

# Návrh vstříkovací formy pro výrobu interiérového dílu automobilu

Bc. Radek Lukáč

---

Diplomová práce  
2021



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2020/2021

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

|                   |   |
|-------------------|---|
| Jméno a příjmení: | <b>Bc. Radek Lukáč</b>  |
| Osobní číslo:     | <b>T19534</b>   |
| Studijní program: | <b>N3909 Procesní inženýrství</b>                                       |
| Studijní obor:    | <b>Konstrukce technologických zařízení</b>                              |
| Forma studia:     | <b>Prezenční</b>  |
| Téma práce:       | <b>Návrh vstřikovací formy pro výrobu interiérového dílu automobilu</b> |

### Zásady pro vypracování

1. Vypracujte literární studii na dané téma.
2. Proveďte konstrukci zadaného interiérového dílu automobilu.
3. Navrhněte 3D sestavu vstřikovací formy pro výrobu zadaného dílu.
4. Nakreslete 2D výkresy sestavy a příslušných řezů.
5. Návrh ověřte pomocí analýz.

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

**Seznam doporučené literatury:**

ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 2018, 455 s. ISBN 978-80-271-0614-1.

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

BEAUMONT, John P. *Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding*. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers, c2007, xvi, 308 s. ISBN 978-1-56990-421-3.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Michal Staněk, Ph.D.**  
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **5. ledna 2021**  
Termín odevzdání diplomové práce: **14. května 2021**

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

L.S.

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

Ve Zlíně dne 1. dubna 2021

## **PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- 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 užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

### **Prohlašuji,**

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

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....  
podpis studenta

## ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá konstrukčním návrhem vstříkovací formy pro rám reproduktoru z automobilu. Diplomová práce je rozdělena do dvou hlavních skupin, teoretická a praktická. Ve skupině teoretické jsou základní informace o technologii vstříkování, rozdělení polymerních materiálů a zásady pro konstrukci vstříkovacích forem. V praktické skupině byl vymodelován 3D model podle zadání v programu Catia V5 R20 a dále byla zkonstruována 3D sestava vstříkovací formy a následně byla provedena analýza celé sestavy.

Klíčová slova: vstříkování, vstříkovací forma, konstrukce

## ABSTRACT

This diploma thesis deals with the design of an injection mold for a frame of speaker from automobile. The diploma thesis is divided into two main parts, theoretical and practical. The theoretical part contains basic information about the technology of injection molding, types of polymer materials and rules for design of injection molds. In the practical part, a 3D model was modeled according to the assignment in the Catia V5 R20 program, and a 3D assembly of the injection mold was designed, followed by an analysis of the entire assembly.

Keywords: injection molding, injection mold, design

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Michalovi Staňkovi, Ph.D., za odborné vedení, cenné rady, vynaložený čas a především trpělivost, díky kterým jsem dokončil tuto diplomovou práci.

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

# OBSAH

|  |           |
|--|-----------|
| <b>ÚVOD</b> .....  | <b>8</b>  |
| <b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....                                     | <b>9</b>  |
| <b>1 VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ</b> .....                                  | <b>10</b> |
| 1.1 VSTŘIKOVANÉ MATERIÁLY .....                                    | 10        |
| 1.2 ROZDĚLENÍ TERMOPLASTŮ.....                                     | 11        |
| 1.3 PŘÍSADY POLYMERŮ.....  | 12        |
| 1.4 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS .....                                       | 12        |
| 1.5 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....   | 13        |
| 1.5.1 Vstřikovací jednotka .....                                   | 14        |
| 1.5.2 Uzavírací jednotka .....                                     | 15        |
| 1.5.3 Řízení a ovládání vstřikovacího stroje .....                 | 15        |
| 1.5.4 Vliv fází vstřikovacího cyklu na kvalitu výstřiku: [2] ..... | 15        |
| <b>2 VSTŘIKOVACÍ FORMY</b> .....                                   | <b>16</b> |
| 2.1 NÁSOBNOST FORMY .....  | 18        |
| 2.2 URČENÍ ROZMĚRŮ DUTINY FORMY A JEJICH POVRCHY.....              | 19        |
| 2.3 VTOKOVÝ SYSTÉM (VS).....                                       | 20        |
| 2.3.1 Studený vtokový systém (SVS) .....                           | 21        |
| 2.3.2 Vyhřívané vtokové soustavy (VSS) .....                       | 23        |
| 2.3.3 Vyhřívané trysky:.....                                       | 23        |
| 2.3.4 Horký rozvodný blok: .....                                   | 23        |
| 2.4 TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....   | 24        |
| 2.4.1 Zásady pro volbu temperačního systému.....                   | 25        |
| 2.4.2 Temperační prostředky.....                                   | 26        |
| 2.5 ODVZDUŠŇOVÁNÍ FOREM .....                                      | 28        |
| 2.6 VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....   | 29        |
| 2.6.1 Mechanické vyhazování.....                                   | 30        |
| 2.6.2 Vyhazovací kolíky: .....                                     | 30        |
| 2.6.3 Hydraulické vyhazování.....                                  | 32        |
| 2.6.4 Pneumatické vyhazování.....                                  | 32        |
| <b>3 VSTŘIKOVANÉ VÝROBKY</b> .....                                 | <b>33</b> |
| 3.1 ZAFORMOVATELNOST .....   | 33        |
| 3.2 TLOUŠTKY STĚN .....  | 34        |
| 3.3 KONSTRUKCE ŽEBER .....   | 35        |
| 3.4 DEFORMACE VÝSTŘIKU A LUNKRY .....                              | 36        |
| 3.4.1 Ostré rohy a vruby.....                                      | 36        |
| 3.4.2 Lunkry .....   | 37        |
| 3.5 POVRCH A KVALITA VÝSTŘIKŮ.....                                 | 38        |
| 3.5.1 Rozměry výstřiku .....                                       | 38        |
| 3.5.2 Povrch plastových výrobků.....                               | 38        |
| 3.6 VADY VÝSTŘIKŮ .....  | 39        |
| 3.6.1 Vady zjevné.....   | 39        |
| 3.6.2 Vady skryté .....  | 39        |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>II PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>                  | <b>41</b> |
| <b>4 CÍLE DOPLOMOVÉ PRÁCE.....</b>              | <b>42</b> |
| <b>5 POUŽITÉ PROGRAMY .....</b>                 | <b>43</b> |
| 5.1 CATIA V5 R20.....                           | 43        |
| 5.2 AUTODESK MOLDFLOW INSIGHT SYNERGY 2016..... | 43        |
| 5.3 HASCO CATALOG.....                          | 43        |
| <b>6 VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK.....</b>               | <b>44</b> |
| 6.1 MATERIÁL VÝROBKU .....                      | 44        |
| <b>7 VSTŘIKOVACÍ STROJ .....</b>                | <b>46</b> |
| <b>8 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY.....</b>      | <b>47</b> |
| 8.1 NÁSOBNOST FORMY .....                       | 47        |
| 8.2 ZAFORMOVÁNÍ VÝROBKU.....                    | 48        |
| 8.3 TVAROVÉ DÍLY FORMY .....                    | 49        |
| 8.4 VYHOZENÍ VÝROBKU .....                      | 50        |
| 8.5 ŠIKMÉ ČEPY A ČELISTI .....                  | 51        |
| 8.6 VTOKOVÝ SYSTÉM .....                        | 52        |
| 8.7 TEMPERACE FORMY .....                       | 52        |
| 8.8 ODVZDUŠNĚNÍ.....                            | 53        |
| 8.9 ZAŘÍZENÍ SLOUŽÍCÍ K MANIPULACI.....         | 54        |
| <b>9 ANALÝZA VSTŘIKOVACÍHO PROCESU .....</b>    | <b>55</b> |
| 9.1 PROCESNÍ PODMÍNKY .....                     | 55        |
| 9.2 ČAS PLNĚNÍ .....                            | 56        |
| 9.3 UZAVÍRACÍ SÍLA .....                        | 57        |
| 9.4 TLAK V MÍSTĚ VSTŘIKU .....                  | 57        |
| 9.5 ODHAD PROPADLIN .....                       | 58        |
| 9.6 ZATUHLE VRSTVY .....                        | 58        |
| 9.7 REYNOLDSOVO ČÍSLO.....                      | 59        |
| 9.8 TEPLOTA TEMPERAČNÍHO MÉDIA.....             | 59        |
| 9.9 EFEKTIVITA ODVODU TEPLA.....                | 60        |
| 9.10 CELKOVÁ DEFORMACE .....                    | 61        |
| <b>ZÁVĚR .....</b>                              | <b>63</b> |
| <b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>           | <b>64</b> |
| <b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>  | <b>67</b> |
| <b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>                     | <b>68</b> |
| <b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>                       | <b>70</b> |



## ÚVOD

Technologie vstřikování termoplastů nachází mnohá využití výsledných výrobků v průmyslových aplikacích, jakou jsou například průmysly letecké, automobilové, vojenské, stavební nebo i potravinářské.

V dnešní době je technologie vstřikování jednou z nejpoužívanějších a nejdůležitějších technologií pro zpracování reaktoplastů, termoplastů, polymerních směsí, termoplastických elastomerů, kompozitů, kaučuku a pryže. Celá technologie vstřikování plastů je postavena na cyklickém opakování samostatných částí výrobního cyklu. Mohou se vyrábět buď konečné výrobky což jsou například krabičky a květináče, nebo jsou to díly pro další zhotovení samostatného výrobního cyklu (součástí přístrojů).

Vytvořenému výrobku se říká výstřik. Hmotnost jednoho výstřiku se může pohybovat od 0,1 gramů až i po několik kilogramů.

Vstřikování termoplastů je proces, při kterém se z příslušného plastového granulátu připraví tavenina, která se následně dopraví do tvarové dutiny formy, kde se ochladí na vyhovovací teplotu a následně je z formy vyhozen.

Při návrhu vstřikovací formy se musí zohlednit její základní, hlavní a vedlejší funkce. Mezi základní funkce zapadá doprava taveniny, odformování dílu a přenos tepla. Některé z požadavků si mohou navzájem odporovat, a to např. požadavek na dokonalé chlazení s požadavkem na dokonalé odformování dílu z formy. Výsledná návrh formy bývá tedy kompromisem. Snaha o dokonalé splnění všech požadavků na vstřikovací formu může vést k zbytečně velké složitosti formy a tím i k zvětšení rozměrů formy a zvýšením výrobních nákladů na formu, což může snížit efektivitu provozu vstřikovací formy. V těchto případech musí rozhodnout konstruktér.

Tato diplomová práce by měla dát představu o návrhu vstřikovací formy pro plastový výrobek.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ

Vstřikování je jeden z nejrozšířenějších způsobů výroby různých dílů z termoplastů, v jisté míře reaktoplastů a kaučuků. Při působení vysokého tlaku je roztavený polymer vstřikován do tvarové dutiny formy, kde je formován do požadovaného tvaru. Vstřikováním lze vyrábět výrobky skoro jakékoliv složitosti, ty ale musí také splňovat dané podmínky odformování. Vstřikování je tedy cyklický tvářecí proces, který se automaticky opakuje podle zadaných procesních podmínek. [1,5]

Roztavený polymer proudí laminárně, a to díky jeho relativně vysoké viskozitě. Pro většinu polymerů je Reynoldsovo kritérium menší než 1, dokonce i v místech, kde je vysoká rychlost smykové deformace což, je například vtokové ústí. U tohoto proudění dochází k tzv. fontánovému toku, při němž se polymer v dutině formy jakoby odvaluje. Toto chování je způsobeno zpomalením vrstev polymeru blízko stěny dutiny formy a jeho postupným ztuhnutím a tím pádem i rychlejším tečením vrstev ve středu dutiny. Z tohoto vyplývá zvonovitý průběh rychlosti toku polymerní taveniny v průběhu vstřikování, kde je ve středu rychlost maximální a u stěny nulová. [12]

## 1.1 Vstřikované materiály

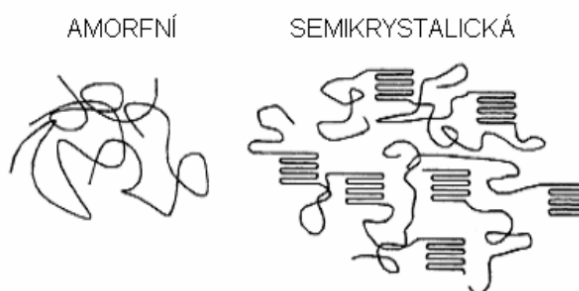
Plasty jsou materiály, jejichž struktura je složena makromolekulárními řetězci (například kovy mají strukturu tvořenou krystalickými mřížkami). Plasty jsou dále rozděleny do dvou základních skupin: [1,12]

- termoplasty, jejich řetězce mohou být přímé (lineární polymery) nebo s bočními větvemi (rozvětvené polymery). Při jejich ohřevu se uvolňuje soudružnost řetězců a hmota je viskózní. V tomto stavu se tento materiál může tvářet. Po následném ochlazení se řetězce dostanou zpět do původního pevného stavu. Termoplast tvoří zhruba 94 % objemu využívaných materiálů v plastikářském průmyslu. Mezi nejznámější patří PP, PVC, PE, PS, PC, PET.
- reaktoplasty, mají ve finální fázi zpracování řetězce příčně propojeny chemickými vazbami a tvoří prostorovou trojrozměrnou síť. Při zahřívání tato síť zvětšuje svoji pohyblivost, ale své řetězce neuvolňuje. Při tváření pod vlivem tlaku a teploty nastává zesíťování (vytvrzování) plastu (někdy i při působení katalyzátoru). Tento proces bývá nevratný.

## 1.2 Rozdělení termoplastů

Nejrozšířenější skupinou plastů jsou termoplasty. Jedná se o lineární či rozvětvené polymery, jejichž řetězce tvoří pouze jeden základní druh chemické skupiny monopolymery. Další jsou kopolymery, které se skládají z více druhů základních chemických skupin. Termoplasty se dále dělí na: [1]

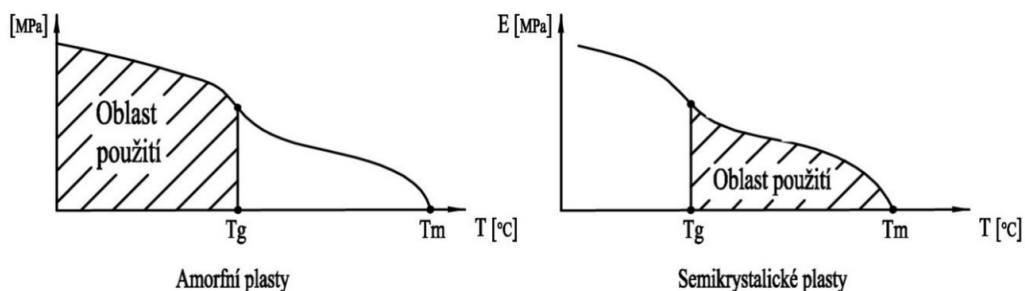
- amorfní, řetězce jsou nepravidelně prostorově uspořádány,
- semikrystalické, kde je velká část řetězců pravidelně uspořádána a tvoří krystalické útvary. Zbylá část je amorfně uspořádána



Obr. 1. Amorfní a semikrystalická struktura [12]

Výrobky z amorfních plastů jsou využitelné v oblasti pod teplotou skelného přechodu ( $T_g$ ). V tomto stavu je polymer pevný. Při přesažení teploty skelného přechodu postupně slábnou kohezní síly mezi makromolekulami a materiál přechází k plastické oblasti, kde se zpracovává. Zároveň se při zvyšování teploty zvedá i objem polymeru. [1]

U plastů se semikrystalickou strukturou jsou části makromolekul vázány pevněji ve sférolitech krystalické fáze a v lamelách. Při zvyšování teploty se nejprve uvolní část makromolekul z amorfní oblasti, později i zbytek. Tohle doprovází značný objemový nárůst. Plasty tohoto typu se používají v oblasti nad teplotou  $T_g$ , protože mají výhodnou kombinaci houževnatosti a pevnosti nad touto teplotou. [1]



Obr. 2. Oblast využití amorfních a semikrystalických plastů [1]

### 1.3 Přísady polymerů

Základní vyrobený polymer obvykle nejde zpracovávat a používat na výrobu výstřiků. Aby se dal polymer zpracovávat technologií vstřikování je nutné upravit jeho vlastnosti přísadami – aditivy: [2]

- Pro zvýšení stability materiálu po dobu, kdy je v plastikačním válci nebo horkém rozvodu formy (termooxidační a tepelné stabilizátory).
- Pro zlepšení tokových vlastností materiálu, snadné vyjímání z formy a nelepivost (vnitřní maziva jsou aplikována při výrobě).
- K dosažení rovnoměrné a jemné krystalické struktury (nukleační činidla).

Pro zlepšení dalších základních vlastností polymerů, používáme aditiva pro specifické mechanické a další chemické vlastnosti: [1]

- vláknitá plniva pro vyztužení a zvětšení pevnosti,
- změkčovadlo pro lepší měkkosti a ohebnosti materiálu,
- barviva pro požadovaný odstín,
- stabilizátory pro upravení určitých vlastností: odolnost proti UV záření, retardéry hoření, stárnutí, antistatika (snížení elektrického náboje při tření),
- nadouvadla pro lehčení struktury plastu,
- maziva pro lepší zpracování plastu. Ovlivňují tekutost taveniny.

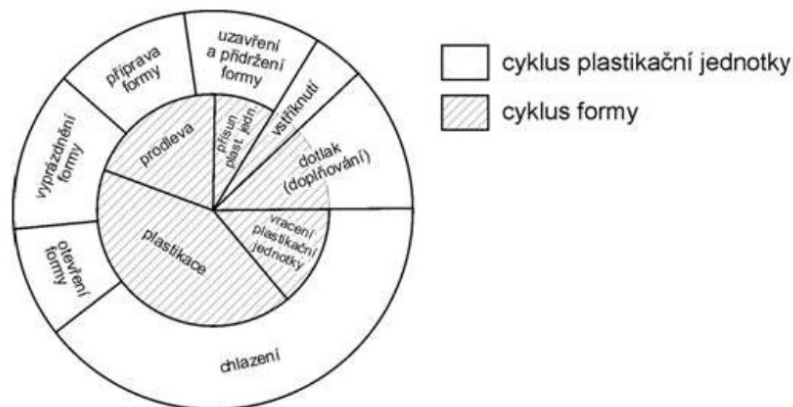
### 1.4 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus se odehrává na vstřikovacím stroji a skládá se ze dvou oblastí. Jedna oblast se vztahuje na plastikační jednotku a druhá na formu. Na začátku se forma uzavře uzavírací jednotkou. K uzavřené formě přijede plastikační jednotka, ze které se pod velkým tlakem vstříkne zplastikovaný materiál přímo do dutiny formy. Tato doba, za kterou se zaplní dutina formy materiálem, se nazývá doba plnění. Po kompletním zaplnění dutiny formy se na materiál dále působí tlakem, tento tlak se označuje jako dotlak. Dotlak se používá za účelem částečného eliminování smrštění, dále zabraňuje unikání materiálu z dutiny formy a lze jím také ovlivnit zbytkové pnutí ve výstřiku. [3,14,19]

Po dokončení dotlaku vstřikovací jednotka odjede od formy a začne v ní plastikace další dávky materiálu. [3,14]

Zároveň s odjezdem vstřikovací jednotky nám začne fáze chlazení. Chlazení výstřiku se odehrává z části ve formě a z části mimo ni. Po dosažení potřebné teploty výstřiku se forma otevře a výstřik se vyhodí vyhazovacím systémem. [1,4,14]

Následně se forma očistí a připraví pro další cyklus (prodleva) a pak následuje další cyklus. [1,14]



Obr. 3. Vstřikovací cyklus [11]

## 1.5 Vstřikovací stroj

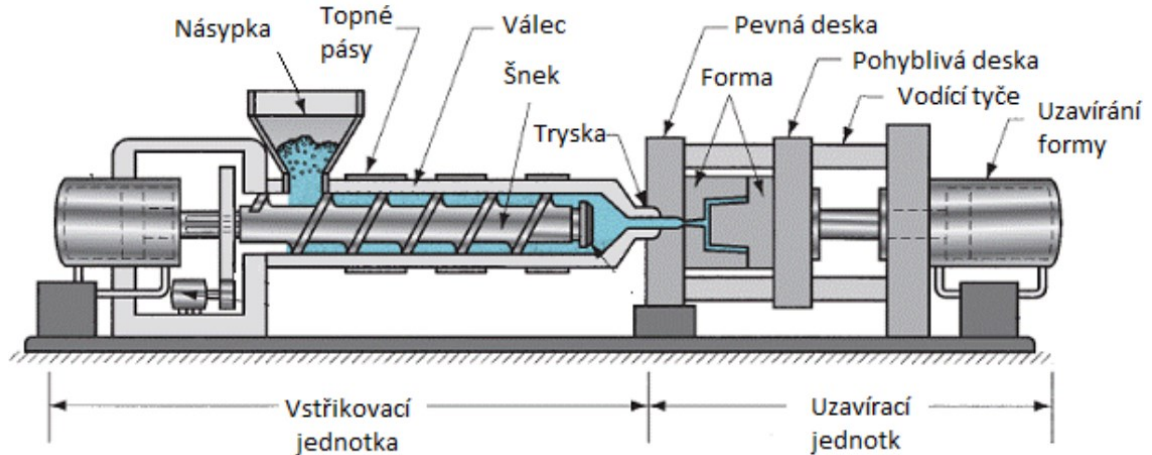
Vstřikovací stroj hraje velkou roli při výrobě plastových výrobků a má nejrůznější uspořádání. Je od něj vyžadováno, aby dokonalým řízením a kvalitou svých parametrů, byla zajištěna vysoká jakost a kvalita výstřiků. V dnešní době existuje velké množství různých konstrukcí vstřikovacích strojů, které se od sebe liší stupněm řízení, provedením, stálostí a reprodukovatelností svých jednotlivých parametrů, snadnou obsluhou, rychlostí výroby i cenou. Konstrukce vstřikovacích strojů je charakterizována podle: [1,14]

- vstřikovací jednotky,
- uzavírací jednotky,
- ovládání a řízení stroje.

V dnešní době se hlavně staví hydraulické nebo hydraulicko-mechanické stroje, které mají většinou stavebnicové uspořádání s různým stupněm elektronického řízení. [1,14]

Aby byly přesné výstřiky, tak je od vstřikovacího stroje požadováno aby: [1,14]

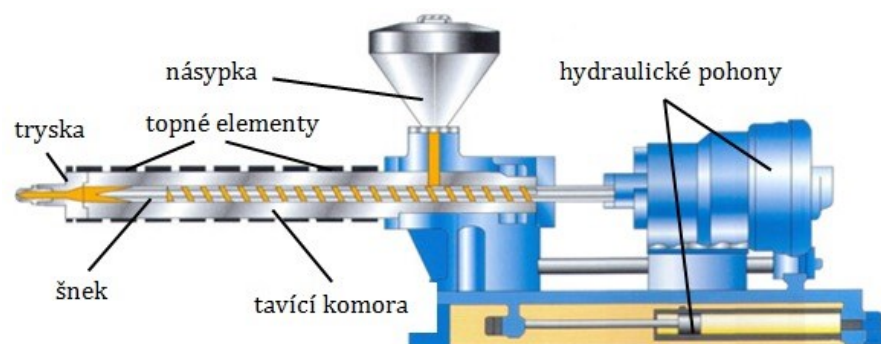
- byl při vstřiku pevný a tuhý,
- měl konstantní rychlost, teplotu, tlak, ostatní parametry a jejich časování,
- měl přesnou reprodukovatelnost technologických parametrů.



Obr. 4. Vstřikovací stroj [7]

### 1.5.1 Vstřikovací jednotka

V současnosti jsou jako nejpoužívanější vstřikovací šnekové jednotky, které postupně vytlačily jednotky pístové, které mají v současnosti zanedbatelný význam. Plastikační jednotka má za úkol připravit termicky homogenní taveninu s minimálním obsahem uzavřeného vzduchu a za co nejkratší dobu. Během plastikace se šnek otáčí a zhrdla násypky nabírá plast ve tvaru granulátu, který je stlačován a dopravován do vytápěných částí tavicí komory, kde dojde k tavení materiálu a jako tavenina se materiál hromadí před čelem šneku a šnek se během otáčení posouvá dozadu. Až je potřebné množství plastu zplastikováno, tak se šnek přestane otáčet a začne se pohybovat dopředu jako píst a vstřikuje taveninu do dutiny formy. Jelikož může plastikace nové dávky probíhat ještě ve fázi chlazení výstřiku ve formě, je výrobní cyklus o něco kratší než oproti strojům pístovým. [6]



Obr. 5. Vstřikovací jednotka [6]

### 1.5.2 Uzavírací jednotka

Hlavní úkol uzavírací jednotky je být nosným ústrojím vstřikovací formy. Uzavírací jednotka dále zajišťuje dostatečné uzavírací síly, které zajišťují, aby nedocházelo k přetokům v dělicí rovině a v oblasti všech pohyblivých uzavíracích částí (čelistí). [2]

Uzavírací jednotky se rozdělují podle jejich pohonu na hydraulické (přímé, se závorováním), hydraulicko-mechanické a elektromechanické. Jednotky jsou pevně spojeny s ložem stroje a mají programovatelnou uzavírací sílu i rychlost. [6]

### 1.5.3 Řízení a ovládání vstřikovacího stroje

Stupeň řízení a jednoduchá obsluha stroje je jedním z charakteristických znaků jeho kvality. Neustálá reprodukovatelnost technologických parametrů je důležitým a potřebným faktorem stroje. Pokud nějaké parametry nepoměrně kolísají, projeví se tyto nerovnoměrnosti na kvalitě a přesnosti výroby výstřiků. Pro zajištění požadované reprodukovatelnosti se řízení stroje musí zajistit vhodnými regulačními a řídicími prvky. [1,8,14]

Nejmodernější koncepce vstřikovacích strojů se v dnešní době neobejdou bez výkonné procesorové techniky. Nastavování technologických parametrů v textové formě se již nepoužívá a na místo toho se využívají nejrůznější grafické formy řízení pracovního cyklu na displeji, který má přístup k jednotlivým parametrům stroje. Řízení stroje má na přesnost a jakost výstřiku rozhodující vliv. A to tím, že určuje a dodržuje přesnost: [1]

- nastavení doby a výše vstřikovacího dotlaku, tlaku, rychlosti chlazení a vstřiku. Tyto parametry určují především toleranci a přesnost výstřiku,
- nastavení a doby výšky teploty materiálu, její homogenizaci jsou určeny mechanické a fyzikální vlastnosti výstřiku,
- nastavení rychlosti plnění dutiny formy, měla by být co nejvyšší, ale je však nutné kontrolovat teplotu taveniny, aby nedocházelo k degradaci materiálu.

### 1.5.4 Vliv fází vstřikovacího cyklu na kvalitu výstřiku: [2]

- vstříknutí – orientace a povrchové vlastnosti (vzhled),
- komprese – tvarová přesnost (při překonání  $p_{Fmax}$  – otřepy, přetoky),
- dotlak – rozměry, vnitřní pnutí, hmotnost (při nízkém dotlaku – propadliny, lun-kry),
- chlazení – rozměrová přesnost výstřiku.



## 2 VSTŘIKOVACÍ FORMY

Vstřikovací forma je nástroj, která je upnutá na vstřikovacím stroji. Během vstřikovacího procesu se do tvarových dutin formy plní roztavený plast, který ve formě zchladne a vytvoří požadovaný tvar výstřiku. Výstřik musí během své životnosti splňovat tyto požadavky: [8]

- snadná a rychlá výroba,
- odolávat vysokým tlakům,
- zajistit požadovaný rozměr a kvalitu výstřiku,
- snadná obsluha a automatický provoz,
- snadné vyhození výstřiku,
- nízká pořizovací cena,
- ekonomická spotřeba zpracovaného plastu.

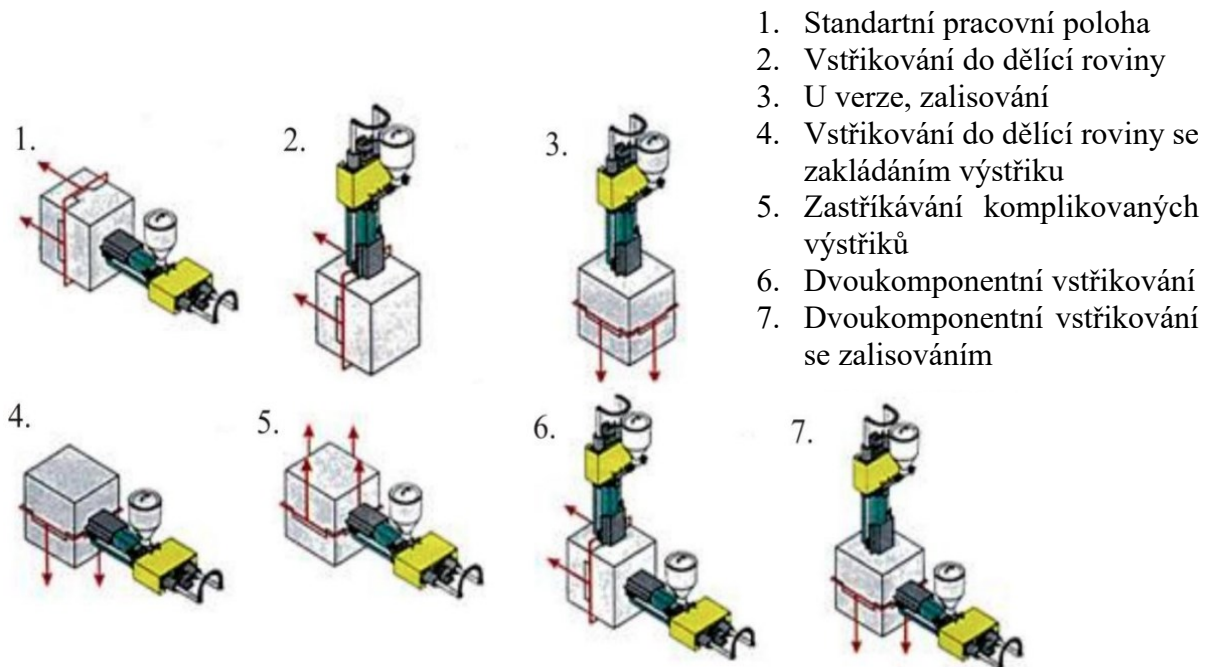
Vstřikovací formy se vyrábějí ve velkém množství různých provedeních. Jdou ale ovšem zařadit do následujících skupin: [9]

- podle násobnosti forem (jednonásobné, vícenásobné),
- podle způsobu konstrukčního řešení desek formy (dvoudeskové, třideskové, čelist'ové, etážové, vytáček atd.),
- podle konstrukce vstřikovacího stroje na formy se vstřikem kolmým na dělicí roviny a na formy se vstřikem přímo do dělicí roviny (obr. 6.) (nebo kombinace obou způsobů).

Volba materiálu vstřikovací formy je závislá na druhu zpracovávaného plastu, na velikosti výrobku, na použité technologii, na složitosti výrobku a na velikosti série. Celková životnost formy je ovlivněna tepelným zpracováním na tvarových částech nástroje. Další důležitá část při konstrukci formy je stanovení rozměrů a výrobních tolerancí tvarových částí formy. Při určování a výpočtu těchto rozměrů jsou nejdůležitější tolerance jednotlivých rozměrů výlisku, smrštění a opotřebení činných částí nástroje. [6]

U forem se klade velký důraz na mechanické vlastnosti a životnost dutin komponentů. Použitím PVD (Physical Vapour Deposition) povlaků se dosahuje snížení tření pohyblivých součástí a vstřikovaného materiálu s materiálem tvarové dutiny formy. Dále omezuje abra-

zivnímu otěru (plnění skelnými vlákny) a přilepování polymeru k tvarové dutině formy. Drsnost povrchu dutiny formy se s PVD povlaky nemění, vyjmutí výstřiku je snazší, životnost a kvalita vyšší a náklady na výrobu se snižují. [13]



Obr. 6. Poloha mezi vstřikovací jednotkou a dělicí rovinou formy [6]

Vstřikovací forma je složena z mnoha funkčních dílů (obr. 7.). Funkční části jsou v kontaktu s tvářeným plastem a dávají mu požadovaný tvar a konstrukční části formy zajišťují správnou činnost nástroje. Jednotlivé díly formy můžeme rozdělit do několika kategorií: [9]

#### Prvky na pevné straně formy:

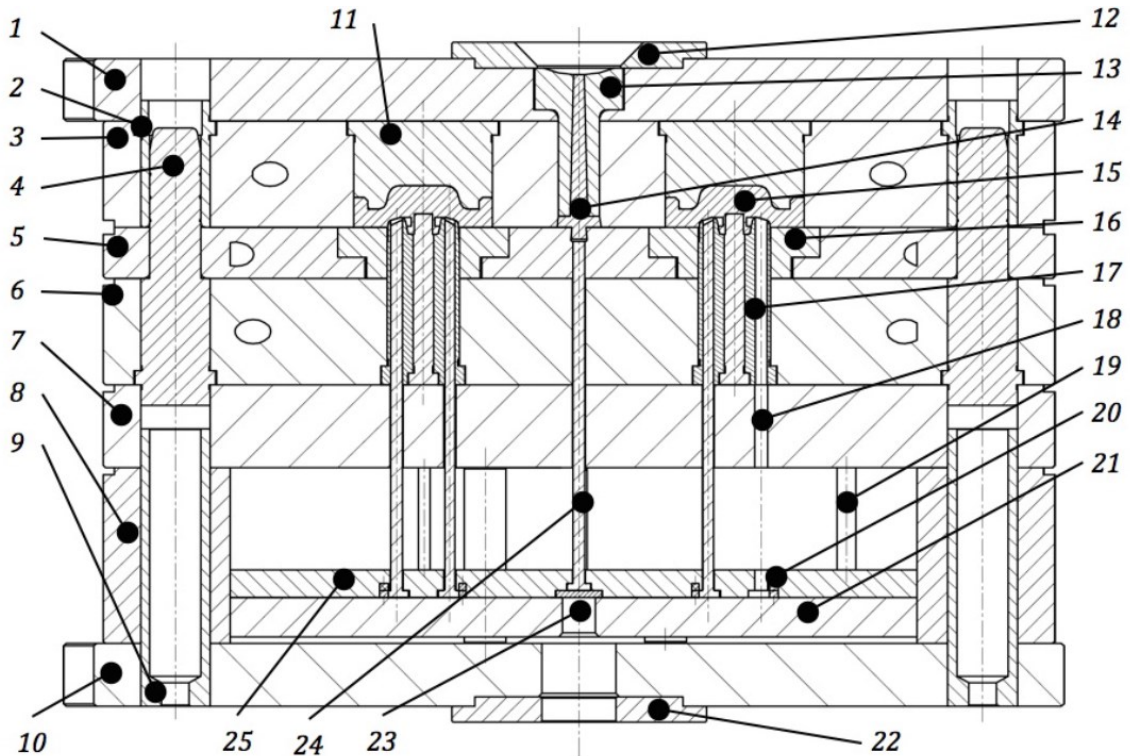
- vtokový kanál,
- rozváděcí kanál,
- vtokové ústí,
- tvárnice.

#### Prvky na pohyblivé straně formy:

- vyhazovací systém,
- tvárník.

### Díly společné na obou polovinách formy:

- temperační systém,
- upínací a vodící elementy,
- středící kruhy.



Obr. 7. Části vstříkovací formy [9]

1 – upínací deska pevné vstříkovací formy, 2 – vodící pouzdro, 3 – deska „A“, 4 – vodící sloupek, 5 – deska „C“, 6 – deska „B“, 7 – podpěrná deska, 8 – rozpěra, 9 – centrovací pouzdro, 10 – upínací deska pohyblivé části vstříkovací formy, 11 – jádro, 12 – středící kroužek pevné části vstříkovací formy, 13 – vtoková vložka, 14 – vtokový systém, 15 – vstříkovaný díl, 16 – vložka pro uložení jádra, 17 – jádro, 18 – vyhazovač, 19 – vraccí kolík, 20 – pojišťovací kolík, 21 – hlavní vyhazovací deska, 22 – středící kroužek pohyblivé části vstříkovací formy, 23 – závitový otvor pro připojení vyhazovacího systému, 24 – vyhazovač/přidržovač vtokového systému, 25 – přidržovací vyhazovací deska

## 2.1 Násobnost formy

Součásti, které jsou tvarově náročné mívají většinou složité konstrukční řešení formy, stejně jako velkorozměrové výstřiky a obvykle se vyrábí v jednonásobných formách.

Pro správné zvolení násobnosti formy je potřeba správně vyhodnotit jednotlivé činitele, které ji ovlivňují. Posuzují se z hlediska: [1,14]

- požadovanému množství výstřiků,
- přesnosti a charakteru výstřiku,
- kapacitě a velikosti vstřikovacího stroje,
- ekonomiky výroby,
- požadovaného termínu dodání.

## 2.2 Určení rozměrů dutiny formy a jejich povrchy

Rozměry vyrobeného výstřiku jsou dány zpravidla příslušnými výkresy. Při zaformování se rozměry dutiny formy liší od rozměrů hotových výstřiků, a to jak v tolerancích, tak ve jmenovitých mírách. Na rozměry dutiny formy a jejich činných částí, má hlavně vliv: [1,10]

- smrštění zpracovávaného plastu,
- mezní úchyly a tolerance jednotlivých rozměrů tvářeného výstřiku,
- opotřebení činných částí vstřikovací formy,
- přesnost výroby vstřikovací formy, zejména jejich funkčních částí.

Dutina vstřikovací formy je dána především tvarem s požadovanými rozměry, ale také i jakostí jejího povrchu. Vyrobit se podle požadavku na povrch vyráběné součásti, protože povrch součásti je přesným odrazem povrchu dutiny formy. Povrch může být: [1]

- matný, který je nejjednodušší na výrobu. Běžně se vyrábí pomocí elektroerozivního obrábění. Může se ale vyrábět i jinými technologiemi (otryskávání, ruční úpravou apod.). Podle požadovaného jakosti povrchu se často stanovuje i způsob jejího dokončení,
- lesklý, vyžaduje nákladnou a náročnou operaci na výrobu. Forma s lesklým povrchem by měla být vyrobena z kvalitní oceli a také musí být technologie vstřikování na vysoké úrovni. Dutina formy se leští mechanickými pomůckami nebo elektrickými jednotkami s přímočarým, rotačním a planetovým pohybem za pomoci brusné pasty nebo brusného tělíska. Stupeň lesky se definuje na technický, zrcadlový, vysoký lesk atd.,

- dezénovaný povrch má nejen estetický význam ale i zakrývá některé drobné povrchové vady na výrobku. Dezénovat se mohou všechny tvarové i rovinné plochy, které jsou dostatečně přístupné. Dezén se vyrábí podle vzorových destiček od různých technologií.

Dutina formy se v některých případech může vyrábět technologií elektroerozivního obrábění. Hrubost obrobeného povrchu se nastavuje pomocí elektrických veličin. Dezénování v leptací lázni fotochemickým způsobem umožňuje vyrobit velké množství dezénovacích vzorů. Jako nejjednodušší technologie výroby dezénu je otryskávání. Je však omezena tvarem dutiny formy. Čím je víc je povrch jemně opracován, tím se dosáhne kvalitnějšího dezénu. Různé způsoby dezénování se mohou navzájem kombinovat a tím se dosáhne požadovaného účelu. [1]

### 2.3 Vtokový systém (VS)

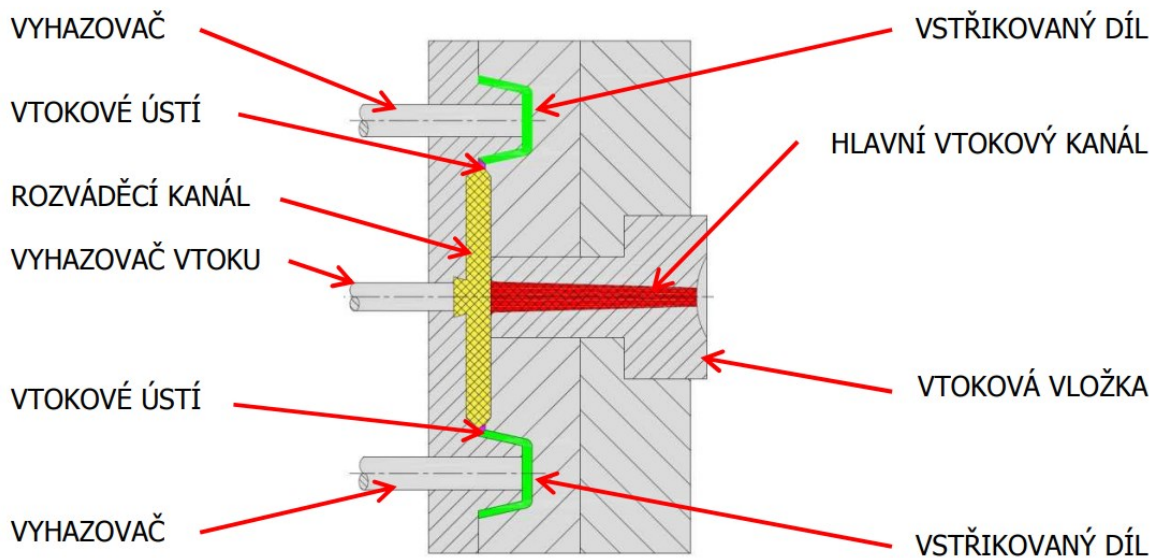
Roztavený polymer proudí z plastikační jednoty tryskou do vtokové soustavy vstřikovací formy, která se skládá ze systému vtokových kanálů. Tento systém kanálů vede k dutinám formy. Uspořádání vtokové soustavy je závislé především na konstrukci formy a její násobnosti. Při návrhu vtokového systému se musí dodržovat některá pravidla, která se odvíjejí z technologických požadavků při samotném vstřikování: [15]

- dráha toku mezi vstřikovací tryskou a dutinou formy by měla být co nejkratší, aby se tavenina mohla vstřikovat co největší rychlostí,
- u vícenásobných forem musí být dráha toku taveniny ke všem dutinám stejná,
- velikost vtokových kanálů musí být dostatečně velká, aby při plnění formy jádro vtokového kanálu zůstalo dostatečně dlouho v plastickém stavu, což umožní aplikaci dotlaku jako kompenzaci při smršťování výrobku,
- ústí vtoku by mělo být umístěno tak, aby materiál vtékal do nejširšího průřezu výrobku a tek l k nejužšímu místu,
- ústí vtoku by mělo být co nejkratší, vhodná délka (0,5 – 1,2) mm,
- dosedací plochy vtokové vložky a plochy trysky na sebe musí lícovat, je-li tryska kulovitá, musí být poloměr koule o (0,4 – 0,6) mm menší než na vtokové vložce. Velikost otvoru v trysce musí být také menší než otvor ve vtokové vložce. Pokud tomu tak není, hrozí že tavenina bude zatékat do dosedací plochy.

### 2.3.1 Studený vtokový systém (SVS)

Tavenina při průchodu studeným vtokovým systémem se okamžitě ochlazuje a tuhne její vnější povrch. Tím postupně narůstá odpor až do okamžiku zaplnění dutiny, kdy odpor prudce vzroste do svého maxima. Následné doplňování taveniny může nastat pouze jejím elastickým stlačením. [1,16]

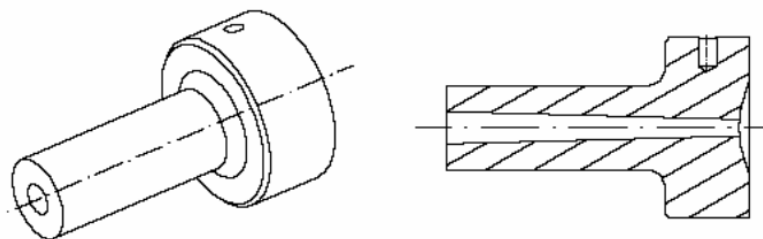
Studený vtokový systém se skládá z rozvodných kanálů, vtokového kanálu a vtokového ústí.



Obr. 8. Studený vtokový systém [10]

#### Vtokový kanál:

Vtokový kanál spojuje rozvodný kanál s tryskou plastikační jednotky a je vyroben ve vtokové vložce. Vtoková vložka je z houževnaté, pevné, ořezuvzdorné oceli a je tepelně zpracována, protože je velmi mechanicky i tepelně namáhána. [1,16]



Obr. 9. Vtoková vložka [10]

**Rozvodné kanály:**

Rozvodné kanály dopravují taveniny z vtokového kanálu přes vtokové ústí až do tvarových dutin formy. Jejich průřez a délka jsou dány charakterem výstřiku, typem formy, vlastnostmi taveniny a typem vstřikovacího stroje. [1,12]

Požadavky, které musí rozvodné kanály splňovat: [12,16]

- rovnoměrné plnění všech dutin formy,
- minimální možnou velikost průřezu pro co nejmenší odpad,
- dostatečně veliký průřez kanály pro bezproblémové zaplnění dutiny formy,
- maximální objem při minimálním povrchu pro co nejmenší tepelné ztráty.

**Vtoková ústí:**

Vtokové ústí spojuje tvarovou dutinu s rozvodným kanálem. Tvar, rozměr a umístění vtokového ústí může výrazně ovlivnit výsledný výrobek. Průměr vtokového ústí by se měl pohybovat mezi (30 – 70) % tloušťky stěny výstřiku. Větší průměr může zanechávat velkou stopu, menší zase může způsobit problémy při plnění dutiny formy. [12]

Požadavky pro vtoková ústí: [12]

- mělo by být umístěno tak, aby mohlo dojít k úniku vzduchu z dutiny formy,
- nemělo by být umístěno na pohledové nebo funkční straně,
- mělo by být umístěno tak, aby nevznikalo velké množství studených spojů,
- mělo by být umístěno tak, aby materiál po vtoku ihned narazil na nějakou překážku a bylo by zabráněno volnému vtoku.

Výhody SVS: [10,17]

- nižší cena,
- větší volnost při navrhování systému z hlediska balancování,
- dlouhá životnost,
- nižší energetická náročnost.

Nevýhody SVS: [10,17]

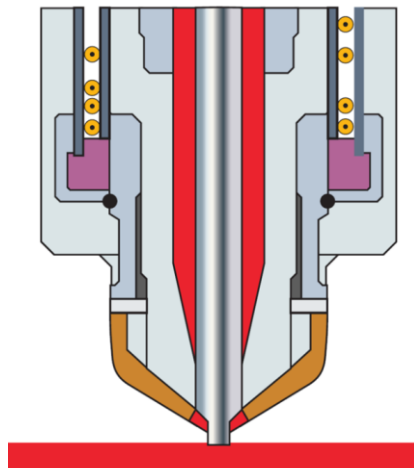
- vyšší spotřeba materiálu,
- velké rozdíly ve viskozitě vlivem rozdílu teplot,
- vyšší tlakové ztráty.

### 2.3.2 Vyhříváné vtokové soustavy (VSS)

Vyhříváné vtokové soustavy umožňují větší kontrolu nad teplotou vstříkovaného materiálu, a stejně tak umožňují větší volnost při návrhu vícenásobných vstříkovacích forem. Hlavní součástí těchto vtokových soustav je horký rozvodný blok, který definuje dráhu materiálu uvnitř vstříkovací formy a zároveň se chová jako prodloužení vstříkovací jednotky, protože materiál uvnitř vyhříváného bloku má skoro totožnou teplotu a viskozitu jako uvnitř válce vstříkovací jednotky. Další součástí vtokové sestavy jsou vyhříváné vtokové trysky a kontrolní a vyhřívací elementy. Vyhříváné vtokové soustavy se nakupují u specializovaných firem, které nabízí různé konstrukční provedení. [1,16]

### 2.3.3 Vyhříváné trysky:

Jejich konstrukce umožňují propojení dutiny formy se vstříkovacím strojem. Tryska je vybavena vlastním topným článkem s regulací, nebo je ji ohřívá jiný zdroj vtokové soustavy. Vtokové ústí vyhříváné trysky musí umožňovat, aby materiál na jedné straně byl tekutý a na druhé straně byl ztuhlý bez toho, aniž by ucpával, táhnul vlákno nebo vytékal z trysky. Dělí se na přímo nebo nepřímo vyhříváné trysky. [1,11]



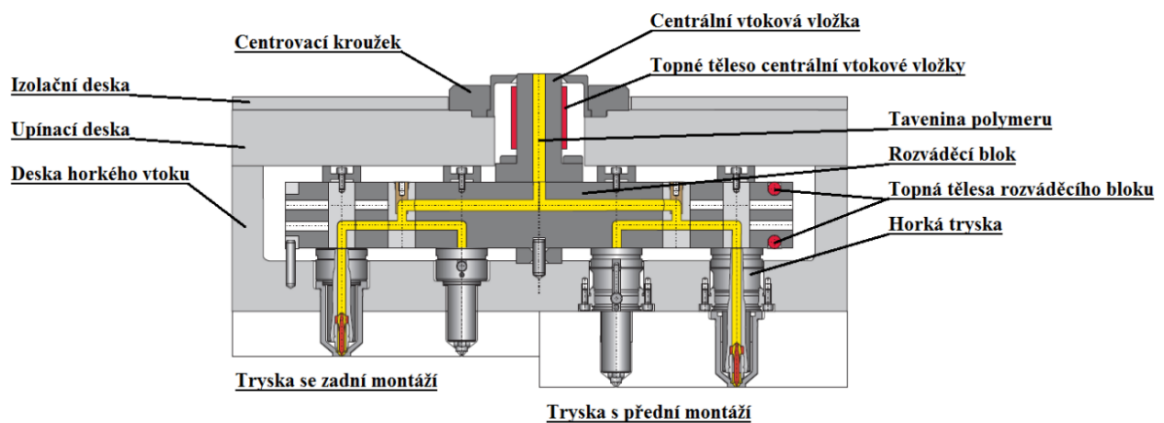
Obr. 10. Vyhříváná tryska [1]

### 2.3.4 Horký rozvodný blok:

Používá se k rozvodu taveniny do tvarových dutin vícenásobných forem. Horký rozvodný blok musí být rovnoměrně vytápěn, pokud tomu tak nebude, tak ovlivní tokové chování polymerní taveniny a její tlakové rozložení ve tvarových dutinách formy. Rozhodný blok se většinou vyrábí z oceli a jeho tvar je konstrukčně přizpůsoben požadované poloze rozváděcích kanálů. Musí být dobře tepelně izolován od ostatních částí vstříkovací formy.



Horký blok se nejčastěji vytápí z venku elektrickým odporovým topením za pomoci topných hadů zalitých mědí nebo vytápěním zevnitř pomocí topných patronů. Teplota v rozvodném bloku se řídí pomocí regulátorů teploty. Ovládání regulátoru se zajišťuje pomocí tepelných snímačů, které jsou zabudovány v tryskách a rozvodném bloku. [1]



Obr. 11. Horký rozvodný blok [18]

## 2.4 Temperační systém

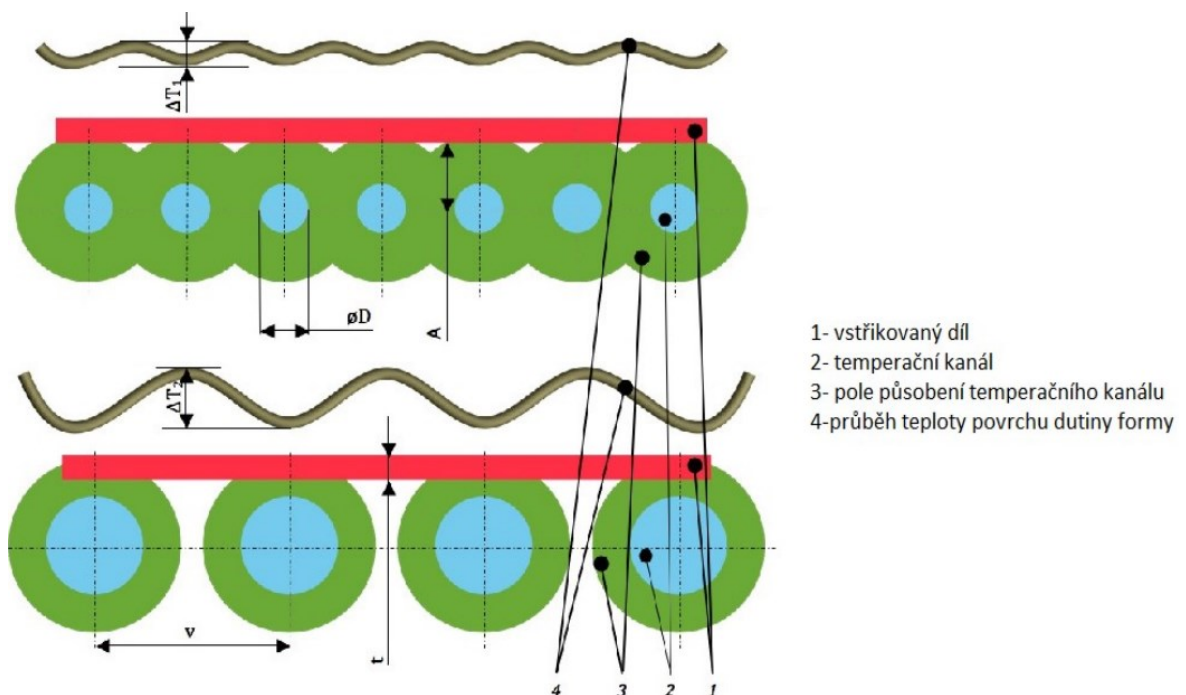
Temperace ve vstřikovací formě nám slouží k udržení konstantního teplotního režimu. Hlavním cílem temperace je dosáhnout co nejkratšího pracovního cyklu při zachování všech technologických požadavků na výrobu. Tomu se dá dosáhnout ochlazováním, případě vyhříváním celé vstřikovací formy nebo její části. V průběhu vstřikování se do formy vstříkne polymerní tavenina, která se ve tvarové dutině začne ochlazovat na teplotu vhodnou pro vyhození výstřiku z formy. Temperace tedy zajišťuje optimální chladnutí a tuhnutí polymeru a ovlivňuje plnění tvarové dutiny formy. [2]

Polymerní tavenina se začne chladit bezprostředně po vstupu do dutiny formy (forma s vyhřívanou vtokovou soustavou), případně při vstupu do vtokového kanálu (forma se studenou vtokovou soustavou), až do doby, kdy se forma otevře a výstřik je vyhozen. Chlazení je tedy nejdelší částí vstřikovacího cyklu. Špatně navržený temperační systém může výrazně prodloužit celkovou dobu vstřikovacího cyklu a může způsobit nerovnoměrné teplotní pole, což způsobuje rozdílnou deformaci a smrštění výstřiku. V některých případech se mohou různé části formy odlišně temperovat, a to proto aby se eliminovaly tvarové deformace způsobené anizotropií smrštění polymeru. [2]

Některé polymery je potřeba zpracovávat při vyšších teplotách formy. V takovém případě se musí forma ohřívat, protože jsou její tepelné ztráty větší, než je její ohřátí taveninou. Dále se musí forma na začátku výroby ohřát na pracovní teplotu, jinak by nebyla zaručena dostatečná kvalita výstřiku. [2]

#### 2.4.1 Zásady pro volbu temperačního systému

Temperační systém se skládá ze soustavy kanálů a dutin, kterými se odvádí nebo předává teplo z formy vhodnou kapalinou nebo jiným zdrojem tepla. Rozmístění a rozměry temperačních kanálů a dutin se volí určují s ohledem na celkové konstrukční řešení formy. Vzdálenost temperačních kanálů musí být optimální. Je potřeba na dostatečnou tuhost a pevnost stěny tvarové dutiny. Jako přestupová plocha pro teplo přestupují z formy do temperačního média a opačně slouží povrch temperačních kanálů. Větší počet menších kanálů s malými roztečemi je více efektivnější než malý počet kanálů s velkými roztečemi. Temperační kanály se rozmisťují rovnoměrně a všude ve stejné vzdálenosti kolem dutiny formy. V případech silnější stěny výstřiku, nebo jiném místě o vyšší teplotě, se kanály umisťují blíže k dutině formy. [2,16]



Obr. 12. Rozmístění temperačních kanálů [2]

Pravidla nutná dodržovat při volbě temperačních systémů: [2,16]

- temperační kanály umístit v dostatečné vzdálenosti od tvarové dutiny formy, při zachování její tuhosti,

- temperační kanály dimenzovat a umístit tak, aby bylo teplo intenzivně odváděno z míst, kde je forma ve styku s proudem polymerní taveniny,
- regulovat průtok chladicí kapaliny tak, aby při chlazení proudila od nejteplejšího místa k chladnějšímu,
- zvolit kruhový průřez z výrobních důvodů,
- temperační kanály by měli procházet celistvým materiálem formy. Pokud tomu tak není, je potřeba použít těsnění,
- neměly by se vytvářet mrtvé kouty v cestě temperačního média,
- neumísťovat temperační kanály poblíž hran výstřiku,
- průměr temperačního kanálu by neměl být menší než 6 mm, jinak může docházet k ucpání vodním kamenem nebo nečistotami,
- temperační kanály rozmístit tak, aby se jednotlivé větve daly propojit hadicemi různým způsobem a pořadím.

#### 2.4.2 Temperační prostředky

Jsou to média, která umožňují vstřikovací formě pracovat v optimálních tepelných podmínkách.

Rozdělují se na: [2,14]

- pasivní, ovlivňují tepelný režim formy svými fyzikálními vlastnostmi,
- aktivní, působí přímo na vstřikovací formě.

Mezi aktivní prostředky se řadí kapaliny, vzduch a topné elektrické články.

##### **Kapaliny:**

Kapaliny proudí uvnitř formy temperačními kanály nuceným oběhem. Dochází k přestupu tepla mezi temperační kapalinou a formou. Nejvíce používanou temperační kapalinou je voda. Její hlavní výhody jsou vysoký přestup tepla, ekologická nezávadnost, nízká viskozita a nízká cena. Nevýhodami je vznik koroze (nutná úprava vody), usazování vodního kamene a použitelnost jen do 90 °C (lze použít ve vyšších teplotách s použitím tlakových okruhů). Další používanou temperační kapalinou je olej, který se dá temperovat i nad teplotu 100 °C. Jeho hlavní nevýhodou je nižší přestup tepla. Jako poslední používanou temperační kapalinou jsou glykoly. Ty zabráňují ucpávání temperačního systému a vzniku koroze. Jejich největší nevýhodou je rychlé stárnutí a nutnost ekologické likvidace. [2,14]

**Vzduch:**

Chlazení vzduchem může být v provedení volného proudění (odvod tepla z povrchu formy, při chlazení tvarových částí po čas otevření vstřikovací formy), nebo v provedení nuceného proudění působením podtlaku nebo přetlaku. Jelikož má chlazení vzduchem malou účinnost, tak se využívá pouze ve speciálních případech. [2,14]

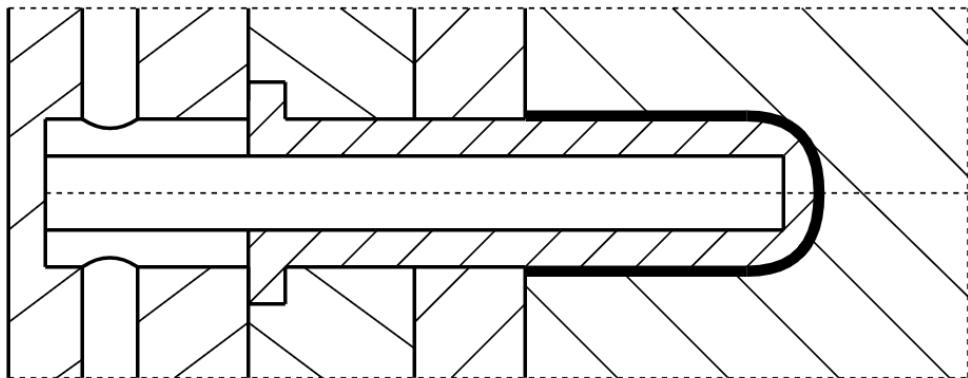
**Elektrické topné články:**

Používají se hlavně k temperaci u forem s požadovanou vyšší teplotou, které mají tepelné ztráty do okolí větší než teplo dodávané vstřikovaným polymerem. Většinou se používají prstencová topná tělesa a topné patrony s větší povrchovou zátěží, které dokáží předat značné množství tepla do vytápěné často formy v relativně malých objemech. Pro zvýšení spolehlivosti se využívá vyššího počtu topných článků, které nejsou využívány na plný výkon. Při jejich montáži je potřeba dbát na to, aby byl aktivní povrch topného tělesa vždy v těsném kontaktu s povrchem formy. [2]

Mezi pasivní prostředky se řadí tepelně vodivé a tepelně izolační materiály.

**Tepelně vodivé materiály:**

Používají se k přívodu nebo odvodu tepla z míst jiným způsobem obtížně temperovatelných (vtokové trysky, tenké tvárníky) do míst, kde je již možné přívod nebo odvod tepla zajistit obvyklým způsobem. Používá se Al, Cu a jejich slitiny. Jedním z nejúčinnějších prostředků jsou tzv. tepelné trubice, které využívají tepla látky proudící uvnitř trubice v důsledku teplotního spádu. Použitím tepelné trubice lze zvýšit odvod tepla až o řád, ve srovnání s použitím čisté mědi. [2]



Obr. 13. Tepelná trubice [18]

### Tepelně izolační materiály:

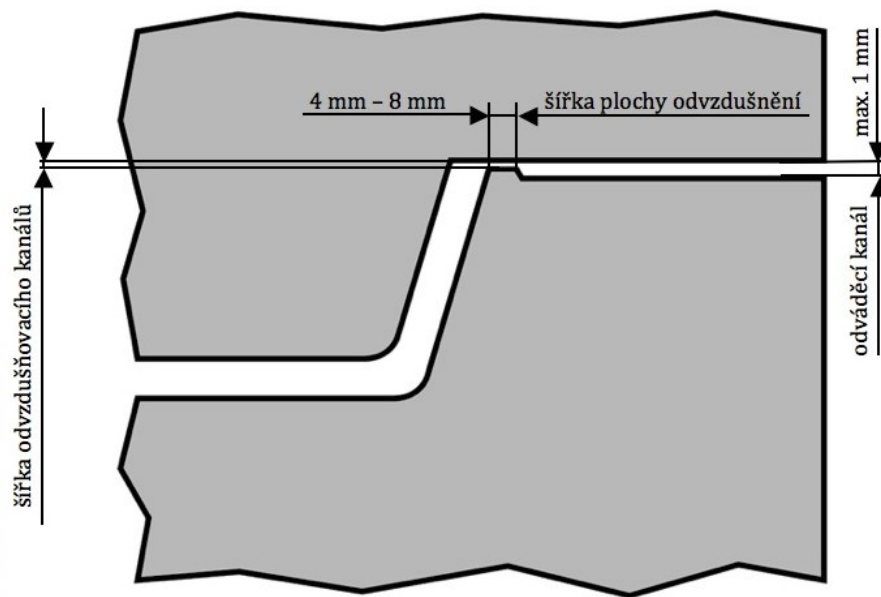
Používají se hlavně pro omezení přestupu tepla do upínacích desek stroje, a to v případě, že je požadovaná vysoká teplota vstřikovací formy. Využívají se různé tepelně a pevnostně odolné materiály na bázi vyztužených reaktoplastů, či nekovových anorganických látek. Pro tento účel se například používá Sklotextil SI, Sklotextil ARV apod. [2,16]

## 2.5 Odvzdušňování forem

Odvzdušnění tvarových dutin formy se může zdát zbytečné nebo nedůležité, ovšem při zkoušení již hotového výstřiku se jeho nedostatky mohou projevit nízkými mechanickými vlastnostmi nebo nekvalitním vzhledem. Odvzdušnění formy je možné v některých případech snadno konstrukčně vyřešit, ale v jiných případech může špatné řešení způsobit velké problémy a nemalé finanční ztráty. [1]

Při plnění tvarové dutiny forma polymerní taveninou je nutné zajisti únik potřebného objemu vzduchu, který je závislý na rychlosti plnění dutiny formy. Vadné odvzdušnění může způsobit obzvláště u tenkostěnných výrobků bubliny zatlačené do výrobku, zamrzlá čela polymerní taveniny a nejčastěji spálení (tzv. Dieselův efekt). [20]

Nejvhodnější místa pro odvzdušnění jsou ta, kde polymerní tavenina dorazí v nejdelším časovém úseku. U jednoduchých forem si konstruktér volí místa pro odvzdušnění dle zkušeností. U složitějších forem nebo u forem vícenásobných se místa odvzdušnění a studených spojů určují pomocí simulačních Mold Flow analýz. Maximální rozměry odvzdušňovacích kanálů byly získány v praxi. Je potřeba brát ohled na to, aby rozměry odvzdušňovacího kanálu nezpůsobovaly přetoky na výrobku. V místech odvzdušnění používáme kolíky, vyhazovače, odvzdušňovací vložku, svazek lamel anebo se mohou i použít vložky z porézního materiálu, které ale mají nevýhodu zanášení. [20]



Obr. 14. Systémy odvěšnění [20]

## 2.6 Vyhazovací systém

Vyhazování výstřiku je činnost, kdy se z tvárníku nebo dutiny otevřené formy vytlačí nebo vysune zhotovený výstřík. K vyhození výstřiku z formy se používá vyhazovací zařízení, které je součástí vstříkovací formy a svojí funkcí zajišťuje automatický výrobní cyklus. [2,3]

Vyhazování má dvě fáze: [2]

- pohyb dopředný, vyhození výstřiku,
- pohyb zpětný, vyhazovací systém se vrací do původní polohy.

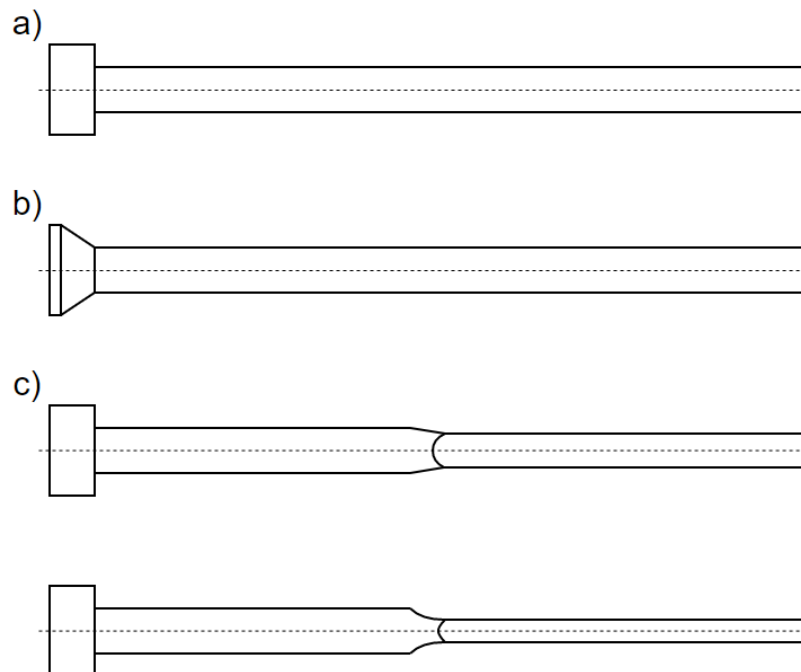
Pro správné vyhození výstřiku z formy musí mít výstřík hladký povrch a úkopy stěn ve směru vyhazování. Úkopy by neměly být menší než  $30^\circ$ . Vyhazovací systém musí výstřík vysouvat z formy rovnoměrně, aby nedošlo k zapříčení, což by mohlo způsobit trvalé deformace, nebo jiné poškození. Tvar vyhazovačů, jejich umístění a rozložení může být velmi rozmanité. Mohou se i využít k vytvoření funkční dutiny nebo jako součást tvárníku. Při vyhození výstřiku se vyhazuje i vtokový zbytek. [2,14]

### 2.6.1 Mechanické vyhazování

Jedná se o nejrozšířenější vyhazovací systém, který se používá všude tam, kde je jen možné. [2]

### 2.6.2 Vyhazovací kolíky:

Používají se tam, kde je možné umístit vyhazovače ve směru vyhození proti ploše výstříku. Tento způsob je jedním z nelevnějších a nejčastějších. Pro snadné vyhození výstříku bez poškození je nutná správná volba tvaru vyhazovacího kolíku i jeho vhodné umístění. Kolík by se měl opírat o žebro nebo stěnu výstříku a nesmí ho při vyhazování bortit. Jinak by jej mohl trvale zdeformovat. Styčné plochy vyhazovacích kolíků zanechávají stopy na výstříku. Proto se kolíky neumisťují na vzhledové plochy. [2]



Obr. 15. Vyhazovací kolíky [2]

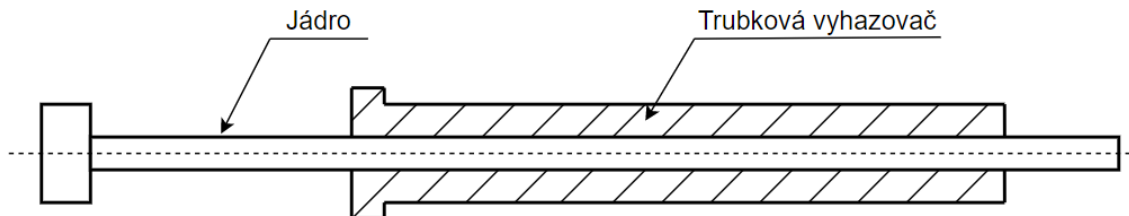
a) s válcovou hlavou, b) s kuželovou hlavou, c) prizmatický

### Šikmé vyhazovače:

Jedná se o speciální formu mechanického vyhazování. Vyhazovací kolíky nejsou kolmé na dělicí rovinu, ale jsou ukotveny pro různými úhly. Používají se pro vyhazování malých a středně velkých výstříků s vnějším nebo mělkým zápichem. Použitím šikmých vyhazovačů se odstraní náročná posuvná čelisti s klínovým mechanismem. Systém šikmých vyhazovačů může mít různá provedení a je jej možné kombinovat s přímým vyhazováním. [2,14]

**Trubkový vyhazovač:**

Trubkové vyhazovače jsou speciální typ vyhazovacích kolíků. Vlastní vyhazovací kolík je ukotven v pevné desce formy, nepohybuje se a chová se jako jádro. Zatím co vyhazovač s otvorem má funkci stírací desky a funguje jako vyhazovací kolík. [2]



Obr. 16. Trubkový vyhazovač [14]

**Stírací deska:**

Pomocí stíracích desek se stahuje výstřik z tvárníku po celém jeho obvodu. Díky jeho velké styčné ploše nezanechává žádné stopy po vyhození na výstřiku. Deformace výstřiku jsou pak minimální a stírací síla je velká. Stírací desky se hlavně používají u tenkostěnných výstřiků, kde hrozí jejich deformace, nebo u rozměrných výstřiků, které potřebují velkou vyhazovací sílu. Použití stíracích desek je vhodné jen tehdy, kdy výstřik dosedá na stírací desku v rovině nebo plocha výstřiku je lehce zakřivena. [2,14]

Stírací deska je ovládána vyhazovacím trnem. Vyhazovací síla může být vyvozena pružinami, pneumatickým nebo hydraulickým zařízením. Stírací deska může být dokonce i ovládána tahem, a to za pomoci mechanismů. [2]

Hlavní nevýhodou stíracích desek je, že vzhledem k jejich velké ploše může docházet k teplotním dilatacím a tím i ke špatnému vyhození. Tomu se dá vyhnout použitím tvarových vložek upnutých ve stírací desce. [2]

**Dvoustupňové vyhazování:**

Pomocí dvoustupňového vyhazování je možné vyhazovat výstřiky s různým časovým rozložením vyhazovacího zdvihu i jeho velikosti. Díky tomu se používá například k vyhazování tenkostěnných výstřiků v kombinaci – stírání s vyhazovacími kolíky, u šikmého vyhazování výstřiku se zápichem. [2]



Může se také používat u oddělování (ostřihování) vtokových zbytků od výstřiku spolu s jejich vyhazováním. A to tak, že jednou skupinou vyhazovačů odstříhne vtoky a druhou se zpožděným zdvihem vyhodí výstřiky ven z formy. [2]

### 2.6.3 Hydraulické vyhazování

Hydraulické vyhazování je součástí vstřikovacího stroje a používá se k ovládní mechanických vyhazovačů, které nahrazuje velkou flexibilitou a pružnějším pohybem. Hydraulické jednotky přímo zabudované ve formě, které fungují jako vyhazovače se v dnešní době už moc nepoužívají. Používají se hlavně k ovládní bočních posuvných čelistí. Hydraulické vyhazovače se většinou vyrábějí jako uzavřená hydraulická soustava, která se umístí přímo do pravého místa ve vstřikovací formě. Za pomoci této soustavy se přímo ovládají vyhazovací kolíky nebo i stírací desky. Základní charakteristiky hydraulického vyhazování jsou velká vyhazovací síla, kratší a pomalejší zdvih. [2,14]

### 2.6.4 Pneumatické vyhazování

Používá se hlavně pro vyhazování rozměrných slabostěnných výstřiků ve tvaru nádob, které je při vyhazování nutné zavzdušnit, aby se nedeformovaly. [2]

Mezi jejich výhody patří zmenšení velikosti formy, protože není potřebný velký zdvih vyhazovače, prodlužuje životnost formy tím, že se nemusí konstruovat pohyblivé desky vyhazovačů a stlačený vzduch působí rovnoměrně na celou plochu výstřiku. [2,17]

Pneumatické vyhazování přivádí stlačený vzduch mezi líc formy a výstřik. Stlačený vzduch pak rovnoměrně oddělí výstřik od tvárníku a nezanechá na výstřiku žádné stopy ve vyhazovačích. Pneumatické vyhazování se dá používat pouze jen na některé tvary výstřiků a lze jej kombinovat s vyhazováním mechanickým. [2]

### 3 VSTŘIKOVANÉ VÝROBKY

Konstrukční návrh výrobku z polymeru se řídí naprosto jinými zákonitostmi oproti výrobkům z kovu. Při návrhu takové součásti se musí brát v úvahu technologické děje při procesu vstřikování a zakomponovat je do návrhu. Všeobecně platí, že pro jednodušší součást je snadnější dodržet rozměrový, pevnostní a finanční požadavky. [1]

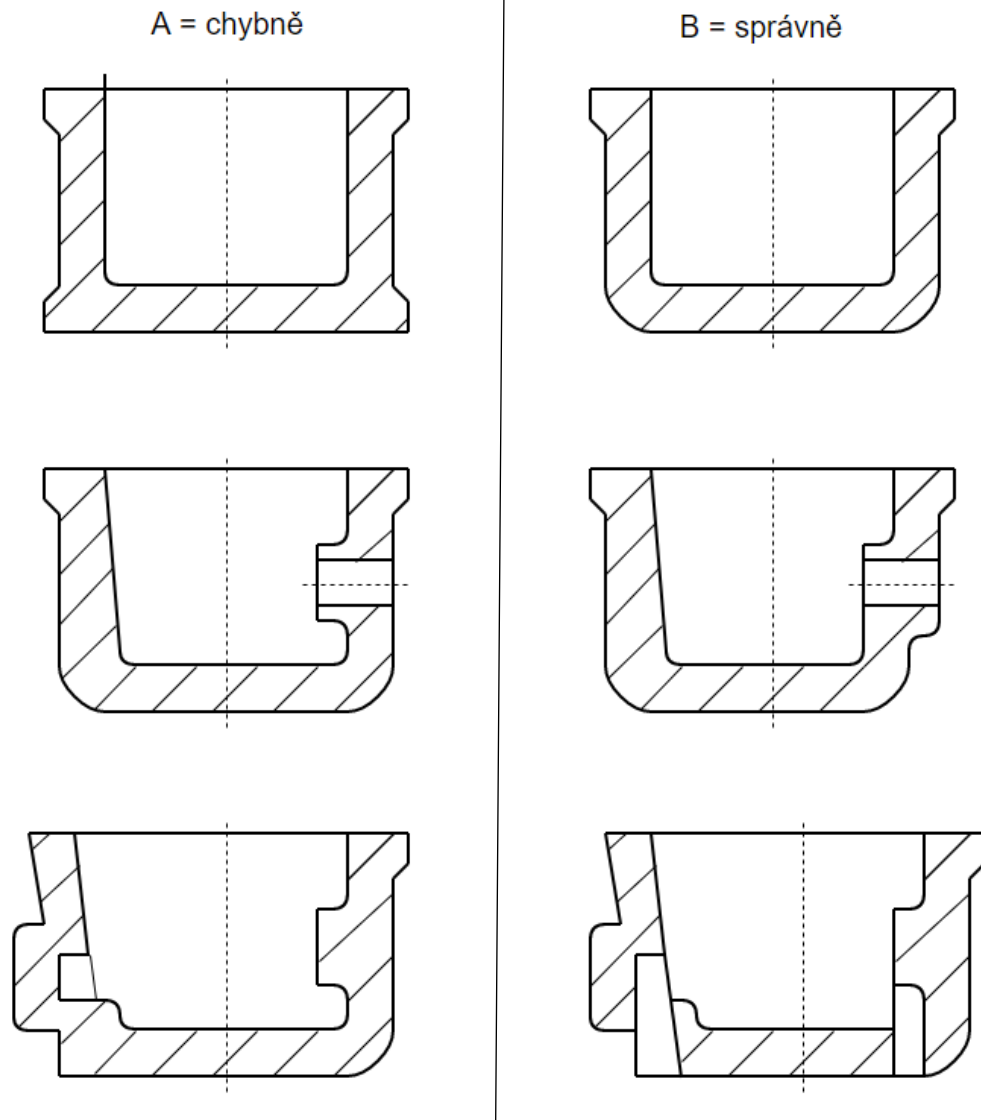
Konstrukce plastového výstřiku musí splňovat určité zásady, a to jak z pohledu funkčního, tak z pohledu návrhu formy: [20]

- Funkční zásady:
  - funkce plastového dílu v daném zařízení,
  - estetické, užitečné, ergonomické, bezpečnostní hlediska.
- Zásady pro návrh formy:
  - tloušťky stěn, rádiusy, tloušťky žeber, díry pro šrouby,
  - zaformovatelnost,
  - tolerance výstřiku,
  - tvary stěn, z důvodu jejich možné deformace,
  - volba vhodného materiálu,
  - požadavky norem.

V praxi se při návrhu výrobku z polymeru vyrábí prototypy, které se používají k ověření funkčnosti, technologičnosti a optimálnímu zaformování s dělicími rovinami. Tvorbou prototypů se zajímá obor Rapid Prototyping. Prototypy se vyrábí několika způsoby a technologiemi s odlišnou přesností a kvalitou povrchu. Tímto se většinou zajišťuje jen kusová výroba. Pro zajištění výroby více kusů a zároveň pro zvýšení mechanické a povrchové kvality se modely vytváří v rozebíratelných prototypových formách nebo se mohou odlévat v silikonových formách tzv. vakuovým litím. [20]

#### 3.1 Zaformovatelnost

Zaformování ve vstřikovací formě je vlastně vhodně navržená součást s optimální dělicí rovinou při dodržení technologických podmínek a ekonomické výroby. Zaformování jednoduchý výstřiků je znázorněno na (Obr. 16.), který ukazuje výhodnou volbu konstrukce, aby vyhození z formy bylo co nejjednodušší a nezvyšovalo náklady na výrobu. [20]



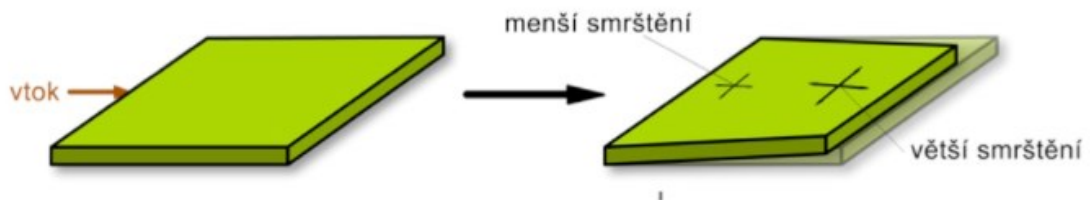
Obr. 17. Princip zaformování [20]

### 3.2 Tloušťky stěn

Tloušťka stěny je závislá na požadované pevnosti a tuhosti výrobku. Tyto požadavky jsou přímo závislé na volbě a tvaru materiálu. Každý typ polymeru má svoji definovanou charakteristiku poměru tloušťky stěny a délky tečení (ITT – index toku taveniny). Každý materiál má tento údaj uvedený v materiálovém listu konkrétního výrobce.

V praxi se pro řešení toho problému používají počítačové analýzy plnění, které odhalí případné nedostatky v návrhu. Vzniklé problémy tečení polymeru je možné vyřešit zesílením určitých částí výrobku nebo více vtoky. [20]

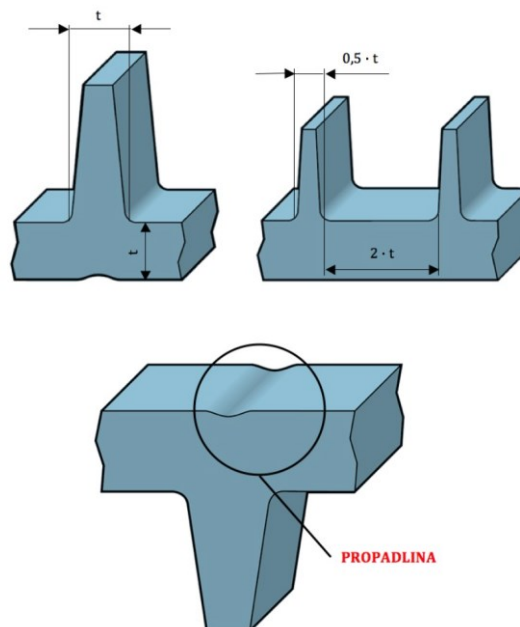
Dále je velmi důležitá rovnoměrnost tloušťek stěn a jejich vzájemné přechody. Pokud je tloušťka stěn nerovnoměrná, tak vznikají nerovnoměrné smrštění v různých částech výstřiku, deformace a pnutí při chlazení. Pokud dojde k rozdílnému smrštění v různých částech výstřiku tak může vznikat tzv. zvlnění výstřiku. Pro eliminaci tohoto jevu je nutné intenzivněji chladit silnější stěnu výrobku a tím potlačit smrštění. [20]



Obr. 18. Smrštění a přechod stěn [20]

### 3.3 Konstrukce žeber

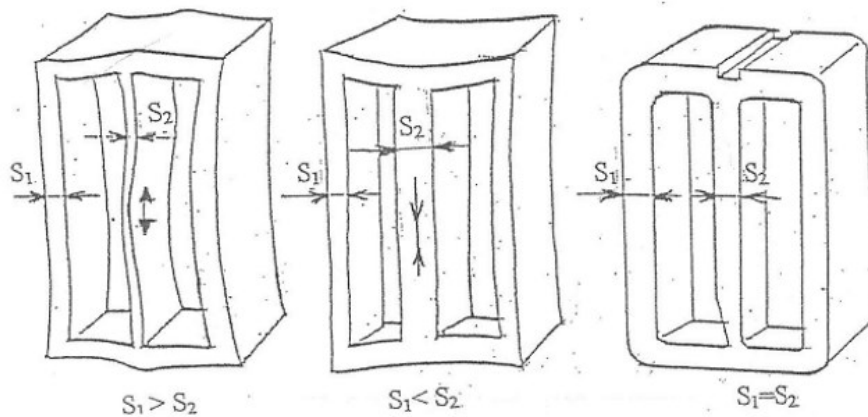
Žebra na výstřiku se používají pro zvýšení jeho pevnosti a tuhosti. Při použití žeber se však musíme dodržovat poměr tloučky stěny a použitého žebra. (Obr. 18.). Tímto poměrem se eliminují hrozby propadliny, který vznikají při chladnutí výstřiku. Propadliny jsou nežádoucí u leštěných vzhledových ploch a dále jsou nejčastěji viditelné u tmavších barev výstřiku. Tento problém lze odstranit vhodným dezénem povrchu nebo nálitkem (Obr. 19.) na navazující stěně. [20]



Obr. 19. Propadlina u žeber [20]

### 3.4 Deformace výstřiku a lunkry

K deformaci výstřiku nejčastěji dochází při rozdílných tloušťkách stěn, které způsobují rozdílné smrštění při chladnutí. Obvyklé chyby a jejich možnosti řešení jsou vyobrazeny na (Obr. 20.). V praxi se také často mohou vyskytovat úzké obdélníkové otvory na výstřiku. Tyto otvory se mohou uprostřed uzavírat, a proto se ve středu otvorů navrhuje kruhové vylehčení. [20]

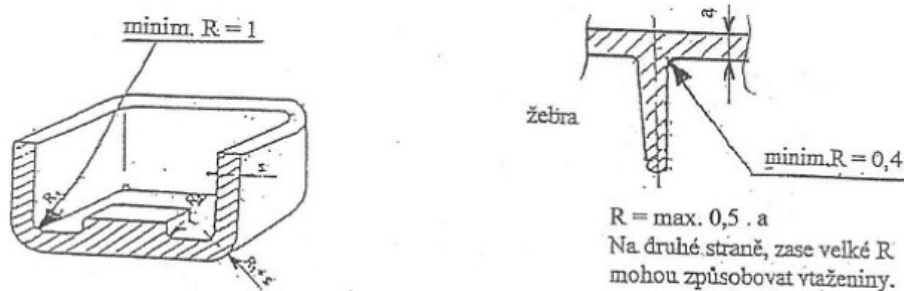


Obr. 20. Deformace stěny výstřiku [20]

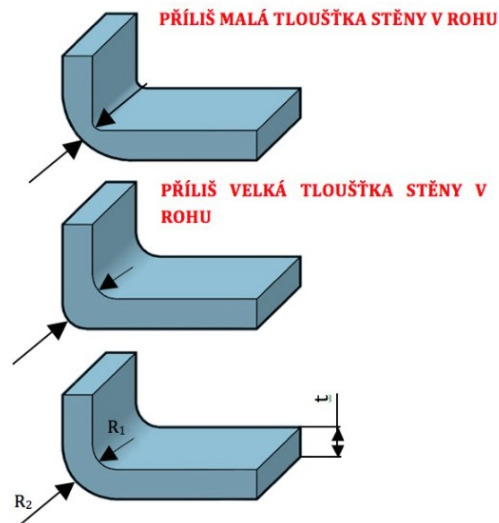
#### 3.4.1 Ostré rohy a vruby

Při jakékoliv změně průřezu toku polymerní taveniny způsobuje špičku napětí. Obzvláště u ostrých hran se zvyšuje riziko prasknutí, na které nejvíce trpí amorfní materiály s nízkou vrubovou houževnatostí. Proto se na výstřiku odstraní ostré přechody a rohy nejlépe pomocí zaoblení. (Obr. 21)

Pro výstřiky větších nádob s požadavkem na rovinnost se redukuje oblast rohu dle (Obr. 22.). Deformace a vytvoření lunkry vzniká kvůli rozdílnému odvodu tepla z vnitřní a vnější části. [20]



Obr. 21. Zaoblení výstřiku [20]

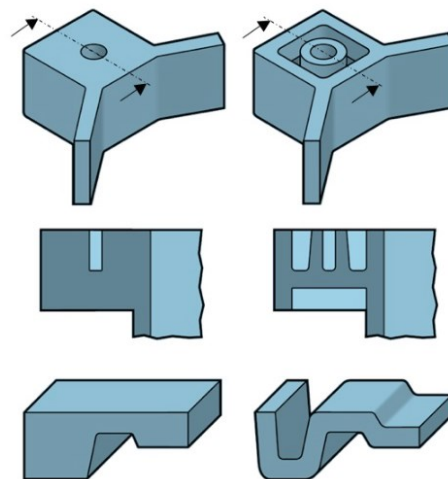


Obr. 22. Řešení rohů na výstřiku [20]

### 3.4.2 Lunkry

Lunkry se vytváří kvůli nevhodné konstrukci tlustostěnných výstřiků v místě nahromadění materiálu. Pokud není možnost změnění konstrukce nebo doplnění objemu výstřiku, tak se při chladnutí za působení objemové kontrakce vytvoří lunkr. Vznik lunkrů je nejvíce problémové z transparentních dílů, na kterých lze vada vidět. U ostatních materiálů se lunkry mohou zjišťovat rozříznutím výstřiku. Vznik lunkrů lze eliminovat: [20]

- změnou konstrukce (snížení nahromadění materiálu),
- zvětšením průřezu vtoku nebo jeho polohou,
- zvýšením teploty formy, vstřikovacím tlakem nebo dotlakem,
- prodloužením času dotlaku (doplnění objemu)



Obr. 23. Eliminace lunkrů změnou konstrukce [20]

### 3.5 Povrch a kvalita výstřiků

Plastové součásti vyrobené pomocí technologie vstřikování nelze vyrobit stejné jakosti jako výrobky kovové. Na plastové výrobky působí velké množství činitelů jako volba materiálu, vstřikovací nástroj, vyladěná výrobní technologie a jeho zpracování. Parametry, podle kterých se sleduje kvalita výstřiku jsou: jakost povrchu, funkční vlastnosti a přesnost. Činitelé ovlivňující kvalitu výstřiku jsou: [1]

- smrštění – volba materiálu,
- dodatečné smrštění – uvolňování vnitřního pnutí (menší a trvající delší dobu),
- tečení – dlouhodobější silové působení (plastická deformace),
- teplotní roztažnost,
- navlhnutí – změna rozměru.

#### 3.5.1 Rozměry výstřiku

Jedním z nejdůležitějších kontrolních ukazatelů kvality a také jedním z nejdiskutovnějších bodů při návrhu nástroje a kontrole výstřiku jsou jeho rozměry. Se zvyšujícím se upřesňováním rozměrů výstřiku se zvedají jeho náklady. Přesnost a rozsah tolerancí výstřiku si volí zákazník podle jeho požadavků. Tolerance by se měly používat pouze jen na potřebné funkce, ať se jedná o normy DIN nebo již zastaralejší ČSN normy. [1]

#### 3.5.2 Povrch plastových výrobků

Dalším významným ukazatelem kvality výstřiku je jeho povrch. Povrch výstřiku je obrazem kvality dutiny formy a jejího výhodného zaformování. [1]

U výstřiků se nejčastěji sleduje:

- odstín barvy, transparentnost,
- hladkost povrchu (mat, lesk, dezén),
- dodatečná úprava (nátěr, temperování, potisk, svařování, obrábění).



Obr. 24. Povrch výstříku [21]

### 3.6 Vady výstříků

Vady vznikající při procesu vstřikování lze rozdělit do dvou hlavních skupin, vady zjevné a vady skryté. Odstranění těchto vad může být levné a jednoduché, pokud se dají odstranit jen změnou technologických parametrů na vstřikovací stroji nebo je vadný materiál. Při vstřikování se ale mohou objevit vady špatné konstrukce formy (špatné odvětvování, deformace výstříku při vyhazování, zůstávání výstříku na pevné polovině formy apod.) nebo závady na vstřikovací stroji. Odstranění takových závad je velmi časově i ekonomicky nákladné. [2]

#### 3.6.1 Vady zjevné

Zjevné vady jsou lehce identifikovatelné, když se výstřík porovnává s jeho referenčním vzorkem a dále se dělí na: [2]

- tvarové vady (propadliny, deformace, zvlnění, přetoky, nedostříknuté díly apod.),
- povrchové vady (matná místa, nedostatečný lesk, tokové čáry, černé tečky apod.).

#### 3.6.2 Vady skryté

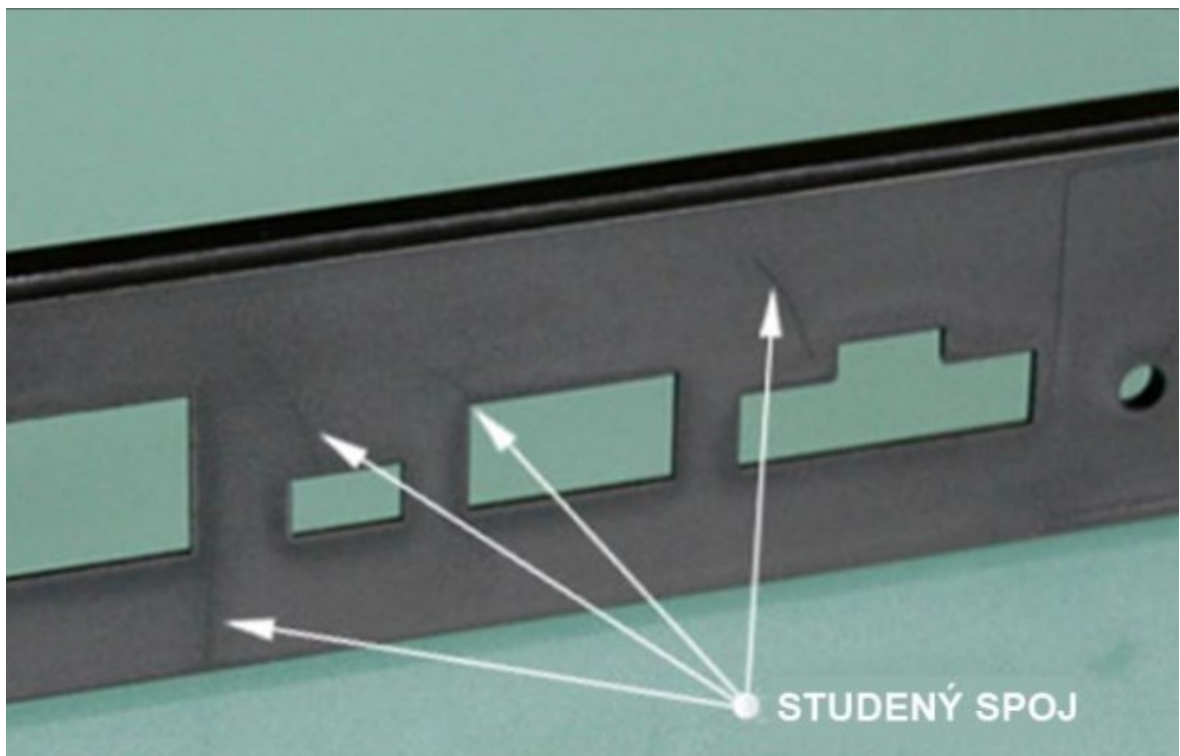
Skryté vady nejsou obvykle zjevné pouhým pozorováním, pokud se nejedná o transparentní materiál. Tyto vady obvykle ovlivňují mechanické a funkční vlastnosti výstříku.

Rozdělují se na: [2]

- studené spoje,
- vnitřní pnutí



- lunkry,
- anizotropie fyzikálně-mechanických vlastností.



Obr. 25. Studený spoj [2]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 CÍLE DOPLOMOVÉ PRÁCE

V diplomové práci byly stanoveny tyto cíle:

- vypracovat literární studii na dané téma,
- provést konstrukční návrh vstřikovací formy,
- konstrukční návrh doložit výkresem sestavy,
- provést analýzu vstřikovacího procesu,

Teoretická část obsahuje popis samotného vstřikovacího procesu, polymerní materiály a zásady pro konstrukci výrobku a vstřikovací formy.

V praktické části se nakreslil 3D model plastového výrobku. Všechny jeho rozměry vychází z fyzického výrobku, poskytnutého vedoucím diplomové práce. Jedná se o rám reproduktoru z automobilu. K tomuto výrobku se následně navrhl 3D model vstřikovací formy. Při návrhu a konstrukci vstřikovací formy bylo využito programu CATIA V5 R20 a normálí od firmy HASCO.

Pro navrženou formu byl vybrán vhodný vstřikovací stroj.

## 5 POUŽITÉ PROGRAMY

V praktické části byl použit program Catia V5 R20, který sloužil k vytvoření 3D modelů jednotlivých částí vstřikovací formy a všech potřebných výkresů. Analýza vstřikovacího procesu byla vytvořena v programu Autodesk Moldflow Insight Synergy 2012.

### 5.1 Catia V5 R20

Catia je multiplatformní softwarová sada pro počítačově podporovaný design (CAD), počítačově podporované inženýrství (CAE), počítačově podporovanou výrobu (CAM), vyvinutá francouzskou společností Dassault Systemes.

Jelikož podporuje více fází vývoje produktů od konceptualizace, inženýrství a designu až po výrobu, považuje se za software CAx a někdy se označuje jako softwarové sada 3D Product Lifecycle Management. Stejně jako většina jeho konkurence usnadňuje spolupráci prostřednictvím integrované cloudové služby a má podporu pro použití v různých oborech, včetně tvarových a povrchových návrhů, návrhů elektrických, tekutých a elektronických systémů, strojírenství a systémového inženýrství.

Kromě toho že se Catia používá v široké škále průmyslových odvětví od obrany a letectví až po obalový design, používá jej architekt Frank Gehry pro navrhování svých budov. [31]

### 5.2 Autodesk Moldflow Insight Synergy 2016

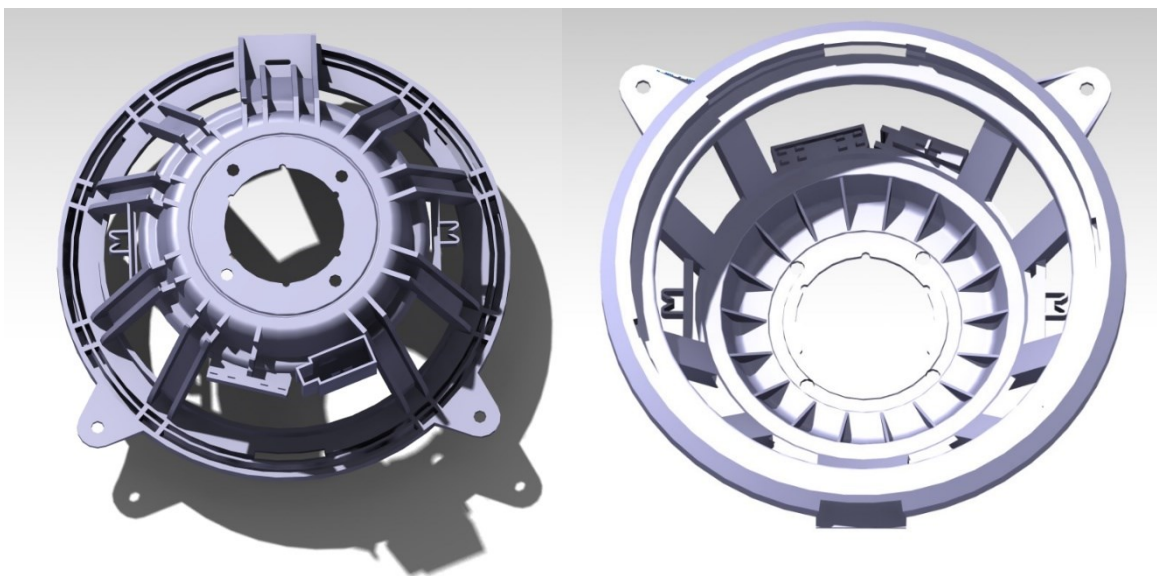
Autodesk Moldflow je software, který se zabývá simulací vstřikovacího procesu. Používá se pro vyhodnocení a optimalizaci konstrukce plastových dílů a vstřikovacích forem. [32]

### 5.3 Hasco catalog

Knihovna normálií od firmy Hasco nabízí 3D modely jednotlivých komponentů potřebných pro konstruování vstřikovacích forem. Firma Hasco poskytuje na svých webových stránkách online katalog normálií a desek rámu formy.

## 6 VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK

Vstřikovaným výrobkem je rám reproduktoru do automobilu. Celý díl je složen z jednoho kusu. Jelikož má díl v sobě velké množství průchozích otvorů, tak je vybaven žebry, které celý výrobek zpevňují. Na výrobku jsou dále otvory pro zavedení elektroniky. Výrobek je z materiálu PC.



Obr. 26. Model výrobku

### 6.1 Materiál výrobku

Za materiál pro daný výrobek byl zvolen polykarbonát (PC), který svými vlastnostmi vyhovuje pro námi zvolenou aplikaci.

Vyznačuje se vysokou mechanickou pevností při nastalých nízkých i vysokých teplotách (-40 °C až +135 °C), vynikající tepelnou izolací a elektrickými izolačními vlastnostmi. Dále má dobrou světelnou propustnost a odolnost proti povětrnostním vlivům, příznivé protipožární technické vlastnosti, vysokou tvarovou stálost vůči teple a velmi nízkou hmotnost.

Jako konkrétní typ byl zvolen CALIBRE IM 401-11, dodávaný firmou Trinseo NAL. Jeho základní charakteristiky jsou:

- hustota 1,2 [g/cm<sup>3</sup>],
- index toku taveniny ITT = 11 [g/10 min.],
- smrštění ve směru toku 0,7 [%],
- modul pružnosti v tahu E = 2270 [MPa],

- teplota taveniny 280–320 [°C]
- teplota formy 80–120 [°C]

## 7 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Pro vstřikování byl zvolen vstřikovací stroj od německé firmy Arburg. Jedná se o modle Allrounder 820 S.



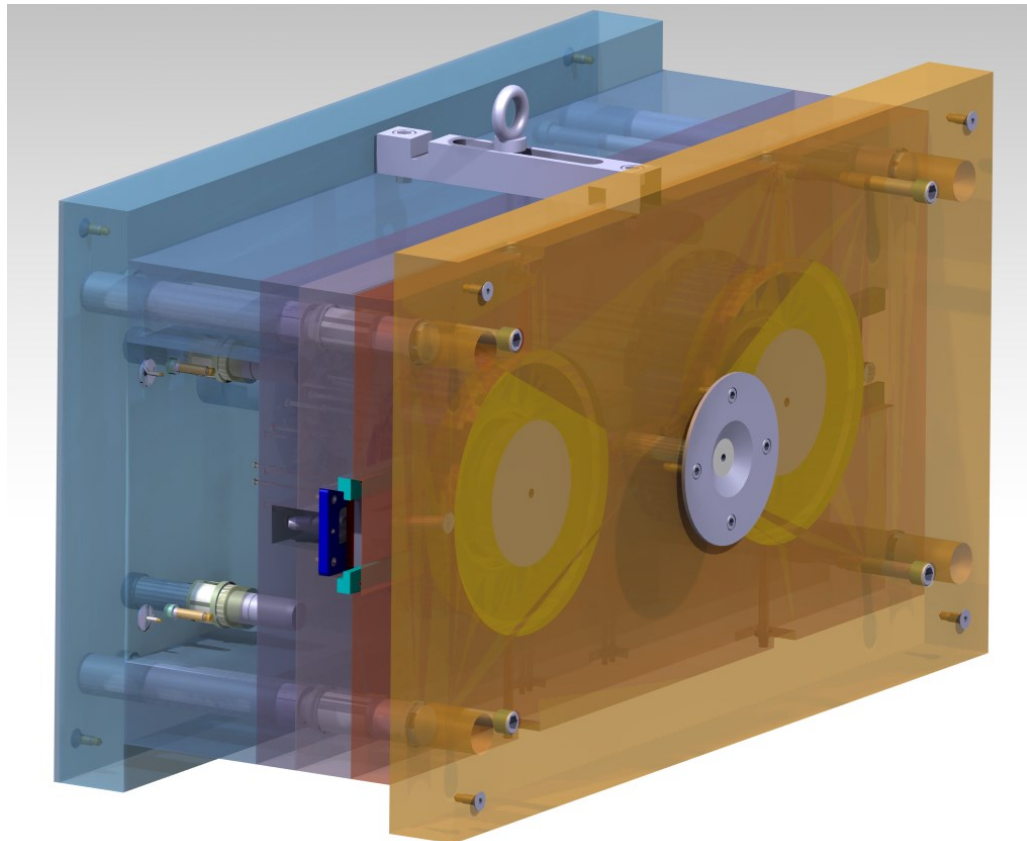
Obr. 27. Vstřikovací stroj [33]

Základní parametry vstřikovacího stroje [33]:

| Základní parametry vstřikovacího stroje: |                              | Základní parametry formy: |                               |
|--|------------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| uzavírací síla                           | <b>4000 [kN]</b>             | uzavírací síla            | <b>2746 [kN]</b>              |
| maximální výška formy                    | <b>850 [mm]</b>              | výška formy               | <b>596 [mm]</b>               |
| minimální výška formy                    | <b>350 [mm]</b>              | hmotnost formy            | <b>281 [kg]</b>               |
| velikost upínacích desek                 | <b>1171x1171[mm]</b>         | hmotnost dávky            | <b>198,1 [g]</b>              |
| vzdálenost mezi vodícími sloupy          | <b>820x820 [mm]</b>          | objem dávky               | <b>233,8 [cm<sup>3</sup>]</b> |
| maximální hmotnost formy                 | <b>5000 [kg]</b>             | rozměr formy              | <b>996x596 [mm]</b>           |
| průměr šneku                             | <b>70 [mm]</b>               |                           |                               |
| zdvih šneku                              | <b>280 [mm]</b>              |                           |                               |
| poměr šneku L/D                          | <b>20</b>                    |                           |                               |
| maximální hmotnost dávky                 | <b>984 [g]</b>               |                           |                               |
| maximální objem dávky                    | <b>1078 [cm<sup>3</sup>]</b> |                           |                               |

## 8 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Konstrukce formy se odvíjí od tvarové složitosti výrobku a měla by být co nejpřesnější a zároveň co nejjednodušší. Při konstrukci formy bylo využito velkého množství normálií od společnosti HASCO. Vstřikovací forma pro zadaný díl je dvojnásobná a je použit studený vtokový systém.

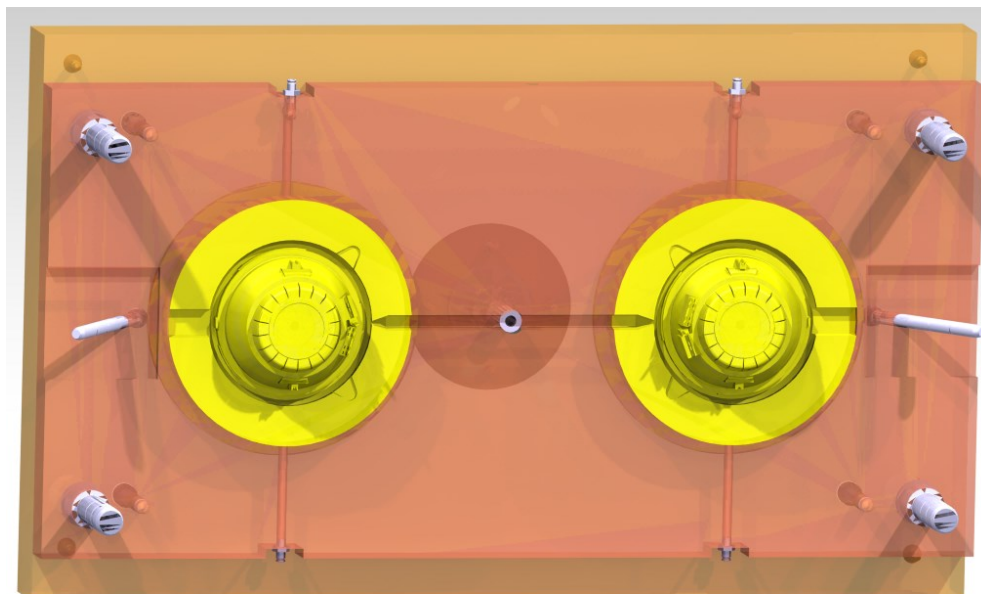


Obr. 28. Celková sestava vstřikovací formy

### 8.1 Násobnost formy

Pro určení násobnosti vstřikovací formy se musí zvážit několik důležitých kritérií, jako jsou kvalita, přesnost a rozměry daného výrobku, celková produkce a také ekonomika výroby. Jednásobné formy se většinou používají pro složitější výrobky, a naopak pro jednodušší součástky s masovou spotřebou se používají vícenásobné formy. Pro zadaný výrobek byla navržena dvojnásobná forma.

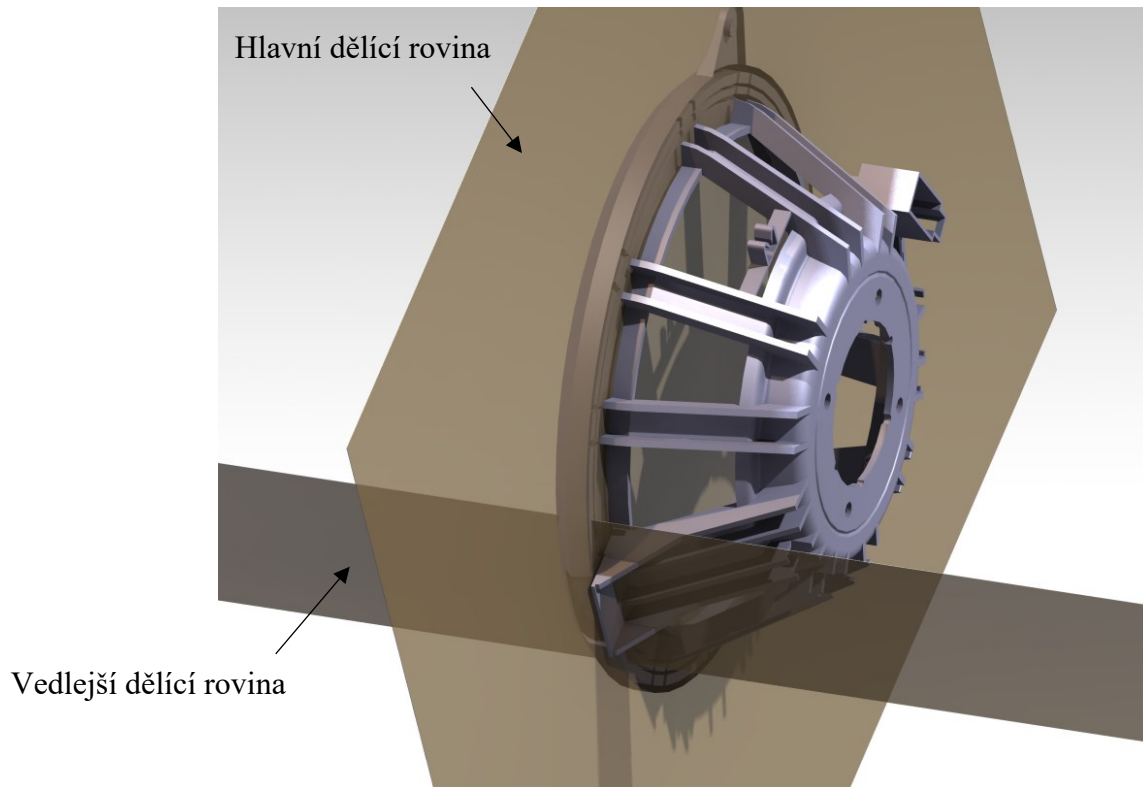




Obr. 29. Násobnost formy

## 8.2 Zaformování výrobku

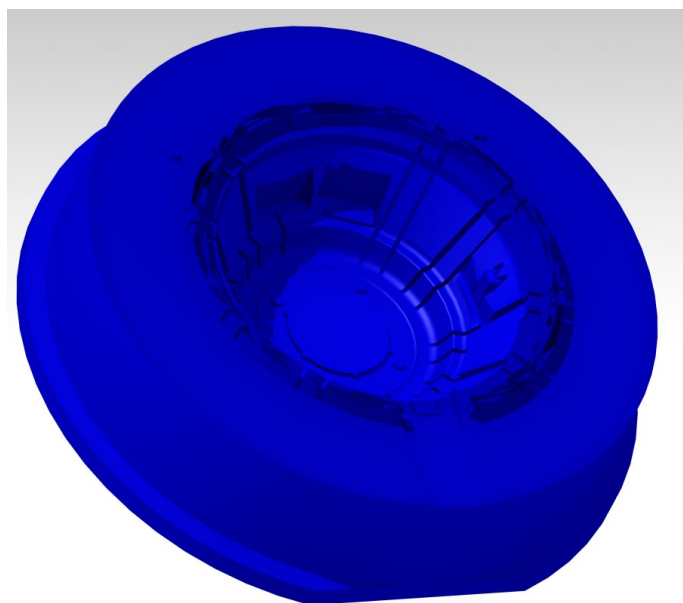
Určení dělicí roviny patří mezi nejdůležitější kroky při konstrukci vstřikovací formy, pro její určení se vychází z konstrukčního řešení vyráběného dílu. Pro zadaný výrobek byly zvoleny dvě dělicí roviny. Hlavní dělicí rovina je kolmá ke směru otvírání formy a dosedají zde na sebe tvárník s tvárnící a kotevní desky při uzavření formy. Vedlejší dělicí rovina je rovnoběžná se směrem otvírání formy a dosedají zde na sebe tvárník s pomocným tvárníkem. Tato vedlejší dělicí rovina je nutná ke zhotovení boční kapsy. Zaformování bylo navrženo tak, že výstřík zůstane v levé části po otevření formy, zároveň dochází k odformování boční kapsy pomocí bočních posuvných čelistí, na kterých jsou přidělané pomocné tvárníky. Tyto čelisti se pohybují za pomoci šikmých čepů. Výrobek je následně vyhozen pomocí vyhazovačů.



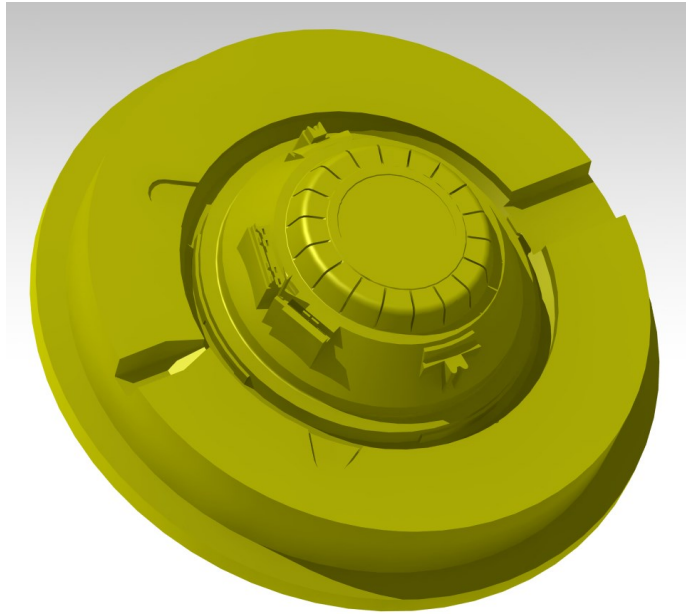
Obr. 30. Dělicí roviny

### 8.3 Tvarové díly formy

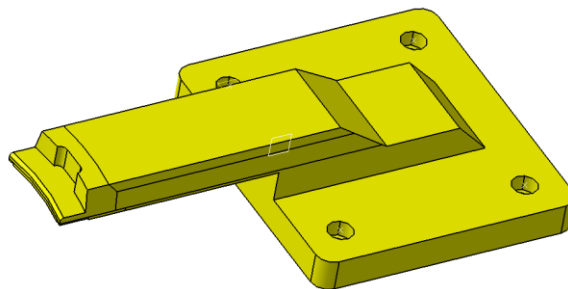
Hlavními tvarovými částmi formy jsou tvárník a tvárnice. Boční otvor na výrobku je vytvořen pomocným tvárníkem, který je upevněn na boční posuvné čelisti. Všechny tvarové části jsou zvětšeny o smrštění materiálu. Tyto díly jsou stejné i pro druhou tvarovou dutinu.



Obr. 31. Tvárnice



Obr. 32. Tvárník

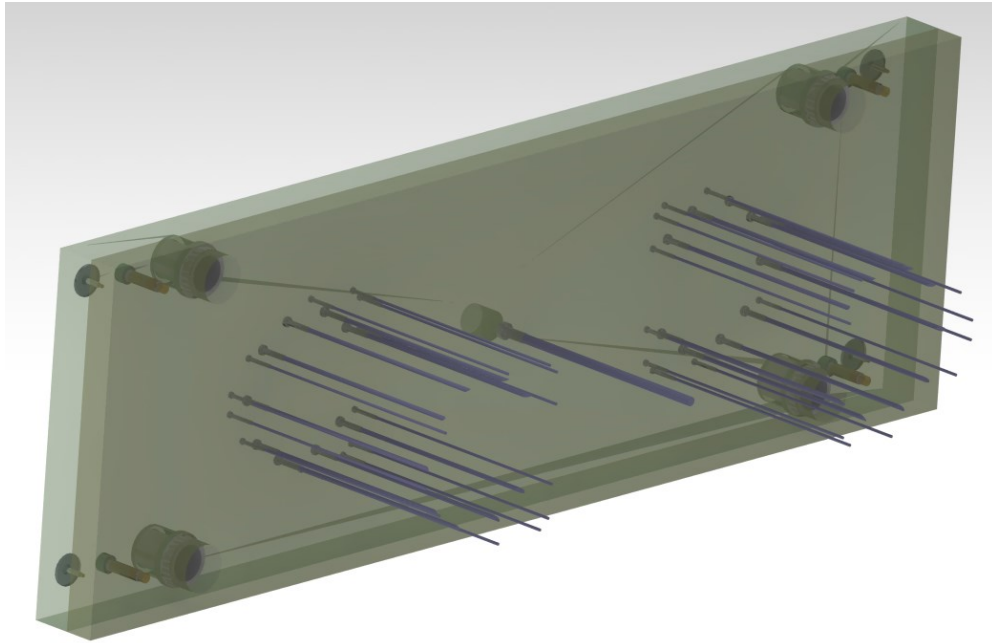


Obr. 33. Pomocný tvárník

## 8.4 Vyhození výrobku

Vyhození ochlazeného výrobku z formy je zajištěno válcovými vyhazovači. Aby byl výrobek rovnoměrně vyhozen z formy, tak bylo na každou dutinu použito 21 válcových vyhazovačů o průměru 4 mm. Vyhození vtokového zbytku je realizováno jedním válcovým vyhazovačem. Vyhazovače jsou ukotveny mezi kotevní a opěrnou deskou. Dopředný pohyb celého vyhazovacího systému je zajištěno táhlem, které je přišroubováno k opěrné desce. Další součástí vyhazovacího systému jsou vodící pouzdra, která se pohybují po vodících čepích ukotvených v levé upínací desce. Vyhazovače byly vybrány z katalogu normálií od firmy HASCO a upraveny na požadovanou délku.

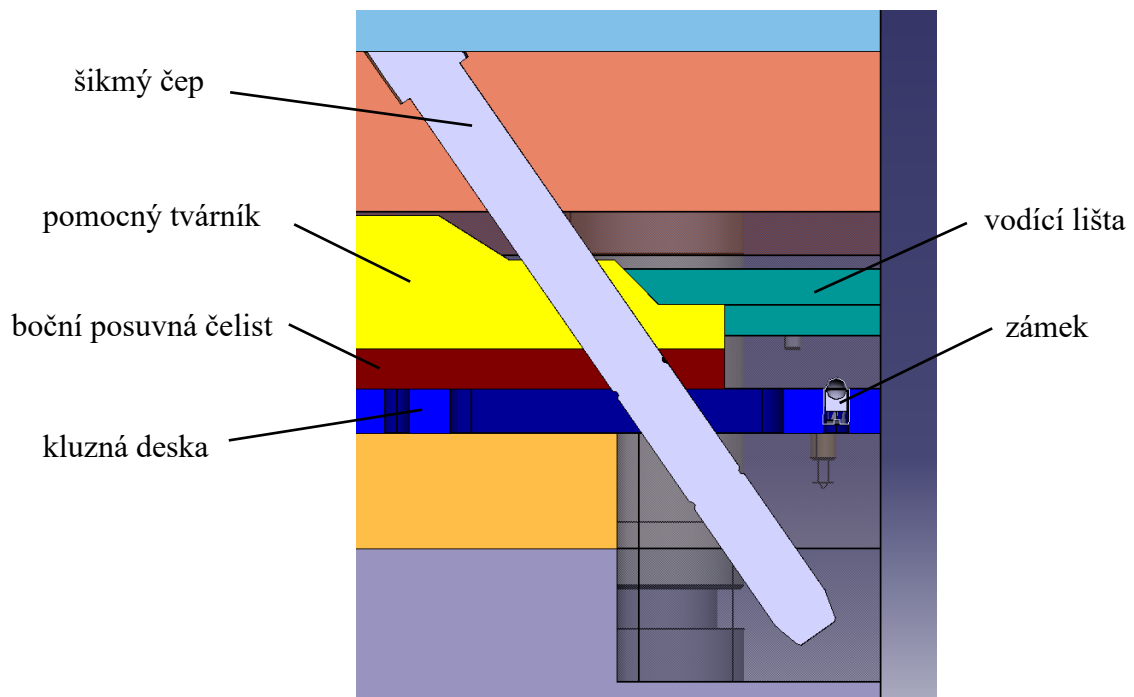
Zdvih vyhazovacího systému je 90 mm, což je dostačující pro bezpečné vyhození celého výstřiku.



Obr. 34. Vyhazovací systém

## 8.5 Šikmé čepy a čelisti

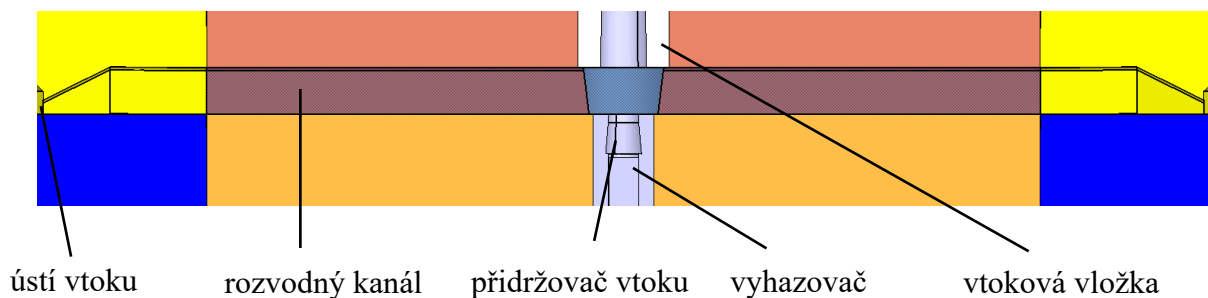
Složitější prvky výrobku, které není možné odformovat běžným způsobem, je potřeba odformovat pomocí bočních pomocných tvárníků a šikmých kolíků. Slouží k odformování otvoru, který neleží ve směru hlavní dělicí roviny.



Obr. 35. Řez bočním pomocným tvárníkem

## 8.6 Vtokový systém

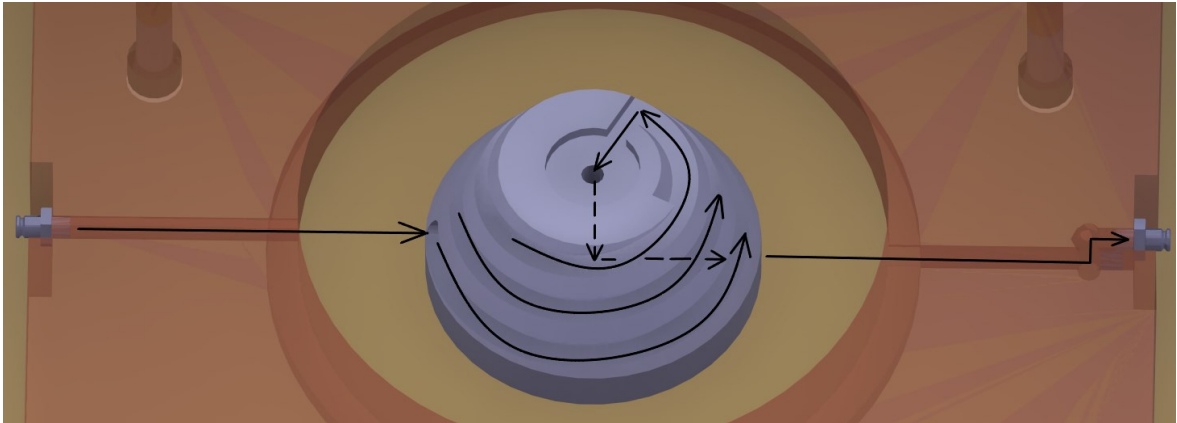
Pro návrh zadaného dílu byl zadán studený vtokový systém, při použití horkého vtokového systému by se výrazně zvětšili rozměry formy a vzrostla by i cena celé vstříkovací formy. Dále nám odpadají energetické náklady, které by byli potřebné pro vyhřívání horkého vtokového systému. Hlavní nevýhodou studených vtokových systémů je poměrně velký odpad, který vzniká ztuhlým vtokovým systémem. Roztavený polymer je přiváděn do rozvodných kanálů lichoběžníkového průřezu umístěných ve tvarové desce formy. Za pomoci těchto kanálů se polymer přivede do ústí vtoku, který je umístěn přímo ve tvárníku. Vtoková vložka je pojištěna kolíkem proti pootočení. Další nezbytnou součástí vtokového systému je přidržovač vtoku, který přidržuje zatuhlý polymer ve vtokovém systému na levé straně formy. Po otevření formy je vyhozen pomocí vyhazovačů společně s výstřikem.



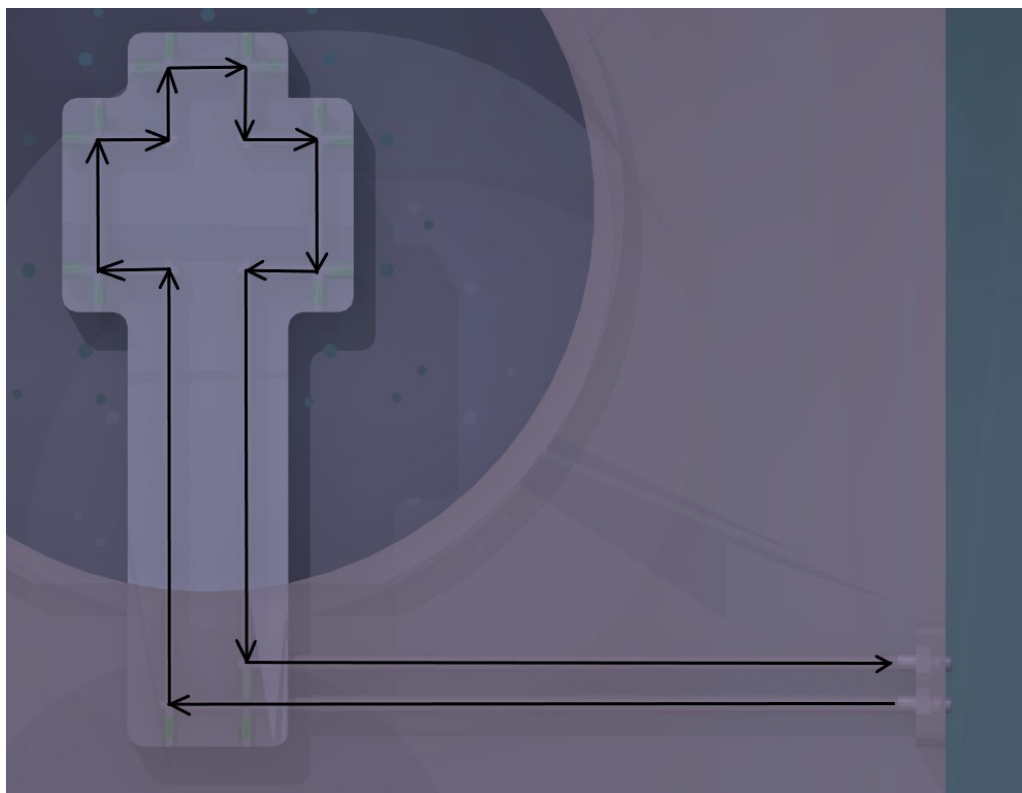
Obr. 36. Vtoková soustava

## 8.7 Temperace formy

Temperace formy slouží k udržení konstantního tepelného režimu. Hlavním cílem temperace je dosáhnout optimálně krátkého vstříkovacího cyklu při zachování všech technologických požadavků na výrobu. Temperační systém na pravé straně formy se skládá z temperačního trnu, který je umístěn přímo ve tvárníku a vrtaných kanálů o průměru 10 mm ve tvarové desce, které mají na konci ventily pro hadice s temperační kapalinou. Na levé straně formy se temperační systém skládá z temperační desky, která je vložena do tvarové desky těsně nad tvárnici a vrtaných kanálů o průměru 6 mm, které jsou také zakončeny ventily pro hadici. Temperační médium je voda.



Obr. 37. Temperace pravé tvarové desky



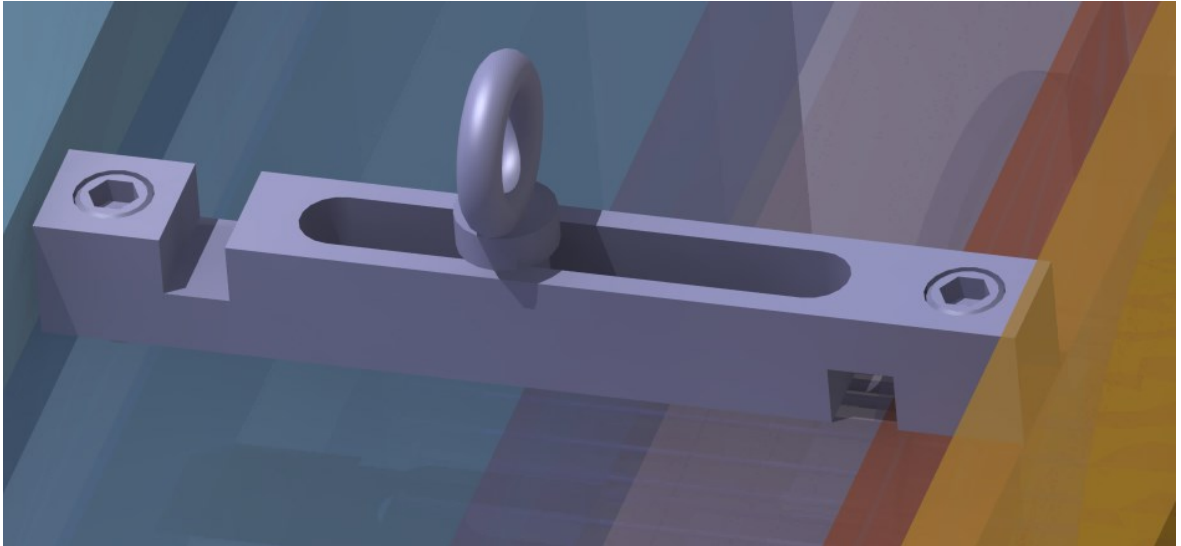
Obr. 38. Temperace levé tvarové desky

## 8.8 Odvzdušnění

Během vstřikování polymeru do formy dochází ke stlačování vzduchu čelem polymerní taveniny a může docházet k nežádoucím jevům jako jsou např. propadliny, bubliny, Dieselův jev nebo nedostříknutí výrobku. Proto je zapotřebí tento vzduch z dutiny formy odvést do okolí. V tomto případě je odvzdušnění zajištěno dělicí rovinou a vůlí mezi vyhazovači.

## 8.9 Zařízení sloužící k manipulaci

Jako zařízení sloužící pro manipulaci s formou byl zvolen transportní můstek. Je složen ze dvou částí, každá část je přišroubována k jedné straně formy, aby bylo zamezeno možnému rozdělení formy v dělicí rovině při její manipulaci. Další součástí je nosné očko, které slouží k upevnění manipulačního zařízení.



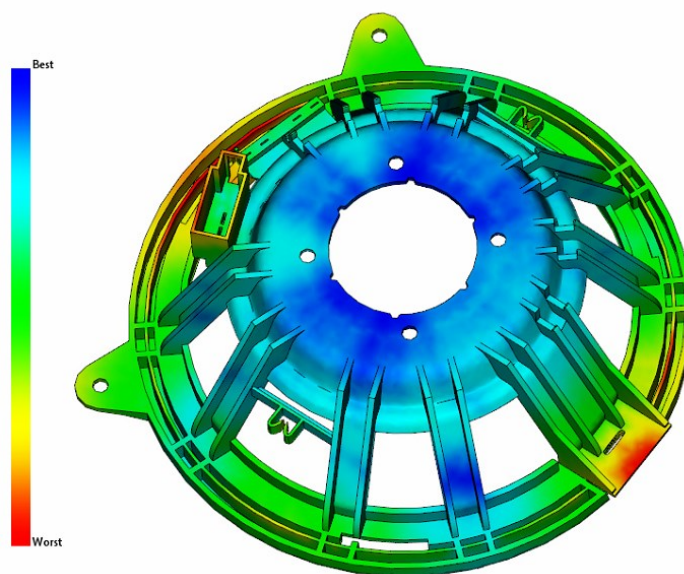
Obr. 39. Transportní můstek

## 9 ANALÝZA VSTŘIKOVACÍHO PROCESU

Analýza vstřikovacího procesu byla provedena v softwaru Autodesk Moldflow Insight 2016. Nejdříve byl model výrobku ve správném formátu vysítován. Software nabízí možnost vysítovat výrobek třemi druhy sítí (Midplain, Dual Domain, 3D síť). Pro své výhody byla vybrána Dual Domain síť. Tato síť vytváří trojúhelníkové prvky na povrchu modelu a pak lze model přímo analyzovat. Výsledky nejsou tak přesné jako u 3D sítě ale pro naše potřeby je to dostačující.

### 9.1 Procesní podmínky

Jako první byla provedena Gate location analýza. Tato analýza nám znázorňuje vhodné umístění vtoku. Vzhledem ke konstrukčnímu řešení vstřikovací formy nebylo možné brát výsledky této analýzy směrodatně a vtok nebyl umístěn do nejlepší lokace pro vtok.



Obr. 40. Umístění vtoku

Další provedenou analýzou byla Cool-Fill-Pack-Warp analýza, pro kterou je nutné zadat vstupní údaje jako jsou druh vstřikovaného polymeru, vstřikovací stroj, trajektorie temperačního a vtokového systému.

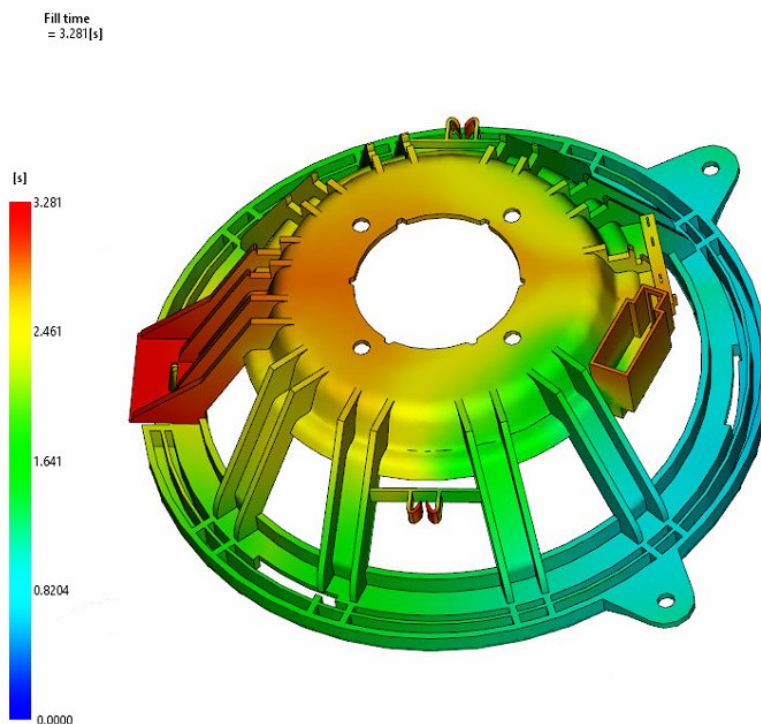
Procesní podmínky:

- Teplota formy 110 °C
- Teplota taveniny 300 °C
- Čas otevření formy 2 s



|                                 |                     |
|---------------------------------|---------------------|
| • Čas cyklu                     | automaticky         |
| • Čas vstříknutí                | 2,6 s               |
| • Bod přepnutí                  | automaticky         |
| • Ovládání dotlalu              | plnicí tlak vs. čas |
| • Dotlaková fáze – délka        | 6 s                 |
| • Dotlaková fáze – pokles tlaku | 70 – 80 %           |
| • Teplota temperačního média    | 90 °C               |

## 9.2 Čas plnění

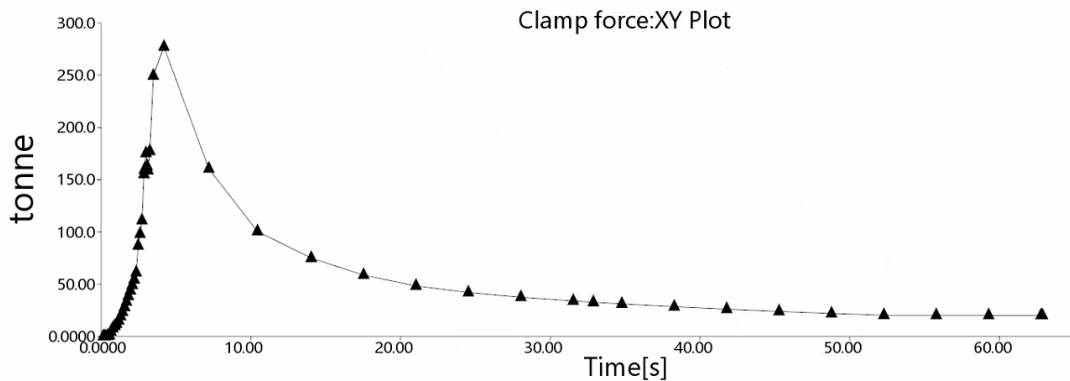


Obr. 41 Čas plnění

Analýza ukazuje čas potřebný pro zaplnění tvarové dutiny taveninou. Čas plnění je znázorněn pomocí barevné stupnice, kde červená barva ukazuje poslední zaplněná místa. Tvarová dutina byla zaplněna za 3,3 s. Kdyby se v některá části výstřiku ukázali šedá místa, znamenalo by to, že tam tavenina nedotekla. Kritická místa byla v levé části výrobku a v horním výstupku, ale jak analýza ukázala, k nedotečení nedošlo. Kdyby k nedotečení došlo, bylo by nutné upravit procesní podmínky, a to třeba zvýšením teploty taveniny, tím by se snížil odpor vůči tečení a došlo by k lepšímu zaplnění dutiny. Jelikož konstrukční řešení vstřikovací formy neumožňoval umístění vtoku do optimálního místa, může v některých místech dojít k přeplňování.

### 9.3 Uzavírací síla

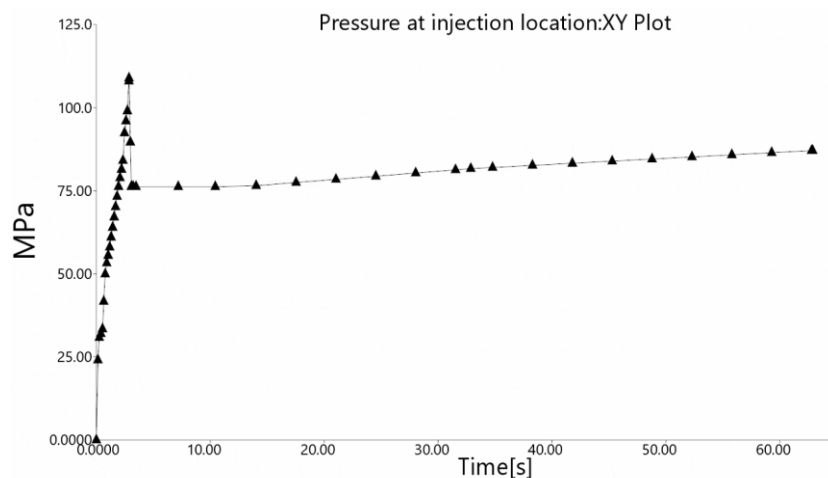
Uzavírací síle je v průběhu vstřikování konstantní. Na začátku vstřikování prudce roste, než dosáhne hodnoty 280 tun (2746 kN). Následně uzavírací síla postupně klesá až na nulovou hodnotu. Maximální uzavírací síla, kterou je vstřikovací stroj schopen vyvinout je 408 tun (4000 kN). Po odečtení 20% bezpečnosti je uzavírací síla stále dost vysoká, aby při vstřikování nedošlo k pootevření formy.



Obr. 42 Uzavírací síla

### 9.4 Tlak v místě vstřiku

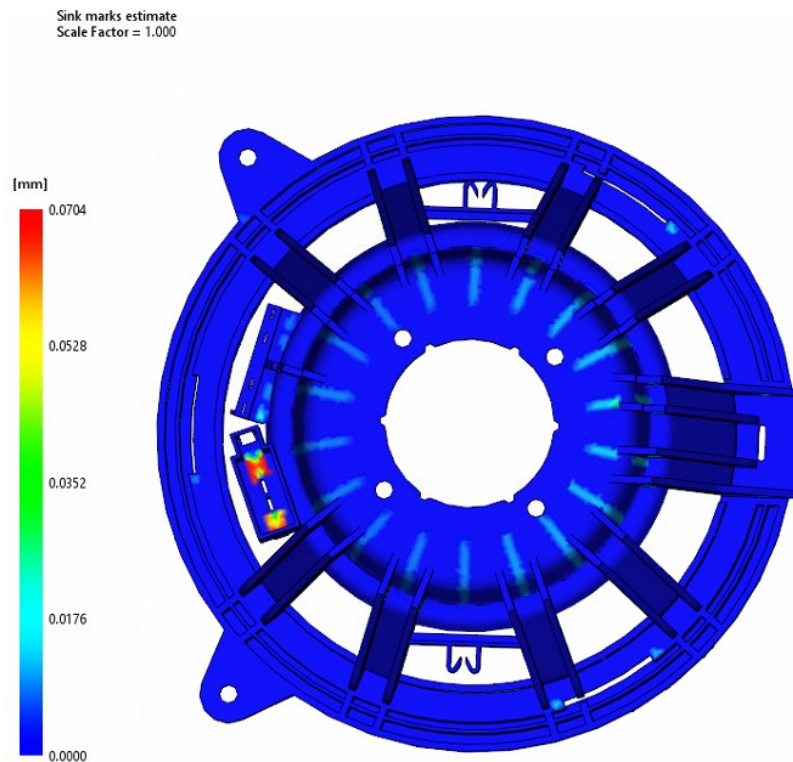
Tato analýza zobrazuje průběh vstřikovacího tlaku při vstřikování. Vstřikovací tlak roste od nuly až na hodnotu 108 MPa. Po dosažení této hodnoty nastane přepnutí. Maximální hodnota tlaku klesne na 75 MPa a nastává dotlak. Účelem dotlaku je doplňování polymeru do dutiny formy až do zatuhnutí ústí vtoku. Dotlak je velmi důležitý z hlediska dodržení rozměrů a hmotnosti.



Obr. 43 Tlak v místě výstřiku

## 9.5 Odhad propadlin

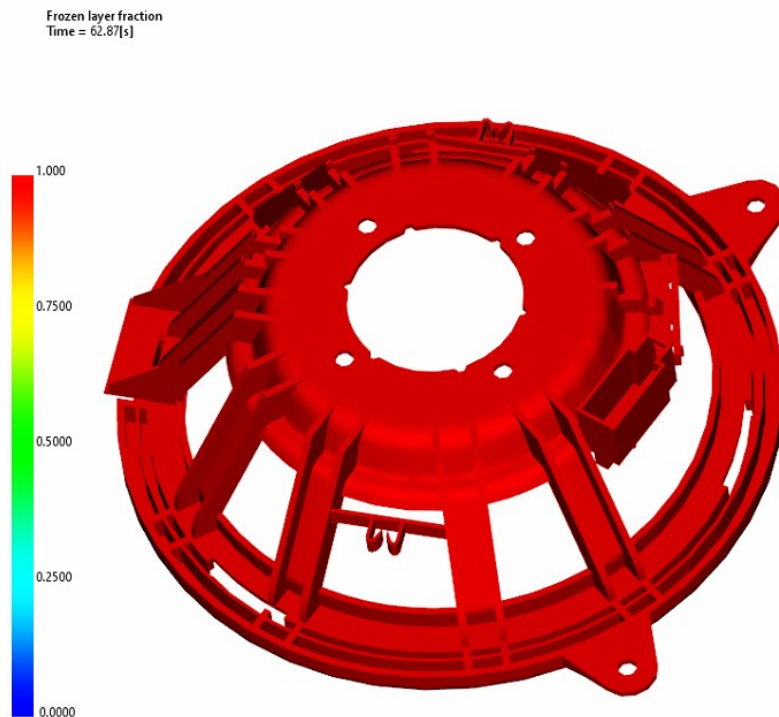
Tato analýza nám odhadne velikost a místa, na kterých budou vznikat propadliny. V našem případě je nekritičtější místo vzniku propadlin na dně drážky. Propadlina v drážce vznikne kvůli velké tloušťce dna oproti stěnám. Velikost propadliny je pouze 0,07 mm, což je v našem případě zanedbatelné.



Obr. 44. Odhad propadlin

## 9.6 Zatuhlé vrstvy

Tato analýza ukazuje procenta zatuhlých vrstev a pomáhá nám určit okamžik, kdy bude možné vyhodit výstřik ven z formy. Teplota polymeru se mění místem, časem a po tloušťce stěny výstřiku během celého vstřikovacího cyklu. V našem případě v čase 62,87 s je zatuhlých 100 % vrstev a výstřik lze vyhodit z formy ven, aniž by došlo k jeho poškození.



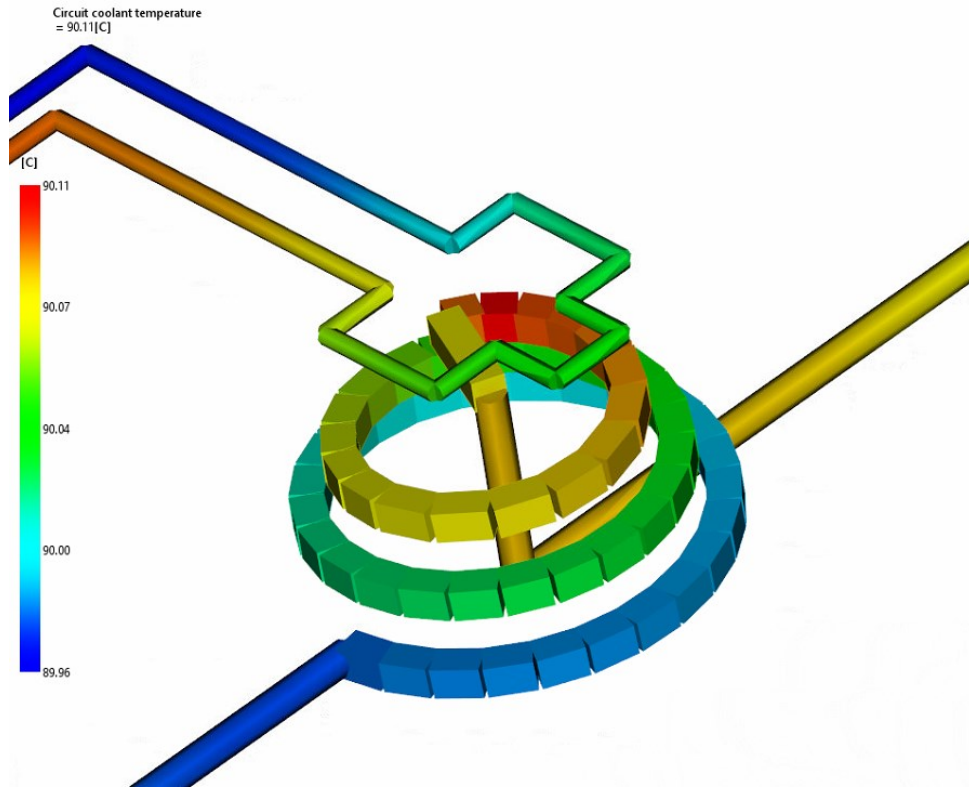
Obr. 45. Zatuhlé vrstvy

## 9.7 Reynoldsovo číslo

Aby se dosáhlo co nejlepšího odvodu tepla z formy, musí temperační médium v temperačních kanálech proudit turbulentně. Turbulentního proudění se dosáhne, pokud hodnota Reynoldsova čísla je vyšší než 4000. Pokud hodnota bude nižší, tak by v temperačních kanálech docházelo k laminárnímu proudění a odvod tepla z formy by byl neefektivní. V našem případě hodnota Reynoldsova čísla je 222100, což zajišťuje dostatečný odvod tepla z formy. Spolu s Reynoldsovým číslem má vliv na odvod tepla z formy také objemový průtok. Hodnota objemového průtoku byla 33,07 l/min.

## 9.8 Teplota temperačního média

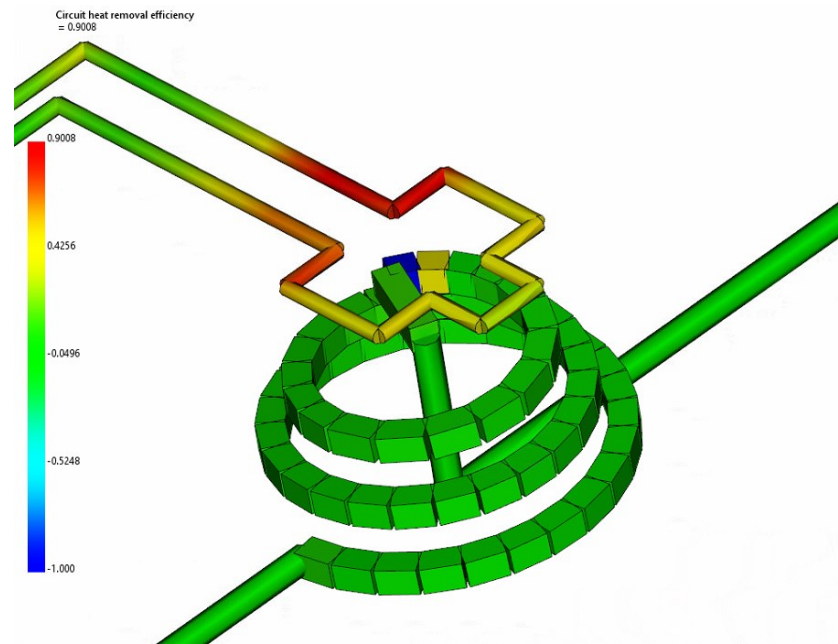
Tato analýza zobrazuje teplotu temperačního média na vstupu a výstupu jednotlivých temperačních okruhů. Rozdíl teplot by neměl být větší než 3 °C. V případě že by tento rozdíl byl větší, musel by se temperační okruh upravit nebo by se museli změnit procesní podmínky. V našem případě byl rozdíl těchto teplot 0,15 °C. Tento výsledek nám naznačuje, že průměr temperačních kanálů byl navržen správně.



Obr. 46. Teplota temperačního média

## 9.9 Efektivita odvodu tepla

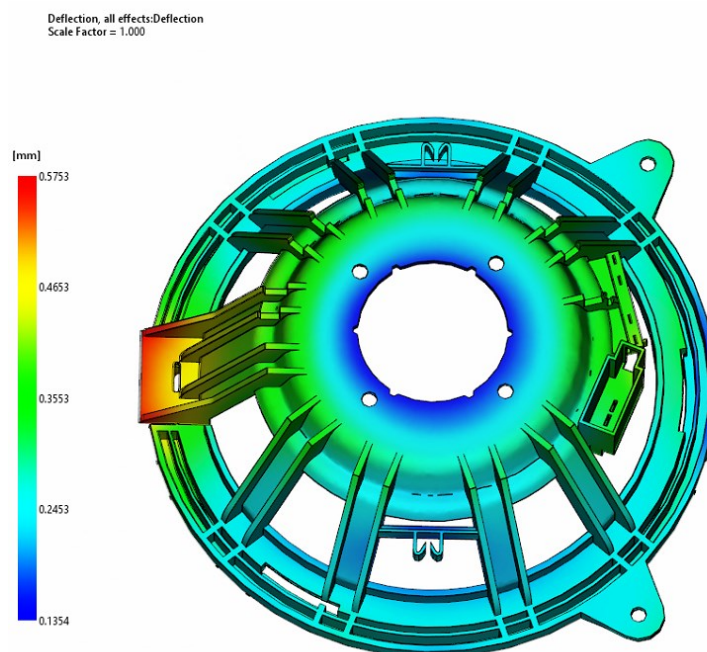
Analýza zobrazuje schopnost temperačního systému odvádět teplo ven z formy. Čím větší je efektivita okruhu, tím víc se hodnota blíží k 1. Kdyby hodnota dosáhla záporných hodnot, efektivita odvodu tepla je nízká. Výsledek analýzy nám ukazuje, že na jednom místě není teplotní pole rovnoměrné. Jelikož byl výrobek z konstrukčního hlediska náročný na navržení temperačního okruhu a nebylo by možné tuto teplotní nerovnoměrnost vyřešit jednoduchým řešením, a navíc se jedná pouze o malý úsek teplotní nerovnoměrnosti, tak se se temperační okruh nebude opravovat. Další záporné hodnoty se vyskytují v oblastech přívodů temperačního média, ale ty se nepodílejí na samotném chlazení formy.



Obr. 47. Efektivita odvodu tepla

## 9.10 Celková deformace

Tato analýza zobrazuje celkovou deformaci výstříku. Celková deformace je výsledkem všech deformací ve všech směrech včetně smrštění. Maximální deformace se nachází na levé části výstříku a její hodnota je 0,57 mm. Průměrná hodnota deformace se pohybuje okolo 0,35 mm.



Obr. 48. Celková deformace

## DISKUZE VÝSLEDKŮ

Hlavním cílem této diplomové práce bylo navrhnout vstřikovací formu pro zadaný plastový díl. Pro návrh vstřikovací formy byl použit program Catia V5R20 a ke zrychlení návrhu byly využívány normálie od firmy HASCO.

Vstřikovaný výrobek je rám reproduktoru od osobního automobilu. Materiál pro výrobek je polykarbonát. Tento materiál splňuje potřebná kritéria výrobku. Vstřikovací stroj, na kterém se výrobek vstřikuje, je stroj Allrounder 820 S od firmy Arburg.

Při návrhu vstřikovací formy je brán velký ohled na dlouhou životnost formy, proto je kladen důraz na vyměnitelnost a dimenzování jednotlivých dílů. Hlavním faktorem, který ovlivnil volbu násobnosti je velikost vstřikovací formy a velikost vstřikovacího stroje. Forma byla proto navržena jako dvounásobná. Vzhledem ke konstrukční náročnosti formy je použit studený vtokový systém. Temperační systém se skládá z temperačního trnu a temperační desky, který je vložen do tvarových desek formy a dále z temperačních kanálů vyvrtaných ve tvarových deskách. Vyhazovací systém se skládá ze dvou desek a válcových vyhazovačů. Je umístěn v levé části formy.

Výsledky tokových analýz ukazují chování polymerní taveniny během vstřikování v dutině formy. Analýza plnění ukazuje, že plnění tvarových dutin formy není rovnoměrné a ve dvou částech výrobku dochází k přeplňování. To ale nemá žádný vliv na tvarovou a rozměrovou přesnost výrobku. Nerovnoměrné plnění vzniklo kvůli tomu, že ústí vtokového systému nebylo umístěno do optimální polohy. Kvůli konstrukčnímu řešení formy není možné ústí vtoku umístit do optimální polohy, ale bylo umístěno na pravou spodní stranu výrobku. Dále analýza potvrdila správnost volby vstřikovacího stroje, během vstřikovacího procesu není překročen žádný z jeho parametrů.

Analýza chlazení ukázala že v jednom místě temperačního systému nedochází k rovnoměrnému odběru tepla. Nerovnoměrnost vznikla v místě, kde není možné z konstrukčního hlediska výrobku temperační systém nijak upravit. Dále analýza ukázala, že rozdíl teplot na vstupu a výstupu jednotlivých temperačních okruhů je minimální. I přes jednu nerovnoměrnost teplotního pole byla celková efektivita temperačního systému dobrá a díky tomu vznikly pouze malá celková deformace výrobku.

Z výše uvedených výsledku můžeme označit konstrukci formy za úspěšnou.

## ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout vstřikovací formu pro zadaný výrobek z polymeru. Vstřikovaný díl představuje rám reproduktoru z osobního automobilu, který je vyroben z polykarbonátu (PC).

Diplomová práce se skládá ze dvou částí, teoretické a praktické. V teoretické části práce byla popsána technologie vstřikování, polymerní materiály pro vstřikování, zásady pro konstrukci vstřikovací výrobků a forem.

V praktické části byla navržena vstřikovací forma ve 3D v programu Catia V5R20. Při navrhování formy byly použity normy od firmy HASCO. Forma pro zadaný výrobek byla navržena jako dvounásobná. Ve formě byl navržen studený vtokový systém lichoběžníkového průřezu, který dovede polymerní taveniny do tvarových dutin formy. Při návrhu vstřikovací formy byl vyřešen problém zaformování otvoru na boku výrobku. K odformování tohoto otvoru byly použity boční posuvné čelisti, na kterých jsou upevněny pomocné tvárníky. Boční čelisti se pohybují díky šikmým čepům. Odvzdušnění formy bylo uskutečněno přirozeně vlivem vyhazovačů a dělicí roviny. Temperace formy na pravé straně formy se skládá ze spirálové temperační vložky vložené do tvárníku a vrtaných kanálů ve tvarové desce. V levé straně formy je složeno z temperační desky vložené v tvarové desce a vrtaných kanálů. Pro vyhození výstřiku z formy byl navržen vyhazovací systém s válcovými vyhazovači. Následně byla provedena toková analýza vstřikovací formy, která potvrdila správnost konstrukce.



**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

Monografie:

- [1] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů : 1. Díl - Vstřikování termoplastů*. 2.upr. vydání. Brno : Uniplast, 1999. 134 s
- [2] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů*. 1. vyd. BEN-Technická literatura, 2009. 247 s. ISBN 978-80-7300-2.
- [3] MENNIG, Günter a Klaus STOECKHERT. *Mold-Making Handbook (3rd Edition)*. 3. vydání. Hanser Publishers, 2013. ISBN 978-1-56990-446-6.
- [4] KAZMER, David O. *Injection Mold Design Engineering (2nd Edition)* [online]. 2. vydání. Hanser Publishers, 2016 [cit. 2021-04-01]. ISBN 978-1-5231-0587-8. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpIMDEE002/injection-mold-design/injection-mold-design>
- [5] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2009, 246 s. ISBN 978-80-7300-250-3
- [6] LENFELD, Petr. *Technologie II: Část II - Zpracování plastů*. In: [online]. 2005 [cit. 2014-03-07]. Dostupné z: [www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/obsah\\_plasty.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/obsah_plasty.htm)
- [7] DVOŘÁK, Zdeněk a Hana LÉDLOVÁ. *ZÁKLADY VÝROBNÍCH PROCESŮ: Výrobní technologie zpracování polymerů vstřikováním*. ZLÍN, 2007. Dostupné z: [www.utb.cz/file40836](http://www.utb.cz/file40836). UNIVERZITA Tomáše Bati ve Zlíně.
- [8] MAŇAS, Miroslav; HELŠTÝN, Josef. *Výrobní stroje a zařízení : Gumárenské a plastikařské stroje II*. 1. vydání. Brno : VUT, 1990. 199 s. ISBN 80-214-0213-X
- [9] *Vstřikovací formy*. FSI VUT V BRNĚ. Odbor technologie tváření kovů a plastů [online]. 2008 [cit. 2014-03-07]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni\\_soubory/htn\\_tvareci\\_nastroje\\_vstrikovaci\\_formy\\_\\_zak.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni_soubory/htn_tvareci_nastroje_vstrikovaci_formy__zak.pdf)
- [10] MENGES, Georg; MOHREN, Paul. *How to make injection molds*. New York : Hanser, 1986. 269 s. ISBN 3-446-13666-5
- [11] BEAUMONT, John P. *Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding*. 2nd ed. Cincinnati: Hanser, 2007. 308 s. ISBN 15-699-0421-9

- [12] BEAUMONT, John P.; NAGEL, Robert; SHERMAN, Robert. Successful injection molding: process, design, and simulation. Munich : Hanser, 2002. 362 s. ISBN 3-446-19433-9
- [13] Aplikace PVD na ošetření forem pro vstřikování plastů a lití Al. TRIBOTECHNIKA. [online]. 2014 [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika32011/aplikace-pvd.html>
- [14] MORRISON, Faith A. *Understanding Rheology* [online]. Oxford University Press, 2001. [cit. 2021-02-25]. ISBN 978-1-62870-855-4. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpUR00000I/understanding-rheology/understanding-rheology> [15]
- NOVOTNÝ, J., et al. *Technologie I*. 2. vyd. Praha: ČVUT, 2006. 227 s
- [16] HARPER, Charles. *Handbook of plastic processes*. Hoboken: John Wiley, 2006, 743 s. ISBN 04-716-6255-0
- [17] REES, Herbert. *Mold engineering*. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers, 2002. 688 s. ISBN 34-462-1659-6
- [18] KERKSTRA, Randy a Steve BRAMMER. *Injection Molding Advanced Troubleshooting Guide*. Mnichov: Hanser Publishers, 2018. ISBN 978-1-56990-645-3.
- [19] BRUMMEL, Michal. *Rozměrově přesné výrobky z plastu*. 1. vyd. Praha: VÚNM, 1977, 278 s
- [20] ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů*. SEKURKON. 2006, 225 s. ISBN 80-86604-18-7.
- [21] Fotogalerie. LINASET, A.S. [online]. 2014 [cit. 2014-03-28]. Dostupné z: <http://www.linaset.cz/fotogalerie>
- [22] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 2018, 455 s. ISBN 978-80-271-0614-1.
- [23] 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
- [24] *Plastic Injection Mold Cost Analysis*. Injection Mold China, Plastic Injection Mould Maker [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://www.injectionmoldchina.net/cost-analysis.html>
- [25] JOHANNABER, Friedrich. *Injection molding machines: a user's guide*. 4th ed. Cincinnati, Ohio: Hanser Gardner Publications, 2008. 378 s. ISBN 15-699-0418-9

- [26] ELIAS, Hans-Georg. An introduction to plastics. 2nd completely rev. ed. Weinheim: Wiley-VCH, 2003, 387 s. ISBN 35-272-9602-6
- [27] Sprue Bushing Series 09 S. SYNVENTIVE. [online]. 2013 [cit. 2014-04-30]. Dostupné z:[http://www.synventive.com/uploadedFiles/Products/Hot\\_Runner\\_Systems/Noz-zles/PDF s/CAT-01-0044\\_EN.pdf](http://www.synventive.com/uploadedFiles/Products/Hot_Runner_Systems/Noz-zles/PDF_s/CAT-01-0044_EN.pdf)
- [28] DYM, Joseph B. Injection molds and molding: a practical manual. 2nd ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1987. 395 s. ISBN 04-422-1785-4)
- [29] DENN, Morton M. *Polymer Melt Processing: - Foundations in Fluid Mechanics and Heat Transfer* [online]. Cambridge University Press, 2008. [cit. 2021-02-25]. ISBN 978-1-5231-1341-5. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpPMFFMHTA/polymer-melt-processing/polymer-melt-processing>
- [30] KENNEDY, Peter a Rong ZHENG. *Flow Analysis of Injection Molds (2nd Edition)* [online]. Hanser Publishers, 2013. [cit. 2021-02-25]. ISBN 978-1-62870-314-6. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpFAIME003/flow-analysis-injection/flow-analysis-injection>
- [31] WIKI 2: Great wikipedia republished [online]. [cit. 2021-5-14]. Dostupné z: <https://wiki2.org/en/CATIA>
- [32] NAVRÁTIL, Jan. Využití DMLS při návrhu vstříkovací formy. Zlín, 2011. Diplomová práce. UTB Zlín
- [33] ARBURG [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: [www.arburg.com](http://www.arburg.com)

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

|       |                               |
|-------|-------------------------------|
| °C    | Stupeň Celsia                 |
| 3D    | Trojrozměrný prostor          |
| apod. | A podobně                     |
| mm    | milimetr                      |
| POM   | Polyoxymethylen               |
| tzv.  | Takzvaně                      |
| SVS   | Studený vtokový systém        |
| VVS   | Vyhřívaný vtokový systém      |
| 2D    | Dvojrozměrný prostor          |
| tj.   | Tj.                           |
| SW    | Software                      |
| N     | Newton                        |
| %     | Procenta                      |
| E     | Modul pružnosti v tahu [MPa]  |
| ITT   | Index toku taveniny [g/10min] |
| MPa   | MegaPascal                    |
| ks    | kus                           |

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

|   |    |
|---|----|
| Obr. 1. Amorfní a semikrystalická struktura [12].....                     | 12 |
| Obr. 2. Oblast využití amorfních a semikrystalických plastů [1].....      | 12 |
| Obr. 3. Vstřikovací cyklus [11].....                                      | 14 |
| Obr. 4. Vstřikovací stroj [7].....  | 15 |
| Obr. 5. Vstřikovací jednotka [6].....                                     | 15 |
| Obr. 6. Poloha mezi vstřikovací jednotkou a dělicí rovinou formy [6]..... | 18 |
| Obr. 7. Části vstřikovací formy [9].....                                  | 19 |
| Obr. 8. Studený vtokový systém [10].....                                  | 22 |
| Obr. 9. Vtoková vložka [10].....  | 22 |
| Obr. 10. Vyhřívaná tryska [1].....  | 24 |
| Obr. 11. Horký rozvodný blok [18].....                                    | 25 |
| Obr. 12. Rozmístění temperačních kanálů [2].....                          | 26 |
| Obr. 13. Tepelná trubice [18].....  | 28 |
| Obr. 14. Systémy odvzdušnění [20].....                                    | 30 |
| Obr. 15. Vyhazovací kolíky [2].....                                       | 31 |
| Obr. 16. Trubkový vyhazovač [14].....                                     | 32 |
| Obr. 17. Princip zaformování [20].....                                    | 35 |
| Obr. 18. Smrštění a přechod stěn [20].....                                | 36 |
| Obr. 19. Propadlina a tloušťka žeber [20].....                            | 36 |
| Obr. 20. Deformace stěny výstřiku [20].....                               | 37 |
| Obr. 21. Zaoblení výstřiku [20].....                                      | 37 |
| Obr. 22. Řešení rohů na výstřiku [20].....                                | 38 |
| Obr. 23. Eliminace lunkrů změnou konstrukce [20].....                     | 38 |
| Obr. 24. Povrch výstřiku [21].....  | 40 |
| Obr. 25. Studený spoj [2].....  | 41 |

---

|   |    |
|---|----|
| Obr. 26. Model výrobku.....                     | 45 |
| Obr. 27. Vstřikovací stroj [28].....            | 47 |
| Obr. 28. Celková sestava vstřikovací formy..... | 48 |
| Obr. 29. Násobnost formy.....                   | 49 |
| Obr. 30. Dělicí roviny.....                     | 50 |
| Obr. 31. Tvárnice.....                          | 50 |
| Obr. 32. Tvárník.....                           | 51 |
| Obr. 33. Pomocný tvárník.....                   | 51 |
| Obr. 34. Vyhazovací systém.....                 | 52 |
| Obr. 35. Řez bočním pomocným tvárníkem.....     | 52 |
| Obr. 36. Vtoková soustava.....                  | 53 |
| Obr. 37. Temperace pravé tvarové desky.....     | 54 |
| Obr. 38. Temperace levé tvarové desky.....      | 54 |
| Obr. 39. Transportní můstek.....                | 55 |
| Obr. 40. Umístění vtoku.....                    | 56 |
| Obr. 41. Čas plnění.....                        | 57 |
| Obr. 42. Uzavírací síla.....                    | 58 |
| Obr. 43. Tlak v místě výstřiku.....             | 58 |
| Obr. 44. Odhad propadlin.....                   | 59 |
| Obr. 45. Zatuhlé vrstvy.....                    | 59 |
| Obr. 46. Teplota temperačního média.....        | 60 |
| Obr. 47. Efektivita odvodu tepla.....           | 61 |
| Obr. 48. Celková deformace.....                 | 62 |

## SEZNAM PŘÍLOH

P I Výkres sestavy

P II Výkres levé a pravé strany

P III Kusovník

P IV CD disk