

# **Konstrukční návrh vstřikovací formy pro díl uzavíracího mechanismu ventilu včetně analýzy v softwaru Moldflow**

Bc. Jan Štach

---

Diplomová práce  
2017



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství  
akademický rok: 2016/2017

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan Štach**  
Osobní číslo: **T15332**  
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**  
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Konstrukční návrh vstřikovací formy pro díl uzavíracího mechanismu ventilu včetně analýzy v softwaru Moldflow**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracovat literární studii na dané téma
2. Provedte konstrukci 3D modelu vstřikovaného dílu
3. Navrhněte vstřikovací formu pro zadaný díl
4. Nakreslete 2D řez vstřikovací formou včetně příslušných pohledů a kusovníku
5. Provedte analýzu procesu vstřikování v programu Moldflow

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

**Dle doporučení vedoucího DP**

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Martin Ovsík, Ph.D.**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

**2. ledna 2017**

Termín odevzdání diplomové práce:

**12. května 2017**

Ve Zlíně dne 23. ledna 2017



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.  
*děkan*



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

Příjmení a jméno: Jan Štach

Obor: Konstrukce technologických zařízení

## 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 10.5.2017



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

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

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

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

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

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

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). 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 vstříkovací formy pro plastový díl. V teoretické části je popsána problematika procesu vstříkování, konstrukční zásady vstříkovaných výrobků a vstříkovací formy. V praktické části je s pomocí programu Catia V5 R19 vytvořen 3D model daného výrobku a výkresová dokumentace vstříkovací formy při použití normálií od firmy HASCO a Meusburger. Praktická část také obsahuje výběr důležitých výsledků analýzy pro vstříkování daného dílu.

Klíčová slova: vstříkování, vstříkovací forma, analýza

## **ABSTRACT**

This diploma thesis deals with the construction of injection mold for plastic part. The theoretical part describes the issues of injection molding, design principles of injection molded products and injection molds. In the practical part, there is designed 3D model of part by using Catia V5 R19 and drawings for injection mold with standarts of HASCO. The practical part contains a selection of important results of the analysis for injection molding of the part.

Keywords: injection molding, injection mold, analysis

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Martinu Ovsíkovi, Ph.D. za ochotu, rady a čas, který mi věnoval během vypracování této práce. Také bych rád poděkoval mé rodině a hlavně rodičům za finanční i psychickou podporu, kterou mi poskytli během celého studia.

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 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ POLYMERŮ</b> .....	<b>13</b>
1.1 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	13
1.1.1 Vstřikovací jednotka .....	14
1.1.2 Uzavírací jednotka .....	15
1.1.3 Řídící a ovládací jednotka .....	16
1.2 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS .....	17
1.3 ZMĚNY TLAKU A TEPLoty TAVENINY BĚHEM VSTŘIKOVÁNÍ .....	18
1.4 P-V-T DIAGRAM.....	19
1.5 PROCESNÍ OKNO .....	20
1.6 TOK TAVENINY VE FORMĚ .....	20
1.7 POLYMERNÍ MATERIÁLY .....	21
1.7.1 Přísady polymerních materiálů .....	22
1.7.2 Úprava polymerních materiálů před zpracováním .....	23
<b>2 KONTRUKCE VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ A JEJICH VÝROBNÍ VADY</b> .....	<b>26</b>
2.1 VLIVY NA JAKOST VÝSTŘIKŮ.....	26
2.2 KONSTRUKČNÍ ZÁSADY VÝROBKŮ.....	27
2.2.1 Tloušťka stěn.....	27
2.2.2 Úkoso a podkoso .....	28
2.2.3 Výztužná žebra.....	29
2.2.4 Zaoblení hran a rohů .....	29
2.2.5 Zaformování výrobku.....	30
2.2.6 Rovinnost velkých ploch.....	30
2.3 VÝROBNÍ VADY VÝSTŘIKŮ .....	30
2.3.1 Nedotečení taveniny.....	31
2.3.2 Přetoky .....	31
2.3.3 Vzduchové bubliny .....	32
2.3.4 Stříbrné pruhy.....	32
2.3.5 Spálená místa .....	33
2.3.6 Deselekt.....	33
2.3.7 Studené spoje .....	34
<b>3 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY</b> .....	<b>35</b>
3.1 VSTŘIKOVACÍ FORMA.....	35
3.2 DRUHY VSTŘIKOVACÍCH FOREM.....	37
3.3 TECHNICKÉ ÚDAJE PRO KONSTRUKCI FORMY .....	37
3.4 MATERIÁLY PRO VÝROBU VSTŘIKOVACÍCH FOREM .....	38
3.5 NÁSOBNOST FORMY .....	38
3.6 VTOKOVÉ SYSTÉMY .....	39
3.6.1 Studené vtokové systémy (SVS).....	39



3.6.2	Vyhřívané vtokové systémy (VVS) .....	43
3.7	TEMPERAČNÍ SYSTÉM .....	44
3.8	VYHAZOVACÍ SYSTÉM .....	45
3.8.1	Mechanické vyhazování .....	45
3.8.2	Pneumatické vyhazování .....	48
3.9	ODVZDUŠNĚNÍ DUTINY FORMY .....	48
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>49</b>
<b>4</b>	<b>CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE .....</b>	<b>50</b>
<b>5</b>	<b>KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY.....</b>	<b>51</b>
5.1	VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK .....	52
5.2	MATERIÁL VÝROBKU .....	52
5.3	RÁM FORMY .....	53
5.4	TVAROVÉ ČÁSTI A NÁSOBNOST FORMY .....	55
5.4.1	Pohyb jader.....	55
5.4.2	Pružné vyhazovače .....	56
5.5	VTOKOVÝ SYSTÉM .....	57
5.6	TEMPERAČNÍ SYSTÉM .....	58
5.7	VYHAZOVACÍ SYSTÉM .....	59
5.8	ODVZDUŠNĚNÍ FORMY .....	60
5.9	MANIPULACE S FORMOU .....	60
<b>6</b>	<b>NASTAVENÍ SIMULAČNÍ ANALÝZY .....</b>	<b>62</b>
6.1	VSTŘIKOVANÝ MATERIÁL .....	62
6.2	SÍŤ VÝROBKU .....	62
6.3	TRAJEKTORIE VTOKOVÉHO SYSTÉMU A TEMPERACE .....	64
6.4	PROCESNÍ PODMÍNKY .....	65
<b>7</b>	<b>VÝSLEDKY SIMULAČNÍCH ANALÝZ.....</b>	<b>69</b>

7.1	UMÍSTĚNÍ VTOKU (GATE LOCATION).....	69
7.2	ČAS PLNĚNÍ (FILL TIME).....	70
7.3	TLAK V ČASE PŘEPNUTÍ NA DOTLAK (PRESSURE AT V/P SWIRCHOVER) .....	71
7.4	RYCHLOST SMYKOVÉ DEFORMACE (SHEAR RATE) .....	72
7.5	STUDENÉ SPOJE (WELD LINES) .....	72
7.6	VZDUCHOVÉ KAPSY (AIR TRAPS) .....	73
7.7	UZAVÍRACÍ SÍLA (CLAMP FORCE) .....	74
7.8	TEPLOTA TEMPERAČNÍCH OKRUHŮ ( CIRCUIT COOLANT TEMPERATURE) .....	75
7.9	ÚČINNOST ODVODU TEPLA POMOCÍ TEMPERAČNÍHO OKRUHU (CIRCUIT HEAT REMOVAL EFFICIENCY).....	75
7.10	ČAS PŘI DOSAŽENÍ VYHAZOVAČÍ TEPLoty VÝROBKU (TIME TO REACH EJECTION TEMPERATURE – PART) .....	76
7.11	CELKOVÁ DEFORMACE VÝROBKU (DEFLECTION, ALL EFFECTS: DEFLECTION).....	77
<b>8</b>	<b>DISKUZE VÝSLEDKŮ.....</b>	<b>79</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>80</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>81</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>83</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>84</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>86</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>87</b>

## ÚVOD

Polymerní materiály se začaly objevovat již v první polovině minulého století. Jejich vývoj a postupné zavádění do průmyslu započalo v 50. letech 20. století. Díky svým specifickým vlastnostem, začaly s výhodou postupně nahrazovat běžně používané materiály, jako je ocel, sklo nebo dřevo. Mezi jejich vybrané vlastnosti lze řadit nízkou hustotu, dobrou tvarovatelnost nebo také nízkou tepelnou a elektrickou vodivost. Neustále dochází k vývoji nových druhů polymerních materiálů a s tím spojené kombinování jejich fyzikálních, chemických a mechanických vlastností. I přes to, mají už dnes vysoko procentuální zastoupení v mnoha odvětvích průmyslu, jako např. automobilovém, strojírenském, elektrotechnickém nebo také ve zdravotnictví.

Pro zpracování polymerů se využívá velké oblasti technologií. Mezi nejrozšířenější způsoby zpracování, kdy dochází k natavení nebo úplnému tavení materiálu patří vstřikování, vytlačování, válcování, lisování, vyfukování, odlévání nebo máčení. Dalšími technologiemi mohou být tvarování, ohýbání nebo obrábění, u kterých nedochází k tavení zpracovávaného materiálu.

Zmiňované vstřikování patří mezi vůbec nejrozšířenější technologie v oblasti zpracování polymerních materiálů. Jak již název napovídá, vstřikování spočívá ve vstříknutí roztaveného polymeru do dutiny formy pomocí vstřikovacího stroje. Dutina má negativní tvar budoucího výrobku. Výrobky mohou mít různou tvarovou složitost, které bychom jinými technologiemi dosahovali obtížně. Vstřikovací forma je často konstrukčně i ekonomicky náročným nástrojem. Proto se při její konstrukci využívá stavebnicového systému a aplikace normalizovaných dílů. Tím se sníží náklady a zkrátí čas na výrobu vstřikovací formy. Při návrhu a konstrukci forem lze v dnešní době využívat jak velké množství 3D konstrukčních softwarů (např. Catia, Autocad, SolidWorks a další), tak softwary pro virtuální simulaci vstřikování (Moldflow, Cadmould a další).

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ POLYMERŮ

Vstřikování je jedním z nejrozšířenějších způsobů tváření polymerních materiálů. Jde o cyklický proces tváření. Principem je roztavení a homogenizace materiálu pomocí plastikační jednotky, kde k tavení zpracovávaného polymeru dochází vlivem sdíleného a disipovaného tepla. Po roztavení následuje vstříknutí do dutiny formy, která má negativní tvar budoucího výrobku. Vstřikovat lze téměř všechny druhy termoplastů, ale také reaktoplasty a kaučukové směsi. Při zpracovávání termoplastů je forma, za pomoci temperačního média a temperační soustavy, ochlazována tak, aby došlo k zatuhnutí materiálu v dutině. Při vstřikování reaktoplastů a kaučukových směsí, je forma vyhřívána na specifickou teplotu a tím dochází k síťování nebo vulkanizaci materiálu. Vstřikované materiály mohou být vztužené i lehčené. Vstřikované dílce mohou být finálním výrobkem, nebo jen součástí složitějších sestav. U vstřikovaných výrobků lze dosáhnout velmi vysoké tvarové a rozměrové přesnosti. Mezi výhody vstřikování patří možnost výroby konstrukčně složitých dílců, možnost automatizace výrobního procesu a vysoká produktivita. Formu lze často navrhnout tak, že po vstříknutí není třeba dalších dodatečných operací, jako odšťihávání nebo likvidace vtokových zbytků. Velkou nevýhodou technologie vstřikování jsou vysoké investiční náklady na pořizování vstřikovacích strojů, ale také na výrobu samotných vstřikovacích forem. Formy jsou konstrukčně a výrobně velmi složité. Mezi další nevýhody lze v některých případech řadit vznik vtokových zbytků, ty lze, ale v případě termoplastů znovu zpracovávat, nebo možnost vzniku stopy po dělicí rovině, která může být na konkrétní ploše výrobku nežádoucí. [1], [2]

## 1.1 Vstřikovací stroj

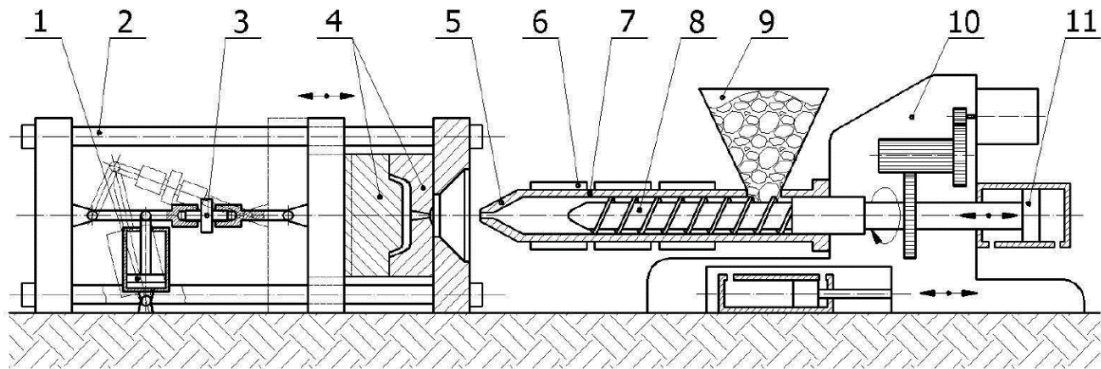
Celý proces výroby, který je označován jako vstřikovací cyklus, probíhá na vstřikovacím stroji. Základní části vstřikovacího stroje, podílející se na samotném vstřikování, lze rozdělit na plastikační (vstřikovací) jednotku a uzavírací jednotku. Mezi další části nutné k chodu a ovládání stroje patří rám stroje, motor, převodová skříň, panel k ovládání a další příslušenství. Vstřikovací stroje lze dělit z mnoha hledisek, například podle principu plastikační jednotky:

- pístové,
- šnekové,
- šnekopístové,

- dvoustupňové. [3]

Dalším způsobem rozdělení může být podle způsobu pohonu stroje:

- pneumatické,
- elektrické,
- hybridní. [3]



Obr. 1 Schéma vstřikovacího stroje [4]

1 – uzavírací hydraulický válec, 2 – vodící sloupky, 3 – uzavírací mechanismus, 4 – vstřikovací forma, 5 – vstřikovací tryska, 6 – topná tělesa, 7 – pracovní válec, 8 – šnek, 9 – násypka, 10 – převodová skříň, 11 – vstřikovací píst.

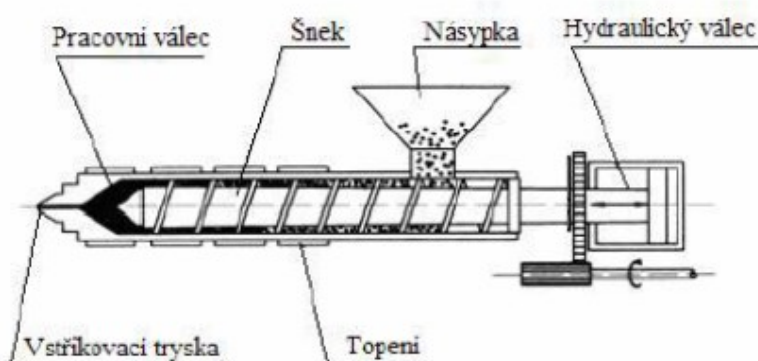
### 1.1.1 Vstřikovací jednotka

Vstřikovací jednotku tvoří tavicí komora, topná tělesa, šnek a vstřikovací tryska. Vstřikovací jednotka zahřívá a homogenizuje taveninu určenou ke zpracování. Polymer je z násypky dopravován skrze tavný válec pomocí šneku. Tavný válec je rozdělen podle pracovní teploty, kterou ohřívá polymer na tři pásma – vstupní, přechodové a výstupní pásmo. U každého z těchto pásem lze individuálně nastavit teplota. Množství předem určené dávky zpracovávaného materiálu musí být menší, než objem pracovní části vstřikovací jednotky. Maximální vyplnění vstřikovací jednotky taveninou by nemělo přesáhnout 80% objemu jednotky. [3], [5]

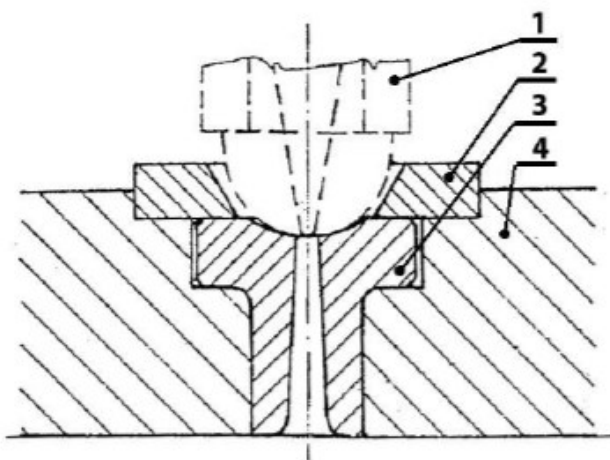
Šnek uvnitř tavicí komory během plastikace koná rotační pohyb, zároveň odjíždí dozadu, čímž se před čelem šneku hromadí tavenina. V momentě, kdy je forma i vstřikovací jednotka připravená, dojde k rychlému vstřiknutí taveniny do dutiny formy pomocí posuvného pohybu šneku. Samotné vstřiknutí probíhá velmi rychle, v extrémních přípa-

dech řádově i v desetinách sekund. Součástí vstřikovací jednotky je také vyhřívaná vstřikovací tryska, která musí zajistit těsný spoj i při velkých vstřikovacích tlacích. Trysky se dělí na otevřené a uzavíratelné.

- Otevřené – používají se pro materiály s větší viskozitou.
- Uzavíratelné – zabráňují vytékání polymeru při plastikaci a k jejich otevření dochází při dosednutí na vtokovou vložku formy. [3], [5]



Obr. 2 Schéma vstřikovací jednotky [5]



Obr. 3 Schéma těsného spojení trysky a vtokové vložky [5]

(1 – vstřikovací tryska, 2 – středící kroužek, 3 – vtoková vložka, 4 – deska formy)

### 1.1.2 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka vstřikovacího stroje nese nástroj – vstřikovací formu. Zajišťuje jak otevírání a zavírání formy, ale také následné odformování čili vyhození výrobku z dutiny formy. [6]

Rychlost uzavírání není konstantní. Na začátku zavírání je rychlost velká a na konci se rychlost zmenšuje, aby forma plynule a bez poškození dosedla. Při otevírání se rychlost postupně zvětšuje. [6]

Uzavírací síla je závislá jak na velikosti vstřikovacího tlaku, tak na velikosti plochy průřezu výstřiku v dělicí rovině. Uspořádání uzavírací jednotky a tuhost uzavíracího mechanismu má velký vliv na těsnost formy. [6]

Uzavírací jednotky lze dělit podle druhu pohonu na hydraulické, hydraulicko-mechanické, elektromechanické. [6]

Uzavírací rychlost hydraulické uzavírací jednotky je řízena uspořádáním a ovládním hydraulického obvodu. U této jednotky lze libovolně nastavit hloubku otevření formy. Celková konstrukce je jednoduchá ale hydraulický válec může dosahovat velkých rozměrů. V případě hydraulicko-mechanické uzavírací jednotky jde o kombinaci hydraulického válce a kinematického mechanismu. Tento způsob uzavírání umožňuje docílení minimálních dosedových rychlostí a zajišťuje dostatečnou tuhost. Hydraulický válec může ležet jak v ose vstřikovacího stroje tak mimo ni. Poslední zmiňovaný způsob uzavírání - elektromechanický funguje na principu ovládní klikového mechanismu pomocí elektromotoru. Výhodou je velká účinnost elektromotoru, nižší energetická náročnost a jsou konstrukčně jednodušší. [7]

### 1.1.3 Řídící a ovládací jednotka

Řídící a ovládací jednotka umožňuje optimální naladění výrobních procesů a tím dosáhnout kvalitních výstřiků, tím je jednotka nezbytnou součástí vstřikovacího stroje. Při zahájení výrobního procesu je třeba nastavovat technologické a strojní parametry vstřikovacího stroje, mezi které se řadí: [6]

- doba vstřikování,
- doba chlazení,
- teplota formy,
- teplota taveniny,
- tlak při vstřikování a dotlačování,
- otáčky šneku,
- délka posuvu šneku a rychlost uzavírání,
- rychlost posuvu šneku při vstřikování,



- otevírání formy.

Každý vstřikovací stroj obsahuje ovládací panel, díky němuž je možné přehledně zadávat vstupní údaje, řídit činnost stroje nebo ovládat další externí zařízení stroje. [6]

## 1.2 Vstřikovací cyklus

Souhra vstřikovací jednotky a vstřikovací formy (uzavírací jednotky) je v praxi označována pojmem vstřikovací cyklus, který se neustále opakuje. Jeho průběh je závislý hlavně na vlastnostech vstřikovaného materiálu, konstrukci formy nebo parametrech použitého vstřikovacího stroje. Pro znázornění sledu jednotlivých úkonů vstřikovací jednotky a formy se využívá kruhový diagram vstřikovacího cyklu. Vnitřní část diagramu ukazuje jednotlivé úkony plastikační jednotky, vnější část diagramu pak činnost vstřikovací formy. [8]



Obr. 4 Vstřikovací cyklus – kruhový diagram [7]

Za první krok cyklu je považováno uzavření formy, kdy se pohyblivá (levá) část formy přisune k pevné (pravé) části a uvnitř formy vznikne dutina pro taveninu. Uzavírací síla musí být tak velká, aby nedošlo během vstřikování a dotlaku k otevření formy.

V okamžiku, kdy je forma v uzavřené poloze a plastikační jednotka přisunutá k formě, začne samotný proces vstřikování. Zhomogenizovaná tavenina je pomocí přímočarého pohybu šneku vstříknuta do dutiny formy. Vstřikovací tlak je volen v rozmezí 50 – 200 MPa. Ihned po vstříknutí následuje dotlak taveniny, který zmenší procento smrš-

tění výrobku při chlazení a zamezí zpětnému pohybu materiálu z dutiny formy, než dojde k zatuhnutí vtokového systému.

Následuje chlazení výrobku ve formě na vyhazovací teplotu, což je ve většině případů nejdelší část cyklu. Během chlazení odjíždí plastikační jednotka od formy (v případě použití studeného vtokového systému) a šnek začne nabírat a tavit novou dávku granulátu pro další cyklus.

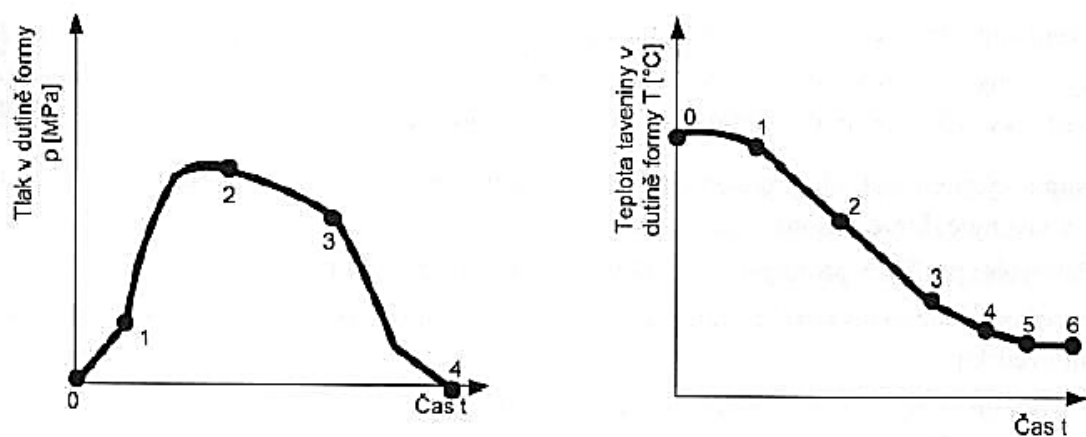
Po dosažení vyhazovací teploty materiálu v dutině formy pomocí temperačního systému dojde k otevření formy a odformování výrobku. Vyhození výrobku může probíhat plně automaticky pomocí vyhazovacího systému nebo za pomoci obsluhy. Forma se následně opět uzavře, přisune se plastikační jednotka s připravenou taveninou a celý vstřikovací proces se opakuje. [5], [7]

### 1.3 Změny tlaku a teploty taveniny během vstřikování

Během celého procesu vstřikování se mění hodnoty tlaku a teploty taveniny což způsobuje i změnu její viskozity. Tlak taveniny má největší hodnotu v čase zaplnění dutiny formy a během následného dotlaku postupně klesá.

Teplota taveniny je naopak nejvyšší v momentě jejího vstupu do dutiny formy. Díky vysoké teplotě má tavenina nízkou viskozitu, která je důležitá pro vyplnění celého objemu dutiny. Tavenina se během plnění formy rychle ochlazuje o její stěny, což může způsobit vady na výrobku a v extrémních případech i nedotečení taveniny do všech míst dutiny. Proto je nutné, aby plnění dutiny probíhalo v co nejkratším čase. [1]

Průběhy obou veličin v závislosti na čase lze vidět v grafech na obrázku 5.



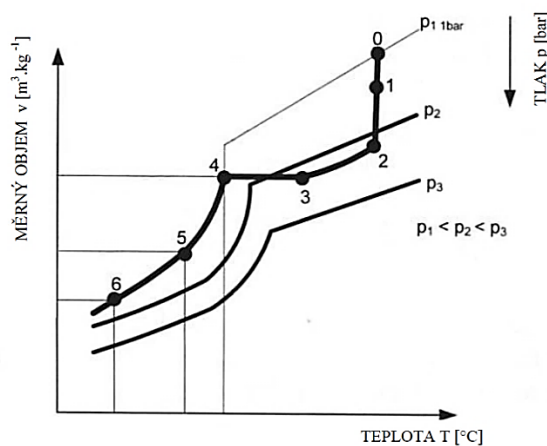
Obr. 5 Grafy – průběh tlaku a teploty v závislosti na čase během plnění [9]

## 1.4 p-v-T diagram

p-v-T diagram znázorňuje závislost mezi tlakem (p), měrným objemem (v) a teplotou (T) taveniny. Pomocí tohoto grafu lze optimálně seřadit celý proces vstřikování včetně doplňování a chlazení taveniny. Je nutné brát ohled na to, že diagram p-v-T nezohledňuje konkrétní polohu sledovaného místa ve formě, tepelnou roztažnost polymeru, gradient teploty, vnitřní pnutí výstřiku nebo průběh relaxace taveniny. [9]

Průběh závislosti zmiňovaných veličin lze v grafu rozdělit pomocí bodů na jednotlivé fáze a dále popsat probíhající změny v těchto fázích:

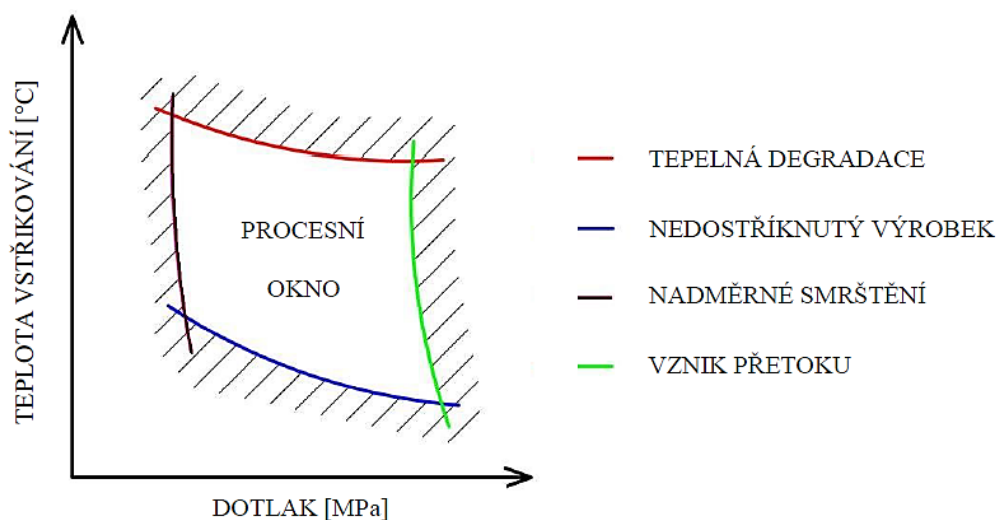
- fáze z bodu 0 do bodu 1 (dochází k objemovému plnění dutiny formy taveninou, v bodě 1 je dutina formy plná),
- fáze z bodu 1 do bodu 2 (dutina formy je vyplněná a dochází ke stlačování taveniny, při optimálních podmínkách vstřikovacího procesu je v bodě 2 stále maximální tlak),
- fáze z bodu 2 do bodu 3 (dotlaková fáze, probíhá chlazení taveniny, v bodě 3 dochází k zamrznutí vtokového ústí),
- fáze z bodu 3 do bodu 4 (klesá tlak, měrný objem zůstává konstantní, v bodě 4 je tlak materiálu na hodnotě atmosférického tlaku),
- fáze z bodu 4 do bodu 5 (probíhá chlazení materiálu uvnitř formy za konstantního tlaku, v bodě 5 dochází k odformování výrobku),
- fáze z bodu 5 do bodu 6 (výrobek se dochlazuje mimo formu, ve výrobku nedochází k tlakovým změnám, může dojít k nepatrnému zmenšení měrného objemu). [9]



Obr. 6 p-v-T diagram [9]

## 1.5 Procesní okno

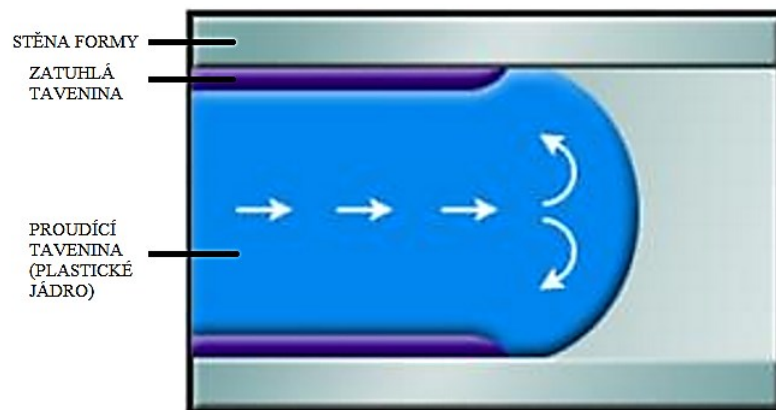
Procesní okno je oblast, která lze vykreslit do grafu, znázorňující závislost teploty a tlaku (dotlaku) během vstřikování. Tato oblast vyznačuje takové hodnoty teploty a tlaku, při kterých budou vyráběny kvalitní výrobky. Při překročení daných limitů může dojít k nežádoucím jevům, mezi něž nejčastěji patří vznik přetoků, nadměrné smrštění, degradace materiálu vlivem vysoké teploty nebo může dojít k nedostatečnému vyplnění dutiny formy. Procesní okno je definováno pro konkrétní výrobní proces, výrobek a materiál. [7], [9]



Obr. 7 Procesní okno [7]

## 1.6 Tok taveniny ve formě

Při optimalizaci vstřikovacího procesu, je požadováno dosáhnout laminárního toku taveniny, někdy také označovaného jako fontánový tok. V případě vstřikování termoplastů je teplota formy mnohem nižší než teplota vstřikovaného materiálu a proto tavenina při styku s formou během plnění okamžitě ztuhne a vytvoří vrstvu na stěně dutiny formy. Taková vrstva působí jako izolace. Tavenina dále proudí pouze plastickým jádrem a nevzniká skluz na stěně formy, který je nežádoucí. [10]

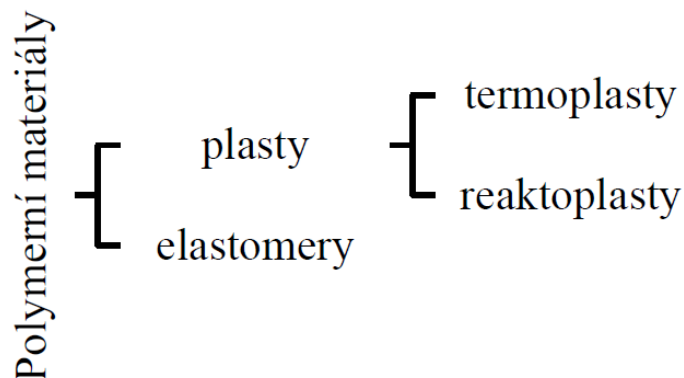


Obr. 8 Laminární tok taveniny [11]

## 1.7 Polymerní materiály

Polymery jsou látky, skládající se z makromolekul uhlíku, kyslíku, vodíku, dusíku a jiných chemických prvků. Zpracovávají se ve většině případů ve formě taveniny (vstřikování) nebo pastovitěm stavu (např. lisování), kdy je dán budoucí tvar výrobku zejména technologickým zařízením za působení zpracovatelské teploty, tlaku a někdy i v průběhu určitého časového intervalu. [12]

Jako základní způsob rozdělení polymerů je podle jejich původu na přírodní a syntetické. Dále lze polymery rozdělit na lineární, rozvětvené nebo zesíťované podle jejich specifické struktury. Mezi další hlediska dělení polymerů patří dělení podle jejich vzniku, aplikace, polarit, druhu přísad a typu nadmolekulární struktury. Jejich nejdůležitější rozdělení je ovšem dáno teplotním chováním. Způsob, jakým polymer reaguje na teplotní změny, se řadí do skupiny termoplastů, reaktoplastů nebo elastomerů. Skupina termoplastů a reaktoplastů se obecně nazývá plasty. [12]



Obr. 9 Základní rozdělení polymerních materiálů [12]

*Termoplasty* - patří mezi nejrozšířenější polymery. Jsou tvořeny pomocí přímých řetězců nebo řetězců s bočními větvemi. Při zahřívání měknou až do stavu taveniny. Termoplasty lze opakovaně zahřívát a zpracovávat. Rozdělují se podle vnitřní struktury.

- Amorfni – mají nepravidelně uspořádané řetězce makromolekul, jsou tvrdé, křehké a dají se rozpustit v organických rozpouštědlech.
- Semikrystalické – jejich řetězce mají dané uspořádání a tvoří krystalické útvary, jsou houževnaté, obtížně se rozpouští v organických rozpouštědlech.

Mezi nejznámější termoplasty patří: polyetylén (PE), polyvinylchlorid (PVC), polystyren (PS), polymethylmethakrylát (PMMA) a další. [3]

*Reaktoplasty* – mají řetězce příčně spojeny chemickými vazbami. Díky těmto vazbám tvoří trojrozměrnou prostorovou síť. Ve struktuře vznikne vlivem zvýšené teploty chemická reakce (zesíťování) a proto je nelze opakovaně tepelně zpracovávat. Jsou tužší, tvrdší a lépe odolávají vyšším teplotám. V porovnání s termoplasty mají celkově lepší mechanické vlastnosti. [3]

*Elastomery* – po zahřátí na omezenou dobu měknou a dají se tvářet. Při dalším zahřívání dochází k tzv. vulkanizaci – chemické reakci, kdy dojde k prostorovému zasíťování struktury elastomeru. Po tomto procesu již není možné další tepelné zpracování. Díky tomu vynikají svou vysokou elasticitou a jsou schopné snášet velké vratné deformace bez viditelného poškození. [3]

### 1.7.1 Přísady polymerních materiálu

Pomocí různých druhů přísad lze ovlivňovat zpracovatelské vlastnosti polymerů, reologické vlastnosti taveniny a tím i vlastnosti výrobků. Mezi základní skupiny přísad lze řadit:

- Změkčovadla – tzv. plastifikátory. Snižují tvrdost a tuhost materiálu, zvyšují jeho houževnatost a ohebnost, nejčastěji používané jsou pro PVC.
- Barviva – změni barevný odstín materiálu a tím zlepši jeho vzhledové vlastnosti. Barviva lze přidávat už při přípravě materiálu určeného pro zpracování, nebo přímo při zpracování např. ve vstřikovacím stroji.
- Stabilizátory – můžou být různého druhu a účinku na materiál. Upravují konkrétní vlastnosti, jako např. odolnost proti UV záření a stárnutí, tepelnou odolnost atd.

- Vláknitá plniva – zvyšují modul pružnosti a pevnost materiálu, jeho fyzikální a mechanické vlastnosti výstřiku. Nejčastěji používaná vláknitá plniva jsou sklo, papír, tkaniny a další. [5]

### 1.7.2 Úprava polymerních materiálů před zpracováním

Ve většině případů projdou polymery před daným zpracováním různými kontrolami nebo se specificky upravují. Jednotlivé způsoby úpravy materiálu např. před vstřikováním se liší podle druhu materiálu nebo výrobku. Veškeré přípravné operace upravují termoplast do takového stavu, aby jeho zpracování bylo bezproblémové a vyhovělo se výsledným požadavkům na výrobek. Mezi nejčastější úpravy patří granulace, sušení granulátu, barvení granulátu nebo míchání materiálu s drceným recyklátem. [2]

#### *Vstupní kontrola*

Úkolem vstupní kontroly materiálu je zamezit problémům spojených s jeho zpracováním a aplikací. Vstupní kontrola se dále dělí na vstupní hodnocení materiálů a kontrolní přejímku běžně využívaných plastů. Vstupní kontrola se zabývá různými vlastnostmi materiálu a stanoví jeho:

- fyzikální a mechanické vlastnosti materiálu (viskozita a tepelné a elektrické vlastnosti),
- chemicko-analytické složení (obsahy nízkomolekulárních podílů, molekulová hmotnost apod.),
- mechanické vlastnosti (pevnost, tažnost, tvrdost a jiné),
- ostatní hodnocení. [13]

#### *Granulace*

Pomocí granulace dostane materiál vhodné tvary ve formě malých granulí. Granule se dají dobře mísit s barvivy nebo dalšími materiály a také se dobře dávkují. V případě reaktoplastů se provádí tabletování z důvodu lepší manipulace. [3]

#### *Sušení materiálu*

Většina polymerních materiálů, konkrétně termoplastů je označována jako navlhavé. Navlhavost je vlastnost, kdy je materiál schopen absorbovat vlhkost ze vzduchu. Vlhkost v materiálu pak může snižovat kvalitu výrobku. Výrobky mohou mít povrchové vady a celkově horší vizuální vlastnosti, zhorší se jejich mechanické vlastnosti a také může dojít

ke špatnému odformování. Dále může vlhký materiál v plastikační jednotce vstřikovacího stroje degradovat. [5], [14]

Příčinou navlhavosti je chemické složení termoplastu nebo jeho aditiva. Množství vlhkosti, které je schopné termoplast absorbovat z atmosférického vzduchu je závislé na relativní vlhkosti vzduchu nebo také na teplotě polymeru. Navlhavý polymer v prostředí atmosférickému vzduchu absorbuje vlhkost do doby, kdy nastane rovnováha s okolím. Délka tohoto procesu je závislá na typu polymeru a relativní vlhkosti vzduchu, díky tomu může trvat řádově několik minut ale i dní. Navlhání a sušení termoplastu je proces vratný a lze jej řídit několika parametry:

- teplotou polymeru,
- relativní vlhkostí vzduchu obklopující polymer,
- dobou sušení v předepsaném prostředí,
- cirkulací vzduchu v sušárně,
- velikostí granulátu. [14]

Pro sušení se nejčastěji používají teplovzdušné sušičky nebo komorové pece s cirkulujícím vzduchem. Cirkulující vzduch zajistí účinné odebírání molekul vody. Délka sušení je dána vlastnostmi termoplastu, velikostí granulí a tím intenzitou obtékání proudícího vzduchu nebo požadovaným procentem vlhkosti materiálu. Aby vysušený granulát nezvlhnul, přepravuje se ve vzduchotěsných obalech a skladuje v suchých skladech nebo je nutné jej do 30 min od sušení zpracovat. [14]

#### *Barvení granulátu*

Materiály určené pro zpracování jsou většinou dodávány v určitých barevných odstínech. Pro změnu barevného odstínu finálního výrobku lze do připraveného granulátu přimíchat barvivo v podobě granulí. Granulát se s barvivou promíchá před vstřikováním nebo pomocí dávkování přímo na vstřikovací stroji. Polymer je nutné barvit do takové míry, aby barviva neovlivňovaly vlastnosti materiálu. [2]

#### *Recyklace termoplastů*

Výhodou termoplastů je možnost jejich opakovaného tepelného zpracování. Tuto vlastnost lze s výhodou snadno využít při vstřikování. Odpad vzniklý během vstřikování v podobě vadných výstřiků nebo studených vtoků lze drtit např. pomocí nožových mlýnů, nadrcený odpad přidávat do čistého materiálu a znovu zpracovávat. Zvýšený podíl recyklá-



tu má však vliv na mechanické a vzhledové vlastnosti výrobku. Ve výjimečných případech, v závislosti na použití výrobku, lze vstříkovat ze 100 % recyklátu.

## 2 KONTRUKCE VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ A JEJICH VÝROBNÍ VADY

Při konstrukci samotného dílu, který má být vyroben vstřikováním, je nutné respektovat více hledisek najednou. První skupinou je funkční hledisko výrobku při jeho použití. Výrobek musí splňovat požadovanou pevnost, tuhost, houževnatost a také danou rozměrovou přesnost podle jeho funkce. Z hlediska technologického musí být možné výrobek vyrobit za použití zvolené konstrukce a materiálu. Ekonomické hledisko se pak snaží snížit náklady na výrobu pomocí vhodně zvolených materiálů a technologií výroby. [15]

U výrobků je také častým kritériem jeho povrch a s tím spojena vizuální stránka hlavně pohledové strany výrobku. Vstřikováním lze dosáhnout na výrobku povrchu matného i lesklého nebo dezénového. Technologicky i ekonomicky je nejvýhodnější vstřikování výrobku s matným povrchem. V případě požadavku na lesklý povrch výrobku dochází ke zvyšování nákladů na zhotovení dutiny formy. Na výrobku se můžou zvýraznit nedostatky vzniklé při toku taveniny dutinou formy. Dezénový povrch je vhodný pro zakrytí vzhledových nedostatků výrobku. [2]

### 2.1 Vlivy na jakost výstřiků

Při výrobě plastových součástí se hůře dosahuje potřebné jakosti a přesnosti, než je tomu u dílců z kovových materiálů, z důvodu působení velkého množství činitelů. Mezi tyto činitele patří materiál výrobku, zvolená výrobní technologie a vhodné nastavení technologických parametrů, nástroj (forma) a její kvalita. Jejich vlivem se pak vyrobí výstřik jen určité kvality, do které se počítá přesnost výstřiku, jakost jeho povrchu a užitné vlastnosti.

Hlavní činitele ovlivňující jakost jsou:

- výrobní smrštění – pro každý materiál specifické, udává se v %. Jde o rozdíl mezi rozměrem dutiny formy a odpovídajícím rozměrem výrobku. Výrobní smrštění je také ovlivněno konstrukcí součásti a lze jej redukovat vhodným nastavením technologických parametrů (např. dostatečné působení dotlaku),
- dodatečná smrštění – bývá několikanásobně menší, než smrštění výrobní, projevuje během dochlazování mimo dutinu formy. Příčinou je ochlazování

z vyhazovací teploty na teplotu okolí a pozvolné uvolňování vnitřních pnutí, vzniklých při vstřikování,

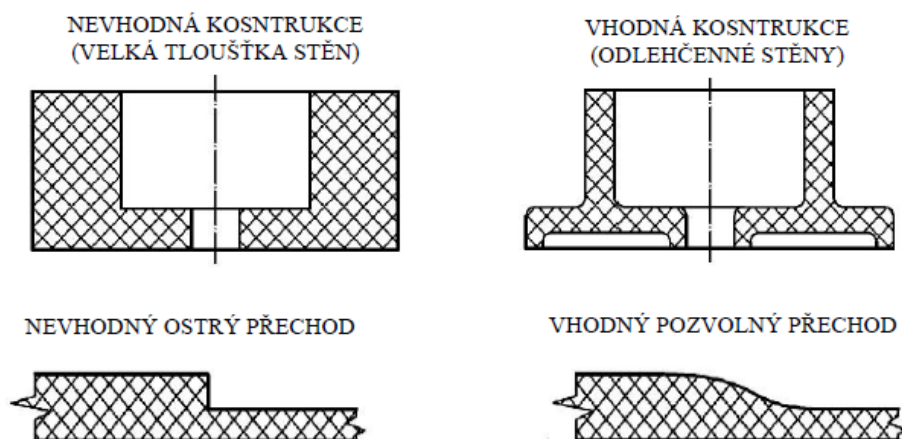
- tečení materiálu – vzniká při nepřiměřeném zatížení součásti. Projeví se plastickou deformací, která je u semikrystalických plastů větší než u amorfních,
- teplotní roztažnost – je u plastových materiálů přibližně o řád větší než u kovů, je však změnou vratnou,
- navlhnutí – neboli absorpce vody z okolního prostředí změní rozměry výrobku, po vysušení se rozměry vrátí na původní hodnoty. [2] [15]

## 2.2 Konstrukční zásady výrobků

### 2.2.1 Tloušťka stěn

Z funkčního hlediska výrobku lze tloušťku jeho stěn volit např. s ohledem na jeho mechanickou odolnost, pevnost, tuhost nebo vzhledové vlastnosti. Na tloušťky stěn je však nutné brát ohled také z technologického hlediska výroby.

Tloušťky stěn by dle zásad správné konstrukce měli být jednotné a co nejmenší, toho však nelze vždy dosáhnout. Pokud se na výrobku nachází místo s náhlou změnou tloušťky, nesmí toto místa obsahovat ostré hrany nebo kouty, které by se chovaly jako vruby a vnikalo by zde vnitřní pnutí. Je tedy nutné při konstrukci volit plynulé a zaoblené přechody mezi stěnami. Během plnění úzkou stěnou dochází k rychlému ochlazení taveniny o stěnu dutiny. Naopak v místech, kde má materiál velkou tloušťku, může vznikat vnitřní pnutí a na výrobku se můžou projevovat povrchové vady jako např. propadliny. Tavenina v těchto místech také potřebuje o mnoho více času pro dokonalé zatuhnutí ve formě. V případě, kdy je nezbytné použít větší tloušťku stěn, je nutné vytvořit vhodné odlehčení, nebo místo vhodně vyplnit žebry. Tloušťka žeber by neměla překročit 0,8 násobek tloušťky hlavní stěny. [16]



Obr. 10 Příklad návrhu pro zmenšení tloušťky a redukci ostrého přechodu výrobku [17]

### 2.2.2 Úkosy a podkosy

Úkosy mají za úkol zajistit co nejsnazší odformování výrobku z dutiny formy. Jde o sklon stěny, která je rovnoběžná na směr otevírání formy. Volbu jejich velikostí ovlivňují především smrštění, elasticita polymeru, povrch stěn formy a automatizace výroby. Zkosení vnitřních stěn se z pravidla volí větší než u stěn vnějších. [16]

Tab. 1 Doporučené velikosti úkosů [2]

Úkos pro	Velikost úkosu
Vnější plochy	30'-2°(1°)
Vnitřní plochy	30'-3°(2°)
Otvory do hloubky	30'-2°(45')
Hluboké otvory	1°-10°
Žebra a nálitky	1°-10°(3°)
Výstupky	2°-10°

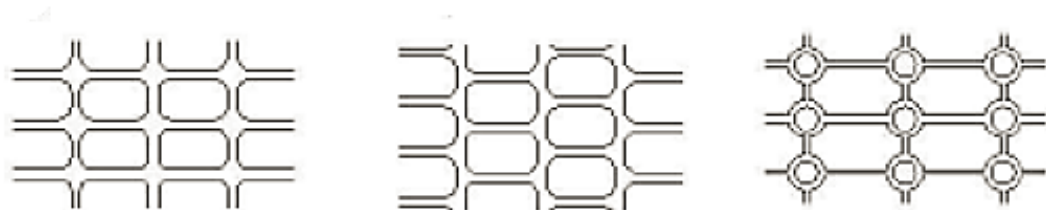
Podkos je opakem úkosu. Jedná se tedy o sklon stěny opačným směrem. Takto zkosená stěna vyvíjí větší odpor při vyjímání výrobku z dutiny. Mnohdy jsou ale podkosy voleny úmyslně tak, aby přidržely výrobek v pohyblivé části formy během jejího otevírání. Funkci podkosů můžou zastupovat také různé výstupky, nálitky, zápichy apod. Při konstrukci výrobku je však nutné zajistit, aby měl díl dostatečný prostor pro pružnou deformaci, kterou musí překovat při vyhození přes podkos. [16]

### 2.2.3 Výztužná žebra

Výrobky se opatřují žebry ze dvou hledisek, a to vzhledem k tomu jestli plní funkci v dutině formy nebo na finálním výrobku. Jsou tedy dělena jako žebra:

- technologická,
- technická.

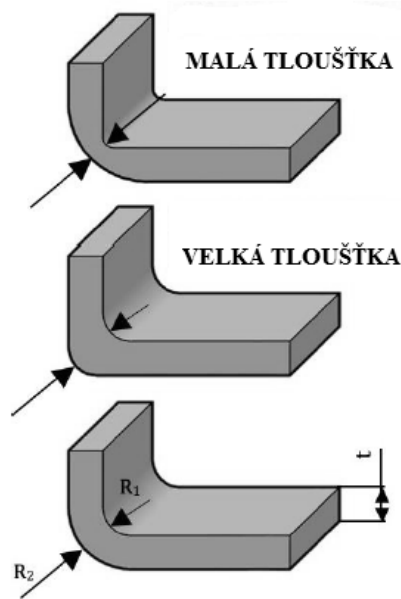
Technologická žebra se umísťují pro optimální plnění dutiny formy, zabraňují borcení stěn a odstraňují případný vznik povrchových vad. Technická (konstrukční) žebra zabezpečují dostatečnou tuhost a pevnost výrobku. Dále mohou být žebra volena také z estetického hlediska, kdy mají za úkol zakrýt vzhledové vady nebo jen zlepšit vizuální vlastnosti výrobku. [2]



Obr. 11 Způsoby návrhu žeber [2]

### 2.2.4 Zaoblení hran a rohů

Plastové výrobky vyráběné technologií vstřikování by neměly obsahovat ostré hrany, kouty nebo rohy. Ostré hrany znesnadňují tok taveniny, což má za následek větším opotřebením formy. Dále při mechanickém zatěžování dochází v oblasti ostrých hran ke koncentraci napětí a snížení mechanické odolnosti dílu. Jeho rázová houževnatost tak může klesnout až na polovinu. Oblé tvary tedy umožňují snadnější tok taveniny dutinou formy, zabraňují koncentraci napětí v těchto místech a také usnadňují odformování výrobku. Zaoblení nesmí mít za následek změnu tloušťek stěn výrobku nebo hromadění materiálu. Minimální poměr rádiusu a tloušťky stěny ( $R/t$ ) by měl být 0.5. [7], [16]



Obr. 12 Návrh velikosti vnitřních a vnějších rádiusů na výrobku [16]

### 2.2.5 Zaformování výrobku

S konstrukcí dílu, který bude vyráběn vstřikováním, je vzpjata jeho zaformování. Zaformování výrobku také obnáší mimo jiné vhodné stanovení polohy dělicí roviny. Umístění dělicí roviny vůči vstřikovanému výrobku je takové, aby bylo možné po otevření formy výrobek z dutiny vyjmout. Dělicí rovina je plocha, v níž dosedají jednotlivé části formy do sebe. U tvarově složitých výrobců se vyskytuje dělicích rovin více. V těchto místech se můžou na výrobku objevit vizuální vady. Z toho důvodu je vhodné neumísťovat pohledové plochy nebo přesné a funkční části výrobku do těchto dělicích rovin. [18]

### 2.2.6 Rovinnost velkých ploch

Při vstřikování výrobku, které obsahují rovinné plochy větší rozměrů, často vznikají velké deformace. Takové plochy je nutné opatřit žebry, která musí být vhodně rozčleněna. U rotačních ploch se využívá klenutí. [2]

## 2.3 Výrobní vady výstřiků

Vzhledem k množství nastavitelných technologických parametrů a jejich kombinací, se můžou na výrobcích projevat nejrůznější druhy výrobních vad. Na tyto vady může

mít také podíl nesprávná konstrukce formy a výrobku, zvolené zaformování výrobku nebo volba vstřikovaného materiálu.

### 2.3.1 Nedotečení taveniny

Nedotečení taveniny do celého objemu dutiny je nejčastěji způsobeno malou vstřikovací rychlostí. Tavenina, která proudí formou příliš dlouho, se začne rychle ochlazovat, dojde k jejímu zatuhnutí a tím zabrání dokonalému vyplnění dutiny. Na nedotečení může mít vliv také nevhodná konstrukce výrobku. [2]



*Obr. 13 Nedotečení taveniny [19]*

### 2.3.2 Přetoky

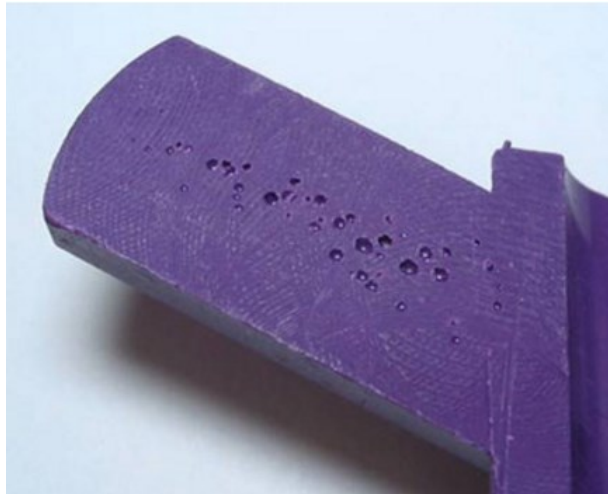
Jako přetok je nazýváno místo, kde se tavenina dostane mimo dutinu formy, konkrétně do dělicí roviny. Přetok má za následek vysoká teplota taveniny, nízká uzavírací síla, vysoký vstřikovací tlak nebo nečistoty v dělicí rovině formy. [2]



*Obr. 14 Přetok taveniny [20]*

### 2.3.3 Vzduchové bubliny

Na vznik vzduchových bublin má vliv nízká teplota formy, nízký vstřikovací tlak nebo zachycení těkavé složky. Bubliny mohou také vzniknout špatnou konstrukcí výrobku a to konkrétně v místě přechodu jeho silné a slabé stěny. [2]



*Obr. 15 Vzduchové bubliny [21]*

### 2.3.4 Stříbrné pruhy

Stříbrné pruhy jsou orientované ve směru proudění taveniny uvnitř dutiny formy. Příčinou jejich vzniku je vysoká teplota taveniny nebo nedostatečně vysušený materiál před vstupem do vstřikovacího stroje. Důvodem také může být velké tření taveniny ve vtokovém ústí. [2]



*Obr. 16 Stříbrné pruhy na výrobku [22]*



### 2.3.5 Spálená místa

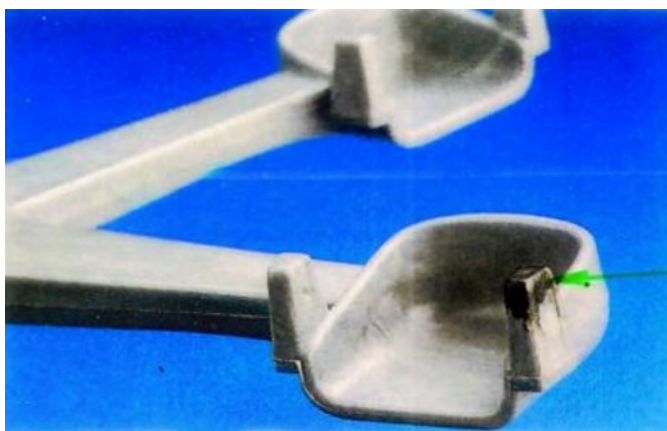
Spálená místa se na výrobku objevují vlivem příliš vysoké teploty taveniny, špatně odvětrané dutiny formy nebo vlivem vysokého tření mezi taveninou a stěnou dutiny formy. Vady takového typu mohou mít za následek také poškozené vstřikovací zařízení. [2]



Obr. 17 Spálená místa [23]

### 2.3.6 Deselekt

Deselekt, neboli spálené místo na výstřiku, vzniká při nedostatečném odvětrání formy spolu s vysokou vstřikovací rychlostí. Následkem toho se vzduch zaplňující dutinu během vstřikování stlačuje, v lokálním místě příliš zahřívá materiál, ten degraduje a dochází k jeho spálení. Na výrobku v tomto místě vnikají nedoplněná místa a tmavé až černé stopy spáleného materiálu. V případě tlustostěnných výrobků se může vzduch rozptýlit do taveniny a na výrobku se objeví drobné bubliny. Pro předjetí problému tohoto typu je vhodné formu opatřit v místech uzavírání vzduchu odvětrávacími kanálky. [24]



Obr. 18 Deselekt [24]

### 2.3.7 Studené spoje

Studené spoje jsou způsobeny spojením dvou proudů taveniny a to buď čelně (primární studený spoj) nebo tangenciálně (sekundární studený spoj). Vznik více proudů taveniny v jedné dutině může být způsoben tvarovou složitostí výrobku nebo plněním pomocí dvou a více vtokových ústí. Studený spoj může negativně ovlivnit vzhled výrobku ale hlavně zhoršit jeho mechanické vlastnosti. [24]



*Obr. 19 Studený spoj [24]*

## 3 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

### 3.1 Vstřikovací forma

Vstřikovací formy jsou nástrojem pro výrobu součástí z polymerních materiálů. Formy jsou vyměnitelným nástrojem vstřikovacího stroje. Pro práci na jednom stroji lze využívat více forem podobného typu, ty ovšem musí splňovat jeho požadavky, jako je například kapacita zpracovávaného materiálu, vnější rozměry, průměr středících kroužků, velikost zdvihu aj..

Návrh, konstrukce a výroba vstřikovací formy je s ohledem na složitost výrobku a použitý materiál často velmi náročná, jak z časového tak i ekonomického hlediska. Forma musí během vstřikování odolávat vysokým tlakům, dosahovat optimální životnosti, umožňovat snadné a rychlé odformování výstřiků bez jejich poškození a to vše při maximální možné automatizaci výroby. Pomocí vhodně zvoleného vtokového systému lze také dosahovat výrobků bez vtokových zbytků a tím snížení nákladů na dodatečné operace.

Vstřikovací forma se obecně dělí na pravou a levou část. Při uzavřené poloze formy vytvoří tvárník, tvárnice a případné další tvarové komponenty dutinu, která je negativem budoucího výrobku. Při otevřené poloze vniká mezi levou a pravou částí prostor pro odformování výstřiku.

#### *Pravá strana formy*

Pravá část formy je obvykle vstřikovací, pevně upnutá a zafixovaná na vstřikovacím stroji. Tryska vstřikovací jednotky během plnění těsně doléhá na vtokovou vložku. Pravou část tvoří nejméně dvě desky, v závislosti na zvoleném vtokovém systému. V případě použití vyhřívané vtokové soustavy je horký blok součástí pravé strany formy. Mezi hlavní součásti pravé strany dále patří tvárnice, středící kroužek, část vodících prvků (nejčastěji vodící čepy), šrouby, komponenty temperačního systému a případně část systému pro funkci bočního odformování pomocí šikmých kolíků.

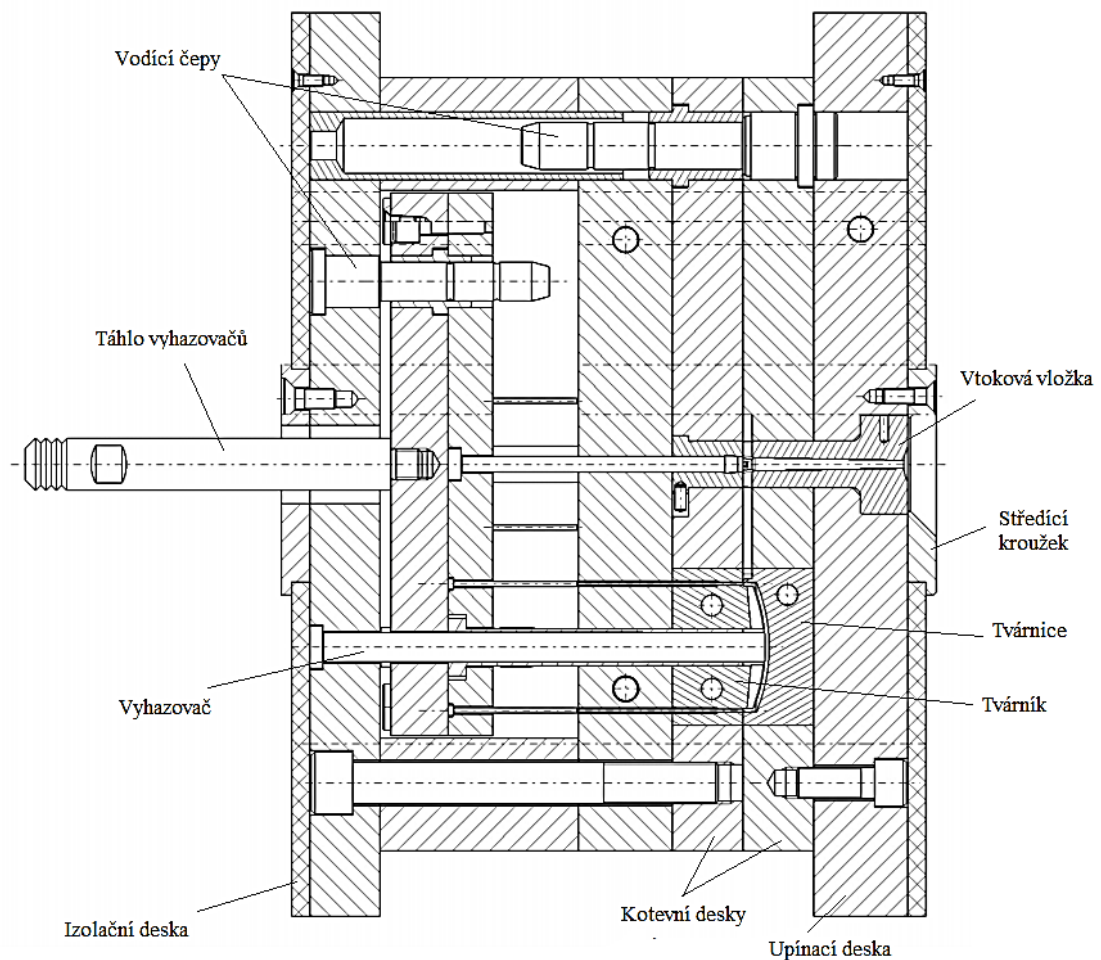
#### *Levá strana formy*

Mezi hlavní komponenty levé části formy patří tvárník, středící kroužek, zbytek vodících prvků, šrouby, součásti temperačního systému a systému pro boční odformování. Levá část je označována jako vyhazovací jelikož její součástí je vyhazovací systém. Ten

může být založen na mechanickém (vyhazovače, stírací deska,...) nebo pneumatickém principu.

Forma je dále opatřena např. izolačními deskami pro omezení přestupu tepla mezi strojem a formou nebo prvky pro upnutí při přepravě a manipulaci s formou.

S velkou výhodou se pro sestavení formy používají normalizované součásti, na jejichž výrobu se specializují firmy jako Hasco, Muesburger, Fibro, Delta a další. S jejich využitím je nutné počítat již při konstrukci formy. Sníží se tak její časová a ekonomická náročnost na výrobu a její sestavení. [7]



Obr. 20 Řez vstřikovací formou [7]

### 3.2 Druhy vstřikovacích forem

Vstřikovací formy lze dělit podle mnoha hledisek. Mezi hlavní hlediska patří:

1. Násobnost formy (počet výrobků na jeden vstřikovací cyklus):
  - jednonásobné,
  - vícenásobné.
2. Vtokový systém:
  - studený vtokový systém (SVS),
  - vyhřívaný vtokový systém (VVS),
  - kombinace studeného a vyhřívaného vtokového systému.
3. Poloha osy hlavního vtoku k hlavní dělicí rovině:
  - s osou hlavního vtoku kolmo k dělicí rovině,
  - s osou hlavního vtoku k dělicí rovině.
4. Zaformování výstřiku, konstrukce formy:
  - dvoudílné,
  - třídílné,
  - etážové,
  - čelist'ové,
  - s bočními jádry (ovládané mechanicky, hydraulicky, pneumaticky),
  - se zařízením na závity (vyšroubovací zařízení),
  - speciální.
5. Princip odformování:
  - mechanicky,
  - pneumaticky,
  - stírací deska,
  - kombinované. [5]

### 3.3 Technické údaje pro konstrukci formy

Pro konstruktéra vstřikovací formy je důležitá jak spolupráce s konstruktérem výrobku tak s technologem. Konstruktér musí mít obecný přehled o technických údajích budoucí vstřikovací formy. [25]

- Konstrukce – výkres součásti, násobnost formy, typ vstřikovacího stoje.
- Výroba – příprava výroby, vlastní výroba formy, termín zhotovení, odzkoušení.

### 3.4 Materiály pro výrobu vstřikovacích forem

Vstřikovací formy jsou souborem funkčních a pomocných dílů. Na vstřikované výrobky jsou postupem času kladeny čím dál větší nároky v oblasti kvality, mechanických vlastností, vzhledových vlastností, životnosti nebo pořizovacích nákladů. Na dodržení těchto požadavků má značný vliv správná volba materiálů pro jednotlivé díly formy. Dále je volba materiálů ovlivněna technologickými podmínkami výroby, jako například:

- druh vstřikovaného polymeru,
- parametry procesu (teploty, rychlost vstřikování, tlaky,...),
- vstřikovací stroj. [2]

Nejvyužívanějším materiálem pro výrobu forem je ocel nebo slitiny kovů. Jejich pevnost a mechanické vlastnosti se stěží nahrazují jinými neželeznými materiály. Jednotlivé části a díly formy jsou vystaveny různým mechanickým namáháním a teplotním změnám, proto se pro jejich výrobu využívá více druhů materiálů. Mezi používané druhy ocelí na výrobu forem patří:

- konstrukční oceli v přírodním nebo zušlechtěném stavu,
- oceli ke snadnému opracování a tváření, pro cementování a zušlechtování,
- oceli uhlíkové k zušlechtování,
- oceli nástrojové legované se sníženou i velkou prokalitelností,
- oceli k nitridování,
- oceli antikorozi,
- oceli martenzitické vytvrditelné deformací při tepelném zpracování. [2]

### 3.5 Násobnost formy

Důležitým technickým údajem každé vstřikovací formy je její násobnost. Násobnost lze definovat, jako počet tvarových dutin formy, což odpovídá počtu výrobků na jeden vstřikovací cyklus. Násobnost se volí zejména z ekonomického hlediska výroby. Vícenásobné formy jsou oproti jednonásobným dražší a citlivější na vznik poruch, výhodou je však jejich výkon a produktivita během vstřikování. Volba vhodné násobnosti formy je ovlivněna mnoha faktory, kterými jsou například:

- hmotnost, velikost, složitost a přesnost výrobku,
- požadované množství výrobků a jejich dodací lhůty,

- parametry vstřikovacího stroje,
- srovnání nákladů na výrobu a délky vstřikovacího cyklu jednonásobné a vícenásobné formy. [15]

### 3.6 Vtokové systémy

Vtokový systém vstřikovací formy má za úkol přivést taveninu z trysky vstřikovacího stroje do její dutiny. Je tvořen soustavou rozvodných kanálků. Správně zvolený a navržený vtokový systém musí zajišťovat rychlé a rovnoměrné zaplnění dutiny. Vtoková soustava je navrhována podle násobnosti formy, rozmístění dutin, tvaru výrobku a vstřikovaného materiálu a dělí se na:

- studené vtokové systémy (SVS),
- vyhřívané vtokové systémy (VVS).

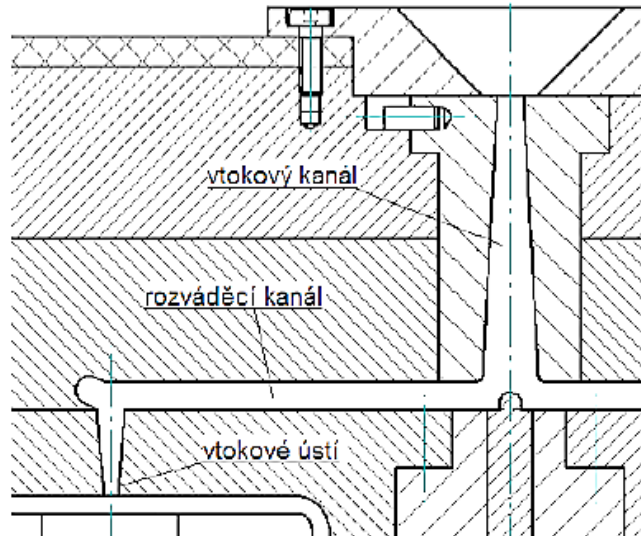
#### 3.6.1 Studené vtokové systémy (SVS)

Studený vtokový systém zajišťuje plnění dutiny formy pomocí kanálků frézovaných obvykle přímo do desek pravé strany formy. Systém musí klást co nejmenší odpor proudící tavenině. Dále je snaha dosáhnout co nejkratšího času plnění. U vícenásobných forem je také kritériem zaplnění všech dutin ve stejném čase. Při návrhu SVS je nutné dodržovat zásady jeho konstrukce, mezi něž například patří:

- min. rádius ostrých hran  $R=1$  mm,
- úkosovitost vtoků pro snadné odformování, úhel min.  $1,5^\circ$ ,
- drsnost kanálků pod hodnotu  $0,2 R_a$ ,
- návrh míst pro zachycení studeného čela taveniny,
- vyloučit místa podporující hromadění materiálu,
- větvení kanálků nesmí být pod ostrým úhlem. [2]

Kanálky studeného vtokového systému se obecně rozdělují na:

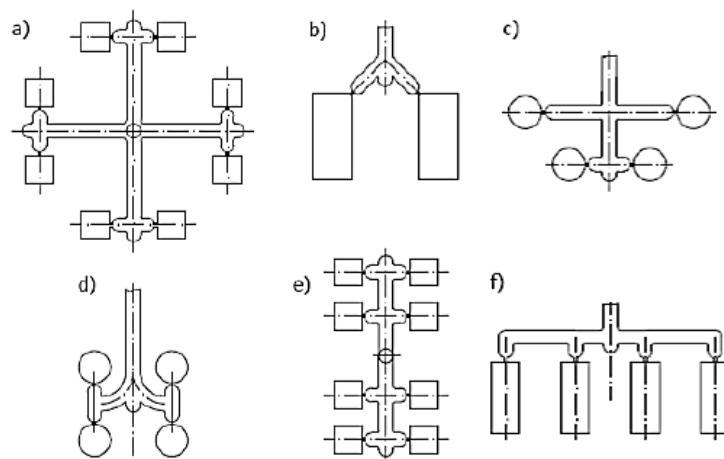
- vtokový kanál,
- rozvodné kanály,
- vtokové ústí.



Obr. 21 Jednoduchý studený vtokový systém [5]

### Uspořádání vtokových kanálků

Jak již bylo řečeno, při návrhu kanálků je nutné docílit toho, aby tavenina během vstříkávání vyplnila všechny dutiny formy současně. Dále musí být navrženy tak, aby dráha toku taveniny byla co nejkratší a s minimálním odporem. Příklady uspořádání vtokových kanálků je možné vidět na následujícím obrázku. [2]



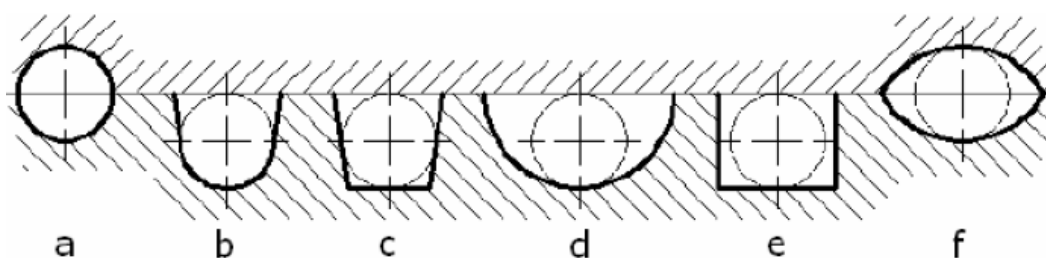
Obr. 22 Uspořádání studeného vtokového systému [5]

(a, b, c, d – vhodné řešení; e, f – nevhodné řešení)



### Tvar vtokových kanálků

Průřez vtokových kanálků musí být dostatečně velký, protože tavenina se během plnění rychle ochlazuje o jeho stěny. Po vyplnění dutiny nastává dotlak a pro jeho správnou funkci je zapotřebí zachovat plastické jádro uvnitř kanálků. Vtokový kanál má co největší průřez s ohledem na minimální plochu. Velikost jeho plochy ovlivňuje intenzitu chladnutí taveniny při toku. Nejvhodnější je průřez kruhový, ale z výrobního hlediska se tíhne ke kanálům tvaru lichoběžníku. [2]



Obr. 23 Průřezy studených vtokových kanálků [7]

(a, f – výrobně nevhodné; b, c, d, e – výrobně vhodné)

### Vtokové ústí

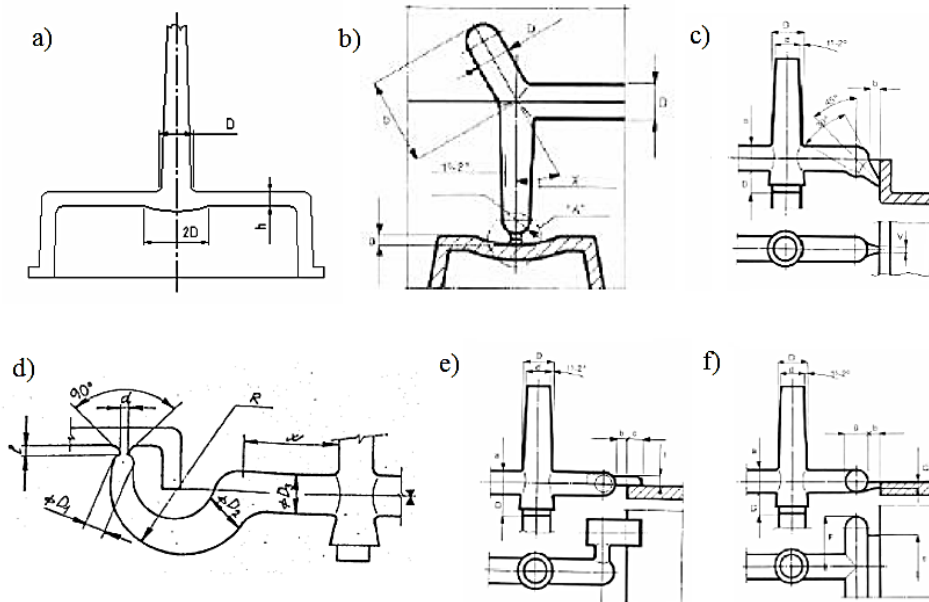
Vtokové ústí je místo, ve kterém tavenina opouští vtokový systém a vstupuje do dutiny formy. V takovém místě se rozvodný kanál obvykle zužuje a tím dojde ke zvýšení již klesající teploty taveniny. Zamezí se tím strhávání ochlazených vrstev, které vznikají vlivem ochlazování o stěny vtoku, a předejde se vzniku povrchových vad na výrobku. Rozměry a tvar vtokového ústí se volí individuálně, nejčastěji podle tvaru výrobku, typu polymeru nebo technologii vstřikování. Obecně ale platí, že vtokové ústí by mělo směřovat do místa s největší tloušťkou a zároveň do geometrického středu výrobku. Díky tomu pak tavenina vyplňuje dutinu plynule a rovnoměrně. Pokud je výrobek opatřen žebry, musí tavenina proudit ve směru jejich orientace. [2]

### Druhy vtokových ústí

- Plný kuželový vtok – určený pro tlustostěnné výrobky a jednonásobné formy. Účinný při dotlaku, protože tavenina uvnitř tuhne později než v dutině formy. Zanechává znatelnou stopu na výstřiku.
- Bodový vtok – pro jeho funkci je nutná forma s třideskovým systémem, při jeho odformování dojde nejprve k oddělení rozvodného systému s vtoko-

vým ústím v zúženém místě a poté k otevření tvarové dutiny. Na výrobku zanechává minimální stopy.

- Tunelový vtok – je podobný bodovému vtoku. Vtokové ústí může být umístěno do dělicí roviny výstřiku. Při odformování je důležitá ostrá hrana, která oddělí vtok od výrobku.
- Srpkovitý (banánový) vtok – je podobný tunelovému toku. Jeho ústí je možné umístit např. do nepohledové části výrobku. Při jeho použití je nutné vstříkovat polymery s vyšší elasticitou, z důvodu bezproblémového odformování.
- Boční vtok – má obvykle obdélníkový průřez a je umístěn do dělicí roviny. Vtokový zbytek během odformování obvykle není oddělený od výstřiku.
- Filmový vtok - se používá při zvýšených nárocích na dodržení přesností a tvaru výrobku, odstranění studených spojů, snížení rychlosti taveniny ve vtokovém ústí. Filmový vtok také sníží odpor toku taveniny vtokovým systémem. Obecně patří do skupiny bočních vtoků s využitím plnění kruhových a trubicových dutin. [2]



Obr. 24 Vtoková ústí [5]

- ( a) plný kuželový vtok, b) bodový vtok, c) tunelový vtok,  
d) srpkovitý vtok, e) boční vtok, f) filmový vtok)

### 3.6.2 Vyhřívání vtokových systémů (VVS)

VVS se využívají s výhodou značné úspory vstříkovaného materiálu a také odstranění případného vtokového zbytku na výrobku. Jejich princip je založen na udržování nastavené teploty taveniny ve vtokovém systému formy. Dle konstrukčního řešení výrobku nebo celé formy lze využít také kombinace VVS a SVS. [2]

Výhody vyhřívání vtokových systémů:

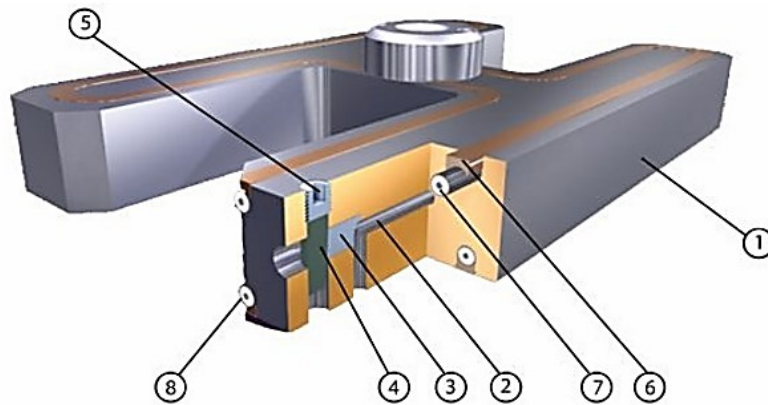
- snížení spotřeby vstříkovaného materiálu,
- zamezení vzniku vtokového zbytku,
- zkrácení vstříkovacího cyklu,
- zvýšení automatizace vstříkování,
- snížení nákladů na dokončovací operace. [2]

Nevýhody vyhřívání vtokových systémů:

- vyšší ekonomická a energetická náročnost oproti (SVS),
- použití snímačů a regulátorů teploty,
- případná konstrukční náročnost formy. [2]

#### Vyhřívání rozvodné bloky

Výrobou vyhřívání bloků se dnes zabývá mnoho specializovaných firem, jako např. Hasco, DME, Strack aj. Bloky o normalizovaných rozměrech se vkládají do pravé části formy. Tvary bloků jsou dány rozmístěním a počtem trysek, které jsou také vyhřívány. Nejčastější bloky jsou ve tvaru písmene I, H, X, Y nebo také tvaru hvězdice. Tělo bloku musí být také izolované od ostatních částí formy nejčastěji pomocí vzduchové mezery. Vyhřívání bloků zprostředkovává elektrické obvodové topení. [2]



Obr. 25 Vyhříváný rozvodný blok - řez [26]

(1 – tělo rozvaděče, 2 – kanál, 3 – koncovka, 4 – šikmý kolík,  
5 – seřizovací šroub, 6 – kryt topení, 7 – topení, 8 – druhá sada topení)

### Vyhříváné trysky

Vyhříváné trysky rozvodného bloku můžou ústit do kanálků SVS nebo přímo do dutiny formy. Trysky jsou vyhříváné vlastním topným článkem s regulací nebo pomocí jiného zdroje vtokové soustavy. Tryska musí zabránit vytékání nebo jakémukoliv úniku polymeru z rozvodného bloku během odformování výstřiku. Ústí trysek může být:

- otevřené,
- s uzavírací jehlou,
- se špičkou proti táhnutí vlasu,
- speciálně upravené. [2]

## 3.7 Temperační systém

Pod pojmem temperační systém vstřikovací formy se rozumí soustava kanálů, dutin, různých spojek a ucpávek, které svým vhodným propojením tvoří temperační okruh. Médium proudící temperačním okruhem má za úkol, v případě vstřikování elastomerů, zahřívat formu na vulkanizační teplotu nebo odvádět teplo, při chlazení výstřiku z termoplastu, v dutině formy. Obecně tedy temperační systém udržuje konstantní teplotu formy během vstřikovacího cyklu.

### Základní body konstrukce temperačního systému:

- větší počet menších kanálků,
- rovnoměrné rozmístění kanálků ve stejných vzdálenostech,
- v oblasti větší tloušťky výrobku se kanálky přibližují dutině,
- nejčastěji kruhový průřez kanálku,
- rozměry se určují podle charakteru výrobku a vstřikovaného materiálu,
- rozmístění kanálků se určuje podle konstrukčního řešení, tuhosti a pevnosti formy. [27]

### 3.8 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém, který je osazen v levé části formy, zajišťuje odformování výstřiku po otevření formy. Snahou je navrhnout vyhazovací systém tak, aby se dosáhlo plně automatického výrobního cyklu. Pohyb systému má dvě fáze. První fází je dopředný pohyb pro odformování výstřiku, který musí po otevření formy přiléhat na tvarové vložce levé strany formy. Druhou fází je zpětný pohyb systému do polohy, kdy může dojít k opakování vstřikovacího cyklu. Na průběh vyhazování má vliv více faktorů, jak ze strany konstrukce výrobku, tak správné volby vyhazovacího systému. Mezi základní faktory patří:

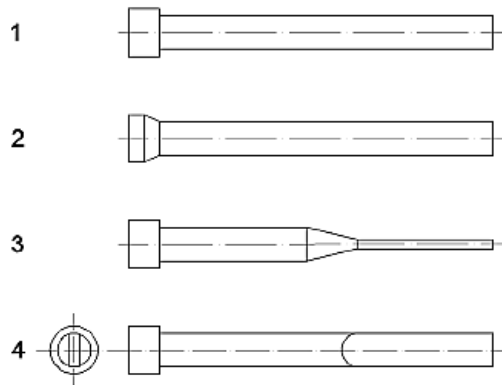
- hladký povrch výstřiku,
- úkosovitost stěn ve směru vyhazování, min. úhel  $0,5^\circ$ ,
- rovnoměrné působení síly vyhazovací elementů na výstřik, a jejich správné rozmístění vůči výstřiku. [27]

Pohyb celého vyhazovacího systému je nejčastěji vyvozen hydraulickým nebo pneumatickým zařízením, které je součástí vstřikovacího stroje. Je možné také využít hydraulicko-mechanický princip pohybu. Dalším způsobem pohybu je pomocí narážecího kolíku o traverzu vstřikovacího stroje během otevírání formy nebo ruční vyhazování s pomocnými mechanismy, které se obvykle využívá pro zkušební formy. [27]

#### 3.8.1 Mechanické vyhazování

Jde o nejrozšířenější způsob vyhazování výrobků z dutiny. Jeho principem je tlakové působení vhodně zvolených vyhazovacích součástí na výrobek. S výhodou se používá kvůli jeho konstrukční jednoduchosti a možnost použití normalizovaných dílů. Nevýhodou je případné mechanické poškození výrobku při nesprávné konstrukci systému nebo při nevhodně nastavených technologických parametrech.

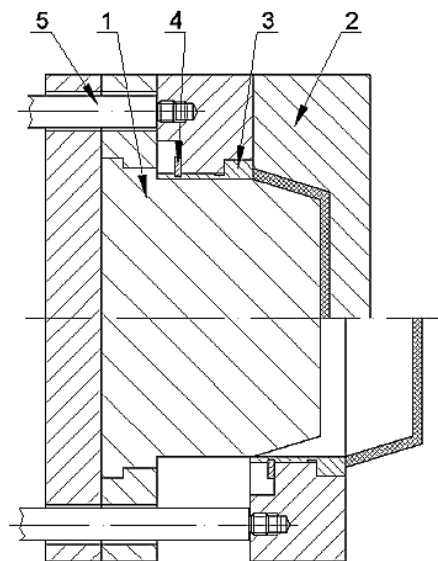
- Vyhazovací kolíky – jsou na jedné straně upnuty do desek vyhazovacího systému. Druhou stranou působí axiálně na výrobek, nejčastěji na jeho žebro nebo nepohledovou stranu. Jde o nejpoužívanější a výrobně nejjednodušší způsob mechanického vyhazování. [27]



Obr. 26 Vyhazovací kolíky [27]

- (1 – s válcovou hlavou, 2 – s kuželovou hlavou, 3 – prizmatický vyhazovač, 4 – plochý vyhazovač)

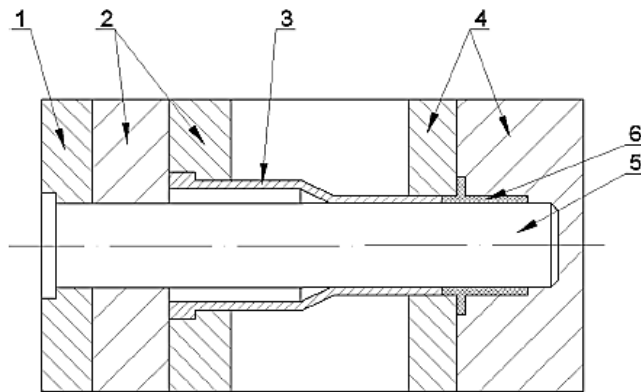
- Stírací deka – se využívá při odformování tenkostěnných výrobků. Principem odformování je stáhnutí výstřiku z tvárníku po celém obvodu, díky čemuž se minimalizují deformace a stopy po vyhazování. [27]



Obr. 27 Princip stírací desky [28]

(1 – tvárník, 2 – tvárnice, 3 – stírací kroužek (deska), 4 – pojistný kroužek,  
5 – táhlo stírací desky)

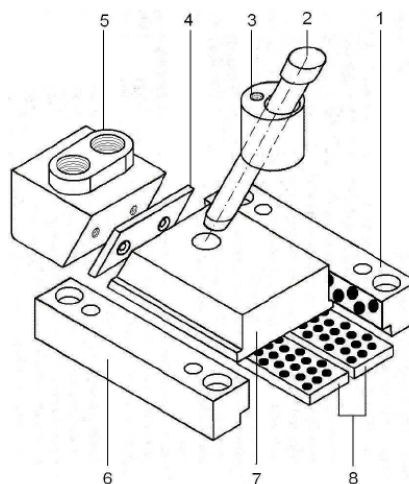
- Trubkový vyhazovač – je speciální případ stírací desky. Jeho součástí je trubka, která během vyhazování působí na výrobek jako stírací deska. Druhým členem je pevné jádro, které je uchyceno v desce a nepohybuje se. [27]



Obr. 28 Prizmatický vyhazovač [28]

(1 – opěrná deska, 2 – vyhazovací desky, 3 – trubkový vyhazovač, 4 – tvarové desky,  
5 – jádro, 6 – výstřik (výrobek))

- Šikmé vyhazovače – jsou uloženy pod úhlem 15° až 25° ke směru otevírání formy. Využívají se při vstřikovávání výrobků s mělkým vnitřním nebo vnějším zápichem a díky nim není třeba používat posuvné čelisti. [27]



Obr. 29 Šikmá posuvná čelist [4]

(1 – vodící lišta, 2 – šikmý kolík, 3 – pouzdro šikmého kolíku, 4 – vodící deska, 5 – doraz posuvných čelistí, 6 – vodící lišta, 7 – posuvná čelist, 8 – kluzné desky)

### 3.8.2 Pneumatické vyhazování

Odformování výstřiku pomocí tlaku vzduchu se využívá při vstřikování tenkostěnných výrobků větších rozměrů. Vzduch je přiváděn mezi tvárník a výstřik a jeho tlakem dojde k odformování. Na výrobku tak nevznikají viditelné stopy po vyhazovačích. Další výhodou je, že forma s pneumatickým principem vyhazování nepotřebuje prostor pro zdvih vyhazovačů, tyto formy mají tedy menší délku. [27]

### 3.9 Odvzdušnění dutiny formy

Dutinu před vstříknutím taveniny vyplňuje vzduch o atmosférickém tlaku. Během vstřikování je nutné zajistit, aby byl vzduch odváděn ze všech koutů dutiny. Vzduch ve většině případů uniká skrze hlavní a vedlejší dělicí roviny nebo vůlí kolem vyhazovačů. V místech kde se předpokládá hromadění vzduchu, který nemá možnost utéct kolem konstrukčních prvků, se umísťují odvzdušňovací kanálky. Kanálky musí být umístěny tak, aby účinně odváděly vzduch, ale zároveň nedošlo k jejich zatečení taveninou. Rozměry odvzdušňovacích kanálků se zpravidla pohybují v rozmezí 0,05 až 0,2 mm. [3], [16]

Špatně odvzdušněné místo může způsobovat řadu defektů na výrobku, jako např.:

- Dieselův efekt – spálené místo,
- bubliny ve stěnách,
- studené spoje,
- nedostříknutí výrobku – zamrznutí čela taveniny.



## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Hlavní cíle diplomové práce byly:

- vypracovat literární studii na dané téma,
- provést konstrukci 3D modelu vstřikovaného dílu,
- navrhnout vstřikovací formu pro zadaný díl,
- nakreslit 2D řez vstřikovací formou včetně příslušných pohledů a kusovníku,
- provést analýzu procesu vstřikování v programu Moldflow.

Teoretická část neboli literární studie popisuje problematiku technologie vstřikování. Tato část dále popisuje zásady jak pro konstrukci vstřikovací formy tak samotného vstřikovaného dílu.

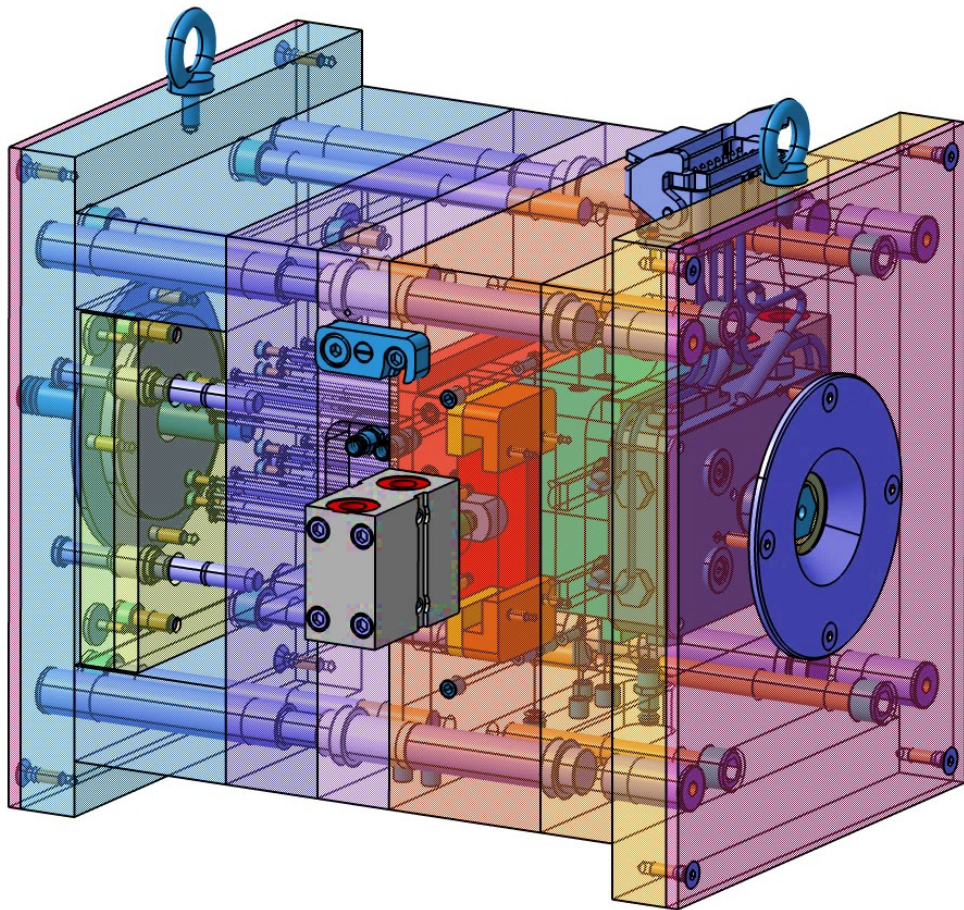
V praktické části bylo úkolem návrh a konstrukce vstřikovací formy pro konkrétní plastový díl. Při modelování 3D modelu plastového dílu se vychází z již vyrobeného dílu. Pro 3D konstrukci a vytvoření výkresové dokumentace byl použit software Catia V5R19. Část normalizovaných prvků byla použita z katalogů firem HASCO a MEUSBURGER. Závěr praktické části obsahuje výsledky vhodně navržené vstřikovací analýzy pomocí softwaru Autodesk Moldflow Synergy 2016 (Dále jen Moldflow)

## 5 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Při návrhu formy bylo snahou dosáhnout co nejjednoduššího konstrukční řešení. Pro snížení výrobní ceny formy bylo použito maximální množství normalizovaných dílů s nabídek firem Hasco a Meusburger. Tyto normálie byly vkládány pomocí digitálních katalogů. Samotná konstrukce formy byla provedena v programu Catia V5R19, kde byly využívány moduly Mold Tooling Design, Assembly Design, Part Design a také Shape Design.

Forma se skládá ze tří hlavních částí: pravá strana, levá strana a vyhazovací systém.

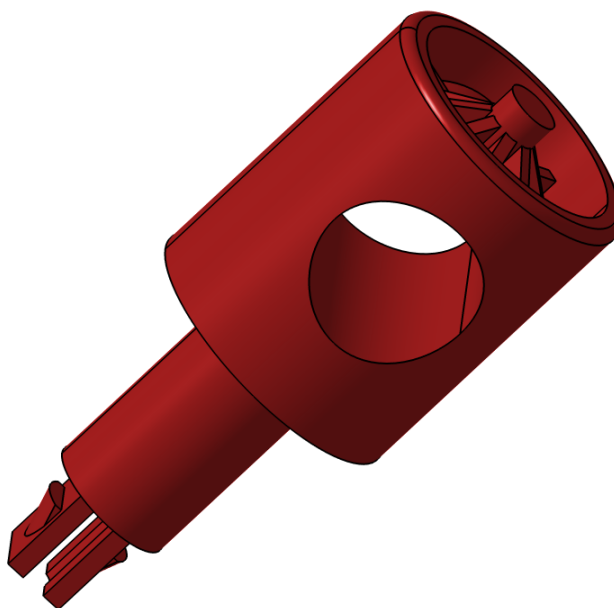
Hlavní rozměry formy jsou: 246 x 296 x 336 mm.



Obr. 30 Pohled na vstřikovací formu

## 5.1 Vstříkovaný výrobek

Vstříkovaným výrobkem je součást uzavírací mechanismu ventilu. Díl má z geometrického hlediska válcovitý charakter s největším průměrem 26 mm a maximální délkou 61,5 mm. Jedná se tedy o relativně malou a jednoduchou součást, díky čemuž byla následně přizpůsobena násobnost formy. Při konstrukci formy bylo nutné zohlednit vhodné odformování průchozí díry a zobáčků výrobku. 3D model výrobku byl vytvořen v programu Catia.



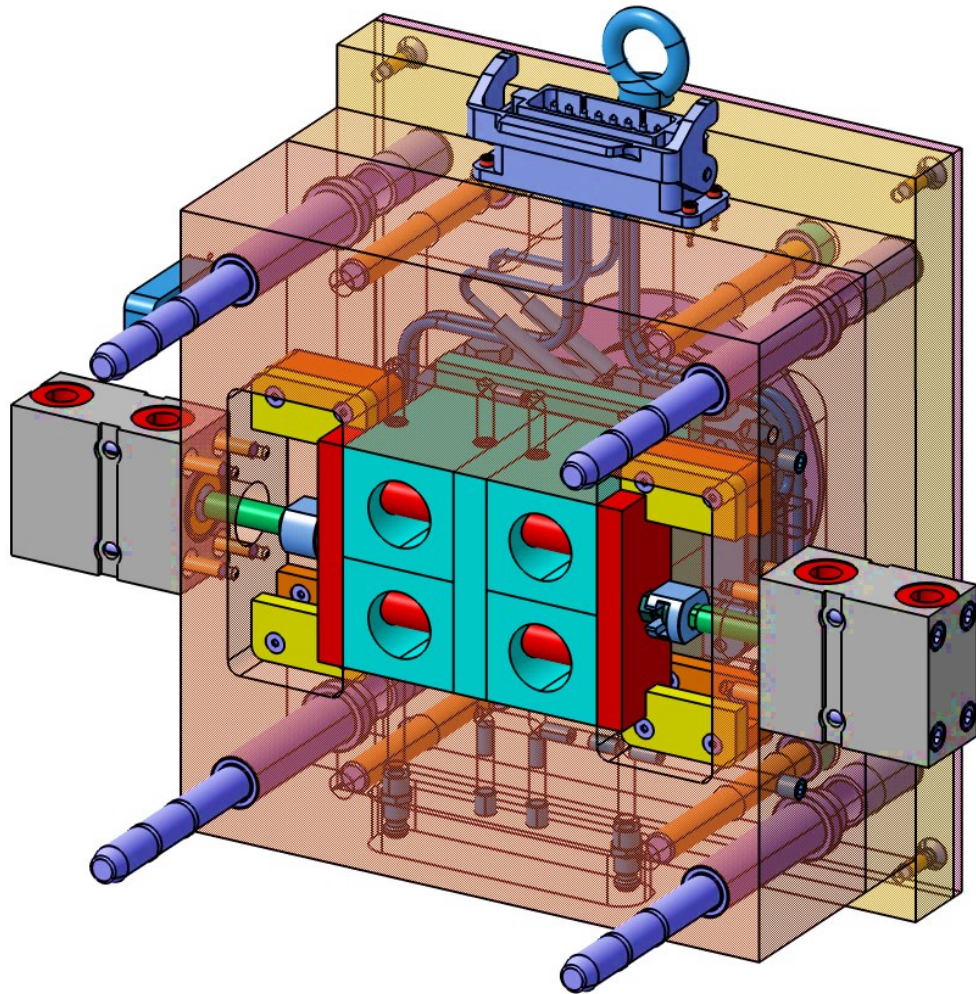
*Obr. 31 3D model výrobku*

## 5.2 Materiál výrobku

Vstříkovaným materiálem je PA6 s 25% skelných vláken. PA6 je jeden z nejčastěji používaných konstrukčních krystalických termoplastů. Jde o pevný, tuhý a pružný polymer odolný i za vysokých teplot. Má dobrou chemickou odolnost vůči slabým kyselinám, olejům, alkoholům a horké vodě, ale naopak špatnou odolnost proti silným kyselinám a oxidačním činidlům.

### 5.3 Rám formy

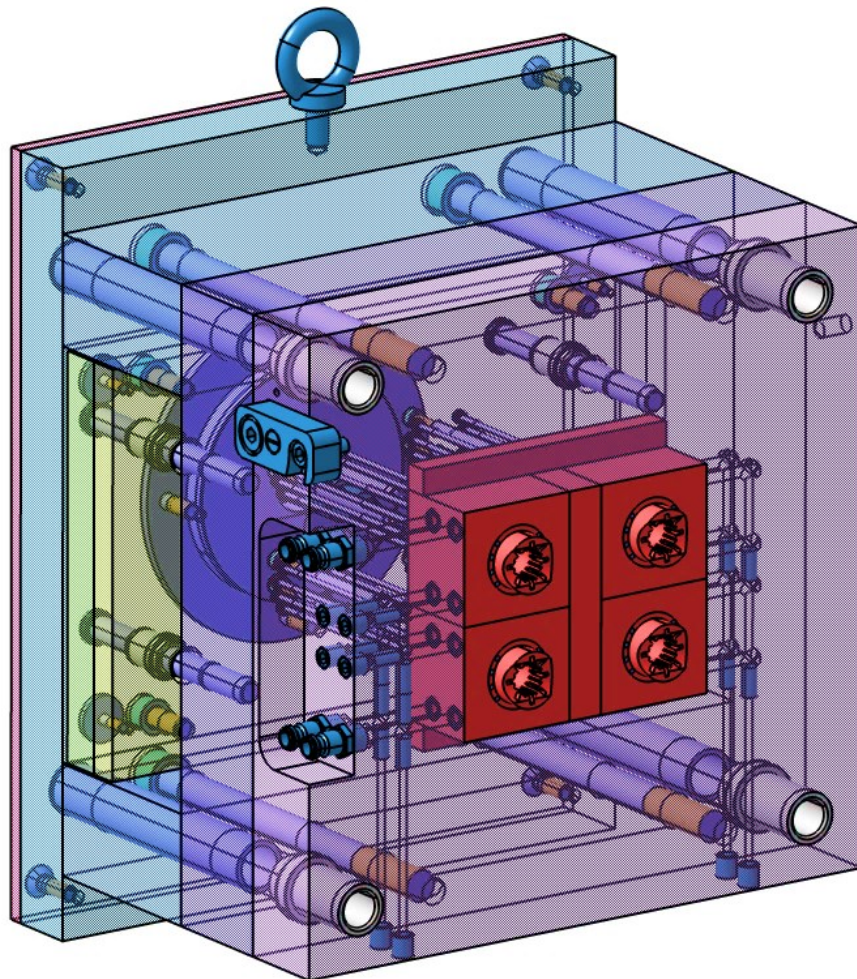
Pravá (vstřikovací) strana formy se skládá ze tří základních desek: kotevní, opěrná a upínací. Čtvrtá deska – izolační, je vyrobena z polyamidu a svou nízkou tepelnou vodivostí odděluje formu od rozehráté vstřikovací jednotky. Kotevní deska nese čtyřnásobnou tvárnici. Dále je osazena dvěma jádry a příslušenstvím, které zajišťuje jejich chod při odformování. Kotevní deska také nese rychlospojky, ucpávky a další komponenty, které jsou součástí vrtaného temperačního okruhu. Vyhřívaný rozvodný blok umístěný v opěrné desce dále navazuje na středící kroužek. Kabeláž rozvodného bloku a horkých trysek je navedena do elektrické zásuvky v horní straně formy, vedle níž je také umístěno oko usnadňující transport formy. Součástí pravé strany jsou také vodící čepy a středící trubky. Desky jsou sešroubovány šrouby s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem.



Obr. 32 Pravá strana formy

Levá strana je jako ve většině případů složena z kotevní, opěrné, upínací a dvou rozpěrných desek. Celá soustava zároveň nese vyhazovací systém, tvořený párem vyhazovacích desek, válcových a pružných vyhazovačů a také táhlem pro ovládání vyhazovacího systému.

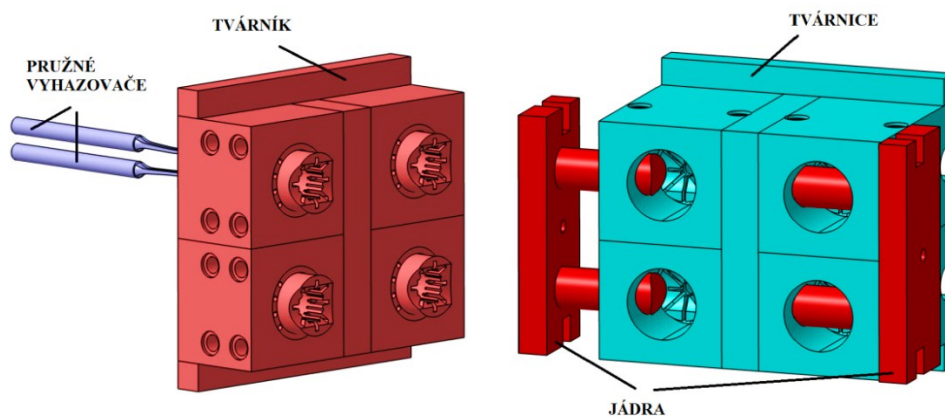
Levá strana formy je konstrukčně jednodušší oproti pravé straně. V kotevní desce je umístěn tvárník a soustava dvou vrtaných temperačních okruhů s příslušenstvím tak jako v levé části. Upínací deska nese menší vodící čepy, které zajišťují přesný chod vyhazovacího systému, středící kroužek, druhé transportní oko a izolační desku. Desky jsou vůči sobě opět vystředěny pomocí středících trubek a vodících pouzder a sešroubovány pomocí šroubů.



*Obr. 33 Levá strana formy*

## 5.4 Tvarové části a násobnost formy

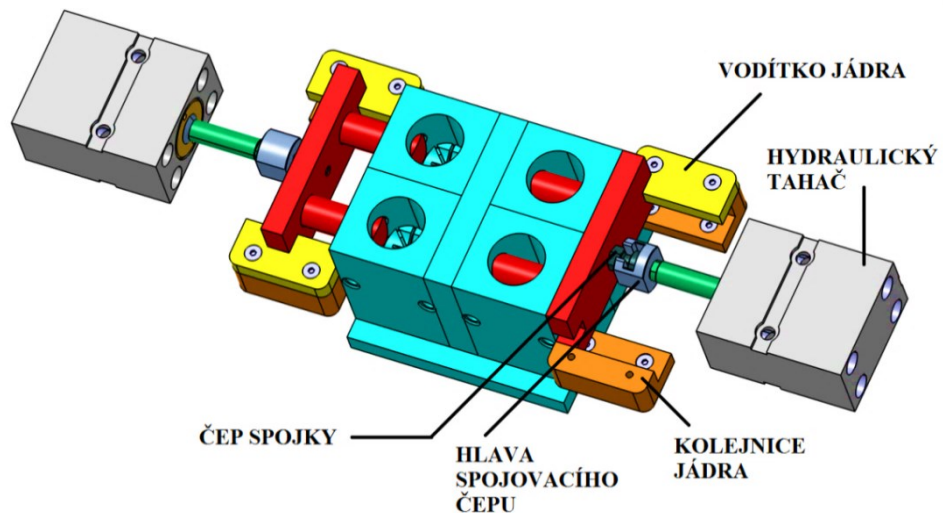
Rozměry dutin formy tvořené tvárnici a tvárníkem jsou zvětšeny o hodnotu smrštění vstřikovaného polymeru a to konkrétně o 1,2%. Jejich materiálem je nástrojová ocel 1.2343 a jsou tepelně upravené cementováním a kalením. Forma byla navržena jako čtyřnásobná. Dutiny jsou vzájemně umístěny do tvaru obdélníku a jejich vzdálenosti určují rozteče trysek normalizovaného vyhřívaného bloku. O odformování již zmíněné průchozí díry na budoucím výrobku se starají dva páry válcových jader. Jejich chod zajišťují pneumatické tahače. Dalšími tvarovými částmi jsou páry pružných vyhazovačů na každou dutinu. Pružné vyhazovače tvarují drobné háčky výrobku.



Obr. 34 Tvarové části formy

### 5.4.1 Pohyb jader

Jak již bylo řečeno, součástí tvarových částí jsou také válcová jádra. Dvě jádra na každé straně jsou vždy spojena a tvoří jeden element (viz. Obr. 34). Vzhledem ke zvolenému způsobu zaformování výrobku se nachází jeho průchozí díry a díky tomu i posuvná jádra v pravé (vstřikovací) části formy. K odformování těchto jader během vstřikovacího cyklu tedy musí dojít před otevíráním formy v dělicí rovině. Pro přesné načasování pohybu těchto jader byly zvoleny hydraulické tahače a potřebné příslušenství od firmy Meusburger. Píst hydraulického tahače přenáší svůj přímočarý pohyb přes potřebné spojovací prvky na jádra (viz Obr. 35). Pro přesný a přímočarý pohyb jsou jádra osazena ve vodících elementech.

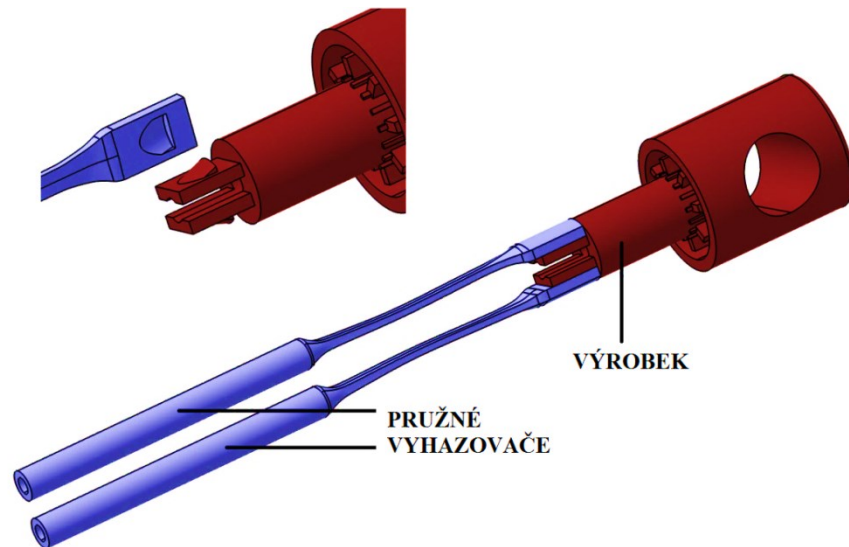


Obr. 35 Systém posuvných jader

#### 5.4.2 Pružné vyhazovače

Pružné vyhazovače jsou součástí vyhazovacího systému a vykonávají během vstřikovacího cyklu dvě funkce. K vyhazovacím deskám jsou upevněny šrouby s válcovou zapuštěnou hlavou. První funkcí je funkce tvarová jelikož při uzavřené poloze formy tvoří součást dutiny. Konkrétně jde o zaformování dvou háčků ve spodní zúžené části výrobku. Při otevírání formy zároveň přidržují výrobek na levé straně formy (v tvárníku). Poté nastává jejich druhá funkce, kdy společně s ostatními vyhazovacími kolíky odformují (vyhodí) výrobek z dutiny tvárníku. Během vyhazování jedou pružné vyhazovače dutinou tvárníku a tlačí před sebou hotový výrobek. Při opuštění této dutiny se vlivem napruženého stavu (který zaujímají při uzavřené poloze formy) rozevřou a tím odformují zmíněné háčky. Na obrázku 36 je znázornění pružných vyhazovačů vůči výrobku v takové poloze, jakou zaujímají vůči sobě v dutině formy.

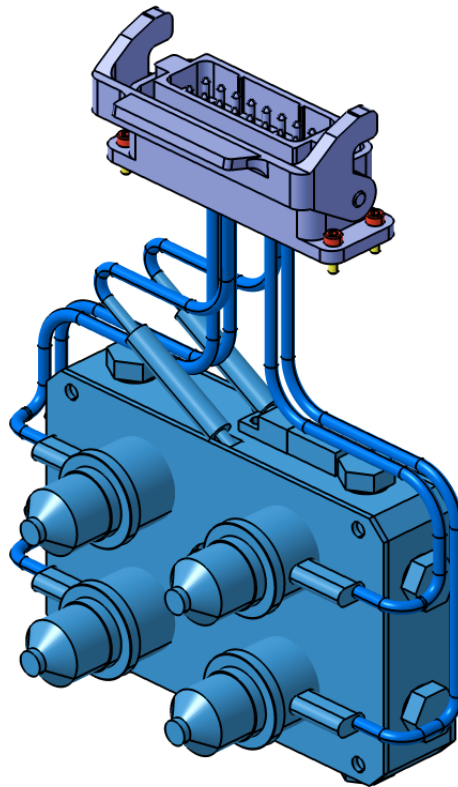




Obr. 36 Poloha pružných vyhazovačů

## 5.5 Vtokový systém

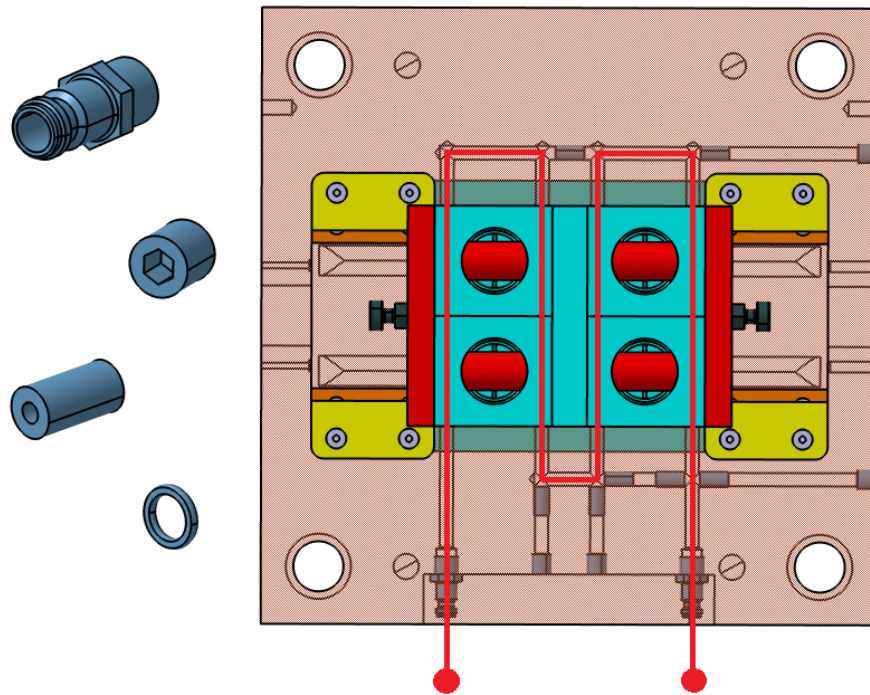
Vtokový systém tvoří vyhřívaný rozvodný blok, centrální vložka a vyhřívané trysky. Zmíněné komponenty jsou převzaty oz katalogu firmy Hasco. Při vstřikování je centrální vtoková vložka v přímém kontaktu se vstřikovací jednotkou. Ústí horkých trysek přímo navazují do jednotlivých dutin. Kabley pro dodávání elektrické energie jsou vedeny dutinou v opěrné desce až do zásuvky, orientované z horní strany formy. Zásuvka je převzata z katalogu firmy Meusburger.



*Obr. 37 Vtokový systém*

## 5.6 Temperační systém

Temperační systém je tvořen soustavou vrtaných kanálků o průměru 6 mm a ucpávek. Vhodnými polohami vytvoří vnitřní ucpávky celkem 3 jednoduché okruhy. Dva okruhy připadají na levou stranu formy. Kvůli nedostatku místa kolem jader výrobku je v pravé části formy pouze jeden temperační okruh a to v blízkosti vyhřívaných trysek. Vnější ucpávky pak chrání kanálky před usazováním nečistot. K utěsnění okruhu v přechodových oblastech mezi deskou a tvárnici nebo tvárníkem jsou umístěny gumové O-kroužky. Kapalina je pak do okruhů přiváděna pomocí rychlospojek, které umožňují rychle a snadné připojení hadic. Veškeré příslušenství temperačního okruhu zahrnují normálně z katalogu firmy Hasco. Na obrázku 38 je vyznačena dráha pravého temperačního okruhu a přehled použitých normalizovaných dílů.

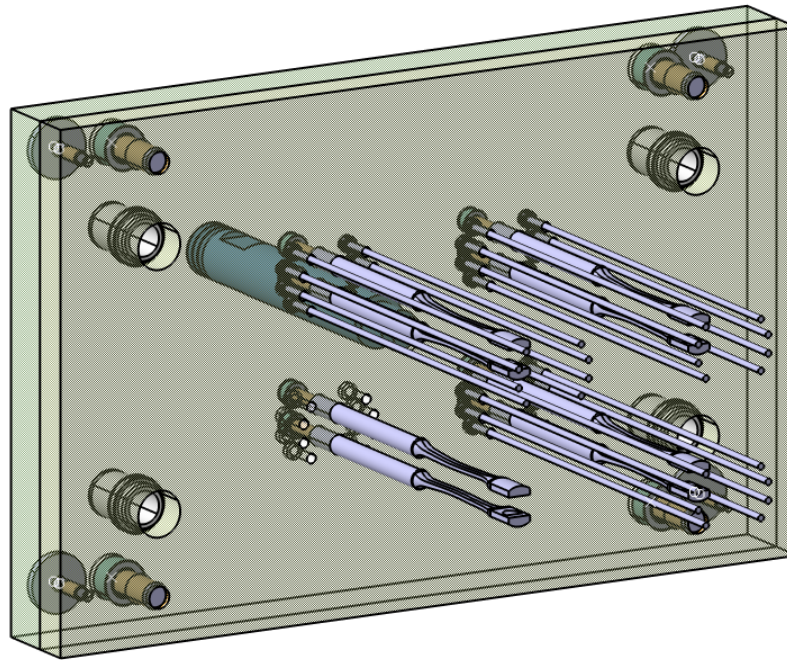


Obr. 38 Normálie Hasco; pravý temperační okruh

## 5.7 Vyhazovací systém

Při otevření formy zůstane výrobek v levé části, čemuž z velké části pomáhá tvar pružných vyhazovačů. Jejich princip je již popsán v kapitole 5.3.2 *Pružné vyhazovače*. K odformování výrobku z tvárníku dojde pomocí soustavy vyhazovacích desek a vyhazovacích kolíků. Při odformování působí na každý výrobek dva pružné vyhazovače a osm normalizovaných vyhazovačů o průměru 2 mm a původní délce 160 mm. Tyto vyhazovače jsou opět použity z katalogu společnosti Hasco, ale musí být upraveny na požadovanou délku.

Vyhazovače jsou ukotveny ve vyhazovacích deskách. Desky jsou pak ovládány pomocí táhla přes hydraulický systém stroje. Správné vedení vyhazovacích desek zajišťuje soustava vodících čepů a pouzder.



Obr. 39 Vyhazovací systém

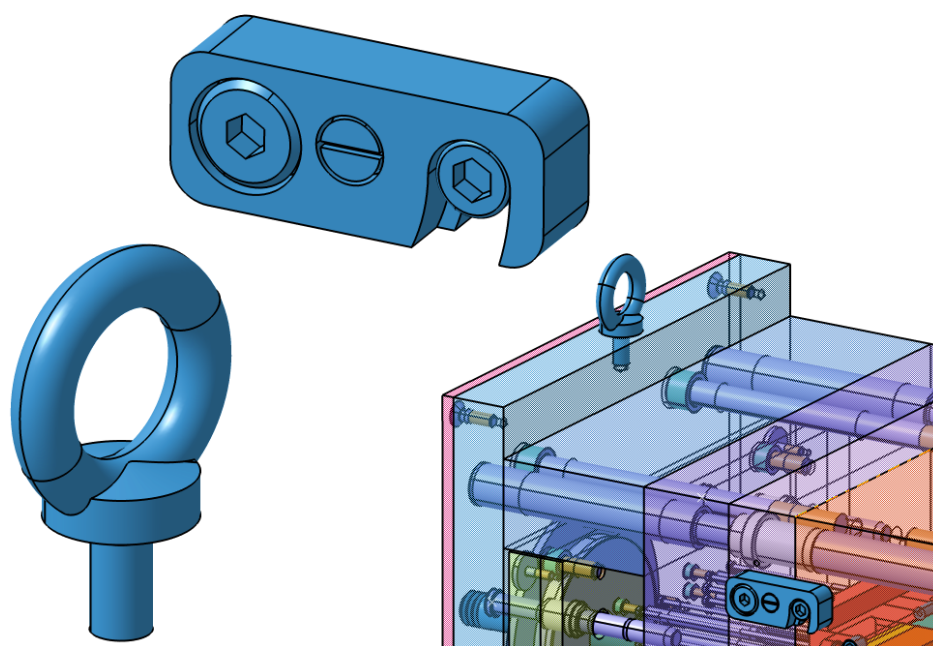
## 5.8 Odvzdušnění formy

Dutina formy je před vstřikováním vyplněna vzduchem, který se při vstřikování taveniny stlačuje. Odvzdušnění dutiny má zajistit bezproblémový odvod vzduchu, aby nedošlo k poškození výrobku.

V tomto případě je vzduch z dutiny odváděn vůlí mezi vyhazovači a tvárníkem, a také vůlí v oblasti jader. V případě nedostatečného odvzdušnění a poškození výstřiků by bylo nutné vyrobit odvzdušňovací systém.

## 5.9 Manipulace s formou

Pro jednodušší manipulaci s formou a taky pro usnadnění upínání na vstřikovací stroj je forma opatřena dvěma závěsnými oky s normovaným označením Z710. Tyto oka jsou zašroubované na horních stranách upínacích desek. Dále je vstřikovací forma vybavena dvěma zámkami Z73, které zabraňují rozevření pravé a levé strany vstřikovací formy během transportu. Zámky se využívají pouze při manipulaci s formou mimo vstřikovací stroj. Transportní oka i zámky jsou převzaty z katalogu firmy Hasco.



*Obr. 40 Transportní prvky*

## 6 NASTAVENÍ SIMULAČNÍ ANALÝZY

### 6.1 Vstřikovaný materiál

Vstřikovaným materiálem je PA6 s 25% skelných vláken. Do analýzy byl zvolen materiál od společnosti SABIC Innovative Plastic pod obchodním názvem Starflam PA6 25GF U9 Z22. PA6 je jeden z nejčastěji používaných konstrukčních krystalických termoplastů. Jde o pevný, tuhý a pružný polymer odolný i za vysokých teplot. Má dobrou chemickou odolnost vůči slabým kyselinám, olejům, alkoholům a horké vodě, ale naopak špatnou odolnost proti silným kyselinám a oxidačním činidlům. V tabulce 2 jsou uvedeny základní parametry zvoleného materiálu, uvedené v databázi softwaru Moldflow.

Tab. 2 Materiálové parametry z databáze Moldflow – Starflam PA6 25GF U9 Z22

Materiálový parametr	Hodnota
Teplota povrchu formy	65,5 °C
Teplota taveniny	255 °C
Doporučený rozsah teploty formy	38 – 93 °C
Doporučený rozsah teploty taveniny	238 – 266 °C
Nejvyšší možná teplota taveniny	276 °C
Doporučená teplota při vyhazování	171 °C
Maximální smykové napětí	0,5 MPa
Maximální rychlost smykové deformace	60000 s <sup>-1</sup>
Modul pružnosti v tahu	6694 MPa
Modul pružnosti ve smyku	2022 MPa
Poissonovo číslo	0.0395

### 6.2 Sít' výrobku

Model výrobku vytvořený pomocí programu Catia byl ve formátu \*.stl importován do programu Moldflow. Následně probíhalo vhodné nastavení sítě, která je nutná pro vykreslení výsledků analýzy. Moldflow nabízí více typů sítí. Byla zvolena síť 2,5 D Dual-Domain, která je v našem případě dostačující. Velikost stran trojúhelníkových elementů byla zvolena 1,4 mm. S těmito parametry bylo spuštěno vysítování modelu. Výsledky sítě odpovídaly kritériím, které je nutné dodržet pro bezproblémovou analýzu vstřikování. Tyto výsledky lze pozorovat na obrázku 41.

```

Triangles
-----
Entity counts:
  Triangles          51550
  Connected nodes   25777
  Connectivity regions 5

  Invisible triangles          438

Area:
(Mold blocks and cooling channels are not
included)
  Surface Area:          301.692 cm^2

Volume by element types:
  Triangle:          42.3595 cm^3

Aspect Ratio:
  Maximum   Average   Minimum
    7.11     1.80     1.16

Edge details:
  Free edges          0
  Manifold edges     77325
  Non-manifold edges 0

Orientation details:
  Elements not oriented 0

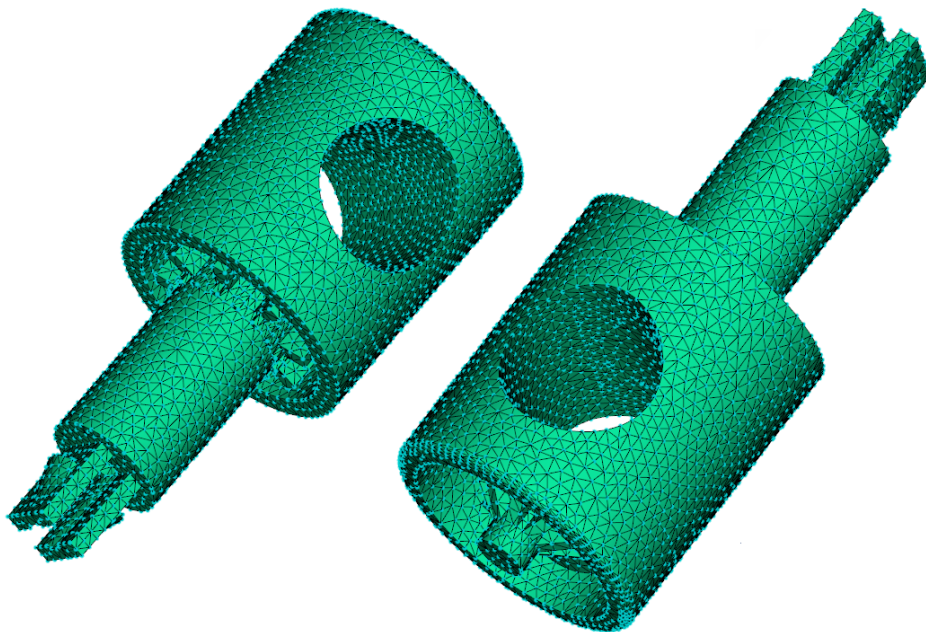
Intersection details:
  Element intersections 0
  Fully overlapping elements 0

Match percentage:
  Match percentage     82.24
  Reciprocal percentage 82.54

```

Obr. 41 Výsledky sítě výrobku

- poměr stran trojúhelníku (Maximum aspect ratio),
- volné hrany (Free edges),
- duplicitní hrany (Non-manifold edges),
- špatně orientované elementy (Elements not oriented),
- protínající se elementy (Element intersections),
- překrývající se elementy (Fully overlapping elements),
- a „vystihnutí modelu“ (Match percentage).



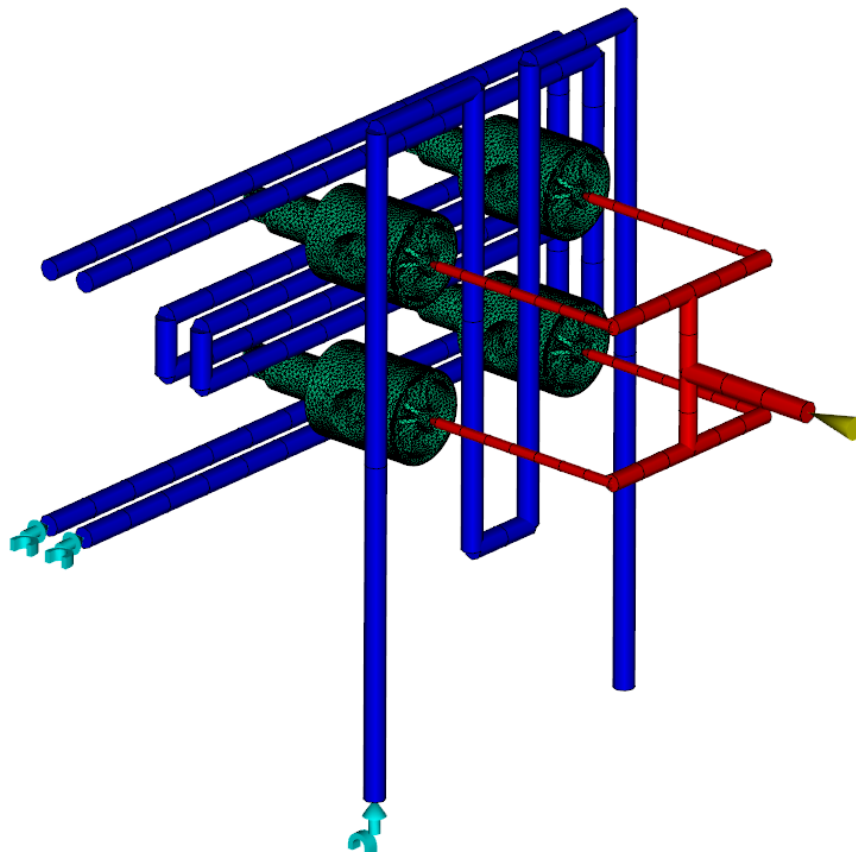
Obr. 42 Síť výrobku

### 6.3 Trajektorie vtokového systému a temperace

Trajektorie vtokového i temperačního systému byla připravena v programu Catia. Tyto trajektorie byly ve formátu \*.igs přidány do Moldflow k již vysít'ovaným výrobkům. Tvorba sítě probíhala zvlášť jak pro vtokový systém, tak pro temperační systém. Jednotlivé části trajektorie byly vhodně nadefinované a byly jim přiřazeny odpovídající průměry. Pro vtokový systém byly kanály nadefinovány následně:

- Centrální horká vtoková vložka (Hot sprue):  $D = 6$  mm.
- Rozvodné kanály (Hot runner):  $D = 5$  mm.
- Tělo trysky (Hot runner):  $D = 3$  mm..
- Ústí vtoku trysky (Hot gate):  $D_{\text{start}} = 3$  mm,  $D_{\text{finish}} = 1,5$  mm

Trajektorie temperace byla nadefinována jako „Channel“ s průměrem  $D = 6$  mm. Poté následovalo vysít'ování trajektorií.

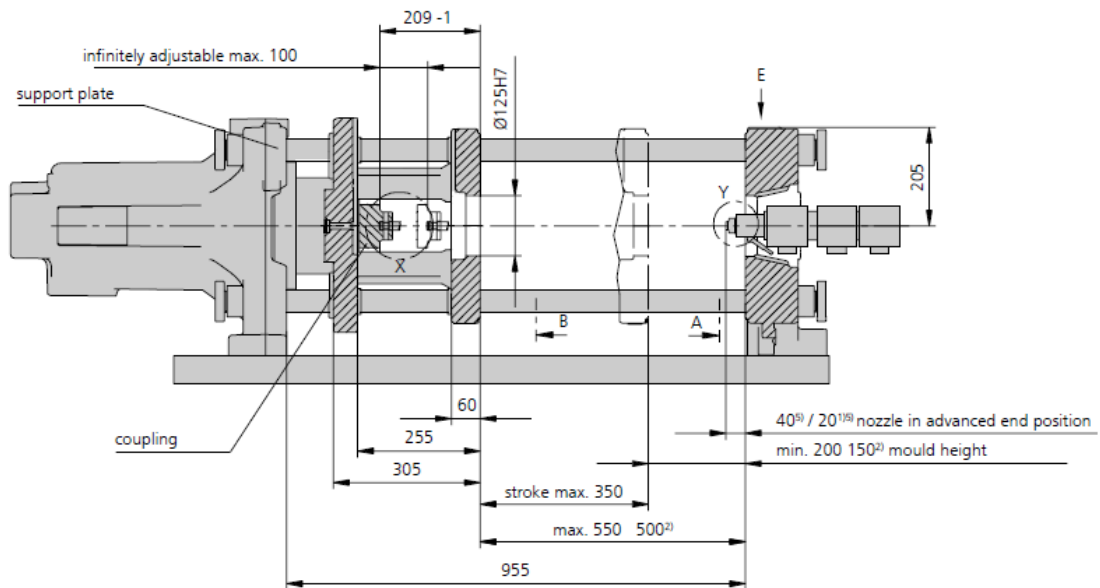


Obr. 43 Síť trajektorie pro vtokový a temperační systém (poloha vůči výrobkům ve formě)



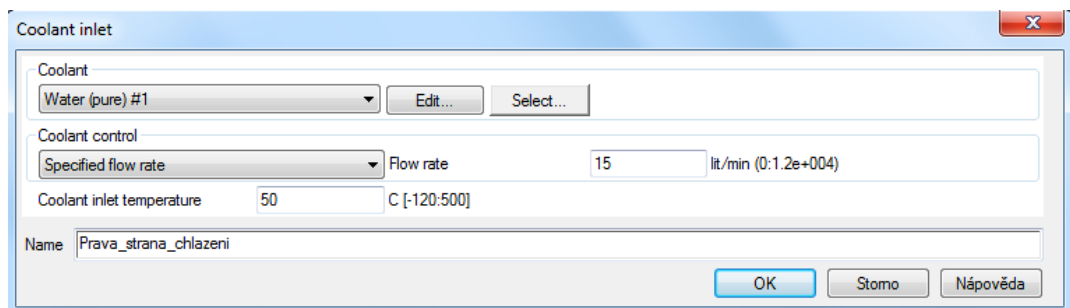
## 6.4 Procesní podmínky

Dle parametrů formy a kapacitních požadavků byl pro vstřikovací proces zvolen hydraulický stroj od firmy Arburg ALLROUNDER 270 S. Ze schématu stroje je patrné, že jeho rozměry jsou dostačující pro chod navržené formy. Celkový souhrn parametrů stroje je uveden v příloze.



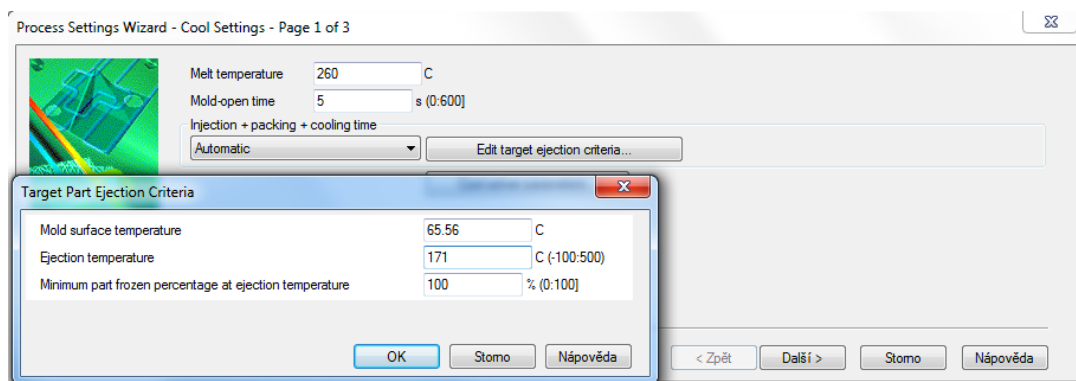
Obr. 44 Schéma stroje Arburg ALLROUNDER 270 S

Temperačním médiem je voda, jejíž průtok je 15 l/min pro každý okruh. Teplota tohoto média bude 50 °C , což je o 15 °C nižší hodnota než doporučená teplota formy pro zvolený materiál.



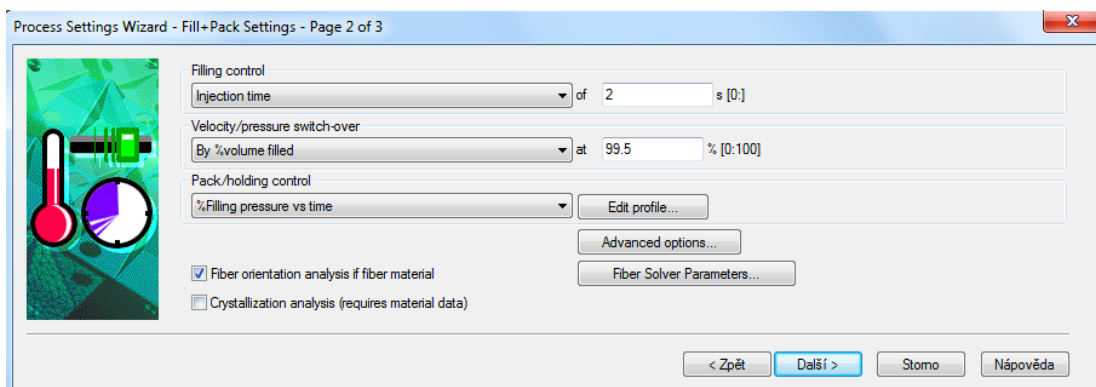
Obr. 45 Nastavení temperačního média

Procesní parametry byly nastaveny pomocí okna „Process settings wizard“. Nastavené hodnoty lze pozorovat na následujících obrázcích.



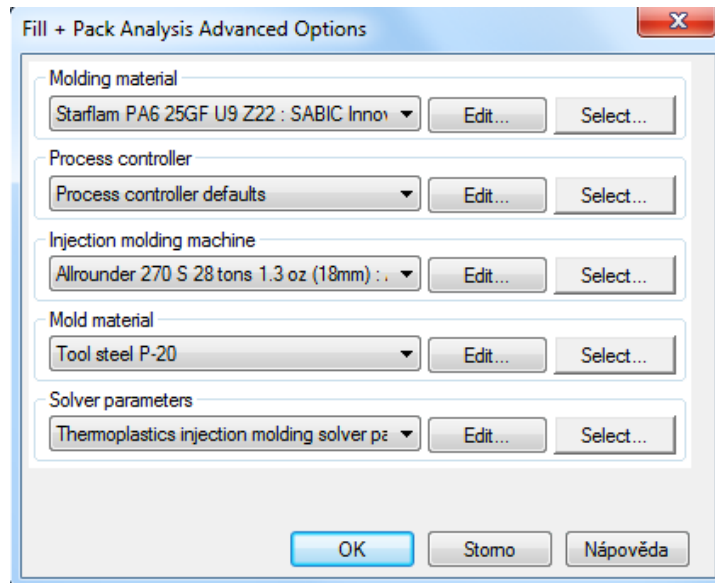
Obr. 46 Nastavení teplot

- Teplota taveniny: 260 °C.
- Doba otevření vstřikovací formy: 5 s.
- Teplota povrchu formy: 65,56 °C.
- Vstřík + dotlak + čas chlazení: Automatic.



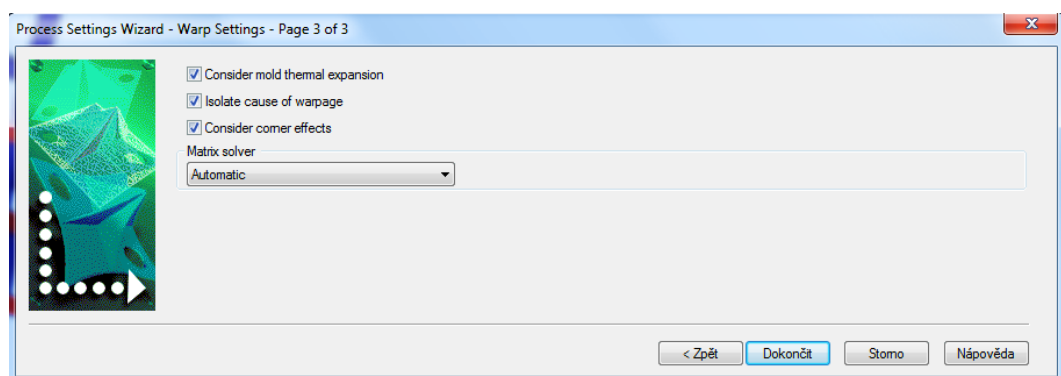
Obr. 47 Nastavení plnění, dotlak

- Čas plnění: 2 s.
- Fáze dotlaku: kontrolována podle zaplnění 99,5%.



Obr. 48 Pokročilé nastavení (Advanced options)

V záložce pokročilého nastavení (advanced options) byl vybrán příslušný vstřikovací stroj a také zvoleno kritérium, že nesmí být překročena maximální uzavírací síla stroje. Materiál formy byl ponechán defaultní Tool Steel P-20.

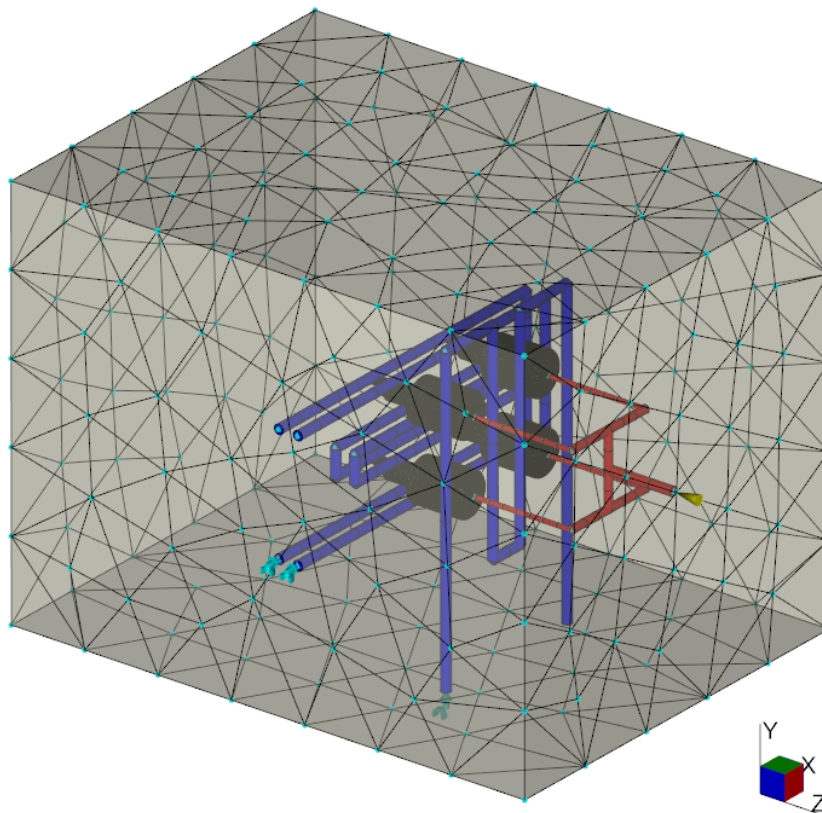


Obr. 49 Nastavení smrštění

- Sledování teplotní roztažnosti vstřikovací formy.
- Izolovat příčiny deformace.
- Zvážit rohový efekty.
- Výpočtová matice pro nastavení výpočtů - Automatic.

Pro přesné výsledky analýzy je nutné určit rozměry bloku formy a všechny analyzované objekty (výrobky, vtokový systém, temperační systém) vhodně umístit do myšleného bloku. Myšlený blok má reálné rozměry navrhnuté vstřikovací formy. Analyzované objekty musí být uvnitř bloku. Mimo blok se nachází pouze žlutý kužel, znázorňující místo

vtoku polymeru do formy, a také modré šípky určující vstup temperačního média. Blok formy vygenerovaný pomocí programu Moldflow je zobrazen na obrázku 50.



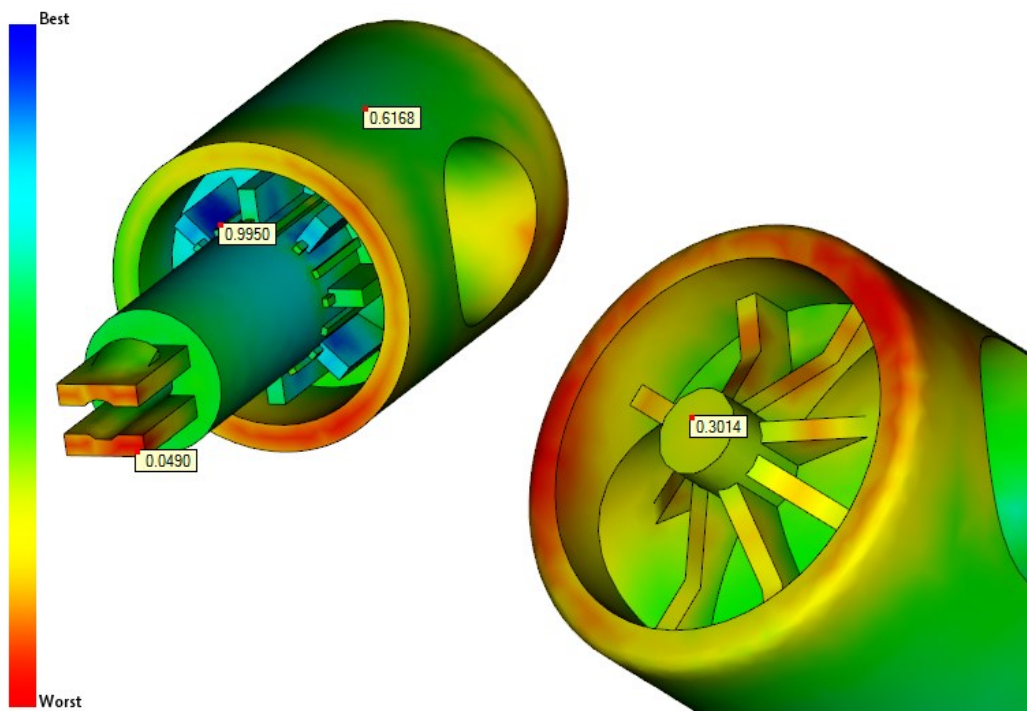
*Obr. 50 Blok formy (Moldflow)*

## 7 VÝSLEDKY SIMULAČNÍCH ANALÝZ

### 7.1 Umístění vtoku (Gate location)

Výsledek analýzy Gate location vykreslí pomocí barevné škály neoptimálnější místo pro umístění vtoku vůči dutině formy. Tato analýza byla provedena před samotným návrhem a konstrukcí formy. Modrá barva vykresluje oblast pro nejvhodnější umístění vtoku, naopak červená barva značí místa s nejméně vhodnou polohou vtoku.

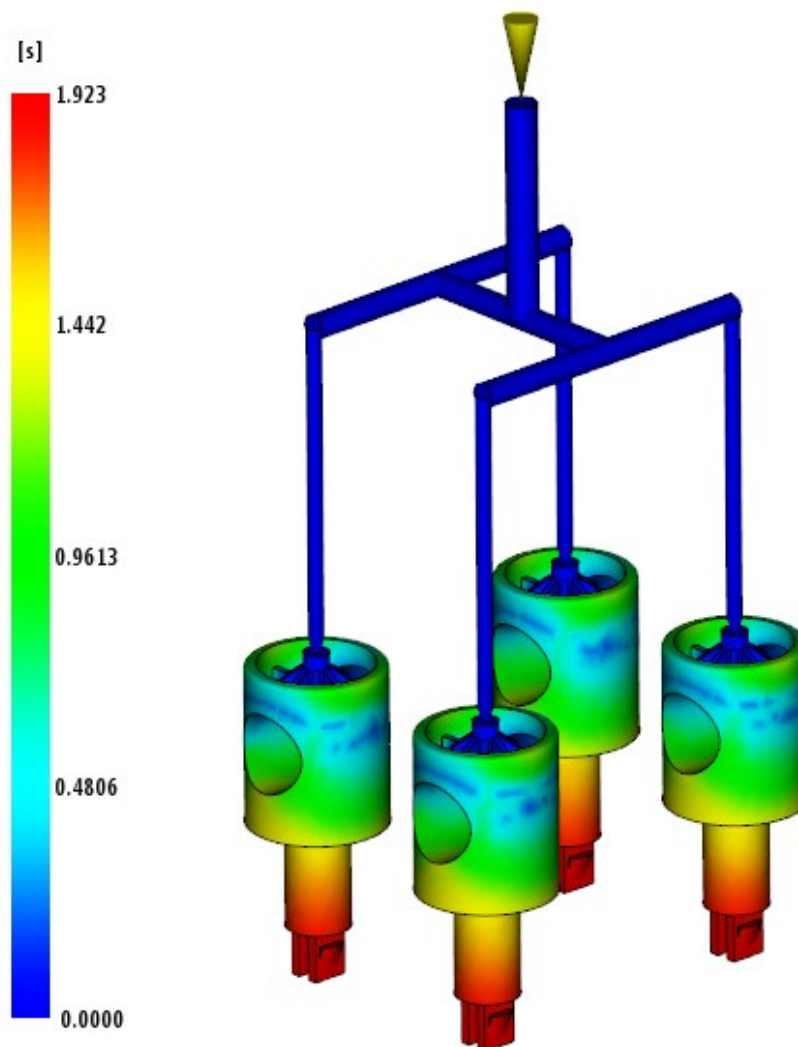
Umístění vtoku do oblasti, kterou program Moldflow vyhodnotil jako nejideálnější by bylo velmi složité (Obr. 51). S ohledem na polohu zaformování výrobku do formy, směřuje vtok do místa, s procentuální vhodností cca 30%. I přes malé procento vhodnosti zaformování se dutina vyplnila v celém svém objemu a na celou simulaci nemělo umístění vtoku výrazný vliv.



Obr. 51 Umístění vtoku (Gate location)

## 7.2 Čas plnění (Fill time)

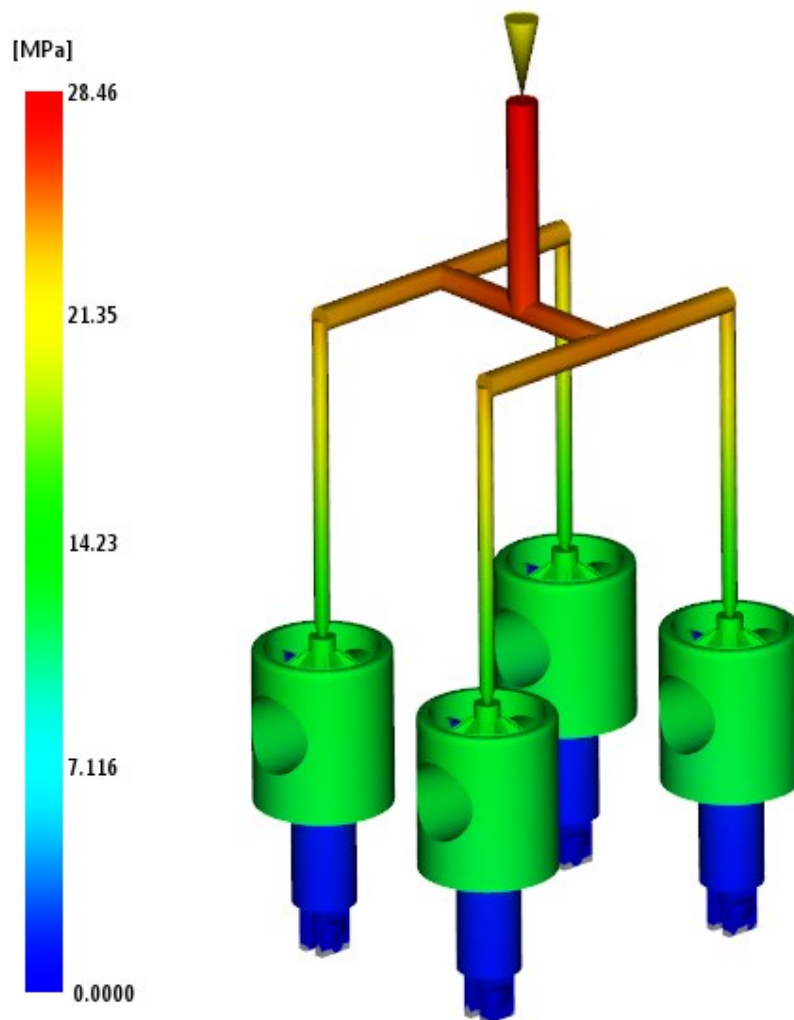
Výsledek analýzy plnění udává čas, ve kterém vstříkovaný materiál zaplní místo v dutině formy. Čas potřebný k vyplnění celé dutiny formy je 1,923 s. K přehlednému znázornění nám slouží barevná stupnice. Modré místo na výrobku znamená, že tohoto místa dosáhne tavenina po vstřiku nejdříve. Díky barevné stupnici lze také pozorovat, že se všechny čtyři dutiny plní rovnoměrně, což je podmínkou optimálního vstřikovacího procesu.



Obr. 52 Čas plnění (Fill time)

### 7.3 Tlak v čase přepnutí na dotlak (Pressure at V/P swirchover)

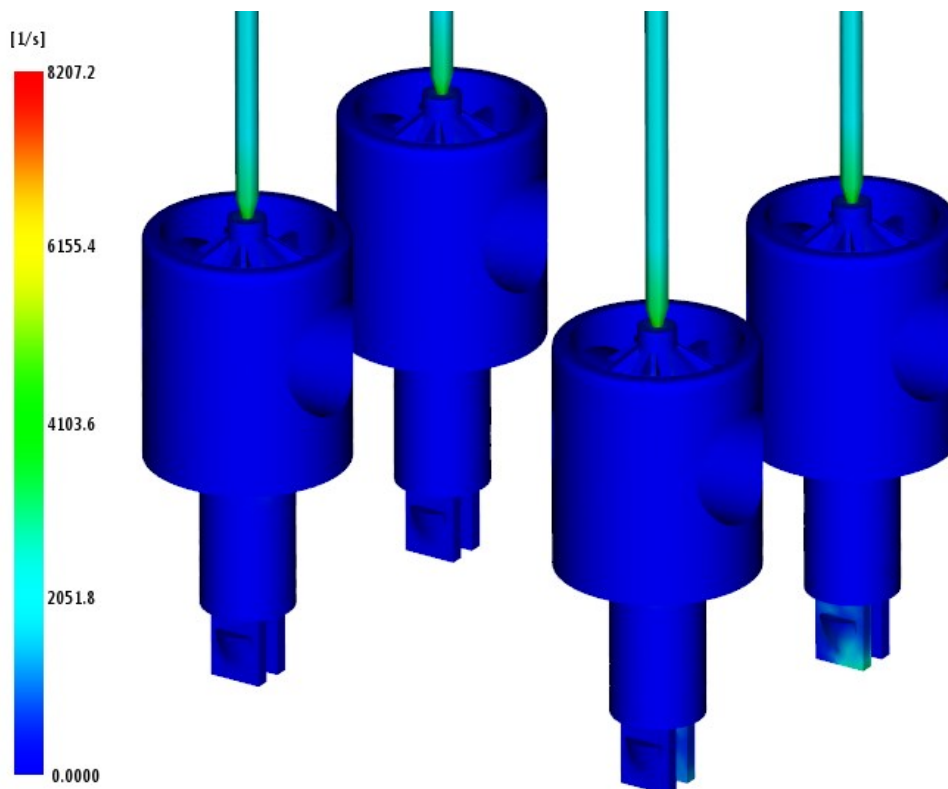
V okamžiku kdy je dutina zaplněna z 99,5% taveninou, dojde k přepnutí na dotlak. Kdyby se tak nestalo, vznikla by tlaková špička, kvůli které by mohl vzniknout přetok. Maximálního tlaku dosahuje tavenina v kanálech rozvodného bloku s hodnotou až 28,5 MPa. V nejbližších místech dutiny od vtokového ústí je tlak nulový. V těchto oblastech lze pozorovat nezaplňená místa, která se zaplní vlivem působení dotlaku.



Obr. 53 Tlak taveniny (Pressure at V/P swirchover).

## 7.4 Rychlost smykové deformace (Shear rate)

Na obrázku lze pozorovat výsledek analýzy rychlosti smykové deformace. Tato veličina dosáhla maximální hodnoty  $8207 \text{ s}^{-1}$ . Pro vstřikovaný materiál je maximální přípustná hodnota stanovena na  $60\,000 \text{ s}^{-1}$ . Rychlost smykové deformace nebude během vstřikování překročena, tudíž nebude docházet k negativním jevům, jakým mohla být například degradace materiálu.



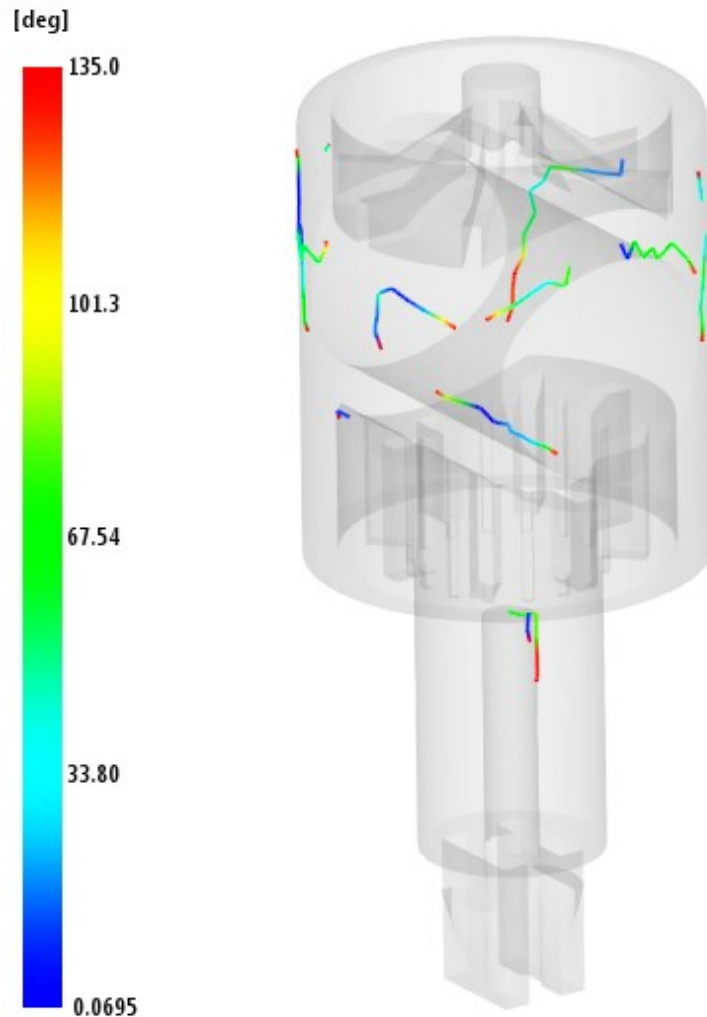
Obr. 54 Rychlost smykové deformace (Shear rate)

## 7.5 Studené spoje (Weld lines)

Výsledek analýzy „weld lines“ neboli studené spoje, nám vykreslí nejpravděpodobnější místa vzniku studených spojů. Tento jev se projevuje spojením dvou chladných proudů taveniny. Vznik takových proudů a jejich následné spojení vzniká nejčastěji při obtékání překážek nebo jader v dutině formy. Teplota taveniny na čele, při spojení těchto proudů, nemá potřebnou teplotu pro kvalitní spojení makromolekulárních řetězců. V těchto místech dojde ke zhoršení mechanických vlastností a můžou vzniknout vizuální defekty. Vznik studených spojů podporují i další faktory, jako nízká teplota formy, nízká teplota materiálu.



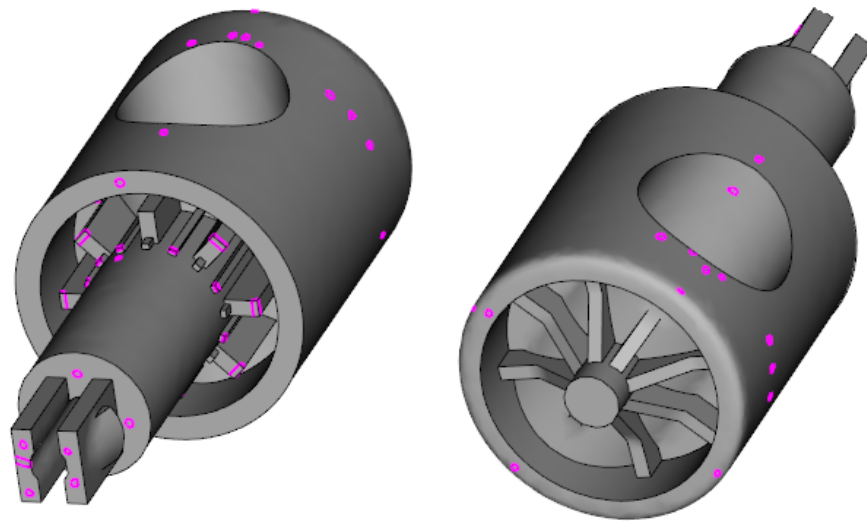
lu, dlouhá dráha toku taveniny, špatné odvzdušnění formy a další. V tomto případě je složité se spojům vyhnout. Možností je co nejvíce eliminovat tento nežádoucí jev.



Obr. 55 Studené spoje (Weld lines)

## 7.6 Vzduchové kapsy (Air traps)

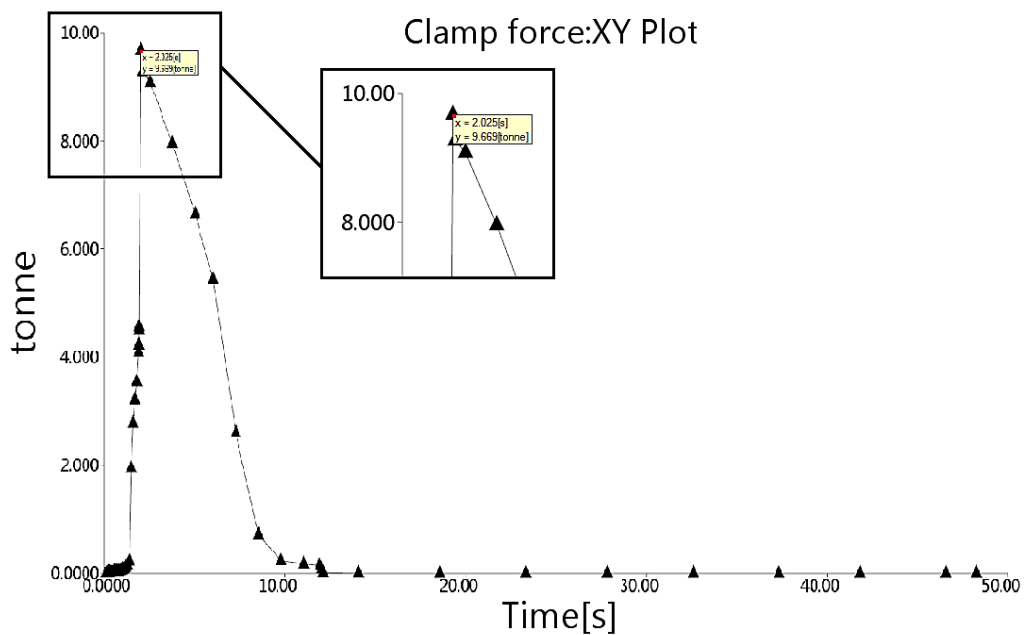
Vzduch, který zabírá objem dutiny je nutné během plnění taveninou řádně odvádět. Výsledek této analýzy nám zobrazí místa, náchylná ke vzniku vzduchových kapes. Tyto kapsy mohou způsobit bubliny, spálená místa nebo propadliny na výrobku. Díky výsledkům této analýzy lze vhodně navrhnout odvzdušňovací systém formy. V tomto konkrétním případě bude vzduch z dutiny odcházet dělicí rovinou, vůlí kolem jader a vyhazovačů.



Obr. 56 Vzduchové kapsy (Air traps)

### 7.7 Uzavírací síla (Clamp force)

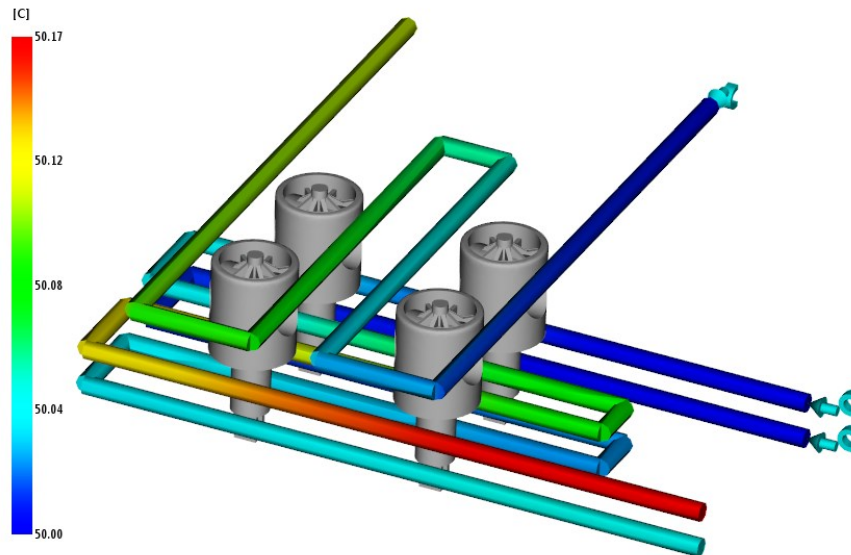
Následující graf zobrazuje velikost uzavírací síly v závislosti na čase vstřikovacího cyklu. Osa X zobrazuje čas v sekundách a osa Y velikost uzavírací síly v tunách. Nejvyšší uzavírací sílu téměř 10 tun (100 kN) je nutné využít při nejvyšším vstřikovacím tlaku před přepnutím na dotlak. Maximální uzavírací síla zvoleného stroje je 250 kN. Velikost zavírací síly během vstřikování by se měla pohybovat v rozmezí 20% - 80% uzavírací síly stroje. Při působení síly 100 kN je tedy využito 40% uzavírací síly stroje.



Obr. 57 Průběh uzavírací síly (Clamp force)

## 7.8 Teplota temperačních okruhů (Circuit coolant temperature)

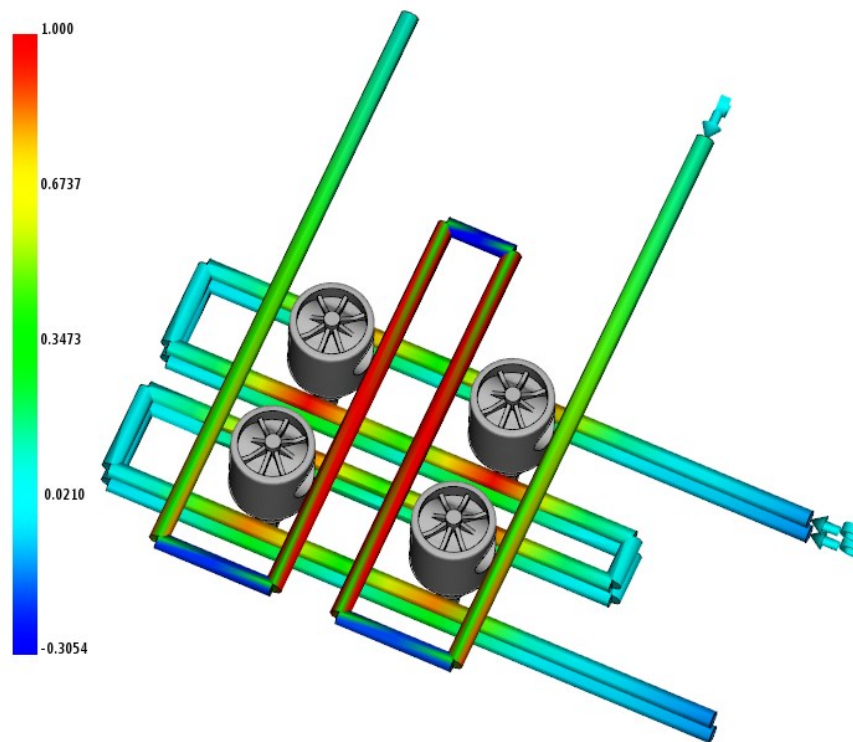
Podle zásad konstrukce forem by teplotní spád temperačního média neměl překročit 5 °C kvůli rovnoměrnému temperačnímu účinku. Podle výsledků (Circuit coolant temperature) lze pozorovat maximální teplotní spád s hodnotou 0,17 °C. Podmínka pro toto kritérium je tedy s velkou rezervou splněna.



Obr. 58 Teplota temperačních okruhů (Circuit coolant temperature)

## 7.9 Účinnost odvodu tepla pomocí temperačního okruhu (Circuit heat removal efficiency)

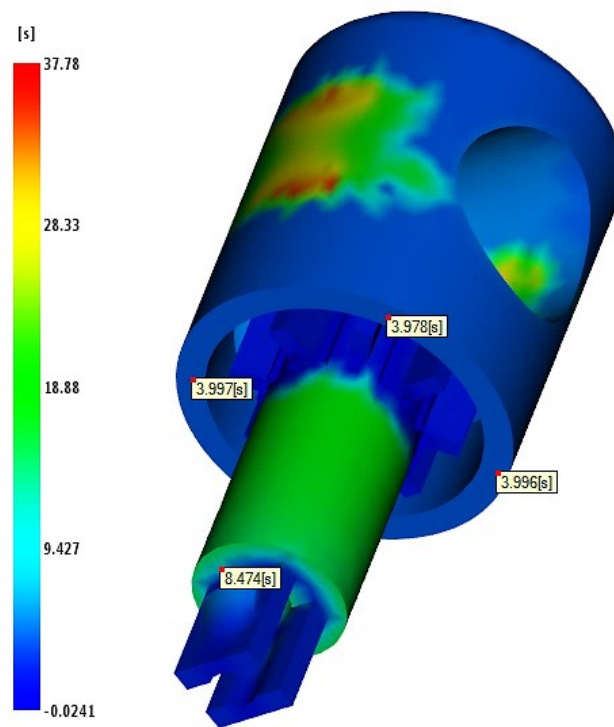
Výsledky této analýzy zobrazují účinnost odvodu tepla pomocí temperačních kanálů. Červená barva s hodnotou 1 vykresluje oblasti s dokonalým odvodem tepla. Naopak modrá barva se zápornými hodnotami značí místa, kde temperační okruh ohřívá formu. Intenzita odvodu tepla je závislá na vzdálenosti temperačních kanálů od stěny dutiny formy. Proto je stupnice odvodu tepla tak různorodá. K nejintenzivnějšímu odvodu tepla dochází v místech, kde prochází kanálky mezi jednotlivými dutinami.



Obr. 59 Účinnost odvodu tepla (Circuit heat removal efficiency)

### 7.10 Čas při dosažení vyhazovací teploty výrobku (Time to reach ejection temperature – part)

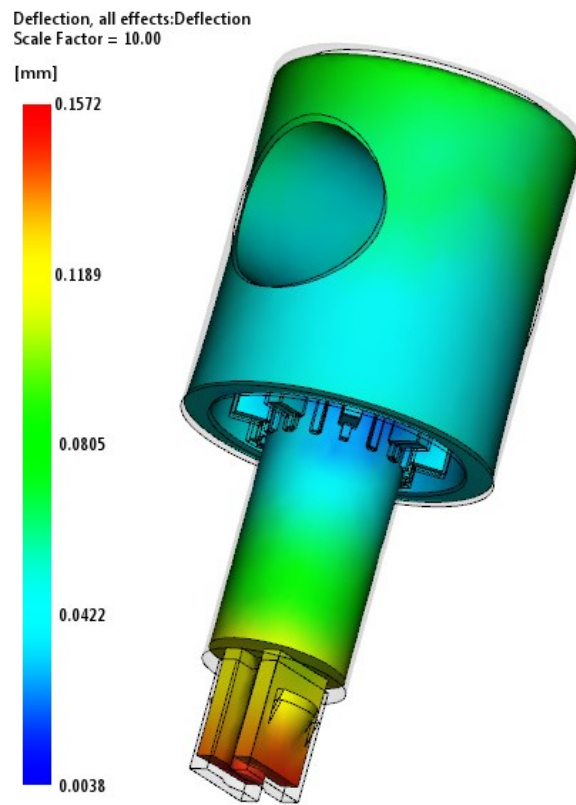
Teplota celého objemu výrobku dosáhne vyhazovací teploty (171 °C) přibližně 38 s po vstříknutí. V místech působení pružných vyhazovačů dosáhne materiál této teploty v čase 8,4 s. Vzhledem k tomu, že plnění spolu s dotlakovou fází trvá 12 s, je možné výstřík vyhodit z dutiny formy až po uplynutí této doby.



Obr. 60 Čas při dosažení vyhazovací teploty výrobku (Time to reach ejection temperature – part)

### 7.11 Celková deformace výrobku (Deflection, all effects: Deflection)

Deformací výrobku jsou myšleny rozdíly rozměrů hotového výrobku od rozměrů dutiny formy. Proto je dutina při výrobě zvětšena o tabulkovou hodnotu smrštění materiálu vstříkovaného polymeru. Výsledky této analýzy jsou udávány v mm. Velikosti těchto deformací ovlivňují vlastnosti polymeru, konstrukce výrobku i formy nebo technologie vstříkování. Maximální deformace výrobku s hodnotou 0,15 mm je v místech vyznačených červenou barvou. Taková hodnota je v těchto místech zanedbatelná. Na obr. 61 je zobrazení velikost deformace vůči výrobku zvětšeno desetinásobně.



Obr. 61 Celková deformace výrobku (Deflection, all effects: Deflection)

## 8 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Postup při vypracování diplomová práce se opíral o oficiální zadání práce. Hlavním úkolem byl návrh vstřikovací formy pro zadaný výrobek a následně stanovení procesních podmínek pro vstřikovací cyklus této formy.

Pro návrh a konstrukci vstřikovací formy byl zvolen software Catia V5 R19. Catia umožňuje díky modulu Mold Tooling Design jak snadný návrh celého bloku formy a jednotlivých desek, tak následně přehledné umístění normalizovaných či nenormalizovaných komponentů. Při konstrukci byly ve velké míře využívány elektronické katalogy normalizovaných součástí firem Hasco a Meusburger.

Forma byla navržena jako čtyřnásobná s orientací dutiny do tvaru čtverce. Díky tomu mohl být v rámci vtokového systému využit horký rozvodný blok tvaru H od firmy Hasco. Vyhřívané trysky navazují z rozvodného bloku přímo do dutiny formy. Každou dutinu formy tvoří celkem čtyři tvarové části. Tvárnice i tvárník obsahují vždy dutiny pro všechny čtyři výrobky. V tvárnici (pravá tvarová část) jsou osazena jádra, formující průchozí díru výrobku. Tyto jádra musí být vytaženy z dutiny před tím, než začne výstřik během otevírání formy opouštět dutinu. Z toho důvodu je pohyb jader zprostředkován pomocí hydraulických tahačů, které s přesným načasováním v závislosti na vstřikovacím cyklu vysunou jádra. Zvolené hydraulické tahače dodává společnost Meusburger. Pro zaformování háčků na výrobku byly zvoleny pružné vyhazovače. Ty zprostředkovávají poslední tvarovou část dutiny. Jedná se vždy o pár těchto vyhazovačů na jednu dutinu, které plní nejen funkci tvarovou a vyhazovací, ale také přidržují výrobek na levé straně formy během otevírání. Součástí vyhazovacího systému jsou kromě pružných také válcové vyhazovače. Temperační systém je tvořen pomocí vrtaných kanálů o průměru 6 mm, doplněných vhodně rozmístěnými ucpávkami. Jedná se o tři nezávislé okruhy, které s ohledem na tvarové části a ostatní konstrukční prvky obklopují dutiny. Výsledná forma je také převedena do 2D výkresové dokumentace s řezy a příslušným kusovníkem.

K navržené formě byl dále vybrán vstřikovací stroj ARBURG ALLROUNDER 270 S. Dále probíhala simulační analýza vstřikovacího procesu, kdy docházelo k několika změnám procesních parametrů tak aby bylo dosaženo optimálních výsledků. Optimalizace se týkala např. teploty taveniny, teploty formy, dotlaku nebo temperačního media a jeho průtoku. V poslední části téhle zprávy jsou zobrazeny a popsány základní výsledky nejoptimálnější tokové analýzy.

## ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývá návrhem a konstrukcí vstřikovací formy pro plastový díl. Před samotnou konstrukcí byl proveden náhled do problematiky vstřikovacích forem prostřednictvím teoretické části této práce. Forma je navržena běžným stavebnicovým systémem. Jedná se o soustavu z velké části normalizovaných součástí, které jsou díky tomuto systému v praxi snadno vyměnitelné.

Čtyřnásobná forma bude využívat pro plnění dutin horký rozvodný blok. Další stěžejní částí je zaformování průchozích děr na výrobku pomocí jader. Jejich pohyb v pravé části formy je zprostředkován pomocí hydraulických tahačů. Další tvarovou částí jsou pružné vyhazovače. Ty formují háčky výrobku v levé části formy a zároveň tvoří spolu s dalšími válcovými vyhazovači celý vyhazovací systém formy. Temperaci formy tvoří vrtané kanálky doplněné ucpávkami. Díky tomu jsou v celé formě vytvořeny tři temperační okruhy.

Forma byla dále podrobena simulační analýze s vhodně nastavenými procesními parametry. Tyto parametry i výsledky analýzy lze sledovat v poslední části této práce.

Pro 3D konstrukci a následně 2D vykreslení vstřikovací formy byl používán software Catia V5 R19. Normálie jsou převzaty od výrobců Hasco a Meusburger. Analýza procesu vstřikování pak probíhala v programu Autodesk Moldflow Synergy 2016.



## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] TOMIS, František. *Základy gumárenské a plastikářské technologie*. Brno : VUT v Brně, 1980. str. 178.
- [2] BOBČÍK, Ladislav a kol. *Formy pro zpracování plastů I.díl-Vstřikování termoplastů*. 2.vyd. Brno : UNIPLAST, 1999. str. 134.
- [3] LENFELD, Petr. *Technologie II –Vstřikování plastů*, TU Liberec –Fakulta strojní. Dostupný z WWW:  
[http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/obsah\\_plasty.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/obsah_plasty.htm)
- [4] BARLOG, Petr. Diplomová práce: *Konstrukce vstřikovací formy*. 1. vydání. Zlín: 2011. 100 s.
- [5] ŠTACH, Jan. Bakalářská práce: *Návrh konstrukce vstřikovací formy pro plastový díl*. 1. vydání. Zlín: 2015. 58 s.
- [6] MAŇAS, Miroslav, HELŠTÝN, Josef. *Výrobní stroje a zařízení: Gumárenské a plastikářské stroje II.*, Bmo: Vysoké učení technické v Brně, 1990.199 s.
- [7] STANĚK, M. přednášky T5KF
- [8] ŠTĚPĚK, Jiří a ZELINGER, Jiří. *Technologie zpracování a vlastnosti plastů*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1989. str. 637.
- [9] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. 1. vyd. Praha: BEN -technická literatura, 2009. str. 248. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [10] VLČEK, Jiří a Miroslav MAŇAS. *Aplikovaná reologie*. Vyd. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2001, 144 s. ISBN 8073180391.
- [11] SPRA [online]. [cit. 2017-01-10]. Dostupné z:  
<http://www.spra.org.uk/news/201103/3d-forming-process-plastics-injection-moulding>
- [12] DVOŘÁK, Z., JAVOŘÍK, J. *Konstrukce výrobků, konstrukční materiály*. Zlín: 2013, 153 s..
- [13] KULHÁNEK JAN a kol. *Formy pro tváření plastických hmot*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1966. 224 s. ISBN 04-237-66.
- [14] BĚHÁLEK, Luboš. *Navlhavost a sušení plastů*. [online]. [cit. 2015-12-18] Dostupné z WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/Intech/Suseni.pdf>
- [15] BRUMMEL, Michal. *Rozměrově přesné výrobky z plastů*. 1. vydání. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1977, 278 stran.

- [16] Jiří Bobek. Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů, 2015, ISBN: 978-80-88058-65-6. [online] Dostupné z WWW: <https://publi.cz/books/179/Cover.html>
- [17] ŘEHULKA, Zdeněk. Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů: polymery. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 230, 28 s. ISBN 978-80-7204-833-5.
- [18] TOMIS, František a HELŠTÝN, Josef. Formy a přípravky. 2. vyd. Praha : SNTL, 1985. str. 274.
- [19] Vady po vstřikování [online]. [cit. 2017-02-01]. Dostupné z WWW: <http://www.hawkridgesys.com/blog/solidworks-plastics-short-shots/>
- [20] Vznik přetoků [online]. [cit. 2017-02-01]. Dostupný z WWW: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/09-lisovani/07-pretoky.jpg](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/09-lisovani/07-pretoky.jpg)
- [21] Vznik vzduchových bublin [online]. [cit. 2017-02-01] <http://www.protolabs.com/resources/injection-molding-design-tips/united-states/2006-03/>
- [22] Vady po vstřikování [online]. [cit. 2017-02-01]. Dostupný z WWW: [http://www.xsplasticmould.com/html\\_news/Moisture-streaks-20.html](http://www.xsplasticmould.com/html_news/Moisture-streaks-20.html)
- [23] Vady po vstřikování [online]. [cit. 2017-02-01]. Dostupný z WWW: <http://www.somold.com/Blog/Plastic-Mould-Defects-Burnt-Streaks-brown-or-silver.html>
- [24] Vady výstříků [online]. [cit. 2017-02-01]. Dostupný z WWW: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-1-dil-priciny-vzniku-vad-a-studene-spoje.html>
- [25] REMEŠ, Martin. Bakalářská práce: *Konstrukce formy*. 1. vydání. Zlín: 2012. 61 s.
- [26] Orycon eu. Horké vtokové systémy. [online]. [cit. 2017-02-01] Dostupný z WWW: <http://www.oryconeurope.com>
- [27] BOBČÍK, Ladislav. Formy pro zpracování plastů: vstřikování termoplastů. Díl 2. 1.vyd. Brno: Uniplast, 1999. 214 s.
- [28] KULHÁNEK, Jan a kolektiv. Formy pro tváření plastických hmot. Vydání první. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1966. 224 s. L13-B3-IV-31/22002.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

SVS Studené vtokové systémy

VVS Vyhřívané vtokové systémy

PA6 Polyamid 6

D Průměr

s sekunda

s-1 reciproká sekunda

% procenta

°C Stupeň celsia

N Newton

mm milimetr

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Schéma vstřikovacího stroje [4]</i> .....	14
<i>Obr. 2 Schéma vstřikovací jednotky [5]</i> .....	15
<i>Obr. 3 Schéma těsného spojení trysky a vtokové vložky [5]</i> .....	15
<i>Obr. 4 Vstřikovací cyklus – kruhový diagram [7]</i> .....	17
<i>Obr. 5 Grafy – průběh tlaku a teploty v závislosti na čase během plnění [9]</i> .....	18
<i>Obr. 6 p-v-T diagram [9]</i> .....	19
<i>Obr. 7 Procesní okno [7]</i> .....	20
<i>Obr. 8 Laminární tok taveniny [11]</i> .....	21
<i>Obr. 9 Základní rozdělení polymerních materiálů [12]</i> .....	21
<i>Obr. 10 Příklad návrhu pro zmenšení tloušťky a redukci ostrého přechodu výrobku [17]</i> .....	28
<i>Obr. 11 Způsoby návrhu žeber [2]</i> .....	29
<i>Obr. 12 Návrh velikosti vnitřních a vnějších rádiusů na výrobku [16]</i> .....	30
<i>Obr. 13 Nedotečení taveniny [19]</i> .....	31
<i>Obr. 14 Přetok taveniny [20]</i> .....	31
<i>Obr. 15 Vzduchové bubliny [21]</i> .....	32
<i>Obr. 16 Stříbrné pruhy na výrobku [22]</i> .....	32
<i>Obr. 17 Spálená místa [23]</i> .....	33
<i>Obr. 18 Dieselefekt [24]</i> .....	33
<i>Obr. 19 Studený spoj [24]</i> .....	34
<i>Obr. 20 Řez vstřikovací formou [7]</i> .....	36
<i>Obr. 21 Jednoduchý studený vtokový systém [5]</i> .....	40
<i>Obr. 22 Uspořádání studeného vtokového systému [5]</i> .....	40
<i>Obr. 23 Průřezy studených vtokových kanálků [7]</i> .....	41
<i>Obr. 24 Vtoková ústí [5]</i> .....	42
<i>Obr. 25 Vyhřívání rozvodný blok - řez [26]</i> .....	44
<i>Obr. 26 Vyhazovací kolíky [27]</i> .....	46
<i>Obr. 27 Princip stírací desky [28]</i> .....	46
<i>Obr. 28 Prizmatický vyhazovač [28]</i> .....	47
<i>Obr. 29 Šikmá posuvná čelist [4]</i> .....	47
<i>Obr. 30 Pohled na vstřikovací formu</i> .....	51
<i>Obr. 31 3D model výrobku</i> .....	52

<i>Obr. 32 Pravá strana formy</i> .....	53
<i>Obr. 33 Levá strana formy</i> .....	54
<i>Obr. 34 Tvarové části formy</i> .....	55
<i>Obr. 35 Systém posuvných jader</i> .....	56
<i>Obr. 36 Poloha pružných vyhazovačů</i> .....	57
<i>Obr. 37 Vtokový systém</i> .....	58
<i>Obr. 38 Normálie Hasco; pravý temperační okruh</i> .....	59
<i>Obr. 39 Vyhazovací systém</i> .....	60
<i>Obr. 40 Transportní prvky</i> .....	61
<i>Obr. 41 Výsledky sítě výrobku</i> .....	63
<i>Obr. 42 Síť výrobku</i> .....	63
<i>Obr. 43 Síť trajektorie pro vtokový a temperační systém (poloha vůči výrobkům ve formě)</i> .....	64
<i>Obr. 44 Schéma stroje Arburg ALLROUNDER 270 S</i> .....	65
<i>Obr. 45 Nastavení temperačního média</i> .....	65
<i>Obr. 46 Nastavení teplot</i> .....	66
<i>Obr. 47 Nastavení plnění, dotlak</i> .....	66
<i>Obr. 48 Pokročilé nastavení (Advanced options)</i> .....	67
<i>Obr. 49 Nastavení smrštění</i> .....	67
<i>Obr. 50 Blok formy (Moldflow)</i> .....	68
<i>Obr. 51 Umístění vtoku (Gate location)</i> .....	69
<i>Obr. 52 Čas plnění (Fill time)</i> .....	70
<i>Obr. 53 Tlak taveniny (Pressure at V/P swirchover)</i> .....	71
<i>Obr. 54 Rychlost smykové deformace (Shear rate)</i> .....	72
<i>Obr. 55 Studené spoje (Weld lines)</i> .....	73
<i>Obr. 56 Vzduchové kapsy (Air traps)</i> .....	74
<i>Obr. 57 Průběh uzavírací síly (Clamp force)</i> .....	74
<i>Obr. 58 Teplota temperačních okruhů (Circuit coolant temperature)</i> .....	75
<i>Obr. 59 Účinnost odvodu tepla (Circuit heat removal efficiency)</i> .....	76
<i>Obr. 60 Čas při dosažení vyhazovací teploty výrobku (Time to reach ejection temperature – part)</i> .....	77
<i>Obr. 61 Celková deformace výrobku (Deflection, all effects: Deflection)</i> .....	78

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1 Doporučené velikosti úkosů [2].....</i>	<i>28</i>
<i>Tab. 2 Materiálové parametry z databáze Moldflow – Starflam PA6 25GF U9 Z22.....</i>	<i>62</i>

## SEZNAM PŘÍLOH

PI Technické parametry vstřikovacího stroje

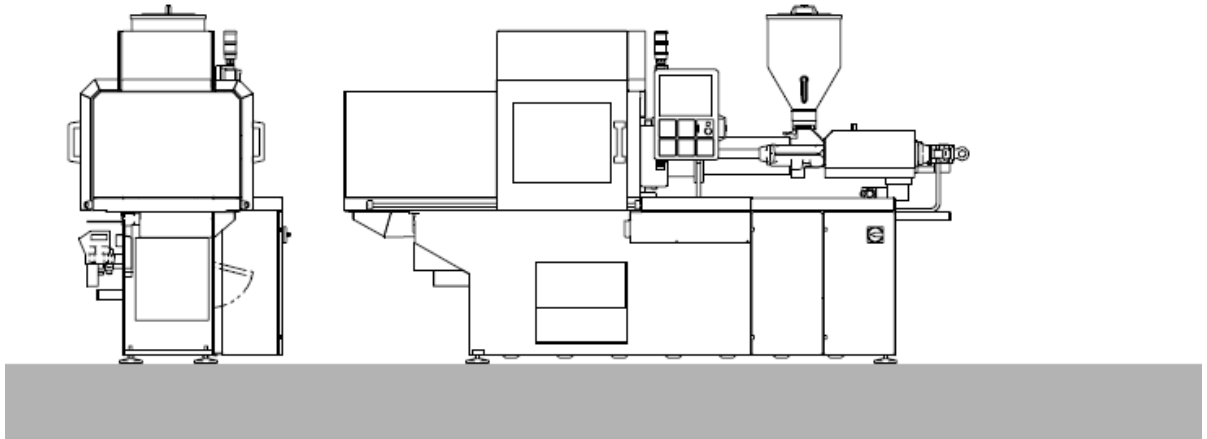
PII Výkresová dokumentace:

- 2D řezy formy, izometrické pohledy do dělicích rovin, izometrický pohled výrobku,
- Kusovník 1. Část
- Kusovník 2. Část.

P III DVD:

- Sestava vstřikovací formy (software Catia V5 R19),
- Model výrobku (software Catia V5 R19),
- Výkresová dokumentace (formát PDF),
- Diplomová práce (formát PDF),
- Simulační analýza vstřikování (software Autodesk Moldflow Synergy 2016).

# PŘÍLOHA P I: TECHNICKÉ PARAMETRY VSTŘIKOVACÍHO STROJE

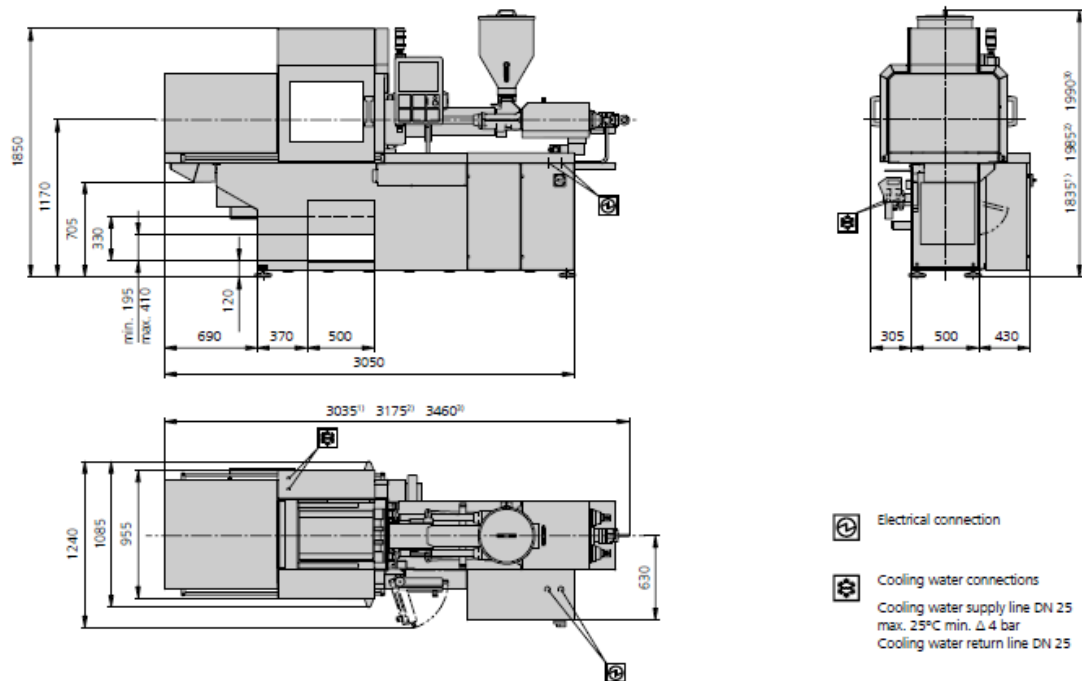


## ALLROUNDER 270 S

Tie bar distance: 270 x 270 mm

Clamping force: 250, 350, 400 kN

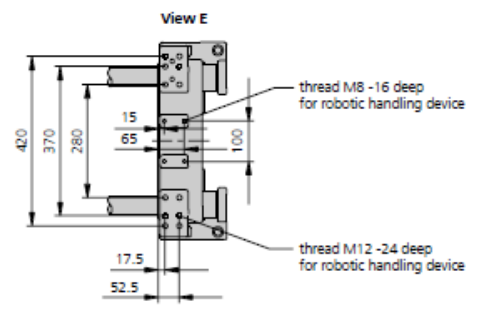
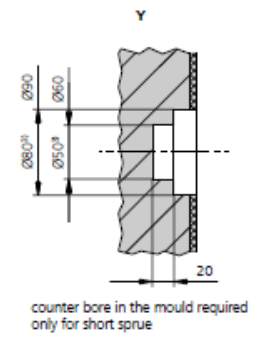
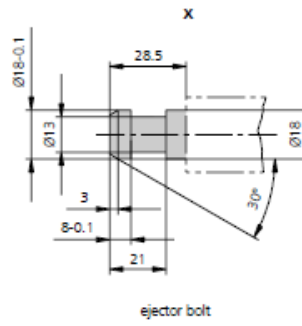
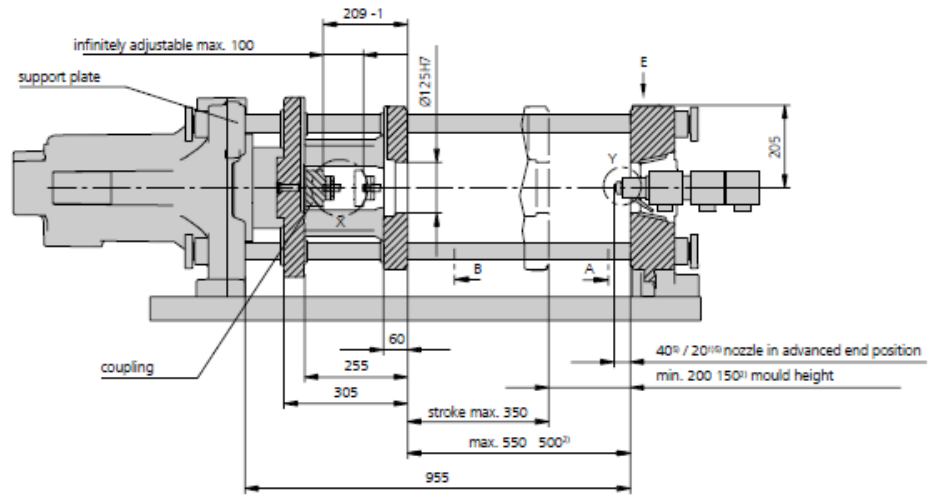
Injection unit (according to EUROMAP): 70, 100, 170



# ARBURG

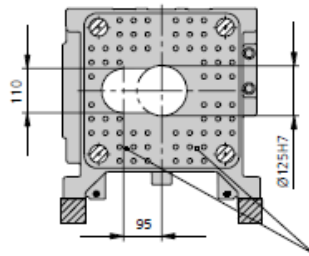


Machine model		270 S	270 S	270 S						
EUROMAP size indication <sup>1)</sup>		250-70   350-70   400-70	250-100   350-100   400-100	350-170   400-170						
<b>Clamping unit</b>										
Clamping force	max. kN	250   350   400	250   350   400	350   400						
Closing force	max. kN	24	24	24						
Opening force / increased	max. kN	14 / 90	14 / 90	14 / 90						
Opening stroke	max. mm	350	350	350						
Mould height	min. mm	200	200	200						
Daylight	max. mm	550	550	550						
Distance between tie bars	mm	270 x 270	270 x 270	270 x 270						
Platen size (hor. x vert.)	mm	380 x 380	380 x 380	380 x 380						
Weight of mov. mould half <sup>2)</sup>	max. kg	135 (200)	135 (200)	135 (200)						
Ejector force	max. kN	20	20	20						
Ejector stroke	max. mm	100	100	100						
<b>Hydraulics, drive, general</b>										
Drive power of the hydraulic pump	kW	7,5   11   15	7,5   11   15	11   15						
Dry cycle time for opening stroke <sup>3)</sup>	s/mm	2,0 (1,0)-189   2,0 (1,0)-189   1,2 (1,0)-189	2,0 (1,0)-189   2,0 (1,0)-189   1,2 (1,0)-189	2,0 (1,0)-189   1,2 (1,0)-189						
Total connected load <sup>2)</sup>	kW	14   17   21	15   18   22	22   26						
Colour: plastic coated, structure light grey / mint green / canary yellow										
<b>Control cabinet</b>										
Safety standard according to		DIN EN 60204	DIN EN 60204	DIN EN 60204						
Socket combination (1 single phase, 1 three-phase)		1 x 16 A	1 x 16 A	1 x 16 A						
<b>Injection unit</b>										
		70	100	170						
Screw diameter	mm	18 / 22 / 25	20 / 25 / 30	25 / 30 / 35						
Effective screw length	LD	24,5 / 20 / 17,5	25 / 20 / 16,7	24 / 20 / 17						
Screw stroke	max. mm	90	100	120						
Calculated injection volume	max. cm <sup>3</sup>	23 / 34 / 44	31 / 49 / 71	59 / 85 / 115						
Shot weight	max. g PS	21 / 31 / 40	29 / 45 / 65	54 / 77 / 105						
Material throughput <sup>4)</sup>	max. kg/h PS	4,1 / 5,5 / 6,5	5,5 / 8 / 9,5	10 / 13,5 / 16						
	max. kg/h PA 6.6	2,1 / 2,8 / 3,3	2,8 / 4 / 4,9	5 / 7 / 8						
Injection pressure <sup>6)</sup>	max. bar	2500 / 2000 / 1550	2500 / 2000 / 1390	2500 / 2000 / 1470						
Injection flow <sup>6)</sup>	max. cm <sup>3</sup> /s	42 / 62 / 80   68 / 100 / 130	40 / 62 / 90   64 / 100 / 146	66 / 96 / 132						
		68 / 100 / 130	64 / 100 / 146	66 / 96 / 132						
Injection flow with accumulator	max. cm <sup>3</sup> /s	138 / 208 / 268	172 / 268 / 388	216 / 312 / 424						
Back pressure positive/negative	max. bar	350 / 200	350 / 200	350 / 200						
Circumferential screw speed	max. m/min	24 / 30 / 34   39 / 48 / 55   39 / 48 / 55	17 / 22 / 26   28 / 35 / 42   28 / 35 / 42	35 / 42 / 49   35 / 42 / 49						
Screw torque	max. Nm	90 / 110 / 120	120 / 150 / 180	210 / 250 / 290						
Nozzle contact force	max. kN	50	50	50						
Nozzle retraction stroke	max. mm	150	180	210						
Installed cylinder heating power / heating zones	kW	3,75 / 3	4,3 / 4	8,8 / 4						
Installed nozzle heating power	kW	0,3	0,6	0,6						
Material hopper capacity	l	25	50	50						
Horizontal injection position	max. mm	95	95	95						
<b>Machine dimensions and weights of the basic machine</b>										
Oil capacity	l	125	125	125						
Net weight	kg	1970	2000	2050						
Electrical connection <sup>7)</sup>	A	50   50   63	50   63   63	63   80						
<b>Maximum theoretical shot weights for the most important injection moulding materials (in grams)</b>										
Injection units according to EUROMAP		70		100		170				
Screw diameter	mm	18	22	25	20	25	30	25	30	35
Polystyrene	PS	21	31	40	29	45	65	54	77	105
Styrene heteropolymerizates	SB	20	31	39	28	44	63	53	76	103
	SAN, ABS <sup>1)</sup>	20	30	39	27	43	62	52	74	101
Cellulose acetate	CA <sup>1)</sup>	24	35	45	32	50	73	61	87	119
Celluloseacetobutyrate	CAB <sup>1)</sup>	22	33	42	30	47	68	56	81	110
Polymethyl methacrylate	PMMA	22	32	42	30	46	67	56	80	109
Polyphenylene ether, mod.	PPE	19	29	37	27	42	60	50	72	98
Polycarbonate	PC	22	33	42	30	47	68	57	81	111
Polysulphone	PSU	23	34	44	31	49	70	58	84	115
Polyamides	PA 6.6, PA 6 <sup>1)</sup>	21	31	40	28	44	64	53	77	104
	PA 6.10, PA 11 <sup>1)</sup>	19	29	37	26	41	60	50	72	98
Polyoximethylene (Polyacetal)	POM	26	39	50	35	55	80	66	96	130
Polyethylene terephthalate	PET	25	37	48	34	53	77	64	92	126
Polyethylene	PE-LD	16	24	30	22	34	49	41	59	80
	PE-HD	16	24	31	22	35	50	42	60	82
Polypropylene	PP	17	25	32	23	36	51	43	62	84
Fluoropolymerides	FEP, PFA, PCTFE <sup>1)</sup>	33	50	65	46	72	103	86	124	169
	ETFE	29	44	57	40	63	91	76	109	148
Polyvinyl chloride	PVC-U	25	38	49	35	54	78	65	94	127
	PVC-P <sup>1)</sup>	23	35	45	32	50	72	60	87	118

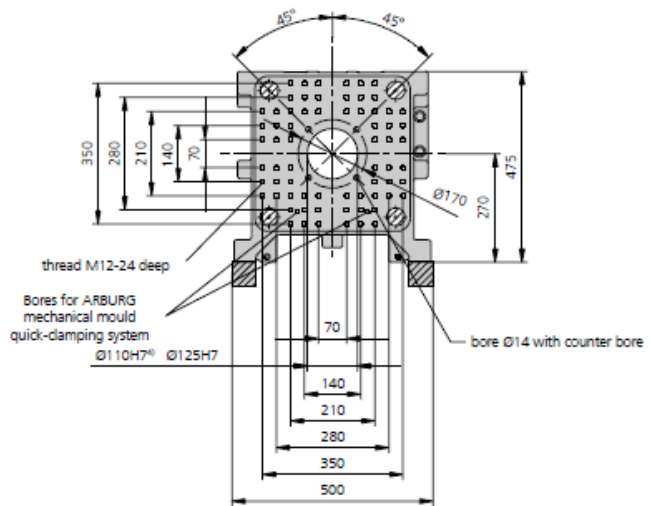


Fixed platen

View A / for horizontally displaceable injection unit

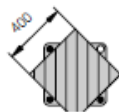
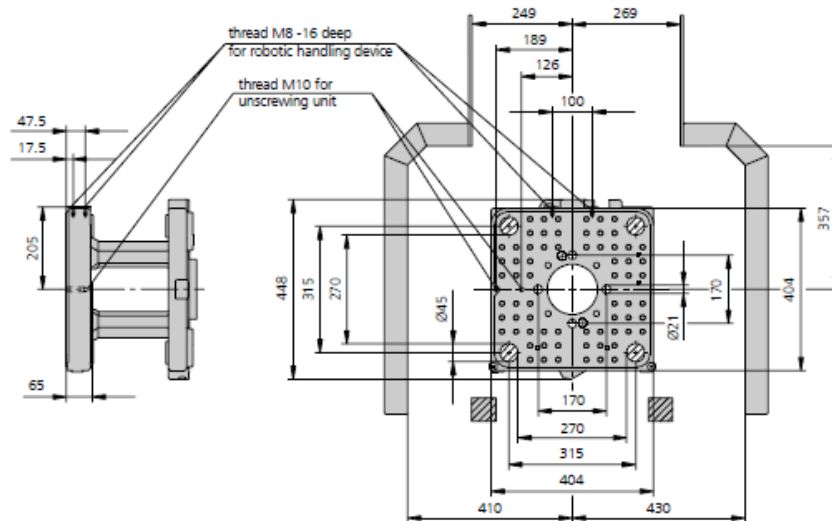


View A / for central injection unit



Movable platen

View B



Usable mounting surface with tie bars removed