

# Konstrukce vstřikovací formy pro výrobu části mazacího systému

Bc. Pavel Pospíšil

---

Diplomová práce  
2021

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2020/2021

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	<b>Bc. Pavel Pospíšil</b>
Osobní číslo:	<b>T19536</b>
Studijní program:	<b>N3909 Procesní inženýrství</b>
Studijní obor:	<b>Konstrukce technologických zařízení</b>
Forma studia:	<b>Prezenční</b>
Téma práce:	<b>Konstrukce vstřikovací formy pro výrobu části mazacího systému</b>

### **Zásady pro vypracování**

1. Vypracujte literární studii na dané téma.
2. Provedte konstrukci zadaného plastového dílu.
3. Navrhněte 3D sestavu vstřikovací formy pro výrobu zadaného dílu.
4. Nakreslete 2D výkresy sestavy a příslušných řezů.
5. Návrh ověřte pomocí analýz.

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

**Seznam doporučené literatury:**

KENNEDY, Peter a Rong ZHENG. *Flow analysis of injection molds*. 2nd ed. Cincinnati: Hanser Publishers, [2013], 1 online zdroj (xxviii, 349 p.). ISBN 9781569905227

OSSWALD, Tim A., Lih-Sheng TURNG a Paul J. GRAMANN. *Injection molding handbook*. 2nd ed. Munich: Carl Hanser Publishers, c2008, xvii, 764 s. ISBN 978-1-56990-420-6

CHEN, Shia-Chung a Lih-Sheng TURNG, ed. *Advanced injection molding technologies*. Munich: Hanser Publishers, [2019], xv, 426 s. Progress in polymer processing (PPP) series. ISBN 9781569906033.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Michal Staněk, Ph.D.**  
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **5. ledna 2021**  
Termín odevzdání diplomové práce: **14. května 2021**

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

L.S.

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

Ve Zlíně dne 1. dubna 2021

## PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

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**

Hlavním cílem diplomové práce je navržení designu vstřikovací formy pro zadaný vstřikovaný díl. Práce obsahuje dvě základní části, a to část teoretickou a část praktickou.

Teoretická část práce popisuje polymerní materiály používané při vstřikování, princip samotné technologie vstřikování polymerů a rozebírá konstrukci vstřikovacích strojů a forem. Na závěr této části je popsáno použití normálií a počítačových programů při návrhu forem.

Praktická část práce je zaměřena na samotný návrh vstřikovací formy pro zadaný vstřikovaný díl, používaný v mazacím systému automobilu. Tato část práce obsahuje vytvořený 3D model vstřikovaného dílu a návrh vstřikovací formy v programu CATIA V5R20. Konečný návrh vstřikovací formy je poté ověřen pomocí analýz v programu Autodesk Moldflow Synergy 2016.

Klíčová slova: polymerní materiály, vstřikování, vstřikovací forma, analýza vstřikování

## **ABSTRACT**

The main goal of this thesis is a design of an injection mold for a given injection molded part. This thesis contains two basic parts, the theoretical part and practical part.

The theoretical part describes the polymeric materials used in injection molding, the principle of injection molding and designing injection machine and molds. At the end of this section is described the use of standards components and software for design of injection molds.

The practical part of this thesis is focused on the design of the injection mold for molded part used in the lubrication system of a car. This part of the thesis contains created 3D model of the injected part and the design of the injection mold in program CATIA V5R20. The final design of the injection mold is then verified using analyzes in Autodesk Moldflow Synergy 2016.

Keywords: polymers, injection molding, injection mold, flow analysis

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Michalu Staňkovi, Ph.D. za vedení a ochotu při vypracování této práce. Rád bych také poděkoval svým blízkým za pomoc a podporu po celou dobu mého studia.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/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 TERMOPLASTY .....	12
1.2 TERMOPLASTY V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU .....	13
1.3 PŘÍPRAVA POLYMERU PŘED VSTŘIKOVÁNÍM .....	14
1.3.1 Granulace .....	14
1.3.2 Sušení .....	15
<b>2 VSTŘIKOVÁNÍ</b> .....	<b>16</b>
2.1 VSTŘIKOVACÍ PROCES .....	16
2.1.1 Plastikační fáze.....	17
2.1.2 Vstřikovací fáze .....	18
2.1.3 Dotlaková fáze .....	18
2.1.4 Ochlazovací fáze .....	18
2.2 PRŮBĚH TLAKU PŘI VSTŘIKOVÁNÍ .....	19
2.3 FONTÁNOVÝ TOK POLYMERU .....	20
2.4 VSTŘIKOVÁNÍ PLNĚNÝCH MATERIÁLŮ.....	20
<b>3 VSTŘIKOVACÍ STROJ</b> .....	<b>22</b>
3.1 VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKA .....	23
3.2 UZAVÍRACÍ JEDNOTKA.....	24
3.3 ŘÍDÍCÍ A KONTROLNÍ JEDNOTKA .....	24
<b>4 VSTŘIKOVACÍ FORMA</b> .....	<b>25</b>
4.1 VTOKOVÝ SYSTÉM .....	26
4.1.1 Studený vtokový systém .....	26
4.1.2 Vyhřívaný vtokový systém .....	29
4.2 TEMPERACE FORMY .....	30
4.3 VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	32
4.4 POSUVNÉ TVAROVÉ ČELISTI .....	32
4.5 ODVZDUŠNĚNÍ DUTIN FORMY .....	34
4.6 SDRUŽENÁ VSTŘIKOVACÍ FORMA .....	34
4.7 POUŽITÍ NORMÁLÍ PRO KONSTRUKCI VSTŘIKOVACÍCH FOREM .....	35
4.8 PODPORA POČÍTAČE PRO KONSTRUKCI VSTŘIKOVACÍCH FOREM.....	36
4.9 MATERIÁLY VSTŘIKOVACÍCH FOREM .....	37
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>39</b>
<b>5 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE</b> .....	<b>40</b>

<b>6</b>	<b>VSTŘIKOVANÝ DÍL</b> .....	<b>41</b>
<b>7</b>	<b>VOLBA MATERIÁLU VSTŘIKOVANÉHO DÍLU</b> .....	<b>43</b>
<b>8</b>	<b>VÝBĚR VSTŘIKOVACÍHO STROJE</b> .....	<b>44</b>
<b>9</b>	<b>NÁVRH VSTŘIKOVACÍ FORMY</b> .....	<b>45</b>
9.1	ZAFORMOVÁNÍ DÍLŮ.....	48
9.2	VTKOVÝ SYSTÉM .....	49
9.3	VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	50
9.4	STŘEDÍCÍ A VODÍCÍ SYSTÉM.....	51
9.5	TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	52
9.6	DALŠÍ KOMPONENTY VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	54
<b>10</b>	<b>NASTAVENÍ ANALÝZY MOLDFLOW</b> .....	<b>55</b>
10.1	VYTVORENÍ A ANALÝZA SÍTĚ .....	55
10.2	NASTAVENÍ PARAMETRŮ ANALÝZY.....	57
10.2.1	Podmínky pro chlazení.....	57
10.2.2	Podmínky pro vyhození .....	57
10.2.3	Podmínky pro plnění a dotlak .....	58
10.2.4	Rozšířené nastavení.....	58
10.2.5	Podmínky výpočtu smrštění.....	59
10.2.6	Nastavení parametrů temperačních okruhů.....	59
<b>11</b>	<b>VÝSLEDKY ANALÝZY MOLDFLOW</b> .....	<b>60</b>
11.1	ANALÝZY PLNĚNÍ A DOTLAKU.....	60
11.1.1	Čas plnění (Fill time) .....	60
11.1.2	Tlak ve vtokovém ústí (Pressure at injection location XY Plot).....	61
11.1.3	Uzavírací síla (Clamp force) .....	61
11.1.4	Rychlost smykové deformace (Shear rate, bulk) .....	62
11.1.5	Vzduchové kapsy (Air traps) .....	63
11.1.6	Studené spoje (Weld lines).....	64
11.1.7	Čas pro dosažení vyhazovací teploty (Time to reach ejecton temperature) .....	65
11.2	ANALÝZY TEMPERACE .....	65
11.2.1	Teplota v temperačním systému (Circuit coolant temperature).....	66
11.2.2	Tlak v temperačním systému (Circuit pressure) .....	66
11.2.3	Účinnost odvodu tepla temperačního systému (Circuit heat removal efficiency) .....	67
11.2.4	Průtok v temperačním okruhu (Circuit flow rate).....	68
11.2.5	Hodnota Reynoldsova čísla.....	68
11.3	ANALÝZY DEFORMACE.....	69
11.3.1	Celková deformace všech účinků (All effects deflection) .....	69
11.3.2	Analýza deformace vlivem chlazení (Differential cooling deflection).....	70
11.3.3	Analýza deformace vlivem smrštění materiálu (Differential shrinkage deflection) .....	70



<b>DISKUZE VÝSLEDKŮ .....</b>	<b>71</b>
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>72</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>73</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>77</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>78</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>80</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>81</b>

## ÚVOD

Polymerní materiály a jejich zpracování zaujímají v dnešní době obrovský rozvoj, používají se takřka ve všech průmyslových odvětvích. Polymery byly objeveny už v pravěku ve formě přírodního kaučuku. Během první poloviny 20. století začal růst nových materiálů jako je PVC, PS nebo PA6 a s nimi i vývoj technologií pro jejich zpracování. Nejrozšířenějším způsobem zpracování plastů je vstřikování, které se rozvinulo v padesátých letech minulého století, kdy došlo k patentu šnekové vstřikovací jednotky, představení prvního elektroerozivního stroje pro výrobu tvarových dílů a začalo používání normalizovaných součástí při výrobě vstřikovacích forem. V sedmdesátých letech 20. století byly poprvé zavedeny mikroprocesorové řídicí systémy a první nasazení robotů do automatizovaného procesu vstřikování.

Jednou z hlavních příčin vyrábění dílů z polymerních materiálů je oproti výrobkům z oceli, dřeva či skla, jejich nízká hmotnost, při zachování dobré mechanické pevnosti, ale i fyzikální a chemické odolnosti. Díky těmto vlastnostem jsou polymerní materiály více využívány v mnoha odvětvích průmyslu, především v průmyslu automobilovém.

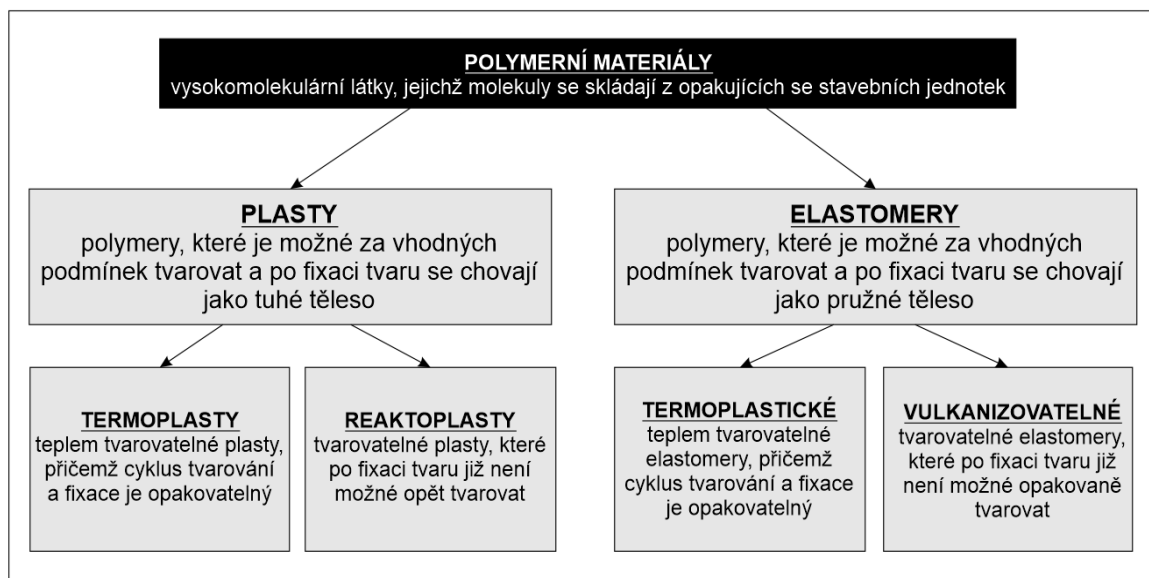
Vstřikování jako proces vyrábění součástí z polymerních materiálů je poměrně složitá a finančně nákladná metoda. Počáteční náklady na koupi potřebného vstřikovacího stroje a výroby vstřikovací formy jsou vysoké, naopak samotná výroba při velkých sériích výstřiků je velmi rychlá a levná.

Pro odladění vstřikovacího procesu a eliminaci chyb při výrobě vstřikovací formy se v dnešní době používají CAD a CAE systémy. Tyto systémy spolu s použitím normalizovaných součástí od specializovaných výrobců usnadňují návrh a výrobu dosti nákladných vstřikovacích forem.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 POLYMERNÍ MATERIÁLY

Polymery jsou látky složené z mnoha opakujících se chemických jednotek spojených kovalentními vazbami. Většinu polymerů tvoří uhlík, vodík, kyslík, dusík a další chemické prvky. Polymerní materiály se rozdělují do dvou kategorií [1]:



Obrázek 1: Základní dělení polymerních materiálů [1]

Polymery určené pro vstřikování obsahují základní polymer a určitá aditiva. Základní polymer se vyrábí polyreakcí, při níž se mění monomerní jednotky na makromolekulární látky, polymery. Takto vzniklé polymery nemají vhodné vlastnosti, a proto se upravují přísadami, čímž získají příslušné vlastnosti. Nejčastější přísady jsou stabilizátory, změkčovadla, lubrikanty, polymerní modifikátory, barviva, pigmenty a další. [1]

### 1.1 Termoplasty

Termoplasty jsou polymerní materiály, které se při zahřátí přemění do plastického stavu, ve kterém se dají tvářet nebo zpracovávat různými technologiemi. Aby přešly zpět do tuhého stavu, jsou následně ochlazovány pod teplotu  $T_f$  (amorfnní termoplasty) nebo  $T_m$  (částečně krystalické termoplasty). Oproti reaktoplastům nedochází ke změnám v chemické struktuře, a proto je možné tyto materiály využívat opakovaně. [1]

- *Termoplasty amorfnní* – při ochlazování a tuhnutí taveniny nelze vytvořit krystalickou strukturu, struktura je neuspořádaná, díky které mají relativně malé smrštění, teplota vyhození z formy je pod teplotou zesklenní  $T_g$ , nad teplotou  $T_g$  nastává trvalá deformace. [1]

- *Termoplasty částečně krystalické* – při ochlazování a tuhnutí taveniny lze získat krystalickou strukturu, která je částečně uspořádaná. Mezi krystalickou fází je fáze amorfní, přičemž její obsah u termoplastu zlepšuje ohebnost, houževnatost a krystalická fáze tuhost, pevnost. Větší obsah uspořádané krystalické fáze má za následek i větší smrštění. Z hlediska vlastností jsou výhodnější pro použití než plasty amorfní, teplota zpracování je nad teplotou tání  $T_m$ , teplota vyhození z formy je pod  $T_m$  a nad  $T_g$ . [1]

## 1.2 Termoplasty v automobilovém průmyslu

V současné době je automobilový průmysl vystaven přísnějším ekologickým omezením (emise, recyklovatelnost atd.) a požadavkům na bezpečnost, proto je aplikace plastů v konstrukci automobilů ekonomicky nejefektivnější. Podíl je závislý na typu automobilu, jeho velikosti a technické úrovni. Pro výrobu střední třídy automobilů se použije cca 130 až 150 kg termoplastů. Vlivem specifických vlastností plastů, jejich nízké hmotnosti při vysokých užitných vlastnostech, vede k dalšímu rozvoji v materiálové a technologické oblasti výroby automobilů. [1]

Při výběru materiálu je důležité si uvědomit, že materiál ovlivňuje nejen design a zpracování, ale také významně odolnost a cenu součásti. Pokud jde o výběr správného materiálu je vyžadována optimální rovnováha všech vlastností. Například, jestliže se plasty používají v oblastech s vysokým výskytem chemikálií, musí materiál vykazovat dobrou korozní a chemickou odolnost, při zachování dobré pevnosti a tažnosti. [2]

Tabulka 1: Příklady použití termoplastů v automobilovém průmyslu [3]

Převládající prostředí	Druh součásti	Termoplast
<b>Olej</b>	Kryty ventilů	PA 6
	Díly pro dodávku oleje	PA 6
	Olejový filtr a kryt filtru	PA 66
<b>Palivo</b>	Palivová nádrž	PE
	Palivové čerpadlo	PBT
	Díly pro dodávku paliva	PA 6, PBT
	Spojka palivového vedení	PPS
	Víko palivové nádrže	POM
<b>Voda</b>	Nádrž na vodu	PE
	Díly pro dodávku vody	PA 6, PPA
	Kryt termostatu	PA 6
	Chladicí systém	PPO
<b>Vzduch</b>	Ventilační systémy	PP, ABS, PA 6
	Díly pro dodávku vzduchu	ABS, PA 6, PBT
	Potrubí sání vzduchu	PA 66
	Ventilátory	PA 6
	Vzduchové filtry	PBT

Lepší vlastnosti výrobků v automobilovém průmyslu zajišťují plněné materiály. Samotné termoplasty svými vlastnostmi nevyhovují náročnějším aplikacím při konstrukci automobilových dílů, proto je ekonomicky nejpříjemnější cesta jejich modifikace. Tím se rozumí smíchání s vhodnými aditivami, které mění požadovaný směr jejich vlastností. Podstatnou roli hraje hmotnost používaných materiálů a snaha o co nejnižší cenu, proto se nejvíce používají modifikace polypropylénu a plněných materiálů uhlíkovými nebo skleněnými vlákny. S rozvojem hybridních a plně elektrických automobilů roste důležitost aplikace plněných materiálů uhlíkovými a skleněnými vlákny, a to z důvodu zvýšení hmotnosti aut, která se po instalaci baterie zvýší o cca 250 až 350 kg, v případě hybridních elektromobilů s elektrickým pohonem o cca 200 kg. Emisní a další požadavky tyto materiály již splňují a jejich vývoj nadále roste. [1]

### 1.3 Příprava polymeru před vstřikováním

#### 1.3.1 Granulace

Konečným stupněm přípravy polymeru je granulace. Při granulaci získává materiál tvar granulí, vhodný k dalšímu zpracování. Tvar granulí je nejčastěji váleček, čoučka nebo kulička. Vhodnost granulátu je určena dobrou sypanou hmotností. Granuláty s dobrou sypanou hmotností lze dobře míchat s barvivy, a také se lépe dávkuje. Do granulí se může přidávat i recyklát získaný mletím nebo drcením technologického odpadu, ale musí se počítat se sníženými mechanickými vlastnostmi. Jako technologické odpady se využívají vtokové systémy, vadné výrobky nebo odštířky vzniklé při samotné výrobě výstřiku. V případě smíchání granulí a recyklátu se granule nazývají regenerát. Použití regenerátu je omezeno a závisí na potřebných vlastnostech výrobku. U více namáhaných součástí by se regenerát používat neměl. [3]



Obrázek 2: Příklady tvaru granulí termoplastů [3]

### 1.3.2 Sušení

Některé plasty jsou náchylné na vlhkost, kterou absorbují z atmosféry. Takové plasty se nazývají hydrofilní. Plasty, které vlhkost neabsorbují, jsou hydrofobní. Nejvíce hydrofilní jsou technické materiály, ve kterých se z důvodu vlhkosti mohou vyskytovat nežádoucí účinky. Běžnými problémy jsou snížení kvality povrchu a ztráta mechanických vlastností výrobku. Obsah vody ve výstřicích také mění jejich hmotnost a objem, čímž je nepříznivě ovlivňována jejich rozměrová a tvarová přesnost. Materiál s vyšším obsahem vody, než je dovolené, má větší tekutost, což může vést k přetokům v dělicích rovinách vstřikovací formy. Každý plast má maximální povolený obsah vlhkosti před zpracováním, které udává tabulka 2. Vlhkost v polymeru musí být nižší, než je uvedená hodnota. Udávané hodnoty povoleného obsahu vlhkosti jsou pro plasty neplněné, ale většina anorganických plniv navlhavost snižují. [1,5,6,7]

Tabulka 2: Podmínky sušení vybraných termoplastů a povolený obsah vlhkosti [5]

Termoplast	Maximální teplota sušení [°C]	Maximální povolený obsah vlhkosti [%]	Čas sušení [hod.]
PA	80	<0,15	4
PBT	120	<0,02	3
POM	100	<0,15	3
PAEK	200	<0,05	4
ABS	80	<0,20	3
ASA	110	<0,10	3

Na navlhání plastů může mít vliv několik faktorů, například druh a kvalita obalu, ve kterém je polymer uskladněný, doba skladování nebo podmínky v kterých byl materiál přepravován. Zde je také nutné dát pozor na teplotní změny při přemístění granulátu z relativně „chladného“ skladu do „teplé“ dílny. Při přemístění dochází k vysrážení vlhkosti na povrch granulátu – vznik povrchové vlhkosti, kterou je také nutné před zpracováním odstranit. Tento jev je závislý i na tvaru a velikosti granulí, materiály v práškové podobě navlhají rychleji než granulát ve tvaru čoček nebo válečků. [5,8]

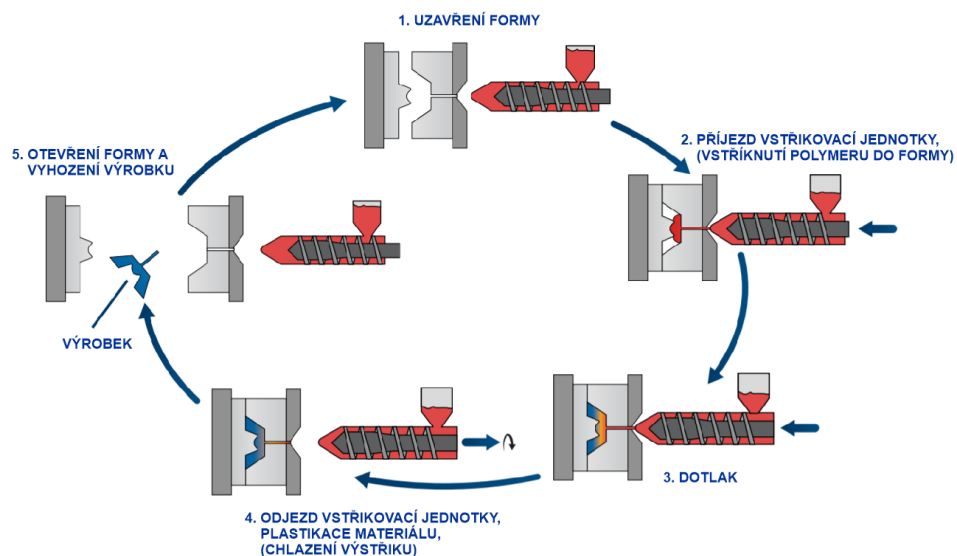
Sušení je technologický proces, který snižuje obsah absorbované vlhkosti v granulátu. Může probíhat v samostatných sušicích zařízeních, nebo v plastikačních jednotkách strojů, které jsou vybaveny odplyněním. V dnešní době je na trhu k dispozici řada různých typů sušáren, vybavených schopností dodávat vysušený materiál přímo do násypky vstřikovacího stroje, tak aby se zabránilo dalšímu navlhání při přepravě materiálu. [6,9]

## 2 VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování je jeden z nejběžnějších procesů při výrobě plastových součástí. Jeho rozvoj byl způsoben vývojem nových materiálů, které jsou zejména použity v automobilovém, elektronickém a obalovém průmyslu. Je to tedy cyklický proces rychlého plnění, následného chlazení a vyhození vyrobené součásti z formy. Základem vstřikování je vstřikovací stroj a vstřikovací forma, jejíž dutina má tvar finálního výrobku. Jako vstupní surovinu lze použít různé druhy plastových materiálů, avšak vstřikovací stroj musí být nakonfigurován pro vybraný typ materiálu. Materiál, většinou v podobě granulí, je roztaven ve vstřikovací jednotce a následně pod vysokým tlakem vstříknut do uzavřené formy. Hlavní výhodou je krátká doba cyklu, což vede k velice úspornému způsobu sériové výroby, ve které je možné vyrábět i tvarově složité součásti. Navržené díly s přísnou tolerancí mohou být vyrobeny v jednom kroku a obecně není nutnost dalšího opracování výrobků. [5,9]

### 2.1 Vstřikovací proces

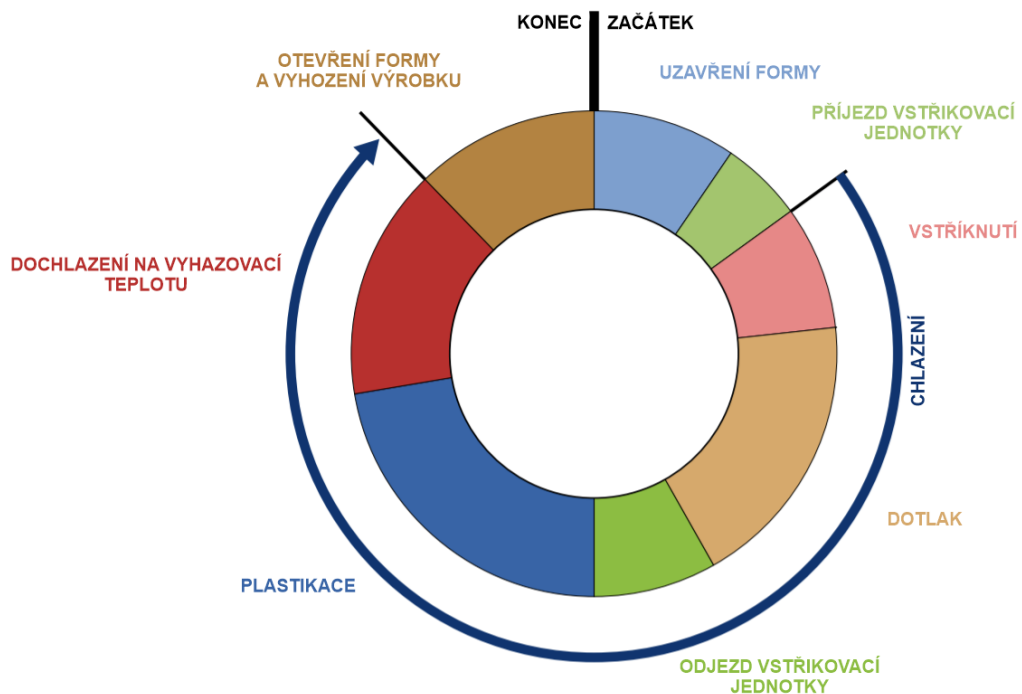
Vstřikovací cyklus začíná uzavřením formy, tak aby se vytvořila dutina konečného výrobku. Ve druhém kroku dochází k plnění formy, kdy se pohybem šneku vpřed natlačí roztavený plast pod vysokým tlakem do dutiny formy. Po naplnění formy dochází k dotlakové fázi, během které se do dutiny formy dotlačuje další dávka roztaveného plastu. Cílem dotlaku je kompenzovat smrštění výrobku ve formě během chlazení. Jakmile ztuhne vtokový systém, skončí fáze dotlaku a začne samotné chlazení výrobku. Během chlazení se ve vstřikovací jednotce připravuje nová dávka materiálu pro další cyklus. Jakmile je výrobek ochlazen na vyhazovací teplotu, forma se otevře a vyrobený díl je vyhozen ze vstřikovací formy. [4,5]



Obrázek 3: Schéma vstřikovacího procesu [11]



Na obrázku níže je znázorněn vstřikovací cyklus, ve kterém jsou zobrazeny všechny akce provedené během jednoho vstřikovacího cyklu. Nejdelší částí je chlazení výstřiku v dutině formy, které má velký vliv na celkový čas vstřikovacího cyklu. [12]



Obrázek 4: Vstřikovací cyklus [11]

Čas uzavření formy a vyhození výstřiku trvá obvykle ve zlomku sekundy až po dobu několika sekund, v závislosti na velikosti vstřikovací formy a vstřikovacího stroje. Čas chlazení však ve většině případů zůstává převládající, a proto poskytuje přibližný údaj o celkovém času vstřikovacího cyklu. [12]

### 2.1.1 Plastikační fáze

Pro optimální plnění dutiny formy polymerní taveninou je základním předpokladem zajištění teplotní a viskozitní homogenity v dávce taveniny před čelem šneku. K tomu je zapotřebí správné nastavení teplot na topných pásmech plastikačního válce, zpětný odpor na šneku a obvodová rychlost šneku, tedy otáčky šneku. Případná teplotní a tím i viskozitní nehomogenita taveniny se negativně projeví na kvalitě povrchu výrobku – tokové čáry, lesk, studené spoje nebo rozložení orientace makromolekul a plniva. Teplota taveniny má největší vliv na orientaci makromolekul ve výstřiku. S růstem teploty taveniny se výstřik z hlediska vlastností stává více izotropní, zároveň ve směru toku taveniny klesají mechanické vlastnosti (pevnost v tahu, houževnatost), naopak se zvyšuje pevnost studených spojů a snižuje vnitřní pnutí. [1]

### 2.1.2 Vstřikovací fáze

Hlavním úkolem je naplnění tvarové dutiny formy taveninou, již připravenou v plastikační fázi tak, aby rychlost čela proudu taveniny byla v každém místě průřezu tvarové dutiny stejná. Rychlost vstřikování, tedy doba plnění tvarové dutiny, má vliv zejména na povrchové vady výstřiku – tokové čáry, vrásnění, stopy po studených spojích atd. Rychlost plnění, teplotu taveniny a teplotu formy je nutné optimalizovat tak, aby na povrchu výstřiku nevznikala příliš vysoká smyková napětí. Pro polymery s částicovým plnivem je nejvhodnější kombinace vyšší teplota taveniny a nižší vstřikovací rychlost, naopak u polymerů s vláknitými plnivem je výhodnější vyšší rychlost vstřikování. Při velmi nízké vstřikovací rychlosti se čelo taveniny rychle ochlazuje, což podporuje růst orientace a tím anizotropii vlastností v různých místech výstřiku. S klesající rychlostí plnění se ve směru toku taveniny zvyšuje houževnatost a pevnost, ale klesá povrchový lesk a snižuje se pevnost studených spojů. Přepnutí vstřikovacího tlaku na dotlak musí být provedeno tak, aby nebyla ovlivněna plynulost tlakové odezvy v průběhu plnění. Po přepnutí tedy nesmí být na tlakové křivce propad tlaku ani jeho výrazné zvýšení. Tlaková křivka musí plynule stoupat na maximum a po dosažení plynule přejít na dotlakový průběh. Předčasné přepnutí, tedy propad tlaku, má za následek plnění tvarové dutiny formy dotlakem (jinou rychlostí než požadovanou), pozdní přepnutí je příčinou zvýšení anizotropie vlastností, a při zvýšení vnitřního pnutí může dojít k přetokům v dělicí rovině. [1]

### 2.1.3 Dotlaková fáze

Po zaplnění celého objemu tvarové dutiny následuje stlačování taveniny, kdy se tlak prudce zvýší a náhle klesne rychlost. Průběh dotlaku a doba působení, musí být zvolena tak, aby bylo dosaženo požadovaných tvarů, rozměrů a hmotností výstřiku. Dotlaková fáze se využívá pro korekci smrštění, a tedy dosažení správných rozměrů, případně deformací, k odstranění propadlin, trhlin, bublin, včetně dokonalejšího vykopírování povrchu tvarové dutiny formy. [1,30]

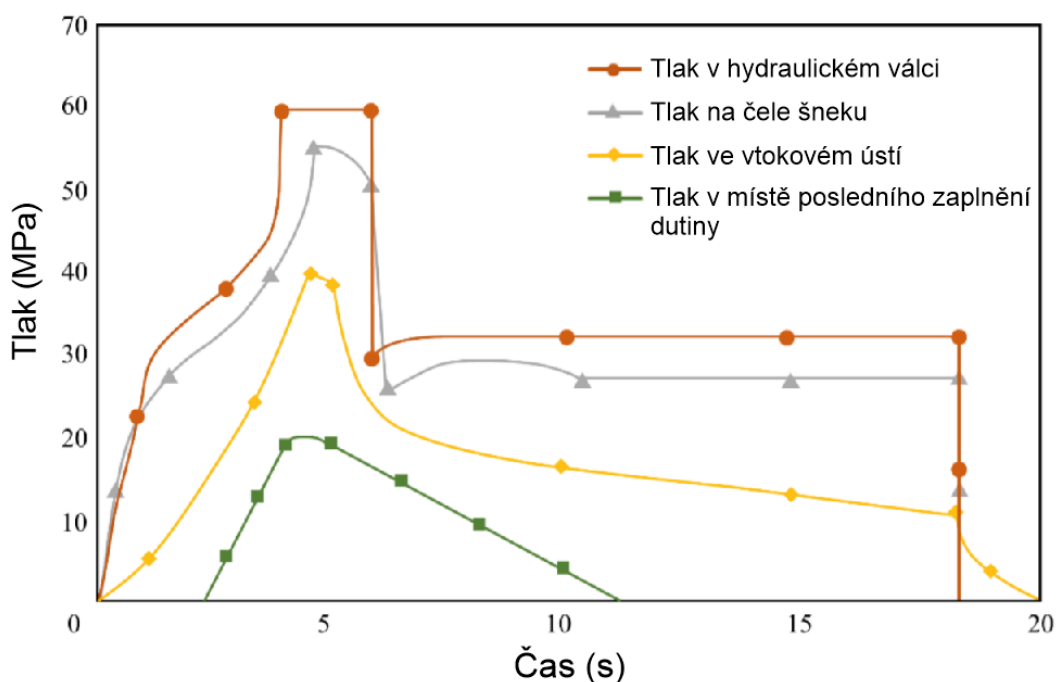
### 2.1.4 Ochlazovací fáze

Ochlazování výstřiku v dutině formy začíná již v okamžiku začátku plnění dutiny taveninou a trvá až do vyhození výstřiku z formy, tedy přes dotlakovou fázi a fázi chlazení po zamrznutí vtokového ústí. Parametry ochlazování jsou teplota formy a doba ochlazování. Minimální doba chlazení musí zaručit dostatečnou tuhost výstřiku, aby byl vyhozen bez deformací nebo vad způsobených vyhazovacím systémem. Platí, že čím je ochlazování

pomalejší tzn. vyšší teplota formy a delší doba ochlazování, tím větší je u částečně krystalických plastů obsah krystalického podílu, a proto je při takové kombinaci ochlazovací fáze i větší smrštění výstřiku. Teplota formy, tedy její zvýšení, má také pozitivní vliv na celkovou kvalitu povrchu výstřiku. Z hlediska požadavků jako je rovnoměrná vnitřní struktura výstřiků, minimalizace vnitřního pnutí a maximalizace izotropie, by doba ochlazování měla být co nejdelší. Samozřejmě z hlediska ekonomického co nejkratší. Vždy je nutné volit kompromis, který vychází z požadavků na kvalitativní parametry výstřiků a cenových požadavků zákazníka. [1]

## 2.2 Průběh tlaku při vstřikování

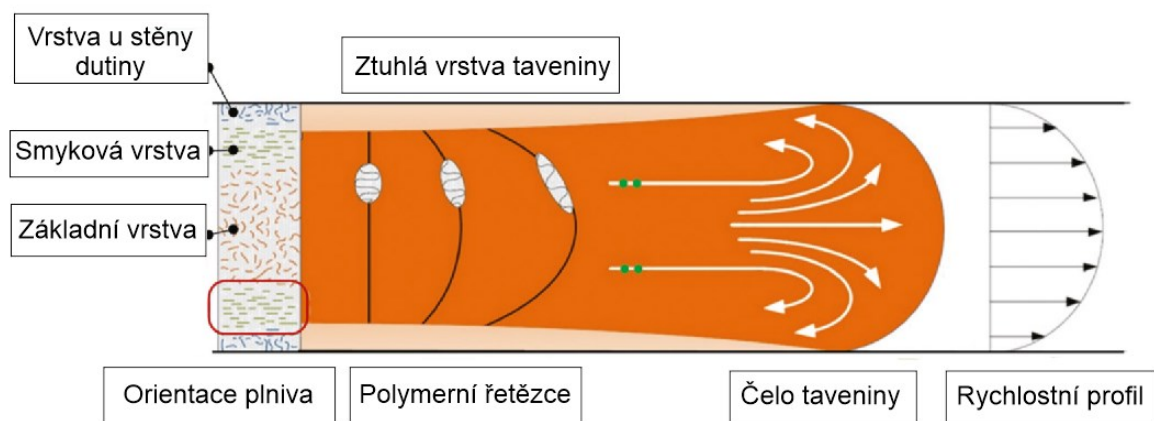
Časový průběh tlaku je při vstřikování termoplastů důležitý, jak pro seřízení vstřikovacího procesu, tak i pro jeho optimalizaci. Průběh tlaku během vstřikovacího cyklu na různých místech je zobrazen na obrázku 5. Mezi hydraulickým válcem a tlakem ve vstřikovací jednotce dochází ke zpoždění tlaku, toto zpoždění je žádoucí a závisí na nastavení ventilů v hydraulickém válci. Tlakový profil v hydraulickém válci je podobný tlakovému profilu na čele šneku. Rozdíly vyplývají z rozdílu tření mezi šnekem, materiálem a válcem a mezi hydraulickým válcem a pístem. Tlakové ztráty jsou okolo 3 – 10 % a platí: čím vyšší tlak, tím menší ztráty. Tlak na čele šneku je tlak, který tlačí taveninu do uzavřené formy. Tato hodnota je často predikována pomocí simulačních programů (CAE). [8,13]



Obrázek 5: Průběh vstřikovacího tlaku na různých místech [13]

### 2.3 Fontánový tok polymeru

Plnění dutiny formy je nejdůležitějším aspektem celého cyklu a ovlivňuje konečné vlastnosti výrobku. Plnění je krátká část cyklu, která trvá jen v řádech sekund a je ovlivňována tlakem ve formě, rychlostí vstřikování, rychlostí taveniny, teplotou formy a reologickými vlastnostmi vstřikovaného materiálu. Tok polymerních tavenin je odlišný od toku nízkomolekulárních kapalin, jejichž chování je tzv. newtonské. Tok polymerních tavenin je neneutonský, pseudoplastický a k jeho popisu se používá tzv. mocninový zákon. Experimentálně se tokové vlastnosti konkrétního polymeru vyjadřují pomocí tokových křivek. Při vstřikování je teplota stěny tokového kanálu menší než teplota  $T_m$ , resp.  $T_f$ , jakmile se tavenina dotkne dutiny formy, začne se ochlazovat a tuhnout, což způsobuje odpor proti dalšímu toku. Pod touto tuhnoucí vrstvou směrem ke středu kanálu tavenina nadále teče, tak že na povrchu tuhnoucí vrstvy není nulová rychlost toku taveniny. Tento tok se nazývá fontánový a je nejvhodnější pro plnění tvarových dutin forem. [1,8,14]



Obrázek 6: Fontánový tok polymeru [14]

### 2.4 Vstřikování plněných materiálů

Plněné materiály jsou dnes široce využívány v průmyslové výrobě a jejich vstřikování je jednou ze současných metod zpracování. Kvalita a mechanické vlastnosti plněných materiálů závisí na typu termoplastické matrice a vlákna, ale také na délce vláken a jejich orientaci. Orientace a délka vláken jsou ovlivněny metodou zpracování a procesními parametry. Jedním z největších problémů při vstřikování plněných materiálů je minimalizace degradace vyztužujících vláken. Na degradaci vláken má největší vliv příprava taveniny v plastikačním válci a doprava dávky taveniny do dutiny formy. [1]

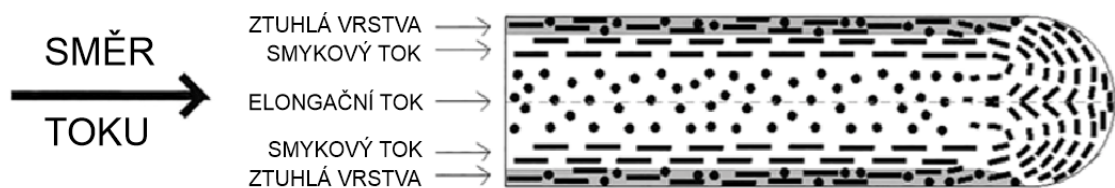
Při přípravě plněného materiálu před vstřikováním je nutné dobře smíchat polymerní matici a plnivo. V dnešní době existují technologie, které dávkují nekonečná skleněná vlákna ve

formě pramenců přímo do plastikační komory, kde se sekají na konečnou délku a smíchají s polymerní matricí. [9]



Obrázek 7: Zařízení pro dávkování vláken do plastikační komory [9]

Mikrostruktura v řezu výstřiku je nehomogenní a vykazuje třívrstvou strukturu. Ve vrstvách, které se dotýkají stěn vstřikovací formy, nebo v jejich blízkosti převažuje orientace vláken ve směru rovnoběžném se směrem toku taveniny. Ve střední vrstvě jsou vlákna převážně orientována kolmo na směr toku taveniny. Toto rozvrstvení je důsledkem rozdílných rychlostí toku taveniny, kdy ve střední vrstvě není tavenina brzděna smykovými silami jako u stěn formy a teče rychleji než ve vrstvách u stěn dutiny formy. [1]



Obrázek 8: Orientace plniva při vstřikování [16]

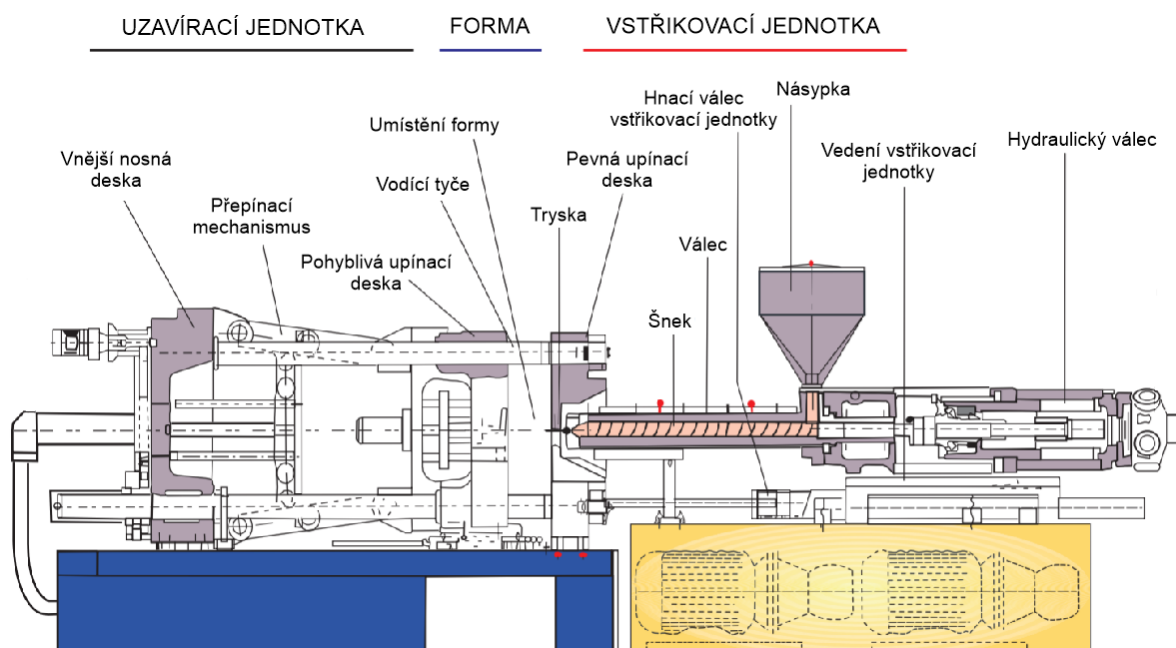
Plněné materiály mají díky netavitelnému podílu anorganického materiálu v plastickém stavu větší vnitřní tření taveniny než neplněné plasty. Ke vstřikování plněných materiálů jsou nezbytné vyšší teploty, nejméně o 10° C. Taktéž tlaky, teplota formy a rychlost vstřikování jsou doporučovány vyšší, protože taveniny plněných materiálů rychleji tuhnou. Nedoporučuje se vyrábět díly s tloušťkou menší než 2 mm, z důvodu horších tokových vlastností. [15]

### 3 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Vstřikovací stroj je stroj, který cyklicky vyrábí výrobky různých tvarů, většinou z makromolekulárních materiálů. Vstřikovací stroje bývají plně automatické a jejich hodnota je značně vysoká. Z návrhu zaformování výstřiku lze zjistit velikost vstřikovací formy, tedy její rozměry, a spolu se znalostí objemu nebo hmotnosti výstřiku, je možné určit potřebnou velikost vstřikovacího stroje. Hlavními vlastnostmi je jeho uzavírací síla, vzdálenost mezi vodícími sloupy, u bezsloupových strojů maximální velikost upínacích desek pro umístění formy, včetně stavební výšky formy a musí mít také správnou kapacitu vstřikovací jednotky. V technické dokumentaci stroje jsou uvedeny i rozteče a velikost upínacích otvorů, včetně průměrů středících kroužků a poloměrů vstřikovací trysky, plastikační a vstřikovací jednotky vstřikovacího stroje. [1,31]

Hlavní části vstřikovacího stroje:

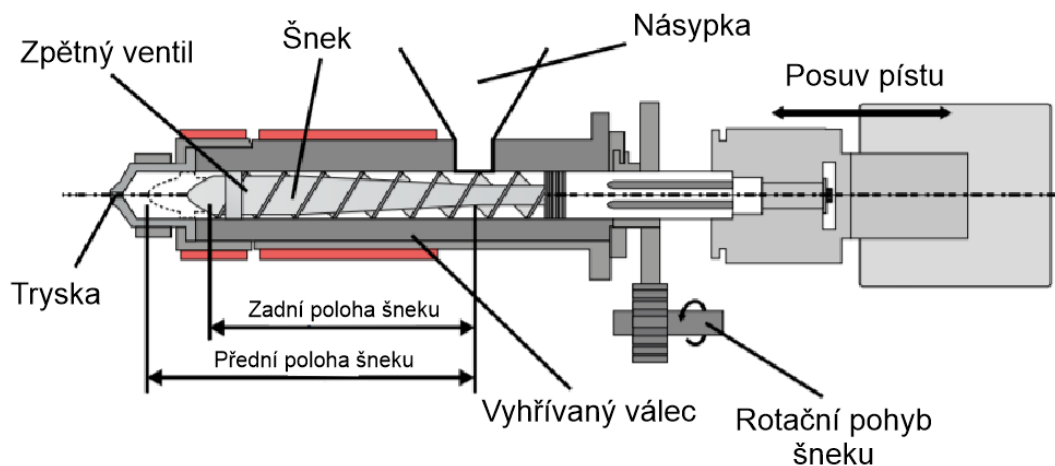
- Vstřikovací jednotka
- Vstřikovací forma
- Uzavírací jednotka
- Řídící a kontrolní jednotka [10]



Obrázek 9: Schéma vstřikovacího stroje [16]

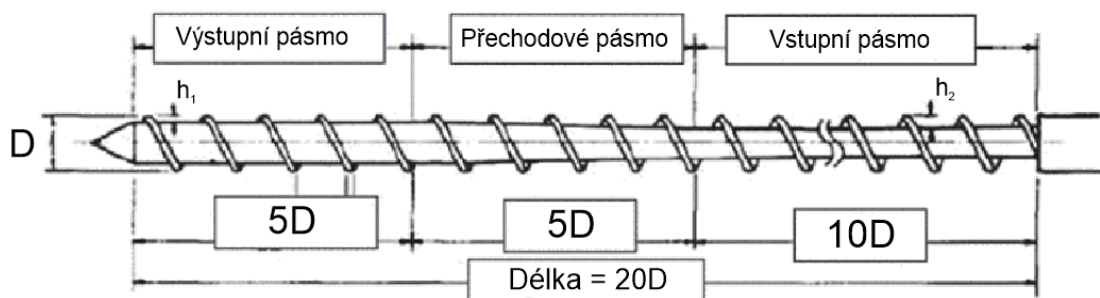
### 3.1 Vstřikovací jednotka

Vstřikovací jednotka má dva hlavní úkoly. Prvním úkolem je převedení granulátu na taveninu za pomoci tepla ze samostatně regulovaných topných pásů a frikčním teplem, které vzniká třením granulátu mezi šnekem a vnitřním povrchem válce. Druhým úkolem je uložení připraveného materiálu před čelo šneku, tak aby mohl být pod tlakem vstřikován do formy. Mezi hlavní části vstřikovací jednotky patří vyhříváný pracovní válec, šnek, vstřikovací tryska a násypka na polymerní granulát. V praxi se nejčastěji používají vstřikovací jednotky se šnekem, který se otáčí kolem své osy a pohybuje se dopředu a dozadu. Při samotném vstřikování a dotlaku se rotační pohyb šneku zastaví a šnek se začne chovat jako píst. Pohybem šneku dopředu se připravený materiál natlačí do vstřikovací formy. [11]



Obrázek 10: Schéma vstřikovací jednotky [11]

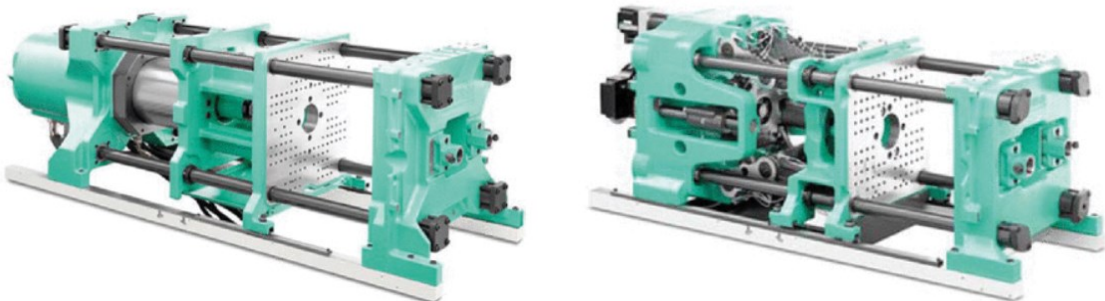
Vstřikovací jednotka je standardně osazena univerzálním šnekem se třemi pásmy (vstupní, přechodové a výstupní) s poměrem délka / průměr 18:1 až 22:1. Teplotní profil standardních šneků se nastavuje tak, že u trysky je teplota nejvyšší a směrem k násypce klesá. Vždy by mělo platit, že granulát, respektive tavenina by do kompresní zóny měla vstupovat ohřátá nad teplotu tání. Šneky s míchacími elementy, odvzdušňovací nebo vybavenými jinými elementy nejsou pro zpracování plněných materiálů doporučovány. [1]



Obrázek 11: Pásma šneku s rozměry pro vstřikování plněných materiálů [6]

### 3.2 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka ovládá formu a zajišťuje dokonalé uzavření, otevření a případné vyhození výrobků. Podobně jako vstřikovací jednotka je tvořena několika součástmi a mechanismy. Základními částmi jsou vodící tyče, pevná a pohyblivá upínací deska stroje s potřebným upínacím systémem a mechanismem, který je zdrojem uzavírací síly. Uzavírací síla je vyvozena buď mechanicky, hydraulicky nebo kombinací obou systémů. Jednotka může být u hydraulicky poháněných strojů hydraulicko-mechanická nebo plně hydraulická, u strojů s elektrickým pohonem elektricko-mechanická. Na trhu jsou i stroje s kombinací těchto pohonů tzv. hybridní stroje. [1]



Obrázek 12: Typy uzavíracích jednotek vstřikovacího stroje – vlevo hydraulická, vpravo elektricko-mechanická uzavírací jednotka [11]

Rychlost uzavírací jednotky může mít vliv na celkovou účinnost výroby. Větší rychlosti pohybu dosahují elektrické jednotky, proto mohou být používány pro rychlejší a objemnější produkci. Nicméně, volba mezi hydraulickými nebo elektrickými pohony se často provádí z řady dalších důvodů, jako je energetická účinnost nebo ekonomická politika. [17]

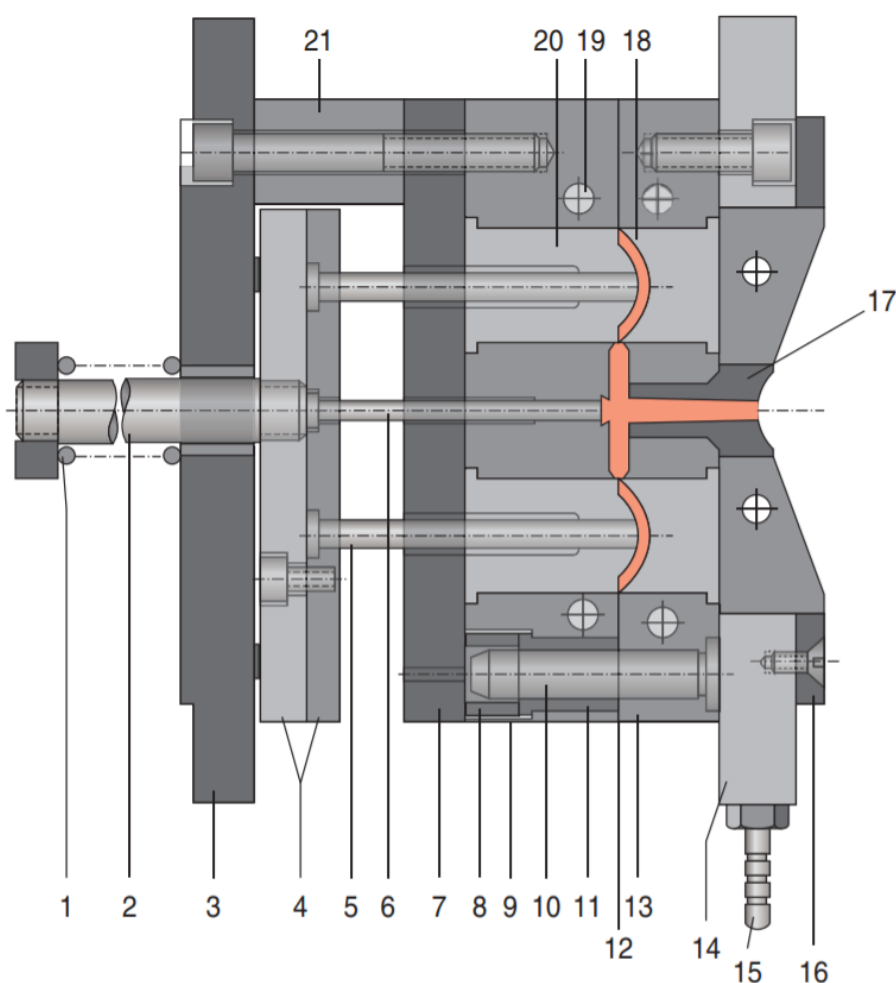
### 3.3 Řídící a kontrolní jednotka

Podmínky vstřikování se do stroje zadávají prostřednictvím řídicí jednotky, která nastavuje různé činnosti vstřikovacího stroje. Podle typu zpracovávaného materiálu jsou nastavovány parametry, jako je teplota, rychlost vstřikování, tlak, uzavírací síla formy atd. Ovládání řídicí jednotky je zajištěno pomocí dotykového displeje nebo tlačítkové klávesnice. U dnešních moderních strojů jsou všechna data týkající se výroby zaznamenána a ukládána. Hlavním úkolem kontrolní jednotky je sledování výrobního procesu a zajišťování správné kvality konečných produktů. Stroje jsou také opatřeny signalizačním zařízením, informujícím o probíhajících úkonech. [11]



## 4 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Vstřikovací forma je nástroj upevněný ve vstřikovacím stroji, který se používá pro výrobu předmětů z polymerních materiálů. Zajišťuje dopravu roztaveného polymeru do dutiny a určuje výsledný tvar výrobku, který zachovává až do ztuhnutí taveniny. Skládá se z mnoha součástí, které lze rozdělit na tvářecí části, vtokový systém, temperační systém, vyhazovací systém, vodící a upínací elementy. Některé firmy se specializují výhradně na výrobu normalizovaných součástí (např. vyhazovače, vodící čepy, středící kroužky, vtokové vložky atd.), které vedou ke zkrácení času potřebného k výrobě formy. [11,15]



Obrázek 13: Řez vstřikovací formou [16]

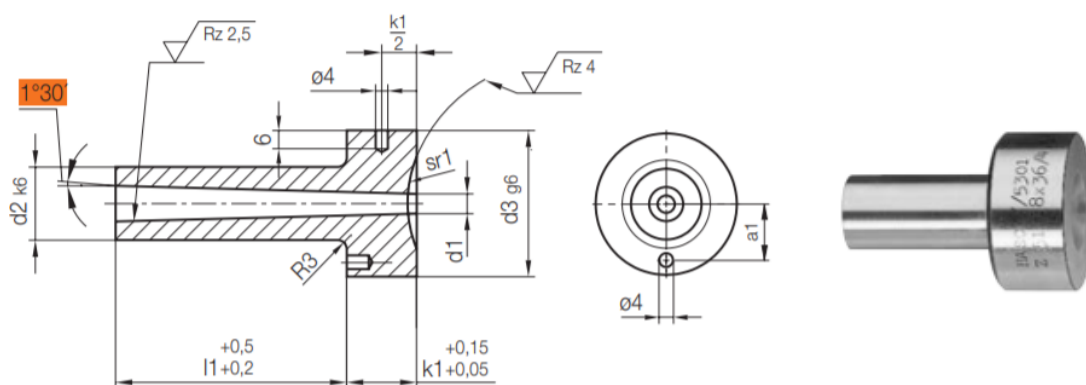
- 1 – pružina, 2 – táhlo, 3 – upínací deska pohyblivé části formy, 4 – vyhazovací desky, 5 – vyhazovač, 6 – vyhazovač přidržovače vtoku, 7 – opěrná deska, 8 – středící pouzdro, 9 – kotevní deska levá, 10 – vodící čep, 11 – pouzdro pro vodící čepy, 12 – dělicí rovina, 13 – kotevní deska pravá, 14 – upínací deska, 15 – přípojka pro chladicí kapalinu, 16 – středící kroužek, 17 – vtoková vložka, 18 – tvárnice, 19 – temperační kanál, 20 – tvárník, 21 – rozpěrná deska



údržbu, protože neobsahují žádné ohříváče, termočlánky a další součásti, které potřebují vyhřívané systémy. Hlavní nevýhodou je větší spotřeba taveniny při zatuhnutí vtokového systému během každé cyklu. [18]

### Vtoková vložka

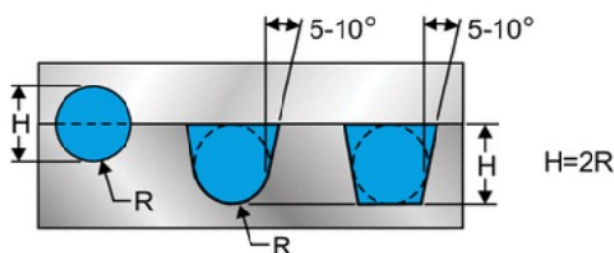
Uvnitř vtokové vložky je obvykle vytvořený kuželový kanál, kterým proudí tavenina do rozvodných kanálů nebo přímo do dutiny formy. Ve formě na ní dosedá vstříkovací tryska stroje, proto musí odolávat opakovaným nárazům a nesmí se deformovat, aby nedocházelo k úniku roztaveného polymeru. Na vtokové vložky také působí velká rychlost taveniny a vysoký tlak, proto jsou vyráběny z tvrzené oceli. Vtokové vložky se nejčastěji kupují normalizované a jsou snadno vyměnitelné. [18]



Obrázek 15: Vtoková vložka [24]

### Rozvodný kanál

Rozvodné kanály mají za úkol dopravit taveninu polymeru od vtokového kanálu do tvarové dutiny formy. Délka a počet rozvodných kanálů závisí na velikosti vstříkovaného dílu a také násobnosti formy. Tvar a rozměry kanálů ovlivňují kvalitu vstříkovaných dílů a efektivitu celého procesu. Nejlepší tvar rozvodného kanálu je kruhový, ten je však náročný na výrobu a přesnost, proto se nejvíce používá průřez lichoběžníkový, který je snadněji vyrobitelný. [18,19]



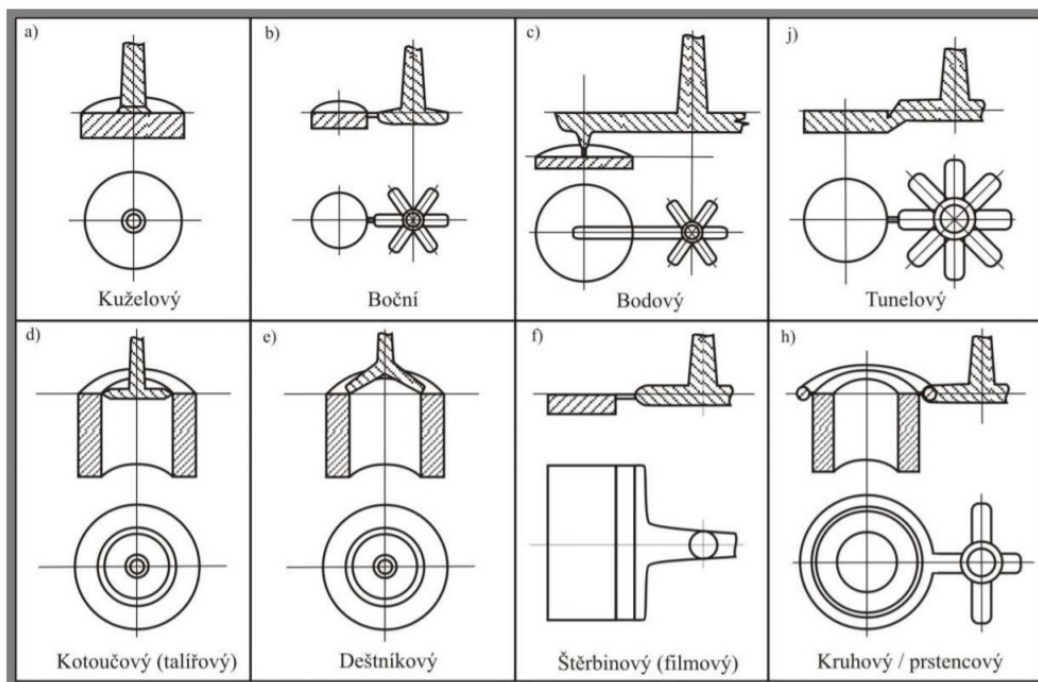
Obrázek 16: Průřezy rozvodných kanálů [18]

Optimální rozměr je kompromisem mezi snadným plněním dutiny, proveditelností a objemem rozvodných kanálů. Průřez rozvodného kanálu má vliv na vstřikovací tlak, dobu cyklu, dotlak a objem materiálu v rozvodném kanálu. Optimální průřez závisí na objemu vstřikovaného dílu, tloušťce stěn, rychlosti plnění, vstřikovacím tlaku, délce rozvodných kanálů a tekutosti materiálu. [18,19]

### Ústí vtoku

Ústí vtoku je zúžené místo, kterým se přivádí tavenina do dutiny formy. Ve výjimečných případech se používá i plný vtok, který zúžený není. Vtokové ústí musí být navrženo tak, aby docházelo ke snadnému vyjmutí vstřikovaných součástí. Příliš malý rozměr vtokového ústí může omezit správné působení dotlaku nebo způsobit velké namáhání vstřikovaného materiálu. Nejvíce používaná ústí vtoku pro vstřikování kompozitních materiálů jsou: [1]

- kuželový – průměr by měl být větší než 1,4násobek maximální tloušťky stěny výstříku
- tunelový – průměr by měl být větší než 0,8násobek maximální tloušťky výstříku a neměl by být menší než 1,5 mm.
- bodový – zejména pro výstříky s vysokou hmotností a velkou tloušťkou stěn, jejich zaústění do místa s maximální tloušťkou stěny výstříku, průřez – šířka minimálně 0,8násobek tloušťky stěny výstříku [1]

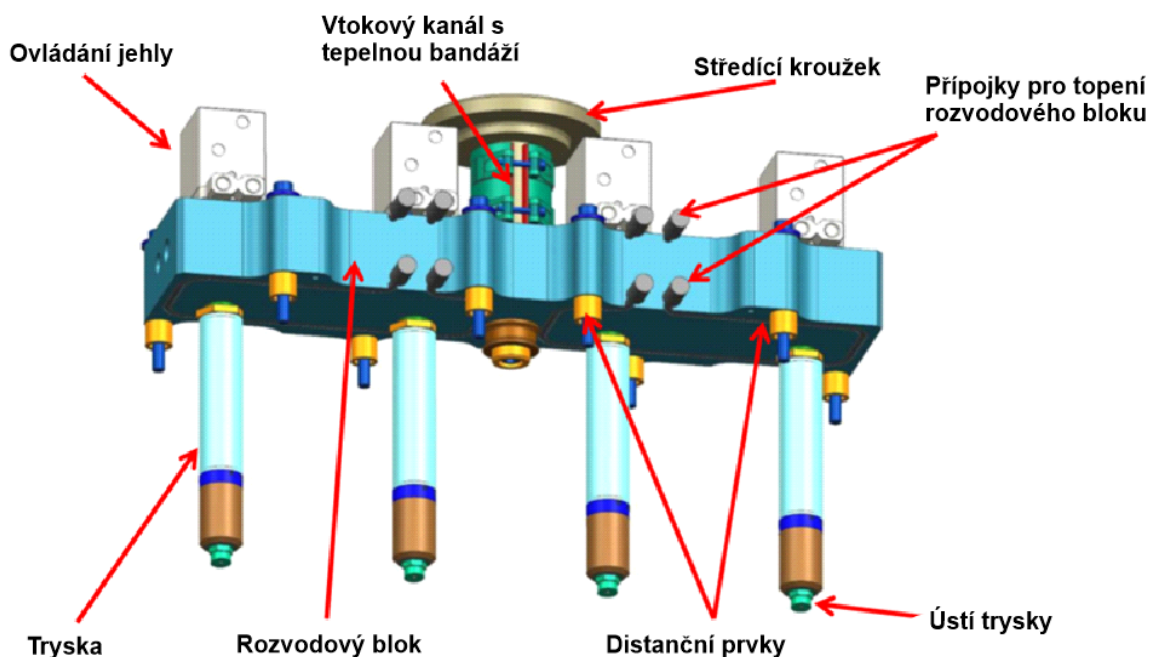


Obrázek 17: Typy vtokových ústí [24]

Stejně jako u všech vstřikovaných granulátu, tak i u plněných materiálů je nutné se vyhnout jettingu, tedy volnému toku taveniny do dutiny formy. Pro zachování dobrého proudění taveniny by vtokové ústí mělo být umístěno v místě největší tloušťky stěny vstřikovaného dílu. Jestliže by bylo umístěno v tenké části stěny výrobku, mohlo by docházet k předčasnému zmrazení vrstvy, a tím i omezení působení dotlaku, vzniku propadlin nebo vytvořením vzduchových bublin. [1]

#### 4.1.2 Vyhřívaný vtokový systém

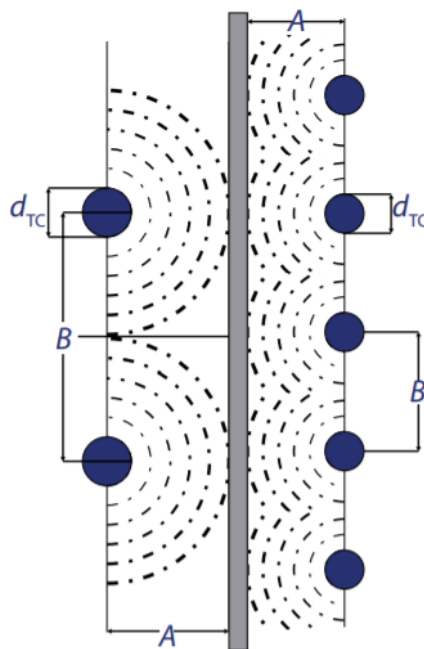
Další variantou vtokového systému je vyhřívaný vtokový systém. Vyhřívaný vtokový systém se začal používat pro úsporu materiálů, a to z důvodu vstřikování bez vtokového zbytku. Na rozdíl od formy se studeným vtokem, tavenina ve vyhřívaném vtokovém systému se neustále zahřívá a zůstává v roztaveném stavu. Výhodou je ušetření objemu taveniny během každého cyklu, snížení doby chlazení, protože dochází k chlazení jen výstřiků bez vtokového zbytku, nebo možnost automatizace výroby. S celkovou eliminací sekundárních vtoků lze celý proces lépe optimalizovat, což vede ke zkrácení vstřikovacího času, a tedy i ke zkrácení vstřikovacího cyklu. Nevýhodou je ale jejich konstrukce, složená z vyhřívaných komponent, pořizovací náklady, obtížné dodatečné změny polohy vtoků a nejsou vhodné pro materiály s velkou citlivostí na teplo. Komponenty, ale i celé vyhřívané vtokové systémy se nejčastěji nakupují od specializovaných výrobců. [18,22]



Obrázek 18: Horký vtokový systém [22]

## 4.2 Temperace formy

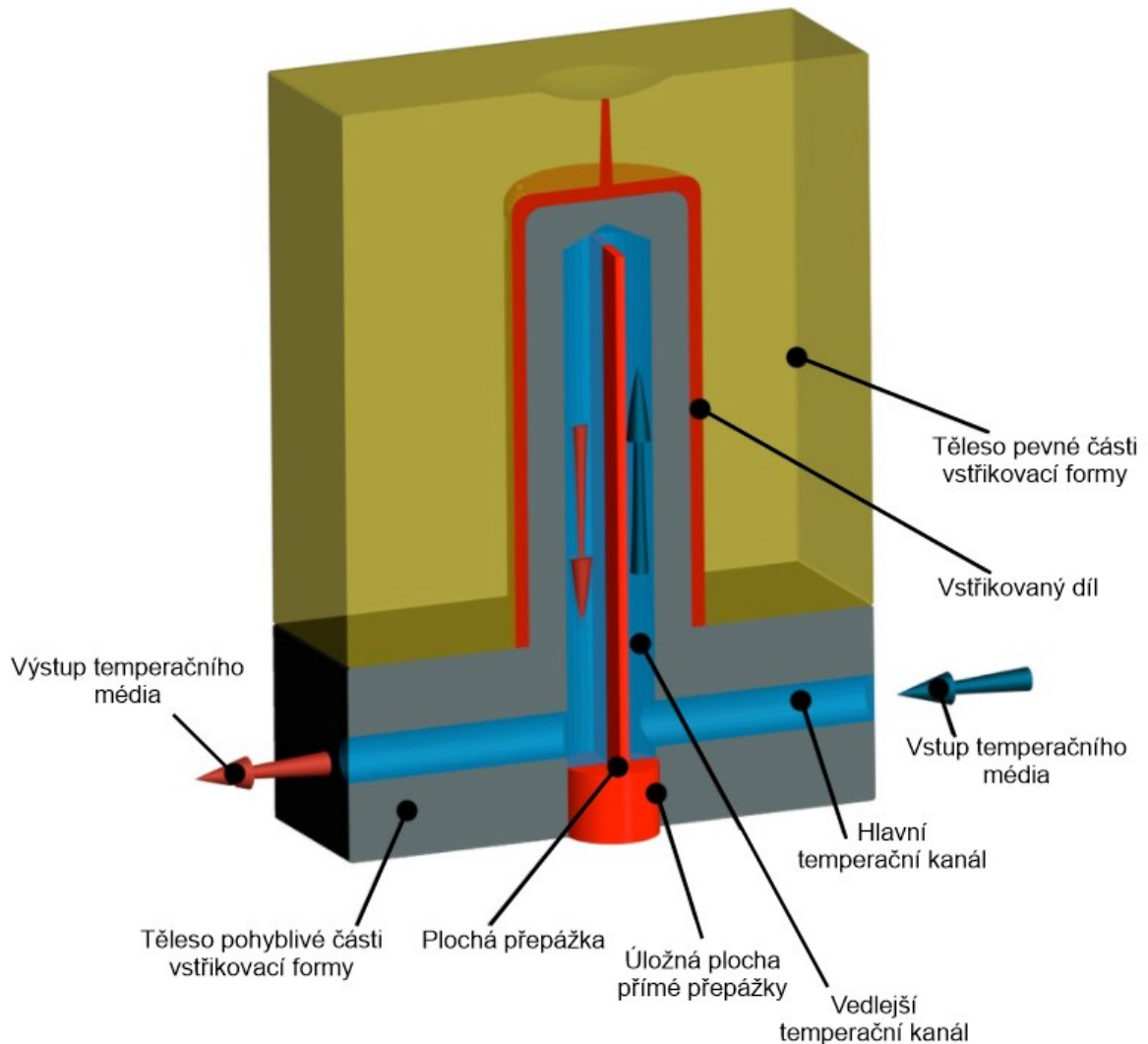
Pro zajištění opakovatelnosti výroby musí tavenina v dutině formy zchladnout co nejrychleji, a proto vstřikovací formy obsahují temperační systém. Je to systém kanálků a dutin uvnitř formy, kterými proudí temperační médium a udržuje teplotu formy na předepsané hodnotě. Temperace vstřikovacích forem ovlivňuje dobu výrobního cyklu, ale také rozměrovou a tvarovou stálost, deformace, kvalitu povrchu nebo mechanické vlastnosti výstřiku. Chlazení výstřiků je úzce spjata s konstrukcí formy, která vychází z konstrukce samotného výstřiku. Základním požadavkem temperace je dosažení co nejkratší doby cyklu při optimalizaci požadovaných jakostních kritérií, tedy dodržení stabilní, povrchové a místně homogenní teploty dutiny formy, a to po celou dobu vstřikovacího cyklu. To se docílí správným rozložením a velikostí temperačních kanálů, které by měly zajistit co nejefektivnější odvod tepla, včetně jeho rovnoměrného přenosu z jednotlivých částí výstřiku a zajištění turbulentního proudění temperačního média v temperačním systému. Do temperačních kanálů je nutné přivádět a odvádět temperační kapalinu, nejčastěji vodu, ale používají se i teplosměnné kapaliny nebo oleje. K tomu slouží temperační přístroje vybavené čerpadlem a systémy pro ohřev a chlazení kapaliny. [1,15]



Obrázek 19: Porovnání návrhu chladících kanálů pro odvod tepla [11]

Pro efektivní odvod tepla je lepší použít větší počet menších kanálů než menší počet kanálů s velkým průměrem. Nicméně příliš mnoho kanálů mechanicky oslabují stabilitu formy. Chladící kanály jsou obvykle navrhovány jako poslední krok při konstrukci formy. [11]

Některé druhy výrobků není možné rovnoměrně temperovat s použitím standartních temperačních kanálů, proto se používají přepážkové systémy či systémy využívající tepelné trubice. [19]



Obrázek 20: Systém plochých přepážek [19]

V systému plochých přepážek je vedlejší kanál orientovaný kolmo na hlavní temperační kanál. V tomto vedlejším kanále je umístěna plochá přepážka, která kanál rozděluje na dva menší kanály a zároveň přepažuje kanál hlavní. Temperační médium vstupuje hlavním kanálem do vedlejšího, na konci přepážky změni směr a proudí zpět do hlavního kanálu. Nevýhodou je dodržení přesného umístění přepážky, tak aby průřez vedlejšího kanálu rozdělovala přímo na poloviny. V případě nedodržení této podmínky, došlo by k rozdílnému temperačnímu efektu a tím i k rozdílné distribuci tepla. [19]

### 4.3 Vyhazovací systém

K vyhození výstřiků a vtokového zbytku z formy slouží vyhazovací systém. Vstřikovací formy obsahují různé mechanismy pro vyhazování. Může to být buď mechanický princip s pomocí vyhazovacích kolíků, nebo stíracích desek apod. nebo i jiné mechanismy vyhazování, s pomocí stlačeného vzduchu nebo různých manipulátorů. Tyto jednotlivé mechanismy mohou být různě kombinovány. Díky větší pevnosti výstřiků i při vyšších teplotách je možné vyhazovat výstřiky za zvýšených teplot, a tím zkrátit dobu chlazení, respektive výrobního cyklu. [1,15]



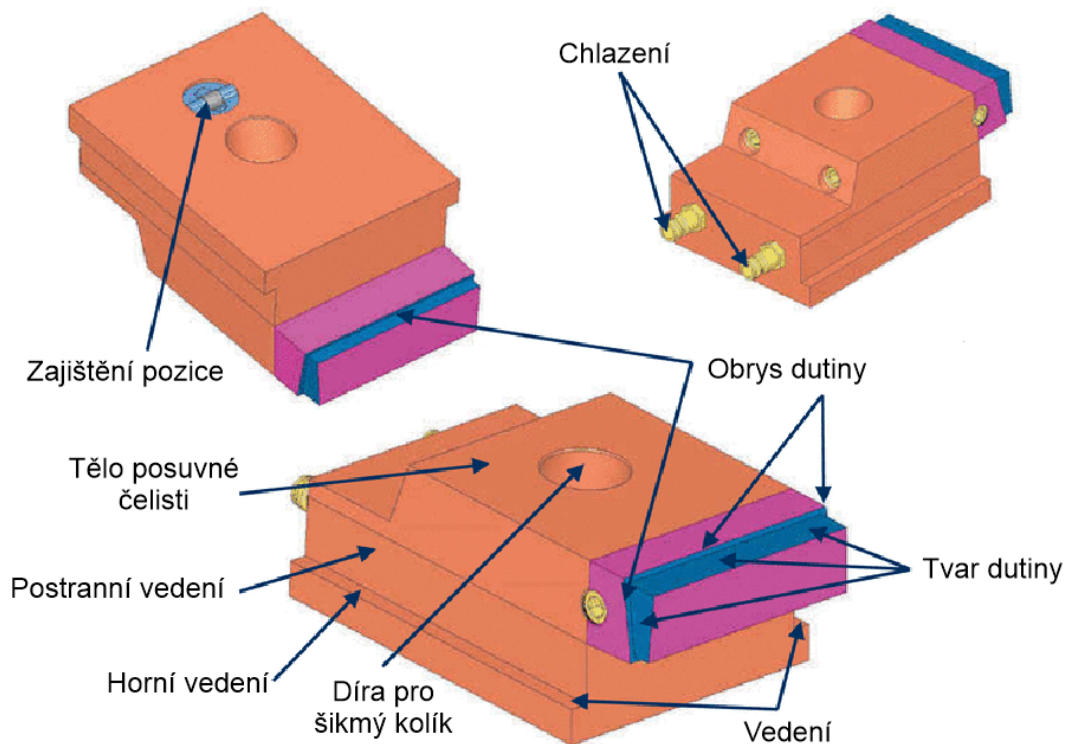
Obrázek 21: Typy vyhazovacích kolíků [24]

### 4.4 Posuvné tvarové čelisti

Má-li výrobek boční výstupky, otvory nebo různé tvarové části používají se posuvné tvarové čelisti. Posuvné tvarové čelisti vytvářejí další dělicí roviny a mohou být ovládané mechanicky, pneumaticky nebo hydraulicky. [22]

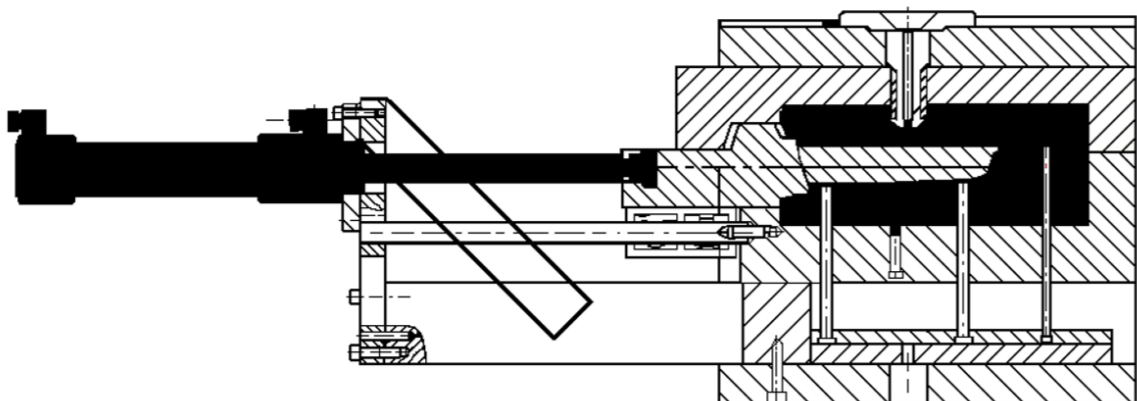
Mechanicky ovládané posuvné čelisti jsou většinou umístěny na pohyblivé polovině formy. Šikmé kolíky na pevné části formy. V uzavřené i otevřené poloze musí být čelisti zajištěny proti posunutí. Zajištění uzavřené polohy se docílí vnější zkosenou částí opřenou o opěrnou plochu pevné desky. V poloze otevřené se používá kolík s pružinkou. [22]





Obrázek 22: Posuvné tvarové čelisti [22]

V případech vysunutí posuvných čelistí při uzavřené vstřikovací formě, jsou využívány pneumatické nebo hydraulické tahače. Tyto tahače se nejvíce používají při vytahování těžkých a dlouhých jader. Ovládání čelistí může být provedeno v jakékoliv fázi, jestliže je forma otevřená, uzavřená nebo při samotném otevírání. Hydraulické tahače se připojují buď na samostatný hydraulický okruh, ale mohou být i připojeny k hydraulickému okruhu vstřikovacího stroje. [12]



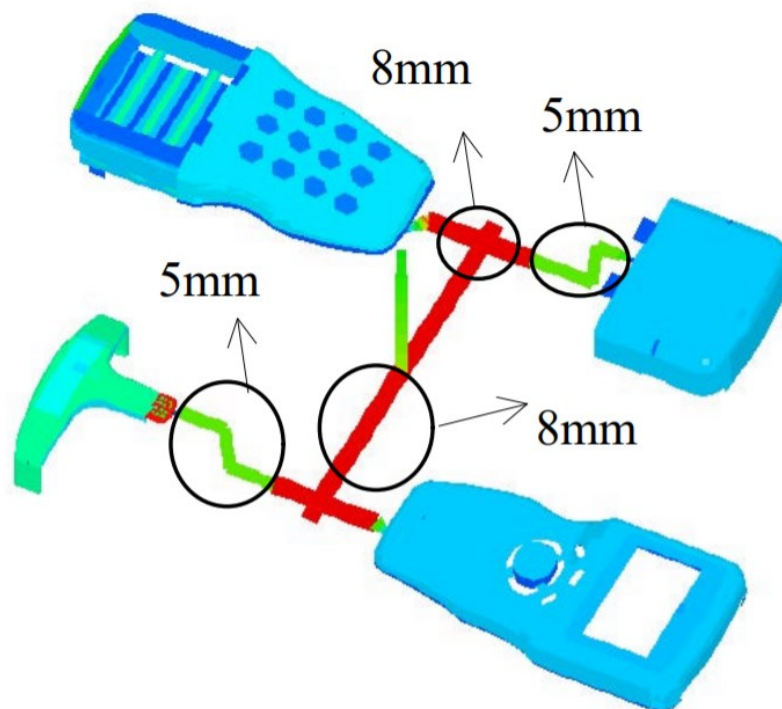
Obrázek 23: Vysunutí posuvných čelistí pomocí hydraulického tahače [12]

#### 4.5 Odvzdušnění dutin formy

Odvzdušnění tvarové dutiny je velmi důležité, protože doba vstřiku je hodně krátká a může dojít k nedokonalému vyplnění dutin taveninou, k nebezpečnému zvýšení tlaku, k poklesu pevnosti v místech studených spojů nebo k tzv. diesel efektu, kdy dojde až k lokálnímu spálení materiálu. Z tohoto důvodu je nutné zajistit intenzivní odvod vzduchu z dutiny formy, a to nejen netěsnostmi v dělicí rovině, ale i konstrukcí odvzdušňovacích kanálků, které však nesmějí být dále příčinou vzniku otřepů na výstřiku. Odvzdušnění může být provedeno pomocí otvorů, různých trnů a vložek. Na dostatečné odvzdušnění formy má vliv umístění vtoku, způsob zaformování výstřiku, umístění vyhazovačů, přítomnost tvarových vložek apod. [15]

#### 4.6 Sdružená vstřikovací forma

Sdružená forma je vstřikovací forma, která obsahuje různé tvarové dutiny. Tyto dutiny se liší velikostí, tvarem a objemem. Sdružené formy se vyrábí pro ušetření nákladů na výrobu dalších forem. Pokud mají dutiny různé objemy, bude se doba plnění mezi nimi lišit. Nejdůležitější na sdružené formě je vybalancování vtokového systému, tak aby se různé tvarové dutiny zaplnily přibližně ve stejnou dobu, což docílíme změnou velikostí ústí vtoku, změnou délky nebo rozměrů vtokových kanálů. [18, 20,29]



Obrázek 24: Příklad sdružené formy a balancování vtokového systému [20]

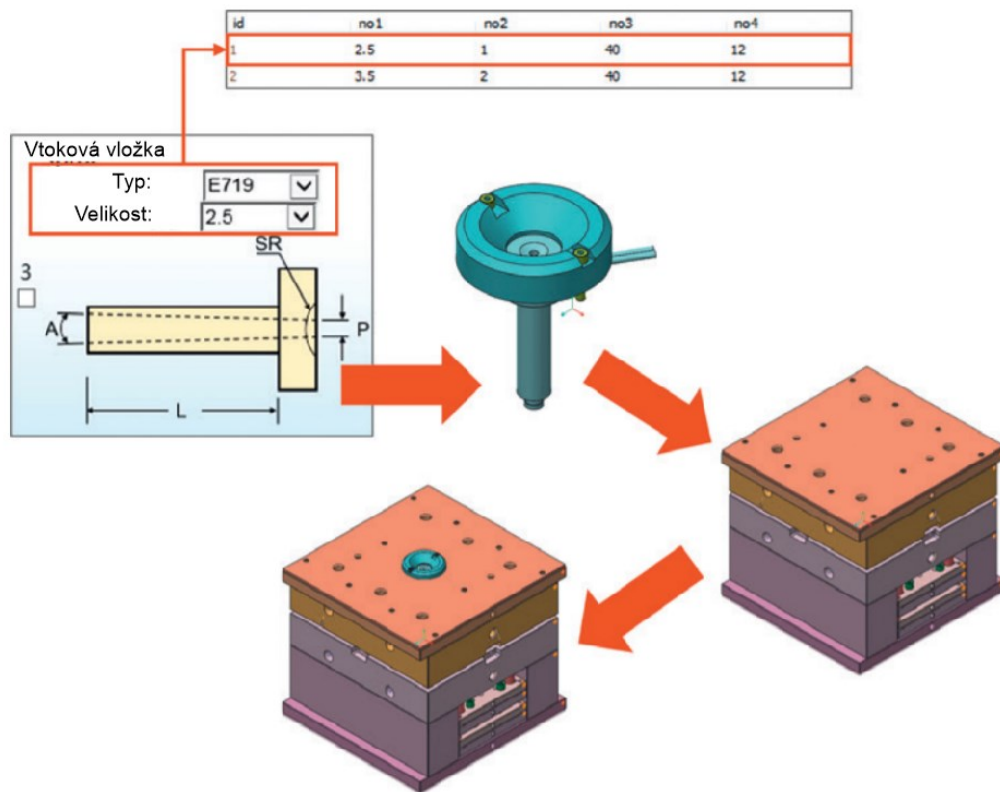
#### 4.7 Použití normálií pro konstrukci vstřikovacích forem

Obvykle se pro výrobu vstřikovacích forem zpracovává a zákazníkovi předává plán její výroby, kde jsou uvedeny předvýrobní i výrobní operace, spolu s dobou jejich plánovaného trvání. Díly používané při konstrukci a sestavení forem můžeme rozdělit do tří kategorií: [1]

- Díly nakupované jako normálie – díly kupované od specializovaných výrobců a dodavatelů na základě požadavků zákazníka. Do této kategorie se řadí i nákup vyhřívaných vtokových systémů, případně celých pevných částí forem s integrovaným vyhřívaným systémem.
- Díly vyráběné v nástrojárně – nákup polotovarů z neželezných kovů nebo ocelových polotovarů a výroba tvarových dílů forem, včetně úprav a dokončení nakoupených normalizovaných komponent (například zkrácení vyhazovačů na požadovaný rozměr)
- Díly nakupované – například nákup zásuvek pro připojení energií, kabeláž, hadice, upínky atd. Tyto díly nabízejí i specializovaní výrobci normálií. [1]

Efektivnost výroby výstřiků výrazně závisí na minimalizaci času potřebného ke konstrukci a výrobě vstřikovací formy. Nakoupení předem vyrobených normalizovaných součástí pro konstrukci a výrobu forem je mnohem efektivnější než individuální výroba. Systémy normálií obvykle obsahují:

- rámy forem – desky, vodící a spojovací prvky,
- součásti studených vtokových systémů,
- součásti vyhřívaných rozvodných systémů – termočlánky, topení, kabeláže pro propojení vyhřívaného systému atd.,
- součásti vyhazovacího systému – vyhazovače, vyhazovací desky a jejich vedení, dvojčinné vyhazovací tyče, vzduchové ventily atd.,
- součásti vyhazovacího systému vtokového zbytku – stírací lišty, vložky vtokových ústí, přidržovače, pružiny atd.,
- ovládací mechanismy – hydraulické, pneumatické válce, pohybové šrouby a matice, vytáčecí mechanismy atd.,
- součásti rozvodu temperačního média – zátky, přepážky různých konstrukcí a délek, hadice, kroužky atd. [1]



Obrázek 25: Použití standardizovaných součástí [13]

#### 4.8 Podpora počítače pro konstrukci vstřikovacích forem

Pro výrobu a konstrukci vstřikovacích forem se používají programové systémy CAD/CAM/CAE.

- CAD - počítačem podporované projektování,
- CAM – výroba podporovaná počítačem, strojní, manipulační, měřicí a kontrolní zařízení, které je po dobu realizace výroby výstřiku řízeno počítačovými programy.
- CAE – počítačem řízené inženýrství, simulace a studium výstřiku.

Nejčastěji to jsou specializované systémy pro strojírenství – Catia, SolidWorks, Autodesk Inventor, Moldflow a další. Cílem použití těchto programů, stejně jako použití normalizovaných dílů, je zkrácení výrobní doby forem a zlepšení kvality procesu. Aplikace CAD/CAM systémů umožňuje komplexní proces od konstrukce dílu, přes konstrukci vstřikovací formy, testování, simulační výpočty korigování chyb až po použití dat k programování obrábění tvarových dílů a automatické měření výstřiků. [1,30]

## 4.9 Materiály vstřikovacích forem

Určitou část ceny vstřikovací formy tvoří cena materiálu, ze kterého je forma vyrobena, zároveň žádná forma není vyrobena pouze z jednoho typu materiálu. Vstřikovací formy jsou namáhány především na tlak, opotřebení a podle typu vstřikovaného plastu také na korozi. Na konstrukční části formy (rozpěry, opěrné a kotevní desky) jsou kladeny jiné nároky než na funkční části (tvarové vložky, vodící trny, vyhazovače atd.). Nejdůležitějšími a nenahraditelnými materiály pro výrobu vstřikovacích forem jsou oceli, které se řídí podle různých norem, což může vést k nepřehlednosti v nabídkách. U nás se používá značení podle ČSN 42 0002:1976 Číselné označování a rozdělení ocelí ke tváření. Na výrobu upínacích desek forem, rozpěrek a dalších méně namáhaných dílů se především používají konstrukční oceli třídy 11 (nejčastěji 11 500, 11 600), obvykle v normalizačně žíhaném stavu nebo ve stavu žíhání na měkko, což zajistí lepší obrobiteľnosť. Pro výrobu dílů o vyšší pevnosti se používají uhlíkové oceli 12 050 nebo 12 060, které je možné zušlechťit až na 850 MPa. [1,15]

Nejdůležitější požadavky pro výběr materiálu vstřikovacích forem:

- dobrá obrobiteľnosť,
- vysoká tepelná vodivost,
- vysoká odolnosť proti opotřebení,
- odolnosť proti korozi,
- tavitelnost,
- kalitelnost povrchu. [27]

Tabulka 3: Oceli používané pro konstrukci vstřikovacích forem [15]

DIN	ČSN	Vlastnosti a použití
1.2312	19 520	Zušlechtná ocel pro namáhané desky a jiné součásti forem (desky tvarových vložek, kotevní desky vyhazovačů atd.), vhodná i pro velké tvarové díly, dobře obrobitelná, dezénovatelná a leštitelná.
1.2343	19 552	Nejpoužívanější kalitelná ocel pro tvarové díly forem. Dobrá prokalitelnost, pevnost a houževnatost, vysoká odolnost proti tepelnému namáhání. Dobrá leštitelnost, vhodné k nitridaci a povlakování. Méně odolná proti opotřebení. Použitelná pro těla šoupat a klíny. HRC 48 - 53
1.2379	19 573	Kalitelná ocel pro tvarové díly forem s vysokým namáháním a s odolností proti opotřebení. Pro nejvíc namáhané vložky, vytáček trny, vtoková pouzdra, uzavírací a vodící lišty. Obtížně obrobitelná.  HRC 58 - 62
1.2842	19 312	Kalitelná ocel pro univerzální použití na menší tvarové díly forem, vodící a přítlačné lišty šoupat, trny, strhovací a vodící pouzdra, příložky. Vysoká tvrdost při dostatečné houževnatosti, nízkonákladová nástrojová ocel. HRC 56 - 64
1.1191	12 050	Jakostní konstrukční ocel pro méně namáhané díly forem, jako středící kroužky, vyhazovací tyče, táhla, podložky, přepravní třmeny a desky. Obtížně svařitelná.
1.7131	14 220	Cementační ocel. Použití pro součásti forem s povrchovou odolností proti opotřebení, jako vodící sloupky, pouzdra, šikmé kolíky. V základním stavu dobře obrobitelná a svařitelná.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cíle diplomové práce jsou:

- Vypracovat literární studii na dané téma.
- Provést konstrukci zadaného dílu.
- Navrhnout 3D sestavu vstříkovací formy pro výrobu zadaného dílu.
- Nakreslit 2D výkresy sestavy a příslušných řezů.
- Návrh ověřit pomocí analýz.

První část diplomové práce je zaměřena na teoretickou část popisující polymerní materiály používané při technologii vstříkování a samotnou technologii vstříkování. V další části je rozebrána konstrukce vstříkovacího stroje a vstříkovací formy, včetně jejich důležitých funkcí. Na závěr této části je popsáno používání normalizovaných součástí a podpory počítačových programů pro snadnější návrh a výrobu vstříkovacích forem.

V praktické části bude úkolem vytvořit celkový návrh vstříkovací formy pro zadaný díl mazacího systému. Prvním cílem je vytvoření 3D modelu vstříkovaného dílu podle reálného výrobku, který se používá jako plnicí hrdlo oleje pro automobil VOLVO. Pro tento výrobek bude navržena a vytvořena vstříkovací forma, s příslušnou 2D výkresovou dokumentací. Při vytváření modelu formy se použijí normalizované prvky od specializovaných výrobců Hasco a Meusburger. V závěru praktické části bude provedena toková analýza celého návrhu, s popisem získaných výsledků. Pro vytvoření modelu výrobku a vstříkovací formy byl vybrán program CATIA V5R20. Analýza celého návrhu bude provedena v programu Autodesk Moldflow Synergy 2016.



## 6 VSTŘIKOVANÝ DÍL

Zadaný plastový díl je součástí mazacího systému automobilu. Jedná se o plnicí hrdlo pro přívod motorového oleje do motoru automobilu značky VOLVO. Potrubí se skládá ze dvou částí, části horní a spodní, které jsou k sobě spojeny pomocí svařování. Rozměry celého vstříkovaného dílu jsou 80 x 310 x 50 mm (šířka x výška x tloušťka) a jeho celková hmotnost je 242 g.



Obrázek 26: Model výrobku

**Horní část dílu**



Obrázek 27: Model horní části výrobku

**Spodní část dílu**



Obrázek 28: Model spodní části výrobku

## 7 VOLBA MATERIÁLU VSTŘIKOVANÉHO DÍLU

Materiál pro vstřikované díly byl vybrán AKULON K224-HG7 od firmy DSM. Jedná se o polyamid 6 plněný 35 % skleněnými vlákny. Jeho významné vlastnosti spočívají ve vysoké teplotní a chemické odolnosti. Jeho největší předností je dlouhodobé používání při teplotě až do 185 °C, což umožňuje tento materiál použít v motorovém prostoru automobilu, kde se teplota pohybuje přibližně kolem 80 až 95 °C. Další vlastnosti tohoto materiálu jsou uvedeny v materiálovém listu výrobce, v příloze práce.

Doporučené procesní podmínky jsou zobrazeny na obrázku níže. Rozsah pro nastavení teploty formy se pohybuje v rozmezí 40 – 90 °C. Nastavení teploty taveniny je doporučeno na 265 °C, a její rozsah je 250 – 280 °C. Vyhazování výstřiků z formy by mělo probíhat při teplotě 165 °C.

Thermoplastics material

Microcellular Properties		Optical Properties		Environmental Impact		Quality Indicators		Crystallization Morphology		S
Description	Recommended Processing	Rheological Properties		Thermal Properties		pvT Properties		Mechanical Properties		
Mold surface temperature		65		C						
Melt temperature		265		C						
Mold temperature range (recommended)										
Minimum		40		C						
Maximum		90		C						
Melt temperature range (recommended)										
Minimum		250		C						
Maximum		280		C						
Absolute maximum melt temperature		320		C						
Ejection temperature		165		C						
		View test information for ejection temperature...								
Maximum shear stress		0.5		MPa						
Maximum shear rate		60000		1/s						

Obrázek 29: Procesní parametry materiálu AKULON K224-HG7

## 8 VÝBĚR VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Výběr vstříkovacího stroje byl proveden na základě technických parametrů navržené vstříkovací formy a předběžných výsledků analýzy. Jako vstříkovací stroj byl zvolen ALLROUNDER 720 S 3200 – 1300 (55), od výrobce Arburg. V následující tabulce jsou uvedené parametry, podle kterých byl vstříkovací stroj zvolen. Další parametry stroje jsou uvedené v technickém listu, v příloze práce.

Tabulka 4: Parametry vybraného vstříkovacího stroje

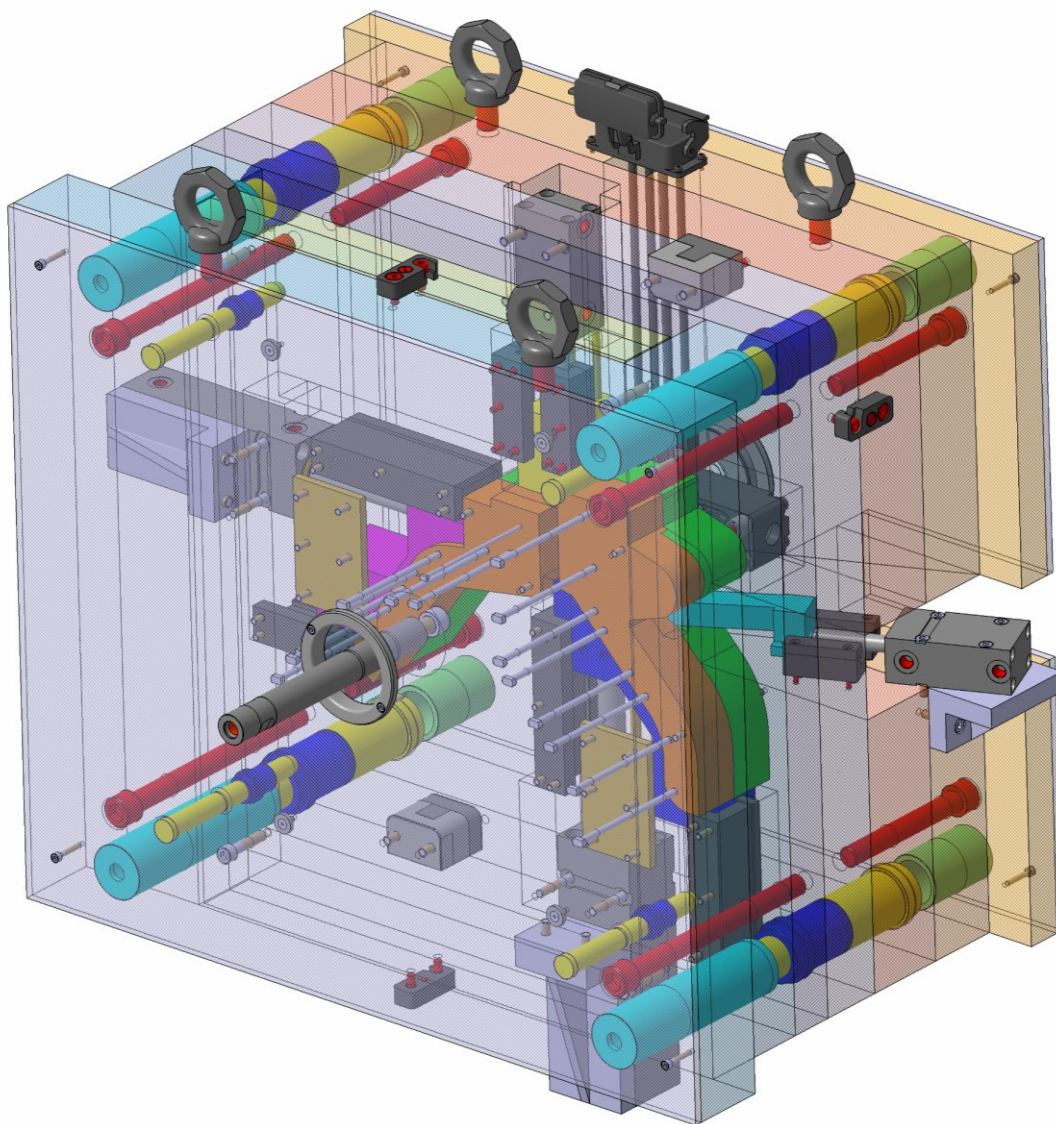
Parametry	Požadované parametry	Parametry stroje
<b>Rozměr formy</b>	796 x 696 mm	720 x 720 mm
<b>Objem výstřiku</b>	310 cm <sup>3</sup>	558 cm <sup>3</sup>
<b>Uzavírací síla</b>	1460 kN	3200 kN
<b>Vstříkovací tlak</b>	59 MPa	238 MPa
<b>Středící kroužek</b>	160 mm	160 mm



Obrázek 30: Vybraný vstříkovací stroj ARBURG ALLROUNDER 720 S

## 9 NÁVRH VSTŘIKOVACÍ FORMY

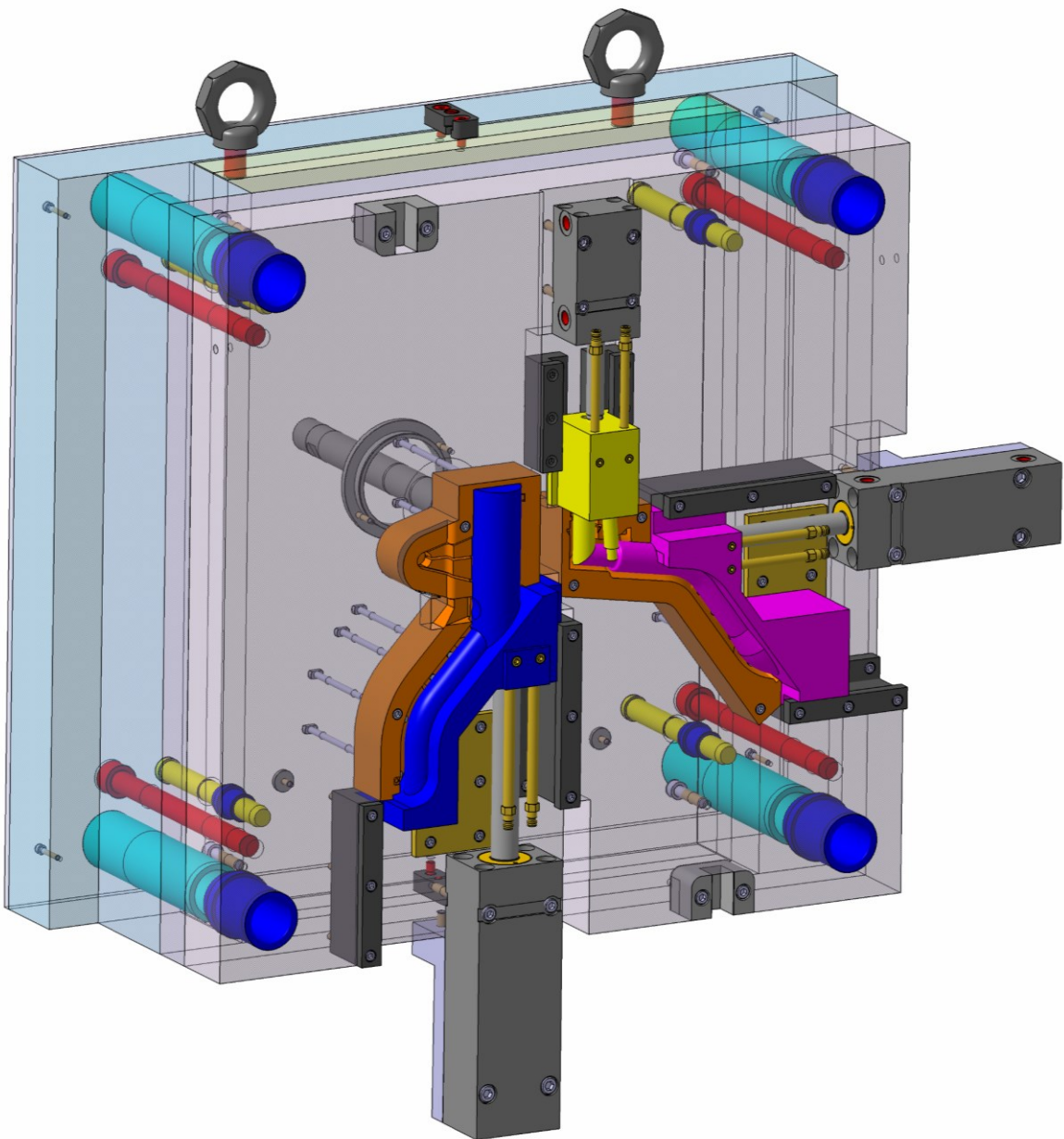
Jedním z hlavních cílů diplomové práce bylo navrhnout 3D sestavu vstříkovací formy pro zadaný díl mazacího systému. Zadaný díl se skládá ze dvou různých vstříkovaných částí, z toho důvodu bylo potřeba navrhnout dvě různé dutiny formy. Oba výrobky nebylo možné odformovat v jedné dělicí rovině, ale musely být navrženy další vedlejší roviny. Všechny 3D návrhy byly provedeny v programu Catia V5R20, s pomocí modulů Core and Cavity Design a Mold Tooling Design. Při návrhu formy byly použity normalizované desky od firmy Hasco a většina dalších komponent od společnosti Meusburger. Použitím normálií se ulehčil návrh ale i samotná výroba, což má vliv i na snížení celkové ceny navrhované vstříkovací formy. Velikost celkové vstříkovací formy je 796 x 696 x 518 mm.



Obrázek 31: Návrh vstříkovací formy



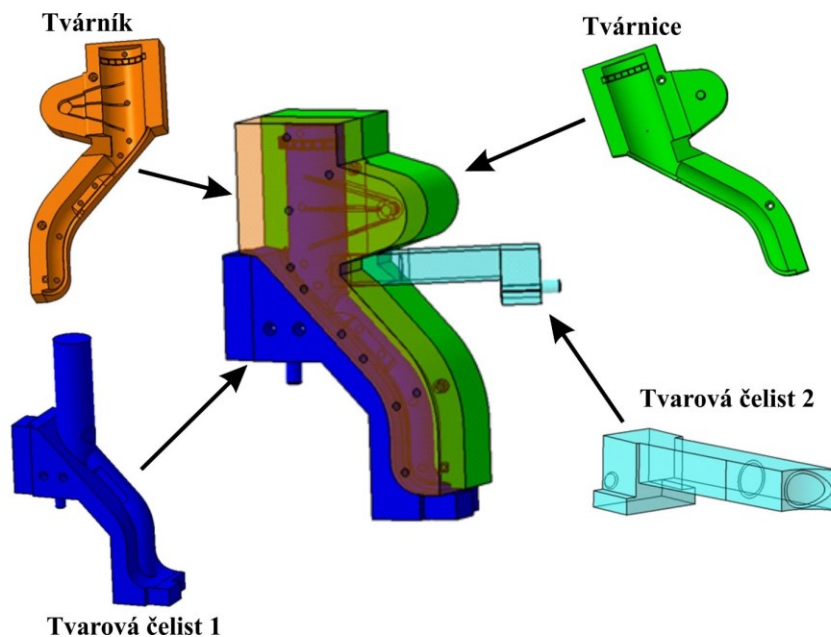
Levá strana formy se taktěž skládá z normalizovaných desek, vzájemně sešroubovaných šrouby M20x240, a dalšími důležitými komponenty. Kotevní deska slouží k upevnění obou tvarových částí (tvárníků) a tří posuvných čelistí s tvarovými čelistmi. Pro posuv tvarových čelistí slouží hydraulické válce a kluzné desky připevněné ke kotevní desce. Pro přesné vedení levé strany formy vůči pravé slouží vodící pouzdra, která zapadají přímo do vodících čepů nacházejících se na pravé straně formy a ploché koncové středění. Vymezuující prostor pro umístění vyhazovacího systému zajišťují rozpěrné desky, kterými prochází středící trubky. Tak jako pravá část formy je levá strana upevněna ke vstřikovacím stroji pomocí upínací desky a vystředěna středícím kroužkem.



Obrázek 33: Levá (pohyblivá) část formy

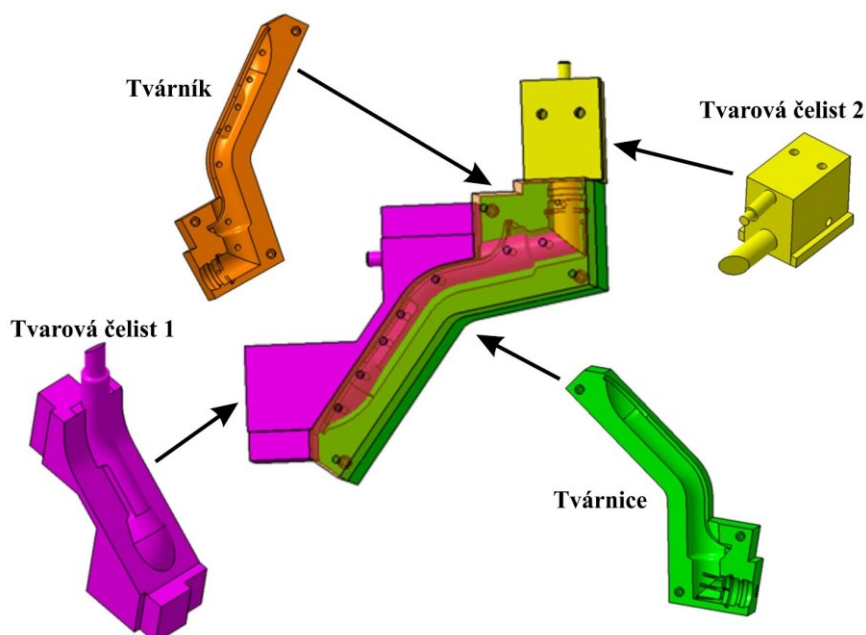
## 9.1 Zaformování dílů

Při konstrukci formy je důležité navrhnout zaformování výrobku, který se navrhne zvolením dělicí roviny, případně větším počtem dělicích rovin. Na umístění tvárníku a tvárnice v kotevní desce má velký vliv násobnost formy, typ vtokového systému a předběžné výsledky analýzy vhodnosti umístění vtoku.



Obrázek 34: Zaformování horního dílu

Obě části dílu mají podobné zaformování, skládající se z tvárnice, tvárníku a dvou tvarových čelistí, které zajišťují boční odformování dílu.

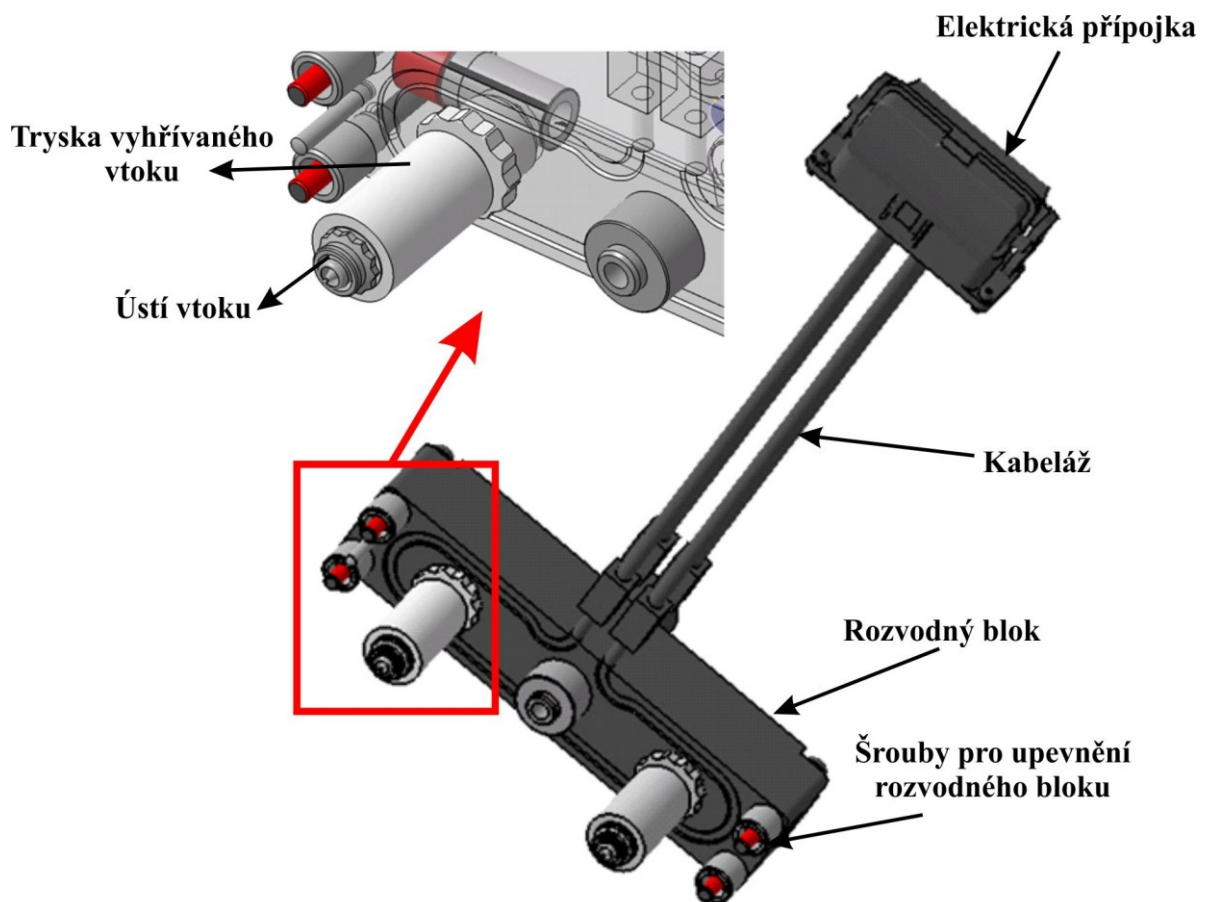


Obrázek 35: Zaformování spodního dílu



## 9.2 Vtokový systém

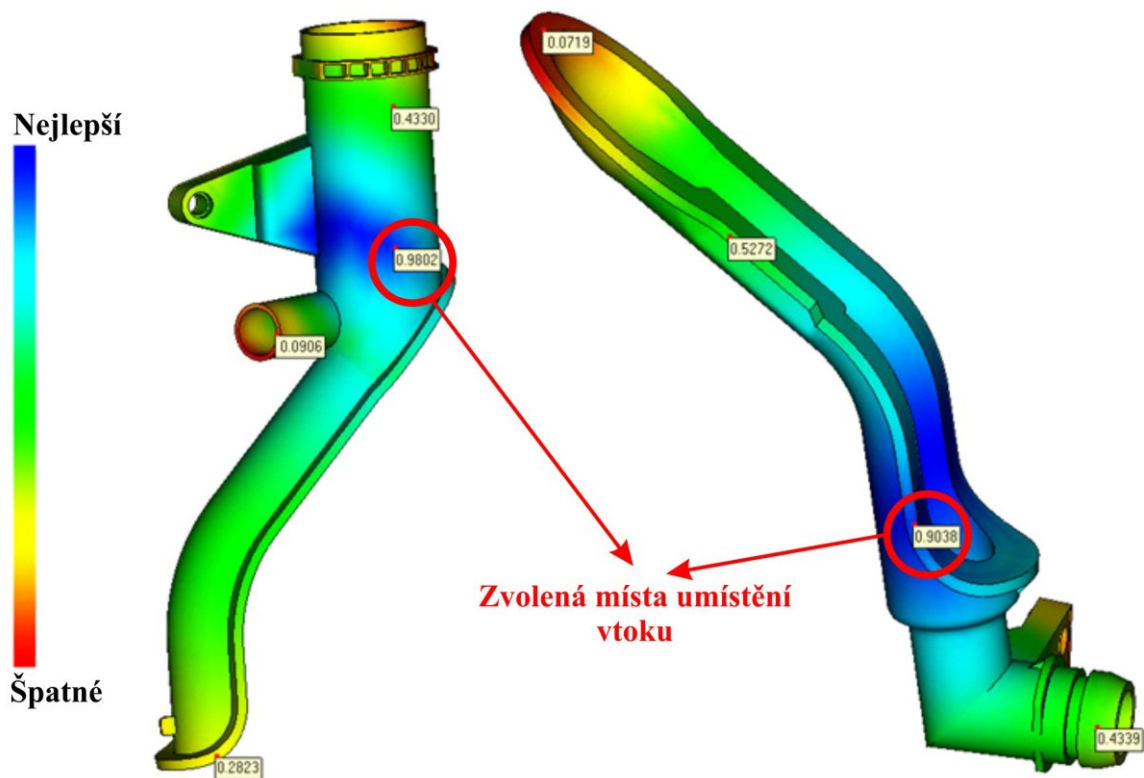
Vtokový systém dopravuje polymerní taveninu z trysky vstřikovacího stroje do tvarové dutiny vstřikovací formy. Při návrhu vtokového systému je možné uvažovat o dvou typech, a to buď studený vtokový systém, nebo vyhřívaný vtokový systém. Pro dané vstřikované díly byl vybrán vyhřívaný vtokový systém, který je oproti studenému vtokovému systému výhodnější. Vyhřívaný vtokový systém má v celém vtokovém systému vyvážený teplotní profil a zajistí výrobu bez vtokových zbytků, tím také zkrátí čas vstřikovacího cyklu.



Obrázek 36: Vyhřívaný vtokový systém

Vyhřívaný vtokový systém byl vybrán od firmy Meusburger. Vyhřívaný vtok se skládá z rozvodného bloku, který rozvádí taveninu do trysek a poté do ústí vtoku. Přes ústí vtoku teče tavenina přímo do dutiny formy. Další důležité komponenty obsahující vyhřívaný vtokový systém jsou šrouby pro upevnění rozvodného bloku ke kotevní desce, kabeláž a elektrická přípojka pro zapojení do regulátoru vyhřívaných vtoků.

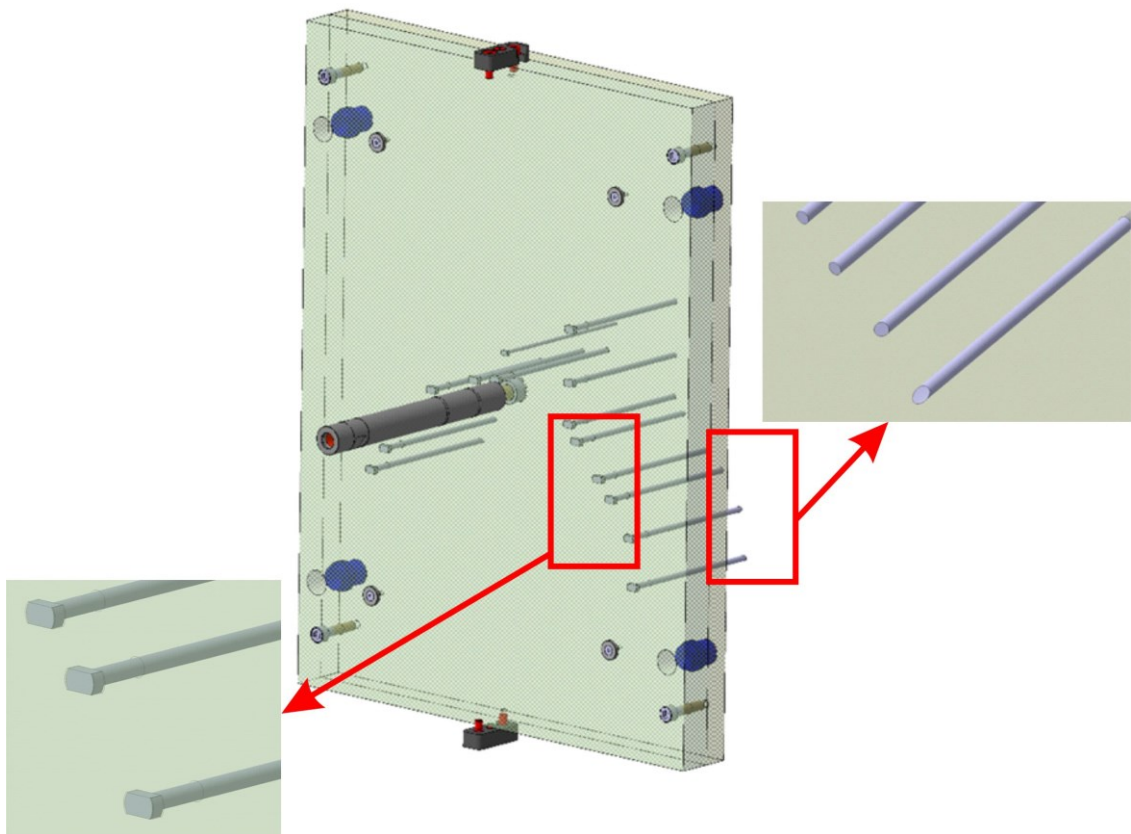
Pro vhodné umístění vtoku byla provedena analýza „Gate location“ v programu Moldflow. Výsledky získané z analýzy vhodnosti umístění vtoku jsou zobrazeny barevně na obrázku níže. Lze vidět, že nejlepším umístěním jsou modře zbarvené části, které dosahují vhodnosti kolem 90 %. S ohledem na výsledky analýzy byla zvolená místa vtoku do doporučeného umístění s hodnotami 90 a 98 %.



Obrázek 37: Analýza vhodnosti umístění vtoku

### 9.3 Vyhazovací systém

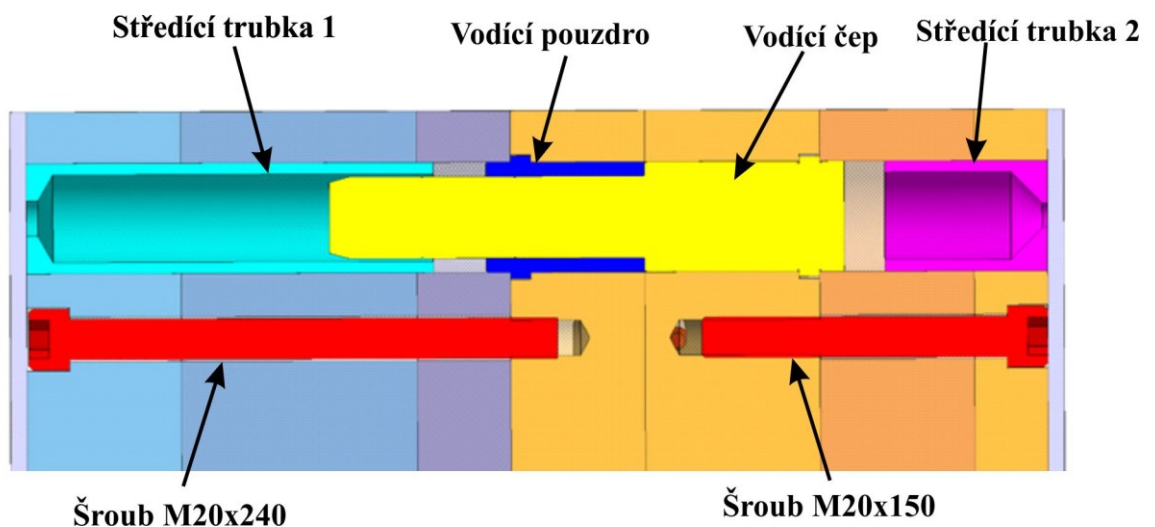
Vyhození výrobku ze vstřikovací formy zajišťuje vyhazovací systém. K vyhození výrobku je nutné, aby vstřikovaný díl zůstal na levé straně formy. Po dostatečném otevření formy a vysunutí všech tvarových částí může dojít k vyhození výstřiku. Pro vyhození výstřiku z formy slouží šestnáct válcových vyhazovačů, které mají konce upraveny tak, aby kopírovali tvar výsledného výstřiku. Jejich opačné části jsou ofrézovány, z důvodu uchycení a zajištění proti pootočení. Obě vyhazovací desky jsou k sobě přišroubovány a jejich pohyb zajišťuje vodící táhlo, uchycené šroubem k opěrné vyhazovací desce. Vodící pouzdra a čepy slouží k přesnému vedení celého vyhazovacího systému.



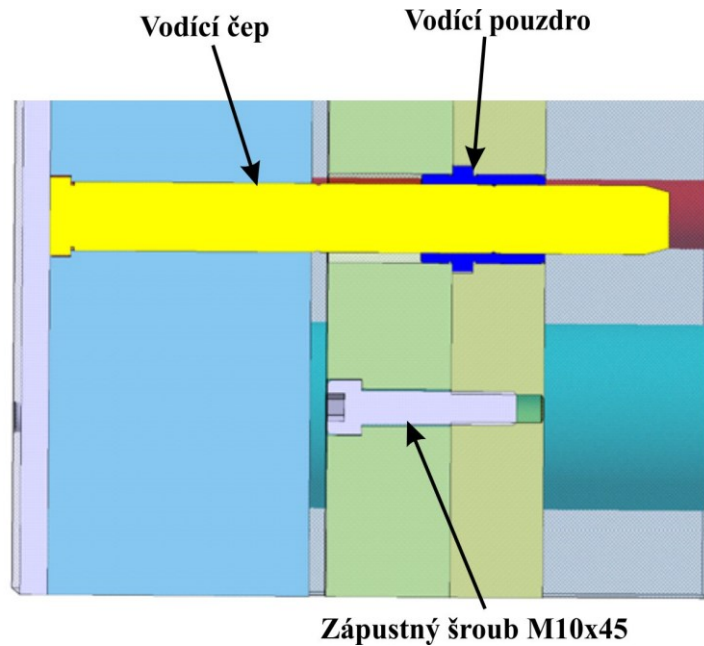
Obrázek 38: Vyhazovací systém formy

#### 9.4 Středící a vodící systém

Středící systém zajišťuje vystředění všech desek vůči deskám ostatním. Vodící systém slouží k přesnému pohybu jednotlivých částí formy vůči sobě. Desky obou polovin formy a desky vyhazovacího systému jsou k sobě spojeny pomocí zápusťných šroubů s válcovou hlavou. Všechny vodící prvky byly vybrány z katalogu Meusburger.

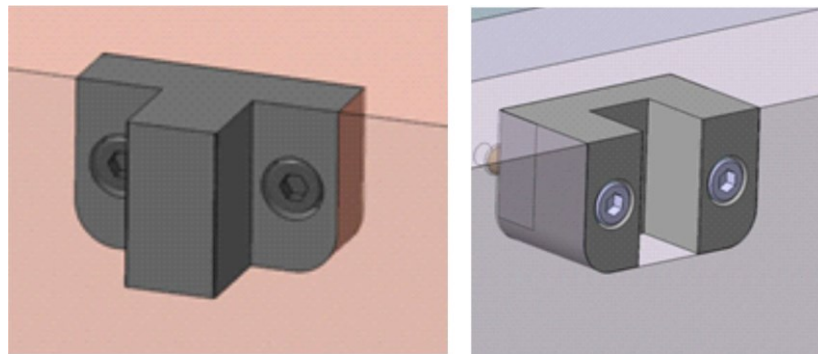


Obrázek 39: Středění a vedení formy



Obrázek 40: Středění a vedení vyhazovacích desek

Pro přesné dosednutí obou polovin vstříkovací formy byly do dělicí roviny přišroubovány dvě plošná středění od firmy Meusburger. Tato plošná středění doplňují hlavní vedení forem, čím zpřesňují samotný díl a zvyšují procesní spolehlivost.



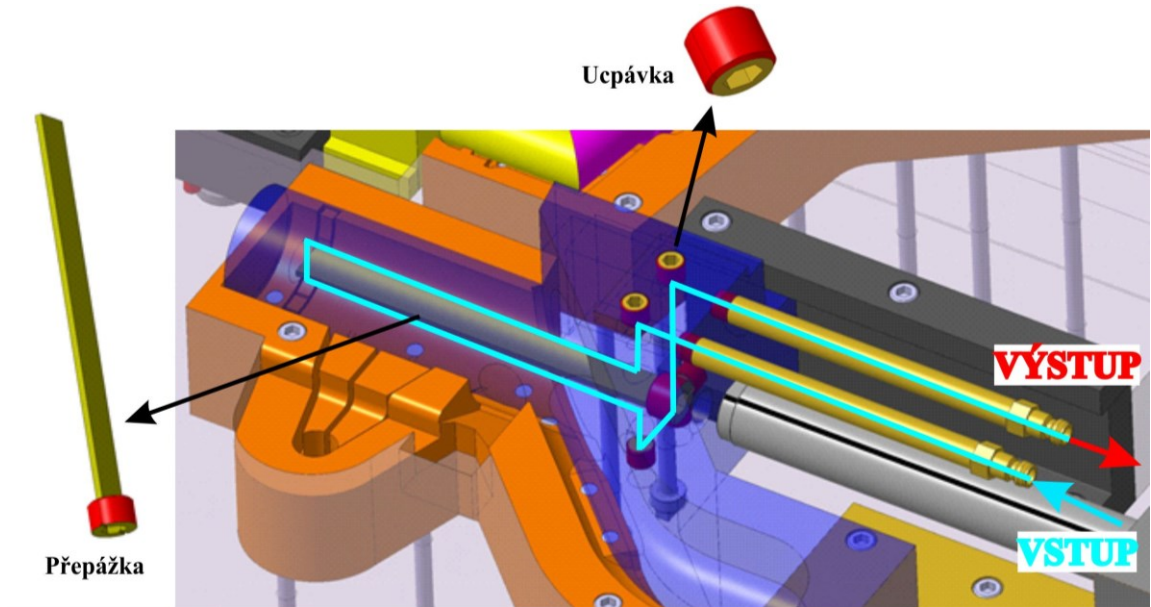
Obrázek 41: Přesné středění formy

## 9.5 Temperační systém

Temperační systém slouží k vyvážení teplotního pole dutiny formy. Nejčastější způsob temperace je pomocí vrtaných kanálů, který je také ekonomicky nejpříjemnější. Do vrtaných kanálů se vkládají ucpávky pro určení dráhy temperační kapaliny. Výhodou tohoto způsobu temperace je, že se ucpávky dají jednoduše přeskládat a tím změnit dráhu temperačního média.

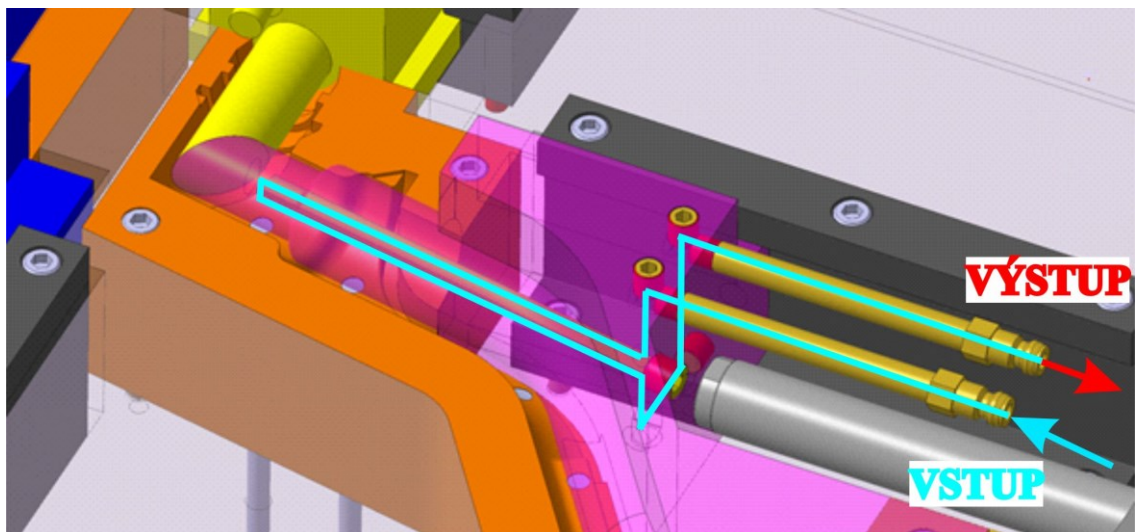
Temperační systém tvoří tři podobné okruhy, které jsou umístěny ve tvarových čelistích. Ve dvou okruzích jsou vrtané díry o průměru 8 mm, ve třetím je má vrtaný kanál průměr 10

mm. V kanálech je použitý tzv. přepážkový systém, kdy v hlavním vrtaném kanále je vyvrtán kanál vedlejší a do něj pomocí závitů přišroubovaná přepážka. Výhoda této konstrukce spočívá v její jednoduchosti.

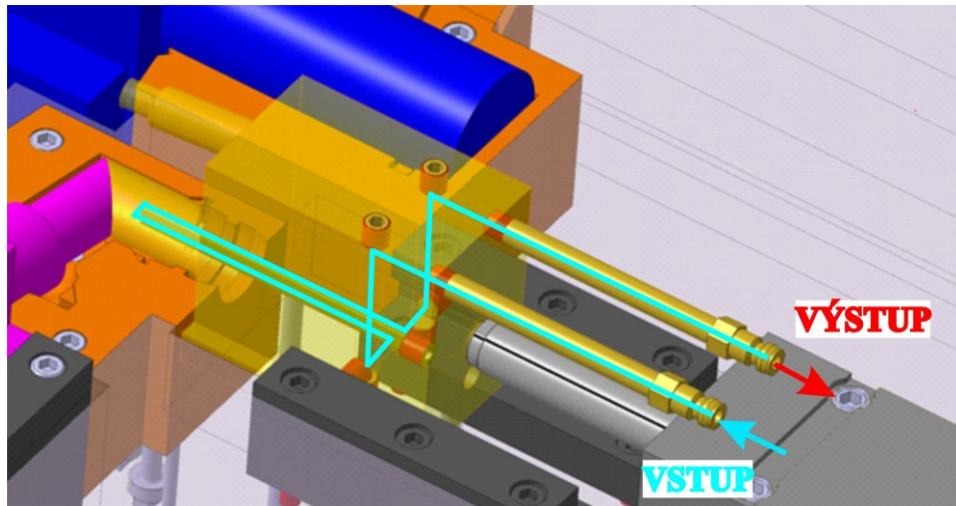


Obrázek 42: Temperační okruh 1 – temperace horního dílu

Přepážka uvnitř kanálu tvarové čelisti rozděluje kanál na dvě stejné poloviny polokruhového průřezu. Temperační kapalina vtéká z hlavního kanálu do vedlejšího, kolem přepážky, na konci změní směr a teče druhou polovinou kanálu zpět do kanálu hlavního. Pro vstup a výstup temperačního média do tvarové čelisti slouží přípojky, které jsou z důvodu lepšího dosahu prodlouženy a hadicí napojeny na temperační jednotku.



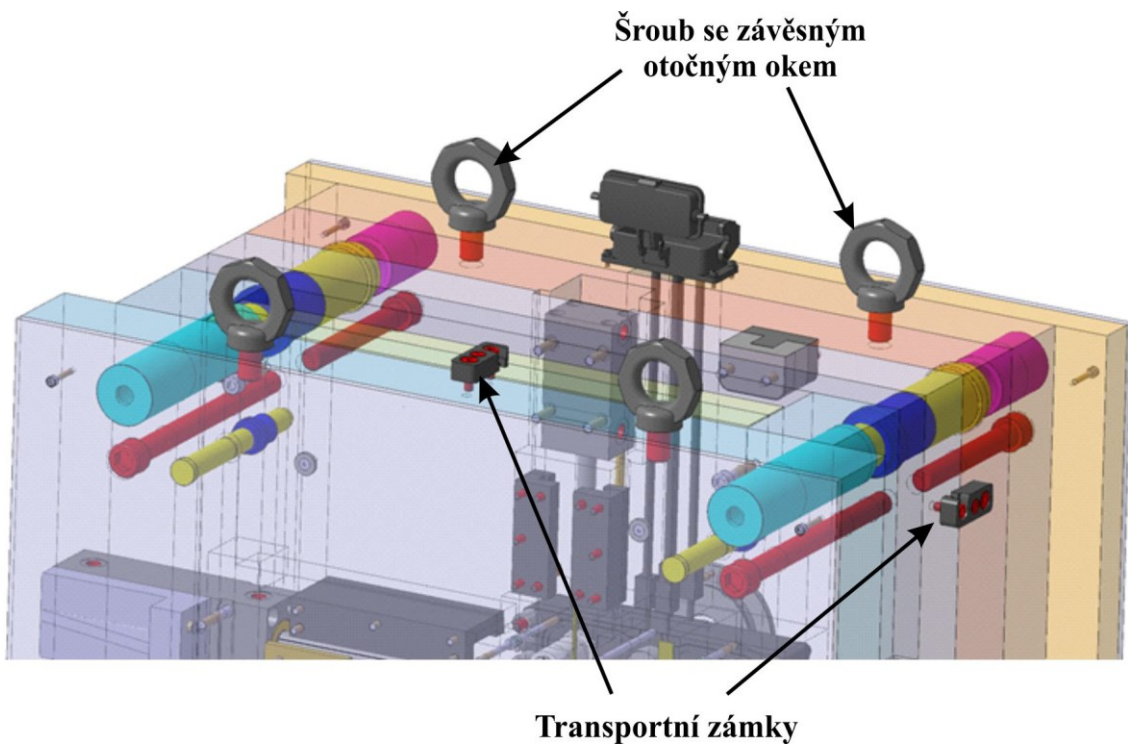
Obrázek 43: Temperační okruh 2 – temperace spodního dílu



Obrázek 44: Temperační okruh 3 – temperace spodního dílu

## 9.6 Další komponenty vstříkovací formy

Mezi další komponenty vstříkovací formy patří především prvky pro přemísťování formy. Pro tento účel jsou na formě umístěny šrouby s otočným okem od firmy Meusburger. Transportní zámky slouží k uzamknutí formy v jeden celek a jsou vybrány z katalogu od výrobce HASCO.



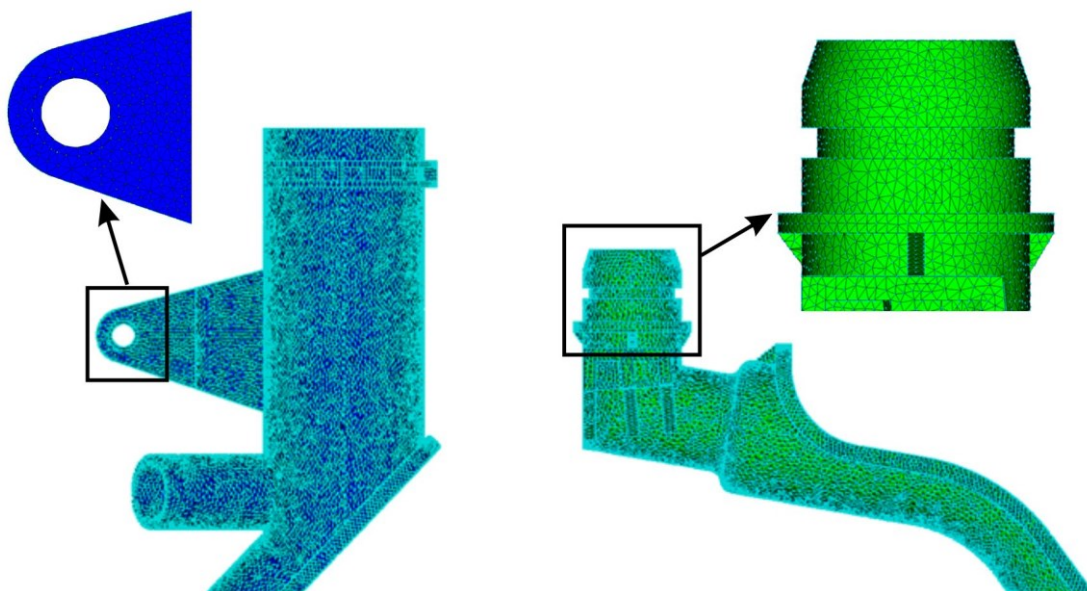
Obrázek 45: Závěsné oka a transportní zámky pro manipulaci se vstříkovací formou

## 10 NASTAVENÍ ANALÝZY MOLDFLOW

Zadáním diplomové práce je i ověření navržené vstřikovací formy pomocí analýzy. Analýza byla provedena v programu Autodesk Moldflow Synergy 2016. V této analýze byly získány hodnoty pro vhodné umístění vtoku, hodnoty plnění, dotlaku, ale také i hodnoty teploty a smrštění materiálu, případně jeho deformace.

### 10.1 Vytvoření a analýza sítě

Model obou dílů byl vysítován 2,5D sítí (Dual Domain Mesh). Sít' se skládá z velkého množství trojúhelníkových elementů se třemi uzly a délkou strany 1,5 mm. Hodnota délky strany rovnostranného trojúhelníku značně ovlivní hustotu sítě a tím i přesnost a délku výpočtu.



Obrázek 46: Vytvořená sít' modelů pro analýzu

V programu Moldflow byla zjištěna i vlastnosti a kvalita vytvořené sítě. K tomuto účelu slouží nástroj „Mesh statistic“, který zobrazí statistiku trojúhelníkových elementů sítě. Přesnost celého výpočtu analýzy nejvíce ovlivňují poslední dvě získané hodnoty, match and reciprocal percentage. Pro úspěšné dokončení analýzy by tyto hodnoty neměly klesnout pod hranici 80 %. V případě nižší hodnoty, by pravděpodobně analýza neproběhla v pořádku a její výsledek by byl nepřesný. V našem případě je hodnota 90 %, což zaručuje relativně přesný výsledek provedené analýzy.

Triangles			Edge details:	
-----			Free edges	0
Entity counts:			Manifold edges	248026
Triangles	165352		Non-manifold edges	0
Connected nodes	82673		When invisible triangles are excluded:	
Connectivity regions	3		Free edges	0
Invisible triangles	384		Orientation details:	
Area:			Elements not oriented	0
(Mold blocks and cooling channels are not included)			Intersection details:	
Surface Area:	1319.07 cm <sup>2</sup>		Element intersections	0
Volume by element types:			Fully overlapping elements	0
Triangle:	242.789 cm <sup>3</sup>		Match percentage:	
Aspect Ratio:			Match percentage	90.6%
Maximum	Average	Minimum	Reciprocal percentage	90.6%
17.88	1.61	1.16		

Obrázek 47: Statistika vytvořené sítě modelů

Důležité parametry:

- Triangles – počet trojúhelníkových elementů sítě
- Connected nodes – počet uzlů sítě
- Connectivity regions – počet vysítovaných objektů
- Surface area – plocha objektů (obsah)
- Volume – objem objektů
- Aspect ratio – hodnotí rovnostrannost trojúhelníků, čím menší číslo = přesnější výsledek analýzy
- Free edges – volné hrany – hodnota musí být 0
- Manifold edges – počet spojených hran
- Non-manifold edges – počet nepropojených hran – hodnota musí být 0
- Elements not oriented – počet neorientovaných elementů – hodnota musí být 0
- Element intersections – počet protínajících se elementů – hodnota musí být 0
- Fully overlapping elements – počet překrývajících se elementů – hodnota musí být 0
- Match and Reciprocal percentage – hodnotí kvalitu sítě, čím vyšší číslo = přesnější výsledek analýzy

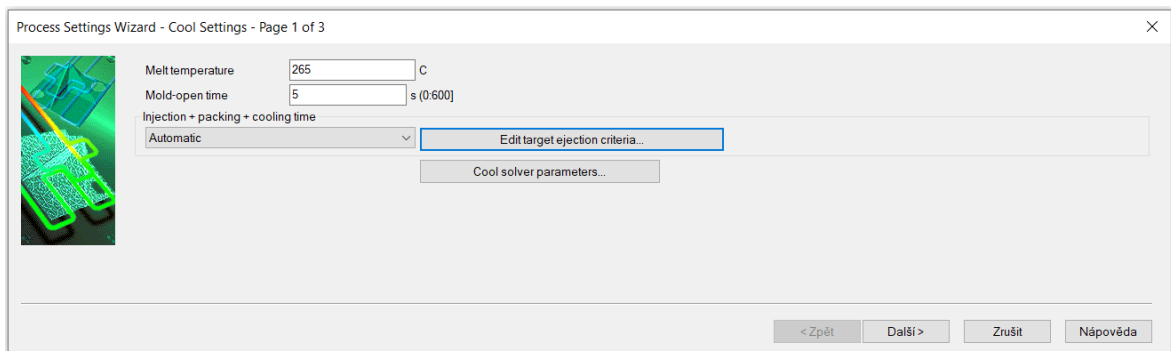


## 10.2 Nastavení parametrů analýzy

Procesní parametry a okrajové podmínky byly nastaveny podle údajů uvedených v databázi programu Moldflow pro zvolený materiál. Při nastavení procesních podmínek se nastavují parametry jako je teplota taveniny a povrchu vstřikovací formy, čas plnění, fáze dotlaku, ale také i volba vhodného vstřikovacího stroje a nastavení temperačních parametrů.

### 10.2.1 Podmínky pro chlazení

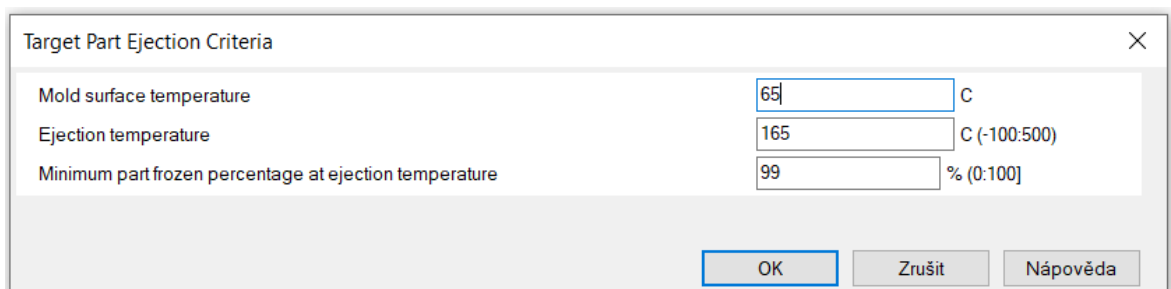
V první fázi se nastavují podmínky pro chlazení. Teplota vstřikované taveniny byla nastavena na 265 °C, při této teplotě má materiál optimální vlastnosti pro zpracování. Doba, otevření vstřikovací formy na 5 sekund a čas vstřikování, dotlaku a chlazení byl ponechán na automatické volbě programu.



Obrázek 48: Nastavení podmínek analýzy pro chlazení

### 10.2.2 Podmínky pro vyhození

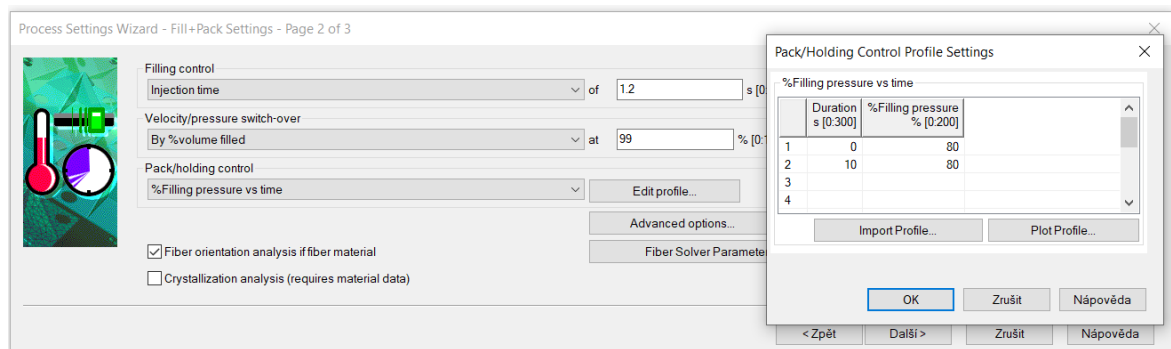
Při nastavování podmínek pro vyhození z formy, se nastavují hodnoty teploty povrchu formy a vyhazovací teplota, které byly nastaveny podle doporučení výrobce materiálu uvedené v materiálovém listu. Hodnota teploty formy je 65 °C a teplota vyhazování na 165 °C. Minimální procento zatuhlé vrstvy materiálu pro vyhození bylo zvoleno při 99 %.



Obrázek 49: Nastavení podmínek analýzy pro vyhození výrobku

### 10.2.3 Podmínky pro plnění a dotlak

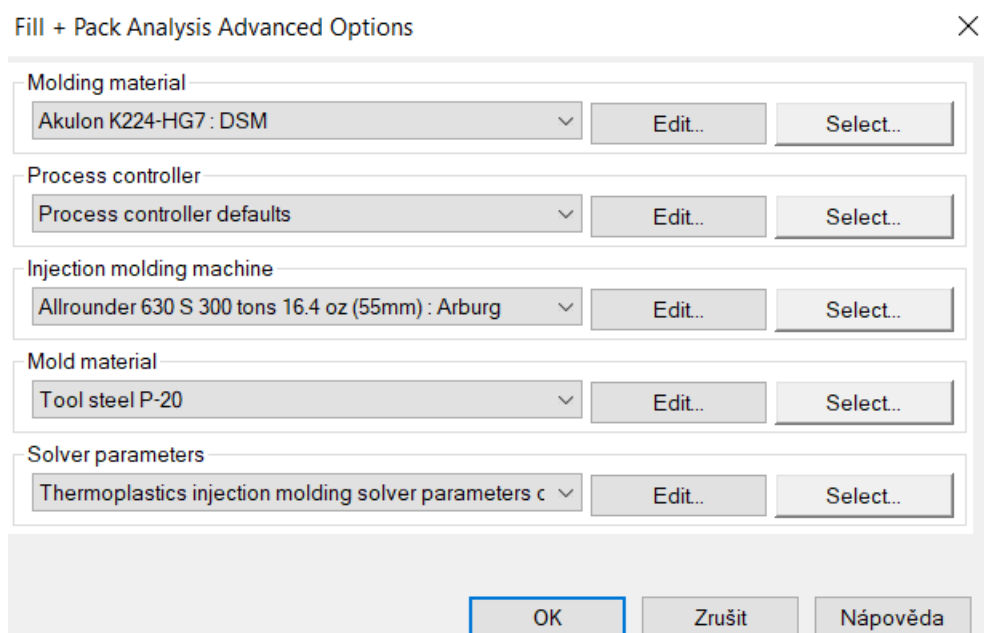
V další fázi byly nastaveny podmínky pro plnění a dotlak. Kontrola plnění formy byla nastavena podle vstřikovacího času 1,2 s. Při 99 % objemového zaplnění dutiny formy dojde k přepnutí z fáze plnění na dotlak. Fáze dotlaku byla nastavena podle času, v čase 0 bude dotlak 80 % z celkového plnicího tlaku a v čase 10 taktéž 80 %. V analýze bylo nastaveno i zjištění výsledku orientace vláken plněného materiálu.



Obrázek 50: Nastavení podmínek pro plnění a dotlak při vstřikování

### 10.2.4 Rozšířené nastavení

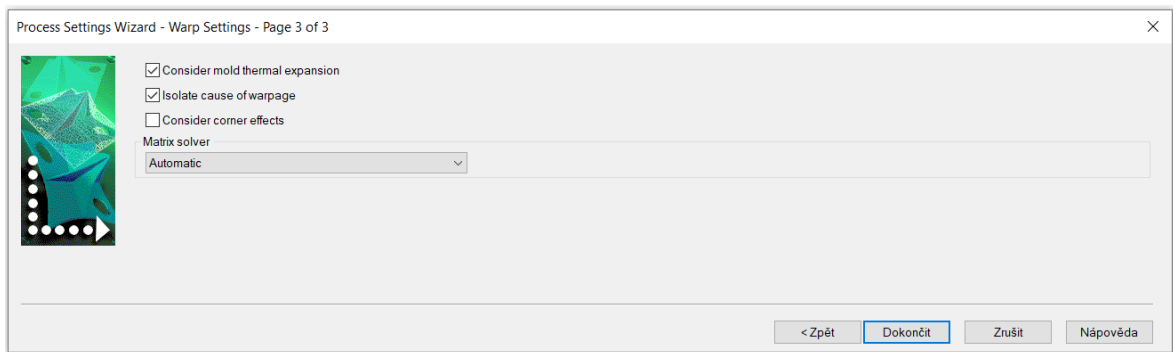
Další rozšířené nastavení podmínek pro analýzu zahrnují volbu vstřikovaného materiálu, volbu vhodného vstřikovacího stroje a zvolení materiálu vstřikovací formy. Zbývající parametry jako je procesní kontrola a výpočtové parametry zůstávají nastavené jako výchozí.



Obrázek 51: Nastavení rozšiřujících podmínek analýzy

### 10.2.5 Podmínky výpočtu smrštění

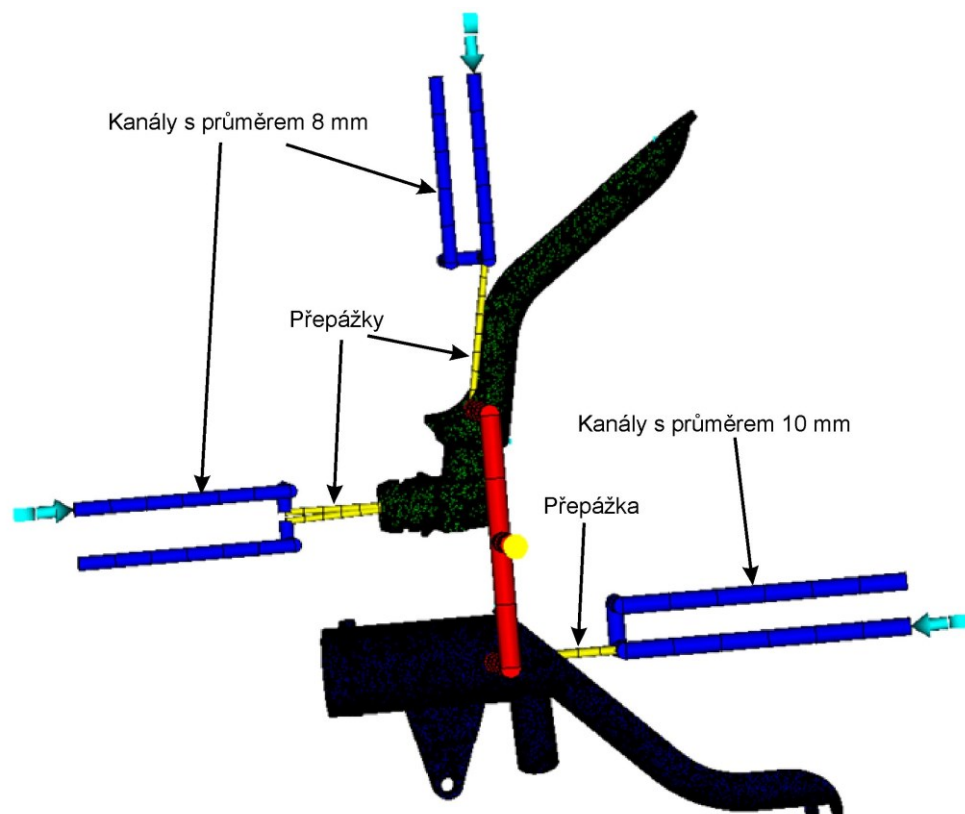
V podmínkách pro výpočet smrštění bylo zvoleno nastavení, aby se při výpočtu uvažovalo s teplotní roztažností formy a aby se izolovaly příčiny deformací.



Obrázek 52: Nastavené podmínky analýzy pro výpočet smrštění

### 10.2.6 Nastavení parametrů temperačních okruhů

Parametry všech tří okruhů temperačních systémů byly nastaveny totožně. Jako temperační kapalina byla zvolena voda s etylenglykolem v poměru 80/20 %, se vstupní teplotou 25 °C. Etylenglykol pomáhá pro neusazování vodního kamene a korozi v kanálech. Pro turbulentní proudění v okruzích byla nastavena hodnota Reynoldsova čísla na 13 000.



Obrázek 53: Nastavení analýzy temperačních okruhů

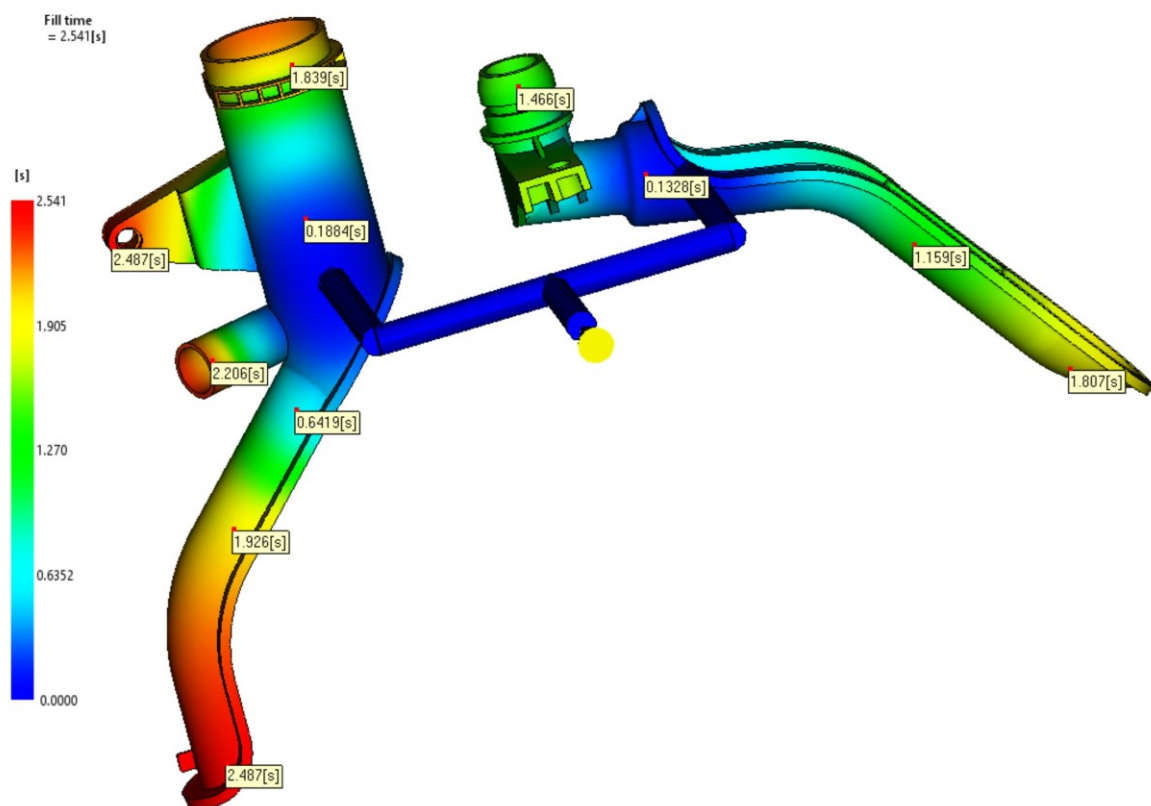
## 11 VÝSLEDKY ANALÝZY MOLDFLOW

Tato kapitola pojednává o výsledcích analýzy navržené vstřikovací formy v programu Moldflow. Rozebírané výsledky se zabývají tokovými analýzami, tedy popisují chování taveniny během celého procesu vstřikování.

### 11.1 Analýzy plnění a dotlaku

#### 11.1.1 Čas plnění (Fill time)

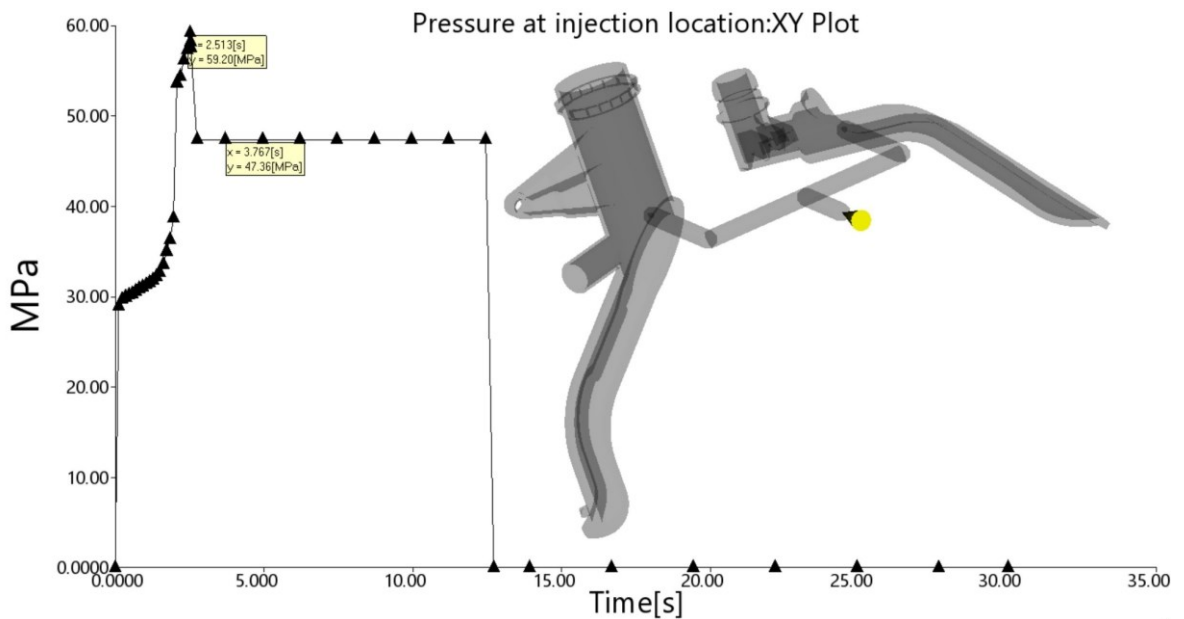
Analýza zobrazuje čas, potřebný pro úplné zaplnění dutiny formy. Na obrázku níže je patrné, že celá dutina formy je zaplněna za 2,5 sekundy. Z důvodu rozdílných objemů dutin formy, je dutina horního dílu (vlevo) zaplněna později. Dutina spodního dílu je zaplněna v čase cca 1,8 sekundy. Jestliže by došlo k nedotečení dutiny musely by se upravit procesní podmínky, a to buď zvýšením vstřikovacího tlaku, dřívějším přepnutím plnění na fázi dotlaku, zvýšením teploty formy nebo zvýšením teploty vstřikované taveniny. Jednou z variant je i volba jiného materiálu s lepšími tokovými vlastnostmi.



Obrázek 54: Analýza času plnění dutiny formy

### 11.1.2 Tlak ve vtokovém ústí (Pressure at injection location XY Plot)

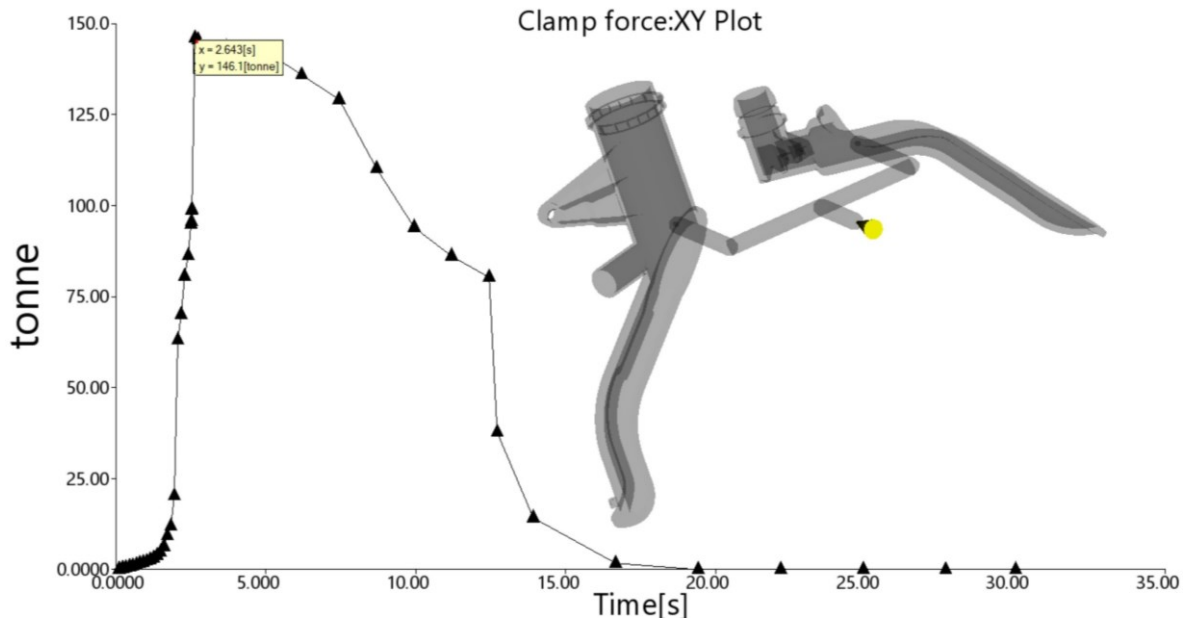
Na obrázku je znázorněný graf průběhu tlaku taveniny ve vtokovém ústí v závislosti na čase. Ukazuje že k zaplnění 99 % dutiny formy došlo za 2,5 sekundy při tlaku 59 MPa. V tomto čase dochází k přepnutí fáze plnění na fázi dotlakovou, při které dojde k úplnému zaplnění dutiny formy. Dotlaková fáze má i vliv na konečnou kvalitu výstřiku.



Obrázek 55: Průběh tlaku taveniny ve vtokovém ústí

### 11.1.3 Uzavírací síla (Clamp force)

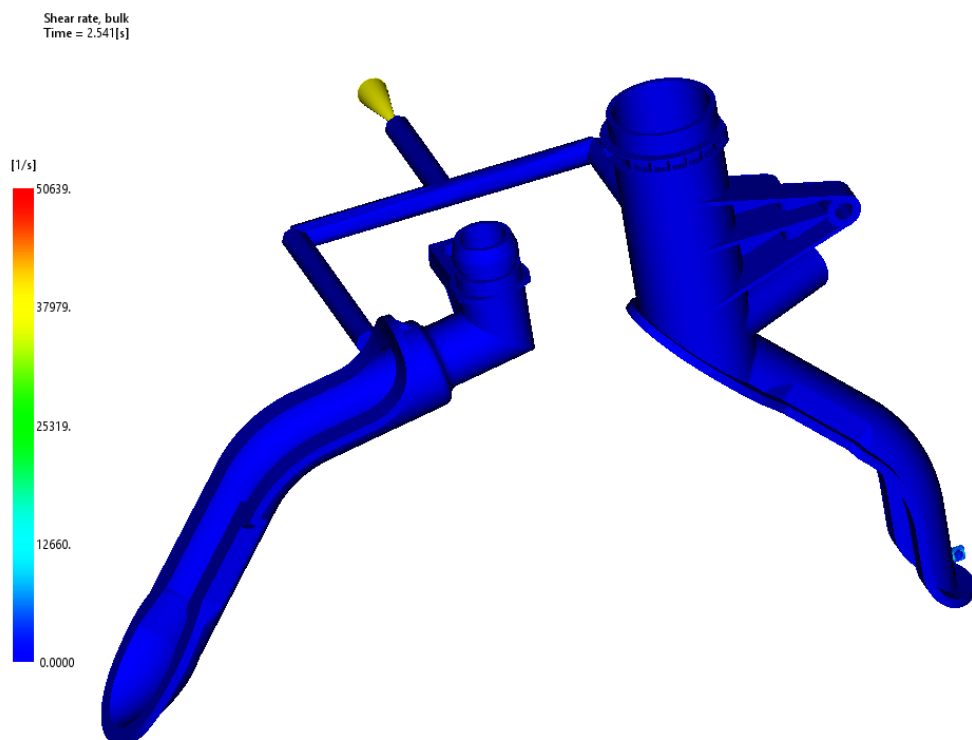
Výsledkem této analýzy je zjištění velikosti uzavírací síly, potřebné k udržení obou polovin (pravé i levé strany) vstřikovací formy u sebe, během celého vstřikovacího procesu. Velikost uzavírací síly je jedním z důležitých parametrů pro výběr vhodného vstřikovacího stroje. Nejvyšší hodnota uzavírací síly je na konci plnění dutiny formy a z analýzy byla zjištěna hodnota 1460 kN (146 t). Zvolený vstřikovací stroj má v technických parametrech uvedeno, že je schopen vyvinout maximální uzavírací sílu 3200 kN. Maximální hodnota uzavírací síly v našem případě nebude překročena, tudíž vybraný vstřikovací stroj vyhovuje požadavkům. Při překročení maximální hodnoty uzavírací síly stroje by stroj neudržel obě poloviny formy u sebe a došlo by k zatečení taveniny do dělicí roviny.



Obrázek 56: Průběh uzavírací síly během vstřikování

#### 11.1.4 Rychlost smykové deformace (Shear rate, bulk)

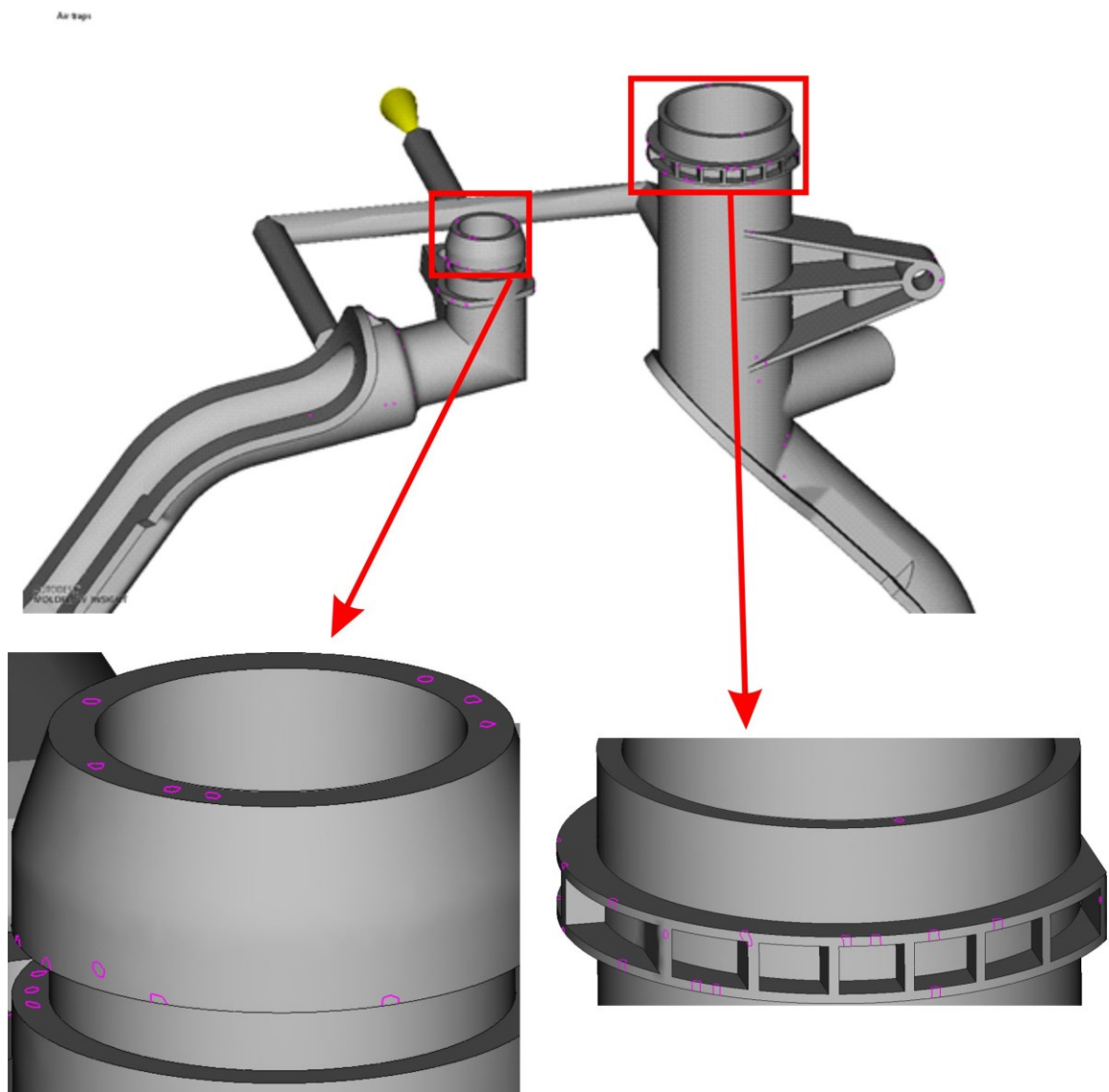
Výsledky získané při analýze rychlosti smykové deformace, charakterizující intenzitu smykového toku, vyšly do požadované podmínky. Podmínkou bylo nepřesáhnout hodnotu  $60\,000\text{ s}^{-1}$ , což by způsobovalo problémy s tokem taveniny a tím i zhoršení kvality výrobku. Maximální hodnota rychlosti smykové deformace z analýzy vyšla  $50\,639\text{ s}^{-1}$ .



Obrázek 57: Analýza rychlosti smykové deformace

### 11.1.5 Vzduchové kapsy (Air traps)

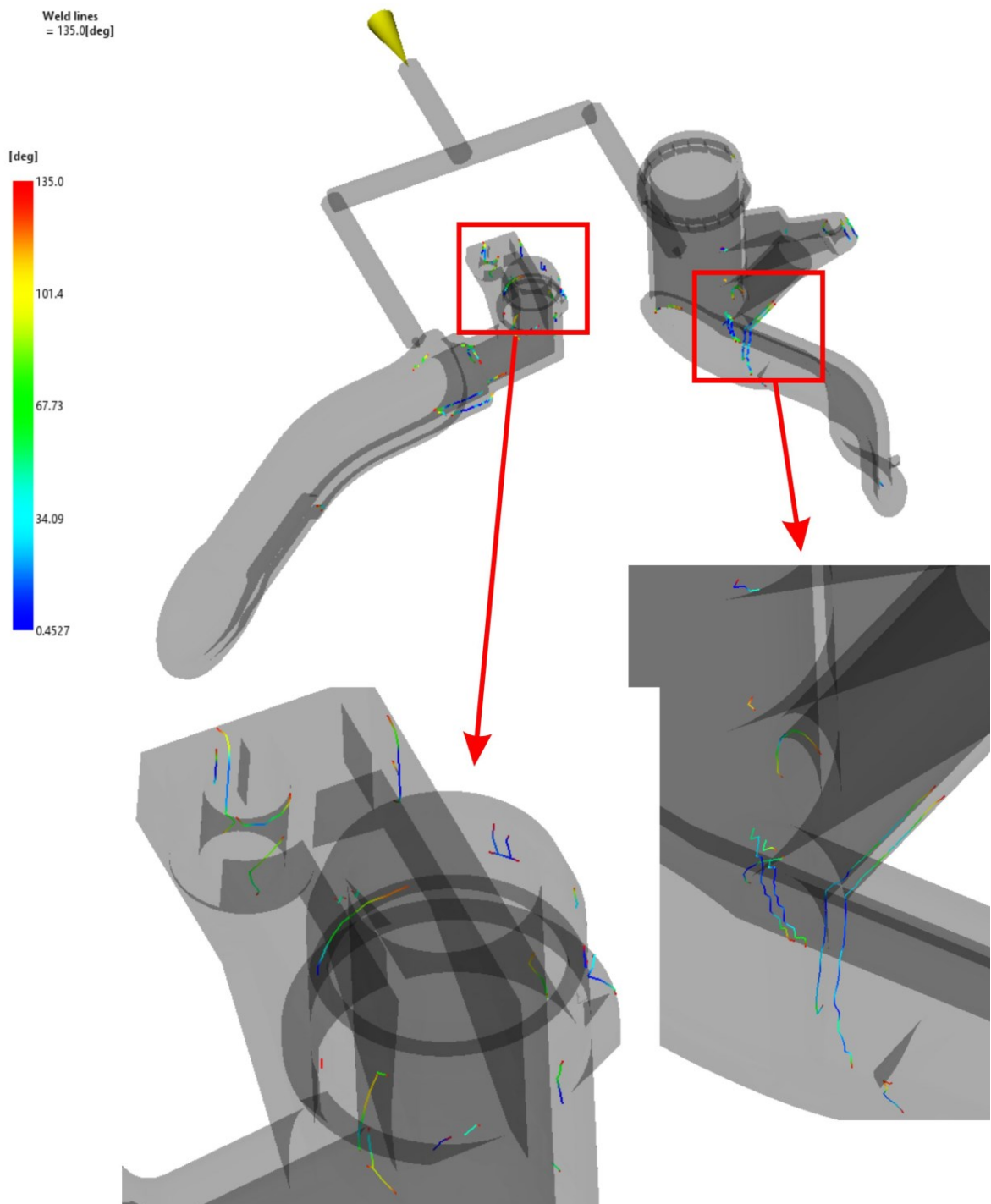
Výsledkem této analýzy je zjištění, ve kterých místech se s největší pravděpodobností může uzavírat vzduch, který může negativně ovlivnit kvalitu výrobku. Obecně vzduch odchází mezi pohyblivými částmi formy nebo dělicími rovinami. V určitých místech se mohou vytvářet vzduchové kapsy, ve kterých může dojít k tzv. „dieselovu“ efektu, kdy vlivem velkého stlačení vzduchu, dojde ke zvýšení jeho teploty až do takových hodnot, že způsobí spálení materiálu v daném místě výrobku. Aby se předcházelo tomuto negativnímu efektu, zavádí se v kritických místech odvzdušňovací kanálky, kterými může stlačovaný vzduch bez problému uniknout.



Obrázek 58: Místa s pravděpodobným výskytem vzduchových kapes

### 11.1.6 Studené spoje (Weld lines)

Studené spoje vznikají spojením dvou čel taveniny. V místě studeného spoje má výrobek snížené mechanické vlastnosti a může docházet k jeho snadnějšímu porušení. Z konstrukčního hlediska by studené spoje neměly být v místech, ve kterých dochází k většímu mechanickému namáhání výrobku.

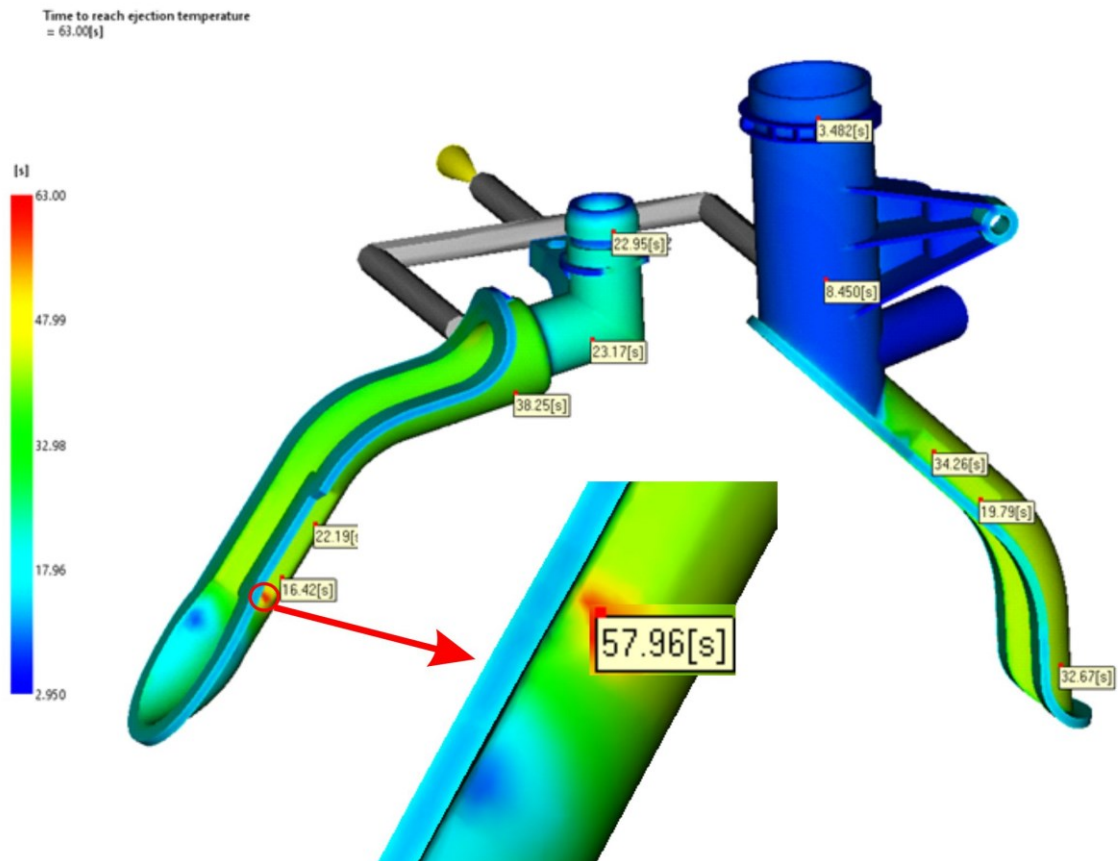


Obrázek 59: Analýza vzniku studených spojů



### 11.1.7 Čas pro dosažení vyhazovací teploty (Time to reach ejection temperature)

Výsledky analýzy pro zjištění času, kdy výrobky dosáhnou vyhazovací teploty jsou znázorněny níže. Vyhazovací teplota byla pro analýzu nastavena na 165 °C. V kritickém místě byla zjištěna hodnota cca 58 sekund pro dosažení vyhazovací teploty. V tomto místě ale nepůsobí vyhazovač, proto můžeme říci, že výrobek dosáhne vyhazovací teploty okolo 35 sekund. Pro snížení tohoto času by musela být zvýšena intenzita chlazení.



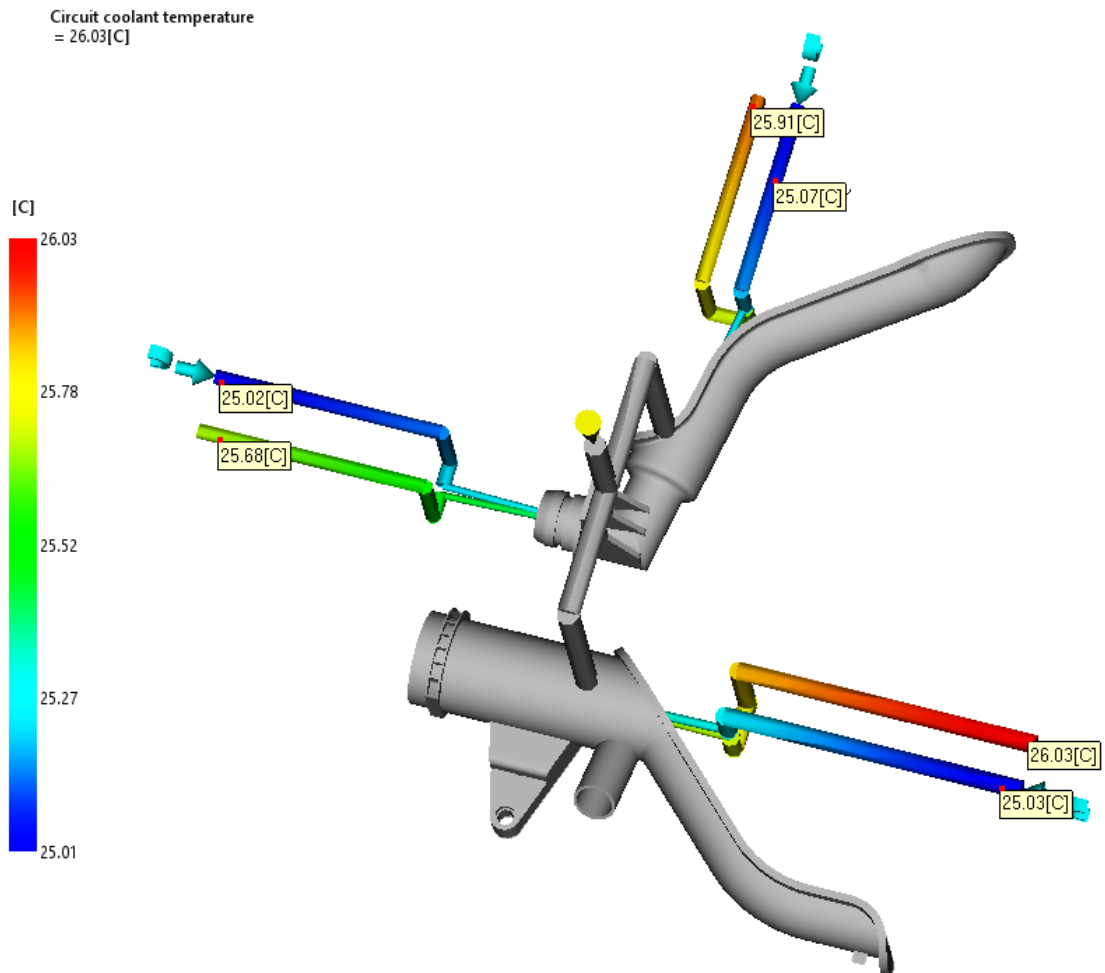
Obrázek 60: Analýza času dosažení vyhazovací teploty

## 11.2 Analýzy teploty

V této kapitole jsou rozebrány získané výsledky z analýzy teploty a smrštění materiálu. Teplotní okruhy byly do analýzy nahrány ve formátu \*.igs a jsou totožné s navrženou trajektorií při návrhu vstřikovací formy. Analýza se zabývá teplotou a tlakem v navržených teplotních okruzích, účinností odvodu tepla a průtoky které jsou v teplotních okruzích. Na závěr analýzy je rozebrán výsledek celkové deformace materiálu od všech působících efektů.

### 11.2.1 Teplota v temperačním systému (Circuit coolant temperature)

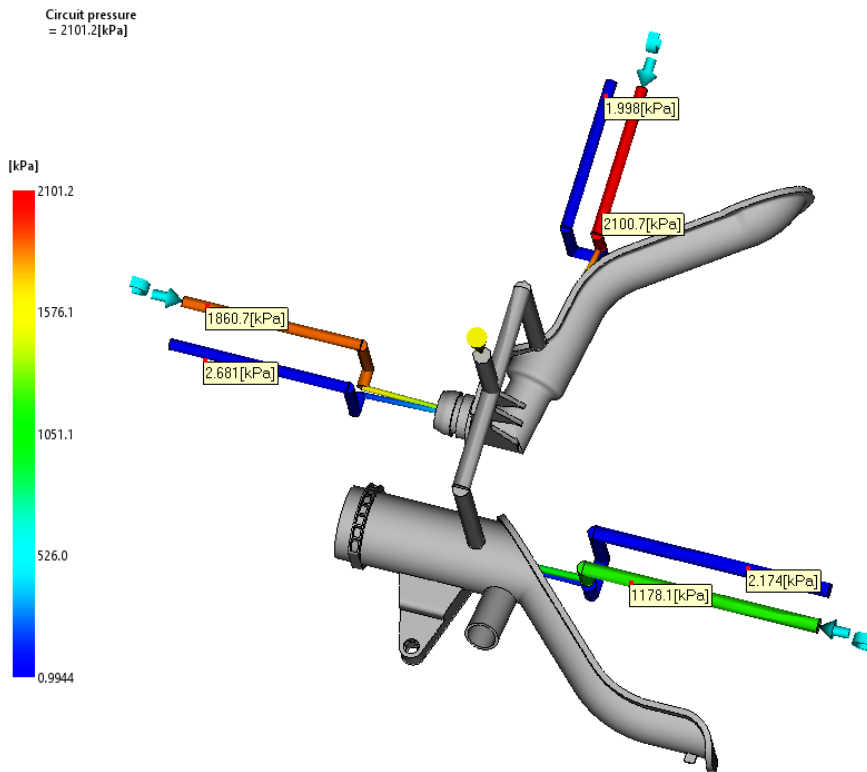
Při průtoku temperačního média temperačními kanály dochází k přenosu tepla. Na vstupu má temperační médium nastavenou teplotu 25 °C a po průchodu se ohřívá a odvádí teplo ze vstřikovací formy. Lze vidět, že rozdíl teploty na vstupu a výstupu je cca 1 °C, což odpovídá podmínce, aby tyto teploty neměly rozdíl větší o 3-5 °C.



Obrázek 61: Analýza změny teploty v temperačním okruhu

### 11.2.2 Tlak v temperačním systému (Circuit pressure)

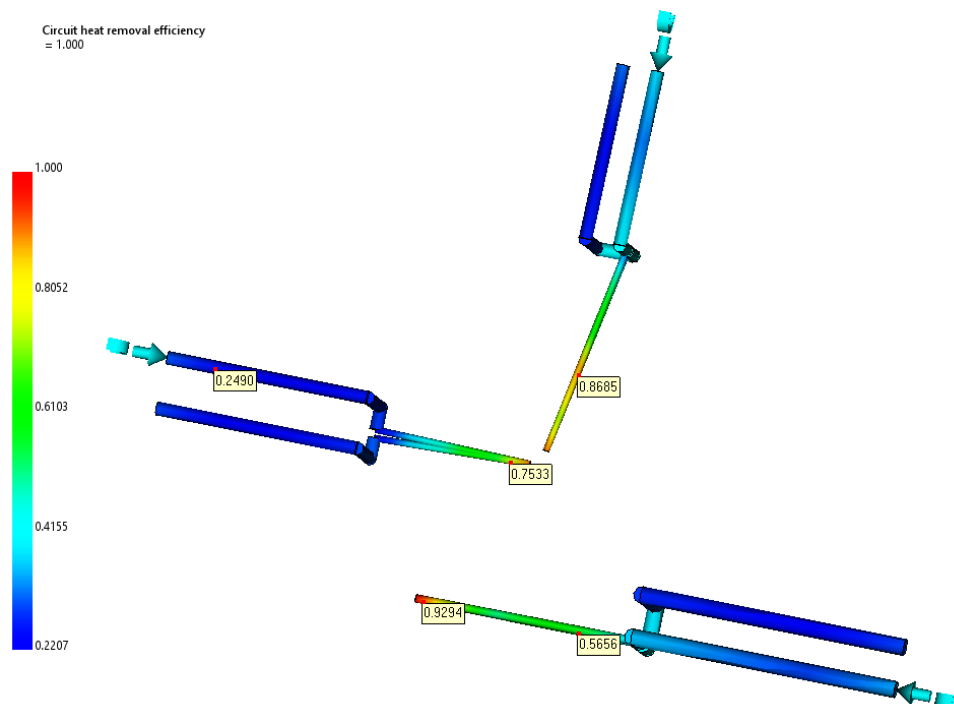
Průběh tlaku ve temperačním systému má obecně klesající tendenci, ale v žádném případě by neměl dosáhnout nulové hodnoty. V případě nulové hodnoty tlaku by nedocházelo k pohybu temperačního média. Z obrázku můžeme vidět, že tlak na vstupu má hodnotu okolo 2000 kPa a s délkou kanálu klesá na hodnoty zhruba 2-3 kPa, lze tedy říci že navržené temperační okruhy vyhovují.



Obrázek 62: Analýza změny tlaku v temperačním okruhu

### 11.2.3 Účinnost odvodu tepla temperačního systému (Circuit heat removal efficiency)

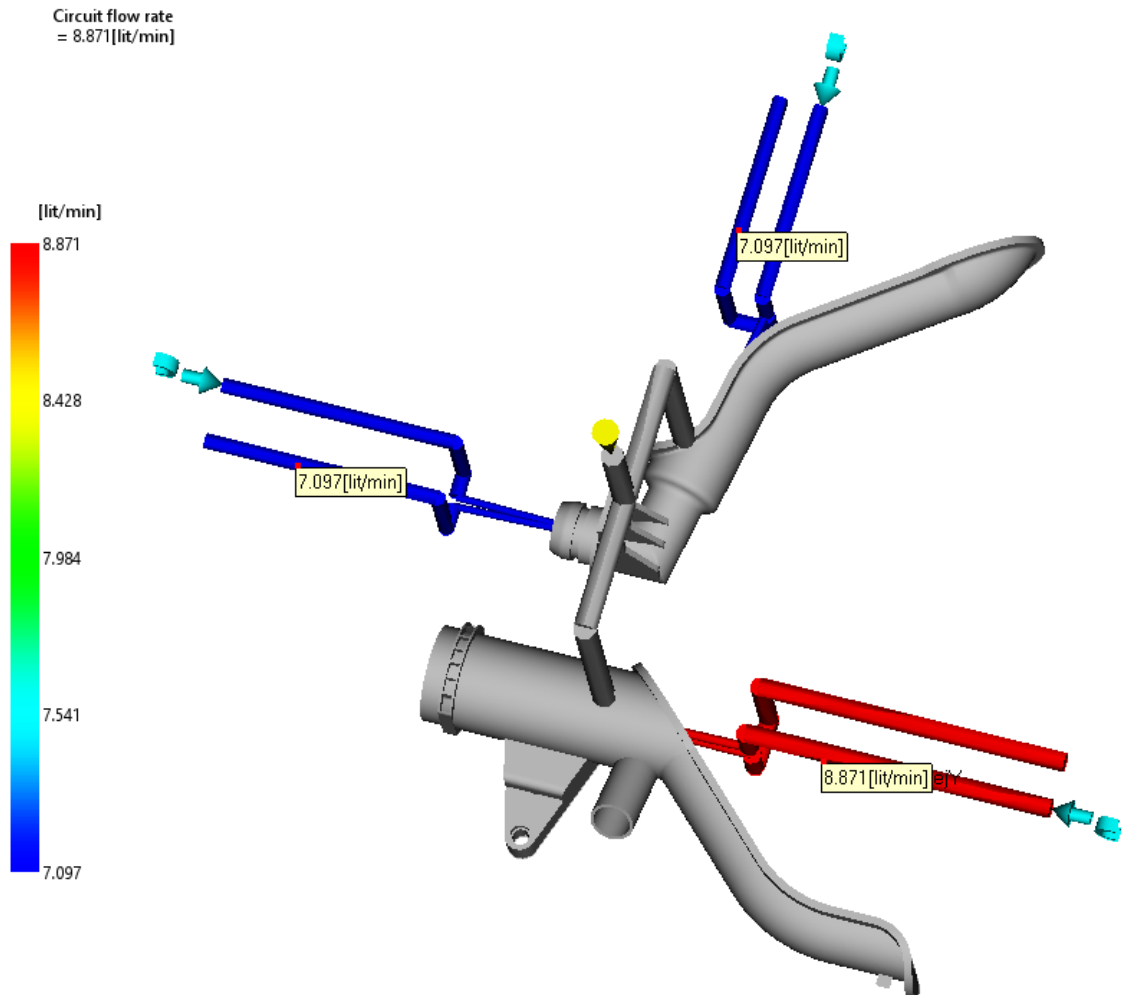
Výsledky analýzy ukazují, jakou účinnost odvodu tepla mají navržené temperační kanály. K největší účinnosti přestupu tepla dochází na koncích přepážek uvnitř tvarových vložek.



Obrázek 63: Analýza účinnosti odvodu tepla v temperačních okruzích

### 11.2.4 Průtok v temperačním okruhu (Circuit flow rate)

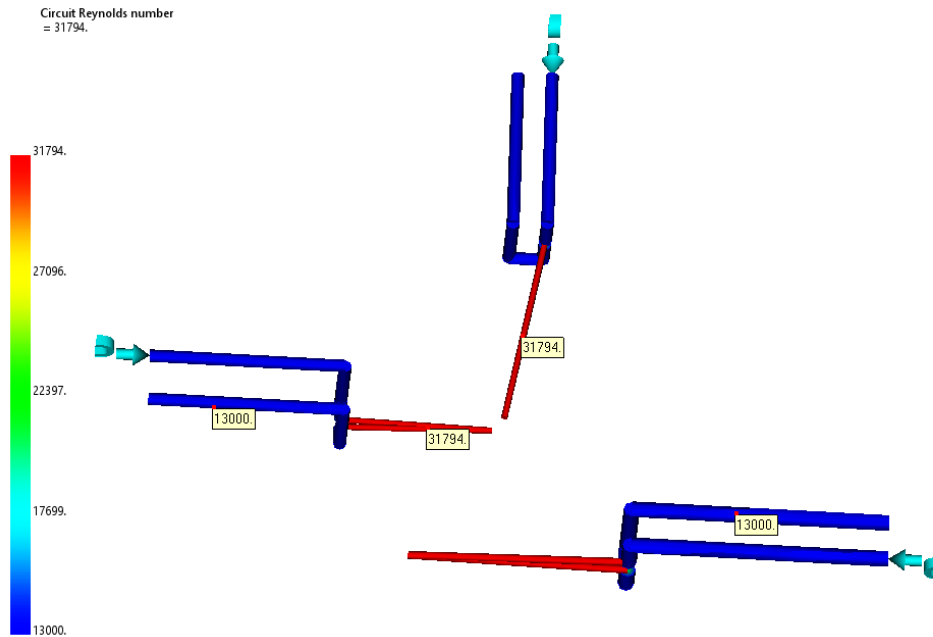
Průtok ve všech okruzích by měl být po celé délce okruhu stejný. Výsledná hodnota je u kanálu s větším průměrem 8,8 l/min. a u kanálů s průměrem menším 7 l/min. Průtok v rámci jednoho kanálu je konstantní, takže vyhovují a podmínka je splněna.



Obrázek 64: Analýza průtoku temperačního média v temperačním okruhu

### 11.2.5 Hodnota Reynoldsova čísla

Analýza získání hodnoty Reynoldsova čísla zjišťuje druh proudění temperačního média v temperačních okruzích. Hodnota Reynoldsova čísla byla nastavena na 13 000 aby docházelo k turbulentnímu proudění kapaliny. V místech přepážek, tedy užších místech tato hodnota dosahuje dokonce čísla 31 794.

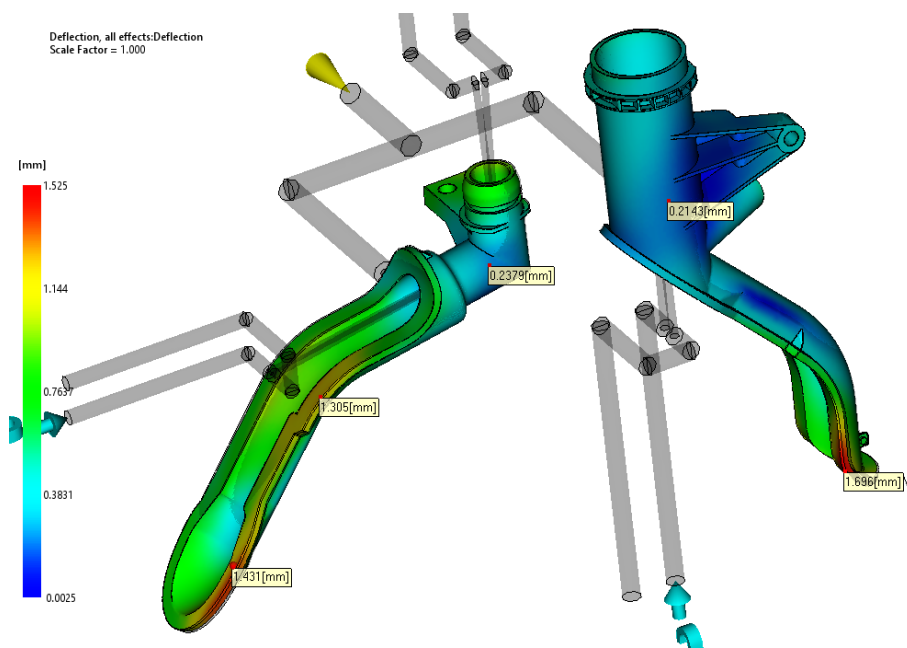


Obrázek 65: Analýza hodnoty Reynoldsova čísla

## 11.3 Analýzy deformace

### 11.3.1 Celková deformace všech účinků (All effects deflection)

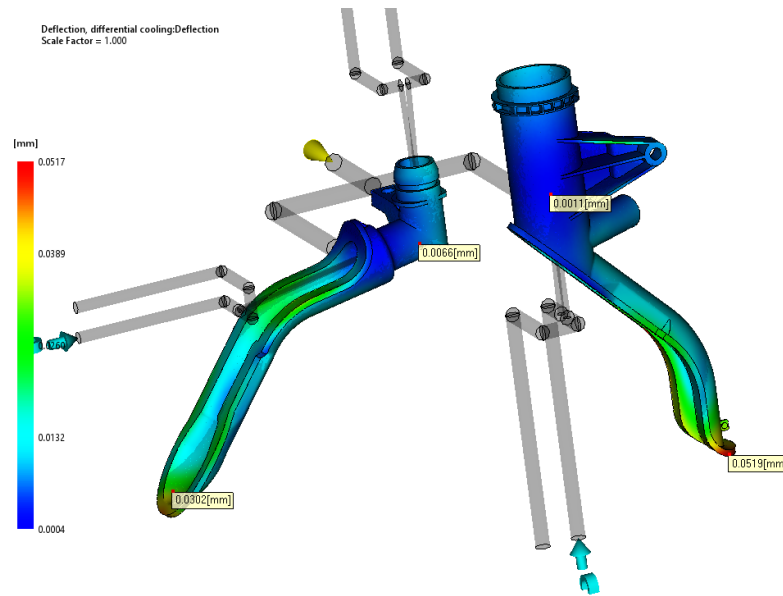
Výsledek analýzy zobrazuje celkovou deformaci vzniklou při vstřikování výrobku. V místech označených červeně dochází k největší deformaci, která činí 1,5 mm. Velké deformace se mohou eliminovat zvýšením dotlaku nebo snížením teploty formy. V modrých místech je hodnota deformace téměř nulová a k žádnému negativnímu jevu zde nedochází.



Obrázek 66: Analýza celkové deformace při smrštění materiálu

### 11.3.2 Analýza deformace vlivem chlazení (Differential cooling deflection)

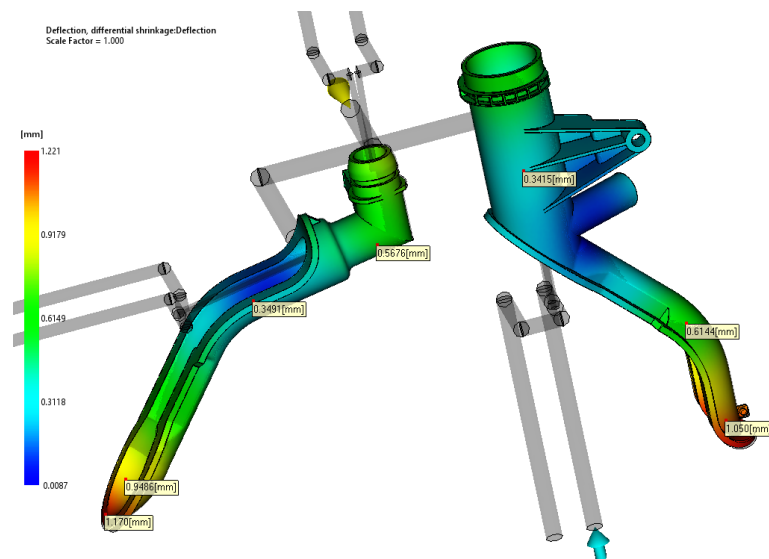
Analýza zobrazuje výsledek deformace způsobené chlazením výrobku. Podle zjištěných výsledků analýzy, je nejvyšší hodnota vlivem temperačního systému 0,05 mm, což je velmi nízká hodnota a může být zanedbána.



Obrázek 67: Analýza deformace vlivem chlazení výrobku

### 11.3.3 Analýza deformace vlivem smrštění materiálu (Differential shrinkage deflection)

Deformace způsobená smršťováním materiálu vzniká při přeměně taveniny do tuhého stavu výrobku. Těmto deformacím se nadá úplně zabránit, ale je možné je eliminovat zvýšením dotlaku nebo změnou temperace formy.



Obrázek 68: Analýza deformace vlivem smrštění materiálu

## DISKUZE VÝSLEDKŮ

Hlavním cílem diplomové práce bylo navrhnout vstřikovací formu pro výrobu části mazacího systému. Jako vstřikovaný díl bylo vybráno plnicí hrdlo oleje automobilu VOLVO. Tento díl se skládá ze dvou částí, části horní a spodní, které jsou k sobě spojeny svařováním.

Jako první byl vytvořený model obou částí dílu. Poté byla pro obě části provedena analýza vhodnosti umístění vtokového ústí, po které se navrhla dělicí rovina a způsob zaformování obou částí výrobku. Vtokový systém byl zvolen vyhřívaný, tvořený rozvodným blokem a dvěma vstřikovacími tryskami.

V další fázi práce byly vytvořeny tvarové vložky (tvárník a tvárnice) a také tvarové čelisti pro boční odformování obou vstřikovaných částí. Tvarové čelisti bočního odformování jsou uloženy na pohyblivé straně formy, jen z důvodu složitosti zaformování horního dílu bylo nutné umístit jednu tvarovou čelist do strany pevné. Pohyb těchto částí v posuvných jednotkách je zajištěn hydraulickými válci napojených na hydraulický obvod stroje.

Po navržení zaformování dílu byl vytvořen návrh vyhazovacího systému. Ten tvoří šestnáct válcových vyhazovačů, jejichž konce kopírují výsledný tvar výrobku. Z tohoto důvodu jsou všechny vyhazovače zajištěny proti pootočení. Pohyb vyhazovacího systému je za pomoci táhla napojeného na hydraulický systém stroje. V další fázi byl navržen temperační systém vstřikovací formy. Temperační systém se skládá ze tří temperačních okruhů umístěných ve tvarových čelistích bočního odformování. Všechny okruhy obsahují tzv. přepážkový systém, kdy je hlavní kanál rozdělen přepážkou, kterou obtéká vstupující temperační médium. V návrhu bylo také použito spoustu vodících, středících a spojovacích prvků. Na závěr jsou na vstřikovací formu umístěny šrouby se závěsnými oky pro příslušnou manipulaci a instalaci formy do vstřikovacího stroje.

Po navržení a vytvoření celé vstřikovací formy byla provedena analýza toku, chlazení a deformace výrobku. Pro analýzu byla vytvořena geometrie vtokového a temperačního systému, která byla nahrána do programu Autodesk Moldflow Synergy 2016. Po nastavení dalších podmínek byla analýza úspěšně dokončena. Návrh formy splnil požadované podmínky analýzy, došlo k úplnému zaplnění dutiny formy a nebyly překročeny žádné limity zvoleného vstřikovacího stroje.

## ZÁVĚR

Hlavním cílem bylo navrhnout vstříkovací formu pro výrobu zadaného dílu mazacího systému. Zadaný díl se skládá ze dvou odlišných částí a slouží pro přívod motorového oleje do motoru automobilu VOLVO.

První část diplomové práce tvoří část teoretická, která obecně zahrnuje témata ohledně polymerních materiálů a jejich přípravu před samotným zpracováním. Dále se zabývá zpracováním polymerních materiálů, konkrétně technologií vstříkování, kde jsou popsány podrobnější informace o vstříkovacím procesu a vstříkovacím stroji. V závěru teoretické části je rozebrána konstrukce vstříkovací formy a její důležité komponenty, včetně používaných materiálů pro její výrobu.

Praktická část popisuje postup při návrhu vstříkovací formy pro zadaný díl. Tento návrh byl proveden s pomocí programu CATIA V5R19 za použití modulů Mold Tooling Design a Core and Cavity Design. Při konstrukci vstříkovací formy byly také využity normalizované součásti od specializovaných výrobců HASCO a Meusburger

V první fázi praktické části bylo vytvoření modelů výrobků a následně jejich dutin. Dutiny jsou tvořeny tvárníkem, tvárnicí a tvarovými čelistmi pro boční odformování dílů. Vstříkovaný materiál byl vybrán od firmy DSM, konkrétně AKULON K224-HG7, což je polyamid 6 plněný 35 % skleněnými vlákny. Tento materiál má výbornou tepelnou odolnost a je schopen dlouhodobě snášet vysoké teploty, které se v motorovém prostoru pohybují od 80 – 95 °C.

V další fázi práce byla vytvořena samotná vstříkovací forma. Forma je navržena jako jednonásobná a sdružená, což znamená, že se při jednom vstříkovacím cyklu vytvoří dva rozdílné výrobky. Vtokový systém byl zvolen vyhřívaný, který zajistí výrobu bez vtokových zbytků. Vrtané kanály ve tvarových čelistech bočního odformování slouží jako temperační systém formy. Pro účinnější chlazení jsou do vrtaných kanálů umístěny přepážky, které rozvádí temperační médium. Vyhazovací systém je složen z válcových vyhazovačů, které mají konce upraveny podle tvaru výrobku a jsou zajištěny proti pootočení.

Na závěr práce byl celý návrh vstříkovací formy ověřen pomocí analýzy v programu Autodesk Moldflow Synergy 2016 a získané výsledky okomentovány.



**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: teorie a praxe* [online]. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0614-1.
- [2] FARUK, Omar, Jimi TJONG a Mohini SAIN. *Lightweight and sustainable materials for automotive applications* [online]. Boca Raton, 2017. ISBN 978-149-8756-877.
- [3] BIRON, Michel. *Material selection for thermoplastic parts: practical and advanced information for plastics engineers* [online]. Amsterdam: Elsevier, 2016. ISBN 978-070-2062-841.
- [4] WANG, Maw-Ling, Rong-Yeu CHANG a Chia-Hsiang HSU. *Molding simulation: theory and practice* [online]. Cincinnati: Hanser Publishers/Munich Hanser Publications, 2018. ISBN 978-156-9906-194.
- [5] DR. GOODSHIP, Vanessa. *Injection Moulding: A Practical Guide* [online]. 3rd Edition. University of Warwick: WMG, 2016. ISBN 978-3-11-065481-3.
- [6] R. LERMA VALER, José. *Plastics Injection Molding: Scientific Molding, Recommendations, and Best Practices* [online]. Munich: Hanser Publishers/Munich Hanser Publications, 2020. ISBN 978-1-56990-690-3.
- [7] KULKARNI, Suhas. *Robust Process Development and Scientific Molding: Theory and Practice* [online]. Hanser Publishers/Munich Hanser Publications, 2010. ISBN 978-1-61344-298-2.
- [8] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů* [online]. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [9] LENFELD, Petr. *Technologie vstřikování* [online]. Code Creator, s.r.o.; distribuce publi.cz, 2015. ISBN 978-80-88058-74-8.
- [10] STOKES, Vijay K. *Introduction to Plastics Engineering (2020 Edition)* [online]. John Wiley, 2020. ISBN 978-1-5231-3304-8.
- [11] BONTEN, Christian. *Plastic technology: Introduction and Fundamentals* [online]. Hanser Publishers, 2019. ISBN 978-1-5231-2686-6. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpPTIF0003/plastics-technology-introduction/plastics-technology-introduction>

- [12] OSWALD, Tim A. a Georg MENGES. *Material Science of Polymers for Engineers* [online]. 3rd Edition. Hanser Publishers, 2012. ISBN 978-1-62870-199-9. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpMSPEE002/material-science-polymers/material-science-polymers>
- [13] CHEN, Shia-Chung a Lih-Sheng TURNG. *Advanced Injection Molding Technologies* [online]. Hanser Publishers, 2019. ISBN 978-1-5231-2479-4. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpAIMT0003/advanced-injection-molding/advanced-injection-molding>
- [14] SOBRINO, Daynier, Delgado ROLANDO a Karol VELÍŠEK. *Novel Trends in Production Devices and Systems V - NTPDS V* [online]. Trans Tech Publications, 2019. ISBN 978-1-5231-2772-6. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpNTPDSVN6/novel-trends-in-production/novel-trends-in-production>
- [15] WEISS, Viktorie a Elena STŘIHAVKOVÁ. *Polymery* [online]. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně, Fakulta výrobních technologií a managementu, 2014. ISBN 978-80-7414-738-8.
- [16] BAUR, Erwin, Tim A. OSSWALD a Natalie RUDOLPH. *Plastic Handbook: The Resource for Plastics Engineers* [online]. 5th Edition. Munich: Hanser Publishers, 2019. ISBN 978-1-5231-2103-8. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpPHTRPEE2/plastics-handbook-resource/plastics-handbook-resource>
- [17] GOODSHIP, Vannessa, Bethany MIDDLETON a Ruth CHERRINGTON. *Design and Manufacture of Plastic Components for Multifunctionality: Structural Composites, Injection Molding, and 3D Printing* [online]. Oxford: Elsevier, 2016. ISBN 978-0-323-35384-7.
- [18] BEAUMONT, John P. *Runner and Gating Design Handbook: Tools for Successful Injection Molding* [online]. 3rd Edition. Munich: Hanser Publishers, [2019]. ISBN 978-1-5231-2685-9. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpRGDHTSI1/runner-gating-design/runner-gating-design>
- [19] BOBEK, Jiří. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů* [online]. Code Creator, s.r.o.; distribuce publi.cz, 2015. ISBN 978-80-88058-65-6.
- [20] KERKSTRA, Randy a Steve BRAMMER. *Injection Molding Advanced Troubleshooting Guide* [online]. Munich: Hanser Publishers, 2018 [cit. 2021-02-07]. ISBN

- 978-1-5231-2019-2. Dostupné z:  
<https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpIMATG001/injection-molding-advanced/injection-molding-advanced>
- [21] HYNEK, M., Eduard MÜLLER a Štěpán HELLER. *Studené a horké vtokové systémy*, Západočeská Univerzita v Plzni – Fakulta strojní [online], 2013. Dostupné z:  
[http://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK\\_PU/KA\\_05\\_publikace/KA05\\_Studene\\_a\\_zive\\_vtokove\\_systemy.pdf](http://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Studene_a_zive_vtokove_systemy.pdf)
- [22] DANGEL, Rainer. *Injection Moulds for Beginners* [online]. Munich: Hanser Publishers, 2016. ISBN 978-1-5231-0585-4. Dostupné také z:  
<https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpIMB00004/injection-moulds-beginners/injection-moulds-beginners>
- [23] *Arburg* [online] Dostupné z:  
[https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/mediathek/prospekte/arburg\\_robotic\\_systems\\_522728\\_en\\_gb/](https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/mediathek/prospekte/arburg_robotic_systems_522728_en_gb/)
- [24] *Meusburger* [online] Dostupné z:  
<https://www.meusburger.com/CS/CZ/zakaznici/mould-making/product-overview/components>
- [25] BOBČÍK, L. A. K. *Formy pro zpracování plastů, I. díl - Vstřikování termoplastů*. Brno: Uniplast, 1999, 133 s..
- [26] KENNEDY, Peter a Rong ZHENG. *Flow analysis of injection molds*. 2nd ed. Cincinnati: Hanser Publishers, [2013], 1 online zdroj (xxviii, 349 p.). ISBN 9781569905227
- [27] MENNIG, G. a STOECKHERT, K. *Mold/Making Handbook (3rd Edition)*. Hanser Publishers. [2013] ISBN 978-1-56990-446-2 Dostupné také z:  
<https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpMMHE001C/mold-making-handbook/mold-making-handbook>
- [28] UNGER P., *Gastrow Injection Molds – 130 Proven Designs (4th Edition)*, Hanser Publishers [2006]. ISBN 978-3-60119-485-5 Dostupné také z:  
<https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpGIMPDE15/gastrow-injection-molds/gastrow-injection-molds>
- [29] CALHOUN, A., GOLMANAVICH, J. *Plastics Technician's Toolbox*, Volmues 1-6. Society of Plastics Engineers. [2002] ISBN 978-1-59124-995-5. Dostupné také z:

<https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpPTTV0006/plastics-technicians/plastics-technicians>

[30] FISCHER, J.M., WILLIAM A. *Handbook of Molded Part Shrinkage and Warp*. Publishing/Plastics Design Library. [2003] ISBN 978-0-8155-1760-3. Dostupné také z <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpHMPSW001/handbook-molded-part/handbook-molded-part>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

2D	dvojměrný prostor
3D	trojměrný prostor
ABS	akrylonitrilbutadiensyren
ASA	akrylonitrilstyrenakrylat
CAD	počítačem podporované konstruování
CAE	počítačem podporované analýzy
CAM	počítačem podporovaná výroba
g	gram
kg	kilogram
l/min	litrů za minutu
mm	milimetr
MPa	megapascal
PA	polyamid
PAEK	polyaryletherketon
PBT	polybutyltereftalat
PE	polyethylen
POM	polyoxymetylen
PPA	polyftalamid
PPO	polyfenylenoxid
PPS	polyfenylsulfid
PS	polystyren
PVC	polyvinylchlorid
$T_f$	teplota viskózního toku
$T_g$	teplota skelného přechodu
$T_m$	teplota tání

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1: Základní dělení polymerních materiálů [1].....	12
Obrázek 2: Příklady tvaru granulí termoplastů [3] .....	14
Obrázek 3: Schéma vstřikovacího procesu [11] .....	16
Obrázek 4: Vstřikovací cyklus [11] .....	17
Obrázek 5: Průběh vstřikovacího tlaku na různých místech [13].....	19
Obrázek 6: Fontánový tok polymeru [14].....	20
Obrázek 7: Zařízení pro dávkování vláken do plastikační komory [9] .....	21
Obrázek 8: Orientace plniva při vstřikování [16] .....	21
Obrázek 9: Schéma vstřikovacího stroje [16].....	22
Obrázek 10: Schéma vstřikovací jednotky [11].....	23
Obrázek 11: Pásma šneku s rozměry pro vstřikování plněných materiálů [6] .....	23
Obrázek 12: Typy uzavíracích jednotek vstřikovacího stroje – vlevo hydraulická, vpravo elektricko-mechanická uzavírací jednotka [11] .....	24
Obrázek 13: Řez vstřikovací formou [16] .....	25
Obrázek 14: Schéma studeného vtokového systému [21] .....	26
Obrázek 15: Vtoková vložka [24].....	27
Obrázek 16: Průřezy rozvodných kanálů [18] .....	27
Obrázek 17: Typy vtokových ústí [24] .....	28
Obrázek 18: Horký vtokový systém [22].....	29
Obrázek 19: Porovnání návrhu chladících kanálů pro odvod tepla [11] .....	30
Obrázek 20: Systém plochých přepážek [19] .....	31
Obrázek 21: Typy vyhazovacích kolíků [24] .....	32
Obrázek 22: Posuvné tvarové čelisti [22] .....	33
Obrázek 23: Vysunutí posuvných čelistí pomocí hydraulického tahače [12] .....	33
Obrázek 24: Příklad sdružené formy a balancování vtokového systému [20] .....	34
Obrázek 25: Použití standardizovaných součástí [13].....	36
Obrázek 26: Model výrobku .....	41
Obrázek 27: Model horní části výrobku .....	42
Obrázek 28: Model spodní části výrobku .....	42
Obrázek 29: Procesní parametry materiálu AKULON K224-HG7 .....	43
Obrázek 30: Vybraný vstřikovací stroj ARBURG ALLROUNDER 720 S.....	44
Obrázek 31: Návrh vstřikovací formy .....	45
Obrázek 32: Pravá (pevná) část formy .....	46
Obrázek 33: Levá (pohyblivá) část formy .....	47

Obrázek 34: Zaformování horního dílu .....	48
Obrázek 35: Zaformování spodního dílu .....	48
Obrázek 36: Vyhřívaný vtokový systém .....	49
Obrázek 37: Analýza vhodnosti umístění vtoku .....	50
Obrázek 38: Vyhazovací systém formy .....	51
Obrázek 39: Středění a vedení formy .....	51
Obrázek 40: Středění a vedení vyhazovacích desek .....	52
Obrázek 41: Přesné středění formy .....	52
Obrázek 42: Temperační okruh 1 – temperace horního dílu .....	53
Obrázek 43: Temperační okruh 2 – temperace spodního dílu .....	53
Obrázek 44: Temperační okruh 3 – temperace spodního dílu .....	54
Obrázek 45: Závěsné oka a transportní zámky pro manipulaci se vstřikovací formou .....	54
Obrázek 46: Vytvořená síť modelů pro analýzu .....	55
Obrázek 47: Statistika vytvořené sítě modelů .....	56
Obrázek 48: Nastavení podmínek analýzy pro chlazení .....	57
Obrázek 49: Nastavení podmínek analýzy pro vyhození výrobku .....	57
Obrázek 50: Nastavení podmínek pro plnění a dotlak při vstřikování .....	58
Obrázek 51: Nastavení rozšiřujících podmínek analýzy .....	58
Obrázek 52: Nastavené podmínky analýzy pro výpočet smrštění .....	59
Obrázek 53: Nastavení analýzy temperačních okruhů .....	59
Obrázek 54: Analýza času plnění dutiny formy .....	60
Obrázek 55: Průběh tlaku taveniny ve vtokovém ústí .....	61
Obrázek 56: Průběh uzavírací síly během vstřikování .....	62
Obrázek 57: Analýza rychlosti smykové deformace .....	62
Obrázek 58: Místa s pravděpodobným výskytem vzduchových kapes .....	63
Obrázek 59: Analýza vzniku studených spojů .....	64
Obrázek 60: Analýza času dosažení vyhazovací teploty .....	65
Obrázek 61: Analýza změny teploty v temperačním okruhu .....	66
Obrázek 62: Analýza změny tlaku v temperačním okruhu .....	67
Obrázek 63: Analýza účinnosti odvodu tepla v temperačních okruzích .....	67
Obrázek 64: Analýza průtoku temperačního média v temperačním okruhu .....	68
Obrázek 65: Analýza hodnoty Reynoldsova čísla .....	69
Obrázek 66: Analýza celkové deformace při smrštění materiálu .....	69
Obrázek 67: Analýza deformace vlivem chlazení výrobku .....	70
Obrázek 68: Analýza deformace vlivem smrštění materiálu .....	70

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1: Příklady použití termoplastů v automobilovém průmyslu [3].....	13
Tabulka 2: Podmínky sušení vybraných termoplastů a povolený obsah vlhkosti [5] .....	15
Tabulka 3: Oceli používané pro konstrukci vstřikovacích forem [15] .....	38
Tabulka 4: Parametry vybraného vstřikovacího stroje .....	44



## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Materiálový list vstřikovaného materiálu AKULON K224-HG7

Příloha P II: Technické parametry vstřikovacího stroje

Příloha P III: Výkresová dokumentace:

- Sestava formy
- Pravá strana formy
- Levá strana formy
- Horní díl
- Spodní díl
- Kusovník

# PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST VSTŘIKOVANÉHO MATERIÁLU AKULON K224-HG7

Property Data

Akulon®

## Akulon® K224-HG7 PA6-GF35

35% Glass Reinforced, Heat Stabilized

Print Date: 2021-02-13

Properties	Typical Data	Unit	Test Method
<b>Rheological properties</b> dry / cond			
Molding shrinkage (parallel)	0.3 / *	%	ISO 294-4
Molding shrinkage (normal)	0.9 / *	%	ISO 294-4
<b>Mechanical properties</b> dry / cond			
Tensile modulus	11000 / 7000	MPa	ISO 527-1/-2
Stress at break	195 / 125	MPa	ISO 527-1/-2
Strain at break	3.5 / 7	%	ISO 527-1/-2
Flexural modulus	10700 / 6450	MPa	ISO 178
Flexural strength	305 / 180	MPa	ISO 178
Tensile modulus (200°C)	2800	MPa	ISO 527-1/-2
Stress at break (200°C)	50	MPa	ISO 527-1/-2
Strain at break (200°C)	11.6	%	ISO 527-1/-2
Charpy impact strength (+23°C)	90 / 100	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1eU
Charpy impact strength (-30°C)	75 / 75	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1eU
Charpy notched impact strength (+23°C)	14 / 24	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1eA
Charpy notched impact strength (-30°C)	12 / 12	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1eA
Izod notched impact strength (+23°C)	15 / -	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 180/1A
<b>Thermal properties</b> dry / cond			
Melting temperature (10°C/min)	220 / *	°C	ISO 11357-1/-3
Temp. of deflection under load (1.80 MPa)	210 / *	°C	ISO 75-1/-2
Temp. of deflection under load (0.45 MPa)	220 / *	°C	ISO 75-1/-2
Coeff. of linear therm. expansion (parallel)	0.2 / *	E-4/°C	ISO 11359-1/-2

Akulon®, Amite®, Arlita®, EcoPac®, Forti®, Novamio®, Stanyl® and Xytron™ are trademarks of DSM.  
All information supplied by or on behalf of DSM in relation to its products, whether in the nature of data, recommendations or otherwise, is supported by research and, in good faith, believed reliable, but DSM assumes no liability and makes no warranties of any kind, express or implied, including, but not limited to, those of title, merchantability, fitness for a particular purpose or non-infringement or any warranty arising from a course of dealing, usage, or trade practice whatsoever in respect of application, processing or use made of the aforementioned information, or product. The user assumes all responsibility for the use of all information provided and shall verify quality and other properties or any consequences from the use of all such information.

Typical values are indicative only and are not to be construed as being binding specifications. Colorants in the product or other additives may cause significant variations in typical values. This document replaces all previous versions relating to this subject.

Copyright © DSM 2021. All rights reserved. No part of the information may be reproduced, distributed, or transmitted in any form or by any means, including photocopying, recording, or other electronic or mechanical methods, without the prior written permission of DSM.

## Property Data

# Akulon<sup>®</sup> K224-HG7

Print Date: 2021-02-13

Properties	Typical Data	Unit	Test Method
Coeff. of linear therm. expansion (normal)	0.6 / *	E-4/°C	ISO 11359-1/-2
Burning Behav. at 1.5 mm nom. thickn.	HB / *	class	IEC 60695-11-10
Thickness tested	1.5 / *	mm	IEC 60695-11-10
Burning Behav. at 3.0 mm nom. thickn.	HB / *	class	IEC 60695-11-10
Thickness tested	3 / *	mm	IEC 60695-11-10
Burning Behav. at 0.75 mm nom. thickn.	HB / *	class	IEC 60695-11-10
Thickness tested	0.75 / *	mm	IEC 60695-11-10

### Electrical properties

dry / cond

Relative permittivity (100Hz)	4.8 / -	-	IEC 60250
Relative permittivity (1 MHz)	4.3 / -	-	IEC 60250
Dissipation factor (100 Hz)	170 / -	E-4	IEC 60250
Dissipation factor (1 MHz)	220 / -	E-4	IEC 60250
Volume resistivity	1E12 / 1E10	Ohm*m	IEC 60093
Surface resistivity	- / 1E13	Ohm	IEC 60093
Electric strength	35 / 25	kV/mm	IEC 60243-1
Comparative tracking index	* / 500	V	IEC 60112

### Other properties

dry / cond

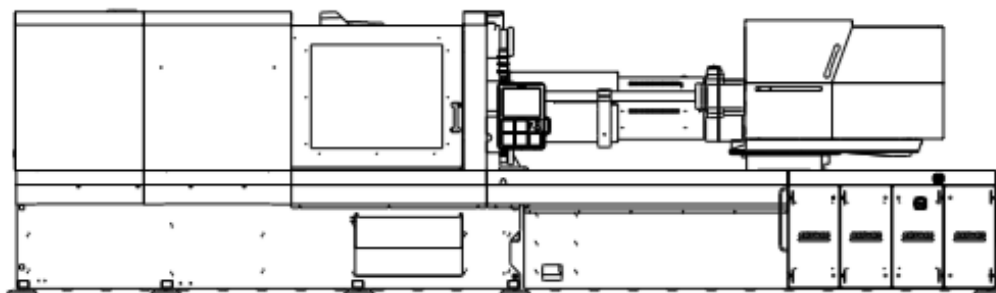
Water absorption	5.9 / *	%	Sim. to ISO 62
Humidity absorption	1.8 / *	%	Sim. to ISO 62
Density	1.400 / -	kg/m <sup>3</sup>	ISO 1183

Akulon<sup>®</sup>, Amibe<sup>®</sup>, Arsite<sup>®</sup>, EcoPac<sup>®</sup>, Forti<sup>®</sup>, Hovamid<sup>®</sup>, Saryl<sup>®</sup> and Xytron<sup>™</sup> are trademarks of DSM.  
 All information supplied by or on behalf of DSM in relation to its products, whether in the nature of data, recommendations or otherwise, is supported by research and, in good faith, believed reliable, but DSM assumes no liability and makes no warranties of any kind, express or implied, including, but not limited to, those of title, merchantability, fitness for a particular purpose or non-infringement or any warranty arising from a course of dealing, usage, or trade practice whatsoever in respect of application, processing or use made of the aforementioned information, or product. The user assumes all responsibility for the use of all information provided and shall verify quality and other properties or any consequences from the use of all such information.

Typical values are indicative only and are not to be construed as being binding specifications. Colorants in the product or other additives may cause significant variations in typical values. This document replaces all previous versions relating to this subject.

Copyright © DSM 2021. All rights reserved. No part of the information may be reproduced, distributed, or transmitted in any form or by any means, including photocopying, recording, or other electronic or mechanical method, without the prior written permission of DSM.

## PŘÍLOHA P II: TECHNICKÉ PARAMETRY VSTŘIKOVACÍHO STROJE



### ALLROUNDER 720 S

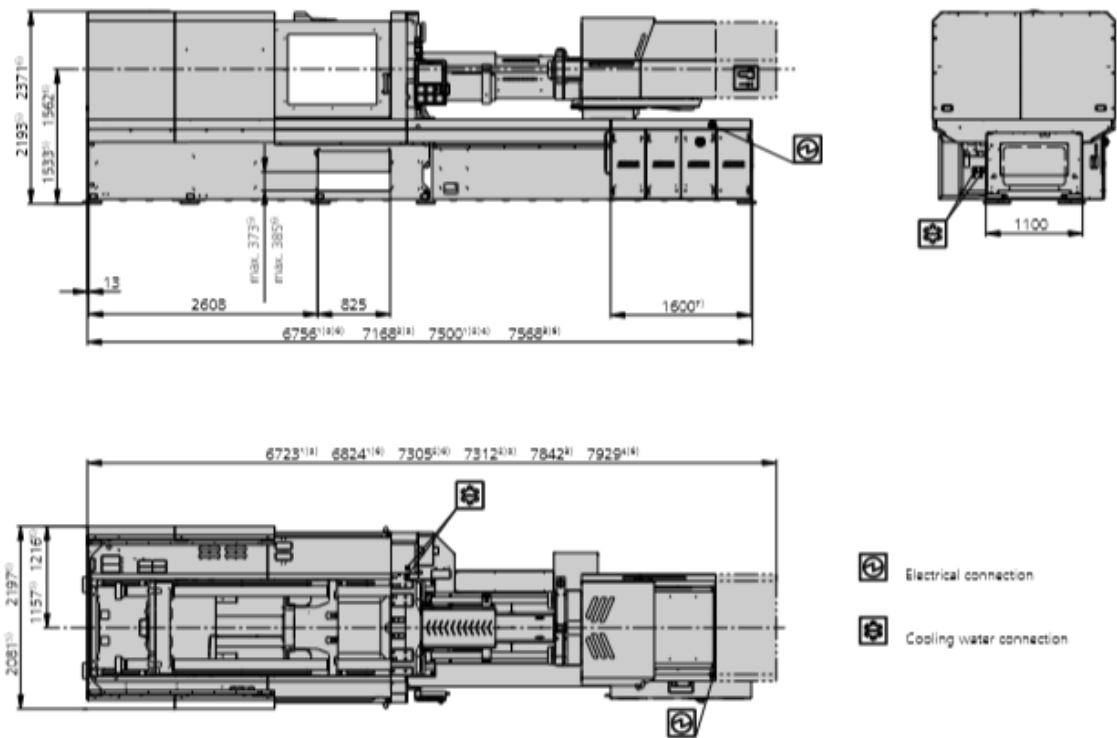
Distance between tie bars: 720 x 720 mm

Clamping force: 3200 kN

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

**ARBURG**

## MACHINE DIMENSIONS | 720 S



- 1) Injection unit 1800
- 2) Injection unit 2100
- 3) Injection unit 3200 + 2 pumps
- 4) Injection unit 3200
- 5) Machine model with 1 pump or 2 pumps
- 6) Machine model with hydraulic accumulator
- 7) Subject to performance variant and injection unit size

## 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	L/D	22	20	17	23	20	17,5	23	20	18	
Screw stroke	max. mm	235			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. n/min	40	43	51	43	51	58	---		
	2 pumps	max. n/min	40	43	51	43	51	58	47	54	61
	Accum.	max. n/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 press. level   insecurity 4	dB(A)	< 65			73   3			< 70			
Oil filling	l	360			300	380	460	460			
Drive power 2	max. kW	45	55		45	55	55	37	37	45	
Electrical connection 2		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   G 2"			1,5   G 2"			

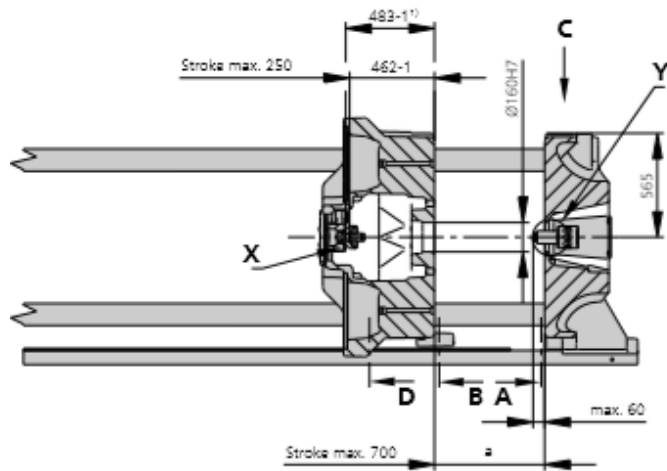
Machine type	
with EUROMAP size designation 1	Drive
720 S 3200-1300	1   2   Accum.
720 S 3200-2100	1   2   Accum.
720 S 3200-3200	-   2   Accum.

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 (kbar)
  - 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.

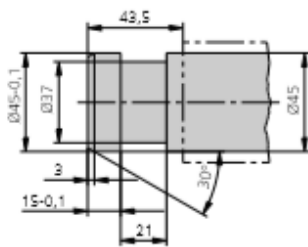
# MOULD INSTALLATION DIMENSIONS | 720 S



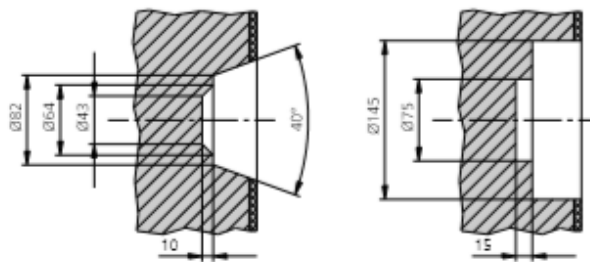
a max.	Mould installation height
Fixed	700
variable, manually	[400, 500, 600]
variable, automatically	[300-700]

[1] Specifications apply to alternative equipment  
 \* Variable installation height as standard in accumulator version

**Ejector bolt | X**

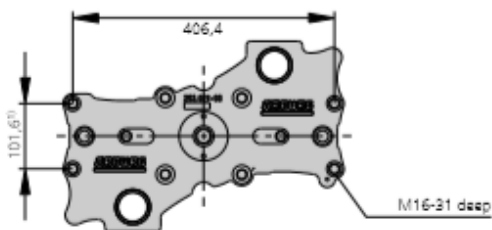


**Bore in mould (if required) | Y**

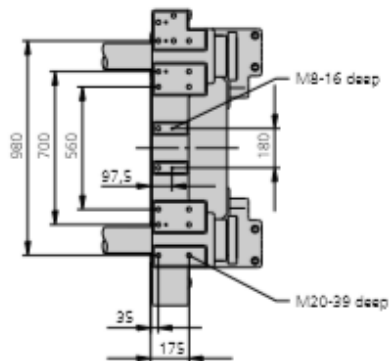


thermoset version -  
 Injection units 2100 and 3200  
 available upon request

**Ejector plate | D**



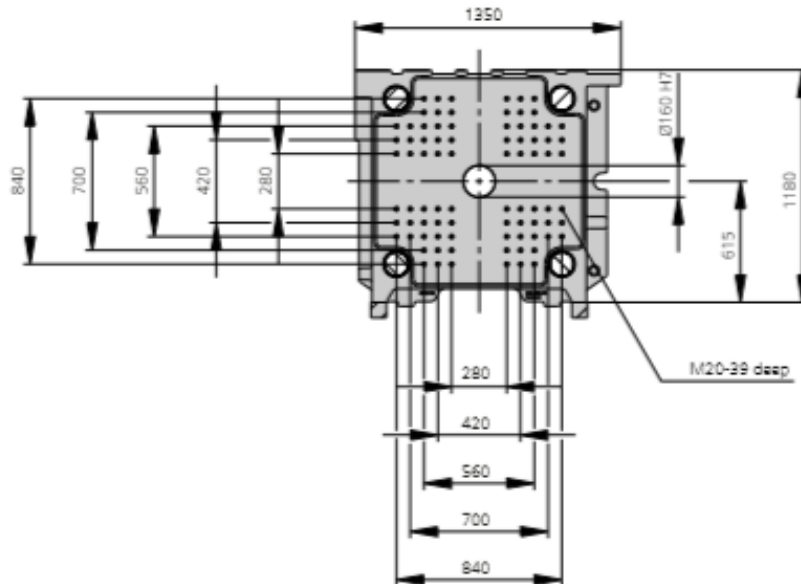
**Robotic system mounting | C**



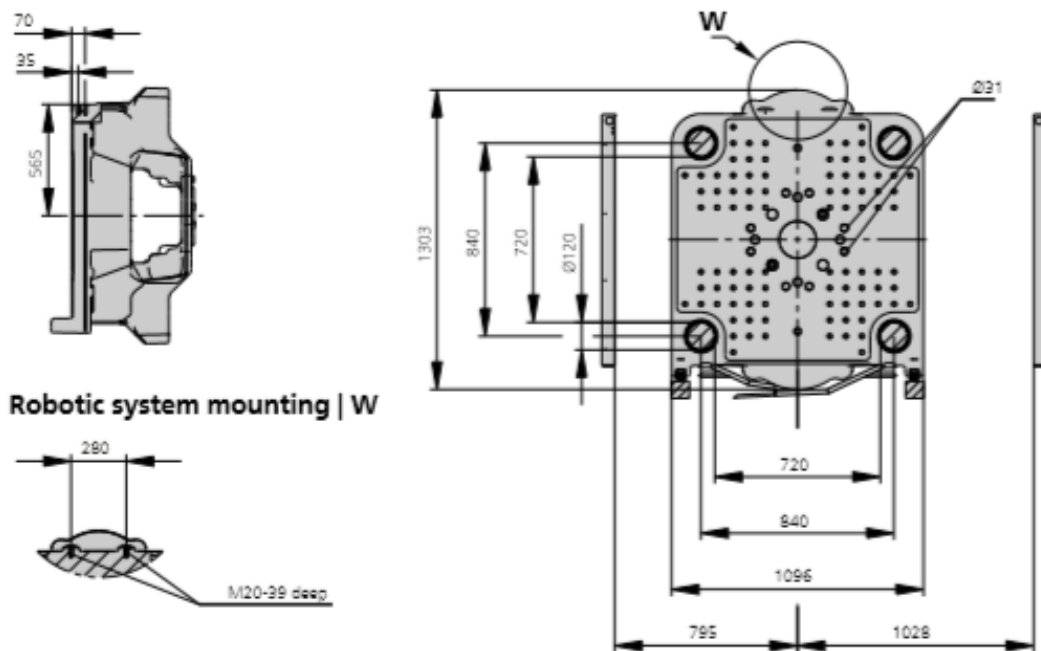
1) Positions of ejector plate

# MOULD INSTALLATION DIMENSIONS | 720 S

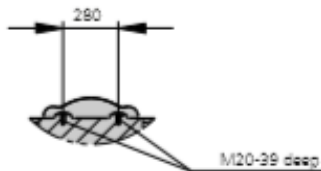
## Fixed mould mounting platen | A



## Moving mould mounting platen | B



## Robotic system mounting | W





## 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