

# Návrh vstřikovací formy pro díl čerpadla palivového systému včetně simulací

Bc. Klára Fučíková

---

Diplomová práce  
2022



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2021/2022

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Klára Fučíková
Osobní číslo:	T20116
Studijní program:	N3909 Procesní inženýrství
Studijní obor:	Konstrukce technologických zařízení
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Návrh vstřikovací formy pro díl čerpadla palivového systému včetně simulací

## Zásady pro vypracování

1. Vypracovat literární studii na dané téma
2. Nakreslit model daného dílu ve 3D
3. Provést konstrukci vstřikovací formy pro daný dílu
4. Provést analýzu navržené formy pomocí tokových simulací
5. Nakreslit 2D sestavu vstřikovací formy

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

**Seznam doporučené literatury:**

KERKSTRA, Randy a Steve BRAMMER. Injection molding advanced troubleshooting guide. Munich: Hanser Publishers, 2018  
BEAUMONT, John P. Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers, c2007, xvi, 308 s. ISBN 978-1-56990-421-3  
DUCHÁČEK, V. Polymery-výroba, vlastnosti, zpracování, použití. Praha: VŠCHT v Praze, 2006

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Vojtěch Šenkeřík, Ph.D.**  
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **3. ledna 2022**  
Termín odevzdání diplomové práce: **13. května 2022**

**prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.**  
děkan

L.S.

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

Ve Zlíně dne 18. února 2022

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

**Prohlašuji,**

- že jsem diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor;
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Cílem diplomové práce je konstrukční návrh vstřikovací formy pro díl čerpadla palivového systému, včetně tokových analýz pro ověření funkčnosti navržené vstřikovací formy.

V teoretické části byla vypracována literární rešerše zabývající se polymerními materiály, problematikou technologie vstřikování termoplastů, vstřikovacími stroji a vstřikovacími formami.

V praktické části je popsán konstrukční návrh vstřikovací formy pro zadaný díl. Popsány jsou jednotlivé části navržené vstřikovací formy a výsledky získané z tokové analýzy. Konstrukce dílu i vstřikovací formy byla provedena v programu CATIA. Při konstrukci byly využity normy od firem Hasco a Meusburger. Konstrukční návrh byl ověřen pomocí tokové analýzy v programu Autodesk Moldflow Synergy.

**Klíčová slova:** vstřikování, konstrukce, vstřikovací forma, analýza vstřikování

## **ABSTRACT**

The aim of the diploma thesis is the design of an injection mould for a fuel pump part, including flow analyses to verify the functionality of the designed injection mould.

In the theoretical part, a literature search has been carried out dealing with polymer materials, thermoplastic injection technology, injection moulding machines and injection moulds.

In the practical part, the design of the injection mould for the specified part is described. The individual parts of the designed injection mould and the results obtained from the flow analysis are described. The design of the part and the injection mould was carried out in CATIA. The design was verified using flow analysis in Autodesk Moldflow Synergy.

**Keywords:** injection moulding, design, injection mould, injection analysis

Chtěla bych poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. Vojtěchu Šenkeříkovi, Ph.D. za odborné vedení, podněty, cenné rady a za čas strávený při vedení této diplomové práce. Dále bych chtěla poděkovat zaměstnancům Fakulty technologické UTB ve Zlíně za poskytnuté vzdělání v průběhu studia.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD.....</b>	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>11</b>
<b>1 POLYMERNÍ MATERIÁLY .....</b>	<b>12</b>
1.1 PLASTY .....	13
1.1.1 Termoplasty.....	14
1.1.2 Reaktoplasty.....	14
1.2 ELASTOMERY .....	15
1.2.1 Kaučuky .....	15
1.2.2 Termoplastické elastomery .....	15
1.3 REOLOGIE POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ .....	15
1.4 TOK MATERIÁLU .....	16
<b>2 VSTŘIKOVÁNÍ TERMOPLASTŮ .....</b>	<b>17</b>
2.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS .....	17
2.1.1 Fáze vstřikovacího cyklu.....	20
2.2 SMRŠTĚNÍ TERMOPLASTŮ .....	23
2.3 VADY VSTŘIKOVANÝCH DÍLŮ.....	25
2.3.1 Propadliny .....	27
2.3.2 Bubliny .....	27
2.3.3 Studené spoje .....	28
2.3.4 Spálená místa .....	28
2.3.5 Přetoky .....	28
2.3.6 Stříbření.....	28
2.3.7 Volný proud taveniny.....	29
<b>3 VSTŘIKOVACÍ STROJ .....</b>	<b>30</b>
3.1 VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKA .....	31
3.1.1 Pístové vstřikovací stroje .....	32
3.1.2 Šnekové vstřikovací stroje .....	32
3.2 UZAVÍRACÍ JEDNOTKA.....	33
3.3 VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE .....	34
<b>4 VSTŘIKOVACÍ FORMA .....</b>	<b>35</b>
4.1 VTOKOVÝ SYSTÉM .....	36
4.1.1 Studený vtokový systém .....	36
4.1.2 Horký vtokový systém .....	39
4.2 TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	41
4.3 ODVZDUŠNĚNÍ FOREM .....	43
4.4 VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	44
4.4.1 Boční odformování.....	45

<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>46</b>
<b>5 STANOVENÍ CÍLŮ PRÁCE</b> .....	<b>47</b>
<b>6 POUŽITÝ SOFTWARE</b> .....	<b>48</b>
6.1 CATIA V5 .....	48
6.2 AUTODESK MOLDFLOW SYNERGY .....	48
<b>7 ZADANÝ DÍL</b> .....	<b>49</b>
7.1 MATERIÁL DÍLU .....	49
<b>8 NÁVRH KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY</b> .....	<b>50</b>
8.1 NÁVRH DĚLÍCÍCH ROVIN.....	52
8.2 TVAROVÉ ČÁSTI VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	53
8.3 VOLBA NÁSOBNOSTI VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	54
8.4 VTOKOVÝ SYSTÉM .....	54
8.5 TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	55
8.6 SYSTÉM BOČNÍHO ODFORMOVÁNÍ .....	57
8.7 VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	58
8.8 TRANSPORTNÍ A DALŠÍ PRVKY .....	59
<b>9 ANALÝZA PROCESU VSTŘIKOVÁNÍ</b> .....	<b>61</b>
9.1 VYTVOŘENÍ SÍTĚ .....	61
9.2 ANALÝZA UMÍSTĚNÍ VTOKOVÉHO ÚSTÍ (GATE LOCATION) .....	62
9.2.1 Ideální umístění vtokového ústí (Gating suitability).....	62
9.2.2 Indikace odporu vůči toku taveniny (Flow resistance indicator).....	63
9.2.3 Ověření zvoleného místa vtokového ústí (Fill).....	63
9.3 VTOKOVÝ SYSTÉM .....	64
9.4 TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	64
9.5 NASTAVENÍ PROCESNÍCH PARAMETRŮ .....	65
9.6 VÝSLEDKY ANALÝZY PLNĚNÍ A DOTLAKU (FLOW) .....	67
9.6.1 Doba plnění (Fill time).....	67
9.6.2 Teplota taveniny (Bulk temperature) .....	67
9.6.3 Rychlost smykové deformace (Shear rate) .....	68
9.6.4 Vstřikovací tlak v místě vtokového ústí (Pressure at injection location).....	69
9.6.5 Uzavírací síla (Clamp force) .....	70
9.6.6 Vzduchové bubliny (Air traps).....	71
9.6.7 Studené spoje (Weld lines).....	71
9.6.8 Propadliny (Sink marks estimate).....	72
9.6.9 Doba na dosažení vyhazovací teploty (Time to reach ejection temperature) .....	72
9.7 VÝSLEDKY ANALÝZY TEMPERACE (COOL).....	73
9.7.1 Reynoldsovo číslo temperačního média (Circuit Reynolds number) .....	73
9.7.2 Teplota temperačního média (Circuit coolant temperature) .....	74



9.7.3	Efektivita odvodu tepla (Circuit heat removal efficiency).....	75
9.8	VÝSLEDKY ANALÝZY SMRŠTĚNÍ A DEFORMACE (WARP).....	76
9.8.1	Deformace vliv všech efektů (Deflection, all effects deflection).....	76
9.8.2	Deformace vlivem chlazení (Deflection, differential shrinkage cooling) .....	76
9.9	DISKUZE VÝSLEDKŮ ANALÝZY .....	77
<b>10</b>	<b>VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE .....</b>	<b>79</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>80</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>81</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>84</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>87</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>90</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>91</b>

## ÚVOD

Polymerní materiály nahrazují tradiční materiály díky své nižší ceně, svými vlastnostmi, rozsahem možností jejich zpracování. Technologie vstřikování patří k nejčastější využívané technologii zpracování termoplastů, protože umožňuje vyrábět velkou škálu výrobků. Z důvodu vysokých pořizovacích nákladů se technologie vstřikování využívá při velkosériové výrobě. Technologie splňuje požadavky kladené na nároky výroby výrobku na tvarovou a rozměrovou přesnost výrobků, kvalitu výrobků. Pro výrobu výrobků touto technologií je zapotřebí mít nástroj vstřikovací formu, a právě konstrukčním návrhem vstřikovací formy pro díl čerpadla palivového systému se zabývá tato diplomová práce.

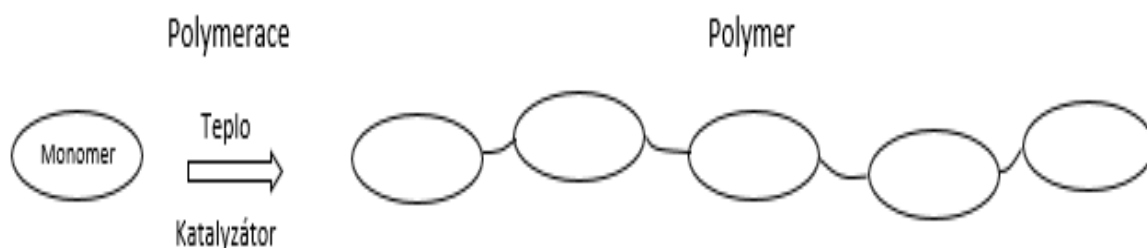
Diplomová práce se v teoretické části popisuje polymerními materiály, technologií vstřikování termoplastů, vstřikovacími stroji a vstřikovacími formami. V praktické části je popsána navržená vstřikovací formy a výsledky analýzy ověřující konstrukční návrh vstřikovací formy.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 POLYMERNÍ MATERIÁLY

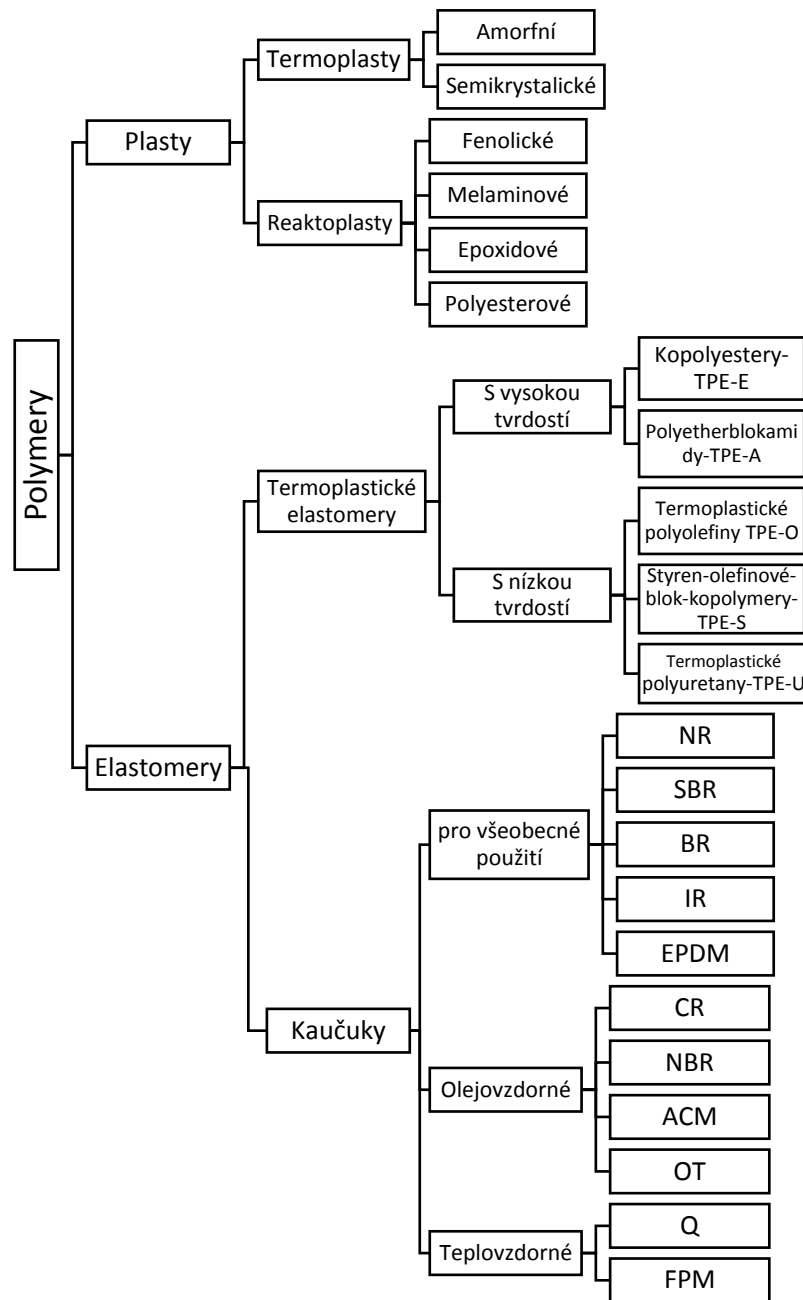
Termín polymer i monomer pochází z řečtiny, kde předpona poly znamená mnoho, zatímco předpona mono znamená jeden. Definice polymeru se vztahuje na molekuly vytvořené z opakujících se stavebních bloků monomerů, které jsou obvykle spojeny kovalentními vazbami. Počet opakujících se stavebních jednotek není nijak limitován, aby byl splněn požadavek na definici polymeru. Stupeň polymerace, stupeň polymerace (značený číslem  $n$ ) musí být dostatečně vysoké, aby se výsledné fyzikální a chemické vlastnosti získané molekuly výrazně neměnily s dalším přidáním opakující se stavební jednotky. [1]

Základní prvky, které tvoří polymerní materiály, jsou uhlík (C), vodík (H), kyslík (O) a křemík (Si). Další prvky, které se často vyskytují, jsou dusík (N), fluor (F), fosfor (P), síra (S) chlor (Cl). Polymerní materiály vznikají třemi způsoby chemických reakcí, a to polymerací, polyadící nebo polykondenzací. U těchto mnohokrát se opakujících chemických reakcí monomer postupně přechází v polymer, a aby k chemické reakci mohlo dojít, musí monomer v molekule obsahovat alespoň dvě funkční skupiny. [1, 2]



Obrázek 1 Schéma vzniku makromolekuly [3]

Základní rozdělení polymerů dle jejich původu je na přírodní a syntetické, další dělení polymerů je uvedeno na *Obrázek 2*.



Obrázek 2 Rozdělení polymerů [3]

## 1.1 Plasty

Plasty jsou polymery s přidanými aditivami. Plasty jsou za normálních podmínek křehkými a tvrdými látkami. Plasty se při prvním působení zvýšené teploty stávají plastickými, v tomto stavu se dají tvarovat, poté jsou následně ochlazeny do tuhého stavu.

Plasty se dále dělí podle svého chování za působení tepla a tlaku. Pokud se pod jejich účinkem dají opakovaně roztavit a tvarovat, tak se řadí mezi termoplasty. Druhou skupinou jsou reaktoplasty, které se pod opětovným účinkem tepla a tlaku začnou dříve rozpadat, než

jsou schopné se roztavit a opět tvarovat. Toto rozdílné chování je způsobeno typem vzniklé vazby (fyzikální/chemická) během procesu chlazení taveniny. [4, 5]

### 1.1.1 Termoplasty

Termoplasty se podle jejich struktury v pevném stavu rozdělují na amorfni a semikrystalické. Termoplasty se v plastickém stavu dají zpracovávat různými druhy technologií. Jsou to materiály, které se dají jednoduše opětovně roztavit a následně tvářet. Vzhledem k tomu, že vlastnosti polymerů jsou závislé na teplotě, existují hraniční hodnoty, od kterých se jejich vlastnosti výrazně mění. Tyto hranice se nazývají přechodové teploty polymerů. Přechodové teploty rozdělují, v jakém stavu se polymer v závislosti na své teplotě aktuálně nachází. Stav polymeru jsou sklovitý, kaučukovitý nebo plastický. Přechodové teploty jsou teplota skelného přechodu  $T_g$  (amorfni a semikrystalické termoplasty), teplota tání krystalické fáze  $T_m$  (semikrystalické termoplasty), teplota tečení amorfni fáze  $T_f$  (amorfni a semikrystalické termoplasty). [1, 2, 4]

Amorfni termoplasty mají své řetězce nahodile prostorově uspořádané v klubkách, která mohou být vzájemně popletena. Jsou typicky tvrdé, křehké, vykazují vysokou pevnost a ve většině případů jsou průhledné. Plasty, které se řadí mezi amorfni, jsou například PC, PS, ABS, PMMA, SB, SAN, ASA. [2, 3, 5]

Semikrystalické termoplasty mají alespoň částečně uspořádané makromolekuly v řetězci. Makromolekuly obsahují uspořádané oblasti (krystalické) a také oblasti, které jsou neuspořádané (amorfni). Procentuální podíl krystalické fáze vyjadřuje stupeň krystalinity. Na stupeň krystalinity má výrazný vliv tvar makromolekulárního řetězce, zda je lineární nebo rozvětvený. Lépe krystalizují polymery, které mají lineární tvar řetězce, z důvodu jeho větší pravidelnosti bez přítomnosti bočních řetězců, který umožňuje lepší krystalizaci. Právě přítomnost krystalického podílu, který má vyšší index lomu, zapříčiňuje rozptyl procházejícího světelného paprsku skrz materiál, který se ve výsledku jeví jako mléčně zakalený. Řadí se mezi ně například PP, LDPE, HDPE, PBT, POM, PET. [1, 3, 5]

### 1.1.2 Reaktoplasty

Reaktoplasty byly dříve označovány jako termosety. Vzniká u nich nevratná chemická reakce (vytvrzování), při které dojde k vytvoření prostorové zesíťované struktury. Zesíťování nastává vlivem tepla a tlaku nebo za pomoci síťovacích činidel. Z důvodu prostorové sítě nejsou reaktoplasty opětovně tavitelné a rozpustné, také jsou obtížně

recyklovatelné. Při opětovném zahřívání dochází k jejich degradaci. Mají vysokou tepelnou a chemickou odolnost, tvrdost a tuhost. Typickým představitelem jsou pryskyřice epoxidové, polyesterové, fenolformaldehydové. [3, 4]

## 1.2 Elastomery

Elastomery jsou vysoce elastické polymerní materiály, které je možno malou silou značně deformovat aniž by došlo k jejich porušení. Vzniklé deformace jsou převážně vratné. Některé zesíťované elastomery lze natáhnout, až na 700 % své původní délky přičemž se po uvolnění zatěžující síly navrátí na původní délku. Vratné deformace jsou podmíněné pružností polymerních řetězců. Elastomery mají řídké zesíťovanou strukturu, která by neměla výrazně neomezovat pohyblivost polymerních řetězců. Mezi elastomery se řadí kaučuky a termoplastické elastomery. [1, 5]

### 1.2.1 Kaučuky

V průběhu zahřívání dochází k chemické reakci vulkanizaci, čímž se vytvoří prostorová síť, a výsledkem této chemické reakce je pryž. Vulkanizace probíhá v důsledku přítomnosti síťovacího činidla, nejčastěji se používá síra, které vytvoří mezi uhlovodíky příčné vazby. Množství použitého vulkanizačního činidla ovlivní výslednou tvrdost pryže. Získané řetězce jsou řídké zesíťované, což umožňuje velkou pohyblivost řetězců, která dovoluje při zatížení malou silou velké protažení materiálu bez jeho poškození. Po uvolnění zatěžující síly se deformovaný materiál vrátí do původního stavu. [3]

### 1.2.2 Termoplastické elastomery

U termoplastických elastomerů se vytváří pouze fyzikální síť, která umožňuje opětovné zahřívání a ochlazování. Termoplastické elastomery kombinují vlastnosti termoplastů a elastomerů. Jsou ohebné jako elastomery a zpracovatelské vlastnosti mají jako termoplasty. Aby bylo možné tyto vlastnosti získat, musí obsahovat dvoufázovou strukturu tvořenou navzájem nemísitelnými měkkými a tvrdými segmenty. Termoplastický elastomer je tvořen měkkými segmenty z elastomeru a tvrdými segmenty ze semikrystalického nebo amorfního termoplastu. [3]

## 1.3 Reologie polymerních materiálů

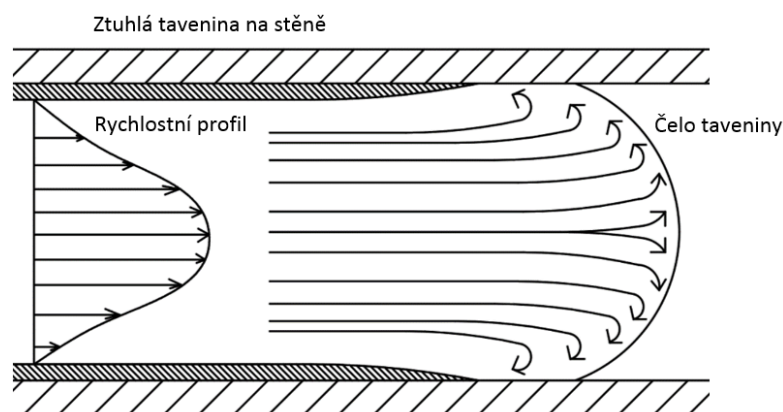
Reologie je nauka o toku a deformaci látek. Název reologie pochází z řečtiny, kde slovo rheos znamená proud, motto reologie je z citátu od Simplicia „Πάντα ρεῖ” (panta rhei) neboli

vše plyne. Reologie se snaží porozumět chování materiálů v průběhu jejich zpracování v závislosti na vzájemném vztahu mezi napětím, deformací a časem. [6, 7]

Znalost reologického chování materiálu je důležitá pro výrobce materiálu, zpracovatele, pro výrobu zpracovatelských strojů a pro návrh nástrojů. Polymerní materiály se vyznačují viskoelastickým chováním při toku, což zahrnuje současně chování viskózní (typické pro kapaliny) a chování elastické (typické pro pevné materiály). Reologické vlastnosti polymerních materiálů se liší v závislosti na jejich chemické struktuře. [8]

#### 1.4 Tok materiálu

Při toku polymerního materiálu vzniká časově neustálený tok. Na studené stěně nedochází ke skluzu taveniny na stěně, ale dochází k vytváření ztuhlé vrstvy materiálu na stěně formy. Tavenina postupně tuhne s rostoucí vrstvou, přičemž tavenina ve středu kanálu teče. Tento způsob toku materiálu, který je známý jako fontánový tok, je nejideálnější způsobem zaplňování tvarové dutiny formy. Předpokládá se, že smyková rychlost je na stěně nulová. [9, 10]



Obrázek 3 Fontánový tok [10]

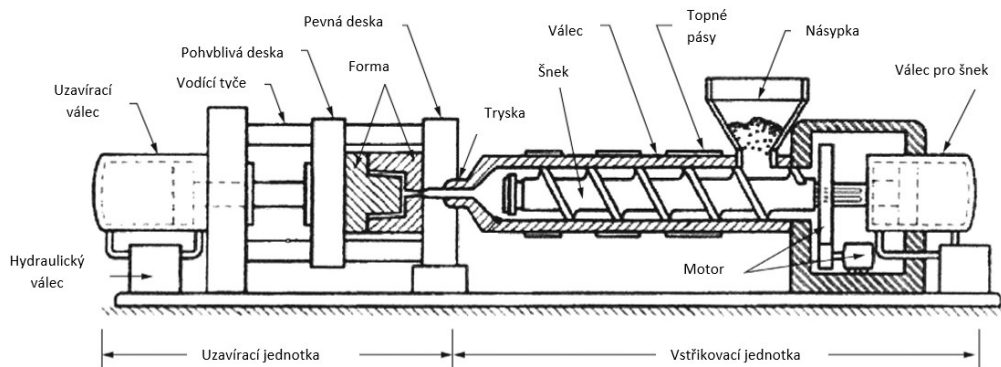


## 2 VSTŘIKOVÁNÍ TERMOPLASTŮ

Technologie vstřikování se řadí mezi nejpoužívanější způsoby výroby výrobků z polymerních materiálů. Zpracovává se jak většina plastů, tak i některé elastomery.

Vstřikování je cyklický automatizovaný proces tváření materiálů, kde se nejprve pevný materiál účinkem dodaného a vzniklého tepla roztaví na taveninu. Následně je materiál vstříknutý vysokou rychlostí do uzavřené tvarové dutiny vstřikovací formy, kde dojde u termoplastů k ochlazení výrobku, a u reaktoplastů a elastomerů k jejich vytvrzení/vysíťování. Během procesu vstřikování v materiálu probíhají složité fyzikální procesy, materiál není v žádném okamžiku z termodynamického hlediska v rovnovážném stavu. Procesní parametry teplota, tlak a rychlost se v průběhu vstřikování dynamicky mění a nejsou ve všech částech vstřikovací formy stejné. [11]

Vstřikování umožňuje vyrábět tvarově složité výrobky s dobrou výslednou rozměrovou přesností a jakostí povrchu a s vysokou reprodukovatelností vyráběných výrobků. Vstřikováním lze vyrábět za poměrně krátkou dobu výrobního cyklu velké výrobní série, avšak nevýhodou mohou být vysoké pořizovací náklady jak na potřebné strojní vybavení (vstřikovací stroj a jeho periferie), tak i na vstřikovací formu. Další nevýhodou je dlouhá doba výroby vstřikovací formy.



Obrázek 4 Schéma vstřikovacího stroje [12]

### 2.1 Vstřikovací cyklus

Jak již bylo výše zmíněno, technologie vstřikování je cyklický tvářecí proces, takže ho lze popsat vstřikovacím cyklem, který zobrazuje kruhový diagram s jednotlivými operacemi, které probíhají současně ve vstřikovací formě a ve vstřikovacím stroji.

Vstřikovací cyklus začíná uzavřením vstřikovací formy, následuje vstřikování materiálu z válce vstřikovacího stroje přes trysku do vstřikovací formy. V průběhu vstřikování se šnek

ve vstřikovací jednotce lineárně posunuje a chová se jako píst. V dotlakové fázi se do vstřikovací formy doplňuje objemový rozdíl materiálu, který vzniká při ochlazování roztaveného materiálu v dutině vstřikovací formy, čímž se zabrání vzniku propadlin nebo vzduchových dutin. Během dotlakové fáze již dochází ke chlazení. Dotlaková fáze se však nemusí vyskytovat ve všech vstřikovacích cyklech. U některých speciálních technologií vstřikování je fáze dotlaku nahrazena jiným dějem během vstřikovacího cyklu. V průběhu chlazení, které je nejdelší částí vstřikovacího cyklu, probíhajícího ve vstřikovací formě, vstřikovací jednotka odjíždí dozadu, čímž dojde k nabrání další dávky granulátu a začíná proces plastikace, kdy materiál postupuje dopředu před špičku šneku. Při nastavování rychlosti otáček šneku se musí mít na paměti, aby nedocházelo k příliš velkému smykovému namáhání mezi šnekem a stěnami válce, protože během smyku se generuje teplo vzniklé třením a pokud by bylo příliš velké, docházelo by k degradaci polymerní taveniny. Po ochlazení výrobku, za předpokladu, že je výrobek dostatečně ztuhlý, se forma otevře a následuje vyhození výrobku ze vstřikovací formy. Poté následuje příprava formy. Po skončení příprav ve vstřikovací formě dojde k přisunu vstřikovací jednotky k formě, která se forma opět uzavře a celý cyklus se následně opakuje. Fáze příjezdu a odjezdu vstřikovací jednotky se nemusí vyskytovat ve všech vstřikovacích cyklech. U vstřikovacích forem s horkým rozvodným systémem dojde k příjezdu vstřikovací jednotky, která odjede až po ukončení dané výrobní série. [2, 9, 13]

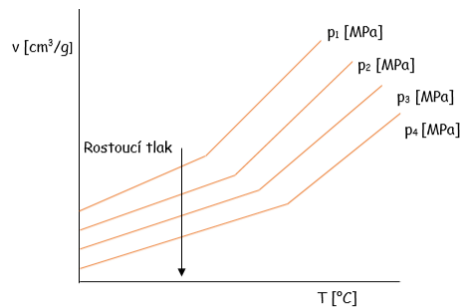


Obrázek 5 Vstřikovací cyklus, vnější část – vstřikovací forma, vnitřní část – vstřikovací jednotka

Z termodynamického pohledu se chování polymeru v průběhu vstřikovacího cyklu dá popsat pomocí  $p-v-T$  diagramu,  $p$  – tlak [MPa],  $v$  – specifický objem [ $\text{cm}^3/\text{g}$ ],  $T$  – teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ].

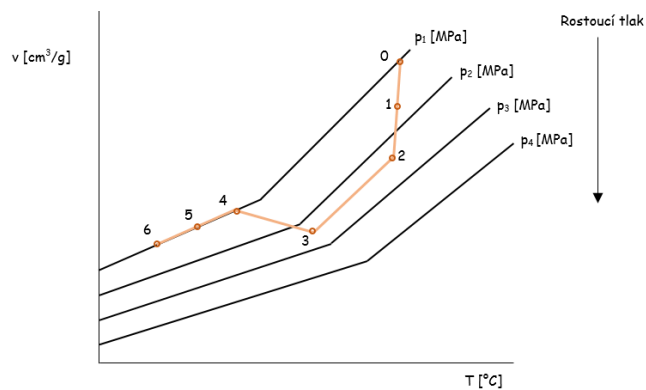
Diagram  $p-v-T$  popisuje změnu specifického objemu polymeru a také smrštění v závislosti na změně teploty. V diagramu jsou tyto změny znázorněny pro různé hodnoty tlaků. Na

diagramu pro amorfní polymer je možné pozorovat, že s rostoucí hodnotou tlaku se zvyšuje teplota skelného přechodu  $T_g$  polymeru.



Obrázek 6  $pvT$  diagram pro amorfní polymer [14]

Do  $pvT$  diagramu jde zaznamenat průběh vstřikovacího cyklu, což umožní pozorovat hodnoty teploty a tlaku kterými vstřikovaný díl v průběhu vstřikování prochází, a také je zde viditelná změna specifického objemu.



Obrázek 7 Průběh vstřikovacího cyklu zakresleného v  $pvT$  diagramu [14]

0 → 1 plnění dutiny formy

1 → 2 komprese taveniny

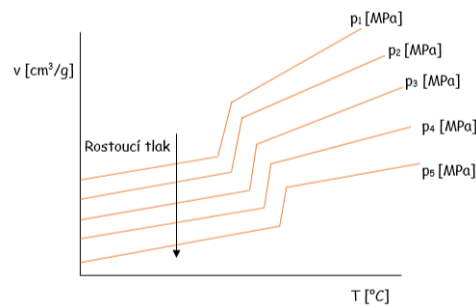
2 → 3 dotlak

3 → 4 chlazení

4 → 5 chlazení na vyhazovací teplotu

5 → 6 chlazení mimo formu

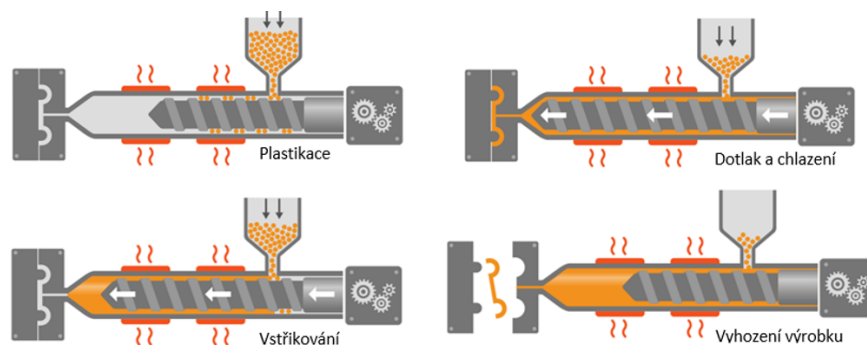
Na diagramu pro semikrystalický polymer je možné pozorovat, že se zvyšující se hodnotou tlaku se zvyšuje teplota tání krystalické fáze. Dále je na diagramu patrná změna objemu vlivem tavení polymeru. Toto množství je potřebné doplnit v průběhu dotlakové fáze vstřikovacího cyklu, čímž se kompenzuje smrštění taveniny v průběhu chlazení. [15]



Obrázek 8  $p$  $v$  $T$  diagram pro semikrystalický polymer [14]

### 2.1.1 Fáze vstřikovacího cyklu

U technologie vstřikování se jako u všech ostatních výrobních technologií klade výrazný důraz na čas potřebný na výrobu jednoho výrobku. Důvodem je snaha co nejvíce minimalizovat potřebné časy na výrobu. Toho lze u technologie vstřikování dosáhnout zvýšením rychlosti vstřikovacích strojů a také optimalizací jednotlivých fází vstřikovacího cyklu. I přes tuto snahu existují fáze vstřikovacích cyklů, u kterých je vzhledem ke kvalitě výsledného výrobku, výhodnější pokud trvají delší dobu. [13, 15]



Obrázek 9 Vstřikovací cyklus [16]

*Uzavření vstřikovací formy* – začíná celý vstřikovací cyklus. Průběh zavírání vstřikovací formy probíhá ve dvou částech, každá z nich probíhá rozdílnou rychlostí. V první části dráhy dochází k co největšímu příjezdu pohyblivé strany k pevné straně vstřikovací formy a to velkou rychlostí. Druhou část tvoří velmi pomalé a plynulé dosednutí, pohyblivé strany na pevnou stranu vstřikovací formy, a to v ideálním případě nulovou rychlostí, čím se omezí její opotřebení či poškození. Forma musí být uzavřena silou větší než síly vznikající v průběhu vstřikování, z důvodu, aby v průběhu vstřikování nedošlo k otevření vstřikovací formy, čímž by na výrobku vznikly přetoky. [10, 13, 17]

*Prísun plastikační jednotky* – probíhá současně v průběhu uzavírání vstřikovací formy. Vstřikovací jednotka postupně přijíždí k pevné straně vstřikovací formy, čímž dojde ke

spojení trysky a vstřikovací formy. K přísunu u plastikační jednotky nemusí v některých případech docházet v každém vstřikovacím cyklu, ale pouze při zahájení výroby.

*Vstřikování* – tvoří nejkratší část vstřikovacího cyklu, ale nejvíce ovlivňuje výsledné vlastnosti hotového výrobku a také zda bude celá dutina beze bytku zaplněná. Vstřikováním se do tvarové dutiny doplňuje homogenní tavenina. Tavenina musí do tvarové dutiny vtékat laminárním tokem a musí mít ve všech místech toku stejnou rychlost. Doba vstřikovací fáze se pohybuje v rozsahu desetin až jednotek vteřin, a to z důvodu že od začátku vstřikování dochází k okamžitému ochlazení taveniny materiálu. S nižší teplotou má tavenina vyšší viskozitu a horší zatékavost, čímž by nemuselo dojít k úplnému zaplnění tvarové dutiny formy. Rychlost vstřikování hraje vliv při vzniku povrchových vad na výrobku. [9, 13]

*Dotlak* – eliminuje smrštění polymeru v průběhu chlazení. Během dotlaku se do tvarové dutiny doplňuje tavenina. Dotlak probíhá až do okamžiku zatuhnutí vtokového ústí; pokud by probíhal déle, docházelo by k deformaci výrobků a jejich obtížnému odformování. Pokud by naopak dotlak probíhal kratší dobu, nedošlo by k dostatečnému kompenzování smrštění materiálu a opět by nevznikaly kvalitní výrobky. Ideální dobu působení dotlaku lze experimentálně určit vážením výrobku a porovnáváním s optimální hmotností výrobku. Na vstřikovací stroji se dá dotlak kontrolovat porovnáváním velikosti polštáře (což je množství nataveného materiálu umístěného před čelem šneku, z něhož se odebírá tavenina při dotlakové fázi kompenzující smrštění), který je na konci dotlakové fáze před čelem šneku.

U dotlakové fáze má také vliv doba, kdy dojde k jejímu přepnutí, které by mělo probíhat plynule, čímž by se neovlivnila tlaková odezva. Po přepnutí nesmí dojít k tlakovému propadu ani k výraznému zvýšení tlaku. Kdyby došlo k výraznému zvýšení tlaku, který by překročil velikost uzavírací síly, došlo by k pootevření formy a na výrobku by se nacházely přestříky. Průběh tlaku musí postupně růst a následně dojít k plynulému přechodu na dotlakovou fázi. [9, 13]

*Chlazení* – tvoří nejdelší a nejdůležitější část vstřikovacího cyklu vzhledem k výsledné kvalitě výrobku, protože právě dobou chlazení lze kvalitu výrazně ovlivnit. Chlazení probíhá prakticky již od začátku vstřikování, protože tavenina se od okamžiku vstupu do tvarové dutiny již ochlazuje od chladnějších stěn formy. Ukončení vzhledem k vstřikovacímu cyklu trvá až do okamžiku vyhození výrobku z tvarové dutiny formy. Chlazení dále pokračuje i mimo vstřikovací formu, kde se výrobek ochlazuje na teplotu okolí, ale to již není součástí vstřikovacího cyklu. Snahou je ochladit výrobek na takovou teplotu kdy je dostatečně tuhý,

aby při následující operaci vyhození z dutiny formy, nedošlo k jeho deformaci ani poškození od vyhazovacího systému. Na kvalitu výsledného výrobku má vliv teplota formy a taveniny, protože od nich se odvíjí rychlost ochlazování výrobku, která by měla být co nejpomalejší. [9, 10]

*Odjezd plastikační jednotky* – probíhá v průběhu chlazení, aby nedocházelo k ohřevu pevné strany vstřikovací formy od trysky vstřikovací jednotky. Rychlost odsunu plastikační jednotky nemá vliv na celkovou dobu vstřikovacího cyklu, protože probíhá během chlazení. [14]

*Plastikace* – začíná nabráním dávky granulátu do vstřikovací jednotky. Tuhý materiál se průchodem přes pásma šneku vstřikovacího stroje převede na homogenní taveninu. K roztavení potřebného množství materiálu dochází pomocí dodaného tepla skrze topná pásma vstřikovací jednotky a také přeměnou mechanické energie vznikající v průběhu tření na energii tepelnou. Vzniklá tavenina nacházející se před čelem šneku musí být homogenní jak z pohledu teploty, tak také z tlakového hlediska. Teplota taveniny je určena z rozsahu doporučených teplot uvedených v materiálovém listu. Teplota taveniny ovlivňuje viskozitu materiálu, od které se odvíjí velikost a průběh vstřikovacího tlaku. Aby bylo zajištěno správné zhomogenizování taveniny, je potřebné správné nastavení teplot v jednotlivých topných pásmech vstřikovací jednotky, otáček šneku a zpětného odporu šneku. [9, 17]

Objem zplastikovaného materiálu musí pokrýt objem tvarové dutiny formy i s vtokovým systémem, spolu s množstvím materiálu, označujícím se jako polštář, které kompenzuje smrštění. Velikost polštáře se většinou pohybuje v rozmezí 5 až 15 % z objemu výrobku. Objem celkové zplastikované dávky taveniny by neměl překročit čtyřnásobek průměru šneku. Plastikační doba nemá na celkový průběh vstřikovacího cyklu vliv, protože probíhá během fáze chlazení a vyhození výrobku z dutiny formy. [17]

*Otevření formy* – odehrává se po zchladnutí výstřiku na vyhazovací teplotu. Dráha, kterou musí forma vykonat, je stejná jako u zavírání formy. Její velikost musí být dostatečně velká, aby mohlo dojít k bezpečnému vyhození nebo vyjmutí výrobku robotem z dutiny formy, avšak nemůže být příliš velká, aby se neprodlužoval vstřikovací cyklus. Rychlost otevírání je z počátku vysoká, ale na konci dráhy dojde k jejímu zpomalení, aby došlo k plynulému dojetí. [14, 17]

*Vyhození výrobku* – z tvarové dutiny by mělo probíhat plynule, čímž se zabrání vzniku možných deformací na výrobku. Vyhazovací systém musí zabezpečit vyhození všech

výrobků vyrobených v průběhu vstřikovacího cyklu, kdyby zůstal výrobek ve tvarové dutině při uzavírání formy, došlo by k jeho znehodnocení a v horším případě k poškození tvarové dutiny formy.

Výsledné vlastnosti výrobku jsou závislé na teplotě, tlaku, toku materiálu, trvání jednotlivých fází, kterými výrobek v průběhu výroby prošel. V ideálním případě by měly být makromolekulární řetězce v rovnovážném termodynamickém stavu už v okamžiku vyhazování výrobku, tedy řetězce by měly být v rovnovážné konformaci vzhledem k teplotě, a v čase by se neměly měnit. V reálném případě však řetězce nemají dostatečný čas na přechod do nové rovnovážné polohy. Z toho důvodu je část řetězců v okamžiku vyhazování v různých konformacích odlišných od požadovaného rovnovážného stavu. Řetězce ve výrobku po vyhození z dutiny formy dále relaxují do stavu rovnovážné konformace. Nejvíce řetězce zrelaxují v následujících 24 hodinách po vyhození výrobku.

U semikrystalických polymerů ještě dochází ke krystalizaci a rekrystalizaci, kdy dochází ke změnám objemu výrobku. K objemovým změnám dochází i u amorfních polymerů, ale u nich nejsou tak výrazné, protože krystalické řetězce mají lepší uspořádání v prostoru oproti amorfním. K největší změně objemu dochází od okamžiku ochlazování polymerní taveniny v dutině vstřikovací formy. Tato změna objemu je označována jako výrobní smrštění. Dochází při ní ke změně konformací řetězců, ale všechny řetězce nedosáhnou rovnovážného stavu. Tyto změny pokračují i po vyhození výstřiku z tvarové dutiny vstřikovací formy, což se ve výsledku projeví dodatečným smrštěním výrobku. Dodatečné smrštění je podstatně menší než výrobní smrštění. Z tohoto důvodu se kvalita výrobku z termoplastů i jeho rozměry posuzují až po uplynutí těchto dodatečných změn v polymerním řetězci, po minimálně 16 hodinách, nejčastěji po 24. [18]

## 2.2 Smrštění termoplastů

Smrštění je změna objemu výrobku vznikající v průběhu chlazení taveniny na výsledný výrobek. Smrštění se dělí na výrobní, které tvoří větší část celkového smrštění – přibližně 90 % a dodatečné smrštění, které tvoří zbylých 10 %. Smrštění lze také rozdělit vzhledem ke směru proudění taveniny na příčné a podélné smrštění. Velikost smrštění je způsobena kombinací změny objemu způsobené tuhnutím polymerní taveniny, relaxací objemu a relaxací makromolekulárních řetězců a u semikrystalických polymerů ještě krystalizací. S velikostí smrštění se musí počítat při návrhu tvarové dutiny vstřikovací formy, která musí být o tuto velikost zvětšena. [18]

Velikost smrštění je rozdíl mezi objemem vstřikovací formy a vstřikovaného výrobku. Velikost smrštění se dá vypočítat vztahem v rovnici (1), kde se porovnává rozměr na výrobku vzhledem k rozměru na vstřikovací formě, a výsledná velikost je uvedena v procentech. [18]

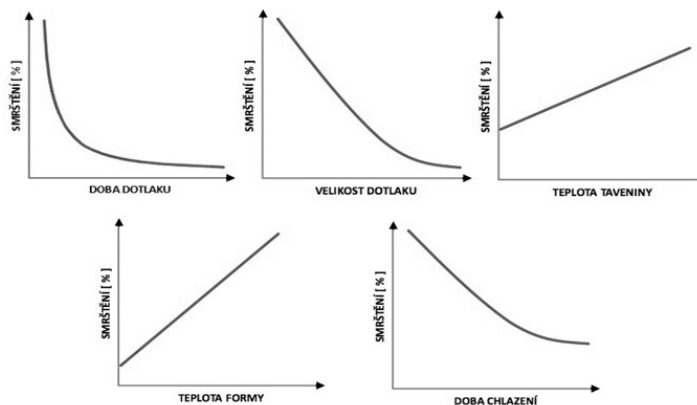
$$S_V = \frac{I_F - I_V}{I_F} * 100 \text{ [%]} \quad (1)$$

$I_F$  – rozměr v dutině formy při teplotě 23 °C

$I_V$  – rozměr na výrobku při teplotě 23 °C

Velikost smrštění se dá určit nepřímou metodou zjišťování objemu metodou vážení výrobku a následným porovnáváním s hodnotou získanou z dat výrobku. Tato metoda se používá hlavně ve výrobě k určení, zda se jedná o kompletní díl, a zda je proces vstřikování stabilní.

Na velikost smrštění má vliv celý výrobní proces, od návrhu tvaru dílu, návrhu vstřikovací formy, výběru materiálu a samotného vstřikování. Mezi parametry, které v průběhu vstřikování ovlivňují jeho velikost, patří teplota, tlak, dotlak, doby trvání jednotlivých fází. [18]



Obrázek 10 Vliv parametrů vstřikování na velikost smrštění [19]

Materiálové vlastnosti mají největší vliv na velikost smrštění, které se dá ovlivnit přidáním typem plniv (vyztužují/nevyztužující). Hodnoty smrštění uvádí výrobce v materiálovém listu. U plněných materiálů se smrštění uvádí zvlášť v příčném a podélném směru. [9]

Tabulka 1 Velikosti smrštění vybraných amorfních a semikrystalických polymerů [18]

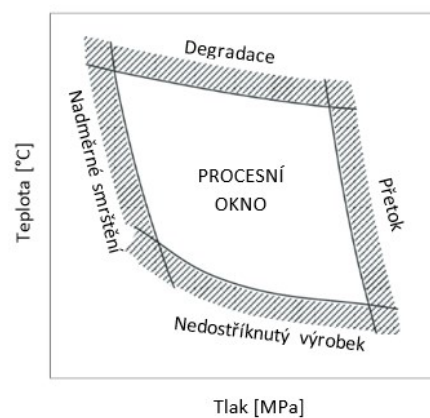
Materiál	Smrštění [%]	Materiál	Smrštění [%]
ABS	0,3 - 0,8	PP	1 - 2,5
PC	0,5 - 0,7	PP 40% talek	0,8 - 1,5
PC 30 % skelná vlákna	0,1 - 0,2	HDPE	1,5 - 4
PS	0,4 - 0,7	PA6	0,5 - 1,5



Velikost smrštění materiálu se dá predikovat z jeho chování zobrazeného v pvT diagramu, který poskytuje výrobce materiálu v materiálovém listu. V pvT digramu je prezentována objemová roztažnost materiálu v průběhu ohřívání za různých hodnot tlaku typických pro technologii vstřikování. [18]

### 2.3 Vady vstřikovaných dílů

Procesní okno je graf závislosti procesních parametrů, a to teploty na tlaku. Pokud se nastavené parametry teploty a tlaku budou pohybovat uvnitř procesního okna, výsledné výrobky se budou vyrábět v požadované kvalitě, tedy bez vad.



Obrázek 11 Procesní okno [20]

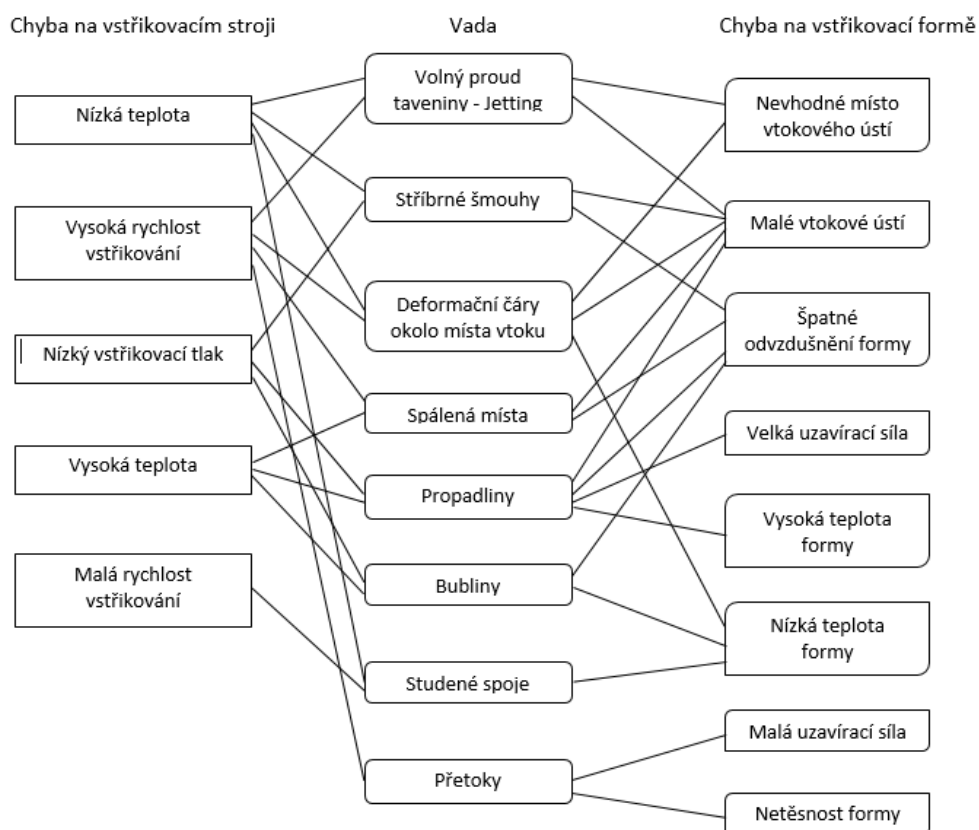
I když je v procesním oknu patrné rozmezí teplot a tlaku, při kterých se budou vyrábět díly v požadované kvalitě, není vždy snadné tyto hodnoty zjistit a případně správně nastavit. Tyto hodnoty tvoří pouze část parametrů, kterými ovlivňujeme kvalitu výrobku. Vady mohou vznikat i z dalších důvodů, mezi které se řadí nevhodná konstrukce výrobku nebo vstřikovací formy, neoptimální volba vstřikovacího stroje a parametry vstřikovacího cyklu nebo nevhodná volba materiálu. Většina vznikajících vad se dá odstranit nebo eliminovat změnou nastavených procesních parametrů, úpravou parametrů přípravy materiálu nebo změnou materiálu. Nejhůře odstranitelným problémem jsou vady vznikající chybnou konstrukcí výrobku nebo vstřikovací formy, které nejdu změnit ani s použitím vhodného materiálu, stroje nebo nastavením parametrů vstřikovacího cyklu. Odstranění těchto vad je velice nákladné a je zapotřebí mít jistotu, že případná vada vzniká z důvodu špatné konstrukce, a ne pouze špatnou kombinací nastavených parametrů. [15, 22]

Vady se u vstřikovaných výrobků dělí na zjevné a skryté.

Vady zjevné jsou vady vizuální a také se vizuálně kontrolují v porovnání s referenčním vzorkem, patří mezi ně povrchové a tvarové vady. K povrchovým vadám se řadí: propadliny,

tokové čáry, změny barvy a lesku, žloutnutí, orange peel, matná místa, stříbření, černé tečky a šmouhy, spálená místa a další. Vady tvaru jsou nedostříknutý výrobek, stopy po vyhazovačích, otrěpy, přetoky a další odchylky od rozměrů a tvaru referenčního dílu. [22, 23]

Vady skryté jsou vady, které nejsou zřetelné vizuální kontrolou. Tyto vady vznikají důsledkem nerovnoměrné krystalizace u semikrystalických polymerů, nerovnoměrné orientace makromolekul, vnitřního pnutí. Patří mezi ně bubliny a lunkry, vnitřní pnutí ve výrobku, studené spoje. Tyto vady je možné zjišťovat nepřímými a nedestruktivními metodami měření. [22, 23]



Obrázek 12 Odstraňování vad u vstřikování [21]

Ve výrobě se kontrolují především zjevné vady, které jsou snadněji identifikovatelné, ale také jejich vyhodnocení závisí na subjektivních pocitech operátora, který výrobek kontroluje vzhledem k referenčnímu vzorku. Vady skryté se ve výrobě kontrolují měřením hmotnosti výrobku. Kontrola těchto vad se neprovádí na takovém množství výrobků jako u kontroly vizuální.

Při odstraňování vad vzniklých u vstřikování je důležité postupovat systematicky. Využívá se metoda STOP Systematically (systematicky), Think (přemýšlet), Observe (pozorovat),

Proceed (postupovat). Tato metodika STOP má při odstraňování problémů a vad za cíl zabránit tomu, aby se udělaly unáhlené závěry, protože vždy je důležité provést podrobnou analýzu a porozumět vzniklému problému. [23]

Při řešení problému systematickým přístupem se využívá metodiky 4M, která rozděluje příčinu vzniku problému do 4 kategorií:

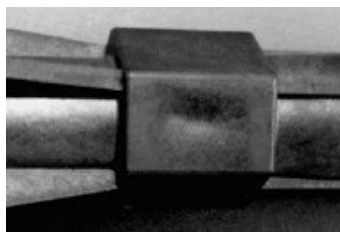
1. moulding process (proces výroby – vstřikování),
2. mould (vstřikovací forma),
3. machine (vstřikovací stroj),
4. material (materiál).

U technologie vstřikování se u řešení problému nepoužívá rozdělení do 5 skupin (5M), protože člověk (man) jakožto pátá skupina může u vstřikování ovlivnit kteroukoliv ze čtyř kategorií. [23]

Postupně se zvažují faktory, které by mohly přispět ke vzniku vady, přičemž se postupně prochází každá kategorie, čímž se rychle sestaví seznam potenciálních hlavních příčin. Dalšími používanými metodikami jsou 5Why, Fishbone diagram, Is/ Is not, DOE. [23]

### 2.3.1 Propadliny

Propadliny vznikají při tuhnutí taveniny, kdy dojde ke smrštění materiálu. Příčinou je špatná konstrukce výrobku v místech, kde je nahromaděná velká masa materiálu, nízký vstřikovací tlak, nízký nebo krátký dotlak, vysoká teplota formy, špatná konstrukce temperačního systému. [11, 24]



Obrázek 13 Propadlina [24]

### 2.3.2 Bubliny

Bubliny vznikají zachycením plynu taveninou, čímž ve výrobku vznikne dutina vyplněná plynem. Příčina vzniku může být v nedostatečném nebo nesprávném odvzdušnění, vysokou teplotou taveniny, která způsobí, že se z materiálu uvolní plyny, náhlými přechody tloušťek ve stěnách výrobku, nízkým vstřikovacím tlakem. [9, 15]

### 2.3.3 Studené spoje

Tavenina při zaplňování tvarové dutiny narazí na části, které rozdělí její tok. Dvě nebo více čel tekoucí taveniny při následném vzájemném spojování vytvoří studený spoj, který vznikne v důsledku nízké teploty čel taveniny. Studený spoj může vytvořit pouze kosmetickou vadu nebo způsobit oslabení vnitřní struktury materiálu, což vede ke snížení mechanických vlastností. Pro vznik studeného spoje je důležité umístění vtokového ústí, konstrukce a typ vtokového systému. Samozřejmě i nastavené procesní parametry mají vliv na vznik studených spojů, a to nastavené teploty a také rychlost vstřikování. [22, 24]

### 2.3.4 Spálená místa

Spálená místa jinak také nazývaná jako Dieselův efekt, vznikají v důsledku nedostatečného odvzdušnění dutiny formy, kdy v průběhu vstřikování dochází k nárůstu tlaku vzduchu, čímž v dutině formy prudce vzroste i teplota. Pokud tlak vzroste příliš, dojde ke spálení taveniny, což se ve výsledku na výrobku projeví spáleným místem. Vadu lze odstranit snížením vstřikovací rychlosti, snížením teploty taveniny. Z konstrukčního hlediska kromě nedostatečně navrženého odvzdušnění může být problém v nevhodně umístěném vtokovém ústí nebo jeho konstrukci. [9, 18, 24]



Obrázek 14 Spálené místo [24]

### 2.3.5 Přetoky

Přetoky vznikají, pokud tavenina zateče i mimo tvarovou dutinu formy. Příčinou zatečení může být netěsnost nebo opotřebení tvarových částí vstřikovací formy, velká výrobní tolerance, nízká viskozita materiálu, malá tuhost formy, vysoký vstřikovací tlak a nízká uzavírací síla, čímž dojde k pootevření dělicí roviny. [15, 23]

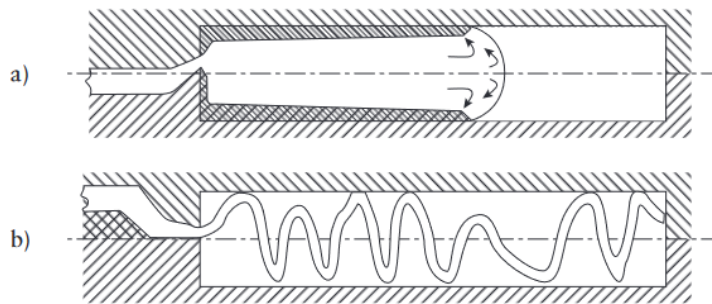
### 2.3.6 Stříbření

Stříbření jsou malé bublinky v pruzích vyskytující se na povrchu výrobku. Vzniká v důsledku vlhkosti ve zpracovávaném materiálu, vysoké teploty taveniny, dekomprese. U stříbření se podle místa jeho výskytu dá určit, v čem je problém jeho vzniku. Pokud se

stříbření vyskytuje náhodně na různých místech na výrobku, problém je v materiálu nebo v nastavených procesních podmínkách. Pokud se však stříbření vyskytuje opakovaně na přibližně stejném místě, značí to problém ve vstřikovací formě. [23]

### 2.3.7 Volný proud taveniny

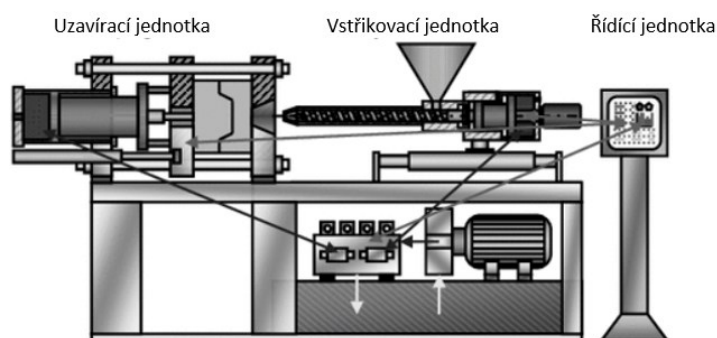
Volný proud taveniny vzniká nevhodným umístěním místa vtokového ústí v tvarové dutině formy. Proud taveniny nekontrolovaně proudí do tvarové dutiny, místo zaplňování fontánovým typem toku, kterým začne proudit až po naražení na tvarovou část dutiny formy. Tavenina se při nekontrolovatelném toku ochladí a následně se nemůže homogenně spojit s další taveninou. Volný tok se odstraňuje změnou v konstrukci vstřikovací formy buďto přemístěním vtokového ústí, nebo vložením kolíku proti vtokovému ústí. Kolík volný proud taveniny rozbije a tavenina začne proudit fontánovým typem toku. Úpravou procesních parametrů se dá tato vada pouze eliminovat, a to změnou vstřikovací rychlosti nebo teplotou taveniny a formy. [15]



Obrázek 15 Plnění dutiny formy a) fontánový tok taveniny b) volný proud taveniny [15]

### 3 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Vstřikovací stroj je tvářecí stroj a slouží pro zpracování polymerních materiálů ve formě granulí, prášku převedení do taveniny následně vstříknutí do tvarové dutiny vstřikovací formy. Vstřikovací stroj se skládá ze tří jednotek, a to vstřikovací a uzavírací jednotky (viz *Obrázek 16*), které jsou ovládány řídicí jednotkou. Ke vstřikovacímu stroji může být dále připojen manipulátor, robot, dopravník, temperační jednotka a další stroje, které umožní částečnou nebo úplnou automatizaci výrobního procesu.



*Obrázek 16 Vstřikovací stroj [25]*

Vstřikovací stroje lze rozdělit podle různých parametrů:

- typu pohonu: hydraulické, elektrické, hybridní,
- směru posuvu desky uzavírací jednotky: horizontální, vertikální,
- typu pracovního členu: píst, šnek,
- typu zpracovávaného materiálu: termoplast, reaktoplast, kaučuk,
- použití předplastikace ve vstřikovací jednotce: s předplastikací, bez předplastikace.

Nejčastěji se vstřikovací stroje rozdělují podle typu pohonu v osách (hlavních a vedlejších) vstřikovacího stroje. Pro vstřikování se používají vstřikovací stroje s pohony hydraulickými, elektrickými nebo hybridními, které tvoří kombinaci elektrických a hydraulických pohonů. Vstřikovací stroj má hlavní a vedlejší osy, a právě podle typu pohonu jednotlivých os se vstřikovací stroje rozdělují na hydraulické, elektrické, hybridní. [15, 26]

Hlavní osy:

- uzavírání/otevírání formy,
- vstřikování,
- plastikace.

Vedlejší osy:

- příjezd/odjezd plastikační jednotky,
- vyhazovací systém,
- ovládání tahačů.

### 3.1 Vstřikovací jednotka

Vstřikovací jednotka musí zajistit dokonalou plastikaci a homogenizaci taveniny a vyvodit dostatečně vysoký vstřikovací tlak a dotlak. Vstřikovací jednotka, také označována jako plastikační jednotka, připravuje polymerní taveninu a dopravuje ji do tvarové dutiny vstřikovací formy. [25, 26]



Obrázek 17 Vstřikovací jednotka [15]

Hlavními částmi vstřikovací jednotky jsou:

- násypka,
- topné pásy,
- šnek/píst,
- tryska,
- zpětný ventil. [27]

Vstřikovací jednotky se dělí na jednotky s předplastikací a bez předplastikace. U vstřikovacích jednotek s předplastikací, je vstřikovací stroj rozdělen na dvě jednotky vstřikovací a plastikační jednotku. Materiál se plastikuje v plastikační jednotce, která je buďto pístová, nebo šneková, a následně je dopraven do vstřikovací jednotky, která materiál vstříkne pístem do vstřikovací formy.

### 3.1.1 Pístové vstřikovací stroje

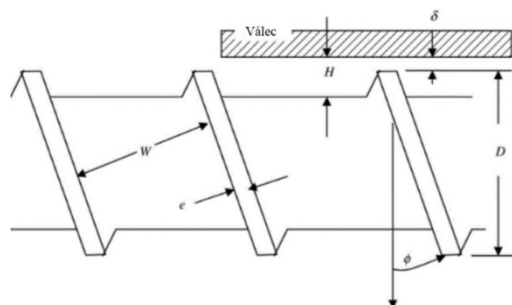
U pístových vstřikovacích strojů probíhá tavení materiálu v tavící komoře. Materiál se dávkuje do tavící komory skrz násypku, kde padá před píst. Postupným pohybem pístu se materiál stlačuje, ohřívá od topných pásem vstřikovací jednotky a mění se na taveninu. Tavenina před vstříknutím do dutiny vstřikovací formy ještě musí obtéct kolem torpéda, které zajistí její částečnou homogenizaci. Doba setrvání materiálu v pracovní komoře je velmi dlouhá, z tohoto důvodu vstřikování s pístovou vstřikovací jednotkou není vhodné pro materiály citlivé na teplotu. Další nevýhodou pístových vstřikovacích jednotek je také horší homogenizace taveniny. [15, 26]

### 3.1.2 Šnekové vstřikovací stroje

Pro vstřikování jsou nejpoužívanějším typem vstřikovací stroje se šnekem, protože umožňují konstrukční návrh šneku právě pro určitý typ zpracovávaného polymerního materiálu. Materiál ve formě granulí, drtě nebo prášku vstupuje skrze násypku do tavící komory, kde postupným pohybem po délce šneku dochází k plastikaci materiálu na polymerní taveninu. K plastikaci materiálu dochází vlivem tepla dodaného disipací a od topných pásů. U šnekových vstřikovacích jednotek odpadá dlouhá doba zdržení což umožňuje zpracovávat materiály citlivé na teplotu. [15]

#### 3.1.2.1 Šnek vstřikovacího stroje

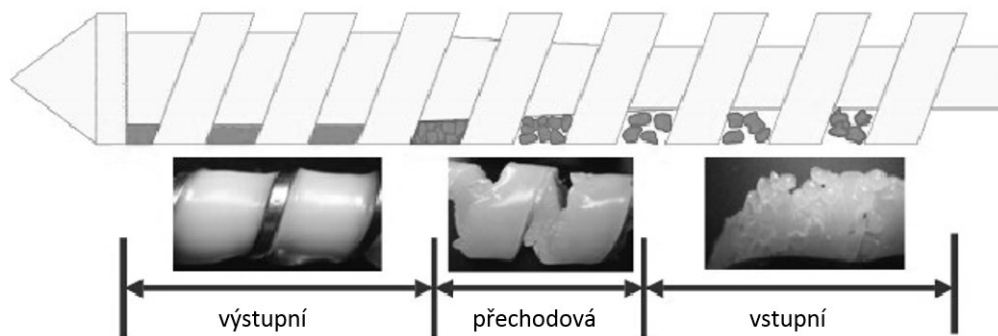
Šnek zajišťuje homogenizaci polymerní taveniny v tavící komoře. Velikost šneku je udávána v poměru délky k průměru  $L/D$ . Typické délky pro šneky určené pro vstřikování jsou v rozmezí od 18 do 22  $L/D$ . Šnek je dále charakterizován svým kompresním poměrem, což je poměr průměru šneku ve výstupní zóně k průměru ve vstupní zóně. Šnek nemá po celé své délce konstantní hloubku kanálu ani úhel stoupání. [29]



Obrázek 18 Schématické zobrazení šneku  $D$  – průměr válce,  $H$  – hloubka kanálu,  $e$  – šířka šroubovice,  $W$  – šířka kanálu,  $\delta$  – vůle mezi šnekem a pracovním válcem.  $\phi$  - úhel stoupání šroubovice [12]



Nejběžnějším typem šneků pro zpracování termoplastů je šnek se třemi zónami, a to vstupní, přechodovou a výstupní. Každá zóna plní svůj speciální účel a má své typické rozměry. [27]

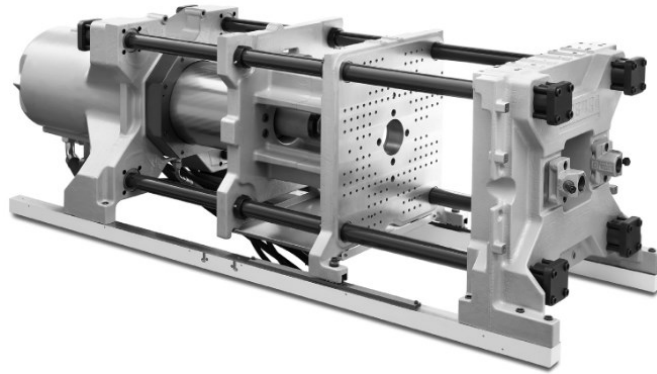


Obrázek 19 Zóny šneku [24]

Vstupní zóna má největší hloubku kanálu, hloubka je po celé délce zóny konstantní. Do této zóny vstupuje materiál v pevné formě skrze násypku, a je dopravován do přechodové zóny. V této zóně by nemělo docházet k tavení materiálu, obzvláště v oblasti pod násypkou, protože by mohlo dojít k zalepení vstupu a nemohlo by docházet k dalšímu nabírání materiálu. Z tohoto důvodu bývá násypka chlazená a také část šneku přímo pod ní. V přechodové zóně dochází ke kompresi materiálu, někdy bývá tato zóna označována i jako kompresní. Hloubka kanálu i úhel stoupání se postupně zmenšuje, čímž dochází k přitlačování materiálu ke stěně válce a jeho tavení od tepla vznikajícího disipací a dodaného od topných pásů vstříkovací jednotky. Na konci přechodové zóny by se měl všechen materiál vyskytovat jako tavenina. Ve výstupní zóně se materiál nachází již ve formě taveniny. Dochází v ní k homogenizaci a promíchání polymerní taveniny. Výstupní zóna má nejmenší hloubku kanálu, hloubka je opět konstantní. Šneky mohou dále obsahovat míchací elementy a také evakuační zónu. [12, 24]

### 3.2 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka obstarává upnutí vstříkovací formy na pevnou a pohyblivou upínací desku vstříkovacího stroje. Uzavírací jednotka ovládá pohyby formy, otevření a uzavření formy a také pohyb vyhazovacího systému. Uzavírací jednotka také musí vyvodit dostatečně velkou uzavírací sílu během vstříkovacího cyklu, jejíž velikost se odvíjí od velikosti vstříkovacího stroje a vstříkovacího tlaku. Uzavírací jednotka může mít sloupovou nebo bezsloupovou konstrukci. Malé vstříkovací stroje se sloupovou konstrukcí mají dva vodící sloupky, větší stroje mají čtyřsloupovou nosnou konstrukci. Vodící sloupky musí být dostatečně tuhé, aby bylo možné zajistit přesné vedení pohyblivé upínací desky. [15, 20, 25]



*Obrázek 20 Uzavírací jednotka [15]*

Uzavírací jednotky se podle druhu pohonu, který ovládá uzavírání a otevírání vstřikovací formy, rozdělují na hydraulické (přímé nebo se závorováním), hydraulicko-mechanické a elektro-mechanické. Uzavírací jednotky se také mohou dělit podle druhu uzavíracího mechanismu, který může být mechanický, hydraulický nebo elektromechanický. [25]

### **3.3 Volba vstřikovacího stroje**

K volbě vstřikovacího stroje je potřebné znát tyto parametry o vstřikovací formě a vyráběném dílu:

- rozměry vstřikovací formy,
- velikost středícího kroužku,
- hmotnost formy,
- velikost zdvihu,
- hmotnost dílu a vtokového systému,
- vstřikovaný materiál. [29]

## 4 VSTŘIKOVACÍ FORMA

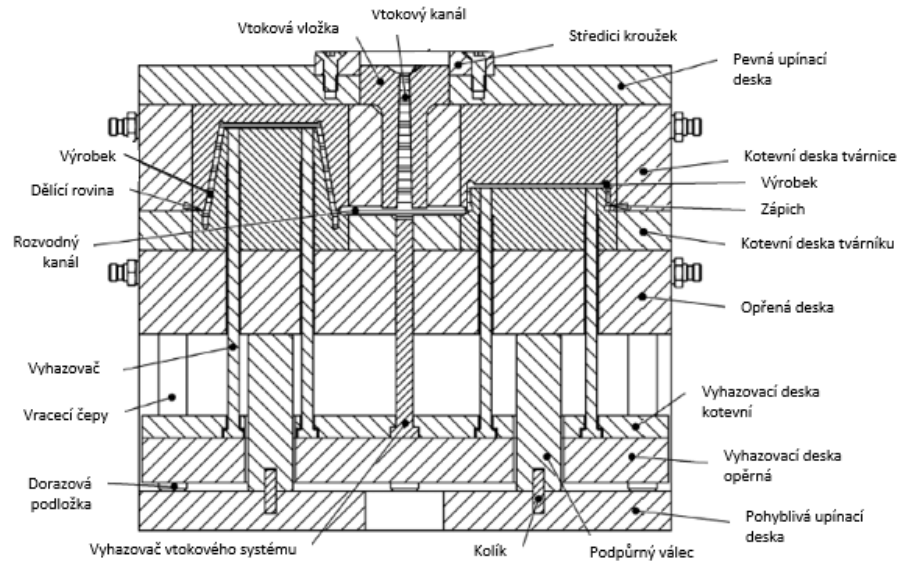
Samotný vstřikovací stroj není schopen vyrobit žádný výrobek, protože bez nástroje není kompletním provozním zařízením. Nástrojem v procesu vstřikování je vstřikovací forma, která zajišťuje tvar, chlazení a vyhození výrobku. Vstřikovací forma se skládá ze dvou stran, a to pevné (pravé) a pohyblivé (levé), které jsou rozděleny hlavní dělicí rovinou. Součástí pohyblivé strany je vyhazovací systém vstřikovací formy. Pevná strana formy je upevněna na pevné upínací desce a pohyblivá strana formy je upevněna na pohyblivé upínací desce vstřikovacího stroje. [25]

Existuje více variant vstřikovacích forem, které mohou být:

- jednonásobné nebo vícenásobné,
- dvoudeskové, třidedkové, s vedlejší dělicí rovinou, etážové,
- se studeným vtokovým systémem nebo horkým vtokovým systémem,
- jedno nebo více komponentní. [30]

Konstrukční návrh vstřikovací formy se odvíjí od geometrie výrobku, podle níž se volí typ vstřikovací formy. Při konstrukci vstřikovací formy se používají normálie, které značně uspoří čas a peníze při konstrukci. Mezi nakupované normálie se řadí jednotlivé desky, středící a vodící elementy, vyhazovače, součásti temperančních systémů.

Při konstrukci vstřikovací formy musíme volit kompromis mezi výrobními a konstrukčními požadavky. Konstrukční požadavky se týkají zejména funkčnosti formy a její požadované životnosti, dále dostatečné pevnosti a tuhosti formy a jejích částí. Výrobní požadavky zahrnují vyrobiteľnost formy a s tím související požadovanou přesnost a kvalitu jednotlivých součástí vstřikovací formy. Návrh konstrukce vstřikovací formy a její celkové výrobní náklady do značné míry ovlivňují také cenu vstřikovaného výrobku. Výrobní technologie použité na výrobu vstřikovací formy se odvíjejí podle složitosti jejího konstrukčního návrhu, požadované přesnosti a drsnosti jednotlivých částí a také podle finančních a technologických možností. Pro výrobu vstřikovací formy se mohou používat různé konvenční i nekonvenční obráběcí a dokončovací metody. Konvenční technologie, které se u výroby vstřikovacích forem používají, jsou například frézování, soustružení, broušení. Nekonvenčními technologiemi jsou například elektroerozivní obrábění a elektroerozivní řezání drátovou elektrodou. [32]



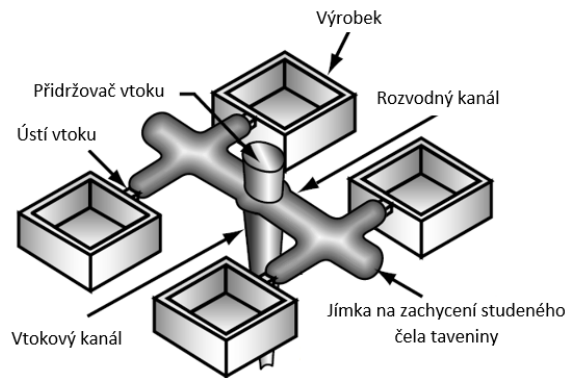
Obrázek 21 Řez vstříkovací formou [33]

## 4.1 Vtokový systém

Úkolem vtokového systému je přívod a rozvod taveniny z plastikační jednotky do tvarových částí vstříkovací formy. Skládá se ze soustavy kanálů složených z vtokového kanálu a rozvodných kanálů, které jsou zakončené vtokovým ústím. Systém má za úkol zajistit naplnění tvarových dutin v co nejkratším čase a s minimálním odporem. Optimální poloha vtokového ústí se určuje na základě požadavků na výrobek, protože umístění vtokového ústí má rozhodující vliv na vzhled a požadovanou kvalitu vstříkovaného výrobku. Zvolená konstrukce vstříkovací formy se odvíjí právě od místa vtokového ústí. Vtokový systém může být buďto studený, horký nebo jejich vzájemná kombinace. [10, 35]

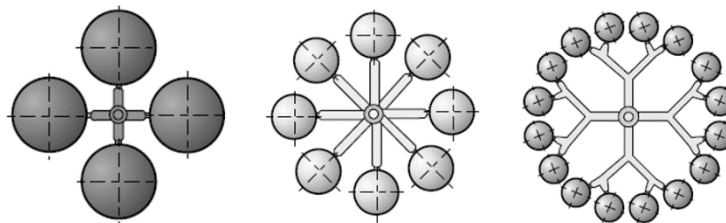
### 4.1.1 Studený vtokový systém

Studený vtokový systém je systém, při kterém je po ukončení vstříkovacího cyklu z formy kromě výrobku vyhozen také ztuhlý vtokový zbytek. Systém se skládá z vtokového kanálu, který tvoří vstup ze vstříkovací jednotky do formy, dále následuje systém rozvodného kanálu, který ústí do vtokového ústí viz *Obrázek 22*. Součástí studených vtokových systémů je dále přidržovač vtoků, který zajišťuje přidržení ztuhlého vtokového zbytku na pohyblivé straně formy při jejím otevírání, což umožní vyhození i vtokového systému ze vstříkovací formy. Na celém studeném vtokovém kanálu může být jeden nebo i více přidržovačů vtoků. Některé studené vtokové systémy obsahují na koncích svých rozvodných kanálů takzvanou jímku na zachycení studeného čela taveniny, která zabrání proniknutí studené taveniny do tvarové dutiny vstříkovací formy a také usnadní vyhození vtokového zbytku. [36]



Obrázek 22 Studený vtokový systém [34]

Vyvážený vtokový systém hraje důležitou roli při plnění tvarových dutin u vícenásobných vstřikovacích forem, kde je důležité zaručit rovnoměrné zaplnění všech dutin současně se stejným tlakem. Vyvážený vtokový systém je takový, který má vzdálenost, objem i přenos tepla shodný pro všechny tvarové dutiny. Příklady pro vyvážený vtokový systém pro vícenásobné formy jsou uvedeny na Obrázek 23. [34]



Obrázek 23 Příklady vícenásobných studených vtokových systémů [34]

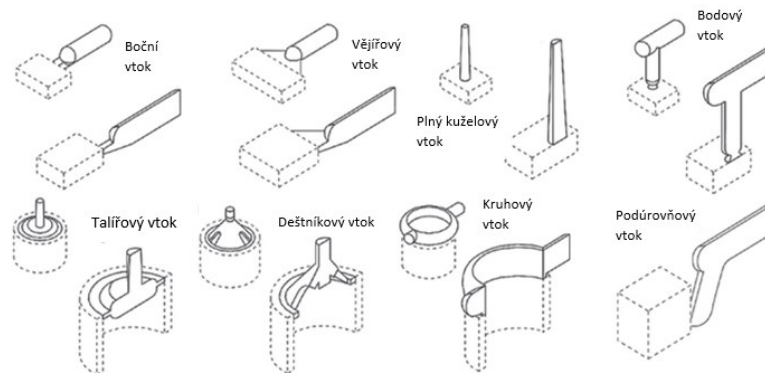
U studených vtokových systémů se používá široká škála geometrií rozvodných systémů. Průřez rozvodných kanálů má mít minimální povrch geometrie a současně co největší plochu průřezu. Geometrie, která tuto podmínku splňuje, má nízký povrchový odpor a také malou výměnu tepla mezi taveninou a stěnou formy, takže nedochází k tak rychlému ochlazení. Nejideálnějším průřezem rozvodného kanálu je kruhový průřez. Kruhový průřez je však nevhodný z hlediska konstrukce vstřikovací formy, kdy kanál je obroben v obou polovinách formy a musí na sebe těsně přiléhat.

Tato podmínka odpadá u alternativních typů rozvodných kanálů, mezi které patří parabolický a lichoběžníkový průřez, protože kanál je obroben pouze v jedné polovině vstřikovací formy. Tato řešení patří mezi další typy průřezů rozvodných kanálů, které jsou však nepříznivé vzhledem k vyšší tlakové ztrátě. Největší tlakovou ztrátu má obdélníkový, půlkruhový, lichoběžníkový a parabolický. Nejmenší tlakovou ztrátou se vyznačuje kruhový průřez. [35]



Obrázek 24 Průřezy rozvodných vtokových kanálů [28]

Vtokové ústí je spojnicí mezi výrobkem a rozvodným kanálem. Ve vtokovém ústí dochází k oddělení vtokového zbytku od výrobku. Oddělení by mělo probíhat jednoduše nebo automaticky při vyhazování výrobku z tvarové dutiny formy. Od toho se odvíjí i návrh rozměru ústí, které má být relativně malé, avšak musí zajistit naplnění tvarové dutiny formy. Umístění vtokového ústí by mělo být na nejtlustší stěně výrobku, což umožní co nejdelší možnou dobu plnění tvarové dutiny, protože plnění může probíhat maximálně do doby zatuhnutí vtokového ústí. Doporučená tloušťka nebo průměr vtokového ústí by se měla pohybovat v rozmezí od 40 do 70 % tloušťky stěny dílu, na které je umístěno. Existuje celá řada různých typů konstrukcí vtokových ústí, které se liší podle konkrétní aplikace (Obrázek 25). Podle zvoleného typu vtokového ústí se odvíjí, zda bude forma mít dvoudeskovou nebo třídeskovou konstrukci. [35]



Obrázek 25 Typy vtokových ústí [2]

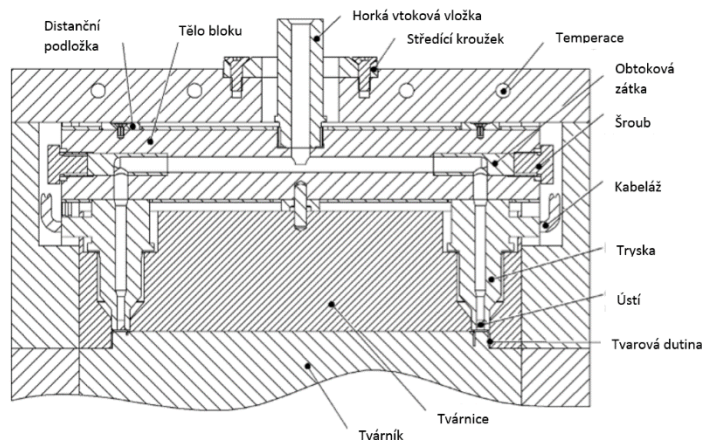
Na navrhování rozměrů vtokového systému má vliv:

- tloušťka stěny výrobku a jeho objem,
- vzdálenost dutiny od místa vtokového ústí nebo od vtokového kanálu,
- temperační systém a jeho rozměry,
- rychlost vstřikování,
- viskozita polymerní taveniny a její smyková rychlost. [34]

Výhody studených vtokových systémů jsou jednoduchost a levnější výroba. Mezi nevýhody se řadí delší vstřikovací cyklus a nutnost dodatečných operací souvisejících s vtokovým zbytkem. V některých případech je nutné oddělení vtokového zbytku od výrobku, nutnost začistění stopy po vtokovém ústí nebo dodatečné náklady na potřebné operace pro nakládání s vtokovým zbytkem. [10]

#### 4.1.2 Horký vtokový systém

Horký vtokový systém udržuje polymerní materiál ve vtokovém systému ve stavu taveniny. Může být tvořen pouze horkou tryskou nebo je tvořený horkým rozvodným blokem osazeným jednou, či více tryskami. Součástí horkých vtokových systémů je odporové topení, topné patrony, regulátory teploty, kabeláž a zásuvka. Horký rozvodný blok je umístěn mezi pevnou upínací deskou a kotevní deskou tvárnice, konstrukce formy má třídeskový systém. Vzhledem k tomu, že horké rozvodné bloky vyzařují velké množství tepla, které by mohlo negativně ovlivňovat procesy probíhající ve vstřikovací formě, jsou izolovány izolační deskou a také vzduchovou mezerou mezi rozvodným blokem a stěnami desek vstřikovací formy. [30, 35]



Obrázek 26 Řez formou s horkým vtokovým systémem [33]

Z důvodu nízkého povrchového odporu má kanál u horkých vtokových systémů kruhový průřez. Kruhový kanál také zajišťuje konzistentní podmínky pro taveninu a minimalizuje oblasti s nízkým průtokem taveniny. [35]

Rozvodný blok se dělí podle toho, zda je vyhříván externě, interně nebo je izolovaný. Trysky jsou také vyhřívány externě, interně nebo jsou izolované. Rozvodné bloky a trysky se vzájemně kombinují, čímž se vytvoří různé systémy horkých vtokových systémů. Ohřev se provádí pomocí topných trubek, patron, tyčí a spirál nebo pomocí pásových ohříváčů. [35]

Externě vyhřívaný rozvodný blok a tryska jsou nejběžnějším typem horkých systémů. Dosahují nejnižší tlakové ztráty ze všech typů forem, mají kruhový kanál s větším průměrem než studené vtokové systémy. Externě vyhřívané horké vtokové systémy jsou vhodné i pro materiály citlivé na teplotu a materiály s vysokou viskozitou. U další kombinace, kterou je externě vyhřívaný rozvodný blok s interně vyhřívanou tryskou lze zajistit lepší kontrolu ústí trysky, protože ústí může být přímo vyhřívané. U této kombinace také odpadá možnost netěsnosti trysky na svém konci, protože interně vyhřívaná tryska nevyžaduje vzduchovou mezeru. Další variantou je interně vyhřívaný rozvodný blok a interně vyhřívaná tryska, které eliminují většinu problémů s netěsnostmi, a zajišťují dobrou tepelnou izolaci a kontrolu nad vtokovým ústím. Tato kombinace také odstraňuje nutnost izolovat teplo vznikající od externě vyhřívaného systému. Poslední kombinací je izolovaný rozvodný blok i tryska. Do tohoto systému není dodáváno žádné jiné teplo než to, které je přiváděné z taveniny protékající systémem. Tento systém funguje na principu, že na počátku vstřikování má konstrukce formy velký průměr kanálu, kde je kanál zaplněn taveninou, která na jeho obvodu zatuhne. Tato zamrzlá vrstva vytvoří tepelnou izolaci. Fáze vstřikování dále pokračuje a nová tavenina proudí uvnitř izolační vrstvy. Aby tento systém mohl správně fungovat, je zapotřebí relativně rychlých vstřikovacích cyklů, které neustále proplachují izolační vrstvu. [10, 35]

U jednonásobných forem je horký vtokový systém tvořen pouze horkou tryskou, která přivádí materiál přímo z trysky vstřikovací jednotky do tvarové dutiny formy. Horká tryska se také používá u kombinovaných vtokových systémů, kde ústí do studeného vtokového systému a nahrazuje vtokový kanál buďto úplně, nebo alespoň částečně.

Trysky se dále dělí na otevřené trysky a trysky s uzavírací jehlou. Uzavírací jehla může být ovládána hydraulicky, pneumaticky nebo mechanicky (pákou nebo pružinou). Uzavíratelné trysky dosahují kvalitnější povrch na výrobku v místě umístění vtokového ústí. Další výhodou je možnost vtokových ústí větších rozměrů. Mezi nevýhody patří velké pořizovací náklady, nákladná údržba, větší sofistikovanost nastavování a provozu vstřikovací formy. [10, 35]

Vzhledem ke své konstrukční složitosti a náročnosti se buďto kompletní horké vtokové systémy, nebo jejich části nakupují od specializovaných výrobců, mezi které patří například Meusburger, Hasco, Husky nebo DME. Konstrukce rozvodného bloku se odvíjí od umístění a počtu tvarových dutin ve formě. Horký rozvodný blok může být konstruován ve tvaru písmene H, I, T, X, Y nebo jejich případné kombinace. [30]



Výhody horkých vtokových systémů jsou kratší vstřikovací časy, žádné dodatečné náklady na odstranění vtokových zbytků, menší spotřeba materiálu, neboť není zapotřebí materiál na vtokový zbytek, stálá teplota taveniny, lepší možnosti automatizace, nižší uzavírací síla a nižší vstřikovací tlak. Nevýhody jsou větší složitost konstrukce, větší náklady na vtokový systém i řídicí a kontrolní systémy, možnost degradace taveniny, energetická náročnost, náklady na údržbu, delší doba potřebná na přechod na jiný materiál nebo barvu, vyšší nároky na obsluhu. [35]

## 4.2 Temperační systém

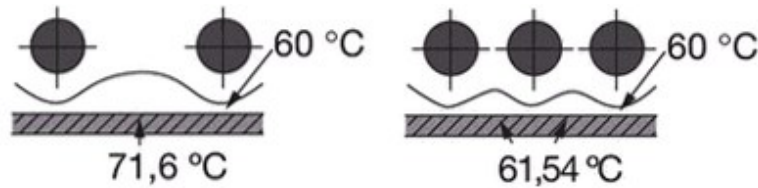
Temperační systém slouží k temperaci vstřikovací formy. Chlazení musí probíhat do doby, kdy je z materiálu v tvarové dutině odvedeno dostatečné množství tepla a výrobek je možno vyhodit ze vstřikovací formy. Doba, za kterou je odvedeno dostatečné množství tepla se nazývá doba chlazení, začíná ukončením vstřikování a končí otevřením formy. Chlazení probíhá i po vyhození výrobku z tvarové dutiny formy, ale tato doba se již nezapočítává do doby chlazení. Množství tepla, které je nutné odvést, je závislé na teplotě taveniny, teplotě formy, vyhazovací teplotě a měrné tepelné kapacitě materiálu. Rychlost výměny tepla je důležitý faktor pro určení hospodárnosti vstřikovací formy. Kromě odvodu tepla slouží temperační systém k udržení konstantního teplotního pole ve vstřikovací formě. Je důležité dosáhnout konstantního teplotního profilu každého vstřikovacího cyklu, aby vstřikování probíhalo za stejných podmínek. V některých případech slouží temperační systém také k přívodu tepla. [30, 36]

Pro odvod tepla je ve vstřikovací formě vytvořen systém chladících (temperačních) kanálů. Temperace se provádí pomocí vrtaných kanálů, tepelně vodivých materiálů, různých typů přepážek, tepelných trubíc nebo topných patron.

Temperace se dělí na pasivní a aktivní. Pasivní systém používá k odvodu tepla vodivé materiály, aktivní systémy používají temperační médium k odvodu tepla. Médium by mělo v temperačním systému proudit turbulentním typem toku. Používaným aktivním temperačním médiem je voda, glykol nebo olej. Účinnost odvodu tepla je závislá na druhu média, teplotě temperačního média a formy, průtoku temperačního média, umístění temperačních kanálů. [30]

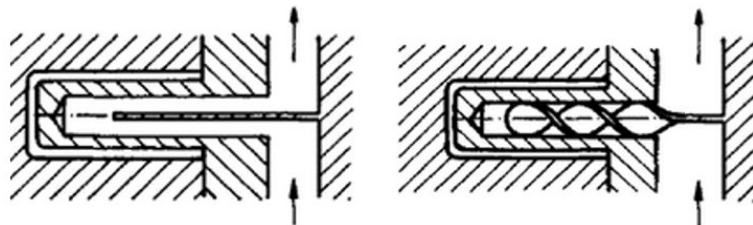
Kanály temperačních systémů by se měly nacházet relativně blízko k povrchu tvarové dutiny formy, ale dostatečně daleko, aby nesnížily tuhost vstřikovací formy. Doporučuje se volit více chladících kanálů s menším průměrem než méně kanálů s větším průměrem, čímž se

zajistí rovnoměrnější chlazení. Průměry temperačních kanálů se pohybují od 6 do 14 mm. Rozdíl teploty temperačního média na vstupu vzhledem k výstupu by měl být do 3 °C. [36]



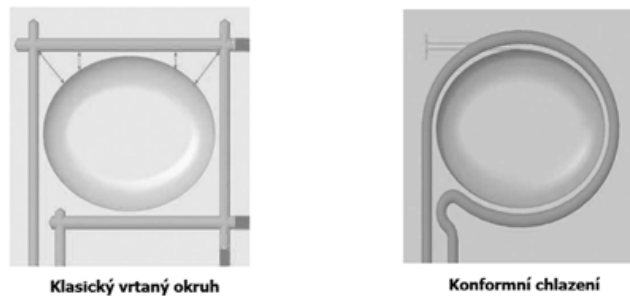
Obrázek 27 Vliv rozmístění kanálu na odvod tepla [36]

Pro temperaci kritických míst, která se nedají temperovat vrtanými kanály, se používají různá provedení přepážek (plochých a spirálových), fontán, tepelných trubic. Problémem u použití plochých přepážek bývá nerovnoměrný chladicí účinek na obou stranách ploché přepážky, kterou temperační médium obtéká. Spirálové přepážky fungují na stejném principu jako ploché přepážky, ale na rozdíl od nich je u spirálových zajištěn rovnoměrnější chladicí účinek výrobku. Temperační médium teče jedním závitem spirály a zpět druhým závitem. Nejúčinnější chlazení se dosahuje s použitím fontán. Fontána je tvořena vnitřní trubičkou, kterou je přiváděné médium a po dosažení konce otvoru proudí kolem trubičky zpět. Průměr trubičky i otvoru musí mít stejný odpor vůči proudění. [30]



Obrázek 28 Temperační přepážky [30]

Alternativní variantou k vrtaným kanálům je konformní chlazení, které je vytvořeno aditivní technologií SLS (Selective Laser Sintering). Aditivní technologií lze vytvořit temperační kanály mnohem složitější geometrie než u klasických vrtaných kanálů. Konformní kanály co nejlépe kopírují tvar dutiny formy v co nejmenší vzdálenosti. Tyto kanály se dostanou i do míst, která by se klasickým chlazením obtížně chladila. Tento způsob temperace zvyšuje efektivitu odvodu tepla, čímž výrazně zkracuje dobu trvání chlazení, zajišťuje rovnoměrnost teplotního pole, snižuje velikost smrštění a deformace. Konformní chlazení je nákladnější na výrobu, avšak snižuje výrobní náklady a zvyšuje kvalitu výrobků. [33, 38]

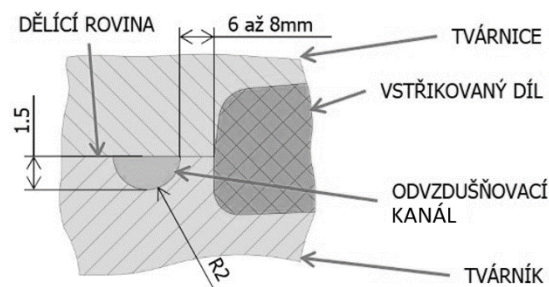


Obrázek 29 Temperační kanály [37]

### 4.3 Odvzdušnění forem

V průběhu vstřikování polymerní tavenina zaplňuje tvarovou dutinu formy, přičemž před sebou tlačí vzduch, který zůstal ve formě při jejím zavírání. Vzduch uzavřený v tvarové dutině se z ní musí dostat pryč, jinak by docházelo k vadám na výrobku (neúplný díl, spálená místa, bubliny). Rozlišují se dva typy odvzdušnění, a to pasivní a aktivní. U pasivního odvzdušnění vzduch uniká přirozeně v důsledku plnění dutiny formy taveninou, zatímco aktivní odvzdušnění je založeno na vytvoření podtlaku uvnitř dutiny formy. [30]

U většiny forem není potřeba vytvářet odvzdušňovací kanály, protože vzduch má dostatečný prostor na únik v dělicí rovině, vůlemi kolem vyhazovačů. Někdy je však tento typ odvzdušnění nedostatečný a je nutné ve vstřikovací formě vytvořit odvzdušňovací kanály. Odvzdušňovací kanály se umísťují vzhledem k poloze místa vtoku a s tím souvisejícím plněním tvarové dutiny taveninou. Tloušťka vstupní části odvzdušňovacích kanálů se odvíjí od vstřikovaného materiálu a pohybuje se v rozmezí od 0,03 do 0,003 mm. [30]



Obrázek 30 Odvzdušňovací drážka [37]

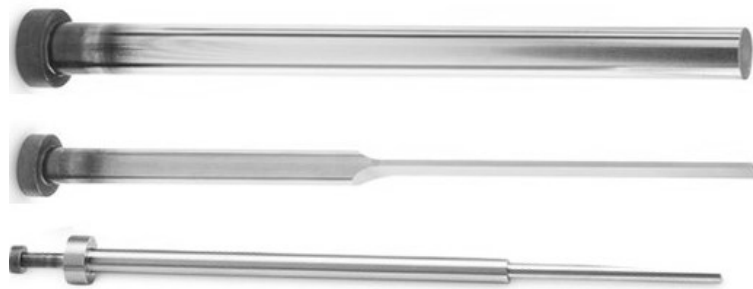
Aktivní variantou k odvzdušňovacím kanálům je odvzdušnění s využitím podtlaku. Tato varianta byla vytvořena pro materiály s vysokou viskozitou a pro technologii mikrovstřikování. Vstřikovací forma je připojena na vakuový systém, který odsává vzduch z dutiny formy před zahájením vstřikování. Systém v dutině formy vytvoří podtlak. Je důležité, aby celá forma byla utěsněna, čímž se zajistí udržení podtlaku. [30, 39]

#### 4.4 Vyhazovací systém

Po ochlazení výrobku na vyhazovací teplotu dochází k vyhození výrobku, případně vtokového zbytku. K vyhození slouží vyhazovací systém, který má za úkol bezpečně vyhodit výrobek z tvarové dutiny formy po jejím otevření. Vstřikovaný díl po vyhození buďto padá vlivem gravitace pod vstřikovací formu nebo je vyjmut robotem, případně ručně. [30, 39]

Vyhazovací systém se nachází v pohyblivé straně formy. Skládá se z kotevní a opěrné desky, ve kterých jsou umístěny vyhazovače. Vyhazovací desky jsou k sobě vzájemně sešroubovány. Pohyb vyhazovacího systému je realizován přes táhlo vyhazovačů, které je připojeno k vyhazovacímu mechanismu vstřikovacího stroje. Pro vedení vyhazovacího systému jsou v deskách vodící pouzdra, ve kterých se pohybují vodící čepy. Na opěrné desce jsou dorazové podložky, které brání opotřebování při dosednutí vyhazovacích desek na pevnou upínací desku. [30]

Pro úspěšné vyhození je důležité, aby výrobek při otevírání zůstal na pohyblivé straně formy. Toho je docíleno smrštěním výrobku v průběhu chlazení, které zajistí přilnutí výrobku na tvárník. Vtokový zbytek ze studeného nebo kombinovaného vtokového systému je na pohyblivé straně přidržen přidržovači vtoku. Volba vyhazovacího systému se odvíjí od geometrie výrobku a procesních parametrů vstřikování. [30, 39]



Obrázek 31 Vyhazovací kolíky [40]

U mechanických vyhazovacích systémů se nejčastěji používají vyhazovací kolíky (válcové vyhazovače, trubkové vyhazovače, prizmatické vyhazovače). Dalším typem mechanického vyhazování je stírací deska, šikmé vyhazovače nebo vícestupňové vyhazování. Vyhazovací kolíky se používají tam kde je možné vyhazovač umístit kolmo na plochu výrobku. Vyhazovače by měly být umístěny na nepohledové straně nebo na žeburu, tak aby umožnily vyhození výrobku bez jeho poškození. Umístění by se také mělo volit s ohledem na temperační systém. Podle umístění vyhazovače na geometrii výrobku se rozhoduje, jaký typ vyhazovacího kolíku (válcový, prizmatický, trubkový) se použije. Na rozdíl od

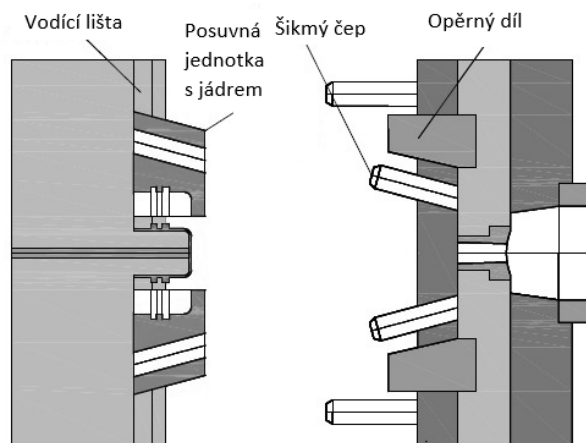
vyhazovacích kolíků působí stírací deska na celou obvodovou plochu výrobku. Stírací deska se používá u tenkostěnných a velkých výrobků. Minimalizuje se tak deformace vznikající při vyhazování a také nejsou na výrobku žádné stopy po vyhazovačích. [39]

Pneumatické vyhazovače provádí vyhození výrobku z dutiny formy pomocí stlačeného vzduchu. Vzduch se přivádí mezi tvárník a výrobek ventilem. Pneumatické vyhazování se v některých případech používá v kombinaci s mechanickým vyhazováním. [39]

#### 4.4.1 Boční odformování

Některé výrobky není možné celé odformovat pouze v hlavní dělicí rovině, protože obsahují ve své geometrii vnější nebo vnitřní zápichy či negativní úkosy, které nejdou odformovat pouze paralelním pohybem formy při otevírání. K odformování těchto geometrií se používají pohyblivá jádra. Pohyb jader se uskutečňuje pomocí šikmých, případně lomených čepů, hydraulických nebo pneumatických válců. [30, 39]

Mechanický způsob odformování je použit u forem, které pro vedení pohyblivých jader při otevírání formy používají šikmé nebo lomené čepy. Při otevírání vstřikovací formy v hlavní dělicí rovině se jádra vysouvají podél šikmého kolíku ve vodících lištách, až do konečné pozice, kde se nachází zabezpečující zařízení, které zabrání jádru v dalším pohybu. Jádra jsou v uzavřené formě držena opěrným dílem. Úhel šikmých čepů je v rozmezí od  $15^\circ$  do  $25^\circ$  ( $30^\circ$ ). [30, 39]



Obrázek 32 Mechanické boční odformování [39]

Alternativou k mechanickému způsobu jsou pneumatické nebo hydraulické válce, které se používají pro odformování větších, hlubších jader. Pohyb válců není závislý na otevírání vstřikovací formy a dá se realizovat v kterékoliv fázi otevírání formy.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 STANOVENÍ CÍLŮ PRÁCE

V diplomové práci byly stanoveny následující cíle:

- Vypracovat literární studii na dané téma.
- Nakreslit model daného dílu ve 3D.
- Provést konstrukci vstřikovací formy pro daný díl.
- Provést analýzu navržené formy pomocí tokových simulací.
- Nakreslit 2D sestavu vstřikovací formy.

Teoretická část diplomové práce shrnuje základní informace o polymerech, popisuje problematiku vstřikování termoplastů, vstřikovací stroj a vstřikovací formu.

V praktické části diplomové práce je cílem vytvořit 3D model dílu čerpadla palivového systému, navrhnout konstrukci vstřikovací formy pro zadaný díl a provést tokovou analýzu navržené vstřikovací formy. Pro navrženou vstřikovací formu dále vytvořit výkres sestavy a kusovník.

## **6 POUŽITÝ SOFTWARE**

### **6.1 CATIA V5**

Konstrukční řešení praktické části bylo provedeno v CATIA (Computer Graphics Aided Three Dimensional Interactive Application) V5R20. Program CATIA V5R20 obsahuje několik modulů, při konstrukci byly využity Part Design, Core and Cavity Design, Mold Tooling Design, Assembly Design a Drafting.

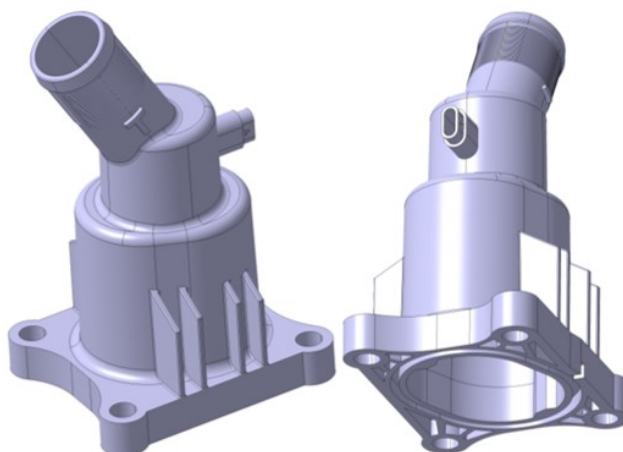
### **6.2 Autodesk Moldflow Synergy**

Software Moldflow Synergy od společnosti Autodesk slouží k simulaci vstřikovacího procesu pro konkrétní řešení. Výsledky získané pomocí tohoto softwaru slouží k co nejlepší optimalizaci vstřikovaného dílu, vstřikovací formy a také nastavených parametrů vstřikování.



## 7 ZADANÝ DÍL

Zadaným dílem pro návrh vstřikovací formy je díl čerpadla palivového systému. Jedná se o nepohledový díl, který má plnit hlavně svou funkci. Rozměry dílu jsou 146,4 x 87,7 x 72,8 mm (v x š x h). Objem dílu je 77,68 cm<sup>3</sup>.



Obrázek 33 Model dílu

### 7.1 Materiál dílu

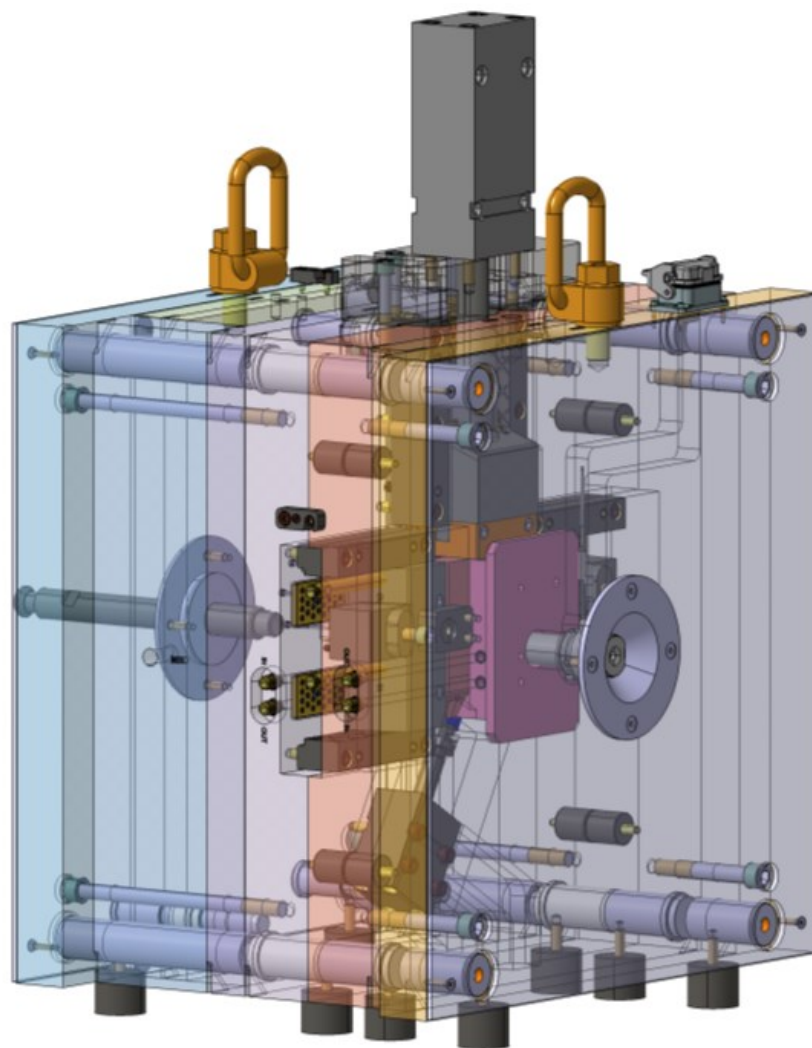
Pro díl byl zvolen materiál PA6 plněný 30 % skelných vláken. Materiál je vyráběn firmou BASF Engineering Plastics, jeho obchodní název je Ultramid B3WG6. Jedná se o semikrystalický materiál, který má vysokou pružnost, nízký koeficient tření a vynikající odolnost vůči opotřebení. Polyamidy obsahují polární skupiny, které způsobují jejich navlhavost a z toho důvodu je nutné materiál před zpracováním sušit, čímž se zabrání vzniku vad na hotovém díle.

Tabulka 2 Vybrané materiálové vlastnosti materiálu Ultramid B3WG6 [PI]

Vlastnost materiálu	Hodnota
Hustota	1360 kg/m <sup>3</sup>
Objemový index toku taveniny MVR 275 °C/5 kg	30 cm <sup>3</sup> /10 min
Doporučený rozsah teploty taveniny	270 - 290 °C
Doporučený rozsah teploty povrchu formy	80 - 90 °C
Doporučená vyhazovací teplota	184 °C
Maximální rychlost smykové deformace	60 000 1/s
Maximální smykové napětí	0,5 MPa
Smrštění v podélném směru	0,23 %
Smrštění v příčném směru	0,63 %

## 8 NÁVRH KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

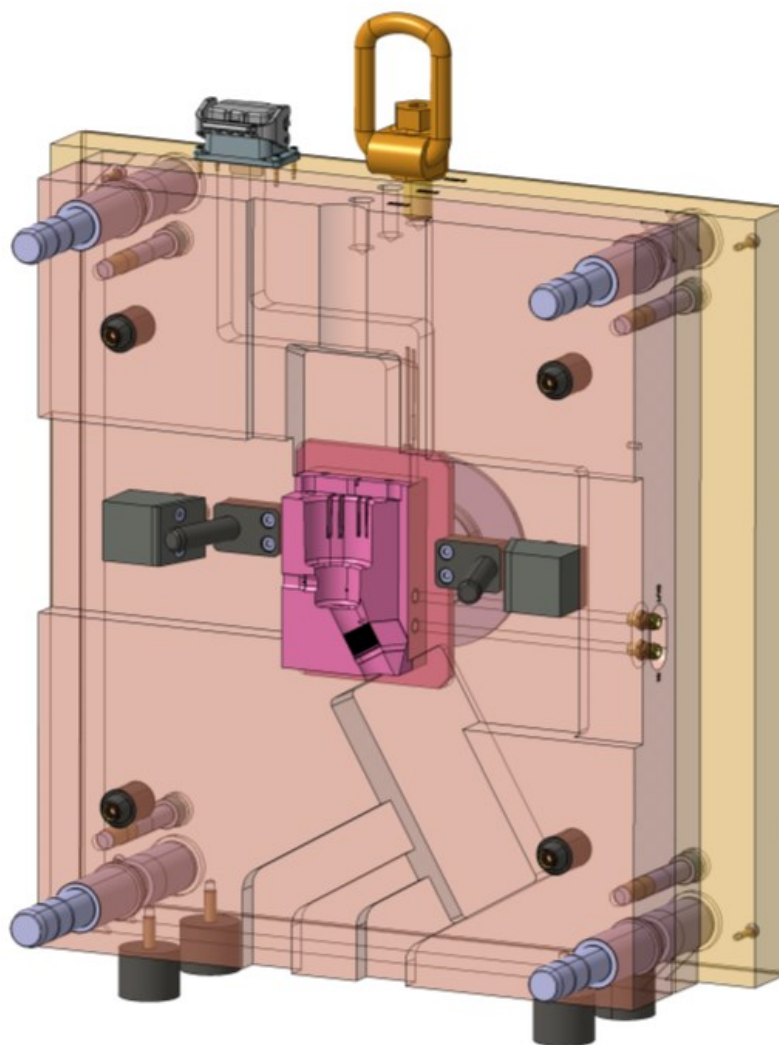
Konstrukční návrh vycházel z tvaru zadaného dílu, od kterého se odvíjí počet dělicích rovin a s tím související tvarové části tvořící tvarovou dutinu vstřikovací formy. Forma je navržena jako jednonásobná. Návrh vstřikovací formy byl proveden s co největším množstvím normálií, které usnadní a zefektivní návrh vstřikovací formy. Pro konstrukci byly použité normálie od firmy Hasco a Meusburger volně dostupné z online databáze. Vstřikovací forma byla vytvořena v programu CATIA V5R20. Výsledná velikost navržené formy je 646 x 646 x 504 mm (š x v x d).



*Obrázek 34 Navržená vstřikovací forma*

Celá sestava vstřikovací formy se dá rozdělit do tří podsestav, pevné strany formy, pohyblivé strany formy a vyhazovacího systému. Pevná strana formy je tvořena sešroubovanými deskami (pevnou upínací deskou, opěrnou deskou pevnou, kotevní deskou pro tvárnici). Izolační deska přišroubovaná na kotevní desce zabraňuje přestupu tepla od vstřikovací

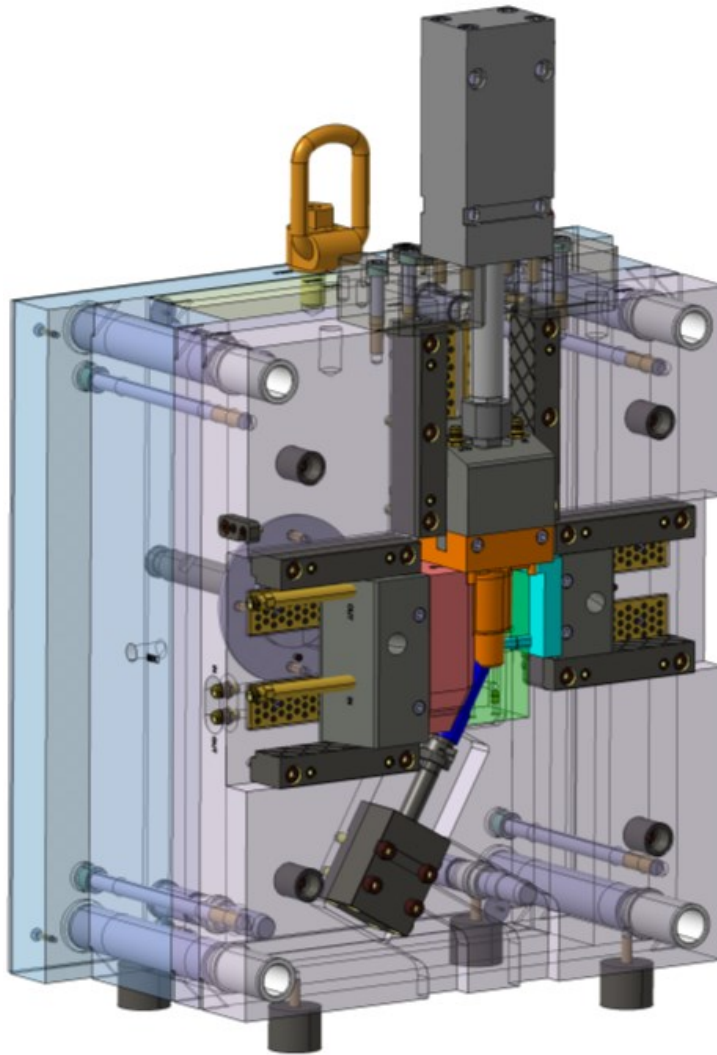
jednotky stroje. V kotevní desce tvárnice je vložena tvárnice, která tvoří tvarovou dutiny pevné strany formy. Pevná strana formy je vůči stroji vystředěna pomocí středícího kroužku. Desky jsou vystředěny pomocí středících trubek. Vodící čepy sloužící pro vedení desek. V pevné straně se nachází horká trysky se zásuvkou. Nacházejí se zde také šikmé vodící čepy, ukotvené v kotevních pouzdech, pro vedení posuvných jednotek a opěrky.



*Obrázek 35 Pohled do pevné strany formy*

Pohyblivou stranu tvoří vzájemně sešroubované desky (pohyblivá upínací deska, rozpěrné desky, opřená deska pohyblivá, kotevní deska tvárníku). Na pohyblivé upínací desce je přišroubovaná izolační deska. Tvarová dutiny pohyblivé strany je tvořena tvárníkem, velkým a malým jádrem, malou a velkou posuvnou čelist. Tvarová deska tvárníku je ukotvena v kotevní desce tvárníku. Boční odformování je tvořeno vodícími lištami, posuvnými jednotkami, plochými vedeními. Součástí jsou i hydraulické válce, které ovládají pohyb jader. Vystředění desek je nalisovanými středícími trubkami. V kotevní desce jsou vodící pouzdra, ve kterých se pohybují vodící čepy pevné strany formy. Vodící čepy v pevné

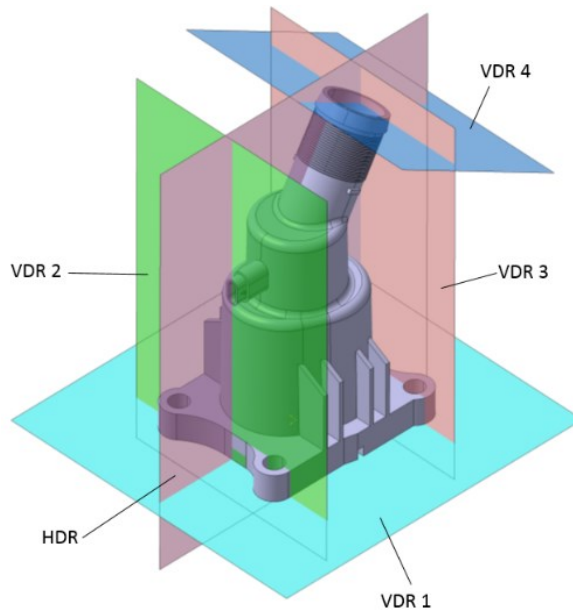
upínací straně slouží k vedení vyhazovacího systému, který je součástí pohyblivé strany formy.



*Obrázek 36 Pohled do pohyblivé strany formy*

## 8.1 Návrh dělicích rovin

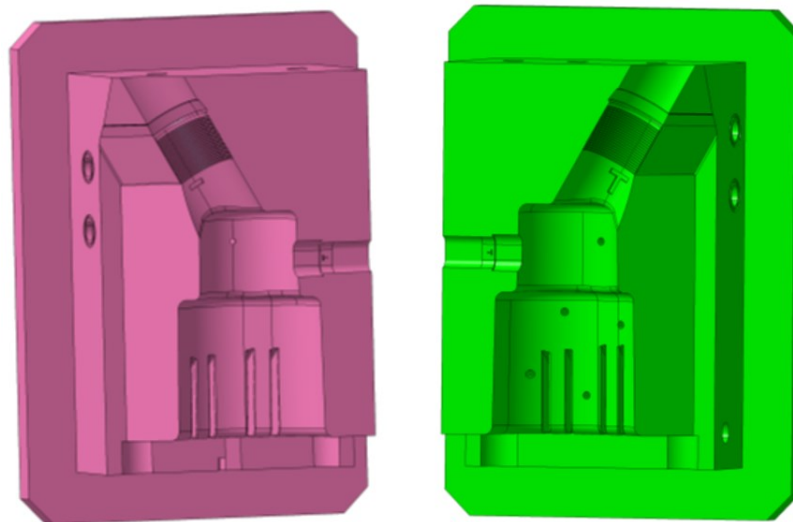
Návrh dělicích rovin je rozhodujícím faktorem při konstrukci vstřikovací formy, protože souvisí s doformováním dílu. Pro zadaný výrobek byla zvolena jedna hlavní dělicí rovina a čtyři vedlejší dělicí roviny. Hlavní dělicí rovina je rovnoběžná s deskami vstřikovací formy a definuje tvárnici a tvárník. První vedlejší dělicí rovina definuje velké jádro, malé jádro je definováno čtvrtou vedlejší dělicí rovinou. Druhá a třetí vedlejší dělicí rovina definuje malou a velkou posuvnou čelist.



Obrázek 37 Zobrazení dělicích rovin

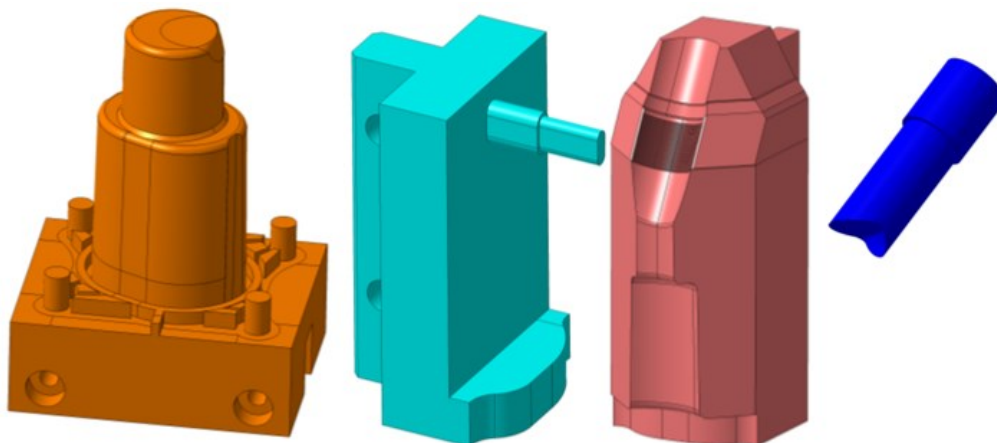
## 8.2 Tvarové části vstřikovací formy

Podle návrhu dělicích rovin byly navrženy tvarové části vstřikovací formy tvořící tvarovou dutinu. Tvarová dutina je zvětšena o průměrnou hodnotu smrštění materiálu. Tvarové části, se skládají z tvárnice, tvárníku, velkého a malého jádro, malé a velké posuvné čelisti.



Obrázek 38 Tvárnice a tvárník

Tvárník a tvárnice jsou zkonstruovány jako tvarové vložky, namísto celých tvarových desek. Tvarové části, které nejdou odformovat navrženou hlavní dělicí rovinou, jsou odformovány ve vedlejších dělicích rovinách. Tyto části jsou velké a malé jádro, malá a velká posuvná čelist.



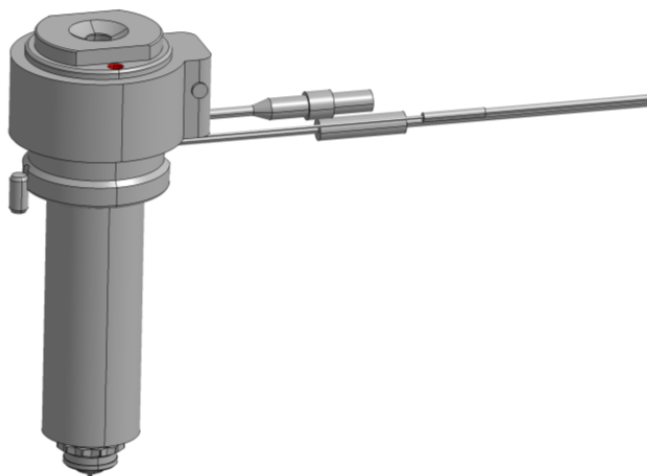
Obrázek 39 Velké jádro, malá a velká posuvná čelist, malé jádro

### 8.3 Volba násobnosti vstřikovací formy

Volba násobnosti vstřikovací formy je ovlivněna především tvarovou složitostí vstřikovaného dílu, požadovanou přesností a kvalitou dílu, velikostí vstřikovacího stroje, velikostí výrobní série a požadavku doby na její vyrobení. Násobnost vstřikovací formy byla zvolena jednonásobná.

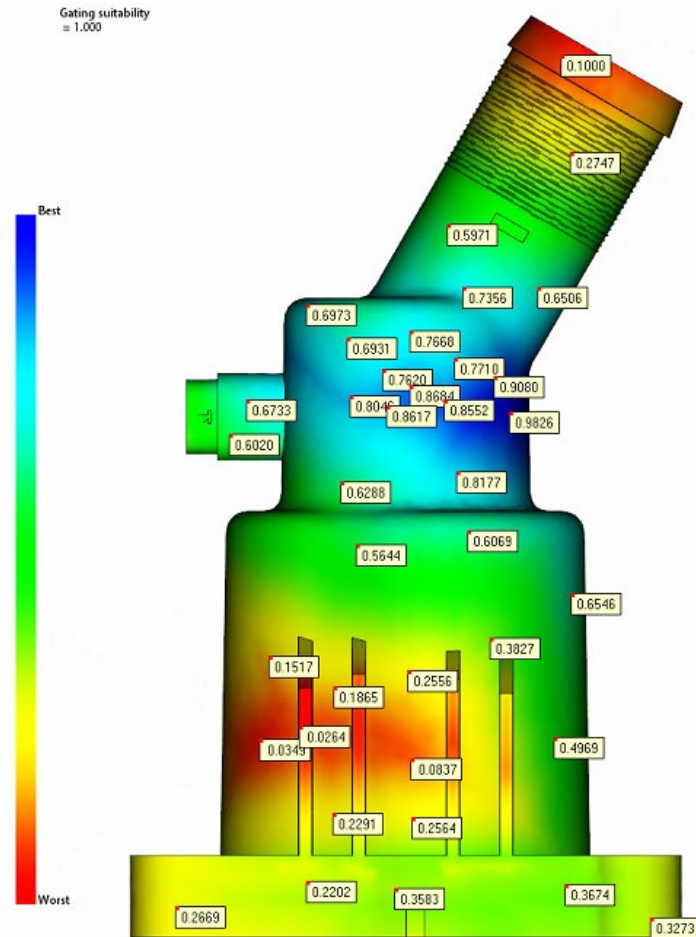
### 8.4 Vtokový systém

Pro navržené konstrukční řešení byl zvolen horký vtokový systém tvořený horkou tryskou. Použitá horká tryska smartFILL je od firmy Meusburger. Zvolená tryska je schopná dodat 100 g taveniny, což je dostatečné množství na potřebnou velikost dávky materiálu a také je vhodná pro vybraný materiál dílu. Potřebná elektrická energie je přivedena skrz kabely vedoucí do zásuvky přišroubované na vrchní straně vstřikovací formy.



Obrázek 40 Horká tryska smartFILL Meusburger

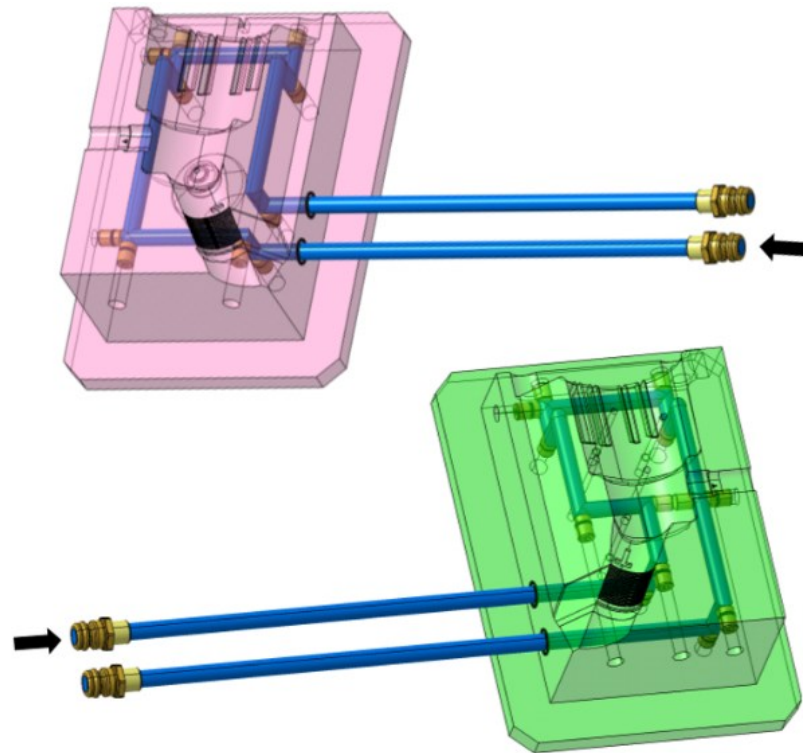
Horká tryska je umístěna v pevné straně vstřikovací formy a vtokové ústí se nachází ve tvarové vložce tvárnici. Vhodné místo pro umístění vtokového ústí bylo zjištěno z analýzy (Gate location) v programu Moldflow Synergy.



Obrázek 41 Ideální umístění vtokového ústí (Gating suitability)

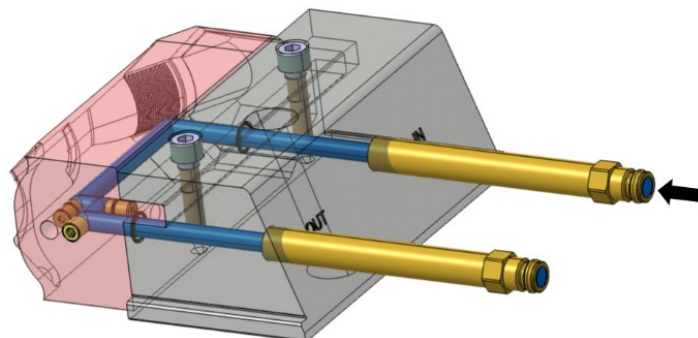
## 8.5 Temperační systém

Úkolem temperačního systému je odvod tepla z tvarové dutiny formy a zajištění konstantního teplotního pole. Temperační kanály jsou vrtané o průměru 8 mm. Hadice z temperační jednotky jsou připojeny na vstupech a výstupech pomocí rychlospojek k přípojkám na formě. Vstup je na formě označen nápisem in a výstup out. Temperačním médiem je čistá voda. Temperační systém je tvořen celem čtyřmi temperačními okruhy. Trajektorie ve vrtaných kanálech je vymezena pomocí zásepek. Zabezpečení těsnosti vůči úniku temperačního media mezi přechody jednotlivými součásti vstřikovací formy je pomocí O-kroužků. Do temperačního okruhu ve tvárnici a tvárníku je temperační medium přivedeno skrz jejich kotevní desky.



*Obrázek 42 Temperační okruh tvárnice a tvárničku*

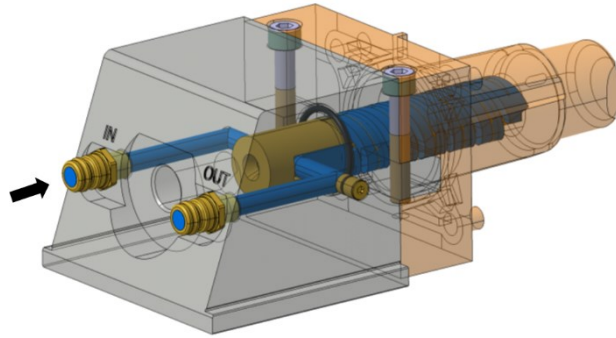
Přívod temperačního média do velké čelisti i velkého jádra je přímo do vrtaného kanálu v posuvné jednotce. I zde jsou použity O-kroužky zajišťující těsnost okruhů a záslepky vymezující trajektorii.



*Obrázek 43 Temperační okruh velké čelisti*

Temperace velkého jádra je řešena dvouchodým spirálovým trnem, který temperační medium obtéká.

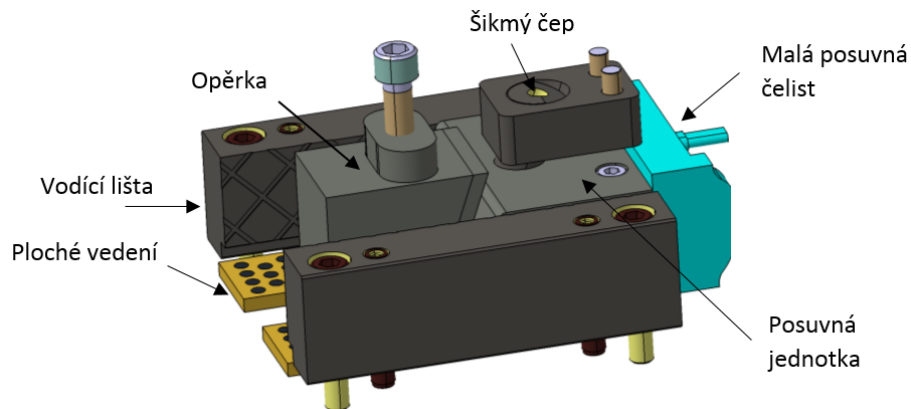




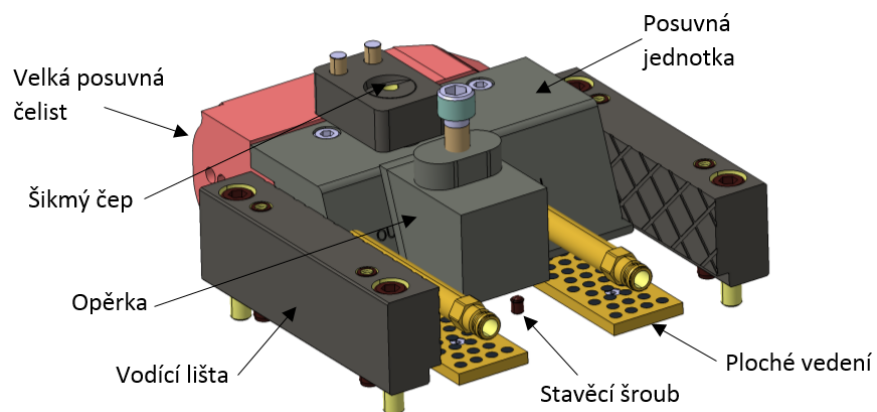
Obrázek 44 Temperační okruh velkého jádra

## 8.6 Systém bočního odformování

Boční odformování je řešeno pomocí posuvných jednotek, jejíž pohyb je řízen šikmými čepy a hydraulickými válci. Systém posuvných jednotek je navržen pro malou a velkou posuvnou čelist. Posuvná jednotka s upevněnou danou tvarovou částí se pohybuje ve vodících lištách po plochém vedení. Pohyb je ovládán při otevírání a zavírání vstřikovací formy pomocí šikmého čepu. Pro pohyb s nižším třením je použito samomazné ploché vedení a ve vodících lištách jsou mazací drážky. V uzavřené pozici je posuvná jednotka opřena o opěrku.

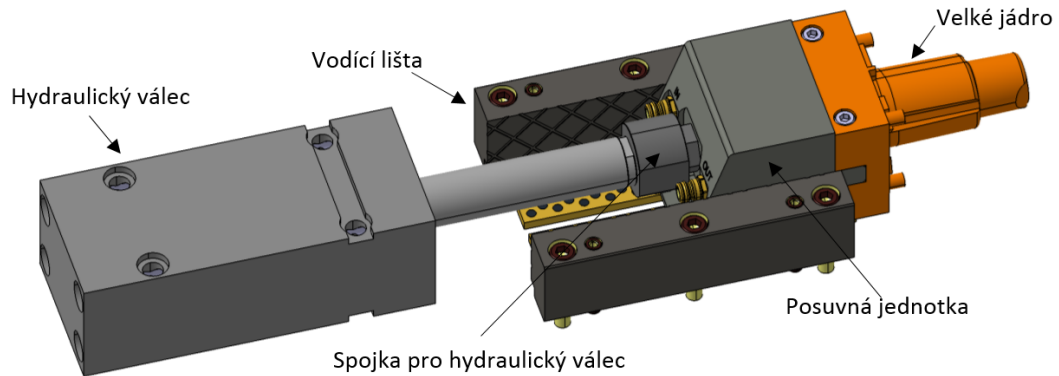


Obrázek 45 Boční odformování malé čelisti



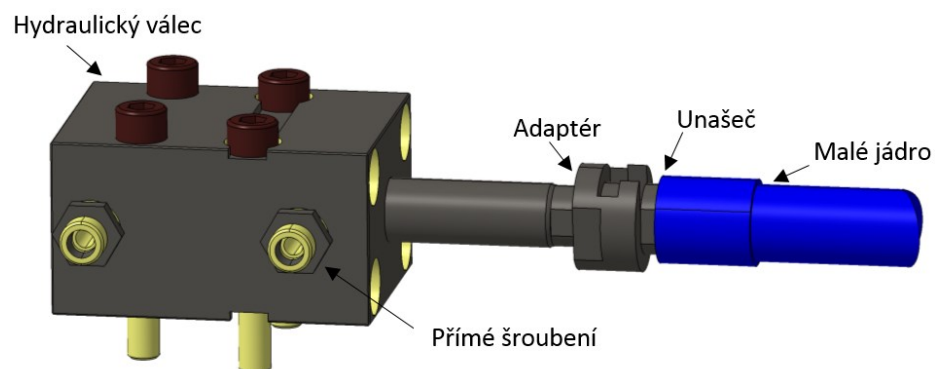
Obrázek 46 Boční odformování velké čelisti

Pohyb u velkého jádra je řízen hydraulickým jádrem. Posuvná jednotka s upevněným velkým jádrem se také pohybuje ve vodících lištách po plochem vedením. Zde byl použit hydraulický válec od Meusburger z důvodu zdvihu v požadovaném rozsahu.



Obrázek 47 Hydraulický válec velké jádro

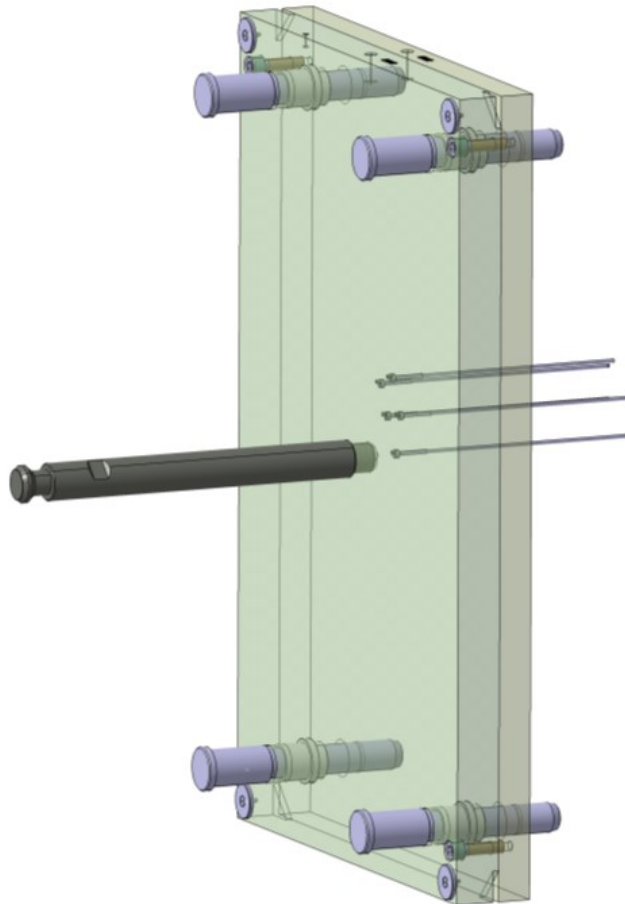
Hydraulickým válcem je řízen i pohyb malého jádra, ale v tom to případě nebyla použita posuvná jednotka s vodícími lištami.



Obrázek 48 Hydraulický válec malé jádro

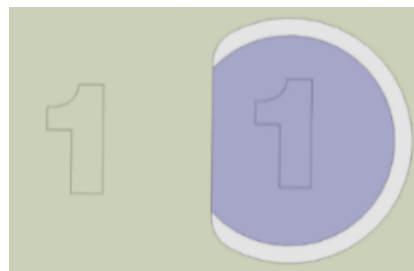
## 8.7 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém slouží k bezpečnému vyhození dílu z tvarové dutiny formy. Při otvírání vstřikovací formy je pro správné vyhození důležité, aby díl zůstal na pohyblivé straně vstřikovací formy, ze které je díl vyhozen pomocí vyhazovačů. Vyhazovací systém je tvořen kotevní a opěrnou vyhazovací deskou, táhlem vyhazovačů, které realizuje pohyb vyhazovacího systému, válcovými vyhazovacími, vodícími pouzdry, vodícími čepy, dorazovými podložkami a šrouby.



*Obrázek 49 Vyhazovací systém*

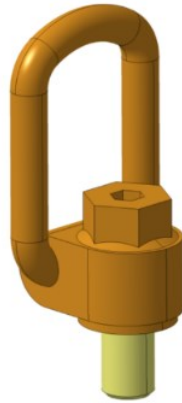
Pro vyhození dílu obsahuje vyhazovací systém pět válcových vyhazovačů o průměru 3 mm. Vyhazovače jsou ukotveny v deskách vyhazovacího systému. Z důvodu, že všechny vyhazovače dosedají na tvarovou plochu dílu, podle které mají upravenou plochu, je nutné zabránit jejich pootočení ustavením jejich polohy v kotevní vyhazovací desce.



*Obrázek 50 Ustavení polohy vyhazovače*

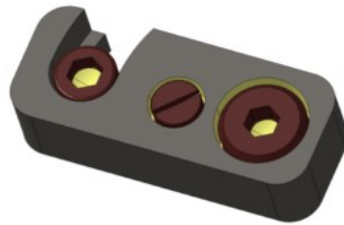
## 8.8 Transportní a další prvky

Pro manipulaci se vstřikovací formou, slouží dvě závěsná oka přišroubovaná do upínacích desek formy. Pro případnou manipulaci s jednotlivými deskami vstřikovací formy má každá deska díru se závitem pro případné přišroubování závěsného oka.



*Obrázek 51 Závěsné oko Hasco Z715*

Pro zabránění otevření formy při její manipulaci v hlavní dělicí rovině a také zabránění pohybu vyhazovacích desek, forma dále obsahuje transportní pojistky.



*Obrázek 52 Transportní pojistka Hasco Z73*

Pro bezpečné stání formy je forma opatřena osmi nožičkami přišroubovanými k deskám vstříkovací formy. Pevná strana formy má čtyři nožičky a pohyblivá taky čtyři nožičky. Nožičky jsou přišroubované k upínacím deskám a ke kotevním deskám.



*Obrázek 53 Nožička*

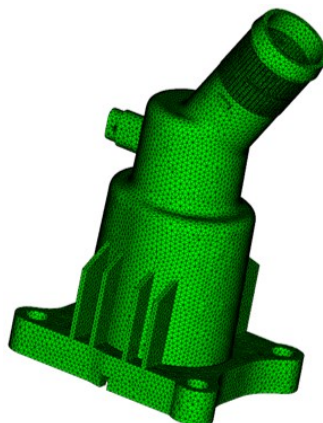
## 9 ANALÝZA PROCESU VSTŘIKOVÁNÍ

Funkce navržené vstřikovací formy pro daný díl byla ověřena v programu Autodesk Moldflow Insight. Byla provedena analýza vstřikovacího procesu a tokové analýzy dílu. Z výsledků analýzy se dají předpovědět problémy a nedostatky navržené vstřikovací formy, zjistit nejideálnější místo vtokového ústí na dílu, dimenzovat vtokový systém a temperační systém a také optimální procesní parametry.

Pomocí analýzy Cool + Fill + Pack + Warp byla ověřena funkčnost navržené vstřikovací formy. Vypočtené výsledky jsou v celkem třech skupinách (Flow, Cool, Warp).

### 9.1 Vytvoření sítě

Pro simulaci procesu vstřikování je nutné naimportovat do programu model dílu. Na importovaném dílu byla vytvořena síť, ve které se budou provádět výpočty analýz. Pro výpočet byla zvolena 2,5D síť (Dual Domain mesh). Kvalita výpočtu analýzy přímo souvisí s hustotou vygenerované sítě, čím je vyšší hustota sítě, tím je vyšší i kvalita získaných výsledků, ale také i doba potřebná na výpočet analýzy. Po vygenerování sítě je důležité provést kontrolu kvality sítě a případně provést její opravu. Při kontrole kvality sítě je důležitý poměr stran trojúhelníků (Aspect Ratio), který by neměl překročit hodnotu 15, čímž se zaručí přesnost analýzy a možnost jejího výpočtu. V síti se nesmí vyskytovat žádné neviditelné trojúhelníky (Invisible triangles), volné hrany (Free edges), nepropojené hrany (Non-manifold edges), neorientované elementy (Element not oriented), protínající se elementy (Element intersections) a překrývající se elementy (Fully overlapping elements). Kvalita sítě (Match percentage) by měla být minimálně 50 % a procento vzájemné shody (Reciprocal percentage) ideálně nad 80 %. Vygenerovaná síť všechny výše uvedené požadavky splňuje (Obrázek 55).



Obrázek 54 Vysítovaný díl

```

Triangles
Entity counts:
  Triangles      53960
  Connected nodes 26970
  Connectivity regions 1

Invisible triangles      0

Area:
(Mold blocks and cooling channels are not included)
Surface Area:      594,406 cm^2

Volume by element types:
Triangle:      78,0119 cm^3

Aspect Ratio:
Maximum Average Minimum
6,94 1,97 1,16

Edge details:
Free edges      0
Manifold edges 80940
Non-manifold edges 0

Orientation details:
Elements not oriented 0

Intersection details:
Element intersections 0
Fully overlapping elements 0

Match percentage:
Match percentage      89,8%
Reciprocal percentage 93,0%

```

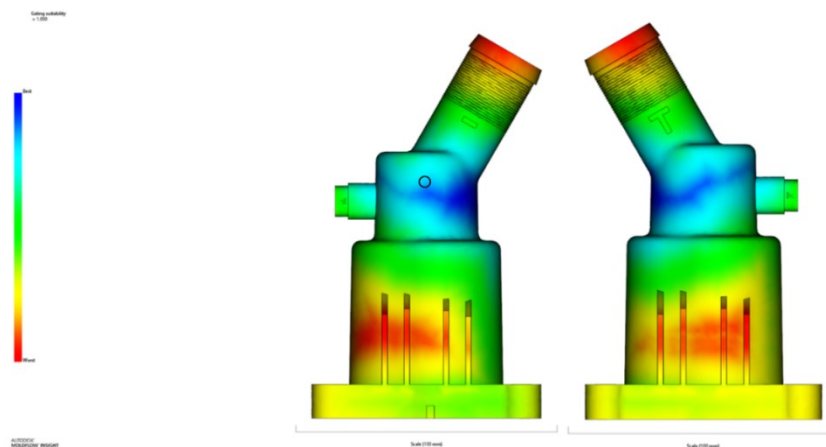
Obrázek 55 Analýza kvality sítě

## 9.2 Analýza umístění vtokového ústí (Gate location)

Pro určení optimálního místa vtokového ústí na výrobku, slouží analýza Gate Location která určí místo z hlediska optimálního plnění tvarové dutiny pro daný dílu.

### 9.2.1 Ideální umístění vtokového ústí (Gating suitability)

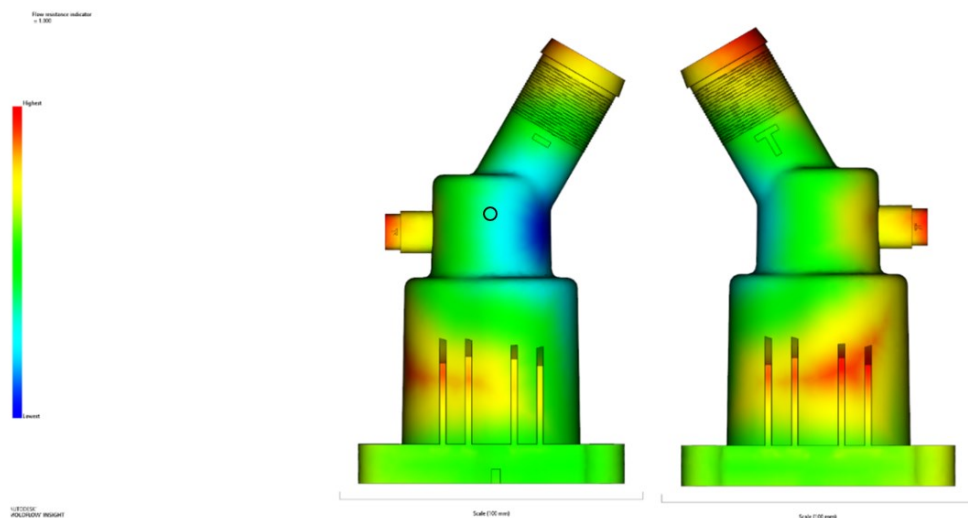
V této analýze se vyhodnocuje ideálnost umístění vtokového ústí. Grafické zobrazení výsledků znázorňuje tmavě modrou barvou nejideálnější umístění vtokového ústí a červenou barvou nejméně vhodné místo. Zvolené místo umístění vtokového ústí, je v oblasti s tmavě modrou barvou, které má rozsah 83 až 100 %. Místo vtokového ústí má vhodnost umístění přibližně 86 %.



Obrázek 56 Ideální umístění vtokového ústí (Gating suitability)

### 9.2.2 Indikace odporu vůči toku taveniny (Flow resistance indicator)

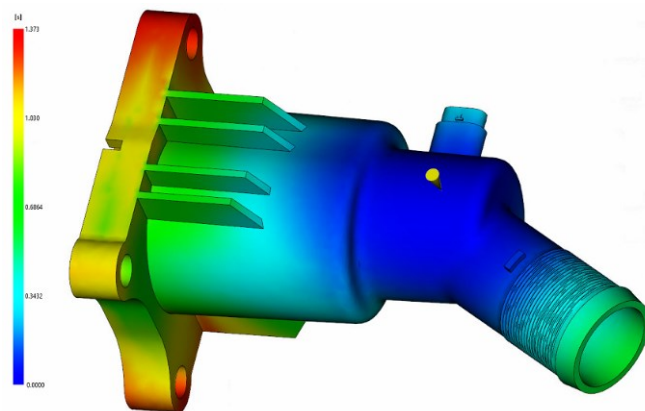
U této analýzy je grafickým výsledkem odpor taveniny vůči toku. Modrá místa mají nejmenší odpor vůči toku a materiál v těchto místech snadno teče, zatímco červená místa největší, v červených místech je největší pravděpodobnost nedotečení materiálu. Zvolené místo umístění vtokového ústí je v bledě modré oblasti, kde velikost odporu vůči toku je v rozsahu 20 až 35 %, na přechodu do světle zelené je odpor blíže k 35 %. Zvolené místo umístění vtokového ústí má odpor vůči toku přibližně 33 %.



Obrázek 57 Indikace odporu vůči toku taveniny (Flow resistance indicator)

### 9.2.3 Ověření zvoleného místa vtokového ústí (Fill)

Pro ověření zvoleného místa vtokového ústí byla vypočtena analýzy fill, kdy se ověřilo, že zvolením místem dojde k úplnému zaplnění dílu.



Obrázek 58 Výsledek doby plnění pro ověření umístění vtokového ústí

### 9.3 Vtokový systém

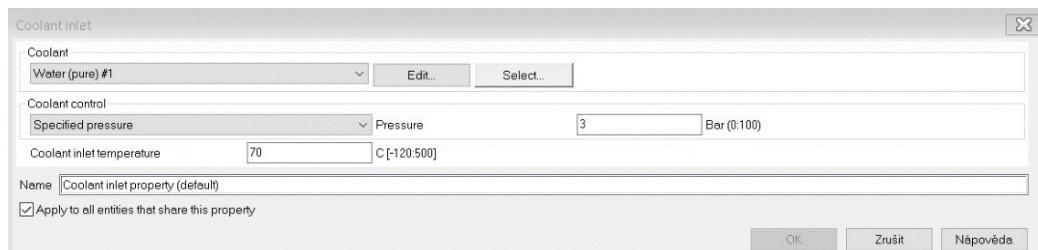
Byl vytvořen horký vtokový systém v programu Moldflow Synergy s umístěním vtokového ústí podle výsledků z analýzy umístění vtokového ústí (Gate location). Jednotlivým částem vtokového systému byly přiřazeny vlastnosti a rozměry.



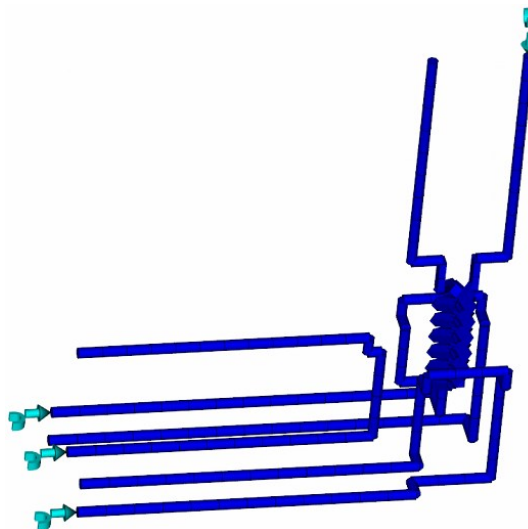
Obrázek 59 Vysíťovaný vtokový systém

### 9.4 Temperační systém

V programu CATIA V5R20 byl vytvořen temperační systém a uložen ve formátu IGS. Temperační systém jednotlivých částí byl postupně naimportován do programu Moldflow Synergy. Temperační systém byl vytvořen s ohledem na odformování výrobků umístění vyhazovacího systému. Kanály temperačního systému mají průměr 8 mm. Teplota temperačního média je 70 °C a kontrola průtoku temperačního média je pomocí tlaku 3 bary (0,3 MPa). Vstupy pro temperační medium jsou celkem 4 pro každý okruh jeden.



Obrázek 60 Nastavení temperačního média



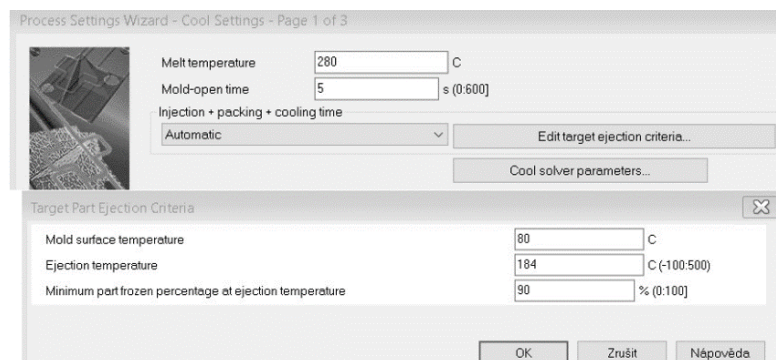
Obrázek 61 Vysíťované temperační systém



## 9.5 Nastavení procesních parametrů

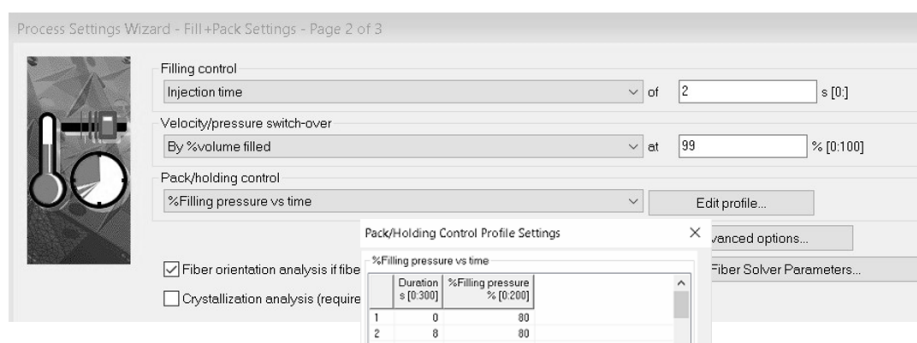
Nastavení procesních parametrů se odvíjí od vlastností zvoleného materiálu. Nastavování procesních podmínek se dělí na tři části v Proces setting wizard.

V první části nastavení procesních parametrů byly nastaveny procesní parametry související se zvoleným materiálem. Nastavené hodnoty jsou podle doporučených rozsahů od výrobce materiálu. Teplota taveniny 280 °C (melt temperature), doba otevření vstřikovací formy 5s (mold open time), teplota povrchu formy 80 °C (mold surface temperature), vyhazovací teplota 184 °C (ejection temperature) a minimální zatuhnutí dílu při vyhazování je 90 % objemu (minimum part frozen percentage at ejection temperature). Nastavené hodnoty jsou zobrazeny na *Obrázek 62*.



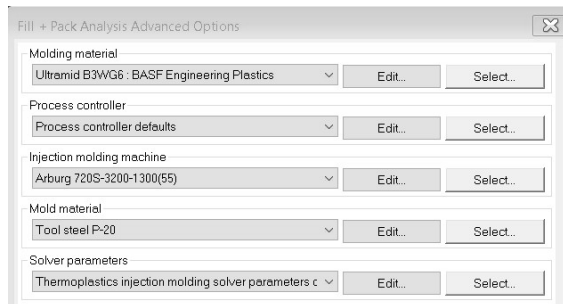
*Obrázek 62 Nastavené procesní parametry v první části*

V druhé části nastavení procesních parametrů se nastavovala kontrola plnění podle doby vstřikování 2 s (injection time), přepnutí na dotlak při 99 % objemového zaplnění dílu taveninou (velocity/pressure switch-over). Kontrola fáze dotlaku je nastavená podle vstřikovacího tlaku v závislosti na čase (pack/holding control) hodnota dotlaku je nastavená na 80 % vstřikovacího tlaku a jeho průběh je konstantní po dobu 8 s. Z důvodu, že díl materiál je plněný 30 % skelných vláken, je zaškrtnuta možnost pro analýzu orientace vláken. Nastavené hodnoty jsou zobrazeny na *Obrázek 63*.



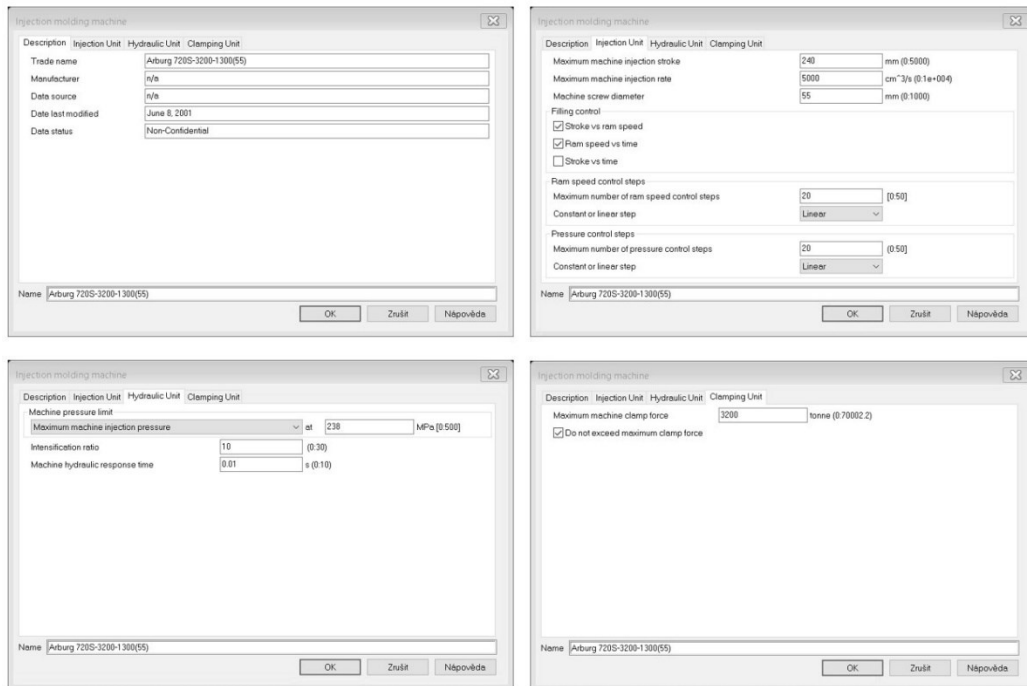
*Obrázek 63 Druhá část nastavených procesních parametrů*

V pokročilých nastaveních (advance options) byl zvolen vstřikovací stroj Allrounder 720S - 3200 - 1300(55) a materiál vstřikovací formy viz *Obrázek 64* pro výpočet analýzy.



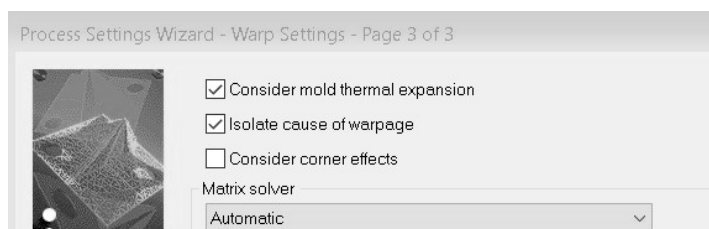
*Obrázek 64 Pokročilé nastavení procesních parametrů*

Na *Obrázek 65* jsou zobrazeny jednotlivé parametry zvoleného vstřikovacího stroje Allrounder 720S - 3200 - 1300(55).



*Obrázek 65 Parametry vstřikovacího stroje*

V poslední části nastavení procesních podmínek byly zaškrtnuty možnosti sledování teplotní roztažnosti vstřikovací formy (Consider mold thermal expansion) a izolování příčin deformace (Isolate cause of warpage). Nastavení je zabráno na *Obrázek 66*.

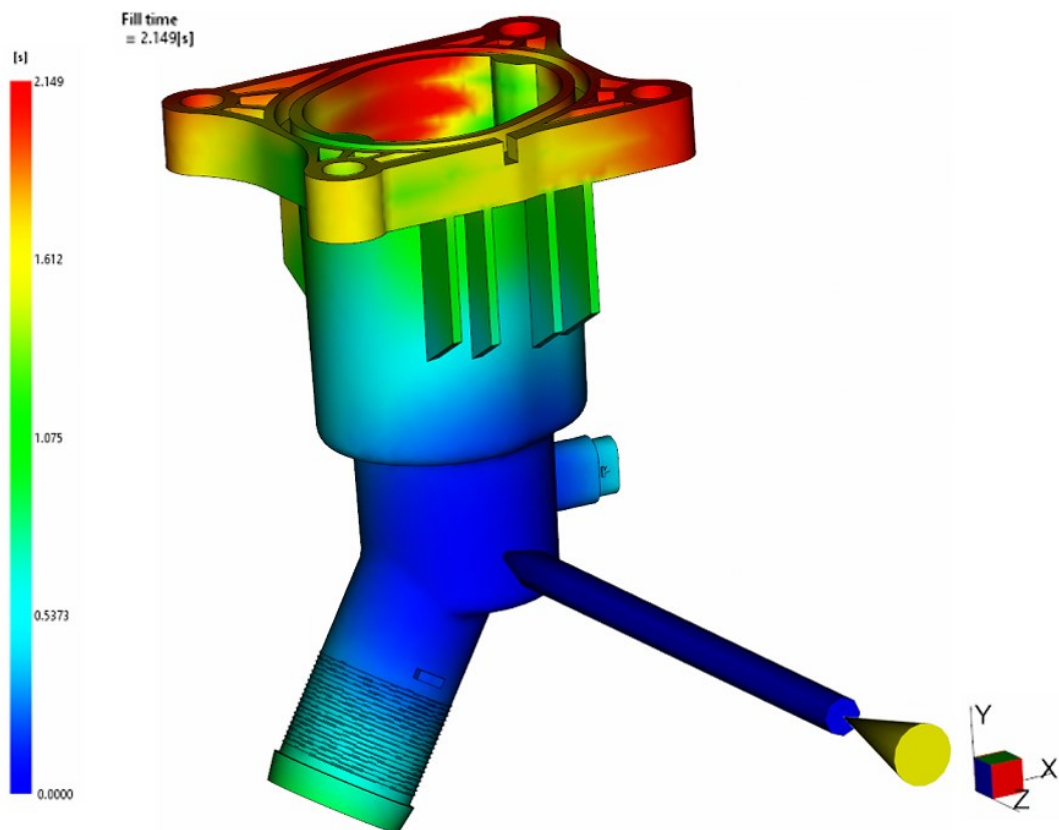


*Obrázek 66 Třetí část nastavených procesních parametrů*

## 9.6 Výsledky analýzy plnění a dotlaku (Flow)

### 9.6.1 Doba plnění (Fill time)

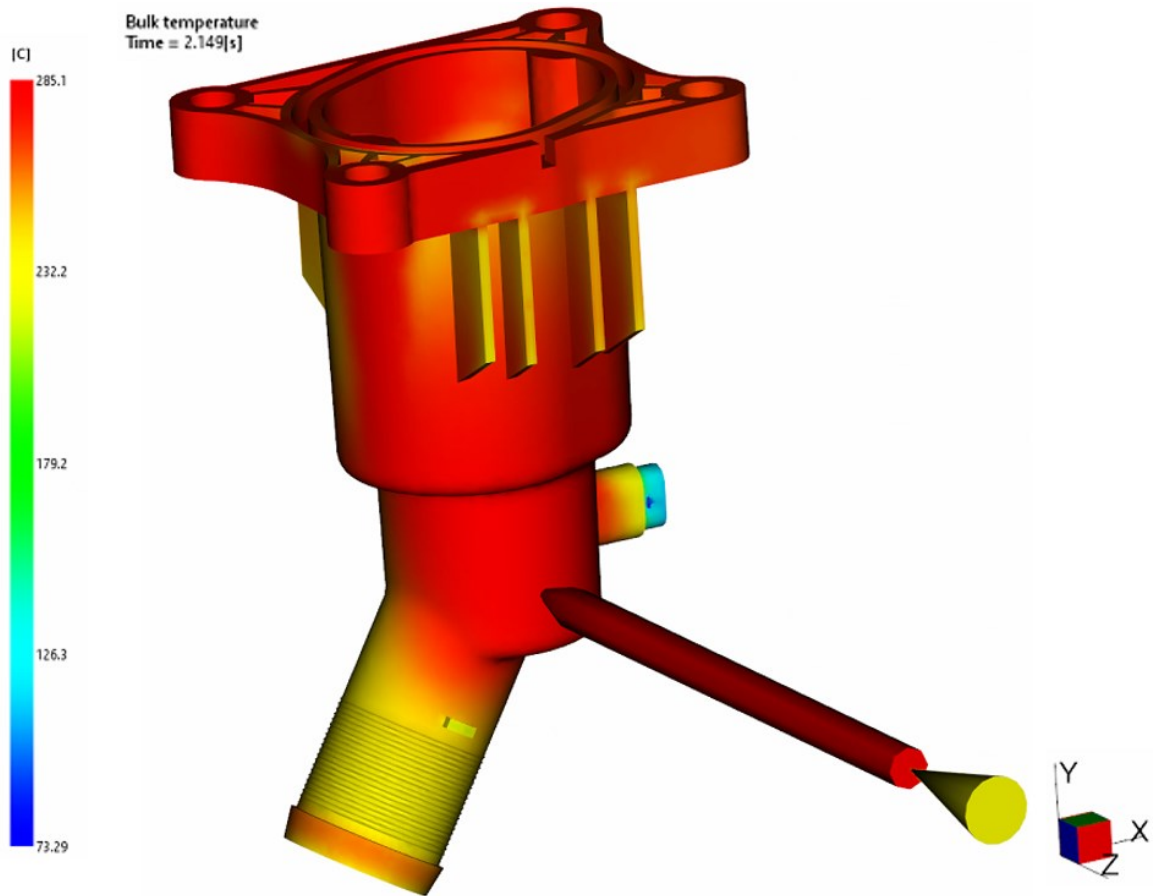
Výsledkem doby plnění je barevná mapa na díle, která zobrazuje, za jakou dobu od začátku vstřikování dojde k zaplnění dané části dílu. Nejdříve jsou zaplněny modré oblasti a nejpозději červené. Ke kompletnímu zaplnění celého dílu dojde za 2,149 s. Čas vstřikování byl nastaven v procesních parametrech na 2 s.



Obrázek 67 Výsledek doby plnění (Fill time)

### 9.6.2 Teplota taveniny (Bulk temperature)

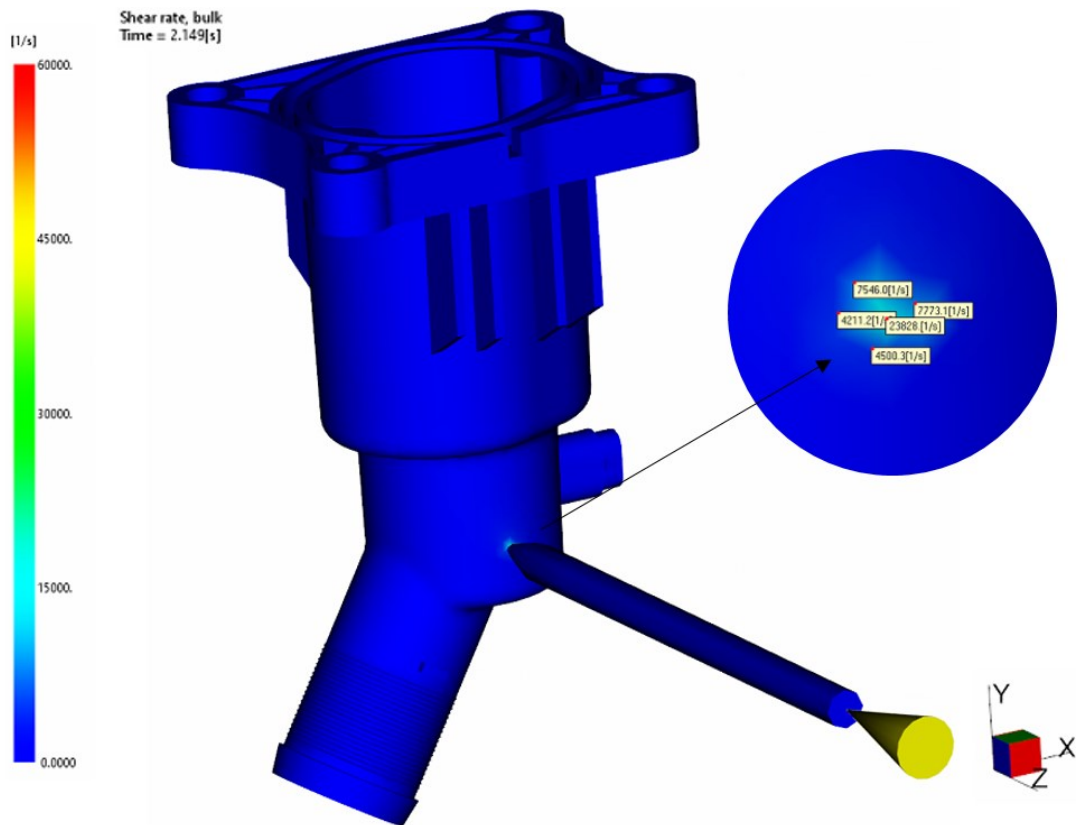
Teplota taveniny je důležitá hlavně z hlediska maximální teploty taveniny, která by se neměla překročit maximální dovolenou. Překročení maximální teploty by způsobilo degradaci materiálu. Z výsledků je maximální teplota taveniny 285,1 °C, což je v souladu s materiálovým listem, kde je doporučený rozsah teplot taveniny 270 – 290 °C a tedy nedošlo k překročení maximální doporučené teploty.



Obrázek 68 Výsledek teplota taveniny v čase 2,149 s (Bulk temperature)

### 9.6.3 Rychlost smykové deformace (Shear rate)

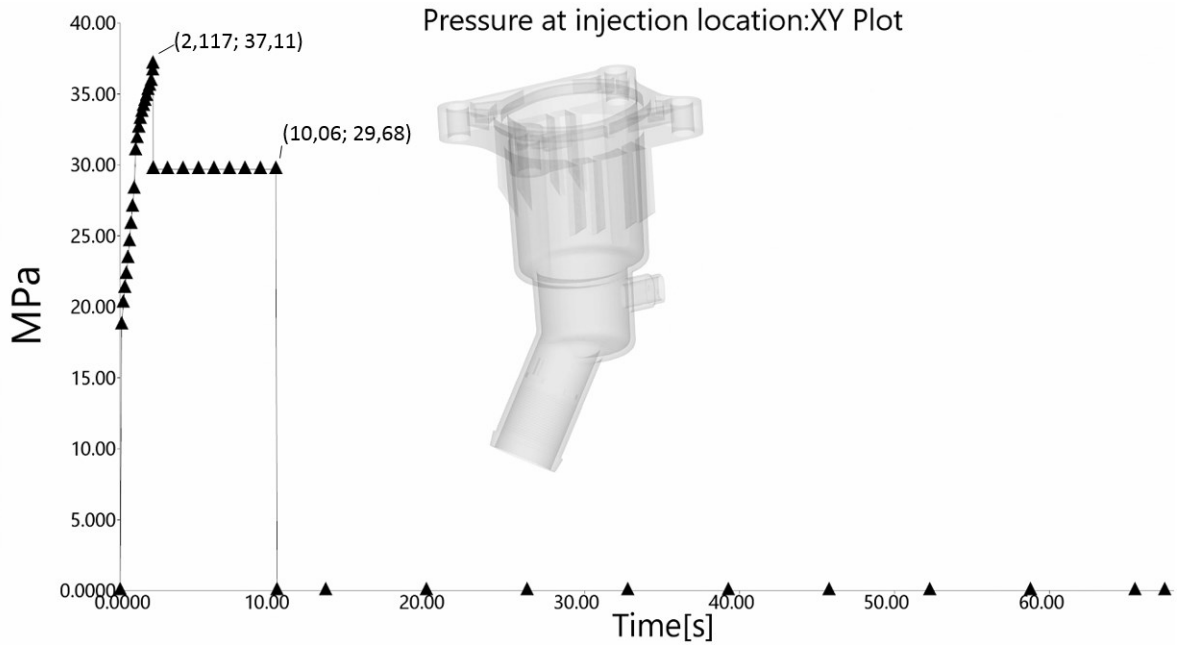
Maximálně dovolená hodnota smykového namáhání materiálu Ultramid B3WG6, která nesmí být překročena, je  $60\,000\text{ s}^{-1}$  viz *Tabulka 2*. Červená barva na rozsahu značí právě maximální dovolenou hodnotu smykové rychlosti deformace. Z barevné mapy vyplývá, že maximální hodnota rychlosti smykové deformace nebyla překročena a nedochází k degradaci materiálu způsobenou rychlostí smykové deformace. Největší hodnota rychlosti smykové deformace je v místě umístění vtokového ústí.



Obrázek 69 Výsledek rychlost smykové deformace (Shear rate)

#### 9.6.4 Vstřikovací tlak v místě vtokového ústí (Pressure at injection location)

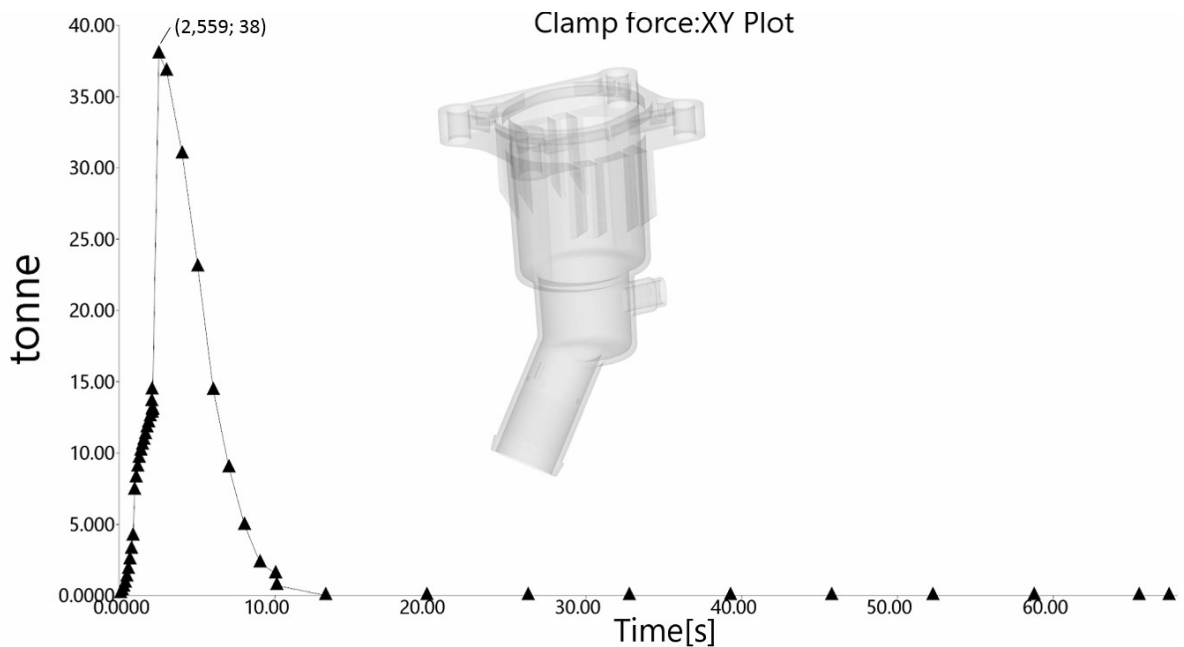
Výsledkem je graf závislosti tlaku na čase v místě vtokového ústí. Z výsledků je patrné, jak tlak postupně roste až na maximální hodnotu tlaku 37,11 MPa (371,1 bar) v čase 2,117 s, kdy dojde na přepnutí na dotlak. Přepnutí na dotlak byl nastaven v procesních podmínkách na 99 % zaplnění objemu dílu, hodnota dotlaku je nastavené na 80 % vstřikovacího tlaku což je také patrné z výsledku kde je hodnota dotlaku 29,68 MPa (296,8 bar). Po ukončení dotlaku tlak klesne na nulovou hodnotu. Zvolený vstřikovací stroj musí být schopný vyvolat vstřikovací tlak z bezpečnosti zvětšený o 10 % tedy 40,821 MPa (408,21 bar).



Obrázek 70 Vstřikovací tlak ( Pressure at injection location XY Plot)

### 9.6.5 Uzavírací síla (Clamp force)

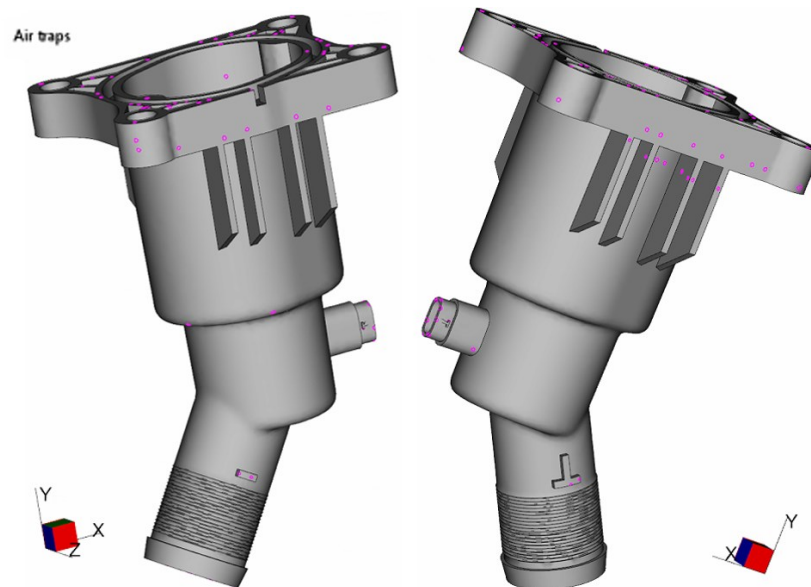
Výsledkem je graf zobrazující závislost uzavírací síly na čase. Maximální hodnota uzavírací síly je 38 t (380 kN). Zvolený vstřikovací stroj musí být schopný vyvolat uzavírací sílu zvětšenou kvůli bezpečnosti o 20 % tedy 45,6 t (456 kN).



Obrázek 71 Uzavírací síla (Clamp force)

### 9.6.6 Vzduchové bubliny (Air traps)

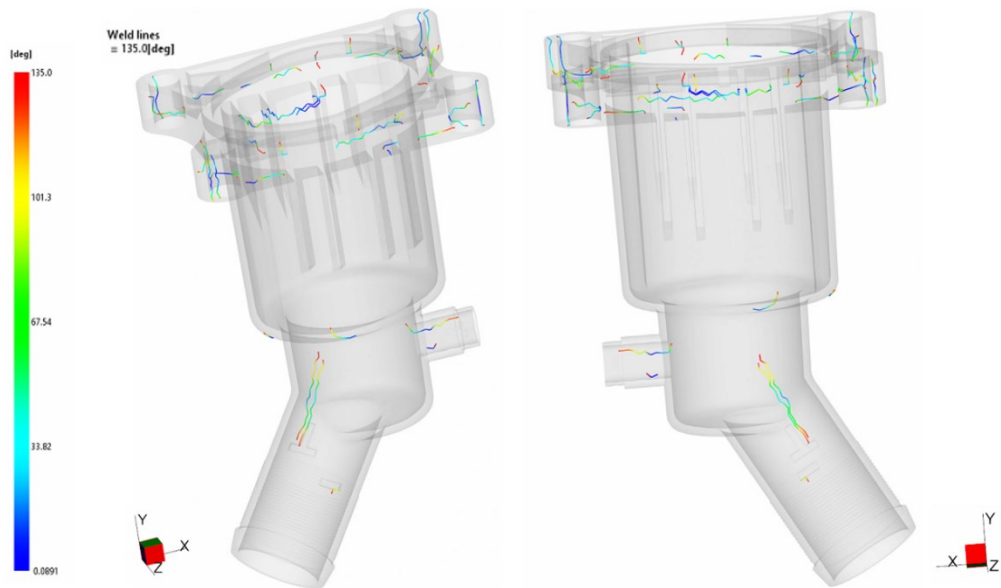
Výsledkem této analýzy je zobrazení míst, kde by mohlo docházet k uzavření vzduchu. Vzhledem k tomu, že v místech vzniku většiny vzduchových bublin se nachází hlavní nebo nějaká vedlejší dělicí rovina, kterou by měl vzduch, z tvarové dutiny unikal, nebyly zkonstruovány odvodušňovací kanály.



Obrázek 72 Vzduchové bubliny (Air traps)

### 9.6.7 Studené spoje (Weld lines)

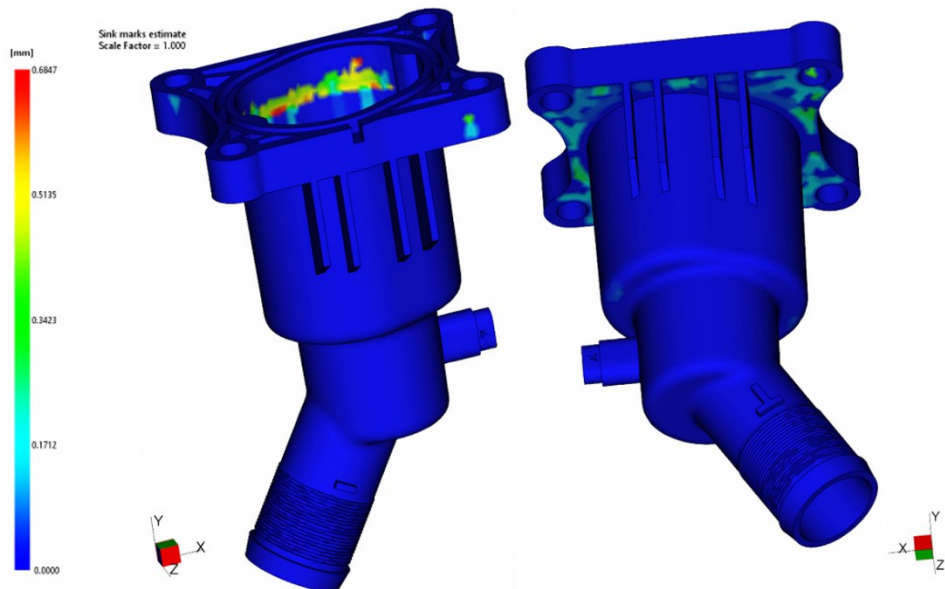
Výsledek této analýzy zobrazuje místa vzniku studených spojů, které vznikají spojením dvou čel tavenin. V místě studených spojů dochází ke snížení mechanických vlastností a zhoršení pohledových vlastností dílu. Studené spoje lze eliminovat změnou místa vtokového ústí, zvýšením teploty taveniny a teploty formy případně zvýšením rychlosti vstřikování. Místa výskytu studených čar by neměli ovlivnit použití dílu.



Obrázek 73 Studené spoje (Weld lines)

### 9.6.8 Propadliny (Sink marks estimate)

Výsledek této analýzy zobrazuje oblasti vzniku propadlin na díle. Propadliny, nacházející se v místech s větší tloušťkou stěn a v místech napojení žeber. Červená barva zobrazuje místa s největším propadem 0,6847 mm.



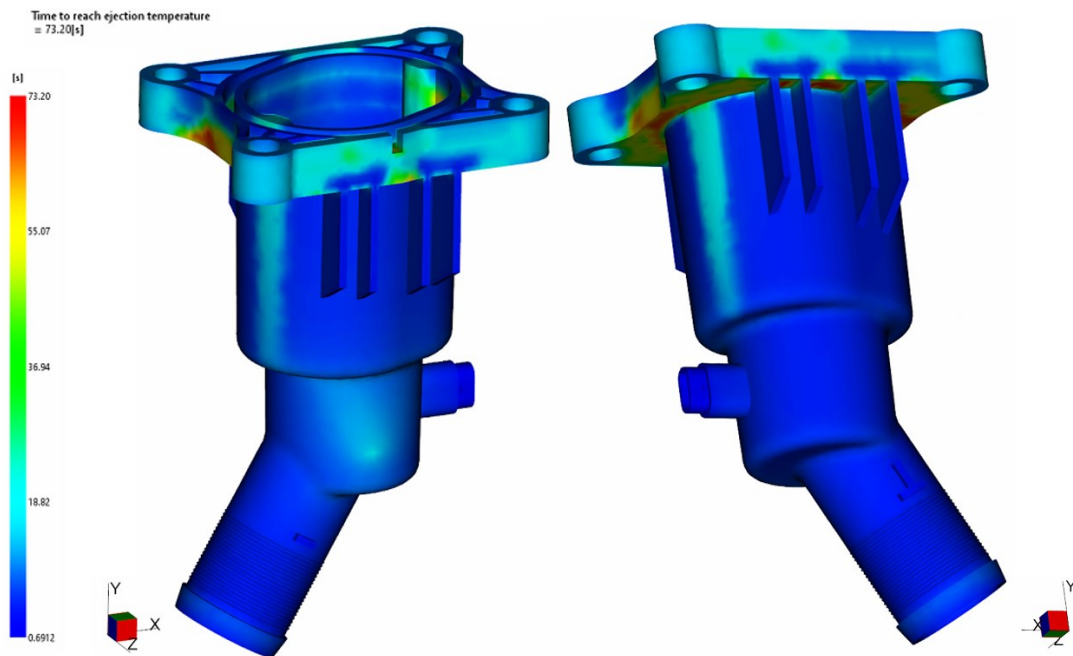
Obrázek 74 Výsledek propadlin (Sink marks estimate)

### 9.6.9 Doba na dosažení vyhazovací teploty (Time to reach ejection temperature)

Výsledkem je barevná mapa, která zobrazuje dobu potřebnou na zchladnutí materiálu na vyhazovací teplotu. Vyhazovací teplota byla nastavena dle doporučení výrobce materiálu na 184°C. Při této teplotě by měl mít díl již dostatečnou tuhost a nemělo by při vyhazování dojít



k deformaci dílu. Celý díl bude ochlazen na vyhazovací teplotu za 73,20 s. Pro vyhození dílu z tvarové dutiny formy je důležitá doba, za kterou dojde k ochlazení na vyhazovací teplotu v místě umístění vyhazovačů. Doba, za kterou dojde k ochlazení míst, na kterých jsou umístěny vyhazovače, je v rozsahu 4,5 až 5,5 s.

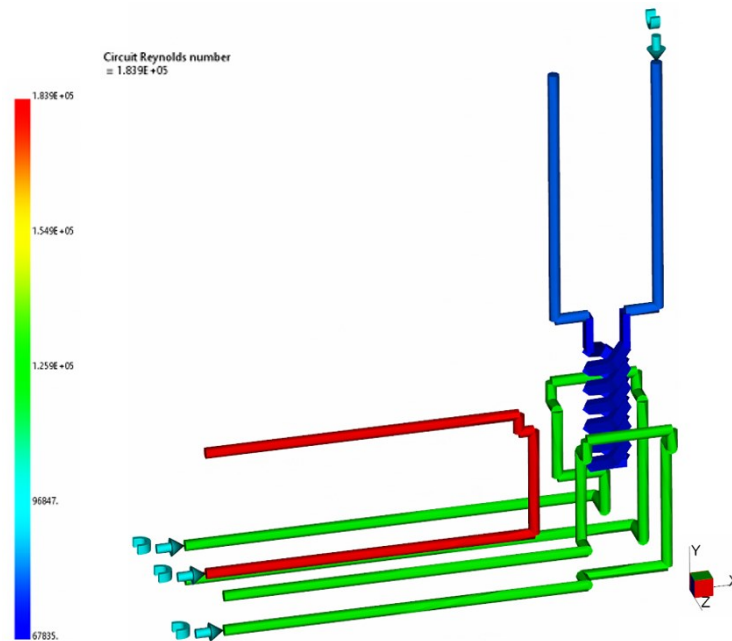


Obrázek 75 Výsledek doby na dosažení vyhazovací teploty (Time to reach injection temperature)

## 9.7 Výsledky analýzy teploty (Cool)

### 9.7.1 Reynoldsovo číslo temperačního média (Circuit Reynolds number)

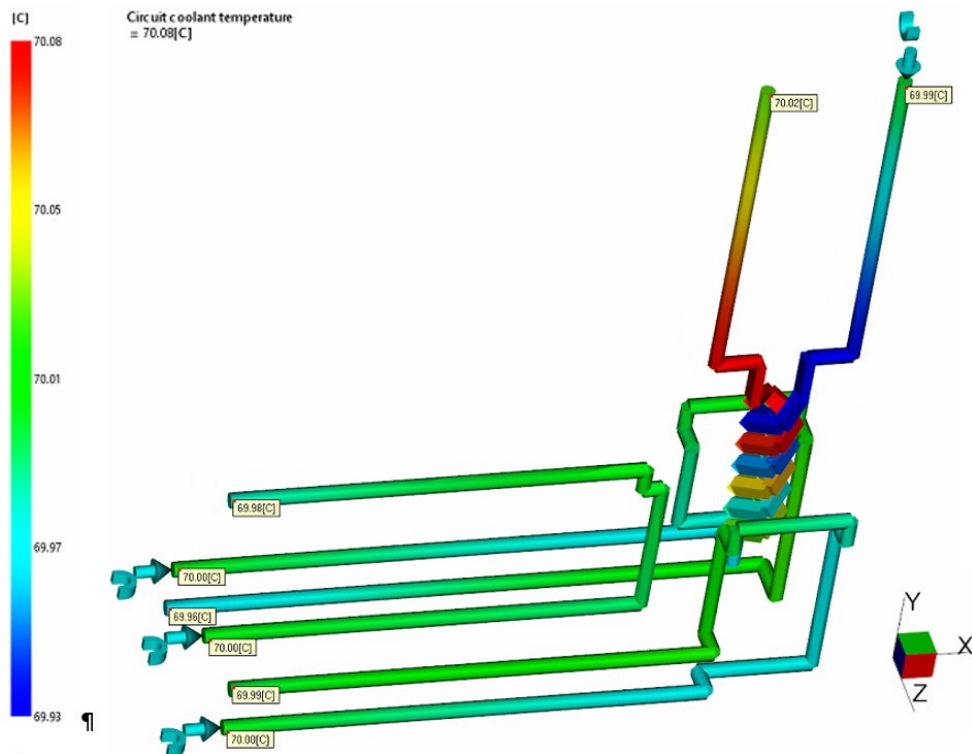
Výsledkem této analýzy je barevné zobrazení hodnot Reynoldova čísla v jednotlivých okruzích. Pro účinný temperační systém je důležité, aby temperační medium v jednotlivých temperačních okruzích proudilo turbulentním typem toku. Turbulentnímu proudění odpovídá hodnota Reynoldsova čísla větší než 10 000. Tato podmínka je splněna, protože minimální hodnota je 67 835.



Obrázek 76 Výsledek Reynoldsova čísla temperačního média (Circuit Reynolds number)

### 9.7.2 Teplota temperačního média (Circuit coolant temperature)

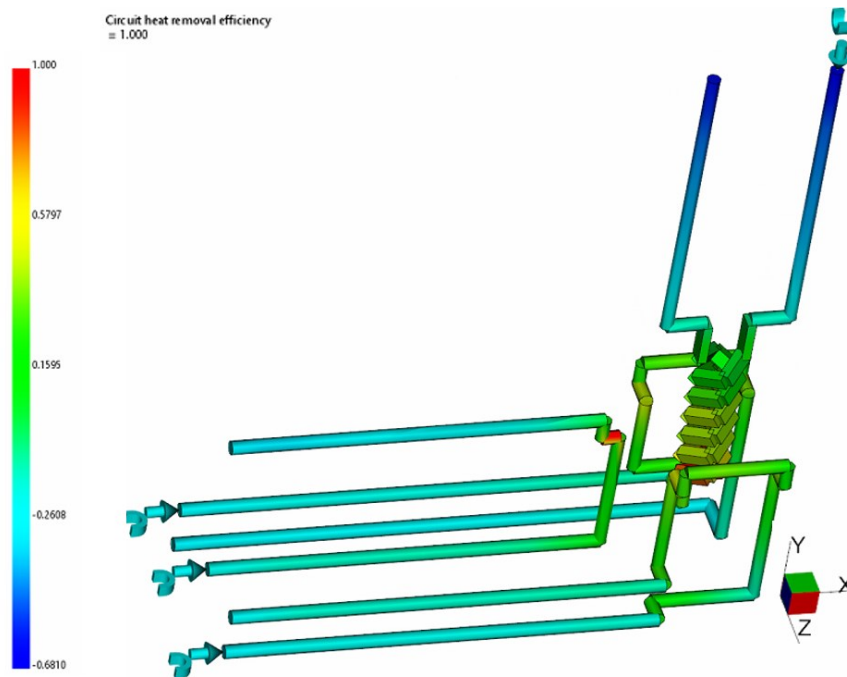
Výsledkem této analýzy je zobrazení teplot temperačního média formou barevné mapy na temperačních okruzích. Rozdíl teplot temperačního média na vstupu a výstupu by neměl překročit hodnotu 3 °C, tato podmínka je u navrženého temperačního systému splněna, protože rozdíl teplot je 0,04 °C.



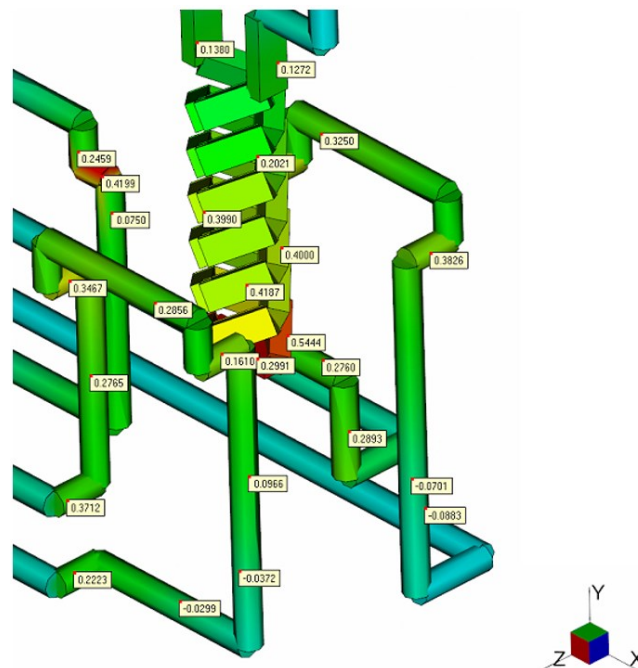
Obrázek 77 Výsledek teploty temperačního média (Circuit coolant temperature)

### 9.7.3 Efektivita odvodu tepla (Circuit heat removal efficiency)

Výsled zobrazuje efektivitu odvodu tepla z jednotlivých temperačních kanálů, navrženého temperačního systému zobrazenou barevnou mapou na temperačních kanálech. Největší účinnost odvodu tepla je zobrazena červenou barvou a nejmenší účinnost je zobrazena světle zelenou. Tmavě modrá značí dodávání tepla namísto jeho odvodu.



Obrázek 78 Výsledek efektivity odvodu tepla (Circuit heat removal efficiency)

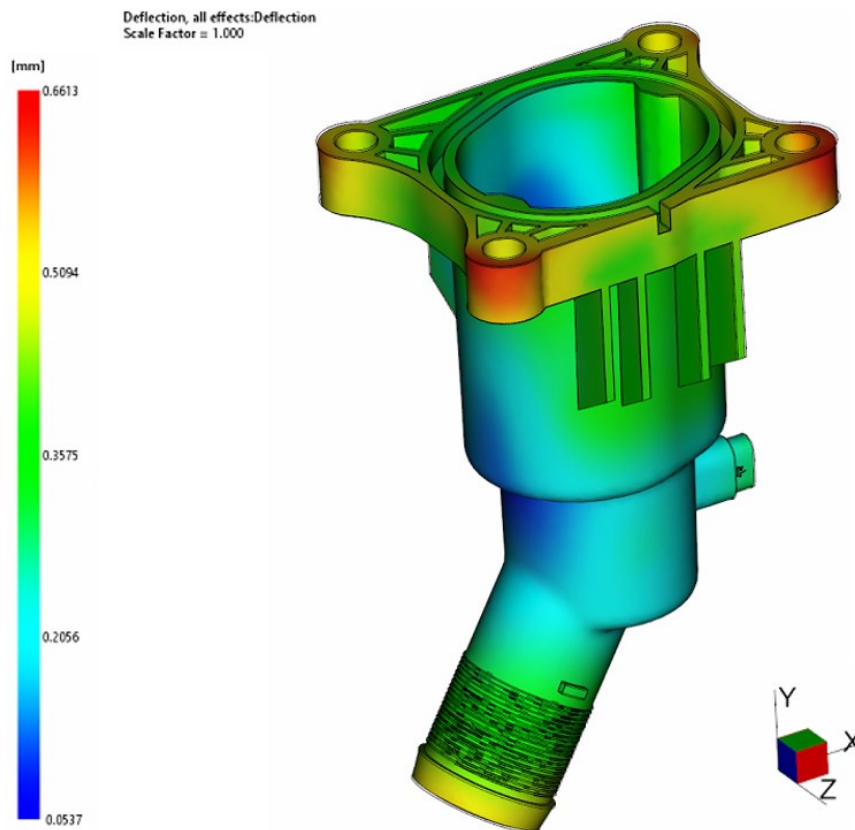


Obrázek 79 Detail výsledku efektivity odvodu tepla (Circuit heat removal efficiency)

## 9.8 Výsledky analýzy smrštění a deformace (Warp)

### 9.8.1 Deformace vliv všech efektů (Deflection, all effects deflection)

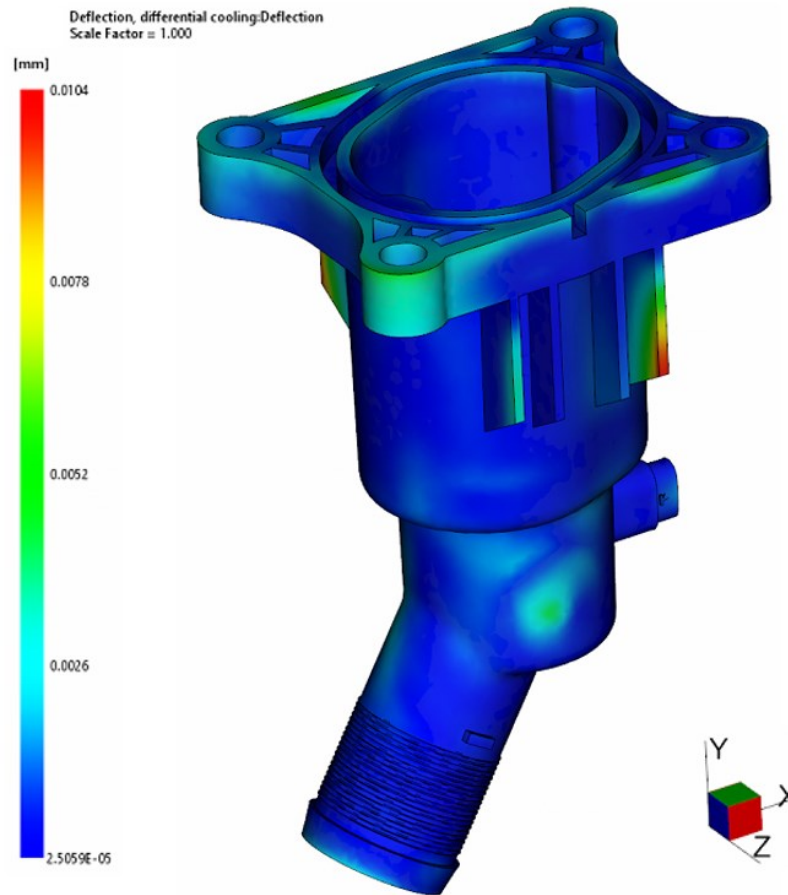
Výsledkem této analýzy je barevná mapa na díle zobrazující celkovou deformaci způsobenou vlivem všech efektů (smrštění, chlazením a orientací vláken). Červenou barvou jsou vyznačena místa s největší deformací, která má hodnotu 0,6613 mm, tmavě modře jsou zobrazena místa s nejmenší deformací. K největší deformaci dochází v místě s největší tloušťkou stěny.



Obrázek 80 Výsledek deformace vliv všech efektů (Deflection, all effects deflection)

### 9.8.2 Deformace vlivem chlazení (Deflection, differential shrinkage cooling)

Z výsledku deformace způsobenou vlivem chlazením. Maximální deformace má hodnotu 0,0104 mm, z čehož vyplývá, že navržený temperační systém má minimální vliv na celkovou deformaci dílu. Deformace vznikají vlivem chlazení, rovnoměrně zasahuje celý díl, přičemž nejvíce vnější žebra dílu.



Obrázek 81 Výsledek deformace vlivem chlazení (Deflection, differential shrinkage cooling)

## 9.9 Diskuze výsledků analýzy

Analýzy ověřující funkčnost navržené vstřikovací formy byly provedeny v programu Autodesk Moldflow Synergy. Před samotným začátkem konstrukčního návrhu vstřikovací formy byla provedena analýza pro určení místa vtokového ústí.

Prvním výsledkem tokové analýzy je doba, za kterou se úplně zaplnění tvarová dutina je 2,149 s. Maximální teplota taveniny je 285,1 °C, pohybuje se v doporučeném rozsahu uvedenou výrobcem v materiálovém liště, takže by nemělo docházet k degradování materiálu. K degradování materiálu by mohlo dojít také překročením maximální rychlosti smykové deformace, maximální rychlost smykové deformace z výsledků analýzy nepřekračuje maximální dovolenou hodnotu 60 000 s<sup>-1</sup>. Při plnění tvarové dutiny dochází k rozdělení čela taveniny a k jejímu spojení což má za následek vytvoření studených spojů, místa výskytu studených spojů by neměli ovlivnit použití výrobku. Další dva výsledky především slouží k určení vhodného vstřikovacího stroje, tyto hodnoty jsou zvětšeny o velikost bezpečnosti a to o 10 % a 20 % Prvním výsledkem je vstřikovací tlak v místě vtokového

ústí, maximální hodnota tlaku je 37,11 MPa, Druhým výsledkem je uzavírací síla, jejíž maximální hodnota vyšla 38 t. Výsledkem doby na dosažení vyhazovací teploty je doba, za kterou je celý díl ochlazen na vyhazovací teplotu. Tento čas vychází na 73,20 s, ale k vyhození dílu může dojít dřív, protože místa, na kterých se nacházejí vyhazovače, jsou ochlazená dříve.

Pro účinné chlazení je důležité, aby temperační medium proudilo turbulentním typem toku, tuto podmínku nám zobrazuje výsledek hodnoty Reynoldsova čísla v temperačním okruhu, jehož minimální hodnota vyšla 67 835, a tedy temperační medium proudí turbulentním typem toku, jelikož Reynoldsovo číslo je větší 10 000. Teplot temperačního média na vstupu a výstupu z vstřikovací formy by neměla překročit 3 °C, tato podmínka je splněna protože rozdíl teplot na vstupu a výstupu je 0,04 °C. K maximální deformaci na dílu dochází v místech s větší tloušťkou stěn na díle. Z výsledku analýzy je maximální hodnota deformace 0,6613 mm.

*Tabulka 3 Výsledky vybraných analýz*

Výsledek	Hodnota
Doba plnění	2,149 s
Maximální teplota taveniny	285,1 °C
Maximální rychlost smykové deformace	23 828 s <sup>-1</sup>
Maximální vstřikovací tlak v místě vtokového ústí	37,11 MPa (371,1 bar)
Maximální uzavírací síla	38 t (380 kN)
Doba na dosažení vyhazovací teploty	73,20 s
Minimální hodnota Reynoldsova čísla	67 835
Maximální rozdíl teploty temperačního média	0,04 °C
Maximální deformace od všech vlivů	0,6613 mm

## 10 VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Z výsledku analýzy a parametrů vstřikovací formy byl zvolen vstřikovací stroj Allrounder 720 S – 3200 –1300(55). Parametry potřebné pro volbu vstřikovacího stroje jsou uvedeny v *Tabulka 4*.

*Tabulka 4 Parametry zvoleného vstřikovacího stroje [PII]*

Parametr	Požadovaná hodnota	Hodnota stroje
Vzdálenost vodících sloupků [mm]	646x646	720x720
Uzavírací síla [kN]	456	3200
Vstřikovací tlak [bar]	408,21	2380
Objem dávky [cm <sup>3</sup> ]	86,218	558
Výška formy [mm]	504	300-700
Průměr středícího kroužku [mm]	160	160

## ZÁVĚR

Cílem diplomové práce byl konstrukční návrh vstřikovací formy pro díl čerpadla palivového systému. Součástí návrhu vstřikovací formy je i výkresová dokumentace sestavy s kusovníkem. Funkčnost navržené formy byla ověřena tokovou analýzou.

V teoretické části byla vypracována literární rešerše zabývající se polymerními materiály, problematikou technologie vstřikování termoplastů, vstřikovacími stroji a vstřikovacími formami.

Praktická část zahrnuje vymodelování 3D modelu zadaného dílu a návrh vstřikovací formy pro tento díl. Pro díl čerpadla palivového systému byl zvolen materiál od firmy BASF a to PA6 plnění 30 % skelných vláken, označení výrobce Ultramid B3WG6. Od 3D modelu dílu se odvíjel návrh dělicích rovin, podle kterých se odvíjela konstrukce jednotlivých tvarových částí a samotné vstřikovací formy. Bylo navrženo pět dělicích rovin, které díl rozdělilo na 6 tvarových částí. Tvarová dutina je tvořená tvárnici a tvárníkem, dvěma pohyblivými čelistmi a dvěma jádry. Pohyb bočních pohyblivých čelistí je realizován pomocí šikmých čepů, přičemž se posuvné jednotky pohybují ve vodících lištách po samomazném plochém vedení. Hydraulickými válci je ovládán pohyb jader. Vstřikovací forma byla zvolena jako jednonásobná s horkým vtokovým systémem tvořeným horkou tryskou. Temperační systém, je tvořen čtyřmi temperačními okruhy. Temperační mediem je voda, která proudí ve vrtaných kanálech o průměru 8 mm. Součástí temperačního okruhu ve velkém jádře je dvouchodý spirálový trn. Vyhazovací systém se skládá z válcových vyhazovačů, které vyhodí díl z tvarové dutiny formy. Vstřikovací formy obsahuje transportní oka, transportní pojistky pro manipulaci s formou. Podle parametrů navržené formy a výsledků z analýzy byl zvolen vhodný vstřikovací stroj Allrounder 720 S – 3200 –1300(55) od firmy Arburg. Z navržené formy byl zhotoven výkres sestavy vstřikovací formy.

Při tvorbě vstřikovací formy byly využity normálie od firmy Hasco a Meusburger dostupné z online databáze. Konstrukce dílu, vstřikovací formy i výkresu sestavy byla provedena v softwaru CATIA V5R20.



**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] KOLTZENBURG, Sebastian, Michael MASKOS a Oskar NUYKEN. *Polymer chemistry*. Berlin: Springer, 2017. ISBN 978-3-66249-277-2.
- [2] BRUDER, Ulf. *User's guide to plastic*. 2nd edition. Munich: Hanser Publisher, 2019. ISBN 978-1-56990-734-4.
- [3] BĚHÁLEK, Luboš, Pavel BRDLÍK, Martin BORŮVKA a Irena LENFELDOVÁ. *Úvod do technologií zpracování plastů*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2019. ISBN ISBN978-80-7494-460-4.
- [4] CARRAHER, Charles E. *Introduction to polymer chemistry*. 4th edition. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2017. ISBN 978-1-4987-3761-6.
- [5] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery – výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Praha: VŠCHT v Praze, 2006. ISBN 80-7080-617-6.
- [6] MORRISON, Faith A. *Understanding Rheology*. New York: Oxford University Press, 2001. ISBN 0-19-514166-0.
- [7] OSSWALD, Tim A. *Polymer Rheology: Fundamentals and Applications*. Munich: Hanser, 2015. ISBN 978-1-56990-517-3.
- [8] HAN, Chang Dae. *Rheology and Processing of Polymeric Materials: Volume 1 – Polymer Rheology*. Oxford University Press, 2007. ISBN 978-0-19518-782-3.
- [9] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-8-07300-250-3.
- [10] BEAUMONT, John P., Robert F NAGEL a Robert. SHERMAN. *Successful injection molding: process, design, and simulation*. Munich: Hanser Publishers, 2002. ISBN 1-56990-291-7.
- [11] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů 2*. Praha: Grada Publishing, 2021. ISBN 978-80-271-1294-4.
- [12] KUTZ, Myer. *Applied Plastics Engineering Handbook Processing, Materials, and Applications*. 2017. ISBN 978-0-3233-531-3.
- [13] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů – teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, a.s., 2018. ISBN 978-80-271-0614-1.
- [14] LENFELD, Petr. *Technologie vstřikování*. Brno: Code Creator, s.r.o., 2016. ISBN 978-80-88058-74-8.
- [15] GOODSHIP, Vannessa. *ARBURG Practical Guide to Injection Moulding*. 2nd edition. University of Warwick: WMG, 2016. ISBN 978-1-91024-294-0.

- [16] *3 Basic Steps of the Injection Molding Process. Injection Moulding World* 22.4.2018 [online].. Dostupné z: <https://injectionmouldingworld.com/3-basic-steps-of-the-injection-molding-process/>
- [17] LENFELD, Petr. *Technologie II* [online] 2009. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/06.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/06.htm)
- [18] FISCHER, Jerry M. *Handbook of molded part shrinkage and warpage*. 2nd edition. Waltham, Mass.: William Andrew, 2013. ISBN: 978-1-45572-597-7.
- [19] BOBEK, Jiří. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů*. Code Creator, 2016. ISBN 978-80-88058-65-6.
- [20] OSSWALD, Tim A., Erwin BAUR, Sigrin BRINKMANN, Karl OBERBACH a Ernst SCHMACHTENBERG. *International Plastics Handbook: The Resource for Plastics Enginneers*. Munich: Hanser Publishers, 2006. ISBN 978-3-446-22905-1.
- [21] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů. I. díl, Vstřikování termoplastů*. 2. vydání. Brno: Uniplast Brno, 1999.
- [22] MURALISRINIVASAN, Natamai Subramanian. *Basics of Troubleshooting in Plastics Processing: An Introductory Practical Guide*. John Wiley & Sons, Inc, 2011. ISBN 978-0-470-62606-1.
- [23] KERKSTRA, Randy a Steve BRAMMER. *Injection molding advanced troubleshooting guide*. Munich: Hanser Publishers, 2018. ISBN 978-1-56990-645-3.
- [24] KULKARNI, Suhas. *Robust Process Development and Scientific Molding: Theory and Practice*. 2nd edition. Munich: Hanser Publishers, 2017. ISBN 978-1-56990-586-9.
- [25] JOHANNABER, Friedrich. *Injection molding machines: a user's guide*. 4th edition. Munich: Hanser Publishers, 2008. ISBN 978-1-56990-418-3.
- [26] OSSWALD, Tim A. *Understanding polymer processing: processes and governing equations*. Munich: Hanser Publishers, 2017, ISBN 978-1-56990-472-5.
- [27] OSSWALD, Tim A. a Georg MENGES. *Material Science of Polymers for Engineers*. 3rd edition. Munich: Hanser Publishers, 2012. ISBN 978-1-56990-514-2.
- [28] VALERO, José R. Lerma. *Plastics Injection Molding - Scientific Molding, Recommendations, and Best Practices*. Hanser Publishers, 2020. ISBN 978-1-56990-689-7.

- [29] REES, Herbert a Bruce CATOEN. *Selecting Injection Molds - Weighing Cost versus Productivity*. Munich: Hanser Publishers, 2006. ISBN 978-3-446-40308-6.
- [30] MENGES, Georg, Walter MICHAELI a Paul MOHREN. *How to make injection molds*. 3rd edition. Munich: Hanser, 2001. ISBN 3-446-21256-6.
- [31] DANGEL, Rainer. *Injection Molds for Beginners*. 2nd Edition. Munich: Hanser Publishers, 2020. ISBN 978-1-56990-818-1.
- [32] CHANDA, Manas. *Plastics Technology Handbook*. 5th edition. Taylor and Francis inc, 2018. ISBN 978 - 1- 4987 - 8621-8.
- [33] KAZMER, David O. *Injection Mold Design Engineering*. 2nd edition. Munich: Hanser Publishers, 2016. ISBN 978-1-56990-570-8.
- [34] CAMPO, E. Alfredo. *The Complete Part Design Handbook for Injection Molding of Thermoplastics*. Munich: Hanser Publishers, 2006. ISBN 978 - 3 - 446 - 40309 - 3.
- [35] BEAUMONT, John P. *Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding*. 3rd edition. Munich: Hanser Publishers, 2019. ISBN 978 - 1 - 56990-590-6.
- [36] MENNIG, Günter a Klaus STOECKHERT. *Mold-Making Handbook*. 3rd edition. Munich: Hanser Publishers, 2013. ISBN 978-1-56990-446-6.
- [37] HYNEK, Martin. *Ukázkové vývojové projekty z praxe pro posílení praktických znalostí budoucích strojních inženýrů: KA 05 Plastové díly*. Plzeň: Fakulta strojní Západočeská univerzita v Plzni, 2012. [online]. Dostupné z: [https://www.kks.zcu.cz/projekty-ver-fin/OPVK\\_PU/KA\\_05/](https://www.kks.zcu.cz/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05/) .
- [38] CHEN, Shia-Chung a Lih-Sheng TURNG, eds. *Advanced injection molding technologies*. Munich: Hanser Publishers, 2019. ISBN 978-1-56990-603-3.
- [39] PRUNER, Harry a Wolfgang NESCH. *Understanding Injection Molds*. Munich: Hanser Publishers, 2013. ISBN 978-1-56990-527-2.
- [40] MEUSBURGER .[online]. Dostupné z: <https://www.meusburger.com/> .

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

ABS	akrylonitrilbutadienstyren
ACM	akrylátový kaučuk
ASA	akrylonitrilstyrenakrylát
BR	butadienový kaučuk
C	uhlík
CR	chloroprenový kaučuk
D	průměr válce
e	šířka šroubovice
EPDM	ethylenpropylendiéterpolymerový kaučuk
ER	epoxidová pryskyřice
F	fluor
FPM	fluorouhlíkový kaučuk
H	vodík
HDPE	polyethylen s vysokou hustotou
I <sub>F</sub>	rozměr dutiny formy
I <sub>V</sub>	rozměr výrobku
IR	isoprenový kaučuk
LDPE	polyethylen s nízkou hustotou
N	dusík
n	stupeň polymerace
NR	přírodní kaučuk
NBR	butadienakrylonitrilový kaučuk
O	kyslík
OT	polysulfidový kaučuk
P	fosfor

---

p	tlak
PA6	polyamid 6
PA66	polyamid 66
PBT	polybutylentereftalát
PC	polykarbonát
PE	polyethylen
PET	polyethylentereftalát
PMMA	polymethylmetakrylát
POM	polyoxymethylen, polyacetát
PP	polypropylen
PS	polystyren
PVC	polyvinylchlorid
Q	silikonový kaučuk
Si	křemík
S	síra
Sv	smrštění
SAN	styrenakrylonitril
SB	styren butadien
SBR	butadienstyrenový kaučuk
SLS	selektivní laserové slinování
T	teplota
T <sub>g</sub>	teplota skelného přechodu
T <sub>m</sub>	teplota tání
T <sub>f</sub>	teplota tečení
TPE-A	termoplastický elastomer na bázi polyamidů
TPE-E	termoplastický elastomer na bázi kopolyesterů

---

TPE-O	termoplastické polyolefiny
TPE-S	styrenové termoplastické elastomery
TPE-U	uretanové termoplastické elastomery
v	specifický objem
W	šířka kanálu
$\delta$	vůle mezi šnekem a pracovním válcem
$\phi$	úhel stoupání šroubovice

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1 Schéma vzniku makromolekuly [3]</i> .....	12
<i>Obrázek 2 Rozdělení polymerů [3]</i> .....	13
<i>Obrázek 3 Fontánový tok [10]</i> .....	16
<i>Obrázek 4 Schéma vstřikovacího stroje [12]</i> .....	17
<i>Obrázek 5 Vstřikovací cyklus, vnější část – vstřikovací forma, vnitřní část – vstřikovací jednotka</i> .....	18
<i>Obrázek 6 <math>p</math><math>v</math><math>T</math> diagram pro amorfni polymer [14]</i> .....	19
<i>Obrázek 7 Průběh vstřikovacího cyklu zakresleného v <math>p</math><math>v</math><math>T</math> diagramu [14]</i> .....	19
<i>Obrázek 8 <math>p</math><math>v</math><math>T</math> diagram pro semikrystalický polymer [14]</i> .....	20
<i>Obrázek 9 Vstřikovací cyklus [16]</i> .....	20
<i>Obrázek 10 Vliv parametrů vstřikování na velikost smrštění [19]</i> .....	24
<i>Obrázek 11 Procesní okno [20]</i> .....	25
<i>Obrázek 12 Odstraňování vad u vstřikování [21]</i> .....	26
<i>Obrázek 13 Propadlina [24]</i> .....	27
<i>Obrázek 14 Spálené místo [24]</i> .....	28
<i>Obrázek 15 Plnění dutiny formy a) fontánový tok taveniny b) volný proud taveniny [15]</i> .	29
<i>Obrázek 16 Vstřikovací stroj [25]</i> .....	30
<i>Obrázek 17 Vstřikovací jednotka [15]</i> .....	31
<i>Obrázek 18 Schématické zobrazení šneku <math>D</math> – průměr válce, <math>H</math> – hloubka kanálu, <math>e</math> – šířka šroubovice, <math>W</math> – šířka kanálu, <math>\delta</math> – vůle mezi šnekem a pracovním válcem. <math>\phi</math> - úhel stoupání šroubovice [12]</i> .....	32
<i>Obrázek 19 Zóny šneku [24]</i> .....	33
<i>Obrázek 20 Uzavírací jednotka [15]</i> .....	34
<i>Obrázek 21 Řez vstřikovací formou [33]</i> .....	36
<i>Obrázek 22 Studený vtokový systém [34]</i> .....	37
<i>Obrázek 23 Příklady vícenásobných studených vtokových systémů [34]</i> .....	37
<i>Obrázek 24 Průřezy rozvodných vtokových kanálů [28]</i> .....	38
<i>Obrázek 25 Typy vtokových ústí [2]</i> .....	38
<i>Obrázek 26 Řez formou s horkým vtokovým systémem [33]</i> .....	39
<i>Obrázek 27 Vliv rozmístění kanálu na odvod tepla [36]</i> .....	42
<i>Obrázek 28 Temperační přepážky [30]</i> .....	42
<i>Obrázek 29 Temperační kanály [37]</i> .....	43
<i>Obrázek 30 Odvzdušňovací drážka [37]</i> .....	43
<i>Obrázek 31 Vyhazovací kolíky [40]</i> .....	44
<i>Obrázek 32 Mechanické boční odformování [39]</i> .....	45

<i>Obrázek 33 Model dílu</i> .....	49
<i>Obrázek 34 Navržená vstřikovací forma</i> .....	50
<i>Obrázek 35 Pohled do pevné strany formy</i> .....	51
<i>Obrázek 36 Pohled do pohyblivé strany formy</i> .....	52
<i>Obrázek 37 Zobrazení dělicích rovin</i> .....	53
<i>Obrázek 38 Tvárnice a tvárník</i> .....	53
<i>Obrázek 39 Velké jádro, malá a velká posuvná čelist, malé jádro</i> .....	54
<i>Obrázek 40 Horká tryska smartFILL Meusbürger</i> .....	54
<i>Obrázek 41 Ideální umístění vtokového ústí (Gating suitability)</i> .....	55
<i>Obrázek 42 Temperační okruh tvárnice a tvárníku</i> .....	56
<i>Obrázek 43 Temperační okruh velké čelisti</i> .....	56
<i>Obrázek 44 Temperační okruh velkého jádra</i> .....	57
<i>Obrázek 45 Boční odformování malé čelisti</i> .....	57
<i>Obrázek 46 Boční odformování velké čelisti</i> .....	57
<i>Obrázek 47 Hydraulický válec velké jádro</i> .....	58
<i>Obrázek 48 Hydraulický válec malé jádro</i> .....	58
<i>Obrázek 49 Vyhazovací systém</i> .....	59
<i>Obrázek 50 Ustavení polohy vyhazovače</i> .....	59
<i>Obrázek 51 Závěsné oko Hasco Z715</i> .....	60
<i>Obrázek 52 Transportní pojistka Hasco Z73</i> .....	60
<i>Obrázek 53 Nožička</i> .....	60
<i>Obrázek 54 Vysířovaný díl</i> .....	61
<i>Obrázek 55 Analýza kvality sítě</i> .....	62
<i>Obrázek 56 Ideální umístění vtokového ústí (Gating suitability)</i> .....	62
<i>Obrázek 57 Indikace odporu vůči toku taveniny (Flow resistance indicator)</i> .....	63
<i>Obrázek 58 Výsledek doby plnění pro ověření umístění vtokového ústí</i> .....	63
<i>Obrázek 59 Vysířovaný vtokový systém</i> .....	64
<i>Obrázek 60 Nastavení temperačního média</i> .....	64
<i>Obrázek 61 Vysířovaný temperační systém</i> .....	64
<i>Obrázek 62 Nastavené procesní parametry v první části</i> .....	65
<i>Obrázek 63 Druhá část nastavených procesních parametrů</i> .....	65
<i>Obrázek 64 Pokročilé nastavení procesních parametrů</i> .....	66
<i>Obrázek 65 Parametry vstřikovacího stroje</i> .....	66
<i>Obrázek 66 Třetí část nastavených procesních parametrů</i> .....	66
<i>Obrázek 67 Výsledek doby plnění (Fill time)</i> .....	67



---

<i>Obrázek 68 Výsledek teplota taveniny v čase 2,149 s (Bulk temperature)</i> .....	68
<i>Obrázek 69 Výsledek rychlost smykové deformace (Shear rate)</i> .....	69
<i>Obrázek 70 Vstříkovací tlak ( Pressure at injection location XY Plot)</i> .....	70
<i>Obrázek 71 Uzavírací síla (Clamp force)</i> .....	70
<i>Obrázek 72 Vzduchové bubliny (Air traps)</i> .....	71
<i>Obrázek 73 Studené spoje (Weld lines)</i> .....	72
<i>Obrázek 74 Výsledek propadlin (Sink marks estimate)</i> .....	72
<i>Obrázek 75 Výsledek doby na dosažení vyhazovací teploty (Time to reach injection temperature)</i> .....	73
<i>Obrázek 76 Výsledek Reynoldsova čísla temperačního média (Circuit Reynolds number)</i> 74	
<i>Obrázek 77 Výsledek teploty temperačního média (Circuit coolant temperature)</i> .....	74
<i>Obrázek 78 Výsledek efektivity odvodu tepla (Circuit heat removal efficiency)</i> .....	75
<i>Obrázek 79 Detail výsledku efektivity odvodu tepla (Circuit heat removal efficiency)</i> .....	75
<i>Obrázek 80 Výsledek deformace vliv všech efektů (Deflection, all effects deflection)</i> .....	76
<i>Obrázek 81 Výsledek deformace vlivem chlazení (Deflection, differential shrinkage cooling)</i> .....	77

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tabulka 1 Velikosti smrštění vybraných amorfních a semikrystalických polymerů [18] ....</i>	<i>24</i>
<i>Tabulka 2 Vybrané materiálové vlastnosti materiálu Ultramid B3WG6 [PI] .....</i>	<i>49</i>
<i>Tabulka 3 Výsledky vybraných analýz .....</i>	<i>78</i>
<i>Tabulka 4 Parametry zvoleného vstřikovacího stroje [PII] .....</i>	<i>79</i>

## SEZNAM PŘÍLOH

- P I Materiálový list Ultramid B3WG6
- P II Parametry vstřikovacího stroje Allrounder 720 S – 3200 –1300(55)
- P III Výkresová dokumentace:
- Sestava formy
- P IV DVD obsahující:
- Textový soubor diplomové práce
  - Model dílu
  - Model formy
  - Výkresovou dokumentaci
  - Moldflow analýza

**PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST ULTRAMID B3WG6****Processing Data Sheet Ultramid®****B3WG6**

06/2021

**PA6-GF30****BASF**  
We create chemistry**Product description**

Glass fibre reinforced and heat ageing resistant injection moulding grade used e.g. for automobile manifolds and pedals.

**Physical form and storage**

The product is supplied dry and ready to use in moisture-proof packaging. The material is in the form of cylindrical or flat pellets. Its bulk density is about 0,7 g/cm<sup>3</sup>. Standard packs are the special 25 kg bag and the 1000 kg bulk container (octagonal IBC=intermediate bulk container made from corrugated board with a liner bag). Subject to agreement other forms of packaging and shipment in tankers by road or rail are also possible. All containers are tightly sealed and should be opened only immediately prior to processing. To ensure that the perfectly dry material delivered cannot absorb moisture from the air the containers must be stored in dry rooms and always carefully sealed again after some of the material has been withdrawn. Ultramid® can be stored for a longer period of time in dry, well vented rooms without any change to properties. After longer storage times (> 3 months for IBC or > 2 years for bags) or if material from previously opened containers is used, drying is recommended to remove absorbed moisture. Containers stored in cold rooms should be allowed to equalise to normal temperature so that no condensation forms on the pellets.

**Product safety**

In case processing is done under conditions as recommended (cf. processing data sheet) melts are thermally stable and do not generate hazards by molecular degradation or the evolution of gases and vapors. Like all thermoplastic polymers the product decomposes on exposure to excessive thermal load, e.g. when it is overheated or as a result of cleaning by burning off. Further information is available from the safety data sheet.

**Note**

The data contained in this publication are based on our current knowledge and experience. In view of the many factors that may affect processing and application of our product, these data do not relieve processors from carrying out their own investigations and tests; neither do these data imply any guarantee of certain properties, nor the suitability of the product for a specific purpose. Any descriptions, drawings, photographs, data, proportions, weights etc. given herein may change without prior information and do not constitute the agreed contractual quality of the product. It is the responsibility of the recipient of our products to ensure that any proprietary rights and existing laws and legislation are observed. In order to check the availability of products please contact us or our sales agency.

# Ultramid® B3WG6

## Processing Data Sheet



We create chemistry

	Test method	Unit	Values
<b>Properties</b>			
Polymer abbreviation	-	-	PA6-GF30
Density	ISO 1183	kg/m <sup>3</sup>	1360
Melt volume rate MVR 275 °C/5 kg	ISO 1133	cm <sup>3</sup> /10min	30
<b>Drying</b>			
Moisture, max.	-	%	0.15
Moisture, optimal <sup>1)</sup>	-	%	0.03 - 0.06
Dryer temperature <sup>2)</sup>	-	°C	80
Drying time <sup>3)</sup>	-	h	4
<b>Injection molding</b>			
Melt temperature range	-	°C	270 - 290
Melt temperature, optimal	-	°C	280
Mold temperature range	-	°C	80 - 90
Mold temperature, optimal	-	°C	80
Residence time, max.	-	min	10
<b>Machine Settings</b>			
Temperature hopper throat	-	°C	80
Cylinder temperature 1 (feed zone)	-	°C	260
Cylinder temperature 2 (compression)	-	°C	270
Cylinder temperature 3 (metering-zone, in front of the screw)	-	°C	280
Cylinder temperature 4 (nozzle)	-	°C	280
Peripheral screw speed	-	m/s	≤ 0.3
<b>Shrinkage</b>			
Molding shrinkage (parallel)	ISO 294-4	%	0.23
Molding shrinkage (normal)	ISO 294-4	%	0.63
Processing shrinkage, constrained, longitudinal (TM = 280 °C, TW = 80 °C) <sup>4)</sup>	-	%	0.31

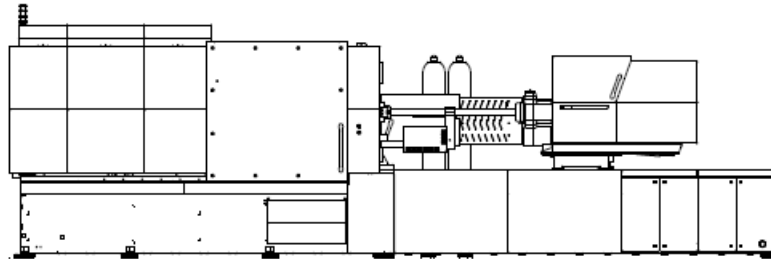
### Footnotes

- 1) Excessive drying of the granules may lead to an increase of melt viscosity during processing.
- 2) Dry air dryer, drying time is dependent on the initial moisture content of the granules, drying temperature and the dew point of the dried air.
- 3) In case of improper storage (e.g. open packages) drying time may have to be extended.
- 4) Model housing with central sprue, measures of the base: 107 x 47 x 1.5 mm.

BASF SE

67056 Ludwigshafen, Germany

**PŘÍLOHA P II: PARAMETRY VSTŘIKOVACÍHO STROJE  
ALLROUNDER 720 S – 3200 –1300(55)**



**ALLROUNDER 720 S**

**Clamp-Design**

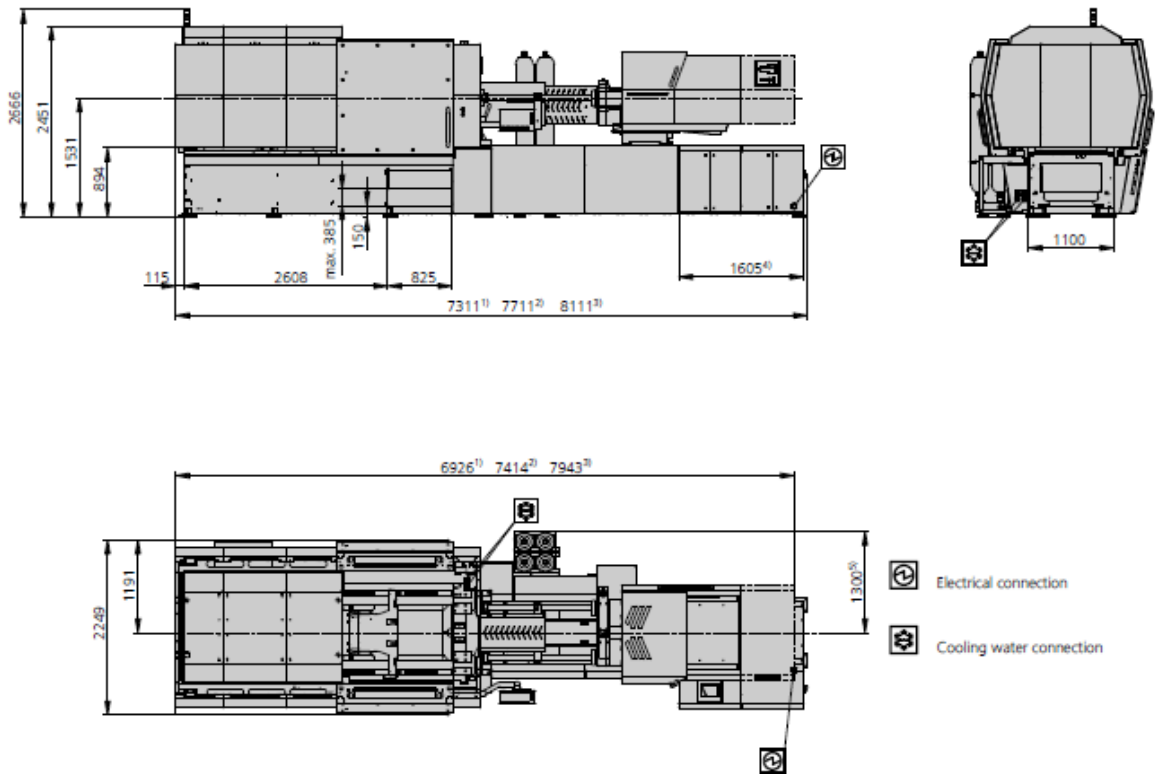
Distance between tie bars: 720 x 720 mm

Clamping force: 3200 kN

Injection unit (acc. to EUROMAP): 1300, 2100, 3200

**ARBURG**

## MACHINE DIMENSIONS | 720 S



- 1) Injection unit 1300
- 2) Injection unit 2100
- 3) Injection unit 3200
- 4) Subject to performance variant and injection unit size
- 5) Hydraulic accumulator

## TECHNICAL DATA | 720 S

Clamping unit		720 S	
with clamping force	max. kN	3200	
Opening force   stroke	max. kN   mm	800   700	
Mould height, fixed   variable	min. mm	700   [300-700]	
Platen daylight fixed   variable	max. mm	1400   [1000-1400]	
Distance between tie bars (w x h)	mm	720 x 720	
Mould mounting platens (w x h)	max. mm	1040 x 1040	
Weight of movable mould half	max. kg	3600	
Ejector force   stroke	max. kN   mm	100   250	
Dry cycle time EUROMAP 2	1 pump	min. s - mm	4,8 - 504
	2 pumps	min. s - mm	3,5 - 504
	Accum.	min. s - mm	2,1 - 504

Injection unit		1300			2100			3200			
with screw diameter	mm	55	60	70	60	70	80	70	80	90	
Effective screw length	LD	22	20	17	23	20	17,5	23	20	18	
Screw stroke	max. mm	240			280			320			
Calculated stroke volume	max. cm <sup>3</sup>	558	664	904	792	1078	1407	1232	1608	2036	
Shot weight	max. g PS	510	607	826	723	984	1286	1125	1469	1860	
Material throughput	max. kg/h PS	86	96	115	125	145	175	185	215	250	
	max. kg/h PA6.6	43	48	58	62	74	88	93	110	125	
Injection pressure	max. bar	2380	2000	1470	2500	2000	1530	2500	2000	1580	
Holding pressure	max. bar	2380	2000	1470	2500	2000	1530	2500	2000	1580	
Injection flow 2	1 pump	max. cm <sup>3</sup> /s	238	284	388	224	306	400	---		
	2 pumps	max. cm <sup>3</sup> /s	238	284	388	224	306	400	290	380	482
	Accum.	max. cm <sup>3</sup> /s	714	848	1156	1132	1540	2012	1188	1552	1964
Screw circumferential speed 2	1 pump	max. m/min	40	43	51	43	51	58	---		
	2 pumps	max. m/min	40	43	51	43	51	58	47	54	61
	Accum.	max. m/min	19	21	25	21	25	28	23	26	29
Screw torque	max. Nm	1510	1640	1920	2140	2500	2550	3140	3510	3510	
Nozzle contact force   retraction stroke	max. kN   mm	90   550			110   600			110   600			
Heating capacity   zones	kW	22,9   8			31,4   8			38,4   8			

Drive and connection		1 pump (servo)		2 pumps			Accum.			
with injection unit		1300	2100	1300	2100	3200	1300	2100	3200	
Net weight of machine	kg	17000	17700	17000	17700	19200	---			
Sound pres. level   Insecurity 4	dB(A)	< 65		73   3			< 70			
Oil filling	l	410		410	410	530	460	530	610	
Drive power 2	max. kW	45	55	45	55	55	37	37	45	
Electrical connection 3	kW	71	76	71	89	96	63	71	86	
	Total	A	---		---			---		
	Machine	A	100	125	125	125	125	100	100	125
Heating	A	35	50	35	50	63	35	50	63	
Cooling water connection	max. °C	30		30			30			
	min. Δp bar	1,5   DN 25		1,5   DN 25			1,5   DN 32			

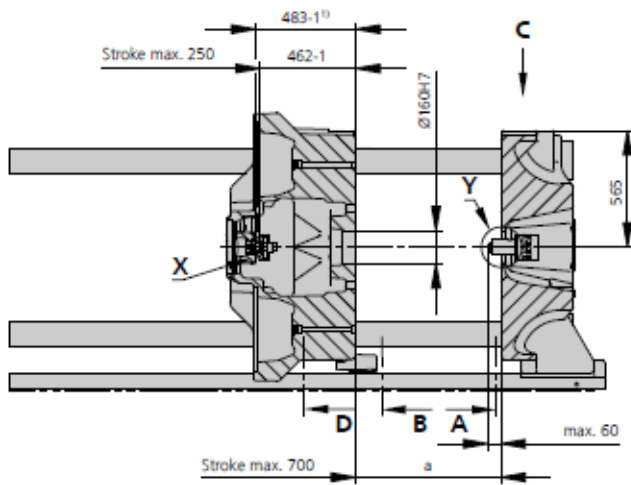
Machine type		Drive
720 S 3200-1300		1   2   -
720 S 3200-2100		1   2   Accum.
720 S 3200-3200		1   2   Accum.

Upon request: other machine types and mould installation heights, screws, drive powers etc.  
All specifications relate to the basic machine version. Deviations are possible depending on variants, process settings and material type. Depending on the drive, certain combinations, e.g. max. injection pressure and max. injection flow may be mutually exclusive.

- 1) Clamping force (kN) - size of injection unit = max. stroke volume (cm<sup>3</sup>) x max. injection pressure (bar)
  - 2) Specifications depend on the drive variant / drive configuration.
  - 3) Specifications relate to 400 V/50 Hz.
  - 4) Detailed info in the operating instr.
- [ ] Specifications apply to alternative equipment.



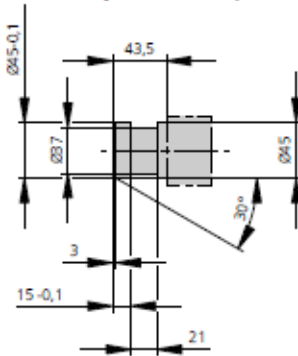
# MOULD INSTALLATION DIMENSIONS | 720 S



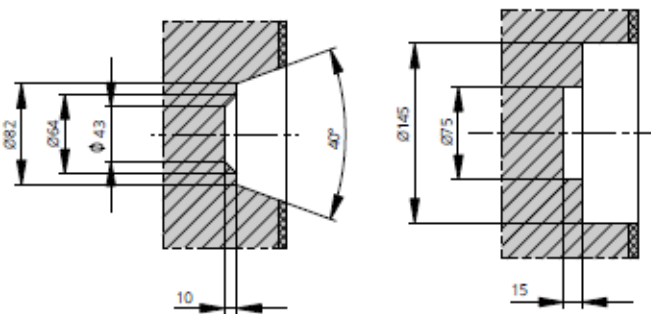
a max.	Mould installation height
Fixed	700
variable, manually	[400, 500, 600]
variable, automatically	[300-700]

[ ] Value in brackets: option

**Ejector bolt | X**

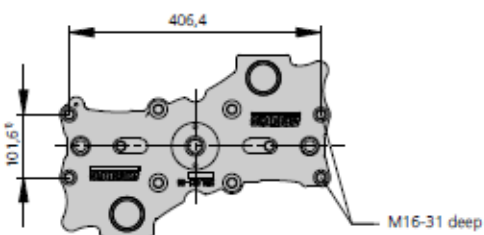


**Bore in mould (if required) | Y**

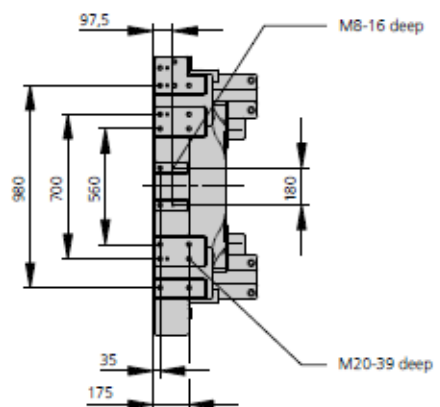


thermoset version - Injection units  
2100 and 3200 available upon request

**Ejector plate | D**



**Robotic system mounting | C**



1) Positions of ejector plate



## SHOT WEIGHTS | 720 S

### Theoretical shot weights for the most important injection moulding materials

Injection units according to EUROMAP		1300			2100			3200		
Screw diameter	mm	55	60	70	60	70	80	70	80	90
Polystyrene	max. g PS	510	607	826	723	984	1286	1125	1469	1860
Styrene heteropolymerizates	max. g SB	498	593	807	707	962	1256	1099	1436	1817
	max. g SAN, ABS <sup>1)</sup>	488	581	791	693	943	1231	1077	1407	1781
Cellulose acetate	max. g CA <sup>1)</sup>	574	683	930	814	1108	1447	1266	1654	2093
Celluloseacetobutyrate	max. g CAB <sup>1)</sup>	534	635	865	757	1030	1346	1177	1538	1946
Polymethyl methacrylate	max. g PMMA	527	627	854	747	1017	1329	1163	1518	1922
Polyphenylene ether, mod.	max. g PPE	473	563	767	671	914	1194	1044	1364	1726
Polycarbonate	max. g PC	536	638	868	760	1034	1351	1182	1544	1954
Polysulphone	max. g PSU	554	659	897	785	1069	1396	1222	1596	2019
Polyamides	max. g PA 6.6   PA 6 <sup>1)</sup>	507	603	821	719	978	1278	1118	1461	1848
	max. g PA 6.10   PA 11 <sup>1)</sup>	473	563	767	671	914	1194	1044	1364	1726
Polyoximethylene (Polyacetal)	max. g POM	630	749	1020	893	1215	1588	1389	1814	2296
Polyethylene terephthalate	max. g PET	607	723	984	861	1172	1531	1340	1750	2215
Polyethylene	max. g PE-LD	385	458	624	546	744	971	850	1110	1405
	max. g PE-HD	398	473	644	564	768	1003	877	1146	1450
Polypropylene	max. g PP	406	484	658	576	784	1025	897	1171	1482
Fluoropolymerides	max. g FEP, PFA, PCTFE <sup>1)</sup>	816	971	1322	1157	1575	2058	1800	2352	2976
	max. g ETFE	716	852	1160	1015	1382	1805	1579	2063	2611
Polyvinyl chloride	max. g PVC-U	616	734	998	874	1190	1554	1360	1776	2247
	max. g PVC-P <sup>1)</sup>	569	678	922	808	1099	1436	1256	1641	2076

1) average value

**ARBURG GmbH + Co KG**

Arthur-Hehl-Strasse

72290 Lossburg

Tel.: +49 7446 33-0

www.arburg.com

contact@arburg.com

52-49-25\_BH\_GB\_03/22 - Subject to alterations