího čepu a pouzdra. Na pravé i levé straně formy se nachází středící kroužek, který slouží k vystředění formy na vstřikovacím stroji. Pravá strana formy je nepohyblivá (někdy označována jako pevná), skládá se z izolační desky, upínací desky a tvarové desky.



Obrázek 49 Pravá strana formy



Levá strana formy je pohyblivá. Skládá se z tvarové desky, opěrné desky, dvou rozpěrných desek, upínací desky a izolační desky. Součástí levé strany formy je vyhazovací systém, který se pohybuje v prostoru vytvořeném rozpěrnými deskami. Materiál desek formy je 1.0060 kromě izolačních desek, které jsou z tvrzené pryskyřice vyztužené skelnými vlákny. Dále jsou desky vybaveny sraženými hranami, které usnadní jejich oddělení.

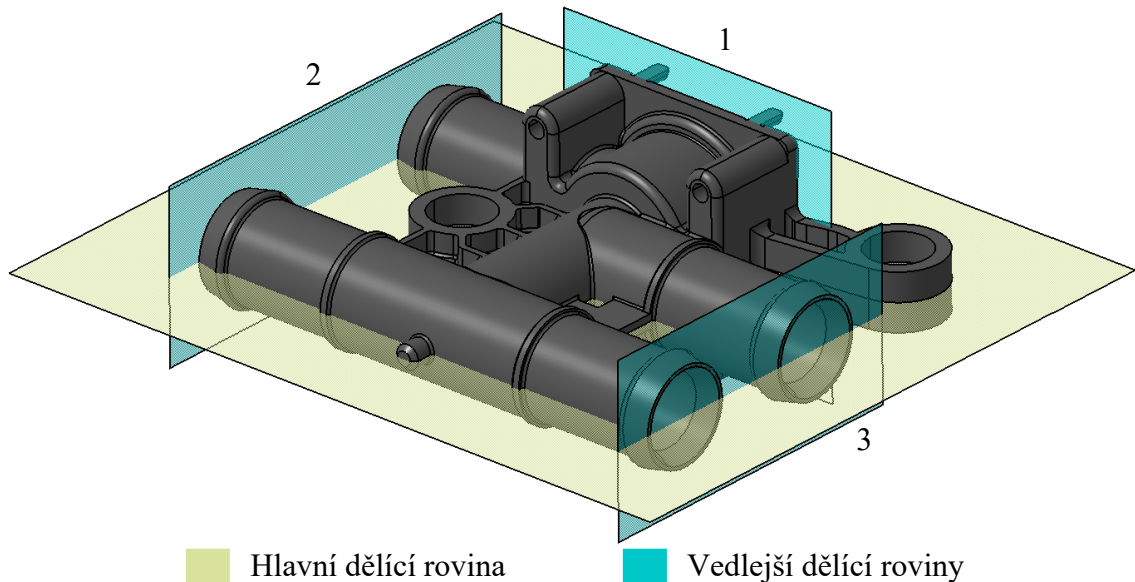


Obrázek 50 Levá strana formy

## 8.1 Zaformování součásti

Volba hlavní a případně i vedlejších dělicích rovin má zásadní vliv na návrh vstříkovací formy. Pro zaformování zadané součásti bylo potřeba definovat čtyři dělicí roviny. Hlavní

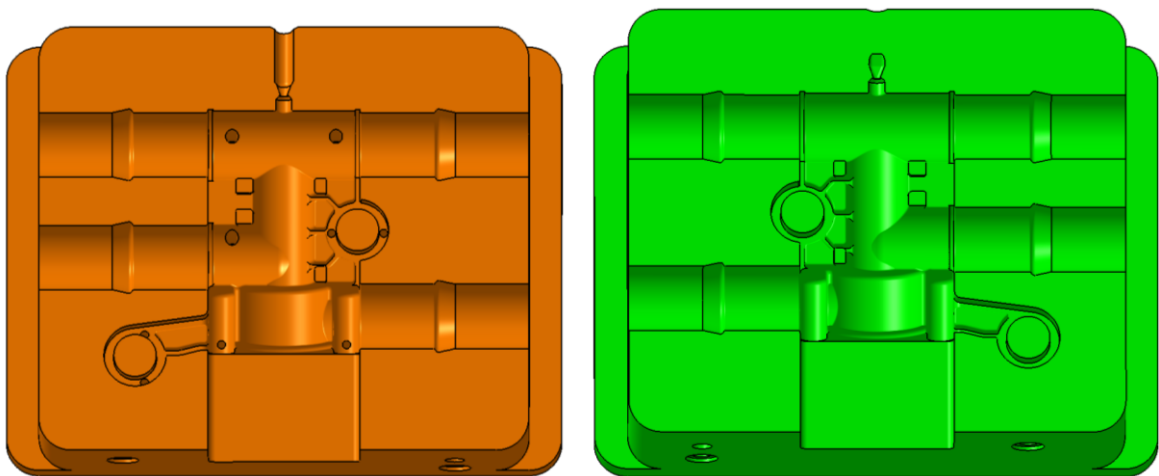
dělicí rovina je kolmá na směr otevírání formy a nachází se ve středu součásti. Vedlejší dělicí roviny jsou rovnoběžné se směrem otevírání formy. První vedlejší dělicí rovina odformuje otvor pro ovládání ventilu. Druhá a třetí vedlejší dělicí rovina odformuje vnitřní tvar přípojek. Navržené dělicí roviny jsou zobrazeny na obrázku 51.



Obrázek 51 Znázornění dělicích rovin

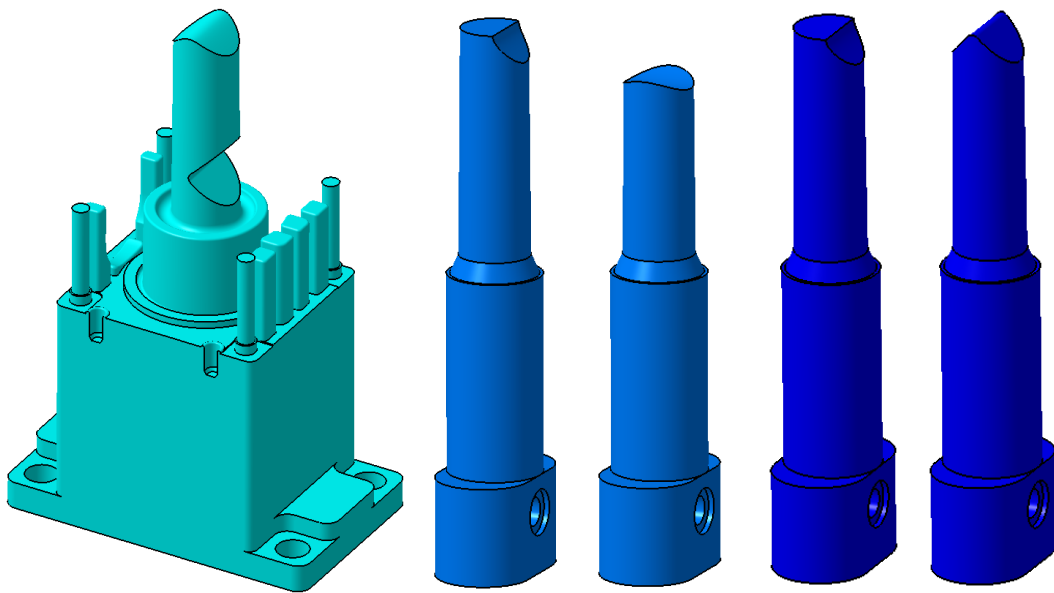
## 8.2 Tvarové části formy

Tvarové části tvoří dutinu formy, která odpovídá negativu vstříkovaného výrobku a je zvětšena o hodnotu smrštění zvoleného materiálu (0,5 %). Tvarová dutina se skládá z tvárnice, tvárníku a tvarových jader. Všechny tvarové části formy jsou vyrobeny z nástrojové oceli a jsou tepelně zpracované.



Obrázek 52 Tvárník (vlevo) a tvárnice (vpravo)

Tvárnice je uložena pomocí osazení v kotevní desce na pravé straně formy a tvárník je uložen stejným způsobem v kotevní desce na levé straně formy. V tomto případě je vytvořena tvarová dutina v tvárníku a tvárnici totožná. Liší se tak pouze ve vytvořeném vtokovém systému, otvorech pro vyhazovače a ve výšce (výška tvárnice je 56 mm a tvárníku je 46 mm). K vytvoření průchozí dutiny uvnitř výrobku slouží boční tvarová jádra, která jsou k posuvné čelisti připevněna pomocí šroubů a v případě jejich poškození je možná rychlá výměna.

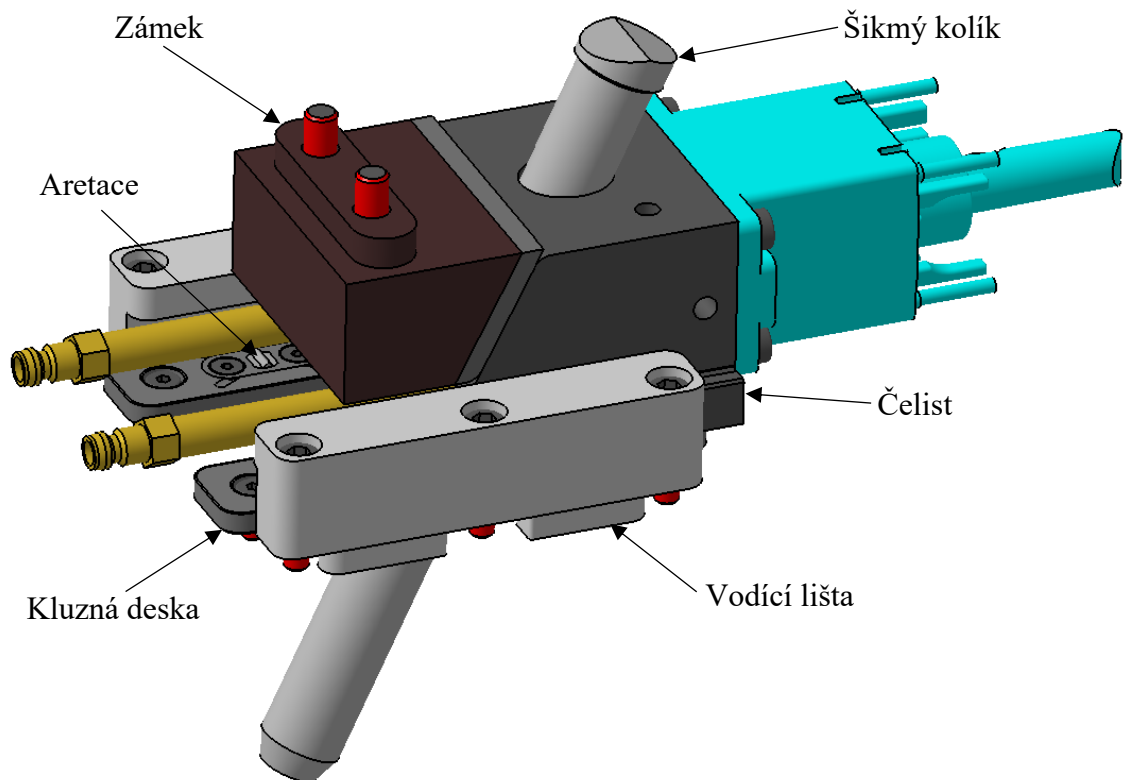


Obrázek 53 Boční tvarová jádra

### 8.3 Posuvné boční čelisti

Posuvné boční čelisti slouží k pohybu tvarových jader při otevírání a zavírání formy. Princip uložení všech čelistí je totožný a liší se pouze v rozměrech, které se odvíjejí od velikosti tvarového jádra. Posuvná čelist se nachází na levé straně formy a při otevírání hlavní dělicí roviny se pohybuje pomocí šikmého kolíku ve vodících lištách po kluzných deskách. Šikmé kolíky jsou ukotveny ve tvarové desce na pravé straně formy pod úhlem  $25^\circ$ . V otevřené poloze je čelist zajištěna pomocí aretačního elementu, který je pružinou zatlačen do drážky na čelisti. Mezi šikmým kolíkem a posuvnou čelistí je vůle, kterou v uzavřené poloze formy vymezí zámek a zároveň zabrání pohybu čelisti vlivem vstřikovacího tlaku.

Při návrhu bylo z důvodu potřebného velkého zdvihu na odformování tvarových jader uvažováno nad hydraulickými válci, ale vzhledem k vyšším pořizovacím a provozním nákladům byly zvoleny posuvné čelisti ovládané šikmým kolíkem (pro odformování je potřeba otevřít formu 145 mm).



Obrázek 54 Boční odformování

#### 8.4 Násobnost formy

Násobnost formy se volí s ohledem na složitost, velikost a přesnost výrobku, velikost výrobní série a požadavku doby na její výrobu. V tomto případě byla zvolena dvojnásobná vstřikovací forma. Hlavní důvod této volby je potřebný velký zdvih posuvných čelistí a jejich rozložení. Zvýšením násobnosti by došlo k výraznému zvětšení rozměrů a náročnosti konstrukčního provedení vstřikovací formy.

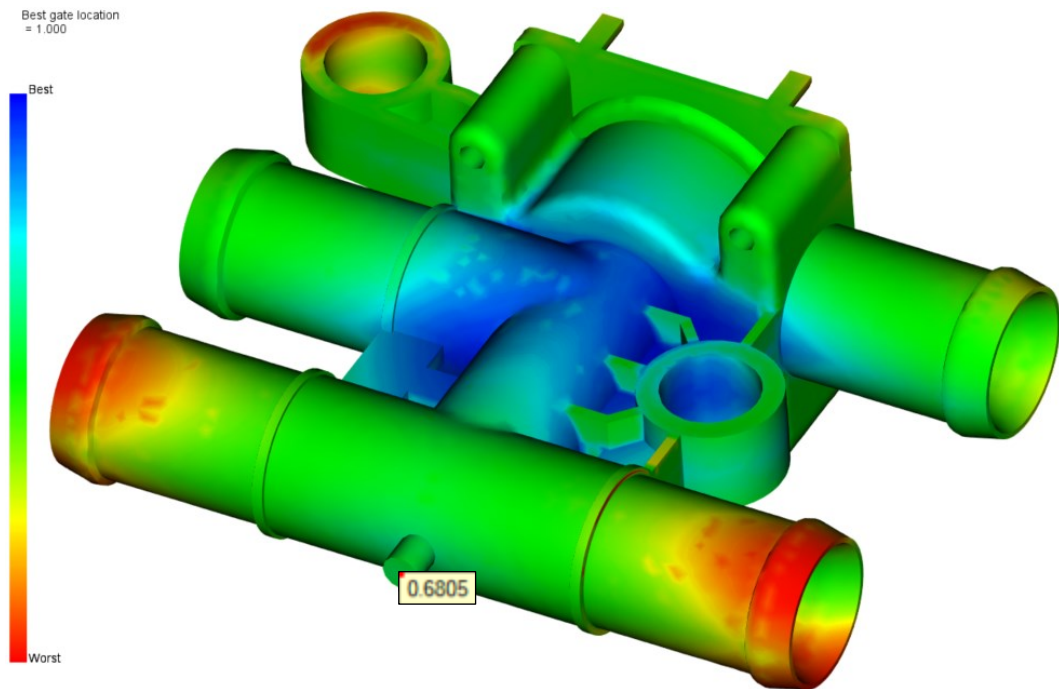
#### 8.5 Vtokový systém

Vtokový systém zajišťuje dopravu polymerní taveniny z trysky vstřikovacího stroje do tvarové dutiny formy. Pro zadanou součást byl zvolen kombinovaný vtokový systém, který se skládá z horké trysky a krátkého studeného kanálu. V porovnání se studeným vtokovým systémem je snížena velikost vtokového zbytku nejen o plný kuželový vtok, ale je možné snížit i velikost rozvodného kanálu a vtokového ústí. Zároveň jsou nižší pořizovací a provozní náklady než při použití horkého rozvodného bloku. Byly provedeny tokové analýzy pro všechny zmíněné vtokové systémy a výsledky jsou porovnány v kapitole 10.2.

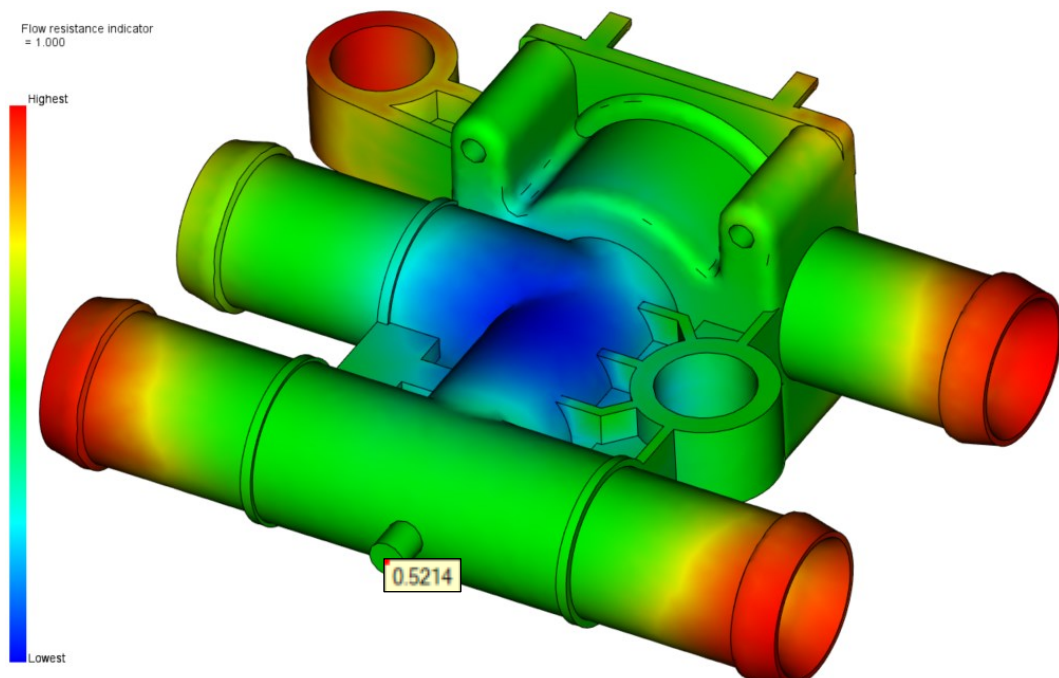
Pro vhodné umístění vtokového ústí byla provedena analýza (Gate location) v softwaru Moldflow. Prvním výsledkem je nejvhodnější umístění vtoku (Best gate location) z hlediska



rovnoměrného zaplnění dutiny formy (na škále 0 – 1). Nejlepší (Best – hodnota 1) místa jsou označena modrou barvou a nejhorší (Worst – hodnota 0) jsou označena červenou barvou. U zadané součásti jsou nejvhodnější místa pro umístění vtokového ústí kolem žebër u jednoho z otvorů pro uchycení (hodnota vhodnosti se zde přibližuje k 1). Z hlediska zaformování není toto místo vhodné, proto bylo umístěno vtokové ústí do místa s hodnotou vhodnosti 0,68.

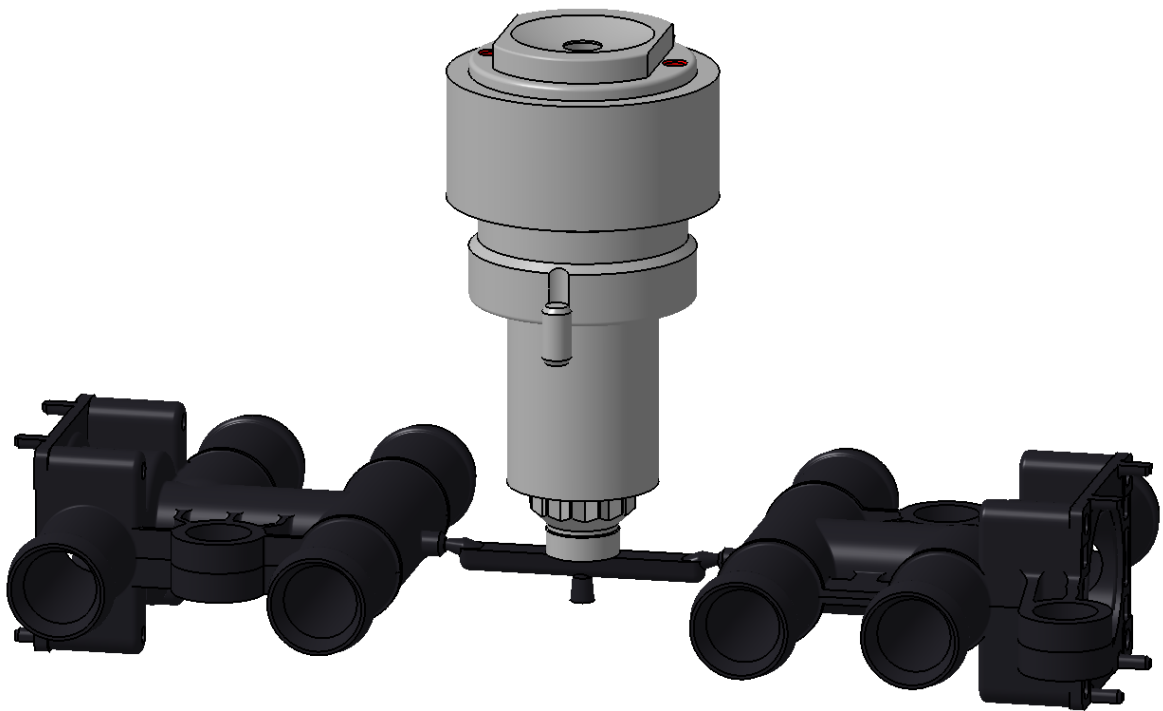


Obrázek 55 Výsledek analýzy nejvhodnějšího umístění vtoku



Obrázek 56 Výsledek analýzy odporu proti toku

Druhým výsledkem je indikátor odporu toku (Flow resistance indicator) taveniny během plnění dutiny formy. Místa s největším odporem (Highest – hodnota 1) jsou označena červenou barvou a místa s nejmenším odporem (Lowest – hodnota 0) jsou označena modrou barvou. Místo s nejmenším odporem proti toku je na válcové ploše uprostřed součásti. Indikátor odporu proti toku v oblasti umístění vtokového ústí je 0,52.



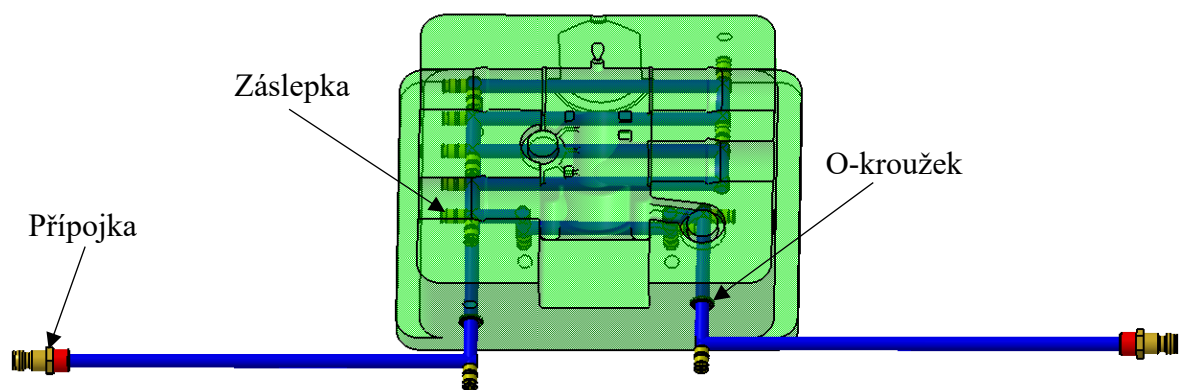
Obrázek 57 Navržený vtokový systém

Byla zvolena horká tryska smartFILL RT-D s průměrem ústí 4 mm. Tryska je v minimálním kontaktu s ostatními deskami na pravé straně formy (slouží k jejímu vystředění) a kolem zbylých částí je vytvořena vzduchová mezera, která minimalizuje přestup tepla. K napájení trysky dochází pomocí elektrické energie, která je vedena kabely ze zásuvky umístěné na horní straně formy.

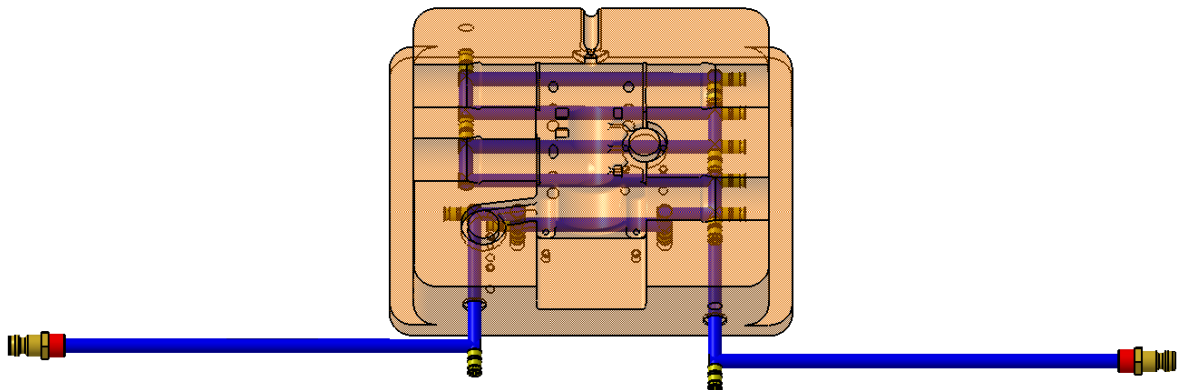
Rozvodný kanál se nachází na levé straně formy a má lichoběžníkový průřez s vepsanou kružnicí o průměru 5 mm. Na dně kanálu je vytvořen rádius. Vtokové ústí bylo navrženo jako boční a nachází se na levé i pravé straně formy. Po vyhození výstřiku z formy je tak potřeba odstranit vtokový zbytek od výrobků. Součástí studené části vtokového systému je i přidržovač vtoku.

## 8.6 Temperační systém

Vhodné navržení temperačního systému je nezbytné pro dosažení rovnoměrného teplotního pole ve vstříkovací formě. U navržené formy jsou temperovány všechny tvarové části a bylo tak vytvořeno deset temperačních okruhů. Temperace je tvořena pomocí vrtaných kanálů o průměru 6 mm, které jsou umístěny podle doporučení uvedených v kapitole 4.3. Pro vytvoření temperačního okruhu byly vloženy záslepky s těsněním. K utěsnění přechodů mezi deskami a tvarovými částmi byly použity o-kroužky. Na vstupu a výstupu kanálků jsou zapuštěné přípojky.

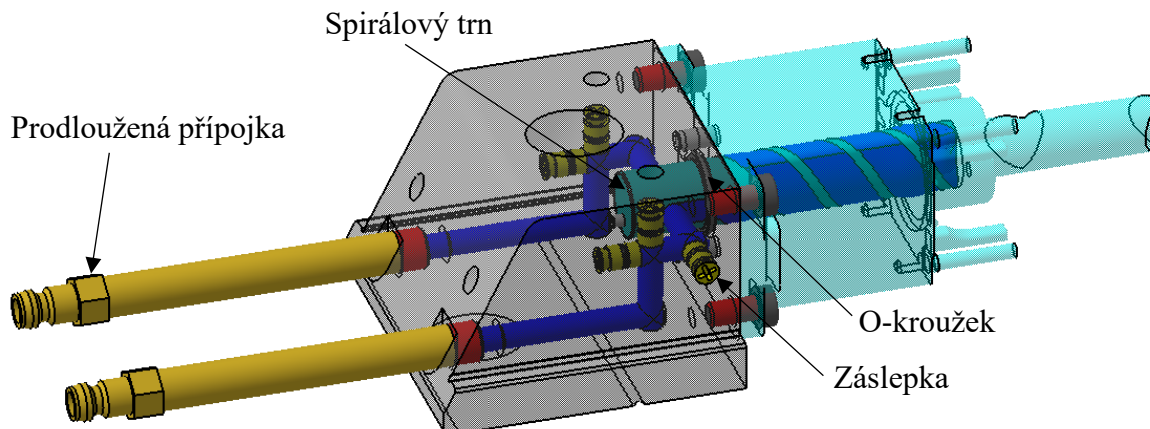


Obrázek 58 Temperační okruh tvárnice

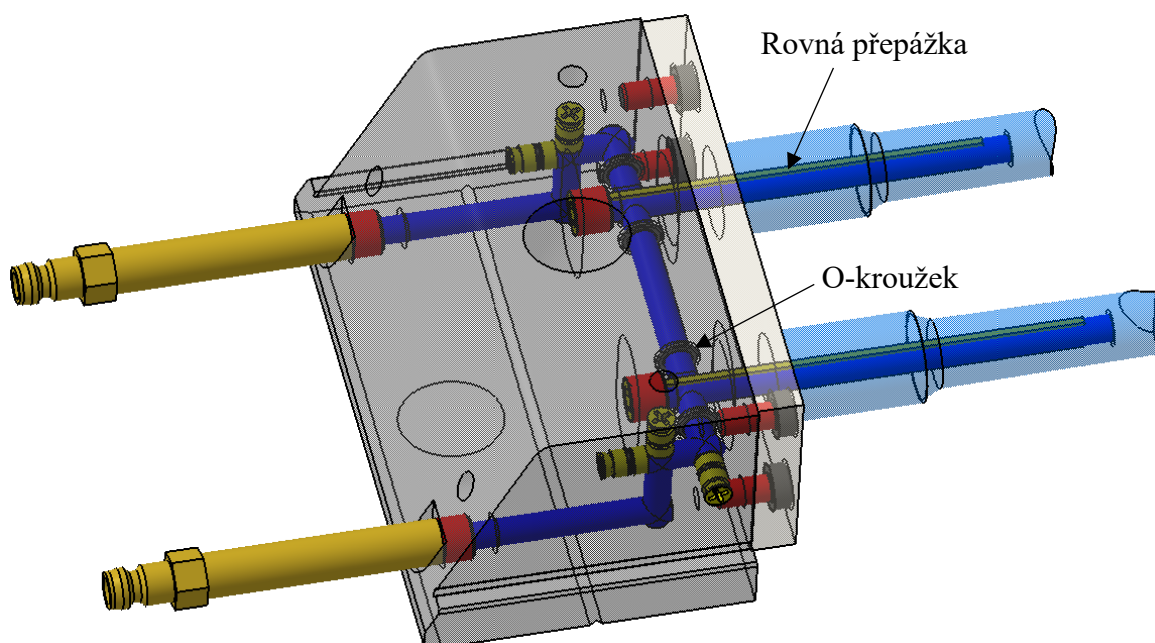


Obrázek 59 Temperační okruh tvárníku

Temperace prvního tvarového jádra je realizována pomocí dvouchodého spirálového trnu. Další tvarové jádra jsou temperována pomocí rovných prepážek. Aby bylo možné připojit vstupy a výstupy temperačního média byly použity prodloužené přípojky.



Obrázek 60 Tvarové jádro temperované spirálovým trnem



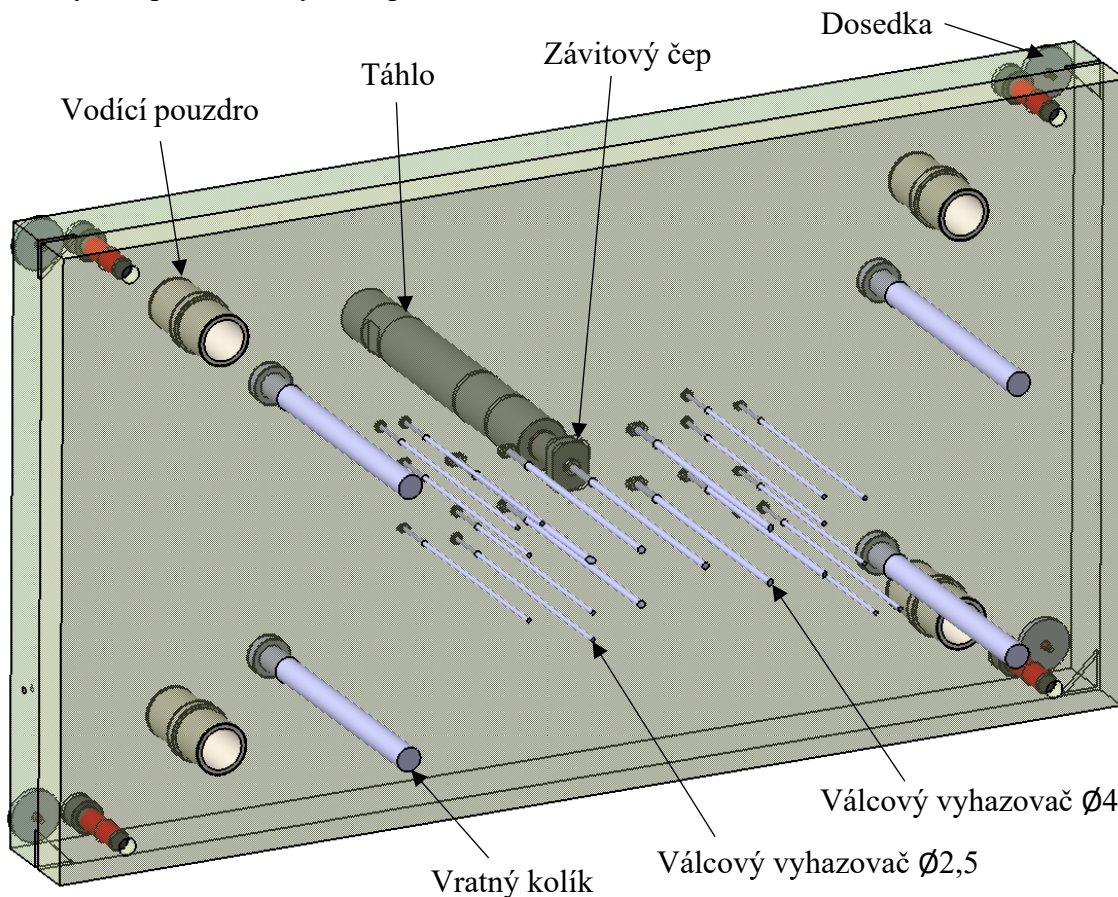
Obrázek 61 Tvarové jádro temperované rovnou přepážkou

## 8.7 Vyhazovací systém

Funkcí vyhazovacího systému je bezpečné vyjmutí výstřiku z tvarové dutiny formy. K tomu byl v tomto případě zvolen mechanický vyhazovací systém. Skládá se z válcových vyhazovačů, které jsou uloženy v kotevní desce a zajištěny opěrnou deskou. Tyto desky jsou spojeny čtyřmi šrouby s válcovou hlavou. Dále jsou uloženy v kotevní desce vratné kolíky. Ty v případě nevrácení vyhazovacího systému do výchozí pozice ochrání dutinu formy a vyhazovače před poškozením. Vedení vyhazovacího systému je zajištěno pomocí vodičích pouzder a čepů, které jsou umístěny v upínací desce na levé straně formy. Na opěrné desce jsou umístěny dosedky, které tlumí nárazy vznikající při dosednutí vyhazovacího systému

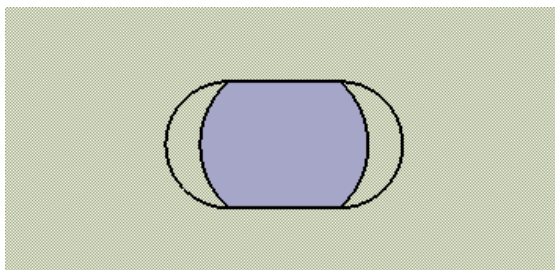


na upínací desku. Pohyb vyhazovacího systému zajišťuje táhlo, které je spojeno se závitovým čepem uloženým v opěrné desce.



Obrázek 62 Vyhazovací systém

Vyhození výrobku zajišťuje šest vyhazovačů o průměru 2,5 mm a tři vyhazovače o průměru 4 mm. Z nichž pět vyhazovačů má tvarově upravené čelo (kopíruje tvar dutiny) a je tak nutné je zajistit proti pootočení. Jeden vyhazovač o průměru 4 mm slouží pro vyhození vtoku z přídržovače. Celkem se tak nachází ve formě devatenáct vyhazovačů, které jsou stejně jako tvarové části vyrobeny z nástrojové oceli a jsou tepelně zpracované. Jejich rozmístění bylo zvoleno tak, aby vyhazovací síla působila na výrobek rovnoměrně a nedocházelo k jeho deformaci.



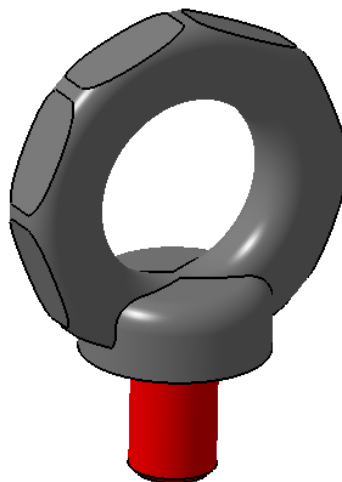
Obrázek 63 Zajištění vyhazovače proti pootočení

## 8.8 Odvzdušnění

Vzduch uzavřený v dutině formy je vstříknutou taveninou stlačován a zahříván. Pokud nemůže dostatečně rychle unikat, může docházet k nedostříknutí vstříkovaného výrobku nebo vzniknout spálené místo (tzv. Dieselův efekt). K problémům s odvzdušněním dochází převážně u nových forem, protože provozem dochází k zvětšení vůlí a vzduch tak může lépe unikat. U navržené vstříkovací formy se předpokládá únik vzduchu netěsností hlavní dělicí roviny, vůlemi tvarových jader a vyhazovačů.

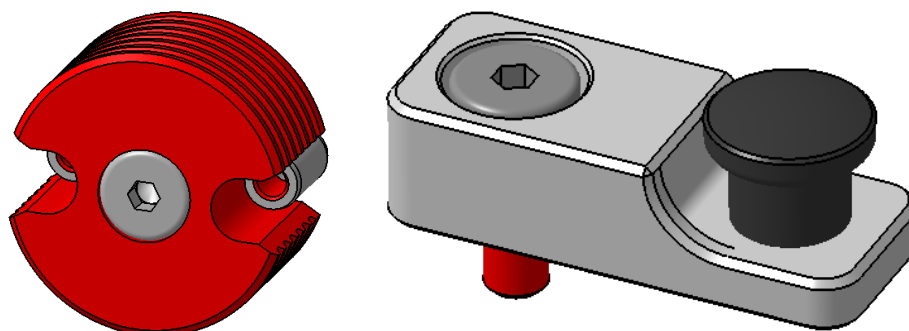
## 8.9 Transportní zařízení

Forma je pro snadnou a bezpečnou manipulaci opatřena dvěma otočnými závěsnými oky. Na nosnost závěsného oka má vliv způsob zavěšení. Pro zvolený způsob zavěšení je nosnost oka 2120 kg a hmotnost formy je 1177 kg.



Obrázek 64 Otočné závěsné oko

Na zajištění proti pootevření v dělicí rovině je forma vybavena dvěma transportními zámky. Transportní zámek vyhazovacího systému zamezuje samovolný pohyb vyhazovačů a využívá se primárně při montáži a manipulaci pouze s levou stranou formy.



Obrázek 65 Transportní zámek dělicí roviny (vlevo) a vyhazovacího systému (vpravo)

## 9 VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Vstřikovací stroj se volí podle technických parametrů vstřikovací formy a výsledků předběžné tokové analýzy. Je nutné některé parametry zvětšit o bezpečnou rezervu. Prvním parametrem je velikost uzavírací síly, která byla zvětšena o 20 %. Dále byl zvětšen o 10 % objem výstřiku a vstřikovací tlak. Takto upravené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 5.

Na základě požadovaných parametrů byl zvolen vstřikovací stroj od společnosti Arburg s modelovým označením Allrounder 630 S – 2500 – 800 (45). Základní parametry zvoleného vstřikovacího stroje jsou uvedeny v tabulce 5. Celý technický list vstřikovacího stroje se nachází v příloze P II.

Tabulka 5 Porovnání parametrů zvoleného stroje s požadovanými parametry [38]

Parametr	Požadovaná hodnota	Hodnota stroje
Vzdálenost mezi vodícími sloupky [mm]	596	630
Velikost upínací desky [mm]	646	946
Minimální výška formy [mm]	402	300
Maximální otevření formy [mm]	145	600
Maximální zdvih vyhazovačů [mm]	25	225
Velikost uzavírací síly [kN]	642,4	2500
Objem výstřiku [cm <sup>3</sup> ]	124	318
Vstřikovací tlak [bar]	299,8	2470

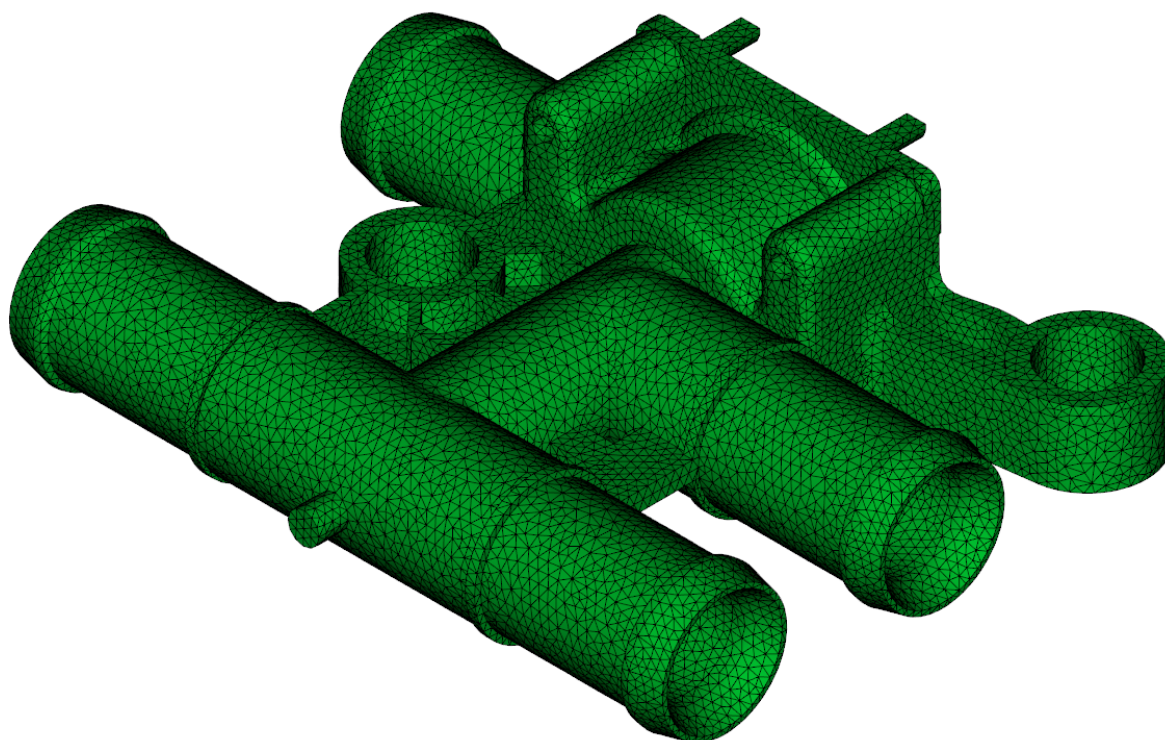
## 10 OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI NÁVRHU VSTŘIKOVACÍ FORMY

Ověření funkčnosti navržené vstřikovací formy pomocí tokových analýz bylo provedeno v softwaru Moldflow. Pro získání komplexních výsledků byla zvolena analýza plnění, dotlaku, chlazení a deformace (Fill, Pack, Cool a Warp). Dále byly provedeny analýzy s různým provedením vtokového systému.

### 10.1 Nastavení analýzy

#### 10.1.1 Tvorba sítě

Pro analýzu byly z modelu výrobku odstraněny technologické rádiusy (rádiusy pod 2 mm), které by ovlivnily kvalitu výpočtu. K provedení analýzy je potřeba vytvořit na modelu síť. Byla zvolena Dual domain mesh neboli 2,5D síť, která je tvořena trojúhelníkovými elementy se třemi uzly. Délka hrany trojúhelníku (Global edge length) byla nastavena na 1,5 mm.



Obrázek 66 Vysíťovaný model

Po vytvoření sítě je potřeba provést kontrolu její kvality. Poměr stran trojúhelníku (Aspect ratio) by měl být menší než 20 (maximální poměr stran trojúhelníku je 9,45). Dále nesmí síť obsahovat volné hrany (Free edges), nepropojené hrany (Non-manifold edges), neorientované elementy (Element not oriented), protínající elementy (Element intersections)

a překrývající se elementy (Fully overlapping elements). Hodnota kvality sítě by měla pro kvalitní výpočet dosahovat 85 %. Všechny tyto podmínky jsou splněny.

Triangles			
-----			
Entity counts:			
Triangles		50990	
Connected nodes		25469	
Connectivity regions	1		
Invisible triangles		0	
Area:			
(Mold blocks and cooling channels are not included)			
Surface Area:		414.814	cm <sup>2</sup>
Volume by element types:			
Triangle:		56.0649	cm <sup>3</sup>
Aspect Ratio:			
Maximum	Average	Minimum	
9.45	1.65	1.16	
Edge details:			
Free edges		0	
Manifold edges		76485	
Non-manifold edges		0	
Orientation details:			
Elements not oriented		0	
Intersection details:			
Element intersections		0	
Fully overlapping elements		0	
Match percentage:			
Match percentage		85.7%	
Reciprocal percentage		85.5%	

Obrázek 67 Statistika vytvořené sítě

V softwaru Catia byla vytvořena trajektorie vtokového i temperačního systému a následně nahrána do Moldflow. K jednotlivým čarám byly přiřazeny parametry a vytvořena síť z Beam elementů. Vytvořenou síť je potřeba upravit tak, aby se poměr L/D (poměr délky k průměru) Beam elementů pohyboval okolo 2,5.

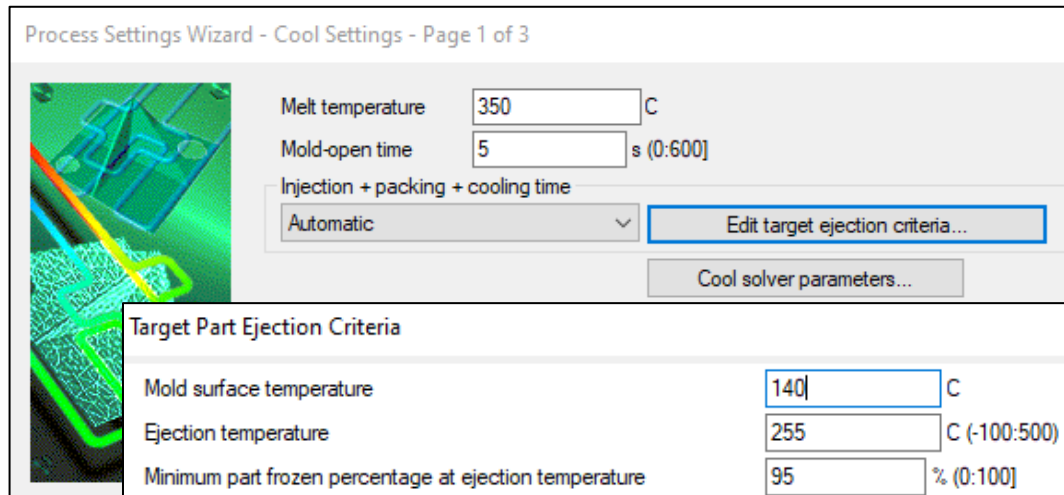
### 10.1.2 Volba parametrů okrajových podmínek

Nastavení procesních parametrů se primárně odvíjí od vlastností zvoleného polymerního materiálu. Software Moldflow obsahuje databázi materiálů s doporučenými procesními podmínkami, kterých bylo využito při nastavení této analýzy.

V první části nastavení byly zvoleny parametry související s teplotou (Cool Settings). Teplota taveniny (Melt temperature) byla nastavena na 350°C a doba otevření formy (Mold-

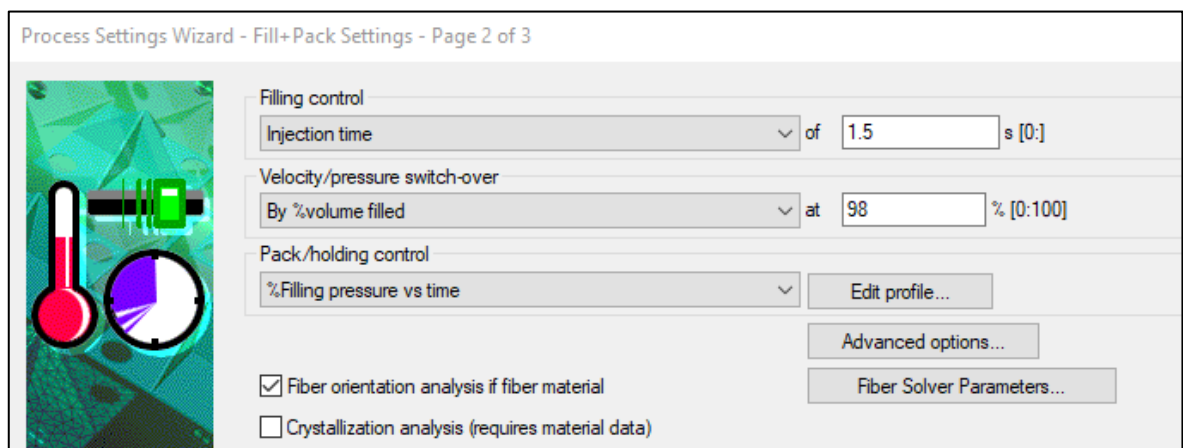


open time) na 5 s. Dále v nastavení kritérií vyhazování (Edit target ejection criteria) byla nastavena teplota formy (Mold surface temperature) na 140°C, vyhazovací teplota (Ejection temperature) na 255°C a minimální procento zatuhlých vrstev při vyhazování (Minimum part frozen percentage at ejection temperature) na 95 %.

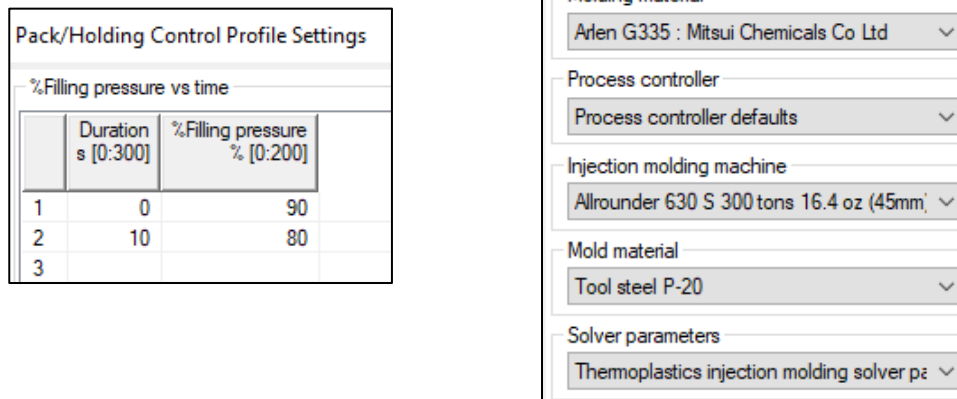


Obrázek 68 Okrajové podmínky teploty

V druhé části nastavení byly zvoleny parametry související s plněním a dotlakem (Fill+Pack Settings). Kontrola plnění (Filling control) byla zvolena podle vstřikovacího tlaku (Injection time) a byla nastavena hodnota 1,5 s. Bod přepnutí z plnění na dotlak (Velocity/pressure switch-over) je definován při 98 % zaplnění dutiny polymerem (By % volume filled). Kontrola fáze dotlaku (Pack/holding control) je zvolena podle vstřikovacího tlaku v závislosti na čase (% Filling pressure vs time). Na začátku působení má dotlak hodnotu 90 % vstřikovacího tlaku a lineárně klesá na 80 % vstřikovacího tlaku (po 10 s). V pokročilých nastaveních (Advance options) byl zadán zvolený vstřikovací stroj a materiál. Dále byla zvolena analýza orientace vláken (Fiber orientation analysis in fiber material).

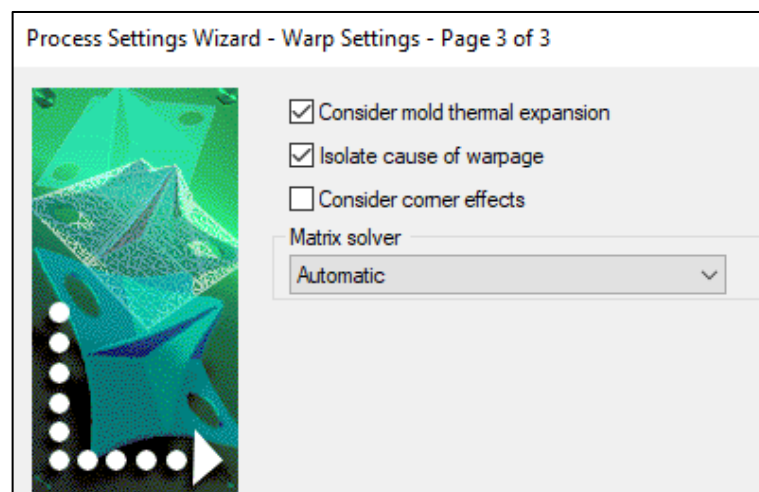


Obrázek 69 Okrajové podmínky plnění a dotlaku



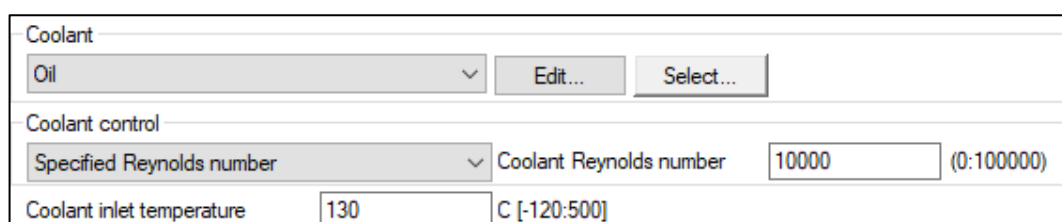
Obrázek 70 Průběh působení dotlaku (vlevo) a pokročilé nastavení (vpravo)

V poslední části nastavení byly zvoleny parametry související s deformací (Warp Settings). Zde bylo zvoleno sledování teplotní roztažnosti vstřikovací formy (Consider mold thermal expansion) a izolování příčin deformace (Isolate cause of warpage).



Obrázek 71 Okrajové podmínky deformací

Pro všechny temperační okruhy byly nastaveny stejné parametry. Temperačním médiem byl zvolen olej s teplotou 130°C, což je mírně nižší hodnota než doporučená teplota povrchu formy zvoleného materiálu. Průtok je řízen pomocí Reynoldsova čísla o hodnotě 10000, aby bylo zajištěno turbulentní proudění.

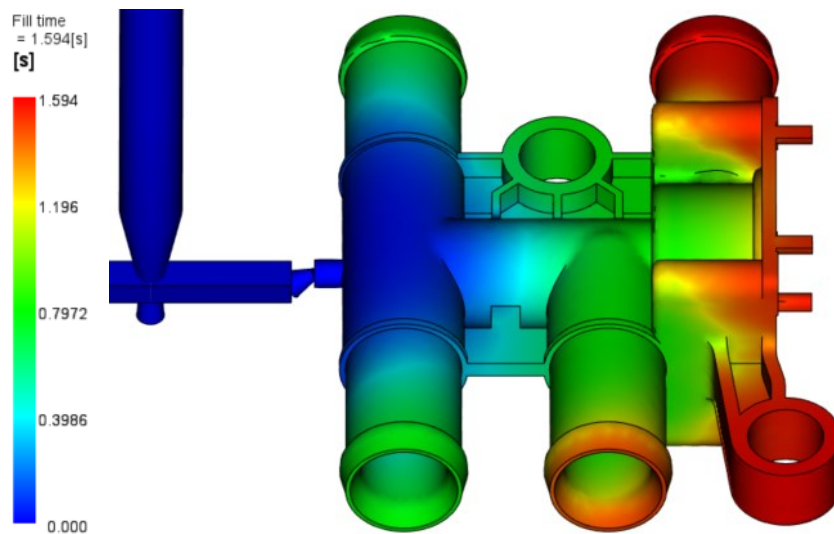


Obrázek 72 Nastavení parametrů temperačního média

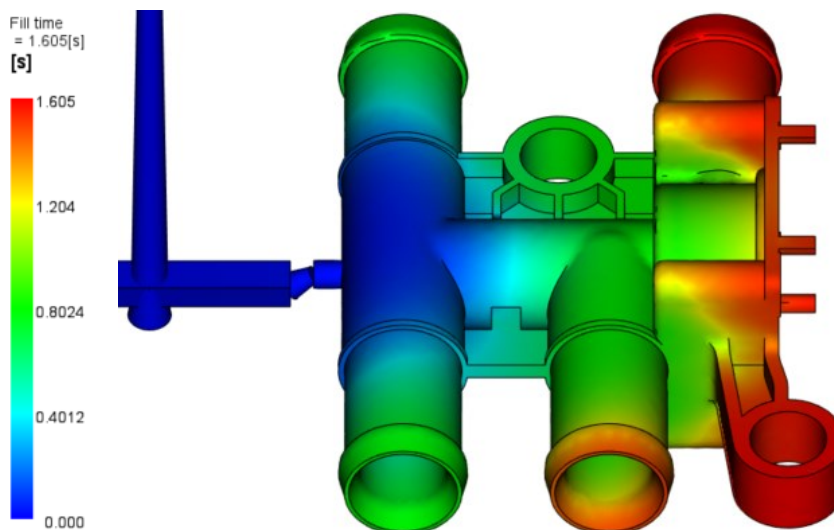
## 10.2 Analýza plnění a dotlaku (Fill + Pack)

### 10.2.1 Čas plnění (Fill time)

Výsledkem této analýzy je grafické znázornění doby od začátku vstřikování po zaplnění dané části dutiny. Modrou barvou jsou označena nejdříve zaplněná místa, červenou barvou nejpozději zaplněná místa a v případě nedotečení by byla tato místa označena šedou barvou. Z výsledků je možné konstatovat, že u všech variant vtokového systému dojde ke kompletnímu zaplnění dutiny formy za 1,6 s.

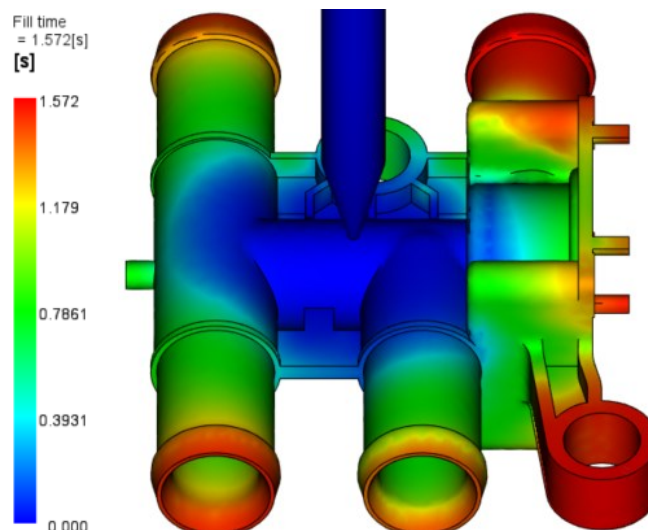


Obrázek 73 Výsledek času plnění při použití kombinovaného v. s.



Obrázek 74 Výsledek času plnění při použití studeného v. s.

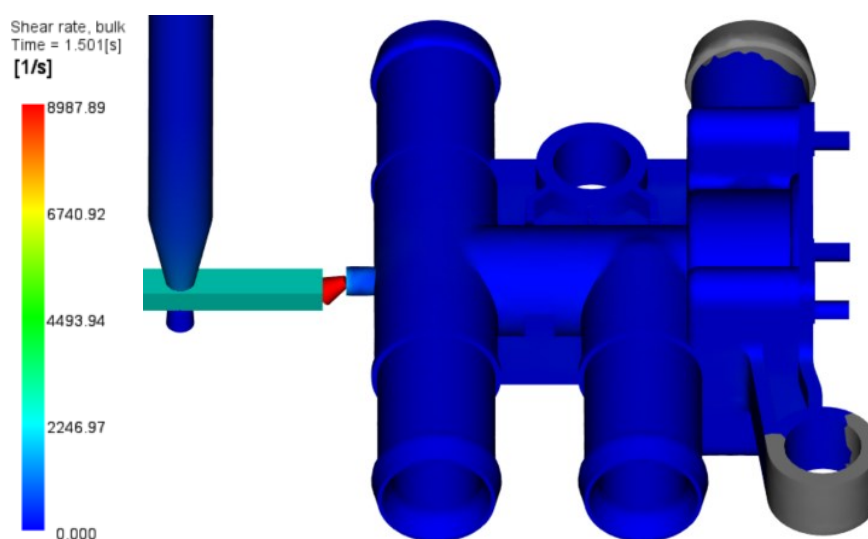




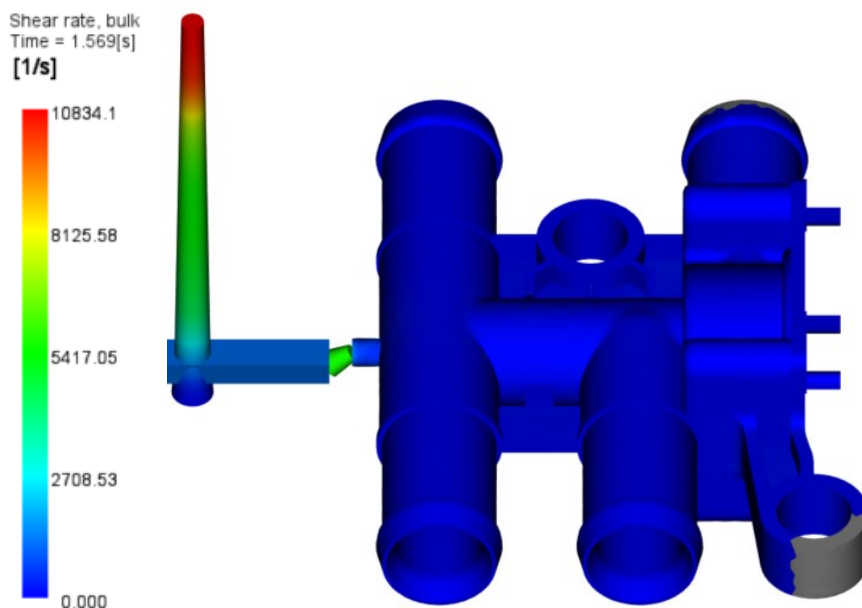
Obrázek 75 Výsledek času plnění při použití horkého v. s.

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

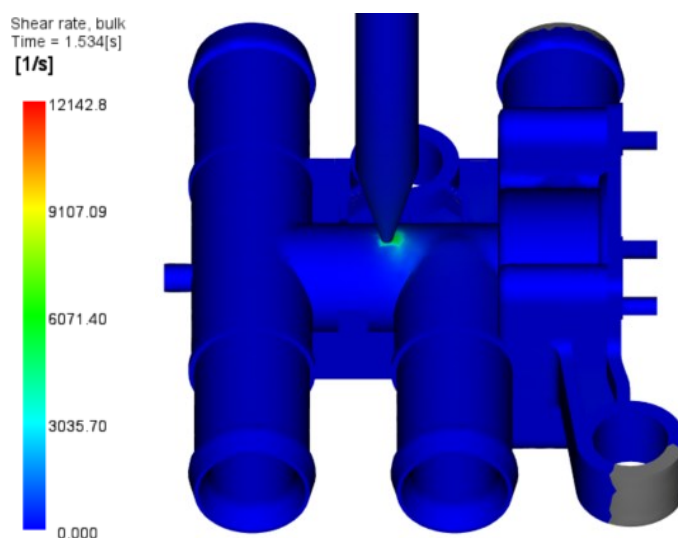
Maximální dovolená hodnota rychlosti smykové deformace pro zvolený materiál je  $60000 \text{ s}^{-1}$  a při překročení této hodnoty by docházelo k degradaci materiálu. Z výsledků zobrazených na obrázku 76 je patrné, že maximální hodnota nebyla překročena ani u jedné varianty vtokového systému. U kombinovaného a horkého vtokového systému se maximální hodnota nachází v oblasti vtokového ústí a u studeného vtokového systému ve vtokové vložce. Pokud by byla překročena maximální dovolená rychlost smykové deformace je možné snížit rychlost vstřikování, zvýšit teplotu formy a taveniny (tím se ale prodlouží celý vstřikovací cyklus) nebo zvětšit rozměry v místě překročení.



Obrázek 76 Výsledek rychlosti smykové deformace při použití kombinovaného v. s.



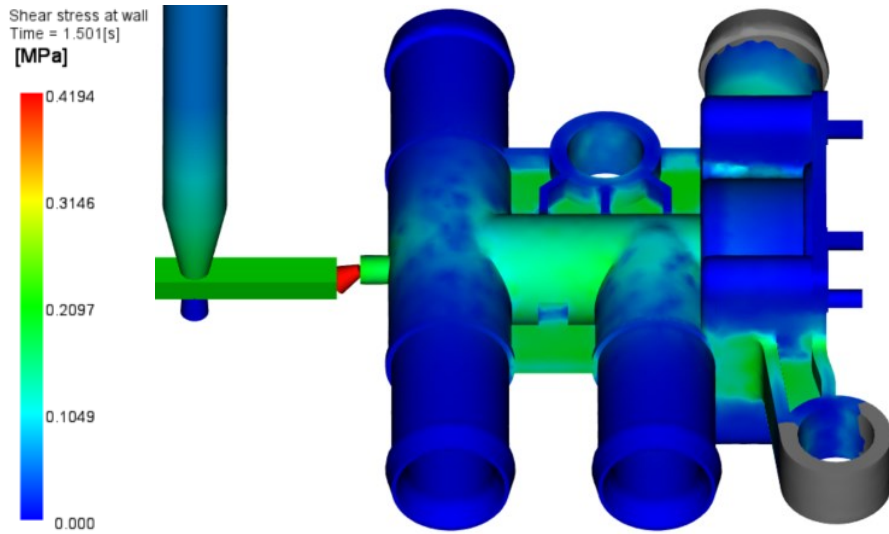
Obrázek 77 Výsledek rychlosti smykové deformace při použití studeného v. s.



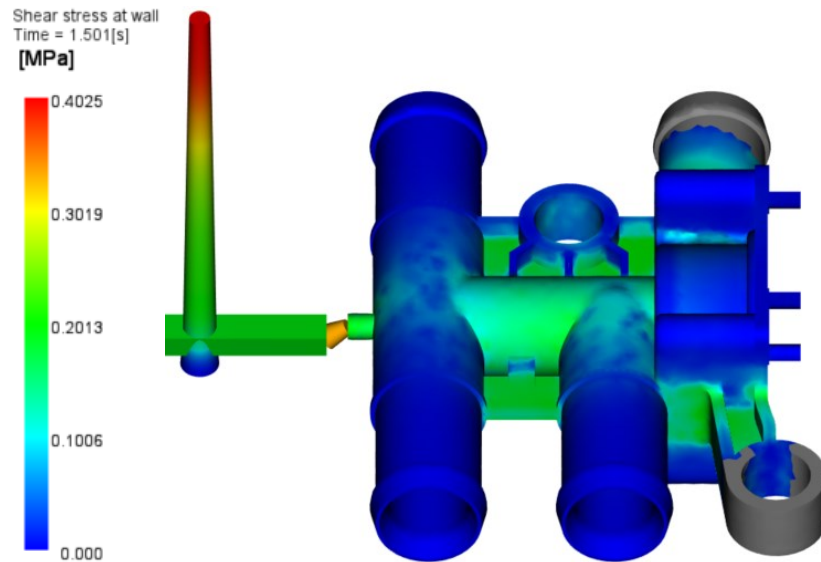
Obrázek 78 Výsledek rychlosti smykové deformace při použití horkého v. s.

### 10.2.3 Smykové napětí na stěně (Shear stress at wall)

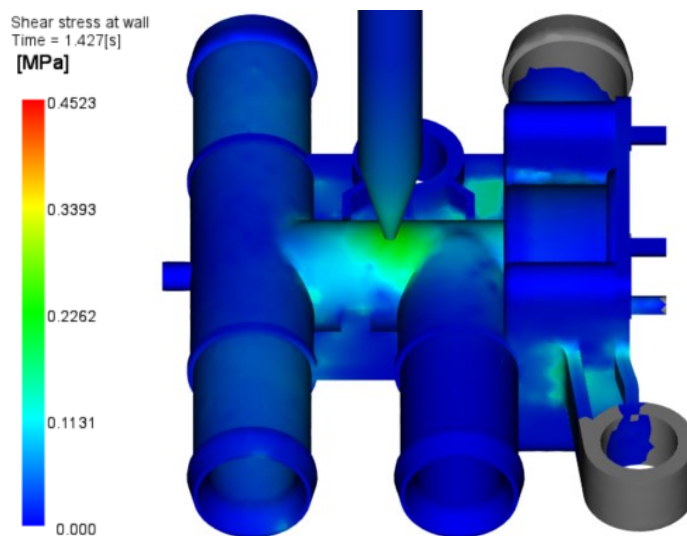
Maximální dovolená hodnota smykového napětí na stěně pro zvolený materiál je 0,5 MPa. Z výsledků je patrné, že maximální hodnota nebyla překročena ani u jedné varianty vtokového systému a nebude tak docházet k degradaci materiálu. U kombinovaného a horkého vtokového systému se maximální hodnota nachází v oblasti vtokového ústí a u studeného vtokového systému ve vtokové vložce. V případě překročení maximálního dovoleného smykového napětí je možné provést stejné úpravy jako u rychlosti smykové deformace.



Obrázek 79 Výsledek smykového napětí na stěně při použití kombinovaného v. s.



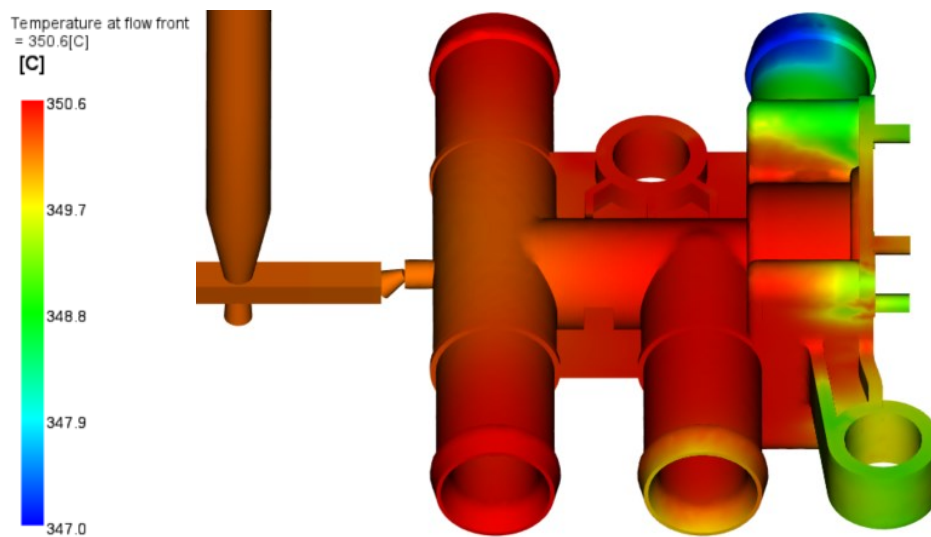
Obrázek 80 Výsledek smykového napětí na stěně při použití studeného v. s.



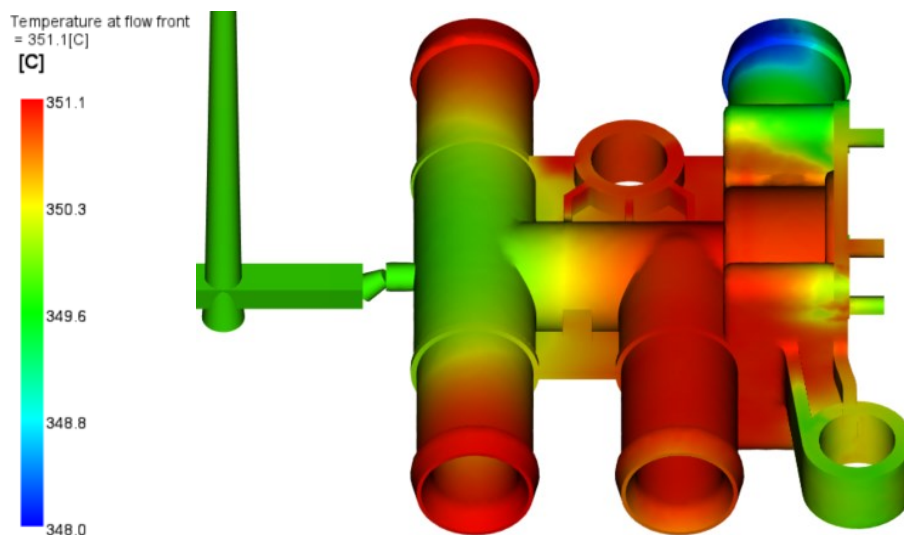
Obrázek 81 Výsledek smykového napětí na stěně při použití horkého v. s.

#### 10.2.4 Teplota na čele taveniny (Temperature at flow front)

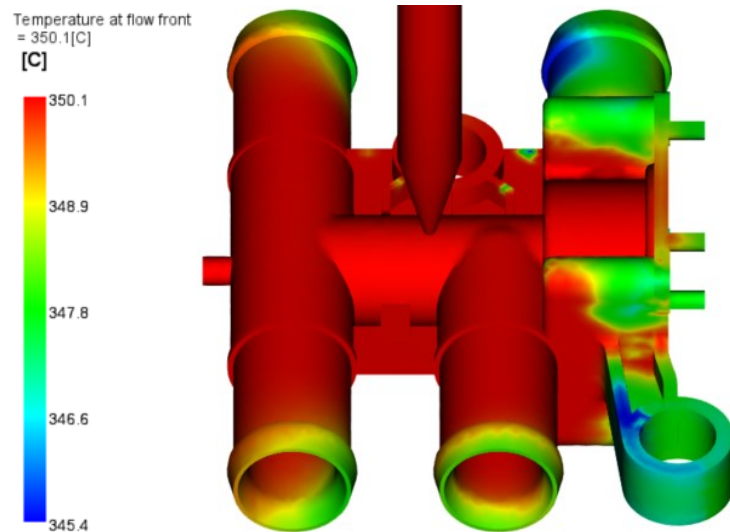
Výsledek zobrazuje teplotu čela taveniny v průběhu tečení daným místem tvarové dutiny formy. Teplota taveniny byla nastavena na hodnotu 350°C a doporučené rozmezí teplot je 310 – 370°C. Maximální teplota taveniny dosahuje 351,1°C a je možné tak konstatovat, že nebude docházet vlivem disipace k přehřátí taveniny a následné degradaci materiálu. Tento nežádoucí jev by bylo možné odstranit snížením vstřikovací teploty nebo zvětšením tloušťky v místě zvýšení teploty. Nejmenší rozdíl mezi maximální a minimální teplotou čela taveniny je 3,1°C a největší je 4,7°C.



Obrázek 82 Výsledek teploty na čele taveniny při použití kombinovaného v. s.



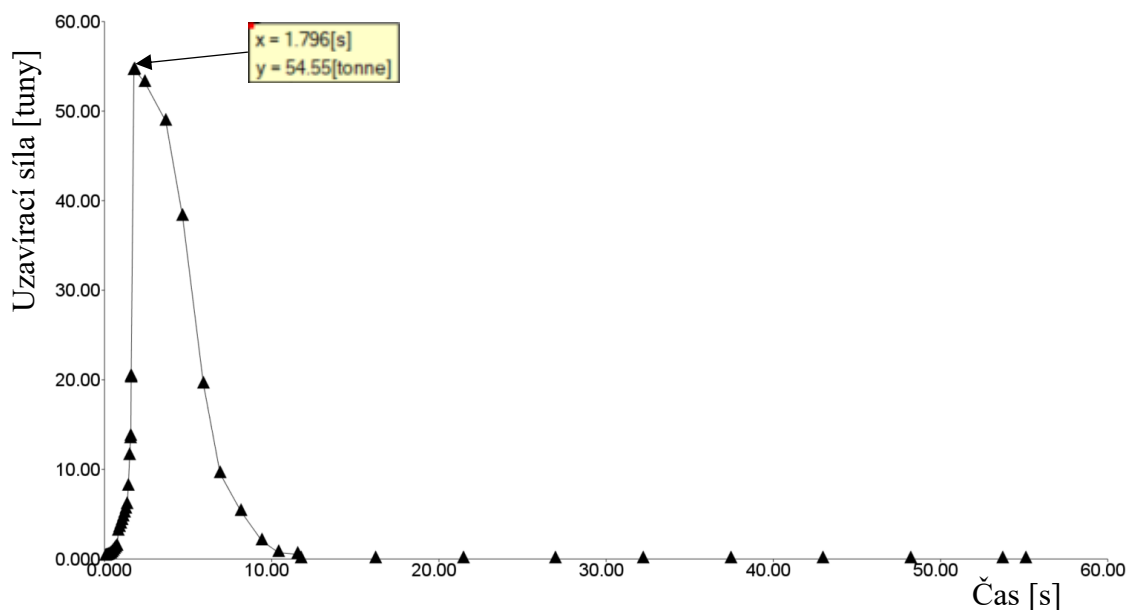
Obrázek 83 Výsledek teploty na čele taveniny při použití studeného v. s.



Obrázek 84 Výsledek teploty na čele taveniny při použití horkého v. s.

### 10.2.5 Průběh uzavírací síly (Clamp force: XY Plot)

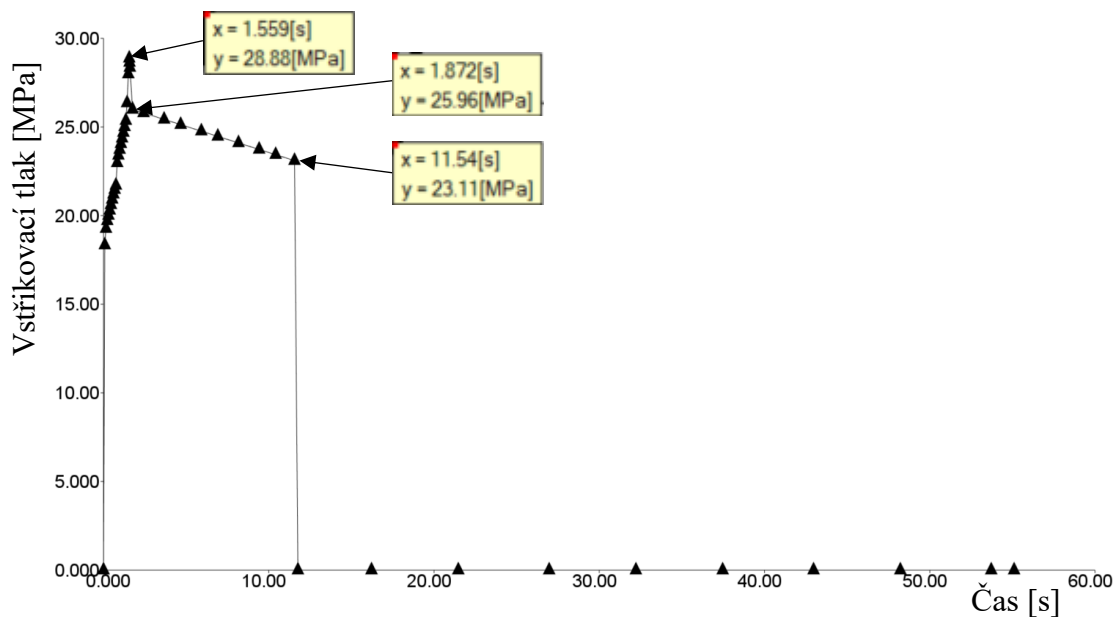
Výsledkem je závislost uzavírací síly na čase. Na obrázku 85 je uveden tento průběh pro kombinovaný vtokový systém. Software Moldflow udává uzavírací sílu v tunách, což není jednotka SI (1 tuna = 9,81 kN). Maximální hodnota potřebné uzavírací síly u kombinovaného vtokového systému je 535,14 kN, u horkého vtokového systému je 362,58 kN a u studeného vtokového systému je 604,49 kN. Potřebná uzavírací síla by neměla přesahovat 80 % maximální uzavírací síly stroje. Tato podmínka je splněna u všech variant vtokového systému.



Obrázek 85 Průběh uzavírací síly při použití kombinovaného v. s.

### 10.2.6 Tlak v místě vtokového ústí (Pressure at injection location: XY Plot)

Výsledkem je závislost vstřikovacího tlaku v místě vtokového ústí na čase. Na obrázku 86 je uveden tento průběh pro kombinovaný vtokový systém. Z něhož vyplývá, že maximální hodnota tlaku je 28,88 MPa. Tento bod se nazývá tlaková špička a nachází se v době přepnutí z plnicí fáze na dotlakovou fázi (v tomto případě v 1,56 s). Velikost dotlaku na začátku působení byla nastavena na 90 % vstřikovacího tlaku (25,96 MPa) a postupně klesá na 80 % vstřikovacího tlaku (23,11 MPa).



Obrázek 86 Průběh tlaku v místě vtokového ústí při použití kombinovaného v. s.

Průběh je pro další varianty vtokových systémů obdobný a výsledky jsou tak uvedeny v tabulce 6. Maximální vstřikovací tlak je potřeba zvětšit o bezpečnostní rezervu (o 10 %). Zvolený vstřikovací stroj je vyhovující pro všechny varianty vtokového systému, protože má maximální vstřikovací tlak 247 MPa.

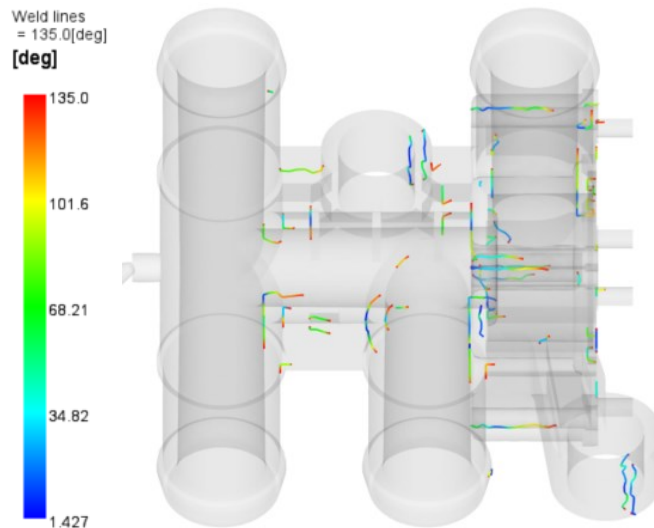
Tabulka 6 Výsledky tlaku v místě vtokového ústí

Varianta vtokového systému	Studený	Horký
Maximální tlak [MPa]	39,97	17,81
Čas přepnutí na dotlak [s]	1,57	1,53

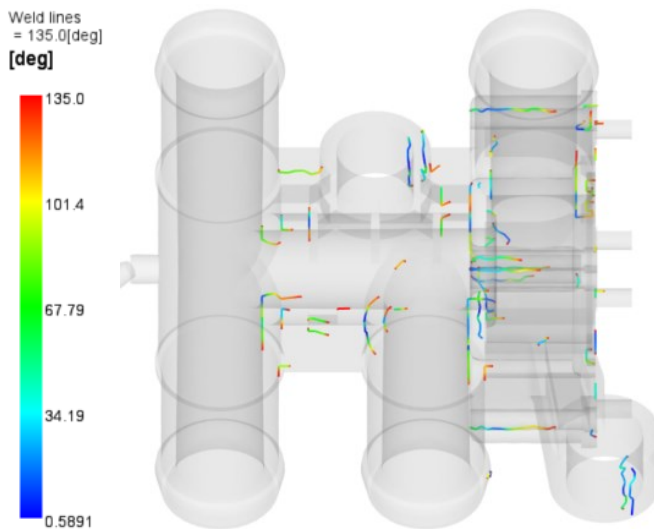
### 10.2.7 Studené spoje (Weld lines)

Výsledkem této analýzy je predikce míst vzniku studených spojů, které vznikají soutokem alespoň dvou proudů taveniny, jejichž čela nevykazují dostatečnou teplotu pro kvalitní

spojení makromolekulárních řetězců. Vliv na výskyt studených spojů má primárně geometrie výrobku a prakticky je tak není možné eliminovat. V místě jejich výskytu dochází ke snížení mechanických vlastností výrobku a současně vzniká povrchová vada. Změnou polohy vtokového ústí se studené spoje mohou přesunout do méně mechanicky namáhaných míst. Zvýšením teploty taveniny a povrchu formy se sníží jejich velikost.

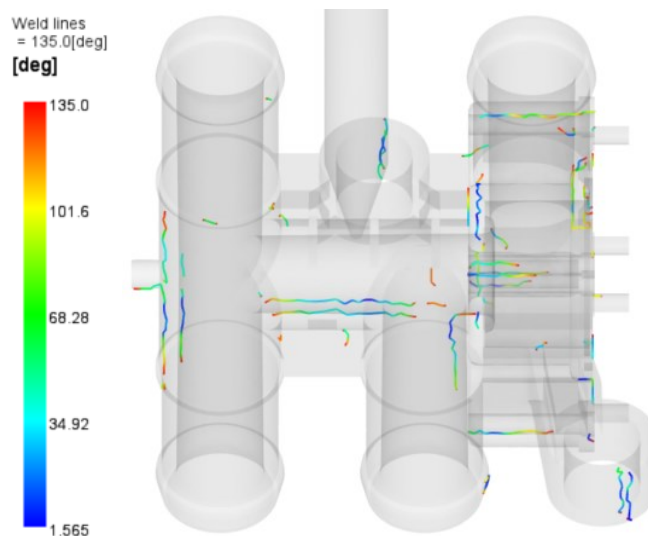


Obrázek 87 Výsledek studených spojů při použití kombinovaného v. s.



Obrázek 88 Výsledek studených spojů při použití studeného v. s.

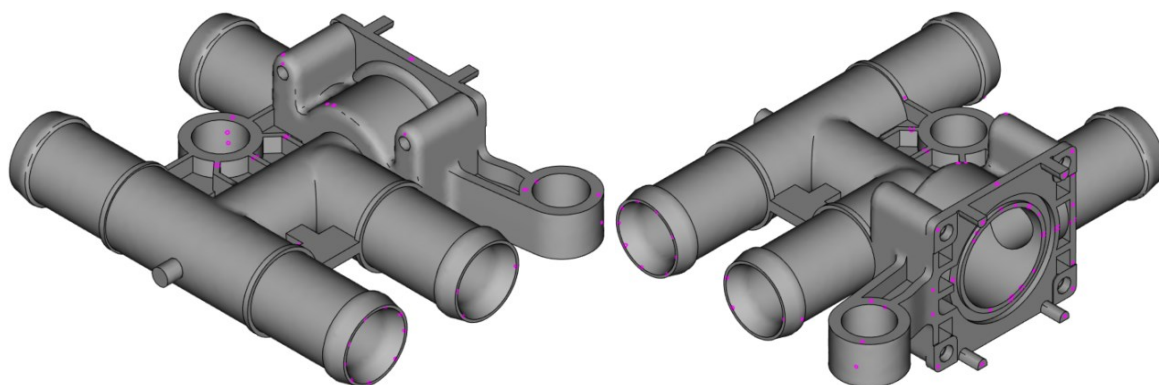




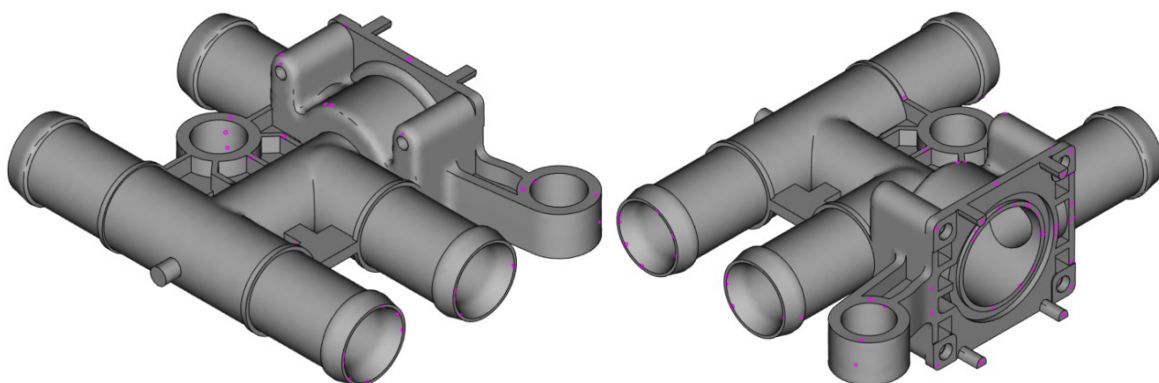
Obrázek 89 Výsledek studených spojů při použití horkého v. s.

### 10.2.8 Vzduchové kapsy (Air traps)

Výsledek této analýzy zobrazuje místa, v kterých může dojít k uzavírání vzduchu. Tím dojde k prudkému stlačení vzduchu a zvýšení teploty, které zapříčiní vznik spálených míst (Diesel efekt). Dále je riziko vzniku povrchových nebo skrytých bublin. U zobrazených míst se předpokládá únik vzduchu netěsností hlavní dělicí roviny, vůlemi posuvných čelistí a vyhazovačů.

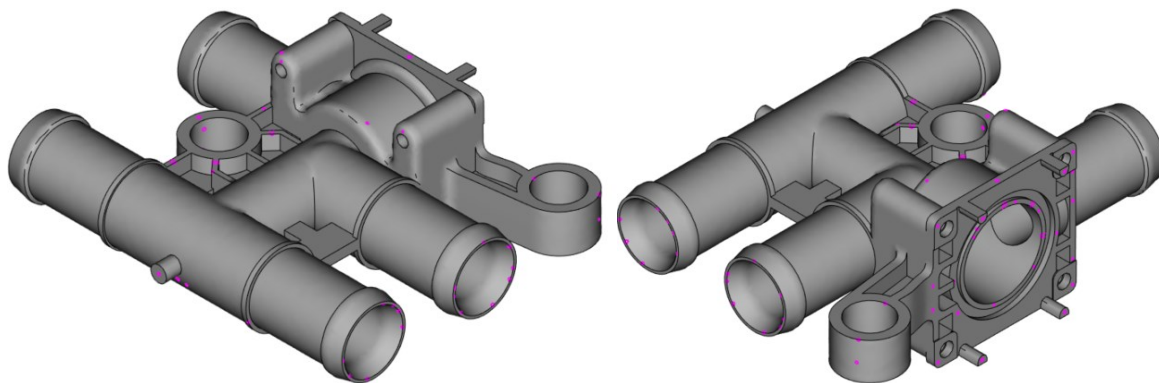


Obrázek 90 Výsledek vzduchových kapes při použití kombinovaného v. s.



Obrázek 91 Výsledek vzduchových kapes při použití studeného v. s.



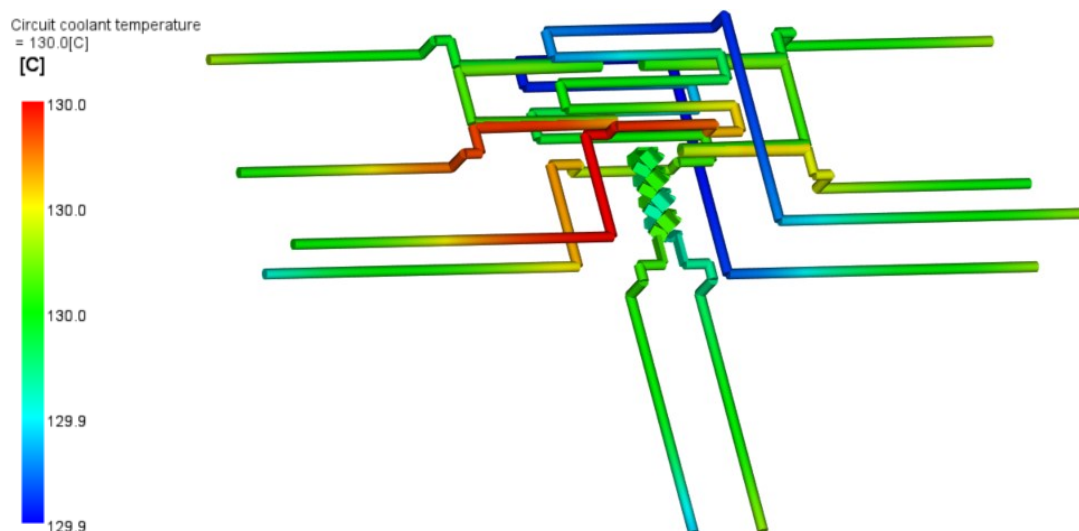


Obrázek 92 Výsledek vzduchových kapes při použití horkého v. s.

### 10.3 Analýza chlazení (Cool)

#### 10.3.1 Teplota temperačního média (Circuit coolant temperature)

Výsledek této analýzy znázorňuje průběh teploty temperačního média v temperačních okruzích. V jednotlivých okruzích by neměl být teplotní spád větší než 3°C. Navržený temperační systém tuto podmínku splňuje a je tak možné konstatovat, že je ve vstříkovací formě rovnoměrné teplotní pole. Rovnoměrné teplotní pole je podstatné pro kvalitní a ekonomickou výrobu. Při překročení doporučeného teplotního spádu je potřeba změnit procesní parametry (zvýšit průtok) nebo upravit geometrii temperačních okruhů.

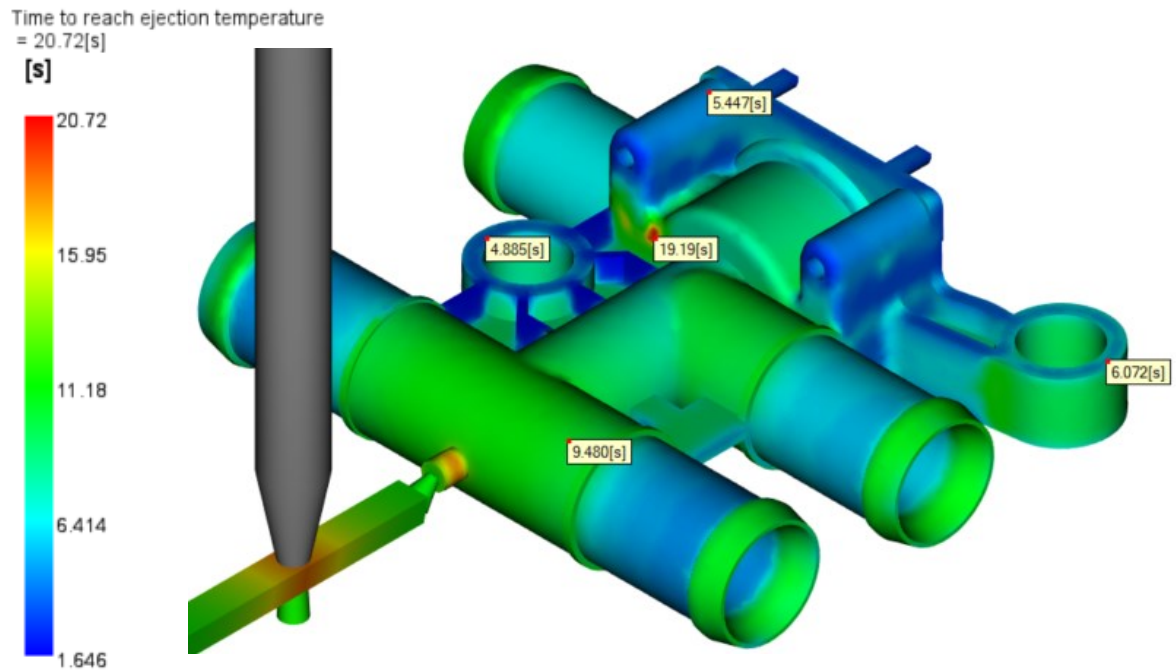


Obrázek 93 Výsledek teploty temperačního média

#### 10.3.2 Čas pro dosažení vyhazovací teploty (Time to reach ejection temperature)

Výsledkem je grafické znázornění času potřebného pro dosažení vyhazovací teploty. Vyhazovací teplota se volí taková, aby nedocházelo během vyhazování výrobku k jeho deformaci a byla tak nastavena podle doporučení výrobce materiálu na 255°C. K ochlazení

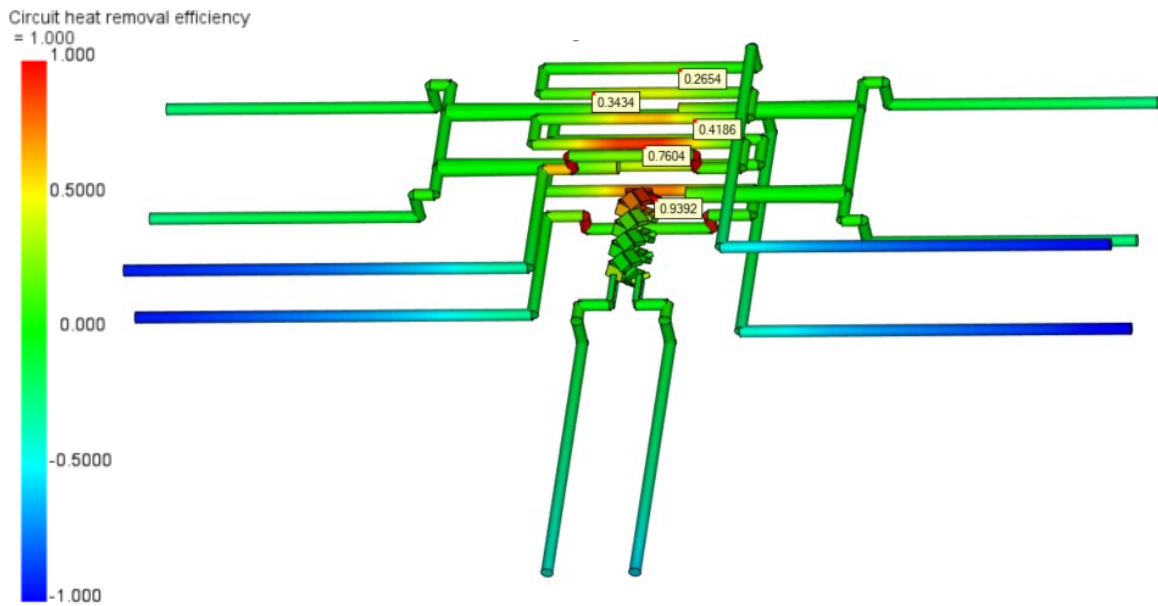
minimálně 95 % vrstev výrobku i vtokového systému na tuto teplotu dojde za 20,7 s. Pro bezpečné vyhození výrobku není potřeba, aby ve všech částech bylo dosaženo vyhazovací teploty. Podstatná jsou místa, na která působí vyhazovače a k jejich ochlazení dojde za 5,5 až 12,5 s.



Obrázek 94 Výsledek času potřebného pro dosažení vyhazovací teploty

### 10.3.3 Efektivita odvodu tepla (Circuit heat removal efficiency)

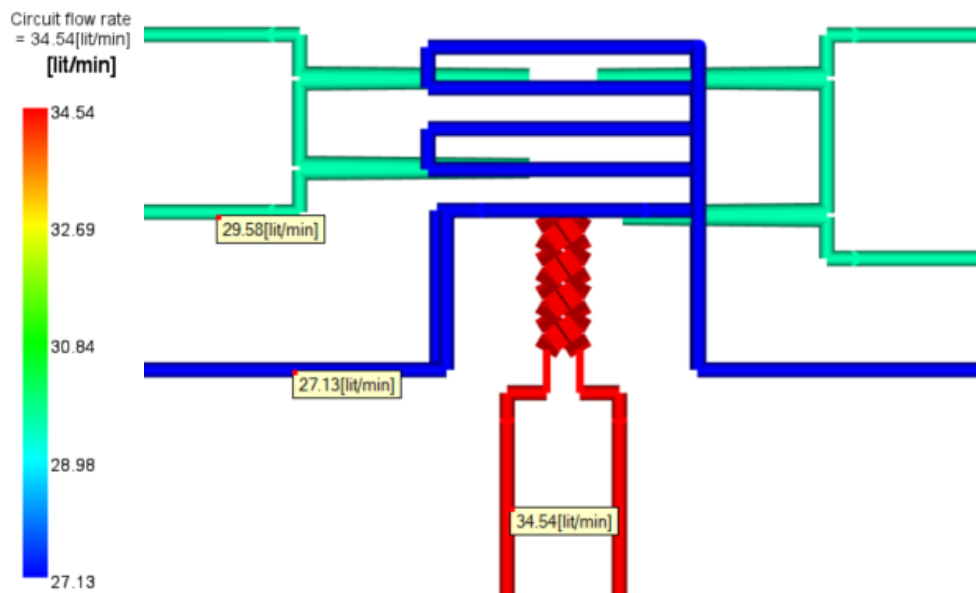
Výsledek této analýzy zobrazuje efektivitu odvodu tepla v jednotlivých částech temperačního okruhu. Červenou barvou jsou označena místa s nejlepší efektivitou odvodu tepla. Nacházejí se v horní části spirály a v její blízkosti. Modrou barvou jsou označena místa s nejhorší efektivitou. Jedná se o vstupy a výstupy temperačního média. Efektivita se zde pohybuje v záporných hodnotách a to znamená, že temperační médium formu ohřívá. Přiblížením kanálů k tvarové dutině se efektivita odvodu tepla zvýší, ale sníží se tuhost tvarových částí.



Obrázek 95 Výsledek efektivity odvodu tepla

### 10.3.4 Průtok temperačního média v temperačním systému (Circuit flow rate)

Tento výsledek zobrazuje průtok v jednotlivých temperačních okruzích. Z výsledku je patrné, že největší průtok (34,5 lit/min) je v temperačním okruhu tvarového jádra se spirálovým trnem. V temperačním okruhu tvárníku a tvárnice je průtok 27,1 lit/min a v okruhu tvarových jader s rovnou přepážkou je průtok 29,6 lit/min.

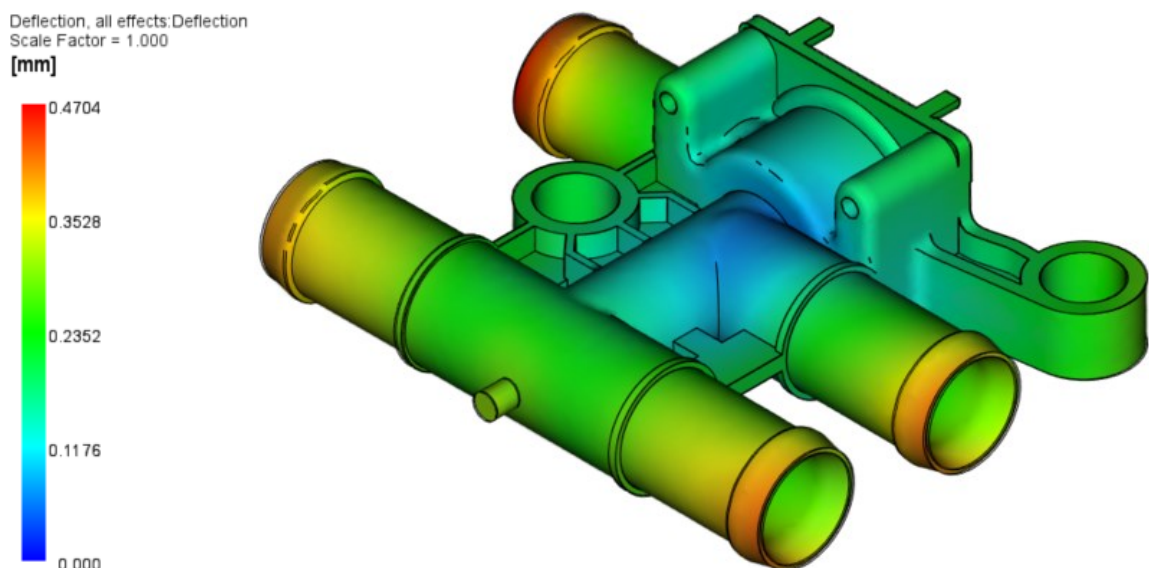


Obrázek 96 Výsledek průtoku temperačního média v temperačním systému

## 10.4 Analýza deformace a smrštění (Warp)

### 10.4.1 Celková deformace (Deflection, all effects)

Výsledek zobrazuje velikost celkových deformací ve všech směrech. Tato deformace je způsobena odlišnou intenzitou chlazení, smrštěním a orientací vláken. Červenou barvou jsou označeny nejvíce zdeformované místa a modrou barvou nejméně nebo vůbec nezdeformovaná místa. Největší deformace dosahuje hodnoty 0,47 mm a nachází se na koncích přípojek. V dalších částech výrobku je deformace do 0,3 mm. Největší vliv na velikost deformace má nerovnoměrné smrštění způsobené rozdílnou tloušťkou stěn výrobku. Výrazně menší vliv na deformaci má orientace vláken a intenzita chlazení má zanedbatelný vliv.



Obrázek 97 Výsledek celkové deformace

## 10.5 Diskuze výsledků analýzy

První provedená analýza poskytla informace o vhodnosti umístění vtokového ústí. Následně byly provedeny tokové analýzy pro kombinovaný, studený a horký vtokový systém. Horký vtokový systém byl navržen pomocí konfigurátoru od firmy Meusburger, který provede návrh podle zadaného polymeru a hmotnosti vstříkované dávky na trysku. U studeného vtokového systému byl použitý stejný rozvodný kanál a vtokové ústí jako u kombinovaného vtokového systému (navržené formy), ale z důvodu překročení dovolené hodnoty rychlosti smykové deformace a smykového napětí na stěně musela být tato část studeného vtokového systému zvětšena. V tabulce 7 jsou porovnány výsledky plnění a dotlaku všech variant vtokových systémů. Výsledek studených spojů a vzduchových kapes dopadl pro

kombinovaný a studený vtokový systém téměř totožně, u horkého vtokového systému jsou pouze jinak umístěny.

Tabulka 7 Porovnání výsledků analýzy

Vtokový systém:	Kombinovaný	Studený	Horký
Čas plnění [s]	1,59	1,61	1,57
Maximální rychlost smykové deformace [ $s^{-1}$ ]	8988	10834	12143
Maximální smykové napětí na stěně [MPa]	0,42	0,40	0,45
Maximální uzavírací síla [kN]	535,14	604,49	362,58
Maximální vstřikovací tlak [MPa]	28,88	39,97	17,81

U kombinovaného vtokového systému je dosaženo příznivějších výsledků (kromě maximálního smykového napětí na stěně, ale to je způsobeno již zmíněným zvětšením rozvodného kanálu a vtokového ústí) než u studeného vtokového systému. Z hlediska velikosti uzavírací síly a vstřikovacího tlaku je nejvýhodnější horký vtokový systém, ale náklady na jeho pořízení a provoz jsou výrazně vyšší než u zbylých variant vtokových systémů.

## ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo vypracovat literární studii na zadané téma, provést konstrukci modelu zadané součásti, navrhnout 3D konstrukci vstřikovací formy pro zadaný díl s ohledem na vyrobiteľnost, ověřit funkčnost navrženého řešení pomocí simulace v softwaru MoldFlow a nakreslit 2D řez vstřikovací formou s kusovníkem. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část.

V teoretické části byla vypracována literární studie zabývající se polymerními materiály, technologií vstřikování, konstrukcí vstřikovaného výrobku, vstřikovacími formami a simulacemi vstřikování.

V praktické části byl vytvořen model regulačního ventilu topení. Jako materiál ventilu byl zvolen PA6T GF35 od firmy Mitsui Chemicals s obchodním názvem Arlen G355. Jedná se o modifikovaný polyamid 6 plněný z 35 % skelnými vlákny. Před začátkem konstruování vstřikovací formy byla provedena analýza vhodnosti umístění vtoku. S ohledem na tyto výsledky byla zvolena jedna hlavní dělicí rovina a tři vedlejší dělicí roviny. Vzhledem k potřebnému velkému zdvihu posuvných čelistí a jejich rozložení, byla forma konstruována jako dvojnásobná s využitím normálií od firmy Meusburger. Pohyb posuvných čelistí je realizován pomocí šikmých kolíků a v otevřené poloze jsou zajištěny pomocí pružinového aretačního elementu. Vtokový systém byl zvolen kombinovaný, který se skládá z horké trysky a krátkého studeného kanálu. Pro dosažení rovnoměrného teplotního pole bylo vytvořeno deset temperačních okruhů a jsou tak temperovány všechny tvarové části formy. Temperace je tvořena pomocí vrtaných kanálků, u prvního tvarového jádra pomocí dvouchodého spirálového trnu a u dalších dvou tvarových jader pomocí rovných přepážek. Vyhození výrobku zajišťuje devět vyhazovačů. Jejich rozmístění bylo zvoleno tak, aby vyhazovací síla působila na výrobek rovnoměrně a nedocházelo k jeho deformaci. Navržená vstřikovací forma má největší rozměry desek 596 x 646 x 402 mm (šířka x délka x výška). Forma je pro snadnou a bezpečnou manipulaci opatřena dvěma otočnými závěsnými oky, proti pootevření a pohybu vyhazovacího systému je zajištěna pomocí transportních zámků. Podle parametrů vstřikovací formy byl zvolen vstřikovací stroj od společnosti Arburg s označením Allrounder 630 S – 2500 – 800 (45). Funkčnost navržené formy byla ověřena tokovou analýzou. Součástí návrhu je i výkresová dokumentace sestavy s kusovníkem.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery*. Online. Code Creator, 2016. ISBN 9788088058687. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Cover.html>. [cit. 2023-11-03].
- [2] ŠVORČÍK, Václav. *Polymery stručně*. Online. Praha, 2011. Dostupné z: <https://docplayer.cz/4894705-V-svorcik-polymery-polymery-strucne.html>. [cit. 2023-11-03].
- [3] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 3., přeprac. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2011. ISBN 9788070807880.
- [4] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 9788027106141.
- [5] OSSWALD, Tim A. a MENGES, Georg. *Material science of polymers for engineers*. 3rd ed. Cincinnati: Hanser Publications, 2012. ISBN 9781569905142.
- [6] OSSWALD, Tim A.; BAUR, E. a RUDOLPH, Natalie. *Plastics handbook: the resource for plastics engineers*. 5th edition. Munich: Hanser Publisher, 2019. ISBN 9781569905593.
- [7] OSSWALD, Tim A. a RUDOLPH, Natalie. *Polymer rheology: fundamentals and applications*. Munich: Hanser, 2015. ISBN 9781569905173.
- [8] MALKIN, Aleksandr Jakovlevič a ISAYEV, Avraam I. *Rheology: concepts, methods, and applications*. 4th edition. Toronto: ChemTec Publishing, 2022. ISBN 9781927885932.
- [9] LENFELD, Petr. *Zpracování plastů*. Online. Liberec: Technická univerzita Liberec. Dostupné z: [https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/obsah\\_plasty.htm](https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/obsah_plasty.htm). [cit. 2023-12-27].
- [10] AUSPERGER, Aleš. *Technologie zpracování plastů*. Online. Code Creator, 2016. ISBN 9788088058779. Dostupné z: <https://publi.cz/books/183/Cover.html>. [cit. 2023-12-27].
- [11] CHEN, Shia-Chung a TURNG, Lih-Sheng (ed.). *Advanced injection molding technologies*. Progress in polymer processing (PPP) series. Munich: Hanser Publishers, 2019. ISBN 9781569906033.

- [12] LENFELD, Petr. *Technologie vstřikování*. Online. Code Creator, 2016. ISBN 9788088058748. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/Cover.html>. [cit. 2023-12-27].
- [13] OSSWALD, Tim A. *Understanding polymer processing: processes and governing equations*. 2nd edition. Munich: Hanser Publishers, 2017. ISBN 9781569906477.
- [14] WANG, Maw-Ling; CHANG, Rong-Yeu a HSU, Chia-Hsiang. *Molding simulation: theory and practice*. Cincinnati: Hanser Publications, 2018. ISBN 9781569906194.
- [15] KERKSTRA, Randy a BRAMMER, Steve. *Injection molding advanced troubleshooting guide*. Munich: Hanser Publishers, 2018. ISBN 9781569906453.
- [16] LERMA VALERO, José R. *Plastics injection molding: scientific molding, recommendations, and best practices*. Munich: Hanser publications, 2020. ISBN 9781569906897.
- [17] SEIDL, Martin. *Stroje pro zpracování polymerních materiálů*. Online. Code Creator, 2016. ISBN 9788088058717. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/Cover.html>. [cit. 2024-01-15].
- [18] JOHANNABER, Friedrich. *Injection molding machines: a user's guide*. 4th ed. Munich: Carl Hanser Publishers, c2008. ISBN 9781569904183.
- [19] ŽÁK, Ladislav. *Vstřikovací formy*. Online. 2008. Dostupné z: [https://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/cviceni/htn\\_tvareci\\_nastroje\\_vstrikovaci\\_formy\\_zak.pdf](https://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/cviceni/htn_tvareci_nastroje_vstrikovaci_formy_zak.pdf). [cit. 2024-01-17].
- [20] BOBEK, Jiří. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů*. Online. Code Creator, 2016. ISBN 9788088058656. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/Cover.html>. [cit. 2024-01-17].
- [21] MALLOY, Robert A. *Plastic part design for injection molding: an introduction*. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers, c2011. ISBN 9781569904367.
- [22] CAMPO, E. Alfredo. *The complete part design handbook: for injection molding of thermoplastics*. Munich: Hanser Publishers, c2006. ISBN 1569903751.
- [23] JAROSCHEK, Christoph. *Design of Injection Molded Plastic Parts*. Hanser Publishers, 2022. ISBN 9781569908938.
- [24] KAZMER, David. *Injection mold design engineering*. 2nd edition. Munich: Hanser, 2016. ISBN 9781569905708.



- [25] DANGEL, Rainer. *Injection Molds for Beginners*. 2nd edition. Hanser Publishers, 2020. ISBN 9781569908181.
- [26] PRUNER, Harry a NESCH, Wolfgang. *Understanding injection molds*. Munich: Hanser, c2013. ISBN 9781569905272.
- [27] CATOEN, Bruce a REES, Herbert. *Injection mold design handbook*. Munich: Hanser publishers, 2021. ISBN 9781569908150.
- [28] BEAUMONT, John P. *Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding*. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers, c2007. ISBN 9781569904213.
- [29] HYNEK, Martin; MÜLLER, Eduard a HELLER, Štěpán. *Plastové díly*. Online. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2013. Dostupné z: [https://kks.zcu.cz/projekty-ver-fin/OPVK\\_PU/KA\\_05/](https://kks.zcu.cz/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05/). [cit. 2024-01-26].
- [30] UNGER, P. *Hot runner technology*. Cincinnati, OH: Hanser Gardner Publications, c2006. ISBN 9781569903957.
- [31] UNGER, Peter (ed.). *Gastrow injection molds: 130 proven designs*. 4th ed. Munich: Hanser Publishers, 2006. ISBN 1569904022.
- [32] SCHILLER, Gary F. *A practical approach to scientific molding*. Munich: Hanser Publishers, 2018. ISBN 9781569906866.
- [33] HOMAR, David; ČERČE, Luka a KOPAČ, Janez. Cooling simulation of conformal cooling injection mould insert produced by hybrid manufacturing. Online. *Tehnički vjesnik*. Roč. 2017. ISSN 18486339. Dostupné z: <https://doi.org/10.17559/TV-20150909075338>. [cit. 2024-02-04].
- [34] FENG, Shaochuan; KAMAT, Amar M. a PEI, Yutao. Design and fabrication of conformal cooling channels in molds: Review and progress updates. Online. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2021. ISSN 00179310. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.121082>. [cit. 2024-02-04].
- [35] HALAŠKA, Petr. *Snižování výrobních nákladů pomocí Autodesk Moldflow analýzy*. Online. Dostupné z: <https://adoc.pub/sniovani-vyrobnich-naklad-pomoci-autodesk-moldflow-analyzy.html>. [cit. 2024-02-08].
- [36] Oficiální stránky softwaru Autodesk Moldflow. Online. Dostupné z: <https://help.autodesk.com/view/MFIA/2024/ENU/>. [cit. 2024-02-08].

- [37] Arlen G335. Online. Mitsui Chemicals. Dostupné z: <https://us.mitsuichemicals.com/service/product/arlen/index.htm#accordion-27e37043d0-item-fdde3ba92a>. [cit. 2024-02-22].
- [38] Vstřikovací stroj Arburg Allrounder 630S. Online. Arburg. Dostupné z: <https://www.arburg.com/cs/cz/svet-vyroby/vstrikovaci-stroje/hydraulicke-stroje/allrounder-s/>. [cit. 2024-04-09].
- [39] Katalog normalizovaných součástí. Online. Meusburger. Dostupné z: [https://ecom.meusburger.com/index/index.asp?rnd=&emos\\_sid=AY85ej5yL0sQm50KWmCp4tj7lwojnHtE&emos\\_vid=AY4aJOIwCUJSMTG3sXQIRz6ulNDIgvdd](https://ecom.meusburger.com/index/index.asp?rnd=&emos_sid=AY85ej5yL0sQm50KWmCp4tj7lwojnHtE&emos_vid=AY4aJOIwCUJSMTG3sXQIRz6ulNDIgvdd). [cit. 2024-02-28].

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

např. Například

3D Trojrozměrný

tzv. Takzvaně

g Gram

T<sub>g</sub> Teplota skelného přechodu

T<sub>f</sub> Teplota toku

T<sub>m</sub> Teplota tání

nm Nanometr

$\tau$  Smykové napětí

$\eta_0$  Newtonská viskozita

$\dot{\gamma}$  Rychlost smykové deformace

$\eta$  Viskozita

T Teplota

m Index konzistence

$\alpha$  Teplotní funkce

n Index neneutonského chování

$\lambda_0$  Makroskopický relaxační čas

a Intenzita přechodu z newtonské do pseudoplastické oblasti

Pa Pascal

s<sup>-1</sup> Reciproká sekunda

°C Stupeň Celsia

- Bezrozměrná jednotka

s Sekunda

GIT Vstřikování s podporou plynu

WIT Vstřikování s podporou vody

---

%	Procento
p	Tlak
MPa	Megapascal
t	Čas
v	Specifický objem
cm <sup>3</sup>	Centimetr krychlový
mm	Milimetr
°	Stupeň
L	Délka
D	Průměr
IT	Stupeň přesnosti
R	Rádus
h	Tloušťka stěny
μm	Mikrometr
SLM	Selective Laser Melting
PC	Polykarbonát
POM	Polyoxymethylen
PS	Polystyren
ABS	Akrylonitril-butadien styren
PA	Polyamid
PBT	Polybutylentereftalát
GF	Skelná vlákna
Max.	Maximálně
FEM	Metoda konečných prvků
2D	Dvojrozměrný
h	Hodina

kg Kilogram

kN Kilonewton

v. s. Vtokový systém

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1 Základní rozdělení polymerů [1].....	13
Obrázek 2 Molekulární struktura polymerů [1].....	14
Obrázek 3 Schéma nadmolekulární struktury polymerů [1].....	15
Obrázek 4 Schéma viskoelastického Maxwellova modelu [7].....	18
Obrázek 5 Závislost smykové viskozity na rychlosti smykové deformace [7] .....	18
Obrázek 6 Schéma vstřikovacího cyklu.....	21
Obrázek 7 Průběh tlaku v dutině formy během vstřikovacího cyklu .....	23
Obrázek 8 Průběh teploty polymeru během vstřikovacího cyklu.....	23
Obrázek 9 Vstřikovací cyklus zakreslený v pVt diagram pro amorfni polymer.....	24
Obrázek 10 Procesní okno [13] .....	26
Obrázek 11 Fontánový tok taveniny [14] .....	26
Obrázek 12 Studený spoj [14] .....	28
Obrázek 13 Propadliny [15].....	28
Obrázek 14 Bubliny [16] .....	29
Obrázek 15 Neúplný výstřik [15] .....	29
Obrázek 16 Spálená místa [15].....	30
Obrázek 17 Stříbrné pruhy [14].....	30
Obrázek 18 Volný tok taveniny [15] .....	31
Obrázek 19 Přetoky [15].....	31
Obrázek 20 Schéma vstřikovacího stroje [13].....	32
Obrázek 21 Zóny šneku [16] .....	33
Obrázek 22 Polohy zpětného ventilu [17] .....	34
Obrázek 23 Kloubový mechanismus s hydraulickým pohonem [13].....	35
Obrázek 24 Hydraulická uzavírací jednotka [13].....	35
Obrázek 25 Řešení přechodů tloušťky stěn [21].....	36
Obrázek 26 Návrh úkosů na výrobku [14].....	37
Obrázek 27 Možnosti připojení komínků ke stěně [21] .....	38
Obrázek 28 Úprava žeber pro lepší odvzdušnění [14].....	39
Obrázek 29 Otevřená vstřikovací forma [24] .....	40
Obrázek 30 Umístění dutin [20] .....	41
Obrázek 31 Odformování bočního otvoru pomocí šikmého kolíku [25].....	43
Obrázek 32 Schéma studeného vtokového systému [29] .....	44
Obrázek 33 Používané tvary přidržovače vtoku [28] .....	44

Obrázek 34 Kruhový (vlevo), parabolický (uprostřed) a lichoběžníkový (vpravo) tvar rozváděcího kanálu [28].....	45
Obrázek 35 Plný kuželový (vlevo) a bodový (vpravo) vtok [28].....	46
Obrázek 36 Tunelový (vlevo a uprostřed) a banánový (vpravo) vtok [28] .....	46
Obrázek 37 Typický boční (vlevo) a boční s překryvem (vpravo) vtok [28].....	47
Obrázek 38 Filmový vtok [28].....	47
Obrázek 39 Řez horkým vtokovým systémem [28] .....	48
Obrázek 40 Přepážkový systém [29] .....	50
Obrázek 41 Porovnání konvenčního (vlevo) a konformního (vpravo) chlazení [33].....	51
Obrázek 42 Mechanické vyhazovače [29].....	53
Obrázek 43 Dvoustupňové vyhazování [27] .....	53
Obrázek 44 Pneumatický vyhazovač [29] .....	54
Obrázek 45 Vliv jednotlivých etap na růst nákladů na uvedení výrobku na trh [35].....	56
Obrázek 46 Typy sítí v programu Autodesk Moldflow [36] .....	57
Obrázek 47 3D model regulačního ventilu topení .....	61
Obrázek 48 Navržená vstřikovací forma .....	63
Obrázek 49 Pravá strana formy .....	64
Obrázek 50 Levá strana formy.....	65
Obrázek 51 Znázornění dělicích rovin.....	66
Obrázek 52 Tvárník (vpravo) a tvárnice (vlevo) .....	66
Obrázek 53 Boční tvarová jádra .....	67
Obrázek 54 Boční odformování.....	68
Obrázek 55 Výsledek analýzy nejvhodnějšího umístění vtoku .....	69
Obrázek 56 Výsledek analýzy odporu proti toku .....	69
Obrázek 57 Navržený vtokový systém .....	70
Obrázek 58 Temperační okruh tvárnice.....	71
Obrázek 59 Temperační okruh tvárníku .....	71
Obrázek 60 Tvarové jádro temperované spirálovým trnem .....	72
Obrázek 61 Tvarové jádro temperované rovnou přepážkou.....	72
Obrázek 62 Vyhazovací systém.....	73
Obrázek 63 Zajištění vyhazovače proti pootočení.....	73
Obrázek 64 Otočné závěsné oko.....	74
Obrázek 65 Transportní zámek dělicí roviny (vlevo) a vyhazovacího systému (vpravo) ...	74
Obrázek 66 Vysíťovaný model.....	76
Obrázek 67 Statistika vytvořené sítě .....	77



Obrázek 68 Okrajové podmínky teploty .....	78
Obrázek 69 Okrajové podmínky plnění a dotlaku .....	78
Obrázek 70 Průběh působení dotlaku (vlevo) a pokročilé nastavení (vpravo).....	79
Obrázek 71 Okrajové podmínky deformací.....	79
Obrázek 72 Nastavení parametrů temperačního média .....	79
Obrázek 73 Výsledek času plnění při použití kombinovaného v. s.....	80
Obrázek 74 Výsledek času plnění při použití studeného v. s. ....	80
Obrázek 75 Výsledek času plnění při použití horkého v. s. ....	81
Obrázek 76 Výsledek rychlosti smykové deformace při použití kombinovaného v. s.....	81
Obrázek 77 Výsledek rychlosti smykové deformace při použití studeného v. s. ....	82
Obrázek 78 Výsledek rychlosti smykové deformace při použití horkého v. s. ....	82
Obrázek 79 Výsledek smykového napětí na stěně při použití kombinovaného v. s.....	83
Obrázek 80 Výsledek smykového napětí na stěně při použití studeného v. s. ....	83
Obrázek 81 Výsledek smykového napětí na stěně při použití horkého v. s. ....	83
Obrázek 82 Výsledek teploty na čele taveniny při použití kombinovaného v. s.....	84
Obrázek 83 Výsledek teploty na čele taveniny při použití studeného v. s. ....	84
Obrázek 84 Výsledek teploty na čele taveniny při použití horkého v. s. ....	85
Obrázek 85 Průběh uzavírací síly při použití kombinovaného v. s. ....	85
Obrázek 86 Průběh tlaku v místě vtokového ústí při použití kombinovaného v. s. ....	86
Obrázek 87 Výsledek studených spojů při použití kombinovaného v. s.....	87
Obrázek 88 Výsledek studených spojů při použití studeného v. s.....	87
Obrázek 89 Výsledek studených spojů při použití horkého v. s.....	88
Obrázek 90 Výsledek vzduchových kapes při použití kombinovaného v. s. ....	88
Obrázek 91 Výsledek vzduchových kapes při použití studeného v. s. ....	88
Obrázek 92 Výsledek vzduchových kapes při použití horkého v. s. ....	89
Obrázek 93 Výsledek teploty temperačního média .....	89
Obrázek 94 Výsledek času potřebného pro dosažení vyhazovací teploty .....	90
Obrázek 95 Výsledek efektivity odvodu tepla.....	91
Obrázek 96 Výsledek průtoku temperačního média v temperačním systému.....	91
Obrázek 97 Výsledek celkové deformace .....	92

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 Vlastnosti polymerů v závislosti na tvaru makromolekul [1].....	14
Tabulka 2 Doporučené vzdálenosti temperačních kanálů od dutiny formy [19].....	50
Tabulka 3 Doporučené šířky odvzdušňovacích kanálů [20].....	55
Tabulka 4 Základní vlastnosti materiálu Arlen G335 [37] .....	62
Tabulka 5 Porovnání parametrů zvoleného stroje s požadovanými parametry [38] .....	75
Tabulka 6 Výsledky tlaku v místě vtokového ústí.....	86
Tabulka 7 Porovnání výsledků analýzy .....	93

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Materiálový list Arlen G335

Příloha P II: Technický list vstřikovacího stroje Arburg Allrounder 630 S

Příloha P III: Výkresová dokumentace

Příloha P IV: DVD obsahující:

- Diplomovou práci v PDF/A.
- 3D model zadaného dílu.
- 3D model navržené vstřikovací formy.
- Výkresovou dokumentaci.
- Moldflow analýzy.

# PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST ARLEN G335



			Test method	
<b>Physical Properties</b>				
		Unit	ASTM	G335
Glass fiber content		%	-	35
Specific gravity		-	D792	1.47
<b>Mechanical Properties</b>				
Tensile strength	dry	MPa	D638	200
	(moist)*1			(180)
Tensile elongation	dry	%	D638*2	3
	(moist)*1			(3)
Flexural strength	dry	MPa	D790	340
	(moist)*1			(310)
Flexural modulus	dry	MPa	D790	11,000
	(moist)*1			(10,000)
Izod impact strength (notched)	dry	J/m	D256	100
	(moist)*1			(120)
Rockwell hardness		M scale	D785	-
<b>Thermal Properties</b>				
Melting point		°C	-	300
Glass transition point		°C	-	140
Deflection temp. under load (1.82MPa)		°C	D648	280
Coefficient of linear thermal expansion	Flow direction	$\times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$	D698	-
	Vertical direction			-
<b>Electrical Properties</b>				
Volume resistivity	(dry)	$\Omega \cdot \text{cm}$	D257	$10^{16}$
Dielectric constant (10 <sup>6</sup> Hz)	(dry)	-	D150	-
Dielectric dissipation factor (10 <sup>6</sup> Hz)	(dry)	-	D150	-
Dielectric breakdown voltage	(dry)	kV/mm	D149	28
<b>Other Properties</b>				
Mold shrinkage (2mmt)	Flow direction	%	D955	0.2
	Vertical direction			0.5
Water absorption (24 hr in water) (2mmt)	23°C	%	D570	0.3
	100°C			1.7
Flammability		-	UL94	HBequiv.

## Notes:

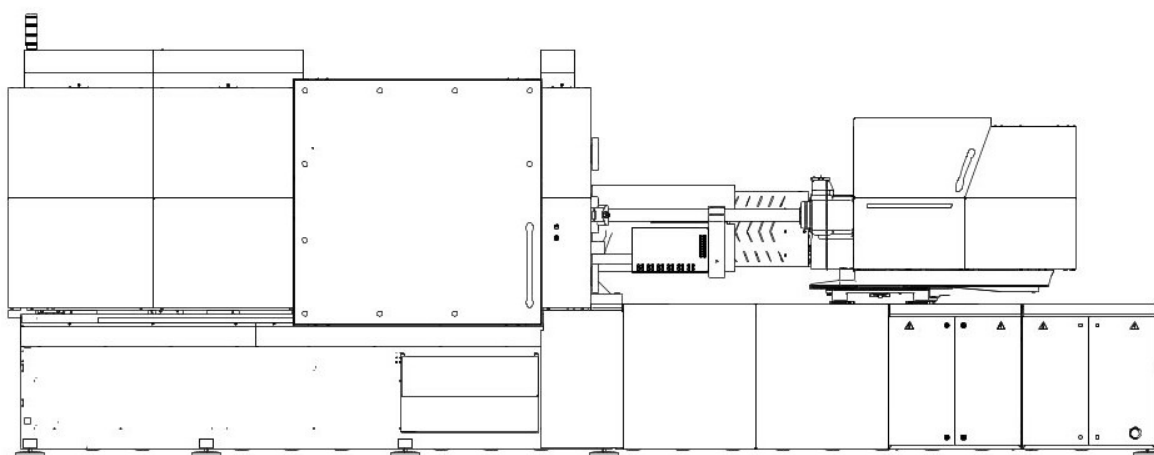
The above figures are just representative values but not specification values.  
 \*1 Moist: In a saturated state in the atmosphere at 23°C and a relative humidity of 65%  
 \*2 Elongation was measured between the chucks.  
 \*3 Test specimens of the non-reinforced grades were 2 mm.

## Unit conversion:

Tensile strength, flexural strength, flexural modulus.  
 1 Mpa = 10.2 kg/cm<sup>2</sup>

Izod impact strength.  
 1 J/m=0.102 kg · cm/cm

**PŘÍLOHA P II: TECHNICKÝ LIST VSTŘIKOVACÍHO STROJE  
ARBURG ALLROUNDER 630 S**



## **ALLROUNDER 630 S**

### **Clamp-Design**

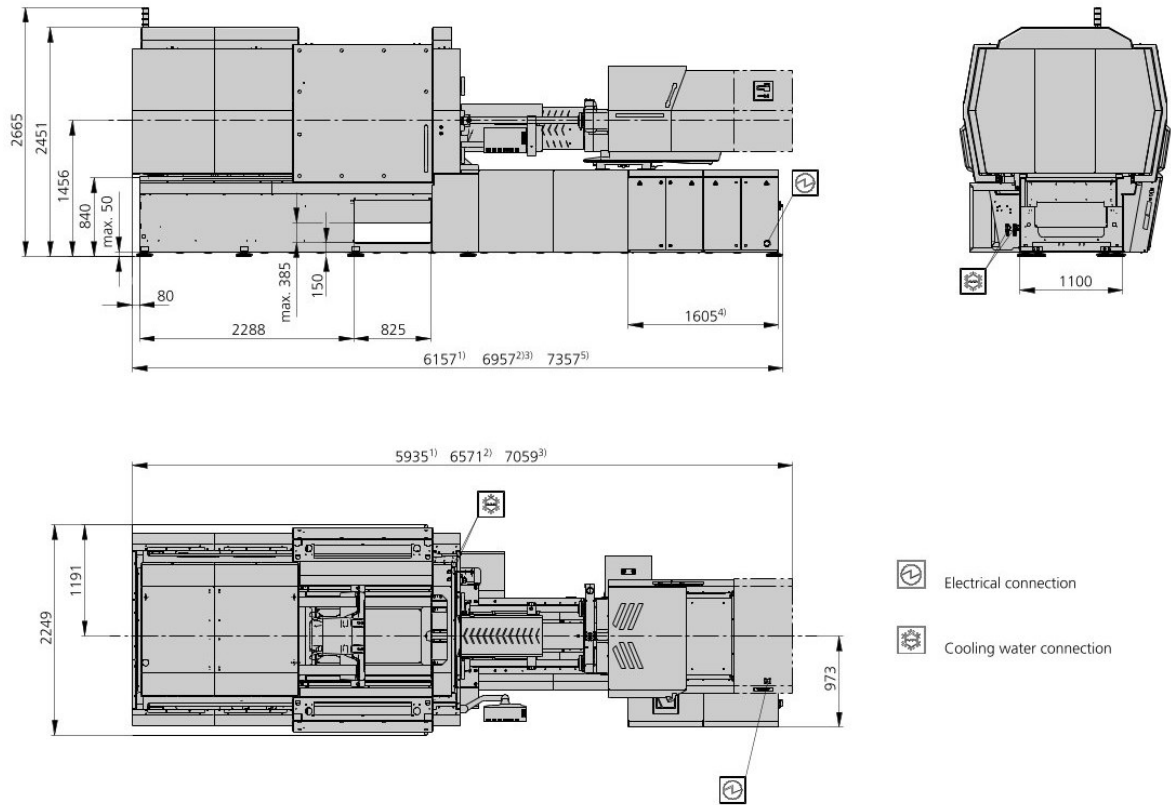
Distance between tie bars: 630 x 630 mm

Clamping force: 2500 kN

Injection unit (acc. to EUROMAP): 800, 1300, 2100

**ARBURG**

## MACHINE DIMENSIONS | 630 S



- 1) Injection unit 800
- 2) Injection unit 1300
- 3) Injection unit 2100
- 4) Subject to performance variant and injection unit size
- 5) Injection unit 2100 and hydraulic accumulator

## TECHNICAL DATA | 630 S

Clamping unit		630 S	
with clamping force	max. kN	2500	
Opening force   stroke	max. kN   mm	725   600	
Mould height, fixed   variable	min. mm	700   [300-700]	
Platen daylight fixed   variable	max. mm	1300   [900-1300]	
Distance between tie bars (w x h)	mm	630 x 630	
Mould mounting platens (w x h)	max. mm	900 x 900	
Weight of movable mould half	max. kg	2500	
Ejector force   stroke	max. kN   mm	90   225	
Dry cycle time EUROMAP <sup>2</sup>	1 pump	3,8 - 441	
	2 pumps	2,3 - 441	
	Accum.	1,7 - 441	

Injection unit		800			1300			2100			
with screw diameter	mm	45	50	55	55	60	70	60	70	80	
Effective screw length	L/D	22	20	18	22	20	17	23	20	17,5	
Screw stroke	max. mm	200			240			280			
Calculated stroke volume	max. cm <sup>3</sup>	318	392	474	558	664	904	792	1078	1407	
Shot weight	max. g PS	291	359	434	510	607	826	723	984	1286	
Material throughput	max. kg/h PS	46	53	59	86	96	115	125	145	175	
	max. kg/h PA6.6	23	27	30	43	48	58	62	74	88	
Injection pressure	max. bar	2470	2000	1650	2380	2000	1470	2500	2000	1530	
Holding pressure	max. bar	2470	2000	1650	2380	2000	1470	2500	2000	1530	
Injection flow <sup>2</sup>	1 pump	max. cm <sup>3</sup> /s	242	300	364	238	284	388	---		
	2 pumps	max. cm <sup>3</sup> /s	242	300	364	238	284	388	224	306	400
	Accum.	max. cm <sup>3</sup> /s	530	656	792	714	848	1156	1132	1540	2012
Screw circumferential speed <sup>2</sup>	1 pump	max. m/min	54	60	66	40	43	51	---		
	2 pumps	max. m/min	54	60	66	40	43	51	43	51	58
	Accum.	max. m/min	15	17	19	19	21	25	21	25	28
Screw torque	max. Nm	880			1510	1640	1920	2140	2500	2550	
Nozzle contact force   retraction stroke	max. kN   mm	70   400			90   550			110   600			
Heating capacity   zones	kW	19,9   8			22,9   8			31,1   8			

Drive and connection		1 pump (servo)			2 pumps			Accum.			
with injection unit		800	1300		800	1300	2100	800	1300	2100	
Net weight of machine	kg	12200	12500		12200	12500	13200	---			
Sound press. level   Insecurity <sup>4</sup>	dB(A)	< 65			73   3			< 70			
Oil filling	l	330	410		330	410	410	360	460	530	
Drive power <sup>2</sup>	max. kW	45	45		45	45	55	30	37	45	
Electrical connection <sup>3</sup>	Total	kW	68	74	68	71	89	53	63	70	
	Machine	A	---			---			---		
	Machine	A	125	125	100	100	125	80	100	125	
	Heating	A	50	50	35	35	50	25	35	50	
Cooling water connection	max. °C	30			30			30			
	min. Δp bar	1,5   DN 25			1,5   DN 25			1,5   DN 32			

Machine type	
with EUROMAP size designation <sup>1</sup>	Drive
630 S 2500-800	1   2   Accum.
630 S 2500-1300	1   2   -
630 S 2500-2100	1   2   Accum.

### Upon request: other machine types and mould installation heights, screws, drive powers etc.

All specifications relate to the basic machine version. Deviations are possible depending on variants, process settings and material type. Depending on the drive, certain combinations, e.g. max. injection pressure and max. injection flow may be mutually exclusive.

1) Clamping force (kN) - size of injection unit = max. stroke volume (cm<sup>3</sup>) x max. injection pressure (kbar)

2) Specifications depend on the drive variant / drive configuration.

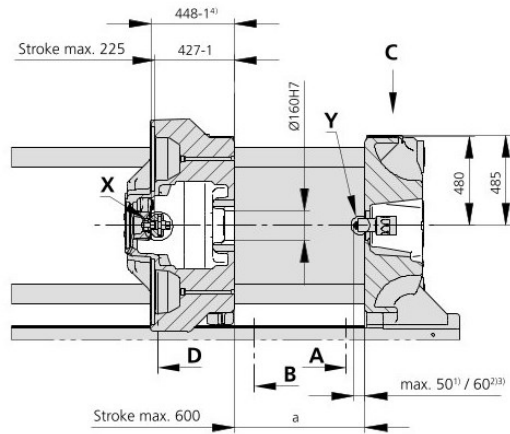
3) Specifications relate to 400 V/50 Hz.

4) Detailed info in the operating instr.

[ ] Specifications apply to alternative equipment.



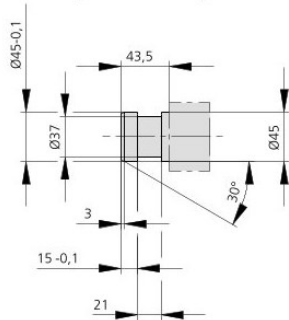
# MOULD INSTALLATION DIMENSIONS | 630 S



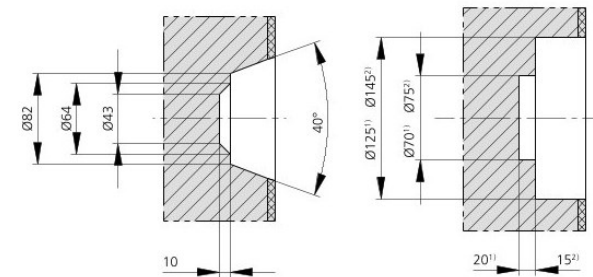
Mould installation height	a min.	a max.
Fixed	700	1300
variable, manually	[400, 500, 600]	[1000, 1100, 1200]
variable, automatically	300-700	900-1300

[ ] Specifications apply to alternative equipment

## Ejector bolt | X

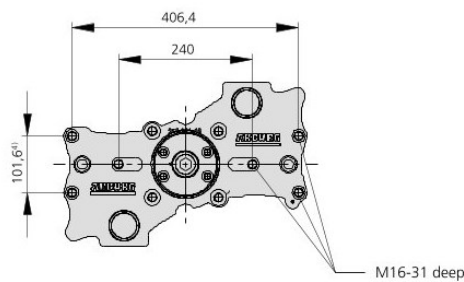


## Bore in mould (if required) | Y

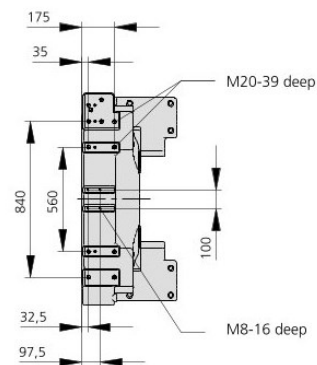


Injection unit 800<sup>(1)</sup> and 1300<sup>(2)</sup>  
Thermoset execution -  
2100 injection unit on request

## Ejector plate | D



## Robotic system mounting | C



- 1) Injection unit 800
- 2) Injection unit 1300
- 3) Injection unit 2100
- 4) Positions of ejector plate



# SHOT WEIGHTS | 630 S

## Theoretical shot weights for the most important injection moulding materials

Injection units according to EUROMAP		800			1300			2100		
Screw diameter	mm	45	50	55	55	60	70	60	70	80
Polystyrene	max. g PS	291	359	434	510	607	826	723	984	1286
Styrene heteropolymerizates	max. g SB	284	350	424	498	593	807	707	962	1256
	max. g SAN, ABS <sup>1)</sup>	278	344	416	488	581	791	693	943	1231
Cellulose acetate	max. g CA <sup>1)</sup>	327	404	488	574	683	930	814	1108	1447
Celluloseacetobutyrate	max. g CAB <sup>1)</sup>	304	375	454	534	635	865	757	1030	1346
Polymethyl methacrylate	max. g PMMA	300	371	449	527	627	854	747	1017	1329
Polyphenylene ether, mod.	max. g PPE	270	333	403	473	563	767	671	914	1194
Polycarbonate	max. g PC	305	377	456	536	638	868	760	1034	1351
Polysulphone	max. g PSU	316	390	471	554	659	897	785	1069	1396
Polyamides	max. g PA 6.6   PA 6 <sup>1)</sup>	289	357	431	507	603	821	719	978	1278
	max. g PA 6.10   PA 11 <sup>1)</sup>	270	333	403	473	563	767	671	914	1194
Polyoximethylene (Polyacetal)	max. g POM	359	443	536	630	749	1020	893	1215	1588
Polyethylene terephthalate	max. g PET	346	427	517	607	723	984	861	1172	1531
Polyethylene	max. g PE-LD	219	271	328	385	458	624	546	744	971
	max. g PE-HD	227	280	339	398	473	644	564	768	1003
Polypropylene	max. g PP	232	286	346	406	484	658	576	784	1025
Fluoropolymerides	max. g FEP, PFA, PCTFE <sup>1)</sup>	465	574	695	816	971	1322	1157	1575	2058
	max. g ETFE	408	504	609	716	852	1160	1015	1382	1805
Polyvinyl chloride	max. g PVC-U	351	434	525	616	734	998	874	1190	1554
	max. g PVC-P <sup>1)</sup>	324	401	485	569	678	922	808	1099	1436

1) average value

**ARBURG GmbH + Co KG**  
 Arthur-Hehl-Strasse  
 72290 Lossburg  
 Tel.: +49 7446 33-0  
[www.arburg.com](http://www.arburg.com)  
[contact@arburg.com](mailto:contact@arburg.com)