

# **Konstrukce vstřikovací formy pro výrobu zkušebních těles**

Vít Kaloda

---

Bakalářská práce  
2018

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

## 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 .....

.....

---

<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**

Abstrakt česky

Tato bakalářská práce je zaměřena na konstrukci vstřikovací formy pro výrobu zkušebních těles. Celá práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Nejdříve je teoretická část zaměřena na polymerní materiály, dále na specifikaci vstřikování a poslední část na konstruování vstřikovacích forem a související problematiku. Praktická část je rozdělena do tří kapitol. První kapitola se týkala návrhu zkušebních těles a poté konstrukce vstřikovací formy, včetně technické dokumentace. Druhá kapitola je zaměřena na tvorbu programu pro CNC frézku. Poslední kapitola se zaměřuje na výrobu desek vstřikovací formy. Po vyrobění všech potřebných komponentů bude provedena montáž vstřikovací formy a následně bude forma odzkoušena na vstřikovacím stroji.

Klíčová slova: vstřikovací forma, vstřikování, návrh, konstrukce

## **ABSTRACT**

Abstrakt ve světovém jazyce

This bachelor thesis focuses on the design of the injection mold for the production of test bodies. The whole thesis is divided into the theoretical and practical part. In the past, the theoretical part is focused on polymer materials, it is focused on the specification of injection molding and the last part on the design of injection molds and related to problems about it. The practical part is divided into three chapters. The first chapter concerned the design of the test bodies and then the design of the injection mold including the technical documentation. The second chapter focuses on creating a program for a CNC milling machine. The last chapter focuses on the manufacture of injection molding plates. After all the necessary components have been made, the injection mold will be assembled and the mold will then be tested on the injection molding machine.

Keywords: injection forms, injecting, draft, construction

Na tomto místě bych chtěl poděkovat hlavně svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Václavu Janoščíkovi za veškerý čas, odborné rady a připomínky, které mi věnoval během jejího vypracovávání.

Tato bakalářská práce byla podpořena interním grantovou agenturou UTB ve Zlíně č. IGA/FT/2018/012, který je financován z prostředků konkrétního vysokoškolského výzkumu a Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České republiky.

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

# OBSAH

<b>I</b>	<b>TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>9</b>
<b>1</b>	<b>POLYMERY PRO VSTŘIKOVÁNÍ.....</b>	<b>10</b>
1.1	PLASTY .....	10
1.1.1	Termoplasty.....	11
1.1.2	Reaktoplasty.....	12
1.1.3	Elastomery.....	12
1.1.4	Termoplastické elastomery .....	13
1.2	VOLBA TERMOPLASTŮ PŘI NÁVRHU SOUČÁSTI .....	13
1.3	VÝROBA PLASTŮ .....	14
1.4	ÚPRAVA PLASTŮ PRO ZPRACOVÁNÍ A POUŽITÍ .....	14
<b>2</b>	<b>VSTŘIKOVÁNÍ POLYMERŇNÍCH MATERIÁLŮ.....</b>	<b>15</b>
2.1	VSTUPNÍ KONTROLA PLASTŮ .....	16
2.2	HODNOCENÍ NOVÝCH TYPŮ PLASTŮ .....	16
2.3	VHODNÉ ÚPRAVY PLASTŮ PŘED PROCESEM VSTŘIKOVÁNÍ .....	16
2.3.1	Sušení granulátu .....	16
2.3.2	Recyklace plastů.....	17
2.3.3	Barvení granulovaných plastů.....	17
2.4	VSTŘIKOVACÍ CYKLUS .....	17
2.4.1	Vstřikovací cyklus v diagramu $P_i-t$ .....	19
2.4.2	Strojní časy.....	20
2.4.3	Plastikace.....	20
2.4.4	Dotlak.....	20
2.4.5	Chlazení.....	20
2.5	VSTŘIKOVACÍ STROJE.....	21
2.5.1	Uzavírací jednotka .....	22
2.5.2	Vstřikovací (plastikační) jednotka .....	22
<b>3</b>	<b>VSTŘIKOVACÍ FORMY .....</b>	<b>23</b>
3.1	KONSTRUKCE FOREM .....	23
3.2	SMRŠTĚNÍ.....	25
3.2.1	Vliv smrštění plastu na konstrukci vstřikovací formy .....	25
3.3	VTKOVÝ SYSTÉM .....	27
3.3.1	Studená vtoková soustava (SVS) .....	28
3.3.2	Vtokové kanály .....	28
3.3.3	Vtokové ústí .....	28
3.3.4	Vyhříváné vtokové soustavy (VVS) .....	31
3.3.5	Vyhříváné trysky .....	32
3.3.6	Nepřímó vyhříváné trysky.....	32
3.3.7	Vytápěné rozvodové bloky .....	32
3.4	VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	33
3.4.1	Mechanické vyhazování.....	34
3.4.2	Hydraulické vyhazování.....	34
3.4.3	Pneumatické vyhazování.....	34

3.5	TEMPERACE FOREM .....	35
3.6	ODVZDUŠNĚNÍ FORMY .....	35
<b>4</b>	<b>STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE .....</b>	<b>37</b>
<b>5</b>	<b>PROGRAMY POUŽITÉ PRO TVORBU VSTŘIKOVACÍ FORMY.....</b>	<b>38</b>
<b>6</b>	<b>NÁVRH VSTŘIKOVANÉHO DÍLU .....</b>	<b>39</b>
<b>7</b>	<b>KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY – UNIVERZÁLNÍ RÁM.....</b>	<b>40</b>
7.1	NÁSOBNOST FORMY .....	40
7.2	DĚLICÍ ROVINA .....	40
7.3	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ TVAROVÉ ČÁSTI.....	41
7.4	VTOKOVÝ SYSTÉM .....	41
7.5	LEVÁ STRANA VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	42
7.6	PRAVÁ STRANA VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	43
7.7	VYHAZOVACÍ SYSTÉM .....	44
7.8	TEMPERACE SYSTÉM FORMY .....	45
7.9	VSTŘIKOVACÍ FORMA .....	46
<b>8</b>	<b>PŘÍPRAVA VÝROBY.....</b>	<b>48</b>
8.1	POUŽITÉ STROJE.....	52
8.1.1	CNC frézka AZK HWT C-442 Profi .....	52
8.1.2	Sloupová vrtačka Optimum B40 GSM .....	53
8.1.3	Ruční řezání závitů.....	54
8.2	POSTUP VÝROBY .....	54
8.3	STANOVENÍ NULOVÉHO BODU NA FRÉZCE .....	54
8.4	FRÉZOVÁNÍ TVAROVÝCH DESEK.....	55
8.5	FRÉZOVÁNÍ DESEK VYHAZOVACÍHO SYSTÉMU .....	57
8.5.1	Temperace tvarových desek .....	59
8.6	DOKONČOVACÍ OPERACE .....	59
8.7	SESTAVENÍ FORMY .....	59
8.8	PŘÍPRAVA FORMY PRO TESTOVÁNÍ NA VSTŘIKOVACÍM STROJI.....	60
8.8.1	Volba vstřikovacího stroje .....	60
8.8.2	Volba materiálu .....	61
8.8.3	Testování formy na vstřikovacím stroji .....	62
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>66</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>68</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>69</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>71</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>72</b>

## ÚVOD

Polymery, materiály, které dnes zaujímají takřka nenahraditelné místo ve světě. V obklopení technickými vymoženostmi je téměř nemožné představit si, jak by náš život fungoval bez nich. Novodobá tendence ve strojírenství směřuje odlišným směrem, než tomu bylo dříve. Klasické materiály, jako například sklo, dřevo či kov, jsou nahrazovány materiály polymerními. Ne všechny produkty z klasických materiálů však lze nahradit produkty z polymeru, přesto tato nová metoda výroby exponenciálně roste, a tak získávají polymery mnohem více prostoru na trhu. Největší hrozbou do budoucna je fakt, že zásoby látky, ze které je běžně čerpáno pro jejich výrobu, se zmenšují.

S rozvojem polymerů vzrůstá náročnost na jejich zpracovatelnost, výběr a aplikaci vhodné technologie. Technologie vstřikování se stala jednou z nejpobulárnějších. Důvody, které k tomu vedly, zahrnují nejen úsporu času při výrobě, ale především možnost vyrobit velmi obtížné a složité výrobky. Kvůli vysoké cenové náročnosti vstřikovacího stroje a forem, které musejí odolávat vysokým teplotám a tlakům, je vhodnější zvolit vstřikování při velkosériové výrobě. Tvar dutiny formy u vstřikování se vyrábí na zakázku dle požadavků zákazníka. Pro zjednodušení práce a snížení ekonomické náročnosti konstrukce forem se využívá různých softwarových podpor. Práce s programy jsou často intuitivní a časově úspornější.

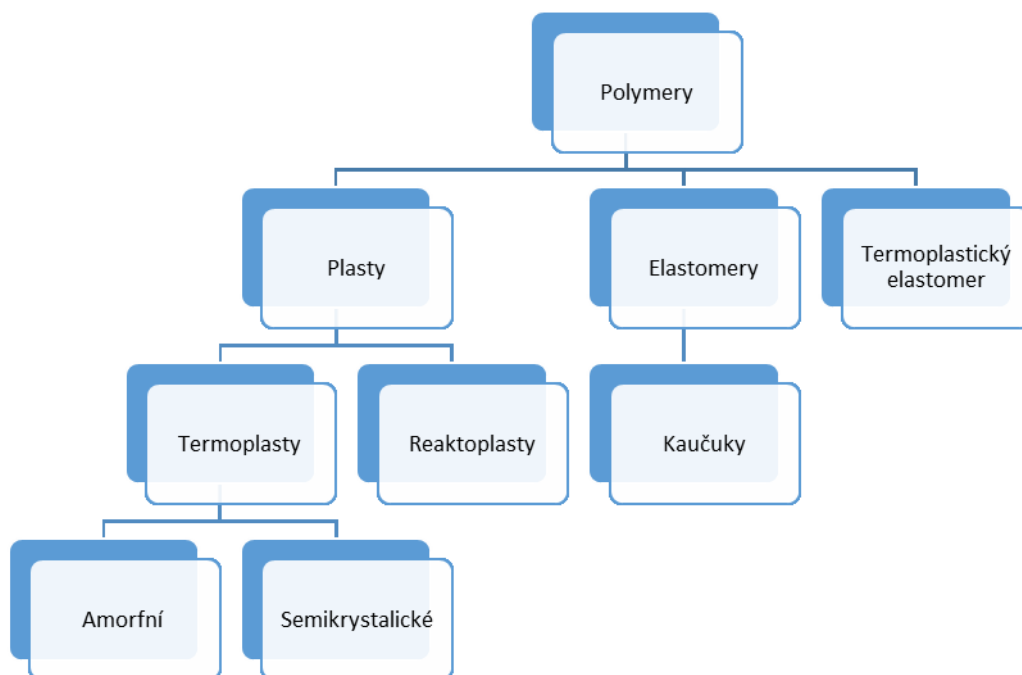
Cílem této bakalářské práce je vytvořit pomocí programu Autodesk Inventor professional 2017 3D model vstřikovací formy pro výrobu zkušebních těles a zkonstruovat samotnou formu, která bude na závěr testována. Kovové části formy budou obráběny na 3osé NC frézce, která je součástí mého vzdělávacího institutu. Program pro frézku je vytvářen pomocí programu NX 11.



## I. TEORETICKÁ ČÁST

## 1 POLYMERY PRO VSTŘIKOVÁNÍ

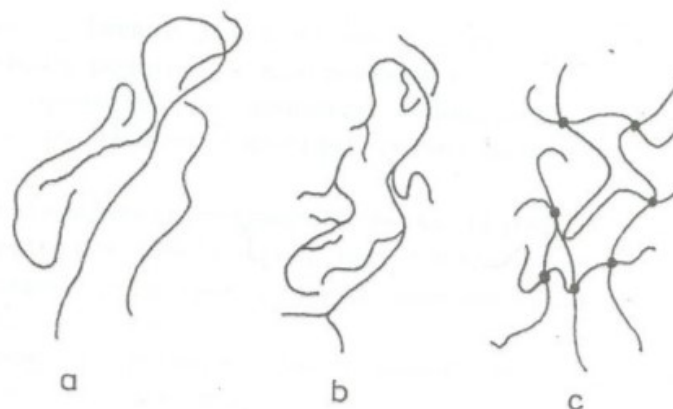
Polymer je látka skládající se z molekul jednoho nebo více atomů (většinou atomu uhlíku, vodíku a kyslíku, často dusíku, chloru, křemíku) nebo skupiny spojené ve velkém počtu. Polymery odděluje od sebe řetězová struktura jejich molekul, tedy dlouhá lineární řada vzájemně spojených atomů nebo skupin atomů. Skupinu atomů si lze představit jako převážný strukturální motiv, který může být přerušen místy větvení. Při zpracování se polymer nachází v kapalném stavu, který umožní dát následnému výrobku tvar za vyšší teploty a tlaku. Hotový výrobek je následně v tuhém stavu. [1]



Obr. 1 Rozdělení polymerů

### 1.1 Plasty

Plasty jsou materiály, které jsou základním prvkem makromolekulární látky – polymery. Polymery jsou dělené na přírodní (bílkoviny, přírodní kaučuky, přírodní pryskyřice) a syntetické (reaktoplasty, termoplasty, elastomery atd.). Polymer je tedy makromolekula, kde jsou chemickými vazbami různě pospojované elementární látky nazývané monomery.



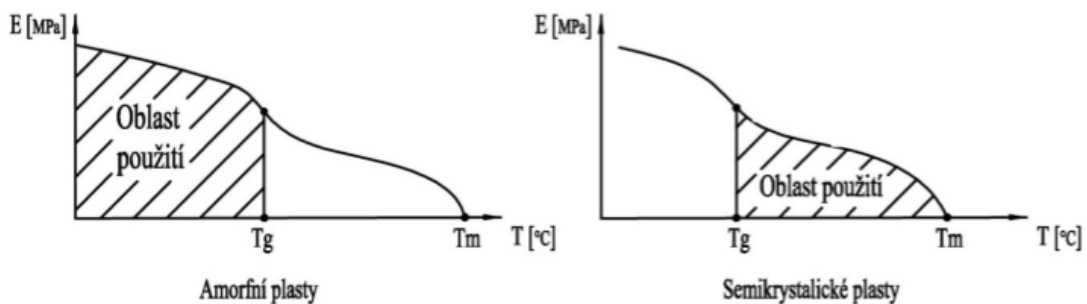
Obr. 2 Rozdělení řetězců, a – lineární řetězce, b – rozvětvené řetězce, c – síťované řetězce

Jednotka vzniklá z molekuly je pojmenovaná jako monomerní jednotka. Polymery se dělí podle dělení makromolekul a jsou lineární, síťované nebo rozvětvené. Velikost makromolekul určuje jejich molární hmotnost  $M$ , anebo polymerační stupeň  $P$ . Mezi nimi platí vztah  $M = P \cdot M_0$ , kde  $M_0$  je molární hmotnost monomeru. Pro vyráběné polymery jsou látky polydisperzní, což znamená, že značně obsahují polymerhomology o odlišných délkách řetězce. Pro charakterizaci se uvádí střední molární hmotnost  $\bar{M}$ , jejichž distribuce šíření se vyjadřuje distribuční křivkou. Plasty jsou polymery, u nichž vnější namáhání způsobuje hlavně deformaci nevratného (trvalého) charakteru. Obvykle jsou polymery tvrdé a často i křehké. Podle toho, jak se chovají při zahřívání, se dělí na termoplasty a reaktoplasty. [2]

### 1.1.1 Termoplasty

Termoplasty jsou takové materiály, které při zahřívání měknou (to znamená, že přecházejí do plastického stavu) a je možno je tvářet. Do oblasti taveniny se dostává zahřátím nad teplotou tání. Zpětným ochlazením přechází do tuhého stavu. Při zahřívání na teplotu přechází do tuhého stavu. Při zahřívání neprobíhá žádná chemická reakce a během zpracování se vůbec nemění chemická struktura. Změny, kterými materiál prochází, mají fyzikální charakter a proces tuhnutí je vratný. Dále mohou být termoplasty amorfni a semikrystalické. Amorfni polymery se vyznačují tím, že řetězce jsou prostorově nepravidelně uspořádané, a semikrystalické plasty tím, že podstatná část řetězců je těsně uspořádaná, a tvoří tedy krystalické útvary.

Využitelnost výrobků z amorfních plastů je v jisté oblasti pod teplotou skelného přechodu ( $T_g$ ). Polymer je tedy v daném stavu stále pevný. Při zvyšování teploty nad  $T_g$  postupně lehce slábnou kohezní síly mezi makromolekulami a plast přechází do jisté plastické oblasti až do viskózního stavu, kdy se začíná zpracovávat. Když se zvyšuje teplota, také narůstá objem polymeru. U semikrystalických polymerů jsou části makromolekul vázané mnohem pevněji v sférolitech krystalické fáze a v lamelách. Když se zvyšuje teplota, nejdříve se uvolní jistá část makromolekul z amorfní oblasti a poté i další. Z tohoto důvodu nastává i objemový nárůst. Tyto plasty jsou použitelné nad teplotou  $T_g$ , protože tehdy mají vhodnou kombinaci houževnatosti a pevnosti. [3], [4]



Obr. 3 Oblasti využití u amorfních a semikrystalických plastů

### 1.1.2 Reaktoplasty

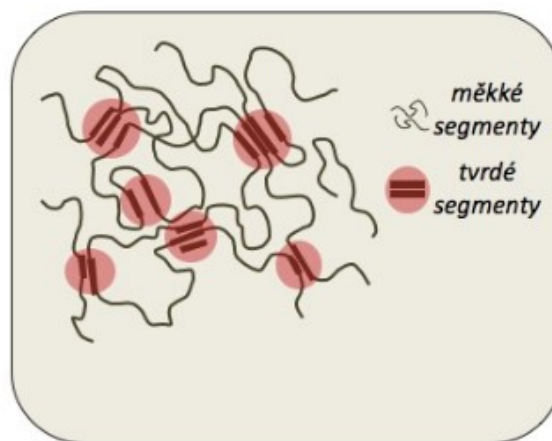
Jedná se o polymery, které jako termoplasty v první fázi zahřívání měknou a je možno je tvářet, ale pouze určitou dobu. Během dalšího nahřívání dochází k chemické reakci – prostorovému vytvrzování (zesíťování). Jinými slovy, reaktoplast je nemožné převést chemickou reakcí z tuhého do plastického stavu. [4]

### 1.1.3 Elastomery

Elastomery jsou takové druhy polymerů, které lze za běžných podmínek menší silou lehce deformovat bez jejich porušení. Deformace elastomerů je vratná. Vyznačují se vlastnostmi, jako je vysoká úroveň pružné deformace, schopností reprodukce a objemovou stabilitou. Elastomery jsou dvousložkové (báze + aktivační složka). [4]

### 1.1.4 Termoplastické elastomery

Termoplastické elastomery jsou polymerní systémy, které se vyznačují vlastnostmi elastomerů (především ohebností) a vlastnostmi termoplastů (lepší zpracovatelnost). Termoplastický elastomer se tedy skládá z měkkých, elastických a tvrdých segmentů. Měkké a tvrdé segmenty se vzájemně nesmějí mísit (musejí tvořit oddělené fáze). Měkké segmenty jsou tvořeny elastomerem a z toho důvodu se lehce deformují a mají nízkou teplotu skelného přechodu. Tvrdé segmenty, které tvoří semikrystalické a amorfní polymery, se obtížně deformují a mají vysokou teplotu tání a teplotu skelného přechodu.



Obr. 4 Schéma struktury TPE

## 1.2 Volba termoplastů při návrhu součástí

Vstříkovaním lze vyrobit i kompletní součást, která nepožaduje další opracování. Při každém návrhu vhodného termoplastu pro konstruovanou součást je třeba zvážit potřebné podmínky celkového využití a provozního zatížení. Pro optimální volbu plastu se musí dodržet, aby byla zvolena vhodná technologie výroby součástí. Tedy musí být poměrně snadno realizovatelná. Důležitý je také ekonomický faktor při výběru plastu (z hlediska technologie výroby součástí i formy pro ni). Po posouzení uvažovaných hledisek může konstruktér zvolit vhodný plast nebo i více obdobných materiálů. Obecně platí, že tvar výrobku i s jeho vlastnostmi by měl odpovídat použitému plastu i určené technologii. [5]

### 1.3 Výroba plastů

Syntetické polymery vznikají takzvanými polyreakcemi. Jedná se o chemické procesy, při kterých přecházejí monomerní jednotky v makromolekulární látky (polymery). Rozdělujeme je na tři různé typy:

#### Polyadice

Je to reakce, při které dochází ke sjednocení sloučenin s několikanásobnými vazbami adičními reakcemi se sloučeninami s vhodnými funkčními skupinami. Pro příklad lze uvést syntézu epoxidových pryskyřic, lineární polyuretanů z diolu a mnoho dalšího.

#### Polymerace

Molekuly monomeru se slučují ve větší celky, kdy při reakci nebude vznikat vedlejší produkt. Reakce růstová probíhá rychle za přímé tvorby finálního polymeru. Základní způsoby polymerace jsou iontová a radikálová. Dále je dělíme také podle technologického provedení a rozeznáváme polymeraci blokovou, suspenzní, roztokovou a další. Polymerací se mohou připravovat styrenové polymery, polyakryláty PVC a jiné.

#### Polykondenzace

Je to proces, kdy makromolekuly vznikají z jednoduchých molekul obsahujících dvě reaktivní skupiny za současného odštěpování nízkomolekulárních produktů (vody, amoniaku atd.). Jako příklad můžeme uvést výrobu Polyamidu 66, nenasycených polyesterů, polykarbonátů atd. [6]

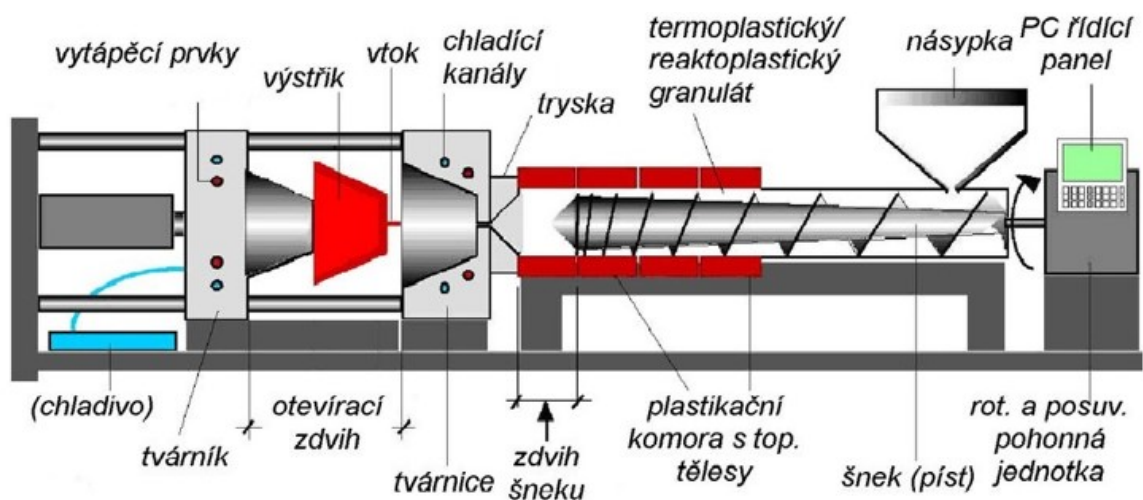
### 1.4 Úprava plastů pro zpracování a použití

Polymery se nezpracovávají v hotové výrobky a nejdříve musejí projít technologiemi přípravného zpracování. Z plastu se musejí odstranit těžké podíly (voda), přidávají se různé přísady pro lepší mechanické vlastnosti a mnoho dalšího. Dochází tedy k velkému ovlivnění chemické a fyzikální struktury plastů. Všechny polymery taktéž musejí být podány v určité formě, například nejčastěji jsou ve formě granulátu či prášku. Technologie jsou označovány jako technologie přípravného zpracování a je to určitý mezistupeň mezi výrobou polymerů a jejich zpracováním. Mezi tyto procesy patří technologie hnětení, míchání, tabletování, recyklace, míchání, sušení a doprava daného materiálu. [6]

## 2 VSTŘIKOVÁNÍ POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ

Vstřikování plastů je nejrozšířenější způsob výroby žádaných výrobků z plastu. Během procesu vstřikování se zhomogenizovaný plast ve vstřikovacím stroji za pomoci tlaku dostává do dutiny formy a tam je ochlazen (ve tvaru vyráběné součásti). Je zřejmé, že jakost plastu bude vždy velmi důležitá a vhodné zvolení bude důležité pro použití konečné operace.

Vstřikováním je možno vyrábět výrobky konečného charakteru nebo jsou to polotovary pro přípravu na další úpravu. Výhodou u vstřikování je to, že mají velmi dobrou rozměrovou a tvarovou přesnost. Další výhodou je velmi dobrá reprodukovatelnost mechanických a fyzikálních vlastností. Vstřikování je tedy určitý způsob tváření, při kterém je daná dávka upraveného (zpracovaného) materiálu za pomoci tlakové komory vstříknuta vysokou rychlostí do uzavřené dutiny formy, kde výrobek ztuhne a je hotov. Celý tento proces trvá během jednoho cyklu. Poté je výrobek vyhozen za pomoci vyhazovačů. Hlavní výhodou vstřikování je ta, že cyklus trvá krátkou dobu. Má velmi dobrou povrchovou úpravu i schopnost vyrábět obtížné tvary. Hlavní nevýhodou je to, že vstřikovací stroj a forma pro vstřikování jsou velmi nákladné. [4], [6]



Obr. 5 Schéma vstřikovacího stroje

## 2.1 Vstupní kontrola plastů

Obvykle se polymer pro vstřikování dodává v pytlích ve formě granulátu. V pytlích je granulát proto, aby během přepravy nenavlnul a nepůsobily na něj další negativní vlivy. Pro zamezení co nejvíce negativních vlivů se provádí vstupní kontrola.

## 2.2 Hodnocení nových typů plastů

Každý nakoupený granulát musí splňovat určitá specifika, která jsou daná dle materiálových listů. Kontrola se provádí ve firmě, kde se budou z daného polymeru dále vyrábět určité výrobky. Používá se mnoho způsobů pro určování kvality polymeru, jaká kritéria by měly splňovat:

Chemicko-analytické složení – Zjišťuje se, zda je správný obsah nízkomolekulárních podílů, správné molární hmotnosti.

Mechanické vlastnosti – Provádějí se zkoušky na pevnost materiálu, tažnost, tvrdost a mnoho dalšího, zda splňují daná kritéria.

Fyzikální vlastnosti – Pro ověření fyzikálních vlastností se řadí elementy jako správná viskozita, hustota, optické vlastnosti apod.

Zkušebna by měla být vybavena základními stroji pro měření vlastností, které jsou zmíněny výše. Mezi základní stroje se počítají vizkometrické přístroje, tvrdoměry, kyvadlový stroj, trhací stroje pro testování mechanických vlastností, elektronový mikroskop a přístroje pro měření elektrických veličin. [4], [8]

## 2.3 Vhodné úpravy plastů před procesem vstřikování

Před zpracováním plastu, který bude vstříknut, se musí upravit tak, aby byl co nejideálnější a nekomplikoval výrobu do budoucna. Mezi nejpoužívanější způsoby se řadí sušení granulátu, recyklace plastů či barvení granulátu.

### 2.3.1 Sušení granulátu

Většina materiálů bohužel přejímá vlhkost ze vzduchu a to při normálních zpracovatelských podmínkách polymeru může vyvolat degradaci. Mezi další nevýhody může patřit, že výstřiky bývají bez povrchového lesku, povrchové vady či špatné vyjímání výstřiku z formy. Z těchto důvodů se granulované plasty dopravují zcela vysušené, ve vzduchotěsných obalech nebo v plastových pytlích. Pro zabránění orosení granulátu se doporučuje



ponechat materiál klimatizovat po dobu 24 hodin před následným zpracováním. K vysoušení granulátů se využívají komorové pece s cirkulujícím vzduchem. Granulát je umístěn přímo na paletách. [4], [9]



*Obr. 6 Autoadaptivní sušící systém*

### **2.3.2 Recyklace plastů**

Odpady, vtoky a špatné výstřiky se pro vstřikování mohou několikanásobně opakovaně zpracovávat. Mnohokrát se využívají, protože množství odpadu striktně při výrobě malých výrobků je velké. Znečištěný granulát se pomele nejčastěji na nožových mlýnech, poté se smíchá s čistým granulátem a je možno jej použít znovu.

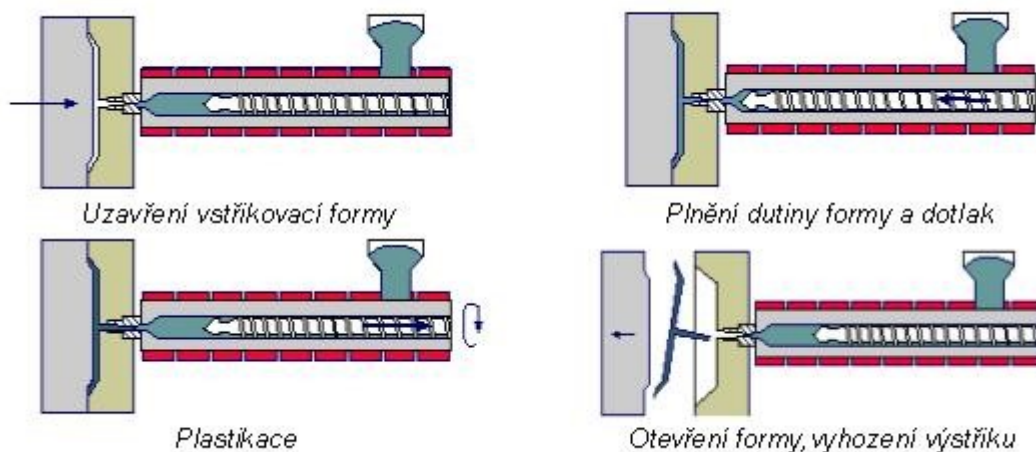
### **2.3.3 Barvení granulovaných plastů**

Často zákazník vyžaduje, aby výrobek měl i definovaný barevný odstín. Jak můžeme znát z praxe, i vzhledový dojem je velmi důležitý, a proto je barvení granulí u vstřikování plastů běžnou záležitostí. Pro barvení plastů se využívá mnoho barevných odstínů dle dodavatele. Když se využívá vlastní barvení, provádí se v dávkovacím zařízení (na vstřikovací stroji) nebo se dokonce granulát barví před vstřikováním. [6], [8]

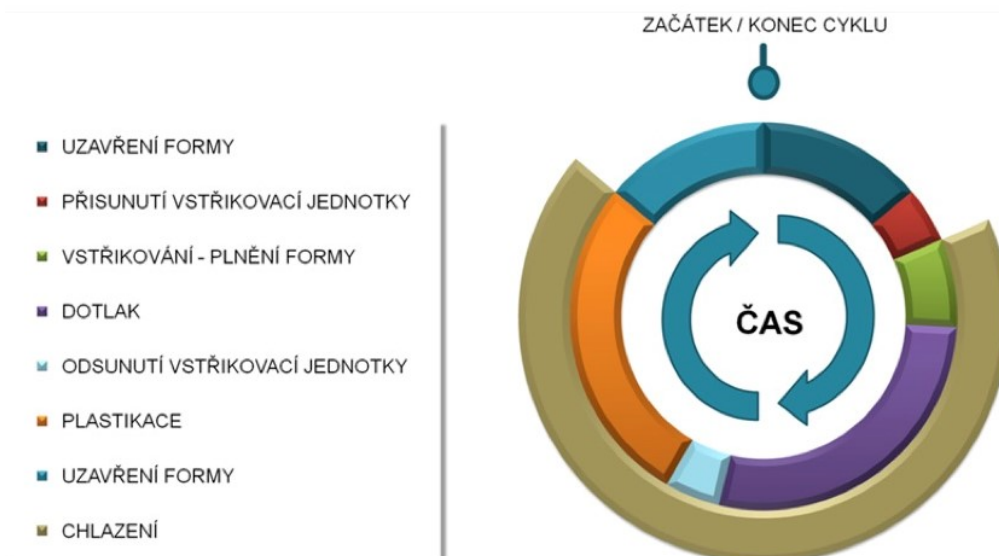
## **2.4 Vstřikovací cyklus**

Vstřikovací cyklus se skládá z několika po sobě jdoucích operací. Vstřikovací cyklus je proces, kdy plast prochází tlakovým a teplotním cyklem. Plast se nejčastěji ve formě

granulí nasype do násypky, ze které se odebírá do pracovní části, která se skládá ze šneku a pístu. Pracovní část dopravuje za pomoci tření, poté se z polymeru stává tavenina z důvodů umístění topných tělísek po celé délce pracovní části. Následně je tavenina vstříknuta do formy a vytvoří tvar výrobku.

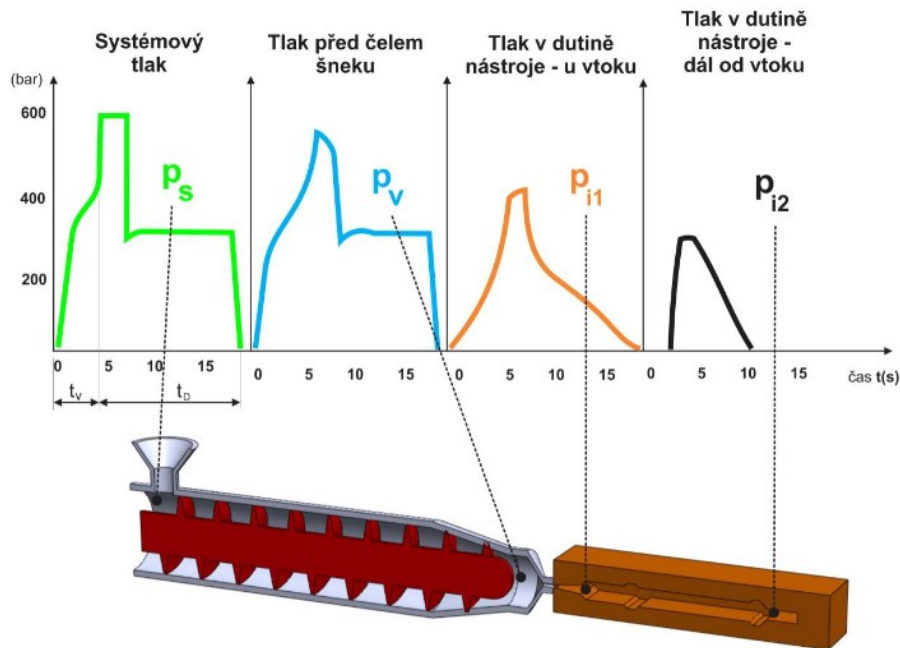


Obr. 7 Popis vstříkovacího cyklu



Obr. 8 Časový harmonogram vstříkovacího cyklu

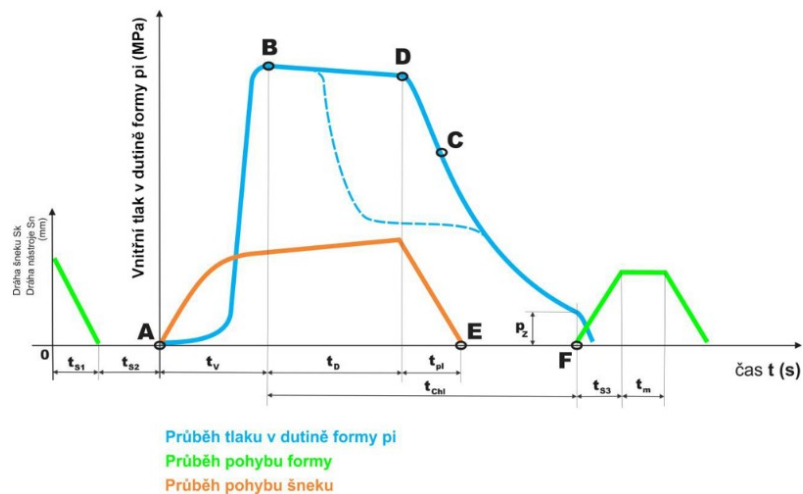
Vstříknutý plast převádí teplo na formu a díky ochlazování ztuhne v požadovaný výrobek. Poté se forma otevře, výrobek je vyhozen vyhazovačem a celý cyklus se znovu opakuje. Je nutno upozornit, že po celou dobu vstříkování probíhají tlaky [6]



Obr. 9 Technologie vstřikování a působení tlaku

#### 2.4.1 Vstřikovací cyklus v diagramu $P_i-t$

Nejčastěji se vstřikovací cyklus popisuje pomocí  $P_i-t$  diagramu. Na začátku u vstřikovacího cyklu je vložka (dutina formy) vyprázdněná a v otevřeném stavu. V nulovém bodě stroj zahájí činnost vstřikovacího cyklu. V první časové oblasti  $t_{s1}$  se pohybující část formy přisune k pevné a následně je uzamčena. Jestliže se vstřikovací jednotka vstřikovacího stroje přiblíží, pak druhá časová oblast je popsána jako  $t_{s2}$ . Chlazení vždy trvá do otevření formy a vyhození výrobku (popisuje se časovým úsekem  $t_{ch}$ ). Při chlazení se nesmí zapomenout, že se polymer smršťuje a zmenšuje svůj objem. [3]



Obr. 10 Průběh vnitřního tlaku v dutině formy

### 2.4.2 Strojní časy

Strojní čas na otevření a zavření formy závisí v první řadě na rychlosti, jakou se forma hybuje, a na dráze, kterou musí urazit. Dráha, po jak dlouhé době se otevře forma, závisí na rozměru výrobku (výstřiku) ve směru otevírání formy a musí být uzpůsobena tak, aby bylo možno výrobek vyhodit z formy. Vždy je snaha eliminovat strojní časy na co nejkratší dobu. Taková podmínka se zaručí například zvýšením rychlosti pohybu formy. [10]

### 2.4.3 Plastikace

Smyslem plastikace je materiál (ve formě granulátu či prášku) roztavit, promíchat a snažit se co nejlépe připravit pro vstříknutí do formy. Celý tento proces se provádí v plastikační jednotce, kde je uložen šnek, který se posouvá i otáčí. Vytápění je zajištěno dvěma způsoby: z třetiny elektrickým topením a dalšími dvěma třetinami disipací při míchání taveniny pomocí šneku. Během procesu plastikace se šnek otáčí a také posouvá zpět. Materiál se dopravuje k vstřikovací trysce, hnete se, míchá, homogenizuje a shromáždí se v prostoru před čelem šneku uvnitř komory. [10]

### 2.4.4 Dotlak

Jakmile se forma naplní materiálem, nastává dotlak, který má za úkol kompenzovat zmenšení objemu (smrštění) výrobku během chladnutí plastu ve formě. Kdyby byl konstantní tlak, došlo by ke zvětšení hmotnosti, rozměru výstřiku a vzniku tlakové špičky. Pro zamezení negativních jevů se v určité fázi musí přepnout na dotlak. Když je přepnuto příliš pozdě, dochází k opačným jevům (nedostříknutí celého výrobku). Přepnutí na dotlak se definuje podle dráhy šneku či vstřikovacího času, anebo podle tlaku ve formě. Doba dotlaku se určuje podle průřezu vtokového kanálu. Doba dotlaku průměrně trvá desítky sekund. [10]

### 2.4.5 Chlazení

Doba chlazení je nejdelší část cyklu, kdy se čas pohybuje od několika sekund po několik minut. Závisí vždy na složitosti výrobku (tloušťce stěn, druh plastu, teplotě formy atd.). Vždy je snaha zkrátit dobu chlazení na minimum. Chlazení nastává už ve fázi vstřikování, dále pokračuje během dotlaku a dochází ke změnám stavových veličin. Jsou to změny tlaku, teploty a měrného objemu. Chlazení je důležité z toho hlediska, že ovlivňuje strukturu, vnitřní pnutí nebo i kvalitu povrchu (lesk). [10]

## 2.5 Vstřikovací stroje

Vstřikovací stroje jsou zařízení, která slouží ke vstřikování plastů. Vstřikování je technologický proces, kdy se materiál (ve formě granulí a výjimečně prášku) nejprve taví v plastikační jednotce, následně se vstříkne do dutiny formy, kde zaujme tvar. Potom se otevře forma a z dutiny se vyjme hotový výrobek. Je-li forma správně zkonstruovaná, výrobek by měl zůstat na straně tvárníku. Následně vyhazovací systém výrobek vyhodí a celý cyklus se opakuje. U doby plnění je důležité, aby byla co nejkratší, protože vstříknutá tavenina se dostává do styku se studenou formou a ztrácí tekutost. Teplota formy je vždy nižší než teplota materiálu a z toho důvodu materiál ihned tuhne. [9]

Stroj je konstruován tak, že je rozdělen na vstřikovací jednotku, uzavírací jednotku, ovládání a řízení stroje. Nyní se nejčastěji konstruují hydraulicko-mechanické či hydraulické stroje. Platí pro vstřikovací i uzavírací jednotky. Řídící a ovládací prvky jsou umístěny nejčastěji na panelu vstřikovacího stroje nebo v elektrorozvodné skříně, čímž se umožňuje připojit další pomocná zařízení, jako například vytápěcí či temperační přídavné systémy. U zvláštních případů bývá často navíc namontován manipulační jeřáb, ejektor pro dopravu materiálu, vytemperovaná násypka, zařízení pro ovládání, tahání jader a mnoho dalšího.

Vstřikovací stroje se dělí podle požadovaných kritérií, která od nás zákazník vyžaduje. [4]



Obr. 11 Vstřikovací stroj

### 2.5.1 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka slouží k otevírání a uzavírání formy. Uzavírací jednotka musí vyvinout velkou sílu pro uzavírání a k držení uzavření formy během vstřikování, a to z důvodu působení vstřikovacího tlaku, který působí na vnitřní plochu, a daná síla vyvolává otevírání formy. Velikost uzavíracího tlaku je přímo úměrná velikosti vstřikovacího tlaku a ploše dutiny a vtoků (v dělicí rovině). Hlavní části uzavírací jednotky tvoří opěrná pevná deska, vodící sloupy, uzavírací mechanismus a upínací deska. [11], [12]

### 2.5.2 Vstřikovací (plastikační) jednotka

Vstřikovací jednotka slouží pro vstřikování taveniny pod tlakem do dutiny formy. Velikost tlaku k naplnění vždy záleží podle tloušťky vyráběného výrobku. Tlak pro vstřikování lze definovat jako potřebný tlak polymeru v bodě, kdy začíná vstupovat do trysky stroje. U tlustostěnných výrobků tedy pochopitelně jsou poměrně malé tlaky. Výjimečně stačí k naplnění formy jen tlak extruderu. Při vstřikování se překročí 90 % kapacit z důvodu nutnosti rezervy. Ideální je, když je naplnění optimalizováno na 80 %. Vstřikovací jednotka se dělí podle toho, zda proběhne plastifikace, či nikoliv. [11], [12]

### 3 VSTŘIKOVACÍ FORMY

Vstřikovací forma je sofistikovaný systém, který musí splnit současně mnoho podmínek pro vstřikování plastů či kaučuků. Nejzákladnější požadavek je, aby dutina formy byla zcela naplněna, a bude splňovat tvar daného výrobku. Druhou nejdůležitější funkcí je odvod tepla přiváděné taveniny. Jak už logicky vyplývá, celý sled operací by měl proběhnout v co nejkratší době, ať už z ekonomických důvodů, tak pro lepší kvalitu výrobku. V neposlední řadě je důležité, aby bylo důsledně provedeno vyjmutí výrobku z formy. Forma musí odolávat vyšším silám i tlakům, které by mohly vést k jejímu poškození. Každá forma se rozděluje na tři části – vyhazovací systém, strana vstřikování a strana vyhazování. [3]

Každá forma by měla dodržet určitá specifika:

*Tab.1 Požadavky na formu*

Doprava taveniny	Přenos tepla	Odformování dílů
<b>Odolnost proti deformacím</b>	<b>Odvod tepla z dílu</b>	<b>Otevření formy</b>
Tloušťka desek	Rozměry chladicích kanálů	Dělicí rovina
Podpůrné válce	Tepelně vodivé složky	Vytažení výrobku
Vícenásobná propojení	Počet temperančních kanálů	
<b>Vedení taveniny</b>	<b>Odvod tepla z formy</b>	<b>Odformování dílu</b>
Vtokový systém	Rychlost toku temperační kapaliny	Robotické vyjímání
	průřez vedení temperační kapaliny	Vyhazovače

#### 3.1 Konstrukce forem

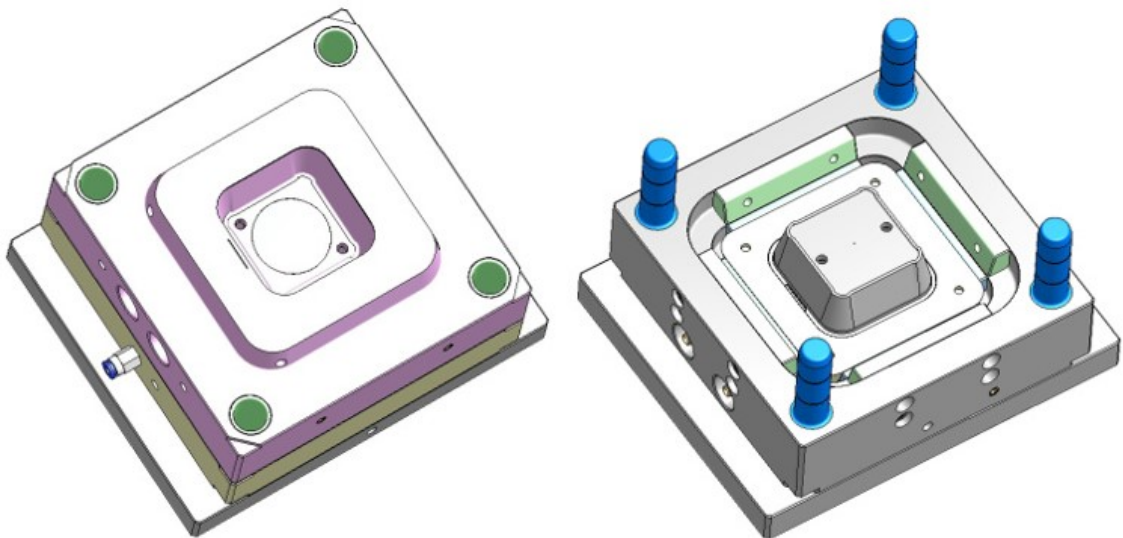
Forma je takový nástroj, který se upíná přímo na vstřikovací stroj. Během vstřikovacího cyklu (který se stále opakuje dokola) je naplněna taveninou. Forma musí splnit funkční vlastnosti a dodržet požadovaný tvar. Mezi nejdůležitější kritéria patří snadné vyjmutí výstřiku, automatický provoz, snadná manipulace, rychlá výroba, nízké ekonomické náklady a využití zpracovatelského materiálu. Při každé konstrukci formy vždy závisí na uspořádání komponentů a jak forma bude fungovat (podle počtu vstřikovacích trysek, mnohonásobnosti atd.). Životnost formy je daná hlavně materiálem a tepelným vlivem vložek (tvárník + tvárnice).



Materiál je vždy volen podle použité technologie, tepelné odolnosti, podle druhu používaného polymery a velikosti série.

Pro konstrukci forem je velmi rozsáhlé řešení použití. Rozděluje se podle násobnosti formy či podle způsobu zaformování a konstrukčního řešení. Také se musí dbát, jaký vstříkací stroj se využije pro danou formu. Dále se definuje podle toho, jestli se materiál vstříkne kolmo na dělicí rovinu, či na formu se vstříkem do dělicí roviny. Řešení je nespočet a vždy se forma konstruuje tak, aby všechny požadavky vyhovovaly zákazníkovi. Při volbě násobnosti se musí brát ohled i na to, že čím je vyšší násobnost, tím dochází k více kolizím. Obecně je vhodnější využívat co nejmenší násobnost. Složité výrobky se obvykle vyrábějí v jednonásobných formách. Stroj musí dodržet dostatečné naplnění tvarové dutiny, i s dostatečnou rezervou ohledně uzavírací síly a objemu taveniny by mělo být kolem 20 %. [13]

Pro navrženou formu musí stroj splňovat dostatečnou vstříkací kapacitu a vyhovující vstříkací tlak.



Obr. 12 Příklad vstříkací formy



## 3.2 Smrštění

Velikost smrštění se udává rozdílem mezi výslednými rozměry výrobku a rozměrem zhotovené dutiny (bez přídavků). Hodnota je udávána v procentech. Rozměry jsou vždy ovlivněné buď druhem plastu, tvarem výstřiku, anebo druhem vstřikování a konstrukcí vstřikovací formy. Od velikosti smrštění se odvíjí celá konstrukce formy (temperace, rychlost vstřiku, vtoková soustava, vyhazování atd.). Určování smrštění je velmi náročný proces, a proto se určuje z tabulek podle druhů plastů. Bohužel přesnost určení smrštění z tabulek je spíše orientační a musí se naddimenzovat, aby byla možnost ho v případě potřeby opravit podle vlastních potřeb. Smrštění často nebývá stejné ve všech směrech. Ústí vtoku se proto musí volit s ohledem na tuto nevýhodu. Nejčastější faktory pro smrštění jsou teplota formy, teplota vstřikovaného plastu, vstřikovací tlak či dotlak a také rozměr výstřiku.

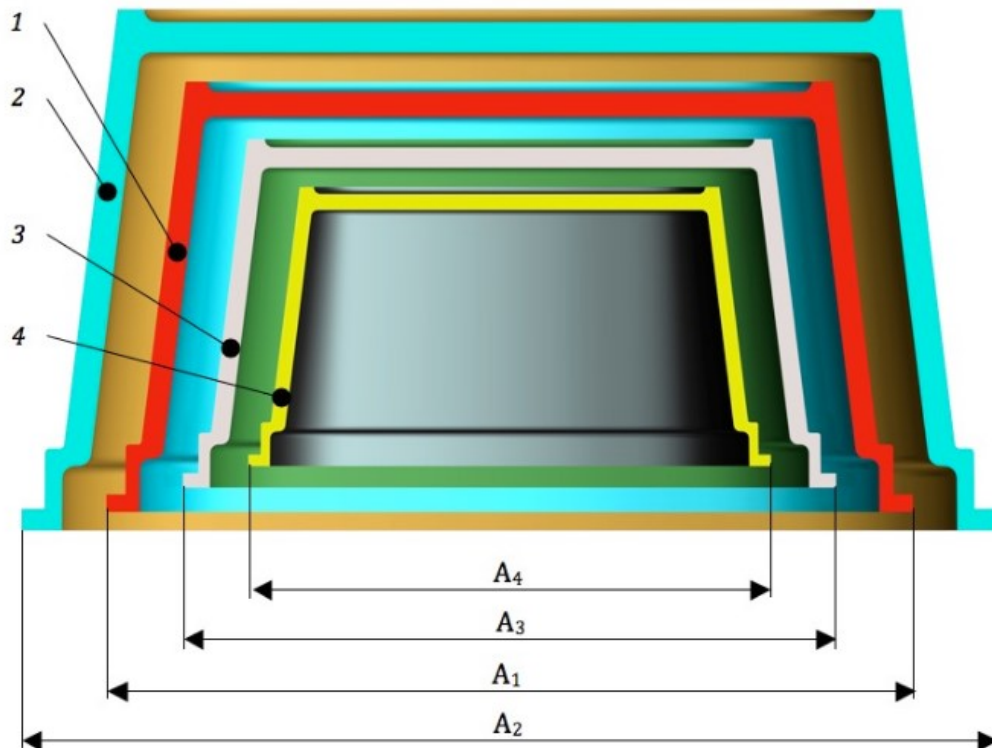
Smrštění se definuje podle dvou fází:

První fáze (provozní) – je to fáze hodnocená 24 hodin po výrobě výrobku (je to 90 % celkového smrštění)

Druhá fáze (dodatkové) – je to smrštění, které probíhá v delším časovém období. Dodatečné smrštění lze urychlit pomocí kondicionování nebo temperací. [13]

### 3.2.1 Vliv smrštění plastu na konstrukci vstřikovací formy

V dnešní době je při konstrukci nejen plastových dílů kladen velký důraz na počet dílů celé soustavy a je snaha co nejvíce minimalizovat tento počet. Z toho vyplývá, že díly jsou velmi často tvarově složité a rozměrově přesné. Za kvalitu a požadovanou přesnost zodpovídá především konstruktér, který musí zodpovědně zvolit konstrukční řešení, aby výstřik měl co nejméně přechodů ve změně tloušťky, je tedy snaha o zajištění co nejvíce rovnoměrné tloušťky výrobku. Mezi další priority konstruktéra patří to, že musí zajistit rovnoměrné plnění dutin. Dále dodavatel polymeru musí zajistit stejné vlastnosti vstupního materiálu a mechanické vlastnosti.



Obr. 13 Sekvence změn rozměrů, 1 – vstříkovaný díl zaformovaný ve vstříkovací formě (20 °C), 2 – vstříkovaný díl zaformovaný ve vstříkovací formě (60 °C), 3 – vstříkovaný díl, 4 – vstříkovaný díl po 24 hodinách od výroby

Změna rozměrů plastových dílů pomocí vstříkovaní po jejich zpracování je zapříčiněna tepelnou kontrakcí polymerních materiálů (stlačitelnost taveniny i ve fázi dotlaku). K pravému opaku, tedy k menšímu zvětšení může dojít vlivem délkové teplotní roztažnosti kovových dílů vstříkovací formy.

Předchozí obrázek popisuje sekvenci efektů, které vedou k hotovému vstříkovanému dílu. Když je teplota vstříkovací formy vyšší, než je teplota okolí, dojde k nevýraznému zvětšení dutiny formy vlivem teplotní roztažnosti kovového materiálu formy. Efekt, který je popsán v důsledků smrštění plastu, je skoro zanedbatelný a zohledňuje se pouze v případech, kde je velmi úzká tolerance rozměrů.

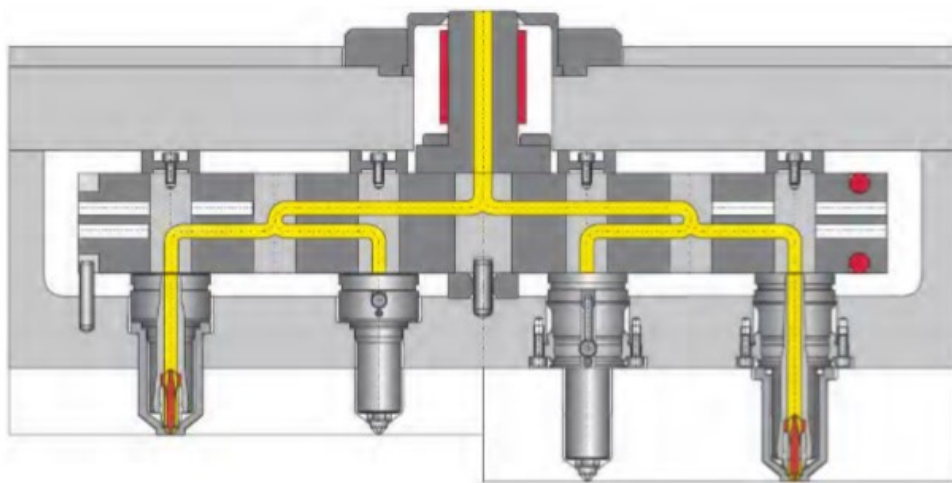
Dále popisovaná sekvence pokračuje plněním a dotlakem. Tavenina uvnitř vstříkovací formy je zajištěna povrchem dutiny a je stlačována za pomoci vysokých tlaků. Důsledek toho je vznik expanzivních napětí vně vstříkovaného dílu a poté má díl snahu se roztaho-

vat, kdyby mu nebylo zabráněno dutinou formy. Během celého procesu klesá teplota taveniny. Většinou vznikne teplotní kontrakce taveniny při chladnutí na určitou teplotu dutiny formy. Vlivem popsaného účinku chlazení způsobí značné zmenšení vstřikovaného dílu. Ve výsledku bude zmenšení všude, kde bude mít tavenina styk s dutinou formy. Dále dochází k vnitřním tahovým pnutím.

Po odformování daného dílu dochází k uvolnění většiny vnitřních napětí a díl se i nadále smršťuje. U polymerních materiálů je hodnoceno tzv. výrobní a povýrobní smrštění. Výrobní smrštění se hodnotí hned po skončení celého vstřikovacího procesu, kdy je výrobek vyhozen vyhazovači. Povýrobní smrštění je smrštění, které je hodnoceno 24 hodin po vzniku výstřiku. V případech dílů náročných na toleranci a přesnost je třeba zohlednit dlouhodobé smrštění. [3], [4], [9]

### 3.3 Vtokový systém

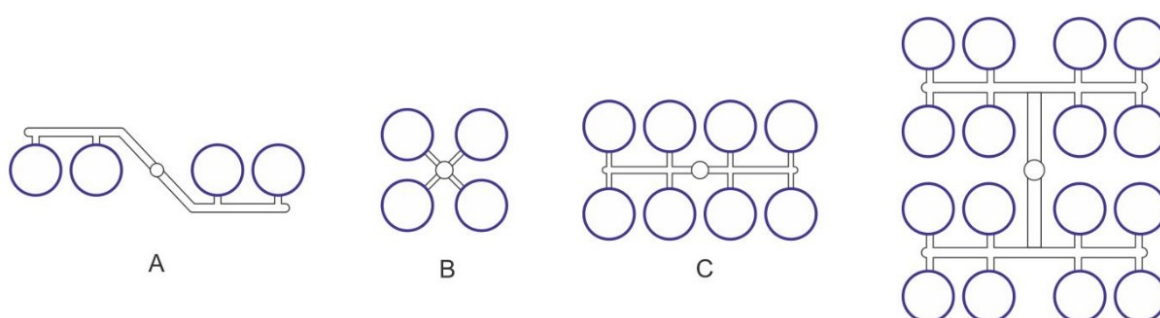
Je to systém ústí vtoku včetně kanálů, který má splnit bezproblémové naplnění dutiny formy tekutou taveninou v co nejkratším čase. Plnění by mělo proběhnout s minimálními odpory a s bezproblémovým vyhozením výrobku. Vtoková soustava včetně uspořádání je dána konstrukcí dutin a konstrukcí formy. Vtok se řeší tak, aby během naplnění formy vznikly co nejmenší časové ztráty a taktéž aby se vyvarovalo teplotních tlaků. Jestliže se jedná o formu vícenásobnou, musí se vtokový systém vyřešit tak, aby došlo k naplnění všech dutin ve stejnou dobu. [13], [14]



Obr. 14 Příklad vtokového systému

### 3.3.1 Studená vtoková soustava (SVS)

Vtokový systém zajišťuje příjem taveniny z plastifikační jednotky do dutiny formy. Naplnění musí proběhnout s minimálním odporem a s co nejkratším časem. Při umístění studené vtokové soustavy se musí dbát na spotřebu materiálu, náročnost na opravování, energetické zvýhodnění, vzhled a rozměry výrobku. Rozdíly v různě navržených studených vtokcích jsou podle konstrukce a celkového uspořádání. Systém musí být navržen tak, aby tavenina vždy dorazila ke všem místům dutin stejně ve stejnou dobu, a také je důležité, aby měla stejný tlak. Tavenina se vstříkuje velkou rychlostí do poměrně chladné formy. Při celém procesu studeným vtokovým systémem roste viskozita a pochopitelně i tlak. Povrchová vrstva taveniny vytváří tepelnou izolaci. A z uvedeného důvodu můžeme dedukovat, že v okamžiku zaplnění prudce vzroste odpor a poklesne průtok. Dochází k postupnému chladnutí (zamrzání) výrobku. [8]



Obr. 15 Druhy vtokového systému

### 3.3.2 Vtokové kanály

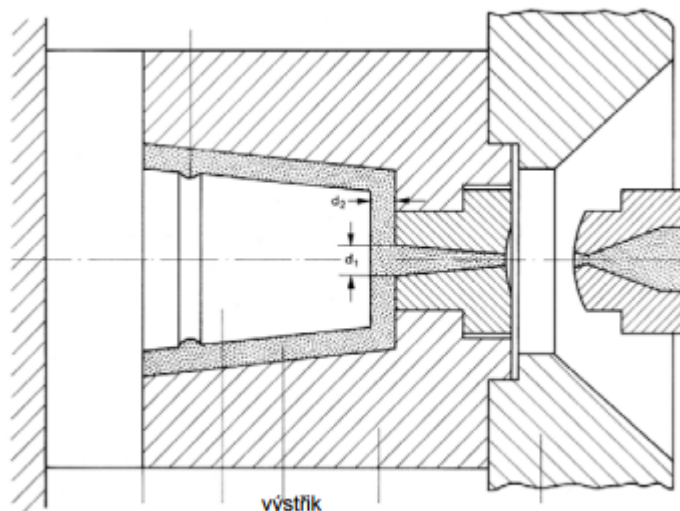
Rozvodné systémy přivádějí taveninu od trysky ke všem dutinám. Vtokové zbytky jsou po rozdrčení znovu použité jako vstupní materiál. Rozváděcí systém se používá především u jednoduchých výrobků. Kanály se definují tak, aby byly co nejkratší z důvodu ztráty taveniny. Velikost vtokového kanálu se definuje podle druhu a toku materiálu, tloušťky a váhy výrobku. Rozváděcí kanál musí být vždy tak tlustý, jako je největší tloušťka stěny výstřiku. [15]

### 3.3.3 Vtokové ústí

Vtokové ústí je zakončení kanálu rozváděcích. Ústí spojuje tvarovou část formy s rozváděcími kanály. Vždy je umístěn do nejširšího místa výrobku. Vtokové ústí je rozděleno na plné, bodové, boční, tunelové, srpkové a filmové.

### Plný kuželový vtok

Tavenina je přiváděna do tvarové dutiny formy (bez zúženého vtokového ústí). Je vhodný spíše pro tlustostěnné výstřiky. Je velmi účinný z hlediska dotlaku (ve formě tuhne poslední) a je vhodný pro tlustostěnné výrobky. Při určování jeho průměru platí, že ústí vtoku by mělo být o 1–1,5 mm větší než je tloušťka výrobku (výstřiku). Pro výstřiky s menší tloušťkou stěny je vhodnější vytvořit proti ústí čočkovité zahloubení. Hlavní nevýhodou kuželového vtoku je oddělování vtokového zbytku od stěny výstřiku, kde na výrobku zůstává viditelná stopa. Je vhodný pro všechny druhy materiálu. V místě protilehlém vtoku se výstřiky propadají. Plný kuželový vtok bude využit v mé bakalářské práci. [4]



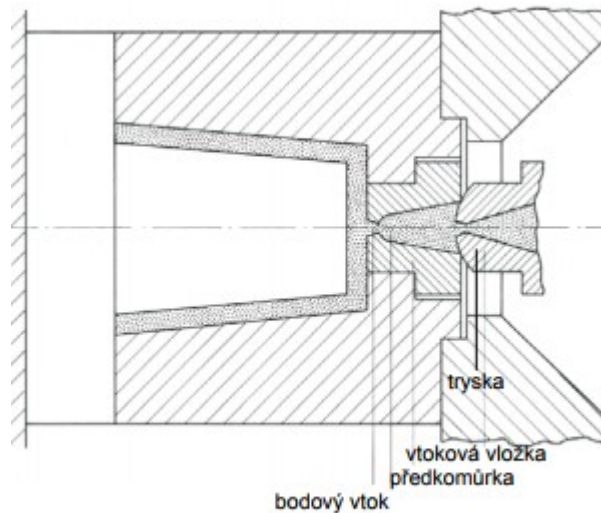
Obr. 16 Plný kuželový vtok

### Boční vtok

Je to druh vtokového ústí, kdy leží přímo v dělicí rovině. Nejčastěji bývá volen obdélníkový průřez. Je to nepoužívanější a nejznámější vtokové ústí. Vtokové ústí je vždy napojeno na rozváděcí kanál zúžením průřezu. Nevýhodou je, že v zúženém místě dochází ke zvýšení teploty a pak dochází k horšímu plnění dutiny (vznikají povrchové vady). [8]

### Bodový vtok

Bodový vtok se používá tam, kde je důraz kladen na snadné odstranění vtokového zbytku. Může být umístěn v rovině nebo v mimo rovinu. Nejčastěji se používá u systému třídeskových forem. Bodové vtoky se rozdělují na tunelové a srpkovité [4]



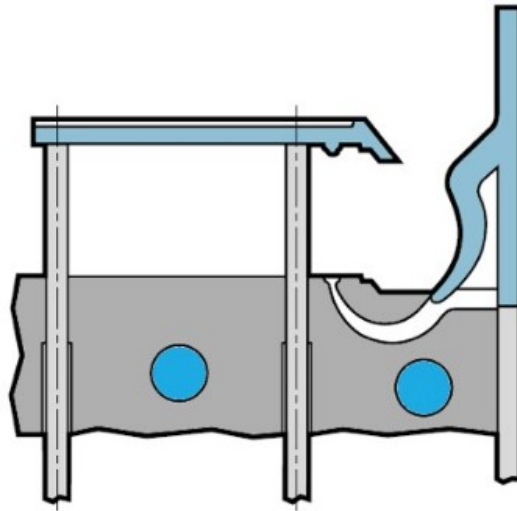
*Obr 17 Bodový vtok*

### Tunelový vtok

Je to druh bodového vtoku, kdy vtokový zbytek leží ve stejné rovině jako výrobek. Umístění může být pohyblivé nebo v pevné části formy. Důležitá je nutnost ostré hrany, která slouží k odformování výstřiku od vtokového zbytku. Při jeho konstrukci se nesmí zapomenout na nutný přídržovač vtoku s kombinovaným vyhazovačem.

### Srpkové ústí

Vkládá se do části výstřiku, kde nepůsobí rušivě. Srpkové ústí se hlavně využívá u plastů s velmi vysokou elasticitou. U křehkých materiálů hrozí poškození výrobku (vytržení materiálu). [8]



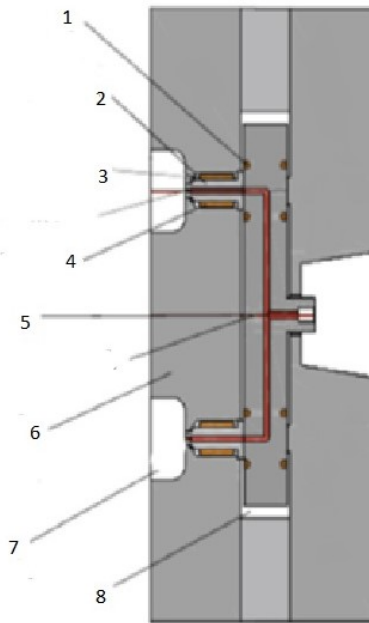
*Obr. 18 Srpkové ústí*

#### Vícenásobné vtoky

Využívá se v případě, kdy je příliš obtížné naplnit dutiny pouze jedním vtokem. U vícenásobných vtoků se musí klást vysoký důraz na dobré odvzdušnění formy a produkce studených vtoků při setkání proudů taveniny z jednotlivých vtoků. [8]

#### **3.3.4 Vyhříváné vtokové soustavy (VVS)**

Jak lze z názvu dedukovat, je to systém, kdy je snaha o udržení polymeru po celou dobu vstřikovacího cyklu v roztavené podobě. Princip vstřikovacího cyklu je založen v tom, že tavenina proudí od vstřikovací trysky do vyhříváné vtokové vložky a dále je importována v horkém rozvodu přímo do dutiny formy. Mezi hlavní výhody systému patří mnohem větší úspora materiálu oproti studené vtokové soustavě. Dále se za klad považují minimální tlakové ztráty během celého cyklu, lze automatizovat a celý cyklus je kratší než u předchozího systému. Nevýhoda je ve složité konstrukci a je výrazně dražší než u studené vtokové soustavy. Při prvním chodu formy je snaha se zaměřit na nedostatky, případně vyřešit všechny potenciální chyby a poruchy. Vyhříváné vtokové systému se využívají především u velkovýroby z důvodu finanční náročnosti. [3]



Obr. 19 Schéma VVS, 1 – topné spirály, 2 – externí vyhřívání, 3 – izolační mezera, 4 – vstřikování, 5 – prstencové topení, 6 – tryska, 7 – horký vtok, 8 – kotevní deska, 9 – dutina formy, 10 – izolační mezera

### 3.3.5 Vyhřívání trysky

Ve vyhříváních tryskách s vnějším topením proudí vnitřním otvorem polymer. Tělesa musejí být vždy z vodivého materiálu. V okolí tělesa trysky musí být umístěné topení a v tryskách s vnitřním topením obtéká vnitřní vyhřívanou dutinu. Musí být vyrobeny taktéž s dobrou tepelnou vodivostí.

### 3.3.6 Nepřímo vyhřívání trysky

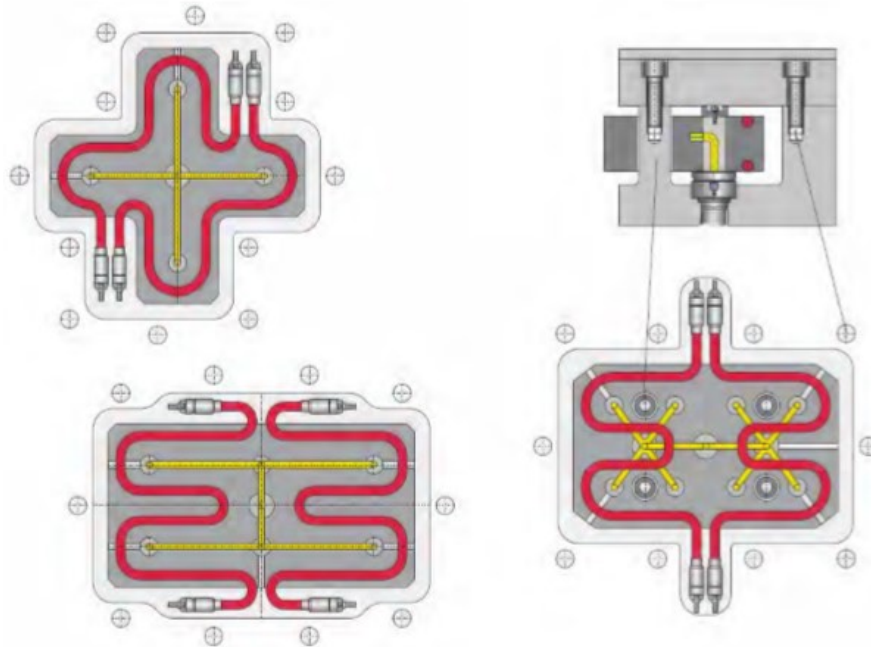
Vytápění je zajištěno pomocí izolovaného rozvodového systému, který je zajištěn drobným topným tělesem (je vloženo do ocelového pouzdra). Špička zasahuje do vyústění vtoku. Pro nepřímé vyhřívání trysky musí mít zajištěn rychlý pracovní cyklus. Využívá se pro vícenásobné vstříkovací formy. [16]

### 3.3.7 Vytápěné rozvodové bloky

Vstříkovací formy s vytápěnými rozvodovými bloky se aplikují v kombinaci s vyhříváními tryskami. Obvykle se používají při rozvodu vícenásobných forem. Výhodou je, že je zajištěno rovnoměrné vytápění proudící taveniny a také se ovlivní tokové chování taveniny. Materiál bloku je zpravidla z oceli a je vložen mezi tvarovou a upínací desku. Vyrábí se v různých variantách (tvar I, H, Y, X atd.). Rozváděcí blok musí být tepelně izolován od



ostatních desek vstřikovací formy. Vytápění je nejčastěji zajištěno pomocí topných měděných hadů. [8]



Obr. 20 Schéma vyhřívaného vtokového systému

### 3.4 Vyhazovací systém

Vyhazování zhotovených výrobků je činnost, kdy se z tvárnicku otevřené formy vytlačí, tedy vyhodí zhotovený výrobek. Pro uvedený princip je uzpůsoben celý systém, zaručí vždy vyhození výrobku bez problémů. Vyhazovací systém bývá vždy plně automatizovaný.

Je rozdělen na dvě fáze pohybu - pohyb dopředu + vlastní vyhazování

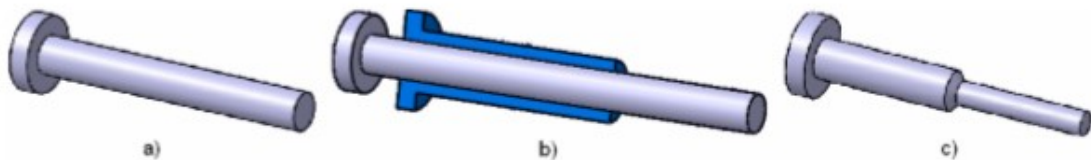
- zpětný pohyb + návrat systému do předchozí polohy

Jednou ze základních podmínek je hladký povrch a úkopy ve směru stěn u vyhazování. Úkopy nesmějí být menší než  $30^\circ$ . Výstřik musí být vyhozen rovnoměrně a ve výrobku nesmí vzniknout pnutí. Rozmístění vyhazovačů je dáno buď normou, anebo podle konstruktéra. Na výstřiku jsou vždy zanechané nepatrné stopy a z uvedeného důvodu se vyhazovače umísťují na nevzhledovou stranu výrobku. Vyhazovací síla se nikdy nepočítá. Síla

bývá vždy předimenzovaná, aby výrobek nezůstal na straně tvárníku. Vyhazovače se dělí na mechanické, pneumatické a hydraulické. [8], [13]

#### Vyhazovací kolíky

Je to nejvhodnější a nejčastější použití vyhazování. Kolíky se rozdělují dle tvaru a funkčnosti. Při volení kolíku je důležité dbát na to, aby byl větší průměr vyhazovacích kolíků (čím větší průměr kolíku, tím se lépe vyhazuje výrobek) a také je menší pravděpodobnost, že nastane poškození vyhazovacích kolíků. [17]



Obr. 21 Vyhazovací kolíky, a – válcový, b – trubkový, c – prizmatický

#### **3.4.1 Mechanické vyhazování**

Je to nejpoužívanější princip vyhazování výstřiku. Používá se buď pomocí vyhazovacích kolíků, nebo za pomoci stíracích desek. Při složitějším vyhazování se oba způsoby kombinují. [17]

#### **3.4.2 Hydraulické vyhazování**

Je to způsob vyhazování, kdy se využívá k ovládní mechanických vyhazovačů. Méně často se lze setkat se zabudovanými hydraulickými jednotkami. Častěji se využívá výsuvných posunovacích čelistí. Při použití hydraulických vyhazovačů se vyrábí vlastní hydraulická jednotka, která má své místo ve vstřikovací formě. [17]

#### **3.4.3 Pneumatické vyhazování**

Princip pneumatického vyhazování je založen na tom, že mezi líc formy a výstřik je hnaný stlačený vzduch a tím se umožní rovnoměrné oddělení výstřiku. U pneumatického

vyhazování tedy nevznikají žádné stopy po vyhazovačích. Nevýhodou však je, že je lze použít jen pro určité typy výrobků. [9]

### 3.5 Temperace forem

Temperace forem slouží k zachování stejných teplot ve formě. Kdyby byla temperace vynechaná, mohl by nastat problém s kvalitou výrobků, dlouhé vyhazování či chlazení. Z uvedeného důvodu je důležité temperovat formu. Teplota formy je vždy nižší než teplota vstřikovaného polymeru. Temperace se provádí nejčastěji temperačními kanály, kde protéká například voda či olej a tím probíhá ohřev. [8], [9]

### 3.6 Odvzdušnění formy

Odvzdušnění forem zajišťuje únik vzduchu, který je obsažen na počátku vstřiku, a dále i zplodin, které se uvolňují při ochlazování výstřiku. Čím je vyšší rychlost plnění, tím účinnější je odvzdušení tvarové dutiny. Nejznámější jev při rychlém plnění je Dieselův efekt (spálené místo výstřiku). Proto se musí zavést účinné odvzdušnění. [8]

Když plnění probíhá velmi pomalu, dochází k uvolňování a k tvorbě ztuhlého polymeru ze stěn formy a následně probíhá strhávání do proudící taveniny. Popsané částice jsou specifikované jako heterogenní vměstky a negativně ovlivňují vlastnosti výstřiku. Je větší pravděpodobnost vzniku studených spojů v místech styku dvou a více proudů taveniny. [9]

*„Při nižších teplotách taveniny, nedostatečném tlaku a rychlosti plnění u výstřiku s tenčími stěnami se soustřeďuje vzduch na protilehlou stranu od vtoku. Nemůže-li vzduch uniknout vlivem protitlaku, vznikne nedotečený výstřik. Vzduch z dutiny formy stačí často uniknout dělicí rovinou, vůlí mezi pohyblivými částmi apod. V ostatních případech je třeba formu opatřit odvzdušňovacími kanálky. Jejich velikost je závislá na viskozitě taveniny a volí se dle tabulek. Odvzdušňovací kanálky jsou většinou umístěny naproti vtokového ústí.“ [9]*

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

V bakalářské práci byly stanoveny následující cíle:

- popis zkušebních těles na smrštění,
- návrh vstřikovací formy,
- výroba tvarových desek,
- výroba vyhazovacího systému,
- reálné odzkoušení vstřikovací formy.

Teoretická část této bakalářské práce byla rozčleněna do tří tematických okruhů, kde je podrobně popsána problematika ohledně vstřikování. První kapitola je zaměřena na rozdělení polymerů a správné volby polymerů pro vstřikování. Druhá kapitola se specializuje na vstřikování, včetně všech potřebných podkapitol týkajících se vstřikování polymerních materiálů. Poslední kapitola je zaměřena na konstruování vstřikovacích forem.

Cílem této praktické části je návrh vstřikovací formy pro výrobu zkušebních těles. Následně bude praktická část zaměřena na konstrukci vstřikovací formy. Dále je třeba vytvořit obráběcí program funkčních částí formy. Stejný postup zvolíme u výroby vyhazovacího systému. Následně budou všechny desky vyfrézovány na frézce. Vyhazovače budou zakráčeny. Potom bude složena celá forma. Forma bude upnuta do vstřikovacího stroje a bude testována její funkčnost.

## 5 POUŽITÉ PROGRAMY PRO TVORBU VSTŘIKOVACÍ FORMY

### AUTODESK INVENTOR 2017

Software Autodesk Inventor obsahuje komplexní nástroje pro generování přesné konstrukční a výrobní dokumentace přímo z 3D modelu. Inventor je využíván jako špičkový software pro 3D strojírenské navrhování, vizualizace a simulace. [19]

### HASCO 3D UNIVERSAL MODULE

Hasco module je knihovna normálií ve formátu 3D, které obsahují komponenty potřebné ke konstruování forem a jejich dílů. [19]

### SIEMENS NX 11

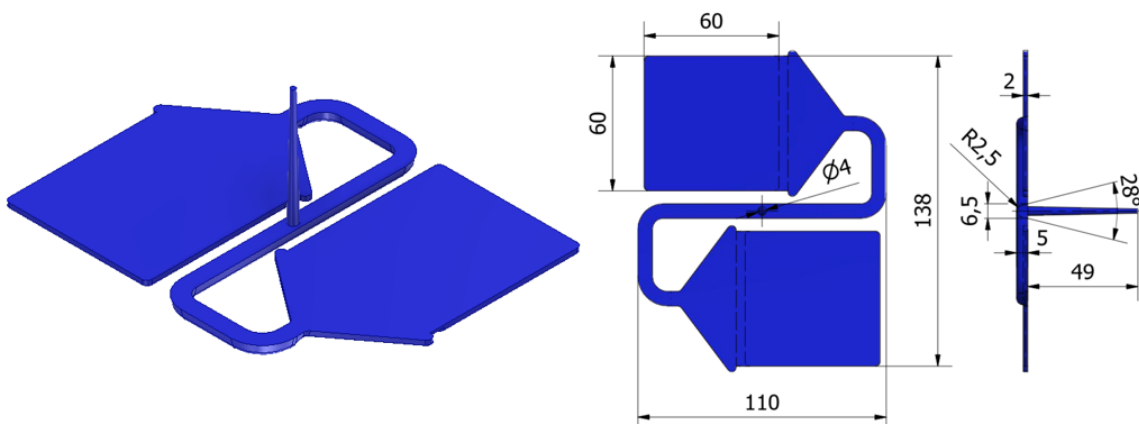
NX 11 je komerční CAD/CAM/CAE program pro podporu činnosti ve výrobě a konstrukci. Je to program, který umožňuje provést ideový návrh pro výpočty, simulace, analýzy i modelování jednotlivých dílů nebo sestav. Program slouží především k programování NC obráběcích a měřicích přístrojů, simulaci obrábění, kontrole kvality a mnoho dalšího.

### NX CAM – frézování

Je vhodné pro různé typy obrábění (3osé plynulé obrábění, 4- a 5osé indexové frézování, drátové řezání, vrtání, soustružení). Umožňuje taktéž naprogramovat multifunkční soustružnická centra, kde je možná kombinace soustružnických, vrtacích a frézovacích nástrojů, tedy je možno obrábět součást ze všech stran s přepínáním obrobku do vedlejšího vřeten. [20]

## 6 NÁVRH VSTŘIKOVANÉHO DÍLU

Navrhovaným výrobkem je zkušební těleso na měření smrštění. Musely být dodrženy požadavky normy ČSN EN ISO 294-1. Norma popisuje obecné principy a vstřikování víceúčelových zkušebních těles. Víceúčelová zkušební tělesa se podle ISO 3167 musejí vstřikovat ve formě typu A. Byly využity rozvodné kanály ve tvaru Z. Musí být dodržena symetričnost rozvodných kanálů. Průměr vtokového kužele na straně trysky musí být minimálně 4 mm. Nadále šířka a hloubka soustavy rozváděcích kanálů musí být 5 mm. U vtokového ústí je třeba dodržet výšku, která musí být minimálně dvě třetiny výšky tvarové dutiny, a šířka vtokového ústí se musí rovnat šířce tvarové dutiny v místě vtokového ústí. Vtokové ústí musí být co nejkratší a nesmí přesáhnout délku 3 mm. Úhel úkosu rozváděcích kanálů musí být nejméně  $10^\circ$ , ale nesmí přesáhnout  $30^\circ$ . Tvarové dutiny nesmějí mít větší úhel úkosu než  $1^\circ$ , ale u zkušebních těles pro tahovou zkoušku může být v místě lopatek až úhel  $2^\circ$ . Tvarové dutiny dle normy ISO 294 jsou velké o rozměrech  $60 \times 60$  mm o tloušťce 1–2 mm. Obě části tvarových desek musejí být taktéž tvořeny temperančním systémem.



Obr. 22 Navržený výrobek

## 7 KOSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY – UNIVERZÁLNÍ RÁM

Navržená vstřikovací forma slouží k výrobě termoplastických zkušebních těles na smrštění. Forma je tvořena pravou stranou, levou stranou a vyhazovacím systémem. Vstřikovací forma musí vyhovovat na rozměrovou přesnost výstřiku, mechanické vlastnosti a vzhledové vlastnosti. Pro splnění daných podmínek je třeba dbát na vyšší přesnost funkčních ploch dutiny formy a i všech ostatních funkčních dílů. Vstřikovací forma je rozdělena na pohyblivou a pevnou část. Jako materiál pro výrobu všech desek byl zvolen hliník. Univerzální rám byl využit z předchozí vstřikovací formy. Hlavní náplní praktické části byla konstrukce tvarových desek, vyhazovacích desek, včetně opěrné desky. Vyhazovače byly zakoupeny od firmy Eichler Company a vodící prvky, uzavírací šrouby, dorazové destičky a přípojka byly nakoupeny od firmy Meusburger. Desky vyhazovacího systému a tvarové části byly vyrobeny a vyfrézovány na CNC frézce AZK HWT C-442 Profi.

### 7.1 Násobnost formy

Při volbě násobnosti vstřikovací formy se musejí brát ohledy nejen na přesnost výstřiku a náročnost výrobku, ale i na požadované množství a především na ekonomiku výroby. U návrhu tvarových desek bylo omezení první řadě prostorem, protože desky tvarové části jsou dány, tak aby se vešly do formy o velikosti  $156 \times 156$  mm. Násobnost formy byla stanovena jako dvounásobná. Taktéž násobnost byla stanovena již zmíněnou normou.

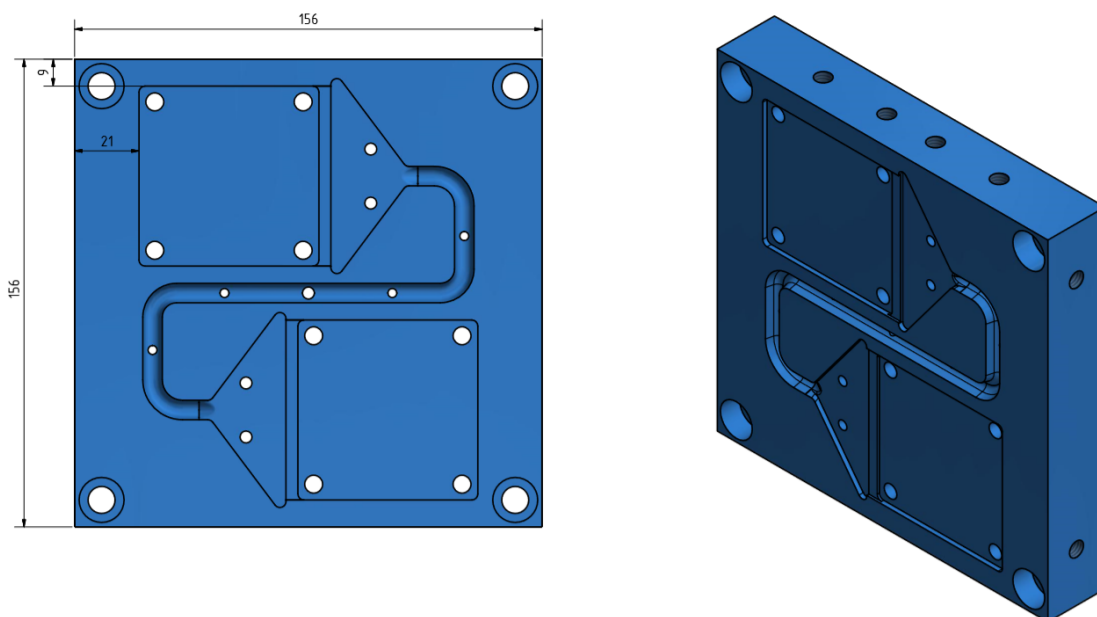
### 7.2 Dělicí rovina

Volby dělicí roviny jsou jednou z nejdůležitějších zásad, které je třeba správně zvolit a splnit. Vždy vycházejí z konstrukčního řešení pro danou vstřikovací formu. Zaformování výstřiku by mělo být provedeno tak, aby výstřik zůstal na pohyblivé straně formy. Po dokončení procesu bude výstřik vyhozen vyhazovacím systémem. V našem případě je forma tvořena hlavně tvárnici a podpěrnou deskou. Není zde klasicky deska tvárníku, díky čemuž se forma odlišuje od ostatních forem.



### 7.3 Konstrukční řešení tvarové části

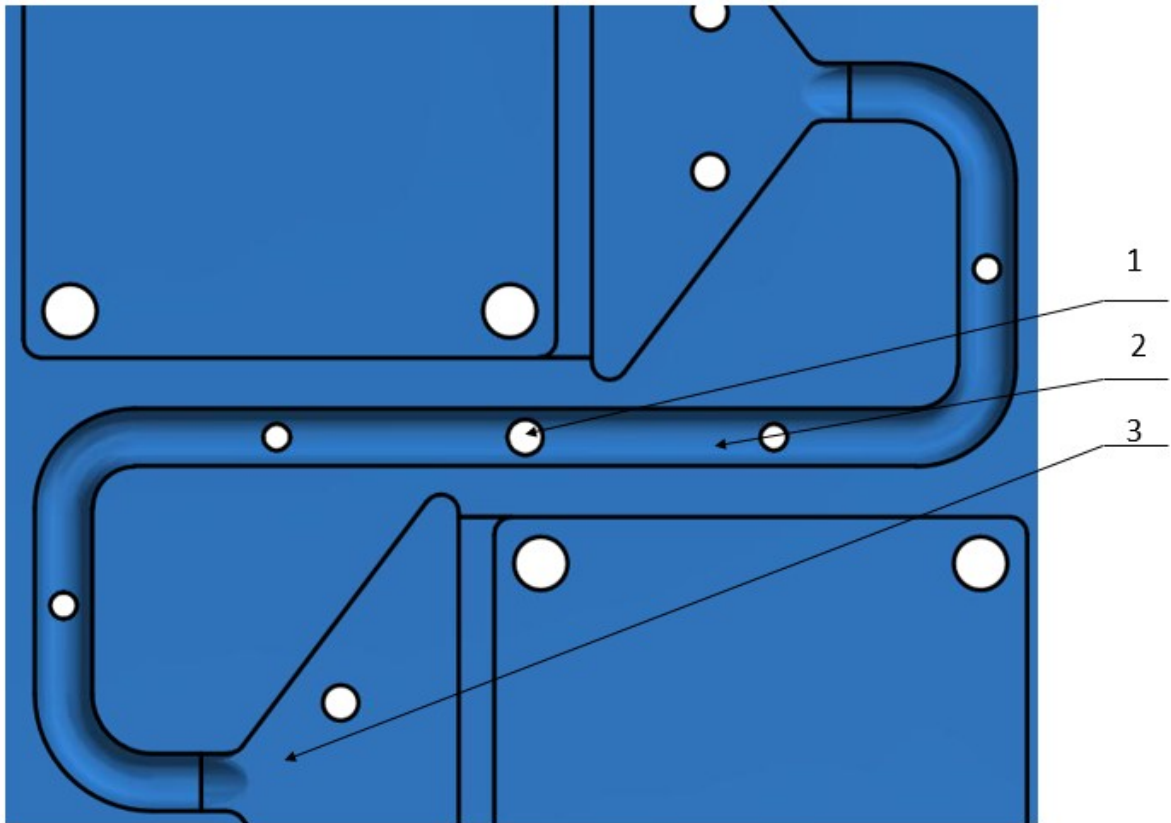
Konstrukční řešení tvarové části byla nejtěžší část z formy. Musely být dodrženy požadavky normy ČSN EN ISO 294-1. Tvarová deska o rozměrech 156 × 156 mm musela být navržena tak, aby byla splněna podmínka násobnosti formy. Jak již bylo zmíněno, jedná se o dvounásobnou formu. Důležité je navrhnout ji tak, aby díry pro vyhazovače nezasahovaly do temperačního systému. Mezi další hlavní zásady konstrukčního řešení tvarové části patří vzdálenost dutin od kraje desky, aby nedošlo k poškození při frézování.



Obr. 23 Tvarová část levá

### 7.4 Vtokový systém

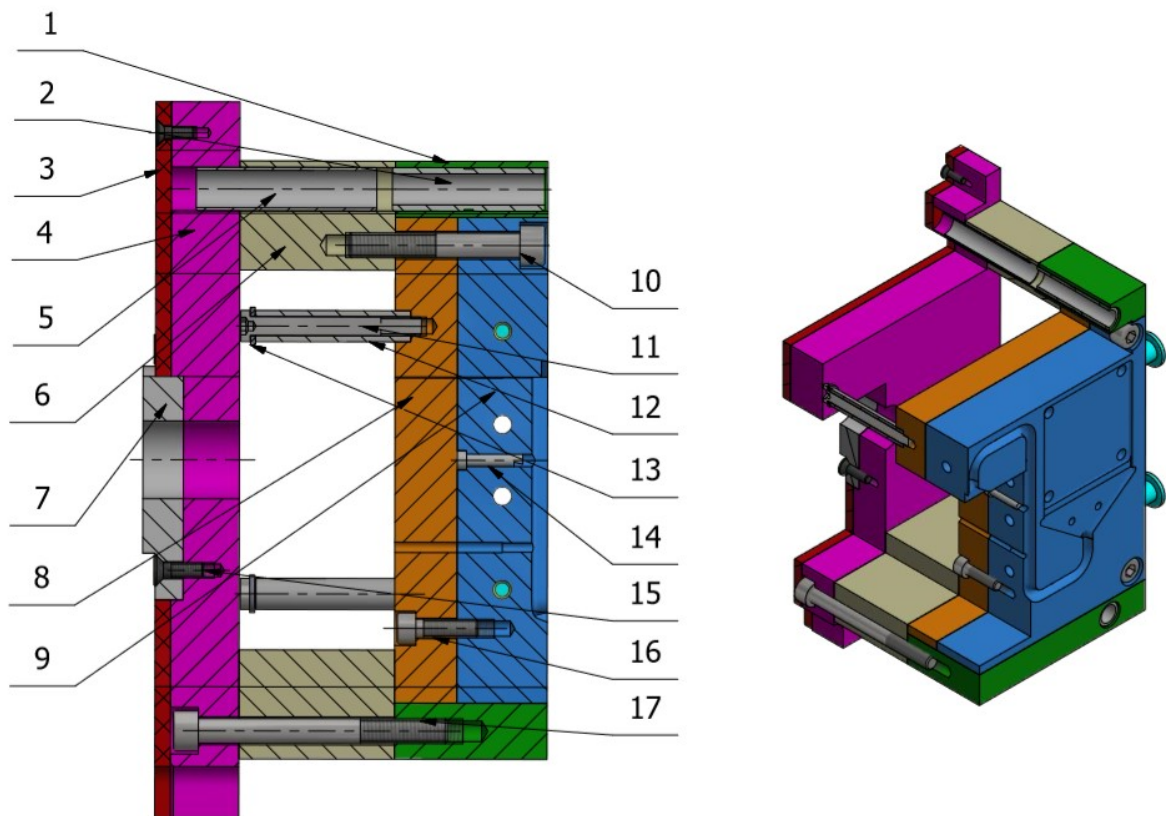
U vstřikovací formy pro zadaný díl byl předem zvolen studený vtokový systém. Vtoková vložka byla zvolena z normálií od firmy HASCO a následně zkrácena na potřebnou délku. Materiál ve formě taveniny je přiváděn pomocí rozvodné trysky, kde je dále odváděn pomocí rozvodných kanálů až do té doby, než se dostane k filmovému vtoku a dutina formy je zaplněna materiálem. Vždy je třeba dodržet podmínku, že obě dutiny formy budou zaplněné ve stejný moment.



Obr. 24 Tvarová část levá – detail, 1 – přidržovač vtoku,  
2 – rozvodný kanál, 3 – filmový vtok

## 7.5 Levá strana vstříkovací formy

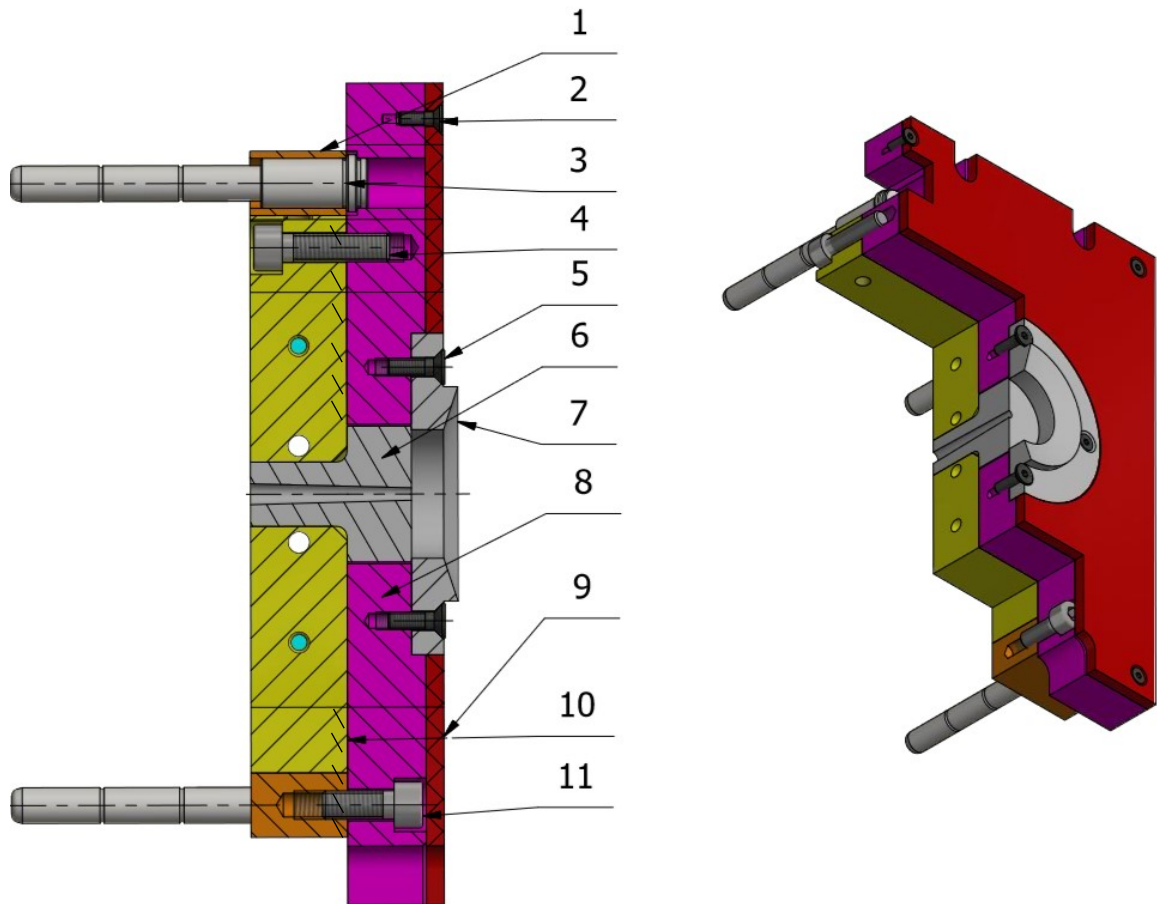
Každá forma je členěna na levou stranu, pravou stranu a vyhazovací systém. Levá strana je označována za pohybovou část, kdy se po vstříknutí polymeru a následném ztvrdnutí v dělicí rovině odsune do levé části a pomocí vyhazovačů je výstřik posléze vyhozen z formy.



Obr. 25 Levá strana vstříkovací formy, 1 – bočnice pravá 1, 2 – vodící pouzdro 1, 3 – izolační deska, 4 – upínací deska, 5 – vodící tyč, 6 – bočnice levá, 7 – středící kroužek, 8 – opěrná deska pro vyhazovací systém, 9 – kotevní deska, 10 – šroub M8 (ISO 4762), 11 – šroub M6 (DIN 6912), 12 – vodící pouzdro 2, 13 – dorazová destička, 14 – přidržovač vtoku, 15 – šroub M5 (ISO 10642), 16 – šroub M6 (ISO 4762), 17 – šroub M8 (ISO 4762)

## 7.6 Pravá strana vstříkovací formy

Pravá strana vstříkovací formy je nazvaná jako statická část vstříkovací formy, protože se nehýbe a je napevno upnuta ve vstříkovacím stroji. Z pravé strany je přiváděn roztažený polymer. Pomocí vstříkovací trysky se dostane do dutiny formy, kde poté ztverdne. Pravá strana je tvořena izolační deskou, upínací deskou a pravou částí tvarové desky, která slouží taktéž jako opěrná deska během vstříkovacím procesu.

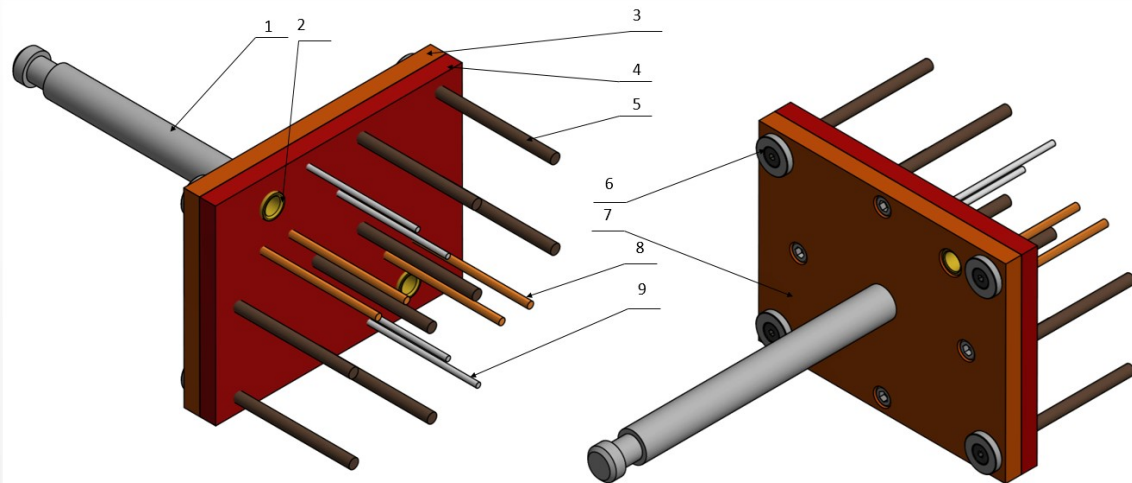


Obr. 26 Pravá strana vstřikovací formy, 1 – bočnice, 2 – šroub M4 (ISO 10642), 3 – vodící čep, 4 – šroub M8 (ISO 4762), 5 – šroub M5 (ISO 10642), 6 – vtoková vložka, 7 – středící kroužek, 8 upínací deska, 9 – izolační deska, 10 – tvarová deska, 11 – šroub M8 (ISO 4762)

## 7.7 Vyhazovací systém

Při návrhu vyhazovacího systému je nutno klást důraz na umístění vyhazovacích prvků, tedy vyhazovačů. Vyhazovače musejí být umístěny tak, aby nezasahovaly do temperačního systému u tvarových částí desek. Dle normy ISO 294-2 musejí být vyhazovače umístěny mimo oblast 20 mm od středu pravoúhlých hranolů a také musejí být mimo kruh o  $\varnothing$  60 mm. Vyhazování výstřiku je zaručeno pomocí válcových vyhazovačů. Aby došlo k rovnovážnému vyhození výstřiku, bylo použito 8 válcových vyhazovačů na dva výrobky o průměru 6 mm, dále na dva filmové vtoky byly použity 4 vyhazovače o  $\varnothing$  4 mm a na rozvodný kanál byly použity taktéž 4 vyhazovače, ale o  $\varnothing$  3 mm. Všechny vyhazovače byly zkráceny na požadovanou délku. Vyhazovače byly zakoupeny od firmy Eichler company.

Dále je vyhazovací systém tvořen dvěma vodicími pouzdry od firmy Meusburger. Taktéž dorazové destičky byly zakoupeny od stejné firmy. Celkový zdvih byl stanoven tak, aby nebyl žádný problém během vyhození výstřiku.

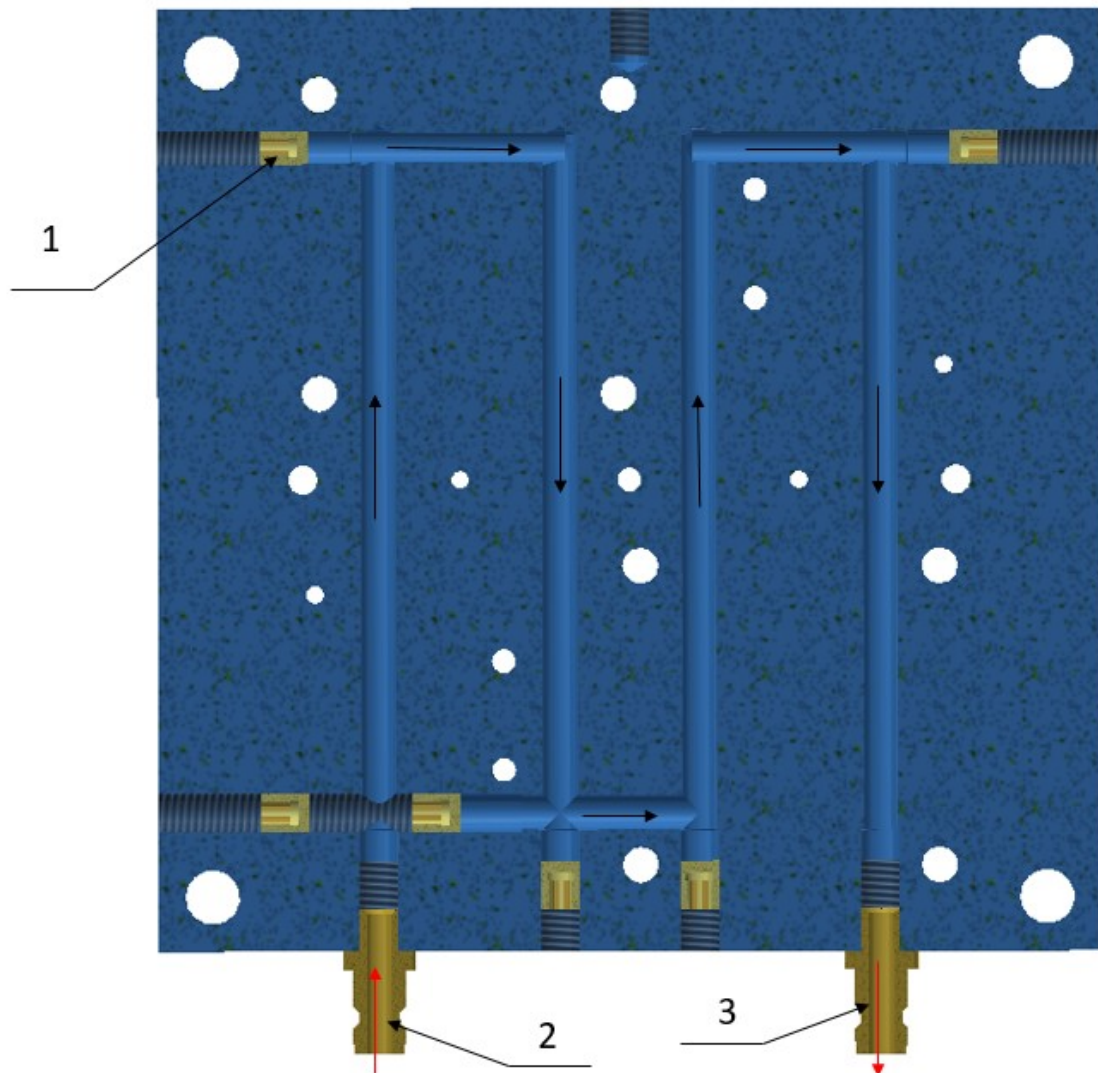


Obr. 27 Vyhazovací systém, 1 – táhlo, 2 – pouzdro pro vodicí čep, 3 – kotevní deska vyhazovacího systému, 4 – opěrná deska vyhazovacího systému, 5 – vyhazovač  $\varnothing$  6 mm, 6 – dorazové destičky, 7 – šroub M5, 8 – vyhazovač  $\varnothing$  4 mm, 9 – vyhazovač  $\varnothing$  3 mm

## 7.8 Temperační systém formy

Hlavním důvodem využití temperačního systému je zajištění rovnoměrné teploty formy na ideální výši na povrchu dutiny. Temperační systém byl proveden pomocí vrtaných kanálů, které byly vzájemně propojeny, a průtok temperačního média byl zajištěn pomocí vnitřních a vnějších ucpávek od firmy HASCO. Temperační systém byl navržen stejně pro obě tvarové části. U temperace musí být splněna podmínka rovnoměrnosti, tedy chlazení musí být symetrické. Systém temperace obou polovin formy musí být řešen tak, aby za provozních podmínek nebyl rozdíl teplot mezi kterýmkoli místem povrchu tvarové dutiny a oběma polovinami formy větší než  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  dle normy ISO 294-2. Průměr kanálů byl zvolen 6 mm, při větším průměru by mohlo hrozit zanášení nečistot do temperačních kanálů nebo by se mohl tvořit vodní kámen. Temperace je tvořena jedním vstupem a jedním výstupem.

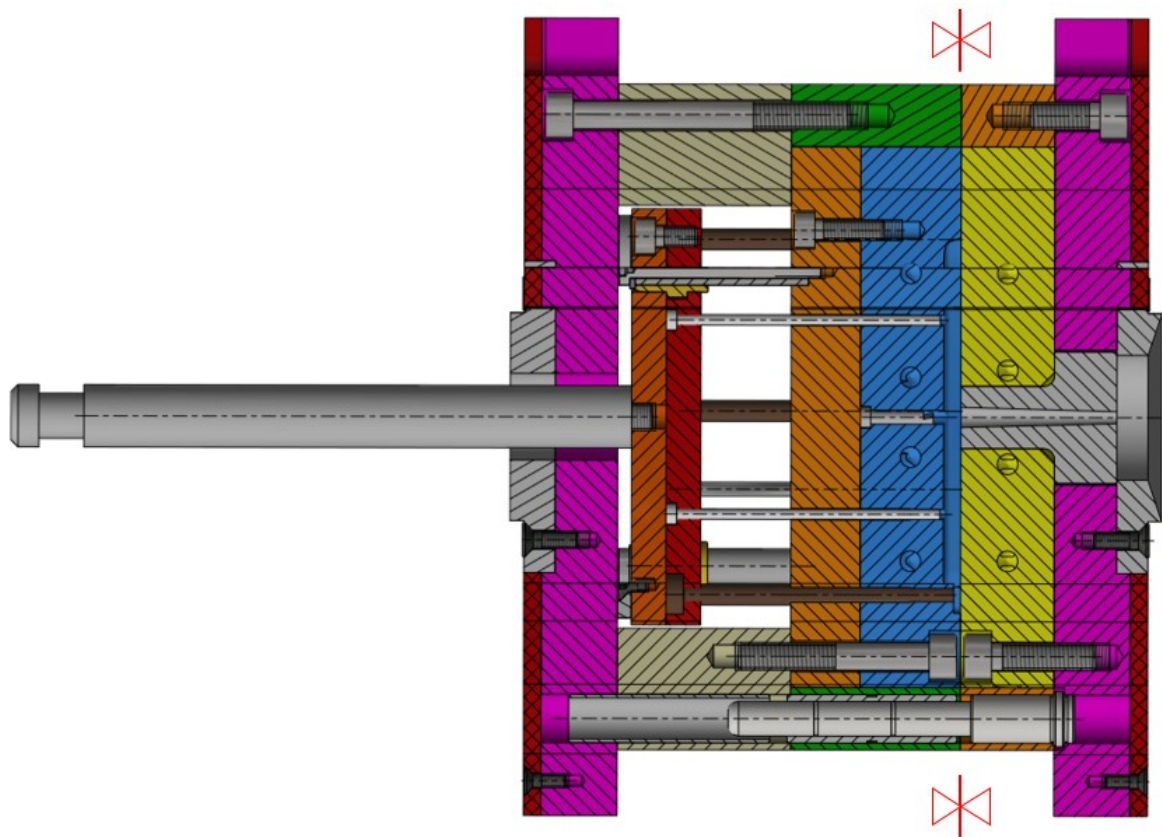




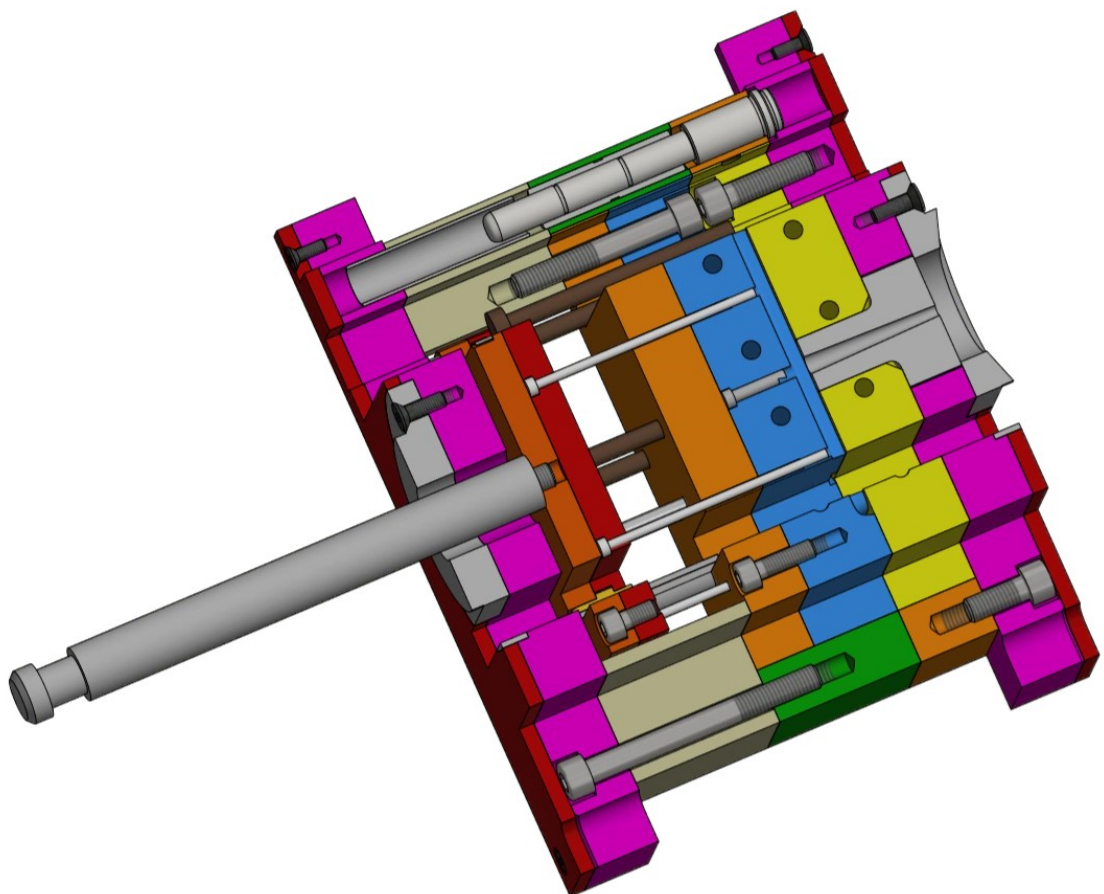
Obr. 28 Temperace pro tvarovou desku, 1 – vstup temperačního média,  
2 – výstup temperačního média, 3 – zátká

## 7.9 Vstřikovací forma

Vstřikovací formy se skládají ze tří základních částí. A to z levé části, která je označována jako strana vyhazovače, pravá část, která je označována jako strana trysky, a z vyhazovacího systému. Vyhazovací systém je spojen s levou částí formy. U vstřikovací formy byly využity normálie od firmy HASCO, Meusburger a Eichler company. Normálie slouží k urychlení konstruování forem a hlavně jsou ekonomicky mnohem méně náročné.



Obr. 30 Řez vstřikovací formy



Obr. 29 Řez vstřikovací formy v 3D

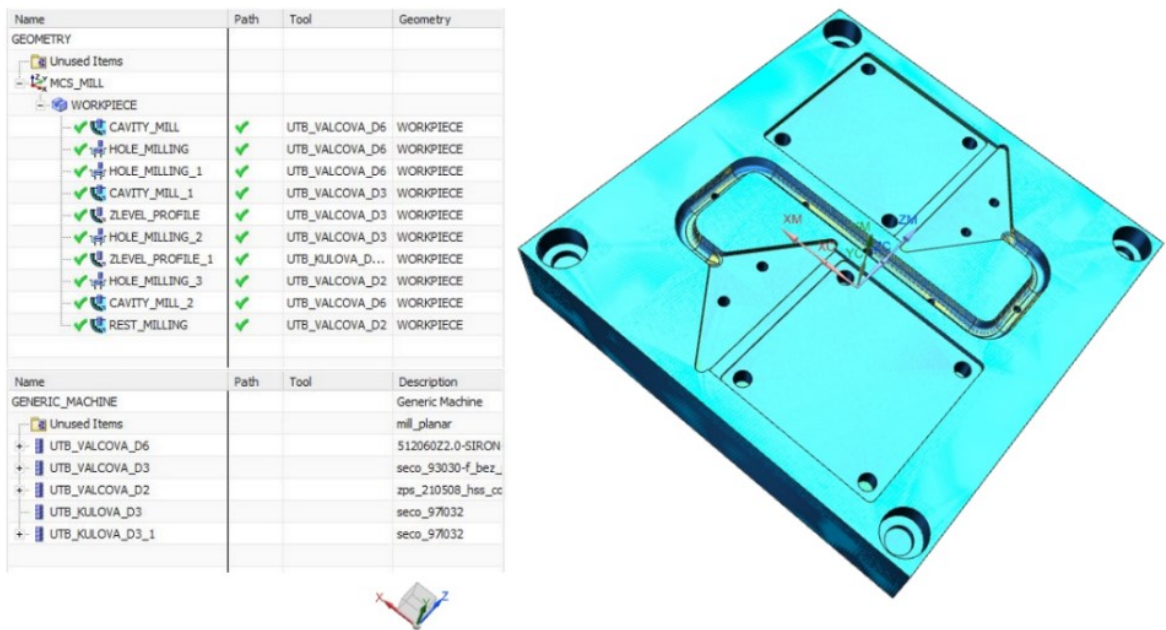
## 8 PŘÍPRAVA VÝROBY

Příprava výroby se zabývá vymodelováním potřebných desek pro vstřikovací formu a všech výkresů potřebných pro výrobu. Všechny desky byly použité na přípravu NC programu pro výrobu na CNC frézce.

### a) Tvarová část – levá strana

Předtím než byly programy připraveny, byl u všech desek z důvodu bezpečnosti přidán přídavek. Tvarová levá část byla nejnáročnější ohledně tvorby programu. V první řadě byly obě dutiny frézovány válcovou frézou  $\varnothing 6$  mm. Poté byly frézovány díry pro šroub ve všech rozích. Následovala výměna frézy, kdy byla použita válcová fréza o  $\varnothing 3$  mm. Nejdříve byly frézovány dutiny jako v předchozím kroku. Následovalo frézování v rozích dutiny pomocí funkce Zlevel\_profile a pak byly vyfrézovány díry pro vyhazovače o  $\varnothing 5,8$  a  $3,8$  mm. Poté frézování rozvodného kanálu pomocí kulové frézy o  $\varnothing 3$  mm a následovala dokončovací operace pro frézování kanálu nazývaná Rest\_milling. V poslední části byla provedena výměna frézy na válcovou frézu o průměru 2 mm a proběhlo frézování děr pro vyhazovače o  $\varnothing 2,8$  mm.





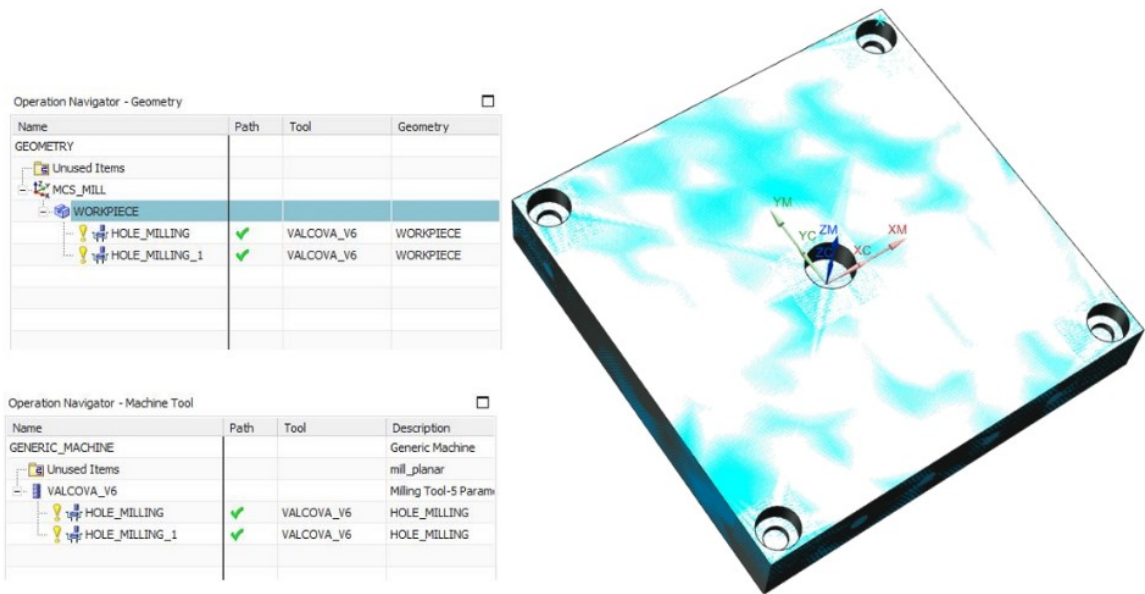
Obr. 31 NX 11 – Tvarová deska levá

Tab. 2 Řezné podmínky pro tvarovou desku levou

	Operace	Velikost třísky [% z nástroje]	Řezná rychlost [m/min]	Posuv na zub	Nástroj – fréza
1	Cavity mill 1	10	263	0,0357	Valcová V6
2	Hole milling 1	10	263	0,0357	Valcová V6
3	Hole milling 2	10	263	0,0357	Valcová V6
4	Cavity mill 2	3	175	0,0357	Valcová V3
5	Zlevel_profile 1	3	175	0,0357	Valcová V3
6	Hole milling 3	15	131	0,0357	Valcová V3
7	Zlevel_profile 2	3	131	0,0357	Kulová D3
8	Hole milling 4	10	87	0,0357	Valcová D2

b) Tvarová část – pravá strana

U tvarové pravé části byly pouze vyfrézovány všechny otvory pomocí válcové frézy  $\varnothing 6$  mm.



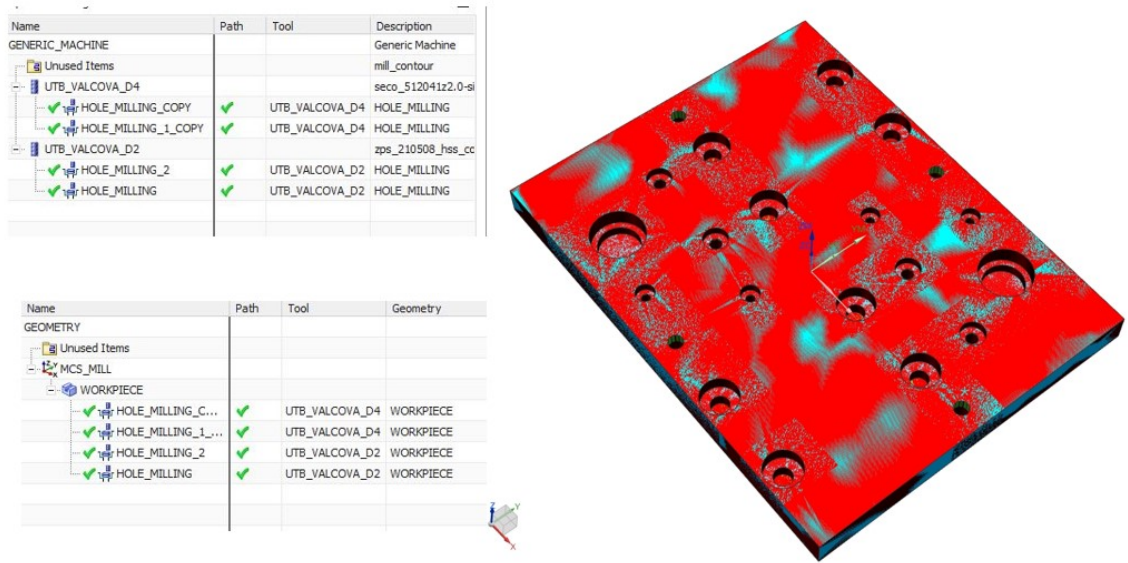
Obr. 32 Tvarová deska pravá

Tab. 3 Řezné podmínky pro tvarovou desku pravou

Operace	Velikost třísky [% z nástroje]	Řezná rychlost [m/min]	Posuv na zub	Nástroj – fréza
1 Hole milling 1	10	263	0,0357	Valcová V6
2 Hole milling 1	10	263	0,0357	Valcová V6

c) Vyhazovací systém – kotevní deska

Předtím než byl program připraven, byl u všech desek z důvodu bezpečnosti přidán přídavek. Díry byly frézovány pomocí funkce Hole milling. Nejdříve byly frézovány díry pro vodící pouzdra a hlavy vyhazovačů válcovou frézou o  $\varnothing$  4 mm a poté se frézovaly všechny vnitřní průměry válcovou frézou o  $\varnothing$  2 mm.



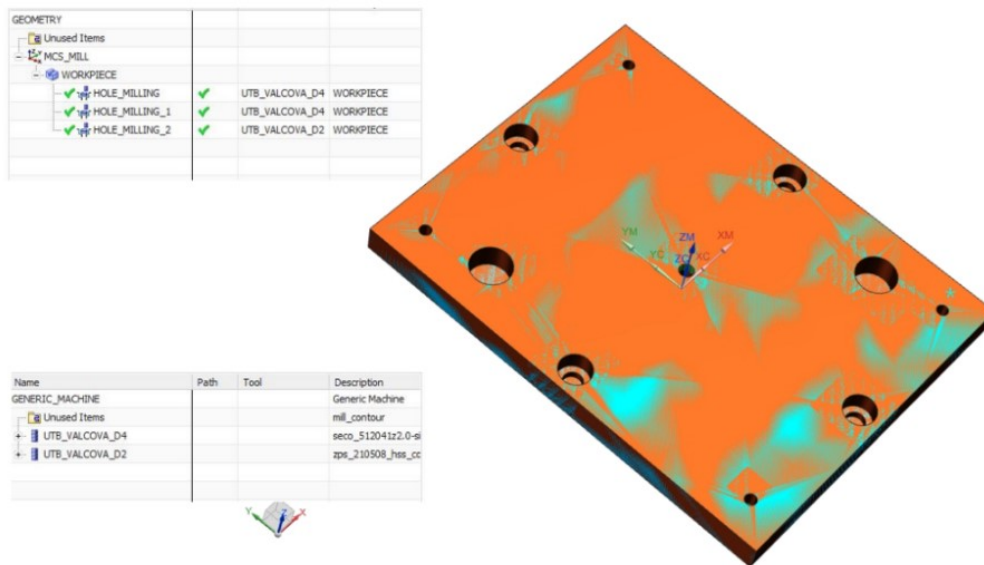
Obr. 33 NX 11 – kotevní deska

Tab. 4 Řezné podmínky pro kotevní desku

	Operace	Velikost třísky [% z nástroje]	Řezná rychlost [m/min]	Posuv na zub	Nástroj – fréza
1	Hole milling 1	10	175	0,0357	Valcová V4
2	Hole milling 2	10	175	0,0357	Valcová V4
3	Hole milling 3	15	87	0,0357	Valcová V2
4	Hole milling 4	15	87	0,0357	Válcová V2

d) Vyhazovací systém – opěrná deska

V první řadě byly frézovány díry pro šrouby s vnitřním šestihranem a hlavy vyhazovačů válcovou frézou o  $\varnothing$  4 mm a poté se frézovaly všechny vnitřní průměry válcovou frézou o  $\varnothing$  2 mm.



Obr. 34 NX 11 – Opěrná deska

Tab. 5 Řezné podmínky pro opěrnou desku

Operace	Velikost třísky	Řezná rychlost	Posuv na zub	Nástroj – fréza
	[% z nástroje]	[m/min]		
1 Hole milling 1	10	175	0,0357	Valcová V4
2 Hole milling 2	25	175	0,0357	Valcová V4
3 Hole milling 3	30	87	0,0357	Valcová V2

## 8.1 Použité stroje

### 8.1.1 CNC frézka AZK HWT C-442 Profi

Je to frézka, která slouží především pro frézování do měkkých povrchů (frézování plastů, dřeva, hliníku apod.).

Frézka je opatřena kompenzací tepelné dilatace vřeteníku, odsávacími trubicemi, kompletním zakrytím během frézování a také osvětlením nástroje i celého pracovního prostoru. CNC frézka je součástí Univerzity Tomáše Bati na Fakultě aplikované informatiky. [18]



*Obr. 35 CNC frézka AZK HWT C-442 Profi*

### **8.1.2 Sloupová vrtačka Optimum B40 GSM**

Sloupová vrtačka je taktěž součástí Univerzity Tomáš Bati na Fakultě aplikované informatiky. Je to profesionální sloupová vrtačka, která zajišťuje klidný chod díky broušeným ozubeným kolům. Vřetenno je kaleno a broušeno a díky tomu je zaručena vysoká přesnost.



*Obr. 36 Sloupová vrtačka Optimum B40 GSM*

### 8.1.3 Ruční řezání závitů

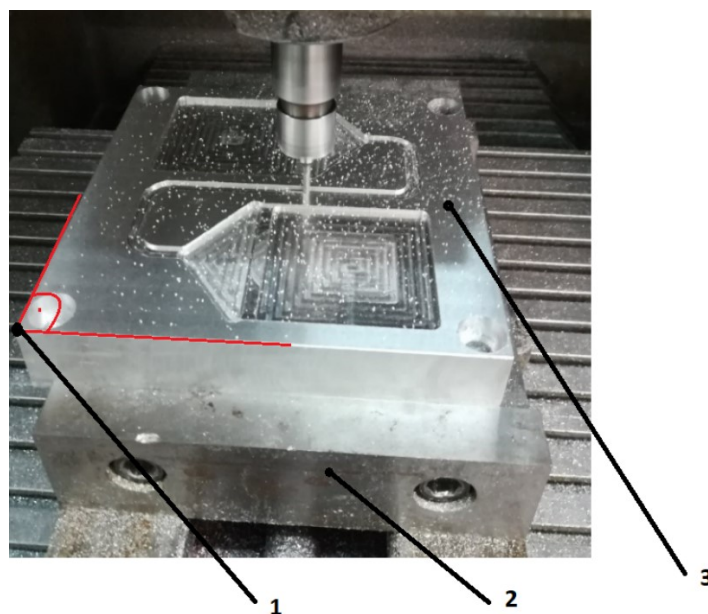
Ruční řezání závitů bylo také prováděno na akademické půdě. Byla použita sada závitníků a závitových oček pro závity o velikosti M3–M12. Závity byly řezány do desek vyhazovacího systému a tvarové desky. Během řezání závitu byly desky upnuté na stolním svěráku.

## 8.2 Postup výroby

Výroba tvarových částí a desky vyhazovacího systému byla prováděna pomocí tří základních operací. Nejdříve bylo provedeno frézování, následně vrtání a jako poslední krok proběhly dokončovací operace. Frézování desek bylo prováděno na frézce AZK HWT C-442 Profi. Nakonec byly desky vždy upnuty do upínacích čelistí a všechny díry pro vyhazovače byly hrubovány, než bylo dosaženo potřebné drsnosti.

## 8.3 Stanovení nulového bodu na frézce

Při frézování na zmíněné CNC frézce byl pro všechny desky stejný. Plocha nebyla zarovnaná, protože byla předem už broušená, a tedy byla ideální hladkost povrchu. Pro upnutí bylo použito upínacích čelistí, které byly součástí frézky. Nulový bod byl stanoven vždy v levém spodním rohu, kde v ose X a Y bylo najeto na dotek k desce. Osa Z byla nastavena pomocí zařízení pro nastavení nuly. Při nastavení osy Z byla odečtena výška válce, aby byl nastaven nulový bod i v poslední ose Z.



Obr. 37 Tvarová deska – stanovení nulového bodu

1 – počátek nulového bodu (X, Y, Z), 2 – upínací ustrojí, 3 tvarová deska



## 8.4 Frézování tvarových desek

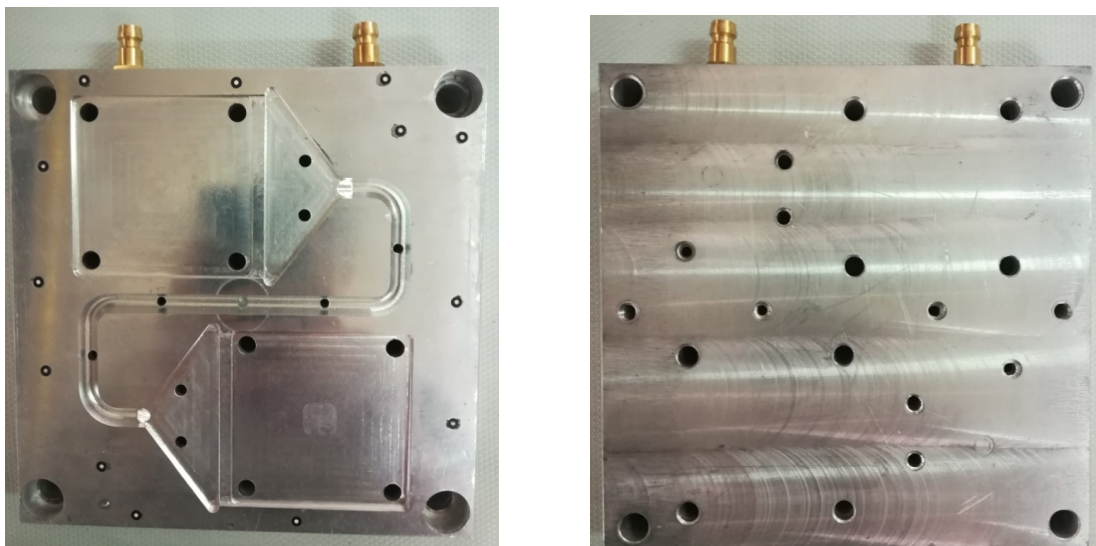
Tvarové desky byly taktéž nejdříve broušené, a tudíž hladkost povrchu nebyla dále opracovávána. Pro frézování byly použity pouze tři nástroje.

Tab. 6 Použité nástroje na tvarové části

	Druh nástroje	Rozměry [mm]
1	Válcová fréza	$\Phi 6 \times 27$
2	Válcová fréza	$\Phi 2 \times 6$
3	Válcová fréza	$\Phi 3 \times 8$
4	Kulová fréza	$\Phi 3 \times 8$

### a) Tvarová deska levá

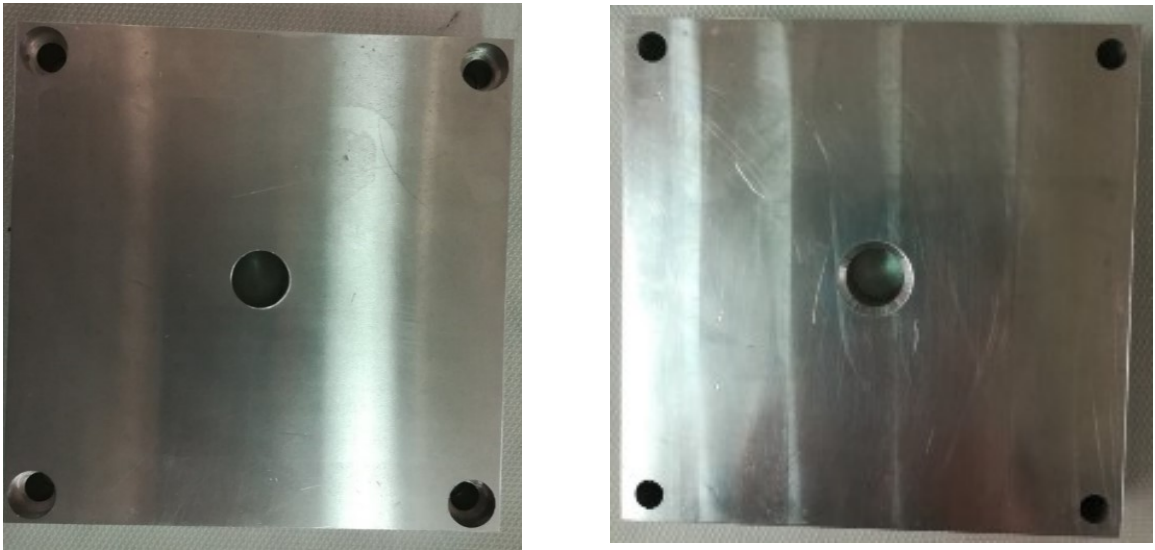
Tvarová část hlavní byla nejsložitější deska ohledně konstrukce a od toho se odvíjí i náročnost při výrobě. Nejdříve byla upnutá válcová fréza  $\varnothing 6$  mm a vyfrézovala tvarové dutiny a díry pro šrouby. Následně byla upnuta válcová fréza o  $\varnothing 3$  mm a byly vyfrézované díry pro vyhazovače o  $\varnothing 6$  a 4 a taktéž díra pro šroub do hloubky 12 mm, protože nešlo frézovat hlouběji z důvodu dané délky frézy. Poté byl frézován rozvodný kanál, který propojoval dvě dutiny. Ihned poté byl znovu přehozen nástroj na kulovou frézu, kdy byl rozvodný kanál vyfrézován do drsnosti, která byla požadována. Pak byla provedena poslední výměna nástroje a byly frézovány díry od vyhazovačů o  $\varnothing 3$  mm válcovou frézou o průměru 2 mm. Následně byly všechny průchozí díry provrtány na stolní vrtačce. Aby nebyl problém při lícování desek, je třeba díry pro vyhazovače dostat na velmi dobrou drsnost. Po vrtání děr následovaly operace hrubování a vystružení.



Obr. 38 Výroba – tvarová deska levá

## b) Tvarová deska pravá opěrná

U tvarové části opěrné byla nejdříve použita válcová fréza o  $\varnothing$  6 mm, kdy v prvním kroku byly vyvrtány díry pro zápusťné šrouby a vtokovou vložku. Poté byly všechny průchozí díry provrtány do hloubky 12 mm z důvodu, aby fréza nenarazila do upínací části. Dále byla deska upnuta na stolní vrtačce a provrtány byly všechny díry pro šrouby a pro vtokovou vložku.

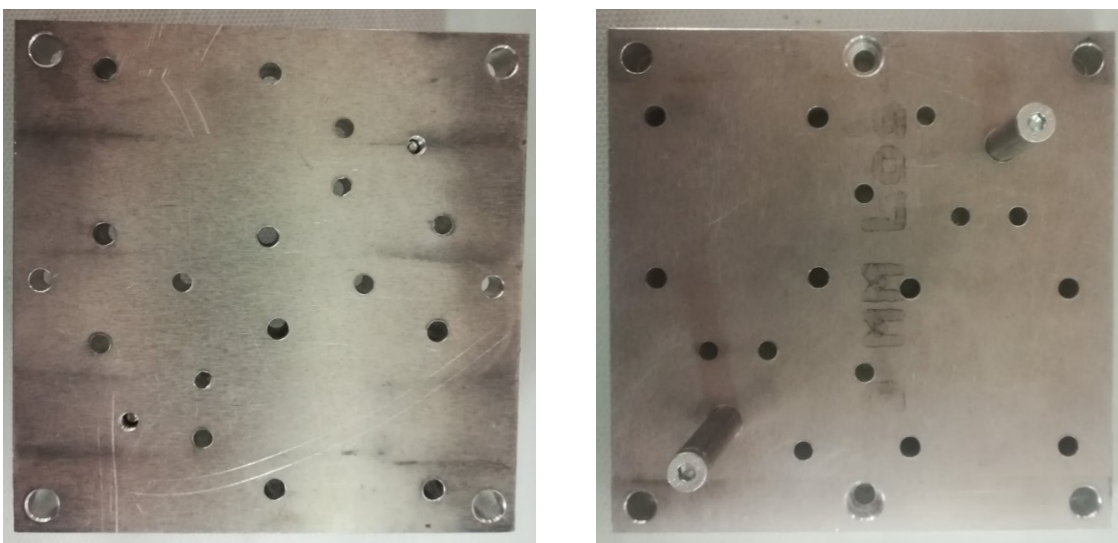


*Obr. 39 Výroba – tvarová deska pravá*

## c) Opěrná deska

Do opěrné desky byly vyfrézovány všechny průchozí díry pro vyhazovače. Byly použity stejné frézy jako u frézování tvarových desek. Poté byly frézovány průchozí díry v rozích pro šroub M14 a taktéž byly vyvrtány díry pro dva šrouby M5. Opěrná deska je přišroubovaná k tvarové desce levé. Jako poslední část následovalo ruční řezání závitů pro vodící čepy. Do opěrné desky byly následně zašroubovány vodící čepy pro vyhazovací systém. Opěrná deska byla slícovaná s tvarovou deskou levou. Aby nebyl problém při lícování desek, bylo třeba díry pro vyhazovače dostat na velmi dobrou drsnost. Po vrtání děr následovaly operace hrubování a vystružení.





Obr. 40 Výroba – opěrná deska

## 8.5 Frézování desek vyhazovacího systému

Desky u vyhazovacího systému byly předem broušeny, a proto byly vyfrézovány pouze díry.

Tab. 7 Použité nástroje pro vyhazovací systém

	Druh nástroje	Rozměry [mm]
1	Válcová fréza	$\Phi 6 \times 27$
2	Válcová fréza	$\Phi 4 \times 10$
3	Válcová fréza	$\Phi 3 \times 8$

### a) Vyhazovací systém – kotevní deska

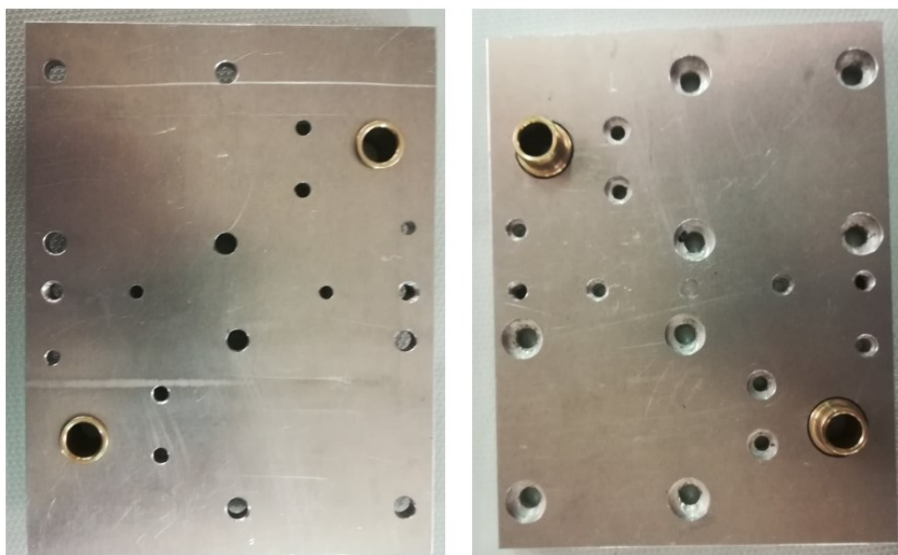
U kotevní desky pro vyhazovací systém byla nejdříve použita válcová fréza V6, kdy v prvním kroku byly vyvrtány díry pro zápusťné šrouby o  $\varnothing 11\text{mm}$  do hloubky 6,8 mm. Poté byly všechny průchozí díry provrtány do hloubky 9 mm z důvodu, aby fréza nenarazila do upínací části. Poté byl vyměněn nástroj na válcovou frézu o průměru 3 a byly frézovány čtyři díry pro šroub se zápusťnou hlavou. Frézování trvalo 30 minut. Jakmile byly operace dokončeny, na stolní vrtačce byly provrtány všechny průchozí díry. Dále byl vyřezán závit M6 pro táhlo, který je zašroubován do kotevní desky. Závit byl řezán i pro čtyři díry M4 umístěné v rozích kotevní desky.



Obr. 41 Výroba – kotevní deska

b) Vyhazovací systém – opěrná deska

U opěrné desky pro vyhazovací systém byla nejdříve použita válcová fréza V6, kdy v prvním kroku byly vyfrézovány díry pro vnější průměry u vyhazovačů, šroubů a vodičích děr pro pouzdra. Následovala výměna nástroje na válcovou frézu o  $\varnothing$  4 mm a byly frézovány všechny díry do hloubky 9 mm z důvodu, aby fréza nenarazila do upínací části. Jakmile byly operace dokončeny, na stolní vrtačce byly provrtány všechny průchozí díry. Frézování trvalo 50 minut. U opěrné desky nebyly řezány žádné závit. Aby nebyl problém při lícování desek, bylo třeba díry pro vyhazovače dostat na velmi dobrou drsnost. Po vrtání děr následovaly operace hrubování a vystružení.



Obr. 42 Výroba – opěrná deska

### 8.5.1 Temperace tvarových desek

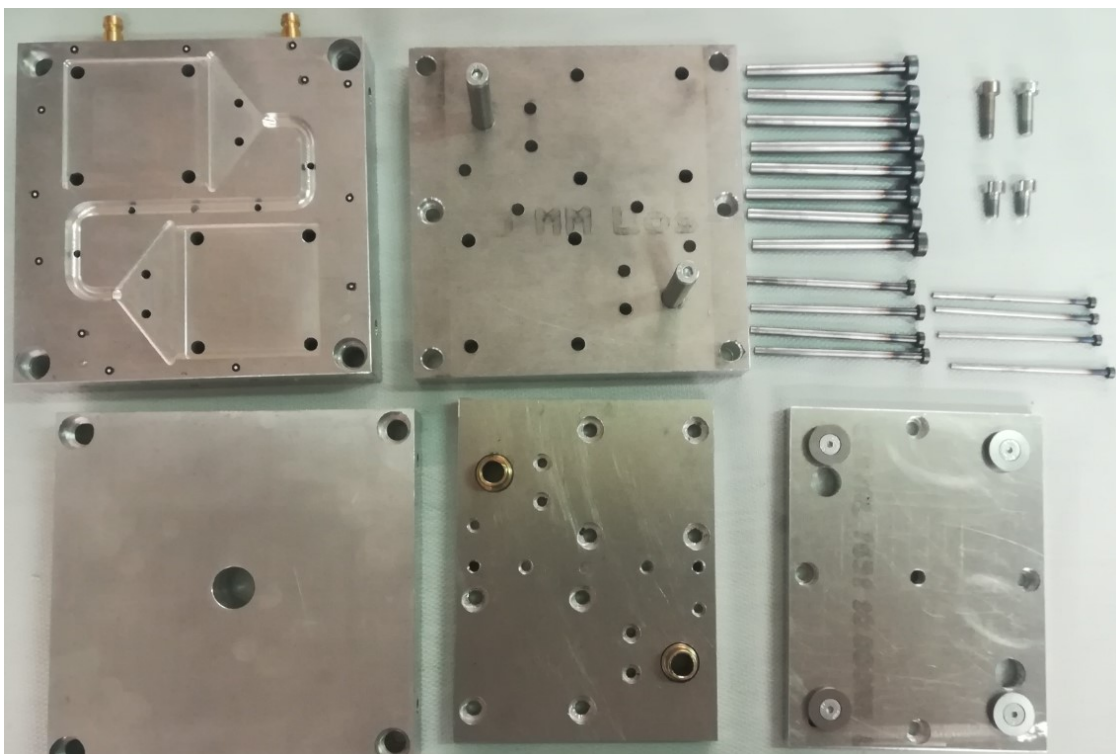
Temperace je prováděna pouze u tvarových desek. Aby práce byla co nejjednodušší, temperace u obou desek byla provedena stejně. Byla provedena jako předposlední úkon před dokončovací operací. Temperace je navržena velmi jednoduchým způsobem, kdy byly temperační kanály o  $\varnothing$  6 mm vrtány v určitých rozmezech ze stran, které byly předem definovány. Z důvodu zajištění plynulého toku jsou v určitých místech zašroubovány ucpávky, které zabraňují toku směrem ven. Na začátku všech děr byly řezány závity pro ucpávky. Temperace byla navržena tak, aby měla jeden vstup a jeden výstup. Tato podmínka musela být dodržena kvůli temperačnímu zařízení, které je uzpůsobeno pouze pro tento typ.

### 8.6 Dokončovací operace

Závěrečnou operací před montáží modelu bylo přešetření všech funkčních ploch, protože při manipulaci s deskami vznikly viditelné škrábance. Při broušení je třeba dbát na vyhnutí se vysoké teplotě, která vzniká třením. Pro konečné leštění hran byl vybrán filcový kotouč upnutý ve vrtačce. Pro leštění byla použita leštící pasta.

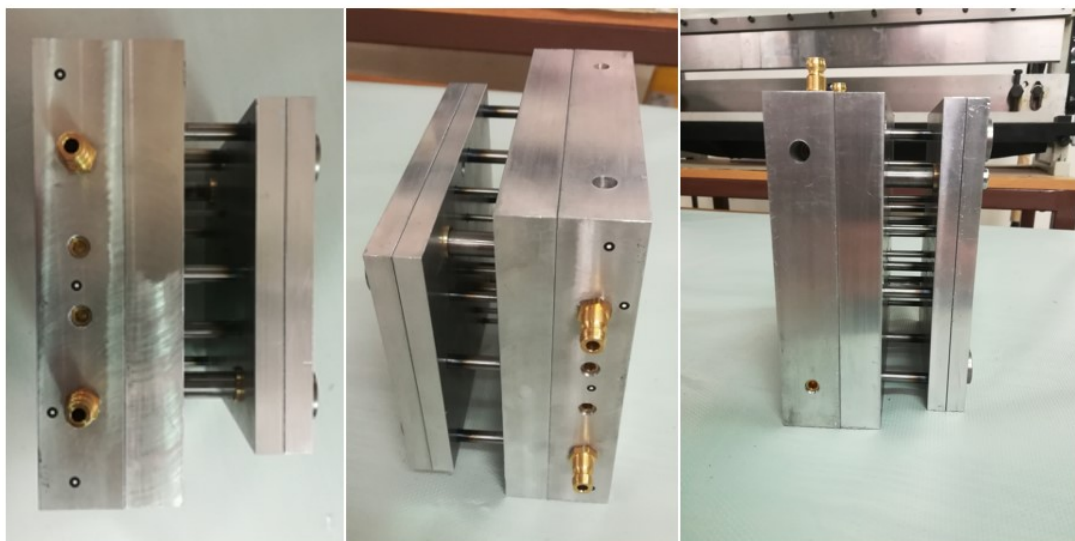
### 8.7 Sestavení formy

Nyní jsou zhotoveny a nakoupeny všechny potřebné díly pro možné sestavení formy.



Obr. 43 Rozložená část vstřikovací formy

Následně proběhla montáž všech dílů, které byly uvedeny v předchozím obrázku. Opěrná deska byla slícována s tvarovou deskou levou. Taktéž byly slícovány obě desky vyhazovacího systému (opěrná deska vyhazovacího systému s kotevní deskou). Jakmile byla montáž kompletní, všechny uvedené části byly přimontovány k ostatním částem vstřikovací formy a forma byla připravena k provozu.



*Obr. 44 Poskládaná část vstřikovací formy*

## 8.8 Příprava formy pro testování na vstřikovacím stroji

Forma je složena a je třeba ji otestovat na vstřikovacím stroji Arburg Allrounder 370 S. Jako materiál pro vstřikování byl zvolen polypropylen.

### 8.8.1 Volba vstřikovacího stroje

Ke vstřikování byl zvolen vstřikovací stroj Arburg Allrounder 370 S. Arburg je německá firma, která se zaměřuje na výrobu vstřikovacích strojů. Je to stroj, který je slouží ke vstřikování dvou komponentních výrobků. Obě vstřikovací jednotky jsou vybaveny gravírovaným dávkovacím systémem. Stroj je zvolen kvůli dostatečnému vstřikovacímu objemu, uzavírací síle a maximálním rozměrům formy. Temperační jednotka od společnosti Piovan vyhřívá formu až na 150 °C.

Tab. 8 Technické parametry vstřikovacího stroje

Základní parametry vstřikovacího stroje	
Uzavírací síla	700 KN
Maximální vzdálenost mezi sloupky	360 mm
Maximální prostor	600 mm
Maximální vstřikovaný objem	71 cm <sup>3</sup>

Tab. 9 Specifikace navržené vstřikovací formy

Základní parametry vstřikovací formy	
Maximální rozměry formy	230 × 180 × 156 mm
Vstřikovaný objem výstřiku	24 cm <sup>3</sup>



Obr. 45 Vstřikovací stroj Arburg Allrounder 370 S

### 8.8.2 Volba materiálu

Jak již bylo zmíněno, jako materiál byl zvolen polypropylen (PP). Je to semikrystalický termoplast, jehož vlastnosti jsou závislé na indexu izotakticity. Teplota tání je u polypropylenu kolem 150–170 °C. Má vysokou pevnost a je nerozpustný. Není vhodný pro venkovní využití, protože neodolává UV záření. Vlastnostmi se blíží vysokohustotnímu polyethylen. Je to nepolární plast, který odolává kyselinám, rozpouštědlům a solím.

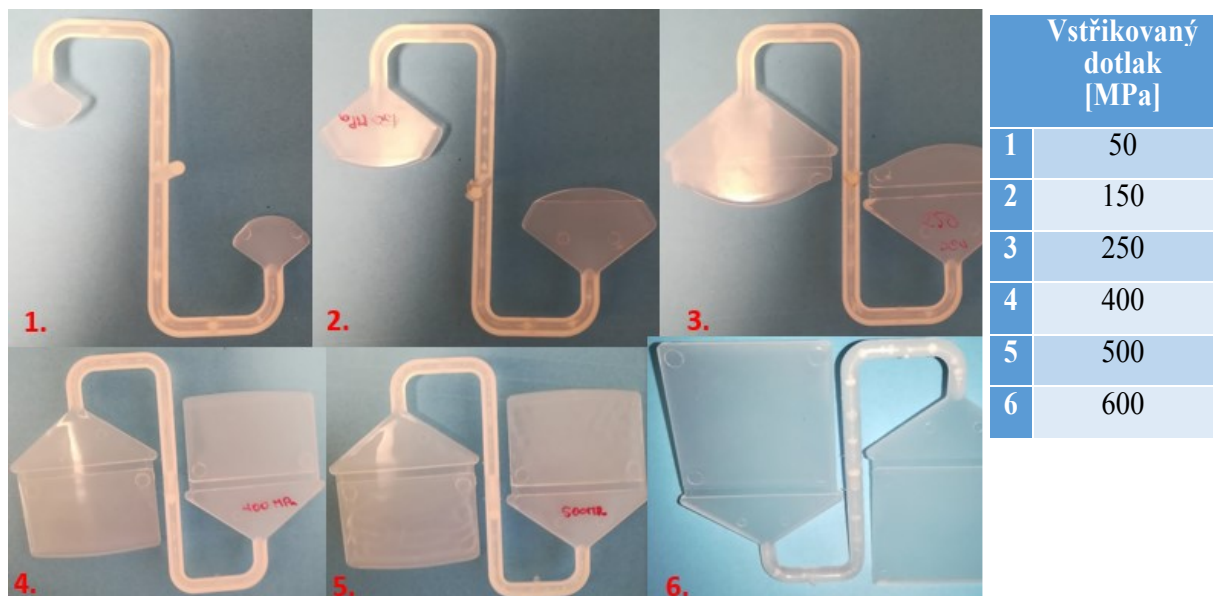


Díky vyšší teplotě tání je polymer lépe tvárný a má lepší tvarovou stálost i za vyšších teplot.

Polypropylen patří mezi jedny z nejpoužívanějších polymerů z důvodu dobrých mechanických vlastností, vyšší teploty tání, ekonomické dostupnosti a také chemické odolnosti. [3]

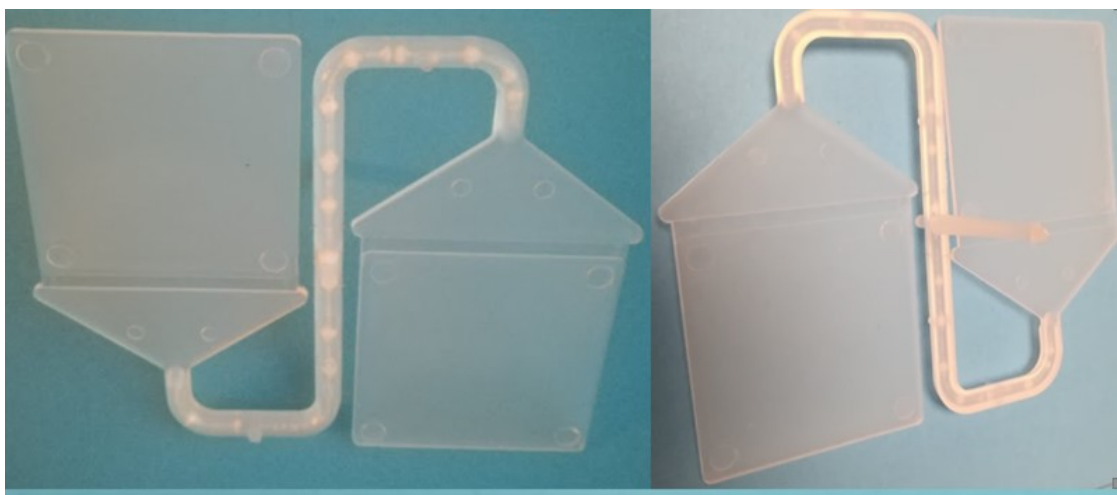
### 8.8.3 Testování formy na vstřikovacím stroji

Jakmile byla forma upnuta ve vstřikovacím stroji, začínalo se s testováním formy. Aby se zjistilo, za jakého vstřikovaného dotlaku je forma ideálně zaplněna, musel proběhnout test dotlaků, a to od 50 do 600 MPa.



Obr. 46 Výstřiky zkušebních těles

Jak lze vidět z předchozího obrázku, bylo testováno 6 druhů tlaků. Začínalo se od nejmenšího po největší. Dutina byla dokonale zaplněna až při dotlaku 600 MPa.



Obr 47 Konečný výstřik při vstřikovaném dotlaku 600 MPa

Během zkoušení formy při vstřikovacím cyklu se nevyskytly žádné kolizní chyby či problémy. Výstřik zůstal na levé straně formy a výstřik byl poté bez problémů vyhozený vyhazovači. Vyhazovací síla musela být zvolena dostatečně velká pro bezproblémové vyhození. Výsledný výstřik nenesl známky vad či poškození.

## ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce byl návrh vstřikovací formy pro termoplastický díl pro výrobu zkušebních těles na měření smrštění. Jako následujícím cílem bakalářské práce bylo vytvořit vhodné obráběcí programy pro tvarové části, vyhazovacích desek a opěrné desky v programu NX 11. Poslední částí bylo vyrobení všech součástí a následné sestavení formy včetně odzkoušení vstřikovací formy na vstřikovacím stroji.

V první části praktické práce byly specifikovány programy, které byly použity při konstruování a k tvorbě obráběcích programů pro CNC frézku. Poté byl detailně popsán návrh zkušebního tělesa. Dále byla zkonstruována vstřikovací forma. Forma byla navržena jako dvounásobná. V následující části byli nadimenzovány tvarové části. Návrh byl řízen normou EN ISO 294. Zbývajících částmi kapitoly byly popsány základní části formy.

V následující kapitole byli popsány desky, pro které byli vytvořeny obráběcí programy a následné frézování na CNC frézce. Nadcházející kapitola se věnovala popisu strojů, které byly použité při výrobě desek.

V poslední části byl popsán celý postup výroby. Nejdříve byli desky vyfrézované dle vytvořených programů. V první řadě byla frézovaná kotevní (tvarová) deska. Funkční díry byli provrtány na sloupové vrtačce přes celou šířku desky. U děr pro vyhazovací systém byli díry hrubovány a následně struženy. Tato operace byla použita pro lepší lícování desek a také pro bezproblémový chod vyhazovačů. V posledním kroku výroby byly vrtané kanály pro temperaci a vyřezané potřebné závity dle návrhu. Následovala výroba opěrné (tvarové) desky. Sled operací byl podobný jako u kotevní desky. Temperace byla navržena tak, aby bylo docíleno symetrického chlazení formy. V dalším kroku byla frézována opěrná deska. Sled operací byl podobný. U obou desek pro vyhazovací systém byl zvolen podobný postup jak u předchozích desek.

Následovala montáž všech dílů vstřikovací formy. Opěrná deska byla slícována s kotevní deskou. Pokračovalo kompletní seskládání vyhazovacího systému a slícování s opěrnou a kotevní deskou. Poté byli funkční části vstřikovací formy namontovány do univerzálního rámu.

V poslední fázi byla vstřikovací forma upnuta do vstřikovacího stroje. Bylo zahájeno odzkoušení vstřikovací formy. Cílem bylo experimentálně stanovit hodnotu dotlaku. Hod-



nota dotlaku je taková, při které je dutina formy zaplněna bez propadlin a přetoků. Ideální hodnota dotlaku byla 600 MPa. Při této hodnotě nejevil výrobek žádné známky vad.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] Katedra materiálů a strojírenské metalurgie [online]. 2010. Dostupné z: [https://www.opi.zcu.cz/download/Polymery\\_2010.pdf](https://www.opi.zcu.cz/download/Polymery_2010.pdf)
- [2] DILINGER J, *Moderní strojírenství pro školu i praxi*. Praha: EUROPA - SOBOTÁLES cz., 2007. ISBN 978-80-86706-19-1.
- [3] BĚHÁLEK, PH.D., Ing. L. Polymery [online]. 2016. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné také z: <https://publi.cz/books/180/04.html>
- [4] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů I. díl - Vstřikování termoplastů*. 2. upr. vyd. Brno: UNIPLAST, 1999.
- [5] NEUHÄUSL, E., ZEMAN, I.: *Vstřikování plastů-teorie a praxe: Základní kurs*. Interní dokument fy PLAST FORM SERVICE, s.r.o., Praha, 2006.
- [6] LENFELD, P. *Technologie II. -Vstřikování plastů*, Technická univerzita Liberec, Katedra strojírenské technologie. v Dostupná z [www:](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm)  
[http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/04.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm)
- [7] Technická univerzita v Liberci – Katedra materiálu. Dostupná z [www:](http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_magistri/NEkM/NeM%20Kro/)  
[http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady\\_kmt\\_magistri/NEkM/NeM%20Kro/](http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_magistri/NEkM/NeM%20Kro/)
- [8] STANĚK, M. přednášky T5KF
- [9] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [10] Katedra strojírenské technologie: Oddělení tváření kovů a plastů [online]. 2000. Dostupné z: [http://www.ksp.vslib.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/04.htm#044](http://www.ksp.vslib.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm#044)
- [11] MANAS, M., HELŠTÝN, J. *Výrobní stroje a zařízení: Gumárenské a plastikářské stroje II*. 1. vyd. Brno: VUT , 1990

- [12] RESS, Herbert. *Mold engineering. 2nd edition.* Munich : Hanser, 2002. ISBN 3-446-21659-6.
- [13] Krebs, Josef; Sova, Miloš. *Termoplasty v praxi: praktická příručka pro konstruktéry, výrobce, zpracovatele a uživatele termoplastů.* 5. aktualizované vydání. Praha : Verlag Dashöfer, 1999-2000. 1 CD-ROM. ISBN 80-86229-15-7
- [14] GABRIEL, Jiří; Novák, Jaroslav; Jurnečková, Jindřiška. *Kurs optimalizace vstřikování plastů - doprovodné texty.* Brno : Kompozity Brno s.r.o., 2000
- [15] KUTA, Antonín. *Technologie a zařízení pro zpracování kaučuků a plastů.* Praha: Vydavatelství VŠCHT, 1999. ISBN 978-80-7080-367-7.
- [16] ZHENG, Rong, ROGER. I. TANNER a Xi-Jun FAN. *Injection molding integration of theory and modeling methods.* Berlin: Springer, 2011. ISBN 9783642212628.
- [17] PRUNER, Harry a Wolfgang NESCH. *Understanding Injection Molds* [online]. 1. Hanser Publishers, 2013. ISBN 978-1-56990-527-2. Dostupné z: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpUIM00002/understandinginjection/understanding-injection>
- [18] KAISLER, Zbyněk. *AZK - Frézky HWT* [online]. 2009. Dostupné z: <http://www.azk.cz/index.html>
- [19] Autodesk: *Inventor 2017* [online]. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <http://www.autodesk.com/products/autodesk-inventor-family/features>
- [20] *Wikipedia: Siemens NX* [online]. 2017 [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/NX\\_\(program\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/NX_(program))

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

NC	Numeric control
CNC	Control numeric control
M	Molární hmotnost
P	Stupeň polymerační
Tg	Skelný přechod
PVC	Polyvinylchlorid
Pi-t	Popisuje vstřikovací cyklus
VVS	Vyhřívané vtokové soustavy
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
PP	Polypropylen
UV	Ultrafialové záření
Atd.	a tak dále
N	Newton
MPa	Megapascal
TPE	Termoplastické elastomery

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Rozdělení polymerů</i> .....	10
<i>Obr. 2 Rozdělení řetězců</i> .....	11
<i>Obr. 3 Oblasti využití u amorfních a semikrystalických plastů</i> .....	12
<i>Obr. 4 Schéma struktury TPE</i> .....	13
<i>Obr. 5 Schéma vstřikovacího stroje</i> .....	15
<i>Obr. 6 Autoadaptivní sušicí systém</i> .....	17
<i>Obr. 7 Popis vstřikovacího cyklu</i> .....	18
<i>Obr. 8 Časový harmonogram vstřikovacího cyklu</i> .....	18
<i>Obr. 9 Technologie vstřikování a působení tlaku</i> .....	19
<i>Obr. 10 Průběh vnitřního tlaku v dutině formy</i> .....	19
<i>Obr. 11 Vstřikovací stroj</i> .....	21
<i>Obr. 12 Příklad vstřikovací formy</i> .....	24
<i>Obr. 13 Sekvence změn rozměrů</i> .....	26
<i>Obr. 14 Příklad vtokového systému</i> .....	27
<i>Obr. 15 Druhy vtokového systému</i> .....	28
<i>Obr. 16 Plný kuželový vtok</i> .....	29
<i>Obr. 17 Bodový vtok</i> .....	30
<i>Obr. 20 Srpkové ústí</i> .....	31
<i>Obr. 21 Schéma VVS</i> .....	31
<i>Obr. 22 Schéma vyhřívaného vtokového systému</i> .....	33
<i>Obr. 23 Vyhazovací kolíky</i> .....	34
<i>Obr. 24 Navržený výrobek</i> .....	39
<i>Obr. 26 Tvarová část levá</i> .....	41
<i>Obr. 27 Tvarová část levá – detail</i> .....	42
<i>Obr. 28 Levá strana vstřikovací formy</i> .....	43
<i>Obr. 29 Pravá strana vstřikovací formy</i> .....	44
<i>Obr. 30 Vyhazovací systém</i> .....	45
<i>Obr. 31 Temperace pro tvarovou desku</i> .....	46
<i>Obr. 33 Řez vstřikovací formy v 3D</i> .....	47
<i>Obr. 32 Řez vstřikovací formy</i> .....	47
<i>Obr. 34 NX 11 – Tvarová deska levá</i> .....	49
<i>Obr. 35 Tvarová deska pravá</i> .....	50

---

<i>Obr. 36 NX 11 – kotevní deska .....</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 37 NX 11 – opěrná deska .....</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 38 CNC frézka AZK HWT C-442 Profi .....</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 39 Sloupová vrtačka Optimum B40 GSM.....</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 41 Tvarová deska – stanovení nulového bodu.....</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 42 Výroba- tvarová deska levá .....</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 43 Výroba – tvarová deska pravá.....</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 44 Výroba – opěrná deska .....</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 45 Výroba – kotevní deska.....</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 46 Výroba – opěrná deska .....</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 47 Rozložená část vstřikovací formy .....</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 48 Poskládaná část vstřikovací formy.....</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 49 Vstřikovací stroj Arburg Allrounder 370 S .....</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 50 Výstřiky zkušebních těles .....</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 51 Konečný výstřik při vstřikovaném dotlaku 600 MPa.....</i>	<i>62</i>

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab.1 Požadavky na formu .....</i>	<i>23</i>
<i>Tab. 2 Řezné podmínky pro tvarovou desku levou.....</i>	<i>49</i>
<i>Tab. 3 Řezné podmínky pro tvarovou desku pravou .....</i>	<i>50</i>
<i>Tab. 4 Řezné podmínky pro kotevní desku .....</i>	<i>51</i>
<i>Tab. 5 Řezné podmínky pro opěrnou desku .....</i>	<i>52</i>
<i>Tab. 6 Použité nástroje na tvarové části.....</i>	<i>55</i>
<i>Tab. 7 Použité nástroje pro vyhazovací systém .....</i>	<i>57</i>
<i>Tab. 8 Technické parametry vstříkovacího stroje.....</i>	<i>61</i>
<i>Tab. 9 Specifikace navržené vstříkovací formy.....</i>	<i>61</i>

## SEZNAM PŘÍLOH

P I. Strany vstříkovací formy

P II. Vyhazovací systém

P III. Vstříkovací forma

P IV. Chlazení tvarových částí

P V. Výkres vstříkovací formy

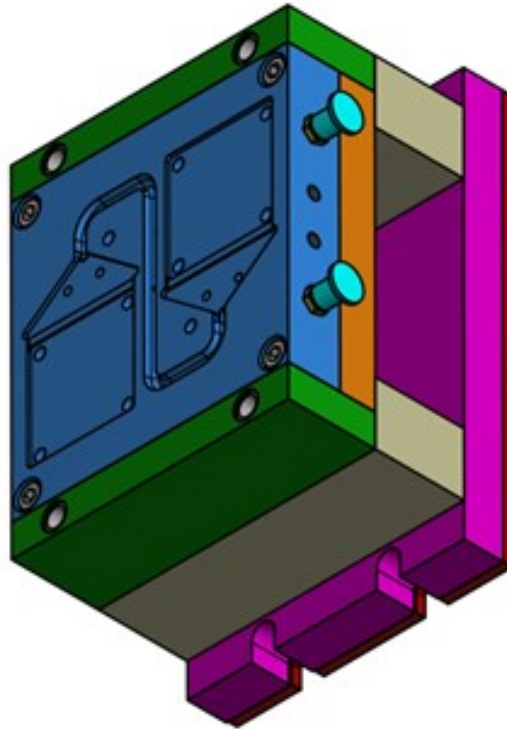
P VI. Kusovník

P VII. CD disk (výkresová dokumentace, sestava formy v 3D včetně všech komponentů,  
Bakalářská práce v elektronické podobě)

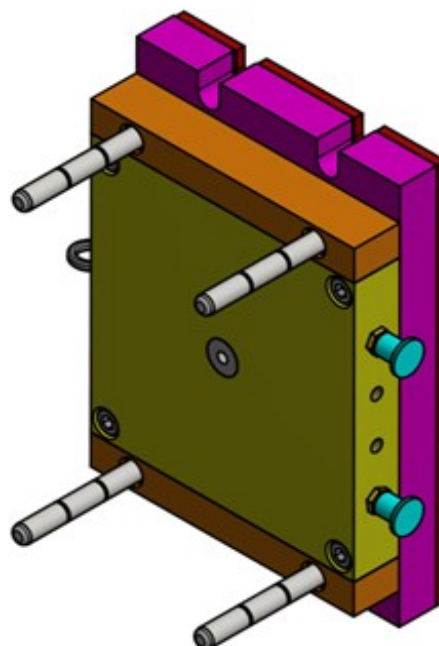


**PŘÍLOHA P I: STRANY VSTŘIKOVACÍ FORMY**

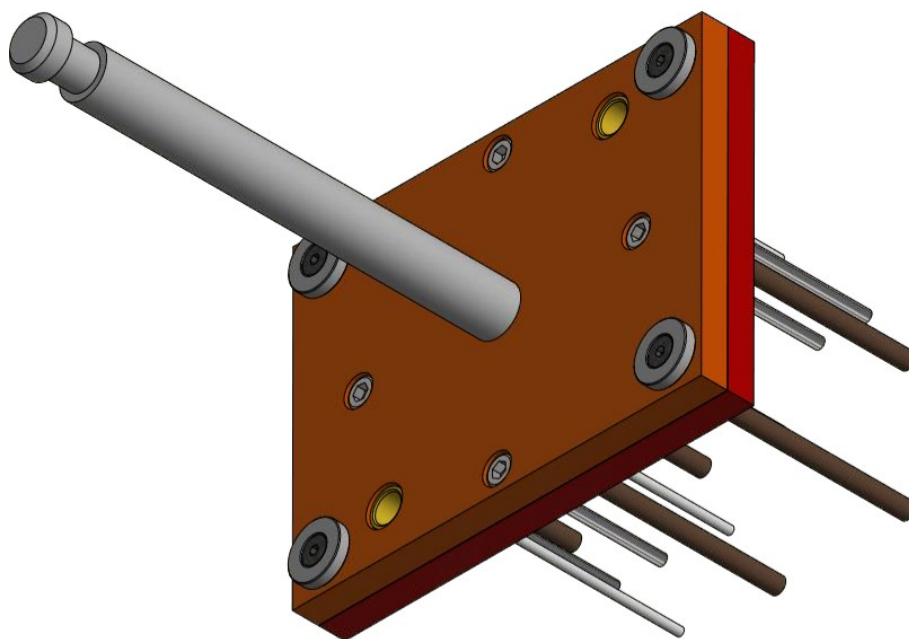
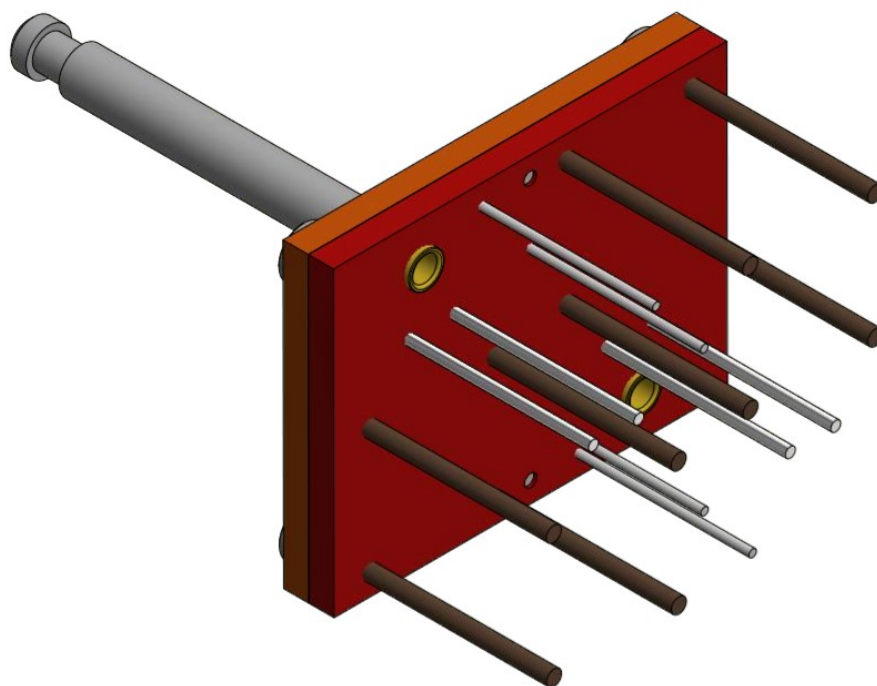
Levá strana vstřikovací formy



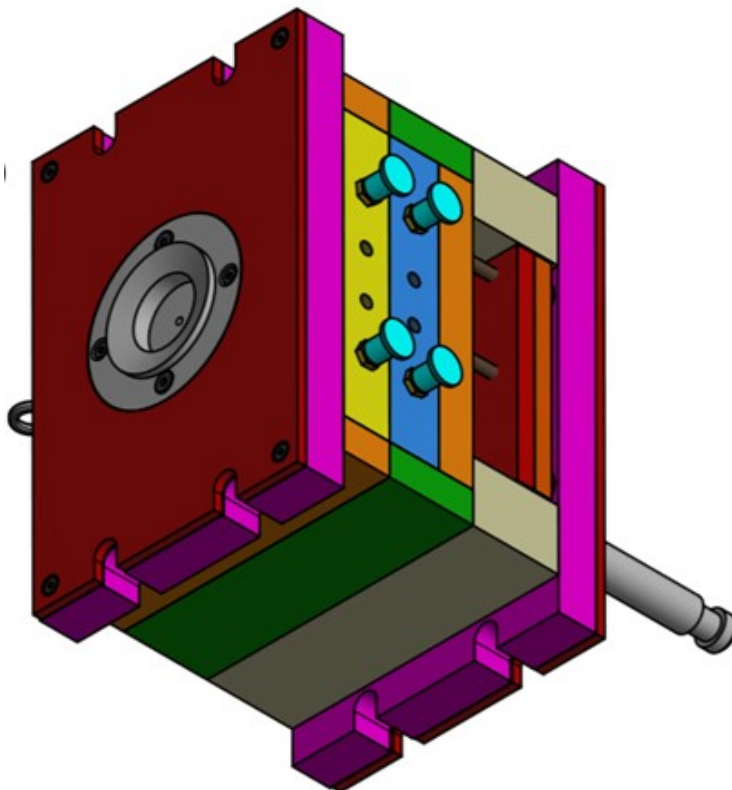
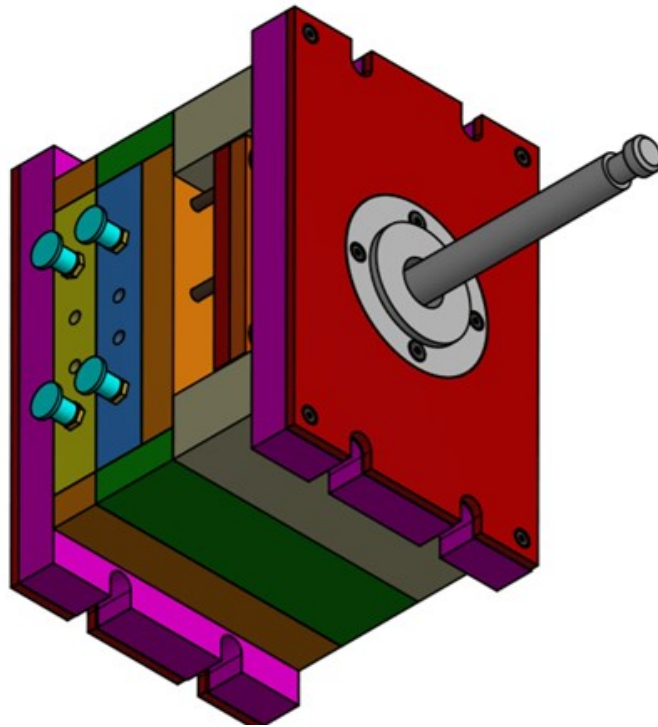
Pravá strana vstřikovací formy



## PŘÍLOHA P I: VYHAZOVACÍ SYSTÉM

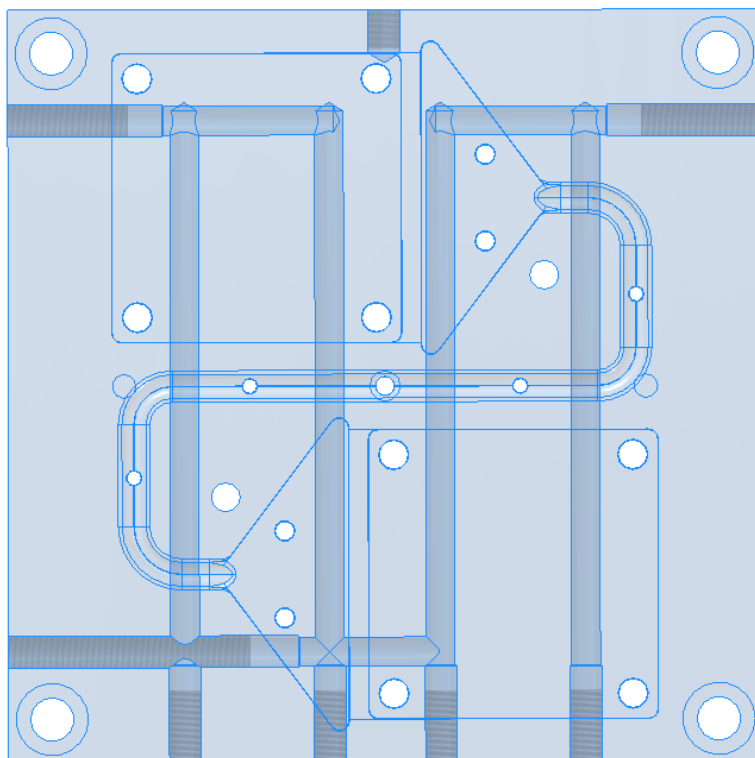


## PŘÍLOHA P III: VSTŘIKOVACÍ FORMA



**PŘÍLOHA P IV: CHLAZENÍ TVAROVÝCH ČÁSTÍ**

Tvarová deska levá



Tvarová deska pravá

