

# **Analýza vstřikovací formy pro nádobku excentrické brusky včetně simulací**

Bc. Jakub ONDRA

---

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: **Bc. Jakub Ondra**  
Osobní číslo: **T19535**  
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**  
Forma studia: **Prezenční**  
Téma práce: **Analýza vstřikovací formy pro nádobku excentrické brusky včetně simulací**

### Zásady pro vypracování

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

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

### Seznam doporučené literatury:

KERKSTRA, Randy a Steve BRAMMER. Injection molding advanced troubleshooting guide. Munich: Hanser Publishers, 2018

DUCHÁČEK, V. Polymery-výroba, vlastnosti, zpracování, použití. Praha: VŠCHT v Praze, 2006

ZEMAN, L. Vstřikování plastů ? teorie a praxe. Praha: Grada Publishing, a.s., 2018. ISBN 978-80-271-0614-1

ŘEHULKA, Z. Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů: polymery. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2015. ISBN 978-80-7204-919-6

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

Datum zadání diplomové práce: **5. ledna 2021**

Termín odevzdání diplomové práce: **14. května 2021**

L.S.

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

**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 užit 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: 14. 5. 2021

Jméno a příjmení studenta: Jakub Ondra

.....  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá návrhem konstrukce a analýzou vstřikovací formy. Forma byla navržena pro zadaný plastový díl, kterým je nádobka excentrické brusky.

Práce je složena z části teoretické, jenž obsahuje základní poznatky o reologii, konstrukci vstřikovaného dílu a především o hlavních aspektech, které je potřeba znát při výrobě vstřikovací formy.

V části praktické je řešen konstrukční návrh formy v softwaru CATIA s následnými analýzami, které jsou provedeny pomocí Autodesk Moldflow.

Klíčová slova: reologie, vstřikovací forma, konstrukce, vstřikování, tokové analýzy

## **ABSTRACT**

This diploma thesis deals with the construction design and analysis of the injection mold. The mold was designed for the specified component, which is a container of eccentric grinder.

The work is composed of a theoretical part, which contains basic knowledge about the rheology, the design of the injected part, and above all the main aspects that need to be known in the production of the injection mold.

In the practical part is solved construction design of injection mold in software CATIA with analyses that are performed using Autodesk Moldflow.

Keywords: rheology, injection mold, construction, injection molding, flow analysis

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. PhD. Vojtěchu Šenkeříkovi za odborné vedení, cenné rady a věnovaný čas v průběhu vypracování této práce.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD.....</b>	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST.....</b>	<b>11</b>
<b>1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ.....</b>	<b>12</b>
1.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS .....	13
<b>2 ZÁKLADY REOLOGIE .....</b>	<b>14</b>
2.1 DEBOŘINO ČÍSLO .....	14
2.2 VISKOELASTICITA .....	15
2.3 VISKOZITA .....	15
2.3.1 Neneutonská kapalina .....	16
2.4 LAMINÁRNÍ A TURBULENTNÍ PROUDĚNÍ .....	17
2.5 WEISSENBERGŮV EFEKT .....	17
2.6 FONTÁNOVÝ TOK .....	18
<b>3 VÝROBA VSTŘIKOVACÍ FORMY .....</b>	<b>20</b>
3.1 NÁSTROJE A BEZOBSLUŽNÝ PROVOZ .....	20
3.2 VRTÁNÍ .....	21
3.3 ELEKTROEROZIVNÍ OBRÁBĚNÍ .....	21
3.3.1 Elektrojiskrové hloubení .....	22
3.3.2 Elektrojiskrové řezání .....	22
3.3.3 Startovací otvory pro drátové řezání .....	22
3.4 POVRCHOVÁ ÚPRAVA .....	23
3.5 MONTÁŽ FORMY.....	23
<b>4 VSTŘIKOVACÍ FORMA .....</b>	<b>25</b>
4.1 NÁSOBNOST FORMY .....	26
4.2 POSTUP PŘI KONSTRUKCI FORMY .....	26
4.2.1 Zaformování výstřiku .....	27
4.3 ROZVODNÝ SYSTÉM TAVENINY .....	27
4.4 STUDENÉ VTOKOVÉ SYSTÉMY .....	29
4.4.1 Kuželový vtok .....	31
4.4.2 Bodový vtok .....	31
4.4.3 Tunelový vtok .....	32
4.4.4 Banánový (prohnutý) vtok .....	32
4.5 VYHŘÍVANÉ VTOKOVÉ SYSTÉMY .....	32
4.6 VYHAZOVACÍ SYSTÉM .....	34
4.6.1 Válcový vyhazovač .....	35
4.6.2 Prizmatický vyhazovač .....	35
4.6.3 Trubkový vyhazovač .....	36
<b>5 VADY VSTŘIKOVANÝCH DÍLCŮ.....</b>	<b>37</b>

5.1	DEFORMACE (WARPAGE).....	37
5.2	NEDOTEČENÍ (SHORT SHOT).....	38
5.3	PROPADLINY (SINK MARKS).....	39
5.4	PŘETOK (FLASH).....	40
5.5	STUDENÝ SPOJ (WELD LINE).....	40
5.6	SPÁLENÉ MÍSTO (BURN MARK).....	41
5.7	TRYSKOVÝ TOK (JETTING).....	42
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>43</b>
<b>6</b>	<b>STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE .....</b>	<b>44</b>
<b>7</b>	<b>POUŽITÝ SOFTWARE .....</b>	<b>45</b>
7.1	CATIA V5 R20.....	45
7.2	HASCO DAKO MODULE.....	45
7.3	AUTODESK MOLDFLOW .....	45
<b>8</b>	<b>VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK.....</b>	<b>46</b>
8.1	POUŽITÝ MATERIÁL.....	47
8.2	ANALÝZA UMÍSTĚNÍ VTOKOVÉHO SYSTÉMU .....	47
<b>9</b>	<b>KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY.....</b>	<b>50</b>
9.1	PRAVÁ VSTŘIKOVACÍ STRANA .....	51
9.2	LEVÁ UZAVÍRACÍ STRANA .....	51
9.3	VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	52
9.4	OSTATNÍ KOMPONENTY .....	53
9.5	ZAFORMOVÁNÍ VÝROBKU.....	54
9.5.1	Tvárnice.....	54
9.5.2	Tvárník .....	55
9.5.3	Tvarové vložky.....	55
9.6	ODFORMOVÁNÍ VÝSTŘIKU.....	56
9.7	VTOKOVÝ SYSTÉM .....	57
9.8	TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	58
9.9	VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	60
<b>10</b>	<b>TOKOVÉ ANALÝZY.....</b>	<b>62</b>
10.1	VTOKOVÝ SYSTÉM A ANALÝZY NA PLNĚNÍ A DOTLAK.....	62
10.1.1	Analýza času plnění (Fill time).....	62
10.1.2	Rychlost smykové deformace (Shear rate, bulk) .....	63
10.1.3	Přepnutí na dotlak (Pressure at V/P switchover).....	65
10.1.4	Průběh vstřikovacího tlaku (Pressure at injection location).....	65
10.1.5	Uzavírací síla (Clamp force) .....	66
10.1.6	Vzduchové kapsy (Air traps) .....	67
10.1.7	Studené spoje (Weld lines).....	68



10.2	TEMPERAČNÍ SYSTÉM A ANALÝZY NA CHLAZENÍ.....	68
10.2.1	Teplota temperačního okruhu (Circuit coolant temperature).....	69
10.2.2	Čas dosažení vyhazovací teploty (Time to reach ejection temperature).....	70
10.2.3	Efektivita odvodu tepla (Circuit heat removal efficiency).....	70
10.2.4	Hodnota Reynoldsova čísla (Circuit Reynolds number).....	71
10.3	SMRŠTĚNÍ A CELKOVÁ DEFORMACE (DEFLECTION, ALL EFFECTS).....	72
	<b>DISKUZE VÝSLEDKŮ ANALÝZ .....</b>	<b>73</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>75</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>77</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>81</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>83</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>86</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>87</b>

## ÚVOD

Polymerní materiály zaujímají nezastupitelnou pozici v průmyslové výrobě, kde dochází ke stále častějšímu nahrazování původních materiálů plastovými výrobky a to především díky svým vlastnostem, dostupností a poměrně snadnému zpracování. K nahrazování tradičních materiálů, jako je například kov, sklo, keramika a dřevo, dochází díky relativně malé ceně, lehké zpracovatelnosti a široké využitelnosti těchto materiálů (např. v elektrotechnice díky dobrým izolačním vlastnostem).

Samotné zpracování plastů se provádí mnoha způsoby, avšak technologie vstřikování patří mezi nejrozšířenější sériové zpracování. V dnešní době se můžou technologií vstřikování vyrábět výrobky malých značně složitých tvarů, ale i výrobky opravdu velkých rozměrů, složené z několika homogenních i heterogenních materiálů. Proces spočívá v zaplnění dutiny formy polymerní taveninou, která se nachází v plastickém stavu. Tato kovová forma je zvětšená o hodnotu smrštění polymeru a má tvar budoucího výstřiku. Výroba takové formy je poměrně nákladná a složitá z hlediska přesnosti a kvality výstřiku, proto se využívá této technologie na opravdu velké série (několika tisícové zakázky).

K řešení úplného a bezchybného zaplnění dutiny formy polymerní taveninou je dobré znát tokové vlastnosti materiálu, a k tomu velmi dobře slouží znalosti oboru reologie. Aby nedocházelo při konstrukci k časovým a finančním ztrátám, jsou k dispozici řady výkonných CAM a CAE softwarů, které pomáhají řešit tokové vlastnosti uvnitř dutiny formy, vhodný výběr vtokového ústí na výrobku a další důležité analýzy, díky kterým lze nastavit a optimalizovat daný vstřikovací proces. Dobře optimalizovaný proces zajistí dobrou efektivitu výroby.

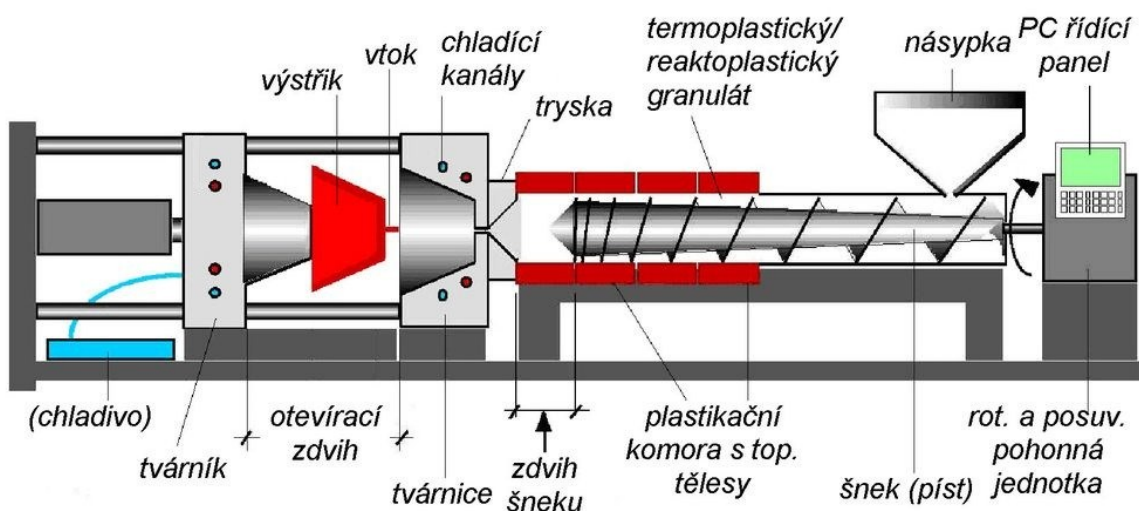
Technologii vstřikování lze spatřit ve velké míře v automobilovém, stavebním a leteckém průmyslu, v elektrotechnice, optice a telekomunikačním průmyslu, aj.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Jedná se o nejpoužívanější a nejrozšířenější technologii pro zpracování plastů a lze tímto způsobem zpracovávat materiály téměř všeho druhu, jako jsou například všechny druhy termoplastů, termoplastických elastomerů, polymerních směsí, kompozitů, ale i reaktoplastů, kaučuků a pryží. Samotný princip technologie vstřikování je založen na termodynamickém cyklickém procesu tváření, který spočívá v potřebné dávce zpracovaného materiálu ve formě taveniny (plastický stav) vstříknuté většinou pomocí šneku velkou rychlostí z plastikační (tavící) komory do uzavřené dutiny vstřikovací formy. V důsledku chlazení formy vstříknutý materiál začíná tuhnout, až zaujme tvar konečného výrobku ve formě. Plastikační komora je součástí vstřikovacího stroje, do které se materiál během výrobního cyklu neustále doplňuje. [1]

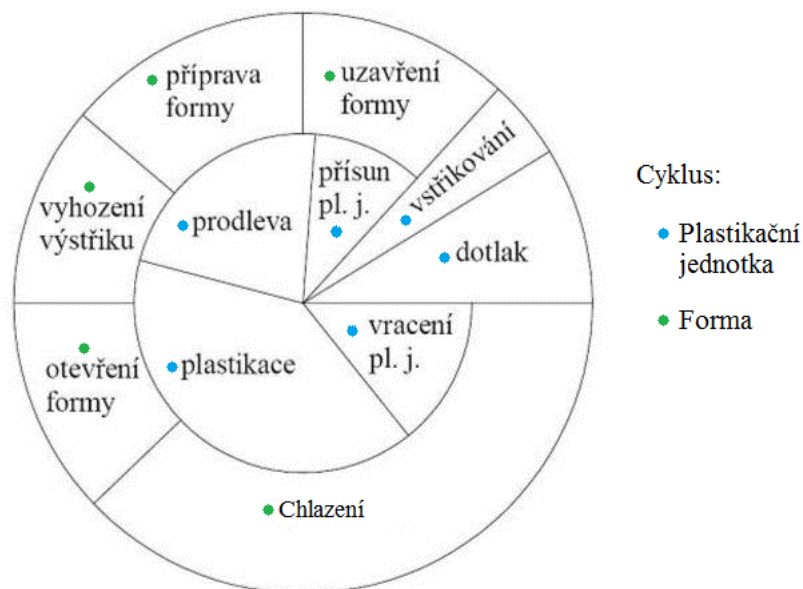
Celý proces začíná nasypaním plastu do násypky (nejčastěji ve formě granulí), kde pomocí pracovní části vstřikovacího stroje (šnekem, pístem) je dopraven do plastikační jednotky. Zde za současného topení a účinkem tření (disipací) plast plastikuje a vzniká tavenina. Tavenina je následně vstřikována do dutiny formy, kterou zcela zaplní a zaujme její tvar a objem. Následuje dotlaková fáze pro snížení smrštění a rozměrových změn. Finální výrobek je pomocí temperačního systému ve formě chlazen na vyhazovací teplotu. Závěrem dochází k odformování výrobku, kdy se forma otevře a výstřik je vhodným způsobem vyhozen. Poté je celý cyklus opakován. [1],[2]



Obr. 1 Schéma vstřikovacího stroje [2]

## 1.1 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus je dán přesně danými po sobě jdoucími kroky, které se svou činností podílí na výrobě vstřikovaných dílů. Jedná se tedy o proces, během kterého plast prochází teplotním a tlakovým cyklem. [1]



Obr. 2 Vstřikovací cyklus

K uzavřené formě přijíždí vstřikovací jednotka. Poté dochází ke vstříknutí taveniny do formy a následný dotlak (šnek se posune dopředu jako píst). Dochází k chladnutí materiálu ve formě a zároveň začíná plastikace další dávky materiálu (šnek se otáčí a posouvá zpět, zplastikovaný materiál se dopravuje před čelo šneku k trysce). Nakonec dojde k otevření formy, vyhození výstřiku a pokračování plastikace. [1]

Důležitým pojmem je už jednou zmiňovaný dotlak, který je důležitý pro snížení smrštění a rozměrových změn. Dotlak:

- působí v tzv. době vstříknutí,
- bývá stejný, nebo nižší než vstřikovací tlak,
- je odvozen od tlaku dosaženého v dutině formy,
- snižuje smrštění a rozměrové změny,
- ovlivňuje zbytková pnutí ve výstřiku,
- nemusí být součástí vstřikovacího cyklu (tenkostěnné výstřiky),
- u tlustostěnných výstřiků má vliv na výskyt závad (bublíny, propadliny, atd.).

## 2 ZÁKLADY REOLOGIE

Reologie je věda o deformaci a toku látek. Reologie je dominantní při zkoumání tokového chování komplexních tekutin, jako jsou například polymery, potraviny, biologické systémy, suspenze, emulze, pasty a další sloučeniny. Vztahy mezi namáháním a deformací u těchto typů materiálů se liší od Newtonova zákona, který popisuje smykové chování běžných newtonských tekutin, jako je například voda nebo olej. Polymerní tavenina je tedy neneutonská a zároveň viskoelastická, což znamená, že provázaná síť polymerních řetězců někdy reaguje způsobem, který připomíná spíše gumovou hmotu než jako tekutinu.

Z toho logicky vyplývá, že inženýr nebo vědec musí vědět něco o reologii, protože Newtonův ani Hookův zákon nestačí k vysvětlení plynulého chování u polymerních tavenin. [3], [4]

### 2.1 Debořino číslo

Bezrozměrné Debořino číslo je jedno ze základních čísel reologie. Lze jej použít k popisu viskoelastického chování jakéhokoliv materiálu. Toto číslo poprvé uvedl Marcus Reiner (1964) a definoval jej jako poměr relaxační doby materiálu k pozorovacímu času:

$$De = \frac{\lambda}{\theta} \quad (1)$$

kde  $\theta$  je charakteristický čas procesu deformace a  $\lambda$  je doba relaxace. Debořino číslo říká, že každý materiál může téci, je-li mu poskytnut dostatek času, čili materiály mohou vykazovat jak chování podobné tekutinám, tak chování pevných látek v závislosti právě na době relaxace a pozorování. [5]

Kapalinou se jeví takové látky, kdy je Debořino číslo rovné nule a pozorovací doba blízká k nekonečnu (toto chování označujeme jako viskózní):

$$\lim_{\theta \rightarrow \infty} De = 0 \Rightarrow \text{kapalina} \quad (2)$$

Tuhá látka je zase tehdy, kdy je Debořino číslo rovno nekonečnu a jeho pozorovací doba blízká nule (chování elastické):

$$\lim_{\theta \rightarrow 0} De = \infty \Rightarrow \text{tuhá látka} \quad (3)$$

Důsledkem je, že čím větší Debořino číslo je, tím pevnější je materiál a naopak. Polymerní materiály mají viskoelastické chování, které se při rychlé deformaci jeví jako tuhé látky a při pomalé deformaci jako tekutina. [5]

## 2.2 Viskoelastická

Viskoelastické chování je velmi důležitou vlastností polymerních materiálů ve formě zředěných roztoků, tavenin nebo pevných látek. Původ viskoelasticity je připisované molekulárnímu pohybu polymerních řetězců. Některé makromodely byly sestrojeny tak, aby vysvětlovaly povahu relaxačního jevu v polymerních látkách a předvíдалy rozložení relaxačních časů v reálných materiálech. Relaxační jev je způsoben molekulárním pohybem polymerového řetězce. Tyto pohyby mění konformace pružných makromolekulárních řetězců. Přechod mezi různými konformacemi probíhá v čase a tyto přechody mají relaxační povahu. Polymerní (viskoelastické) chování popisuje reologický Maxwellův model: [6]

$$\tau_{ij} + \lambda \cdot \dot{\tau}_{ij} = 2 \cdot \eta \cdot D_{ij} \quad (4)$$

kde:  $\tau_{ij}$  – tenzor napětí [Pa]

$\lambda$  – relaxační čas [s]

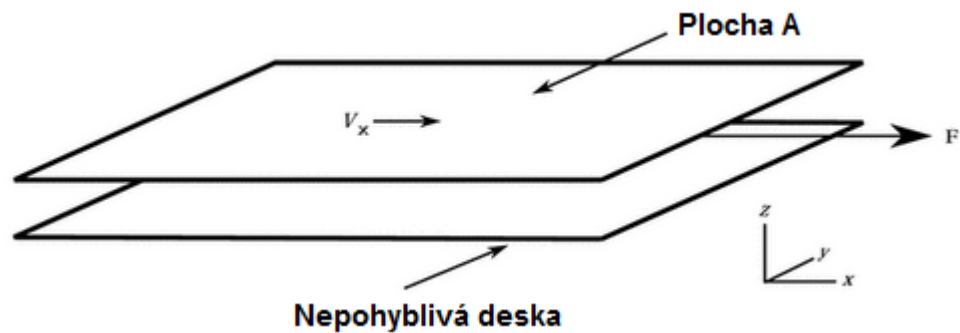
$\dot{\tau}_{ij}$  – kódeformační časová derivace tenzoru napětí [Pa/s]

$\eta$  – dynamická viskozita [Pa·s]

$D_{ij}$  – tenzor rychlosti deformace [ $s^{-1}$ ]

## 2.3 Viskozita

Důležitou vlastností polymerních tavenin je viskozita materiálu. Viskozita určuje míru odporu kapaliny vůči toku, tudíž vyjadřuje, co teče snadno nebo těžce. Tuto vlastnost lze definovat na příkladu kapaliny o dané teplotě uzavřené mezi dvěma deskami. Desky jsou od sebe vzdálené hodnotou „ $H$ “, spodní deska je stacionární a horní deska se pohybuje konstantní rychlostí „ $v_x$ “ ve směru „ $x$ “ v důsledku působení síly „ $F_x$ “ (znázorněno na Obr. 3). [7]



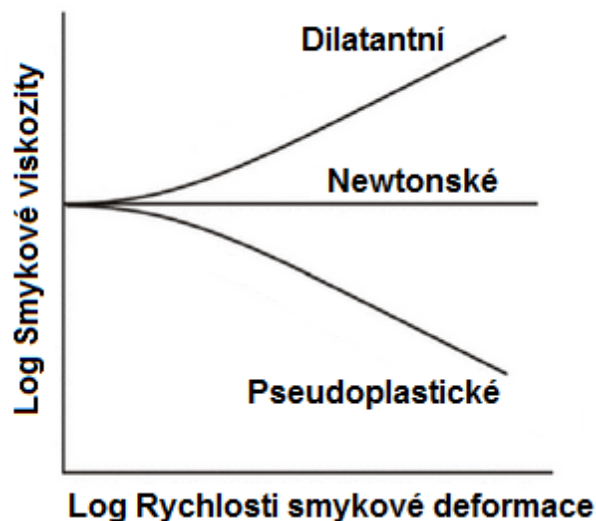
Obr. 3 Tok mezi dvěma deskami [7]

Takový průtok se nazývá rovnoměrný smykový průtok a je důležitý při vstřikování, protože se přibližuje průtoku v úzké mezeře. Smykové napětí „ $\tau_{zx}$ “ působící na horní desku je dáno vztahem: [7]

$$\tau_{zx} = \frac{dv_x}{dz} [Pa] \quad (5)$$

### 2.3.1 Nenewtonská kapalina

Viskozita je definována jako odolnost vůči proudění a je určena smykovým napětím děleným rychlostí smykové deformace. Čím nižší je viskozita materiálu, tím nižší je jeho odolnost vůči proudění.



Obr. 4 Graf závislosti smykové viskozity na rychlost smykové deformace [8]

Tekutina s konstantní viskozitou při měnící se rychlosti smyku se označuje jako newtonská tekutina. Viskozita mnoha běžných newtonovských tekutin, jako je olej, voda, mohou být ovlivněna teplotou, ale ta je konstantní s měnícím se průtokem neboli smykem. Viskozita polymerních materiálů je obecně mnohem složitější. Při velmi nízkém smyku se



viskozita plastového materiálu může chovat jako newtonská, ale při vyšších rychlostech smykových deformací (například během procesu vstřikování) se viskozita stává newtonskou, přičemž klesá viskozita. U většiny plastových materiálů je průtok charakterizován jako pseudoplastický (na *Obr. 4 spodní křivka*). Viskozita pseudoplastické tekutiny bude klesat s rostoucí rychlostí smykové deformace. Dalším případem je tekutina dilatantní kde s rostoucí rychlostí smykové deformace její viskozita roste (materiál hůře teče, př. suspenze). [8]

## 2.4 Laminární a turbulentní proudění

Vzhledem k poměrně vysoké viskozitě polymerů se očekává a vyžaduje, aby byl průtok polymerní taveniny během vstřikování vždy laminární a to i během toku úzkou štěrbinou. Naproti tomu turbulentní proudění je stav, kdy se tekutina v kanálu víří a míchá se, což je zase velice vhodné pro chladicí kapaliny v temperačním systému formy (zvýšení účinnosti přenosu tepla z formy do chladicí kapaliny). Jestli je tok turbulentní nebo laminární lze snadno určit výpočtem Reynoldsova čísla: [8]

$$Re = \frac{\rho \cdot U^2}{\frac{\eta \cdot U}{D}} \quad (6)$$

kde:  $Re$  – Reynoldsovo číslo [-]

$\rho$  – Hustota kapaliny [ $\text{kg/m}^3$ ]

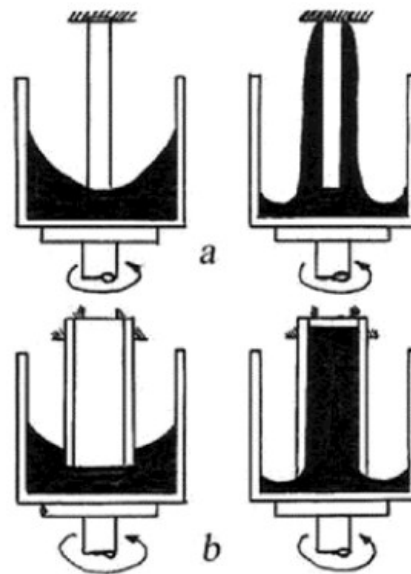
$\eta$  – Dynamická viskozita [ $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ]

$U$  – Střední hodnota rychlosti [ $\text{m/s}$ ]

$D$  – Charakteristický rozměr kanálu [ $\text{m}$ ]

## 2.5 Weissenbergův efekt

Weissenberg popsal několik abnormálních pozorování z hlediska klasické dynamiky kapalin. Na *Obr. 5a* vlevo je znázorněna tradiční newtonská kapalina (například voda), která je srovnána s viskoelastickou kapalinou. Na pravé straně se ukazuje zvláštní jev, který je pozorovaný při deformaci polymerních tavenin a nazývá se Weissenbergův efekt. Při rotaci míchacím elementem nedochází k vytlačení tekutiny odstředivou silou na stěny nádoby, ale naopak se namotává na rotační těleso.

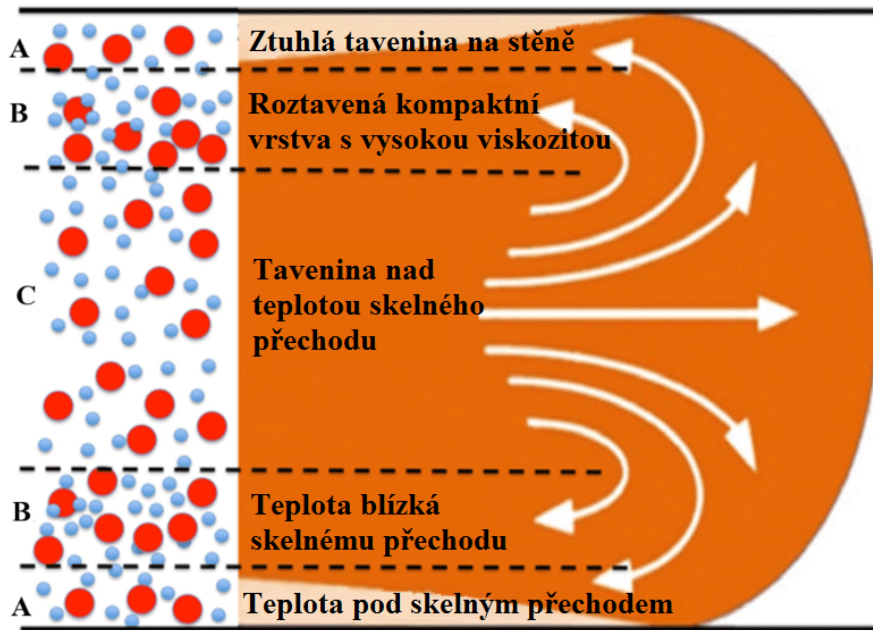


Obr. 5 Weissenbergův efekt [6]

Ve druhém případě (Obr. 5b) jsou znázorněny dva koaxiální válce, kde vnitřní má prázdnou dutinu a vnější se otáčí. Otáčením vnějšího válce dochází k plnění dutiny vnitřního válce. Tento jev je spojen s nenulovými normálovými napětími (u vody jsou pouze smyková napětí a normálové se nevyskytují). Tím pádem Weissenbergův efekt souvisí s existencí normálových napětí ve smyku a lze to vysvětlit velkou elastickou deformací vzniklých v toku a tyto síly působí jako natahovací elastická stuha, která omotává rotační element. Na tomto principu pracují diskové vytlačovací stroje. [4], [6]

## 2.6 Fontánový tok

Vzniká absencí skluzu mezi taveninou a stěnou a je to typický tok pro technologii vstřikování. Tento laminární tok (označovaný jako fontánový tok) je způsoben tlakovým řízeným tokem uvnitř vstřikovací formy, kde dochází k následnému „fontánovému“ jevu, kdy se vnitřní vrstva „C“ tohoto toku přesouvá do vnější vrstvy „A“ (lze vidět na Obr. 6). První vstřikovaný materiál se ve formě postupně ukládá na stěnách dutiny a následující materiál protéká tímto materiálem a dále postupuje, až se dostane do čela taveniny, kde opět stéká k vnější vrstvě. Profil tohoto toku je parabolický, protože dochází k přesouvání proudících vrstev na stěny kanálu, což způsobuje rychlejší průtok středových vrstev a naopak pomalejší průtok vnějších vrstev. Důležité je, aby se fontánový tok vyskytoval pouze v čele taveniny. [8], [9]



Obr. 6 Fontánový tok [9]

Na obr. 6 jsou popsány jednotlivé vrstvy fontánového toku. Vrstva „C“ se nachází uprostřed a nachází se zde nejrychlejší průtok, ve vrstvě „A“ se nachází ztuhlá tavenina na stěně. V poslední vrstvě „B“ lze spatřit kratší vzdálenosti mezi atomy, které jsou náchylnější ke krystalizaci, tok je zde stále tekutý ale velmi viskózní. [9]

### 3 VÝROBA VSTŘIKOVACÍ FORMY

Počátkem veškeré výroby je design produktu. Tato činnost je velmi důležitá pro úspěch budoucího prodeje. Vzhled a funkčnost musí být důkladně prozkoumány, zhodnoceny, otestovány a zejména vizualizovány v průběhu procesu tvorby produktu. Při vývoji produktu má designér přístup k mnoha zdrojům, ale v každém případě je produkt kompletně zkonstruován v systému CAD. Dlouho se mělo za to, že vytvořený výrobek v systému CAD je dostatečný k vyhodnocení návrhu. Nicméně k vizualizaci dat a vyhodnocení návrhu je vhodné použít modely nebo prototypy, a to nejčastěji pomocí technologie rapid prototyping (stereolitografie, LOM, FDM, aj.). [10], [11]

Klíčovým prvkem ve výrobním procesu hotové formy je proces obrábění. Zde obrobek prochází různými stanovišti na různých obráběcích strojích. Mezi prvními operacemi jsou tzv. měkké, kde se využívá běžných konvenčních obráběcích strojů (frézky, soustruhy brusky). Tvrdé operace zahrnují vysoce produktivní stroje pro náročné a tvarově složité operace jako jsou například CNC zařízení nebo elektroerozivní obrábění. Na závěr se používají ruční dokončovací operace (leštění, dokončování tvarů, ...). [11]

Přibližné časové rozdělení všech strojních technologických operací u vstřikovacích forem:

- |                            |          |
|----------------------------|----------|
| - frézování                | 28%,     |
| - soustružení              | 11%,     |
| - broušení                 | 18%,     |
| - elektroerozivní obrábění | 15%,     |
| - ruční práce              | 20%,     |
| - ostatní                  | 8%. [11] |

#### 3.1 Nástroje a bezobslužný provoz

Vhodné tvářecí nástroje přispívají zejména k ekonomickému obrábění obrobků, kde je k dispozici široká škála nástrojů. Nejčastěji používané nástroje jsou vyrobeny z legovaných speciálních ocelí, karbidů a keramiky. Většina strojů je vybavena systémem pro výměnu náradí, kdy stroj odebere ze zásobníku předem stanovený typ frézy a nezávisle kontroluje rozměr nástroje na začátku i během zpracování.



*Obr. 7 Příklad systému na výměnu nářadí [10]*

Z hlediska náročnosti a velkým investičním nákladům je nutné neustálé zdokonalování obráběcích strojů. Z tohoto hlediska je nutné udržovat stroj v neustálém provozním stavu (více směnný provoz). Monitorování strojů lze provádět pomocí kamer nebo čidel a obsluha poté může prostřednictvím PC vizuálně vyhodnotit aktuální stav a rychle reagovat na poruchy. [10]

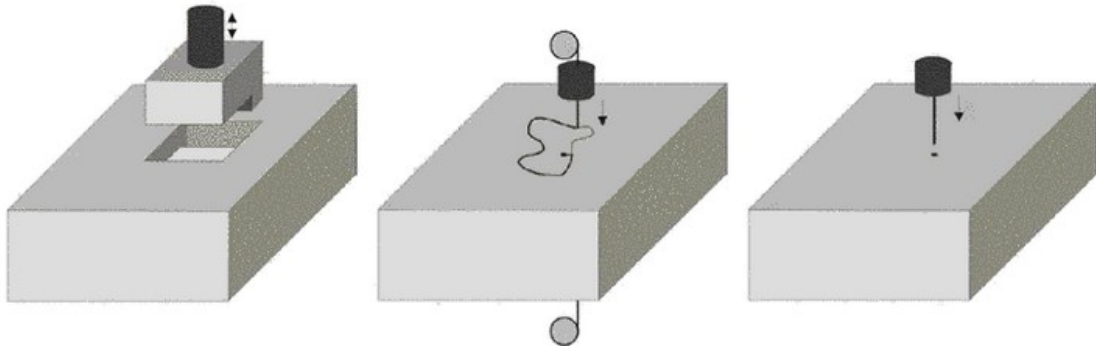
### **3.2 Vrtání**

Při vstřikování musí být forma buď zchlazena, nebo zahřáta na provozní teplotu. Pro tento účel jsou nutné vrty v obrobku. U forem složitějších konstrukcí jsou téměř všechny komponenty opatřeny vrty. Důležitost šetrné regulace teploty je důležitá zejména při dosahování krátkých cyklů forem. Vzhledem k současnému tlaku na náklady je naprosto nezbytné mít možnost stejně regulovat teplotu ve všech místech vstřikovací formy. [10]

### **3.3 Elektroerozivní obrábění**

EDM (Electric Discharge Machining) je elektrotepelný proces, u kterého se dosahuje úběru materiálu elektrickými výboji mezi katodou (nejčastěji nástrojová elektroda) a anodou (obrobek) ponořenými do tekutého dielektrika. Vlivem vysoké koncentrace energie materiál taje a odpařuje se. Využívá se pro plochy, které nelze zpracovat klasickým obráběním. Po nastavení obrobku, který má být erodován, do polohy zpracování na stolku stroje se obrobek zaplaví elektricky vodivým médiem. Nástrojová elektroda se pohybuje v určité vzdálenosti od povrchu obrobku a dochází k úběru materiálu. Ačkoli proces

odstraňování materiálu je v jednotlivých procesech v podstatě stejný, rozlišuje se na elektrojiskrové hloubení, řezání a předvrtávání děr. [10]



Obr. 8 Vlevo – hloubení; uprostřed – drátovka; vpravo – předvrtávání děr [10]

### 3.3.1 Elektrojiskrové hloubení

Obrobek a nástroj je zcela ponořený do dielektrické kapaliny a nástroj se přiblíží k obrobku pomocí příčné jednotky. Na začátku zpracování se nástrojová elektroda krátce a opakovaně zdvihne a znovu se pulsující metodou přiblíží k obrobku. To je nezbytné pro vyplachování prostorů, kde by se mohl usazovat odbouraný materiál, a tím by bylo zabráněno kontaktu mezi elektrodou a obrobkem (zkrat). Je třeba vyrobit několik nástrojů pro zpracování, které na konci přesně vytvoří požadovaný obrys. [10]

### 3.3.2 Elektrojiskrové řezání

Při této metodě nedochází k odstranění pomocí nástrojové elektrody, ale pomocí drátu (nejčastěji mosazný), který je navinut na cívce. Touto metodou lze vyrobit pouze otvory, výklenky nebo vnější obrysy. Drát prochází obrobkem shora dolů. Startovací otvory musí být k dispozici ve vnitřních výklencích. I zde je obrobek obvykle zcela ponořen do dielektrické tekutiny. V některých případech je nutné intenzivní proplachování deionizovanou vodou. [10]

### 3.3.3 Startovací otvory pro drátové řezání

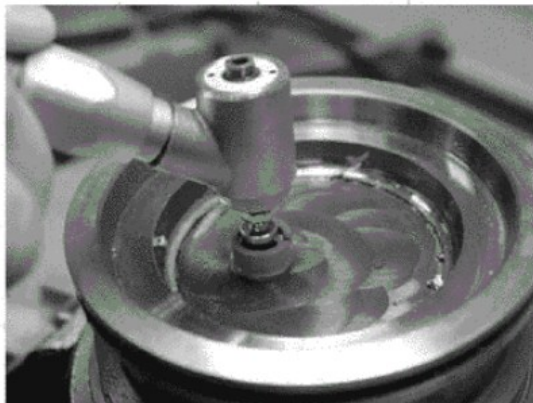
Tento typ EDM je určen k výrobě vrtů pro pozdější zpracování drátovým řezem EDM. Elektrodou je měděná nebo mosazná trubička, která může být jednokanálková nebo vícekanálková (odbourává veškerý vrtaný materiál) trubička a to i velmi malého průměru a

libovolného průřezu. Vzhledem k tomu, že zpracování obrobku probíhá bez dotyku, lze vytvořit průměr vrtu až 0,2 mm. [10]

### 3.4 Povrchová úprava

Po dokončení zpracovatelských kroků se provádí povrchová úprava leštěním v požadované kvalitě. Frézovaný povrch se leští brusným nástrojem. Povrchová úprava se provádí proto, že vyhození výrobku z formy, která byla vyleštěna ve směru vyhození, se výrazně zlepšuje. Vyhození také závisí na leštění žebér a povrchů a případné problémy lze vyřešit vybráním správného kvalitního leštidla. Dokonce i průtokové vlastnosti plastového materiálu ve formě jsou ovlivněny kvalitou leštění a rovinatostí povrchu. Dobrou kvalitou povrchu se dá zlepšit, či dokonce předejít propadlinám (sink mark) na výsledném produktu.

Mohou se použít ruční zařízení při přesném obrábění povrchů ve formě. V mnoha případech to stále představuje úspěšnější způsob práce, zejména pokud je velmi kvalifikovaný personál a dobře vybavené lešticí pracoviště. Pro jednoduché povrchové geometrie velkých sérií je poté možné použít automatizovaných procesů. [10]



*Obr. 9 Ruční leštění [10]*

### 3.5 Montáž formy

Pro výrobu forem jsou zapotřebí stovky komponentů, z nichž všechny jsou jedinečné (od materiálu, přes mechanické a manuální procesy až po stav montáže) a na konci výrobního řetězce je montáž všech těchto dílů. Formy se zpravidla skládají z jednotlivých desek, tvárníku a tvárnice, pojezdových částí, vyhazovacího systému a dalších převážně standardizovaných dílů. Všechny potřebné díly mohou být buď vyrobeny vlastními silami

(nestandardizované součásti), nebo získány nákupem prostřednictvím jiné společnosti (normalizované díly). Podle montážních postupů a výkresů jsou tyto části navzájem propojeny.

Moderní dílna využívá informace z počítačových terminálů, z nichž lze načíst všechna konstrukční data, takže již lze realizovat výrobu bez výkresů. Dnes je také možné sestavit složité formy s malým množstvím papírových informací tak, že je plně porozuměno jejich funkci. Podle těchto montážních výkresů se formy montují kus po kuse, přičemž v této oblasti jsou zahrnuty především práce, jako je broušení, leštění a montáž, popřípadě provozní zkoušky. Všechny části montáže jsou začleněny do tří hlavních částí:

- pravá vstřikovací strana (nepohyblivá),
- levá uzavírací strana (pohyblivá),
- vyhazovací systém.

Po dokončení montáže těchto skupin následuje přímé spojení těchto částí na lisovacích zařízeních (*Obr. 10*). Zde musí dojít k těsnému spojení, aby při následném vstřikování nedocházelo k úniku materiálu z dutiny formy (jinak je nutná oprava formy). Každý krok je zkoumán a měřen, aby se dosahovalo určité meze tolerance. Když se objeví nežádoucí odchylky, je třeba je přepracovat, v horším případě znovu vyrobit. [10]

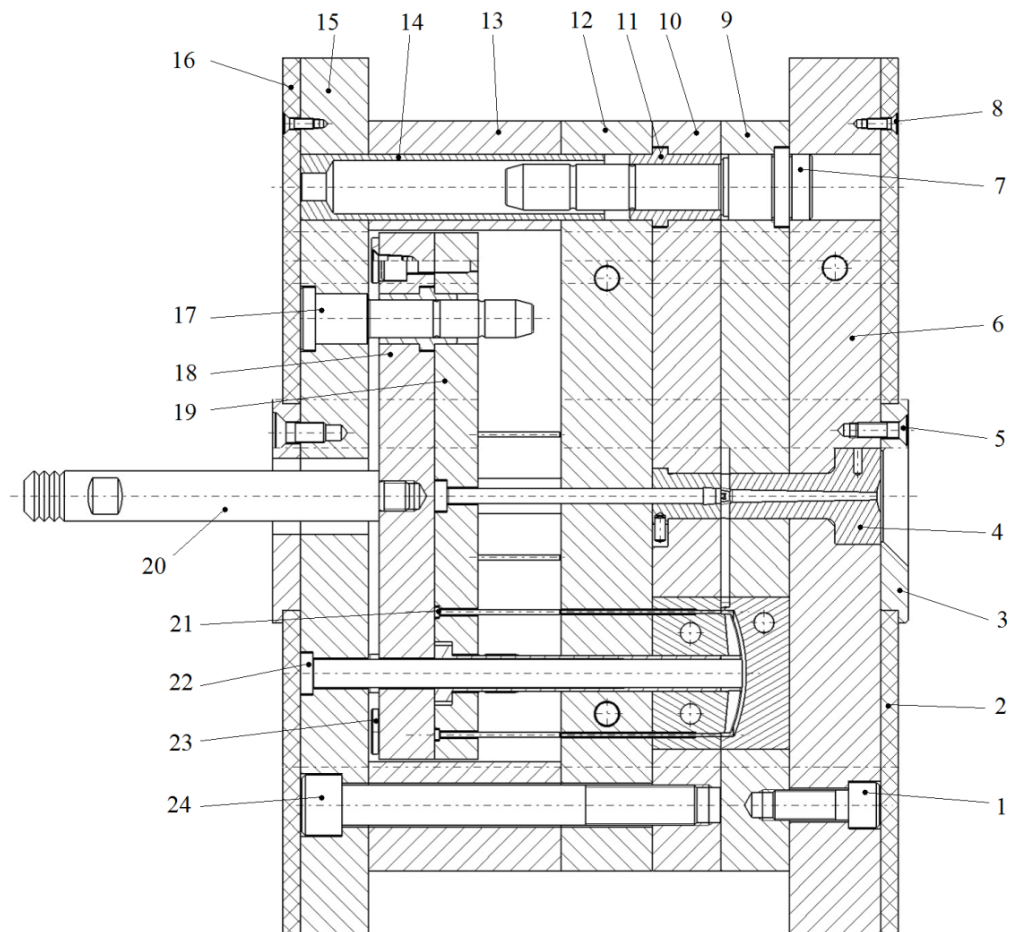


*Obr. 10 Forma upevněná v lisu [10]*



## 4 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Hlavním nástrojem vstřikovacího stroje je vstřikovací forma, která dává tavenině výsledný tvar dříve, než dojde k ochlazení na vyhazovací teplotu. Na její konstrukci a výrobní přesnosti závisí mechanické vlastnosti výrobku a ekonomie celého výrobního procesu.



Obr. 11 Řez vstřikovací formou

1 – šroub upínající pravou část formy; 2 – izolační deska pravá; 3 – středící kroužek pravý; 4 – vtoková vložka; 5 – šroub upínající vtokovou vložku; 6 – upínací deska pravá; 7 – vodící čep; 8 – šroub upínající izolační desku; 9 – kotevní deska pravá; 10 – kotevní deska levá; 11 – vodící pouzdro; 12 – opěrná deska; 13 – rozpěrná deska; 14 – středící trubka; 15 – upínací deska levá; 16 – izolační deska levá; 17 - vodící čep pro vyhazovací systém; 18 – vyhazovací deska opěrná; 19 – vyhazovací deska kotevní; 20 – táhlo; 21 – prizmatický vyhazovač; 22 – trubkový vyhazovač; 23 – dosedka; 24 – šroub upínající levou část formy

Vstřikovací forma vyžaduje:

- vysokou přesnost a požadovanou jakost funkčních ploch zhotovené dutiny formy,
- maximální tuhost a pevnost jednotlivých částí formy,
- správnou funkci formy, vhodný vtokový systém, vyhazování, odvzdušnění a temperování,
- optimální životnost (velké série). [12]

#### 4.1 Násobnost formy

Určuje, kolik výrobků bude zhotoveno během jednoho pracovního cyklu. Velkou roli při návrhu formy hraje kolik kusů je potřeba vyrobit (malé / velké série), za jaký stanovený čas (požadovaný termín) a v neposlední řadě záleží na velikosti vstřikovacích strojů na dílně (velikost vstřikovací formy). Součásti tvarově náročné a velkorozměrné se většinou vyrábí v jednonásobných formách. U vícenásobných forem se musí počítat s většími náklady na jejich výrobu. Dalšími kritérii jsou:

- charakter a přesnost výstřiků,
- poměr nákladů na výrobu jednonásobné nebo vícenásobné formy,
- provozní náklady,
- doba trvání jednoho vstřikovacího cyklu,
- objem maximálního vstřiku, gramáž, vstřikovací tlak,
- přídržovací síla. [12]

#### 4.2 Postup při konstrukci formy

Konstruktér musí být obeznámen s výkresovou dokumentací vyráběného dílu spolu s konstrukčním návrhem a dalšími důležitými doplňujícími údaji, aby byl schopen zkonstruovat plně funkční vstřikovací formu. Poté se řídí následujícím postupem:

- posouzení výkresu součásti z hlediska tvarů, rozměrů a tvářecích podmínek,
- určení hlavní, popřípadě vedlejší dělicí roviny součásti a její zaformování s ohledem na funkci a vzhled,
- dimenzování tvarových dutin, volba vhodného vtokového systému,
- stanovení koncepce vhodného vyhazovacího a temperačního systému včetně odvzdušnění dutiny formy,

- navržení rámu formy s ohledem na typizaci, počet i rozmístění dutin, temperaci a vyhazovacího systému,
- vhodné uspořádání středění a upínání formy na stroj s ohledem na využití dostupných prostředků (v rámci bezpečnosti práce),
- kontrola funkčních parametrů, hmotnost výstřiku, vstřikovací a uzavírací tlak.

Konstrukce vstřikovací formy musí splňovat výrobní technologii dle stanovených požadavků. [12]

#### 4.2.1 Zaformování výstřiku

K rozhodujícím zásadám konstrukce formy patří vhodná volba dělicí roviny a správné zaformování výstřiku, které umožňuje dodržet tvar, rozměry i ekonomiku daného výrobku. Vychází z konstrukčního řešení vyráběného dílu.

Dělicí rovina bývá zpravidla rovnoběžná s upínací plochou formy, ale může být vzácně i šikmá nebo různě tvarovaná. U obtížnějších forem na výrobu (především u výstřiků s bočními otvory) nestačí pouze hlavní dělicí rovina, ale vytváří se i tzv. vedlejší dělicí roviny. Formám s mnoha dělicími rovinami se snažíme vyhnout, poněvadž jakákoliv nepřesnost v dělicí ploše může způsobit nedovření formy během plnění. To má za následek vznik otřepů nebo zvětšení rozměrů ve směru uzavírání formy. Proto je třeba dodržet, aby dělicí rovina:

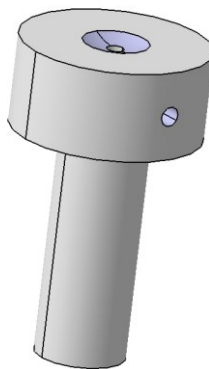
- umožnila snadné vyjímání výstřiku z formy (úkosy a podkosy),
- měla jednoduchý geometrický tvar (snadná vyrobitelnost a lícování),
- probíhala v hranách výstřiku,
- byla umístěna tak, aby splňovala přesné rozměry, směry technologických úkosů a souosost výrobku.

Stopa po dělicí rovině nesmí být příčinou vzhledových a funkčních závad. Vhodné je volit co nejmenší počet dělicích rovin. [12]

### 4.3 Rozvodný systém taveniny

Rozvodný systém taveniny začíná tryskou vstřikovacího stroje a pokračuje do vstřikovací formy. Ve formě poté tavenina postupuje přes hlavní vtokový kanál do rozvodného kanálu až do vtokového ústí, které vede taveninu přímo do dutiny formy (lze spatřit na *Obr. 13* v kapitole 4.4). [8]

Hlavní vtokový kanál zajišťuje přechod taveniny ze vstřikovacího stroje (trysky) do rozvodného systému, nebo v případě jednonásobné formy vede taveninu přímo do dutiny formy. Tato část má kuželovitý tvar s největším průměrem, a díky zúžení dochází ke snadnému odformování z dutiny formy (směrem k dělicí rovině se kanál rozšiřuje pod úhlem  $0,5^\circ$  až  $1,5^\circ$ ). U jednonásobné formy se využívá termínu vtoková vložka. Vtoková vložka (*Obr. 12*) je normalizovaný díl, který je velmi tepelně a mechanicky namáhán. Z těchto důvodů se vyrábí z ořezavodorné nástrojové oceli s tepelným zpracováním. Otvory na vtokové vložce slouží k umístění do správné polohy ve formě pomocí kolíků. [8], [13]



*Obr. 12 Vtoková vložka z online katalogu Hasco [14]*

Rozvodný kanál rozvádí taveninu z hlavního vtokového kanálu do všech tvarových dutin, které se nachází ve formě (záleží na násobnosti vstřikovací formy). Primárním cílem je dodávat do každé dutiny taveninu se stejnými procesními podmínkami (stejně množství taveniny o stejné teplotě a tlaku). Tím se zajistí konzistentní vlastnosti materiálu a tím i stejné mechanické chování všech vstřikovaných dílů v jednom pracovním cyklu.

Z rozváděcího kanálu je dále tavenina dopravována do dutiny formy přes zúžené místo, které se nazývá vtokové ústí. Vtokové ústí by mělo být co nejmenší kvůli minimalizování stop na výlisku (jednoduché odstranění a začištění stopy po vstřikování). Při plnění dutiny by mělo docházet k fontánovému toku. Umístění a počet vtokových ústí je rozhodující, protože ovlivňují mechanické, rozměrové a estetické vlastnosti vyráběného dílu. [8], [13]

Umístění vtokového ústí:

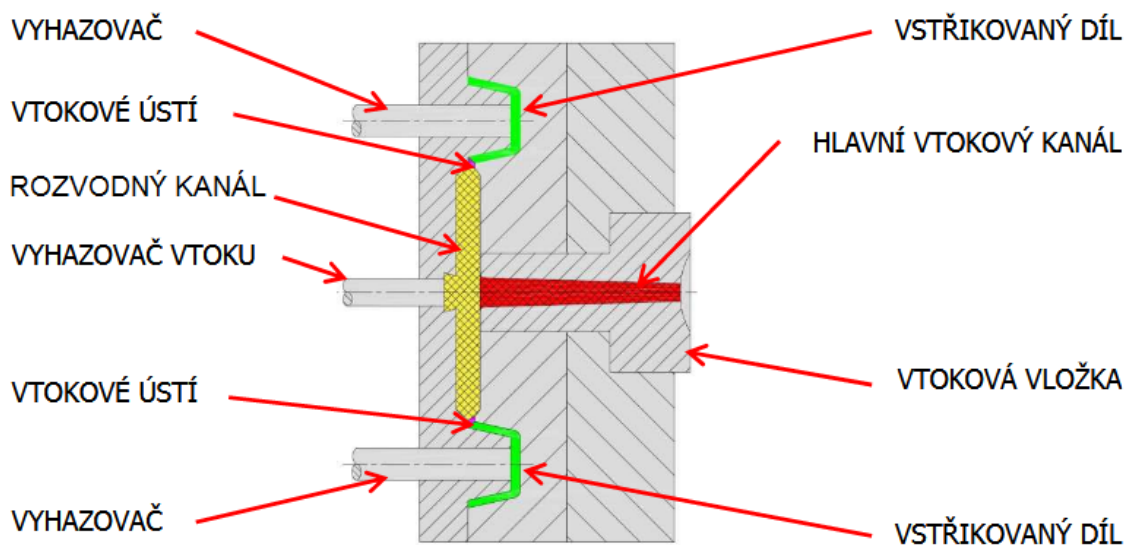
- do nejtlustšího místa stěny,
- do geometrického středu dutiny,

- ve směru orientace žeber,
- u obdélníkových tvarů do kratší hrany,
- aby studené spoje vznikaly mimo vzhledová a namáhaná místa,
- aby byla dráha taveniny v dutině co nejkratší,
- při požadavku na větší přesnost se musí vzít v úvahu podélné a příčné smrštění,
- s ohledem na možnost úniku vzduchu z dutiny formy. [13]

Rozvodný systém je důležitý hlavně u vícenásobných forem, kdy musí dojít ke stejnému času zaplnění ve všech částech dutiny formy, a dalších procesních podmínkách (rychlost vstřikování, doba cyklu, uzavírací síla stroje). Rozvodný systém taveniny se dělí na studené vtokové systémy a na vyhřívané vtokové systémy. [8]

#### 4.4 Studené vtokové systémy

Studený vtokový systém (dále jen SVS) zajišťuje vedení proudu vstříknutého roztaveného plastu od vstřikovacího stroje do dutiny formy. Popis jednotlivých základních částí je na *obr. 13*. [12]



*Obr. 13 Studený vtokový systém [13]*

Principem je vstříknutí roztaveného plastu do SVS, kde začíná tavenina na jeho stěnách tuhnout, tím se vytvoří izolační vrstva ztuhlého plastu, jejímž středem proudí tavenina horkým jádrem. Z tohoto důvodu u delších a mnohonásobných forem je velmi důležité odstupňování velikosti rozváděcích kanálů. Po zaplnění dutiny nastává dotlak, který nahrazuje ztrátu taveniny způsobenou především smrštěním při chladnutí polymerní

taveniny. Důležité je, aby byla tavenina v jádru výstřiku vždy propojena s vtokem, jehož okolí má tuhnout až jako poslední (nesmí dojít k neprůchozímu rozvodnému systému).

[13]

Požadované vlastnosti SVS:

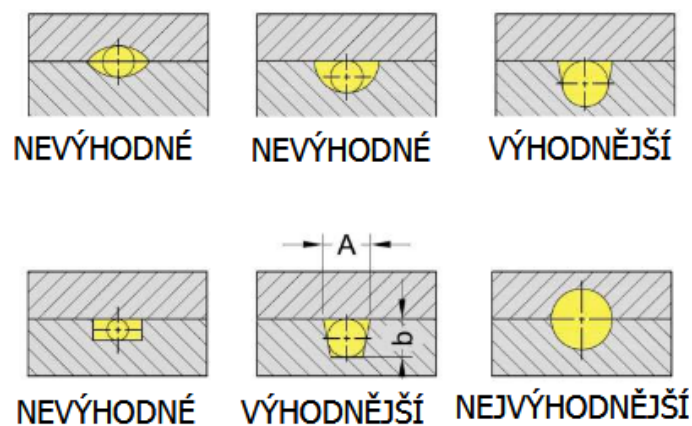
- odstranit oblasti, kde by se mohl hromadit plast (rovnoměrnější chlazení),
- zaoblení hran,
- zachycení (chladného) proudící čela taveniny,
- krátký vtokový systém (méně odpadu, menší tlakové ztráty),
- zaplnění všech dutin ve formě ve stejný čas,
- malý povrch kanálů a dostatečný průřez pro plastické jádro (kruhový, lichoběžníkový tvar),
- vtokové ústí s minimálním zanecháním stop na výstřiku,
- snadné vyjmutí vtokových kanálů (odpadu).

Výhody SVS:

- levnější a jednodušší oproti vyhřívanému systému,
- komponenty (vtoková vložka) jsou normalizované,
- nepotřebují energetické připojení jako je u horkého systému,
- jednoduché provedení vícenásobné formy.

Nevýhody SVS:

- daleko větší spotřeba materiálu než u horkého vtoku,
- zajistit oddělování zbytků vtokového systému (přímo ve formě nebo mezioperací),
- nutnost přidržování a vyhazování vtokového zbytku.

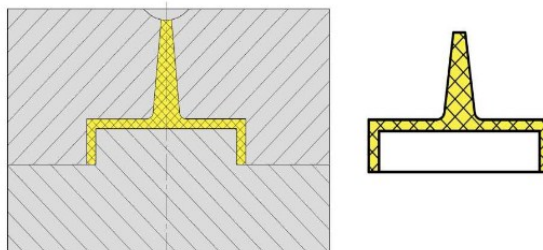


Obr. 14 Možnosti řešení vtokových kanálů [13]

Z Obr. 14 je patrné, že existuje několik konstrukčních řešení vtokových kanálů uvnitř vstřikovací formy. Pro konstrukci vtokového kanálu musí být zajištěny co nejmenší tepelné a tlakové ztráty. Nejvýhodnější geometrie kanálu je kruhový průřez, který je však náročnější na přesnost výroby, nebo lichoběžníkový tvar, který je výhodný jak tvarem, tak výrobou. [13]

#### 4.4.1 Kuželový vtok

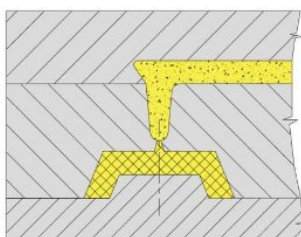
Přivádí taveninu do tvarové dutiny formy přímo z hlavního vtokového kanálu (bez zúženého vtokového ústí). Vhodný pro jednoduché symetrické výrobky s tlustými stěnami a pro plasty s horší tekutostí, kde je nutno použít delšího dotlaku. Výhodou kuželového vtoku je jeho velmi jednoduché provedení a snadná výroba. Bohužel dochází k pracnému odstranění zbytků vtokového kanálu a tím i nutná další operace ve výrobě. [13]



Obr. 15 Kuželový vtok [13]

#### 4.4.2 Bodový vtok

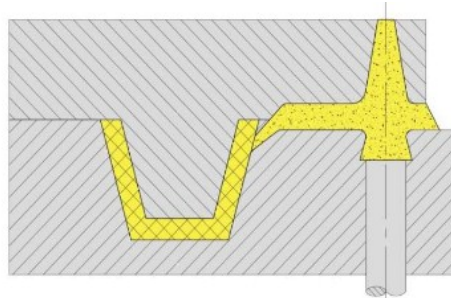
Bodový vtok je nejrozšířenějším typem zúženého vtokového ústí zpravidla kruhového průřezu, který leží mimo nebo vně dělicí roviny. Směrem k výrobku je vtok kuželovitě rozšířen, aby se ztuhlý plast v ústí odtrhl a byl vytažen společně se vstřikovaným dílem. Při využití rozváděcích kanálů (jako je vidět na Obr. 16) je nutné použít třideskového systému formy. Výhodou je oddělení vtokového systému od dílu při vyhození z formy. Vhodný pro tenkostěnné výrobky. [12], [13]



Obr. 16 Bodový vtok [13]

#### 4.4.3 Tunelový vtok

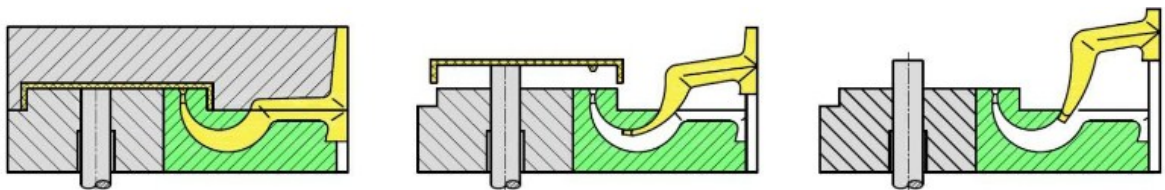
Jedná se o zvláštní případ bodového vtoku, jehož hlavní výhodou je, že vtokový zbytek může ležet ve stejné dělicí rovině jako vstřikovaný díl, tudíž není potřeba využít třídeskového systému formy. Tunelový vtok totiž zajišťuje automatické oddělení vtokového systému od výstřiku. Nevýhodou tunelových vtoků je náročný způsob výroby (elektroerozivní hloubení). Omezené použití v závislosti na druhu vstřikovaného materiálu, nevhodné pro materiály s vláknitým plnivem. [12], [13]



Obr. 17 Tunelový vtok [13]

#### 4.4.4 Banánový (prohnutý) vtok

Zde se jedná o stejné použití jako u vtoku tunelového, s rozdílem v zaústění vtoku. Používá se u dílů, u kterých je potřeba zamezit stopám po vtoku na pohledové (boční) straně. Banánový vtok je nejčastěji umístěn na spodní nepohledovou stranu výrobku. Nevýhodou je náročná výroba, větší prostorová náročnost a použití komponenty (na Obr. 18 – zelená vložená část) ve formě banánového vtoku. [13]



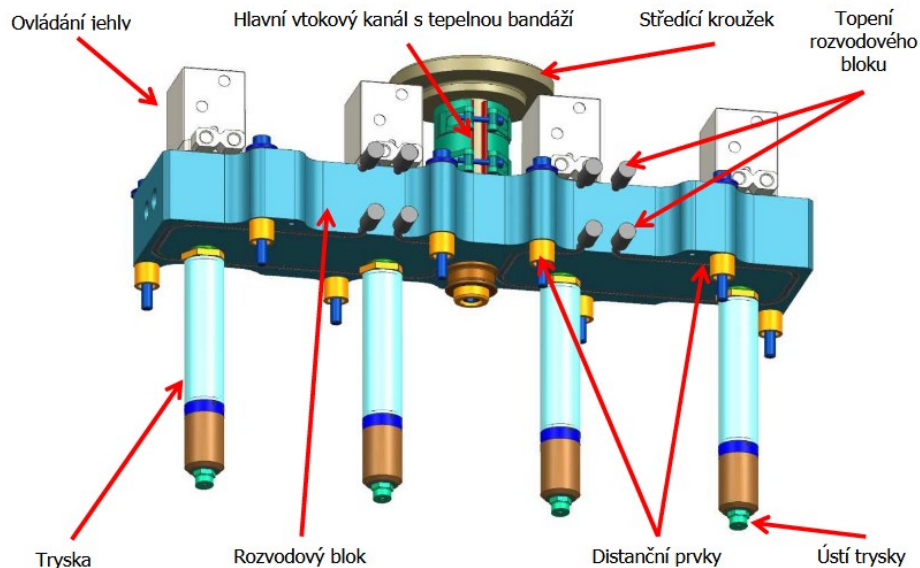
Obr. 18 Banánový vtok – deformace vtoku během odformování [13]

#### 4.5 Vyhříváné vtokové systémy

Vyhříváný vtokový systém (Obr. 19) je sestaven z několika komponentů (hlavní vtok, rozvodná deska, trysky, ovládání jehly), které udržují vstřikovaný plast při konstantní teplotě. Horký vtok zaručuje tavenině stálou viskozitu v celém průřezu a délky rozváděcího systému od začátku vtoku, až do ústí dutiny formy. Blok horkého rozvodu

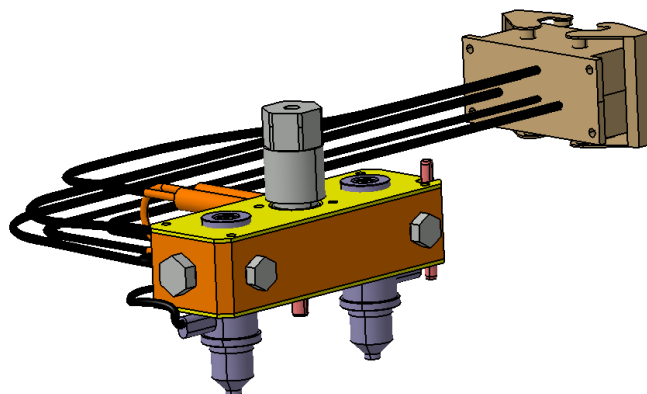


musí být ve formě uložen s dostatečnou vůlí, a měl by být co nejlépe odizolován od zbytku formy. Dokonce lze i kombinovat se studeným rozvodem. Příkladem je rozvedení taveniny horkou soustavou k jednotlivým otvorům, a následný krátký studený rozvod do jednotlivých vtokových ústí. [15]



Obr. 19 Vyhříváný vtokový systém [15]

Horké vtokové systémy jsou ve velké většině případů vyráběny ze standardizovaných komponentů vyvinutých specializovanými společnostmi. Lze zakoupit celý sestavený rozvodný blok, včetně kabeláže a zásuvky (Obr. 20). Takový blok lze už bez větších problémů smontovat do formy. V některých případech může být dodavatel najat na vývoj rozvodného bloku formy, ale vzhledem ke složitostem se upřednostňují normalizované díly, u kterých se minimalizují problémy se spouštěním, provozem a samotnou údržbou. [8]



Obr. 20 Příklad rozvodného bloku od firmy Hasco

Výhody vyhřívaného vtokového systému:

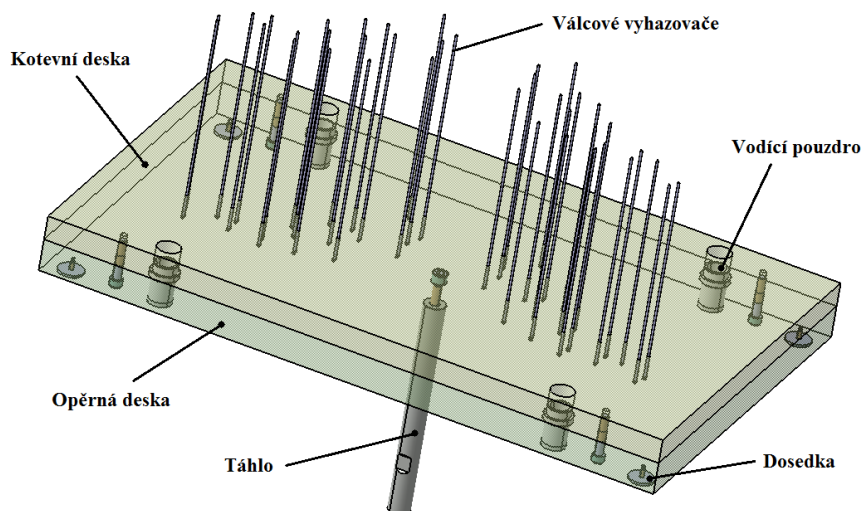
- časové snížení výrobního cyklu,
- úspora plastu i práce,
- odpadá výroba vtokových kanálů,
- snížená doba vstřikování v důsledku odstranění vtokových kanálů,
- zmenšení tlaku a tlakových ztrát (oproti studenému vtoku),
- menší uzavírací síla stroje.

Nevýhody:

- náročnější konstrukční zástavba do formy,
- větší pořizovací a provozní náklady,
- větší nároky na obsluhu,
- obtížné dodatečné změny polohy vtoků,
- nelze použít pro materiály s velkou citlivostí na teplo. [15]

## 4.6 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém je zodpovědný za odstranění a vyhození vstřikovaných dílů z formy po jejím otevření. Složitost vyhazovacího systému se může značně lišit v závislosti na požadavcích dílu a dané formy. Výrobek by měl být vyhazován rovnoměrně a bez jakéhokoliv poškození. Vyhazovací systém by se měl nacházet převážně na nepohledové straně výrobku, popřípadě změnit způsob vyhazování. [16]

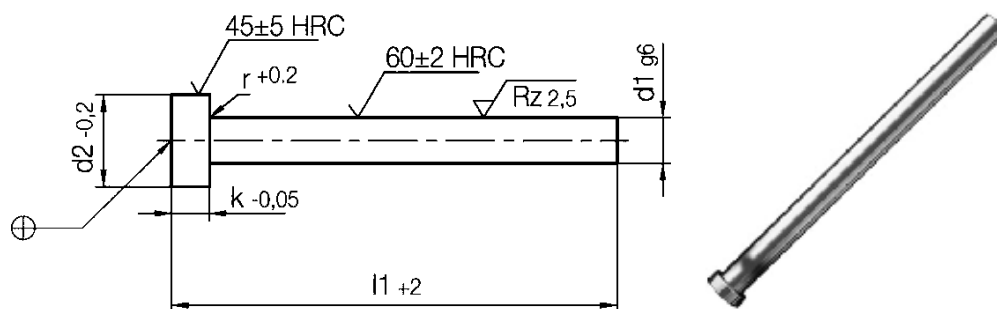


Obr. 21 příklad vyhazovacího systému

Poté co dojde k ochlazení vstřikovaného dílu na vyhazovací teplotu, dochází k otevření formy (pohyb levé strany formy). V této pohyblivé straně formy se nachází vyhazovací systém, který lze vidět na *Obr. 21*. Při otevření formy dochází ke styku táhla s konstrukcí vstřikovacího stroje, tím se aktivuje pohyb celé vyhazovací sestavy a tím i odformování výstřiků z jádra formy. Soustava obsahuje táhlo, opěrnou desku a kotevní desku, ve které jsou upevněny válcové vyhazovače. Celý systém se pohybuje po vodících čepích s pouzdry. Dosedky zaručují tlumení rázů při návratu vyhazovacího systému do původní polohy. [16]

#### 4.6.1 Válcový vyhazovač

Válcový vyhazovač je obvykle kovaný za tepla a válcovitě broušený z tvrdých ocelí, které jsou následně nitridovány a leštěny. Takto opracované vyhazovače vykazují velmi tvrdý a hladký povrch včetně malého tření a nízkého opotřebení. [16]



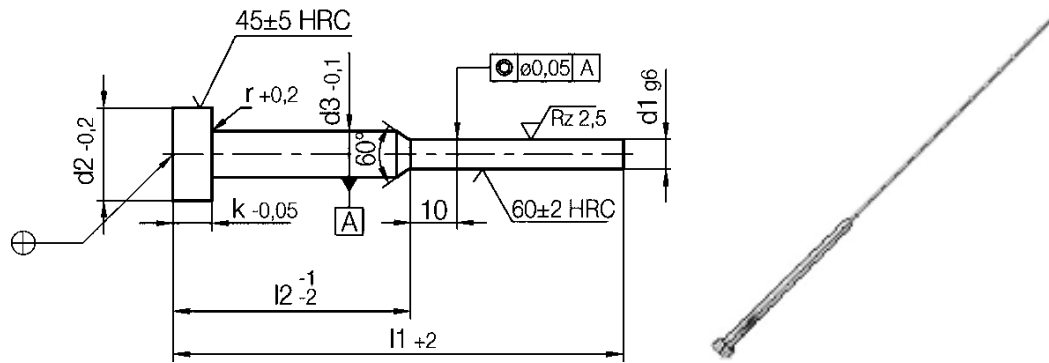
*Obr. 22 Válcový vyhazovač [14]*

Vyhazovací kolíky jsou k dispozici od několika dodavatelů ve standardních průměrech (od 1 mm do 25 mm) a také různých délkách (od 150 mm do 500 mm). Výrobci řezají a brousí kolíky na danou délku, nebo lze objednat válcový vyhazovač na zakázku s různými možnostmi, včetně materiálu, povrchových úprav, závitů, aretací atd. Je třeba se vyvarovat dlouhým kolíkům s malými průměry z hlediska vzpěru a jejich následnému vybočení. [16]

#### 4.6.2 Prizmatický vyhazovač

Prizmatický vyhazovač má obvykle o něco větší průměr než válcový vyhazovač, a je tvarovaný tak, aby vytvářel obdélníkový nebo kruhový průřez na svém konci. Výhodou obdélníkového průřezu je jeho tvar o velké šířce a malé tloušťce, díky kterému je možné umístit takový vyhazovač přímo pod žebro výrobku. Tato vyhazovací poloha je velmi

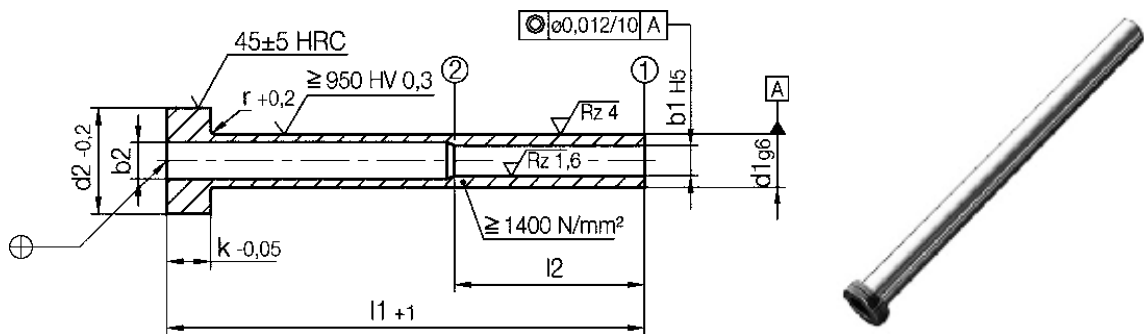
účinná, neboť kromě toho že je žebro tuhé a tím pádem zde bude účinná vyhadzovací síla, žebro není estetickým místem, a tudíž nevadí vzniklá stopa po vyhadzovači. [16]



Obr. 23 Prizmatický vyhadzovač [14]

#### 4.6.3 Trubkový vyhadzovač

Trubkový vyhadzovač je speciální případ vyhadzování, který svou konstrukcí připomíná válcový vyhadzovač, ale svojí funkcí je podobný stírací desce. Jedná se o dutý válec, který je upevněn ve vyhadzovacích deskách a posouvá se podél čepu s pevným jádrem upevněným zpravidla v levé upínací desce. Tedy vyhadzovací síla nepůsobí na výrobek bodově, ale díky větší styčné ploše působí na výrobek po obvodě větší vyhadzovací silou. [16]



Obr. 24 Trubkový vyhadzovač [14]

## 5 VADY VSTŘIKOVANÝCH DÍLCŮ

Při vstřikování dílců může vznikat řada vad, které se musí vyřešit. Vady mohou být spojeny se špatným designem vyráběného dílu, špatnou konstrukcí formy, samotným vstřikovacím strojem nebo celkovým procesem. Základní rozdělení vad na vstřikovaných dílech:

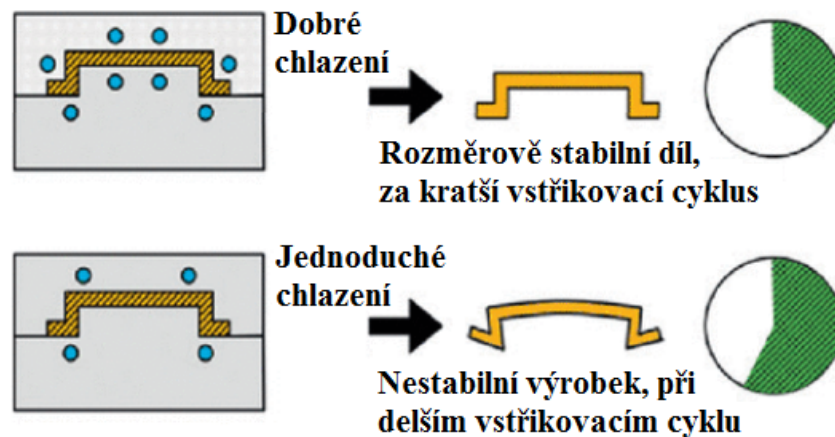
- kosmetické vady,
- rozměrové nestability,
- prasklé části,
- dlouhé doby cyklu,
- vysoká míra zmetkovitosti formy.

To vše vede ke zvýšeným nákladům vstřikovaného dílu. [17]

### 5.1 Deformace (Warpage)

„Warpage“ lze považovat za odchylku nebo deformaci od zamýšlené konstrukce nebo tvaru vstřikovaného dílu. Dochází k ní kvůli zbytkovému napětí. Když se forma otevře, veškeré vnitřní zbytkové napětí se snaží co nejvíce minimalizovat, tím ale způsobí deformaci části. To způsobuje nejen kosmetické vady, ale ovlivňuje i přesnost rozměrů. Tato vada je velice obtížná na řešení, jelikož je výsledkem geometrií dílu, designu formy, podmínek zpracování a vlastností vstřikovaného polymeru.

Příklad deformace na temperačním systému, kdy při větším počtu temperačních kanálů dojde k lepší rozměrové přesnosti za rychlejší vstřikovací cyklus. [18]



Obr. 25 Vliv konstrukce temperačního systému [18]

Tab. 1 Výčet vad způsobující deformace [17]

Proces vstřikování	Forma	Vstřikovací stroj	Materiál
Teplota taveniny	Přilepení dílu	Výkon stroje	Volba materiálu
Teplota formy	Vtokové ústí	Špatná automatizace	Obsah a typ plniva
Tlakové rozdíly	Nerovnoměrné plnění dutiny formy		Nedostatečné balení dílů
Špatné těsnění formy	Nedostatečný temperační systém		
Nízká doba chlazení			
Špatné odformování			

## 5.2 Nedotečení (Short shot)

Dochází k nedotečení (nevyplnění) formy materiálem, což vede k produkci nekompletních, vadných výrobků. Tento typ je oproti některým vadám patrný na první pohled. [17].



Obr. 26 Typický příklad nedotečení [17]

Tab. 2 Výčet vad způsobující nedotečení [17]

Proces vstřikování	Forma	Vstřikovací stroj	Materiál
Nedostatečný proces plnění a dotlaku	Nízká teplota horkých vtoků	Nedostatečný materiálový polštář	Nízká viskozita
Žádný protitlak	Odvzdušnění	Zpětný ventil	Znečištění
	Nerovnoměrné plnění dutiny formy	Špatně zvolená tryska	
	Ucpaný vtok	Výkon stroje	

### 5.3 Propadliny (Sink marks)

Propadlinou se jeví ta část, kde povrch nevypadá tak jak má. Na povrchu je prohlubeň, která je problematická. Vada může být velmi obtížná k opravě, pokud byl díl nesprávně navržen (nutné dodržovat konstrukční požadavky). Díky smršťování, které dochází ve formě při tuhnutí, mají především tlusté stěnové profily tendenci se propadat. [17]



Obr. 27 Propadliny na výrobku [17]

Tab. 3 Výčet vad způsobující propadliny [17]

Proces vstřikování	Forma	Vstřikovací stroj	Materiál
Nízká rychlost plnění	Odvzdušnění	Výkon stroje	Viskozita
Malý dotlak	Nedostatečný temperační systém	Špatně zvolená tryska	Nukleační činidlo
Krátká doba dotlaku	Poloha a počet vtokového ústí	Přechod z fáze plnění na dotlak	Nadouvadlo
Vysoká teplota formy	Nerovnoměrné plnění dutiny formy	Řídící jednotka plynu (GIT)	

## 5.4 Přetok (Flash)

Jedná se o přebytečný materiál, který se při vstřikování dostane mimo dutinu formy. Platí zde tři základní podmínky, díky kterým se můžeme přetokům vyhnout:

1. Uzavírací síla stroje musí být větší než síla vstřikovací!
2. Forma musí být dostatečně robustní a uzavírací síla musí být kolmá, aby nedocházelo k vychýlení dělicí roviny (dobré upnutí formy).
3. Všechny dutiny formy a dělicí vedení musí být dokonale čisté, aby došlo k dokonalému těsnění bez mezer (nebo čehokoliv jiného, co by drželo formu otevřenou). [17]



Obr. 28 Ukázka přetoku [17]

## 5.5 Studený spoj (Weld line)

Jedná se o poruchu nebo viditelnou vadu, která vzniká tehdy, kdy vstřikovaný materiál obtéká překážku ve formě, a poté se potkají dva nebo i více proudů taveniny. Pokud bude materiál i nadále proudit i po spojení, stane se studeným spojem. Tento jev vzniká vždy, když se plast ve formě rozdělí.

Tab. 4 Výčet vad způsobující studený spoj [17]

Proces vstřikování	Forma	Vstřikovací stroj	Materiál
Rychlost plnění	Odvzdušnění	Uzavírací síla	Viskozita
Teplota taveniny	Poloha a počet vtokového ústí	Přechod z fáze plnění na dotlak	Obsah a typ plniva
Teplota formy		Výkon stroje	
Dotlak			



Studený spoj může způsobit vizuální vady, ale může také ovlivnit fyzikální vlastnosti tvarovaného dílu. Optimalizace je tudíž důležitá pro celkovou kvalitu produktu a během fáze návrhu je důležité, aby konstruktér rozuměl místům, kde se bude tento jev vyskytovat. Konstruktér si může pomoci vhodným CAE programem, který dokáže určit polohu studených spojů na výrobku. Nejslabší svary budou tam, kde se materiál spojí a přestane téct (v horším případě čela taveniny zamrznou před spojením). [17]



*Obr. 29 Příklad studeného spoje [17]*

## 5.6 Spálené místo (Burn mark)

Vyznačují se hnědou nebo černou stopou na povrchu výrobku. Dochází během plnění formy, kdy se vzduch nestihne vyprázdnit z dutiny formy a je lapen ve vstřikovaném polymeru. Vysoké tlaky během vstřikování poté způsobí, že vzduch se prudce zahřívá nebo vznítí, a dojde ke spálení okolního plastu. [17]



*Obr. 30 Černé spálené usazeniny na součásti [17]*

Spálená místa jsou nejčastěji způsobena špatným odvědušením formy, ale rozhodují i další faktory (Tab. 5).

Tab. 5 Výčet vad způsobující spálené místo [17]

Proces vstřikování	Forma	Vstříkovací stroj	Materiál
Velká rychlost plnění	Odvzdušnění	Problém ovládní topných těles	Volba materiálu
Vysoká teplota taveniny	Mastnota, olej a jiné kontaminace	Špatně zvolený typ šneku	Přísady
Vysoký protitlak		Poškozený šnek	Obsah vlhkosti
Dekomprese			

### 5.7 Tryskový tok (Jetting)

Tavenina vykazuje nedostatečné narůstání k vytvoření kontaktu se stěnou formy, což znamená, že nedochází k fontánovému toku, ale k volnému toku v dutině formy. Proud takového plastu bude cestovat dutinou, dokud proud taveniny na něco nenarazí a nezačne se plnit kolem tohoto tryskového toku. Výsledkem je nekvalitní povrch a vytvoření několikanásobného počtu studených spojů, které vedou ke snížení mechanických vlastností výrobku.



Obr. 31 Tryskový tok (vlevo se nachází vtokové ústí)[17]

Tryskový tok může vzniknout velkou rychlostí plnění nebo velkým výkonem stroje, ale hlavním důvodem je samotná konstrukce formy, jako je poloha a počet vtokového ústí, nebo jeho velká délka (Jetting vzniká převážně při tlačení čelní taveniny přes omezující místa, jako je například právě zmíněné vtokové ústí). [17]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 6 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

V diplomové práci byly stanoveny následující cíle:

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

## **7 POUŽITÝ SOFTWARE**

### **7.1 CATIA V5 R20**

CATIA (Computer-Aided Three-Dimensional Application) je integrovaný software na konstruování a výrobu, který je vyvinutý francouzskou firmou Dassault systemes. Systém má širokou škálu pracovních prostředí a modulů a díky tomu můžeme vypracovat celý proces od návrhu designu, samotné konstrukci, analýzy, simulace, tvorby a dokumentace. Nachází se zde i katalogy normalizovaných součástí.

### **7.2 Hasco Dako module**

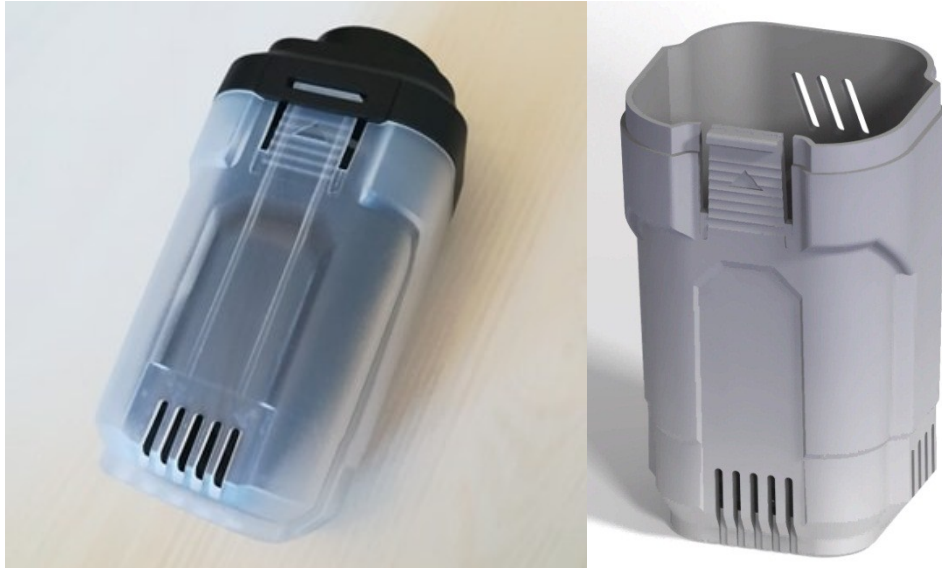
Jedná se o 3D digitální katalog firmy Hasco s normalizovanými součástmi zaměřené na konstrukci vstříkovaných forem. Výhodou je importování přesných modelů do velkého množství CAD systémů, což velmi usnadňuje práci při tvorbě forem. U jednotlivých dílů jsou také obsaženy informace o rozměrech a umístění.

### **7.3 Autodesk Moldflow**

Moldflow je výrobce simulačního softwaru pro vstříkování plastů od společnosti Autodesk. Stěžejními produkty společnosti jsou Moldflow Insight, který poskytuje konečné výsledky pro proudění, chlazení a Moldflow Adviser, který poskytuje manufakturní poradenství a směrovou zpětnou vazbu. Mezi další produkty patří např. Moldflow Design, Moldflow CAD Doctor a Moldflow Communicator, který lze získat zdarma a slouží k prohlížení výsledků a analýz.

## 8 VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK

Vstříkovaný plastový výrobek slouží jako dílčí součást excentrické brusky s integrovaným odsáváním. Jedná se o odnímatelnou nádobu, která slouží jako ochranný kryt pro textilní prachový sáček, který zachytává brusný odpad.



*Obr. 32 Vlevo skutečný díl s nástavcem; vpravo model výrobku*

Tvarem se jedná o vysokou nádobu s poměrně velkou tloušťkou. Ve velké většině svého objemu má díl tloušťku 3,2 mm, v místě spojení nádoby je tloušťka 1,6 mm. Odnímatelnost nádoby je zajištěna jednoduchým zobáčkem. V místě spoje jsou rozměry nádoby přibližně 71 x 67 mm a celková výška nádoby je 114 mm. Objem nádoby činí 79,34 cm<sup>3</sup>.



*Obr. 33 Vlevo pohled shora; vpravo pohled na spodní část*

## 8.1 Použitý materiál

Pro tento výrobek byl použit komoditní materiál polypropylen, který na tento typ vstřikovaných dílů z hlediska vlastností a ceny bohatě stačí. V programu Moldflow byl zvolen materiál SABIC PP PHC 27. Materiál kombinuje vysokou odolnost proti nárazu (i při nízkých teplotách) s dobrou tuhostí a velmi dobrými tokovými vlastnostmi. Použití je doporučující pro vstřikování beden, krabic, skořepin kufrů a automobilových dílů.

Tab. 6 Vlastnosti vybraného materiálu [22]

	Zkušební metody	Hodnoty	Jednotky
Materiál		Polypropylen (PP)	
Obchodní název		SABIC PP PHC 27	
Výrobce		SABIC Europe B.V.	
Index toku taveniny (MFR)	ISO 1133	14	g/10 min
Hustota	ISO 1183	905	Kg/m <sup>3</sup>
Mez kluzu	ISO 527	22	MPa
Mez v tahu	ISO 527	19	MPa
Zatížení při přeržení	ISO 527	600	%
Modul pružnosti ve smyku	ISO 527	1200	MPa
Vrubová houževnatost podle Izoda (23°)	ISO 180/4A	Bez přetržení	kJ/m <sup>2</sup>
Vrubová houževnatost podle Charpyho (23°)	ISO 179	31	kJ/m <sup>2</sup>
Minimální teplota taveniny		220	°C
Maximální teplota taveniny		270	°C
Maximální teplota taveniny (krátkodobě)		300	°C
Vyhazovací teplota		50	°C

## 8.2 Analýza umístění vtokového systému

Prvním krokem bylo nutné vysítovat daný model v programu Moldflow. Existují tři základní typy sítě:

- midplane; trojúhelníková síť, výpočet je proveden ve 2D,
- dual-domain; trojúhelníková síť, jednoduchá síť s velmi dobrou přesností,

- solid 3D plane; prostorová síť v celém objemu dílu, která je tvořena čtyřstěny. Výpočet je proveden ve 3D, velmi přesná, ale časově náročná analýza.



*Obr. 34 Vytvořená trojúhelníková síť pomocí dual-domain*

Daný díl byl vysítován pomocí dual-domain a hodnota poměrů stran trojúhelníkové sítě byla zvolena 2. Dále došlo k analýze této vytvořené sítě a úpravě několika parametrů, aby mohlo dojít k co nejpřesnějšímu měření. V analýze Mesh statistic se nachází parametry typu:

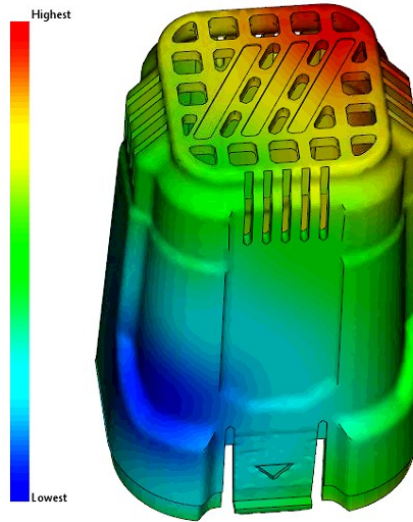
- aspect ratio (nemělo by být větší jak 15 %, maximálně 20 %),
- match percentage (ukazuje kvalitu sítě – pro velmi přesnou analýzu větší než 85 %),
- free edges (volné hrany),
- non-manifold edges (nepropojené hrany),
- elements not oriented (neorientované elementy),
- elements intersection (protínající se elementy),
- fully overlapping elements (překrývající se elementy),

Výsledkem sítě na daném dílu je hodnota 9,66 % aspect ratio a match percentage je 91 %. Takto vytvořená síť je plně vyhovující a považována za velmi přesnou.

První analýzou na určení polohy vtoku je tzv. flow resistance indicator. Tato analýza zobrazuje nejvhodnější umístění vtoku na výrobku. Ideální místo se pozná podle dráhy toku polymeru, která by měla být v nejlepším případě stejná do všech míst dutiny formy.

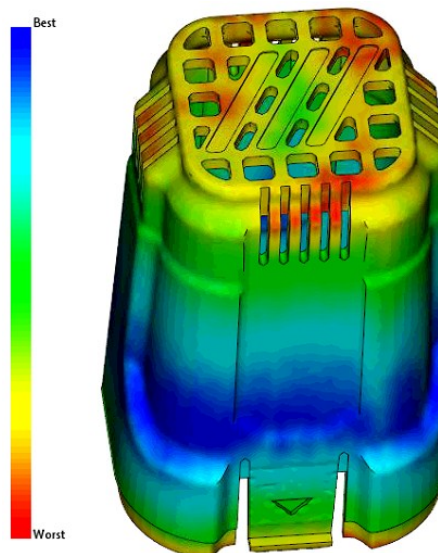


Nejvhodnější umístění vtoku je do tmavě modrého místa (znázorněno na *Obr. 35*) a naopak nejhorší řešení je do červeného. Na každou nádobku je použit pouze jeden vtok.



*Obr. 35 Flow resistance indicator*

Druhou analýzou je gating suitability což je analýza vhodnosti polohy vtoku, která už podle názvu určuje nejvhodnější a nejméně vhodnou oblast umístění vtokového ústí. Zde opět platí, že nejlepší výběr je v modré oblasti. Po dokončení analýz, bylo vybráno vtokové ústí do spodní části nádobky do jejího středu, z důvodu solidního, souměrného plnění a hlavně funkčnosti odformování výrobku z dutiny formy.

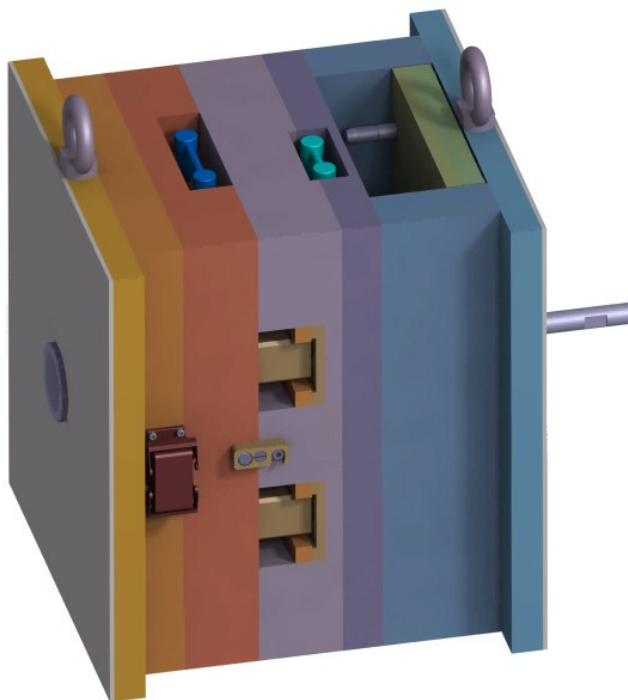


*Obr. 36 Gating suitability*

## 9 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Konstrukce formy by měla být řešena z hlediska přesnosti a složitosti co nejjednodušeji a také je velmi zásadní ekonomika výroby, díky které se firmy snaží vyrábět co největší počet normalizovaných dílů. Ke konstrukci formy došlo pomocí softwaru CATIA s použitím pracovního prostředí Mold Tooling Design do kterého se vkládaly normalizované komponenty z 3D digitálního katalogu firmy Hasco. Tento princip zajistí zjednodušení, zrychlení a zlevnění navrhované formy. V případě nutného vyměnění poškozené nebo silně opotřebované komponenty dochází k poměrně rychlé objednávce u daného výrobce normalizovaného dílu a jeho následné výměně.

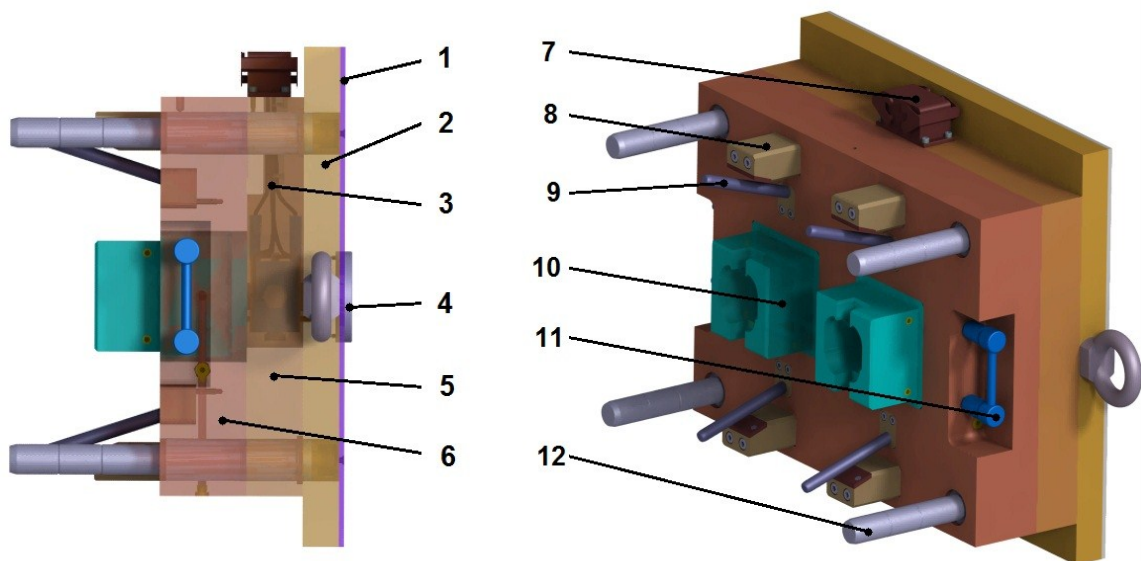
V diplomové práci byla použita normalizovaná forma se označením Mba5, která má navíc kotevní desku pro horký blok (použití vyhřívaného vtokového systému formy). Hlavní rozměry formy jsou 396 x 546 x 502 mm. Formu lze rozdělit do tří hlavních částí. První část se nachází na pravé straně vstřikovacího stroje. Tato část je nepohyblivá a dochází zde k přísunu plastikační jednotky, tzv. Injection side. Další částí je levá uzavírací strana, kde dochází k otevírání a zavírání formy (Ejection side). Poslední částí je vyhazovací systém, díky kterému dochází k vyhození dílu z dutiny formy (Ejector system).



*Obr. 37 Zhotovená vstřikovací forma*

## 9.1 Pravá vstřikovací strana

Pravá strana vstřikovací formy se skládá ze čtyř desek. Jedná se o desku izolační, upínací, kotevní pro horký blok a kotevní pro tvárnici. Izolační deska má za úkol udržet stabilní teplotní pole formy a zabránit tepelný přestup mezi formou a strojem v místě upnutí (př. sklotextitové desky). Kotevní deska slouží k ukotvení desky na rám stroje a vyskytuje se zde i středící kroužek, který slouží k jejímu vystředění. V kotevní desce pro horký blok se nachází i kabeláž, která vede do konektoru, který je umístěn přímo na rámu formy. V poslední desce je upnuta tvárnice, spolu se šikmými čepy a zámky šoupátek, jenž slouží k odformování bočních (vedlejších) dělicích rovin. Dále se zde vyskytují i dva temperační okruhy tvárnice. Aby došlo ke spojení a k pohybu levé uzavírací strany vstřikovací formy, nachází se zde čtyři vodící čepy, které zároveň fungují i jako středící systém pravé nepohyblivé strany. Celá strana je sešroubována a tvoří rozebíratelné spojení.



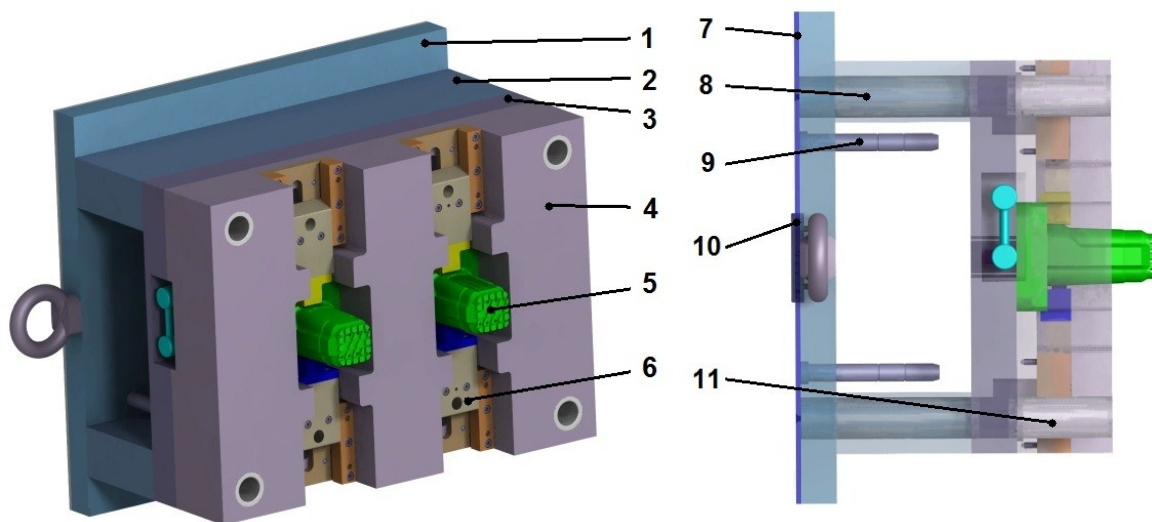
Obr. 38 Pravá vstřikovací strana formy

1 – izolační deska; 2 – upínací deska; 3 – kabeláž horkého bloku; 4 – středící kroužek;  
5 – kotevní deska pro horký blok; 6 – pravá kotevní deska; 7 – konektor; 8 – zámek šoupátka;  
9 – šikmý čep; 10 – tvárnice; 11 – obtoková spojka temperačního systému;  
12 – vodící čep

## 9.2 Levá uzavírací strana

Levá strana vstřikovací formy se skládá ze šesti desek, a to izolační, upínací, ze dvou rozpěrných, opěrné a levé kotevní desky pro tvárnici. Kotevní deska opět slouží k upnutí

formy na rám stroje a navíc jsou zde nalisovány vodící čepy pro vyhazovací systém, také se zde nachází středící kroužek. Dvojice rozpěrných desek vytváří mezi sebou mezeru pro vyhazovací systém. V opěrné desce se nachází temperační systém tvárníku a jsou zde vrtány průchozí díry pro válcové vyhazovače, které slouží jako vedení. V levé kotevní desce se nachází tvárník a šoupátka s tvarovými jádry, které slouží k odformování vedlejší dělicí roviny. Dále vodící pouzdra, která slouží ke středění a k pojezdu s pravou stranou formy po vodících čepích. Důležitou součástí jsou středící trubky, které středí levou část formy a do kterých vedou vodící čepy. Celý systém levé strany je opět sešroubován dohromady.



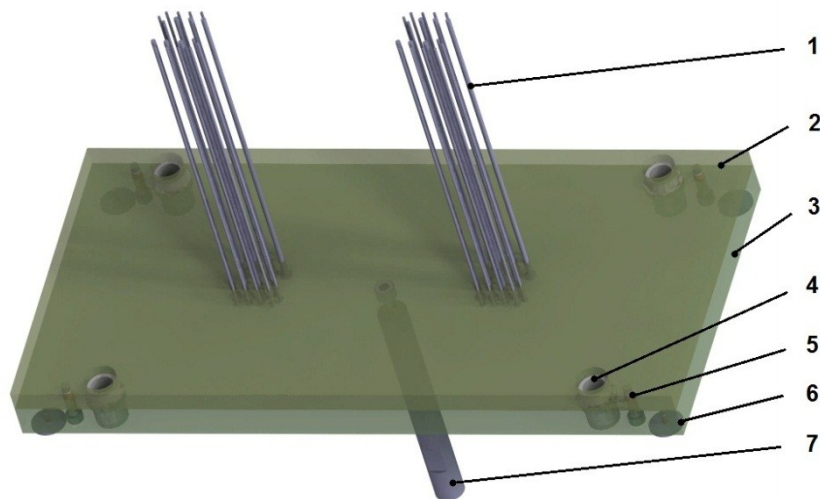
Obr. 39 Levá uzavírací strana formy

- 1 – upínací deska; 2 – rozpěrná deska; 3 – opěrná deska; 4 – levá kotevní deska;  
 5 – tvárník; 6 – šoupátko s tvarovým jádrem; 7 – izolační deska; 8 – středící trubka;  
 9 – vodící čep; 10 – středící kroužek; 11 – vodící pouzdro

### 9.3 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém je složen z opěrné a kotevní desky. V opěrné desce jsou namontovány čtyři vodící pouzdra, která jezdí po vodících čepích v levé uzavírací straně formy. Díky těmto pouzdrům je zaručen plynulý dopředný pohyb vyhazovacích desek při vyhození dílů z dutiny formy a následného vrácení desek do původní polohy. Celý tento pohyb je dán táhlem, které spojuje celý vyhazovací systém s hydraulickým systémem stroje. Na spodní straně opěrné desky jsou namontovány čtyři dosedky, jejichž úkolem je tlumit rázy při vrácení vyhazovací soustavy do původního stavu.

Kotevní deska obsahuje válcové vyhazovače. Celkem se jedná o 36 válcových vyhazovačů o dvou různých rozměrech (24 válcových vyhazovačů o průměru 2,2 mm, a 12 válcových vyhazovačů o průměru 4 mm). Celý vyhazovací systém je opět sešroubován čtyřmi šrouby. Na válcových vyhazovačích se může podle potřeby použít aretace, která zajistí vyhazovače proti pootočení.

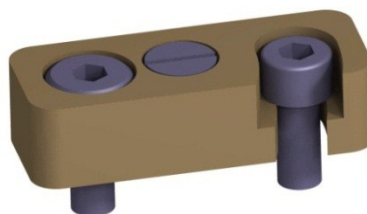


*Obr. 40 Vyhazovací systém*

*1 – válcový vyhazovač; 2 – kotevní deska; 3 – opěrná deska; 4 – vodící pouzdro;  
5 – šroub; 6 – dosedka; 7 – táhlo*

#### 9.4 Ostatní komponenty

Mezi další komponenty řadíme například nosné a upínací prvky, snímače tlaku a síly, počítadla zdvihů (cyklů) apod. Manipulace formy je zajištěna dvěma závěsnými oky, která jsou namontována na pravé a levé upínací desce. Tím dochází k usnadnění manipulace například pomocí jeřábu. Další použitou komponentou je zámek dělicí roviny, který zajišťuje, aby se nástroj (forma) při manipulaci neotevřela a nedošlo k případným škodám, jedná se o ochranný prvek.



*Obr. 41 Zámek dělicí roviny*

## 9.5 Zaformování výrobku

Velmi důležitou úlohou je zaformování výrobku a výběr jeho dělících rovin. Konstrukční řešení musí být takové, aby bylo co nejjednodušší a zároveň aby došlo k bezpečnému vyhození výstřiku z dutiny formy. Základem je, aby výstřik zůstal v levé uzavírací pohyblivé straně formy, aby poté mohlo dojít k jeho vyhození díky vyhazovacímu systému pomocí válcových kolíků.

Pro danou excentrickou nádobku bylo nutné navrhnout hlavní a dvě vedlejší dělící roviny. Na *Obr. 42* je vidět způsob zaformování dané nádoby. Zelená barva značí tvárnici a červená tvárník. V místě spoje nádoby s bruskou je menší tloušťka a proto musí být součástí tvárníku, aby mohlo dojít k odformování výstřiku. Spojení je navíc uskutečněno zobáčkem (znázorněno hnědě) a dvěma malými drážkami v zúženém místě (modře). Ještě se zde nachází tři otvory, které se taktéž musí odformovat vedlejší rovinou. Výsledkem je hlavní dělící rovina znázorněna zelenou a červenou barvou, a dvě vedlejší dělící roviny kdy jedna je znázorněna hnědě a druhá modře.

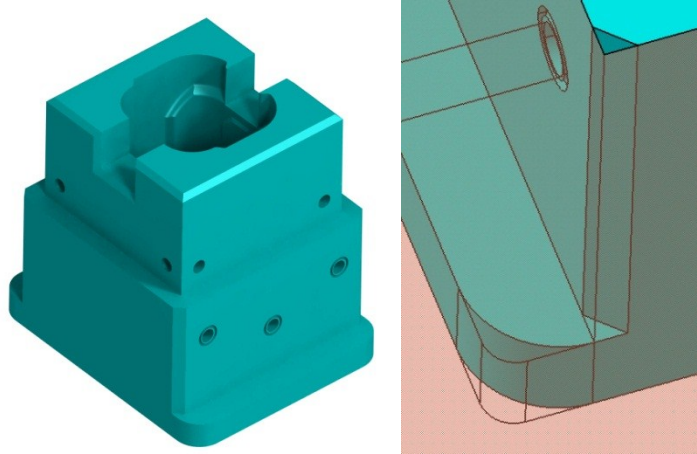


*Obr. 42 Zaformování výrobku*

### 9.5.1 Tvárnice

Jak už bylo řečeno, tvárnice se nachází na pravé vstřikovací straně. Vyrobená z nástrojové oceli 1.2343 s následným kalením na tvrdost HRC 55. Jsou zde vrtány otvory pro cirkulaci temperačního média a otvor pro horkou trysku. U temperace jsou potřebné drážky pro těsnící O-kroužky, uzavírací zátky a šrouby, aby nedocházelo k úniku kapaliny z formy. Na *Obr. 43* vpravo je detail zapuštění tvárnice do pravé kotevní desky pomocí zkosených a zaoblených hran. Jedná se o docela vysoký díl, proto i tvárnice docela

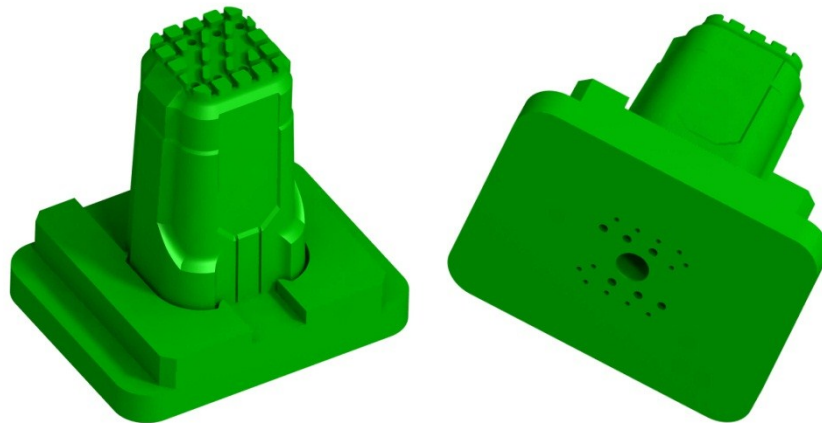
vystupuje do prostoru, a proto je zde udělána menší kapsa, díky které na sebe tvárník s tvárnici dosedají přímo v dělicí rovině.



*Obr. 43 Tvárnice*

### 9.5.2 Tvárník

Tvárník je zapaštěný na levé pohyblivé straně formy a vyroben obdobně jako tvárnice. Zespodu má vyvrtanou díru pro temperační systém, do které přijde plochá přepážka. Dále je zde vyvrtaných celkem 18 děr pro válcové vyhazovače.

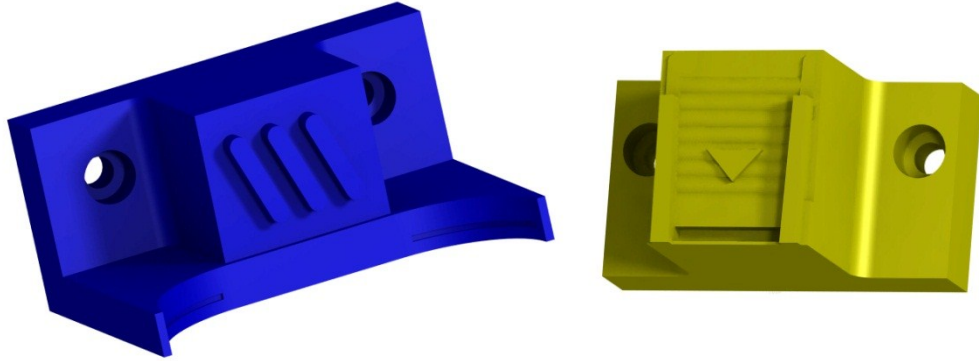


*Obr. 44 Tvárník*

### 9.5.3 Tvarové vložky

Z vedlejších dělicích rovin se vytvořily dvě tvarové vložky. Obě vložky jsou opět vyrobeny z nástrojové oceli a upraveny kalením na určitou tvrdost. První tvarová vložka odformovává zobáček, který slouží jako spoj mezi nádobkou a bruskou (žlutá). Druhá tvarová vložka (modrá) slouží k odformování tří otvorů a také dvou malých drážek, které

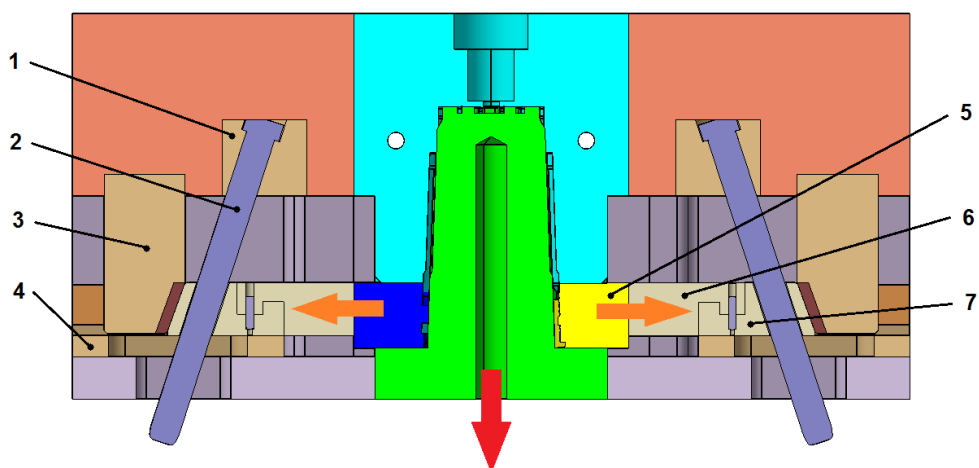
také slouží ke spojení nádoby s tělem brusky. Obě tvarová jádra mají zapuštěné otvory pro šrouby, díky kterým dojde k upevnění k šoupátkům, které zajišťují odformování těchto vložek.



Obr. 45 Tvarové jádra

## 9.6 Odformování výstřiku

K odformování hlavní dělicí roviny bude docházet díky klasickému otevření formy. K vysunutí tvarových vložek (vedlejších dělicích rovin) bude docházet při otvírání formy díky šikmým čepům, které ovládají posuvné čelisti (šoupátka) s tvarovými jádry. Při otvírání dojde k posouvání šoupátka v radiálním směru od osy formy, což lze vidět na Obr. 46. Červená šipka znázorňuje otevření formy a oranžové šipky zase odformování tvarových jader pomocí šoupátek.



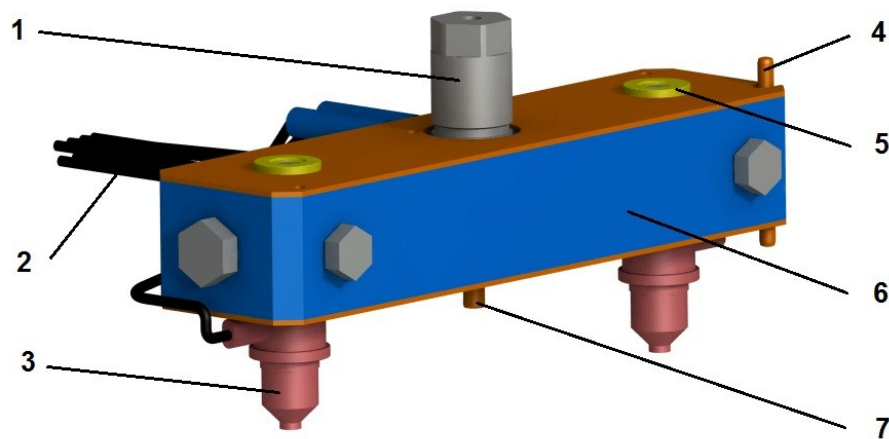
Obr. 46 Funkce odformování

1 – úchyt šikmého kolíku; 2 – šikmý čep; 3 – zámek šoupátka; 4 – samomazné vedení;  
5 – tvarové jádro; 6 – spoj jádra s šoupátkem; 7 – šoupátko



## 9.7 Vtokový systém

Vtokový systém zajišťuje dopravu taveniny do dutiny formy. V této diplomové práci byl zvolen vyhřívaný vtokový systém, který je sestaven z několika komponent, které udržují vstřikovaný plast při konstantní teplotě. Horký vtok zaručuje tavenině stálou viskozitu v celém průřezu, což je ekonomicky velmi výhodné, protože nevzniká přebytečný odpad. Horký blok musí být ve formě uložen s dostatečnou vůlí, a měl by být co nejlépe odizolován od zbytku formy.



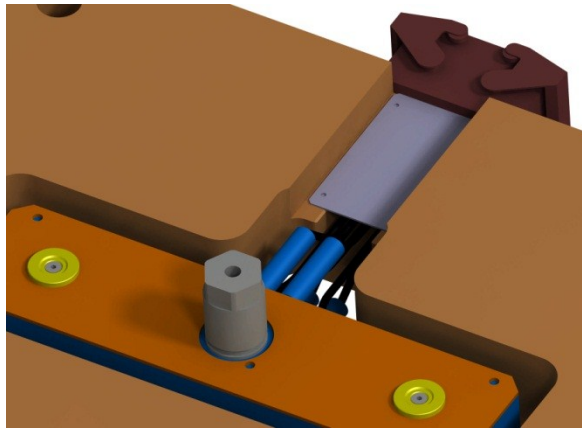
Obr. 47 Vyhřívaný vtokový systém

1 – centrální vtoková vložka; 2 – kabeláž; 3 – horká tryska; 4 – kolík; 5 – distanční kroužek; 6 – rozvodný blok; 7 – středící kolík

Vyhřívaný vtokový systém je kompletně sestaven z 3D normálií firmy Hasco, kde horký rozváděcí blok má dvě vyhřívané trysky. Horký blok je ve tvaru „I“ a je umístěn v kotevní desce horkého bloku, která se nachází mezi kotevní a upínací deskou. Pro přesné umístění je blok pomocí kolíku vystředěn a zajištěn proti pootočení. V rozvodném bloku se vyskytují topná tělesa, která zahřívají průchozí vstřikovaný materiál, a od ostatních částí formy jsou izolovány pomocí tepelně izolační vrstvy.

Napájení horkého rozvodného bloku a trysek je pomocí kabelů, které vedou do konektoru. Konektor je umístěn v kotevní desce pro horký blok na vrchní části formy vedle transportního můstku, tak aby nedošlo k jeho poškození a zároveň byl snadno dostupný. Veškerá kabeláž je vedena do jednoho svazku a je vedena frézovanými drážkami, které musí zajistit ochranu proti mechanickému poškození. Takový kanál by neměl obsahovat

ostré hrany. Z tohoto důvodu je frézovaný kanál zakrytován plechem, aby nedošlo například k sevření kabeláže. Plechový kryt je přišroubován pomocí zápusťných šroubů



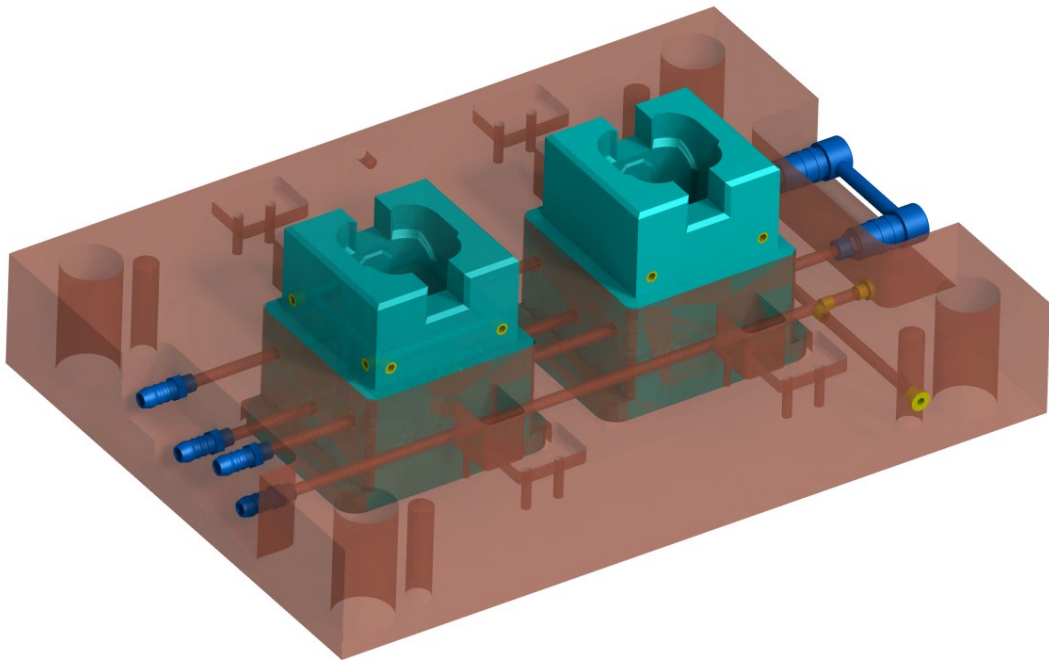
Obr. 48 Řešení vedení kabelů

Také byla snaha se vyvarovat umístění zásuvky vedle přípojek na temperační okruhy. Například při uvolnění nebo prasknutí hadice by mohlo dojít ke zkratu.

## 9.8 Temperační systém

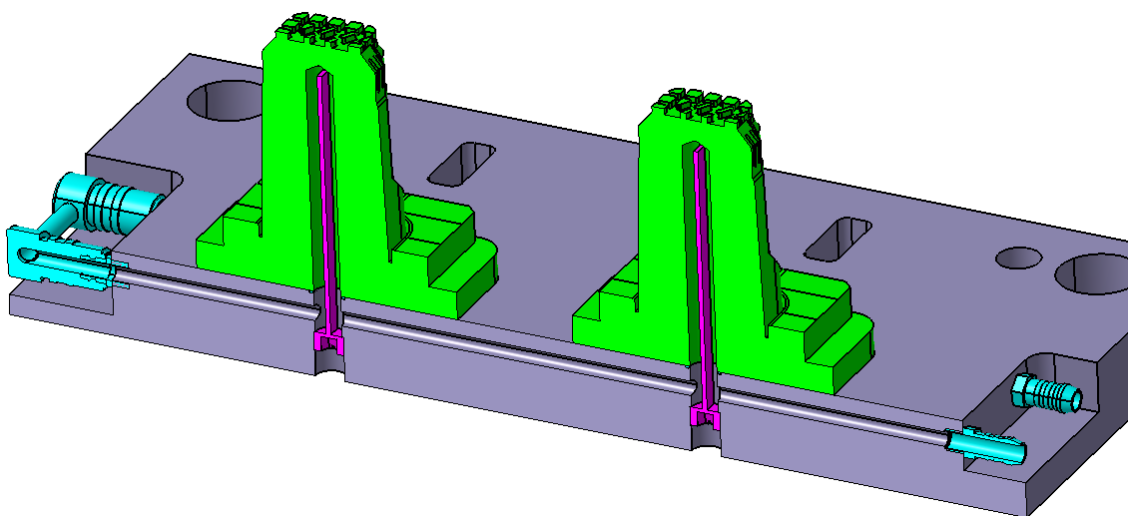
Cílem temperačního systému je stanovit požadovanou teplotu dutiny formy, a tuto teplotu držet. Druhým úkolem je odvádění tepla při chlazení výrobku a zároveň snaha o co nejmenší kolísání teplot během procesu vstřikování. Čím lépe je temperační systém navržen, tím je větší efektivita chlazení což má za následek lepší chlazení. Dobře navržený temperační systém je velmi efektivní při chlazení materiálu v dutině formy, a díky tomu dojde k obrovské úspoře času při výrobě vstřikovaných dílů (to lze vidět v kapitole 1.1 u vstřikovacího cyklu, kde právě chlazení je ze všech operací časově nejnáročnější).

Oba temperační systémy tvárnice se nachází na pravé vstřikovací straně formy v pravé kotevní desce. První z nich je poměrně jednoduše veden skrz celou formu, a pomocí obtokové spojky se vrací zpět. Druhý temperační systém je o něco komplikovanější, a musí obsahovat celkem 14 uzavíracích zátek a 7 uzavíracích šroubů, díky kterým se zajistí potřebný směr toku chladicího média. Snahou bylo, aby se začátek i konec temperačních okruhů nacházel pouze na jedné straně formy, což má za následek jednodušší rozvod média z temperačního zařízení.



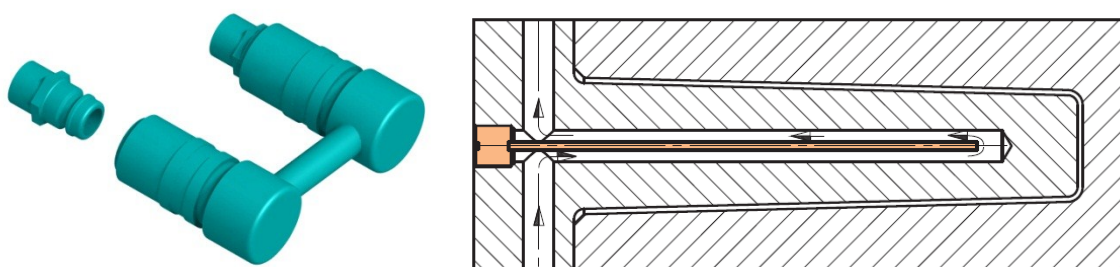
*Obr. 49 Temperační okruh tvárnice*

Na straně tvárníku je temperační systém poměrně odlišný. Pro tak vysoký skořepinový díl je vhodné temperovat tvárník zevnitř pomocí ploché přepážky. Temperační systém je opět veden skrze celou formu a pomocí obtokové spojky vrácen zpět. Zde je ten rozdíl, že při průchodu pod tvárníkem chladicí kapalina narazí na plochou přepážku, která rozděluje vyvrtanou díru v tvárníku, a tuto přepážku obtéká. Princip je zobrazen na *Obr. 51*.



*Obr. 50 Řez temperačním systémem tvárníku*

Důležitou součástí temperačního systému jsou těsnící kroužky, díky kterým se tekutina nedostane mimo tento okruh. Přípojky jsou umístěny na pravé kotevní desce a na opěrné desce pouze z jedné strany. Na druhé straně je použit systém připojovacích nátrubků s obtokovou spojkou, který vrací kapalinu zpět na stranu přípojek. Tyto komponenty jsou zcela zapuštěny do formy, aby nemohlo dojít k případné kolizi, např. při manipulaci s formou. Kvůli možné výměně přípojek, je vhodné vzít ohled na manipulační prostor v těchto kapsách.



Obr. 51 Vlevo připojovací nátrubek s obtokovou spojkou; vpravo funkce ploché přepážky

## 9.9 Vstřikovací stroj

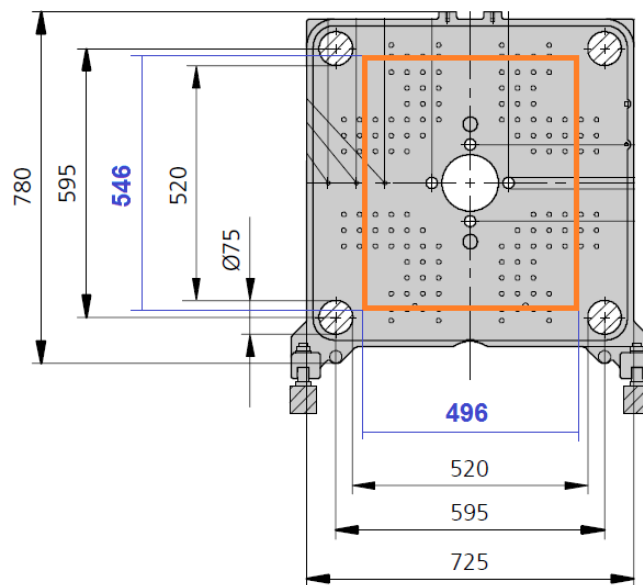
Vstřikovací stroj je volen podle rozměrů vstřikovací formy. Základní vybrané desky jsou normáliemi firmy Hasco o rozměrech 396 x 546 x 492 mm, přičemž upínací deska má rozměry 496 x 546 mm. Rozměry formy jsou mezní pro vzdálenost mezi vodícími sloupky, a proto by měl být vybrán stroj, který má větší vzdálenost mezi vodícími sloupy.

Tab. 7 Základní parametry vstřikovacího stroje [23]

Vlastnosti	Jednotka	Hodnota
Vzdálenost mezi vodícími sloupy	mm	520 x 520
Velikost upínací desky	mm	688 x 688
Uzavírací síla	max. kN	1600
Otevírací síla	max. kN	365
Vyhazovací síla	max. kN	50
Vyhazovací zdvih	max. mm	175
Průměr šneku	mm	40
Objem vstřikované dávky	max. cm <sup>3</sup>	188
Vstřikovací tlak	max. MPa	153
Účinná délka šneku	L/D	17,5

Pro navrženou formu byl zvolen vstřikovací stroj Allrounder 520 S od německé firmy Arburg. Vzdálenost mezi vodicími sloupky je 520 x 520 mm. Objem nádoby je 79,34 cm<sup>3</sup>. Forma je zvolena jako dvojnásobná, tudíž je potřebný objem vstřikované dávky na jeden cyklus cca 159 cm<sup>3</sup>. Zvolený stroj má průměr šneku 40 mm, a velikost plastikační dávky činí 188 cm<sup>3</sup>.

Jak už jednou bylo napsáno, velikost upínací desky formy je 546 x 496 mm, takže forma bude upnutá ve stroji, jak je přibližně znázorněno na Obr. 52. Můžeme brát výběr stroje jako vyhovující.



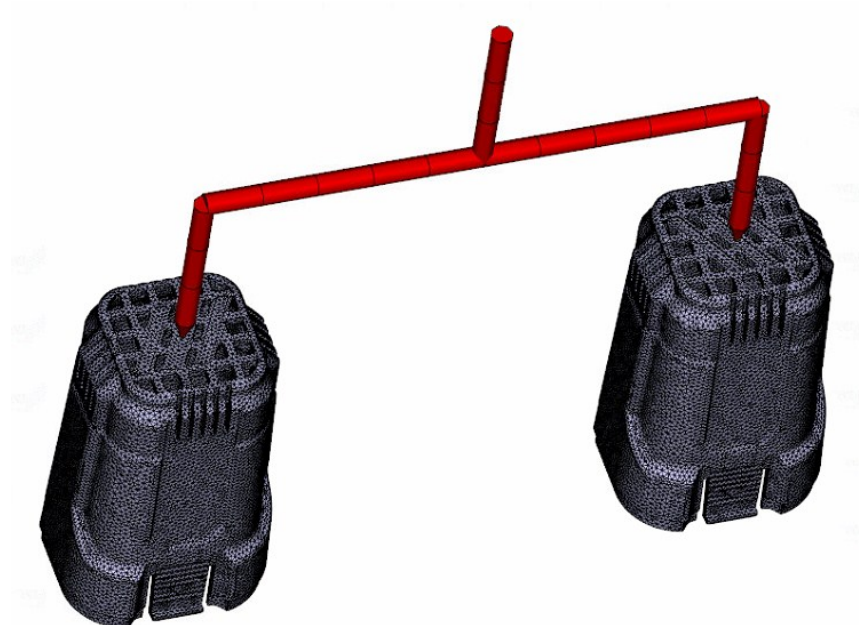
Obr. 52 Upnutí formy do stroje

## 10 TOKOVÉ ANALÝZY

Do programu Autodesk Moldflow byl vložen a vysíťován model, ke kterému se přidaly trajektorie vtokového systému a tří temperačních okruhů, poté došlo k nastavení procesních parametrů. Mezi hlavní parametry patří teplota povrchu formy, která je 40 °C, teplota taveniny 230 °C a vyhazovací teplota 50 °C. Dalším parametrem je čas vstřikování, jenž byl nastaven na 3,8 s a zvolen vstřikovací stroj. Z těchto modelů a nastavených parametrů program dokáže předpovědět řadu výsledků, mezi které patří analýzy plnění a dotlaku, analýzy temperace a smrštění a deformace dílu.

### 10.1 Vtokový systém a analýzy na plnění a dotlak

Jak už bylo v předchozí kapitole řečeno, jedná se o vyhřívaný vtokový systém, jehož násobnost byla zvolena jako dvojnásobná. Násobnost určuje, kolik výrobků bude vyrobeno jedním pracovním cyklem, volí se převážně z ekonomického hlediska. Vtokový systém je tvořen z kruhové geometrie o průměru 8 mm, na konci je vtokové ústí tvaru komolého kužele a výsledná tryska má průměr 1,8 mm.

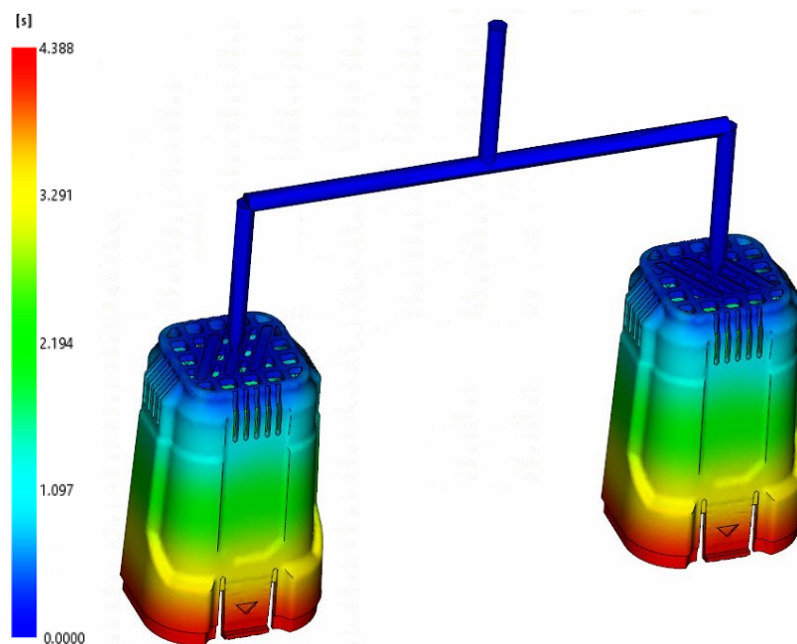


Obr. 53 Vymodelovaný horký vtokový systém

#### 10.1.1 Analýza času plnění (Fill time)

Analýza, která ukazuje dobu, za kterou se dutina formy zcela zaplní. Nejkratší doby plnění jsou zobrazeny modrou barvou a naopak nejdelší červenou. Díky tomu můžeme

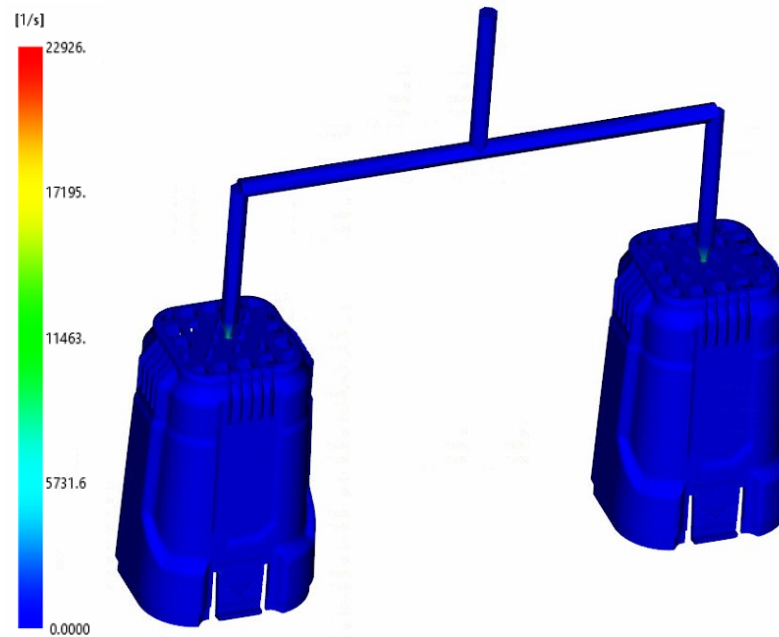
pozorovat, jak se dutina časem postupně zaplňovala. Vtokový systém je vyhříváný, proto je zde čas roven nule. Dále je vhodné upozorovat, jestli se v této analýze nenachází šedé místo, které by značilo nedotečení materiálu a tím pádem by došlo k negativnímu výsledku analýzy plnění. V procesních podmínkách byl stanoven vstřikovací čas na 3,8 s a z výsledného obrázku lze usuzovat, že oba díly jsou zaplněny zcela rovnoměrně za stejně dlouhou dobu 4,388 s.



Obr. 54 Čas plnění

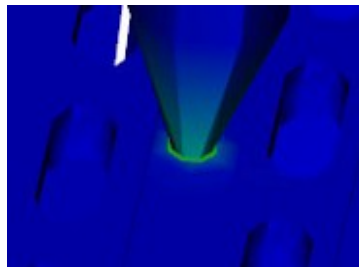
### 10.1.2 Rychlost smykové deformace (Shear rate, bulk)

Tato analýza vychází z reologie, kdy při vyšších rychlostech smykových deformací dochází ke snížení viskozity polymerních materiálů a tím k lepšímu tečení, ale bohužel i k nižší pevnosti materiálu. Rychlost smykové deformace ukazuje, kde bude materiál nejvíce namáhán vlivem posouvajících se jednotlivých vrstev polymeru po sobě. Podle materiálového listu je maximální hodnota této deformace  $24\,000\text{ s}^{-1}$ . Hlavním smyslem této analýzy je, aby výsledná hodnota nepřekročila maximální hodnotu deformace daného materiálu, jinak by docházelo ke zvýšené disipaci, a tím by mohla nastat degradace vstřikovaného polymeru, čili k roztržení makromolekulárních řetězců.



Obr. 55 Rychlost smykové deformace

Hodnota rychlosti smykové deformace v dané analýze je  $22\,926\text{ s}^{-1}$ , což zaručuje splnění maximální hodnoty z materiálového listu. V místě přechodu mezi horkou tryskou (vtokové ústí trysky) a vstříkovaným dílem dochází k největším smykovým deformacím (Obr. 56).



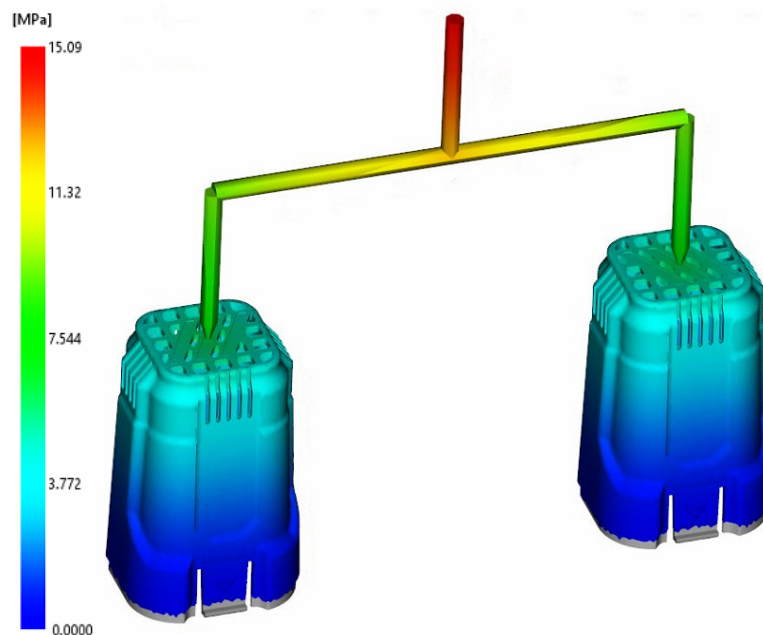
Obr. 56 Detail největšího smykového namáhání

Aby byla splněna analýza rychlosti smykové deformace, muselo proběhnout snížení vstříkovací rychlosti (3,8 s), což se nedá považovat za nejlepší procesní řešení. Jednou z možných optimalizací je použití jiného materiálu, který má nižší viskozitu a lepší hodnoty rychlostí smykových deformací. Lepší variantou je použití horké trysky s větším průřezem vtokového ústí. Tímto se zajistí rozšíření nejvíce namáhaného místa a snížení hodnoty rychlosti smykové deformace.



### 10.1.3 Přepnutí na dotlak (Pressure at V/P switchover)

V procesních podmínkách bylo zvoleno přepnutí z fáze plnění na dotlakovou fázi při 98% objemového zaplnění dutiny formy. Díky tomuto kroku nedochází v dutině formy k obrovské tlakové špičce, díky které by mohl vzniknout přetok v dělicích rovinách. Zobrazená hodnota přepnutí na dotlak je tedy rovna 15,09 MPa. Šedá místa ukazují, kdy dochází k přepnutí na dotlak. Nejvyšší tlak se nachází na samém začátku vtokové soustavy a ke konci je naopak nulový.

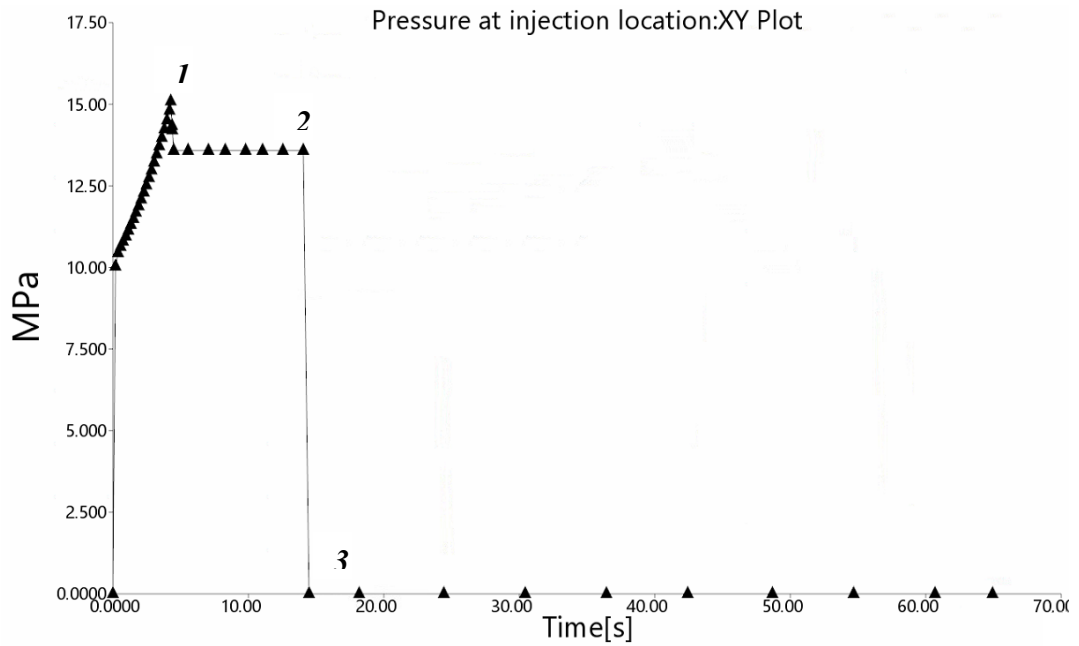


Obr. 57 Přepnutí na dotlak

### 10.1.4 Průběh vstřikovacího tlaku (Pressure at injection location)

Jedná se o tlak v místě vtoku a ukazuje průběh vstřikovacího tlaku během celého cyklu. Průběh vstřikovacího tlaku úzce souvisí s předchozí analýzou, kdy je zde zobrazen graf tlaku závislosti osy X a Y. Na začátku dochází k prudkému zvýšení tlaku, který nastává při počátku plnění. Dále se zde nachází mírný pokles kvůli pozvolnému doplňování a kompresi taveniny v dutině formy. Při následujícím dotlaku dojde k prudkému poklesu tlaku, který trvá až do zamrznutí vtokového ústí.

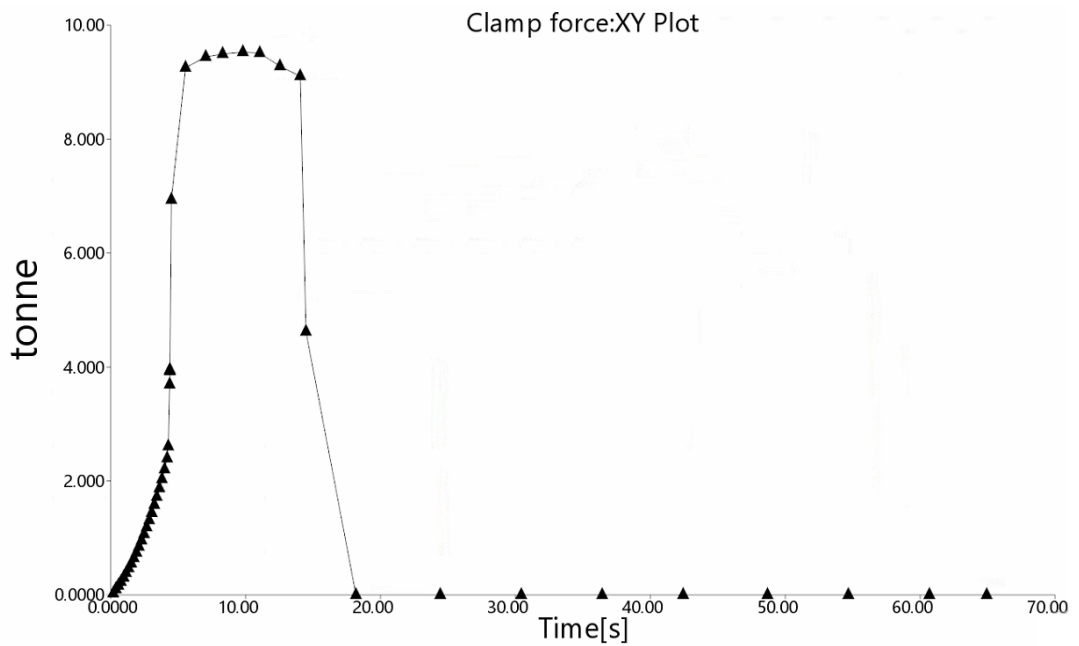
Na Obr. 58 v nejvyšším bodě můžeme vidět přepnutí na dotlak (1), trvání dotlaku (2) a jeho konec (3), poté dochází k chlazení výstřiku. Nejvyšší hodnota tlaku je 15,09 MPa, který se vygeneruje v čase 4,27 s, což je čas, kdy dochází k přepnutí na dotlak.



Obr. 58 Průběh vstřikovacího tlaku

### 10.1.5 Uzavírací síla (Clamp force)

Jedná se o důležitou analýzu, která ukazuje, jestli je vybraný stroj schopný vyvinout potřebnou uzavírací sílu. Při vstřikování taveniny totiž dochází k velké síle, která má snahu tuto formu otevřít. Vstřikovací tlak tedy klade odpor proti uzavírací síle, která nesmí být překročena.

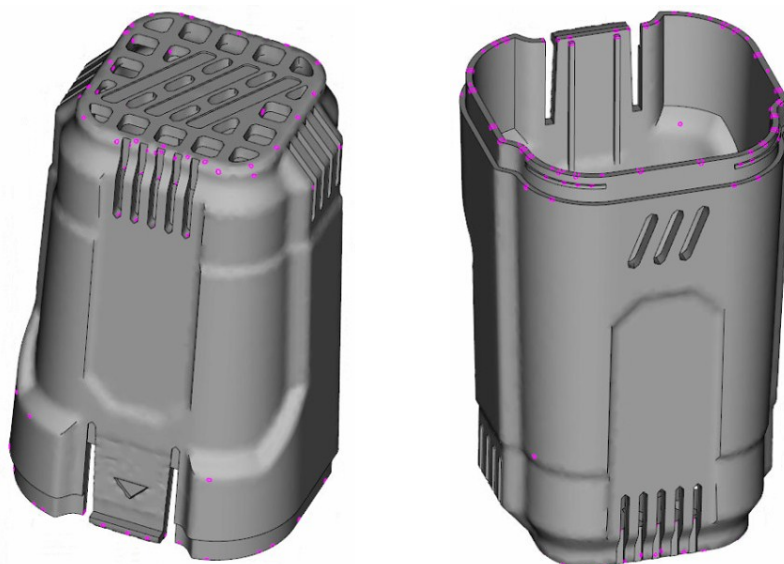


Obr. 59 Uzavírací síla

Z výsledného grafu vyšla maximální uzavírací síla 9,527 tun při času 9,756 s, což je hodnota rovna 93,5 kN. Udává se, že uzavírací síla by neměla překročit 80% z uzavírací síly vstřikovacího stroje, jenž je v tomto případě 1600 kN. Závěrem lze konstatovat, že vybraný stroj má velkou rezervu uzavírací síly, a tudíž pootevření formy nenastane.

### 10.1.6 Vzduchové kapsy (Air traps)

Místa zobrazená fialovou barvou značí vzduchové kapsy, což jsou místa, kde se předpokládá vznik zapouzdřování vzduchu. Při plnění dutiny formy před sebou tavenina vytlačuje vzduch, který po uzavření formy v dutině zůstal a v těchto místech může docházet ke kompresi vzduchu, ke spálení taveniny a tím k povrchovým vadám na povrchu výrobku. Řešením může být použití odvzdušnění. Odvzdušnění se nemusí nacházet všude, stačí například vytvořit v jednom kritickém místě.

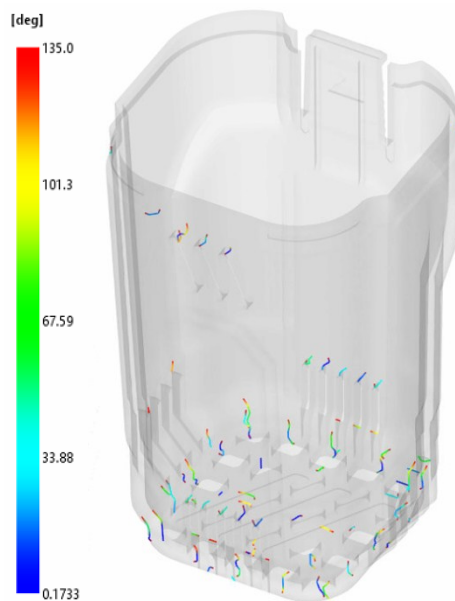


Obr. 60 Vzduchové kapsy

Obrázky znázorňují, že se vzduchové kapsy vyskytují převážně v místech spojení čel taveniny, kde hrozí i tvorba studených spojů. V této práci se odvzdušnění zanedbalo za předpokladu, že k úniku vzduchu bude docházet přes hlavní a vedlejší dělicí roviny, pokud by se po odzkoušení formy neukázalo jinak.

### 10.1.7 Studené spoje (Weld lines)

Vznikají v důsledku střetu čel taveniny a jedná se o nežádoucí jev, jenž může způsobit pohledové vady, nebo hůře mechanické vady, které snižují mechanické namáhání výrobku. Pokud se studený spoj nachází v důležitém místě, kde bude docházet k mechanickému namáhání, lze tento spoj posunout díky přemístění vtokového ústí.

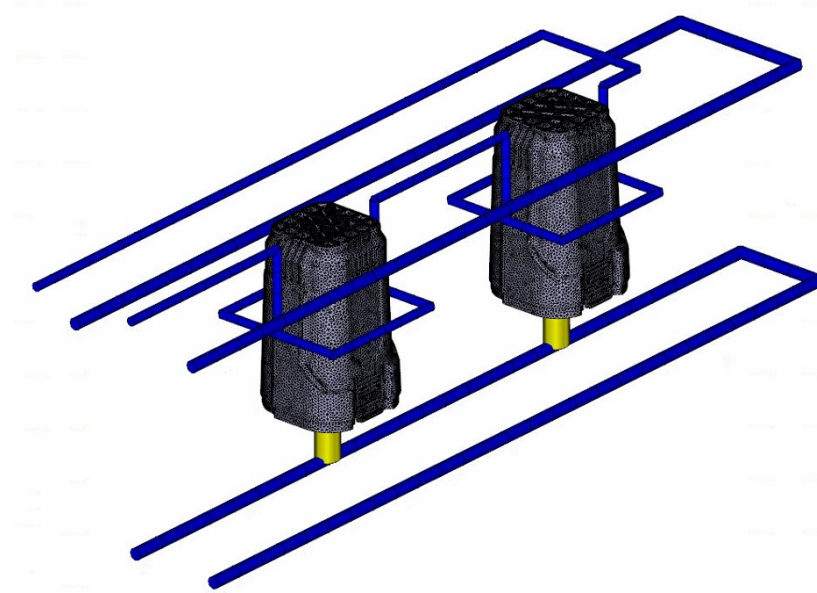


*Obr. 61 Studené spoje*

Výskyt studených spojů na daném díle je převážně kolem vtoku taveniny, kde se předpokládá stále vysoká teplota taveniny, a díky tomu by mělo docházet k dobrému spojení čel taveniny. Obecně je známo, že čím dál je tavenina od vtokového ústí, tím menší má teplotu a tím hůře difundují tyto čela do sebe. Vstřikovaný díl nebude využíván pro velká mechanická zatížení, tudíž vzniklé studené spoje nejsou velkým problémem.

## 10.2 Temperační systém a analýzy na chlazení

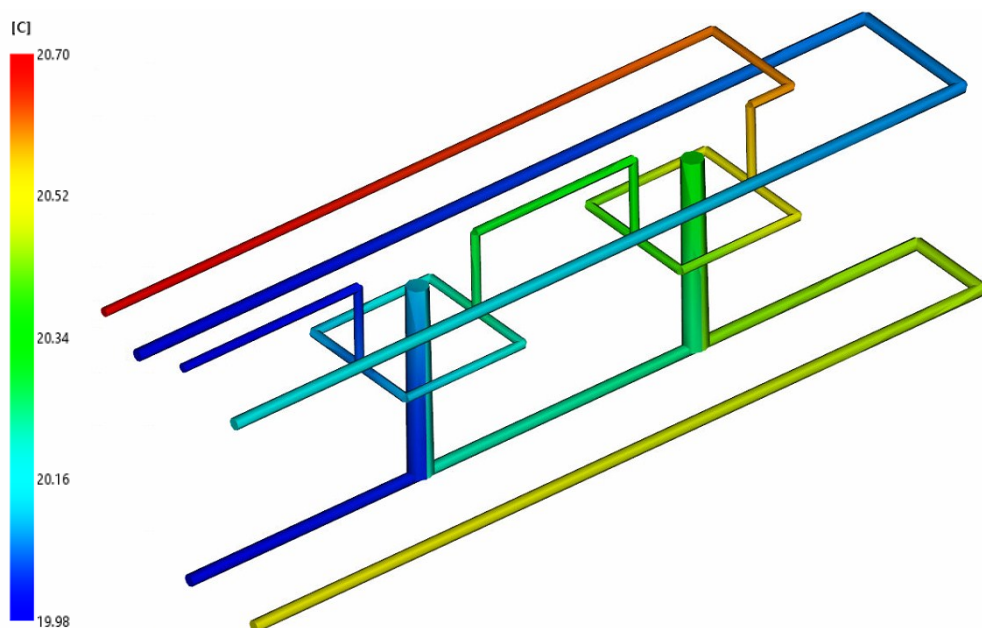
Na danou nádobku byly použity celkem tři temperační okruhy, z nichž se dva nachází na straně tvárnice a jeden na straně tvárníku. Dva temperační kanálky mají kruhovou geometrii o průměru 8 mm, třetí průměr 6 mm, a jako chladicí médium byl zvolen ethylene glycol a voda v poměru 1:1. Teplota použité kapaliny je 20 °C se zvoleným tlakem 3 bary na jeho vstupu do formy.



Obr. 62 Temperační systém

### 10.2.1 Teplota temperačního okruhu (Circuit coolant temperature)

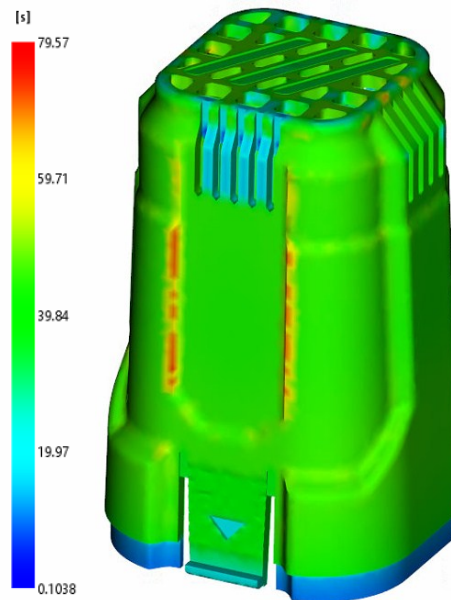
Analýza ukazuje, jak se v průběhu tečení mění teplota temperačního média. Na vstupu je zadaná teplota z procesních podmínek, která po protečení formou svoji teplotu zvýší. Rozdíl mezi teplotou na vstupu a výstupu by neměla být větší jak 3 °C, jinak by mohly vznikat vnitřní pnutí a případné deformace způsobené rozdílem teplot při chlazení. V tomto případě se jedná o 0,72 °C, což je poměrně zanedbatelný rozdíl a tím pádem tato analýza zcela splňuje podmínku.



Obr. 63 Teploty temperačních okruhů

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

Další velmi důležitá analýza, která zobrazuje čas, který je potřebný k vyhození výstřiku z dutiny formy.



Obr. 64 Čas dosažení vyhazovací teploty

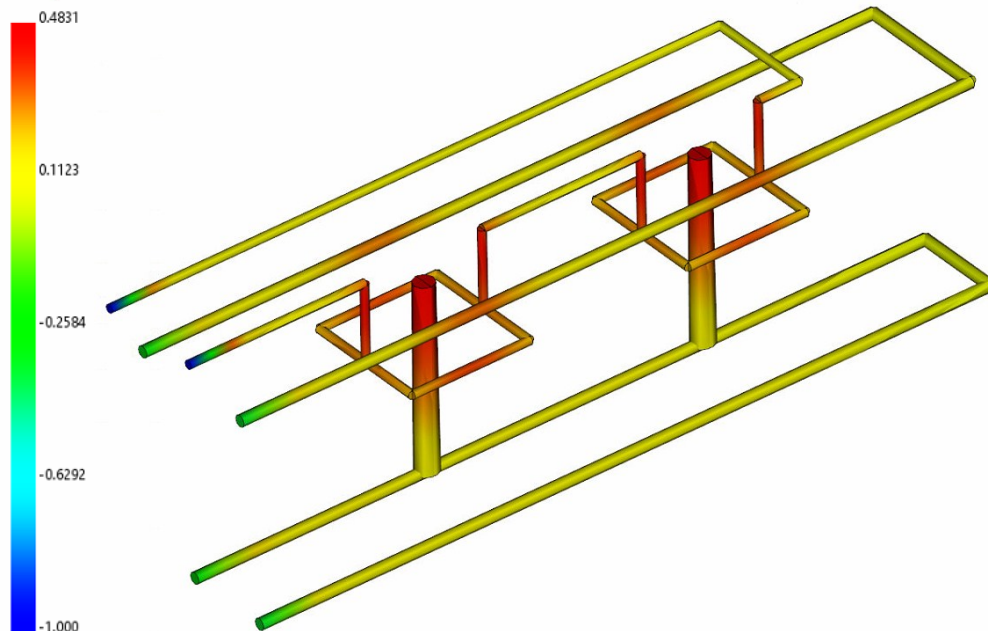
Vyhazovací teplota použitého materiálu z materiálového listu je 50°C. Aby úplně všechna místa na daném díle dosáhla vyhazovací teploty, je stanoven čas na 79,57 s. V praxi se bere ohled na rozložení vyhazovačů a jejich styčná plocha s výrobkem, kde materiál může ztuhnout daleko dříve než je zmíněných 79,57 s a tím dojít k daleko rychlejšímu vyhození. Na daném dílu jsou místa pod vyhazovačema znázorněna zelenou barvou, a tudíž se může uvažovat, že k vyhození dílu bude docházet v rozmezí 35 – 40 s, a zbytek výstřiku zchladne po vyhození na vzduchu.

Z hlediska ekonomie výroby je stanovených 35 s na chlazení stále dlouhá doba. Jako možnou optimalizaci bych v tomto případě doporučil zmenšení tloušťky vstříkovaného výrobku. Nejedná se o mechanicky velmi zatěžovaný díl a jeho tloušťka 3,2 mm akorát prodlužuje dobu chlazení a tím i efektivitu a ekonomii výroby.

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

Zobrazuje nejefektivnější odvádění tepla v určitých částech temperačních kanálů. V místech výstřiku kde se nachází největší teplota, je také logicky největší procentuální odvod tepla chladicího systému (znázorněno červenou a oranžovou barvou). Další je žlutá barva, která znázorňuje hodnoty kolem nuly a tím i nulovou efektivitu odvodu tepla, navíc

je forma vyhřívána na teplotu 40 °C. Poslední barevné spektrum se nachází poměrně daleko od vstřikovaných dílů a v tomto místě se vyskytuje přívod a odvod chladicí kapaliny z temperačního zařízení (efektivita odvodu tepla je tu v záporných číslech)

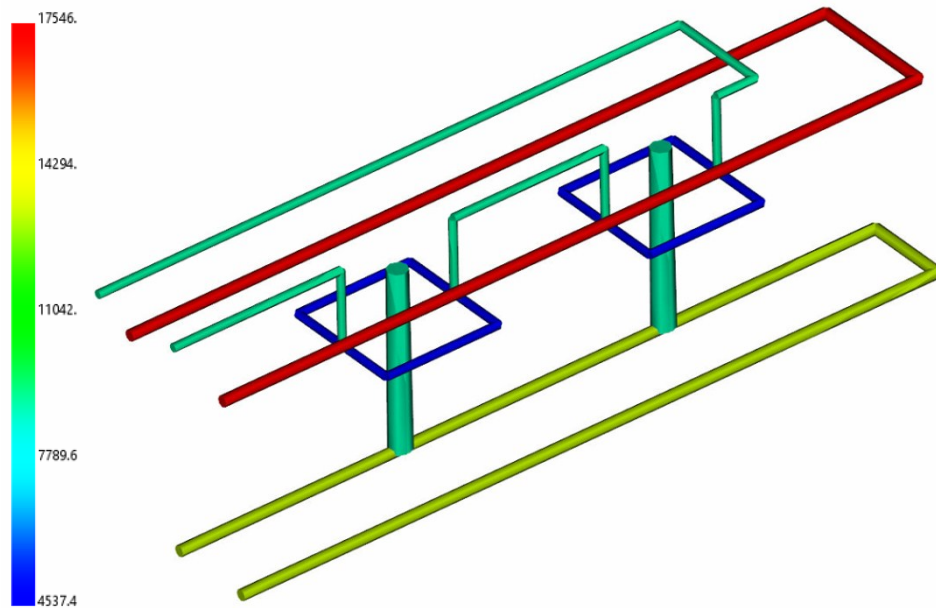


Obr. 65 Efektivita odvodu tepla

#### 10.2.4 Hodnota Reynoldsova čísla (Circuit Reynolds number)

Reynoldsovo číslo určuje proudění kapaliny v daném místě okruhů. Jak už bylo zmíněno v *kap. 2.4*, je pro odvod tepla v temperačních kanálech nejvhodnější turbulentní proudění, díky kterému se zvýší účinnost přenosu tepla z formy do chladicí kapaliny. Pokud je hodnota Reynoldsova čísla větší jak 4 000, můžeme předpokládat, že v systému dojde k turbulentnímu proudění a tím i k efektivnějšímu odvodu tepla.

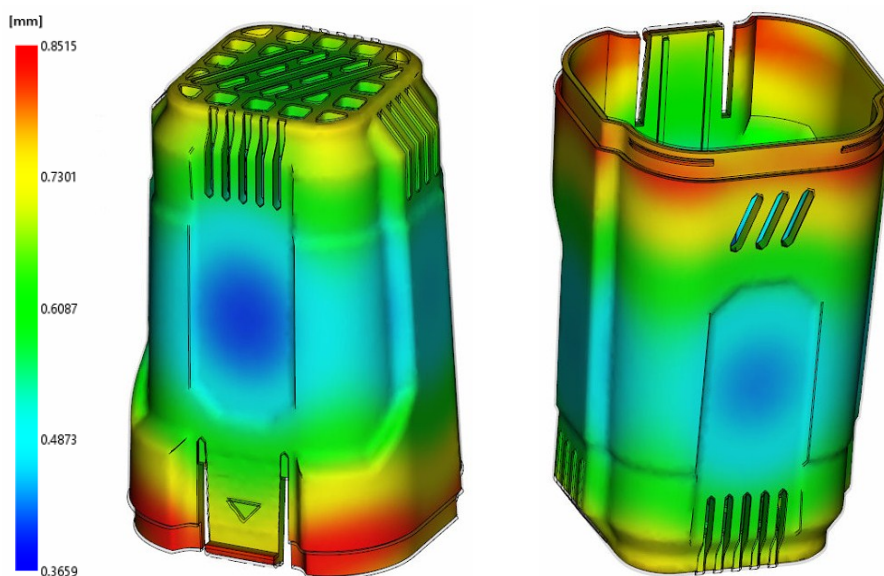
Každý ze tří okruhů je svým způsobem odlišný, a proto má každý systém svoji určitou hodnotu. První temperační okruh na straně tvárníku, využívá obtokové přepážky. Reynoldsovo číslo je zde 13 291 a v místě ploché přepážky je hodnota 8 967. Další okruhy se nachází na straně tvárnice, první z nich vede vcelku jednoduše po stranách výstřiku a jeho hodnota činí 17 546 (červená barva). Poslední chladicí systém má jiný průměr než předchozí dva a tím pádem má nejmenší hodnotu 9 074 a navíc zde dojde k rozdělení toku kolem vstřikovaného výrobku, kde má Reynolds hodnotu 4 537 a je znázorněn modře.



Obr. 66 Reynoldsova čísla temperačních kanálů

### 10.3 Smrštění a celková deformace (Deflection, all effects)

Velikost celkové deformace je dána rozdílem rozměrů mezi zhotovenou formou a výsledným rozměrem výstřiku. Největší deformace jsou znázorněny červeně a jedná se konkrétně o zobáček, díky kterému dochází ke spojení nádoby s tělem brusky. Velikost smrštění je 0,85 mm, a dutina formy by měla být o tuto hodnotu zvětšena. Smrštění a deformace jsou ovlivněny zvoleným materiálem, tvarem výstřiku, polohou vtokového ústí a tvarem a volbou temperačních kanálů.



Obr. 67 Smrštění a celková deformace



## DISKUZE VÝSLEDKŮ ANALÝZ

Pro daný výrobek bylo nejdůležitější vybrat vhodný materiál a vysítovat ho, aby mohlo dojít k následným analýzám v programu Autodesk Moldflow. Pro výrobek tloušťky stěn 3,2 mm byl vybrán komoditní polypropylen s obchodním názvem SABIC PP PHC 27. Tvorba sítě proběhla pomocí typu dual – domain, jenž se vyznačuje jednoduchou sítí s velmi dobrou přesností. Tato síť je vytvořená pomocí trojúhelníkové sítě o délkách stran 2 mm.

U takto vysítovaného modelu došlo k prvním dvěma analýzám na umístění vtokového ústí. Jedná se o analýzu na určení polohy vtoku a analýzu vhodnosti polohy vtoku. S ohledem k těmto analýzám se nakonec vybralo vtokové ústí na spodní část dna nádoby do jejího středu, z důvodu solidního, souměrného plnění a hlavně funkčnosti odformování výrobku z dutiny formy.

Po vysítování dílu a umístění polohy vtoku byl vložen a vysítován dvojnásobný vtokový systém o průměru 8 mm, se dvěma horkými tryskami s vtokovým ústím 1,8 mm. Dále bylo třeba přidat temperační systém, který čítá tři chladicí okruhy, přičemž každý okruh je v něčem rozdílný. Jako chladicí médium byl vybrán ethylen glycol a voda v poměru 1:1 o teplotě 20 °C.

Nakonec se nastavily procesní parametry jako je např. teplota taveniny 230 °C, vyhazovací teplota 50 °C, teplota povrchu formy 40 °C a vstřikovací čas 3,8 s, a mohla se spustit kompletní analýza (cool + fill + pack + warp).

První analýzou byl čas plnění, kde došlo k úplnému dotečení materiálu v dutině formy. Pro oba díly platí zcela stejné a rovnoměrné zaplnění ve stejný čas 4,388 s. Další byla rychlost smykové deformace, která vyšla 22 926 s<sup>-1</sup> a splňuje tak maximální hodnotu 24 000 s<sup>-1</sup> z materiálového listu. Aby tato hodnota vyšla, byla snížena vstřikovací rychlost na 3,8 s. Z těchto dvou analýz byla navržena optimalizace, která počítá buď s použitím materiálu s nižší viskozitou a lepší hodnotou rychlostí smykových deformací, nebo použití horké trysky s větším průřezem vtokového ústí. Díky této optimalizaci se zajistí rychlejší vstřikovací čas při vyhovujících hodnotách rychlostí smykových deformací.

Analýza přepnutí na dotlak byla nastavena na 98% objemového zaplnění dutiny formy, díky které nedojde k přetížení v dutině formy a zabrání se vytvoření přetoku

v dělicích rovinách. Zároveň se v průběhu vstřikovacího tlaku v čase 4,27 s vygeneruje nejvyšší hodnota tlaku, a to 15,09 MPa.

Velmi důležitá analýza na uzavírací sílu vyšla 93,5 kN, která byla dosažena v čase 9,756 s. Vybraný stroj má uzavírací sílu 1600 kN a tudíž lze konstatovat, že stroj má daleko větší rezervu, než je stanovených bezpečnostních 20% a tím pádem můžeme s jistotou říci, že k pootevření vstřikovací formy nedojde.

Odvzdušnění a tím i spojené vzduchové kapsy, se v této práci zanedbaly za předpokladu úniku vzduchu přes hlavní a vedlejší dělicí roviny. Kdyby se po odzkoušení formy ukázaly vady (spálené místa, bubliny), tak by muselo dojít k dodatečným úpravám, pomocí odvzdušňovacích kanálů.

Studené spoje nevykazují žádný viditelný problém, a tudíž se není obávat viditelných natož mechanických vad.

Další část analýz se týká teploty a chlazení. Teplota temperačního okruhu ukazuje rozdíl teplot na vstupu a výstupu. Tato hodnota by neměla překročit 3 °C, jinak by mohly vznikat vnitřní pnutí a deformace. Temperační médium na vstupu má velikost 19,98 °C a na výstupu z formy 20,70 °C. Rozdíl tedy činí pouhých 0,72 °C a analýza je vyhovující.

Analýza na čas, který dosáhne požadované vyhazovací teploty, je z ekonomického hlediska velmi důležitá. Aby celý díl dosáhl vyhazovací teploty 50 °C, musel by být díl chlazen v dutině formy 79,57 s. Prakticky už stačí díl vyhazovat v rozmezí 35 – 40 s, a nechat zbytek výstřiku zchladit na vzduchu. Zde byla navržena druhá optimalizace, kdy by došlo ke zmenšení tloušťky vstřikovaného výrobku, a tím i zrychlení celého vstřikovacího cyklu. Díky tomu by se zlepšila efektivita a ekonomie výroby.

Efektivita odvodu tepla ukazuje největší procentuální odvod tepla chladicího systému, kde nejlepší odvod zajišťuje plochá přepážka vyskytující se v uvnitř tvárníku. S efektivitou úzce souvisí i hodnota Reynoldsova čísla. Když je toto číslo větší jak hodnota 4 000, dojde k turbulentnímu proudění, které je velice efektivní. Všechny tři temperační okruhy mají hodnoty Reynoldsova čísla od 4 537 do 17 546 a tím se uvažují chladicí okruhy jako efektivní.

Poslední analýzou je smrštění a celková deformace, kde se zjistilo, že největší smrštění je 0,85 mm a nachází se v místě zobáčku. Je vhodné dutinu formy zvětšit o tuto hodnotu smrštění.

## ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývá analýzou a konstrukcí vstřikovací formy pro nádobku excentrické brusky s následnými simulacemi.

V části teoretické byla stručně popsána technologie vstřikování včetně vstřikovacího cyklu a dotlaku. Dále bylo pojednáváno o základech reologie, které jsou pro konstruktéra velmi důležité znát z hlediska chování newtonských a nnewtonských tekutin, a také znalost fontánového toku, který je tak typický pro technologii vstřikování. Další kapitolou je samotná výroba vstřikovacích forem, které jsou vyráběny převážně na CNC zařízeních pomocí frézování, soustružení a vrtání. Nejsložitější tvarové vložky, tvárnice a tvárníky jsou vyráběny pomocí elektroerozivního obrábění, kdy dochází k úběru materiálu elektrickými výboji. Poté dochází k samotné montáži a zkoušení těchto forem. Asi největší prostor byl věnován samotné vstřikovací formě, zaformování výstřiku a rozvodným systémům taveniny. Poslední kapitola teoretické části se zabývala vady vstřikovaných dílců.

Praktická část obsahovala popis a 3D model vstřikovaného výrobku, u kterého došlo k zaformování. Zaformování je základní úlohou, ve které se vhodně zvolí rozdělení dělicích rovin. V tomto případě vznikla jedna hlavní a dvě vedlejší dělicí roviny. Z těchto rovin se vytvořil tvárník a tvárnice jenž představují hlavní dělicí rovinu a dvě odlišně vypadající tvarové vložky, které představují vedlejší dělicí roviny. Pomocí 3D katalogu normalizovaných komponent od firmy Hasco, byla zkonstruována vstřikovací forma se třemi hlavními částmi (Pravá vstřikovací strana, levá uzavírací strana a vyhazovací systém). Na odformování vedlejších dělicích rovin byl použit mechanický systém, který se skládá z pojízdného šoupátka, které jezdí po samomazném vedení. Dále z úchyty šikmého kolíku a šikmého čepu, který při otevírání formy posouvá šoupátka v radiálním směru. Nachází se zde i zámek šoupátka, který blokuje otevření vedlejší dělicí roviny při procesu vstřikování. Po odformování byl zvolen horký vtokový systém, který je tvořen horkým rozvodným blokem a dvěma horkými tryskami. Temperace formy se skládá ze tří okruhů. První temperační kanál má průměr 8 mm a nachází se na straně tvárnice. Druhý má stejný průměr, ale nachází se zde obtoková přepážka pro chlazení tvárníku. Poslední okruh má průměr 6 mm a jeho tok je veden pomocí 14 uzavíracích zátek a 7 uzavíracích šroubů. Forma byla na závěr vybavena dvěma závěsnými oky a zámkem dělicí roviny.

Byl zvolen vhodný vstřikovací stroj od firmy Arburg s označením Allrounder 520 S, jehož parametry vyhovují všem podmínkám.

Provedené tokové analýzy v programu Moldflow ukázali, jak moc je zkonstruovaná forma vhodná, případně ukázala nedokonalosti, díky kterým může dojít k pohotovým opravám. Díky tomu došlo k vyhodnocení těchto analýz a k závěru, že forma splňuje veškeré požadavky, ale ještě by zde bylo velice vhodné udělat dvě hlavní optimalizace. První optimalizace navrhuje použití většího průměru vtokového ústí u horké trysky a tím se zajistí rychlejší vstřikovací čas při splněných podmínkách rychlosti smykových deformací. Druhou optimalizací by došlo k diskuzi, o zmenšení tloušťky vstřikovaného dílu, a tím i zrychlení celého vstřikovacího cyklu. Díky tomu by se zlepšila efektivita a ekonomie výroby.

Závěrem byl vyhotoven výkres sestavy formy s kusovníkem a tyto výkresové dokumentace jsou doloženy v příloze spolu s materiálovým listem a s parametry vstřikovacího stroje.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] LENFELD, Petr. Technologie vstřikování [online]. Pardubice: CodeCreator, 2016 [cit. 2021-04-01]. ISBN 978-80-88058-74-8. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/Uvod.html>
- [2] Technická univerzita Liberec: Katedra strojírenské technologie, oddělení tváření plastů.[online].[cit.2021-04-01]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/04.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm)
- [3] DENN, Morton M. *Polymer Melt Processing: - Foundations in Fluid Mechanics and Heat Transfer* [online]. Cambridge University Press, 2008. [cit. 2021-02-25]. ISBN 978-1-5231-1341-5. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpPMFFMHTA/polymer-melt-processing/polymer-melt-processing>
- [4] MORRISON, Faith A. *Understanding Rheology* [online]. Oxford University Press, 2001. [cit. 2021-02-25]. ISBN 978-1-62870-855-4. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpUR00000I/understanding-rheology/understanding-rheology>
- [5] *Polymer Properties Database* [online], c2015 - 2021. [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <http://polymerdatabase.com/polymer%20physics/Deborah.html>
- [6] MALKIN, Alexander Ya. a Avraam ISAYEV. *Rheology: - Concept, Methods, and Applications (3rd Edition)* [online]. Toronto: ChemTec Publishing, 2017. [cit. 2021-02-25]. ISBN 978-1-5231-0909-8. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpRCMAE012/rheology-concept-methods/rheology-concept-methods>
- [7] KENNEDY, Peter a Rong ZHENG. *Flow Analysis of Injection Molds (2nd Edition)* [online]. Hanser Publishers, 2013. [cit. 2021-02-25]. ISBN 978-1-62870-314-6. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpFAIME003/flow-analysis-injection/flow-analysis-injection>
- [8] BEAUMONT, John P. *Runner and Gating Design Handbook: - Tools for Successful Injection Molding (3rd Edition)* [online]. Hanser Publishers, 2019. [cit. 2021-02-25]. ISBN 978-1-5231-2685-9. Dostupné z:

<https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpRGDHTSI1/runner-gating-design/runner-gating-design>

- [9] AVERSA, Raffaella et al. About Glassy Amorphous Metal Injection. *International Journal of Structural Glass and Advanced Materials Research*. 2018, 2(1), 96-106. ISSN 2616-4507. Dostupné z: doi:10.3844/sgamrsp.2018.96.106
- [10] MENNIG, Günter a Klaus STOECKHERT. *Mold-Making Handbook (3rd Edition)*. 3. vydání. Hanser Publishers, 2013. ISBN 978-1-56990-446-6.
- [11] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů: II. díl, Vstřikování termoplastů*. Brno : Uniplast Brno, 1999.
- [12] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů: I. díl, Vstřikování termoplastů*. 2. vydání. Brno : Uniplast Brno, 1999.
- [13] HYNEK, Martin, Eduard MÜLLER a Štěpán HELLER. *Studené a živé vtokové systémy* [online]. Plzeň, 2013. [cit. 2021-03-04]. Dostupné z: [https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK\\_PU/KA\\_05\\_publicace/KA05\\_Studene\\_a\\_zive\\_vtokove\\_systemy.pdf](https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publicace/KA05_Studene_a_zive_vtokove_systemy.pdf). Západočeská univerzita v Plzni.
- [14] *Hasco* [online], c2021. [cit. 2021-03-04]. Dostupné z: <https://www.hasco.com/cs/>
- [15] HYNEK, Martin, Eduard MÜLLER a Štěpán HELLER. *Horké vtoky* [online]. Plzeň, 2013. [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: [https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK\\_PU/KA\\_05\\_publicace/KA05\\_Horke\\_vtoky.pdf](https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publicace/KA05_Horke_vtoky.pdf). Západočeská univerzita v Plzni.
- [16] KAZMER, David O. *Injection Mold Design Engineering (2nd Edition)* [online]. 2. vydání. Hanser Publishers, 2016 [cit. 2021-04-01]. ISBN 978-1-5231-0587-8. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpIMDEE002/injection-mold-design/injection-mold-design>
- [17] KERKSTRA, Randy a Steve BRAMMER. *Injection Molding Advanced Troubleshooting Guide*. Mnichov: Hanser Publishers, 2018. ISBN 978-1-56990-645-3.

- [18] CHEN, Shia-Chung a Lih-Sheng TURNG. *Advanced Injection Molding Technologies* [online]. Mnichov: Hanser Publishers, 2019. [cit. 2021-03-10]. ISBN 978-1-5231-2479-4. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpAIMT0003/advanced-injection-molding/advanced-injection-molding>
- [19] ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce vylisků z plastů a forem pro zpracování plastů: polymery*. 2. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. 2015. ISBN 978-80-7204-919-6.
- [20] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0614-1.
- [21] REES, Herbert. *Mold engineering*. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers, 2002. 688 s. ISBN 34-462-1659-6
- [22] Technická univerzita Liberec: Katedra strojírenské technologie, oddělení tváření plastů.[online].[cit. 2021-04-18]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/04.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm)
- [23] AUSPREGER, Aleš. *Technologie zpracování plastů* [online]. Pardubice: CodeCreator, 2016 [cit. 2021-04-18]. ISBN 978-80-88058-77-9. Dostupné z: <https://publi.cz/books/183/01.html>
- [24] WANG, Maw-Ling, Rong-Yeu CHANG a Chia-Hsiang HSU. *Molding Simulation - Theory and Practice*. Hanser Publishers, 2018 [cit. 2021-04-18]. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpMSTP0001/molding-simulation-theory/molding-simulation-theory>
- [25] CALHOUN, Allison a Jerry GOLMANAVICH. *Plastics Technician's Toolbox, Volumes 1-6* [online]. Society of Plastics Engineers, 2004 [cit. 2021-4-18]. ISBN 978-1-59124-995-5. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpPTTV0006/plastics-technicians/plastics-technicians>
- [26] DANGEL, Rainer. *Injection Moulds for Beginners* [online]. Hanser Publisher, 2016 [cit. 2021-04-18]. ISBN 978-1-56990-631-6. Dostupné z:

<https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpIMB00004/injection-moulds-beginners/injection-moulds-beginners>

- [27] NEUHÄUSL, Emil. Vady výstřiků – 1. díl: Příčiny vzniku vad a studené spoje. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 03. 03. 2010 [cit. 2021-4-18]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-1-dil-priciny-vzniku-vad-a-studene-spoje>
- [28] SEIDL, Martin. Stroje pro zpracování polymerních materiálů [online]. Pardubice: CodeCreator, 2016 [cit. 8. 01. 2019]. ISBN 978-80-88058-71-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/03.html>
- [29] *Arburg* [online], c2021. [cit. 2021-03-04]. Dostupné z: <http://www.wplompen.nl/matrijzen/ALLROUNDER%20520%20S.pdf>
- [30] *Sabic* [online], c2021. [cit. 2021-03-04]. Dostupné z: [http://www.b2bpolymers.com/TDS/SABIC\\_PHC27.pdf](http://www.b2bpolymers.com/TDS/SABIC_PHC27.pdf)



**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

např.	Například
CAM	Počítačová podpora obrábění
CAE	Počítačová podpora řízení procesů
aj.	A jiné
tzv.	Takzvaný
atd.	A tak dále
$De$	Debořino číslo
$\lambda$	Relaxační čas
$\theta$	Doba pozorování
$\tau_{ij}$	Tenzor napětí
$\dot{\tau}_{ij}$	Kodeformační časová derivace tenzoru napětí
$\eta$	Dynamická viskozita
$D_{ij}$	Tenzor rychlosti deformace
$\tau_{zx}$	Smykové napětí
$dv_x$	Rychlost ve směru x
Pa	Pascal
s	Sekunda
$Log$	Logaritmus
$Obr.$	Obrázek
př.	Příklad
$Re$	Reynoldsovo číslo
$\rho$	Hustota kapaliny
$U$	Střední hodnota rychlosti
$D$	Charakteristický rozměr kanálu

---

kg	Kilogram
m <sup>3</sup>	Metr krychlový
m	Metr
CAD	Počítačová podpora projektování
LOM	Laminated Object Manufacturing
FDM	Fused deposition modeling
CNC	Číslicové řízení počítačem
%	Procento
EDM	Elektrotepelný proces
°	Stupeň
SVS	Studený vtokový systém
HRC	Zkouška tvrdosti podle Rockwella
mm	Milimetr
Tab.	Tabulka
3D	Trojrozměrný prostor

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

<i>Obr. 1 Schéma vstřikovacího stroje [2]</i> .....	12
<i>Obr. 2 Vstřikovací cyklus</i> .....	13
<i>Obr. 3 Tok mezi dvěma deskami [7]</i> .....	16
<i>Obr. 4 Graf závislosti smykové viskozity na rychlost smykové deformace [8]</i> .....	16
<i>Obr. 5 Weissenbergův efekt [6]</i> .....	18
<i>Obr. 6 Fontánový tok [9]</i> .....	19
<i>Obr. 7 Příklad systému na výměnu náradí [10]</i> .....	21
<i>Obr. 8 Vlevo – hloubení; uprostřed – drátovka; vpravo – předvrtávání děr [10]</i> .....	22
<i>Obr. 9 Ruční leštění [10]</i> .....	23
<i>Obr. 10 Forma upevněná v lisu [10]</i> .....	24
<i>Obr. 11 Řez vstřikovací formou</i> .....	25
<i>Obr. 12 Vtoková vložka z online katalogu Hasco [14]</i> .....	28
<i>Obr. 13 Studený vtokový systém [13]</i> .....	29
<i>Obr. 14 Možnosti řešení vtokových kanálů [13]</i> .....	30
<i>Obr. 15 Kuželový vtok [13]</i> .....	31
<i>Obr. 16 Bodový vtok [13]</i> .....	31
<i>Obr. 17 Tunelový vtok [13]</i> .....	32
<i>Obr. 18 Banánový vtok – deformace vtoku během odformování [13]</i> .....	32
<i>Obr. 19 Vyhříváný vtokový systém [15]</i> .....	33
<i>Obr. 20 Příklad rozvodného bloku od firmy Hasco</i> .....	33
<i>Obr. 21 příklad vyhazovacího systému</i> .....	34
<i>Obr. 22 Válcový vyhazovač [14]</i> .....	35
<i>Obr. 23 Prizmatický vyhazovač [14]</i> .....	36
<i>Obr. 24 Trubkový vyhazovač [14]</i> .....	36
<i>Obr. 25 Vliv konstrukce temperačního systému [18]</i> .....	37
<i>Obr. 26 Typický příklad nedotečení [17]</i> .....	38
<i>Obr. 27 Propadliny na výrobku [17]</i> .....	39
<i>Obr. 28 Ukázka přetoku [17]</i> .....	40
<i>Obr. 29 Příklad studeného spoje [17]</i> .....	41
<i>Obr. 30 Černé spálené usazeniny na součásti [17]</i> .....	41
<i>Obr. 31 Tryskový tok (vlevo se nachází vtokové ústí)[17]</i> .....	42
<i>Obr. 32 Vlevo skutečný díl s nástavcem; vpravo model výrobku</i> .....	46

<i>Obr. 33 Vlevo pohled shora; vpravo pohled na spodní část</i> .....	46
<i>Obr. 34 Vytvořená trojúhelníková síť pomocí dual-domain</i> .....	48
<i>Obr. 35 Flow resistance indicator</i> .....	49
<i>Obr. 36 Gating suitability</i> .....	49
<i>Obr. 37 Zhotovená vstřikovací forma</i> .....	50
<i>Obr. 38 Pravá vstřikovací strana formy</i> .....	51
<i>Obr. 39 Levá uzavírací strana formy</i> .....	52
<i>Obr. 40 Vyhazovací systém</i> .....	53
<i>Obr. 41 Zámek dělicí roviny</i> .....	53
<i>Obr. 42 Zaformování výrobku</i> .....	54
<i>Obr. 43 Tvárnice</i> .....	55
<i>Obr. 44 Tvárník</i> .....	55
<i>Obr. 45 Tvarové jádra</i> .....	56
<i>Obr. 46 Funkce odformování</i> .....	56
<i>Obr. 47 Vyhřívání vtokový systém</i> .....	57
<i>Obr. 48 Řešení vedení kabelů</i> .....	58
<i>Obr. 49 Temperační okruh tvárnice</i> .....	59
<i>Obr. 50 Řez temperačním systémem tvárníku</i> .....	59
<i>Obr. 51 Vlevo připojovací nátrubek s obtokovou spojkou; vpravo funkce ploché přepážky</i> .....	60
<i>Obr. 52 Upnutí formy do stroje</i> .....	61
<i>Obr. 53 Vymodelovaný horký vtokový systém</i> .....	62
<i>Obr. 54 Čas plnění</i> .....	63
<i>Obr. 55 Rychlost smykové deformace</i> .....	64
<i>Obr. 56 Detail největšího smykového namáhání</i> .....	64
<i>Obr. 57 Přepnutí na dotlak</i> .....	65
<i>Obr. 58 Průběh vstřikovacího tlaku</i> .....	66
<i>Obr. 59 Uzavírací síla</i> .....	66
<i>Obr. 60 Vzduchové kapsy</i> .....	67
<i>Obr. 61 Studené spoje</i> .....	68
<i>Obr. 62 Temperační systém</i> .....	69
<i>Obr. 63 Teploty temperačních okruhů</i> .....	69
<i>Obr. 64 Čas dosažení vyhazovací teploty</i> .....	70

---

<i>Obr. 65 Efektivita odvodu tepla .....</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 66 Reynoldsova čísla temperačních kanálů .....</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 67 Smrštění a celková deformace .....</i>	<i>72</i>

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1 Výčet vad způsobující deformace [17]</i> .....	38
<i>Tab. 2 Výčet vad způsobující nedotečení [17]</i> .....	38
<i>Tab. 3 Výčet vad způsobující propadliny [17]</i> .....	39
<i>Tab. 4 Výčet vad způsobující studený spoj [17]</i> .....	40
<i>Tab. 5 Výčet vad způsobující spálené místo [17]</i> .....	42
<i>Tab. 6 Vlastnosti vybraného materiálu [22]</i> .....	47
<i>Tab. 7 Základní parametry vstřikovacího stroje [23]</i> .....	60

## SEZNAM PŘÍLOH

- P 1 Materiálový list SABIC PP PHC27
- P 2 Parametry vstřikovacího stroje
- P 3 Výkres sestavy formy
- P 4 Kusovník
- P 5 CD disk obsahující:
- textovou část diplomové práce,
  - 3D model výrobku a formy v programu CATIA
  - výkresovou dokumentaci v programu CATIA
  - Tokové analýzy z programu Autodesk Moldflow

# PŘÍLOHA P 1: MATERIÁLOVÝ LIST SABIC PP PHC27



## SABIC® PP PHC27 PP block copolymer for Injection moulding

### Description:

This grade combines very high impact resistance, also at low temperatures, with a good stiffness and offers very good flow properties. Due to its narrow molecular weight distribution and very low tendency to warp, it is highly suitable for injection moulding of crates, boxes, suitcase shells and automotive parts.

### Health, Safety and Food Contact regulations:

Material Safety Data Sheets (MSDS) and Product Safety declarations are available on our Internet site <http://www.SABIC-europe.com>

### Typical values

Revision 20080327

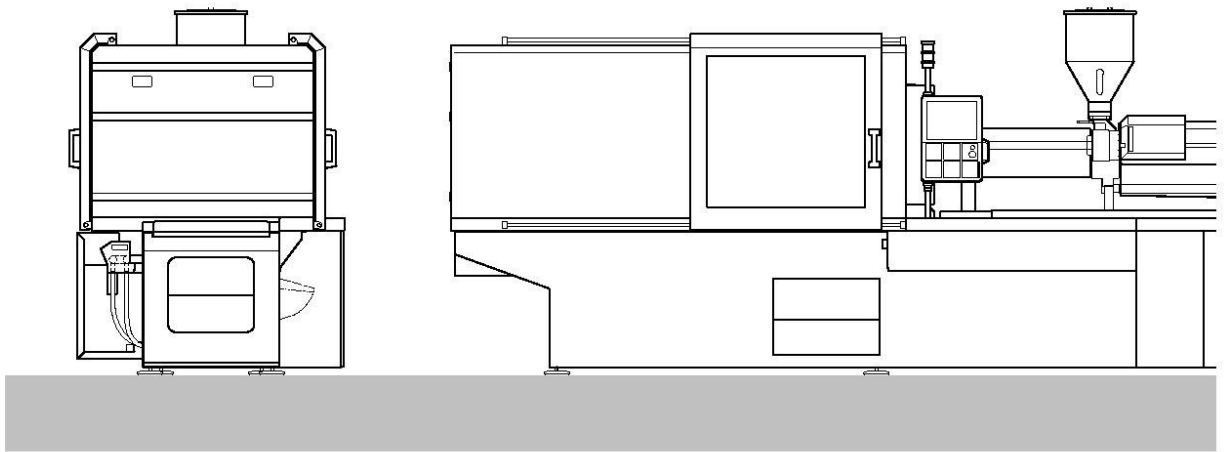
Properties	Unit (SI)	Values	Test methods
<b>Polymer properties</b>			
<b>Melt flow rate (MFR)</b> at 230 °C and 2.16 kg	g/10 min	14	ISO 1133
<b>Density</b>	kg/m <sup>3</sup>	905	ISO 1183
<b>Mechanical properties</b>			
<b>Tensile test</b>			ISO 527
stress at yield	MPa	22	
stress at break	MPa	19	
strain at break	%	600	
<b>Flexural test</b>			ASTM D 790
Flexural modulus	MPa	1200	
<b>Izod impact notched</b>			ISO 180/4A
at 23 °C	kJ/m <sup>2</sup>	No Break	
at 0 °C	kJ/m <sup>2</sup>	9.0	
at -20 °C	kJ/m <sup>2</sup>	6.0	
<b>Charpy impact notched</b>			ISO 179
at 23 °C	kJ/m <sup>2</sup>	31	
at 0 °C	kJ/m <sup>2</sup>	12.5	
at -20 °C	kJ/m <sup>2</sup>	7.0	
<b>Hardness Shore D</b>	-	66	ISO 868
<b>Thermal properties</b>			
<b>Heat deflection temperature</b>			
at 1.80 MPa (HDT/A)	°C	52	ISO 75/A
at 0.45 MPa (HDT/B)	°C	87	ISO 75/B
<b>Vicat softening temperature</b>			
at 10 N (VST/A)	°C	140	ISO 306/A
at 50 N (VST/B)	°C	57	ISO 306/B

All information supplied by or on behalf of any of the SABIC Europe companies in relation to its products, whether in the nature of data, recommendations or otherwise, is supported by research and believed reliable, but the relevant SABIC Europe company assumes no liability whatsoever in respect of application, processing or use made of the afore-mentioned information or products, or any consequence thereof. The user undertakes all liability in respect of the application, processing or use of the afore-mentioned information or product, whose quality and other properties he shall verify, or any consequence thereof. No liability whatsoever shall attach to any of the SABIC Europe companies for any infringement of the rights owned or controlled by a third party in intellectual, industrial or other property by reason of the application, processing or use of the afore-mentioned information or products by the user.



## PŘÍLOHA P 2: PARAMETRY VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Facts and figures



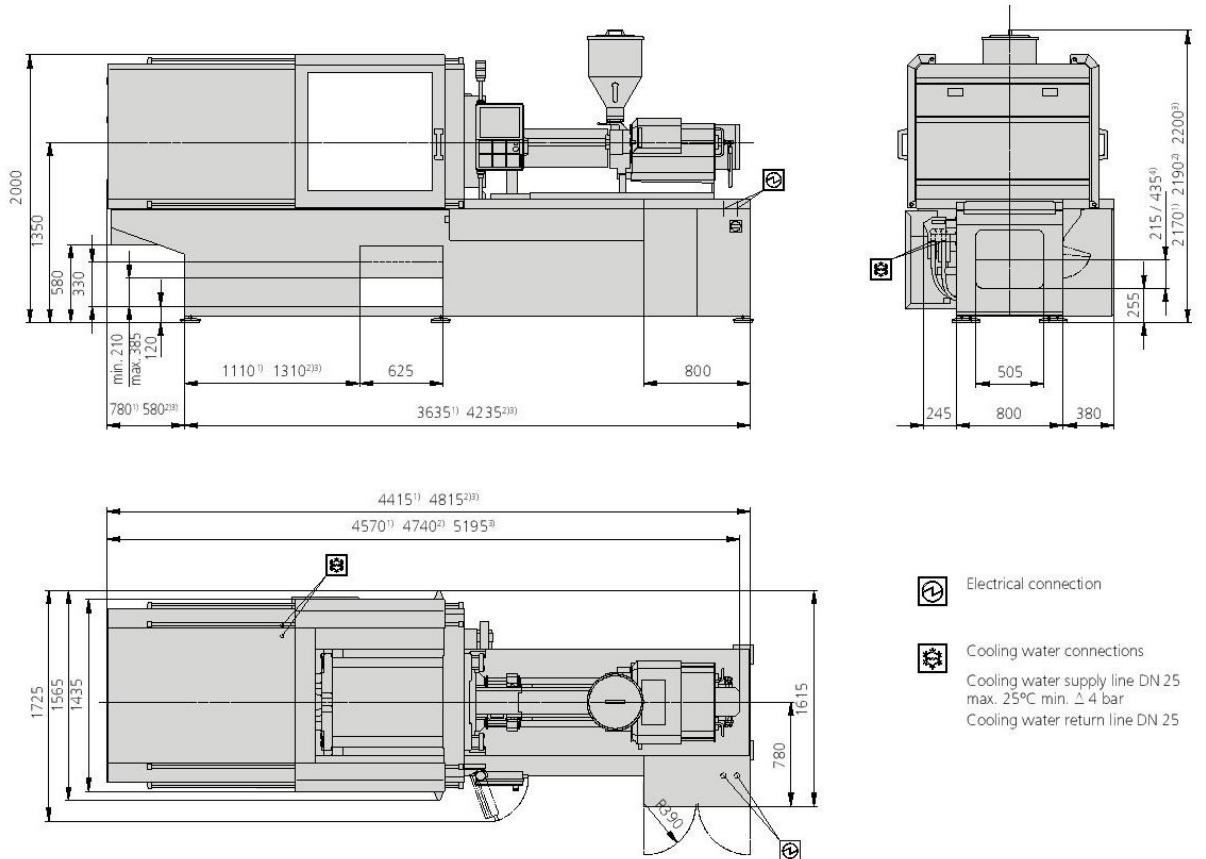
### **ALLROUNDER 520 S**

Tie bar distance: 520 x 520 mm

Clamping force: 1300, 1500, 1600 kN

Injection unit (according to EUROMAP): 290, 400, 800

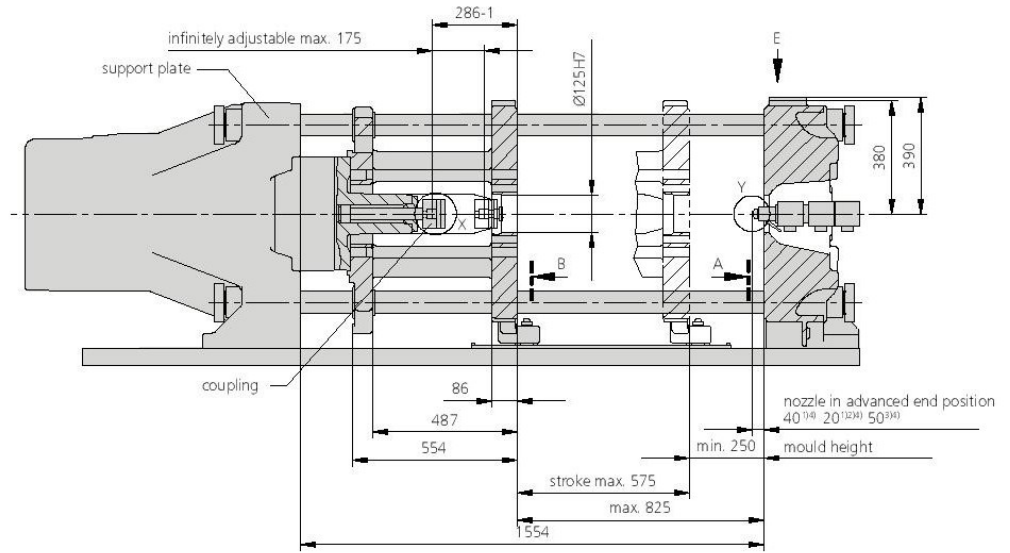
**ARBURG**



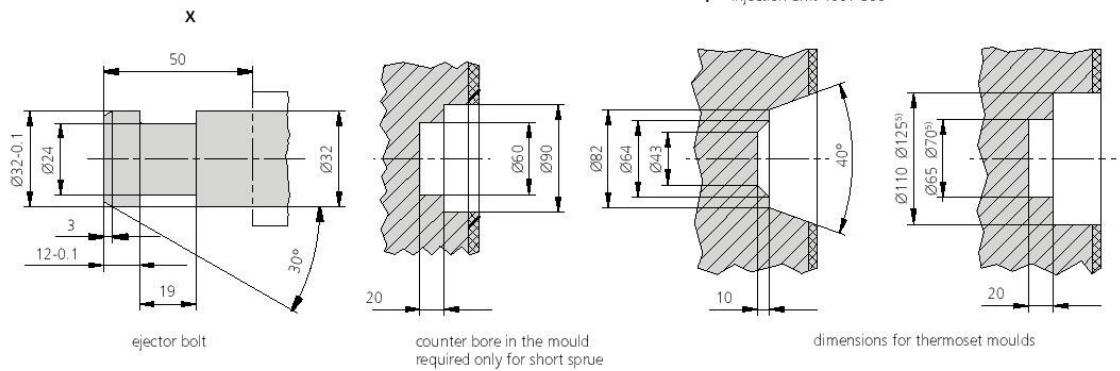
1) Dimension applies to injection unit 290  
 2) Dimension applies to injection unit 400  
 3) Dimension applies to injection unit 800  
 4) Dimension only valid in conjunction with conveyor belt

Machine model		520 S	520 S	520 S
EUROMAP size indication <sup>1)</sup>		1300-290   1500-290   1600-290	1300-400   1500-400   1600-400	1500-800   1600-800
<b>Clamping unit</b>				
Clamping force	max. kN	1300   1500   1600	1300   1500   1600	1500   1600
Closing force	max. kN	60	60	60
Opening force / increased	max. kN	40 / 365	40 / 365	40 / 365
Opening stroke	max. mm	575	575	575
Mould height	min. mm	250	250	250
Daylight	max. mm	825	825	825
Distance between tie bars	mm	520 x 520	520 x 520	520 x 520
Platen size (hor. x vert.)	mm	688 x 688	688 x 688	688 x 688
Weight of mov. mould half	max. kg	1050	1050	1050
Ejector force	max. kN	50	50	50
Ejector stroke	max. mm	175	175	175
<b>Hydraulics, drive, general</b>				
Drive power of the hydraulic pump	kW	22   22   30	22   22   30	30   30
Dry cycle time for opening stroke <sup>2)</sup>	s-mm	2,5 (1,7)-364   2,5 (1,7)-364   1,9 (1,7)-364	2,5 (1,7)-364   2,5 (1,7)-364   1,9 (1,7)-364	2,4 (1,7)-364   1,9 (1,7)-364
Total connected load <sup>3)</sup>	kW	30,9   30,9   38,9	33,9   33,9   41,9	52,4   52,4
Colour: plastic coated, structure: light grey / mint green / canary yellow				
<b>Control cabinet</b>				
Safety standard according to		DIN EN 60204	DIN EN 60204	DIN EN 60204
Socket combination (1 single phase, 1 three-phase)		1 x 16 A	1 x 16 A	1 x 16 A
<b>Injection unit</b>				
		290	400	800
Screw diameter	mm	30 / 35 / 40	35 / 40 / 45	45 / 50 / 55
Effective screw length	L/D	23,3 / 20 / 17,5	23 / 20 / 18	22 / 20 / 18
Screw stroke	max. mm	150	160	200
Calculated injection volume	max. cm <sup>3</sup>	106 / 144 / 188	154 / 201 / 254	318 / 392 / 474
Shot weight	max. g PS	97 / 132 / 172	141 / 184 / 232	291 / 359 / 434
Material throughput <sup>4)</sup>	max. kg/h PS	17 / 20,5 / 24,5	25 / 29 / 35	46 / 53 / 59
	max. kg/h PA 6.6	8,5 / 10,5 / 12,5	12,5 / 15 / 17,5	23 / 27 / 30
Injection pressure <sup>3)</sup>	max. bar	2500 / 2000 / 1530	2500 / 2000 / 1580	2470 / 2000 / 1650
Injection flow <sup>3)</sup>	max. cm <sup>3</sup> /s	130 / 178 / 232   130 / 178 / 232	128 / 168 / 212   128 / 168 / 212	174 / 214 / 260
		130 / 178 / 232	160 / 210 / 266	174 / 214 / 260
Injection flow with accumulator	max. cm <sup>3</sup> /s	316 / 430 / 562	492 / 642 / 814	530 / 656 / 792
Back pressure positive/negative	max. bar	350 / 200	350 / 160	350 / 190
Circumferential screw speed	max. m/min	51 / 60 / 69   51 / 60 / 69	47 / 53 / 60   47 / 53 / 60	54 / 60 / 66   54 / 60 / 66
		51 / 60 / 69	53 / 60 / 68	880 / 880 / 880
Screw torque	max. Nm	320 / 380 / 430	480 / 550 / 610	70
Nozzle contact force	max. kN	60	60	400
Nozzle retraction stroke	max. mm	240	300	19,3 / 7
Installed cylinder heating power / heating zones	kW	5,8 / 4	8,8 / 4	0,6
Installed nozzle heating power	kW	0,6	0,6	50
Material hopper capacity	l	50	50	140
Horizontal injection position	max. mm	170	170	
<b>Machine dimensions and weights of the basic machine</b>				240
Oil capacity	l	175	240	6350
Net weight	kg	5600	5900	125   125
Electrical connection <sup>5)</sup>	A	80   80   100	80   80   100	

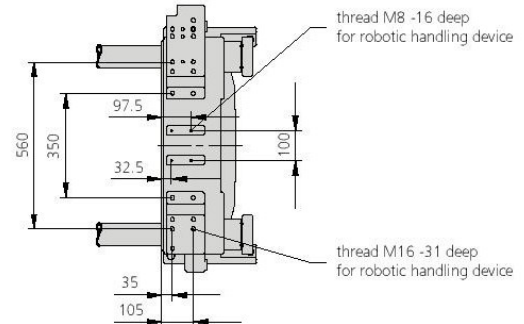
1) 1st figure: clamping force (kN). 2nd figure: max. dosage volume (cm<sup>3</sup>) x max. injection pressure (kbar)  
 2) Values refer to 400 V/50 Hz. The load is symmetrically distributed on three phases (observe phase loading when installing new equipment).  
 3) a combination of max. injection pressure and max injection flow (max. injection capacity) can be mutually exclusive, depending on the equipment-related motor output.  
 4) Deviations are possible depending upon process settings and material type.  
 5) According to EUROMAP for the basic machine (values in brackets apply to hydraulic accumulator technology)  
 The shown specifications reflect the state at the time of printing. In the interest of a continuous development of our products, we reserve the right to modify specifications.



Y injection unit 400 / 800



View E



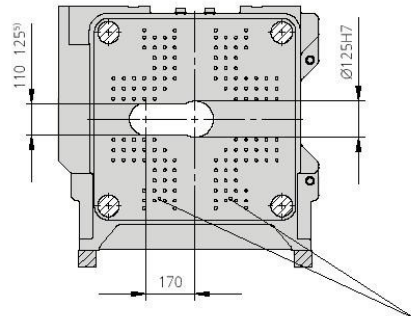
1) Dimension applies to injection unit 290  
 2) Dimensions are valid for thermoset moulds  
 3) Dimension applies to injection units 400 and 800  
 4) Dimensions for horizontally-displaceable injection unit (VARIO principle) reduced by 20 mm  
 5) Dimensions for injection unit 800 in thermoset version  
 For parting line device see separate dimension sheet (on request)

# Mould and platen layout

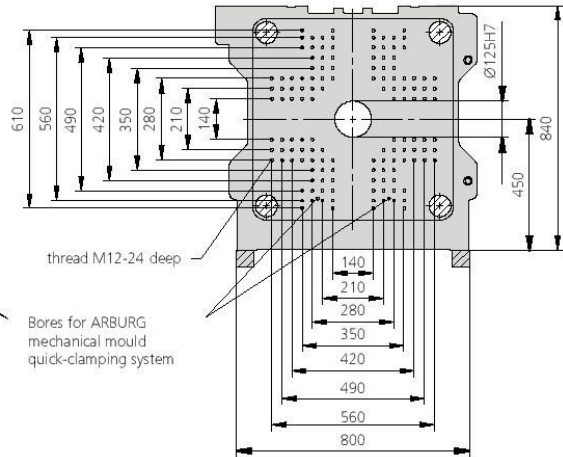
| 520 S

## Fixed platen

View A / for horizontally displaceable injection unit

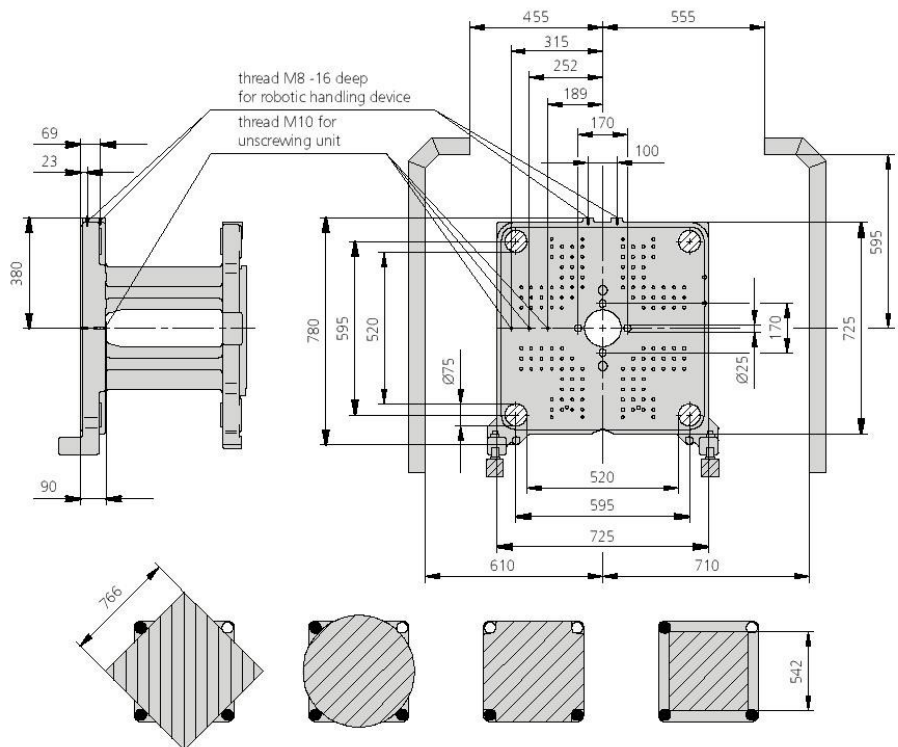


View A / for central injection unit



## Movable platen

View B



5) Dimensions for injection unit 800 in thermoset version

Usable mounting surface with tie bars removed

Maximum theoretical shot weights for the most important injection moulding materials (in grams)										
Injection units according to EUROMAP		290			400			800		
Screw diameter	mm	30	35	40	35	40	45	45	50	55
Polystyrene	PS	97	132	172	141	184	232	291	359	434
Styrene heteropolymerizates	SB	95	129	168	137	179	227	284	350	424
	SAN, ABS <sup>1)</sup>	93	126	165	135	176	223	278	344	416
Cellulose acetate	CA <sup>1)</sup>	109	148	194	158	207	262	327	404	488
Celluloseacetobutyrate	CAB <sup>1)</sup>	101	138	180	147	192	243	304	375	454
Polymethyl methacrylate	PMMA	100	136	178	145	190	240	300	371	449
Polyphenylene ether, mod.	PPE	90	122	160	131	171	216	270	333	403
Polycarbonate	PC	102	139	181	148	193	244	305	377	456
Polysulphone	PSU	105	143	187	153	199	252	316	390	471
Polyamides	PA 6.6, PA 6 <sup>1)</sup>	96	131	171	140	183	231	289	357	431
	PA 6.10, PA 11 <sup>1)</sup>	90	122	160	131	171	216	270	333	403
Polyoximethylene (Polyacetal)	POM	120	163	213	174	227	287	359	443	536
Polyethylene terephthalate	PET	115	157	205	167	219	277	346	427	517
Polyethylene	PE-LD	73	100	130	106	139	176	219	271	328
	PE-HD	76	103	134	110	143	181	227	280	339
Polypropylene	PP	77	105	137	112	146	185	232	286	346
Fluoropolymerides	FER, PFA, PCTFE <sup>1)</sup>	155	211	276	225	294	372	465	574	695
	ETFE	136	185	242	196	256	324	408	504	609
Polyvinyl chloride	PVC-U	117	159	208	170	222	281	351	434	525
	PVC-P <sup>1)</sup>	108	147	192	157	205	260	324	401	485

1) average value

#### ARBURG GmbH + Co KG

Postfach 11 09 · 72286 Lossburg · Tel.: +49(0)7446 33-0 · Fax: +49(0)7446 33-3365 · www.arburg.com · e-mail: contact@arburg.com

**With locations in Europe:** Germany, Belgium, Denmark, France, United Kingdom, Italy, Netherlands, Austria, Poland, Switzerland, Slovakia,

Spain, Czech Republic, Turkey, Hungary | **Asia:** People's Republic of China, Indonesia, Malaysia, Singapore, Thailand, United Arab Emirates | **America:** Brazil, Mexico, USA

For more information, please go to [www.arburg.com](http://www.arburg.com).

© 2013 ARBURG GmbH + Co KG

The brochure is protected by copyright. Any utilisation, which is not expressly permitted under copyright legislation, requires the previous approval of ARBURG.

All data and technical information have been compiled with great care. However, we are unable to guarantee its correctness. Individual illustrations and information may deviate from the actual delivery condition of the machine. The relevant valid operating instructions are applicable for the installation and operation of the machine.



**ARBURG GmbH + Co KG**

DIN EN ISO 9001 + 14001 + 50001 certified



Partner of the Engineering Industry Sustainability Initiative