

# Konstrukce vstřikovací formy pro interiérový plastový díl automobilu včetně simulací

Bc. Jakub Návoj

---

Diplomová práce  
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství  
akademický rok: 2013/2014

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jakub Návoj**  
Osobní číslo: **T12442**  
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**  
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Konstrukce vstřikovací formy pro interiérový  
plastový díl automobilu včetně simulací**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na dané téma.
2. Nakreslete 3D model plastového dílu.
3. Provedte konstrukci vstřikovací formy pro zadaný plastový díl.
4. Návrh ověřte pomocí analýz vstřikovacího procesu.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

**dle zadání vedoucího DP**

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Michal Staněk, Ph.D.**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

**10. února 2014**

Termín odevzdání diplomové práce:

**12. května 2014**

Ve Zlíně dne 10. února 2014

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




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

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 12. 5. 2014

  
.....

---

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

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

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

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

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

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

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpirá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Cílem této diplomové práce je konstrukční řešení vstřikovací formy pro zadaný plastový díl s horkým vtokovým systémem. V teoretické části je vypracována literární studie na téma vstřikování doplněno o pravidla pro konstrukci forem a základní vlastnosti vybraných polymerů. Praktická část obsahuje 3D model výrobku a návrh dvounásobné vstřikovací formy. Zároveň je zde popis jejich jednotlivých částí formy a tokové analýzy produktu. Návrh byl vytvořen v programu CATIA V5 s využitím normalizovaných součástí od firmy Hasco. Tokové analýzy byly prováděny v programu Moldflow.

Klíčová slova: Polymer, vstřikovací forma, konstrukce

## **ABSTRACT**

The aim of this diploma thesis is to design injection mold for injection plastic part with the hot inlet system. In the theoretical part is literary study on the issue injection. This issue is extended about rules for mold designing and basic properties of chosen polymers. The practical part contains a 3D model of the plastic product and a design of double injection mold. It also includes description of their individual parts of injection mold and flowable analyzes of whole product. The proposal was created using CATIA V5, where standard parts from Hasco catalogue were used. For flow analysis was used the programme Moldflow.

Keywords: Polymer, injection mold, construction of form

Poděkování:

Rád bych touto formou poděkoval ing. Michalu Staňkovi, Ph.D za věnovaný čas a cenné rady a připomínky, které mi pomohly k dokončení práce.

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. Dále prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně dne 12. 5. 2014

.....

Podpis

# OBSAH

<b>ÚVOD.....</b>	<b>11</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST.....</b>	<b>12</b>
<b>1 HISTORIE .....</b>	<b>13</b>
1.1 HISTORIE PLASTŮ .....	13
1.2 HISTORIE VSTŘIKOVÁNÍ .....	13
<b>2 PLASTY A JEJICH ZPRACOVÁNÍ VSTŘIKOVÁNÍM.....</b>	<b>14</b>
2.1 CHARAKTERISTIKA PLASTŮ A ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ.....	14
2.2 VLIVY TEPLA NA VLASTNOSTI PLASTICKÝCH HMOT .....	14
2.3 PŘÍPRAVA MATERIÁLŮ PŘED VSTŘIKOVÁNÍM .....	14
2.3.1 Vstupní kontrola .....	15
2.3.2 Sušení granulátu .....	15
2.3.3 Recyklace plastů.....	16
2.3.4 Barvení granulátu .....	16
2.3.5 Vady vstřikovaných dílců .....	17
<b>3 VSTŘIKOVÁNÍ POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ.....</b>	<b>19</b>
3.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS .....	19
3.1.1 Cyklus plastikační jednotky .....	19
3.1.2 Cyklus formy.....	20
3.2 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	21
3.2.1 Vstřikovací jednotka .....	22
3.2.2 Uzavírací jednotka .....	23
3.2.2.1 Hydraulicky uzavíratelné jednotky .....	23
3.2.2.2 Elektromechanické uzavírací jednotky.....	24
3.2.2.3 Hydraulicko-mechanické uzavírací jednotky .....	25
3.2.3 Řídící jednotka .....	25
3.3 SPECIÁLNÍ TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ.....	26
3.3.1 Metoda GIT .....	26
3.3.2 Metoda WIT .....	27
3.3.3 Více komponentní vstřikování .....	28
<b>4 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍCH FOREM.....</b>	<b>29</b>
4.1 ZAFORMOVÁNÍ VÝROBKU.....	29
4.2 VTOKOVÉ SYSTÉMY .....	30
4.2.1 Studený vtokový systém .....	30
4.2.2 Vtokové ústí .....	31
4.3 VYHŘÍVANÉ VTOKOVÉ SOUSTAVY.....	32
4.3.1 Vytápěné rozvodové bloky .....	32
4.3.2 Vyhřívané trysky .....	33
4.4 VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	34
4.4.1 Mechanické vyhození.....	35
4.4.2 Vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků .....	35
4.4.3 Stírací deska .....	36
4.4.4 Trubkové vyhazovače .....	37
4.4.5 Vyhazování pomocí šikmých čepů .....	37



4.4.6	Vyhazování pomocí lomených kolíku .....	38
4.4.7	Pneumatické vyhazování.....	38
4.4.8	Hydraulické vyhazování.....	38
4.5	TEMPERACE FOREM.....	39
4.5.1	Požadované teploty formy při zpracování plastů [14] .....	39
4.5.2	Charakteristika temperačního systému .....	40
4.5.3	Temperační prostředky.....	40
	PASIVNÍ PROSTŘEDKY PŘEDSTAVUJÍ: .....	41
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>42</b>
<b>5</b>	<b>STANOVENÍ CÍLŮ PRÁCE .....</b>	<b>43</b>
<b>6</b>	<b>KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY.....</b>	<b>44</b>
6.1	VÝROBEK.....	44
6.2	NÁSOBNOST FORMY .....	44
6.3	ODFORMOVÁNÍ VÝROBKU .....	45
6.3.1	Odformování pomocí šikmých čepů .....	46
6.3.2	Odformování pomocí hydraulického válce .....	47
6.4	ODVZDUŠNĚNÍ DUTINY FORMY.....	47
6.5	TVAROVÉ VLOŽKY .....	48
6.6	VTOKOVÝ SYSTÉM .....	49
6.7	TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	50
6.8	VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	51
6.9	RÁM FORMY .....	52
6.10	VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	54
<b>7</b>	<b>ANALÝZA VSTŘIKOVACÍHO PROCESU .....</b>	<b>55</b>
7.1	VOLBA CAE APLIKACE .....	55
7.2	ANALÝZA UMÍSTĚNÍ VTOKOVÉHO ÚSTÍ (GATE LOCATION).....	57
7.3	ODPOR PROTI TEČENÍ MATERIÁLU (FLOW RESISTENCE INDICATOR) .....	58
7.4	VSTŘIKOVANÝ MATERIÁL .....	58
7.5	BLOK VSTŘIKOVACÍ FORMY PRO CAE ANALÝZU.....	59
7.6	IMPLICITNÍ ANALÝZA .....	59
7.7	PRVNÍ ANALÝZA S DEFAULTNĚ ZVOLENÝMI HODNOTAMI.....	60
7.8	CHYBY VYHODNOCENÉ ANALÝZOU.....	61
7.8.1	Čas plnění (Fill time) .....	61
7.8.2	Rychlost smykové deformace (Shear rate bulk) .....	62
7.9	ANALÝZA S UPRAVENÝMI PROCESNÍMI PODMÍNKAMI.....	63
7.9.1	Výsledky analýzy plnění a dotlaku .....	64
7.9.2	Výsledky analýzy deformace .....	72
7.9.3	Výsledky analýzy chlazení.....	73
<b>8</b>	<b>DISKUZE VÝSLEDKŮ.....</b>	<b>76</b>
<b>9</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>77</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>78</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>80</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>81</b>

<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>83</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>84</b>

## ÚVOD

Plast je materiálem moderní doby. Stačí se jen rozhlédnout kolem sebe. Ať už sedíte u počítače, v kuchyni, v autobuse nebo kdekoli jinde. Je to materiál, který je díky svým vlastnostem masově využíván v mnoha odvětvích. Výrobky z plastu najdeme ve stavebnictví, strojírenství, automobilovém a elektrotechnickém průmyslu, jako obalový materiál a v mnoha dalších oblastech. Používá se v různých formách, barvách a dá se z něj vytvořit nepředstavitelně mnoho odlišných produktů. Existuje i mnoho způsobů, kterými se plasty zpracovávají do jejich výsledné podoby. Tyto metody se značně liší podle příslušného druhu plastu.

Plasty, které se dají tepelně zpracovat do požadovaného tvaru, se nazývají termoplasty. Mezi nejobvyklejší a nejpoužívanější způsob zpracování těchto plastů patří vstřikování. Tento proces probíhá na vstřikovacích strojích, jejichž klíčovou součástí jsou formy. Do těch se vstříkne polymer, který zde zafixuje svůj konečný tvar.

Nároky na kvalitu tvaru a povrchu vytvořeného produktu se stále zvyšují. Je tedy nutné zvolit správný druh plastu podle jakostních parametrů. Zároveň se musí přesně navrhnout a z kvalitního materiálu vyrobit forma. Tento proces vyžaduje hodně času a finančních prostředků, a to zejména kvůli individualitě jednotlivých projektů. Náklady na konstrukci forem se dají snížit používáním normalizovaných prvků. Ne vždy jich ale lze kvůli složitosti formy využít.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 HISTORIE

### 1.1 Historie plastů

Historie výroby plastů se píše přibližně od poloviny 19. století, kdy světlo světa spatřil první plast pojmenovaný celuloid. Největšího rozvoje se plasty dočkaly začátkem 20. století, kdy lidé začali vynalézat nové a nové druhy plastů (PET, PVC, PE atd.). Ty postupně nahrazovaly dříve používané přírodní materiály v běžné lidské činnosti. Plasty jsou chemicky odolné, lehké, dobře tvarovatelné a díky rozmanitým příměsím se vyznačují různou variabilitou dalších vlastností, např. pružnost nebo naopak tvrdost. Plasty jsou vhodné pro sériovou výrobu různých produktů, díky tomu našly využití snad ve všech domácnostech a průmyslových odvětvích. Plasty se vyrábějí převážně z ropy. Jedinou jejich velkou nevýhodou je recyklace. Ta je možná pouze v omezené míře, a výrobky z recyklovaného plastu nedosahují takových vlastností, jako výrobky vyrobené bez přísad recyklátu. [1]

### 1.2 Historie vstřikování

Počátek historie vstřikování plastů ve světě je spojován se jmény bratří Hyattů (John Wesley a Izák) a s náhodným již zmíněným objevem prvního termoplastu, jímž byl nitrát celulózy rozpuštěný v alkoholovém roztoku kafru, později známý jako celuloid. K tomuto objevu došlo v roce 1870.

Na zpracování tohoto materiálu postavili bratři Hyattové zařízení, sestávající z parou vytápěného válce s hydraulickým pístem (vertikální poloha) a tryskou, umístěnou kolmo na osu válce a dosedající na dvoudílnou ocelovou formu, která byla uzavírána druhým hydraulickým válcem. Vtok byl veden přímo do dělicí roviny formy. Toto byl první vstřikovací stroj, na kterém byly vyrobeny první výstřiky. Nitrátem celulózy byly obštrikované kovové přezky pro potřebu armády Spojených států amerických a také dřevěná jádra štětek na holení.

## 2 PLASTY A JEJICH ZPRACOVÁNÍ VSTŘIKOVÁNÍM

Vstřikování plastů je tepelně mechanický proces tváření. Výrobky vyráběné touto metodou mají již většinou charakter konečného výrobku. Tyto výrobky se vyznačují velice dobrou rozměrovou a tvarovou přesností. Proto je metoda vstřikování jednou z nejrozšířenějších metod zpracování plastů na světě. Jedná se o cyklický proces, kterým se dá zpracovat téměř všechny druhy termoplastů a v omezené míře se zpracovávají i reaktoplasty a elastomery. [2]

### 2.1 Charakteristika plastů a základní rozdělení

Plasty jsou materiály jejichž struktura je tvořena dlouhými makromolekulárními řetězci. Za běžných podmínek se většina plastů jeví jako tvrdé a křehké. Dělíme je na:

- Termoplasty – Mají přímé řetězce. Při ohřevu se uvolní řetězce a materiál se stává viskózním, a proto se dá materiál dále tvářet. Při ochlazení se vlastnosti materiálu vrátí do původního stavu. Oproti reaktoplastům jsou vlastnosti materiálu neměnné, dokonce i po opakovaném zahřívání a chlazení. [3]
- Reaktoplasty – mají řetězce spojeny chemickými vazbami, které vytváří prostorově trojrozměrnou síť. Ta se vlivem teploty a tlaku zesítuje a zafixuje svůj tvar. Tento proces již nejde znovu opakovat a materiál je už dále tepelně nezpracovatelný. [3]

### 2.2 Vlivy tepla na vlastnosti plastických hmot

Teplota má zásadní vliv na plasticitu a tokové vlastnosti plastických hmot. Stejně jako u jiných látek se mění se změnou teploty obsah vnitřní energie hmoty, a tím se zvyšuje pohyb částic. Mezimolekulární přitažlivé síly se ze změnou teploty výrazně mění, což má za následek změnu soudržnosti hmoty. Zeslabováním mezimolekulární soudržnosti zvyšováním teploty se umožňuje tzv. viskózní tok, který se projevuje jako zvyšování plasticity. U některých plastických hmot se pak dosáhne úplného roztavení. [4]

### 2.3 Příprava materiálů před vstřikováním

Polymerní materiály se nejčastěji dodávají ve formě granulátů v pytlích nebo ve velkoobjemových nádržích nákladních aut. Odtud se čerpají do zásobníkových sil. Před samotným zpracováním plastů vstřikováním je potřeba některé materiál upravit dle příslušných technologických postupů. Tyto postupy jsou pro konkrétní typy materiálů zcela odlišné. Nej-

častěji se jedná o vstupní kontrolu, sušení granulátů, mísení materiálu s drceným odpadem, míchání nadouvadlem a barvení. [5]

Následující postupy se používají ke zpracování termoplastů. [5]

### 2.3.1 Vstupní Kontrola

Vstupní kontrola je využívána hlavně pro omezení potíží spojených s zpracováním a aplikací materiálu. Dále se rozděluje na vstupní hodnocení materiálů a kontrolní přejímku běžně využívaných plastů. Vstupní kontrola se zabývá: [4]

- fyzikálními a mechanickými vlastnostmi materiálu, což je například viskozita a tepelné a elektrické vlastnosti,
- chemicko-analytickým složením (obsahy nízkomolekulárních podílů, molekulová hmotnost apod.),
- mechanickými vlastnostmi (pevnost tažnost ..),
- ostatním hodnocením, například vizuálním vlivem prostředí.

### 2.3.2 Sušení granulátu

Navlhavost je absorpce vlhkosti ze vzduchu, a je jednou z negativních vlastností většiny termoplastů problémovou zejména při zpracování vstřikováním. Pohlcování vlhkosti při běžných teplotách může způsobit rozpad polymeru a to zapříčiňuje zhoršení některých vlastností materiálu a také snížení jakosti povrchu výrobku. Vstřikované výrobky mají z tohoto důvodu povrchové vady, nesnadno se vyjmají z dutiny formy a mohou být bez povrchového lesku. Proto je důležité sušit některé materiály před samotným vstřikováním. [5]

Materiál který je vysušen se dováží ve vzduchotěsných obalech. Nevysušený materiál je dovážen v papírových nebo plastových pytlích. [5]

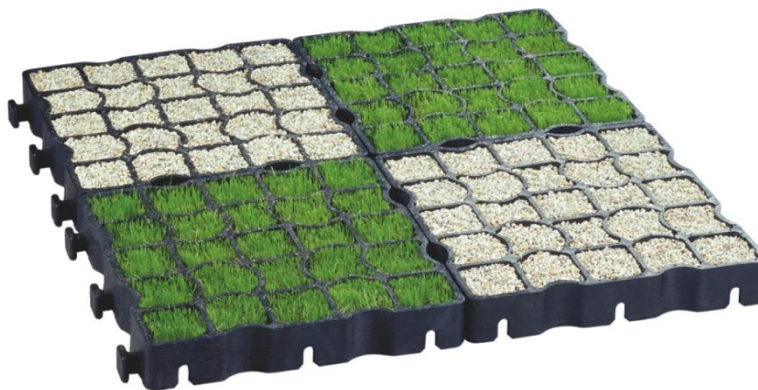
Aby nedošlo ke zvlhnutí granulátu, skladuje se v suchých skladech blízko místa, ve kterém se materiál bude zpracovávat. V zimním období, kdy by mohlo docházet k orosení materiálu při otevřeném převážení ze skladu do dílny, je vhodné granulát ponechat aklimatizovat asi 24 hodin. Sušení granulátu se provádí například v komorové peci s přirozeně cirkulujícím vzduchem. [5]

### 2.3.3 Recyklace plastů

Při vstřikování mohou vznikat neshodné kusy, odpady a vtokové systémy, které nejsou pro firmu odpadem jako takovým, protože je lze znovu zpracovávat, přesněji recyklovat. Recyklace se využívá především při výrobě malých vstřiků z důvodů produkce vysokého množství odpadu. [4]

Drcení je jeden ze způsobů pro zpracování neznečištěných plastových odpadů vstřikování. Drcení se provádí například v nožových mlýnech. Vzniklá drť se přidává v malém množství do výroby k čistému granulátu a znovu se tak zpracovává. Přidáním recyklátu ale dochází ke snížení fyzikálně-mechanických vlastností a také k narušení povrchového vzhledu. [4]

Transparentní a silně namáhané výrobky se nemohou vyrábět ze s příměsí recyklátu kvůli již zmíněnému snížení fyzikálně-mechanických vlastností a narušení povrchového vzhledu. Pokud se do granulátu přidává přibližně 15-30 % recyklátu, nemají výtříky příliš zhoršené mechanické vlastnosti. V některých případech jsou výrobky vyráběny i ze 100% odpadu, například zatravňovací pásy. [4]



Obrázek 1.: Výrobek z recyklátu (zatravňovací dlaždice)

### 2.3.4 Barvení granulátu

Získaný materiál od výrobce se dodává pouze v určitých barevných odstínech, přičemž barva základního granulátu omezuje rozsah možných změn barvy výrobku. Barvení materiálu se provádí dávkovacím zařízením na vstřikovací stroji nebo přimícháním malého množství jinak barevného materiálu do primárního materiálu před vstřikováním. To probíhá tak, že se ve vstřikovací stroji smíchají jinak obarvené granule s primárním granulátem, který se homogenizuje a výsledné výrobky tak nesou námi požadovanou barvu. [4]



### 2.3.5 Vady vstřikovaných dílců

Přetok:

- Příliš vysoká teplota materiálu při zpracování,
- Nízká uzavírací síla,
- Vysoký tlak při vstřikování,
- Špatné upnutí formy,
- Znečištěný povrch dělicí roviny.

Plastické švy (studený spoj):

- Nízká teplota materiálu při zpracování,
- Nízká vstřikovací rychlost,
- Nízká teplota formy,
- Tok taveniny je dlouhý.

Spálená místa:

- Příliš vysoká teplota taveniny,
- Přehřátí vlivem tření,
- Nedostatečné odvodušnění,
- Poškozené vstřikovací zařízení.

Deformace dílce:

- Nedostatečná doba chladnutí,
- Velké podkopy,
- Špatná orientace plniv,
- Nevhodně zvolené vyhazovací kolíky,
- Nevhodný výběr materiálu,
- Vysoká teplota formy.

Křehkost dílce:

- Degradace materiálu,
- Nedostatečně vysušený materiál.

Černé skvrny:

- Degradace materiálu,
- Dlouhý prostoj stroje.

Propadliny:

- Vysoká teplota zpracování,
- Velká délka toku taveniny,
- Nízký vstřikovací tlak,
- Špatné odvzdušnění.

Bubliny (lunkry):

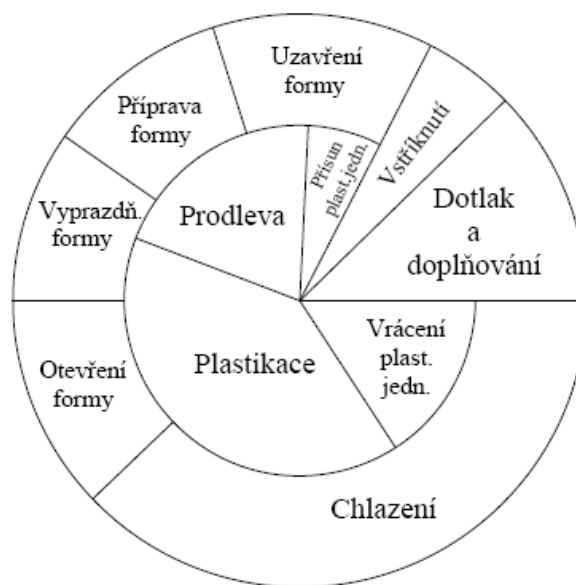
- Příliš nízký vstřikovací tlak,
- Těkavé složky a plyny v dílcích,
- Špatné odvzdušnění formy,
- Náhlý přechod ze slabé do silné formy,
- Nesprávná konstrukce výrobku,
- Přehřátá forma,
- Nízká teplota formy. [6]

### 3 VSTŘIKOVÁNÍ POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ

Vstřikování je způsob zpracování polymerních materiálů, kdy se vysokou rychlostí vstříkne materiál v plastickém stavu do dutiny formy. Jedná se o cyklický diskontinuální proces. V dnešní době patří k nejběžněji používanému procesu pro zpracování plastových dílů. Pro danou technologii je potřeba stroj, nástroj (vstřikovací forma) a předpřipravený materiál. Daným procesem se nejčastěji vyrábějí výrobky, které mají charakter konečného produktu. [4]

#### 3.1 Vstřikovací cyklus

Slouží k popisu jednotlivých pracovních částí vstřikovacího stroje. Zahrnuje dvě oblasti vztahující se k vstřikovací jednotce a k formě. Ty jednoznačně určují sled a dobu trvání jednotlivých událostí, které vedou k zhotovení daného výrobku. [6]



Obrázek 2.: Vstřikovací cyklus [6]

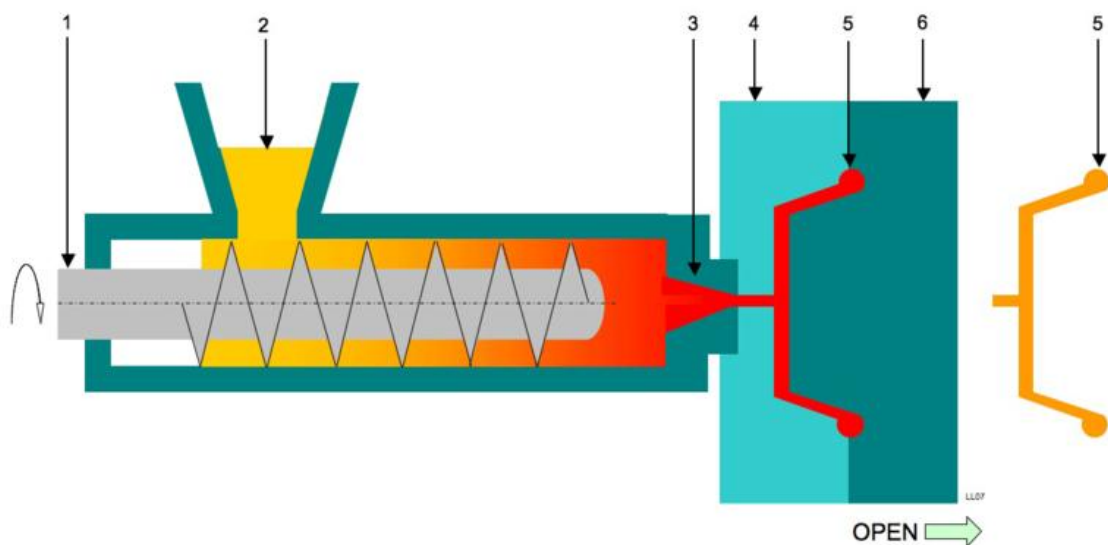
##### 3.1.1 Cyklus plastikační jednotky

Cyklus plastikační jednotky bude vysvětlen na nejpoužívanější vstřikovací jednotce, a to šnekové.

Nad vstupní částí šneku je násypka, do které se přivádí již předpřipravený materiál. Pracovní válec šneku je rozdělen na jednotlivá teplotní pásma: vstupní, přechodové a výstupní. Každé pásmo je potřeba temperovat na jinou teplotu dle použitého vstřikovaného mate-

riálu. Granulát je ze vstupního pásma šneku postupně dopravován do kompresního pásma, kde dochází ke zvýšení tlaku, což má za následek zvýšení teploty vlivem disipace a následné roztavení granulátu. Ve výstupním pásmu dochází k homogenizaci. [7]

Vstřikovací jednotka musí být schopna připravit a dopravit potřebné množství materiálu k úplnému zaplnění dutiny formy. Proto množství materiálu, který se dopravuje do dutiny formy musí být menší než kapacita vstřikovací jednotky při jednom zdvihu. Optimální množství kapacity vstřikovací jednotky je 80 %, maximální však 90 % aby zůstávala rezerva pro doplnění úbytku hmoty při chlazení vstřikovacího stroje. [7]



Obrázek 3.: Plasticační jednotka

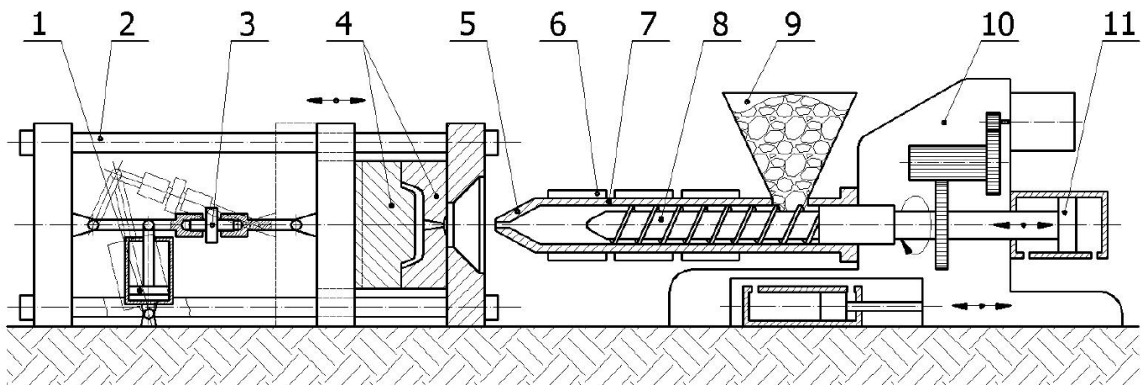
1-šnek, 2-násypka, 3-vstřikovací tryska, 4-tvárnice, 5-dutina formy (výrobek), 6-tvárník

### 3.1.2 Cyklus formy

Vstřikovací cyklus začíná uzavřením formy. Uzavírací síla musí být větším než tlak jakým je vstřikována tavenina do dutiny formy, aby nedošlo k jejímu pootevření během vstřikování. Dále následuje fáze vstřikování polymerní taveniny do dutiny formy. K tomu musí docházet velkou rychlostí. Po vstříknutí je na řadě dotlaková fáze. Po jejím ukončení nastává jeden z nejdelších dějů vstřikovacího cyklu, kterým je chlazení. To má velký vliv na tuhnutí výrobku. Ten musí být ochlazen na vyhazovací teplotu, aby při vyhazování nedocházelo k mechanickému porušení. Po ochlazení se forma otevře a vyhazovací systém vyhodí výrobek. Poslední částí je příprava formy, během které probíhá kontrola, očištění, případně vkládání prvků pro zastřikování.

### 3.2 Vstřikovací stroj

Vstřikovací stroj je zařízení, které přímo ovlivňuje kvalitu jím vyráběných výrobků. Pořizovací cena takového stroje je poměrně vysoká, proto je vhodný především pro velkosériovou a hromadnou výrobu. Na moderních strojích je vstřikování již plně automatizované a dosahuje se vysoké produktivity práce. V dnešní době se výrobou vstřikovacích strojů zabývá spousta firem. Z těch největších a nejznámějších lze například uvést Demag, Arburg, Nestal nebo Engel. [8]



Obrázek 4.: Schéma vstřikovacího stroje:

- 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 [9]

Konstrukce stroje je charakterizována podle:

- vstřikovací jednotky,
- ovládání a řízení stroje,
- uzavírací jednotky.

Vstřikovací stroj pro přesné výrobky musí mít:

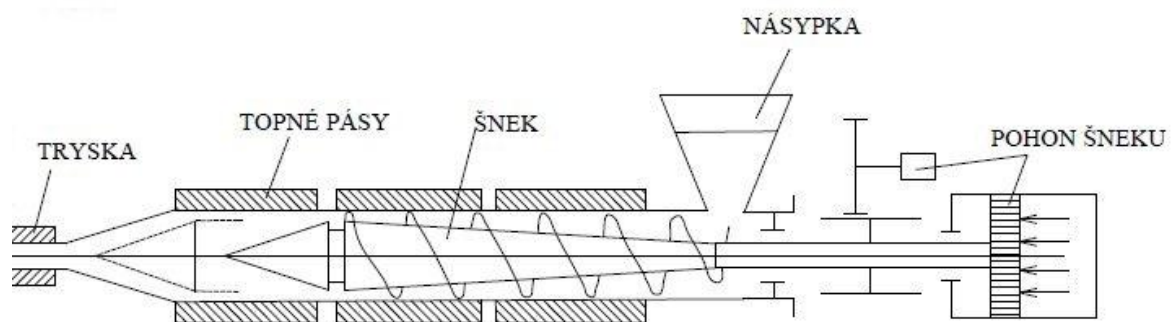
- Tuhost a pevnost rámu při výstřiku,
- Po celou dobu výstřiku konstantní tlak, rychlost, teplotu, a další parametry které musí být správně načasovány,
- Přesnou reprodukovatelnost technologických parametrů. [5]

### 3.2.1 Vstřikovací jednotka

Vstřikovací jednotka je nezbytnou součástí vstřikovacího stroje, jejímž úkolem je zpracování polymerních materiálů a jejich doprava do dutiny formy. Dělí se podle místa, ve kterém dojde k plastifikaci na: [11]

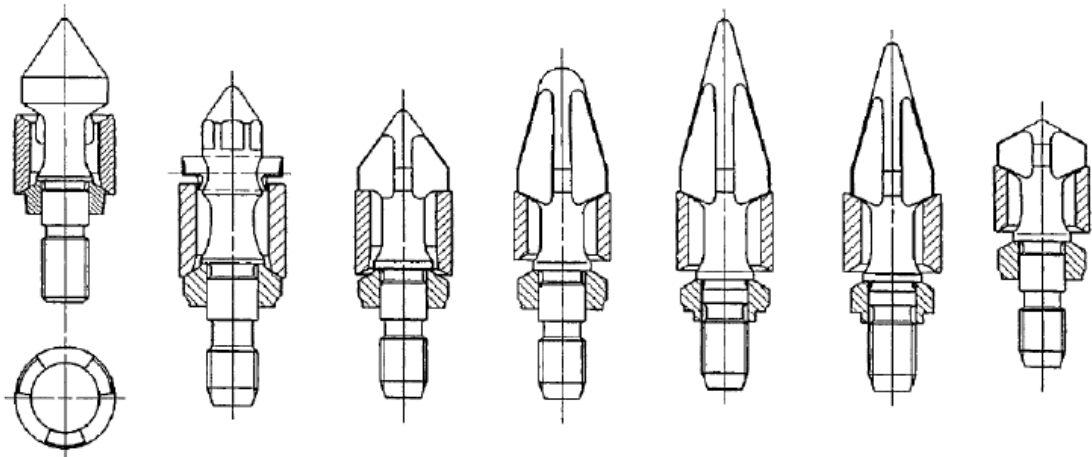
- vstřikovací jednotky s předplastifikací,
- vstřikovací jednotky bez předplastifikace;

V praxi se nejvíce využívají šnekové jednotky bez předplastifikace. Materiál ve formě granulátu se nesype do násypky, kde se odměří velikost potřebné dávky pomocí řídicí jednotky a materiál dále putuje do pracovního válce. Za pomoci šneku je materiál homogenizován a převeden na taveninu. Tavenina je pomocí 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 disipací (přeměna mechanické energie na tepelnou) topnými odporovými pásy, které se nacházejí na vnějším obalu pracovního válce. [8]



Obrázek 5.: Šneková jednotka bez předplastifikace [5]

Při vstřikování materiálů s nízkou viskozitou má materiál tendenci vracet se zpět do prostoru šneku. proto bývají šneky opatřeny zpětným uzávěrem různých konstrukcí. Použitím zpětného uzávěru je také možné dosáhnout mnohem vyšších vstřikovacích tlaků. Tím je zaručena dostatečná doba pro setrvání materiálu v kanálu šneku. [8]



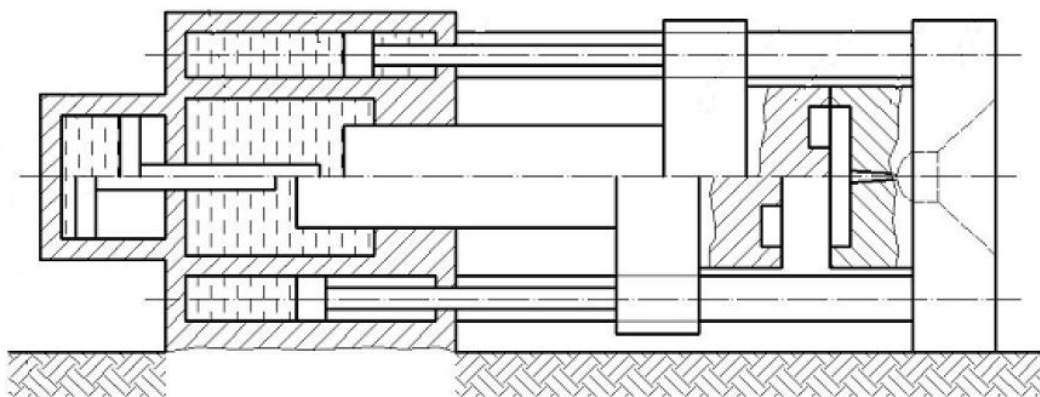
Obrázek 6.: Příklady konstrukcí zpětných uzávěrů[11]

### 3.2.2 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka slouží u vstřikovacího stroje pro otevírání a zavírání vstřikovací formy. Vstřikovací stroj volíme podle velikosti formy a podle velikosti uzavírací síly, která musí být dostatečně velká, aby zajistila těsnost formy při jejím plnění. Velikost a vznik této síly je dána druhem uzavírací jednotky, která se dělí na: [8]

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

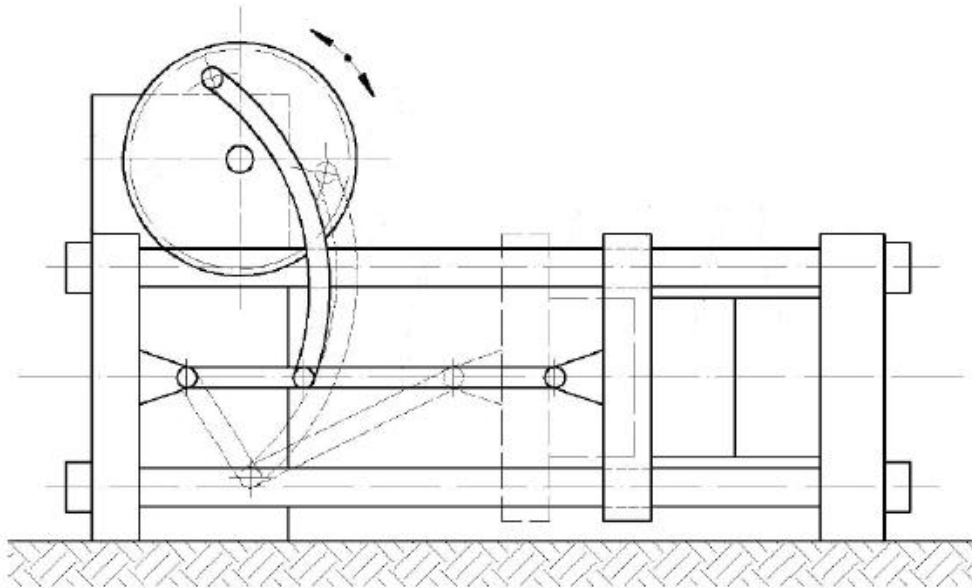
#### 3.2.2.1 Hydraulicky uzavíratelné jednotky



Obrázek 7.: Příklad hydraulické uzavíratelné jednotky s pomocnými válci [8]

Hydraulicky uzavíratelné jednotky řídí hydraulický obvod. Jednou z největších výhod je jednoduchost 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. Zavedením pomocných válců lze tyto negativní vlastnosti odstranit. [8]

### 3.2.2.2 Elektromechanické uzavírací jednotky

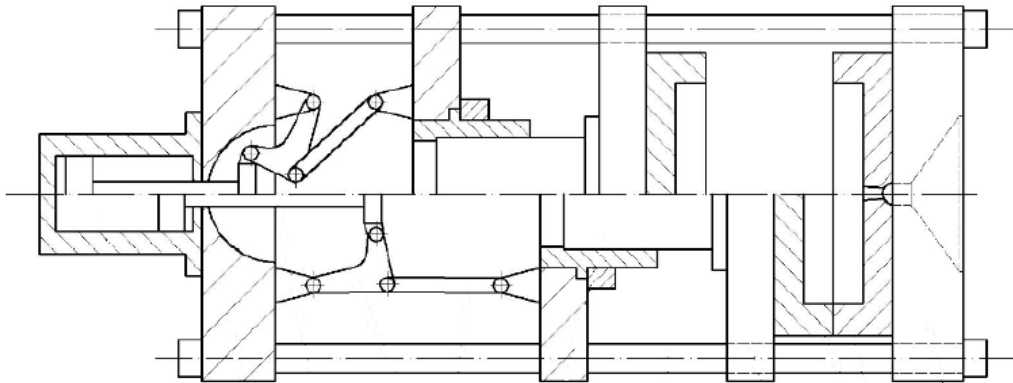


Obrázek 8.: Příklad elektromechanické uzavírací jednotky[8]

Z důvodu velké energetické náročnosti na přípravu tlakové energie, kterou potřebují pro pohyb hydraulické válce, jsou zaváděny elektromechanické uzavírací jednotky. Proto je v dnešní době snaha nahradit hydraulické pohony elektrickými pohony. Jedná se především o kombinace elektromotoru a klikových mechanismů. Velkou výhodou kombinovaných uzavíracích jednotek je jednoduchá konstrukce, velmi snadná automatizace vstřikovacího cyklu, snížení energetické náročnosti a dosažení vysokých uzavíracích rychlostí.



### 3.2.2.3 Hydraulicko-mechanické uzavírací jednotky



Obrázek 9.: Příklad hydraulicko-mechanické uzavírací jednotky s válcem v ose stroje [8]

Hydraulicko-mechanické uzavírací jednotky nahrazují hydraulické uzavírací jednotky díky svému lepšímu konstrukčnímu řešení. Je u nich dosahována větší uzavírací síla mnohem menším hydraulickým válcem, který ovládá kinematické mechanismy. V praxi se používají dvě základní řešení. Prvním je konstrukce, kdy hydraulický válec leží v ose vstřikovacího stroje. Druhým je řešení, kdy se hydraulický válec nachází mimo osu vstřikovacího stroje. Výhodou tohoto řešení je, že příslušná rychlost je vysoká, zatím co dosedací rychlost je minimální, a to vše s použitím velmi malých hydraulických válců. To znamená i výrazné snížení hmotnosti celé soustavy. [8]

### 3.2.3 Řídící jednotka

Řídící jednotka je velice důležitou součástí vstřikovacího stroje, na které se nastavují veškeré vstupní parametry vstřikovacího procesu. Součástí všech moderních vstřikovacích strojů je ovládací panel, který nám umožňuje zadávat vstupní údaje a navíc je zde možno řídit činnost celého vstřikovacího stroje včetně externích zařízení. Použití této jednotky nám umožňuje vysoký stupeň automatizace celého procesu. [8]



Obrázek 10.: Řídící jednotka vstřikovacího stroje

### 3.3 Speciální technologie vstřikování

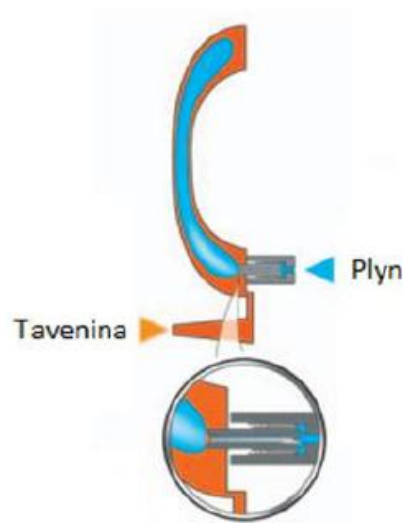
Tabulka 1.: Základní rozdělení speciálních metod vstřikování

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.			

Většina těchto odvětví vstřikování vyšla z požadavků dnešního trhu, protože jsou kladeny velké nároky na tvarovou složitost a materiálové zastoupení. Tyto požadavky by bylo velmi složité v některých případech i nemožné vyrobit standardním způsobem vstřikování nebo by výroba byla značně neekonomická, což dnes hraje tu nejhlavnější roli.

#### 3.3.1 Metoda GIT

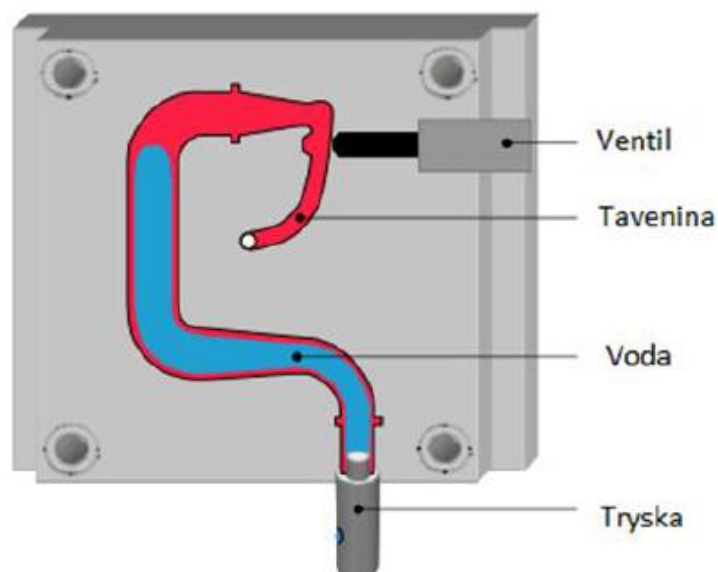
Je to druh vstřikování s pomocným plynem, kde konečný výrobek obsahuje dutinu. Tyto prázdné prostory vznikají vtlačení plynem do přestříknutého materiálu, který až po dostříknutí plynem zcela zaplní formu a uvnitř se utvoří dutina. Jako pomocný plyn se používá dusík v čistotou minimálně 99,8 %. Touto metodou se výrazně zvýší úspora materiálu. Tím pádem se nám sníží i hmotnost konečného výrobku. Doba chlazení se z důvodu tenkostěnnosti materiálu a ochlazeného vykřikovaného plynu výrazně snižuje. Dále se sníží potřebná uzavírací síla a reziduální napětí v materiálu. [11]



Obrázek 11.: Metoda vstřikování s pomocným plynem GIT [8]

### 3.3.2 Metoda WIT

Je to druh vstřikování s pomocným médiem, kterým je voda, a jako u GITu, obsahuje konečný výrobek dutinu. Je to poměrně nová metoda, kdy se snažíme dusík nahradit vodou, a tím mnohonásobně snížit dobu chlazení. Tato doba zkrátí vstřikovací cyklus oproti metodě GIT až o 70 %. Voda je stejně jako plyn vháněna do dutiny za účelem vytvoření dutiny. Voda musí mít před vstříknutím přesně danou teplotu, aby nedošlo k odpaření při kontaktu s horkou taveninou. Voda je před ukončením cyklu zase vypumpována. [8]



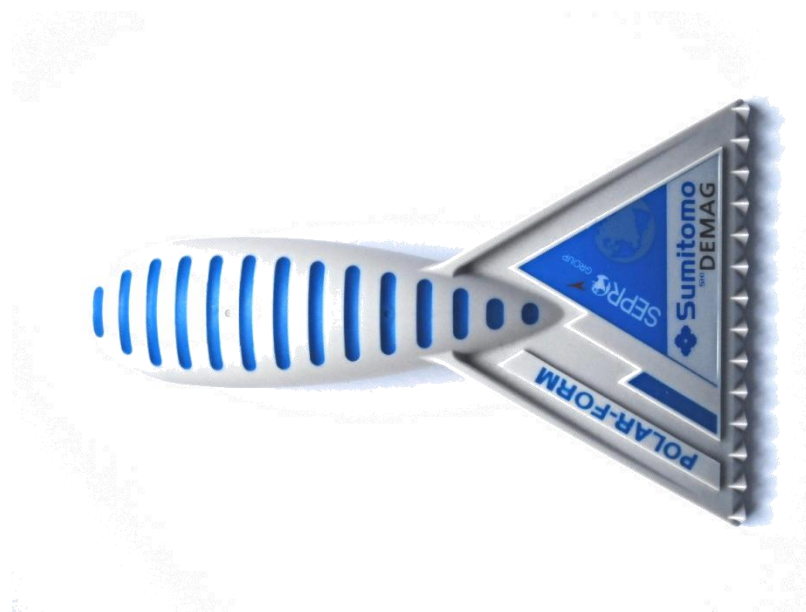
Obrázek 12.: Metoda vstřikování s pomocným médiem (vodou) WIT [8]

### 3.3.3 Více komponentní vstřikování

Tato technologie obsahuje spoustu specifických postupů výroby vstřikovaných výrobků. Vstřikováním lze zhotovit výrobek, který se bude skládat z dvou a více materiálů nebo ze stejného materiálu s odlišnou barevností jednotlivých částí.

Do této skupiny můžeme zařadit: [8]

- sendvičové vstřikování,
- dvoubarevné vstřikování,
- intervalové vstřikování,
- vícenásobné vstřikování,
- zastřikování různých dílců (kovové matice,...).



Obrázek 13.: Výrobek vyrobený dvoukomponentním vstřikováním modrý materiál č.1, bílý materiál č.2

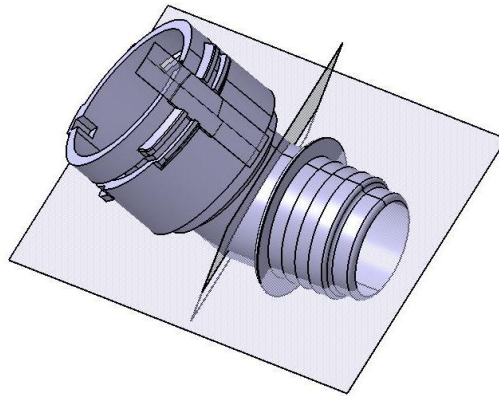
## 4 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍCH FOREM

Nejdůležitější zásadou pro návrh formy je správný postup, který se při konstrukci používá. Obecný postup k návrhu vstřikovací formy je následující [5]:

- posouzení zadané součásti z hlediska tvaru, rozměrů a vyrobitelnosti;
- určení dělicí roviny a 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.

### 4.1 Zaformování výrobku

Zaformování výrobku vychází vždy ze složitosti výrobku. Konstruktor ho vždy musí zvolit tak, aby bylo co nejméně dělicích rovin a přitom byl výrobek snadno vyjmutelný z formy. Zároveň by měla být velikost formy co možná nejmenší. Musí u toho ale samozřejmě brát v potaz násobnost formy, umístění pohledových míst, vyhazovacího systému a prostoru, kde poteče chladící médium. [5]



Obrázek 14.: Příklad možnosti zvolení dělicích rovin.

## 4.2 Vtokové systémy

Vtoková soustava je systém rozváděcích kanálů a ústí vtoku spojující otvor v trysce vstříkovačského stroje s tvarovou dutinou formy.

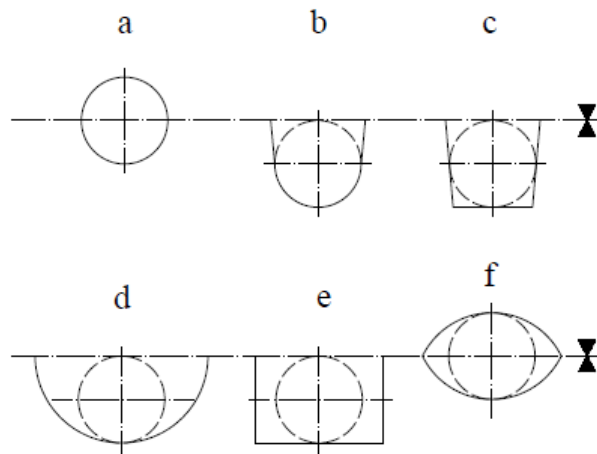
Vtokové systémy se dělí na:

- Studené vtokové systémy (SVS),
- Vyhřívané vtokové soustavy (VVS). [5]

### 4.2.1 Studený vtokový systém

Studený vtokový systém má jednoduchou konstrukci. Při jeho použití se však musí počítat s většími ztrátami materiálu, který zůstává po vstříknutí v jeho kanálech a nazývá se vtokový zbytek. Při volně tohoto systému je důležité, aby byl navržen tak, aby materiál dorazil ke všem místům vtoku ve stejném čase se stejným tlakem taveniny. Dráha toku taveniny musí být co nejkratší, protože tavenina při kontaktu s formou chladne. Proto je vhodné nakonec tokového kanálu za odbočkou dát jímku studeného čela taveniny. [5]

Vtokový kanál by měl mít co největší průřez a co nejmenší povrch, aby ztráty ochlazením byly co nejmenší. Této podmínce nejvíce vyhovuje kruhový průřez vtokového kanálu.[5]



Obrázek 15.: Průřez rozvodných kanálů

a, f – výrobně nevýhodné b, c, d, e, - výrobně výhodné

Tvar a umístění vtoku ovlivňují:

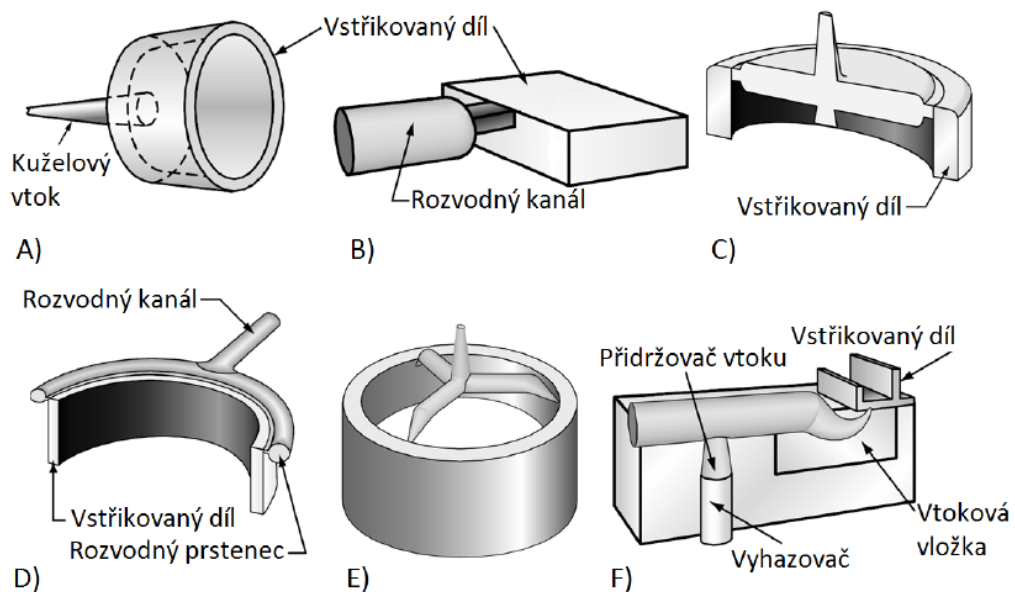
- Rozměry, vlastnosti a vzhled výrobku,
- Spotřeba materiálu,
- Náročnost opracování a začištění výrobku,
- Energetická náročnost výroby. [5]

#### 4.2.2 Vtokové ústí

Vtokové ústí je na konci kanálu před vstupem do dutiny formy a je zúženo oproti tokovému kanálku z důvodu zvýšení teploty taveniny před vstupem do dutiny formy. Volí se co nejmenší možný průřez v závislosti na smykových rychlostech, které je daný materiál schopen snést. [5]

Druhy studených vtoků

- Plný kuželový vtok,
- Obdélníkový vtok,
- Filmový - talířový vtok,
- Filmový vtok,
- Tunelový vtok,
- Srpkovitý vtok s přidržovačem.



Obrázek 16.: Vtoková ústí

A) Plný kuželový vtok, B) Obdélníkový vtok, C) Filmový - talířový vtok, D) Filmový vtok, E) Tunelový vtok, F) Srpkovitý vtok s přidržovačem [12]

### 4.3 Vyhřívání vtokových soustav

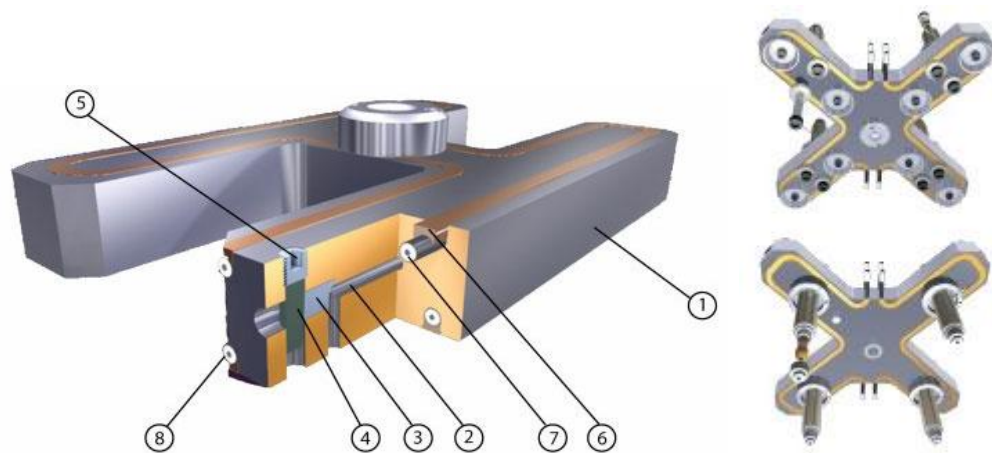
Vyhřívání vtokových soustav obsahují vyhřívání tokové trysky, které se využívají převážně kvůli minimálnímu úbytku tlaku při zachování optimálního toku taveniny. Další velkou výhodou je, že při vstřikování netvoří vtokový zbytek, což značně šetří materiál. Ale náklady na výrobu formy s vyhříváním vtokové soustavou jsou mnohem vyšší, než u forem se studeným vtokem. Také spotřeba energie při provozu je mnohem vyšší.

Systém VVS spočívá v tom, že tavenina zaplní dutiny formy a ve vtokové soustavě zůstává v plastickém stavu. Toto řešení nám umožňuje použít vtoky malých průměrů. To je vhodné pro celou řadu vstříků. [5]

#### 4.3.1 Vytápění rozvodných bloků

Vytápění rozvodných bloků jsou velmi používaným řešením, které se vkládá mezi upínací a tvarovou desku pravou. Tvary se volí podle potřeby uložení vstřikovacích trysek a násobnosti formy. Vyrábí se ve tvaru: I, H, Y, X, hvězdy atd.. [5]





Obrázek 17.: Rozvodné bloky [13]

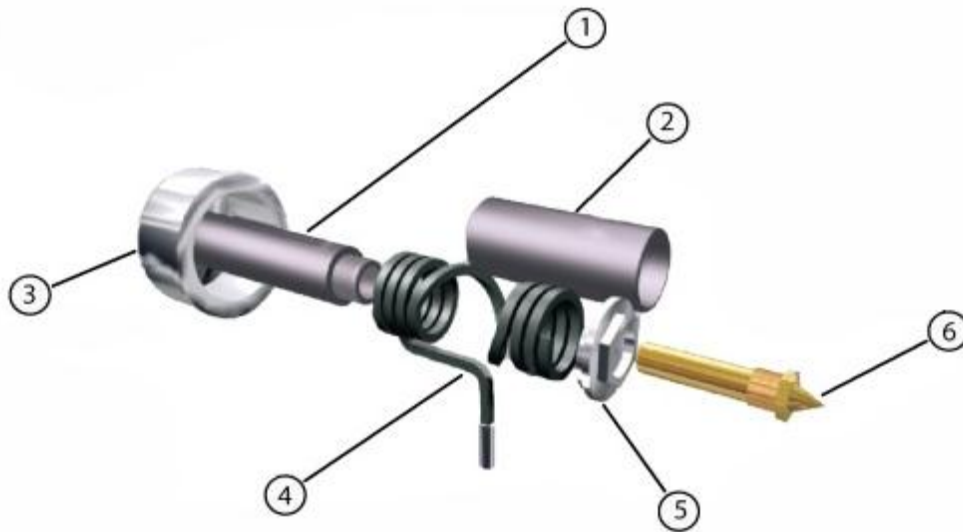
1- tělo rozvaděče, 2- kanál, 3. koncovka, 4- šikmý kolík, 5- seřizovací šroub, 6- kryt topení, 7- tubulární topení, 8- druhá sada topení,

#### 4.3.2 Vyhřívané trysky

Konstrukce vyhřívaných trysek umožňuje propojení vstřikovacího stroje s dutinou formy při dokonalé teplotní stabilizaci. Tryska má vlastní topný článek i regulaci, nebo je ohřívána jiným zdrojem vtokové soustavy.

Trysky jsou konstrukčně upraveny tak, že ústí je:

- Otevřené,
- S uzavírací jehlou,
- Se špičkou pro plasty, které táhnou vlas,
- Speciálně upravené. [5]



Obrázek. 18.: Vyhřívaná tryska [13]

1- termočidlo, 2- kryt topení z oceli, 3- kalená hlava, 4- vyměnitelné topení, 5- vyměnitelný uzavírací kroužek, 6- vyměnitelný hrot,

#### 4.4 Vyhazovací systém

Hlavní funkcí vyhazovacího systému je vyhodit již zchlazený výrobek z dutiny formy. Je to automatický výrobní cyklus a má dvě fáze:

- vyhazovací desky konají dopředný pohyb - vlastní vyhození ;
- vyhazovací desky konají zpětný pohyb - návrat vyhazovacího systému do původní polohy.

K zajištění dobrého vyhození výstřiku musí konstruktér výrobku brát ohledy na několik parametrů. Výrobek musí mít hladký povrch a úkos stěn větší než 30° ve směru vyhazování. Při samotném vyhazování je třeba dodržet rovnoměrné vysunutí výrobku, aby nedocházelo k mechanickému poškození výrobku. [14]

Vyhazovací komponenty se dají využít i jako funkční části tvárníku. U studených vtokových soustav se vyhazovače používají i pro vyhození vtokových zbytků, které je možné při vyhození oddělit do výrobku. Pohyb vyhazovačů se zajišťuje:

- narážecím kolíkem o traverzu vstřikovacího stroje při otevírání formy,

- hydraulickým, nebo pneumatickým zařízením, které je součástí vstřikovacího stroje (umožňuje měkké vyhazování),
- ručním vyhazováním nejrůznějšími mechanizmy (pro jednoduché a zkušební formy).
- pneumaticky manipulátorem, který může být součástí stroje [14].

#### 4.4.1 Mechanické vyhození

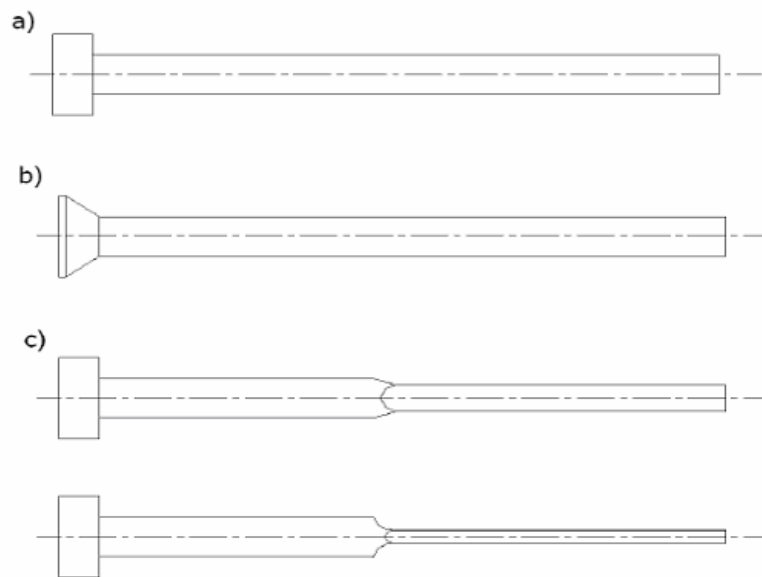
Jedná se o nejrozšířenější systém vyhazování, který se používá pro svou jednoduchost a cenu. Je to velmi spolehlivý systém. Má několik konstrukčních řešení:

- vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků,
- vyhazování pomocí stírací desky nebo trubkovými vyhazovači,
- šikmé vyhazování,
- postupné vyhazování.

Ve zvláštních případech, kdy je výstřik mělký, se vyhazovače nemusí použít, protože postačí jen vyhození vtokového zbytku, se kterým je výstřik spojen. [14]

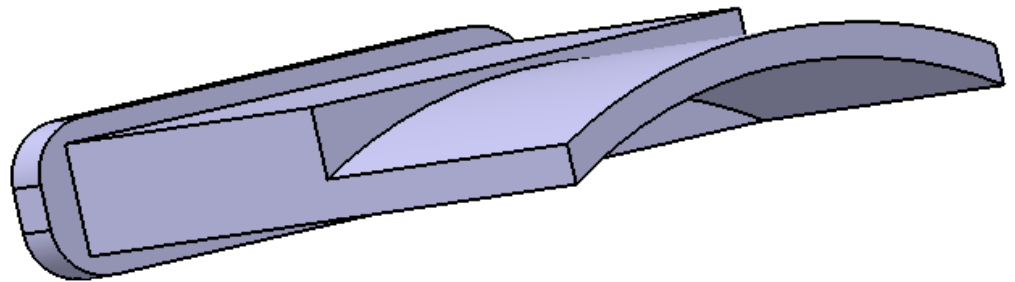
#### 4.4.2 Vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků

Vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků je nejrozšířenějším systémem vyhazování. Vhodné je používat ho tam, kde je možné umístit vyhazovací kolík proti ploše výstřiku ve směru vyhození tak, aby nedošlo k mechanickému poškození výrobku. Kolíky se musí opírat o stěnu nebo žebro výrobku. Vyhazovače musí být dostatečně tuhé a snadno vyrobitelné, jsou válcové, kuželové, prizmatické a mohou mít i odlišný tvar, který je potřeba pro daný výrobek. Ve formě jsou uloženy v tolerancích H7/g6, H7/h6, H7/j6 podle tekutosti materiálu. Vůle v uložení slouží jako odvodušnění formy. [14]



Obrázek 19.: Vyhazovací kolíky [6]

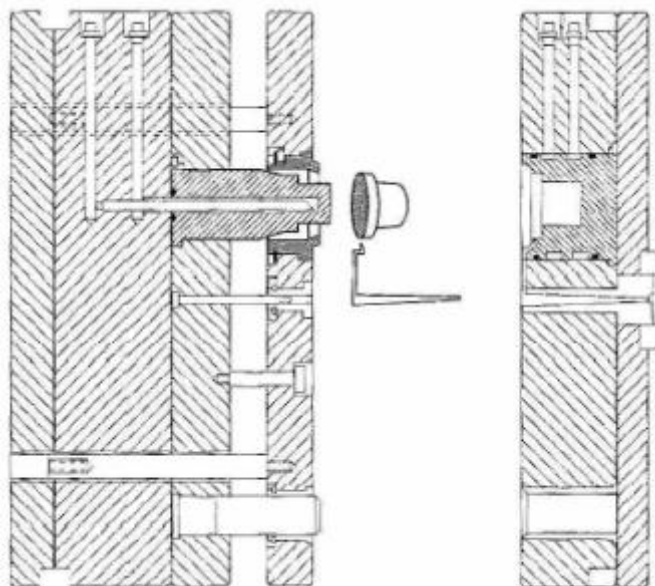
a) s válcovou hlavou b) kuželovou hlavou c) prizmatický vyřezávač



Obrázek 20.: Speciální vyřezovací kolík

#### 4.4.3 Stírací deska

Způsob vyhazování stírací deskou funguje na principu stírání výstřiku z tvárníku po celém jeho obvodu. Proto také nezanechává žádnou stopu. Hlavním využitím tohoto systému je u výrobku, kde by stopa po vyhazovači byla na pohledové straně nebo by konstrukčně vadila. Velkou stykovou plochou lze docílit velké vyhazovací síly a přitom malých deformací výstřiku. Používá se zejména u tenkostěnných výstřiků, kde by hrozila velká deformace. Jediné omezení pro použití je, aby výstřik na stírací desku dosedal v rovině případně v mírně zakřivené ploše.



Obrázek 21.: Vyhazování pomocí stírací desky

#### 4.4.4 Trubkové vyhazovače

Trubkové vyhazovače jsou speciální systémy stírací desky. Vyhazovač s otvorem má funkci stírací desky a pracuje jako vyhazovací kolík, zatímco vyhazovací kolík je upevněn v pevné desce, nepohybuje se a tvoří jádro. [14]



Obrázek 22.: Trubkový vyhazovač [14]

#### 4.4.5 Vyhazování pomocí šikmých čepů

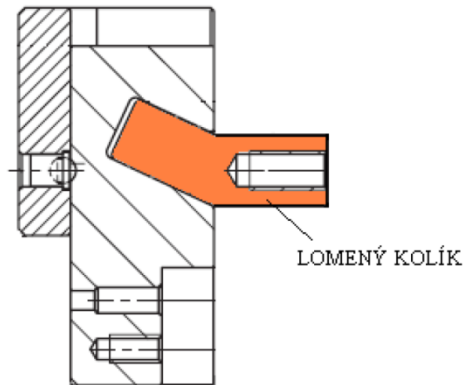
Vyhazovací kolíky nejsou kolmé k dělicí rovině, ale jsou uloženy pod různými úhly. Rozpětí úhlů, které se používá je mezi  $15^\circ$  až  $25^\circ$  ve speciálních případech až  $30^\circ$ . Využívá se pro odformování tvarově složitějších výrobků, které nelze odformovat jednoduchým způsobem. [14]

Šikmý kolík provádí především otevírací pohyb. Otevřená poloha se zajišťuje např. kuličkou nebo jinou západkou. Uzavření je opět prováděno šikmým kolíkem, který je v čelisti veden v otvoru s vůlí. Čelist se zajišťuje v pracovní poloze a při vstřikování její uzavírací

plochou a opěrnou plochou pevné desky formy, případně zajišťovacími kolíky nebo kuličkami .[6]

#### 4.4.6 Vyhazování pomocí lomených kolíků

Systém vyhazování pomocí lomených kolíků je podobný jako u šikmých čepů, s rozdílem možností zpoždění odsunu posuvových čelistí při otevírání formy.



Obrázek 23.: Vyhazování pomocí lomeného kolíku [15]

#### 4.4.7 Pneumatické vyhazování

Pneumatické vyhazování se používá u výrobků s většími rozměry a menší tloušťkou stěny kde by mechanické vyhazování mohlo způsobit poškození. Tento způsob vyhazování se používá velmi zřídka, ale pro některé druhy výrobků je velice vhodný. Pneumatické vyhazování vede stlačený vzduch mezi výrobek a tvárník, kde se následně vytvoří vzduchová kapsa, která výrobek odtlačí od tvárníku. [14]

#### 4.4.8 Hydraulické vyhazování

Hydraulické je zabudováno přímo ve vstřikovacím stroji a používá se k ovládní mechanických vyhazovačů. Hydraulické systémy mají kratší a pomalejší zdvih ale velkou vyhazovací sílu. [14]

## 4.5 Temperace forem

Hlavním úkolem temperace je odvod nebo přívod tepla z dutiny formy. Nejdůležitější funkcí je co nejvíce zkrátit vstřikovací cyklus při dodržení výrobních požadavků.. [14]

Při vstřikování se přivede do dutiny formy roztavený polymer, který je zde ochlazen na vyhazovací teplotu, a následně vyhozen. Nerovnoměrné chlazení má zásadní vliv na rozměrovou stabilitu výrobku. Někdy se však záměrně temperují různé části formy odlišně, aby se eliminovaly tvarové deformace způsobené anizotropií smrštěním plastu. [14]

Úkolem temperance je:

- Zajistit rovnoměrnou teplotu formy na optimální výši po celém povrchu její dutiny (podle zpracovávaného plastu);
- Odvést teplo z dutiny formy naplněné taveniny tak, aby celý pracovní cyklus měl ekonomickou délku. [14]

### 4.5.1 Požadované teploty formy při zpracování plastů [14]

Tabulka 2.: teploty taveniny a formy při vstřikování plastů

Termoplast	Teplota taveniny [° C]	Teplota formy [° C]
ABS	190-250	50-85
PA 6	230-290	40-120
PC	280-320	85-120
PE-HD	180-270	20-60
PE-LD	180-270	20-60
PMMA	200-250	50-80
POM	180-220	50-120
PP	170-280	20-100
PS	180-260	55-80
PVC - tvrdé	190-220	30-60
SAN	200-259	50-85

#### 4.5.2 Charakteristika temperačního systému

Při volbě temperačního systému je třeba dodržovat následující pravidla:

- Kanály umístit v optimální vzdálenosti od tvarové dutiny formy při zachování její dostatečné tuhosti,
- Kanály umístit a dimenzovat tak, aby teplo bylo intenzivně odváděno z míst, kde je forma ve styku s proudem vstříkované taveniny,
- Průtok chladicí kapaliny regulovat tak, aby při chlazení proudila od nejteplejšího k nejchladnějšímu místu formy,
- Průřez kanálů se volí s ohledem na tvar výstřiku,
- Rozmístění kanálů se volí ohledem na tvar a výšku formy,
- Kanály mají procházet celistvým materiálem formy, ale pokud to není možné je třeba stykové spoje utěsnit,
- Po cestě temperačního media se nemají vytvářet mrtvé kouty, protože se v nich usazují nečistoty a jsou počátečními body ohniskem koroze a tím zarůstání kanálů,
- Kanály se neumísťují v blízkosti hran výstřiku,
- Průměr kanálů nemá být menší než 6 mm, jinak hrozí nebezpečí ucpání nečistotami. Menší kanály vyžadují použití upravené vody. Vysoká účinnost se dosáhne pravidelným čištěním temperačních kanálů. U úzkých kanálů by měl být před vstupem filtr.
- Kanály konstruovat tak, aby se daly jednotlivé větve propojit hadicemi různým způsobem a pořadím,
- Směr proudění chladného média se volí od nejteplejších do chladnějších míst, tím se využívá lepší tepelný spád. [14]

#### 4.5.3 Temperační prostředky

Umožňují formě pracovat v optimálních tepelných podmínkách. Rozdělují se na:

- Aktivní působí přímo ve formě. Teplo přivádějí nebo odvádějí.
- Pasivní svými fyzikálními vlastnostmi ovlivňují tepelný režim formy. Mezi ně řadíme tepelně izolační a tepelně vodivé materiály. [14]



Aktivní prostředky představují:

Kapaliny, které proudí kanály vytvořené uvnitř formy. Přestup tepla je mezi kapalinou a formou. Nejvíce se používají tyto kapaliny:

- Voda

Výhody - vysoký přestup tepla, nízká viskozita, nízká cena, ekologická nezávadnost.

Nevýhody: použitelné do 90° C, vnik koroze, usazování kamene.

- Olej

Výhody: možnost temperace i nad 100° C. zhoršeny přestup tepla.

Nevýhody: zhoršeny přestup tepla, znečišťování prostředí

- Glykol

Výhody: omezení koroze a ucpávání systému.

Nevýhody: stárnutí, znečišťování prostředí.

- Vzduch

Vzduch se používá jako volné nebo nucené proudění pomocí tlaku nebo podtlaku. Jeho temperanční účinky jsou ale velmi malé proto se používá v místech, kde není možnost chladiť vodou.

- Topné elektrické články

Používají se především ve formách s vyšší požadovanou teplotou, kdy ztráty do okolí jsou větší, než teplo dodávané vstřikovaným plastem. [14]

Pasivní prostředky představují:

- Materiály s tepelně-izolační schopností. Využívají se k omezení přestupu tepla mezi formou a upínacími deskami. Jedná se především o reaktoplasty a nekovové anorganické látky. Využívají se pro svou pevnost a tepelnou odolnost. K danému účelu se používá například sklo-textil AVR, SI a podobně.
- Tepelně vodivé materiály. Ty se používají k odvodu a přívodu tepla z obtížně temperovatelných míst (tenké tvárníky, vtokové trysky, atd) do míst, kde nelze odvod a přívod tepla zprostředkovat obvyklým způsobem. Nejúčinnější a nejpoužívanější jsou například měděné a hliníkové tepelné trubice. [14]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 STANOVENÍ CÍLŮ PRÁCE

- Vypracovat literární studii na dané téma,
- Nakreslit 3D model plastového dílu,
- Provést konstrukci vstřikovací formy pro daný plastový díl,
- Návrh ověřit pomocí analýz vstřikovacího procesu.

Při tvorbě literární studie je důležité podrobně rozebrat problematiku konstrukce vstřikovacích forem.

Při kreslení 3D modelu plastového dílu se vychází z již vyrobeného dílu, který je používán v interiéru osobního automobilu.

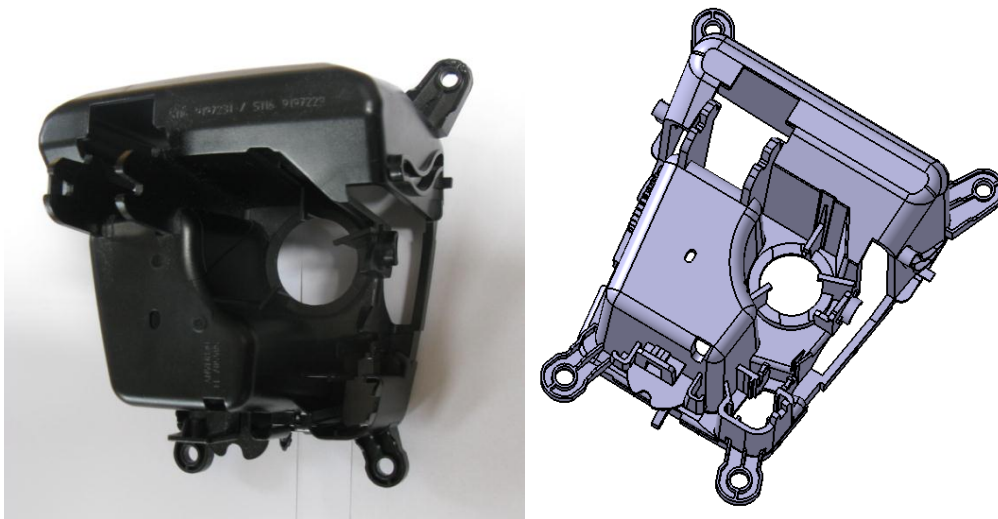
Stěžejní částí mé diplomové práce je 3D konstrukce vstřikovací formy a zadaného výrobku v programu CATIA V5. Dílčím cílem je také testování funkčnosti formy a její následná úprava na základě výsledků analýz Moldflow tak, aby vstřikovací forma nevykazovala chyby při vstřikování.

Při návrhu vstřikovací formy bude kladen důraz na četné používání normálií od firmy HASCO místo návrhů vlastních dílů.

## 6 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

### 6.1 Výrobek

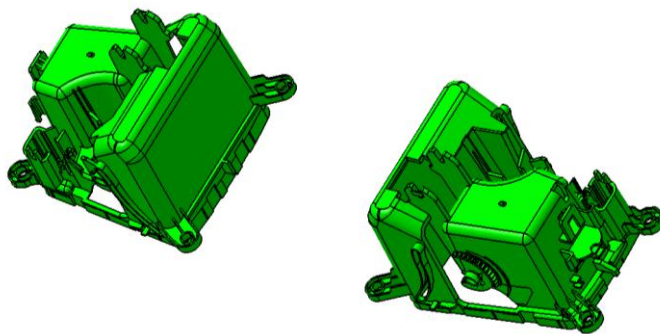
Zadaným výrobkem je plastová součást interiéru osobního automobilu. Materiál byl dle zkoušky hořlavosti identifikován jako ABS+PC. Pro další analýzy byl přiřazen konkrétní typ materiálu od firmy SABIC Innovative Plastics US, LLC s obchodním označením: Cycoloy EHA. Materiálový list tohoto materiálu je vložen v příloze č. 1.



Obrázek 24.: Zadaný výrobek

### 6.2 Násobnost formy

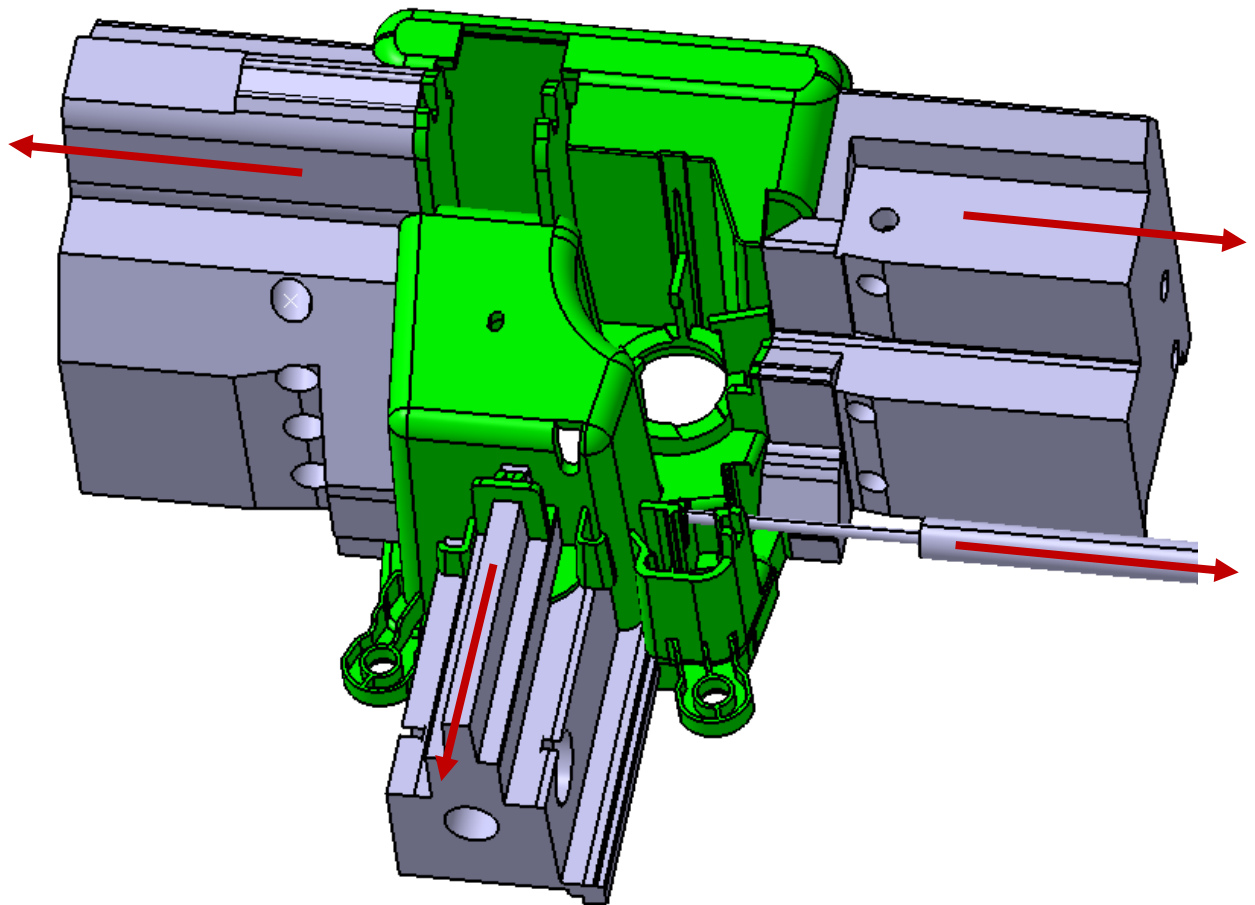
Při volbě násobnosti je nutno pohlížet na několik důležitých faktorů. Například na kapacitu vstřikovacího stroje, který bude výrobek vstřikovat, množství kusů, složitost a velikost výrobku a další. S ohledem na tvarovou složitost dané součásti, byla forma zadavatelem určena jako dvojnásobná.



Obrázek 25.: Násobnost vstřikovací formy

### 6.3 Odformování výrobku

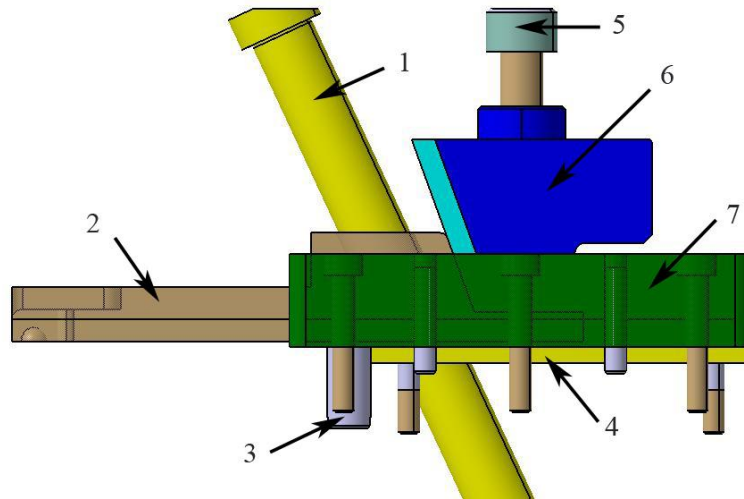
Hlavní zásadou před konstrukcí formy je vhodné umístění výrobku do formy tak, aby odformování bylo co nejjednodušší (co nejméně dělicích rovin a co nejmenší velikost tvarových vložek). Kvůli tvarové složitosti byla zvolena jedna hlavní dělicí rovina a 4 vedlejší. Tři z nich jsou ovládány pomocí šikmých čepů. Jedna je z důvodů potřeby odformovat danou část ještě před otevřením formy ovládána pomocí hydraulického vytahovače. Protože jsou tvarové vložky poměrně velké je nutné adekvátně zvolit (zvětšit) velikost formy, aby mohly být použity komponenty, které zajistí bezproblémové odformování. Výrobek je ve formě situován tak, aby při otevření formy zůstal v levé části. Potom bude pomocí vyhazovacího systému vyhozen mimo prostor dutiny formy.



Obrázek 26.: Výrobek s tvarovými jádry, která jsou potřeba odformovat

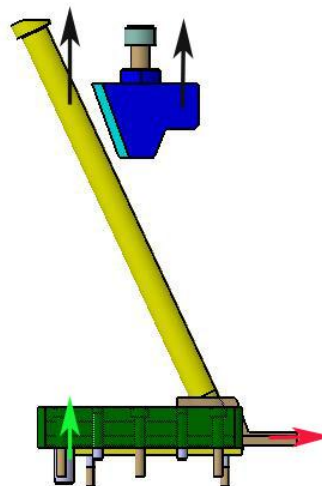
### 6.3.1 Odformování pomocí šikmých čepů

Odsun tvarových kostek probíhá při otevírání formy pomocí šikmých čepů (válcových kolíků). Tvarové vložky musí být odtaženy do takové vzdálenosti, aby při vyhození výstřiku nedošlo k jeho poškození. Otevřená poloha je zajištěna šroubem s kuličkou, aby nedošlo k nežádoucímu pohybu jader při plném otevření formy.



Obrázek 27.: Posuvová čelist při uzavřené poloze

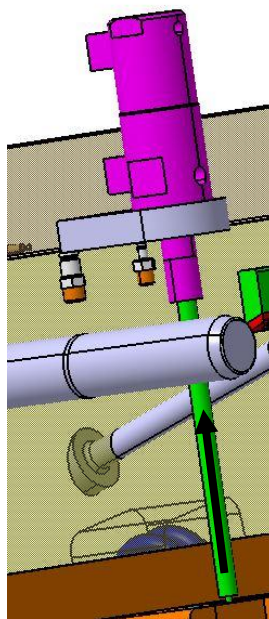
1- šikmý čep, 2- posuvová čelist, 3- šroub s kuličkou, 4- kluzná podložka, 5- šroub, 6- zá-  
rážka, 7- vodící lišty



Obrázek 28.: Posuvová čelist v otevřené poloze

### 6.3.2 Odformování pomocí hydraulického válce

Odformování válcové části zajišťuje hydraulický válec. Určení vhodného typu válce se odvíjí od požadované síly, která je nutná pro bezpečné vysunutí jader. V případě této diplomové práce byla zvolena nejmenší možná velikost hydraulického válce, kterou dodává prodejce normálií HASCO. Je tomu tak z toho důvodu, že jádro, které je zde vytahováno má malou hmotnost a požadovaná délka vytažení je 15 mm.



Obrázek 29.: Hydraulický válec

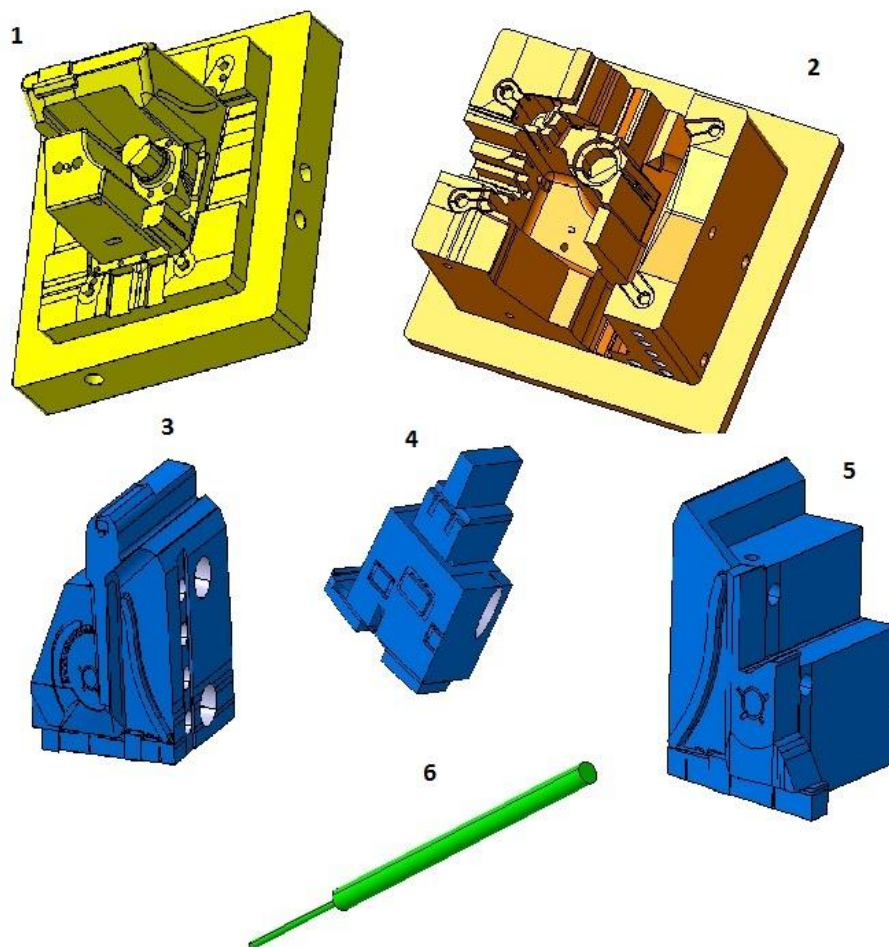
## 6.4 Odvzdušnění dutiny formy

Před vstříknutím polymeru do dutiny formy je tento prostor zaplněn vzduchem, který je potřeba odvést mimo dutinu. Jinak by se zde vlivem velké vstříkovací rychlosti začal vzduch stlačovat a tím pádem zahřívat. To by následně vedlo k degradaci materiálu. V tomto návrhu je počítáno s tím, že vzduch uteče vůlí mezi dělicími rovinami a vůlí mezi vyhazovači. Kdyby i tak vzduch zůstal v dutině, muselo by se provést dodatečné od-  
vzdušnění, a to v podobě drážek v problematických místech.

## 6.5 Tvarové vložky

Tvar produktu vyrobeného vstřikováním je dán tvarovými vložkami. Ty je nutno tepelně zpracovat (kalit, popouštět, nitrídit, cementovat). To je nezbytné, aby se vlivem abraze mezi polymerem a tvarovou vložkou minimalizovaly rozměrové změny dutiny formy. Dále musí být tvarové vložky mezi sebou kvalitně dolícovány, aby se polymer nedostal mimo dutinu formy.

Tvarové vložky jsou vyrobeny tak, aby byly snadno samostatně vyměnitelné. V případě výměny tvárníku a tvárnice se tak nemusí měnit celá deska s dvěma obtisky, což by bylo finančně nákladné.



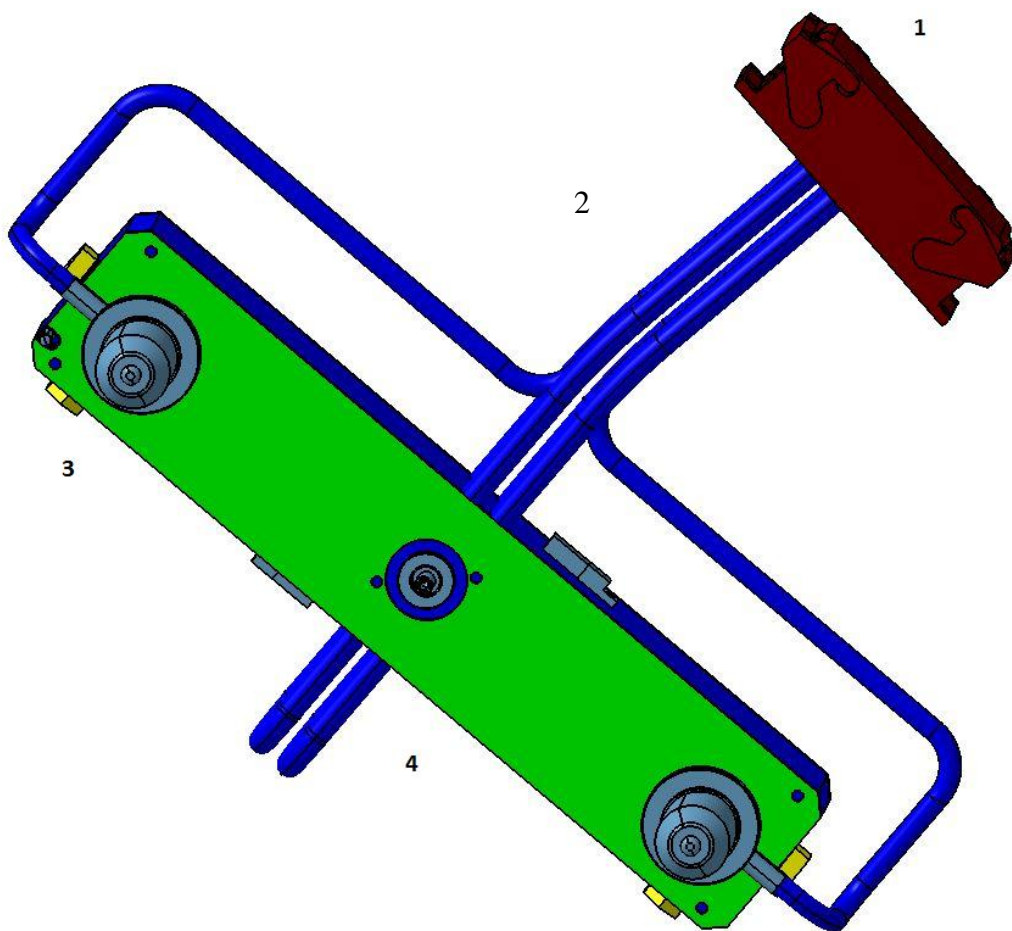
Obrázek 30.: Tvarové vložky

1- tvárník, 2- tvárnice, 3-5- tvarové vložky, 6- jádro



## 6.6 Vtokový systém

V návrhu vstříkovací formy byl zvolen horký vtokový systém obdélníkového tvaru a to z důvodů složitosti výrobku a velkému počtu vyráběných kusů. Pořizovací cena tohoto systému je vyšší než u studeného vtokového systému a provoz je nákladnější, ale má spoustu předností. Největší výhodou horkých vtoků je zamezení tvorby vtokových zbytků, což snižuje jak spotřebu polymeru, tak náklady spojené s likvidací vtokových zbytků. Tím pádem výrazně snižuje cenu výrobku při hromadné výrobě.

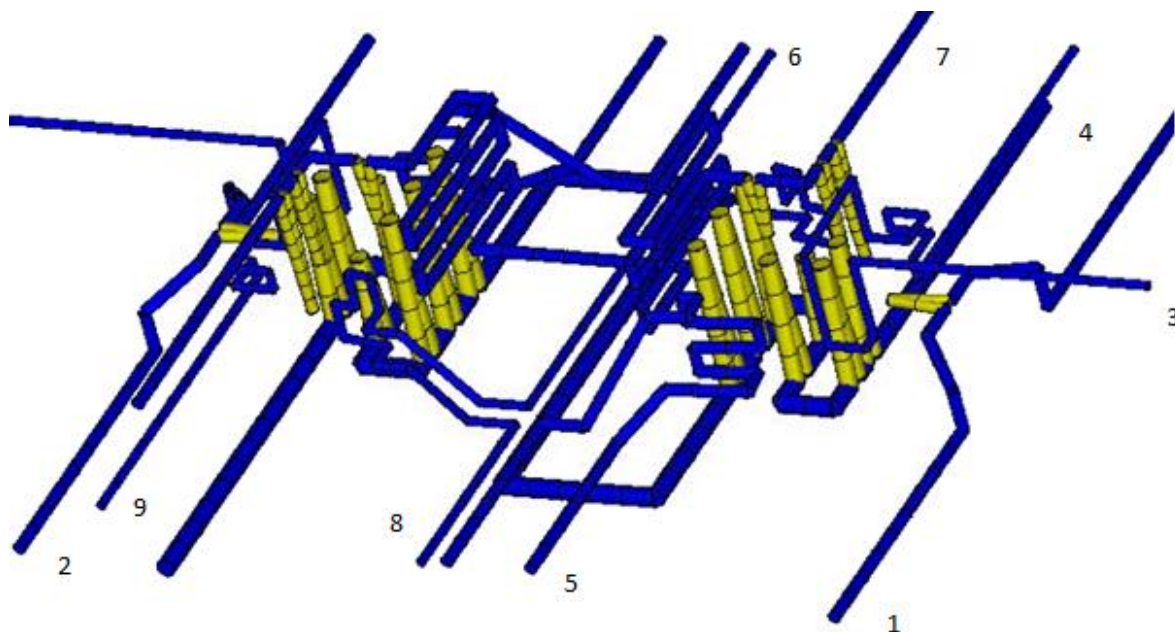


Obrázek 31.: Horký vtokový systém

1- zásuvka, 2- kabeláž, 3- horká vtoková tryska, 4- horký rozvodný blok

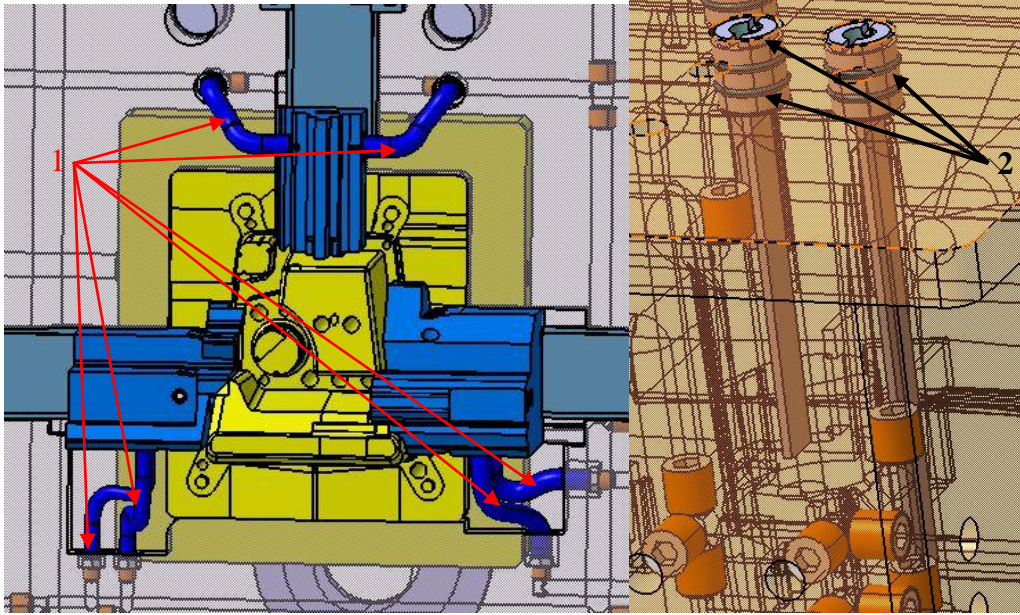
## 6.7 Temperační systém

Jednou z nejdůležitějších částí vstřikovací formy je temperace. Temperační systém udržuje konstantní teplotu formy tak, aby nedocházelo ani k přehřátí, ani podchlazení celého systému. Výkyvy teplot by mohly způsobit vady na výrobku. Chlazení patří k časově nejnáročnějším složkám vstřikovacího cyklu, proto musí být co nejlépe navrženo, aby ho bylo možno co nejvíce zkrátit při zachování všech technologických požadavků na výrobu. Celá forma je temperována 9 samostatnými okruhy. Pravá strana formy vyžaduje velmi intenzivní chlazení, protože byla použita horká vtoková soustava, a ta neúměrně ohřívá celou formu. Tvárník je chlazen 1 okruhem s průměrem 12 mm, který obsahuje 7 obtokových můsteků. Tvárnice má dva okruhy, z nichž jeden má průměr 6 mm a druhý průměr 8 mm a obsahuje 3 obtokové můstky. Každá tvarová vložka vyžaduje temperaci z důvodu její velikosti. Přední tvarová vložka obsahuje 1 okruh s průměrem 8 mm a jeden obtokový můstek. Pravá tvarová vložka má okruh s průměrem 6 mm a levá s průměrem 8 mm. Do tvarových kostek proudí médium hadicemi, protože je potřebná jejich pohyblivost při odformování.



Obrázek 32.: Temperační systém obsahuje tyto okruhy:

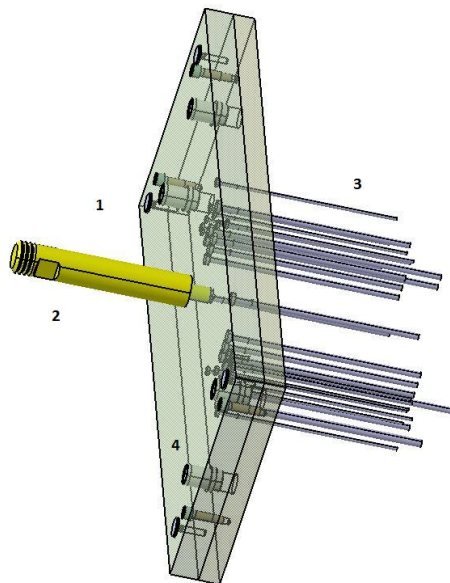
Okruh 3,6,9 ( $\varnothing$  6); okruh 2,3,5,6,7 ( $\varnothing$  8); okruh 4 ( $\varnothing$  12)



Obrázek 33.: Hadice (1) a obtokové můstky (2)

## 6.8 Vyhazovací systém

Vyhození výrobku je provedeno 15 válcovými vyhazovacími kolíky. Jejich průměry jsou 8 mm a 5 mm. Kolíky jsou ukotveny ve vyhazovacích deskách. Tři z nich mají sraženou hranu hlavy aby nedošlo k pootočení. Ostatní kolíky jsou opřeny o rovné plochy, proto se nemusí kotvit. Desky jsou opatřeny dosedacími podložkami, aby byly tlumeny dorazy vyhazovacího systému.



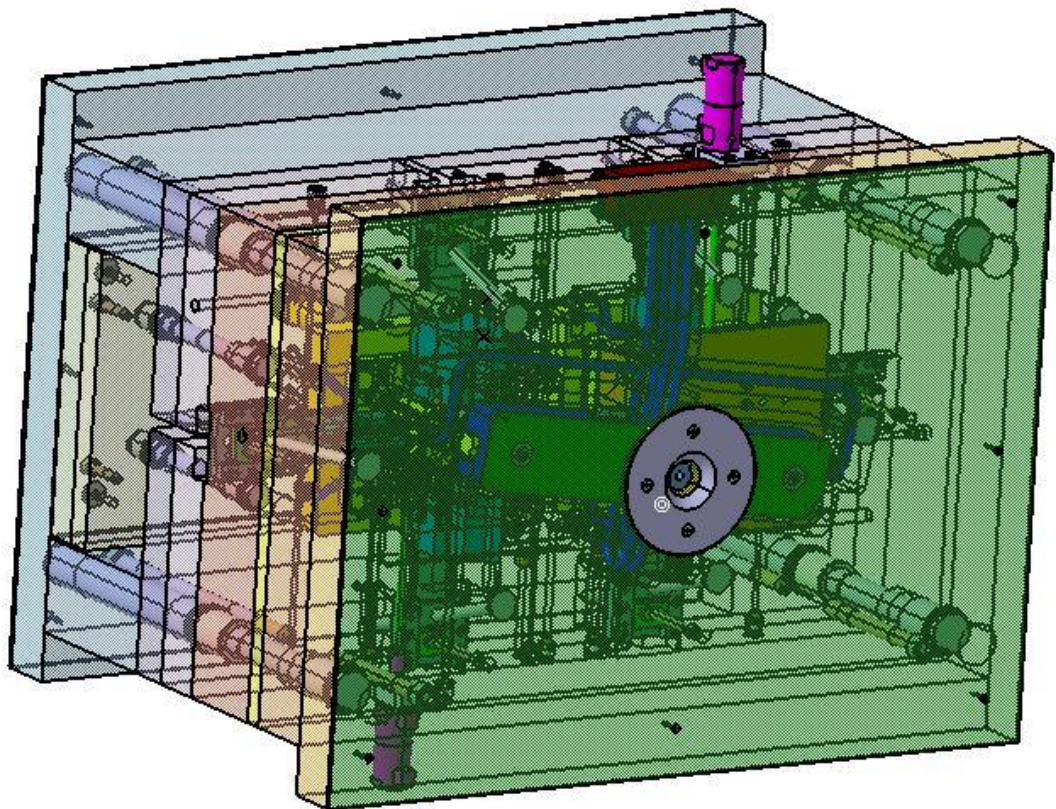
Obrázek 34.: Vyhazovací systém

## 6.9 Rám formy

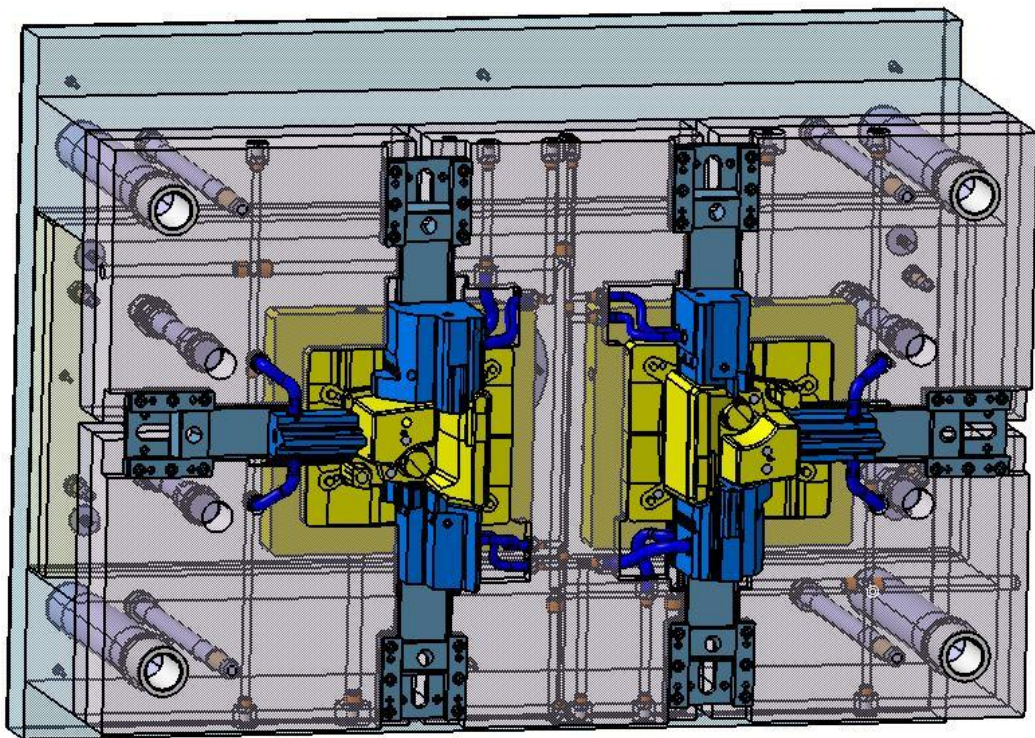
Forma je sestavena především z normalizovaných prvků firmy HASCO. Rozměr desek i celé formy byl zvolen podle násobnosti a velikosti vstřikovaného výrobku. Velikost je tedy 796 x 496 mm. Tloušťky jednotlivých desek jsou voleny podle jejich funkce ve formě. Celková délka je 600 mm.

Jednotlivé části formy jsou mezi sebou spojeny šrouby. Jejich délka odpovídá tloušťce desek. Pravá i levá strana je opatřena středícím kroužkem, který slouží k přesnému vystředění formy.

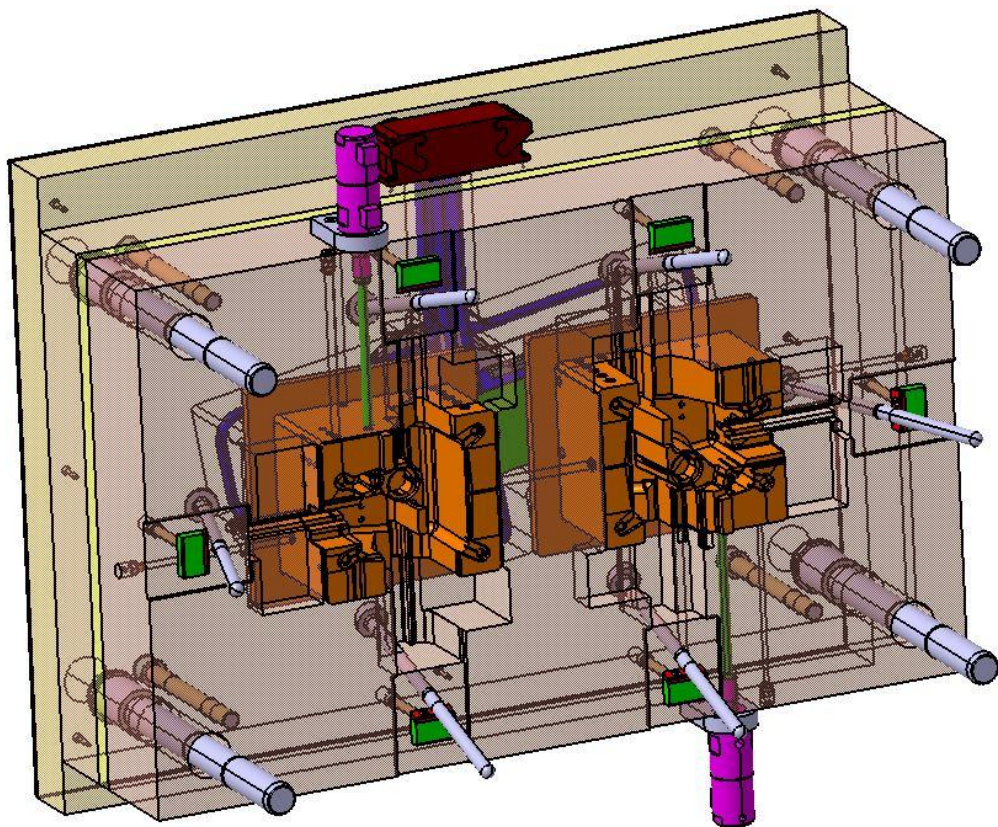
Na *obr. 35* je vidět celkový pohled na formu a na *obr. 36, 37* jsou pohledy do dělicí roviny.



Obrázek 35.: Sestava formy



Obrázek 36.: Levá část formy



Obrázek 37.: Pravá část formy

## 6.10 Vstřikovací stroj

Na základě technických parametrů vstřikovací formy a charakteru výrobku byl zvolen vstřikovací stroj ALLROUNDER 820S od německé firmy ARBURG.



Obrázek 38.: Vstřikovací stroj [16]

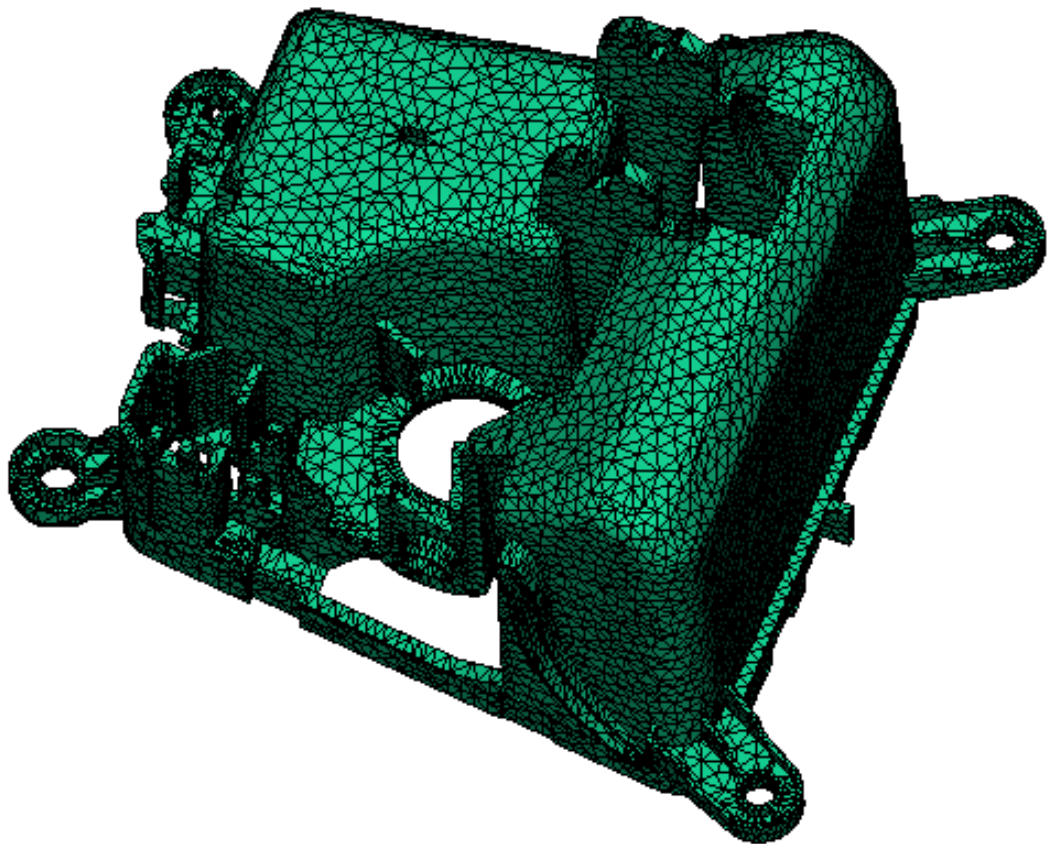
Technické parametry vstřikovacího stroje:

- Uzavírací síla max. 4000 kN
- Vzdálenost mezi rozpěrkami 820 x 820 mm
- Síla vyhazovacích kolíků max. 100 kN
- Zdvih vyhazovačů max. 250 mm
- Průměr šneku 60 mm
- Objem vstřikované taveniny max. 792 cm<sup>3</sup>
- Vstřikovací tlak max. 2500 bar [16]

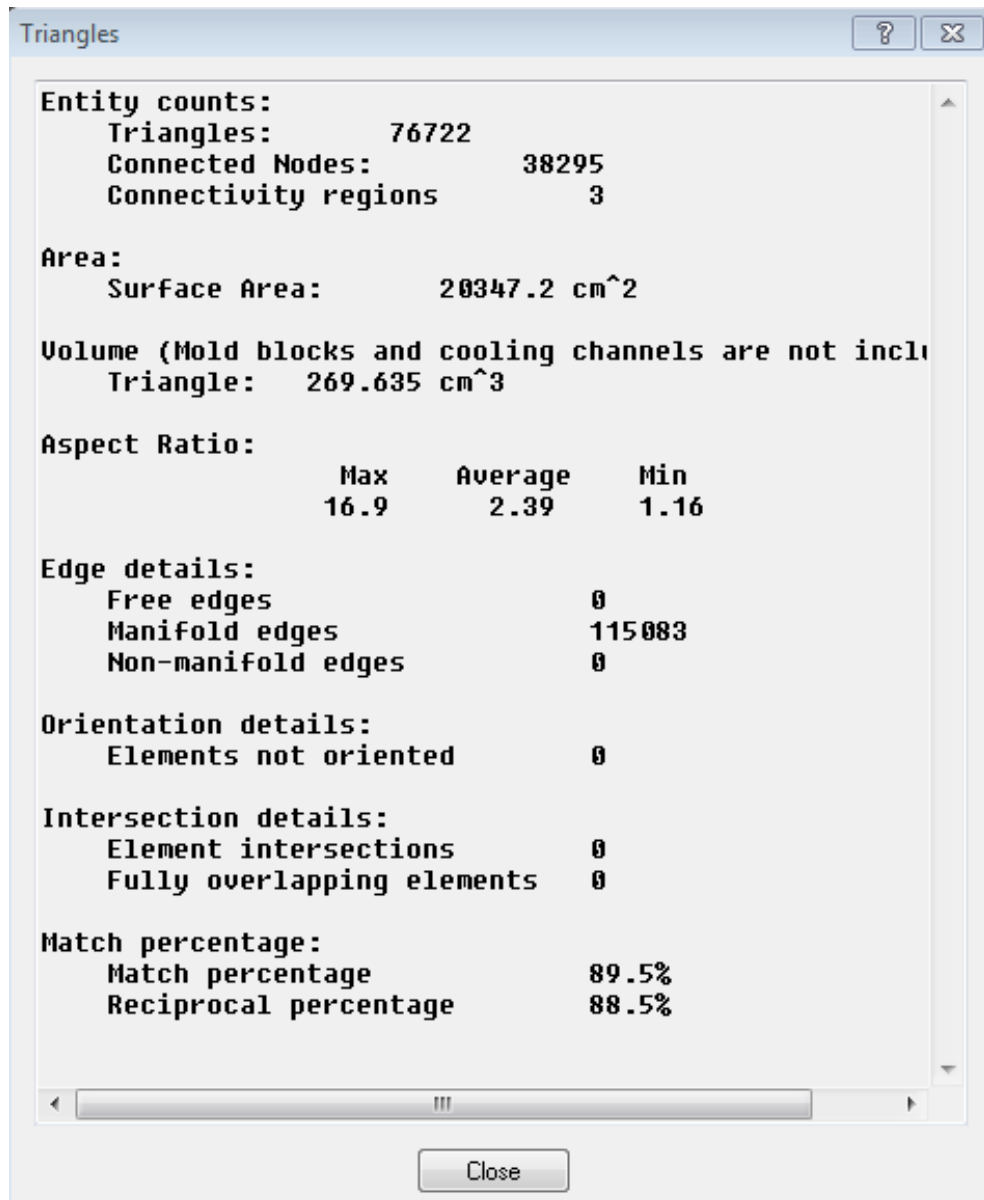
## 7 ANALÝZA VSTŘIKOVACÍHO PROCESU

### 7.1 Volba CAE aplikace

Jako CAE aplikace byl zvolen Autodesk Moldflow 2014 (dále jen Moldflow). V této aplikaci byly nejdříve provedeny předběžné analýzy plnění a umístění vtoku. Na *Obr. 39* je vysítovaný výrobek v programu Moldflow a na následném *Obr. 40* je statistika této sítě.



Obrázek 39.: Vysítovaný výrobek v programu Moldflow



Obrázek 40.: Statistika sítě

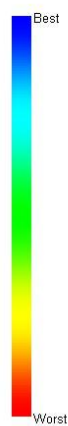
Ze statistiky sítě lze vidět, že počet elementů na jednom výrobku je 115 083. Další důležitou informací, která je v analýze uvedena, je Aspect Ratio. To je poměr základny trojúhelníku k jeho výšce. Čím, je tato hodnota menší, tím je síť přesnější. V případě této analýzy je poměr 16,9, což je přijatelná hodnota. Poslední dvě hodnoty Match percentage a Reciprocal percentage přímo ovlivňují výpočet analýz. Hodnota by se měla pohybovat okolo 90 %, pak všechny analýzy proběhnou bez problémů. Zmenšením elementů se tato hodnota zvýší, ale prodlouží se doba výpočtu analýzy.



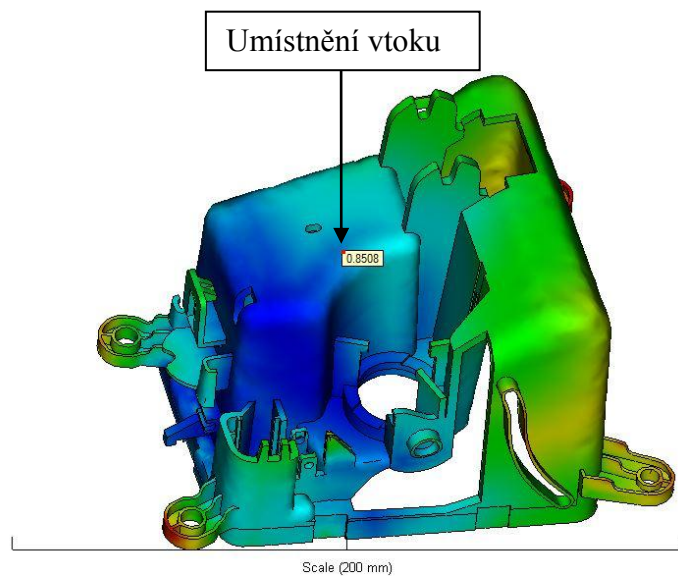
## 7.2 Analýza umístění vtokového ústí (Gate Location)

Tato analýza slouží jako pomůcka pro umístění vtokového ústí na zadaný výrobek.

Gating suitability  
= 1.000



AUTODESK  
SIMULATION MOLDFLOW  
INSIGHT

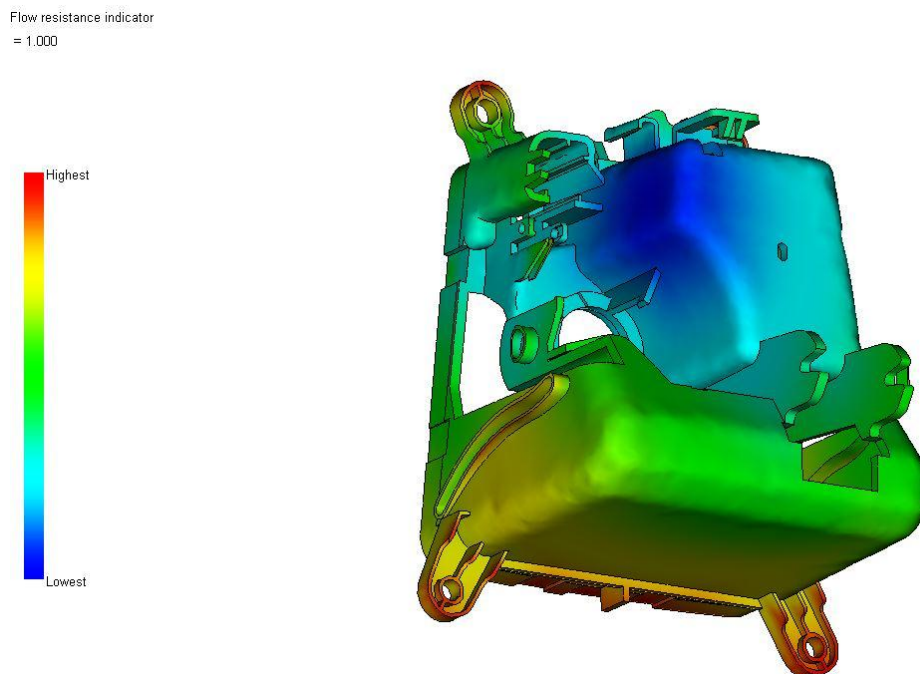


Obrázek 41.: analýza umístění vtokového ústí (Gate Location)

Na *Obr. 41* lze vidět jeden z výsledků této analýzy Gating suitability, což je vhodnost umístění vtokového ústí. Modrá barva znamená nejvhodnější umístění vtoku, červená naopak nejhorší. S ohledem na konstrukci dutiny formy bylo zvolena pozice vtokového ústí v místě, kde byla vhodnost 85 %.

### 7.3 Odpor proti tečení materiálu (Flow resistance indicator)

Výsledek analýzy odporu proti toku materiálu lze vidět na *Obr. 42*. Modrá barva zde znamená nejmenší a červená největší odpor proti tečení materiálu v dutině formy.



Obrázek 42.: odpor proti tečení materiálu (Flow resistance indicator)

### 7.4 Vstřikovaný materiál

Na základě zkoušek hořlavosti byl identifikován materiál, ze kterého je daný díl vyroben. Jeho bližší specifikace jsou uvedeny v *Tab. 3*. Při volbě materiálu se vycházelo z toho, k čemu bude výrobek sloužit, jak bude namáhán (mechanicky, tepelně, chemicky ...) a v poslední řadě hrají roli i designerské požadavky. Také je třeba brát v potaz reologické vlastnosti materiálu. Při špatně zvoleném materiálu se může stát, že výrobek nebude možné technologií vstřikování vyrobit.

Materiálový list zjištěného materiálu je v příloze č. 1. Základní informace jsou v *Tab. 3*.

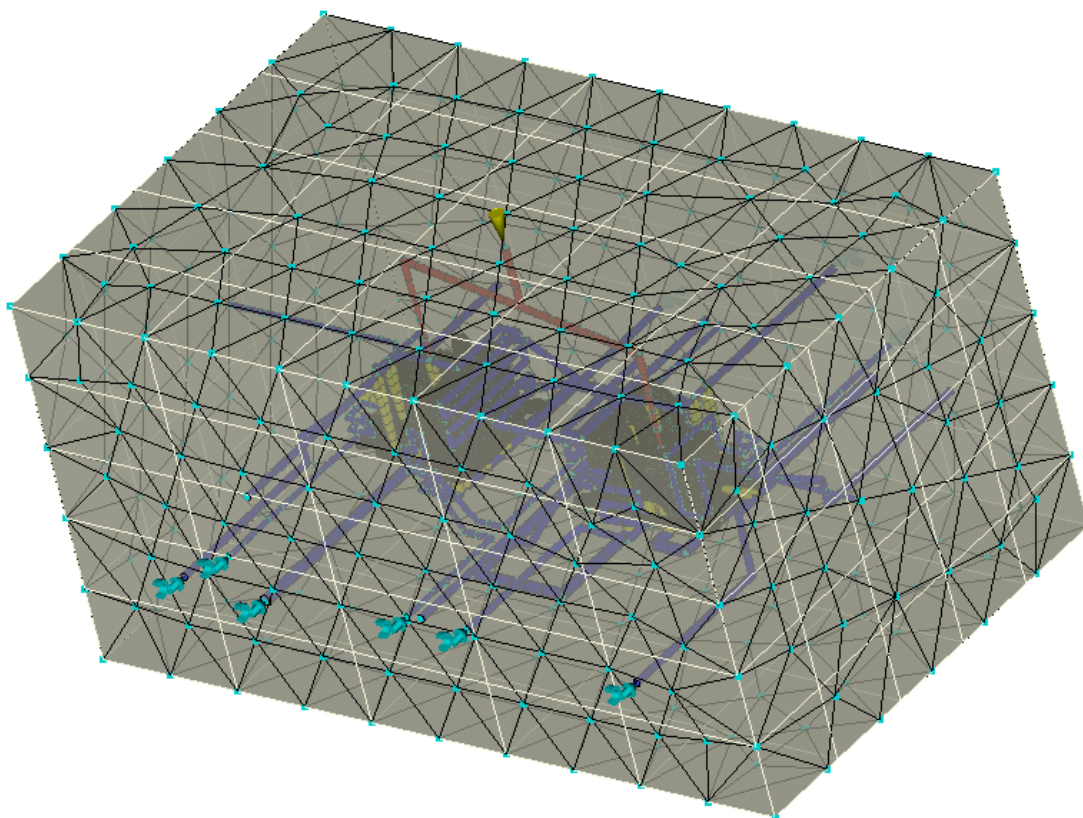
Tabulka 3.: Vstřikovaný materiál

Výrobce:	SABIC Innovative Plastics US, LLC
Obchodní název:	Cycloy EHA
Typ materiálu:	PC+ABS

## 7.5 Blok vstřikovací formy pro CAE analýzu

Rozměry bloku formy:  $X = 796 \text{ mm}$ ;  $Y = 496 \text{ mm}$ ;  $Z = 500 \text{ mm}$

Velikost bloku je volena podle velikosti navržené formy tak, aby veškerý systém byl uvnitř. Mimo blok musí být žlutý kužel, který představuje místo vtoku polymeru a vstup a výstup chladicích médií. Vytvořený blok je zobrazen na obrázku *Obr. 43*.



Obrázek 43.: Blok vstřikovací formy

## 7.6 Implicitní analýza

Volba procesních podmínek je dána především zvoleným polymerem. Nesprávně zvolené procesní podmínky mají za následek chyby na výrobku, v krajním případě nedotečení taveniny do dutiny formy. Správně zvolené procesní podmínky nejen zajistí výrobek bez vad a defektů, ale také snižují energetické a tak i ekonomické náklady na výrobu. Jak už bylo dříve uvedeno, velký vliv na procesní podmínky má také druh zvoleného materiálu. K odhalení nesprávně zvolených procesních podmínek slouží implicitní analýza. Ta byla provedena i v případě této diplomové práce.

Pro implicitní analýzu v programu Moldflow byly použity analýzy Cool + Fill + Pack + Warp (chlazení + plnění + dotlak + deformace).

## 7.7 První analýza s defaultně zvolenými hodnotami

Vstupní procesní podmínky testované v implicitní analýze:

- Teplota povrchu vstřikovací formy 79 °C
- Teplota taveniny 260 °C
- Doba vstřikování 3,5 s
- Maximum shear rate 40000 1/s
- Teplota horkého vtoku 260 °C
- Teplota chladícího média 80 °C
- Průtočné množství chladícího média v tvárníku 10 l/min
- Průtočné množství chladícího média ostatní kanály 5 l/min
- Fáze dotlaku kontrolována podle relativního plnicího tlaku (viz. *Tab. 4*)

Tab. 4 – Fáze dotlaku

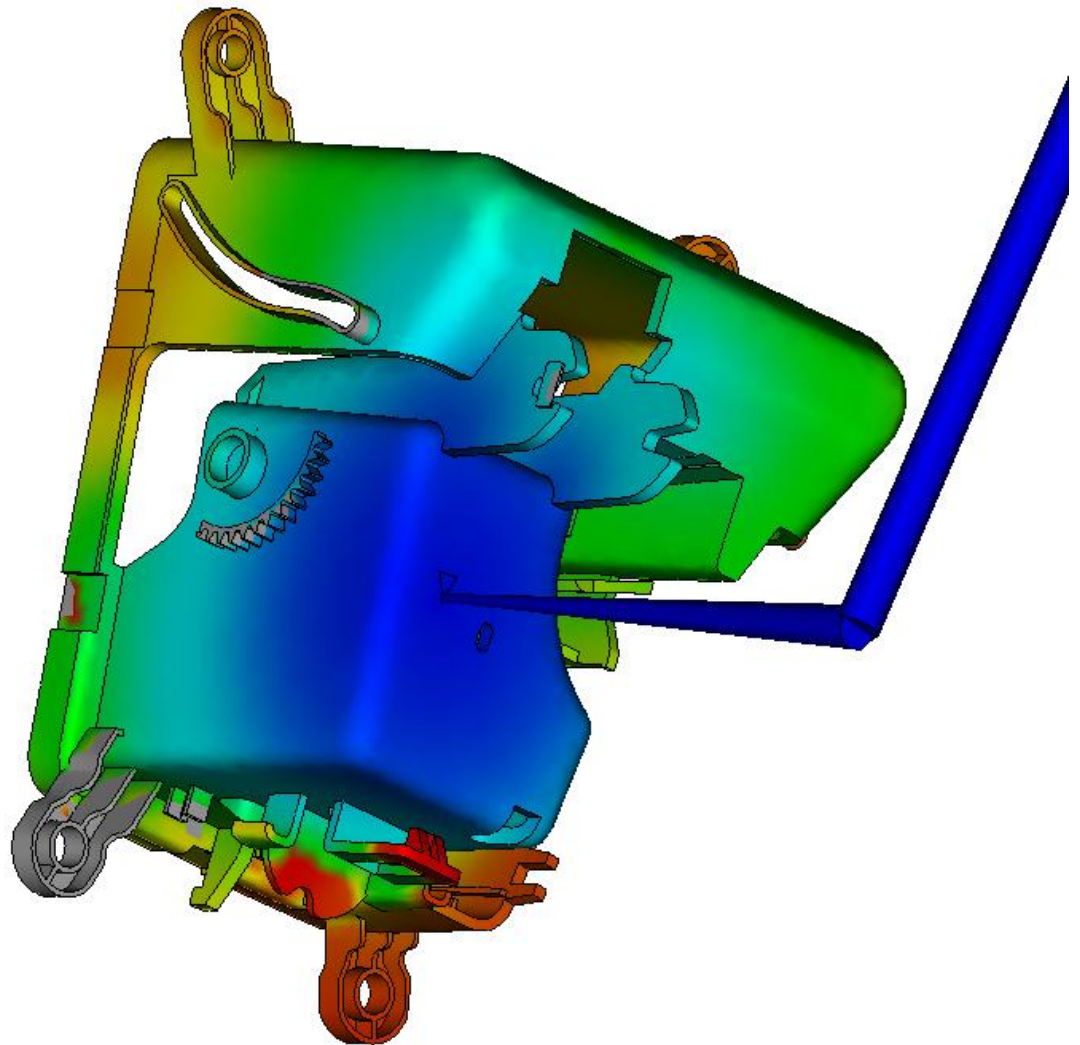
Přírůstek času [s]	% plnicí tlak [%]
0	90
8	90

- Analýza orientace vláken vypnuto
- Teplotní roztažnost vstřikovací formy zapnuto
- Izolovat příčiny deformace zapnuto
- Výpočtová matice automaticky

## 7.8 Chyby vyhodnocené analýzou

### 7.8.1 Čas plnění (Fill time)

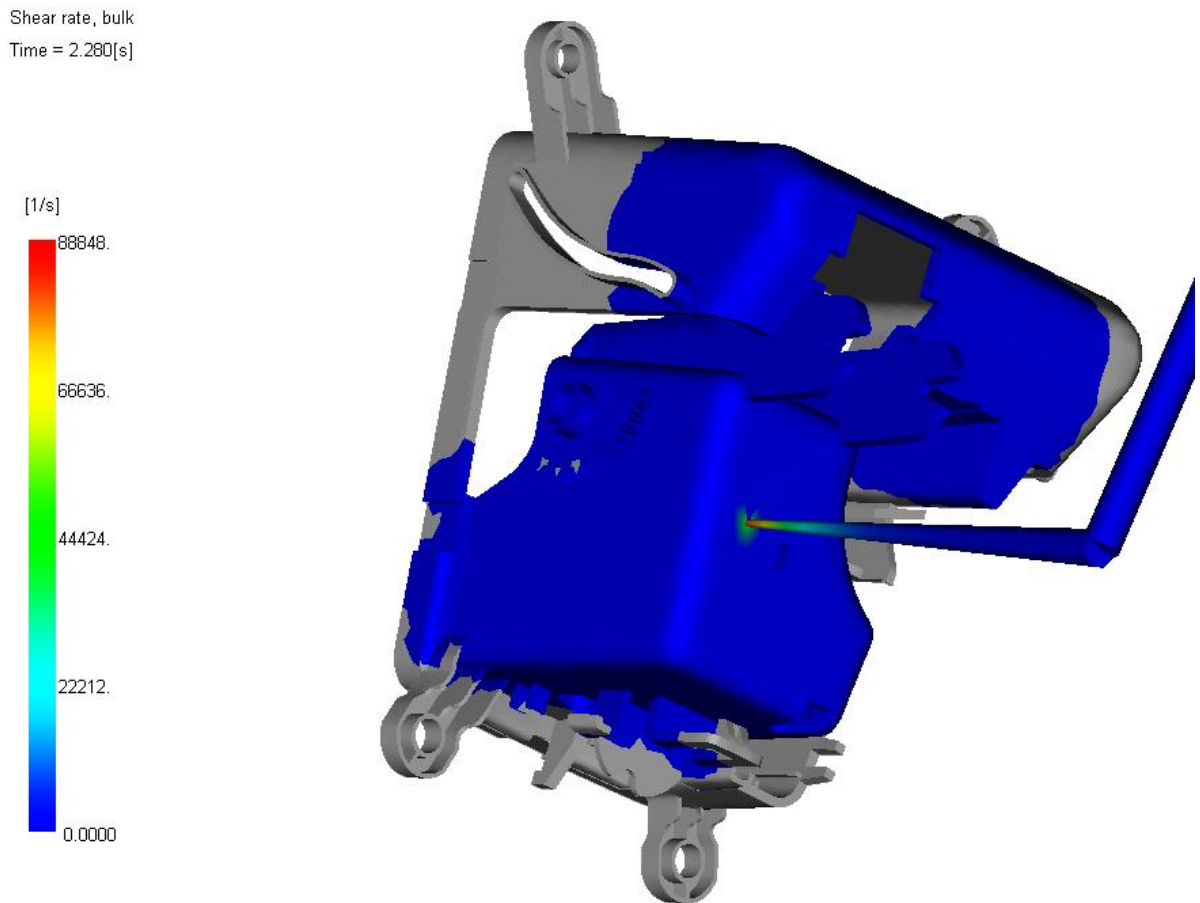
Z obrázku je patrné že, tavenina nedotekla do všech částí formy (to jsou šedá místa na výrobku). Tento problém je možné řešit zvýšením teploty taveniny, prodloužením doby vstříkování a změnou času dotlakové fáze. Tento postup bude aplikován pro změnu vstupních hodnot k nové analýze.



Obrázek 44.: Nedotečený výrobek

### 7.8.2 Rychlost smykové deformace (Shear rate bulk)

Z výsledků této analýzy je patrné, že smyková rychlost přesáhla u vtokového ústí hodnotu 40000 1/s. To znamená, že by daný materiál při vstřikování degradoval. Pro vyřešení tohoto problému je nutné změnit průměr vstřikovací trysky z hodnoty 2 mm na velikost 3 mm. Proto musela být upraveny vstupní podmínky pro analýzu a bylo nutné provést tuto změnu i v 3D modelu.



Obrázek 45.: Příliš vysoká rychlost smykové deformace

## 7.9 Analýza s upravenými procesními podmínkami

Analýza s defaultně zvolenými podmínkami odhalila několik chyb, jejichž příčiny musely být opraveny změnou vstupních parametrů. Celá analýza se tak musela provést znovu.

Nově zvolené procesní podmínky:

- Teplota povrchu vstřikovací formy 79 °C
- Teplota taveniny 270 °C
- Doba otevření formy 4 s
- Maximum shear rate 40000 1/s
- Teplota horkého vtoku 270 °C
- Teplota chladícího média 80 °C
- Průměrné množství chladícího média v tvárníku 10 l/min
- Průměrné množství chladícího média ostatní kanály 5 l/min
- Fáze dotlaku kontrolována podle relativního plnicího tlaku (viz. *Tab. 4*)

Tab. 4 – Fáze dotlaku

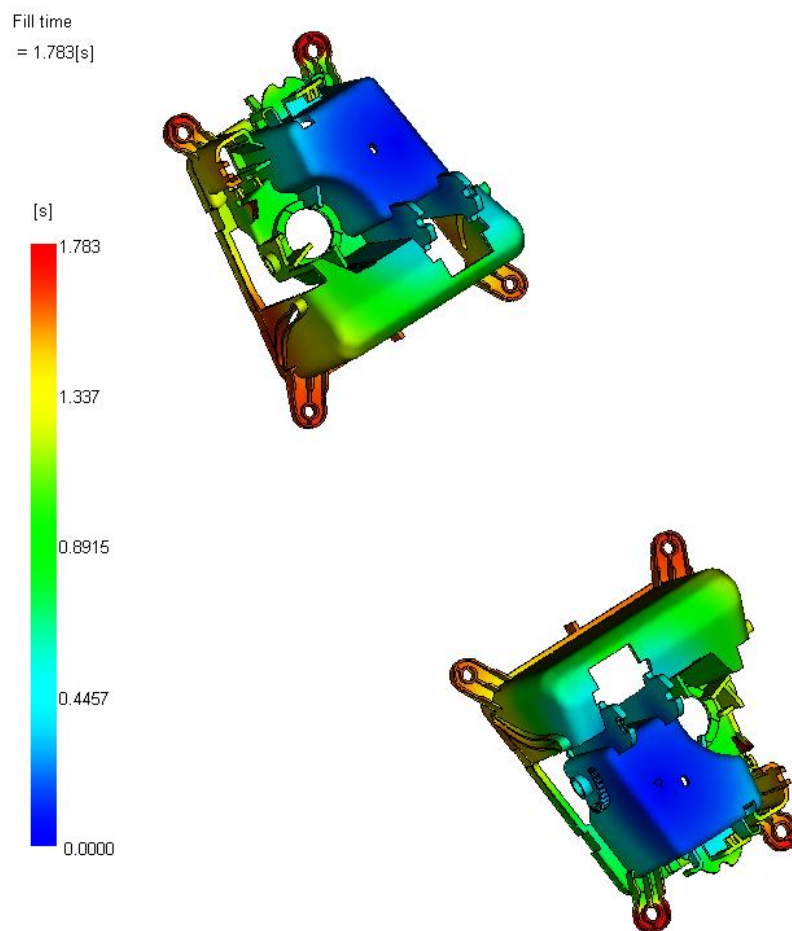
Přírůstek času [s]	% plnicí tlak [%]
0	90
10	90

- Analýza orientace vláken vypnuto
- Teplotní roztažnost vstřikovací formy zapnuto
- Izolovat příčiny deformace zapnuto
- Výpočtová matice automaticky

### 7.9.1 Výsledky analýzy plnění a dotlaku

- Čas plnění (Fill time)

Pomocí analýzy Fill time se zjistila doba, kdy se zcela zaplní dutina formy. Díky simulaci šlo také stanovit, jak dochází k zaplňování formy a zda je plnění rovnoměrné. Na *Obr. 46* je zobrazen výsledek této analýzy. Čas, za který dojde k úplnému zaplnění formy je 1,75 s. Pokud by nedošlo k zaplnění formy, bylo by nutné čas plnění prodloužit nebo zvýšit teplotu formy či vstřikovaného polymeru.



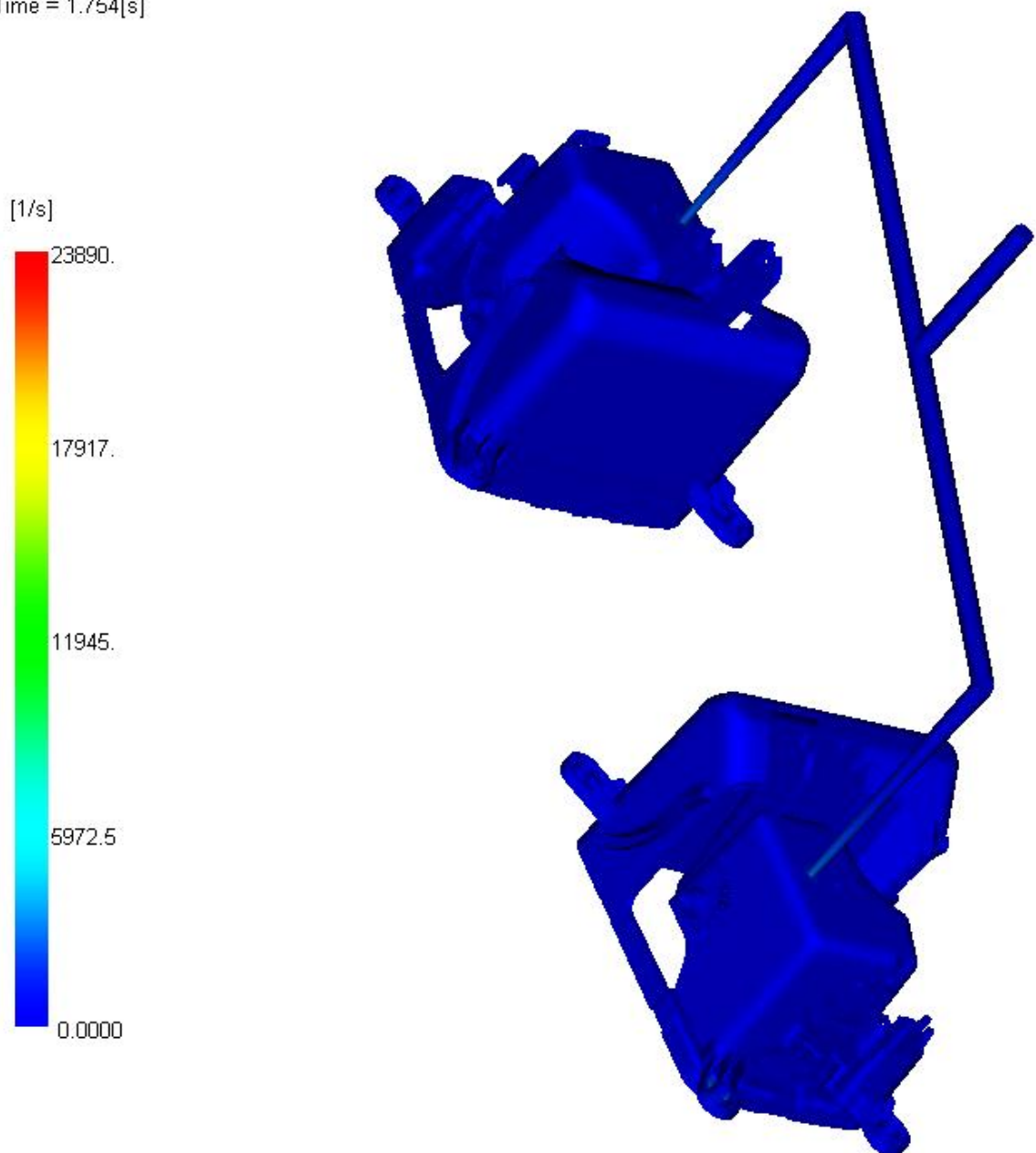
Obrázek 46.: Doba plnění (Fill time)



- Rychlost smykové deformace (Shear rate bulk)

Na *Obr. 47* lze vidět výsledek analýzy rychlosti smykové deformace. Nejvyšší hodnota smykové deformace činí  $23\,890\text{ s}^{-1}$ . Materiál, který byl pro analýzu zvolen má v materiálovém listě uvedenou hodnotu maximální rychlosti smykové deformace  $40\,000\text{ s}^{-1}$ . Tato maximální hodnota nebyla překročena, a tak nebude docházet k negativním jevům.

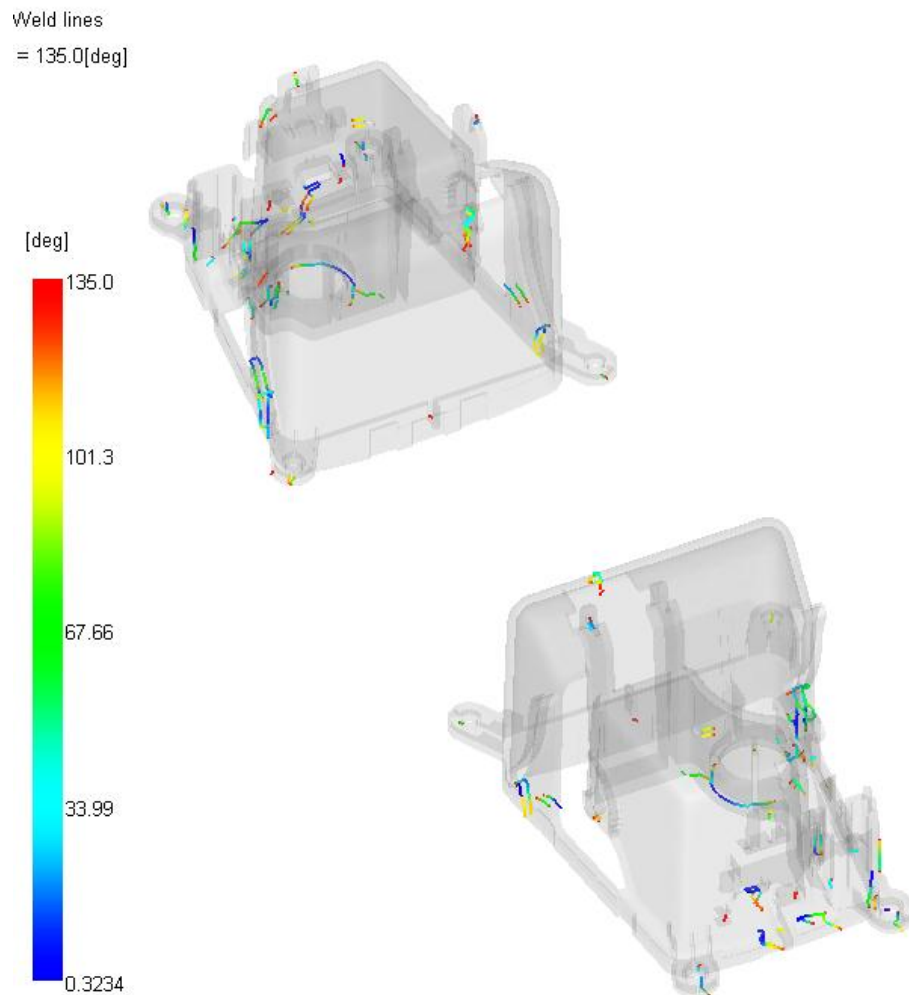
Shear rate, bulk  
Time = 1.754[s]



Obrázek 47.: Rychlost smykové deformace (Shear rate bulk)

- **Studené spoje (Weld lines)**

Při plnění formy taveninou dochází ke vzniku studených spojů. Studené spoje vznikají setkáním dvou čel taveniny. Místo ve studeném spoji vykazuje zhoršené mechanické vlastnosti, a tak je studený spoj nežádoucím jevem vstřikování. Studené spoje jsou příčinou mnoha parametrů: nízká teplota vstřikovaného polymeru, nízká vstřikovací rychlost, nízká teplota formy nebo dlouhá dráha toku taveniny do dutiny. Studené spoje silně závisí na tvaru dutiny (výrobku) a lze je výrazně ovlivnit umístěním vtokového ústí a počtem vtokových ústí. Důležité je dosáhnout toho, aby studený spoj nebyl v místě, které je výrazněji mechanicky namáhané. Na *Obr. 48* lze vidět predikované studené spoje na výrobku.

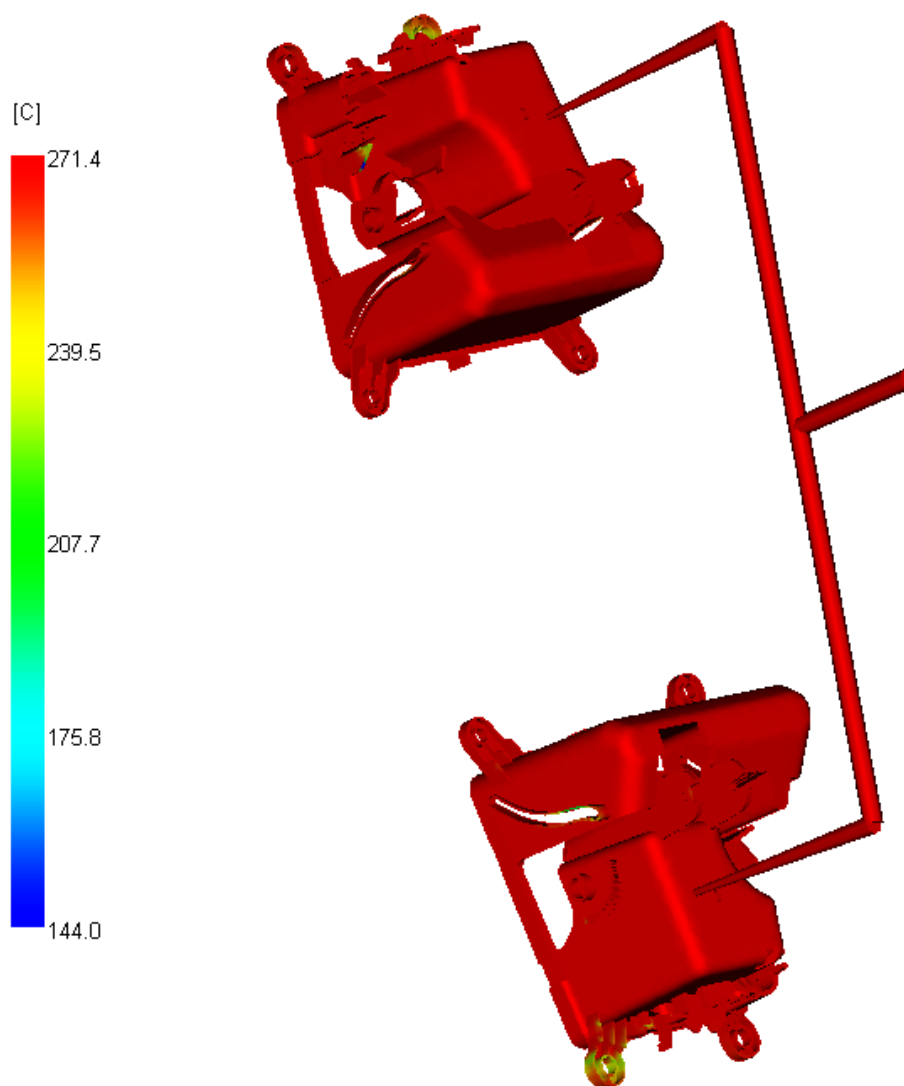


Obrázek 48.: Studené spoje (Weld lines)

- **Teplota na čele taveniny (Temperature at flow front)**

Teplota na čele taveniny je zobrazena na *Obr. 49*. Při plnění dutiny formy taveninou je čelo taveniny ovlivňováno teplotou formy. Tavenina se ale může i přehřívat vlivem disipace a nesprávných procesních podmínek. Díky této analýze lze pozorovat průběh teploty na čele polymerní taveniny. Nejvyšší teplota (zobrazena červeně) je 271 °C. Doporučená maximální teplota taveniny je 274 °C, proto nebude docházet k tepelné degradaci materiálu. Na výrobku vidíme, že směrem v jakém je dutina formy plněna, je teplota konstantní a nedochází k výraznému ochlazení od teploty. To je způsobeno díky disipaci (mechanická přeměně energie na tepelnou), která je podpořena tvarem výrobku (tenké stěny).

Temperature at flow front  
= 271.4[C]

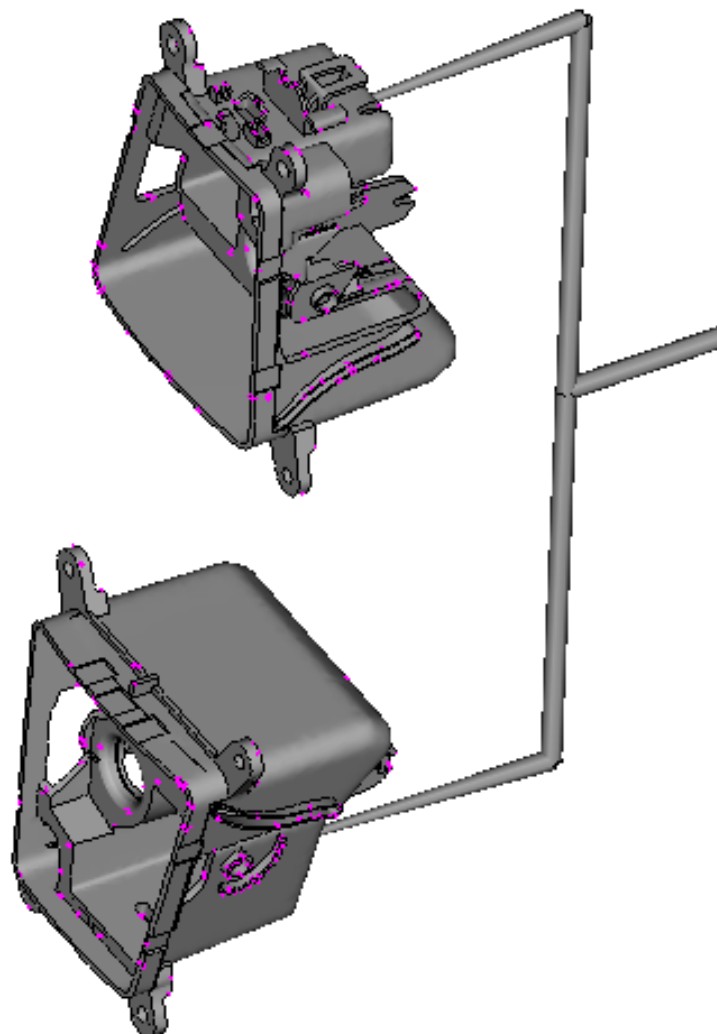


Obrázek 49.: Teplota na čele taveniny (Temperature at flow front)

- **Vzduchové kapsy (Air traps)**

Na *Obr. 50* jsou růžovou barvou znázorněny vzduchové kapsy, které mohou vzniknout při plnění dutiny formy taveninou. Tvorbě vzduchových kapes lze předejít správným odvzdušněním formy. Čím je větší rychlost plnění, tím účinnější musí být odvzdušnění tvarové dutiny. Díky této aplikaci lze správně určit místa pro odvzdušnění a vyhnout se vzniku spálených míst, bublin, nebo lunkrů.

V daném případě je počítáno s tím, že přebytečný vzduch se z dutiny formy dostane vřítí mezi vyhazovači a posuvovými kostkami.

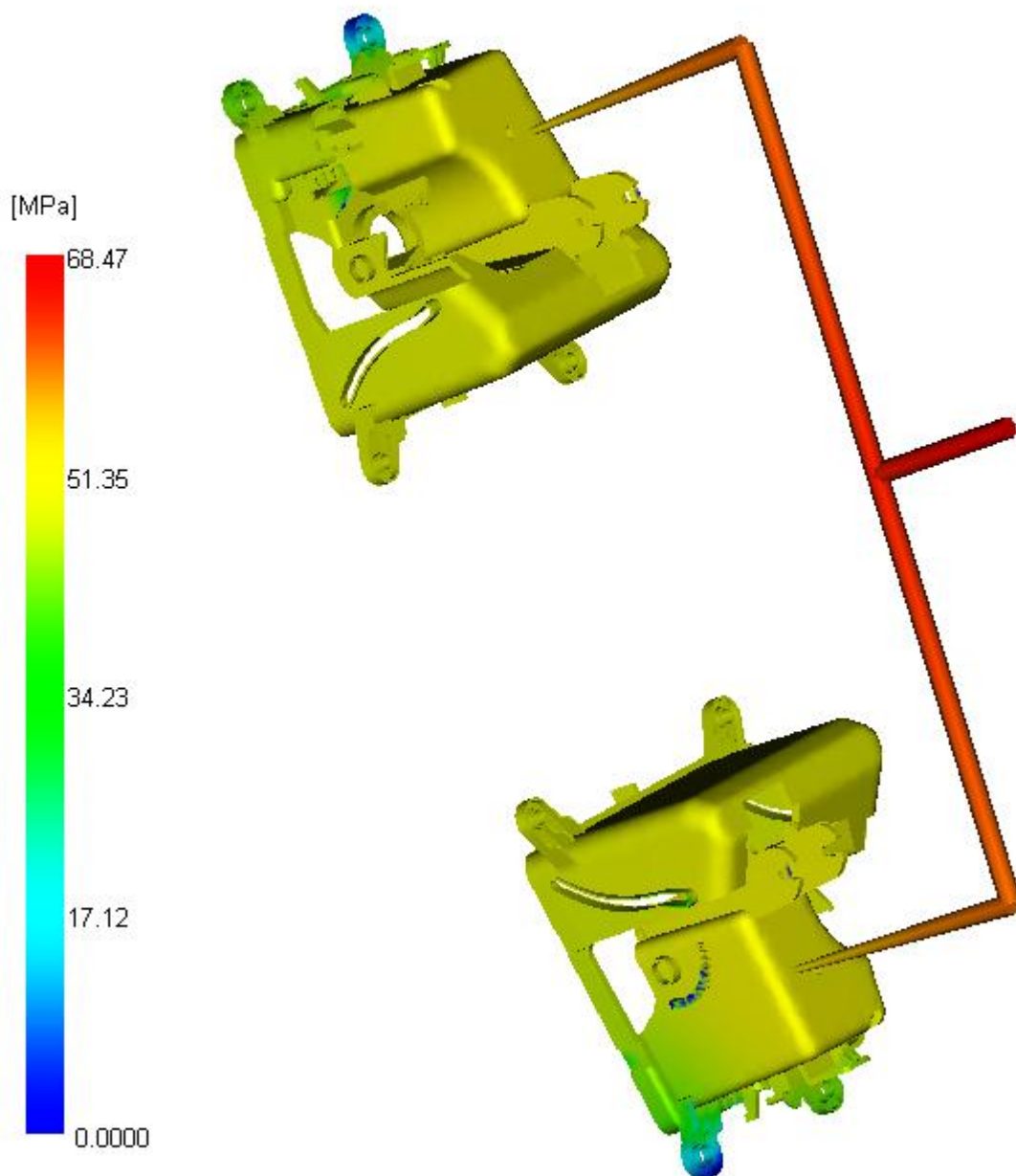


Obrázek 50.: Vzduchové kapsy (Air traps)

- **Tlak na konci plnění (Pressure at end of fill)**

Velikost tlaku na konci plnění je zobrazena na *Obr. 51*. Velikost tlaku je důležitá nejen v dutině formy, ale také ve vtokovém systému. Nejvyšší tlak je logicky v horní části vtokové vložky a jeho hodnota je 68 MPa. Nejmenší tlak je v místech dutiny formy, kam polymer dotéká jako poslední. Pokud by byla potřeba tlak zvýšit, musela by se zvýšit teplota taveniny, což by znamenalo pokles její viskozity (odpor proti tečení materiálu v dutině formy).

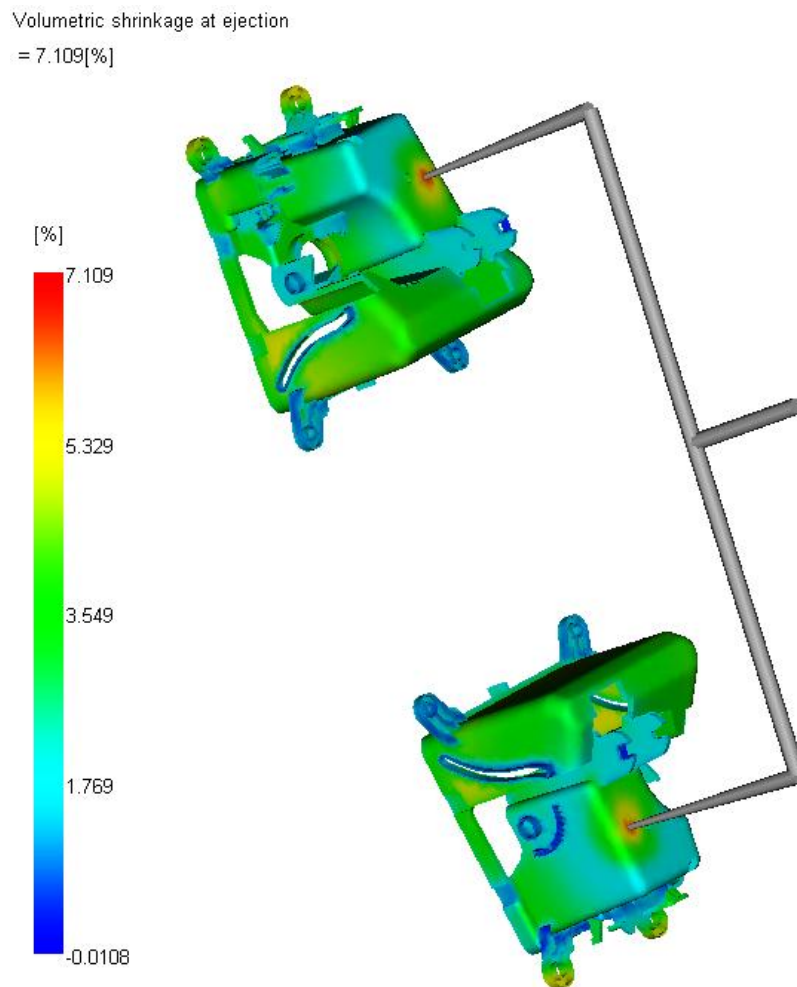
Pressure at end of fill  
= 68.47 [MPa]



Obrázek 51.: Tlak na konci plnění (Pressure at end of fill)

- **Objemové smrštění při vyhození (Volumetric shrinkage at ejection)**

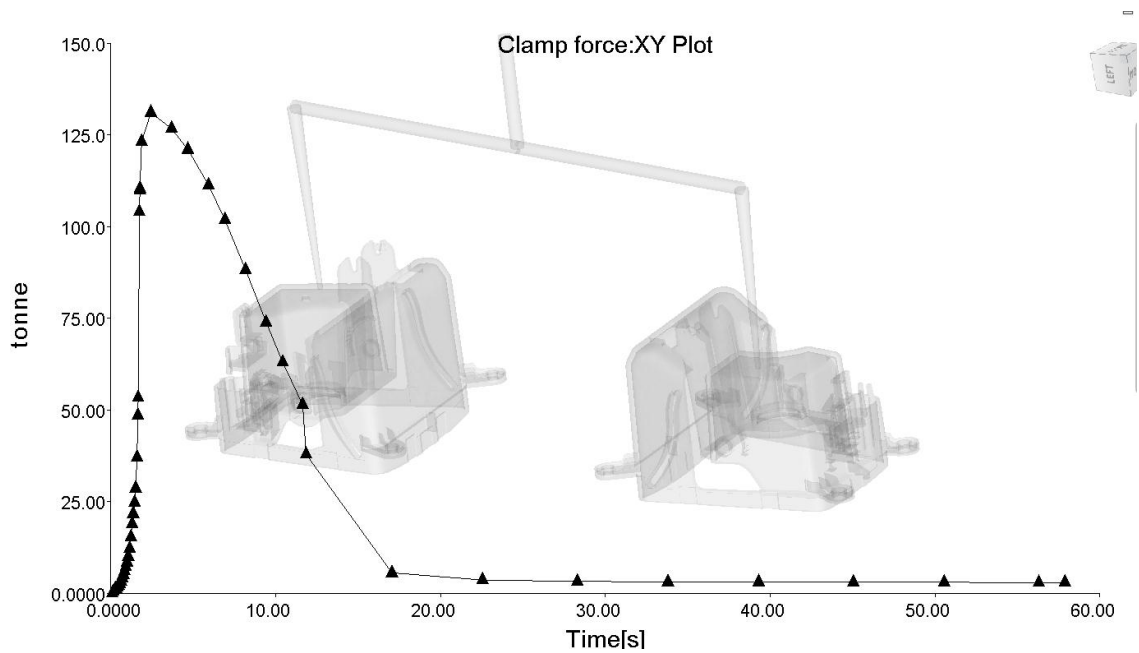
Po zaplnění tvarové dutiny formy taveninou a ukončení dotlaku nastává objemové smrštění. Smrštění se dělí na výrobní (90 % celkového smrštění) a dodatečné (10 % celkového smrštění). Smrštění není ve všech směrech stejné, ale záleží na směru proudění taveniny, druhu polymeru, plnivu, tvaru výrobku a temperaturaci. Na *Obr. 52* jsou uvedena jednotlivá místa výrobku a velikosti jejich smrštění. Je zřejmé, že k největšímu smrštění dochází v místech, kde jsou nejtlustší stěny = nejvíce materiálu. Díky této analýze lze správně určit rozměry dutiny vstřikovací formy, které jsou rozdílem mezi rozměrem dutiny vstřikovací formy a skutečným rozměrem výrobku. Velikost smrštění lze výrazně ovlivnit velikostí a dobou dotlaku. Při srovnání tohoto výsledku analýzy a fyzického výrobku jde poznat značné propadliny na místech, které jsou na *Obr. 52* zobrazeny modrozelenou barvou (největší smrštění).



Obrázek 52.: Objemové smrštění při vyhození (Volumetric shrinkage at ejection)

- Uzavírací síla (Clampforce)

Na Obr. 53 je uveden graf popisující velikost uzavírací síly. Na ose x je čas v sekundách, na ose y je uzavírací síla v tunách. Z grafu vyplývá, že nejvyšší dosažená hodnota je 130 tun. Tento graf je možno využít při volbě vstřikovacího stroje. Zvolený vstřikovací stroj má uzavírací sílu 400 tun. Při zvolení stroje s menší uzavírací silou, než která vznikne při vstřikování by mohlo docházet k otevírání formy vlivem velkých tlaků.

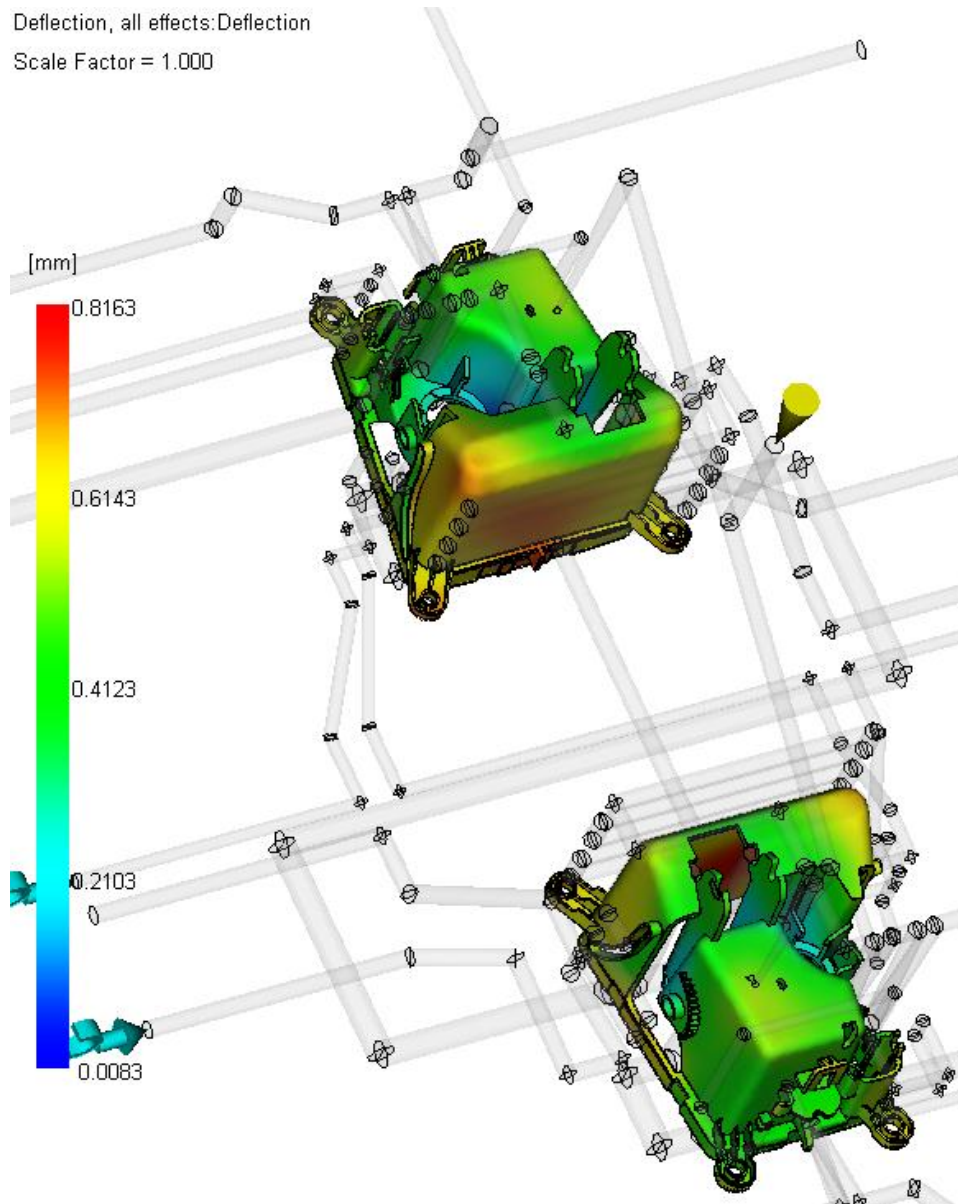


Obrázek 53.: Uzavírací síla (Clampforce)

## 7.9.2 Výsledky analýzy deformace

- **Celková deformace (Deflection, all effects: Deflection)**

Na *Obr. 54* je zobrazena celková deformace výrobku. Maximální deformace je zobrazena červeně a má hodnotu 0,8 mm. Deformaci ovlivňuje nedostatečná doba chlazení, orientace plniv, špatný výběr materiálu, příliš vysoká teplota formy. Tyto zmíněné aspekty jsou potřeba měnit, pokud je deformace dílce příliš velká.



Obrázek 54.: Celková deformace (Deflection, all effects: Deflection)



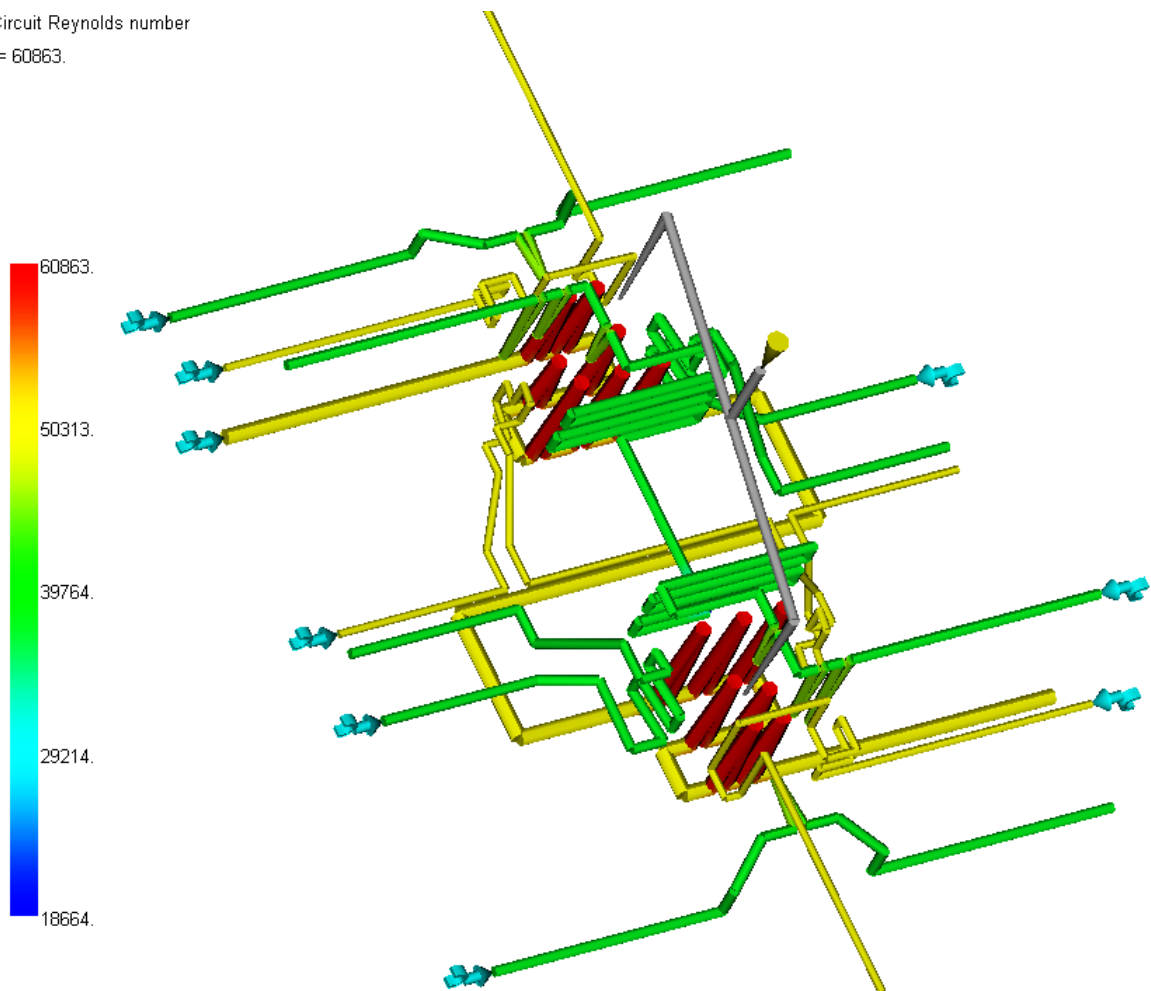
### 7.9.3 Výsledky analýzy chlazení

- **Reynoldsovo číslo (Circuit Reynoldsnumber)**

V této analýze je znázorněna velikost Reynoldsova čísla ( $Re$ ) v uzavřeném temperačním okruhu. Aby účinnost chlazení byla optimální, vyžaduje se turbulentní proudění v chladicím kanálu. Turbulentnímu proudění napomáhá geometrie kanálů. O turbulentním proudění lze mluvit, je-li  $Re > 4000$ . V daném případě nabývá  $Re$  hodnoty 60836. Proudění v temperačních kanálech je tedy turbulentní. Z obrázku jde vidět, že jsou navrženy rozdílné tloušťky temperačních kanálů a u větších průměrů reynoldsovo číslo klesá.

Reynoldsovo číslo je bezrozměrná veličina, která dává do souvislosti setrvačné síly a viskozitu. Lze ho tedy ovlivnit rozměry kanálů, druhem temperačního média a tlakem, kterým je přiváděno temperační médium do obvodu.

Circuit Reynolds number  
= 60863.

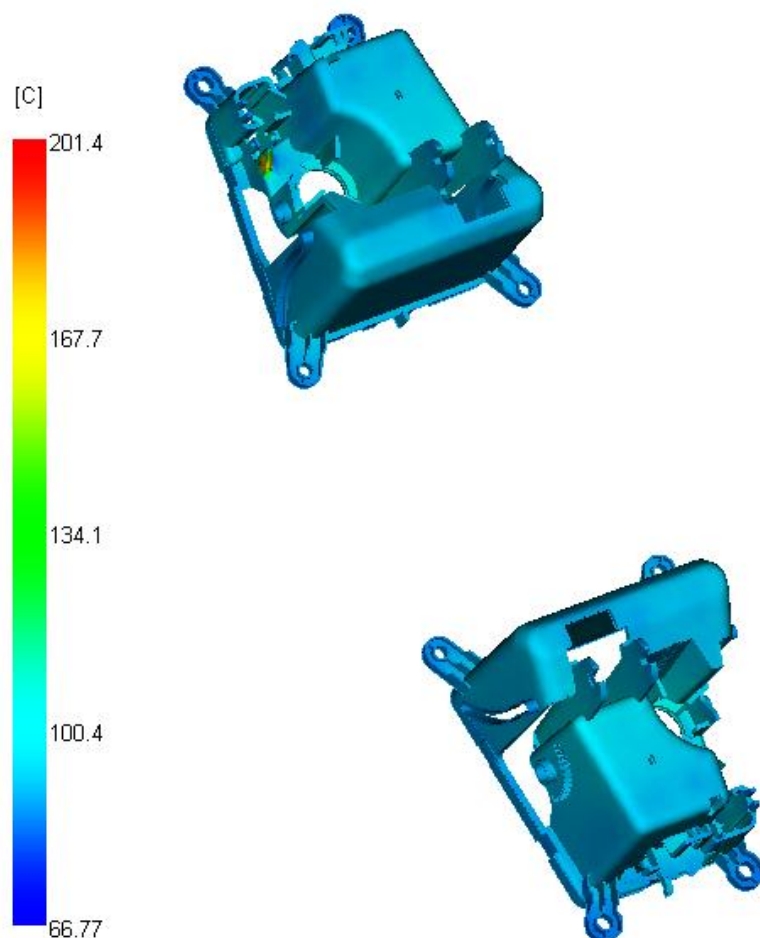


Obrázek 55.: Reynoldsovo číslo (Circuit Reynoldsnumber)

- **Průměrná teplota dílu (Average temperature part)**

Obr. 56 zobrazuje průměrnou teplotu dílu. Tento výsledek přímo ukazuje jak účinně, nebo naopak neúčinně je výrobek ochlazený. Jak je z obrázku vidět, nechladnější jsou místa na výrobku, kde je stěna tenká a je nejméně materiálu. Naopak nejteplejší místa jsou ty, kde je materiálu nejvíce a vyžadují tak větší odvod tepla. Na dílci jsou nejteplejší místa zobrazena červenou barvou a teplota je 201 °C. Jedná se o místa, která se díky složitějšímu tvaru výrobku obtížně temperují. Důležité je, aby především v místech vyhazovačů byla požadovaná vyhazovací teplota. Pokud by byla potřeba, aby nejvyšší teplota na dílci klesla, musel by být prodloužen čas chlazení. Další možností by bylo upravit temperační obvod. Tato varianta by však byla složitější.

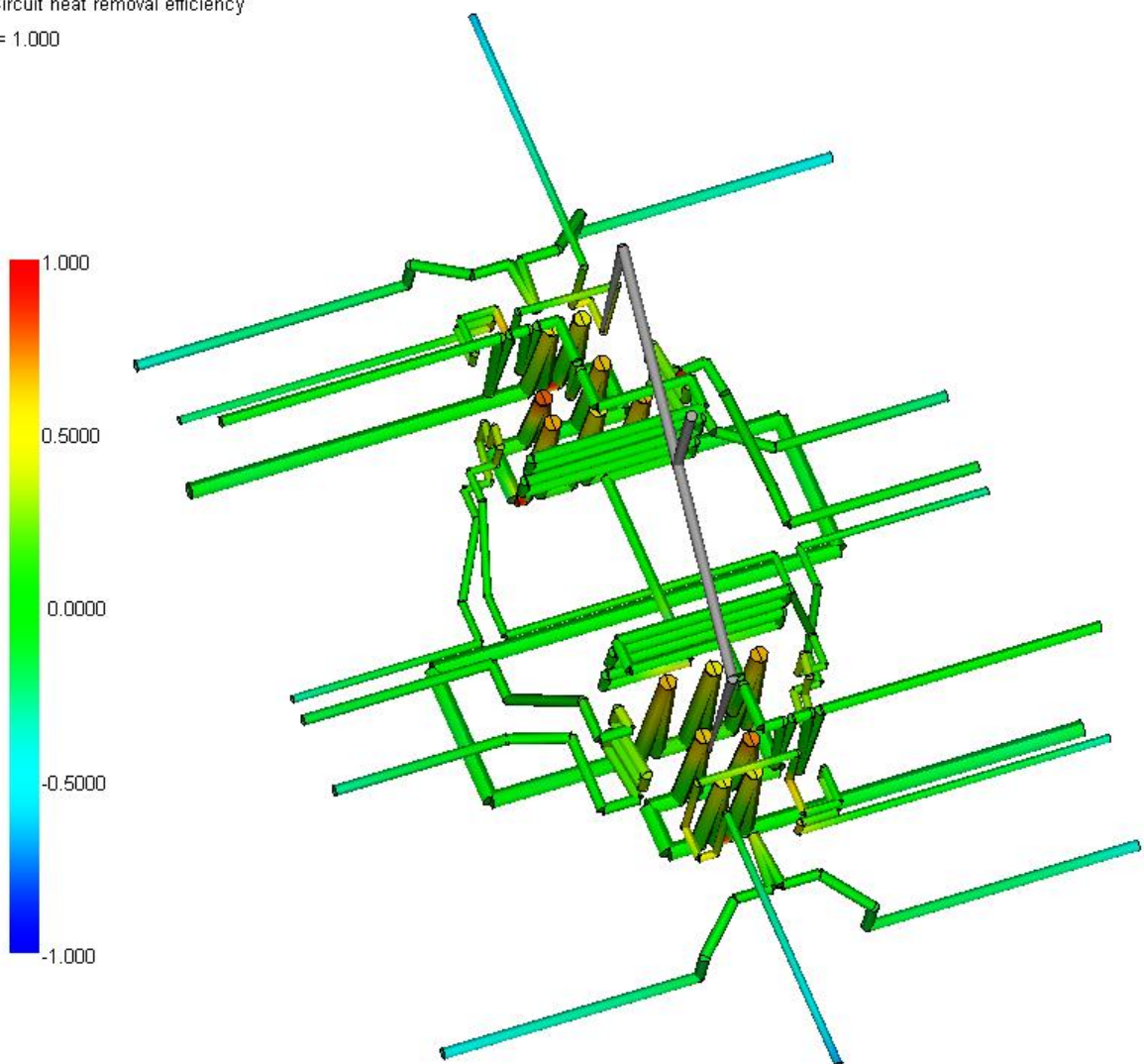
Average temperature, part  
= 201.4[C]



Obrázek 56.: Průměrná teplota dílu (Average temperature part)

- **Efektivita odvodu tepla (Circuit heat removal efficiency)**
- *Obr. 57* znázorňuje efektivitu odvodu tepla z dutiny formy. Efektivita je závislá na množství média, které jím protečou a na teplotním spádu vstupní a výstupní teploty média. Dále je účinnost chlazení závislá na ploše chladících kanálů a na jejich vzdálenosti od stěn tvarové dutiny. Jak již bylo zmíněno, závisí na proudění v chladicím kanálu, které má být turbulentní. Efektivita temperačního obvodu je nejvyšší v místech, kde je kanál nejbližší dutině formy. V místech vstupu a výstupu temperačního média je efektivita nižší.

Circuit heat removal efficiency  
= 1.000



Obrázek 57.: Efektivita odvodu tepla (Circuit heatremoval efficiency)

## 8 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Diplomová práce byla vytvořena dle oficiálního zadání. Stěžejní částí bylo 3D modelování zadaného výrobku při dodržení rozměrové přesnosti. Pro 3D modelování výrobku a konstrukci vstřikovací formy byl použit program CATIA V5. Při konstrukci formy bylo využito především normalizovaných dílů z katalogu HASCO.

Dle zadání byla vytvořena dvou násobná forma. Tvarové části byly tvořeny tak, aby byly snadno vyměnitelné. Jsou to negativy výrobku zvětšené o smrštění zvoleného polymeru. Jedná se o tvárník, tvárnici, a tvarové jádra.

Pro danou diplomovou práci byl zadán horký vtokový systém. Rozměry horkého rozvodného bloku ovlivnilo umístění výrobku ve formě. Průměr vstřikovací trysky byl upraven z důvodů velkých smykových rychlostí na požadovanou velikost dle programu Moldflow. Touto úpravou se předchází degradaci materiálu.

Temperace formy obsahuje díky složitosti výrobku 9 samostatných okruhů. Z důvodu použití velkých tvarových jader bylo nutné každé jádro chladit a temperační médium k nim přivádět hadicemi. Jednotlivé okruhy mají různé průřezy o průměrech 6, 8, 12 mm i průtoky 5,10 litr/min. Při návrhu temperace byly hojně využity obtokové můstky, aby byl zajištěn co možná největší odvod tepla z jinak špatně dostupných míst.

Odformování výrobku je realizováno nejprve pomocí hydraulických vytahovačů, potom přes šikmé čepy, které při samotném otevírání formy odsunou posuvové kostky.

Vyhazovací systém obsahuje 30 válcových kolíků o průměrech 6 a 8 mm, z nichž je 6 zajištěno proti pootočení.

V posledním kroku návržení vstřikovací formy byly vytvořeny tokové analýzy v programu Moldflow. Výsledky prvotní analýzy nebyly vyhovující, a proto bylo třeba provést několik změn ve vstupních parametrech. Optimalizace se týkala teploty taveniny, teploty formy, dotlaku, tvaru temperačních okruhů a jeho média, průměru vtokové trysky. Dále byl optimalizován vstřikovací stroj podle kapacity taveniny a uzavírací síly.

## 9 ZÁVĚR

Diplomová práce se odvíjela od zadaného výrobku, kterým byla součást interiéru osobního automobilu.

Na zadaném výrobku byla provedena zkouška plamenem na zjištění materiálu, ze kterého byl vyroben. Jako nejpodobnější byl zvolen materiál ABS+PC- SABIC Innovative Plastics US, LLC, který se hojně využívá v automobilovém průmyslu pro jeho dobré vlastnosti.

Hlavní a stěžejní částí této práce bylo narýsovat výrobek a vytvořit pro něj vstříkovací formu. Při konstrukci byl kladen důraz na co možná nejvyšší využívání normalizovaných součástí od firmy HASCO, aby bylo dosaženo co nejnižší ceny formy. Násobnost formy byla zadána jako dvounásobná s horkým vtokovým systémem. Protože je díl určen pro automobilový průmysl, je zde předpoklad velkosériové výroby, a proto by volba horkého vtokového systému byla ekonomická. Problém nastal při návrhu temperace kvůli velkému množství okruhů a složitosti tvarových částí. Byl zde tak problém s nedostatkem místa pro vedení kanálů. Při doformování výrobku bylo využito hydraulických vytahovačů, protože na výrobku byla část, která musela být odformována ještě před samotným otevřením formy. Ostatní části byly odformovány při otevírání samotné formy pomocí šikmých čepů.

Analýza v programu Moldflow byla provedena několikrát a byly při ní měněny některé podmínky jako například teploty taveniny, teploty formy, dotlaku, tvaru temperačních okruhů a jeho média, průměru vtokové trysky. Kvůli jednomu výsledku analýzy muselo dojít i k úpravě samotné vstříkovací formy v 3D modelu.

Výsledky konečné analýzy potvrdily, že konstrukční návrh vstříkovací formy je vytvořen tak, že polymer při toku dutinou formy nevykazuje chyby. Chladicí kanály dostatečně ochladí taveninu a horká vstříkovací soustava bezpečně dopraví taveninu do dutiny formy. Vybraný vstříkovací stroj byl zvolen tak, aby splňoval rozměrové podmínky formy a vstříkovací podmínky vyplývající z analýz v programu Moldflow.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [2] Prokopová, I. *Makromolekulární chemie*, 2. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2007, 13 s. ISBN 978-80-7080-662-3
- [3] 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.
- [4] Kulhánek Jan a kol. *Formy pro tváření plastických hmot*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1966. 224 s. ISBN 04-237-66
- [5] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů: vstřikování termoplastů*. Díl 1 2. upr. vyd. Brno: Uniplast, 1999. 133 s.
- [6] Staněk M. přednášky T5KF
- [7] Stoklasa, K.; *Makromolekulární chemie I.*, Zlín : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně – Fakulta technologická, 2005, 96 – 98 s.
- [8] MAŇAS, M., HELŠTÝN, J.; *Výrobní stroje a zařízení, Gumárenské a plastikářské stroje II.*, Brno: VUT, 1990. 199s. ISBN 80-214-0213-X
- [9] Barlog, P. *Bakalářská práce: Konstrukce mechanismu pro vstřikovací formy*. 1. vydání. Zlín: 2009. 12 s
- [10] Stoklasa, K.; *Zpracovatelské inženýrství I. – Základy gumárenské a plastikářské technologie*, Zlín : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně – Fakulta technologická, 2007, 8 – 10, 84
- [11] Goodship, V.; *Practical Guide to Injection Moulding*, Rapra Technology and Arburg 2004, 4 – 5 p. ISBN 1-85957-444-0
- [12] GREGOR, O. *Diplomová práce: Konstrukce vstřikovací formy pro vícekomponentní vstřikování*. 1. vydání. Zlín: 2008. 94 s
- [13] Orycon eu [online] Dostupné z WWW: <http://www.oryconeurope.com/rozvadece-orycon.html>
- [14] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů: vstřikování termoplastů*. Díl 2.1. vyd. Brno : Uniplast, 1999. 214 s. Seznam použitých symbolů a zkratk
- [15] Hasco [online]. 2000- [cit. 2008-01-03]. Dostupný z WWW: <[www.hasco.com](http://www.hasco.com)>

[16] Arburg [online]. c2001-2007 [cit.]. Arburg.com. Dostupné z WWW:

<[http://www.arburg.com/com/COM/en/products/machines/standard/allrounder\\_golden\\_edition/index.jsp](http://www.arburg.com/com/COM/en/products/machines/standard/allrounder_golden_edition/index.jsp)>.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

2D	Dvourozměrný prostor
3D	Třírozměrný prostor
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
D	Průměr
L	Délka
PA	Polyamid
PC	Polykarbonát
PE	Polyethylen
PET	Polyethylentereftalát
PMMA	Polymethylmethakrylát
POM	Polyoxymetylén
PP	polypropylen
PS	Polystyren
R	Poloměr
Ra	Drsnost povrchu



**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1.: Výrobek z recyklátu (zatravňovací dlaždice).....	16
Obrázek 2.: Vstřikovací cyklus [6] .....	19
Obrázek 3.: Plastikační jednotka .....	20
Obrázek 4.: Schéma vstřikovacího stroje: .....	21
Obrázek 5.: Šneková jednotka bez předplastikace [5].....	22
Obrázek 6.: Příklady konstrukcí zpětných uzávěrů[11].....	23
Obrázek 7.: Příklad hydraulické uzavíratelné jednotky s pomocnými válci [8].....	23
Obrázek 8.: Příklad elektromechanické uzavírací jednotky[8].....	24
Obrázek 9.: Příklad hydraulicko-mechanické uzavírací jednotky s válcem v ose stroje [8] .....	25
Obrázek 10.: Řídící jednotka vstřikovacího stroje.....	25
Obrázek 11.: Metoda vstřikování s pomocným plynem GIT [8].....	27
Obrázek 12.: Metoda vstřikování s pomocným médiem (vodou) WIT [8] .....	27
Obrázek 13.: Výrobek vyrobený dvoukomponentním vstřikováním modrý materiál č.1, bílý materiál č.2 .....	28
Obrázek 14.: Příklad možnosti zvolení dělicích rovin.....	30
Obrázek 15.: Průřez rozvodných kanálů .....	31
Obrázek 16.: Vtoková ústí .....	32
Obrázek 17.: Rozvodné bloky [13].....	33
Obrázek 18.: Vyhřívaná tryska [13] .....	34
Obrázek 19.: Vyhazovací kolíky [6].....	36
Obrázek 20.: Speciální vyhazovací kolík .....	36
Obrázek 21.: Vyhazování pomocí stírací desky .....	37
Obrázek 22.: Trubkový vyhazovač [14] .....	37
Obrázek 23.: Vyhazování pomocí lomeného kolíku [15].....	38
Obrázek 24.: Zadaný výrobek.....	44
Obrázek 25.: Násobnost vstřikovací formy .....	44
Obrázek 26.: Výrobek s tvarovými jádry, která jsou potřeba odformovat .....	45
Obrázek 27.: Posuvová čelist při uzavřené poloze .....	46
Obrázek 28.: Posuvová čelist v otevřené poloze .....	46
Obrázek 29.: Hydraulický válec .....	47
Obrázek 30.: Tvarové vložky.....	48

Obrázek 31.: Horký vtokový systém .....	49
Obrázek 32.: Temperační systém obsahuje tyto okruhy: .....	50
Obrázek 33.: Hadice (1) a obtokové můstky (2).....	51
Obrázek 34.: Vyhazovací systém.....	51
Obrázek 35.: Sestava formy.....	52
Obrázek 36.: Levá část formy .....	53
Obrázek 37.: Pravá část formy.....	53
Obrázek 38.: Vstřikovací stroj [16] .....	54
Obrázek 39.: Vysíťovaný výrobek v programu Moldflow .....	55
Obrázek 39.: Statistika sítě .....	56
Obrázek 41.: analýza umístění vtokového ústí (Gate Location).....	57
Obrázek 42.: odpor proti tečení materiálu (Flow resistance indicator) .....	58
Obrázek 43.: Blok vstřikovací formy .....	59
Obrázek 44.: Nedotečený výrobek.....	61
Obrázek 45.: Příliš vysoká rychlost smykové deformace.....	62
Obrázek 46.: Doba plnění (Fill time).....	64
Obrázek 47.:Rychlost smykové deformace (Shearrate bulk) .....	65
Obrázek 48.: Studené spoje (Weld lines).....	66
Obrázek 49.: Teplota na čele taveniny (Temperature at flow front) .....	67
Obrázek 50.: Vzduchové kapsy (Air traps) .....	68
Obrázek 51.: Tlak na konci plnění (Pressureat end offill).....	69
Obrázek 52.: Objemové smrštění při vyhození (Volumetrics srinkage at ejection).....	70
Obrázek 53.: Uzavírací síla (Clampforce) .....	71
Obrázek 54.: Celková deformace (Deflection, all effects: Deflection) .....	72
Obrázek 55.: Reynoldsovo číslo (Circuit Reynoldsnumber) .....	73
Obrázek 56.:Průměrná teplota dílu (Average temperature part).....	74
Obrázek 57.: Efektivita odvodu tepla (Circuit heatremoval efficiency).....	75

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1.: Základní rozdělení speciálních metod vstřikování .....	26
Tabulka 2.: teploty taveniny a formy při vstřikování plastů.....	39
Tabulka 3.: Vstřikovaný materiál .....	58

## SEZNAM PŘÍLOH

P 1: MATERIÁLOVÝ LIST

P 2: VÝROBNÍ DOKUMENTACE

P 3: CD DISK OBSAHUJÍCÍ:

- Diplomovou práci
- Model výrobku
- Model formy
- Analýzy