

# Konstrukční návrh vstřikovací formy pro plastový díl

Bc. Tomáš Svoboda

---

Diplomová práce  
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství  
akademický rok: 2014/2015

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Tomáš Svoboda**  
Osobní číslo: **T13536**  
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**  
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Konstrukční návrh vstřikovací formy pro plastový díl**

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:

**30. ledna 2015**

Termín odevzdání diplomové práce:

**13. května 2015**

Ve Zlíně dne 30. ledna 2015

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



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

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně 13.5.2015



.....

<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 nevydělčně 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**

Zadaná diplomová práce se zabývá konstrukcí vstřikovací formy pro plastový díl užívaný v automobilovém průmyslu. Teoretická část práce popisuje proces vstřikování, vstřikované materiály a vstřikovací formu i se zásadami její konstrukce. Praktická část práce představuje konstrukční návrh vstřikovací formy v programu Siemens NX a provedené analýzy v programu Autodesk Simulation Moldflow vedoucí k odstranění nedostatků návrhu v předvýrobní etapě.

Klíčová slova: vstřikování plastů, konstrukce formy, analýza, Siemens NX, Moldflow

## **ABSTRACT**

Diploma thesis deals with the construction of injection molds for plastic part used in automotive industry. The theoretical part describes the process of injection molding, injection materials and injection mold and the principles of its construction. The practical part presents the structural design of the injection mold in the program Siemens NX and performed the analyzes in Autodesk Simulation Moldflow to remove the shortcomings of the proposal in the pre-production stage.

Keywords: injection molding, mold design, analysis, Siemens NX, Moldflow

Rád bych poděkoval vedoucímu práce panu Ing. Martinu Ovsíkovi, PhD. za cenné připomínky vedoucí ke zkvalitnění práce i za trpělivost se kterou mě po celou dobu vypracování diplomové práce vedl. Rád bych poděkoval také pracovníkům výrobního družstva Iriša Vsetín, kteří mi poskytli podporu při praktické části diplomové práce. V neposlední řadě bych rád poděkoval svým rodičům za finanční i emoční podporu během všech let studií stejně jako své manželce, která mi byla nablízku i v těch nejnáročnějších časech studií.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 VSTŘIKOVANÉ POLYMERNÍ MATERIÁLY</b> .....	<b>12</b>
1.1 VSTŘIKOVÁNÍ TERMOPLASTŮ .....	12
1.1.1 Polyethylen – PE .....	13
1.1.2 Polypropylen – PP .....	13
1.1.3 Polyvinylchlorid – PVC .....	13
1.1.4 Polystyren – PS .....	14
1.1.5 Polymethylmetakrylát – PMMA .....	14
1.1.6 Polyamid – PA .....	14
1.1.7 Polyformaldehyd – POM .....	15
1.1.8 Polykarbonát – PC.....	15
1.2 VSTŘIKOVÁNÍ REAKTOPLASTŮ .....	16
1.2.1 Fenoplasty – PF .....	16
1.2.2 Melaminové plasty – MF .....	16
1.2.3 Nenasycené polyestery – UP plněné skleněnými vlákny.....	17
1.3 VSTŘIKOVÁNÍ ELASTOMERŮ.....	17
<b>2 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS</b> .....	<b>19</b>
<b>3 VSTŘIKOVACÍ STROJ</b> .....	<b>22</b>
3.1 VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKA .....	22
3.1.1 Velikost vstřikovací jednotky .....	23
3.1.2 Účel vstřikovací jednotky .....	23
<b>4 VSTŘIKOVACÍ NÁSTROJ - FORMA</b> .....	<b>28</b>
4.1 PARAMETRY NUTNÉ PRO KONSTRUKCI FORMY .....	28
4.1.1 Výkres součásti .....	28
4.1.2 Násobnost formy .....	29
4.1.3 Vstřikovací stroj .....	30
4.1.4 Zvláštní požadavky .....	31
4.2 VTOKOVÝ SYSTÉM .....	31
4.2.1 Studený vtokový systém (SVS) .....	32
4.2.2 Vyhřívaný vtokový systém (VVS).....	35
4.3 ODVZDUŠNĚNÍ DUTINY FORMY.....	36
4.4 BOČNÍ ČELISTI FOREM .....	38
4.5 VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	40
4.5.1 Mechanické vyhazování.....	41
4.5.2 Hydraulické vyhazování.....	46
4.5.3 Pneumatické vyhazování.....	47
4.6 TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	48
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>54</b>
<b>5 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE</b> .....	<b>55</b>
<b>6 VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK</b> .....	<b>56</b>
<b>7 VSTŘIKOVANÝ MATERIÁL</b> .....	<b>57</b>

<b>8</b>	<b>VSTŘIKOVACÍ STROJ .....</b>	<b>58</b>
<b>9</b>	<b>VSTŘIKOVACÍ FORMA .....</b>	<b>59</b>
9.1	VTOKOVÝ SYSTÉM .....	61
9.2	TEMPERAČNÍ SYSTÉM .....	62
9.3	VYHAZOVAČÍ SYSTÉM .....	64
<b>10</b>	<b>ANALÝZY V MOLDFLOW .....</b>	<b>65</b>
10.1	NASTAVENÍ ANALÝZY .....	65
10.1.1	Modely výrobků .....	65
10.1.2	Vtokový systém .....	66
10.1.3	Temperační systém .....	68
10.1.4	Volba materiálu .....	69
10.1.5	Volba stroje .....	69
10.2	VÝSLEDKY ANALÝZY .....	70
10.2.1	Analýza umístění vtokového ústí .....	70
10.2.2	Analýza plnění .....	71
10.2.3	Analýza teploty taveniny v objemu .....	72
10.2.4	Analýza rychlosti smykové deformace .....	74
10.2.5	Analýza výskytu vzduchových kapes .....	75
10.2.6	Analýza vstřikovacího tlaku .....	76
10.2.7	Analýza uzavírací síly .....	76
10.2.8	Analýza propadlin .....	77
10.2.9	Analýza teploty temperačního media .....	78
10.2.10	Analýza Reynoldsova čísla temperačních okruhů .....	79
10.2.11	Analýza efektivity odběru tepla .....	80
10.2.12	Analýza smrštění .....	81
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>82</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>82</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>86</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>87</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>90</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>91</b>

## ÚVOD

Využití polymerních materiálů v současnosti neustále narůstá. Jejich vlastnosti se přibližují jiným, dříve hojně využívaným, technickým materiálům. V dnešní době není přizpůsobování různých vlastností užitého materiálu jednotlivým aplikacím nic neobvyklého. Zmíněné skutečnosti společně s dostupnou cenou výrobních strojů i nástrojů činí z polymerů materiály, které se využívají v nejrůznějších odvětvích lidské činnosti. Právem nazýváme 21. století stoletím plastů.

Nejrozšířenější metodou zpracování polymerních materiálů je vstřikování. Lze tak dosáhnout rozmanitých tvarů, potřebných vlastností i akceptovatelných nákladů. Náklady na konstrukci, výrobu a provoz formy činí proces vstřikování využitelným v oblasti velkosériové výroby. Velký počet proveditelných cyklů vstřikování na jednom nástroji (dle užitých materiálů a procesních podmínek až kolem milionu) umožňuje využití po dobu několika let. Nutností je však dodržování zásad konzervace formy i skladování.

Závod 2 výrobního družstva Irida Vsetín umožnila poskytnutím vyrobeného dílu pro automobilový průmysl vytvoření diplomové práce, která se přiblížením nikoliv duplikováním reálného konceptu vstřikovací formy i užitého výrobního stroje zabírá konstrukci formy i predikci nejrůznějších obtíží, které mohou špatnou konstrukcí i nevhodnou volbou materiálu či procesních parametrů nastat.

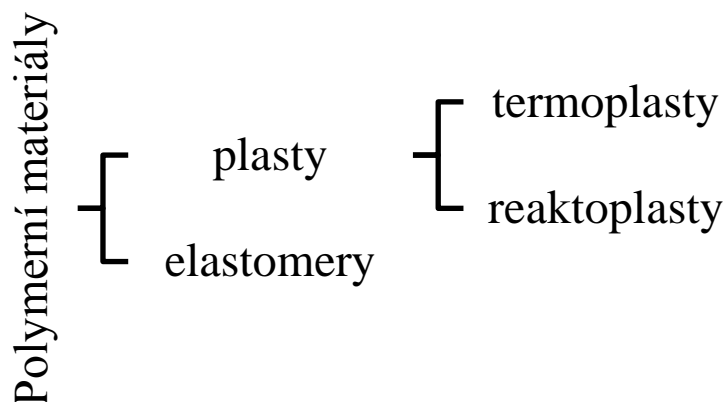
Cílem diplomové práce je seznámit čtenáře s problematikou vstřikování polymerních materiálů, vstřikovací formou, strojem i konstrukčními zásadami, které je třeba dodržet. Uvedené teoretické informace jsou implementovány do návrhu modelu výrobku a vstřikovací formy. Vytvořené elektronické návrhy jsou provedením simulací podrobeny kritickému pohledu vedoucímu k odstranění nedostatků návrhu v předvýrobní etapě. Tím lze předejít vysokým nákladům na změnu nevhodného konstrukčního návrhu vstřikovaného výrobku, vstřikovací formy i voleb materiálu, vstřikovacího stroje nebo procesních parametrů.



## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 VSTŘIKOVANÉ POLYMERNÍ MATERIÁLY

Polymery jsou látky, které tvoří makromolekuly uhlíku, kyslíku, vodíku, dusíku a jiných chemických prvků. Své použití nacházejí ve většině případů v tekutém či pastovitém stavu, kdy je dán budoucí tvar výrobku zejména technologickým zařízením za působení zpracovatelské teploty, tlaku a někdy i v průběhu určitého časového intervalu. Polymerní materiály lze dělit do dvou kategorií, a sice elastomery a plasty. Plasty lze dále dělit na termoplasty a reaktoplasty. [1]



Obr. 1. Rozdělení polymerních materiálů [1]

Výrobky vyráběné vstřikováním dosahují nejrůznějších tvarů, od jednoduchých až po velmi složité a členité. Z funkčního hlediska jsou na výrobky kladeny nejrůznější požadavky. Jedná se o pevnost při statickém či dynamickém namáhání krátkodobém i dlouhodobém, tuhost, pružnost i odolnost proti deformaci. Zmíněné požadavky jsou často očekávány za zvýšených teplot, mrazu, vlhkosti, povětrnosti, záření, působení chemikálií, elektrického napětí a to vše za dodržení určitých rozměrových a tvarových tolerancí. [2]

### 1.1 Vstřikování termoplastů

Termoplasty jsou makromolekulární látky s rozvětvenými nebo lineárními řetězci. Jsou teplem tavitelné a v roztaveném stavu jsou působením tlaku vstřikovány do formy, kde jsou ochlazením zafixovány. Lze rozlišovat termoplasty homogenní tj. bez přísad či plniv, s přísadami pro zlepšení fyzikálních vlastností tj. odolnost proti vlivům záření, povětrnosti, hoření, zvýšeným teplotám nebo s plnivem pro zlepšení některých mechanických vlastností. [2]

Zpracovatelnost termoplastů je určena především odolností materiálu proti tepelné degradaci během vstřikování a tekutostí tj. schopností vyplnit dokonale složité a tenkostěnné

tvárové dutiny ve formě. Tekutost je důležitou hodnotou poskytující klíčovou informaci konstruktérovi o možné členitosti, rozměrnosti a tenkostěnnosti výrobku. Nižší viskozity taveniny tedy lepší tekutosti se dosahuje u materiálu s nižší molekulovou hmotností. Takových materiálů je využíváno v aplikacích se sníženým nárokem na houževnatost a pevnost. Vyšší viskozita tedy horší tekutost se vyskytuje u materiálů s vyšší molekulovou hmotností a jejich využíváno u aplikací s důrazem na mechanické namáhání. Materiál odolný proti degradaci má široké pásmo zpracovatelských teplot a lze využít delší prodlevy v plastikační jednotce vstřikovacího stroje. [2]

### 1.1.1 Polyethylen – PE

Polyethylen (PE) je homopolymer, který je tvořen mery jednoho druhu – ethylenu. Vlastnosti materiálu jsou závislé na molekulové hmotnosti, prostorovém uspořádání merů v řetězci makromolekuly a stupni krystalinity. Polyethylen má vysokou odolnost proti nízkým teplotám. Křehne až při teplotách okolo mínus 120 °C. Naopak při zvýšených teplotách si udržuje tvarovou stálost až do 90 °C. Za normálních podmínek je bílý a v tenkých vrstvách průhledný. Transparentnost vzrůstá s rozvětveností makromolekul a jejich molekulovou hmotností. [3]

### 1.1.2 Polypropylen – PP

Polypropylen (PP) je středně pevný, tuhý a houževnatý polymer. Dosahuje krystalinity 50 až 70% a přibližně stejných hodnot vrubové houževnatostí jako PE, avšak za nízkých teplot kolem 0 °C houževnatost prudce klesá. Oproti PE má podobně nízkou odolnost proti UV záření a vlivu povětrnosti avšak disponuje značně vyšší odolností proti korozi při napětí. Zpracovatelnost PP je velmi dobrá, neboť dosahuje IT hodnot  $0,25-15g.(10min)^{-1}$ . PP má velmi dobrou barvitelnost, avšak může být pouze průsvitný nikoliv průhledný. Barvnost u plněných a speciálních typů polypropylenu je omezená. [2]

### 1.1.3 Polyvinylchlorid – PVC

Polyvinylchlorid (PVC) je amorfní termoplast s vysokou pevností a tuhostí avšak s nízkou tažností a rázovou i vrubovou houževnatostí. Za nízkých teplot kolem -5 °C se zmíněné slabé vlastnosti ještě zhoršují. Naopak při zvýšených teplotách si materiál drží tvarovou stálost do teplot kolem 70-80 °C. Jedná se o samozhášivý materiál, který hoří obtížně a dosahuje větší odolnosti proti korozi za napětí než polyolefiny. PVC je dobře chemicky odolný a lze jej lepit. K všeobecně nízké tekutosti je zpracování PVC obtížnější. Z toho

vyplývá nutnost užití materiálu jako prášku či granulátu obohaceného o přísady a stabilizátory. PVC je barvitelný v široké barevné škále odstínů a k samotnému barvení dochází často až při zpracování. Vyskytují se i PVC materiály, které jsou průsvitné. [2]

#### **1.1.4 Polystyren – PS**

Polystyren (PS) je tvrdý, velmi tuhý a pevný materiál s malou tažností (3-4%) a nízkou rázovou i vrubovou houževnatostí. Tečení materiálu v čase (creep) je malé. Svoji tvarovou stálost si udržuje do teploty 70-80 °C. PS má výborné elektroizolační a dielektrické vlastnosti, hoří čadivým plamenem, má malou odolnost proti UV záření a vlivu povětrnosti. Vysoké průhlednosti lze dosáhnout v široké barevné škále a u čirého PS lze dosáhnout velké propustnosti světla. Vlivem povětrnosti dochází po čase ke žloutnutí i tmavnutí barev výrobku. [2]

#### **1.1.5 Polymethylmetakrylát – PMMA**

Polymethylmetakrylát (PMMA) je amorfni termoplast, který je tuhý a velmi pevný (60-80MPa). PMMA má nízkou tažnost (5-6%), rázovou i vrubovou houževnatost a malé tečení v čase (creep). Tvarovou stálost je schopen si udržet do teplot 65-75 °C. Disponuje dobrými elektroizolačními vlastnostmi avšak velkými dielektrickými ztrátami. PMMA je hořlavý materiál s velmi dobrou odolností proti vlivu povětrnosti a proti UV záření. [2]

#### **1.1.6 Polyamid – PA**

Polyamidy (PA) jsou semikrystalické termoplasty, které dosahují krystalického podílu 20-40%. Jedná se o pevné, tuhé, tažné materiály s výraznou mezí kluzu a vysokou rázovou i vrubovou houževnatostí. Některé navlhavé typy PA ztrácejí tažnost a houževnatost při vysušení a teplotách 0-20 °C za současného růstu pružnosti a pevnosti. Polyamidy mají velký sklon ke creepu a relaxaci napětí., vysokou odolnost proti otěru a relativně nízký součinitel tření za sucha. Disponují tvarovou stálostí až do 80 °C a při nepřístupu vzduchu až 110 °C. Navlhavost je u různých typů PA jiná. Jednotlivé druhy se mezi sebou liší způsobem výroby, v menší míře také mechanickými vlastnostmi a navlhavostí. Číselné označení za PA definuje počet uhlíkových atomů ve výchozích monomerech. Barvitelnost polyamidů je dobrá v různých odstínech. Při využití přísad a plniv dochází k omezení barevných možností. Výrobky nejsou průhledné, ale mohou být průsvitné, jsou-li stěny výrobku dostatečně tenké. [2]

### 1.1.7 Polyformaldehyd – POM

Polyformaldehyd (POM, Polyoxymetylén) je semikrystalický termoplast s podílem krystalinity kolem 70%. Jedná se o velmi tuhý a pevný materiál (pevnost až 70MPa) s vysokou rázovou houževnatostí. Vrubová houževnatost je nižší, ale zůstává stejná až do teploty kolem -40 °C. POM má dobrou mez únavy a je značně pružný. Disponuje tvarovou stálostí do teploty 85-100 °C, ve vodě však pouze do 65 °C, neboť má sklon k hydrolyze, kdy dochází k rozkladné reakci a polymer je rozkládán až na monomery. POM má velmi dobré elektroizolační vlastnosti a dost nízké dielektrické ztráty. Polyformaldehyd hoří pomalu má nižší odolnost proti UV záření a vlivům povětrnosti. POM má dobrou barvitelnost, ale nelze dosáhnout průsvitnosti ani průhlednosti. [2]

### 1.1.8 Polykarbonát – PC

Polykarbonát (PC) je amorfní termoplast se střední tuhostí a vyšší pevnost (55-60MPa). Zmíněné vlastnosti klesají s rostoucí teplotou jen velmi málo. PC dosahuje vysoké rázové i vrubové houževnatosti. Tečení materiálu (creep), otěruvzdornost i mez únavy jsou malé. Svoji tvarovou stálost si drží až do teplot 135-140 °C. PC má velmi dobré elektroizolační vlastnosti a dosahuje dosti nízkých dielektrických ztrát. Polykarbonát je těžko zápalný a hoří velmi pomalu. Barvitelnost materiálu je velmi dobrá a PC může být jak průhledný tak i neprůhledný. [2]

Při zpracování PC vstřikováním jsou vyšší vstřikovací rychlosti vzhledem ke špatnému toku taveniny nevyhnutelné. U některých tenkostěnných výrobků jsou požadavky natolik vysoké, že je třeba volit stroj s menším průměrem šneku. Pro dosažení lepšího povrchu výrobku je vhodné užít vzestupný profil vstřikovací rychlosti. Vstřikovací tlaky jsou úměrné vstřikovací rychlosti a dosahují velikosti 130-200MPa tedy 1300-2000barů. Dotlak je u tenkostěnných výrobků krátký a nízký. U tlustostěnných výrobků dosahuje dotlak velikosti 40-60% vstřikovacího tlaku. Při užití nižšího dotlaku dochází ke snížení pnutí ve výrobku. Z důvodu špatného tečení PC je nutné stanovit přesně bod, kdy dochází na přepnutí dotlaku při naplnění 99-100% dutiny formy. Šnek stejně jako plastikační jednotka musejí být otěruvzdorné a proto by měl být volen tvrdě chromový materiál. [4]

Polykarbonát nachází uplatnění při výrobě nádobek na vodu u napařovacích žehliček, ochranných mřížek ventilátorů, dalekohledů a kukátek, držáků objektivů a zářivek, kryty rozdělovačů, součástí elektrických stykačů, elektroměrů či výrobků nerozbitných i při hrubé manipulaci. [2]

## 1.2 Vstřikování reaktoplastů

Při zpracování reaktoplastů dochází k zesíťování makromolekul, tzn. k vytvrzení. Vytvrzený reaktoplast je již netavitelný. Reaktoplasty oproti termoplastům vynikají vysokou tuhostí, tvrdostí, teplotní odolností, tvarovou stálostí, odolností proti korozi, nerozpustností a modul pružnosti tolik závislý na teplotě. Mechanické vlastnosti reaktoplastů nejsou příliš proměnlivé v rozsahu použitelných teplot. Nevýhodou reaktoplastů je však nepatrná tažnost. [2]

Zpracovatelnost reaktoplastů je dána především tekutostí, která je obecně horší než u termoplastů a závisí na druhu pryskyřice a charakteru plniva. Při vstřikování dochází k orientaci plniva, anizotropie vlastností a k velkému vnitřnímu pnutí, které vzhledem ke křehkosti může vést k prasknutí výrobku. [2]

Vstřikovací reaktoplasty se většinou vyskytují ve formě granulátu. Cykly jsou delší než u termoplastů. Význam vstřikování reaktoplastů je vzhledem k termoplastům zanedbatelný. [2]

### 1.2.1 Fenoplasty – PF

Fenoplasty (PF) jsou fenol-formaldehydové pryskyřice s rozdílnými vlastnostmi. Jedná se o tuhý, tvrdý a křehký materiál. Dosahují pevnosti 20-30MPa, pevnosti v ohybu 60-80MPa a nízké tažnosti, vrubové i rázové houževnatosti. Svoji tvarovou stálost si udržují až do teplot 125-135 °C. Jejich teplotní roztažnost je nízká, elektroizolační vlastnosti dobré a hoří pomalu. Chemická odolnost PF je závislá na užitém plnivu. Zpracovatelnost fenoplastů je dobrá a tekutost se liší dle typu. Barevnost je omezená pouze na tmavé barvy a není tedy možné zhotovit průhledný PF. [2]

Fenoplasty plněné dřevitou moučkou, nazývané též bakelit, se používají pro elektroizolační součásti, tepelně izolační rukojeti či výrobky bez rázového namáhání. Fenoplasty plněné textilními vlákny a ústřížky se používají pro výrobky namáhané rázem, kryty, kluzná ložiska či elektroizolační součásti. [2]

### 1.2.2 Melaminové plasty – MF

Melaminové plasty (MF) jsou melamin-formaldehydové pryskyřice s různými plnivy ovlivňující jejich vlastnosti. Jejich mechanické, fyzikální i elektrické vlastnosti jsou podobné fenoplastům. Dosahují dlouhodobé odolnosti proti teplotám až 110 °C. Podobnost



s PF je také u chemických vlastností avšak melaminové plasty jsou schopné odolávat horké vodě a mohou přijít do kontaktu s potravinami. Zpracovatelnost MF je horší než u PF a proto dochází k jejich modifikaci pro zlepšení tekutosti. Tím však dochází ke zhoršení zdravotní nezávadnosti. Barevnost melaminových plastů je různá, avšak průhlednost možná není. MF se používají pro elektroizolační výrobky, součástky jističů, kryty měřicích přístrojů, regulační knoflíky či rukojeti. [2]

### 1.2.3 Nenasycené polyestery – UP plněné skleněnými vlákny

Nenasycené polyestery (UP) plněné skleněnými vlákny mají široké rozmezí vlastností podle druhu surovin. Dosahují pevnosti v tahu 20-30MPa, trvalé teplotní odolnosti 110-130 °C a tvarové stálosti v rozmezí 125-200 °C. Mají velmi dobré elektroizolační i dobré dielektrické vlastnosti a hoří pomalu. Vyznačují se také velmi dobrou odolností proti UV záření, vlivu povětrnosti a proti korozi za napětí. Mají nízkou až střední navlhavost. Zpracování je dobré a smrštění velmi malé. Barevnost materiálu je značně omezená a není možno dosáhnout průhlednosti. Uplatnění nacházejí materiály při výrobě skříní, krytů, podstavců, stojanů i tepelně namáhané elektroizolační součásti v sériové výrobě, kde by volba ručního laminování byla neekonomická. [2]

## 1.3 Vstřikování elastomerů

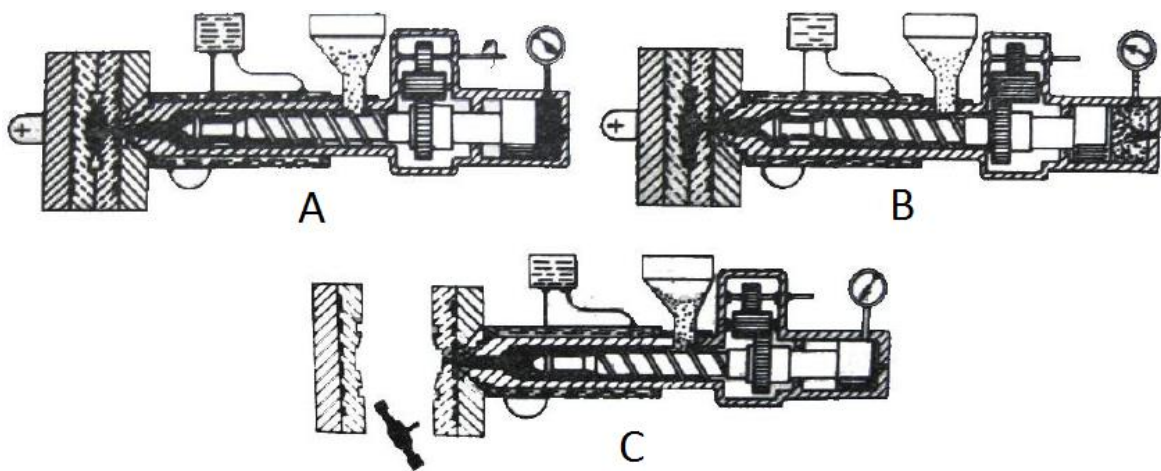
Elastomery lze považovat v obecné rovině za vysoce kondenzované plyny, neboť se většina monomerů vyskytuje v plynném skupenství. Molekulová struktura může být amorfní, semikrystalická (vykazují pružné deformace, tok tzv. creep i plastické deformace) i krystalická (tvrdé a houževnaté). Elastomery jsou typické amorfní polymery s náhodným uspořádáním molekul. Elastomery jsou směsí amorfních polymerů a dalších přísad. Vulkanizací těchto materiálů vzniká pryž. Vzniklý materiál je nejen pružný, ale také schopný pohlcovat kinetickou energii kvůli své viskoelastické povaze. [1]

Kaučukové směsi jsou tvořeny kaučuky, plnicím, vulkanizačním, zpracovatelským a ochranným systémem. Kaučukové směsi pro vstřikování se rozlišují především pomocí vulkanizačních křivek a je u nich očekávána přiměřená indukční perioda s konstantní plasticitou a vysokou rychlostí vulkanizace. Tohoto požadavku se dosahuje vhodnou kombinací urychlovačů a retardérů vulkanizace ve zvoleném vulkanizačním systému. U vstřikování se využívá šnekových plastikačních jednotek. Materiál do násypky vstupuje ve formě pásku nebo granulátu. [1], [5]

Vzhledem k vlastnostem gumárenských směsí probíhá ve šneku plastikace za výrazného příspěvu disipované energie. Materiál se často dopravuje do vstřikovaného stroje již plastikovaný a následně se vstřikuje do dutiny formy. Vstřikování vyžaduje dostatečné průřezy vtokových kanálů i dutiny formy. Odvzdušnění musí být dokonalé. Volba vyhazovacího systému musí zohledňovat pružnost a malou pevnost výrobku

. [1]

Při vstřikování kaučukových směsí se vstřikovací teplota pohybuje v rozmezí 80 – 100 °C, vstřikovací tlak 80 – 100 MPa a teplota formy 160 – 200 °C. [5]

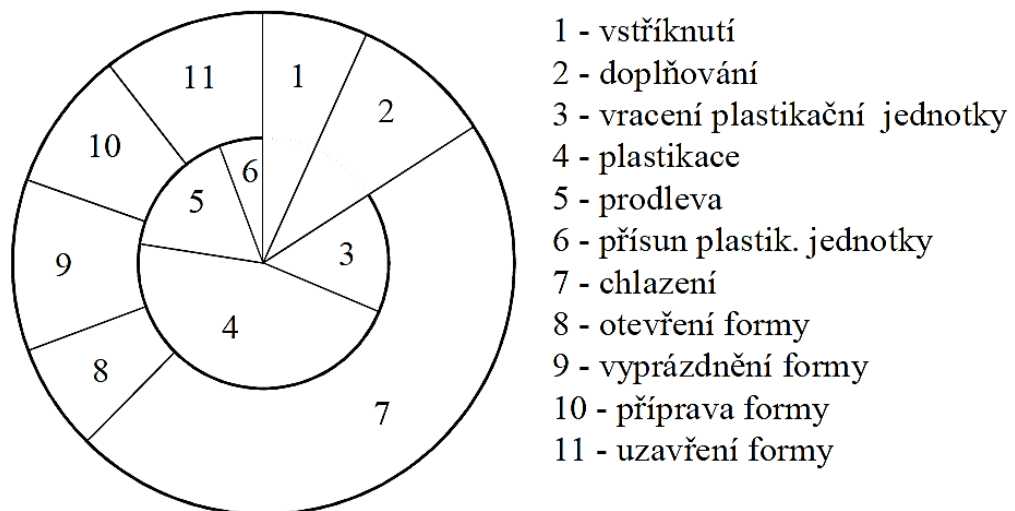


Obr. 2. Vstřikování kaučukové směsi (A vstřikování, B vulkanizace, C vyhození) [5]

## 2 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS

Při vstřikování dochází k přisunutí vstřikovací (plastikační) jednotky, k uzavřené formě a vstříknutí polymeru do dutiny formy. Doba, po kterou se dutina vstřikovací formy plní, se nazývá doba plnění. Po zaplnění většiny formy tj. 95 – 99% dochází k přepnutí z plnění na dotlak. Dotlak dosahuje stejného či menšího vstřikovacího tlaku. Doba, po kterou působí dotlak se nazývá doba doplňování. Účelem dotlaku je vyrovnat vliv smrštění materiálu a zabránit unikání materiálu z dutiny formy. Dotlakem lze také ovlivnit zbytková pnutí ve výrobku. Doba doplňování je omezena zatuhnutím materiálu ve vtokovém systému. Následuje chlazení výrobku, které zčásti probíhá ve formě a částečně i mimo ni. Při otevření a vyprázdňování formy se také mohou výrobky oddělit od vtokového zbytku, odšroubovat vložky či vysunout jádra. [6]

Obecně lze graficky znázornit vstřikovací cyklus dvěma soustřednými kružnicemi, kdy vnější kružnice popisuje úkony uzavírací jednotky a vnitřní kružnice úkony plastikační jednotky. [7]



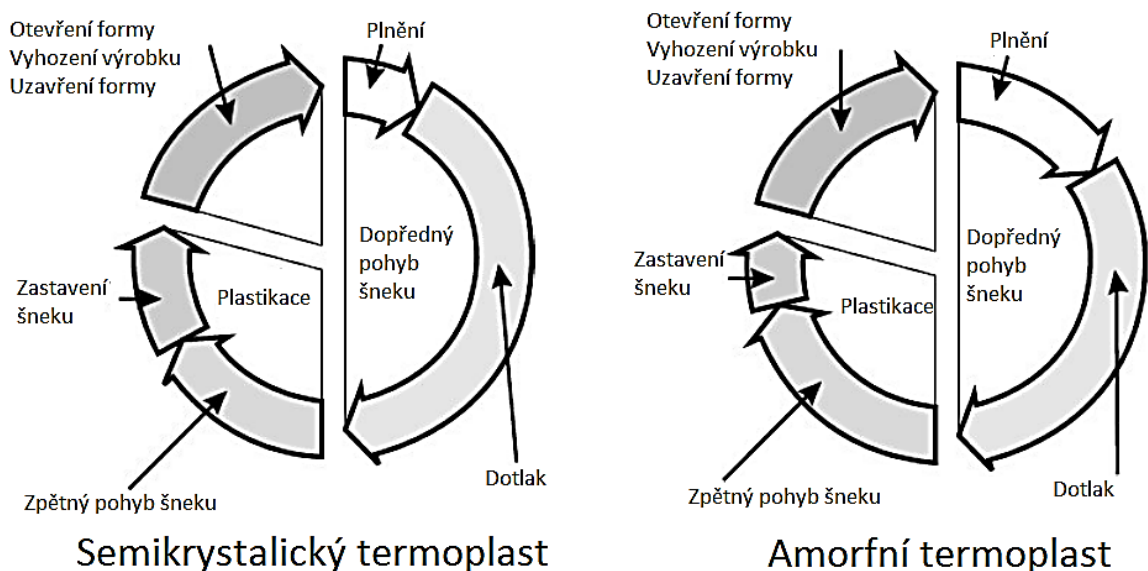
Obr. 3. Vstřikovací cyklus [7]

Vstřikovací cyklus se liší užitým materiálem. Při vstřikování majoritně využívané skupiny materiálu tzn. termoplastů, dochází k odlišným parametrům při užití amorfních a semikrystalických materiálů.

Tab. 1. Rozdílné chování termoplastických polymerů [8]

Parametry procesu	Amorfní polymery	Semikrystalické polymery
Významná teplota procesu	teplota zesklenní $T_g$	bod tání krystalického podílu $T_m$
Oblast užití	pod teplotou $T_g$	nad $T_g$ pod $T_m$
Ztuhnutí taveniny ve formě	ochlazením pod $T_g$	krystalizací pod $T_m$
Viskozita taveniny	velmi závislá na teplotě	málo závislá na teplotě
Závislost objemu na teplotě	kontinuální změna	skoková změna
Doba plastikace	nemá vliv na dobu vstřikování	důležitá pro dobu vstřikovacího cyklu
Dotlak	závislý na čase	může být konstantní
Doba chlazení	dlouhá	kratší

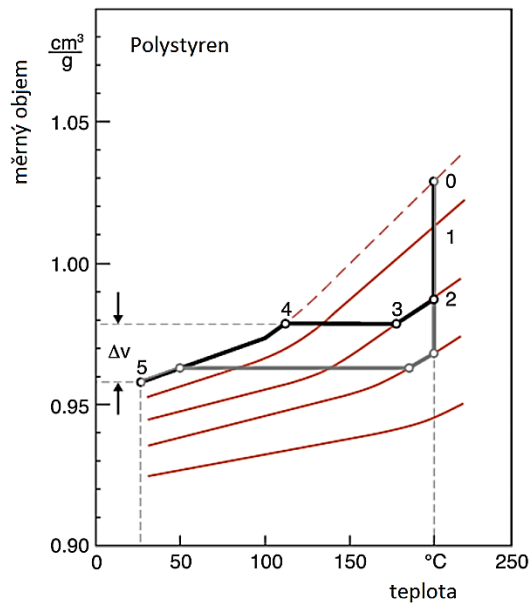
Rozdílný průběh procesu vstřikování znázorňuje obrázek níže.



Obr. 4. Rozdílnosti v průběhu vstřikování termoplastů [9]

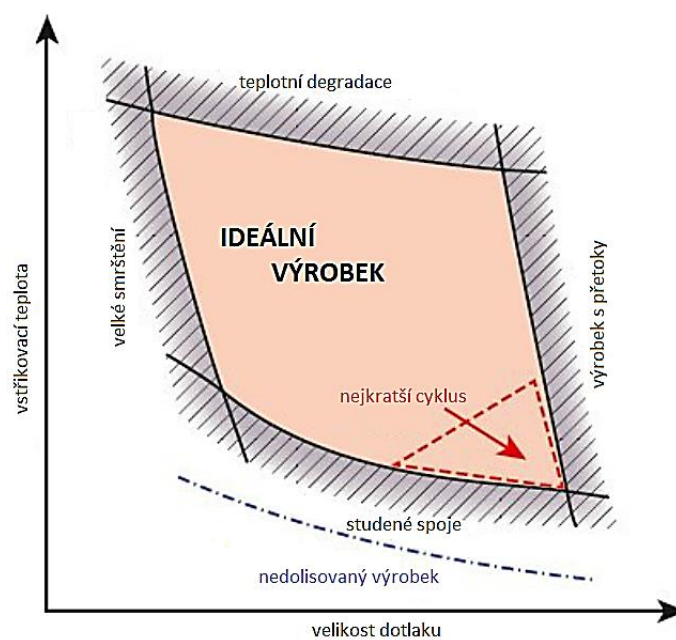
Diagram p-v-T (tlak – měrný objem – teplota) ukazuje vzájemnou závislost hlavních stavových veličin užitého polymeru. U nejpokročilejší vstřikovacích strojů se využívají k řízení vstřikovacího procesu. Obr. 5. pvT diagram polystyrenu znázorňuje dva různé průběhy vstřikování. 0-1 znázorňuje objemové plnění dutiny formy, 1-2 stlačování taveni-

ny tzn. dotlak, 2-3 izobarické chlazení, 3-4 izochorické chlazení a 4-5 izobarické chlazení na pokojovou teplotu. Body 4 a 5 slouží ke stanovení smrštění výrobku. [10]



Obr. 5.  $p$ - $v$ - $T$  diagram polystyrenu [10]

Na Obr. 6 Diagram vstřikování jsou znázorněny hlavní procesní vlivy podílející se na výrobě výrobku v požadované kvalitě. Nejkratšího cyklu lze dosáhnout při ideální kombinaci vstřikovací teploty a velikosti dotlaku. Diagram je odlišný pro každý druh materiálu i pro každou vstřikovací formu. Jeho sestavení plyne z praktických zkušeností i teoretických předpokladů. [10]



Obr. 6. Diagram vstřikování [10]

### 3 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Vstřikovací stroj je definován vstřikovací (plastikační) jednotkou ke vstřikování materiálu do dutiny formy a uzavírací jednotkou, která je používána k uzavření formy po dobu procesu vstřikování. Účel vstřikovací a uzavírací jednotky je zásadní a tyto jednotky doplňují funkci ostatních částí vstřikovacího stroje. V praxi je možné volit různé kombinace vstřikovacích a uzavíracích jednotek avšak jejich volba je podmíněna několika principy. Jeden z možných pohledů na vztah uzavírací a vstřikovací jednotky je zobrazen v *Tab. 1. Příklady kombinací uzavíracích sil a hmotnosti výrobků* [11]

*Tab. 2. Příklady kombinací uzavíracích sil a hmotnosti výrobků* [11]

Uzavírací síla (t; kN)	Hmotnost výrobku (g)
10; 89	14,2
25; 222,5	56,7
50; 445	113,4
100; 890	226,8
200; 1 780	453,6
250; 2 225	567
300; 2 670	851
450; 4 005	1 701
750; 6 675	3 402
1 000; 8 900	5 670
2 000; 17 800	12 757
4 000; 35 600	25 515

#### 3.1 Vstřikovací jednotka

V dnešní době se využívá různých konstrukcí vstřikovacích jednotek, které mají zajistit dostatečně velký vstřikovací tlak ale také optimální plastikační kapacitu. Vstřikovací jednotky lze dle způsobu plastikace dělit na jednotky bez předplastikace (plastikace v tavíci komoře a vstřikování pístem nebo plastikace a vstřikování šnekem) nebo s předplastikací (předplastikace v tavíci komoře a vstřikování pístem nebo předplastikace šnekem a vstřikování pístem). V následujících podkapitolách jsou uvedené skutečnosti vztaženy ke vstřikovací jednotce bez předplastikace, kde je plastikace a vstřikování zajištěno šnekem. [6]



### 3.1.1 Velikost vstřikovací jednotky

V ideálním případě pojme vstřikovací jednotka množství roztaveného materiálu o objemu dvou kompletních vstřikovacích cyklů. Jinými slovy lze říci, že každá výroba dílu vyprázdní vstřikovací jednotku z 50%. V praxi je tohoto pravidla obtížně dosaženo, avšak lze říci, že by měla výroba dílu vyprázdnit vstřikovací jednotku na 20-80% objemu. [11]

#### Příklad volby vhodné vstřikovací jednotky

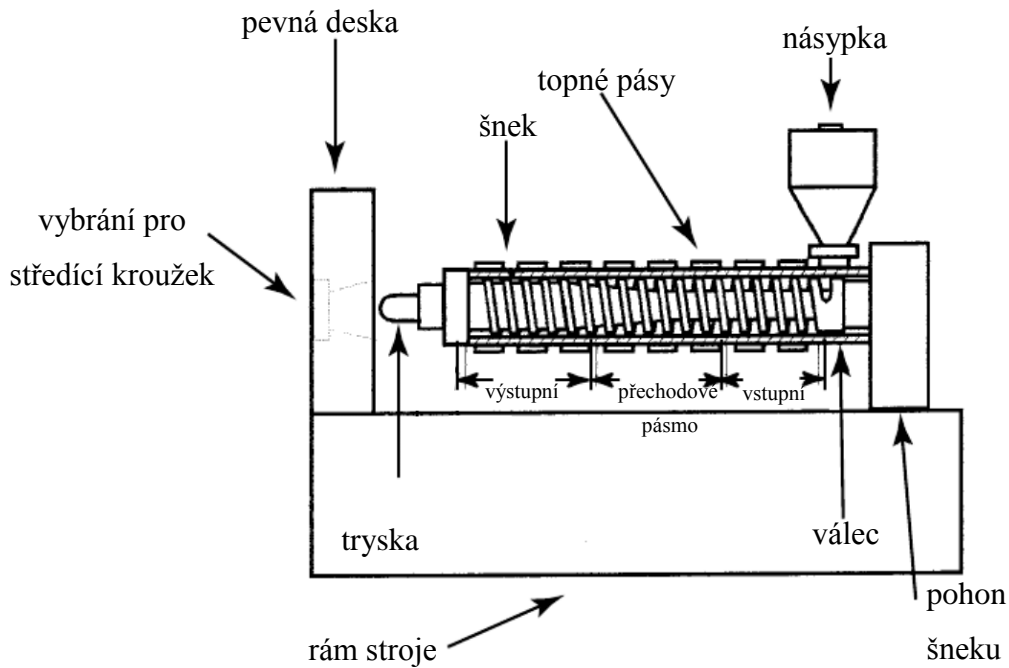
Množství materiálu potřebného pro kompletní vstřikovací cyklus je 56,7g, dle Tab 2. Kombinace uzavíracích sil a hmotnosti výrobků lze říci, že ideální jednotka je o hmotnosti výrobku 113,4g, protože je tak dosaženo dodržení pravidla 50%. V případě úvahy limitních hodnot tedy 20-80% lze užít vstřikovací jednotku s hmotností výrobku 71g (80%) až 283,5g (20%). [11]

Kromě zmíněného kritéria 50% je třeba do úvahy o velikosti vstřikovací jednotky zahrnout tepelnou citlivost vstřikovaného materiálu. Některé materiály jsou velmi tepelně citlivé a hrozí tak jejich spálení, naopak jiné materiály jsou méně tepelně citlivé a lze je tedy vystavovat relativně vysokým teplotám déle. [11]

Při volbě vstřikovací jednotky je třeba taktéž zohlednit hustotu vstřikovaného materiálu. Například polystyren má hustotu  $1,04\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  avšak polykarbonát  $1,20\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  tato skutečnost ovlivňuje volbu vstřikovací jednotky tak, že jednotka schopná vystříknout 56,7g je schopna v případě polystyrenu vystříknout 59g a v případě polykarbonátu dokonce 68g. [11]

### 3.1.2 Účel vstřikovací jednotky

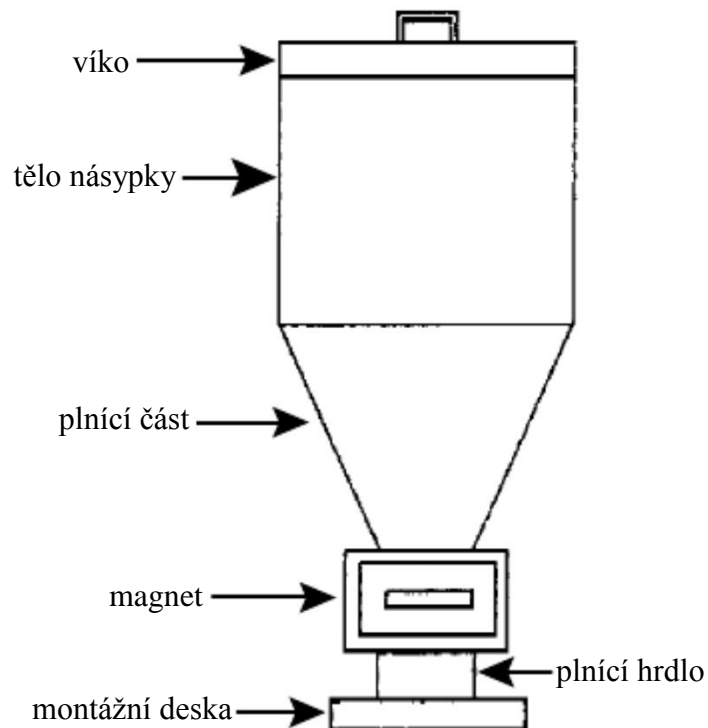
Vstřikovací jednotka musí vykonávat řadu úkonů a k vyplnění těchto činností obsahuje řadu komponentů. Vybrané komponenty jsou uvedeny na Obr. 7. Komponenty šnekové vstřikovací jednotky. [11]



Obr. 7. Komponenty šnekové vstřikovací jednotky [11]

### Násypka

Násypka je místo, kde vstupuje materiál a kde je uskladněn před vstupem do pracovního válce stroje. Násypka se zužuje z důvodu usnadnění klesání materiálu do válce využitím gravitace. Násypky bývají navrženy tak, aby dokázaly uskladnit potřebný materiál na dvě hodiny provozu stroje. [11]



Obr. 8. Násypka [11]

Násypka musí obsahovat magnety, které buď lze vyjmout z násypky, očistit a navrátit během chodu stroje nebo obsahuje volné magnety, které jsou uvnitř násypky a pro jejich čištění se musí vyjmout z násypky. Přednosti dříve zmíněné varianty je snadnější očištění magnetů a později zmíněné varianty jsou nižší finanční náklady. Účelem užití magnetů je zachycení kovových součástí, neodstranění by mohlo vést k závadě na stroji. Zdrojem kovových nečistot jsou nástroje používané při dělení či míchání materiálu. [11]

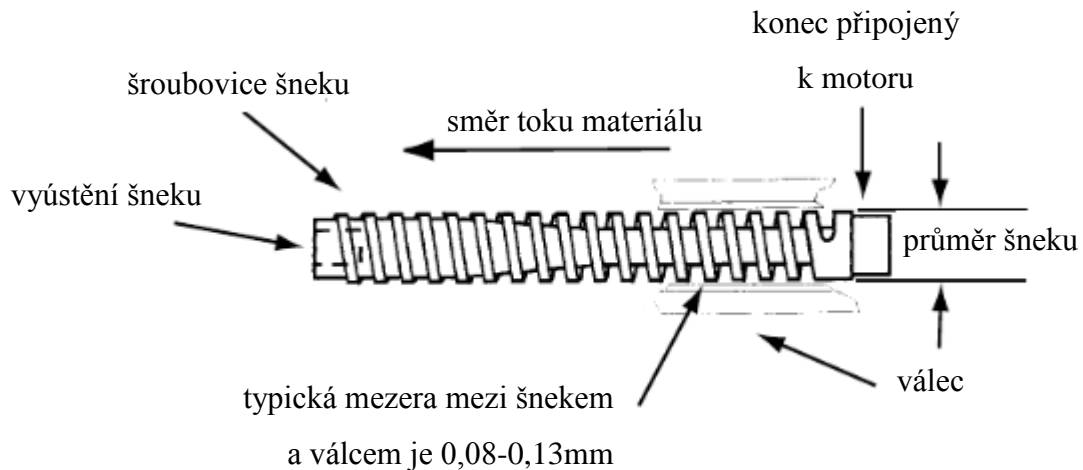
### **Pracovní válec**

Pracovní válec je základním prvkem vstřikovací jednotky. Válec má tvar dlouhé trubky a je vyroben z nepříliš nákladné oceli. Vnitřní plocha válce je tvořena tenkou vrstvou tvrdé nástrojové oceli, která je schopna odolat abrazivním vlivům během procesu. Používaná ocel ve většině aplikací využívá chrom. [11]

Vnější stranu válce tvoří topná tělesa. Topná tělesa jsou elektronicky spouštěna a jsou umístěna po celé délce válce s minimálními rozestupy. Na základě Obr. 7. Komponenty šnekové vstřikovací jednotky lze rozdělit válec na tři pásma, a sice na vstupní, přechodové a výstupní. Každé z těchto pásem je ovládáno pomocí ovládacího panelu stroje. Užití termoelektrických článků umožňuje zjišťování teploty v každém pásmu. Při dosažení požadované teploty nastavené na ovládací jednotce dochází k pozastavení přívodu elektřiny do topných těles. Po překročení minimální hodnoty teploty dochází opět k průchodu elektřiny do topných těles a celý proces se opakuje. Minimální a maximální hodnota teploty lze nastavit na ovládacím panelu. [11]

### **Šnek**

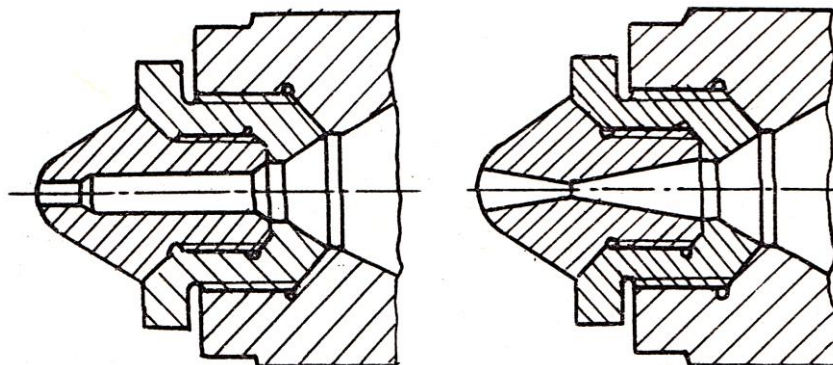
Šnek má tvar tyče a je umístěn uvnitř pracovního válce. Primárním úkolem šneku je přesunutí materiálu od násypky přes všechna pásma válce. Sekundárním cílem šneku je míchání a homogenizace roztaveného plastu. Šnek generuje teplo třením a předává ho materiálu. Tření vzniká nepatrnou vzdáleností šneku od vnitřní stěny válce. Tato vzdálenost dosahuje hodnot 0,08 – 0,13 mm. Během přesunutí materiálu z vstupního pásma do výstupního je stlačován. Přílišné stlačení trhá molekulové řetězce a degraduje tak materiál což může vést až k nevratnému poškození materiálu. [11]



Obr. 9. Šnek používaný při vstřikování [11]

### Tryska

Úkolem vstřikovací trysky je dočasné spojení vstřikovacího ústrojí s vstřikovací formou. Aby bylo zajištěno dokonalé těsnosti spojení, bývá čelo trysky kulové nebo ploché. Dle vstřikovaného materiálu se definuje konkrétní konstrukční provedení vstřikovací trysky. Vstřikovací tryska pro termoplasty je znázorněna vlevo na Obr. 10. Vstřikovací trysky pro termoplasty a reaktoplasty, tryska pro reaktoplasty disponující lepší oddělitelností vtokového zbytku od vstřikovací jednotky vpravo. [6]



Obr. 10. Vstřikovací trysky pro termoplasty a reaktoplasty [6]

Dle konstrukčního řešení lze rozlišit vstřikovací trysky volně průtočné nebo uzavíratelné. Volně průtočné trysky jsou vhodné pro krátké vstřikovací cykly a materiály s vyšší viskozitou taveniny. Uzavíratelné trysky se používají pro nízkoviskózní taveniny a to především u vertikálního uspořádání vstřikovací jednotky. [6]

### **Rám stroje**

Často bývá nosná konstrukce vstřikovacího stroje tvořena sloupy, které nejen spojují jednotlivé části stroje, ale zároveň vedou pohyblivé části. U malých vstřikovacích strojů bývá využita nosná konstrukce dvousloupová u velkých pak čtyřsloupová. Rám stroje bývá litý a je opatřen ložem s vodícími plochami, kde se pohybuje vstřikovací jednotka. [6]

## 4 VSTŘIKOVACÍ NÁSTROJ - FORMA

Vstřikovací forma pro termoplasty dává výrobku po ochlazení taveniny požadovaný tvar a rozměr. Zároveň je dosaženo požadovaných fyzikálních i mechanických vlastností výrobku. Kvalitní vstřikovací forma plní požadavky technické, které zaručují správnou funkci formy, což je vyrobení požadovaného počtu výrobků v požadované kvalitě i přesnosti, požadavky ekonomické, které jsou dány nízkou výrobní cenou i ekonomickou efektivností provozu formy, a požadavky společensko-estetické, které jsou dány vytvořením vhodného prostředí pro bezpečnou práci. [12]

Na vstřikovací formu jsou kladeny nároky vysoké přesnosti i jakosti funkčních ploch dutiny i ostatních funkčních dílů, maximální tuhosti a pevnosti jednotlivých částí i celků, správné funkce formy, vhodného vyhazování, odvzdušnění, temperace i vtokového systému, optimální životnosti zajištěné vhodnou konstrukcí, materiálem a výrobou. [12]

### 4.1 Parametry nutné pro konstrukci formy

Před zahájením tvorby výkresové dokumentace je nezbytné znát řadu technických údajů, jejichž zohlednění vede k úspěšné realizaci. Mezi technické údaje vztahující se ke konstrukci patří výkres součásti, násobnost formy, typ vstřikovacího stroje i zvláštní požadavky. Mezi technické údaje vztahující se k výrobě patří příprava výroby, proces vlastní výroby, termín zhotovení formy i odzkoušení. [12]

#### 4.1.1 Výkres součásti

Výrobek a jeho konstrukce musí odpovídat specifickým požadavkům aplikace a proto musí svým tvarem i rozměry umožnit snadnou výrobu za dodržení požadovaných mechanických i fyzikálních vlastností. Z ekonomického hlediska jsou na výrobek kladeny následující požadavky – tvarově snadná zaformovatelnost, rozměrová dosažitelnost a minimální nároky na dodatečné opracování. Při konkrétním CAD návrhu výrobku je potřeba dbát na malé rozdíly v tloušťkách stěn, zaoblení ostrých hran, na pozvolné přechody stěn. Tím lze předejít problémům při samotné výrobě. Výkres součásti musí definovat tvar, rozměry a dovolené tolerance rozměru i tvaru, jakost povrchu, povrchovou úpravu, umístění vtoku, dělicí roviny, vyhazovačů i popis a materiál výrobku. [12]



#### 4.1.2 Násobnost formy

Vhodná volba násobnosti vstřikovací formy vyžaduje správné vyhodnocení jednotlivých činitelů, kteří ji ovlivňují. Mezi činitele patří přesnost a charakter výrobku, požadované množství, kapacita a velikost vstřikovacího stroje, požadovaný termín dodávky i ekonomika výroby. [12]

Tvarově složité součásti vedou ke složité formě a stejně jako velkorozměrové výrobky vedou k jednonásobné vstřikovací formě. Z hlediska přesnosti i kvality výrobku je žádoucí co nejmenší násobnost. Výroba velmi přesných výrobků v nepřesných tvarových dutinách přináší další, nikoliv zanedbatelný faktor chyb. Další rozměrové nepřesnosti přináší nerovnoměrná teplota formy i taveniny při plnění dutin, nestejně vstřikovací tlaky či rozdílné dráhy vtoků. Všechny uvedené skutečnosti je třeba brát v potaz při volbě vhodné konstrukce vstřikovací formy. [12]

Násobnost vstřikovací formy je možné posuzovat z několika hledisek a to například dle plnění dodávek, vstřikovací kapacity, plastikačního výkonu či velikosti uzavírací síly. [13]

Není-li třeba brát v úvahu jiné okolnosti, lze násobnost formy určit z podmínky minima výrobních nákladů. Výrobní náklady ( $K$ ) se skládají z materiálových nákladů ( $K_m$ ), provozních nákladů to jsou mzdy a režie ( $K_p$ ) a pořizovacích nákladů na formu ( $K_f$ ). Za předpokladu nezávislosti materiálových nákladů na násobnosti formy lze říci, že provozní náklady závisí nepřímo na výkonu formy, to znamená, že násobností formy se budou provozní náklady zmenšovat. Výkon formy je dán množstvím výrobků zhotovených za časovou jednotku např. 1 hodinu. Pořizovací náklady je třeba rozpočítat mezi celkovou produkcí během životnosti formy. Za životnost formy ( $N$ ) lze považovat počet uzavření, která forma vydrží, než se musí vyřadit. Rovnice pro výrobní náklady na jeden výrobek má následující podobu [13]

$$K = K_m + \frac{K_p}{Z} + \frac{K_f}{N} \quad (1)$$

Výkon ( $Z$ ) je dán počtem cyklů (za doby  $t_c$ ) a násobností formy ( $n$ ), tedy

$$Z = \frac{3600 \cdot n}{t_c} \quad (2)$$

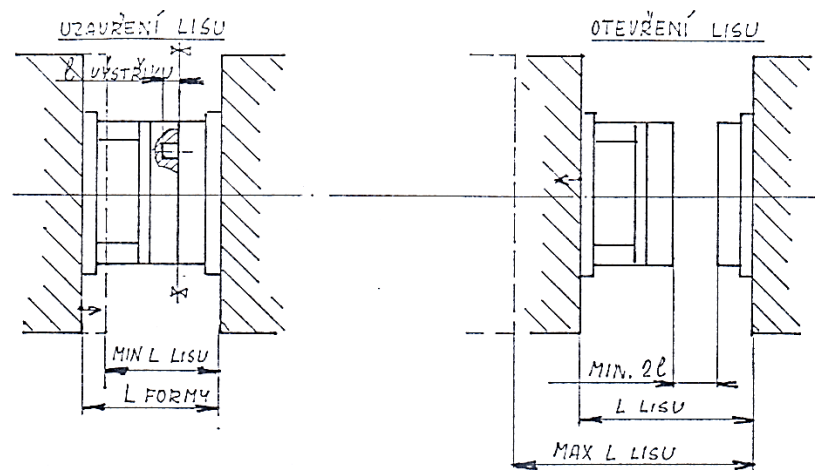
### 4.1.3 Vstříkovací stroj

Pro dosažení kvalitních výrobků je potřeba užít vhodný vstříkovací stroj, který je definován hmotností a rozměry vyráběného dílce, požadovanou přesností a kvalitou výrobku a velikostí formy. Uvedené skutečnosti vedou k návrhu stroje s dostatečnou vstříkovací kapacitou, dostatečným uzavíracím tlakem i vhodnou koncepcí stroje. [12]

Celková hmotnost výrobku je dána hmotností výrobku znásobené násobností formy a navýšené o hmotnost vtoků. Maximální vstříkované množství materiálu nesmí překročit 90% kapacity plastikační jednotky z důvodu využití dalšího materiálu na doplnění hmoty při úbytku smrštěním, tedy pro užití při dotlaku. [12]

Rozdílnosti či nevhodnosti parametrů stroje vůči požadovaným hodnotám vedou ke snížení kvality výrobku, která se projevuje vznikem napětí ovlivňující rozměry, pevnost a životnost. Vstříkovací stroj svým tlakem, dotlakem, dobou dotlaku, vstříkovací rychlostí a dobou chlazení ovlivňuje rozměry výrobku. Teplotou a řídicí i regulační technikou udává stroj výrobku fyzikální a mechanické vlastnosti. Pro dosažení vysoké kvality vyrobených dílů je nutno užít stroj i nástroj vysoké kvality. [12]

V závislosti na velikosti a koncepci formy se od stroje očekává dostatečná světlost mezi sloupy stroje. Světlost musí umožňovat vhodné upínání formy a manipulaci. Dále se očekávají dostatečné rozměry upínacích ploch pevné i pohyblivé upínací desky i rozmístění otvorů pro šrouby, vhodná velikost středících otvorů a dosedací plocha i odskok trysky u vstříkovací jednotky. Od stroje se taktéž očekává optimální minimální uzavření a maximální otevření stroje to znamená zdvih, který má být alespoň dvojnásobkem výšky výrobku pro snadné vyhození. [12]



Obr. 11. Minimální uzavření a maximální otevření formy [12]

Dostatečnou velikost uzavírací síly lze ověřit kontrolou plochy výrobku a vtoků v dělicí rovině. U vícenásobných forem lze kontrolu provést součtem všech jejich ploch včetně vtokových zbytků. U etážových či třideskových forem se počítá maximální plocha v jedné rovině a u vyhřívaných trysek jen plocha výrobku. [12]

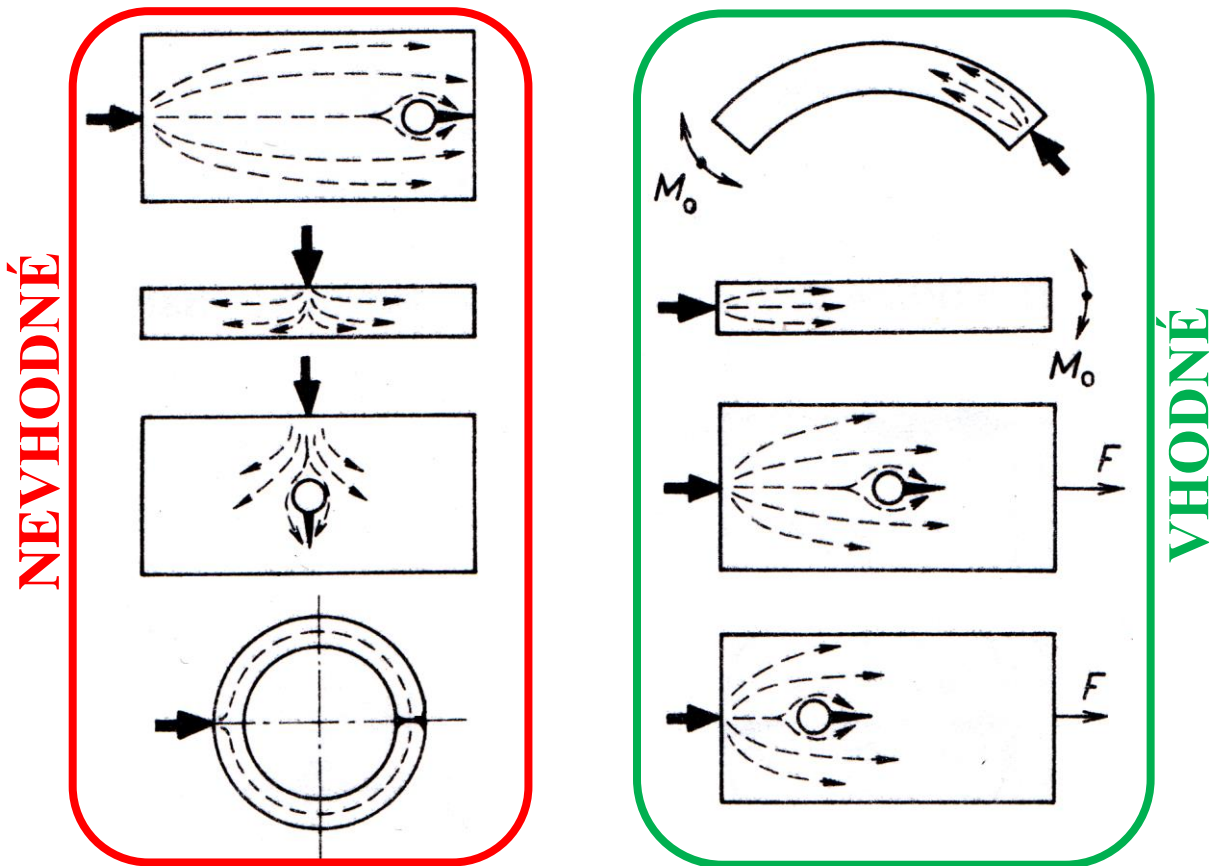
#### 4.1.4 Zvláštní požadavky

Konstrukce i celá koncepce formy je definována požadavkem optimální funkce v předem určených podmínkách výroby. Záleží na požadované kvalitě výrobku, ekonomičnosti výroby i požadovaném termínu výroby. Nejsou-li pro zákazníka běžné podmínky vhodné, lze je doplnit specifickými, které vycházejí vstříc zákaznickým požadavkům. Může se jednat o urychlení, zlepšení či zlevnění výroby. Prakticky to může znamenat užití typizovaného rámu forem, vyhřívané trysky, vyšší automatizace při vstřikování či robotizace pracoviště. Všechny zvláštní požadavky se týkají nejen konstrukce ale také výroby samotné formy a proto musí být ve vhodnou dobu zahrnuty a zohledněny. [12]

## 4.2 Vtokový systém

Vtokový systém zabezpečuje spojení mezi dutinou formy a vstřikovací tryskou. Tavenina vstupuje do dutiny formy ústím vtoku. Umístění vtoku a jeho druh má významný vliv na proudění taveniny v dutině formy, vytváření studených spojů, rovnoměrnosti krystalizace, orientace makromolekul a plniv, povrchový vzhled to znamená lesk i tokové čáry, anizotropii vlastností i rozměrů, vznik vnitřních dutin i povrchových propadlin. Uvedené strukturální vlastnosti jsou však ovlivněny taktéž technologickými podmínkami jako plastifikace, rychlost plnění, průběh tlaku při plnění, délka dotlaku či chlazení. [2]

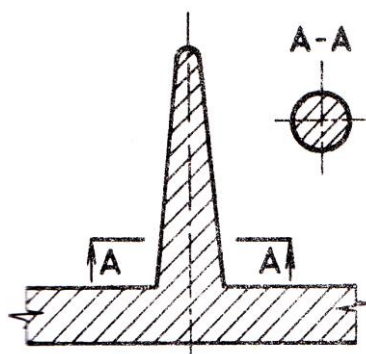
Vtok má být navržen tak, aby tavenina mohla naplnit formu bez velkých tlakových i teplotních ztrát a to co nejrychleji a je-li to možné, ve stejném čase. Zmíněného cíle lze snadněji dosáhnout u menších a tvarově jednodušších výrobků než u rozměrných a členitých. [2]



Obr. 12. Ukázka nevhodného a vhodného umístění vtoku [2]

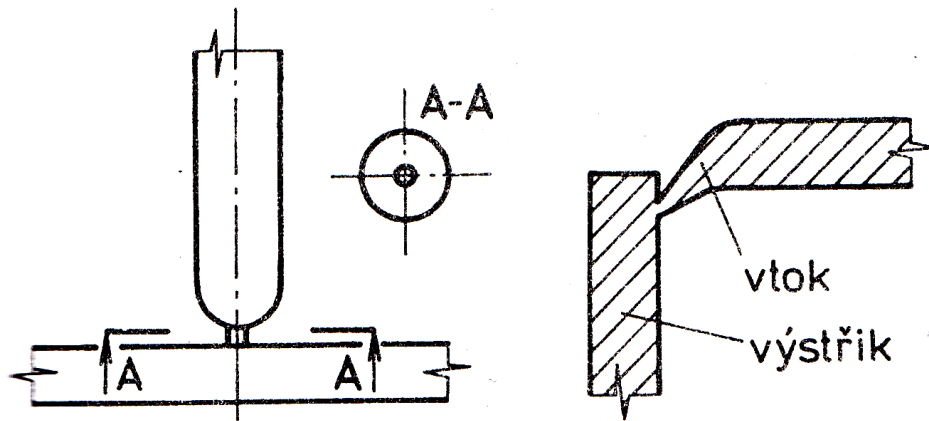
#### 4.2.1 Studený vtokový systém (SVS)

Nejjednodušším typem vtokového systému je případ plného kuželového vtoku. Mezi důvody jeho využívání patří malá tlaková ztráta, malé vnitřní pnutí ve výrobku a malá anizotropie smrštění. Nevýhodou plného vtoku je obtížné oddělení vtoku od výrobku i delší výrobní cyklus. Používá se u rozměrných a tlustostěnných výrobků u všech druhů materiálů. [13], [2]



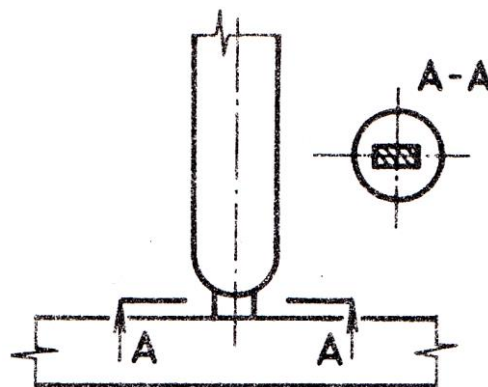
Obr. 13. Kuželový vtok [2]

Bodový vtok se samočinně oddělí při otevření formy. Stopa na výrobku po oddělení je nepatrná a již nevyžaduje dodatečné zarovnání. Ještě menší stopy lze dosáhnout užitím horkého (vyhřívaného) vtoku. Užitím bodového vtoku lze dosáhnout krátkých výrobních časů a omezení nežádoucích tokových čar na povrchu výrobku. Nevýhodou užití jsou velké tlakové ztráty. Bodový vtok se využívá u více tekutějších a omezeně těž plněných materiálů pro rychle vyráběné tenkostěnné výrobky i pro vícenásobné vtoky na jednom výrobku. Zvláštním typem bodového vtoku je bodový tunelový vtok. [2]



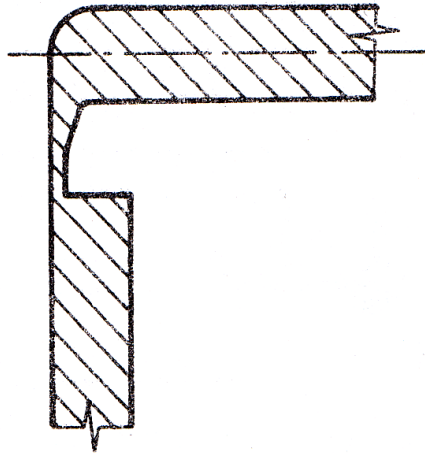
Obr. 14. Bodový, bodový tunelový vtok [2]

Obdélníkový vtok umožňuje dobré plnění formy, avšak vyžaduje odstranění vtoku. Dosaahuje výraznějších tokových čar než bodový vtok. Obdélníkový vtok se používá pro všechny druhy materiálů pro výrobky s menší tloušťkou stěny a malé rozdíly v tloušťkách stěn i při vyšších nárocích na přesnost rozměrů a tvarovou stálost. [2]



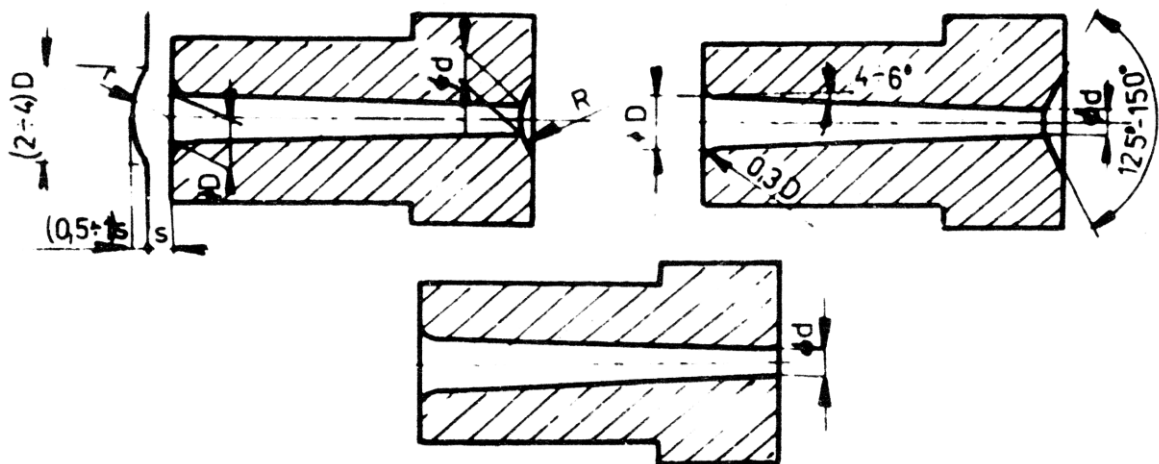
Obr. 15. Obdélníkový vtok [2]

Membránový či filmový vtok vytváří rovnoměrné plnění dutiny formy a malé smrštění výrobku. Při jeho využití dochází k větší spotřebě materiálu a nutnosti odříznutí vtoku od výrobku. Uplatnění nachází membránový vtok u plochých a rozměrných výrobků i pro prstencové tvary a pouzdra. [2]



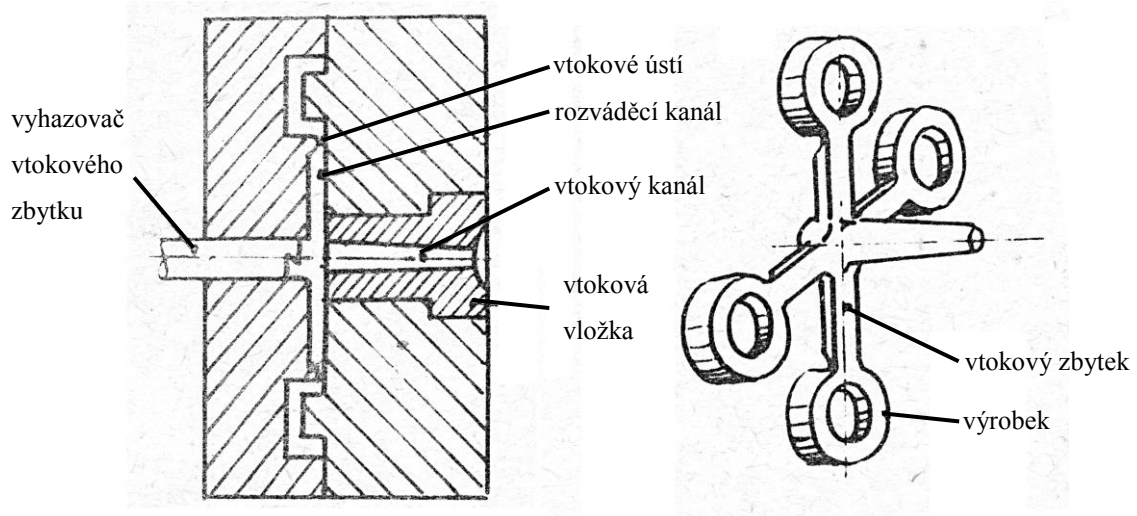
Obr. 16. Membránový vtok [2]

Mezi zásady navrhování vtokového systému patří skutečnost, že má vtoková vložka rozměry dle velikosti výrobku a rozměru trysky, která je součástí plastikační jednotky. Průměr vložky je vždy o 10-20% větší než odpovídající průměr trysky. Vtoková vložka musí mít sedlo kulové, kuželové či ploché a to dle vstřikovací trysky. [13]



Obr. 17. Vtokové vložky s různými sedly [13]

Složitější vtokový systém je tvořen vtokovým kanálem, rozváděcími kanály a ústím vtoku. Celý systém je nutné dimenzovat s ohledem na co nejmenší tlakové ztráty a nízké sdílení tepla mezi vstřikovaným materiálem a formou. Dále je nutné použít co nejmenší objem rozváděcích kanálů ke vzniku malého vtokového zbytku. Velikost rozváděcího kanálu je ovlivněna tloušťkou stěny výrobku, jeho hmotností, tokovou dráhou, druhem vstřikovaného materiálu i teplotními poměry ve formě. Délka rozváděcího kanálu souvisí s minimální tloušťkou stěny výrobku. [13]



Obr. 18. Vtokový systém s rozváděcími kanály [13]

Při použití reaktoplastů se vzhledem k horší tekutosti dbá na co nejkratší dráhu toku a co nejmenší hydraulické odpory v kanálech k omezení vzniku orientace plniva. Z toho důvodu dochází k užití vícenásobných vtoků. Vývoj ideálního řešení vtoků u výrobků z reaktoplastů není doposud ukončen. [2]

#### 4.2.2 Vyhříváný vtokový systém (VVS)

Z důvodů úspory materiálů se začal využívat vyhříváný vtokový systém, neboť umožňuje vstřikování bez vtokového zbytku. Dnešní vyhříváné či horké vtokové systémy jsou tvořeny vyhřívánými tryskami, které jsou charakteristické minimální teplotní i tlakovou ztrátou v systému i optimálním tokem taveniny. VVS se liší od SVS především tím, že se nakupují od specializovaných výrobců. Z toho důvodu jsou jednotlivá konstrukční provedení i rozsah jejich použití rozdílná. Zmíněnou skutečnost lze chápat jako nevýhodu avšak nadále zůstává řada výhod vyhříváného vtokového systému jako možnost automatizace výroby, zkrácení výrobních cyklů, snížení spotřeby polymeru, snížení nákladů na dokončení práce

(odstraňování vtokových zbytků) či eliminace manipulace a regenerace zbytků vtoků a problémy při jejich zpracování. [12]

Tab. 3. Významní výrobci VVS [12], [14], [15], [16], [17], [18], [19]

Společnost	Webové stránky společnosti
Hasco	<a href="http://www.hasco.com">www.hasco.com</a>
DME	<a href="http://www.dme.net">www.dme.net</a>
Strack	<a href="http://www.strack.de">www.strack.de</a>
Günther	<a href="http://www.guenther-heisskanal.de">www.guenther-heisskanal.de</a>
Ewikon	<a href="http://www.ewikon.com">www.ewikon.com</a>
EMP	<a href="http://www.emp.it">www.emp.it</a>

Vstřikování s využitím vyhřívaných vtokových systémů spočívá v tom, že tavenina po naplnění formy zůstává v celé oblasti od vtokového ústí počínaje v plastickém stavu. Z tohoto důvodu je možné užít jen bodové vyústění malého průřezu, které je však vhodné pro širokou oblast vyráběných dílů. Navzdory malému průřezu je možné částečně pracovat s dotlakem. [12]

Při využití vstřikování bez vtokových zbytků je vhodné v místě vtoku provést na výrobku zahloubení, aby případný nevýrazný vtokový zbytek nevystoupil přes jeho úroveň. VVS tvoří také regulace teploty VVS i vstřikovací formy. Celá soustava je snadná pro montáž, demontáž, čištění a opětovné nasazení do provozu. [12]

Vyhřívaný vtokový systém vyžaduje složitější a finančně nákladnější vstřikovací formy a obslužný personál (konstruktér, technolog i pracovník u stroje) na potřebné technické úrovni. Ekonomickou výhodnost řešení bez vtokových zbytků je třeba posuzovat z hlediska celého výrobního procesu, kde jsou určujícími faktory nepřetržitý provoz, ideální zpracovatelské vybavení i vhodné vlastnosti zpracovávaného materiálu. [12]

### 4.3 Odvzdušnění dutiny formy

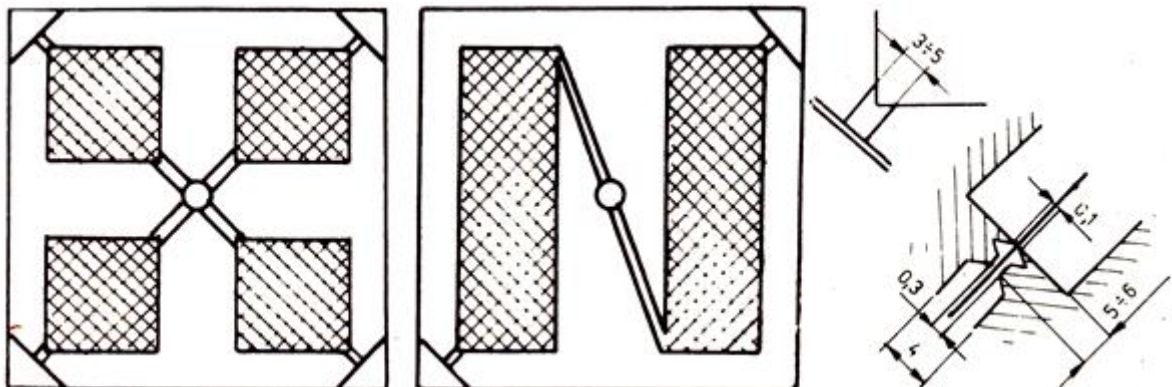
Odvzdušnění dutiny formy je důležité a to zvláště u členitých výrobků. Důležitost vhodného odvzdušnění se obvykle projevuje až při zkoušení vstřikovací formy, kdy jeho zanedbání může být příčinou nekvalitního vzhledu výrobku či nízkých mechanických vlastností. [20]

Na odvzdušnění má vliv i řada technologických parametrů jako je vstřikovací rychlost. Nejčastějším jevem při rychlém plnění je stlačení vzduchu, který se vlivem vysokého tlaku



silně ohřívá a způsobuje Dieselův efekt, což je spálení místa na povrchu výrobku. Snaha eliminace zmíněného jevu vede k nárokům na účinné odvzdušnění. Vhodné odvzdušnění umožňuje také vyprázdnění dutiny formy od stlačeného vzduchu, který by jinak působil protitlakem na taveninu, což by vedlo k nutnosti zvýšení vstřikovacího tlaku. Nárůst hodnoty vstřikovacího tlaku vede k nárůstu vnitřního pnutí výrobku i jeho hmotnosti. Při nižších teplotách taveniny tedy vyšší viskozitě a nedostatečném tlaku se soustřeďuje vzduch na protilehlou stranu od vtoku. Nemůže-li vzduch z důvodu nevhodného odvzdušnění uniknout, vznikne nedotečený výrobek (podobný následek může způsobit také nízká teplota formy či malé dávkování). V praxi také může dojít u výrobků s větší tloušťkou stěn, že vzduch, který nemůže uniknout z dutiny formy, vniká do taveniny a po vychladnutí výrobku zůstává přítomen ve formě bublin. Obvykle se tyto bubliny nacházejí na protilehlé straně vtoku. Bubliny vzniklé z jiného důvodu (vlhkost polymeru, přehřátí polymeru) jsou různě rozloženy po celém výrobku a tím se od chybného odvzdušnění odlišují. [20]

Odvzdušňovací štěrbinu se umísťuje do místa, kam materiál zatéká naposledy. U souměrných výrobků se odvzdušňovací štěrbinu umísťuje naproti ústí vtoku a dosahuje tloušťky asi 0,1 mm po přetokovou drážku, následně se prohlubuje na 0,3 mm a ústí do odlehčeného prostoru v dosedací ploše. Odvzdušňovací štěrbinu se mohou také napojit na pomocný sběrný kanál. [13]



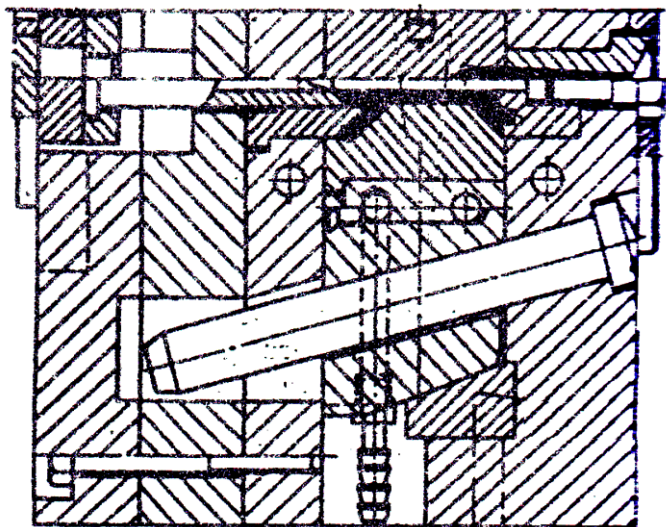
Obr. 19. Odvzdušňování dutin forem [20]

#### 4.4 Boční čelisti forem

Nachází-li se na výrobku boční otvory, výstupky či různá zhloubení nacházející se kolmo vzhledem k ose formy, je třeba využít bočních posuvných čelistí. Tyto čelisti, které někdy vytvářejí přidavné dělicí roviny, jsou ovládány mechanicky (šikmé, válcové nebo lomené kolíky), pneumaticky nebo hydraulicky. [20]

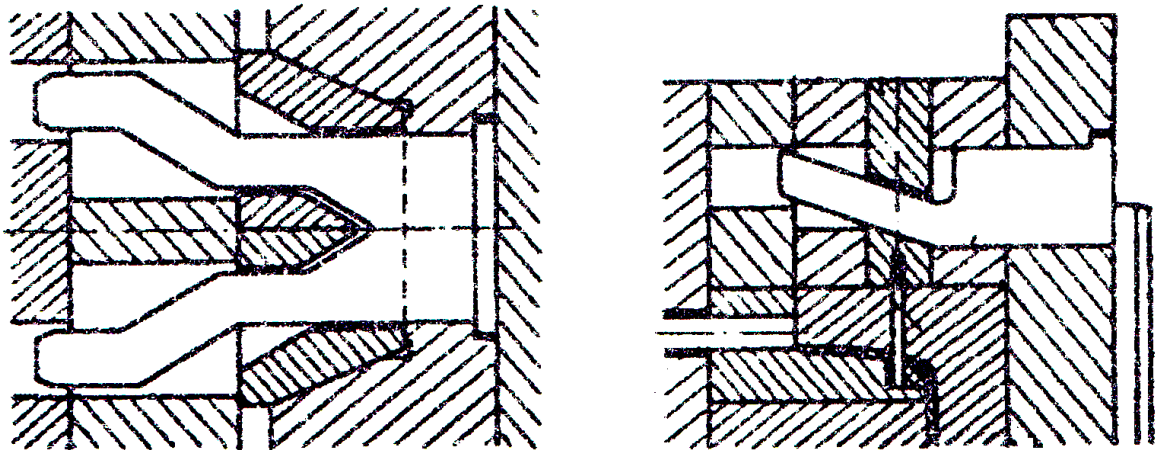
Boční čelisti forem se obvykle nacházejí na pohyblivé části formy. V uzavřené poloze při vstřikování je třeba boční čelisti pevně zajistit takzvaně uzamknout. Uzamknutí probíhá tak, že vnější zkosená část je opřena o opěrnou lištu pevné desky formy. Zajištění otevřené polohy se realizuje pružinami, kolíky i dalšími způsoby. Počet dělicích rovin roste s počtem pohyblivých čelistí a tím se navyšuje i počet rozměrů nevázaných formou. Tuto skutečnost je nutné zohlednit při tolerování a lícování výrobků i formy. Vyšší složitost formy také navyšuje náklady na výrobu. [20]

Šikmé válcové kolíky se vysouvají s nepatrným zpožděním s otevíráním formy. Zmíněné zpoždění je zapříčiněno vůlí v otvoru šikmého kolíku, která má velikost 0,2mm. Šikmý kolík dosahuje sklonu 15-25°, výjimečně 30°. Otevření bočních čelistí je zajištěno především kolíkem a následně zafixováno kuličkou či jinou západkou. Uzavření bočních čelistí je zajištěno vedením šikmého kolíku otvorem s tolerancí a k uzamčení dochází při kontaktu uzavírací plochy s opěrnou deskou pevné desky formy nebo zajišťovacími kolíky. Šikmých kolíků je využíváno v případech, kdy je požadováno žádné či malé zpoždění otevření bočních čelistí při otevírání hlavní dělicí roviny. [20]



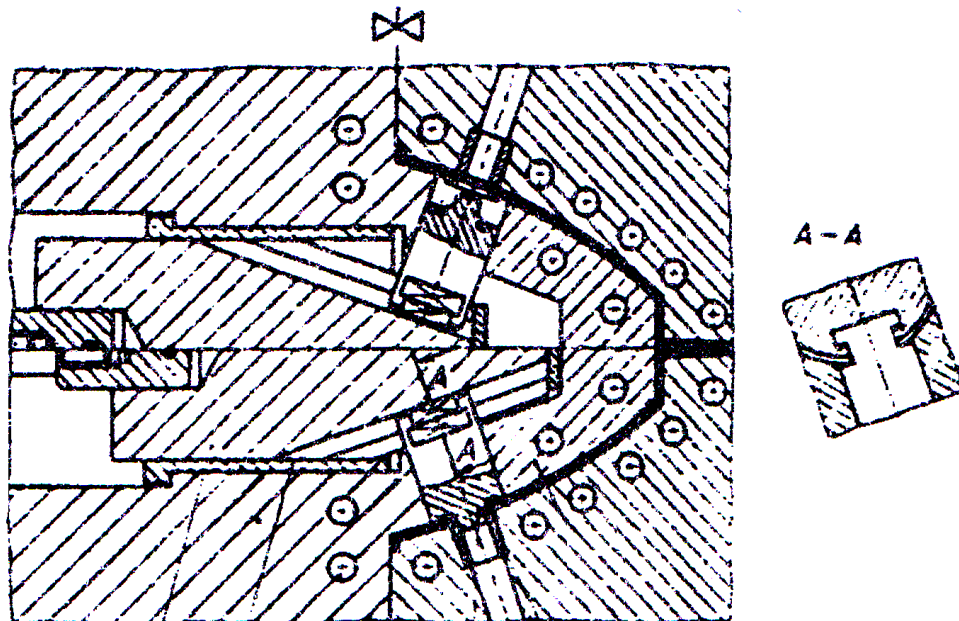
Obr. 20. Vysunutí boční čelisti válcovými kolíky [20]

Lomené kolíky zajišťují otevírání a uzavírání formy podobným způsobem jako šikmé kolíky, avšak umožňují větší zpoždění při otevírání hlavní dělicí roviny a také dosahují menšího sklonu uzavíracích ploch, čímž se zajišťují vyšší uzavírací síly. Tento způsob řešení je však výrobně nákladnější. Kolíky se vyrábí s obdélníkovým průřezem a poměrem stran 1:1,5 až 2. [20]



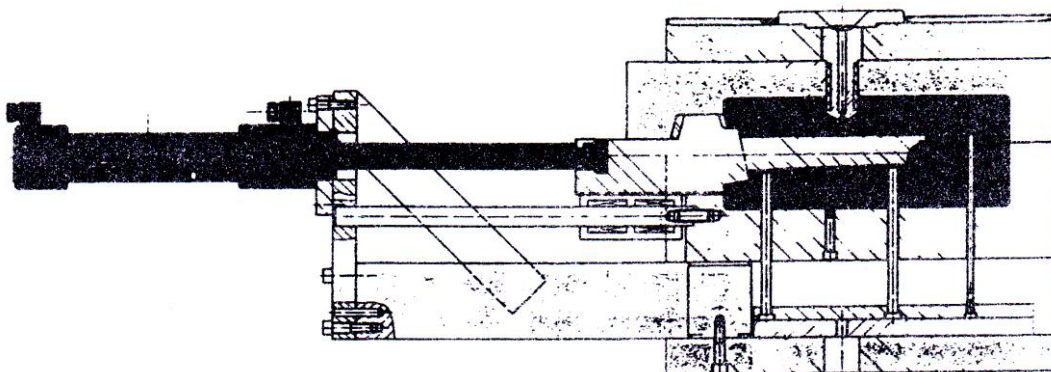
Obr. 21. Vysunutí boční čelisti lomeným kolíkem [20]

Pneumatické tahače posuvných čelistí se využívají v případech, kdy je třeba pohybu při uzavřené vstřikovací formě to znamená pro vytahování jader z bočních stěn. Při zajištění jejich funkce je třeba zohlednit užití stlačeného vzduchu s hodnotou tlaku 0,4-0,6MPa, neboť tak může docházet k trhavému pohybu. [20]



Obr. 22. Vysunutí boční čelisti klínem s drážkami ovládaný pneumatickým válcem [20]

Hydraulické tahače posuvných čelistí se využívají při vytahování dlouhých nebo těžkých jader i při postupném vytahování více jader. Čelisti je možné ovládat před otevřením formy (není-li užít uzamykací systém), v libovolné fázi otevření formy i po celkovém otevření formy. Ovládání je zajištěno především pomocí koncových spínačů řízených elektromagnetickými rozvaděči. Hydraulické válce bývají napojeny na hydraulický okruh vstřikovacího stroje nebo na samostatný hydraulický agregát. Ovládání je potřeba propojit s pracovním cyklem stroje. Při užití forem náročných na prostor nebo forem u nichž je malý prostor vzniká nutnost využít hydraulického šroubovacího válce uvnitř formy, ke kterému proudí olej vyvrtanými otvory ve formě. [20]



Obr. 23. Vysunutí boční čelisti pomocí hydraulických válců [20]

#### 4.5 Vyhazovací systém

Vyhazování výrobků z formy je činnost, při které se z dutiny formy či tvárníku otevřené vstřikovací formy vysune či vytlačí zhotovený výrobek. K tomuto účelu slouží vyhazovací systém, který spoluvytváří formu a má zajišťovat automatický výrobní cyklus. Vyhazování má dvě fáze, a sice dopředný pohyb, při kterém dochází k vyhazování a zpětný pohyb při kterém dochází k navrácení vyhazovacího systému do výchozí pozice. [20]

Nutností pro zajištění dobrého vyhazování je hladký povrch a úkosovitost stěn výrobku. Úkosy by měly být větší než 30°. Při samotném vyhazování musí docházet k rovnoměrnému vysouvání, aby nedošlo ke vzpříčení a vytvoření trvalých deformací či jinému poškození. Rozmístění, tvar a rozložení vyhazovačů může být velmi rozmanité. Vyhazovače mohou tvořit funkční část dutiny nebo část tvárníku. U hlubokých tvarů je třeba předpokládat zavzdušnění. [20]

Po vyhazování většinou zůstanou na výrobku stopy. Je-li tato skutečnost na závadu, je možné výrobek dodatečně opravit nebo umístit vyhazovače na nepohledovou stranu vý-



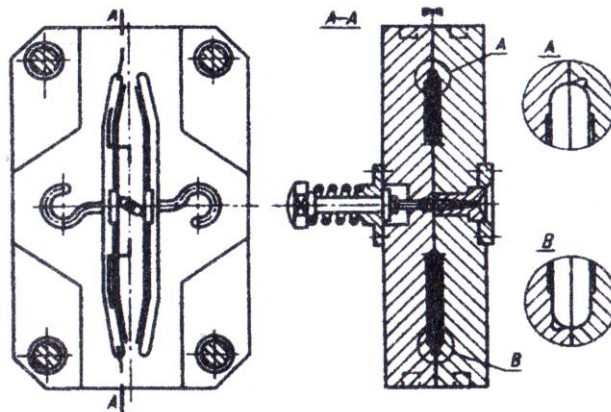
robku, kde není stopa na závadu. Dále je možné taktéž změnit způsob vyhazování, avšak touto zásadní změnou dochází k odlišnému zaformování výrobku a tím ke změně koncepce celé formy. Kromě výrobku se vyhazuje taktéž vtokový zbytek. Při vhodném uspořádání vyhazovacího systému může dojít při vyhazování k oddělení výrobku od vtokového zbytku. [20]

Vhodný vyhazovací systém musí vyvodit potřebnou vyhazovací sílu nutnou pro vyhození výrobku z formy. Vlivem smrštění zůstává výrobek většinou na tvárníku, ale může zůstat i na tvárnici. Z toho důvodu je třeba zajistit, aby se výrobek nacházel na straně, kde jsou umístěny vyhazovače. Velikost vyhazovací síly závisí na velikosti smrštění výrobku ve formě, členitosti výrobku a kvalitě povrchu funkčních ploch tvárníku a dutiny formy, na pružných deformacích formy i na technologických podmínkách vstřikování jako je tlak, teplota taveniny a formy či doba chlazení. Síla vyhazovacího systému působící na výrobek je v případě mechanického způsobu natolik předimenzovaná, že její výpočet není potřeba. Při užití hydraulického či pneumatického vyhazovacího systému se potřebná vyhazovací síla stanovuje na základě řady praktických zkoušek. [20]

#### 4.5.1 Mechanické vyhazování

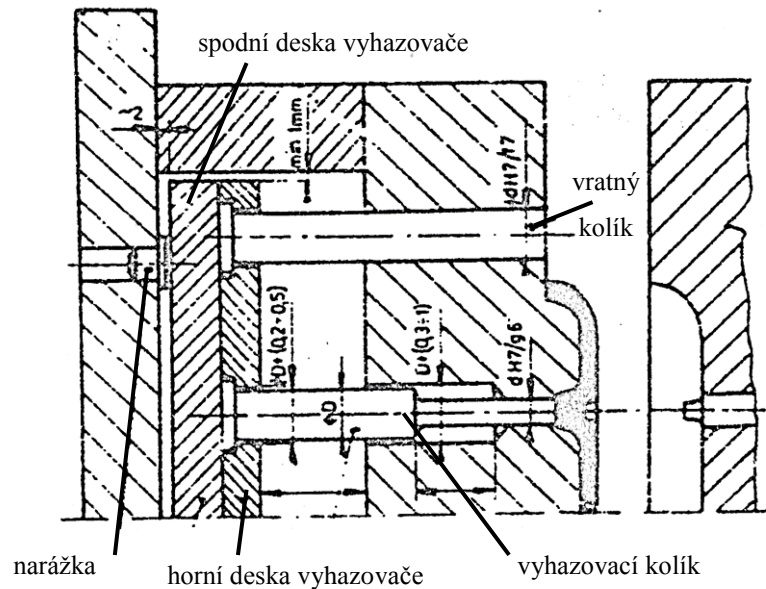
Jedná se o nejrozšířenější způsob vyhazování a využívá se ve všech aplikacích, kde je to možné. Jednotlivá konstrukční řešení lze rozdělit na vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků, stírací desky či trubkových vyhazovačů dále na šikmé, postupné nebo speciální vyhazování. [20]

Ve zvláštních případech, kdy je výrobek mělký, není potřeba vyhazovačů. V takovém případě postačí vyhození vtokového zbytku, se kterým je výrobek spojen. [20]



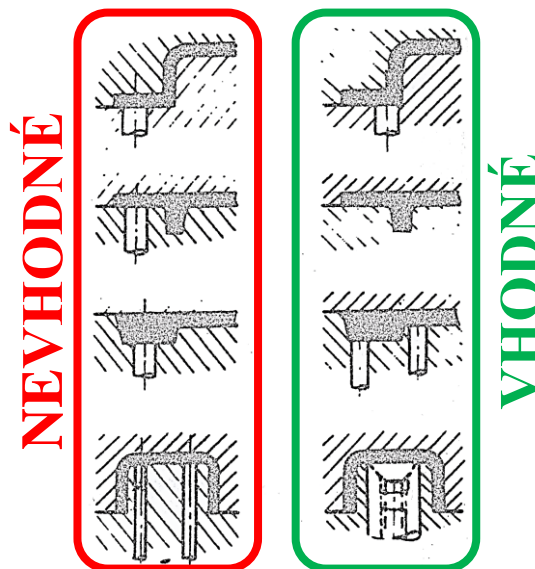
Obr. 24. Vyhazování bez užití vyhazovačů [20]

Nejlevnějším a nejčastějším způsobem vyhazování výrobku je vyhazování s využitím kolíků. Aplikace tohoto systému je možná v případech, kdy lze vyhazovače umístit proti ploše výrobku ve směru vyhození. Jedná se o výrobně jednoduchý a funkčně zaručený způsob vyhazování. [010]



Obr. 25. Vyhazování s užitím kolíků [20]

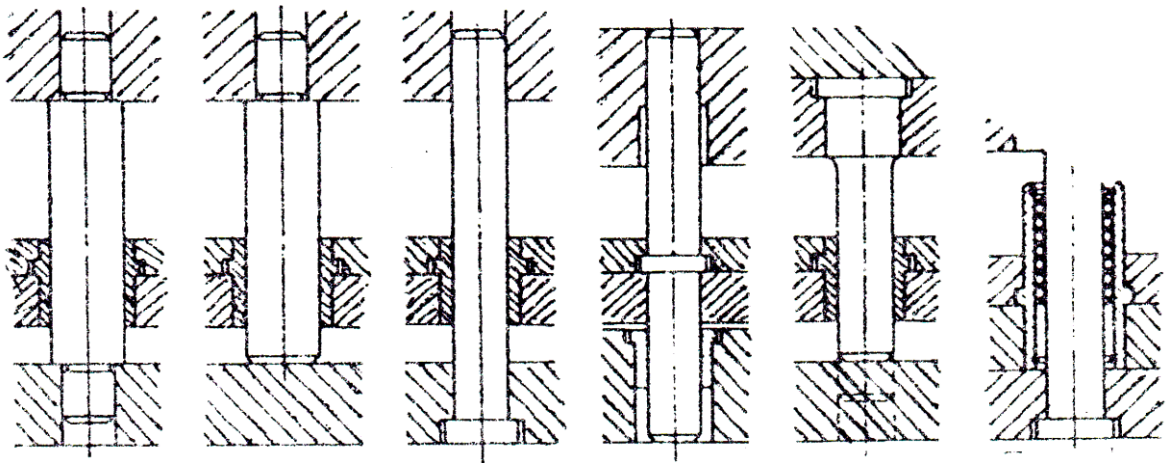
Vyhazovací kolík by se měl opírat o stěnu či žebro výrobku avšak nesmí způsobit zborcení, neboť by mohla nastat trvalá deformace. V případech, kdy je užito většího množství vyhazovacích kolíků se obtížněji zhotovují temperační kanály. [010]



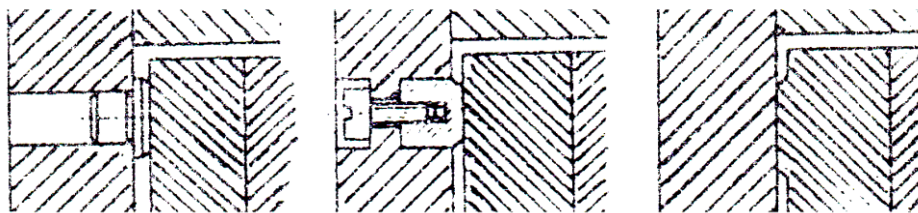
Obr. 26. Umístění vyhazovacích kolíků [20]

Základním prvkem mechanického způsobu vyhazování je vyhazovací kolík, který musí být dostatečně tuhý a snadno vyrobitelný. Obvykle má válcový tvar, avšak to není podmínkou a může tak mít i jiné tvary. Ve vstřikovací formě jsou vyhazovací kolíky umístěny v tolerancích H7/g6, h6 nebo j6 dle požadované funkce a viskozity polymeru. Vůle v uložení působí taktéž jako odvzdušnění. [20]

K ukotvení a ovládání vyhazovacích kolíků slouží vyhazovací deska. Vyhazovací desky s většími průměry vyhazovacích kolíků nemusí být vedeny. U větších rozměrů vyhazovacích desek se jedná o vhodné řešení, aby vyhazovače nedosadaly na celou plochu ale jen na zvláštní dorazy. [010]

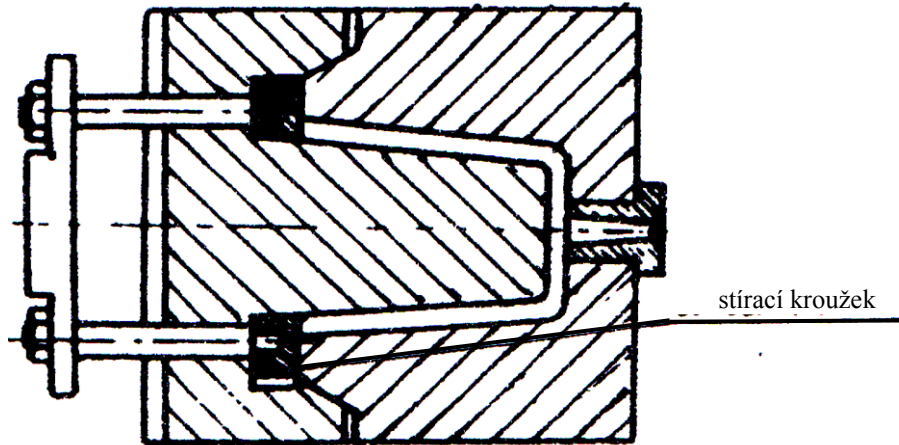


Obr. 27. Vedení vyhazovacích desek [20]



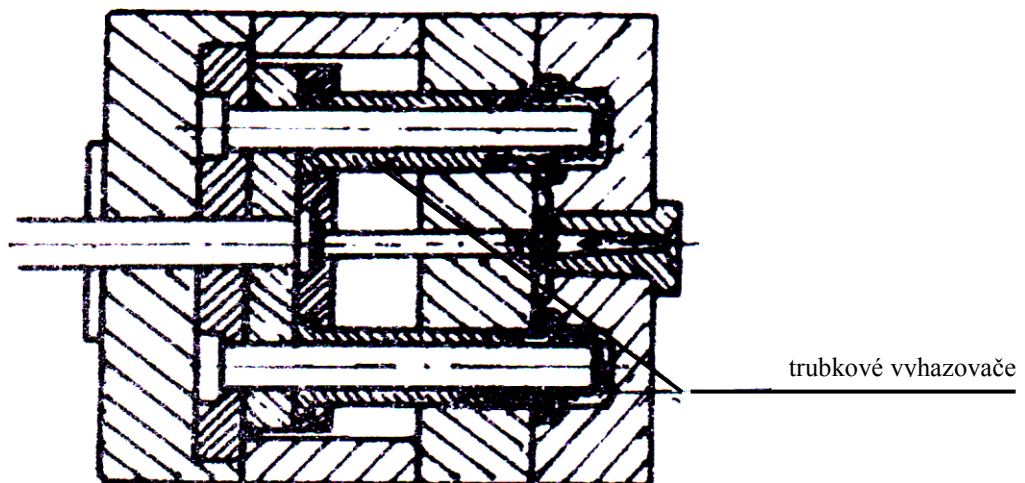
Obr. 28. Dorazy vyhazovacích desek [20]

Mechanické vyhazování s užitím stírací desky se využívá pro stahování výrobku z tvárníku po celém jeho obvodu. Z důvodu velké styčné plochy nedochází k vytvoření stopy po vyhazování. Deformace výrobku jsou minimální a stírací síla velká. Tento způsob vyhazování nachází uplatnění u tenkostěnných výrobků, kde je reálné riziko vzniku deformace nebo u rozměrných výrobků, kde je vyžadována velká vyhazovací síla. Pohyb stírací desky může být dle účelu a koncepce formy vyvozen tlakem vyhazovacího systému či ve speciálních případech tahem, který je vyvozen pevnou deskou při rozevírání formy. [20]



Obr. 29. Užití stíracího kroužku k vyhození výrobku [20]

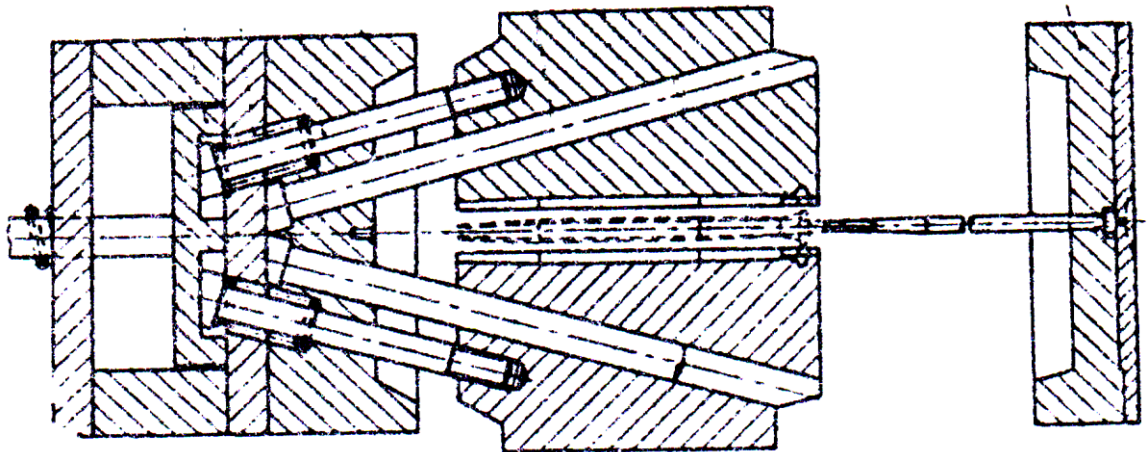
Speciálním případem stírání tlakem je trubkový vyhazovač. Vyhazovač s otvorem má funkci stírací desky a zároveň pracuje jako vyhazovací kolík. Vlastní vyhazovací kolík je upevněn v pevné desce, nepohybuje se a tvoří jádro. [20]



Obr. 30. Užití trubkových vyhazovačů [20]

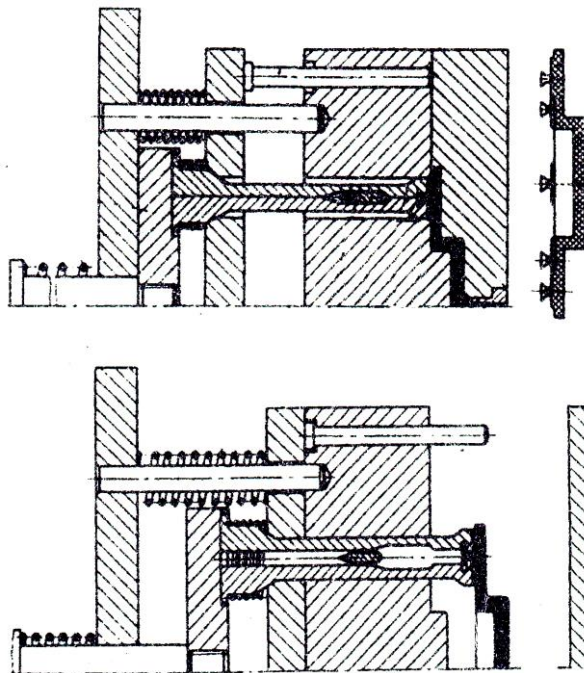
Speciální formou mechanického vyhazování je s využitím šikmých vyhazovačů, kdy nejsou vyhazovací kolíky kolmé na dělicí rovinu, ale nacházejí se v různých úhlech. Tohoto způsobu se využívá k vyhazování malých či středně velkých výrobků s mělkým vnitřním či vnějším zápichem. Dochází tím k odstranění náročné posuvné čelisti s klínovým mechanismem. Uspořádání systému se šikmými vyhazovači je možno kombinovat s přímým vyhazováním k zabezpečení funkčně dokonalého a výrobně jednoduchého způsobu vyhazování. [20]





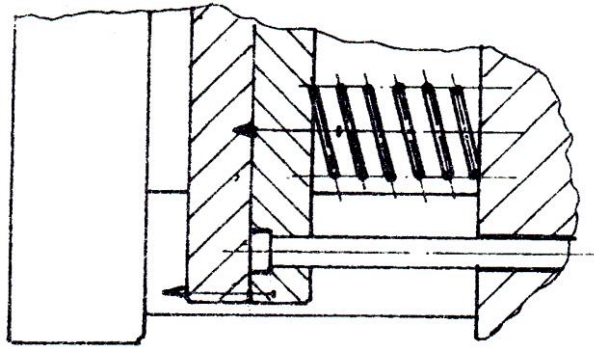
Obr. 31. Užití šikmých vyhazovačů [20]

Dvoustupňové vyhazování patří taktéž do skupiny mechanického vyhazování. Vyžaduje dva vyhazovací systémy, které jsou na sobě závislé. Lze vyhazovat výrobky s rozdílným časovým rozložením vyhazovacího zdvihu i velikostí zdvihu. Využití nachází i v případech, kdy dochází k oddělování vtokových zbytků od výrobku. V první fázi dochází k oddělení vtokového zbytku a ve druhé pak k vyhození výrobku. Vícestupňové vyhazování nachází uplatnění u slabostěnných výrobků, kde je využito vyhazování kolíky a šikmými kolíky. [20]



Obr. 32. Užití dvoustupňového vyhazování s odpruženými vyhazovači [20]

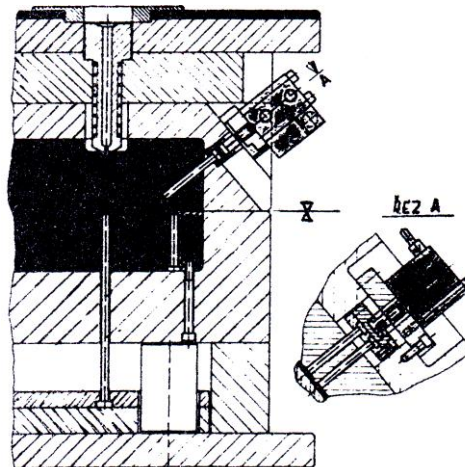
Zpětný pohyb vyhazovacího systému je zajištěn nejrůznějšími způsoby. Může se jednat o vratný kolík, který vrací vyhazovací systém současně s uzavíráním formy, dále se jedná o pružiny, klíny a vačky využívané v případě, že je třeba návratu vyhazovacího systému před uzavřením formy či vzduchové nebo hydraulické vyhazovače se zpětným působením. [20]



Obr. 33. Zpětné vracení vyhazovačů [20]

#### 4.5.2 Hydraulické vyhazování

Hydraulické vyhazování se využívá většinou k ovládní mechanického vyhazování. Výhoda spočívá v pružnějším pohybu a velké flexibilitě. Hydraulické jednotky přímo zabudované ve formě, které pracují jako vyhazovače, nejsou časté, naopak jejich využití při ovládní bočních posuvných čelistí je častější. Hydraulické vyhazovače ve formě uzavřené hydraulické jednotky se umísťují přímo do připraveného místa ve vstříkovací formě a s její pomocí je možné přímo ovládat vyhazovací kolíky stírací desky či jiné způsoby mechanického vyhazování. Specifickým rysem hydraulického vyhazování je velká vyhazovací síla s kratším a pomalejším zdvihem. [20]

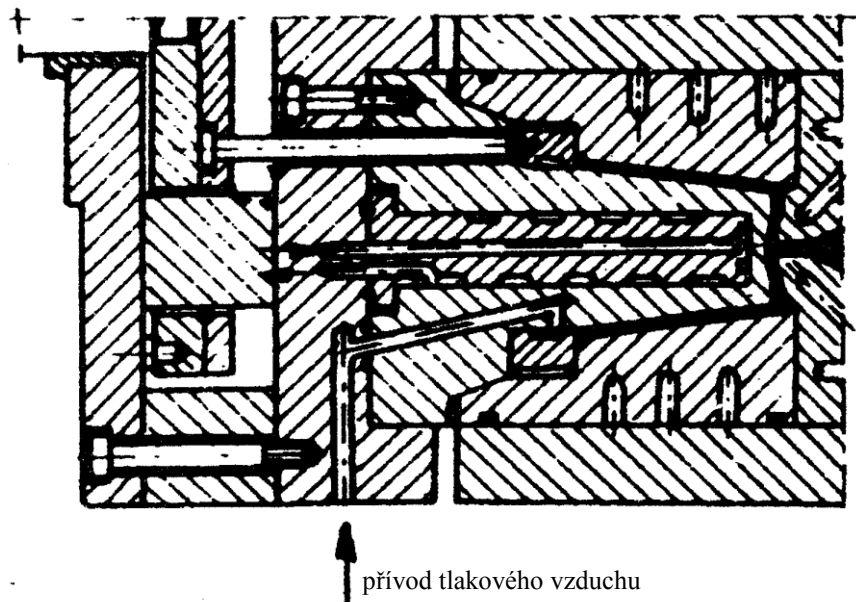


Obr. 34. Hydraulické vyhazování [20]

### 4.5.3 Pneumatické vyhazování

Pneumatické vyhazování je vhodný systém pro vyhazování slabostěnných výrobků větších rozměrů ve tvaru nádob, které vyžadují při vyhazování zavzdušnění, aby nedošlo k jejich deformaci. Nejedná se o častý způsob vyhazování, ale pro výrobky výše popsané je velmi výhodný. V případě, že by u hlubokého dílu bylo využito mechanického vyhazování, tak by došlo k výraznému zvětšení délky formy z důvodu velkého zdvihu vyhazovače a to bez záruky optimální funkce. [20]

Při užití pneumatického vyhazování dochází k zavedení stlačeného vzduchu mezi výrobek a formu a tím k oddělení výrobku od tvárníku bez vzniku stopy po vyhazovačích. Do dutiny formy přichází vzduch přes talířový či jehlový ventil nebo různé kolíky. Ventil je otvírán tlakem vzduchu a uzavírán pružinou. Vzduchové vyhazování je ovládáno mechanismem formy nebo vstřikovacím strojem. Tlak vzduchu je dostatečně velký aby vyhodil výrobek a zároveň neznečišťoval svým působením prostředí lisovny. Nemalé nároky jsou kladeny na přesnost výroby formy v oblasti vedení vzduchu. Pro automatické formy je možno využít kombinace různých systému vyhazování (mechanické nebo mechanické a pneumatické). [20]



Obr. 35. Pneumatické vyhazování [20]

## 4.6 Temperační systém

Temperační systém vstřikovací formy slouží k udržení konstantního teplotního režimu uvnitř formy. Klade si za cíl dosáhnout co nejkratšího pracovního cyklu vstřikování při zachování všech technologických požadavků na výrobu. To se děje jak ochlazováním, tak i vyhříváním celé formy či její části. [20]

Při vstřikování se do dutiny formy přivádí tavenina, která se ochlazuje na vhodnou teplotu vyjmutí. Temperační systém ovlivňuje jak plnění dutiny formy tak proces vyjmutí ochlazeného výrobku. Při vstřikování se forma ohřívá, a protože je každý následující výrobek třeba zhotovit při předem definované teplotě, je třeba přebytečné teplo soustavy odvést a k tomu slouží temperační systém. V případě užití materiálu, který se vstřikuje při vyšších teplotách formy (PC 100-120 °C), tak je třeba naopak tepelné ztráty kompenzovat ohřátím formy. Před začátkem vstřikování je třeba formu přehřát na pracovní teplotu, neboť jinak není možné zajistit požadovanou kvalitu výrobku. [20]

Úkolem temperačního systému je nejen zajistit rovnoměrnou teplotu formy po celém povrchu dutiny ale také odvést teplo z dutiny formy naplněné roztaveným polymerem tak, aby měl cyklus ekonomickou délku. Dosahuje-li vstřikovací forma dostatečné hmotnosti a má-li dobře řešený temperační systém, lze tímto způsobem navýšit její tepelnou a tím také rozměrovou stabilitu a snížit nebezpečí deformace při vysokých vstřikovacích tlacích. Nerovnoměrné rozložení teplot v dutině formy může vést ke zvětšení rozměrových a tvarových úchylek výrobku. V praxi může také dojít k záměrně odlišnému způsobu různých částí neboť tak lze eliminovat deformace tvaru způsobené anizotropií smrštění vstřikovaného polymeru. [20]

Tab. 4. Doporučené teploty formy a teploty taveniny vybraných termoplastů [20]

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

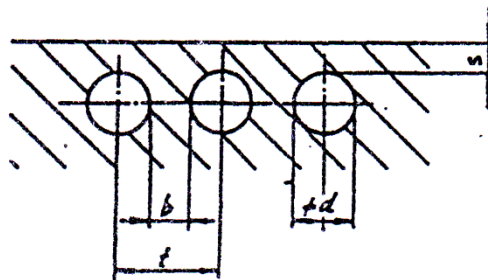


jsou vodotěsně překryty nebo jsou do nich umístěny tenkostěnné měděné trubky a pro dobrý tepelný styk se zalijí tavitelným kovem cínu či zinku. [20]

Při návrhu temperačního systému je třeba dbát na to, aby kanály byly umístěny v ideální vzdálenosti do tvarové dutiny formy při zachování potřebné tuhosti, aby byly kanály umístěny a dimenzovány tak, aby bylo teplo odváděno z míst, kde je forma ve styku s proudem vstříkované taveniny to znamená u vtoku. Proud temperačního media je třeba směřovat od nejteplejšího místa k nejchladnějšímu. Průřez kanálu preferovat kruhový pro jednoduchost výroby. Cesta temperačního media by neměla vést přes mrtvé kouty, které vedou k usazování nečistot a stávají se počátečními ohnisky koroze a tím také zarůstání kanálů. Kanály je třeba neumísťovat do blízkosti hran výrobků. Dále je nevhodné volit průměr temperačního kanálu pod 6 mm, neboť vzniká riziko ucpání vlivem vodního kamene či nečistotami a konstruovat temperační kanály tak, aby bylo možno jednotlivé větve propojit hadicemi různým způsobem a pořadím. [20]

Tab. 5. Minimální vzdálenosti temperačních kanálů [20]

d [mm]	6	8				10	12	14	16	18	20
s [mm]	4	6				8	12	15	20	25	30
t [mm]	10	14	17	20	24	27	30		34		
b [mm]	4	6	7	8	10	11	12		14		



Obr. 37. Minimální vzdálenost temperačních kanálů [20]

Zvýšení výkonu temperačního systému je možné dosáhnout zvětšením rozdílu teplot vstříkovací formy a temperačního media, vytvořením podmínek pro zvětšení součinitele přestupu tepla vzdáleností temperačních kanálů od dutiny formy, vznikem turbulentního proudění či zapojením zvláštní větve chlazení. [20]

Temperační media představující prostředek pro dosažení optimální teploty uvnitř dutiny formy i vstřikovací formy celkově se rozdělují na aktivní, působící přímo na formě (přivádí či odvádí teplo) a na pasivní, které ovlivňují tepelný režim vstřikovací formy. [20]

Aktivním temperačním mediem jsou především kapaliny, které se pohybují uvnitř temperačních kanálů a tím dochází k tepelně výměně mezi kapalinou a mezi formou. [20]

Tab. 6. Výhody a nevýhody temperačních medií [20]

typ media	výhody	nevýhody
voda	vysoký přestup tepla, nízká viskozita, nízká cena i ekologická nezávadnost	použitelné do 90 °C, bez úpravy vzniká koroze, usazování kamene
olej	temperace i nad 100 °C	zhoršený přestup tepla
glykol	omezení koroze a ucpávání systému	stárnutí, ekologická závadnost

Využití vzduchu jako temperačního media je možné buď volným prouděním při odvádění tepla z povrchu formy a při chlazení tvarových částí během otevření formy nebo nuceným prouděním za působení přetlaku či podtlaku. Z důvodu malé účinnosti je vzduch využíván pouze v případech, kdy není možné kapaliny využít pro nedostatek místa (chlazení tenkých tvárníků, jader a vyhazovačů). [20]

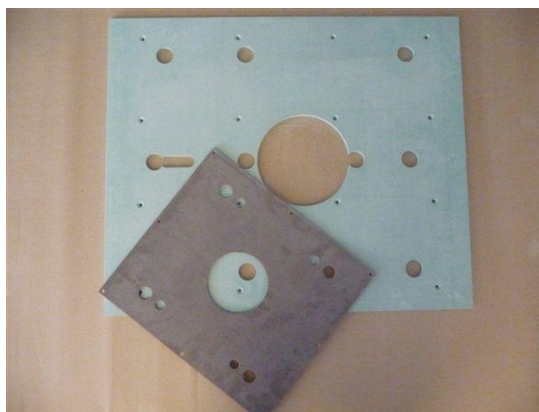
V případech kdy je třeba kompenzovat tepelné ztráty do okolí a zvyšovat teplotu formy se využívají topné elektrické články. Prakticky se využívají topné patrony a prstencová topná tělesa, umožňující předat značné množství energie do vytápěné části formy. Pro umístování topných článků se využívá podobných zákonitostí jako při umístování temperačních kanálů. [20]

Mezi pasivní temperační prostředky patří tepelně izolační materiály, které se využívají pro omezení přestupu tepla do upínacích desek stroje v případech, kdy je zapotřebí vysoké teploty formy. Izolační materiály jsou voleny s ohledem na požadovanou pevnost a tepelnou odolnost. Lze využít Sklotextil, ARV, Sklotextil SI či azbestocementové desky. Boční strany forem lze tepelně izolovat běžným tepelně izolačním materiálem jako je azbest či skleněné rohože. [20]



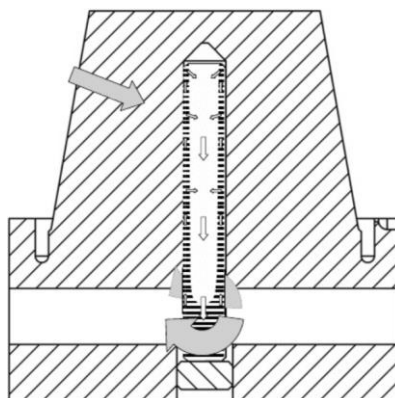
Tab. 7. Technická data izolačních desek Glastherm [21]

	Glastherm HT 200	Glastherm HT 220	Glastherm HT 250 M	Glastherm HT 250 HQ
Standardní barva	zelená, bílá	žlutá	hnědá	zelená
Specifická váha [g/cm <sup>3</sup> ]	2	1,9	2	2
Síla materiálu [mm]	5, 12, 40	6, 8, 25	6, 12, 15, 20	-
Operační teplota [°C]	200	220	250	250
Stlačující síla při 23°C [MPa]	330	500	600	600
Stlačující síla při 200°C [MPa]	120	280	450	500
Pevnost v ohybu při 23°C [MPa]	210	360	300	600
Rozměr [mm]	2440x1220 1830x915	2440x1220	2000x1040	2000x1040



Obr. 38. Izolační deska Glastherm [21]

Dalším pasivním temperačním prostředkem jsou tepelně vodivé materiály, které jsou využívány pro přesun tepla z míst, kde nelze chlazení zabezpečit do míst kde je chlazení možné. K tomuto účelu se využívá měď a její slitiny s kobaltem, cínem a dalšími prvky nebo hliník a jeho slitiny. Nejúčinnějším řešením se jeví tepelná trubice využívající výparného tepla. Lze tak zvýšit odvod tepla až o řád, ve srovnání s čistou mědí. [20]



Obr. 39. Tepelná trubice [22]



Propojení temperačních kanálů mimo formu je zajištěno přívodními hadicemi. Napojení a utěsnění, které musí být dokonalé, bezpečné a s minimálními ztrátami je úlohou koncovky. Koncovky se na hadice nasunují a zajišťují se zděří, stahovací páskou nebo pomocí šroubových spojů. Koncovky je vhodné zapustit do formy a předejít tak ulomení při manipulaci s formou. Vyústění na formě bývá z bezpečnostních důvodů na odvrácené straně od obsluhy a musí odolávat temperačnímu mediu, dosahované teplotě i požadovanému tlaku. Pro rozvod media do 40 °C se využívá hadic z měkčeného PVC (Novoplast) nebo olejivzdorné pryže s vláknovou nebo textilní kostrou. Vyhovují tlakům do 1MPa. Pro rozvod velkých forem a media nad 60 °C se využívá leteckých hadic se šroubovitými spoji. Při teplotě media nad 120 °C se využívá pancéřovaných hadic z fluorových kaučuků. [20]

Z důvodu měnící se teplotních podmínek formy je třeba soustavu regulovat. Kromě regulované soustavy je třeba regulátor teploty, který je ovládaný teplotním čidlem. Změnou elektrického napětí je ovládán regulátor, který následně vyše pokyn k ohřátí či ochlazení temperačního media. Přesnost s jakou lze udržovat teplotu je závislá na přesnosti čidla, umístění čidla a přesnosti nastavené požadované teploty. K měření teploty v regulačním obvodu se využívají termočlánky, obvykle Fe-Co nebo odporové teploměry, které se užívají v případech, kdy je třeba měřit v úzkém měřicím rozsahu. Nejvhodnější se jeví použití sdruženého regulátoru teploty na bázi mikroprocesorů, které reguluje teplotu v několika místech najednou. [20]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

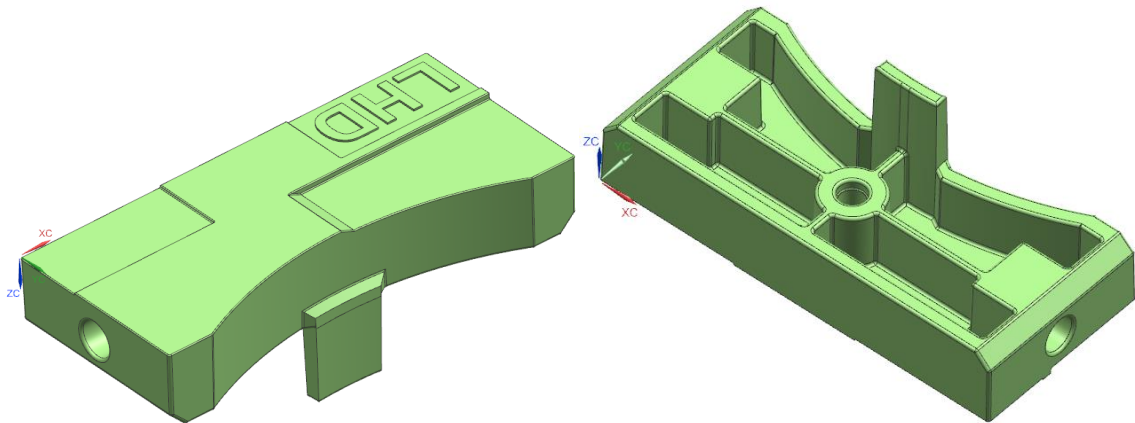
## 5 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem diplomové práce je zcela naplnit požadavky definovány v zadání diplomové práce. Konkrétně se jedná o vypracování teoretické části objasňující proces vstřikování, vyjmenování a stručný popis vstřikovaných materiálů, seznámení se vstřikovacím strojem i se vstřikovací formou tzn. s vtokovým, temperačním a vyhazovacím systémem i dalšími komponenty obsaženými ve vstřikovací formě.

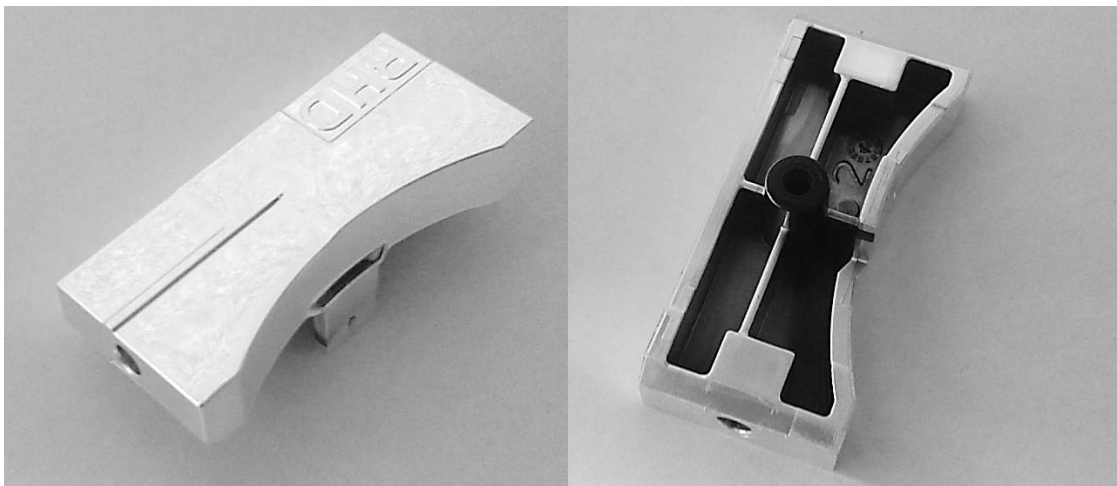
Cílem praktické části diplomové práce je zkonstruovat model výrobku na základě reálného dílu. Vytvořený výrobek použít pro návrh tvárníku a tvárnice, které jsou použity pro návrh vstřikovací formy v konstrukčním programu. Dále je třeba návrh formy doplnit o všechny standardizované i nestandardizované komponenty. Výstupem návrhu vstřikovací formy je výkresová dokumentace. Výkresová dokumentace obsahuje seznámení se všemi použitými komponenty i s pohledy v dělicí rovině na pevnou i pohyblivou část vstřikovací formy. Model výrobku je upraven pro provedení analýz a následně jsou provedeny analýzy přibližující reálný výsledek při zvolených parametrech. Výsledky analýz jsou zpracovány a rozebrány z pohledu možných negativních dopadů i návrhu na opatření vedoucí k nápravě. Závěr diplomové práce shrnuje postřehy a výsledky získané během vypracování kvalifikační práce.

## 6 VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK

Zvolené vstříkované díly menších rozměrů tj. 50x20x17mm jsou komponenty vytvářející světlomet terénního vozu. Pravý díl je vzhledem k levému zrcadlený v rovině XC-ZC s neshodným umístěním popisu. Konstrukční návrh výrobku vychází z vyrobeného dílu poskytnutého výrobním družstvem Irisa Vsetín. Konstrukce výrobku i vstříkovací formy byla provedena v programu Siemens NX 9 (dále jen NX). [23], [24]



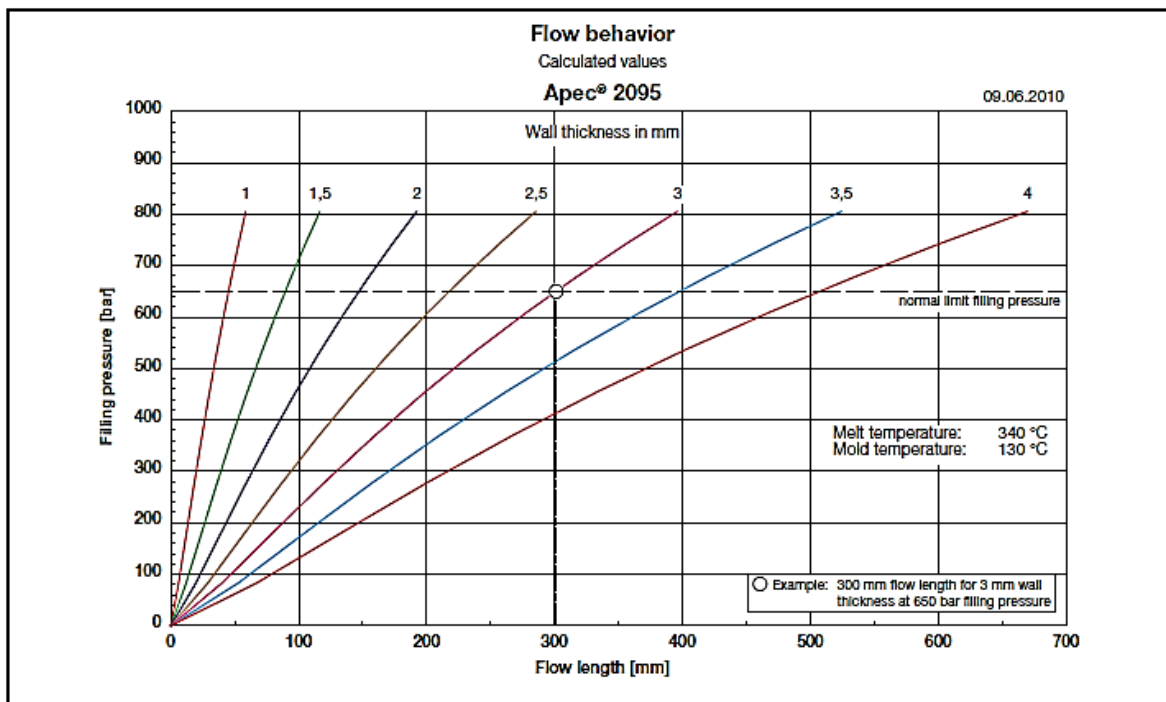
Obr. 40. CAD model levého výrobku



Obr. 41. Reálný pravý výrobek

## 7 VSTŘIKOVANÝ MATERIÁL

Volba vstříkovaného materiálu vychází z reálně užívaného granulátu. Konkrétně se jedná o materiál APEC 2095 dodávaný společností Bayer s.r.o. (Bayer MaterialScience) mající v České republice obchodní zastoupení v Praze 5 – Stodůlkách. Označení Apec 2095 ukazuje na skutečnost, že se jedná o amorfni kopolykarbonát PC-HT s vysokou tepelnou odolností do 203 °C, dobrou tekutostí a snadným odformováním. [25]



Obr. 42. Závislost vstříkovaného tlaku na délce tečení [25]

Na obr. 42. Závislost vstříkovaného tlaku na délce tečení je vyjádřena závislost mezi velikostí vstříkovaného tlaku a délkou tečení se zohledněním tloušťky stěny. Z diagramu je zřejmé, že při normálním vstříkování nebude překročena hodnota vstříkovacího tlaku 650barů tedy 65MPa. Vhodná teplota taveniny je stanovena na 330-340°C a teplota formy 130-150°C. [25]

Z důvodu absorpce vzdušné vlhkosti 0,12% a až 0,3% v přímém kontaktu s vodou je nutné před vstříkovaním využít sušárnu. Sušení se provádí při teplotě 130°C po dobu 2-12 hodin v závislosti na zvolené sušárně a množství sušeného materiálu. [25]

## 8 VSTŘIKOVACÍ STROJ

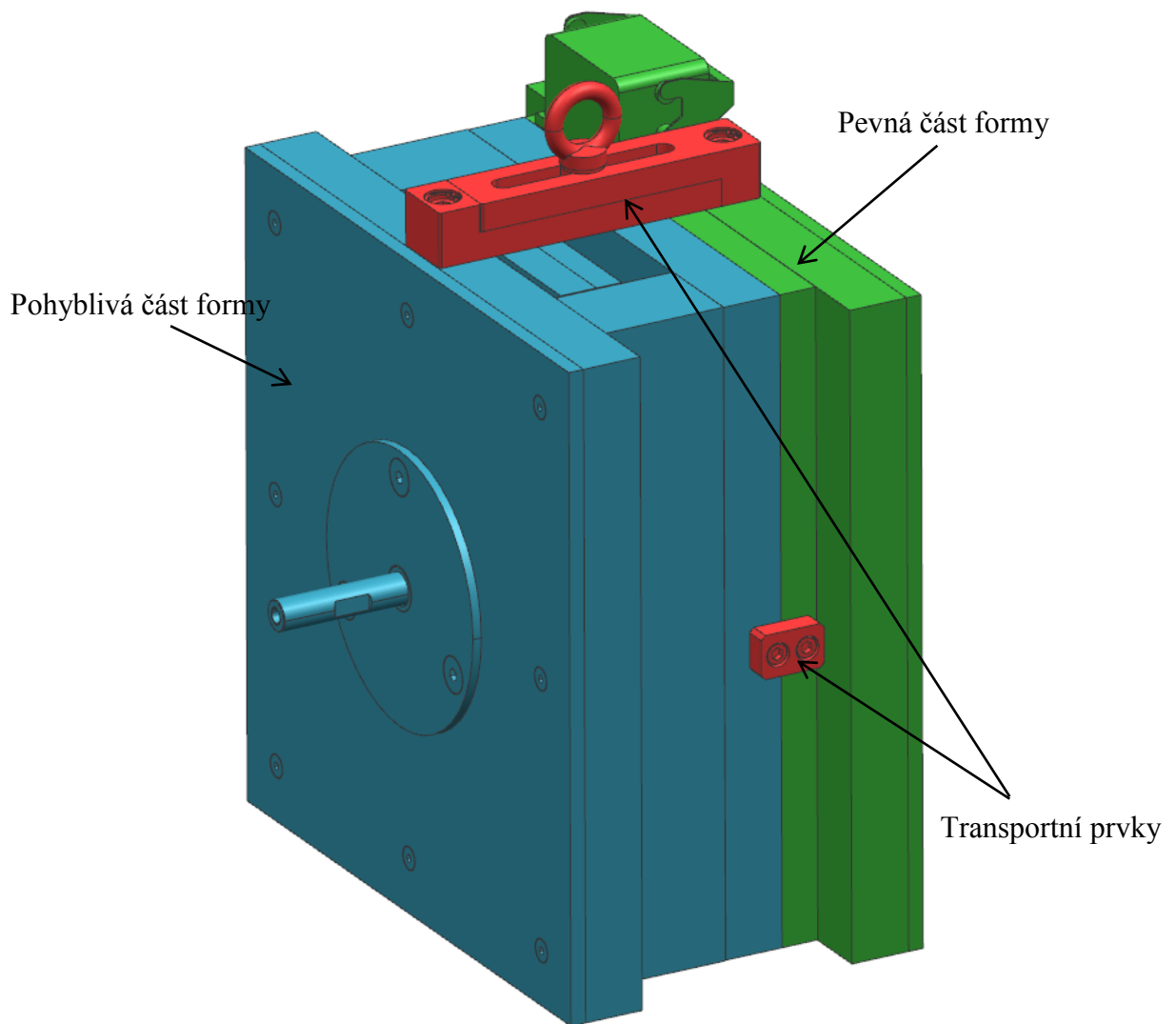
Zvolený vstřikovací stroj Arburg Allrounder 320S je podobný reálně užívanému typu stroje. Konkrétně zvolený model disponuje uzavírací silou 55t, velikosti vstřikovací jednotky 96g, maximálního množství na jedno vstříknutí 17g a průměrem šneku 18 mm. Vzdálenost mezi vodícími sloupky je 320x320mm což je dostatečná velikost pro upnutí navržené vstřikovací formy. Vhodnost této volby stroje prokáží analýzy uvedené níže. [26]



*Obr. 43. Arburg Allrounder 320S [26]*

## 9 VSTŘIKOVACÍ FORMA

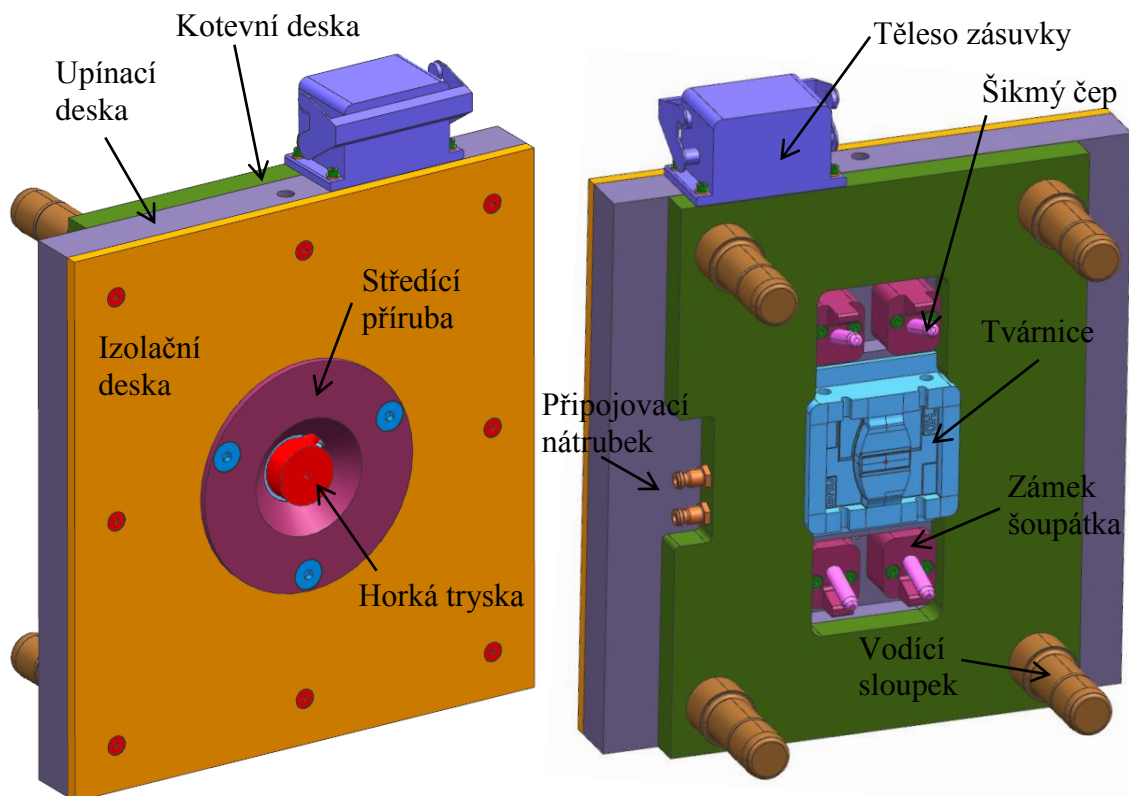
K návrhu vstřikovací formy byl využit program NX s modulem Mold Wizard umožňující vytvoření tvárníku, tvárnice i bočního odformování a vložení standardizovaných součástí. Navržená forma je dvojnásobná, obsahuje jak levý tak pravý výrobek. Vstřikovací forma disponuje rozměry 276x296x168mm. Pro přehledný popis bude forma členěna na pevnou a pohyblivou část formy.



Obr. 44. Návrh vstřikovací formy

Pevná část formy je tvořena třemi deskami – izolační, upínací a kotevní. Izolační deska sloužící k izolaci tepla mezi vstřikovacím nástrojem (formou) a strojem. Izolační deska je připevněna k upínací desce pomocí šroubů M5. K izolační desce je pomocí šroubů M20 upevněna středící příruba. Upínací deska obsahuje vyfrézovanou drážku vedoucí k tělesu zásuvky. Uprostřed upínací desky je distanční trubka sloužící k fixaci polohy vyhřívané

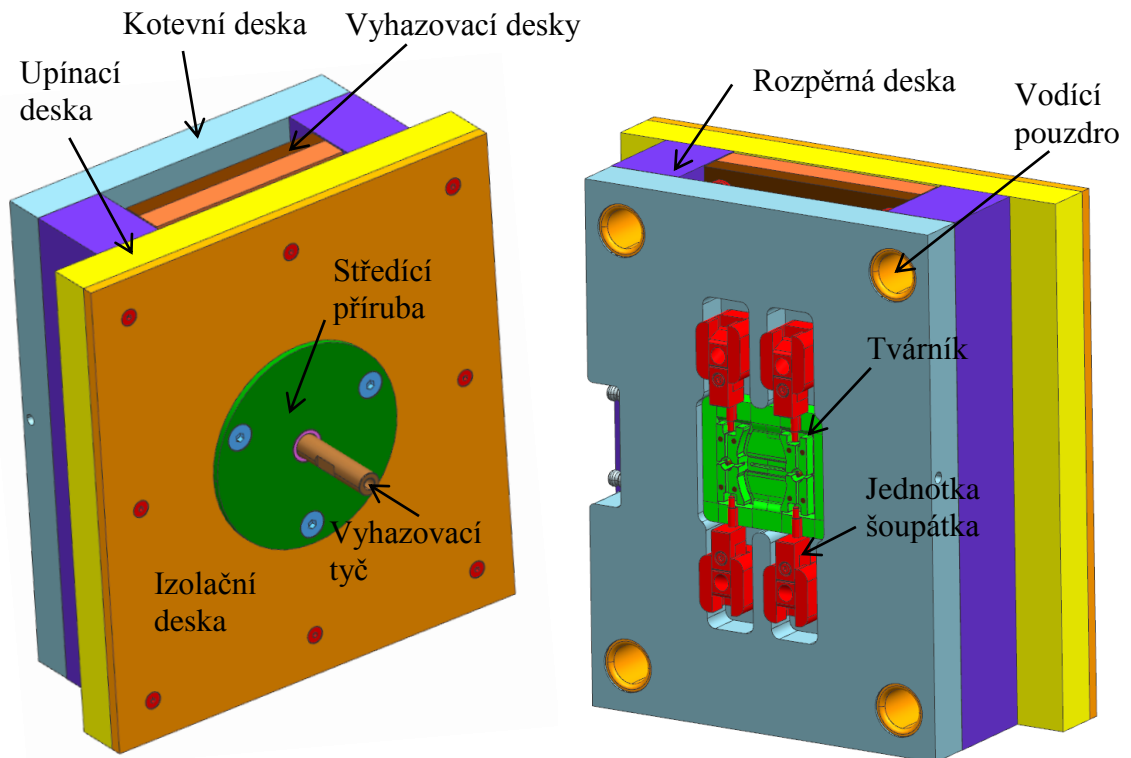
trysky. K upínací desce je připevněna kotevní deska pomocí šroubů M12. V upínací desce je díra se závitem pro přišroubování transportního můstku. Vodící sloupky jsou fixovány mezi upínací a kotevní deskou. Na kotevní desku jsou přišroubovány nejen zámky šoupátek, ve kterých jsou šikmé čepy ale i tvárnice. Do kotevní desky jsou vrtány temperační kanály vedoucí od připojovacích nátrubků až po o-kroužky, které jsou uloženy v drážce mezi upínací deskou a tvárníkem. Tvárnice a kotevní deska jsou vyrobeny z nástrojové oceli a zpracované kalením.



Obr. 45. Pevná část formy

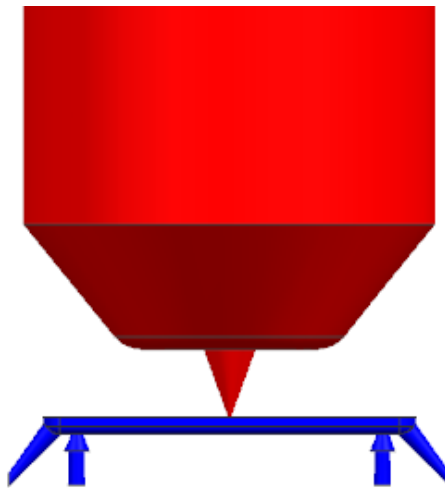
Pohyblivá část forma je tvořena izolační, upínací, kotevní, rozpěrnými a vyhazovacími deskami. Izolační deska je připevněna k upínací desce pomocí šroubů M5. K izolační desce je pomocí šroubů M20 upevněna středící příruba. Ve středící přírubě je bezúdržbové pouzdro, ve kterém se pohybuje vyhazovací tyč. Vyhazovací tyč slouží k pohybu vyhazovacích desek s válcovými vyhazovači. Rozpěrné desky definují vzdálenost mezi upínací a kotevní deskou. Ke kotevní desce jsou přišroubovány jednotky šoupátek a tvárník. V kotevní desce jsou vloženy vodící pouzdra, do kterých vstupují vodící sloupky pevné části vstřikovací formy. Do kotevní desky jsou vrtány díry ukončené o-kroužky i připojovacími nátrubky pro vedení temperačního media do a z tvárníku. Tvárník i kotevní deska jsou vyrobeny z nástrojové oceli a zpracované kalením.





Obr. 46. Pohyblivá část formy

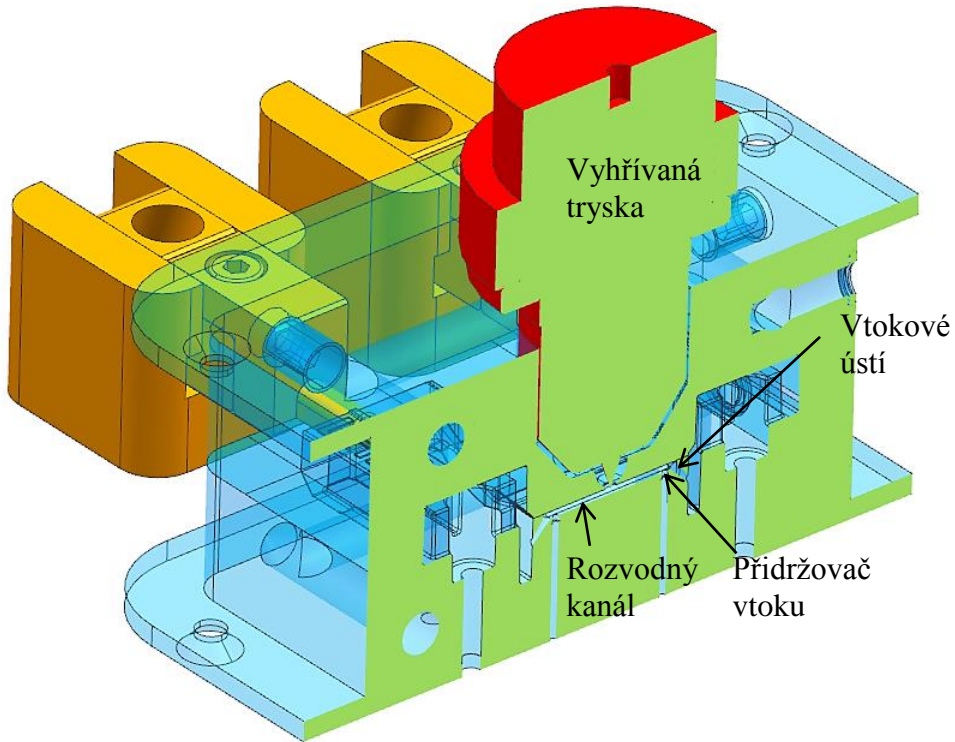
## 9.1 Vtokový systém



Obr. 47. Vtokový systém formy

Vtokový systém formy je tvořen vyhřívanou tryskou, do které je přiveden polymer ze vstřikovací jednotky stroje, rozvodným kanálem, vtokovými ústími a přídržovači vtoku. Roztavený polymer vstupuje tryskou do lichoběžníkového rozvodného kanálu, který vtokovým ústím kuželového tvaru pokračuje až do dutiny formy. Návrh vtokového systému

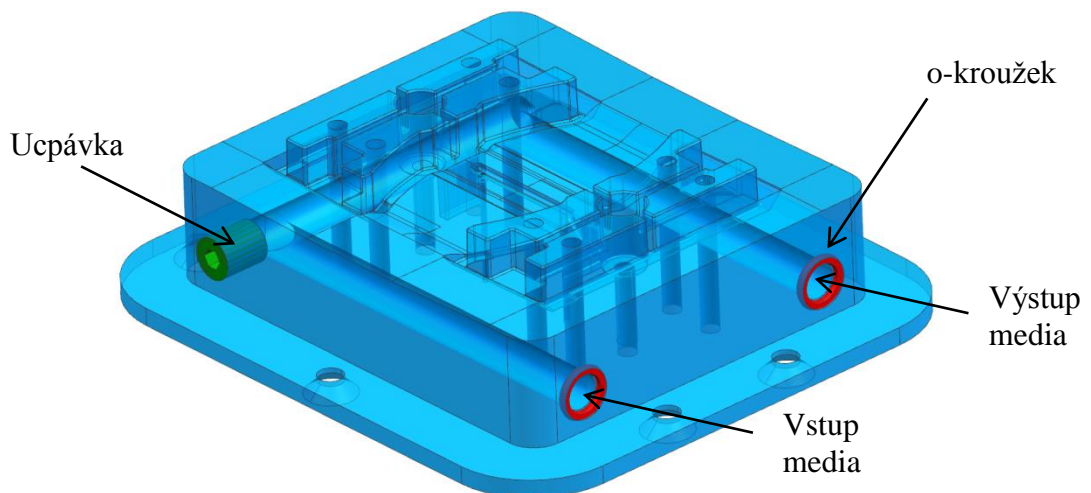
zahrnuje také dva přídržovače vtoku zajišťující fixaci v posuvné části formy. Přídržovače svým umístěním podporují odstříhnutí vtokového zbytku od výrobku.



Obr. 48. Vtokový systém formy v řezu

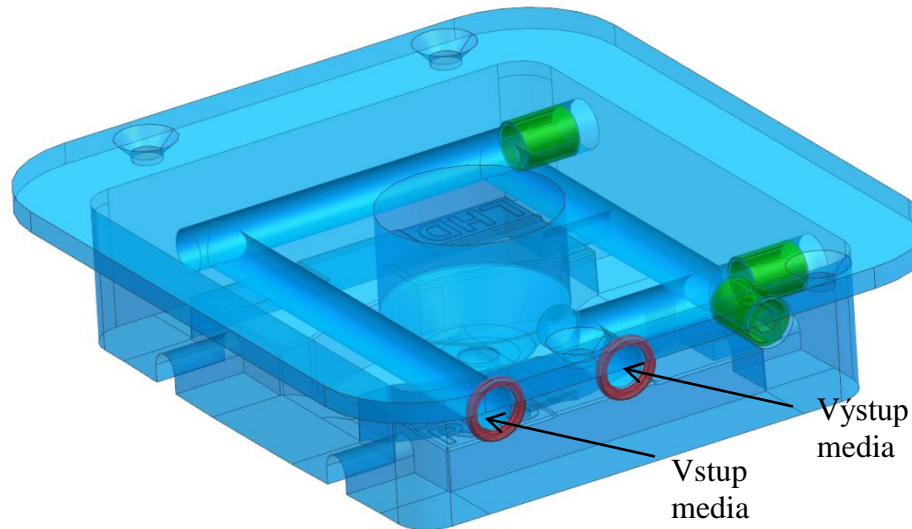
## 9.2 Temperační systém

Temperační systém tvárníku je zobrazen na Obr. 49. *Temperační systém tvárníku*. Systém je tvořen dvěma o-kroužky, které zabezpečují těsnost spojení s kotevní deskou, vrtané díry o průměru 6mm a ucpávka zajišťující správný směr pohybu temperačního media.



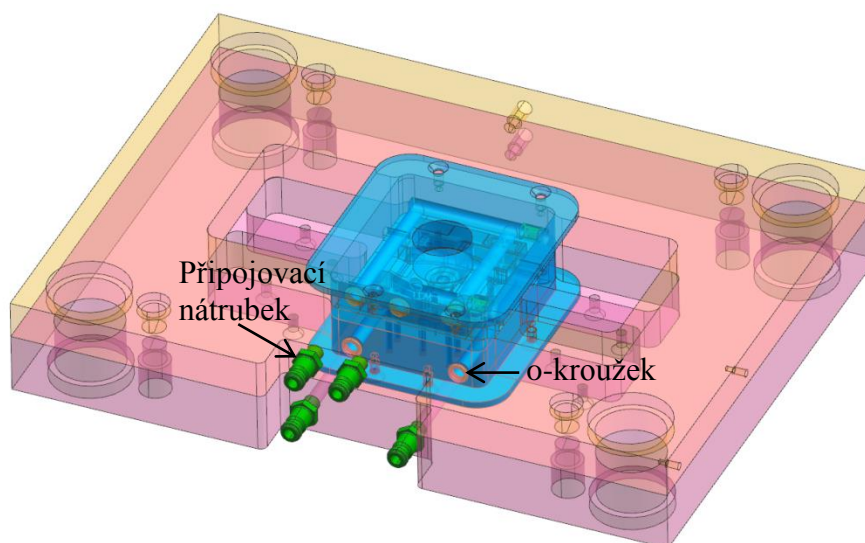
Obr. 49. Temperační systém tvárníku

Temperační systém tvárnice je zobrazen na Obr. 50. Temperační systém tvárnice. Systém je tvořen dvěma o-kroužky, které zabezpečují těsnost spojení s kotevní deskou pevné části formy, vrtané díry o průměru 6mm a ucpávkami zajišťující správný směr pohybu temperačního media, kterým je voda.



Obr. 50. Temperační systém tvárnice

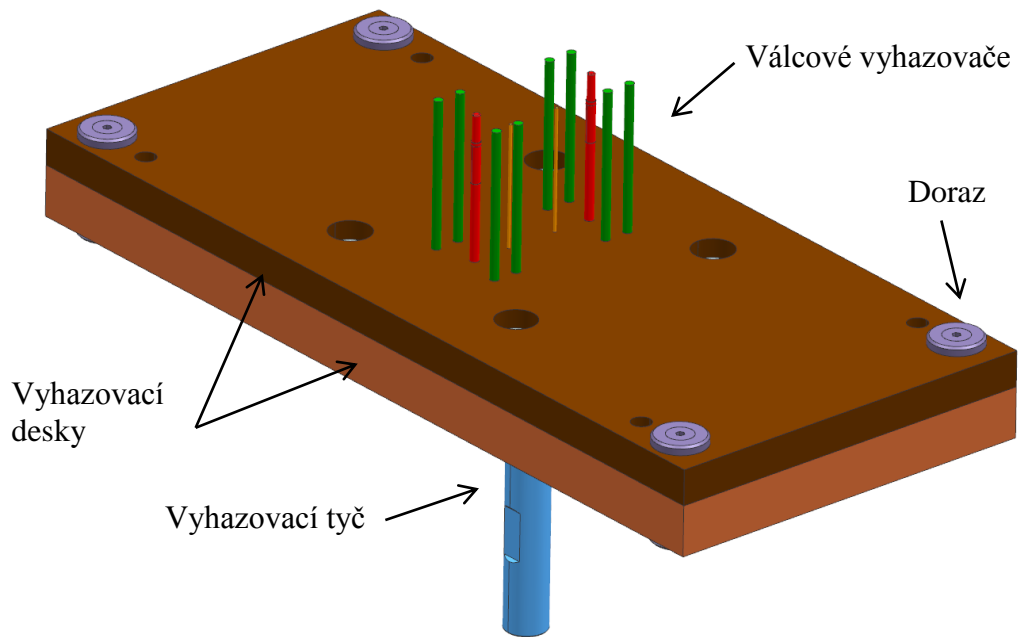
Temperační systém tvárnice a tvárníku navazuje na vrtané díry průměru 6mm v kotevních deskách pevné i pohyblivé části formy. V místě spojení je umístěn o-kroužek a díra je ukončena přípojovacím nátrubkem pro připojení temperačních hadic. Pro ochranu před mechanickým poškozením jsou nátrubky zapuštěny do formy a nevyčnívají mimo průřez formy.



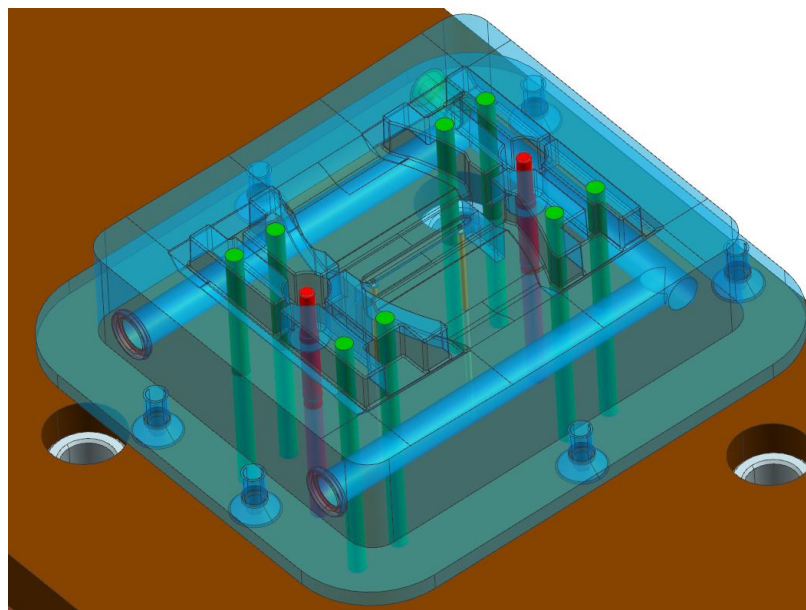
Obr. 51. Temperační systém

### 9.3 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém formy je zajištěn mechanicky. Tvoří ho dvě desky, které jsou sešroubovány šrouby M8 a opatřeny dorazy, dále pak válcové vyhazovače pro vyhození výrobků z tvárníku formy, jádra pro vytvoření děr ve výrobku a válcové vyhazovače pro odstranění vtokového zbytku. Jejich umístění podporuje oddělení od výrobku. Tento mechanismus je ovládána vyhazovací tyčí, která je ovládaná strojem.



Obr. 52. Vyhazovací systém



Obr. 53. Vyhazovací systém s detailem na tvárník



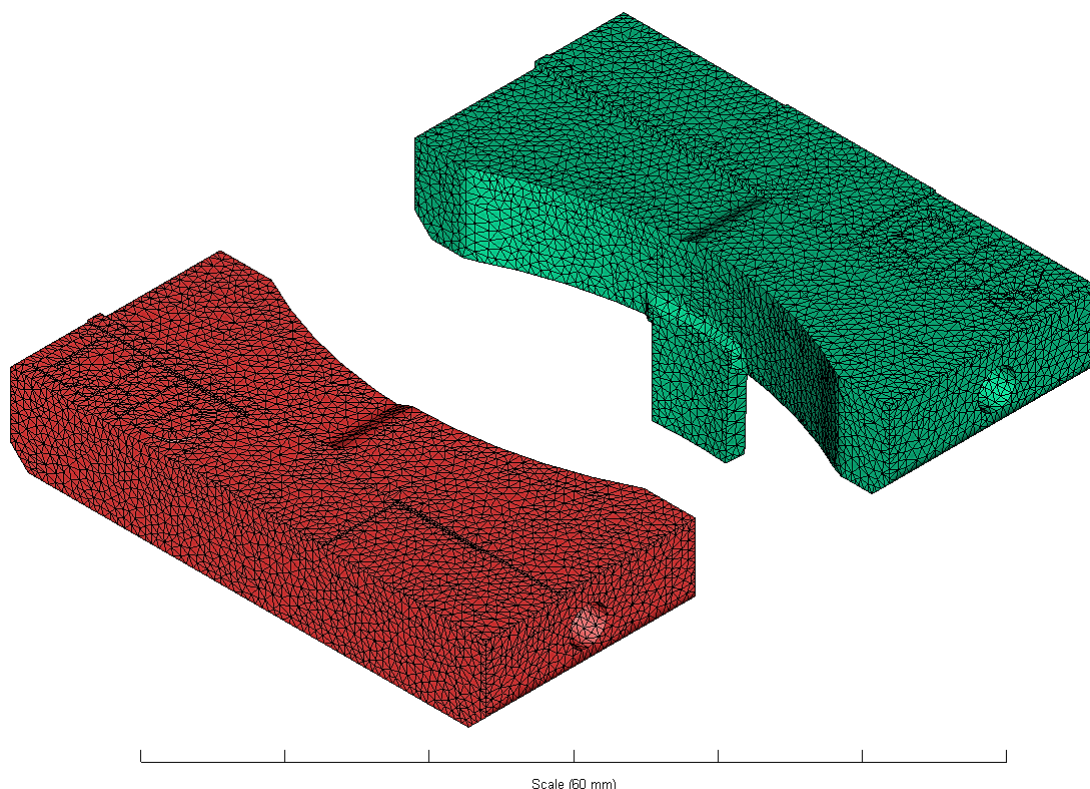
## 10 ANALÝZY V MOLDFLOW

Veškeré analýzy jsou provedeny v programu Autodesk Simulation Moldflow Insight 2014 (dále jen Moldflow 2014) na základě modelů z programu NX. Z důvodu zjednodušení průběhu analýzy jsou importované díly zjednodušeny a to odstraněním radiusů (R1mm a méně). Navzdory této skutečnosti se jedná o věrnou projekci tvarových i rozměrových parametrů skutečného výrobku.

### 10.1 Nastavení analýzy

#### 10.1.1 Modely výrobků

Oba výrobky (LHD i RHD) byly nahrány do programu ve formátu STL, což je formát, při kterém je objemové těleso reprezentováno polygonovými ploškami. Po tvorbě sítě Dual-Domain s délkou hrany 0,7 mm je třeba ještě opravit nedostatky, které by mohly znemožnit provedení analýzy.



Obr. 54. Vysítované výrobky s délkou hrany 0,7mm

Výsledky kvality vysítování výrobků po úpravě jsou zobrazeny na Obr. 55. Mesh statistics. Ukazují na skutečnost, že se síť nachází ve stavu, kdy je možno analýzy provést. To lze stanovit na základě hodnoty Aspect ratio, které nepřekračuje hodnotu 11,7, hodnoty Free edges, Non-manifold edges, Elements not oriented, Element intersections a Fully overlapping elements dosahují hodnoty 0 a celková kvalita sítě je stanovena na 89%.

```

Entity counts:
  Triangles:          42164
  Connected Nodes:   21088
  Connectivity regions 3

Area:
  Surface Area:      2605.01 cm^2

Volume:
  Triangle:          8.12109 cm^3

Aspect Ratio:
           Max   Average   Min
           11.7   1.83    1.16

Edge details:
  Free edges                0
  Manifold edges            63246
  Non-manifold edges        0

Orientation details:
  Elements not oriented     0

Intersection details:
  Element intersections     0
  Fully overlapping elements 0

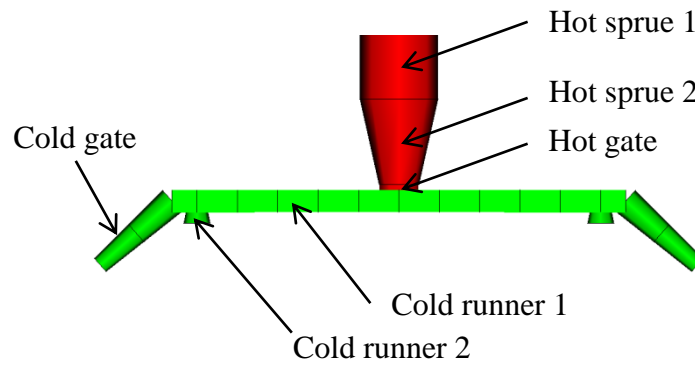
Match percentage:
  Match percentage          89.0%
  Reciprocal percentage     91.7%

```

*Obr. 55. Mesh statistics*

### 10.1.2 Vtokový systém

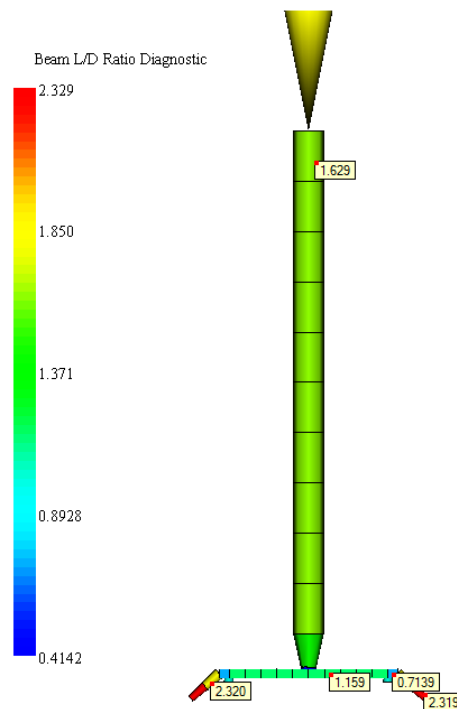
Vtokový systém je tvořen jak vyhřívanou (horkou) částí tak také studenou částí. Důvodem tohoto kombinovaného vtokového systému je úspora materiálu snížením velikosti vtokového zbytku. Druhým neméně důležitým důvodem pro takový návrh je přiblížení se reálné formě, která je zhotovena na výrobu čtyř výrobků během jednoho vstřikovacího cyklu a disponuje kombinovaným vtokovým systémem. Kontrola nastavení sítě pomocí L/D Ratio ukázala, že vtokový systém nepřesahuje hodnotu 3, která je nutná pro provedení analýzy.



Obr. 56. Nastavení vtokového systému

Tab. 8. Nastavení vtokového systému

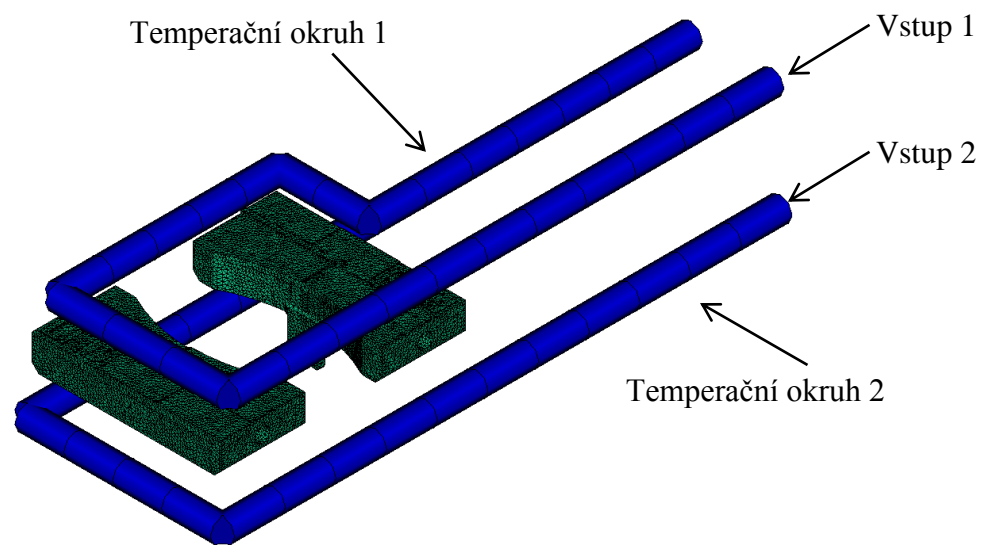
ENG název	CZ ekvivalent	rozměry
Hot sprue 1	Horký vtokový kanál	Ø3,5mm
Hot sprue 2	Horký vtokový kanál	Ø3,5mm – Ø1,8mm
Hot gate	Horké vtokové ústí	Ø1,8mm
Cold runner 1	Studený rozvodný kanál	2x1,8x1mm, délka 20mm
Cold runner 2	Přidržovače vtoku	Ø0,8mm – Ø1,2mm
Cold gate	Studené vtokové ústí	Ø1,3mm – Ø1,8mm



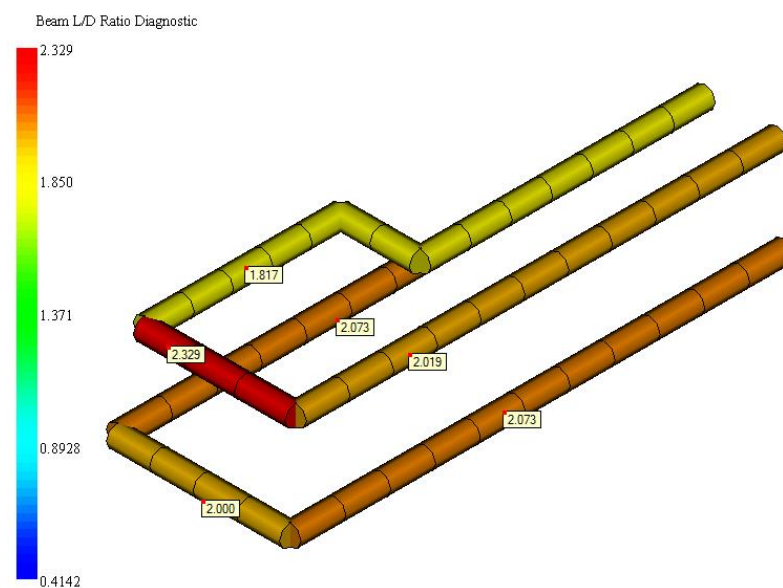
Obr. 57. Kontrola nastavení vtokového systému

### 10.1.3 Temperační systém

Temperační systém sloužící k udržení teplotního režimu formy musí dosáhnout optimálně krátkého pracovního cyklu vstřikování a to při dodržení všech technologických požadavků na výrobu. Při tvorbě temperačních okruhů se vycházelo z návrhu formy v NX a proto jsou vytvořeny dva temperační okruhy. Oba okruhy mají shodné nastavení - temperační medium je voda, tlak temperačního media je 0,25bar a teplota temperačního media je 25 °C. Kontrola nastavení sítě pomocí L/D Ratio ukázala, že vtokový systém nepřesahuje hodnotu 3, která je nutná pro provedení analýzy.



Obr. 58. Temperační systém



Obr. 59. Kontrola nastavení temperačního systému



#### 10.1.4 Volba materiálu

Volba materiálu vychází z reálně užívaného materiálu Bayer MaterialScience Apec 2095, popis jeho vlastnosti se nachází v Tab. 9. Bayer MaterialScience Apec 2095. Apec 2095 je amorfní polykarbonát využívající se v dnešní době v automobilovém průmyslu, konkrétně při výrobě světlometů a jiných součástí, které jsou teplotně namáhány.

Tab. 9. Bayer MaterialScience Apec 2095

ENG název	CZ ekvivalent	Hodnota
MVR	Index toku taveniny	$8\text{cm}^{-3} \cdot 10\text{min}^{-1}$
Mold surface temperature	Teplota povrchu formy	130-150 °C
Melt temperature	Teplota taveniny	330-340 °C
Maximum shear stress	Maximální smykové napětí	0,5MPa
Maximum shear rate	Maximální rychlost smykové deformace	$40\ 000\text{s}^{-1}$

#### 10.1.5 Volba stroje

Volba stroje vychází z podobnosti k reálně užívanému stroji. Konkrétně se jedná o stroj Allrounder 320 S 55 tons 1.3 oz (18mm) od výrobce Arburg. Popis jeho vlastnosti se nachází v Tab. 10. Arburg Allrounder 320 S.

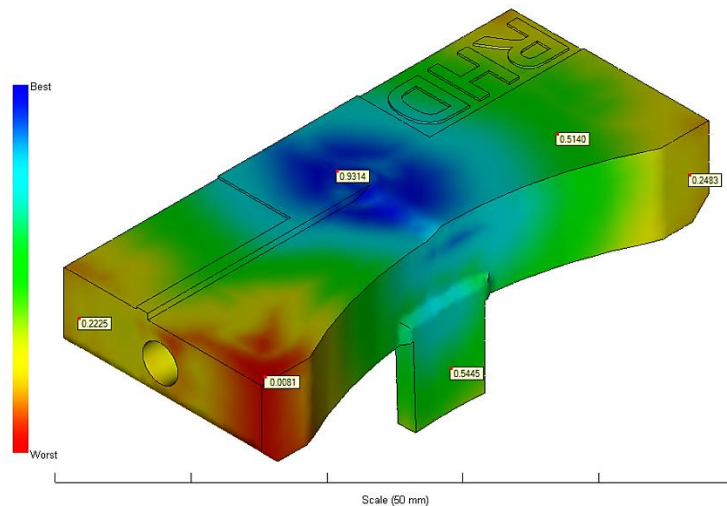
Tab. 10. Arburg Allrounder 320 S

ENG název	CZ ekvivalent	Hodnota
Maximum machine injection stroke	Maximální zdvih stroje	55,58mm
Maximum machine injection rate	Výkon stroje	$52,02\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
Machine screw diametr	Průměr šneku	18mm
Maximum machine injection pressure	Maximální vstřikovací tlak	250MPa
Maximum machine clamp force	Maximální uzavírací síla	49,88t

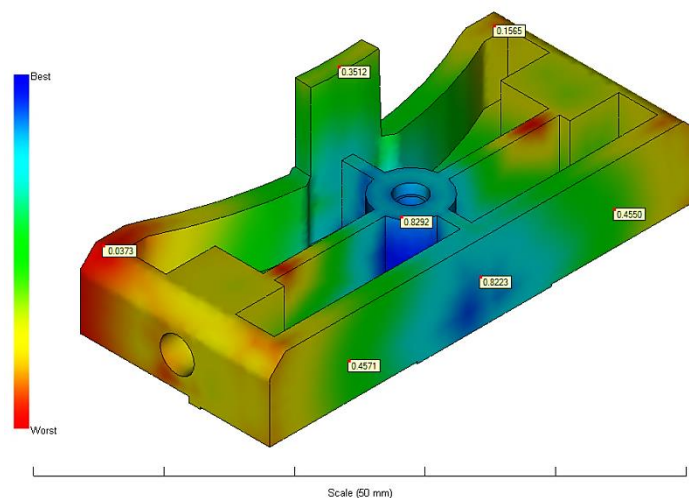
## 10.2 Výsledky analýzy

### 10.2.1 Analýza umístění vtokového ústí

Moldflow obsahuje možnost provést analýzu posuzující vhodnost umístění vtokového ústí. Výsledky této analýzy jsou zobrazeny na Obr. 60. Analýza umístění vtokového ústí a Obr. 61. Analýza umístění vtokového ústí - pohled od tvárníku. Analýza ukazuje, že se nejvhodnější místo vtokového ústí nachází uprostřed dílu, konkrétně v místě otvoru na pohledové části dílu (vhodnost 93,1%). Nejméně vhodné místo k umístění vtokového ústí je znázorněno červenou barvou. Zvolené vtokové ústí, které koresponduje s reálným umístěním, dosahuje procentuální vhodnosti 54,4% což vzhledem k tomu, že se jedná o nepohledovou část dílu, ukazuje na vhodnou volbu.



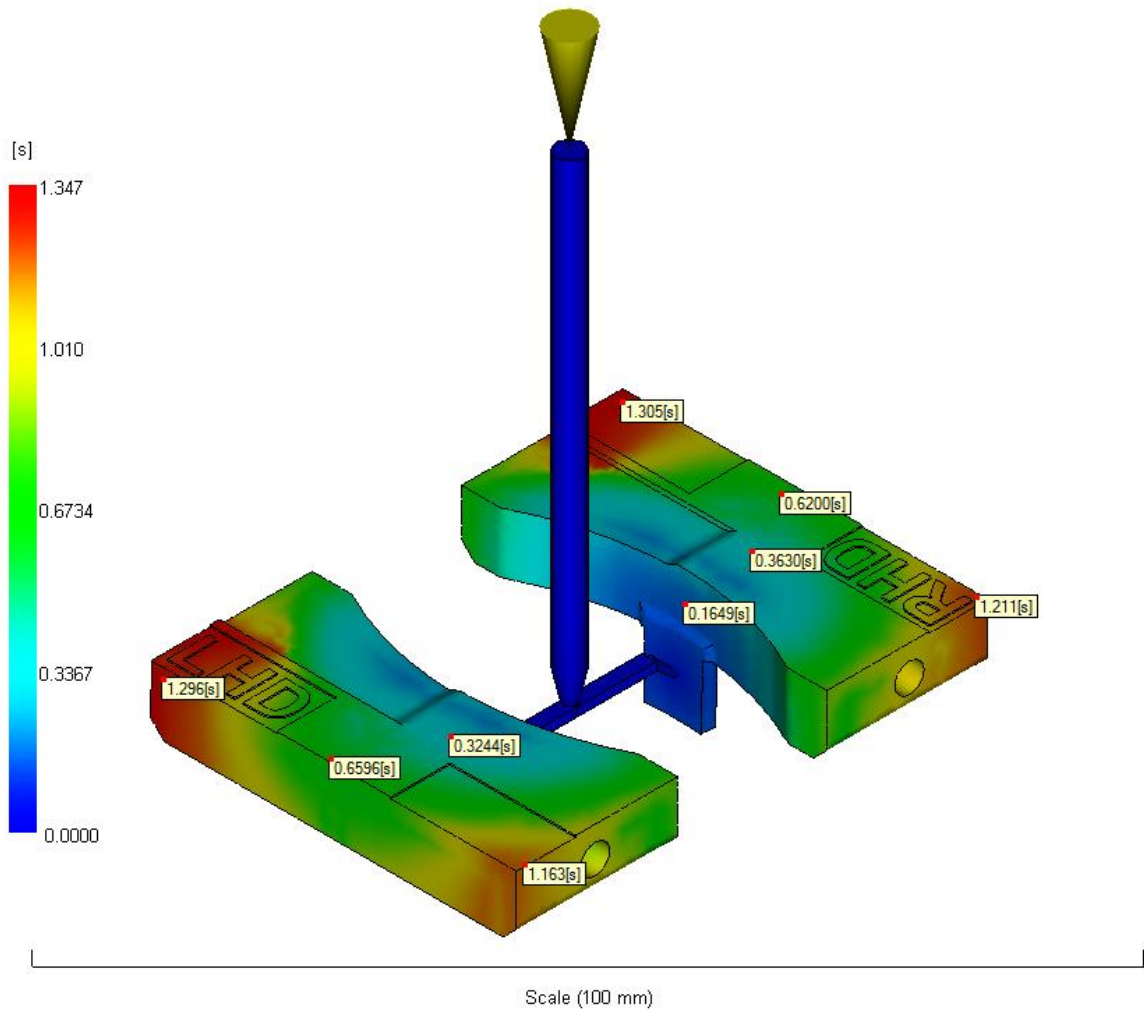
Obr. 60. Analýza umístění vtokového ústí



Obr. 61. Analýza umístění vtokového ústí - pohled od tvárníku

### 10.2.2 Analýza plnění

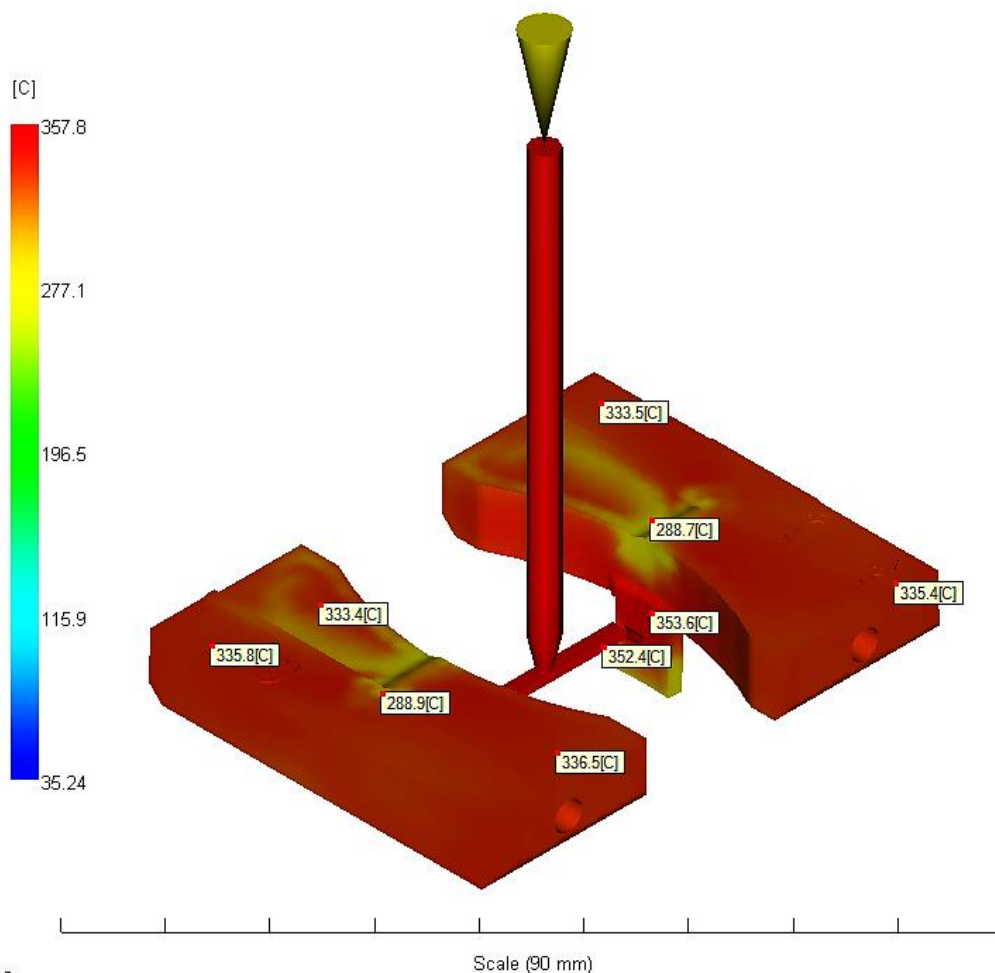
Analýza plnění zobrazuje průběh plnění dutiny polymerem v čase. Lze si tak udělat představu o průběhu vstřikovacího cyklu. Z výsledku vyplývá, že se dutina formy zaplní rovnoměrně a to shodně jak pro LHD tak také RHD výrobek. Proto lze předpokládat, že nenastanou přetoky v dělicí rovině. Zaplnění dutiny formy je kompletní a analýza nezobrazuje jakékoliv nedotečení polymeru. Celková délka vstřikování polymeru je 1,35s.



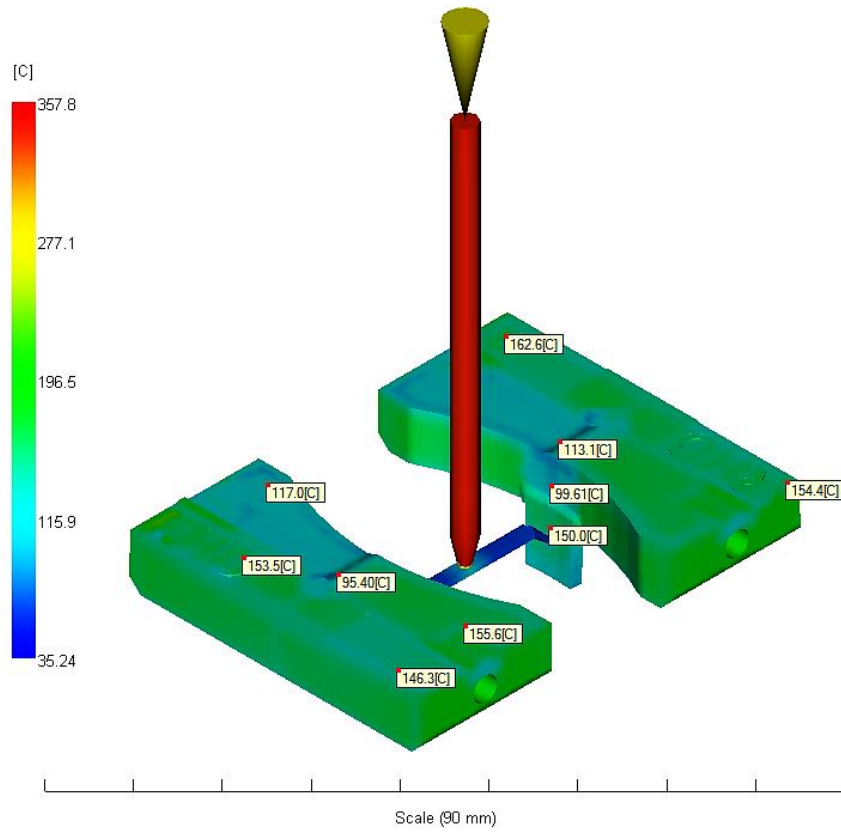
Obr. 62. Analýza plnění

### 10.2.3 Analýza teploty taveniny v objemu

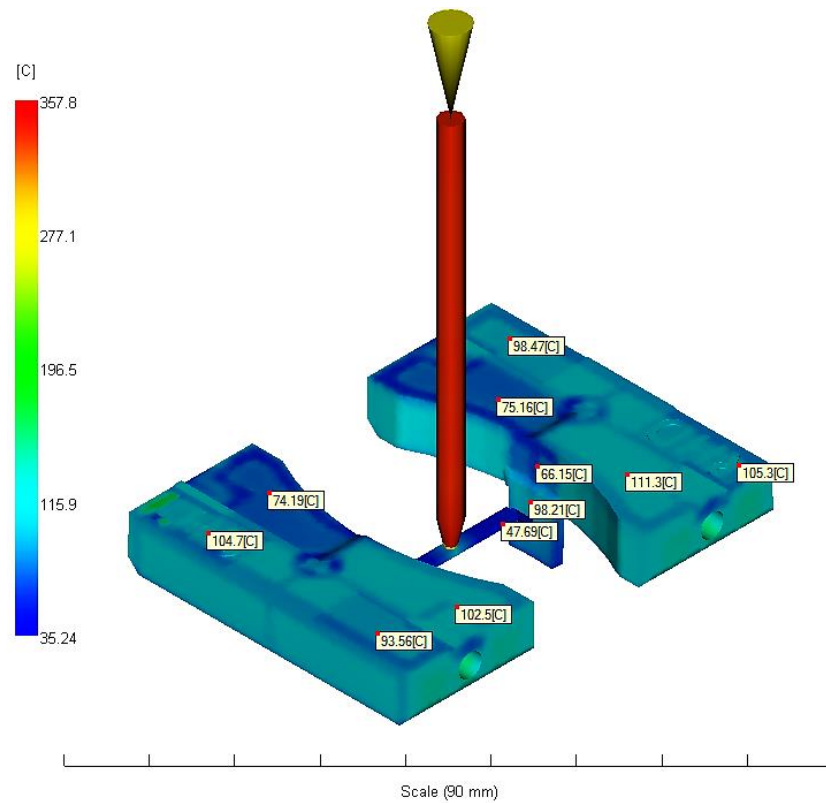
Analýza teploty taveniny v objemu je způsob, jak sledovat vývoj teploty taveniny v celém objemu výrobku během času. Výsledky níže zobrazují teplotu taveniny v čase 1,35s, 5,26s a 10,34s. Maximální teplota taveniny dosahuje hodnoty 357,8 °C což je vzhledem k nastavené teplotě taveniny 335 °C a dovolené maximální teploty taveniny z materiálového listu 340 °C neakceptovatelné. Teplota taveniny zvýšená téměř o 18 °C nad dovolené maximum ukazuje na možnou tepelnou degradaci materiálu, což je pro aplikaci výrobku (světlo met automobilu) zcela nevyhovující. Mezi navrhované změny pro snížení teploty pod hranici 340 °C se nabízí změna geometrie součástí, změna procesních podmínek nebo změna materiálu.



Obr. 63. Analýza teploty taveniny v objemu při 1,35s



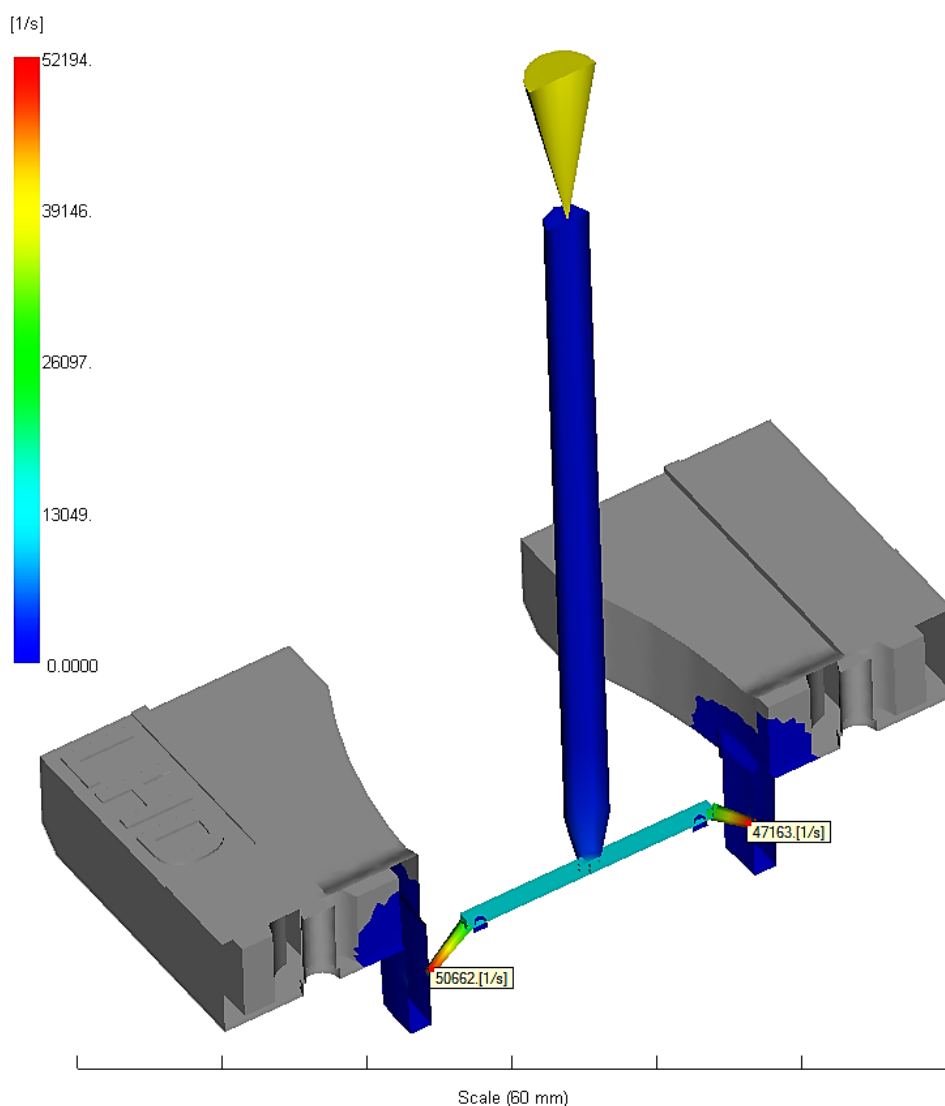
Obr. 64. Analýza teploty taveniny v objemu při 5,26s



Obr. 65. Analýza teploty taveniny v objemu při 10,34s

#### 10.2.4 Analýza rychlosti smykové deformace

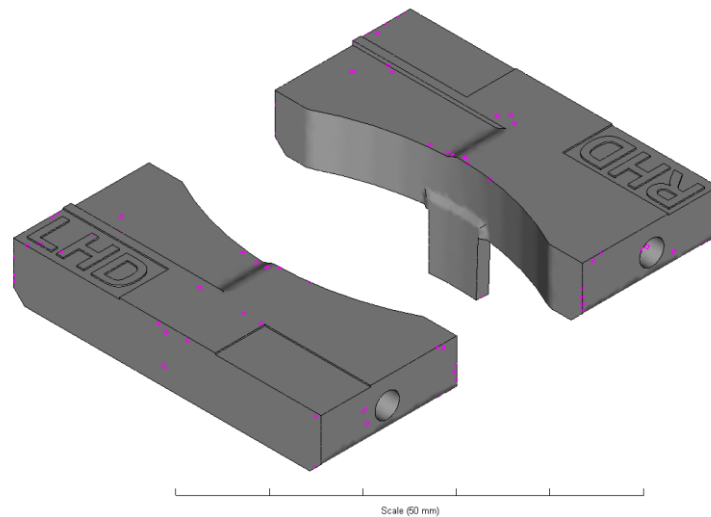
Pro stanovení maximální rychlosti smykové deformace byl využit řez v čase cyklu 0,17s. Zjištěné hodnoty výrazně převyšují dovolenou hodnotu  $40000\text{s}^{-1}$  a sice o více než 25%. Protože rychlost smykové deformace udává rychlost s jakou se vrstva polymerního materiálu posouvá po jiné vrstvě, je třeba, aby nedošlo k překročení dovolené rychlosti, neboť poté dochází k přetržení polymerních řetězců a tím k degradaci užitého materiálu. Nápravným opatřením pro snížení rychlosti smykové deformace je zvýšení průřezu ve vtokovém ústí či snížení vstřikovacího tlaku.



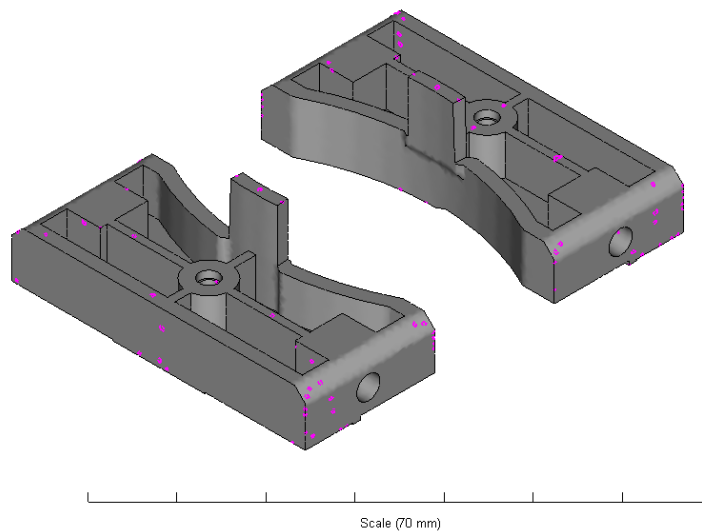
Obr. 66. Analýza rychlosti smykové deformace při 0,17s

### 10.2.5 Analýza výskytu vzduchových kapes

Výsledky analýzy výskytu vzduchových kapes ukazují výskyt řady kapes na pohledových i nepohledových stranách výrobku. Eliminace vzduchových kapes je možná užitím deflektoru, zvolením optimální rychlosti vstřikování, užitím odvzdušňovacích drážek či vůlí ve vyhazovačích.



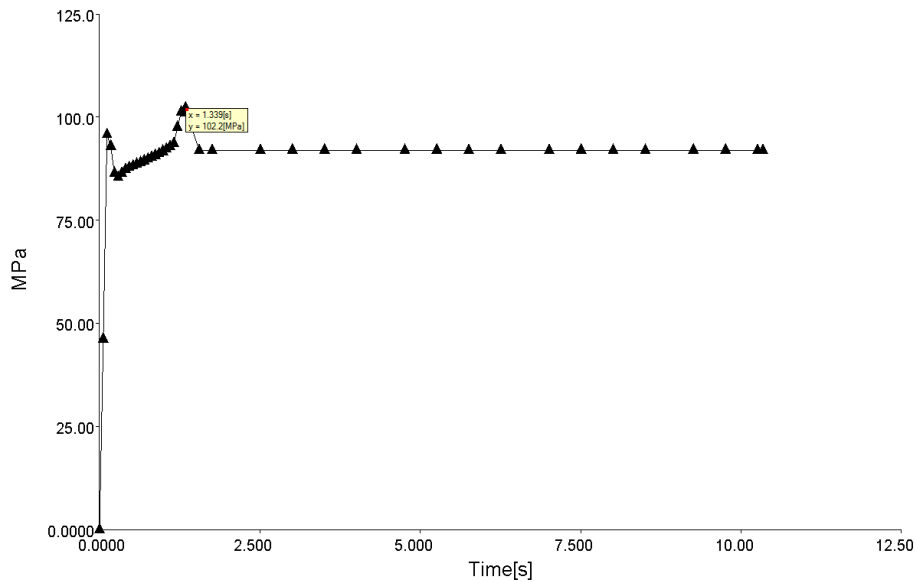
*Obr. 67. Analýza výskytu vzduchových kapes*



*Obr. 68. Analýza výskytu vzduchových kapes - pohled od tvárníku*

### 10.2.6 Analýza vstřikovacího tlaku

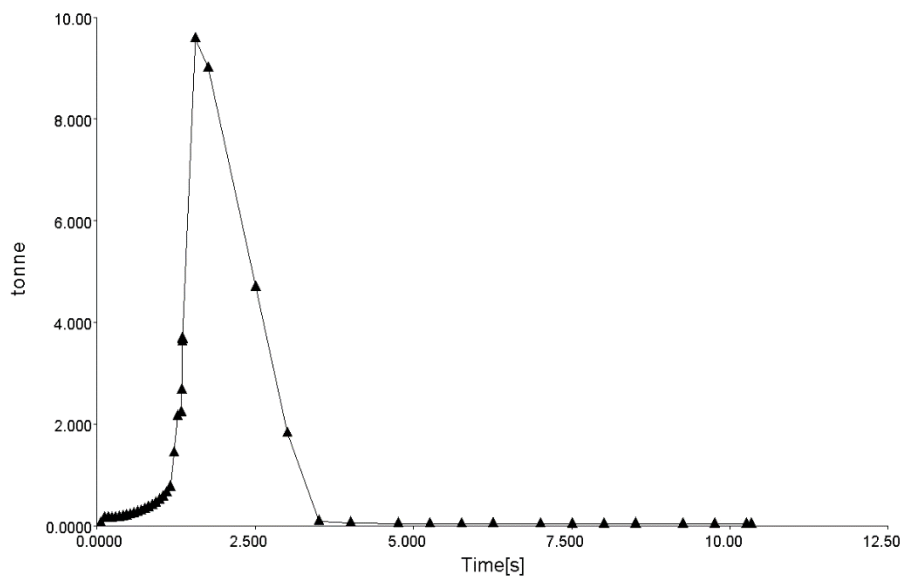
Níže uvedený výsledek analýzy vstřikovacího tlaku ukazuje na rovnoměrný tlak bez výkyvů a tedy bez potřeby zásahu. Nejvyšší zjištěná hodnota tlaku 102.2MPa je naměřena v čase 1,33s.



Obr. 69. Analýza vstřikovacího tlaku

### 10.2.7 Analýza uzavírací síly

Analýza velikosti uzavírací síly ukázala, že není překročen 80% limit stroje, který je 49,88t, 20% bezpečnostní rezerva tedy není vyčerpána.

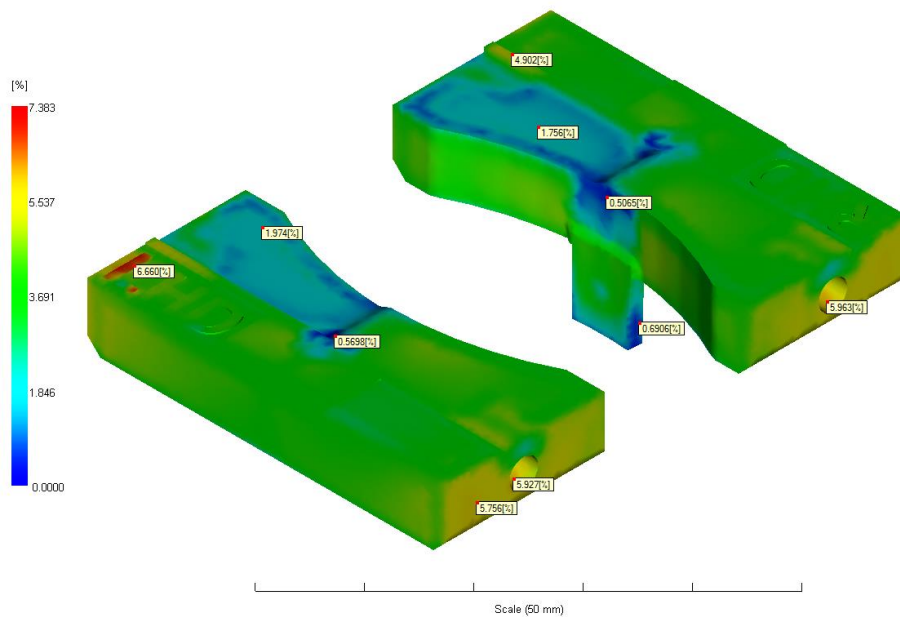


Obr. 70. Analýza uzavírací síly

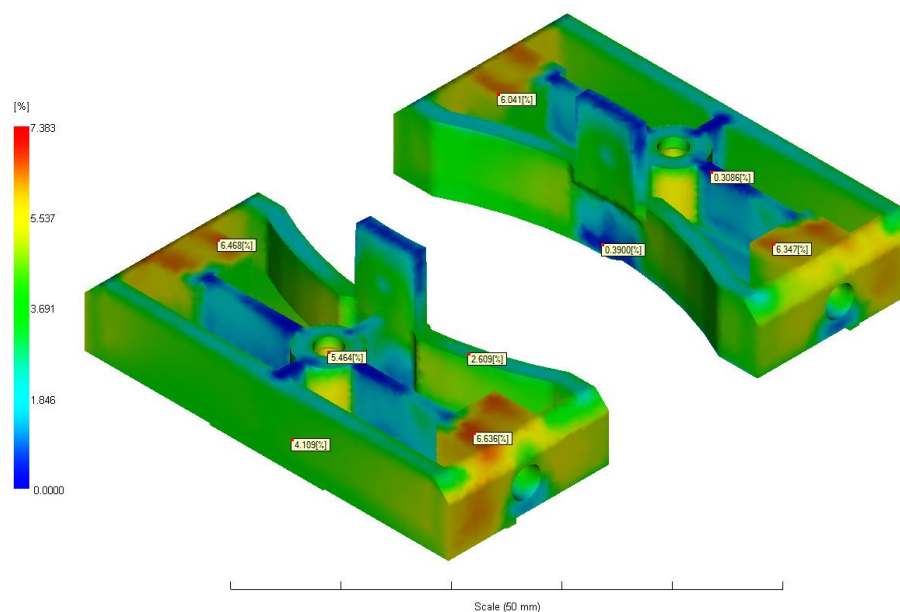


### 10.2.8 Analýza propadlin

Výsledky zobrazení analýzy propadlin ukazují na deformaci povrchu tělesa vlivem horkého jádra. Nejvyšší hodnoty smrštění je dosaženo v oblasti výskytu velkého podílu vstřikovaného materiálu vzhledem k objemu výrobku. Optimalizace velikosti propadlin je možná pomocí změny konstrukce (tloušťky stěn), zvýšení velikosti dotlaku, přemístění vtokového ústí, zvětšení vtokového systému či snížením teploty taveniny a formy. Další možností je změna materiálu výrobku.



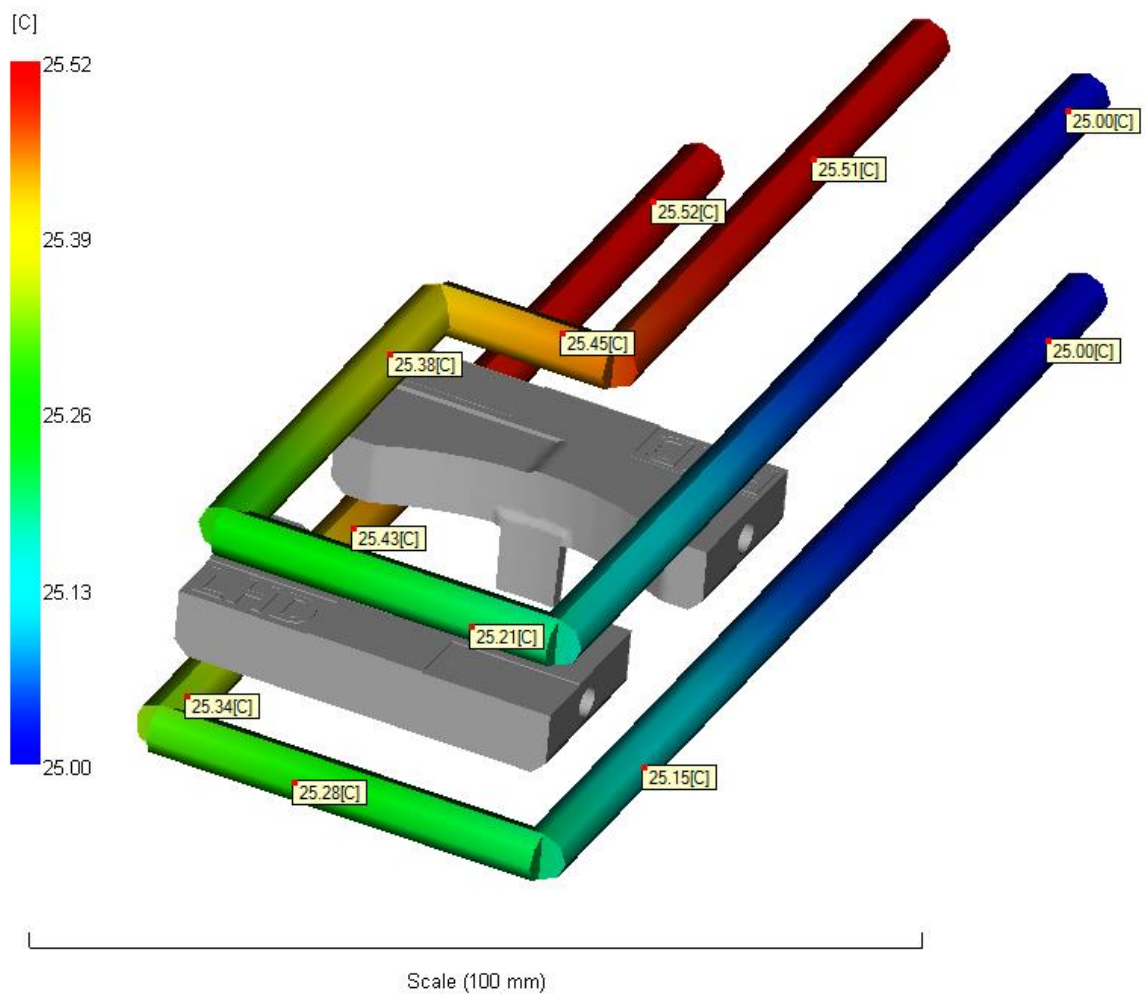
Obr. 71. Analýza propadlin



Obr. 72. Analýza uzavírací síly - pohled od tvárníku

### 10.2.9 Analýza teploty temperačního media

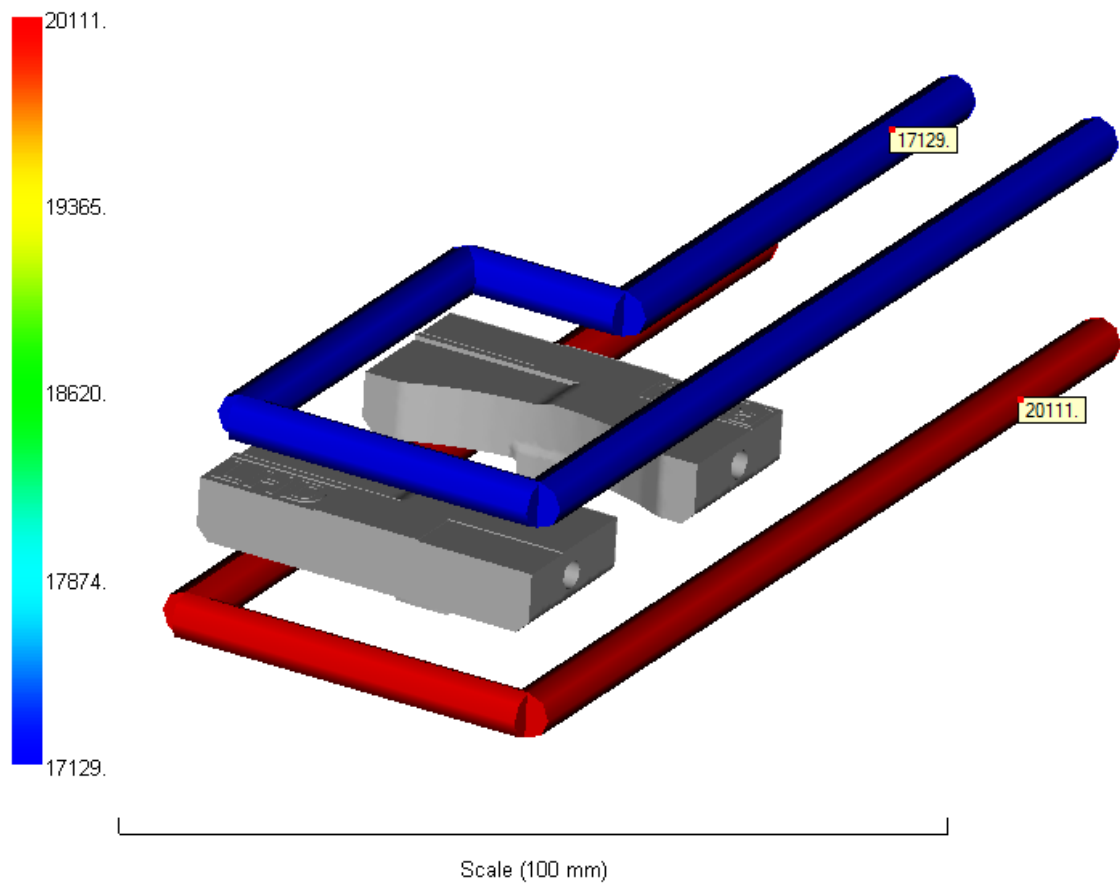
Výsledky analýzy teploty temperačního media zobrazují průběh teplot v jednotlivých temperačních okruzích. Okruh v tvárnici a kotevní desce pevné části formy ukazuje zvýšení teploty temperačního media stejně jako okruh v tvárníku a kotevní desce pohyblivé části formy asi o 0,5 °C, což je zcela v pořádku a akceptovatelné. Nedošlo k dosažení neakceptovatelných hodnot 2-3 °C.



Obr. 73. Analýza teploty temperačního media

### 10.2.10 Analýza Reynoldsova čísla temperačních okruhů

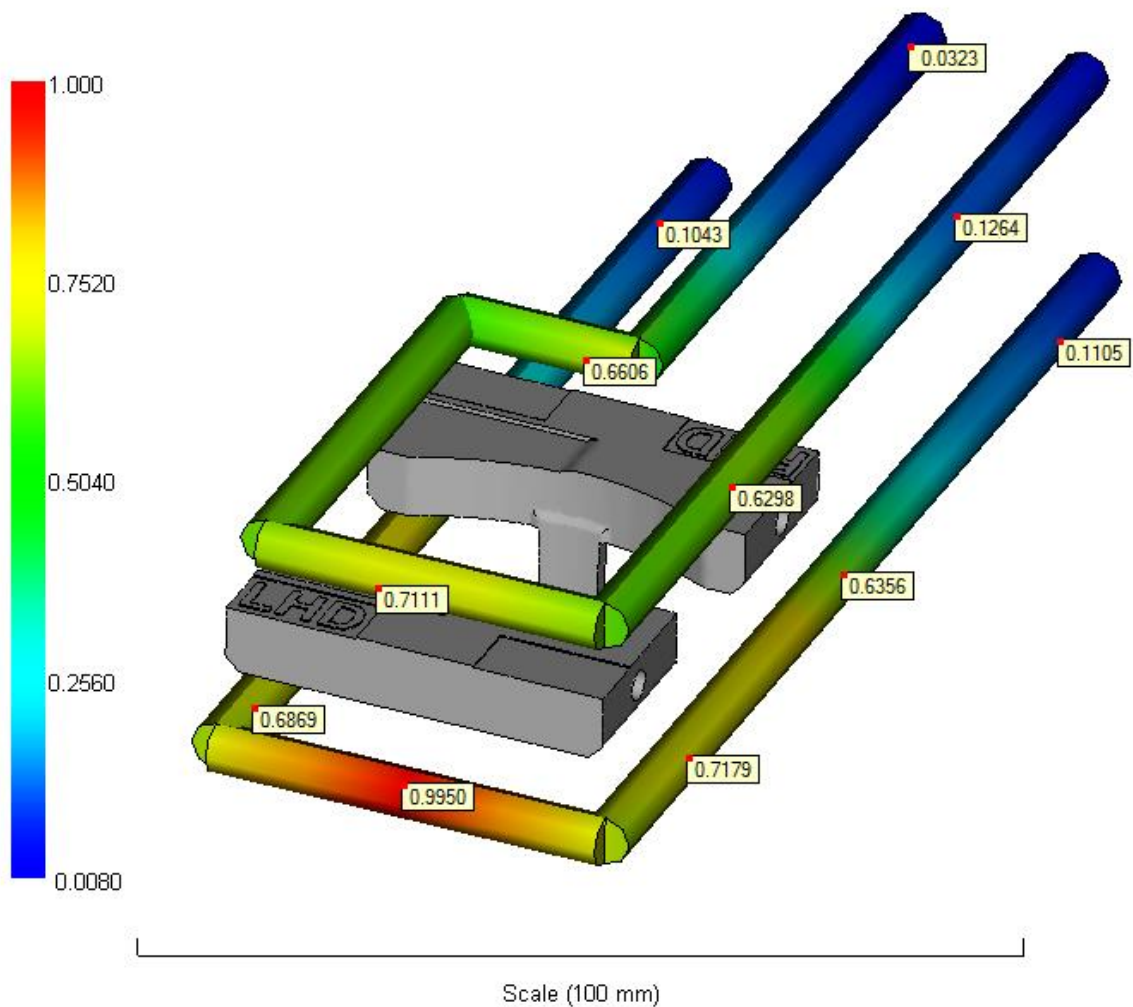
Analýza Reynoldsova čísla poskytuje představu o druhu proudění temperačního media. Protože je v obou okruzích Reynoldsovo číslo větší než 10 000, lze s jistotou konstatovat, že v obou okruzích dochází k turbulentnímu proudění zaručující vyšší přestup tepla oproti laminárnímu proudění.



Obr. 74. Analýza Reynoldsova čísla temperačních okruhů

### 10.2.11 Analýza efektivity odběru tepla

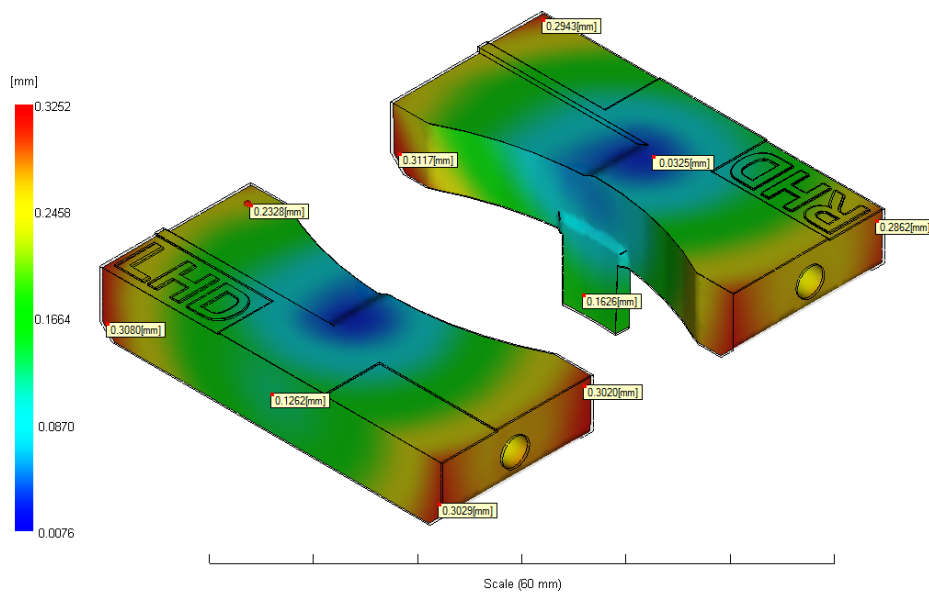
Výsledkem analýzy efektivity odběru tepla je zjištění využití jednotlivých částí temperačních okruhů. Z výsledku plyne, že nejefektivněji je využít temperační okruh pohyblivé části formy v oblasti LHD dílu tj. 99,5%. Průměrná hodnota efektivity v oblasti tvárníku a tvárnice dosahuje hodnoty 70% a tím naznačuje, že navržená konstrukce temperačního systému je vhodně zvolena.



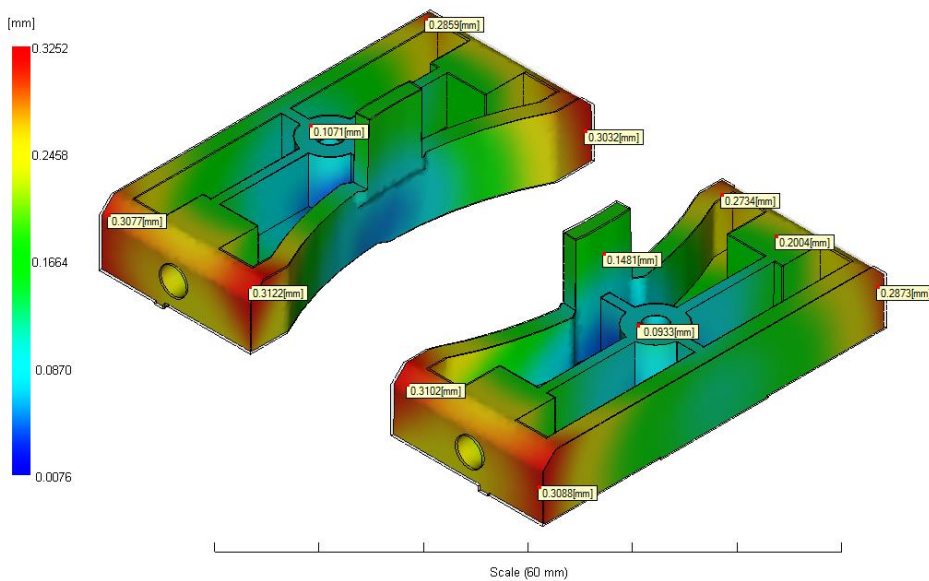
Obr. 75. Analýza efektivity odběru tepla

### 10.2.12 Analýza smrštění

Analýza smrštění zobrazuje odchylku teoretického objemu výrobku (dutina formy) vzhledem ke skutečnému výrobku z důvodu smrštění materiálu. Ke smrštění dochází z několika důvodů, může se jednat o vliv chlazení, vliv užitého materiálu či konstrukce dutiny formy. Protože se rozdíl oproti dutině forem nachází v řádech desetin mm a to především na nepohledových a nefunkčních částech dílu, lze předpokládat, že uvedené hodnoty jsou zcela postačující.



Obr. 76. Analýza smrštění



Obr. 77. Analýza smrštění - pohled od tvárníku

## ZÁVĚR

Diplomová práce naplnila požadavky definovány v zadání práce. Teoretická část popisuje proces vstřikování, vstřikované materiály, parametry vstřikovacího stroje i vstřikovací formu a její komponenty i zásady, které je třeba při konstrukčním návrhu respektovat.

Praktická část seznamuje se zkonstruovaným výrobkem, který je věrnou kopií reálného výrobku. Vytvořený výrobek byl využit k návrhu vstřikovací formy, která je představena v praktické části i příloze diplomové práce.

Výrobek poskytnutý výrobním družstvem Iriša Vsetín byl podroben na základě konstrukčního návrhu formy analýzám. Z těchto analýz plynou závěry pozitivní – stejná doba plnění obou dutin formy, vstřikovací tlak ani uzavírací síla nepřekračují možnosti užitého vstřikovacího stroje, temperační systém je navržen vhodně, neboť nedochází k výraznému poklesu teploty temperačního media a dochází k turbulentnímu proudění, smrštění až 0,32mm se vyskytuje pouze na nepohledových a nefunkčních částech dílu. Z provedených analýz plynou i neutrální závěry – umístění na vhodném místě avšak s možností umístění na vhodnějším místě, výskyt vzdušných kapes, které lze odstranit z pohledových i nepohledových ploch např. vůli v uložení vyhazovačů, propadliny vyskytující ve velikosti až 7,4% lze eliminovat procesními parametry. Z analýz plynou bohužel i závěry negativní – nedodržení maximální doporučené teploty taveniny téměř o 17 °C, nedodržení maximální dovolené rychlosti smykové deformace užitého materiálu o více než 25%.

Navzdory pozitivním i neutrálním závěrům z analýz lze konstatovat, že lze očekávat nezanedbatelnou degradaci vstřikovaného materiálu. Degradace není akceptovatelná, neboť se jedná o výrobek užit ve světlometu automobilu, kde bude dlouhodobě vystaven vysokým teplotám. Kdyby se jednalo o formu, která by se dle představeného návrhu vyráběla, bylo by nutné zvážit, zda provést změnu materiálu či konstrukčního návrhu formy, neboť pro uvedenou aplikaci je návrh neakceptovatelný.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

1. DVOŘÁK, Z., JAVOŘÍK, J. *Konstrukce výrobků, konstrukční materiály*. Zlín: 2013, 153 s..
2. KOLOUCH, J. *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986. 229.
3. DUCHÁČEK, V. *Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2005, 354 s.. ISBN 80-7080-241-3.
4. MÉZL, M. *Základy technológie vstrekovania plastov*. Olomouc: Mapro, 2012, 301 s.. ISBN 978-80-970749-7-5.
5. DVOŘÁK, Z. *Zpracovatelské procesy gumárenské*. Zlín: 2013, 177 s..
6. TOMIS, F. *Základy gumárenské a plastikářské technologie*. 2. nezměněné. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta technologická, 1980, 278 s..
7. HOLÍK, Z. *Výrobní stroje a zařízení - přednášky*. Zlín: 2014.
8. NEUHÄUSL, E. Polymery amorfni a semikrystalické z hlediska vstřikování. In: *MM Průmyslové spektrum* [online]. 15. 02. 2012 [cit. 2015-01-15]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/polymery-amorfni-a-semikrystalicke-z-hlediska-vstrikovani.html>
9. CAMPO, A. *Complete Part Design Handbook - For Injection Molding of Thermoplastics*. Munich: Hanser Publishers, 2006. ISBN 978-1-60119-152-6. Dostupné také z: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpCPDHFIM1/complete-part-design/complete-part-design>
10. OSSWALD, T., G. MENGES. *Material science of polymers for engineers*. 3rd edition. Hanser Publishers, 2012. ISBN 978-1-56990-514-2. Dostupné také z: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpMSPEE002/material-science-polymers/material-science-polymers>
11. BRYCE, D. *Plastic injection molding: manufacturing process fundamentals*. xvii. Dearborn (Michigan): Society of Manufacturing Engineers, 1996, 277 s.. ISBN 08-726-3472-8.

12. BOBČÍK, L. A. K. *Formy pro zpracování plastů I. díl - Vstřikování termoplastů*. Brno: Uniplast, 1999, 133 s..
13. TOMIS, F., J. HELŠTÝN. *Formy a přípravky*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické, 1985, 278 s..
14. HASCO HASENCLEVER GMBH + CO KG. *Hasco* [online]. [cit. 2015-02-09]. Dostupné z: <http://www.hasco.com>
15. DME, A MILACRON COMPANY. *DME* [online]. [cit. 2015-02-09]. Dostupné z: <http://www.dme.net>
16. STRACK NORMA GMBH & CO. KG. *Strack Normalien* [online]. [cit. 2015-02-09]. Dostupné z: <http://www.strack.de>
17. GÜNTHER HEISSKANALTECHNIK GMBH. *GÜNTHER Hot Runner Technology* [online]. [cit. 2015-02-09]. Dostupné z: <http://www.guenther-heisskanal.de>
18. EWIKON HEIßKANALSYSTEME GMBH. *EWIKON Heißkanal-Systemlösungen* [online]. [cit. 2015-02-09]. Dostupné z: <http://www.ewikon.com>
19. EMP S.R.L. *EMP* [online]. [cit. 2015-02-09]. Dostupné z: <http://www.emp.it>
20. BOBČÍK, L. A. K. *Formy pro zpracování plastů II. díl - Vstřikování termoplastů*. Brno: Uniplast, 1999, 214 s..
21. LABARA. *Tepelně-izolační desky Glatherm* [online]. [cit. 2015-03-30]. Dostupné z: <http://www.labara.cz/glatherm>
22. KAZMER, D. *Injection mold design engineering*. Cincinnati: Hanser Gardner, 2007. ISBN 978-1-61344-296-8. Dostupné také z: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpIMDE0007/injection-mold-design/injection-mold-design>
23. IRISA, VÝROBNÍ DRUŽSTVO. *IRISA* [online]. [cit. 2015-02-09]. Dostupné z: <http://www.irisa.cz>
24. SIEMENS PRODUCT LIFECYCLE MANAGEMENT SOFTWARE. *Siemens NX* [online]. [cit. 2015-02-09]. Dostupné z: <http://www.plm.automation.siemens.com>



25. BAYER MATERIALSCIENCE PRODUCT CENTER PLASTICS. Apec 2095 [online]. Dostupné také z: <http://www.plastics.bayer.com/Products/Apec/ProductList/201305212209/Apec-2095>
26. ACME PLASTIC MACHINERY. *ARBURG ALLROUNDER 270/320 S* [online]. [cit. 2015-02-09]. Dostupné z: [http://www.acmeplasticfl.com/Arburg270\\_320S.pdf](http://www.acmeplasticfl.com/Arburg270_320S.pdf)
27. LUNA PLAST. Typy a vlastnosti polyetylénu [online]. 2015 [cit. 2015-01-15]. Dostupné z: <http://www.lunaplast.cz/index.php?page=99001>
28. SMARTPLAST S.R.O. *SMARTPLAST we make plastics smart* [online]. [cit. 2015-02-09]. Dostupné z: <http://www.smartplast.cz>
29. AUTODESK INC. *Moldflow* [online]. [cit. 2015-02-09]. Dostupné z: <http://www.autodesk.com/products/moldflow>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

PE	Polyethylen
PP	Polypropylen
PVC	Polyvinylchlorid
PS	Polystyren
PMMA	Polymethylmetakrylát
PA	Polyamid
POM	Polyformaldehyd
PC	Polykarbonát
PF	Fenoplasty
MF	Melaminové plasty
IT	Index toku taveniny
UV záření	Ultrafialové záření
p-v-T diagram	Diagram závislosti tlaku, měrného objemu a teploty

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1. Rozdělení polymerních materiálů.....	12
Obr. 2. Vstřikování kaučukové směsi (A vstřikování, B vulkanizace, C vyhození) .....	18
Obr. 3. Vstřikovací cyklus .....	19
Obr. 4. Rozdílnosti v průběhu vstřikování termoplastů.....	20
Obr. 5. p-v-T diagram polystyrenu .....	21
Obr. 6. Diagram vstřikování .....	21
Obr. 7. Komponenty šnekové vstřikovací jednotky .....	24
Obr. 8. Násypka .....	24
Obr. 9. Šnek používaný při vstřikování .....	26
Obr. 10. Vstřikovací trysky pro termoplasty a reaktoplasty .....	26
Obr. 11. Minimální uzavření a maximální otevření formy .....	30
Obr. 12. Ukázka nevhodného a vhodného umístění vtoku .....	32
Obr. 13. Kuželový vtok.....	32
Obr. 14. Bodový, bodový tunelový vtok .....	33
Obr. 15. Obdélníkový vtok .....	33
Obr. 16. Membránový vtok.....	34
Obr. 17. Vtokové vložky s různými sedly .....	34
Obr. 18. Vtokový systém s rozváděcími kanály .....	35
Obr. 19. Odvzdušňování dutin forem .....	37
Obr. 20. Vysunutí boční čelisti válcovými kolíky .....	38
Obr. 21. Vysunutí boční čelisti lomeným kolíkem.....	39
Obr. 22. Vysunutí boční čelisti klínem s drážkami ovládaný pneumatickým válcem.....	39
Obr. 23. Vysunutí boční čelisti pomocí hydraulických válců .....	40
Obr. 24. Vyhazování bez užití vyhazovačů .....	41
Obr. 25. Vyhazování s užitím kolíků.....	42

---

Obr. 26. Umístění vyhazovacích kolíků .....	42
Obr. 27. Vedení vyhazovacích desek.....	43
Obr. 28. Dorazy vyhazovacích desek .....	43
Obr. 29. Užití stíracího kroužku k vyhození výrobku .....	44
Obr. 30. Užití trubkových vyhazovačů.....	44
Obr. 31. Užití šikmých vyhazovačů.....	45
Obr. 32. Užití dvoustupňového vyhazování s odpruženými vyhazovači .....	45
Obr. 33. Zpětné vrácení vyhazovačů .....	46
Obr. 34. Hydraulické vyhazování .....	46
Obr. 35. Pneumatické vyhazování .....	47
Obr. 36. Nevhodné i vhodné umístění temperačních kanálů .....	49
Obr. 37. Minimální vzdálenost temperačních kanálů .....	50
Obr. 38. Izolační deska Glatherm.....	52
Obr. 39. Tepelná trubice .....	52
Obr. 40. CAD model levého výrobku.....	56
Obr. 41. Reálný pravý výrobek.....	56
Obr. 42. Závislost vstřikovaného tlaku na délce tečení .....	57
Obr. 43. Arburg Allrounder 320S .....	58
Obr. 44. Návrh vstřikovací formy.....	59
Obr. 45. Pevná část formy .....	60
Obr. 46. Pohyblivá část formy .....	61
Obr. 47. Vtokový systém formy .....	61
Obr. 48. Vtokový systém formy v řezu .....	62
Obr. 49. Temperační systém tvárníku.....	62
Obr. 50. Temperační systém tvárnice .....	63
Obr. 51. Temperační systém .....	63

Obr. 52. Vyhadzovací systém .....	64
Obr. 53. Vyhadzovací systém s detailem na tvárník.....	64
Obr. 54. Vysíťované výrobky s délkou hrany 0,7mm .....	65
Obr. 55. Mesh statistics.....	66
Obr. 56. Nastavení vtokového systému .....	67
Obr. 57. Kontrola nastavení vtokového systému.....	67
Obr. 58. Temperační systém.....	68
Obr. 59. Kontrola nastavení temperačního systému .....	68
Obr. 60. Analýza umístění vtokového ústí .....	70
Obr. 61. Analýza umístění vtokového ústí - pohled od tvárníku.....	70
Obr. 62. Analýza plnění.....	71
Obr. 63. Analýza teploty taveniny v objemu při 1,35s.....	72
Obr. 64. Analýza teploty taveniny v objemu při 5,26s.....	73
Obr. 65. Analýza teploty taveniny v objemu při 10,34s.....	73
Obr. 66. Analýza rychlosti smykové deformace při 0,17s.....	74
Obr. 67. Analýza výskytu vzduchových kapes.....	75
Obr. 68. Analýza výskytu vzduchových kapes - pohled od tvárníku .....	75
Obr. 69. Analýza vstřikovacího tlaku .....	76
Obr. 70. Analýza uzavírací síly .....	76
Obr. 71. Analýza propadlin.....	77
Obr. 72. Analýza uzavírací síly - pohled od tvárníku.....	77
Obr. 73. Analýza teploty temperačního media .....	78
Obr. 74. Analýza Reynoldsova čísla temperačních okruhů.....	79
Obr. 75. Analýza efektivity odběru tepla.....	80
Obr. 76. Analýza smrštění .....	81
Obr. 77. Analýza smrštění - pohled od tvárníku.....	81

**SEZNAM TABULEK**


Tab. 1. Rozdílné chování termoplastických polymerů .....	20
Tab. 2. Příklady kombinací uzavíracích sil a hmotnosti výrobků .....	22
Tab. 3. Významní výrobci VVS .....	36
Tab. 4. Doporučené teploty formy a teploty taveniny vybraných termoplastů .....	48
Tab. 5. Minimální vzdálenosti temperačních kanálů .....	50
Tab. 6. Výhody a nevýhody temperačních medií .....	51
Tab. 7. Technická data izolačních desek Glastherm.....	52
Tab. 8. Nastavení vtokového systému .....	66
Tab. 9. Bayer MaterialScience Apec 2095 .....	68
Tab. 10. Arburg Allrounder 320 S .....	68

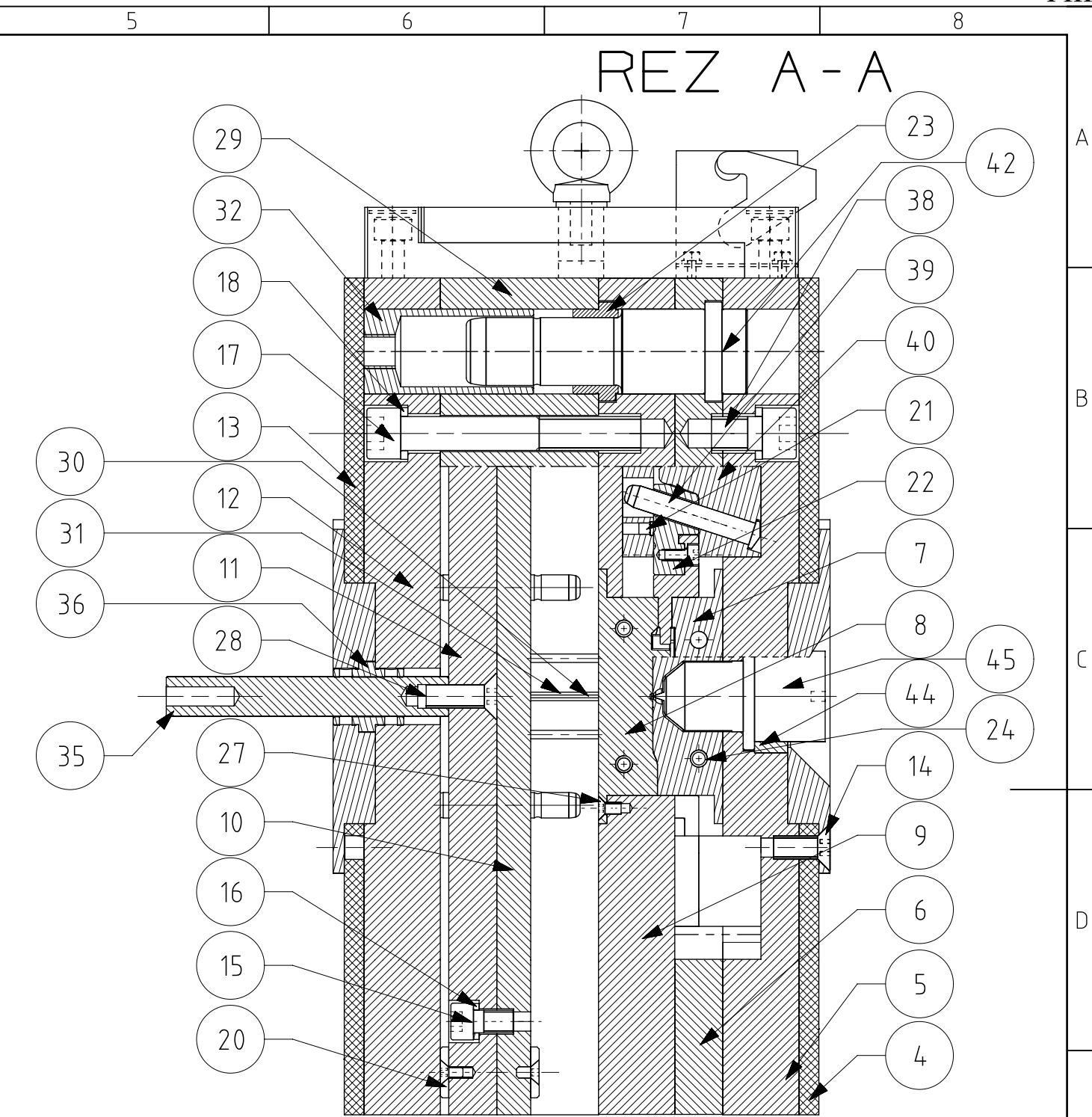
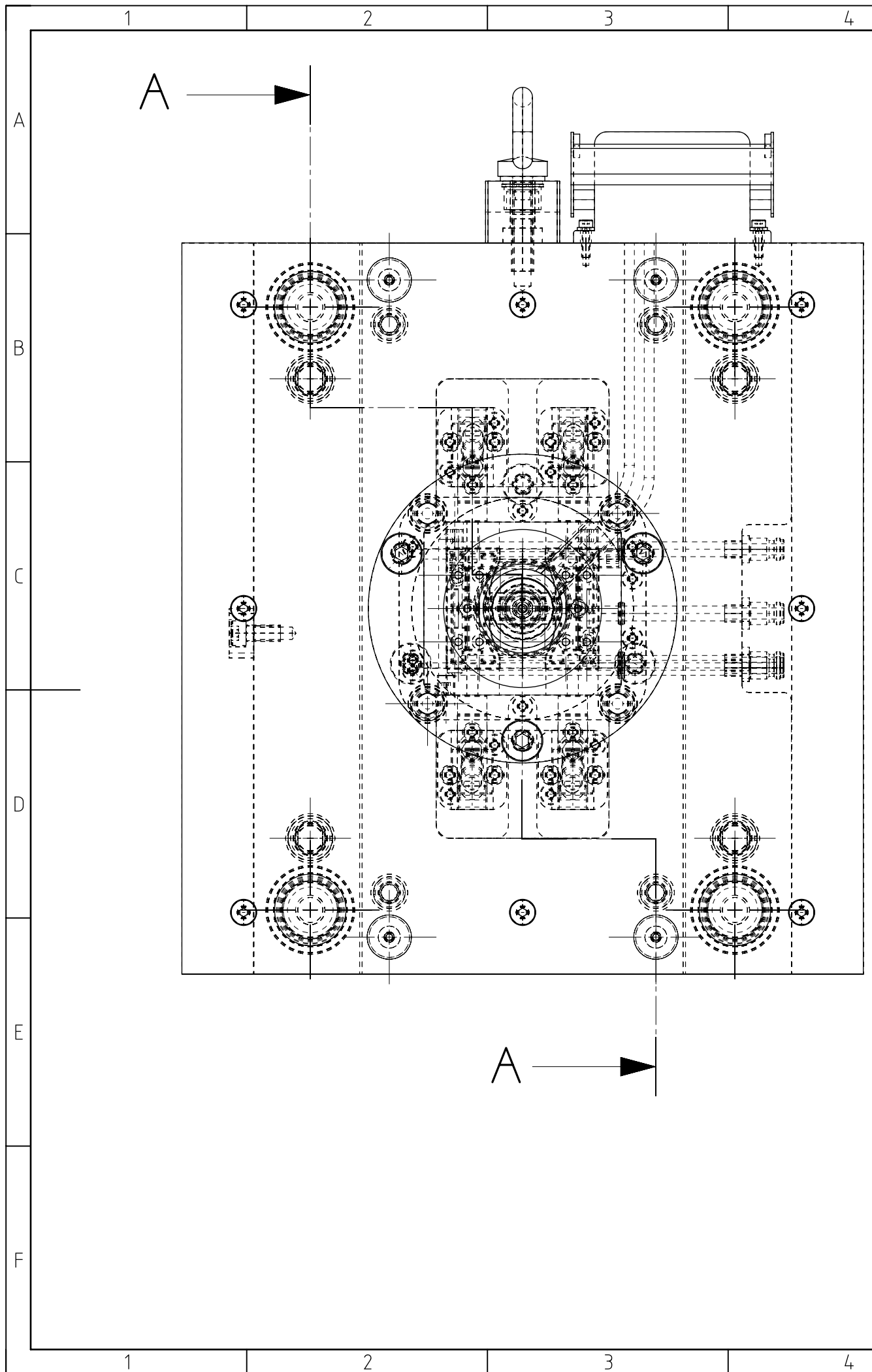
**SEZNAM PŘÍLOH**

- PI Kusovník I
- PII Kusovník II
- PIII Řez vstříkovací formou I
- PIV Řez vstříkovací formou II
- PV Pohled na vstříkovací formu
- PVI Pohled na pevnou část formy
- PVII Pohled na pohyblivou část formy

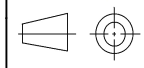
1		2		3		4	
#	Název	Výkres	Materiál, katalog. číslo	Tep. zpracování		Mn.	
A	1	Transportni mustek	2015-01	HASCO Z70/1		1	
	2	Zajisteni kostka	2015-02	11 600		1	
	3	Zajisteni sroub M6x14	2015-03	HASCO Z31/6x14		2	
	4	Izolacni deska P	2015-04	S.Pryskyrice		1	
	5	Upinaci deska P	2015-05	11 600		1	
B	6	Kotevni deska P	2015-06	19 512		Kaleno 55HRC	
	7	Tvarnice	2015-07	19 512		Kaleno 55HRC	
	8	Tvarnik	2015-08	19 512		Kaleno 55HRC	
	9	Kotevni deska L	2015-09	19 512		Kaleno 55HRC	
	10	Deska vyhazovace A	2015-10	11 600		1	
	11	Deska vyhazovace B	2015-11	11 600		1	
	12	Upinaci deska L	2015-12	11 600		1	
	13	Izolacni deska L	2015-13	S.Pryskyrice		1	
C	14	Sroub M8x20	2015-14	HASCO Z33/8x20		6	
	15	Sroub M8x14	2015-15	HASCO Z31/8x14		4	
	16	Podlozka 8x2	2015-16	HASCO Z691/8x2		4	
	17	Sroub M12x85	2015-17	HASCO Z31/12x85		4	
	18	Podlozka 12x2	2015-18	HASCO Z691/12x2		8	
	19	Sroub M5x10	2015-19	HASCO Z33/5x10		16	
	20	Dorazova podlozka	2015-20	HASCO Z55/18x3		8	
	21	Pruzici pritlacny kus	2015-21	HASCO Z374/4x5		4	
D	22	Jednotka soupatka	2015-22	HASCO Z181/8x12x16		4	
	23	Vodici pouzdro	2015-23	HASCO Z10/27/22		4	
	24	O-krouzek	2015-24	HASCO Z98/6/1,5		8	
	25	Pripojovaci natrubek	2015-24	HASCO Z81/5/5x0,5		4	
	26	Uzaviraci sroub	2015-26	HASCO Z94/5x0,5		4	
	27	Sroub M4x8	2015-27	HASCO Z33/4x8		10	
	28	Sroub M8x25	2015-28	HASCO Z33/8x20		1	
	29	Rozperna deska	2015-29	11 600		2	
30	Valcovy vyhazovac	2015-30	HASCO Z40/0.8x63		4		
<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;">  <div style="margin-left: 10px;"> <p><b>Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně</b></p> <p><b>Fakulta technologická</b></p> </div> </div>							
Kreslil		Bc. Svoboda	Měřítko	Název dokumentu			
Schválil		Ing. Ovsík	1:1	KUSOVNÍK			
Datum vydání		2015/05/13	Formát				
			A4	2015-00			
			Promítání	List 1/2			
							
1		2		3		4	

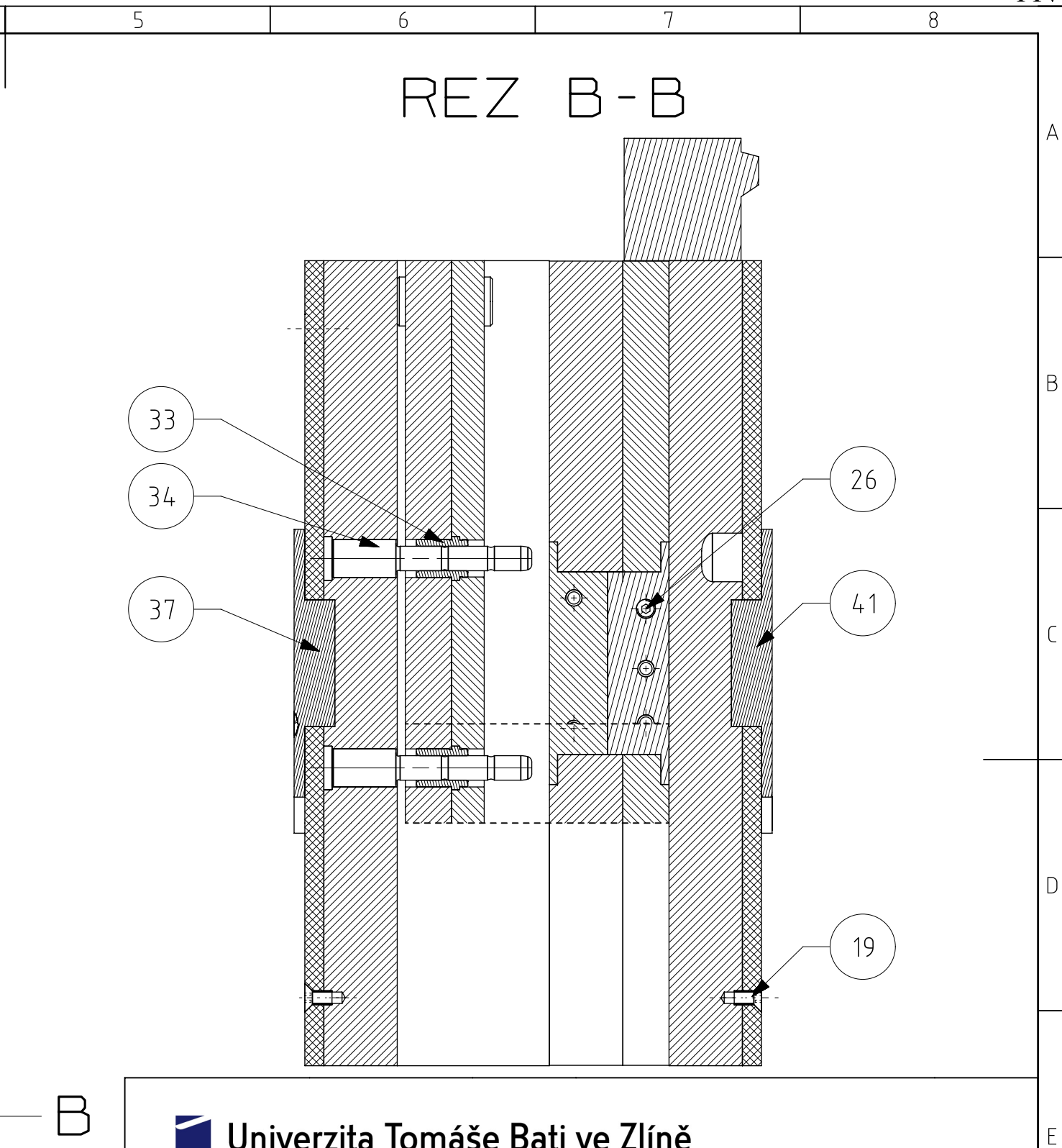
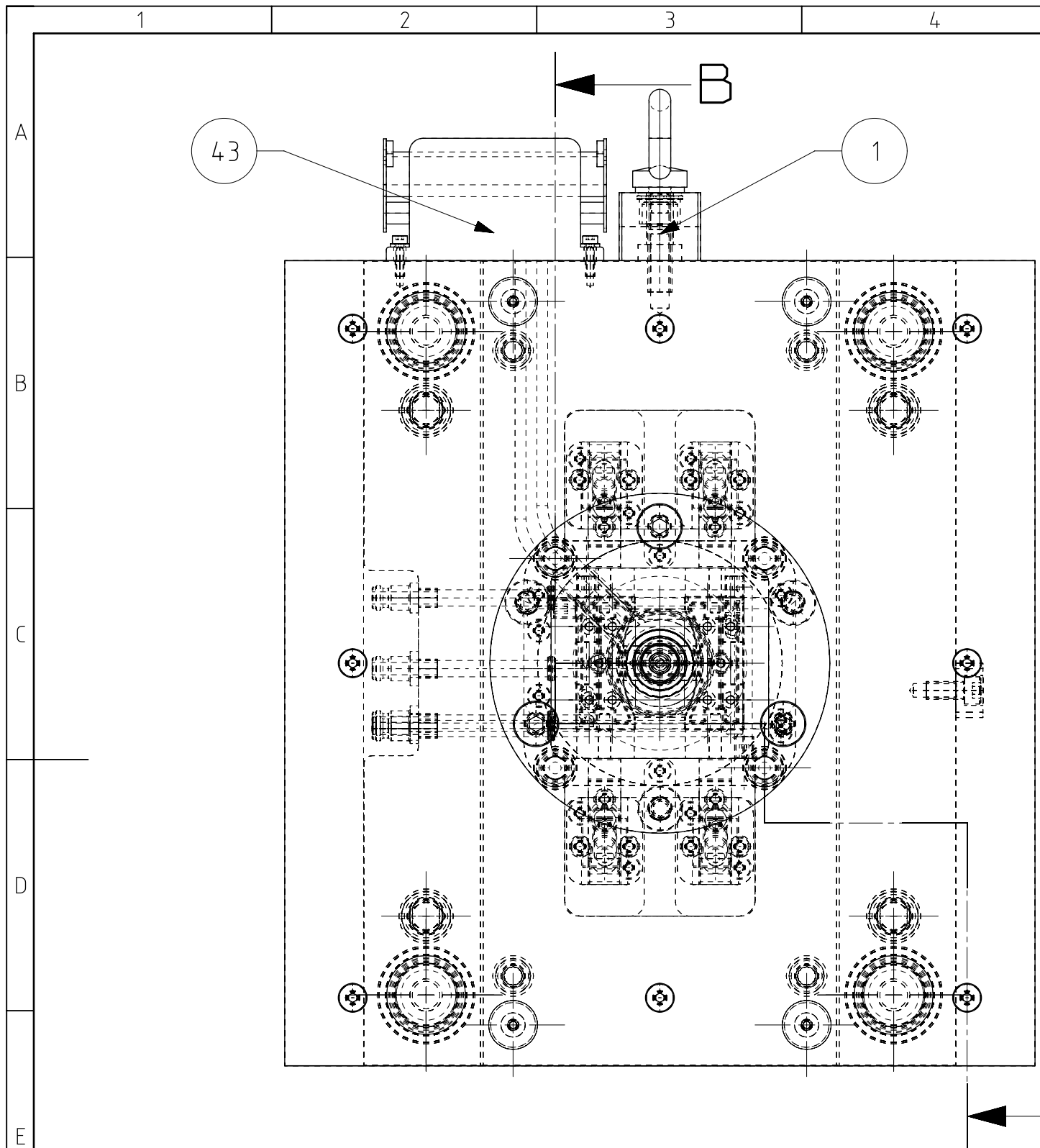


1		2		3		4	
#	Název	Výkres	Materiál, katalog. číslo	Tep. zpracování	Mn.		
A	31	Valcovy vyhazovac	2015-31	HASCO Z40/3x63		10	A
	32	Stredici pouzdro	2015-32	HASCO Z20/30x60		4	
	33	Vodici pouzdro	2015-33	HASCO Z10/17/9		4	
	34	Vodici sloupek	2015-34	HASCO Z03/9/9x20		4	
	35	Vyhazovací tyč	2015-35	HASCO Z02/14x100		1	
B	36	Bezudrzbové pouzdro	2015-36	HASCO Z13/14x17		1	B
	37	Stredici priruba	2015-37	HASCO K500/125x15		1	
	38	Sroub M12	2015-38	HASCO Z31/12x18		4	
	39	Sikmy cep	2015-39	HASCO Z016/8x50		4	
	40	Zamek soupatka	2015-40	HASCO Z1810/8		4	
	41	Stredici priruba	2015-41	HASCO K100/125x15		1	
	42	Vodící sloupek	2015-42	HASCO Z00/17/24x55		4	
C	43	Teleso zasuvky	2015-43	HASCO Z1227/16/4		1	C
	44	Distanční trubka	2015-44	11 600		1	
	45	Horka tryska	2015-45	HASCO Z104G/32x61		1	
D							D
E	 <b>Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně</b> <b>Fakulta technologická</b>						E
	Kreslil		Bc. Svoboda	Měřítko	Název dokumentu		
F	Schválil		Ing. Ovsík	1:1	KUSOVNÍK		F
	Datum vydání		2015/05/13	Formát	Číslo dokumentu		
				A4	2015-00		
			Promítání	 		List 2/2	
1		2		3		4	



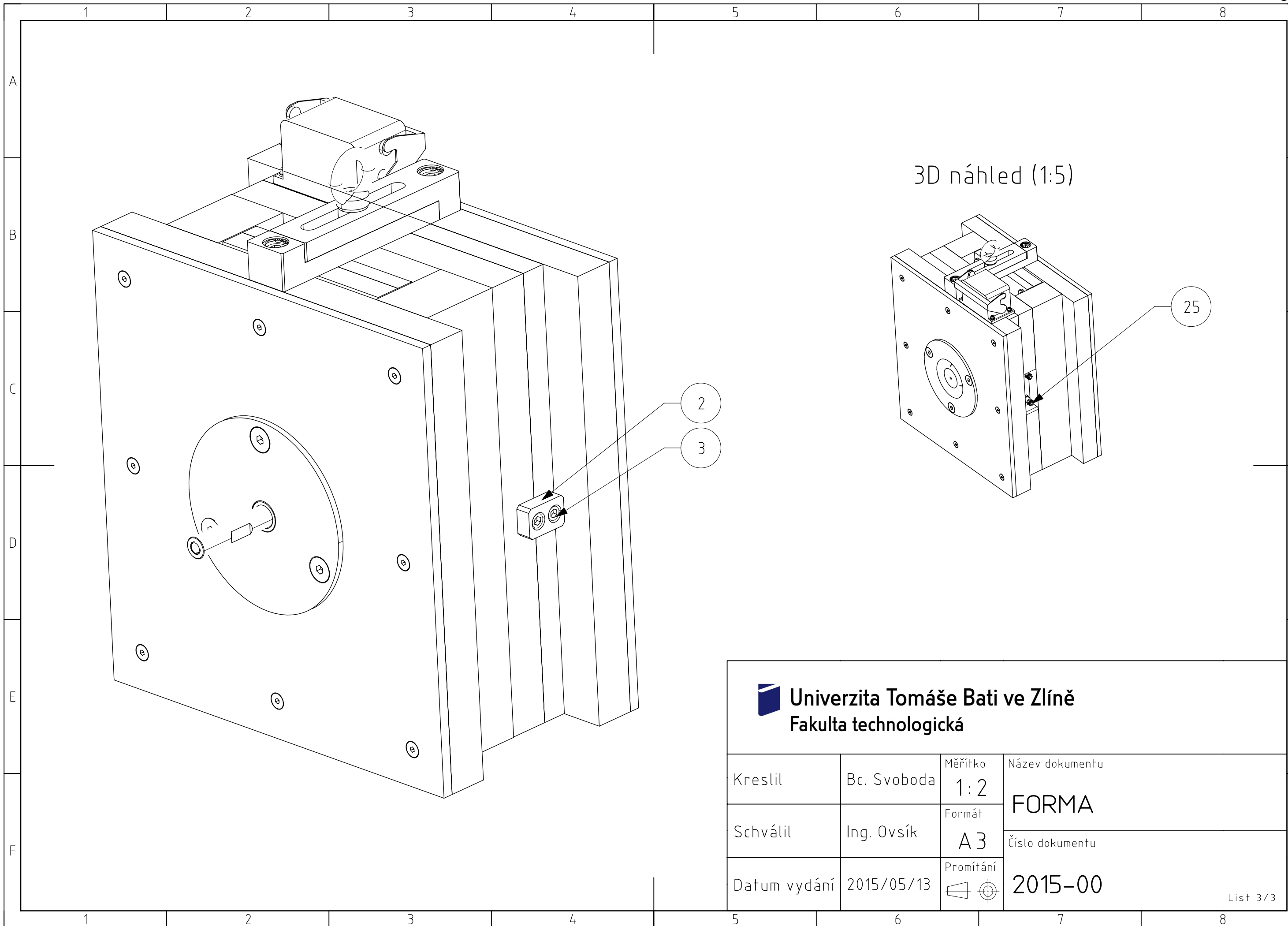
 **Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně**  
**Fakulta technologická**

Kreslil	Bc. Svoboda	Měřítko 1:2	Název dokumentu <b>FORMA</b>
Schválil	Ing. Ovsík	Formát A3	Číslo dokumentu
Datum vydání	2015-05-13	Promítání 	<b>2015-00</b>



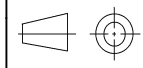
 **Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně**  
**Fakulta technologická**

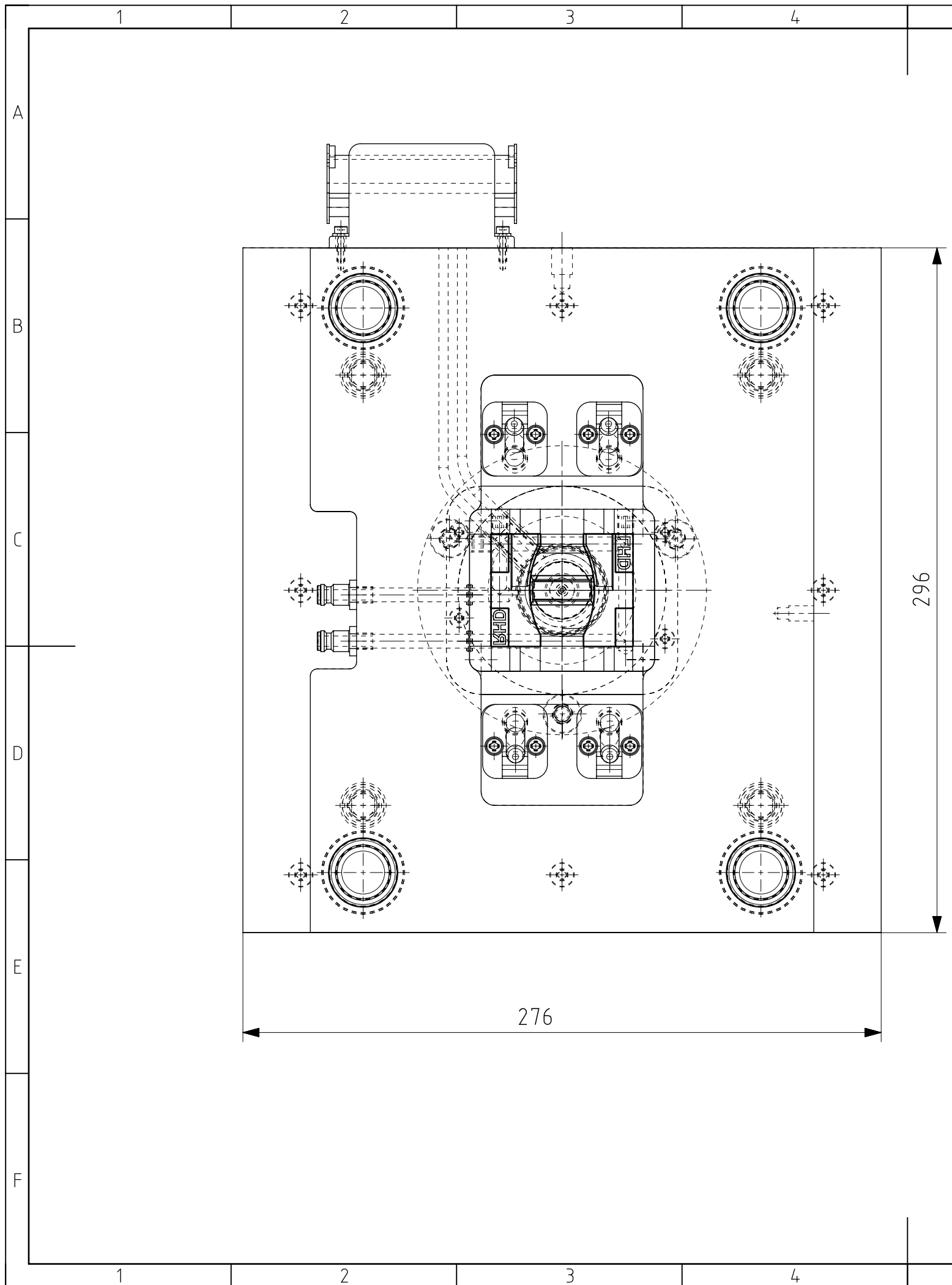
Kreslil	Bc. Svoboda	Měřítko 1:2	Název dokumentu
Schválil	Ing. Ovsík	Formát A3	<b>FORMA</b>
Datum vydání	2015/05/13	Promítání 	Číslo dokumentu <b>2015-00</b>



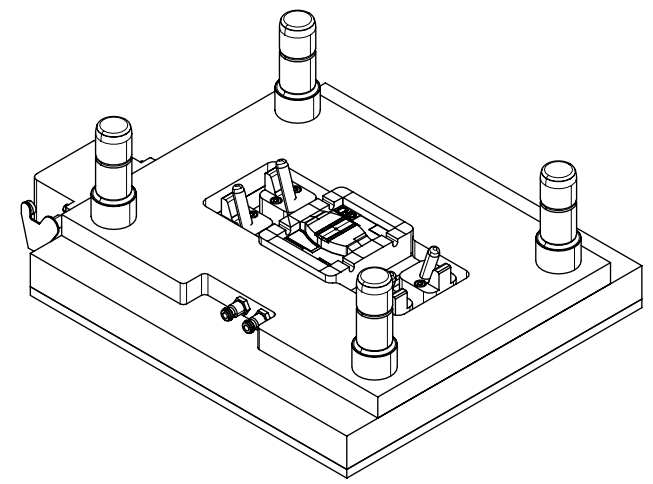
3D náhled (1:5)

 **Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně**  
**Fakulta technologická**

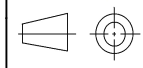
Kreslil	Bc. Svoboda	Měřítko 1:2	Název dokumentu
Schválil	Ing. Ovsík	Formát A3	<b>FORMA</b>
Datum vydání	2015/05/13	Promítání 	Číslo dokumentu <b>2015-00</b>

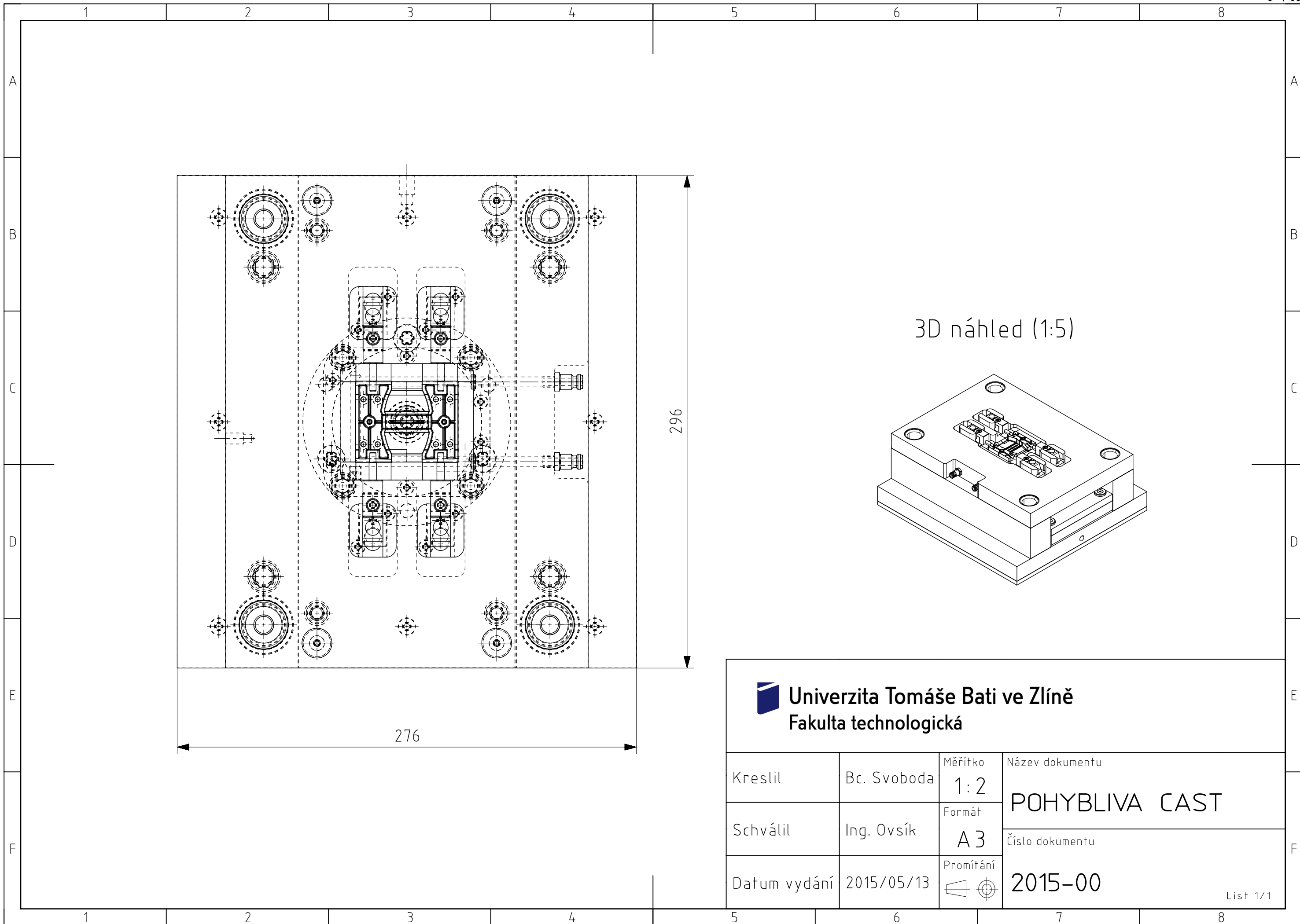


3D náhled (1:5)

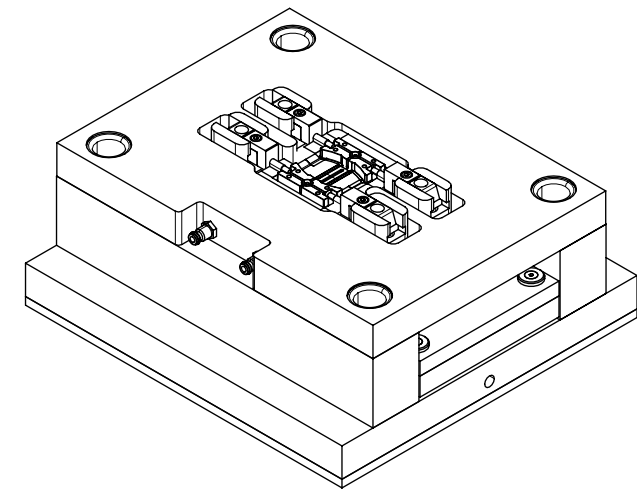


 **Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně**  
**Fakulta technologická**

Kreslil	Bc. Svoboda	Měřítko 1:2	Název dokumentu <b>PEVNA CAST</b>
Schválil	Ing. Ovsík	Formát A3	Číslo dokumentu
Datum vydání	2015/05/13	Promítání 	<b>2015-00</b>



3D náhled (1:5)



**Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně**  
**Fakulta technologická**

Kreslil	Bc. Svoboda	Měřítko 1:2	Název dokumentu
Schválil	Ing. Ovsík	Formát A3	POHYBLIVA CAST
Datum vydání	2015/05/13	Promítání	
			2015-00