

# Konstrukce vstřikovací formy pro dvoukomponentní vstřikování

Bc. Tomáš Pytlík

---

Diplomová práce  
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

\*\*\*nascannované zadání s. 1\*\*\*

\*\*\*nascannované zadání s. 2\*\*\*

\*\*\* naskenované Prohlášení str. 1\*\*\*

\*\*\* naskenované Prohlášení str. 2\*\*\*

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá konstrukcí vstřikovací formy určené pro vícekomponentní vstřikování. Zadaným výrobkem je šroubovák, který je složen ze dvou polymerních materiálů a kovového dílu. Teoretická část obsahuje popis polymerních materiálů, technologie vstřikování, vstřikovacího stroje a jeho částí. Tato část dále pojednává o nejčastěji používaných speciálních vstřikovacích technologiích a příkladech konstrukce vstřikovacích forem, které se využívají v oblasti vícekomponentního vstřikování. Praktická část, obsahuje návrh a řešení vstřikovací formy pro zadaný výrobek, včetně tokových analýz v CAE aplikaci.

Klíčová slova: konstrukce formy, vícekomponentní vstřikování

## **ABSTRACT**

This master thesis describes the construction of multi-component injection moulds. Product is a screwdriver which is composed of two polymeric materials and metal part. The theoretical part contains describe of polymeric material, technology of injection, injection machines and its parts. This part of master thesis also describe the most commonly used special injection technologies and examples of design of injection molds which are used in muti-component injection. The practical part contains design and solution injection mould for product including a flowing analysis in CAE software.

Keywords: design of injection mould, multicomponent injection

Poděkování:

Velmi děkuji za podporu, aktivní přístup, ochotu a cenné rady, které mi poskytl vedoucí diplomové práce Ing. Štěpán Šanda.

Motto:

„Každý, kdo mi lichotí, je mým nepřítelem. Každý, kdo mě kritizuje, je mým učitelem“

Čínské přísloví

Prohlašuji, že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvolněno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně, .....

.....

Podpis

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>11</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>12</b>
<b>1 POLYMERNÍ MATERIÁLY</b> .....	<b>13</b>
1.1 ROZDĚLENÍ POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ .....	13
1.2 TERMOPLASTY .....	14
1.2.1 Amorfnní termoplasty .....	15
1.2.2 Semikrystalické termoplasty .....	16
1.3 PŘÍSADY .....	17
1.3.1 Zpracovatelské přísady .....	18
1.3.2 Antidegradanty .....	18
1.3.3 Síťovací prostředky .....	19
1.3.4 Přísady ovlivňující fyzikální vlastnosti .....	19
1.3.5 Zvláštní přísady .....	20
1.4 ADHEZE POLYMERŮ U VÍCEKOMPONENTNÍHO VSTŘIKOVÁNÍ .....	20
1.4.1 Podmínky mísitelnosti a kompatibility materiálů .....	21
1.4.2 Výběr materiálu pro vícekomponentní vstřikování .....	22
<b>2 VSTŘIKOVÁNÍ</b> .....	<b>24</b>
2.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS.....	24
2.1.1 Vstřikovací cyklus plastikační jednotky.....	24
2.1.2 Vstřikovací cyklus formy .....	25
2.2 VSTŘIKOVACÍ STROJ .....	26
2.2.1 Vstřikovací jednotka .....	27
2.2.2 Uzavírací jednotka.....	28
2.2.3 Řídící jednotka .....	31
2.3 SPECIÁLNÍ TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ .....	31
2.3.1 Asistenční vstřikování .....	31
2.3.2 Vícekomponentní vstřikování .....	32
<b>3 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY</b> .....	<b>36</b>
3.1 POSTUP PŘI KONSTRUKCI VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	36
3.2 ZAFORMOVÁNÍ VÝROBKU .....	36
3.3 VTOKOVÝ SYSTÉM.....	37
3.3.1 Studený vtokový systém.....	37
3.3.2 Horký vtokový systém.....	38
3.4 VYHAZOVCÍ SYSTÉM .....	39
3.4.1 Mechanické vyhazování .....	40
3.4.2 Pneumatické vyhazování .....	41
3.4.3 Hydraulické vyhazování .....	41



3.5	TEMPERAČNÍ SYSTÉM .....	41
3.6	ODVZDUŠNĚNÍ FORMY .....	43
3.7	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ VÍCEKOMPONENTNÍCH FOREM.....	43
3.7.1	Systém šoupátek .....	43
3.7.2	Rotace vyhazovací strany kolem stavební osy .....	44
3.7.3	Rotace části formy kolem horizontální osy .....	45
3.7.4	Metoda indexových desek a vložek.....	45
3.7.5	Využití manipulačních robotů .....	46
<b>4</b>	<b>ZÁVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI.....</b>	<b>47</b>
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>48</b>
<b>5</b>	<b>CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE .....</b>	<b>49</b>
<b>6</b>	<b>POUŽITÁ SOFTWAREVÁ PODPORA KONSTRUKCE.....</b>	<b>50</b>
6.1	CATIA V5R18 .....	50
6.2	HASCO DAKO .....	50
6.3	GUNTHER CAD-DATA .....	50
6.4	AUTODESK MOLDFLOW 2011 .....	51
<b>7</b>	<b>ZADANÝ DVOUKOMPONENTNÍ VÝROBEK.....</b>	<b>52</b>
7.1	POUŽITÉ MATERIÁLY VÝROBKU.....	53
7.1.1	Materiál kovového dílu .....	53
7.1.2	Materiál nosného těla šroubováku.....	54
7.1.3	Materiál kontaktního dílu šroubováku .....	55
7.2	VARIANTY DÍLŮ ŠROUBOVÁKU .....	56
7.2.1	Řešení vstřikovaných částí šroubováku .....	56
7.2.2	Řešení tvaru kovového dílu.....	57
7.3	PEVNOSTNÍ A TECHNOLOGICKÉ ÚPRAVY VSTŘIKOVANÝCH DÍLŮ.....	58
<b>8</b>	<b>KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ VÝROBY ŠROUBOVÁKU .....</b>	<b>59</b>
8.1	VÝROBNÍ CYKLUS ŠROUBOVÁKU.....	60
8.2	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ PŘÍPRAVKU .....	61
<b>9</b>	<b>KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY.....</b>	<b>63</b>
9.1	NÁSOBNOST FORMY .....	63
9.2	NÁSOBNOST FORMY PRO CAE APLIKACI .....	63
9.3	UMÍSTĚNÍ VTOKU DLE CAE APLIKACE.....	64
9.4	ZAFORMOVÁNÍ .....	66
9.5	VTOKOVÉ SYSTÉMY.....	67
9.5.1	Fiktivní vtokové systémy pro vstřikování PP a TPE-V .....	68

9.6	VYHAZOVACÍ STRANA VSTŘIKOVACÍCH FOREM.....	69
9.7	VYHAZOVACÍ SYSTÉM .....	70
9.8	VSTŘIKOVACÍ STRANA FOREM .....	73
9.9	TEMPERAČNÍ SYSTÉM .....	74
9.9.1	Fiktivní temperační systém na straně tvárníku pro PP, TPE-V.....	74
9.9.2	Fiktivní temperační systém na straně tvárnice pro PP, TPE-V .....	75
9.10	ODVZDUŠŇOVACÍ SYSTÉM.....	76
9.11	VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE.....	77
9.12	FIKTIVNÍ VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	77
<b>10</b>	<b>ANALÝZY VSTŘIKOVÁNÍ DÍLU Z PP .....</b>	<b>79</b>
10.1	DOKONČENÍ FIKTIVNÍ VSTŘIKOVACÍ FORMY V AUTODESK MOLDFLOW 2011 .....	79
10.2	DOPLNĚNÍ PARAMETRŮ VSTŘIKOVÁNÍ A VOLBA OKRAJOVÝCH PODMÍNEK.....	80
10.2.1	Volba temperačních prostředků .....	80
10.3	DOPLNĚNÍ VSTŘIKOVACÍCH PARAMETRŮ A VOLBA OKRAJOVÝCH PODMÍNEK.....	81
10.4	VÝSLEDKY TOKOVÉ ANALÝZY VSTŘIKOVANÉHO DÍLU Z PP.....	83
<b>11</b>	<b>ANALÝZY VSTŘIKOVÁNÍ DÍLU Z TPE-V .....</b>	<b>92</b>
11.1	DOKONČENÍ FIKTIVNÍ VSTŘIKOVACÍ FORMY V AUTODESK MOLDFLOW 2011 .....	92
11.2	DOPLNĚNÍ PARAMETRŮ VSTŘIKOVÁNÍ A VOLBA OKRAJOVÝCH PODMÍNEK.....	93
11.2.1	Volba temperačních prostředků .....	93
11.3	DOPLNĚNÍ VSTŘIKOVACÍCH PARAMETRŮ A VOLBA OKRAJOVÝCH PODMÍNEK.....	94
11.4	VÝSLEDKY TOKOVÉ ANALÝZY VSTŘIKOVANÉHO DÍLU Z TPE-V.....	96
<b>12</b>	<b>MECHANICKÉ ANALÝZY .....</b>	<b>103</b>
12.1	VÝSLEDKY MECHANICKÉ ANALÝZY TVÁRNICE PRO VSTŘIKOVÁNÍ PP .....	104
12.2	VÝSLEDKY MECHANICKÉ ANALÝZY TVÁRNICE PRO VSTŘIKOVÁNÍ TPE-V.....	104
	<b>DISKUZE VÝSLEDKŮ .....</b>	<b>106</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>108</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>109</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>111</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>112</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>116</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>117</b>

## ÚVOD

V současné době patří polymerní materiály mezi významné a nepostradatelné konstrukční materiály, které díky rozvoji ve zpracovatelských technologiích, nacházejí stále nová uplatnění a úspěšně nahrazují dříve používané konstrukční materiály. S ohledem na potenciál těchto materiálů, lze předpokládat, že tento vzestupný trend bude dále pokračovat. Nevýhodou požití polymerních materiálů prozatím zůstává jejich omezená recyklovatelnost a částečná závislost na neobnovitelných zdrojích. V případě vyřešení tohoto problému, polymerní materiály zaujmou přední příčky produkce.

Důvodem zvyšující se produkce polymerních materiálů, jsou jejich výhodné mechanické, chemické a fyzikální vlastnosti, které doplňují nebo nahrazují běžně používané konstrukční materiály. Z hlediska zpracovatelnosti jsou polymerní materiály snadno tvarovatelné a energetická náročnost při jejich zpracování je v porovnání s kovovými materiály výrazně nižší.

Jedním z nejvíce využívaných zpracovatelských postupů je technologie vstříkování, která prodělala největší rozvoj v druhé polovině 20. století. V současné době existuje celá řada speciálních způsobů vstříkování, které umožňují vyrábět výrobky nejrůznějších tvarů a provedení.

Téma této diplomové práce je zaměřeno na konstrukci vícekomponentního vstříkovaného výrobku a nástroje pro jeho výrobu. Konstrukční řešení výrobku i nástroje je komplikované z důvodu užití více druhů polymerních materiálů v kombinaci s kovovou částí.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 POLYMERNÍ MATERIÁLY

Polymery jsou makromolekulární látky, obsahující atomy vodíku, uhlíku a dalších prvků. Patří do skupiny významných konstrukčních materiálů s širokou aplikací, která je dána jejich specifickými mechanickými a fyzikálními vlastnostmi. Vnitřní struktura je pak tvořena makromolekulárními řetězci, které obsahují základní pravidelně se opakující stavební jednotkami – mery. Tyto stavební jednotky mohou obsahovat jeden nebo více druhů atomů, které upravují chemické, fyzikální a výsledné mechanické vlastnosti. [1,2]

## 1.1 Rozdělení polymerních materiálů

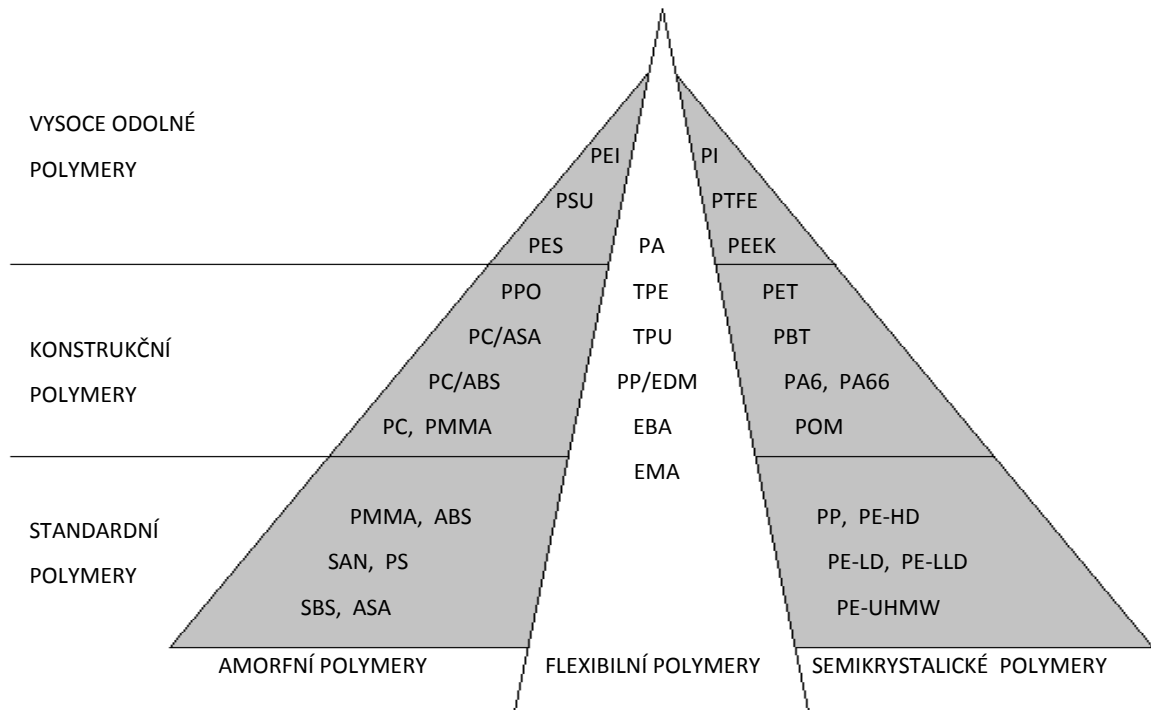
Rozdělení polymerních materiálů je možné provést, podle celé řady kritérií, např.: rozdělení podle původu, počtu monomerních jednotek, druhu polymerace a chemického složení. Nejvíce používané je rozdělení podle teplotního chování (tab. 1.), které dělí polymerní materiály do následujících skupin [2]:

- termoplasty, jsou látky opakovaně tavitelné, ve kterých neprobíhá chemická změna složení;
- reaktoplasty, jsou skupinou látek opakovaně netavitelných. Důvodem je změna chemického složení a vznik prostorových vazeb, za procesu vytvrzování;
- termoplastické elastomery, představující druh polymerních materiálů, kde vlastnosti za běžných teplot odpovídají elastomerům, ale z hlediska zpracování se chovají jako termoplasty;
- elastomery, látky opakovaně netavitelné, kde za procesu vulkanizace vznikne prostorová síť.

Tab. 1.: Základní rozdělení polymerních materiálů [2]

POLYMERNÍ MATERIÁLY			
TERMOPLASTY	REAKTOPLASTY	TERMOPLASTICKÉ ELASTOMERY	KAUČUKY
Amorfní Semikrystalické	Dle chemického složení	S vysokou tvrdostí S nízkou tvrdostí	Přírodní Syntetické

V technické praxi se často používají grafické pomůcky (obr. 1.), které usnadňují volbu polymerních materiálů v závislosti na jejich užitných, mechanických nebo fyzikálních vlastnostech. [2]



Obr. 1.: Rozdělení termoplastů s ohledem na strukturu a aplikaci [2]

## 1.2 Termoplasty

Termoplasty jsou skupinou opakovaně tavitelných polymerních materiálů, ve kterých při tuhnutí, nedochází k chemickým změnám. Proces tuhnutí je tedy fyzikální a vyznačuje se vznikem fyzikálních vazeb - fyzikálních interakcí (mezimolekulární vazby, vodíkové můstky, indukovanými dipóly). [2,3]

Ze zpracovatelského hlediska patří termoplasty, mezi nejvíce zastoupený druh polymerních materiálů, který je zpracováván pomocí technologie vstřikování. Použití a způsob zpracování termoplastů, je úzce spjatý s jejich mechanickými, fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Mezi největší přednosti termoplastů, patří [2,3]:

- mechanická pevnost při krátkodobé nebo dlouhodobé statické i dynamické zátěži;
- významné elektrické (dielektrické) vlastnosti;
- odolnost vůči korozi a chemická odolnost;

- optické (vzhledové) vlastnosti;
- reologické vlastnosti při toku;
- výrobní přesnost (vycházející ze smrštění);
- citlivost na technologické parametry.

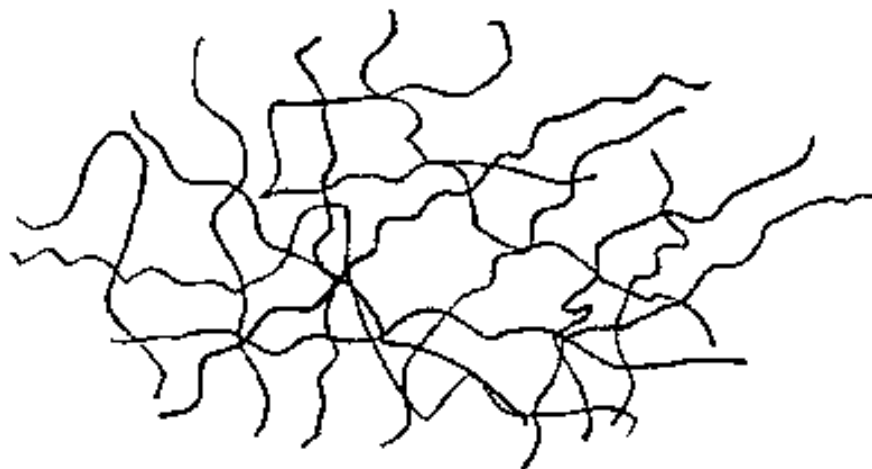
S přihlédnutím k procentuálnímu uspořádání a způsobu uložení polymerních řetězců, se často setkáme s následujícím rozdělením termoplastů na [2,3]:

- amorfnní termoplasty;
- semikrystalické termoplasty.

### 1.2.1 Amorfnní termoplasty

Amorfnní termoplasty představují početnou skupinu polymerních materiálů s nahodile uspořádanou strukturou makromolekulárních řetězců (obr. 2.). Hovoříme pak o tom, že se polymerní řetězce v tuhém stavu vyskytují ve formě statistického klubka a tedy v neuspořádaném stavu. Tato struktura se pak výrazně ovlivňuje výsledné vlastnosti. Mezi výhodné vlastnosti amorfnních termoplastů patří [1]:

- mechanické vlastnosti (tvrdost, vysoká pevnost a vysoký modul pružnosti);
- fyzikální vlastnosti (nižší teplotní roztažnost než u semikrystalických termoplastů; nízký index lomu a vysoká optická propustnost – až 92%);
- chemické vlastnosti (rozpuštnost v organických rozpouštědlech).



Obr. 2.: Nadmolekulová struktura amorfnního polymeru [20]

Z hlediska zpracovatelnosti amorfních termoplastů je důležité vymezit oblast jejich použití. Teplota skelného přechodu -  $T_g$  pod kterou, se amorfní polymery nacházejí ve stavu sklovitém - tuhém a konformace (neboli prostorové uspořádání – otáčení segmentů makromolekul kolem jednoduchých vazeb) makromolekul je zamrzlá. Po dosažení teploty  $T_g$ , mají segmenty dostatek prostoru pro změnu své konformace a více, či méně významně se mění fyzikální vlastnosti polymeru. Teplota skelného přechodu se dá ovlivnit - snížit, použitím změkčovadel nebo rozpouštědel. [1]

Nad teplotou  $T_g$  dojde k překonání mezimolekulárních sil a v místě působení silnějších, sekundárních vazebných sil může dojít k ohýbání makromolekul. Jelikož jsou statistická klubka makromolekul mezi sebou propletena, ale v místě těchto propletenin jsou segmenty již pohyblivé, lze materiál za minimální síly poměrně silně deformovat. Vlivem částečného toku materiálu nad  $T_g$  dojde v důsledku určitého posunu makromolekul, ke vzniku trvalé zbytkové deformace. Polymer se nachází ve stavu viskoelastickém. [1]

Zvyšujeme-li teplotu ještě více, uvolní se interakce (propleteniny) makromolekul až úplně vymizí a polymer dosáhne teploty toku -  $T_f$ . Nad touto teplotou se pak nachází ve stavu plastickém. Pro zpracovatelské technologie je tedy nutné dosáhnout minimálně teploty nad  $T_g$  (tvarování) u vstřikovacího procesu je nutné překročit teplotu  $T_f$ . [1]

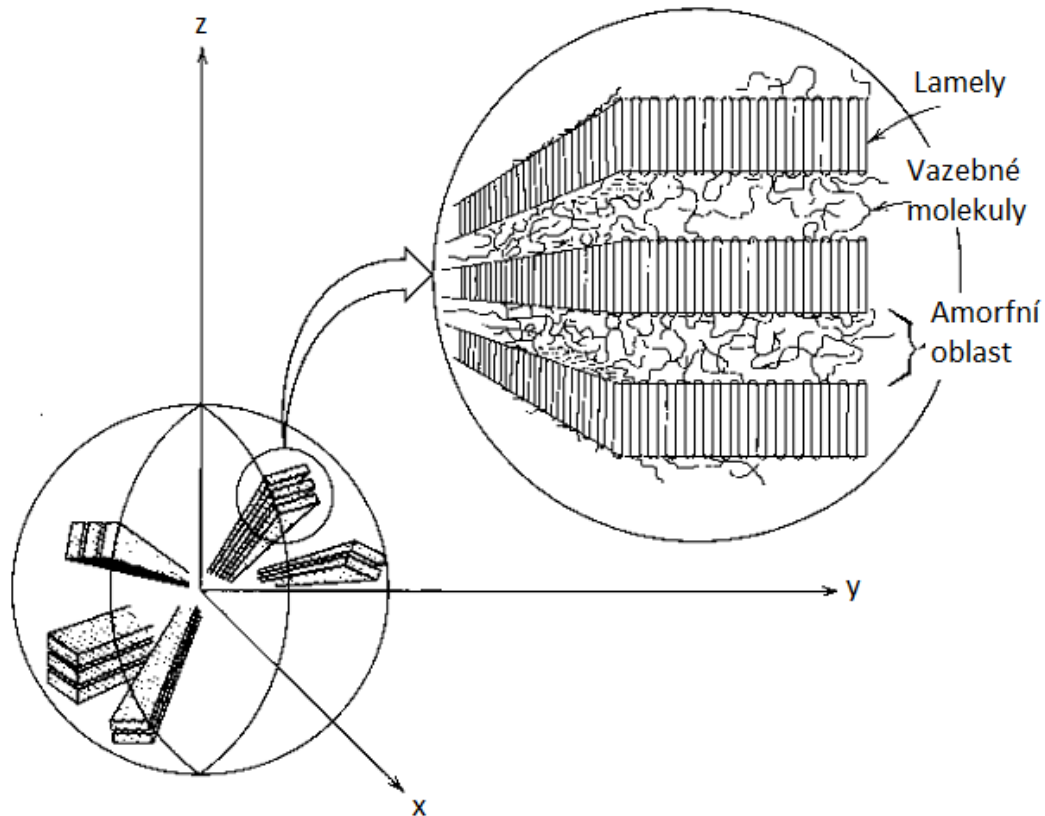
### 1.2.2 Semikrystalické termoplasty

Semikrystalické termoplasty jsou skupinou polymerním materiálů, které se vyznačují částečně uspořádaným stavem makromolekul (až z 90% krystalické). Makromolekuly mají charakteristické uspořádání a skládají se do lamel (obr. 3.), které tvoří kruhovitě útvary neboli sférolity. Takto vytvořená struktura pak udává výsledné vlastnosti semikrystalických termoplastů. Mezi významné vlastnosti patří především [1]:

- mechanické vlastnosti (houževnatost, růst pevnosti a modulu pružnosti s rostoucí krystalinitou);
- fyzikální vlastnosti (větší index lomu, nízká optická propustnost – neprůhledné nebo mléčné zakalení);
- chemické vlastnosti (nízká rozpustnost v organických rozpouštědlech).



V základním, tuhém stavu se termoplasty vyskytují v krystalické fázi, kdy jsou segmenty makromolekul uspořádány. Nesmíme však zapomenout na to, že nelze dosáhnout ideálního krystalického stavu (100%) a struktura vždy obsahuje také amorfní podíl. [1]



Obr. 3.: Sférolit a uložení polymerních řetězců v lamelách [2]

Nyní si představme případ, kdy ochlazujeme reálný, semikrystalický polymer na teplotu tání  $T_m$ . V tomto případě, dojde k zafixování segmentů v krystalickém podílu a jejich další pohyb je tímto vyloučen. Segmenty v amorfním podílu se však mohou dále, až do dosažení teploty  $T_g$  pohybovat, poté i jejich pohyb zamrzá. [1]

### 1.3 Přísady

Téměř jakýkoliv polymerní materiál, vhodný pro vstřikování, je ve svém základním stavu pro tuto technologii nepoužitelný. Aby bylo možné řídit, kontrolovat a upravovat tokové a výsledné užité vlastnosti zpracovávaného materiálu (chemické, mechanické, fyzikální apod.), je nutné použít specifické přísady. [4,3]

### 1.3.1 Zpracovatelské přísady

Zpracovatelské přísady jsou látky, které slouží zejména k zlepšení tokového chování materiálu během procesu zpracování. Mezi nejdůležitější skupiny pak patří [4,3]:

- plastikační činidla jsou látky, které usnadňují zpracování kaučuků, zlepšují plastickaci – zvyšují účinnost a rychlost hnětení;
- maziva jsou chemické látky, přidávané za účelem zlepšení zpracovatelnosti, užitečných a konečných vlastností výrobku. Napomáhají separaci výrobku od pracovního povrchu nebo snižují viskozitu polymerní taveniny;
- separační činidla nám slouží k usnadnění vyjímání výrobků z forem;
- pomocné zpracovatelské přísady jsou látky, které přidáváme do kaučukových směsí za účelem snížení viskozity bez zásahu do užitečných vlastností pryže;
- změkčovadla jsou organické látky, které polymerním materiálům propůjčují vlastnosti jako je ohybnost, tvárnost a vláčnost. Dále snižují teplotu skelného přechodu a viskozitu, protože zvyšují vnitřní pohyblivost makromolekulárních řetězců;
- tepelné stabilizátory patří do skupiny zpracovatelských přísad, které chrání polymerní materiály před tepelnou degradací a umožňují tváření a tvarování za tepla.

### 1.3.2 Antidegradanty

Antidegradanty jsou širokou skupinou přísad, které používáme za účelem ochrany polymerních materiálů, proti působení prostředí. Lze je rozdělit na [4,3]:

- světelné stabilizátory, jsou látky schopné absorpce ultrafialového záření, které způsobuje degradaci. Stabilizátor přemění ultrafialovou část světla na energeticky chudší záření, které není pro polymery škodlivé;
- antioxidanty jsou látky, které zabraňují tepelně-oxidačnímu stárnutí polymeru a zastavují oxidační řetězové reakce;
- antiozonanty, patří do skupiny chemických látek, které brání degradačním procesům převážně pryžových materiálů. I přesto, že množství ozónu ve vzduchu je nízké, velmi snadno reaguje s dvojnými vazbami makromolekul za vzniku povrchových trhlin.

### 1.3.3 Síťovací prostředky

Síťovací prostředky jsou důležitou skupinou látek, které za teploty spojují lineární a rozvětvené makromolekulární řetězce příčnými vazbami. Výsledným uspořádáním, je pak prostorová síť. Můžeme je rozdělit na [4,3]:

- síťovací činidla jsou nepostradatelné chemické látky, bez kterých by nemohlo dojít k vytvoření prostorové sítě;
- aktivátory síťování představují látky, které slouží ke zmenšení potřebné aktivační energie reakce. Výsledkem je snížení závislosti rychlosti síťování na teplotě a také větší hustota prostorové sítě;
- urychlovače síťování je název pro látky, které nám zkracují čas, potřebný pro síťování, čímž zvyšují efektivnost procesu síťování.

### 1.3.4 Přísady ovlivňující fyzikální vlastnosti

Tyto přísady, představují širokou skupinu, která je běžně používaná pro zlepšení zpracovatelnosti a konečných užitných vlastností výrobku. Nejčastěji se setkáme s následujícími přísadami [4,3]:

- plniva jsou důležité tuhé látky, které významně upravují mechanické a fyzikální vlastnosti. Nejčastěji se užívají skleněné kuličky, vláknitá nebo prášková plniva. Přidáním těchto přísad vytvoříme tzv. kompozitní materiál;
- vyztužovadla jsou látky, které svým tvarem a strukturou zpevňují výrobky z polymeru. Jedná se především o vláknité a textilní materiály;
- nadouvadla jsou látky, přidané za účelem získání lehčených hmot. Principem je rozklad nadouvadla za vzniku plyných produktů (oxid uhličitý nebo dusík). Tyto plyny nám pak ve výrobku vytvářejí prázdné inkluze – póry;
- pigmenty nebo také barevné prášky jsou nerozpustné v polymerech a používáme je, abychom danému polymeru přidělili požadovaný barevný odstín;
- optické zesvětlující látky, představují poslední skupinu přísad. Jejich funkcí je absorpce části ultrafialového světla. Tato energie je zpětně vyzařována během osvětlování ve formě fluorescence (záření má větší vlnovou délku než UV) a lidské oko tento fakt vnímá tak, že pozorovaná barva mu připadá jasnější.

### 1.3.5 Zvláštní přísady

Jsou poslední skupinou přísad sloužících k dosažení specifických vlastností, které nelze doposud uvedenými přísadami získat. Jejich dávkování se řídí, stejně jako u všech předchozích pravidlem - DSK. Jedná o způsob označení množství, kdy počet hmotnostních dílu DSK připadá na 100 hmotnostních dílu polymerního materiálu. Do této skupiny patří [4,3]:

- antistatické prostředky jsou látky, které zvýší elektrickou vodivost polymerního materiálu natolik, že jsou schopny odvádět elektrostatický náboj;
- faktisy jsou látky, které se používají ke zlepšení povrchů výtlaků, dále zlepšují tvarovou stálost;
- adhezními prostředky máme na mysli látky, které snižují problémy s nedostatečnou přilnavostí polymerů k ostatním materiálům;
- prostředky snižující hořlavost jsou látky, které můžeme rozdělit na retardéry hoření a zhášedla;
- brusné prostředky se přidávají do polymeru za účelem, pojmout co nejvíce přísad, pak o těchto přísadách můžeme hovořit jako o pojivech;
- výbušniny jsou poslední obsáhlejší skupinou přísad. Běžněji však používáme název plastické trhaviny.

## 1.4 Adheze polymerů u vícekomponentního vstřikování

Pro velikost adheze a vznik pevného spoje u vícekomponentního vstřikování jsou nejdůležitější, následující mechanismy [5,6,7]:

- mechanicko-tvarové spojení, které vytvoří tvarově nerozebíratelnou vazbu. Jednotlivé části zde mohou být vůči sobě pohyblivé, ale pouze tehdy, pokud je tento pohyb tvarově povolen;
- mechanicko - třecí spoje, jsou vazby, které vzniknou působením třecích sil. I zde jsou jednotlivé části tvarově nerozebíratelné a jejich rozhraní jsou odděleny;

- těsné materiálové spojení je označováno také jako pevné spojení. Toto spojení je charakteristické vznikem chemických vazeb u polymerních materiálů. Pro polymerní materiály pak musí platit podmínky mísitelnosti nebo kompatibility;
- kombinace předchozích spojení je poslední podmínkou pro vznik pevného spojení dvou nebo více polymerních materiálů.

#### 1.4.1 Podmínky mísitelnosti a kompatibility materiálů

Představují podmínky, nutné pro kvalitní spojení dvou nebo více polymerních materiálů na molekulární úrovni, během procesu zpracování. Jednotlivé materiály musí být mezi sebou mísitelné nebo kompatibilní. [5,6,7]

Podmínky mísitelnosti vycházejí z oblasti termodynamiky. Můžeme říci, že dva nebo více polymerů jsou vzájemně mísitelné za předpokladu, dojde-li k úplnému propletení polymerních řetězců při vzniku mezimolekulárních sil. V tabulce 2, nalezneme charakteristické parametry polymeru, které ovlivňují mísitelnost. [5,6,7]

Tab. 2.: Parametry ovlivňující mísitelnost [5,6,7]

Název parametru	Popis ovlivnění mísitelnosti
Polarita	Růst pravděpodobnosti smísení u polymerů s podobnou nebo stejnou polaritou.
Specifické interakce	Disperzní síly, vodíkové můstky, přenos náboje - mísitelnost roste.
Poměr složek	Malé množství polymeru A lze rozpustit ve velkém množství polymeru B i přesto, že polymery A, B jsou nemísitelné.
Krystalinita	Vysoký podíl krystality je nevýhodný. Výjimkou je vytvoření kokrystalizační – společné fáze, během krystalizace více složek.
Molární hmotnost	Nízká molární hmotnost polymerů znamená lepší mísitelnost. Jsou-li molární hmotnosti podobné, pak je mísitelnost lepší než u polymerů s různou molární hmotností.

Podmínky kompatibility se objevují v případech promísení polymerních látek, které jsou navzájem nemísitelné (tab. 2.). V tomto případě pak postačí vytvořit kompatibilitu pouze na fázovém rozhraní, což vede k zvětšení soudržnosti a zvýšení propojení polymerních materiálů (tab. 3.). [5,6,7]

Tab. 3.: Postupy ke zvýšení kompatibility [6,7]

Název postupu	Popis
Přidání malého množství třetí látky do systému dvou polymerů.	Může se jednat o společné rozpouštědlo, kdy přidaná látka je mísitelná s oběma polymery. Druhou možností je použití kopolymeru, kde jedna jeho část je mísitelná s prvním polymerem a další část pak s druhým polymerem.
Přidání velkého množství kopolymeru.	Kopolymer se chová jako rázový modifikátor a současně jako kompatibilizátor.
Dosažením reaktivní kompatibility.	Ta má za úkol ovlivnit interakce domén a vytvořit jemnější strukturu prostřednictvím chemických vazeb mezi dvěma homopolymery. Děje se tak během procesu polymerace (kopolymerace) nebo během tvářecího procesu.

#### 1.4.2 Výběr materiálu pro vícekomponentní vstřikování

Při výběru materiálů vhodných pro vícekomponentní vstřikování využíváme především vlastních zkušeností, experimentů nebo zkušeností a výsledků experimentů zpracovaných od příslušných výrobců materiálu, popřípadě výrobců vstřikovacích strojů. Nejčastěji se setkáváme s grafickými pomůckami, příkladem mohou být grafy nebo tabulky (obr. 4.). Chceme-li však mít lepší představu o spojení (adhezi) u námi vybrané skupiny materiálů, pak je velmi výhodné provést zkušební testy. Podobně jako u ostatních skupin materiálů, se i zde používají výsledky mechanických zkoušek. Tyto mechanické zkoušky se volí především v závislosti na druhu vstřikování a na požadované funkci materiálů. [7]

KOMBINACE MATERIÁLŮ		KOMBINACE MATERIÁLŮ																												
		ABS	ASA	CA	EVA	PA 6	PA 6.6	PBT	PC	PE	PET	PMMA	POM	PP	PPO mod.	PS	PSU	Plasticised PVC	SAN	TPE-A	TPE-E	TPE-S	TPE-U	TPE-V	EPDM	NR/SBR	SBR	LSR		
TERMOPLASTY	ABS																													
	ABS/PC																													
	ASA																													
	CA																													
	EVA																													
	PA 6																													
	PA 6 (mod. + 25% GF)																													
	PA 6.6																													
	PA 6.6 (mod. + 25% GF)																													
	PA 6.12																													
	PA 12 (mod. + 25% GF)																													
	PBT																													
	PC																													
	PC/PBT																													
	PE																													
	PET																													
	PMMA																													
	POM																													
	PP																													
	PPO mod.																													
	PPE mod.																													
	PS																													
PSU																														
PVC-hart																														
SAN																														
TPE-E																														
TPE-U																														
D	BMC																													
ELASTOMERY	EPDM																													
	NR																													
	SBR																													
	LSR																													

Dobrá adheze
  Špatná adheze
  Nespojitelné  
 Upravená adheze
  Adheze na rozhraní
  Adheze na rozhraní prostřednictvím

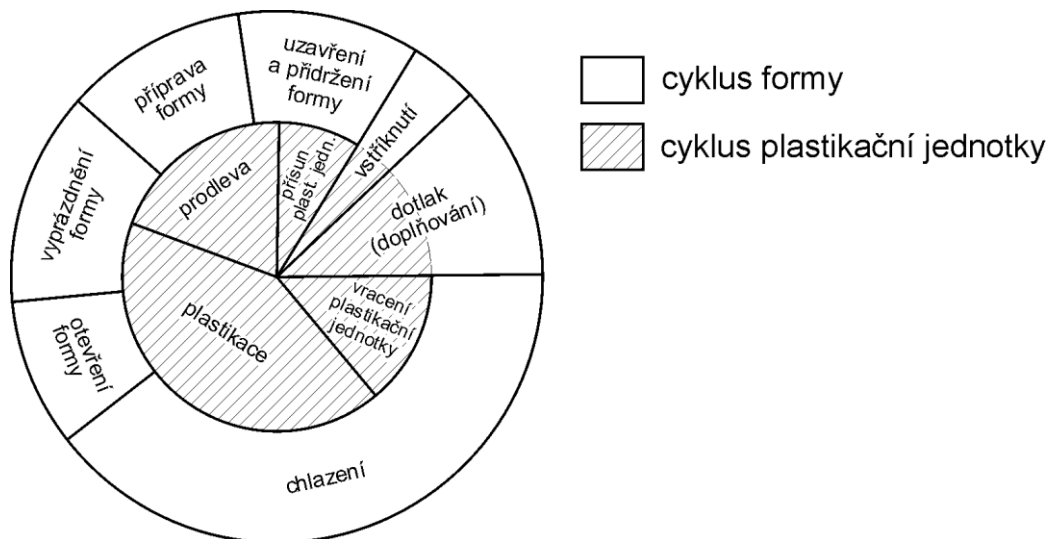
Obr. 4.: Tabulka adheze polymerních materiálů firmy Demag

## 2 VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování je způsob zpracování polymerních a neželezných materiálů (například hliníku), jehož podstatou je plnění dutiny formy vysokou rychlostí, vstřikovaným materiálem v plastickém stavu. Jedná se o cyklický tvářecí a diskontinuální proces. Obecně patří mezi nejvíce používaný způsob, výroby plastových součástí. Pro technologii vstřikování, je zapotřebí vstřikovací stroj, nástroj - vstřikovací forma a vstřikovaný materiál, popřípadě pomocné zařízení (například manipulátory, temperační jednotky, sušárny, kontrolní zařízení apod.). Dále se zabývejme pouze vstřikováním polymerních materiálů. Veškeré děje, které ve formě probíhají, lze pak popsat mechanicky, chemicky nebo fyzikálně (případně jejich kombinací). Podrobněji tyto děje popisuje obor s názvem reologie. [4,8]

### 2.1 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus (obr. 5.) slouží pro popis pohybů částí vstřikovacího stroje a dějů vstřikovací formy. Jednoznačně nám určuje sled událostí, které vedou ke zhotovení finálního výrobku.



Obr. 5.: Vstřikovací cyklus [4]

#### 2.1.1 Vstřikovací cyklus plastikační jednotky

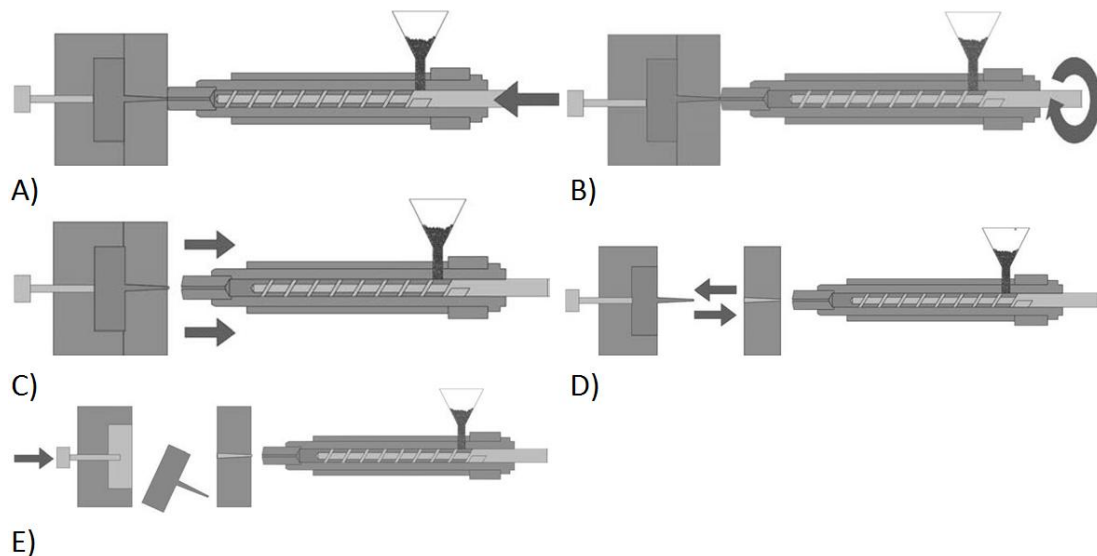
Vstřikovací cyklus (obr. 6.) začíná příjezdem plastikační jednotky ke vstřikovací formě, tím je dosaženo jejich vzájemného kontaktu. Nastává fáze vstřiku, neboli plnění dutiny formy polymerním materiálem. V této části se šnek v plastikační jednotce chová



jako píst a svým pohybem udělí vysokou rychlost polymerní tavenině a vstříkne jí do dutiny formy.

Po skončení plnění a plném nebo částečném vyplnění dutiny formy může vstřikovací cyklus obsahovat dotlak. Jeho úkolem je doplnit (za nižšího tlaku než je vstřikovací) prostor dutiny formy z důvodu objemové kontrakce (smrštění polymeru), vzniklé během tuhnutí. Samotný dotlak je možné vynechat v případě vstřikování tenkostěnných výrobků nebo zvláštních druhů vstřikování (lehčených výrobků, GIT, WIT). Konec dotlakové fáze je dán dobou zatuhnutí vtokových ústí.

Je-li dutina vyplněna a vtoková ústí jsou zatuhlá, nemá cenu působit dále dotlakem a plastikační jednotka se vrací zpět, do původní polohy. Do prostoru šneku opět proudí tuhý materiál ve formě granulátu, které je za působení tlaku a teploty přeměněn na taveninu. Tato část cyklu se nazývá plastikace a šnek se v této fázi otáčí a vrací do původní polohy, ve které se nacházel před vstřikem materiálu. Poslední částí cyklu je prodleva, která je obsažena z důvodu přípravy formy pro další cyklus.



Obr. 6.: Popis vstřikovacího cyklu: A) Vstřikování materiálu, B) Otáčení šneku, C) Odjezd plastikační jednotky, D) Otevření formy, E) Vyprazdňování formy [9]

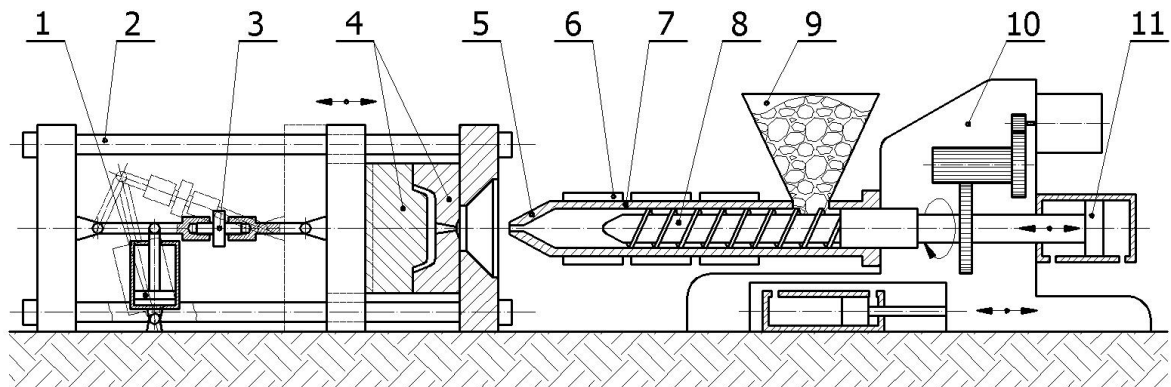
### 2.1.2 Vstřikovací cyklus formy

Vstřikovací cyklus u formy začíná jejím uzavřením. Velikost uzavírací síly v této části, by již měla být větší, než je maximální dosažený tlak v dutině formy (zjištěný z technologických zkoušek formy). V některých případech - dýchnutí formy, je forma zá-

měrně pootevřena, aby bylo možné během vstřikování vytlačit vzduch polymerní taveninou a formu tak během poměrně krátké doby odvzdušnit.

Dále nastává fáze vstřiku a dutina formy je velmi rychle zaplněna polymerní taveninou. Shodu s předchozí kapitolou také najdeme v působení dotlakové fáze, po jejíž skončení nastává proces chlazení, který je spojen s tuhnutím. Po dosažení vyhazovací teploty může být vstřikovací forma otevřena a působením vyhazovacího systému i vyprázdněna. Poslední částí cyklu je příprava formy. V tomto okamžiku můžeme formu ošetřit, provést kontrolu, vkládat kovové díly nebo jiné prvky. Následuje znovu proces uzavření a celý vstřikovací proces se opakuje.

## 2.2 Vstřikovací stroj



Obr. 7.: Vstřikovací stroj: 1- hydraulický válec, 2- vodící sloup, 3- závěrný mechanismus, 4- vstřikovací forma, 5- tryska vstřikovací jednotky, 6 - odporové topné pásy, 7- pracovní válce, 8- šnek, 9- násypka, 10- převodová skříň, 11- vstřikovací píst [11]

Vstřikovací stroj je zařízení, které přímo ovlivňuje kvalitu vstřikovaných výrobků. V současné době existuje řada konstrukcí a velký počet výrobců (například Demag, Arburg, Engel, Nestal a další). Na obrázku 7 nalezneme jednoduché schéma vstřikovacího stroje. Každý vstřikovací stroj musí obsahovat:

- vstřikovací jednotku;
- uzavírací jednotku;
- řídicí zařízení.

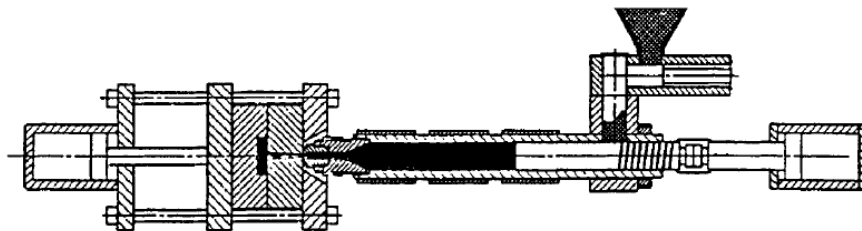
### 2.2.1 Vstřikovací jednotka

Vstřikovací jednotka představuje část vstřikovacího stroje, která obsahuje nezbytný mechanismus pro zpracování polymerních materiálů a umožňuje jejich transport do prostoru prostoru formy. Vstřikovací jednotky je možné rozdělit podle místa, ve kterém dojde k plastikaci na [10,12]:

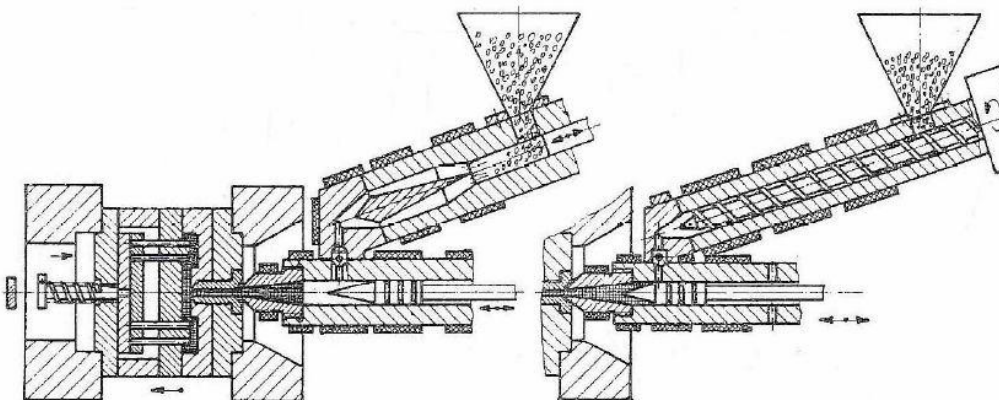
- vstřikovací jednotky bez předplastikace;
- vstřikovací jednotky s předplastikací.

Obečným znakem pro vstřikovací jednotky bez předplastikace je skutečnost, že k plastikaci dojde v prostoru pracovního válce, pak hovoříme o šnekové plastikaci (obr. 6.) nebo v tavící komoře – pístová plastikace (obr. 8.). [10,12]

S případem pístové plastikační jednotky, se v praxi příliš nesečkáme, protože se používají hlavně pro vstřikování elastomerů. Zcela nevhodné jsou pro zpracování teplotně citlivých plastů (např. PVC) a termosetů. Naproti tomu jednotky se šnekovou plastikací, představují široce používaný druh vstřikovacích jednotek, které se vyznačují snazší ovladatelností plastikace a vysokými výkony za vysokých nároků na údržbu. [10,12]



Obr. 8.: Vstřikovací pístová jednotka bez předplastikace [10]

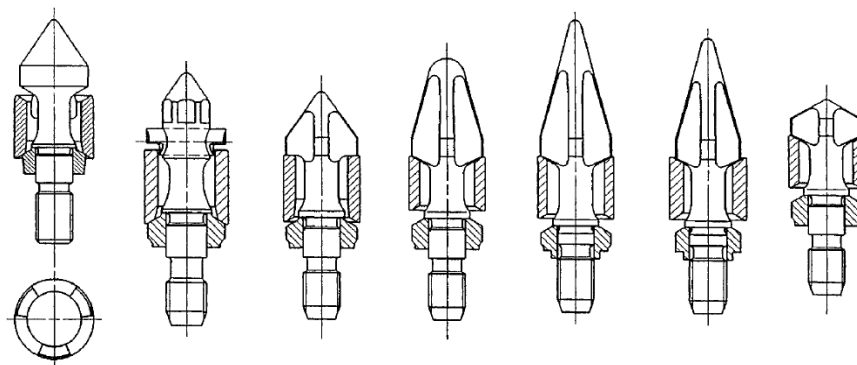


Obr. 9.: Vstřikovací pístová a šneková jednotka s předplastikací [12]

V praxi jsou nejvíce využívány šnekové jednotky bez předplastkace. Materiál ve formě granulátu vstupuje do násypky, kde je odměřena velikost dávky pomocí řídicí jednotky a materiál dále putuje do pracovního válce. Za pomoci šneku je homogenizován a převeden na taveninu. Tavenina je v důsledku rotace a posunu šneku dopravena před jeho špičku. Je-li připravena požadovaná velikost dávky, materiál se vstříkne axiálním pohybem šneku do prostoru formy. Potřebné množství tepelné energie je dodáno topnými odporovými pásy, které se nacházejí na vnějším povrchu pracovního válce. [12]

Případ vstřikovacích jednotek s předplastikací je charakteristický tím, že celá jednotka obsahuje jednu část pro plastikaci materiálu a druhou pro samotné vstřikování. Aplikací této konstrukce získáme dokonalou homogenizaci taveniny a výrazné zkrácení vstřikovacího cyklu. Jako v předchozím případě i zde můžeme předplastikaci dělit na pístovou a šnekovou, ale samotné vstřikování je již zajištěno změnou polohy pístu (obr. 9.). [12]

Při vstřikování nízkoviskózních materiálů má tento materiál tendenci vracet se zpět do prostoru šneku. Z toho důvodu bývá šnek opatřen zpětným uzávěrem, různých konstrukcí (obr. 10.). Použitím zpětného uzávěru mimo jiné docílíme vysokých vstřikovacích tlaků a zaručíme dostatečnou dobu pro setrvání materiálu v kanálu šneku. [12]

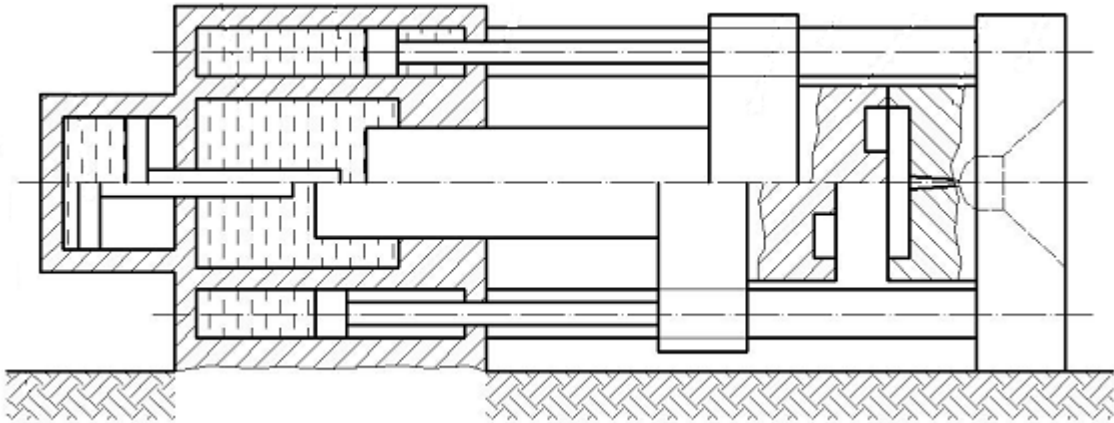


Obr. 10.: Příklady rozdílné konstrukce zpětných uzávěrů [10]

### 2.2.2 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka je část vstřikované stroje, která je nezbytná pro zajištění uzavírání a otevírání vstřikovací formy. Síla, která klade odpor proti vstřikovacímu tlaku, se nazývá uzavírací. Musí být dostatečně vysoká na to, aby zabezpečila těsnost vstřikovací formy v průběhu plnění dutiny. Její vznik a vyvození je dáno druhem uzavírací jednotky, které se dělí na [12]:

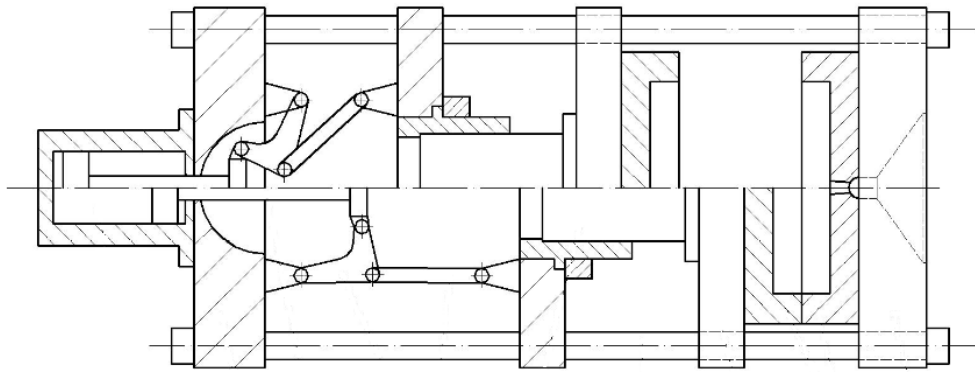
- hydraulické uzavírací jednotky;
- hydraulicko-mechanické uzavírací jednotky;
- elektromechanické uzavírací jednotky.



Obr. 11.: Příklad hydraulické uzavírací jednotky s pomocnými válci [12]

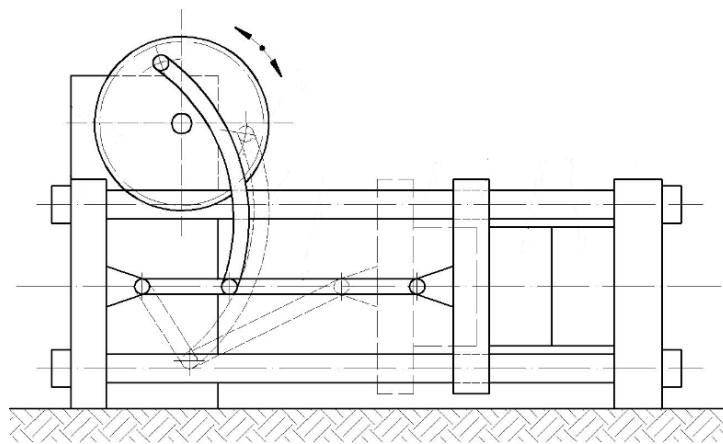
Hydraulicky uzavíratelné jednotky jsou řízeny hydraulickým obvodem. Výhodou je jednoduchá konstrukce. Tato jednoduchá konstrukce však také znamená, že pro dosažení velkých uzavíracích sil, je zapotřebí velkých hydraulických válců. Pro dosažení velkých rychlostí je zapotřebí mít velké množství hydraulické kapaliny. Tyto negativní vlastnosti je možné odstranit zavedením pomocných válců (obr. 11). Samotný obsah hydraulického obvodu znamená, že obvod bude vytvářet další náklady a požadavky na údržbu a obsah dalších nutných zařízení. [12]

Hydraulicko-mechanické uzavírací jednotky byly zavedeny z důvodů odstranění některých limitujících faktorů samostatných hydraulických jednotek. V těchto případech je požadovaná vysoká uzavírací síla dosažena poměrně malým válcem, který ovládá kinematické mechanismy. Výsledky konstrukcí tak vedly k vytvoření dvou základních řešení. Prvním je konstrukce, kdy hydraulický válec leží v ose vstřikovacího stroje (obr. 12.). Druhým je řešení, kdy se hydraulický válec nachází mimo osu vstřikovacího stroje. Výhodou je dosažení stavu, kde příslušná rychlost je vysoká, ale dosedací rychlost je minimální, to vše při malých rozměrech a tedy i malých hmotnostech těchto uzavíracích jednotek. [12]



Obr. 12.: Příklad hydraulicko-mechanické uzavírací jednotky s válcem v ose stroje [12]

Elektromechanické uzavírací jednotky (obr. 13.) byly zavedeny z důvodu energetické náročnosti na přípravu tlakové energie pro pohyb hydraulických válců. Snaha tedy vedla k integraci a nahrazení hydraulických pohonů, pohony elektrickými. Jedná se především o kombinace elektromotoru a klikových mechanismů. Mezi největší výhody kombinovaných uzavíracích jednotek patří jednoduchá konstrukce, snadná automatizace vstřikovacího cyklu, snížení energetické náročnosti a dosažení vysokých uzavíracích rychlostí. [12]



Obr. 13.: Příklad elektromechanické uzavírací jednotky [12]

V poslední době se objevují další inovativní způsoby konstrukce uzavíracích jednotek a snaha výrobců sleduje především zvýšení produktivity za snížení energetických nároků. Příkladem mohou být nové hybridní pohony, které v sobě kombinují výhody elektrických a hydraulických uzavíracích jednotek, dále bez-sloupkové uzavírací jednotky, které se v poslední době objevují i při vstřikování termoplastů. Jejich výhodou je především jednoduchá obsluha (výměna forem), využití větší upínací plochy a odstranění problémů s čistěním. [12]

### 2.2.3 Řídící jednotka

Řídící jednotka je zcela nepostradatelné zařízení vstřikovacího stroje, kterým se nastavují všechny technologické parametry vstřikovacího procesu. V současné době veškeré vstřikovací stroje obsahují přehledný panel, jehož prostřednictvím je možné nejen sledovat vstřikovací cyklus, ale také řídit činnost celého vstřikovacího stroje a případně i připojených externích zařízení (sušárna, externí temperační jednotky, snímače tlaku v dutině formy apod.). Možnost ovládání a použití řídicí jednotky zaručuje vysoký stupeň automatizace vstřikovacího procesu. [12]

## 2.3 Speciální technologie vstřikování

SPECIÁLNÍ TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ		
VSTŘIKOVÁNÍ ZA ASISTENCE MÉDIA	VÍCEKOMPONENTNÍ VSTŘIKOVÁNÍ	
WIT GIT	SENDVIČOVÉ	VÍCE-NÁSOBNÉ
	DVOUBAREVNÉ	ZASTŘIKOVÁNÍ
	INTERVALOVÉ	
JEDEN CYKLUS		VÍCE CYKLŮ
Počet vstřikovacích cyklů na vyplnění formy, jedním nebo více materiály.		

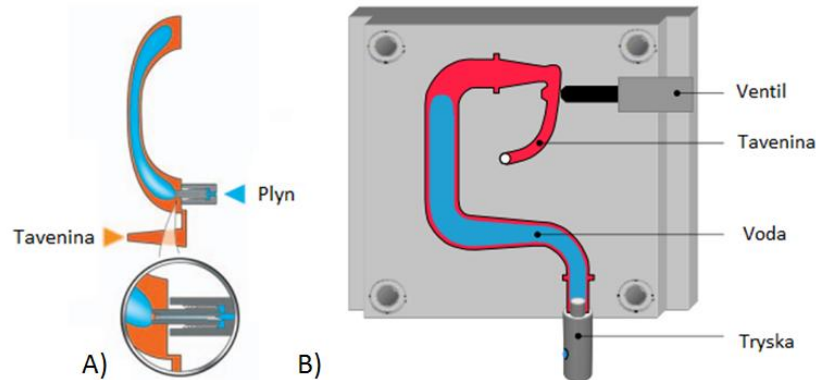
Obr. 14.: Základní rozdělení speciálních metod vstřikování

Běžné vstřikování plastů, představuje poměrně mladou tvářecí technologii. Tak jako v jiných odvětvích zpracovatelských technologií bylo i zde, přikročeno k vývoji speciálních druhů vstřikování (obr. 14.). Tato nová odvětví vstřikování vznikla z požadavků trhu, protože nově kladené nároky na tvar nebo složení vstřikovaných výrobků by nebyly standardním vstřikováním dosažitelné nebo by byly silně ekonomicky nevýhodné a tedy neefektivní.

### 2.3.1 Asistenční vstřikování

Metoda GIT (obr. 15-A.) je druh vstřikování termoplastů, jehož konečným produktem je výrobek, který obsahuje prázdné prostory. Tyto prázdné prostory vzniknou vtlačováním plynu, převážně dusíku s vysokou čistotou (min. 99,8 %). Úspora materiálu, nižší

doba vstřikování tlustostěnných výrobků, zvýšení mechanické pevnosti za stejné nebo snížené hmotnosti, nižší zbytkové napětí, nižší velikost uzavírací síly a jednodušší konstrukce vstřikovacích forem, patří mezi největší výhody při použití vstřikování s podporou plynu. Nevýhodou jsou především dodatečné náklady na tlakové zařízení. [10,13]



Obr. 15.: Metoda vstřikování za asistence: A)- plynu (GIT), B)- vody (WIT) [10]

Metoda WIT (obr. 15-B.) je dalším způsobem vstřikování s využitím podpory média - vody. Cílem této mladé technologie je nahradit dusík vodou a rapidně tak snížit dobu chlazení. Voda je systémem pump vhnána do taveniny a to za účelem vytvoření dutiny. Aby se voda při kontaktu s taveninou neodpařovala, musí mít správně zvolenou teplotu. Čelo vody pak na taveninu působí jako píst. Po vytvoření výrobku je voda vtlačena zpět do zásobníku prostřednictvím tlakového vzduchu nebo může být zpětně pumpami odsáta. Výhodou je především zkrácení vstřikovací cyklu až o 70% oproti technologii GIT. [10,13]

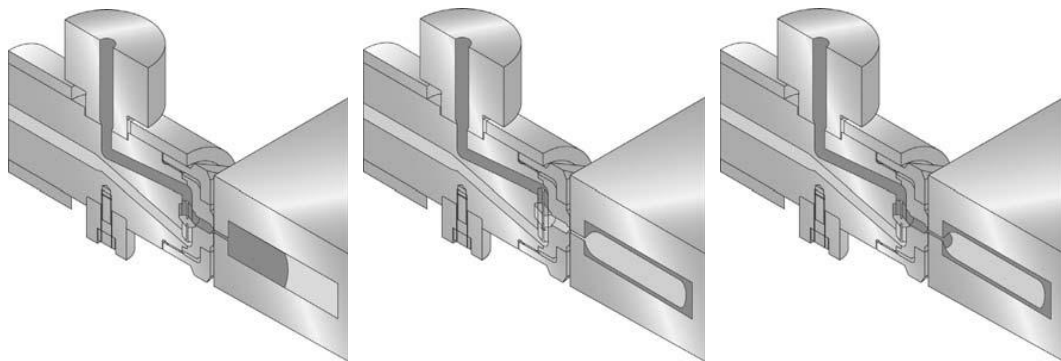
### 2.3.2 Vícekomponentní vstřikování

Technologie vícekomponentního vstřikování obsahuje další specifické přístupy k výrobě vstřikovaných výrobků. Vstřikovaný materiál může představovat kombinaci dvou nebo více materiálů dále kombinaci dvou nebo více odstínů od stejného druhu materiálu. Do této skupiny patří [10,13]:

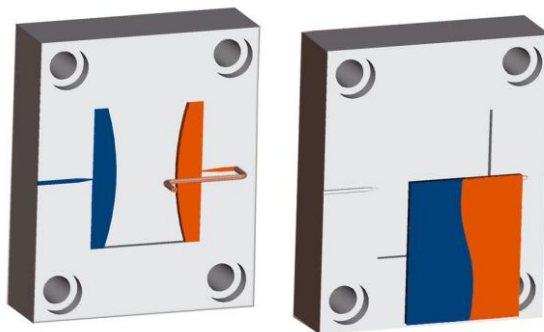
- sendvičové vstřikování;
- dvoubarevné vstřikování;
- intervalové vstřikování;
- vícenásobné vstřikování;
- zastřikování.



Sendvičové vstřikování je způsob vstřikování plastových výrobků, který zahrnuje procesy zpracování materiálů na dvou a vícekomponentní výrobky, příkladem může být také duální vstřikování. Tímto druhem vstřikování rozdělíme jednotlivé materiály na vnitřní (jádro) a vnější (obal). Proces tvorby výrobků je zde složitý a závisí především na podmínkách mísitelnosti materiálů. Důležitým aspektem pro vytvoření požadovaného rozdělení mezi jádrem a obalem jsou tokové vlastnosti, ale také geometrie výrobku a umístění vtokového ústí. Sendvičové vstřikování představuje výborný způsob zpracování a integrace druhotných materiálů, které ve výrobcích tvoří jádro. Vnější obalový materiál udává hlavní mechanické, vzhledové aj. vlastnosti. Jádro plní pouze funkci výplně a případného přenosu zatížení. Na obrázku 16 vidíme průběh tohoto vstřikování. [10,13,14]



Obr. 16.: Postup sendvičového vstřikování, zapouzdřením jádra [10]

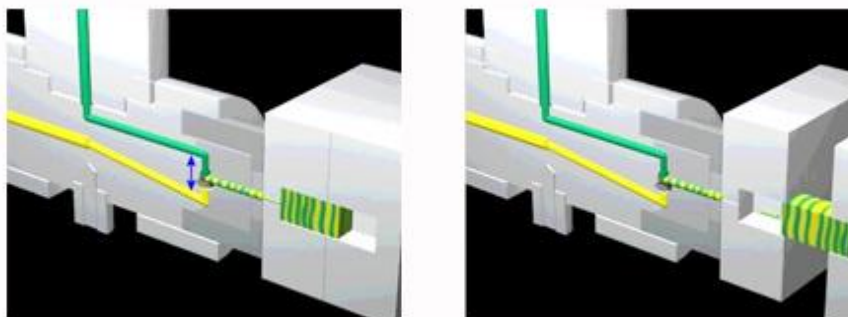


Obr. 17.: Postup vstřikování dvoubarevného výrobku [15]

Dvoubarevné vstřikování je dalším specifickým druhem vícekomponentního vstřikování. Tento druh vstřikování je charakteristický plněním dutiny formy ze dvou trysek, na rozdíl od sendvičového vstřikování, kdy dutinu formy plníme z jednoho místa. Jedná se o nejjednodušší variantu systému dvou materiálů. Stoková čára, kterou nalezneme mezi oběma materiály je tlustější (dáno zvýšením teploty v důsledku styku materiálů na rozhraní). Velkou nevýhodou je však skutečnost, že se pro tyto výrobky velmi obtížně definují

podmínky, za kterých mají dané aplikaci sloužit. Stoková čára je tedy limitujícím faktorem použití. Na obrázku 17 vidíme zjednodušený postup plnění a tvar stokové čáry výrobku. [10,13,14]

Intervalové vstřikování (obr. 18.) je dalším specifickým druhem vstřikování, které je založeno na míchání dvou barevných odstínů téhož polymeru. Patří do skupiny více-komponentního vstřikování, i když hranice obou odstínů nejsou zcela přesně stanoveny. Vstřikování jednotlivých barevných odstínů je řízeno kombinovanou tryskou, která pomocí signálů - intervalů, přepíná mezi jednotlivými barvami. Tato vstřikovací tryska, může také pracovat v režimu, kdy jsou obě barvy vstřikovány současně. [10,13]



Obr. 18.: Tvorba výrobku intervalovým vstřikováním [13]

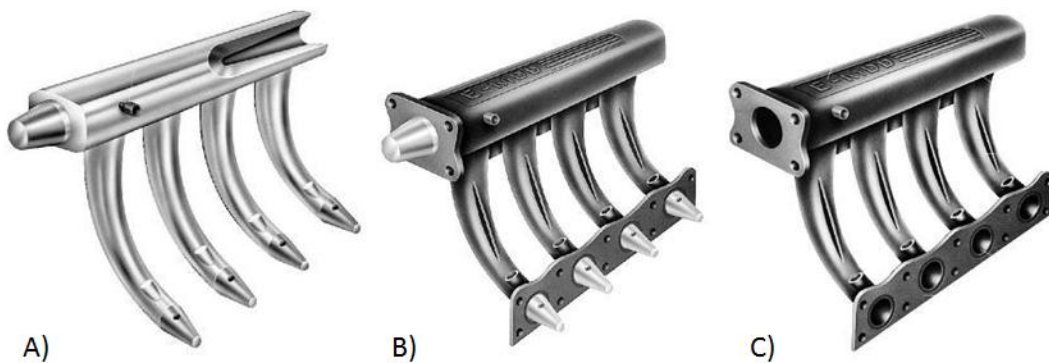
Vícenásobné vstřikování (obr. 19.) se vyznačuje sekvenčním vstřikováním jednotlivých materiálů v různých místech formy. Na rozdíl od výše popsaných druhů, ale podporuje změnu geometrie formy a manipulaci s ní během plnění jednotlivými materiály. Tím se dostaneme do oblasti, kdy pro kompletaci výrobku je nutné použít více vstřikovacích cyklů. Technologie vícenásobného vstřikování je tedy vhodná pro velmi složité tvary výrobků, kdy se jednotlivé materiály překrývají v různých místech. Vyznačuje se především dlouhým pracovním cyklem a vysokou univerzálností. Na obrázku 19 vidíme postup výroby informačního panelu. [10]



Obr. 19.: Získání výrobku více-násobným vstřikováním [14]

Zastříkování je název vícekomponentního, respektive vícenásobného vstřikování, které se vyznačuje zastříkováním polotovarů. V současné době je technologie zastříkování reprezentovaná těmito druhy [10,16]:

- zastříkování polotovarů, které nachází své uplatnění při vstřikování dvou a více druhů polymerních materiálů s výrobky obsahující kovové díly. Ty jsou vkládány do dutiny formy a dále obštrikovány polymerními materiály;
- zastříkování ztraceného jádra (obr. 20.) je mladá a produktivní technologie, která slouží pro vytvoření složitých dutých výrobků. Principem je vytvoření jádra slévárenskou technologií z nízko-tavitelných slitin kovů (cín, bismut). Toto kovové jádro je následně vloženo do dutiny formy a obštrikováno požadovaným počtem polymerů. Výrobek je poté z formy vyjmut a vložen do olejové lázně, která je ohřátá na teplotu tavení slitiny. Tím dojde k vytavení jádra a získání konečného výrobku. Tato technologie úspěšně konkuruje vstřikování za asistence média a našla své uplatnění především v automobilovém průmyslu.



Obr. 20.: Fáze výrobku, získané metodou zastříkování vytavitelného jádra:  
A) Jádro, B) Obštriknuté jádro, C) Konečný výrobek po vytavení jádra [16]

### 3 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Vstřikovací formy jsou nástroje určené pro získání plastových výrobků. Tak jako v jiných odvětvích výroby i zde platí, že kvalita výrobku je dána procesními parametry, strojem a nástrojem. Vstřikovací forma tedy musí splňovat následující požadavky [17]:

- vysokou přesnost a jakost funkčních ploch dutiny formy a jejich podpůrných částí;
- maximální dosažitelnou pevnost a tuhost jednotlivých částí a formy jako celku;
- zajištěna musí být správná funkčnost a volba jednotlivých systémů;
- dosažení optimální životnosti, která je zaručena konstrukcí, materiálem i výrobou.

#### 3.1 Postup při konstrukci vstřikovací formy

Pro správný návrh formy je důležitý postup, který konstruktér používá. Obecný postup ke konstrukci vstřikovací formy má pak následující sled činností [17]:

- posouzení zadané součásti z hlediska tvaru, rozměrů a vyrobitelnosti;
- určení dělicí roviny, způsobu zaformování s ohledem na umístění vtoku a vyhození;
- zhodnocení násobnosti, uspořádání dutin formy a volba vtokového systému;
- stanovení koncepce vyhazovacího, temperančního a odvzdušňovacího systému;
- navržení a uspořádání jednotlivých desek, které vyhovují našim požadavkům;
- doplnění konstrukčních prvků, nutných pro správnou funkčnost formy;
- provedení kontroly upínání a středění formy na vstřikovací stroj;
- určení funkčnosti a stanovení nutných parametrů pro vstřikovací proces.

#### 3.2 Zaformování výrobku

Zaformování výrobku patří k důležitým zásadám během konstrukce forem. Vychází z tvaru a rozměru výrobku, z požadavků na funkčnost a ekonomičnost. Součástí zaformování je také volba dělicí roviny, jejíž trajektorie a poloha se promítají do kvality výrobku. Mezi hlavní podmínky pro volbu dělicí roviny patří [17]:

- možnost snadného vyjmutí výrobku z dutiny formy;

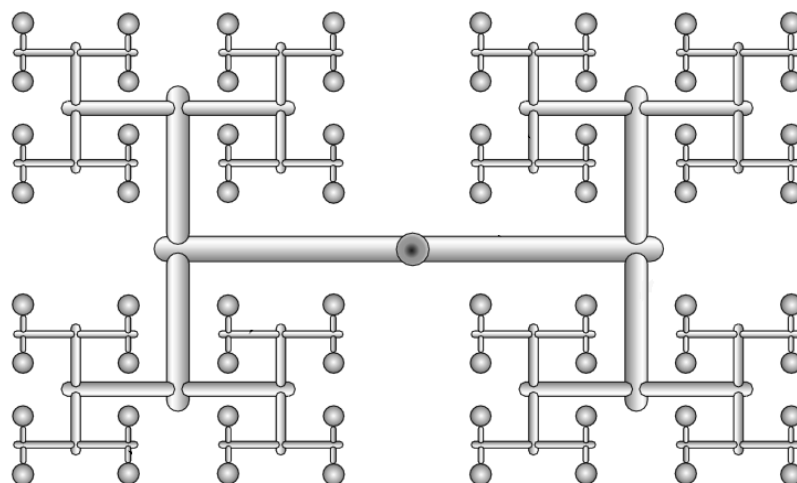
- co nejjednodušší a pravidelné tvary, pokud možno umístěné v hranách výrobku;
- nesmí vytvářet vzhledové a podporovat jiné defekty výrobku;
- umístění musí podporovat přesnost výrobku a technologické úpravy.

### 3.3 Vtokový systém

Vtokový systém patří mezi nepostradatelnou část vstřikovací formy. Představuje systém kanálů, kterými je polymerní tavenina vedena do dutiny formy. Jeho začátek je v místě kontaktu plastikační jednotky se vstřikovací formou a konec, představuje ústí vtoků do dutiny formy. Tvar i rozměr vtokového systému a jeho částí ovlivňují rozměry, vzhled a vlastnosti budoucího výrobku, ale také spotřebu a množství odpadu. Druh vtokového systému pak rozhoduje o nárocích na energetickou spotřebu i o náročnosti na dokončení výrobku. Vtokové systémy můžeme dle principu rozdělit na studené a horké.[17]

#### 3.3.1 Studený vtokový systém

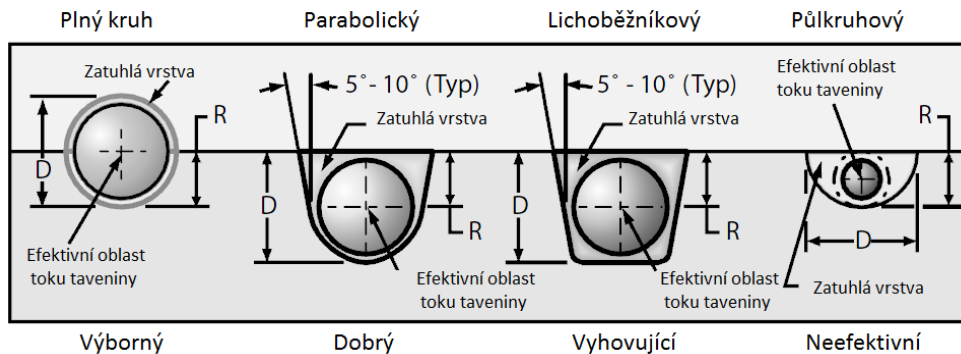
Jedná se základní typ vtokového systému, vyznačující se jednoduchou konstrukcí za přepokládané ztráty materiálu - vtokový zbytek. Jeho použití však bývá často nezbytné, příkladem může být vysoká násobnost formy, kdy se snažíme o vyvážení délek jednotlivých úseků rozvodných kanálů tak, aby tavenina dorazila ke všem ústím vtoků současně a při stejném tlaku (obr. 21.). [17]



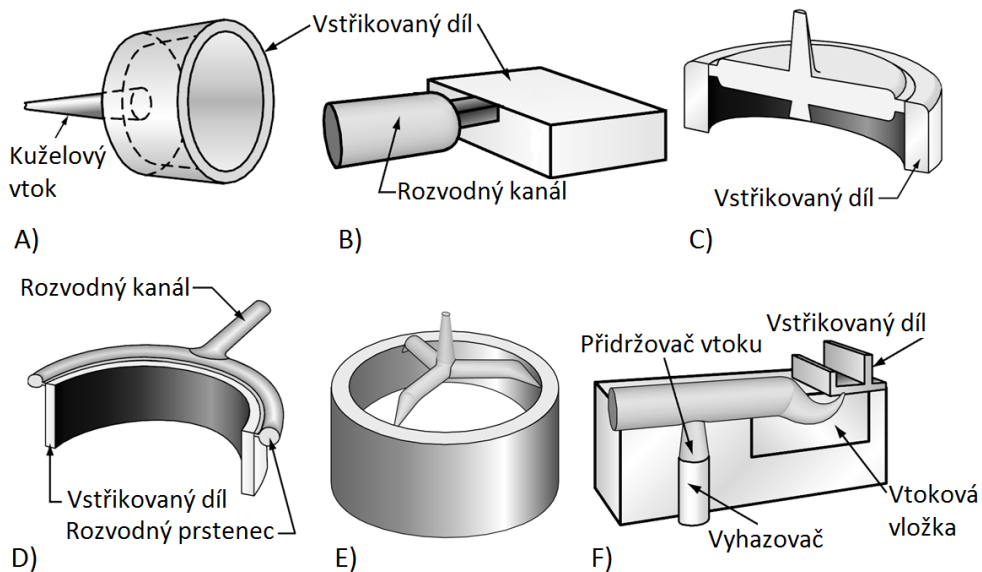
Obr. 21.: Vybalancovaný studený vtok pro 64 výrobků [16]

Vzhledem k tomu, že polymerní tavenina při kontaktu s formou velmi rychle tuhne, je nutné zajistit, aby dráha toku byla co nejkratší. Současně s tím by měl mít vtokový kanál při

minimálním povrchu co největší průřez. Tuto myšlenku podporuje řada geometrií (obr. 22.). Další nepostradatelnou částí studených vtokových systému je ústí vtoku, zde existuje velký počet variant (obr. 23.), které volíme v závislosti na tvaru výrobku. Velmi často se ve studených vtokových systémech používají jímky nebo kombinace s přídržovači vtoku (obr. 23- C, F.), které zabraňují vniknutí studeného čela taveniny do dutiny formy nebo slouží pro oddělení výrobku a vtokového zbytku během vyprazdňování dutiny formy. [17]



Obr. 22.: Druhy používaných průřezů vtokových kanálů [16]



Obr. 23.: Nejčastěji používané druhy vtokových ústí: A) Plný vtok, B) Obdélníkový vtok, C) Filmový - talířový vtok, D) Filmový vtok, E) Tunelový vtok, F) Srpkovitý vtok s přídržovačem [19]

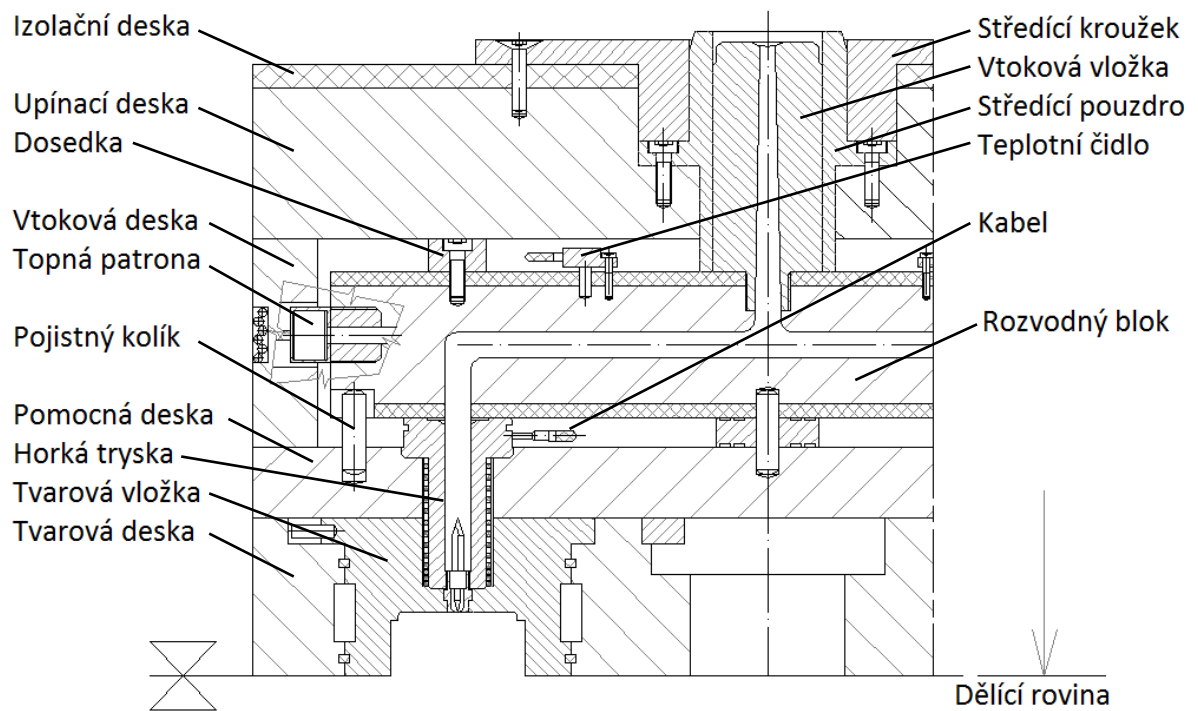
### 3.3.2 Horký vtokový systém

Horký vtokový systém je dalším typem vtokové soustavy, která se při konstrukci forem používá. Často jej nalezneme v kombinaci se studeným vtokovým systémem, ale obje-

vují se také samostatně. Konstrukce horkých vtokových systémů je velmi náročná, proto v těchto případech využíváme specializovaných firem (obr. 24.) nebo jejich kombinace s vlastní výrobou. V tab. 4. nalezneme některé z výhod a nevýhod jejich používání. [17]

Tab. 4.: Výhody a nevýhody použití horkých vtokových soustav [17]

Výhody používání HVS	Nevýhody používání HVS
<ul style="list-style-type: none"> <li>▫ Zvýšená automatizace výroby,</li> <li>▫ Zkrácení výrobních cyklů,</li> <li>▫ Snížení spotřeby vstřikovaného materiálu,</li> <li>▫ Snížení nákladů na odstranění a regeneraci vtokového zbytku,</li> <li>▫ Snadná montáž, demontáž a údržba.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▫ Náročná konstrukce,</li> <li>▫ Nutnost regulátorů a snímačů,</li> <li>▫ Energetická náročnost,</li> <li>▫ Ekonomické náklady na zařízení,</li> <li>▫ Neefektivnost při malých sériích,</li> <li>▫ Kvalifikovanější pracovníci.</li> </ul>



Obr. 24.: Příklad konstrukce horkého vtokového systému podle DME

### 3.4 Vyhazovací systém

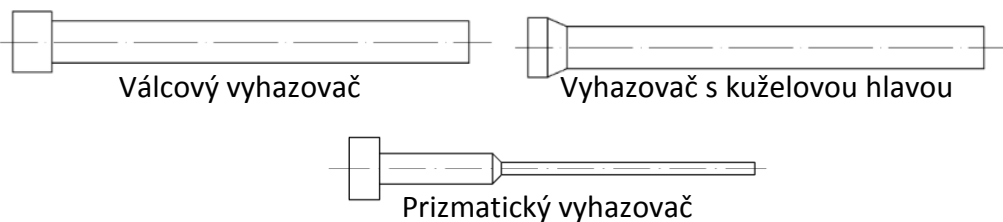
Vyhazovací systém je část vstřikovací formy, jejíž funkcí je vyhození hotového výrobku. Vyhazovací systém působí na výrobek vyhazovací silou, která závisí na velikosti smrštění výrobku ve formě, jeho složitosti, jakosti povrchu dutiny a technologických pod-

mínkách vstřikování. Dle principu můžeme vyhazovací systémy rozdělit na mechanické, pneumatické a hydraulické.

### 3.4.1 Mechanické vyhazování

Mechanické vyhazování, se vyznačuje dopředným pohybem (při vyhození) a návratem do výchozího stavu. Aby byl výrobek správně vyhozen, musí být splněna podmínka úkosovitosti ve směru vyhazování (úhel větší než  $0^{\circ}30'$ ), hladkosti stěny a rovnoměrnosti vyhazovací síly po ploše výrobku. [18]

Vyhazovací kolíky jsou jednoduché případy, které jsou ovládány táhlem (vyhazovacích desek). Často představují i jednoduchý způsob jak zajistit odvzdušnění dutiny formy (opatřeny drážkami). Jejich použití nesmí způsobit funkční defekty výrobku, může však vytvořit vzhledové poruchy. Z těchto důvodů se vyhazovací kolíky opírají vždy do nepohledové části výrobku. Na obrázku 25 najdeme nejpoužívanější typy vyhazovacích kolíků. [18]

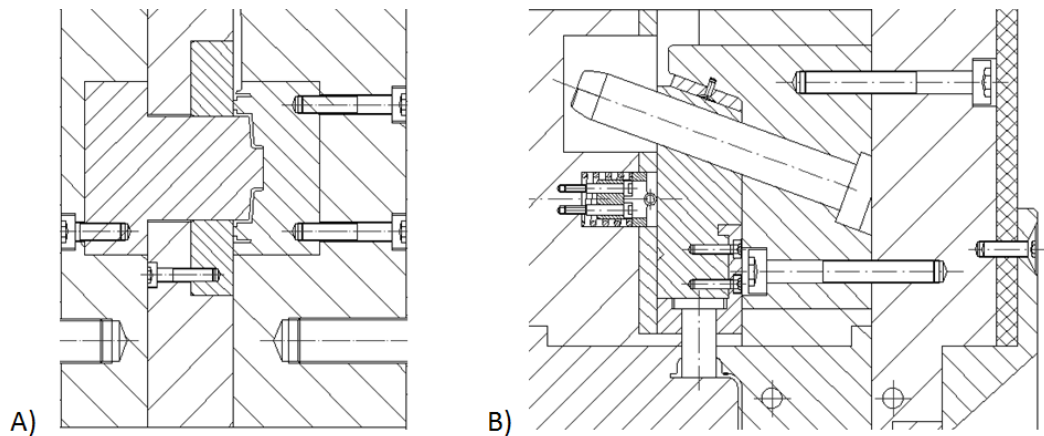


Obr. 25.: Příklady vyhazovacích kolíků pro mechanické vyhazování [18]

Stírací desky (obr. 26- A.) představují další používaný způsob vyhození výrobků. Tyto desky vyhazují tělesa díky spojení s vyhazovacím systémem, další možností je použití pružin a hydraulických nebo pneumatických zařízení. Stírací desky se používají pro vyhození tenkostěnných výrobků, na kterých nezanechávají stopy a zároveň snižují možnost porušení a vzniku deformací. [18]

Šikmé vyhazovací čepy (obr. 26- B.) se užívají pro případ těžko odformovatelných výrobků, které jsou tvarově složité. Poloha vyhazovacího kolíku bývá v obecných úhlech, které neleží v kolmém směru s dělicí rovinou. [18]





Obr. 26.: Příklady mechanických systému vyhození: A) Vyhození stírací deskou, B) Vyhození šikmým vyhazovacím čepem

### 3.4.2 Pneumatické vyhazování

Je dalším způsobem vyhození převážně tenkostěnných výrobků s většími rozměry. Princip spočívá v přívodu vysokotlakového vzduchu mezi tvárník a výrobek, systémem jehlových nebo talířových ventilů. Tím dojde k vyvození vyhazovací síly (respektive tlaku) a vyhození výrobku bez vzniku deformací a stop po vyhození. Omezení však mohou představovat některé tvary. [18]

### 3.4.3 Hydraulické vyhazování

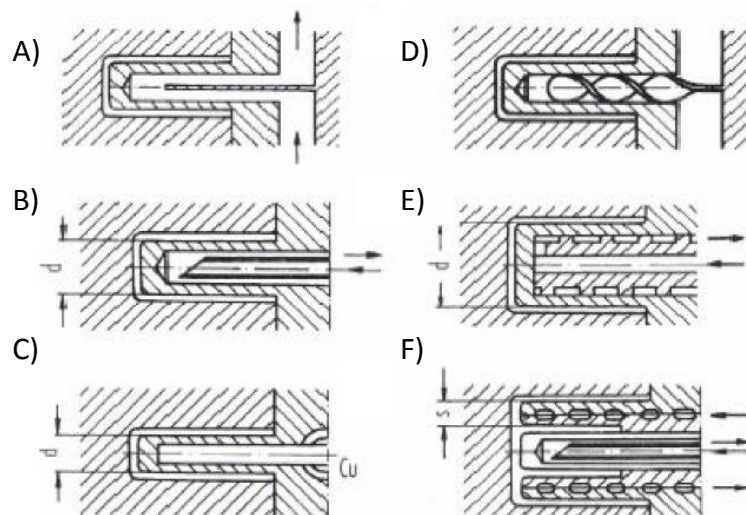
Hydraulické vyhazování představuje poslední způsob jak z dutiny formy vyjmout výrobek. Svým principem nahrazuje klasické vyhazovací prvky a vyznačuje se vyšší flexibilitou a pružným pohybem. Často se s ním setkáme u ovládání posuvových kostek. Vyvození potřebné vyhazovací síly probíhá v hydraulické jednotce, které je zabudována do konkrétního místa na vstřikovací formě. [18]

## 3.5 Temperační systém

Temperační systém se používá za účelem dosažení konstantního teplotního rozložení ve vstřikovací formě. V tomto temperačním systému nám protéká pracovní médium, které v určitém rozsahu stabilizuje teplotu formy. Vstřikovací forma se totiž v důsledku plnění polymerní taveninou o vysoké teplotě zahřívá. Vzniklý teplotní rozdíl je tedy nutné držet v jistém rozmezí. Současně zde probíhá mechanismus sdílení tepla a forma vyzařuje tepelnou energii do okolí a nelze zcela zabránit ani vedení tepla do upínacích ploch. Temperační

system tedy nastavuje teplotu formy a určuje teplotu, kterou bude mít výrobek během vyhození. Aby byl systém efektivní, je vhodné především ošetřit místa v okolí dutin formy. Úkolem temperance je optimalizace délky vstřikovacího cyklu na takovou úroveň, aby byly zachovány technologické požadavky výroby a splňovaly ekonomičnost. [18]

K tomuto účelu užíváme především systém kanálů různých tvarů a velikostí průřezu, které nesmí snižovat mechanické vlastnosti jednotlivých částí formy a ohrožovat funkčnost. Pro vrtané systémy platí, že není výhodné užívat menší průměr kanálů než je 6 mm a to z důvodu zanesení. V místech, kde se nedají kanály vrtat, můžeme použít frézované kanály nebo systém vyrobený nekonvenčním postupem. Použít se také mohou i jiná konstrukčních řešení a prvky tak, aby byl systém efektivní (topné patrony, spirály, přepážky, sonotrody apod.). Dále využíváme tepelné a měděné trubice nebo vložky vyrobené kombinací kovových slitin (cín, zinek apod.). [18]



Obr. 27.: Příklady chlazení na straně tvárníku: A) Přepážka, B) Trubka, C) Tyč ze slitiny mědi, D) Spirála, E), F) Kombinovaná temperance [19]

Mezi temperační média, která se používají, patří především voda, oleje, glykoly nebo jejich směsi glykolu s vodou. Okrajovým řešením může být i chlazení vzduchem. Temperační média tvořené vodou nebo na vodní bázi se vyznačují vysokým přestupem tepla, nízkou cenou a ekologickou nezávadností. Je výhodné dosahovat co největších hodnot Reynoldsova čísla ( $Re \geq 10000$ ), které nám ovlivňuje přestup tepla. Naproti tomu použití vody může způsobit korozi, zanesení, předpokládáme také sníženou použitelnost, která je dána teplotou vypařování vodní složky. S použitím olejů odstraníme možnost vzniku koroze, za

snížení přestupu tepla. U médií s podílem glykolu pak můžeme očekávat problémy se stárnutím. [18]

### 3.6 Odvzdušnění formy

Odvzdušnění formy patří k zásadním faktorům, které ovlivňují kvalitu vstřikovacího procesu. Volba správného místa odvzdušnění dutiny formy je velmi obtížná, používáme zde zkušenosti, simulační programy nebo technologické zkoušky. Pokud by forma nebyla správně odvzdušněna, mohly by vzniknout nežádoucí defekty, které s uzavřením vzduchu a jeho působením souvisejí. Jedná se především o nevyplněné části dutin, spálená místa na výrobku, bubliny, zvýšení anizotropie, náhlý nárůst vstřikovacího tlaku a příliš velké tlakové spády nebo zvýšení nebezpečí vzniku studených spojů. Pro odvzdušnění formy používáme vstřikování do pootevřené formy. Tato činnost však vyžaduje nutnou strojovou a softwarovou podporu. Mezi konstrukčními úpravami patří vyhazovací prvky s drážkami, vytvoření odvzdušňovacích kanálů, odvzdušnění za pomoci dělicí roviny nebo pomoci vůle mezi jednotlivými konstrukčními částmi vstřikovací formy. [8,18]

### 3.7 Konstrukční řešení vícekomponentních forem

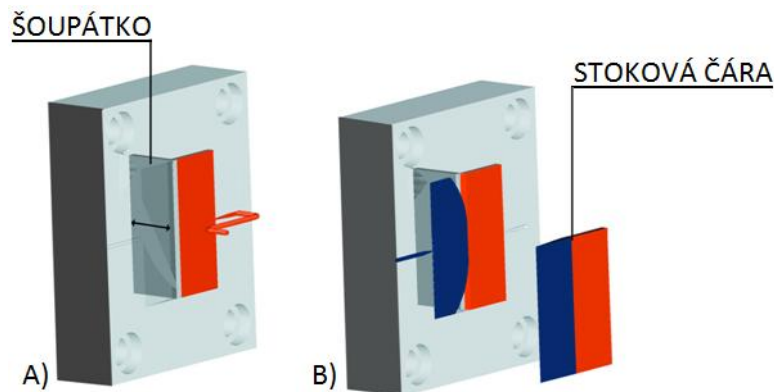
Při návrhu a realizaci vstřikovacích forem určených pro vícekomponentní vstřikování, vycházíme ze znalostí, doporučení a platných pravidel klasické konstrukce forem, které doplňujeme o konstrukční systémy jako je [13,15]:

- systém šoupátek;
- rotace vyhazovací strany formy kolem stavební osy;
- rotace části formy kolem horizontální osy;
- metoda indexových desek a vložek;
- použitím manipulačních robotů.

#### 3.7.1 Systém šoupátek

Podstatou této metody je vytvoření systému pohyblivých šoupátek nebo desek, které pro jednotlivé materiály vymezí potřebné prostory v dutině formy. Na obrázku 28 vidíme využití šoupátka v zjednodušeném případě. Nejprve je vstříknut materiál A, šoupátko je

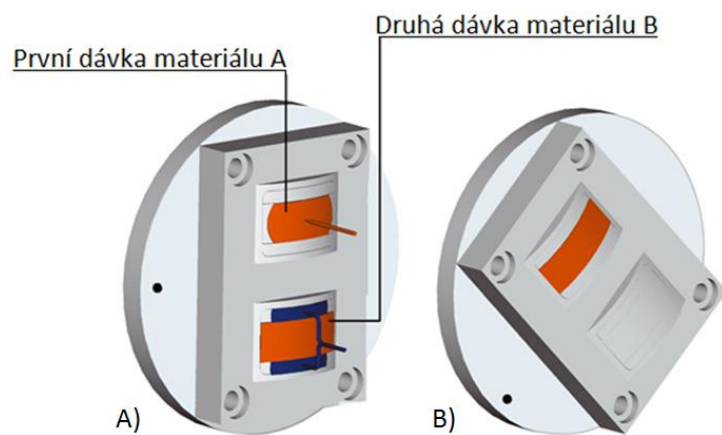
vysunuto a vymezuje tak prostor pro plnění. Po jeho odjezdu a je vstříknut materiál B a vznikne přesně vymezená stoková čára polymerů A a B. [13,15]



Obr. 28.: Systém šoupátek: A) Šoupátko je vysunuto, B) Šoupátko je zasunuto [15]

Metoda je výhodná v případě menšího počtu vstříkovaných materiálů. Pokud tento počet roste, náklady na ovládání a konstrukci neúměrně rostou. Používá se pro vstříkování dvou různých termoplastů, vícebarevné odstíny jednoho termoplastu nebo pro vstříkování kombinace termoplastu a termoplastického elastomeru. [13,15]

### 3.7.2 Rotace vyhazovací strany kolem stavební osy



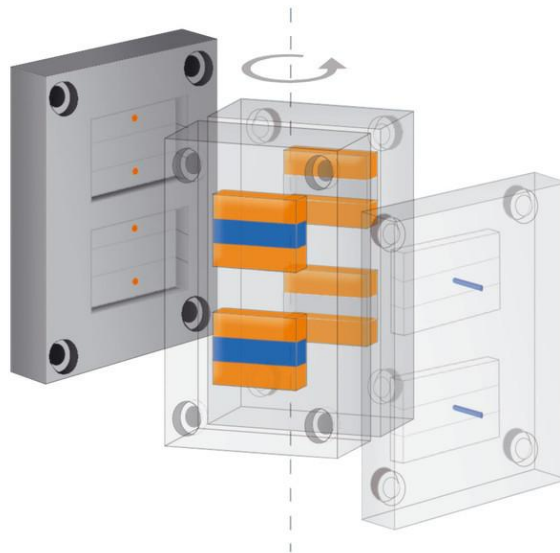
Obr. 29.: Systém rotace vyhazovací strany formy: A) Stav před vyhozením výrobku, B) Stav po vyhození výrobku [15]

Principem je rotace vyhazovací strany formy (od dělicí roviny) kolem stavební (vertikální) osy. V prvním kroku je materiál vstříknut do dutiny formy (obr. 29.). Po krátkém čase, nutném pro jeho zatuhnutí se vstříkovací forma otevře a vtokový zbytek je vyhozen. Následně pak dojde k rotaci celé jedné poloviny formy. Pokud se vstříkují dva materiály, je rotace rovna úhlu  $180^\circ$ , v případě plnění třemi stanicemi je velikost úhlu pootočení rovna

120° a pro čtyři plnicí stanice pak 90°. Vyhození výrobku se provede gravitačně nebo s využitím robotů. [13,15]

### 3.7.3 Rotace části formy kolem horizontální osy

System s rotací kolem horizontální osy (obr. 30.) se vyznačuje vstřikovacemi jednotkami, které jsou uspořádány v poloze L (kolmo na sebe) a jednotlivá ústí materiálu leží proti sobě. Vstřikovací forma tedy obsahuje dvě dělicí roviny, první vytváří polotovar (materiál A), druhá pak po otočení pomocné (tvarové) desky, polotovar dostříknutím materiálu B dokončuje. Největší výhodou tohoto uspořádání je rapidní snížení velikosti uzavírací síly (až o 50%), protože vstřikovací tlaky, materiálů A a B, působí proti sobě. [13,15]

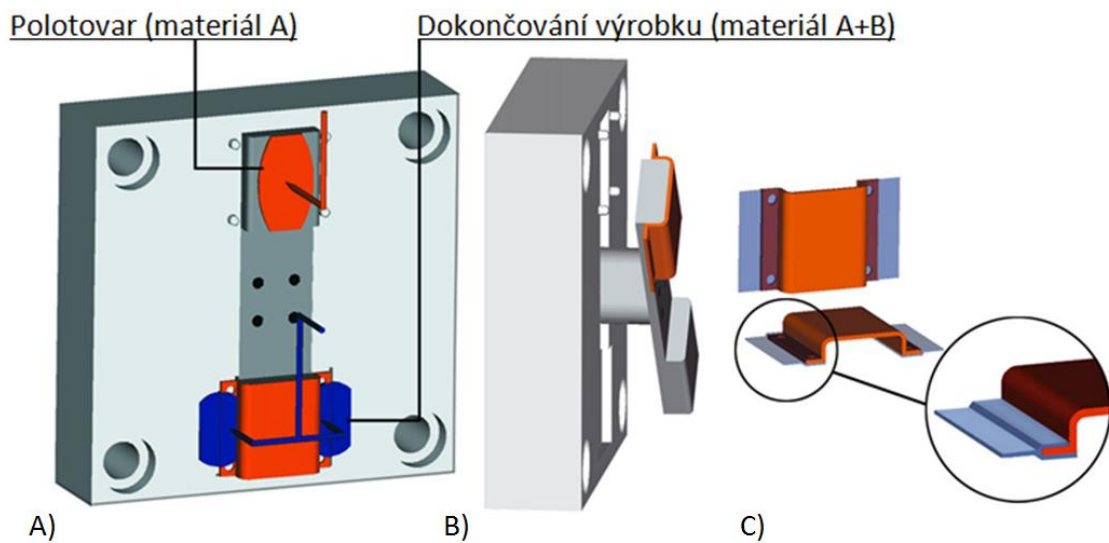


Obr. 30.: Systém části formy kolem horizontální osy [15]

### 3.7.4 Metoda indexových desek a vložek

Metoda indexových desek je upravená rotace levé strany formy kolem stavební osy. Byla vyvinuta z nutností požadavku na vyšší automatizaci a tedy možnost použití vyhazovacího systému, kterou metoda rotace vyhazovací strany formy kolem stavební osy, neumožňuje. Systém, je v případě vložek tvořen rotačním talířem (obr. 31.), který se pohybuje ve směru stavební osy a zároveň umožňuje rotaci o 180°. Pohyby ve stavební ose zajišťuje vyhazovací skupina desek nebo táhlo. Další modifikaci představuje rotace opěrné desky V tomto případě se rotační deska, i s celým otočným mechanismem, pohybuje s vyhazovací

stranou, obsahuje otvory pro vyhazovací systém a přes středovou část se přivádí temperační médium. [10,13,15]



Obr. 31.: Rotace indexové desky: A) Průběh vstřikování, B) Změna polohy desky, C) Vzhled konečného výrobku; [15]

### 3.7.5 Využití manipulačních robotů

Manipulační roboti jsou zařízení spadající do oboru automatizace. V případě více-komponentních vstřikovacích forem se nejvíce uplatňují jako nástroje pro snížení manipulačního času při výměně polotovaru nebo výrobku ve formě. Jejich použití ani počet není striktně vymezený a tedy jeden robot může obsluhovat více vstřikovacích strojů. Snížení poškození výrobku během manipulace, vysoká programovatelnost, možnost dodatečných zařízení (odstřížení vtoku apod.) jsou výhody zavedení této manipulační techniky do vstřikovacího procesu. [13]

## 4 ZÁVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI

Teoretická část pojednává o zpracování polymerních materiálů technologií vícekomponentního vstřikování.

První kapitola se zabývá polymerními materiály. Popisuje jejich rozdělení a základní vlastnosti. Celá kapitola je především zaměřena na termoplasty. Z hlediska vícekomponentního vstřikování je zde popsána problematika adheze a kompatibility vzájemně vstřikovaných materiálů.

Druhá kapitola se zabývá technologií vstřikování. Podrobněji rozebírá vstřikovací cyklus a definuje mechanismy, které v něm probíhají. Obsahuje popis používaných vstřikovacích strojů. Součástí této kapitoly je také přehled speciálních metod vstřikování, kam patří i vícekomponentní vstřikování.

Poslední, třetí kapitola, je souhrnem pravidel a doporučení, které jsou obecně platné v konstrukci vstřikovacích forem. Přehledným způsobem ukazuje nejvíce používané konstrukční přístupy a mechanismy, které vedou ke správné konstrukci vstřikovací formy určené pro vícekomponentní vstřikování.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**



## 5 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Pro diplomovou práci byly stanoveny tyto cíle:

- vypracovat literární část práce na zadané téma;
- vytvořit 3D model výrobku včetně konstrukčních úprav;
- zvolit vhodný postup výroby pro multikomponentní vstřikování;
- vytvořit 3D model podpůrného přípravku;
- provést konstrukce vstřikovacích forem;
- podložit konstrukce vstřikovacích forem analýzami v prostředí CAE.

Vypracovaná literární část diplomové práce obsahuje několik tematických částí, které zasahují do oblasti multikomponentního vstřikování.

Cílem praktické části bylo vytvořit vstřikovací formy určené pro zadaný dvoukomponentní výrobek, kterým byl šroubovák. Vstřikovací formy byla navržena s použitím programu CATIA V5R18, spolu s normáliemi firem Hasco, DME a pomocí podpory společnosti Gunther.

Po návrhu a konstrukci vstřikovacích forem následují analýzy vstřikovacího procesu v CAE programu MoldFlow 2011, které měli ověřit správnost navržené konstrukce za pomocí tokových, temperančních a deformačních analýz.

Vhodný vstřikovací stroj byl pak zvolen dle následujících kritérií:

- velikost plastikační jednotky;
- velikost uzavírací jednotky;
- velikost upínacího prostoru pro vstřikovací formu.

V závěru jsou pak veškeré získané výsledky diskutovány.

## **6 POUŽITÁ SOFTWAREVÁ PODPORA KONSTRUKCE**

### **6.1 CATIA V5R18**

CATIA V5R18 je typický představitel softwarové podpory konstrukce, v němž je možné tvořit široké spektrum výrobků a zařízení od konceptu, přes 3D model až po analýzy. Program se často využívá převážně v automobilovém a leteckém průmyslu ale je použití není striktně omezeno. Pro potřebu konstrukce forem disponuje samostatným modulem, který využívá normálií mnoha výrobců. Pro účely této diplomové práce byly použity moduly:

- Mechanical design (Part Design, Assembly Design, Mold Tooling Design, Drafting);
- Shape (Generative Shape design);

### **6.2 HASCO DAKO**

DAKO modul představuje zajímavý softwarový doplněk společnosti HASCO, která se zabývá výrobou a distribucí normálií pro potřeby vstřikovacích forem. Program představuje plnohodnotný katalog, který obsahuje veškeré dostupné informace o produktech společnosti HASCO. Software je možné přímo integrovat do mnoha konstrukčních programů, jako je například CATIA. Toto spojení pak umožňuje snadné vygenerování 3D modelu vybraného produktu do prostředí vybraného konstrukčního programu.

### **6.3 GÜNTHER CAD-DATA**

Jedná se o on-line softwarový produkt, který je určen pro jednoduché vytvoření horkých vtokových soustav. Pro tvorbu horké vtokové soustavy je potřeba zadat parametry vstřikovaného materiálu a geometrické charakteristiky vstřikovací formy. Program pracuje spolu s CAE aplikacemi a zaručuje vytvoření vtokové soustavy, která bude nejlépe vyhovovat zadanému vstřikovanému materiálu a vstřikovací formě.

## 6.4 AUTODESK MOLDFLOW 2011

AUTODESK MOLDFLOW 2011 je CAE program, který je určený pro návrh a optimalizaci vstřikovacího procesu. Jeho možnosti jsou limitovány pouze kvalitou sítě, která určuje procentuální pravděpodobnost mezi reálným a vypočteným chováním polymerních materiálů během vstřikovacího procesu. V konečném důsledku je program limitovaný pouze výpočetním výkonem počítače, na kterém analýza probíhá.

Program umožňuje širokou modelaci různých vstřikovacích procesů. V našem případě byly použity tyto výpočtové moduly:

- vstřikování termoplastických materiálů;
- zastřikování termoplastických materiálů.

V každém z těchto použitých modulů je možné sledovat komplexní průběh vstřikování, který je rozdělen do následujících fází:

- plnění;
- dotlak;
- chlazení;
- deformace a smrštění.

Každá z těchto fází vstřikování, obsahuje velké množství hodnot, které s danou částí vstřikovacího cyklu souvisejí. Na základě výsledků je možné upravit vstřikovací formu, tak aby vstřikovací proces vedl k výrobě kvalitního výstřiku. Software je možné použít jako předlohu pro technologické zkoušky forem nebo pro optimalizaci vstřikovacího cyklu.

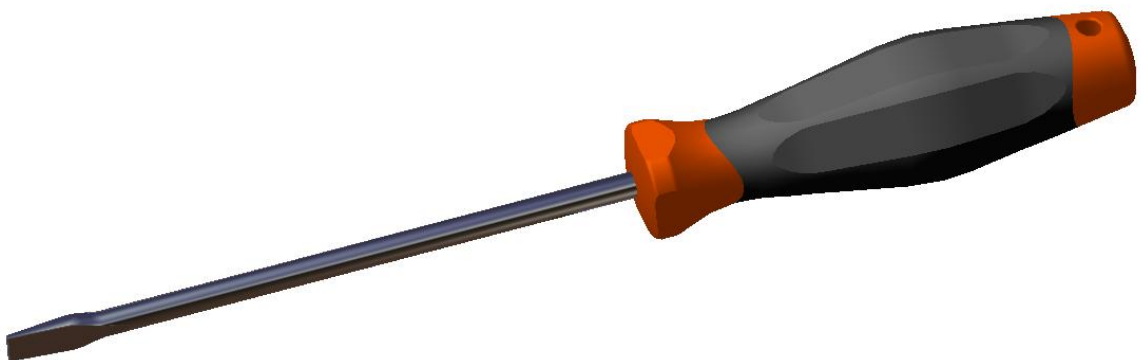
## 7 ZADANÝ DVOUKOMPONENTNÍ VÝROBEK

Zadaným dvoukomponentním výrobkem je šroubovák (obr. 32., 33.), který je složený z kovového dílu, nosného termoplastického materiálu a termoplastického elastomeru. Pro získání konečné podoby šroubováku bylo postupováno následovně:

- vytvoření přibližného modelu s využitím modelovací hmoty;
- odměření získaného tvaru pomocí posuvného měřidla;
- tvorba modelu v programu CATIA;
- vytvoření třech variant vzhledu šroubováku;
- úprava modelu vedoucí k lepší ergonomii výrobku;
- úprava vybrané varianty s přihlédnutím na konstrukci plastového výrobku.



*Obr. 32.: Přibližné ergonomické řešení s využitím modelovací hmoty;*



*Obr. 33.: Konečná podoba šroubováku v prostředí DS CATIA*

## 7.1 Použité materiály výrobku

Zadaný výrobek je složený ze tří druhů materiálu, které dohromady tvoří jeden nerozebíratelný celek. První vysoce namáhanou částí je kovový díl. Jeho materiál musí splňovat podmínky vysokého namáhání, odolnosti vůči prostředí a zároveň požadavky pro tepelné zpracování. Druhý, nosný vstřikovaný materiál plní funkci přenosu zatížení. Poslední materiál nám podstatnou měrou ovlivňuje ergonomické vlastnosti funkce šroubováku, podle toho se musí odvíjet i jeho volba.

### 7.1.1 Materiál kovového dílu

Pro materiál zastříkovaného kovového dílu byla zvolena ocel ČSN 15 260, DIN 1,8159, 50CrV (tab. 5.). Obsah vanadu v této oceli zlepšuje odolnost proti opotřebením a to i za zvýšených teplot a zároveň ji dodává chemickou odolnost. Obsah chromu pak naznačuje, že vybraná ocel má vysokou tvrdost, žárupevnost, žáruvzdornost a vykazuje zvýšenou chemickou ochranu.

Vybraná ocel je obecně doporučena pro velmi namáhané strojní součásti jako čepy, pružiny, hřídele a pístnice. Pro zadaný šroubovák doporučuji kovový díl galvanicky pokovit (tvrdochrom) a špičku chemicko-tepelně zpracovat.

Tab. 5.: Informace o oceli pro kovový díl

Výrobce materiálu	JKZ Bučovice a.s.
Označení oceli dle DIN	1,8159
Označení oceli dle ČSN	15 260
Doporučený rozsah teplot pro kalení [°C]	820 – 860
Typ kalicího média	olej
Doporučený rozsah teplot pro popouštění [°C]	550 – 690
Typ média pro popouštění	olej

### 7.1.2 Materiál nosného těla šroubováku

Vybraným materiálem pro nosné tělo šroubováku je polypropylén. Tento termoplast se vyznačuje velmi dobrými mechanickými vlastnostmi a odolností vůči prostředí. Druh polypropylénu (tab. 6.) byl vybrán na základě vysoké hodnoty indexu toku taveniny, jeho výborné adheze s kontaktním materiálem a minimálním rozdílem mezi smrštěním v příčném a podélném směru k toku taveniny.

Tab. 6.: Informace o nosném vstřikovaném materiálu dle Autodesk Moldflow 2012

Výrobce materiálu	Formosa Plastic
Typ polymerního materiálu	PP
Struktura materiálu	Krystalická
Typ plnění	Neplněný
Youngův modul pružnosti [MPa]	1340
Modul pružnosti materiálu ve smyku [MPa]	481,3
Doporučený rozsah teplot vstřikovací formy [°C]	10 – 85
Doporučená teplota taveniny [°C]	175 – 288
Maximální možná teplota taveniny [°C]	318
Doporučená vyhazovací teplota [°C]	122
Maximální hodnota smykového napětí [MPa]	0,25
Maximální hodnota rychlosti smykové deformace [ $s^{-1}$ ]	100000
Index toku taveniny (při teplotě 230°C) [g/10 min]	35
Velikost průměrné hodnoty smrštění [%]	1,5925

### 7.1.3 Materiál kontaktního dílu šroubováku

Zvoleným materiálem pro kontaktní část rukojeti je termoplastický elastomer TPE-V (tab. 7.). Mezi hlavní přednosti TPE-V patří především odolnost vůči olejům, protiskluzové vlastnosti, odolnost proti otěru, teplotní odolnost, ergonomické vlastnosti při kontaktu a výborná adheze k polypropylénu.

Tab. 7.: Informace o kontaktním vstříkovaném materiálu dle Autodesk Moldflow 2012




Výrobce materiálu	DuPont Engineering Polymers
Typ polymerního materiálu	TPE-V
Struktura materiálu	Krystalická
Typ plnění	Neplněný
Youngův modul pružnosti [MPa]	1340
Modul pružnosti materiálu ve smyku [MPa]	230
Doporučený rozsah teplot vstříkovací formy [°C]	40 - 80
Doporučená teplota taveniny [°C]	250 - 260
Maximální možná teplota taveniny [°C]	270
Doporučená vyhazovací teplota [°C]	173
Maximální hodnota smykového napětí [MPa]	0,3
Maximální hodnota rychlosti smykové deformace [ $s^{-1}$ ]	40000
Index toku taveniny (při teplotě 250°C) [g/10 min]	7
Velikost průměrné hodnoty smrštění [%]	1,7285

## 7.2 Varianty dílů šroubováku

### 7.2.1 Řešení vstříkovaných částí šroubováku

Po získání předběžného tvaru a rozměrů s využitím modelovací hmoty, byly v prostředí programu DS CATIA vytvořeny tři varianty tvarového řešení vstříkovaných materiálů šroubováku. Z těchto tří variant byla vybrána poslední, která představovala nejlepší návrh (tab. 8/C).

Tab. 8.: Řešení tvaru šroubováku v prostředí DS CATIA

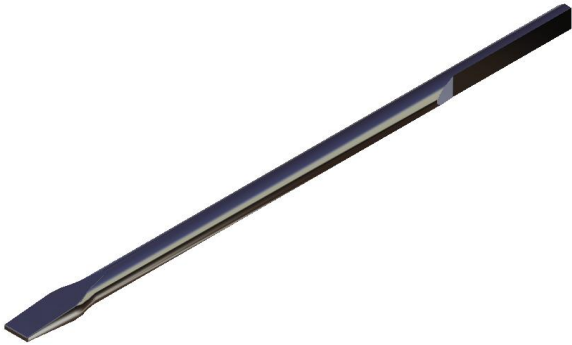


ŘEŠENÍ TVARU ŠROUBOVÁKU	POPIS
 <p style="text-align: right;">A)</p>	<p>Vytvořený tvar nepředstavuje ergonomicky pohodlné tvarové řešení. Důvodem jsou vytvořené drážky. Způsob rozdělení nosného polypropylenového a kontaktního dílu z termoplastického elastomeru však zabezpečuje výborné tvarové spojení obou dílů.</p>
 <p style="text-align: right;">B)</p>	<p>Tento tvar nabízí výhodné ergonomické řešení, které je naprosto přijatelné pro pohodlné držení šroubováku. Vytvořený tvar však nepodporuje tvarové spojení nosného a kontaktního dílu. Spojení obou materiálů především závisí na jejich adhezi.</p>
 <p style="text-align: right;">C)</p>	<p>Tato poslední varianta představuje kombinaci předchozích řešení a jejich výhod. Nabízí pohodlné ergonomické řešení spolu s tvarovým spojením obou vstříkovaných plastových dílů, které je zvýšenou vysokou adhezí nosného a kontaktního dílu.</p>



### 7.2.2 Řešení tvaru kovového dílu

Kromě tvarového řešení vstřikovaných materiálů, bylo voleno tvarové řešení obstříkovaného kovového dílu. V tomto případě byly pořízeny tři varianty tvaru kovového dílu. Jako nejlepší varianta byla zvolena poslední možnost (tab. 9/C).

Tab. 9.: Řešení tvaru kovového dílu v prostředí DS CATIA

ŘEŠENÍ TVARU ŠROUBOVÁKU	POPIS
 <p style="text-align: right;"><b>A)</b></p>	<p>Tvarové řešení obstříkované části kovového dílu vykazuje značnou nesy-metrii a jistou pravděpodobnost pohy-bu kovového dílu ve směru jeho po-délné osy.</p>
 <p style="text-align: right;"><b>B)</b></p>	<p>Tento tvar nabízí výhodné výhodnější symetrické uspořádání ve směrech kolmých na jeho podélnou osu, ale zabránění pohybu v této ose zůstává nevyřešeno.</p>
 <p style="text-align: right;"><b>C)</b></p>	<p>Tato finální varianta představuje snadno vyrobitelné tvarové řešení. Řešení dále vykazuje symetričnost frézovaných drážek a zabránění pohy-bu ve směru podélné osy šroubováku.</p>

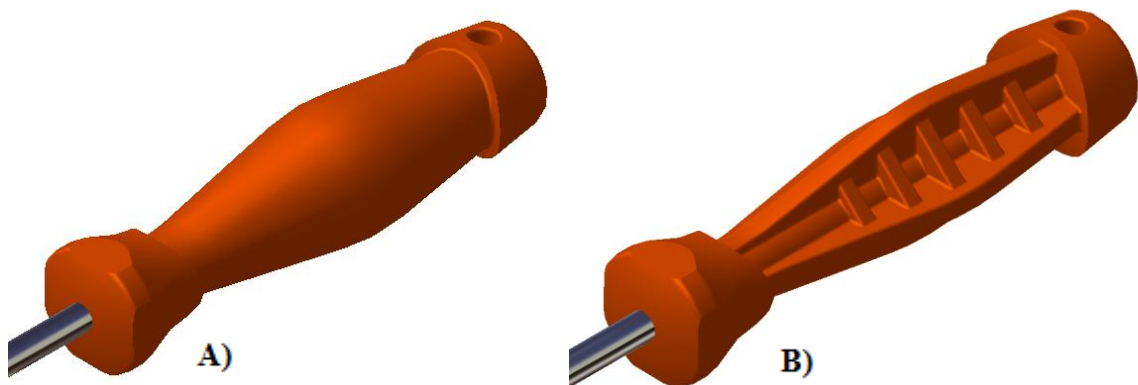
### 7.3 Pevnostní a technologické úpravy vstřikovaných dílů

V této části návrhu bylo nutné řešit velký objem nosného dílu z polypropylenu, který by způsobil neúnosné zvýšení doby potřebné pro vyhození výrobku na vyhazovací teplotu.

Pro zvolené technologické řešení vstřikování (více kapitola konstrukce), by se problém dlouhé doby nutné pro chlazení nosného dílu, přesunul do oblasti prostoje polotovaru. Tedy mezi vstřikovací formou určenou pro polypropylen a termoplastický elastomer.

Vzhledem k odhadované délce pracovního cyklu u polypropylenové nosné části, by tak docházelo k vysokému hromadění polotovaru šroubováku před vstupem do dutiny formy určené pro vstřik termoplastického elastomeru. Tento vysoký počet polotovarů by způsobil nutnost jejich skladování. Zároveň by vzrostl počet potřebných přípravků, které slouží pro transport kovové části, polotovaru a konečného výstřiku.

Velká akumulace materiálu by způsobila vznik propadlin a rezidiálního pnutí vlivem rozdílu teplot v průřezu polypropylenového dílu během procesu chlazení.



*Obr. 34.: Průběh vyztužení šroubováku: A) Nevyztužený počáteční model, B) Konečná úprava modelu vyztuženého žebry;*

Již zmíněná snaha o snížení objemu nosného dílu z polypropylenu, vedla ke konstrukci podpůrných žebry (obr. 34). Při správném návrhu a optimalizaci systému výztužných prvků by, tento způsob úpravy vedl ke snížení doby chlazení a eliminaci zmíněných problémů za cenu snížení tuhosti a únosnosti (respektive pevnosti) šroubováku. Optimalizační mechanické analýzy by pak vedly k jistému kompromisu mezi mechanickými vlastnostmi šroubováku a objemem materiálu nosného dílu.

Konstrukce výrobku v této diplomové práci se nezabývá optimalizací výztužných žebry.

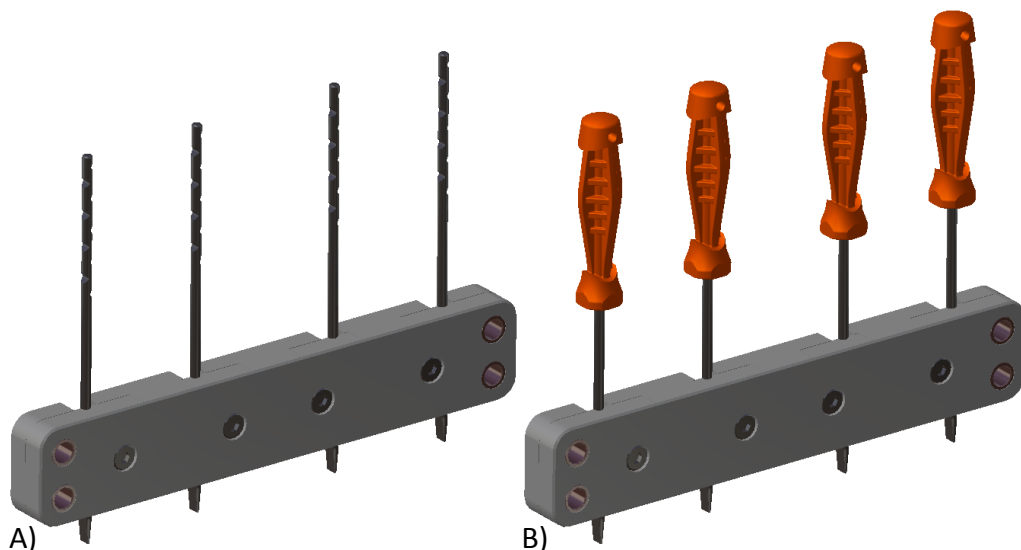
## 8 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ VÝROBY ŠROUBOVÁKU

Zadaný výrobek – šroubovák představuje typický produkt technologie vícekomponentního vstřikování. Konstrukčních přístupů jak postupovat při jeho výrobě je více. Nejvíce výhodné se jevíly následující konstrukční řešení:

- použitím jedné vstřikovací formy s otočným mechanismem pro transport mezi dutinami určenými pro vstřik polypropylenu a termoplastického elastomeru;
- použitím jedné vstřikovací formy s využitím manipulátoru (roboty), který by vykonával funkci přesunu kovového dílu, polotovaru (obr. 35.) a finálního výrobku;
- použitím dvou vstřikovacích forem (dvou vstřikovacích strojů) spolu s manipulačním robotem.

Z těchto základních přístupů se byla zvolena možnost s využitím dvou vstřikovacích forem v kombinaci s manipulačním robotem (obr. 36). Mezi hlavní výhody tohoto uspořádání patří:

- možnost přesunutí doby nutné pro dochlazení polypropylenové části z vstřikovacího cyklu do odkládacího místa pro něj určeného;
- zjednodušení konstrukce vstřikovací formy;
- zvýšení upínacích možností pro přípravek.

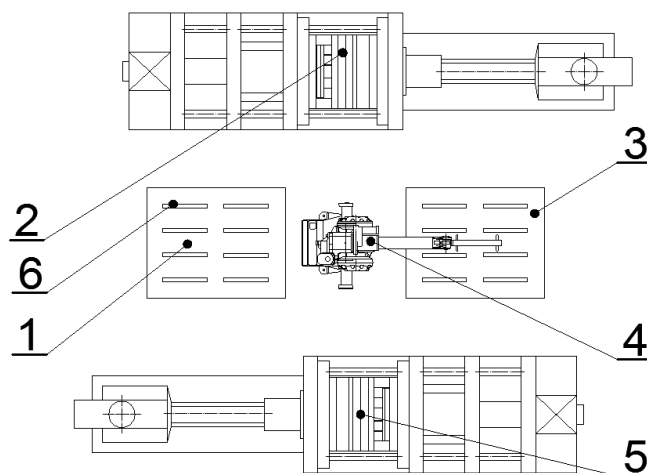


Obr. 35.: Přípravek: A) S upnutými kovovými díly před vstřikem PP, B) S upnutými kovovými díly a nastříknutým nosným polypropylenem;

Zvolená možnost, ale nepředstavuje typický druh multikomponentního vstřikování, jedná o vstřikování vícenásobné spolu s kombinací technologie zastřikování. Výrobek je zhotoven ve dvou oddělených vstřikovacích cyklech a na dvou vstřikovacích strojích, které leží uvnitř manipulačního prostoru robota. Nezbytnou částí manipulace je přípravek (obr. 35), který slouží pro upnutí kovového dílu a upnutí do dutin vstřikovacích forem.

## 8.1 Výrobní cyklus šroubováku

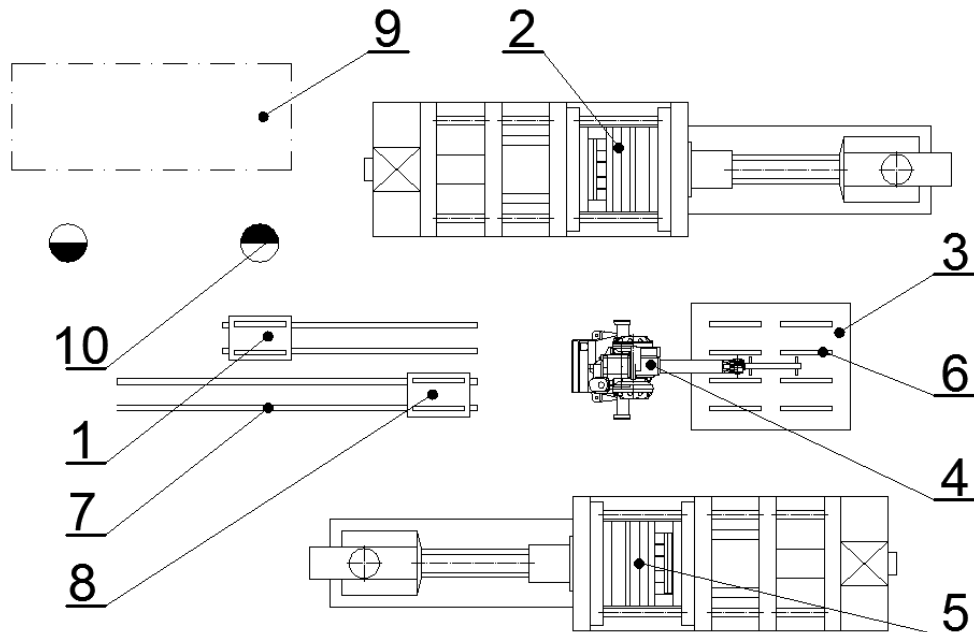
Na obrázku 36, vidíme zjednodušené schéma výroby šroubováku. Výrobní cyklus začíná vložení přípravku do manipulačního prostoru robota (Obr. 36/1). Následuje transport přípravku s kovovými díly (obr. 35/A) do prostoru vstřikovacího stroje, který vstřikuje nosný polypropylenový materiál. Po vstřiknutí a vychlazení na vyhazovací teplotu je polotovár výrobku (obr. 35/B) přesunut do odkládacího prostoru (obr. 36/3). Tato část je určena pro dochlazení výrobku na 25°C za podmínek sdílení tepla polotovaru s okolním prostředím. Aby nedošlo k zbytečnému prostoji vstřikovacího stroje, který je určený pro dokončení šroubováku vstřiknutím kontaktní části z termoplastického elastomeru (obr 36/5), je do tohoto stroje z odkládacího prostoru transportován již vychlazený výrobek. Výrobní cyklus je zakončen vyjmutím a transportem hotového šroubováku do výchozí polohy výrobního cyklu (obr. 36/1).



Obr. 36.: Schéma výroby šroubováku: 1) Počáteční a konečný odkládací prostor pro přípravky, 2) Vstřikování PP, 3) Odkládací prostor pro chlazení polotovarů, 4) Manipulační robot, 5) Vstřikování TPE-V, 6) Přípravek;

Celý výrobní cyklus šroubováku byl po vytvoření předběžného návrhu upraven a doplněn o nepostradatelná zařízení. Výsledek je zobrazen na obrázku 37. Optimalizace

výrobního procesu nebyla v této diplomové práci vytvořena. Případné řešení by vycházelo ze znalostí obou časů vstřikovacích cyklů. Optimalizovaný výsledek by obsahoval minimální strojní prostoje a maximální využití manipulačního robota. Zvýšená produktivita by se dala zajistit použitím oboustranné hlavy robota pro upnutí přípravku.



Obr. 37.: Schéma výroby šroubováku doplněné o nepostradatelné části výrobního cyklu:

- 1) Příjezdová deska, 2) Stoj pro vstřikování PP, 3) Odkládací prostor – deska, 4) manipulační robot, 5) Stroj pro vstřikování TPE-V, 6) Přípravek s polotovarem šroubováku, 7) Kolejnice pro transportní desky, 8) Odjezdová deska hotových výrobků, 9) Pracovní stůl pro montáž přípravků, 10) dělník;

## 8.2 Konstrukční řešení přípravku

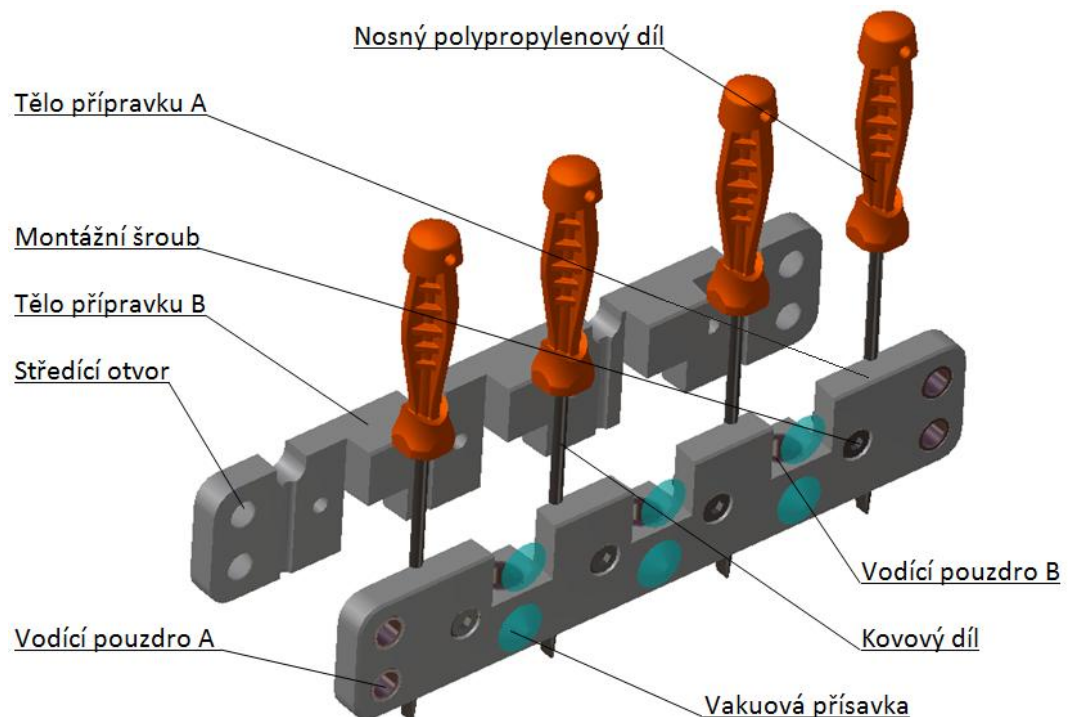
Jak již bylo zmíněno, přípravek slouží pro upnutí kovového dílu a umožňuje jeho snadný transport v průběhu celého výrobního cyklu.

Mezi podmínky, které musí přípravek splňovat, patří:

- jednoduchá konstrukce;
- snadná montáž a demontáž;
- přesné upnutí na vyhazovací systém a manipulačního robota;
- oddělení montáže vodících prvků od montáže během výrobního cyklu;

- prostor pro upnutí vakuovými přísavkami s ohledem na jejich možné selhání;
- maximální upínací plocha pro kovový díl při minimálních rozměrech a hmotnosti.

V souladu s těmito podmínkami byl v prostředí DS Catia vytvořen model sestavy přípravku (obr. 38). Vidíme, že přípravek je složený ze dvou hlavní částí, do kterých pracovníci vloží kovový díl, který je ustaven pomocí měrky tak aby měl správnou polohu. Vodící prvky jsou pevně zalisovány v tělu přípravku A. Přípravek je poté smontován čtyřmi šrouby a položen na vodící čepy příjezdové desky.



Obr. 38.: Popis přípravku

V konstrukčním řešení přípravku jsou vodící pouzdra A, které jsou určeny pro vedení čepů na manipulační hlavě robota. Jejich počet a umístění je zvoleno tak, aby nedošlo během příjezdu manipulační hlavy k zpříčení.

Vodící pouzdra B slouží pro upnutí k odjezdovým, příjezdovým a odkládacím deskám. Na obrázku 38 dále vidíme místa, která jsou určena pro pneumatické uchopení pomocí vakuových přísavek k upínací hlavě robota. Tyto přísavky mají kontaktní průměr  $D = 20$  mm a každá z nich je schopná, při 70% vakua, unést hmotnost 1,5 kg. Na základě materiálové studie v programu DS Catia, je odhadovaná hmotnost přípravku s dokončenými šroubovými 3,3 kg. Uvažovaný počet podtlakových přísavek je tedy značně předimenzovaný a počítá se selháním některých z nich.

## 9 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Dle předchozí kapitoly bude výrobní cyklus šroubováku realizován prostřednictvím dvou vstřikovacích strojů a tedy i dvou vstřikovacích forem. Jejich konstrukce je naprosto analogická, případné rozdíly nalezneme v tvarových dutinách, horkých vtokových soustavách a pozicích jednotlivých konstrukčních prvků, které horké vtokové soustavy nebo tvarové vložky přímo ovlivňují.

### 9.1 Násobnost formy

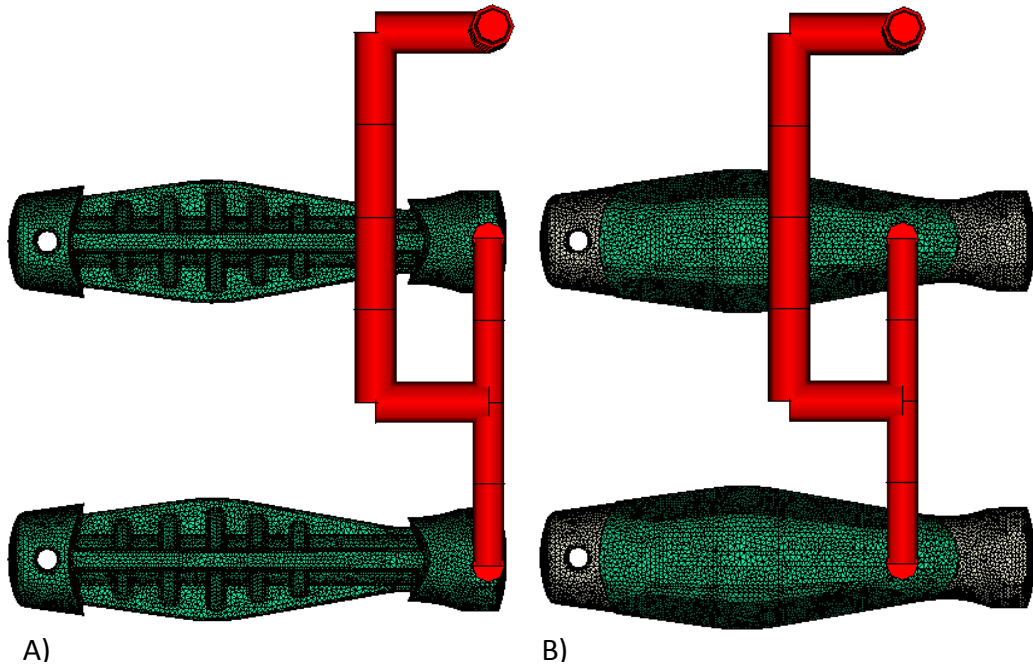
Násobnost vstřikovací formy patří mezi hlavní aspekty, které mění kvalitu výrobku a ekonomičnost výroby. Obecným předpokladem je dosáhnout co největšího počtu tvarových dutin.

Každá z vstřikovacích forem obsahuje čtyři tvarové dutiny. Větší počet by vedl k neúměrnému zvýšení nákladů na vstřikovací proces výroby šroubováku, který by se promítl do výrobních nákladů. Důvodem je skutečnost, že pro optimalizaci navrženého výrobního cyklu šroubováku je zapotřebí velké množství přípravků. U kterých jsme limitovány především rozměry (hmotností) a cenou (kap. 8.2). Zvolená násobnost nám zaručuje nižší náklady na vstřikovací formy a nároky, které jsou kladeny pro vstřikovací stroje, manipulačního robota a potřebný výrobní prostor.

Vzhledem k těmto faktům představuje zvolená násobnost příznivou hodnotu pro výrobu zadaného výrobku.

### 9.2 Násobnost formy pro CAE aplikaci

Z důvodu výpočetní náročnosti CAE aplikace Autodesk MoldFlow 2011, byla při tvorbě fiktivní vstřikovací formy volena poloviční násobnost (obr. 39.) proti násobnosti skutečné. Jedná se o úpravu, která byla pro danou symetričnost čtyřnásobné vstřikovací formy vhodná a to z důvodu snížení počtu 3D elementů a zkrácení doby nutné pro výpočet tokových analýz.



Obr. 39.: Násobnost v prostředí Autodesk Moldflow 2011: A) pro polotovár z kovového a polypropylénového dílu, B) pro konečnou fázi vstřikování termoplastického elastomeru;

### 9.3 Umístění vtoku dle CAE aplikace

V této fázi návrhu formy, byly vytvořeny dvě analýzy (pro PP a TPE-V) typu GATE v prostředí MoldFlow 2011. Výsledkem byly informace o vhodnosti umístění vtoku a odporu proti plnění výrobku polymerní taveninou. Z těchto výsledků pak vycházelo zaformování a uspořádání jednotlivých konstrukčních prvků vstřikovacích forem.

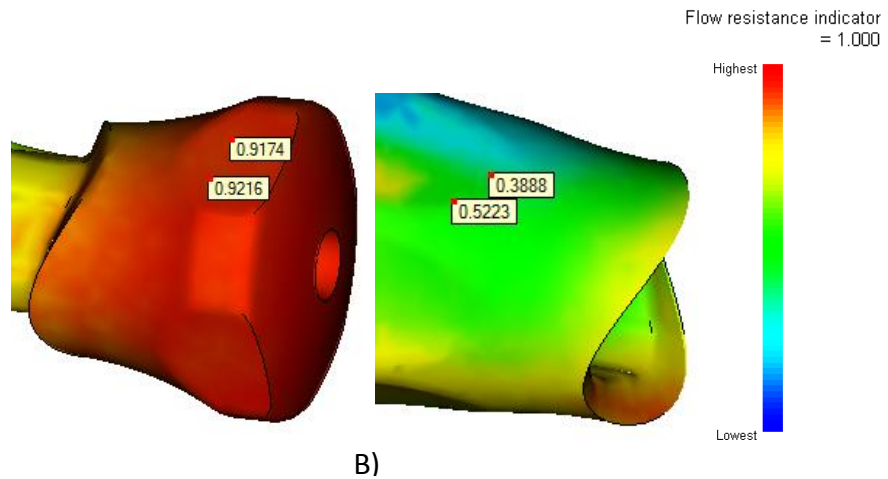
*Indikátor odporu proti plnění výrobku polymerní taveninou:*

Na obrázku 40/A vidíme, že zvolené místo pro plnění dutiny polypropylénem není příliš vhodné. V případě volby polohy ústí při vstřikování termoplastického elastomeru již bylo postupováno v souladu s doporučenou polohou dle obrázku 40/B.

*Vhodnost umístění vtoku:*

Na obrázku 41/A vidíme, že námi zvolené místo pro plnění dutiny polypropylenem neodpovídá výsledku, analýzy GATE. V souladu s výsledky o vhodnosti umístění vtoku (obr. 41/B) byla zvoleno ústí pro vstřikovaný díl z termoplastického elastomeru.

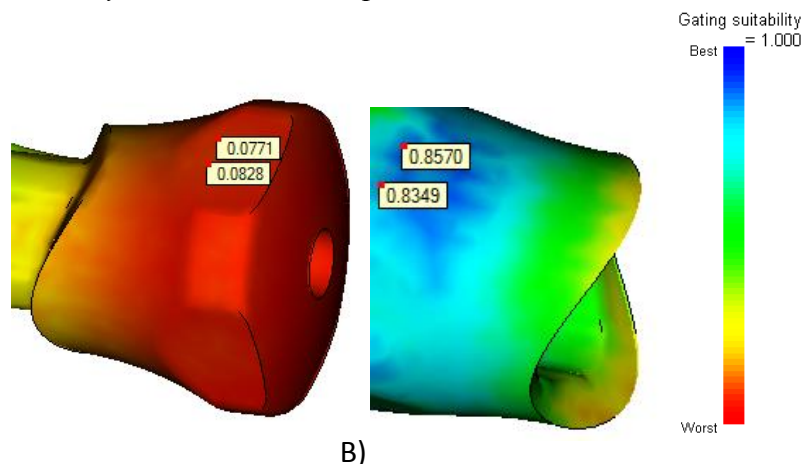




A)

B)

Obr. 40.: Umístění vtoku – odpor proti toku: A) Polotovár z polypropylenu, B) Konečný výrobek – díl z termoplastického elastomeru;



B)

B)

Obr. 41.: Umístění vtoku – vhodnost umístění vtoku: A) Polotovár z polypropylenu, B) Konečný výrobek – díl z termoplastického elastomeru;

Závěr výběru polohy ústí v toku pro polypropylen:

Zvolená poloha ústí je pro vstřikování polypropylénu, na základě výsledků analýzy GATE, nevhodná. Důvody pro její zvolení jsou následující:

- citelná nesymetričnost vstřikovací formy z hlediska rozložení vyhadzovací síly;
- nevyužití celé jedné poloviny vstřikovací formy z důvodu umístění ústí v ose plastikační jednotky;
- obtížná konstrukce temperančních systémů konvenčním způsobem a nutnost použití příliš malých průměrů temperačních kanálů, vzhledem k velikosti tvarových vložek;
- vyšší koncentrace vzduchových kapes v oblasti vzhledových ploch.

Nevýhody plynoucí z námi zvolené polohy ústí v případě polypropylénu:

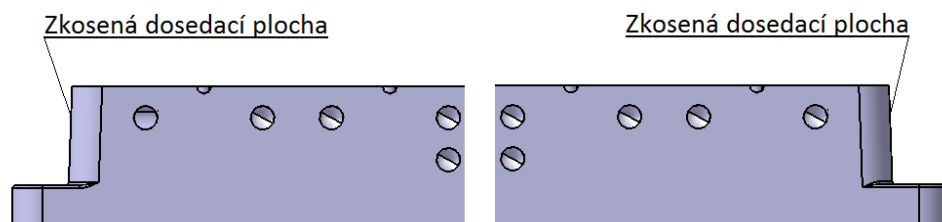
- snížení pevnosti v místě podpůrných žeber z důvodu koncentrace vzduchových bublin v tomto místě;
- složitější optimalizace vstřikovacího cyklu.

Z konstrukčního hlediska vstřikovací formy pro polypropylenový polotovar jasně převažují výhody námi zvolené polohy ústí. Pevnostní nedostatky by bylo možné odstranit modifikací podpůrných žeber (změnou geometrie). Tokové nedostatky (respektive vzduchové kapsy) by se částečně eliminovaly změnou procesních podmínek (nižší teplota taveniny, nižším vstřikovacím tlakem a tvorbou odvodušňovacích kanálů).

## 9.4 Zaformování

Zaformování výrobku spočívá ve volbě dělicí roviny a vytvoření tvarové dutiny. Tvarová dutina představuje negativ výrobku, který je zvětšen o hodnotu smrštění vstřikovaného materiálu.

Pro vstřikovací formy byly vytvořeny čtyři tvarové vložky a to dvě pro polypropylenovou nosnou část a zbylé dvě pro kontaktní díl z termoplastického elastomeru. Obě části výrobku jsou symetrické a tedy o tom, jakou polohu zaujme polotovar nebo výrobek po otevření vstřikovací formy, rozhoduje přípravek (respektive vyhazovací systém).



Obr. 42.: Úprava dosedací plochy u tvarových vložek

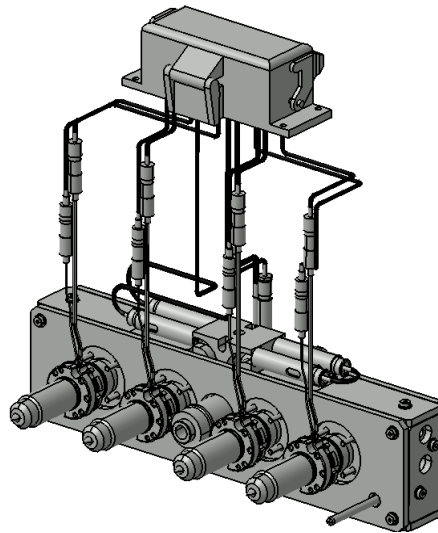
Na obrázku 42 vidíme konstrukční úpravu tvarových vložek. Vzhledem k tomu, že je tvárnice temperována médiem přivedeným z tvarové desky, bylo nutné přikročit k úpravě a dvojice dosedacích ploch zkosit. Toto zkosení umožňuje bezproblémové usazení těsnících kroužků mezi vrtanými kanály temperančních systémů a zabraňuje úniku vody do dutiny formy.

## 9.5 Vtokové systémy

Horké vtokové systémy se v praxi nechávají konstruovat s využitím specializovaných firem. Jejich vlastní konstrukce je ekonomicky nevýhodná. Pro konstrukci vstřikovacích forem bylo použito online podpory společnosti Günther.

Pro jednotlivé materiály bylo nutné do online podpory CAD-DATA zadat následující údaje:

- typ materiálu;
- objem (respektive hmotnost) výstřiku;
- reologické vlastnosti materiálu a procení parametry vstřikování;
- vzdálenost mezi vtokovými ústí a jejich průměr;
- typ vstřikovacích trysek;
- parametry vstřikovacího stroje;
- zvolené podpůrné komponenty horkých vtokových soustav.

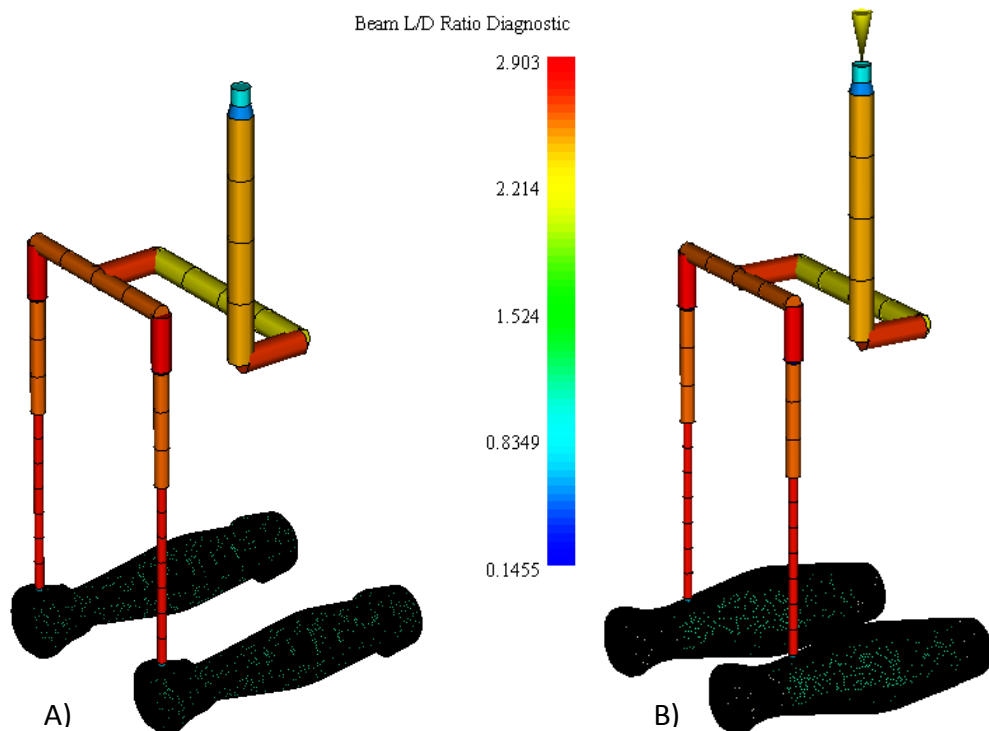


*Obr. 43.: Horká vtoková soustava Günther pro polypropylénový díl*

Tyto údaje byly odečteny na základě materiálové databáze Autodesk Moldflow 2011 a vlastností modelů výrobku, zvětšených o hodnotu smrštění v prostředí DS CATIA. Výsledkem bylo vygenerování 3D sestav s datovou příponou \*.STEP. Tyto sestavy byly vloženy do programu DS CATIA a použity pro 3D sestavy obou vstřikovacích forem (obr. 43).

### 9.5.1 Fiktivní vtokové systémy pro vstřikování PP a TPE-V

Po vložení a přesném ustavení vygenerované sestavy horké vtokové soustavy, pro polypropylén a termoplastický elastomer, byly vytvořeny dráhy toku v programu DS CATIA. Tyto dráhy toku byly uloženy s datovou příponou \*.IGS a následně vloženy pro vytvoření fiktivní vtokové soustavy do CAE simulačního programu společnost Autodesk MoldFlow 2011. Na obrázku 44 vidíme, že vytvořená vtoková soustava obsahuje pouze polovinu násobnosti.



Obr. 44.: Fiktivní vtoková soustava: A) pro vstřikování PP, B) pro vstřikování TPE-V;

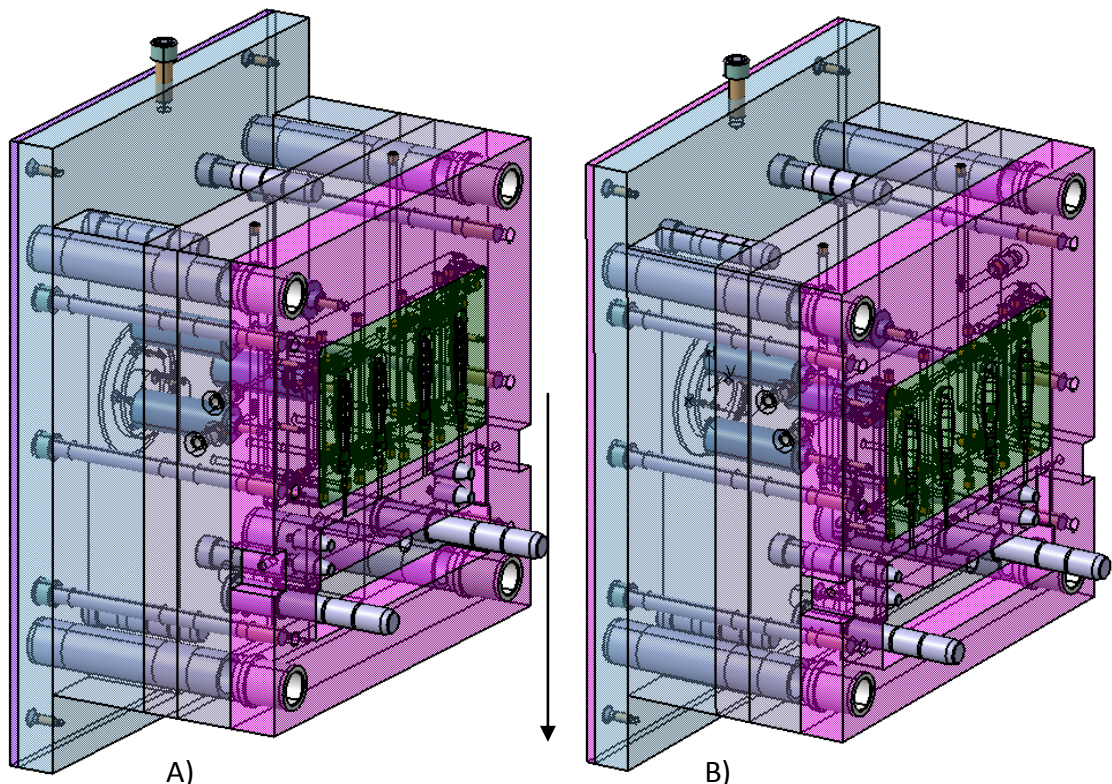
Podmínky kladené simulačním programem pro správný průběh analýzy:

- platnost podmínky BEAM elementů  $L/D < 3$ ;
- napojení BEAM elementu v místě ústí k síti vstřikovaného výrobku.

Tyto podmínky byly splněny.

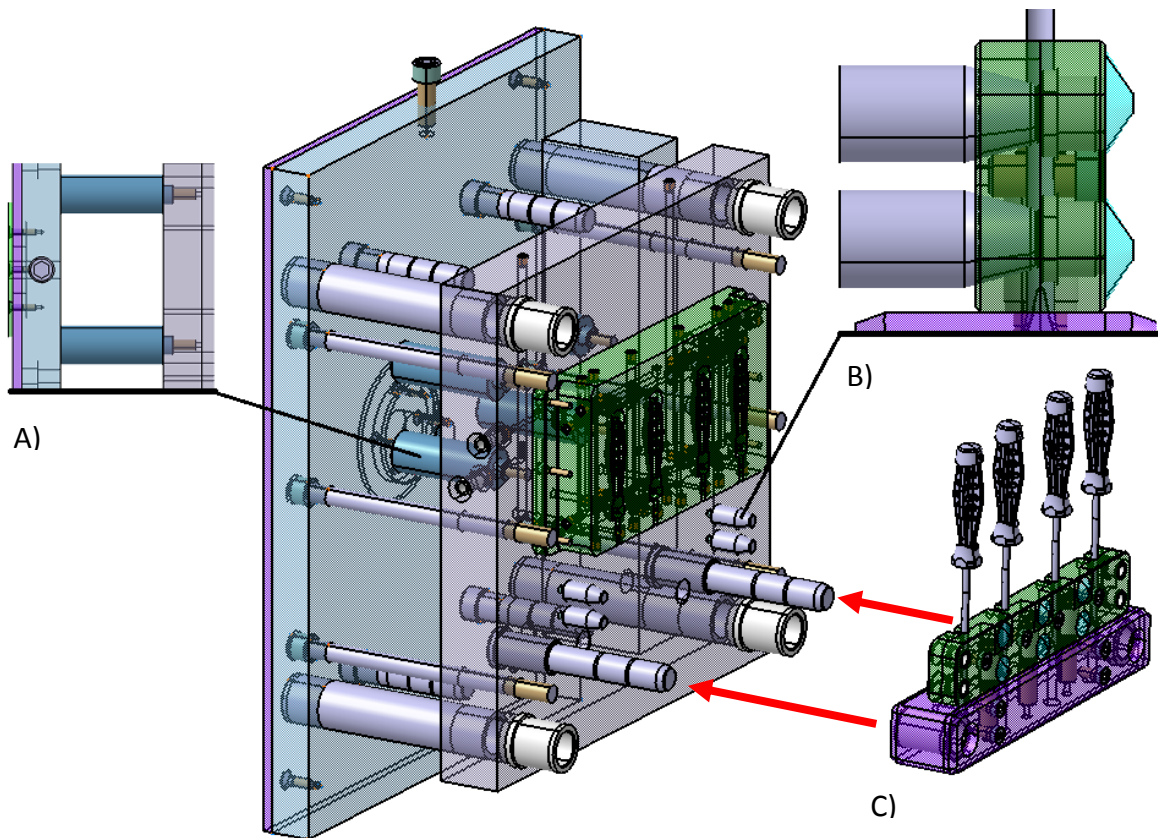
## 9.6 Vyhazovací strana vstřikovacích forem

Na obrázku vidíme konstrukční uspořádání levé – vyhazovací strany formy určené pro vstřikování polypropylénu (obr. 45/A) a termoplastického elastomery (obr. 45/B). Vidíme, že vyhazovací strany jednotlivých vstřikovacích forem jsou analogické. Rozdíl je v posunu konstrukčních prvků o 22 mm. Délka posunu odpovídá rozdílu mezi vtokovým ústím pro PP a TPE-V (v naznačeném směru).



Obr. 45.: Vyhazovací strana vstřikovací formy: A) pro PP, B) pro TPE-V ;

Na následujícím obrázku vidíme podpurné konstrukční prvky, které zvyšují funkčnost obou vstřikovacích forem. Opěrné sloupky (obr. 46/A) slouží k zvýšení tuhosti a minimalizaci nebezpečí prohnutí opěrné a podpurné tvarové desky během procesu vstřikování. Jejich úkolem je tedy minimalizace tlakových účinků, které jsou vyvolány vstřikovacím tlakem. Středící kolíky (obr. 46/B) slouží k vystředění přípravku při zasouvání vyhazovacího systému, respektive při příjezdu kovových dílů do polohy dělicí roviny. Jejich počet a vzdálenost podporují bezpečné ustavení přípravku v dutině formy. Podpurné čepy (obr. 46/C) vycházejí z nutnosti vedení vyhazovací části (vyhazovacího mechanismu) určené pro pohyb přípravku. Červené šipky nám naznačují pohyb, který mechanismus (vyhazovací vložka a přípravek) vykonává.



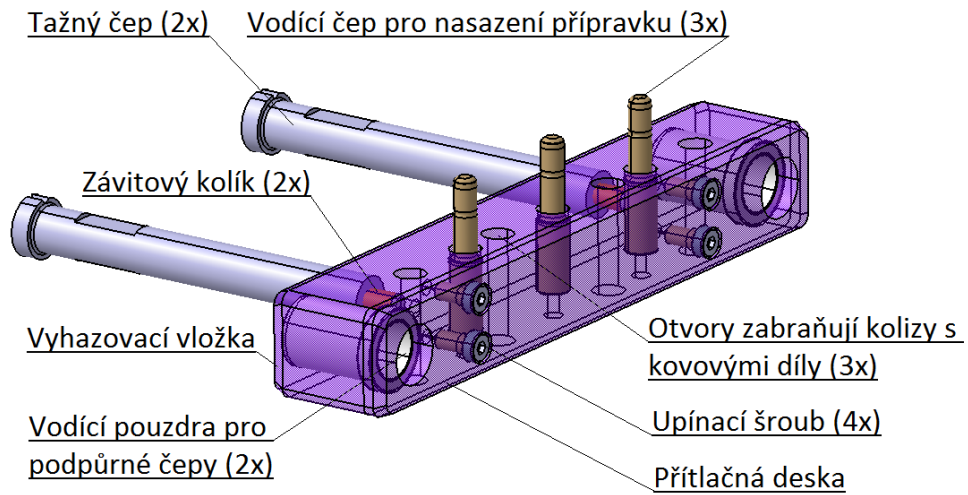
Obr. 46.: Podpůrné konstrukční prvky: A) Opěrné sloupky, B) Středící kolíky, C) Podpůrné čepy;

## 9.7 Vyhazovací systém

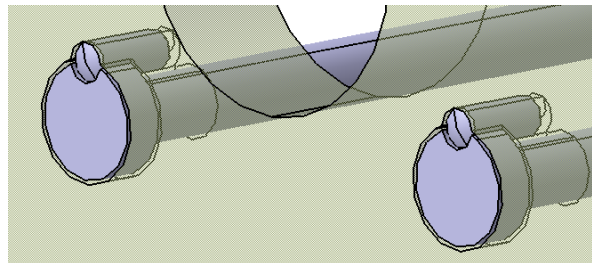
Navržený vyhazovací systém, plní kromě funkce vyhození i funkci uzavírací a nachází se u obou vstřikovacích forem.

Principem je nasazení uchopeného přípravku robotickou hlavou na tři vodící čepy, které jsou pevně ukotveny ve vyhazovací vložce (obr. 47). Tato vyhazovací vložka je pak pevně spojena s vyhazovacími deskami. A pohybem táhla je celému systému udělený potřebný pohyb pro zasunutí (vysunutí) vyhazovacího systému, respektive přípravku s výstřiky. Přehledně je nasazení přípravku znázorněno na obrázku 49, 50.

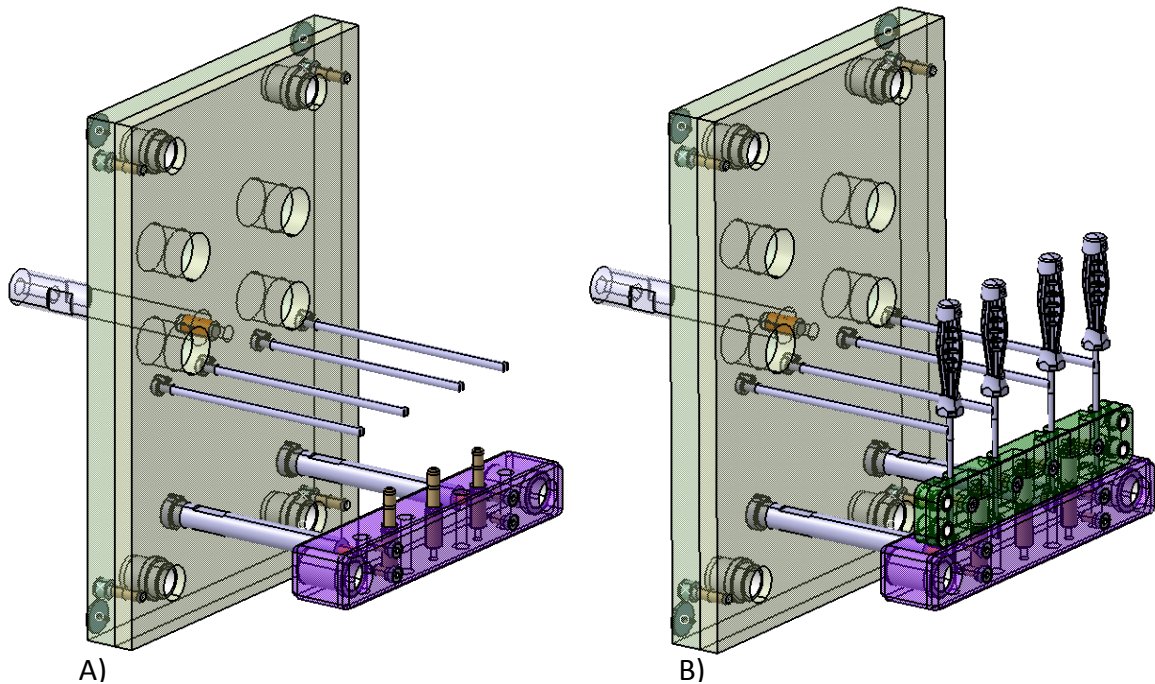
Vyhazovací systém také obsahuje klasické vyhazovače, které se opírají o kovový díl a zabezpečují bezproblémové vyhození v případě nasmrštění vstřikovaného polymeru na tvárník. Nechybí také konstrukční úpravy s využitím kolíků, které zabraňují potočení vyhazovačů a tažných čepů (obr. 48).



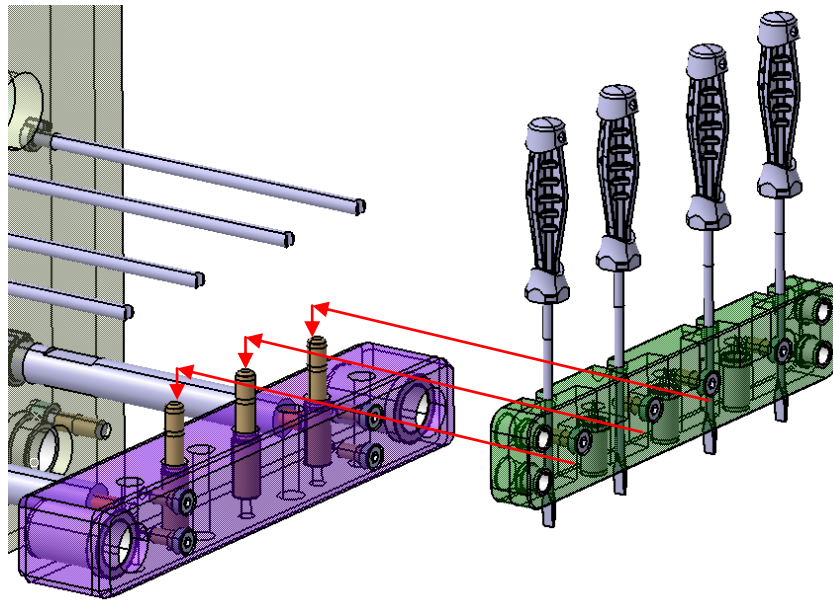
Obr. 47.: Popis vyhazovací vložky



Obr. 48.: Zajištění vyhazovačů proti pootočení



Obr. 49.: Vyhazovací systém vstříkovací formy: A) před nasazením přípravku, B) po nasazení přípravku;



Obr. 50.: Dráha pohybu robota při nasazování přípravku na vyhazovací systém

Nevýhodou navrženého systému je především kolize kovového dílu s podpůrnými vyhazovači během procesu výměny přípravku (obr. 50). Kontakt v době příjezdu nepředstavuje žádný problém vzhledem ke skutečnosti, že robot má při kontaktu téměř nulovou přítláčnou sílu. Nedojde tedy k deformaci vyhazovačů vlivem ztráty stability ani k deformaci kovového dílu.

Problém nastává při nasazování přípravku na vodící čepy vyhazovací vložky. Vyhazovače jsou v přímém kontaktu s kovovým dílem a jeho povrch tedy může být odírán. Výsledkem mohou být horší vzhledové vlastnosti. Tento problém byl částečně eliminován použitím vyhazovačů z beryliové bronz (slitiny beryllia a mědi). Tento materiál nabízí vysoké pevnostní vlastnosti spolu s nízkým koeficientem tření při kontaktu s kovovým dílem. Další jeho výhodou je vysoký odvod tepla, který by zajistit odvod tepla z polypropylénového dílu přes kovový díl šroubováku. Další možnosti odstranění znehodnocení povrchu kovového dílu jsou:

- použití klasických podpůrných vyhazovačů opatřených vložkami z nízkotavitelných materiálů (slitiny mědi);
- zásahem do konstrukční podstaty vstřikovacích forem.

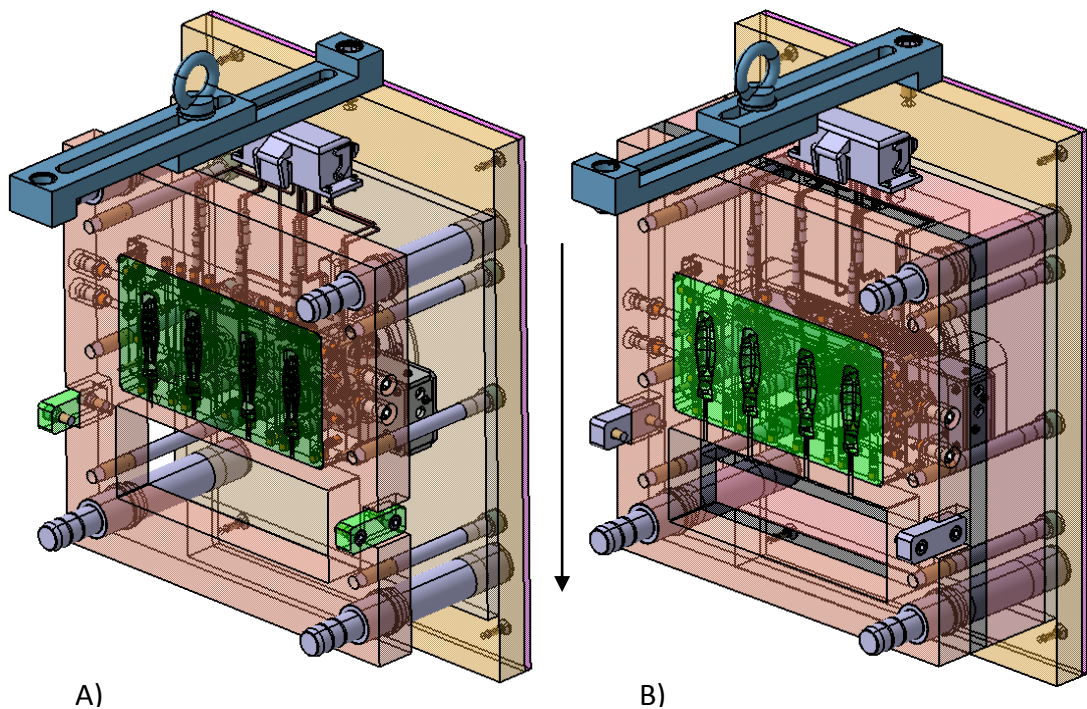
Pod poslední možností si můžeme představit například použití dvoustupňového vyhazování nebo hydraulického válce. Tento válec by ovládal pohyby vyhazovací vložky, vyhazovací systém pak pohyby vyhazovačů.



## 9.8 Vstřikovací strana forem

Vstřikovací strana formy pro polypropylenový díl a díl z termoplastického elastomeru se liší v tvarových vložkách, dráze temperačního systému a poloze horké vtokové soustavy. Jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách tento posun je roven 22 mm v ose naznačené obrázkem 51.

Vstřikovací strana obsahuje klasické konstrukční prvky. Potřebné úpravy pak nalezneme v tvarové desce a přilehlé podpůrné desce. Tyto úpravy jsou reprezentovány odfrézovaným prostorem, který je nezbytný pro úspěšné uzavření vstřikovací formy (respektive vyhazovacího systému s přípravkem). Stejné řešení nalezneme i v místě ustavení horké vtokové soustavy.



Obr. 51.: Vstřikovací strana formy: A) pro PP, B) pro TPE-V

Na obrázku 51 vidíme pravé strany vstřikovacích forem pro PP a TPE-V, které obsahují přidané konstrukční prvky, pro snadný přesun a ustavení vstřikovacích forem do prostoru vstřikovacího stroje. Jedná se o transportní můstky, mechanismus společnosti HASCO a uzavírací systém, který zabezpečuje vstřikovací formy během transportu. Systém brání nechtěnému otevření jednoduchým sešroubováním v oblasti dělicí roviny.

## 9.9 Temperační systém

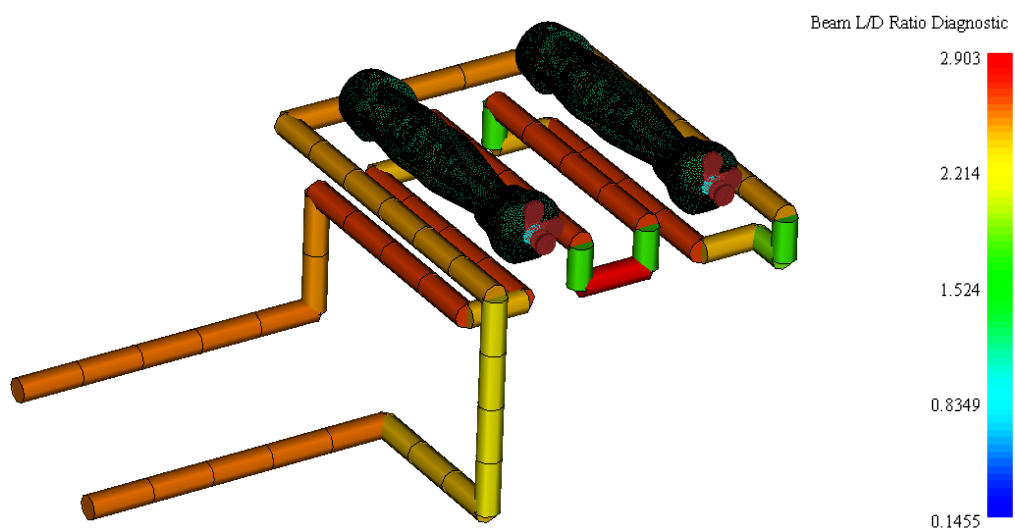
Pro temperaci vstřikovacích forem byly vytvořeny čtyři temperační okruhy, dvě pro jednu tvarovou vložku. Prvotní myšlenkou však bylo vytvoření jednoho temperačního okruhu pro jednu tvarovou vložku. Takto volený temperační systém by mohl dosahovat velkých rozdílů teploty temperačního média v místě chlazení první a poslední dutiny. Uvažovaná konečná podoba nám zaručuje optimálnější teplotní pole vstřikovací formy.

Průměr vtokových kanálů je ve všech případech naprosto stejný a rovná se hodnotě 8 mm. Vzhledem k velkému rozměru tvarových vložek bylo rozhodnuto, že průměr osmy milimetrů představuje minimální hodnotu systému vrtaných kanálů, které jsou potřeba pro temperaci poměrně velkých tvarových vložek. Další společnou podmínkou bylo dodržení minimální hodnoty vzdálenosti temperačních okruhů od okrajů vložek a mezi jednotlivými kanály. Toto dodržení, doporučené hodnoty 6 mm nám zaručuje dostatečnou tuhost a únosnost tvarových vložek při zátěži tlakem v průběhu vstřikování.

### 9.9.1 Fiktivní temperační systém na straně tvárníku pro PP, TPE-V

Tento okruh byl pro potřeby CAE programu Moldflow 2011 vytvořen, na základě geometrie vložené z programu DS CATIA a uložené s datovou příponou \*.IGS.

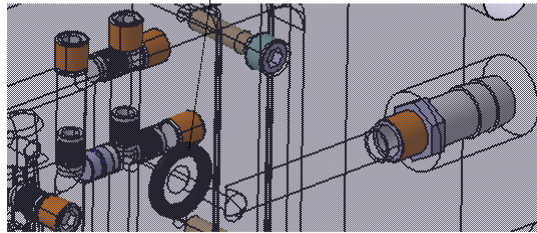
V CAE aplikaci byla vložená geometrie síťována BEAM elementy a to tak aby hodnota L/D těchto elementů nepřekročila hodnotu 3 (obr. 52, 54). Tato podmínka byla dodržena.



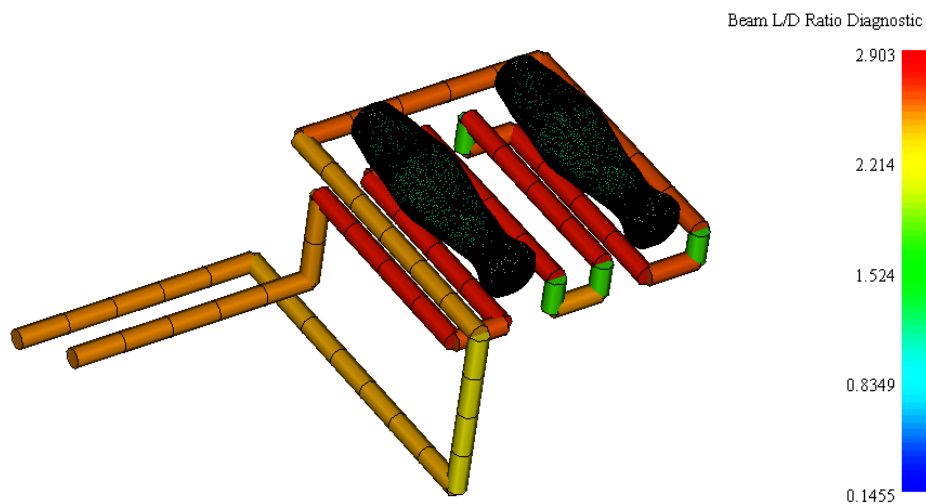
Obr. 52.: Fiktivní temperační okruh tvárníku pro PP

V důsledku symetrie byly fiktivní temperační okruhy uvažovány jen pro polovinu celé tvarové vložky, tedy pro dvě dutiny. Temperační média jsou přivedena přes podpůrnou levou tvarovou desku do tvarové vložky. Aby nedošlo k nechtěnému úniku média, jsou tyto místa ošetřena těsnícími kroužky (obr. 53).

Těsnící O-kroužek



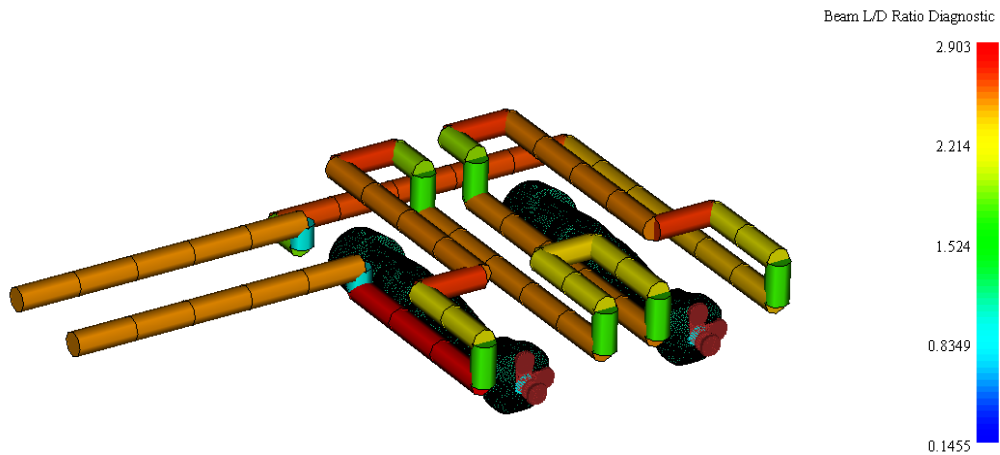
Obr. 53.: Příklad těsnícího O-kroužku pro tvárníky



Obr. 54.: Fiktivní temperační okruh tvárníku pro TPE-V

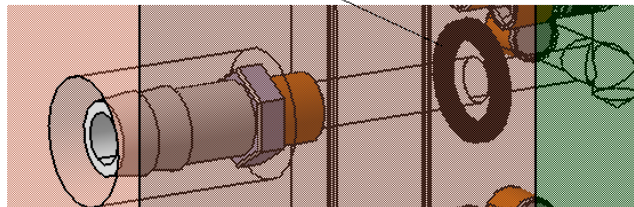
### 9.9.2 Fiktivní temperační systém na straně tvárnice pro PP, TPE-V

Tyto temperační okruhy byly, stejně jako na straně tvárníku vytvořeny síťováním geometrie vytvořené v programu DS CATIA. Jejich rozdíly jsou důsledkem rozdílných míst vtokových ústí do dutin formy.

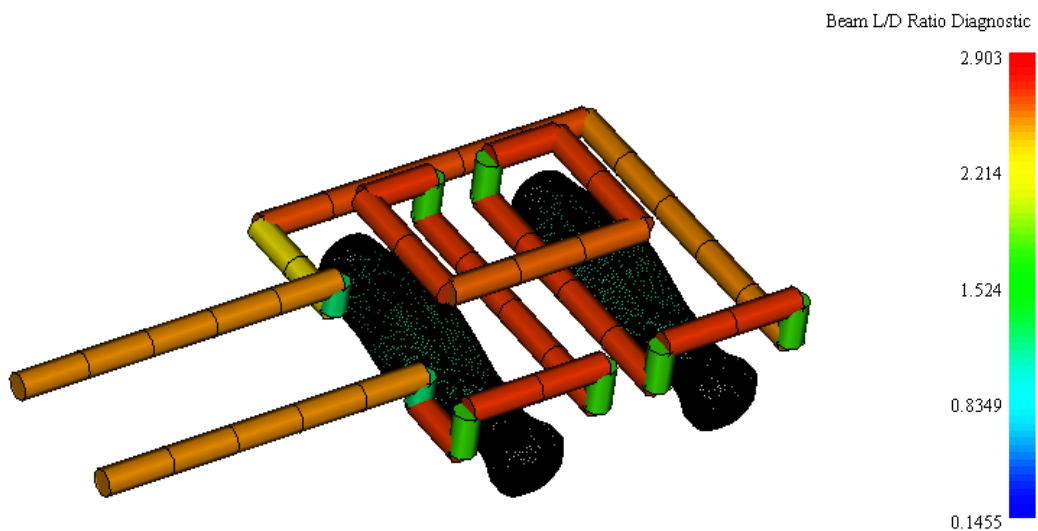


Obr. 55.: Fiktivní temperační okruh tvárnice pro PP

#### Těsnící O-kroužek



Obr. 56.: Příklad těsnícího O-kroužku na straně tvárníků



Obr. 57.: Fiktivní temperační okruh tvárnice pro TPE-V

## 9.10 Odvzdušňovací systém

Odvzdušňovací systém bude zvolený na základě tokových analýz v programu Autodesk MoldFlow 2011. Předpokladem je vytvoření systému odvzdušňovacích kanálů, které zasahují do prostoru tvarových dutin.

## 9.11 Volba vstřikovacího stroje

Správně zvolený vstřikovací stroj musí pro danou vstřikovací formu splňovat následující podmínky:

- vyhovovat vstřikovací formě z hlediska jejích rozměrů;
- mít dostatečný plastikační výkon s rezervou minimálně 10% pro dotlakovou fázi;
- musí mít dostatečný uzavírací výkon pro bezpečné uzavření vstřikovací formy.

V tabulce 10 nalezneme informace o vybraném vstřikovacím stroji, který vyhovuje pro obě vstřikovací formy.

Tab. 10.: Geometrické a plastikační parametry použitého vstřikovacího stroje

Výsledky analýzy, poznatky o formě	Zadaná hodnota PP/TPE-V	Hodnota vybraného stroje Arburg 470 S (45mm)
Šířka formy (mezi sloupky)	446 / 446 mm	max. 470 mm
Výška formy	596 / 596 mm	max. 637 mm
Stavební výška formy (uzavřena)	495,5 / 495,5 mm	min. 250 mm
Stavební výška formy (otevřena)	670 / 670 mm**	max. 750 mm
Uzavírací síla	min. 20 tun**	max. 110 tun
Objem materiálu ve formě	160 / 150 cm <sup>3</sup> **	max. 254 cm <sup>3</sup>

Pozn.: \*\* hodnoty jsou zvoleny s ohledem na míru bezpečnosti a zaokrouhleny vzhůru.

Námi vybraný vstřikovací stroj vyhovuje všem parametrům, které jsou kladeny vstřikovacími formami a vstřikovanými materiály.

## 9.12 Fiktivní vstřikovací formy

Fiktivní vstřikovací formy byly vytvořeny na základě 3D sestav vstřikovacích forem vytvořených v programu DS CATIA pro potřeby aplikace Autodesk Moldflow 2011. Tento model vstřikovací formy vymezuje pro simulační CAE aplikaci prostor, ve kterém výpočty

probíhají. V následujících tabulkách nalezneme geometrické rozměry fiktivních vstřikovacích forem.

*Tab. 11.: Fiktivní vstřikovací forma pro PP a TPE-V*

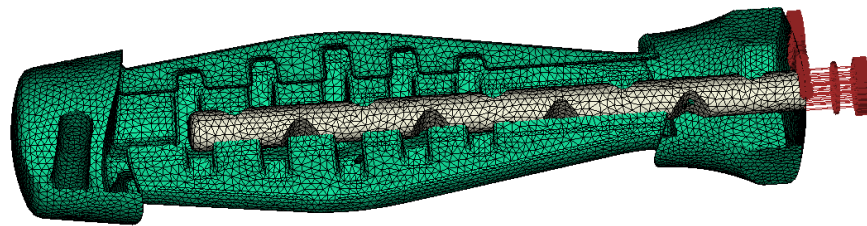
<b>Název rozměru formy</b>	<b>Velikost rozměru</b>	<b>Rozměry fiktivní vstřikovací formy v prostředí CAE</b>
Šířka formy	446 mm	240 mm
Výška formy	596 mm	220 mm
Stavební výška formy (uzavřena)	495,5 mm	330 mm

## 10 ANALÝZY VSTŘIKOVÁNÍ DÍLU Z PP

### 10.1 Dokončení fiktivní vstřikovací formy v Autodesk Moldflow 2011

V této finální fázi přípravy analýzy byla vytvořena FEM síť polypropylenového dílu za použití datového souboru \*.STP, který zaručuje dobrou kvalitu sítě a částečně eliminuje případné defekty. Vytvořená síť obsahovala elementy typu Dual Domain (2,5D).

Nepostradatelnou částí bylo získání modelu kovového výrobku (obr. 58). Ten byl zhotoven z FEM sítě importovaného modelu polypropylenového dílu za dodržení postupu analýzy označené jako CORE SHIFT. Jeho tvorba spočívala v práci s elementy typu Dual Domain. Kovový díl byl zjednodušen (respektive zkrácen) a jeho koncovým bodům odebrány veškeré stupně volnosti.

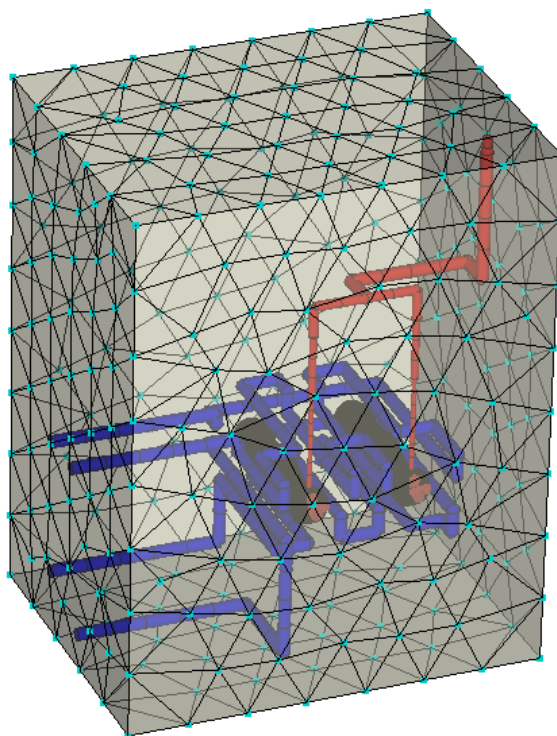


Obr. 58.: Fiktivní výrobek v prostředí Autodesk Moldflow 2011

Po vytvoření a síťování polypropylenového a kovového dílu elementy typu 3D byly jednotlivé díly funkcí přesunu ustaveny do polohy, které odpovídaly jejím pozicím ve vstřikovací formě. Následně byla pomocí příkazu kopírování doplněna násobnost fiktivní vstřikovací formy tak aby odpovídala poloviční násobnosti konstruované vstřikovací formy.

Připravená vstřikovací forma (obr. 59) pro spuštění analýzy pak obsahuje následující části:

- dva polypropylenové díly;
- dva kovové díly vložené do polypropylenového dílu;
- fiktivní temperační okruh na straně tvárníku;
- fiktivní temperační okruh na straně tvárnice;
- fiktivní horkou vtokovou soustavu;
- fiktivní vstřikovací formu.



Obr. 59.: Fiktivní vstřikovací forma v prostředí Autodesk Moldflow 2011

## 10.2 Doplnění parametrů vstřikování a volba okrajových podmínek

### 10.2.1 Volba temperačních prostředků

Pod pojmem temperační prostředky, obecně rozumíme látky, které nám slouží pro optimalizaci teplotního pole vstřikovací formy a současně zajišťují odvod tepla z dutiny formy. Dle základního rozdělení je můžeme dělit na aktivní a pasivní.

Aktivními prostředky je zaručen odvod tepla z dutiny formy přímo (kapaliny, vzduch, topné elektrické články). Pasivní prostředky zaručují sdílení tepla svými fyzikálními vlastnostmi.

V této diplomové práci bylo využito aktivní formy temperování.

Tab. 12.: Zvolené temperační médium v temperačních systémech formy pro PP

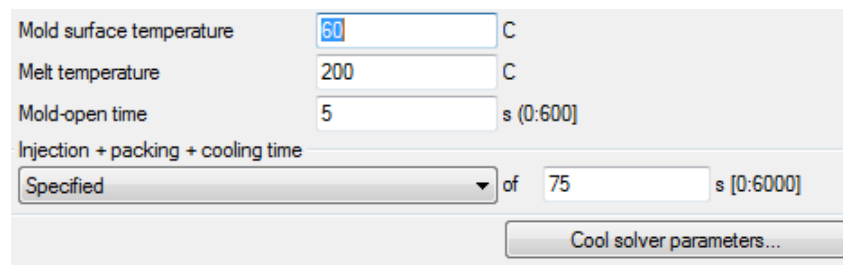
Typ média	Složení	Poměr složek	Teplota	Tlak
Kombinace	Etylén glykol + voda	30% : 70%	55°C	3 Bar



### 10.3 Doplnění vstřikovacích parametrů a volba okrajových podmínek

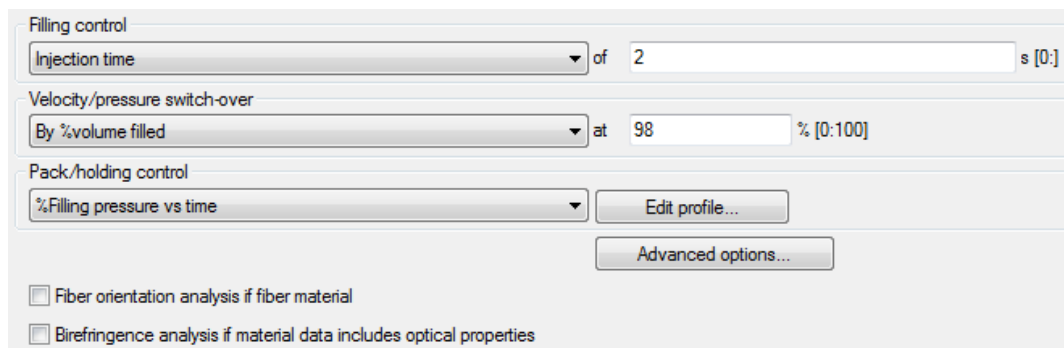
Nastavené procesní podmínky vstřikování byly zadány po získání výsledků z předběžné analýzy. Konečná analýza je typem CFPW (chlazení, plnění, dotlak a smrštění) v prostředí 3D. Nepostradatelné procesní podmínky byly nastaveny v položce Process settings wizard.

V prvním kroku byla nastavena teplota vstřikovací formy na 60°C (obr. 60), v souladu s touto hodnotou vyhovuje nastavení temperačního média na teplotu 55°C. Teplota taveniny byla nastavena na 200°C, tedy směrem k dolní doporučené hranici teploty doporučené výrobcem. Čas pro vstřikování, dotlak a chlazení byl nastaven na 75s a doba otevření formy hodnotou 5s. Při výběru těchto parametrů bylo nutné mít na paměti, že vstřikovaný výrobek je silnostěnný (dlouhá doba chlazení).



Obr. 60.: Nastavení procesních parametrů (krok č. 1 – chlazení)

V následujícím kroku byly doplněny údaje o fázi plnění a dotlaku (obr. 61). Doba vstřiku byla nastavena na 2s, z důvodu silnostěnnosti výrobku. Přepnutí na dotlak bylo realizováno při dosažení 98% zaplnění dutin forem. Úroveň a doba dotlaku byla nastavena od konce fáze plnění (obr. 62) hodnotou 5s a úrovní 80% oproti tlaku vstřikovacímu.



Obr. 61.: Nastavení procesních parametrů (krok č. 2 – plnění a dotlak)

%Filling pressure vs time

	Duration s [0:300]	%Filling pressure % [0:200]
1	0	80
2	5	80

Obr. 62.: Nastavení fáze dotlaku

V položce rozšířených nastavení (Advanced options) byl vybrán vhodný vstřikovací stroj. Nastavené procesní parametry vidíme na obrázku 63. Kontrola plnění byla řízena podle zdvihu v závislosti na rychlosti šneku a rychlosti šneku na čase. V nabídce uzavírací jednotky pak nalezneme vybranou položku, která zabraňuje přesáhnout maximální přípustnou velikost uzavírací jednotky.

Description	Injection Unit	Hydraulic Unit	Clamping Unit
Maximum machine injection stroke	<input type="text" value="255.7"/>	mm (0:5000)	
Maximum machine injection rate	<input type="text" value="212.2"/>	cm <sup>3</sup> /s (0:1e+004)	
Machine screw diameter	<input type="text" value="45"/>	mm (0:1000)	
Filling control			
<input checked="" type="checkbox"/> Stroke vs ram speed			
<input checked="" type="checkbox"/> Ram speed vs time			
<input type="checkbox"/> Stroke vs time			
Ram speed control steps			
Maximum number of ram speed control steps	<input type="text" value="20"/>	[0:50]	
Constant or linear step	<input type="text" value="Linear"/>		
Pressure control steps			
Maximum number of pressure control steps	<input type="text" value="20"/>	(0:50]	
Constant or linear step	<input type="text" value="Constant"/>		
Name	<input type="text" value="Allrounder 470 S 110 tons 7.4 oz (45mm) : Arburg"/>		

Obr. 63.: Nastavení vstřikovacího stroje – vstřikovací jednotky

V posledním kroku týkající deformací byla na základě doporučení z předběžné analýzy odstraněna vybraná položka pro výpočet elementů při vstřikování tenkostěnných výrobků. Ostatní části byly ponechány dle doporučení programu Autodesk Moldflow 2011.

Před spuštěním bylo vhodné provést kontrolu na základě výsledků diagnostiky sítě (obr. 64). Nejdůležitějším parametrem (hodnota aspekt ratio) leží pod 50 a analýza je tedy připravená pro bezproblémový výpočet.

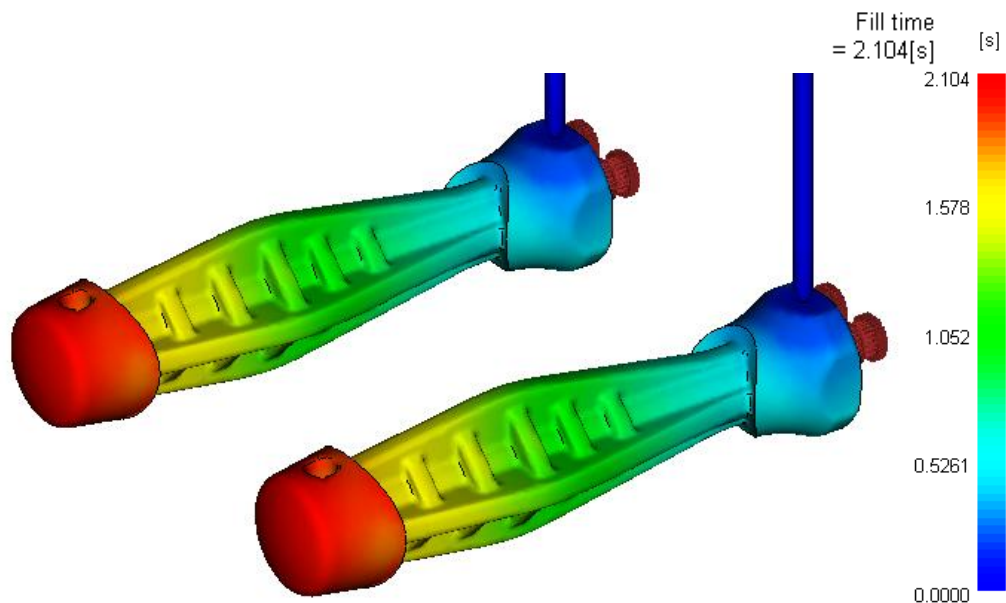
<b>Nodes:</b>			
Number:	134049		
<b>Elements:</b>			
<b>Tetras:</b>			
Number:	722852		
Volume(%):	72.17		
Aspect ratio:	Max	Average	Min
	47.3	3.81	1.03
<b>Beams:</b>			
Number:	175		
Volume(%):	27.83		

Obr. 64.: Výsledek diagnostiky sítě

## 10.4 Výsledky tokové analýzy vstřikovaného dílu z PP

### *Doba plnění*

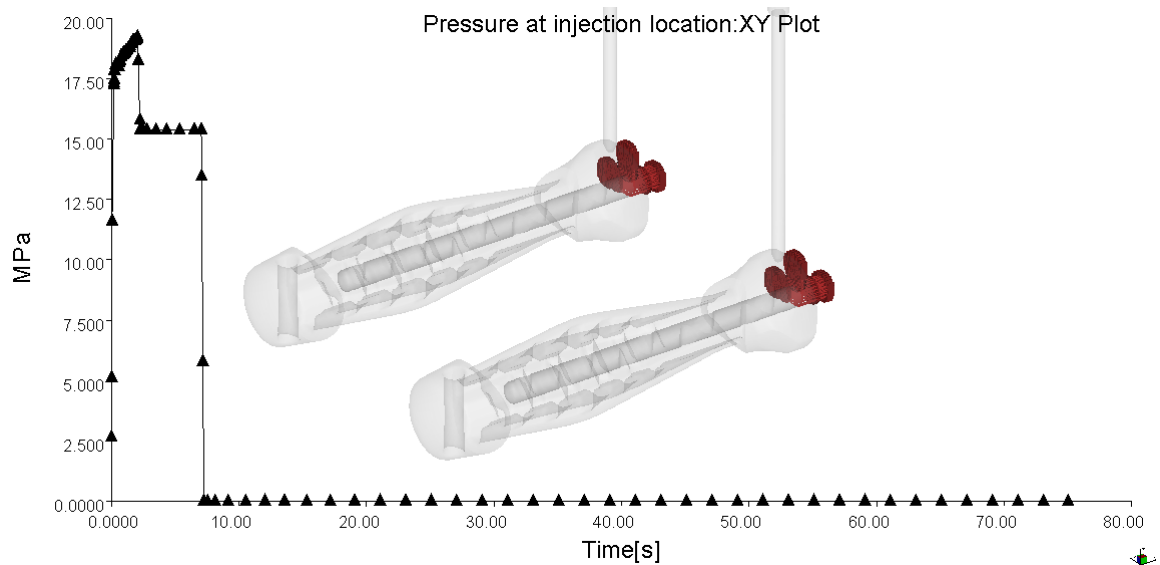
Na základě výsledků (obr. 65) můžeme usoudit, že v době 2,104s jsou dutiny vyplněny polymerní taveninou. Délka vstřikovací fáze je tedy dostatečná pro zadaný výrobek.



Obr. 65.: Doba plnění

### *Tlakový průběh během vstřikovacího cyklu*

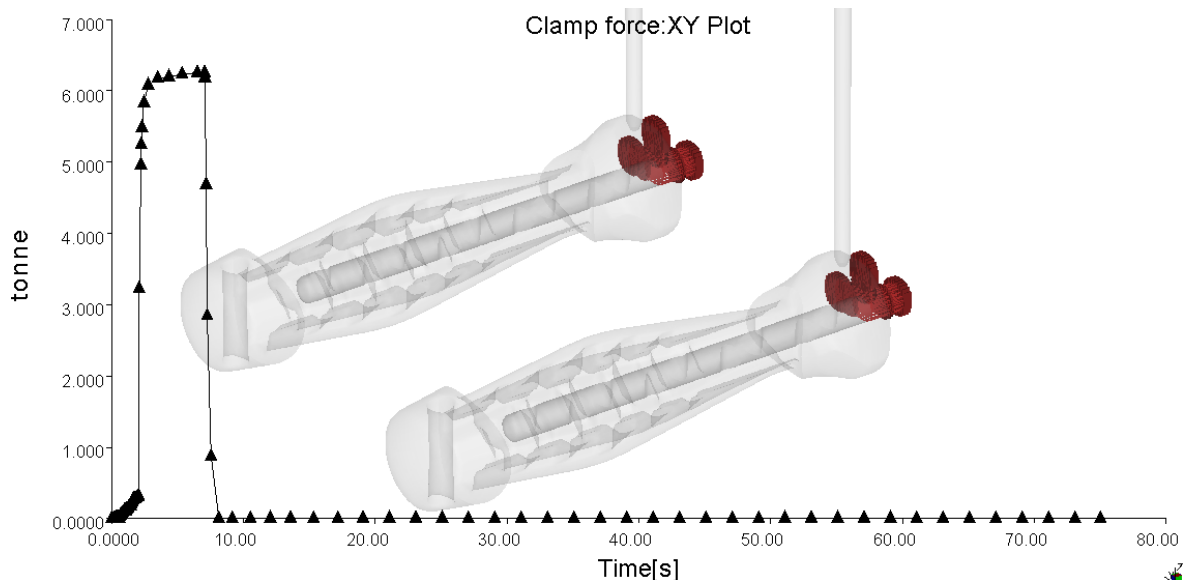
V této části se zabýváme výsledky průběhu vstřikovacího tlaku během vstřikovacího cyklu (obr. 66). Vidíme, že po skončení dotlakové fáze (v čase 7,254s) je tlak již nulový. Největšího tlaku je dosaženo na konci fáze plnění - 19,2MPa. Po dosažení této hodnoty dojde k přepnutí na dotlakovou fázi a tlak poklesne na nastavenou úroveň 80%.



Obr. 66.: Průběh tlaku během vstřikovacího cyklu

#### Průběh velikosti uzavírací síly

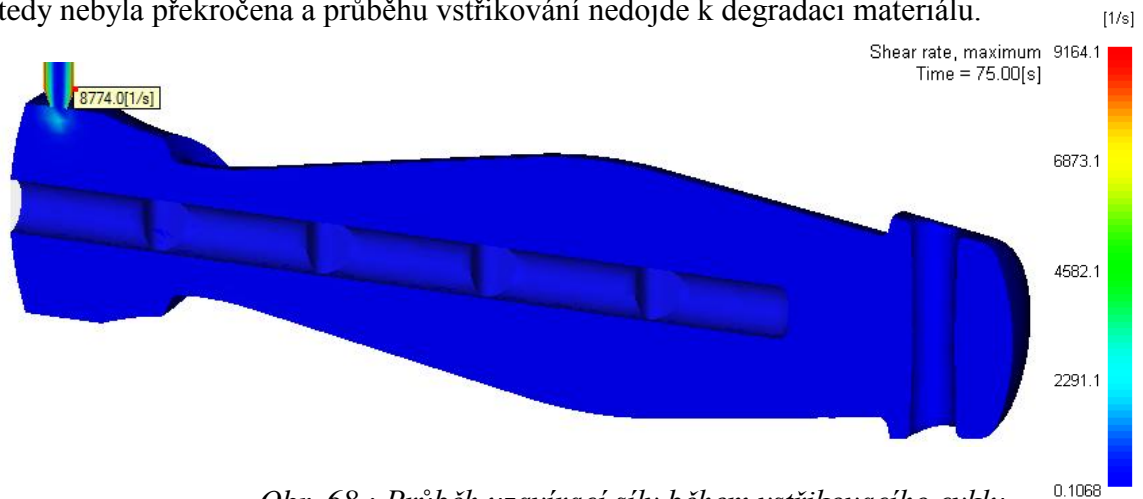
Výsledek průběhu uzavírací síly je ve shodě v předchozím popsaném výsledkem. Dle výsledků z položky LOG, činí maximální velikost uzavírací síly 6,3 tun na konci plnění dutiny formy. Jedná se o nízkou hodnotu, které je typická pro vstřikování silnostěnných výrobků. Maximální uzavírací síla vstřikovacího stroje je přibližně 100 tun. Výsledek tedy vyhovuje zadanému vstřikovacímu stroji.



Obr. 67.: Průběh uzavírací síly během vstřikovacího cyklu

### Maximální hodnota rychlosti smykové deformace

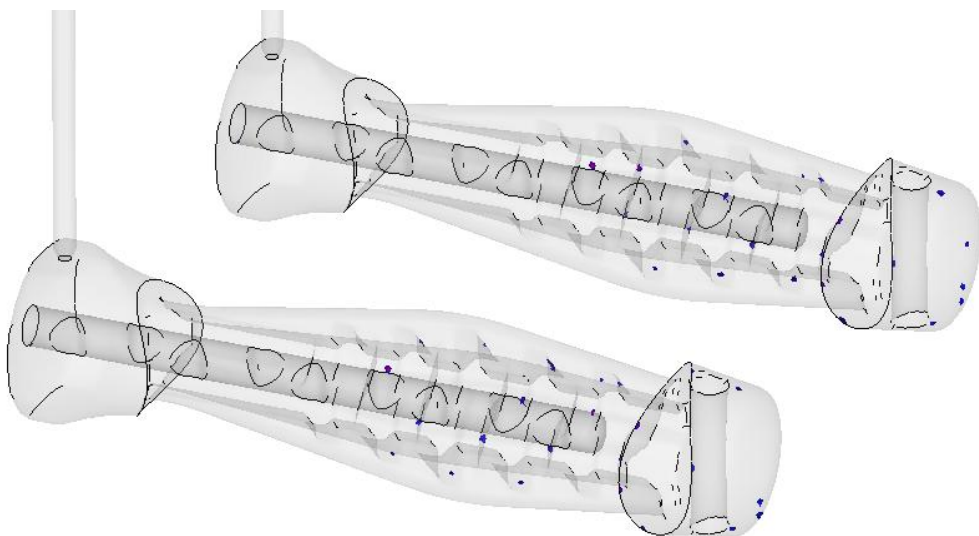
Velikost smykové deformace je hodnota popisující reologické vlastnosti taveniny. Na základě grafického výsledku (obr. 68) a výpisu hodnot z položky LOG je maximální velikost rychlosti smykové deformace rovna přibližně  $9164,1 \text{ s}^{-1}$ . Maximální hodnota  $100\,000 \text{ s}^{-1}$  tedy nebyla překročena a průběhu vstřikování nedojde k degradaci materiálu.



Obr. 68.: Průběh uzavírací síly během vstřikovacího cyklu

### Vzduchové kapsy

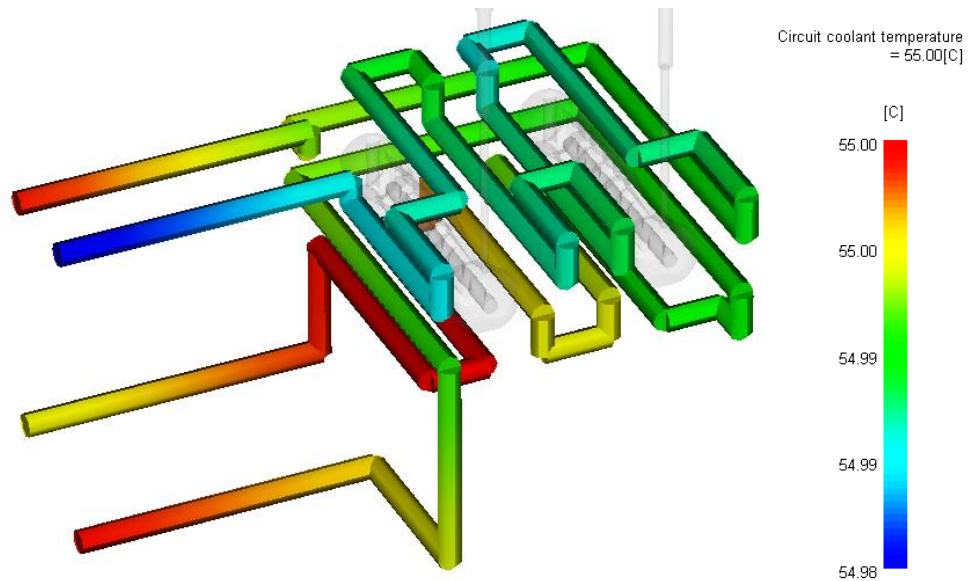
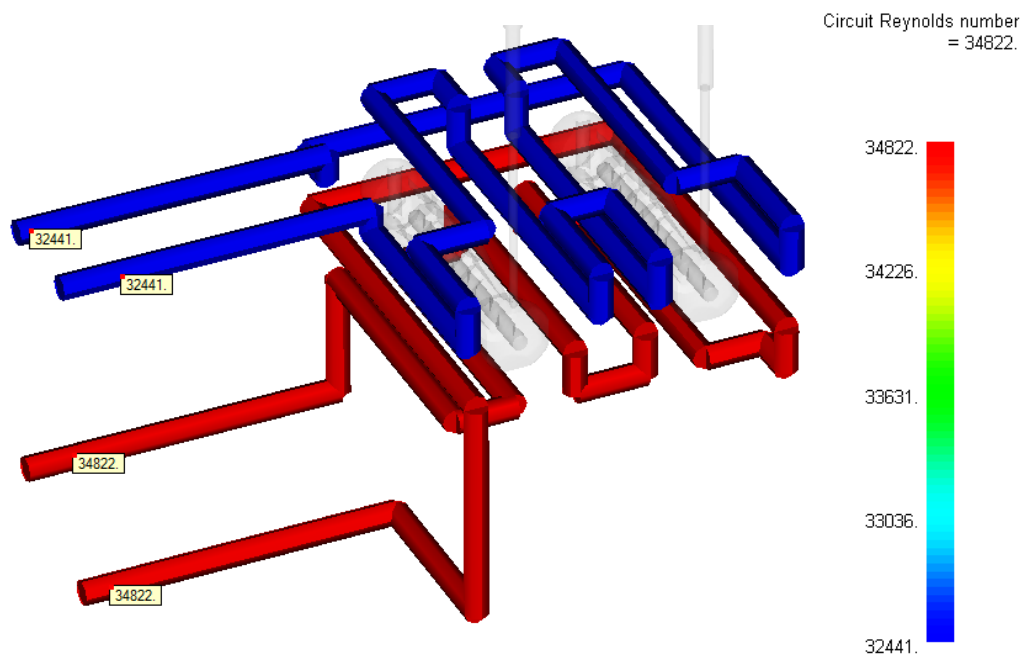
Problém velkého množství vzduchových kapes ve výrobcích je dán polohou umístění ústí. Případná změna ústí do místa žeber by vedla k jejich eliminaci v oblastech výztužných prvků, ale jejich výskyt by se posunul do vzhledových ploch. Tato skutečnost je pro náš výrobek nepřijatelná. Jejich odstranění by se realizovalo změnou tvaru výrobku. Doporučením je vytvořit odvzdušňovací vrtané kanály v místě jednotlivých žeber.



Obr. 69.: Rozmístění vzduchových kapes ve výrobku

*Teplota temperačního média*

Dle výsledků (obr. 70) vidíme, že hodnoty mezi vstupem a výstupem jednotlivých temperačních okruhů pro tvárník a tvárnici jsou zcela zanedbatelné. Obecným předpokladem pro vhodně zvolený temperační systém je aby rozdíl mezi teplotou na vstupu a na výstupu (v jednom temperačním okruhu) nebyl větší než  $3^{\circ}\text{C}$ . Maximální teplotní rozdíl činí  $0,02^{\circ}\text{C}$ . Z pohledu toho výsledku, jsou navržené temperační okruhy zcela správně.

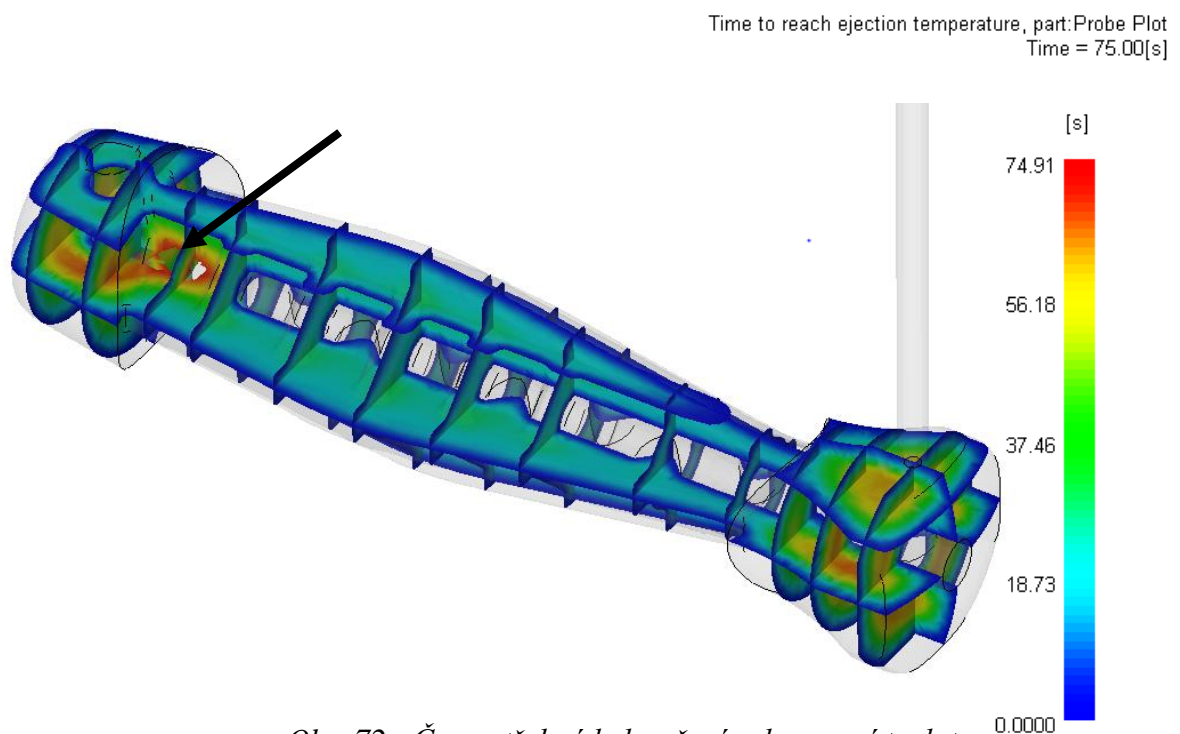
*Obr. 70.: Teplota temperačního média**Obr. 71.: Hodnoty Reynoldsova čísla*

### *Hodnota Reynoldsova čísla*

Reynoldsovo číslo představuje bezrozměrnou veličinu, která záleží na geometrii, rozměrech temperačních kanálů, fyzikálních vlastnostech média a rychlosti proudění. Tato veličina nám ovlivňuje množství sdíleného tepla a pojednává o způsobu proudění. Předpokladem, správně navrženého temperačního okruhu je, aby hodnoty kritéria byly v oblasti turbulentního proudění (nad hodnotou  $Re > 10\,000$ ). Z grafických výsledků (obr. 71) je patrné, že této podmínky bylo dodrženo. Můžeme tedy konstatovat, že hodnoty sdílení tepla, mezi temperačním médiem a tvarovými vložkami budou příznivé.

### *Čas potřebný pro dosažení vyhazovací teploty*

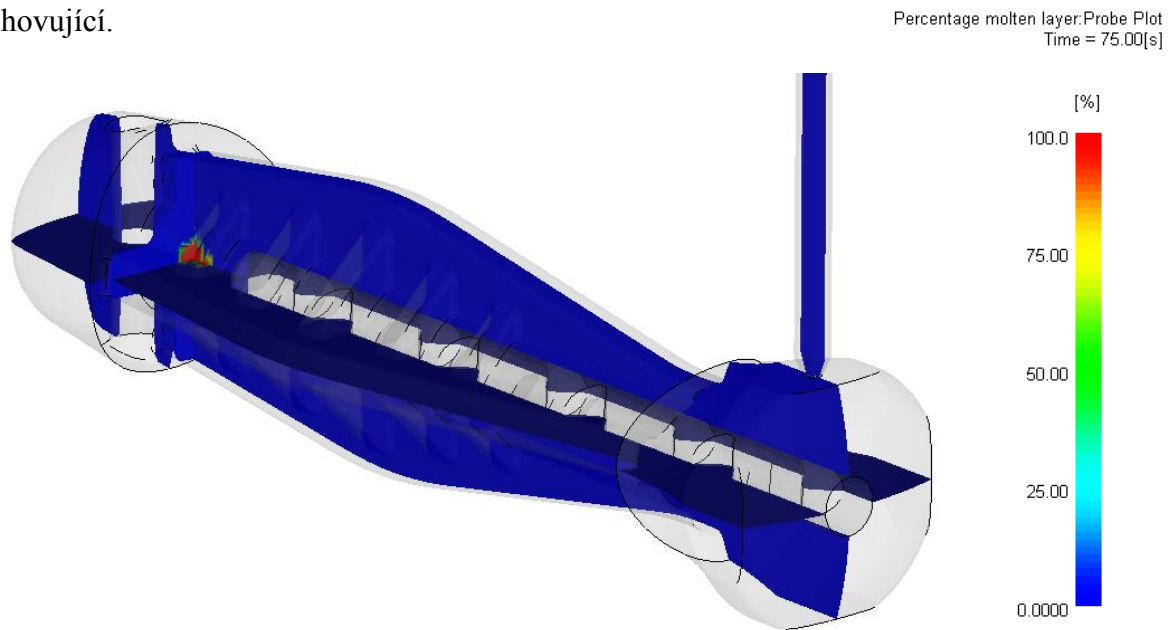
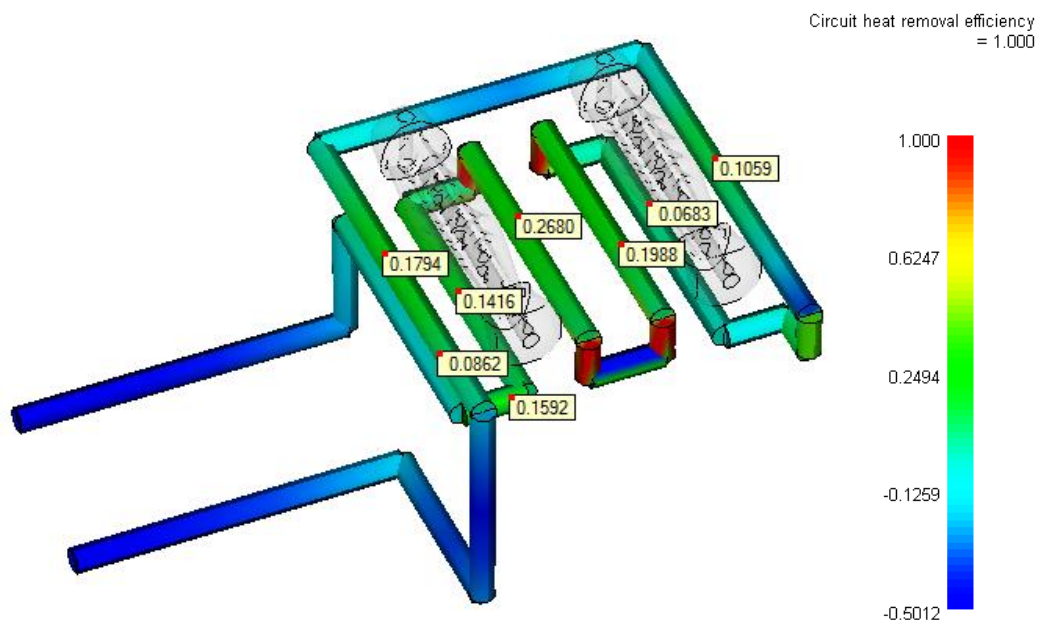
Na obr. 72 vidíme výsledky analýzy, která pojednává o čase potřebném pro dosažení vyhazovací teploty. Tato vyhazovací teplota je nastavena na základě materiálových údajů dodaných jeho výrobcem. Vyhazovací teplota u námi zvoleného typu polypropylenu je  $122^{\circ}\text{C}$ . Pozorujeme, že v lokálním místě (vyznačeném šipkou) bude výrobek stále obsahovat materiál, který nebude ochlazen na vyhazovací teplotu. Zbývající část výrobku je ochlazená na vyhazovací teplotu.



*Obr. 72.: Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty*

*Procentuální výskyt taveniny*

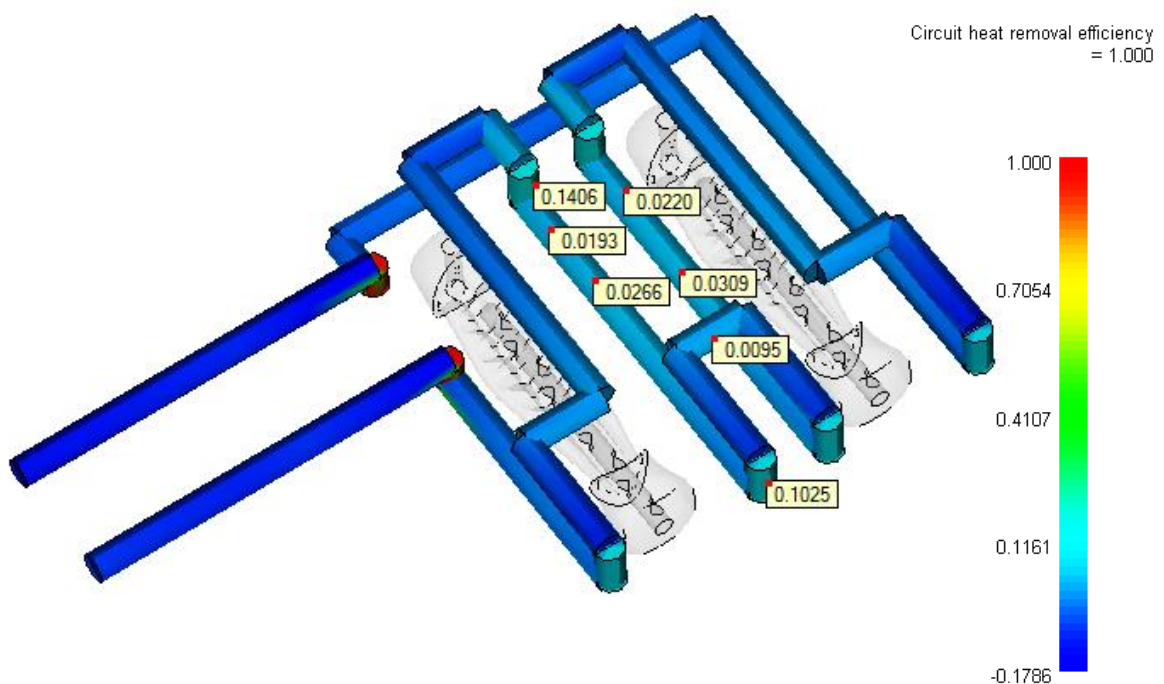
Grafický výsledek (obr. 73) doplňuje předchozí výsledek doby nutné pro dosažení vyhazovací teploty. Vidíme, že v již zmíněném lokálním místě se v době 75s od počátku vstřiku stále nachází ve výrobku podíl taveniny. Toto množství nám však neovlivňuje vyjmutí polypropylénového dílu z dutiny vstřikovací formu. Můžeme konstatovat, že hodnota je vyhovující.

*Obr. 73.: Procentuální výskyt taveniny**Obr. 74.: Účinnost temperačního systému tvárníku*



### Účinnost temperačních systémů

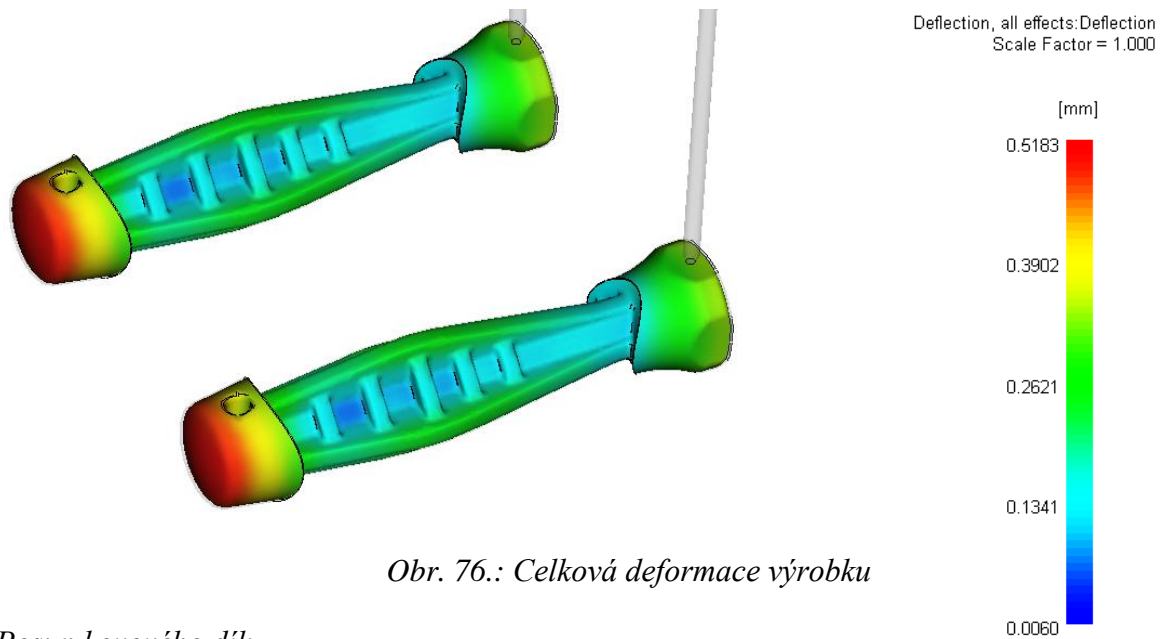
Na základě výsledků (obr. 74,75), můžeme konstatovat, že temperační systémy jsou navrženy správně. Červená místa v temperačních systémech ukazují na vysokou efektivnost. Ostatní elementy jsou od těchto maximálních hodnot odpočítávány. Záporné hodnoty (modře zbarvená místa) pak naznačují části temperačních systémů, kde nedochází k chlazení ale naopak k ohřevu. V případech kdy temperace obsahuje malé elementy lze brát výsledky účinnosti pouze jako orientační. Tyto hodnoty výsledku jsou tedy zkreslené, ale velmi dobře pojednávají o dobré rovnoměrnosti teplotního pole (obr. 75).



Obr. 75.: Účinnost temperačního systému tvárnice

### Celková deformace výrobku

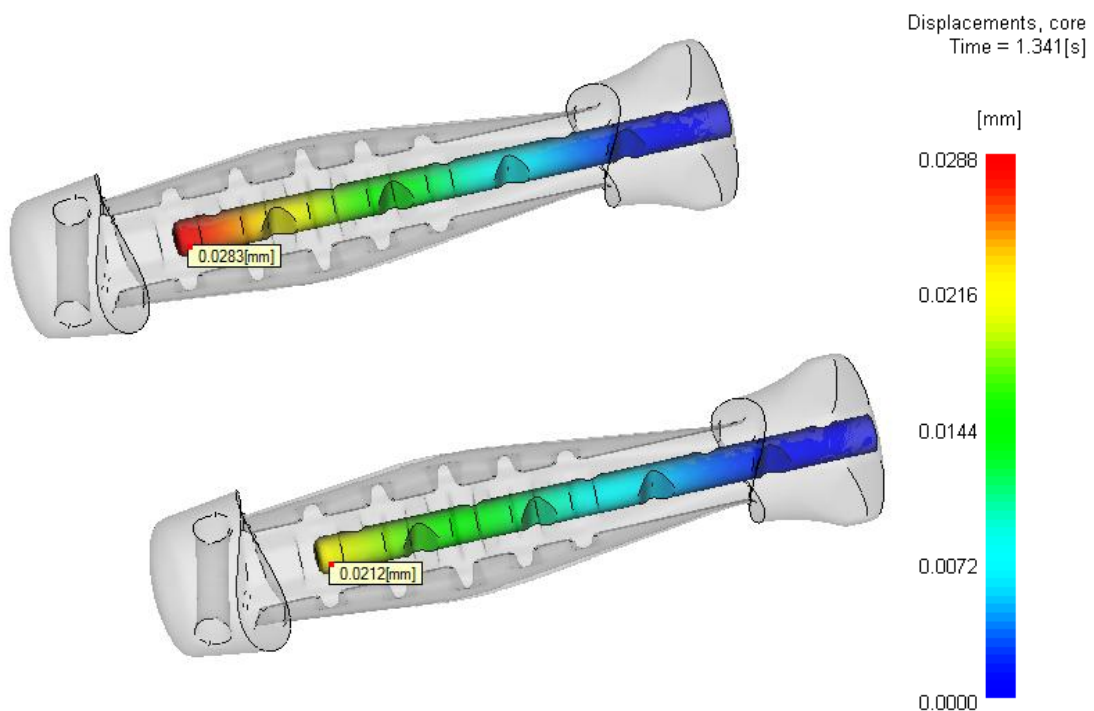
Na obrázku 76 pozorujeme výsledky deformace, které jsou aplikací Mouldflow 2011 vypočítány od středu osového systému. Hodnota celkové deformace je pak spočítána a zahrnuje výsledky deformací v jednotlivých osách souřadného systému společně se smrštěním. Vznik deformací závisí především na materiálu, tvaru výrobku, účinnosti temperačního systému, procesních parametrech a geometrii vtokové soustavy. V mém případě představuje celková deformace hodnotu 0,52 mm. S předpokladem zachování uvažovaného vstřikovaného polypropylénu a místa plnění bych pro snížení deformace doporučil prodloužit působení dotlakové fáze a zvýšit účinnost temperačních systémů.



Obr. 76.: Celková deformace výrobku

#### Posun kovového dílu

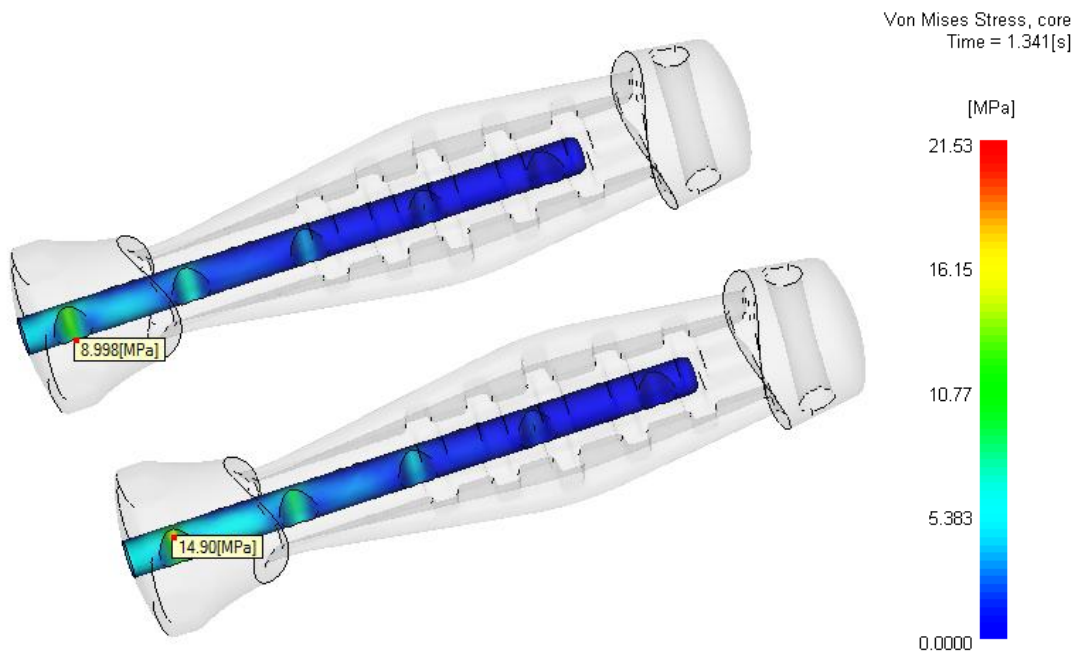
Na obrázku 77 vidíme výsledek analýzy CORE – SHIFT, který zobrazuje deformace (respektive posun) kovového dílu v průběhu vstřikovacího cyklu. Maximální hodnota posunu 0,0288 mm se nachází v době plnění dutiny polymerní taveninou. Na základě výsledku můžeme posoudit účinek PP dílu na kovový díl v průběhu celého vstřikovacího cyklu. Především na konci fáze plnění a na konci vstřikovacího cyklu. Velikost deformace z pohledu tohoto výsledku je příznivá, protože vstřikovaný díl je silnostěnný a nedojde nám k posunu, který by měl vliv na funkčnost výrobku.



Obr. 77.: Posun kovového dílu

*Velikost napětí dle Von Mises*

Výsledek (obr. 79) napětí podle Von Mises, srovnává velikost prostorové napjatosti na základě porovnáním tvarových změn s jednoosou napjatostí. Vidíme, že výsledné maximální napětí 21,53 MPa je nízké. Nalézá se v místě vrubu, kde lze očekávat koncentrace napjatosti vlivem teplotních účinků (respektive ohybu – působení tahových a tlakových napětí na vrub).



Obr. 78.: Velikost napětí dle Von Mises

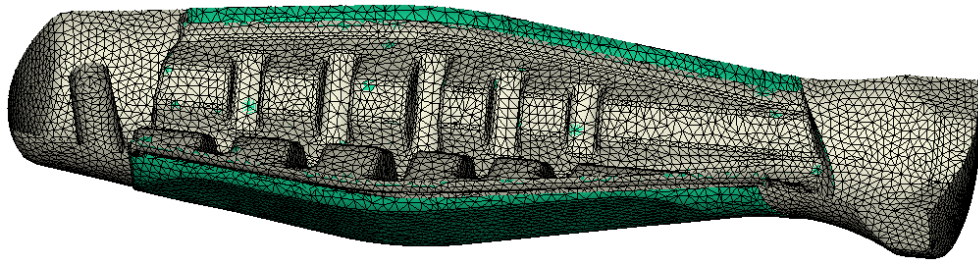
## 11 ANALÝZY VSTŘIKOVÁNÍ DÍLU Z TPE-V

### 11.1 Dokončení fiktivní vstřikovací formy v Autodesk Moldflow 2011

Pro dokončení fiktivní vstřikovací formy dílu z termoplastického elastomeru, bylo nutné transportovat geometrii z předchozí analýzy dílu z polypropylénu. Takto importovaná geometrie se shoduje s výsledkem celkových deformací polypropylénového dílu (kap. 10.4). Získaná geometrie byla posunuta, tak aby odpovídala poloze dílu z termoplastického elastomeru.

Postup tvorby sítě pro termoplastický elastomer je ve shodě s předchozí přípravou analýzy. Spojením, importované geometrie TPE-V z DS CATIE a importované geometrie PP z výsledků deformační analýzy programu MoldFlow 2011, vznikl konečný díl určený pro vstřikování TPE-V. Pro tento díl tedy platí:

- vnější (kontaktní) plochy odpovídají velikosti dutiny zvětšené o parametr smrštění;
- plochy, které jsou v přímém kontaktu s PP, odpovídají deformaci tohoto materiálu na konci vstřikovacího cyklu;
- zanedbání účinků kovového dílu pro vstřikování TPE-V.



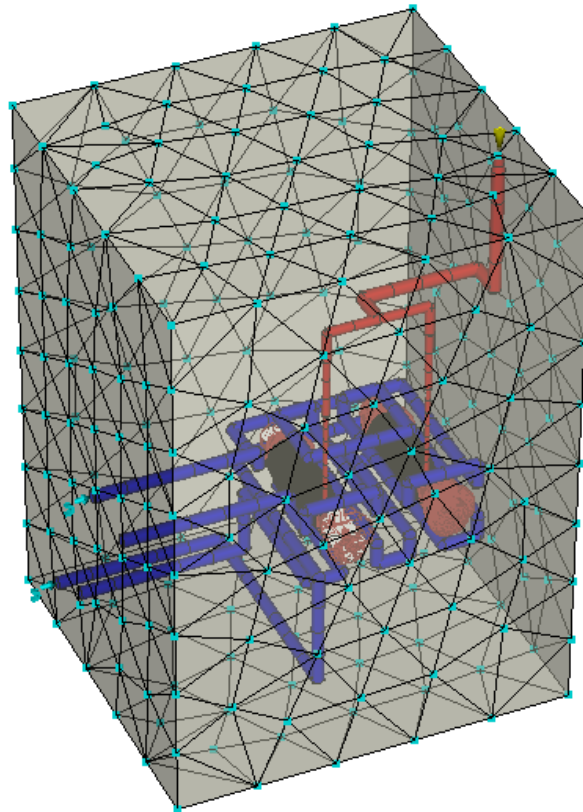
Obr. 79.: Fiktivní výrobek v prostředí Autodesk Moldflow 2011

Takto vytvořená sestava dílů (obr. 79), byla síťována elementy typu 3D a kopírována, tak aby vznikla zadaná násobnost 2x. Podobně jako v předchozí analýze, i zde předpokládáme symetričnost a volíme poloviční násobnost vstřikovací formy.

Připravená fiktivní vstřikovací forma (obr. 80) obsahuje následující části:

- dva díly z termoplastického elastomeru;
- dva díly z polypropylénu;
- fiktivní temperační okruh na straně tvárníku;

- fiktivní temperační okruh na straně tvárnice;
- fiktivní horkou vtokovou soustavu;
- fiktivní vstřikovací formu.



Obr. 80.: Fiktivní vstřikovací forma v prostředí Autodesk Moldflow 2011

## 11.2 Doplnění parametrů vstřikování a volba okrajových podmínek

### 11.2.1 Volba temperačních prostředků

Podobně jako v předchozí analýze, bylo zvoleno médium, které tvoří kombinaci vody a glykolu (tab. 14). Vyšší obsah vodního podílů naznačuje vyšší hodnoty Reynoldsova kritéria. Volená teplota odpovídá teplotě vstřikovací formy, snižené o 5°C.

Tab. 13.: Zvolené temperační médium v temperačních systémech formy pro TPE-V

Typ média	Složení	Poměr složek	Teplota	Tlak
Kombinace	Etylén glykol + voda	30% : 70%	55°C	3 Bar

### 11.3 Doplnění vstřikovacích parametrů a volba okrajových podmínek

Konečné procesní podmínky analýzy typu CPFW pro vstřikování TPE-V, byly zadány na základě předběžné analýzy. Jednotlivé hodnoty byly zadávány do položky Process settings wizard.

Na obrázku 81, nalezneme první krok při nastavení procesních podmínek (podmínek chlazení). Nastavená teplota vstřikovací formy na 60°C, koresponduje s nastavenou teplotou temperačního média na 55°C. Dále, při nahlédnutí do materiálové databáze Autodesk MoldFlow vidíme, že v případě TPE-V je velmi úzký rozsah doporučené teploty taveniny. Zde byla nastavena střední hodnota (255°C) a doba pro vstřikování, dotlak a chlazení určena 60s.

Mold surface temperature	60	C
Melt temperature	255	C
Mold-open time	5	s [0:600]
Injection + packing + cooling time	Specified	of 60 s [0:6000]

Cool solver parameters...

Obr. 81.: Nastavení procesních parametrů (krok č. 1 – chlazení)

V druhém kroku program vyžadoval informace o plnění a dotlaku (obr. 82). Vzhledem k velkému objemu vstřikovaného materiálu byla doba vstřikování zvolena hodnotou 2s. Okamžik, kdy dojde k přepnutí na dotlak je řízen procentuálním zaplněním dutiny formy (98%). Dotlaková fáze působí po dobu 6s a jeho velikost odpovídá 80% vstřikovacího tlaku v době přepnutí (obr. 83).

Filling control	Injection time	of 2	s [0:]
Velocity/pressure switch-over	By %volume filled	at 98	% [0:100]
Pack/holding control	%Filling pressure vs time	Edit profile...	

Advanced options...

Fiber orientation analysis if fiber material

Birefringence analysis if material data includes optical properties

Obr. 82.: Nastavení procesních parametrů (krok č. 2 – plnění a dotlak)

	Duration s [0:300]	%Filling pressure % [0:200]
1	0	80
2	6	80

Obr. 83.: Nastavení fáze dotlaku

Další nastavení bylo provedeno v položce Advanced options (obr. 84). Zde byl zvolen příslušný vstřikovací stroj a nastaveny související parametry. Kontrola plnění byla řízena podle zdvihu v závislosti na rychlosti šneku a rychlosti šneku na čase. Vyplněny byly kontrolní kroky a v nabídce uzavírací síly, bylo vybráno zabránění jejímu překročení.

Description	Injection Unit	Hydraulic Unit	Clamping Unit
Maximum machine injection stroke	255.7	mm (0:5000)	
Maximum machine injection rate	212.2	cm <sup>3</sup> /s (0:1e+004)	
Machine screw diameter	45	mm (0:1000)	
Filling control			
<input checked="" type="checkbox"/> Stroke vs ram speed			
<input checked="" type="checkbox"/> Ram speed vs time			
<input type="checkbox"/> Stroke vs time			
Ram speed control steps			
Maximum number of ram speed control steps	20	[0:50]	
Constant or linear step	Linear		
Pressure control steps			
Maximum number of pressure control steps	20	(0:50]	
Constant or linear step	Constant		
Name Allrounder 470 S 110 tons 7.4 oz (45mm) : Arburg			

Obr. 84.: Nastavení vstřikovacího stroje – vstřikovací jednotky

Vyplněním posledního kroku, nastavení deformační analýzy, spočívalo v odstranění standardního nastavení, které se užívá pro výpočet tenkostěnných výrobků. Ostatní položky byly ponechány jako přednastavené.

U takto připravené analýzy byla provedena poslední kontrola před spuštěním, statistika sítě (obr. 85). Hodnota Aspect ratio nepřesáhla maximální doporučenou hodnotu 50 a dle její příznivé hodnoty lze usuzovat na kvalitní síť modelů. Z uvedeného počtu elementů lze usoudit, že potřebná výpočetní náročnost bude vysoká a doba výpočtu dlouhá.

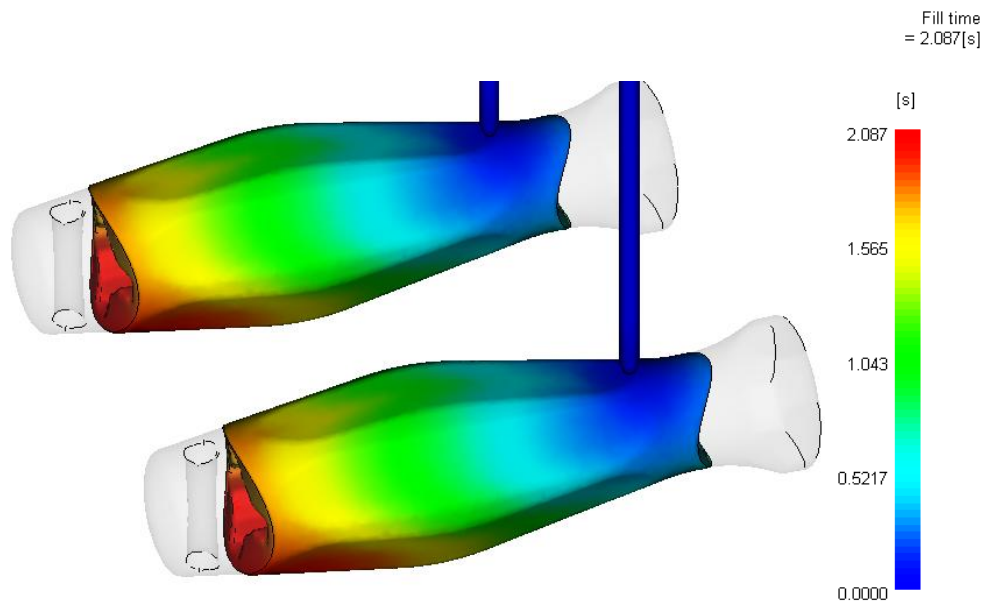
<b>Nodes:</b>			
Number:	213029		
<b>Elements:</b>			
<b>Tetras:</b>			
Number:	1139562		
Volume(%):	82.34		
<b>Aspect ratio:</b>			
	Max	Average	Min
	41.0	3.67	1.04
<b>Beams:</b>			
Number:	163		
Volume(%):	17.66		

Obr. 85.: Výsledek diagnostiky sítě

## 11.4 Výsledky tokové analýzy vstřikovaného dílu z TPE-V

### *Doba plnění*

Na základě tohoto výsledku (obr. 86) vidíme, že výrobek bude vyplněn polymerní taveninou za 2,087s. Tato hodnota je vzhledem k silnostěnné povaze vstřikovaného dílu zcela přijatelná.



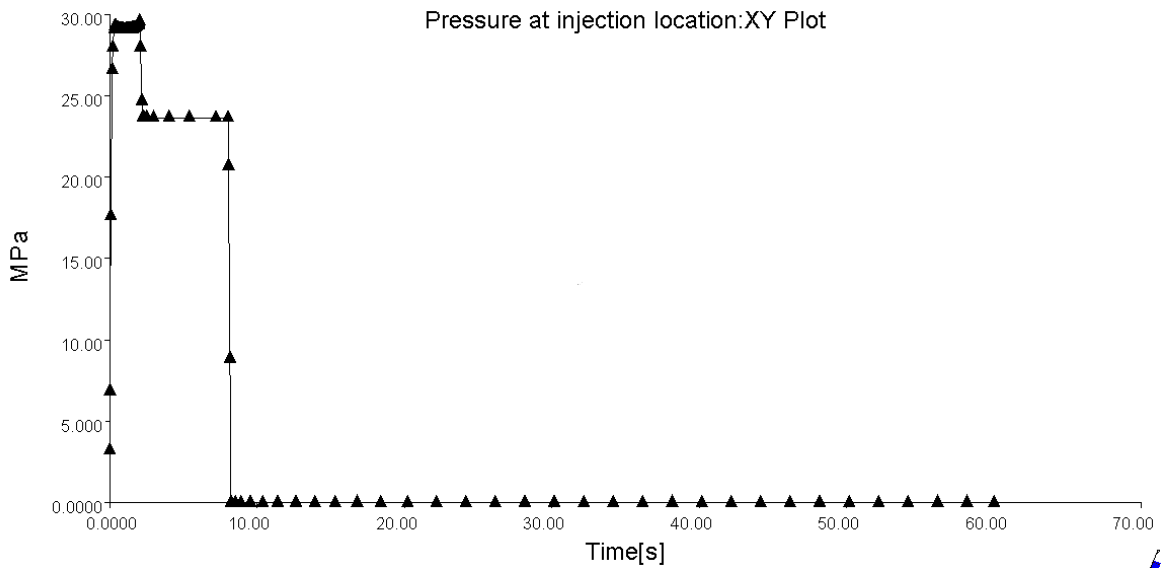
Obr. 86.: Doba plnění

### *Tlakový průběh během vstřikovacího cyklu*

Grafický výsledek (obr. 87), nám přehledným způsobem ukazuje vstřikovací tlak v průběhu celého vstřikovacího cyklu. Dle dialogového okna LOG byl nalezen maximální vstřikovací tlak 29,55MPa v čase 2,034s. Tento výsledek je vhodný pro použití mechanických analýz



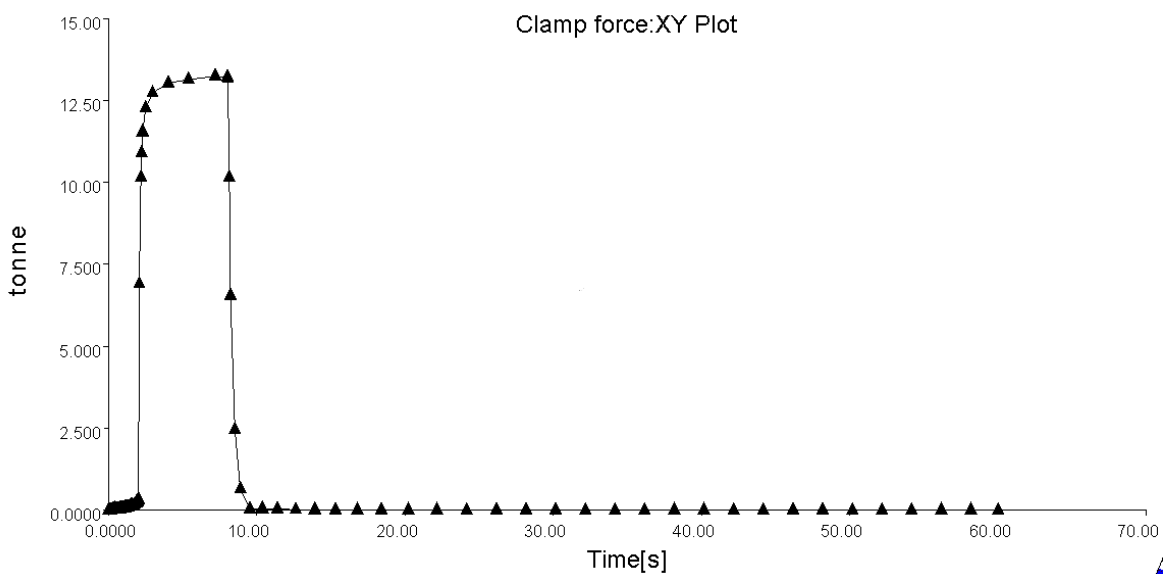
tvarových vložek. Případné snížení tlaku by vedlo k úpravě technologických podmínek vstřikování (prodloužení doby plnění) nebo konstrukční úpravou (zvětšení ústí vtoku).



Obr. 87.: Průběh tlaku během vstřikovacího cyklu

#### Průběh velikosti uzavírací síly

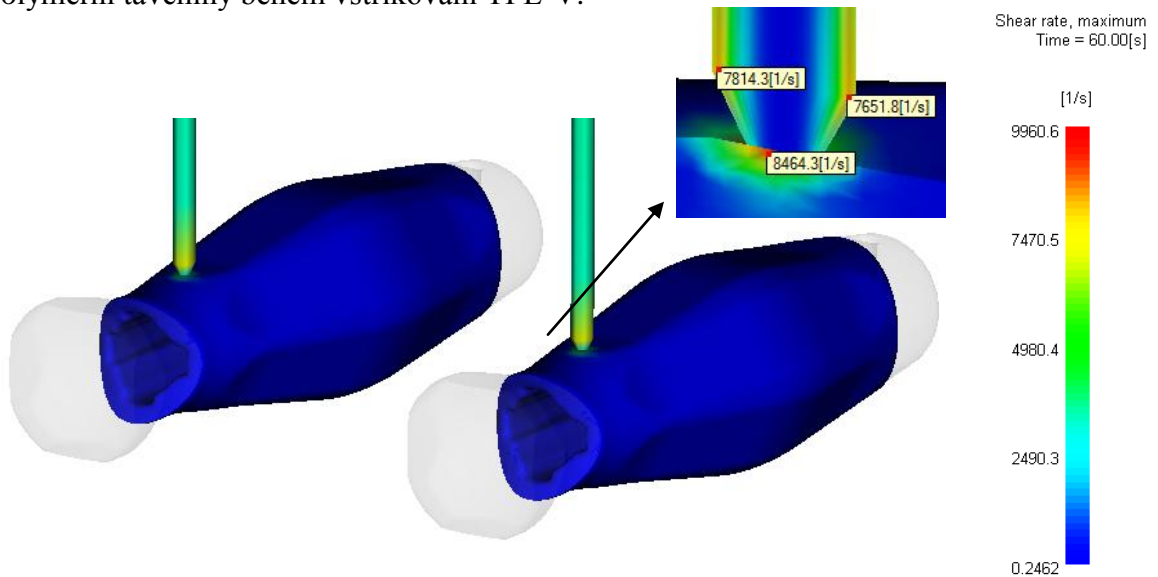
Výsledek o průběhu velikosti uzavírací síly během procesu vstřikování, nám doplňuje předchozí výsledek analýzy. Podle maximální nalezené hodnoty 13,2328 tun, máme představu o správnosti vybraného vstřikovacího stroje. Maximální uzavírací síla vybraného vstřikovacího stroje je 100 tun. Maximální dosažená velikost, představuje hodnotu nižší. Vstřikovací stroj tedy na základě této hodnoty vyhovuje.



Obr. 88.: Průběh uzavírací síly během vstřikovacího cyklu

### Maximální hodnota rychlosti smykové deformace

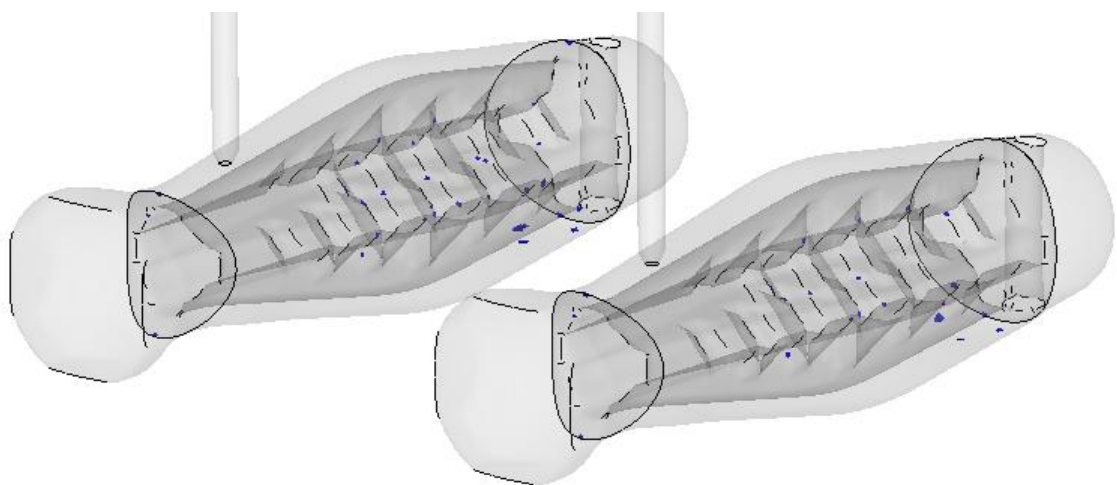
Maximální hodnota rychlosti smykové deformace byla odečtena na základě záložky LOG a graficky zobrazena na obrázku 89. Její hodnota činí  $9960,6^{-1}$  a nepřekračuje maximální hodnotu dodanou výrobcem. Následkem rychlosti smykové deformace nedojde k degradaci polymerní taveniny během vstřikování TPE-V.



Obr. 89.: Průběh uzavírací síly během vstřikovacího cyklu

### Vzduchové kapsy

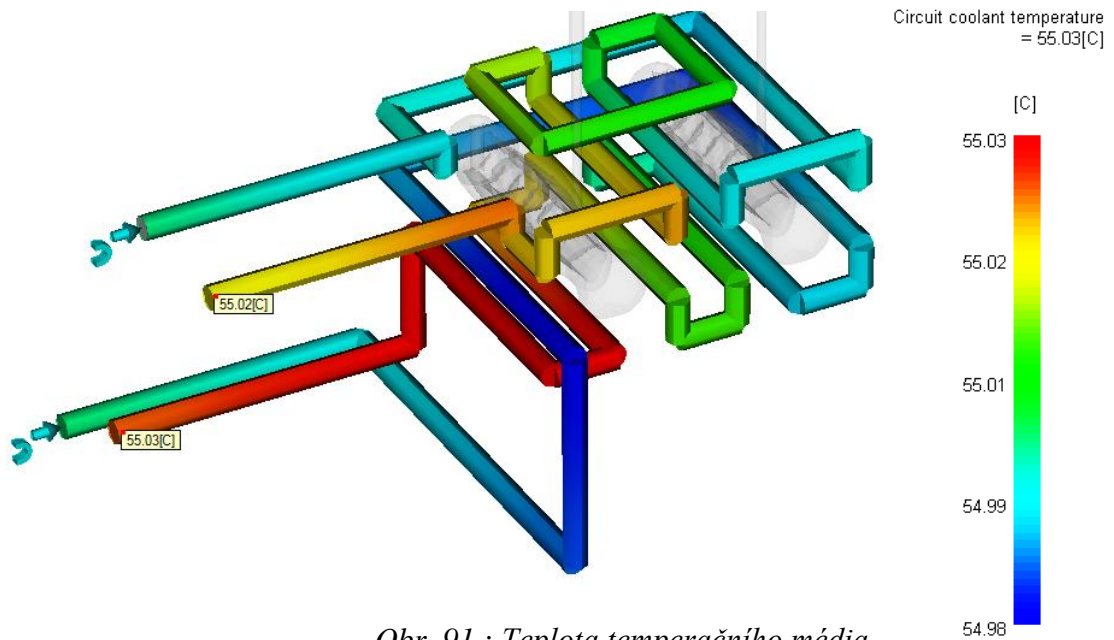
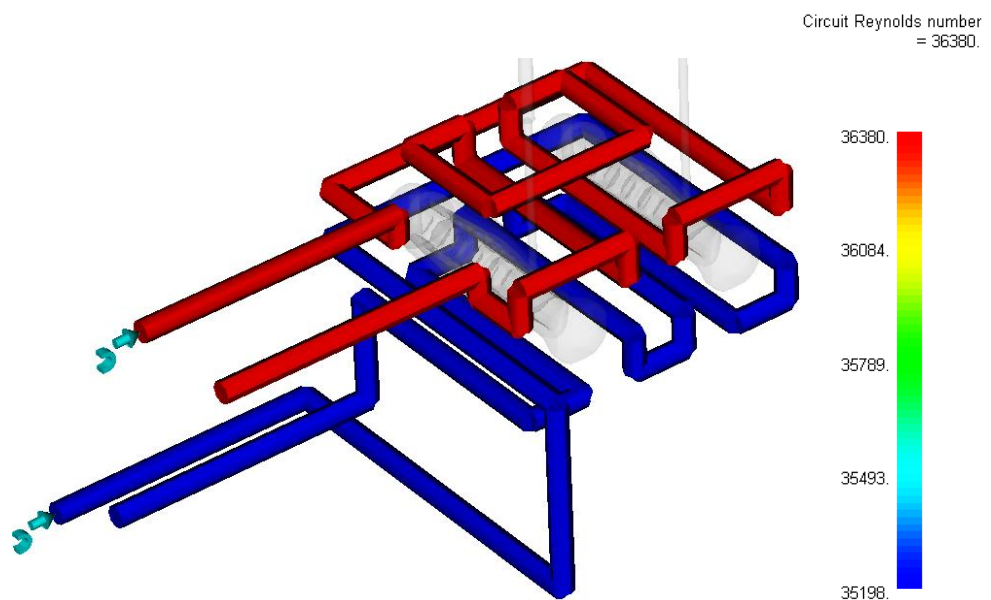
Místa koncentrace vzduchových kapes se dle grafického výsledku (obr. 90) nacházejí v oblastech podpůrných žebér a částečně i v místě vzhledových ploch. Podobné rozmístění nalezneme i u druhé dutiny. Jejich eliminace je možná změnou tvaru výrobku nebo zavedením odvzdušňovacích kanálů.



Obr. 90.: Rozmístění vzduchových kapes ve výrobku

*Teplota temperačního média*

Výsledky části analýzy CFPW, která se týká teploty temperačního média (obr. 91), hovoří o maximálním rozdílu během průchodu média vstřikovací formou. Platným doporučením je aby rozdíl mezi vstupní a výstupní teplotou jednoho okruhu temperance nebyla větší než 3°C. Dle přiložené stupnice vidíme, že tento rozdíl představuje pouze 0,05°C. Můžeme konstatovat, že výsledek je vzhledem k rovnoměrnosti teplotního pole správný.

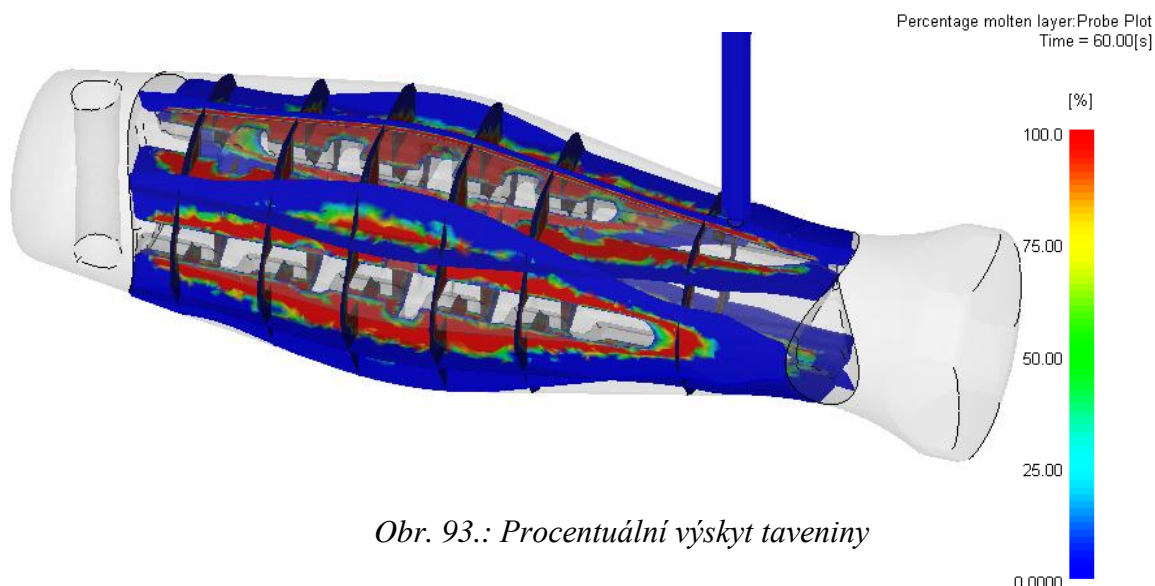
*Obr. 91.: Teplota temperačního média**Obr. 92.: Hodnoty Reynoldsova čísla*

### *Hodnota Reynoldsova čísla*

Důležitost Reynoldsova čísla byla již popsána u výsledků analýzy polypropylénového dílu. Dle výsledku (obr. 92) vidíme, že hodnoty se nacházejí v silně turbulentní oblasti prodění ( $RE > 10\,000$ ) a lze předpokládat vyšší hodnoty přestupu tepla než u proudění s laminárnějším průběhem. Tento výsledek dobře koresponduje s doporučenými podmínkami pro průběh vstřikování.

### *Procentuální výskyt taveniny*

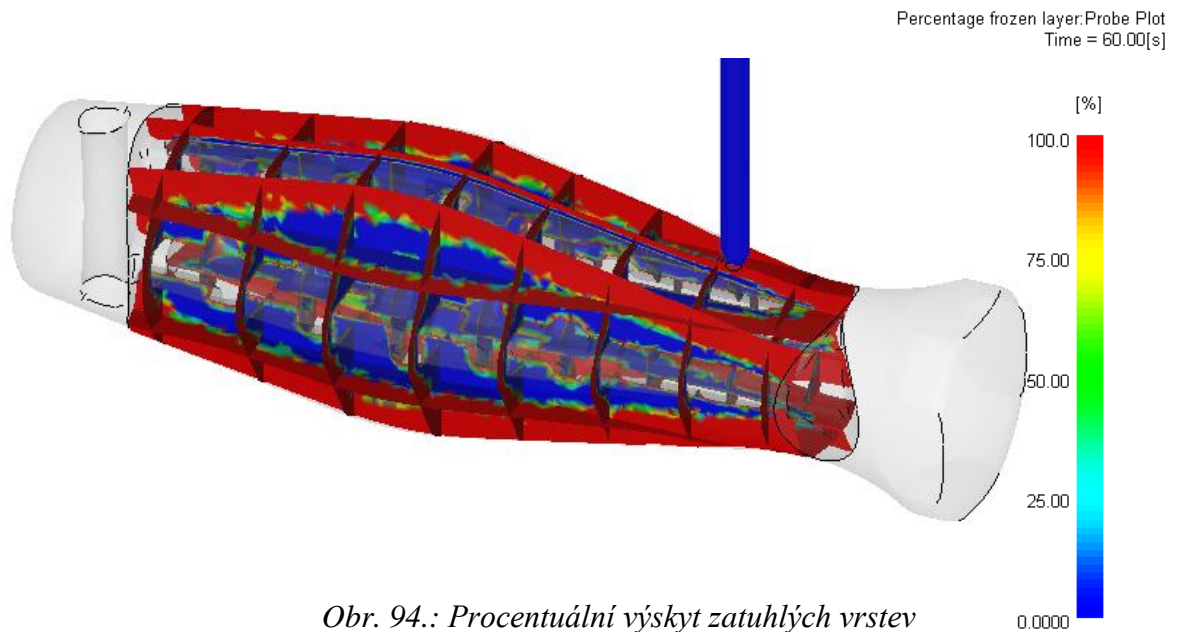
Výsledek analýzy chlazení nám přehledným způsobem ukazuje problém špatného chlazení dílu z termoplastického elastomeru. Na obrázku 93 pozorujeme, že i v čase 60s od začátku vstřikovacího cyklu nedojde k dostatečnému zatuhnutí a výrobek obsahuje stále velké procento taveniny. To je způsobeno silnostěnností výrobku.



Obr. 93.: Procentuální výskyt taveniny

### *Procentuální výskyt zatuhlých vrstev*

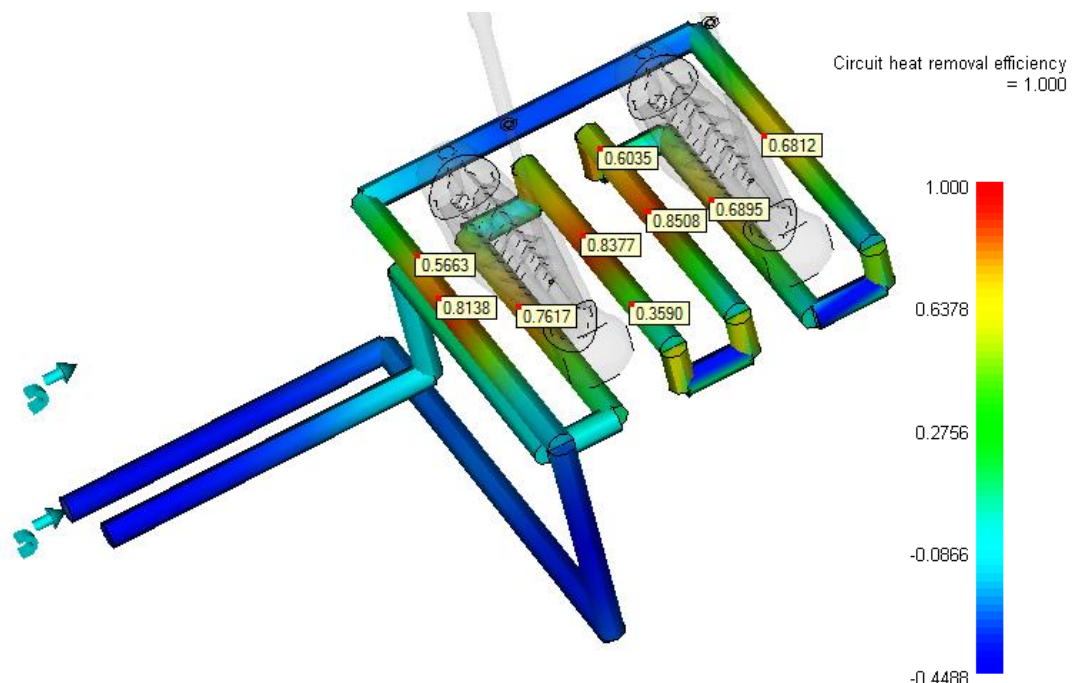
Výskyt ztuhlých vrstev (obr. 94) nám doplňuje výsledky procentuálního vyjádření výskytu taveniny v průběhu vstřikovacího cyklu (respektive na jeho konci). Obecně lze předpokládat vyhození již při 60 – 70 % zatuhlých vrstev. V našem případě, se vlivem nulové možnosti chlazení vnitřní části TPE-V, budou zatuhlé vrstvy pozvolna objevovat na úkor zániku taveniny. Proces chlazení se však bude stále zpomalovat, což je dáno izolačními vlastnostmi polymerních materiálů obou vstřikovaných dílů. Vzhledem k tomu, že vyhazovače nejsou v kontaktu s TPE-V nemusí být tento díl ideálně dochlazený. Pro vyhození postačí minimální smrštění, minimální vzdálenost od stěny tvarových vložek.



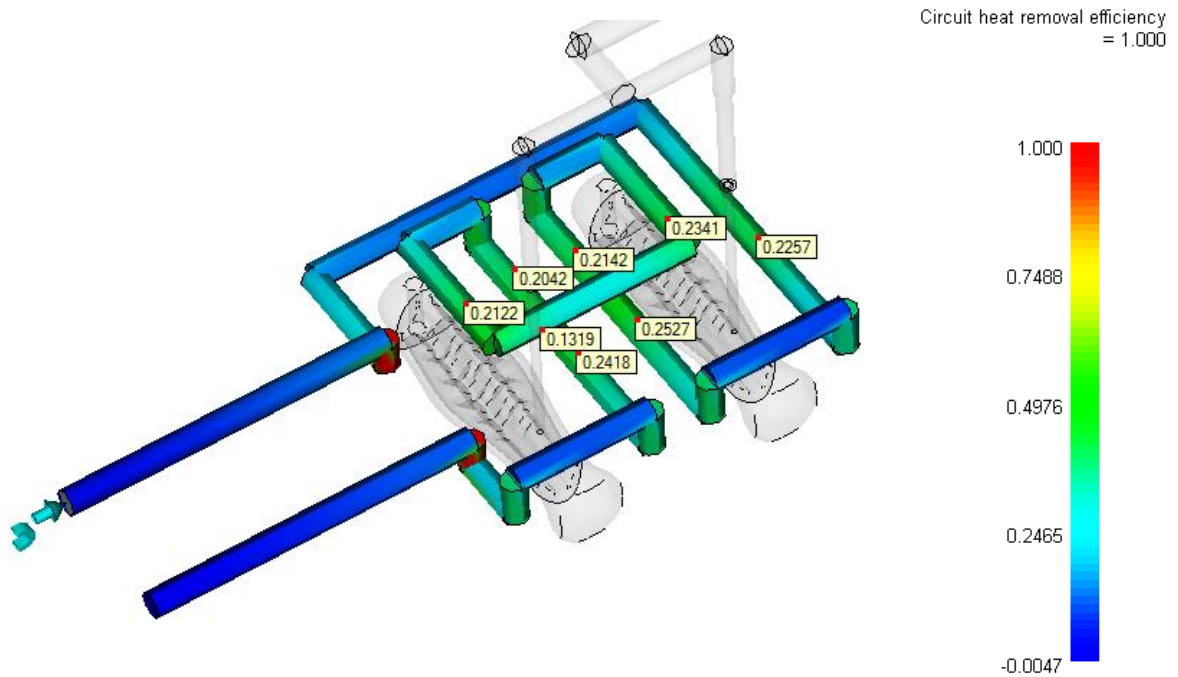
Obr. 94.: Procentuální výskyt zatuhlých vrstev

### Účinnost temperačních systémů

Při posouzení výsledků účinnosti (obr. 95, 96) dojdeme k závěru, že navržené temperační systémy jsou z hlediska účinnosti výhodné. V prostoru dutin vstříkovací formy dochází k odvodu tepla za účelem dosažení rovnovážného teplotní pole. Záporné hodnoty nám naznačují místa, kde dochází k ohřevu od temperačního systému.



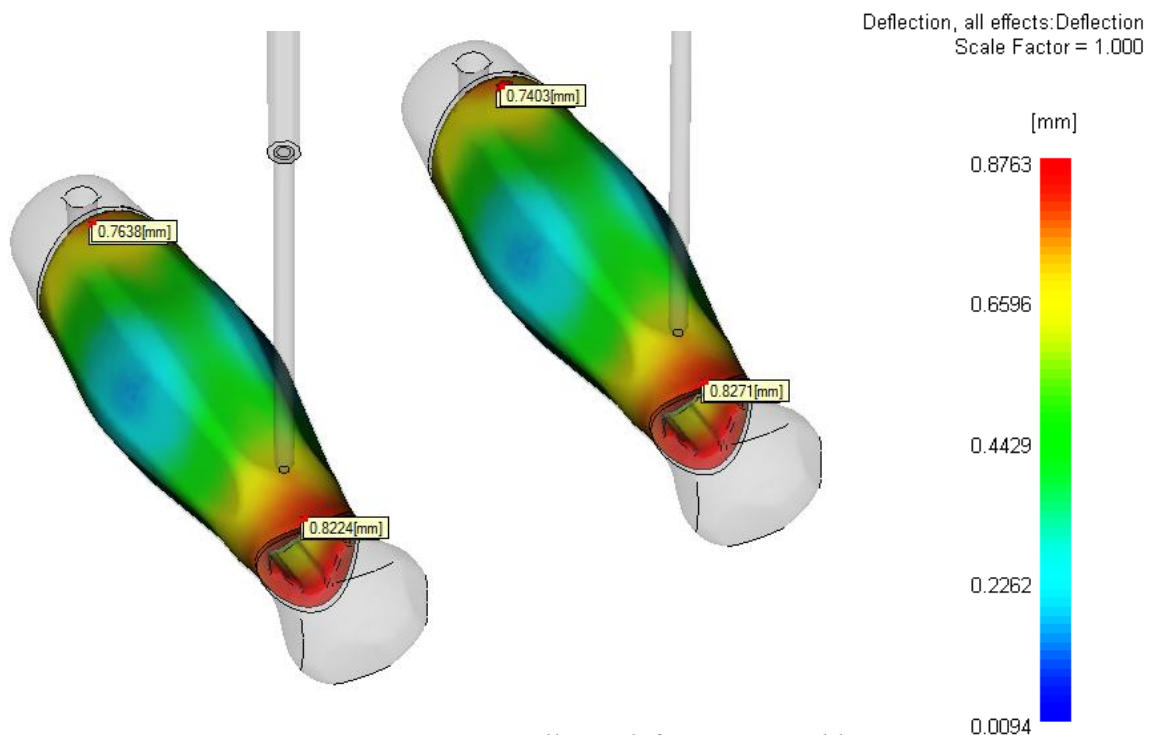
Obr. 95.: Účinnost temperačního systému tvárníku



Obr. 96.: Účinnost temperačního systému tvárnice

#### Celková deformace výrobku

Výsledky deformační analýzy vstříkovaného dílu TPE-V (obr. 97) nejsou příznivé pro námi uvažovaný výrobek a do jisté míry i zkreslené. Důvodem je skutečnost, že při vstříkování TPE-V na díl PP by vlivem vysoké teploty došlo k natavení vrstev polypropylénu a tedy změně vlastností této vrstvy. Hodnotu celkové deformace lze brát jako orientační. Doporučením je deformace snížit. Tomuto problému se zabýváme v diskuzi výsledků.



Obr. 97.: Celková deformace výrobku

## 12 MECHANICKÉ ANALÝZY

Mechanické analýzy patří mezi nepostradatelné součásti konstrukce vstřikovacích forem. Pro potřeby zhodnocení návrhu vstřikovací formy, byly pořízeny mechanické analýzy tlakových účinků procesu vstřikování na tvárnice vstřikovacích forem. Tvárnice byly zvoleny z důvodu nižší tuhosti a únosnosti oproti tvárníkům (větší zásah procesem obrábění).

Hodnoty orientačních mechanických analýz probíhaly v prostředí DS CATIA v modulu Analysis and Simulation (Generative Structural Analysis).

Pro materiál tvarových vložek byla zvolena nástrojová ocel 1.2709, která je určená pro tepelné zpracování (kalení). Nejdůležitější fyzikální, mechanické a chemické vlastnosti této oceli nalezneme v materiálovém listě (obr. 98).

### Material data sheet (provisional data)

#### Physical and chemical properties of parts

	EOS MaragingSteel MS1
Material composition	Fe (bal) Ni (17 - 19 wt-%) Co (8.5 - 9.5 wt-%) Mo ( 4.5 - 5.2 wt-%) Ti (0.6 - 0.8 wt-%) Al (0.05 - 0.15 wt-%) Cr ( $\leq$ 0.5 wt-%) C ( $\leq$ 0.03 wt-%) Mn, Si (each $\leq$ 0.1 wt-%) P, S (each $\leq$ 0.01 wt-%)
Relative density with standard parameters	approx. 100 %
Density with standard parameters	8.0 - 8.1 g/cm <sup>3</sup> 0.289 - 0.293 lb/in <sup>3</sup>

#### Mechanical properties of parts

	EOS MaragingSteel MS1
Ultimate tensile strength (MPIF 10)	
- as built	1100 MPa $\pm$ 100 MPa 160 ksi $\pm$ 15 ksi
- after age hardening	1950MPa $\pm$ 100 MPa 280 ksi $\pm$ 15 ksi
Yield strength (Rp 0.2 %)	
- as built	1000 MPa $\pm$ 100 MPa 145 ksi $\pm$ 15 ksi
- after age hardening	1900MPa $\pm$ 100 MPa 275 ksi $\pm$ 15 ksi
Elongation at break	
- as built	8% $\pm$ 3 %
- after age hardening	2% $\pm$ 1 %
Young's modulus	180 GPa $\pm$ 20 GPa

Obr. 98.: Mechanické vlastnosti oceli 1.2709

## 12.1 Výsledky mechanické analýzy tvárnice pro vstřikování PP

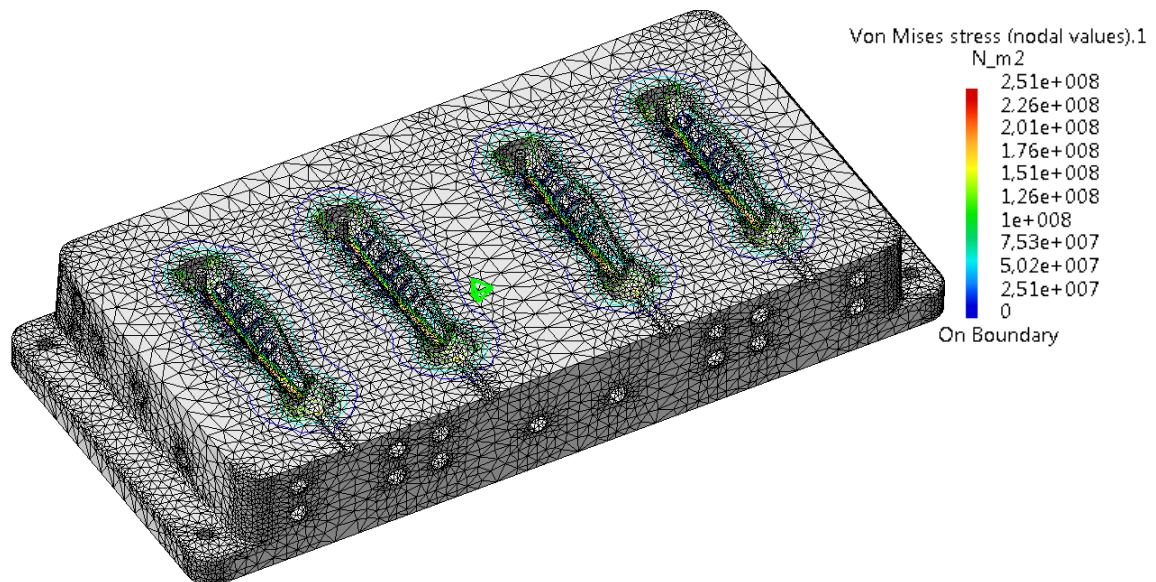
*Výpočet dovoleného napětí*

$$\sigma_D = \frac{\sigma_k}{k} = \frac{1900}{1,5} = 1267 \text{MPa}$$

Kde:  $\sigma_D$  - je velikost dovoleného napětí;

$\sigma_k$  - je velikost meze kluzu daného materiálu;

$k$  - je koeficient bezpečnosti.



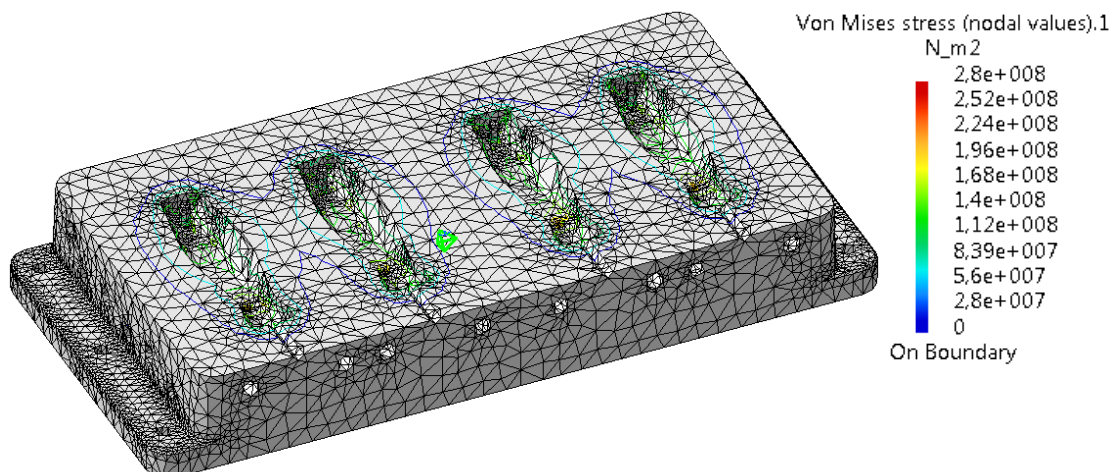
*Obr. 99.: Tvárník vstřikovací formy pro polypropylénový díl*

Tvárník byl zatížen tlakem  $p = 100 \text{MPa}$ . Dle výsledků (obr. 99) je maximální hodnota srovnávacího Von Misesova napětí je  $\sigma_{\max} = 251 \text{MPa}$ . Hodnota maximálního napětí je tedy menší než hodnota napětí dovoleného a tvarová vložka VYHOVUJE zadanému mechanickému namáhání.

## 12.2 Výsledky mechanické analýzy tvárnice pro vstřikování TPE-V

Pro tvárník, který nalezneme ve vstřikovací formě pro díl z termoplastického elastomeru, platí stejná pevnostní podmínka jako předchozí kapitole.





Obr. 100.: Tvárník vstříkovací formy pro díl z termoplastického elastomeru

Tvárník byl zatížen tlakem  $p = 100 \text{ MPa}$ . Dle výsledků (obr. 100) je maximální hodnota srovnávacího Von Misesova napětí je  $\sigma_{\text{max}} = 280 \text{ MPa}$ . Hodnota maximálního napětí je tedy menší než hodnota napětí dovoleného a tvarová vložka VYHOVUJE zadanému mechanickému namáhání.

## DISKUZE VÝSLEDKŮ

Vypracování diplomové práce bylo provedeno v souladu s oficiálním zadáním. Hlavní část práce spočívala v konstrukci vstřikovaného výrobku, návrhu výroby, konstrukci vstřikovacích forem, tvorby tokových a mechanických analýz.

Vybranými materiály pro jednotlivé díly je polypropylén a termoplastický elastomer, které jsou vstřikovány na dvou vstřikovacích strojích ARBURG 470S.

Konstrukce výrobku byla provedena na základě ergonomické rozvahy (využití modelovací hmoty), pravidlům dimenzování návrhu výrobku a konstrukci plastových dílů. Zde je nutné zdůraznit, že výrobek není optimalizovaný.

Konstrukce vstřikovací formy pro konečný díl z termoplastického elastomeru, vycházela z konstrukce formy určené pro vstřikování polypropylénového dílu. Nejprve byla konstruována forma pro polypropylénový díl spolu s přípravkem určeným pro manipulaci výrobku.

Tvorba přípravku vyhovuje všem uvažovaným podmínkám z hlediska montáže (demontáže), hmotnosti, tuhosti, manipulace a uchycení. Vstřikovací forma pro polypropylénový díl z termoplastického elastomeru odpovídá uchycení a správnému uložení přípravku na vyhazovací systém.

Výrobní cyklus u každé z forem začíná vyhozením výrobku (výměně přípravku) za pomoci manipulačního robota. Nevýhodou námi uvažované konstrukce je možnost poškrábání kovového dílu o podpůrné vyhazovače během procesu výměny přípravků. Problém byl snížen použitím vyhazovačů z beryliového bronzu. Další možností odstranění znehodnocení kovového dílu je konstrukční úprava vstřikovacích forem: přidáním hydraulického motoru, použitím dvoustupňového vyhazovacího systému nebo výměna použitých vyhazovačů za vyhazovače obsahující vložky ze slitiny mědi.

Největším zjištěným problémem ale představuje poměrně obtížná optimalizace samotného vstřikovacího procesu. Tento problém se opírá o výsledky tokových analýz.

Tokové analýzy pro vstřikování polypropylénového dílu ukazují na dlouhý vstřikovací cyklus, který je nutný pro dostatečné ztuhnutí výrobku. Důvodem je skutečnost, že uvažovaný šroubovák je silnostěnný výrobek a pro jeho bezpečné vyhození je zapotřebí dlouhého chlazení. Výsledky analýzy však nepočítají s vyhazovači z beryliového bronzu, které mají

vysoký odvod tepla. V konečném důsledku by jejich použití mohlo znamenat snížení chladičského cyklu.

Na základě výsledků vstřikování dílu z termoplastického elastomeru bych doporučil změnu materiálu při zachování skupiny označené jako TPE-V za materiál, který má menší hodnoty smrštění a menší hodnoty teploty taveniny. Dále doporučuji změnu technologických parametrů vstřikování pro TPE-V, které mají za úkol snížit velikost deformací vlivem smrštění. Jedná se především o maximální snížení teploty vstřikovací formy i teploty taveniny, zefektivnění temperačního systému přidáním dalších temperačních kanálů (DMLS), prodloužením doby chlazení, zvýšením rychlosti vstřikování (zkrácením doby plnění dutiny) a prodloužením doby pro dotlakové fáze. Tato změna minimalizuje vznik mezery mezi dílem z PP a TPE-V v podélném směru šroubováku. Z výsledků této analýzy, také vyplývají možnosti jak zpětně upravit vstřikovací cyklus polypropylénového dílu aby byla odstraněna možnost znehodnocení výrobku.

Tímto znehodnocením mám na mysli, změnu vlastností na rozhraní TPE-V a PP. Vstřikovaný materiál TPE-V má vyšší hodnotu teploty taveniny než obšřikovaný díl z PP. Výsledkem je roztavení vrstev PP, které jsou v kontaktu s taveninou TPE-V. To vede ke zvýšení strukturální pevnosti ale k těžko odhadnutelným změnám mechanických a fyzikálních vlastností. Doporučením je změna materiálu PP na takový, který který tuhne při vyšší teplotě.

Dalším doporučením je změna technologických podmínek, protože polypropylénový díl musí být při vložení již maximálně zatuhnutý. I přes snahu minimalizovat smrštění TPE-V, můžeme na konci výrobního cyklu šroubováku zjistit mezeru v podélném směru výrobku. Řešením, by mohla být snaha o zvýšení dodatečného smrštění dílu z polypropylénu. V oblasti vstřikovacího procesu se jedná o obecně nepříznivý vliv, v našem případě by mohl znamenat zvýšení vzhledových vlastností.

V poslední fázi diplomové práce byla provedena kontrola tvarových vložek z hlediska mechanických analýz. Pro každou z konstruovaných vstřikovacích forem byla vybrána pravá tvarová vložka (tvárnice), která představuje nejvíce namáhanou tvarovou vložku. Tato skutečnost je dána největším zásahem procesu obrábění. Z výsledku je patrné, že tvárnice bez problému odolávají 2 – 3 násobně většímu vstřikovacímu tlaku než který byl zjištěný z tokových analýz.

## ZÁVĚR

Cílem diplomové práce byla konstrukce vstřikovací formy určené pro dvoukomponentní výrobek. Tímto zadaným výrobkem byl šroubovák.

V první fázi praktické části práce, jsem se zabýval návrhem vstřikovaného šroubováku a to tak aby splňoval podmínky kladené z jeho funkce (ergonomické, mechanické vlastnosti a zásady konstrukce plastových dílů).

V následující fázi návrhu vstřikovací formy bylo nutné vyřešit technologický postup jeho výroby. Nejvýhodnější a realizovanou možností bylo vytvoření pracovištěm, které obsahuje dva vstřikovací stroje, manipulačního robota, odkládací prostor (odkládací desky), příjezdové (odjezdové) desky pro vložení přípravku do výrobního procesu a odebírání přípravku z hotových výrobků. Na základě stanoveného výrobního postupu bylo potřeba vytvořit přípravek a dvě vstřikovací formy.

Konstrukce přípravku probíhala spolu s konstrukcí vstřikovací formy pro polypropylénový díl. Přípravek musel splňovat řadu podmínek tak aby byla zaručena jeho funkčnost. Konstrukce vstřikovacích forem pak obsahovala stanovení násobnosti (4x), tvorbu tvarových vložek, volbu vtokových ústí (využití programu Autodesk Moldflow), tvorbu horké vtokové soustavy (softwarová podpora společnosti Günther, modul CAD DATA), konstrukci vyhazovacího systému určeného pro přípravek a konstrukci vyhazovací a vstřikovací strany formy s využitím programu HASCO – DAKO. V případě konstrukce formy určené pro vstřikování termoplastického elastomeru bylo využito vstřikovací formy pro polypropylénový díl. Její rozdíl spočíval ve vložení nové horké vtokové soustavy, vytvoření tvarových vložek, změně temperačních okruhů a konstrukčních částí, které souvisely se změnou polohy již vyjmenovaných prvků a částí.

Dále bylo nutné provést vtokové analýzy a podpořit návrh konstruovaných forem. Pro tyto analýzy byl zvolen program Autodesk Moldflow 2011 a v něm vytvořeny dvě fiktivní vstřikovací formy. První fiktivní vstřikovací forma obsahovala kovový a polypropylénový díl spolu s temperačními okruhy a horkou vtokovou soustavou. Druhá fiktivní vstřikovací forma uvažovala deformovaný polypropylénový díl z předchozí analýzy spolu s dílem z termoplastického elastomeru.

Následovali mechanické analýzy tlakového účinku vstřikování na vtokové vložky. Celá práce je zakončena vyhodnocením a rozborem v diskuzi výsledků.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] Prokopová, I. *Makromolekulární chemie*, 2. vyd. Praha : Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2007, 13 s. ISBN 978-80-7080-662-3
- [2] Dvořák, Z.; Lamborová R. *Základy výrobních procesů I. – Konstrukční materiály polymerní a kompozity*, Zlín : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně – Fakulta technologická, 2008, 9 – 17 s.
- [3] Ducháček, V.; *Polymery – výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 2. Vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2006. Str. 166. ISBN 80-7080-617-6
- [4] Stoklasa, K.; *Zpracovatelské inženýrství I. – Základy gumárenské a plastikářské technologie*, Zlín : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně – Fakulta technologická, 2007, 8 – 10, 84 s.
- [5] Stoklasa, K.; *Makromolekulární chemie I.* , Zlín : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně – Fakulta technologická, 2005, 96 – 98 s.
- [6] Černohorská, T.; *Zlepšení adheze polymerů při vícekomponentním vstřikování – Bakalářská práce* , Zlín : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně – Fakulta technologická, 2009, 20 – 29 s.
- [7] Černohorská, T.; *Návrh dvoukomponentního vstřikování kombinací HDPE/PA6 a PP/PA6 – Diplomová práce* , Zlín : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně – Fakulta technologická, 2009, 30 – 33 s.
- [8] Zeman, L.; *Vstřikování plastů*, vyd. Praha: BEN, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3
- [9] Goodship, V.; *Practical Guide to Injection Moulding* , Rapra Technology and Arburg 2004, 4 – 5 p. ISBN 1-85957-444-0
- [10] Goodship, V.; *Practical Guide to Injection Moulding* , Rapra Technology and Arburg 2004, 4 – 5 p. ISBN 1-85957-444-0
- [11] Barlog, P. *Bakalářská práce: Konstrukce mechanismu pro vstřikovací formy*. 1. vydání. Zlín: 2009. 12 s
- [12] MAŇAS, M., HELŠTÝN, J.; *Výrobní stroje a zařízení, Gumárenské a plastikářské stroje II.*, Brno: VUT, 1990. 199s. ISBN 80-214-0213-X

- [13] LENFELD, P., *Technologie II: Zpracování plastů* [online]. Technická univerzita Liberec, 2005 [cit. 2012-01-10]. Dostupné z WWW: <[http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/obsah\\_plasty.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/obsah_plasty.htm)>
- [14] ROLCO inc.: *Multishot Plastic Injection Molding* [online]. 2008-2011 [cit. 2012-01-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.rolcoinc.com/>>
- [15] Sumitomo (SHI) Demag: *Multi-component technology* [online]. 1998-2012 [cit. 2012-01-20]. Dostupné z WWW: <[http://www.sumitomo-shi-demag.eu/solutions/multi\\_component\\_technology/](http://www.sumitomo-shi-demag.eu/solutions/multi_component_technology/)>
- [16] CAMPO, A,E.; *The Compete Part Design Handbook.*, Hunser Publishers: Munich, 2006, 869p. ISBN 978-56990-375-9
- [17] BOBŠÍK, L. a kolektiv: *Formy pro zpracování plastů I. díl – Vstřikování termoplastů*. 2. Opravné vydání Brno: UNIPLAST, 1999. 133 s.
- [18] BOBŠÍK, L. a kolektiv: *Formy pro zpracování plastů II. díl – vstřikování termoplastů*. 1. Opravné vydání Brno: UNIPLAST, 1999. 214 s.
- [19] GREGOR, O. Diplomová práce: *Konstrukce vstřikovací formy pro vícekomponentní vstřikování*. 1. vydání. Zlín: 2008. 94 s
- [20] Tangram Technology Ltd. - *Polymer-Shrinkage in plastics* [online]. 2002 [cit. 2012-01-8]. Dostupné z WWW: <[http://www.tangram.co.uk/TI-Polymer-Shrinkage\\_in\\_plastics.html](http://www.tangram.co.uk/TI-Polymer-Shrinkage_in_plastics.html)>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

$T_g$	Teplota skelného přechodu
$T_f$	Teplota toku
$T_m$	Teplota tání
DSK	Dílenské směšovací pravidlo přísad
GIT	Vstřikování za asistence plynu
WIT	Vstřikování za asistence vody
PP	Polypropylén
TPE-V	Termoplastický elastomer
CAE	Počítačová podpora konstrukce
BEAM	Typ válcového síťovacího elementu v AutoDesk MoldFlow
CFPW	Druh analýzy v programu Autodesk MoldFlow
FEM	Fiktivní síť modelu v CAD a CAE aplikacích
$\sigma_D$	Dovolené napětí [MPa]
$\sigma_K$	Napětí v mezi kluzu [MPa]
K	Koeficient bezpečnosti

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1.: Rozdělení termoplastů s ohledem na strukturu a aplikaci [2]</i> .....	14
<i>Obr. 2.: Nadmolekulová struktura amorfního polymeru [20]</i> .....	15
<i>Obr. 3.: Sférolit a uložení polymerních řetězců v lamelách [2]</i> .....	17
<i>Obr. 4.: Tabulka adheze polymerních materiálů firmy Demag</i> .....	23
<i>Obr. 5.: Vstřikovací cyklus [4]</i> .....	24
<i>Obr. 6.: Popis vstřikovacího cyklu [9]</i> .....	25
<i>Obr. 7.: Vstřikovací stroj [11]</i> .....	26
<i>Obr. 8.: Vstřikovací pístová jednotka bez předplastikace [10]</i> .....	27
<i>Obr. 9.: Vstřikovací pístová a šneková jednotka s předplastikací [12]</i> .....	27
<i>Obr. 10.: Příklady rozdílné konstrukce zpětných uzávěrů [10]</i> .....	28
<i>Obr. 11.: Příklad hydraulické uzavírací jednotky s pomocnými válci [12]</i> .....	29
<i>Obr. 12.: Příklad hydraulicko-mechanické uzavírací jednotky s válcem v ose stroje [12]</i> .....	30
<i>Obr. 13.: Příklad elektromechanické uzavírací jednotky [12]</i> .....	30
<i>Obr. 14.: Základní rozdělení speciálních metod vstřikování</i> .....	31
<i>Obr. 15.: Metoda vstřikování za asistence [10]</i> .....	32
<i>Obr. 16.: Postup sendvičového vstřikování, zapouzdrněním jádra [10]</i> .....	33
<i>Obr. 17.: Postup vstřikování dvoubarevného výrobku [15]</i> .....	33
<i>Obr. 18.: Tvorba výrobku intervalovým vstřikováním [13]</i> .....	34
<i>Obr. 19.: Získání výrobku více-násobným vstřikováním [14]</i> .....	34
<i>Obr. 20.: Fáze výrobku, získané metodou zastřikování vytavitelného jádra [16]</i> .....	35
<i>Obr. 21.: Vybalancovaný studený vtok pro 64 výrobků [16]</i> .....	37
<i>Obr. 22.: Druhy používaných průřezů vtokových kanálů [16]</i> .....	38
<i>Obr. 23.: Nejčastěji používané druhy vtokových ústí: [19]</i> .....	38
<i>Obr. 24.: Příklad konstrukce horkého vtokového systému podle DME</i> .....	39
<i>Obr. 25.: Příklady vyhazovacích kolíků pro mechanické vyhazování [18]</i> .....	40
<i>Obr. 26.: Příklady mechanických systému vyhození</i> .....	41
<i>Obr. 27.: Příklady chlazení na straně tvárníku [19]</i> .....	42
<i>Obr. 28.: Systém šoupátek [15]</i> .....	44
<i>Obr. 29.: Systém rotace vyhazovací strany formy [15]</i> .....	44
<i>Obr. 30.: Systém části formy kolem horizontální osy [15]</i> .....	45



<i>Obr. 31.: Rotace indexové desky [15]</i> .....	46
<i>Obr. 32.: Přibližné ergonomické řešení s využitím modelovací hmoty</i> .....	52
<i>Obr. 33.: Konečná podoba šroubováku v prostředí DS CATIA</i> .....	52
<i>Obr. 34.: Průběh vyztužení šroubováku</i> .....	58
<i>Obr. 35.: Přípravek</i> .....	59
<i>Obr. 36.: Schéma výroby šroubováku</i> .....	60
<i>Obr. 37.: Schéma výroby šroubováku doplněné o nepostradatelné části výrobního cyklu</i> .....	61
<i>Obr. 38.: Popis přípravku;</i> .....	62
<i>Obr. 39.: Násobnost v prostředí Autodesk Moldflow 2011</i> .....	64
<i>Obr. 40.: Umístění vtoku – odpor proti toku</i> .....	65
<i>Obr. 41.: Umístění vtoku – vhodnost umístění vtoku</i> .....	65
<i>Obr. 42.: Úprava dosedací plochy u tvarových vložek</i> .....	66
<i>Obr. 43.: Horká vtoková soustava Günther pro polypropylénový díl</i> .....	67
<i>Obr. 44.: Fiktivní vtoková soustava</i> .....	68
<i>Obr. 45.: Vyhazovací strana vstřikovací formy</i> .....	69
<i>Obr. 46.: Podpůrné konstrukční prvky</i> .....	70
<i>Obr. 47.: Popis vyhazovací vložky</i> .....	71
<i>Obr. 48.: Zajištění vyhazovačů proti pootočení</i> .....	71
<i>Obr. 49.: Vyhazovací systém vstřikovací formy</i> .....	71
<i>Obr. 50.: Dráha pohybu robota při nasazování přípravku na vyhazovací systém</i> .....	72
<i>Obr. 51.: Vstřikovací strana formy</i> .....	73
<i>Obr. 52.: Fiktivní temperační okruh tvárníku pro PP</i> .....	74
<i>Obr. 53.: Příklad těsnícího O-kroužku pro tvárníky</i> .....	75
<i>Obr. 54.: Fiktivní temperační okruh tvárníku pro TPE-V</i> .....	75
<i>Obr. 55.: Fiktivní temperační okruh tvárnice pro PP</i> .....	76
<i>Obr. 56.: Příklad těsnícího O-kroužku na straně tvárníků</i> .....	76
<i>Obr. 57.: Fiktivní temperační okruh tvárnice pro TPE-V</i> .....	76
<i>Obr. 58.: Fiktivní výrobek v prostředí Autodesk Moldflow 2011</i> .....	79
<i>Obr. 59.: Fiktivní vstřikovací forma v prostředí Autodesk Moldflow 2011</i> .....	80
<i>Obr. 60.: Nastavení procesních parametrů (krok č. 1 – chlazení)</i> .....	81
<i>Obr. 61.: Nastavení procesních parametrů (krok č. 2 – plnění a dotlak)</i> .....	81
<i>Obr. 62.: Nastavení fáze dotlaku</i> .....	82

<i>Obr. 63.: Nastavení vstřikovacího stroje – vstřikovací jednotky</i> .....	82
<i>Obr. 64.: Výsledek diagnostiky sítě</i> .....	83
<i>Obr. 65.: Doba plnění</i> .....	83
<i>Obr. 66.: Průběh tlaku během vstřikovacího cyklu</i> .....	84
<i>Obr. 67.: Průběh uzavírací síly během vstřikovacího cyklu</i> .....	84
<i>Obr. 68.: Průběh uzavírací síly během vstřikovacího cyklu</i> .....	85
<i>Obr. 69.: Rozmístěný vzduchových kapes ve výrobku</i> .....	85
<i>Obr. 70.: Teplota temperačního média</i> .....	86
<i>Obr. 71.: Hodnoty Reynoldsova čísla</i> .....	86
<i>Obr. 72.: Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty</i> .....	87
<i>Obr. 73.: Procentuální výskyt taveniny</i> .....	88
<i>Obr. 74.: Účinnost temperačního systému tvárníku</i> .....	88
<i>Obr. 75.: Účinnost temperačního systému tvárnice</i> .....	89
<i>Obr. 76.: Celková deformace výrobku</i> .....	90
<i>Obr. 77.: Posun kovového dílu</i> .....	90
<i>Obr. 78.: Velikost napětí dle Von Mises</i> .....	91
<i>Obr. 79.: Fiktivní výrobek v prostředí Autodesk Moldflow 2011</i> .....	92
<i>Obr. 80.: Fiktivní vstřikovací forma v prostředí Autodesk Moldflow 2011</i> .....	93
<i>Obr. 81.: Nastavení procesních parametrů (krok č. 1 – chlazení)</i> .....	94
<i>Obr. 82.: Nastavení procesních parametrů (krok č. 2 – plnění a dotlak)</i> .....	94
<i>Obr. 83.: Nastavení fáze dotlaku</i> .....	95
<i>Obr. 84.: Nastavení vstřikovacího stroje – vstřikovací jednotky</i> .....	95
<i>Obr. 85.: Výsledek diagnostiky sítě</i> .....	96
<i>Obr. 86.: Doba plnění</i> .....	96
<i>Obr. 87.: Průběh tlaku během vstřikovacího cyklu</i> .....	97
<i>Obr. 88.: Průběh uzavírací síly během vstřikovacího cyklu</i> .....	97
<i>Obr. 89.: Průběh uzavírací síly během vstřikovacího cyklu</i> .....	98
<i>Obr. 90.: Rozmístěný vzduchových kapes ve výrobku</i> .....	98
<i>Obr. 91.: Teplota temperačního média</i> .....	99
<i>Obr. 92.: Hodnoty Reynoldsova čísla</i> .....	99
<i>Obr. 93.: Procentuální výskyt taveniny</i> .....	100
<i>Obr. 94.: Procentuální výskyt zatuhlých vrstev</i> .....	101
<i>Obr. 95.: Účinnost temperačního systému tvárníku</i> .....	101

---

<i>Obr. 96.: Účinnost temperačního systému tvárnice.....</i>	102
<i>Obr. 97.: Celková deformace výrobku .....</i>	102
<i>Obr. 98.: Mechanické vlastnosti oceli 1.2709 .....</i>	103
<i>Obr. 99.: Tvárník vstříkovací formy pro polypropylénový díl .....</i>	104
<i>Obr. 100.: Tvárník vstříkovací formy pro díl z termoplastického elastomeru.....</i>	105

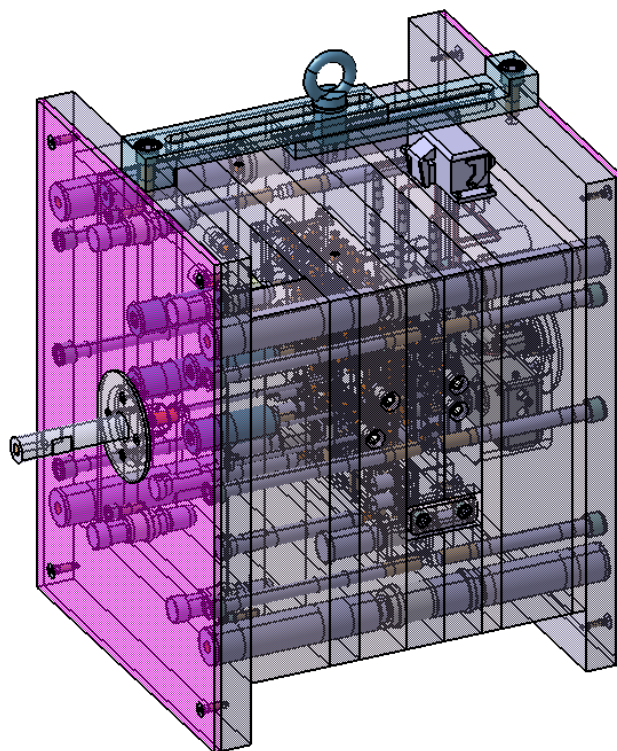
**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1.: Základní rozdělení polymerních materiálů [2].....</i>	13
<i>Tab. 2.: Parametry ovlivňující mísitelnost [5,6,7].....</i>	21
<i>Tab. 3.: Postupy ke zvýšení kompatibility [6,7] .....</i>	22
<i>Tab. 4.: Výhody a nevýhody použití horkých vtokových soustav [17] .....</i>	39
<i>Tab. 5.: Informace o oceli pro kovový díl .....</i>	53
<i>Tab. 6.: Informace o nosném vstřikovaném materiálu dle Autodesk Moldflow 2012.....</i>	54
<i>Tab. 7.: Informace o kontaktním vstřikovaném materiálu dle Autodesk Moldflow 2012 .....</i>	55
<i>Tab. 8.: Řešení tvaru šroubováku v prostředí DS CATIA.....</i>	56
<i>Tab. 9.: Řešení tvaru kovového dílu v prostředí DS CATIA .....</i>	57
<i>Tab. 10.: Geometrické a plastikační parametry použitého vstřikovacího stroje .....</i>	77
<i>Tab. 11.: Fiktivní vstřikovací forma pro PP a TPE-V .....</i>	78
<i>Tab. 12.: Zvolené temperační médium v temperačních systémech formy pro PP .....</i>	80
<i>Tab. 13.: Zvolené temperační médium v temperačních systémech formy pro TPE-V .....</i>	93

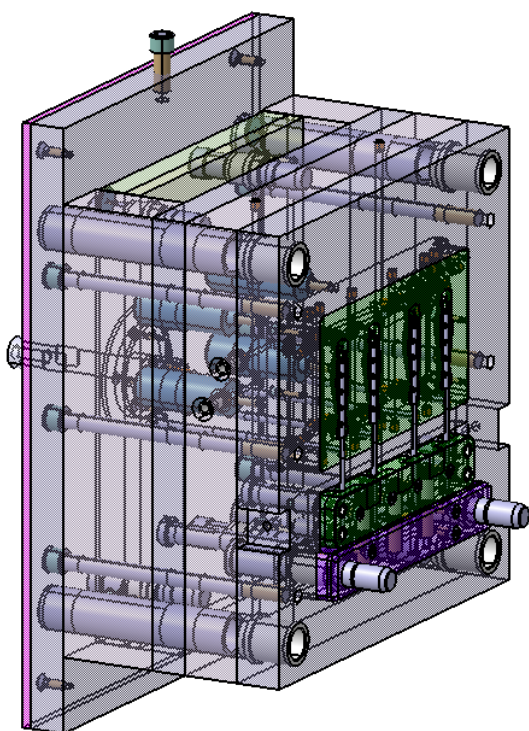
**SEZNAM PŘÍLOH**

P I	Vstřikovací forma pro díl z PP
P II	Vstřikovací forma pro díl z TPE-V
P III	Kusovník pro sestavu vstřikovací formy - PP
P IV	Kusovník pro sestavu přípravku
P V	Kusovník pro sestavu výrobku
P VI	Sestava vstřikovací formy pro PP
P VII	Sestava přípravku
P VIII	Sestava šroubováku
P IX	DVD disk obsahující podporu k diplomové práci

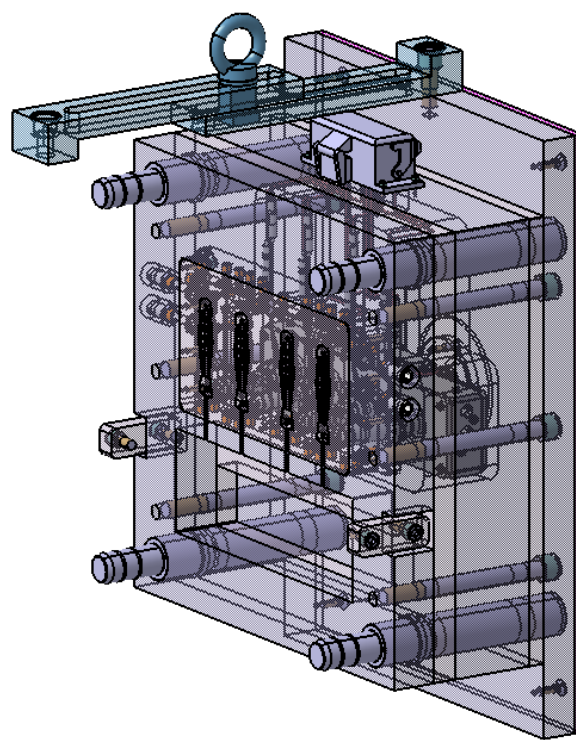
## PŘÍLOHA P I: VSTŘIKOVACÍ FORMA PRO DÍL Z PP



Izometrický pohled na sestavu vstřikovací formy

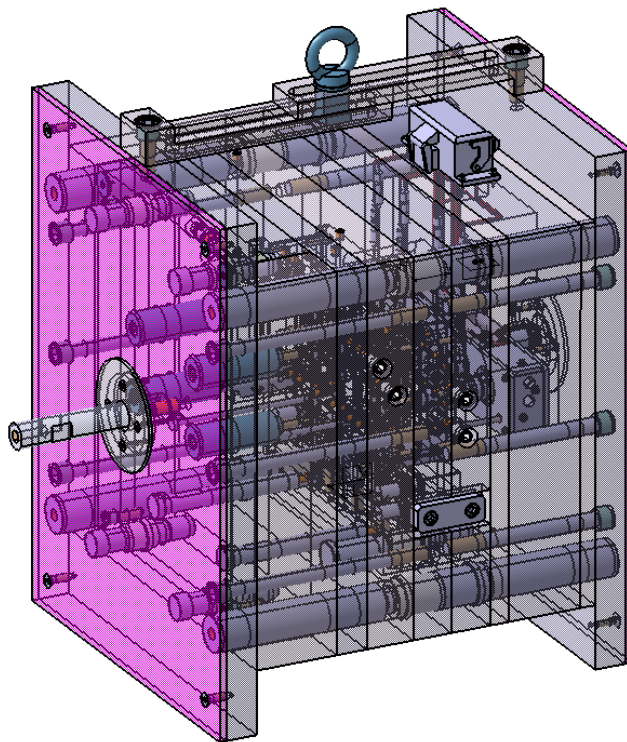


Izometrický pohled vyhazovací strany

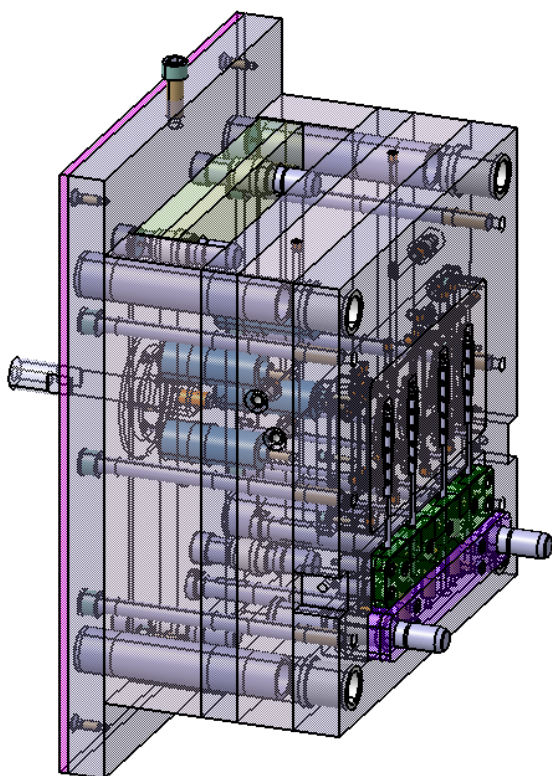


Izometrický pohled na vstřikovací stranu

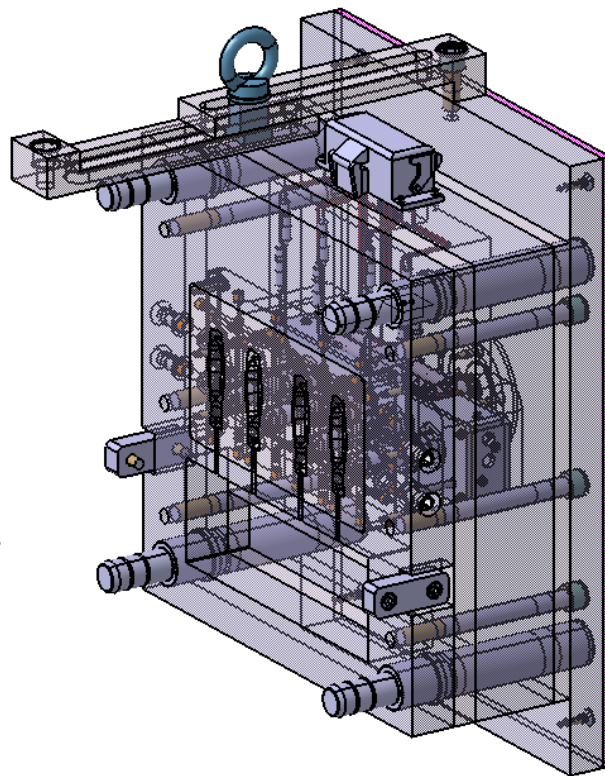
## PŘÍLOHA P II: VSTŘIKOVACÍ FORMA PRO DÍL Z TPE-V



Izometrický pohled na sestavu vstřikovací formy



Izometrický pohled vyhazovací strany



Izometrický pohled na vstřikovací stranu