

# Konstrukční návrh vstřikovací formy

Bc. Martin Jurásek

---

Diplomová práce  
2012

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

**Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně**

**Fakulta technologická**

**Ústav výrobního inženýrství**

**akademický rok: 2011/2012**

# **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

**(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)**

**Jméno a příjmení: Bc. Martin JURÁSEK**

**Osobní číslo: T10542**

**Studijní program: N 3909 Procesní inženýrství**

**Studijní obor: Výrobní inženýrství**

**Téma práce: Konstrukce vstřikovací formy pro plastový díl**

**Zásady pro vypracování:**

- 1. Vypracujte literární rešerši na dané téma**
- 2. Provedte návrh vstřikovací formy a ověřte ji analýzami**
- 3. Návrh vstřikovací formy doložte výkresem sestavy s kusovníkem**
- 4. Provedte 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:

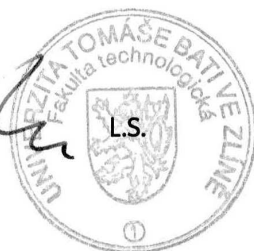
**13. února 2012**

Termín odevzdání diplomové práce:

**18. května 2012**

Ve Zlíně dne 2. února 2012

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



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

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně .....

.....

---

<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 nevýdělečně 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). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

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

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

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce se zabývá konstrukcí vstřikovací formy pro plastový díl, kterým je krytka zámku sedadla pro osobní automobil značky Volvo.

Teoretická část popisuje technologii vstřikování, rozdělení polymerních materiálů používaných při vstřikování, zásady při konstrukci vstřikovaných výrobků a vstřikovacích forem. V praktické části je popsán návrh vstřikovací formy pro zadaný díl a analýzu vstřikovacího procesu.

Klíčová slova: vstřikování, vstřikovací forma, polymer

## **ABSTRACT**

This thesis specializes on the construction of injection mold for a plastic part. This plastic part is a cap of seat lock for passenger car Volvo.

The theoretical part describes the technology of injection, types of polymer materials used during the injection, rules for designing the injected products and injection molds. Within the practical part I have described the proposal of injection mold for a specified component and the analysis of injecting process.

Keywords: injection, injection mold, polymer

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. Štěpánu Šandovi za odborné vedení, poskytnuté rady a čas, které mi ochotně věnoval při vypracování této diplomové práce.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>11</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>12</b>
<b>1 VSTŘIKOVÁNÍ</b> .....	<b>13</b>
1.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS.....	13
1.2 VSTŘIKOVACÍ STROJ .....	14
1.2.1 Vstřikovací jednotka .....	15
1.2.2 Uzavírací jednotka.....	16
1.2.3 Ovládání a řízení vstřikovacího stroje.....	16
<b>2 POLYMERNÍ MATERIÁLY</b> .....	<b>18</b>
2.1 TERMOPLASTY .....	18
2.2 REAKTOPLASTY .....	20
2.3 TERMOPLASTICKÉ ELEASTOMERY .....	20
2.4 ELASTOMERY .....	20
<b>3 VSTŘIKOVANÉ VÝROBKY</b> .....	<b>21</b>
3.1 DĚLÍCÍ ROVINA .....	22
3.2 TLOUŠŤKA STĚN .....	22
3.3 ZAOBLNĚNÍ HRAN, ROHŮ A KOUTŮ .....	23
3.4 VÝZTUŽNÁ ŽEBRA .....	23
3.5 ÚKOSY A PODKOSY.....	23
<b>4 VSTŘIKOVACÍ FORMY</b> .....	<b>24</b>
4.1 ZAFORMOVÁNÍ VÝSTŘIKŮ.....	24
4.2 NÁSOBNOST FORMY .....	25
4.3 STANOVENÍ ROZMĚRŮ DUTIN FORMY A JEJICH POVRCHY .....	25
4.4 VTOKOVÝ SYSTÉM.....	26
4.4.1 Studený vtokový systém.....	27
4.4.2 Vyhřívané vtokové soustavy .....	29
4.5 TEMPERAČNÍ SYSTÉM .....	31
4.5.1 Zásady při volbě temperačního systému .....	31
4.5.2 Temperační prostředky.....	33
4.6 VYHAZOVACÍ SYSTÉM .....	34
4.6.1 Mechanické vyhazování.....	35
4.6.2 Hydraulické vyhazování.....	37
4.6.3 Pneumatické vyhazování.....	37



4.7	ODVZDUŠNĚNÍ FOREM .....	38
4.8	MATERIÁLY PRO VÝROBU FOREM .....	38
4.9	TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ.....	40
<b>5</b>	<b>ZÁVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI.....</b>	<b>41</b>
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>42</b>
<b>6</b>	<b>CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE .....</b>	<b>43</b>
<b>7</b>	<b>POUŽITÉ PROGRAMY .....</b>	<b>44</b>
7.1	PROENGINEER 2001 .....	44
7.2	AUTODESK MOLDFLOW INSIGHT SYNERGY 2012 .....	44
7.3	MEUSBURGER 3D MODULE.....	44
<b>8</b>	<b>VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK.....</b>	<b>45</b>
8.1	MATERIÁL VÝROBKU.....	45
<b>9</b>	<b>VSTŘIKOVACÍ STROJ .....</b>	<b>47</b>
<b>10</b>	<b>PŘEDBĚŽNÉ NÁVRHY .....</b>	<b>48</b>
10.1	NÁSOBNOST FORMY .....	48
10.2	ZAFORMOVÁNÍ VÝROBKU .....	48
10.3	VTKOVÝ SYSTÉM.....	48
10.4	TEMPERAČNÍ SYSTÉM .....	49
<b>11</b>	<b>KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY .....</b>	<b>50</b>
11.1	NÁSOBNOST FORMY .....	50
11.2	ZAFORMOVÁNÍ VÝROBKU .....	50
11.3	ODVZDUŠNĚNÍ.....	50
11.4	RÁM VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	51
11.5	TVAROVÉ ČÁSTI FORMY .....	53
11.6	VTKOVÝ SYSTÉM.....	57
11.7	VYHAZOVACÍ SYSTÉM .....	58
11.8	TEMPERAČNÍ SYSTÉM .....	58
<b>12</b>	<b>ZKOUŠENÍ FORMY .....</b>	<b>60</b>
<b>13</b>	<b>ANALÝZA VSTŘIKOVACÍHO PROCESU .....</b>	<b>61</b>

13.1	PROCESNÍ PODMÍNKY .....	61
13.2	ČAS PLNĚNÍ .....	62
13.3	UZAVÍRACÍ SÍLA .....	63
13.4	TLAK V MÍSTĚ VSTŘIKU .....	63
13.5	RYCHLOST SMYKOVÉ DEFORMACE .....	64
13.6	STUDENÉ SPOJE .....	64
13.7	ZATUHLE VRSTVY .....	65
13.8	REYNOLDSOVO ČÍSLO .....	66
13.9	TEPLOTA TEMPERAČNÍHO MÉDIA .....	66
13.10	EFEKTIVITA ODVODU TEPLA .....	67
13.11	CELKOVÁ DEFORMACE .....	68
	<b>DISKUZE VÝSLEDKŮ .....</b>	<b>70</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>72</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>73</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>76</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>78</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>80</b>

## ÚVOD

Technologie vstřikování termoplastů, včetně strojů a zařízení pro její realizaci urazila od svých prvopočátků přes masový a bouřlivý rozvoj zejména v druhé polovině minulého století až po dnešní globalizaci velmi dlouhou a úspěšnou cestu. Díky širokým možnostem využití termoplastů je tato technologie velmi perspektivní. [5]

S požadavky na design nových výrobků jsou rovněž svázány i jejich fyzikální a chemické vlastnosti. Pro vstřikované výrobky, které nemají uplatnění v technických aplikacích, se využívají neplněné amorfní a semikrystalické polymery. V současné době je díky vývoji nových polymerů snaha jimi nahrazovat tradiční materiály v nejrůznějších průmyslových odvětvích. Nejvýznamnějším zástupcem je automobilový a elektrotechnický průmysl. Na tyto materiály jsou kladeny mnohem větší požadavky, zejména na jejich mechanické vlastnosti. Tyto požadavky ve značné míře uspokojují plněné materiály. Plněné materiály mají heterogenní strukturu v jejichž polymerní matrici jsou volně rozptýleny částice jiných materiálů jako např. krátká skleněná vlákna. Plniva u těchto kompozitů zvyšují tuhost, částečně pevnost, tvarovou stálost za tepla aj. Naopak snižují např. houževnatost nebo smrštění ve směru orientace vláken. [17]

Velké nároky na přesnost plastových výrobků vyžaduje věnovat zvýšenou pozornost výrobě nástrojů pro jejich zpracování. U technologie vstřikování je nástrojem vstřikovací forma. Dalším neméně důležitým hlediskem je volba vstřikovacího stroje a nastavení procesních podmínek. Vstřikovací stroje jsou vyráběny v několika konstrukčních provedeních, které umožňují nastavení velkých uzavíracích sil i rychlostí plastikace polymerních materiálů. [17]

Při konstrukci a výrobě vstřikovací formy se může využít stavebnicového systému s aplikací normálií. K nejznámějším patří zejména HASCO, DME a STRACK. Přínosem normalizace je zejména zkrácení výrobních časů. Dále se využívají i CAD, CAM, CAE aplikace. Tyto aplikace umožňují předejít konstrukčním a výrobním chybám. [2,17]

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování je nejrozšířenějším způsobem výroby požadovaných dílů z termoplastů, v omezené míře reaktoplastů a kaučuků. Při vstřikování je horký roztavený polymer vstříknut do tvarové dutiny vstřikovací formy, kde působením vysokého tlaku je formován do požadovaného tvaru. Vstřikováním můžeme vyrábět výrobky téměř jakékoliv složitost, ty ale musí splňovat podmínky odformování. Vstřikování je diskontinuální tvářecí proces, který se automaticky opakuje dle zadaných procesních podmínek. [1,15]

Díky relativně vysoké viskozitě proudí roztavený polymer laminárně. Reynoldsovo kritérium většiny polymerů je menší než 1, dokonce i v místech s vysokou rychlostí smykové deformace jako je vtokové ústí. Při tomto laminárním proudění dochází k tzv. fontánovému toku, při němž je polymer v dutině jakoby odvalován. To je způsobeno zpomalením vrstev polymeru u stěny dutiny a jejich postupným ztuhnutím a tím pádem rychlejším tečením vrstev ve středu. Z toho vyplývá zvonovitý průběh rychlosti toku polymerní taveniny během vstřikování, kdy u stěny je rychlost nulová a ve středu je maximální. [12]

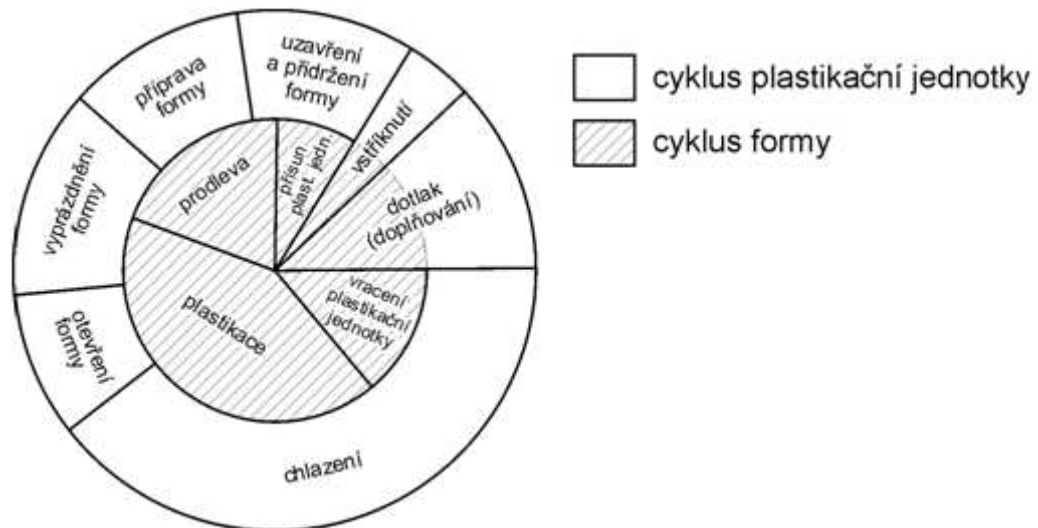
## 1.1 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus se realizuje na vstřikovacím stroji a zahrnuje dvě oblasti. Jedna se vztahuje k plastikační jednotce a druhá k formě. Forma se uzavře uzavírací jednotkou. K uzavřené formě se přisune plastikační jednotka, ze které se vstříkne zplastikovaný materiál do dutiny formy. Doba, po kterou se plní dutina formy, se nazývá doba plnění. Po zaplnění dutiny formy se na materiál dále působí tlakem, který označujeme jako dotlak. Dotlak má za účel částečně vyrovnat vliv smrštění, zabraňovat unikání materiálu z dutiny formy a lze jím také ovlivnit zbytková pnutí ve výstřiku. [3,14,19]

Po ukončení dotlaku se vstřikovací jednotka od formy oddálí a začne v ní plastikace další dávky hmoty. [3,14]

Současně s odjezdem vstřikovací jednotky začíná chlazení. Chlazení výstřiku probíhá z části ve formě a z části mimo ni; pro dosažení větší přesnosti na chladících přípravcích. Po dostatečném ochlazení výstřiku se forma otevře a výstřik se vyhodí. [1,4,14]

Po očištění a přípravě formy pro další cyklus (prodleva) následuje další cyklus. [1,14]



Obr. 1. Vstřikovací cyklus [11]

## 1.2 Vstřikovací stroj

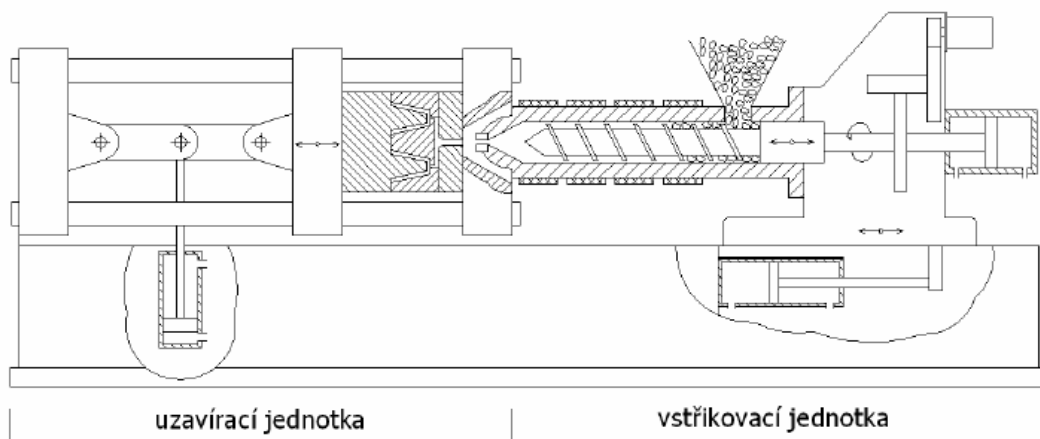
Vstřikovací stroj jako jeden z hlavních činitelů výroby má nejrůznější uspořádání. Vyžaduje se od něj, aby kvalitou svých parametrů a dokonalým řízením, byla zajištěna jakost výstřiků. V současné době existuje velký počet různých konstrukcí strojů, které se od sebe liší svým provedením, stupněm řízení, stálostí a reprodukovatelností jednotlivých parametrů, rychlostí výroby, snadnou obsluhou i cenou. Konstrukce stroje je charakterizována podle [1,14]:

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

V současnosti se staví především hydraulické nebo hydraulicko-mechanické stroje, většinou stavebnicového uspořádání s různým stupněm elektronického řízení. [1,14]

Vstřikovací stroj pro přesné výstřiky vyžaduje aby [1,14]:

- byl při vstřiku tuhý a pevný;
- měl konstantní tlak, rychlost, teplotu, ostatní parametry a jejich časování;
- měl přesnou reprodukovatelnost technologických parametrů.



Obr. 2. Vstřikovací stroj [4]

### 1.2.1 Vstřikovací jednotka

Vstřikovací jednotka připraví a dopraví požadované množství roztaveného plastu s předepsanými technologickými parametry do formy. Množství dopravované taveniny musí být menší, než je kapacita vstřikovací jednotky při jednom zdvihu. Při malém vstřikovacím množství zase setrvává plast ve vstřikovací jednotce delší dobu a tím může nastat jeho degradace. To se dá ovlivnit rychlejšími cykly výroby. [1,8,14]

Vstřikovací jednotka pracuje tak, že do tavné komory je dopravován zpracovávaný plast z násypky pohybem šneku. Plast je posouván šnekem s možnou změnou otáček přes vstupní, přechodové a výstupní pásmo. Postupně se plastikuje, homogenizuje a hromadí před šnekem. Současně se šnek posouvá vzad do výchozí polohy. [1,8,14]

Topení tavné komory je nejčastěji rozděleno do tří pásem (vstupní, střední a pásmo u trysky). Tryska má zvláštní samostatné topení. Část tepelné energie vzniká disipací v materiálu. [1,14]

Tavná komora je zakončena vyhřívanou tryskou, která spojuje vstřikovací jednotku s formou. Kulové nebo ploché zakončení trysky zajišťuje přesné dosednutí do sedla vtokové vložky formy. Vstřikovací trysky mohou být otevřené a uzavíratelné. Otevřené se používají nejčastěji pro vstřikování taveniny s větší viskozitou. Uzavíratelné zamezují samovolnému vytékání materiálu při plastikaci. [1,14]

### 1.2.2 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka ovládá formu a zajišťuje její dokonalé uzavření, otevření i případné vyprázdnění. Velikost uzavíracího tlaku je stavitelná a je přímo závislá na velikosti vstřikovacího tlaku, ploše dutiny a vtoků v dělicí rovině. Mezi hlavní části uzavírací jednotky patří [1,14]:

- opěrná deska pevná;
- upínací deska;
- vodící sloupky;
- uzavírací mechanismus.

Uzavírací mechanismus je ukazatelem kvality uzavírací jednotky a má nejrůznější provedení [1,8,14]:

- hydraulické: umožňují pootevření nástroje hydraulickým tlakem a vyžadují zajištění závorou. Výhodou těchto jednotek je nastavení libovolné hloubky otevření nástroje;
- hydraulicko-mechanické: nejčastěji se používá u strojů malých gramáží. Zaručuje vyšší rychlost uzavírání, potřebné zpomalení před uzavřením formy a dostatečnou tuhost. Je konstruován jako kloubový mechanismus ovládaný hydraulickým válcem;
- elektro-mechanické: hydraulické jednotky jsou velmi energeticky náročné. To vede ke snaze nahradit hydraulickou jednotku elektrickým pohonem, který ovládá klikový mechanismus. K výhodám elektromechanickým uzavíracích ústrojí patří jejich konstrukční jednoduchost, vysoká uzavírací rychlost a snadná automatizace celého pracovního cyklu.

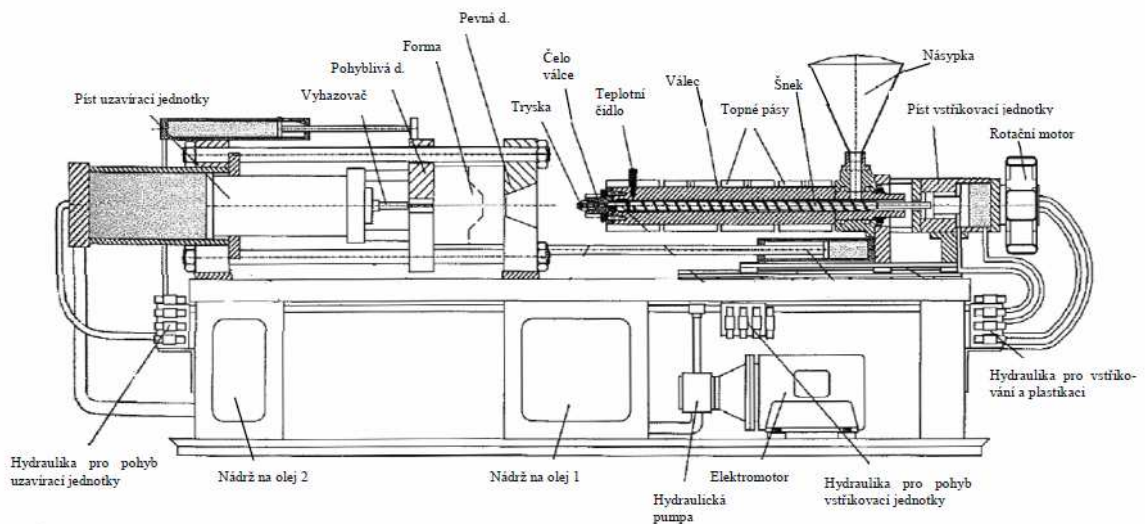
### 1.2.3 Ovládání a řízení vstřikovacího stroje

Stupeň řízení a snadná obsluha stroje je charakteristickým znakem jeho kvality. Stálá reprodukovatelnost technologických parametrů je význačným a nutným faktorem. Pokud tyto parametry nepřiměřeně kolísají, projeví se tato nerovnoměrnost na přesnosti a kvalitě výroby výstřiků. Řízení stroje se musí zajistit vhodnými řídicími a regulačními prvky. [1,8,14]



Novější koncepce vstřikovacích strojů se v současnosti neobejdou bez výkonné procesorové techniky. Místo obvyklé textové formy nastavování technologických parametrů se využívá nejrůznější grafické formy řízení pracovního cyklu na displeji se selektivním přístupem k jednotlivým parametrům stroje. Na přesnosti a jakosti výstřiků má řízení stroje rozhodující vliv. Tím, že určuje a dodržuje přesnost [1]:

- nastavení výše a doby vstřikovacího tlaku, dotlaku, rychlosti vstřiku a chlazení. Tyto parametry určují především přesnost a toleranci výstřiku.
- nastavením a doby výšky teploty taveniny, její homogenizaci jsou určeny fyzikální a mechanické vlastnosti výstřiků.



Obr. 3. Základní části vstřikovacího stroje [20]

## 2 POLYMERNÍ MATERIÁLY

Syntetické materiály jsou tvořeny makromolekulami, které vznikají spojováním základní jednotky – meru, odvozené od výchozí molekuly – monomeru. Makromolekuly jsou řetězce opakujících se merů, které se podle struktury dělí na polymery lineární, rozvětvené a síťované. Chemické složení meru, druh atomů a způsob jejich spojení chemickými vazbami určuje základní chemické a fyzikálněchemické vlastnosti jednotlivých polymerů. Další vlastnosti jsou určeny délkou řetězce tj. celkovým počtem merů v řetězci, který se nazývá polymerační stupeň. Jeho hmotnost se vyjadřuje pomocí středních molárních hmotností. S rostoucí střední molární hmotností polymeru rostou jeho mechanické vlastnosti a zároveň se zvyšuje viskozita taveniny při dané teplotě, tj. zhoršuje se tekutost a tudíž i zpracovatelnost daného polymeru. [5]

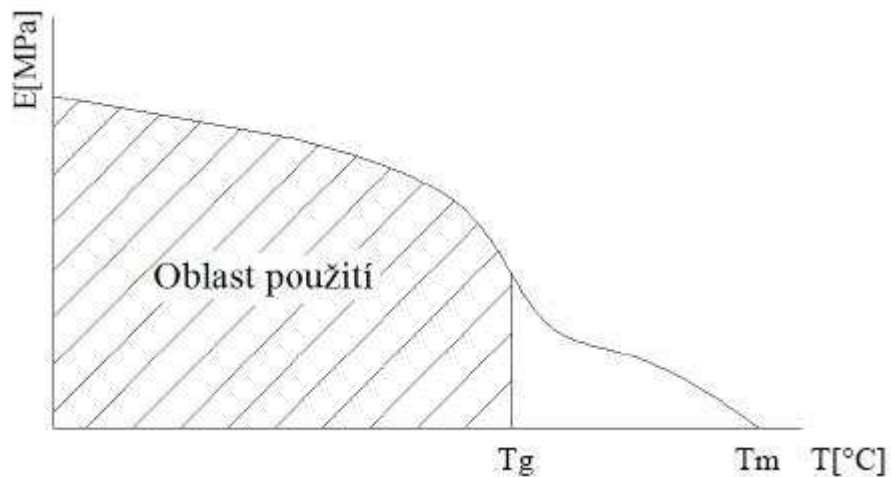
Polymerní materiály dělíme na [5]:

- termoplasty – amorfní a semikrystalické;
- reaktoplasty – fenolické, melaminové, epoxidové, polyesterové a další;
- termoplastické elastomery – s nízkou a vysokou tvrdostí;
- elastomery – NR, SBR, NBS a další.

### 2.1 Termoplasty

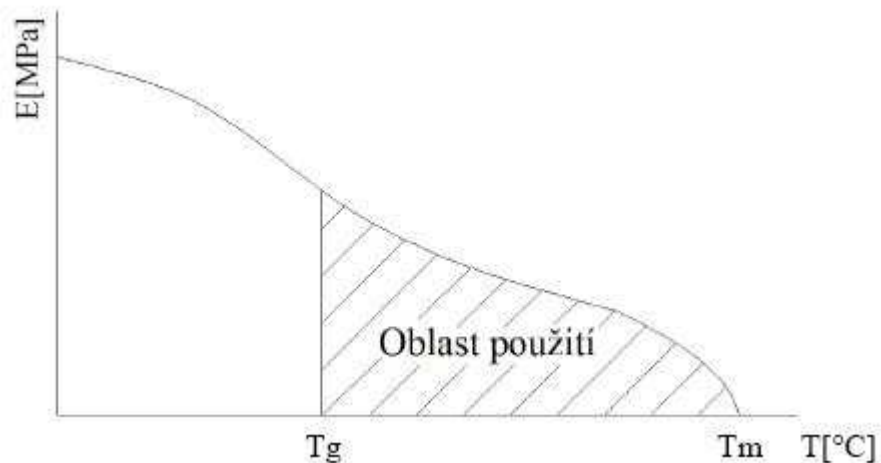
Termoplasty jsou makromolekulární látky tvořené lineárními nebo rozvětvenými řetězci. Jsou teplem tavitelné a v roztaveném stavu se pod tlakem vstříkují do forem, kde jsou ochlazením převedeny do tuhého stavu. Termoplasty tvoří kolem 94 % objemu používaných materiálů v plastikářském průmyslu, z toho je asi 40 % je zpracováno vstříkovaním. Mezi nejznámější patří PE, PP, PVC, PA, PC, PS, PET. Z hlediska vnitřní struktury se termoplasty dělí na amorfní a semikrystalické. [1,12,22]

U amorfních polymerů jsou řetězce uspořádány nepravidelně a jsou méně chemicky odolné než semikrystalické materiály. Využitelnost výrobků z amorfních plastů je v oblasti pod teplotou skelného přechodu  $T_g$ . Polymer je v tomto stavu pevný. Zvyšováním teploty nad  $T_g$  postupně slábnou kohezní síly mezi makromolekulami a plast přechází do plastické oblasti až viskózního stavu, kdy se zpracovává. Se zvyšováním teploty současně narůstá i objem polymeru. [1,12]



Obr. 4. Oblast použití [1]

Semikrystalické polymery mají části makromolekul vázány pevněji v lamelách a ve sférolitech krystalické fáze. Zvyšováním teploty se nejprve uvolní část makromolekul z amorfní oblasti a později i ostatní. To je doprovázeno značným objemovým nárůstem. Použití plastu tohoto typu je v oblasti nad teplotou  $T_g$ , protože mají výhodnou kombinaci pevnosti a houževnatosti nad touto teplotou. [1]



Obr. 5. Oblast použití [1]

## 2.2 Reaktoplasty

Při zpracování procházejí chemickou reakcí. Účinkem tepla, záření nebo síťovacích činidel vytvářejí husté, prostorově sesíťované struktury, v nichž jsou původní molekuly vzájemně spojeny kovalentními vazbami. Tento proces se nazývá vytvrzování. Reaktoplasty jsou po vytvrzení netavitelné a nerozpustné. [25]

## 2.3 Termoplastické elastomery

Jsou polymerní materiály, které mají při pokojové teplotě vlastnosti elastomeru. Ve srovnání s pryží pak odpadá vulkanizace při zachování analogických užitečných vlastností. V podstatě jde o polymerní materiál, který obsahuje tvrdé a měkké domény, charakterizované různými teplotami zesíťování  $T_g$  nebo tání  $T_m$ . [26]

Termoplastické elastomery se zpracovávají jako běžné termoplasty. Během ohřevu na teplotu vstřikování se stávají plastickými a výsledná elasticita nastává opět po zchlazení. Výhodou termoplastických elastomerů oproti chemicky sesíťovaným elastomerům, které je nutné vulkanizovat, je především vlastní fyzikální zesíťování. Díky tomu lze tyto materiály znovu tepelně zpracovávat. [27]

## 2.4 Elastomery

Elastomer neboli kaučuk je vysoce elastický polymer, který lze za běžných podmínek malou silou značně deformovat bez porušení. Tato deformace je převážně vratná. Elastomery mají ve svém molekulárním řetězci reaktivní místa, které umožňují chemickou síťovací reakci tzv. vulkanizaci. Vulkanizace probíhá při teplotách 150°C až 200°C za přítomnosti vulkanizačního činidla. Při vulkanizaci se plasticky tvárný kaučuk mění na pryž, jejíž základní vlastností je schopnost velké elastické deformace. [25]

### 3 VSTŘIKOVANÉ VÝROBKY

Konstrukční návrh součásti z plastu se řídí úplně jinými zásadami, než u kovových součástí. Při navrhování musí konstruktér volbou tvaru a materiálu součásti splnit požadavky, které jsou na součást kladeny. Tyto požadavky mají hledisko funkční (pevnost, tuhost, houževnatost, rozměrovou přesnost), technologické (snadná vyrobiteľnost a zpracovatelnost) a ekonomické (nízké výrobní náklady, dobrá prodejnost). [1,6,7]

Pro výrobu plastových součástí jsou stanoveny určité limity konstrukčních tvarů a jejich vlastností, které by se neměly překročit, jinak vzniknou při jejich výrobě problémy. Všeobecně zde platí pravidlo, že čím je součást jednodušší, tím výhodnější jsou její pevnostní podmínky, snadnější dodržení rozměrů, levnější a jednodušší výroba. [1]

Součásti z plastů nelze vyrobit v takových jakostech jako kovové. To proto, že na ně působí množství různých činitelů, které je ovlivňují. Jsou to materiál, výrobní technologie, forma a její kvalita. Jejich vlivem se pak vyrobí výstřik jen určité kvality, do které se počítá přesnost výstřiku, jakost jeho povrchu a užité vlastnosti. [1]

Hlavní činitelé, které ovlivňují jakost [1]:

- výrobní smrštění: pro konkrétní plast se uvádí v určitém rozmezí, záleží tedy na druhu plastu, konstrukci součásti i na technologii vstřikování. Smrštěním je ovlivněna především přesnost výstřiku;
- dodatečné smrštění: je několikanásobně menší, než je smrštění při výrobě. Příčinou je pozvolné uvolňování vnitřního pnutí vzniklého při vstřikování;
- tečení – creep: vznikne při větším a dlouhodobějším silovém zatížení součásti. Projeví se plastickou deformací. U semikrystalických materiálů je větší než u amorfních;
- teplotní roztažnost: jde o vratnou změnu a bývá o řád větší než u kovů;
- navlhavost: rozměry se mění podle sorbce vody z okolního prostředí. Po vysušení se rozměry opět zmenší.

### 3.1 Dělicí rovina

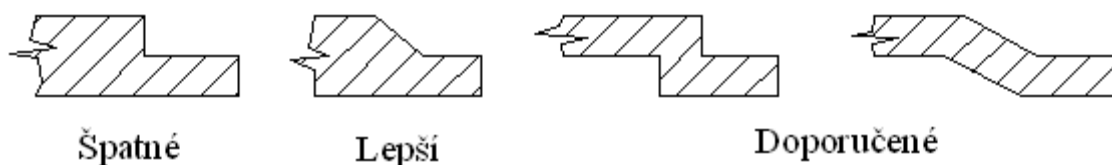
Dělicí rovina je plocha, ve které na sebe dosedají části formy při uzavření dutiny formy. Dělicí rovina se umísťuje vzhledem k výrobku tak, aby se usnadnilo jeho vyjímání z dutiny formy a aby stopa po dělicí rovině nepůsobila funkční nebo vzhledové závady výrobku. S ohledem na umístění dělicí roviny rozlišujeme hlavní a vedlejší dělicí rovinu. [3,14]

Za hlavní dělicí rovinu se zpravidla považuje rovina, která je kolmá ke směru uzavírání formy. Ostatní dělicí roviny (plochy) jsou pak vedlejší. Jsou nutné u výrobků s bočními otvory, nálitky, zápichy apod. Dělicí rovina se umísťuje zpravidla do hrany nebo vypouklé plochy výrobku. Okraj dělicí roviny však nesmí být zeslabený, aby se výrobek nemohl poškodit. [3,14]

### 3.2 Tloušťka stěn

Při určování tloušťky stěny výtříků se musí vedle funkčního hlediska přihlížet i k zatékavosti plastu a k délce dráhy toku. Vyhovují-li z konstrukčních a funkčních důvodů tenčí stěny, je nutné provést úpravu technologických podmínek např. použít typ plastu s vyšším ITT, zvýšit teplotu formy nebo taveniny, použít vícenásobných vtoků. Ekonomické faktory vedou k co nejmenší tloušťce stěny, neboť zpravidla ve výrobních nákladech činí materiálová položka významný podíl. [19]

Velké rozdíly v průřezu výtříků mají za následek rozdíly ve smrštění. To vyvolává především u pružných plastů deformace. Kromě toho musíme počítat při rozdílech v tloušťce stěn s propadlinami a lunkry. Stejně potíže vznikají i v místech, kde se nahromadí polymer. Tam je nutné provést vybrání. Dojde-li při tom ke snížení tuhosti, je nutno v těchto místech navrhnout výztužná žebra. [3,19]



Obr. 6. Tloušťka stěny [12]

### 3.3 Zaoblení hran, rohů a koutů

Hrany a kouty je třeba zaoblit zvláště tam, kde protéká v dutině formy materiál. Zaoblení zlepšuje tok materiálu v dutině formy, usnadňuje vyjímání výrobků a snižuje zbytkové vnitřní pnutí. Zaoblením lze také dosáhnout příslušného estetického účinku. Ostré hrany se ve formě špatně vyrábějí a snadno se poškozují. Zaoblením se také může zvýšit tuhost výrobků. Při volbě zaoblení je třeba plně respektovat výrobní možnosti. Zaoblení se musí dát ve formě snadno vyrobit. [3,14]

### 3.4 Výztužná žebra

Výztužná žebra by měla být navrhována ve směru toku taveniny. Žebra mohou plnit funkci konstrukční nebo technologickou. Konstrukční žebra mají vliv zejména na tuhost a pevnost výrobku. Technologická žebra napomáhají toku taveniny. Příliš masivní žebra způsobují propadání materiálu na protilehlém povrchu, vznik vzduchových bublin nebo deformace vzniklé vlivem vnitřního pnutí. Případné povrchové vady vzniklé v důsledku umístění žeber lze eliminovat změnou na povrchu výrobku, např. vytvořením dezénu. Je lepší vytvářet více menších žeber než několik masivních. [3,19]

### 3.5 Úkosy a podkosy

Úkosem nazýváme mírný sklon stěn v dutině formy, který usnadňuje vyjímání výrobku. Úkos musí být na všech plochách, které jsou kolmé k dělicí rovině, a to jak na vnějších tak i na vnitřních plochách. Vzhledem k smrštění polymerních materiálů bývají úkosy na vnitřních plochách přibližně dvojnásobné než na plochách vnějších. [3]

Velikost úkosu souvisí také se způsobem vyhazování. Jestliže je vnější plocha výrobku bez úkosu, zůstane výrobek v tvárnici a musí se vyhazovat kolíky nebo stíracími deskami, případně tlakovým vzduchem. U žeber se úkos volí obvykle větší. Úkos výrobku závisí také na jeho rozměrech. Se vzrůstající výškou se úkos zpravidla zvětšuje. [3]

Podkosy jsou opakem úkosů a zabraňují vyjímání výrobků z formy. Někde se volí záměrně tak, aby výrobek zůstal na jedné části formy, kde je pak zajištěno vyhazování. Stejný účinek mají také výstupky, nálitky, zápichy apod. [3]

## 4 VSTŘIKOVACÍ FORMY

Vstřikovací formy jsou technologická zařízení, které slouží k vytvarování roztaveného polymerního materiálu do hotového výrobku. Na tyto zařízení jsou kladeny nemalé nároky z hlediska kvality, produktivity, spolehlivosti a automatizace výroby. Vstřikovací formy se využívají ke zpracování termoplastů, reaktoplastů i kaučukových směsí. [1,3,10]

Konstrukční návrh vstřikovací formy spočívá v posouzení tvaru a rozměrů výsledného výrobku a jeho zaformování a určení dělicí roviny. Z takto vyhodnoceného konstrukčního návrhu vyplývá téměř celá koncepce formy. Doplňujícími faktory pak jsou násobnost, teplotní i vyhazovací systémy a vodící prvky formy. To vše se musí navrhnout s ohledem na použitý typ vstřikovacího stroje. [1]

Základní typy vstřikovacích forem [16]:

- standardní (dvoudeskové);
- třídeskové;
- se stírací deskou;
- s bočními posuvovými čelistmi;
- s horkými vtoky;
- etážové formy.

### 4.1 Zaformování výstřiků

Správné zaformování výstřiku a vhodná volba dělicí roviny náleží k rozhodujícím zásadám konstrukce formy. Umožňuje dodržet tvar a rozměry výstřiku i ekonomiku výroby. Vychází z konstrukčního řešení vyráběného dílu. [1,3,14]

Dělicí rovina (plocha) bývá zpravidla jako rovina rovnoběžná s upínáním formy. Může však být i šikmá nebo různě tvarovaná, případně vytváří u výstřiků s bočními otvory hlavní a vedlejší dělicí plochy. Taková koncepce způsobuje obtížnější výrobu formy. Je snaha se takovým tvarům vyhnout. [1,3,14]



## 4.2 Násobnost formy

Z hlediska kvality a přesnosti výstřiku je žádoucí, aby násobnost byla co nejmenší. Tvarově náročné součásti, které vedou ke složitému konstrukčnímu řešení formy, stejně jako velko-rozměrové výstřiky se většinou vyrábí v jednonásobných formách. [1]

Optimální volba násobnosti formy vyžaduje správné vyhodnocení jednotlivých činitelů, kteří ji ovlivňují. Posuzují se z hlediska [1,14]:

- charakteru a přesnosti výstřiku;
- požadovanému množství výrobků;
- velikosti a kapacitě vstřikovacího stroje;
- požadovaného termínu dodávky;
- ekonomiky výroby.

## 4.3 Stanovení rozměrů dutin formy a jejich povrchy

Rozměry hotového výrobku jsou dány zpravidla příslušnými výkresy. Při zaformování se rozměry dutiny budou lišit od rozměrů hotových výrobků a to jak ve jmenovitých mírách, tak v tolerancích. Na rozměry dutiny formy, případně jejích činných částí, má zejména vliv [1,9]:

- smrštění zpracovávaného polymeru;
- tolerance a mezní úchytky jednotlivých rozměrů tvářeného výrobku;
- opotřebení činných částí formy;
- přesnost výroby formy, zejména jejích činných částí.

Dutina formy je určena především tvarem s požadovanými rozměry, ale také jakostí jejího povrchu. Zhotoví se podle požadavku na povrch vyráběné součásti, protože její povrch je obrazem povrchu dutiny formy. Povrch se vyrábí jako [1]:

- matný, který je technologicky nejjednodušší. Běžně je výchozí plochou po elektroerozivním obrábění. Může se však vyrobit i jinými technologiemi (ruční úpravou, otryskáváním apod.). Podle požadované jakosti povrchu se obvykle stanoví i způsob jejího dokončení;

- lesklý, vyžaduje poměrně nákladnou a náročnou operaci. Forma musí být vyrobena z kvalitní oceli a také technologie vstřikování musí být na vysoké úrovni. Dutina se leští různými mechanickými pomůckami nebo elektrickými jednotkami s rotačním, přímočarým i planetovým pohybem za pomoci správného brusného tělíška nebo brusné pasty. Stupeň lesku je třeba definovat (technický, zrcadlový, vysoký lesk, atd.);
- dezénovaný povrch nachází stále větší uplatnění. Nemá pouze estetický význam, ale zakrývá i některé drobné povrchové vady na výstřiku. Dezénovat se mohou všechny plochy rovinné i tvarové, které jsou přípustné. Pro výběr vzorů jsou k dispozici vzorové destičky od různých technologií, podle kterých se dezén vyrábí.

Nejčastější výrobní technologií dutiny formy je elektroerozivní obrábění. Hrubost obrobeneho povrchu je nastavitelná elektrickými veličinami. Nejširší výběr dezénovaných vzorů umožňuje fotochemický způsob v leptací lázni. Nejjednodušší technologií výroby dezénu je otryskávání. Je však omezena tvarem povrchu i přesnější definicí vzoru. Čím jemněji je povrch opracován, tím se dosáhne kvalitnějšího dezénu. Široký rozsah výrobních možností úpravy povrchu formy, obvykle splňují požadavky na jakost povrchu výstřiku. Různé způsoby se mohou vzájemně kombinovat a tak dosáhnout požadovaného účelu. [1]

#### 4.4 Vtokový systém

Roztavený polymer v plastikační jednotce proudí tryskou do vtokové soustavy vstřikovací formy, jež tvoří systém vtokových kanálů. Tyto kanály vedou k dutinám formy. Rozdíly v uspořádání vtokové soustavy jsou dány především konstrukcí formy a její násobností. Při návrhu vtokové soustavy musíme respektovat některé pravidla, které vycházejí z technologických požadavků při samotném vstřikování [22]:

- dráha toku od vstřikovací trysky k dutinám formy má být co nejkratší, aby mohla být tavenina vstřikována co největší rychlostí;
- dráha toku má být stejně dlouhá ke všem dutinám formy;
- průřez vtokových kanálů musí být dostatečně velký, aby po naplnění formy zůstalo jádro vtokového kanálu dostatečně dlouho v plastickém stavu, což umožní efektivnost dotlaku jako kompenzaci při smršťování výstřiku;

- ústí vtoku má být umístěno tak, aby tavenina vtékala do nejširšího průřezu výstřiku a tekla k nejužšímu místu;
- pro přesné výstřiky jsou vhodnější plné vtoky, protože na rozdíl od bodových vtokových ústí nezamrzne předčasně;
- ústí vtoku má být rovněž co nejkratší, vhodná je délka (0,5 – 1,2) mm;
- dosedací plochy trysky a vtokové vložky spolu musí lícovat; jsou-li kulovité, musí být poloměr koule na trysce o (0,4 – 0,6) mm menší než na vtokové vložce. Průměr otvoru v trysce musí být rovněž menší než průměr otvoru ve vtokové vložce. Pokud toto není dodrženo, hrozí zatékání taveniny do dosedací plochy.

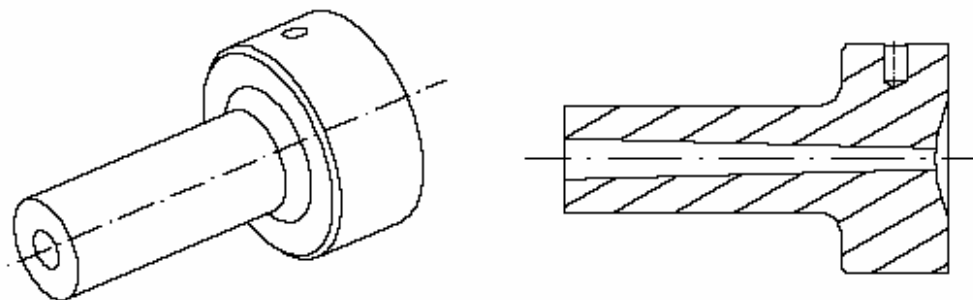
#### 4.4.1 Studený vtokový systém

Při průtoku studeným vtokovým systémem dochází k okamžitému ochlazení taveniny a tuhnutí vnějšího povrchu. Tím dochází k postupnému nárůstu odporu do okamžiku zaplnění dutiny, kdy odpor prudce vzroste až do svého maxima. Další doplňování taveniny může nastat jen jejím elastickým stlačením. [1,18]

Studený vtokový systém se skládá z vtokového kanálu, rozvodných kanálů a vtokového ústí. [1]

*Vtokový kanál:*

Vtokový kanál spojuje trysku plastikační jednotky s rozvodnými kanály a je vytvořen v tzv. vtokové vložce. Ta se vyrábí z pevné, houževnaté, otěruvzdorné oceli a je tepelně zpracována, protože je velmi tepelně i mechanicky namáhána. [1,18]



Obr. 7. Vtoková vložka [9]

*Rozvodné kanály:*

Rozvodné kanály slouží k dopravě taveniny z vtokového kanálu přes vtokové ústí až do tvarových dutin. Jejich délka a průřez jsou dány typem formy, charakterem výstřiku, vlastnostmi taveniny a typem vstřikovacího stroje. [1,12]

Rozvodné kanály musí splňovat tyto požadavky [12,18]:

- maximální objem při minimálním povrchu pro minimalizaci tepelných ztrát;
- dostatečnou velikost průřezu pro bezproblémové zaplnění dutiny;
- minimální možnou velikost průřezu pro redukci odpadu;
- rovnoměrné plnění všech dutin.

*Vtoková ústí:*

Vtokové ústí je spojením mezi rozvodným kanálem a tvarovou dutinou. Rozměr, tvar a umístění vtokového ústí může významně ovlivnit výsledný výrobek. Průměr vtokového ústí by měl být mezi (30 až 70) % tloušťky stěny výrobku. Menší průměr může způsobit problémy při plnění dutiny, větší zase zanechává velkou stopu. [12]

Požadavky na vtoková ústí [12]:

- musí být umístěno tak, aby mohlo dojít k úniku vzduchu z dutiny;
- mělo by být umístěno tak, aby tavenina ihned po vtoku narazila na nějakou překážku a bylo tak zabráněno volnému toku;
- nemělo by být umístěno na funkční nebo pohledové stěně;
- mělo by být umístěno tak, aby vznikalo minimum studených spojů.

Výhody studených vtokových systémů [9,21]:

- dlouhá životnost;
- větší volnost při návrhu systému z hlediska rozměrů a balancování;
- nižší energetická náročnost;
- nižší cena.

Nevýhody studených vtokových systémů [9,21]:

- vyšší tlakové ztráty;
- velké rozdíly ve viskozitě vlivem rozdílu teplot;
- vyšší spotřeba materiálu.

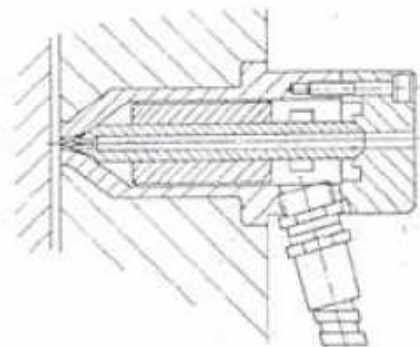
Druhy vtokových ústí jsou uvedeny v příloze P I.

#### 4.4.2 Vyhřívání vtokové soustavy

Tento typ soustav umožňuje větší kontrolu nad teplotou vstříkovaného polymeru, stejně tak jako větší volnost při návrhu vícenásobných vstříkovacích forem. U těchto soustav je nutná instalace horkého rozvodného bloku, který definuje dráhu polymeru uvnitř formy a zároveň se chová jako prodloužení vstříkovací jednotky, protože uvnitř bloku má polymer téměř stejnou teplotu a viskozitu jako uvnitř válce vstříkovací jednotky. Dále je nutné instalovat vyhřívání vtokové trysky a vtokový systém osadit kontrolními a vyhřívacími elementy. Tyto vtokové soustavy se nakupují u specializovaných firem, které je nabízí v různých konstrukčních provedeních. [1,18]

*Vyhřívání trysky:*

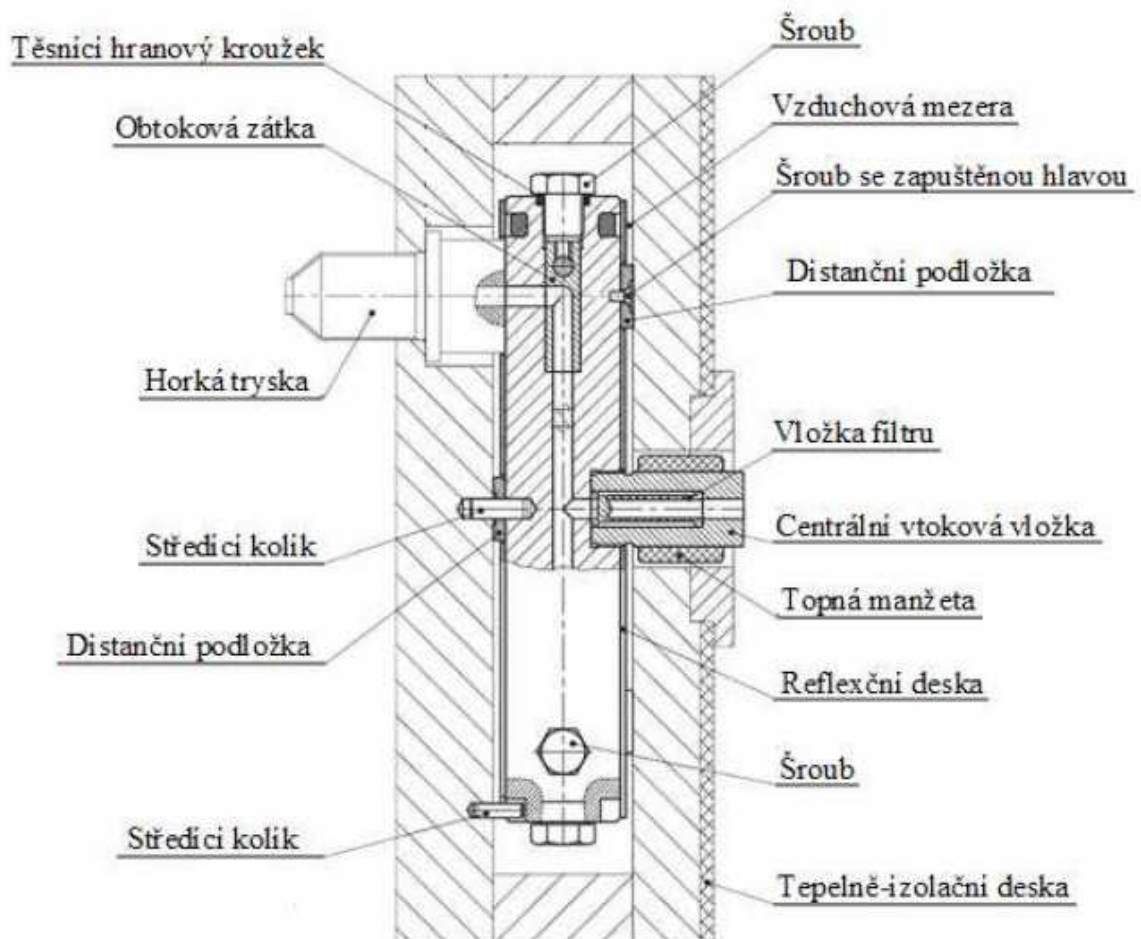
Jejich konstrukce umožňuje propojení vstříkovacího stroje s dutinou formy. Tryska má vlastní topný článek i s regulací nebo je ohřívána jiným zdrojem vtokové soustavy. Vyhřívání trysky musí mít takové vtokové ústí, které umožňuje, aby byl polymer na jedné straně tekutý a na druhé ztuhlý bez ucpávání, táhnutí vlákna nebo vytékání. Rozlišujeme přímo a nepřímo vyhřívání trysky. [1,13]



Obr. 8. Vyhřívání trysky [1]

*Horký rozvodný blok:*

Slouží k rozvodu taveniny do tvarových dutin vícenásobných forem. Jeho dobrá funkce je podmíněna rovnoměrným vytápěním, v opačném případě ovlivní tokové chování polymerní taveniny a její tlakové rozložení v jednotlivých tvarových dutinách. Rozvodný blok je ocelový a jeho tvar je konstrukčně přizpůsoben potřebné poloze rozváděcích kanálů. Musí být tepelně izolován od ostatních částí formy. Nejčastěji je vytápěn zvenku elektrickým odporovým topením pomocí topných hadů zalitých mědí nebo topnými patronami s vytápěním zevnitř. Zvolenou teplotu rozvodu taveniny řídí regulátor teploty. Jeho ovládání se zajišťuje pomocí tepelných snímačů zabudovaných v tryskách a rozvodném bloku. [1]



Obr. 9. Vytápěný rozvodný blok [17]

## 4.5 Temperační systém

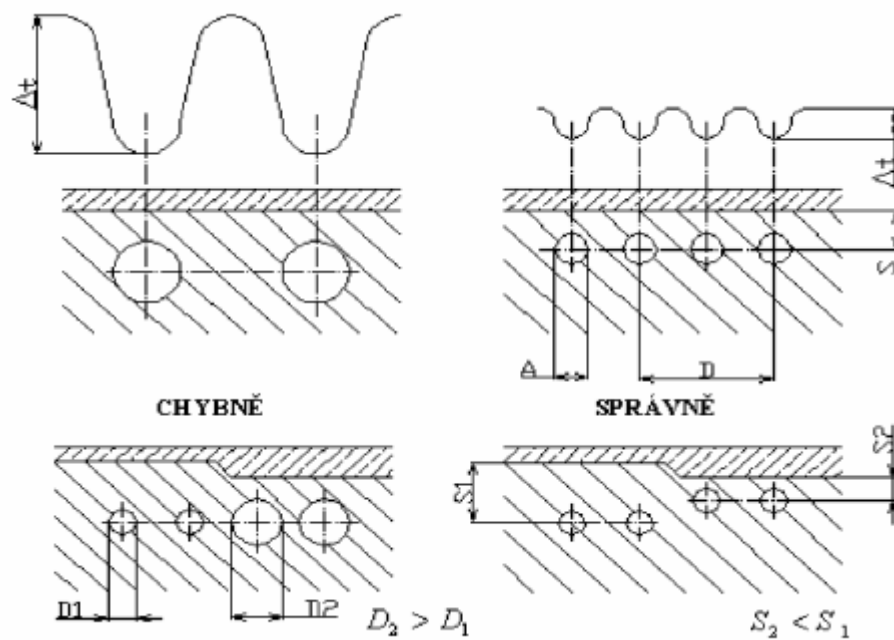
Temperace slouží k udržování konstantního teplotního režimu formy. Cílem je dosáhnout optimálně krátkého pracovního cyklu vstřikování při zachování všech technologických požadavků na výrobu. Děje se tak ochlazováním, případně vyhříváním celé formy nebo její části. Během vstřikování se do formy přivádí roztavený polymer, který se v její dutině ochlazuje na teplotu vhodnou pro vyjmutí výstřiku. Temperace tedy ovlivňuje plnění tvarové dutiny a zajišťuje optimální tuhnutí a chladnutí polymeru. [2]

Chlazení začíná bezprostředně po vstupu polymerní taveniny do dutiny (formy s vyhřívanou vtokovou soustavou), případně při vstupu do vtokového kanálu (formy se studenou vtokovou soustavou), až do doby, kdy je forma otevřena a výstřik vyhozen. Chlazení se tak stává nejdelší částí vstřikovacího cyklu. Nevhodně navržený temperační systém může způsobit výrazné prodloužení vstřikovacího cyklu a nerovnoměrné teplotní pole, což způsobuje rozdílné smrštění a deformaci výstřiku. V některých případech se různé části formy temperují odlišně, aby se eliminovaly tvarové deformace způsobené anizotropií smrštění polymeru. [2]

Některé polymery se zpracovávají při vyšších teplotách formy. V takovém případě jsou tepelné ztráty formy větší, než její ohřátí taveninou a musí se naopak ohřívat. Také při zahájení výroby je třeba nejprve vyhřát formu na pracovní teplotu, jinak by nebyla zaručena dostatečná kvalita výstřiku. [2]

### 4.5.1 Zásady při volbě temperačního systému

Temperační systém je tvořen soustavou kanálů a dutin, kterými se předává nebo odvádí teplo z formy vhodnou kapalinou nebo jiným zdrojem tepla. Rozměry a rozmístění temperačních kanálů a dutin se volí s ohledem na celkové řešení formy. Vzdálenost kanálů od tvarové dutiny má být optimální. Je třeba dbát na dostatečnou pevnost a tuhost stěny tvarové dutiny. Povrch temperačních kanálů slouží jako přestupová plocha pro teplo přestupující z formy do temperačního média a opačně. Je vhodnější použít větší počet menších kanálů s malými roztečemi než naopak. Kolem dutiny formy se kanály rozmísťují rovnoměrně a všude ve stejné vzdálenosti. V oblasti silnější stěny výstřiku, případně v jiném místě o vyšší teplotě, se kanály přiblíží k dutině formy. [2,18]



Obr. 10. Rozmístění temperančních kanálů [2]

Při volbě temperačního systému je nutné dodržovat tyto pravidla [2,18]:

- kanály umístit v optimální vzdálenosti od tvarové dutiny formy, při zachování její tuhosti;
- kanály umístit a dimenzovat tak, aby teplo bylo intenzivně odváděno z míst, kde je forma ve styku s proudem taveniny;
- průtok chladicí kapaliny regulovat tak, aby při chlazení proudila od nejteplejšího místa k chladnějšímu;
- z výrobních důvodů zvolit kruhový průřez;
- kanály mají procházet celistvým materiálem formy. Pokud to není možné, je třeba spoje utěsnit;
- v cestě temperačního média se nemají vytvářet mrtvé kouty;
- neumísťňovat kanály v blízkosti hran výstřiků;
- průměr kanálů nemá být menší než 6 mm, hrozí ucpání nečistotami, vodním kamenem;
- kanály konstruovat tak, aby se daly jednotlivé větve propojit hadicemi různým způsobem a pořadím.



#### 4.5.2 Temperační prostředky

Představují média, která svým působením umožňují formě pracovat v optimálních tepelných podmínkách.

Rozdělují se na [2,14]:

- aktivní, které působí přímo na formě;
- pasivní, svými fyzikálními vlastnostmi ovlivňují tepelný režim formy.

Aktivními prostředky jsou kapaliny, vzduch a topné elektrické články.

*Kapaliny:*

Kapaliny proudí nuceným oběhem temperačními kanály vytvořenými uvnitř formy. Dochází k přestupu tepla mezi formou a kapalinou. Nejčastěji se používá voda. Mezi její výhody patří vysoký přestup tepla, nízká viskozita, ekologická nezávadnost a nízká cena. Nevýhodami je usazování vodního kamene, vznik koroze (nutná úprava vody) a použitelnost jen do 90°C (v tlakových okruzích lze vodu použít i při vyšších teplotách). Dále se používá olej, kterým můžeme temperovat i nad teplotu 100°C. Jeho nevýhodou je snížený přestup tepla. Poslední používanou kapalinou jsou glykoly. Ty omezují vznik koroze a ucpávání temperačního systému. Jejich nevýhodou je rychlejší stárnutí a nutnost ekologické likvidace. [2,14]

*Vzduch:*

Používá se buď volného proudění (u odvodu tepla z povrchu formy, při chlazení tvarových částí po čas otevření formy), nebo nuceného proudění působením přetlaku či podtlaku. Chlazení vzduchem má malou účinnost, proto se využívá jen ve speciálních případech. [2,14]

*Elektrické topné články:*

Využívají se především k temperaci forem s požadovanou vyšší teplotou v případě, kdy ztráty do okolí jsou větší, než teplo dodané vstříkovaným plastem. Většinou se používají topné patrony a prstencová topná tělesa s větší povrchovou zátěží, které umožňují v relativně malých objemech předat značné množství tepla do vytápěné části formy. Základním pravidlem zvyšujícím spolehlivost je použití vyššího počtu topných článků, které nejsou

využívány na plný výkon. Při jejich instalaci je třeba dbát na to, aby aktivní povrch topného tělesa byl vždy v těsném kontaktu s povrchem formy. [2]

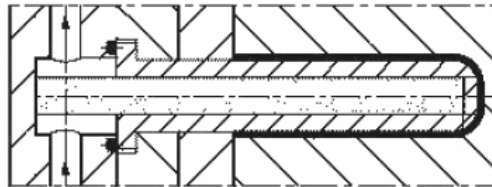
Mezi pasivní prostředky řadíme tepelně izolační a tepelně vodivé materiály.

*Tepelně izolační materiály:*

Využívají se především pro omezení přestupu tepla do upínacích desek stroje a to v případech, kdy požadujeme vysokou teplotu formy. Volí se různé pevnostně a tepelně odolné materiály na bázi vyztužených reaktoplastů, či nekovových anorganických látek. K danému účelu se používá např. Sklotextit ARV, Sklotextit SI apod. [2]

*Tepelně vodivé materiály:*

Slouží k odvodu resp. přívodu tepla z míst jiným způsobem obtížně temperovatelných (tenké tvárníky, vtokové trysky) do míst, kde lze již odvod nebo přívod tepla zajistit obvyklým způsobem. Používá se Cu, Al a jejich slitiny. Nejúčinnějším prostředkem jsou tzv. tepelné trubice, které využívají výparného tepla látky cirkulujícího uvnitř trubice v důsledku teplotního spádu. Tímto způsobem lze zvýšit odvod tepla až o řád, ve srovnání s čistou mědí. [2]



Obr. 11. Tepelná trubice [17]

## 4.6 Vyhazovací systém

Vyhazování výstřiků z formy je činnost, kdy se z dutiny nebo z tvárníku otevřené formy vysune nebo vytlačí zhotovený výstřik. K tomu slouží vyhazovací zařízení, které doplňuje formu a svojí funkcí má zajišťovat automatický výrobní cyklus. [2,3]

Vyhazování má dvě fáze [2]:

- dopředný pohyb, vlastní vyhazování;
- zpětný pohyb, návrat vyhazovacího systému do původní polohy.

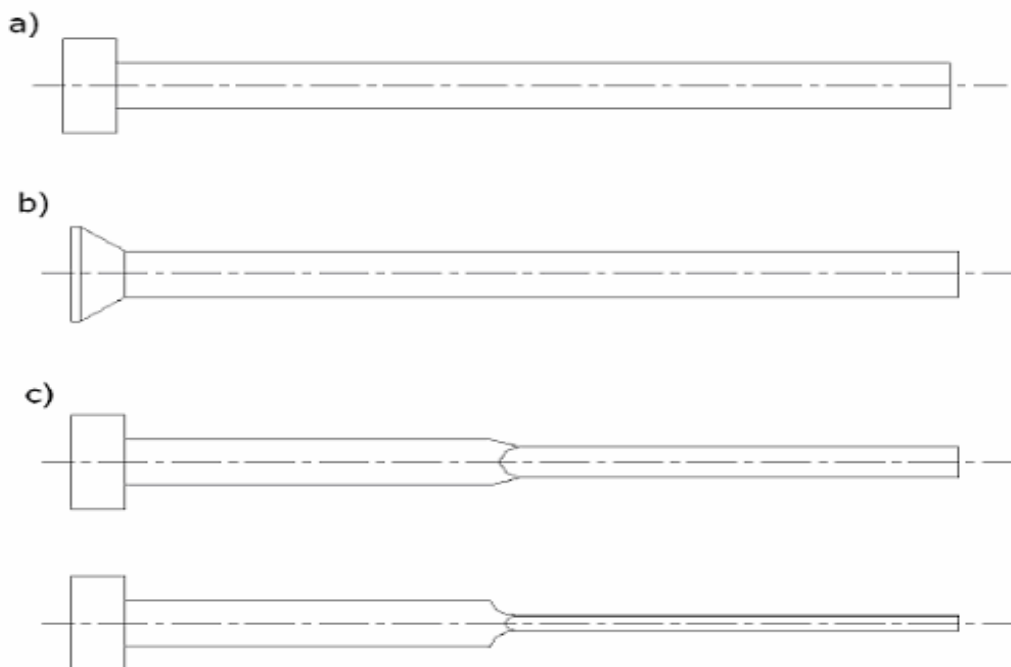
Základní podmínkou správného vyhazování výstřiku je hladký povrch a úkosovitost stěn ve směru vyhazování. Úkosa nemají být menší než  $30^\circ$ . Vyhazovací systém musí výstřik vysouvat rovnoměrně, aby nedošlo k jeho přičení, a tím ke vzniku trvalých deformací, nebo k jinému poškození. Umístění vyhazovačů, jejich tvar a rozložení může být velmi rozmanité. Může se jich využít k vytváření funkční dutiny nebo jako část tvárníku. Mimo výstřiků se vyhazuje i vtokový zbytek. [2,14]

#### 4.6.1 Mechanické vyhazování

Je nejrozšířenějším vyhazovacím systémem a používá se všude tam, kde je to možné. [2]

*Vyhazovací kolíky:*

Lze je použít tam, kde je možné umístit vyhazovače proti ploše výstřiku ve směru vyhození. Tento způsob je nejčastějším a nejlevnějším. Správná volba tvaru vyhazovacího kolíku i jeho vhodné umístění umožní snadné vyhození výstřiku bez poškození. Kolík se má opírat o stěnu nebo žebro výstřiku a nesmí ho při vyhazování bortit. Jinak by mohla nastat jeho trvalá deformace. Po styčných plochách vyhazovacích kolíků zůstávají na výstřiku stopy. Proto není vhodné je umístit na vzhledových plochách. [2]

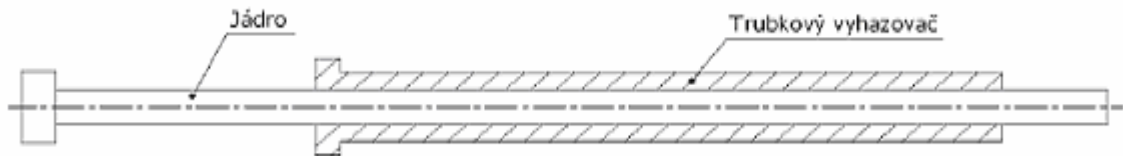


Obr. 12. Vyhazovací kolíky [2]

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

*Trubkový vyhazovač:*

Funkce trubkového vyhazovače je speciálním případem stírání tlakem. Vyhazovač s otvorem má funkci stírací desky a pracuje jako vyhazovací kolík. Zatím co vlastní vyhazovací kolík je upevněn v pevné desce, nepohybuje se a tvoří jádro. [2,14]



Obr. 13. Trubkový vyhazovač [14]

*Šikmé vyhazovače:*

Jsou speciální formou mechanického vyhazování. Vyhazovací kolíky nejsou kolmé k dělicí rovině, ale jsou k ní uloženy pod různými úhly. Využívají se k vyhazování malých a středně velkých výstřiků s mělkým vnitřním nebo vnějším zápichem. Tím se odstraní náročné posuvné čelisti s klínovým mechanismem. Uspořádání takového systému má nejrůznější podobu a je možné ho kombinovat s přímým vyhazováním. Je snahou, aby způsob byl funkčně dokonalý a výrobně jednoduchý. [2]

*Stírací deska:*

Představuje stahování výstřiku z tvárníku po celém jeho obvodu. Vzhledem k velké styčné ploše nezanechává na výstřiku stopy po vyhazování. Jeho deformace jsou pak minimální a stírací síla velká. Používá se především u tenkostěnných výstřiků, kde je nebezpečí jejich deformace, nebo u rozměrných, které vyžadují velkou vyhazovací sílu. Stírání je vhodné jen tehdy, dosedá-li výstřik na stírací desku v rovině nebo plocha výstřiku je mírně zakřivena. [2,14]

Stírací deska je ovládána tlakem vyhazovacího trnu. Působí přes vyhazovací desku spojenou táhly se stírací deskou. Síla může být vyvozena pružinami, hydraulickým nebo pneumatickým zařízením. Stírací deska může být ovládána i tahem pomocných mechanismů. [2]

Nevýhodou je, že vzhledem k velké ploše stírací desky může docházet k teplotním dilatacím a tím i ke špatnému vyhození. Tuto nevýhodu lze eliminovat použitím tvarových vložek upnutých ve stírací desce. [2,20]

*Dvoustupňové vyhazování:*

Způsob umožňuje vyhazovat výstřiky s rozdílným časovým rozložením vyhazovacího zdvihu i jeho velikosti. Proto se s výhodou používá například k vyhazování tenkostěnných výstřiků v kombinaci – stírání s vyhazovacími kolíky, při šikmém vyhazování výstřiků se zápichem. [2]

Využívá se také při oddělování (ostříhování) vtokových zbytků od výstřiků spolu s jejich vyhazováním. Pracuje takovým způsobem, že jednou skupinou vyhazovačů se odstříhnou vtoky a druhou se zpožděným zdvihem se výstřiky vyhodí. [2]

#### **4.6.2 Hydraulické vyhazování**

Bývá součástí vstřikovacího stroje a používá se především k ovládní mechanických vyhazovačů, které nahrazuje pružnějším pohybem a velkou flexibilitou. S přímo zabudovanými hydraulickými jednotkami ve formě, které pracují jako vyhazovače, se setkáváme již méně. Více se používají k ovládní bočních posuvných čelistí. Používané hydraulické vyhazovače se vyrábějí většinou jako uzavřená hydraulická soustava, která se zabuduje přímo do připraveného místa ve formě. S její pomocí se přímo ovládají vyhazovací kolíky i stírací desky. Hydraulické vyhazování se vyznačuje velkou vyhazovací silou, kratším a pomalejším zdvihem. [2,14]

#### **4.6.3 Pneumatické vyhazování**

Je vhodné pro vyhazování slabostěnných výstřiků větších rozměrů ve tvaru nádob, které je nutné při vyhazování zavzdušnit, aby se nedeformovaly. [2]

Výhodou je zmenšení velikosti formy, jelikož není nutný velký zdvih vyhazovače, prodloužení životnosti formy, protože se nemusí konstruovat pohyblivé desky vyhazovačů a stlačený vzduch působí rovnoměrně na celou plochu výstřiku. [2,21]

Pneumatické vyhazování zavádí stlačený vzduch mezi výstřik a líc formy. Tím umožní rovnoměrné oddělení výstřiku od tvárníku, vyloučí se místní přetížení a nevzniknou na

výstřiku stopy po vyhazovačích. Použití pneumatického vyhazování je omezeno jen na některé tvary výstřiků. Pneumatické vyhazování lze kombinovat s mechanickým. [2]

#### 4.7 Odvzdušnění forem

Dutina formy je před vstřikováním naplněna vzduchem. Při jejím plnění taveninou je třeba zajistit únik vzduchu a případných zplodin. Čím je větší rychlost plnění, tím musí být odvzdušnění tvarové dutiny účinnější. Nedostatečné odvzdušnění může být příčinou nekvalitního vzhledu výrobku nebo jeho nízkých mechanických vlastností. [2]

Umístění odvzdušňovacích kanálů souvisí s umístěním vtokového ústím. K uzavření vzduchu dochází v místech, kde tavenina zateče jako poslední. Proto je vhodné odvzdušnění umístit v těchto místech. Je také nutné zohlednit funkci výstřiku, jelikož stopy po odvzdušnění mohou být viditelné, což je nežádoucí zvláště na vzhledových plochách. [12]

Velikost odvzdušňovacích kanálů závisí na typu vstřikovanému polymeru. Proto se v dělicí rovině vytvářejí jemné drážky (0,02 až 0,1) mm hluboké a (3 až 6) mm široké. K odvzdušnění lze také použít vyhazovacích kolíků, které se po části průřezu zploští přebroušením. Vzniklá vůle pak umožní unikání vzduchu, ale nikoliv taveniny. Odvzdušňovací drážky se umísťují ve formě tak, aby se nemohly vytvořit uzavřené "kapsy". Pokud taková místa nelze spojit s vnější atmosférou, vkládají se tam porézní vložky ze slinutých karbidů, které se případně dále propojují do chladících kanálků. K takovému účelu se využívá podtlaku v chladicím systému. [3,14]

Potíže s odvzdušněním se vyskytují především u nových forem s dobře těsnícími dělicími rovinami. V průběhu provozu vlivem opotřebení vzniknou větší vůle, které poskytují vzduchu stále víc možností úniku. [2]

#### 4.8 Materiály pro výrobu forem

Formy jsou nákladné nástroje sestavené z funkčních a pomocných dílů. Při výrobě výstřiků se od nich vyžaduje dosažení požadované kvality, životnosti a nízkých pořizovacích nákladů. Významný činitel pro splnění těchto podmínek je materiál forem, který je ovlivněn provozními podmínkami výroby, určené [2]:

- druhem vstřikovaného plastu;

- přesností jakosti výstřiku;
- podmínkami vstřikování;
- vstřikovacím strojem.

Pro výrobu forem se tedy používají takové materiály, které splňují provozní požadavky v optimální míře. Jejich široký výběr byl zredukován na úzký sortiment jakostí a rozměrů. Z toho se dále dává přednost materiálům univerzálních typů s širokým rozsahem užitných vlastností. [2,14]

Takové druhy představují [2,14]:

- oceli vhodných vlastností;
- neželezné slitiny kovů (Al, Cu, ...);
- ostatní materiály (izolační, tepelně nevodivé, ...).

Oceli jsou daleko nejvýznačnějším druhem používaných materiálů na výrobu forem. Svou pevností a dalšími mechanickými vlastnostmi se dají jen obtížně nahradit. [2]

Jednotlivé díly forem nemají stejnou funkci, proto vyžadují i svoje specifické požadavky na volbu materiálu, z kterého budou vyrobeny. Jejich výběr a doporučená řada má odpovídat požadované funkci součásti, s ohledem na opotřebení a životnost. [2]

Požadované vlastnosti ocelí [2,9]:

- dostatečná mechanická pevnost;
- dobrá obrobiteľnosť;
- odolnosť proti opotrebeniu a korozi;
- dobrá leštiteľnosť a obrusiteľnosť;
- vysoká stabilita pri tepelnom spracovaní.

Z širokého sortimentu jakostí ocelí se současně pro výrobu forem používají následující skupiny [9]:

- cementační oceli;
- kalitelné oceli;
- nitridační oceli;

- martenzitické oceli;
- antikoroziční oceli.

## 4.9 Tepelné zpracování

Tepelné zpracování představuje takový souhrn operací, kterými se získávají požadované vlastnosti materiálu. Průběh je provázen změnou jejich struktury, ovlivňující především mechanické vlastnosti.

Mezi hlavní způsoby tepelného zpracování patří [2]:

- žíhání (odstranění vnitřního pnutí, měkké, ...);
- kalení (zvýšení tvrdosti a pevnosti);
- popouštění v návaznosti na kalení;
- chemicko tepelné zpracování (cementování, nitridování, ...).

Tepelně se zpracovávají i slitiny neželezných kovů, zvláště pro zlepšení podmínek pro zpracování nebo pro zvýšení pevnosti.

Základní způsoby tepelného zpracování [2]:

- žíhání na odstranění vnitřního pnutí;
- vytvrzování.



## 5 ZÁVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI

V úvodu teoretické části byla popsána technologie vstřikování, průběh vstřikovacího cyklu, plastikační a uzavírací jednotka vstřikovacího stroje. Dále byla jedna kapitola věnována rozdělení polymerních materiálů používaných při vstřikování. Následující kapitola popisuje vstřikované výrobky a základní zásady při jejich navrhování. Poslední kapitola se zabývá konstrukcí vstřikovacích forem, popisem jednotlivých druhů vtokových systémů, zásadami při volbě temperačních systémů, vyhazovacím systémem a materiály pro výrobu forem.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 6 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

V diplomové práci byly stanoveny následující cíle:

- vypracovat literární rešerši na dané téma;
- provést návrh vstřikovací formy;
- návrh doložit výkresem sestavy;
- provést analýzu vstřikovacího procesu.

## 7 POUŽITÉ PROGRAMY

V praktické části byl použit program ProEngineer 2001, který sloužil k tvorbě 3D modelů jednotlivých částí vstřikovací formy a všech potřebných výkresů. K zhotovení tokových analýz byl použit program Autodesk Moldflow Insight Synergy 2012.

### 7.1 ProEngineer 2001

ProEngineer byl uveden na trh v roce 1988 a zásadně změnil trh s CAD programy. Je označován jako zakladatel parametrického asociativního modelování pomocí konstrukčních prvků. ProEngineer je produktem americké firmy PTC (Parametric Technology Corporation). Jedná se o plně parametrický CAD/CAM/CAE systém založený na objemovém modelování s využitím konstrukčních prvků a pojmů z konstrukční praxe. Je určen pro podporu celého vývojového procesu výrobku od počátečního návrhu až po výrobu. V prostředí ProEngineer lze jednoduše a rychle vytvářet úplné, jednoznačné a vysoce přesné prostorové modely těles, jež jsou reprezentovány svou hranicí. Tyto modely dovolují automatické provádění výpočtů těžiště, momentů setrvačnosti a dalších hmotnostních charakteristik, detekce kolizních stavů, výpočty tolerancí součástí a sestav. [23]

### 7.2 Autodesk Moldflow Insight Synergy 2012

Autodesk Moldflow je simulační software poskytující nástroje, které pomáhají vyhodnotit a optimalizovat konstrukci plastových dílů a vstřikovacích forem. Pomáhá předcházet vzniku potencionálních vad za pomoci predikce chování taveniny uvnitř tvarové dutiny. Součástí software je také databáze s více než 8000 polymerních materiálů, charakteristických pro technologii vstřikování. [24]

### 7.3 Meusburger 3D Module

Knihovna normálií od firmy Meusburger nabízí 3D modely jednotlivých komponentů potřebných při konstruování vstřikovacích forem. Tato knihovna zrychluje a usnadňuje konstrukční práce. Firma Meusburger poskytuje na svých webových stránkách online katalog normálií a desek rámu formy.

## 8 VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK

Vstříkovaným výrobkem je středová krytka zámku sedadla pro automobil značky Volvo. Tato krytka bude montována do několika modelů této značky a bude se vyrábět ve čtyřech barevných provedení s dezénovaným povrchem. Jedná se tudíž o pohledový díl, kde bude dbáno na vysokou kvalitu pohledových ploch.



Obr. 14. Model výrobku

### 8.1 Materiál výrobku

Materiál byl předem vybrán zákazníkem. Jedná se o směs polykarbonátu a akrylonitril-butadien-styrenu (PC+ABS). Jedná se o amorfni polymer s vynikající rázovou a vrubovou houževnatostí, pevností a tuhostí. Tento materiál se pro své vlastnosti používá k výrobě pohledových dílů, ochranných krytů a nosných těles. Výrobce polymeru je firma Styron EUR s obchodním názvem Pulse A35-105. Do materiálu jsou přimíchány 4 % barviva.

Základní charakteristika polymeru [30]:

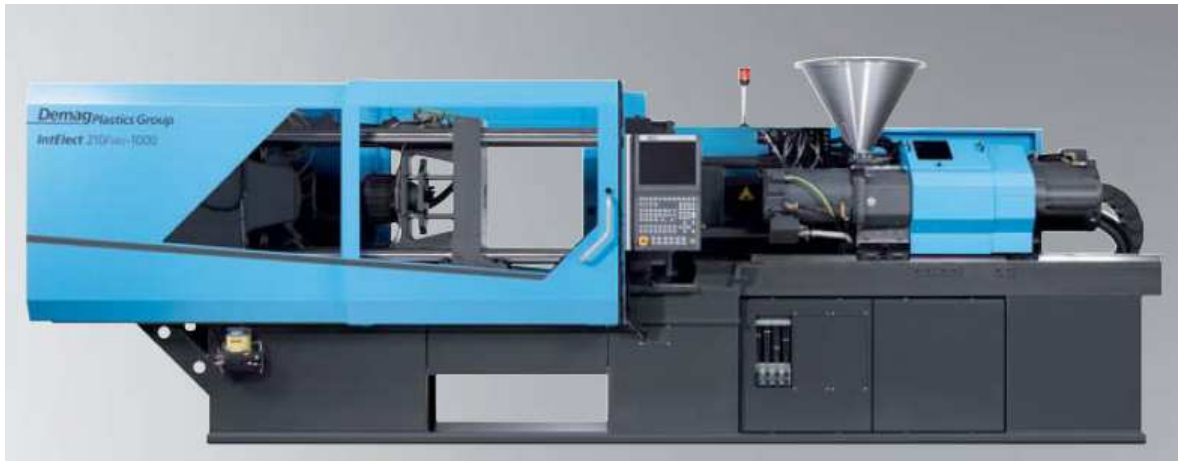
- Hustota tuhé fáze 1,2 [g/cm<sup>3</sup>]
- Hustota taveniny 0,98 [g/cm<sup>3</sup>]
- Modul pružnosti v tahu E 2780 [MPa]
- Modul pružnosti ve smyku G 993 [MPa]
- Poissonova konstanta 0,4
- Index toku taveniny ITT 3 [g/10min]
- Max. smykové napětí 0,4 [MPa]
- Max. smyková rychlost 40000 [1/s]
- Smrštění 0,3 – 0,7 [%]

Doporučené zpracovatelské podmínky [30]:

- Min. teplota taveniny 250 [°C]
- Max. teplota taveniny 290 [°C]
- Min. teplota formy 50 [°C]
- Max. teplota formy 90 [°C]
- Teplota při vyhazování 142 [°C]

## 9 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Vstřikovací forma byla navržena na vstřikovací stroj Demag Systec 350/720.



Obr. 15. Vstřikovací stroj Demag [28]

Základní parametry vstřikovacího stroje [29]:

- uzavírací síla 3500 [kN]
- maximální výška formy 950 [mm]
- minimální výška formy 350 [mm]
- velikost upínacích desek 1040x1060 [mm]
- vzdálenost mezi vodícími sloupy 720x720 [mm]
- maximální hmotnost formy 4700 [kg]
- průměr šneku 50 [mm]
- zdvih šneku 270 [mm]
- poměr šneku L/D 20
- maximální hmotnost dávky 482 [g]
- maximální objem dávky 530 [cm<sup>3</sup>]

## 10 PŘEDBĚŽNÉ NÁVRHY

Při návrhu konstrukčního řešení vstřikovací formy byly zvažovány různé varianty. Každá z variant měla své výhody a nevýhody.

### 10.1 Násobnost formy

V prvním návrhu bylo počítáno s jednonásobnou formou. To by umožnilo použití menšího vstřikovacího stroje, zjednodušilo a zpřesnilo samotnou výrobu vstřikovací formy. Bohužel vzhledem k množství vyráběných dílů za rok by jednonásobná forma nemusela pokrýt požadovanou roční produkci, proto bylo uvažováno o vícenásobné formě. Čtyř a vícenásobná forma byla vzhledem na složitost výrobku, jeho zaformování a velikost vstřikovacího stroje zamítnuta. Jako ideální možnost byla zvolena dvounásobná vstřikovací forma (viz. kapitola 11.1.).

### 10.2 Zaformování výrobku

Nejsložitější a zároveň nejdůležitější činností bylo určit správné zaformování výrobku a vhodné určení dělicí roviny. Na první pohled se nejedná o zvlášť složitý výrobek, ale vzhledem k tomu, že se jedná o pohledový díl s dezénovanými vnějšími plochami, a že se na vnitřních plochách nacházejí výstupky, je zaformování výrobku náročnější. Jednou z možností bylo použít tři posuvné vozíky. Jeden vozík by tvořil vnitřní tvar výrobku a dva vozíky vnější tvar. Při této variantě by jeden posuvný vozík tvořil dvě vnější plochy, čím by byl počet dělicích ploch oproti stávající variantě menší. Vzhledem k tomu, že vnější plochy jsou vůči sobě kolmé a dezénované byla tato možnost vyloučena. Proto byla zvolena varianta se čtyřmi posuvnými vozíky (viz. kapitola 11.2.).

### 10.3 Vtokový systém

Vzhledem k tomu, že první návrh s jednonásobnou formou byl zamítnut, nebylo možné použít jen studený vtokový systém. Jeho výhoda sice spočívá v tom, že je málo energeticky náročný, avšak jeho hlavní nevýhodou je vtokový zbytek. Ten by byl vzhledem k vzdálenosti tvarových dutin příliš velký a neekonomický. Na druhou stranu použití samotného horkého vtokového systému zabránilo to, že se jedná o pohledový díl a nebylo možné pl-



nění přímo na díl. Proto byla zvolena kombinace studeného a horkého vtokového systému (viz. kapitola 11.6.).

#### **10.4 Temperační systém**

Při konstrukčním návrhu temperačního systému byly zvažovány dvě varianty výroby temperačních kanálů. První možností byla výroba vrtaných kanálů. Tato možnost je výrobně jednodušší a rychlejší. Nevýhodou je, že v případě tvarově složitých součástí nemusí být tento způsob příliš efektivní. Druhá možnost byla použít technologii DMLS, která umožňuje výrobu temperačních kanálů v konstantní vzdálenosti od stěny i u tvarově složitých dílů a tím zajišťuje rovnoměrné teplotní pole. Po zvážení všech kritérií byla vybrána první možnost.

## 11 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Vstřikovací forma byla konstruována dle zadání a specifikací zákazníka. Což na jednu stranu omezilo volnost při konstrukci, na druhou stranu jasně definovalo konstrukční kritéria.

### 11.1 Násobnost formy

Při určování násobnosti vstřikovací formy se musí zvážit určitá kritéria, jako jsou rozměry, kvalita a přesnost daného výrobku, celková produkce, volba vstřikovacího stroje a hospodárnost výroby. Vzhledem k množství požadovaných dílů (cca 300 000 ks/rok), délky produkce (7 let) a zvážení dalších parametrů, byla forma navržena jako dvojnásobná.

### 11.2 Zaformování výrobku

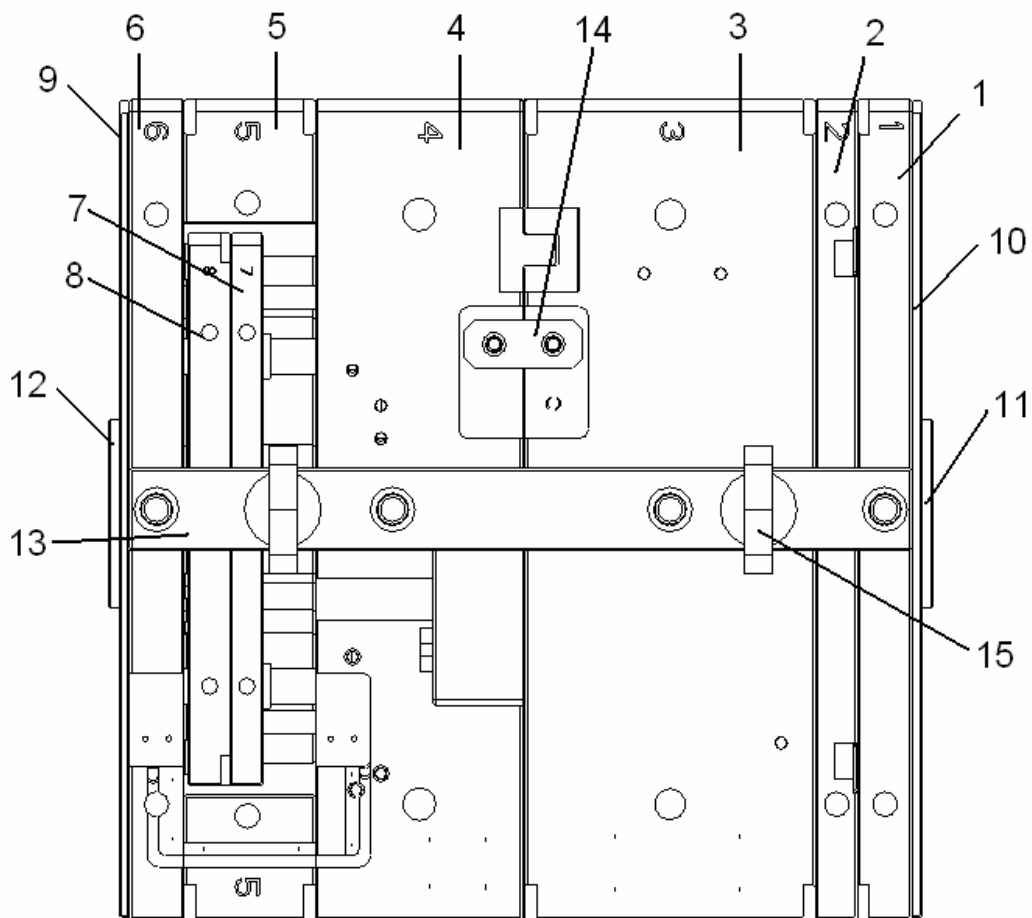
Při určování dělicí roviny se vychází z konstrukčního řešení vyráběného dílu a patří mezi nejdůležitější kroky při konstrukci vstřikovací formy. Zaformování výstřiku bylo navrženo tak, aby po otevření formy zůstal výstřik na pohyblivé straně formy. Potom bude částečně vyhozen vyhazovacím systémem a následně odebrán robotem. Vnější tvar výrobku tvoří tvárnice a tři posuvné vozíky. Vnitřní tvar je tvořen tvárníkem a jedním posuvným vozíkem. Výstupky na spodních vnitřních plochách jsou tvořeny tvarovými vložkami v tvárníku. Výstupky na horních vnitřních plochách tvoří tvárník, posuvný vozík a vložka tvárnice.

### 11.3 Odvzdušnění

Při vstřikování polymeru do formy dochází ke stlačování vzduchu čelem taveniny a mohlo by docházet k nežádoucím jevům jako jsou např. Dieselův jev, propadliny, bubliny nebo k nedostříknutí výrobku. Proto je nutné tento vzduch z dutiny formy odvést do okolí. V tomto případě je odvzdušnění zajištěno dělicí rovinou, odvzdušňovacími drážkami na posuvných vozících, tvarových vložkách v tvárníku a vůlí mezi vyhazovači.

### 11.4 Rám vstřikovací formy

Základní rozměry desek rámu formy byly vybrány z katalogu firmy Meusburger. Vybrané desky je nutné konstrukčně upravit dle výkresů jednotlivých dílů. Deska tvárnice a tvárníku jsou vyrobeny z materiálu DIN 1.2312, ostatní desky jsou z materiálu 1.1730. Izolační desky byly vyrobeny z tepelně izolačního materiálu, kterým je Sklotextit SI. Rám formy byl dále doplněn válcovými rozpěrkami, které zvyšují celkovou tuhost rámu.

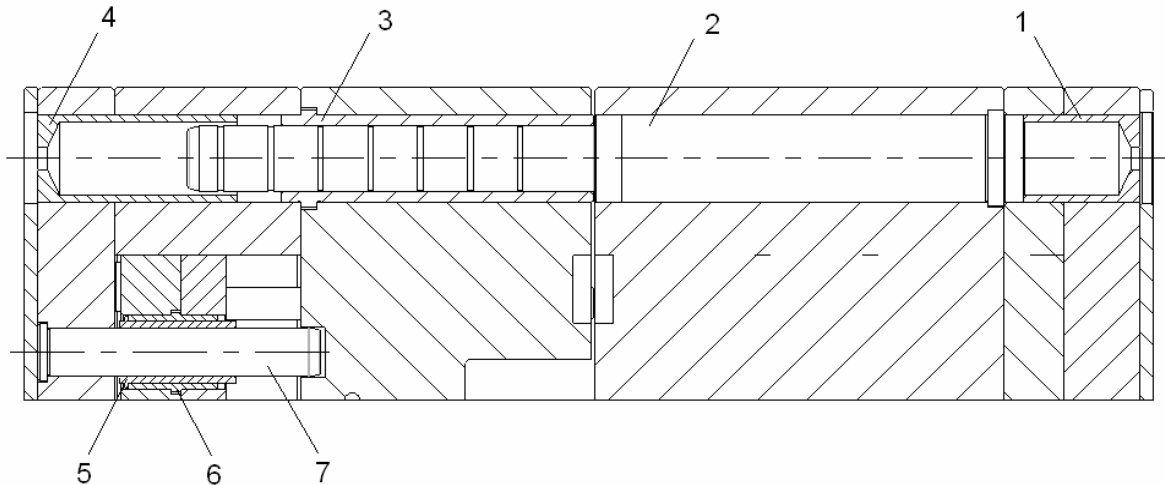


Obr. 16 Rám vstřikovací formy

1 – upínací deska pravá, 2 – mezideska, 3 – deska tvárnice, 4 – deska tvárníku, 5 – rozpěrné desky, 6 – upínací deska levá, 7 – kotevní deska, 8 – vyvažovací deska, 9 – izolační deska levá, 10 – izolační deska pravá, 11 – středící kroužek pravý, 12 – středící kroužek levý, 13 – transportní most, 14 – transportní spona, 15 – transportní oko

*Vodící části rámu:*

Vodící a středící prvky slouží k správnému vedení desek rámu formy při zavírání, otvírání a při pohybu vyhazovacího systému. Díly byly vybrány z katalogu normálií firmy Meusburger.

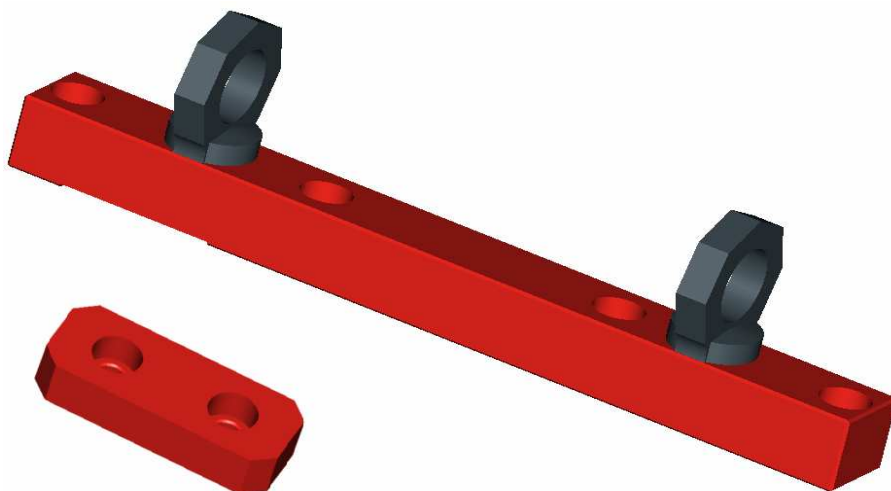


Obr. 17. Vodící a středící části formy

1 – středící pouzdro, 2 – vodící sloupek, 3 – vodící pouzdro, 4 – středící pouzdro, 5 - kulíčkové vedení, 6 – vodící pouzdro vyhazov. desek, 7 – vodící sloupek vyhazov. desek

*Manipulační systém formy:*

Pro zlepšení manipulace s formou a zabránění jejího otevření jsou obě poloviny zajištěny transportním mostem a transportní sponou. Tyto díly jsou vyrobeny z materiálu 1.0060. Transportní most je osazen dvěma transportními oky.



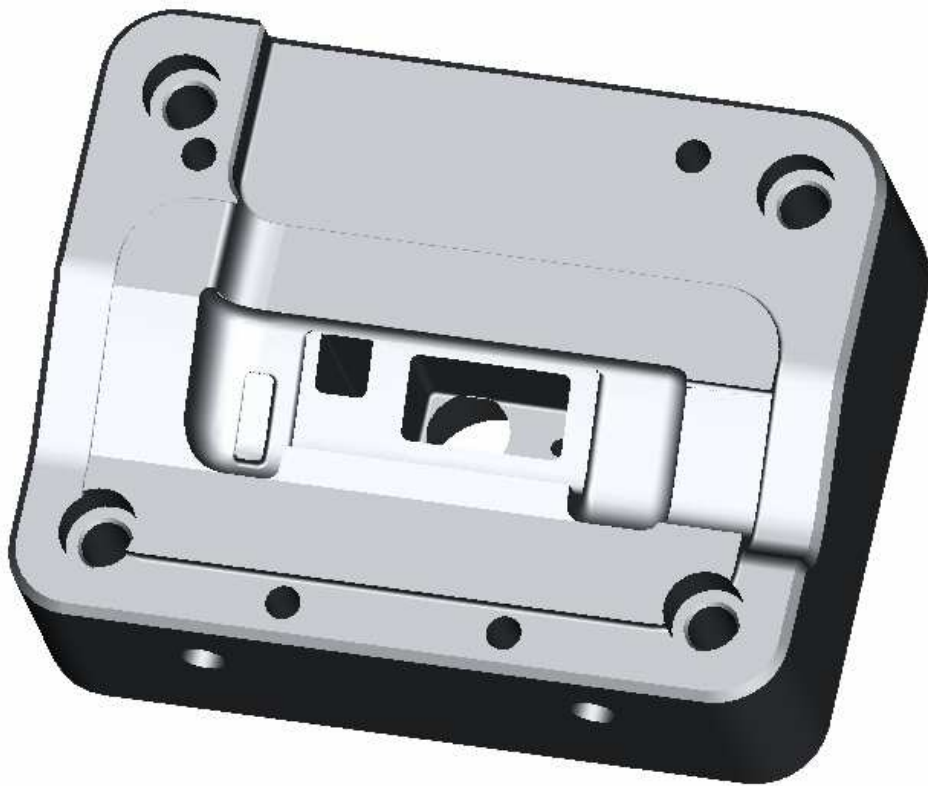
Obr. 18. Manipulační systém

## 11.5 Tvarové části formy

Hlavními tvarovými částmi formy jsou tvárnice, tvárník, čtveřice posuvových vozíků a čtveřice tvarových vložek. Všechny tvarové části jsou zvětšeny o smrštění polymeru. Tyto díly jsou shodné i pro druhou tvarovou dutinu.

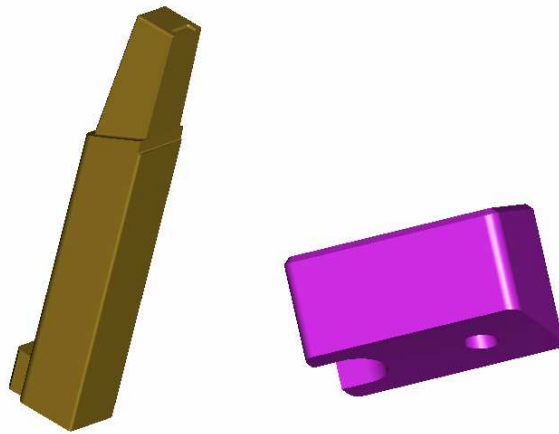
*Tvárnice:*

Tvoří část vnějšího tvaru vstříkovaného výrobku. Je vyrobena z materiálu 1.2343 a zakalena na 52+2 HRC.



Obr. 19. Tvárnice

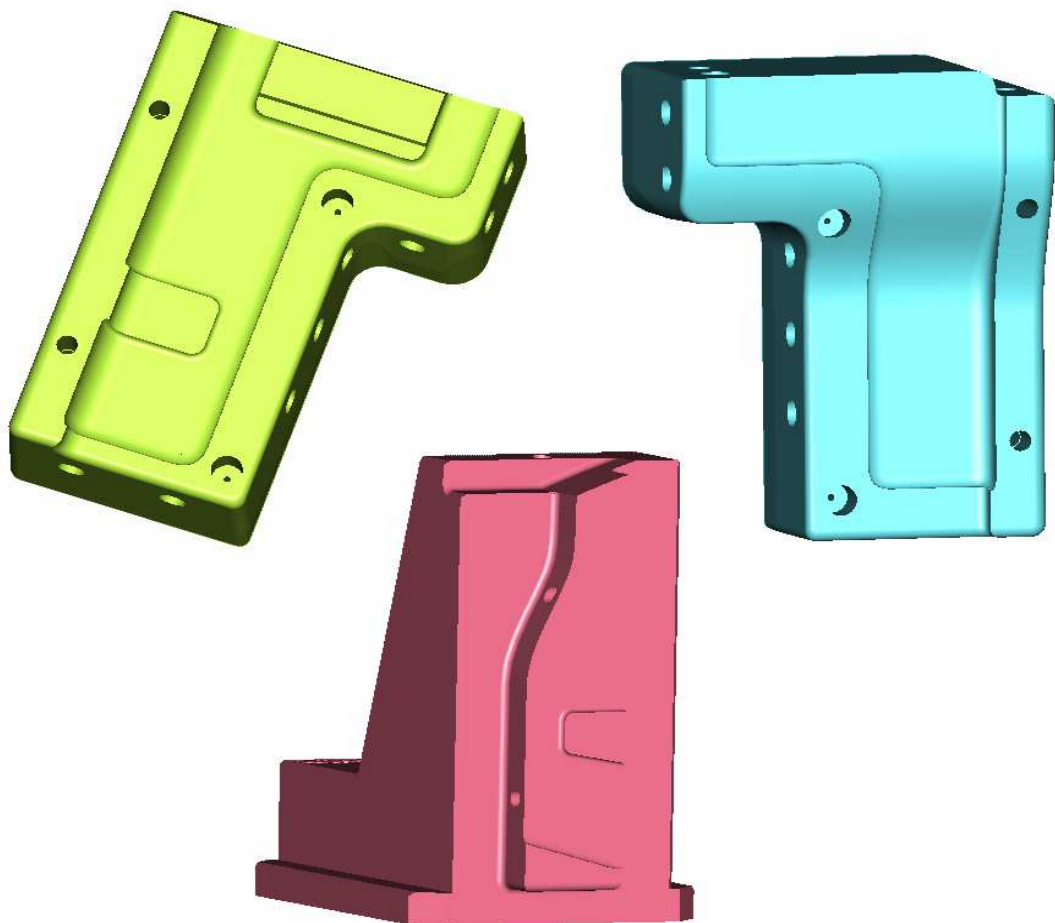
Tvárnice je doplněna tvarovou vložkou, která tvoří část výstupku na vnitřní straně výrobku. Tato vložka je vyrobena z materiálu 1.2343 a zakalena na 52+2 HRC. Součástí tvárnice je i vložka vtoku, která ustavuje vtokové trysky v požadované poloze a tvoří část studeného vtokového systému.



Obr. 20. Vložka tvárnice + vložka vtoku

*Posuvné vozíky:*

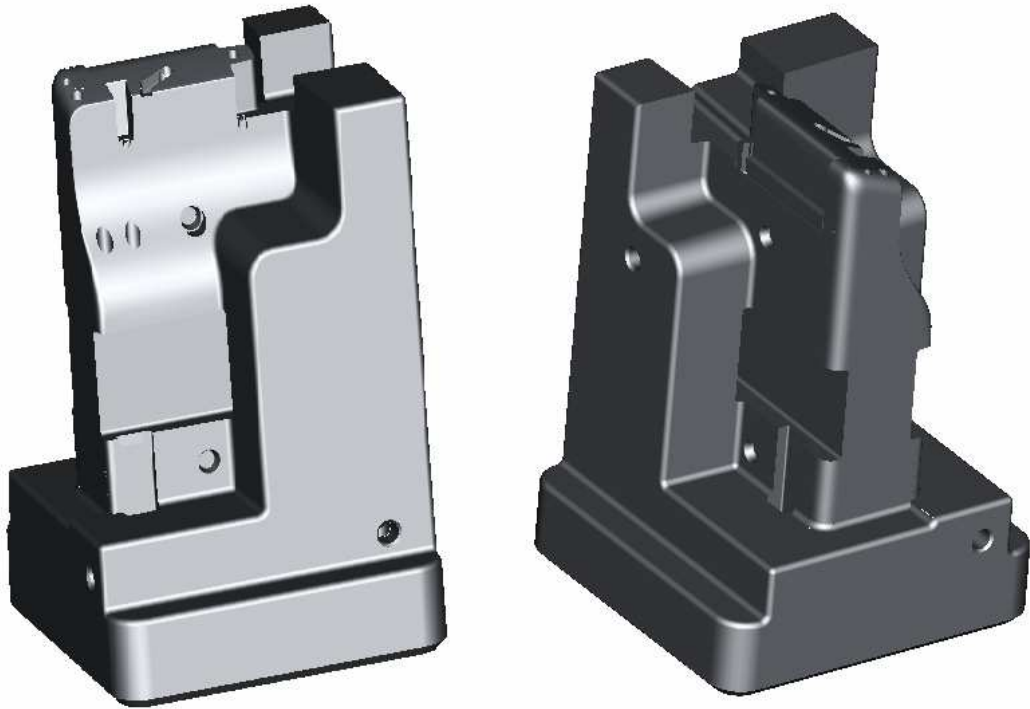
Dalšími díly, které tvoří vnější tvar výrobku, jsou tři posuvné vozíky. Jsou vyrobeny z materiálu 1.2343 a zakaleny na 52+2 HRc.



Obr. 21. Posuvné vozíky

*Tvárník:*

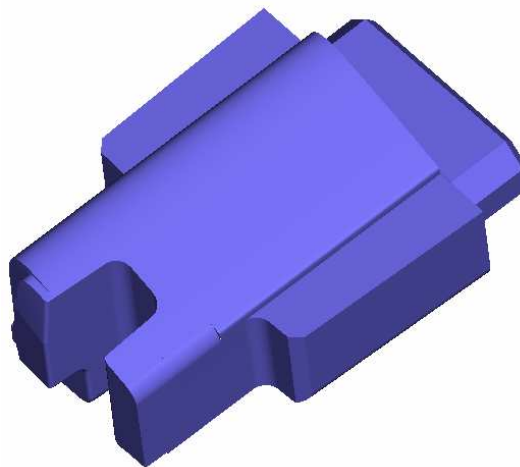
Tvárník tvoří část vnitřního tvaru výrobku. Je vyroben z materiálu 1.2343 a zakalen na 52+2 HRc.



Obr. 22. Tvárník

*Posuvný vozík TVK:*

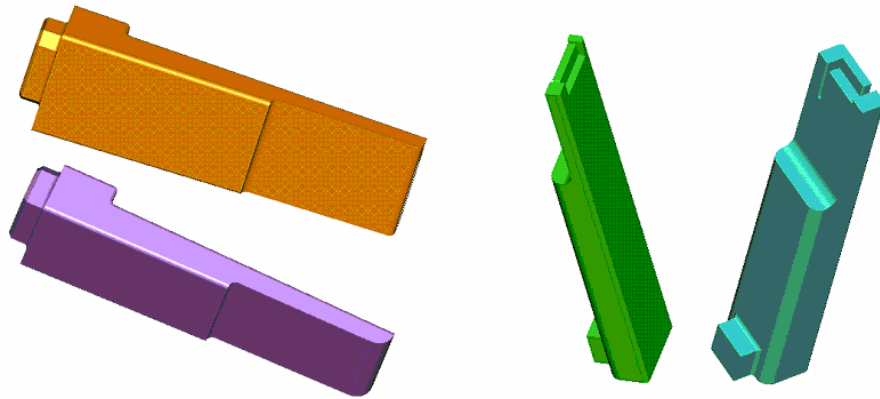
Tvoří společně s tvárníkem vnitřní tvar výrobku. Vozík je vyroben z materiálu 1.2343 a je zakalen na 52+2 HRc.



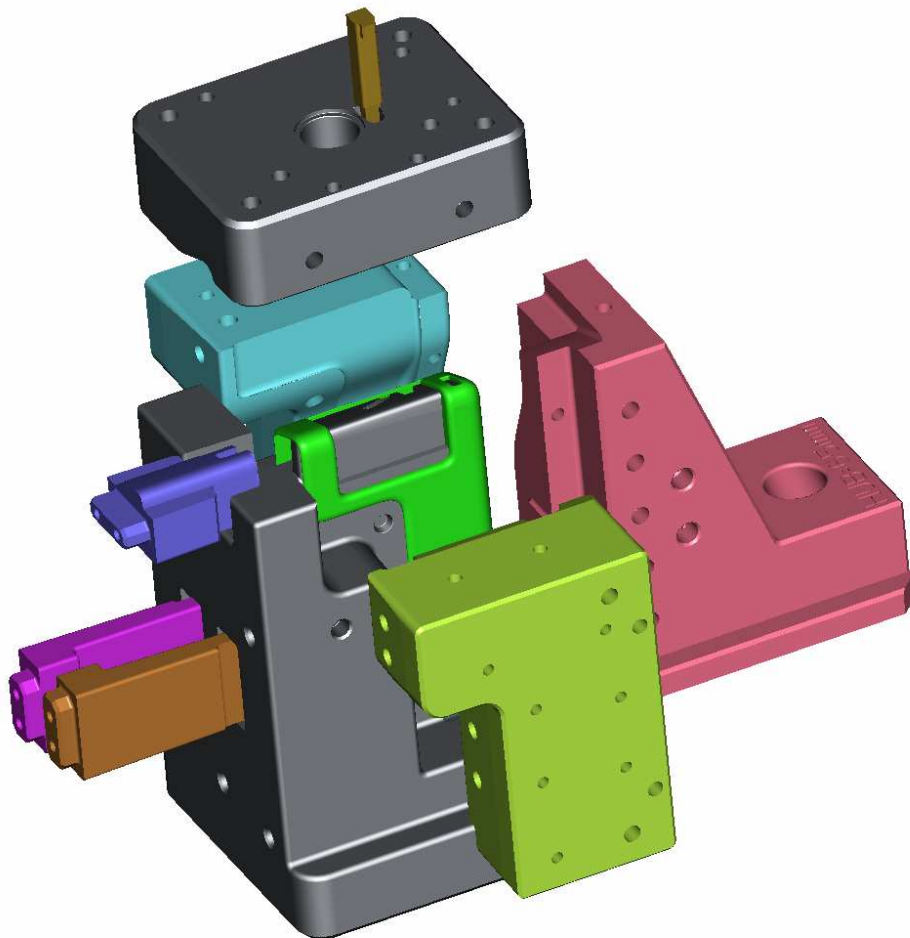
Obr. 23. Posuvný vozík TVK

*Tvarové vložky TVK:*

Výstupky na vnitřních stěnách výrobku tvoří čtveřice tvarových vložek, které jsou umístěny v tvárníku. Jsou vyrobeny z materiálu 1.2343 a zakaleny na 52+2 HRC.



Obr. 24. Tvarové vložky TVK

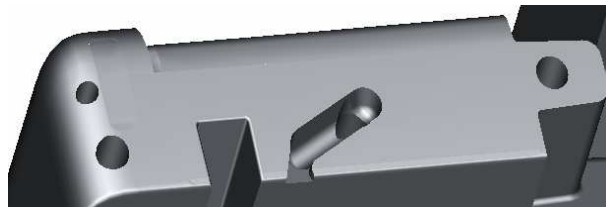


Obr. 25. Tvarová dutina



## 11.6 Vtokový systém

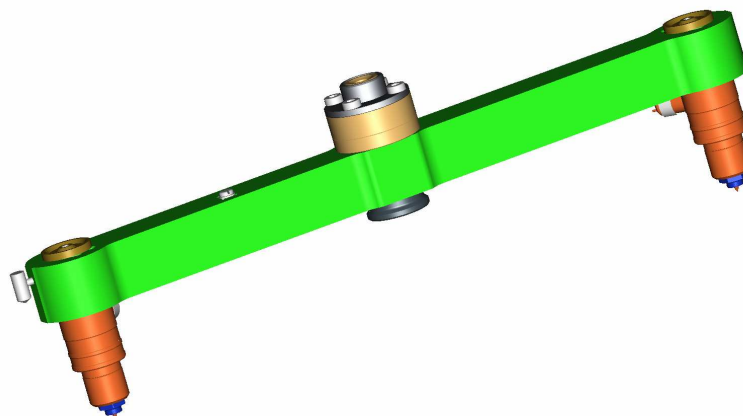
Ve vstříkovací formě byl použit horký vtokový systémem s kombinací studené vtokové soustavy. Jelikož se v tomto případě jedná o pohledový díl, nebylo možné použít pouze horký vtokový systém se vstříkáváním přímo na díl. Výhoda horkého vtokového systému je v tom, že je vytápěn pomocí elektrických topných článků, a tak je schopen udržet polymer v roztaveném stavu po celé své délce. Tavenina je do tvarových dutin dopravena přes horký vtokový systém, z kterého vyústí uje do rozvodného kanálu a z nich přes boční vtok do dutiny. Rozvodný kanál má lichoběžníkový průřez a je vyroben přímo na tvárníku. Výhodou tohoto průřezu je snadná výroba, vysoká hodnota smáčivého průměru a nízké hodnoty tepelných a tlakových ztrát.



Obr. 26. Rozvodný kanál

### *Horký vtokový systém:*

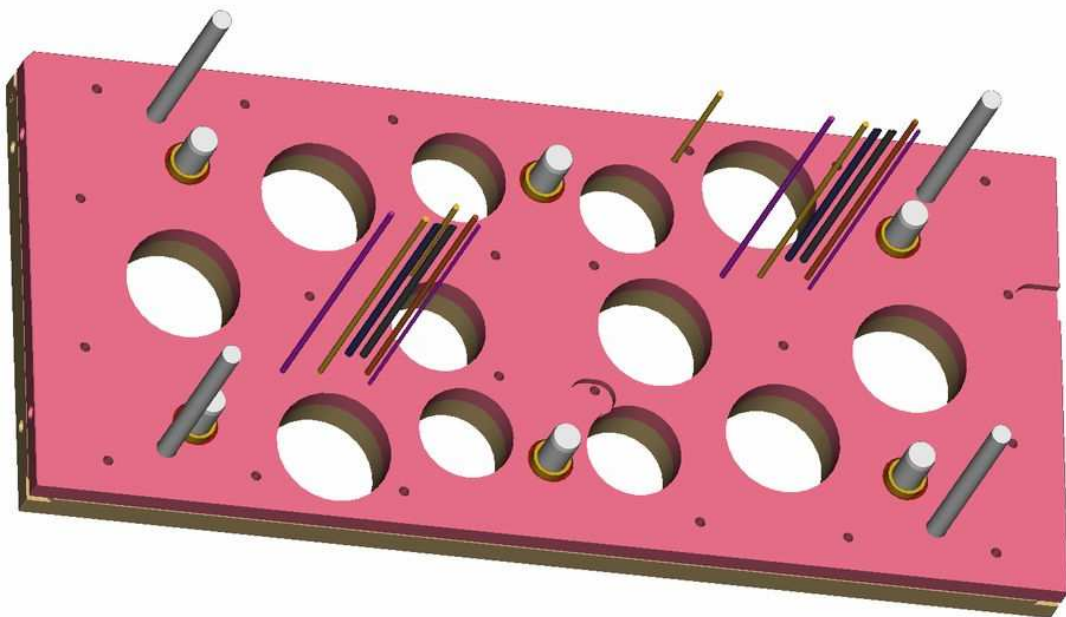
Horký vtokový systém byl podle konstrukčních požadavků a specifikací vyroben firmou Mold Masters. Skládá se z vtokové vložky, rozvodného bloku a dvou vtokových trysek. Tavenina z plastikační jednotky vstupuje do vtokové vložky, dále pak do rozvodného bloku a uvnitř bloku je rozvedena do dvou vtokových trysek.



Obr. 27. Horký vtokový systém Mold Masters

## 11.7 Vyhazovací systém

Vyhození výrobku je realizováno válcovými vyhazovači a robotickou rukou s přísavkami. V prvním kroku je výrobek vyhozen válcovými vyhazovači, které jsou upraveny tak, aby kopírovali tvar dutiny. Vyhazovače byly vybrány z katalogu firmy Meusburger pod číslem E 1710. Materiál vyhazovačů je ocel s označením 1.2210. Vyhazovací systém se skládá z šestice vyhazovačů o průměru 6mm, dvojice o průměru 4mm, čtveřice o průměru 8mm, čtveřice vratných kolíků o průměru 16mm, z kotevni a vyhazovací desky. Desky jsou vyrobeny z materiálu 1.1730. Zdvih vyhazovacího systému je 50mm. V dalším kroku je výrobek uchopen robotickou rukou, posunut o 5mm ve směru vyhazování a poté v kolmém směru vysunut z tvárníku. V posledním kroku je výrobek i s vtokovým zbytkem vytažen z formy ven, kde je vtokový zbytek mechanicky odstraněn a výrobek poté položen na pásový dopravník.



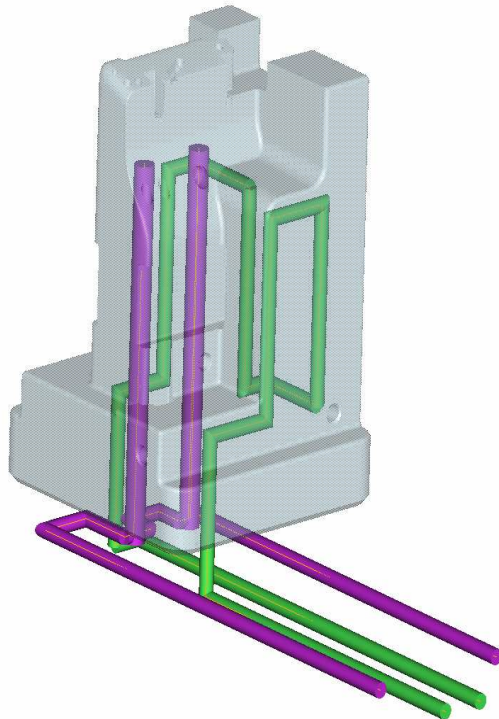
Obr. 28. Vyhazovací systém

## 11.8 Temperační systém

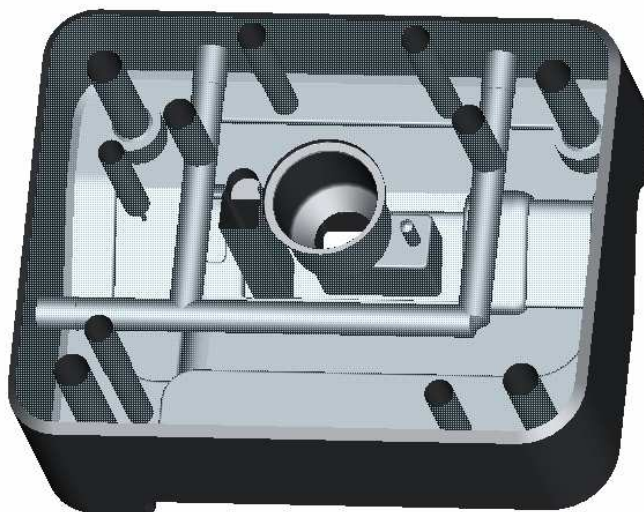
Temperační systém vstřikovací formy je vytvořen vrtanými kanály o průměru 10 mm. Kanály jsou vzájemně propojeny a správnou cirkulaci média zajišťují vnitřní a vnější ucpávky. Únik temperačního média mezi jednotlivými díly zajišťují O-kroužky. V tvárníku jsou vytvořeny dva okruhy. V jednom z nich jsou umístěny dvě přepážky, které zajišťují tem-

peraci po celé výšce tvárníku. Temperace v tvárnici a posuvných vozících je vytvořena pomocí jednoduchých okruhů vytvořených vrtanými kanály.

Temperace posuvných vozíků je znázorněna v příloze P IV.



Obr. 29. Tvárník - temperace



Obr. 30. Tvárnice - temperace

## 12 ZKOUŠENÍ FORMY

Po úspěšné výrobě a montáži vstřikovací formy následovala dílenská zkouška. Cílem této zkoušky bylo zajistit úplnost formy a porovnání s výkresovou dokumentací. Dále byla provedena zkouška těsnosti temperačních okruhů za pomoci tlakovacího přístroje. Jednotlivé okruhy byly natlakovány vodou tlakem 10 bar a po dobu cca 5 minut byly sledovány kritická místa, jestli jimi nedochází k úniku vody. V tomto kroku bylo zkontrolováno také vyvážení vstřikovací formy při zavěšení na manipulačním zařízení.

Po provedení dílenské zkoušky byla forma převezena na vstřikovnu, kde byl proveden funkční test. Cílem funkčního testu je zjištění všech závad, které vzniknou při chodu formy, a nastavení optimálních podmínek vstřikovacího procesu. Vstřikovací forma byla ustavena na požadovaný vstřikovací stroj a bylo odzkoušeno její upnutí. V dalším kroku byl vyzkoušen chod formy naprázdno, nastaven zdvih vstřikovací formy, vyhazovacího systému, chod trysky a robotické ruky. Dále byl zapojen a odzkoušen temperační systém. Na temperační jednotce byla nastavena požadovaná teplota a vstupní tlak temperačního média. Poté byly nastaveny ostatní procesní podmínky a bylo uděláno první vstříknutí do dutiny formy. Po doladění procesních podmínek byla provedena postupná plnicí studie. Ta spočívá v postupném zaplňování tvarové dutiny formy až k 100% zaplnění dutiny s působením dotlaku. Touto plnicí studií lze získat představu o toku polymeru v dutině formy. Po provedení plnicí studie byl nastaven chod robotické ruky a vyzkoušeno odebírání výrobků z dutiny formy. Potom byl odzkoušen vstřikovací cyklus v poloautomatickém a automatickém chodu formy.

V průběhu zkoušení se vyskytly jen menší nedostatky a tak mohly být zhotoveny referenční vzorky. Jedna část vzorků byla odeslána zákazníkovi na posouzení a k provedení zástavbových zkoušek. Druhá část vzorků byla použita pro interní účely. Bylo provedeno proměření výstřiků a vyhodnocení vizuálních vad. Z funkčního testu a z proměření výstřiků byly vyhotoveny protokoly. Na základě těchto protokolů bylo provedeno první korekční kolo, ve kterém se opravily neshodné rozměry výstřiků a byly odstraněny závady, které se objevily při funkčním testu. V budoucnu budou následovat ještě dvě korekční kola, ve kterých budou odstraněny případné závady. Po ukončení všech korekčních kol bude vstřikovací forma připravena pro sériovou výrobu.

## 13 ANALÝZA VSTŘIKOVACÍHO PROCESU

Analýza vstřikovacího procesu byla provedena v programu Autodesk Moldflow Insight 2011. V prvním kroku byl model výrobku ve správném formátu vysíťován. Bylo možné si vybrat ze tří druhů sítí (Midplain, Dual Domain, 3D síť). Pro své výhody byla vybrána 3D síť. Tato síť umožňuje predikovat chování polymeru po celé tloušťce výrobku. Výsledky jsou přesnější a více se blíží k reálnému vstřikování.

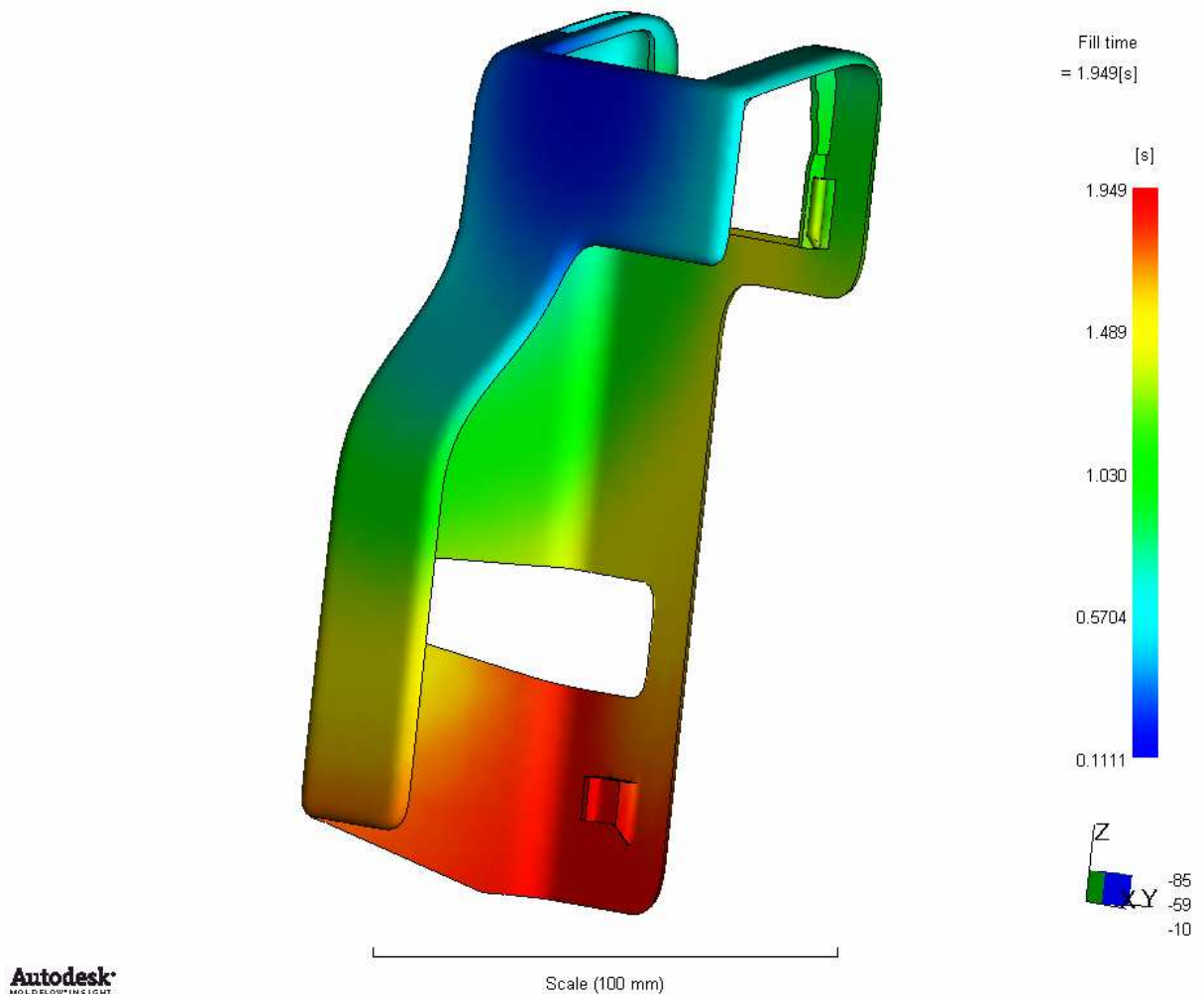
### 13.1 Procesní podmínky

Jako první byla provedena analýza Gate location. Tato analýza určuje vhodnost umístění vtoku. Vzhledem ke konstrukčnímu řešení vstřikovací formy a tomu, že se jedná o pohledový díl, nebylo možné výsledky této analýzy brát zcela za směrodatné. Nicméně výsledky této analýzy ukázaly i místa nevhodná pro umístění vtoku. Druhou provedenou analýzou byla Cool-Fill-Pack-Warp analýza, která vyžaduje zadání vstupních údajů jako jsou parametry vstřikovacího stroje, druh vstřikovaného polymeru, trajektorie vtokového a temperačního systému, které byly popsány v předchozích kapitolách. Parametry vstřikovacího procesu jsou popsány v této kapitole.

*Procesní podmínky:*

- Teplota formy 85°C
- Teplota taveniny 270°C
- Teplota horkého vtoku 270°C
- Čas otevření formy 5s
- Čas cyklu 50s
- Čas vstřiku 1,8s
- Bod přepnutí automaticky
- Ovládání dotlaku plnicí tlak vs. čas
- Dotlaková fáze – délka 6s
- Dotlaková fáze – pokles tlaku 65 – 50 %
- Teplota temperačního média 80°C

## 13.2 Čas plnění



Obr. 31. Čas plnění

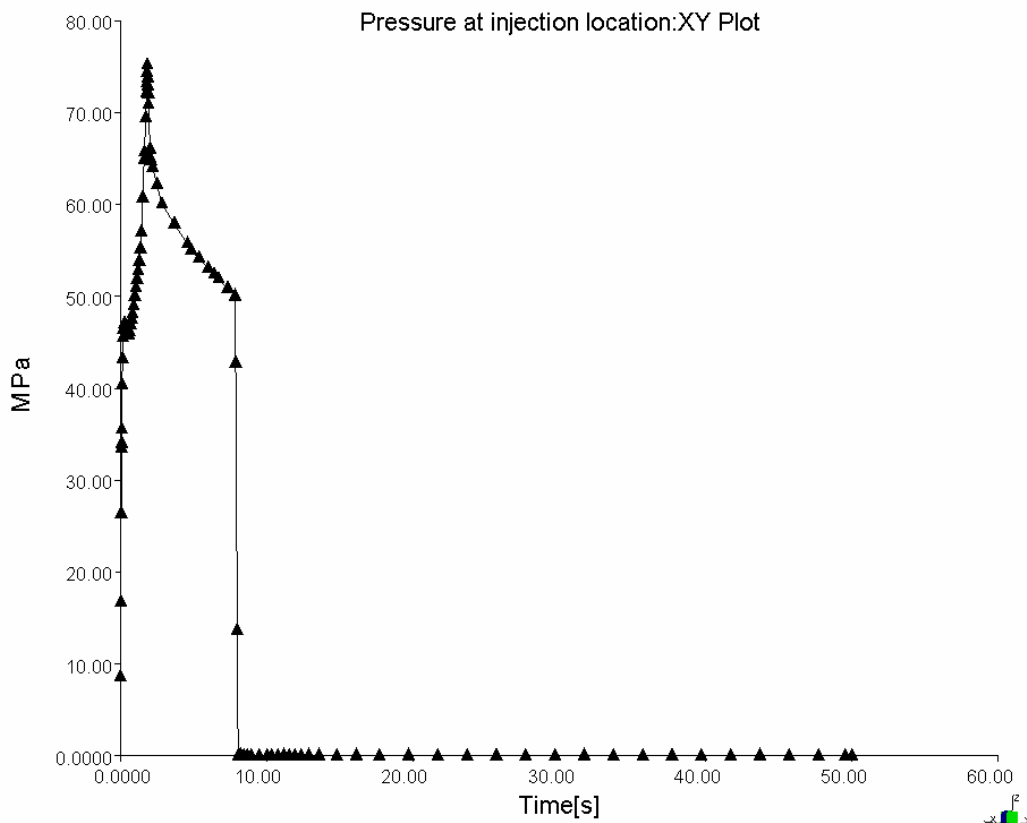
Analýza ukazuje dobu plnění tvarové dutiny formy taveninou. Čas plnění je znázorněn barevnou stupnicí, kde červená barva ukazuje poslední zaplněná místa. Tvarová dutina byla zaplněna za 1,949 s. Pokud by se v některé části výstřiku objevily šedá místa jednalo by se o nedotečená místa. Kritická místa byla v oblasti spodních výstupků, ale jak ukázala analýza k nedotečení v této oblasti nedochází. V případě nedotečení by bylo nutné upravit procesní podmínky, jako např. zvýšení teploty taveniny, tím by se snížil odpor proti tečení a došlo by k lepšímu zaplňování dutiny. Jelikož tvar výrobku a konstrukční řešení vstřikovací formy neumožňovalo umístění vtoku do optimálního místa, může v některých místech docházet k přeplňování výstřiku.

### 13.3 Uzavírací síla

Uzavírací síla se v průběhu vstřikovacího procesu mění. Od začátku vstřikování prudce roste až dosáhne hodnoty 45 tun. Poté uzavírací síla postupně klesá až k nulové hodnotě. Maximální uzavírací síla, kterou je vstřikovací stroj schopen vyvinout je 350 tun. Po odečtení 20% bezpečnosti je maximální uzavírací síla stále dost vysoká, aby během vstřikování nedošlo k pootevření formy.

### 13.4 Tlak v místě vstřiku

Tato analýza ukazuje průběh vstřikovacího tlaku při plnění tvarové dutiny formy. Vstřikovací tlak vzrůstá od nuly až na hodnotu 76 MPa. To je maximální hodnota po celý průběh vstřikování. Po dosažení této hodnoty nastává okamžik přepnutí. Hodnota maximálního tlaku klesne na 65 MPa a po dobu 6 s klesá až na hodnotu 50 MPa. Tento úsek vstřikovacího cyklu se nazývá dotlak. Účelem dotlaku je doplňování taveniny do dutiny formy až do momentu zatuhnutí ústí vtoku. Dotlak je důležitý z hlediska dodržení hmotnosti a rozměrů.



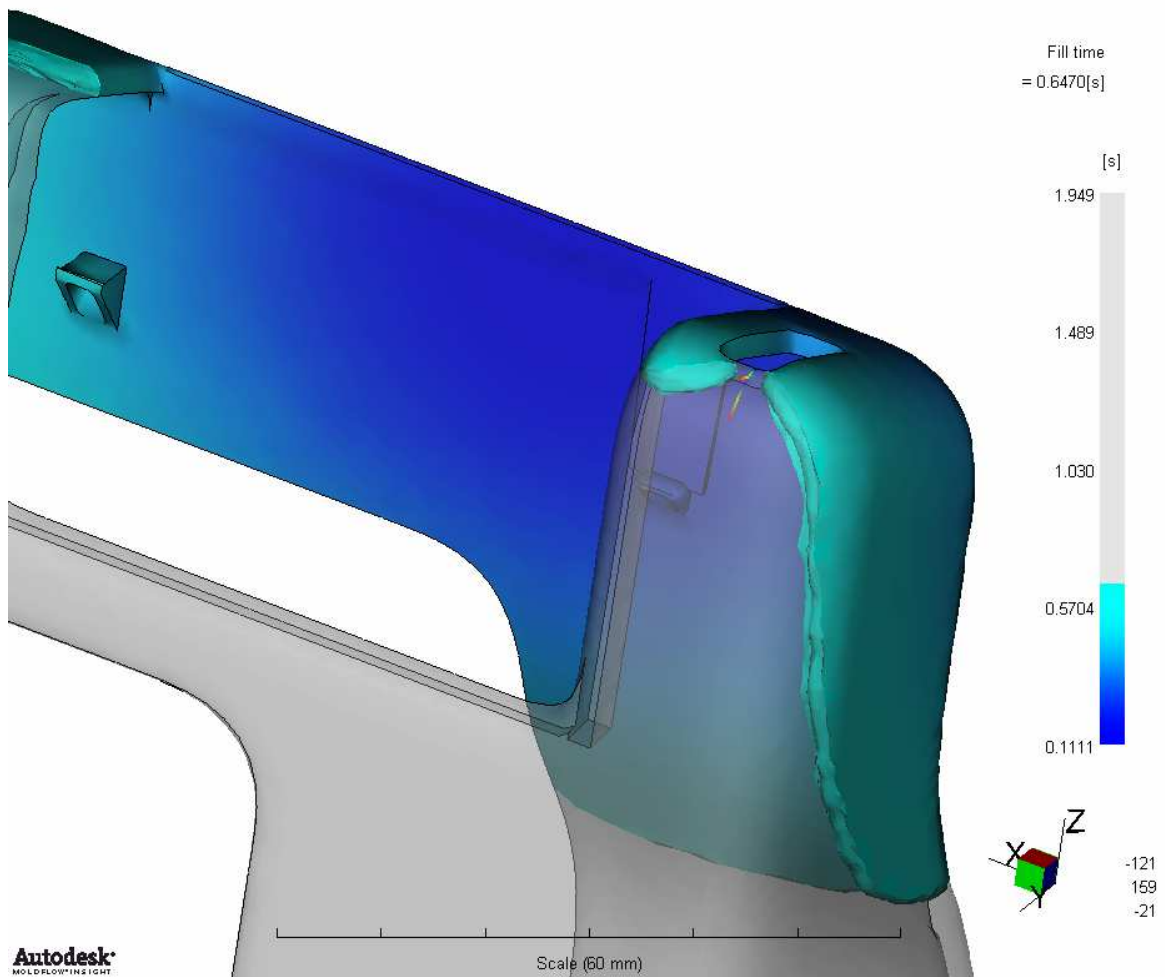
Obr. 32. Tlak v místě vstřiku

### 13.5 Rychlost smykové deformace

Hodnota rychlosti smykové deformace je 23938 1/s. Tato hodnota nepřesahuje největší dovolenou rychlost smykové deformace, která je podle materiálového listu 40000 1/s, proto nebude docházet k degradaci polymeru.

### 13.6 Studené spoje

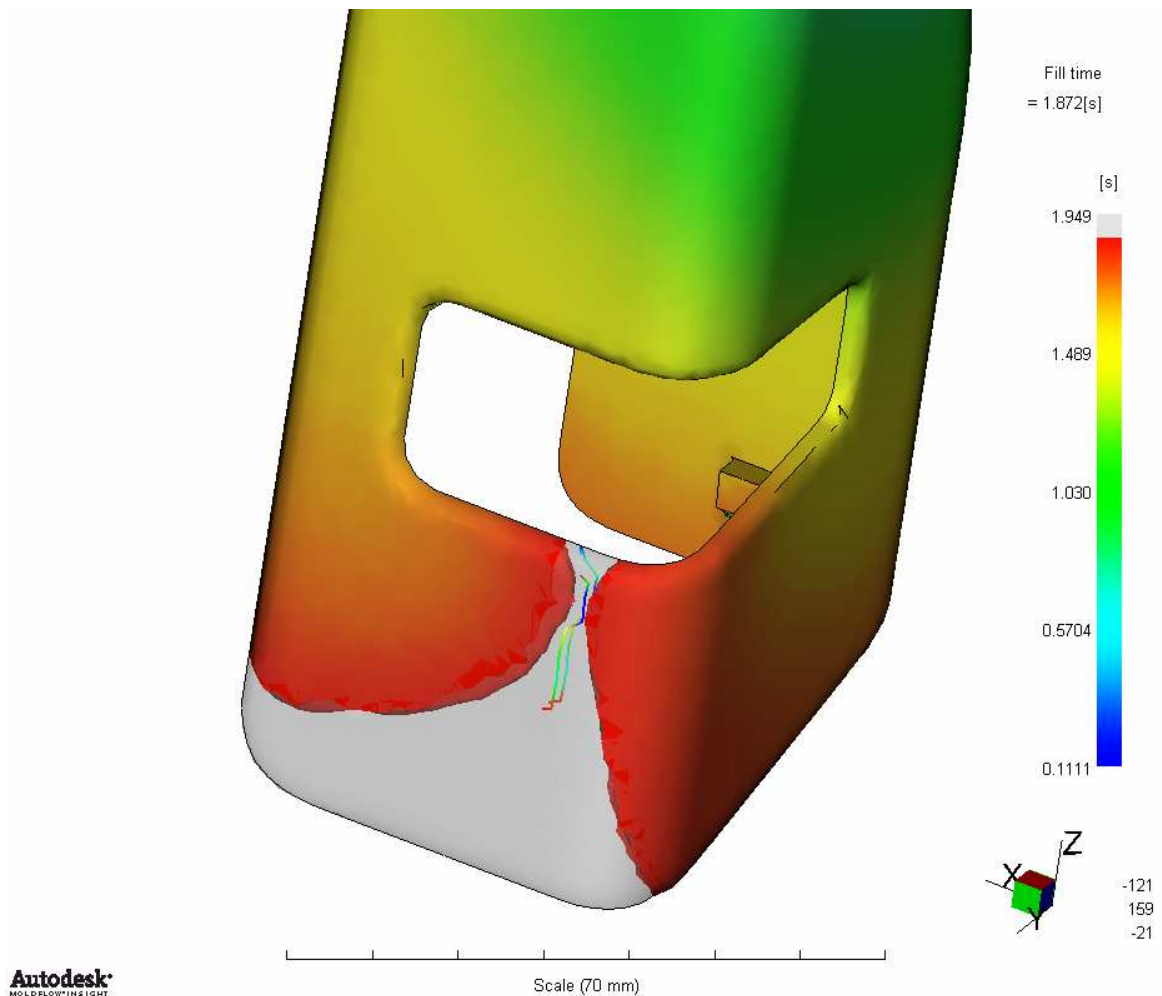
Vzhledem na tvar výrobku tato analýza vyhodnotila dvě kritické místa, kde bude docházet ke studeným spojům. Studené spoje vznikají při spojení dvou čel taveniny. Odstranění studených spojů není vždy možné, a proto je snahou je minimalizovat, případně posunout do míst, kde nebudou mít takový vliv na vzhled výrobku.



Obr. 33. Studený spoj č.1



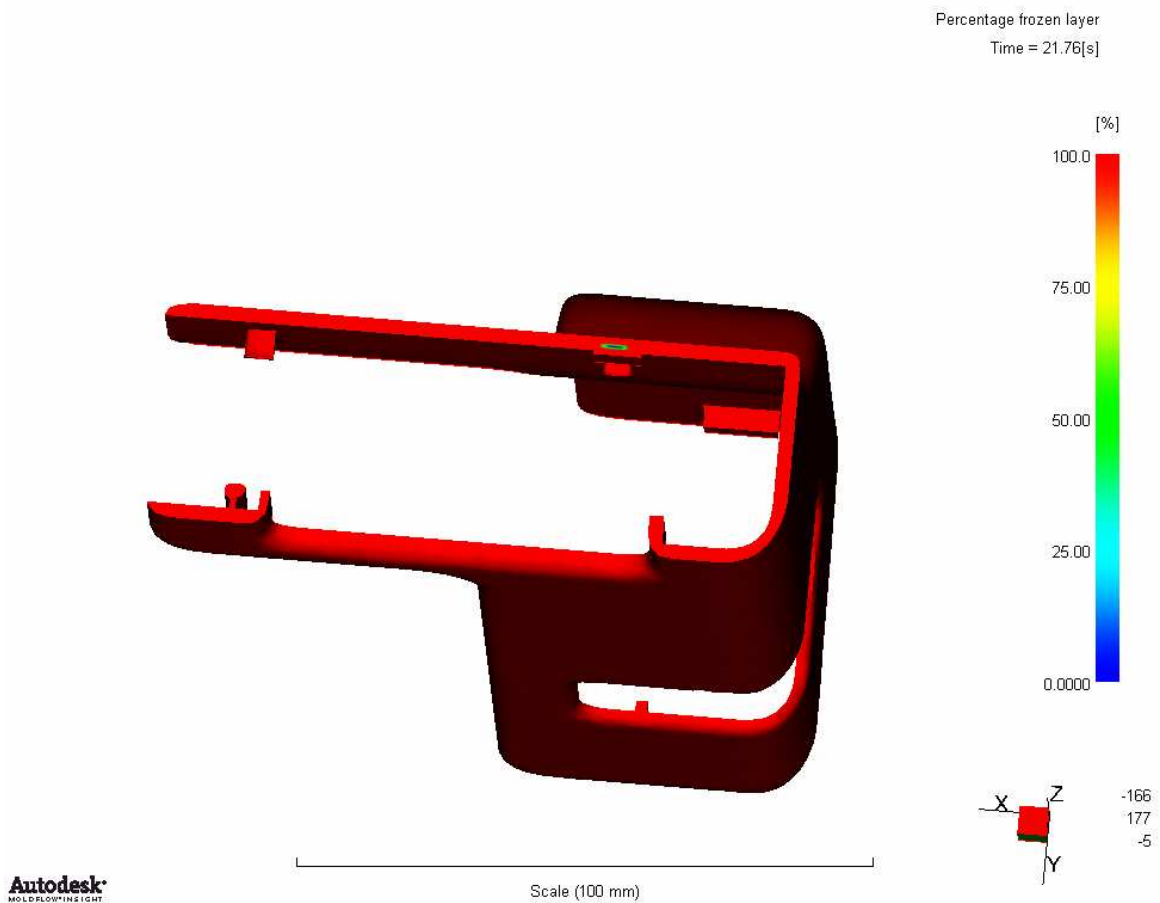
K prvnímu studenému spoji dochází v čase 0,647 s při obtékání malého okna v horní části výrobku. Druhý studený spoj vzniká ve spodní části v čase 1,872 s.



Obr. 34. Studený spoj č. 2

### 13.7 Zatuhlé vrstvy

Výsledek této analýzy ukazuje procenta zatuhlých vrstev a pomáhá nám určit okamžik, kdy můžeme vyhodit výstřik z formy. Teplota taveniny se mění časem, místem a po tloušťce stěny výstřiku během celého vstřikovacího cyklu. V našem případě v čase 21,76 s je zatuhlých téměř 100 % vrstev a lze výstřik z formy vyhodit z dutiny ven, aniž by došlo k jeho poškození. Tento čas byl shodný s výsledkem analýzy „Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty“.



Obr. 35. Zatuhlé vrstvy

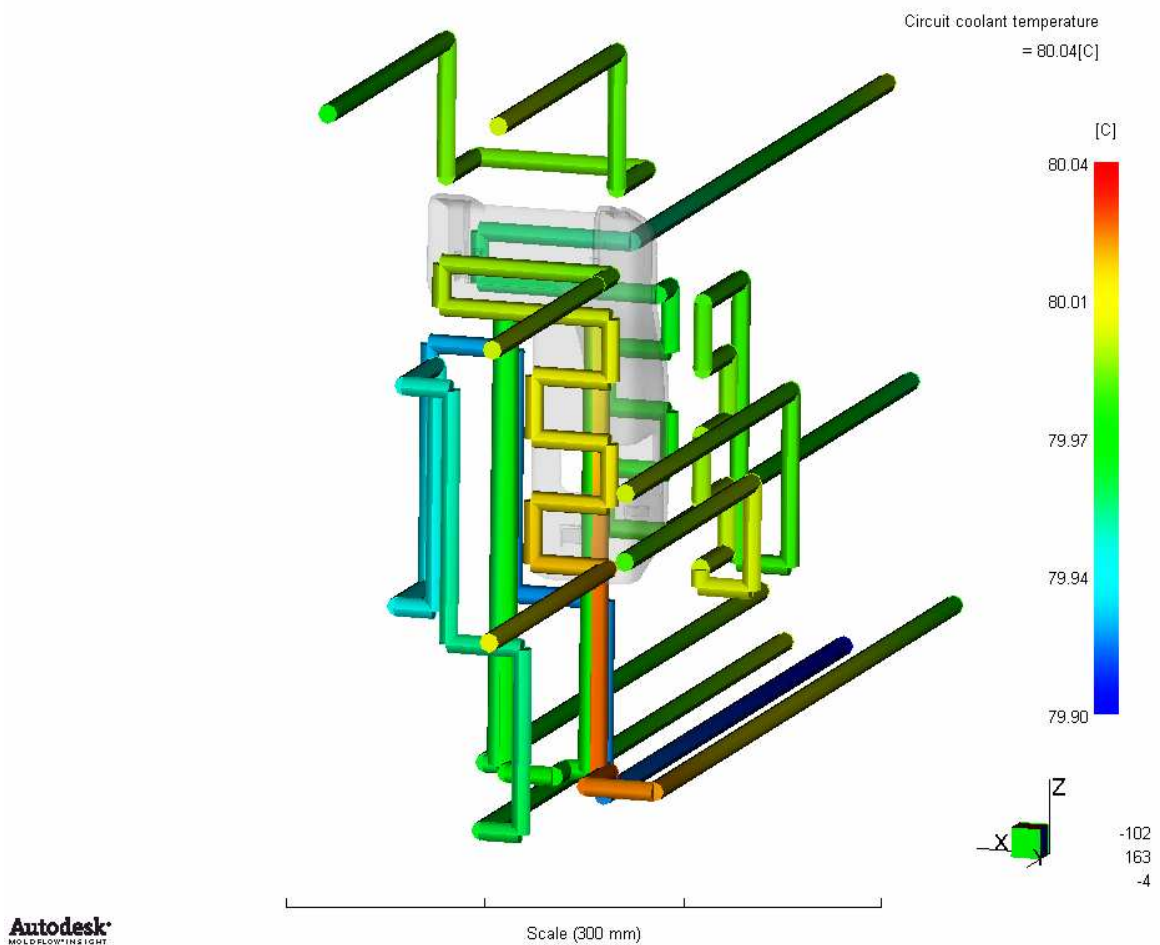
### 13.8 Reynoldsovo číslo

Aby bylo dosaženo co nejlepšího odvodu tepla z formy, musí temperační médium v temperačních kanálech proudit turbulentně. Turbulentního proudění je dosaženo, pokud hodnota Reynoldsova čísla je vyšší než 4000. Pokud by klesla pod tuto hodnotu, tak by v temperačních kanálech docházelo k laminárnímu proudění a odvod tepla z formy by byl méně efektivní. V našem případě je hodnota Reynoldsova čísla 258500, což zajišťuje dostatečný odvod tepla. S Reynoldsovým číslem je spojen i objemový průtok, který má také vliv na odvod tepla z formy. Hodnota objemového průtoku na pravé straně byla 48,26 l/min. a na levé straně v rozmezí 26 až 39 l/min.

### 13.9 Teplota temperačního média

Tato analýza popisuje teplotu temperačního média na vstupu a výstupu jednotlivých temperačních okruzích. Rozdíl těchto teplot by neměl být větší než 3 °C. V případě, že by byl

rozdíl větší, musely by se upravit procesní podmínky nebo posílit kritická místa další soustavou temperačních kanálů, popř. zvětšit průměr stávajících kanálů. V našem případě byl rozdíl teplot na vstupu a výstupu 0,14 °C. To naznačuje, že průměr temperačních kanálů byl navržen správně. Tento výsledek byl potvrzen i analýzami „Reynoldsovo číslo“ a „Objemový průtok“.

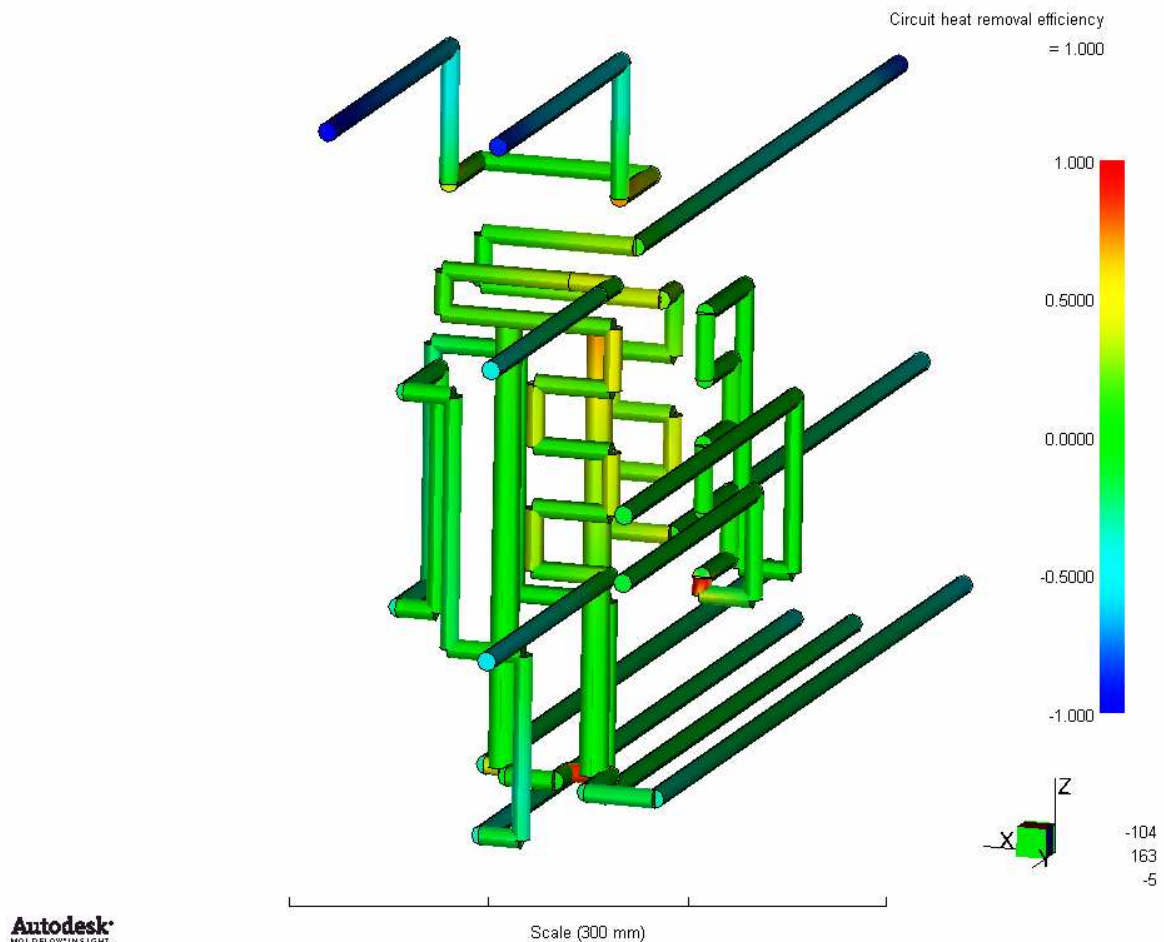


Obr. 36. Teplota temperačního média

### 13.10 Efektivita odvodu tepla

Analýza popisuje schopnost temperačního systému odvádět teplo. Čím je efektivita okruhu větší, tím víc se blíží k hodnotě 1. V případě, že by dosahovaly záporných hodnot, efektivita odvodu tepla je nízká a temperační kanály spíš formu zahřívají. Z výsledku analýzy je patrné, že rozložení teplotního pole je rovnoměrné a odvod tepla je dostatečný. V oblastech

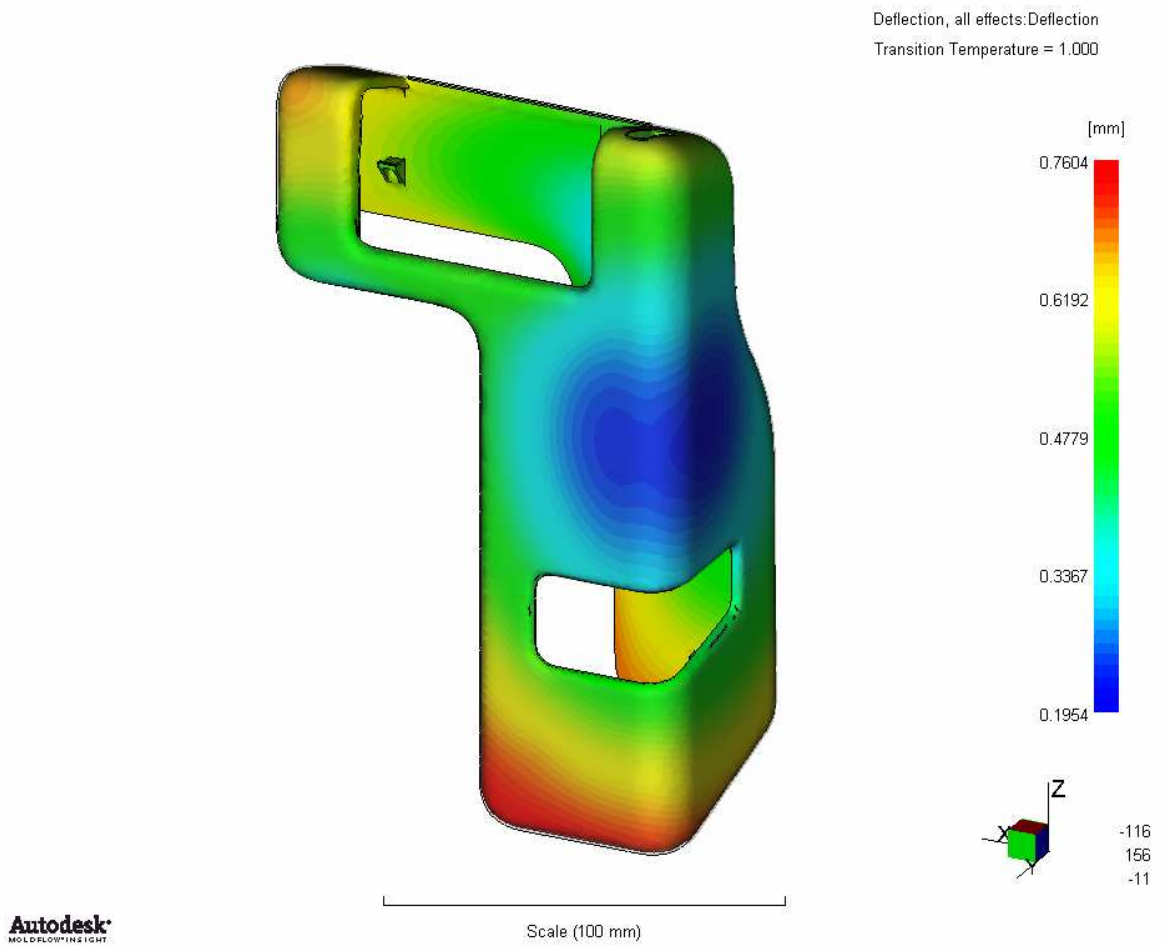
přívodů temperačního média do tvarové dutiny sice efektivita dosahuje záporných hodnot, ale ty se nepodílejí na samotném chlazení formy.



Obr. 37. Efektivita odvodu tepla

### 13.11 Celková deformace

Tato analýza vyhodnotila celkovou deformaci výrobku. Celková deformace je výsledkem ve všech směrech včetně smrštění. Pro přesné určení deformací musí být určena odpočtová rovina, od které bude deformace počítána. V tomto případě se však výrobek skládá pouze z obecných ploch, takže určení této roviny nebylo možné. Výsledné deformace jsou tak odpočítány od implicitně nastaveného bodu, který je v místě nejvhodnějšího umístění vtoku. Maximální deformace se nachází na spodní části výrobku a její hodnota je 0,76 mm. Průměrná hodnota deformace se pohybuje kolem 0,5 mm, což lze vzhledem na tvar výrobku považovat za velmi dobrou hodnotu.



Obr. 38. Celková deformace

## DISKUZE VÝSLEDKŮ

Cílem této diplomové práce bylo vytvořit konstrukční návrh vstřikovací formy pro zadaný plastový díl. Konstrukce formy se řídila podle specifikací a požadavků zákazníka. Ke konstrukci byl použit program určený pro objemové parametrické modelování a k zrychlení konstrukce byl využíván katalog normálí firmy Meusburger.

Vstřikovaným výrobkem byl kryt zámku sedadel určený pro osobní automobil Volvo. Jelikož se jedná o pohledový díl s dezénovanými venkovními plochami, musela být kvůli tomu přizpůsobena i samotná konstrukce formy. Vstřikovaným materiálem pro výrobek byla určena směs polykarbonátu a akrylonitril-butadien-styrenu. Tento materiál splňuje kritéria pohledového dílu určeného pro použití v interiéru. Výrobek se bude vyrábět ve čtyřech barevných odstínech, proto je do polymerní směsi přidáváno příslušné barvivo. Jako vstřikovací stroj, na kterém bude prováděna výroba, byl zvolen stroj Demag Systec 350/720, který je doplněn o robotickou ruku pro vyjímání výrobků z formy.

Vstřikovací forma byla navržena s ohledem na dlouhou životnost, proto byl kladen důraz na dimenzování a vyměnitelnost jednotlivých dílů. Hlavním limitujícím faktorem pro určení násobnosti a velikosti vstřikovací formy byla velikost vstřikovacího stroje. Proto byla forma navržena jako dvojnásobná. Vzhledem k způsobu zaformování dílu ve formě a k tomu, že se jedná o pohledový díl byla použita kombinace horkého a studeného vtokového systému. Temperační systém byl vytvořen pomocí vrtaných kanálů. Tento způsob je výrobně jednodušší a levnější, než výroba pomocí sintrovacích metod. Vyhazovací systém byl umístěn v levé části formy. Je tvořen dvěma deskami a válcovými vyhazovači. S pomocí robotické ruky se podílí na vyhození výrobku z formy.

Výsledky tokových analýz nám daly představu o chování polymerní taveniny v dutině formy. Z výsledků analýzy plnění vyplývá, že plnění tvarových dutin není rovnoměrné a v jedné z částí výrobku dochází k přeplňování. To však nemá zásadní vliv na rozměrovou a tvarovou přesnost výrobku. K nerovnoměrnému plnění dochází proto, že ústí studeného vtokového systému není umístěno v ideální poloze. Vzhledem ke konstrukčnímu řešení formy muselo být ústí umístěno v horní části výrobku. Dále byla analýzou potvrzena správná volba vstřikovacího stroje a to, že během vstřikovacího procesu nebude překročen žádný z jeho parametrů.

Analýza chlazení potvrdila, že temperační systém byl navržen správně. Rozdíl teplot na vstupu a výstupu jednotlivých temperačních okruhů byl zanedbatelný, což umožnilo rovnoměrné rozložení teplotního pole v tvarových dutinách formy. Díky dobré efektivitě temperačního systému byla celková deformace výrobku malá. I přes malé deformace se nabízí možnost výroby temperačních kanálů nekonvenční metodou a prozkoumání, jestli by deformace nebyly ještě menší a nedošlo také ke zkrácení vstříkovacího cyklu.

Pro výše popsané výsledky a to, že forma v reálném provozu nevykazuje závažné nedostatky můžeme její konstrukci označit za úspěšnou.

## ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo vytvořit konstrukční návrh vstřikovací formy pro zadaný plastový díl.

Diplomová práce se skládá z teoretické a praktické části. V teoretické části byla popsána technologie vstřikování, rozdělení polymerních materiálů. Další kapitoly popisovaly zásady a pravidla při konstrukci vstřikovaných výrobků a vstřikovacích forem. V praktické části byl vytvořen konstrukční návrh vstřikovací formy. Tento návrh byl doplněn tokovými analýzami, které potvrdily správnost konstrukce.



**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

Monografie:

- [1] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů : 1. Díl - Vstřikování termoplastů*. 2. upr. vydání. Brno : Uniplast, 1999. 134 s
- [2] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů : 2. Díl - Vstřikování termoplastů*. 1. vydání. Brno : Uniplast, 1999. 214 s
- [3] TOMIS, František; HELŠTÝN, Josef. *Formy a přípravky*. 2. vydání. Brno : VUT, 1985. 374 s
- [4] TOMIS, František. *Základy gumárenské a plastikářské technologie*. 2. vydání. Brno : VUT, 1980. 278 s
- [5] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2009, 246 s. ISBN 978-80-7300-250-3
- [6] KOLOUCH, Jan. *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1986, 232 s
- [7] KOLOUCH, Jan. *Strojní součásti z plastů*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1981, 260 s
- [8] MAŇAS, Miroslav; HELŠTÝN, Josef. *Výrobní stroje a zařízení : Gumárenské a plastikářské stroje II*. 1. vydání. Brno : VUT, 1990. 199 s. ISBN 80-214-0213-X
- [9] MENGES, Georg; MOHREN, Paul. *How to make injection molds*. New York : Hanser, 1986. 269 s. ISBN 3-446-13666-5
- [10] DYM, Joseph B. *Injection molds and molding: a practical manual*. 2nd ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1987. 395 s. ISBN 04-422-1785-4
- [11] STOKLASA, Karel. *Zpracovatelské inženýrství - I : základy gumárenské a plastikářské technologie*. Zlín: UTB Zlín, 2007. 107 s
- [12] BEAUMONT, John P.; NAGEL, Robert; SHERMAN, Robert. *Successful injection molding: process, design, and simulation*. Munich : Hanser, 2002. 362 s. ISBN 3-446-19433-9
- [13] BEAUMONT, John P. *Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding*. 2nd ed. Cincinnati: Hanser, 2007. 308 s. ISBN 15-699-0421-9

- [14] JURÁSEK, Martin. *Konstrukční návrh vstříkovací formy*. Zlín, 2010. 69 s. Bakalářská práce. UTB Zlín
- [15] ELIAS, Hans-Georg. *An introduction to plastics*. 2nd completely rev. ed. Weinheim: Wiley-VCH, 2003, 387 s. ISBN 35-272-9602-6
- [16] GASTROW, Hans. *Injection molds: 130 proven designs*. 3. ed. Munich ; Vienna: Hanser, 2002. ISBN 3446214488
- [17] KOLÁŘ, Petr. *Návrh vstříkovací formy*. Zlín, 2007. 76 s. Diplomová práce. UTB Zlín
- [18] HARPER, Charles. *Handbook of plastic processes*. Hoboken: John Wiley, 2006, 743 s. ISBN 04-716-6255-0
- [19] BRUMMEL, Michal. *Rozměrově přesné výrobky z plastu*. 1. vyd. Praha: VÚNM, 1977, 278 s
- [20] JOHANNABER, Friedrich. *Injection molding machines: a user's guide*. 4th ed. Cincinnati, Ohio: Hanser Gardner Publications, 2008. 378 s. ISBN 15-699-0418-9
- [21] REES, Herbert. *Mold engineering*. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers, 2002. 688 s. ISBN 34-462-1659-6
- [22] NOVOTNÝ, J., et al. *Technologie I*. 2. vyd. Praha: ČVUT, 2006. 227 s
- [23] CHOVANEC, Tomáš. *Modelování součástí v softwaru Pro/ENGINEER*. Zlín, 2011. 59 s. Bakalářská práce. UTB Zlín.
- [24] NAVRÁTIL, Jan. *Využití DMLS při návrhu vstříkovací formy*. Zlín, 2011. Diplomová práce. UTB Zlín.

Internetové zdroje:

- [25] *Plasty* [online]. 2002 [cit. 2012-04-08]. Dostupné z WWW: <<http://www.ateam.zcu.cz/plasty.pdf> >
- [26] DUCHÁČEK, Vratislav. Termoplastické elastomery – Moderní polymerní materiály. *Chemické listy* [online]. 1997, č. 91, s. 23-29 [cit. 2012-04-08]. 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)
- [27] *MG Plastics* [online]. 2007-2012 [cit. 2012-04-08]. Dostupné z: <http://www.mgplastics.cz/tpe.html>

[28] *Detmapro* [online]. [cit. 2012-05-08]. Dostupné z:  
<http://www.detmapro.cz/download/demag-intelect-pen.pdf>

[29] *Sumitomo-shi-demag*. [online]. 2010 [cit. 2012-05-08]. Dostupné z:  
[http://www.sumitomo-shi-demag.eu/media\\_centre/download\\_centre/demag-systemec.pdf](http://www.sumitomo-shi-demag.eu/media_centre/download_centre/demag-systemec.pdf)

Elektronické programy:

[30] *Autodesk Moldflow Insigt Synergy 2011* [počítačový program]. Ver.Educational Edition- ServicePack 1. Autodesk Inc.,2009 [cit. 2012-04-30].

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

%	Procenta
°C	Stupeň Celsia
3D	Trojrozměrný prostor
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
aj.	A jiné
Al	Hliník
apod.	A podobně
CAD	Computer aided design
CAE	Computer aided engineering
CAM	Computer aided manufacturing
cm <sup>3</sup>	Centimetr krychlový
Cu	Měď
DIN	Německá národní norma
DMLS	Direct Metal Laser Sintering
g	Gram
HRC	Rockwelova tvrdost
kN	KiloNewton
ks	kus
mm	Milimetr
MPa	MegaPascal
např.	Například
NR	Natural Rubber
PA	Polyamid
PC	Polycarbonát

---

PE	Polyethylen
PET	Polyethylentereftalát
PP	Polypropylen
PS	Polystyren
PVC	Polyvinylchlorid
s	sekunda
SBR	Styrenbutadien Rubber
Tg	Teplota skelného přechodu [°C]
Tm	Teplota tání [°C]
tzv.	Takzvaně

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1. Vstřikovací cyklus [11].....	14
Obr. 2. Vstřikovací stroj [4].....	15
Obr. 3. Základní části vstřikovacího stroje [20] .....	17
Obr. 4. Oblast použití [1] .....	19
Obr. 5. Oblast použití [1] .....	19
Obr. 6. Tloušťka stěny [12].....	22
Obr. 7. Vtoková vložka [9] .....	27
Obr. 8. Vyhřívaná tryska [1] .....	29
Obr. 9. Vytápěný rozvodný blok [17] .....	30
Obr. 10. Rozmístění temperančních kanálů [2] .....	32
Obr. 11. Tepelná trubice [17].....	34
Obr. 12. Vyhazovací kolíky [2] .....	35
Obr. 13. Trubkový vyhazovač [14] .....	36
Obr. 14. Model výrobku.....	45
Obr. 15. Vstřikovací stroj Demag [28] .....	47
Obr. 16 Rám vstřikovací formy .....	51
Obr. 17. Vodící a středící části formy.....	52
Obr. 18. Manipulační systém .....	52
Obr. 19. Tvárnice .....	53
Obr. 20. Vložka tvárnice + vložka vtoku.....	54
Obr. 21. Posuvné vozíky .....	54
Obr. 22. Tvárník.....	55
Obr. 23. Posuvný vozík TVK .....	55
Obr. 24. Tvarové vložky TVK.....	56
Obr. 25. Tvarová dutina.....	56
Obr. 26. Rozvodný kanál .....	57
Obr. 27. Horký vtokový systém Mold Masters.....	57
Obr. 28. Vyhazovací systém .....	58
Obr. 29. Tvárník - temperace.....	59
Obr. 30. Tvárnice - temperace .....	59
Obr. 31. Čas plnění .....	62

---

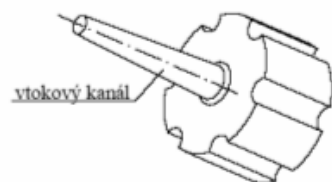
Obr. 32. Tlak v místě vstříku .....	63
Obr. 33. Studený spoj č.1 .....	64
Obr. 34. Studený spoj č. 2.....	65
Obr. 35. Zatuhlé vrstvy .....	66
Obr. 36. Teplota temperačního média.....	67
Obr. 37. Efektivita odvodu tepla.....	68
Obr. 38. Celková deformace .....	69

## SEZNAM PŘÍLOH

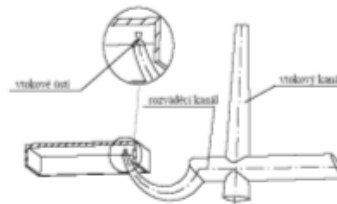
- P I Druhy vtokových ústí
- P II Pravá strana vstříkovací formy
- P III Levá strana vstříkovací formy
- P IV Posuvné vozíky - temperace
- P V Výkres sestavy
- P VI CD disk



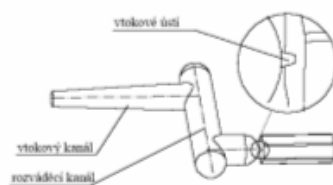
## PŘÍLOHA P I: DRUHY VTOKOVÝCH ÚSTÍ



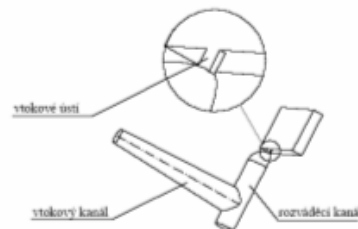
a) plný kuželový vtok



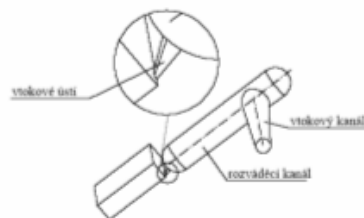
d) banánový vtok



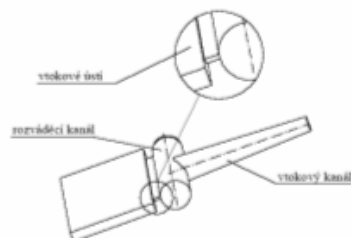
b) bodový vtok



e) boční vtok

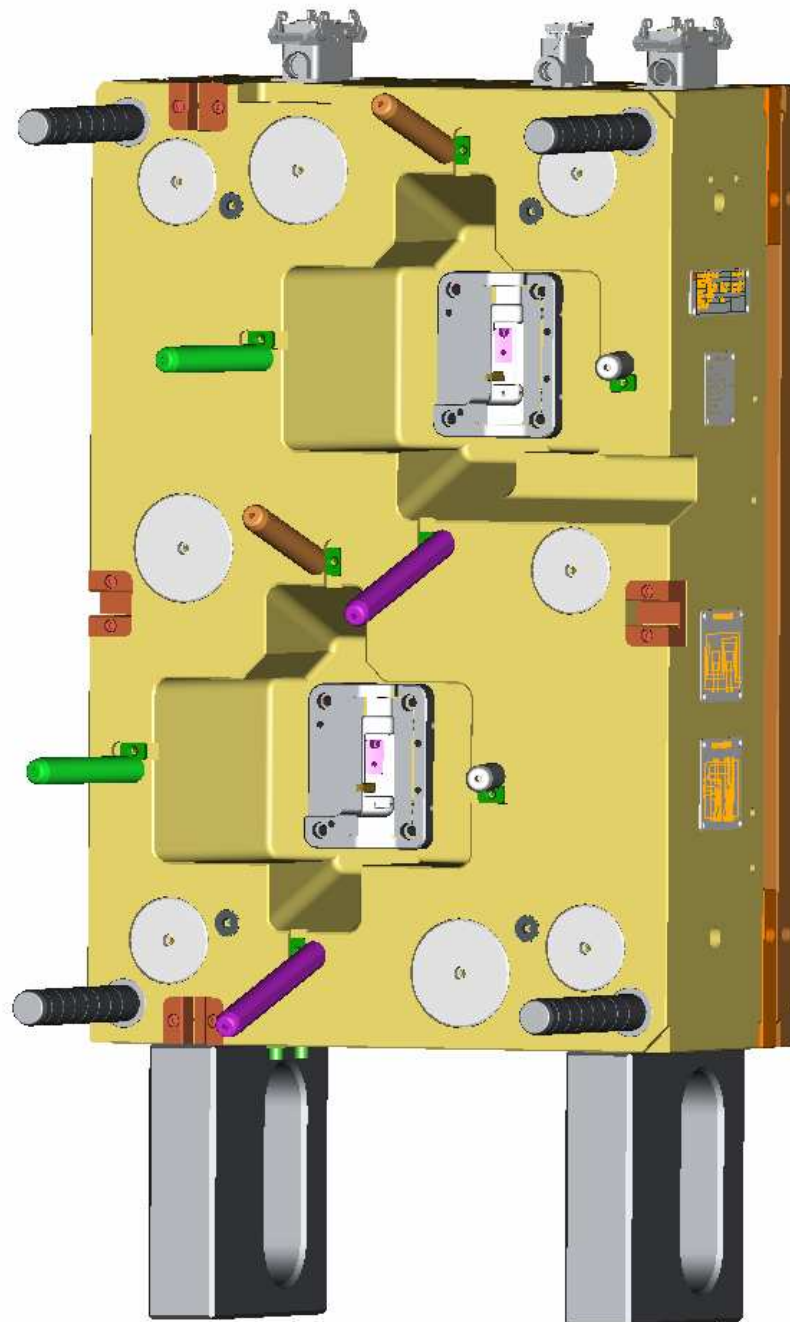


c) tunelový vtok

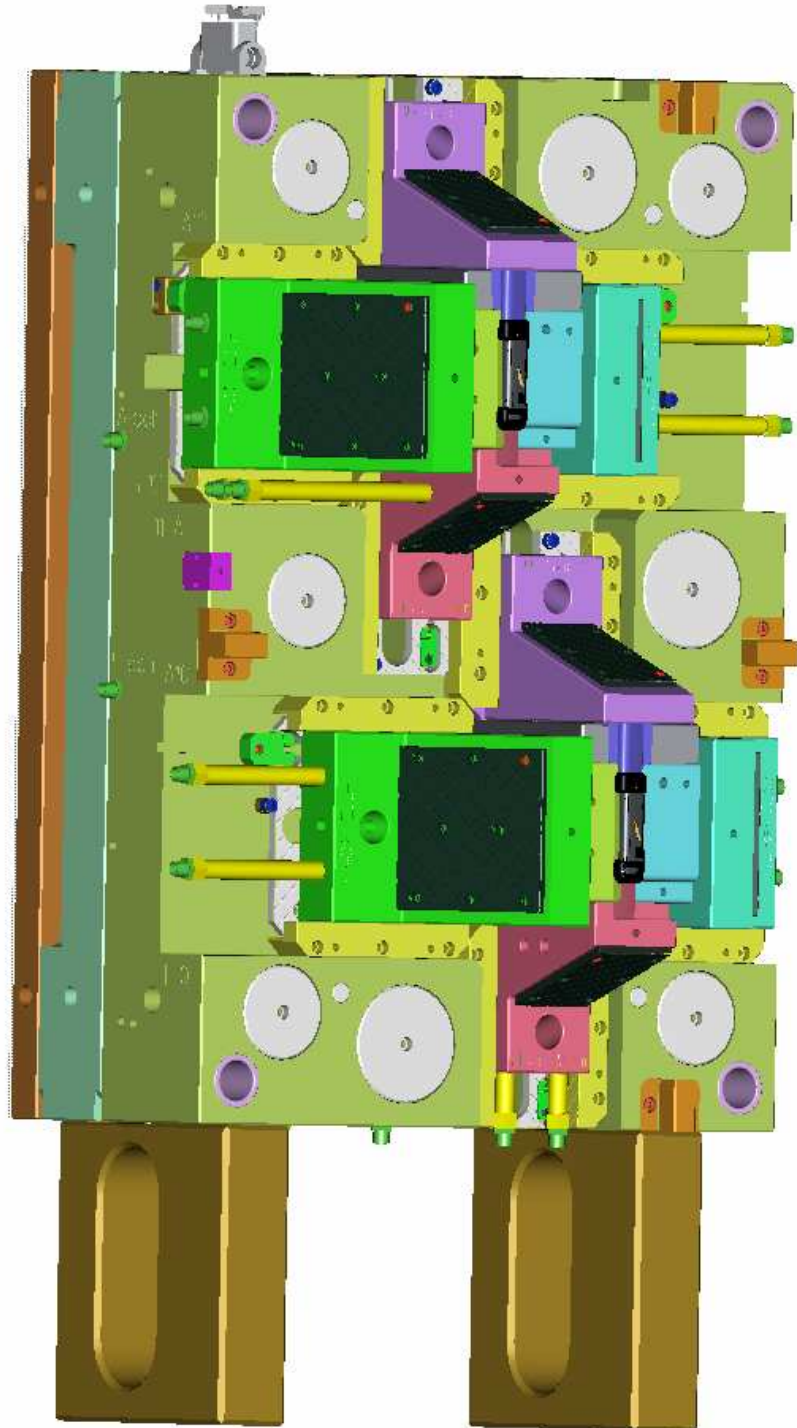


f) filmový vtok

## PŘÍLOHA P II: PRAVÁ STRANA FORMY



## PŘÍLOHA P III: LEVÁ STRANA FORMY



## PŘÍLOHA P IV: POSUVNÉ VOZÍKY – TEMPERACE

