

# Zhodnocení konstrukce vstřikovací formy a vstřikovacího procesu

Bc. Lukáš Bartoš

---

Diplomová práce  
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2013/2014

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Lukáš Bartoš**

Osobní číslo: **T12427**

Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**

Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Zhodnocení konstrukce vstřikovací formy  
a vstřikovacího procesu**

Zásady pro vypracování:

- 1. Vypracujte literární rešerši na dané téma.**
- 2. Provedte posouzení současného stavu.**
- 3. Navrhněte řešení zjištěných problémů.**
- 4. Provedte zhodnocení návrhu a rozbor řešení.**

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

**dle doporučení vedoucího DP**

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Michal Staněk, Ph.D.**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

**10. února 2014**

Termín odevzdání diplomové práce:

**12. května 2014**

Ve Zlíně dne 10. února 2014

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



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

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl jsem seznámen s tím, že 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 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že 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.

Ve Zlíně 25.4.2014

---

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

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

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

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

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

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

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

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpirá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Cílem diplomové práce je posouzení současného stavu návrhu vstřikovací formy, včetně vstřikovaného výrobku a následně při zjištění problémů navrhnout řešení.

Teoretická část popisuje rozdělení polymerů, reologii polymerních materiálů, technologii vstřikování vstřikovacích forem, defekty výrobků a simulační software.

Praktická část se zabývá zhodnocením současného návrhu vstřikovací formy, samotného výrobku a návrhu řešení zjištěných problémů. Analýzy vstřikovaného výrobku byly provedeny pomocí programu Autodesk Moldflow 2014.

Klíčová slova: vstřikovací forma, vstřikování, díl, analýza, zhodnocení

## **ABSTRACT**

The aim of this thesis is to assess the current condition of the injection mold design, including the injected product, together with making a suggestion of a suitable solution in case of any problems appearance.

The theoretical part is focused on a description of the polymers separation, rheology of polymer materials, injection molding technology, defects of products and simulation software.

The aim of the practical part is both to assess the current condition of the injection mold design, the injected product and solve the revealed problems. Analyses of the injected product were carried out using the Autodesk Moldflow 2014 programme.

Keywords: injection mold, injection molding technology, part, analysis, evaluation

## **PODĚKOVÁNÍ**

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce, Ing. Michalu Staňkovi, Ph.D. za odborné vedení, čas a cenné připomínky, které mi při vypracování diplomové práce poskytl.

Prohlašuji, že odevzdaná verze Diplomové práce a verze elektronická nahrána na portál UTB jsou totožné.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>11</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>12</b>
<b>1 POLYMERNÍ MATERIÁLY</b> .....	<b>13</b>
1.1 ROZDĚLENÍ A CHARAKTERISTIKA .....	14
1.1.1 Reaktoplasty .....	14
1.1.2 Termoplasty.....	14
1.1.3 Elastomer.....	15
1.2 PŘÍPRAVA MATERIÁLU .....	15
1.2.1 Sušení materiálu .....	16
1.3 PŘÍSADY DO POLYMERŮ .....	18
1.3.1 Zpracovatelské složky .....	18
1.3.2 Antidegradanty .....	19
1.3.3 Síťovací prostředky .....	19
1.3.4 Přísady ovlivňující fyzikální vlastnosti .....	20
<b>2 REOLOGIE POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ</b> .....	<b>21</b>
2.1 HISTORIE.....	21
2.2 TOKOVÉ CHOVÁNÍ TAVENIN POLYMERŮ – MOLEKULÁRNÍ HLEDISKO .....	22
2.3 ZÁKLADNÍ TERMINOLOGIE.....	23
2.3.1 Tlakový tok .....	23
2.3.2 Smyk .....	23
2.3.3 Prodloužení .....	23
2.3.4 Smyková rychlost.....	23
2.3.5 Smyková deformace.....	24
2.3.6 Smykové napětí .....	24
2.3.7 Smyková viskozita .....	25
2.3.8 Toková křivka .....	25
2.3.9 Newtonská kapalina .....	25
2.3.10 Neneutonská kapalina .....	26
2.4 VYUŽITÍ REOLOGIE V PRAXI .....	26
<b>3 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ</b> .....	<b>27</b>
3.1 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	27
3.2 PLASTIKAČNÍ JEDNOTKA .....	29
3.3 VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKA .....	31
<b>4 VSTŘIKOVACÍ FORMA</b> .....	<b>32</b>
<b>5 DEFEKTY VÝROBKŮ</b> .....	<b>35</b>
5.1 VADY ZJEVNÉ.....	35
5.1.1 Studený spoj .....	36
5.1.2 Diesel efekt.....	37
5.1.3 Vady tvaru a rozměrové vady .....	38



5.2	VADY SKRYTÉ .....	40
5.3	VLIV POVĚTRNOSTNÍCH PODMÍNEK .....	41
5.4	IDENTIFIKACE A ODSTRAŇOVÁNÍ VAD .....	42
5.5	KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÉHO DÍLU .....	43
<b>6</b>	<b>SIMULAČNÍ SOFTWARE .....</b>	<b>45</b>
6.1	AUTODESK SIMULATION MOLDFLOW 2014.....	45
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>47</b>
<b>7</b>	<b>STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE .....</b>	<b>48</b>
<b>8</b>	<b>VSTŘIKOVACÍ FORMA .....</b>	<b>49</b>
8.1	RÁM VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	49
8.2	PRAVÁ STRANA FORMY .....	50
8.3	LEVÁ STRANA FORMY .....	51
8.3.1	Vyhazovací systém.....	51
8.4	TRANSPORT FORMY .....	51
8.5	MATERIÁLY VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	51
8.6	TEMPERACE FORMY .....	52
<b>9</b>	<b>VÝROBEK.....</b>	<b>54</b>
<b>10</b>	<b>VSTUPNÍ PARAMETRY .....</b>	<b>56</b>
10.1	VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	56
10.2	MATERIÁL VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU .....	56
10.3	MATERIÁL FORMY .....	58
10.4	PROCESNÍ PODMÍNKY .....	58
<b>11</b>	<b>VYHODNOCENÍ ANALÝZ .....</b>	<b>60</b>
11.1	ANALÝZA TOKU (FLOW) .....	60
11.1.1	Doba plnění (Fill time).....	60
11.1.2	Tlak na konci fáze plnění (Pressure at V/P switchover) .....	60
11.1.3	Teplota na čele taveniny (Temperature at flow front).....	61
11.1.4	Tlak v místě vstřikování (Pressure at injection location).....	62
11.1.5	Potřebná uzavírací síla (Clamp force).....	62
11.1.6	Smyková rychlost (Shear rate) .....	63
11.1.7	Teplota (Temperature) .....	64
11.1.8	Rychlost proudění taveniny (Velocity) .....	64
11.1.9	Propadliny (Sink marks estimate) .....	65
11.1.10	Objemové smrštění (Volumetric shrinkage) .....	66
11.1.11	Vzduchové kapsy (Air traps) .....	66
11.1.12	Studené spoje (Weld lines).....	67
11.2	ANALÝZA CHLAZENÍ (COOL).....	68
11.2.1	Teplota temperačních okruhů (Circuit coolant temperature) .....	68
11.2.2	Rychlost proudění v okruzích chlazení .....	69
11.2.3	Reynoldsovo číslo .....	69
11.2.4	Teplota povrchu dílu (Temperature part).....	70
11.2.5	Doba potřebná pro vyhození výrobku (Time to reach ejection temperature) .....	70
11.2.6	Procento zamrznutých vrstev (Percentage frozen layer).....	71
11.2.7	Tlak v temperačních kanálech (Circuit pressure).....	72

11.2.8	Teplota formy v řezu rovinou ZX .....	73
11.3	ROZMĚROVÉ ODCHYLKY .....	73
<b>12</b>	<b>DISKUZE VÝSLEDKŮ .....</b>	<b>76</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>79</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>80</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>82</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>83</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>85</b>
	<b>SEZNAM ROVNIC .....</b>	<b>86</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>87</b>

## ÚVOD

Plastových výrobků vyrobených vstřikováním nebo kteroukoli jinou technologií výroby je kolem nás nepřehledné množství. Prvním plastovým materiálem, který vynalezl Angličan Alexandr Parkes v roce 1855 byl Parkesin (umělá slonovina). Když se zamyslíme a porovnáme historii kovových materiálů s plastovými, tak první zpracování kovů bylo skutečně již zhruba před 7 tisíci lety před našim letopočtem. Využití a výroba plastových výrobků je vlastně ještě v plenkách, ale zaujala již takové postavení nejen v běžném životě, že již svět si nelze představit bez nich. Stačí si představit obyčejný den, kolikrát za den člověk přijde do kontaktu s plastovými výrobky.

S rozvojem výroby a využití polymerů neustále vzrůstají nároky na technologii a na jejich zpracování. Vstřikovací technologie se stala pro svou vysokou efektivitu velice populární. Velkou výhodou je, že touto technologií vyrobíme velice složité tvary výrobků, které více zaujmou svým designem zákazníka. Výrobou plastových výrobků se po celém světě, ale i u nás zabývá velké množství firem. Než zákazník přijde do kontaktu s plastovým výrobkem, uběhne dlouhá doba. Na výrobě formy pro plastový výrobek pracuje celý tým pracovníků, kteří jsou specializováni na určitou část výroby. Forma musí umožnit nejen snadné vyhození výrobku z dutiny formy, ale i odolávat vysokým tlakům a zabezpečit rovnoměrnou teplotu dutiny formy.

Pro zefektivnění, zjednodušení a zvýšení ekonomičností výroby konstrukce forem se využívá různých softwarových podpor. Práce s nimi je intuitivní a výrazně ušetří dobu potřebnou pro přípravu výroby formy. Celá konstrukce formy se provede ve 3D softwaru například CATIA nebo Solid Works. Poté se provede kompletní simulace plnění dutiny formy v simulačním softwaru například Autodesk Moldflow. U simulačních programů je velká výhoda, že můžeme zjistit problémy v konstrukci formy, ještě před tím než se forma vyrobí.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 POLYMERNÍ MATERIÁLY

Plasty jsou makromolekulární látky, které se dají formovat do žádaného tvaru teplem a tlakem. Může se využít tyto činitele současně. Tyto materiály vykazují dostatečnou pevnost, jsou dobře tvarovatelné a lehké. Obrobitelnost je snadná a většinou mají dobré tepelně-izolační vlastnosti. Ve srovnání například s kovy nejsou tak háklivé na korozi, což se s výhodou uplatňuje v praxi například u trvanlivosti výrobků. Nevýhody jsou tu z hlediska ekologie, protože odpad, který vzniká se velmi pomalu rozkládá. V současné době se řeší i využití tohoto odpadu dále ve výrobě, kde tomuto materiálu se říká již recyklát.

Podstatnou složkou jsou makromolekulární organické sloučeniny přírodního nebo syntetického původu, tvořené atomy uhlíku a vodíku, k nimž přistupují atomy dalších prvků. Další významnou složkou jsou příměsi, které se často označuje přímo účelem, za kterým se do makromolekulárních látek přidávají (změkčovadla, plniva, maziva, stabilizátory, ...).

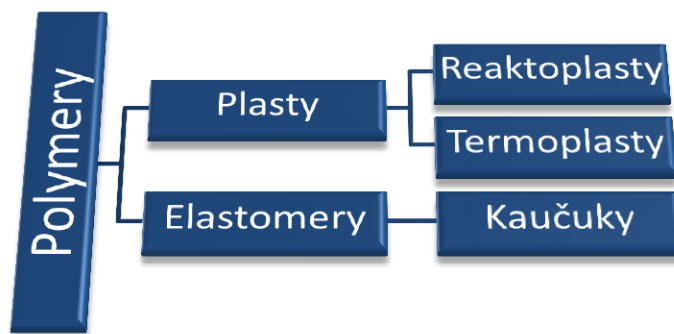
Užitné vlastnosti polymerů je možno v široké míře měnit plnivy. Plniva snižují náklady na výrobky, ale také mění mechanické vlastnosti. Rozdělujeme je na vyztužující (grafit), které mají vliv na kluzné a tepelné vlastnosti a na vyztužující (tkaniny, vlákna, sklo), zvyšující především pevnost při současném zvýšení modulu pružnosti.[15]



*Obr. 1 Ukázka polymerního materiálu ve formě granulí*

## 1.1 Rozdělení a charakteristika

Polymery jsou chemické látky, které mají díky svým velkým molekulám neobvykle širokou škálu vlastností. Polymery se dělí na plasty a elastomery. Rozdělení lze vidět na Obr. 2.



Obr. 2 Rozdělení polymerů

### 1.1.1 Reaktoplasty

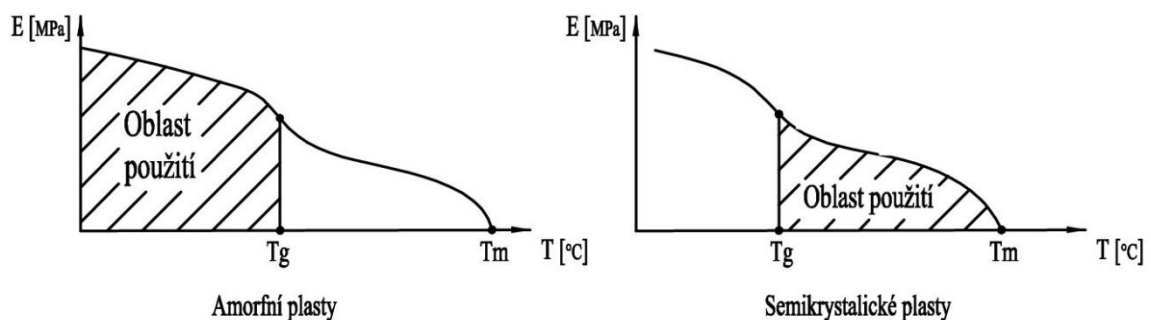
Reaktoplasty ke ztuhnutí (vytvrzení) dochází působením chemické reakce a účinkem tepla, záření nebo síťovacích činidel. Reaktoplast je ve vytvrzeném stavu netavitelný a nerozpustný. Jinak řečeno reaktoplast chemickou reakcí je nevratně převeditelný z plastického stavu do tuhého stavu. Recyklace je tedy daleko složitější než u termoplastů a vyžaduje jinou technologii recyklace.

### 1.1.2 Termoplasty

Termoplasty lze opakovaně tepelným ohřevem převést do stavu taveniny tedy do viskózního toku a ochlazením nechat požadovaný tvar zafixovat při teplotách, které jsou charakteristické pro daný typ termoplastu. Z jednotlivých skupin plastů jsou termoplasty nejrozšířenější. Z hlediska vnitřní struktury se termoplasty dělí na:

- Amorfní – jejichž řetězce jsou nepravidelně prostorově uspořádány. Jsou charakteristické tvrdostí, křehkostí, vysokou pevností, modulem pružnosti a jsou vzhledem k nízkému indexu lomu průhledné, transparentní. Použitelnost amorfních polymerů je do teploty zeskenění  $T_g$ . Mezi nejvýznamnější patří: Polystyren (PS), ABS, polykarbonát (PC), polymethylmetakrylát (PMMA);

- Semikrystalické – kde je podstatná část řetězců pravidelně a těsně uspořádána a tvoří krystalické útvary. Zbytek má amorfni uspořádání. Jsou mléčně zakalené, charakteristické svou houževnatostí. Pevnost a modul pružnosti roste se stupněm krystalinity. Použitelnost plastů je do teploty tání  $T_m$ . Mezi nejvýznamnější patří: polyetylen (PE), polypropylen (PP), polyamid 6 (PA 6). [16]



Obr. 3 Oblast využití u amorfniích a semikrystalických termoplastů

### 1.1.3 Elastomer

Elastomer je vysoce elastický polymer, který lze za běžných podmínek deformovat bez porušení při působení malé síly. Deformace je většinou vratná. Hlavní skupinou elastomerů jsou kaučuky, z nichž se vyrábí pryže.

Polymeru se dělí dále na:

- polymery syntetické – polyetylén, polyvinylchlorid, a další;
- polymery přírodní – bílkoviny, škrob, celulóza, kaučuk a látky syntetické, ale přírodním polymerů podobné jako celulozid, vulkánfibr, viskóza, umělé hedvábí, umělá rohovina). [17]

## 1.2 Příprava materiálu

Polymeru obecně nelze bezprostředně zpracovávat v hotové výrobky, nejprve musí projít přípravnou technologií zpracování, kdy se do plastů přidávají různé přísady, nebo se odstraňují těkavé podíly, voda, apod. Dochází k ovlivnění fyzikální a chemické struktury plastů.

Polymerům musí být také dán tvar pro další zpracování (granulát, prášek atd.). Tyto technologie se potom označují jako technologie přípravného zpracování a představují mezistupeň mezi výrobou polymeru a vlastním zpracováním. Patří sem technologie míchání a hnětení, granulace, tabletování, recyklace a sušení a doprava materiálu. [13]

### 1.2.1 Sušení materiálu

Před tím, než se polymer použije pro výrobu výrobku. Je nutné tento polotovar vysušit, aby se zamezilo vadám, které můžou nastat při nedostatečně vysušeném materiálu.

Některé plasty jsou náchylné na navlhavost a hydrokopické proto se musí před vlastním zpracováním musí sušit. To znamená se zbavit absorbované vlhkosti, neboť výskyt vody se projevuje ve zhoršování kvality povrchu výrobků a rovněž poklesem mechanických vlastností. Obsah vlhkosti v materiálu se obvykle vyjadřuje v hmotnostních procentech, udávající počet dílů vody ve 100 dílech vlhkého materiálu. Z technologického hlediska je nejdůležitější určení doby sušení, nutné k dosažení požadované vlhkosti. K tomu je nutné znát další parametr a to rychlost sušení. Musí se počítat s tím, že sušení a navlhání jsou vratné děje a vysušený materiál musíme ochránit před vlhkostí v ovzduší. Platí zde jedna podmínka. Volí se takové množství materiálu do násypky, které se spotřebuje zhruba do 30 minut. [18]

Před sušením se většinou stanoví vlhkost plastů například pomocí halogenového analyzátoru, který patří mezi nejefektivnější způsobů určování vlhkosti u plastů. Analyzátor pracuje na základě termogravimetrického principu, kdy na začátku měření stanoví analyzátor vlhkosti hmotnost vzorku, které se posléze vestavěným halogenovým topnou spirálou rychle zahřívá a následně dochází k odpařování vlhkosti ze vzorku polymeru. Přístroj během sušení nepřestává a stále stanovuje hmotnost vzorku. Úbytek vlhkosti se zobrazuje na přístroji. Po ukončení sušení se zobrazí výsledná hodnota obsahu vlhkosti. Výhoda tohoto přístroje je rychlost zahřívání vzorku. [19]





*Obr. 4 Halogenový analyzátor vlhkosti [20]*

Sušárny se dělí dle těchto parametrů:

Podle uspořádání procesu:

- s přetržitým provozem;
- s nepřetržitým provozem.

Podle tlaku, při kterém se suší:

- atmosférické;
- vakuové.

Podle oběhového systému:

- uzavřený oběh;
- otevřený oběh;
- s nuceným oběhem;
- přirozený oběh.

Podle vzájemného pohybu sušeného materiálu a média:

- souproudé – pro materiály snášející intenzivnější sušení ve vlhkém stavu;
- protiproudé – vhodné pro takové druhy materiálu, které nesnesou rychlé sušení.

### 1.3 Přísady do polymerů

V praxi není možné používat samotných čistých polymerů. Koncentrace přísad v polymerních směsích se vyjadřuje ve hmotnostních dílech přísady připadajících na 100 hmotnostních dílů polymeru. [21]

#### 1.3.1 Zpracovatelské složky

Jsou to přísady, které usnadňují nebo dokonce umožňují přípravu a zpracování polymerních směsí. U většiny vstřikování by bez těchto složek prakticky nebylo možné vstříknout výrobek bez nežádoucích změn na povrchu i uvnitř výrobku, protože každá přísada více či méně ovlivňuje vlastnosti polymerních směsí i konečného produktu. [21]

Složka (přísada) – látka přidávaná do polymeru za účelem úpravy vlastností samotného polymeru.

Existuje nepřeberné množství druhů zpracovatelských složek, které se v technické praxi využívají. Pro názornost jsou zde vypsány ty nejpoužívanější:

- maziva – přísady usnadňující zpracování polymeru nebo zlepšující vlastnosti samotného výrobku, základní rozdělení maziv je s vnějším a vnitřním účinkem;
  - s vnějším účinkem – látky málo rozpustné v polymeru, proto vystupují na povrch a vytvářejí na něm vrstvu, která usnadní oddělení výrobku od formy;
- s vnitřním účinkem – látky dobře rozpustné v polymeru, snižují viskozitu jeho taveniny a do určité míry zmenšují množství tepla vznikající třením při zpracování polymerních směsí;
- separační činidla – látky, které značně usnadňují vyjmutí polymerního výrobku z dutiny formy. Přispívají ke zvýšení produktivity vstřikovacího zařízení. Při potiskování nebo pokovování hrozí problémy;
  - silikonové oleje;
  - PTFE disperze ve formě nátěrů nebo nástřiků tvářecích ploch;
- změkčovadla – nízkomolekulární látky propůjčující polymerům ohebnost, tvárnost, vláčnost, snižují tuhost, snižují viskozitu a  $T_g$  (teplota zeskenění). Aby přísada účinkovala jako změkčovadlo, musí mít schopnost pronikat mezi makromolekulární řetězce a oddalovat je. Musí být tedy pro daný polymer rozpouštědlem. Typický příklad využití je přilnavost běhounu pneumatiky k vozovce;

- tepelné stabilizátory - přísady chránící polymer před tepelnou degradací v průběhu zpracování polymerních směsí. [5,21].

### 1.3.2 Antidegradanty

Přísady, které chrání polymerní výrobky před vnějšími vlivy během používání. A tím zvyšují několikanásobně životnost výrobků z polymerů.

- vnější vlivy - sluneční záření, atmosférický kyslík, ozón, tepelná energie.

Samotné stabilizátory musí být vůči UV záření odolné to znamená přijatou energii přeměňují bez jakékoliv změny.

- světelné stabilizátory – přísady, které absorbují krátkovlnnou, energeticky bohatou ultrafialovou složku slunečního světla o vlnových délkách 300 nm do 400 nm a přeměňuje ji na energeticky chudší záření o větší vlnové délce a tím chrání polymerní výrobky před světelným stárnutím. Někdy se nazývají absorbéry ultrafialového záření. Mezi nimi, polymerem a dalšími přísadami ve směsi nesmí docházet k žádné chemické reakci. Mohlo by se to například projevit změnou barvy výrobku. [22]
- antioxidanty – přísady, které dlouhodobě chrání polymerní výrobky před vlivem atmosférického kyslíku. Ochrana spočívá v zabránění řetězového průběhu oxidace;
  - nebarvící – rozkladné produkty bezbarvé;
  - barvící – barevné produkty zbarvují polymer;
  - zbarvující – barevné produkty zbarvují nejen chráněný výrobek, ale i jiné předměty, které jsou v bezprostředním styku;
- antiozonanty – přísady, které dlouhodobě chrání polymerní výrobky před vlivem atmosférického ozónu. [5];
  - zbarvující;
  - nezbarvující;
  - vosky nebo parafíny – vykvétají na povrch, kde tvoří souvislou vrstvu, kterou ozón neproniká. Vrstva však není elastická. [21]

### 1.3.3 Síťovací prostředky

Jsou to látky, které se účastní síťovacích reakcí.

- Síťovací činidla – přísady reagující s makromolekulárními řetězci lineárního nebo rozvětveného polymeru za vzniku příčných vazeb, kterými řetězce spojuje do prostorové sítě. Nejdůležitější složka, bez nich síťování nelze provést. U termoplastů se provádí pomocí organických peroxidů nebo zářením o vysoké energii;
- aktivátory síťování – přísady zmenšující aktivační energii a zvětšující účinnost síťovací reakce například ZnO;
- urychlovače síťování – přísady urychlující síťovací reakci.

#### 1.3.4 Přísady ovlivňující fyzikální vlastnosti

- Plniva – přísady vyztužující polymerní výrobky. Vlákničitá plniva zvyšují tuhost, pevnost. Vyvolávají tepelnou roztažnost, navlhavost, smrštění. Jsou to většinou tuhé látky využívané ve formě prášků, vláken. U termoplastů se používá kaolín, uhlíčitán vápenatý atd.;
- vyztužovadla – látky, které tvarem a strukturou vyztužují polymerní výrobek. Jsou to například skelná vlákna, uhlíková vlákna, kevlarová vlákna atd.;
- nadouvadla – přísady, které se při teplotě tváření polymerních směsí rozkládají za vzniku plynu, jenž pak ve výrobku vytváří póry. Plynnou složkou jejich rozkladu bývá nejčastěji kyslík nebo dusík;
- pigmenty – barevné prášky nerozpustné v polymerech. A jsou organické a anorganické;
- opticky zjasňující látky – přísady absorbující část ultrafialového světla a pohlcenou energii vyzařují fluorescencí za vzniku optického dojmu, že osvětlený předmět je barevný a jasnější. [21]

## 2 REOLOGIE POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ

Reologie je věda o deformaci a toku látek. Každý materiál může téci, pokud je mu poskytnut dostatek času. Tato věda se zabývá problematikou tokových vlastností polymerních tavenin, které mají vliv na samotný zpracovatelský proces zejména volbou nástrojů, konstrukce stroje a technologických parametrů, ale také kvalitou polymerních výrobků, včetně jejich vlastností využitých v praxi. Většina polymerních materiálů vykazuje kombinaci vlastností kapalných a pevných látek, takzvané viskoelastické chování, které je dáno viskozitou kapalné složky a pružností složky pevné. Reologie polymerních tavenin popisuje tokové chování polymerů za teploty vyšší než  $T_g$  u amorfních polymerů a nad  $T_m$  u polymerů krystalických. [2], [23]

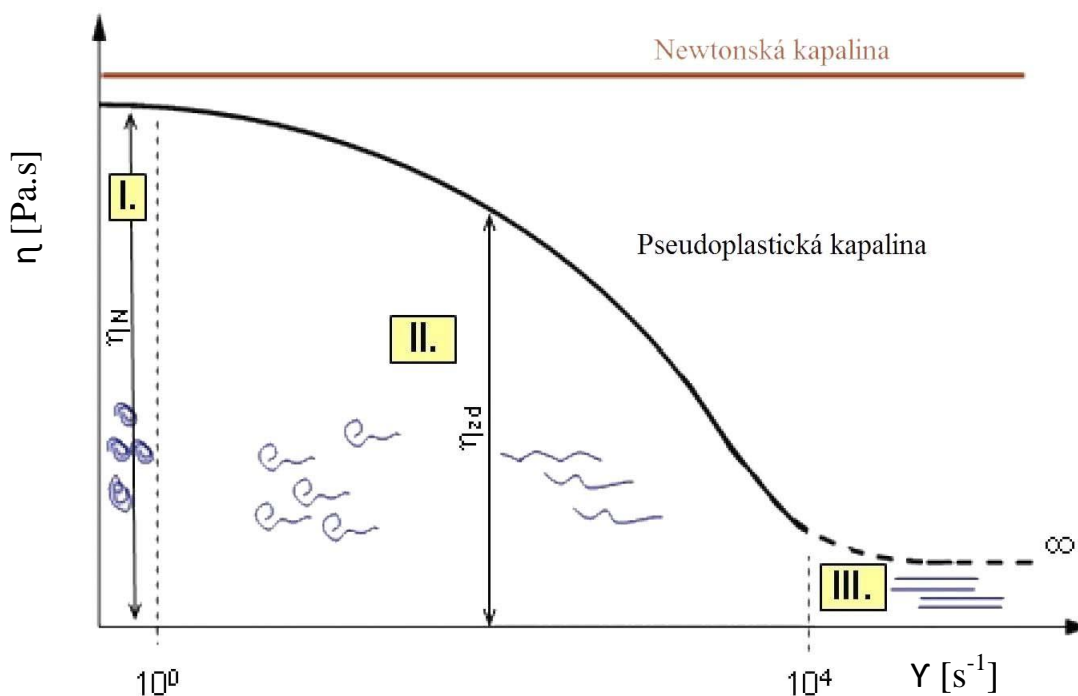
Reologie se zabývá tokem materiálů, přičemž tok hmoty považujeme za specifický typ nevratné deformace. Za deformaci všeobecně považujeme změnu vzdálenosti dvou bodů toho samého tělesa, jednou z možných deformací je i tok hmoty. Tok je deformace závislá na čase a je nevratná. Charakter toku, který je vnějším projevem relativního pohybu částic, se bude měnit podle typu zpracovaného polymeru. Pro zpracovávání polymerů je důležité zabývat se látkami, s důrazem na specifický charakter reologie polymerních tavenin. [24]

Reologické vlastnosti tavenin polymerů závisí na rychlosti smykové deformace, na molekulové hmotnosti a struktury polymerů, na koncentraci různých přísad, na teplotě a na dalších faktorech. Charakter toku a deformace polymerních tavenin je důležité znát při zpracování polymeru vytlačováním, vstřikováním, vyfukováním atd. Charakter toku a deformace v průběhu zpracování je rozhodující pro určení vhodných technologických podmínek zpracování a významně ovlivňuje i mechanické vlastnosti hotových výrobků. Viskozita je nejčastěji používaným materiálovým parametrem při určování chování polymeru při zpracování. U většiny polymerních procesů je smyková rychlost dominantou. Viskozita taveniny je často měřena pomocí zařízení měřící smykové deformace. [24]

### 2.1 Historie

Počátek reologie jako vědní disciplíny je považován rok 1929, kdy proběhlo první oficiální setkání Society of Rheology. Teoretické základy však byly položeny daleko dříve. Již v roce 1676 byl na světě Hookův zákon, v roce 1687 Newtonův zákon viskozity. Dalším neméně důležitým milníkem byla Boltzmanova teorie lineárně viskoelastické hmoty.

## 2.2 Tokové chování tavenin polymerů – molekulární hledisko



Obr. 5 Závislost dynamické viskozity tavenin polymerů na smykové rychlosti [18]

### I. Oblast maximální newtonské viskozity

Při nízkých smykových rychlostech lze považovat viskozitu za konstantní, rovnu maximální newtonské viskozitě. Taveniny polymerů mají amorfni strukturu a makromolekuly zaujímají tvar příslušející max. entropii systému – volně sbalená klubíčka. Při toku jsou tato přemísťována jako celek. [18]

### II. Oblast strukturní viskozity

Při vyšších smykových rychlostech dochází k poklesu viskozity a označujeme ji jako zdánlivou, jejíž hodnota závisí na okamžitých hodnotách smykového napětí a smykové rychlosti. Pokles viskozity lze vysvětlit rozbalováním klubíček makromolekul do směru toku. Takto více či méně rozvinuté makromolekuly se pohybují snadněji a to se projevuje poklesem viskozity. [18]

### III. Oblast nekonečného smyku

Při extrémně vysokých smykových rychlostech se viskozita opět stává nezávislou na smykové rychlosti a je označována jako viskozita při nekonečném smyku. Jedná se o případ, kdy by došlo k dokonalému rozbalení makromolekul. Tohoto stádia však v praxi nelze u polymerních tavenin dosáhnout. [18]

## 2.3 Základní terminologie reologie

Definice některých základů terminologie využívané při popisu toku kapalin.

### 2.3.1 Tlakový tok

Tok vyvolaný přítomností tlakového gradientu v kapalině. Jedním z nejrozšířenějších příkladů tlakového toku je tok vody, který vzniká při otáčení vodovodního kohoutku. Tento tok se vytvoří, protože tlak v potrubí je vyšší nežli tlak na výstupu z kohoutku. V tomto případě nepozorujeme relativní pohyb rozhraní kapaliny (stěna potrubí), neboť jde o čistý tlakový tok. Ve většině trysek pro vytlačování je tok přes trysku čistým tlakovým tokem. Tok taveniny polymeru v trysce je výsledkem faktu, že tlak na vstupu do trysky je vyšší než tlak na výstupu z trysky. Rychlost toku v trysce je určena tlakem na vstupu trysky, který se často nazývá i jako tlak před tryskou (tryskový tlak). [24]

### 2.3.2 Smyk

Druh deformace, při které se vyskytují rozdíly rychlosti v kolmém směru na směr toku. Kapalina teče smykovým tokem, když se v ní vyskytují rozdíly rychlosti ve směru normály (kolmo na směr toku). Smykový tok je možné vysvětlit jako pohyb materiálu mezi dvěma rovnoběžnými deskami, z kterých je jedna spodní, pevná, nepohyblivá. Jak na druhou, vrchní desku působíme silou  $F$  materiál mezi těmito deskami se začne pohybovat vznikne smykový tok. Mezi deskami vznikne rychlosti gradient, kapalina se začne pohybovat ve směru působení vnější síly. [24]

### 2.3.3 Prodloužení

Druh deformace, při kterém se vyskytují rozdíly ve směru toku. Kapalina se deformuje prodloužením, když se mění rychlost toku ve směru toku. S prodlužováním taveniny plastu se můžeme setkat např. při vyfukování folií a výrobě vláken. Vlastnosti tavenin plastů při prodlužování souvisí s elastickým charakterem těchto tavenin jako newtonovských kapalin. [24]

### 2.3.4 Smyková rychlost

Rozdíly v rychlosti na jednotku normálové vzdálenosti (kolmé na směr toku). Rychlost smyku tzv. smyková rychlost, je jeden z nejdůležitějších parametrů při zpracování polymerních tavenin. Když se proces zpracování popisuje kvantitativně, je potřeba zjistit smy-

kovou rychlost v každém místě taveniny. Smyková rychlost se všeobecně píše řeckým písmem  $\dot{\gamma}$  index  $\dot{\gamma}$  označuje derivaci podle souřadnice  $\dot{\gamma} = d\gamma/dt$ . [24]

$$\dot{\gamma} = \frac{dv(xy)}{dy} \quad (1)$$

Z rovnice můžeme vidět, že lokální smyková rychlost je ekvivalentní lokálnímu gradientu rychlostního profilu. Po zjištění rychlostního profilu, dokážeme určit smykovou rychlost v každé pozici. Podle definice je smyková rychlost změnou lineární rychlosti na jednotku délky, ale ve skutečnosti je jednotka složitější. V podstatě to je  $\frac{m}{m}$ . Zjednodušením uvedeného výrazu se dostaneme k používané jednotce  $s^{-1}$ . V praxi je smyková rychlost při zpracování plastů pro různé technologie různá, rozdíly jsou až v řádech. [24]

Vstřikování 1000 – 10 000  $s^{-1}$

Vytlačování 100 – 1000  $s^{-1}$

Válcování 10 – 100  $s^{-1}$

### 2.3.5 Smyková deformace

Posunutí (ve směru toku) na jednotku normálové vzdálenosti za určitý časový úsek. Smyková deformace se všeobecně píše řeckým písmenem  $\gamma$ , v tomto případě bez indexu  $\dot{\gamma}$ . Souvislost mezi smykovou rychlostí a smykovou deformací je následující:

$$\dot{\gamma} = \frac{d\gamma}{dt} \quad (2)$$

$$\gamma = \int \dot{\gamma} \cdot dt \quad (3)$$

Jednotkou smykové rychlosti je  $s^{-1}$ , smyková deformace je bezrozměrné číslo. [24]

### 2.3.6 Smykové napětí

Napětí, které je potřebné na vytvoření smykové deformace. Když je kapalina namáhána ve smyku, je zapotřebí určitou silou, která působí tuto deformaci. Tato síla je smykové napětí,



podělená plochou, na kterou působí. Smykové napětí se všeobecně píše řeckým písmenem  $\tau$ , základní jednotkou pro smykové napětí je Pa. [24]

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (4)$$

### 2.3.7 Smyková viskozita

Odpor materiálu vůči smykovému toku. Materiálová charakteristika, která poukazuje na to, jakým způsobem materiál teče – lehce či těžce, kvantitativně je smyková viskozita určena poměrem smykového napětí a smykové rychlosti.

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (5)$$

Smyková viskozita se všeobecně píše řeckým písmenem  $\eta$ , jednotkou viskozity je součin napětí a času – Pa.s. Jestliže chceme určit smykovou viskozitu kapaliny, je potřeba určit smykovou rychlost při určité deformaci a odpovídajícímu smykovému napětí. Na měření viskozity tavenin termoplastů se používají speciální přístroje, které se nazývají reometry. [24]

### 2.3.8 Toková křivka

Za tokovou křivku se všeobecně považuje závislost smykového napětí a smykové rychlosti. V případě neneutronovských kapalin za tokovou křivku označujeme i závislost smykové viskozity na smykové rychlosti, resp. napětí. Toková křivka se nejčastěji znázorňuje graficky, je možné i matematické vyjádření formou vhodného matematického modelu.

Pojmy jako smyková deformace, smyková rychlost, smykové napětí a smyková viskozita, jako i jejich grafické znázornění či matematické vyjádření, jsou velmi důležité pro vývoj a pochopení zpracovatelských plastikářských procesů jako je vytlačování, vstřikování atd. [24]

### 2.3.9 Newtonská kapalina

Newtonská kapalina, jejíž viskozita je nezávislá na smykové rychlosti. Většina nízkomolekulových kapalin a plynů patří mezi newtonovské kapaliny. Závislost mezi smykovým napětím a smykovou rychlostí newtonských kapalin vykazuje lineární závislost. Newton-

ské kapaliny se proto často označují jako lineární kapaliny, poměr smykového napětí a smykové rychlosti je konstantní, viskozita je při dané teplotě konstantní. [24]

### 2.3.10 Neneutonská kapalina

Kapalina, jejíž viskozita je závislá na smykové rychlosti. Vysokoviskozní taveniny polymerů se chovají jako Neneutonské kapaliny, jejichž viskozita se snižuje se zvyšováním smykové rychlosti. Snižování viskozity se zvýšením smykové rychlosti se nazývá pseudo-plastické chování. Závislost smykového napětí na smykové rychlosti neneutonských kapalin je nelineární, proto se neneutonské kapaliny také označují jako nelineární. Další typ neneutonské kapaliny je diletantní kapalina. Viskozita diletantní kapaliny se s rostoucí smykovou rychlostí zvyšuje. [24]

## 2.4 Využití reologie v praxi

Znalost reologického chování a tokových vlastností tavenin polymerů je velmi významná jak pro výrobce surovin, tak i pro jejich zpracovatele, výrobce forem (nástrojů) a strojů.

Dodavatelé surovin a jejich zpracovatelé:

- K zjištění stejnoměrné kvality vstupního materiálu;
- ke kontrole zpracovatelského procesu;
- k doзору nad technologickými parametry.

Výrobci strojů:

- Pro návrh jednotlivých fází šneků, vstřikovacích trysek, ale také pro výpočet uzavírací sil, atd.

Konstruktéři vstřikovacích forem:

- Pro návrh tvarového řešení výstřiku, dutiny formy;
- pro koncepční návrh vtokového systému vstřikovacích forem, ale i temperačního systému.

Termoplast jakožto tavenina, která vzniká z granulátu v plastikační jednotce se chová viskózně (jako kapalina), ale současně se chová také elasticky (jako pružná látka). Proto reologické chování taveniny polymeru je popisováno jako viskoelastické.

### 3 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování se řadí mezi nejpoužívanější výrobní procesy výroby plastových dílů. Tento výrobní postup je založen na teplotní přeměně termoplastů a termosetů tzv. přeměny pevné látky v taveninu a pak vyhozením ochlazeného výstřiku se stává výrobkem s konečným použitím: v automobilovém průmyslu, medicíny po sport a rekreaci, staveb až po spotřební výrobky, každodenního života. Vstřikování je tedy relativně novodobá metoda výroby součástí. První vstřikovací stroje byly vyráběny a dostupné již v 30. letech, zatímco jiné výrobní postupy byly známy před více než 100 lety.

Podle Society of Plastics Engineers (SPE), je vstřikování definováno jako metoda výroby součástí z tavitelných polymerních materiálů. Toho je dosaženo pomocí vstřikovacího stroje. Tvar výrobku je dán dutinou formy. Vstřikovací stroj se skládá ze dvou základních částí, vstřikovací jednotku a uzavírací jednotku. Vstřikovací jednotka slouží především k tavení polymerního materiálu k jeho homogenizaci a jeho dopravě rozvodnými kanály do dutiny formy. Účelem uzavírací jednotky je držet formu v uzavřeném stavu, zatímco tavenina vstupuje pod tlakem do dutiny formy určitého geometrického tvaru. Následně po ochlazení slouží k otevření a vyhození výrobku z dutiny formy pomocí vyhazovačů. [4], [5]

#### 3.1 Vstřikovací stroj

Vstřikovací proces probíhá na strojích plně automaticky, výjimky mohou být u velkých a tvarově náročných výstřiků, kde je nutné vyjmutí z formy ručně. Při velkosériové výrobě se však s výhodou využívá robotických ramen pro vyjmutí výstřiku, které nám umožňují plně automatický režim výroby, takže se dosahuje vysoké produktivity práce. Pořizovací cena strojního zařízení především vstřikovací formy je však značně vysoká. Technologie je proto vhodná pro velkosériovou a hromadnou výrobu. [6]



*Obr. 6 Vstřikovací stroj firmy ENGEL*

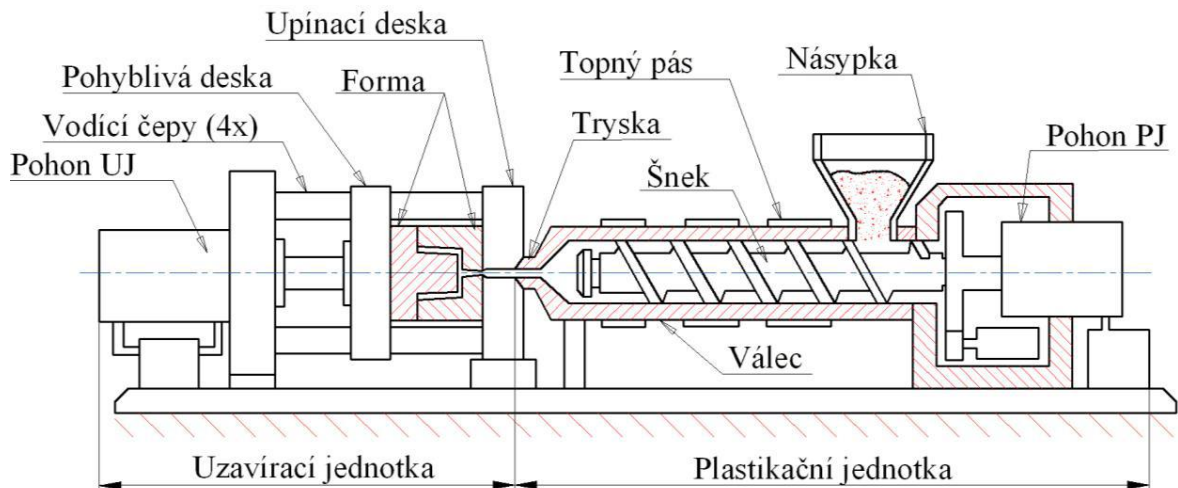
Vstřikovací stroj jako jeden z hlavních činitelů výroby má nejrůznější uspořádání. Vyžaduje se od něho, aby kvalitou svých parametrů a řízením, byla zajištěna výroba jakostních výstřiků budoucích výrobků. V současné době existuje velký počet různých konstrukcí strojů, které se od sebe liší svým provedením, řízením, stálostí a reprodukovatelností jednotlivých parametrů, rychlosti výroby, snadnou obsluhou i cenou. Vstřikovací stroj se skládá z těchto základních částí:

- Plastikační jednotka – přeměna materiálu z pevného stavu v taveninu;
- vstřikovací jednotka – doprava do tvarové dutiny formy, velká rychlost i tlak;
- forma – udělení tvaru a vzniku výrobku;
- uzavírací jednotka – uzavření formy a odolání vstřikovacího tlaku;
- ovládání a řízení stroje.

Koncepce moderních generací vstřikovacích strojů umožňují nabídnout a dodat svým zákazníkům sestavené stroje přesně podle jejich požadavků.

Aby vstřikovací stroj nevyráběl zmetky, je nutné aby:

- byl tuhý a pevný při samotném plnění dutiny formy taveninou;
- měl konstantní tlak, rychlost, teplotu, ostatní důležité parametry a jejich časování;
- měl spolehlivou reprodukovatelnost technologických parametrů;
- měl dostatečnou vstřikovací kapacitu;
- měl dostatečnou přidržovací a uzavírací sílu;
- měl dostačující vstřikovací tlak. [7]



Obr. 7 Popis vstřikovacího stroje

### 3.2 Plastikační jednotka

Slouží k přípravě a dopravě požadovaného množství roztaveného materiálu (taveniny) s předepsanými technologickými parametry do dutiny formy. Objem dopravované taveniny musí být menší, než je kapacita vstřikovací jednotky při jednom zdvihu. Při malém vstřikovacím množství zase setrvává plast ve vstřikovací jednotce delší dobu a tím může nastat jeho degradace. To se dá ovlivnit rychlejšími cykly výroby. Maximální vstřikované množství nemá překročit 90 % kapacity jednotky, protože je ještě nutná rezerva při případném doplnění úbytku hmoty při chlazení (smrštění). Optimální množství je 80 %. [1]

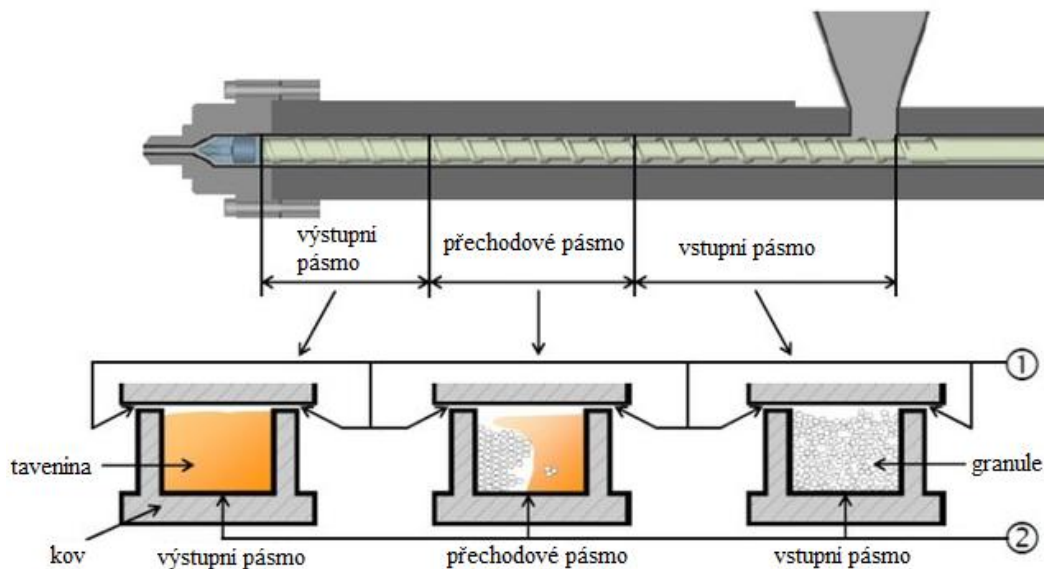
Plastikační jednotka pracuje tak, že do násypky se nasype nebo pod tlakem dopraví granulovaný materiál, který se pak dostává do prostoru tavného válce, kde je dopravován zpracováván polymer s dalšími příměsí pohybem šneku. Tavenina je posouvána šnekem s možnou změnou otáček přes vstupní, přechodové a výstupní pásmo. Postupně se plastikuje, homogenizuje a hromadí před šnekem. Současně ho odtlačuje do zadní polohy. [1]

Existuje celá řada typů šneků, z nichž nejčastěji používané se dělí na:

- Standartní jednochodé;
- modifikované jednoduché;
- vícechodé. [2]

Modifikaci šneků se rozumí například vypuštění některých ze 3 pásem, které jsou uvedeny na Obr. 8, dále přidáním šroubovice do vstupní zóny, změnou stoupání podél šneku, změnou

hloubky kanálu na výstupním pásmu a další. Mezi pásma šneku se zařazují míchací elementy, které slouží k zajištění homogenizace taveniny. Veškeré případné modifikace šneku se volí dle použitého materiálu. [2]



*Obr. 8 Základní rozdělení pásem vstřikovacího šneku*

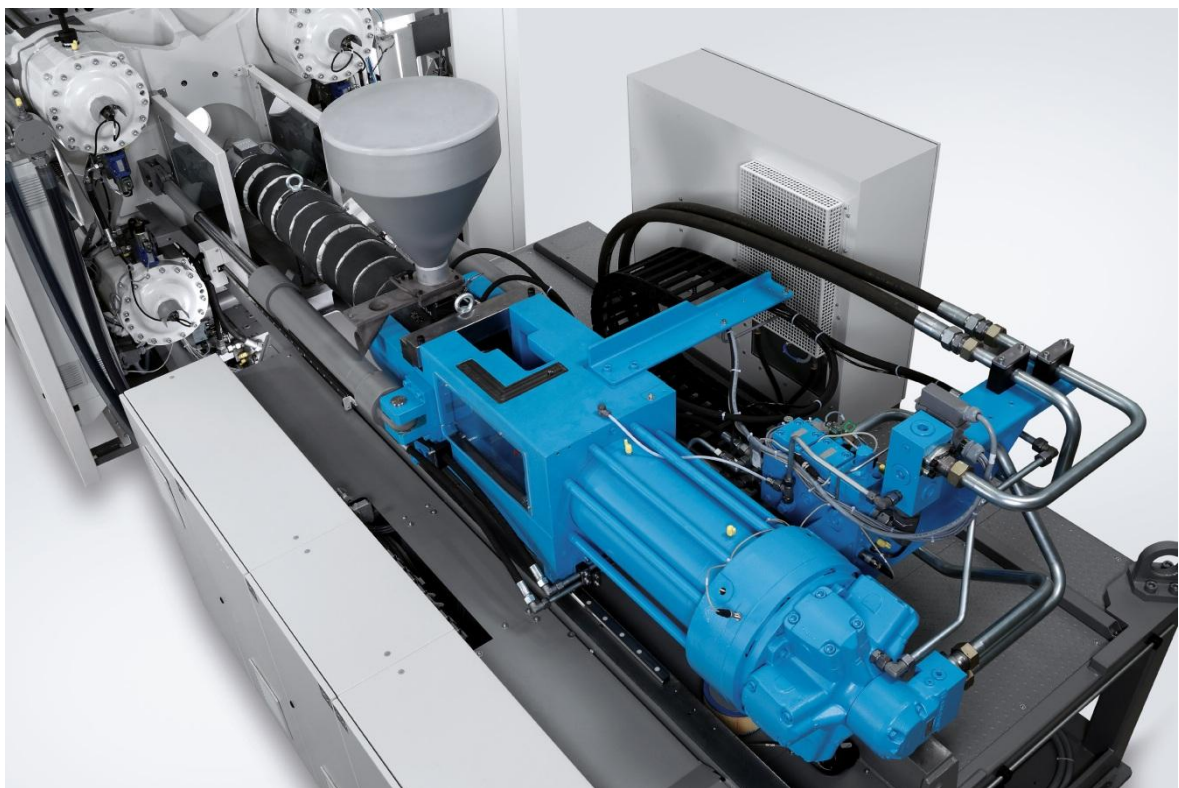
Na Obr. 9 jsou zobrazeny šneky od firmy Nordson Xaloy, které jsou přímo určené pro vstřikování taveniny. Umožňují snižovat vstřikovací cykly a zlepšovat kvalitu výrobku s nižší teplotou tavení. Většinou, při zakoupení vstřikovacího stroje je již v sestavě uvnitř plastikační jednotky univerzální šnek, který lze jednoduše vyměnit za jiný. Jelikož se vstříkují různé materiály s různými přísadami, je nutné šneky optimalizovat. Optimalizací se zabývá například firma Compuplast.



*Obr. 9 Ukázka zakončení vstřikovacího šneku od firmy Nordson Xaloy [3]*

### 3.3 Vstřikovací jednotka

Pomocí vstřikovací jednotky je dopravována vstřikovaná tavenina pod tlakem do prostoru dutiny uvnitř formy. Jak velký tlak je potřebný použít k naplnění dutiny formy je závislé na tloušťce stěny. Vstřikovací tlak je formulován jako tlak taveniny v bodě, kde vniká do trysky stroje. U tlustostěnných výrobků nejsou zapotřebí velké tlaky, pohybují se od 50MPa přibližně do 100MPa. Pro správné zaplnění dutiny formy u tenkostěnných výstřiků je zapotřebí vyšších vstřikovacích tlaků. [8], [9]

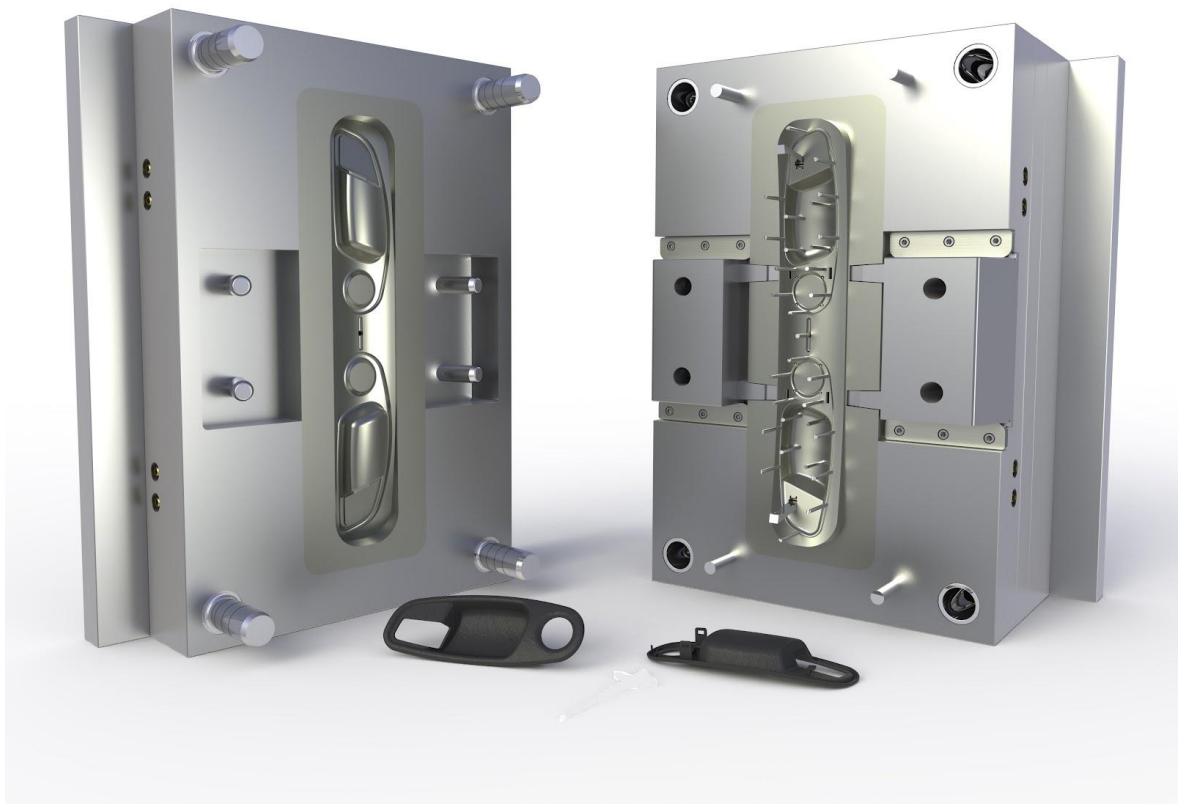


*Obr. 10 Vstřikovací jednotka od firmy KraussMaffei [25]*

## 4 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Forma je nástroj, který se upíná na vstřikovací stroj. V průběhu vstřikovacího cyklu je dutina formy naplněna taveninou, roztaveným materiálem. Po zchlazení na vyhazovací teplotu je pomocí vyhazovačů dutina formy vyprázdněna od výstřiku, který má požadovaný tvar se všemi funkčními vlastnostmi. Forma v průběhu svého života musí splňovat tyto požadavky:

- musí odolávat vysokým tlakům;
- zajistit požadovanou kvalitu výstřiku a jeho rozměry;
- bezproblémové vyhození výstřiku;
- snadná obsluha při montáži;
- nízká pořizovací cena;
- rychlá a snadná samotná výroba. [10]



Obr. 11 Příklad formy pro plastový díl



Návrh, konstrukci a výrobu vstřikovací formy zajišťují specializované firmy - nástrojárny, které vlastní potřebné přístrojové vybavení i vyškolené pracovníky. Těchto firem je v České republice nepřehledné množství. [10]

Řešení konstrukční koncepce, rozvržení formy a rovněž způsob výroby záleží hlavně na požadavcích a samotném účelů, kterým má forma vyhovovat. Vitalita formy je dána správnou volbou materiálu a tepelným zpracováním všech funkčních částí jako jsou například tvarové desky atd. Druh materiálu se volí z hlediska:

- druhu zpracovávaného materiálu;
- zvolené technologii výroby;
- rozměrů výrobku a jeho komplikovanosti;
- velikosti série;
- požadované tepelné odolnosti proti opotřebení a korozi;
- celkových nákladů. [10]

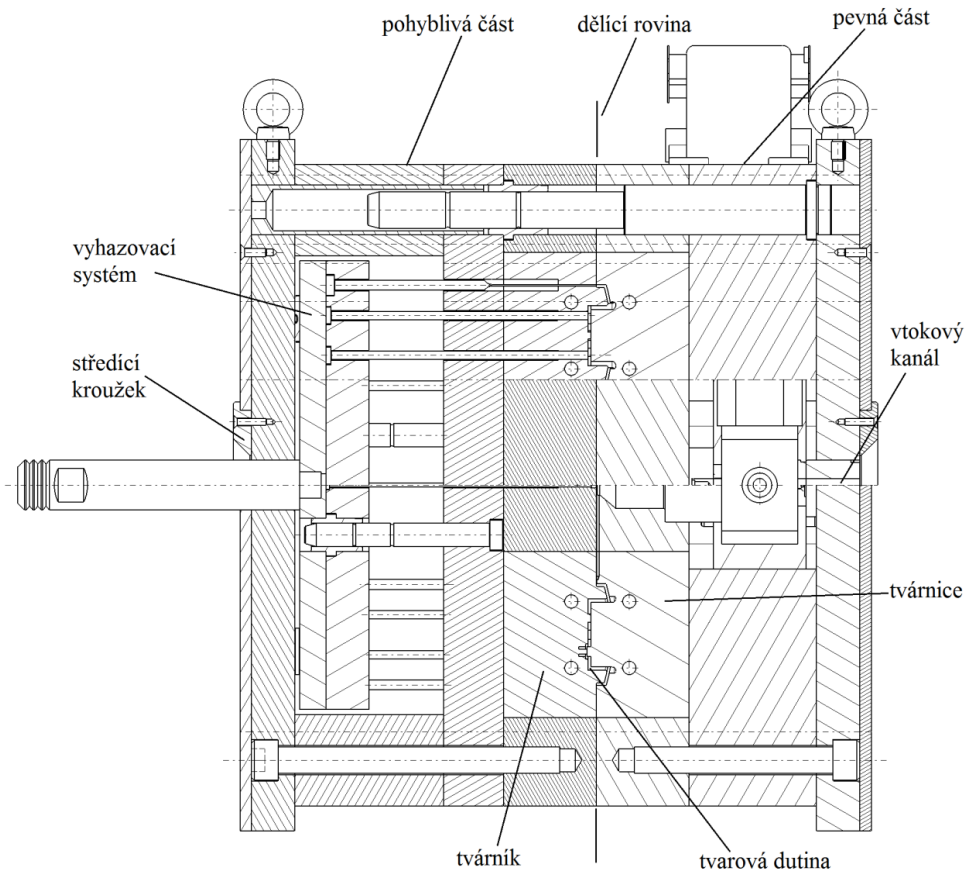
Vstřikovacích forem je velké množství druhů a dělí se do těchto skupin:

- jednonásobné a vícenásobné;
- dle způsobu zaformování a konstrukčního hlediska na dvoudeskové, třideskové, etážové, čelist'ové a další;
- formy se vstřikem kolmo na dělicí rovinu a na formy se vstřikem do dělicí roviny. [10]

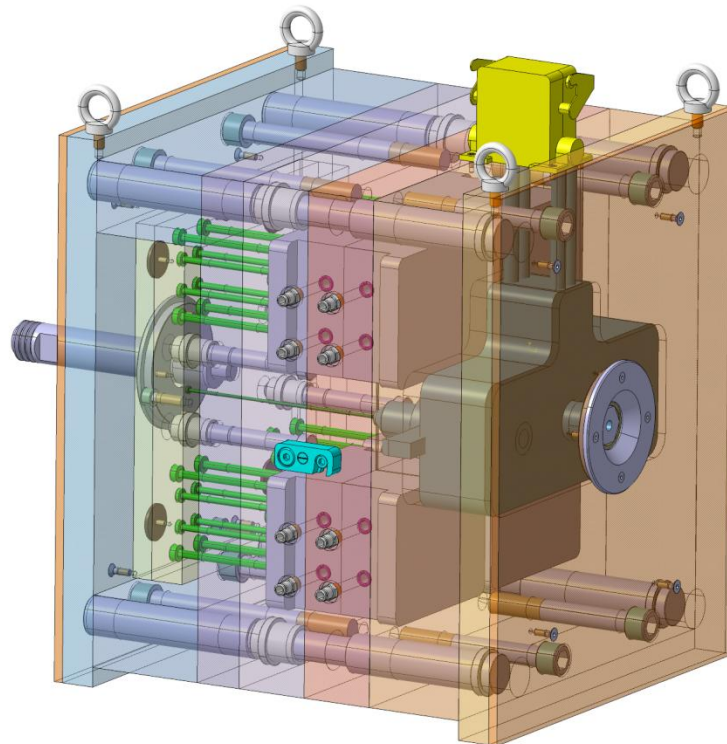
Vstřikovací forma je složena z mnoha částí. Jednotlivé části lze rozdělit do několika skupin. Jsou to části:

- determinující tvarovou dutinu;
- temperačního systému;
- vtokového systému;
- upínacích a vodících elementů.

Konstrukční části zajišťují správnou funkci formy a funkční části jsou v kontaktu s taveninou a zprostředkovávají výsledný žádaný tvar. Na Obr. 12 jsou rozepsány hlavní části vstřikovací formy.



Obr. 12 Vstřikovací forma – popis jejich základních částí



Obr. 13 Kompletní vstřikovací forma v programu Catia

## 5 DEFEKTY VÝROBKŮ

I přes veškeré znalosti, které jsou známé ve všech oborech plastikářského průmyslu o polymerních materiálech, zvyšující se úrovni vstřikovacích strojů a jejich řídicích systémů či využití počítačových programů při samotném návrhu výstřiku a konstrukci vstřikovací formy se nemůže stále zcela opomenout na vady, deformace výstřiků v průběhu výroby, a to i přesto, že jsou k dispozici stále kvalitnější a přesnější programy simulující nejen chování taveniny uvnitř formy, ale další prvky důležité pro správné odformování výstřiku, bez vad, které vedou k znehodnocení celého pracovního cyklu. Největším problémem jsou vady, které jsou ukryty uvnitř výstřiku. [1]

Pod pojmem „výrobní vady výstřiku“ se rozumí defekt výstřiku, kterým se odlišuje vzhled, rozměry, tvar a vlastnosti od předem stanovené normy, specifikované výrobním výkresem, referenčním vzorkem nebo schválenými přejímacími podmínkami. Zdroje vad mohou být ve zpracovávaném plastu, v konstrukci výrobku (plastového dílu), vstřikovacím stroji, formě a též ve zvolených technologických podmínkách. Základní rozdělení vad výstřiků se dělí na:

- vady zjevné – na první pohled viditelné;
- vady skryté – uvnitř výstřiku (výrobku). [7]

Vady polymerních výrobků mohou být zapříčiněny ve:

- zpracovávaném plastu;
- v konstrukci výrobku;
- vstřikovacím stroji;
- vstřikovací formě;
- ve zvolených technologických podmínkách. [1]

### 5.1 Vady zjevné

Jsou to takové vady, které lze jednoduše odhalit pouhým okem, při porovnání s předem schváleným vzorkem. Tyto vady se dále dělí na dvě klíčové skupiny:

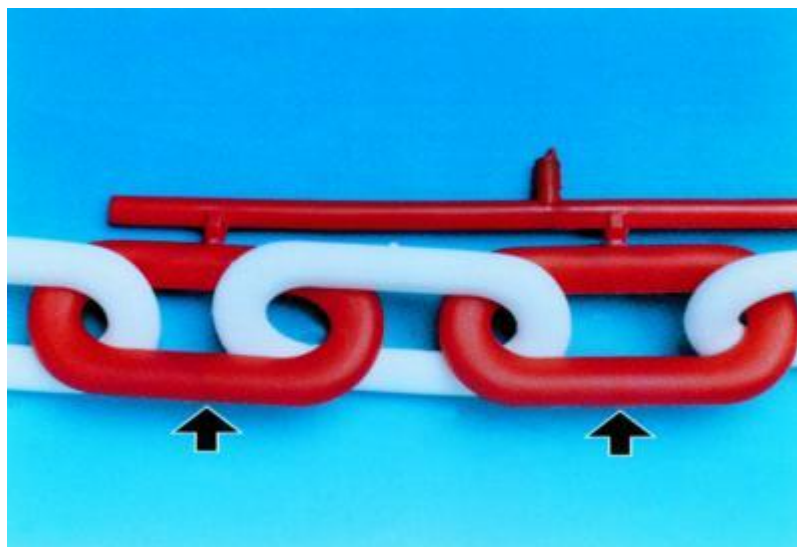
- Vady tvaru;
- vady povrchu.

Mezi vady tvaru se řadí například nedostříknuté výrobky, propadliny, přetoky a otřepy, vrásnění nebo zvlnění, vrstvení a delaminace, stopy po vyhazovačích, deformace dílu vlivem nevhodných parametrů vstřikování či nesprávné konstrukce formy (např. malé úkosity, poddimenzovaný vyhazovací systém, nevhodná vtoková soustava, nedostačující temperační systém, nedokonalé odvzdušnění dutiny formy), rozměrové vady atd. [6]

U vad povrchu je to například stříbření, nerovnoměrný lesk, rozptyl světla způsobený malými částmi obsaženými v průhledné látce (opalescence), povrch gramfonové desky, matná místa, takzvaně povrch pomerančové kůry, stopy po studeném spoji, špatně vykopírovaný dezén, mikrotrhliny, tokové čáry, nedokonalé vybarvení či změna barvy, žloutnutí u přírodních plastů, stopy po jiném či zdegradovaném materiálu (černé body, tečky, šmouhy, spálená místa), stopy po vlhkosti, uzavřeném vzduchu v tavenině a další. [1]

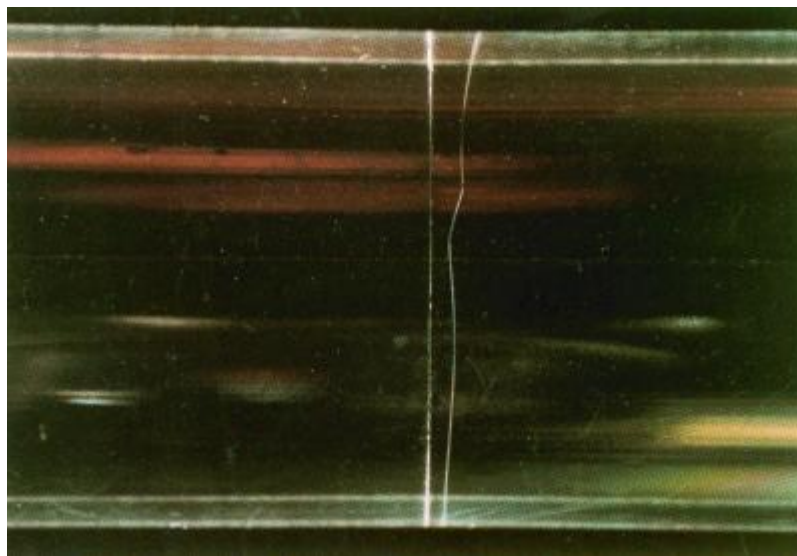
### 5.1.1 Studený spoj

Studené spoje způsobují pevnostní zeslabení výstřiku a zároveň jsou i vzhledovými vadami povrchu. Vznikají vždy, když se hlavní proud taveniny vyplňující tvarovou dutinu formy rozdělí tvarovými prvky (např. jádry) na dva nebo více toků a znovu se spojí buď čelně (primární studený spoj) Obr. 14 nebo bočně či tangenciálně (sekundární studený spoj). Čelní spoj je z pevnostního i vzhledového hlediska vždy nebezpečnější. [1]



Obr. 14 Čelní spojení taveniny – primární studený spoj [1]

U mechanicky namáhaných plastových dílů je pevnostní hledisko určující. Proto je rovněž důležitý prvotní výběr termoplastu pro konkrétní využití. Zatímco amorfní polymery vykazují značné pevnostní zeslabení v místě studeného spoje, který může přecházet až v podobu vrubu lze vidět na Obr. 15, semikrystalické plasty jsou na tom z pevnostního hlediska studeného spoje podstatně výhodněji. [1]

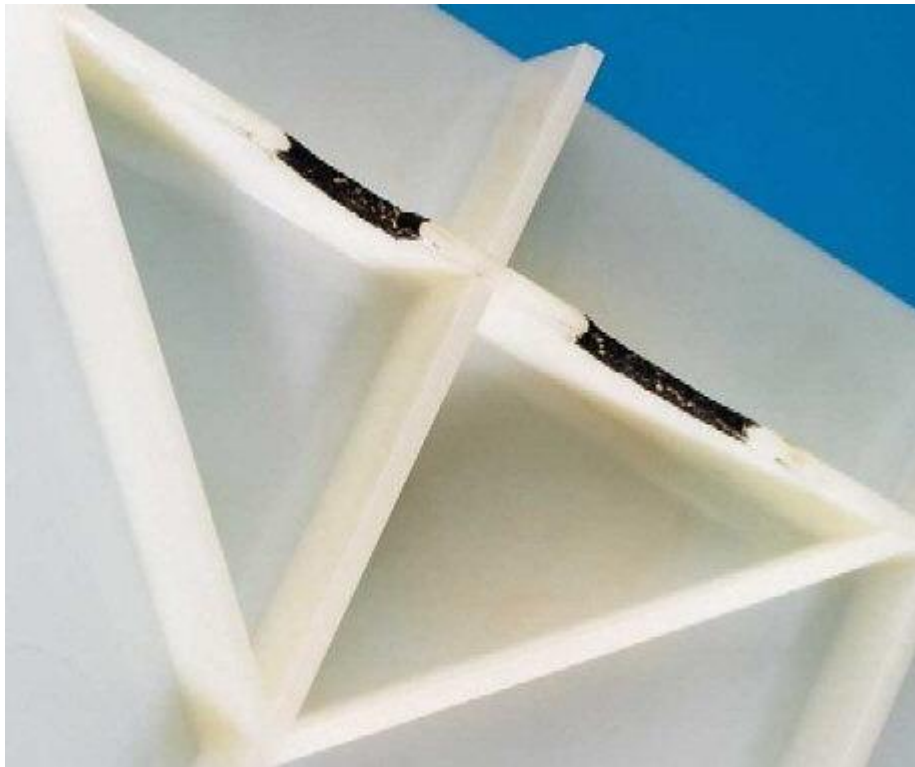


*Obr. 15 Studený spoj – vrub u amorfního polymeru [1]*

### 5.1.2 Diesel efekt

Vada diesel efekt vzniká při nedostatečném odvzdušnění dutiny formy a při vysoké vstřikovací rychlosti. Vzduch, který se při plnění nepodařilo odstranit, se komprimuje, čímž nastává ohřev, který má za následek lokální degradaci materiálu. V nejhorším případě dokonce dochází i k jeho spálení. Na výstřiku v místě lokální komprese vzduchu vznikají nedoplněná místa a tmavé až černé stopy po spáleném materiálu. U tlustostěnných výstřiků může docházet k rozptýlení vzduchu v tavenině a tvorbě nežádoucích drobných bublin. Tato vada se někdy nesprávně zaměňuje s tvorbou vakuol, který vznikají rovněž v oblasti velké tloušťky stěny, avšak v důsledku objemového smrštění. Navíc bývají vakuoly obvykle větší. V místě, kde dochází k uzavření vzduchu je nutno navrhnout odvzdušňovací kanály, jejichž tloušťka závisí na typu zpracovávaného materiálu a technologických podmínkách vstřikování. Hloubka odvzdušňovacích kanálů má být menší než 0,02 mm a délka minimálně 20 mm. U větších hloubky je nebezpečí vzniku ořepů či přetoků na výrobku.

Problémy s nedostatečným odvzdušněním se vyskytují především u nových forem, které mají dobře slícované dělicí roviny, tvarové prvky atd. [1]



*Obr. 16 Diesel efekt – spálené místa [26]*

### **5.1.3 Vady tvaru a rozměrové vady**

Vady tvaru jsou takové vady, u kterých tvar a rozměr dílu neodpovídají schválenému výkresu, 3D modelu. Jedná se o díly deformované či narušené v důsledku výrobního procesu. Nejčastější vady tvaru jsou:

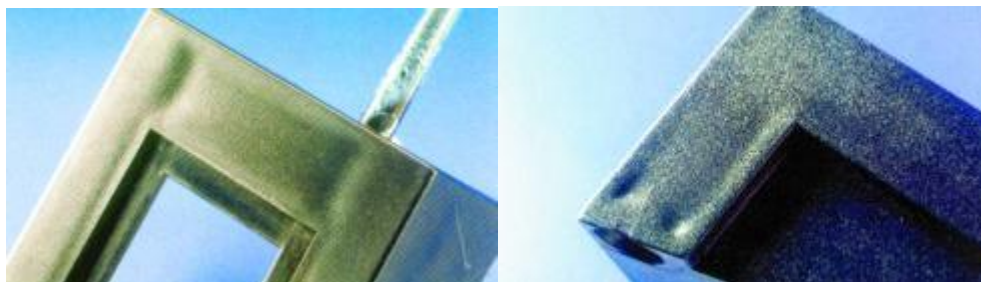
- přetoky, přestříky, otřepy;
- neúplné výstřiky;
- propadliny, zvlněný povrch, staženiny;
- stopy po vyhazovačích;
- deformace výstřiku při vyhození z formy;
- stopy po studené tavenině, delaminace povrchu;
- nedodržení rozměrů a předepsaných tolerancí. [11]



*Obr. 17 Přetoky, otřepy [11]*



*Obr. 18 Nedotečení taveniny na boční stěně výstříku [11]*



*Obr. 19 Propadliny (malý dotlak, velká tloušťka) [11]*

Rozměrové vady plastového výstřiku plynou z nevhodného návrhu a konstrukce tvarové dutiny formy. Konstruktor vstřikovací formy musí počítat se smrštěním vstřikovacího dílu a to nejen v průběhu technologického procesu, ale i po jeho ukončení, kdy probíhá dosmršťování. V praxi jsou popisovány celkem čtyři druhy smrštění. [11]

#### **Objemové smrštění:**

Začíná ve formě po zaplnění tvarové dutiny taveninou a po ukončení dotlakové fáze. Probíhá dále během procesu chlazení a i po vyhození výstřiku z formy do té doby, než se výstřik neochladí na teplotu okolí. Objemové smrštění lze odečíst z pVT diagramů příslušných materiálů. Fyzikální příčinou smrštění tavenin polymerů je jejich teplotní roztažnost, vyjádřena součinitelem délkové teplotní roztažnosti. [11]

#### **Lineární smrštění (výrobní smrštění):**

Toto smrštění představuje rozdíl mezi rozměrem tvarové dutiny formy a rozměrem výstřiku vztaženým na rozměr formy při totožné teplotě a vyjadřuje se v procentech. Hodnotu smrštění předurčuje jestli polymer je amorfní či semikrystalický a použitá plniva a aditiva. Závisí dále na orientaci makromolekul či vláknitých plniv, u semikrystalických polymerů rovněž závisí na velikosti a rozložení krystalického podílu. Smrštění lze ovlivnit technologickými parametry, zejména velikosti dotlaku, časovém působení dotlaku a teplotou samotné formy. U výstřiků s otevřeným ústí toku lze vysledovat nepřímou úměru mezi hmotností výstřiku a hodnotami smrštění. V těchto případech lze využít kontrolu hmotnosti pro informaci o smrštění ihned po vyjmutí výstřiku z dutiny formy. [11]

#### **Dodatečné smrštění:**

Jedná se o smrštění, kde se změna rozměru projeví po delší době, případně po aplikaci dílu při zvýšené teplotě, kdy pokračuje zmenšování objemu a dosmršťování výstřiku až na konstantní hodnotu. Vyjadřuje rovněž v procentech vztažených na původní rozměr výstřiku. [11]

## **5.2 Vady skryté**

Jsou vady, které není možné pouhou vizuální kontrolou odhalit, jako u předchozí skupiny. Ovlivňují ovšem negativně celou řadu vlastností výstřiku, proto jsou velice nebezpečné. U











nejvíce používaných polymerů, tedy u termoplastů se musí počítat s těmito skrytými vadami a to kvůli:

- nerovnoměrné orientace vláken nebo molekul (především u vyztužených typů);
- vnitřního pnutí (například z nerovnoměrné krystalizace nebo v důsledku přeplnění dutiny formy);
- nerovnoměrné krystalizace semikrystalických plastů (různý obsah krystalinity, rozdílná velikost a rozvržení sferolitů, skin-core efekt);
- degradačním procesům vedoucím ke snížení pevnosti a houževnatosti materiálu;
- vnitřním defektům (u neprůhledných či barevných typů), jako jsou lunkry, uzavření vzduchu, plynné z degradujících procesů a další. [11], [1]

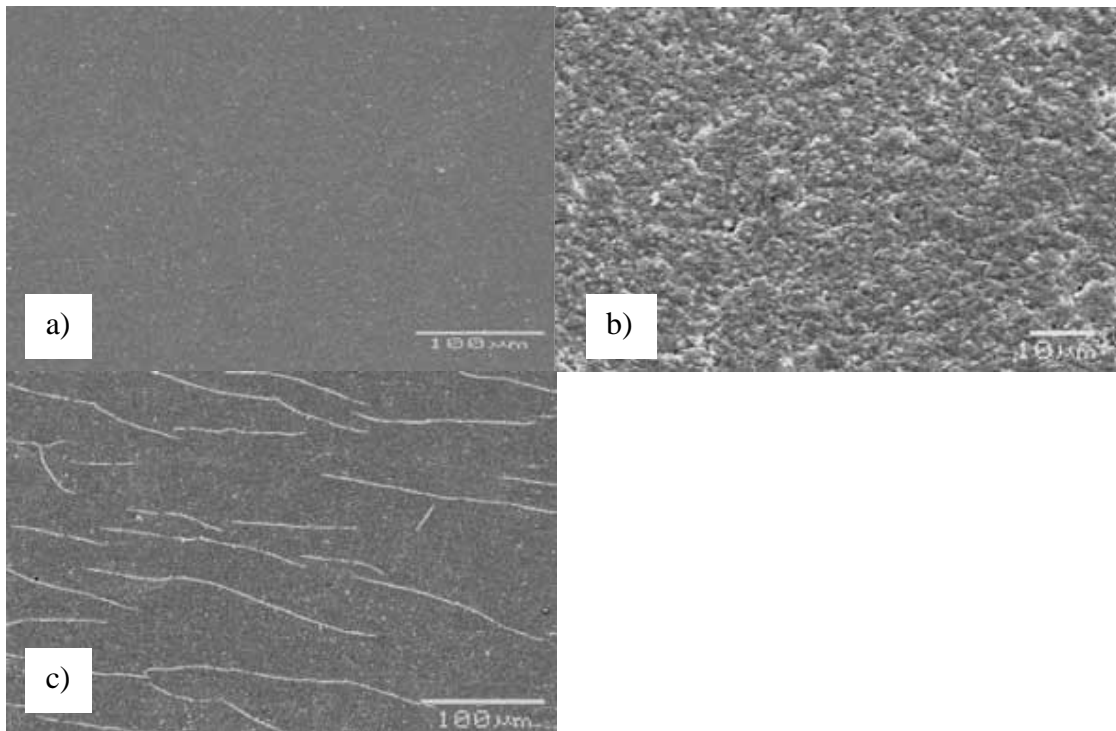
### 5.3 Vliv povětrnostních podmínek

Pokud plasty jsou pod vlivem venkovním povětrnostním podmínkám, nebo uvnitř budov například zářivkami, dochází k odbarvování nebo výrazným degradacím původních vlastností materiálu. V Tab. 1 lze vidět velké barevné rozdíly u materiálu ABS, pro názornou ukázkou byly vybrány barvy červená a modrá. Je proto zapotřebí, s tímto jevem počítat a pokud budou výsledné výrobky vystaveny abnormálnímu působením například slunečnímu svitu, je důležité zvolit dle toho i použitá barviva a polymer. [12], [5]

Tab. 1 Změna barvy působením slunečního svitu [12]

ABS červené zbarvení				
ABS modré zbarvení				
	Před expozicí	Po 100h	Po 200h	Po 500h

Při působení povětrnostních vlivů nedochází jen ke změně barvy výrobku, ale i ke stárnutí materiálu, který byl pro výrobek použit. Dochází k takzvané foto-oxidaci. Postupně dochází ke ztrátě lesku výrobku. Na Obr. 20 jsou zaznamenány snímky pomocí rastrovacího elektronového mikroskopu při přiblížení 10 a 100 $\mu$ m. [12], [5]



Obr. 20 a) před expozicí, b) po 500 hodinách expozice, c) po 1000 hodinách expozice [12]

#### 5.4 Identifikace a odstraňování vad

V současné době existují nepřehledné množství různých návodů a pokynů pro nalezení příčin vzniku vad na výstřiku a jejich eliminaci. Tyto informace lze získat u firem, které se zabývají výrobou polymerních materiálů. (například Bayer, Lyondellbasell, Dupont, Ticona a další) a nebo lze tyto informace získat u výrobců vstřikovacích strojů (například Engel, Arburg, Kraus Maffei, Esinte). Vznikly již propracované algoritmy logických postupů pro odstraňování vad včetně obrázkových dokumentací. Nejznámějším projektem je projekt, který byl vyvinut na pracovišti Kunststoff-Institut für die mittelstandische Wirtschaft NRW, GmbH Lüdenscheid a program pro diagnózu a odstraňování vad výstřiků DiagBes, vypracovaný na pracovišti Kunststoff-Zentrum in Leipzig. Z hlediska logických postupů založené na velmi dobrých znalostech procesu vstřikování se nemůže těmto programům nic vytknout. Tyto programy jsou, ale především vhodné jako výukové. Praktické využití při hromadné či sériové výrobě na vstřikovacích strojích je bohužel problematické. Protože

se ukázalo, že realizace těchto projektů v praxi je velice zdlouhavé a nákladné. Proto se stále využívá dlouholeté praxe seřizovačů a technologů, kteří znají podrobně problematiku zpracovávání plastů, vstřikovacích strojů a též konstrukci forem. [2]

Vady vstřikovaných výrobků se mohou vyskytovat v různých podobách z rozličných důvodů. Tyto vady mohou vznikat na základě:

- chybně zvoleného vstřikovacího procesu;
- chybně řešeného výrobku z hlediska konstrukce;
- chybně řešené samotná konstrukce formy;
- zvolení nesprávných funkcí vstřikovacího stroje.

Při návrhu vstřikovací formy, musíme brát ohled na všechny druhy smrštění. Objemového smrštění vzniká po zaplnění dutiny formy taveninou a ukončení dotlakové fáze, které bohužel pokračuje i po vyhození výstřiku a trvá až do té doby, kdy se výstřik ochladí na teplotu okolí. Aby se eliminovali lineární smrštění, je nutné znát rozdíl mezi rozměrem tvarové dutiny formy a rozměrem výstřiku. Vyjadřuje se v procentech. Dalším druhem je dodatečné smrštění, které se projeví až po delší době, kdy díl je již namáhán používáním například zvýšenou teplotou, kdy pokračuje dosmršťování až na konstantní hodnotu. Vyjadřuje se v procentech vztažených na původní rozměr výstřiku. [6], [7]

## 5.5 Konstrukce vstřikovaného dílu

Tvar vstřikovaného dílu musí odpovídat vlastnostem a chování zpracovávaného polymeru. Při samotném návrhu je nutné, vyvarovat se velkých rozdílů tloušťek stěn budoucího výrobku, místnímu nahromadění materiálu a příliš velkých rovných ploch. Tolerance rozměru musí být ve shodě s vlastností vstřikovaného plastu, nutné je rovněž volit dostatečné úkosy s ohledem na leštěný, matný či jinak strukturovaný povrch, dostatečné velikosti rádiusů při konstrukci rohů a hran, minimalizovat či úplně vynechat podkosové úhly a tvary.

Základní pravidla, jak se vyhnout vadám při návrhu vstřikovaného výrobku:

- volit co nejmenší tloušťku stěny;
- při změnách tloušťek je snahou volit malé skoky nebo vytváříme přechody;
- navrhnout konstrukci žeber pro předem daný druh plastu;
- vyvarovat se rovných ploch;
- využívat výhod plastů oproti kovům a volit správný design;

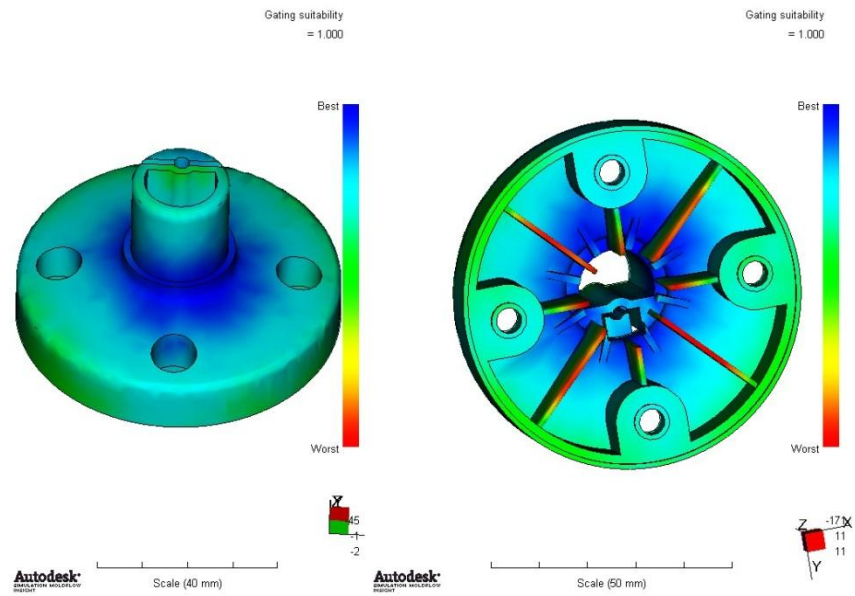
- správně zvolit umístění vtoku;
- zohlednit omezení vycházející z použité technologie při návrhu výrobku;
- vyhnout se hromadění materiálu v dutině formy;
- hrany a rohy opatřit rádiusy;
- zvolit dostatečně úkosové úhly;
- velikost a umístění otvorů a výřezů musí respektovat vlastnosti použitého materiálu;
- volit tolerance rozměrů, dle potřeby dílu, nevolit zbytečně malé. [3]

## 6 SIMULAČNÍ SOFTWARE

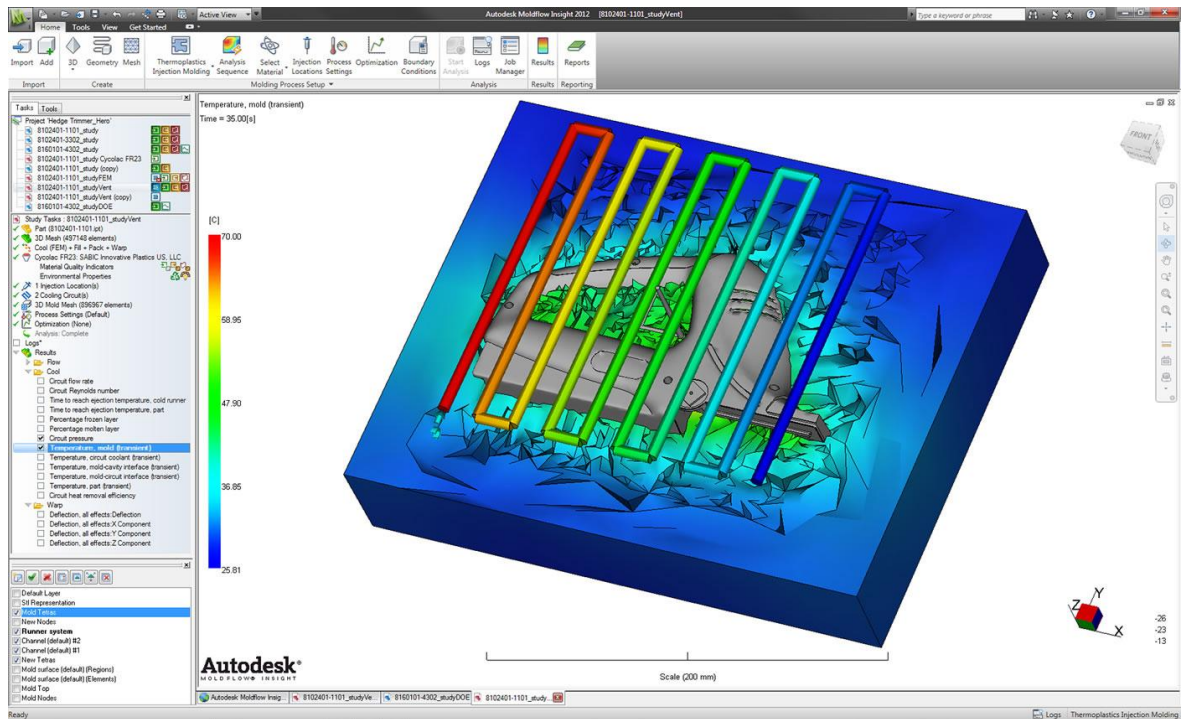
S narůstajícím využíváním plastových dílů, prakticky ve všech odvětvích a čím dál větším tlakem na úspory nákladů ve výrobě. S požadavkem co nejrychlejšího uvádění výrobků na trh. Význam simulačních nástrojů poskytující detailní přehled nad postupem vstřikování plastů, je daleko větší než doposud. Touto problematikou se zabývá hned několik firem například Autodesk, CoreTech, Simcon a další.

### 6.1 Autodesk Simulation Moldflow 2014

Tento simulační software se využívá pro vstřikování plastů, poskytuje nástroje, které pomáhají výrobcům predikovat, vyhodnotit a optimalizovat technologický design plastových dílů a vstřikovaných forem. Autodesk Simulation Moldflow 2014 (dále jen Moldflow) dokáže nasimulovat tok taveniny uvnitř formy, a přímo provést optimalizaci technologického designu plastové dílu vyhnout se potencionálním vadám dílu a tím zlepšit proces vstřikování. Dokáže simulovat fáze plnění během procesu vstřikování a tím i eliminovat výskyt studených spojů. Je možné zde provést analýzu chladicích systémů, zjistit smrštění, deformace. Součástí je i velká škála databáze materiálů, vstřikovacích strojů a procesních podmínek. Software si dokáže poradit i s dvoukomponentním vstřikováním. Nevýhodou je ze začátku delší doba nutná k osvojení softwaru oproti například Cadmould 3D-F , ale tato nevýhoda je daní za větší množství přesnějších výstupů. Naopak velkou výhodou je velice dobře propracovaná nápověda pro vyhodnocování samotných výsledků. Typy analýz jsou například u analýzy vtoku (doba vstřiku, smrštění, viskozita atd.) u chlazení (tlak v okruhu, zamrzlé vrstvy, teplota formy atd.) dále se vyhodnocují deformace ve všech směrech. Na Obr. 21 je ukázka výstupu Moldflow, který pomocí barvy vyhodnotil vhodnost umístění vtoku. [27]



Obr. 21 Ukázka výstupu vhodnosti umístění vtoku v Moldflow



Obr. 22 Uživatelské prostředí Moldflow

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 7 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

V diplomové práci byly stanoveny tyto cíle:

- vypracovat literární rešerši na dané téma;
- provedení posouzení současného stavu;
- navržení řešení zjištěných problémů;
- provedení zhodnocení návrhu a rozbor řešení.

Literární rešerše neboli teoretická část diplomové práce má za úkol přiblížit rozdělení polymerních materiálů jejich přípravu před zpracováním a rozdělení používaných přísad. Dále se zabývá reologií polymerních materiálů od její historie až po využití v praxi, technologií vstřikovacího procesu, konstrukci vstřikovací formy, defekty výrobku nejen při vstřikování a simulačním softwarem Autodesk Moldflow 2014.

V praktické části diplomové práce bylo úkolem zhodnotit vstřikovací formu a vstřikovací proces a samotný výrobek. Provést posouzení současného stavu vstřikovací formy. Navrhnout řešení zjištěných problémů.

Provést analýzu v programu Moldflow a provést zhodnocení jednotlivých výsledků analýzy. Analyzovat tok, chlazení formy a výskyt propadlin studených spojů a dalších vad, které můžou při vstřikování vzniknout.

Při posouzení konstrukce vstřikovací formy bylo využito programu CATIA V5R9. Pro provedení analýzy byl využit simulační software Autodesk Simulation Moldflow 2014.



## 8 VSTŘIKOVACÍ FORMA

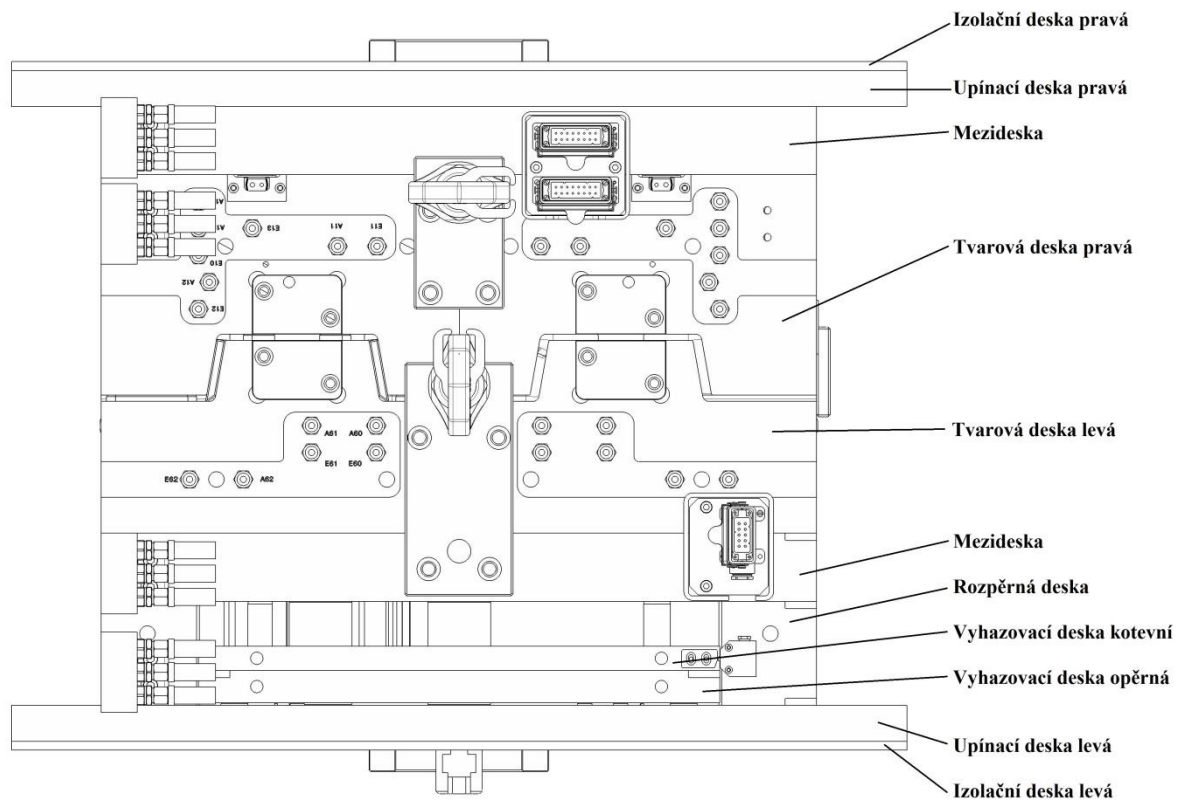
Vstřikovací forma je nástroj, který se upíná na vstřikovací stroj. Slouží k bezproblémovému zaformování a odformování rámečku (vstřikovaného výrobku). Skládá se z pravé (pevné) strany, levé (pohyblivé) strany a vyhazovacího systému. Součástí pravé strany formy je horký vtokový blok s horkými tryskami a temperace. Levá strana se skládá z tvárníku a temperace a tato strana zabezpečuje otevření formy. Vyhazovací systém slouží k vyhození vstřikovaného výrobku s dutiny formy. Součástí je soustava vyhazovačů. Model vstřikovací formy je v příloze PI. Násobnost formy je dvojnásobná. Jedná se o dvoudeskový systém formy. Vtok je kombinovaný horký a studený. Část toku je tedy studený vtokový systém, který dopravuje taveninu pomocí bočního vtoku do dutiny formy. Tento vtok má tu vlastnost, že při odformování zůstává vtokový zbytek spojen s výstřikem. Jeho oddělení se při automatickém cyklu provádí buď odřezávacím zařízením anebo se odděluje ručně ulamováním. Z hlediska nepřetržité výroby, bezodpadového vstřikování by bylo vhodné řešení pouze horkou vtokovou soustavou, ale z důvodu možných vizuálních problémů je zde řešeno kombinací studeného a horkého vtokového ústí. Hlavní rozměry formy jsou patrné z Tab. 2.

Tab. 2 Hlavní rozměry formy

šířka	996 mm
výška	1133 mm
délka	768 mm

### 8.1 Rám vstřikovací formy

Rám formy se skládá celkem z 11 desek. Názvy a jejich rozmístění lze vidět na Obr. 23.



Obr. 23 Desky vstřikovací formy

## 8.2 Pravá strana formy

Pravá strana formy (vstřikovací, pevná strana) slouží k samotnému vstřikování polymeru. Jedná se o pevnou část, kde je pomocí středící příruby vystředěno spojení mezi formou a plastikační jednotkou, z nichž proudí tavenina přes horký vtokový blok a vyhřívanou tryskou do dutiny formy. Součástí této strany kromě desek popsaných výše jsou i tvarové vložky, které mají válcový tvar a jsou v místech velkého opotřebení, které lze jednoduše vyměnit za nové a tím se urychlí oprava dutiny formy. K vzájemnému vystředění formy vůči levé straně slouží 4 kusy středících čepů a 2 kusy plochého vedení s koncovým centrováním. Dále je opatřena dorazovými vložkami, které chrání tvarovou desku od rázu při uzavírání a otevírání formy. Pro vystředění s vyhazovacím systémem jsou zde 4 kusy středících čepů. Pravá strana obsahuje čtyři temperační okruhy. Dále obsahuje čítač cyklů. Pravá strana formy je zobrazena v příloze PII.

### 8.3 Levá strana formy

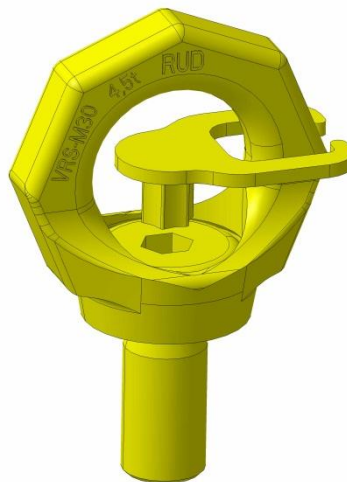
Levá strana formy (vyhazovací, pohyblivá strana) slouží především k otevírání formy a zároveň je její součástí i levá tvarová deska a v neposlední řadě je zde připraveno uložení pro vyhazovací systém pomocí vodících čepů. Dále tato strana obsahuje středící kroužek, který je zde použit pro vystředění celé formy a slouží také jako vstup pro vyhazovací čep, jež je součástí vyhazovacího systému. Tato strana obsahuje tři temperační okruhy. Levá strana formy je zobrazena v příloze PIII.

#### 8.3.1 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém slouží k vyhození výstřiku z dutiny levé tvarové desky. Zobrazen je v příloze PV. Rozmístění vyhazovačů lze vidět v příloze PVI. Skládá se z válcových, plochých a prizmatických vyhazovačů

### 8.4 Transport formy

Forma je pro převoz zajištěna v dělicí rovině pomocí zajišťovače nástrojů na každé straně. Pro zdvih pomocí jeřábu je zde dvojice otočných závěsných ok, které má každé nosnost 4,5t.



Obr. 24 Závěsné otočné oko

### 8.5 Materiály vstřikovací formy

Materiál tvarových desek je ocel ČSN 19520, DIN 1.2311. Vlastnosti materiálu jsou v Tab. 8. Ostatní materiály nejsou známy.

## 8.6 Temperace formy

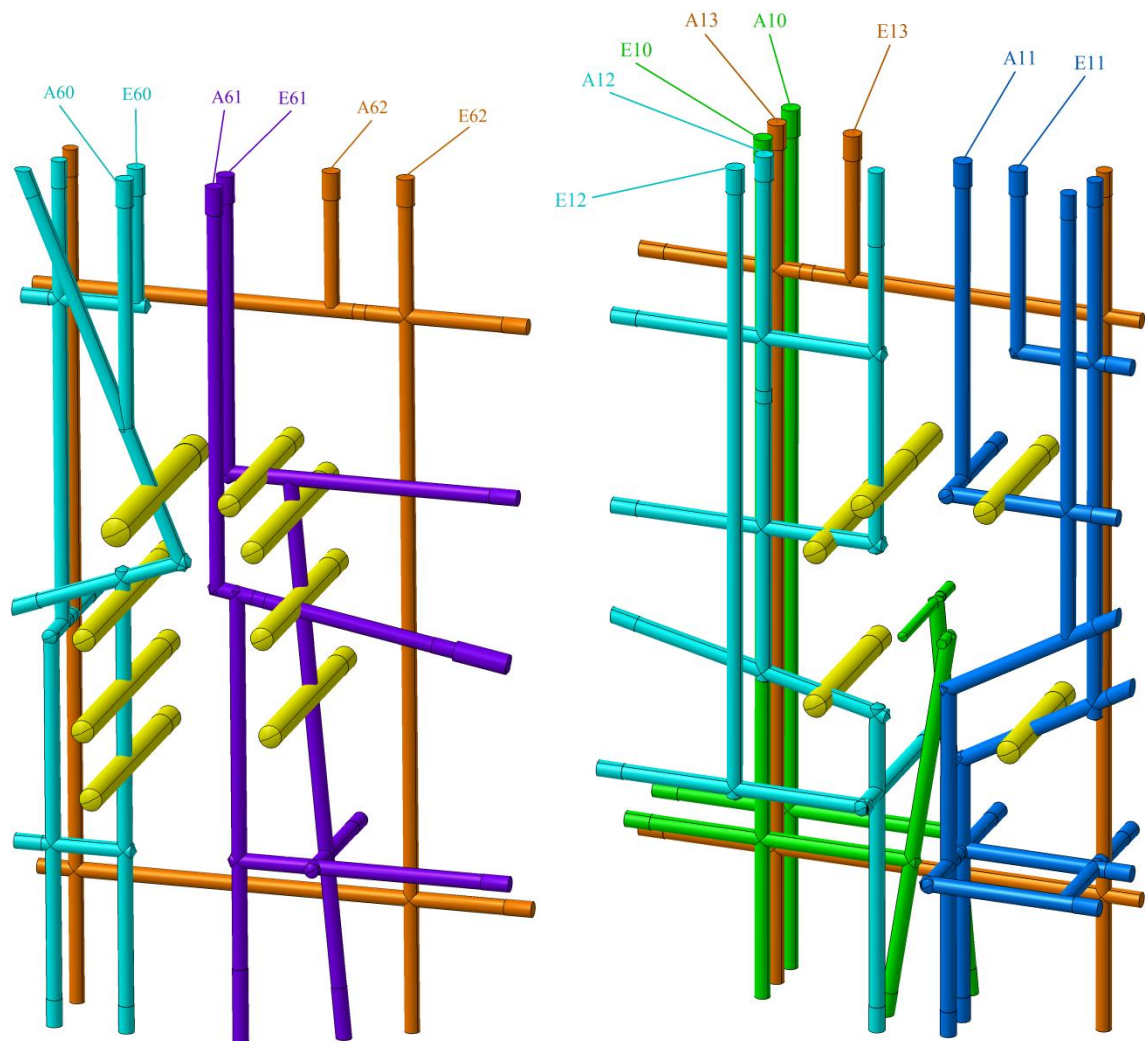
Chlazení je pro výsledné vlastnosti výrobku hodně důležitý aspekt. Ve vstřikovacím cyklu zaujímá největší část, proto je důležité zvolit optimální temperaci formy. Zde je možné ušetřit nejvíce času pro cyklus výroby. V tomto konkrétním případě se pro temperaci používá temperační médium voda. Voda má své výhody a jsou to vysoký přestup tepla, nízká viskozita, nízká cena, ekologická nezávadnost. Nevýhody jsou vznik koroze a usazování vodního kamene. Pravou stranou proudí voda o teplotě 100°C. Levou stranou proudí voda o teplotě 80°C. Na Obr. 25 jsou vidět vrtané otvory pro temperaci a rovněž vstupy a výstupy jednotlivých okruhů. Temperační okruhy jsou značeny německy a to následovně:

- vstup – eingang (E);
- výstup – ausgang (A).

E10-A10 až E13-A13 jsou součástí pravé strany formy. Okruhy E60-A60 až E62-A62 jsou součástí levé strany. V okruzích jsou použity přepážky, které jsou na Obr. 25 vyznačeny žlutě.

Tab. 3 Rozměry temperačních kanálů

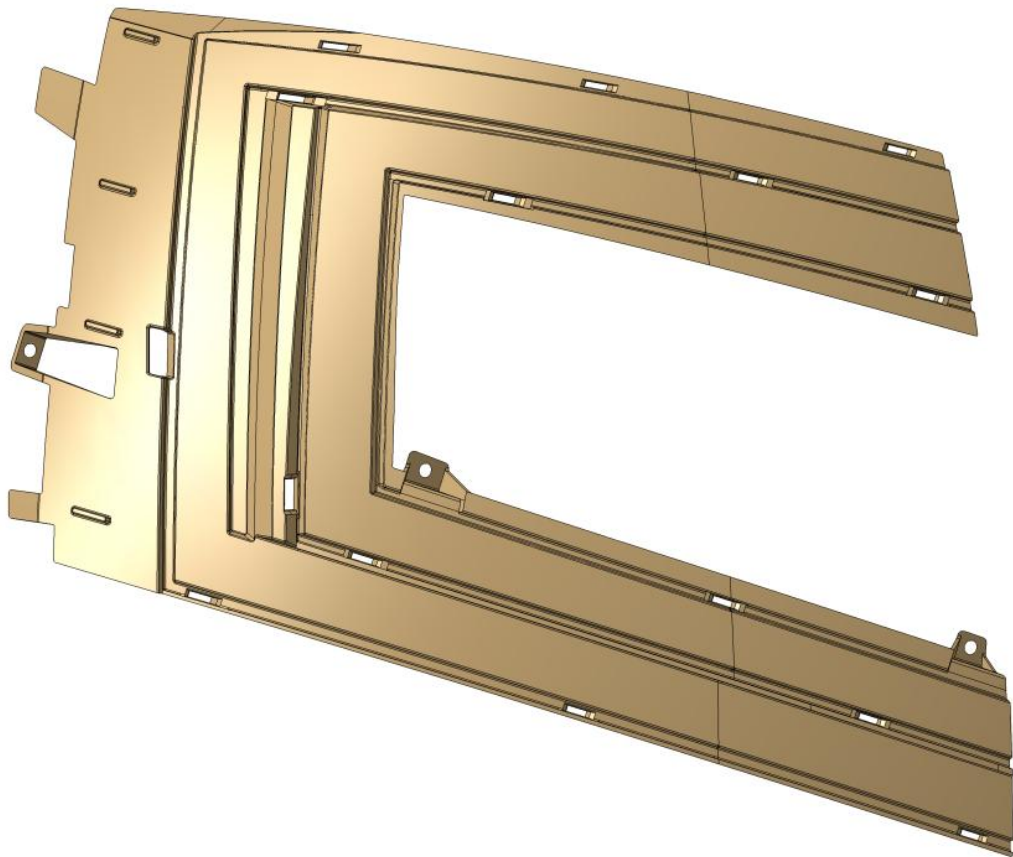
označení kanálu	rozměr kanálu	rozměr přepážky
E10-A10	Ø12mm, Ø8mm	x
E11-A11	Ø12mm	Ø18,5mm
E12-A12	Ø12mm	Ø18,5mm
E13-A13	Ø12mm	x
E60-A60	Ø12mm	Ø18,5mm, Ø23,5mm
E61-A61	Ø12mm	Ø18,5mm
E62-A62	Ø12mm	x



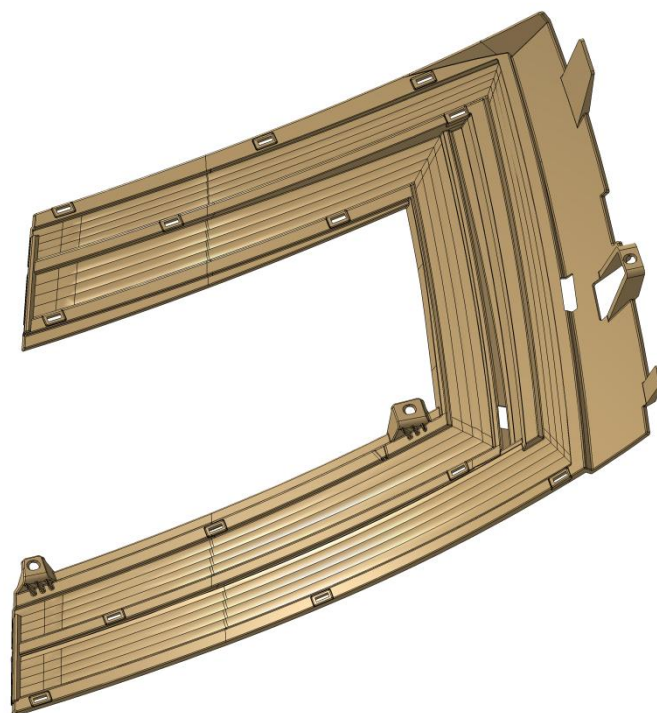
Obr. 25 Temperační kanály levé a pravé strany formy

## 9 VÝROBEK

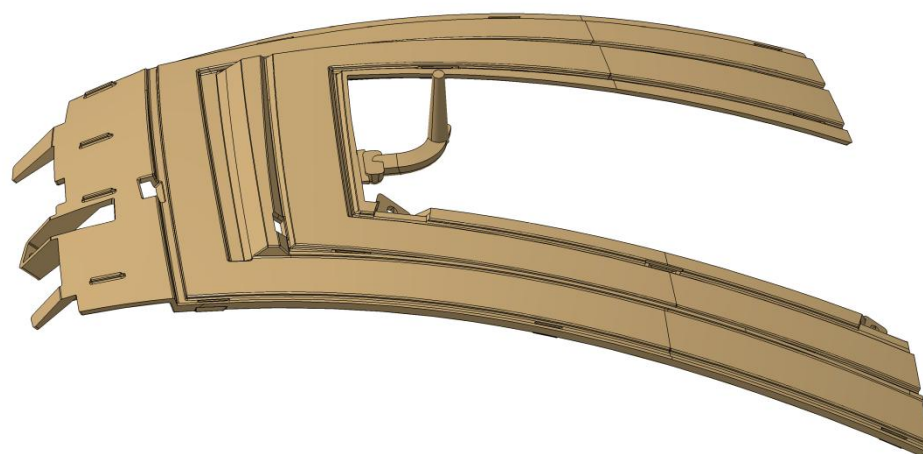
Vstřikovaný výrobek je rámeček, který tvoří jeden z mnoha dílů tvořící sestavu zadního světlometu automobilu. Jedná se o pohledový díl, na který se ještě připevňují další díly světlometu. Materiál je polykarbonát. Díl je namáhán na otřesy při provozu vozidla a rovněž je extrémně namáhán na ultrafialové záření od slunečního svitu. Důležitá je barevná stálost a rovněž výdrž v extrémních podmínkách. Automobil a jeho díly musí bez problému zvládat počasí například na rovníku, ale i v severských státech. Základní rozměr výrobku je 185 x 302mm. Objem výrobku bez studeného vtokového kanálu je 96,4cm<sup>3</sup> se studeným vtokovým kanálem 98,92 cm<sup>3</sup>. Hmotnost výrobku bez studeného vtokového kanálu je 115g.



Obr. 26 Přední část vstřikovaného výrobku



*Obr. 27 Zadní část vstříkovaného výrobku*



*Obr. 28 Výrobek se studeným vtokovým kanálem s bočním vtokem*

## 10 VSTUPNÍ PARAMETRY

### 10.1 Vstřikovací stroj

Pro výrobu vstřikovacího výrobku byl zvolen stroj s následujícími parametry.

*Tab. 4 Parametry vstřikovací stroje*

Průměr šneku	80mm
Maximální hydraulický tlak	18MPa
Maximální vstřikovací tlak	182,9MPa
Maximální uzavírací síla	6500t

### 10.2 Materiál vstřikovaného výrobku

Materiál byl v zadání dán a jedná se o PC – polykarbonát. Teplota formy byla zadána 120°C z doporučeného rozmezí v Tab. 7. Teplota taveniny zadána na hodnotu 320°C. Teplota okolí je dána 25°C.

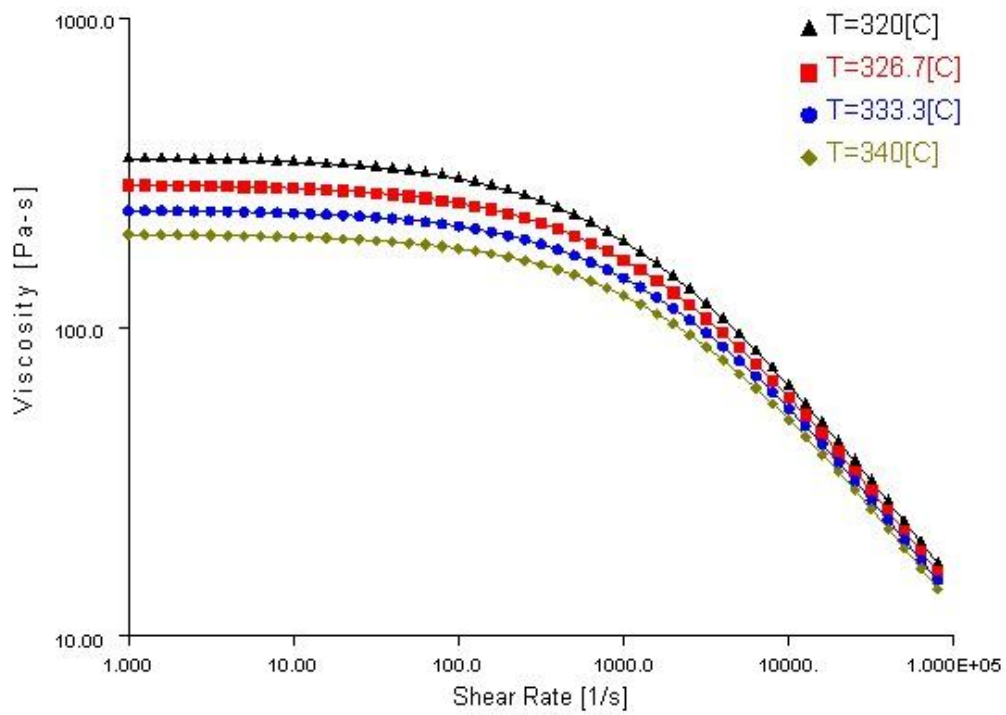
*Tab. 5 Název materiálu*

Název materiálu	Polykarbonát (PC)
Hustota taveniny	1,0232 g/cm <sup>3</sup>
Hustota pevné látky	1,1915 g/cm <sup>3</sup>

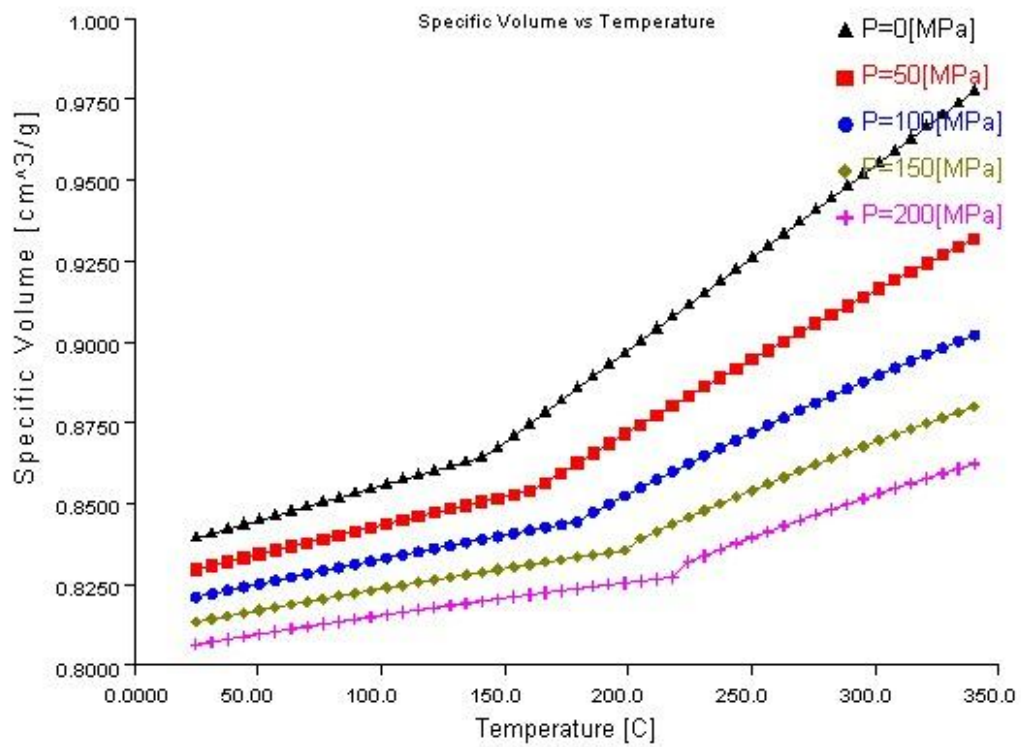
*Tab. 6 Doporučené hodnoty materiálu při vstřikovacím cyklu*

Teplota formy	100 - 120°C
Teplota taveniny	320 - 340°C
Doporučené maximální smykové napětí	0,5MPa
Doporučená maximální smyková rychlost	40 0001/s
Maximální teplota taveniny	380°C
Vyhazovací teplota	138°C





Obr. 29 Graf závislosti viskozity na smykové rychlosti



Obr. 30 pvT diagram

Tab. 7 Mechanické vlastnosti PC

Modul pružnosti	2 400MPa
Poissonovo číslo	0,38
Modul pružnosti ve smyku	900MPa

### 10.3 Materiál formy

Materiál formy byl zvolen dle zadání ocel P20, ČSN 19520, DIN 1.2311

Tab. 8 Vlastnosti oceli P20

Hustota	7,8g/cm <sup>3</sup>
Tepelná kapacita	460J/kgK
Tepelná vodivost	29W/mK
Modul pružnosti	200 000MPa
Poissonovo číslo	0,33

### 10.4 Procesní podmínky

Tab. 9 Rychlost šneku versus poloha šneku

	pozice šneku [mm]	rychlost šneku [mm/s]
1	85	35
2	78	35
3	60	25
4	18,9	30

Tab. 10 Vstřikovací tlak versus čas

	čas [mm]	vstřikovací tlak [%]
1	0	50

2	4	50
3	2	35

*Tab. 11 Nastavení chlazení*

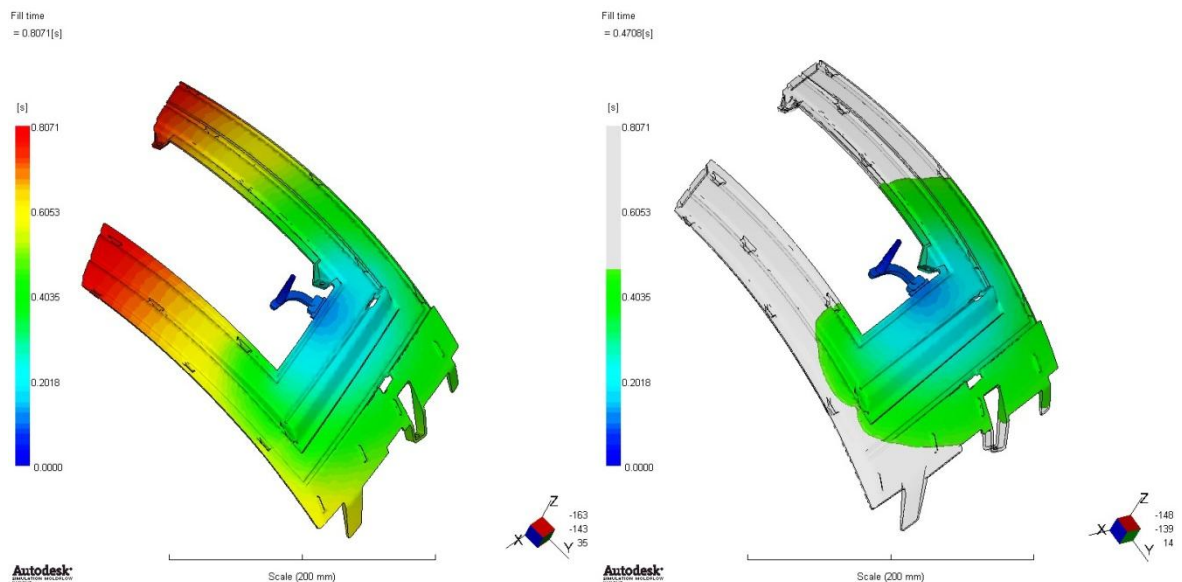
Teplota formy	120°C
Teplota taveniny	320°C
Teplota okolí	25°C
Doba cyklu	28,47s

## 11 VYHODNOCENÍ ANALÝZ

### 11.1 Analýza toku (Flow)

#### 11.1.1 Doba plnění (Fill time)

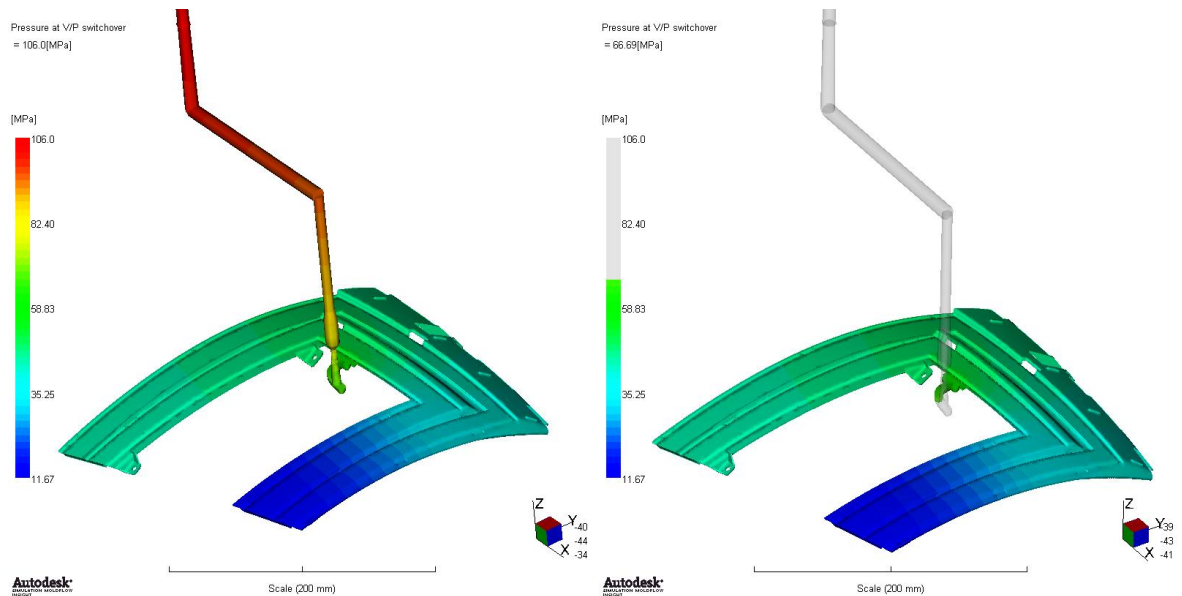
Doba plnění zobrazuje v pravidelných intervalech barevné vrstevnice, které reprezentují čas potřebný k zaplnění určitého místa v dutině formy. Nedostřiknutá místa se zobrazují jako průhledná, které se v tomto případě nevyskytla. Je patrné, že na pravé části na konci plnění dochází rychleji k zaplnění než na levé straně, což by mohlo mít za následek přehušnění a následnému vzniku deformací, ale v konečném důsledku se jedná o zanedbatelný rozdíl přibližně v jedné desetíně sekundy. Doba potřebná k zaplnění dutiny je 0,8071s.



Obr. 31 Analýza doba plnění

#### 11.1.2 Tlak na konci fáze plnění (Pressure at V/P switchover)

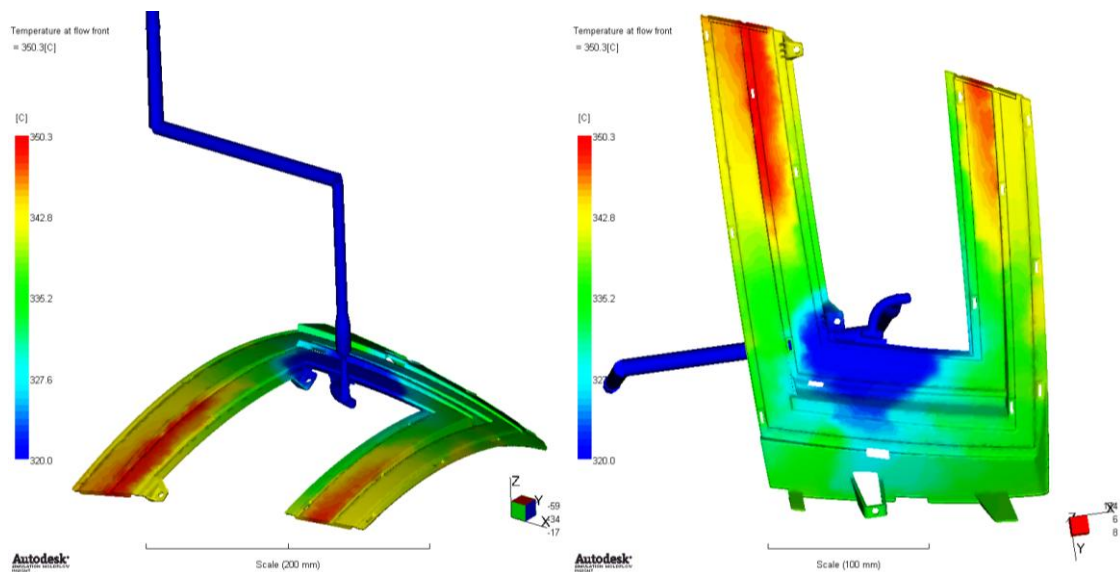
Tlak na konci fáze plnění má nejvyšší hodnotu 106MPa. Což je hodnota, kterou vstříkovačící stroj s dostatečnou rezervou zvládne, jelikož hodnota maximálního vstříkovačícího tlaku je 182,9MPa. Na Obr. 32 je vidět jaký tlak je aktuálně ve vtokovém systému v momentě přepnutí na dotlak.



Obr. 32 Tlak na konci plnění

### 11.1.3 Teplota na čele taveniny (Temperature at flow front)

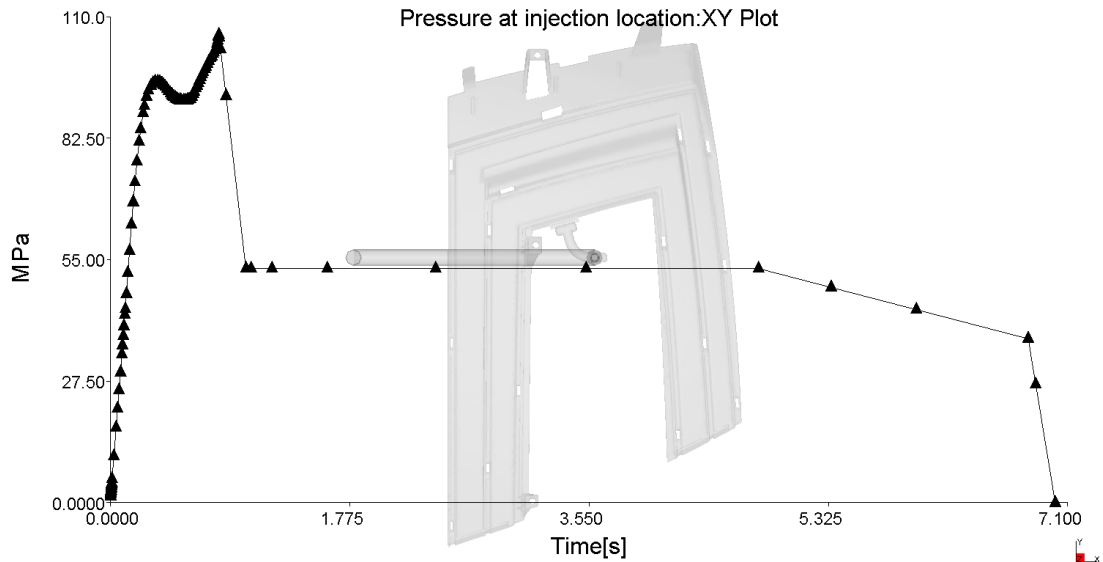
Teplota na čele taveniny nesmí přesáhnout maximální teplotu taveniny tedy  $380^{\circ}\text{C}$ . V tomto případě je maximální teplota taveniny  $350,3^{\circ}\text{C}$ , což je hodnota která nepřesahuje maximální teplotu taveniny. Pokud se provede srovnání s doporučenou zpracovatelskou teplotou taveniny, která má maximální hodnotu  $340^{\circ}\text{C}$  je tedy o  $10^{\circ}\text{C}$  vyšší, což je zanedbatelný rozdíl. Pokud by došlo k překročení maximální teploty taveniny je vhodné řešení prodloužit čas určený pro vstřikování. Zamezí se tím problému zpožděného tavení.



Obr. 33 Analýza teploty proudění

### 11.1.4 Tlak v místě vstřikování (Pressure at injection location)

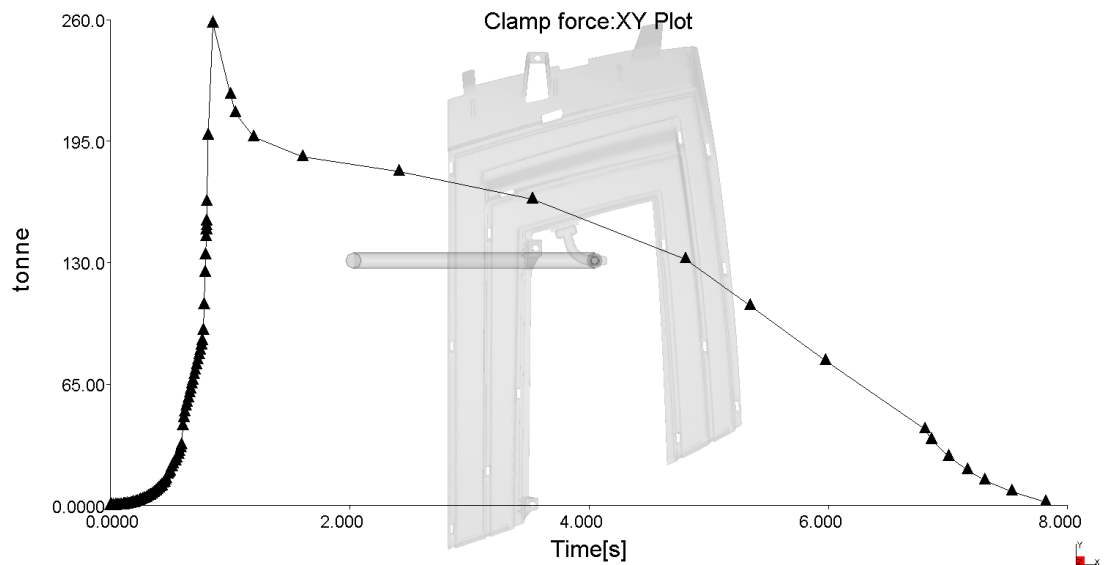
Tato analýza zobrazuje tlak v různých časech, během fáze vstřikovacího cyklu. Nejvyššího hodnota vstřikovacího tlaku je 106MPa. Hodnota maximálního vstřikovacího tlaku stroje 182,9MPa nebyla překročena. Proto dle této analýzy je výběr zadaného stroje v pořádku.



Obr. 34 Tlak v místě vstřikování

### 11.1.5 Potřebná uzavírací síla (Clamp force)

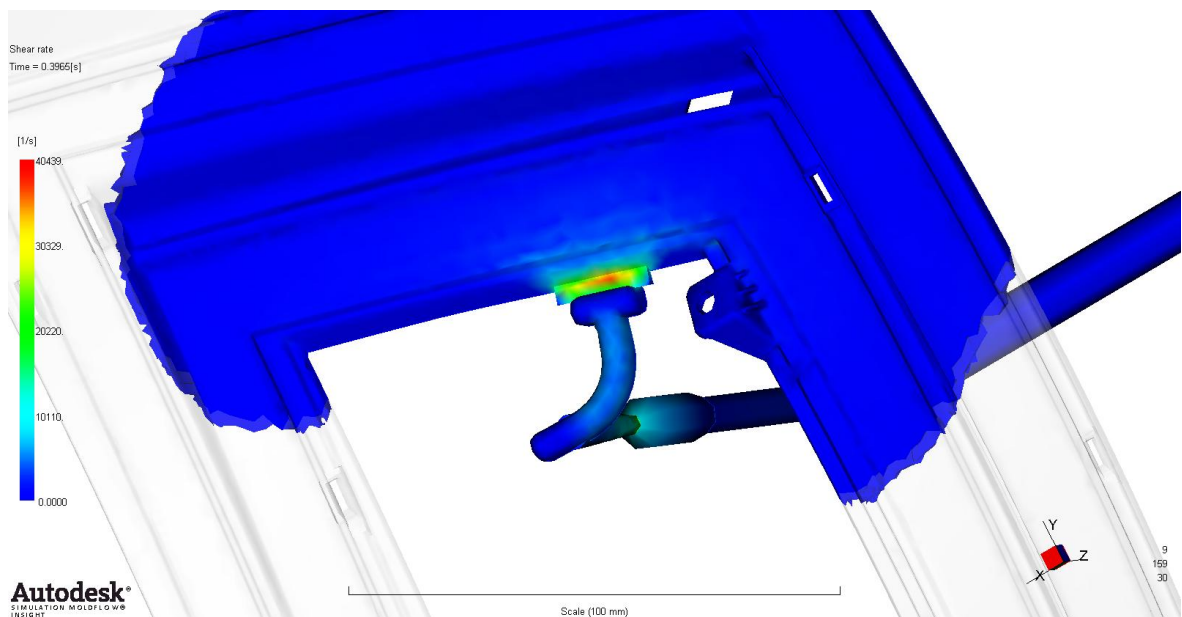
Tento graf nám udává, jaká je potřebná uzavírací síla v závislosti na čase. Maximální hodnota uzavírací síly vzroste až na hodnotu 257,9t. Jelikož je analyzován jen jeden výrobek, ale forma je koncipována na dva výrobky je nutné tedy tuto uzavírací sílu zdvojnásobit na 515,8t. Koeficient bezpečnosti pro limit stroje je maximálně 80% využití uzavírací síly. Maximální uzavírací síla použitého stroje 6500t. Využili jsme tedy přibližně jen 8% kapacity uzavírací síly stroje. Což je zjevné, že použitý stroj z hlediska potřebné uzavírací síly je předimenzován. Doporučení je zvolit stroj s nižší maximální hodnotou uzavírací síly.



Obr. 35 Uzavírací síla v čase

### 11.1.6 Smyková rychlost (Shear rate)

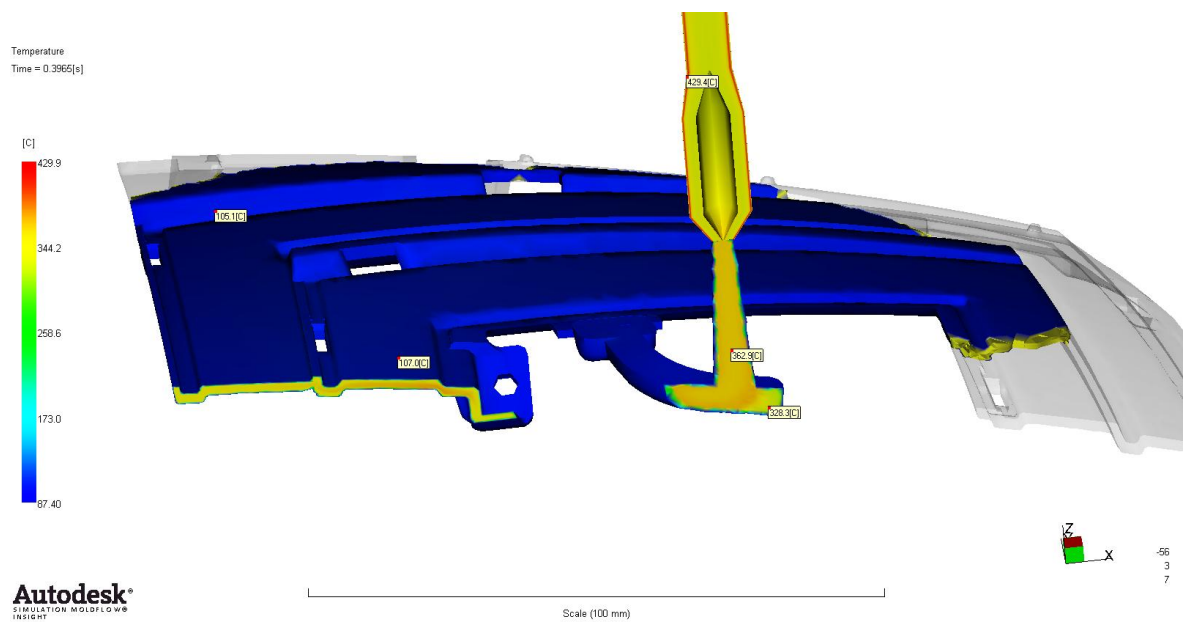
Nejvyšší dovolená smyková rychlost materiálu je 40 000l/s. Z analýzy je patrné, že v čase přibližně 0,4s dochází k překročení smykové rychlosti na hodnotu 40 439l/s. Hodnota byla překročena přibližně o 1%, což je zanedbatelná hodnota. Jedná se o místo zobrazeno na Obr. 36, kde je spojení mezi studeným vtokovým kanálem a vstřikovaným výrobkem. Ke snížení smykové rychlosti docílíme snížením rychlosti vstřikování.



Obr. 36 Smyková rychlost v čase 0,4s

### 11.1.7 Teplota (Temperature)

Maximální teplota taveniny je stanovena na 380°C. Na Obr. 37 lze vidět, že na stěně trysky je teplota taveniny až 429,9°C. Což může mít nežádoucí vliv na vlastnosti výrobku. Náprava by mohla být ve formě úpravy vtokového systému. Zvětšením nebo zmenšením průřezu vtokového kanálu.

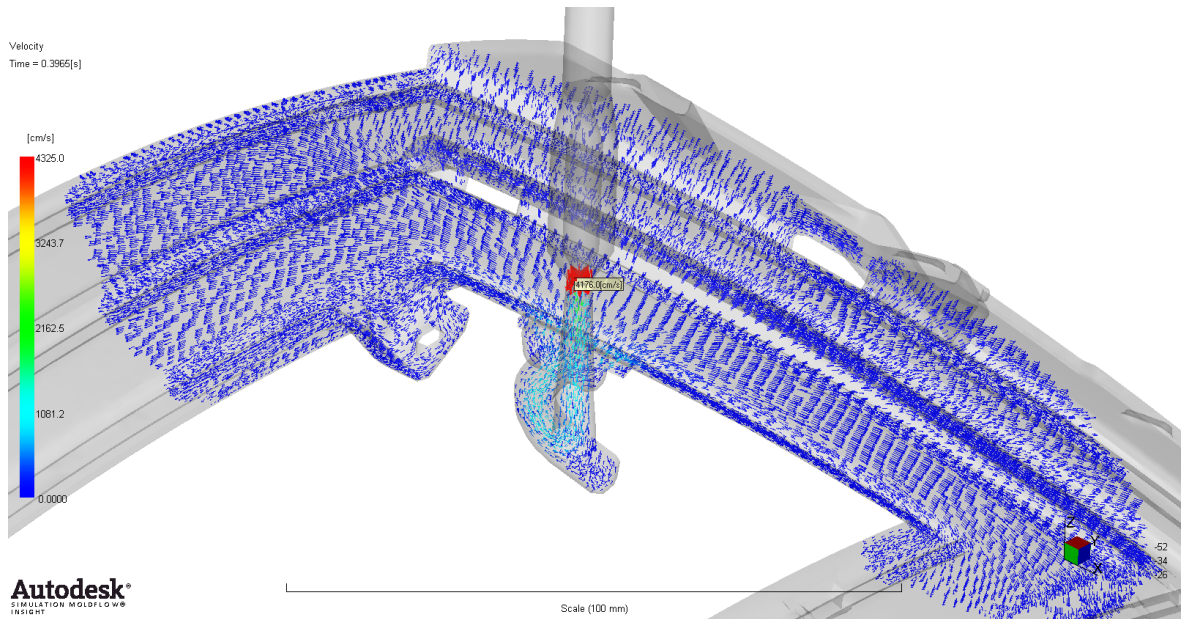


Obr. 37 Teplota v řezu v čase 0,4 s

### 11.1.8 Rychlost proudění taveniny (Velocity)

Nejvyšší rychlost proudění 4325cm/s byla zjištěna v místě, kde dochází ke kontaktu horké vtokové trysky a studeného vtoku. Z analýzy lze usoudit, že nedochází ke zpětnému toku.

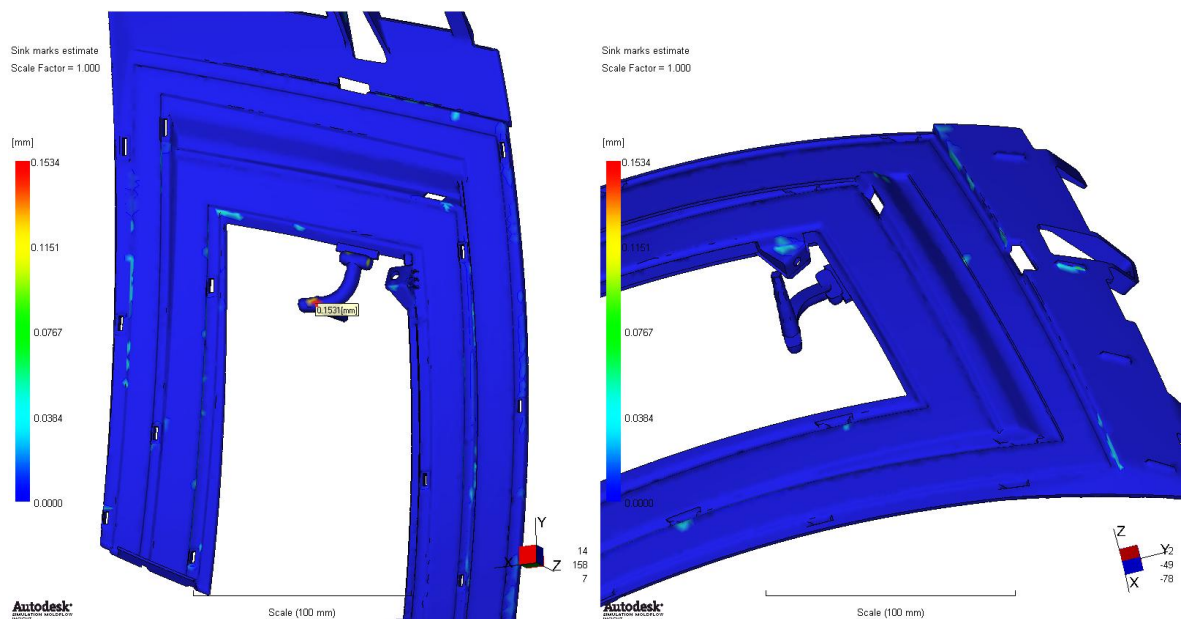




Obr. 38 Rychlost proudění taveniny

### 11.1.9 Propadliny (Sink marks estimate)

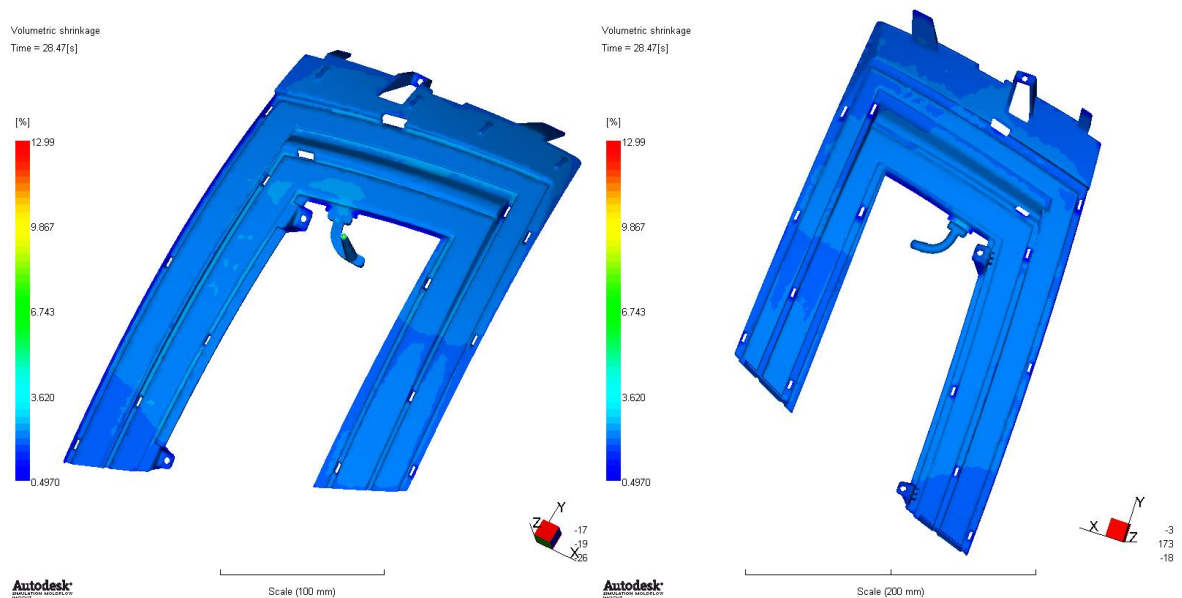
Propadliny nejsou vadou struktury, ale spíše se jedná o vizuální vadu. Pro konečného zákazníka se jedná o vadu na první pohled viditelnou. Propadliny se zpravidla objevují u žebírek a vnitřních zaoblení. Nejvyšší hodnota propadliny 0,1534mm se vyskytuje ve spodní části studeného vtoku. V samotném výrobku se propadliny vyskytují maximálně do hodnoty přibližně 0,05mm.



Obr. 39 Propadliny

### 11.1.10 Objemové smrštění (Volumetric shrinkage)

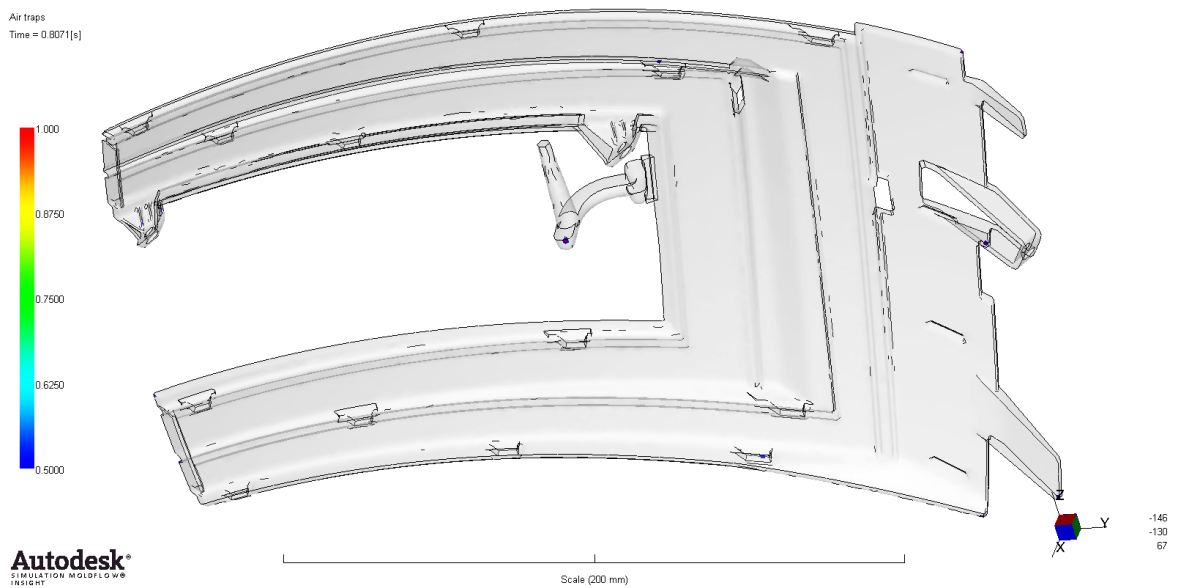
Objemové smrštění vyjadřuje procentuální zvýšení hustoty na konci fáze zhuštění až do ochlazení na referenční teplotu 25°C. Maximální průměrné objemové smrštění má hodnotu 12,99%. Takto vysoká hodnota se objevuje jen ve studeném vtokovém kanálu. Objemové smrštění by mělo být jednotné přes celou součást ke snížení vzniků deformací. Záporná hodnota by znamenala roztažnost materiálu, ke které nedošlo. Dochází pouze k propadlínám.



Obr. 40 Objemové smrštění

### 11.1.11 Vzduchové kapsy (Air traps)

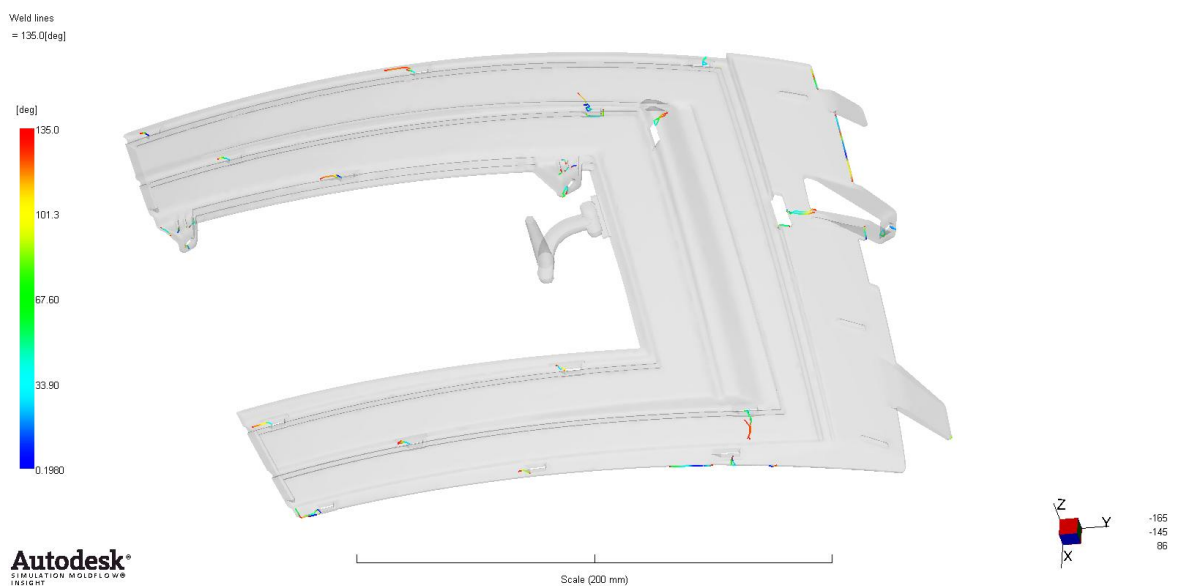
Vzduchová kapsa vzniká tam, kde tavenina zablokuje a stlačí vzduch nebo plyn mezi dvěma nebo více sbíhajícími se proudy taveniny. Výsledkem je obvykle malý otvor nebo kaz na povrchu součásti. V extrémních případech se teplota stlačeného vzduchu zvýší na tolik, že plast poškodí nebo dokonce spálí. Vzduchové kapsy se dle Obr. 41 objevují ve studeném vtokovém kanálu. Ve zbytku výrobku se nevyskytují.



Obr. 41 Vzduchové kapsy

### 11.1.12 Studené spoje (Weld lines)

Studené spoje vznikají v důsledku střetu ochlazených čel taveniny. V tomto případě studené spoje dle Obr. 42 můžou vznikat na povrchu součásti, což má za následek vytvoření pohledových vad. Může dojít ke vzniku různých čar, drážek nebo barvy na povrchu součásti. V místech studeného spoje dále může docházet k lámání výrobku, což je nepřipustné v oblastech zvýšeného namáhání. Aby nedošlo ke vzniku studených spojů, je vhodné přemístit vtok nebo jinak jej optimalizovat, ale s ohledem na možný vznik jiných vad.

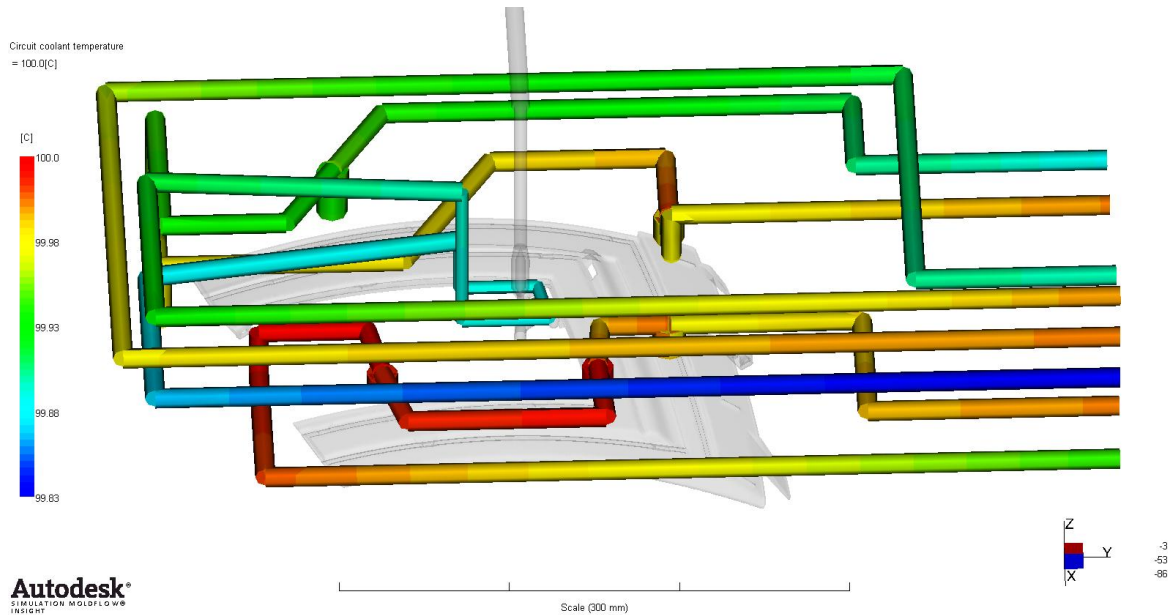


Obr. 42 Studené spoje

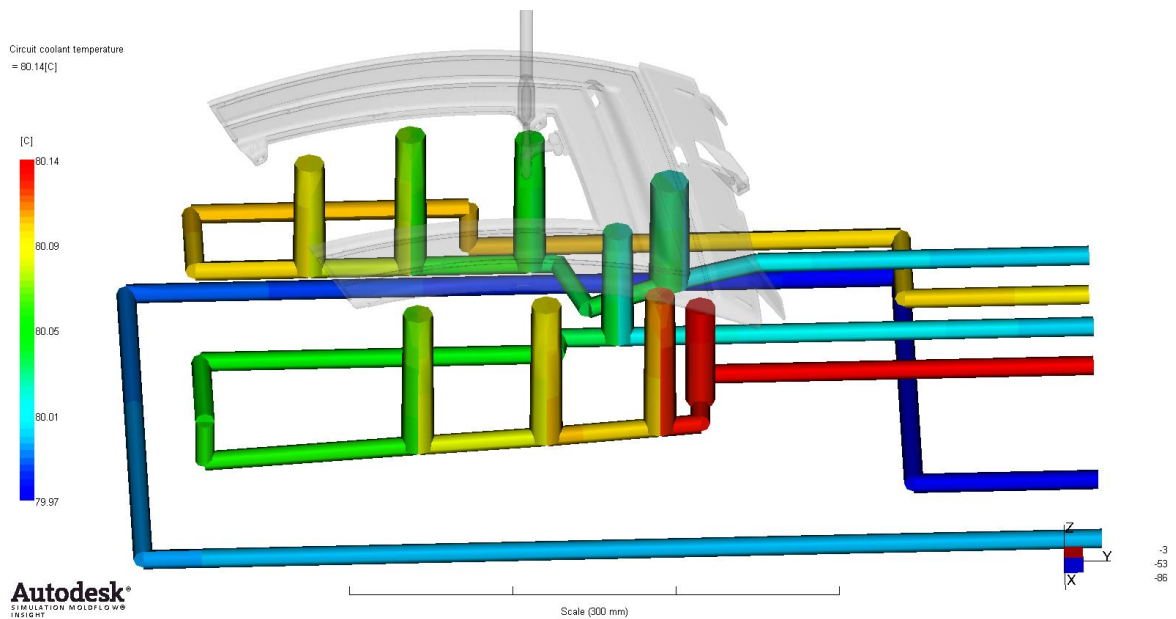
## 11.2 Analýza chlazení (Cool)

### 11.2.1 Teplota temperačních okruhů (Circuit coolant temperature)

Teplota vody v temperačních kanálech na pravé straně formy je 100°C. Teplota vody v temperačních kanálech na levé straně formy je 80°C. Rozdíly na vstupu a výstupu v jednotlivých okruzích jsou zanedbatelné v desetínách stupních celsia.



Obr. 43 Temperační okruhy pravé strany formy



Obr. 44 Temperační okruhy levé strany formy

### 11.2.2 Rychlost proudění v okruzích chlazení

Rychlost proudění temperačního média (vody) uvnitř temperačního kanálu je u jednotlivých okruhů vypsána v Tab. 12.

*Tab. 12 Rychlost proudění v jednotlivých okruzích*

E10-A10	28,53l/min
E11-A11	38,88l/min
E12-A12	39,99l/min
E13-A13	62,37l/min
E60-A60	37,89l/min
E61-A61	35,22l/min
E62-A62	62,10l/min

### 11.2.3 Reynoldsovo číslo

Reynoldsovo číslo charakterizuje chování proudící kapaliny. Podle jeho hodnoty lze usuzovat, zda bude proudění laminární nebo turbulentní. Pro různé typy potrubí a různé typy kapalin se stanovují experimentálně kritické hodnoty Reynoldsova čísla. Je-li hodnota Reynoldsova čísla nižší než kritická hodnota proudění je laminární. Je-li hodnota vyšší, proudění je turbulentní. U kruhových průřezů je kritická hodnota 2000. Pro dosažení ideálního turbulentního toku temperačního média je potřeba dosáhnout minimálně Reynoldsova čísla hodnoty 10000, jelikož průřez kanálu není kruhový. Což všechny okruhy bez problému splňují. V okruhu E10-A10 dojde ke zvýšení čísla z důvodu zúžení průřezu kanálu. V kanálech s přepážkami dochází v místě těchto přepážek ke snížení Reynoldsova čísla. Konkrétní hodnoty jednotlivých okruhů jsou vypsány v Tab. 13.

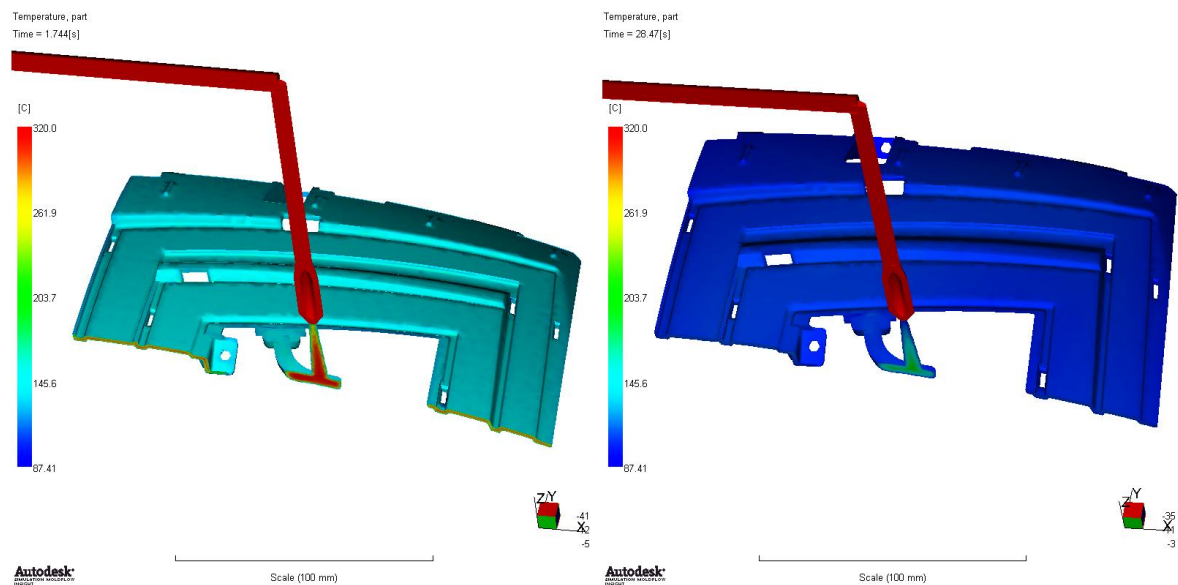
*Tab. 13 Reynoldsovo číslo v jednotlivých okruzích*

E10-A10	177700 - 266500
E11-A11	192100 – 242200
E12-A12	197600 - 249100
E13-A13	388500

E60-A60	117800 – 149600 - 188600
E61-A61	139000 - 175300
E62-A62	309100

#### 11.2.4 Teplota povrchu dílu (Temperature part)

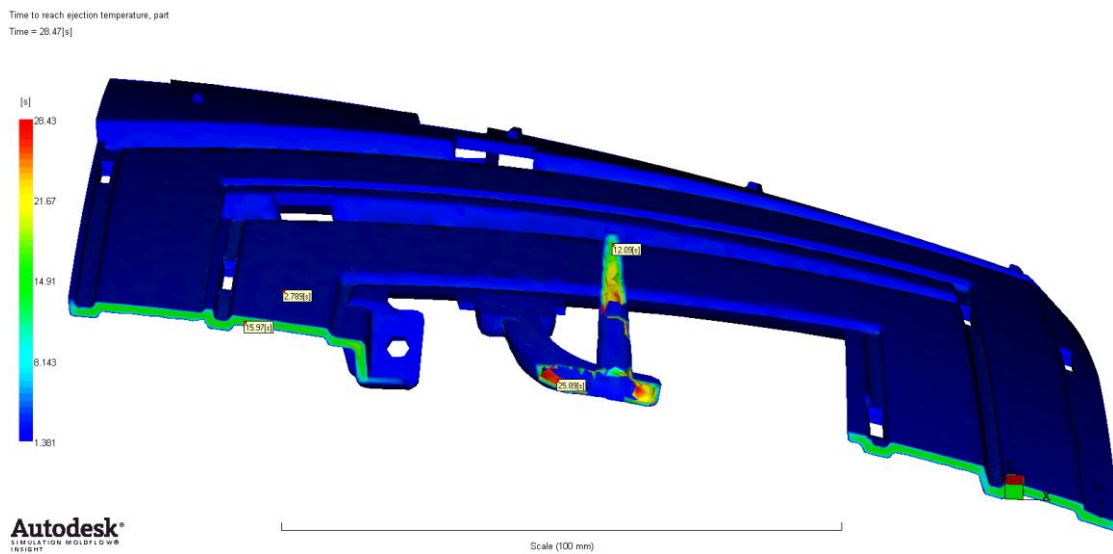
Tato analýza hodnotí, zda temperační kanály rovnoměrně ochlazují povrch dutiny formy. Z Obr. 45 lze vidět, že teplota povrchu je rovnoměrná bez výkyvu teplot. Pokud by tomu tak nebylo docházelo by k deformacím a jiným vadám.



Obr. 45 Teplota dílu

#### 11.2.5 Doba potřebná pro vyhození výrobku (Time to reach ejection temperature)

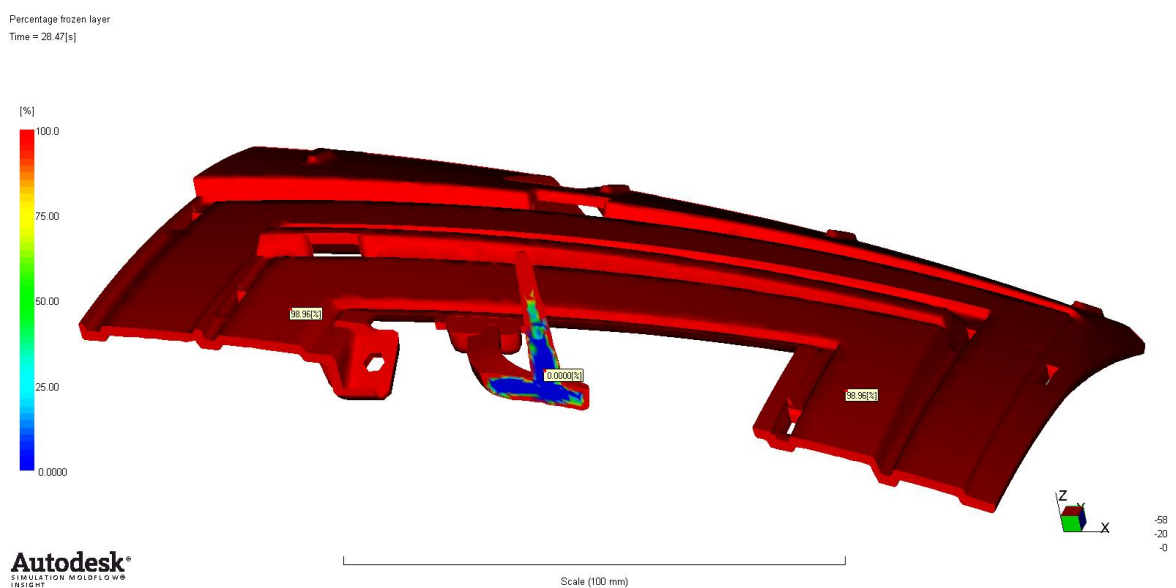
Doba potřebná pro vyhození výrobku z dutiny formy je 28,43s. Doba zadaná byla 28,47s. Což jsou hodnoty prakticky totožné.



Obr. 46 Doba potřebná pro vyhození výrobku

### 11.2.6 Procento zamrznutých vrstev (Percentage frozen layer)

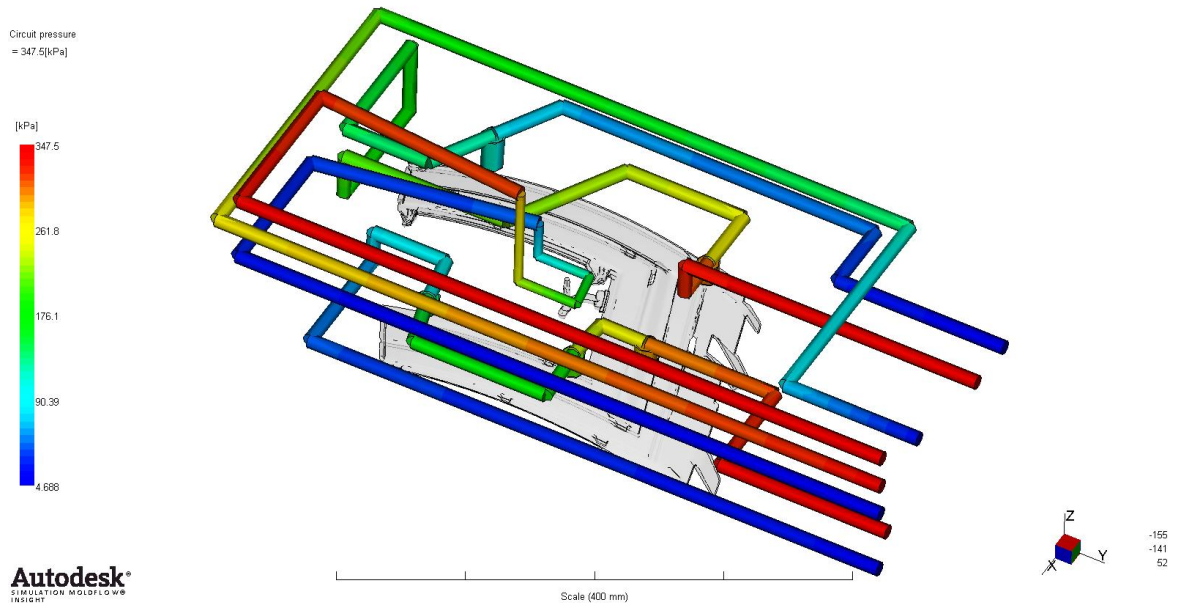
Před vyhozením výrobku procento zamrznutých vrstev by mělo mít hodnotu 100% na povrchu výrobku, aby nedošlo k deformaci výrobku při odformování výrobku z dutiny formy. Nejdůležitější je dodržení této hodnoty v místě výskytu vyhazovačů. V řezu vidíme, že vstřikovaný výrobek tuto podmínku splňuje až opět na studený vtokový kanál, kde ještě vrstvy uvnitř nestihli zamrznout (zatuhnout), což vyhození nebrání, jelikož povrch studeného vtokového kanálu je dostatečně zamrznut.



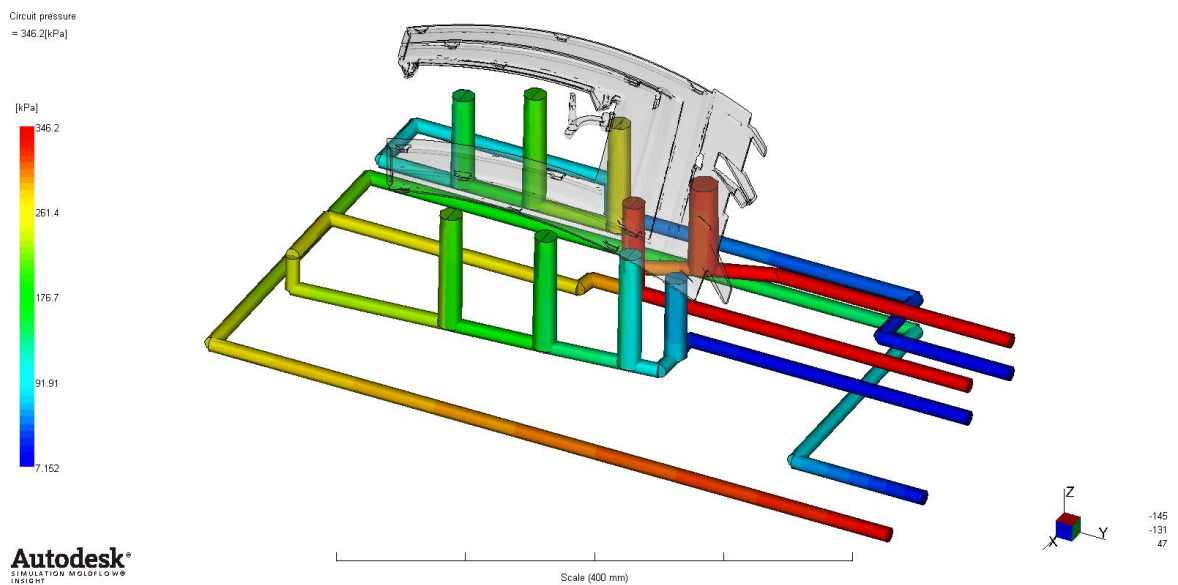
Obr. 47 Procento zamrznutých vrstev

### 11.2.7 Tlak v temperačních kanálech (Circuit pressure)

Na Obr. 48,49 lze vidět, že na vstupu temperačního média je tlak nejvyšší až přibližně 350kPa a na výstupu klesne až na pouhé 2% původního tlaku. Tento tlakový spád je v pořádku.



Obr. 48 Tlak v temperačních kanálech na pravé straně formy

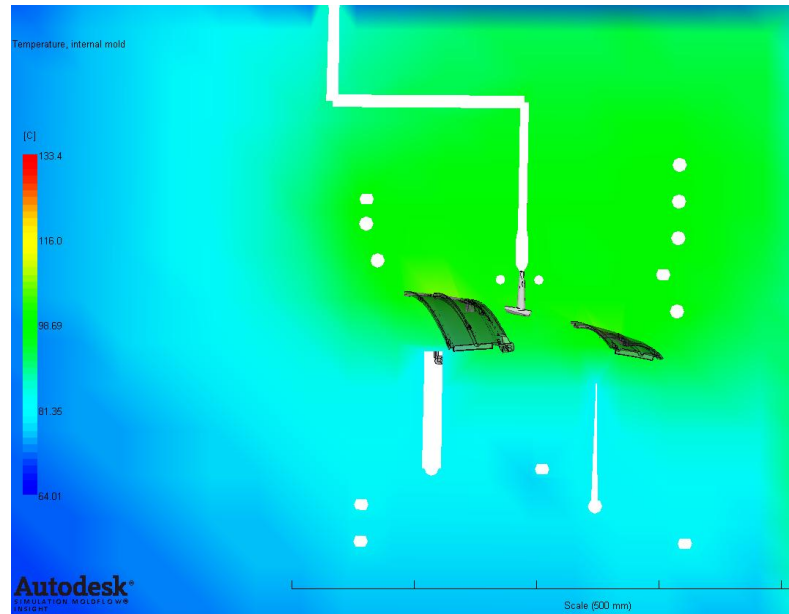


Obr. 49 Tlak v temperačních kanálech na levé straně formy



### 11.2.8 Teplota formy v řezu rovinou ZX

Lze vidět rozdíl teplot mezi pravou a levou stranou formy. Což je zcela normální jev jelikož součástí pravé strany je vtokový systém, který tuto část zahřívá a rozdílné jsou i teploty chladicího média. Dále lze vidět, že teplota formy je rovnoměrná bez žádných výkyvů. Chlazení je tedy rovnoměrně rozptýleno.



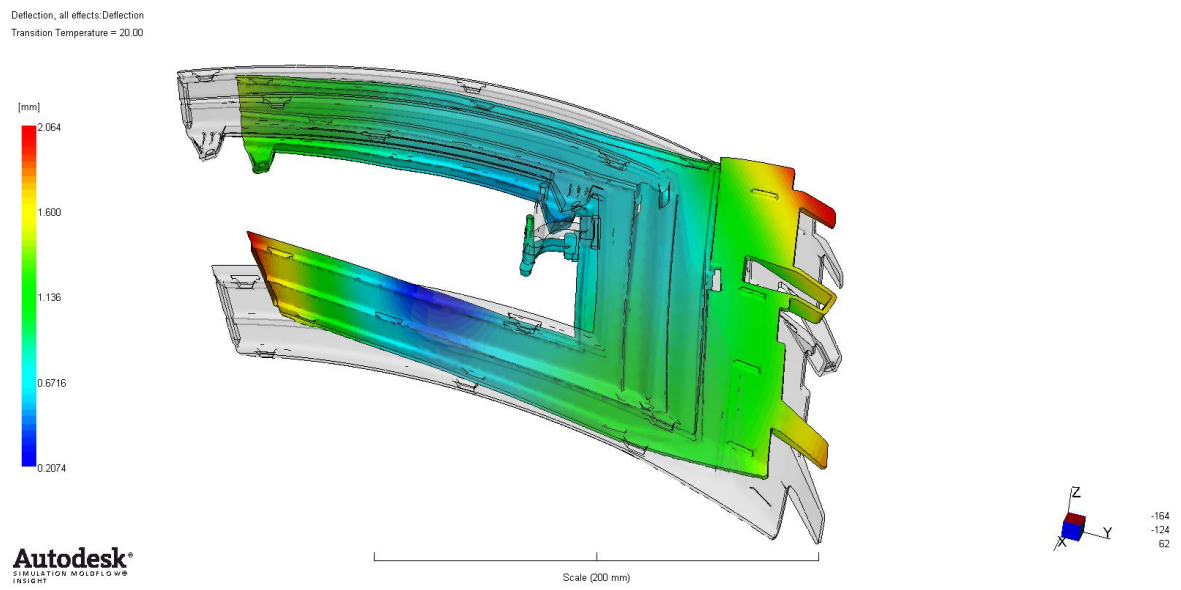
Obr. 50 Teplota formy v řezu rovinou ZX

### 11.3 Rozměrové odchytky

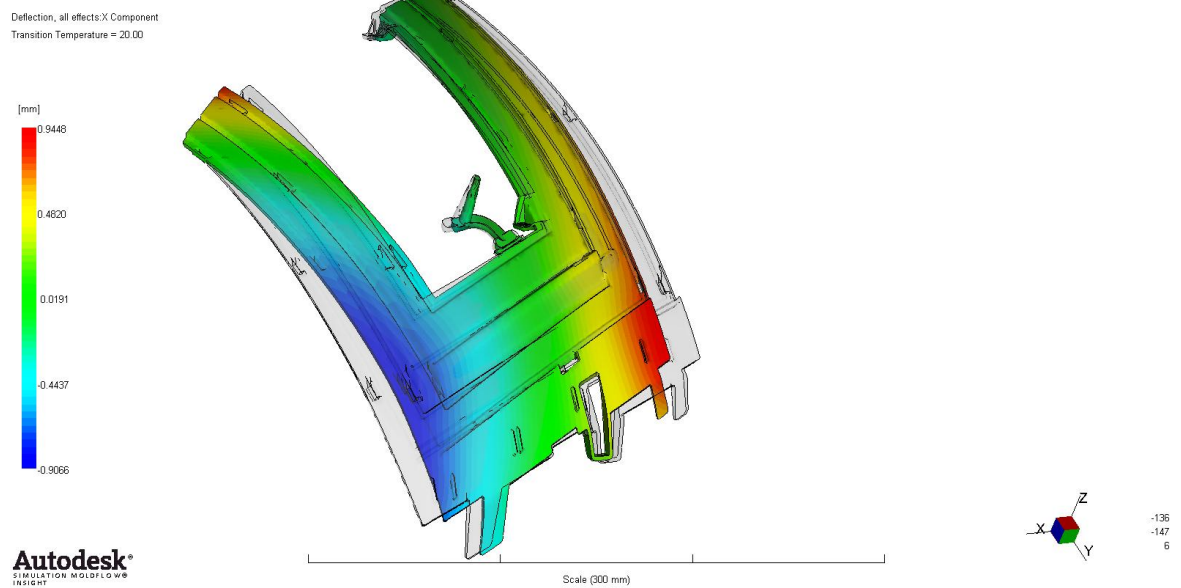
Hodnota největší celkové rozměrové odchytky (ve všech směrech) je 2,064mm. Výsledek zobrazuje deformace v každém bodě součásti. Rozměrové odchytky jsou vypočítány dle techniky Best Fit (optimálního proložení). Aby odchytky od rozměru byly patrné na Obr. 51-54 bylo nastaveno měřítko 20:1.

Tab. 14 Maximální hodnoty deformací ve směrech X, Y, Z

X	0,9448mm
Y	1,427mm
Z	1,949mm

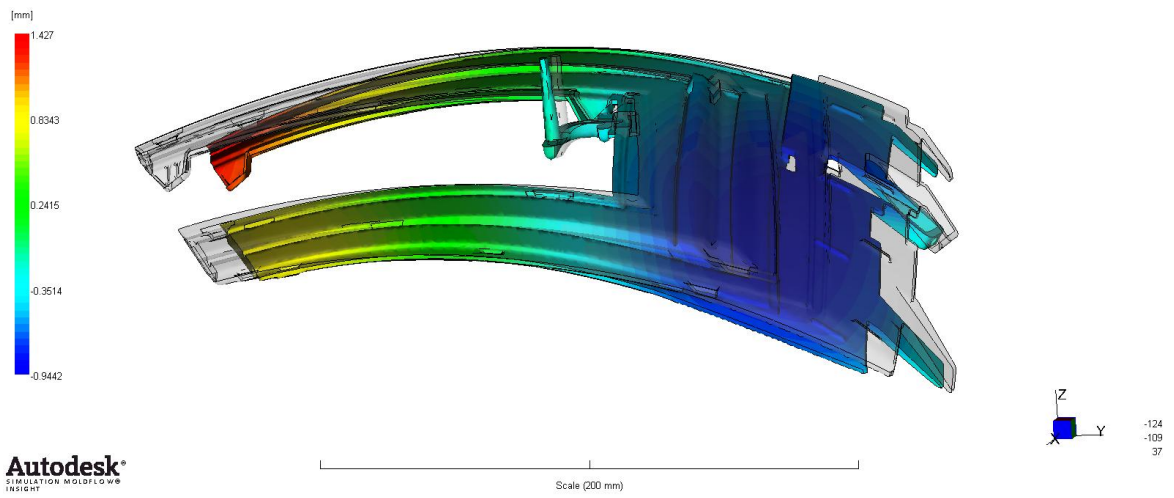


Obr. 51 Hodnoty rozměrových odchylek ve všech směrech



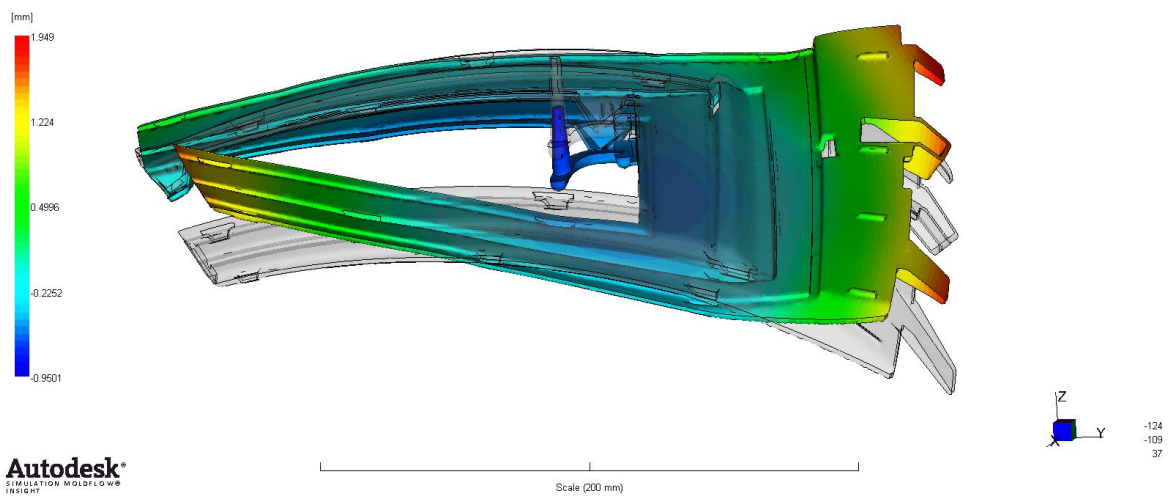
Obr. 52 Hodnoty rozměrových odchylek ve směru X

Deflection, all effects: Y Component  
Transition Temperature = 20.00



Obr. 53 Hodnoty rozměrových odchylek ve směru Y

Deflection, all effects: Z Component  
Transition Temperature = 20.00



Obr. 54 Hodnoty rozměrových odchylek ve směru Z

## 12 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Vstřikovací forma je konstruována pro výrobu rámečku, který tvoří jeden z mnoha konstrukčních dílů zadního světlometu automobilu. Materiál byl zadán polykarbonát, který dle analýz splňuje požadavky a nedochází k žádným extrémním vadám v dutině formy při vstřikování. Tento díl musí bez problému zvládat otřesy způsobené pohybem automobilu a rovněž působení ultrafialového záření od slunečního svitu. Velice důležitá je barevná stálost a rovněž výdrž v extrémních podmínkách. Díl použitý na automobilu musí bez problému zvládat počasí například na rovníku, ale i v severských státech. Rozměr výrobku je 185 x 302mm. Jestli tyto podmínky výrobek bude splňovat i několik let v provozu ukáže až čas.

Forma je dvojnásobná, dostatečně tuhá a je řešena dvoudeskovým systémem. To znamená, že bude odolávat bez problému vstřikovacím tlakům a uzavírací síle. Převaha formy je řešena dvěma přepravními oky a v dělicí rovině je zajištěna zajišťovačem nástrojů na obou stranách, což je plně dostačující. Navíc je opatřena pro transport i podpurnými deskami na spodní části formy, aby nedošlo k poškození.

Teplota formy byla stanovena na hodnotu 120°C. Teplota taveniny 320°C. Okolní teplota byla zadána hodnotou 25°C. Maximální vstřikovací tlak stoje je 182,9MPa.

Vtok je zde řešen kombinací horkého a studeného vtoku. Z hlediska úspory materiálu je vhodným řešením vyvarovat se studenému vtokovému ústí, ale z důvodu toho, že je na prvním místě eliminovat v místě vtokového ústí vady nejen pohledové, je zde konec vtoku řešen studeným vtokovým ústím.

Z důvodu složité sítě výrobku se analýzy vyhodnocují v simulačním programu Moldflow jen z jedné poloviny formy. Počítačové vybavení ve škole neumožňovalo při zachování dostatečné kvality sítě výrobku, provedení kompletního provedení tedy dvojnásobné formy. To znamená, že analýza vyhodnocuje jeden výrobek.

Z analýzy plnění je vidět, že dochází k úplnému zaplnění dutiny formy. Je patrné, že na koncích jsou rozdílné časy zaplnění, rozdíl v jedné desetíně sekundy je rozdíl zanedbatelný. Doba potřebná pro zaplnění dutiny je menší než jedna sekunda.

Tlak na konci fáze plnění má nejvyšší hodnotu 106MPa. To je hodnota, kterou vstřikovací stroj s dostatečnou rezervou zvládne, jelikož maximální hodnota vstřikovacího tlaku je 182,9MPa.

Teplota na čele taveniny nesmí přesáhnout maximální teplotu taveniny tedy hodnotu 380°C. V tomto případě je maximální teplota taveniny 350,3°C. Tato hodnota tedy nepřekračuje maximální teplotu taveniny. Problém je na stěně trysky kde teplota dosahuje hodnoty až 429,9°C. Což může mít nepříznivý vliv na vlastnosti výrobku. Náprava by mohla být ve formě úpravy systému. Zvětšením nebo zmenšením průřezu vtokového kanálu. Jednodušší variantou pro opravu je zvětšení kanálu. Zmenšování kanálu je technologicky náročnější, jelikož se musí navařovat materiál.

Hodnota potřebná pro uzavření vstřikovací formy je 257,9t. Maximální hodnota vstřikovacího stroje je 6500t. Využitelnost uzavírací síly stroje je jen 8%. Stroj je tedy předimenzován. Způsob řešení je zvolit jiný stroj s nižší maximální uzavírací silou. Volba tohoto stroje mohla být ovlivněna i rozměry formy, kdy stroj s nižší uzavírací silou je koncipován na menší rozměry forem. Další důvod výběru tohoto stroje mohl být, že by tento stroj neměl jiné využití a nežli by se investovalo do nového stroje, ekonomicky výhodnější byla volba stávajícího stroje.

Maximální smyková rychlost je překročena u spojení studeného vtokového ústí a vstřikovaného výrobku. Tuto vadu lze odstranit snížením rychlosti vstřikování anebo zvolením jiného tvaru studeného vtokového ústí. Jedná se, ale o zanedbatelné překročení maximální smykové rychlosti o 1%. Tudíž změna není nutná.

Na výrobku vznikají propadliny, se kterými se musí v konstrukci dutiny formy počítat a v místech, kde analýza zobrazila výskyt, je vhodným řešením změny tvaru nebo zvětšení tloušťky. Jako u každého výrobku vyrobeného vstřikováním i v tomto případě vzniká objemové smrštění, které má hodnotu 12,99%. S touto hodnotou se při konstrukci formy musí dopředu počítat a rozměry dutiny o hodnotu smrštění zvětšit. V tomto případě nedochází k roztažnosti.

Analýza vzniku vzduchových kapes ukázala, že vstřikovaný výrobek není touto vadou ovlivněn. Vzduchové kapsy se vyskytují jen ve studeném vtokovém kanálu.

Další výskyt možných vad nám ukázala analýza studených spojů, kde dle analýzy můžou vzniknout studené spoje i na povrchu součásti, ale jen v omezené míře.

Temperační kanály jsou dle Reynoldsova čísla zvoleny správně, jelikož tavenina uvnitř kanálu proudí turbulentně. Pomocí řezů formy nebyly nalezená místa, která by byla špatně chlazená tedy enormně zatížena ohřevem. Problémem je jen povrch uvnitř horké trysky.

Při konstrukci dutiny formy by se měly brát v potaz rozměrové odchylky.

Při zvážení všech vlastností formy, se celkově forma zdá být konstrukčně řešena v pořádku bez významných chyb. Bohužel všechny použité materiály formy nebyly známy. Vstřikovací stroj, je dle uzavírací síly předimenzován.

## ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo provést zhodnocení vstřikovací formy a vstřikovacího procesu. Rámeček (vstřikovaný výrobek) z materiálu PC - polykarbonát a vstřikovací forma byla rovněž zhodnocena pomocí simulačního programu Autodesk Moldflow 2014. Forma je z konstrukčního hlediska v pořádku. Překročení teploty taveniny uvnitř dutiny formy, je na stěně trysky. Zadaný vstřikovací stroj je zvolen správně až na uzavírací sílu, která je zbytečně velká oproti potřebné uzavírací síle.

Všechny obrazové přílohy jsou vloženy ve vazbě a rovněž uloženy na CD společně s textovou částí diplomové práce. Součástí CD je i analýza v programu Autodesk Moldflow 2014.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] NEUHÄUSL, Ing. Emil. Vady výstřiků – 1. díl: Příčiny vzniku vad a studené spoje. *MM průmyslové spektrum*. roč. 2010, č. 3, s. 58. DOI: 100307.
- [2] ZATLOUKAL, M. přednášky Aplikovaná reologie
- [3] NORDSON: Xalloy [online]. [cit. 2014-02-06]. Dostupné z:  
<http://www.xalloy.com/Product-Injection-Screws>
- [4] HARPER A., Charles. *Handbook of plastic processes*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2006. 743 p. ISBN 978-0-471-66255-6
- [5] STANĚK, M. přednášky T5KF
- [6] LENFELD, P. *Technologie II. -Vstřikování plastů*, Technická univerzita Liberec, Katedra strojírenské technologie. Dostupná z www:  
[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)
- [7] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů: I.díl - Vstřikování termoplastů*. 2.vydání – Brno: Uniplast, 1999. 134s.
- [8] RESS, Herbert. *Mold engineering. 2nd edition*. Munich : Hanser, 2002. 688 s. ISBN 3-446-21659-6.
- [9] MAŇAS, M. přednášky T5SZ
- [10] KREBS, J a kol. *Termoplasty v praxi: praktická příručka pro konstruktéry, výrobce, zpracovatele a uživatele termoplastů*. 5. aktualizované vydání. Praha : Verlag Dashöfer, 1999-2000. 1 CD-ROM. ISBN 80-86229-15-7
- [11] NEUHÄUSL, Ing. Emil. Vady výstřiků – 2. díl: Vady tvaru a rozměrové vady. *MM průmyslové spektrum*. roč. 2010, č. 3, s. 64. DOI: 100406.
- [12] WEATHERING [online]. [cit. 2014-02-06]. Dostupné z:  
<http://www.umgabs.co.jp/en/trouble/weathering.html>
- [13] LENFELD, P. *Technologie II. -Vstřikování plastů*, Technická univerzita Liberec, Katedra strojírenské technologie. Dostupná z www:  
[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)
- [14] SIMULAČNÍ SOFTWARE. [online]. [cit. 2014-02-06]. Dostupné z:  
<http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/aktivity/sw.pdf>
- [15] LUKOVICS, Imrich. *Konstrukční materiály a technologie*. VUT Brno, 1992.



- [16] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů: I.díl - Vstřikování termoplastů*. 2.vydání – Brno: Uniplast, 1999. 134s.
- [17] Fyzikální základy vědy o materiálu [online].[cit. 2006-01-10]. Dostupný z: <http://www.ped.muni.cz/wphy/FyzVla/FMkomplet3.htm/>
- [18] PŘÍPRAVNÉ ZPRACOVÁNÍ PLASTŮ. [online]. [cit. 2014-02-01]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/03.htm#032](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/03.htm#032)
- [19] SUŠENÍ PLASTŮ. [online]. [cit. 2014-02-01]. Dostupné z: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/Intech/Suseni.pdf>
- [20] SCHULER SCIENTIFIC. [online]. [cit. 2014-01-25]. Dostupné z: <http://www.schulersci.com/>
- [21] Technická univerzita v Liberci – Katedra materiálu. Dostupná z www: [http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady\\_kmt\\_magistri/NEkM/NeM%20Kro/](http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_magistri/NEkM/NeM%20Kro/)
- [22] DUCHÁČEK, V. *Polymery, výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. VŠCHT Praha, 1995 ISBN 80-7080-241-3.
- [23] RAM, A. *Fundamentals of Polymer Engineering*. New York: Plenum Press, 1997
- [24] BRYDSON, J.A.: *Flow Properties of Polymer Melts*. London: The Plastics Institute, 1970
- [25] KRAUSSMAFFEI. [online]. [cit. 2014-03-20]. Dostupné z: <http://www.kraussmaffe.com/de/>
- [26] VADY VÝROBKŮ. [online]. [cit. 2014-03-20]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/04-vstrikovani%20plastu/74-vada%20vyrobku.jpg](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04-vstrikovani%20plastu/74-vada%20vyrobku.jpg)
- [27] SMARTPLAST . [online]. [cit. 2014-03-20]. Dostupné z: [http://www.smartplast.cz/data/official/simulation\\_moldflow\\_brozura\\_cz.pdf](http://www.smartplast.cz/data/official/simulation_moldflow_brozura_cz.pdf)

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

PS	Polystyren
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
PC	Polykarbonát
PMMA	Polymethylmetakrylát
$T_m$	Teplota tání
PE	Polyetylen
PP	Polypropylen
PA6	Polyamid 6
$T_g$	Teplota zesklnění
PTFE	Polytetrafluorethylen
ZnO	Oxid zinečnatý
UV	Ultrafialové záření
F	Síla
A	Plocha
$\gamma$	Smyková deformace
$\tau$	Smykové napětí
$\eta$	Smyková rychlost

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Ukázka polymerního materiálu ve formě granulí</i> .....	13
<i>Obr. 2 Rozdělení polymerů</i> .....	14
<i>Obr. 3 Oblast využití u amorfních a semikrystalických termoplastů</i> .....	15
<i>Obr. 4 Halogenový analyzátor vlhkosti [20]</i> .....	17
<i>Obr. 5 Závislost dynamické viskozity tavenin polymerů na smykové rychlosti [18]</i> .....	22
<i>Obr. 6 Vstřikovací stroj firmy ENGEL</i> .....	28
<i>Obr. 7 Popis vstřikovacího stroje</i> .....	29
<i>Obr. 8 Základní rozdělení pásem vstřikovacího šneku</i> .....	30
<i>Obr. 9 Ukázka zakončení vstřikovacího šneku od firmy Nordson Xaloy [3]</i> .....	30
<i>Obr. 10 Vstřikovací jednotka od firmy KraussMaffei [25]</i> .....	31
<i>Obr. 11 Příklad formy pro plastový díl</i> .....	32
<i>Obr. 12 Vstřikovací forma – popis jejich základních částí</i> .....	34
<i>Obr. 13 Kompletní vstřikovací forma v programu Catia</i> .....	34
<i>Obr. 14 Čelní spojení taveniny – primární studený spoj [1]</i> .....	36
<i>Obr. 15 Studený spoj – vrub u amorfního polymeru [1]</i> .....	37
<i>Obr. 16 Diesel efekt – spálené místa [26]</i> .....	38
<i>Obr. 17 Přetoky, otřepy [11]</i> .....	39
<i>Obr. 18 Nedotečení taveniny na boční stěně výstřiku [11]</i> .....	39
<i>Obr. 19 Propadliny (malý dotlak, velká tloušťka) [11]</i> .....	39
<i>Obr. 20 a) před expozicí, b) po 500 hodinách expozice, c) po 1000 hodinách expozice</i> <i>[12]</i> .....	42
<i>Obr. 21 Ukázka výstupu vhodnosti umístění vtoku v Moldflow</i> .....	46
<i>Obr. 22 Uživatelské prostředí Moldflow</i> .....	46
<i>Obr. 23 Desky vstřikovací formy</i> .....	50
<i>Obr. 24 Závěsné otočné oko</i> .....	51
<i>Obr. 25 Temperační kanály levé a pravé strany formy</i> .....	53
<i>Obr. 26 Přední část vstřikovaného výrobku</i> .....	54
<i>Obr. 27 Zadní část vstřikovaného výrobku</i> .....	55
<i>Obr. 28 Výrobek se studeným vtokovým kanálem s bočním vtokem</i> .....	55
<i>Obr. 29 Graf závislosti viskozity na smykové rychlosti</i> .....	57
<i>Obr. 30 pvT diagram</i> .....	57
<i>Obr. 31 Analýza doba plnění</i> .....	60

<i>Obr. 32 Tlak na konci plnění .....</i>	61
<i>Obr. 33 Analýza teploty proudění .....</i>	61
<i>Obr. 34 Tlak v místě vstřikování .....</i>	62
<i>Obr. 35 Uzavírací síla v čase .....</i>	63
<i>Obr. 36 Smyková rychlost v čase 0,4s .....</i>	63
<i>Obr. 37 Teplota v řezu v čase 0,4 s .....</i>	64
<i>Obr. 38 Rychlost proudění taveniny .....</i>	65
<i>Obr. 39 Propadliny .....</i>	65
<i>Obr. 40 Objemové smrštění .....</i>	66
<i>Obr. 41 Vzduchové kapsy .....</i>	67
<i>Obr. 42 Studené spoje .....</i>	67
<i>Obr. 43 Temperační okruhy pravé strany formy .....</i>	68
<i>Obr. 44 Temperační okruhy levé strany formy .....</i>	68
<i>Obr. 45 Teplota dílu .....</i>	70
<i>Obr. 46 Doba potřebná pro vyhození výrobku .....</i>	71
<i>Obr. 47 Procento zamrznutých vrstev .....</i>	71
<i>Obr. 48 Tlak v temperačních kanálech na pravé straně formy .....</i>	72
<i>Obr. 49 Tlak v temperačních kanálech na levé straně formy .....</i>	72
<i>Obr. 50 Teplota formy v řezu rovinou ZX .....</i>	73
<i>Obr. 51 Hodnoty rozměrových odchylek ve všech směrech .....</i>	74
<i>Obr. 52 Hodnoty rozměrových odchylek ve směru X .....</i>	74
<i>Obr. 53 Hodnoty rozměrových odchylek ve směru Y .....</i>	75
<i>Obr. 54 Hodnoty rozměrových odchylek ve směru Z .....</i>	75

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1 Změna barvy působením slunečního svitu [12]</i> .....	41
<i>Tab. 2 Hlavní rozměry formy</i> .....	49
<i>Tab. 3 Rozměry temperačních kanálů</i> .....	52
<i>Tab. 4 Parametry vstřikovací stroje</i> .....	56
<i>Tab. 5 Název materiálu</i> .....	56
<i>Tab. 6 Doporučené hodnoty materiálu při vstřikovacím cyklu</i> .....	56
<i>Tab. 7 Mechanické vlastnosti PC</i> .....	58
<i>Tab. 8 Vlastnosti oceli P20</i> .....	58
<i>Tab. 9 Rychlost šneku versus poloha šneku</i> .....	58
<i>Tab. 10 Vstřikovací tlak versus čas</i> .....	58
<i>Tab. 11 Nastavení chlazení</i> .....	59
<i>Tab. 12 Rychlost proudění v jednotlivých okruzích</i> .....	69
<i>Tab. 13 Reynoldsovo číslo v jednotlivých okruzích</i> .....	69
<i>Tab. 14 Maximální hodnoty deformací ve směrech X, Y, Z</i> .....	73

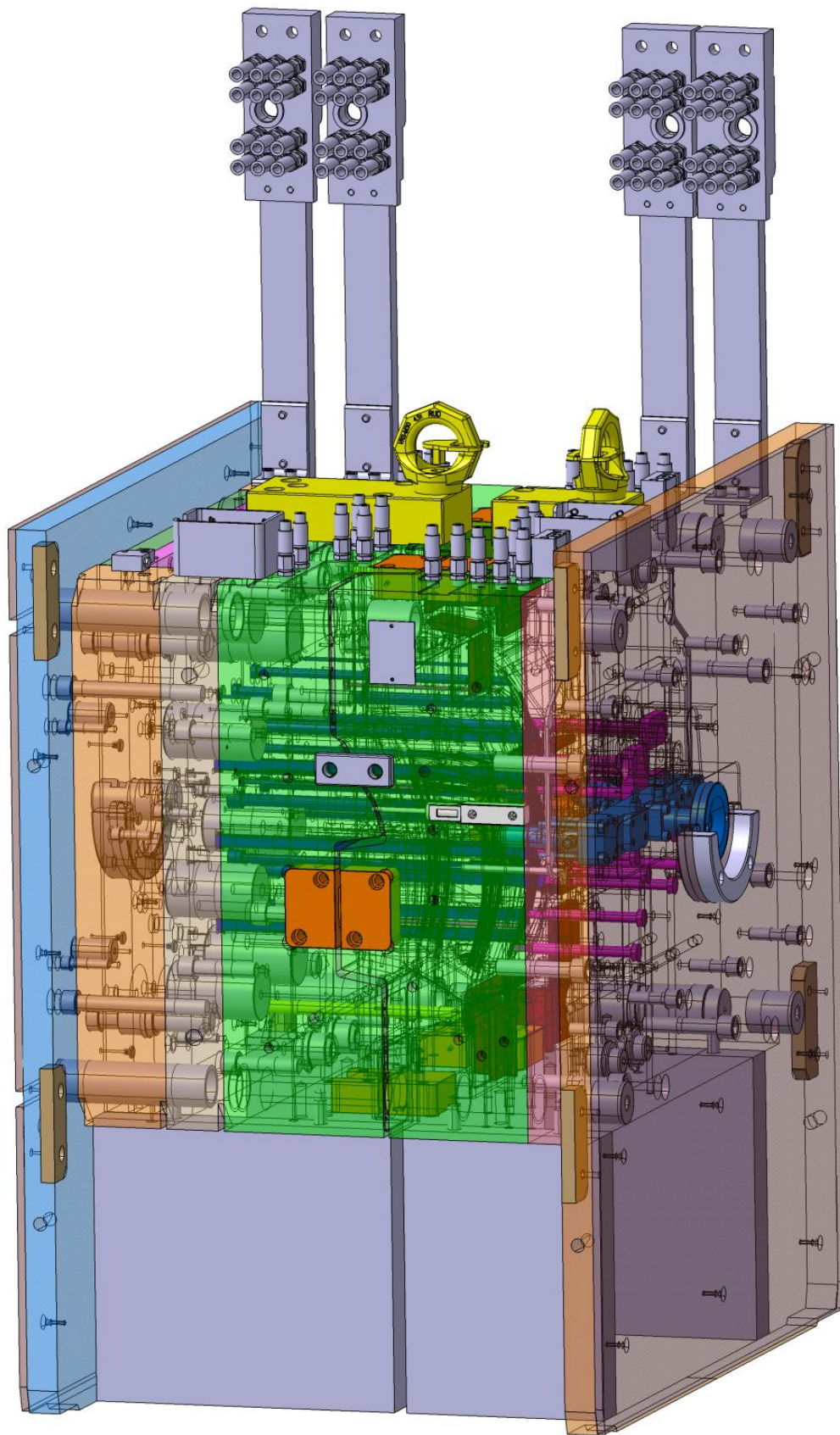
**SEZNAM ROVNIC**

- ( 1 )    Rovnice pro výpočet smykové rychlosti
- ( 2 )    Rovnice pro výpočet smykové rychlosti
- ( 3 )    Rovnice pro výpočet smykové deformace
- ( 4 )    Rovnice pro výpočet smykového napětí
- ( 5 )    Rovnice pro výpočet smykové viskozity

## SEZNAM PŘÍLOH

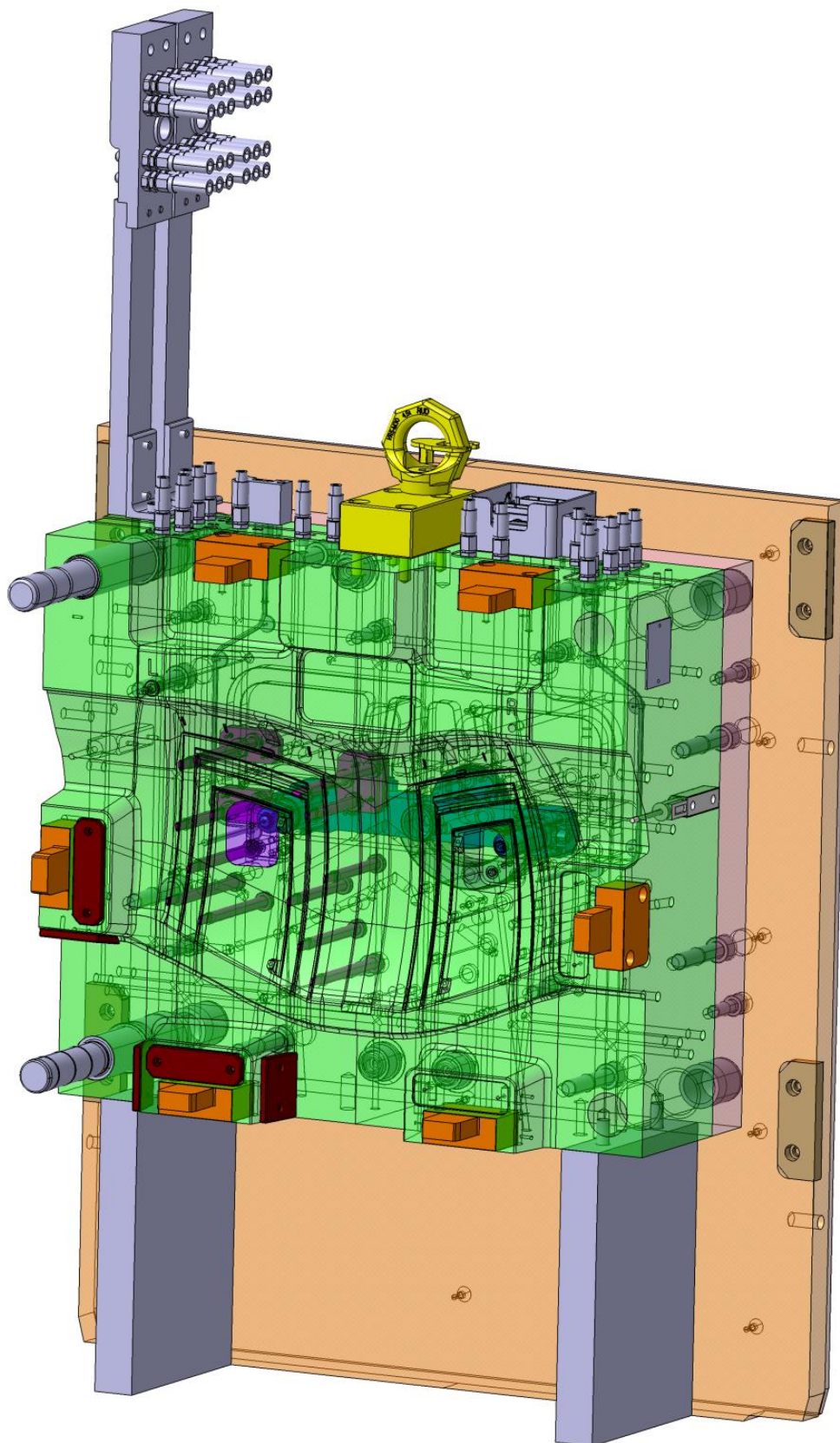
- PI Vstřikovací forma
- PII Pravá strana vstřikovací formy
- PIII Levá strana vstřikovací formy
- PIV Vyhadzovací systém vstřikovací formy
- PV Rozmístění vyhadzovačů
- PVI CD obsahující:
- Textovou část diplomové práce ve formátu pdf;
  - Analýzu v programu Autodesk Moldflow 2014.

# PŘÍLOHA P I: VSTŘIKOVACÍ FORMA

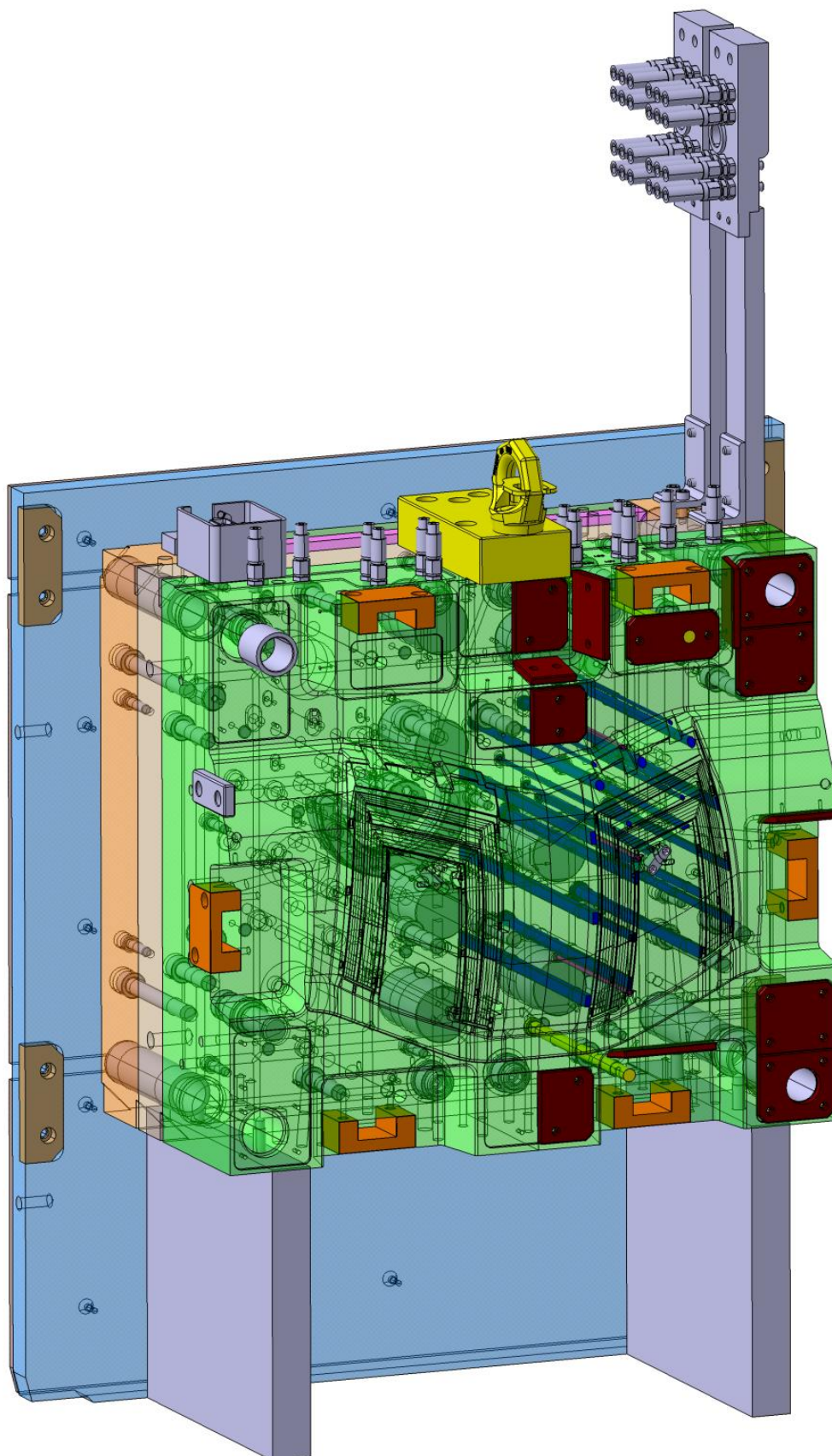




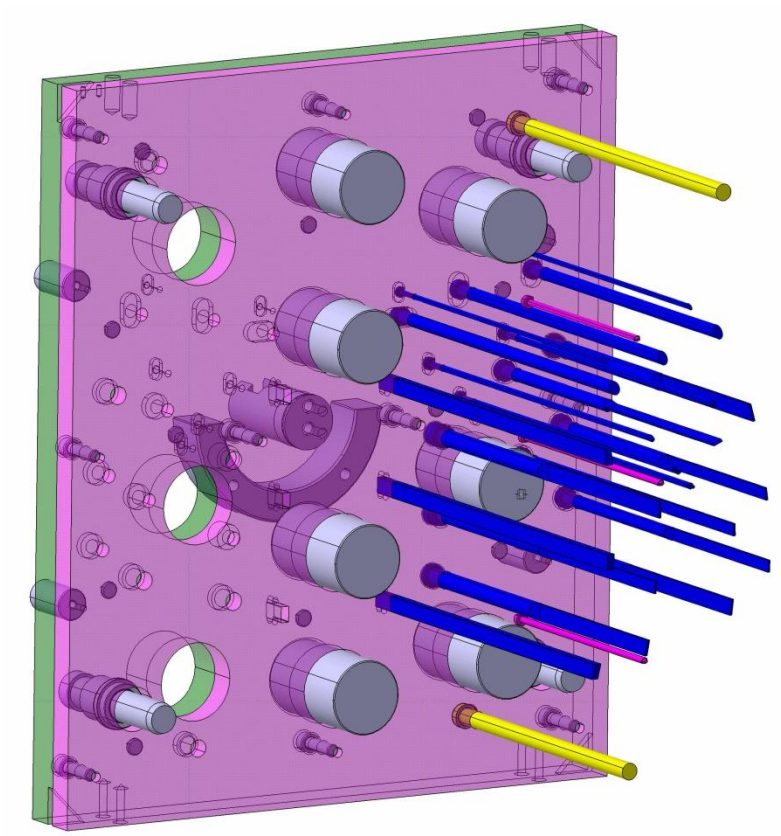
## PŘÍLOHA P II: PRAVÁ STRANA VSTŘIKOVACÍ FORMY



## PŘÍLOHA P III: LEVÁ STRANA VSTŘIKOVACÍ FORMY



## PŘÍLOHA P IV: VYHAZOVACÍ SYSTÉM VSTŘIKOVACÍ FORMY



## PŘÍLOHA P VI: ROZMÍSTĚNÍ VYHAZOVAČŮ

