

# **Návrh zkušebního tělesa a výroba vstřikovací formy pro testování spojů kov-polymer**

Bc. Jiří Horák

---

Diplomová práce  
2019



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2018/2019

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jiří Horák**

Osobní číslo: **T17561**

Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**

Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Návrh zkušební tělesa a výroba vstřikovací formy pro testování spojů kov-polymer**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracování literární rešerše na dané téma
2. Návrh tvaru zkušebních těles pro zkoušky soudržnosti
3. Konstrukce vstřikovací formy pro výrobu navržených zkušebních těles kov-polymer
4. Pilotní výroba zkušebních těles pro testy kov-polymer
5. Vyhodnocení návrhu zkušebních těles a vstřikovací formy

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. **ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: teorie a praxe. 1st ed. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0614-1**
2. **Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů. První vydání. Svitavy: ? Code Creator, s.r.o.; distribuce publi.cz; 2016, 2016. ISBN 978-80-88058-65-6**
3. **HEIM, Hans-Peter. Specialized Injection Molding Techniques. Oxford: Elsevier, 2016. ISBN 978-0-0323-34100-4**
4. **BOBČÍK, L. a kol. Formy pro zpracování plastů I. díl - Vstřikování termoplastů, 2. vyd. Brno:UNIPLAST, 1999.**

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Ladislav Fojtl, PhD.**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

**2. ledna 2019**

Termín odevzdání diplomové práce:

**17. května 2019**

Ve Zlíně dne 1. února 2019

L.S.

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

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

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně 26.4.2019

.....

---

<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 nevydělečně 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 vzdělávacímu 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**

Tato diplomová práce se zabývá návrhem tvaru zkušebních těles pro tahovou zkoušku, respektive hodnocením soudružnosti spojů kov-polymer a hlavně návrhem vstřikovací formy pro výrobu těchto zkušebních těles.

V teoretické části je nejdříve popsána obecná problematika konstrukce vstřikovacích forem a následně jsou popsány vybrané materiály ze skupiny polymerních materiálů. Dále se práce zabývá problematikou spojů kov-polymer, zejména pak parametry, které ovlivňují soudružnost.

Hlavním cílem praktické části je návrh a konstrukce zkušebních těles pro hodnocení soudružnosti při vybraných testech a následně provést konstrukci vstřikovací formy a vytvoření výrobní dokumentace pro její výrobu.

Klíčová slova: vstřikovací forma, spoj polymer-kov, kovová vložka, soudružnost

## **ABSTRACT**

This diploma thesis deals with a design of the test specimens for tensile test, precisely for evaluation of the adhesion of metal-polymer joints and mainly with a design of the injection mold for the production of these test specimens.

In the theoretical part, the general issues of the injection moulds construction are described in the first part, and subsequently selected materials from the group of polymeric materials are depicted. Furthermore, the work deals with the problems of metal-polymer joints, especially the parameters that affect adhesion.

The main aim of the practical part is the design and construction of test specimens for the evaluation of adhesion in selected tests and subsequently the construction of the injection mould and preparation of 2D documentation for its production.

Keywords: injection mould, metal-polymer joint, metal insert, adhesion

Nejprve bych chtěl poděkovat svému vedoucímu diplomové práce Ing. Ladislavu Fojtlovi, Ph.D. za profesionální přístup, cenné rady, které mi během psaní diplomové práce poskytl a hlavně za jeho trpělivost. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a příbuzným za podporu během celého studia.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD.....</b>	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST.....</b>	<b>11</b>
<b>1 VSTŘIKOVÁNÍ.....</b>	<b>12</b>
1.1 VSTŘIKOVACÍ FORMA.....	14
1.1.1 Hlediska dělení vstřikovacích forem.....	14
1.1.2 Základní stavba dvoudeskové vstřikovací formy.....	15
1.1.3 Vtokové systémy vstřikovací formy.....	17
1.1.4 Rozvodné kanály vstřikovací formy.....	18
1.1.5 Ústí vtoku vstřikovacích forem.....	20
1.1.6 Teperace vstřikovacích forem.....	21
1.1.7 Vyhazovací systém vstřikovacích forem.....	23
1.2 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	24
1.2.1 Základní dělení vstřikovacích strojů.....	24
1.2.2 Dělení vstřikovacích strojů podle pohonných systémů.....	26
1.2.3 Periferní zařízení vstřikovacích strojů.....	27
1.3 VOLBA MATERIÁLU PRO VSTŘIKOVÁNÍ.....	27
1.3.1 Členění polymerních materiálů.....	28
1.3.2 Základní dělení termoplastů pro vstřikování.....	29
<b>2 TEORIE VSTŘIKOVÁNÍ POLYMER-KOV.....</b>	<b>30</b>
2.1 SYSTÉM SPOJOVÁNÍ MATERIÁLŮ POLYMER-KOV.....	31
2.1.1 Adheze.....	31
2.1.2 Propojení tvarových spojů.....	36
2.2 VLIV MATERIÁLU, KONSTRUKCE A PROCESNÍCH PARAMETRŮ NA VLASTNOSTI KOMBINOVANÉ SOUČÁSTI.....	37
2.2.1 Výběr materiálu.....	38
2.2.2 Účinek materiálu.....	39
2.2.3 Konstrukce.....	42
2.2.4 Konstrukční návrh.....	42
2.2.5 Procesní parametry.....	44
2.2.5.1 Teplota vstřikovací formy.....	46
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST.....</b>	<b>49</b>
<b>3 STANOVENÍ CÍLŮ PRAKTICKÉ ČÁSTI.....</b>	<b>50</b>
<b>4 POUŽITÉ APLIKACE.....</b>	<b>51</b>
4.1 AUTODESK INVENTOR 2018.....	51
4.2 AUTODESK MOLDFLOW SYNERGY 2016.....	51
<b>5 NÁVRH SOUČÁSTI Z POLYMER – KOV.....</b>	<b>52</b>
5.1 NÁVRH TVARU ZKUŠEBNÍHO TĚLESA.....	52
5.1.1 Zkušební těleso na tahovou zkoušku s plochým insertem.....	52
5.1.2 Zkušební těleso na tahovou zkoušku s válcovým insertem.....	54



5.2	VOLBA MATERIÁLU .....	57
5.3	ANALÝZY MATERIÁLŮ V PROGRAMU MOLDFLOW SYNERGY 2016.....	60
<b>6</b>	<b>KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY POLYMER-KOV .....</b>	<b>73</b>
6.1	TVAROVÉ ČÁSTI FORMY .....	75
6.1.1	Tvárník .....	75
6.1.2	Tvárnice.....	76
6.2	VYHAZOVCÍ SYSTÉM.....	76
6.3	VTKOVÝ SYSTÉM .....	79
6.4	TEMPERACE.....	80
6.5	TRANSPORTNÍ ZAŘÍZENÍ .....	82
6.6	LEVÁ ČÁST FORMY .....	82
6.7	PRAVÁ ČÁST FORMY .....	85
<b>7</b>	<b>VSTŘIKOVACÍ STROJ .....</b>	<b>87</b>
<b>8</b>	<b>VÝROBA VSTŘIKOVACÍ FORMY PRO TESTOVÁNÍ SPOJŮ KOV- POLYMER.....</b>	<b>88</b>
8.1	VÝBĚR FIRMY PRO ZHOTOVENÍ VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	88
8.2	VÝROBA VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	89
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>92</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>93</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>97</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>100</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>104</b>

## ÚVOD

Dnešní doba je z pohledu používání materiálů příznačná rychlým zaváděním vylepšených nebo nových materiálů. Nové materiály jako např. polymery, keramika, kovy, elastomery nebo kompozity a také nové technologie zpracování a použití těchto materiálů se objevují rychleji než kdykoliv před tím ve vývoji lidstva. Podnětem pro vyvíjení materiálů nebo modifikací stávajících jsou požadavky především na tyto speciální vlastnosti (konkrétně elektrické, optické, magnetické nebo mechanické). S postupným vývojem přístrojů a jejich zmenšování se ovšem vyskytují i zvýšené požadavky na nižší spotřebu energie, vyšší pracovní teploty a v dnešní době z velké části na ochranu životního prostředí. Při výběru materiálu je proto potřeba zvažovat výhody i nevýhody obou materiálových skupin a hledat pro výsledný výrobek to nejlepší možné řešení. Je nezbytně nutné si uvědomit, že pro technickou praxi jsou jedním z nejlepších přínosů kombinace polymeru a kovu. [1]

Jako následek postupného zmenšování např. elektrických součástek a zvyšování rychlosti signálu došlo ke hledání materiálu, který by měl nízký elektrický odpor, vyšší elektrická a tepelná vodivost. Přesně tyto požadavky pak dokonale splňují polymerní dílce s kovovými konektory (piny).[2]

Snahy o úspory konstrukčních dílů a integrace nových materiálů, hlavně v automobilovém průmyslu, vedly ke vzniku nové technologie umožňující integrovat do jednoho dílu výlisek z tenkostěnného ocelového plechu a polymerní vyztužení. Polymerní vyztužení, které je v automobilovém průmyslu nejčastěji ve formě žeber a její propojení s plechovým dílcem se vytvoří v jedné výrobní operaci a to konvenční technologií vstřikováním. Výhody těchto materiálových řešení je nejenom výrazná úspora hmotnosti výrobku, ale také zvýšená odolnost proti deformaci, což přispívá k celkové bezpečnosti u automobilů. [1]

Tato diplomová práce se věnuje designu tvaru zkušebních těles pro testování soudružnosti mezi kovovými a polymerními materiály. Hlavním výstupem této diplomové práce je příprava 3D modelů a 2D výkresové dokumentace pro výrobu vstřikovací formy.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 VSTŘIKOVÁNÍ

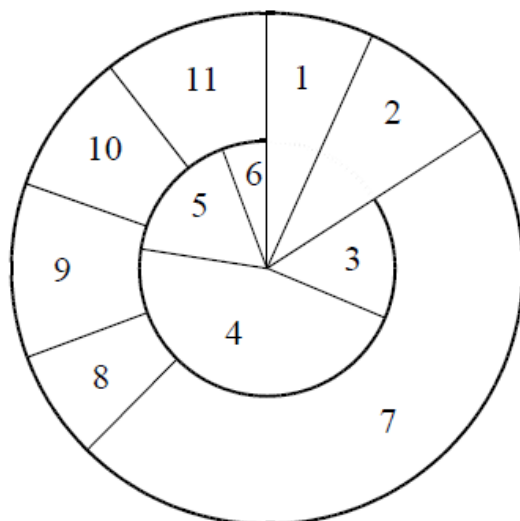
Vstřikování patří k cyklickým procesům, které se vyznačují tím, že zpracovávaný materiál se v rámci celého výrobního cyklu nedostává do rovnovážného stavu vzhledem k daným podmínkám, ve kterých se v tom okamžiku nachází. [3]

Podmínky vyjádřené například: teplotou, dobou procesu vstřikování, rychlostí deformace nebo velikostí napětí se v rámci vstřikovacího cyklu nacházejí na odlišných úrovních a poměrně rychle se mění. Jsou jiné i v různých částech vstřikovací formy. Jejich seskupení zastupuje historii dějů, kterými termoplast prošel při svém zpracování na výsledný produkt (výstřík). [3]

Ve výsledku pak můžeme říct, že výsledné vlastnosti výrobku jsou funkcí této historie. U vstřikování je historie zpracování daného termoplastu dána podmínkami: přípravy taveniny, dopravy taveniny do formy, toku v dutině formy, dotlaku, vlastního chlazení v tvarové dutině formy až do otevření formy a následného vyhození výrobku z dutiny formy. [3]

- **Vstřikovací cyklus**

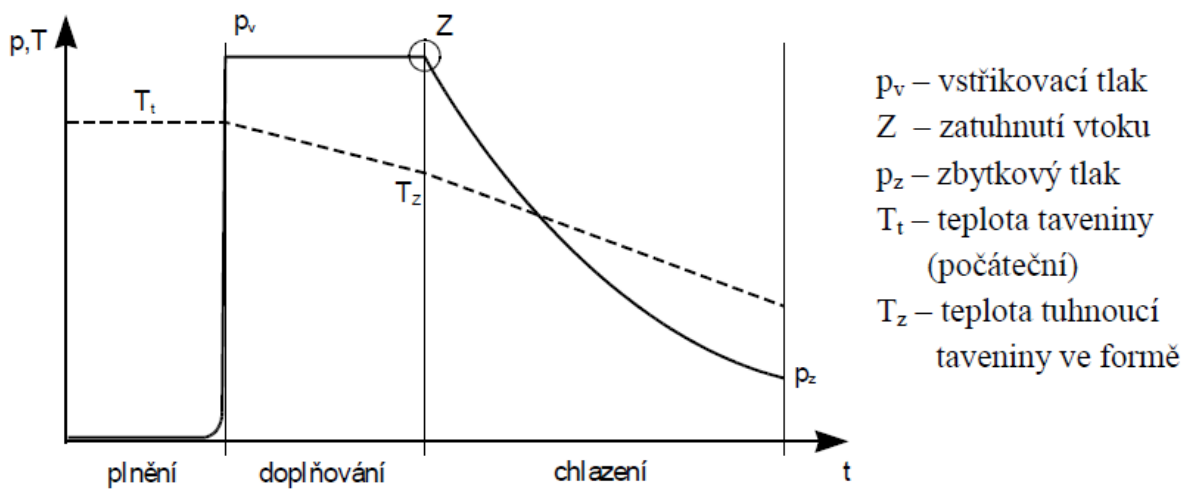
Vstřikovací cyklus, v němž probíhají výše zmíněné jevy a konformace je možné popsat následovně (*Obr.1*). [4]



- 1 – vstříknutí
- 2 – doplňování
- 3 – vracení plastikační jednotky
- 4 – plastikace
- 5 – prodleva
- 6 – přísun plastikační jednotky
- 7 – chlazení
- 8 – otevření formy
- 9 – vyprázdnění formy
- 10 – příprava formy
- 11 – uzavření formy

*Obr. 1 Časový průběh vstřikovacího cyklu. [4]*

Z násypky vstřikovacího stroje se materiál dopravuje a dávkuje do plastikační jednotky (pístonové nebo šnekové), ve které se přivádí do plastifikovaného stavu zejména účinkem tepla. Po přisunutí plastikační jednotky k vstřikovací formě se tavenina za určitého tlaku dopraví vtokovým systémem do dutiny formy. Čas, který je potřeba k naplnění dutiny formy taveninou se nazývá doba plnění. Čas, který působí bezprostředně po době plnění, se nazývá doba doplňování (dotlak). Průběh tlaku v dutině vstřikovací formy popisuje obrázek níže (Obr. 2). [4]



Obr. 2 Průběh tlaku a teploty ve vstřikovací formě. [4]

Doba doplňování (dotlak) má za úlohu z malé části vyrovnat vliv smrštění na výsledný výrobek a taky zabraňovat úniku taveniny z dutiny formy. Dále je možné pomocí dotlaku ovlivnit zbytkové pnutí ve výstřiku. Doba doplňování je limitována zatuhnutím taveniny ve vtokovém systému. V další fázi zůstává forma ještě uzavřena, protože probíhá chlazení výstřiku. Tato doba je závislá zejména na následujících parametrech: Velikost výstřiku, tloušťka stěn a na teplotě vstřikovací formy. Po zchlazení výstřiku na vyhazovací teplotu se forma v dělicí rovině otevře a výstřik se pomocí vyhazovacího systému z formy vyhodí. Během procesu chlazení a vyhazování výrobku se v plastikační jednotce připravuje další dávka roztaveného materiálu, aby vstřikovací stroj mohl ihned po uzavření formy zahájit další vstřikovací cyklus. [3] [5]

## 1.1 Vstřikovací forma

Vstřikovací forma je komplexní systém, který musí v jednom okamžiku plnit mnoho požadavků vycházející z procesu vstřikování. Základní funkcí formy je dopravení roztaveného materiálu do dutiny vstřikovací formy a její úplné vyplnění. Tvar následného výstřiku odpovídá rozměrům dutiny formy. Vedlejší funkcí vstřikovací formy je účelný odvod tepla přivedeného roztaveným materiálem. Dále vstřikovací forma musí dále zajistit rychlé, bezpečné vyjmutí výstřiku z dutiny formy. Další přítomnost vedlejších funkcí je uvedena na Obr. 3, kde je uvedeno uspořádání funkcí formy. [6]

VSTŘIKOVACÍ FORMA					
DOPRAVA TAVENINY		PŘENOS TEPLA		ODFORMOVÁNÍ DÍLU	
ODOLNOST PROTI DEFORMACÍM	VEDENÍ TAVENINY	ODVOD TEPLA Z DÍLU	ODVOD TEPLA Z FORMY	OTEVŘENÍ FORMY	ODFORMOVÁNÍ DÍLŮ
PODPĚRNÉ VÁLCE	VTOKOVÝ SYSTÉM	POČET TEMPERAČNÍCH KANÁLŮ	RYCHLOST TOKU TEMPERAČNÍ KAPALINY	DĚLÍČÍ ROVINA	VYHAZOVAČE
TLOUŠŤKA DESEK	ÚSTÍ VTOKU	ROZMĚRY CHLADÍCÍCH KANÁLŮ	PRŮŘEZ VEDENÍ TEMPERAČNÍ KAPALINY	VYTAŽENÍ JADER	ROBOTICKÉ VJMÁNÍ
VÍCENÁSOBNÁ PROPOJENÍ	-	TEPELNĚ VODIVÉ VLOŽKY	-	-	TAHAČE JADER

Obr. 3 Přehled funkcí vstřikovací formy. [5]

### 1.1.1 Hlediska dělení vstřikovacích forem

- Podle počtu dutin:
  - jednonásobné,
  - vícenásobné,
- Podle typu vstřiku:
  - vstřikování do osy formy,
  - vstřikování do dělící roviny,
  - kombinace dvou předchozích,
- Podle uspořádání:
  - dvoudeskové,
  - třídeskové,
  - dvoudeskové s horkým rozvodným systémem,
- Podle konstrukce:
  - jednoduché,
  - čelist'ové,
  - s posuvnými jádry,

- závitové,
- etážové,
- Podle vstřikovaného materiálu:
  - pro termoplasty,
  - pro reaktoplasty,
  - pro kaučuky. [3]

### 1.1.2 Základní stavba dvoudeskové vstřikovací formy

Na *Obr. 4* můžeme vidět základní sestavení dvoudeskové vstřikovací formy, která je složena z několika desek, které jsou navzájem spojeny pomocí šroubů (nejčastěji s válcovou hlavou). Upínací desky pohyblivé a pevné části slouží k upnutí vstřikovací formy na vstřikovací stroj. Desky „A“, „B“ a „C“ slouží k vytvoření tvarové dutiny. Jsou dvě možnosti vytvoření tvarové dutiny:

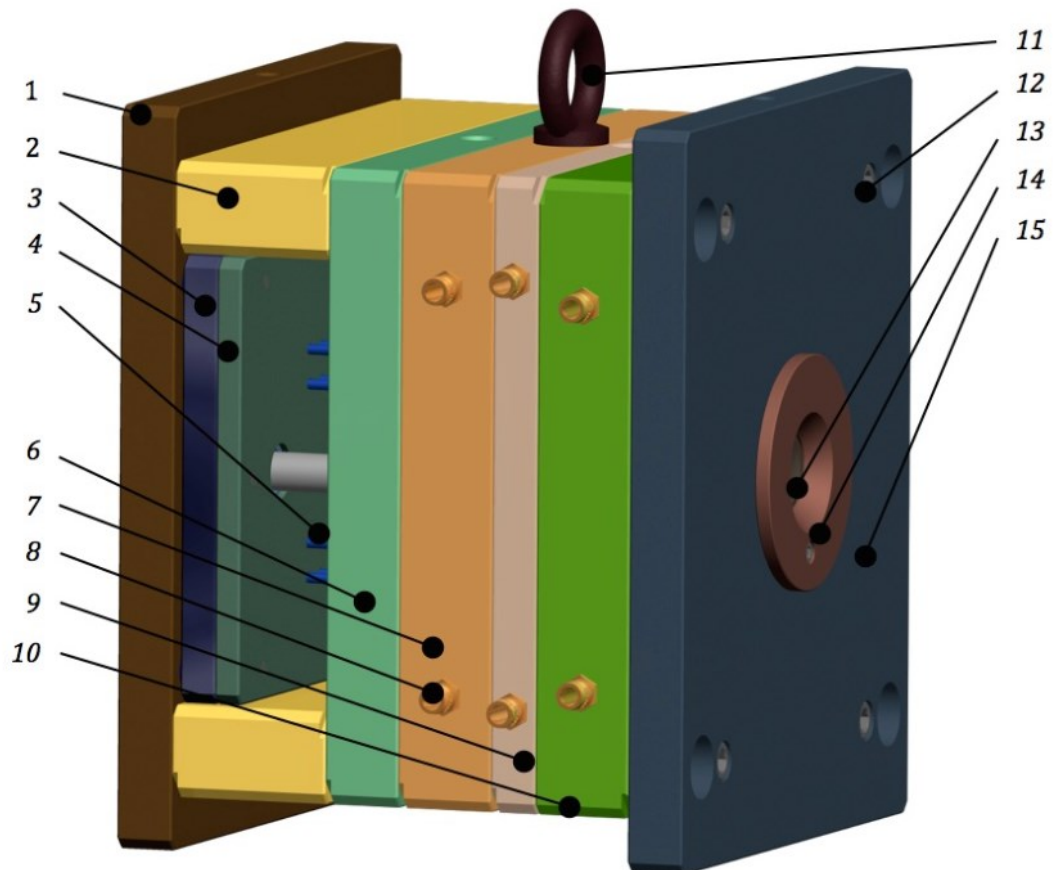
- a) dutina přímo vytvořená do těchto desek,
- b) vytvoření do tvarových vložek, ve kterých je dutina vytvořena a jejich následné ukotvení do desek.

K výrobě dílů, které tvoří dutinu vstřikovací formy, je nutné použít materiály s lepší mechanickou, abrazivní odolností. Ovšem materiály, které disponují lepšími vlastnostmi, jsou obvykle finančně náročnější a tak je použití tvarových vložek velmi významnou úsporou nákladů na výrobu vstřikovací formy. Pro ukotvení těchto vložek lze použít materiály s menší mechanickou odolností tudíž i cenou (použití kotevních desek z materiálů 11500, 11600) . [6]

Konstrukčně formy mohou být řešeny v několika variantách pro daný výrobek. Mezi důležité faktory zohledňující konstrukci formy patří jednoduchost a proveditelnost obráběcích prací nebo také úspora materiálu. Na *Obr. 4* jsou desky „B“ a „C“ jako dvě samostatné součásti. Konstrukčně by bylo možné navrhnout jednotnou desku o celkové tloušťce desek „B“ a „C“ avšak to by nám znemožnilo použití finančně úspornějších a jednodušších výrobních technologií jako je např. řezání drátem. [3] [6]

Další důležitou částí jsou středící kroužky a pohyblivé části vstřikovací formy. Funkce středícího kroužku utkvívá v zajištění přesné polohy vstřikovací formy na vstřikovacím stroji. Vstřikovací forma musí být upnuta tak, aby osa trysky vstřikovacího stoje byla stejná s osou vtokové vložky vstřikovací formy, přes kterou tavenina teče do dutiny formy. [6]

Zároveň z pohledu ovládání vyhadzovačů je důležité, aby osa vstřikovacího stoje byla stejná jako osa otvoru, ve které je umístěné táhlo vyhadzovačů, které se připojí k vyhadzovacímu systému vstřikovacího stroje. [6]



Obr. 4 Uzavřená dvoudesková vstřikovací forma; [5]

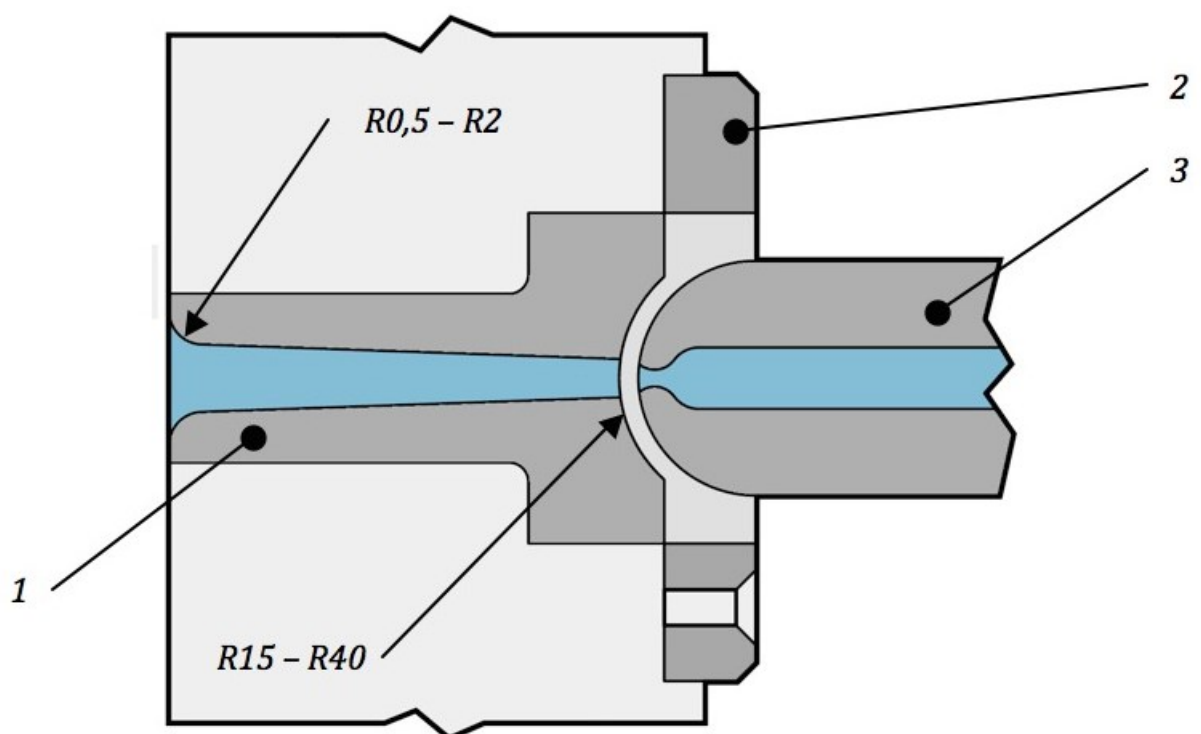
(1 - Upínací deska pohyblivé části vstřikovací formy, 2 – rozpěra, 3 – hlavní vyhadzovací deska, 4 – přidržovací vyhadzovací deska, 5 – vyhadzovač, 6 – podpěrná deska, 7 - „B“ deska, 8 – přípojka chlazení, 9 – „C“ deska, 10 – „A“ deska, 11 – manipulační oko, 12 – hlavní montážní šrouby, 13 – vtoková vložka, 14 – středící kroužek pevné části vstřikovací formy, 15 – upínací deska pevné části vstřikovací formy).



### 1.1.3 Vtokové systémy vstříkovací formy

Základní horizontální vstříkovací lisy mají za úkol dopravení taveniny do formy přes otvor v ose pevné upínací desky. Materiál je do vstříkovací formy dopravován systémem složeným z:

- vtokové vložky,
- rozváděcích kanálů,
- ústí vtoku. [3] [6]



Obr. 5 Základní princip tokové vložky; [6]

1 – vtoková vložka, 2 – středící kroužek, 3 – čelo trysky vstříkovacího stoje.

#### ❖ Dělení vtokových systému vstříkovací formy:

- studený,
- horký,
- kombinovaný.

### ❖ Porovnání vtokových systémů

Rozhodnutí o typu vtokového systému je velice důležité a musí být určeno už v první fázi konstrukčního návrhu vstřikovací formy. Zvolení vhodného vtokového systému závisí na:

- druhu materiálu jednotlivých dílu vstřikovací formy,
- požadované produktivitě procesu,
- montáží formy,
- vlastnostech vstřikovaného materiálu,
- ekonomických požadavcích formy. [6]

POROVNÁVACÍ HLEDISKO	TYP FORMY / VTOKOVÉHO SYSTÉMU	
	DVOU DESKOVÁ	S HORKÝM ROZVODEM
spotřeba materiálu	3	1
doba výrobního cyklu	1	1
počáteční investice	1	3
doba rozjezdu výroby	1	4
náklady na údržbu	1	4
umístění ústí vtoku	4	1

*Obr. 6 Porovnání dvoudeskové vstřikovací formy a formy s horkým rozvodem. [6]*

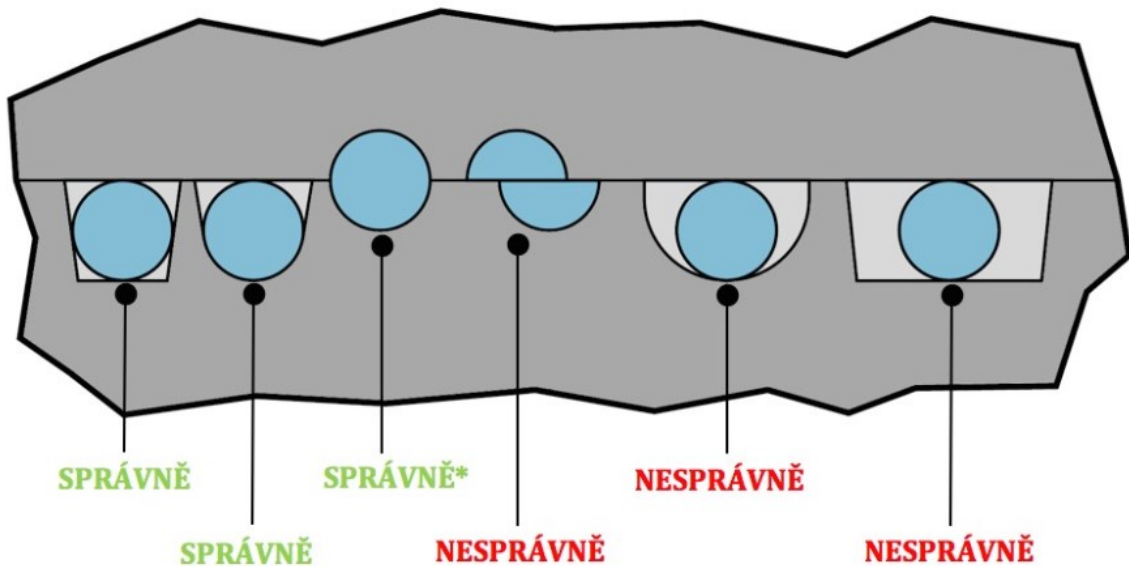
Na *Obr. 6* porovnáme dané parametry známkami od nejlepší (odpovídá číslici 1) po nejhorší (odpovídá číslici 5). Obecně formy využívající horkého vtokového systému mají daleko lepší produktivitu ovšem za důsledku zvýšené ceny provozních a výrobních nákladů. U horkých systémů může častěji docházet ke komplikacím, když se rozhodneme změnit vstříknutý materiál.

#### 1.1.4 Rozvodné kanály vstřikovací formy

Na rozdíl od vtokové vložky, mají za úlohu dopravu taveniny v dělicí rovině od jejího středu.

Jsou tedy nejčastěji obrobena do dělicí roviny vstřikovací formy. Rozměrové a konstrukční řešení rozvodných kanálků ovlivňují jak kvalitu, tak efektivitu celého procesu vstřikování. Rozváděcí kanálky, které mají příliš velký průřez, mohou nepřiměřeně prodlužovat výrobní cyklus, nebo zvyšovat procento odpadového materiálu a tím pádem i zvyšovat výrobní náklady. Naopak kanálky s malým průřezem mohou negativně podporovat tok zvýšením vstřikovacího tlaku a s tím spjaté komplikace při procesu vstřikování. Ideální rozměr rozvodného kanálu je tedy vyvážením daných parametrů: [3] [6]

- snadné plnění dutiny formy,
- výrobitelnost rozvodného kanálu,
- dostatečný objem rozvodného kanálu.



Obr. 7 Porovnání provedení rozváděcích kanálů. [6]

\* - Ideální konstrukční řešení.

Průřez rozvodného kanálu má důležitý vliv na vstřikovací tlak, dotlak, dobu cyklu a objem materiálu v rozvodném kanálu. Ideální průřez závisí na řadě faktorů, konkrétně na:

- objemu vstřikovaného dílu,
- tloušťce stěny dílu,
- vstřikovacím tlaku,
- rychlosti plnění,
- délku rozváděcího kanálu a tekutosti materiálu. [3] [6]

### 1.1.5 Ústí vtoku vstříkovacích forem

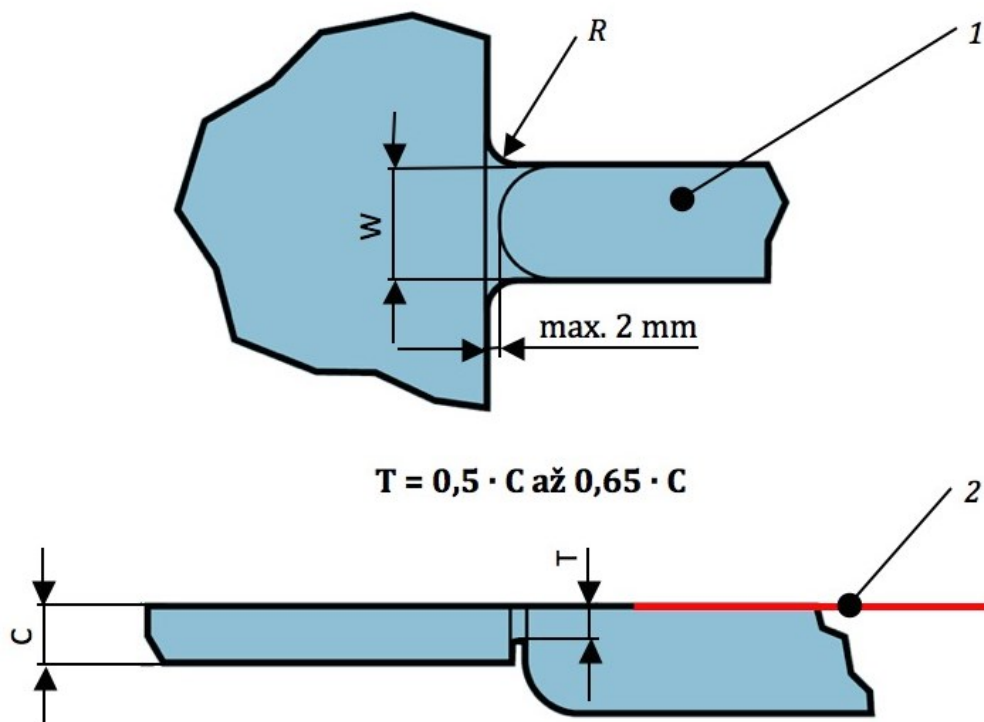
Hlavní funkcí ústí vtoku je dopravení polymerní taveniny bez zbytečného zvýšení smykového namáhání do tvarové dutiny a zajistit dostatečně dlouhé působení dotlaku. [3]

Až na výjimečné případy je ústí vtoku spojnicí mezi rozvodným kanálem a vstříkovaným dílem. Ústí vtoku plní dvě základní funkce:

- Zamrznutí materiálu v ústí vtoku – zabránění zpětného chodu materiálu ve fázi dotlaku.
- Snadné oddělení dílu od rozvodného kanálu . [6]

Druhy ústí vtoku [3]:

- plný tyčový do středu,
- tunelový,
- štěrbinový (výstřiky s vysokou hmotností, šířka stěny minimálně 0,8 mm)
- filmový, atd.



Obr. 8 Filmové ústí vtoku [6]

(1 – rozváděcí kanál, 2 – dělicí rovina vstříkovací formy, R – rádius, T – tloušťka filmového ústí vtoku, C – tloušťka stěny vstříkovaného dílu, W – šířka filmového ústí vtoku).

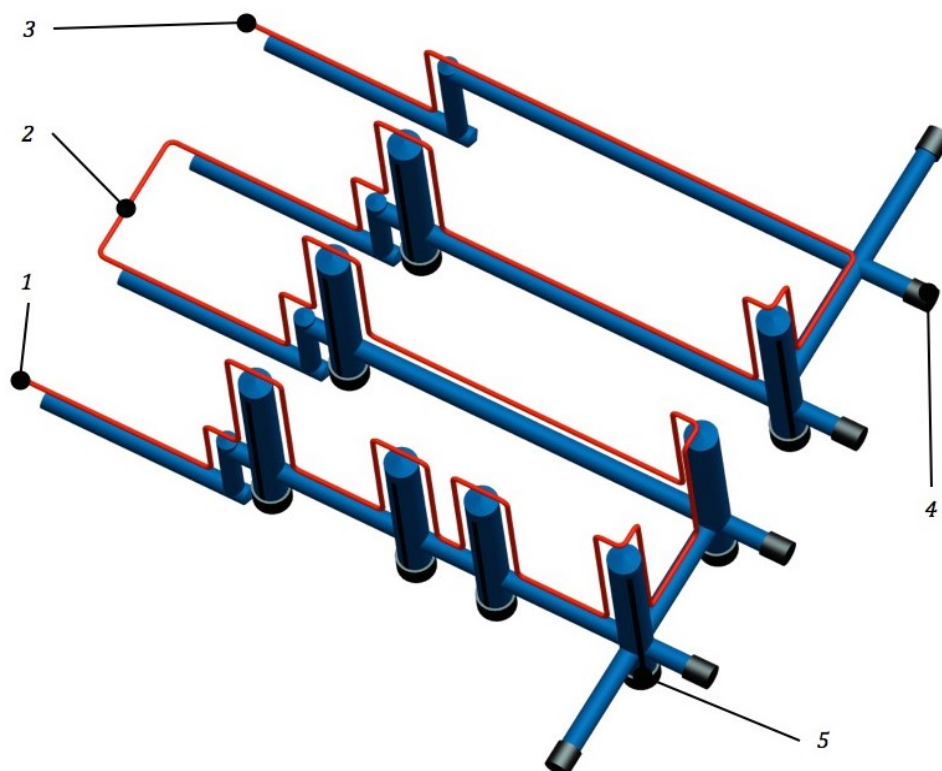
### 1.1.6 Teperace vstřikovacích forem

Jedním z hlavních faktorů ovlivňujících proces vstřikování je teplota vstřikovací formy. Způsob a podmínky temperace vstřikovací formy, které by měly být volně modifikovatelné, protože mají:

- přímý vliv na náklady vstřikovaného dílu,
- přímý vliv na kvalitu dílů,
- přímý vliv na velikost výrobního a dodatečného smrštění dílu,
- schopnost opakovaně vytvářet požadovaný povrch se stejnou nebo lepší kvalitou. [3]

Cílem temperace je poskytnout stěnám tvarové dutiny formy a všem jejím tvarovým prvkům ve všech místech stejnou teplotu. [3] [6]

Vzdálení se od teplotní rovnováhy má za následek riziko anizotropních vlastností výstřiku, jako je např. smrštění, deformace, nestejná orientace makromolekul, rozdílný povrchový lesk atd. [3]



Obr. 9 Temperační okruh [6]

(1 – vstup temperačního média, 2 – propojovací větev, 3 – výstup temperačního média, 4 – ucpávky, 5 – přímá přepážka).

Doba chlazení závisí jak na konstrukčním řešení temperačního okruhu, tak na zvoleném materiálu výstřiku, který je kromě ostatních věcí specifikován také pomocí teploty taveniny a doporučenou teplotou dílu, při které je možné provést odformování bez následných komplikací. [6]

TYP MATERIÁLU	DOPORUČENÁ TEPLOTA FORMY [ °C ]	TEPLOTA TAVENINY [ °C ]	DOPORUČENÁ TEPLOTA DÍLU PŘI ODFORMOVÁNÍ [ °C ]
PA	80 - 120	260 - 300	110 - 130
PC	80 - 100	280 - 320	140
PC + SKLENĚNÁ VLÁKNA	80 - 130	310 - 330	150
ABS	60 - 80	220 - 260	80 - 100
SAN	50 - 80	230 - 260	80 - 95
PBT	80 - 100	250 - 270	140
PBT + SKLENĚNÁ VLÁKNA	80 - 100	250 - 270	150
PP	30 - 60	200 - 250	70 - 90
PE	30 - 60	180 - 230	60 - 90

*Obr. 10 Tabulka doporučených teplot v rámci vstřikování vybraných typů plastů.*

[5]

Mechanické vlastnosti semikrystalických polymerů jsou více ovlivněny vlastností teploty, než je tomu u amorfních polymerů. [6]

Pro konstrukci temperačních systémů forem platí zásady minimálního průměru temperačního kanálu 8 mm (ideální velikost ovšem může být i menší), rozdíl teplot na vstupu a výstupu maximálně 5 °C a nutné zajištění turbulentního proudění vody v kanálech. [3] [6]

TLOUŠŤKA STĚNY VSTŘIKOVNÉHO DÍLU $t$ [ mm ]	VZDÁLENOST OSY TEMPERAČNÍHO KANÁLU OD DUTINY VSTŘIKOVČÍ FORMY $A$ [ mm ]	VZÁJEMNÁ VZDÁLENOST OS SOUSEDNÍCH TEMPERAČNÍCH KANÁLŮ $v$ [ mm ]	PRŮMĚR TEMPERAČNÍHO KANÁLU $\varnothing D$ [ mm ]
0 - 1	10 - 14	10 - 12	5 - 6
1 - 2	10 - 20	12 - 16	6 - 8
2 - 4	20 - 25	16 - 22	8 - 10
4 - 6	25 - 35	22 - 28	10 - 12
6 - 8	32 - 42	28 - 36	12 - 16
8 - 12	42 - 55	36 - 50	16 - 20

*Obr. 11 Doporučené rozměry a umístění temperačních kanálů. [5]*

### 1.1.7 Vyhazovací systém vstřikovacích forem

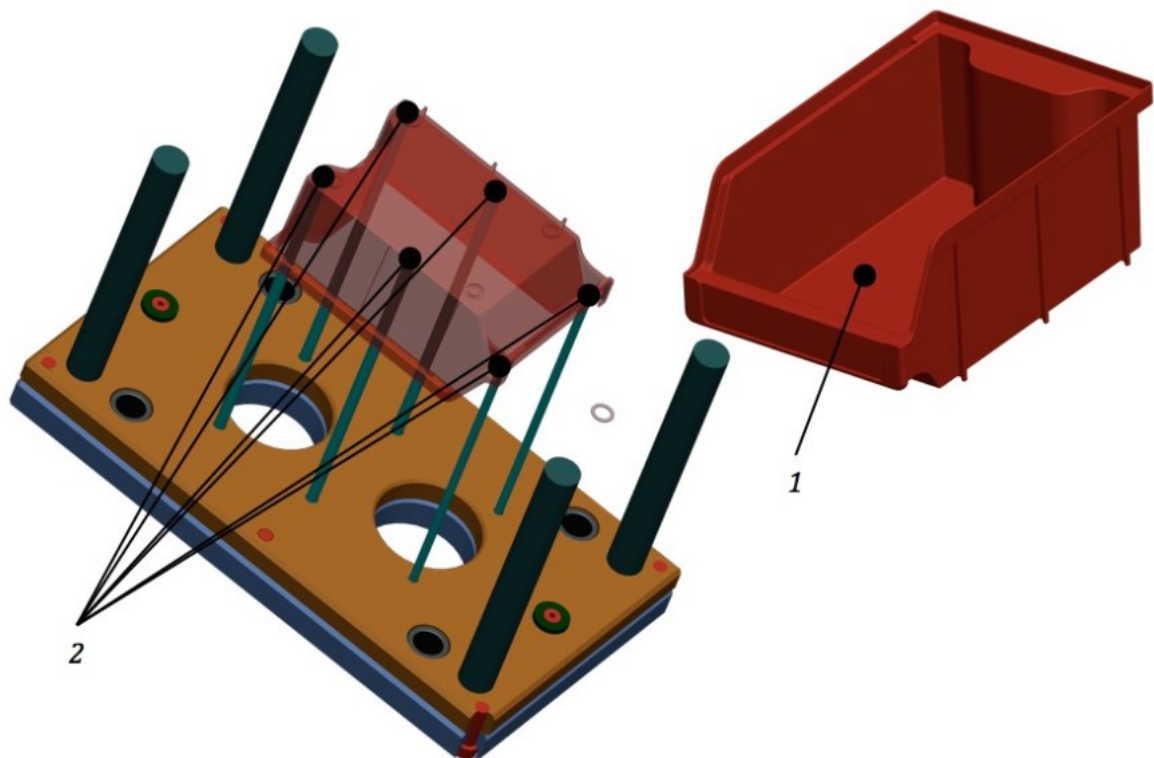
Vyhazovací systém má za funkci bezpečně odformovat výstřik z dutiny formy poté co se vstřikovací forma otevře.

Pohon systému závislý na vstřikovacím stroji, nebo je řízen pomocí hydraulických válců umístěných ve formě. [3] [6]

Dělení vyhazovacích systému:

- vyhazovače – válcové, ploché, půlkruhové, atd.
- stírací objímky,
- pneumatické vyhazování,
- stírací desky – snížení napětí ve výstřiku od nerovnoměrného zatížení při vyhazování
- stlačeným vzduchem (vstřikované ploché díly, které mají malou kontaktní plochu).

[6]



Obr. 12 Příklad vyhazovacího systému vstříkovací formy [6]

(1 – vstříkovaný díl, 2 – body umístění vyhazovačů na dílu).

## 1.2 Vstříkovací stroj

Důležitým vybavením každé vstříkovací dílny je vstříkovací forma, vstříkovací stroj a periferní zařízení (např. temperační jednotka), které vstříkovací stroj doplňují a umožňují plně automatizovat proces vstříkování. Vzájemná spolupráce těchto základních částí je řízena pomocí technologických parametrů: čas, teplota, tlak, rychlost a dráha. [7]

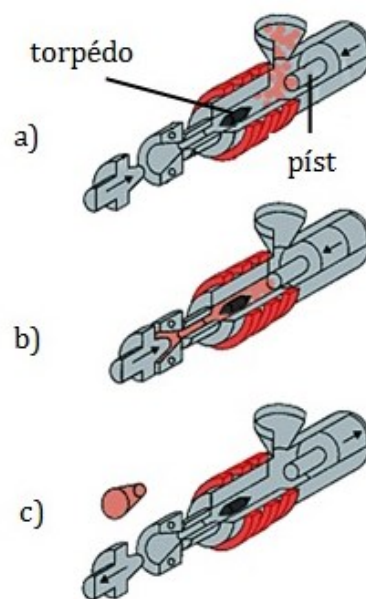
### 1.2.1 Základní dělení vstříkovacích strojů

- pístové,
- šnekové,
- diskové,
- speciální.



### ❖ Pístové vstříkovací stroje

Nejstarším typem jsou tzv. pístové vstříkolisy, které umožňují jen pohyb v ose  $x$ . Posuv materiálu napříč strojem umožňuje píst. Pokud je píst ve výchozí pozici (pozice v týlu vytlačovacího stroje), padá před píst granulovaný materiál z násypky. Dopředným pohybem pístu dochází k dopravení materiálu do vytápěné tavící komory, kde se materiál přemění z granulátu na viskózní taveninu. Působením tlaku se tavenina dostává až ke trysce, která ústí do vstříkovací formy. Před tryskou je umístěno statické torpédo, které slouží k promíchání taveniny před výstupem ze vstříkovacího stroje. [3] [7]

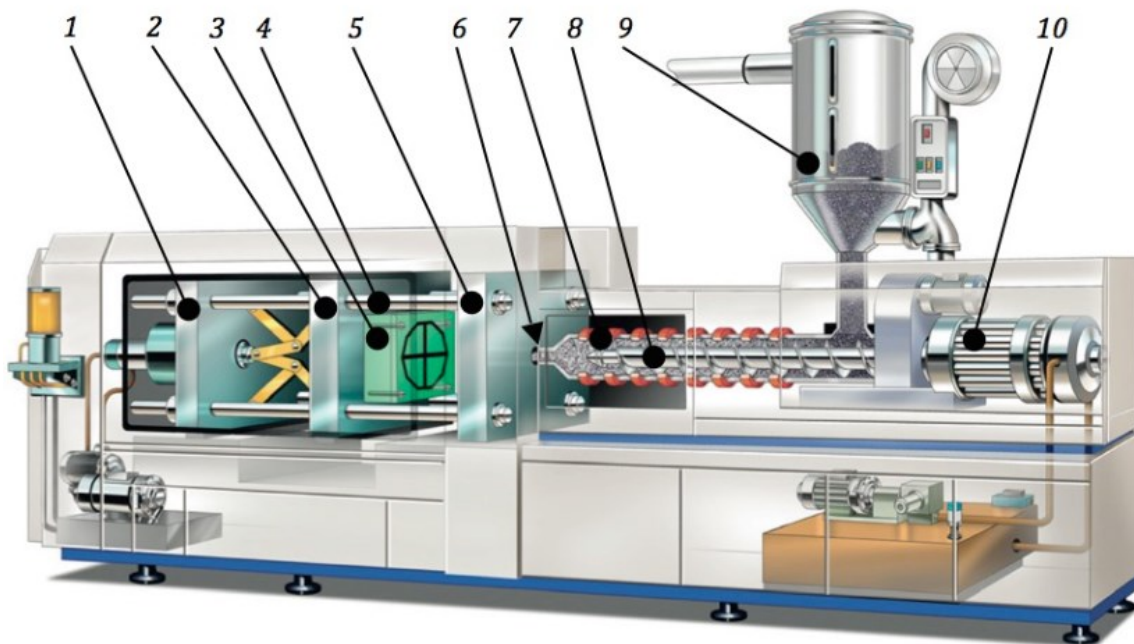


*Obr. 13 Schéma průběhu vstříkovacího cyklu pomocí pístového vstříkovacího stroje; [7]*

*(a) – dávkování granulátu, b) – plastikace dávky a taveniny, c) – vyjmutí výrobku).*

### ❖ Šnekové vstříkovací stroje

Základní uspořádání jednotlivých komponent šnekového vstříkovacího stroje je znázorněno na obrázku níže (*Obr. 14*). Jde o uzavírací jednotku, vstříkovací jednotku a řídicí jednotku. Nejvíce používané jsou vstříkolisy s vodorovně orientovanou uzavírací jednotkou. Druhá možnost uložení uzavírací jednotky je vertikální. U vstříkovacích jednotek je možné uložení jak ve svislé tak vodorovné pozici. Pokud se jedná o vstříkovací stroj s více počty vstříkovacích jednotek, mohou být tyto jednotky také umístěny pod úhlem (nejčastější umístění pod úhlem  $45^\circ$ ). [3] [7]



Obr. 14 Šnekový vstřikovací stroj [7]

(1 – uzavírací jednotka, 2 – pohyblivá upínací deska vstřikolisu, 3 – pohyblivá část vstřikovací formy, 4 – vodící sloupky vstřikolisu, 5 – pevná upínací deska vstřikolisu, 6 – čelo špičky vstřikovací trysky, 7 – tavicí komora, 8 – šnek, 9 – násypka pro granulát, 10 – pohonná jednotka šneku).

### 1.2.2 Dělení vstřikovacích strojů podle pohonných systémů

- S plně hydraulickým pohonem,
- S plně hydraulickým pohonem doplněným hydraulickým akumulátorem:
  - s pneumatickým pohonem,
  - s plně elektrickým pohonem,
  - s hybridním pohonem, kombinujícím hydraulický a elektrický pohon. [3]

V nabídce prodejců a výrobců vstřikovacích strojů lze možné rozlišit dva základní přístupy:

- Nabídka standartních vstřikovacích strojů s periferiemi pro běžnou výrobu výstřiků,
- Nabídky prototypových řešení pro výrobu – zařízení je plně přizpůsobeno danému výrobku. [3]

Obvyklým vybavením běžné výroby vstřikovaných dílů jsou vstřikovací stroje s hydraulickými pohony. Základem hydraulických pohonů je čerpadlová skupina (jedno nebo více čerpadel) [3] [7]

U některých systémů pohonu je vyměněn hydraulický pohon dávkování a tavení za pohon elektrickým frekvenčním měničem umožňujícím programovat otáčky šneku. [7]

### 1.2.3 Periferní zařízení vstřikovacích strojů

- Sušárny granulátů,
- Dopravní nasávače granulátů,
- Chladicí systémy vstřikovacích strojů a forem,
- Temperační zařízení pro regulaci teploty forem,
- Dávkače a míchače aditiv,
- Zařízení pro výměnu a upínání forem,
- Manipulátory pro vyjímání vtokových zbytků,
- Roboty pro manipulaci a zakládání insertů
- Dopravníky výstřiků,
- Pece pro ohřev insertů,
- Separátory vtokových zbytků,
- Kontrolní systémy,
- Roboty pro manipulaci s výstřiky
- Popisovací systémy a další systémy. [3] [7]

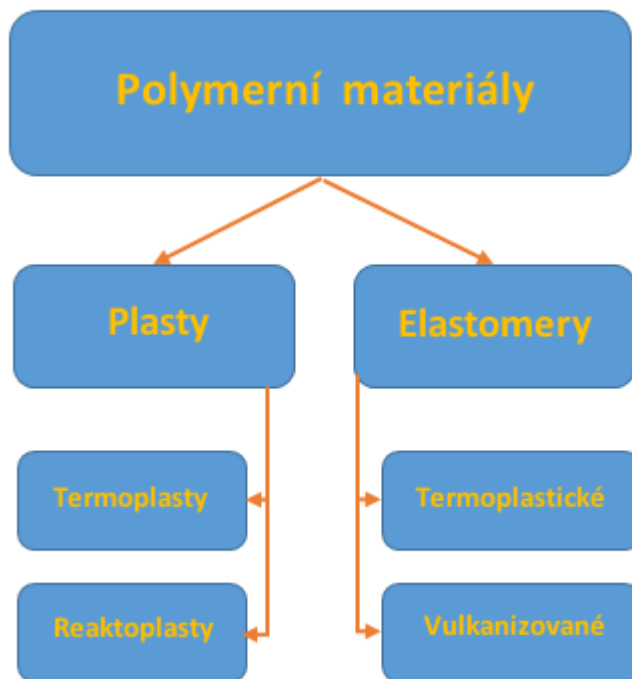
## 1.3 Volba materiálu pro vstřikování

Z pohledu volby materiálu má na konečné a užité vlastnosti dílu vyrobených vstřikováním vliv:

- obsah vody v polymeru,
- typ polymeru,
- množství a druhy přísad,
- tekutost, smrštění v jednotlivých směrech polymeru,
- tepelná stabilita,
- velikost pnutí a relaxace, atd. [5]

### 1.3.1 Členění polymerních materiálů

Polymerní materiály lze rozdělit podle několika kritérií. Na *Obr. 15* můžeme vidět nejzákladnější rozdělení polymerů.



*Obr. 15 Základní dělení polymerních materiálů [3]*

Polymerní materiály se dělí na:

- Plasty – polymery, které je možné za ideálních podmínek tvarovat a následně fixovat do tvaru budoucího pevného tělesa.
- Elastomery – polymery, které je možné za ideálních podmínek tvarovat a fixovat aby vznikly budoucí pružné tělesa. [3] [7]

Plasty se dělí na:

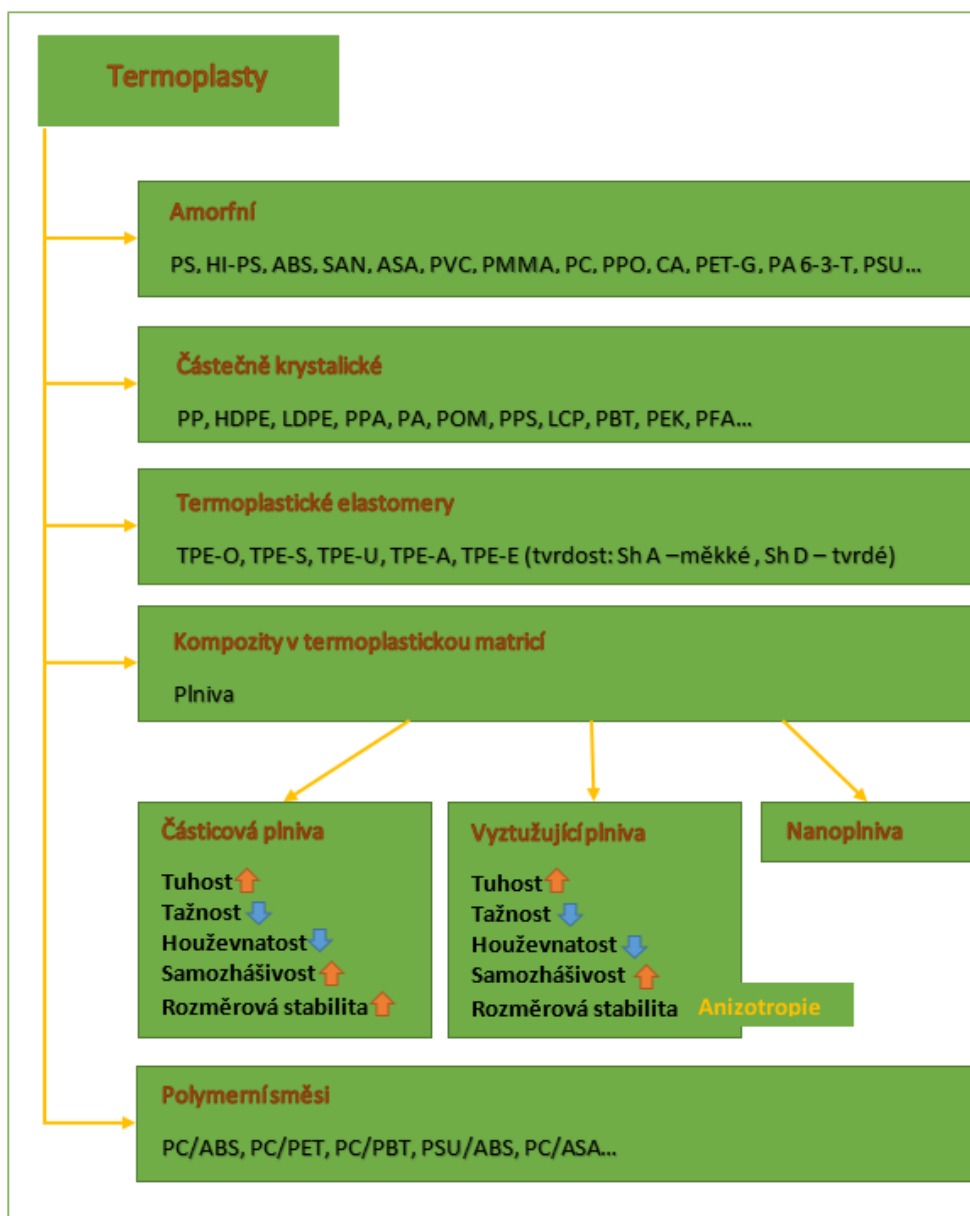
- Termoplasty – plasty tvarované pomocí teploty. Cyklus tvarování a fixace je opakovatelný za zvýšení teploty lze daný výrobek znovu převést do formy taveniny a následně tvarovat do jiného tvaru.
- Reaktoplasty – Plasty které již po procesu fixace nelze dále tvarovat a při dalším ohřevu dochází k degradaci. [3]

Elastomery se dělí na:

- Termoplastické – tvarovatelné pomocí tepla, stejné chování jako u termoplastů. Proces je opakovatelný. Spoje mezi makromolekulami jsou fyzikální povahy.
- Vulkanizované – Tvarovatelné elastomery, které není možné přetvařovat po procesu fixace. Chovají se podobně jako reaktoplasty. Jejich spoje mezi makromolekulami mají povahu chemickou. [3]

### 1.3.2 Základní dělení termoplastů pro vstřikování

Základní dělení termoplastů je vyobrazeno v následujícím schématu (Obr. 16).



Obr. 16 Termoplasty pro výrobu vstřiků [3]

## 2 TEORIE VSTŘIKOVÁNÍ POLYMER-KOV

Požadavek na lehkou konstrukci a efektivitu v mnoha průmyslových odvětvích vede k rozvoji technologií, které synergicky využívají vlastností kompozitních materiálů. Polymer-kov kompozity a aplikace organických fólií mají velký potenciál jak pro úsporu hmotnosti, tak pro zvýšení mechanických vlastností výrobku. Nejen že poskytují řadu výhod, pokud jde o hmotnost a funkčnost ve srovnání s kovovou nebo polymerní konstrukcí, ale také mohou vést k flexibilnějšímu a efektivnějšímu výrobnímu procesu. [8]

V závislosti na požadované aplikaci byly vytvořeny různé metody výroby kompozitních materiálů:

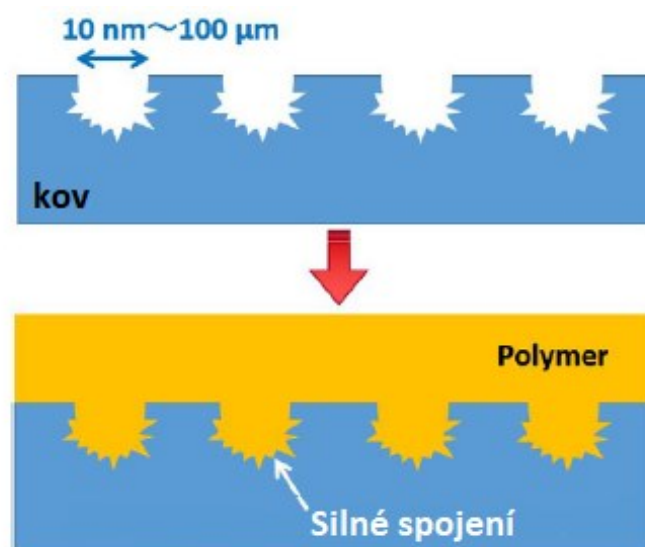
- lepení,
- svařování,
- vytlačování,
- lisování,
- vstřikování.

Technologie vstřikování byla založena před mnoha lety v různých průmyslových odvětvích, díky inovativním návrhům a ekonomickému výrobnímu procesu. Často se používají zejména konstrukce typu polymer-kov. Řada produktů se pohybuje od kompaktních elektronických komponentů až po konstrukční části velkých komponent používaných zejména v automobilovém a leteckém průmyslu. Organické fólie lze nalézt především v konstrukci automobilových nebo sportovních součástech, ale často je můžeme vidět i v jiných oblastech použití. Kompozity s kovovými součástmi, které se skládají s tvarové struktury, nejsou příliš rozšířené. [8] [9]

Pevnost kompozitu je klíčem k funkčnosti. V případě hybridních kompozitu z polymeru a kovu je ovlivněn:

- procesní technologií,
- řízením procesu,
- geometrií tvarované části,
- konstrukcí vazebného povrchu. [8]

Obvykle jsou polymery a kovy spojeny buď mechanicky pomocí šroubů, nebo chemicky pomocí lepidel. V důsledku snížení nákladů a počtu procesů je nezbytné, aby se polymery a kovy spojovaly přímým spojením v jednom procesu. V tomto směru rozumíme přímé spojení vstřikováním (IMDJ) jako jednu z technologií přímého spojování kovů a polymerů s využitím povrchu s mikro trhlinami na (Obr. 17) je schéma procesu IMDJ. Nejprve se na kovovém povrchu vytvoří malé textury o velikostech v rozmezí od 0,01  $\mu\text{m}$  do 100  $\mu\text{m}$ . Poté roztavený polymer proudící přes povrch proniká strukturou procesem vstřikování. Po ochlazení je vzniklý spoj mezi kovem a polymerem dosažen hlavně vzájemnou mechanickou přilnavostí. [10]



Obr. 17 Schématické znázornění spoje polymer-kov pomocí přímého vstřikování[6]

## 2.1 Systém spojování materiálů polymer-kov

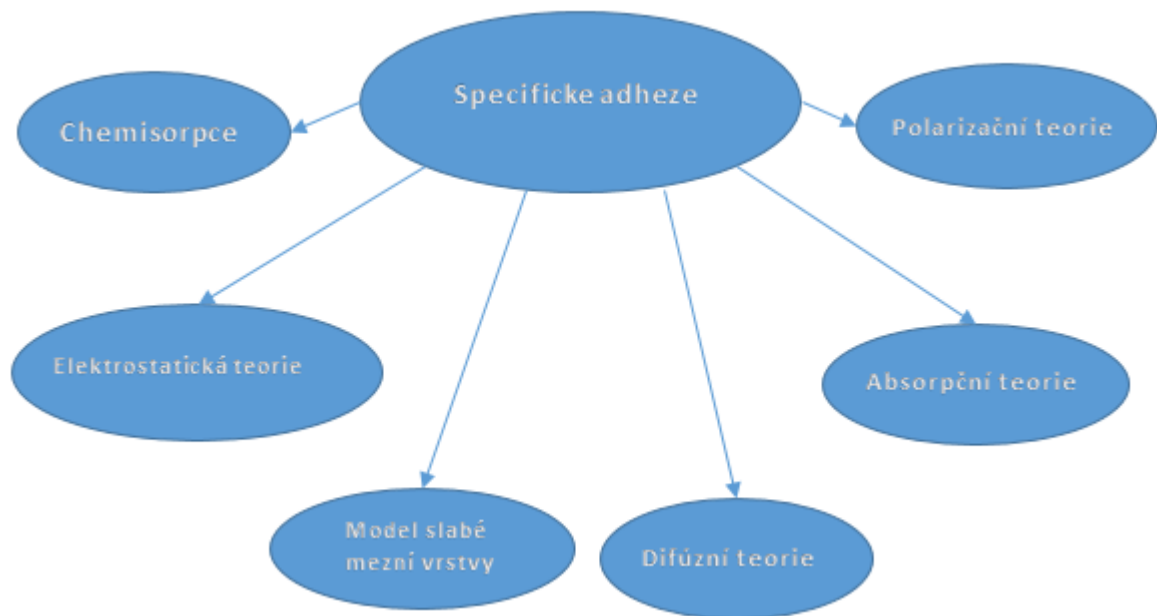
### 2.1.1 Adheze

Pojem Adheze (přilnavost) popisuje všechny možné interakce mezi dvěma fázemi, ve kterých dochází k fyzickému kontaktu a indukují mechanickou soudružnost zapojených fází na rozhraní polymeru a kovu. Adhezi dělíme na dva typy: [11]

- specifickou,
- mechanickou.

### ❖ Specifická adheze

Pojem specifická adheze popisuje fyzické, chemické a termodynamické procesy na rozhraní. Dále zahrnuje šest teorií.



Obr. 18 Přehled specifických adhezí [8]

- Chemisorpce – Popisuje vývoj různých vazeb na rozhraní. V kovových adhezích byly chemické vazby ověřovány experimentálně. [12]
- Elektrostatická teorie – Podle této teorie se mezi spojujícími materiály rozvíjí dvojitá elektrická vazba, která podporuje adhezí síly. V kompozitech polymer-kov se vyvíjí poměrně tenká dvojitá vrstva podporující přilnavost. [12] [13]
- Model slabé mezní vrstvy – popisuje vývoj mezní vrstvy mezi složenými částmi z nečistot, které brání adhezí mezi nimi. Tato teorie se využívá, pokud adhezí nelze vysvětlit jinými teoriemi. [14]
- Difúzní teorie – popisuje interdifúzní procesy mezi oběma spojenými částmi. Pokud jde o spojení polymer a kov tahle teorie se využívá jen zřídka. [12]
- Absorpční teorie – je založena na intermolekulárních a interatomických interakcích na rozhraní. Předpoklady jsou dostatečné zvlhčování a sblížení fází. [12]
- Polarizační teorie – popisuje adhezí na rozhraní pomocí molekulově-fyzické interakce. Lepení je možné pouze v případě stejné polaritě. [8]



Teoretické hodnoty pro fyzikální a chemické intermolekulární vazebné síly jsou uvedeny v tabulce níže (*Tab. 1*). Rozsah fyzikálních vazebných sil (3 – 5 Å) je vyšší než rozsah chemických vazebných sil (1 – 2 Å). Intermolekulární přitahovací síly jsou však mnohem silnější. [8]

Hodnoty v tabulce (*Tab. 1*) odkazují na idealizované plochy, které ve skutečnosti neexistují. V případě dvou reálných fází, které jsou v kontaktu mezi sebou, se spojovací síly vyskytují pouze v nerovném průřezu povrchů, které jsou v přímém kontaktu. Po dosažení dobré přilnavosti je tedy požadováno mnoho kontaktních míst. Vznik kontaktních míst může nastat vhodně zvolenou teplotou a tlakem. [8]

U polymeru a kovu jsou fyzikální jevy (jako vodíkové vazby a Londonovy disperzní síly) zodpovědné za vzniklou vazbu. Kvůli reakci s vlhkostí vznikají na povrchu kovu hydroxylové skupiny, které mohou vytvářet vodíkové vazby s polárními plasty. U nepolárních polymerů vedou Londonovy disperzní síly především k vytvoření vazby. [15] [16]

*Tab. 1 Srovnání vazebných energií a rozsahů pro fyzikální a chemické síly [8]*

Typ interakce	Spojovací energie [kJ/mol]	Rozsah [ $10^{-10}\text{m}$ ]	Teoreticky vypočtené absorpční síly [MPa]	Experimentálně měřená kompozitní pevnost [MPa]
<b>Fyzikální vazebné síly</b>				
Dipól-indukovaný dipól	$\leq 2$		35 – 300	15 – 25
Dipól-dipól	$\leq 20$	3 – 5	280 – 1750	
Disperzní síly	0,08 - 40,0		60 – 360	
Vodíková vazba	$\leq 50$		500	
<b>Chemické vazebné síly</b>				
Iontová vazba	560 – 1000		30	15 – 25
Kovalentní vazba	60 – 680	1 – 2	17,5	
Kovová vazba	110 – 260			

Před vznikem spoje polymer-kov musí být jejich povrch uveden do stavu, který podporuje přilnavost. *Obr. 19* znázorňuje schematickou strukturu rozhraní daného kovu. Nejvyšší vrstva (absorpční vrstva) není čistá a měla by se odstranit během předběžného zpracování kovového povrchu. Reakční vrstva je smíšená vrstva skládající se z oxidů a hydroxidů kovů, které mají vyšší polaritu než kov, a proto jsou vázány na polymery. [17]

Absorpční vrstvy (cca 10nm)	H <sub>2</sub> O, Organická hmota, O <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub>
Reakční vrstva (10 - 100nm)	Oxidy, Sulfidy, Uhličitany
Distorzní pole (>10 000nm)	Mechanické a tepelné zpracování
Základní materiál	Podklad

Obr. 19 Schématická struktura kovového rozhraní [17]

Předběžná povrchová úprava pro kovy má za cíl odstranit nečistoty a absorbovanou vodu.

Používá se také pro oxidaci, zdrsnění povrchu a jeho aktivaci. Látky rozpouštějící maziva se používají k čištění a odmašťování povrchů. Při použití čisticích prostředků na bázi kyselin je také povrch zbavený rzi. [11] [18]

Mechanická předběžná úprava je určena k odstranění čínidel, které brání adhezi a slouží zejména k zdrsnění povrchu. Kovové povrchy jsou oxidovány pomocí chemické předběžné úpravy, která vytváří aktivní vrstvu s polárními funkčními skupinami, které mohou vytvářet fyzikální vazby (vodíkové vazby). Základní nátěr chrání povrch před vlivy prostředí a funguje jako spojovací vrstva mezi spojovanými částmi. [8]

Obecně nelze účinek nebo výběr konkrétního typu předúpravy aplikovat na všechny kompozity složené z polymeru a kovu. Účinky nebo předúpravy povrchu proto musíme individuálně přizpůsobit jednotlivým částem kompozitu. [19]

#### ❖ Mechanická adheze

Mechanická adheze představuje spojení, které se projeví na makroskopické úrovni. Polymer s nízkou viskozitou vyplňuje póry, praskliny a prohloubení na povrchu kovového materiálu, a to vede k mechanickému ukotvení mezi polymerem a kovem po dosažení vyhazovací teploty dílce. [11]

Průnik polymeru do povrchových pórů kovu a složená pevnost silně závisí na geometrii pórů (hloubka otvoru a průměr). Čistě mechanická adheze se vyskytuje pouze v pórech, které mají ve směru působící síly odsazení, čímž zabraňují deformaci. Tento jev je znám jako: efekt stisknutí tlačítka. Hloubka zatečení polymeru závisí na:

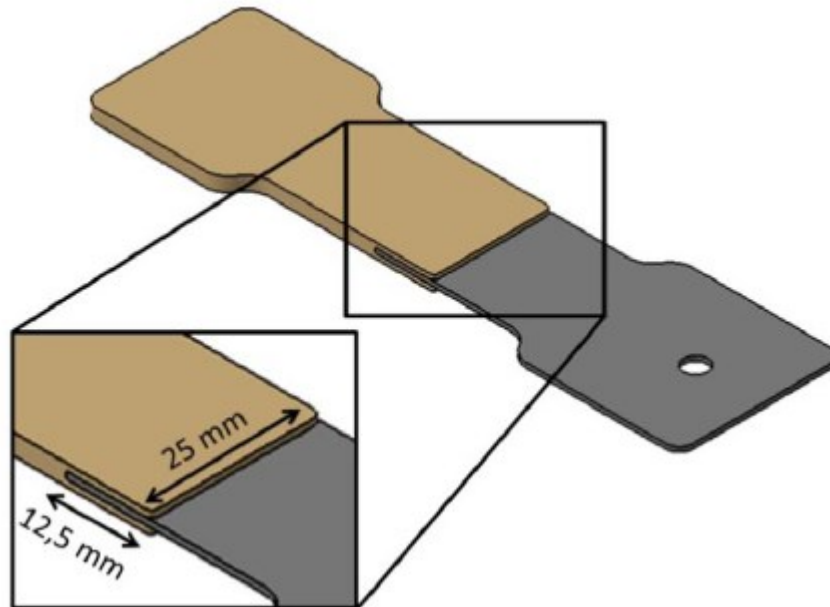
- smáčivých vlastnostech polymeru,
- povrchovém napětí,
- viskozitě,

- protitlaku plynu uzavřeného v pórech. [10]

Obecně rozlišujeme adhezi při klasifikaci pórů:

- Mikromechanickou – zahrnuje velikost pórů menší než 0,1  $\mu\text{m}$ .
- Makromechanickou. [8]

Vlastnosti kovového povrchu, který byl strukturovaný laserem, a má tvarovanou polymerní část (PPS + 40 % skleněného vlákna), experimentálně zkoušel Byskov-Nielsen v roce 2010. Použitím různých úprav povrchů vzorků, byly zjištěny tahové a smykové vlastnosti kompozitu z polymeru a kovu ve vztahu ke vzdálenostem pórů a jejich hloubkám. Průměr póru zůstal konzistentní, roven 100  $\mu\text{m}$ . Ve srovnání s nestrukturovanými povrchy kovu, vykazují modifikované povrchy kovových insertů zřetelné zvýšení pevnosti. Kromě toho byla zjištěna korelace mezi vzdáleností pórů, hloubkou pórů a dosažitelnou pevností. Avšak vliv specifické adheze nebyl v těchto studiích zohledněn, takže tyto výsledky byly jen omezeně přenášeny do jiných systémů. [20]



Obr. 20 Geometrie zkušebního vzorku pro zkoušky tahem u kovů a plastů. [21]

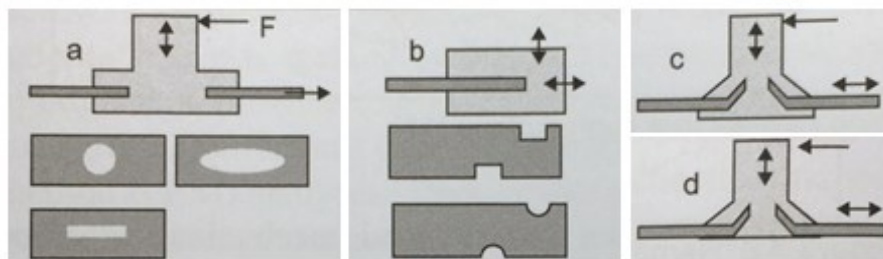
Ve většině případů způsobují povrchové úpravy zlepšení přilnavosti (tj. Abrazivním otrýskáním, broušením, mořením apod.) a také zvýšení pevnosti. Úplný rozsah působení mechanické adheze a efektivitu mechanického spojení se zatím doposud nepovedlo zřetelně určit. Dá se potvrdit, že zdrsněním povrchu kovového insertu, nebo vytvoření defektu v jeho krystalické mřížce má za následek efektivnější spojení polymeru a kovu. Příliš velké zdrsnění

může vést ke snížení soudržné síly, což lze přičíst přítomnosti napěťových špiček, přítomnosti dutin a snížení počtu kontaktních míst. [22]

### 2.1.2 Propojení tvarových spojů

Tvarové výztuže a silové spoje představují další způsob realizace spojů u polymeru a kovu v procesu vstřikování. V tomto procesu jsou tyto typy spojů za pomoci použití nýtů a skob umožněny pro součásti z polymeru a kovu, které mohou odolat vysokému mechanickému zatížení. [18]

Hybridní konstrukční součást nazvaná (z němčiny Erlanger Träger) poskytuje příklady různých typů nýtů a spojů mezi kovovou vložkou a vyztužujícími žebry z termoplastů. Prostřednictvím perforací a řezů vytvořených na straně kovového insertu byly při procesu vstřikování vytvořeny tvarové spojovací nýty. Předsazené desky, které se ohýbaly v důsledku vysokého tlaku taveniny, tvořily spojení mezi kovem a polymerem. Na (Obr. 21) jsou zobrazeny preferenční směry sil pro různé typy zatížení. Na rozdíl od spojení pomocí nýtů (případy a,b), mohou spojovací sponky (c,d), vést axiální sály v tahu, stříhu a ohybu. [23]



Obr. 21 Možnost propojení mezi polymerem a kovem a směry zatížení [8]

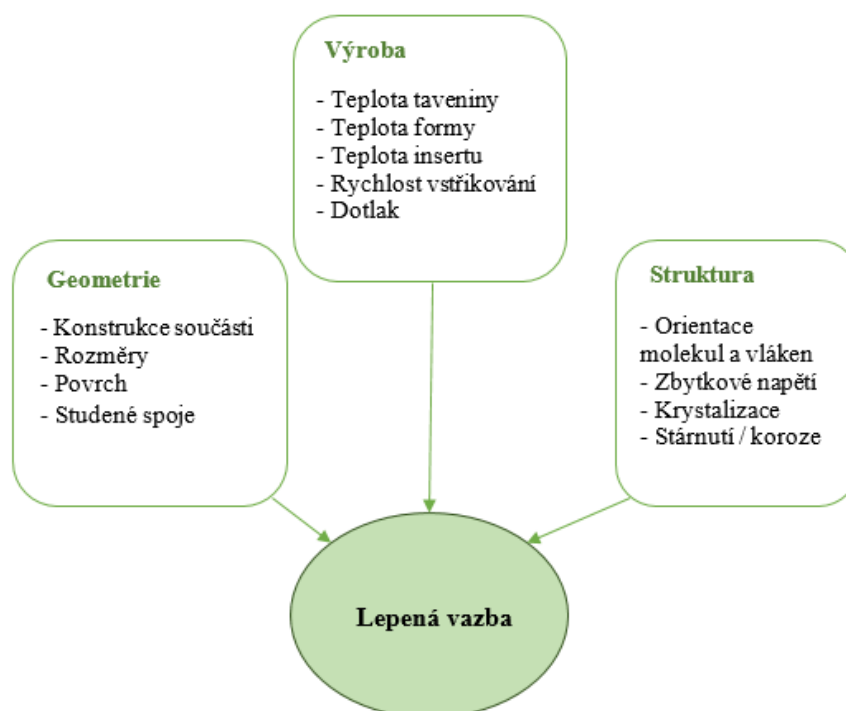
Další výhodou tvarového připojení je vysoký stupeň automatizace ve výrobě. Tento typ spojení umožňuje přenos multiaxiálních napětí prostřednictvím dílce. Pevná spojení (například vytvořená pomocí lepidel) jsou vhodná pouze pro přenos smykových napětí. [18]

## 2.2 Vliv materiálu, konstrukce a procesních parametrů na vlastnosti kombinované součásti

Tato kapitola se zaměří na nejdůležitější aspekty výroby složených dílů z polymeru a kovu v procesu vstřikování. Konstrukčně existují dva základní typy na výrobu kompozitu.

- a) V prvním případě přichází polymerní část do kontaktu s kovovou částí, kde adheze směsi závisí na geometrických faktorech:
  - prohloubení,
  - perforace,
  - chování a smrštění polymeru při vstřikování.
- b) Ve druhém případě polymerní tavenina obklopuje kovový insert, čímž se snižuje riziko uvolnění.

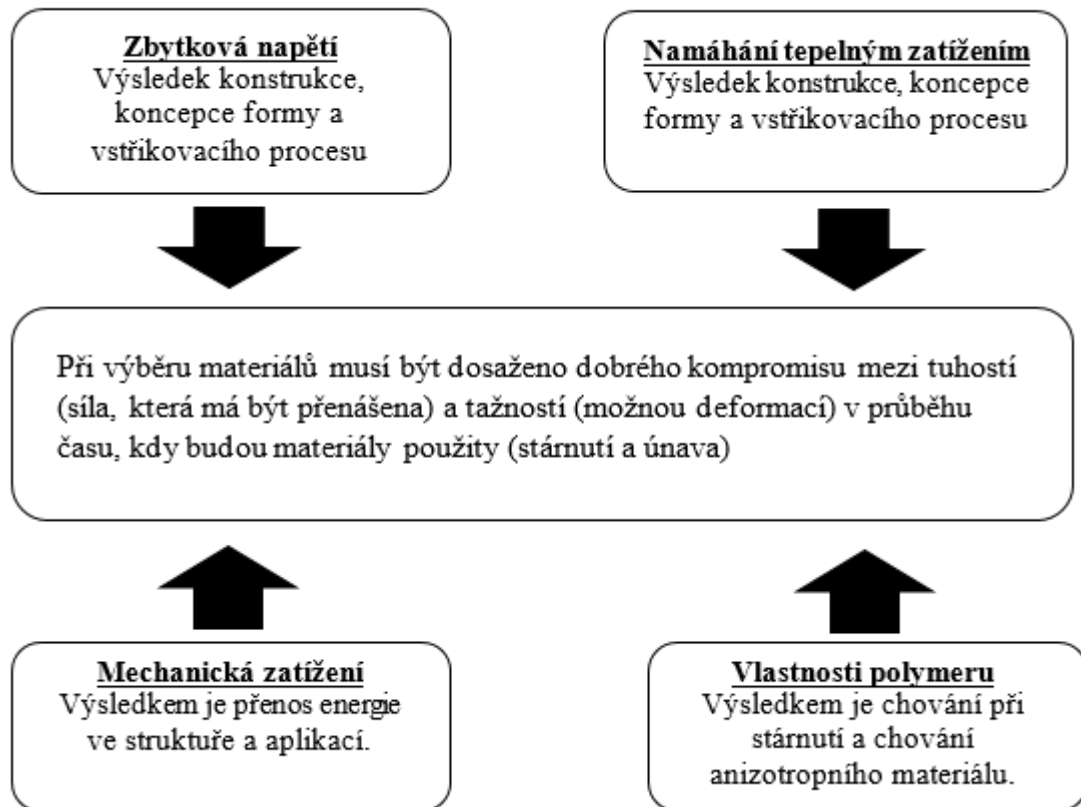
Je však třeba zvážit i další otázky týkající se chování toku taveniny, studených spojů a dalších jevů spojených se vstřikováním. Dále existují četné interakce mezi vlastnostmi materiálu a parametry procesu, které ovlivňují kompozitní materiály obou variant výroby. Zaměřujeme se na vlastnosti a mechanismy základních materiálů a jejich interakce, které jsou významné při výrobě polymer-kovových kompozitů. Shrnutí těchto faktorů je uvedeno na Obr. 22. [8]



Obr. 22 Parametry, které ovlivňují kompozitní přilnavost [8]

### 2.2.1 Výběr materiálu

Při výběru vhodného polymeru je důležité zvážit všechny jeho vlastnosti pro vstřikování (environmentální podmínky hotového dílu, speciální vlastnosti vstřikování kompozitní části). Na *Obr. 23* je znázorněný přehled parametrů, které ovlivňují vstřikování dvoukomponentních dílců z polymeru a kovu. [8]



*Obr. 23 Schematické znázornění interakcí pro výběrové materiály [8]*

Kromě konstrukce, koncepce formy a vlivu procesních parametrů má výběr materiálu s nízkým koeficientem tepelné roztažnosti pozitivní vliv na adhezi kompozitu. U polymeru vyztužených vláknou může pozitivně orientace vláken přispět ke snížení rozdílu mezi koeficientem teplotní roztažnosti daného polymeru a koeficientem teplotní roztažnosti zvoleného kovu. V kompozitní složce vždy existuje vnitřní napětí. Z tohoto důvodu jsou semikrystalické polymery upřednostňovány pro kompozitní spojení polymeru a kovu. Na rozdíl od amorfního polymeru vykazují mnohem větší odolnost proti napětím v podélném směru. [8]

## 2.2.2 Účinek materiálu

### ❖ Anizotropie

Mechanické vlastnosti jednotlivých komponent jsou silně ovlivněny existující orientací vláken materiálu. Rozlišuje se molekulární orientace a orientace vláken výplňových materiálů.

Molekulární orientace vláken jsou zahrnuty do chování během plnění dutiny formy. Silná orientace podél stěn vstřikovací formy a insertu během procesu vstřikování a následné vysoké rychlosti chlazení způsobují zamrznutí části orientovaných molekul. To vede k nerovnoměrnému smrštění a anizotropnímu chování materiálu. [24]

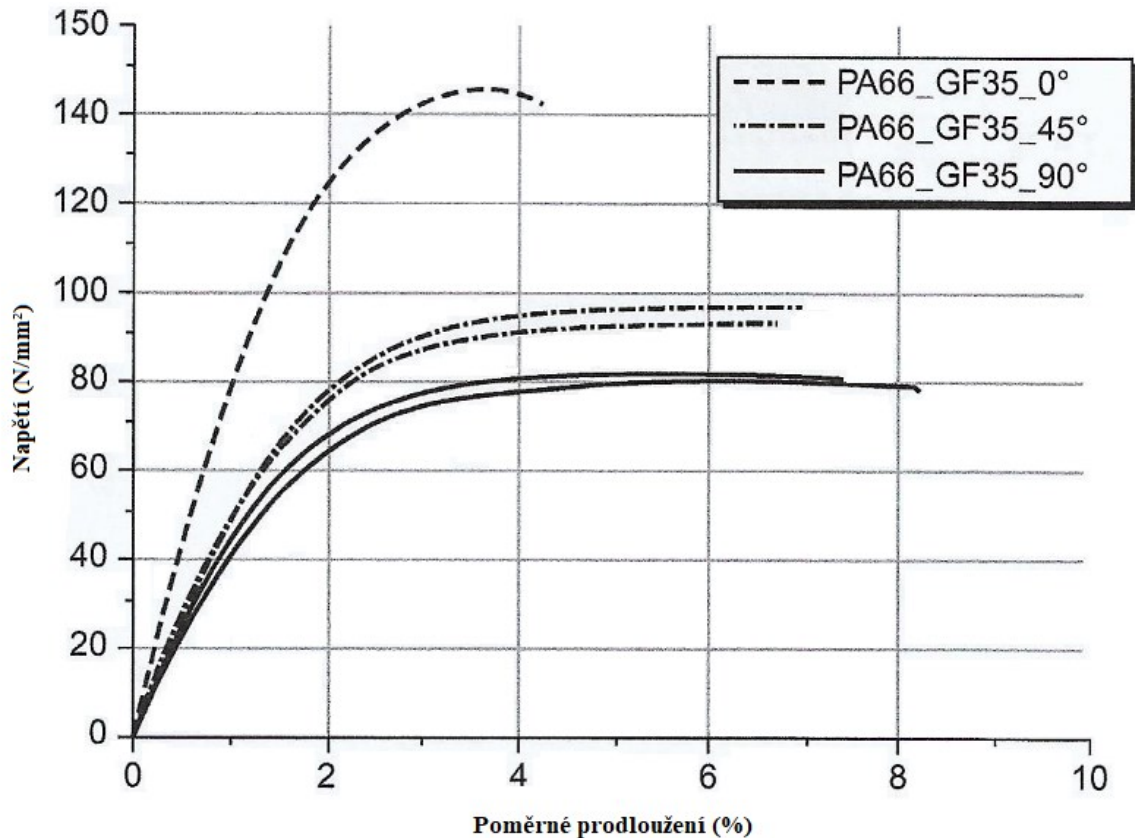
Následnými způsoby lze do určité míry ovlivnit stav a orientaci vláken v polymerním materiálu:

- Zvýšením teploty taveniny  $T_m$  podporuje relaxační schopnost molekulárních řetězců, čímž se dosahuje nižšího množství naorientovaných vláken v materiálu.
- Zvýšení teploty formy má rovněž za následek nižší množství naorientovaných vláken díky stejnému účinku, ovšem tento účinek je méně výrazný než je tomu tak v případě zvýšení teploty taveniny.
- Vyšší rychlost vstřikování  $v_e$  vede k vyššímu množství naorientovaných vláken ve fázi vstřikování. Rychlejší ochlazení na okraji vstřikovaného dílce způsobí zamrznutí vláken. Orientace vláken však v důsledku kratší doby vstřikování a vyššího třecího tepla roste rychleji ve středu vstřikovaného dílce. Z toho důvodu se ve většině případů počet orientovaných vláken v celém průřezu zmenší.
- Zvýšením dotlaku vede k vyššímu stupni orientaci vláken. To je vysvětleno tím, že orientace realizovaná ve fázi dotlaku se hůře vyrelaxuje v důsledku již silně ochlazené taveniny. [24] [25]

U materiálu plněných vláknou má množství vláken a jejich orientace mnohem větší vliv než molekulární orientace. Obrázek níže (*Obr. 24*) uvádí příklad vlivu orientace skleněných vláken na mechanických vlastnostech materiálu PA66. [8]

Pevnost v tahu je vyšší ve směru orientace vláken, ale viditelně horší než u neplněného materiálu, když jsou orientované příčně kvůli působící síle. Zejména může dojít k selhání materiálu ve studeném spoji v důsledku rozdílné orientace vláken. Rozdílné orientace vláken

mohou dále způsobit nerovnoměrné rozložení tepla v materiálu a tím pádem způsobit deformaci součásti. Z tohoto důvodu je nutné orientaci vláken upravit tak, aby odpovídala směru zatěžující síly. [25]



Obr. 24 Vliv orientace skelných vláken na tahové vlastnosti [8]

#### ❖ Koeficient lineární teplotní roztažnosti

Důležitým fyzikálním parametrem, který hraje roli při výrobě kompozitu složeného z polymeru a kovu je koeficient lineární teplotní roztažnosti  $\alpha$ . Popisuje délkové změny materiálu v závislosti na teplotě a také představuje funkci E-modulu. Polymery mají obecně mnohem větší koeficient lineární teplotní roztažnosti než anorganické materiály. Když dva spojované materiály mají rozdílné koeficienty teplotní roztažnosti, je nutné zjistit jejich součinitel  $\Delta\alpha$ . [25]

Koeficient lineární teplotní roztažnosti polymeru může být redukován přidáním výztužných materiálů (zejména vláken) a tak může být přizpůsobený koeficientu teplotní roztažnosti



kovů. Součinitel teplotní roztažnosti je menší ve směru orientace vláken než ve směru kolmém na orientaci vláken. Tabulka níže (Tab. 2) vyobrazuje přibližné hodnoty koeficientu lineární tepelné roztažnosti pro vybrané polymery a kovy. [8]

Tab. 2 Tabulka koeficientu lineární tepelné roztažnosti pro kovy a polymery.

Materiály	Označení	Skleněná vlákna [%]	Koeficient lineární teplotní roztažnosti $\alpha [10^{-6} \text{K}^{-1}]$
Polymery	PA 6	0	80
	PA 6	30	60
	PBT	0	145
	PBT	30	80
	PET	0	60
	PC	0	70,2
	PC	30	40
	ABS	0	90
	PS	0	70
Kovy	Ocel	-	13
	Dural		23
	Hliník		22,2
	Měď		16,6
	Mosaz		18,7
	Ocel nerez		12,6

### ❖ Vnitřní pnutí

Vnitřní pnutí je mechanické namáhání, které je v dílci přítomné především bez vnějších vlivů. V termoplastických částech vyrobených vstřikováním se vyskytují především pnutí prvního stupně. Tento typ napětí vzniká především v makroskopických oblastech a zahrnuje chlazení, zahřívání, dotlak a vliv zapouzdření. [25]

Vnitřní pnutí způsobené chlazením nebo zahříváním je přítomné ve všech vstřikovaných polymerních složkách v důsledku jejich zpracování a jsou tvářeny kontrakcí objemu během chlazení dílce (tento efekt je výraznější v semikrystalických materiálech než v amorfních z důvodu právě krystalické složky). Tato korelace mezi tlakem, specifickým objemem a teplotou je zapříčiněna pozdějším chlazením, to přímo souvisí s nárůstem hustoty. Zvýšení hustoty se současně projevuje snížením objemu ve vnitřku dílce. Tyto rozdíly smrštění vedou k nárůstu vnitřního napětí v tahu a vnitřní tlakové napětí na okrajové části dílce. [8] [24]

Kromě toho dochází k vnitřnímu tepelnému namáhání, když nastane následující:

- Dochází k mechanické překážce expanze nebo kontrakce,
- Kombinace materiálů mají rozdílný koeficient tepelné roztažnosti.

I přes větší teplotní rozdíly, které mají za následek vznik tepelného namáhání v kompozitech polymeru a kovu, může být toto namáhání vyjádřeno pomocí vztahu: [26]

$$\sigma_T = - \int_{T_1}^{T_2} E_K(T,t) \cdot (\alpha_K(T) - \alpha_M(T)) \cdot dT \quad (1)$$

Kde:

$\sigma_T$  – teplotní napětí způsobené změnou teploty  $T_1$  na teplotu  $T_2$ ,

$E_K(T,t)$  – teplotně a časově závislý modul pružnosti polymeru,

$\alpha_{K,M}$  – koeficient teplotní roztažnosti závislý na teplotě. [8]

V kompozitech z polymeru a kovu vznikají v dílci velké vnitřní pnutí za důsledku chlazení polymeru ve fázi vstřikování. To je zejména část, kdy u kovového insertu probíhá tzv. smrštění vázané na formu. Výsledkem jsou vysoká vnitřní a tahová napětí. Kromě toho relativně velký rozdíl mezi kovy a polymery způsobuje nerovnoměrné chlazení součástí ve formě, to má za následek výrazné zvýšení objemu vlivem  $\Delta\alpha$ . [8] [26]

### 2.2.3 Konstrukce

Při navrhování konstrukce dvoukomponentních součástí se vzájemně ovlivňují kritéria materiálu a konstrukce tak, aby mechanické vlastnosti hotových dílů splňovaly dané požadavky. [8]

### 2.2.4 Konstrukční návrh

Navzdory nahrazení kovových materiálů kompozitními materiály z polymeru a kovu musí být celková tuhost výrobku zachována v souladu s normou. To platí zejména v oblasti uzavřeného povrchu, protože jakákoliv deformace by vedla ke snížení tuhosti v místě spoje obou materiálů. [24]

V kompozitech polymer-kov existují dva typy přenosu síly do komponenty:

- A. Síly mohou být zachyceny kovovým dílem a vyrovnány. V tomto případě je však nutné do dělicí plochy začlenit mezivrstvu, aby se zabránilo možnému úniku taveniny.
- B. Síly mohou být přenášeny na kovovou strukturu přes polymerní složku. Mechanická únosnost hotového dílu závisí na kovové konstrukci, uspořádání a typu spoje v polymerním dílu. [8] [24]

Polymerní část slouží nejen pro účely integrace funkcí, ale také působí jako výztužný prvek ve formě žebrování, která mají za úkol zamezit vybočení nebo zhroucení kovových částí. Typ žebrování je individuálně navržen tak, aby odpovídal typu a směru zatížení. [27]

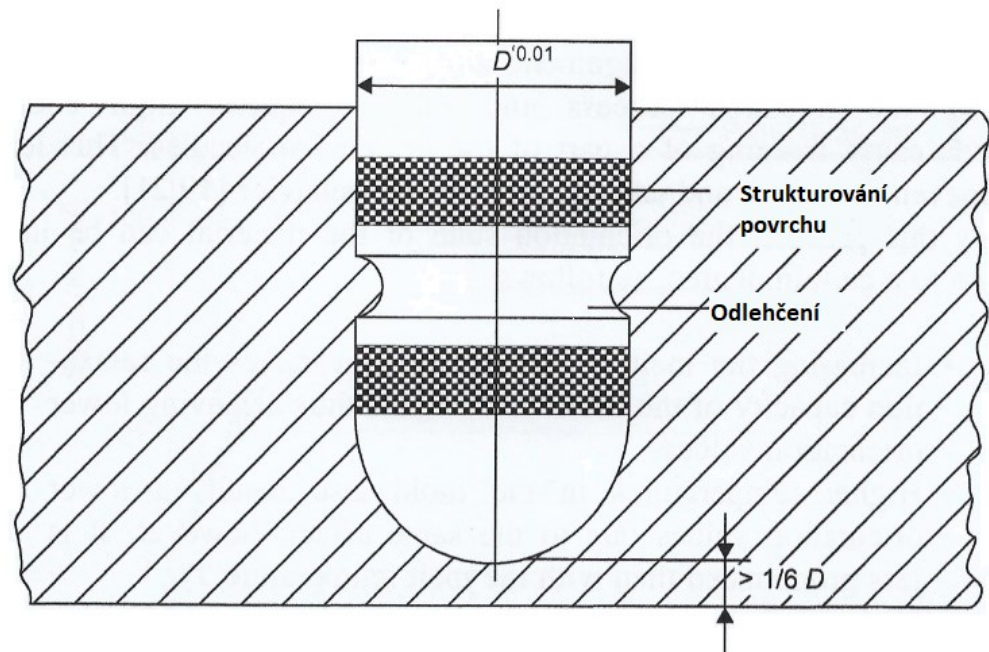
Další pomůcka při navrhování součástí je simulace plnění pro vstřikování. Tímto způsobem může být identifikována vada nebo deformace již v části návrhu výrobku. K deformaci součástí dochází v důsledku chování taveniny při plnění formy, vlivem orientace vláken, prohloubení nebo poloh studených spojů. Nerovnoměrné, asymetrické vyplnění formy nebo nerovnoměrné rozložení tlaku může způsobit deformaci kovového insertu. [24]

Deformace kovové části mají za následek nerovnoměrné rozložení tloušťky stěn polymerních částí. Kromě toho v kovové vložce zůstávají vyšší napětí po vyjmutí výrobku z dutiny formy. Pokud se tyto dva efekty vyskytují současně, tak u součásti může docházet k podstatně velké odchylce rozměrů. Tyto problémy mohou být řešeny buďto upravou konstrukce dílce nebo optimalizací vtokového systému. [24]

Když je kovový insert obklopený taveninou v dutině formy, je vznik studených spojů ve výrobku nevyhnutelný. Pokud je to možné, měly by být tyto spoje přemístěny do oblastí, které nebudou tolik vystaveny velkému zatížení. Pokud je pevnost spoje menší než 50% znamená to, že je zvýšená koncentrace napětí na povrchu součásti, přítomnost vzduchových bublin ve studených spojích nebo chybí molekulární zapletení. [8] [27]

Důležitým aspektem návrhu konstrukčních prvků je uspořádání a předúprava kovových insertů. Tvorba trhlin je hlavním problémem v polymerní vrstvě a může být příčinou vzniku vnitřního napětí. Pro udržení co nejmenšího vnitřního napětí je potřeba při konstrukci zohlednit několik pravidel. Výčet těchto pravidel je uveden v odrážkách níže a v obrázku pod textem (*Obr. 25*). [24] [27]

- Eliminace hran a rohů u kovového insertu (žádná koncentrace napětí).
- Inserty musí být opatřeny vybráním nebo je nutné je strukturovat a upravit jejich povrch.
- Doporučené tolerance pro inserty jsou kolem  $\pm 0,01$  mm.
- Tloušťka polymeru pod kovovým insertem by měla být alespoň  $1/6$  průměru  $D$  kovového insertu.
- Využívání modifikovaných polymerů s vyšší odolností proti nárazu.
- Nastavit dostatečnou tloušťku stěny pro polymerní vrstvu. Pro velké inserty platí obecné pravidlo:  $0,3D \leq s \leq 0,4D$  pro  $D \leq 25$  mm). [24]



Obr. 25 Návrh kompozitu z polymeru a kovu [8]

### 2.2.5 Procesní parametry

Mechanické vlastnosti hotových dílů z polymeru a kovu do značné míry závisí na kontrole řízení procesu nebo procesních parametrech během procesu vstřikování. Do procesních parametrů patří základní části vstřikovacího procesu a jejich vliv na vlastnosti kompozitního dílce. [8]

Při vkládání kovového insertu a vstřiknutí polymeru je na rozhraní těchto materiálů kontaktní teplota ovlivněná:

- teplotou taveniny,
- teplotou formy,
- teplotou kovového insertu,
- kontaktní podmínky mezi insertem a vstřikovací formou. [3] [8]

#### ❖ Teplota taveniny

Teplota taveniny a její chronologický proces silně ovlivňují kvalitu vstřikovaného dílu, dále ovlivňují přílnavost kovového insertu s polymerním materiálem. Belyi ukázal, že adhezní síla mezi povrchem kovového insertu, na kterém byla hliníková fólie a polymamidem 6 (PA 6) výrazně vzrůstá v korelaci s rostoucí teplotou. Tomuto jevu je docíleno kvůli lepší smáčivosti kovu, když roste teplota taveniny polymerního materiálu. Čím je smáčivost vyšší, tím je vyšší množství mechanických kotevních bodů na nehomogenních částech kovového povrchu. [8] [28]

Vyšší teplota taveniny může dále pozitivně ovlivnit pevnost spoje. Tabulkové hodnoty neexistují, protože pevnosti jsou určeny teplotou taveniny různě v závislosti na daném materiálu a poloze spoje. Haufe však určil střední teplotní profil taveniny jako parametr pro intenzitu průtoku. Demonstroval vliv teploty taveniny na pevnost spoje měřením mikrotvrdosti v oblasti daného spoje. Studie ověřily, že linie spoje může být lokalizována přesně pomocí měření mikrotvrdosti. Při vyšších teplotách tání materiálů však byly zjištěny menší rozdíly mezi zónou spoje a okolní oblastí. [28]

#### ❖ Teplota insertu

Teplota určená k předehřevu kovového insertu silně ovlivňuje spojení s polymerní složkou a tím celkovou pevnost kompozitu. Tento jev byl ověřen v testech lisování za tepla, při kterých je kontaktní teplota výrazně vyšší než u procesu vstřikování. Zkouška následně prokázala, že pevnost spoje roste se zvyšující se teplotou insertu. Viskozita se mění v závislosti na teplotě, což způsobuje snížení povrchového napětí a smáčení. Kromě toho předehřívání kovového insertu snižuje rozdíly mezi koeficientem lineární tepelné roztažnosti a rozdílem smrštění polymeru a kovu. To pozitivně ovlivňuje stav napětí na rozhraní obou materiálů. V procesu vstřikování kompozitu s polymeru a kovu by měla být doba mezi vložením kovové vložky do dutiny formy a následným vstříknutím polymeru co nejkratší. Předehřátý insert v důsledku chlazení formy rychle ztrácí svou teplotu. Teoreticky, pokud zanedbáme účinky jako je smrštění materiálu a vznik napětí na rozhraní obou materiálů, může být dosaženo

adhezivního spojení mezi jednotlivými komponenty. Kontaktní teplota mezi polymerem a kovem pro vytvoření adhezivní vazby by měla být vyšší než teplota měknutí amorfních polymerů a teplota krystalizace pro semikrystalické polymery. Dále možné konstrukční příklady jsou uvedeny v obrázku níže (Obr. 26). [8] [19] [23]

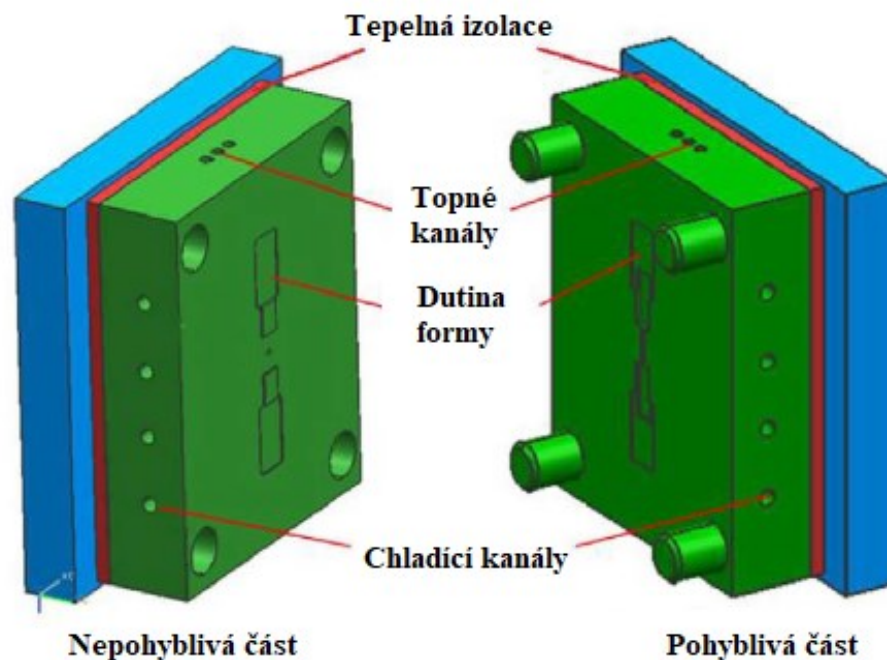


Obr. 26 Příklady kovových insertů

### 2.2.5.1 Teplota vstřikovací formy

Teplota formy výrazně ovlivňuje podmínky chlazení vstřikovaného dílu, účinky krystalizace a celkového smrštění. U semikrystalických polymerů má zvýšení teploty formy spíše negativní účinek. Když je dosaženo úplného uzavření formy, je v hotovém dílci dostatečné množství tepla, což vede k velkým hodnotám smrštění materiálu. Riziko vzniku trhlin způsobených vnitřním napětím je tedy vyšší. [24]

Naopak nejvyšší teplota formy může pozitivně ovlivnit pevnost spoje. Testovací vstřikovací forma pro posuzování vlivu teploty formy na soudružnost je zobrazena na Obr. 27. Vyšší tepelný příkon může snížit nebo dokonce eliminovat povrchové defekty, které by mohli vést k poruše dílce. [29]



Obr. 27 Příklad experimentální formy pro vstřikování kompozitu s polymeru a kovu [29]

#### ❖ Rychlost vstřikování

Rychlost vstřikování má velký vliv na stupeň orientace v polymerní složce. Ovlivňuje tak smrštění a množství studených spojů. Silná molekulová orientace je výsledkem posledního ochlazení v místě u stěny v blízkosti kovového insertu. Ztuhne-li na místě, a vyvolá velké rozdíly ve smrštění mezi středem součásti a jejím okrajem. Vysoká rychlost vstřikování má vliv na kvalitu povrchu a pevnost spoje. Při vyšších rychlostech vstřikování se výrazně snižuje riziko vzniku defektů a odchylek v napětí na povrchu. Je-li nastavena nízká rychlost vstřikování tak se toky taveniny špatně zaplétají a tím klesá celková pevnost výrobku. Pokud je však v opačném případě vstřikovací rychlost příliš vysoká, může dojít ke vzniku Dieslova efektu. Dieslový efekt způsobuje znečištění materiálu v důsledku spáleného vzduchu na konci průtokové dráhy. Konstrukcí vhodného odvodu vzduchu formy nebo úpravou již stávajícího můžeme této situaci předejít nebo jí napravit. [3] [8]

### ❖ Dotlak

Doba a úroveň dotlaku v podstatě ovlivňují účinky smrštění na vstříkovaném dílu. Zvýšením hodnoty dotlaku se značně sníží hodnota smrštění polymeru v důsledku elastické stlačitelnosti. Tím je zmenšená hloubka možných prohloubení, která snižují pevnost celého dílu. Snížené smrštění navíc vyvolá menší namáhání na rozhraní obou materiálů, což má pozitivní vliv na pevnost celého kompozitu. Vyšší dotlak umožňuje spojit různá čela taveniny a zlepšovat tak kvalitu povrchu a mechanické vlastnosti hotového výrobku. [8] [24]



## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

### 3 STANOVENÍ CÍLŮ PRAKTICKÉ ČÁSTI

Hlavním úkolem praktické části této práce bude navrhnout nejvhodnější tvar zkušebních těles pro testování soudružnosti mezi polymerem a kovovými inserty. Dalším cílem bude navrhnout vhodnou konstrukci vstřikovací formy dle potřeb výzkumu na Centru polymerních systémů a fakulty Technologické. Konstrukce výrobků a vstřikovací formy bude realizována v programu Autodesk Inventor 2018 s využitím knihoven a normálií od firem HASCO a Meusburger. Posledním krokem v této diplomové práci bylo zajistit dostatečný počet cenových nabídek pro výrobu formy a samotných kovových insertů a danou výrobu zadat.

Pro praktickou část této diplomové práce byly stanoveny tyto cíle:

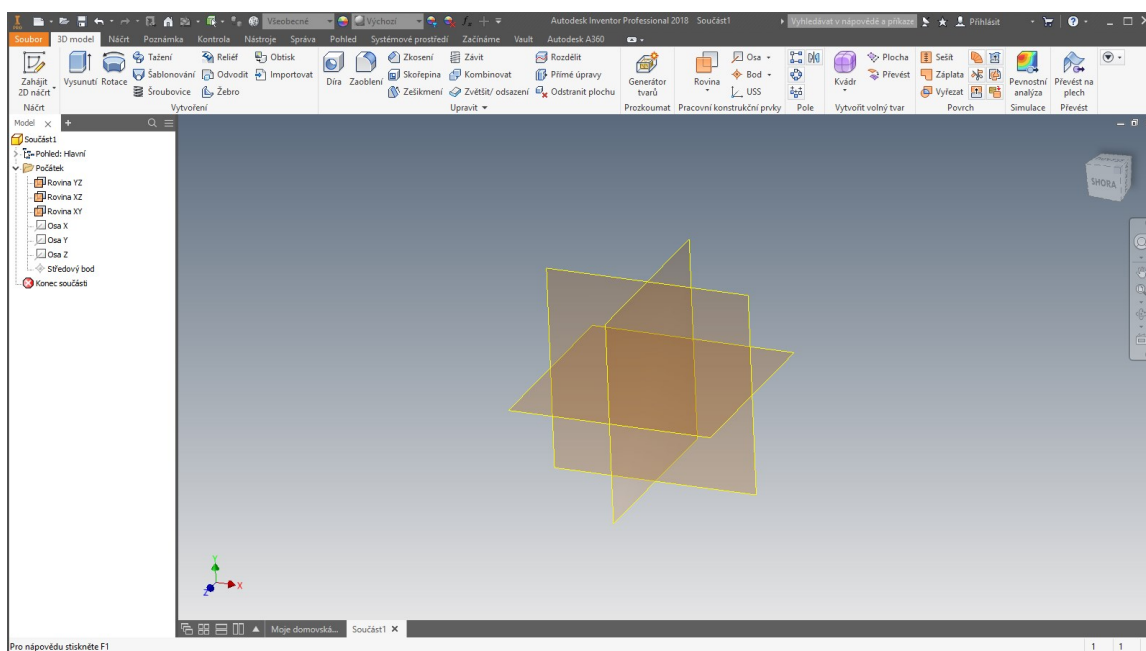
- návrh tvaru zkušebního tělesa pro testování soudružnosti dílců polymer x kov,
- návrh vstřikovací formy pro daná zkušební tělesa,
- zpracování 2D výkresové dokumentace,
- příprava všech podkladů pro výrobu vstřikovací formy,
- volba výrobce vstřikovací formy a kovových insertů.

## 4 POUŽITÉ APLIKACE

Pro potřeby diplomové práce byly využity celkem dva softwary, jeden pro konstrukci zkušebních tělesa samotné formy, druhý pak pro CAE počítačovou simulaci procesu vstřikování.

### 4.1 Autodesk Inventor 2018

Software Autodesk Inventor poskytuje konstruktérům a projektantům profesionální řešení pro 3D návrh, simulaci, vizualizaci a tvorbu výkresové dokumentace. Autodesk Inventor obsahuje výkonné nástroje pro modelaci dílů a sestav. Umožňuje převod souborů do více formátu CAD a tvorbu standartních výkresů \*.dwg. [30]



Obr. 28 Pracovní prostředí programu Autodesk Inventor 2018.

### 4.2 Autodesk Moldflow Synergy 2016

Software Autodesk Moldflow Synergy 2016 je určený pro simulaci vstřikování plastů, kde pomáhá snižovat výrobní náklady a eliminovat výrobní vady. Tento software disponuje nástroji pro simulaci procesu vstřikování, optimalizaci vtokového systému vstřikovací formy, správné rozvržení chladičového systému a kontrolu deformací dílce. [31]

## 5 NÁVRH SOUČÁSTI Z POLYMER – KOV

### 5.1 Návrh tvaru zkušební tělesa

Jedním z úkolů této diplomové práce je navrhnout zkušební tělesa pro následné zkoušky soudružnosti tahem. Bylo rozhodnuto, že budou navrženy dva typy zkušebních těles, které budou následně vyrobeny procesem vstřikování. U každého typu zkušebních těles bude navrženo více variant provedení, ze kterých byla následně vybrána ta nejvhodnější. Mezi nejdůležitější faktory, podle kterých bude provedena volba nejvhodnější varianty, budou patřit:

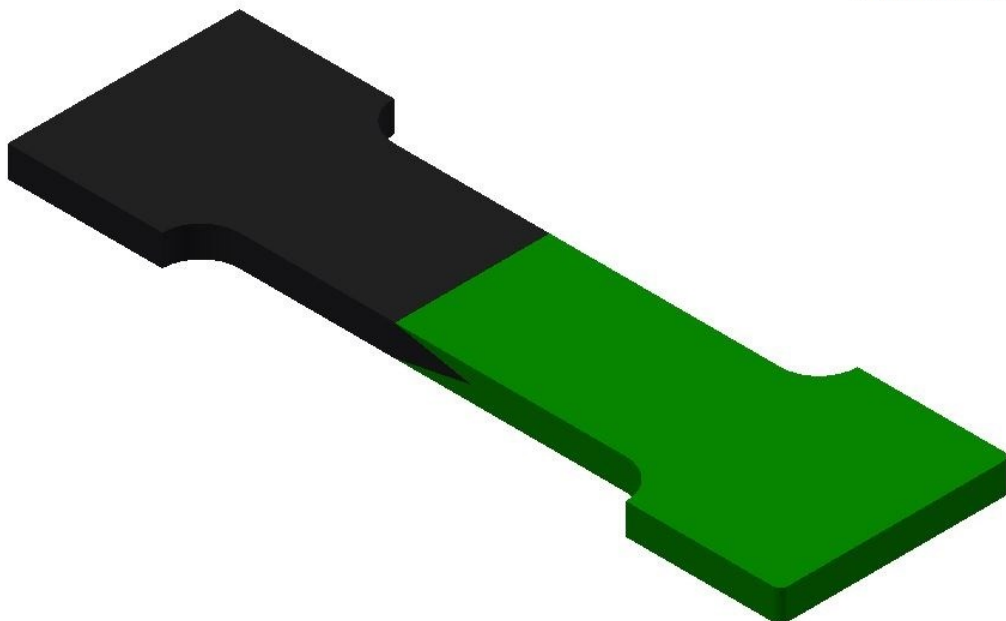
- největší možná styčná plocha mezi materiály,
- snadná výroba kovového insertu,
- úspora materiálu.

#### 5.1.1 Zkušební těleso na tahovou zkoušku s plochým insertem

##### ❖ Návrh č. 1

Tento návrh byl nakonec zamítnut z důvodu, že styčná plocha dvou materiálů je příliš malá. Kovový insert (*Obr. 29* – černá barva) má zbytečně velkou tloušťku a je z ekonomického hlediska složitý a tím nákladný na výrobu.

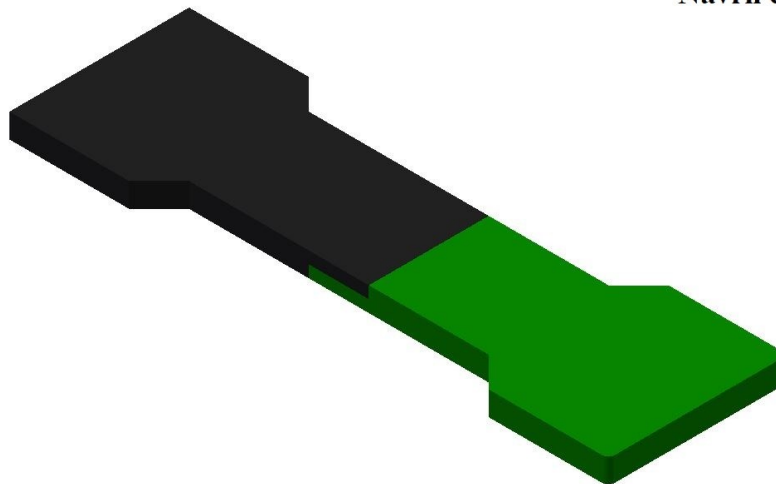
### Návrh č. 1



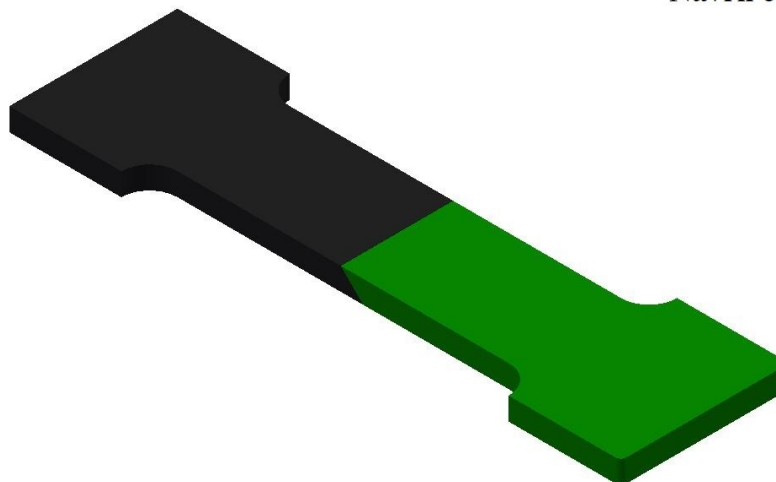
*Obr. 29 První návrh zkušební tělesa s plochým insertem*

**❖ Návrh č. 2**

V návrhu zkušebního tělesa, které je znázorněno na *Obr. 30* může nastat smykové namáhání vlivem vzniku přeplátovaného spoje, což způsobí zkreslení výsledků. Další faktor, který nám vylučuje zvolení daného typu je použití ostrých hran v oblasti spoje.

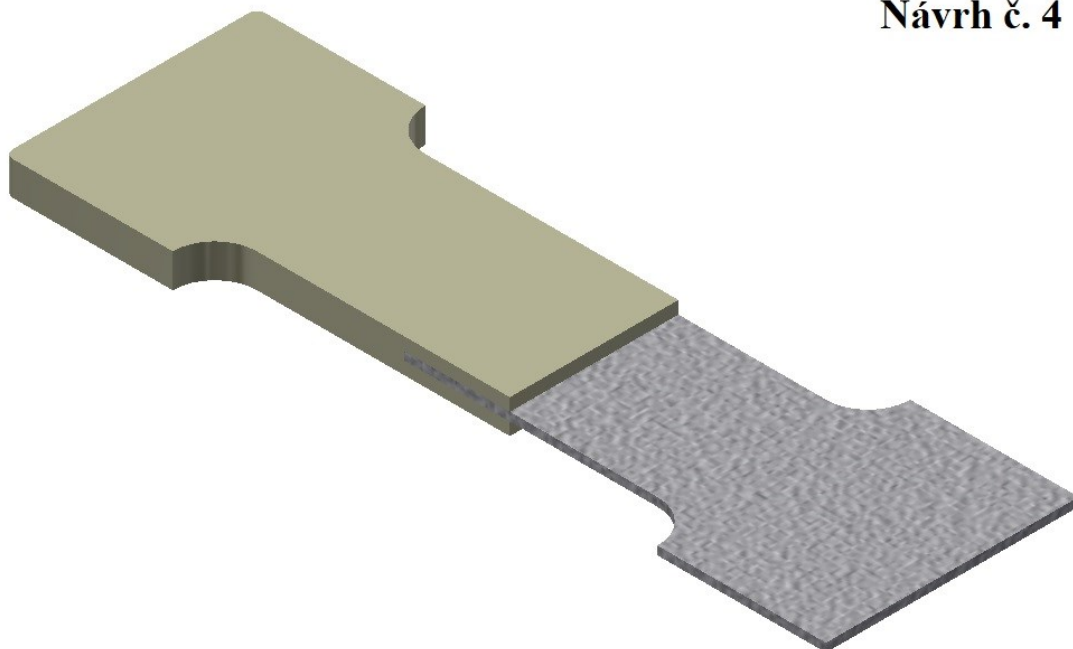
**Návrh č. 2***Obr. 30 Druhý návrh zkušebního tělesa s plochým insertem***❖ Návrh č. 3**

U třetího návrhu je z *Obr. 31* vidět že styčná plocha obou materiálů je nejmenší. Spoj je pod úhlem 45°, což není moc vhodné pro dobrou adhezi. Na druhou stranu, je tento spoj pevnější v porovnání se spojem natupo. Pokud by povrch kovového insertu byl povrchově upravený, tak by spojení bylo možné, avšak za cenu vyšších výrobních nákladů kovového insertu.

**Návrh č. 3***Obr. 31 Třetí návrh zkušebního tělesa s plochým insertem*

**❖ Návrh č. 4**

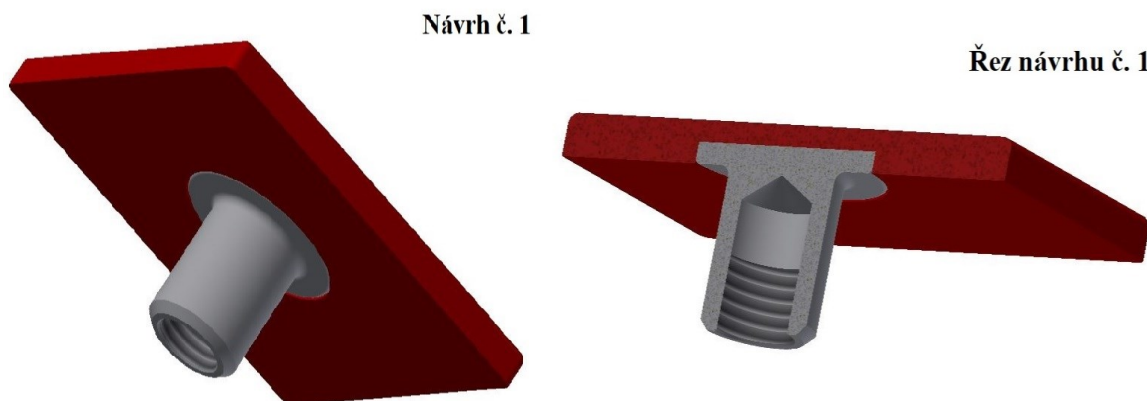
Ve zkušebním tělese, které je zobrazeno na *Obr. 32*, vidíme zásadní změnu oproti předešlým návrhům v tloušťce kovového insertu. Redukce tloušťky kovového insertu má výrazně snížit výrobní náklady. Dále můžeme vidět, že styčná plocha je největší, protože je kovový insert zapuštěný do polymerní části. Celková délka zkušebního tělesa je 100 mm, což je pro tahovou zkoušku dostačující. U kovové části nebylo nutné zaoblení vnějších hran. Hrany se opravaly jen ve styku s polymerem, aby se maximalizovala styčná plocha a snížila možnosti vzniku napěťových špiček. Na *Obr. 31* je kovový insert zapuštěný do polymeru délkou 12,5 mm. Celková styčná plocha je 246 mm<sup>2</sup>. Tato délka se může měnit v závislosti na celkové délce kovového insertu. Výrobní výkres zkušebního tělesa je v příloze P2.

**Návrh č. 4**

*Obr. 32 Čtvrtý návrh zkušebního tělesa s plochým insertem*

**5.1.2 Zkušební těleso na tahovou zkoušku s válcovým insertem****❖ Návrh č. 1**

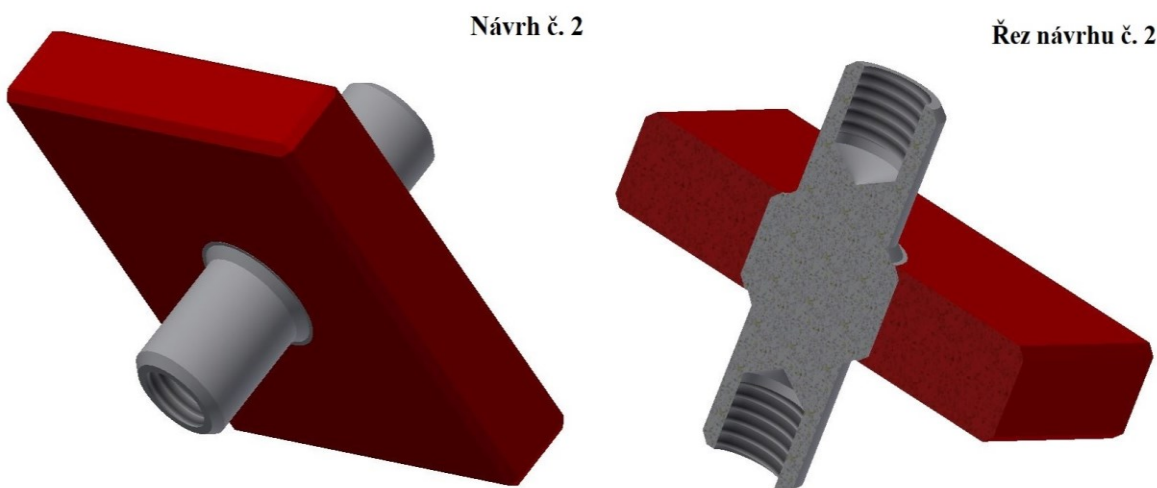
Tento návrh není optimální. Prvním důvodem je, že kovový insert není zcela zapuštěný do polymerní části, což by při tahové zkoušce mělo za následek předčasné vytržení insertu.



*Obr. 33 První návrh zkušebního tělesa s válcovým insertem*

❖ **Návrh č. 2**

V návrhu, který vidíme na (*Obr. 34*) je patrné že při trhací zkoušce se oboustranný kovový insert vytrhne poměrně brzo. Aby byl tento návrh úspěšný, musela by styčná plocha mezi insertem a polymerem povrchově upravena. Návrh formy pro tento výrobek by byl ekonomicky náročný, jako také samotná výroba oboustranných válcových insertů. Polymerní část má zbytečně velkou tloušťku, a tak by bylo za potřeby větší množství polymeru, což by mohlo způsobit jeho velké deformace.

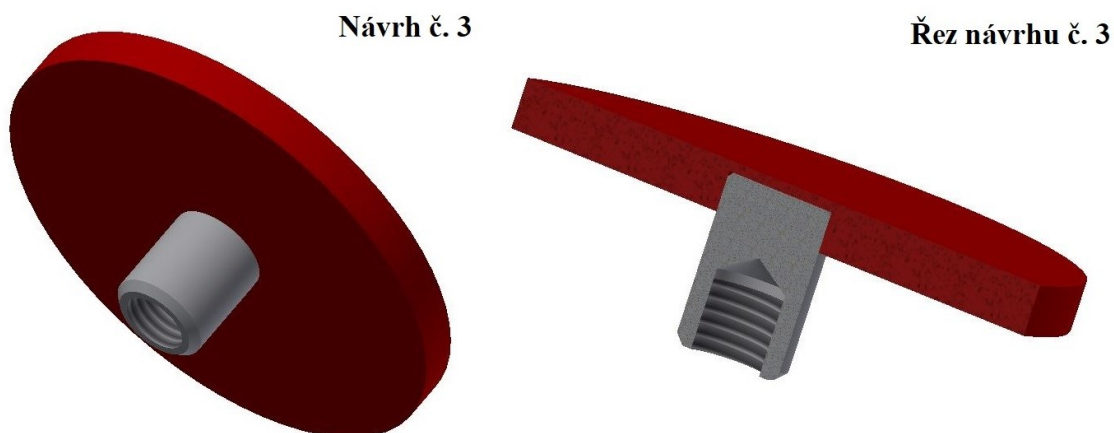


*Obr. 34 Druhý návrh zkušebního tělesa s válcovým insertem*

❖ **Návrh č. 3**

U třetího návrhu bylo zapotřebí změnit tvar polymerní části ze čtvercové na kruhovou. Tato změna nám pomůže při procesu vstřikování vyvarovat se toho, že by nám polymer špatně

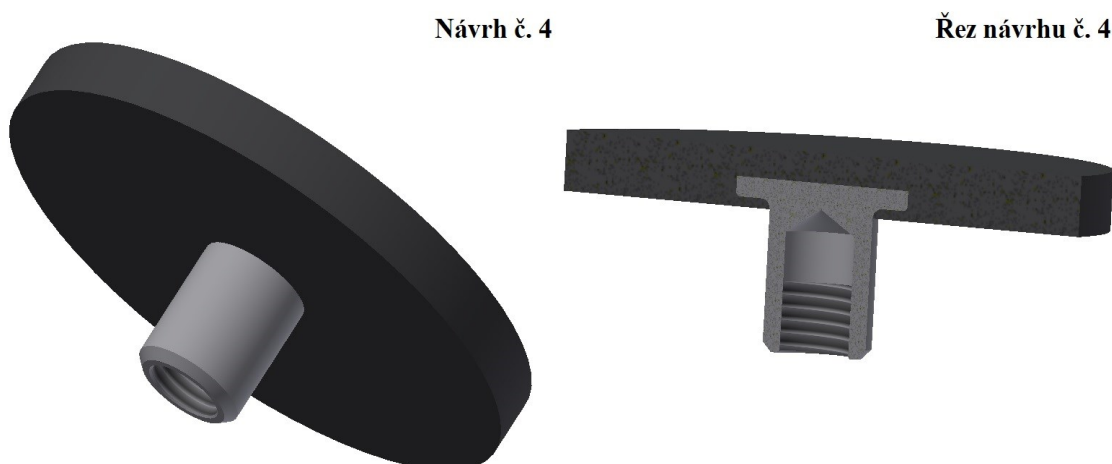
dotekl. Bohužel i tento návrh nebyl vhodný, protože byl zvolen špatný tvar insertu, který by se vytrhl hned při začátku zkoušky případně již při procesu odformování výrobku.



Obr. 35 Třetí návrh zkušebního tělesa s válcovým insertem

#### ❖ Návrh č. 4

Zkušební těleso zobrazené na Obr. 36 má větší tloušťku polymerní části než předešlé návrhy. Jedná se o tloušťku 6 mm, která nám zajišťuje možnost nastavení kovového insertu do zvolené výšky. Kovový insert má celkovou délku 17 mm a vnitřní závit o délce 10 mm, což nám postačí na ukotvení při tahové zkoušce. Povrch kovového insertu nemusí být speciálně upraven, protože je zapuštěn v minimální hloubce 1 mm do polymerní části. Průměr polymerní části je 60 mm, který nám postačí pro tahovou zkoušku. Pro plnění polymeru bude použit široký štěrbinový vtok, aby bylo možné déle působit dotlakem a zamezit nadměrnému smrštění a deformacím.



Obr. 36 Čtvrtý návrh zkušebního tělesa s válcovým insertem



## 5.2 Volba materiálu

Volba materiálu je velmi důležitá pro následné vlastnosti výrobku. U materiálu kovových insertů se zvolily tyto 3 varianty:

- Ocel 11 500,
- Hliník AW2017,
- Měď Cu – OF.

### ❖ Ocel 11 500

Tato ocel se používá pro strojní součásti namáhané staticky i dynamicky. U tohoto typu oceli se nevyžaduje svařitelnost. Dále se používá pro součásti tepelných energetických zařízení. [32]

Tab. 3 Mechanické vlastnosti oceli 11 500 [32]

Mechanické vlastnosti	Provedení
	Tepelně nezpracované
Pevnost v tahu Rm [MPa]	470 - 610
Mez kluzu Re [MPa]	275

### ❖ Hliník AW2017

Materiál není vhodný ke svařování, ale dá se dobře obrábět a leštit. Má vysokou pevnost v tahu cca 350 MPa (tvrdoost cca 100 HBW). [33]

Tab. 4 Mechanické a technologické vlastnosti AW2017 [33]

Označení dle EN AW	Označení dle ČSN	Chemické složení	Stav materiálu	Pevnost v tahu Rm [MPa]	Mez kluzu min. Rp [MPa]	Tažnost A% min.
2017A	42 420	AlCu4Mg	T4	min. 360	240	10
Korozní odolnost	Svařitelnost	Obrobitelnost				
přijatelná	přijatelná	dobrá				

### ❖ Měď Cu - OF

Materiál určený pro polotovary bez požadavku na elektrickou vodivost. Velmi dobrá svařitelnost a pájitelnost na tvrdo. V hodná pro výrobu přístrojů, chladičů a polotovarů. [34]

Tab. 5 Mechanické vlastnosti Cu – OF [34]

Označení	Označení dle ČSN	Stav materiálu	Prvnost v tahu Rm[MPa]	Mez kluzu min. Rp [MPa]	Tažnost A% min.
Cu - OF	42 300	měkký	max. 250	80	30

U polymerní části výrobku jsme zvolili 4 typy polymerů s rozdílným procentuálním plněním a mechanickými vlastnostmi:

- Polyamid 66 (PA66) – Ultramid A3EG6 30 % skelných vláken,
- Polybutylen – tereftalát (PBT) – Arnite TV4 261 30 % skleněných vláken,
- Polykarbonát (PC) – Makrolon 2405,
- Polyamid 66 (PA66) – Technyl A218 V50 50 % skelných vláken.

#### ❖ Ultramid A3EG7 – PA66

Ultramid A3EG7 je plněný z 30 % skleněnými vlákny zlepšuje vstřikování PA66. Je vhodný pro strojní součásti a pouzdra. Má vysokou tuhost a rozměrovou stabilitu. Nejčastější aplikace jsou chladicí ventilátory, izolační profily pro hliníkové rámy oken a elektrické izolační součásti. [35]

Tab. 6 Vlastnosti materiálu Ultramid A3EG7

Hustota [kg/m <sup>3</sup> ]	Nasákavost [%]	Teplota taveniny [°C]	Teplota tání [°C]	Vstřikovací tlak a dotlak [MPa]
1360	62	280 - 305	260	3,5 - 12,5
Teplota formy [°C]		Modul pružnosti v tahu [MPa] při 23°C		
80 - 90		527		

#### ❖ Arnite TV4 261 – PBT

Arnite TV4 261 se řadí do skupiny polyesterových termoplastů. PBT je semi-krystalický polymer používaný hlavně pro zpracování vstřikováním pro technické aplikace. Mezi základní vlastnosti PBT patří:

- vysoká pevnost, tuhost a tvrdost,

- velká rozměrová stálost,
- nízké tření a odolnost proti otěru,
- dobrá odolnost vůči povětrnostním podmínkám. [36]

Arnite TV4 261 se nejčastěji používá v automobilovém průmyslu, pro části spalovacích systémů, komponenty elektrických systémů, rukojeti a podložky. [36]

Tab. 7 Vlastnosti materiálu Arnite TV4 261

Hustota [kg/m <sup>3</sup> ]	Nasákavost [%]	Teplota taveniny [°C]	Teplota tání [°C]	Smrštění [%]
1510	0,3	270 - 295	250	1,2
Teplota formy [°C]		Modul pružnosti v tahu [MPa] při 23°C		
70 - 80		9750		

#### ❖ Makrolon 2405 – PC

Třídy Makrolon 2405 a 2407 jsou snadno tekoucí, lineární polykarbonáty na bázi bifenolu A. Tyto typy Makrolon, jsou známé svými velmi dobrými vlastnostmi toku taveniny a jsou tedy vhodné pro výrobu výtříků s nepříznivou délkou toku vůči poměru tloušťky stěny. Jsou vhodné pro výrobu velkých dílců s tenkými stěnami. Ve srovnání s třídami, které mají vysokou viskozitu taveniny (např. Makrolon ze skupiny 2800), Makrolon 2405 a 2407 mají nižší úroveň houževnatosti, avšak její hodnoty jsou stále dostatečné pro požadované aplikace. Největší uplatnění nachází tento materiál v automobilovém průmyslu, elektronice. [37]

Tab. 8 Vlastnosti materiálu Makrolon 2405

Hustota [kg/m <sup>3</sup> ]	Nasákavost [%]	Teplota taveniny [°C]	Teplota tání [°C]	Smrštění [%]
1200	0,3	310 - 335	280	0,65
Teplota formy [°C]		Modul pružnosti v tahu [MPa] při 23°C		
80		2200		

### ❖ Technyl A218 V50 – PA 6

Technyl A218 V50 Natural je polyamid 6 plněný skelnými vlákny z 50 %. Je tepelně stabilizovaný pro vstřikování. Tento stupeň nabízí dokonalou kombinaci mezi termálními a mechanickými vlastnostmi. Využití toho polymeru je převážně v elektrotechnickém průmyslu a automobilovém průmyslu jako komponenty do motorů. [38]

Tab. 9 Vlastnosti materiálu Technyl A218 V50

Hustota [kg/m <sup>3</sup> ]	Nasákavost [%]	Teplota taveniny [°C]	Teplota tání [°C]	Smrštění [%]
1550	0,6	280-300	262	0,75
Teplota formy [°C]		Modul pružnosti v tahu [MPa] při 23°C		
70-100		16200		

### 5.3 Analýzy materiálů v programu Moldflow Synergy 2016

Pomocí programu CAE Moldflow byla pro každý výše uvedený materiál (který je uvažovaný i pro praktickou výrobu zkušebních těles) provedena analýza, za účelem zjistit chování daného polymeru s kovovým insertem a vliv jak na čas plnění dutiny formy, tak na celkové smrštění, deformace a posunutí u kovového insertu.

#### ❖ Nastavení Analýzy

Prvním krokem nastavení analýzy bylo nahrát 3D modely výrobků do CAE softwaru Moldflow. Jelikož 3D modely byly vytvořeny v programu od firmy Autodesk, nemusely se převádět do souborů \*.stl. Po vložení modelů následovalo jejich vysítování. Síť byla zvolena 3D mesh a to kvůli vysítování jak polymerní matrice, tak kovového insertu. V dalším kroku je důležitá kontrola parametrů sítě, kde důležitým parametrem je poměr stran (Aspect ratio Obr. 37). Podrobnost simulace roste se zvýšením poměru stran. Čím vyšší bude poměr stran, tím je simulace časově náročnější.

```
Tetrahedras
-----
Entity counts:
  Tetrahedra          1347656
  Connected nodes     255805
  Connectivity regions 4

Volume by element types:
(Mold blocks and cooling channels are
not included)
  Tetra:             24.1864 cm^3
  Total:             27.1776 cm^3

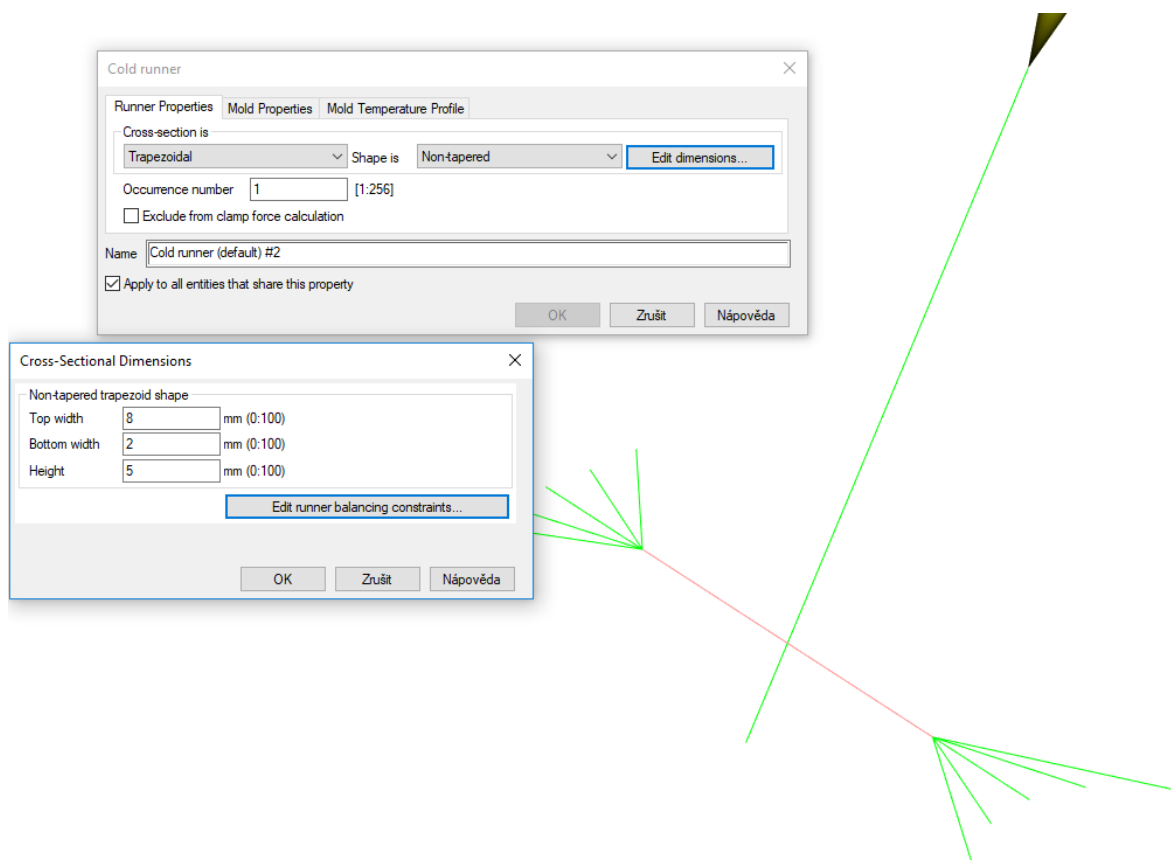
Volume by components:
  Cavity:           21.2091 cm^3
  Inserts:          2.9774 cm^3
  Mold blocks:      0 cm^3

Aspect ratio:
  Maximum   Average   Minimum
    62.32    2.39    1.03

Maximum dihedral angle: 178.1
```

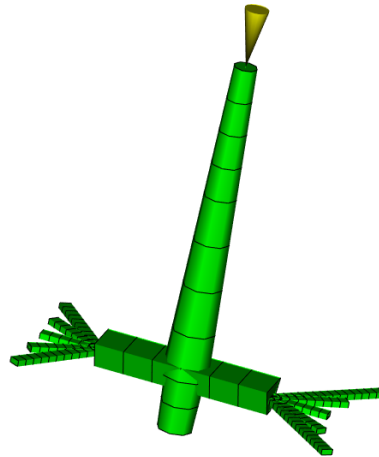
Obr. 37 Statistika 3D sítě v programu Autodesk Moldflow 2016

V dalším kroku bude následovat vymodelování vtoku, zadání hodnot a tvarů rozvodných kanálů (Obr. 38). Místo filmového vtoku byl použitý vtok bodový kvůli náročnosti analýzy.

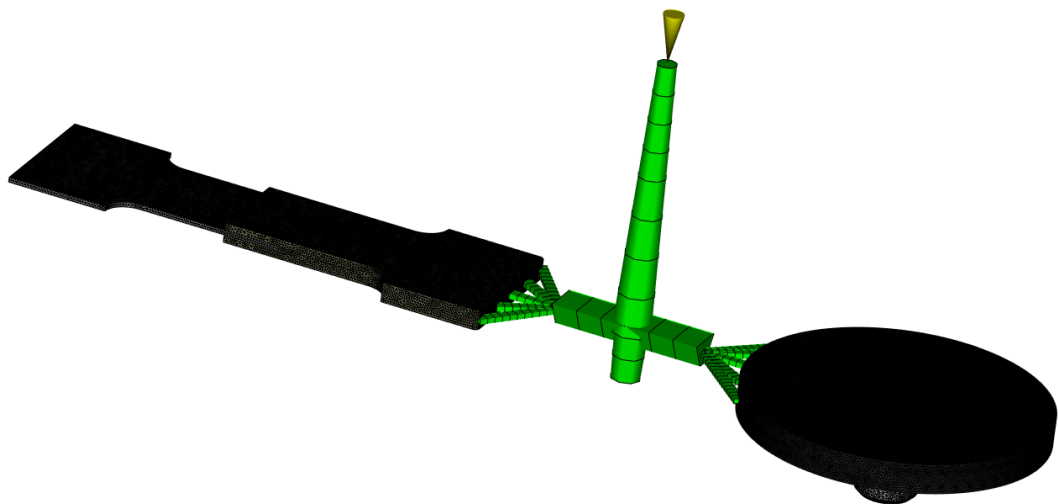


Obr. 38 Nastavení parametrů vtokového systému

Následně je vtok vysítován pomocí „*dual domain*“ sítě čímž je určeno na vysítovaném modelu vtoku místo vstřiku (Obr. 39). Na Obr. 40 je zobrazeno umístění zkušebních těles a vtoku.

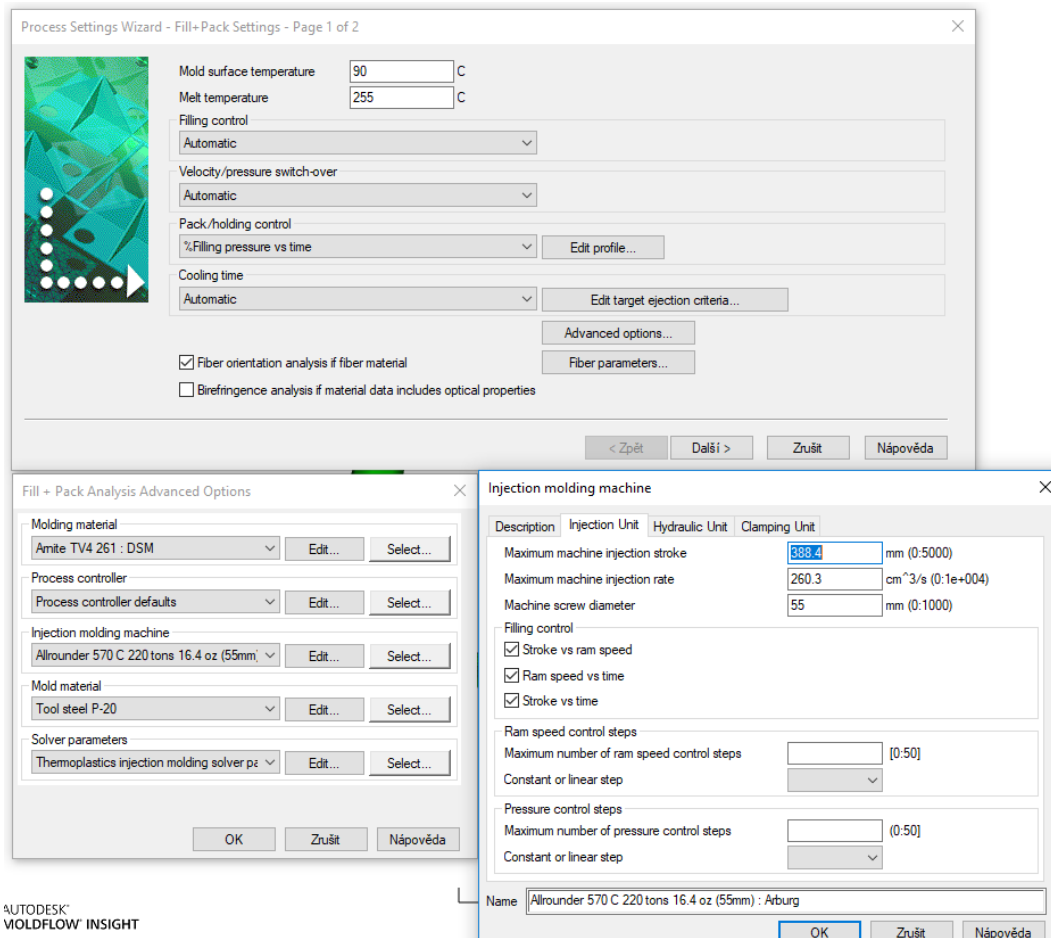


Obr. 39 Model studeného vtoku v programu Autodesk Moldflow 2016

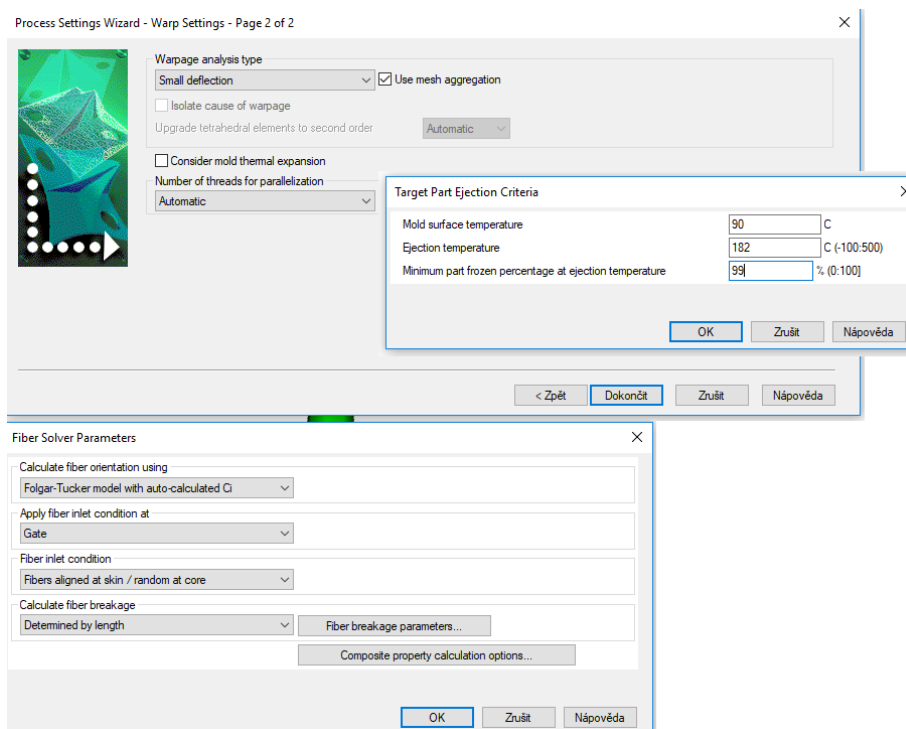


Obr. 40 Model studeného vtoku a zkušebních těles v programu Autodesk Moldflow 2016

V poslední řadě jsou nastaveny procesní parametry vstřikování Obr. 40 a 41. Stěžejními body jsou nastavení kontroly plnění („*filling control*“), parametry vláken („*fiber solver parameters*“), teploty taveniny, teplotu vyhození výrobku a hodnotu dotlaku („*pack/holding control*“).



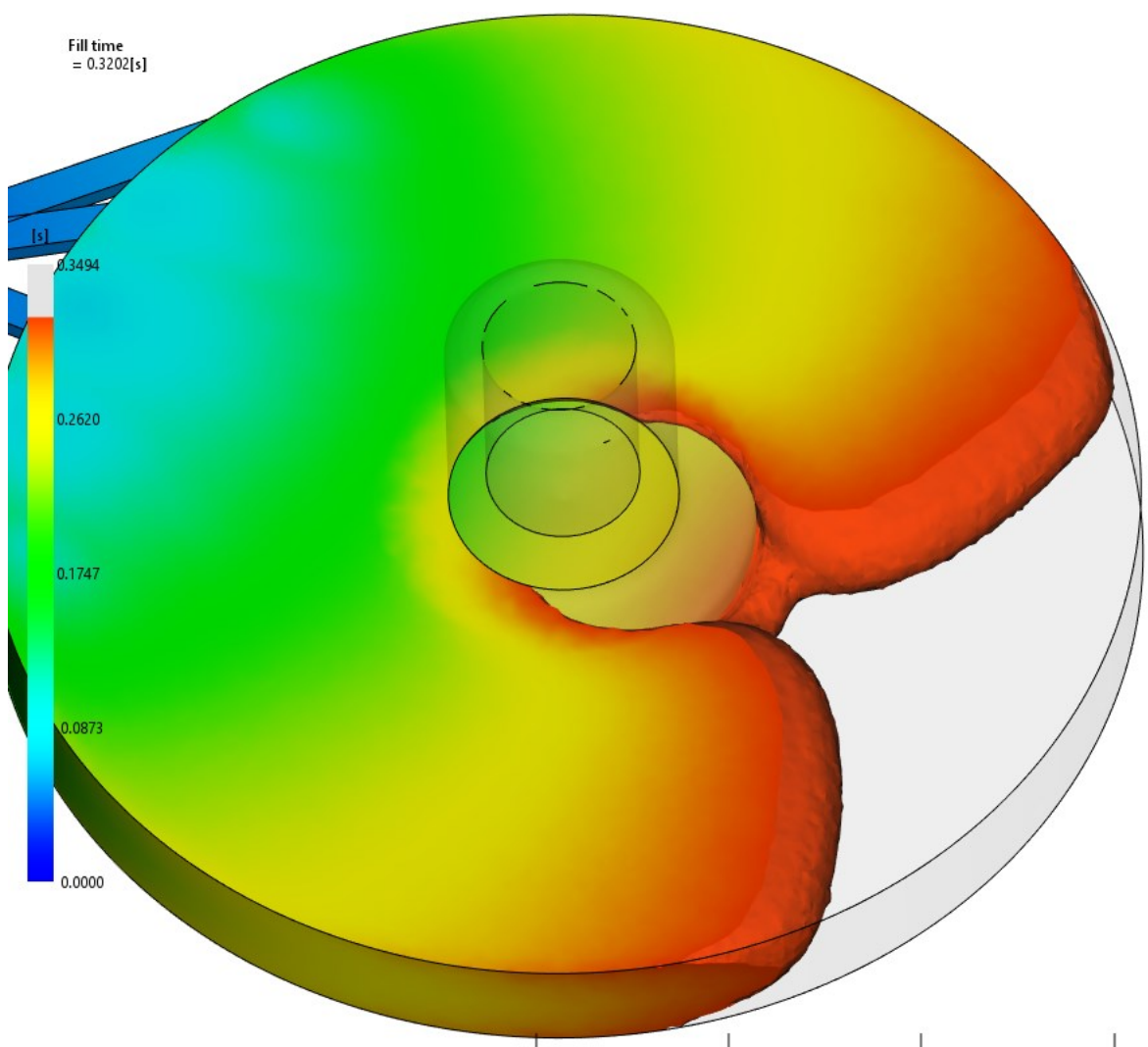
Obr. 41 Procesní parametry strana 1



Obr. 42 Procesní parametry strana 2

### ❖ Čas vyplnění (fill time)

Zde se bude zjišťovat za jaký čas a jakým způsobem bude plněna dutina formy. Jelikož jsou časy vyplnění u všech materiálů podobné, liší se v rámci 0,01 s, budou komentáře zaměřeny spíše na chování taveniny během obtékání kruhového insertu. Na *Obr. 37* je viditelné, že tavenina u insertu zpomaluje v místě tenčí stěny a akceleruje u stěn formy pod ním, kdy se následně spojí a vzniká studený spoj, který je charakteristický u dílů s kovovými inserty. Pevnost studeného spoje bude ovlivňovat pevnost celého spojení mezi kovovým insertem a polymerní matricí.



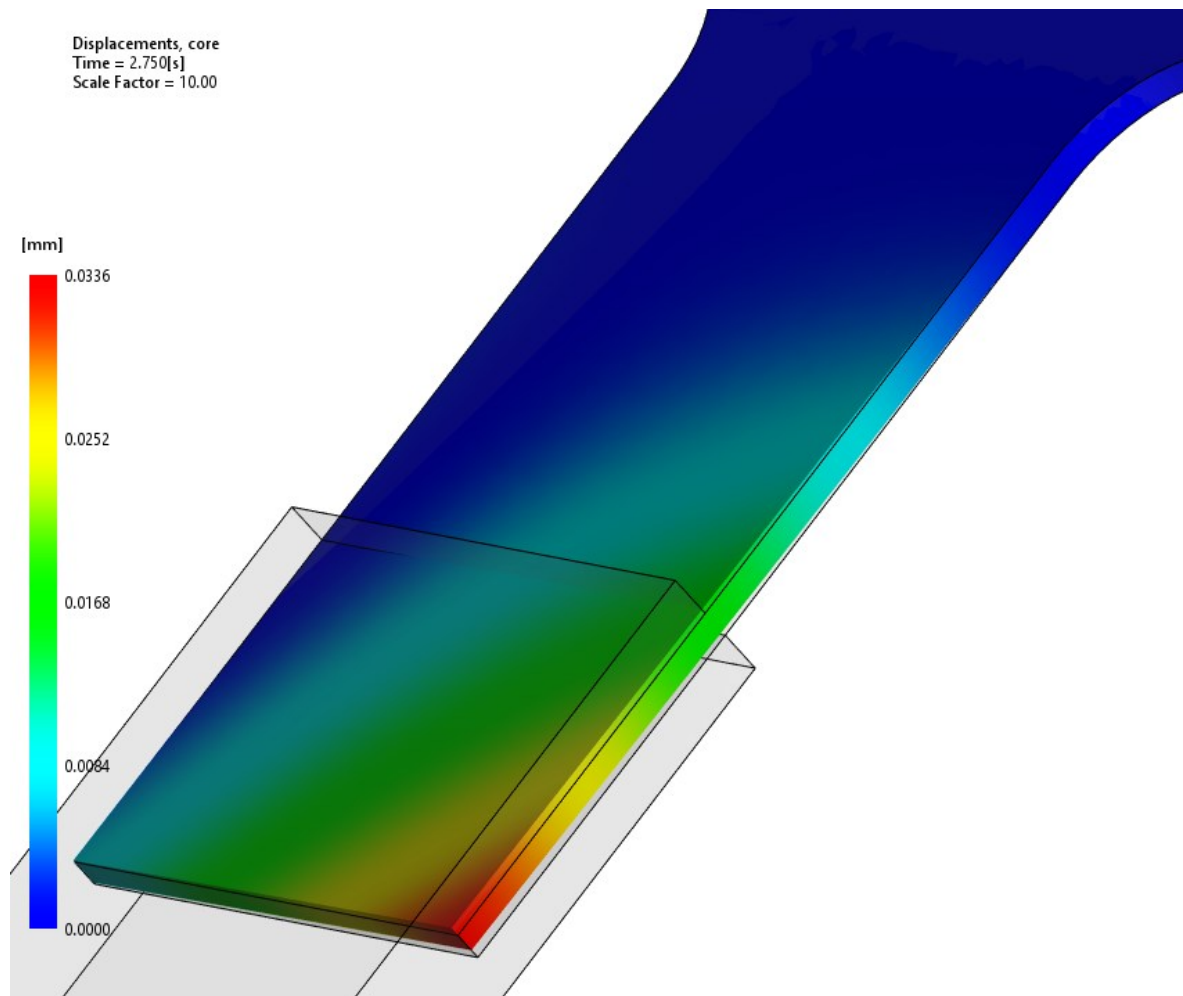
*Obr. 43 Simulace času vyplnění v programu moldflow*

### ❖ Srovnání deformace ploché kovové části

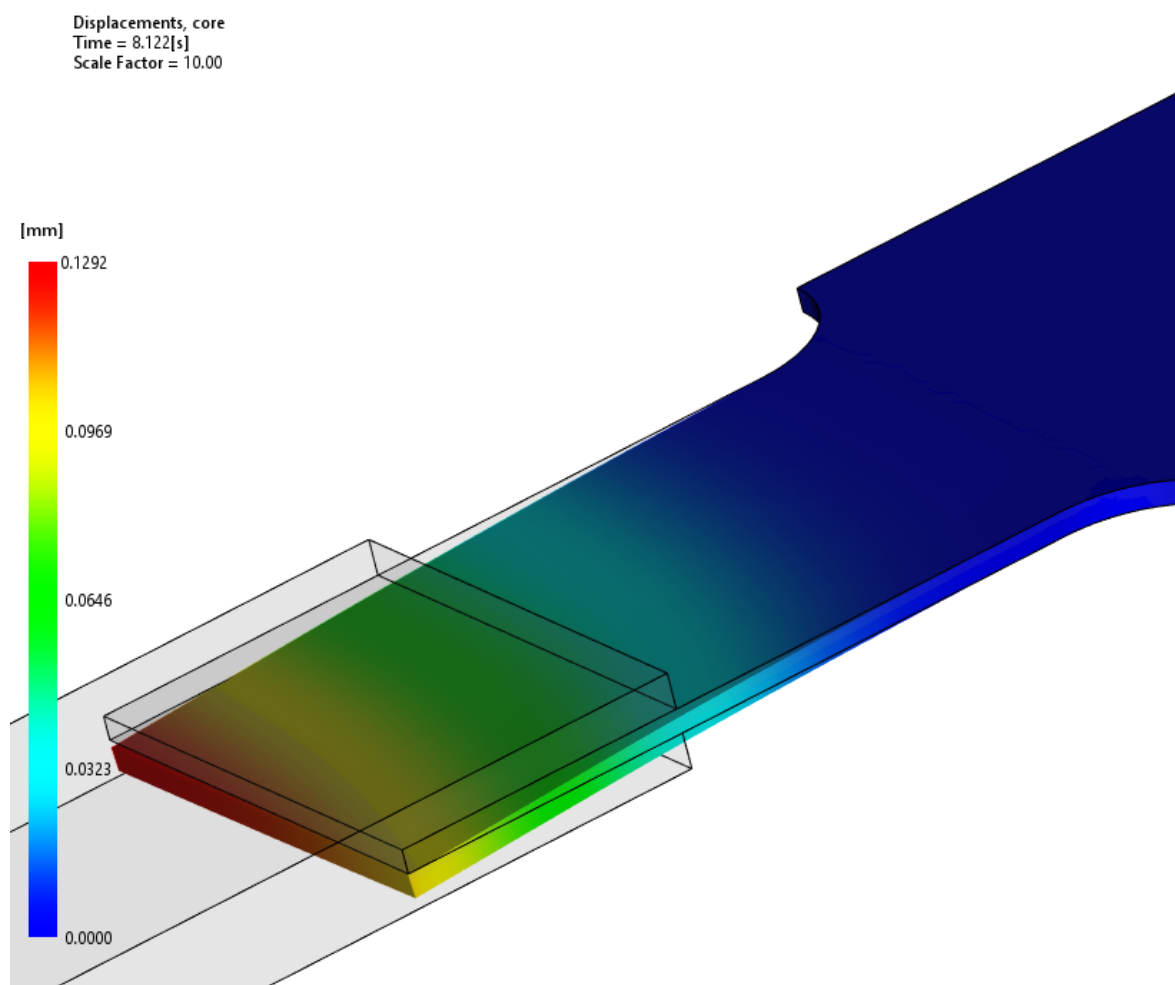
Srovnání vychýlení kovové pacičky bylo vyhodnoceno jako důležité z důvodu, že toto vychýlení může způsobit změnu tloušťky polymeru okolo insertu na jedné či druhé straně a



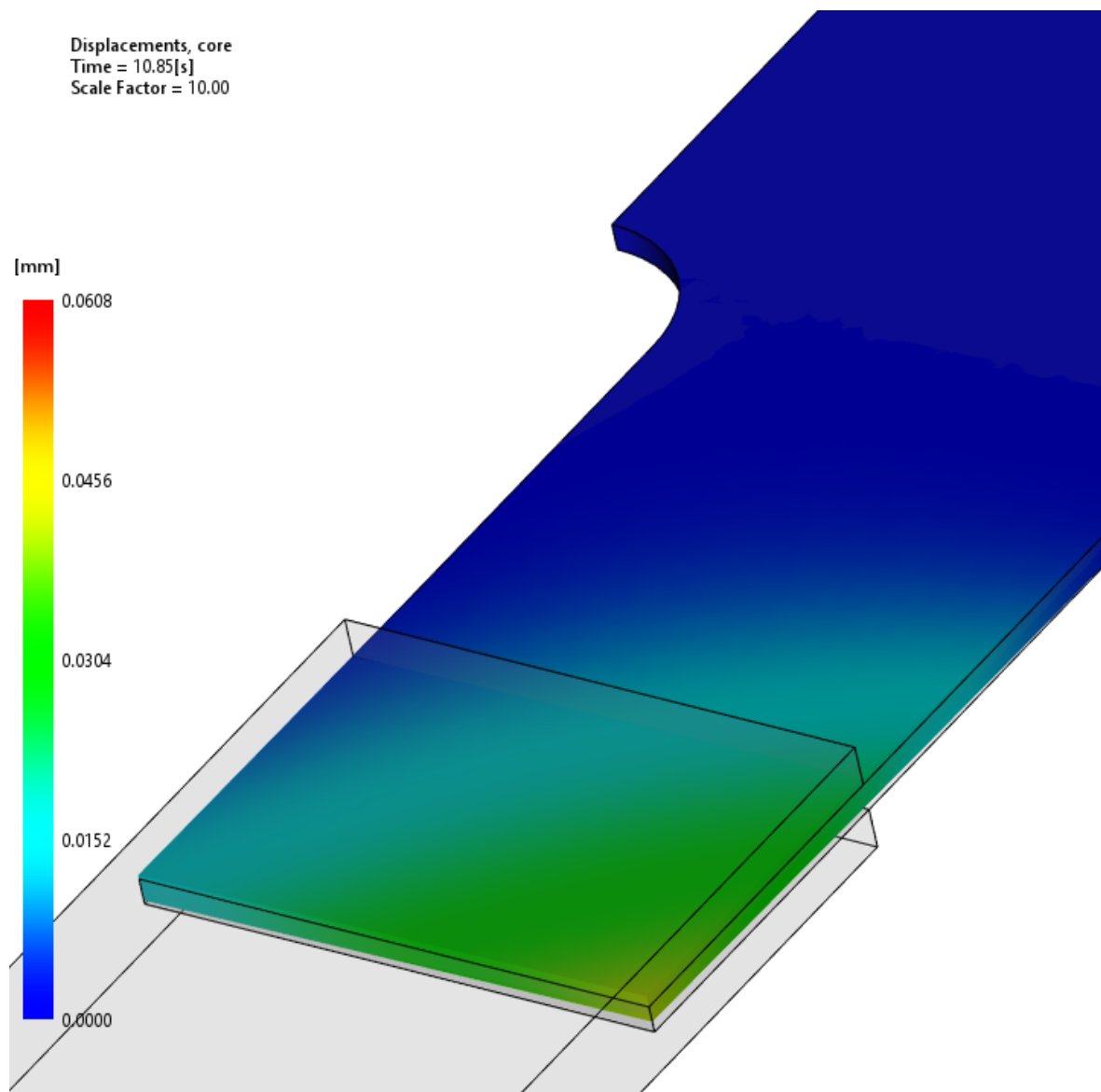
bude docházet ke zkreslení výsledků experimentálních zkoušek. Jednotlivé hodnoty deformací a jejich grafická interpretace zvětšená 10x je viditelná na následujících obrázcích (Obr. 44-47). U materiálu Ultramid A3EG7 je nejvyšší hodnota vychýlení 0,0336 mm, následně u materiálu Arnite TV4 261 je hodnota deformace kovového insertu rovna 0,1292 mm. Pro neplněný Makrolon 2405 je hodnota deformace 0,0608 mm. Pro nejvíce plněný materiál Technyl A218 V50 (50% skla) je hodnota deformace kovového insertu rovna 0,1420.



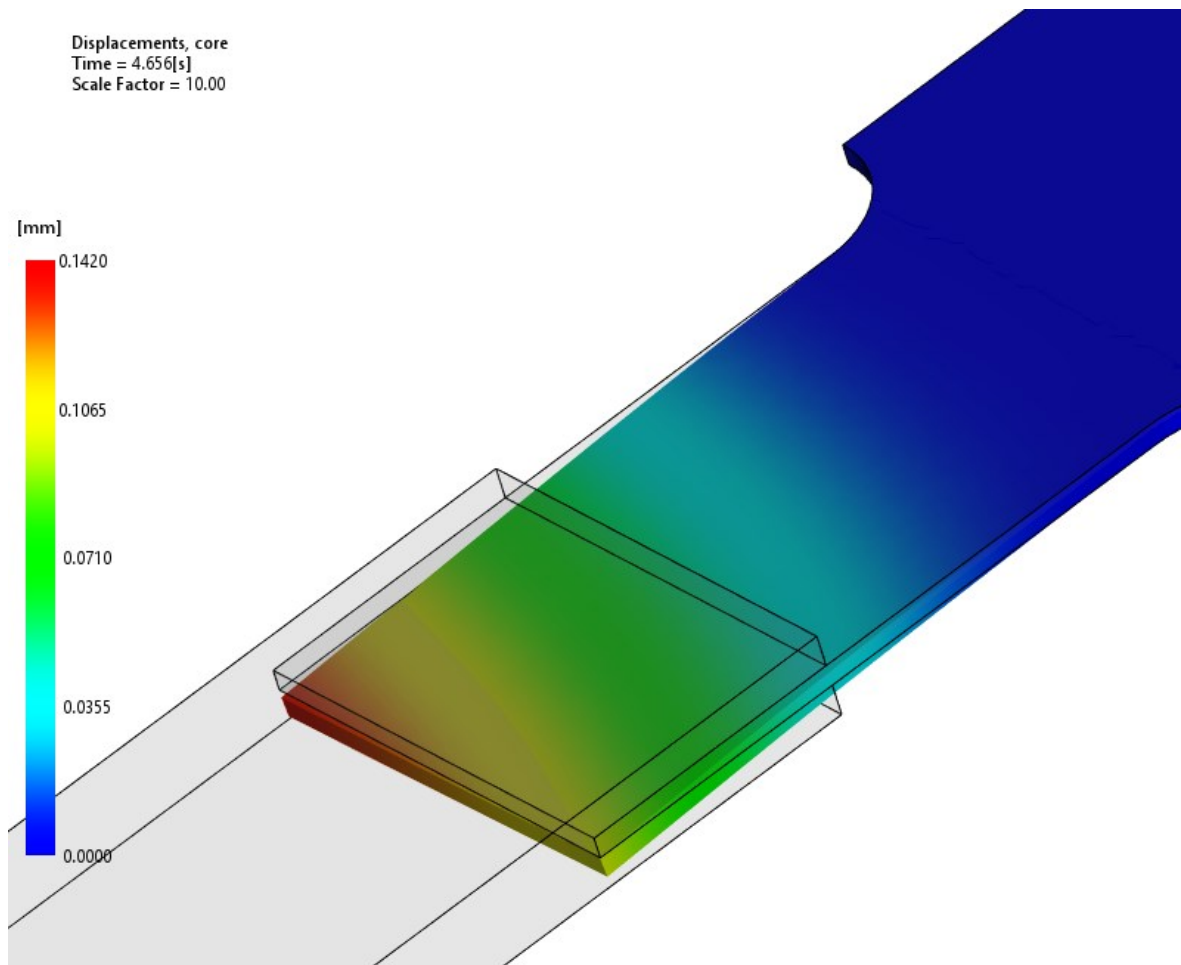
Obr. 44 deformace kovového insertu materiálu Ultramid A3EG7



*Obr. 45 hodnota deformace kovového insertu materiálu Arnite TV4 261*



*Obr. 46 deformace kovového insertu materiálu Makrolon 2405*

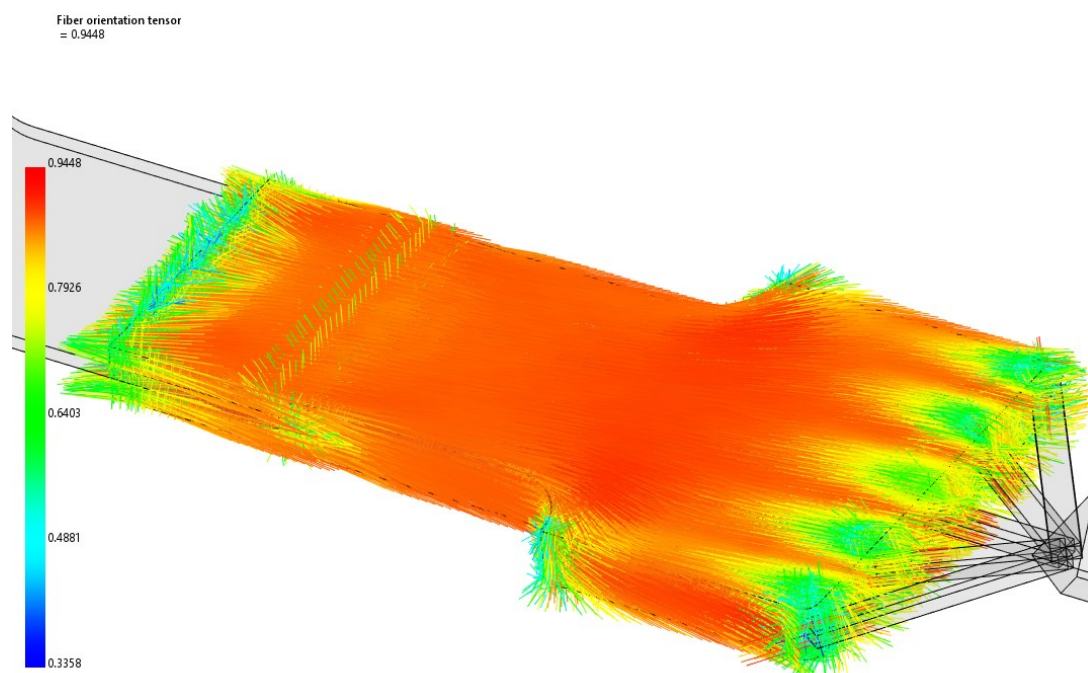


Obr. 47 Deformace kovového insertu materiálu Technyl A218 V50

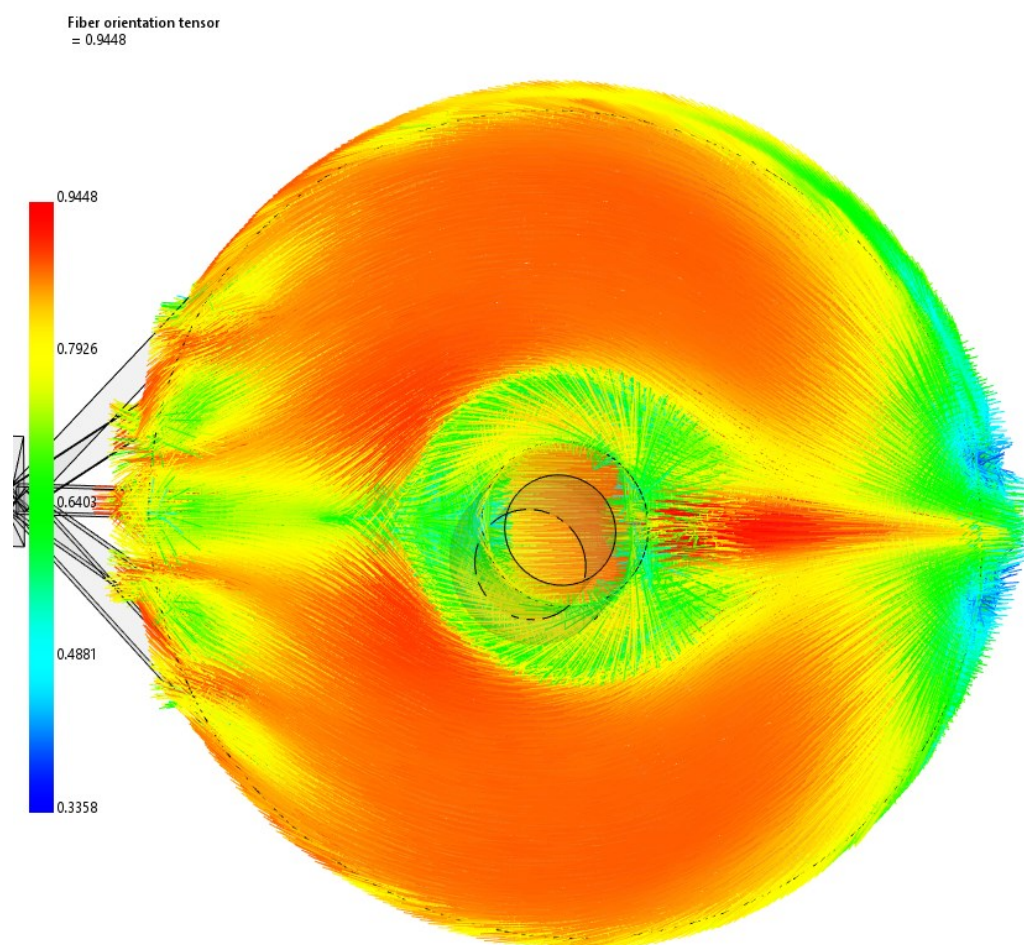
Při porovnání jednotlivých deformací je zřejmé, že skelná vlákna značně zvyšují deformaci kovového insertu, což je způsobeno také vyššími vstřikovacími tlaky.

#### ❖ Orientace vláken v materiálu

Orientace vláken hraje důležitou roli na pevnost výrobku a celkovou deformaci dílu. V případě navržených zkušebních těles bude simulace zaměřena na orientaci vláken okolo kovových insertů. Tento výsledek je v programu Autodesk Moldflow Synergy 2016 zobrazen ve formě hodnot tenzoru orientace vláken. U všech analýz je orientace přibližně stejná, spolu s velikostí tenzoru je však důležité věnovat tomuto místu velkou pozornost, neboť orientace vláken ukazuje horší orientaci v místě studeného spoje a zřejmě toto místo bude značně oslabené.



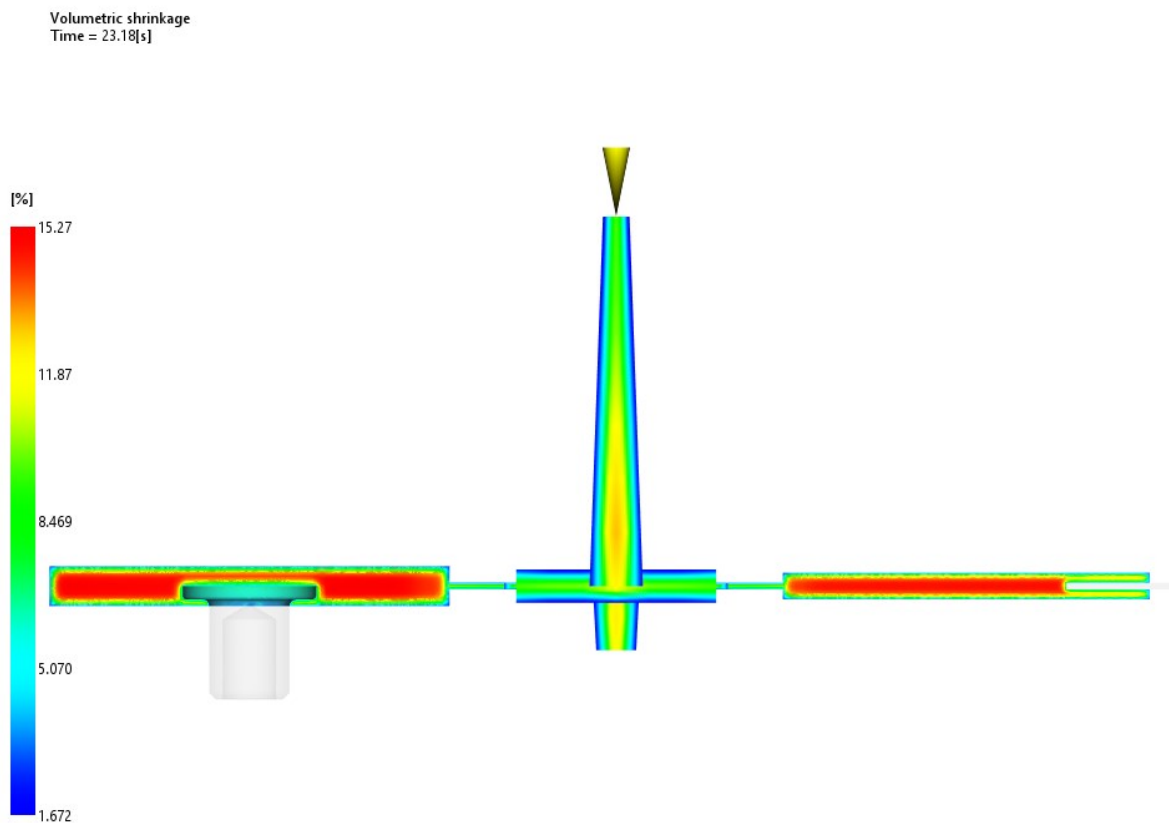
*Obr. 48 Detailní pohled na orientaci vláken u polymerní pacičky*



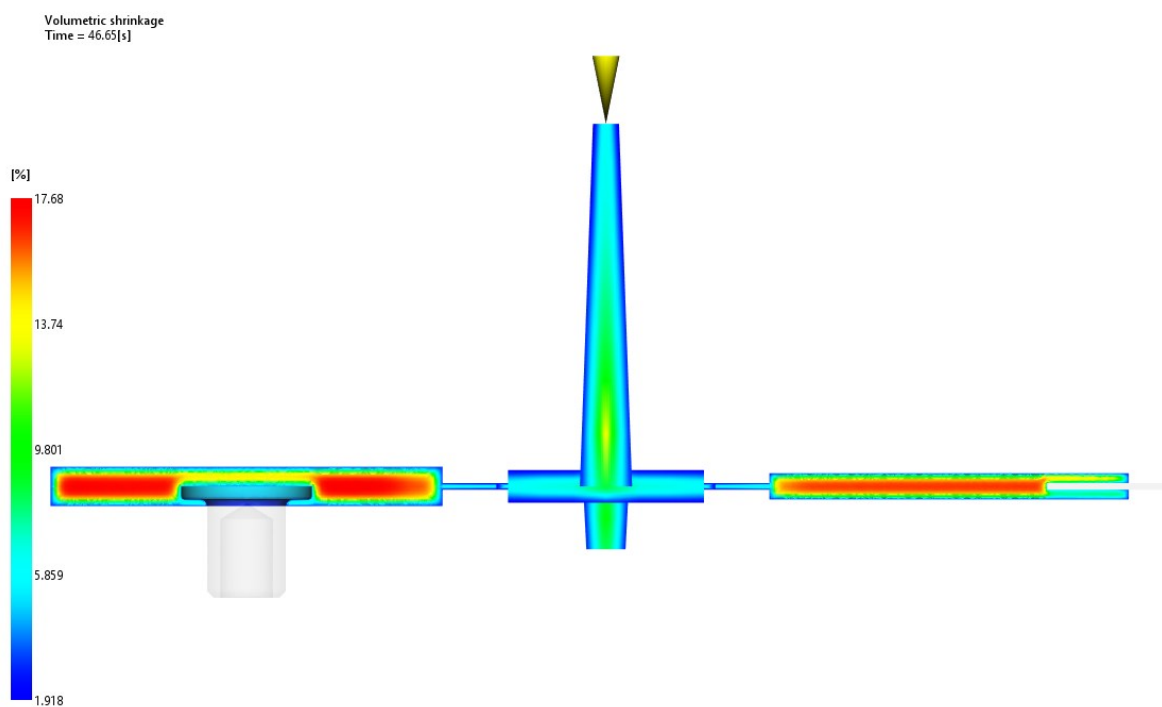
*Obr. 49 Detailní pohled na orientaci vláken polymerní části kruhového insertu*

### ❖ Objemové smrštění

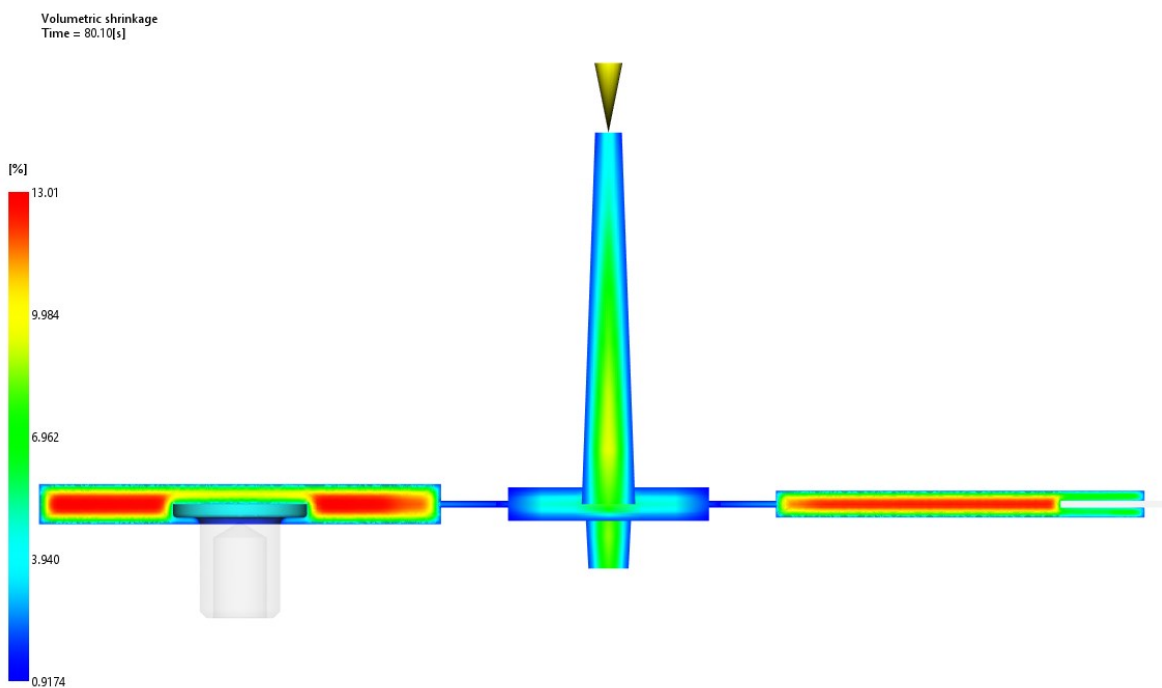
Objemové smrštění udává v procentech, o kolik rozměry výrobku zmenší po ochlazení materiálu a vyhození z dutiny formy. Slouží zejména k určení míst s propadlinami. Z výsledků v obrázcích níže je patrné (*Obr. 50-53*), že hodnoty objemového smrštění u neplněných materiálů jsou vyšší než u plněných. Dotlakovou fází bude potřeba lépe vybalancovat, aby došlo k odstranění těchto propadlin na reálných vzorcích.



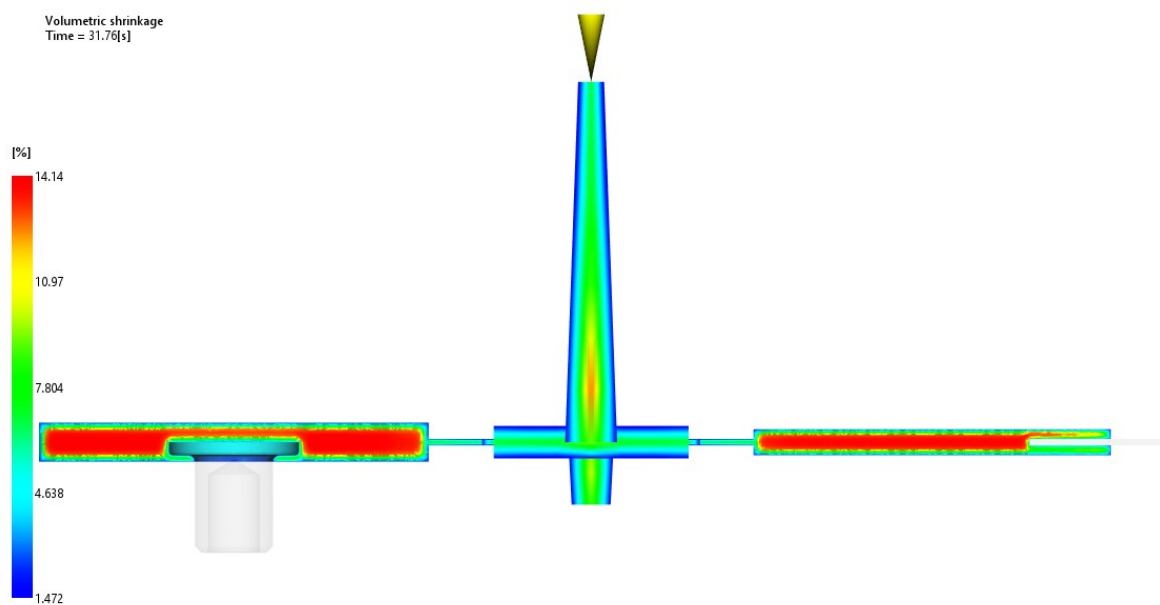
*Obr. 50 Objemové smrštění materiálu Ultramid A3EG7*



Obr. 51 Objemové smrštění materiálu Arnite TV4 261



Obr. 52 Objemové smrštění materiálu Makrolon 2405

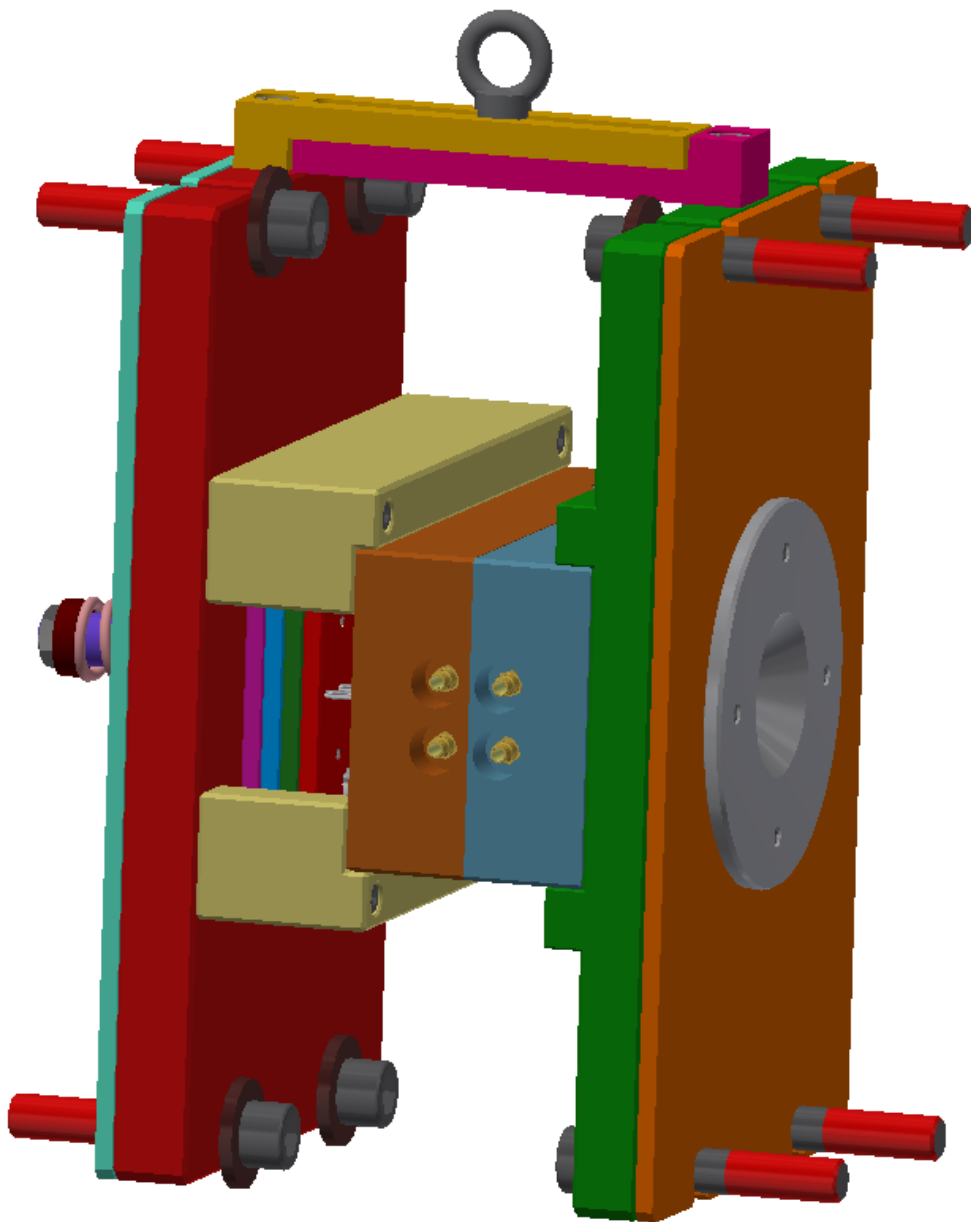


Obr. 53 Objemové smrštění materiálu Technyl A218 V50



## 6 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY POLYMER-KOV

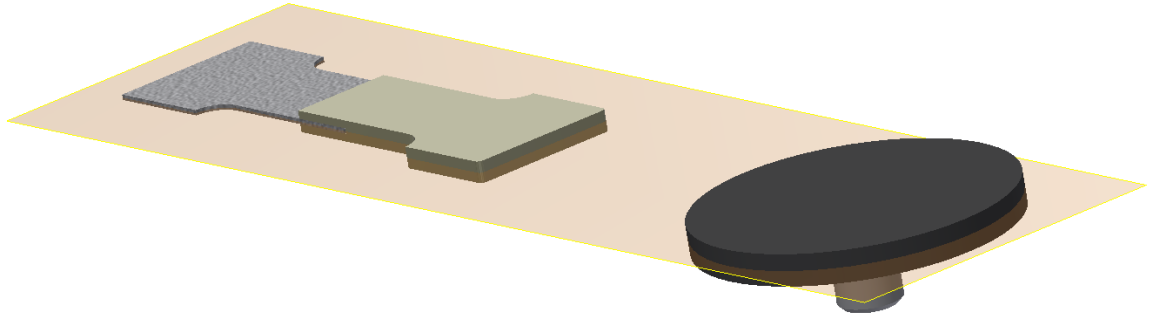
Konstrukce vstřikovací formy je dána především složitostí, přesností a rozměrech výsledného výrobku. Konstrukce vstřikovací formy by měla být jednoduchá, přesná a ekonomicky nenáročná na výrobu. Na *Obr. 54* je vidět model vstřikovací formy pro zkušební tělesa z polymeru a kovu. Tato forma se liší od ostatních tím, že není vytvořena pomocí modulu, který je v programu Autodesk Inventor 2018 k dispozici, ale každá část této formy je konstruována zvlášť. Ty komponenty, které nebylo třeba konstruovat, byly použity z knihoven firmy HASCO a Meusburger kvůli zjednodušení a urychlení výroby.



*Obr. 54 Model vstřikovací formy*

- **Počet dělicích rovin**

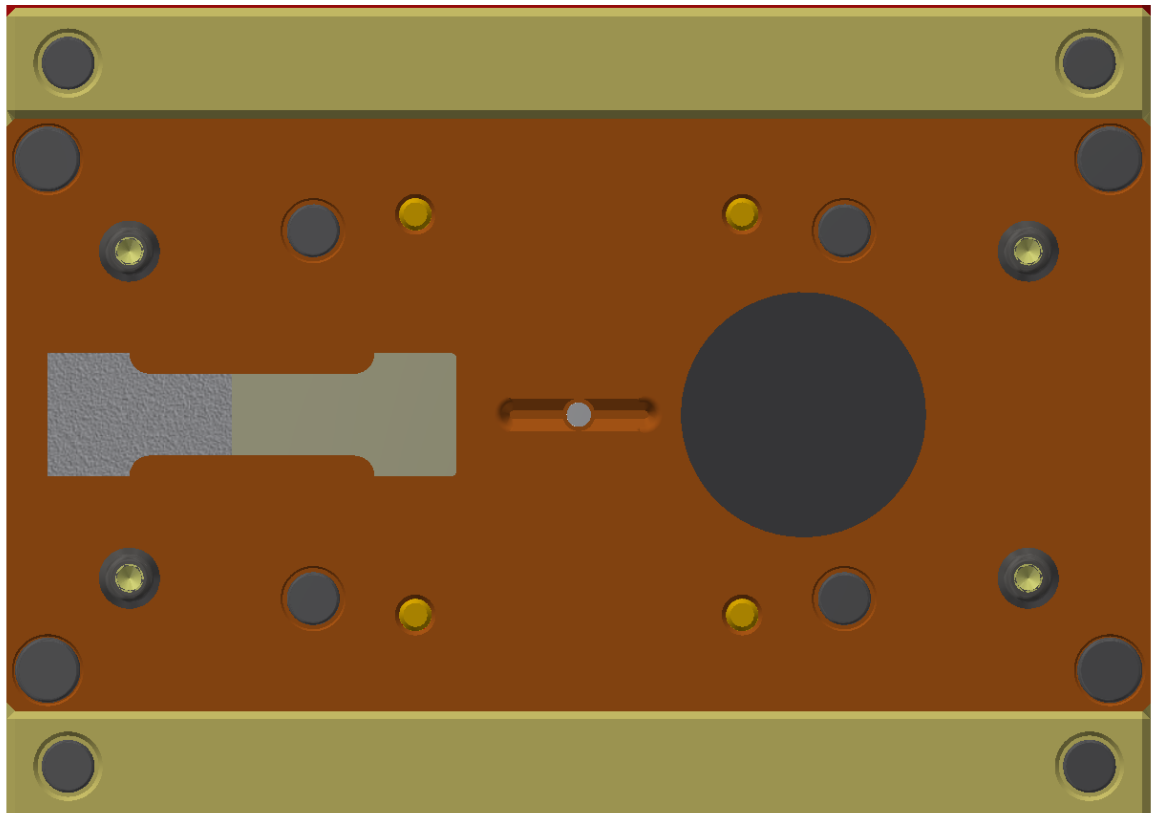
Počet dělicích rovin je dán složitostí výrobku. Navržená zkušební tělesa mají jednoduchý tvar, a tudíž forma obsahuje jen jednu hlavní dělicí rovinu (Obr. 55).



Obr. 55 Hlavní dělicí rovina

- **Násobnost vstříkovací formy**

Pojem násobnost vstříkovací formy značí počet tvarových dutin uvnitř formy. Jelikož byly navrženy dvě zkušební tělesa s plochým a válcovým insertem, bude forma navržena dvojnásobná s rozdílnými tvary kavit (Obr. 56).



Obr. 56 Násobnost vstříkovací formy

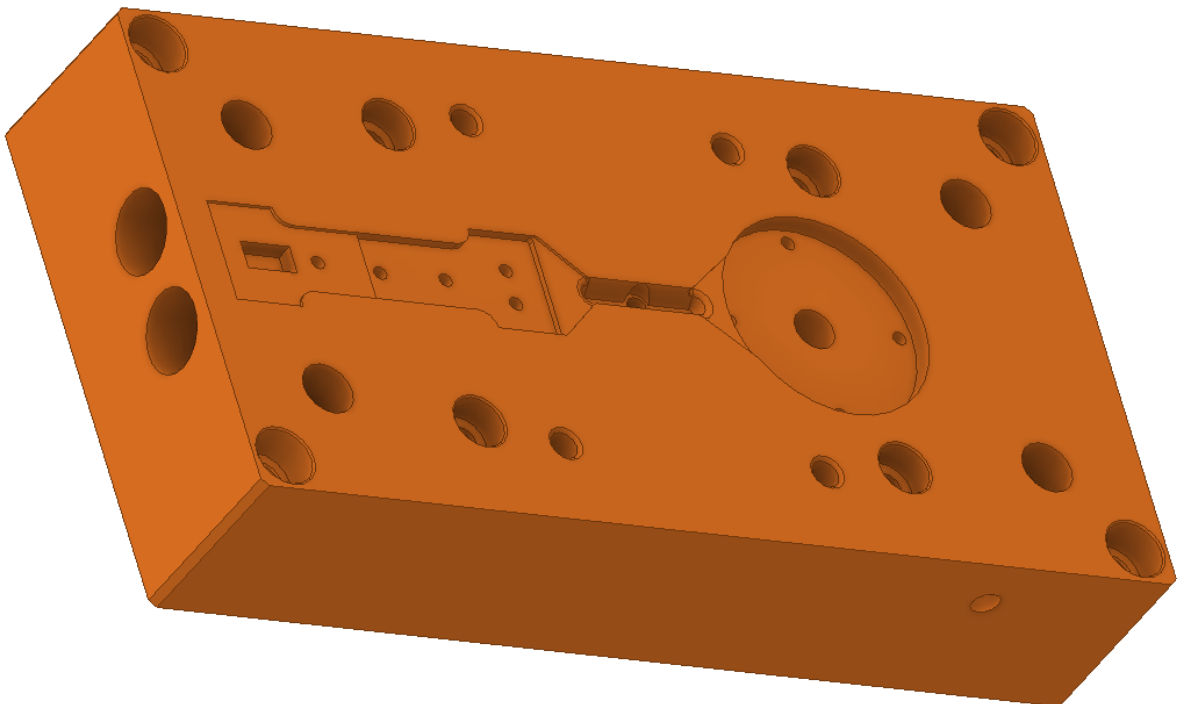
## 6.1 Tvarové části formy

Tvarové části formy tvoří dutinu pro výsledný výrobek. Pro výrobu těchto částí byla vytypována ocel 1.2343, kdy následně budou tyto části kaleny na tvrdost  $50 \pm 2$  HRC. Tvarové části formy dělíme na:

- Tvárník,
- Tvárnice,
- Tvarové jádro.

### 6.1.1 Tvárník

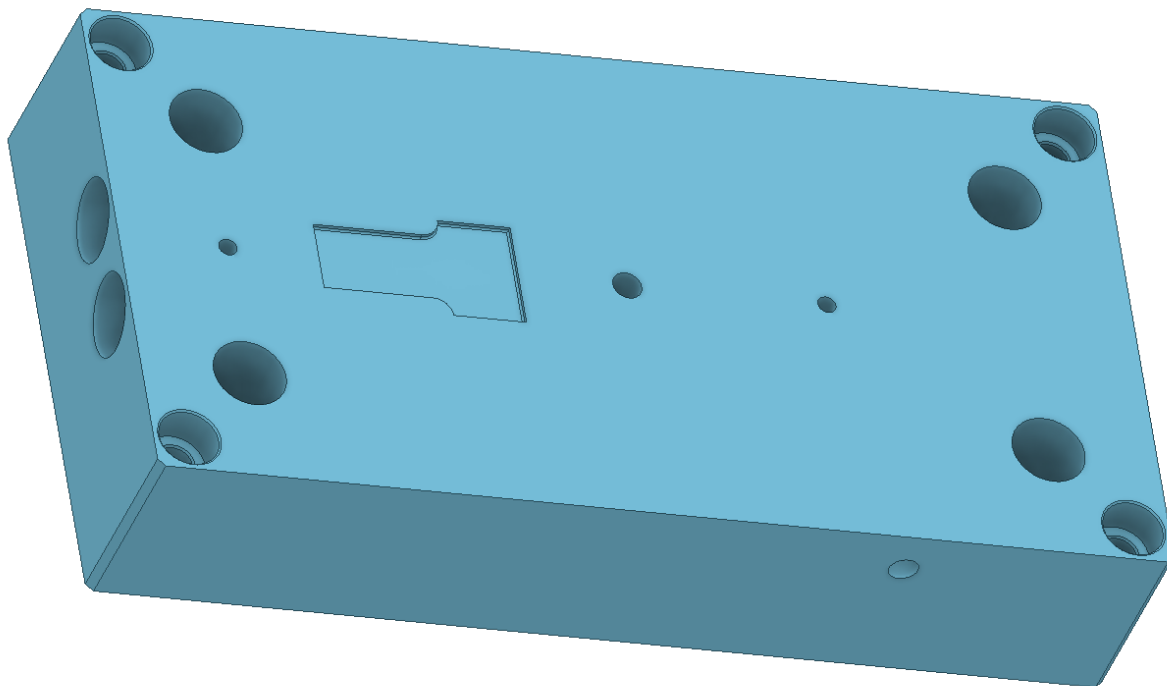
Tvárník je situován v pohyblivé části vstřikovací formy (*Obr. 57*). V rozích je ukotvený pomocí čtyř šroubů s vnitřním šestihranem od firmy Meusburger E1200/10x70 do rozpěr. Běžné vstřikovací formy se ukotví ve formě pomocí osazení a opřou se o opěrnou desku. U této formy zcela chybí podpěrná deska a kotevní deska pohyblivé strany vstřikovací formy. Tyto části nebyly použity z důvodu jejich nedůležitosti u konstrukčně jednodušších forem.



*Obr. 57 Tvárník*

### 6.1.2 Tvárnice

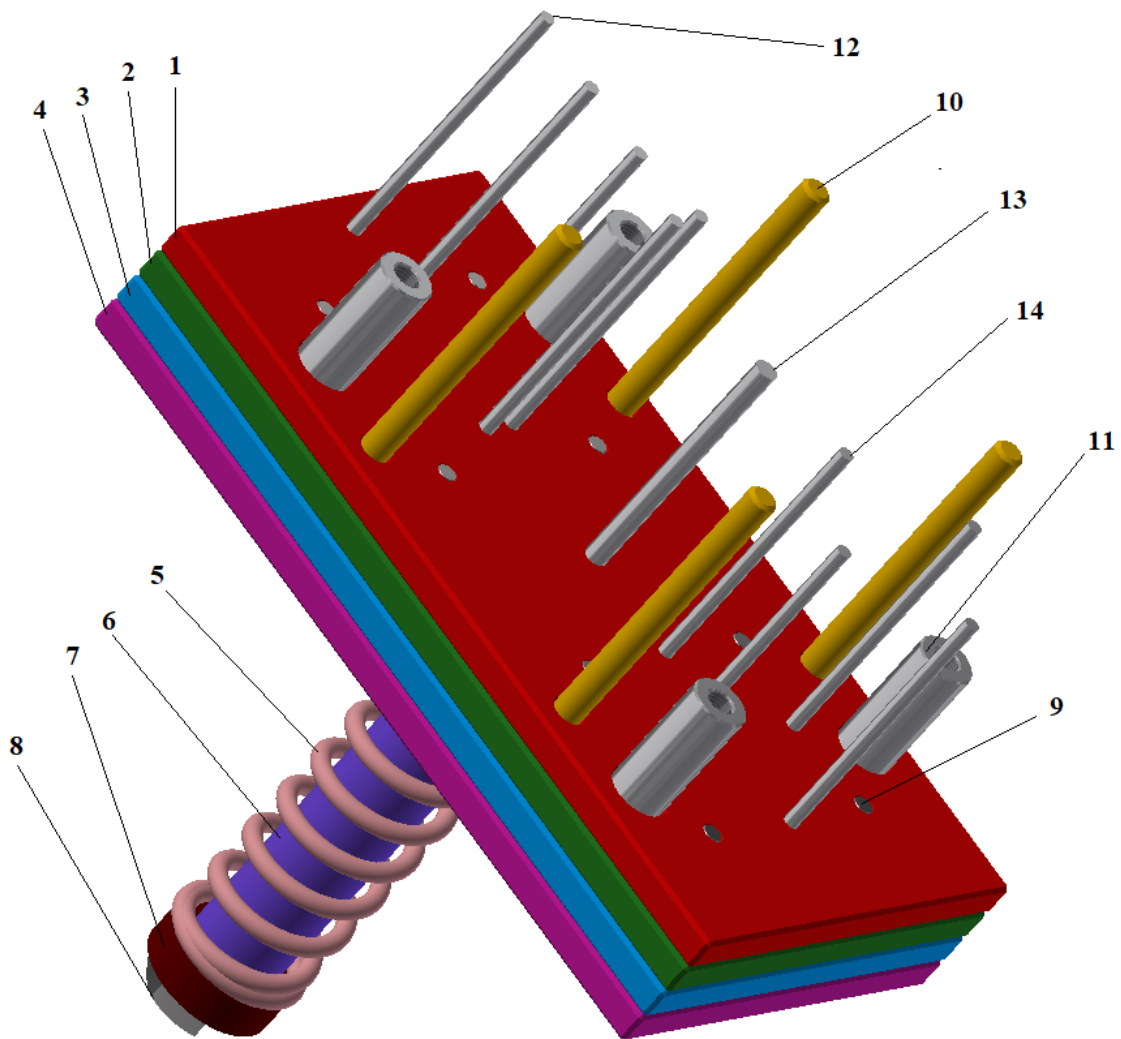
Tvárnici je umístěna na pravé, nepohyblivé části formy (Obr. 58). Je ukotvena stejně jako tvárník pomocí čtyř šroubů s vnitřním šestihranem od firmy Meusburger E1200/10x70 do upínací desky, která je v tomto případě spojená dohromady s kotevní deskou.



Obr. 58 Tvárnice

## 6.2 Vyhazovací systém

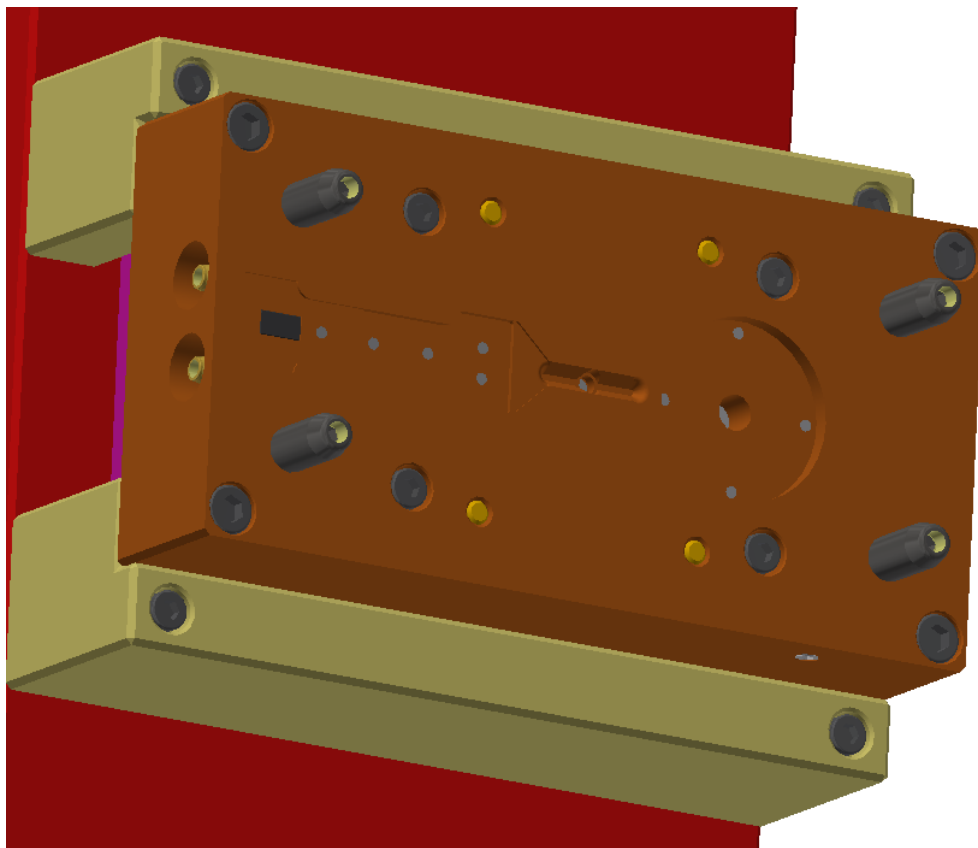
K vyhození obou výrobků z dutiny formy je zapotřebí 10 válcových vyhazovačů. Průměr válcových vyhazovačů pro odformování výrobků je 4mm, k odformování vtokového zbytku postačuje jeden vyhazovač o průměru 6mm. Vyhazovače jsou typu E1710/4x100 pro výrobky a vyhazovač E1710/6x80 pro vyhození vtokového zbytku. Oba typy vyhazovačů jsou od firmy Meusburger a jsou uloženy ve vyhazovací desce II (viz. Příloha výrobní výkresová dokumentace). Všechny vyhazovací desky jsou spojeny šrouby s vnitřním šestihranem M6x12 dle normy ISO 4762. Vodící čepy vyhazovacího systému jsou detailně popsány na výrobním výkresu 01-000-011/2019. Dále se ve vyhazovacím systému nacházejí vratné čepy (výkres 01-000-08/2019), které mají za úkol vrátit vyhazovací systém zpět do polohy při vstříknutí polymeru do dutiny formy.



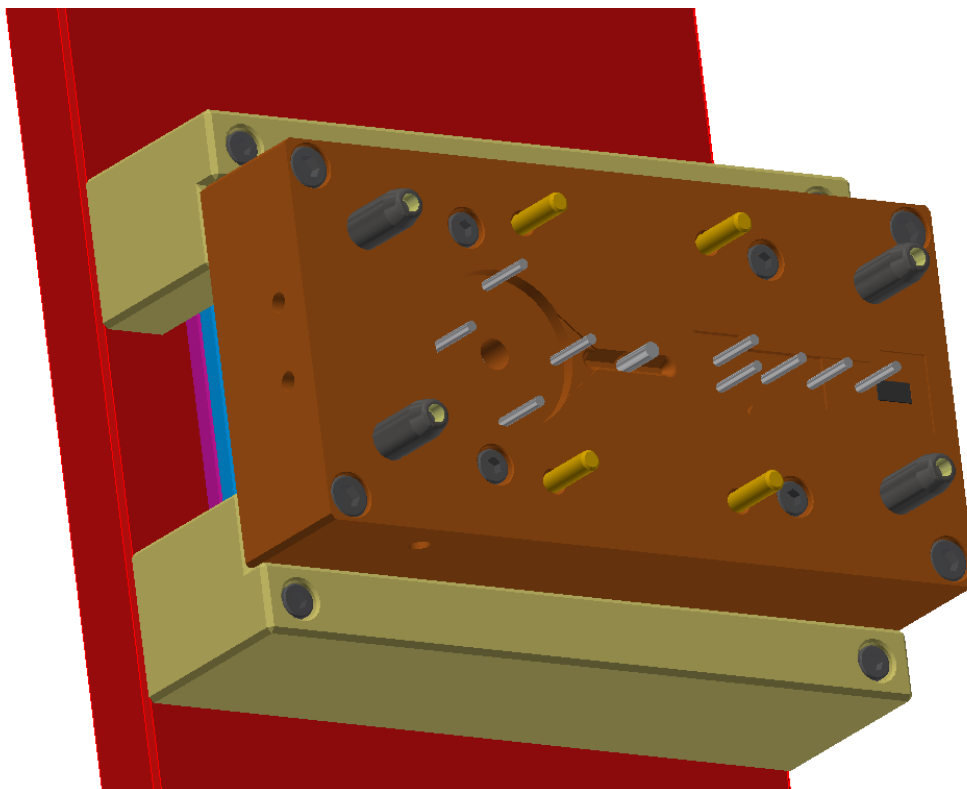
Obr. 59 Vyhazovací systém;

1 – vyhazovací deska I, 2 – vyhazovací deska II, 3 – vyhazovací deska III, 4 – vyhazovací deska VI, 5 – pružina, 6 – táhlo, 7 – kroužek, 8 – matice M14, 9 – šroub M6x12, 10 – vratný čep, 11 – vodící čep vyhazovacího systému, 12 – válcový vyhazovač E1710/4x100 (zkrácený na 87mm), 13 – válcový vyhazovač E1710/6x80 (zkrácený na 78mm), 14 – válcový vyhazovač E1710/4x100 (zkrácený na 82mm).

Zdvih vyhazovacího systému byl navržen na 24 mm, což nám vystačí pro bezpečné odformování obou typů zkušebních vzorků. Na Obr. 60 je na modelu znázorněna poloha formy při vložení insertu a následném stříknutím polymeru. Následně na Obr. 61 vidíme zdvih vyhazovacího systému při otevření a odformování výrobku.



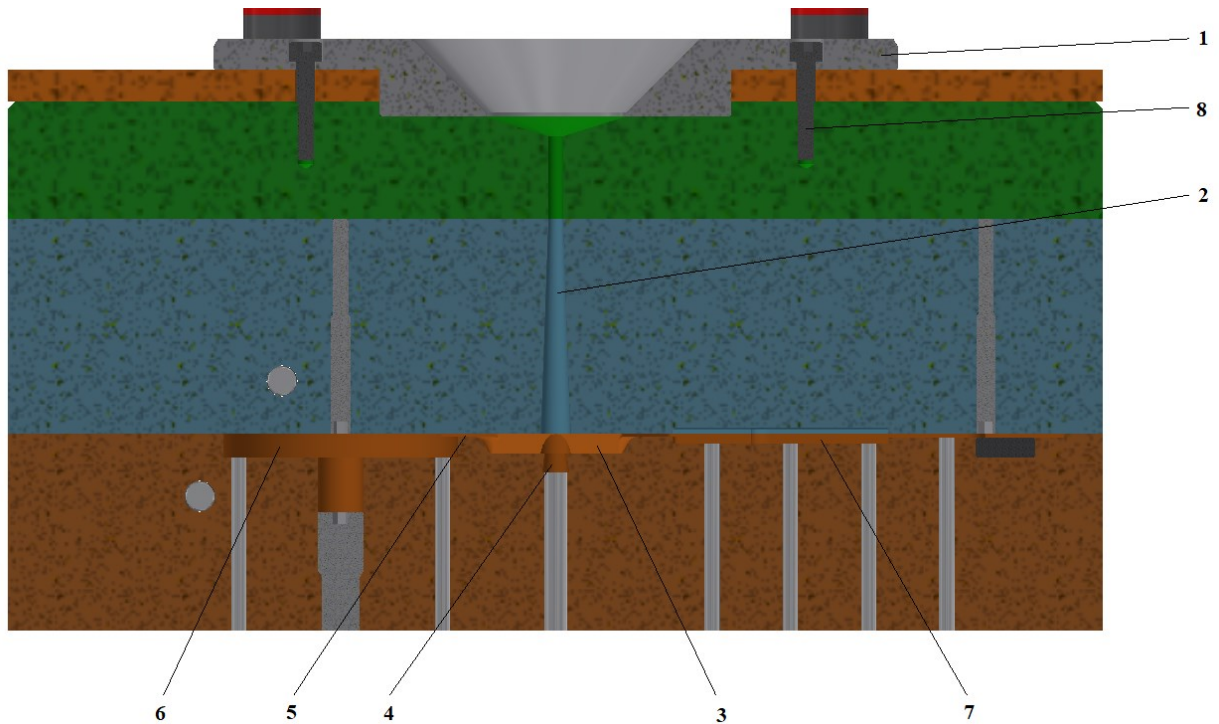
*Obr. 60 Poloha vyhazovacího zařízení při vstříknutí polymeru do dutiny formy*



*Obr. 61 Poloha vyhazovacího systému při odformování výrobku*

### 6.3 Vtokový systém

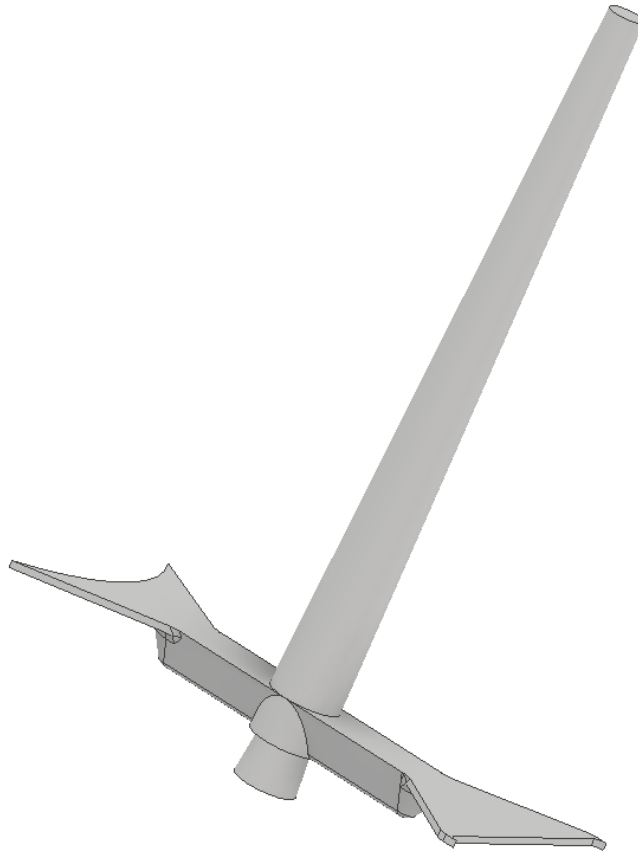
Vtokový systém má za úkol vedení proudu taveniny při vstřikovacím cyklu a její rovnoměrné přivedení do dutiny formy. Úplné zaplnění formy by mělo proběhnout v co nejkratším čase. Na *Obr. 62* můžeme vidět řez formou a zobrazený studený vtokový systém.



*Obr. 62 Studený vtokový systém;*

*1 – vtoková vložka, 2 – hlavní vtokový kanál, 3 – rozvodný kanál, 4 – přídržovač vtoku, 5 – vtokové ústí, 6 – výrobek pro tahovou zkoušku s válcovým insertem, 7 – výrobek na tahovou zkoušku s plochým insertem, 8 – imbusové šrouby E1200/5x25*

Hlavní vtokový kanál je tvaru kužele, kde vrchol má průměr 4 mm a podstava má průměr 8 mm, což nám zajistí dobrou dopravu polymerní taveniny. Rozvodný kanál má tvar rovnoarmenného lichoběžníku s délkou spodní základny 2,5 mm, horní základny 8 mm a výšky 5 mm. Ramena mají sklon 30° a celková délka rozvodného kanálu je 32 mm. Filmové vtokové ústí mají tvar rovnoarmenného trojúhelníku a výška těchto ústí je 0,8 mm. Stejně jako hlavní vtok i přídržovač vtoku má tvar kužele ovšem s vrcholem o průměru 6 mm a podstavou 7 mm. Na *Obr. 63* vidíme model vtokového zbytku ve 3D vytvořený pomocí programu Autodesk Inventor 2018.

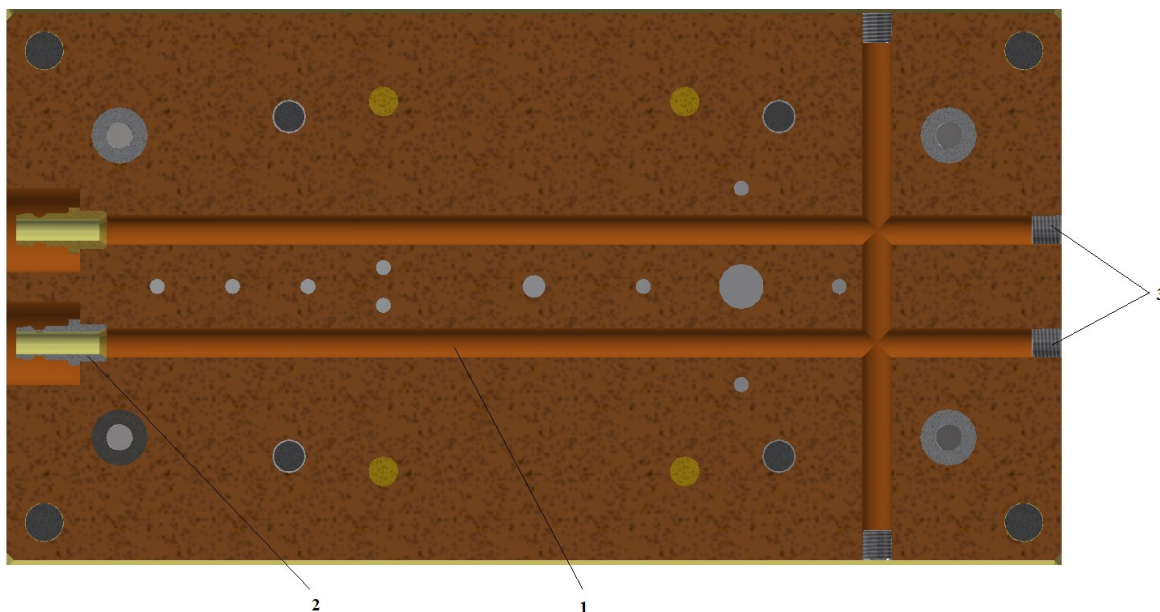


*Obr. 63 Vtokový zbytek*

## 6.4 Temperace

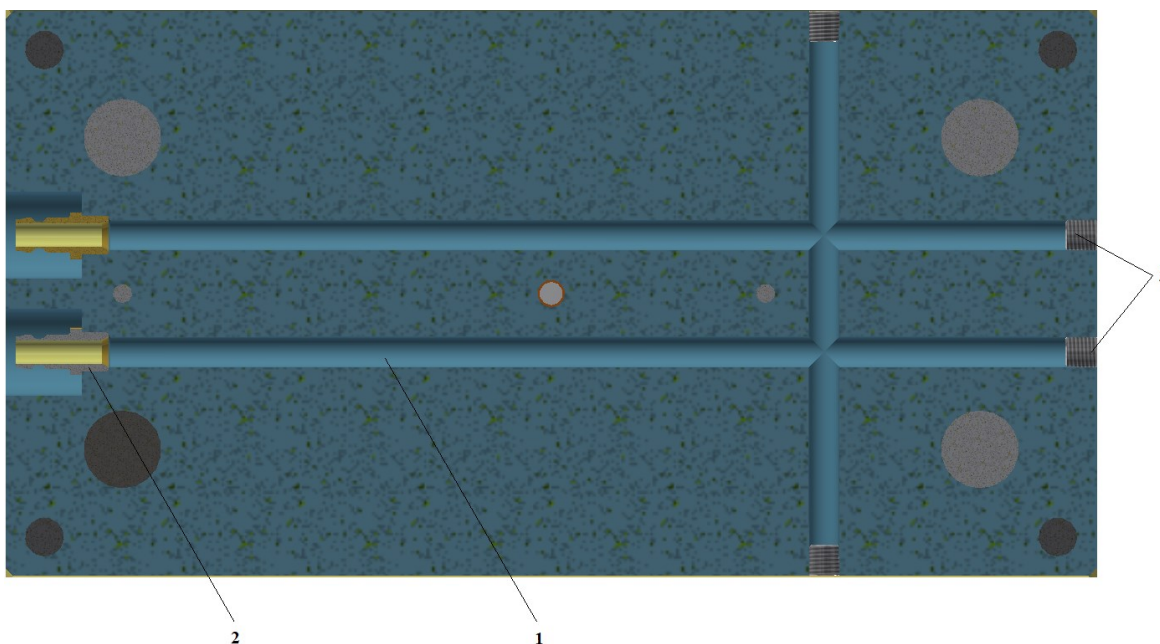
Temperace vstříkovací formy slouží k odvodu tepla z výrobku a tím k zachování jeho rozměrů i po vyhození. Pomocí temperace formu buď ohříváme, nebo ochlazujeme na požadovanou teplotu. Konstrukce temperačních kanálů by měla být co nejjednodušší a po výrobní stránce snadno proveditelná. U této formy bereme v úvahu teplotu kovového insertu, který bude do formy vložený ještě před vstříkovacím cyklem. Je nutné tento insert udržet na požadované teplotě proto temperační kanálky jsou umístěny v minimální možné vzdálenosti 8 mm od stěny výrobku a průměrem 8 mm kanálků. Kanálky jsou poté na koncích utěsněny ucpávkami. Důležitým parametrem u temperace je zvolení temperačního média a jeho rychlosti proudění. U této formy se zvolila jako temperační medium voda při pokojové teplotě 25°C. V *Obr. 64* a *Obr. 65* vidíme v řezu konstrukci temperačních kanálků u tvárníku a tvárnice.





Obr. 64 Temperační okruh tvárničku

1 – temperační kanál, 2 – temperační přípojka Z81/9x10x1, vnější ucpávka temperačního kanálu Z94/8x0,75



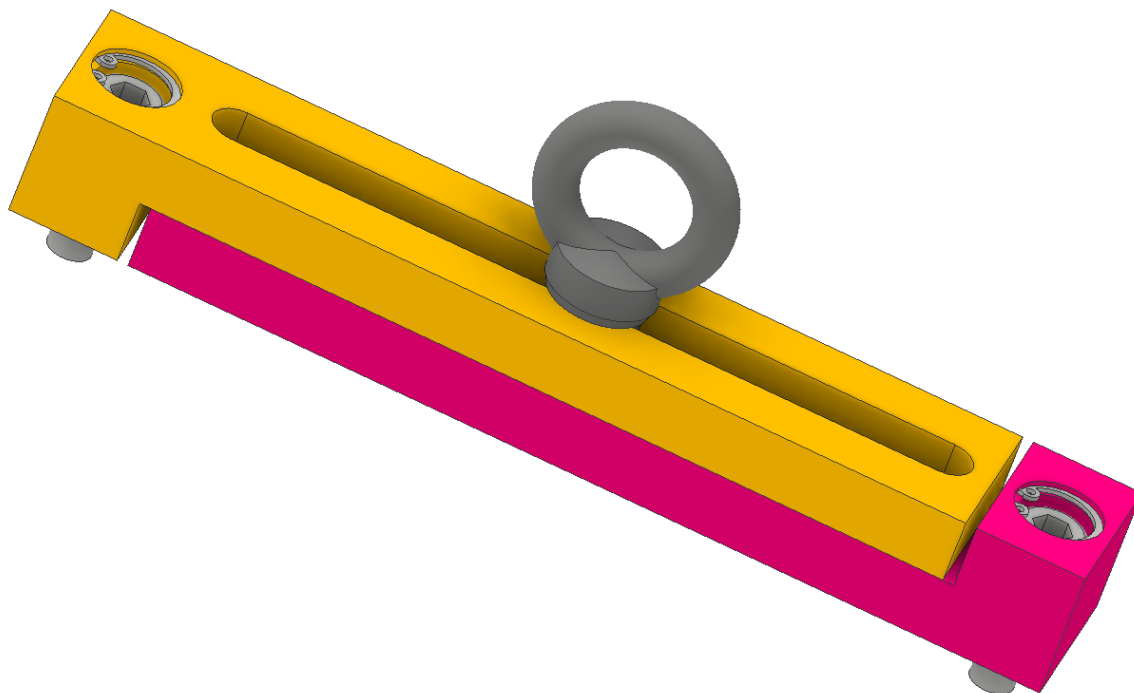
Obr. 65 Temperační okruh tvárnice;

(1 – temperační kanál, 2 – temperační přípojka Z81/9x10x1, vnější ucpávka temperačního kanálu Z94/8x0,75).

Poloha a všechny další rozměry jsou uvedeny ve výrobních výkresech v příloze diplomové práce.

## 6.5 Transportní zařízení

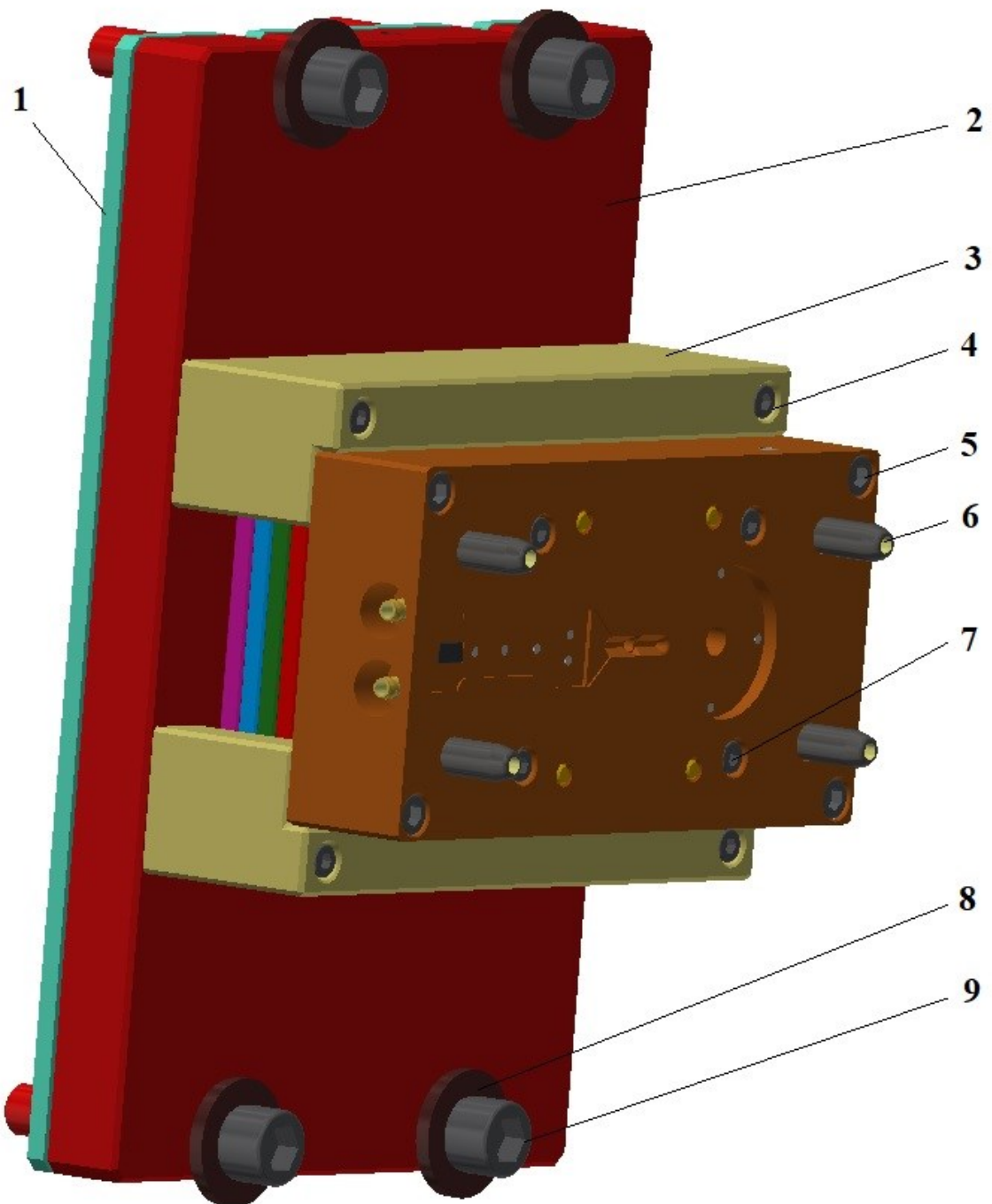
Na vstříkovací formě je umístěno na kotevních deskách transportní zařízení. Transportní zařízení je k formě uchyceno pomocí šroubů s vnitřním šestihranem. Tato součást vstříkovací formy je určena pro snadnější manipulaci. Transportní zařízení je označeno v katalogu HASCO jako Z70 typ2 (210-300).



*Obr. 66 Model transportního můstku od firmy HASCO*

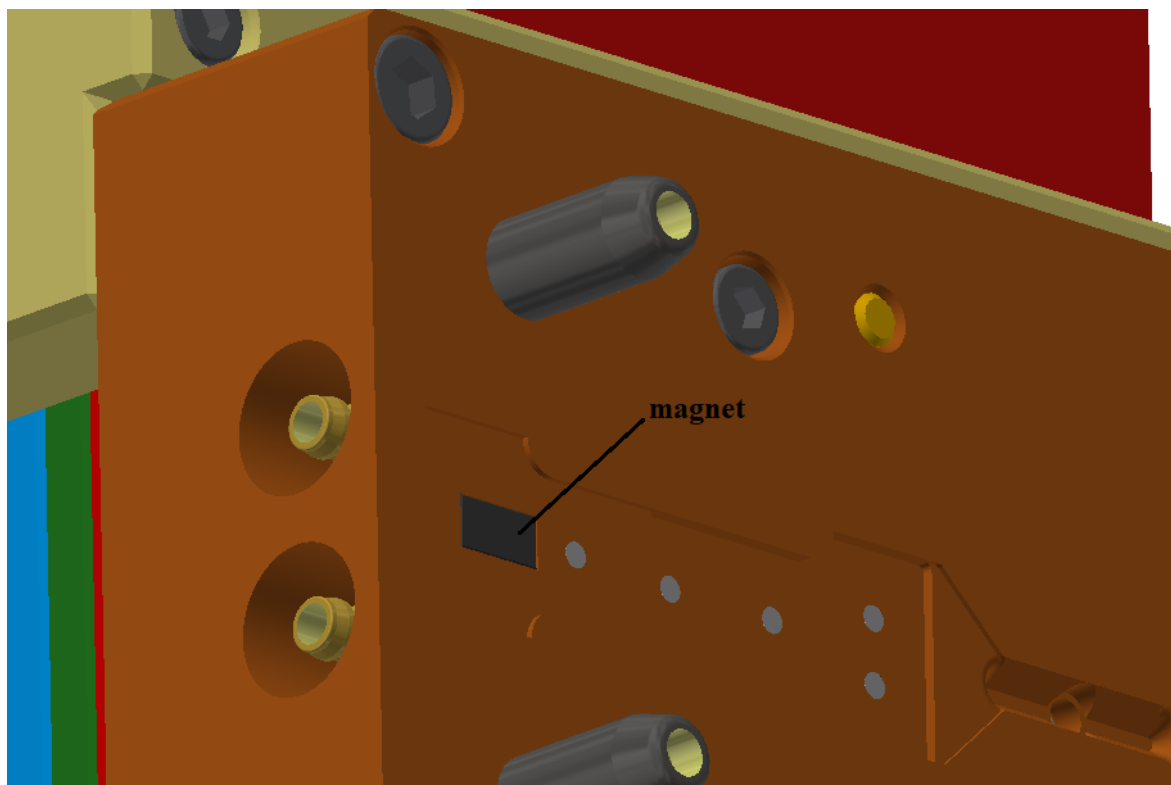
## 6.6 Levá část formy

Jak už bylo zmíněno tato forma je atypická tím že tvárník je připevněn pomocí imbusových šroubů na rozpěry. Na *Obr. 67* vidíme model levé části vstříkovací formy. Středící kroužek, který slouží k zajištění přesné polohy vstříkovací formy na vstříkovacím stroji, není na 3D modelu viditelný, neboť je skrytý za objemem desek. Středící kroužek je od firmy Meusburger typ E1377/120x90x18. Dále je ve tvárníku umístěný magnet zobrazený na *Obr. 68*, který slouží k přidržení plochého kovového insertu uvnitř vstříkovací formy. U válcového insertu je do tvárníku umístěný regulátor výšky válcového insertu *Obr. 69*, který insert nastavuje do zvolené výšky před vstříknutím polymeru do dutiny formy.

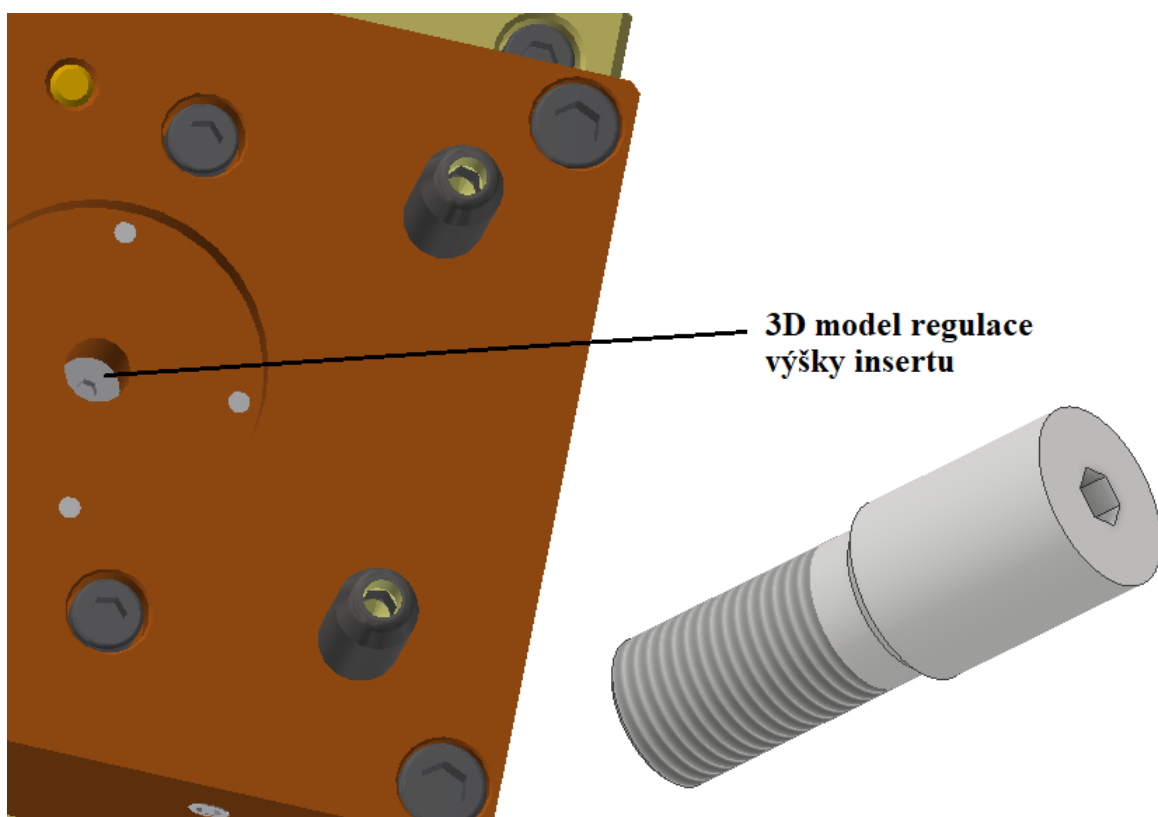


Obr. 67 Leva část vstříkovací formy;

(1 – izolační deska, 2 – kotevní deska, 3 – rozpěra, 4 – šroub s vnitřním šestihranem typ E1200/8x95, 5 – šroub s vnitřním šestihranem typ E1200/10x70, vodící čep Z010/15x60, imbusový šroub E1200/8x50, 8 – podložka Z562/20, 9- imbusový šroub E1200/20x110).



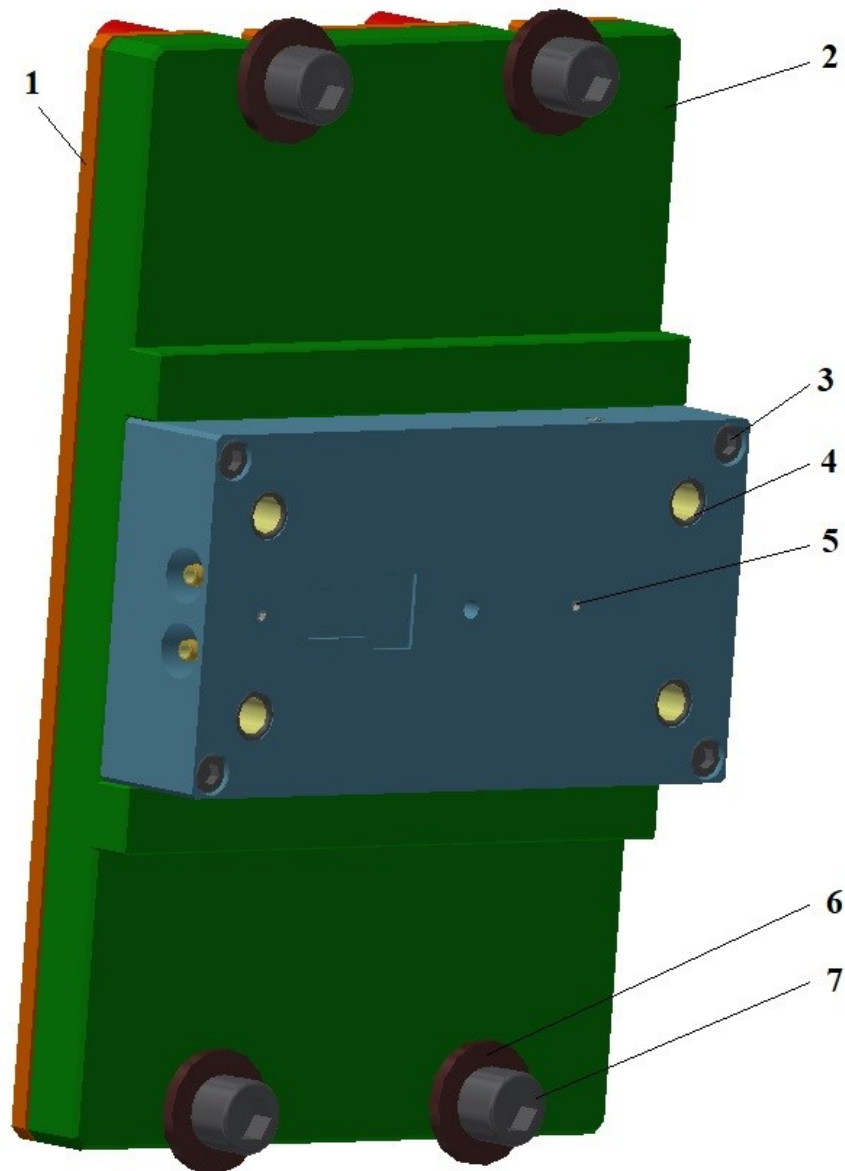
*Obr. 68 Umístění magnetu do tvárníku*



*Obr. 69 Umístění a 3D model regulace výšky insertu*

## 6.7 Pravá část formy

V pravé části formy na *Obr. 70* je opět skrytý středící kroužek, který je od firmy Meusburger E1362/175/90xx36x20. Ve tvárnici jsou umístěné dva přídržovače kovového insertu *Obr. 54*, které mají za úkol udržet insert v dutině formy v dané pozici a zamezit tak případné vychýlení při vstříknutí polymeru.

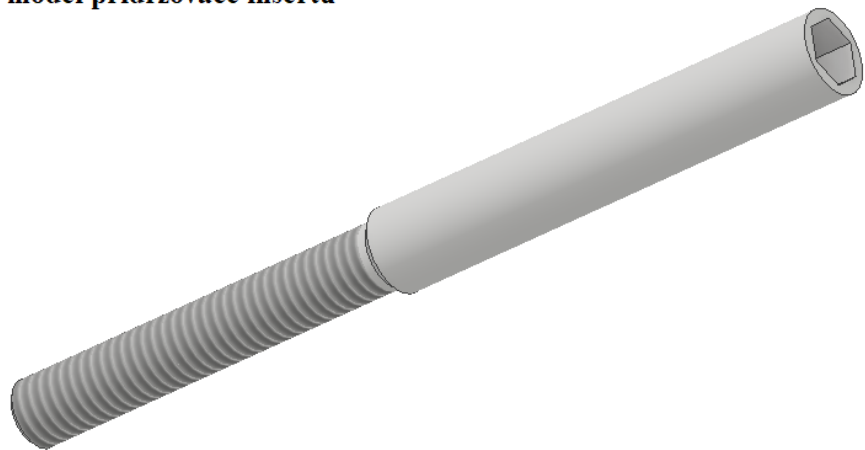


*Obr. 70 Pravá strana vstříkovací formy*

(1 – izolační deska, 2 – kotevní deska, 3 – imbusový šroub E1200/10x70, 4 – vodící pouzdro Z1101/56/15, 5 – přídržovač kovového insertu, 6 – podložka Z562/20, 7 – imbusový šroub E1200/20x110).



3D model přidržovače insertu



*Obr. 71 Umístění a 3D model přidržovače insertu*

## 7 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Jako vstřikovací stroj byl zvolen plně elektrický stroj značky Mitsubishi 180 ME3 který je na Obr. 72. Tento stroj je k dispozici na Centru polymerních systémů. Tento stroj disponuje standartní výbavou (5 zón řízení teploty, vyhazování po dobu otevírání formy, nízkotlakový ochranný systém formy, autodiagnostika, digitální nastavené všech parametrů, interní paměť pro 400 forem, kontrola pro ohřev, regulace teploty hrdla násypky, atd.).



Obr. 72 Vstřikovací stroj Mitsubishi 180 ME3

Tab. 10 nám znázorňuje základní technické parametry vstřikovacího stroje Mitsubishi 180 ME3, které jsou pro nás důležité při konstrukci vstřikovací formy na tento stroj.

Tab. 10 Základní technické parametry vstřikovacího stroje Mitsubishi 180 ME3

Základní technické parametry vstřikovacího stroje Mitsubishi 180 MET3				
Uzavírací síla [t]	Výška formy(min/max) [mm]	Vstřikovací objem [cm <sup>3</sup> ]	Rychlost vstřiku [cm <sup>3</sup> /s]	Celk. elektrický příkon [kVA]
180	200/500(600)	69 - 475	185 - 499	27 - 43
Zdvih vyhazovače [mm]	Přechod mezi sloupky [mm]	Chlazení	Průměr šneku [mm]	Průměrná spotřeba [kWh]
120	560 x 560	pod násypkou	28-32-36-40-46-50-55	4,1 - 5,4

## 8 VÝROBA VSTŘIKOVACÍ FORMY PRO TESTOVÁNÍ SPOJŮ KOV-POLYMER

Tato kapitola bude zaměřena na volbu firmy, která zajistí výrobu navržené vstřikovací formy. Následně pak v posledním bodě bude zdokumentován výrobní proces vstřikovací formy pro testování spojů kov-polymer.

### 8.1 Výběr firmy pro zhotovení vstřikovací formy

Po vytvoření 3D modelů a přípravě 2D výkresové dokumentace byly výkresy zaslány na kalkulaci do tří rozdílných firem, které zůstanou pro potřeby této diplomové práce anonymní a budou označeny pod písmeny A, B, C. Tyto tři firmy nám po verifikaci podkladů zaslaly kalkulace výrobní ceny. V poslední řadě bylo vybrat tu nejlepší nabídku a zadat vítězné firmě zakázku.

#### ❖ Firma A

Výroba tvarových vložek včetně vyhazovacího paketu je 155 000 včetně DPH.

Doba dodání je 8 týdnů.

#### ❖ Firma B

Zhotovení tvarových vložek „insert mold“ včetně vyhazovacího paketu 152 880 včetně DPH.

Doba dodání je 7 – 8 týdnů.

#### ❖ Firma C

Výroba tvarové dutiny a vyhazovacího paketu je 181 500 včetně DPH.

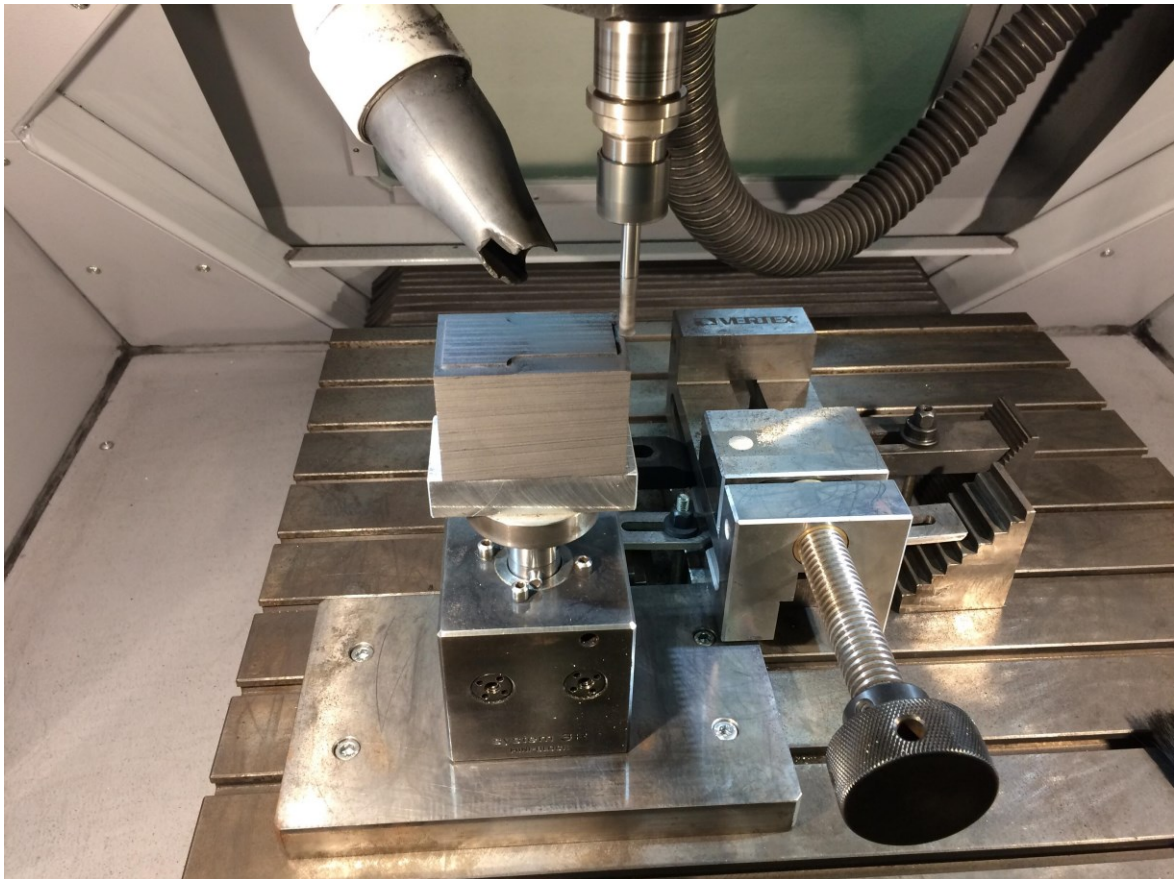
Doba dodání 7 – 8 týdnů.

Nejdůležitější faktor u volby dodavatele v případě univerzity je cena. Jak je zřejmé, nejnižší nabídka je u firmy B, proto této firmě byla následně zadána výroba vstřikovací formy na výrobu zkušebních těles z kovu a polymeru.



## 8.2 Výroba vstříkovací formy

Vstříkovací forma je u dodavatele vyráběna konvenčními technologiemi používanými pro výrobu nástrojů. Jedná se tedy o frézování, broušení, vrtání a vyvrtávání spolu s drátovým řezáním a elektroerozivním hloubením. Na obrázku níže (*Obr. 73*) je vidět obrábění elektrody pro tvorbu tvarové dutiny na tvárnici.



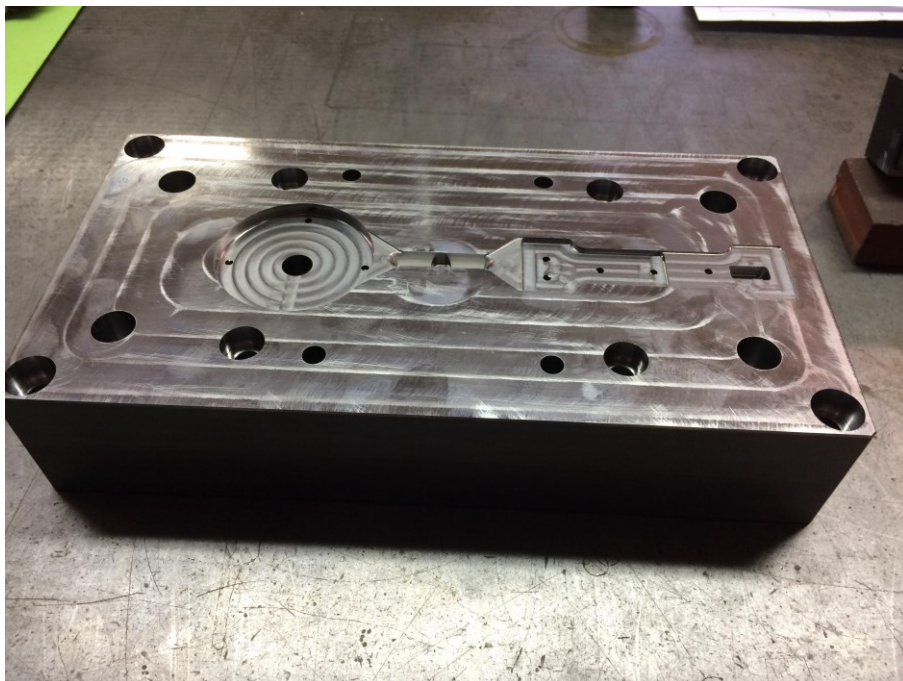
*Obr. 73 Výroba elektrody pomocí obrábění*

Na obrázku níže (*Obr. 74*) je vidět elektroda, která se použila při vyrobení tvarové dutiny na tvárníku. Materiál na elektrodu je zvolený grafit.



*Obr. 74 Elektroda potřebná k vytvoření tvarové dutiny tvárníku*

Na *Obr. 75* je vyfocen obrobený tvárník, který má tvarovou dutinu frézovanou. Po zakalení na požadovanou tvrdost budou rozměry dodělány na přesno pomocí uhlíkové elektrody hloubením.

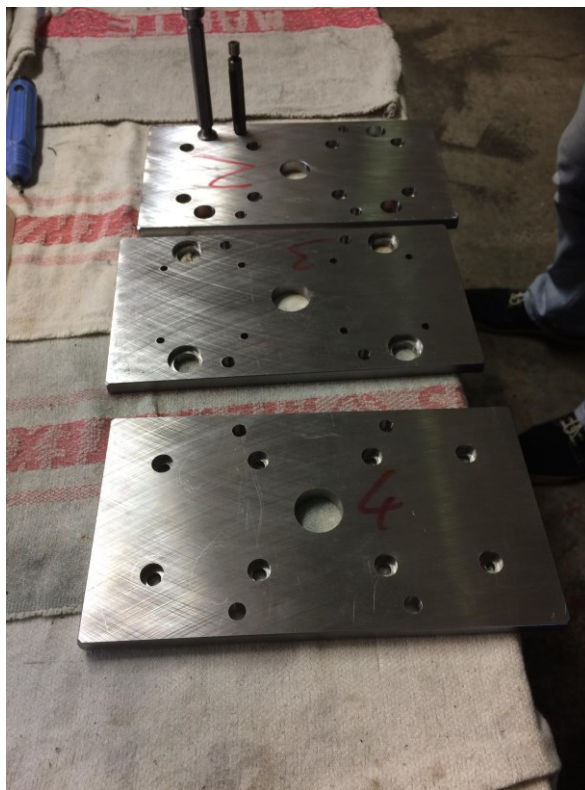


*Obr. 75 Obrobený tvárník*

Další fáze výroby a komponenty vstřikovací formy jsou uvedeny na *Obr. 76 a 77.*



*Obr. 76 Vrtání chladicího systému*



*Obr. 77 Desky vyhazovacího systému*

## ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývala návrhem tvaru zkušebních těles pro hodnocení soudružnosti mezi polymerními materiály a kovy. Hlavním výstupem této práce byla konstrukce vstřikovací formy, která posloužila k výrobě dané formy. Celkově bylo vytvořeno 8 návrhů zkušebních těles, z nichž byly vybrány dva nejvhodnější. U návrhů byla nejdůležitější největší možná styčná plocha obou materiálů, aby se docílilo co nejpevnějšího spoje. Po návrhu zkušebních těles následovalo zvolení materiálu, jelikož se jedná o formu na vytvoření zkušebních těles tak bylo nutné, aby byla následná forma použitelná pro více druhů materiálu. V případě insertů se tak počítá se zástríky z materiálu ocel, hliník a měď. Pro ověření deformace insertů během procesu plnění byla vytvořena simulace v programu Autodesk Moldflow Synergy, ve kterém byly následně vytvořeny 4 simulace pro vybrané polymerní materiály, které spadají do oblasti automobilového průmyslu.

Návrh vstřikovací formy byl proveden pro dvě rozdílná tělesa, tudíž bylo zapotřebí volby lichoběžníkového rozvodného systému a filmového vtoku pro podporu toku taveniny. U této formy nebylo nutné konstruovat více dělicích rovin, protože výrobky na tahovou zkoušku nejsou konstrukčně náročné. Temperační systém byl zvolen ve tvaru písmene U, kde na koncích bylo použito zaslepení pomocí záslepek od firmy HASCO. Vyhazovací systém je konstruován pomocí 4 vyhazovacích desek, ve kterých byly ukotveny normalizované vyhazovače od firmy Meusburger zkráceny následně podle tvarové dutiny. Ve vstřikovací formě byla umístěna regulace výšky kulatého kovového insertu, která bude určovat, v jaké výšce bude insert zastříknutý polymerem. K přidržení kovových insertů v dutině formy slouží přidržovače umístěné ve tvárnici. Ve tvárnici je umístěn magnet k přidržení plochého kovového insertu z magnetických materiálů.

Po vytvoření 3D modelu vstřikovací formy v programu Autodesk Inventor 2018 byla vytvořena 2D výrobní výkresová dokumentace jak pro kovové insertu, tak vstřikovací formy.

Následně byly osloveny vybrané firmy k předložení kalkulace výrobní ceny vstřikovací formy pro zkušební tělesa z polymeru a kovu. Na základě nejnižší nabídky byla vybrána firma pro zhotovení vstřikovací formy.

Vstřikovací forma, respektive tvarová vložka do univerzitního rámu bude sloužit na Centru polymerních systémů Univerzity Tomáše Bati pro účely výzkumu a pro další studenty v rámci témat diplomových a bakalářských prací.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] LOSERTOVÁ, Monika. *Progresivní materiály: učební text*. První. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012. ISBN 978-80-248-2575-5.
- [2] MURAVIEV, D.N. Inter-matrix synthesis of polymer stabilised metal nanoparticles for sensor applications. *Contributions to science*. 2005, **3**(1), 19–32.
- [3] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. První vydání. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0614-1.
- [4] *Laboratorní cvičení z předmětu plastikářská technologie: Vstřikování*. Univerzita Tomáše Bati, b.r.
- [5] *Technologie vstřikování*. První vydání. Svitavy: © Code Creator, s.r.o.; distribuce publi.cz; 2016, 2015. ISBN 978-80-88058-74-8.
- [6] *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů*. První vydání. Svitavy: © Code Creator, s.r.o.; distribuce publi.cz; 2016, 2016. ISBN 978-80-88058-65-6.
- [7] *Stroje pro zpracování polymerních materiálů*. První vydání. Svitavy: © Code Creator, s.r.o.; distribuce publi.cz; 2016, 2015. ISBN 978-80-88058-71-7.
- [8] HEIM, Hans-Peter. *Specialized injection molding techniques*. První vydání. Oxford, UK: William Andrew is an imprint of Elsevier, 2016. PDL handbook series. ISBN 978-0-323-34100-4.
- [9] GERMINGER, Tatjana a Stefan JARKA. *Specialized Injection Molding Techniques*. *Specialized Injection Molding Techniques*. b.r., **2016**. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-323-34100-4.00004-3>.
- [10] KAJIHARA, Yusuke, Yuta TAMURA, Fuminobu KIMURA, Gota SUZUKI, Naotake NAKURA a Eiji YAMAGUCHI. Joining strength dependence on molding conditions and surface textures in blast-assisted metal-polymer direct joining: Lecture Notes from the 2nd ERCOFTAC Summerschool held in Stockholm, 10-16 June, 1998. *CIRP Annals*. 2018, **67**(1), 591-594. DOI: 10.1016/j.cirp.2018.04.112. ISSN

00078506. Dostupné také z:  
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0007850618301367>
- [11] HABENICHT, Gerd. *Kleben: Grundlagen, Technologien, Anwendungen*. Šesté. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009. ISBN 978-3-540-85266-7.
- [12] SCHUCK, Marcus. *Kompatibilitätsprinzipien beim Montagespritzgießen*. První. Nürnberg: Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU), 2009. ISBN 978-3-931864-44-6.
- [13] *Zusammenhang zwischen Oberflächenenergie und Adhäsionsvermögen von Polymerwerkstoffen am Beispiel von PP und PBT und deren Beeinflussung durch die Niederdruck-Plasmatechnologie*. Duisburg, 2004. Disertační práce. Universität Duisburg-Essen.
- [14] POCIUS, Alphonsus V. *Adhesion and adhesives technology: an introduction*. 3rd ed. Cincinnati: Hanser Publications, 2012. ISBN 978-1-56990-511-1.
- [15] FOWKES, Frederick M. Acid-Base Interactions in Polymer Adhesion. *Industrial & Engineering Chemistry Product Research and Development*. 1981, **1981**(7), 119-137. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0167-8922\(08\)70878-2](https://doi.org/10.1016/S0167-8922(08)70878-2).
- [16] BOLGER, J.C. Acid Base Interactions Between Oxide Surfaces and Polar Organic Compounds. *Adhesion Aspects of Polymeric Coatings*. Springer, Boston, MA, 1983, (1), 3-18. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-1-4613-3658-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4613-3658-7_1).
- [17] LEE, Lieng-Huang. Molecular Bonding and Adhesion at Polymer-Metal Interphases. *The Journal of Adhesion*. 1993, **1994**(46), 15-38. DOI: <https://doi.org/10.1080/00218469408026646>.
- [18] PINPATHOMRAT, Badin, Suchalinee MATHUROSEMONTRI, Putinun UAWONGSUWAN, Supaphorn THUMSORN a Hiroyuki HAMADA. Study on Adhesive Property of Insert Injection Molded Glass Fiber Reinforced Polypropylene Composites. *Energy Procedia*. 2016, **89**, 291-298. DOI: 10.1016/j.egypro.2016.05.037. ISSN 18766102. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1876610216300455>

- [19] GIESE, Volker-Mathias. *Adhäsive Kunststoff-Metall- und Kunststoff-Kunststoff-Verbindungen im Hinblick auf die Spritzgussverarbeitung*. Erlangen-Nürnberg, 1995. Disertační práce. Universität Erlangen-Nürnberg.
- [20] BYSKOV-NIELSEN, Jeppe, Jens V. BOLL, Allan H. HOLM, Rune HØJSHOLT a Peter BALLING. Ultra-high-strength micro-mechanical interlocking by injection molding into laser-structured surfaces. *International Journal of Adhesion and Adhesives*. 2010, **2010**(30), 485-488. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2010.03.008>.
- [21] BONPAIN, Benedict a Markus STOMMEL. Influence of surface roughness on the shear strength of direct injection molded plastic-aluminum hybrid-parts. *International Journal of Adhesion and Adhesives*. 2018, **82**, 290-298. DOI: [10.1016/j.ijadhadh.2018.02.003](https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2018.02.003). ISSN 01437496. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0143749618300253>
- [22] BISCHOF, Claus a Wulff POSSART. *Adhäsion: theoretische und experimentelle Grundlagen*. 3. Berlin: Akademie-Verlag, 1983.
- [23] ZHAO, Gaoming. *Spritzgegossene, tragende Kunststoff-Metall-Hybridstrukturen: Konstruktion, Prozessanalyse und Charakterisierung*. První vydání. Erlangen-Nürnberg: Univ., Lehrstuhl für Kunststofftechnik, 2002. ISBN 3931864200.
- [24] JOHANNABER, Friedrich a Walter MICHAELI. *Handbuch Spritzgießen*. 1. Hanser, 2004. ISBN 9783446229662.
- [25] BIRCHLER, Martin. *Prozessgrößen beim Spritzgießen: Analyse und Optimierung*. 2. Beuth Verlag, 2012. ISBN 9783410227793.
- [26] EHRENSTEIN, Gottfried W. *Polymer-Werkstoffe: Struktur - Eigenschaften - Anwendung*. 1. Hanser, 1999. ISBN 9783446211612.
- [27] MENGES, Georg, Walter MICHAELI a Paul MOHREN. *Spritzgießwerkzeuge*. 3. München: Carl Hanser Verlag, 2007. ISBN 978-3-446-40601-8.
- [28] HAUFE, Andreas. *Untersuchung zur Vorhersage der Bindehaftfestigkeit in spritzgegossenen Formteilen*. Darmstadt, 1996. Disertační práce. Technische Hochschule Darmstadt.

- [29] LI, Xiping, Ningning GONG, Can YANG, Shuiping ZENG, Shihong FU a Ke ZHANG. Aluminum/polypropylene composites produced through injection molding. *Journal of Materials Processing Technology*. 2018, **255**, 635-643. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2018.01.008. ISSN 09240136. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924013618300098>
- [30] *Autodesk Inventor 2018* [online]. b.r. [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <https://knowledge.autodesk.com/support/inventor-products/learn-explore?sort=score>
- [31] *Autodesk Moldflow* [online]. b.r. [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <https://www.autodesk.com/products/moldflow/features>
- [32] *Ocel 11500* [online]. b.r. [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <http://www.czferrosteel.cz/pdf/tyce-11500.pdf>
- [33] *Hliník AW2017* [online]. b.r. [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <https://www.ehlinik.cz/prilohy/zakladni-technicke-informace.pdf>
- [34] *Měď Cu - OF* [online]. b.r. [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <https://shop.normy.biz/detail/16033>
- [35] *Ultramid* [online]. b.r. [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <http://iwww.plasticsportal.com/products/dspdf.php?type=iso&param=Ultramid+A3EG6>
- [36] *Arnite TV4 261* [online]. b.r. [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <https://www.nevicolor.it/Apps/WebObjects/Nevicolor.woa/wa/viewFile?id=3468&lang=ita>
- [37] *Makrolon 2405* [online]. b.r. [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: [http://lidorr.com/\\_Uploads/dbsAttachedFiles/Makrolon2407DS.pdf](http://lidorr.com/_Uploads/dbsAttachedFiles/Makrolon2407DS.pdf)
- [38] *Technyl A218 V50* [online]. b.r. [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: [http://www.ougangs.cn/uploadfile/file/20170824/20170824103338\\_918874676.pdf](http://www.ougangs.cn/uploadfile/file/20170824/20170824103338_918874676.pdf)



**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

mm	Milimetr
°C	Stupeň celsia
PS	Polystyren
HI-PS	Houževnatý polystyren
ABS	Akrylonitril-butadien-styren
SAN	Styren-akrylonitril
ASA	Akrylonitril-styren akrylát
PVC	Polyvinylchlorid
PMMA	Polymethyl-metakrylát
PC	Polykarbonát
PPO	Polyfenyloxid
CA	Acetát celulózy
PET-G	Polyethylentereftalát glykolu
PA-6-3-T	Polyamid 6-3-T
PSU	Polysulfan
PP	Polypropylen
HDPE	Vysokohustotní polyethylen
LDPE	Nízkohustotní polyethylen
PPA	Polyftalamid amorfní
PA	Polyamid
POM	Polyoxymethylen kopolymer
PPS	Polyfenylen sulfid
LCP	Kapalně krystalické polymery
PBT	Polybutylen tereftalát

---

PEK	Polyetherketon
PFA	Perfluoralkoxy
TPE	Termoplastický elastomer
nm	Nanometr
μm	Mikrometr
IDMJ	Injection-molded direct joining
Å	Ångstrom (jednotka délky)
°	Stupeň
m	Metr
MPa	Megapascal
KJ	Kilojoule
Mol	Jednotka látkového množství
%	Procento
GF	Glass fiber (skleněná vlákna)
T	Teplota (°C)
α	Koeficient lineární tepelné roztažnosti (K <sup>-1</sup> )
Δ	Delta
D	Průměr
3D	Trojrozměrný
CAD	Počítačem podporované projektování
DWG	Binární souborový formát
Rm	Pevnost v tahu (MPa)
Re	Mez kluzu (MPa)
HBW	Označení tahové zkoušky
A	Tažnost (%)

---

ČSN	Chráněné označení českých technických norem
Kg	Kilogram
HRC	Stupnice tvrdosti podle Rockwella
kWh	Kilowatthodina
cm	Centimetr
m <sup>3</sup>	Kubický centimetr
s	Sekunda
t	Tuna
kVA	kilovoltampér

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1 Časový průběh vstřikovacího cyklu. [4].....	12
Obr. 2 Průběh tlaku a teploty ve vstřikovací formě. [4] .....	13
Obr. 3 Přehled funkcí vstřikovací formy. [5].....	14
Obr. 4 Uzavřená dvoudesková vstřikovací forma; [5].....	16
Obr. 5 Základní princip tokové vložky; [6] .....	17
Obr. 6 Porovnání dvoudeskové vstřikovací formy a formy s horkým rozvodem. [6]	18
Obr. 7 Porovnání provedení rozváděcích kanálů. [6] .....	19
Obr. 8 Filmové ústí vtoku [6] .....	20
Obr. 9 Temperační okruh [6] .....	21
Obr. 10 Tabulka doporučených teplot v rámci vstřikování vybraných typů plastů. [5] .....	22
Obr. 11 Doporučené rozměry a umístění temperačních kanálů. [5] .....	23
Obr. 12 Příklad vyhazovacího systému vstřikovací formy [6] .....	24
Obr. 13 Schéma průběhu vstřikovacího cyklu pomocí pístového vstřikovacího stroje; [7] .....	25
Obr. 14 Šnekový vstřikovací stroj [7].....	26
Obr. 15 Základní dělení polymerních materiálů [3] .....	28
Obr. 16 Termoplasty pro výrobu výstřiků [3].....	29
Obr. 17 Schématické znázornění spoje polymer-kov pomocí přímého vstřikování[6] .....	31
Obr. 18 Přehled specifických adhezí [8].....	32
Obr. 19 Schématická struktura kovového rozhraní [17].....	34
Obr. 20 Geometrie zkušební vzorku pro zkoušky tahem u kovů a plastů. [21].....	35
Obr. 21 Možnost propojení mezi polymerem a kovem a směry zatížení [8].....	36
Obr. 22 Parametry, které ovlivňují kompozitní přílnavost [8] .....	37
Obr. 23 Schematické znázornění interakcí pro výběrové materiály [8] .....	38
Obr. 24 Vliv orientace skelných vláken na tahové vlastnosti [8] .....	40
Obr. 25 Návrh kompozitu z polymeru a kovu [8].....	44
Obr. 26 Příklady kovových insertů .....	46
Obr. 27 Příklad experimentální formy pro vstřikování kompozitu s polymeru a kovu [29] .....	47
Obr. 28 Pracovní prostředí programu Autodesk Inventor 2018. ....	51

Obr. 29 První návrh zkušební tělesa s plochým insertem.....	52
Obr. 30 Druhý návrh zkušební tělesa s plochým insertem .....	53
Obr. 31 Třetí návrh zkušební tělesa s plochým insertem.....	53
Obr. 32 Čtvrtý návrh zkušební tělesa s plochým insertem .....	54
Obr. 33 První návrh zkušební tělesa s válcovým insertem .....	55
Obr. 34 Druhý návrh zkušební tělesa s válcovým insertem .....	55
Obr. 35 Třetí návrh zkušební tělesa s válcovým insertem.....	56
Obr. 36 Čtvrtý návrh zkušební tělesa s válcovým insertem .....	56
Obr. 37 Statistika 3D sítě v programu Autodesk Moldflow 2016 .....	61
Obr. 38 Nastavení parametrů vtokového systému .....	61
Obr. 39 Model studeného vtoku v programu Autodesk Moldflow 2016.....	62
Obr. 40 Model studeného vtoku a zkušebních těles v programu Autodesk Moldflow 2016.....	62
Obr. 41 procesní parametry strana 1 .....	63
Obr. 42 procesní parametry strana 2 .....	63
Obr. 43 Simulace času vyplnění v programu moldflow .....	64
Obr. 44 deformace kovového insertu materiálu Ultramid A3EG7.....	65
Obr. 45 hodnota deformace kovového insertu materiálu Arnite TV4 261 .....	66
Obr. 46 deformace kovového insertu materiálu Makrolon 2405.....	67
Obr. 47 Deformace kovového insertu materiálu Technyl A218 V50.....	68
Obr. 48 Detailní pohled na orientaci vláken u polymerní pacičky .....	69
Obr. 49 Detailní pohled na orientaci vláken polymerní části kruhového insertu .....	69
Obr. 50 Objemové smrštění materiálu Ultramid A3EG7 .....	70
Obr. 51 Objemové smrštění materiálu Arnite TV4 261 .....	71
Obr. 52 Objemové smrštění materiálu Makrolon 2405 .....	71
Obr. 53 Objemové smrštění materiálu Technyl A218 V50.....	72
Obr. 54 Model vstřikovací formy .....	73
Obr. 55 Hlavní dělicí rovina .....	74
Obr. 56 Násobnost vstřikovací formy.....	74
Obr. 57 Tvárník.....	75
Obr. 58 Tvárnice .....	76
Obr. 59 Vyhazovací systém;.....	77
Obr. 60 Poloha vyhazovacího zařízení při vstříknutí polymeru do dutiny formy .....	78

Obr. 61 Poloha vyhazovacího systému při odformování výrobku .....	78
Obr. 62 Studený vtokový systém; .....	79
Obr. 63 Vtokový zbytek.....	80
Obr. 64 Temperační okruh tvárníku .....	81
Obr. 65 Temperační okruh tvárnice; .....	81
Obr. 66 Model transportního můstku od firmy HASCO .....	82
Obr. 67 Levá část vstřikovací formy; .....	83
Obr. 68 Umístění magnetu do tvárníku .....	84
Obr. 69 Umístění a 3D model regulace výšky insertu .....	84
Obr. 70 Pravá strana vstřikovací formy .....	85
Obr. 71 Umístění a 3D model přídržovače insertu .....	86
Obr. 72 Vstřikovací stroj Mitsubishi 180 ME3 .....	87
Obr. 73 Výroba elektrody pomocí obrábění .....	89
Obr. 74 Elektroda potřebná k vytvoření tvarové dutiny tvárníku.....	90
Obr. 75 Obrobený tvárník.....	90
Obr. 76 Vrtání chladicího systému .....	91
Obr. 77 Desky vyhazovacího systému.....	91

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1 Srovnání vazebných energií a rozsahů pro fyzikální a chemické síly [8] .....	33
Tab. 2 Tabulka koeficientu lineární tepelné roztažnosti pro kovy a polymery. ....	41
Tab. 3 Mechanické vlastnosti oceli 11 500 [32] .....	57
Tab. 4 Mechanické a technologické vlastnosti AW2017 [33] .....	57
Tab. 5 Mechanické vlastnosti Cu – OF [34] .....	58
Tab. 6 Vlastnosti materiálu Ultramid A3EG7 .....	58
Tab. 7 Vlastnosti materiálu Arnite TV4 261 .....	59
Tab. 8 Vlastnosti materiálu Makrolon 2405 .....	59
Tab. 9 Vlastnosti materiálu Technyl A218 V50 .....	60
Tab. 10 Základní technické parametry vstřikovacího stroje Mitsubishi 180 ME3 .....	87

**SEZNAM PŘÍLOH**

- P1 3D step model zkušebních těles
- P2 2D výkresová dokumentace zkušebních těles
- P3 3D step model vstříkovací formy
- P4 2D výkresová dokumentace vstříkovací formy
- P5 CD-ROM, které obsahuje: - pdf se souborem s diplomovou prací  
- přílohy P1 – P4