

# NÁVRH VSTŘIKOVACVÍ FORMY V SW CATIA

MAREK WROBEL

---

Bakalářská práce  
2022

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2021/2022

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Marek Wrobel**  
Osobní číslo: **T18234**  
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Technologická zařízení**  
Forma studia: **Prezenční**  
Téma práce: **Návrh vstřikovací formy v SW CATIA**

## Zásady pro vypracování

1. Vypracujte literární studii na dané téma.
2. Provedte konstrukci 3D modelu zadaného dílu.
3. Navrhněte 3D sestavu vstřikovací formy pro výrobu zadaného dílu.
4. Nakreslete výkres 2D sestavy vstřikovací formy včetně příslušných pohledů.

---

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

Seznam doporučené literatury:

OSSWALD, Tim A., Lih-Sheng TURNG a Paul J. GRAMANN. *Injection molding handbook*. 2nd ed. Munich: Carl Hanser Publishers, c2008, xvii, 764 s. ISBN 978-1-56990-420-6

KAZMER, David. *Injection mold design engineering*. 2nd edition. Munich: Hanser, [2016], xxiv, 529 s. ISBN 9781569905708

MALLOY, Robert A. *Plastic part design for injection molding: an introduction*. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers, c2011, xiv, 549 s. ISBN 9781569904367

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Michal Staněk, Ph.D.**  
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **3. ledna 2022**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **20. května 2022**

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

L.S.

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

Ve Zlíně dne 24. února 2022

---

## 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 zabývá konstrukcí vstřikovací formy pro výrobu designového krytu chladiče. V teoretické části je vysvětleno využití a zpracování polymerů, princip technologie vstřikování termoplastů, konstrukce vstřikovací formy a recyklace plastů. Praktická část bakalářské práce se zabývá konstrukcí 3D modelu krytu, návrhem sestavy vstřikovací formy a vytvoření výkresové dokumentace v programu CATIA V5R20. Výkresová dokumentace je doložena kusovníkem.

Klíčová slova: plastový výrobek, vstřikování, vstřikovací stroj, vstřikovací forma, CATIA

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis describes the design of an injection mold for the production of a radiator cover. The theoretical part explains the use and processing of polymers, the principle of thermoplastic injection molding technology, injection mold design and recycling of plastics. The practical part of the thesis is concerned with a 3D model design of the cover, the proposed assembly of the injection mold and creation of drawing documentation in CATIA V5R20. The drawing documentation is accompanied with a bill of material.

Keywords: plastic product, injection molding, injection molding machine, injection mold, CATIA

Rád bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce prof. Ing. Michalu Staňkovi, Ph.D. za jeho čas a příkladný přístup, odborné konzultace a kontrolou mé bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat mé rodině za podporu během mého studia.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>10</b>
<b>1 POLYMERY</b> .....	<b>11</b>
1.1    ROZDĚLENÍ PODLE POŽADOVANÉ APLIKACE.....	12
1.2    ROZDĚLENÍ PODLE CHOVÁNÍ ZA ZVÝŠENÝCH TEPLOT.....	13
1.2.1    Termoplasty.....	13
1.2.2    Reaktoplasty.....	13
1.2.3    Elastomery (kaučuky) .....	13
1.2.4    Termoplastické elastomery .....	13
1.3    ROZDĚLENÍ TERMOPLASTŮ.....	14
1.3.1    Amorfní.....	14
1.3.2    Semikrystalické.....	14
1.4    PŘÍPRAVA PŘED ZPRACOVÁNÍM.....	14
1.5    ZPRACOVÁNÍ POLYMERŮ.....	15
1.5.1    Extruze .....	16
1.6    TOK TAVENINY.....	16
1.7    RECYKLACE .....	16
<b>2 ZÁSADY KONSTRUKCE VÝROBKU</b> .....	<b>18</b>
2.1    TLOUŠŤKA STĚNY.....	18
2.2    ODSTRANĚNÍ OSTRÝCH ROHŮ.....	19
2.3    ÚKOSY STĚN.....	19
2.4    SMRŠTĚNÍ.....	19
<b>3 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ</b> .....	<b>21</b>
3.1    VSTŘIKOVACÍ CYKLUS .....	22
3.2    PROCESNÍ OKNO .....	23
<b>4 VSTŘIKOVACÍ STROJE</b> .....	<b>24</b>
4.1    VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE .....	24
4.2    VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKA .....	25
4.2.1    Vstřikovací kapacita.....	25
4.2.2    Plastikační kapacita.....	25
4.3    UZAVÍRACÍ JEDNOTKA.....	26
<b>5 VSTŘIKOVACÍ FORMY</b> .....	<b>28</b>
5.1    DUTINA FORMY .....	29
5.2    RÁM FORMY .....	29
5.3    VTOKOVÝ SYSTÉM FORMY .....	29

5.3.1	Studené vtokové soustavy (SVS) .....	29
5.3.2	Vtokový kanál .....	30
5.3.3	Vyhřívané vtokové soustavy (VVS) .....	32
5.3.4	Vtokové ústí .....	33
5.3.5	Odvzdušnění.....	34
5.4	TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	35
5.5	VYHAZOVAČÍ SYSTÉM.....	37
5.5.1	Vyhazovací kolík .....	37
5.5.2	Stírací deska .....	38
5.5.3	Šikmý vyhazovač .....	38
5.5.4	Dvoustupňové vyhazování .....	38
5.6	POUŽITÉ MATERIÁLY PŘI VÝROBĚ FORMY .....	38
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>40</b>
<b>6</b>	<b>ZADÁNÍ A STANOVENÍ CÍLŮ.....</b>	<b>41</b>
<b>7</b>	<b>ZVOLENÝ MATERIÁL VÝROBKU.....</b>	<b>42</b>
7.1	VÝROBEK .....	42
<b>8</b>	<b>POUŽITÉ APLIKACE .....</b>	<b>44</b>
8.1	CATIA V5R20 .....	44
8.2	HASCO KATALOG .....	44
<b>9</b>	<b>POPIS VSTŘIKOVACÍHO STROJE.....</b>	<b>45</b>
<b>10</b>	<b>KONSTRUKCE FORMY .....</b>	<b>47</b>
10.1	DĚLÍCÍ ROVINA .....	47
10.2	NÁSOBNOST FORMY .....	48
10.3	TVAROVÁ DUTINA .....	50
10.4	ODFORMOVÁNÍ POMOCÍ POSUVNÝCH ČELISTÍ.....	52
10.5	VTKOVÝ SYSTÉM .....	52
10.6	ODVZDUŠNĚNÍ FORMY.....	53
10.7	TEMPERACE FORMY .....	54
10.8	VYHAZOVÁNÍ VÝROBKU.....	55
10.9	RÁM, VODÍCÍ A STŘEDÍCÍ DÍLY FORMY .....	56
10.10	MANIPULACE FORMY .....	57
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>58</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>59</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>61</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>63</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>64</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>65</b>



## ÚVOD

V každodenním životě se setkáváme s plasty v různých podobách, jako jsou například elektronické zařízení, dopravní průmysl, domácí spotřebiče, nábytek a mnoho dalších.

Na jejich výrobu používáme různé metody. Nejčastěji vytváříme plastové výrobky metodou vstřikování, vyfukování nebo vytlačování. Ale technologie vstřikování je nejběžnější a ekonomicky nejvýhodnější metoda pro výrobu plastových výrobků.

Pro technologii vstřikování je nejdůležitější mít formu na vytvarování plastového výrobku. Forma zaručuje především přesnost rozměrů, kvalitu drsnosti povrchu a mechanické vlastnosti.

Plasty jsou důležitou součástí našich životů. Používáme plasty, protože mají vlastnosti, které nejsou k dispozici u jiných materiálů. Vlastnosti jako jsou lehkost, snadné zpracování, odolnost a transparentnost. Tyto vlastnosti jsou využity při zpracování plastů a jejich následné použití v průmyslu.

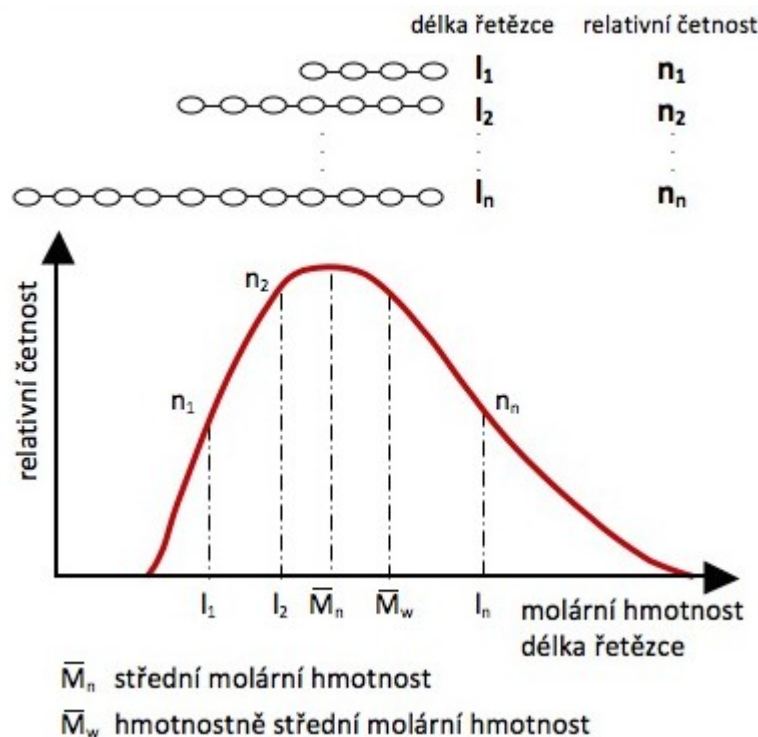
Konstrukce forem je důležitou součástí zpracování plastů. A stejně důležitý je i výrobní proces a konstrukce vstřikovacího stroje.

Na návrh vstřikovacích forem a výrobků jsou použité počítačové softwary. Jedná se o softwary, jako jsou AutoCAD, Autodesk Inventor Professional, Solid Edge, SolidWorks, CATIA. Za využití softwaru jsou vytvářeny přesné modely a dokumentaci, které zjednodušují výrobní proces.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 POLYMERY

Atomy tvoří stavební kameny každé částice v tomto vesmíru. Dva nebo více atomů se spojí a vytvoří molekulu. Když se spojí velké množství takových molekul dohromady, vytvoří se makromolekuly nebo polymer. Slovo polymer, které je odvozeno z řeckého výrazu „poly“ znamenajícího mnoho a „mer“ znamenající částice. Polymer je definován jako chemická sloučenina složená z malých molekul (monomerů), které jsou uspořádány do jednoduché opakující se struktury, aby vytvořily řetězec. Makromolekulární řetězce mohou být lineární, rozvětvené nebo uspořádané do prostorové sítě. Molekulová hmotnost je nejdůležitější vlastností a výrazně ovlivňuje lineární rozvětvené polymery. Molekulová hmotnost se vyjadřuje distribuční křivkou.



Obrázek 1 Distribuční křivka

Stovky a tisíce monomerů jsou spolu chemicky vázány kovalentními vazbami, aby vznikl polymer. Používají se procesy polykondenzace, polyadice a polymerace k vytvoření polymeru.

Výhody polymerů:

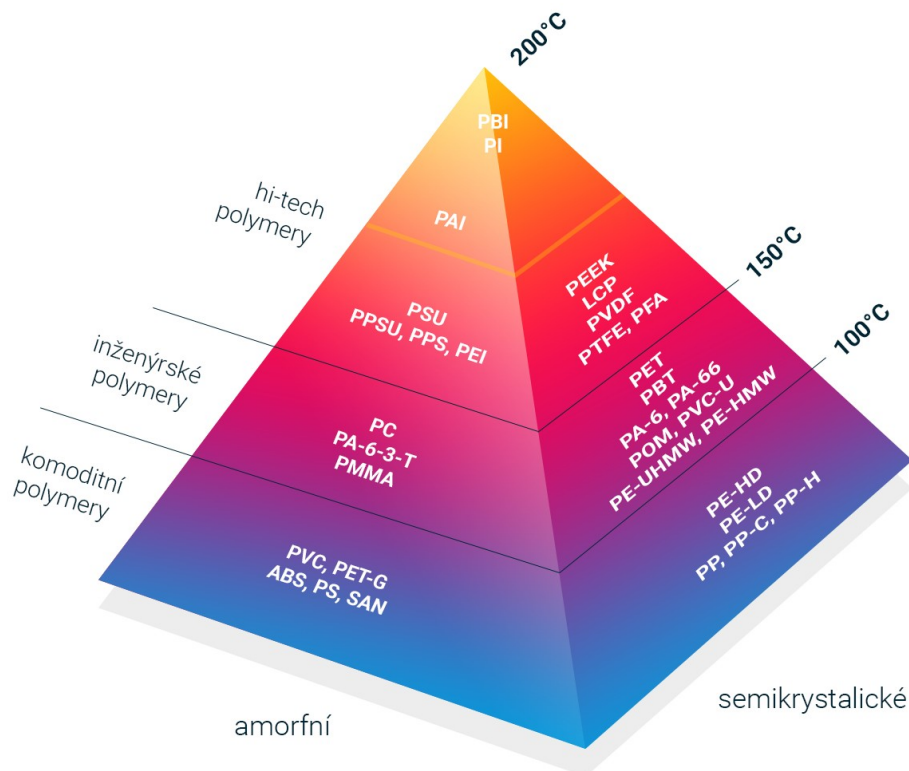
- tepelný a elektrický izolant.
- chemická odolnost.
- snadná zpracovatelnost.

Nevýhody polymerů:

- nízká odolnost vysokým teplotám.
- hořlavost materiálu.
- nízká houževnatost a tvrdost.
- vytváření elektrostatického náboje. [12]

### 1.1 Rozdělení podle požadované aplikace

- Komoditní: Často používané polymery, kde patří polyvinylchlorid (PVC), polystyren (PS), polyetylen (PE) a polypropylen (PP).
- Inženýrské: Časté využití u velice namáhaných aplikací, kde patří polymetylkrylát (PMMA), polyoximetylén (POM), polykarbonát (PC) a polyamid (PA).
- Speciální (Hi-tech): Odolávají vysokému stupni mechanického, tepelného i korozního namáhání, patří zde polyfenylensulfid (PPS), polyimidy (PI), polybenzimidazol (PBI), polysulfony (PSU). [12]



Obrázek 2 Rozdělení podle postavení na trhu

## 1.2 Rozdělení podle chování za zvýšených teplot

### 1.2.1 Termoplasty

Termoplastické pryskyřice se skládají z dlouhých molekul. Z nichž každá může mít postranní řetězce nebo skupiny, které nejsou připojeny k jiným molekulám (nejsou zesíťovány). Lze je opakovaně tavit ohřevem a tuhnout chlazením, takže část odpadu vzniklého při zpracování může být znovu použito. Během tváření nedochází k žádné chemické změně.

Obvykle se termoplastické polymery dodávají ve formě pelet, které často obsahují přísady pro zlepšení zpracování nebo pro poskytnutí lepších vlastností produktu. Teplotní rozsah termoplastů je omezen jejich fyzikální pevností a případné tání při zvýšených teplotách. [3]

### 1.2.2 Reaktoplasty

Reaktoplasty naproti tomu reagují během zpracování za vzniku zesíťovaných struktur, které vytvářejí trojrozměrnou síť. Zesíťovaná struktura nastává při tváření plastu vlivem tepla a tlaku, a za působení katalyzátorů. Nelze přetavit a znovu zpracovat. Reaktoplastový odpad musí být zlikvidován, nebo použit jako nízkonákladová výplň v jiných výrobcích. Reaktoplasty jsou dodávány v kapalné formě nebo jako částečně polymerovaný pevný formovací prášek. [3]

### 1.2.3 Elastomery (kaučuky)

Kaučuky jsou polymerní materiály přírodního nebo syntetického původu. Vyznačují se velkou pružností. Mají schopnost se výrazně deformovat a poté se vrátit do původního tvaru. Kaučuky jsou základní surovinou pro výrobu pryží. Pryž vzniká z kaučuku vulkanizací, což je teplem nebo katalyzátory podporovaná reakce vulkanizačního činidla. [12]

### 1.2.4 Termoplastické elastomery

Jsou to měkké, ale i tvrdé materiály s různými teplotami zesíťování. Mají vlastnosti elastomeru, ale při zpracování se chovají jako termoplasty. Není potřeba vulkanizačního procesu. [12]

## 1.3 Rozdělení termoplastů

### 1.3.1 Amorfní

Amorfních termoplasty mají makromolekuly nepravidelně uspořádány. Výrobky z amorfních termoplastů jsou využitelné v oblasti pod teplotou skelného přechodu. Amorfní polymery jsou polykarbonát (PC), polystyren (PS), styren-akrylonitril (SAN) a několik dalších. [3]

### 1.3.2 Semikrystalické

U semikrystalických termoplastů je skoro celá část řetězců pravidelně uspořádána a tvoří krystalické útvary. Zbytek řetězce má amorfní uspořádání. Použití pro výrobky je v oblasti nad teplotou skelného přechodu. Mezi semikrystalické polymery patří polypropylen (PP), polyetylen (PE), polyamid (PA), polyoxymetylén (POM) a další. [3]

## 1.4 Příprava před zpracováním

Podstatnou část zpracovávané polymerní směsi tvoří vysokomolekulové látky a přísady, které upravují vlastnosti.

- Maziva: Rychlejší vyjmutí výrobku z formy nebo zlepšují vlastnosti výrobku. Používají se mastné kyseliny a kapalné parafiny.
- Změkčovadla: Snižují tuhost a viskozitu polymeru pro lepší ohebnost a tvárnost.
- Tepelné stabilizátory: Chrání polymery před poškozením výrobku vlivem tepla.
- Plastikační činidla: Snadnější plastikace elastomeru (kaučuku).
- Urychlovače síťování: Urychlují síťovací proces.
- Nadouvadla: Používají se při výrobě lehčených hmot, aby vytvářely ve výrobku póry.
- Plniva: Zvyšují tuhost a pevnost vyztužením výrobků. Používá se částicové nebo vláknité plnivo.
- Pigmenty: Barviva, která se přidávají pro zlepšení vzhledu výrobku. [16]



Obrázek 3 Pigmenty

## 1.5 Zpracování polymerů

Jednou z nejdůležitějších vlastností plastů je rychlá přeměna z práškových pevných látek (většina termoplastů) nebo kapalin (mnoho reaktoplastů) na vyráběný produkt. Využívají se vlastnosti plastů k vytvoření hotového výrobku během jedné operace.

Techniky zpracování plastů se obvykle skládají ze tří hlavních fází:

- **Zahřívání:** plast se zahřívá, aby se roztavil a mohl být snadno lisován do nového tvaru (termoplasty), nebo aby se katalyzovala jeho síťovací reakce (reaktoplasty).
- **Tvarování:** síla nějakým způsobem působí na zahřátý pevný nebo tekutý plast, který získá nový tvar. Tváření může vyžadovat různé úrovně a typy sil.
- **Chlazení:** z vytvarovaného plastu se musí rychle odebrat teplo, aby si zachoval svůj nový tvar. A jeho mechanické vlastnosti se vrátily k stejným vlastnostem materiálu v jeho studeném a pevném stavu. Přenos tepla a jeho důsledky jsou proto při zpracování plastů důležité.

Fáze zpracování plastů mohou být kontinuální (výroba vytlačování trubek) nebo opakovaný cyklus událostí (výroba krytu telefonu vstříkovaním). Ve většině případů mohou být automatizované, což je vhodné pro masovou výrobu. Existuje mnoho metod zpracování, které lze použít pro plasty.

Ve většině případů je výběr metody založen na tvaru výrobku, a jestli se jedná o termoplast nebo reaktoplast. Proto je důležité, aby konstruktér měl základní znalosti o metodách zpracování plastů, protože tvar nebo konstrukční detaily mohou omezovat výběr metod.

V průmyslové výrobě plastů dominují techniky využívající termoplasty a zpracování ve fázi taveniny (extruze a vstřikování). [4] [9]

### 1.5.1 Extruze

Extruze je jednou z nejdůležitějších metod zpracování plastů. Zahrnuje protlačování taveniny polymeru přes otvor určitého tvaru, aby se vytvořil plastový produkt spojitě délkou a konstantního průřezu. Mezi produkty patří plastové fólie, vlákna a trubky. Vytlačovací stroj se skládá z velice pevného rámu, ve kterém je uložen pohonný elektromotor s plynule říditelným počtem otáček a převodovkou pro pracovní šnek. [7]

## 1.6 Tok taveniny

Index toku taveniny (MFI – *Melt Flow Index*) nebo hmotnostní index toku taveniny (MFR – *Melt Flow Rate*) je míra tokových charakteristik daného polymeru. Jsou to reologické vlastnosti v roztaveném stavu za působícího tlaku. Hodnota indexu toku taveniny se uvádí na technických listech a vztahuje se k množství polymeru, které je protlačeno daným otvorem. Je vyjádřena v jednotkách g/10 min.

Změny hodnoty indexu toku taveniny u materiálu může mít škodlivé účinky na kvalitu. Je proto velmi důležité testovat materiál, aby se dodržoval standard kvality. Můžou existovat rozdíly v materiálech od šarže k šarži, což může být nákladné. Například materiál překračující očekávaný index toku taveniny může mít za následek vyblednutí vstřikovací formy, což vede ke zvýšené míře zmetkovitosti. To vede k hodinám čištění formy, a následné ztrátě výroby z této formy. Materiál s nižší než očekávaným indexem toku taveniny by mohl vést k tomu, že se dutina správně nenaplní. [11]

## 1.7 Recyklace

V současnosti se pro likvidaci plastů uplatňují metody skládkování, primární recyklace (recyklace bez ztráty kvality), mechanická nebo sekundární recyklace (recyklace se sníženou kvalitou výrobku) a chemická recyklace (recyklovaný materiál se přimíchá k polymeru na další zpracování).



Během skládkování jsou velké plochy půdy pokryty odpadem a půda je kontaminována částicemi rozkládajícího se plastu. [8]

Plastové obaly se značí podle normy ČSN 77 0052-2.



Obrázek 4 Značení plastů

## 2 ZÁSADY KONSTRUKCE VÝROBKU

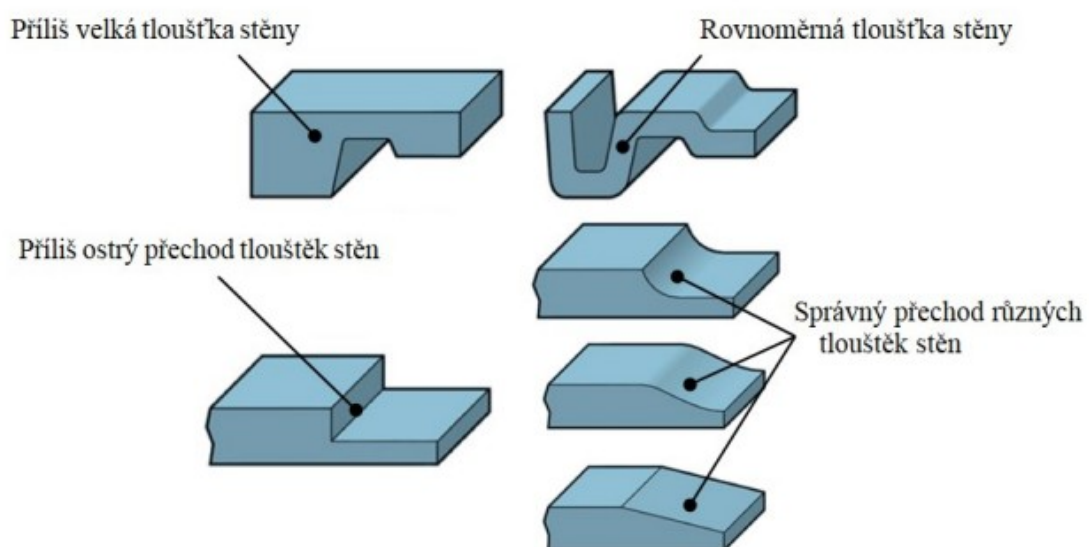
Při navrhování plastového dílu je důležité vědět, jak navrhnout výrobek a jak zpracovat materiál. Oba tyto faktory je potřeba vzít v úvahu při určování proveditelnosti výroby plastového dílu. Další faktory, které je také třeba vzít v úvahu, jsou ekonomika, kvalita a vzhled plastového dílu. [6]

### 2.1 Tloušťka stěny

Tloušťka stěny je základní parametr pro návrh součásti, protože má největší vliv na mnoho klíčových charakteristik, jako je estetika povrchu, vzhled, tvarovatelnost a ekonomika. Nejlepší tloušťka výrobku je často kompromis mezi pevností a hmotností výrobku. Tloušťka stěny musí být první známý parametry při návrhu součásti, protože to může být nejdražší položka na změnu. Je důležité, aby tloušťka součásti byla konstantní, aby byla zajištěna optimální konstrukce plastové součásti, ekonomika součásti a tvarovatelnost. Konstantní tloušťka stěny také zajišťuje, že rovnoměrné smrštění výrobku zabrání deformaci.

Jsou-li nutné přechody v tloušťce stěny, je klíčové, aby přechody stěn byly málo drastické a náhlé.

Dalším způsobem, jak dosáhnout stejnoměrných stěn v tlustých částech, je vyříznout tlusté části. To umožňuje zlepšení chlazení výrobku, což vede ke zkrácení procesního cyklu. [6]



Obrázek 5 Návrh tloušťky stěn

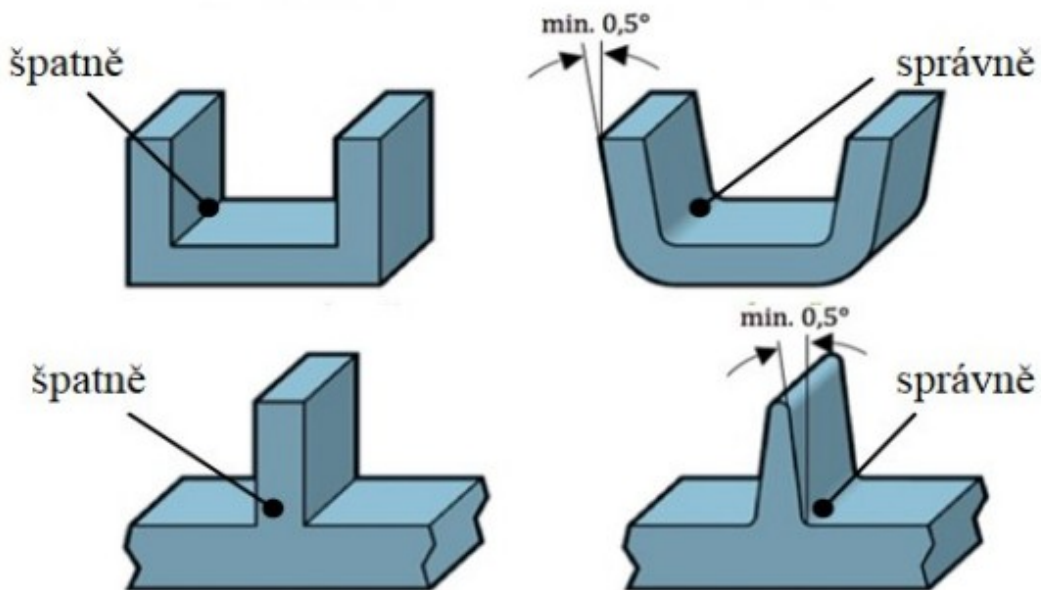
## 2.2 Odstranění ostrých rohů

Jedna z častých chyb při návrhu plastových výrobků je použití ostrých rohů. Při navrhování s plasty se důrazně doporučuje použít zaoblené rohy, aby se odstranily oblasti s vysokou koncentrací napětí. Zvýší se tak pevnost rohu a usnadní se tok taveniny. [6]

## 2.3 Úkosy stěn

Při otvírání formy jsou stěny výrobku pro snadnější vyjímání z dutiny opatřeny úkosy. Velikost úkosů závisí na typu vyhazovacího systému. Často se úkos vnějších stěn volí do  $2^\circ$ . Hodnota úkosů vnitřních stěn se pohybuje do  $3^\circ$ .

Opakem úkosu je podkos, který zabraňuje odebrání výstřiku z dutiny formy. Na vstříkovaném výrobku se podkosům vyhýbáme. Někdy se na výrobek umísťují záměrně, aby výrobek zůstal na jedné polovině formy. [6]



Obrázek 6 Návrh úkosů

## 2.4 Smrštění

Ke smrštění dochází při tuhnutí taveniny polymeru. Hodnota smrštění udává o kolik je rozměr výrobku menší, než daný rozměr formy. Výrobní smrštění nastává po 24 hodinách od vytvarování výrobku. Z důvodu uvolnění napětí po 24 hodinách následuje ještě dodatečné smrštění.

Velikost smrštění je ovlivněno vstřikovacím tlakem a rychlostí, teplotou formy, teplotou taveniny, dotlakem, ale i materiálem (amorfní termoplasty mají menší smrštění než semikrystalické) a tloušťkou stěny (s rostoucí tloušťkou stěny roste i hodnota smrštění). Jednotlivé parametry se navzájem ovlivňují. [6]

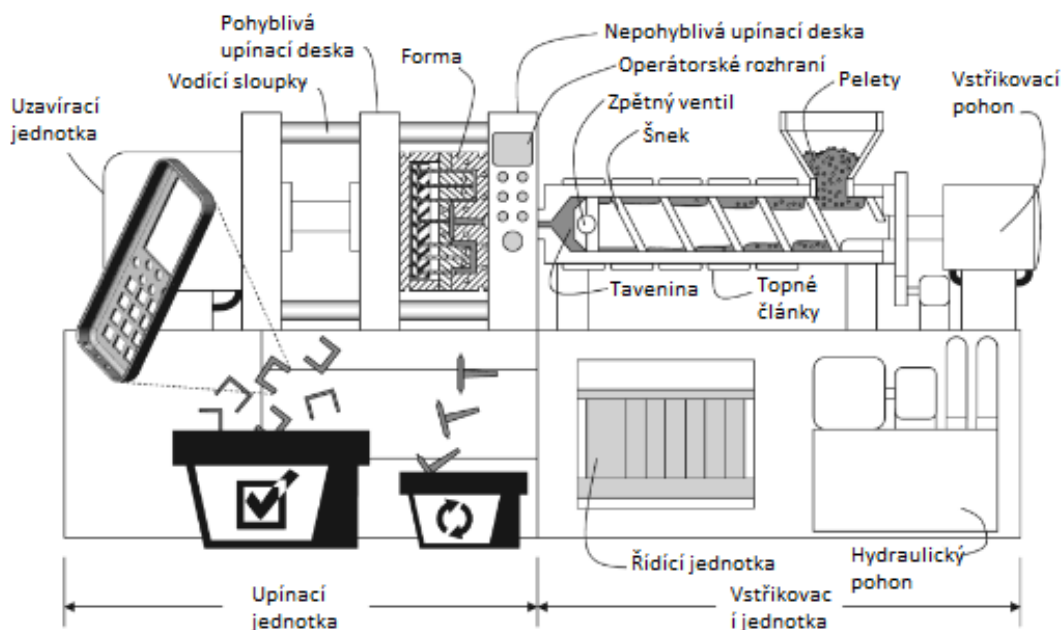
### 3 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ

Plastové výrobky, které jsou malé, složité ve tvaru a jsou vyráběny ve velkém počtu, budou vyrobeny vstříkáním. Vstříkání je v popředí díky své schopnosti přesně vytvářet vysoce složité tvary v jediné výrobní operaci.

Původní vstříkací stroje byly založeny na technice tlakového lití kovů. Uvádí se, že první stroj byl patentován ve Spojených státech v roce 1872, pro použití s celuloidem.

Vstříkání je v zásadě jednoduchý proces. Termoplast ve formě granulí nebo prášku prochází z násypky do válce, kde se zahřívá a vytváří taveninu. Potom je tavenina protlačena tryskou do relativně studené formy, která je pevně uzavřena. Když plast ztuhne do požadovaného tvaru, forma se otevře, výrobek se vysune a cyklus se opakuje.

Mezi hlavní výhody procesu patří jeho všestrannost při formování produktů a snadnost automatizace. Možnost vysokých výrobních rychlostí a výroba předmětů s úzkými tolerancemi. [5] [9]

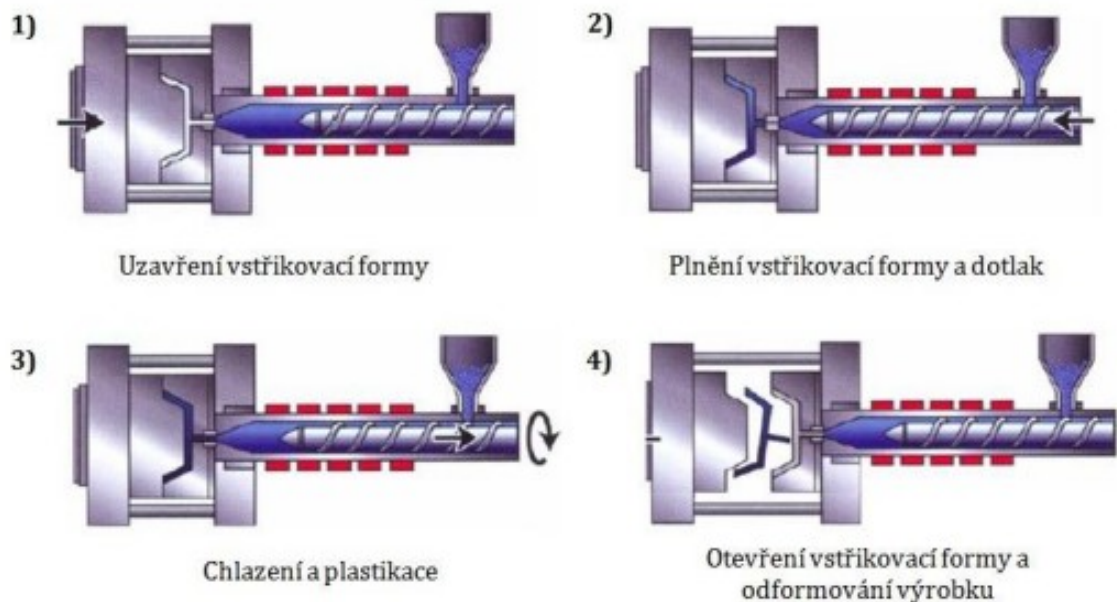


Obrázek 7 Vstříkání plastů

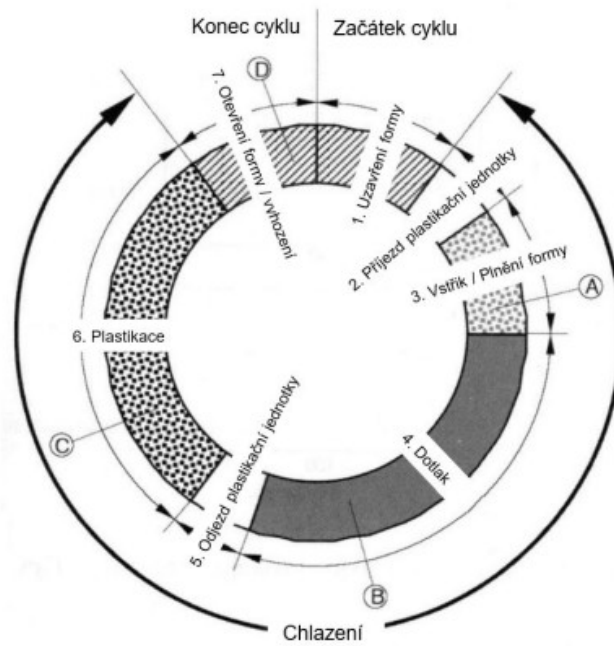
### 3.1 Vstřikovací cyklus

Cyklus vstřikování se obvykle vyjadřuje jako čas (v sekundách nebo minutách), který vstřikovací stroj potřebuje k výrobě jednoho plastového výrobku. Cyklus musí zahrnovat dobu potřebnou k uzavření a upnutí formy, vstříknutí roztaveného polymeru do formy a vyvinutí potřebného tlaku, ochlazení plastového dílu, otevření formy a vysunutí výrobku. Forma se opět uzavře, což je začátek nového procesního cyklu.

- Vstřikování: dochází k plnění dutiny vstřikovací formy. Probíhá za krátkého časového pásma, kde se rozhoduje o vlastnostech výrobku.
- Dotlak: celková hmotnost výrobní dávky se rovná hmotnosti výstřiku krát násobnost formy a hmotnost vtoků. Maximální vstřikované množství nesmí překročit 90 %. Proto je nutné mít rezervu pro doplnění taveniny při smrštění výrobku.
- Plastikace: plastikace probíhá během chlazení. Nachystá se další dávka taveniny v plastikační jednotce vstřikovacího stroje.
- Chlazení: vyžaduje nejvíce času. Začíná při prvním styku taveniny s formou a pokračuje během dotlaku. Chlazení probíhá až do ztuhnutí výrobku. Avšak teplota výrobku je stále vyšší, než teplota okolí. [5] [7]



Obrázek 8 Etapy vstřikovacího cyklu

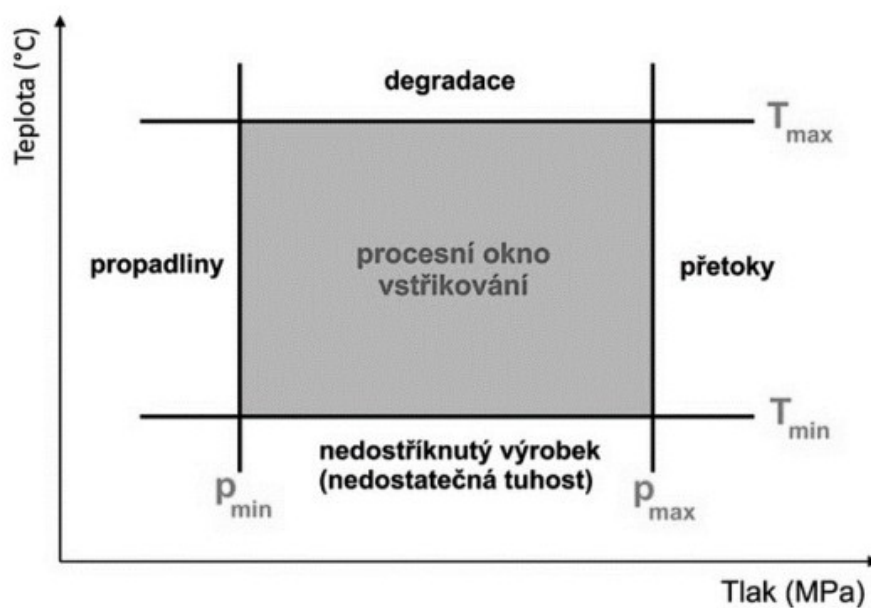


Obrázek 9 Vstřikovací cyklus

### 3.2 Procesní okno

U vstřikování hraje hlavní roli teplota a tlak. Z těchto parametrů se sestavuje procesní okno. Procesní okno představuje oblast, kde je možné vyrobit kvalitní výrobek. [16]

- $T_{\max}$ ,  $P_{\max}$  – maximální teplota a tlak pro zpracování před degradací polymeru.
- $T_{\min}$ ,  $P_{\min}$  – teplota a tlak, při které se ještě dokonale vyplní celá dutina formy.



Obrázek 10 Procesní okno

## 4 VSTŘIKOVACÍ STROJE

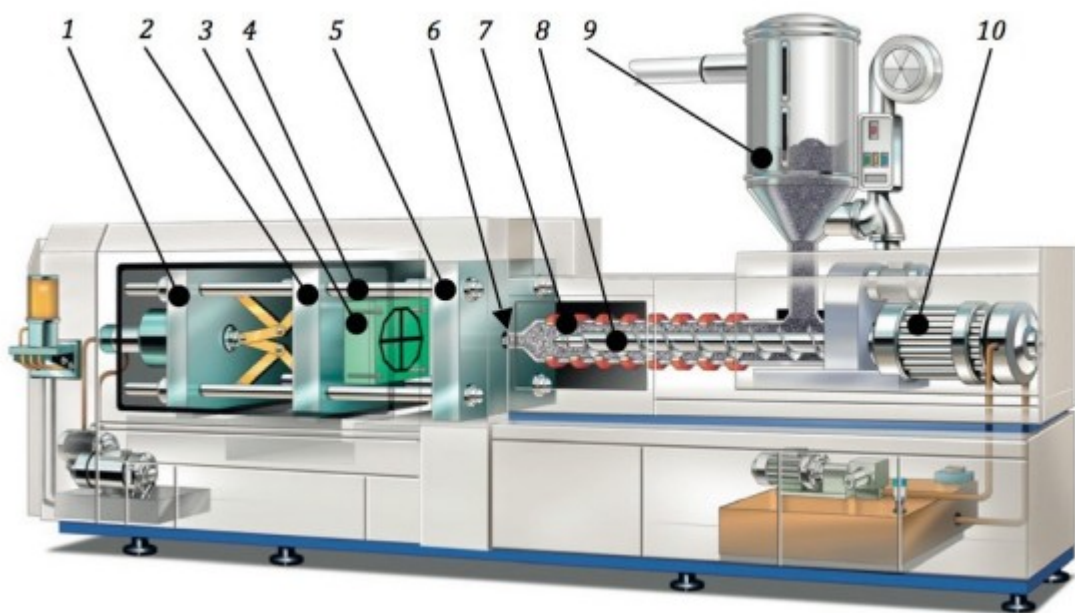
### 4.1 Volba vstřikovacího stroje

Vstřikovací stroj se volí podle:

- velikosti vstřikovací formy.
- hmotnost a rozměry výrobku.
- přesnost a kvalita výrobku.

Vstřikovací stroj musí dostatečně splňovat tyto podmínky:

- vstřikovací kapacita.
- plastikační výkon.
- uzavírací síla. [16]



Obrázek 11 Typický vstřikovací stroj

1 – uzavírací jednotka, 2 – pohyblivá upínací deska, 3 – pohyblivá část vstřikovací formy,  
4 – vodící sloupky, 5 – pevná upínací deska, 6 – vstřikovací tryska, 7 – tavící válec, 8 –  
šnek, 9 – násypka, 10 – pohonná jednotka šneku



## 4.2 Vstřikovací jednotka

Nejběžnější způsob zpracování plastů vstřikováním používá šnek uvnitř válce. Plast je obvykle ve formě granulí přiváděn z násypky do válce. Poté je dopravován podél šneku, kde je ohříván vedením z topných pásů, které jsou uloženy kolem vnější části válce. Na konci násypky řídí chladicí plášť místní teplotu a zabraňuje ucpání přívodu v důsledku předčasného roztavení suroviny. Hloubka kanálu šneku se zmenšuje podél délky šneku, aby se materiál ztuhl. Na konci šneku tavenina prochází tryskou.

Šnek rotuje kolem své osy a axiálně se pohybuje dopředu a dozadu. Vstřikovací jednotka je připevněna k posouvající se konzole, která zajišťuje pohyb trysky vstřikovací jednotky k vtokové vložce vstřikovací formy. Hlavní pohony vstřikovací jednotky musí zajistit rotaci šneku při plastikaci taveniny a přesun taveniny do dutiny, kdy šnek působí jako píst. Šnek vytlačuje taveninu z tavicího válce. Šnek působí jako píst na taveninu i během fáze dotlaku.

Násypka je vstup, na který navazuje tavicí válec, který je obklopen topnými pásy. Tavicí válec je zakončen tryskou, která těsně dosedá na vtokovou vložku vstřikovací formy. Na polymer působí teplo z topných pásů, ale hlavně je zahříván vlivem tření polymeru mezi stěnami tavicího válce a šneku. Výkonnost vstřikovací jednotky je charakterizována dvěma parametry, kterými jsou vstřikovací kapacita a plastikační kapacita. [1]

### 4.2.1 Vstřikovací kapacita

Vstřikovací kapacita je maximální objem taveniny, který je možné na stroji vystříknout z tavicího válce do dutiny během jednoho pracovního zdvihu šneku. Vstřikovací kapacita je udávána v  $\text{cm}^3$ . Vstřikovací kapacita poskytuje informaci o maximálním objemu výrobku, který je možné vyrobit. Do objemu je nutné připočítat i objem vtokového systému. [1]

### 4.2.2 Plastikační kapacita

Plastikační kapacita stroje je informace o maximálním množství taveniny, kterou je stroj schopen za jednotku času převést do plastického (zpracovatelného) stavu. Plastikační kapacita se uvádí v kilogramech za hodinu. Jedná se o množství taveniny, které je při určitých otáčkách šneku, vytlačeno před čelo šneku a do volného prostoru pouze rotačním pohybem šneku. Hodnota je pouze orientační a používá se jako parametr pro spočítání potřebné doby pro plastikaci daného množství polymeru. [1]

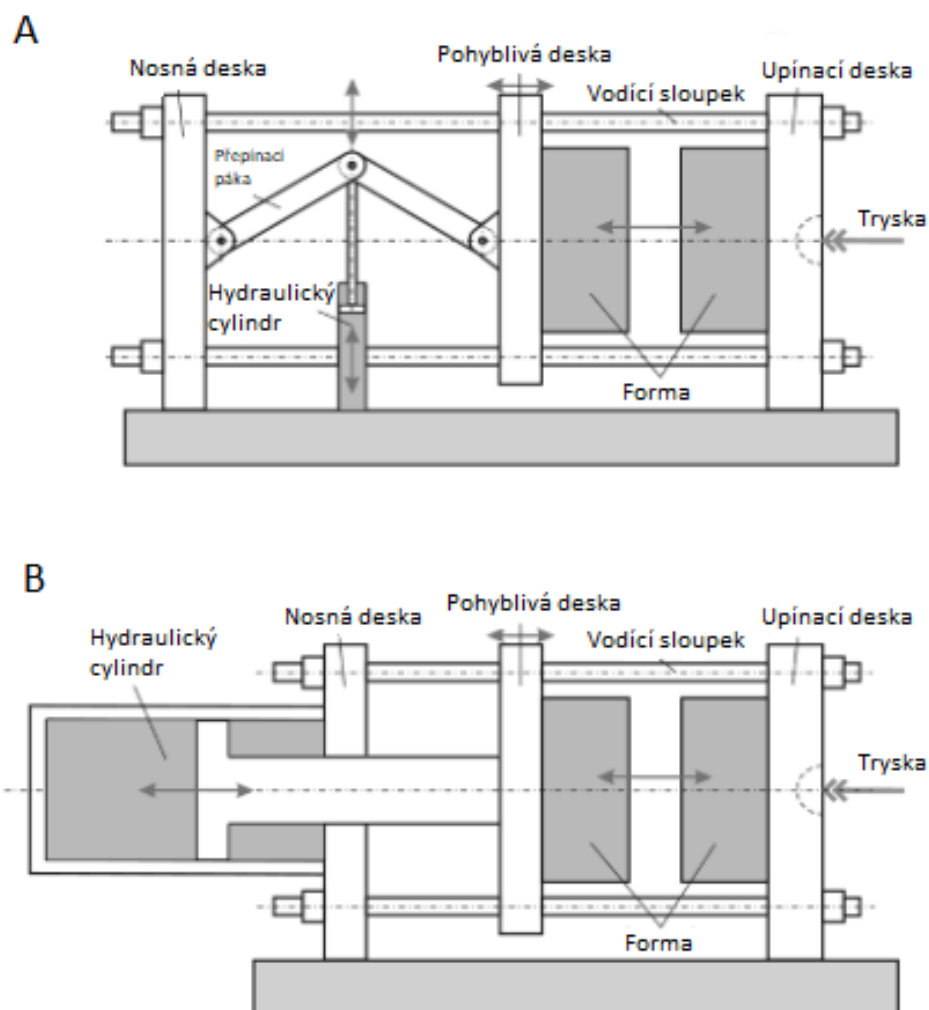
### 4.3 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka se používá k tomu, aby se obě poloviny formy udržely těsně uzavřené, když je tavenina vstříkována pod vysokým tlakem do formy. A poté, aby se polovina forma otevřela při vyhazování hotového výrobku.

Základní části jednotky jsou vodící sloupky, pevná a pohyblivá upínací deska stroje s upínacím systémem a mechanismus, který je zdrojem síly potřebné pro otevření a uzavírání formy. Mechanismy vytvářejí uzamykací sílu, která působí proti vstříkovacímu tlaku a drží formu uzavřenou během vstříkování a dotlaku.

Podle pohonu, který posouvá pohyblivé desky podél vodících sloupků, se uzavírací jednotky dělí na elektrické (zdrojem pohybu je elektromotor) a hydraulické (zdrojem je hydraulický píst).

Hydraulický píst může být napojen přímo na pohyblivou upínací desku (hydraulický systém), nebo stejně jako u elektromotoru je síla přenášena přes další mechanický systém. Tyto systémy jsou hydraulicko-mechanické nebo elektro-mechanické. [1]



Obrázek 12 Systémy uzavírání forem

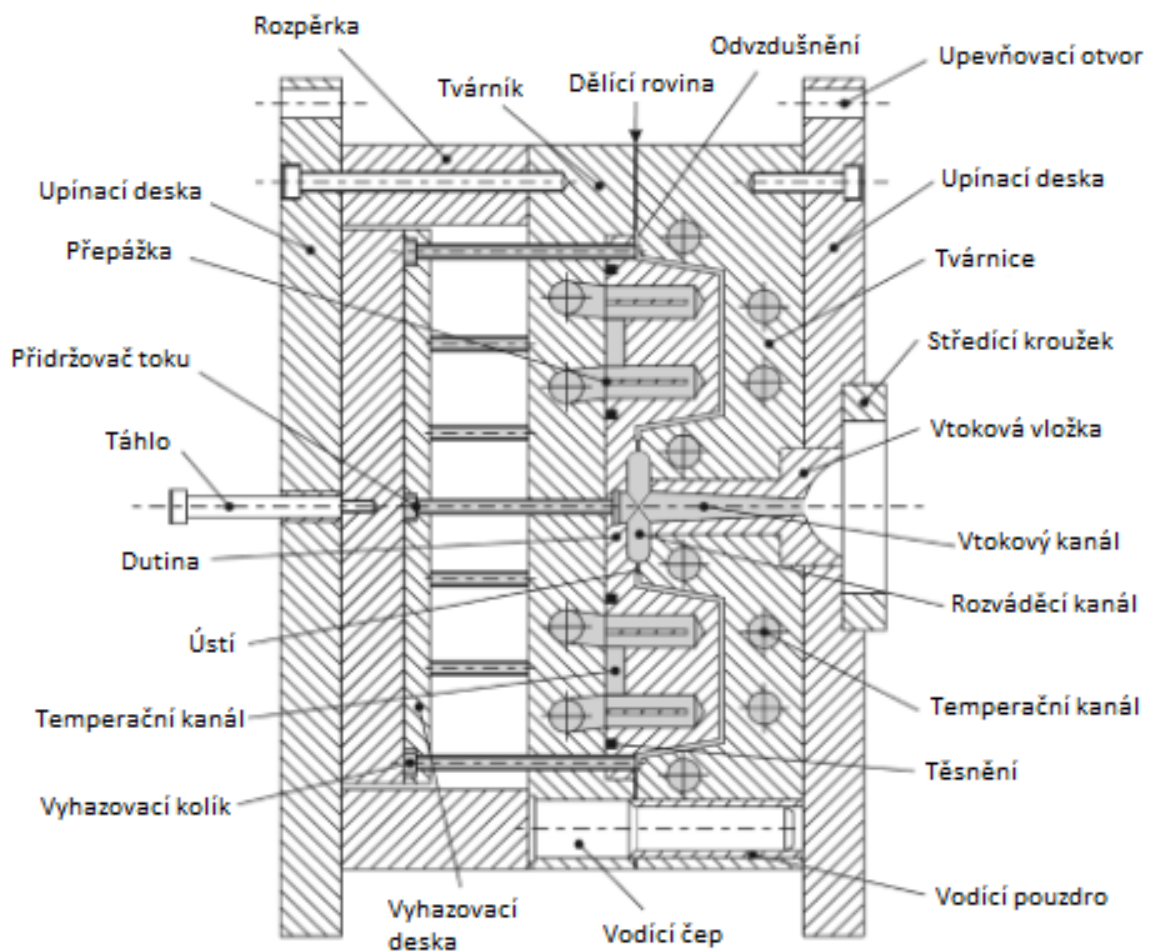
*A – hydraulicko-mechanický systém, B – hydraulický systém*

## 5 VSTŘIKOVACÍ FORMY

Vstřikovací forma je nástroj, který používá k výrobě plastových dílů. Používané vstřikovací formy jsou technicky komplikovaná zařízení a ekonomicky nákladná. Klade se důraz na formy z hlediska kvality, produktivity, spolehlivosti a automatizace výroby.

Formy se skládají ze dvou hlavních částí, z nichž jedna je upnuta na pevné straně vstřikovacího stroje a druhá na jeho pohyblivé straně. Část upnutá na pevné straně má za úkol přivod taveniny do dutiny formy pomocí vtokového systému. Část upnutá na pohyblivé straně vstřikovacího stroje má funkci vysunutí výrobku z dutiny formy pomocí vyhazovacího systému.

Výroba dílů vstřikováním probíhá na vstřikovacím stroji za krátký časový interval. Za působení dostatečného tlaku a teploty. Z toho se určují základní požadavky na kvalitní vstřikovací stroj a formu. [2]



Obrázek 13 Vstřikovací forma

Kvalitní forma splňuje tyto požadavky:

- **Technické:** forma je maximálně tuhá a pevná, má vysokou přesnost funkčních ploch a je snadno manipulovatelná.
- **Ekonomické:** nízká cena výroby vstříkovací formy a zaručení dlouhé životnosti formy.
- **Společenskoekonomické:** bezpečný provoz formy v pracovním prostředí.

Násobnost formy se uvažuje podle požadovaného množství výrobků, ceny výroby, termínu dodání, kapacity vstříkovacího stroje, přesnosti a kvality výrobku. [16]

## 5.1 Dutina formy

Rozměry dutiny jsou dány smrštěním výrobku. Dutina se skládá z tvárníku a tvárnice. Obě jsou vyrobené ve velmi úzkých tolerancích pomocí moderních počítačově řízených obráběcích technik. Mohou mít poměrně složitý tvar, a proto často vyžadují speciální techniky výroby. [2]

## 5.2 Rám formy

Rám formy je skupina vzájemně propojených desek pomocí vodících a středících elementů. Rám musí umožnit správné a bezpečné upnutí ve vstříkovacím stroji, přesné vedení pohyblivých dílů, ukotvení tvárnice a tvárníku a vhodné umístění vyhazovacího a temperačního systému. [2]

## 5.3 Vtokový systém formy

Když roztavený polymer opustí válec tryskou, jeho dráha toku se začne usměrňovat ke svému konečnému cíli, dutině formy.

U vícenásobných forem jsou dutiny spojeny s vtokem pomocí rozváděcích kanálů vyříznutých v jedné nebo obou polovinách formy, kterými plast bez omezení protéká. Úzké zúžení mezi kanálkem a dutinou umožňuje snadné oddělení výrobku od vtoku. Toto zúžení se nazývá vtokové ústí. [2]

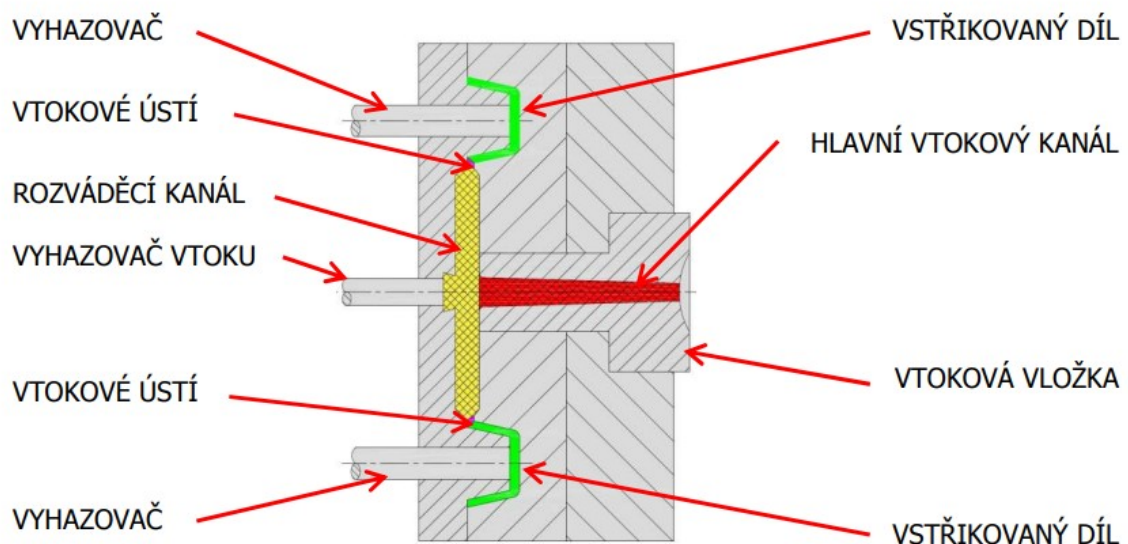
### 5.3.1 Studené vtokové soustavy (SVS)

Kanály jsou navrženy tak, aby měly vysoký poměr objemu k povrchu. Tak se minimalizují tepelné ztráty, předčasné tuhnutí taveniny a pokles tlaku. Při vstřikování se nejčastěji

používají průřezy plného kruhového, půlkruhového a lichoběžníkového tvaru. Průřezy kanálů pro semikrystalické polymery je větší než pro amorfni polymery.

U velikosti průměru studeného vtoku se bere v úvahu, jaký je objem součásti, délka toku taveniny, velikost ústí, kapacita stroje a doba cyklu. Obecným pravidlem je, že studený vtok by měl mít průměr rovný maximální tloušťce výrobku. Všechny ostré hrany se zaoblí a vytvoří se úkos vtoku pro lehké vyjmutí. Jímka se používá k zachycení čela taveniny a zabrání tak proniknutí chladného čela do dutiny.

Jedním z cílů studených vtoků je dostat taveninu do dutiny nejkratší a nejprímější cestou. Uspořádání kanálů je rozhodující pro správné vyplnění výrobku ve formě. U vícenásobných forem se často využívá konfigurace H. Vyvážení vtokového systému je důležité pro vyplnění dutin formy stejnou rychlostí a tlakem. [2]

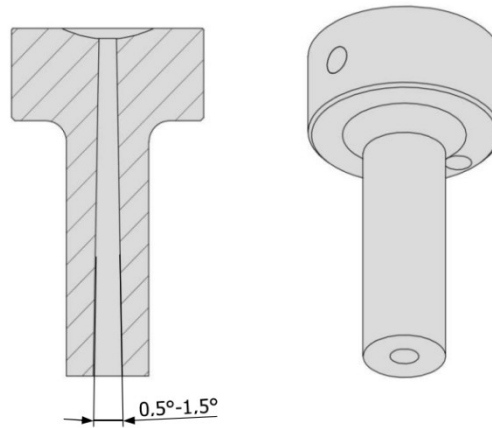


Obrázek 14 Schéma studeného vtoku

### 5.3.2 Vtokový kanál

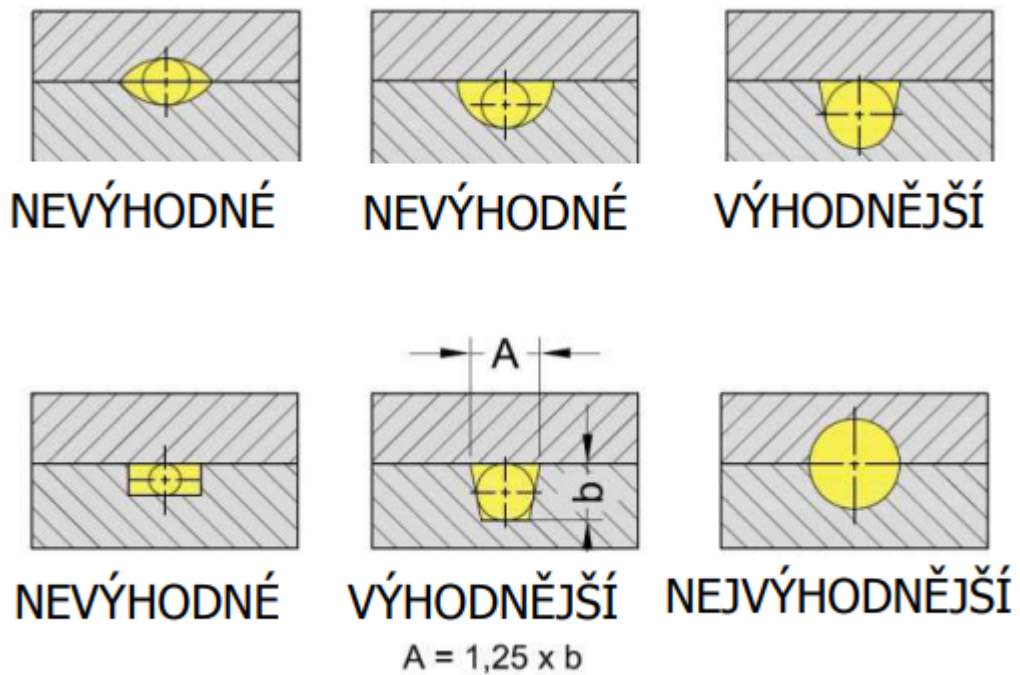
Vtokový kanál je prvním kanálem, který začíná směřovat roztavený materiál směrem k dutině formy. Hlavní rozhraní mezi tryskou vstříkovačím stroje a vtokovým systémem, se nazývá vtoková vložka. Vtoková vložka je navržena jako standardizovaný prvek dostupný u řady výrobců. Obecně platí, že konstrukce typického vtokového kanálu začíná otvorem o velkém průměru mezi tryskou a vtokovou vložkou, který se zužuje k otvoru o menším průměru. Dva faktory, které je třeba vzít v úvahu při výběru správné vtokové vložky, jsou hloubka a poloměr vtokové vložky, kde dochází ke kontaktu s tryskou. Kritické jsou

hloubka a poloměr vtokového kanálu, aby mohlo dojít k řádnému utěsnění mezi tryškou a vtokovou vložkou, kde by se případně zabránilo úniku roztaveného materiálu.



Obrázek 15 Vtoková vložka

Studená nebo vyhřívaná vtoková soustava, je také důležitá při návrhu vtokové vložky. U studené soustavy je celkový průměr kanálů udržován malý, aby se omezilo potřebné chlazení, a tím se udržovala minimální celková doba procesního cyklu. Pro vyhřívané vtokové soustavy lze použít kuželové vtoky velkého průměru, protože materiál zůstává roztavený uvnitř, dokud nevstoupí do dutiny. [2]



Obrázek 16 Řešení vtokových kanálů

### 5.3.3 Vyhřívání vtokové soustavy (VVS)

Vyhřívání vtokový systém nemá rozváděcí kanály, které by se vysouvaly spolu s výrobkem. Vyhřívání vtokový systém se liší od studeného vtokového systému prodloužením válce vstřikovacího stroje. Vyhřívání vtokový systém udržuje roztavený polymerní materiál na přibližně stejné teplotě a viskozitě jako je polymer ve válci vstřikovacího stroje. K tomu se používají vyhřívání trysky, které mají vlastní topný článek s regulací. Lze použít pouze bodové vyústění malého průřezu. Je vhodné vytvořit čochkovité zahloubení v místě styku.

Výhody VVS:

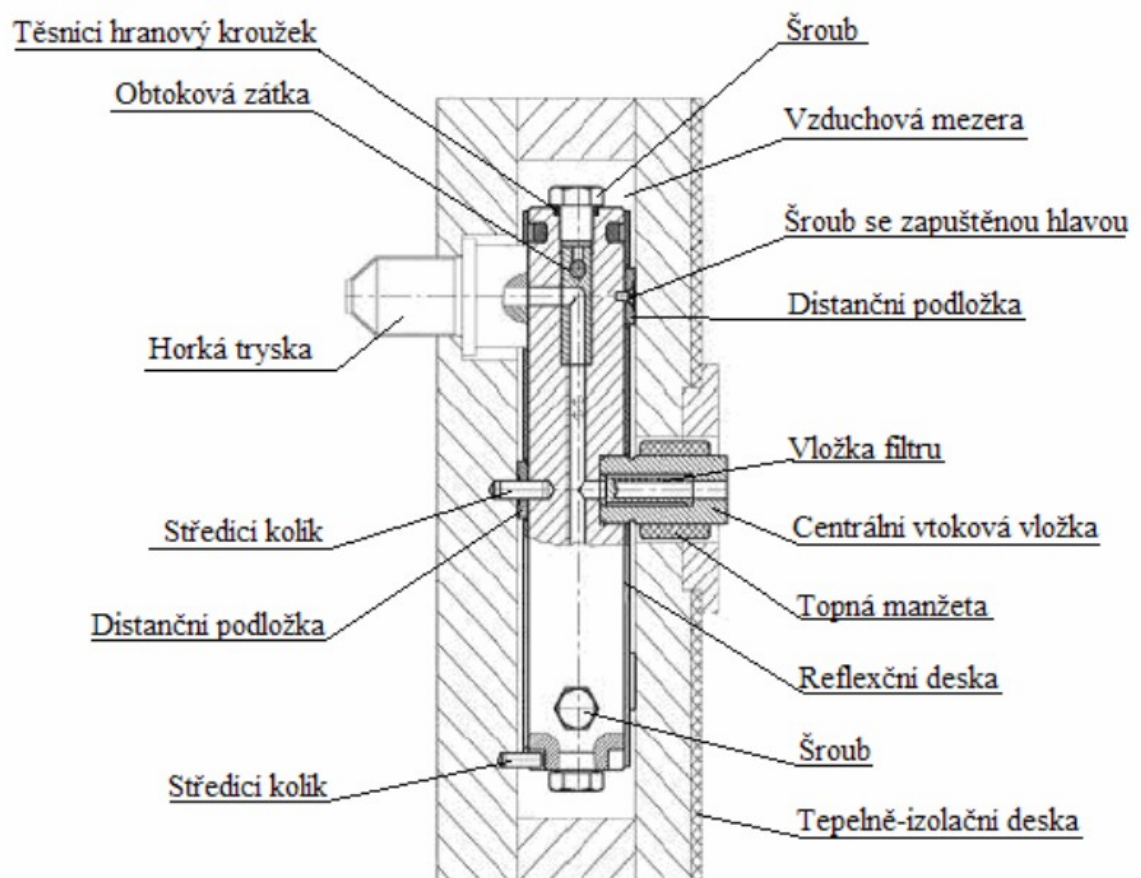
- zkrácení vstřikovacího cyklu.
- úspora materiálu.
- vstřikování bez vtokových zbytků.

Nevýhody VVS:

- konstrukční provedení je dražší.
- potřeba mít regulátory a snímače teploty.
- energetický náročnější než systém studeného vtoku.

U vyhřívání vtokové soustavy jsou vysoké náklady na složitější návrhy formy, výrobu a provoz. To je způsobeno vyhříváním rozvodným blokem, který obsahuje topné prvky a ovládací prvky pro udržování taveniny na požadované teplotě. Rozvodné bloky se vyrábí ve tvaru I, H, X, Y. Instalace a ovládání topných těles je obtížné. Nesnadná je také izolace zbytku formy. Úkolem je udržet teplo v rozvodném bloku, zatímco probíhá cyklické chlazení dutiny, aniž by to ovlivnilo celkovou dobu cyklu. [2]





Obrázek 17 Vyhřívaný rozvodný blok

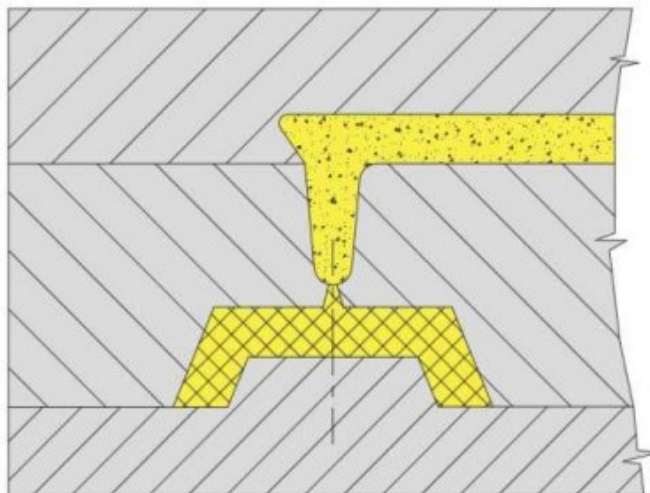
### 5.3.4 Vtokové ústí

Ústí je malý otvor, který spojuje rozváděcí kanál s dutinou a je umístěn do netlustšího místa výrobku. Má řadu funkcí. Za prvé, poskytuje slabé spojení, pomocí kterého lze výrobek oddělit od vtokových kanálů. U některých forem může být oddělování automatické, když se forma otevře. Obecným pravidlem je, že jsou upřednostňována malá ústí, protože pokud je vtokový kanál čistě oddělen, není vyžadována dodatečná povrchová úprava.

U vícenásobné formy není vždy možné, aby délka kanálů byla ke každému ústí stejná. Ústí v blízkosti by se rychle naplnily, zatímco dutiny vzdálené by přijímaly taveninu později a za sníženého tlaku a teploty. Ke zmírnění tohoto problému se optimalizuje délka a velikost kanálů a umístění ústí.

- Boční vtok: je nejpoužívanějším vtokovým ústím. Jeho průřez je často obdélníkový. Vtokové ústí leží v dělicí rovině. Vtokový zbytek zůstává neoddělený od výrobku.

- Plný kuželový vtok: je účinný při působení dotlaku, kde vtok tuhne jako poslední ve formě. Zanechává stopu na výrobku. Využívá se u jednonásobných forem nebo u velkoobjemových výrobků.
- Bodový vtok: je typ zúženého vtokového ústí, které leží mimo nebo v dělicí rovině. Vhodný pro tenkostěnné výrobky. Používá se pro systém třídeskových forem.
- Tunelový vtok: je to typ bodového vtoku, kdy vtokový zbytek leží v dělicí rovině s výrobkem.
- Srpkovitý vtok: jedná se o speciální případ tunelového vtoku, kdy se umístění vtokového ústí používá ve spodní části výrobku. Odstraní se stopy na pohledové straně výrobku.
- Filmový vtok: používá se pro kruhové a trubicové dutiny. [2] [16]

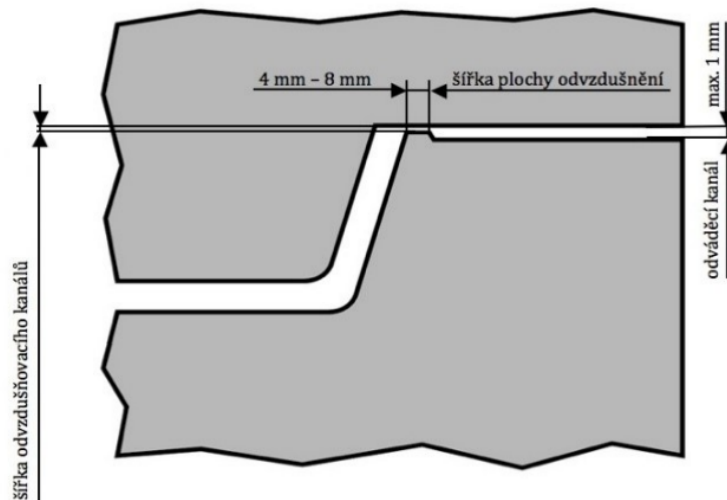


Obrázek 18 Bodový vtok

### 5.3.5 Odvzdušnění

Před vstříkáním taveniny obsahuje dutina v uzavřené formě vzduch. Když tavenina vstupuje do formy a vzduch nemůže uniknout, tak se vzduch stlačí. V nejhorším případě to může ovlivnit plnění formy. Vzduch z dutiny formy často uniká dělicími rovinami.

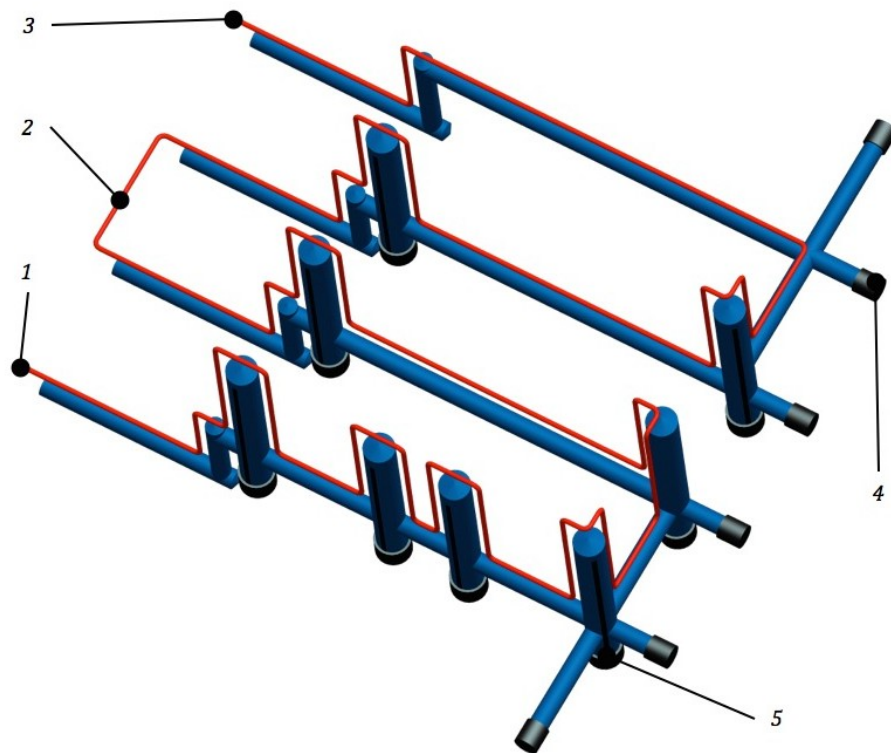
Každopádně náhlé stlačení vzduchu způsobí značné zahřátí. To může způsobit spálení výrobku a povrchu formy (Dieselův efekt). Aby se tento problém zmírnil, jsou do lícujících ploch desek obrobny otvory, které umožňují unik vzduchu. Odvzdušňovací kanálek musí být malý, aby roztavený polymer nemohl proudit dovnitř a nezpůsobil nesprávné vytvarování výrobku. [2]



Obrázek 19 Doporučená konstrukce odvzdušňovacího kanálu

#### 5.4 Temperační systém

Pro účinné vytvarování výrobku by měla být řízena teplota formy a to se provádí průchodem temperačních prostředků, jako jsou tekutiny (vody nebo oleje) vhodně uspořádanými kanály ve formě. Rozměry a rozmístění kanálů se volí podle konstrukčního řešení formy. Je doporučeno volit větší počet malých kanálů než menší počet velkých kanálů. Průřez kanálu se volí kruhový a průměr nesmí být menší než 6 mm. Rychlost, s jakou se výrobek ochlazuje, ovlivňuje celkovou dobu cyklu a také povrchovou úpravu, tolerance, deformace a vnitřní pnutí tvarovaného výrobku. Silnější stěny výrobku se ochlazují intenzivněji. Vysoké teploty formy zlepšují lesk povrchu a mají tendenci eliminovat vady. Pokud je teplota formy příliš nízká, může materiál v dutině zmrznout před jejím naplněním. [2]



Obrázek 20 Temperační okruh

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

Temperační prostředky jsou média, která se používají k řízení teploty formy. Prostředky se dělí na aktivní (přivádějí nebo odvádějí teplo z formy) a pasivní (ovlivňují tepelný režim formy).

Aktivní temperační prostředky:

- kapaliny: proudí kanály uvnitř formy.
- vzduch: používají se pouze v případě, kdy se nevyužije kapalných prostředků.
- topné elektrické články: používají se topné patrony a prstencová topná tělesa, která předávají velké množství energie do vytápěné části formy.

Pasivní temperační prostředky:

- tepelně izolační materiály: omezení přestupu tepla do upínacích desek formy. Využívá se tepelně odolných materiálů z vyztužených reaktoplastů.
- tepelně vodivé materiály: odvod tepla z obtížně temperovatelných míst. Používá se měď, hliník a jejich slitiny. [16]

## 5.5 Vyhazovací systém

K vyhození výrobku a vtokového zbytku z formy slouží vyhazovací zařízení, která pracují automaticky nebo poloautomaticky. Nejprve se spustí dopředný pohyb (vyhazování) a poté zpětný pohyb, kde se vyhazovače vrátí do původní polohy. Zpětný pohyb je zajištěn vratnými kolíky a pružinami nebo hydraulicky. Správné vyhození závisí na hladkosti stěny výrobku, vyhazovací síla musí být rovnoměrná a stopy po vyhazovačích musí být minimální. Velikost vyhazovací síly je vždy předimenzována.

Vyhazovací desky slouží k ukotvení vyhazovačů. Desky jsou vedeny vodícími čepy ve vodících pouzdrech. Proti dotyku vyhazovacích desek s upínací deskou slouží dorazy.

Využívají se tyto vyhazovací systémy:

- mechanické: vyhazování pomocí kolíků, stírací desky a vícestupňového vyhazování.
- pneumatické: používá se pro tenkostěnné výrobky větších rozměrů.
- hydraulické: využívá se pro ovládání mechanických vyhazovačů. [2]

### 5.5.1 Vyhazovací kolík

Vyhazovací kolíky jsou nejčastější a nejlevnější způsob vyhození výrobku z formy. Vůle v uložení může sloužit jako odvzdušnění. Vyhazovací kolík by se měl dotýkat nepohledové stěny výrobku. Polohové ukotvení ve vyhazovacích deskách je důležité u prizmatických vyhazovačů z důvodu pootočení kolem vlastní osy. [2]



Obrázek 21 Druhy vyhazovačů

### 5.5.2 Stírací deska

Působí na výrobek po celé ploše a tím nezanechává stopy po vyhazování. Tím se zaručuje minimální deformace výrobku a velká vyhazovací síla. Využívá se u tenkostěnných výrobků o velkých rozměrech a vícenásobných forem. Pohyb stírací desky je obvykle odvozen tlakem vyhazovacího systému (tlak vyvozený vyhazovacím trnem). K prodloužení životnosti stírací desky se používá stírací kroužek.

Trubkový vyhazovač je speciální případ, kdy trubková část funguje jako stírací deska. [2]

### 5.5.3 Šikmý vyhazovač

Využívají se k vytvarování výrobků s malými zahloubeními, aby nebylo potřeba využít čelistových mechanismů. Šikmé vyhazovače jsou uloženy pod různými úhly k dělicí rovině. [2]

### 5.5.4 Dvoustupňové vyhazování

Dvoustupňové vyhazování potřebuje dva vyhazovací systémy, které se navzájem doplňují. Je zde možnost vyhazovat s odlišným časovým intervalem a velikostí vyhazovacího zdvihu. Využívá se pro oddělování vtokového zbytku od výrobku. [2]

## 5.6 Použité materiály při výrobě formy

Hlavní je správná volba materiálů, ze kterých jsou jednotlivé součásti vyrobeny. Vstřikovací formy jsou velmi nákladné. Každá součást musí splňovat specifické požadavky.

Materiál součásti musí splňovat tyto požadavky:

- dobrá obrobitelnost.
- zvýšená odolnost proti otěru.
- odolný proti korozi.
- odolný proti chemickým vlivům polymerů.

Nejpoužívanější a obtížně nahraditelný materiál je ocel. Oceli se dělí podle tříd, způsobu výroby (k tváření, na odlitky), oblasti použití (konstrukční nebo nástrojová) a podle chemického složení (nelegované, nízkolegované a vysoce legované).

Při výrobě forem se také používají slitiny neželezných kovů. Slitiny hliníku se používají pro malosériové vstřikovací formy, jako tvárníky a tvárnice. Taky se využívají jako pasivní temperační prostředek (chladicí trny), protože intenzivně odvádějí teplo. Slitiny mědi jsou skvělé elektrické a tepelné vodiče. Používají se na výrobu tvarových vložek, vyhazovacích kolíků a vodících pouzder.

Součásti vyrobené z oceli jsou dále tepelně zpracovány pro lepší vlastnosti:

- Žihání: pro odstranění vnitřního pnutí.
- Kalení: zvýší se tvrdost a pevnost součásti.
- Popouštění po kalení.
- Cementace.
- Nitridování. [17]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**



## 6 ZADÁNÍ A STANOVENÍ CÍLŮ

Pro praktickou část této bakalářské práce byly stanoveny tyto cíle:

- proved'te konstrukci 3D modelu zadaného dílu.
- navrhnete 3D sestavu vstřikovací formy pro výrobu zadaného dílu.
- nakreslete výkres 2D sestavy vstřikovací formy včetně příslušných pohledů.

V praktické části jsou vysvětleny vlastnosti zvoleného polymeru pro výrobu. Popis vstřikovacího stroje a postupná konstrukce vstřikovací formy. Za použití programu CATIA V5R20 a katalogu normálií od firmy HASCO je ukázán návrh vyráběného výrobku.

## 7 ZVOLENÝ MATERIÁL VÝROBKU

Navržený materiál výrobku je 3DXMAX PC. Jedná se o polykarbonát vyráběný firmou 3DXTECH.

Polykarbonát je z chemického hlediska stejný jako polyester. Je to amorfní polymer. Dokonale průhledný termoplast, který má dobré mechanické vlastnosti. Polykarbonáty mají dobrou pevnost a tuhost, tvrdost, houževnatost a odolnost proti lomu (výrobek nepraskne ani při prudkém nárazu). Má velmi dobré elektroizolační vlastnosti. Navlhavost neovlivňuje jeho mechanické vlastnosti, ale při teplotách zpracování by mohla způsobit jeho degradaci.

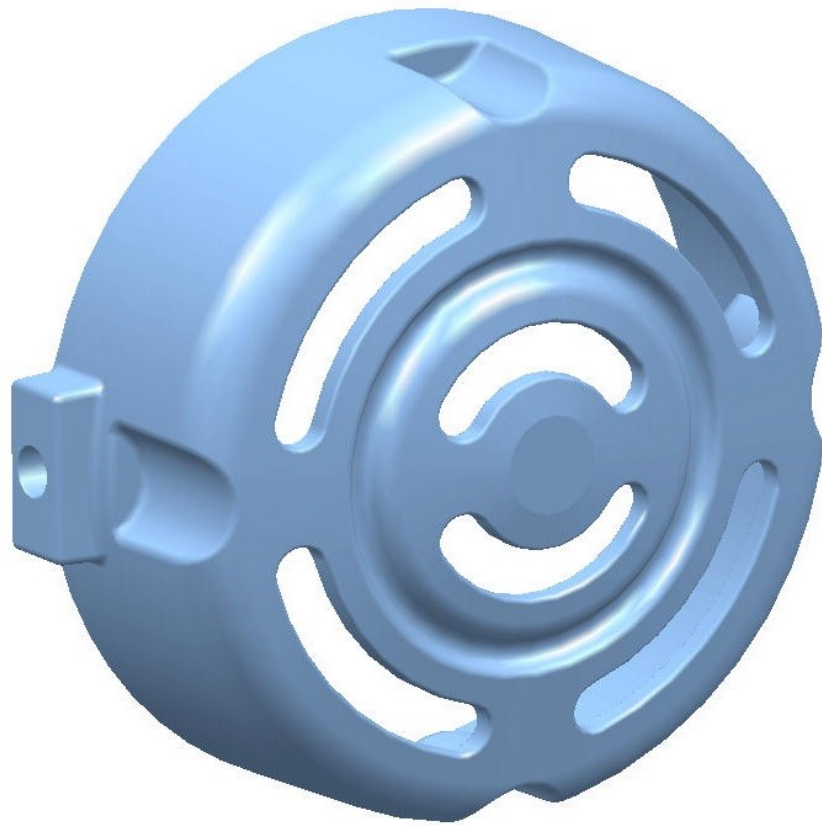
Tabulka 1 Vybrané vlastnosti materiálu [13]

	Hodnota	Jednotka	Norma
Hustota	1,2	g/cm <sup>3</sup>	ISO 1183
Smrštění	0,5	%	ISO 294-4
Teplota vstřikování	275-295	°C	-
Teplota formy	110-120	°C	-
Teplota skelného přechodu	147	°C	ISO 11357-1
Mez pevnosti	62	MPa	-

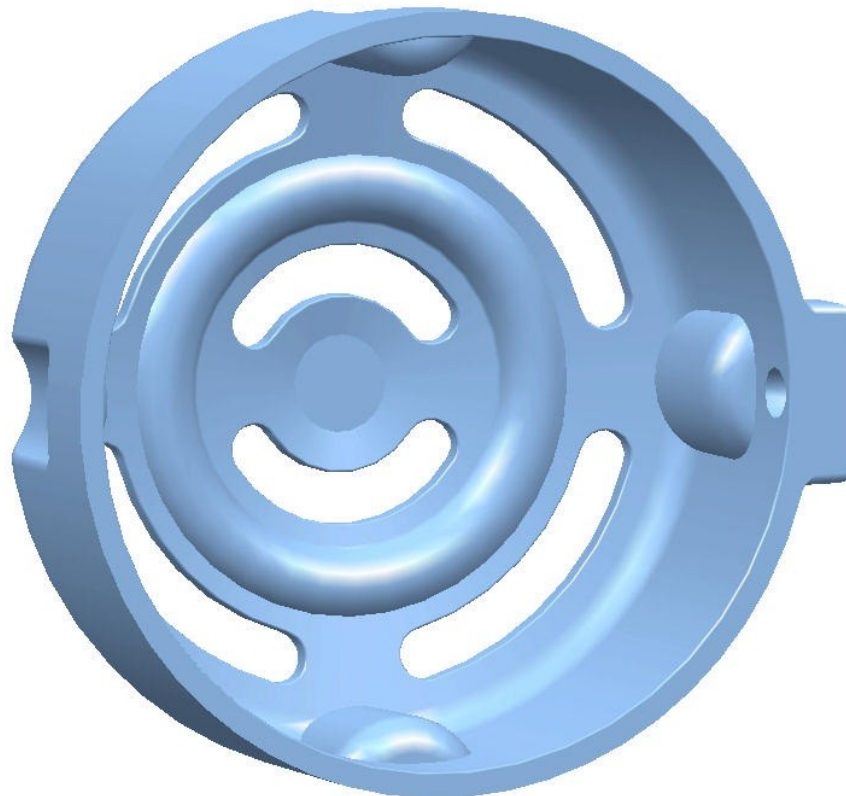
Pro výborné optické vlastnosti se používá k výrobě brýlových skel, čoček fotoaparátů a oken automobilů. Používá se také pro zadní světla a reflektory. Používají se pro výrobu ochranných štítů motocyklů využívaných policií. [12]

### 7.1 Výrobek

Pohled na zadaný vstřikovaný výrobek designový kryt chladiče. Hlavní rozměry jsou vnější kruhový průměr 160 mm, výška 61 mm a tloušťka stěny 5 mm. Hmotnost výrobku je 92 g. Výrobek je součástí sestavy krytů, které společně slouží, jako ochrana a izolace elektrického zařízení.



Obrázek 22 Pohled na vyráběný výrobek zepředu



Obrázek 23 Pohled na vyráběný výrobek zezadu

## 8 POUŽITÉ APLIKACE

### 8.1 CATIA V5R20

CATIA (*Computer-Aided Three-Dimensional Interactive Application*) je software používaný pro návrh v 2D a 3D, konstruování 3D modelů a výroba dílů (CAD/CAM/CAE). Software je licencovaný na francouzskou firmu Dassault Systèmes. [10]

Použité CATIA moduly:

- Sketcher
- Part design
- Assembly design
- Mold tooling design
- Drafting

### 8.2 HASCO katalog

Vrtané desky K-programu jsou ze všech stran opracované a mají stejné rozměry jako desky P-programu. Používají se pro vývoj a výrobu nástrojů, vstřikovacích a tlakových forem.

Nevrtané desky P-programu jsou ze všech stran opracované a používají se převážně pro výrobu forem, nástrojů a zařízení. P-normálie se ideálně hodí k výrobě tvarových desek s rozsáhlým obráběním a také pro vložky, posuvné jednotky, součásti střížných nástrojů a přípravků.

Z-program obsahuje příslušenství vodících prvků, vyhazovacích komponentů, západkových systémů i dvoustupňové vyhazovače a mnoho dalších komponentů. [15]

## 9 POPIS VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Byl zvolen vstřikovací stroj ROBOSHOT  $\alpha$ -S450iA od firmy FANUC podle technických parametrů formy a výrobku.

Tabulka 2 Technické parametry uzavírací jednotky [14]

	Hodnota	Jednotka
Uzavírací síla	4500	kN
Max. výška formy	1000	mm
Min. výška formy	350	mm
Otevírací zdvih	900	mm
Vzdálenost vodících tyčí	920x920	mm
Zdvih vyhazovače	250	mm
Max. síla vyhazovače	150	kN

Tabulka 3 Technické parametry vstřikovací jednotky [14]

	Hodnota	Jednotka
Průměr šneku	80	mm
Zdvih vstřikování	360	mm
Max. objem vstřikované dávky	1810	cm <sup>3</sup>
Max. rychlost vstřikování	180	mm/s
Max. vstřikovací tlak	250	MPa
Max. průtok vstřikování	905	cm <sup>3</sup> /s



Obrázek 24 Vstřikovací stroj FANUC ROBOSHOT α-S450iA

Technické parametry stroje a vstřikovací jednotky jsou dostatečné pro splnění technických požadavků vstřikovací formy. Hmotnost dílu je 92 g, forma má 4 dutiny, a kombinace vyhřívané trysky se studeným vtokem, z toho určíme, že hmotnost výhozu výrobku včetně vtoku je  $368 \text{ g} + \text{vtok} = 390 \text{ g}$ . Z hustoty materiálu  $1,2 \text{ g/cm}^3$  se vypočítá podle vzorce  $V=390/1,2$  objem zdvihu  $325 \text{ cm}^3$ . Maximální objem vstřikované dávky je  $1810 \text{ cm}^3$ . Objem vstřikované dávky nepřesáhne 90 % kapacity stroje. Uzavírací síla stroje je pravděpodobně dostatečná. Vstřikovací stroj ROBOSHOT α-S450iA splňuje požadavky navržené vstřikovací formy.

## 10 KONSTRUKCE FORMY

Při konstrukci formy musí konstruktér vybrat vhodný typ desek, ze kterých se forma skládá. Desky formy jsou k dostání od různých výrobců ve standardizovaných rozměrech. Ostatní díly formy jsou taktéž normalizovány. Desky formy byly zvoleny z katalogu K-programu od výrobce HASCO. Desky se upravují vrtáním a frézováním podle umístění tvarových vložek, vtokového systému, temperačního systému a vyhazovacího systému. Při konstrukci formy se volí co nejvíce normalizovaných součástí, aby byla levná výroba formy.

### 10.1 Dělicí rovina

Vzhledem k tvaru výrobku byly zvoleny hlavní a vedlejší dělicí roviny. Hlavní dělicí rovina je zvolena tak, aby výrobek zůstal v levé polovině formy při otevírání. Následně je výrobek vyhozen pomocí válcových vyhazovačů.

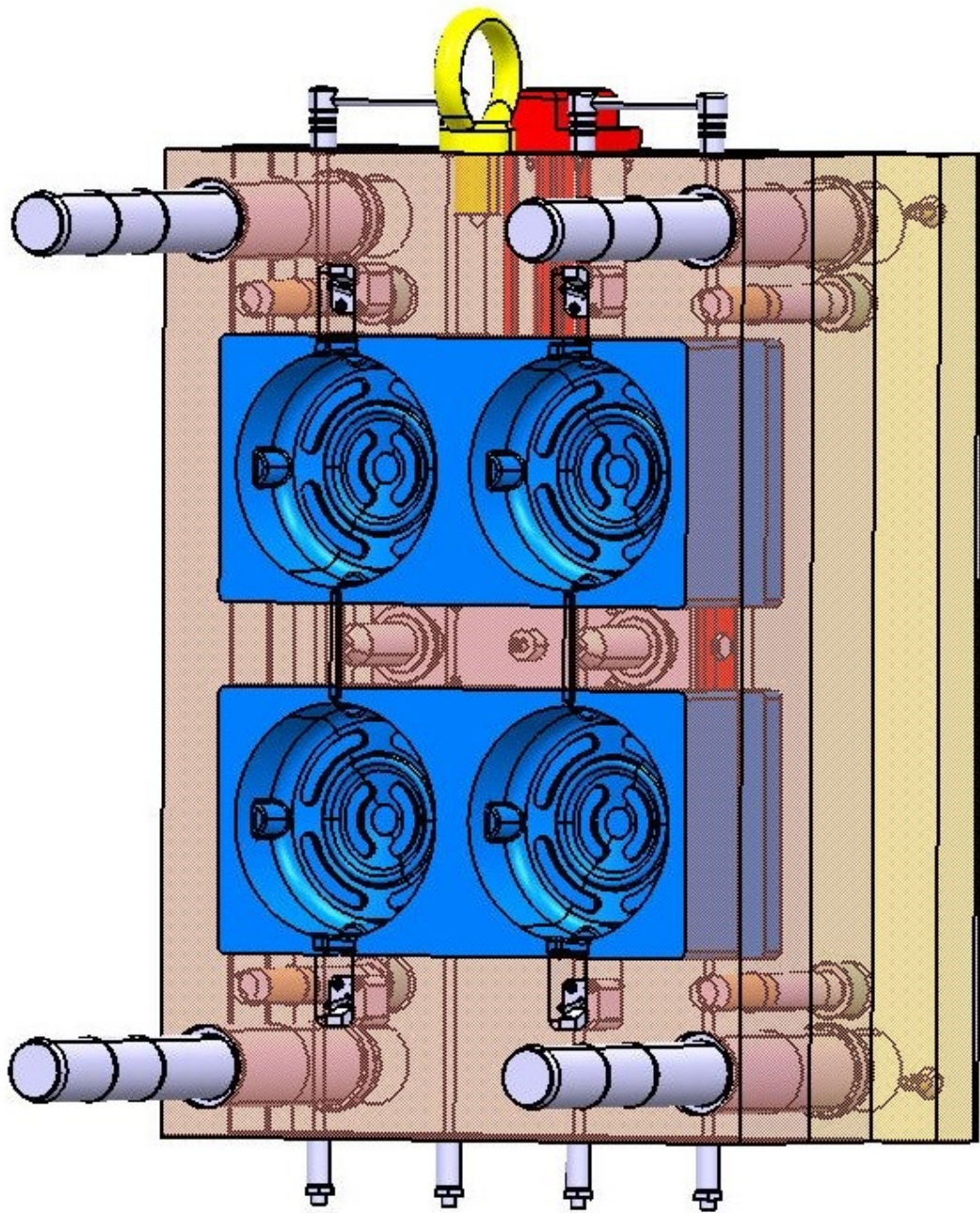


Obrázek 25 Hlavní dělicí rovina

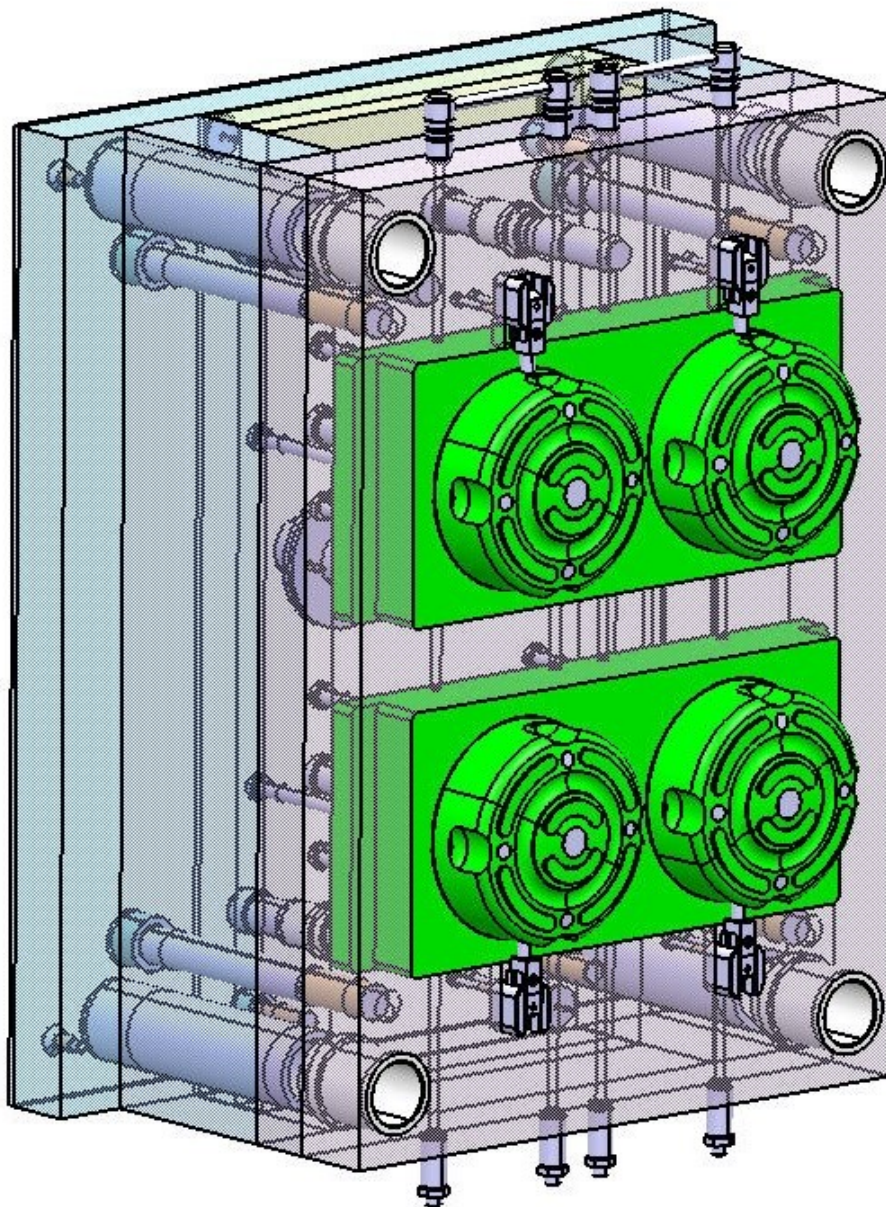
## 10.2 Násobnost formy

Násobnosti formy byla volena podle několika parametrů, mezi ně patří požadované množství a kvalita výrobků, kapacita vstřikovacího stroje a náklady na výrobu. V tomto případě se jedná o výrobek velké šířky a výšky. Proto byla zadána čtyřnásobná forma.





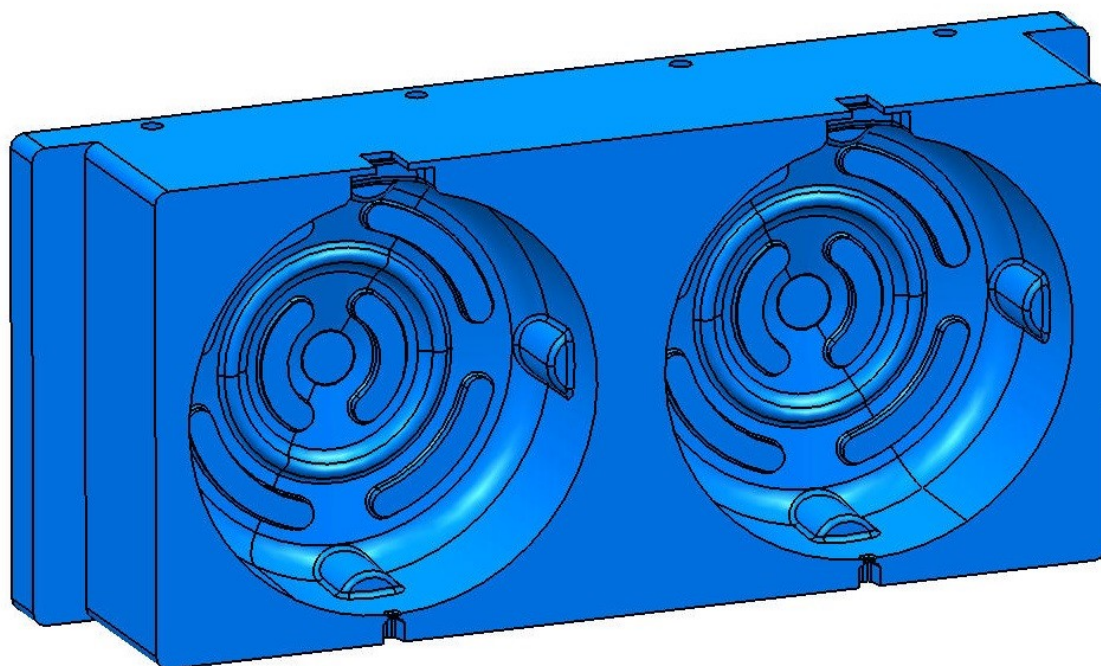
Obrázek 26 Pravá strana formy



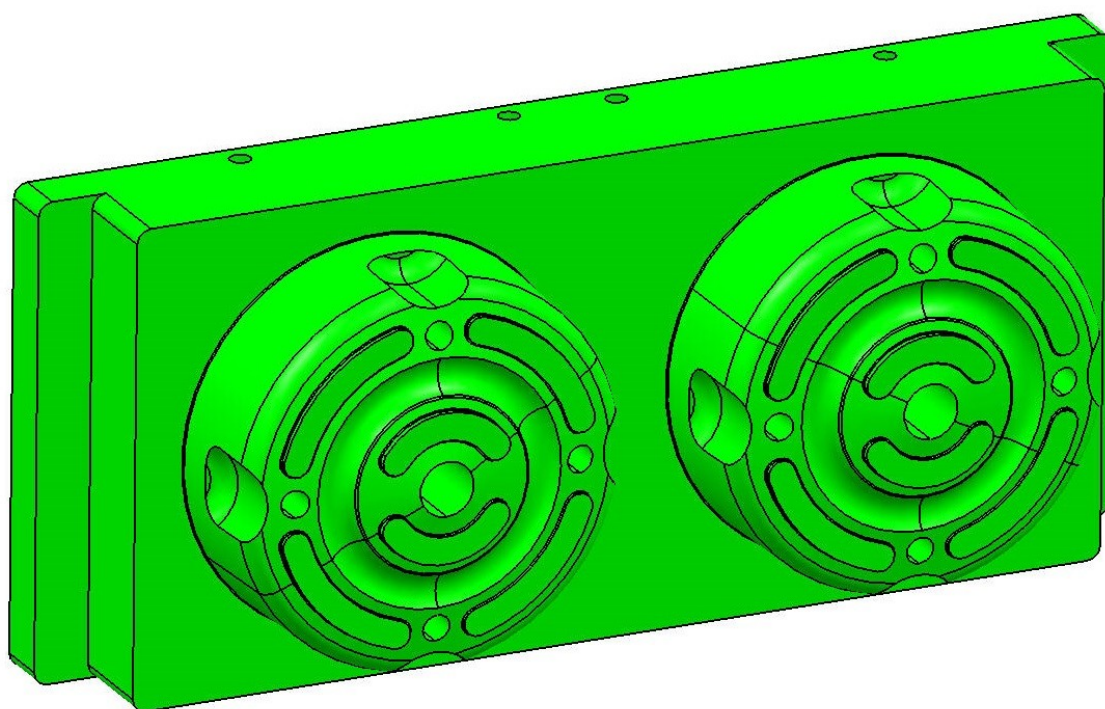
Obrázek 27 Levá strana formy

### 10.3 Tvarová dutina

Konečný tvar výrobku vytváří tvárník a tvárnice. Tvárnice je umístěna na pravé pevné polovině formy a tvárník je umístěn na levé pohyblivé polovině formy. Dutiny jsou zvětšeny o hodnotu smrštění použitého polymeru. U PC je velikost smrštění 0,6%, proto byly rozměry o tuto hodnotu zvětšeny. Otvor na vnější straně výrobku je řešen pomocí posuvných čelistí s tvarovým čepem, které jsou umístěny v kotevní desce tvárníku. Vložením posuvných čelistí s tvarovým čepem k vytvoření potřebného otvoru, vznikne vedlejší dělicí rovina.



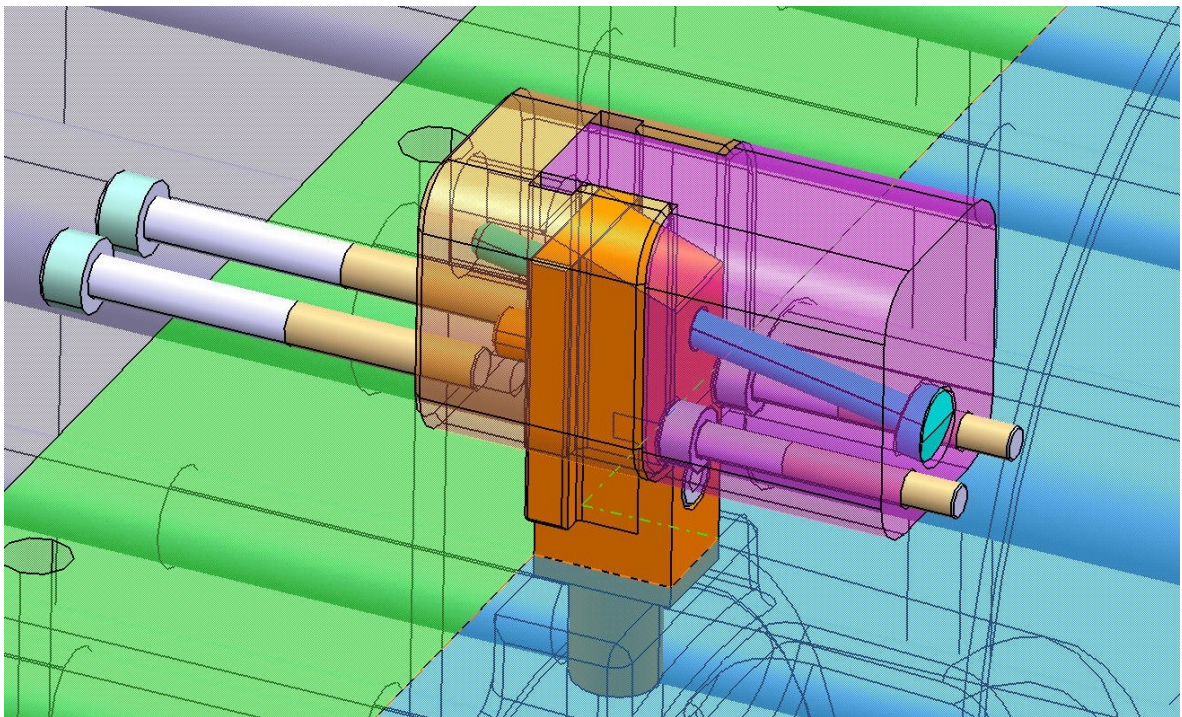
Obrázek 28 Tvárnice



Obrázek 29 Tvárník

## 10.4 Odformování pomocí posuvných čelistí

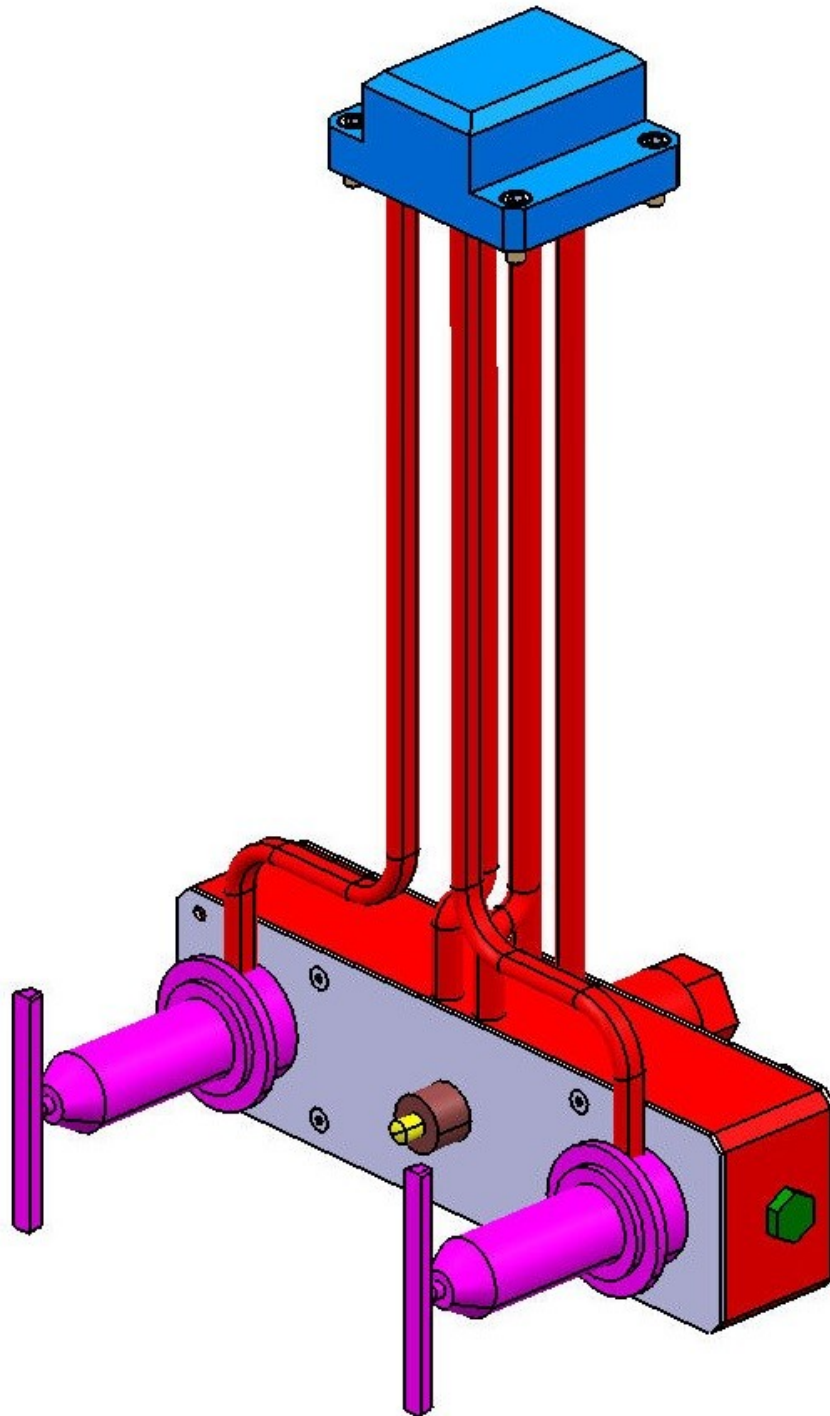
Při otevírání formy se čelisti posunou ve směru rovnoběžném k hlavní dělicí rovině. Posuvné jednotky jsou umístěny v kotevní desce tvárníku a pohyb čelistí je zajištěn pomocí šikmého čepu v pravé polovině formy. Poloha šikmého čepu je zajištěná v uzavíracím klínu posuvné jednotky. V posuvné jednotce je umístěn odpružený šroub, který zajišťuje polohu tvarového čepu, při otevření formy. Všechny použité součásti jsou normalizované díly od firmy HASCO.



Obrázek 30 Posuvné čelisti v uzavřené poloze

## 10.5 Vtokový systém

Vzhledem k tvaru výrobku, úspoře materiálu a násobnosti formy byla zadána kombinace vyhřívaného a studeného vtokového systému. Vyhřívaná vtokový systém je tvořen rozvodným blokem se dvěma tryskami od firmy HASCO. Rozvodný blok je ve vyfrézovaném rozhraní umístěný v opěrné desce mezi deskou upínací a deskou kotevní tvárnice. Blok je vystředěn pomocí válcového kolíku. Na každou trysku připadají dva výrobky. Studený vtokový systém má vyfrézované kanály ve tvaru lichoběžníků, které vedou do vtokového ústí typu boční vtok.



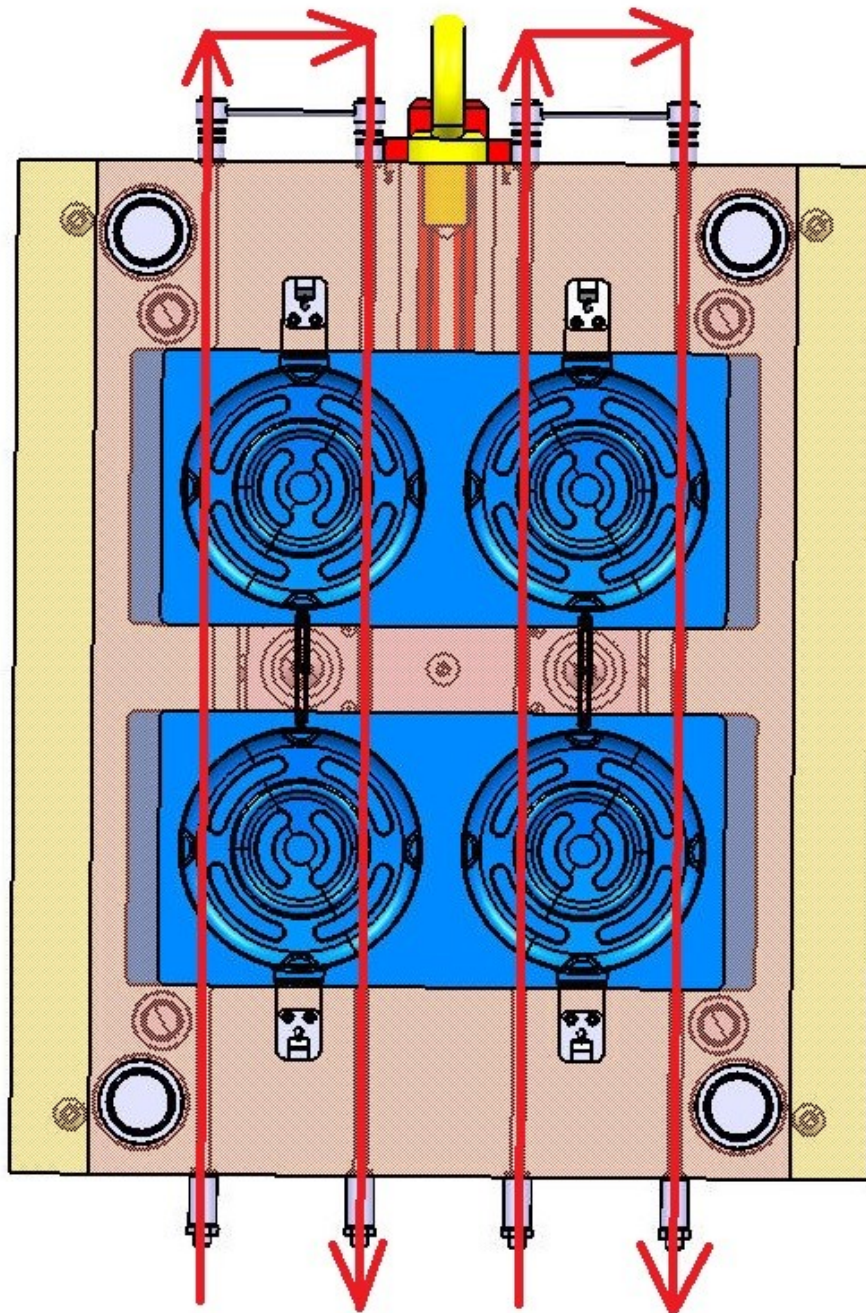
Obrázek 31 Kombinace vyhřívání a studeného vtokového systému

## 10.6 Odvzdušnění formy

Dutina formy je před vstříkáním polymeru naplněna vzduchem. V tomto konstrukčním řešení vstříkací formy je vzduch z dutiny formy odváděn dělicí rovinou. Pokud by se při zkouškách formy zjistilo, že vzduch neuniká dostatečně, musely by se ve formě vyrobít odvzdušňovací kanály.

## 10.7 Temperace formy

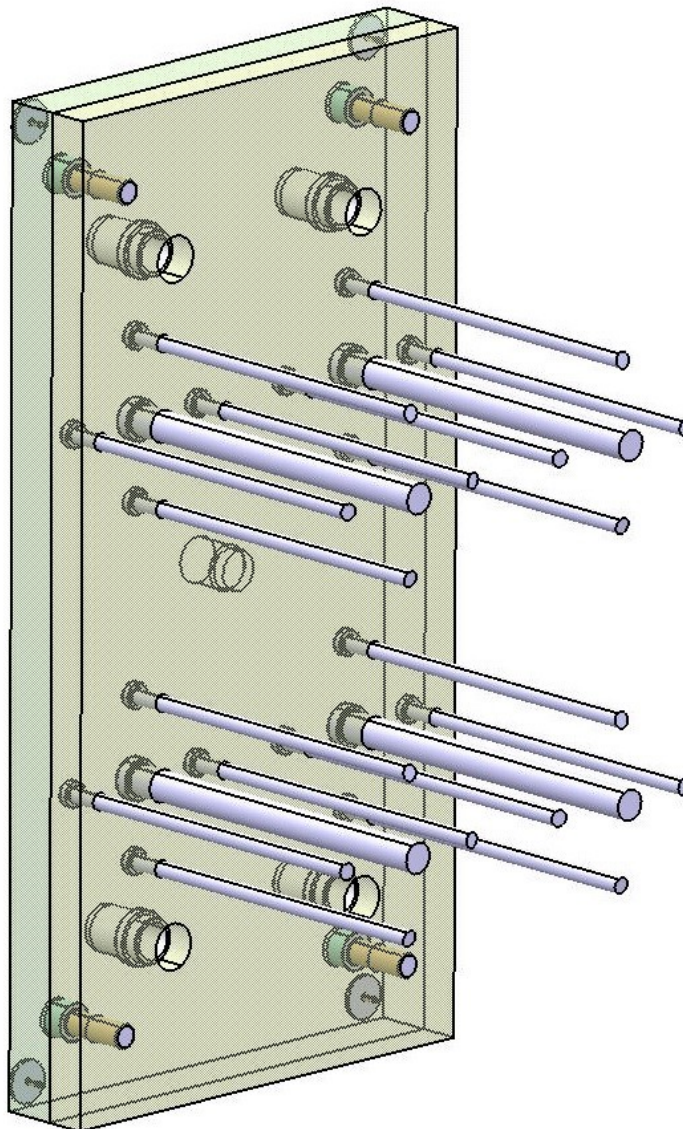
Teplota formy je proměnlivá v průběhu vstřikovacího cyklu. Při vstříknutí taveniny do dutiny formy teplota roste a následně se teplota formy snižuje. Optimalizace teploty se provádí správným rozmístěním kanálů a volbou správného temperačního média. V tomto konstrukčním návrhu byl temperační systém vyřešen pomocí dvou okruhů. Na pravé i na levé kotevní desce. Kanály jsou vyvrtány a okruhy jsou spojeny přemostěním s ventilem od firmy HASCO.



Obrázek 32 Pravá strana formy se dvěma temperačními okruhy

## 10.8 Vyhazování výrobku

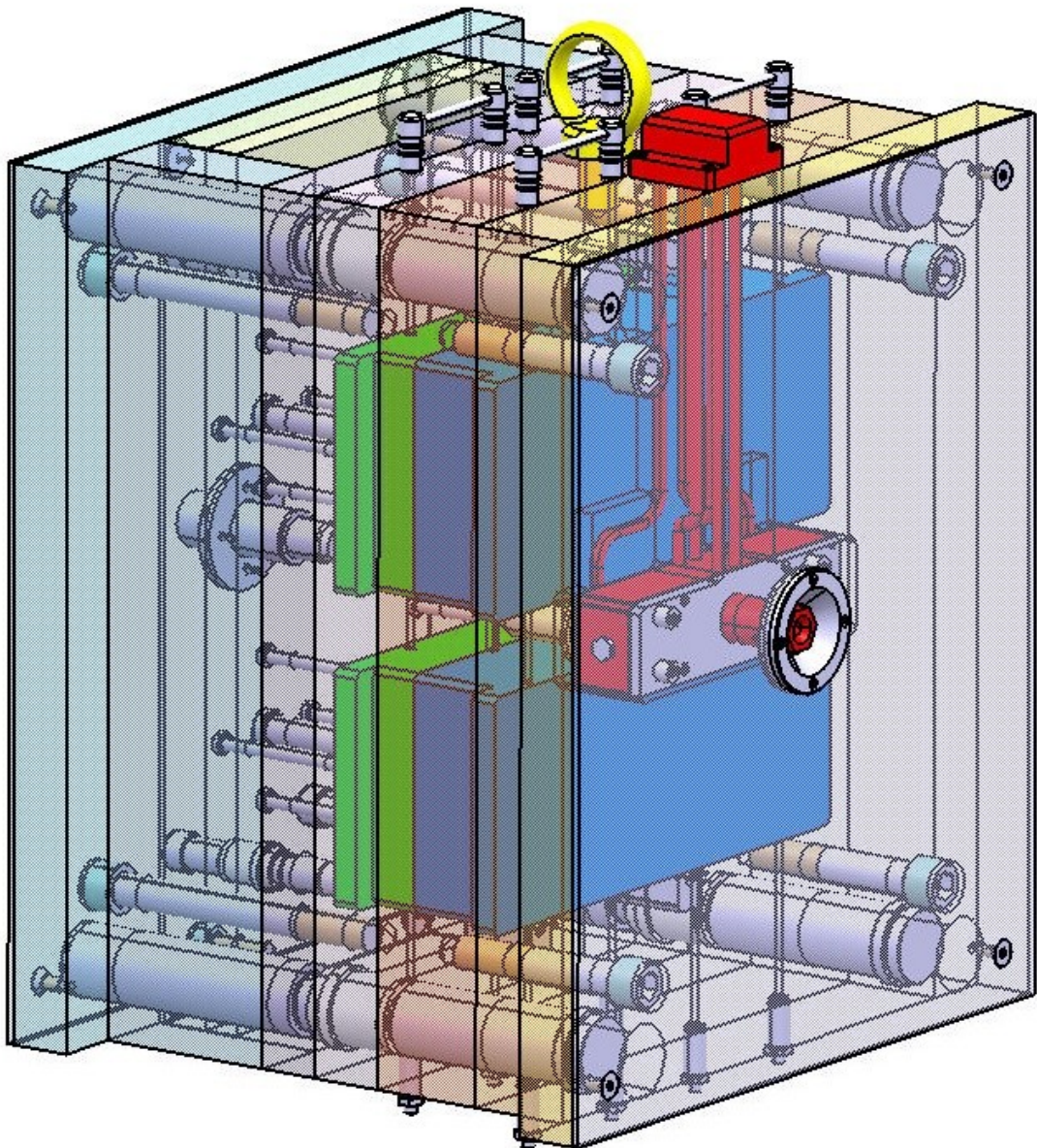
Při vyhazování výrobku z dutiny formy chceme, aby výrobek zůstal na pravé polovině formy. Pomocí smrštění výrobku na tvárník se udrží na pravé polovině formy. Vyhazování výrobků z dutiny formy je provedeno pomocí čtyř válcových vyhazovačů o průměru 20 mm a šestnáct válcových vyhazovačů s průměrem 10,5 mm. Jeden výrobek vyhazují jeden válcový vyhazovač o průměru 20 mm a čtyři válcové vyhazovače průměru 10,5 mm. Vyhazovače jsou ukotveny ve vyhazovacích deskách. Vyhazovací desky jsou vedeny pomocí čtyř vodících čepů, které jsou ukotveny v pravé upínací desce. Pohyb vyhazovacích desek je proveden pomocí táhla. Po vyhození výrobku z dutiny formy zůstávají na výrobku stopy po vyhazovačích. Stopy nejsou na pohledových a funkčních plochách výrobku.



Obrázek 33 Vyhazovací systém

## 10.9 Rám, vodící a středící díly formy

Forma je navržena stavebnicovým způsobem za využití normalizovaných součástí od firmy HASCO. Rozměry vstřikovací formy byly zvoleny podle násobnosti formy, rozměru a tvaru výrobku. Rozměr formy je 446 x 646 x 502 mm. Jednotlivé desky jsou mezi sebou vedeny vodícími čepy a pouzdry. Zároveň jsou středěny středícími trubkami. Vodící čepy jsou umístěny na levé straně formy. Spojení desek je zajištěno pomocí šroubů. Velikost vodících čepů, vodících pouzder, středících trubek a šroubů byla zvolena podle velikosti desek. Forma je upevněna na vstřikovacím stroji pomocí upínáků a vystředěna středícími kroužky.



Obrázek 34 Sestava vstřikovací formy



### **10.10 Manipulace formy**

Kvůli velkým rozměrům a hmotnosti formy je potřeba s formou manipulovat pomocí jeřábu. Pro manipulaci s formou slouží závěsný šroub s okem. Šroub s okem je umístěn na horní ploše formy.

## ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem konstrukce vstřikovací formy pro výrobu designových krytů chladiče.

V teoretické části je vysvětleno využití a zpracování polymerů, zásady konstrukce plastových dílů, princip technologie vstřikování termoplastů a popis konstrukce vstřikovací formy.

Praktická část bakalářské práce se zabývá konstrukcí 3D modelu krytu, návrhem 3D sestavy vstřikovací formy a její vtokové, temperační a vyhazovací systémy. Vytvoření výkresové dokumentace v programu CATIA V5R20. Výkresová dokumentace je doložena kusovníkem.

Pro výrobek se musel určit materiál, který byl zvolen 3DXMAX PC, vyráběný firmou 3DXTECH. Dále byl zvolen vstřikovací stroj ROBOSHOT  $\alpha$ -S450iA od firmy FANUC.

Navržená vstřikovací forma je čtyřnásobná s vyhřívaným vtokovým systémem kombinovaný se studeným vtokovým systémem. Rozvodný blok je doplněn dvěma vyhřívanými tryskami, které ústí do studeného rozváděcího kanálu a ten vede přes boční vtok do dutiny formy. Tvarové dutiny jsou vyfrézovány do tvarových vložek. Teperace formy je v kotevní desce tvárníku a kotevní desce tvárnice vrtanými kanály o velikosti kruhového průměru 8 mm. Odvzdušnění formy je realizováno únikem vzduchu dělicí rovinou. Pro manipulaci je forma opatřena manipulačním okem.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] SEIDL, M. *Stroje pro zpracování polymerních materiálů*, [Online]: [Code Creator], 2016. ISBN 978-80-88058-71-7.
- [2] BOBEK, J. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů*, [Online]: [Code Creator], 2016. ISBN 978-80-88058-65-6.
- [3] SHRIVASTAVA, A. *Introduction to Plastics Engineering*, 1st Ed. Amsterdam: Elsevier, 2018. ISBN 978-0-323-39500-7.
- [4] KUTZ, M. *Applied Plastics Engineering Handbook: Processing, Materials, and Applications*, 2nd Ed. Amsterdam: Elsevier, 2017. ISBN 978-0-323-39040.
- [5] CRAWFORD, Roy J. a MARTIN, Peter J. *Plastics Engineering*, 4th Ed. Amsterdam: Elsevier, 2020. ISBN 978-0-08-100709-9.
- [6] ŘEHULKA, Z. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů*, Praha: CERM, 2013. ISBN 978-80-7204-833-5.
- [7] GREENE, Joseph P. *Automotive Plastics and Composites: Materials and Processing*, Amsterdam: Elsevier, 2021. ISBN 978-0-12-818008-2.
- [8] PARAMESWARANPILLAI, J., RANGAPPA, Sanjay M., RAJKUMAR, Arpitha G., SIENGCHIN, S. *Recent Developments in Plastic Recycling*, Singapore: Springer Nature, 2021. ISBN 978-981-16-3626-4.
- [9] HARPER, Charles A. *Handbook of Plastic Processes*, Hoboken: John Wiley & Sons, 2006. ISBN 0-471-66255-0.
- [10] *Dassault Systemes* [online]. [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://www.3ds.com>
- [11] *Industrial Physics* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://industrialphysics.com/knowledgebase/articles/what-is-mfi-or-mfr-and-why-is-it-important/>
- [12] BĚHÁLEK, L. *Polymery*, [Online]: [Code Creator], 2015. ISBN 978-80-88058-66-3.
- [13] *Material Data Center* [online]. [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://www.materialdatacenter.com/mb/main/page/3>
- [14] *Fanuc* [online]. [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboshot/modely-roboshot>

- [15] *Hasco* [online]. [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://www.hasco.com/cs/Produktov%C3%BD-katalog/c/1>
- [16] *Zápisy z přednášek předmětu Konstrukce forem* [prezentace]. Zlín: [cit. 2021].
- [17] ZEMAN, L. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*, Praha: Grada Publishing,a.s., 2018. ISBN 978-80-271-0614-1.
- [18] WHELAN, A., CRAFT, J. L. *Developments in injection moulding*, London: Applied Science, 2012. ISBN 978-94-009-9651-9.
- [19] GOODSHIP, V. *Practical Guide to Injection Moulding*, 2nd Ed. Shropshire: Smithers Information Ltd., 2017. ISBN 978-1-91024-294-0.
- [20] WHELAN, T., GOFF, J. *Injection Moulding of Thermoplastics Materials*, New York: Van Nostrand Reinhold, 2012. ISBN 978-0-442-30306-8.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

min	minuta
g	gram
mm	milimetr
%	procento
cm <sup>3</sup>	centimetr krychlový
PVC	polyvinylchlorid
PET	polyethyltereftalát
PP	polypropylen
PS	polystyren
PLA	polylaktidová vlákna
ABS	akrylonitril-butadien styren
SAN	styren-akrylonitril
PC	polykarbonát
HIPS	houževnatý polystyren
PMMA	polymetylkrylát
POM	polyoximetylén
PPS	polyfenylsulfid
PI	polyimidy
PBI	polybenzimidazol
PSU	polysulfony
MFI	index toku taveniny
MFR	hmotnostní index toku taveniny
T <sub>max</sub>	maximální teplota
T <sub>min</sub>	minimální teplota
P <sub>max</sub>	maximální tlak

---

$P_{\min}$	minimální tlak
MPa	megapaskal
°C	stupeň Celsia
2D	dvourozměrný prostor
3D	trojrozměrný prostor
CAD	počítačem podporované projektování
CAM	počítačem podporovaná výroba
CAE	počítačové inženýrství
cit.	citace
SVS	studená vtoková soustava
VVS	vyhřívaná vtoková soustava
Max.	maximální
Min.	minimální
kN	kilonewton
Cement.	cementováno

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1 Distribuční křivka.....	11
Obrázek 2 Rozdělení podle postavení na trhu .....	12
Obrázek 3 Pigmenty.....	15
Obrázek 4 Značení plastů .....	17
Obrázek 5 Návrh tloušťky stěn .....	18
Obrázek 6 Návrh úkosů .....	19
Obrázek 7 Vstřikování plastů .....	21
Obrázek 8 Etapy vstřikovacího cyklu .....	22
Obrázek 9 Vstřikovací cyklus.....	23
Obrázek 10 Procesní okno .....	23
Obrázek 11 Typický vstřikovací stroj.....	24
Obrázek 12 Systémy uzavírání forem.....	27
Obrázek 13 Vstřikovací forma.....	28
Obrázek 14 Schéma studeného vtoku .....	30
Obrázek 15 Vtoková vložka .....	31
Obrázek 16 Řešení vtokových kanálů .....	31
Obrázek 17 Vyhřívání rozvodný blok.....	33
Obrázek 18 Bodový vtok .....	34
Obrázek 19 Doporučená konstrukce odzdušňovacího kanálu .....	35
Obrázek 20 Temperační okruh .....	36
Obrázek 21 Druhy vyhazovačů.....	37
Obrázek 22 Pohled na vyráběný výrobek zepředu .....	43
Obrázek 23 Pohled na vyráběný výrobek zezadu .....	43
Obrázek 24 Vstřikovací stroj FANUC ROBOSHOT $\alpha$ -S450iA .....	46
Obrázek 25 Hlavní dělicí rovina .....	48
Obrázek 26 Pravá strana formy .....	49
Obrázek 27 Levá strana formy.....	50
Obrázek 28 Tvárnice.....	51
Obrázek 29 Tvárník .....	51
Obrázek 30 Posuvné čelisti v uzavřené poloze.....	52
Obrázek 31 Kombinace vyhřívání a studeného vtokového systému .....	53
Obrázek 32 Pravá strana formy se dvěma temperačními okruhy .....	54
Obrázek 33 Vyhazovací systém.....	55
Obrázek 34 Sestava vstřikovací formy .....	56

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 Vybrané vlastnosti materiálu [13] .....	42
Tabulka 2 Technické parametry uzavírací jednotky [14] .....	45
Tabulka 3 Technické parametry vstříkovací jednotky [14] .....	45



## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Levá strana formy

Příloha P II: Pravá strana formy

Příloha P III/1: Řez formou A-A

Příloha P III/2: Řez formou B-B

Příloha P IV: Kusovník

