

# Návrh vstřikovací formy pro výrobu propagačního předmětu

Karel Kopřiva

---

Bakalářská práce  
2020

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2019/2020

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE** (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Karel Kopřiva**  
Osobní číslo: **T18189**  
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Technologická zařízení**  
Forma studia: **Prezenční**  
Téma práce: **Návrh vstřikovací formy pro výrobu propagačního předmětu**

### Zásady pro vypracování

1. Vypracujte literární studii na dané téma.
2. Vytvořte 3D model zadaného dílu.
3. Navrhněte vstřikovací formu pro zadaný díl.
4. Nakreslete 2D řez vstřikovací formou včetně příslušných pohledů a kusovníku.
5. Ověřte vhodnost návrhu pomocí tokových analýz.

Forma zpracování bakalářské práce: **Tištěná/elektronická**

**Seznam doporučené literatury:**

- BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů: vstřikování termoplastů*. Díl 1. 2. opr. vyd. Brno: Uniplast, 1999, 133 s.
- ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů: polymery*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 28 s. ISBN 978-80-7204-833-5.
- ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. První vydání. Praha: Grada Publishing, 2018. 455 stran.
- DANGEL, Rainer. *Injection moulds for beginners*. Munich: Hanser Publishers, 2016. ISBN 978-156-9906-316.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Fluxa**  
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2020**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **22. května 2020**

L.S.

---

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

---

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

## **PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji 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;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užit své dílo – 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);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem 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.

### **Prohlašuji,**

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se bude zabývat návrhem vstříkovací formy pro reklamní předmět, kterým je stojánek na tužky. Při psaní teoretické části byla popsána problematika vstříkování a vstříkovací stroj se všemi jeho částmi. Praktická část obsahuje návrh 3D modelu sestavy vstříkovací formy v programu Catia V5 a ověření vhodnosti návrhu v programu Autodesk Simulation Moldflow Synergy 2016.

Klíčová slova: vstříkování, CAD, počítačová simulace, model, konstrukce

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis deals with the design for plastic product, which is a pencil holder. In the theoretic part of the bachelor work there are the problems of injection, principles of the construction of injection moulds, choice of material and injection machine. The practical part contains the design of the 3D model of the injection mould assembly in Catia V5 and verification of the design suitability in Autodesk Simulation Moldflow Synergy 2016.

Keywords: injection moulding, injection mould, CAD, flow simulations, injection machine

Poděkování:

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu své bakalářské práce Ing. Petru Fluxovi, za jeho cenné rady, čas a podporu bez kterých by tato práce nemohla vzniknout.

Čestně prohlašuji, že jsem práci vypracoval bez cizí pomoci a veškerou použitou literaturu v průběhu tvorby citoval. V případě publikování výsledků této práce, je-li to uvolněno na základě licenční smlouvy, budu uváděn jako spoluautor.

Prohlašuji, že odevzdaná tištěná verze a verze nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně dne.....

.....

Podpis autora

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>10</b>
<b>1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ</b> .....	<b>11</b>
1.1 PRŮBĚH VSTŘIKOVACÍHO CYKLU .....	11
1.2 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	12
1.2.1 Uzavírací jednotka .....	12
1.2.1.1 Hydraulicko-mechanická uzavírací jednotka.....	13
1.2.1.2 Elektromechanická uzavírací jednotka .....	13
1.2.2 Řízení vstřikovacího stroje.....	14
1.2.3 Vstřikovací jednotka .....	15
1.3 VSTŘIKOVANÉ MATERIÁLY .....	16
1.3.1 Volba materiálu při návrhu výrobku: .....	17
1.3.2 Zpracovatelské podmínky .....	17
<b>2 VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK</b> .....	<b>18</b>
2.1 KONSTRUKCE .....	18
2.1.1 Tloušťka stěn.....	18
2.1.2 Dělicí rovina.....	19
2.1.3 Výztužná žebra.....	19
2.1.4 Úkoso a podkoso .....	19
2.1.5 Otvory a jádra.....	21
2.1.6 Ostré rohy.....	22
2.1.7 Smrštění.....	22
2.2 PŘESNOST VSTŘIKOVANÝCH PLASTOVÝCH DÍLŮ .....	23
2.2.1 Jakost povrchu.....	25
<b>3 VSTŘIKOVACÍ FORMA</b> .....	<b>27</b>
3.1 ČÁSTI FORMY .....	27
3.1.1 Temperační systém forem .....	28
3.1.1.1 Pasivní temperace: .....	28
3.1.1.2 Aktivní temperace:.....	29
3.1.2 Násobnost forem .....	30
3.1.3 Vtokový systém.....	31
3.1.4 Vyhazovací systém.....	32
3.1.4.1 Vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků: .....	33
3.1.4.2 Vyhození výrobku pomocí stírací desky: .....	34
3.1.4.3 Trubkový vyhazovač: .....	34
3.1.4.4 Šikmé vyhazovače: .....	34
3.1.4.5 Pneumatické vyhazování: .....	35
3.1.5 Odvzdušnění formy .....	35
3.2 MATERIÁLY PRO VÝROBU VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	36
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>37</b>
<b>4 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE</b> .....	<b>38</b>
<b>5 NAVRHOVANÝ VÝROBEK</b> .....	<b>39</b>

5.1	VOLBA MATERIÁLU .....	40
5.2	VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE .....	41
<b>6</b>	<b>KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY .....</b>	<b>42</b>
6.1	NÁSOBNOST FORMY .....	42
6.2	URČENÍ DĚLÍCÍCH ROVIN .....	43
6.3	ODVZDUŠNĚNÍ FORMY .....	43
6.4	DUTINA FORMY .....	44
6.5	BOČNÍ POSUVNÉ ČELISTI .....	45
6.6	VTKOVÝ SYSTÉM .....	46
6.7	TEMPERAČNÍ SYSTÉM .....	47
6.8	VYHAZOVACÍ SYSTÉM .....	48
6.9	VODÍCÍ, UPÍNACÍ PRVKY A MANIPULAČNÍ PRVKY VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	49
<b>7</b>	<b>OVĚŘENÍ VHODNOSTI NÁVRHU POMOCÍ TOKOVÝCH ANALÝZ.....</b>	<b>52</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>54</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>55</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>57</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>58</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>60</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>61</b>



## ÚVOD

Vstřikování polymerních materiálů, o kterém bude tato práce pojednávat, je v dnešní době nejpoužívanější metoda jejich zpracování. Způsobují to hlavně vlastnosti těchto materiálů, jako je jejich dobrá zpracovatelnost a dostupnost. Za pomoci této technologie je možné zpracovávat plasty i kaučukové směsi a své uplatnění najde jak v elektrotechnice, optice či zdravotnictví, tak v přístrojích pro domácnost, volný čas nebo sport. Při jejich využití ve výrobě má nezastupitelné místo právě zde navrhovaná vstřikovací forma.

Technologie vstřikování zaznamenala v posledních letech silný rozvoj. Do výrobních procesů firem bylo zařazeno nespočet nových zpracovatelských postupů, které umožnily vyrábět velmi tvarově složité výrobky i velice malých rozměrů. Aby bylo možné tento druh technologie aplikovat, je ovšem nutné řešit toky taveniny v komplikovaných geometriích. Pro tento účel slouží výkonné simulační SW usnadňující řešení.

Dále je pro přesnou výrobu nutné mít určité množství teoretických vědomostí, které se díky neustálému rozvoji celého oboru každým rokem navyšují. Patří sem znalosti reologických, chemických či fyzikálně mechanických vlastností polymerů nebo také principy práce zpracovatelských strojů a měřicí techniky.

Pro každý výrobek je nutná jiná konstrukce formy, což dělá tuto technologii finančně náročnou a obecně vhodnou zejména do velkosériové výroby. Ke konstrukci forem se používají normálie ze stavebnicového systému. K těm nejznámějším patří HASCO, D-M-E a STRACK. Jejich využití umožní výrazně snížit čas a náklady na výrobu formy oproti cenám kusové výroby.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

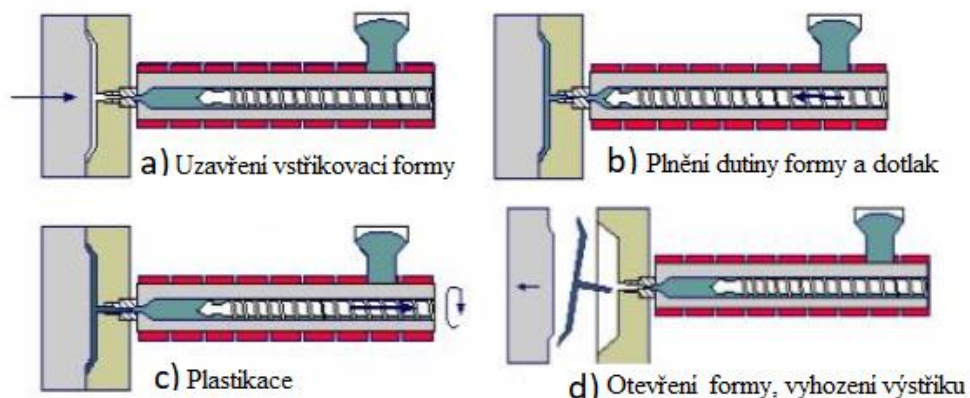
## 1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování představuje nejrozšířenější způsob výroby plastových dílů, konkrétně se jedná o tepelně-mechanické tváření. Podílí se na něm materiál pro požadovanou součást, vstřikovací stroj, jeho výrobní cyklus a forma jako nástroj pro tváření taveniny. Všechny zmíněné faktory ovlivňují vlastnosti a kvalitu výsledného výstřiku.

Samotná výroba probíhá nadávkováním polymeru do vstřikovacího stroje a po jeho plastikaci je dopraven do dutiny formy, kde získá tvar. Po ochlazení se získá hotový výrobek. [1, 2]

### 1.1 Průběh vstřikovacího cyklu

Vstřikovací cyklus je sled přesně definovaných úkonů, díky kterému se mohou přesně řídit jednotlivé části procesu, během kterého se plast připravuje ke vstříknutí do formy k převzetí jejího tvaru. Jako počátek cyklu se většinou bere uzavření formy. [1, 2]



Obr. 1 Vstřikovací cyklus [2]

Celý cyklus lze rozdělit na dvě části, jedna se týká plastikační jednotky a druhá formy. Průběh je následující. K zavřené formě se přisune plastikační jednotka (Obr. 1a), ze které se vstřikuje materiál do dutiny formy (Obr. 1b). Následuje doba plnění dutiny, která může být různá v závislosti na velikosti a tvaru výrobku. Po ukončení fáze plnění dále působí tlak na vstříknutý materiál k zamezení vlivu smrštění a zpětnému toku. Tato fáze se nazývá dotlak. [6]

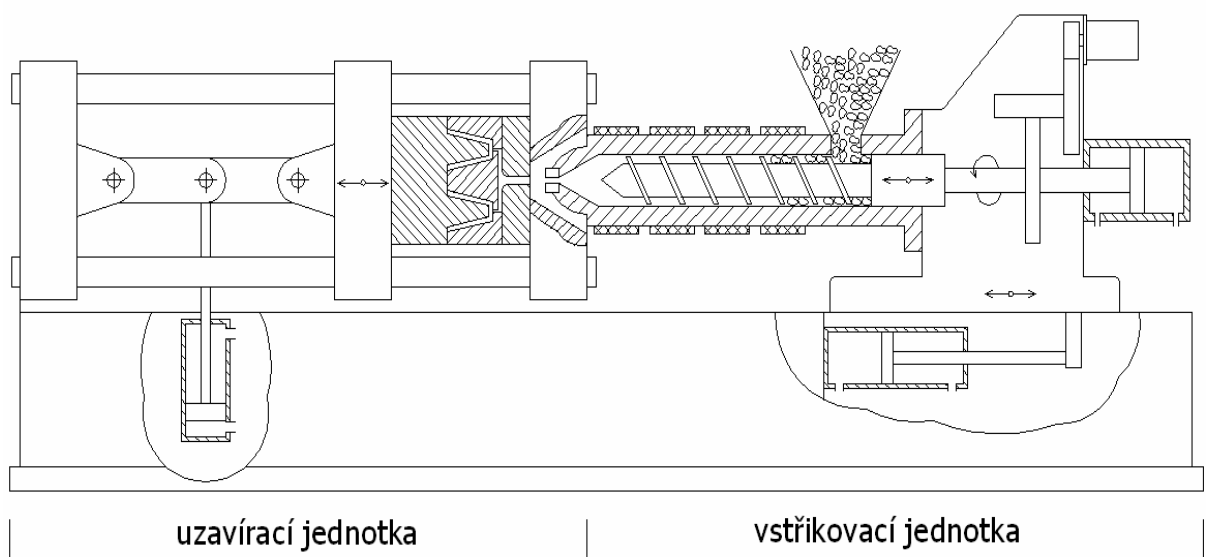
Po skončení této fáze se vstřikovací jednotka od formy opět oddálí a začíná v ní příprava další dávky materiálu (Obr. 1c). Jakmile je výstřik ve formě dostatečně ochlazen (v případě použití termoplastů), forma se otevře a výstřik je vyhozen (Obr. 1d). Po očištění

formy následuje nový cyklus. Výsledný výrobek ještě nějakou dobu chladne mimo dutinu formy a následně se odstraňuje vtok pro dosažení lepší jakosti povrchu, pokud již nebyl oddělen od výrobku ve formě. [1]

## 1.2 Vstříkovací stroj

Jsou to stroje, na kterých lze vyrábět velmi složité výrobky v úzkých tolerancích a obrovských sériích. Mohou se zde zpracovávat termoplasty, reaktoplasty i kaučukové směs. [5]

Vstříkovací stroj může mít různá uspořádání. Je třeba, aby byl dokonale seřízen a kvalitou svých parametrů zajišťoval výrobu výstřiků s vysokou jakostí. V dnešní době je používán velký počet různých konstrukcí vstříkovacích strojů, které se od sebe liší různými parametry, například maximálním množstvím zplastikovaného materiálu, který jsou schopny najednou vstříknout do formy, provedením, svou rychlostí, cenou a stálostí parametrů. Konstrukci stroje lze rozdělit na vstříkovací jednotku a uzavírací jednotku (Obr. 2). [1]

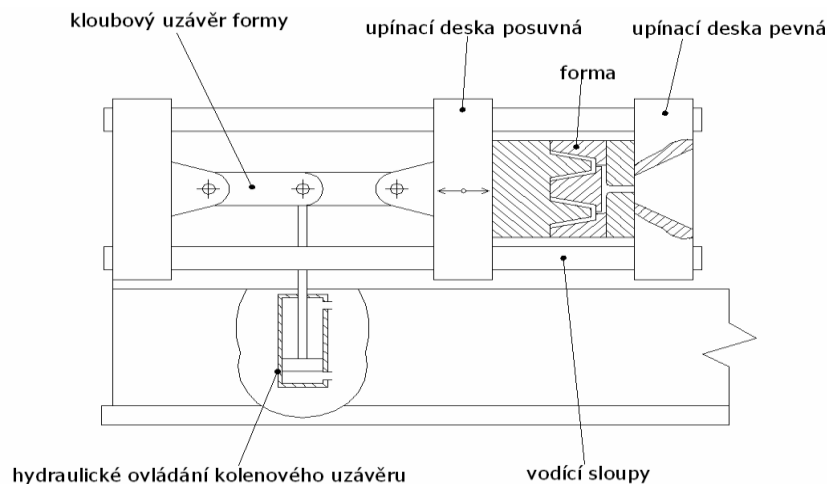


Obr. 2 Vstříkovací stroj [7]

### 1.2.1 Uzavírací jednotka

Tato jednotka má za úkol zavírat a otevírat formu dle nastavení a zajistit její uzavření tlakovou silou, aby při vstříknutí zplastikovaného materiálu nedošlo k otevření formy. Velikost této síly je nastavitelná. Je vypočtena ze vstříkovacího tlaku a plochy dutiny formy v dělicí rovině. Mechanismus uzavírací jednotky může být různého provedení a je

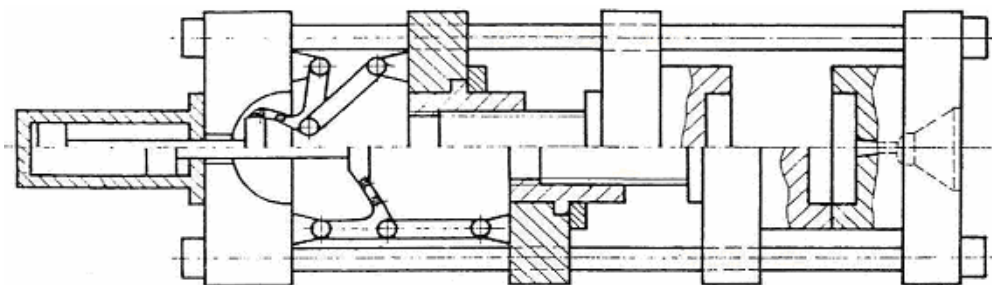
poznávacím znakem celkové kvality uzavírací jednotky. Základními součástmi jsou vodící sloupky, pevná a pohyblivá upínací deska s potřebným upínacím systémem a mechanismus, který je zdrojem síly pro celý proces. Hydraulický píst může být napojen přímo na pohyblivou upínací desku nebo stejně jako u elektromotoru může být síla přenášena přes další mechanický systém. [1]



Obr. 3 Uzavírací jednotka [9]

#### 1.2.1.1 Hydraulicko-mechanická uzavírací jednotka

Nejčastěji u strojů s malou gramáží, funguje na principu kloubového mechanismu, který ovládá hydraulický píst. Dále má velmi dobrou tuhost a rychlost uzavírání.

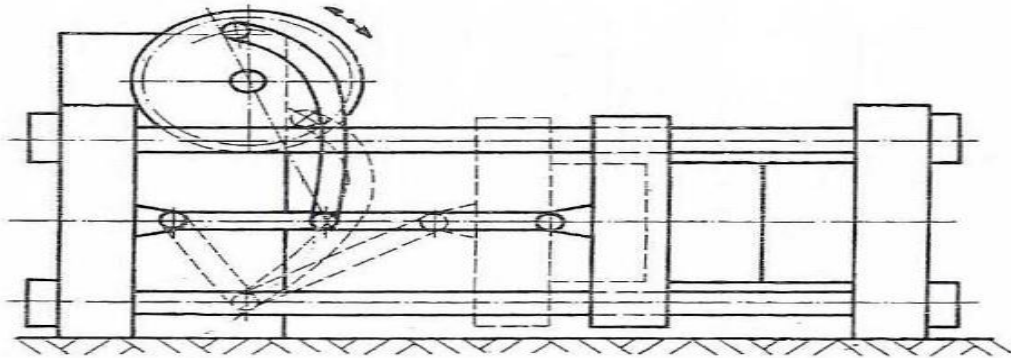


Obr. 4 Hydraulicko-mechanická uzavírací jednotka [5]

#### 1.2.1.2 Elektromechanická uzavírací jednotka

Jelikož hydraulické jednotky jsou velmi náročné co se týká spotřeby energie, vzniká snaha nahradit je elektrickým pohonem, který by klikový mechanismus ovládal. Účinnost tohoto zařízení se pohybuje mezi 0,85 a 0,95. Mezi jeho výhody patří značná jednoduchost v rámci konstrukce, vysoká rychlost uzavření a jednoduché nastavení pracovního cyklu.

V neposlední řadě také nízké nároky na energii. Nevýhodou je potřeba velkého množství hydraulické kapaliny v systému. [5]



Obr. 5 Elektromechanická uzavírací jednotka [5]

### 1.2.2 Řízení vstřikovacího stroje

Jedním z nutných faktorů je možnost stálé reprodukovatelnosti technologických parametrů stroje. Dále je důležitý také stupeň řízení a snadná obsluha. Pokud budou tyto parametry kolísat, projeví se to na kvalitě a přesnosti výsledného výstřiku. Řízení zajišťují vhodné regulační prvky. [1]

V dnešní době již vstřikovací stroje nepracují bez procesorové techniky a místo běžného nastavování parametrů pomocí textové formy se využívají grafické formy, které se zpravidla zobrazují na displeji stroje. Pracuje se s možností nastavení každého parametru stroje samostatně. Takto graficky znázorněný cyklus, zpracovaný v programové sekvenci, je možné snadno měnit a kontrolovat viz Obr. 6. Seřízení lze rozdělit do několika dílčích částí, především se jedná o sestavení příslušného grafického zobrazení, nastavení potřebných parametrů a následnou kontrolu celého procesu. [1]

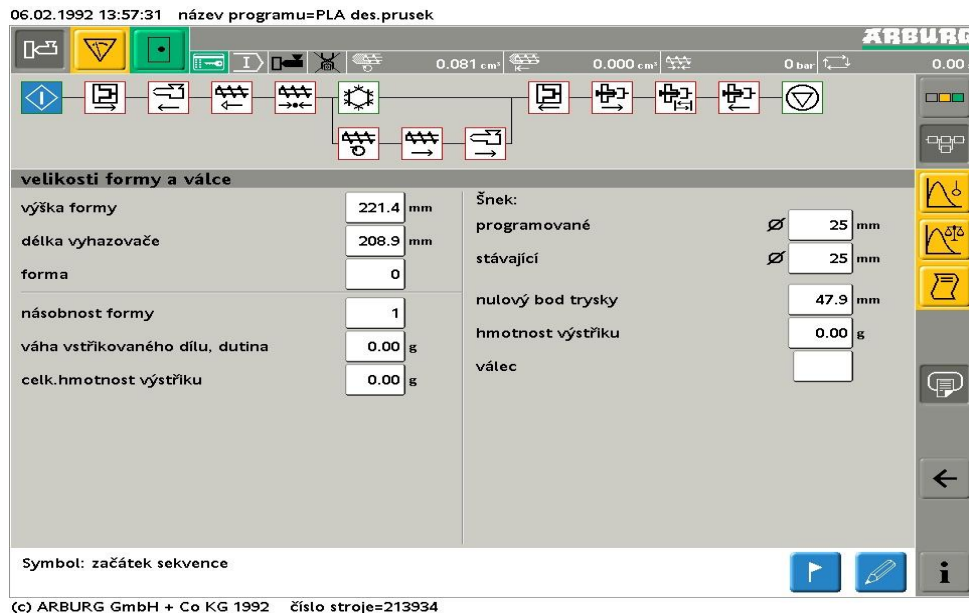
Správné nastavení parametrů kontroluje řídicí jednotka, která následně poskytuje zpětnou vazbu. Při problému vyžadujícím pozornost obsluhy probíhá následná volba úprav, díky snadnému přístupu přes dotykový displej. Seřízení stroje má podstatný vliv na přesnost a kvalitu výrobku. [1]

Parametry s podstatným vlivem na jakost výstřiku:

- velikost dotlaku;
- doba trvání dotlaku;
- velikost tlaku, pod kterým se vstřikuje zplastikovaný materiál do formy;
- délka chlazení;

- teplota taveniny a homogenita taveniny mají vliv na fyzikální a mechanické vlastnosti.

Všechny výše zmíněné vlastnosti výrobku ovlivňuje také forma. [1]

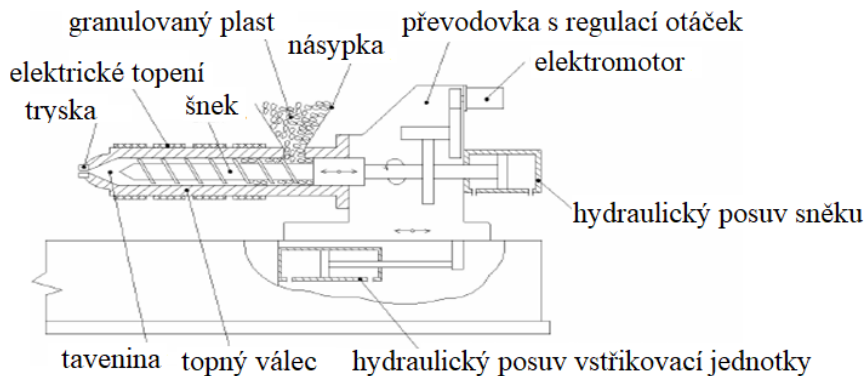


Obr. 6 Schéma výrobního programu na stroji Arburg [8]

### 1.2.3 Vstřikovací jednotka

Optimální kapacita vstřikovací jednotky je asi 80 % kapacity uváděné výrobcem. Tato skutečnost vzniká v důsledku nutnosti vytvořit rezervu pro případný úbytek hmoty. [1]

Práce vstřikovacích jednotek spočívá v plastikaci a homogenizaci polymeru dodávaného v podobě granulátu do násypky. Materiál v tomto stavu je za pomoci pohybu šneku plastikován. Děje se tak díky ohřevu topnými tělesy, ale z větší části třením materiálu o sebe a o stěny plastikační komory, zároveň je posouván a hromaděn před čelem šneku viz Obr. 7. [1]



Obr. 7 Schéma vstřikovací jednotky [8]

Ohřev plastikační komory se zpravidla dělí do několika pásem. Jsou to pásma vstupní, přechodové a výstupní. Určitá část energie vznikne díky disipaci. [1]

Při dosednutí trysky do vtokové vložky je nutné zajistit co nejlepší přesnost. Toho se dosahuje díky sousosti, kuželovému tvaru trysky a menšímu poloměru trysky než je v sedle vtokové vložky. Jedná se o nutnou podmínku pro správnou funkci. [1]

### 1.3 Vstříkované materiály

Pro účely vstříkování se mohou použít termoplasty, reaktoplasty nebo kaučukové směsi. Na rozdíl od reaktoplastů a kaučukových směsí je u termoplastů možné mít dobu tváření poměrně dlouhou. Tato skutečnost vzniká z toho důvodu, že tyto materiály nejsou chemicky zesíťovány. Co se týče složení směsi je stejné jako pro jiné druhy zpracování. Je možné vstříkovat jak lehčené, tak i plněné materiály. [9]

Obecně se jedná o látky tvořené makromolekulárními řetězci, což je odlišuje od kovů, které mají strukturu krystalických mřížek. Dělí se na tři základní druhy [1]:

1. termoplasty s přímým řetězcem (lineární polymery) či řetězcem s bočními větvemi (rozvětvené polymery) - práce s těmito materiály je možná díky uvolnění soudržnosti řetězců při ohřevu. Vzniklý viskozní materiál je možné tvářet. Po ochlazení na původní teplotu materiál získává zpět svou pevnost. Jedná se o nejpoužívanější materiály pro vstříkování. Nejznámější z nich jsou PC, PE, PBT, PVC, PET, PMMA, PP, PS.

2. reaktoplasty - tento typ polymerů se vyznačuje tím, že se při ohřevu zvyšuje pohyblivost sítě, ale řetězce se zcela neuvolní. Na konci zpracování jsou řetězce příčně propojeny chemickými vazbami. Tyto vazby vytváří trojrozměrnou síť. Vzniklé zesíťování při tváření je nevratné. Nejznámější z této skupiny jsou nenasycené polyestery, fenoplasty, animoplasty.

3. elastomery - tuto skupinu polymerů je, na rozdíl od předchozích dvou, možné bez porušení deformovat i za běžných podmínek. Taková deformace má při těchto podmínkách vratný charakter. Patří sem hlavně kaučuky. Používání kaučukových směsí umožňuje vyrábět tlustostěnné výrobky. Taková výroba má ovšem větší nároky na výrobní zařízení a také není příliš vhodná pro kusovou výrobu. [5]



### 1.3.1 Volba materiálu při návrhu výrobku:

Při návrhu vhodného materiálu je nutné vzít v úvahu všechny podmínky, za kterých bude výsledná součást pracovat, i její celkové využití. Za použití vstřikování je možné vyrobit již hotovou součást bez nutnosti dodatečného opracování nebo jen s nepatným opracováním.

Výsledný výstřik musí mít, kromě základních požadovaných vlastností, také vhodný tvar pro použití technologie vstřikování, aby navrhované rozměry i jakost byly dosažitelné.

Posuzují se především následující hlediska:

- výsledný produkt musí plnit požadavky definované zadavatelem;
- výroba navrženého produktu musí být reálná a na dostupném stroji snadno realizovatelná za dodržení požadovaných vlastností;
- výběr druhu polymeru pro výrobu vstřikovací formy musí být ekonomický.

Po zvážení všech těchto hledisek konstruktér navrhuje konkrétní materiál nebo i více druhů, které je možné použít. Mezi těmi už později rozhodují pouze méně významné faktory jako dostupnost apod.

### 1.3.2 Zpracovatelské podmínky

Zpracovatelské podmínky mají nezanedbatelný vliv na vlastnosti výsledného výstřiku. Parametry jako teplo, tlak a časové prodlevy určují některé výsledné rozměry i celkové fyzikální či mechanické vlastnosti, které výrobek získá.

Vstřikování plastů do formy je doprovázeno orientací makromolekul a jejich řetězců ve směru toku taveniny, což vyvolává nepravidelné smrštění, pnutí a anizotropii ve hmotě po vychladnutí. [1]

## 2 VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK

### 2.1 Konstrukce

Návrh plastových součástí se řídí jinými pravidly než u součástí z kovu. Je nutné dodržovat určité zásady při navrhování a také se orientovat v celé problematice technologie vstřikování. Při realizování následné výroby plastového dílu je nutné navíc počítat s jistými omezeními co se týče rozměrů a tvaru, jinak by vznikaly problémy při výrobě. [1]

Obecně se dá říci, že čím je součást jednodušší, tím lepší jsou její pevnostní podmínky, celá její výroba se stává jednodušší a finančně méně náročnou. V praxi je ale spíše nutné hledat kompromis mezi všemi požadavky zadavatele zakázky a ekonomikou výroby. [1]

#### 2.1.1 Tloušťka stěn

Tloušťka stěn musí vyhovovat určitým požadavkům, kdy je vedle funkčnosti nutné uvažovat i zatékavost a dráhu, kterou bude polymer téci. Ke všem těmto faktorům je nutné přihlížet. [4]

Obecně se požadavky na tloušťku stěn dají specifikovat následovně: [3]

- funkční (tepelná a elektrická vodivost, pevnost, tuhost, neměnné rozměry atd.),
- ekonomické,
- výrobní.

Z výrobního hlediska je třeba přihlídnout k následujícím faktorům: [3]

- způsob vyhození výstřiku z formy,
- vlastnosti materiálu,
- požadavky na přesnost.

Ekonomické hledisko díky důležitosti snížení výrobních nákladů vede konstruktéra k volbě co nejmenší tloušťky stěn, což v konečném důsledku ovlivní i délku celého vstřikovacího cyklu, jelikož tloušťka stěn výstřiku přímo souvisí s dobou chlazení, jejíž zkrácení vede k lepší produktivitě výroby. [3]

Ovšem snižování tloušťky silně ovlivňuje výsledné vlastnosti, proto je možné považovat snížení tloušťky za řešení pouze v malém množství případů a vždy je třeba brát do úvahy i druh použitého polymeru a míru složitosti výrobku. Stále ale zůstává základní požadavek na co nejmenší tloušťku stěny a také nutnost zachování její rovnoměrnosti. [3]

### 2.1.2 Dělicí rovina

Dělicí rovina představuje plochu, na kterou při každém cyklu dosedají části formy při jejím zavírání. Základním požadavkem na umístění dělicí roviny je umístění vzhledem k výrobku tak, aby bylo zaručeno snadné vyjmutí výrobku z dutiny formy a nebyly jejím umístěním způsobeny vzhledové nebo funkční závady. Dále je nutné, aby při vzniku přetoku bylo umožněno jeho jednoduché odstranění. Dělicí roviny lze rozdělit na hlavní a vedlejší. [3]

Za hlavní dělicí rovinu je obecně považována rovina kolmá ke směru uzavírání formy. Další dělicí roviny jsou nutné pouze u výrobků, které obsahují zápichy, nálitky, boční otvory apod. V zásadě se dělicí rovina umísťuje na hrany nebo vypouklé plochy výrobku. [3]

### 2.1.3 Výztužná žebra

Hlavním požadavkem na navrhování žebor je, aby probíhala ve směru toku taveniny a jejich rozměry, které musí být předem stanoveny, plnily správně svou funkci, tzn. jak vyztužení celé součásti, tak funkci technologickou. Šířka žebor by neměla překročit šest desetin tloušťky stěny, dále se vstupní zaoblení musí pohybovat v rozmezí 0,25-0,40 mm s jednostranným úkosem od 0,5° do 1,5°. Nedodržení těchto zásad způsobí propadliny materiálu na protilehlém povrchu, deformace vlivem vnitřního pnutí a dlouhé dráhy toku. [4]

Žebra pomáhají tečení taveniny ve formě a jsou naprosto nezbytná především u tenkostěnných výrobků, kde by jinak mohlo dojít k zatuhnutí taveniny ve vtokových kanálech ještě před vyplněním formy. Při využití žebor je ovšem nutné počítat s jistými omezeními, a je naprosto nutné, aby díky jejich průběhu nevznikala místa s uzavřeným vzduchem, vytvářející nedostříknuté výrobky, případně jiné vady jako spálená místa na povrchu apod. [4]

### 2.1.4 Úkosy a podkosy

Používají se z důvodu zajištění snazšího odformování výrobku nebo vysunutí jader či vyšroubování závitových trnů. Je nutné, aby byly zařazeny i u nálitku, žebor či otvorů, ne jen u hlavních ploch výrobku. [8]

Úkosy, tzn. rozdíl mezi rozměrem v místě kde úkos začíná a rozměrem kde končí, spadá do tolerance daného rozměru, na což je nutno brát zřetel. [8]

Obecné zásady pro umístování úkosů:

- úkosy musí být na každém z povrchů ve směru odformování;
- úkosují se všechny stěny a prvky, které jsou zaformovány v obou polovinách formy tak, aby bylo ulehčeno odformování;
- využívá se úhlu  $1^\circ$  plus úkos  $1^\circ$  na každých 0,2 mm hloubky dezénu povrchu dutiny formy, jímž je dutina opatřena;
- minimální použitelný úkos je  $0,5^\circ$  pro většinu materiálů, kromě několika vyjímek, jako například plastů na bázi SAN, které vyžadují minimálně  $1^\circ$ - $2^\circ$  úkosu.

Při použití menšího úhlu úkosu než výše zmíněného, se zvyšuje riziko poškození dílu během odformování. Eliminace tohoto rizika je možná díky speciální úpravě povrchu dutiny formy, která má ovšem negativní vliv na délku vstřikovacího cyklu, což ovlivňuje výrobní náklady na vstřikovaný díl. Požadavky na úkosy určuje mnoho faktorů jako typ vyhazovacího systému, druh použitého polymeru, geometrie dílu apod. Obecně lze říci, že leštěný povrch vyžaduje menší úkosy na povrchu výrobku, výjimkou jsou v tomto ohledu plasty na bázi polyuretanu, které jdou lépe odformovat, pokud je povrch formy zdrsněn. [8]

Používání podkosů, především v případech kdy, některé z částí vstřikovaného dílu mohou působit problémy při standardním odformování v hlavním směru. Tento problém je možné v některých případech vyřešit tzv. deformačním odformováním podkosů. To umožňuje nepřítomnost dalších odformovacích prvků jako jsou boční jádra apod. Hlavním požadavkem takového řešení je správná hloubka podkosu a jeho tvar pro přetažení tohoto konstrukčního prvku přes příslušný díl vstřikovací formy. Tento postup při odformování funguje pouze v případě, že jsou podkosy umístěny mimo tuhé oblasti vstřikovaného dílu jako rohy, žebra apod. Je nutné, aby měl vstřikovaný díl prostor pro pružnou deformaci. Za základní pravidlo pro správné navržení podkosu je považováno dodržení procentuálních poměrů mezi vnitřním rozměrem dílu a podkosu dle následujícího vztahu (1). [8]

$$\% \text{PODKOSU} = \frac{D-d}{D} \cdot 100 \quad (1)$$

Není doporučeno používání podkosů u vstřikovaných dílů vyráběných z křehkého nebo tuhého plastu, jako například PC, vyztužené PA, PS apod. U těchto druhů polymerů lze uvažovat s podkosy, ale pouze do 2 %. Dále je nutné, aby byly stěny podkosů pružné, hrany zaobleny a úkosovány pro snadné odformování. V opačném případě by hrozilo

poškození výrobku. Naopak vstřikované díly vyráběné z pružných a méně pevných plastů mohou mít tento poměr i 5 až 10 %. [8]

### 2.1.5 Otvory a jádra

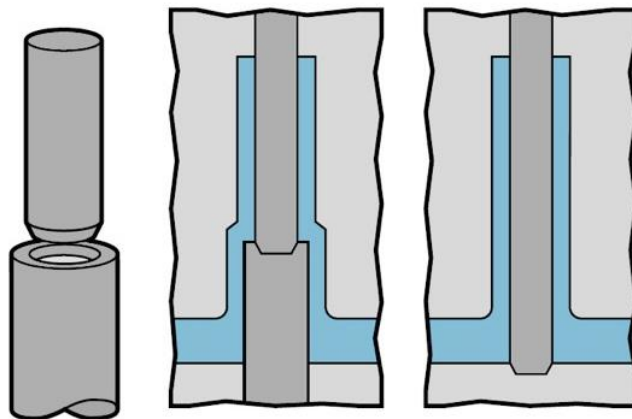
Jádra jsou části formy, které vytváří vnitřní konstrukční prvky vstřikovaného dílu jako jsou otvory, zahloubení, kapsy apod. Dále mohou zaujímat místo ve formě všude tam, kde je nutné vyhnout se velké tloušťce stěny pro zachování rovnoměrnosti v tloušťce stěn výrobku. [8]

Všude, kde je to možné, navrhují se vstřikované díly tak, aby jádro bylo odděleno od dílu ve směru odformování. Pokud tento krok není možný, musí být forma vybavena například pohyblivými jádry, což negativně ovlivňuje cenu formy a náklady na její údržbu. Při plnění formy vznikají značná boční zatížení na jádra, která tvoří hluboké otvory. Tato zatížení jsou schopna vychýlit jádra ze správné pozice, což má za následek změnu geometrie vstřikovaného dílu, v horším případě až poškození jádra. [8]

Obecný požadavek při návrhu je následující, poměr délky a průměru jádra by neměl překročit hodnotu 3:1. Je možné použít i poměr 5:1, tato možnost je ovšem proveditelná pouze pokud plnění probíhá symetricky kolem jednostranně ukotveného jádra. [8]

Míra podepření jádra ovlivňuje doporučený poměr. Při podepření na obou stranách se může průměr délky a poměru jádra přibližně zdvojnásobit. [8]

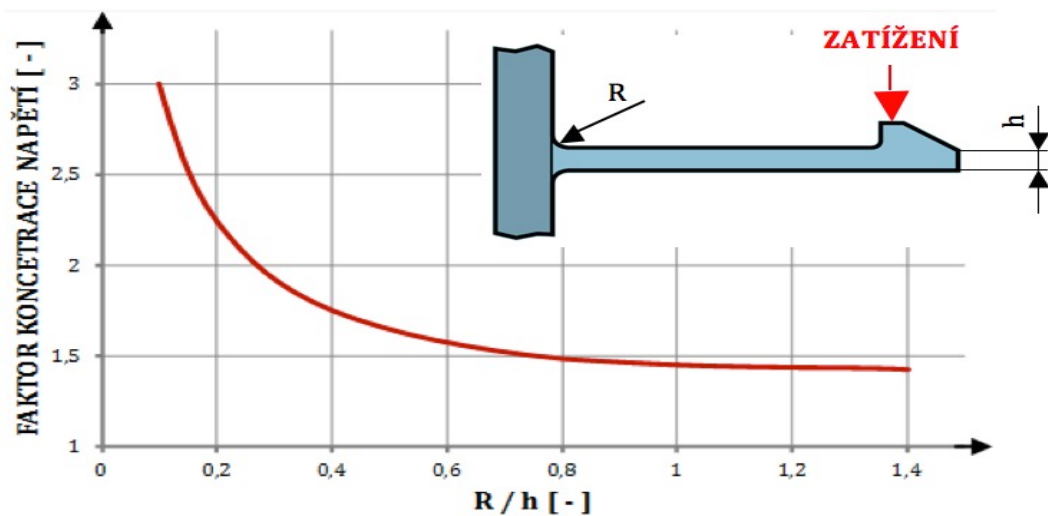
Kvalitně podepřená a provázaná jádra mnohem lépe odolávají namáháním, kterými na ně tavenina plastu působí, na rozdíl od jader na tupo opřených o protilehlou stěnu formy viz Obr. 8. [8]



Obr. 8 Vzájemné provázání jader [8]

### 2.1.6 Ostré rohy

Z důvodu koncentrace napětí v oblasti kolem ostrých hran a díky tomu nežádoucímu snížení mechanické odolnosti plastového dílu, se obecně bere za nejvhodnější jimi vstřikovaný díl neopatřovat. Vliv radiusu na koncentraci napětí viz Obr. 9. Z obrázku je jasně patrné, že koncentrace napětí strmě klesá pokud poměr radiusu a tloušťky stěny přesáhne zhruba hodnotu 0,2. Naopak pokud je tento poměr příliš velký, rozdíly v tloušťkách ve vybraných oblastech způsobí vznik propadlin či staženin. [4]



Obr. 9 Vliv velikosti radiusu na koncentraci napětí [8]

### 2.1.7 Smrštění

Jedná se o změnu objemu výrobku vůči formě, ke které dochází díky fyzikálním a chemickým dějům, které vznikají při procesu tváření. Projevy smrštění nastávají především při tuhnutí taveniny a dodatečně po odformování vstříknutého výrobku z formy. [4]

Pro zaručení požadovaného výsledku i za předpokladu smrštění je potřebné větší množství dílčích prací. Konstruktor dílu vyráběného technologií vstřikování by pokud možno měl navrhnout takovou tloušťku stěny a konstrukční prvky, aby bylo výrobek možné touto technologií zhotovit. Dodavatel materiálu musí zajistit jeho konstantní vlastnosti a spolehlivost co se týče mechanických vlastností. Technolog nastavuje správné zpracovatelské podmínky a konstruktor vstřikovací formy zajišťuje formu s rovnoměrným plněním taveninou, vhodný temperační systém a nutné zvětšení dutiny formy. Spojení

těchto prací vede po vychladnutí vstřikovaného dílu, a jeho smrštění, k požadovaným finálním rozměrům s odpovídajícími vlastnostmi výrobku dle zadání zákazníka. [8]

Rozdělení: [4]

- výrobní smrštění: vyjadřuje se v procentech vůči rozměrům formy a jedná se o rozdíl mezi velikostí tvarové dutiny a rozměry výsledného výrobku;
- dodatečné smrštění: za takové považujeme změnu rozměrů výrobku po delším časovém odstupu po jeho vyrobení při normální teplotě, nebo změnu rozměrů výrobku při vystavení zvýšené teplotě.

Míra smrštění je ovlivněna mnoha vedlejšími efekty. Jedná se především o konstrukční uspořádání vstřikovaného dílu. Mimo jiné mohou celkové smrštění ovlivňovat především následující faktory: [8]

- technologické parametry procesu vstřikování jako jsou dotlak, tlak a doba působení, teplota taveniny, teplota formy, délka chlazení nebo rychlost vstřikování taveniny;
- směr toku taveniny;
- přídatná plniva v použitém materiálu (vlákna, kuličky apod.);
- způsob plnění dutiny formy;
- kontrakce polymerních materiálů a to i při dotlaku.

Naopak k mírnému zvětšení dochází vlivem délkové teplotní roztažnosti kovového materiálu vstřikovací formy. [8]

## 2.2 Přesnost vstřikovaných plastových dílů

Při výrobě dílů pomocí vstřikování vznikají nepřesnosti způsobené technologií výroby, obecně výrobou nebo i lidským faktorem. Z toho plyne, že rozměry dílu na výkrese jsou pouze orientační a vždy se liší v určitých mezích, které nazýváme toleranční pole. Čím je toleranční pole užší, tím je výrobek přesnější. Dosažitelnost těchto mezí při technologii vstřikování ovlivňuje řada faktorů: [8]

- technologické parametry procesu vstřikování, například smrštění, které je velmi lehce ovlivnitelné dotlakem nebo teplotou vstřikovací formy;
- samotná konstrukce vstřikovací formy;

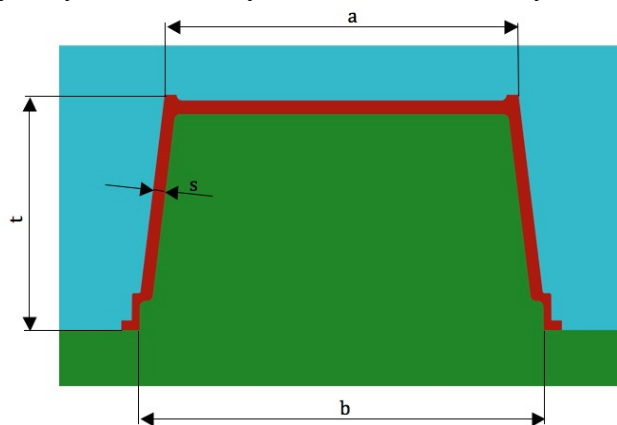
- okolní prostředí; některé materiály jsou citlivé na vlhkost, což může ovlivnit jejich rozměry stejně jako teplota.

Pro udržení rozměrů v daném tolerančním se dodržují následující doporučení: [8]

- pokud má díl úzké toleranční pole, využívá se materiál s nižší hodnotou smrštění;
- nepředepisování zbytečně úzkých tolerančních polí u rozměrů, které ovlivňuje dosedání obou polovin formy či ovlivněných pohyblivými komponenty ve formě jako jsou pohyblivá jádra;
- nepředepisování příliš úzké tolerance v místech, kde je to rizikové, co se týče vzniku deformací již při samotném vstřikování;
- všechny díly vstřikovací formy se vyrábí v rozměrech co nejbližších středu tolerančního pole, což zaručí rozměry výsledného výstřiku nejbližše daným rozměrům.

Obecně se úzké tolerance předepisují pouze v případech, kdy je to opravdu nutné. Díky fyzikálním principům je ve skutečnosti nemožné, aby se produkovaly plastové díly touto technologií ve stejných tolerancích jako kovové díly. S touto problematikou je nutné se velmi pečlivě seznámit před započítím návrhu formy, jelikož v praxi často dochází ze strany konstruktéra plastového dílu k předepsání tak úzkých tolerančních polí, kterých není možné technologií vstřikování dosáhnout. Což je navíc většinou pro funkci daného dílu naprosto zbytečné a celý proces značně prodraží či dokonce znemožní. Rozměry plastového dílu lze rozdělit na: [8]

- přímo související s konturami a tvary vstřikovací formy - viz Obr. 10 rozměry a, b;
- související nepřímo např. vzniklé dosednutím obou částí vstřikovací formy nebo pohybem pohyblivých částí formy - viz Obr. 10 rozměry s, t.



Obr. 10 Přímé a nepřímé související rozměry dílu s rozměry formy [8]



Tolerance příslušného rozměru se volí podle druhu použitého plastu, třídy požadované přesnosti a řešeného rozměru, jak ukazuje Tab. 1. Tolerování rozměrů plastových vstřikovaných dílů se velice dobře provádí podle normy DIN 16901. [8]

Tab. 1 Tolerance rozměrů plastových vstřikovaných dílů dle DIN 16901 [8]

Třída přesnosti	Typ rozměrů	Nominální rozměr										
		0-1	1-3	3-6	6-10	10-15	15-22	22-30	30-40	40-53	53-70	70-90
extra přesné	A	0,10	0,12	0,14	0,16	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28	0,31	0,35
	B	0,05	0,06	0,07	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,21	0,25
110	A	0,18	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28	0,30	0,32	0,36	0,40	0,44
	B	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,26	0,30	0,34
120	A	0,32	0,34	0,36	0,38	0,40	0,42	0,46	0,50	0,36	0,60	0,68
	B	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,26	0,30	0,26	0,40	0,48
130	A	0,36	0,38	0,40	0,42	0,46	0,50	0,54	0,60	0,68	0,76	0,88
	B	0,16	0,18	0,20	0,22	0,26	0,30	0,34	0,40	0,48	0,56	0,68
140	A	0,40	0,42	0,44	0,48	0,54	0,60	0,68	0,76	0,86	1,00	1,20
	B	0,20	0,22	0,24	0,28	0,34	0,40	0,48	0,56	0,66	0,80	1,00
150	A	0,46	0,50	0,54	0,60	0,68	0,76	0,86	0,98	1,14	1,36	1,62
	B	0,26	0,30	0,34	0,40	0,48	0,56	0,66	0,78	0,94	1,16	1,42
160	A	0,56	0,60	0,66	0,74	0,84	0,98	1,14	1,32	1,56	1,88	2,30
	B	0,36	0,40	0,46	0,54	0,64	0,78	0,94	1,12	1,12	1,68	2,10

### 2.2.1 Jakost povrchu

Kromě požadavků na zadané rozměry je jedním z důležitých parametrů plastových součástí i jakost jejich povrchu. Existuje velké množství úprav použitelných pro plastové výrobky od úpravy dezénu po barevnost a jiné. Tyto úpravy mají schopnost nejen zvýšit estetický vzhled výrobku, ale i celkové využití. Konečné součásti pak mohou mít různé odstíny barev, drsnosti povrchů, lesk povrchů apod. Jakost povrchu je obrazem povrchu dutiny formy. Plastové výrobky mohou být: [1,4]

- s matným povrchem, který je co se týče výroby nejjednodušší a díky tomu ekonomicky nejvhodnější. Další výhodou je možnost zakrytí některých vzhledových vad po procesu vstřikování jako jsou například studené spoje;

- plochy opatřené dezénem, čímž se dosahuje zlepšení manipulace, snížené průhlednosti, zvýraznění některé z oblastí na výrobku. Stejně jako u matného povrchu je zde možnost zakrytí některých nedostatků. Dezén může být libovolný a kdekoli na výrobku. Omezení dezénu jsou pouze co se týče jeho zhotovení na povrchu formy;
- s lesklým povrchem, kdy se jedná o nejnáročnější a také nejnákladnější operaci, způsobuje to hlavně nutnost náročné opracování dutiny formy pro docílení správné kvality. Za negativní vlastnost výrobků s tímto předepsaným povrchem lze pokládat zvýraznění jeho nedostatků.

### 3 VSTŘIKOVACÍ FORMA

#### 3.1 Části formy

Jedná se o velice komplikovaný nástroj, který dává tavenině plastu její tvar po následném ztuhnutí. Skládá se z velkého množství dílů, které se rozdělují do následujících skupin: [10, 8]

- vtokový systém;
- vyhazovací systém;
- temperační systém;
- tvarové části formy;
- vodící a upínací element.

Na každém vstřikovacím stroji se využívá větší množství forem podobné hmotnosti a velikosti. Dále se díly ve formě dělí na konstrukční (zajišťující její funkci) a funkční (přicházející do styku s taveninou plastu). V dnešní době se drtivá většina forem sestavuje ze stejných nebo velice podobných dílů, na jejichž výrobu se v současnosti specializuje již větší množství firem. Tento způsob sestavování forem značně snižuje čas potřebný pro jejich výrobu. [10, 8]

Formy je možné dělit v základu podle následujících hledisek: [10, 8]

- podle umístění vtokové vložky;
- podle počtu dutin (jednonásobné, více násobné);
- podle konstrukce (jednoduché, čelistové, etážové, vyšroubovací, s výsuvnými jádry);
- na základě vstřikovaného materiálu (termoplasty, reaktoplasty, elastomery);
- podle uspořádání vtoku (dvoudeskové, třideskové, s horkým vtokem).

### 3.1.1 Temperační systém forem

Jedná se o systém kanálků ve vnitřní části formy, přes který proudí chladící médium, díky kterému je udržována konstantní teplota v závislosti na typu vstříkovaného materiálu. Snahou temperačního systému je zajistit co nejrychlejší, a především rovnoměrné chlazení materiálu. Při nesprávné funkci temperačního systému hrozí deformace výrobku. Návrh temperačního systému pro každou formu bere ohled na tvarové vložky, vyhazovače a ostatní části formy. Používá se převážně kruhový průřez kanálků. Vzdálenost kanálků od hrany formy musí být přesně spočítána, aby výsledný temperační systém nezpůsobil nerovnoměrné ochlazování doprovázené snížením tuhosti a pevnosti stěn dutiny formy. V kontextu zákonitostí ovlivňujících přestup tepla mezi chladícím médiem a vstříkovací formou se jako nejvhodnější řešení temperačního systému jeví větší množství kanálků menšího průřezu s malou roztečí. U složitějších forem, kde vzniká možnost nerovnoměrného odvodu tepla z formy, se používá i více na sobě nezávislých temperačních kanálů. Tok chladícího média je nutné orientovat z teplejšího místa ke chladnějšímu místu formy. Energetická bilance formy a prostředí určuje míru ohřátí či naopak ochlazení formy. Na celkové ochlazení po vstříknutí polymerní taveniny mají po temperačním systému vliv i další faktory, jako teplo odvedené přes upínací desky nebo proudění okolního vzduchu. Temperaci lze rozdělit na pasivní a aktivní. [10]

#### 3.1.1.1 Pasivní temperace:

Využívá se kombinace tepelně vodivých a izolačních materiálů. Temperování tepelně vodivými materiály se hodí pro špatně dostupná místa disponující malou plochou pro odvádění tepla (tenké tvárníky). Nejčastější uplatnění zde najdou materiály jako je měď nebo hliník. Do pasivní temperace přes tepelně vodivé materiály spadají i tepelně vodivé vložky, pro jejichž funkci je ovšem nutné spojení s aktivním chlazením. Izolační materiály se využívají především u forem, které je nutné předeřhřát na určitou požadovanou teplotu pro zamezení úniku tepla přes vedení či sálání. Odizolování se provádí přes tzv. izolační desky, které ovšem nemusí izolovat pouze upínací desky, ale je možné využít i na bocích formy, tvárníku a tvárnice. Spolu s ostatními díly formy se jedná o normalizované součásti dodávané výrobcem standardizovaných dílů, například MEUSBURGER, HASCO. [7, 10]

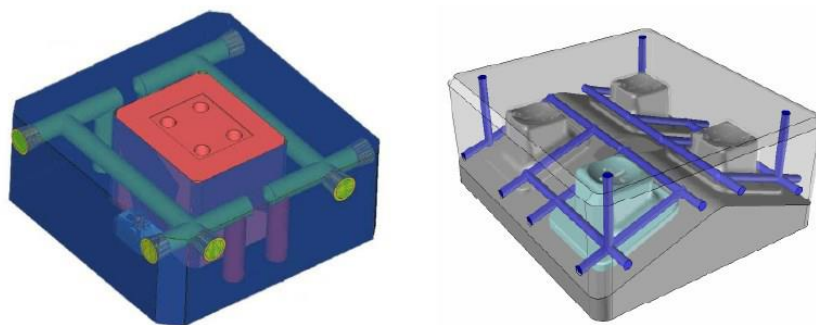
### 3.1.1.2 Aktivní temperace:

Aktivním temperováním se rozumí přímé odvádění nebo dodávání tepla do formy pomocí média nesoucího teplo. Přehled jednotlivých možností je uveden v Tab. 2. [12]

Tab. 2 Přehled používaných médií a jejich vlastností [2]

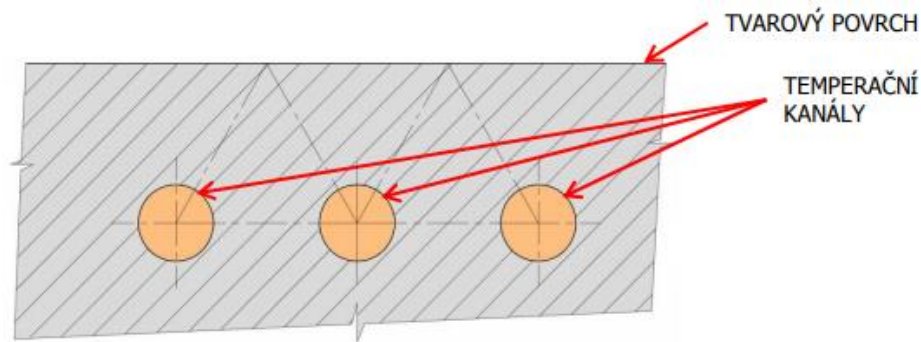
Typ	Výhody	Nevýhody	Poznámka
voda	Vysoký přestup tepla, nízká viskozita, nízká cena, ekologická nezávadnost.	Používaná do 90 °C, vznik koroze, usazování kamene.	V tlakových okruzích lze vodu použít i při vyšších teplotách, lze potlačit upravením vody.
oleje	možnost temperace i nad 100 °C	zhoršený přestup tepla	
glykoly	omezení koroze a ucpávání systému	stárnutí, znečišťování prostředí	

Výše zmíněná média proudí systémem vytvořených kanálů ve formě. Jejich výroba se nejčastěji provádí pomocí vrtání, ovšem je možná i výroba odlišných tvarů pomocí frézování. Takto vyrobené temperační kanály se však musí následně po celé délce těsnit. Funkce temperačních kanálů zejména u složitějších výrobků by měla být ověřena pomocí simulace vstřikování. Temperační systém by měl být navržen tak, aby rozdíl teplot na povrchu dílu při vyhození nebyl větší než 5 °C. [12]



Obr. 11 Ukázka simulace vstřikovací formy [12]

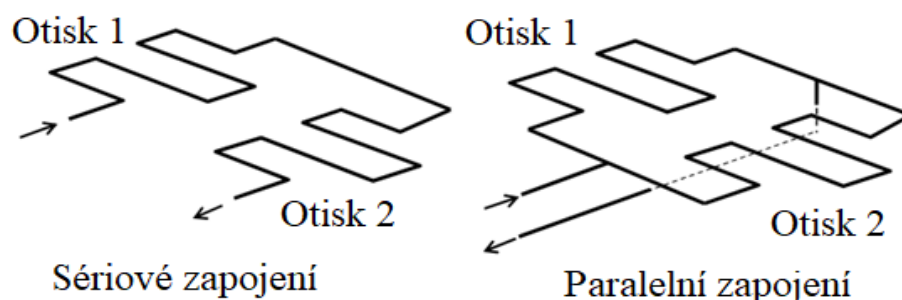
Nejvhodnější umístění temperačních kanálů je takové, kdy kanály mezi sebou a tvarovým povrchem tvoří rovnostranný trojúhelník viz Obr. 12. Takové umístění je kompromisem mezi vyrovnaným teplotním polem a rychlostí chlazení, který vyplývá z praktických zkušeností. [12]



Obr. 12 Rozmístění temperačních kanálů [12]

Do obecných zásad pro úspěšný návrh temperačních kanálů patří: [12]

- průměr temperačních kanálů se volí minimálně 6 mm; při použití menších průměrů se jako nejvhodnější chladicí médium volí upravená voda;
- temperační okruhy by měly být navrženy tak, aby rozdíl teploty média na vstupu a výstupu nebyl větší než cca 3 °C;
- počet temperačních okruhů musí být navržen s možností plánované chladicí jednotky;
- pro lepší účinnost temperace je výhodnější turbulentní proudění, které disponuje schopností zvýšit součinitel přestupu tepla; tohoto efektu se dosahuje díky drsnosti kanálů Ra 12 mm a vyšší;
- chlazení více otiskových forem by mělo být navrženo tak, aby se všechny otisky temperovaly totožně, ideální je návrh samostatného okruhu pro každý větší otisk;
- pokud není možné použít nezávislé temperování, je nejlepší možností chlazení jednotlivých otisků paralelně viz Obr. 13.



Obr. 13 Zapojení více otisků v jednom okruhu [12]

### 3.1.2 Násobnost forem

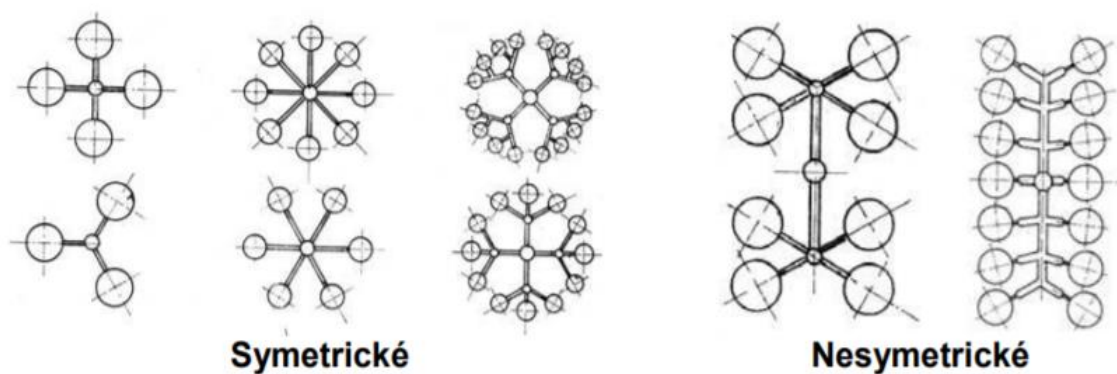
Násobností vstřikovací formy se rozumí počet tvarových dutin uvnitř formy a tím daný počet výrobků získaný po jednom vstřikovacím cyklu. Výhoda vícenásobných forem tedy

spočívá v možnosti vyrobit větší množství výrobků najednou. Tato metoda ovšem ovlivňuje přesnost a kvalitu výsledného produktu, není tedy vhodná pro všechny výrobky. Pro zachování co nejvyšší kvality za použití vícenásobných forem se volí rozložení tvarových dutin tak, aby byla dráha toku taveniny do tvarové dutiny uvnitř formy co možná nejkratší a ke všem dutinám stejná. [1]

Při volbě násobnosti formy je nutné, aby konstrukér vstřikovací formy bral zřetel na tvarovou složitost dutin, požadované množství výrobků na jeden vstřikovací cyklus a parametry vstřikovacího stroje (např. množství taveniny, které je stroj schopný do formy vtlačit na jeden cyklus nebo uzavírací sílu). [4]

### 3.1.3 Vtokový systém

Slouží k dopravě polymerní taveniny od ústí trysky vstřikovacího válce do tvarové dutiny formy. Rozměry a rozmístění rozváděcích kanálků mají nezanedbatelný vliv na proudění taveniny ve formě. Nesprávné proudění taveniny může mít za následek vytváření studených spojů, staženin nebo ovlivnění jakosti povrchu výsledného výrobku. Obecně se volí taková soustava vtokových kanálků, aby byla tavenina do formy dopravena co možná nejkratší cestou, bez ztrát tlaku a teploty. Při návrhu rozložení a tvaru vtoků je nutné brát v potaz násobnost vstřikovací formy. Pokud při vyšší násobnosti vstřikovací formy není možné, aby byla polymerní tavenina dopravena do všech tvarových dutin ve stejném časovém intervalu a při stejném tlaku, provede se zde korekce ústí vtokových kanálků. Používá se větší množství variant vtokových ústí v závislosti na charakteru vstřikované součásti. Jedná se o vtoková ústí bodová, deštníková, talířová, tunelová apod. Dále se vtokové systémy dělí na symetrické a nesymetrické, ukázka viz Obr. 14. [10, 13]



Obr. 14 Příklad rozložení kanálků u vícenásobné formy [13]

Vedle studeného vtokového systému se využívá i horkého vtokového systému. Ten má na rozdíl od studeného vtokového systému tu výhodu, že odstraňuje vtokové zbytky po vstříknutí taveniny do dutiny formy, díky čemuž odpadá dodatečné začišťování výrobků, což má za následek lepší ekonomiku výroby. Kromě délky vstřikovacího cyklu, snižují i využití materiálu. Spolu s výhodami, které plynou z jejich využití, vznikají u horkých vtokových systémů i jisté nevýhody jako například vyšší náklady na výrobu formy nebo větší náročnost oprav díky složitosti formy. [10]

Využívá se čtyř základních druhů horkých vtokových kanálů [10]:

- rozváděcí kanály izolovaného typu (využití u třídeskových forem či rozváděcích kanálů větších průřezů, v dnešní době minimální využití);
- tzv. komůrkové vtoky, jedná se o řešení, které se vyznačuje krátkým vstřikovacím cyklem, ale také nutností pravidelného provozu z důvodu zajištění nezatuhnutí plastu v komůrce;
- rozváděcí kanálky s vyhříváním opatřené tepelně izolovaným samostatně vyhříváním blokem;
- tryska formy s vyhříváním, jako součást formy; její využití je omezeno velikostí a dostupností místa ve formě.

### 3.1.4 Vyhazovací systém

Jedná se o systém využívaný k vyprázdění formy po vychladnutí výstřiku na vyhazovací teplotu, který zhotovený výrobek následně vytlačí z formy ven. Pro tento účel slouží vyhazovací zařízení, které zajišťuje automatizaci výroby. [2]

Cyklus vyhazování lze rozdělit na více fází: [2]

- pohyb vpřed doprovázený samotným vyhozením výrobku;
- pohyb zpět, který vrací vyhazovací systém do výchozí polohy.

Klíčové pro úspěšné vyhození výsledného výrobku po vstřikování je zajištění vzniku hladkého povrchu a úkosů na všech stěnách ve směru vyhazování. Pro zajištění vyhnutí se nežádoucímu smrštění je nutné, aby systém vytlačoval výrobek rovnoměrně. Varianty použití a polohy vyhazovačů jsou velice rozsáhlé. V některých případech se využívají v rámci vytvoření samotné tvarové dutiny, nebo přímo jako část tvárníku (trubkový vyhazovač má schopnost zastávat funkci jádra při vstřikování). Kromě výrobku se může



vyhazovat i přímo vtokový zbytek, kdy je možné díky zkrácenému vyhazovači vytvoření jímky pro zadržení studeného čela taveniny. [2]

Funkci vyhazovacího systému vpřed iniciuje [2]:

- kolík narážející o traverzu stroje při otevírání;
- zařízení hydraulického či pneumatického charakteru;
- mechanismus s ručním ovládním (u jednodušších forem, nebo při testech těch složitějších).

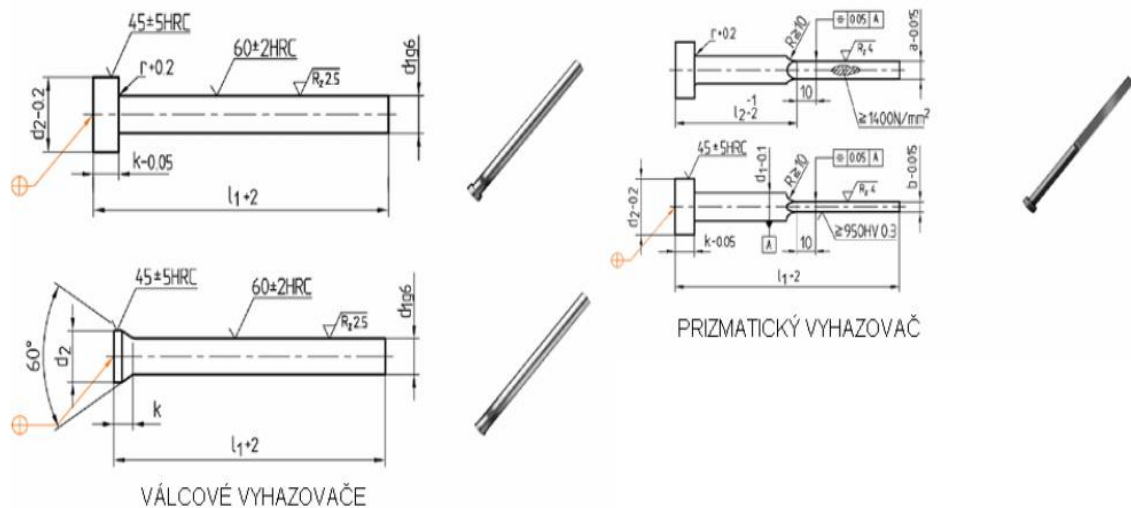
Následný pohyb vzad probíhá za pomoci: [10]

- pružin v kombinaci s jiným pomocným systémem;
- vratných kolíků;
- pneumatického nebo hydraulického zařízení.

Vyhazovací síla se stanovuje s ohledem na adhezi plastu vůči formě, podtlaku vznikajícímu při vyhození, vzniklé pružné deformaci formy a smrštění výrobku za dobu ochlazování na vyhazovací teplotu. Nejpoužívanějším způsobem vyhazování výrobků je vyhazování pomocí válcových kolíků, dalším způsobem jsou stírací desky, kroužky nebo trubkové vyhazovače pro tenkostěnné výrobky. Pro výrobky s obzvlášť velkou hloubkou se používá vyhození pomocí stlačeného vzduchu. [10]

#### **3.1.4.1 Vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků:**

Jedná se o nejjednodušší a nejlevnější způsob řešení vyhazovacího systému, díky tomu se tento typ vyhazování stal velice častým. Umísťuje se zpravidla proti žebro nebo kolmé stěně výstřiku. Tolerance pro uložení se liší podle funkce a vlastností plastu, zpravidla se volí H7/h6, H7/g6, H7/j6. Tyto vůle mají schopnost ve formě zastávat funkci odvodušnění. Co se týče podmínek pro využití, je nutné, aby při vyhazování kolíky nebortily žebra výstřiku a disponovaly dostatečnou tuhostí, ale zároveň nebyly náročné na výrobu. K ukotvení ve formě se většinou využívá dvojice desek, které se nazývají vyhazovací kotevní a opěrná. [2, 15]



Obr. 15 Ukázka vyhazovacích kolíků [13]

#### 3.1.4.2 Vyhození výrobku pomocí stírací desky:

Tento způsob vyhazování se využívá, pokud výstřik dosedá na stírací desku v rovině nebo s plochou výstřiku mírného zakřivení. Výsledek po využití tohoto způsobu vyhazování je zpravidla velice uspokojivý, na výrobku nezůstávají stopy po vyhození a vzniká naprosto minimální deformace, díky působení stírací desky po celém jeho obvodu. Další výhodou je možnost působení poměrně velkou stírací silou, což mohou vyžadovat tenkostěnné nebo rozměrné výrobky. Ovládání je prováděno za pomoci tlaku vyhazovacího trnu při působení přes vyhazovací desku spojenou se stírací deskou nebo pomocí pružin, případně pneumatikým či hydraulickým zařízením. [2, 4]

#### 3.1.4.3 Trubkový vyhazovač:

Na rozdíl od klasického válcového či prizmatického kolíku se při této variantě nepohybuje samotný vyhazovací kolík, ale tvoří pouze jádro. Samotné vyhazování iniciuje trubka, v níž je uložen, která napodobuje funkci stírací desky. [2]

#### 3.1.4.4 Šikmé vyhazovače:

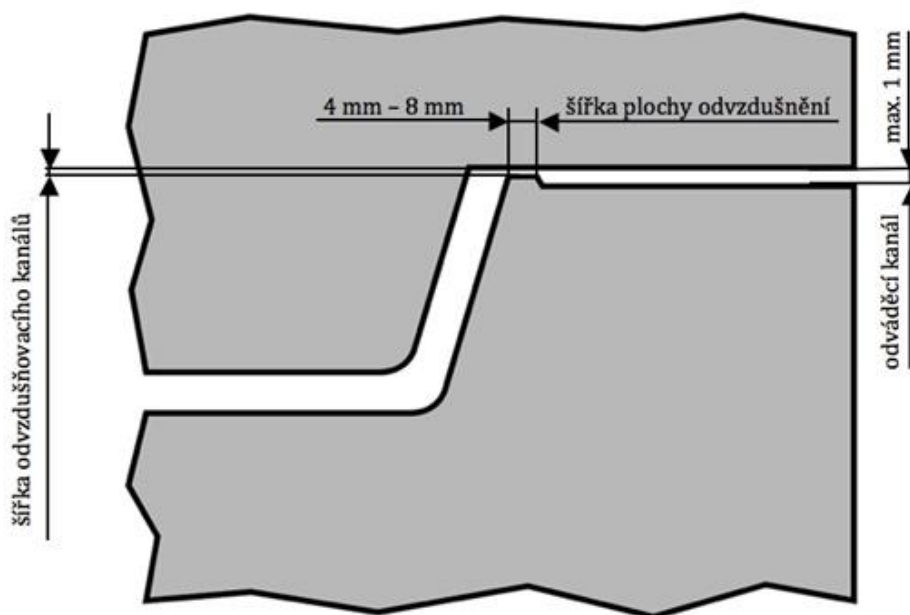
Neumísťují se kolmo k dělicí rovině formy, ale pod úhlem, přičemž zároveň zastávají funkci tvárníku. Využívají se především při potřebě odformovat vnitřní zápich nebo vnější zápich mělkého charakteru. [2, 4]

### 3.1.4.5 Pneumatické vyhazování:

Tento systém se využívá především k vyhazování tenkostěnných výrobků větších velikostí. Jedná se hlavně o různé nádoby, květináče apod. Funguje na principu vtlačení vzduchu mezi výstřik a líc vstřikovací formy. Nezanechává stopy po vyhození, ale je značně omezen tvarem vyhazovaného výrobku. Přívod stlačeného vzduchu probíhá přes jehlový nebo talířový ventil. [8, 1]

### 3.1.5 Odvzdušnění formy

Využívá se z důvodu nutnosti odvodu vzduchu vyplňujícího formu před vstříknutím polymerní taveniny, který by v případě setrvání v dutině způsobil degradaci výrobku. Vzduch uvězněný v dutině formy při styku s horkou taveninou začne hořet, což způsobí spáleniny. Tato situace se označuje jako Dieselův efekt. Dále může způsobit ovlivnění mechanických vlastností a vzhledu při vzniku bublin a nedotečených míst, které výrobek znehodnocují. Odvzdušnění se s výhodou provádí v místě, kam tavenina doputuje úplně nakonec, aby bylo zajištěno odvedení veškerého vzduchu z dutiny. Samotné odvzdušnění mohou zajišťovat různé prvky jako trny, vložky, vyhazovače nebo otvory. Jednou z dalších možností odvzdušnění je pootevření formy přímo v průběhu vstřikovacího cyklu, a to při naplnění na 80 až 95 % s mezerou odpovídající asi 0,1-0,2 mm, při čemž dojde k úniku stlačeného vzduchu a forma se znovu uzavře. Ukázka odvzdušnění formy viz Obr. 16. [8, 1]



Obr. 16 Ukázka odvzdušnění formy [8]

### 3.2 Materiály pro výrobu vstřikovací formy

Vstřikovací forma se skládá z velkého množství dílů. Větší část je vyrobena z levnějších materiálů, pro zachování dobré ekonomiky při výrobě. Tato část se nazývá konstrukční a zahrnuje kotevní a opěrné desky, rozpěry apod. Naopak část formy přicházející do styku s taveninou musí být vyrobena z finančně náročnějších nástrojových ocelí, které jsou zpravidla cementovány nebo legovány. Využívá se i tepelného zpracování, aby bylo zaručeno odolávání teplotě, tlaku, opotřebení a za použití některých materiálů i korozi. Tato část formy se nazývá funkční a představuje vodící trny, vyhazovače, tvarové vložky apod. Při volbě materiálu je jedním z nejdůležitějších faktorů typ polymeru použitého při vstřikování, dále také tvarová složitost výrobku, nároky na mechanické vlastnosti, množství kusů, které je nutné vyrobit, obrobitelnost nebo možnost koroze. Každý materiál, který bude použit při výrobě, musí mít specifické vlastnosti, což značně zužuje možnosti výběru. Firmy specializující se na výrobu dílů pro vstřikovací formy používají na tvarové části dutiny formy materiály přímo vyvinuté pro daný typ polymeru. K zajištění dlouhé životnosti je důležité již výše zmíněné tepelné nebo chemicko tepelné zpracování, úprava povrchu a jako jeden z nejdůležitějších faktorů také způsob práce se vstřikovací formou. Oceli používané pro konstrukci forem se soupisem nejdůležitějších vlastností jsou uvedeny v Tab. 3 níže. [8, 1]

Tab. 3 Soupis nejpoužívanějších ocelí pro konstrukci vstřikovacích forem [8]

DIN	ČSN	Vlastnosti a použití
1.2162	19 487	Cementační ocel, dobře obrobitelná, leštitelná. Použití pro tvarové díly a součásti forem. V základním stavu dobře svařitelná. (58 - 62) HRc.
1.2343	19 552	Nejpoužívanější ocel pro tvarové díly forem. Dobrá pevnost, houževnatost a prokalitelnost. Vhodná k nitridaci a povlakování. Méně odolná proti opotřebení. (48 - 53) HRc.
1.2344	19 554	Kalitelná ocel pro tvarové díly forem. Podobné vlastnosti jako ocel 1.2343, lepší leštitelnost.
1.2842	19 312	Kalitelná ocel pro univerzální použití. Vysoká tvrdost při dostatečné houževnatosti. (56 - 64) HRc.
1.1191	12 050	Jakostní konstrukční ocel pro méně namáhané díly forem. Obtížně svařitelná. (vyhazovací tyče, táhla).
1.7131	14 220	Cementační ocel, pro součásti forem s povrchovou odolností proti opotřebení. V základním stavu dobře svařitelná a obrobitelná.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Zpracování práce na téma „Návrh vstřikovací formy pro výrobu propagačního předmětu“ se řídilo následujícími body:

- vypracování literární studie na téma zadané vedoucím BP práce;
- vytvoření modelu výrobku v programu CATIA V5R19;
- navržení samotné formy dle modelu z předchozího bodu;
- tvorba 2D řezů příslušné formy spolu s potřebnými pohledy a kusovníkem.

Teoretická část práce má za úkol vysvětlit problematiku vstřikování, v jednotlivých kapitolách práce jsou popsány prvky používané při konstrukci forem, požadavky na materiál, výrobek, jeho konstrukci i konstrukci samotné formy.

Námětem pro tuto práci byl kancelářský předmět reklamního charakteru popsán písmem, které je možné editovat dle zadání zákazníka. V případě této práce byl použit text odkazující na univerzitu Tomáše Bati ve Zlíně pro ukázkou možností propagace.

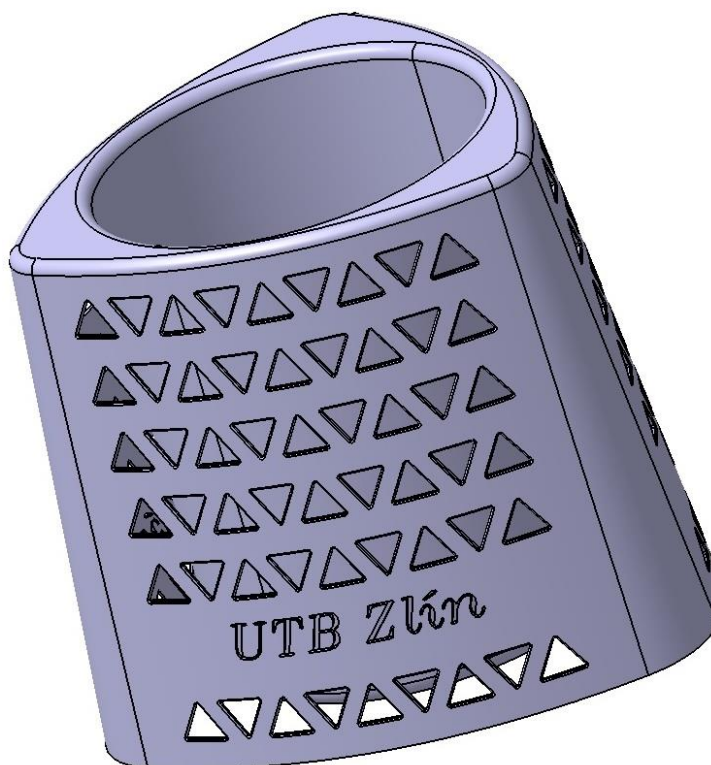
Podstatnou část této práce tvoří návrh modelu výrobku a kompletní sestavení formy pro zadaný výrobek, které bylo provedeno s pomocí normalizovaných součástí (především firma HASCO). Výsledné 3D sestavení formy bylo převedeno na výkresy, které disponují několika řezy celou formou pro možnost kompletního opozicování všech dílů a pohledem do levé i pravé části formy. Veškeré použité součásti jsou v dokumentaci řádně označeny a popsány se všemi náležitostmi technického kreslení, včetně katalogových označení v případě normálii a označení výkresů při použití dílů, které do normálii nespádají. Veškeré konstrukční práce byly provedeny ve školní verzi programu CATIA V5R19.

## 5 NAVRHOVANÝ VÝROBEK

Výrobkem je stojánek na tužky určený k různé propagaci dle zadání zákazníka.



*Obr. 17 Předloha pro návrh reklamního předmětu*



*Obr. 18 Model pro tvorbu 3D sestavy formy*

## 5.1 Volba materiálu

Pro výrobu tohoto výrobku byl jako materiál pro vstřikování zvolen SABIC LDPE 1965T, jedná se o extrémě rychle tekoucí polymer běžně využívaný pro různé kancelářské předměty, je netoxický, bez zápachu, s velmi nízkou tendencí k deformaci, a proto pro tuto aplikaci vhodný. Originální verze materiálového listu je k dispozici v příloze PI.

Tab. 4 Vybrané vlastnosti materiálu LDPE 1965T [16]

Vlastnosti polymeru	Hodnoty	Jednotky SI	Testovací metody
Index toku taveniny			ISO 1133
při 190°C a 2.16kg	65	dg/min	
při 190°C a 5kg	205	dg/min	
Hustota	919	kg/m <sup>3</sup>	ISO 1183
Mechanické vlastnosti			
Tahová zkouška			ISO 527-2
napětí při porušení	7	MPa	
prodloužení při porušení	150	%	
Modul pružnosti	165	MPa	
Tepelné vlastnosti			
Teplota měknutí (Vicat)			ISO 306
při 10N (VST/A)	75	°C	



## 5.2 Volba vstřikovacího stroje

Stroj pro vstřikování byl zvolen na základě parametrů formy a výrobku získaných měření nebo výpočtem, jejich výčet je uveden níže:

- rozměr formy 496x646x408 (v x š x d);
- hmotnost vstřikované taveniny získaná ze součtu objemů výrobku a vtokového systému vynásobených hustotou materiálu dle materiálového listu 46,27g;
- vnější průměr středících kroužků 100mm;
- maximální délka formy při jejím plném otevření 450mm.

Dle všech výše zmíněných parametrů byl zvolen vstřikovací stroj ALLROUNDER 570C GOLDEN EDITION firmy ARBURG. Originál technického listu je k dispozici v příloze PII.



*Obr. 19 Vstřikovací stroj ALLROUNDER 570C série GOLDEN EDITION*

*Tab. 5 Parametry zvoleného vstřikovacího stroje [17]*

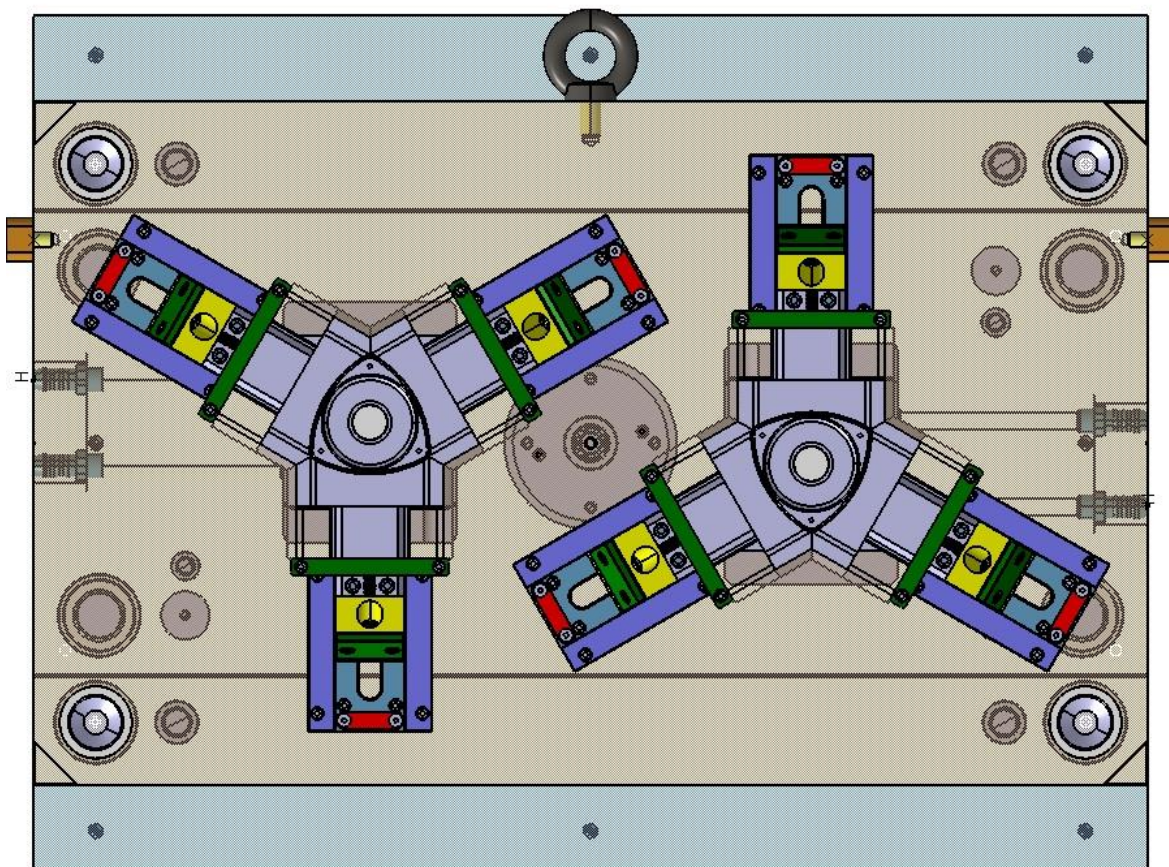
Vlastnosti	Hodnota	Jednotka
Maximální Upínací síla	2000	Kn
Maximální Uzavírací síla	70	kN
Maximální Otevírací síla	50	kN
Velikost upínací desky	795x795	mm
Vzdálenost mezi vodícími sloupky	570x570	mm
Maximální délka otevření	450	mm
Maximální délka uzavřené formy	300	mm

## 6 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Při konstrukci formy je třeba způsob záformování podřídít tvaru a velikosti výrobku. I přesto byla snaha o využití co největšího množství normálií, především vyrobených firmou HASCO, pro zajištění co nejlevnějšího, nejjednoduššího a nejrychlejšího zhotovení formy. To v konečném důsledku zvýší jedno z nejdůležitějších kritérií ve výrobě a to ekonomiku formy.

### 6.1 Násobnost formy

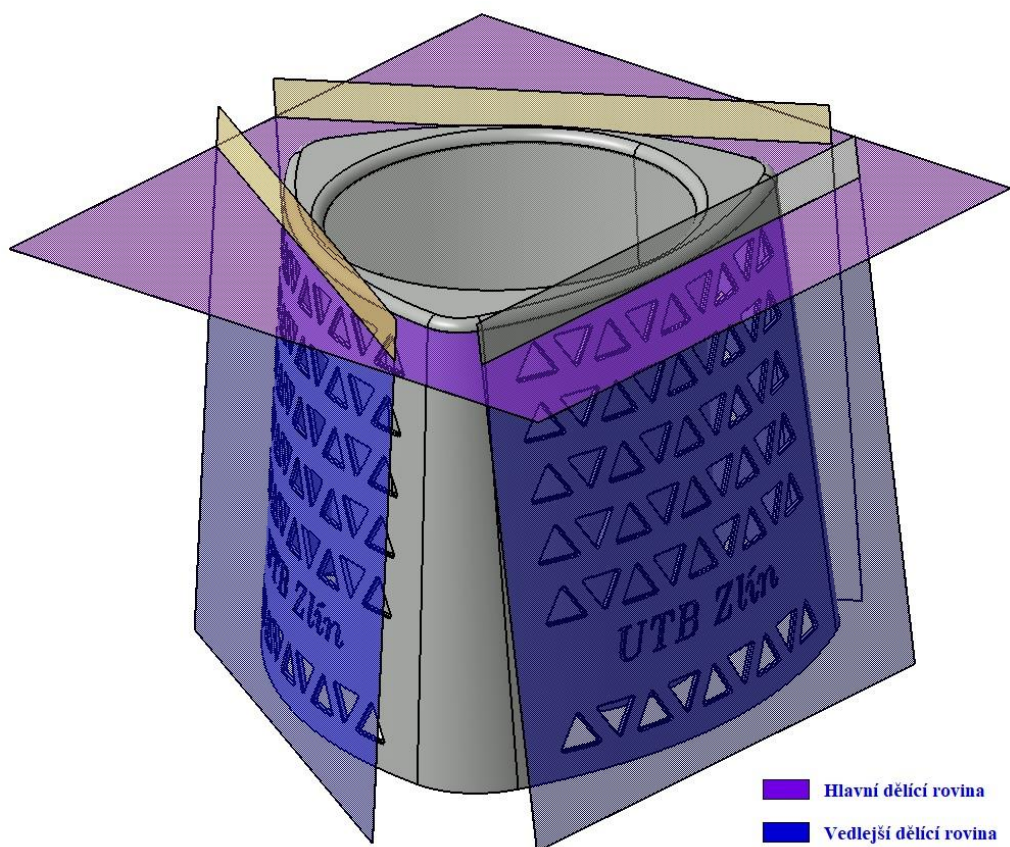
Zde je nutné postupovat především dle požadavků na počet výsledných výrobků, kapacity vstřikovací jednotky, která je ve výrobě k dispozici. Případně podle požadované přesnosti, velikosti nebo náročnosti tvaru vstřikovaného výrobku. Dle zadání a požadavků na práci byla zvolena forma dvojnásobná, tedy po proběhnutí pracovního cyklu vzniknou dva identické výrobky.



Obr. 20 Umístění výrobku ve formě

## 6.2 Určení dělicích rovin

Jedním z nejdůležitějších kritérií pro správnou funkci formy, je volba vhodné dělicí roviny. Při volbě dělicí roviny je vhodné zvolit nejjednodušší možné řešení, tím je zaručena nižší obtížnost výroby, z čehož plynou nižší náklady a také kvalitnější utěsnění dělicí roviny. Správná volba se řídí několika základními parametry, především je třeba, aby volba hlavní dělicí roviny umožnila provést boční odformování výrobku, bez kterého by nebyla funkce možná. Dále je nutné přihlídnout k možnostem vyhazovacího systému, při použití zvolených rovin, aby mohlo dojít k bezproblémovému odformování.



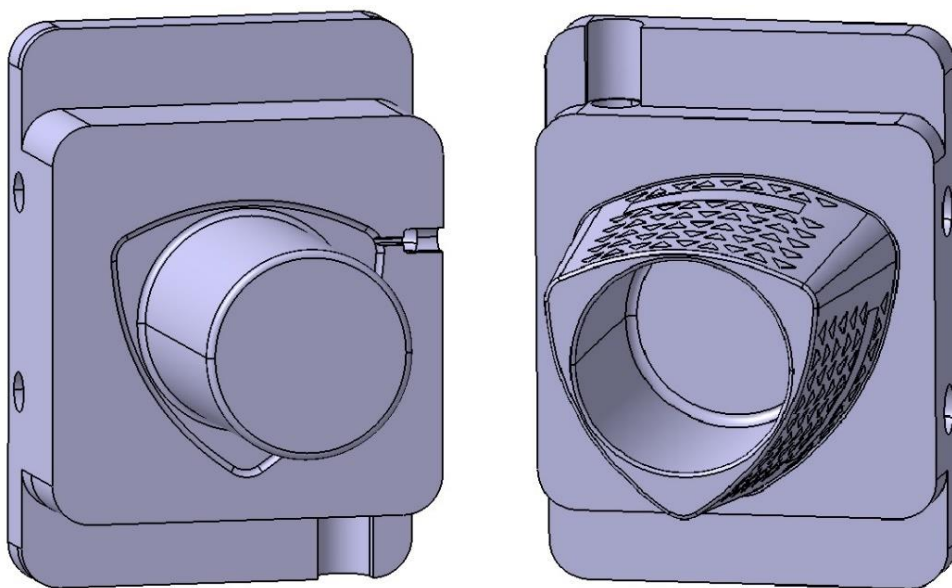
Obr. 21 Volba dělicích rovin

## 6.3 Odvzdušnění formy

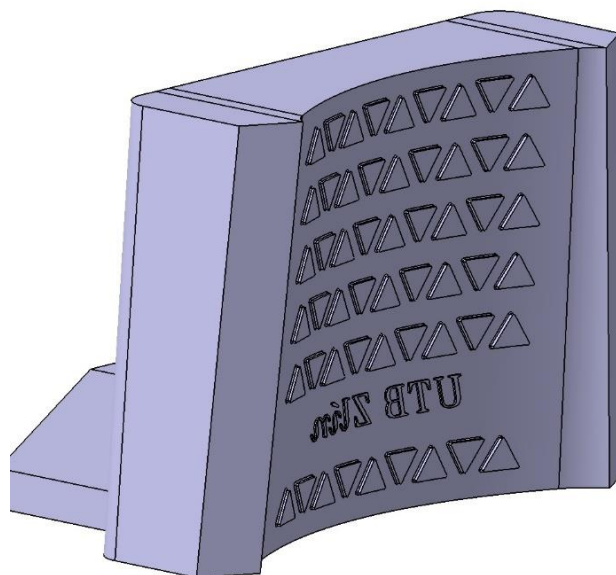
Při vstřikování tekutého polymeru do tvarové dutiny formy, je celý prostor vyplněn vzduchem, který je nutné odvést z dutiny ven, jinak by mohlo dojít ke snížení jakosti výsledného výrobku. V některých případech je nutné, tento problém konstrukčně řešit pomocí kanálek určených k odvzdušnění, ale v případě této formy k odvedení stačí vůle mezi vyhazovači a tvárníkem případně také v dělicích rovinách.

## 6.4 Dutina formy

Vstřikovaný polymer svůj tvar přejímá od tvárníku s tvárnici spolu s čelistmi, tvárník se nachází v pravé části formy a tvárnice s čelistmi v levé, tvarová dutina z těchto částí tvoří nejdůležitější část formy. Pro vytvoření bočních ozdobných prvků spolu s textem, byly pro formu navrženy tvarově složité čelisti viz. Obr. 23. Tyto čelisti jsou lehce vyměnitelné, aby byla zajištěna jednoduchá změna reklamního popisu na produktu. Celá tvarová dutina byla zvětšena o velikost smrštění použitého polymeru dle materiálového listu výrobce.



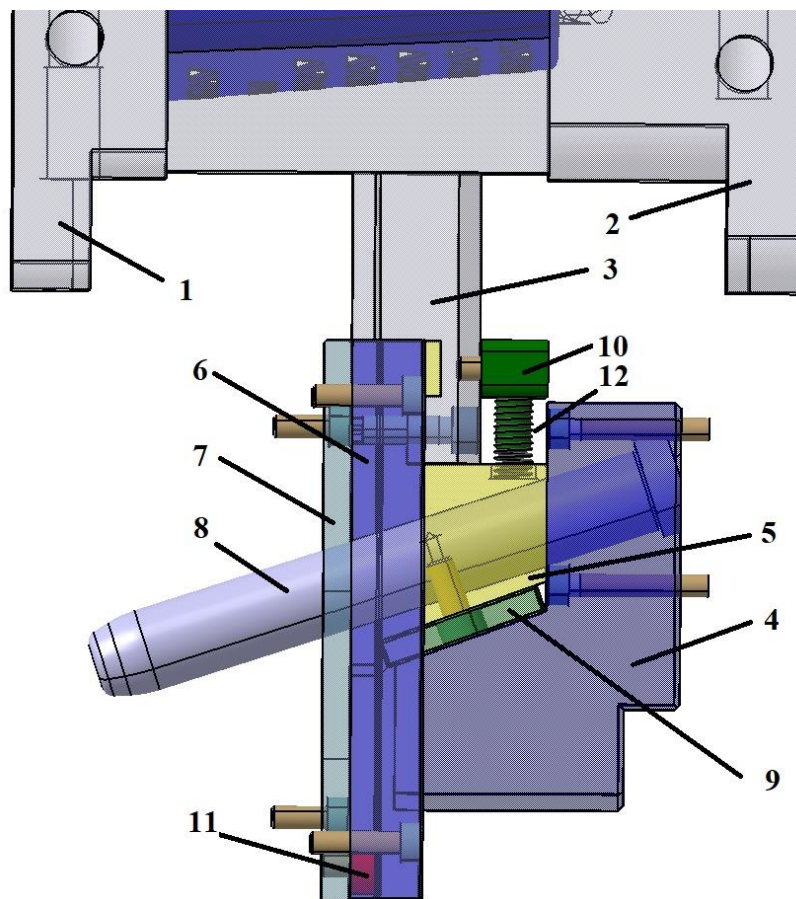
Obr. 22 Tvárník a tvárnice stojánku



Obr. 23 Tvarová čelist

## 6.5 Boční posuvné čelisti

Jsou tvořeny z menších částí, které po montáži tvoří výsledný funkční mechanismus společně se šikmým čepem a kluznými částmi. Spolus otevřením formy je provedeno boční odformování výrobku, které je nutné provést před vyhozením výstřiku z dutiny. V opačném případě by došlo k nekontrolovanému vyhození výrobku a současně jeho poškození. Jištění čelisti v otevřeném stavu provádí pružina navlečená na vodícím čepu a brání tak problémům při opětovném zavírání formy. Tato pružina je v uzavřeném stavu následně stlačena. Další důležitou částí mechanismů jsou kluzné prvky jako vodící lišty a kluzné destičky. Lišty jsou vždy po dvou s jednou kluznou deskou pod čelistí a druhou pod zámkem, aby byl zajištěn bezproblémový pohyb dílů v mechanismu vůči sobě.

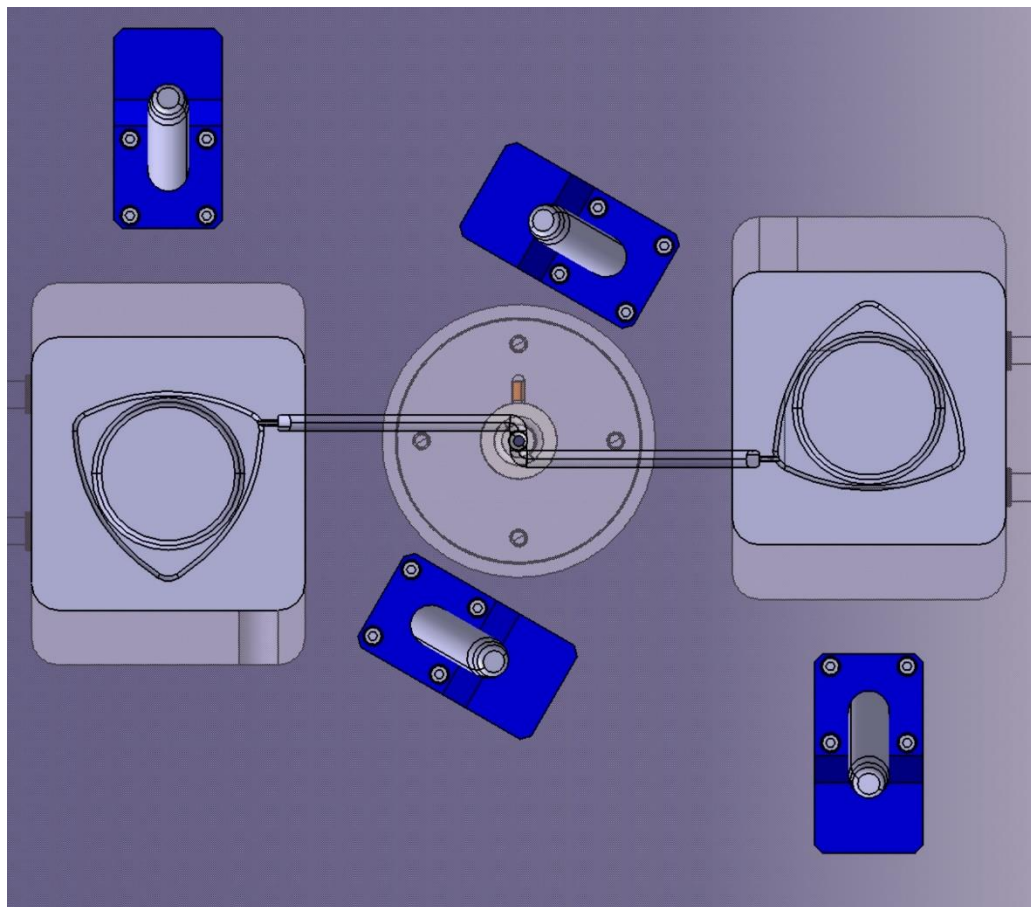


Obr. 24 Řešení mechanismu bočního odformování

- 1 - tvárník; 2 - tvárnice, 3 – posuvná čelist, 4 - zámek, 5 - posuvná kostka, 6 - vodící lišta  
 7 - kluzná deska, 8 - šikmý čep, 9 - kluzná deska pod zámek, 10 - zarážka s pružinou  
 11 - zarážka posuvné kostky, 12 – pružina

## 6.6 Vtokový systém

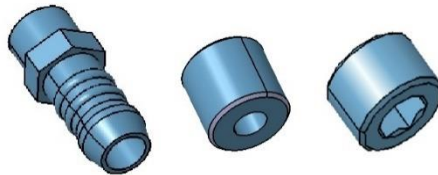
Pro tuto formu byl zvolen studený vtokový systém lichoběžníkového průřezu, vyústění do tvarové dutiny je také lichoběžníkového tvaru. Nevýhodou zvoleného studeného vtokového systému, je především velký odpad a nutnost odstranění vtokového zbytku, přeto vůči horkému vtokovému systému je tato volba vhodnější, a to především z ekonomického hlediska. Jelikož horký vtokový systém by celou formu značně zvětšil, tím zvýšil náklady na její výrobu a díky nutnosti vyhřívání také na její provoz. Umístění vtoku bylo zvoleno dle provedené simulace v Autodesk Simulation Moldflow INSIGHT 2016. Vstříkovaný polymer prochází nejprve přes vtokovou vložku, následně se dostává do rozvodných kanálů, kde naráží na jímku pro zachycení studeného čela taveniny, zde se proud taveniny dělí do dvou směrů a pokračuje k ústí do tvarové dutiny, kterou následně zaplní. Vtoková vložka je zajištěna kolíkem k zamezení pootočení vůči formě, vtokový systém je navržen symetricky k zajištění stejné délky dráhy toku taveniny ve formě, pro zamezení tvorby vad na výrobku, které by plynuly z nedodržení této zásady.



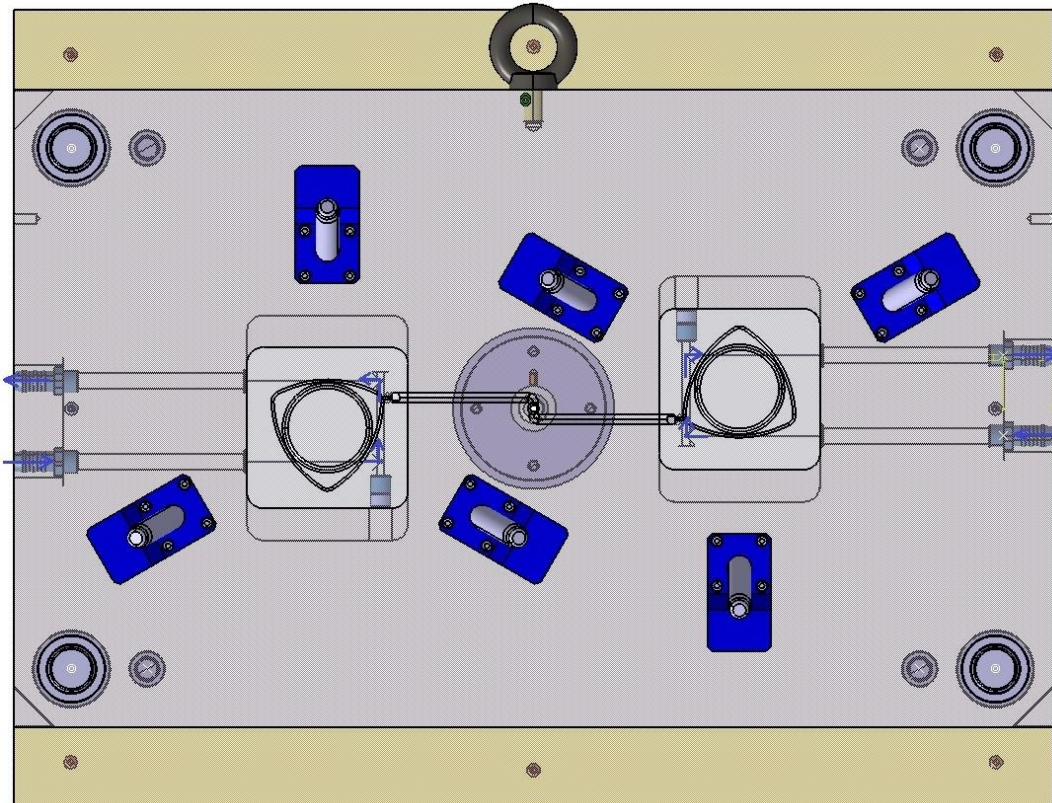
Obr. 25 Vtokový systém

## 6.7 Temperační systém

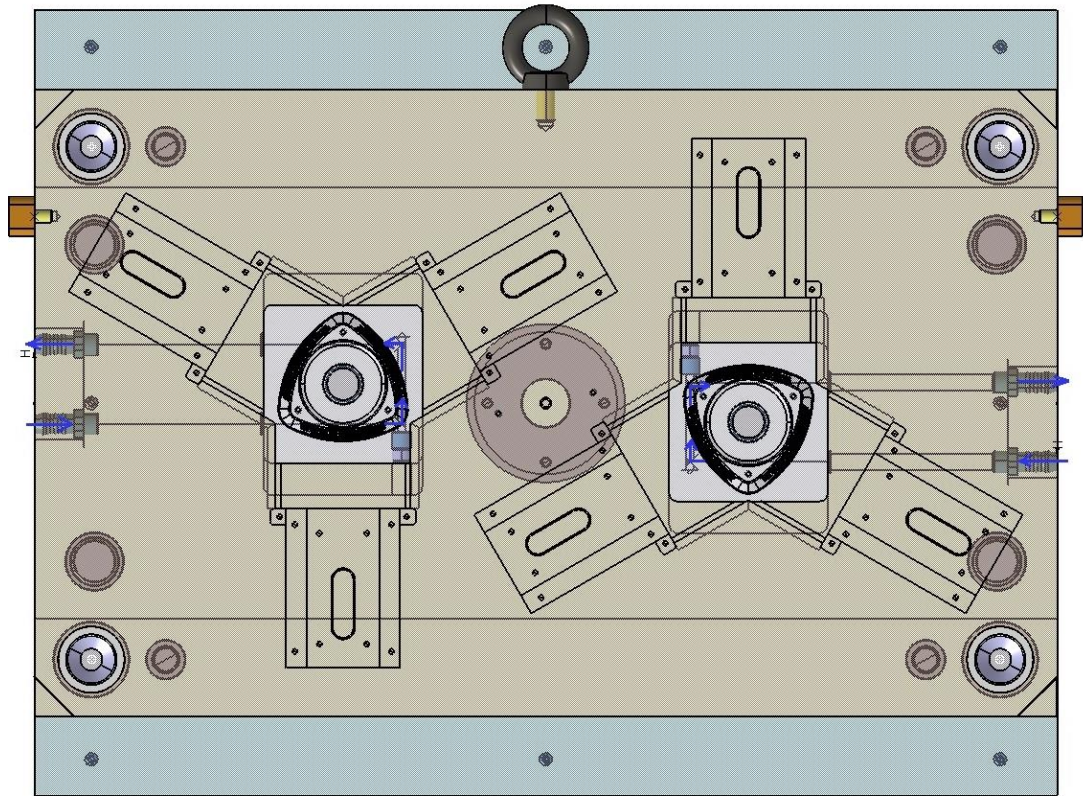
Temperace formy je realizován pomocí několika vzájemně propojených kanálů průměru 10mm, za využití patřičných normálií (viz. Obr. 26), které jsou vyvrtány v tvárnici, tvárníku a deskách formy, tak aby tvořily potřebné chladicí okruhy. Tato forma konkrétně obsahuje 4 temperační okruhy, pro každý tvárník a tvárnici samostatný, jelikož tvarové dutiny ve formě jsou vůči sobě posunuty a nebylo tedy možné zajistit propojení z jednoho tvárníku do druhého a snížit tak počet okruhů viz. Obr. 27 a 28. V deskách jsou na vstupech a výstupech do temperačních kanálů zašroubovány odsazené koncovky pro připevnění hadic potřebných k přivedení a opětovnému odvedení chladicího média z formy. Místa přechodu kanálů z desek do tvárníků a tvárníc jsou těsněny těsnícími kroužky.



Obr. 26 Použitý připojovací nátrubek, ucpávka a uzavírací šroub



Obr. 27 Temperační systém pravé části formy

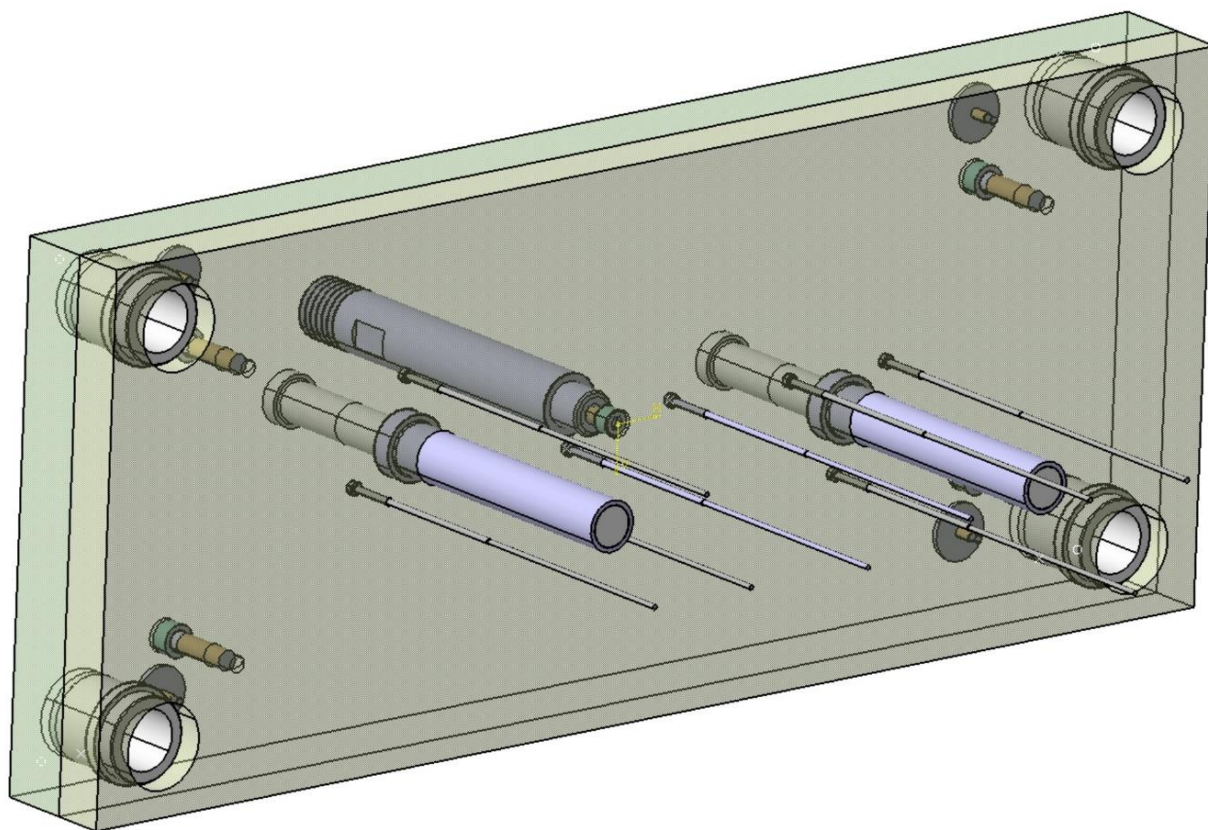


Obr. 288 Temperační systém levé části formy

## 6.8 Vyhazovací systém

Nejdůležitějším kritériem pro správný návrh vyhazovacího systému je vhodná volba umístění vyhazovacích prvků vůči výrobku, aby při vyhození nedošlo k jeho znehodnocení a nutnost setrvání výstřiku na pohyblivé straně formy, k zajištění základní funkce systému. Pro vyhození výrobku bylo navrženo využití trubkového vyhazovače v dutině stojánku a tří válcových vyhazovačů umístěných po  $120^\circ$  kolem osy stojánku. Celkem tedy 8 vyhazovačů pro dva výrobky viz. Obr. 29. Všechny vyhazovače působí na nepohledovou stranu, aby byl zajištěn estetický vzhled výsledné součásti. Správný pohyb vyhazovacího systému vůči výrobku při vyhození, zajišťují pouzdra a vodící kolíky. Pohyb celého systému po otevření formy zajišťuje táhlo, které je přišroubováno k opěrné vyhazovací desce šroubem. Obě desky vyhazovacího systému jsou spojeny šrouby a opěrná deska je navíc opatřena dosedacími podložkami, aby při pohybu systém nedosedal přímo na desku za ním a bylo dosaženo ještě dokonalejšího vystředění systému.

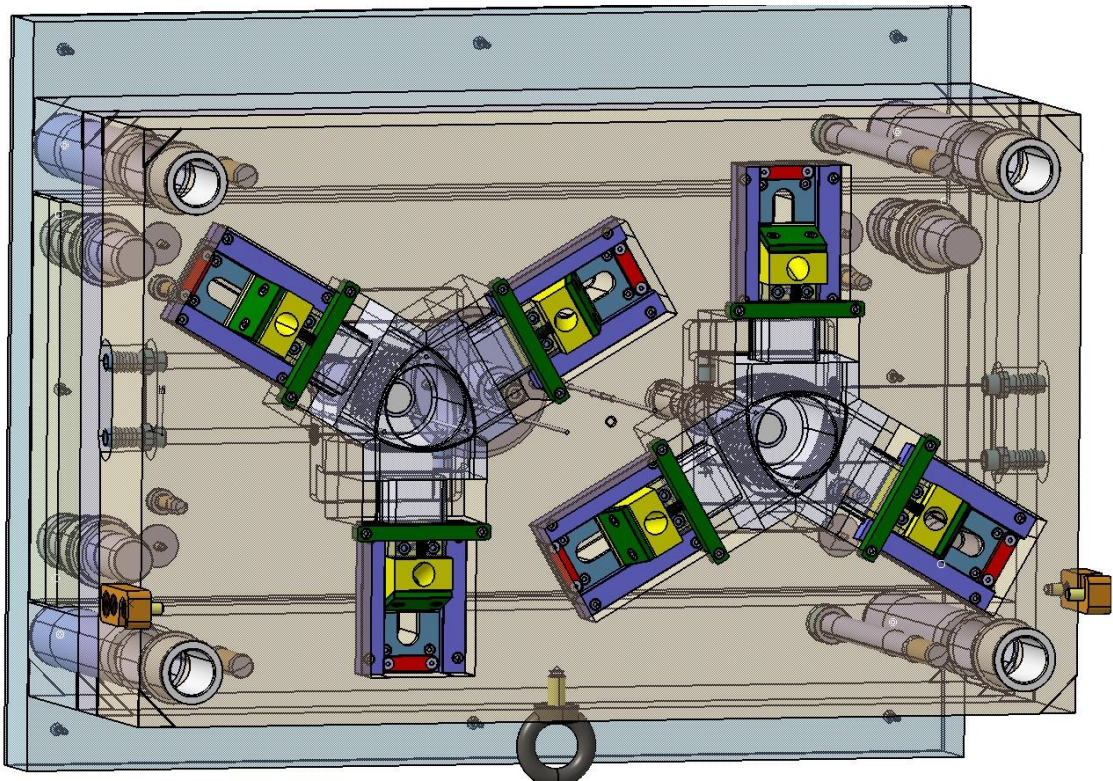




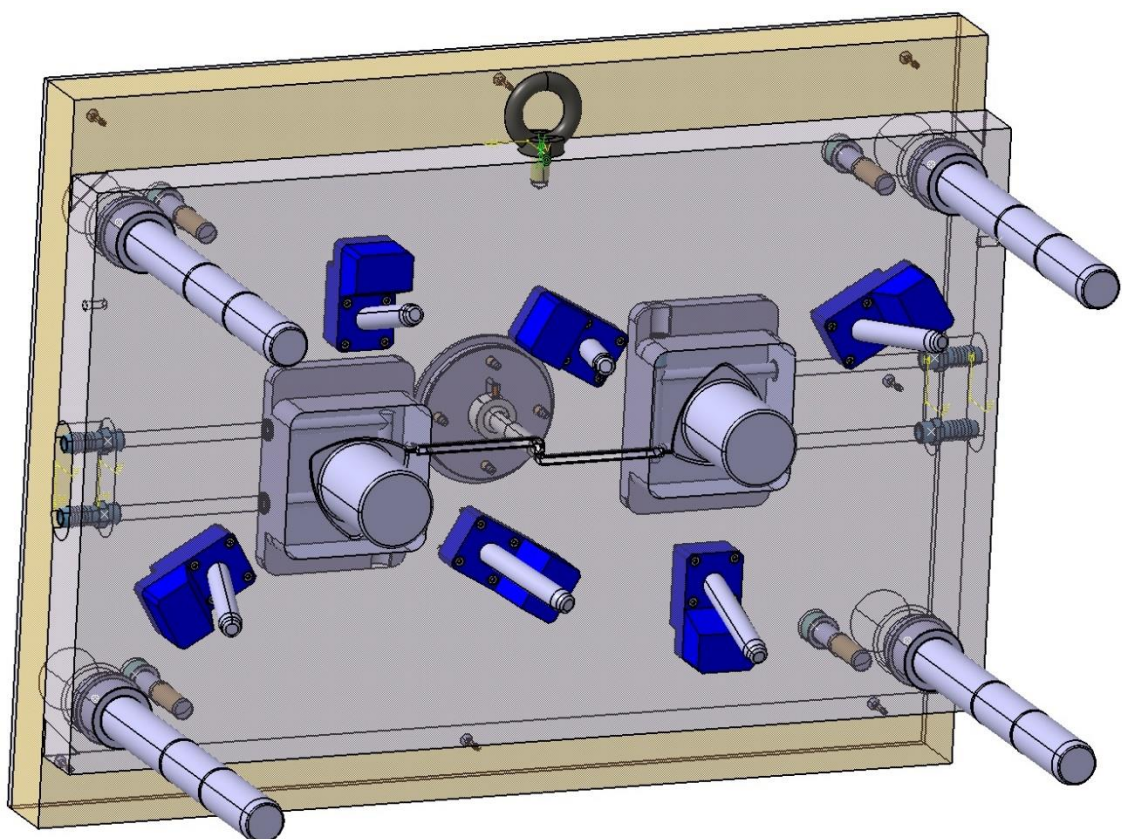
Obr. 29 Vyhozovací systém

## 6.9 Vodící, upínací prvky a manipulační prvky vstřikovací formy

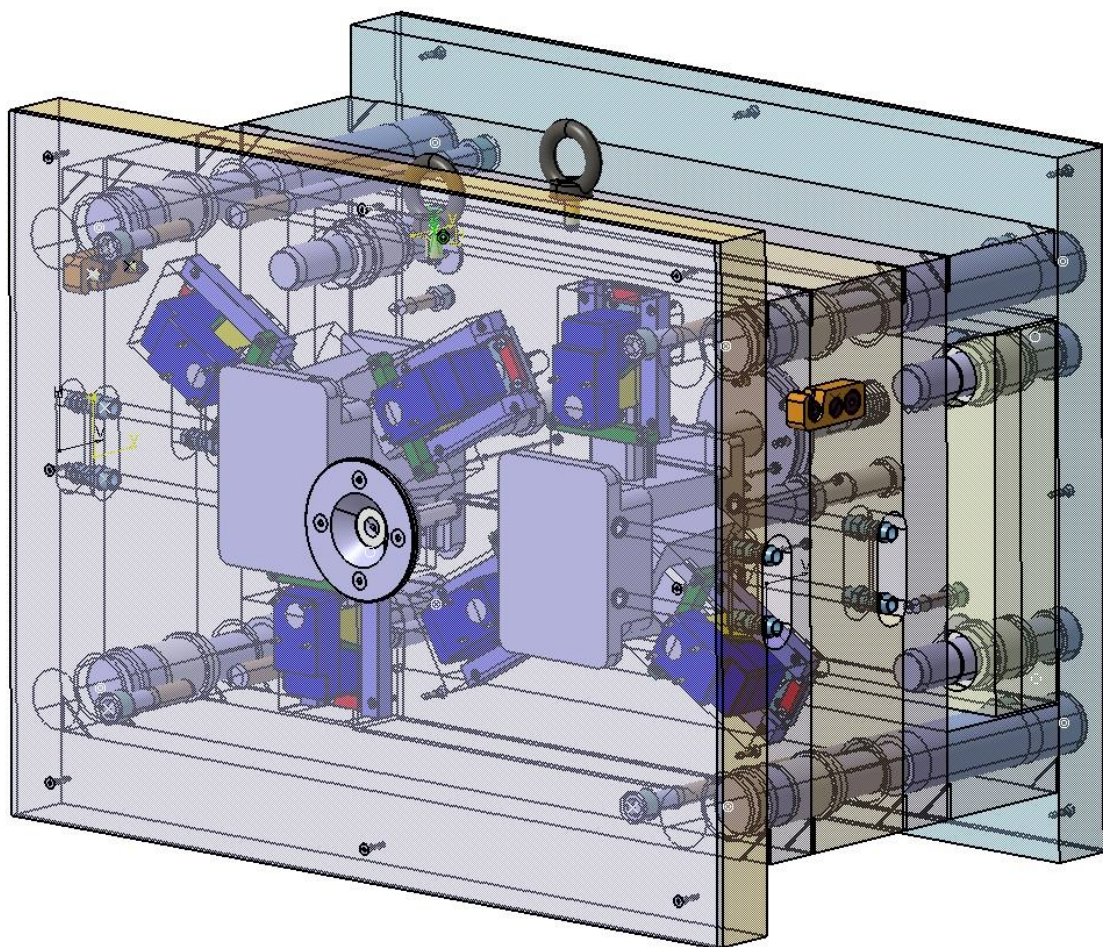
Veškeré tyto použité prvky spadají do normálie HASCO a byly voleny dle velikosti formy. Tento parametr ovlivnil především složitý systém bočního odformování, který bylo nutné umístit každému výrobku po  $120^\circ$  kolem jeho osy, pro zajištění působení čelistí téměř po celé jeho výšce z důvodu složitých tvarů, otvorů a reklamního loga na bočních stěnách výrobku. Konstrukce navrženého mechanismu musela být velice mohutná, k zajištění dlouhodobé schopnosti odolávat vstřikovacím tlakům při výrobě, což v konečném důsledku způsobilo nárůst rozměrů. Upínací desky jsou izolovány pomocí desek z PA6, aby se zabránilo odvodu tepla upínacími částmi stroje a tím narušení teplotního pole formy. Skrze izolační a upínací desky byly upevněny středící kroužky na straně vstupu taveniny i táhla vyhozovacího systému. Samotné otevírání a zavírání formy umožňují, vodící pouzdra spolu s vodícími čepy, které zapadají do středících trubek v levé části formy viz. Obr. 30. Z důvodu vysoké hmotnosti jsou na každé polovině formy v těžišti připevněna manipulační oka pro možnost připojení háku a tím umožnění přesunu formy po pracovišti za pomoci jeřábu. Na každé straně formy je upevněn zámek, pro možnost pevného spojení pravé a levé části formy v dělicí rovině při manipulaci.



*Obr. 30 Pohled do levé části formy*



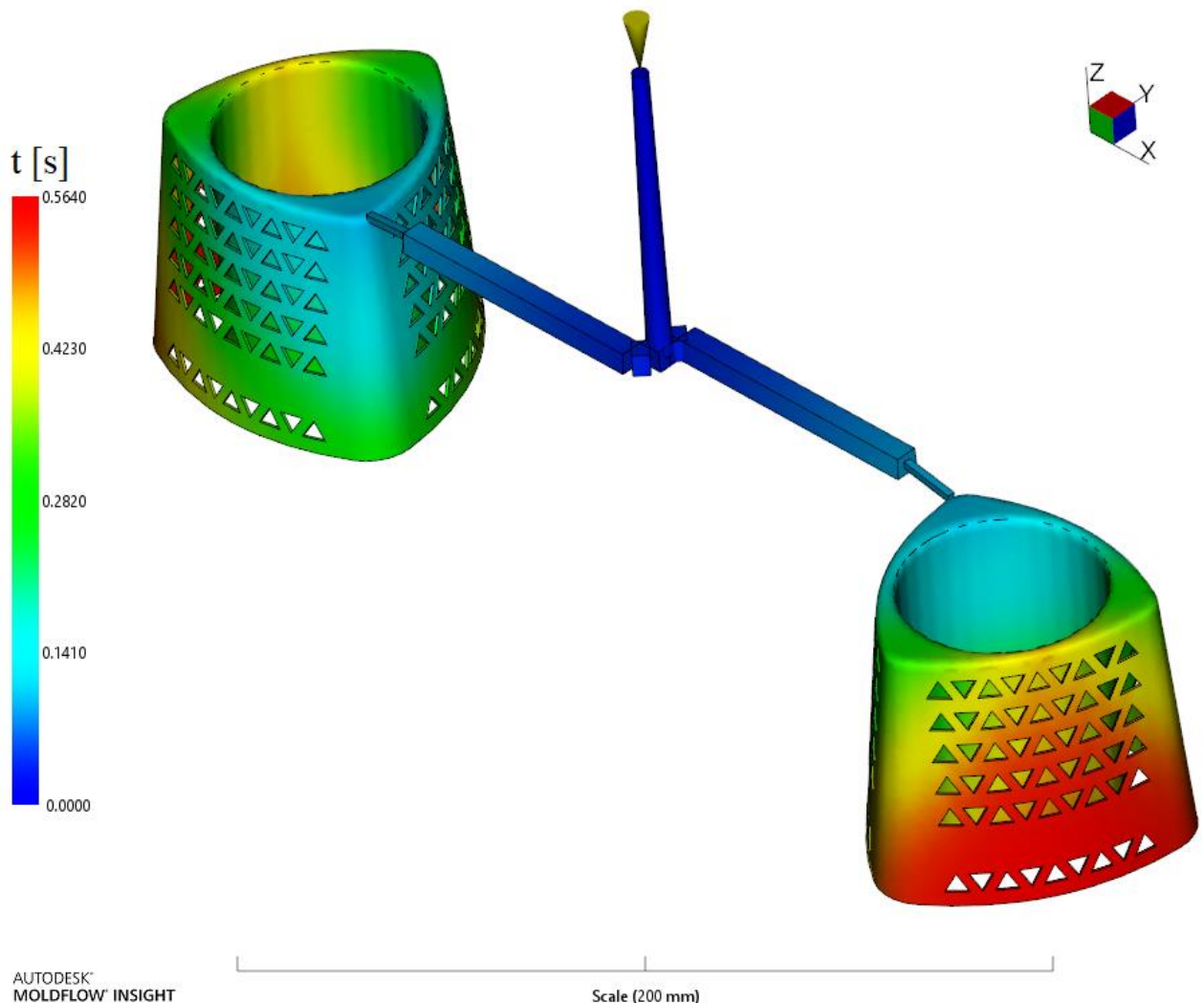
*Obr. 31 Pohled do pravé části formy*



*Obr. 32 Kompletní sestava formy*

## 7 OVĚŘENÍ VHODNOSTI NÁVRHU POMOCÍ TOKOVÝCH ANALÝZ

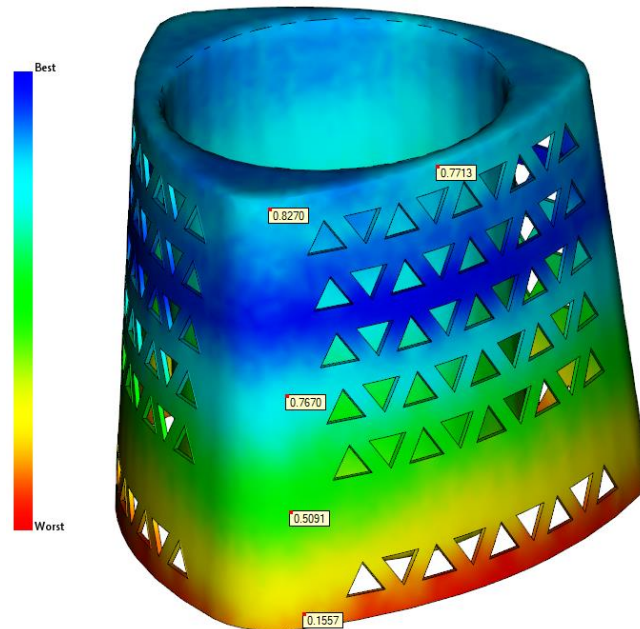
Slouží k odhalování chyb a nedostatků v konstrukci plastového dílce, případně v konstrukci formy, také pomáhají stanovit optimální technologické parametry a získat příčinné podklady pro návrh opatření, která zajistí minimalizaci rizik, zkrátí dobu výrobního cyklu a následně pomohou mnohem přesněji stanovit výrobní náklady. Analýza byla provedena pro navržený vstřikovací stroj a zvolený materiál za procesních podmínek dle materiálového listu. Bylo dosaženo úspěšného zaplnění dutiny v čase pod 0.6 s, oblasti jsou zabarveny dle času ve, kterém k zaplnění došlo viz. Obr. 33.



Obr. 33 Analýza plnění formy

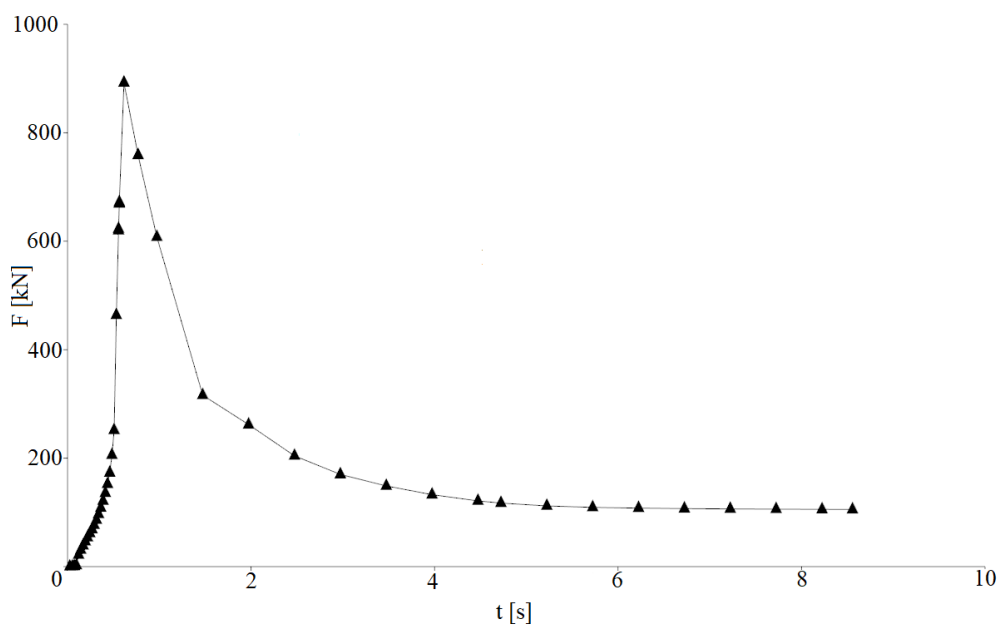
Dalším zkoumaným parametrem při analýze byla vhodnost vtokového ústí, která přesahovala 80% a její výsledek je pro tento díl dostačující viz. Obr. 34.

Zpracování probíhalo za využití připravených dat v konstrukčním prostředí programu Catia V5R19, konkrétně os vtokového systému a modelu v patřičných osových souřadnicích pro korektní průběh procesu analýzy.



Obr. 34 Analýza vhodnosti umístění vtoku

Dále byla provedena kontrola hodnot uzavírací síly v ose Z v závislosti na čase viz. Obr. 35. Pro možnost porovnání hodnot s maximální uzavírací silou, kterou je zvolený vstřikovací stroj schopný generovat. Ze získaných hodnot je patrné, že uzavírací síla nepřesahuje 1000kN, námi vybraný stroj je tedy vyhovující.



Obr. 35 Graf závislosti potřebné uzavírací síly v čase

## ZÁVĚR

Cílem práce bylo vytvořit 3D model výrobku dle předlohy, provést návrh vstřikovací formy pro tento výrobek, ověřit vhodnost tohoto návrhu za pomoci tokových analýz a vypracovat literární studii k problematice procesu vstřikování s využitím doporučené literatury a dalších oficiálních zdrojů, které jsou citovány níže.

V literární studii jsou objasněny zásady, které je nutné dodržet při tvorbě návrhu a základní znalosti k pochopení problematiky procesu vstřikování. V praktické části, byly tyto informace zužitkovány a vytvořen 3D model výrobku, podle kterého následně byla navržena sestava vstřikovací formy s využitím normálii HASCO. Návrh je podložen příčnými výkresy a potřebnými pohledy, doplněnými o kusovník. Návrh výrobku i formy byl realizován ve školní verzi programu CATIA V5R19. Dále byly provedeny tokové analýzy ve školní verzi programu Autodesk Simulation Moldflow Insight 2016, s výsledky uvedenými v poslední kapitole praktické části. Pro provedené analýzy byl dle parametrů formy a výrobku získaných měření, případně výpočtem zvolen vstřikovací stroj ALLROUNDER 570C GOLDEN EDITION, spolu s materiálem výrobku SABIC LDPE 1965T, který je zdravotně nezávadný a díky nízké tendenci k deformaci, dává výrobku potřebnou odolnost.

Při vypracování byla zvolena dvojnásobná vstřikovací forma, takže po dokončení každého vstřikovacího cyklu jsou získány dva totožné výrobky. Forma byla navržena se studeným vtokovým systémem, jednostupňovým vyhazováním a čtyřmi okruhy temperačního systému, které zajišťují optimální chlazení povrchu dutiny formy. Pro snadnou manipulaci na pracovišti a upnutí formy do stroje, je forma opatřena dvěma zámky sloužícími k uzamčení v dělicí rovině a okem vždy v těžišti každé poloviny formy, sloužící k připevnění háku jeřábu.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] BOBČÍK, L a kolektiv. *Formy pro zpracování plastů, I. Díl – Vstřikování termoplastů*. Uniplast Brno, 2. opravené vydání, 1999. 134 s.
- [2] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů II. díl – Vstřikování termoplastů*. 1. vyd. Brno: UNIPLAST, 1999. 212 s.
- [3] KUBÍČEK, D. *Bakalářská práce: Konstrukce formy pro vstřikování plastového dílu*. 1. vyd., Zlín: 2005, 56 s.
- [4] DUCHÁČEK, V. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006, 190s. ISBN 8070806176.
- [5] DILLINGER, J. *Moderní strojírenství pro školu i praxi*. Praha: Europa-Sobotáles, 2007, 612s. ISBN 9788086706191.
- [6] MENGES, G, MICHAELI, W, MOHREN, P. *How to make injections molds*. Cincinnati (Ohio): Hanser/Gardner, 2001. 3. ISBN 1-56990-282-8. Venting of molds, s. 259-269.
- [7] ZEMAN, L. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. Praha: BEN - technická literatura, 2009. 247s. ISBN 9788073002503.
- [8] LENFELD, P. *Technologie vstřikování [online]*. 2016, [cit. 2018-03-11]. ISBN 978- 80-88058-74-8. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/Impresum.html>
- [9] SOVA, M, KREBS, J. *Termoplasty v praxi: praktická příručka pro konstruktéry, výrobce, zpracovatele a uživatele termoplastů*. Praha:Verlag Dashöfer, 2001.
- [10] KANDUS, B. *Přednášky z Technologie zpracování plastů*. FSI VUT v Brně. 2007.
- [11] Injection Mold Design Tutorial. *Technologie and Engineering, [online]*. © 2006 *Injection Mold Design Tutorial*, [cit. 20.11.2016]. Dostupné z: <http://mould-technology.blogspot.com/>
- [12] KRAHN, H.; Eh, D.; Vogel, H.: 1000. *Konstruktionsbeispiele für den Werkzeug- und Formenbau beim Spritzgießen*. Hanser Verlag, 2008
- [13] LENFIELD, P. *Katedra tváření kovů a plastů - Skripta. Technologie II: Část II Zpracování plastů*. Technická univerzita Liberec-Fakulta strojní-Katedra

- strojírenské technologie-oddělení tváření plastů, 2008. [oline]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/ktp/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/obsah\\_plasty.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/ktp/obsah/vyuka/skripta_tkp/obsah_plasty.htm)
- [14] BOBEK, J. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů [online]*. © Code Creator, s.r.o.; distribuce publi.cz; 2016, ISBN 978-80-88058-65-6, [cit. 10.2.2017] Dostupné z www: <https://publi.cz/books/179/11.html>
- [15] BEAUMONT, John P.; NAGEL, Robert; SHERMAN, Robert. *Successful injection molding: process, design, and simulation*. Munich : Hanser, 2002. 362 s. ISBN 3-446-19433-9.
- [16] Bene Reczcling – *dostawca granulatów tworzyw sytucnych oraz partner w gospodarce odpadami [online]*. Copyright © [cit. 11.05.2020]. Dostupné z: <https://www.benerecycling.pl/files/1965t.pdf>
- [17] *Home – ARBURG [online]*. Copyrigt ©Z [cit. 11.05.2020]. Dostupné z: [https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/Mediathek/Technische\\_Daten/ARBURG\\_ALLROUNDER\\_570C\\_GOLDEN\\_EDITION\\_TD\\_523681\\_en\\_GB.pdf](https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/Mediathek/Technische_Daten/ARBURG_ALLROUNDER_570C_GOLDEN_EDITION_TD_523681_en_GB.pdf)



**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

N	Jednotka síly
°C	Jednotka teploty
LDPE 1965T	Nízkohustotní polyethylen
mm	Délková jednotka
g/cm <sup>3</sup>	Jednotka hustoty
MPa	Jednotka tlaku, napětí
g	Jednotka hmotnosti
CAD	Počítačem podporované projektování
s	Jednotka času
PC	Polykarbonát
PE	Polyethylen
PBT	Polybutylentereftalát
PVC	Polyvinylchlorid
PET	Polyethylentereftalát
PMMA	Polymethylmethakrylát
PP	Polypropylen
PS	Polystyren
SAN	Styrén akrylonitril
HRC	Označení tvrdosti podle Rockwella

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

<i>Obr. 1 Vstřikovací cyklus [2]</i> .....	11
<i>Obr. 2 Vstřikovací stroj [7]</i> .....	12
<i>Obr. 3 Uzavírací jednotka [9]</i> .....	13
<i>Obr. 4 Hydraulicko-mechanická uzavírací jednotka [5]</i> .....	13
<i>Obr. 5 Elektromechanická uzavírací jednotka [5]</i> .....	14
<i>Obr. 6 Schéma výrobního programu na stroji Arburg [8]</i> .....	15
<i>Obr. 7 Schéma vstřikovací jednotky [8]</i> .....	15
<i>Obr. 8 Vzájemné provázání jader [8]</i> .....	21
<i>Obr. 9 Vliv velikosti radiusu na koncentraci napětí [8]</i> .....	22
<i>Obr. 10 Přímá a nepřímá související rozměry dílu s rozměry formy [8]</i> .....	24
<i>Obr. 11 Ukázka simulace vstřikovací formy [12]</i> .....	29
<i>Obr. 12 Rozmístění temperačních kanálů [12]</i> .....	30
<i>Obr. 13 Zapojení více otisků v jednom okruhu [12]</i> .....	30
<i>Obr. 14 Příklad rozložení kanálků u vícenásobné formy [13]</i> .....	31
<i>Obr. 15 Ukázka vyhazovacích kolíků [13]</i> .....	34
<i>Obr. 16 Ukázka odvzdušnění formy [8]</i> .....	35
<i>Obr. 17 Předloha pro návrh reklamního předmětu</i> .....	39
<i>Obr. 18 Model pro tvorbu 3D sestavy formy</i> .....	39
<i>Obr. 19 Vstřikovací stroj ALLROUNDER 570C série GOLDEN EDITION</i> .....	41
<i>Obr. 20 Umístění výrobku ve formě</i> .....	42
<i>Obr. 21 Volba dělicích rovin</i> .....	43
<i>Obr. 22 Tvárník a tvárnice stojánku</i> .....	44
<i>Obr. 23 Tvarová čelist</i> .....	44
<i>Obr. 24 Řešení mechanismu bočního odformování</i> .....	45
<i>Obr. 25 Vtokový systém</i> .....	46
<i>Obr. 26 Použitý připojovací nátrubek, ucpávka a uzavírací šroub</i> .....	47
<i>Obr. 27 Temperační systém pravé části formy</i> .....	47
<i>Obr. 28 Temperační systém levé části formy</i> .....	48
<i>Obr. 29 Vyhazovací systém</i> .....	49
<i>Obr. 30 Pohled do levé části formy</i> .....	50
<i>Obr. 31 Pohled do pravé části formy</i> .....	50
<i>Obr. 32 Kompletní sestava formy</i> .....	51

---

<i>Obr. 33 Analýza plnění formy</i> .....	52
<i>Obr. 34 Analýza vhodnosti umístění vtoku</i> .....	53
<i>Obr. 35 Graf závislosti potřebné uzavírací síly v čase</i> .....	53

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1 Tolerance rozměrů plastových vstřikovaných dílů dle DIN 16901 [8] .....</i>	<i>25</i>
<i>Tab. 2 Přehled používaných médií a jejich vlastností [2] .....</i>	<i>29</i>
<i>Tab. 3 Soupis nejpoužívanějších ocelí pro konstrukci vstřikovacích forem [8] .....</i>	<i>36</i>
<i>Tab. 4 Vybrané vlastnosti materiálu LDPE 1965T [16] .....</i>	<i>40</i>
<i>Tab. 5 Parametry zvoleného vstřikovacího stroje [17] .....</i>	<i>41</i>

**SEZNAM PŘÍLOH**

- PI Materiálový list LDPE 1965T
- PII Technický list vstřikovacího stroje ALLROUNDER 570C GOLDEN EDITION
- PIII Výkresová dokumentace:
- Řez A-A
  - Řez B-B
  - Řez C-C
  - Pohled do pravé strany
  - Pohled do levé strany