

# **Konstrukce vstřikovací formy**

Bc. Jiří Vinklárek

---

Diplomová práce  
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2012/2013

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jiří Vinklárek**

Osobní číslo: **T11174**

Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**

Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Konstrukce vstřikovací formy**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární řešení na dané téma.
2. Proveďte návrh vstřikovací formy a ověřte ji analýzami.
3. Návrh vstřikovací formy doložte výkresem sestavy s kusovníkem.
4. Proveďte zhodnocení návrhu a rozbor řešení.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

**Dle doporučení vedoucího diplomové práce.**

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Štěpán Šanda**  
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **8. února 2013**

Termín odevzdání diplomové práce: **10. května 2013**

Ve Zlíně dne 11. února 2013



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





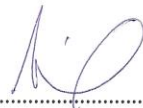
prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.  
*ředitel ústavu*

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové 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 práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <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 užit své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové 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 práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 10.5.2013



.....

<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 nevydávalečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

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

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

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

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

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

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). 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**

Tato diplomová práce se zabývá designovým návrhem výrobku a konstrukcí nástrojů (vstřikovacích forem), které jsou určeny pro výrobu tohoto výrobku. Zpracovaným výrobkem je nádoba na posypový materiál. Výrobek tvoří čtyři samostatné díly. Teoretická část práce se zaměřuje na popis polymerních materiálů, technologii pro zpracování plastů, vstřikovacího stroje a nástroje, vstřikovaných výrobků. Praktická část se zabývá designovým návrhem zpracovávaného výrobku, konstrukčním návrhem vstřikovacích forem a následným vyhodnocením tokových analýz v CAE softwarové aplikaci. Pro výrobky a jednotlivé vstřikovací formy je vyhotovena výkresová dokumentace.

Klíčová slova: polymer, zpracování plastů, vstřikovací stroj, vstřikovací forma, CAE analýzy

## **ABSTRACT**

This thesis deal with design product design and tool design (injection mold), that are intended for production of this product. Processed product is box for spreadings. The product consists of four separate parts. The theoretical part focuses on the description of polymer materials technology for plastics processing, injection molding machines and tools, injection molded products. The practical part is engaged in design study of processed product, structural design of injection molds and resulting evaluation of flow analysis in CAE software application. For individual products and injection molds are prepared drawings.

Keywords: polymer, plastics processing, injection molding machine, injection mold, CAE analysis

Poděkování:

Na tomto místě bych chtěl velmi poděkovat Ing. Štěpánu Šandovi, PhD. vedoucímu mé diplomové práce, za jeho podporu, aktivní přístup, ochotu, trpělivost a cenné rady, které mi poskytl během zpracovávání této práce.

Motto:

„Nezáleží na tom, co uděláte jednou za čas. Záleží na tom, co děláte den za dnem.“

Neznámý autor

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné. Na diplomové práci jsem pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, jsou-li uvolněny na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně, 10.5.2013

.....

Podpis diplomanta

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>12</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>13</b>
<b>1 POLYMERNÍ MATERIÁLY</b> .....	<b>14</b>
1.1 MORFOLOGIE POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ .....	15
1.1.1 Amorfnní struktura .....	15
1.1.2 Krystalická struktura .....	15
1.2 ROZDĚLENÍ POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ .....	16
1.3 PLASTOMERY .....	17
1.3.1 Termoplasty .....	17
1.3.2 Reaktoplasty .....	20
1.3.3 Elastomery .....	20
1.3.4 Termoplastické elastomery .....	21
1.3.5 Perspektiva polymerních materiálů .....	22
<b>2 TECHNOLOGIE PRO ZPRACOVÁNÍ PLASTŮ</b> .....	<b>23</b>
2.1 VSTŘIKOVÁNÍ .....	23
2.2 PRINCIP VSTŘIKOVÁNÍ .....	23
2.3 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS .....	25
2.3.1 Vstřikovací cyklus formy .....	25
2.3.2 Vstřikovací cyklus plastikační jednotky .....	26
2.3.3 pvT diagram vstřikovacího procesu .....	27
<b>3 VSTŘIKOVACÍ STROJ</b> .....	<b>28</b>
3.1 VSTŘIKOVACÍ (PLASTIKAČNÍ) JEDNOTKA .....	29
3.2 UZAVÍRACÍ JEDNOTKA .....	30
3.2.1 Mechanická uzavírací jednotka .....	31
3.2.2 Hydraulická uzavírací jednotka .....	31
3.2.3 Hydraulicko-mechanická uzavírací jednotka .....	32
3.2.4 Elektro-mechanická uzavírací jednotka .....	33
3.3 POHONNÝ SYSTÉM .....	33
3.3.1 Hydraulický pohon .....	34
3.3.2 Elektromechanický pohon .....	34
3.3.3 Hybridní pohon .....	34
3.4 ŘÍDÍCÍ SYSTÉM .....	35
<b>4 VSTŘIKOVACÍ NÁSTROJ (VSTŘIKOVACÍ FORMA)</b> .....	<b>36</b>
4.1 ZÁKLADNÍ POPIS VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	36
4.2 KONSTRUKČNÍ POSTUP PŘI NÁVRHU VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	36
4.3 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ VSTŘIKOVACÍCH FOREM .....	37
4.3.1 Konvenční (klasická) koncepce vstřikovací formy .....	37



4.3.2	Vstřikovací forma se stírací deskou .....	38
4.3.3	Vstřikovací forma s posuvnými členy .....	38
4.3.4	Vstřikovací forma s dělenou dutinou .....	38
4.3.5	Vstřikovací forma s vytáčecím mechanismem .....	39
4.3.6	Třideskový systém vstřikovací forma .....	39
4.4	ZAFORMOVÁNÍ VÝROBKU VE VSTŘIKOVACÍ FORMĚ .....	39
4.5	VTOKOVÝ SYSTÉM.....	40
4.5.1	Studený vtokový systém (SVS).....	41
4.5.2	Horký vtokový systém (HVS) .....	43
4.6	TEMPERAČNÍ SYSTÉM .....	43
4.6.1	Temperační kanály .....	44
4.6.2	Temperační média .....	47
4.7	VYHAZOVACÍ SYSTÉM .....	47
4.7.1	Mechanický vyhazovací systém .....	47
4.7.2	Pneumatický vyhazovací systém .....	48
4.7.3	Hydraulický vyhazovací systém .....	49
4.8	SYSTÉM ODVZDUŠNĚNÍ.....	49
<b>5</b>	<b>VSTŘIKOVANÉ VÝROBKY .....</b>	<b>51</b>
5.1	KONSTRUKČNÍ ZÁSADY PŘI KONSTRUKCI VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ .....	51
5.1.1	Zaformování součásti a umístění dělicí roviny .....	52
5.1.2	Tloušťka stěn.....	52
5.1.3	Úkoso a podkoso .....	53
5.1.4	Zaoblení hran a rohů .....	53
5.1.5	Žebra.....	54
5.1.6	Otvory a drážky .....	54
5.1.7	Rýhování .....	55
<b>6</b>	<b>ZÁVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI.....</b>	<b>56</b>
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>57</b>
<b>7</b>	<b>CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE .....</b>	<b>58</b>
<b>8</b>	<b>VÝROBEK.....</b>	<b>59</b>
8.1	FUNKCE A VYUŽITÍ VÝROBKU .....	60
8.1.1	Doporučené naplnění láhve.....	60
8.1.2	Doporučený úhel naklonění při sypání materiálu.....	60
<b>9</b>	<b>VÍČKO .....</b>	<b>61</b>
9.1	MATERIÁL VÝROBKU.....	61
9.2	VSTŘIKOVACÍ FORMA .....	61
9.2.1	Levá (pohyblivá) strana .....	62
9.2.2	Pravá (pevná) strana .....	64
9.2.3	Vyhazovací systém.....	65
9.3	TOKOVÉ ANALÝZY .....	66
9.3.1	Analýza určení umístění polohy vtoku – Gate Location .....	66
9.3.2	Analýza plnění včetně studených spojů .....	66

9.3.3	Analýza plnění včetně vzduchových kapes .....	68
9.3.4	Deformace výrobku .....	69
9.3.5	Vstřikovací tlak .....	69
9.4	MECHANICKÁ ANALÝZA .....	70
9.5	DISKUSE NÁVRHU VSTŘIKOVACÍ FORMY Č. 1 .....	71
<b>10</b>	<b>RUKOJEŤ .....</b>	<b>72</b>
10.1	MATERIÁL VÝROBKU .....	72
10.2	VSTŘIKOVACÍ FORMA .....	73
10.2.1	Levá (pohyblivá) strana .....	73
10.2.2	Pravá (pevná) strana .....	75
10.2.3	Vyhazovací systém .....	76
10.3	TOKOVÉ ANALÝZY .....	77
10.3.1	Analýza určení umístění polohy vtoku – Gate Location .....	77
10.3.2	Analýza plnění včetně studených spojů .....	77
10.3.3	Analýza plnění včetně vzduchových kapes .....	79
10.3.4	Deformace výrobku .....	80
10.3.5	Vstřikovací tlak .....	80
10.4	MECHANICKÁ ANALÝZA .....	81
10.5	DISKUSE NÁVRHU VSTŘIKOVACÍ FORMY Č. 2 .....	82
<b>11</b>	<b>LÁHEV .....</b>	<b>83</b>
11.1	MATERIÁL VÝROBKU .....	83
11.2	VSTŘIKOVACÍ FORMA .....	84
11.2.1	Levá (pohyblivá) strana .....	84
11.2.2	Pravá (pevná) strana .....	86
11.2.3	Vyhazovací systém .....	88
11.3	TOKOVÉ ANALÝZY .....	89
11.3.1	Analýza určení umístění polohy vtoku – Gate Location .....	89
11.3.2	Analýza plnění včetně studených spojů .....	89
11.3.3	Analýza plnění včetně vzduchových kapes .....	91
11.3.4	Deformace výrobku .....	92
11.3.5	Vstřikovací tlak .....	93
11.4	MECHANICKÁ ANALÝZA .....	94
11.5	DISKUSE NÁVRHU VSTŘIKOVACÍ FORMY Č. 3 .....	95
<b>12</b>	<b>OBJÍMKA (VÍKO) .....</b>	<b>96</b>
12.1	MATERIÁL VÝROBKU .....	97
12.2	VSTŘIKOVACÍ FORMA .....	97
12.2.1	Levá (pohyblivá) strana .....	97
12.2.2	Pravá (pevná) strana .....	99
12.2.3	Vyhazovací systém .....	100
12.3	TOKOVÉ ANALÝZY .....	102
12.3.1	Analýza určení umístění polohy vtoku – Gate Location .....	102

12.3.2	Analýza plnění včetně studených spojů .....	102
12.3.3	Analýza plnění včetně vzduchových kapes .....	104
12.3.4	Deformace výrobku .....	105
12.3.5	Vstřikovací tlak .....	105
12.4	MECHANICKÁ ANALÝZA .....	106
12.5	DISKUSE NÁVRHU VSTŘIKOVACÍ FORMY Č. 4 .....	107
<b>13</b>	<b>ZÁVĚR PRAKTICKÉ ČÁSTI.....</b>	<b>108</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>109</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>110</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>113</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>114</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>118</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>119</b>

## ÚVOD

V současnosti se polymerní materiály řadí mezi jedny z nejvýznamnějších a nepostradatelných konstrukčních materiálů, pro které je možno neustále hledat různé nové aplikace využití, zejména jako náhrady dříve využívaných konstrukčních materiálů. Využití pro různé aplikace je umožněno především díky rozvoji ve zpracovatelských technologiích. Lze předpokládat nárůst využití polymerních materiálů, jako náhrady za dříve používané konstrukční materiály, i v budoucnu. Je to především díky potenciálu těchto materiálů. I přes své výhody mají polymerní materiály i svá úskalí, a to především v oblasti jejich recyklovatelnosti a částečné závislosti na neobnovitelných zdrojích.

Díky svým vlastnostem našly polymerní materiály uplatnění především v automobilovém, elektrotechnickém a v dalších odvětvích průmyslu. Důvodem jsou jejich výhodné fyzikální, chemické a mechanické vlastnosti, které jsou schopny doplnit či zcela nahradit běžně používané konstrukční materiály. Z hlediska zpracovatelnosti jsou polymerní materiály snadno tvarovatelné a v porovnání s jinými, například kovovými materiály, je jejich energetická náročnost zpracování nižší.

Jednou z nejvíce využívaných zpracovatelských technologií je technologie vstřikování, která expandovala ve vývoji v 2. polovině 20. století. Technologie vstřikování má v současné době mnoho speciálních modifikací, jež umožňují výrobu velmi rozmanitých a komplikovaných výrobků. Mezi tyto způsoby patří vícekomponentní vstřikování (vícebarevnost, různé nekompatibilní materiály, měkké a tvrdé plasty), vstřikování sendvičových struktur (různé materiály na povrchu a uvnitř výrobku), vstřikování dutých výrobků za pomoci plynu (GIT) nebo za pomoci vody (WIT) a mnoho dalších způsobů.

Diplomová práce je zaměřena na designový návrh vstřikovaného výrobku, kterým je nádoba na posypový materiál. Tento výrobek se skládá ze čtyř samostatných částí, tudíž je nutné navrhnout čtyři nástroje pro zajištění jeho výroby. Konstrukční řešení jednotlivých výrobků i nástrojů pro jejich výrobu jsou poměrně složitá, zejména z důvodu využití více dělicích rovin. [6, 7, 8]

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

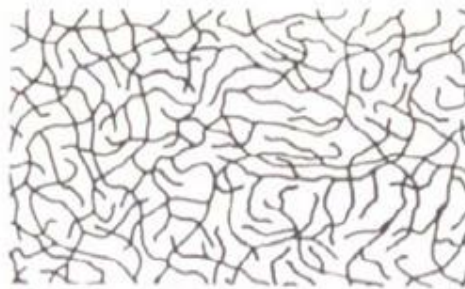


## 1.1 Morfologie polymerních materiálů

Morfologie polymerních materiálů je jinými slovy jejich nadmolekulární struktura, z čehož plyne stupeň uspořádání makromolekul. Tato nadmolekulární struktura může být popsána jako amorfni nebo krystalická. [22]

### 1.1.1 Amorfni struktura

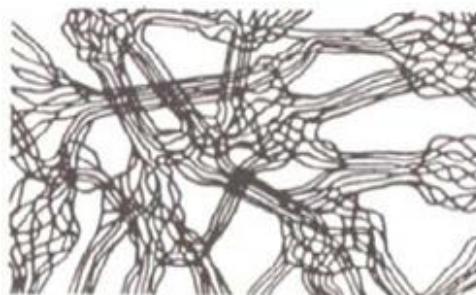
Tato struktura uspořádání makromolekul polymerních materiálů je charakteristická svým nahodilým uspořádáním. Lze stanovit, že základním morfologickým útvarem amorfni struktury jsou tzv. globuly (klubíčka). Tyto globuly mají velikost v intervalu hodnot 10 – 30 [nm]. Globuly jsou vytvořeny z chaoticky stočených makromolekul. Použitelnost amorfni polymerů je jen do teploty  $T_g$  (teplota skelného přechodu). [22]



Obr. 4. Amorfni struktura [22]

### 1.1.2 Krystalická struktura

Krystalická struktura na rozdíl od struktury amorfni vykazuje určitý stupeň uspořádání. Tento stupeň uspořádanosti se nazývá krystalinita, která nám udává relativní podíl uspořádaných oblastí, které jsou uloženy mezi jednotlivými amorfni oblastmi. Nelze dosáhnout 100 [%] krystalinity, tudíž krystalické polymery jsou nazývány semikrystalické. Tento druh polymer je možné zpracovávat do teploty  $T_m$  (teplota tání). [22]

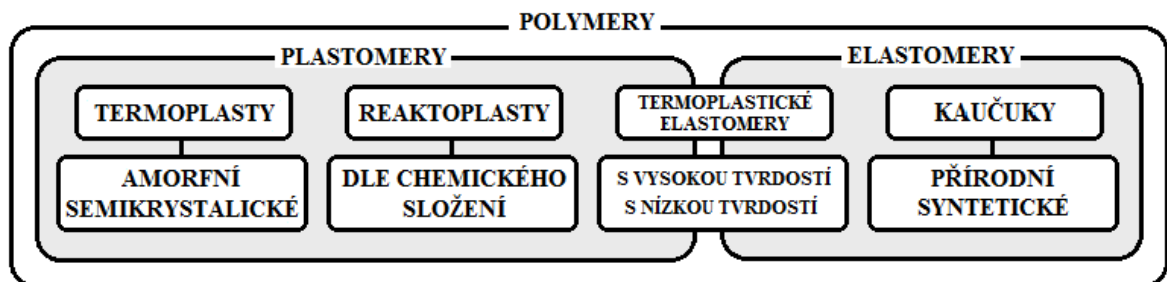


Obr. 5. Semikrystalická struktura [22]

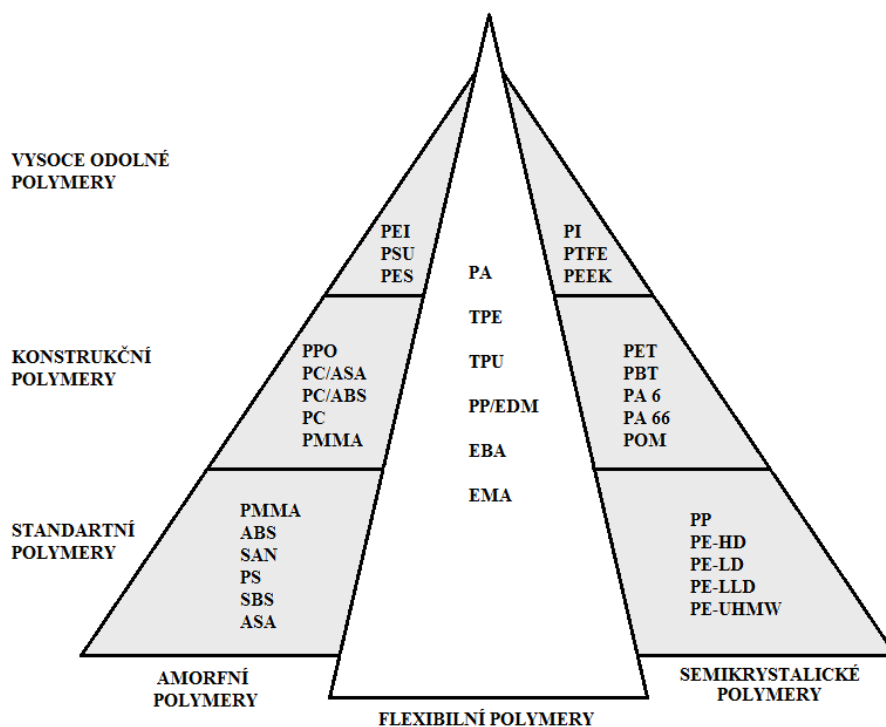
## 1.2 Rozdělení polymerních materiálů

Polymerní materiály jako takové lze rozdělit do několika skupin podle celé řady následujících faktorů. Existuje možnost dělit tyto materiály podle teplotního chování, podle původu, podle monomerních jednotek, podle chemického složení, podle druhy polymerace atd. Nejvíce využívané rozdělení polymerních materiálů je podle teplotního chování, které dělí tyto materiály do následujících skupin [2]:

- Termoplasty
- Reaktoplasty
- Termoplastické elastomery
- Kaučuky



Obr. 6. Základní rozdělení polymerních materiálů [2]



Obr. 7. Rozdělení termoplastů s ohledem na strukturu a aplikaci [2]



## 1.3 Plastomery

Plastomery (jinými slovy plasty) jsou polymery, u kterých je deformace nevratná, což znamená, že jakmile přestane působit deformující napětí, tak zůstanou nadále deformovány. Plastomery se dělí na dvě skupiny, a to termoplasty a reaktoplasty. [4]

### 1.3.1 Termoplasty

Termoplasty jako takové jsou polymery, které za působení chladu ztuhnou a tím jsou schopny bránit pohybu dlouhých molekul. Proces tuhnutí je fyzikální a vyznačuje se vznikem fyzikálních vazeb (mezimolekulární síly, vodíkové můstky). Nastane-li situace kdy se ohřejí, získají znovu schopnost téci a tím je umožněno řetězcům dlouhých molekul se po sobě hladce posouvat. Jsou opakovatelně tavitelné. Ze zpracovatelského hlediska se termoplasty řadí mezi materiály, které jsou nejvíce zastoupeny u technologie vstřikování. [2,4]

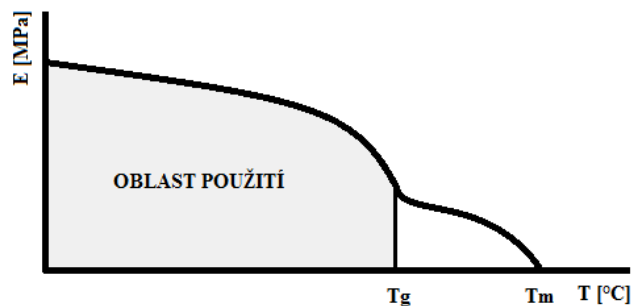
Pro každý polymer je charakterizující tzv. termomechanická křivka. Tato křivka udává teplotní závislost deformace (respektive napětí), která vzniká působením vnější síly. Tato vnější síla způsobuje konstatní deformaci. [9]

- **Přední vlastnosti termoplastů jsou [2, 4]:**
  - mech. pevnost při krátkodobé i dlouhodobé statickém i dynamickém zatížením
  - odolnost vůči korozi, chemická odolnost
  - významné dielektrické vlastnosti
  - reologické vlastnosti při toku
  - citlivost na technologické parametry
  - výrobní přesnost, optické vlastnosti
  
- **Termoplastické polymery dělíme na [4]:**
  - amorfní
  - semikrystalické

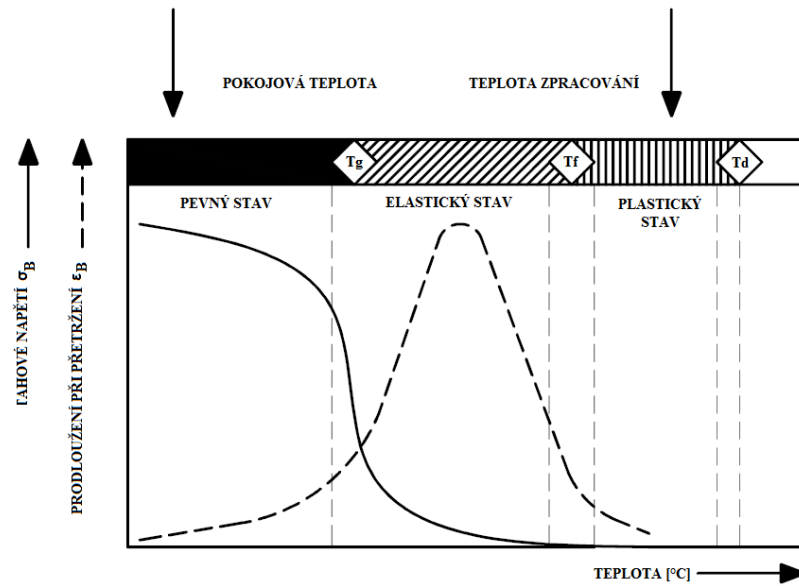
- částečně termoplastické polymery (TPE)
- **Termoplastické polymery je možno dále dělit [4]:**
  - polyolefiny a fluoplasty
  - polyamidy a polyurethany
  - polyester a polyethery
  - styrenové a akrylové polymery

### 1. Amorfní termoplasty

Jak již bylo uvedeno amorfní plasty mají zcela nahodilé uspořádání makromolekul. Do této skupiny plastů patří např. PS, PMMA, PC, apod. Tyto termoplasty jsou křehké, tvrdé, mají vysokou pevnost a modul pružnosti. Lze je dělit i podle toho jakou mají propustnost světla. Jsou tudíž průhledné až čiré. Tepelné smrštění při zpracování je mnohonásobně menší než u polymer semikrystalických. Je to způsobeno vnitřní neuspořádanou strukturou. Použití amorfních termoplastů je v oblasti pod teplotou skelného přechodu  $T_g$ . Pod touto teplotou jsou amorfní termoplasty ve sklovitém stavu a modul pružnosti se mění řádově. Konkrétní hodnota  $T_g$  je přímo závislá na velikosti makromolekulárních sil – logicky z této informace vyplývá, že čím větší jsou makromolekulární síly, tím vyšší je teplota  $T_g$ . Dojde-li k překročení teploty skelného přechodu  $T_g$ , začnou postupně slábnout vnitřní soudržné síly mezi molekuly. Následuje postupné slábnutí polymeru, kdy přechází ze stavu pevného až do stavu viskózního, při kterém je možné jej zpracovávat. Pokud by docházelo k dalšímu zvyšování teploty, dojde k degradaci plastu – rozpadu makromolekul – teplota  $T_d$ . [5, 22, 25]



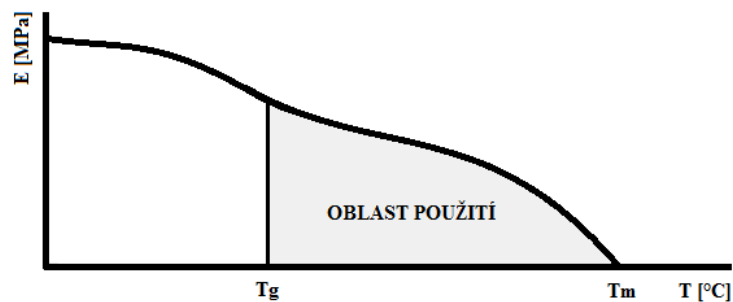
Obr. 8. Oblast použití amorfních termoplastů [5]



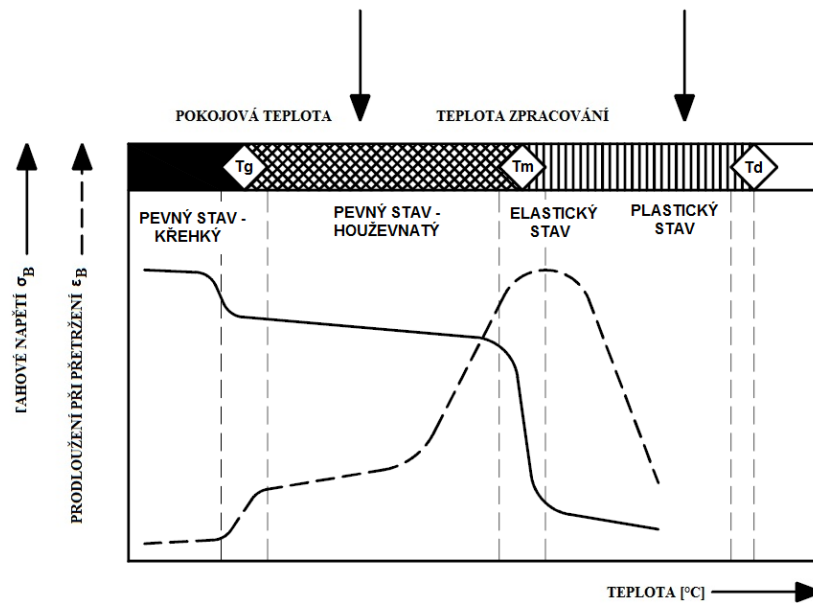
Obr. 9. Průběh deformačních vlastností u amorfního polymeru [6]

## 2. Semikrystalické termoplasty

Použití semikrystalických termoplastů je v oblasti nad teplotou skelného přechodu  $T_g$ . V této oblasti se vyskutují výhody semikrystalických polymerů a to především pevnost a houževnatost. Při ochlazování je nutné počítat s vysokým smrštěním, analogicky tomu je při ohřevu, kdy dochází k vysokému objemovému nárůstu. [5]



Obr. 10. Oblast použití semikrystalických termoplastů [5]



Obr. 11. Průběh deformačních vlastností u semikrystalického polymeru [6]

### 1.3.2 Reaktoplasty

Reaktoplasty jsou makromolekulární látky, u kterých během zpracování nastává tzv. zesíťování molekul. Tento jev se nazývá vytvrzování. Jakmile dojde k jednomu vytvrzení reaktoplastu, nelze jej již znovu roztavit. Jinými slovy lze říci, že původní molekuly nemají již možnost po sobě klouzat vlivem zesíťování, což zabraňuje roztečení materiálu i při vysokých teplotách. [2]

- **Reaktoplasty se dělí na [4]:**

- fenolytické, epoxidové, polyesterové, silikonové pryskyřice
- aminopryskyřice

### 1.3.3 Elastomery

Elastomery (pryže) jsou makromolekulární látky. Jedná se o vysoce elastický polymer, který je možno za běžných podmínek malou silou značně deformovat, aniž by se vyskytlo nějaké porušení. Deformace u těchto látek je převážně vratná (pružná). Nejpočetnějším zástupcem této materiálové skupiny je kaučuk. Pokud do kaučuku přidáme určité přísady, je možné vytvořit gumu, kterou lze následně vulkanizovat a vznikne nám pryž. Vlastnosti elastomerů lze modifikovat vznikem primárních vazeb mezi makromole-

kulami, které vznikají během procesu vulkanizace. Další modifikace je možné provádět při vzniku sekundárních vazeb, které jsou závislé na teplotě. Vulkanizace kaučukové směsi je proces fyzikálně-chemický, při kterém za působení teploty a tlaku po určitou časovou jednotku vznikne z kaučukové směsi vulkanizát. [23]

### 1.3.4 Termoplastické elastomery

Termoplastické elastomery jsou polymerní materiály, které mají při pokojové teplotě vlastnosti podobné jako elastomery, přičemž při zpracování se chovají jako termoplasty. Oproti pryžím mají elastomery výhodu tu, že odpadá nutnost vulkanizace při zachování analogických užitečných vlastností. Tento polymerní materiál je charakterizován různými teplotami  $T_g$  a  $T_m$  a je tvořen měkkými a tvrdými doménami. Mezi největší diferencí mezi klasickou pryží a termoplastickými elastomery se dá říci, že je rozdíl v uzlech sítě, konkrétně v jejich vlastnostech, které jsou u TPE fyzikální, nikoliv chemické. Vazby jsou v porovnání s konvenčními polymery mnohem silnější. Je to způsobeno tím, že energie fyzikálních vazeb je víceméně srovnatelná s energií vazeb kovalentních. Vlastnosti TPE závisí v první řadě na vlastnostech elastomeru a v řadě druhé na poměru obsahu obou fází. Jedna fáze je interpretována tvrdým a pevným stavem za pokojové teploty (polymer), druhá fáze je tekutá (elastomer). Vlivem pevné fáze mají termoplastické elastomery svoji pevnost a soudržnost. Pokud by nastala situace, že by eventuelně pevná fáze chyběla, znamenalo by to pro elastomer, že při zatížení by začal volně téci a takový polymer by byl naprosto nevyhovující. Ve okamžiku, kdy dojde k zahřátí pevné fáze na danou teplotu, stane se pevná fáze tekutou a teprve v tomto případě je polymer schopen vyplnit dutinu formy, což je základním předpokladem pro úspěšnou aplikaci ve vstřikování polymerních materiálů. [24]

#### ▪ Rozdělení TPE [24]:

##### 1. Podle chemické výstavby:

- blokové styrenové kopolymery
- polyuretany, polyetherestery
- kopolyamidy

- směsi elastomerů a termoplasty

## **2. Podle fyzikálních vlastností:**

- Měkké, víceúčelové TPE
- Tvrdší, technické TPE

### **1.3.5 Perspektiva polymerních materiálů**

V dnešní době je využití polymerů ve většině odvětví průmyslu. Ve většině těchto případech našli své využití jako náhrada za kovy. Toto dominantní místo si vydobily především menší měrnou hmotností a relativně jednoduchým zpracováním do finální podoby výrobku. Ovšem na druhou stranu je potřeba říci, že jejich mechanické vlastnosti jsou podstatně horší než u kovů. Závilost mechanických vlastností je dána především na teplotě a chování při dlouhodobém zatížení, kdy dochází k postupnému uvolňování napětí a tečení těchto materiálů. Tento jev nazýváme creep, který ztěžuje implementaci plastů. Nejen zmírnění všech těchto nedostatků, ale i jednotlivé úpravy fyzikálních vlastností se provádí mnoha způsoby. Počínaje přidáváním plniv nebo aditiv do základního materiálu až po dodatečné úpravy finálních výrobků, jako je např. ozařování. [6]

## 2 TECHNOLOGIE PRO ZPRACOVÁNÍ PLASTŮ

### ▪ Tvářecí technologie

- ohřátý materiál se tváří nad teplotou  $T_f$  (amorfní plasty) nebo  $T_m$  (semikrystalické plasty). Jde o poměrně značné množství přemístování částic.
- řadíme zde: lisování, přetlačování, vstřikování, vytlačování, válcování atd.

### ▪ Tvarovací technologie

- ohřátý materiál se tvaruje nad teplotou  $T_g$  (amorfní plasty) nebo pod  $T_m$  (semikrystalické plasty). Je to způsob, při kterém dochází k poměrně malému množství přemístování částic.
- řadíme zde: ohýbání, protahování fólií, desek, profilů, trubek atd.

### ▪ Doplňkové technologie

- tyto technologie slouží k úpravě polymerního materiálu před samotným zpracováním: míchání, sušení, granulace, vytlačování, předehřev atd.
- úpravy finálních výrobků: potiskování, natírání atd. [13]

### 2.1 Vstřikování

Technologie vstřikování se v současnosti řadí mezi jednu z hlavních technologií zabývajících se zpracováním polymerů i neželezných materiálů (např. hliník). Technologie vstřikování vyžaduje vstřikovací stroj, vstřikovací nástroj (formu), vstřikovaný materiál eventuálně i pomocné zařízení, do kterých můžeme zařadit manipulační zařízení, kontrolní zařízení atd. Podstatou vstřikování je plnění dutiny vstřikovací formy vstřikovaným materiálem v plastickém stavu vysokou rychlostí. Technologie vstřikování se řadí mezi diskontinuální technologie, je to tedy cyklický proces. Jedna z podstatných předností technologie vstřikování je ta, že lze vyrábět tvarově složité díly v jednom automatizačním cyklu. Ve většině případů lze poté odstoupit od dokončovacích operací na daném výstřiku. [11, 12]

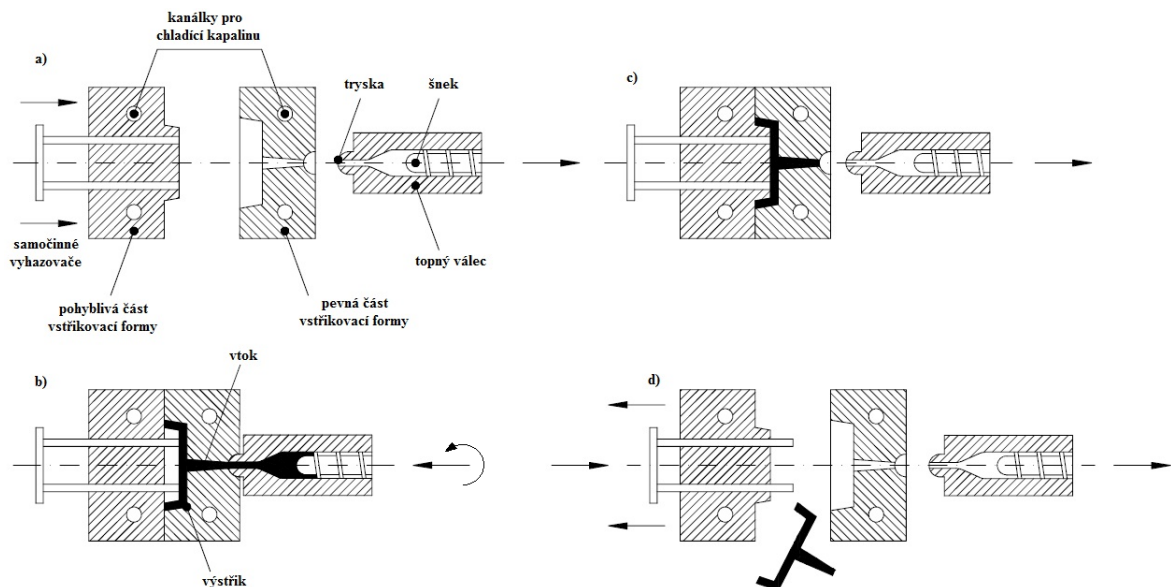
### 2.2 Princip vstřikování

Princip vstřikování spočívá v ohřevu granulátu v tavící komoře vstřikovací jednotky, kdy dojde ke změně skupenství materiálu, který je formě granulí (pevná fáze), do formy

taveniny (kapalná fáze). Tato tavenina je poté vstříknuta do dutiny formy, kde zatuhne či eventuálně zesílňuje. Princip vstřikování je znázorněn na Obr. 12 a vstřikovací cyklus stroje a nástroje na Obr. 13.

1. **fáze a)** uzavření vstřikovacího nástroje, vstřikovací jednotka je ve výchozí poloze
2. **fáze b)** přísuv vstřikovací jednotky, dosednutí na uzavřený vstřikovací nástroj
3. **fáze c)** po naplnění začíná tuhnutí, poté je eventuálně provedena dotlaková fáze
4. **fáze d)** po ztuhnutí materiálu se vstřikovací nástroj otevře, nastává vyhození výstříku

Během poslední 4. fáze probíhá v plastikační jednotce vstřikovacího stroje plastikace, pro přípravu taveniny. Po plastikaci je vstřikovací jednotka i vstřikovací nástroj připraven na další cyklus. [9,10]



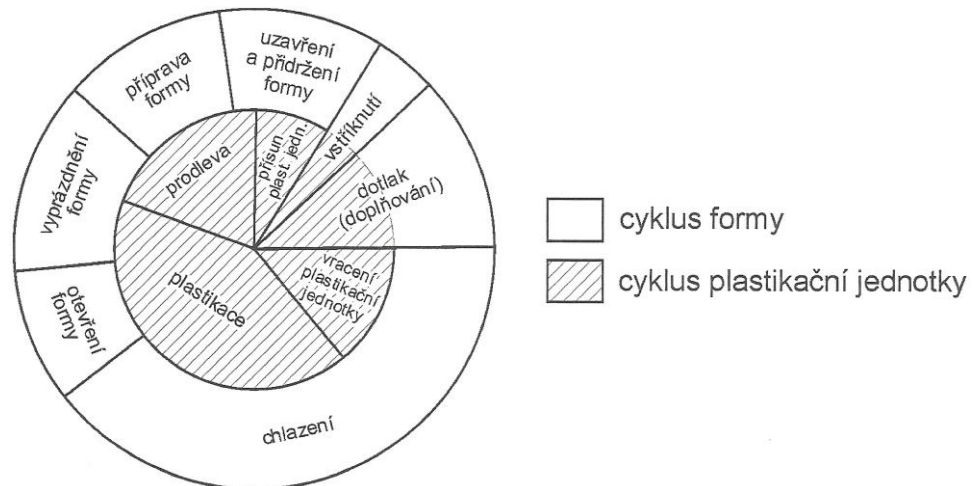
Obr. 12. Princip vstřikování [10]

Dochází-li ke vstřikování termoplastů, probíhá ve formě tzv. tuhnutí vlivem chlazení. Vstřikujeme-li kaučukovou směs, proběhne ve formě vulkanizace. Během vstřikování reaktoplátů dochází k vytvrzování. Vstřikování probíhá na vstřikovacích strojích, kde je nutné, aby stroj disponoval uzavírací jednotkou. Tato jednotka slouží k uzavírání, otevírání a vyhazování výstříku z tvarové dutiny vstřikovacího nástroje. Dále je nutné, aby stroj obsahoval vstřikovací jednotku, která slouží k transportu materiálu z prostoru plastikační jednotky do dutiny vstřikovacího nástroje. [9,10]

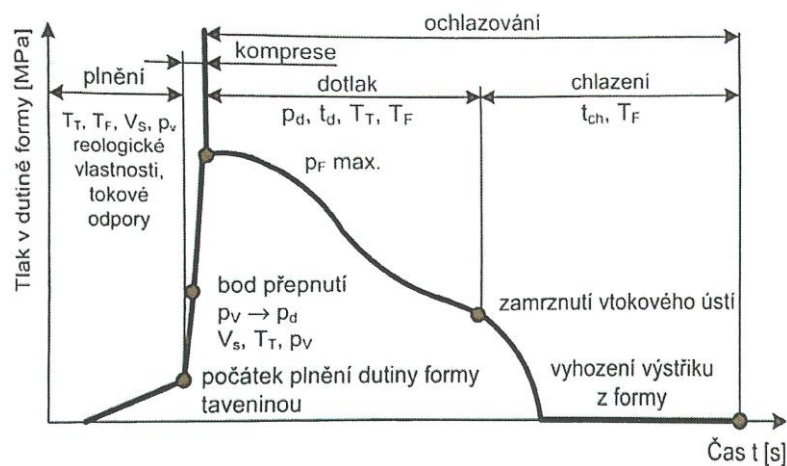


## 2.3 Vstřikovací cyklus

Grafické znázornění vstřikovacího cyklu (Obr. 13.) vstřikovacího stroje a nástroje slouží pro popis pohybů částí vstřikovacího stroje a dějů, které probíhají uvnitř vstřikovacího nástroje. Jednoznačně nám udává sled operací od začátku do konce vstřikovacího cyklu, které vedou ke zhotovení finálního výrobku. [11]



Obr. 13. Vstřikovací cyklus stroje a nástroje [11]



Obr. 14. Průběh tlaku ve vstřikovací formě během cyklu [15]

### 2.3.1 Vstřikovací cyklus formy

Vstřikovací cyklus pro vstřikovací nástroj (formu) začíná jejím uzavřením. Aby nedošlo k pootevření formy během vstřikování, je nutné, aby uzavírací síla, která působí na formu, byla větší, než je maximální dosažená hodnota tlaku uvnitř dutiny formy. Tento tlak je experimentálně zjištěn z technologických zkoušek formy. Může být i predikován pomocí

softwarových programů, které se zabývají otázkou analýz plnění tvarových dutin formy. Existují varianty, kdy je forma záměrně během vstřikování pootevřena. Toto řešení se nazývá tzv. dýchnutí formy. Používá se zejména pro vytlačení vzduchu polymerní taveninou během vstřikování a tudíž je možno formu během poměrně krátkého časového intervalu odvzdušnit. Dále nastává fáze vstřiku, kdy je tvarová dutina formy rychle zaplněna polymerní taveninou. Další fáze cyklu vstřikovací formy je dotlak. Úkol dotlaku spočívá v doplnění prostoru tvarové dutiny formy z důvodu objemového smrštění, které vzniká během tuhnutí polymerní taveniny. Dotlak musí mít menší hodnotu tlaku než je maximální vstřikovací tlak, aby se vytvořila tzv. tlaková špička. Pokud by nedocházelo k dotlaku sníženým tlakem, mohlo by dojít k poruše vstřikovacího nástroje. Dotlak je možno ze vstřikovacího cyklu vynechat. Tato varianta se využívá především v případě vstřikování tenkostěnných výrobků nebo zvláštních druhů vstřikování (lehčených výrobků, GIT, WIT). Konec dotlakové fáze je logicky ukončen v době, kdy zatuhne vtokové ústí. Další fáze je chlazení, které je spojeno s tuhnutím taveniny uvnitř tvarové dutiny formy. Jakmile dosáhneme vyhazovací teploty výstřiku, která je pro každý materiál různá, může se vstřikovací forma otevřít a za působení vyhazovacího systému dojde k vyprázdnění tvarové dutiny vstřikovací formy. Další a poslední fází cyklu vstřikovací formy je příprava formy. V této chvíli lze formu ošetřit, provést kontrolu, vkládat kovové díly nebo jiné prvky jedná-li se o metodu zástřiku atd. Poté následuje proces uzavření vstřikovací formy a celý vstřikovací cyklus se opakuje. [8]

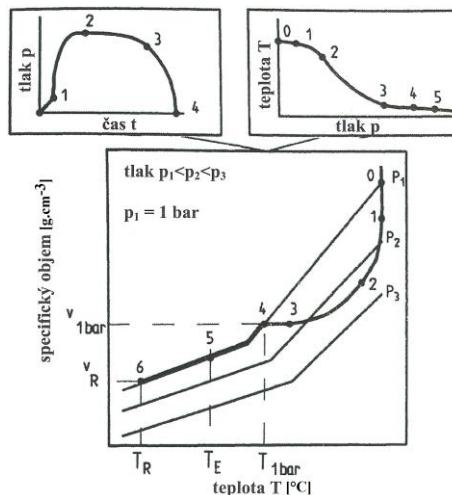
### 2.3.2 Vstřikovací cyklus plastikační jednotky

Vstřikovací cyklus plastikační jednotky začíná přísunem plastikační jednotky ke vstřikovacímu nástroji (formě). Musí být zajištěno jejich vzájemného kontaktu. Nastává fáze vstřikování, kdy dojde k vyplnění tvarové dutiny vstřikovací formy polymerní taveninou. V této fázi se šnek v plastikační jednotce chová jako píst. Z toho plyne, že svým pohybem udělí polymerní tavenině vysokou rychlost a tím je tavenina vstříknuta do tvarové dutiny formy. Po skončení fáze vstřikování, může a nemusí nastat dotlaková fáze. Tato fáze je popsána v předcházejícím odstavci. Po vyplnění tvarové dutiny formy polymerní taveninou, a po zatuhnutí vtokového ústí, se plastikační jednotka vrací do původní polohy. Do prostoru šneku se opět dostává tuhý materiál, který je ve formě granulátu. Tento granulát je za působení zvýšeného tlaku a teploty převeden z pevného stavu do stavu plastického

(tavenina). Tuto část vstřikovacího cyklu nazýváme plastikace. Šnek se v této fázi pohybuje kolem své osy a vrací se zpět do výchozí pozice. To je poloha, ve které se nacházel před vstříknutím materiálu do tvarové dutiny formy. Poslední částí vstřikovacího cyklu je tzv. časová prodleva. Tato časová prodleva je do cyklu zařazena především z důvodu přípravy vstřikovacího nástroje (formy) pro další vstřikovací cyklus. [8]

### 2.3.3 pvT diagram vstřikovacího procesu

Pro technologii vstřikování je nutné pochopit a znát aspekty, jakož jsou fyzické procesy v dutině formy z pvT diagramu. Tento diagram je využíván v praxi především technologem vstřikování, který pomocí tohoto grafického znázornění je schopen poměrně optimálně nastavit procesní podmínky pro vstřikování jako takové. [14]

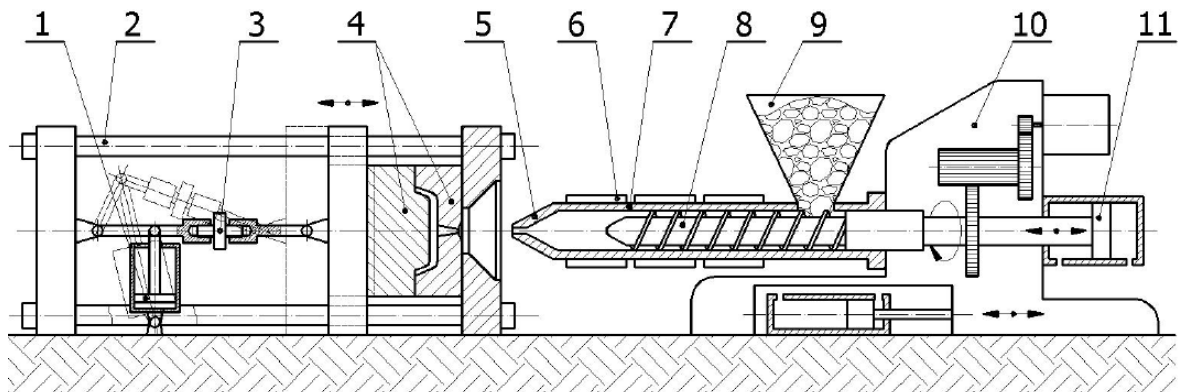


Obr. 15. Vstřikovací cyklus stroje a nástroje [11]

#### ▪ Popis:

- 0 → 1 – objemové plnění, kde dochází vysokou rychlostí k deparce materiálu do dutiny formy
- 1 → 2 – dotlak
- 2 → 3 – důsledek dotlaku
- 3 → 4 – isochorický pokles tlaku
- 4 → 5 – dochází k ochlazování na teplotu vyhazování
- 5 → 6 – dochází k ochlazování na pokojovou teplotu
- 4 → 6 – v rozmezí těchto bodů dochází k objemovému smrštění výstřiku [14]

### 3 VSTŘIKOVACÍ STROJ



1 - hydraulický válec, 2 - vodící sloup, 3 - uzavírací mechanismus, 4 - vstřikovací forma, 5 - tryska vstřikovací (plastikační) jednotky, 6 - odporové topné pásy, 7 - pracovní válec, 8 - šnek, 9 - násypka, 10 - převodová skříň, 11 - vstřikovací píst

Obr. 16. Vstřikovací stroj [8]

Vstřikovací stroj jako takový lze popsat jako zařízení, které výslovně ovlivňuje kvalitu vstřikovaných výrobků. Zajišťuje veškeré potřebné pracovní pohyby (rotační, posuvné) a vyvolává potřebné síly, tlaky (uzavírací síla, vstřikovací tlak), které jsou důležitými faktory pro proces vstřikování polymerů. Zcela pochopitelná je klasifikace (značení) vstřikovacích strojů podle mezinárodní normy. Tato norma se řídí maximální uzavírací silou a hodnotou “P”. Tato hodnota P je ukazatelem maximálního vstřikovaného objemu a maximálního vstřikovacího tlaku. [14]

$$P = \frac{V_{S(MAX)} \cdot p_{in(MAX)}}{1000} [\text{cm}^3 \cdot \text{bar}] \quad (1)$$

, kde  $V_{S(MAX)}$  – maximální vstřikovací objem na jednu plastikaci

$p_{in(MAX)}$  – maximální vstřikovací tlak [14]

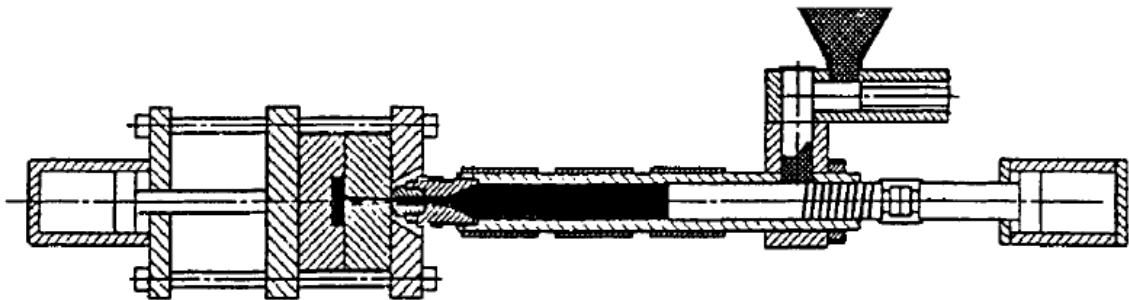
▪ **Rozdělení částí vstřikovacího stroje [14]:**

- vstřikovací (plastikační) jednotka
- uzavírací jednotka
- pohonný systém
- řídicí systém

### 3.1 Vstřikovací (plastikační) jednotka

- **Vstřikovací (plastikační) jednotka vstřikovacího stroje slouží [14]:**
  - ke zpracování materiálu (zahřátí a roztavení granulátu polymerního materiálu, který je přiveden přes násypku do prostoru pracovního válce)
  - vstřikování taveniny do tvarové dutiny vstřikovací formy
  - vytvoření potřebného tlaku při procesu vstřikování, včetně udržování vstřikovacího tlaku po celou dobu chlazení
  
- **Rozdělení podle pozice plastikace [20, 21]:**
  - Vstřikovací (plastikační) jednotka bez předplastikace
  - Vstřikovací (plastikační) jednotka s předplastikací

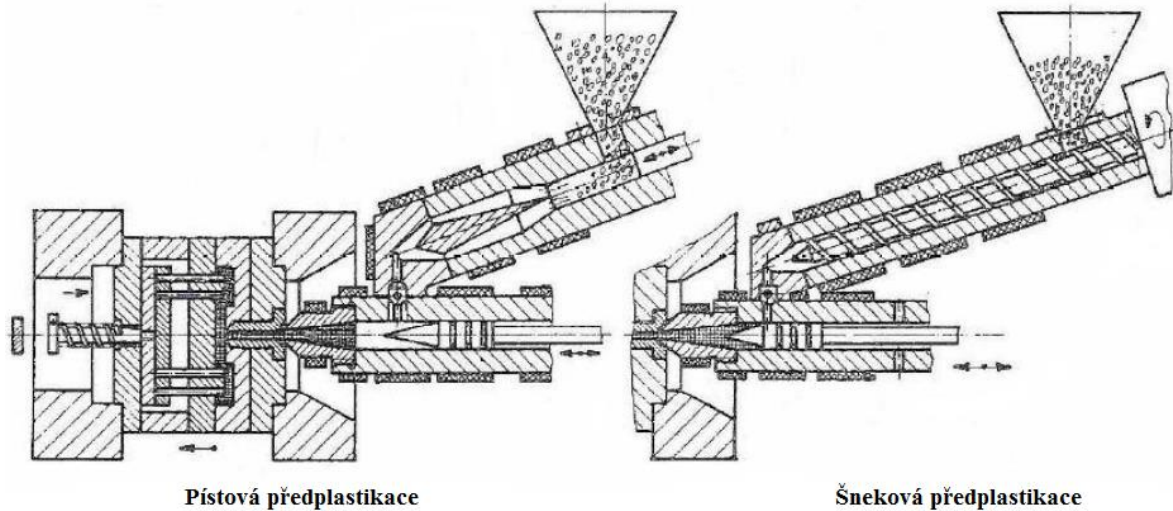
**Ad. 1)** Není-li stroj vybaven vstřikovací (plastikační) jednotkou, lze jej popsat tak, že k plastikaci polymerního materiálu ze stavu pevného do stavu plastického (kapalného) dojde v prostoru pracovního válce, tak tato plastikace se nazývá šneková. Pokud by ovšem docházelo k plastikaci v tavicí komoře, hovoříme o plastikaci pístové. [20, 21]



*Obr. 17. Vstřikovací stroj (pístový) bez předplastikace [8]*

**Ad. 2)** Konfigurace vstřikovacího stroje s jednotkou předplastikace, je charakteristická tím, že celá tato koncepce obsahuje jednu část pro tzv. plastikaci materiálu a druhá část je určena prioritně pouze pro proces vstřikování. Při aplikaci této konfigurace vstřikovacího stroje jsme schopni dosáhnout dokonalé homogenizaci materiálu (taveniny) a tím i

výraznému zkrácení vstřikovacího cyklu. Jednotka pro předplastikaci lze rozdělit stejně jako v předcházejícím případě na šnekovou či pístovou, ale samotné vstřikování je zde zajištěno pomocí zdvihu pístu. [20, 21]



Obr. 18. Vstřikovací stroje s předplastikací [8]

### 3.2 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka vstřikovacího stroje jako taková slouží k otevírání i zavírání vstřikovací formy. Samozřejmě, že při procesu vstřikování vlivem vstřikovacího tlaku vznikají síly uvnitř formy, a tyto síly se snaží danou vstřikovací formu pootevřít. Proto je nutné, aby uzavírací síla byla větší, než síly vzniklé během vstřikování (a dotlaku) uvnitř vstřikovací formy a tím se zabezpečila těsnost vstřikovací formy v průběhu plnění tvarové dutiny formy. [17, 21]

- Uzavírací jednotky se dělí na [17, 21]:
  - Mechanická uzavírací jednotka
  - Hydraulická uzavírací jednotka
  - Hydraulicko-mechanická uzavírací jednotka
  - Elektro-mechanická uzavírací jednotka

### 3.2.1 Mechanická uzavírací jednotka

U těchto typů uzavíracích jednotek jsou všechny pohyby a síly řešeny pomocí mechanického systému. [17, 21]

- **Jednokloubová páka**

- nejlevnější řešení
- využití u strojů, kde se uzavírací síla pohybuje max do 50 [tun]
- pohyb páky je zajištěn pomocí dvoučinného hydraulického válce [17]

- **Dvoukloubová páka (čtyřbodový systém)**

- počet bodů znamená počet os, kolem kterých se páky otáčejí
- využití zejména u větších strojů
- pohyb páky je zajištěn pomocí dvoučinného hydraulického válce [17]

- **Vícebodový systém (pětibodový systém)**

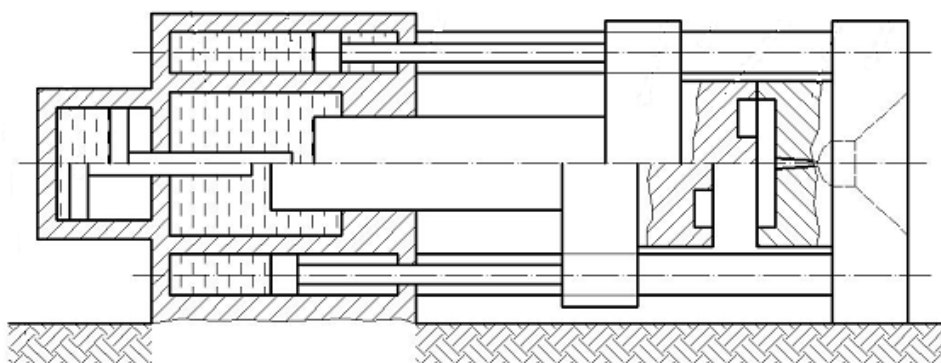
- výhodou tohoto systému je kratší délka uzavíracího systému a větší otevírací zdvih [17]

### 3.2.2 Hydraulická uzavírací jednotka

Je řízena hydraulickými prvky v hydraulickém obvodu. Charakteristickým prvkem je hydraulický válec, který vyvolává uzavírací sílu. Ve většině konstrukčních řešení těchto jednotek je na stroji umístěn ještě další hydraulický válec, zpravidla menší, který má na starosti otevírací a zavírací pohyby stroje bez nutnosti přesunu poměrně značného množství hydraulické kapaliny pod vysokým tlakem. [17,21]

Tab. 1. Výhody a nevýhody hydraulické uza. jednotky [21]

Hydraulická uzavírací jednotka	
Výhody	Nevýhody
jednoduchá konstrukce	pro generaci velkých uzavíracích sil, je zapotřebí velkých hydraulických válců
	pro dosažení velkých rychlostí je zapotřebí mít velké množství hydraulické kapaliny
velké uzavírací síly	samotný obsah hydraulického obvodu, negativně ovlivňuje náklady a požadavky na údržbu

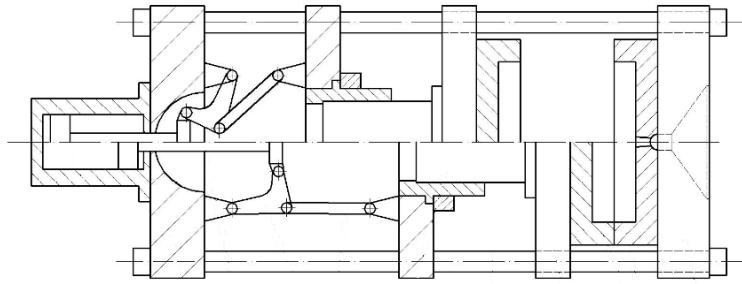


Obr. 19. Hydraulická uzavírací jednotka s pomocnými válci [21]

### 3.2.3 Hydraulicko-mechanická uzavírací jednotka

Tyto uzavírací jednotky byly aplikovány z důvodu odstranění některých vlastností, které určitým způsobem limitují samotné hydraulické uzavírací jednotky. V této konfiguraci jsou poměrně malým hydraulickým válcem ovládány kinematické systémy. Vlivem konstrukčních řešení se dospělo ke dvěma použitelným kombinacím. První konstrukční aplikace je taková, že hydraulický válec je umístěn v ose vstřikovacího stroje (Obr. 20.). Druhá konstrukční aplikace je řešena tak, že válec je umístěn mimo osu vstřikovacího stroje. Výhodou těchto uzavíracích jednotek je vysoká přísuvná rychlost, ale dosedací rychlost je minimální a to vše při malých rozměrech a hmotnostech. [17, 21]

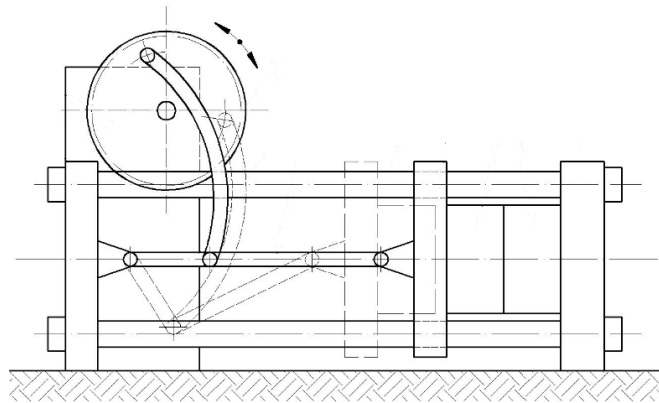




Obr. 20. Hydraulicko-mechanická uzavírací jednotka s válcem v ose stroje [21]

### 3.2.4 Elektro-mechanická uzavírací jednotka

Vlivem vysoké energetické náročnosti na přípravu tlakové energie pro pohyb hydraulických prvků v hydraulickém obvodu byly zavedeny elektromechanické uzavírací jednotky. V těchto koncepcích se využívá především elektromotorů, které udávají pohyb různým mechanismům (klikovým, vačkovým, pákovým atd.). Mezi nejvýznamější výhody těchto systémů patří jednoduchá konstrukce, umožnění automatizace vstřikovacího procesu, redukce energetické náročnosti a dosažení vysokých uzavíracích sil. [17, 21]



Obr. 21. Elektro-mechanická uzavírací jednotka [21]

## 3.3 Pohonný systém

Z názvu je patrné, že tento systém bude obstarávat veškeré pohyby vstřikovacího stroje, během vstřikovacího procesu a současně bude generovat i vstřikovací tlak. [17]

### 3.3.1 Hydraulický pohon

Využívá se zejména z ekonomického hlediska, při linerárních pohybech vstřikovací formy (otevírání a zavírání vstřikovací formy). [17]

Tab. 2. Výhody a nevýhody hydraulického pohonu [17]

Hydraulický pohon	
Výhody	Nevýhody
jednoduchá distribuce kapaliny trubkami nebo hadicemi	ztráta účinnosti při přeměně elektrické energie na hydraulickou
nejsou zapotřebí mechanické elementy (ozubená kola, hřebeny)	viskozita hydraulického oleje závisí na teplotě a tlaku
	udržovat celý systém od vzdušný a v čistotě

### 3.3.2 Elektromechanický pohon

Při využití tohoto pohonu jsou pohyby realizován vlastním servomotorem. V současné době se používají bezkartáčové AC synchronní motory. [17]

Tab. 3. Výhody a nevýhody eletromechanického pohonu [17]

Hydraulický pohon	
Výhody	Nevýhody
plynulá regulace rychlosti při vysoké přesnosti, účinnosti a nízké hlučnosti	vyšší pořizovací cena díky vyššímu počtu pohonných jednotek
	složitější a pracnější konstrukce

### 3.3.3 Hybridní pohon

Hybridní pohony spojují to nejlepší z předcházejících dvou pohonů. Vlivem využití toho nejlepšího dosáhneme optimálního pohonu pro řízení vstřikovacího stroje jako takového. Nejvyužívanějším hybridním pohonem je kombinace elektrického ovládání šneku a vstřikovací stroj je ovládán pomocí hydrauliky. [17]

### 3.4 Řídicí systém

Zcela přirozeně musí každý stroj obsahovat řídicí ústrojí, které řídí jeho veškeré pohyby a nějakým způsobem řídí jednotlivé fáze procesu vstřikování. Zabezpečuje procesní parametry procesu vstřikování v takových tolerancích, které jsou pro nás přípustné (jinými slovy, aby procesní parametry zůstaly víceméně konstantní) a tím pádem, aby byla umožněna optimalizace jednotlivých fází procesu vstřikování. Z tohoto závěru lze vypožorovat, že řídicí systém obsahuje tzv. řídicí jednotku, která má tyto již zmíněné záležitosti nastarosti. V současné době se lze bavit o řídicí jednotce jako o logickém prvku, který zajišťuje i další oblasti úzce se dotýkající samotného procesu vstřikování. A to jsou například ovládání externích zařízení, kterými jsou např. sušárny, externí temperační jednotky, snímače tlaku v tvarové dutině formy apod. Vlivem využití i těchto ostatních externích zařízení je nám umožněno proces vstřikování postavit do vysokého stupně automatizace. [17, 21]

- **Aspekty, které by měly být řízeny (nejlépe zpětnovazebně) [21]:**
  - teplota pracovního válce
  - teplota polymerní taveniny
  - teplota horkého vtokového systému (VVS – vyhřívaný vtokový systém)
  - teplota vstřikovací formy
  - otáčky šneku
  - hodnota vstřikovací rychlosti
  - hodnota tlaku a dotlaku

## 4 VSTŘIKOVACÍ NÁSTROJ (VSTŘIKOVACÍ FORMA)

Vstřikovací nástroj, jinými slovy vstřikovací forma, je zařízení, pomocí kterého lze zhotovit výrobek z plastů. Lze ji popsat jako stavebnici, kde se pomocí určitých normálií a jednotlivých konstrukčních prvků zajistí výroba daného výrobku. Z tohoto hlediska vyplývá, že více či méně je každá navržená vstřikovací forma jedinečná. Pro zajištění adekvátní kvality výroby a samotného výrobku je potřeba brát v úvahu, aby byly vhodně nastaveny procesní podmínky (parametry) stroje a nástroje. [5,17]

- **Vhodně navržená vstřikovací forma musí uplatňovat tyto aspekty [5, 17]:**
  - tvarová dutina, která udává tvar finálního výrobku, musí mít vysokou přesnost a jakost funkčních ploch a jejich podpůrných částí
  - maximální dosažitelná tuhost a pevnost jednotlivých součástí formy jako takové
  - vhodně navržený systém formy (vstřikovací systém, temperační systém) -  
vstřikovací systém = distribuce taveniny, temperační systém = chlazení taveniny
  - dosažení optimální životnosti vstřikovací formy, která je dána konstrukcí, materiálem i výrobou
  - bezproblémové odformování výstřiku, aby nedošlo k jeho deformaci, či porušení

### 4.1 Základní popis vstřikovací formy

Z celkového pohledu lze vstřikovací formu rozdělit do tří oddílů, kde každý z těchto oddílů plní přesně svou definovanou funkci [17]:

1. Vstřikovací část (nepohyblivá strana vstřikovací formy)
2. Vyhazovací část (pohyblivá strana vstřikovací formy)
3. Vyhazovací systém

### 4.2 Konstrukční postup při návrhu vstřikovací formy

Při konstrukčním návrhu vstřikovací formy musí její designér zohledňovat několik hledisek, které musí brát v úvahu při samotném konstrukčním řešení vstřikovací formy. Proto je nutné, aby takový člověk byl vzdělaný v dané problematice. Při konstrukčním návrhu

vstřikovací formy je možno definovat sled operací, kterými je nutno se nějakým způsobem řídit. [15]

- **Sled operací (činností) při konstrukčním návrhu vstřikovací formy [15]:**
  - posouzení daného výrobku z hlediska tvarů, rozměrů a vyrobitelnosti
  - určení dělicí roviny, způsobu zaformování výrobku s přihlédnutím na umístění polohy vtokového ústí a vyhození výstřiku z tvarové dutiny vstřikovací formy
  - posouzení násobnosti, umístění tvarových dutin a následně volba vtokového systému
  - stanovení koncepce systémů vstřikovací formy (vyhazovací systém, temperační systém, systém odvodu vzduchu)
  - návrh a uspořádání jednotlivých desek vstřikovací formy tak, aby přesně plnily svou danou funkci a vyhovovaly našim požadavkům pro zajištění adekvátní jakosti výroby a výrobku
  - doplnění konstrukčních prvků (normálií) pro správnou funkčnost námi navržené vstřikovací formy
  - provedení kontroly vstřikovací formy z hlediska upínání a středění na příslušný vstřikovací stroj
  - určení funkčnosti a stanovení nutných procesních parametrů pro vstřikovací proces

### 4.3 Konstrukční řešení vstřikovacích forem

Konstrukční řešení vstřikovacích forem je úzce závislé na tvaru a rozměrech vstřikovaného výrobku. Pro daný tvar výrobku se vždy musíme rozhodnout, jaká koncepce vstřikovací formy bude zcela adekvátní, aby bylo možno zajistit výrobu výrobku požadované kvality a jakosti.

#### 4.3.1 Konvenční (klasická) koncepce vstřikovací formy

Klasická koncepce vstřikovací formy je z hlediska konstrukčního řešení variantou nejméně komplikovanou. Při takovém konstrukčním návrhu vstřikovací formy je využito pouze kotevních desek, vyhazovacího systému, vtokového kanálu a tvarové dutiny. Pra-

covní pohyb je konán pouze v jednom směru, z čehož plyne, že zde nejsou použity žádné posuvové kostky, hydraulické tahače jader atd. Toto konstrukční řešení je vhodné pro výrobky bez úkosů a podkosů. [17]

#### 4.3.2 Vstřikovací forma se stírací deskou

Vstřikovací forma, která má ve své koncepci stírací desku, se víceméně neliší od klasické koncepce vstřikovací formy. Největší uplatnění toto konstrukční řešení našlo u válcovitých výstřiků, které neobsahují podkosa a úkosy. Jediná odlišnost od klasické koncepce vstřikovací formy je ta, že vyhazování neprobíhá pomocí válcových kolíků (vyhazovačů), ale pomocí stírací desky, která má daleko větší styčnou plochu pro odformování výrobku, čímž se výrazně sníží riziko deformace výrobku, vlivem vyhazování z tvarové dutiny vstřikovací formy. [17]

#### 4.3.3 Vstřikovací forma s posuvnými členy

Tato koncepce je charakteristická tím, že se jedná o vstřikovací formu, kde je již zařazeno několik dělicích rovin. A to hlavní dělicí rovina a poté jedna či více vedlejších dělicích rovin. U těchto vedlejších dělicích rovin je použito posuvových kostek, které jsou vedeny buď šikmými čepy, nebo lomenými kolíky, které umožňují posuv posuvových kostek do pozice pracovní (uzavřená forma) a poté do pozice umožňující odformování výstřiku (otevřená forma). Posuvové kostky slouží k zajištění výroby výrobků, které obsahují podkosa a další obtížně odformovatelné konstrukční prvky, jako jsou např. žebra, kapsy, slepé díry, závity atd. Existují i varianty koncepce těchto forem, že se nevyužije šikmých čepů ani lomených kolíků, ale použijí se např. hydraulické válce až po plném otevření vstřikovací formy. [17]

#### 4.3.4 Vstřikovací forma s dělenou dutinou

Vstřikovací forma s dělenou rovinou je konstrukčně řešena tak, že se využívá především u těch výrobků, kde je velké množství složitě odformovatelných elementů. Odformování probíhá odsunutím celých bloků formy, kde jednotlivé bloky obsahují jednotlivé úkosy a jiné složitě odformovatelné elementy. Posuv těchto elementů do pozic umožňující odformování výstřiku je realizováno pomocí vyhazovacích tyčí, kloubových táhel či eventuálně hydraulickým válcem. [17]

#### 4.3.5 Vstřikovací forma s vytáčecím mechanismem

Tato koncepce vstřikovací formy se využívá při výrobě výrobků s vnitřním nebo vnějším nepřerušovaným závitem, kde je současně požadována vysoká přesnost finálního výrobku. Odformování výstřiků je v tomto případě poměrně náročné zejména díky mechanismu, který je umístěn uvnitř vstřikovací formy. Tento mechanismus se skládá z centrálního a satelitních ozubených kol. K odformování výstřiků dochází při souběžném otevírání vstřikovací formy a otáčením závitových elementů, již zmíněného mechanismu uvnitř formy. Při odformování závitu musí být dodrženo jeho stoupání, a to je zajištěno pomocí předlohy matice a šroubu. Otáčení tohoto mechanismu je zajištěno buď hydraulicky, pneumaticky nebo mechanicky při otevírání formy (centrální šroub nebo ozubený hřeben). [17]

#### 4.3.6 Třideskový systém vstřikovací forma

Toto konstrukční uspořádání vstřikovací formy se využívá především v oblasti výrobků, kde je nutné oddělit vtokový systém již při otevírání vstřikovací formy. Charakteristickým znakem takového konstrukčního řešení jsou dvě dělící roviny. Při otevírání vstřikovací formy se nejprve otevře jedna část formy a poté až druhá. Při prvním otevření formy se odformuje vtokový systém od výrobku. Vtokový kužel se doformuje od vtokové vložky pomocí přidržovačů vtoku, kdy při druhém otevírání vstřikovací formy tento přidržovač při zasouvání stírá již uvolněný vtok. Následuje poslední fáze, a to vyhození výstřiku z tvarové dutiny formy pomocí vyhazovacího systému. [17]

### 4.4 Zaformování výrobku ve vstřikovací formě

Tato část konstrukčního postupu při návrhu vstřikovací formy hraje svou důležitou roli v konstrukčních koncepcích jednotlivých vstřikovacích forem. Je nutné brát v úvahu určité aspekty, které vychází z tvarů a rozměrů daného výrobku, z požadavků na funkčnost a ekonomičnost celé výroby. Dalším důležitým aspektem je určení polohy dělící roviny, a to zejména s ohledem na promítnutí její trajektorie a polohy na povrch výstřiku, a tím může dojít ke snížení jakosti a kvality povrchu finálního výrobku. Pro vhodné zvolení polohy dělící roviny jako takové je nutné brát v úvahu: [5]

- bezproblémové odformování výrobku z tvarové dutiny vstřikovací formy

- co nejjednodušší a pravidelné tvary by se měly umísťovat do hran výrobku
- z logiky věci nesmí vytvářet vzhledové defekty výrobku, a nesmí podporovat vznik dalších defektů výrobku jako takového
- umístění dělicí roviny by mělo být zvoleno s ohledem na přesnost výrobku a eventuální technologické úpravy [5]

## 4.5 Vtokový systém

Vtokový systém je samozřejmostí každé vstřikovací formy. Reprezentuje systém kanálů, který lze charakterizovat tak, že začíná těsným kontaktem s plastikační jednotkou vstřikovacího stroje a končí vtokovým ústím do tvarové dutiny vstřikovací formy. Tyto kanály slouží k dopravě taveniny do tvarové dutiny formy. Celková koncepce návrhu vtokového systému poté ovlivňuje rozměry, vzhled a vlastnosti finálního výrobku, ale také spotřebu a procentuální využití materiálu. Typ vtokového systému může být studený nebo horký. Zde se musíme rozhodnout, kterou energetickou spotřebu a náročnost vtokového systému pro daný výrobek zvolit. Je nutné vycházet z předpokladu, že se tavenina vstříkuje poměrně velkou rychlostí do relativně studené formy. Nevýhodou studeného vtokového systému je v tomto případě to, že viskozita na povrchu taveniny prudce vzroste, z čehož vyplývá, že u tohoto typu vtokového systému je za potřebí vysokých vstřikovacích tlaků. [5]

### ▪ Volba vtokového systému ovlivňuje následující aspekty [14]:

- kvalitu výstřiku
- ústí vtoku
- délku vtokových kanálů a průřezů
- procentuální využití materiálu
- tlakový pokles
- odformování



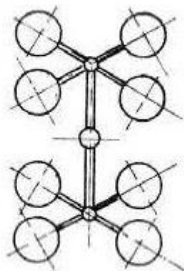
#### 4.5.1 Studený vtokový systém (SVS)

Při toku taveniny studeným vtokovým systémem nastává situace, kdy tavenina velmi rychle chladne, a tím zvyšuje svůj odpor vůči toku, proto je nutné navrhnout vtokové kanály co možná nejkratší. Na tuto informaci se váže další aspekt, který bychom měli zajistit, a to aby vtokový kanál měl minimální povrch a zároveň co největší průřez. Vlivem rychlého chládnutí se vytvoří ztuhlá povrchová vrstva, která vytvoří tepelnou izolační vrstvu. V okamžiku, kdy tavenina zcela vyplní prostor tvarové dutiny formy, dojde k výraznému nárůstu odporu a značnému poklesu průtoku. Další eventuální doplňování (dotlak) tvarové dutiny polymerem je možné pouze vlivem elastické stlačitelnosti vstřikovaného materiálu. Nelze to však do nekonečna, pouze do doby než nám zatuhne vtokové ústí. Jeho využití i přes ne zcela vhodné využití materiálu je ve spoustě případů nezbytné, zejména při vysoké násobnosti tvarových dutin ve vstřikovací formě. Zde je nutné dodržet pravidlo, aby tavenina dotekla ke všem vtokovým ústím ve stejný okamžik a při stejně velkém tlaku. Z tohoto pravidla vyplývá, že je nutné redukovat rozvodné kanály (vyvážení délek úseků rozvodných kanálů). U studených vtokových soustav se velmi často využívají jímky, které slouží k zachycení studeného čela taveniny, aby se nedostalo do tvarové dutiny formy. [5]

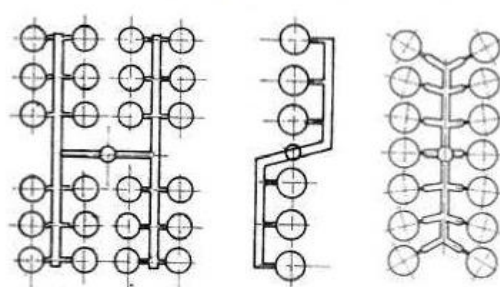
Tab. 4. Výhody a nevýhody SVS [5,19]

Studený vtokový systém	
Výhody	Nevýhody
konstrukční jednoduchost	vyšší citlivost vyvážení kanálů
nižší výrobní cena	vyšší procento odpadu
nízké udržovací náklady	větší opotřebení formy
rychlejší náběh formy	

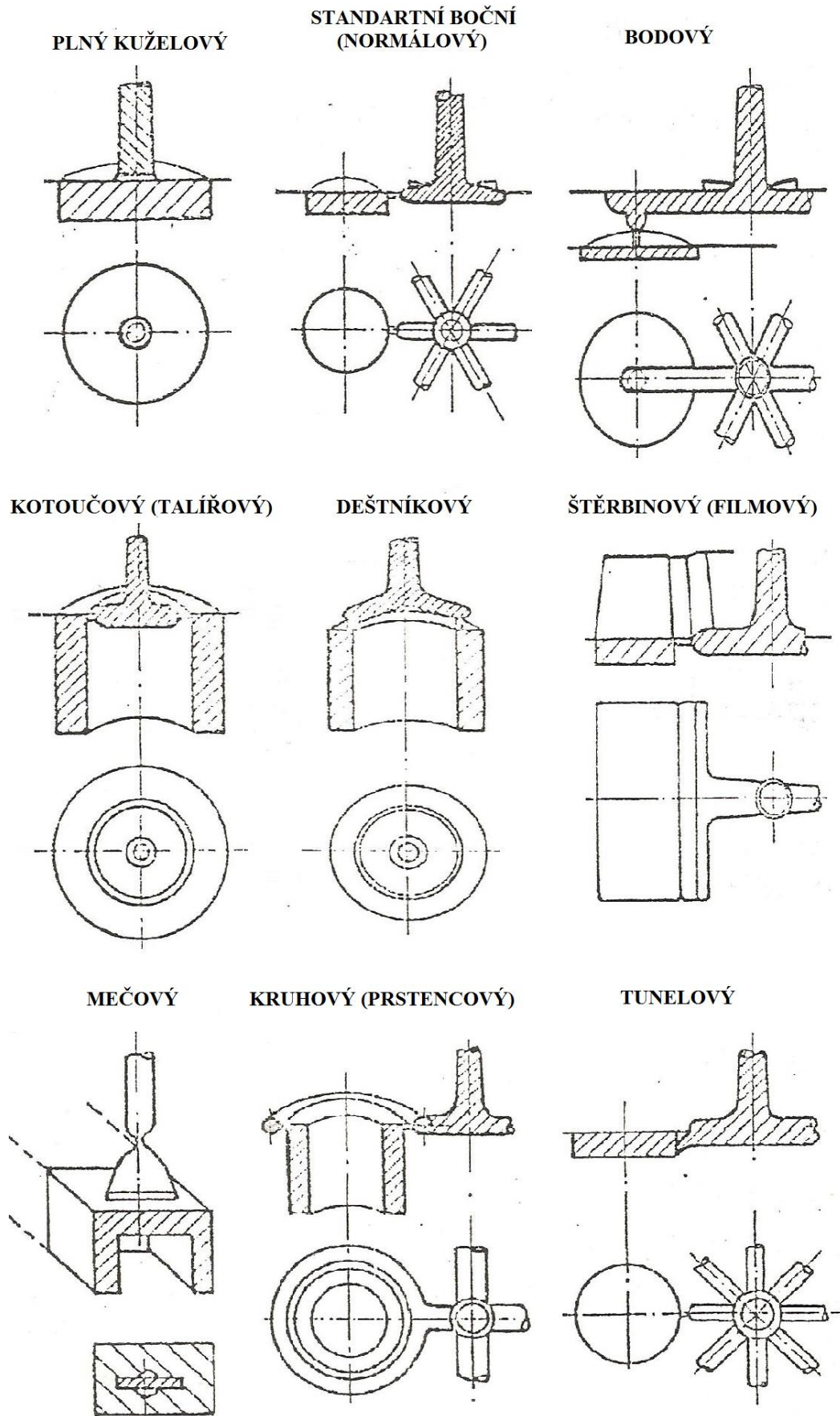
Stejná délka toku taveniny



Nestejná délka toku taveniny (nevhodné bez korekce ústí vtoku)



Obr. 22. Řadové uspořádání vtokové soustavy vícenásobných forem [30]



Obr. 23. Základní typy vtokových ústí [5]

#### 4.5.2 Horký vtokový systém (HVS)

Vedle studeného vtokového systému se využívají systémy vyhřívané. Obvykle jsou v koncepci formy spojovány do kombinace se studeným vtokovým systémem, ale existují i případy kdy jsou užity samostatně. Konstrukce těchto systémů je velmi náročná, proto se málokdy vyplatí takový systém si sami vyrábět, ale je vhodnější se obrátit na firmy, které jsou v tomto směru specializované (HASCO, GUNTHER). Princip těchto systémů spočívá vtom, že po naplnění tvarové dutiny formy daným množstvím materiálu (taveniny), tak i po tomto naplnění, zůstává polymer po celé délce HVS stále taveninou. U tohoto typu plnění se využívá pouze bodového vtoku. V místě, kde se vstříkuje by se mělo využívat čokkovi-  
tého zahloubení, aby na výstřiku nebyl příliš razantní výstupek vtokového zbytku. Horký vtokový systém se skládá z vyhřívaných trysek (nepřímo vyhřívaná, přímo vyhřívaná), které mají rozdílné ústí (hrot, bez hrotu, s více otvory) a eventuálně mohou obsahovat i uzavírací jehly (řízená pružinou, řízená pákou a vzduchovým válcem). Trysky s jehlou se používají pro polymery, které táhnou tzv. vlákno (PC). Další částí horkého vtokového systému jsou vyhřívané rozvodné bloky. Tyto bloky musí zajistit rychlý ohřev, dostatečné teploty pro optimální tok taveniny, eliminaci tepelných ztrát. [5, 19]

Tab. 5. Výhody a nevýhody HVS [5]

Horký vtokový systém	
Výhody	Nevýhody
zvýšení automatizace výroby	náročná konstrukce
zkrácení výrobního cyklu	energetická náročnost
redukce odpadovosti vstříkovaného materiálu	nutnost snímačů a regulačních prvků pro sledování teploty
redukce nákladů na odstranění nebo regenerace vtokového zbytku	vysoké pořizovací náklady
	neefektivní při malých sériích
snadná montáž, demontáž a údržba	nutnost kvalifikovanějších pracovníků

#### 4.6 Temperační systém

Temperační systém je nedílnou součástí vstříkovací formy. Jeho využití ve vstříkovací formě spočívá vtom, že slouží k regulaci a udržení konstantního teplotního pole formy. Systémem protéká temperační médium, které má za úkol již zmíněné vyvážení tep-

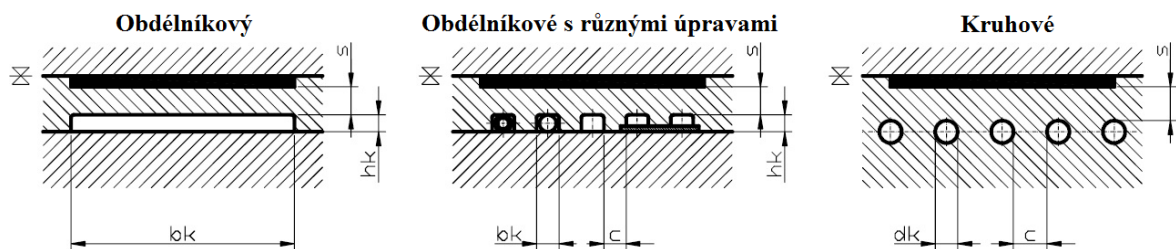
lotního pole formy, jelikož vlivem plnění tvarové dutiny formy taveninou dochází k ohřevu celé soustavy. Teplotní pole formy se pohybuje nad teplotou okolí (pokojová teplota) a pod teplotou taveniny. Teploty temperačního systému se obvykle pohybují v intervalu 30 – 120 [°C], existují ovšem i varianty, kdy se teplota pohybuje ve vyšších či dokonce nižších teplotách. Je nutné si uvědomit, že celý tento proces je z hlediska procesního inženýrství brán v úvahu jako sdílení tepla, přičemž zde probíhají určité děje, při kterých forma vyzařuje tepelnou energii do prostoru, a část tepla se snaží přestoupit i přes upínací desky na vstřikovací stroj. Proto je nutné vstřikovací formu tepelně odclonit od vstřikovacího stroje (např. izolační desky, které mohou být případně z PVC), jelikož samotný temperační systém by tomuto mechanismu sdílení tepla nebyl schopen plně konkurovat. O temperačním systému můžeme hovořit jako o nástroji, který určitým způsobem nastavuje teplotu vstřikovací formy a udává rozhodující velikost teploty výrobku, při které bude výrobek vyhozen ze vstřikovací formy. Z logiky této věci vyplývá, že délka doby chlazení je závislá na rozměrech výrobku a druhu polymerního materiálu. [10, 18]

- **Vhodně navržená koncepce temperačního systému zajišťuje [11]:**
  - optimální délku vstřikovacího cyklu, z čehož vyplývá hospodárnost (ekonomičnost) celého procesu.
  - výrobu shodných dílů, vhodnou jakost, optimální strukturu polymerních výrobků
- **Aspekty ovlivňující návrh temperačního systému [10]:**
  - aplikovaný vstřikovaný materiál výrobku
  - geometrické parametry výrobku (tvar a rozměry)
  - jakostní požadavky
  - použitý vtokový systém

#### 4.6.1 Temperační kanály

Zásada konstrukce temperačních kanálů je ta, aby se tvořilo více kanálů menších průměrů. Délka kanálů by měla být pokud možno co nejkratší, aby teplotní rozdíly na vstupu a výstupu temperačního média z temperačního systému byly malé, eventuálně nepřesáhly rozdíl teplot 5 [°C]. Musíme brát také v úvahu, že čím delší a složitější tvar temperačního okruhu máme, tím nám bude klesat tlak temperačního média. Z logiky věci vy-

plývá, že klesne průtočné množství, které zajišťuje odvod tepla z daného místa ve formě. Průměry kanálů se pohybují v rozmezí  $\varnothing 6 - 20$  [mm]. Zpravidla se  $\varnothing 6$  [mm] víceméně nepoužívá z hlediska špatné údržby, vhodnější je použití  $\varnothing 8$  [mm] a více. Nedoporučuje se zvětšování průměru temperačních kanálů nad  $\varnothing 20$  [mm], kde se již nezvětšuje intenzita odvodu tepla, dochází k negativním jevům jako jsou např. velké průtočné množství (pro zachování příslušných koeficientů přestupu tepla), a také klesá tuhost jednotlivých desek, vlivem velkých průměrů temperačních kanálů. Nejvíce využívanou geometrii temperačních kanálů je konveční vrtaná díra (kruhová geometrie). Samozřejmě existují i případy, kde nelze kvůli nějakým situacím vrtat, tam je nutné použít eventuálně frézované kanály. [10, 18]

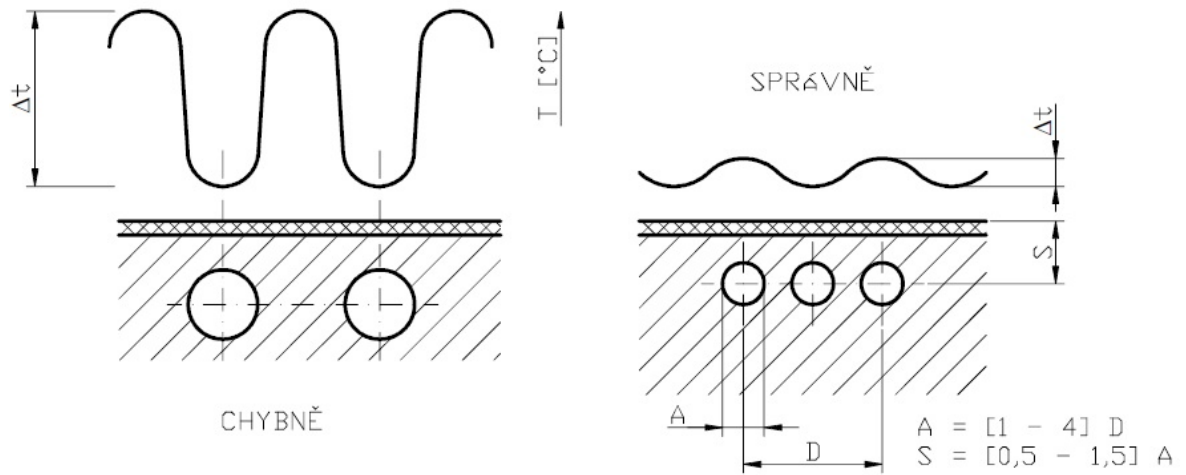


Obr. 24. Průřezy temperačních kanálů [18]

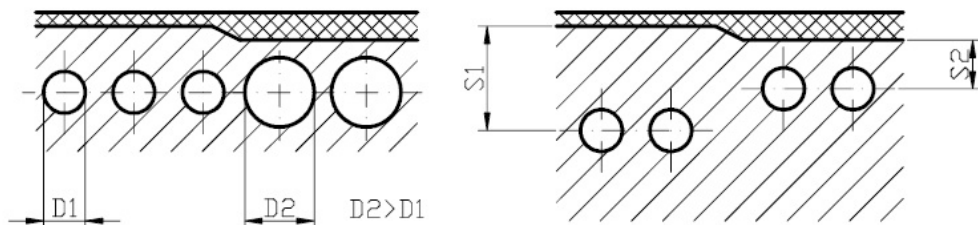
#### ▪ Umístění kanálů

- médium by mělo přecházet do nejteplejšího místa ve vstřikovací formě tak, aby docházelo ke zmenšování teplotního rozdílu ve směru dráhy toku
- limitní vzdálenost kanálu a líce formy je dána přípustným kolísáním teploty
- velikost přestupu tepla je závislá na velikost Reynoldsova kritéria (číslo)
- rychlost průtoku média temperačním okruhem by se měla pohybovat v intervalu hodnot  $< 0,5 \text{ až } 1 >$  [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ] [10,18]

**Vliv rozmístění kanálů na průběh teploty povrchu tvárnice**

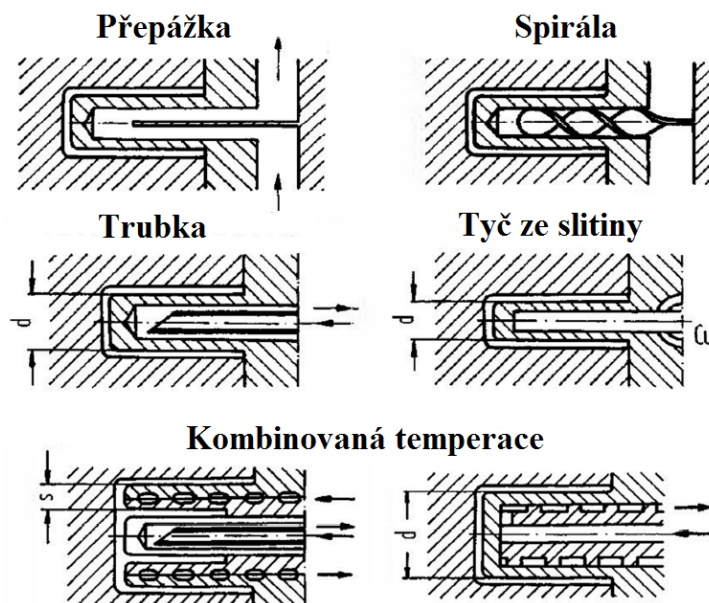


**Chlazení výlisku o různé tloušťce stěny**



Obr. 25. Vliv rozmístění temperačních kanálů [18]

Existují i jiná konstrukční řešení temperačního systému a to zejména použití topných patron, přepážek, spirál, trubek, tyčí ze slitin či eventuálně kombinace těchto prvků. Dále je možno využít tepelné trubice nebo vložky, které jsou vyrobeny z mědi. [10, 18]



Obr. 26. Temperace tvárníku [5]

#### 4.6.2 Temperační média

Mezi nejčastěji využívané temperační média patří zcela nepochybně voda, která by měla být nějakým způsobem zbavena částic, které mohou vytvářet vodní kámen a další negativní jevy. Mezi takové vody řadíme např. vodu demineralizovanou či destilovanou. Další kapaliny (média) jsou např. olej, glykol nebo i jejich různé směsi např. voda + glykol. Při proudění temperačního média temperačním systémem je zapotřebí dosahovat vysokých hodnot Reynoldsova čísla, které ovlivňuje přestup tepla. Vyskytují se i případy, kdy je forma při otevření temperována i stlačeným vzduchem. [10, 18]

Tab. 6. Základní rozdělení temperačních médií [10, 18]

Média	TEMPERAČNÍ MÉDIA	
	Výhody	Nevýhody
Voda	vysoký přestup tepla nízká cena, ekologická zavadnost	koróze, zanesení (vodní kámen) snížená použitelnost (vypařování)
Olej	odstranění vzniku koróze využití při vysokých teplotách taveniny	ekologická náročnost snížený přestupu tepla
Glykol	-	stárnutí kapaliny
Solné roztoky	využití v oblasti nízkých teplot Interval cca $< -10$ až $-25 > [^{\circ}\text{C}]$	-

#### 4.7 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém je nedílnou součástí konstrukce vstřikovacích forem jako takových. Jelikož při ochlazování výrobků ve tvarové dutině formy se výrobky smršťují, nastává situace, že výstřiky zůstávají více či méně přichyceny na tvarové dutině. Vyhazovací síla, která působí na výstřik je potřebná pro odformování výrobků z tvarových částí vstřikovací formy. Určení velikosti vyhazovací síly se provádí vzhledem na smrštění výrobku ve formě (měrný tlak mezi výrobkem a tvarovou částí dutiny formy), jakost výrobku a technologické podmínky (např. průběh teplot). Principiálně lze rozdělit vyhazovací systémy na mechanické, pneumatické a hydraulické. [18]

##### 4.7.1 Mechanický vyhazovací systém

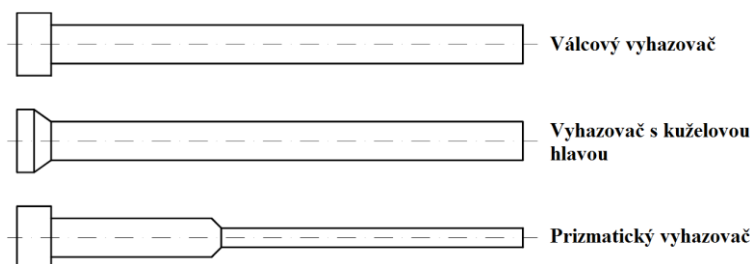
Mechanický vyhazovací systém je založený na principu, kdy je pomocí kolíků (vyhazovačů) vyhozen výrobek z tvarové dutiny formy. Tyto kolíky jsou umístěny ve vyhazovacích deskách, které jsou ovládány pomocí táhla. Při vstřikovacím cyklu je vyhazovací

system v základní poloze a po otevření formy dojde k dopřednému pohybu, kterým je výrobek odformován z tvarové dutiny formy.

▪ **Cyklus vyhazovacího systému [10, 18]:**

- dopředný pohyb, kterým je realizováno vlastní vyhazování
- zpětný pohyb, kterým je realizováno umístění vyhazovačů do základní polohy

Pro zajištění adekvátního odformování výstřiku z tvarové dutiny formy je zapotřebí vytvořit úkosovitost, která by se měla minimálně pohybovat  $0^{\circ}30'$ . Vyhazovače mohou být koncipovány jako součást tvaru dutiny formy nebo jako část tvárníku. Další vliv, který má vliv na složitost či jednoduchost odformování je i jakost povrchu. Hladký povrch se odformovává lépe, než povrch nějakým způsobem zdrsňený. Nutností je zajistit odformování rovnoměrně po celé ploše výrobku, aby nedošlo k jeho zpříčení ve tvarové dutině formy a tím k jeho poškození. Vyhazovače by se měly umísťovat tak, aby netvořily na výrobku defekty, avšak mohou vytvořit vzhledové vady. Proto je nutné vyhazovací kolíky (vyhazovače) umísťovat vždy do nepohledové strany výrobku. [10, 18]



Obr. 27. Vyhazovací kolíky – mechanické vyhazování [18]

#### 4.7.2 Pneumatický vyhazovací systém

Pneumatický vyhazovací systém našel své přednostní uplatnění především u tenkostěnných výrobků, které mají rozsáhlejší rozměry (především tvary nádob). Princip tohoto typu odformování výstřiku spočívá v přívodu vysokotlakého vzduchu mezi tvárník a výrobek. Tlakový vzduch je přiveden do dutiny vstřikovací formy pomocí ventilů (talířový, jehlový) či různé kolíky. Ventily se otvírají tlakem tlakového vzduchu a zavírají se pomocí pružiny. Tímto způsobem je umožněna optimální separace výrobku od tvárníku, omezí se tím vznik napětí a otisků vyhazovačů na výrobku. [10, 18]



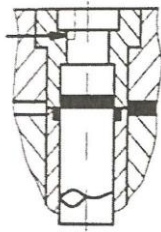
### 4.7.3 Hydraulický vyhazovací systém

Hydraulický vyhazovací systém může být součástí vstřikovacího stroje. Vyvození potřebné vyhazovací síly probíhá v hydraulické jednotce, kterou lze umístit přímo do vstřikovací formy, ovšem je nutné pro daný hydraulický prvek vymezit ve formě vhodné konkrétní místo. Ve většině případů se hydraulické vyhazování (resp. hydraulické posuvy) nacházejí u ovládání posuvových kostek, kde nahrazují buďto šikmé čepy nebo lomené kolíky. Hlavní výhodou oproti mechanickým prvkům, zaměřeným na vyhazování, mají hydraulické prvky vyšší flexibilitu a pružný pohyb. [10, 18]

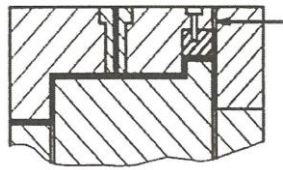
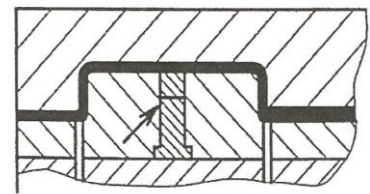
## 4.8 Systém odvzdušnění

Systém odvzdušnění vstřikovacích forem je jedním z poměrně důležitých aspektů z hlediska vhodného způsobu návrhu vstřikovací formy. Odvzdušnění poměrně značně ovlivňuje kvalitu výrobku a celkově i vstřikovací proces. Volba místa, kde přesně umístit odvzdušnění je u některých výrobků zřetelná, přičemž konstruktér je podle svých zkušeností schopen takové odvzdušnění navrhnout. U složitě tvarových dílů již nelze zcela přesně predikovat místa, pro která je vhodné umístit odvzdušnění, proto je nutné využívat různé simulační programy nebo technologické zkoušky. Vždy je třeba se nějakým způsobem řídit při návrhu formy, jakým způsobem se bude plnit tvarová dutina taveninou. Pokud by nastala situace, že by forma nebyla konvergentně odvzdušněna, mohou se objevit defekty na výrobku, čímž může dojít k nekvalitnímu vzhledu či poklesu např. jeho mechanických vlastností. Typickými znaky jsou např. nedotečení taveniny do všech prostorů tvarové dutiny formy, spálená místa na výstřiku, bubliny, nárůst poměru anizotropie, náhlý nárůst vstřikovacího tlaku atd. Z těchto důvodů je nutné navrhnout odvzdušnění tak, aby byl odvod vzduchu z tvarové dutiny formy co nejintenzivnější. Vzduch by měl odcházet nejen netěsnostmi, ale i určitými konstrukčními prvky jako jsou např. ventilký, odvzdušňovacími kanály (nebezpečí otřepů na výrobku). Provedení odvzdušnění je nejvhodnější použít na protilehlé straně vůči vtoku, kdy vzduch je tlačěn taveninou před sebou. Aspekty ovlivňující odvzdušnění je umístění vtoku, zaformování výrobku, poloha vyhazovačů, aplikace tvarových vložek. [5, 10, 15, 18]

ODVZDUŠNĚNÍ NA JÁDRĚ



ODVZDUŠNĚNÍ V TVÁRNICI

ODVZDUŠNĚNÍ V  
DĚLÍCÍ ROVINĚODVZDUŠNĚNÍ NA TVAROVÉM  
KOLÍKU

Obr. 28. Odvzdušnění forem [10]

Tab. 7. Velikosti odvzdušňovacích mezer

s ohledem na použitý polymer [18]

Polymer	Mezera [mm]
PS, ABS	do 0,05
PE, PP	do 0,04
PA	0,02 až 0,03
PPO	do 0,04
PBT	do 0,03
PC	do 0,05
POM	do 0,05
sklem plněné	0,05 až 0,08
strukturní pěny	do 0,1

## 5 VSTŘIKOVANÉ VÝROBKY

Polymerní materiály mají odlišné vlastnosti než materiály kovové. Proto je nutné se při konstrukci výrobků z polymerních materiálů řídit zcela jinými konstrukčními zásadami než je tomu u součástí z kovových materiálů. Z logiky věci vyplývá, že výrobky z polymerních materiálů nelze vyrobit v jakosti, která by se dala porovnávat s kovovými výrobky. Polymerní (plastové) výrobky jsou totiž ovlivněny celou řadou faktorů, které mají vliv na jejich jakost. Klíčové faktory ovlivňující jakost (kvalitu) výstřiku jsou znázorněny viz. (Tab. 8.). [5]

- **Ovlivňující faktory [5]:**
  - materiál výrobku
  - výrobní technologie
  - procesní parametry
  - vstřikovací nástroj (vstřikovací forma)

Tab. 8. Klíčové faktory ovlivňující jakost (kvalitu) výstřiku [5]

<b>Faktor</b>	<b>Popis</b>
<b>Smrštění při zpracování</b>	Závisí na druhu použitého polymerního materiálu, konstrukci výstřiku a technologii vstřikování
<b>Dodatečné smrštění</b>	Je příčinou uvolnění vnitřního pnutí ve výstřiku, je několikanásobně menší než smrštění při zpracování, probíhá již mimo formu a to v řádu týdnů až měsíců
<b>Tečení (creep)</b>	Tento jev nastává, je-li výstřik dlouhodobě zatížen, jev se projevuje plastickou deformací (semikrystalické polymery jsou náchylnější než amorfni)
<b>Teplotní dilatace</b>	Jedná se o děj se vratnou změnou, tato dilatace vlivem teploty je asi o řád větší než u kovů
<b>Navlhavost</b>	Během vysušení polymeru se rozměry opět zmenší

### 5.1 Konstrukční zásady při konstrukci vstřikovaných výrobků

Při designu a samotnému konstrukčnímu řešení vstřikovaných výrobků, je nutné brát v úvahu spoustu aspektů, abychom docílili výstřiku požadované jakosti (kvality). V této

podkapitole je popsána problematika jednotlivými konstrukčními zásadami pro dodržení jakosti výstřiků. [5]

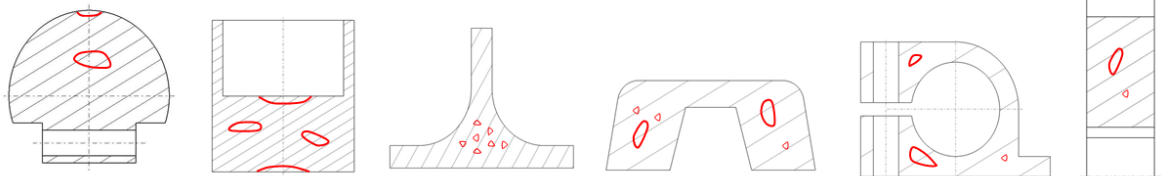
### 5.1.1 Zaformování součásti a umístění dělicí roviny

Otázka zaformování součásti a umístění dělicí roviny je ovlivněna především celkovou konstrukcí vstřikovacího nástroje (formy). Tato otázka zaformování a umístění dělicí roviny by měla být řešena na prvním místě, jelikož je poměrně úzce spjata s dalšími aspekty, které probíhají ve vstřikovacím nástroji (formě). Mezi tyto aspekty se řadí plnění tvarové dutiny formy, odvzdušnění, chlazení a odformování. Poměrně často se volí mezi těmito aspekty kompromis, jelikož není u složitých vstřikovacích nástrojů možné vyhovět všem těmto aspektům v plném rozsahu. [5]

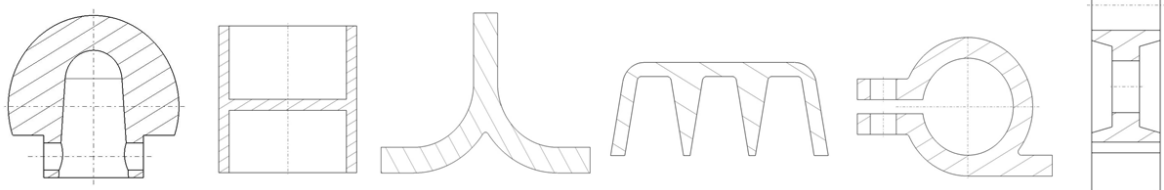
### 5.1.2 Tloušťka stěn

Polymerní materiály se při vstřikování pohybují po určité dráze. Tato dráha je úzce závislá na tloušťce stěn výstřiku. Z této informace lze predikovat, že tavenina v úzké dutině rychle chladne, naopak v místech výstřiku, kde je tloušťka stěny velká, je zapotřebí chladit o poměrně značnou časovou jednotku déle. Pokud je polymerní výrobek navržen tak, že má proměnlivé tloušťky stěn, není v takových případech tuhnutí taveniny rovnoměrné, z čehož plyne, že ve výrobku vzniká vnitřní pnutí, propadliny a různé povrchové vady. Vhodným způsobem navržený polymerní (plastový) výrobek by se měl vykazovat jednotnou tloušťkou stěny, přechody mezi jednotlivými tvarovými částmi by měly být bez ostrých hran a tloušťky bočních stěn a žebek by neměly překračovat hraniční hodnotu 80 [%] tloušťky hlavní stěny výrobku. [5]

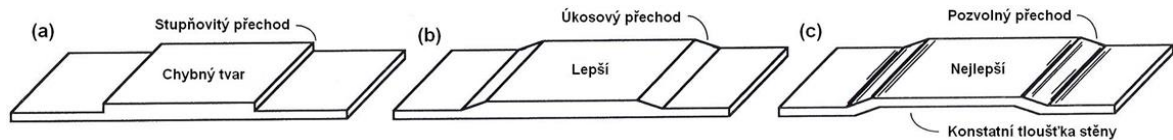
#### a) propadliny



#### b) úprava tvaru



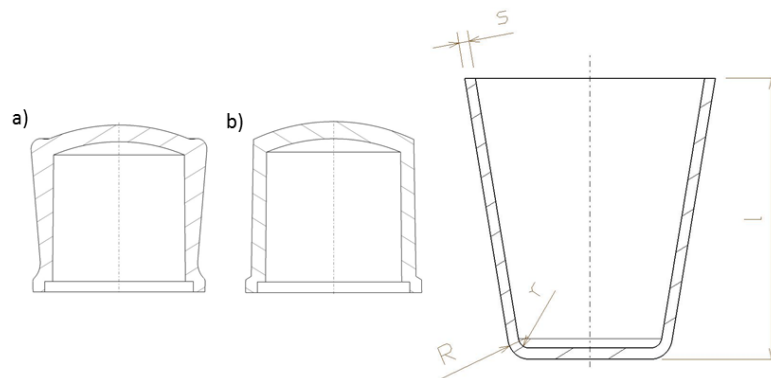
Obr. 29. Tloušťka stěn (a – nevhodné, b – vhodné) [16]



Obr. 30. Změna tloušťky stěn (a – nevhodné, b – vhodné) [16]

### 5.1.3 Úkosy a podkoso

Úkos jako takový je konstrukční prvek vstříkovaných výrobků, který se dá jinými slovy označit jako sklon stěny výstřiku kolmo na dělicí rovinu. Úkos slouží k usnadnění odformování výstřiku z tvarové dutiny vstříkovacího nástroje (formy). Velikost úkosů by se měla volit podle určitých pravidel, jelikož úkosy jsou ovlivněny smrštěním, elasticitou výstřiku, drsností stěn vstříkovacího nástroje (formy) a způsobem automatizace výroby. Jsou-li na výrobku aplikovány podkoso, dojde ke znemožnění bezporuchového odformování výstřiku z tvarové dutiny formy. Pro takové konstrukční aplikace je nutné zajistit odformování zvlášť, což výrazně zvyšuje konstrukční náročnost takto navrženého vstříkovacího nástroje (formy). Konvencí je dáno, že na vnějších plochách by se hodnota úkosu měla pohybovat přibližně kolem hodnoty  $1 [^\circ]$ . Na následujícím obrázku je možno si všimnout dvou případů, kdy případ a) je obtížně odformovatelný výstřík, naopak případ b) je opatřen úkosy a tudíž jeho odformování je usnadněno. [5]



Obr. 31. Úkosy u výstřiků [16]

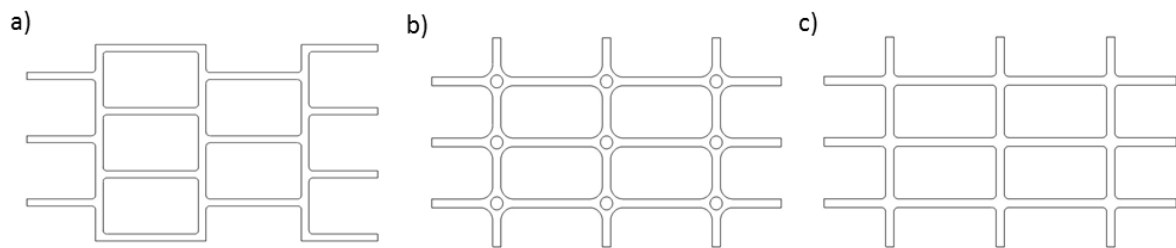
### 5.1.4 Zaoblení hran a rohů

Pokud vstříkovaný výrobek obsahuje místa, kde jsou ostré hrany či rohy, je zapotřebí vyplnit tyto místa větším vstříkovacím tlakem, což vede ke zvýšení opotřebení vstříkovacího nástroje (formy). Z hlediska materiálového se dá říci, že ostré hrany či rohy kon-

centrují napětí. Hodnota poměru rádiusu vůči tloušťce stěny ( $r/s$ ) by se měla pohybovat minimálně 0,5. [5]

### 5.1.5 Žebra

Konstrukční prvek pro zvýšení tuhosti výstřiků. Rozdělují se na technická a technologická žebra. Technická žebra jsou umístěna na výstřiku, aby zajistila zvýšení tuhosti či pevnosti výstřiku. Technologická žebra plní funkci jinou, a to takovou, že ovlivňují plnění tvarové dutiny formy, dále mohou plnit funkci takovou, aby nedošlo ke zborcení stěn. Mohou také mít funkci pro odstranění možných povrchových vad. Na následujícím znázornění (Obr. 18.) jsou interpretovány žebra technická (a, c) a technologická (b). [16]



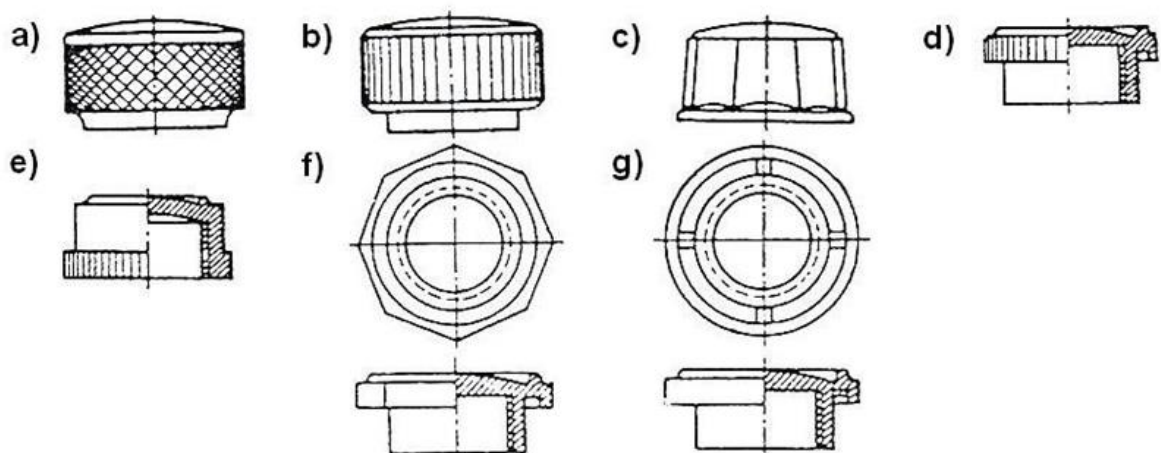
Obr. 32. Druhy žeber [5]

### 5.1.6 Otvory a drážky

Při zakomponování otvorů a drážek do tvaru výrobku by se jejich umístění mělo volit s ohledem na náročnost výroby. Takto navržený výrobek by měl obsahovat tyto prvky v takovém uspořádání, aby při výrobě nevytvářely potíže. Otvory a drážky, které jsou ve vstřikovacím nástroji (formě) umístěny kolmo na dělicí rovinu jsou zhotovovány pomocí výsuvných jader nebo čelistí. Při využití drážek a otvorů, které jsou rovnoběžné s dělicí rovinou, jsou tyto části výrobku řešeny pomocí kolíků a trnů. Tyto konstrukční části výrobku se musí volit s ohledem na jakost výrobku, což znamená umístit tak, aby nedocházelo např. k eventuálnímu praskání výstřiku v oblasti těchto míst. Praskání může probíhat např. mezi otvory a kraji výstřiku zejména tehdy, je-li vzdálenost mezi těmito prvky příliš malá. Další vliv také nesou studené spoje. Tyto spoje vznikají při obtečení taveniny daného otvoru, jsou způsobeny setkáním (spojením) dvou čel toku taveniny. [5]

### 5.1.7 Rýhování

Rýhování je konstrukční prvek, který se nejčastěji používá ke zvýšení drsnosti u výrobků, které slouží jako ovládací prvky. Pochopitelně křížové rýhování vytváří problémy při odformování, proto je vhodné používat podélné drážkování s různým osazením, ať už přímými nebo kuželovými stěnami. Na následujícím obrázku (Obr. 33.) si můžeme všimnout, že možnost a) je nevhodné využití rýhování, zatímco ostatní způsoby rýhování jsou vhodné z hlediska odformování výstřiku. [5]



Obr. 33. Způsoby rýhování a tvary ovládacích prvků [5]

## 6 ZÁVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI

Teoretická část diplomové práce podává komplexní přehled o procesu vstřikování. První kapitolou jsou polymerní materiály, které se používají pro zajištění výroby vstřikovaných výrobků. Dále se práce věnuje popisu technologie vstřikování z hlediska principu i průběhu vstřikovacího cyklu. Zvláště je popsán cyklus vstřikovací formy i plastikační jednotky. Následující kapitoly se zabývají vstřikovacím strojem a vstřikovacím nástrojem (formou). V obecné rovině jsou představeny základní části vstřikovacích strojů a obecné zásady konstrukce vstřikovacích forem včetně základních konstrukčních řešení. Poslední kapitola je zaměřena na problematiku konstrukce vstřikovaných výrobků s ohledem na specifické požadavky vyplývající z použitých materiálů (plastů).



## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 7 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem diplomové práce jsou návrhy konstrukčních řešení vstřikovacích forem pro jednotlivé výrobky a design výrobků, které budou zhotoveny pomocí technologie vstřikování. Konstrukční návrhy vstřikovacích forem a vstřikovaných výrobků jsou provedeny pomocí softwarového programu CATIA V5R18 od společnosti DESSAULT SYSTEMS. V návrzích vstřikovacích forem jsou využity normálie od firmy HASCO. Dalším krokem je ověření konstrukčních řešení vstřikovacích forem a výrobků pomocí tokových analýz, které budou zahrnovat oblast umístění polohy vtoku, oblast plnění tvarové dutiny formy včetně studených spojů a plnění tvarové dutiny formy včetně vzduchových kapes, deformace daného výrobku a graf vstřikovacího tlaku, který bude využit pro následující mechanické analýzy tvárníků jednotlivých vstřikovacích forem. U každé z jednotlivých oblastí analýz budou diskutovány závěry. Pro analýzy vstřikovacího procesu bude využito simulačního CAE programu Autodesk Moldflow Insight 2013.

### ▪ **Dané cíle diplomové práce:**

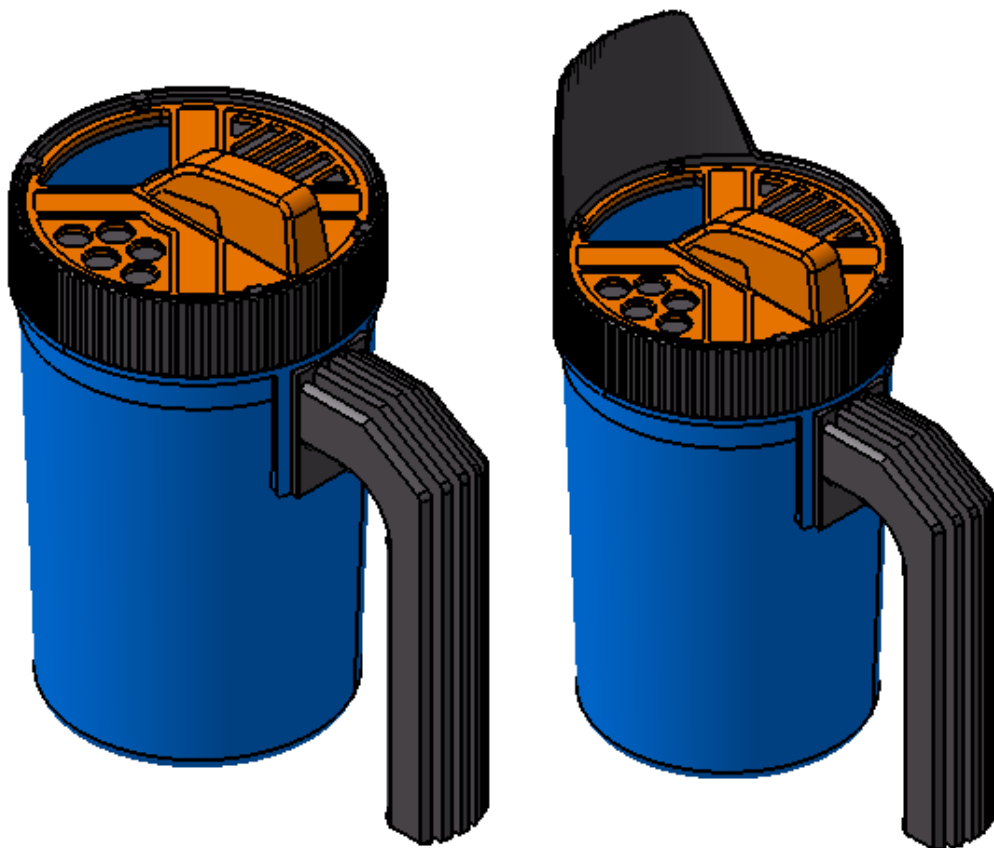
- vypracování literární rešerše na dané téma
- provést designový 3D návrh zvoleného výrobku
- provést designový 3D návrh vstřikovací formy pro finální design výrobku
- zhotovit výkresovou dokumentaci výrobku, vstřikovací formy
- daný designový návrh vstřikovací formy a výrobku ověřit tokovými analýzami
- vyhodnotit výsledky

## 8 VÝROBEK

Zadaným výrobkem byla nádoba na posypový materiál, pro kterou bylo nutné provést kompletní designový i konstrukční návrh. Sestava výrobku se skládá z láhve, rukojeti, objímky, víčka a kovového kolíku, který je při montáži vložen do víčka a slouží jako aretace.

Pro zhotovení jednotlivých návrhů bylo postupováno takto:

- posuvným měřidlem byly získány přibližné rozměry z podobného a existujícího výrobku, poté bylo provedeno několik designových návrhů jednotlivých částí výrobku
- v porovnání s existujícím výrobkem byly všechny části výrobku navrhovány dle zásad a pro technologii vstřikování
- vybrané konstrukční a tvarové řešení bylo realizováno ve 3D v programu CATIA V5R18



Obr. 34. Konečné designové návrhy sestavy výrobku

## 8.1 Funkce a využití výrobku

### 8.1.1 Doporučené naplnění láhve

Hmotnost prázdného výrobku, který na objímce (víku) neobsahuje lopatku je 0,262 [kg]. Hmotnost prázdného výrobku s lopatkou na objímce (víku) je 0,27 [kg.]

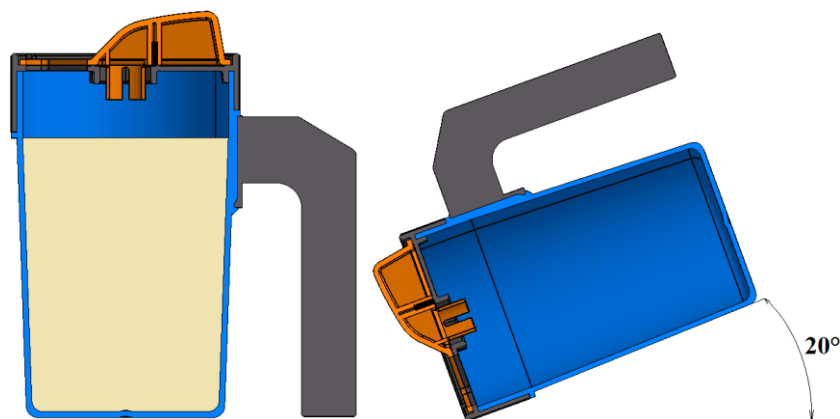
Z hlediska následného vyprazdňování při posypu je vhodné naplnit výrobek pouze do  $\frac{3}{4}$  jeho objemu z důvodu hmotnosti a funkce. Jednou z možných náplní je průmyslová posypová sůl (chlorid sodný) s hustotou 2160 [kg.m<sup>-3</sup>].

Objem láhve je  $8,499 \cdot 10^{-4}$  [m<sup>3</sup>]. Pokud výrobek naplníme posypovou solí až po okraj, tak by celková sestava bez lopatky měla hmotnost 2,098 [kg] a sestava s lopatkou 2,106 [kg].

S ohledem na doporučené naplnění láhve do  $\frac{3}{4}$  klesne hmotnost solničky bez lopatky na 1,639 [kg] a s lopatkou na 1,647 [kg].

### 8.1.2 Doporučený úhel naklonění při sypání materiálu

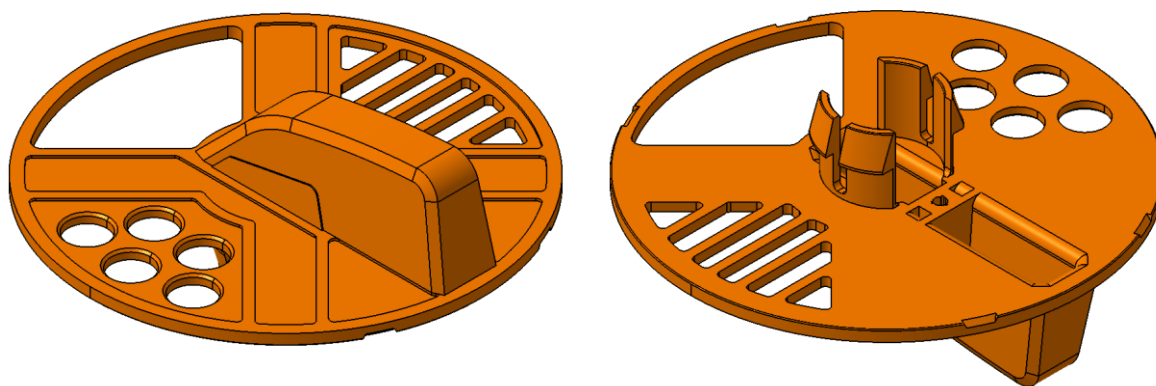
Optimální úhel naklonění láhve naplněné materiálem do  $\frac{3}{4}$  její výšky při sypání je přibližně 20°. Tento úhel umožní plynulé vyprazdňování láhve bez případného ucpání hrdla.



Obr. 35. Doporučené naplnění láhve, doporučený úhel naklonění

## 9 VÍČKO

Designový návrh víčka (Obr. 36.) je proveden tak, že obsahuje tři kvadranty, které slouží k redukci sypaného množství (sůl, písek, aj.) a čtvrtý kvadrant slouží jako zcela uzavírací část. Jeden kvadrant je otevřen pro sypání materiálu, druhý kvadrant obsahuje otvory o průměru 9 [mm] a třetí kvadrant obsahuje drážkování ve vertikálním směru pohybu sypaného materiálu, což umožní jeho lepší propustnost, než pokud by drážky byly umístěny horizontálně. Na spodní straně výrobku je umístěna část, která slouží jako prvek pro zacvaknutí do objímky (víka) a také část, která bude sloužit k aretaci víčka při jeho otáčení (do této části bude při montáži zasazen válcový kolík).



Obr. 36. Designový návrh víčka

### 9.1 Materiál výrobku

Jako materiál výrobku byl zvolen PC (Polykarbonát). Tato volba materiálu byla provedena zejména kvůli tomu, že PC je konstrukční polymer a víčko bude poměrně často namáháno za funkční část, kterou je zajištěno potáčení víčka. Velikost smrštění PC je přibližně 1 [%]. Pro analýzy v CAE programu byl zvolen materiál Makrolon 2607 od společnosti Bayer MaterialScience.

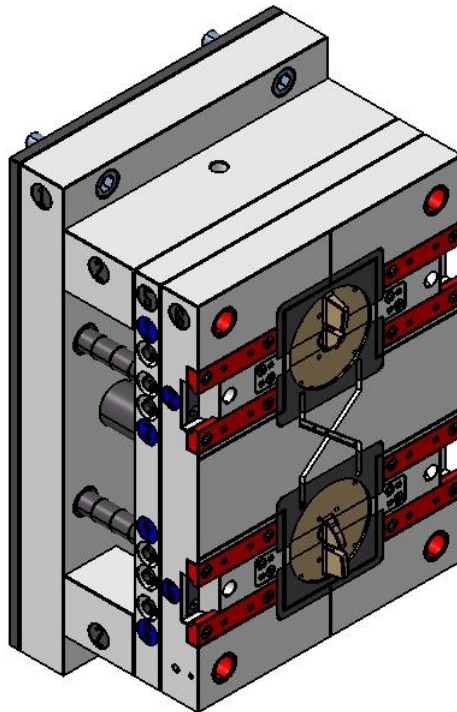
### 9.2 Vstřikovací forma

Jedná se o koncepci konstrukce vstřikovací formy s posuvnými členy. Forma je složena z levé (pohyblivé), pravé (pevné) strany a vyhazovacího systému (válcové vyhazovače). Násobnost vstřikovací formy byla zvolena 2 s ohledem na tvar a velikost výrobku. Vstřikovací forma má dvě dělicí roviny, jednu hlavní a druhou vedlejší. Barevně

odlišené plochy na tvárníku a tvárnici, jsou z důvodu názornosti, aby bylo zcela patrné, které plochy jsou v kontaktu s polymerním materiálem při vstřikování. Nejedná se tedy o tvarové vložky, jak by mohlo být na první pohled patrné. Ke zvýšení tuhosti celé vstřikovací formy byly použity podpůrné sloupky, které jsou umístěny mezi upínací a opěrnou deskou levé části formy (v prostoru pro pohyb vyhazovacích desek). Na vstřikovací formě jsou umístěny jak popisy jednotlivých desek, tak popisy vstupů a výstupů temperačního média do prostoru temperačního systému vstřikovací formy. Tyto popisy slouží zejména pro usnadnění práce lidem, kteří provádí montáž a údržbu vstřikovací formy.

### 9.2.1 Levá (pohyblivá) strana

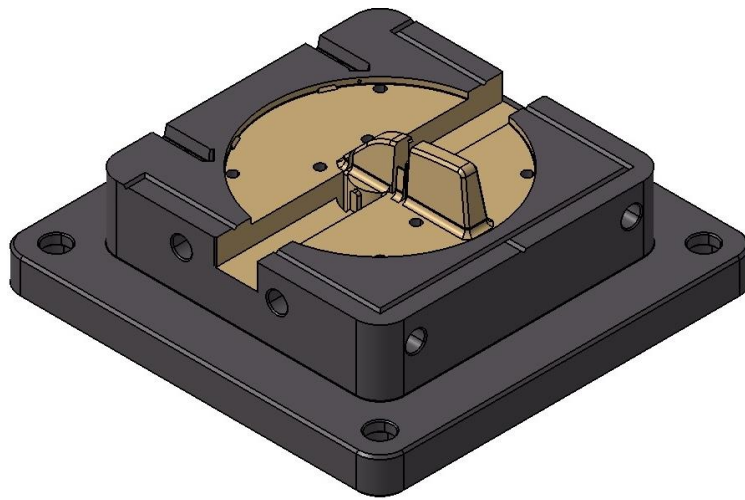
Skládá se ze středícího kroužku, izolační, upínací desky, rozpěrných desek, opěrné desky a kotevní desky. Dalšími komponenty jsou tvárník, kluzné vložky, vodící pouzdra, čepy, posuvové kostky, opěrné sloupky atd. Temperační systém této strany formy je tvořen konvenční metodou, tedy vrtanými kanály o průměru 8 [mm] a dvěma přepážkami o průměru 8 [mm] zajišťující rovnoměrné teplotní pole v oblasti pružného prvku na výrobku (Obr. 37.). Odvzdušnění této části formy je provedeno frézovanými drážkami.



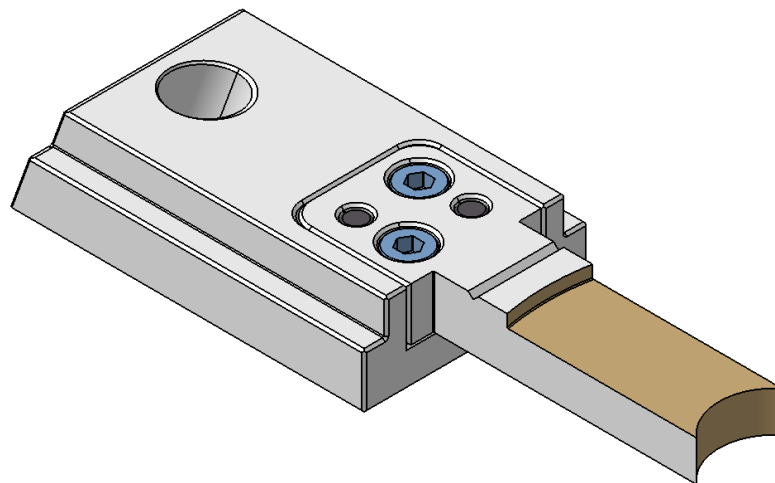
Obr. 37. Pohled do levé DR

Tvárník (Obr. 38.) je tvořen jednou pevnou částí a dvěma pohyblivými částmi (posuvové kostky), které slouží k odformování pružného prvku na výrobku. Na následujícím

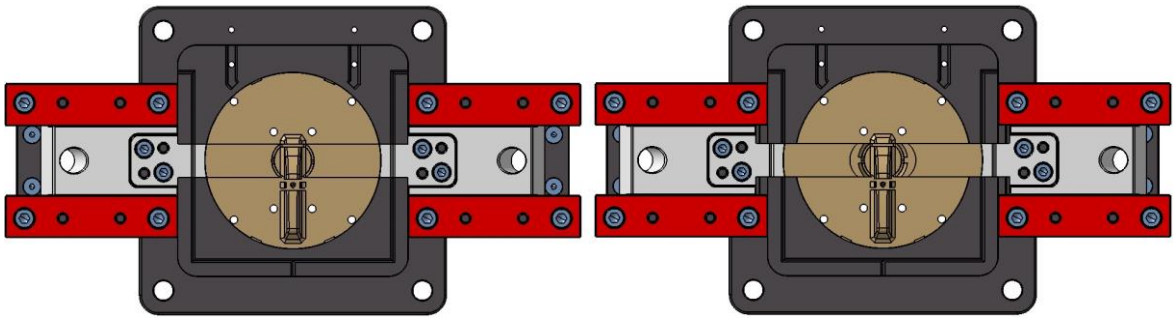
obrázku je viditelný tvárník při uzavřené a otevřené formě (Obr. 40.). Velikost pohybu posuvových kostek je 6,094 [mm]. Tato hodnota je zvolena záměrně větší, než je nutné, aby bylo zajištěno bezproblémové vyhazování (odformování) výrobku a byla tak vytvořena dostatečná vůle umožňující vyhazovací pohyb výrobku z tvarové dutiny formy. Posuvové kostky jsou záměrně vytvořeny ze sedla a jádra, tedy ze dvou částí. Toto konstrukční řešení je provedeno zejména kvůli tomu, že se může kterákoli část poškodit a následná oprava či výměna se může provést pouze na jedné součásti. Pokud by byla posuvová kostka (Obr. 39.) vyrobená z jednoho dílu, mohly by být náklady na opravu daleko vyšší, zejména pokud by se jednalo o totální poškození dílu.



Obr. 38. Tvárník



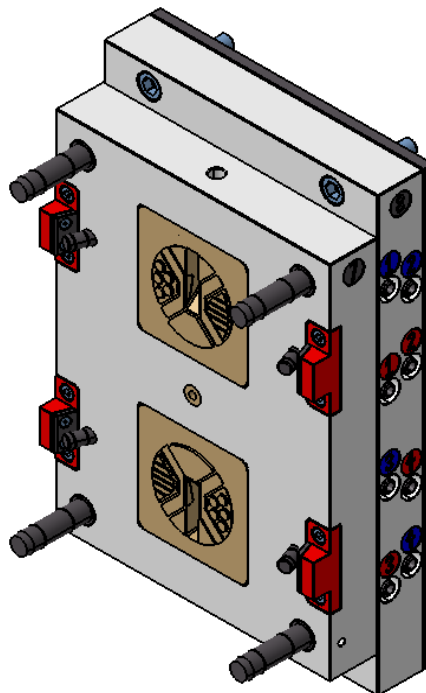
Obr. 39. Posuvová kostka



Obr. 40. Tvárník – uzavřený, otevřený

### 9.2.2 Pravá (pevná) strana

Skládá se ze středícího kroužku, izolační, upínací a kotevní desky, středících trubek a čepů. Vtokový systém je zvolen studený, který je složen z vtokové vložky, rozvodných kanálů a tunelového vtokového ústí. Temperační systém této strany vstříkovací formy je zhotoven konvenční metodou vrtaných kanálů o průměru 8 [mm]. Na této straně vstříkovací formy jsou šikmé čepy, které slouží jako vodící prvky pro posuvové kostky a také jsou zde umístěny zámky, které slouží jako opěrná část posuvových kostek (Obr. 41.).

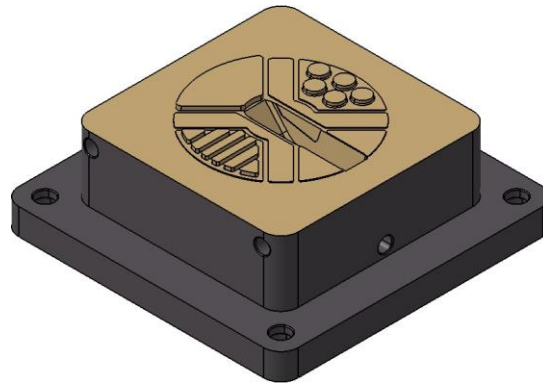


Obr. 41. Pohled do pravé DR

Tvárnice (Obr. 42.) je navržena tak, že tvaruje část určenou pro následující manipulaci (pootáčení) víčka. Dalšími prvky, které tvárnice tvoří, jsou jednotlivé kvadranty víčka,



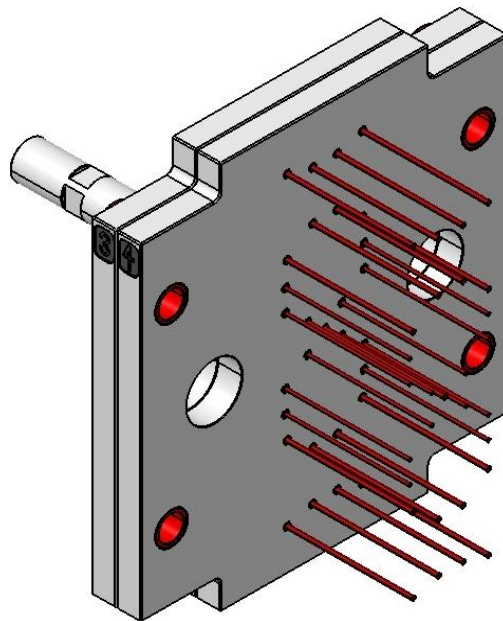
a to kvadrant pro plné sypaní materiálu, kvadrant s otvory o průměru 9 [mm], kvadrant s drážkováním a v poslední řadě kvadrant, který má sloužit k úplnému uzavření láhve.



Obr. 42. Tvárnice

### 9.2.3 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém (Obr. 43.) je tvořen táhlem, vodícími pouzdry, opěrnou, kotevní deskou a válcovými vyhazovači. Vyhazovače jsou rozděleny do dvou skupin. Jedna skupina je v přímém kontaktu s výrobkem, tudíž se soustředí na vyhazování výrobku jako takového z tvarové dutiny vstříkovací formy. Druhá skupina se zaměřuje na vyhození vtokového zbytku a přidržovače vtoku z prostoru vstříkovací formy. Ve vyhazovacích deskách jsou provedena vybrání, která slouží jako prostor pro opěrné sloupky. Zdvih vyhazovacího systému je 32 [mm].

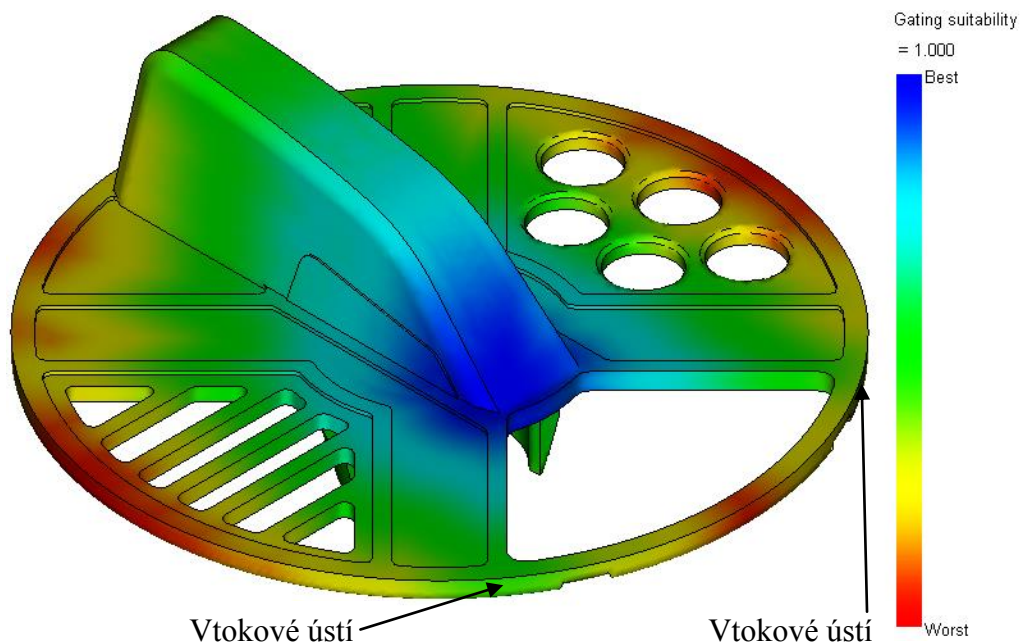


Obr. 43. Vyhazovací systém

## 9.3 Tokové analýzy

### 9.3.1 Analýza určení umístění polohy vtoku – Gate Location

Výsledek této analýzy nám predikuje nejvhodnější místo, kde by bylo vhodné umístit vtok z hlediska neoptimálnějšího plnění tvarové dutiny formy. Nedokonalost spočívá vtom, že tato analýza uvažuje díl pouze z geometrického hlediska, nebere v úvahu způsob odformování, pohledové plochy atd. Proto je nutné volit umístění vtoku vždy po rozboru dané součásti z hlediska studených spojů, zaformování a jiných parametrů. V případě tohoto výrobku není umístěn vtok do žádné pohledové plochy, ale do boční plochy, kde nebude vtok způsobovat žádnou vzhledovou vadu výrobku. Umístění dvou vtokových ústí je znázorněno pomocí šipek (Obr. 44.) a podle procentuálního vyjádření vhodnosti umístění se tato hodnota pohybuje přibližně v oblasti 42 [%].

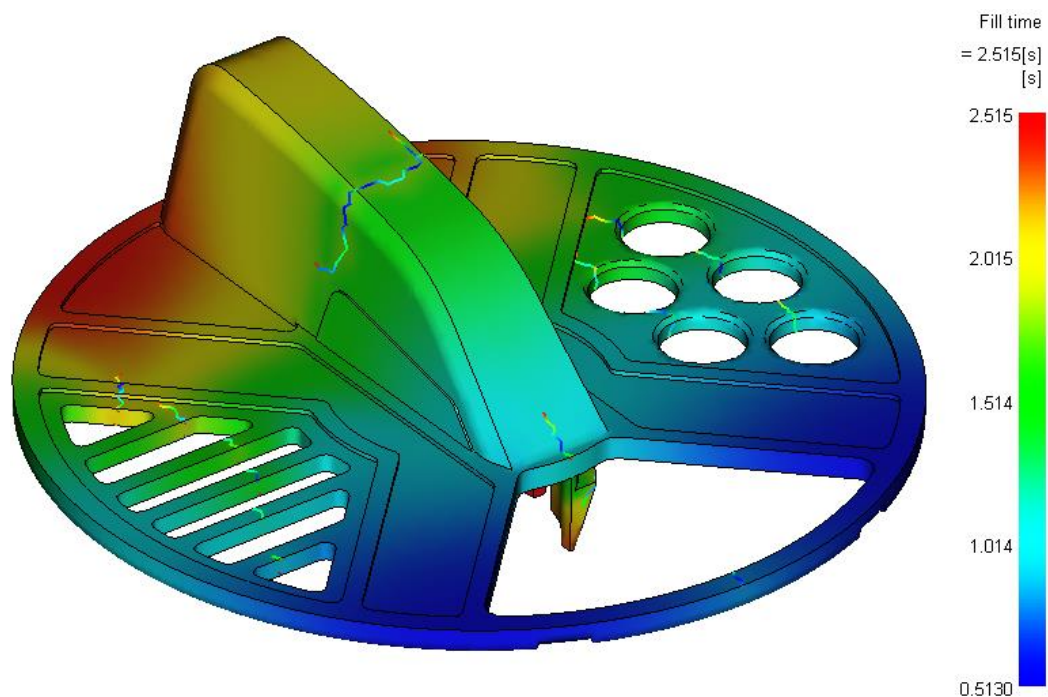


Obr. 44. Gate location

### 9.3.2 Analýza plnění včetně studených spojů

Analýza plnění vyjadřuje dobu, která je potřebná pro zcela zaplněnou dutiny formy (Obr. 45.). Výsledek dále pojednává o přibližném nastavení procesního parametru plnění, a to přímo pro vstřikovací stroj, a řekne nakolik je plnění dutiny vstřikovaným materiálem vyváжено (tavenina by měla dorazit ke krajním místům výrobku ve stejný čas). V tomto případě tomu tak není, jelikož vtoky jsou umístěny excentricky (mimo osu výrobku), ale i

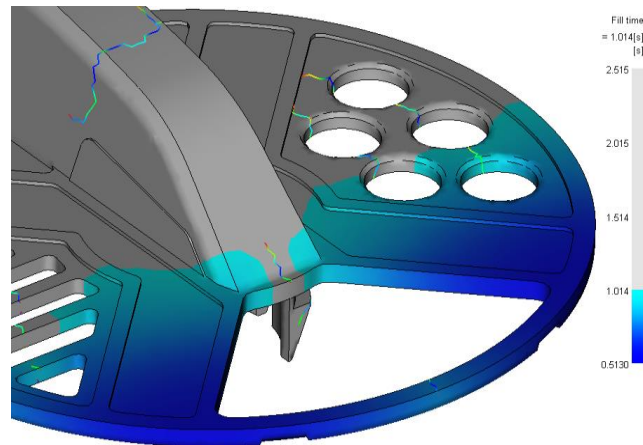
přesto tavenina dokonale vyplnila dutinu formy. Grafické vyjádření by poté mělo být na všech výrobcích stejné, což je splněno. Z výsledku se dá též usoudit, že došlo k plnému vyplnění dutiny formy taveninou. Pokud by se tak nestalo, výsledek by ukázal nedotečený materiál, musela by se poté hledat příčina například ve špatně zvolených rozměrech studeného vtokového systému, popřípadě nevhodně zvoleném vtokovém ústí, nebo ve volbě vstřikovacího stroje s nízkou kapacitou plastikační jednotky. V případě plnění víčka pozorujeme, že tvarové dutiny formy byly zcela vyplněny po uplynutí doby  $t = 2,515$  [s].



Obr. 45. Plnění včetně studených spojů

Současně s analýzou plnění jsou znázorněny studené spoje. Pokud nahlédneme do detailu vzniku studeného spoje (Obr. 46.), lze predikovat, v jakém čase cyklu vznikne studený spoj v dané části výrobku. V tomto případě vzniká studený spoj v čase vstřikovacího cyklu cca 1,1 [s] na funkční části výrobku z hlediska manipulace (otáčení). Studené spoje jsou místa, kdy dojde ke spojení dvou proudů (čela) taveniny a v těchto místech se výrazně sníží mechanické vlastnosti výrobku a také vzhled. Tento jev podporují i další nedostatky jako jsou nízká teplota formy, nízká teplota vstřikovaného materiálu, nevhodně zvolené odvzdušnění, malá rychlost vstřikování materiálu nebo příliš dlouhá dráha toku taveniny. Jelikož se jedná o výrobek, který bude poměrně často mechanicky namáhán, bylo by nutné provést technologické opravy procesu vstřikování. Opravy by spočívaly ve zvýšení teploty taveniny, zvýšení teploty formy v oblasti tvárníku a tvárnice přidáním lépe tepelně vodivé-

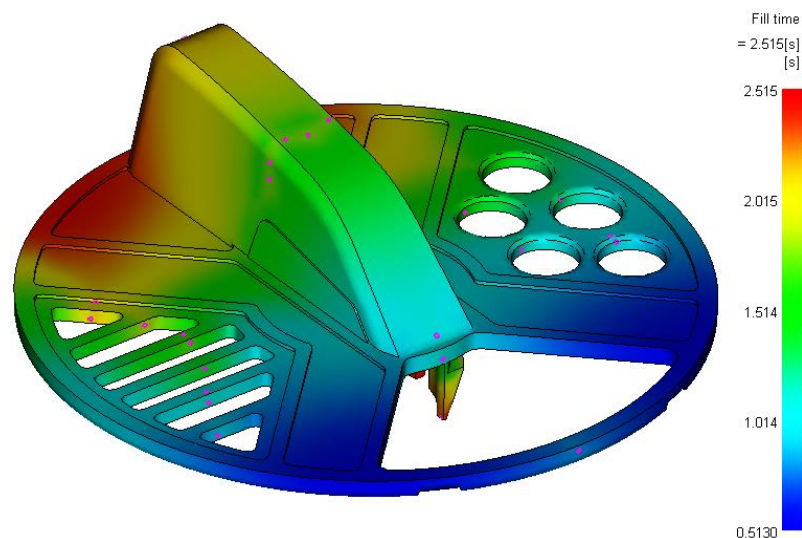
ho materiálu (lokální ohřev). Pokud by ani tyto úpravy nepomohly, muselo by se hledat nové místo pro vtokové ústí, aby došlo k lepšímu plnění dutiny formy taveninou, popř. použít plnění více vtoky.



Obr. 46. Detail vzniku studeného spoje

### 9.3.3 Analýza plnění včetně vzduchových kapes

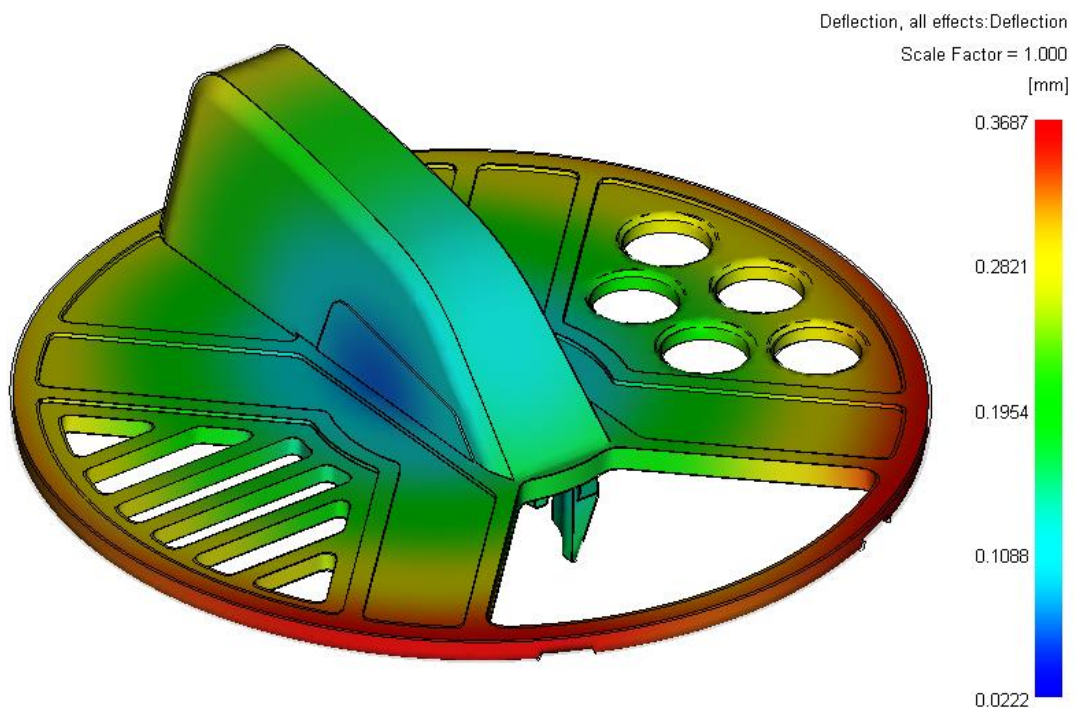
Problematika vzniku vzduchovým bublin (Obr. 47.) představuje v tomto případě poměrně složitý problém a zobrazený výsledek pouze ukazuje místa možného výskytu vzduchových kapes. Vzduchové kapsy vzniklé během plnění jsou produkt spojení čela taveniny během procesu plnění dutiny formy a míst, kde tavenina v dutině končí svůj tok. Další aspekt, který může mít vliv na vznik vzduchových bublin, může být špatně vysušený polymer (vzdušná vlhkost). Možnost jak odstranit vzduchové kapsy je úprava místa vtoku do dutiny formy nebo vytvoření odvodušňovacího systému ve vstříkací formě.



Obr. 47. Plnění včetně vzduchových kapes

### 9.3.4 Deformace výrobku

Z následujícího výsledku (Obr. 48.) můžeme sledovat velikost deformací na výrobku, které jsou způsobeny vlivy, jež komplexně působí na výrobek. Místo největších deformací se nachází v oblasti vtokového ústí. Důvodem vzniklé deformace může být nevhodným způsobem navržený temperační systém této vstřikovací formy. Dalším problémem je smrštění. Z hlediska materiálového lze diskutovat o mnoha aspektech, které hrají roli při velikosti smrštění. Smrštění může být závislé na druhu vstřikovaného polymeru, geometrii výrobku a také na procesních podmínkách vstřikovacího cyklu. V případě víčka je velikost deformace u obou výrobků stejná (důvodem je vliv teploty a plnění). Lze ale říci, že vzhledem k rozměrům výrobku je deformace poměrně malá.

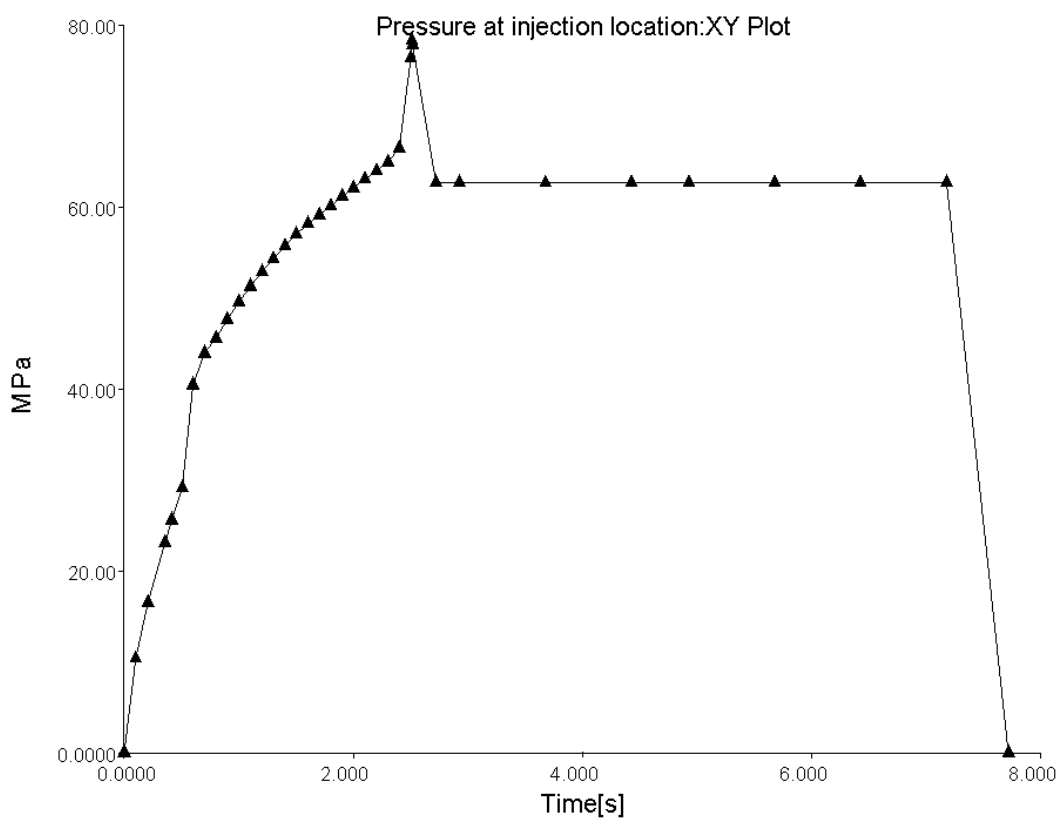


Obr. 48. Deformace výrobku

### 9.3.5 Vstřikovací tlak

Na zobrazeném výsledku (Obr. 49.) vidíme průběh tlaku během vstřikovacího cyklu (v závislosti na čase). Vidíme, že nejvyšší hodnotu vstřikovacího tlaku nalezneme na konci plnění ( $p = 78,29$  [MPa]), která odpovídá hodnotě tlaku při přepnutí na dotlak. Dle nastavení procesních parametrů je doba dotlaku  $t = 5$  [s] a jeho velikost představuje 80 [%] maximálního vstřikovacího tlaku ( $p_{\text{DOTLAK}} = 62,63$  [MPa]). Počátek grafu představuje začátek vstřikování, začátek dotlaku je vymezen koncem plnění. Doba a velikost dotlaku je

jedím z nejdůležitějších parametrů volby vstřikovacího procesu, neboť silně ovlivňuje kvalitu výrobku (tvarovou a rozměrovou přesnost). Pokud by eventuelně byla dotlaková fáze příliš krátká, mohlo by dojít ke snížení kvality a jakosti výrobku (tvorba propadlin, lunek, bublin, nedotečení taveniny do všech míst dutiny formy, nerovností). Pokud by naopak byla fáze dotlaku příliš dlouhá, neměla by tavenina čas zrelaxovat. Jestliže by byl dotlak stejně velký jako vstřikovací tlak, nastala by situace, že by nedošlo k vytvoření tlakové špičky, zvýšení hmotnosti výrobku a vnesení zbytkových pnutí do výrobku.



Obr. 49. Vstřikovací tlak

## 9.4 Mechanická analýza

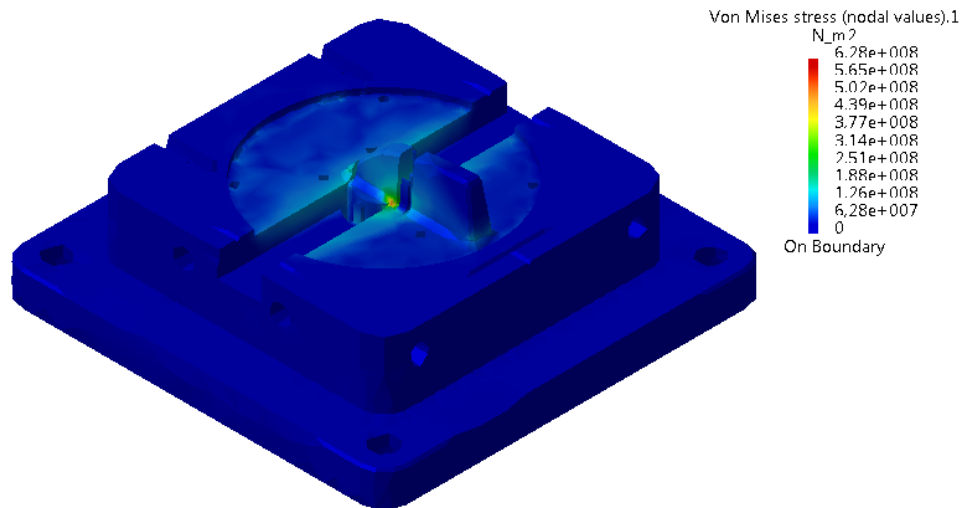
Mechanická analýza byla provedena na tvárníku. Uchycení je provedeno vetknutě, stejně tak, jak je tvárník uložen v dutině tvarové desky. Zatížení je provedeno tlakem, stejně jak je tomu uvnitř dutiny při vstřikování polymeru. Maximální vstřikovací tlak je určen z programu Autodesk Moldflow, který je 78,29 [MPa]. Pro tuto analýzu je ovšem tlak zvýšen na hodnotu 80 [MPa]. Materiál použitý pro analýzu je STEEL, který má standardně nastaveny hodnoty z programu CATIA V5R18.

- 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. 50. Tvárník – mechanická analýza

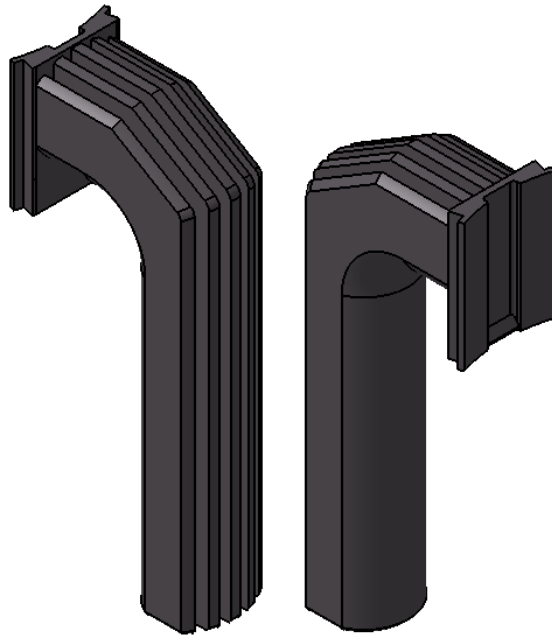
Tvárník byl zatížen tlakem  $p = 80 \text{ [MPa]}$ . Dle výsledků (Obr. 50.) je maximální hodnota srovnávacího Von Misesova napětí je  $\sigma_{MAX} = 628 \text{ [MPa]}$ . Hodnota maximálního napětí je tedy menší, než hodnota napětí dovoleného a tvárník VYHOVUJE zadanému mechanickému namáhání.

## 9.5 Diskuse návrhu vstřikovací formy č. 1

Konstrukce formy je řešena s dvěma dělicími rovinami (hlavní a vedlejší). Díky použití studeného vtokového systému je výhodou možnost vstřikování do nepohledové plochy víčka. Za nevýhodu se dá označit vznik poměrně velkého množství odpadu (vtokový zbytek). Analýza plnění včetně studených spojů ukazuje postup plnění tvarové dutiny formy polymerem a zároveň predikuje, v jakých místech vznikají studené spoje. Analýzy plnění a vzduchový kapes ukazují místa, kde mohou pravděpodobně vznikat vzduchové kapsy (bubliny). Úpravy, které by mohly eliminovat vznik studených spojů a vzduchových kapes, jsou diskutovány v komentářích daných analýz. Deformace výrobku odpovídají velikosti výrobku i umístění vtokových ústí. Maximální hodnota vstřikovacího tlaku je využita pro mechanickou analýzu. Průběh vstřikovacího tlaku je zcela v pořádku.

## 10 RUKOJEŤ

Designový návrh rukojeti (Obr. 51.) je proveden pomocí žebrování, které zároveň slouží i jako odlehčení rukojeti. Část rukojeti, která slouží k zacvaknutí do těla láhve je koncepčně řešena pomocí pružného spoje (háčku), kde při nasazování rukojeti na tělo láhve dojde k plastické deformaci upínací části rukojeti a k následnému zacvaknutí do těla láhve.



Obr. 51. Designový návrh rukojeti

### 10.1 Materiál výrobku

Jako materiál výrobku byl zvolen PC (Polykarbonát). Tato volba materiálu byla provedena zejména kvůli tomu, že PC je konstrukční polymer a rukojeť bude při manipulaci s výrobkem namáhána kombinovaným zatížením. Dalším důvodem proč byl zvolen tento materiál, je otázka zacvaknutí rukojeti pomocí pružného prvku k tělu láhve. Dalším parametrem bylo žebrování (odlehčení) rukojeti. Tento polymer má dostatečnou pevnost, aby nedocházelo při stisku rukojeti k výrazné deformaci jednotlivých žeber. Velikost smrštění PC je přibližně 1 [%]. Pro analýzy v CAE programu byl zvolen stejně jako pro víčko, materiál Makrolon 2607 od společnosti Bayer MaterialScience.

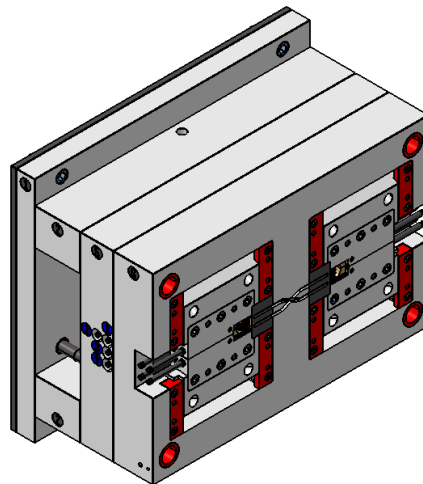


## 10.2 Vstřikovací forma

Jedná se stejně jako v prvním případě o koncepci konstrukce vstřikovací formy s posuvnými členy. Forma je složena z levé (pohyblivé), pravé (pevné) strany a vyhazovacího systému. Násobnost vstřikovací formy byla zvolena 2 s ohledem na tvar a velikost výrobku. Vstřikovací forma má dvě dělicí roviny, jednu hlavní a druhou vedlejší. Barevně odlišené plochy na tvárníku a tvárnici jsou z důvodu názornosti, aby bylo zcela patrné, které plochy jsou v kontaktu s polymerním materiálem při vstřikování. Nejedná se o tvarové vložky, jak by mohlo být na první pohled patrné. Ke zvýšení tuhosti celé vstřikovací formy byly použity podpůrné sloupky, které jsou umístěny mezi upínací a opěrnou deskou levé části formy (v prostoru pro pohyb vyhazovacích desek). Ve vstřikovací formě jsou umístěny jak popisy jednotlivých desek, tak popisy vstupů a výstupů temperačního média do prostoru temperačního systému vstřikovací formy. Tyto popisy slouží zejména pro usnadnění práce lidem, kteří provádí montáž a údržbu vstřikovací formy.

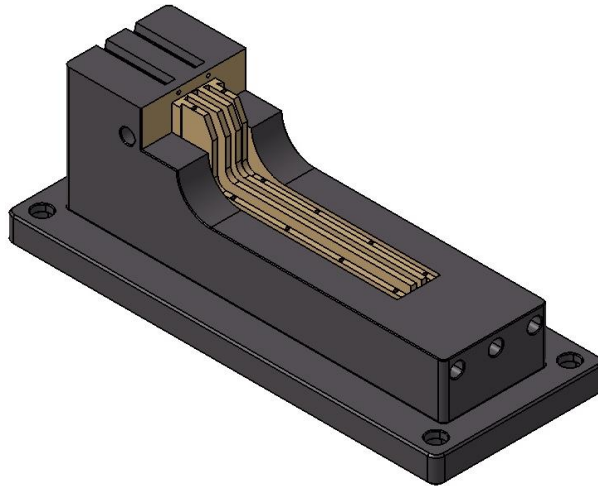
### 10.2.1 Levá (pohyblivá) strana

Skládá se ze středícího kroužku, izolační, upínací desky, rozpěrných desek, opěrné desky a kotevní desky (Obr. 52.). Dalšími komponenty jsou tvárník, kluzné vložky, vodící pouzdra, čepy, posuvové kostky, opěrné sloupky atd. Temperační systém této strany formy je tvořen konvenční metodou, tedy vrtanými kanály o průměru 8 [mm]. Kde pro každý tvárník jsou zhotoveny samostatné čtyři temperační okruhy. Vlivem velkého množství materiálu, který je v kontaktu s posuvovými kostkami, je nutné provést temperaci i těchto kostek, kde jsou vrtané kanály o průměru 6 [mm].

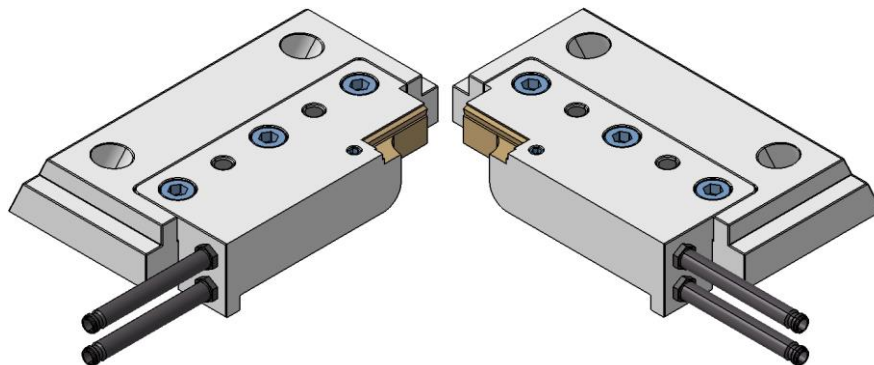


Obr. 52. Pohled do levé DR

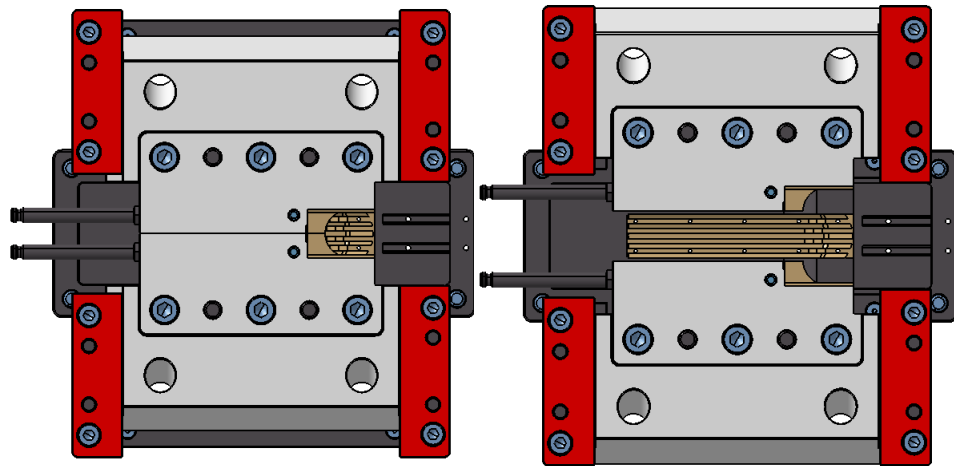
Tvárník (Obr. 53.) je tvořen jednou pevnou částí a dvěma pohyblivými částmi (posuvové kostky), které slouží k odformování půlkruhové části v rukojeti. Na následujícím obrázku je viditelný tvárník při uzavřené a otevřené formě (Obr. 55.). Velikost pohybu posuvových kostek je 14,426 [mm]. Tato hodnota je zvolena záměrně větší, než je nutné, aby bylo zajištěno bezproblémové vyhazování (odformování) výrobku a byla teda vytvořena dostatečná vůle umožňující vyhazovací pohyb výrobku z tvarové dutiny formy. Posuvové kostky (Obr. 54.) jsou záměrně vytvořeny ze sedla a jádra, tedy ze dvou částí. Toto konstrukční řešení je zvoleno kvůli tomu, že se může kterákoli část poškodit a následná oprava či výměna se může provést pouze na jedné součásti. Pokud by byla posuvová kostka vyrobena z jednoho dílu, mohly by být náklady na opravu daleko vyšší, zejména pokud by se jednalo o totální poškození dílu.



Obr. 53. Tvárník



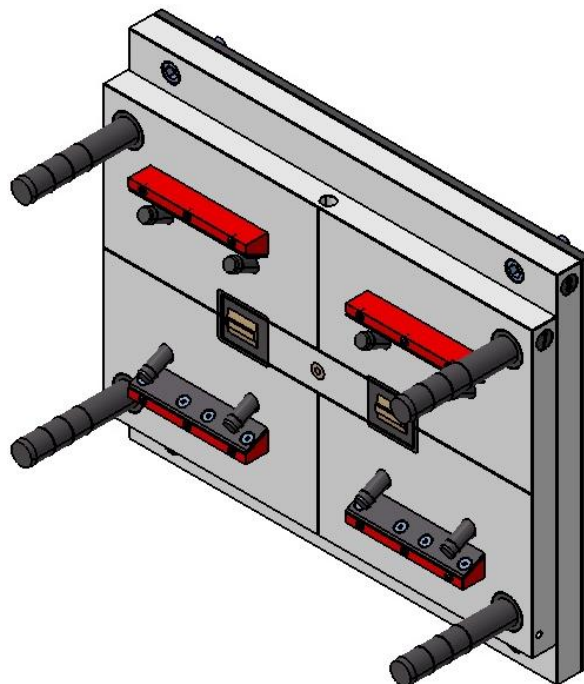
Obr. 54. Posuvová kostka levá a pravá



Obr. 55. Tvárník – uzavřený, otevřený

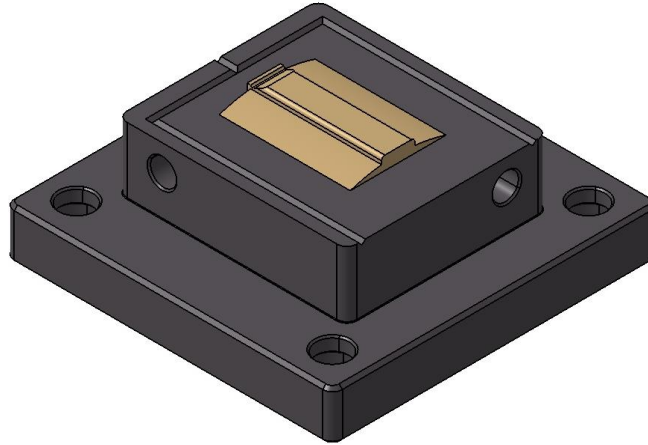
### 10.2.2 Pravá (pevná) strana

Skládá se ze středícího kroužku, izolační, upínací a kotevní desky, středících trubek a čepů. Vtokový systém je zvolen studený, který je složen z vtokové vložky, rozvodných kanálů a tunelového vtokového ústí. Temperační systém je zhotoven konvenční metodou vrtaných kanálů o průměru 8 [mm]. Tato strana vstříkovací formy obsahuje šikmé čepy, které slouží jako vodící prvky pro posuvové kostky a také jsou zde umístěny zámky, které slouží jako opěrná část posuvových kostek. Odvzdušnění na této straně vstříkovací formy je provedeno frézovanými drážkami (Obr. 56.).



Obr. 56. Pohled do pravé DR

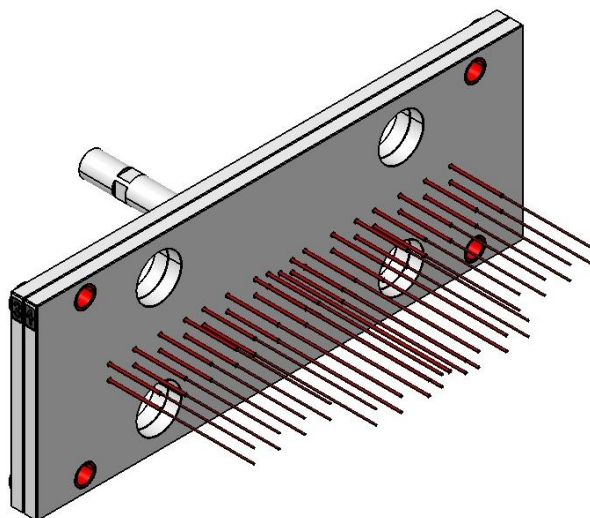
Tvárnice (Obr. 57.) v tomto případě udává tvar pouze části, která na rukojeti bude plnit funkci pružného prvku, který se při finální montáži na láhev, zacvakne do prostoru k tomu určenému.



Obr. 57. Tvárnice

### 10.2.3 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém (Obr. 58.) je tvořen táhlem, vodícími pouzdry, opěrnou, kotevní deskou a válcovými vyhazovači. Vyhazovače jsou rozděleny do dvou skupin. Jedna skupina je v přímém kontaktu s výrobkem, tudíž se soustředí na vyhazování výrobku jako takového z tvarové dutiny vstříkovací formy. Druhá skupina se zaměřuje na vyhození vtokového zbytku a přidržovače vtoku z prostoru vstříkovací formy. Ve vyhazovacích deskách jsou provedeny vybrání, které slouží jako prostor pro opěrné sloupky. Zdvih vyhazovacího systému je 59 [mm].

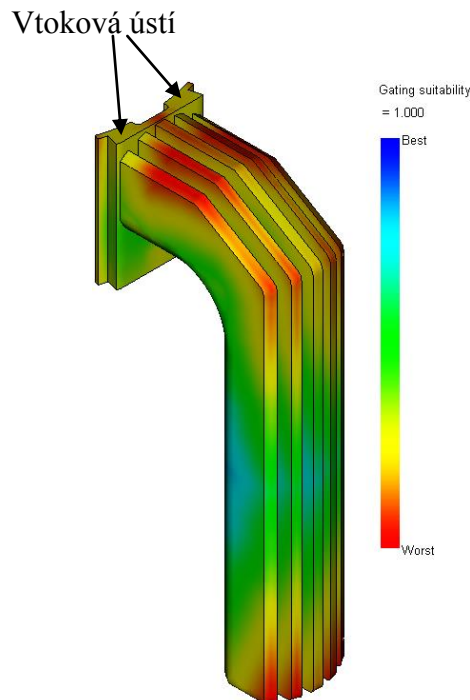


Obr. 58. Vyhazovací systém

## 10.3 Tokové analýzy

### 10.3.1 Analýza určení umístění polohy vtoku – Gate Location

Výsledkem této analýzy je grafické vyjádření místa, které se jeví jako nejlepší pro vhodnost umístění vtokového ústí. Jako neoptimálnější místa pro zvolení vtoku jsou graficky vyjádřeny sytě modrou barvou, naproti tomu místa, která jsou v umístění vtoku vhodná nejméně, jsou graficky vyjádřeny sytě červenou barvou. Je ovšem nutné brát v úvahu způsob zaformování výrobku ve tvarové dutině formy, vznik studených spojů a také rozlišit pohledové a nepohledové plochy výrobku. V tomto případě je poloha umístění dvou vtokových ústí znázorněna šipkami (Obr. 59.) a podle procentuálního vyjádření vhodnosti umístění polohy vtoku z hlediska geometrického tvaru výrobku je cca 22 [%].

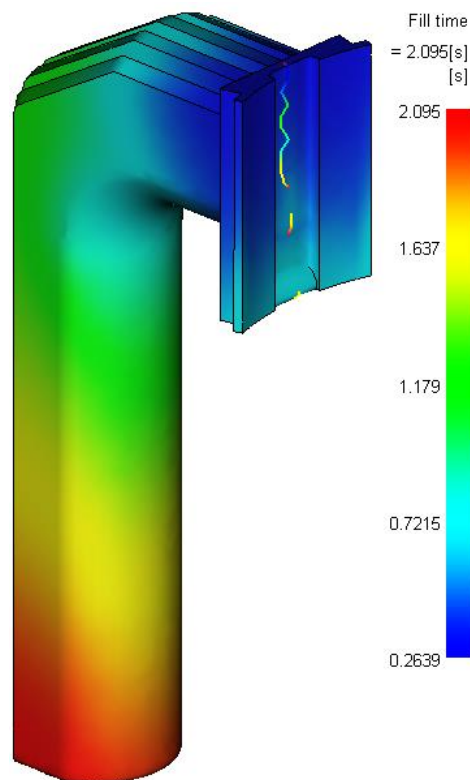


Obr. 59. Gate Location

### 10.3.2 Analýza plnění včetně studených spojů

Analýza plnění vyjadřuje dobu, která je potřebná pro zcela zaplněnou dutiny formy (Obr. 60.). Výsledek dále pojednává o přibližném nastavení procesního parametru plnění, a to přímo pro vstřikovací stroj, a řekne nakolik je plnění dutiny vstřikovaným materiálem vyváženo (tavenina by měla dorazit ke krajním místům výrobku ve stejný čas). V tomto případě tomu tak není, jelikož vtoky jsou umístěny excentricky (mimo osu výrobku), ale i

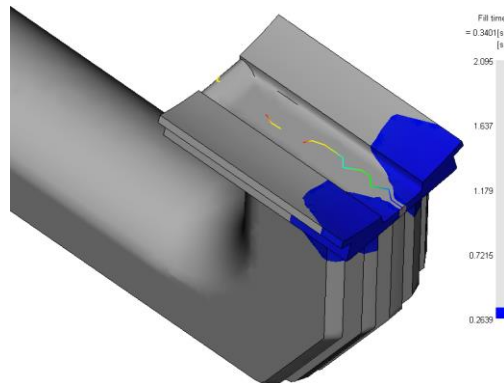
přesto tavenina dokonale vyplnila dutinu formy. Grafické vyjádření by poté mělo být na všech výrobcích stejné, což je splněno. Z výsledku se dá též usoudit, že došlo k plnému vyplnění dutiny formy taveninou, pokud by se tak nestalo, výsledek by ukázal nedotečený materiál, poté by se musela hledat příčina například ve špatně zvolených rozměrech studeného vtokového systému, popřípadě nevhodně zvoleném vtokovém ústí, nebo ve volbě vstřikovacího stroje s nízkou kapacitou plastikační jednotky. V případě plnění rukojeti pozorujeme, že tvarové dutiny formy byly zcela vyplněny po uplynutí doby  $t = 2,095$  [s].



Obr. 60. Plnění včetně studených spojů

Současně s analýzou plnění jsou znázorněny studené spoje. Pokud nahlédneme do detailu vzniku studeného spoje (Obr. 61.), lze predikovat, v jakém čase cyklu vznikne studený spoj v dané části výrobku. V tomto případě vzniká studený spoj v čase vstřikovacího cyklu cca 0,35 [s] na ploše, která bude pracovat jako opěrná po zacvaknutí rukojeti do těla láhve. Studené spoje jsou místa, kdy dojde ke spojení dvou proudů (čela) taveniny a v těchto místech se výrazně sníží mechanické vlastnosti výrobku a také vzhled. Tento jev podporují i další nedostatky jako jsou nízká teplota formy, nízká teplota vstřikovaného materiálu, nevhodně zvolené odvzdušnění, malá rychlost vstřikovaného materiálu nebo příliš dlouhá dráha toku taveniny. Jelikož se jedná o výrobek, který bude poměrně často mechanicky namáhán, bylo by nutné provést technologické opravy procesu vstřikování. Opravy

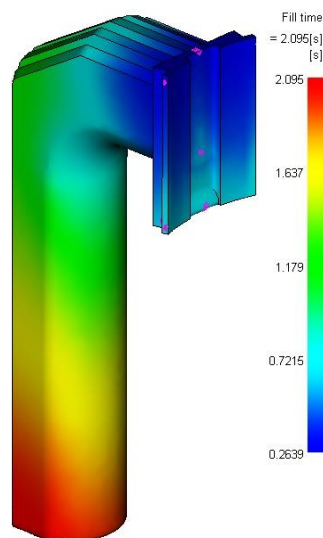
by spočívaly ve zvýšení teploty taveniny, zvýšení teploty formy v oblasti tvárníku a tvárnice přidáním lépe tepelně vodivého materiálu (lokální ohřev). Pokud by ani tyto úpravy nepomohly, muselo by se hledat nové místo pro vtokové ústí, aby došlo k lepšímu plnění dutiny formy taveninou, popř. použít plnění více vtoky.



Obr. 61. Detail vzniku studeného spoje

### 10.3.3 Analýza plnění včetně vzduchových kapes

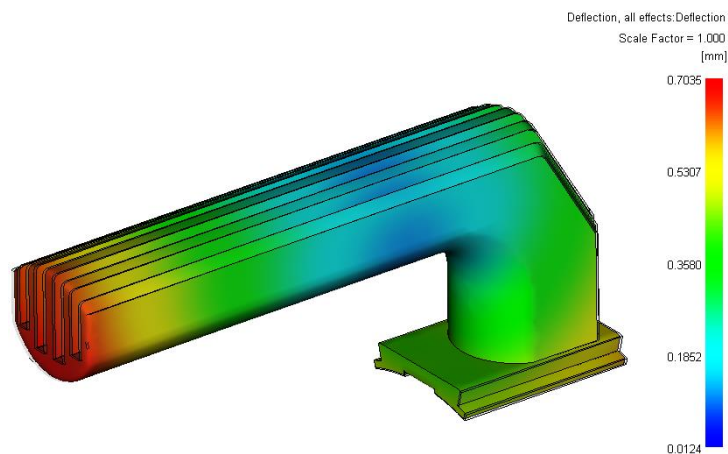
Problematika vzniku vzduchovým bublin (Obr. 62.) představuje všeobecně poměrně složitou problematiku a zobrazený výsledek pouze ukazuje místa možného výskytu vzduchových kapes. Vzduchové kapsy vzniklé během plnění jsou produkt spojení čela taveniny během procesu plnění dutiny formy a míst, kde tavenina v dutině končí svůj tok. Další aspekt, který může mít vliv na vznik vzduchových bublin, může být nedokonale vysušený polymer (vzdušná vlhkost). Možnost jak odstranit vzduchové kapsy je úprava místa vtoku do dutiny formy nebo vytvoření odvzdušňovacího systému ve vstříkovací formě.



Obr. 62. Plnění včetně vzduchových kapes

### 10.3.4 Deformace výrobku

Z následujícího výsledku (Obr. 63.) můžeme sledovat velikost deformací na výrobku, které jsou způsobeny vlivy, jež komplexně působí na výrobek. Místo největších deformací se nachází v oblasti spodní části výrobku. Důvodem vzniklé deformace může být nevhodným způsobem navržený temperační systém této vstřikovací formy. Dalším problémem je smrštění. Z hlediska materiálového lze diskutovat o mnoha aspektech, které hrají roli při velikosti smrštění. Smrštění může být závislé na druhu vstřikovaného polymeru, geometrii výrobku a také na procesních podmínkách vstřikovacího cyklu. V případě rukjeti je velikost deformace u obou výrobků přibližně stejná (důvodem je vliv teploty a plnění). Lze ale říci, že vzhledem k rozměrům výrobku je deformace poměrně malá.



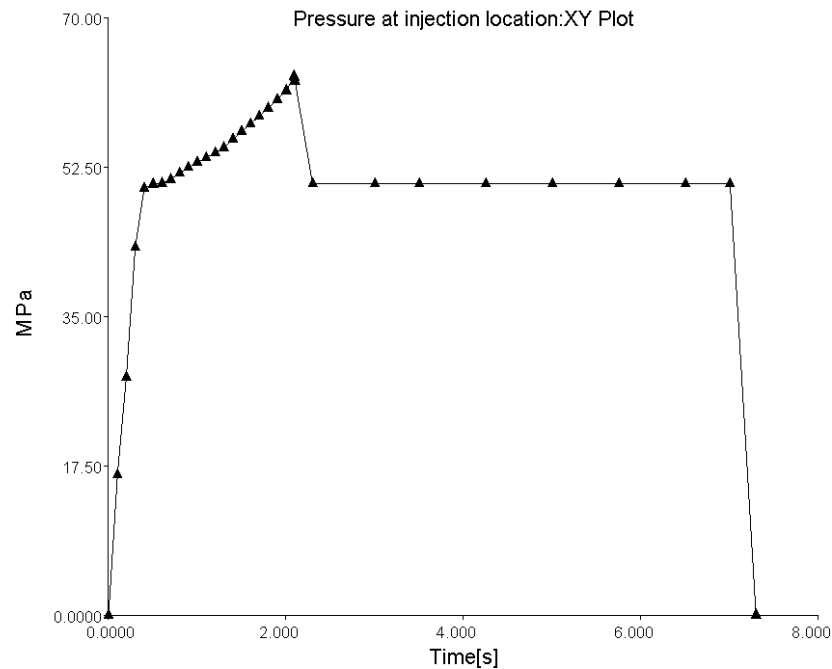
Obr. 63. Deformace výrobku

### 10.3.5 Vstřikovací tlak

Na zobrazeném výsledku (Obr. 64.) vidíme průběh tlaku během vstřikovacího cyklu (v závislosti na čase). Vidíme, že nejvyšší hodnotu vstřikovacího tlaku nalezneme na konci plnění ( $p = 63,13$  [MPa]), která odpovídá hodnotě tlaku při přepnutí na dotlak. Dle nastavení procesních parametrů je doba dotlaku  $t = 5$  [s] a jeho velikost představuje 80 [%] maximálního vstřikovacího tlaku ( $p_{\text{DOTLAK}} = 50,5$  [MPa]). Počátek grafu představuje začátek vstřikování, začátek dotlaku je vymezen koncem plnění. Doba a velikost dotlaku je jedním z nejdůležitějších parametrů volby vstřikovacího procesu, neboť silně ovlivňuje kvalitu výrobku (tvarovou a rozměrovou přesnost). Pokud by eventuelně byla dotlaková fáze příliš krátká, mohlo by dojít ke snížení kvality a jakosti výrobku (tvorba propadlin, lunek, bublin, nedotečení taveniny do všech míst dutiny formy, nerovností). Pokud by



naopak byla fáze dotlaku příliš dlouhá, neměla by tavenina čas zrelaxovat. Jestliže by byl dotlak stejně velký jako vstřikovací tlak, nastala by situace, že by nedošlo k vytvoření tlakové špičky, zvýšení hmotnosti výrobku a vnesení zbytkových pnutí do výrobku



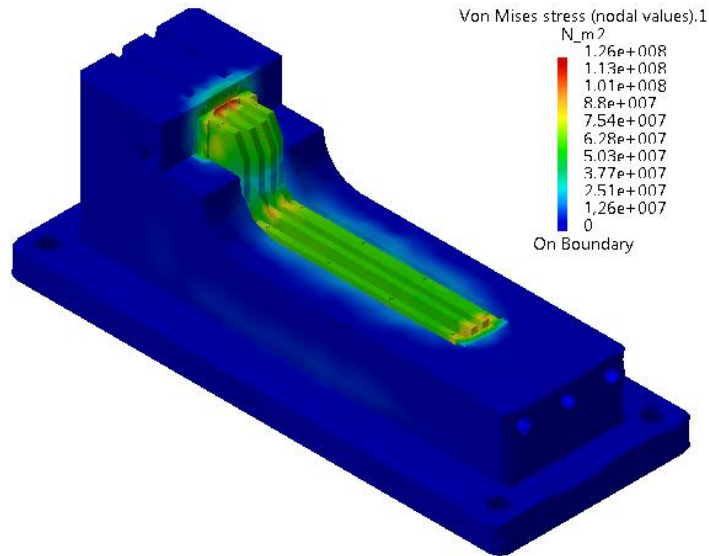
Obr. 64. Vstřikovací tlak

## 10.4 Mechanická analýza

Mechanická analýza byla provedena na tvárníku. Uchycení je provedeno vetknutě, stejně tak, jak je tvárník uložen v dutině tvarové desky. Zatížení je provedeno tlakem, stejně jak je tomu uvnitř dutiny při vstřikování polymeru. Maximální vstřikovací tlak je určen z programu Autodesk Moldflow, který je 63,13 [MPa]. Pro tuto analýzu je ovšem tlak zvýšen na hodnotu 70 [MPa]. Materiál použitý pro analýzu je STEEL, který má standartně nastaveny hodnoty z programu CATIA V5R18.

- Výpočet dovoleného napětí:  $\sigma_D = \frac{\sigma_K}{k} = \frac{1900}{1,5} = 1267$  [MPa]

- kde:  $\sigma_D$  – je velikost dovoleného napětí  
 $\sigma_K$  – je velikost meze kluzu daného materiálu  
 $k$  – je koeficient bezpečnosti



Obr. 65. Tvárník – mechanická analýza

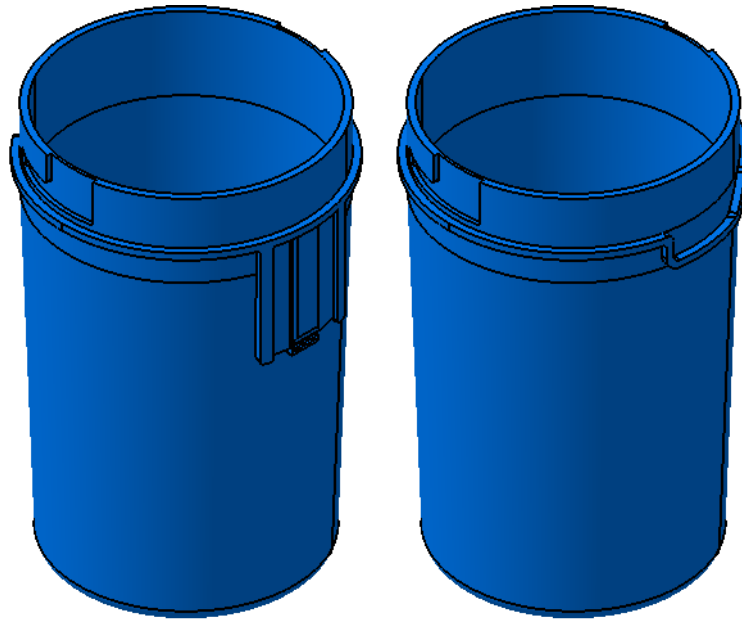
Tvárník byl zatížen tlakem  $p = 70$  [MPa]. Dle výsledků (Obr. 65.) je maximální hodnota srovnávacího Von Misesova napětí je  $\sigma_{\text{MAX}} = 126$  [MPa]. Hodnota maximálního napětí je tedy menší, než hodnota napětí dovoleného a tvárník VYHOVUJE zadanému mechanickému namáhání.

## 10.5 Diskuse návrhu vstřikovací formy č. 2

Konstrukce formy je řešena s dvěma dělicími rovinami (hlavní a vedlejší). Díky použití studeného vtokového systému je výhodou možnost vstřikování do nepohledové plochy rukojeti. Za nevýhodu se dá označit vznik poměrně velkého množství odpadu (vtokový zbytek). Analýza plnění včetně studených spojů ukazuje postup plnění tvarové dutiny formy polymerem a zároveň predikuje, v jakých místech vznikají studené spoje. Analýzy plnění a vzduchových kapes nám ukazují místa, kde mohou pravděpodobně vznikat vzduchové kapsy (bublíny). Úpravy, které by mohly eliminovat vznik studených spojů a vzduchových kapes, jsou diskutovány v komentářích daných analýz. Deformace výrobku odpovídají velikosti výrobku i umístění vtokových ústí. Maximální hodnota vstřikovacího tlaku je využita pro mechanickou analýzu. Průběh vstřikovacího tlaku je zcela v pořádku.

## 11 LÁHEV

Designový návrh láhve (Obr. 66.) je proveden ve velikosti průměru 94 [mm] a výšce 150 [mm]. Následujícími rozměry výšky láhve, které by bylo možno vyrábět jsou 160 a 170 [mm]. Na láhvi jsou umístěny části zajišťující aretaci objímky (víka) na hrdle láhve pomocí bajonetového spojení a část, která slouží k uchycení rukojeti pomocí pružného (háčkového) spoje.



Obr. 66. Designový návrh láhve

### 11.1 Materiál výrobku

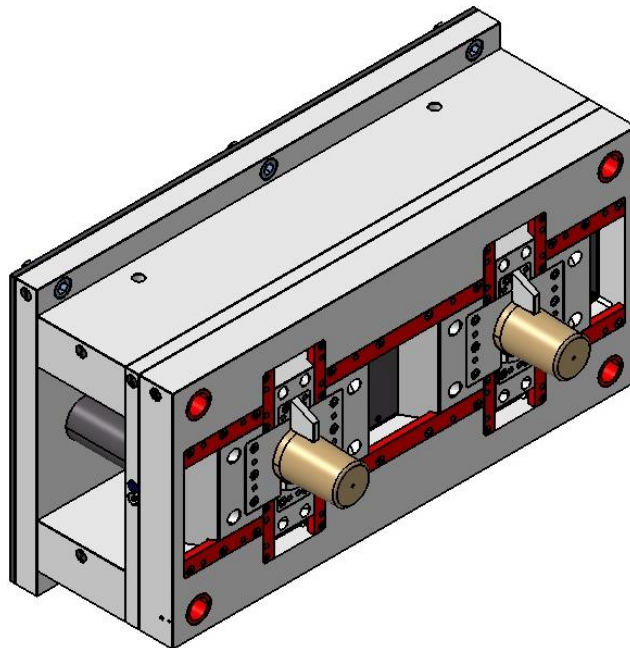
Jako materiál výrobku byl zvolen PP (Polypropylen). Polypropylen se řadí do skupiny semikrystalických polymerů. Výhodou tohoto polyolefinu je poměrně bezproblémový tok, snáší několika stupňovou recyklaci, dlouhou výdrž na zpracovatelské teplotě (teplotní stabilita) a také skutečnost, že snese poměrně velké otáčky šneku ve vstřikovacím stroji. Velikost smrštění PP je přibližně 2 [%]. Tento typ polymerního materiálu byl zvolen pro láhev z důvodu nízkého mechanického namáhání. Dalším důvodem pro byl zvolen tento polymer je poddajnost části, která bude sloužit jako zámek pro připojení rukojeti k tělu láhve. Pro analýzy v CAE programu byl zvolen materiál Metocene HM648P od společnosti Basell Polyolefins Europe.

## 11.2 Vstřikovací forma

Jedná se stejně jako v předcházejících případech o koncepci konstrukce vstřikovací formy s pohyblivými (posuvnými) členy. Forma je složena z levé (pohyblivé), pravé (pevné) strany a vyhazovacího systému (tvořen dvěma stíracími kroužky). Násobnost vstřikovací formy byla zvolena 2 s ohledem na tvar a velikost výrobku. Vstřikovací forma má dvě dělicí roviny, jednu hlavní a druhou vedlejší. Barevně odlišené plochy na tvárníku a tvárnici jsou z důvodu názornosti, aby bylo zcela partné, které plochy jsou v kontaktu s polymerním materiálem při vstřikování. Nejedná se o tvarové vložky. Jsou zde umístěny jak popisy jednotlivých desek, tak popisy vstupů a výstupů temperačního média do prostoru temperačního systému vstřikovací formy. Tyto popisy slouží zejména pro usnadnění práce lidem, kteří provádí montáž a údržbu vstřikovací formy.

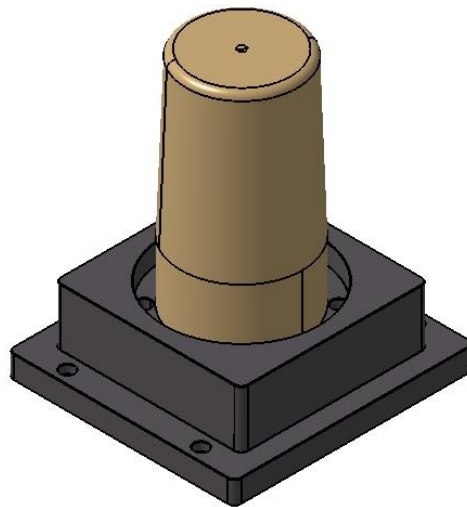
### 11.2.1 Levá (pohyblivá) strana

Skládá se ze středícího kroužku, izolační, upínací desky, rozpěrných desek, opěrné desky a kotevní desky (Obr. 67.). Dalšími komponenty jsou tvárník, kluzné vložky, vodící pouzdra, čepy, posuvové kostky, opěrné sloupky atd. Temperační systém je zhotoven konvenční metodou vrtaných kanálů o průměru 8 [mm] a také jsou zde umístěny v prostoru tvárníku dvě chladicí věže. Chladicí věže mají na svém těle frézovány drážky lichoběžníkového průřezu o rozměru  $\text{š} \times \text{h} \times \text{v} = 4 \times 4 \times 8$  [mm].

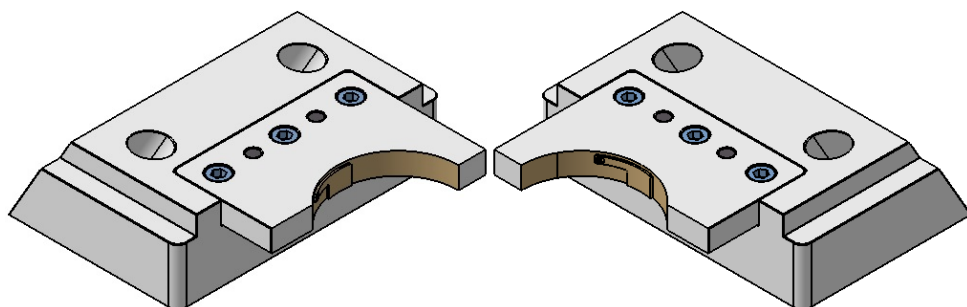


Obr. 67. Pohled do levé DR

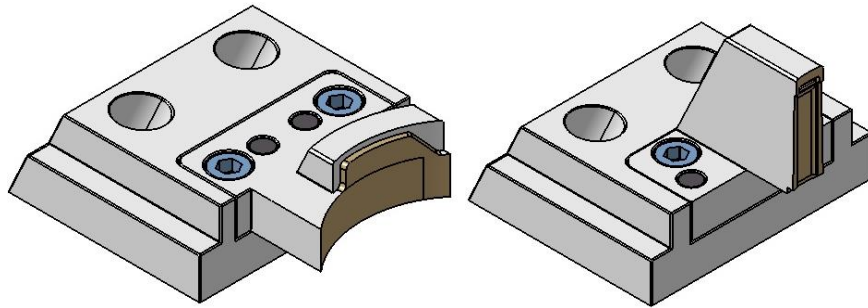
Tvárník (Obr. 68.) je tvořen pevnou částí a čtyřmi pohyblivými částmi (posuvové kostky), které slouží k odformování bajonetové aretace pro objímku (víko), odformování aretace na objímce (víku) a odformování pružného prvku na láhvi, který bude sloužit jako spojovací část společně s rukojetí. Na následujících dvou obrázcích je viditelný tvárník při uzavřené a otevřené formě (Obr. 71. a 72.). Velikost pohybu posuvových kostek (Obr. 69.) levé a pravé je 36,631 [mm]. Velikost pohybu posuvových kostek (Obr. 70.) zajišťující aretaci na láhvi a část pro spojení s rukojetí je 16,321 [mm]. Tyto hodnoty jsou zvoleny záměrně větší, než je nutné, aby bylo zajištěné bezproblémové vyhazování (odformování) výrobku a byla teda vytvořena dostatečná vůle umožňující vyhazovací pohyb výrobku z tvarové dutiny formy. Posuvové kostky jsou záměrně vytvořeny ze sedla a jádra, tedy ze dvou částí. Toto konstrukční řešení je provedeno zejména kvůli tomu, že se může kterákoli část poškodit a následná oprava či výměna se může provést pouze na jedné součásti. Pokud by byla posuvová kostka vyrobena z jednoho dílu mohly by být náklady na opravu daleko vyšší, pokud by se jednalo o totální poškození dílu.



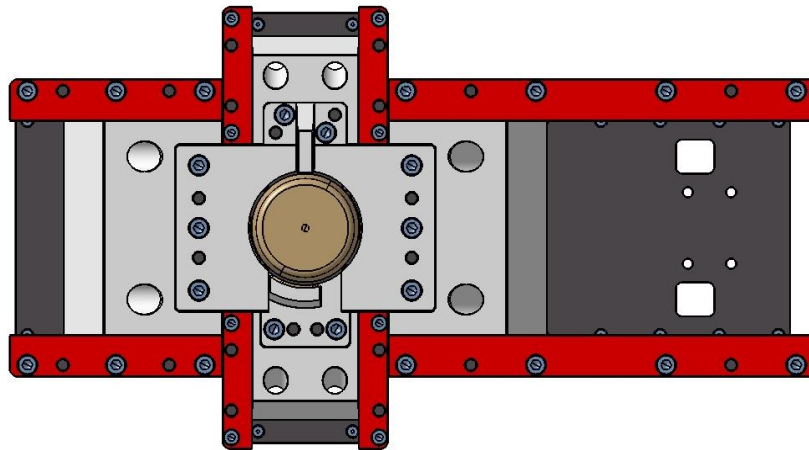
Obr. 68. Tvárník



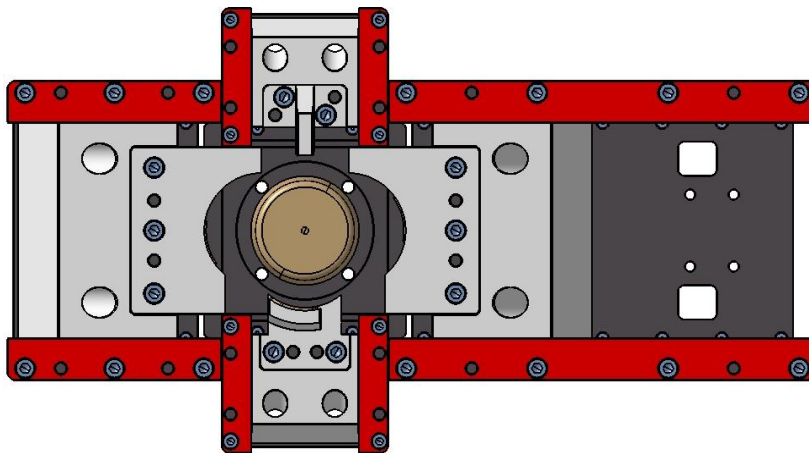
Obr. 69. Posuvové kostky levá a pravá



Obr. 70. Posuvová kostka aretace a posuvová kostka zámku rukojeti



Obr. 71. Tvárník - uzavřený

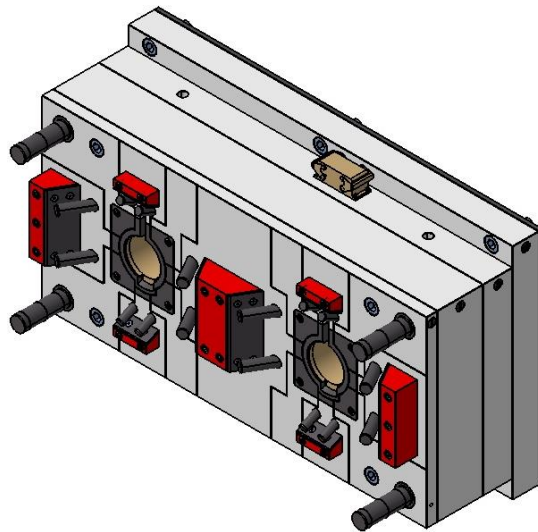


Obr. 72. Tvárník - otevřený

### 11.2.2 Pravá (pevná) strana

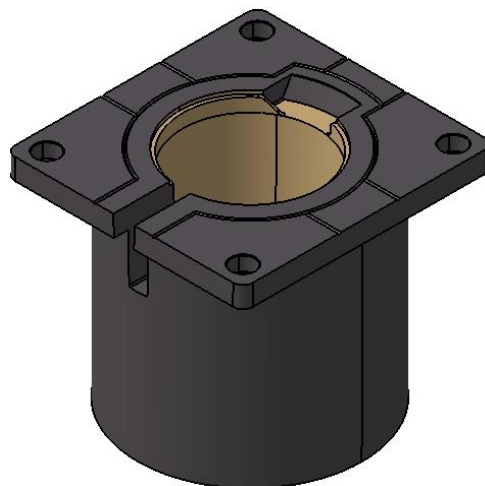
Skládá se ze středícího kroužku, izolační, upínací a kotevní desky, středících trubek a čepů. Vtokový systém je horký a je složen z vyhřívané vtokové soustavy (vyhřívaná vtoková vložka, vyhřívaný rozvodný blok "I", vyhřívané trysky a zásuvka). Teplotní systém je zhotoven konvenční metodou vrtaných kanálů o průměru 8 [mm] a sedmi tempe-

račními přepážkami, které jsou umístěny po obvodu každé tvarové dutiny ve tvárnici. Temperační přepážky jsou umístěny ve vrtaných otvorech o průměru 8 [mm]. V tomto případě není možné do těla tvárnice frézovat temperační drážku, jelikož tvárnice obsahuje vybrání pro posuvové kostky. Na této straně vstřikovací formy jsou šikmé čepy, které slouží jako vodící prvky pro posuvové kostky a také jsou zde umístěny zámky, které slouží jako opěrná část posuvových kostek. Odvzdušnění na této straně vstřikovací formy je provedeno frézovanými drážkami (Obr. 73.).



Obr. 73. Pohled do pravé DR

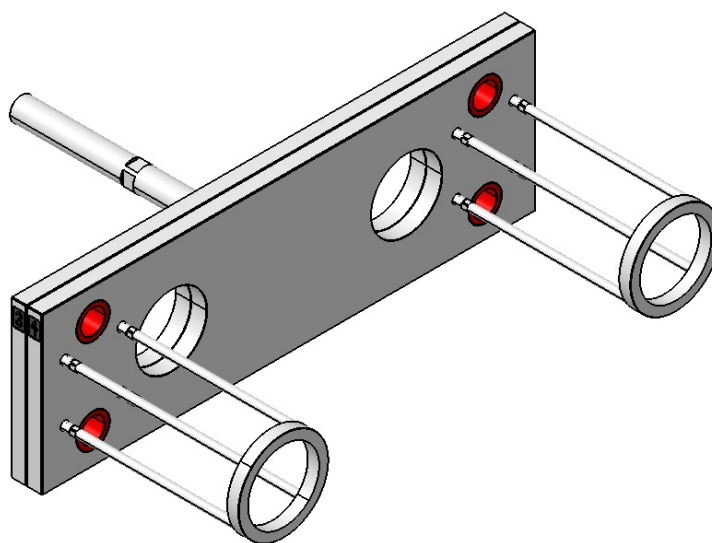
V tvárnici (Obr. 74.) jsou provedena dvě vybrání, která souží jako prostor pro posuvové kostky zajišťující formování aretace na láhvi a také k zaformování části, která bude sloužit jako pružný konstrukční prvek pro uchycení rukojeti na tělo láhve.



Obr. 74. Tvárnice

### 11.2.3 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém (Obr. 75.) je tvořen táhlem, vodícími pouzdry, opěrnou, kotevní deskou, válcovými tyčinkami, ke kterým jsou přišroubovány stírací kroužky. Stírací kroužky jsou zvláštním typem vyhazování pomocí stírací desky. Tento systém vyhazování principiálně pracuje tak, že stírací kroužek fixuje výšku výrobku a zároveň při vyhazování působí po celé ploše hrdla láhve. Nevznikají tedy stopy po vyhazovacím systému. Ve vyhazovacích deskách jsou provedeny, stejně jako u předcházejících dvou forem vybrání, která slouží jako prostor pro opěrné sloupky. Zdvih vyhazovacího systému je 150 [mm].



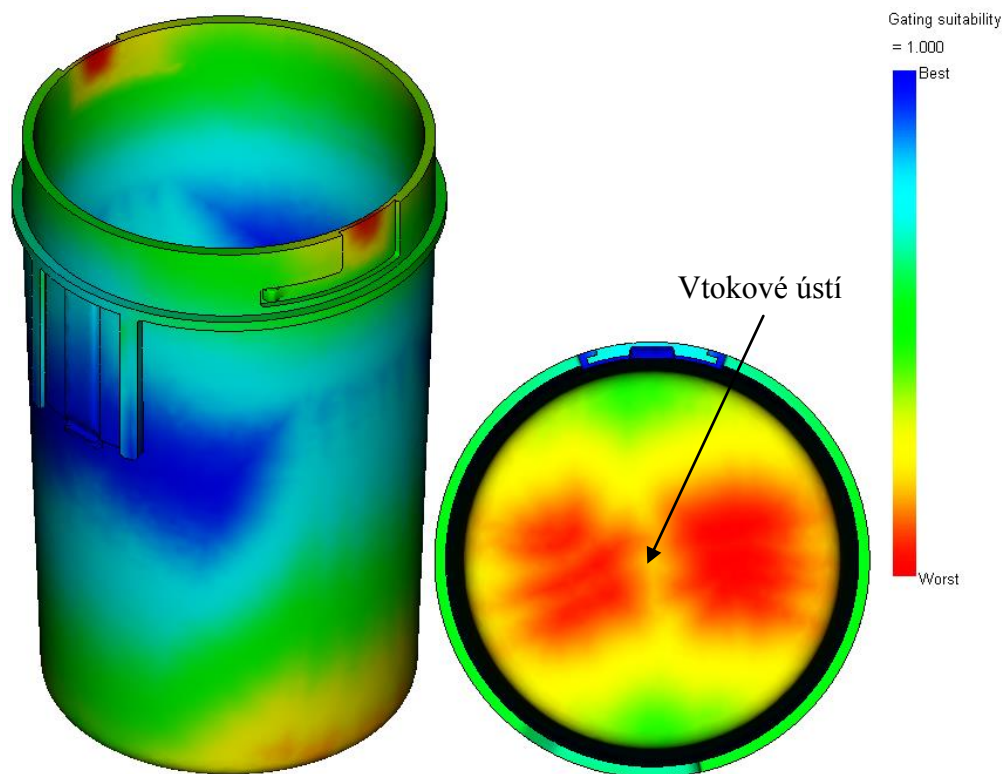
Obr. 75. Vyhazovací systém



## 11.3 Tokové analýzy

### 11.3.1 Analýza určení umístění polohy vtoku – Gate Location

Výsledkem této analýzy je grafické vyjádření místa, které se jeví jako nejlepší pro vhodnost umístění vtokového ústí. Jako neoptimálnější místa pro zvolení vtoku jsou graficky vyjádřeny sytě modrou barvou, naproti tomu místa, která jsou v umístění vtoku vhodná nejméně, jsou graficky vyjádřeny sytě červenou barvou. Je ovšem nutné brát v úvahu způsob zaformování výrobku ve tvarové dutině formy, vznik studených spojů a také rozlišit pohledové a nepohledové plochy výrobku. V případě láhve je vtokové ústí umístěno do spodní části výrobku, kde je zároveň provedeno čokkovité zahloubení, zejména z toho důvodu, aby stopa po vtokovém ústí nezpůsobovala nestabilitu láhve. Poloha umístění vtokového ústí je znázorněna šipkou (Obr. 76.). Procentuální vyjádření umístění vhodnosti vtoku se v tomto případě pohybuje přibližně v oblasti hodnoty 18 [%].

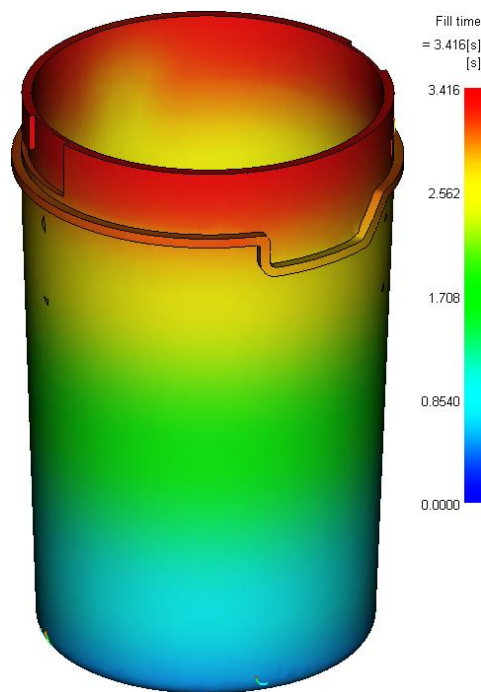


Obr. 76. Gate Location

### 11.3.2 Analýza plnění včetně studených spojů

Analýza plnění vyjadřuje dobu, která je potřebná pro zcela zaplněnou dutiny formy (Obr. 77.). Výsledek dále pojednává o přibližném nastavení procesního parametru plnění, a

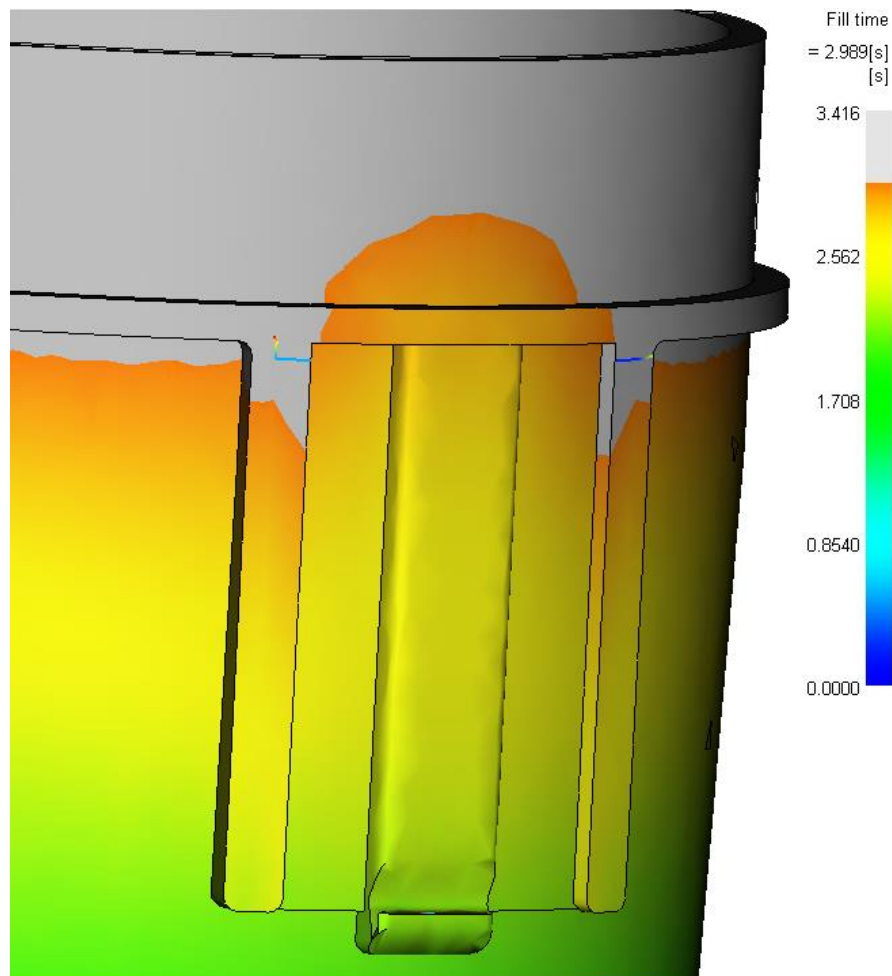
to přímo pro vstřikovací stroj, a řekne nakolik je plnění dutiny vstřikovaným materiálem vyváženo (tavenina by měla dorazit ke krajním místům výrobku ve stejný čas). V tomto případě tomu tak je, jelikož vtok je umístěn centrálně do dna výrobku (do osy výrobku). Grafické vyjádření by poté mělo být na všech výrobcích stejné, což je splněno. Z výsledku se dá též usoudit, že došlo k plnému vyplnění dutiny formy taveninou, pokud by se tak nestalo, výsledek by ukázal nedotečený materiál, poté by se musela hledat příčina například ve špatně zvolených rozměrech horkého vtokového systému, popřípadě nevhodně zvoleném vtokovém ústí, nebo ve volbě vstřikovacího stroje s nízkou kapacitou plastikační jednotky. V případě plnění láhve pozorujeme, že tvarové dutiny formy byly zcela vyplněny po uplynutí doby  $t = 3,416$  [s].



Obr. 77. Plnění včetně studených spojů

Současně s analýzou plnění jsou znázorněny studené spoje. Pokud nahlédneme do detailu vzniku studeného spoje (Obr. 78.), lze predikovat, v jakém čase cyklu vznikne studený spoj v dané části výrobku. V tomto případě vzniká studený spoj v čase vstřikovacího cyklu cca 2,989 [s] na ploše, která slouží jako opěrná po zacvaknutí rukojeti do těla láhve. Studené spoje jsou místa, kdy dojde ke spojení dvou proudů (čela) taveniny a v těchto místech se výrazně sníží mechanické vlastnosti výrobku a také vzhled. Tento jev podporují i další nedostatky jako jsou nízká teplota formy, nízká teplota vstřikovaného materiálu, nevhodně zvolené odzdušnění, malá rychlost vstřikovaného materiálu nebo příliš dlouhá dráha

toku taveniny. Jelikož se jedná o výrobek, který bude mechanicky namáhán (oblast uchycení rukojeti), bylo by nutné provést technologické opravy procesu vstřikování. Opravy by spočívaly ve zvýšení teploty taveniny, zvýšení teploty formy v oblasti tvárníku a tvárnice přidáním lépe tepelně vodivého materiálu (lokální ohřev). Pokud by ani tyto úpravy nepomohly, muselo by se hledat nové místo pro vtokové ústí, aby došlo k lepšímu plnění dutiny formy taveninou, popř. použít plnění více vtoky.

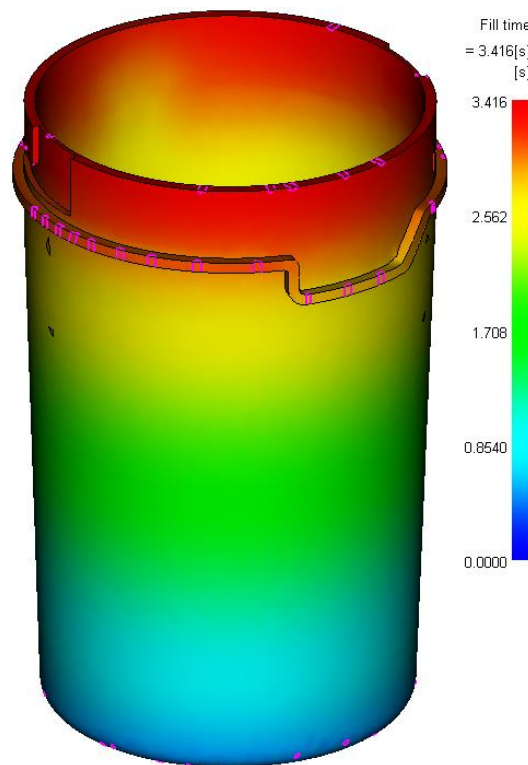


Obr. 78. Detailu vzniku studeného spoje

### 11.3.3 Analýza plnění včetně vzduchových kapes

Vzniku vzduchovým bublin (Obr. 79.) představuje všeobecně poměrně složitou problematiku a zobrazený výsledek pouze ukazuje místa možného výskytu vzduchových kapes. Vzduchové kapsy vzniklé během plnění jsou produkt spojení čela taveniny během procesu plnění dutiny formy a míst, kde tavenina v dutině končí svůj tok. Další aspekt, který může mít vliv na vznik vzduchových bublin, může být nedokonale vysušený polymer

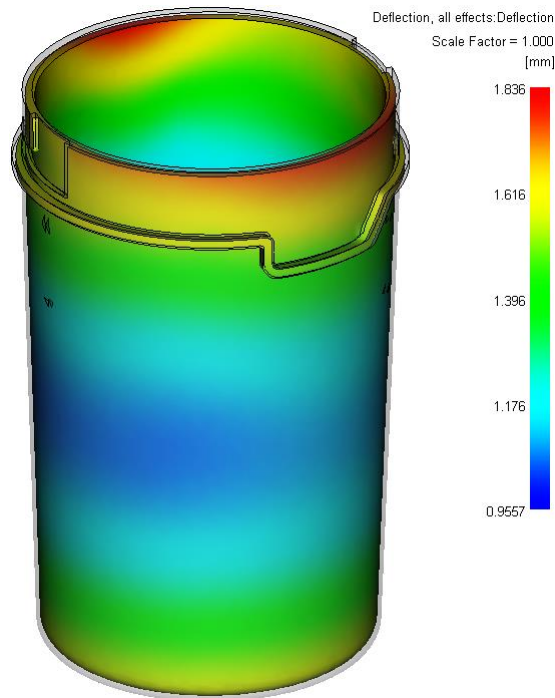
(vzdušná vlhkost). Možnost jak odstranit vzduchové kapsy je úprava místa vtoku do dutiny formy nebo vytvoření odvzdušňovacího systému ve vstřikovací formě.



Obr. 79. Plnění včetně vzduchových kapes

#### 11.3.4 Deformace výrobku

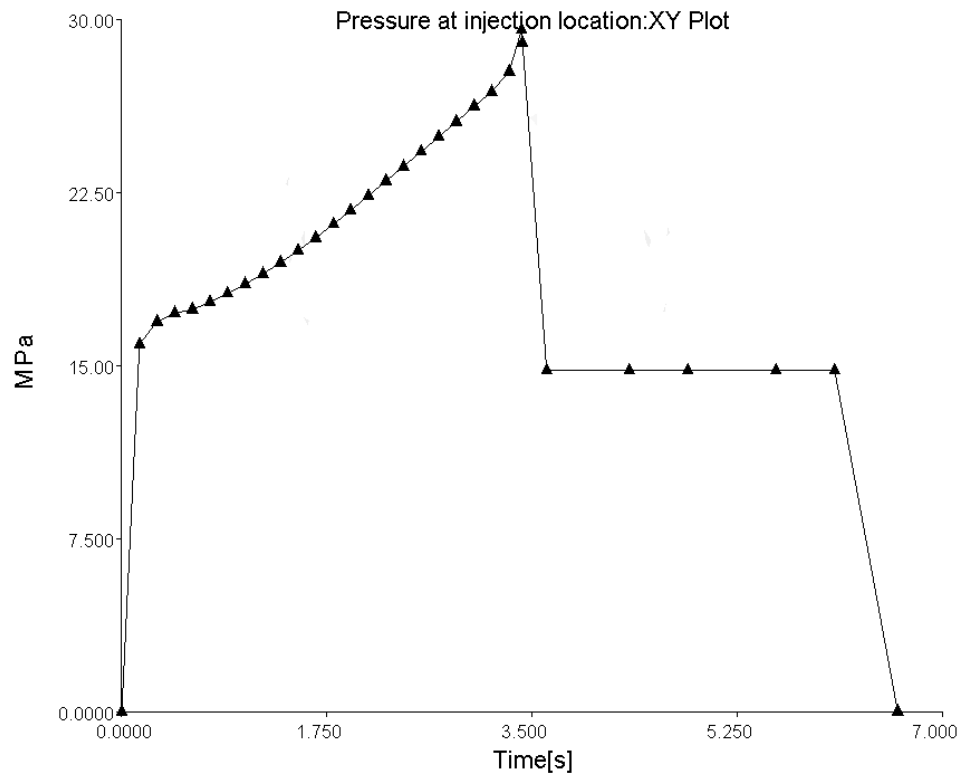
Z následujícího výsledku (Obr. 80.) můžeme sledovat velikost deformací na výrobku, které jsou způsobeny vlivy, jež komplexně působí na výrobek. Místo největších deformací se nachází v oblasti hrdla láhve. Důvodem vzniklé deformace může být nevhodným způsobem navržený temperační systém této vstřikovací formy. Dalším problémem je smrštění. Z hlediska materiálového lze diskutovat o mnoha aspektech, které hrají roli při velikosti smrštění. Smrštění může být závislé na druhu vstřikovaného polymeru, geometrii výrobku a také na procesních podmínkách vstřikovacího cyklu. V případě láhve je velikost deformace u obou výrobků přibližně stejná (důvodem je vliv teploty a plnění). Lze ale říci, že vzhledem k rozměrům výrobku je deformace poměrně malá, ikdyž ne zcela zanedbatelná.



Obr. 80. Deformace výrobku

### 11.3.5 Vstřikovací tlak

Na zobrazeném výsledku (Obr. 81.) vidíme průběh tlaku během vstřikovacího cyklu (v závislosti na čase). Vidíme, že nejvyšší hodnotu vstřikovacího tlaku nalezneme na konci plnění ( $p = 29,54$  [MPa]), která odpovídá hodnotě tlaku při přepnutí na dotlak. Dle nastavení procených parametrů je doba dotlaku  $t = 3$  [s] a jeho velikost představuje 50 [%] maximálního vstřikovacího tlaku ( $p_{\text{DOTLAK}} = 14,77$  [MPa]). Počátek grafu představuje začátek vstřikování, začátek dotlaku je vymezen koncem plnění. Doba a velikost dotlaku je jedním z nejdůležitějších parametrů volby vstřikovacího procesu, neboť silně ovlivňuje kvalitu výrobku (tvarovou a rozměrovou přesnost). Pokud by eventuelně byla dotlaková fáze příliš krátká, mohlo by dojít ke snížení kvality a jakosti výrobku (tvorba propadlin, lunek, bublin, nedotečení taveniny do všech míst dutiny formy, nerovností). Pokud by naopak byla fáze dotlaku příliš dlouhá, neměla by tavenina čas zrelaxovat. Jestliže by byl dotlak stejně velký jako vstřikovací tlak, nastala by situace, že by nedošlo k vytvoření tlakové špičky, zvýšení hmotnosti výrobku a vnesení zbytkových pnutí do výrobku.



Obr. 81. Vstřikovací tlak

## 11.4 Mechanická analýza

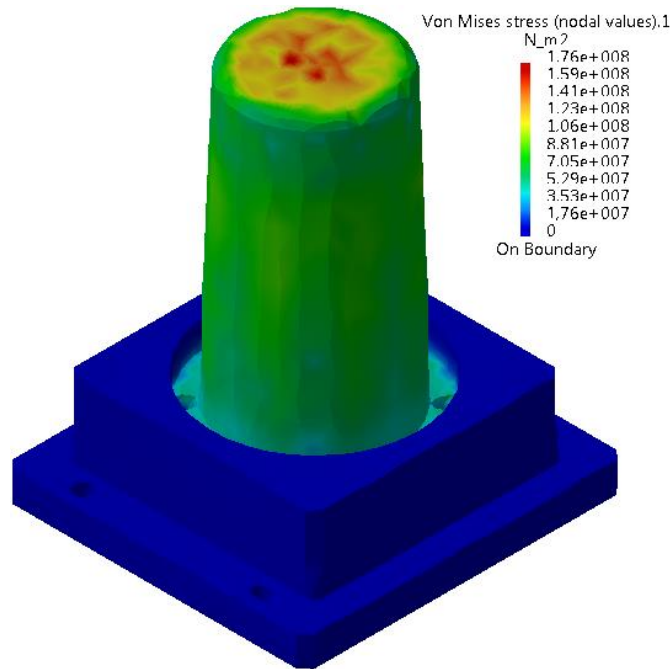
Mechanická analýza byla provedena na tvárníku. Uchycení je provedeno vetknutě, stejně tak, jak je tvárník uložen v dutině tvarové desky. Zatížení je provedeno tlakem, stejně jak je tomu uvnitř dutiny při vstřikování polymeru. Maximální vstřikovací tlak je určen z programu Autodesk Moldflow, který je 29,54 [MPa]. Pro tuto analýzu je ovšem tlak zvýšen na hodnotu 30 [MPa]. Materiál použitý pro analýzu je STEEL, který má standartně nastaveny hodnoty z programu CATIA V5R18.

- Výpočet dovoleného napětí:  $\sigma_D = \frac{\sigma_K}{k} = \frac{1900}{1,5} = 1267$  [MPa]

- kde:  $\sigma_D$  – je velikost dovoleného napětí

$\sigma_K$  – je velikost meze kluzu daného materiálu

$k$  – je koeficient bezpečnosti



Obr. 82. Tvárník – mechanická analýza

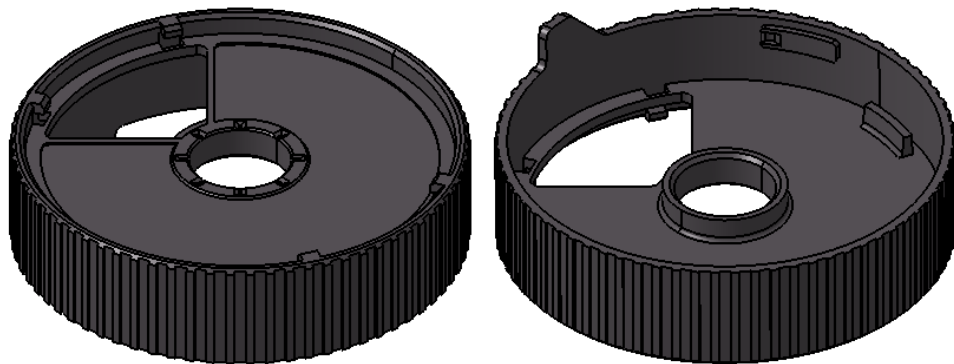
Tvárník byl zatížen tlakem  $p = 30$  [MPa]. Dle výsledků (Obr. 82.) je maximální hodnota srovnávacího Von Misesova napětí je  $\sigma_{MAX} = 176$  [MPa]. Hodnota maximálního napětí je tedy menší, než hodnota napětí dovoleného a tvárník VYHOVUJE zadanému mechanickému namáhání.

### 11.5 Diskuse návrhu vstřikovací formy č. 3

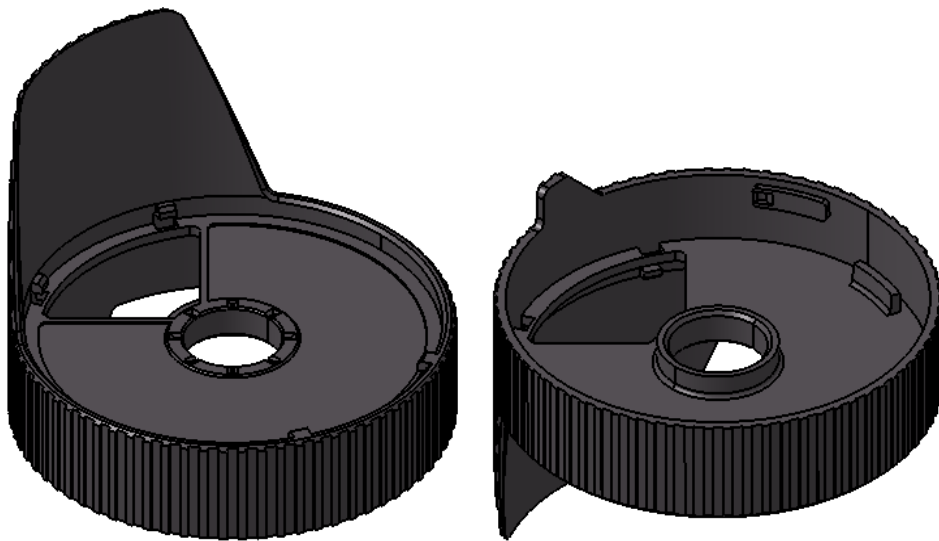
Konstrukce formy je řešena s dvěma dělicími rovinami (hlavní a vedlejší). Díky použití horkého vtokového systému odpadl problém s recyklací vtokového zbytku. Horký vtok také omezuje stopu po vtoku na výrobku. Navíc je vtok umístěn do dna láhve, které tvoří základnu pro postavení láhve a zajišťuje její stabilitu. Analýza plnění včetně studených spojů ukazuje postup plnění tvarové dutiny formy polymerem a zároveň predikuje, v jakých místech vznikají studené spoje. Analýzy plnění a vzduchových kapes nám ukazují místa, kde mohou pravděpodobně vznikat vzduchové kapsy (bubliny). Úpravy, které by mohly eliminovat vznik studených spojů a vzduchových kapes, jsou diskutovány v komentářích daných analýz. Deformace výrobku odpovídají velikosti výrobku i umístění vtokového ústí. Maximální hodnota vstřikovacího tlaku je využita pro mechanickou analýzu. Průběh vstřikovacího tlaku je zcela v pořádku.

## 12 OBJÍMKA (VÍKO)

U tohoto výrobku jsou pro finální sestavu zvoleny dva designové návrhy (Obr. 83. a 84.), kdy jeden návrh slouží jako část k uzavření láhve a následnému spojení s víčkem, čímž bude umožněno sypat daný materiál ven z láhve jednotlivými kvadranty na víčku. U druhého návrhu je k této objímce přiřazena lopatka, která by měla plnit funkci lepšího rozšívání materiálu. Je poté na spotřebiteli, které víko si pro daný materiál zvolí, a které víko mu bude lépe vyhovovat při manipulaci s výrobkem. Po obvodu obou návrhů je navrženo drážkování, které slouží k odlehčení výrobku a v druhé řadě k lepší adhezi při pootočení do uzavírací pozice (zámek bajonetu). Na horní ploše jsou dále zhotoveny 4 zobáčky, které slouží jako přidržovače víčka. U střední kruhové části je vytvořeno 8 zhloubení, které slouží jako funkční část pro aretaci víčka, jež má do svého těla při montáži vložen válcový kolík. Ve vnitřní části jsou umístěny části pro bajonetové spojení s láhví a opěrné prvky, které se opírou o láhev, aby došlo k lepší tuhosti objímky umístěné na láhvi.



Obr. 83. Designový návrh rukojeti bez lopatky – model 1



Obr. 84. Designový návrh rukojeti s lopatkou – model 2



## 12.1 Materiál výrobku

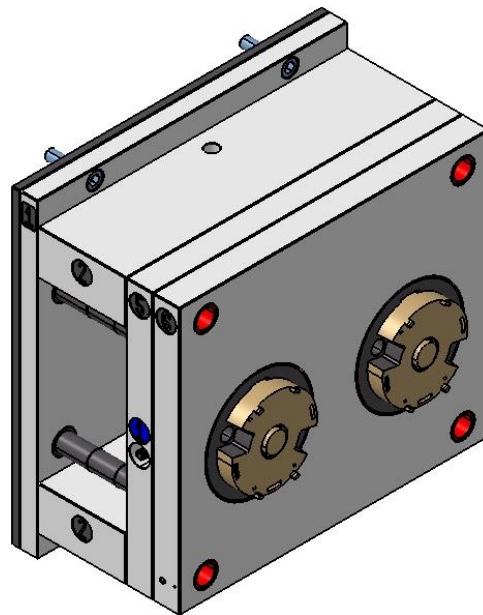
Jako materiál výrobku byl zvolen PP (Polypropylen). Polypropylen se řadí do skupiny semikrystalických polymerů. Výhodou tohoto polyolefinu je poměrně bezproblémový tok, snáší několika stupňovou recyklaci, dlouhou výdrž na zpracovatelské teplotě (teplotní stabilita) a také skutečnost, že snese poměrně velké otáčky šneky ve vstřikovacím stroji. Velikost smrštění PP je přibližně 2 [%]. Tento typ materiálu byl zvolen pro objímku (víko) proto, že nebude příliš mechanicky namáhána. Pro analýzy v CAE programu byl zvolen materiál Metocene HM648P od společnosti Basell Polyolefins Europe.

## 12.2 Vstřikovací forma

Jedná se stejně jako v předcházejících případech o koncepci konstrukce vstřikovací formy s posuvnými členy. Forma je složena z levé (pohyblivé), pravé (pevné) strany a vyhazovacího systému. Násobnost vstřikovací formy byla zvolena 2 s ohledem na tvar a velikost výrobku. Vstřikovací forma má dvě dělící roviny, jednu hlavní a druhou vedlejší. Barevně odlišené plochy na tvárníku a tvárnici jsou z důvodu názornosti, aby bylo zcela partneré, které plochy jsou v kontaktu s polymerním materiálem při vstřikování. Nejedná se o tvarové vložky. Jsou zde umístěny jak popisy jednotlivých desek, tak popisy vstupů a výstupů temperačního média do prostoru temperačního systému vstřikovací formy. Tyto popisy slouží zejména pro usnadnění práce lidem, kteří provádí montáž a údržbu vstřikovací formy.

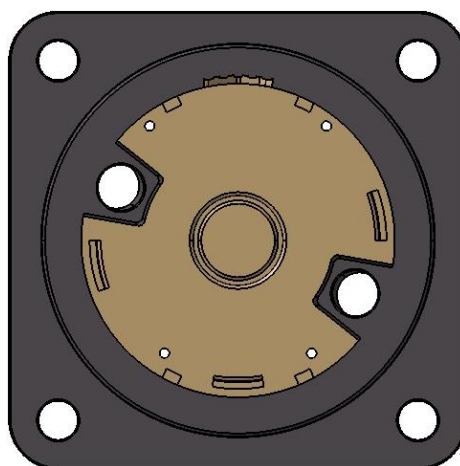
### 12.2.1 Levá (pohyblivá) strana

Skládá se ze středícího kroužku, izolační, upínací desky, rozpěrných desek, opěrné desky a kotevní desky. Dalšími komponenty jsou tvárník, kluzné vložky, vodící pouzdra a vodící čepy atd. Temperační systém této strany formy je tvořen konvenční metodou, tedy vrtanými kanály o průměru 8 [mm] a také dvěma chladícími věžemi, které mají na svém těle frézovanou drážku tvaru lichoběžníkového průřezu o rozměru  $s \times h \times v = 4 \times 4 \times 8$  [mm]. Každá chladící věž temperuje jeden tvárník (Obr. 85.).

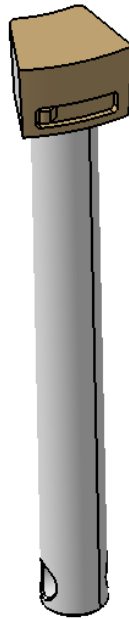


Obr. 85. Pohled do levé DR

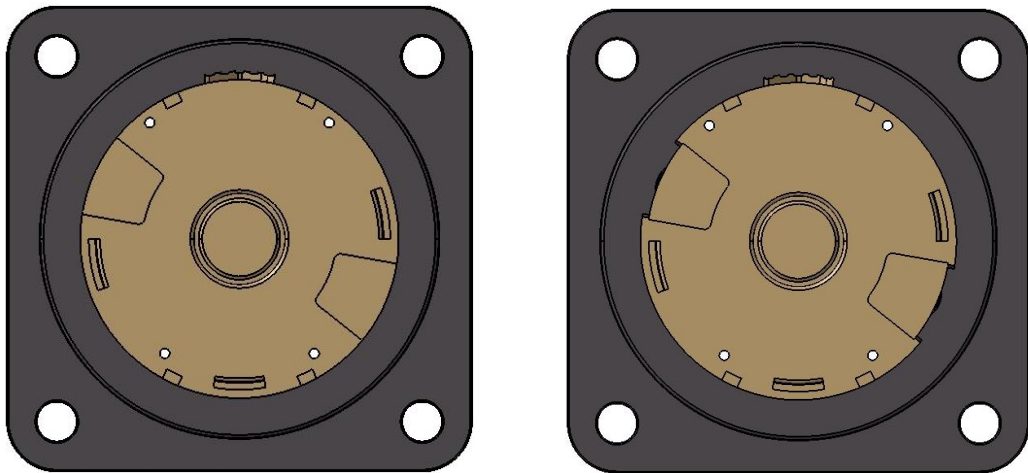
Tvárník (Obr. 86.) je tvořen pevnou částí a také dvěma šikmými vyhazovači (Obr. 87.), které slouží k odformování bajonetové aretace (vnitřní tvarová plocha). Na obrázku je viditelný tvárník při uzavřené a otevřené formě (Obr. 88.). Velikost pohybu šikmých vyhazovačů je 2,096 [mm]. Tato hodnota je volena záměrně větší, než je nutné, aby bylo zajištěné bezproblémové vyhazování (odformování) výrobku a byla tedy vytvořena dostatečná vůle umožňující vyhazovací pohyb výrobku z tvarové dutiny formy.



Obr. 86. Tvárník



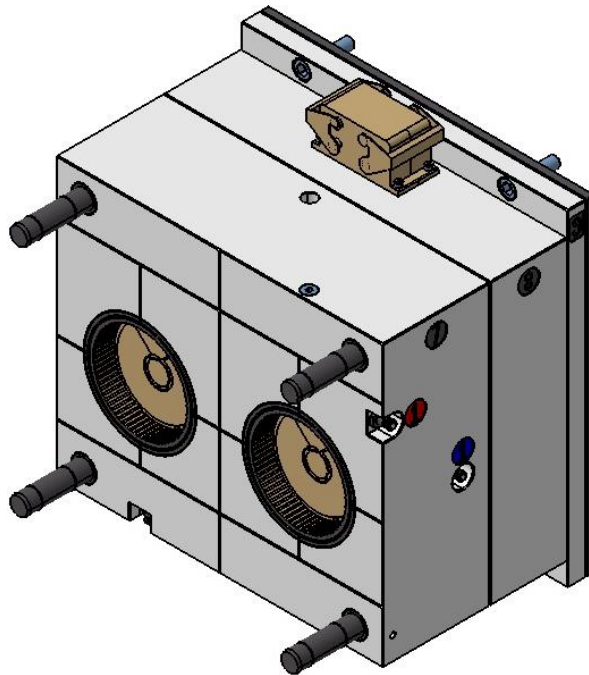
Obr. 87. Šikmý vyhazovač



Obr. 88. Tvárník – uzavřený, otevřený

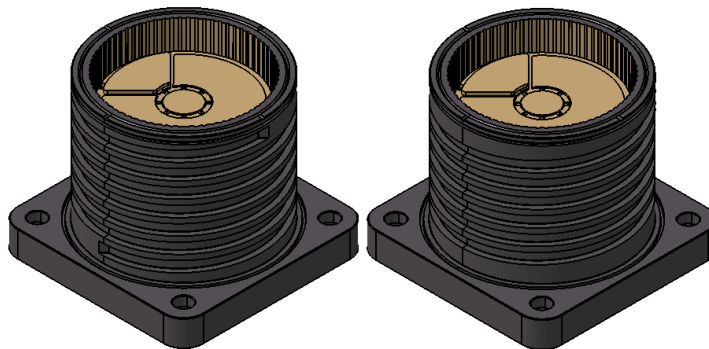
### 12.2.2 Pravá (pevná) strana

Skládá se ze středícího kroužku, izolační, upínací a kotevní desky. Samozřejmě jsou zde umístěny středící trubky a středící čepy. Vtokový systém je horký a je složen z vyhřívané vtokové soustavy (vyhřívaná vtoková vložka, vyhřívaný rozvodný blok “I”, vyhřívané trysky a zásuvka). Temperační systém je zhotoven konvenční metodou vrtaných kanálů o průměru 8 [mm] a ve tvárnících jsou frézovány drážky po obvodu lichoběžníkového průřezu  $s \times h \times v = 4 \times 4 \times 8$  [mm]. Odvzdušnění na této straně vstřikovací formy je provedeno frézovanými drážkami (Obr. 89.).



Obr. 89. Pohled do pravé DR

V tomto případě jsou ve vstřikovací formě umístěny dvě tvárnice (Obr. 90.), přičemž jedna formuje výrobek, který je bez lopatky a druhá tvárnice formuje výrobek s lopatkou. Jak si můžeme všimnout, tvárnice jsou naprosto totožné. I temperace je provedena totožně, ikdyž tvárnici bez lopatky by stačilo temperovat pouze od 1/3 výšky tvárnice. Z hlediska programování obrábění, jsou ale obě těla tvárnice totožné.

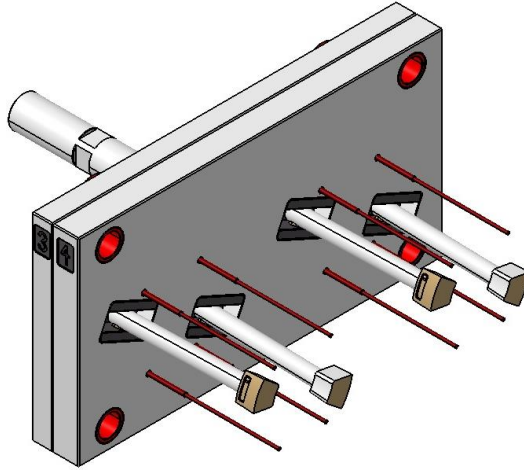


Obr. 90. Tvárnice – bez lopatky, s lopatkou

### 12.2.3 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém (Obr. 91.) je tvořen táhlem, vodicími pouzdry, opěrnou, kotevní deskou, válcovými vyhazovači a šikmými vyhazovači. Šikmé vyhazovače jsou zde využity kvůli odformování vnitřních tvarových ploch. Šikmé vyhazovače jsou umístěny v U profilu, kde jsou uchyceny pomocí čepu, který umožní jejich naklánění, vlivem vedení v opěrné,

kotevní desce a také částečně v tvárníku. Válcové vyhazovače společně se šikmými při pohybu vyhazovacího systému, působí na výrobek a vyhodí jej z prostoru vstříkovací formy. Zdvih vyhazovacího systému je 40 [mm].

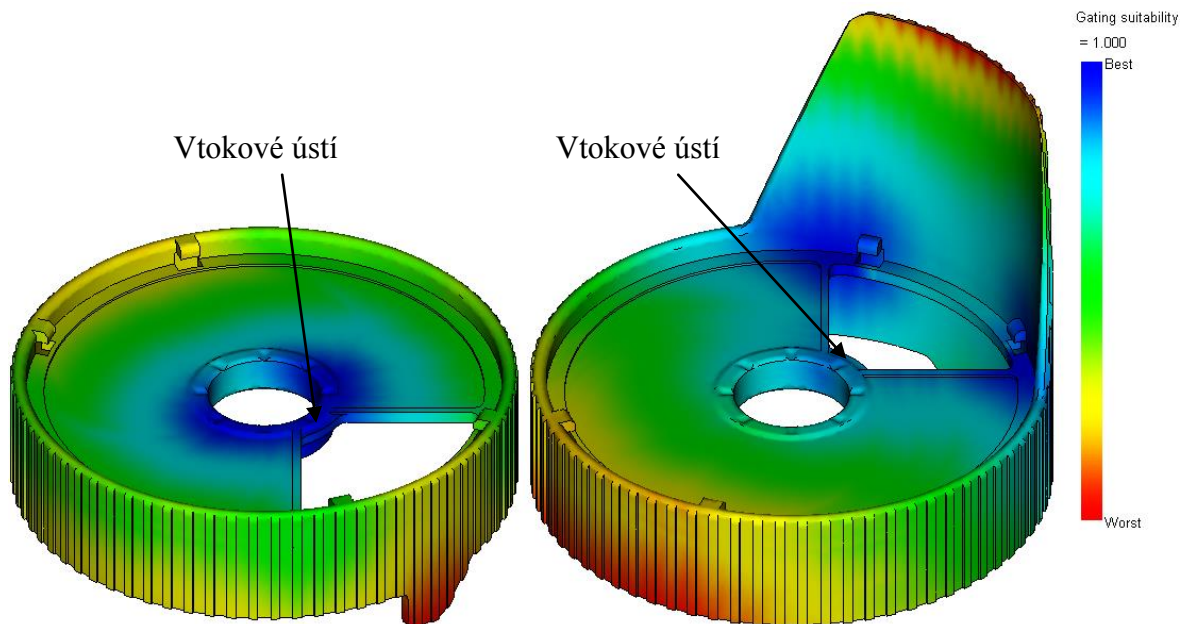


*Obr. 91. Vyhazovací systém*

## 12.3 Tokové analýzy

### 12.3.1 Analýza určení umístění polohy vtoku – Gate Location

Analýza umístění polohy vtoku nám predikuje z geometrického hlediska nejvhodnější místo pro umístění polohy vtoku. Ovšem je nutné se zabývat otázkou odformování, temperačního systému a vtokového systému. V případě těchto výrobků je vtokové ústí umístěno do plochy, která se jeví jako pohledová, ale po sestavení výrobku bude zcela zakryta víčkem (Obr. 92.). Tudíž stopa po vtokovém ústí je zanedbatelná z hlediska vzhledové vady výrobku. Procentuální vyjádření umístění vhodnosti umístění vtoku se pro model 1 pohybuje v hodnotách cca 97 [%] a pro model 2 je tato hodnota cca 84 [%].

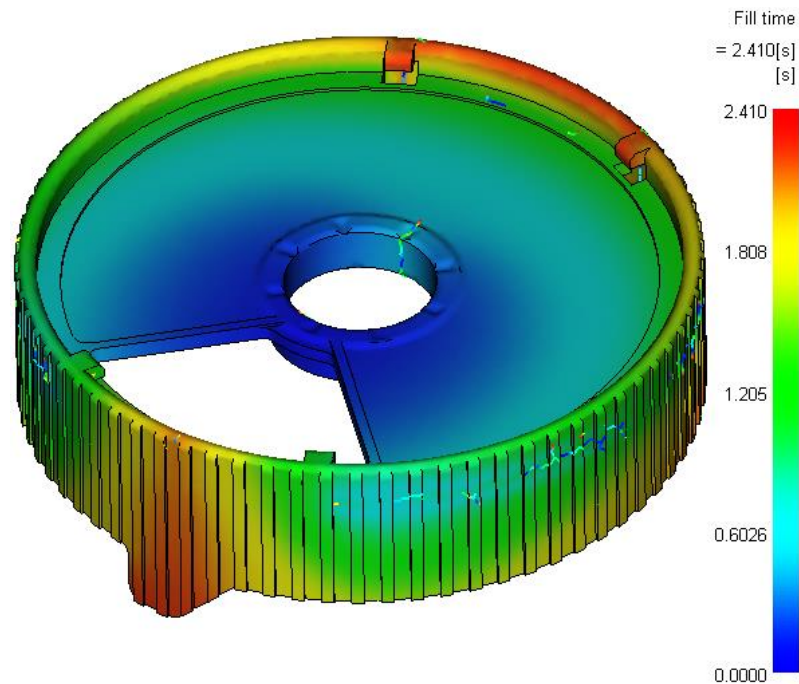


Obr. 92. Gate Location – model 1 a 2

### 12.3.2 Analýza plnění včetně studených spojů

Analýza plnění vyjadřuje dobu, která je potřebná pro zcela zaplněnou dutiny formy (Obr. 93.). Výsledek dále pojednává o přibližném nastavení procesního parametru plnění, a to přímo pro vstřikovací stroj, a řekne nakolik je plnění dutiny vstřikovaným materiálem vyváženo (tavenina by měla dorazit ke krajním místům výrobku ve stejný čas). V tomto případě tomu tak není, jelikož je vtok umístěn excentricky do horní plochy objímky (mimo osu výrobku). Z výsledku se dá též usoudit, že došlo k plnému vyplnění dutiny formy taveninou, pokud by se tak nestalo, výsledek by ukázal nedotečený materiál, poté by se musela

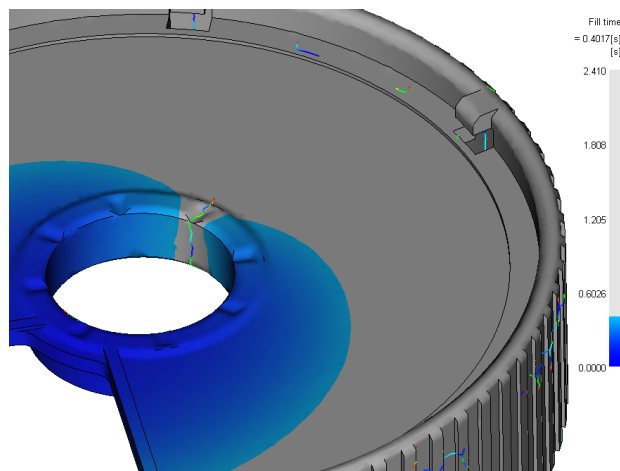
hledat příčina například ve špatně zvolených rozměrech horkého vtokového systému, po případě nevhodně zvoleném vtokovém ústí, nebo ve volbě vstřikovacího stroje s nízkou kapacitou plastikační jednotky. V případě plnění objímky (víčka) pozorujeme, že tvarová dutina formy byla zcela vyplněna po uplynutí doby  $t = 2,41$  [s].



Obr. 93. Plnění včetně studených spojů

Současně s analýzou plnění jsou znázorněny studené spoje. Pokud nahlédneme do detailu vzniku studeného spoje (Obr. 94.), lze predikovat, v jakém čase cyklu vznikne studený spoj v dané části výrobku. V tomto případě vzniká studený spoj v čase vstřikovacího cyklu cca 0,41 [s] na ploše, která slouží k zasunutí a zacvaknutí víčka k objímce pružnou částí víčka. Studené spoje jsou místa, kdy dojde ke spojení dvou proudů (čela) taveniny a v těchto místech se výrazně sníží mechanické vlastnosti výrobku a také vzhled. Tento jev podporují i další nedostatky jako jsou nízká teplota formy, nízká teplota vstřikovaného materiálu, nevhodně zvolené odvzdušnění, malá rychlost vstřikovaného materiálu nebo příliš dlouhá dráha toku taveniny. Jelikož se jedná o výrobek, který nebude poměrně často mechanicky namáhán, můžeme eventuálně studené spoje určitým způsobem zanedbat. Pokud by ovšem bylo by nutné provést úpravy, tak ty by spočívaly zejména v opravách technologických parametrů procesu vstřikování. Opravy by spočívaly ve zvýšení teploty taveniny, zvýšení teploty formy v oblasti tvárníku a tvárnice přidáním lépe tepelně vodivého materiálu (lokální ohřev). Pokud by ani tyto úpravy nepomohly, muselo by se hledat nové místo

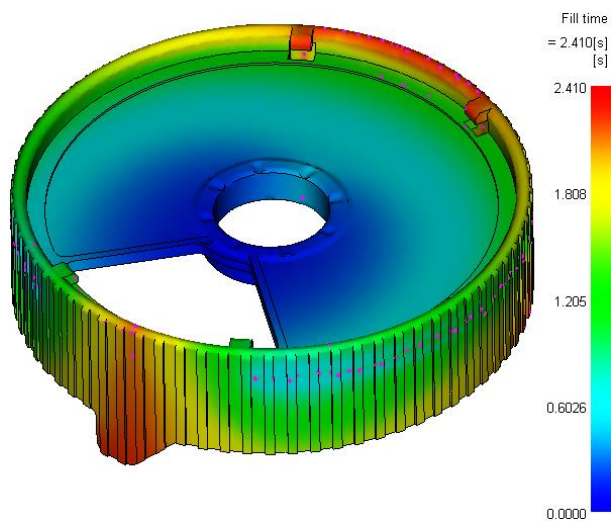
pro vtokové ústí, aby došlo k lepšímu plnění dutiny formy taveninou, popř. použít plnění více vtoky.



Obr. 94. Detail vzniku studeného spoje

### 12.3.3 Analýza plnění včetně vzduchových kapes

Problematika vzniku vzduchovým bublin (Obr. 95.) představuje všeobecně poměrně složitou problematiku a zobrazený výsledek pouze ukazuje místa možného výskytu vzduchových kapes. Vzduchové kapsy vzniklé během plnění jsou produkt spojení čela taveniny během procesu plnění dutiny formy a míst, kde tavenina v dutině končí svůj tok. Další aspekt, který může mít vliv na vznik vzduchových bublin, může být nedokonale vysušený polymer (vzdušná vlhkost). Možnost jak odstranit vzduchové kapsy je úprava místa vtoku do dutiny formy nebo vytvoření odvzdušňovacího systému ve vstříkovací formě.

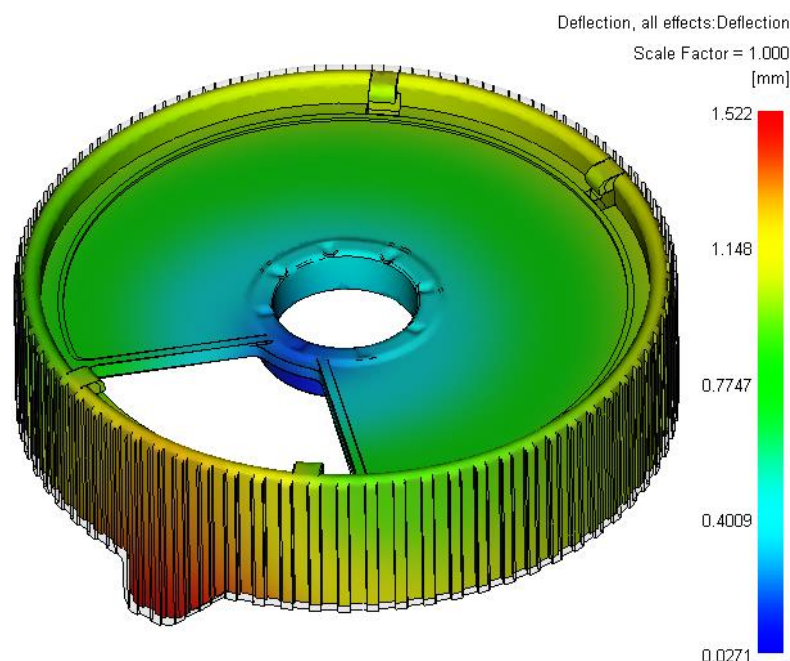


Obr. 95. Plnění včetně vzduchových kapes



### 12.3.4 Deformace výrobku

Z tohoto výsledku (Obr. 96.) můžeme zjistit velikost deformací na výrobku, které jsou způsobeny vlivy, jež komplexně působí na výrobek. Místo největších deformací se nachází v oblasti aretačního přesahu a dvou přidržovačů víčka. Důvodem vzniklé deformace může být nevhodným způsobem navržený temperační systém této vstřikovací formy. Dalším problémem je smrštění. Z hlediska materiálového lze diskutovat o mnoha aspektech, které hrají roli při velikosti hodnoty smrštění. Smrštění může být závislé na druhu vstřikovaného polymeru, geometrii výrobku a také na procesních podmínkách vstřikovacího cyklu. Lze ale říci, že vzhledem k rozměrům výrobku je deformace poměrně malá, ikdyž ne zcela zanedbatelná.

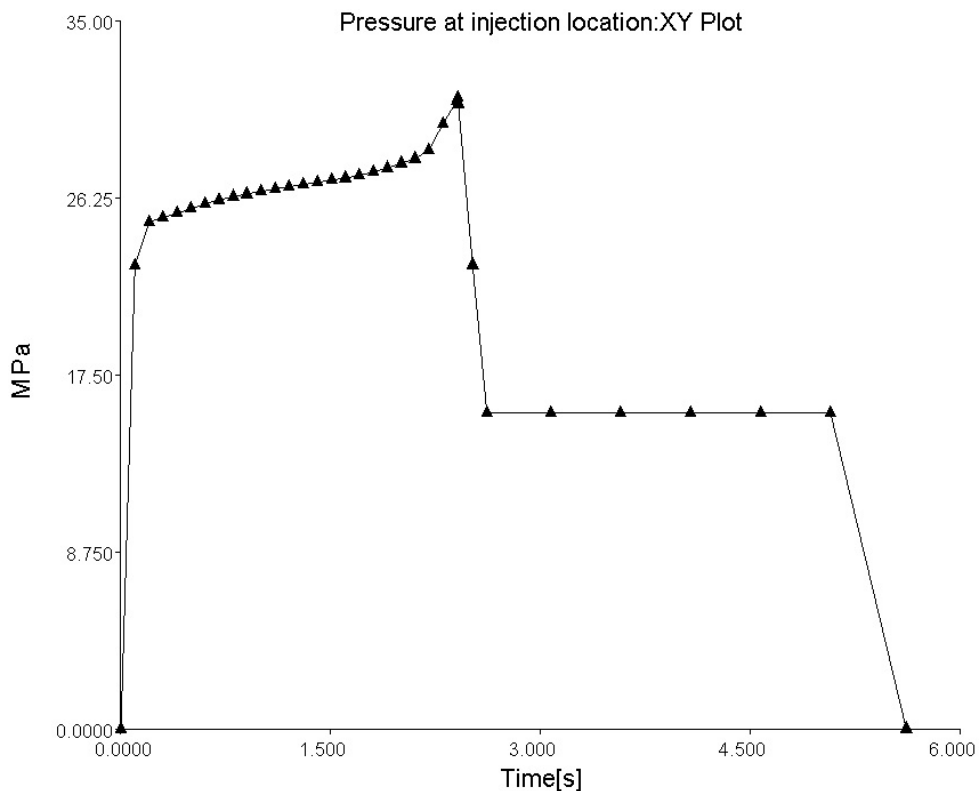


Obr. 96. Deformace výrobku

### 12.3.5 Vstřikovací tlak

Na zobrazeném výsledku (Obr. 97.) vidíme průběh tlaku během vstřikovacího cyklu (v závislosti na čase). Vidíme, že nejvyšší hodnotu vstřikovacího tlaku nalezneme na konci plnění ( $p = 31,19$  [MPa]), která odpovídá hodnotě tlaku při přepnutí na dotlak. Dle nastavení procesních parametrů je doba dotlaku  $t = 3$  [s] a jeho velikost představuje 50 [%] maximálního vstřikovacího tlaku ( $p_{\text{DOTLAK}} = 15,595$  [MPa]). Počátek grafu představuje začátek vstřikování, začátek dotlaku je vymezen koncem plnění. Doba a velikost dotlaku je jedním z nejdůležitějších parametrů volby vstřikovacího procesu, neboť silně ovlivňuje

kvalitu výrobku (tvarovou a rozměrovou přesnost). Pokud by eventuelně byla dotlaková fáze příliš krátká, mohlo by dojít ke snížení kvality a jakosti výrobku (tvorba propadlin, lunek, bublin, nedotečení taveniny do všech míst dutiny formy, nerovností). Pokud by naopak byla fáze dotlaku příliš dlouhá, neměla by tavenina čas zrelaxovat. Jestliže by byl dotlak stejně velký jako vstřikovací tlak, nastala by situace, že by nedošlo k vytvoření tlakové špičky, zvýšení hmotnosti výrobku a vnesení zbytkových pnutí do výrobku.

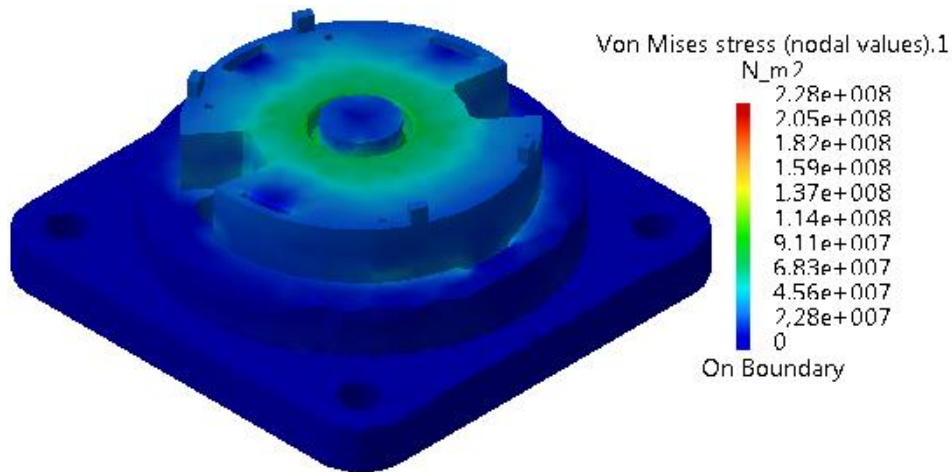


Obr. 97. Vstřikovací tlak

## 12.4 Mechanická analýza

Mechanická analýza byla provedena na tvárníku. Uchycení je provedeno vetknutě, stejně tak, jak je tvárník uložen v dutině tvarové desky. Zatížení je provedeno tlakem, stejně jak je tomu uvnitř dutiny při vstřikování polymeru. Maximální vstřikovací tlak je určen z programu Autodesk Moldflow, který je 31,19 [MPa]. Pro tuto analýzu je ovšem tlak zvýšen na hodnotu 32 [MPa]. Materiál použitý pro analýzu je STEEL, který má standartně nastaveny hodnoty z programu CATIA V5R18.

- 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. 98. Tvárník – mechanická analýza

Tvárník byl zatížen tlakem  $p = 32 \text{ [MPa]}$ . Dle výsledků (Obr. 98.) je maximální hodnota srovnávacího Von Misesova napětí je  $\sigma_{\text{MAX}} = 228 \text{ [MPa]}$ . Hodnota maximálního napětí je tedy menší, než hodnota napětí dovoleného a tvárník VYHOVUJE zadanému mechanickému namáhání.

## 12.5 Diskuse návrhu vstřikovací formy č. 4

Konstrukce formy je řešena s dvěma dělicími rovinami (hlavní a vedlejší). Díky použití horkého vtokového systému odpadl problém s recyklací vtokového zbytku. Horký vtok také omezuje stopu po vtoku na výrobku. Analýza plnění včetně studených spojů ukazuje postup plnění tvarové dutiny formy polymerem a zároveň predikuje, v jakých místech vznikají studené spoje. Analýzy plnění a vzduchový kapes nám ukazují místa, kde mohou pravděpodobně vznikat vzduchové kapsy (bubliny). Úpravy, které by mohly eliminovat vznik studených spojů a vzduchových kapes, jsou diskutovány v komentářích daných analýz. Deformace výrobku odpovídají velikosti výrobku i umístění vtokového ústí. Maximální hodnota vstřikovacího tlaku je využita pro mechanickou analýzu. Průběh vstřikovacího tlaku je zcela v pořádku.

## 13 ZÁVĚR PRAKTICKÉ ČÁSTI

Praktická část této diplomové práce se zabývala kompletním designovým návrhem vstřikovaného výrobku, kterým byla nádoba na posypový materiál. Tento výrobek se řadí do skupiny spotřebitelských. Po samotném designovém návrhu jednotlivých částí výrobku přišla na řadu tvorba výkresové dokumentace jednotlivých výrobků. Následně byl proveden designový návrh vstřikovacích forem pro dané výrobky včetně řezů jednotlivými vstřikovacími formami. U všech čtyř vstřikovacích forem se jedná o konstrukční řešení, které mají více dělicích rovin. Jedna dělicí rovina je vždy hlavní, ve které výrobky opouští tvarové dutiny vstřikovacích forem, a vedlejší dělicí roviny mají vždy za úkol formovat prvky, které by jedním pohybem formy nebylo možné odformovat. U prvních tří forem bylo nutné využít posuvových kostek a u čtvrté formy šikmých vyhazovačů z důvodu vnitřní tvarové plochy na objímce. Dalším krokem po zhotovení návrhů jak výrobků, tak vstřikovacích forem, bylo ověřit tyto návrhy tokovými analýzami CAE v simulačním programu. Je nutné brát v úvahu, že veškeré simulace jsou pouze informativní, jelikož v reálném procesu vstřikování je nespočet faktorů, které svým specifickým způsobem ovlivňují samotný proces. I přes ne zcela dokonalou informaci od simulačního programu je ve spoustě případů naprosto nepostradatelné jejich využití a umožní nám predikovat, jak se bude daný výrobek chovat v dutině vstřikovací formy. V případě této diplomové práce byly využity výsledky z hlediska umístění polohy vtoku, časového plnění tvarové dutiny vstřikovací formy současně se vznikem studených spojů ve výrobku, časového plnění tvarové dutiny vstřikovací formy současně se vznikem vzduchových kapes ve výrobku a deformace výrobku, které vznikají vlivem chládnutí polymeru uvnitř vstřikovací formy. Posledním výsledkem byla hodnota vstřikovacího tlaku, který je nezbytnou informací pro mechanické analýzy tvárněnků jednotlivých vstřikovacích forem. Tyto analýzy nám říkají, jak velkým namáháním, vlivem tlaku vstřikovaného polymeru, je namáhán tvárník vstřikovací formy a zdali tlak není větší, než pevnost daného materiálu. Všechny výsledky analýz a konstrukčních řešení vstřikovacích forem jsou popsány ve výše uvedených kapitolách a diskusích jednotlivých návrhů vstřikovacích forem.

## ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývá kompletním návrhem výrobku, který se řadí do skupiny spotřebitelských. V teoretické části jsou popsány polymerní materiály, technologie vstřikování, vstřikovací stroj a nástroj (forma) a vstřikované výrobky. V praktické části se tato diplomová práce zabývala kompletním designovým návrhem čtyř vstřikovacích forem pro čtyři vstřikované výrobky, kterými byly víčko, rukojeť, láhev a objímka ve dvou designových provedeních, tak aby si uživatel výrobku mohl vždy vybrat, jakou objímku chce na láhvi aplikovat. Následně bylo provedeno ke každé vstřikovací formě ověření vhodnosti konstrukčního návrhu pomocí tokových CAE analýz v programu Autodesk Moldflow Synergy 2013.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY****LITERÁRNÍ ZDROJE**

- [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. – R. LAMBOROVÁ.: *Základy výrobních procesů I. – Konstrukční materiály a kompozity*, Zlín : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně – Fakulta technologická, 2008
- [3] STOKLASA, K.: *Makromolekulární chemie I.* Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2005, 96 – 98 s.
- [4] DUCHÁČEK, V.: *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití.* 2. Vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2006. Str. 166, 278s. ISBN 80-708-0617-6
- [5] BOBČÍK, L.: *Formy pro zpracování plastů I.díl – Vstřikování termoplastů.* 2. Vyd. Brno: Uniplast, 1999, 134 s.
- [6] FIALA, T.: *Problematika výroby elektrotechnické součástky.* Zlín, 2012. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
- [7] SOLDAT, P.: *Návrh vstřikovací formy pro dvoukomponentní výrobek.* Zlín, 2012. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
- [8] PYTLÍK, T.: *Konstrukce vstřikovací formy pro dvoukomponentní vstřikování.* Zlín, 2012. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [9] MAŇAS, M. a J. HELFŠTÝN: *Výrobní stroje a zařízení: Gumárenské a plastickářské stroje II.* Brno: VUT, 1990, 199 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-0213-X.
- [10] RAGAN E. et al: *Vstrekovanie a spracovanie plastických hmôt.* Prešov: Fakulta výrobních technológií so sídlou v Prešove, 2008, 548 s. ISBN 978-80-553-0102-0.
- [11] STOKLASA, K.: *Zpracovatelské inženýrství I. – Základy gumárenské a plastickářské technologie*, Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně – Fakulta technologická, 2009, 20-29 s.
- [12] ZEMAN, L.: *Vstřikování plastů*, vyd. Praha: BEN, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3

- [13] MICHAELI, W.: *Training in injection molding: a text – and workbook*. 2nd ed. Cincinnati: Hanser Gardener Publications, c2001, x, 154 p. ISBN 15-699-0302-06
- [14] POTSCH, G. And W. MICHAELI: *Injection Molding: An Introduction*. 2nd ed. Munchen: Hanser, 2008. ISBN 15-699-0419-7.
- [15] ZEMAN, L.: *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. Praha BEN – technická literature, 2009. ISBN 978/807/3002-503
- [16] CAMPO, A.E.: *The Compete Part Design Handbook*. Hunser Publisher: Munich, 2006, 869p. ISBN 978-56990-375-9
- [17] POTSCH, Gerd and Walter MICHAELI. *Injection molding: An Introduction*. 2nd ed. Munchen: Hanser, 2008. ISBN 15-699-0419-7.
- [18] BOBČÍK, L.: *Formy pro zpracování plastů II.díl – Vstřikování termoplastů*. 1. Opravené vydání Brno: Uniplast, 1999, 214 s.
- [19] BEAUMONT, John P. *Runner and Gating Design Handbook: Tools for Successful Injection Molding*. 2nd ed. Munchen: Hanser, 2007,308 s. ISBN 15-699-0421-9.
- [20] GOODSHIP, V.: *Practical Guide to Injection Moulding*, Rapra Technology and Arburg 2004, 4-5 p. ISBN 1-85957-444-0
- [21] MAŇAS, M., HELŠTÝN, J.: *Výrobní stroje a zařízení, Gumárenské a plastikářské stroje II.*, Brno: VUT, 1990. 199 s. ISBN 80-214-0213-X

## INTERNETOVÉ ZDROJE

- [22] Technická univerzita Liberec - Fakulta Strojní.: *Plasty a jejich zpracovatelské vlastnosti*. [online] 2008 [cit. 10-11-2012]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/01.htm#013](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm#013)
- [23] DVOŘÁK, Z.: *Zpracovatelské procesy gumárenské: pro konstrukční směry*. [online] Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, 2009 [cit. 10-11-2012]. Dostupné z: [http://web.ft.utb.cz/cs/docs/T8ZPG\\_zpracovatelske\\_procesy\\_gumarenske.pdf](http://web.ft.utb.cz/cs/docs/T8ZPG_zpracovatelske_procesy_gumarenske.pdf)

- [24] Chemické listy: Termoplastické elastomery – moderní polymerní materiály. [online] Praha Ústav polymerů, Vysoká škola chemicko-technologická, 1997 [cit. 10-11-2012]. Dostupné z: [http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/1997\\_01\\_23-29.pdf](http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/1997_01_23-29.pdf)
- [25] Polymery “stručně”. [online] 2012 [cit. 10-11-2012] Dostupné z: <http://www.vscht.cz/ipl/osobni/svorcik/Polymery.pdf>

### **SOFTWAREVÉ PROGRAMY**

- [26] Autodesk Moldflow Insight 2013 [PC program]. Ver. Educational Edition. Autodesk Inc., 2009 [cit. 10-11-2012]
- [27] CATIA V5R18 [PC program]. Ver. Educational Edition. Dassault System Inc., 2010 [cit. 10-11-2012]



**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

GIT	Vstřikování za pomoc asistenčního média (plyn)
WIT	Vstřikování za pomoci asistenčního média (voda)
T <sub>g</sub>	Teplota skelného přechodu materiálu [°C]
T <sub>m</sub>	Teplota tání materiálu [°C]
T <sub>f</sub>	Teplota toku materiálu [°C]
T <sub>d</sub>	Teplota degradace molekul materiálu [°C]
TPE	Částečně termoplastický polymer
P	Vstřikovací tlak [cm <sup>3</sup> ·bar]
t	Čas [s]
V <sub>S(MAX)</sub>	Maximální vstřikovací objem na jednu plastikaci
p <sub>IN(MAX)</sub>	Maximální vstřikovací tlak
SVS	Studený vtokový systém
HVS	Horký vtokový systém
PS	Polystyren
PMMA	Polymethylmetakrylát
PC	Polykarbonát
PVC	Polyvinylchlorid
b <sub>k</sub>	Šířka temperačního kanálu [mm]
h <sub>k</sub>	Výška temperačního kanálu [mm]
S	Vzdálenost temperačního kanálu od povrchu tvarové dutiny formy
c	Vzdálenost mezi jednotlivými temperačními kanály
v	Rychlost průtoku temperačního média temperačním okruhem [m·s <sup>-1</sup> ]
Δt	Rozdíl teplot [°C]

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

<i>Obr. 1. Stavba a skladba makromolekul [20]</i> .....	14
<i>Obr. 2. Druhy uspořádání makromolekul kopolymeru [3]</i> .....	14
<i>Obr. 3. Uspořádání makromolekuly roubovaného kopolymeru [3]</i> .....	14
<i>Obr. 4. Amorfni struktura [22]</i> .....	15
<i>Obr. 5. Semikrystalická struktura [22]</i> .....	15
<i>Obr. 6. Základní rozdělení polymerních materiálů [2]</i> .....	16
<i>Obr. 7. Rozdělení termoplastů s ohledem na strukturu a aplikaci [2]</i> .....	16
<i>Obr. 8. Oblast použití amorfni termoplastů [5]</i> .....	18
<i>Obr. 9. Průběh deformačních vlastností u amorfniho polymeru [6]</i> .....	19
<i>Obr. 10. Oblast použití semikrystalických termoplastů [5]</i> .....	19
<i>Obr. 11. Průběh deformačních vlastností u semikrystalického polymeru [6]</i> .....	20
<i>Obr. 12. Princip vstřikování [10]</i> .....	24
<i>Obr. 13. Vstřikovací cyklus stroje a nástroje [11]</i> .....	25
<i>Obr. 14. Průběh tlaku ve vstřikovací formě během cyklu [15]</i> .....	25
<i>Obr. 15. Vstřikovací cyklus stroje a nástroje [11]</i> .....	27
<i>Obr. 16. Vstřikovací stroj [8]</i> .....	28
<i>Obr. 17. Vstřikovací stroj (pístový) bez předplastikace [8]</i> .....	29
<i>Obr. 18. Vstřikovací stroje s předplastikací [8]</i> .....	30
<i>Obr. 19. Hydraulická uzavírací jednotka s pomocnými válci [21]</i> .....	32
<i>Obr. 20. Hydraulicko-mechanická uzavírací jednotka s válcem v ose stroje [21]</i> .....	33
<i>Obr. 21. Elektro-mechanická uzavírací jednotka [21]</i> .....	33
<i>Obr. 22. Řadové uspořádání vtokové soustavy vícenásobných forem [30]</i> .....	41
<i>Obr. 23. Základní typy vtokových ústí [5]</i> .....	42
<i>Obr. 24. Průřezy temperačních kanálů [18]</i> .....	45
<i>Obr. 25. Vliv rozmístění temperačních kanálů [18]</i> .....	46
<i>Obr. 26. Temperace tvárníku [5]</i> .....	46
<i>Obr. 27. Vyhazovací kolíky – mechanické vyhazování [18]</i> .....	48
<i>Obr. 28. Odvzdušnění forem [10]</i> .....	50
<i>Obr. 29. Tloušťka stěn (a – nevhodné, b – vhodné) [16]</i> .....	52
<i>Obr. 30. Změna tloušťky stěn (a – nevhodné, b – vhodné) [16]</i> .....	53
<i>Obr. 31. Úkosy u výstřiků [16]</i> .....	53

<i>Obr. 32. Druhy žeber [5]</i> .....	54
<i>Obr. 33. Způsoby rýhování a tvary ovládacích prvků [5]</i> .....	55
<i>Obr. 34. Konečné designové návrhy sestavy výrobku</i> .....	59
<i>Obr. 35. Doporučené naplnění láhve, doporučený úhel naklonění</i> .....	60
<i>Obr. 36. Designový návrh víčka</i> .....	61
<i>Obr. 37. Pohled do levé DR</i> .....	62
<i>Obr. 38. Tvárník</i> .....	63
<i>Obr. 39. Posuvová kostka</i> .....	63
<i>Obr. 40. Tvárník – uzavřený, otevřený</i> .....	64
<i>Obr. 41. Pohled do pravé DR</i> .....	64
<i>Obr. 42. Tvárnice</i> .....	65
<i>Obr. 43. Vyhazovací systém</i> .....	65
<i>Obr. 44. Gate location</i> .....	66
<i>Obr. 45. Plnění včetně studených spojů</i> .....	67
<i>Obr. 46. Detail vzniku studeného spoje</i> .....	68
<i>Obr. 47. Plnění včetně vzduchových kapes</i> .....	68
<i>Obr. 48. Deformace výrobku</i> .....	69
<i>Obr. 49. Vstřikovací tlak</i> .....	70
<i>Obr. 50. Tvárník – mechanická analýza</i> .....	71
<i>Obr. 51. Designový návrh rukojeti</i> .....	72
<i>Obr. 52. Pohled do levé DR</i> .....	73
<i>Obr. 53. Tvárník</i> .....	74
<i>Obr. 54. Posuvová kostka levá a pravá</i> .....	74
<i>Obr. 55. Tvárník – uzavřený, otevřený</i> .....	75
<i>Obr. 56. Pohled do pravé DR</i> .....	75
<i>Obr. 57. Tvárnice</i> .....	76
<i>Obr. 58. Vyhazovací systém</i> .....	76
<i>Obr. 59. Gate Location</i> .....	77
<i>Obr. 60. Plnění včetně studených spojů</i> .....	78
<i>Obr. 61. Detail vzniku studeného spoje</i> .....	79
<i>Obr. 62. Plnění včetně vzduchových kapes</i> .....	79
<i>Obr. 63. Deformace výrobku</i> .....	80
<i>Obr. 64. Vstřikovací tlak</i> .....	81

<i>Obr. 65. Tvárník – mechanická analýza</i> .....	82
<i>Obr. 66. Designový návrh láhve</i> .....	83
<i>Obr. 67. Pohled do levé DR</i> .....	84
<i>Obr. 68. Tvárník</i> .....	85
<i>Obr. 69. Posuvové kostky levá a pravá</i> .....	85
<i>Obr. 70. Posuvová kostka aretace a posuvová kostka zámku rukojeti</i> .....	86
<i>Obr. 71. Tvárník - uzavřený</i> .....	86
<i>Obr. 72. Tvárník - otevřený</i> .....	86
<i>Obr. 73. Pohled do pravé DR</i> .....	87
<i>Obr. 74. Tvárnice</i> .....	87
<i>Obr. 75. Vyhazovací systém</i> .....	88
<i>Obr. 76. Gate Location</i> .....	89
<i>Obr. 77. Plnění včetně studených spojů</i> .....	90
<i>Obr. 78. Detailu vzniku studeného spoje</i> .....	91
<i>Obr. 79. Plnění včetně vzduchových kapes</i> .....	92
<i>Obr. 80. Deformace výrobku</i> .....	93
<i>Obr. 81. Vstřikovací tlak</i> .....	94
<i>Obr. 82. Tvárník – mechanická analýza</i> .....	95
<i>Obr. 83. Designový návrh rukojeti bez lopatky – model 1</i> .....	96
<i>Obr. 84. Designový návrh rukojeti s lopatkou – model 2</i> .....	96
<i>Obr. 85. Pohled do levé DR</i> .....	98
<i>Obr. 86. Tvárník</i> .....	98
<i>Obr. 87. Šikmý vyhazovač</i> .....	99
<i>Obr. 88. Tvárník – uzavřený, otevřený</i> .....	99
<i>Obr. 89. Pohled do pravé DR</i> .....	100
<i>Obr. 90. Tvárnice – bez lopatky, s lopatkou</i> .....	100
<i>Obr. 91. Vyhazovací systém</i> .....	101
<i>Obr. 92. Gate Location – model 1 a 2</i> .....	102
<i>Obr. 93. Plnění včetně studených spojů</i> .....	103
<i>Obr. 94. Detail vzniku studeného spoje</i> .....	104
<i>Obr. 95. Plnění včetně vzduchových kapes</i> .....	104
<i>Obr. 96. Deformace výrobku</i> .....	105
<i>Obr. 97. Vstřikovací tlak</i> .....	106

*Obr. 98. Tvárník – mechanická analýza* ..... 107

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1. Výhody a nevýhody hydraulické uza. jednotky [21] .....</i>	32
<i>Tab. 2. Výhody a nevýhody hydraulického pohonu [17] .....</i>	34
<i>Tab. 3. Výhody a nevýhody eletromechanického pohonu [17] .....</i>	34
<i>Tab. 4. Výhody a nevýhody SVS [5,19] .....</i>	41
<i>Tab. 5. Výhody a nevýhody HVS [5] .....</i>	43
<i>Tab. 6. Základní rozdělení temperačních médií [10, 18] .....</i>	47
<i>Tab. 7. Velikosti od vzdušňovacích mezer s ohledem na použitý polymer [18] .....</i>	50
<i>Tab. 8. Klíčové faktory ovlivňující jakost (kvalitu) výstřiku [5] .....</i>	51

**SEZNAM PŘÍLOH**

- P I – Výkresová dokumentace – VÍČKO
- P II – Výkresová dokumentace – POHLED DO LEVÉ A PRAVÉ DĚLÍCI ROVINY
- P III – Výkresová dokumentace – ČÁSTI VSTŘIKOVACÍ FORMY 1
- P IV – Výkresová dokumentace – RUKOJEŤ
- P V – Výkresová dokumentace – POHLED DO LEVÉ A PRAVÉ DĚLÍCI ROVINY
- P VI – Výkresová dokumentace – ČÁSTI VSTŘIKOVACÍ FORMY 2
- P VII – Výkresová dokumentace – LÁHEV
- P VIII – Výkresová dokumentace – POHLED DO LEVÉ A PRAVÉ DĚLÍCI ROVINY
- P IX – Výkresová dokumentace – ČÁSTI VSTŘIKOVACÍ FORMY 3
- P X – Výkresová dokumentace – OBJÍMKA (VÍKO) – BEZ LOPATKY
- P XI – Výkresová dokumentace – OBJÍMKA (VÍKO) – S LOPATKOU
- P XII – Výkresová dokumentace – POHLED DO LEVÉ A PRAVÉ DĚLÍCI ROVINY
- P XIII – Výkresová dokumentace – ČÁSTI VSTŘIKOVACÍ FORMY 4
- P XIV – Výkresová dokumentace – ŘEZ – SESTAVA VÝROBKU 1
- P XV – Výkresová dokumentace – ŘEZ – SESTAVA VÝROBKU 2
- P XVI – Výkresová dokumentace – SESTAVA VÝROBKU 1
- P XVII – Výkresová dokumentace – SESTAVA VÝROBKU 2
- P XVIII – Kusovník – SESTAVA VÝROBKU 1 a 2
- P XIX – DVD DISK (3D MODELY VÝROBKŮ, 3D MODELY VSTŘIKOVACÍCH FOREM, 2D VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE FOREM A VÝROBKŮ, TOKOVÉ ANALÝZY, DIPLOMOVÁ PRÁCE)