

# Konstrukční návrh vstřikovací formy pro plastový díl

David Bardoděj

---

Bakalářská práce  
2025



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2024/2025

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

|                   |                                                      |
|-------------------|------------------------------------------------------|
| Jméno a příjmení: | David Bardoděj                                       |
| Osobní číslo:     | T22005                                               |
| Studijní program: | B0788A270001 Procesní inženýrství                    |
| Forma studia:     | Prezenční                                            |
| Téma práce:       | Konstrukční návrh vstříkovací formy pro plastový díl |

## Zásady pro vypracování

- Vypracovat literární studii pro dané téma.
- Provést 3D konstrukci modelu vstříkované součásti.
- Navrhnout 3D konstrukci vstříkovací formy pro zadaný díl.
- Nakreslit 2D řez vstříkovací formou spolu s kusovníkem.

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

**Seznam doporučené literatury:**

BEAUMONT, John P. Návrh a řešení vtokových soustav: příručka pro úspěšné vstřikování plastů. Brno: Jan Svoboda, 2022. ISBN 978-80-11-01188-8.

KAZMER, David. Injection mold design engineering. 3rd edition. Munich: Hanser publishers, 2022. ISBN 978-1-56990-891-4.

CATOEN, Bruce a Herbert REES. Injection mold design handbook. Munich: Hanser publishers, 2021. ISBN 978-1-56990-815-0.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Martin Ovsík, Ph.D.**  
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2025**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **16. května 2025**

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

L.S.

**doc. Ing. Martin Bednařík, Ph.D. v.r.**  
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 4. února 2025

# PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

## Beru na vědomí, že

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

## Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně, dne .....

.....  
podpis autora



## **ABSTRAKT**

V bakalářské práci byl řešen návrh konstrukce vstřikovací formy pro výrobu strunové cívky. Teoretická část se věnuje vstřikovaným materiálům a krátce k jejich úpravě, dále samotné technologii vstřikování, popisu jednotek vstřikovacího stroje a konstrukci vstřikovací formy. Praktická část popisuje konstrukční návrh formy pro zvolený výrobek, ve kterém byly použity normalizované díly. Sestava modelu 3D formy i následná výkresová dokumentace byla tvořena v programu CATIA V5R20.

Klíčová slova: vstřikování, vstřikovací forma, výrobek, díl, polymer, návrh, plast, konstrukce

## **ABSTRACT**

The bachelor thesis deals with the design of an injection mould for the production of a string coil. The theoretical part is devoted to the injection materials and briefly to their treatment, then to the injection technology itself, description of the injection machine units and the design of the injection mould. The practical part describes the structural design of the mould for the chosen product, in which standardised parts were used. The assembly of the 3D mould model and the subsequent drawing documentation was created in CATIA V5R20.

Keywords: injection moulding, injection mould, product, part, polymer, design, plastic, construction

Děkuji svému vedoucímu Doc. Ing. Martinu Ovsíkovi, Ph.D. za trpělivost, věnovaný čas, důležité rady a poznatky při tvorbě bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a všem blízkým za jejich trpělivost a podporu při studiu.

# OBSAH

|                                                                |           |
|----------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ÚVOD.....</b>                                               | <b>11</b> |
| <b>I TEORETICKÁ ČÁST .....</b>                                 | <b>12</b> |
| <b>1 ROZDĚLENÍ POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ PRO VSTŘIKOVÁNÍ .....</b> | <b>13</b> |
| 1.1 TERMOPLASTY .....                                          | 13        |
| 1.1.1 Amorfnní termoplasty .....                               | 14        |
| 1.1.2 Semikrystalické termoplasty .....                        | 14        |
| 1.2 REAKTOPLASTY .....                                         | 15        |
| 1.3 ELASTOMERY .....                                           | 15        |
| 1.4 TERMOPLASTICKÉ ELASTOMERY .....                            | 16        |
| 1.5 ZPRACOVÁNÍ POLYMERŮ .....                                  | 16        |
| 1.5.1 Sušení .....                                             | 16        |
| 1.5.2 Granulace .....                                          | 17        |
| 1.5.3 Míchání .....                                            | 18        |
| <b>2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ.....</b>                          | <b>20</b> |
| 2.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS .....                                   | 20        |
| 2.2 FÁZE VSTŘIKOVACÍHO CYKLU .....                             | 21        |
| 2.2.1 Vstřikování .....                                        | 21        |
| 2.2.2 Dotlaková fáze .....                                     | 21        |
| 2.2.3 Ochlazení.....                                           | 21        |
| 2.2.4 Vyhazování .....                                         | 22        |
| 2.2.5 Plastikace.....                                          | 22        |
| <b>3 VSTŘIKOVACÍ STROJ .....</b>                               | <b>23</b> |
| 3.1 VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKA .....                                 | 23        |
| 3.2 UZAVÍRACÍ JEDNOTKA.....                                    | 24        |
| 3.3 ŘÍDÍCÍ A KONTROLNÍ JEDNOTKA .....                          | 25        |
| <b>4 VSTŘIKOVACÍ FORMA .....</b>                               | <b>26</b> |
| 4.1 NÁSOBNOST FORMY .....                                      | 26        |
| 4.2 VTOKOVÝ SYSTÉM .....                                       | 26        |
| 4.2.1 Studený vtokový systém .....                             | 27        |
| 4.2.2 Kuželový vtok .....                                      | 28        |
| 4.2.3 Bodový vtok .....                                        | 28        |
| 4.2.4 Tunelový vtok .....                                      | 29        |
| 4.2.5 Boční vtok .....                                         | 29        |
| 4.2.6 Banánový vtok .....                                      | 30        |
| 4.2.7 Deštníkový vtok .....                                    | 31        |
| 4.2.8 Talířový vtok.....                                       | 31        |
| 4.2.9 Vícenásobné vtoky .....                                  | 32        |
| 4.2.10 Vyhříváné vtokové systémy .....                         | 32        |

|           |                                                 |           |
|-----------|-------------------------------------------------|-----------|
| 4.3       | VYHAZOVACÍ SYSTÉM .....                         | 33        |
| 4.3.1     | Vyhazovací síla .....                           | 33        |
| 4.3.2     | Vyhazovací kolíky .....                         | 34        |
| 4.3.3     | Stírací deska .....                             | 34        |
| 4.3.4     | Šikmé vyhazování .....                          | 35        |
| 4.3.5     | Dvoustupňové vyhazování .....                   | 35        |
| 4.3.6     | Pneumatické vyhazování .....                    | 35        |
| 4.3.7     | Hydraulické vyhazování .....                    | 36        |
| 4.4       | ODVZDUŠNĚNÍ .....                               | 36        |
| 4.4.1     | Umístění odvzdušnění .....                      | 36        |
| 4.4.2     | Odvod vzduchu v dělicí rovině .....             | 37        |
| 4.5       | TEMPEROVÁNÍ .....                               | 37        |
| 4.5.1     | Popis temperačního systému .....                | 38        |
| 4.5.2     | Tepelné bilancování formy .....                 | 38        |
| 4.5.3     | Volba temperačních kanálů .....                 | 39        |
| <b>II</b> | <b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>                     | <b>41</b> |
| <b>5</b>  | <b>CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE .....</b>              | <b>42</b> |
| <b>6</b>  | <b>VSTŘIKOVANÝ DÍL .....</b>                    | <b>43</b> |
| 6.1       | VOLBA MATERIÁLU .....                           | 44        |
| <b>7</b>  | <b>POUŽITÝ KONSTRUKČNÍ SOFTWARE .....</b>       | <b>45</b> |
| 7.1       | CATIA V5R20 .....                               | 45        |
| <b>8</b>  | <b>VSTŘIKOVACÍ STROJ .....</b>                  | <b>46</b> |
| <b>9</b>  | <b>VSTŘIKOVACÍ FORMA .....</b>                  | <b>47</b> |
| 9.1       | NÁSOBNOST .....                                 | 48        |
| 9.2       | DĚLÍCÍ ROVINA A ZAFORMOVÁNÍ .....               | 49        |
| 9.3       | TVAROVÉ ČÁSTI FORMY .....                       | 50        |
| 9.4       | VTOKOVÝ SYSTÉM .....                            | 51        |
| 9.5       | TEMPERACE .....                                 | 52        |
| 9.6       | BOČNÍ ODFORMOVÁNÍ .....                         | 54        |
| 9.7       | VYHAZOVACÍ SYSTÉM .....                         | 55        |
| 9.8       | VODÍCÍ A STŘEDÍCÍ PRVKY .....                   | 56        |
| 9.9       | MANIPULACE S FORMOU .....                       | 57        |
|           | <b>ZÁVĚR .....</b>                              | <b>58</b> |
|           | <b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>          | <b>59</b> |
|           | <b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>                     | <b>61</b> |
|           | <b>SEZNAM TABULEK .....</b>                     | <b>63</b> |
|           | <b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b> | <b>64</b> |
|           | <b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>                      | <b>65</b> |

## ÚVOD

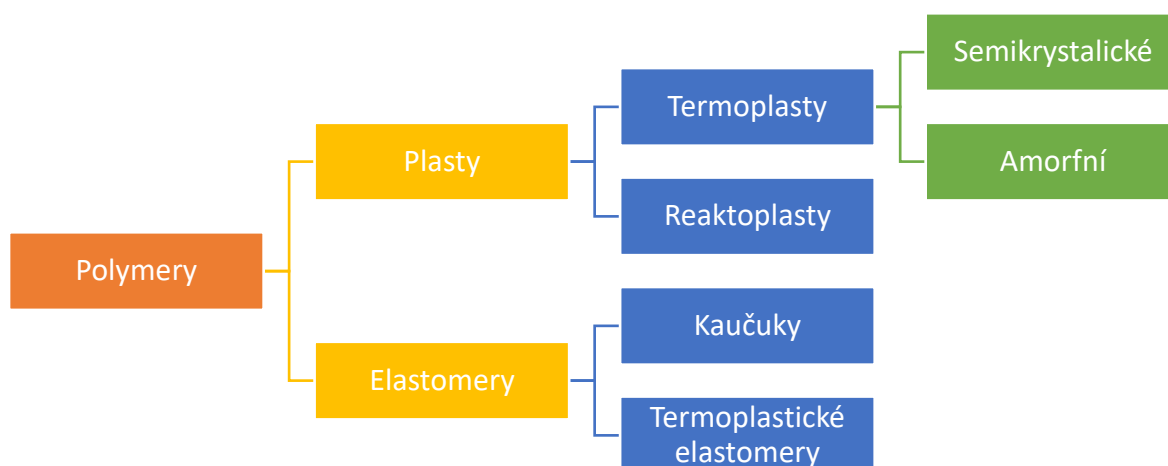
Vstřikování je stále více a více používaná technologie při výrobě dílů z polymerních materiálů. Vstřikované díly dnes lze najít v širokém spektru použití. Jsou schopné zastupovat různé materiály. K jejich přednostem patří nižší cena a jejich užité vlastnosti jako jsou např. pevnost, tvářitelnost, tepelná odolnost. Vstřikované výrobky se vyrábějí na vstřikovacím stroji, ve kterém je upevněna forma, která dává finální tvar výrobku.

Každý díl se vyrábí ve formě, jejíž složitost se odvíjí od složitosti výrobku. Pokročilé metody na výrobu forem umožňují vytvářet velmi složité i tenkostěnné dílce s vysokou rozměrovou a tvarovou přesností. Po vyhození z formy musí dílec odpovídat předepsaným rozměrům. Výrobky se mohou nechat povrchově upravovat.

## **I    TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 ROZDĚLENÍ POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ PRO VSTŘIKOVÁNÍ

Nejzákladnější rozdělení polymerů je na plasty a elastomery. Dále se dělí podle různých aspektů, jako je původ, složení, molekulární struktura, chemická reakce během přípravy, chemická příbuznost nebo seskupení makromolekul. Rozlišují se také rozdíly mezi polárními a nepolárními polymery. Největší skupiny plastů nazýváme komoditní, inženýrské, high-tech. Komoditní jsou nejdostupnější, nejvíce zastoupené, široké možnosti využití. Inženýrské disponují lepšími vlastnostmi, jsou odolnější a používají se pro konstrukční použití. High-tech poskytují ojedinělou kvalitu, nachází se ve špičkových aplikacích. Na trhu se polymery rozdělují podle obchodních názvů, kde mají svou koncovku a kód. [1]



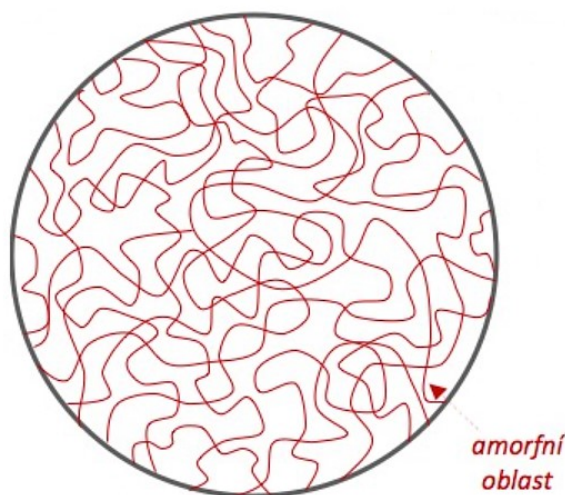
Obrázek 1: Rozdělení polymerů [vlastní]

### 1.1 TERMOPLASTY

Materiály, u kterých dochází vlivem působení tepla a smykových sil ke změně tvaru. Při zahřívání se neodehrává chemická reakce a při zpracování nedochází ani ke změně chemické struktury. Taveninou se stávají zahřátím nad teplotu tání. Lze po zpracování a ochlazení opětovně za pomoci tepla proměnit na taveninu, díky čemuž se označují jako recyklovatelné. Při jejich zahřátí dochází k fyzikálním změnám. Teploty tání nenabývají vysokých teplot, řadí se k dobře zpracovatelným materiálům. V plastickém stavu mohou být lisované, tažené, vyfukované nebo vstřikované. Vyrábějí se z nich například klávesnice, kelímky, misky apod. Termoplasty se dělí na amorfnní a semikrystalické. [1]

### 1.1.1 Amorfní termoplasty

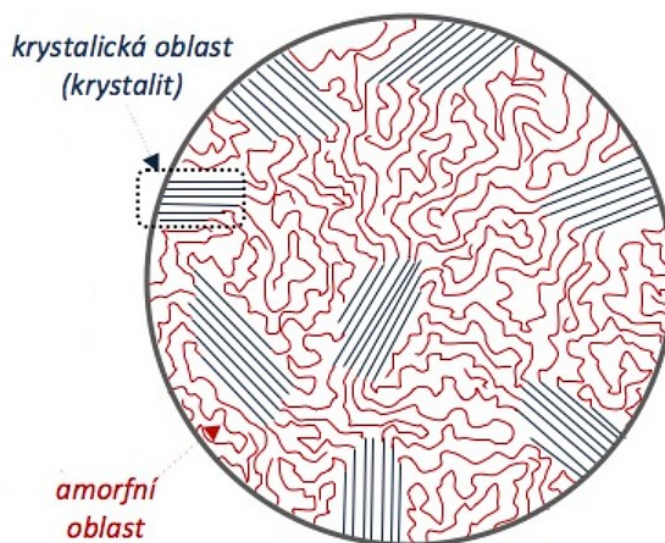
Struktura makromolekul amorfních termoplastů lze charakterizovat jako propletená, zcela nahodilá, neuspořádaná. Mezi jejich vlastnosti patří čírost, nižší hustota, měkkost, větší tažnost a navlhavost. Díky poměrně malému smrštění jsou vhodné ke zhotovení rozměrově přesných dílů a součástí. Typická přechodová teplota je teplota skelného přechodu. Pod touto teplotou se nacházíme ve sklovitém stavu, nad ní se jedná o stav kaučukovitý. V oblasti skelného přechodu nastávají největší skokové změny vlastností, proto je teplota skelného přechodu jako mez použitelnosti. Patří sem např. polykarbonát (PC), polymethylmetakrylát (PMMA), akrylonitril-butadien-styren (ABS). [1]



Obrázek 2: Struktura amorfního termoplastu [1]

### 1.1.2 Semikrystalické termoplasty

Semikrystalické termoplasty mají pravidelně uspořádanou strukturu molekul. Jejich znaky jsou mléčná zakalenost, vyšší hustota, menší navlhavost. Za normálních podmínek nelze dosáhnout úplné krystalizace. Pružnost a pevnost závisí na stupni uspořádání. Smrštění oproti formě je větší, podstatná je zchlazovací fáze. Využívají se v oblasti mezi teplotou tání a teplotou skelného přechodu. Teplota tání souvisí s velikostí makromolekul, zároveň je to teplota pro vstřikování a vytlačování. Mezi semikrystalické termoplasty patří polyamid (PA), polyvinylchlorid (PVC), polypropylen (PP). [1]



Obrázek 3: Struktura semikrystalického termoplastu [1]

## 1.2 REAKTOPLASTY

Plasty s pevně propojenými řetězci, které jsou vytvářené hustým příčným síťováním, kde se nachází 1 příčná vazba na 20 atomů řetězce. Síťování vzniká za použití tepla a tlaku, někdy působením katalyzátoru. Řetězce nelze rozpojit teplem. Reaktoplast lze tavit pouze jednou, při zahřátí probíhá reakce – vytvrzování, při které dochází k chemické změně. Výsledkem je, že se nedají recyklovat. Mezi jejich základní vlastnosti patří nerozpustnost, netavitelnost. Dělí se na fenoplasty – výroba tmelů, lepidel. Aminoplasty – pojiva, lisovací hmoty. Epoxidy – lepidla, nátěrové, podlahové hmoty. Polyestery – knoflíky, bižuterie. Polyuretany – pěnové materiály různé hustoty. [1]

## 1.3 ELASTOMERY

Materiály přírodního nebo syntetického původu s velkou pružností. Spoje mezi řetězci jsou aktivovány teplem – vulkanizací, což je proces síťování. Materiál může obsahovat vulkanizační činidla, stabilizátory, plastifikátory. Elasticita vyvolává pohyb řetězců okolo spojů. Jsou to volně zesíťované makromolekuly. Mají vysokou schopnost vratné deformace, při vystavení zatížení se deformují, ale po ukončení zatížení se vrací do původního stavu. Dále tlumí vibrace, mají objemovou stabilitu. Materiál pro produkci pneumatik, těsnění, silentbloků atd. [1; 2; 3; 4]

## 1.4 TERMOPLASTICKÉ ELASTOMERY

Polymerní systém, který spojuje vlastnost elastomerů (ohebnost) a zpracovatelské vlastnosti termoplastů (opakovatelná tavitelnost, recyklovatelnost). Jsou zde přítomny měkké a tuhé segmenty v jednom řetězci, které musí vytvářet samostatné fáze. Výsledné vlastnosti se nachází mezi pryží a termoplastem, s vysokou schopností vratné deformace, tavitelností. Slouží k výrobě těsnění, izolaci drátů, podrážek bot atd. [1]

## 1.5 ZPRACOVÁNÍ POLYMERŮ

Je nutné, aby polymer před zpracováním na hotové výrobky prošel technologiemi pro přípravné zpracování. Příprava polymeru zajišťuje jeho požadované konečné vlastnosti nebo jej přichystá pro dopravu a dávkování (granulát, prášek). Během přípravy se přidávají přísady nebo se odstraňují těkavé složky. Ovlivňuje se chemická, ale i fyzikální struktura. Lze přípravnými technologiemi dosáhnout požadované pevnosti nebo houževnatosti. Mezi přípravné technologie patří např.: míchání, sušení, granulace, tabletování. [5; 6]

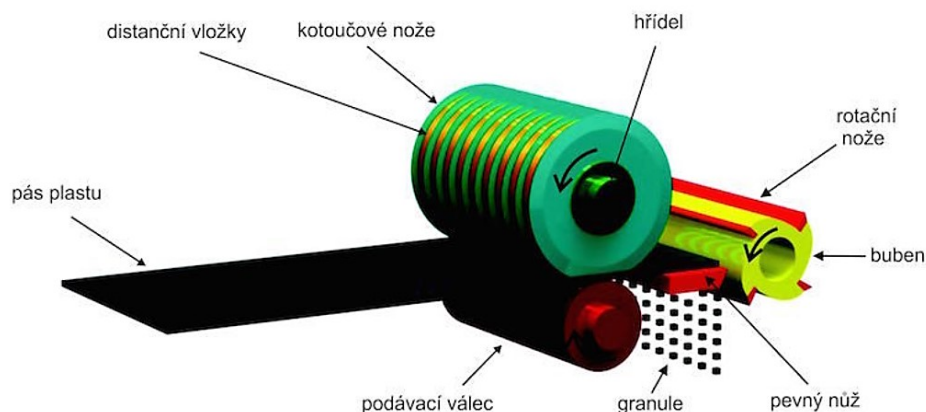
### 1.5.1 Sušení

Jeden ze základních požadavků na kvalitu termoplastů je určení obsahu vlhkosti v nich. Sušení je technologický proces, probíhající buď v nezávislých sušicích zařízeních, nebo v jednotkách strojů, kterými se snižuje pohlčená vlhkost. Je nezbytné zachovat navržené teploty a čas sušení. Některé plasty se musí sušit z důvodu jejich navlhavosti, nasákavosti a pro získání požadovaných vlastností daného materiálu. Nedostatečně vysušení materiál může způsobit horší jakost povrchu a tvorbu šmouh nebo bublinek. Ke stanovení maximálního dovoleného podílu vlhkosti v granulátu před zpracováním slouží údaje výrobce granulátu – např. materiálové listy, databáze apod. Skutečný obsah vody v polymeru je závislý na poměrné vlhkosti a teplotě prostředí, kde se materiál nachází. Při přesunu granulátu z chladného místa do teplého může dojít k vysrážení vlhkosti na jeho povrchu změnou rosného bodu, které je nutné se před zpracováním zbavit. Povrchová vlhkost záleží i na tvaru a velikosti granulátu, kdy granulát ve formě čoček nebo válečků získává vlhkost značně pomaleji než materiály v podobě prášku. Používané sušárny pro sušení: se samovolnou cirkulací ohřátého vzduchu, s nuceným oběhem ohřátého vzduchu, nuceným oběhem ohřátého suchého vzduchu, podtlakové, tlakovzdušné. [5]

### 1.5.2 Granulace

Granulací nazýváme technologii, která slouží k výrobě granulí. Na různé procesy zpracování se aplikují plastové materiály v odlišných podobách. Největší zastoupení tvoří granule, které lze tvarovat do vzhledu krychlí, čoček, válečků apod. Vlivem příznivé sypné hmotnosti se dosahuje správného dávkování a snadného promíchání s jinými materiály.

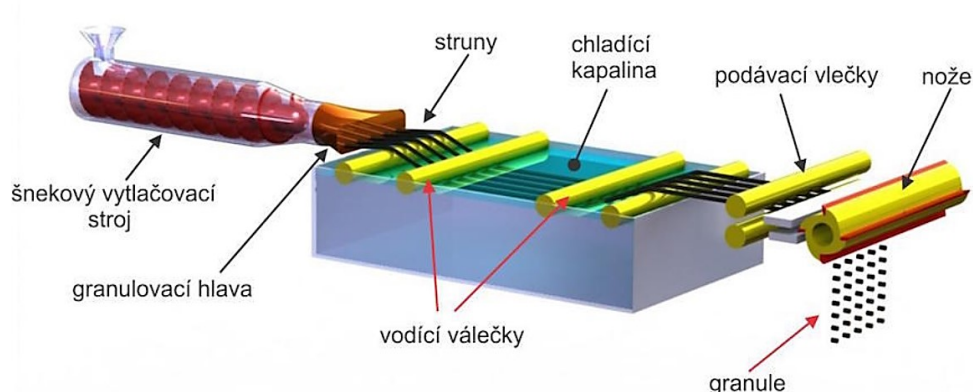
Pásový granulátor-Není vhodný pro tvrdé materiály. Vstupující materiál polotovaru ve tvaru desky je nařezán řezacími noži na pásy, které se rotujícími noži sekají na granule. Vhodné použití např. pro polyamid (PA).



Obrázek 4: Pásová granulace [5]

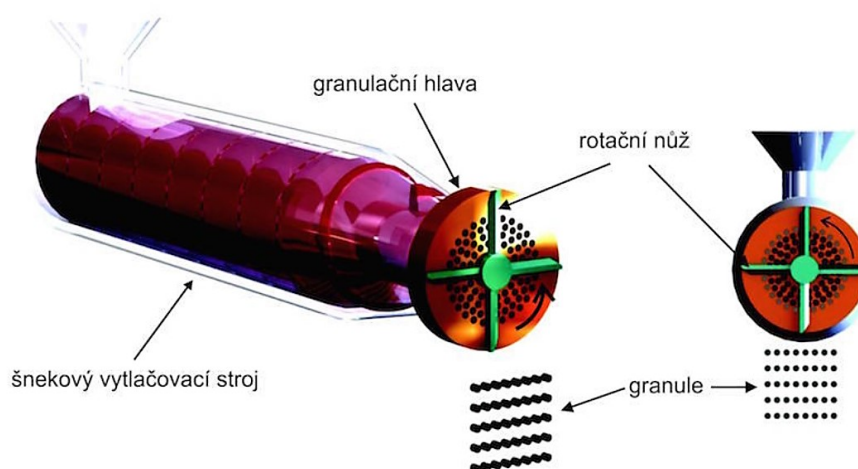
Strunová granulace – Vytlačování roztaveného plastu přes granulační hlavu, která obsahuje velký počet kruhových otvorů. Dosahuje se tvaru struny, které se sekají na granule za studena nebo za tepla.

Strunová granulace za studena – Vytlačené struny se před nasekáním na granule ochlazují nejčastěji ve vodní lázni. Vlivem kontaktu polymeru s kapalinou a jeho nasákavosti se granule vysušují. Nedostatkem této metody je větší počet strun, kde může dojít k lámání, slepování nebo trhání. Vhodné zejména pro většinu termoplastů, např. akrylonitril-butadien-styren (ABS).



Obrázek 5: Granulace za studena [5]

Strunová granulace za tepla – K sekání na granule dochází těsně po vytlačení struny z granulační hlavy. K oddělování na granule dochází za souběžného účinkování vody nebo se následně chladí vodní mlhou. Nelze aplikovat pro polymery s nízkou viskozitou taveniny. Stejně jako za studena je nutné granule vysušit. Použití pro většinu termoplastů, např. polypropylen (PP). [5; 6]



Obrázek 6: Granulace za tepla [5]

### 1.5.3 Míchání

Postup, kdy se směšují více než dvě složky s účelem dopracovat se k žádanému stejnoměrnému rozložení dílčích složek. Je to smíchání hlavního polymeru s přísadami, jako jsou barviva nebo plniva, aby se dosáhlo zlepšení vlastností. Jedná se hlavně o pozvednutí mechanických vlastností, ale lze zvýšit i chemickou odolnost. Definitivní stejnoměrné struktury složení se nemusí dospět již během míchání, ale až při samotném válcování, vytlačování, vstřikování. Pokud zhotovujeme polymer polyreakcemi, tak míchání

nezpůsobuje žádné potíže. Může se zdokonalovat a ulehčovat taktéž jejich zpracování promícháním s mazivem. Smíchávat se může i za účelem poklesu ceny, avšak při zachování vlastností. Míchání lze provádět ve všech podobách polymerů – taveniny, kapaliny, prášky, granule.

Odlišujeme dva typy míchání na základě odporu mísených částic.

Intenzivní – Míra jednolitosti je podmíněná míře smykového namáhání. Materiál je v měkké podobě. Využívané při vmíchávání různých složek do kaučukové směsi, kvůli vlivu zahřívání se uskutečňuje vícekrát. Zpracování probíhá za pomoci výkonných hnětičů.

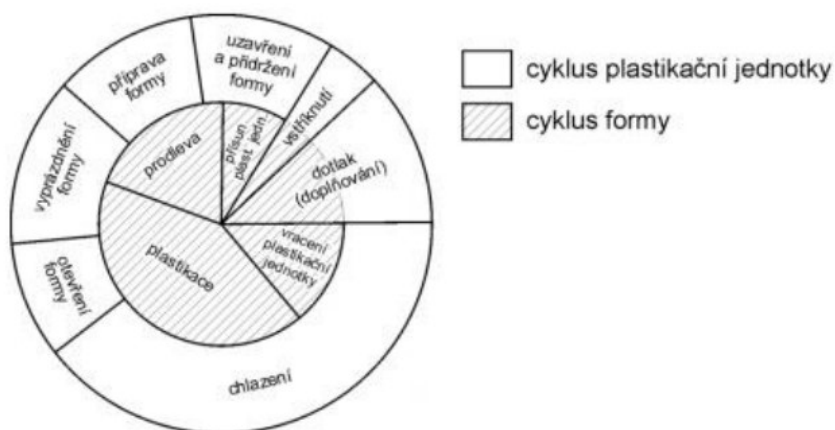
Extenzivní – míra jednolitosti je podmíněna míře tečení nebo na zformování nového povrchu. Vhodné na promíchávání prášků s pigmenty a uskutečňuje se na zařízeních zvaných míchačky. [7]

## 2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Pro zpracování termoplastů, reaktoplastů, termoplastických elastomerů, polymerních směsí, elastomerů je nejvíce využíváno vstřikování. Podstata spočívá na stále opakující se fázi výrobního cyklu. Zhotovují se výsledné výrobky nebo samostatné části jednoho výrobního celku. Hmotnost vstříknutého dílu může dosahovat až do řádů kilogramů, ale rovněž může být menší než 0,1 gramů. Výhodou je vysoká kvalita povrchu, přesný rozměr a tvar i u velmi složitých součástí. Použití v sériové výrobě s krátkými výrobními časy. Největší nevýhodou je velká cena strojů i forem, zároveň velké požadavky na návrh forem. Dalším nedostatek jsou rozměry zařízení vzhledem k výrobkům. [5; 8]

### 2.1 Vstřikovací cyklus

Je to neustále postupný, opakující se termodynamický děj tváření za použití tepla a tlaku. Materiál před vstřikováním je v podobě granulí. Granule mohou být přírodní barvy, častěji mezi nimi bývá promíchané barvivo. Granulát je nachystán v násypce, kde se vysušuje jeho vlhkost nebo je již vysušený a je odtud brán šnekem do plastifikační jednotky. Dochází k jeho zahřátí topnými tělesy a třením vlivem pohybu šneku. Následně dochází k vysokotlakému vstříknutí vzniklé taveniny do formy, u které jsou obě poloviny formy temperovány. Vstřikovací doba se pohybuje v řádu sekund. Doba, po kterou dochází k chlazení je v rozmezí jednotek až desítek sekund (nejdelší část cyklu) a během ní šnek při zpětném rotujícím pohybu bere další materiál pro opakování cyklu. Po zchlazení následuje rozevření formy a díl může být vyhazovači vyhozen nebo odebrán robotem. Délka cyklu je závislá na rozměrnosti a stupni složitosti dílu, většinou se jedná o desítky sekund. [9; 10]



Obrázek 7: Vstřikovací cyklus [11]

## 2.2 Fáze vstřikovacího cyklu

Samostatné sekce cyklu lze rozčlenit na několik základních fází, působící na jakost a vzhled hotového výrobku.

### 2.2.1 Vstřikování

Nejvíce podstatné parametry ke stanovení času vstřikování jsou teplota taveniny a vstřikovací tlak. Mezi další výrazné parametry, které mění čas, může být zařazena např. teplota formy, objemové množství vstříknutého polymeru, typ materiálu. Rychlost vstřikování je úzce spojena se vstřikovacím tlakem. Vyšší rychlost přivětivě orientuje makromolekuly, bohužel může dojít nadměrnému prohrátí a následnému zhoršení vlastností polymeru. S rostoucím tlakem roste riziko výskytu přetoků. Cílem je dosáhnout co nejkratší délky samotného vstříknutí, z důvodu ochlazování roztaveného polymeru při kontaktu s formou, jejíž teplota je několikrát nižší. Dlouhý čas by mohl znamenat ztrátu tekoucích vlastností a nevyplnění formy. Seřizuje se plnění za účelem postupného zaplnění dutiny formy. [12; 5]

### 2.2.2 Dotlaková fáze

Jakmile nastane zaplnění formy, přichází na řadu přechování materiálu razantním nárůstem tlaku se snížením rychlosti. Aby nedocházelo ke vzniku tlakové špičky, nedošlo k nárůstu hmotnosti a rozměrů, nadměrnému zatěžování formy, které může způsobit pružné ohnutí formy, musí dojít ke snížení vstřikovacího tlaku. Přejít na dotlakovou fázi se orientuje podle dráhy šneku, času vstřikování, tlaků ve formě nebo hydraulice. Délka dotlaku činí několik sekund a postupně se snižuje, nejvhodnější je ukončení před ztuhnutím vtoku. Jestliže dojde k zahájení dotlaku příliš brzo může nastat nedotečení taveniny. U plastu v dutině formy při ochlazování nastává proces smršťování, úkolem dotlaku je přidávání materiálu a vyrovnání tohoto procesu. Správné provedení dotlaku přispívá k úplnému vyplnění formy. [12; 5]

### 2.2.3 Ochlazení

V celém cyklu zabírá nejdelší časový úsek, v řádech sekund až po jednotky minut. Je dáno typem polymeru, tloušťkou stěny, teplotou taveniny, formou, výrobku. Cílem je opět dosáhnout co nejkratší délky, k čemuž dopomáhá chlazení formy, které je velice důležité pro oblasti nejpomalejšího chladnutí. Nejpoužívanější temperační médium ve formách je voda, jednotlivě pro obě poloviny formy. Jeho počátek je již při vstřikování a odehrává se i přes

dotlak, občasné i dobu plastifikace. Během procesu nastávají proměny tlaku a teploty, chlazení probíhá do ztuhnutí polymeru, zároveň nesmí po vyjmutí dojít k deformaci. Od fáze chlazení se odvíjí zejména vnitřní struktura, ale podílí se také na smrštění, kvalitě a vzhledu povrchu, např. lesku. [12; 5]

#### **2.2.4 Vyhazování**

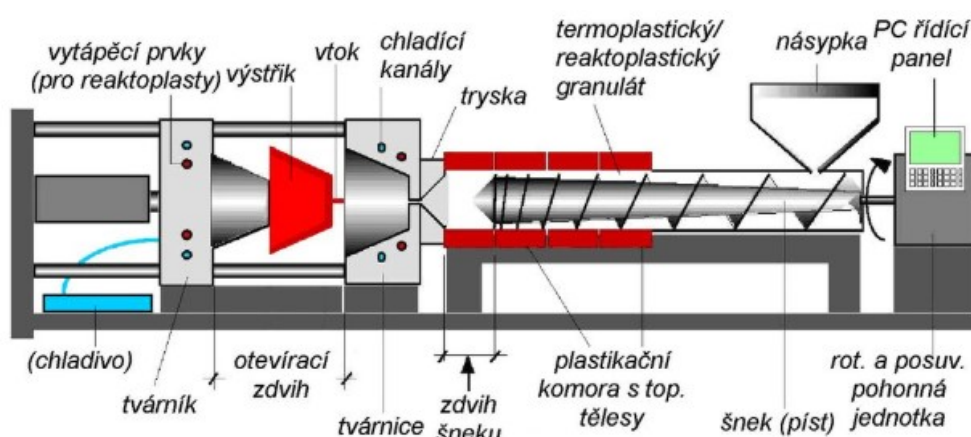
Vstřikovací cyklus je zakončený vyhozením výrobku z dutiny formy. Vzdálenost, o kterou se poloviny formy od sebe rozevřou, závisí na velikosti dílce, avšak měla by být co nejmenší. Velikost vzdálenosti musí být dostatečně velká, aby při vyhazování nemohlo dojít k zaseknutí výstřiku. Zároveň při použití robotu nebo manipulátoru musí vzniknout v otevřeném stavu dostatek místa pro jejich provoz. Zpočátku dochází k rozevření formy vyšší rychlostí, která před dorazy postupně klesá za účelem dosažení plynulého dojetí. Vyhození probíhá pomalu, bez přítomnosti rázů z důvodu předejití deformacím nebo vzniku praskliny na výstřiku či části formy. Vyhazovače musí být před novým cyklem na původní pozici. Lze nastavit rychlost i počet pohybů vyhazovače. Nejvíce je využíváno mechanického způsobu použitím vyhazovacích kolíků nebo stírací desky. Je možné jednotlivé způsoby kombinovat. [12; 5]

#### **2.2.5 Plastikace**

Přichází stejnoměrná homogenizace, přesunutí polymeru před čelo šneku. Dávka, která se zplastikuje musí vystačit na zaplnění tvarové dutiny formy s vtokovým systémem, ale také počítat se smrštěním a vynahrazovat změnu objemu. Zpáteční tlak se navyšuje, protože při posunu šneku dozadu se zredukuje účinná délka šneku. Elektrické odporové topení má přibližně o dvě třetiny menší podíl na tvorbě tepla pro rozpuštění dávky než samotné tření hmoty. Při plastikaci musí tavenina získat žádanou teplotu pro určitý typ polymeru, která zasahuje do viskozity plastu, doby vstřikování, dotlaku, chlazení. Teplota taveniny se zjistí měřením teploty na stěně plastikační komory nebo rovnou měřením teploty taveniny. Celý objem jednoho zdvihu by neměl být větší než čtyři průměry šneku vzhledem k dlouhému vstřikovacímu času a tvorbě vzduchových bublin v hotovém výrobku. Během plastikace se odehrává fáze chlazení, takže se nijak nepromítá do délky pracovního cyklu. [12; 5]

### 3 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Zařízení v průmyslu sloužící k vyrobení plastového dílu. Pracují na základě roztavení granulátu a vstříknutí do formy, která dodává výsledný tvar. Dávkování a dodání taveniny je zajištěno vstřikovací jednotkou. O uzavírání formy se stará uzavírací jednotka. Dále obsahuje řízení a regulaci. Výrobní proces lze zčásti nebo zcela automatizovat. Mají široké spektrum použití, např. elektronika, automotive, hračkářství. [13]

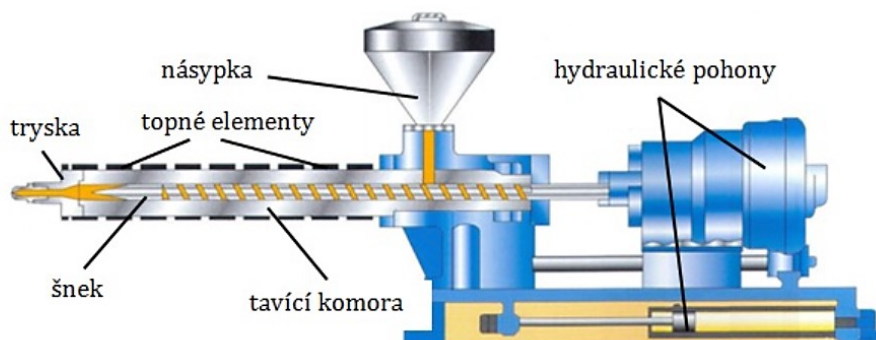


Obrázek 8: Schéma vstřikovacího stroje [12]

#### 3.1 Vstřikovací jednotka

Jejím úkolem je především převádění granulátu na taveninu určité viskozity a její následné vstřikování pod velkým tlakem a rychlostí do dutiny formy. Na taveninu by mělo být proměněno co nejvíce materiálu, za co nejmenší čas kombinací topných pásů a třením materiálu mezi stěnou komory a šneku. K posunu polymeru v komoře je využíván šnek. Při posunu a otáčení šneku vzad dochází k odebírání materiálu z násypky, zhušťuje a posouvá se do vytápěných míst tavící komory. Jakmile nastane přetvoření na taveninu, která se shromáždila na začátku šneku, dojde k jejímu vytlačení do formy šnekem pohybujícím se jako píst. Aby se ušetřil strojní čas, započne nová plastifikace před ukončenou fází chlazení. Za vstřikovací kapacitu je považován maximální objem taveniny, který lze vytlačit na jeden pracovní zdvih. Šnek rozdělujeme na tři oblasti. První oblast je vstupní, kde nastává zahřívání dávky a vymáčknutí přebytečného vzduchu. Druhá oblast se nazývá přechodová, která zabezpečuje tání granulí. Výsledná homogenizace probíhá ve třetí oblasti zvané jako výstupní. Šneky s kompresním pásmem odpovídající jednomu násobku průměru se používají u plastů s malým rozmezím teploty tání, např. PE, PA. Nevýrazná kompresní část

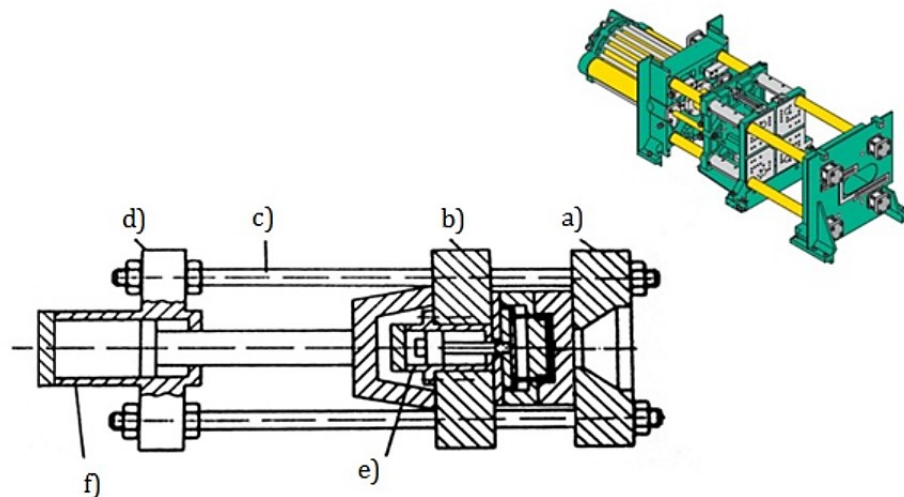
nachází využití u hůře tekoucích materiálů nebo u materiálů, kde může dojít zhoršení vlastností zapříčiněných prudkým ohřevem, např. PVC. [14; 12]



Obrázek 9: Schéma vstřikovací jednotky [14]

### 3.2 Uzavírací jednotka

Funkcí jednotky je zavírání a rozevírání formy podle výrobního procesu. Poskytuje upnutí a plynulý chod formy. Zajišťuje takovou uzavírací sílu, aby nedošlo při vstříknutí k otevření formy vlivem tlaku. Jednotka zahrnuje vodící sloupky, opěrné desky, které jsou napevno spojeny s ložem. Dále pohyblivé desky sloužící k přichycení pohyblivého dílu formy. Také upínací desky, včetně otvoru pro trysku stroje, používané na uchycení nepohyblivého kusu formy. Rozlišujeme uzavírací soustavy na hydraulické, mechanické, elektrické nebo kombinaci hydraulického s mechanickým. Rychlost i sílu uzavírání lze nastavovat. Nejvíce používané usazení vstřikovací a uzavírací jednotky je horizontální, kdy vstříknutí probíhá kolmo na dělicí rovinu formy. U speciálního způsobu vstřikování je využíváno jiného vzájemného uložení mezi jednotkami. [14; 12]



Obrázek 10: Hydraulická uzavírací jednotka [14]

- a) pevná část formy, b) pohyblivá část formy, c) vodící tyče, d) rám stroje,  
e) hydraulický vyhazovač, f) hydraulický válec pro ovládání části formy

### 3.3 Řídící a kontrolní jednotka

Primární část řídicí jednotky se nazývá regulátor, který shromažďuje ze systémů stroje současné hodnoty důležitých parametrů k porovnání s parametry zadanými. Při neshodě parametrů se za pomoci působení regulačních prvků aktuální hodnoty vyrovnávají se žádoucími (teplota, rychlost, tlak). Proces může být zdokonalován i během vstřikování zcela automaticky. Je možné procházet dosažená data z dílčích cyklů nebo přesouvat jednotlivé výrobní programy. Pakliže nastane závada, dojde k jejímu objevení na displeji. Součástí jednotky je také signalizační ukazatel, který informuje o stavu stroje. [14]

## 4 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Jedná se o nástroj, který dává finální tvar výrobku. Formy jsou vystavovány vysokým tlakům, musí zvládnout během celé své životnosti zhotovit dílce s rozměrovou přesností včetně jejich jednoduchého vyjmutí. Zvolení vhodného materiálu je závislé na mnoha faktorech, jako je typ vstřikovaného polymeru, technologie, rozměry a náročnost výstřiku. Mezi další činitele patří: odolnost proti opotřebení, teplotu a korozi, velikost série. V neposlední řadě rozhoduje o výběru materiálu i cena. Délka životnosti formy se prodlužuje tepelnou úpravou. Během konstrukce se musí počítat se smrštěním materiálu, které ovlivňuje určení rozměrů a výrobních tolerancí. Vytvoření formy obnáší vysoké odborné a finanční nároky a jsou členěny podle násobnosti, způsobu zaformování, konstrukce vstřikovacího stroje. Forma je tvořena dvěma polovinami, kde pravá část je vtoková a je na pevně a levá část je vyhazovací a pohybuje se. Rozevírá se v dělicí rovině. Součástí je chladicí, vtokový a vyhazovací systém. Samotné součásti mohou být konstrukční nebo funkční. Zatímco konstrukční mají na starost patřičný chod nástroje, tak u funkčních dochází ke styku s materiálem a udávají mu výsledný tvar. [12; 15]

### 4.1 Násobnost formy

Násobnost udává množství výstřiků na jeden pracovní zdvih. Zvolení násobnosti je ovlivněno vstřikovací a plastikační kapacitou stroje, přidržovací silou stroje, dále závisí na jakosti a počtu výrobků, také na čase potřebného na výrobu. Čím větší počet kavit, tím klesá rozměrová přesnost dílců i životnost celé formy. Důležitost násobnosti nastává z pohledu ekonomiky. Formy na výrobu jednoho kusu se používají zejména na složitě tvarované nebo velké díly. U vícekusové formy je dodržení přesnosti spojené také se stejnoměrnou teplotou formy v průběhu plnění, trajektorií vtoků. [11; 12]

### 4.2 Vtokový systém

Soustava kanálů a ústí vtoku zabezpečují patřičné naplnění dutiny formy, lehké vyhození zbytku vtoku a odtržení nebo oddělení od výstřiku. Navržení soustavy je ovlivněné množstvím i rozložením tvarových dutin, a zda se bude jednat o horký nebo studený rozvod. Konečné konstrukční uspořádání systému podléhá násobnosti formy a konkrétní podobě výstřiku. Tok taveniny termoplastu formou během vstřikování je ovlivňován typem a umístěním vtoku, což může vést ke vzniku studených spojů, orientaci plniva, rovnoměrnosti krystalizace. Ideální řešení vtoku je tehdy, kdy tavenina vyplní formu nejkratší dráhou,

v nejkratším čase a ve všech místech současně. Zároveň bez poklesu teploty a tlaku. Vtokové kanály musí mít dostatečný průřez. U vstřikování forem o dvou a více výrobků je největší nárok kladený na souběžné naplňování tvarových dutin při totožné teplotě a tlaku. Cesty vtoku by měli být ke každé dutině shodné. Vícenásobnou formu je výhodné uspořádat do hvězdy, aby docházelo ke stejnoměrnému plnění a nemusel se upravovat vzdálený vtok. [12]

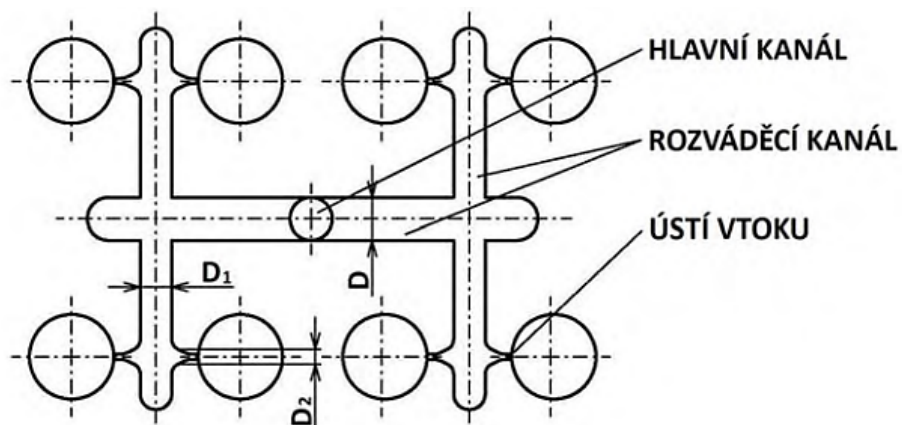
#### 4.2.1 Studený vtokový systém

Při protékání taveniny studeným vtokem stoupá její viskozita na zevní straně a tím se zpomaluje její pohyb. Dochází k tepelné izolaci zbylé proudící taveniny naplňující dutinu formy. S vyplněnou formou dochází ke snížení průtoku a razantnímu nárůstu odporu. Roztavený plast chladne v dutině, ale i ve vtokové soustavě pomocí přestupu tepla z taveniny na povrch stěny formy. Dotlak vytváří teplo ve vtokovém ústí, čímž se odsune úplné ztuhnutí taveniny. Tuhnutí taveniny způsobuje zvyšování protitlaku. Na určité hodnotě protitlaku nastane snížení rychlosti vstřikování a následuje kompletní ochlazení výrobku.

Hlavní vtokový kanál – je kuželového tvaru a navazuje na trysku vstřikovacího stroje. Konstruuje se s rozšířeným ústím do rozváděcího kanálu nebo přímo do výstřiku. Velikostně je vtoková část větší o 0,5 až 1 mm od průměru trysky. Úkos zajišťuje snadnější vyhození zbylé hmoty z kanálu. Jeho konečný průměr je daný průměrem rozváděcího kanálu a výrobkem.

Rozváděcí kanál – úkolem je dostat roztavený materiál z hlavního vtokového kanálu do všech dutin formy. Jeho průměr je shodný s ústím vtokového kanálu nebo může být větší. Nejvhodnější velikostí je kompromis mezi jeho objemem a jednoduchým naplněním formy. Velký průřez může vést k nadbytečnému odpadu a protáhnutí vstřikovacího cyklu. Malý průřez vede k nárůstu vstřikovacího tlaku. Množství a tvar kanálů je ovlivňováno násobností formy. V oblasti spojení se zhotovuje jímka chladného čela taveniny jako tahač vtoku, zachycuje chladnější čelo taveniny. Dále jímka ulehčuje vyhození zbytku vtoku.

Vtokové ústí – dopravuje taveninu z rozváděcího kanálu do dutiny formy. Funkcí zúžení je nárůst teploty taveniny ještě před vstupem do dutiny formy a její spolehlivé naplnění. Rozměr zúžení musí být co nejmenší, jeho vlastnosti udává vstřikovaný objem. Vtokové ústí se dává do nejširší stěny výrobku. Zůstatek po vtoku by neměl narušovat vzhled výrobku. [16; 17]

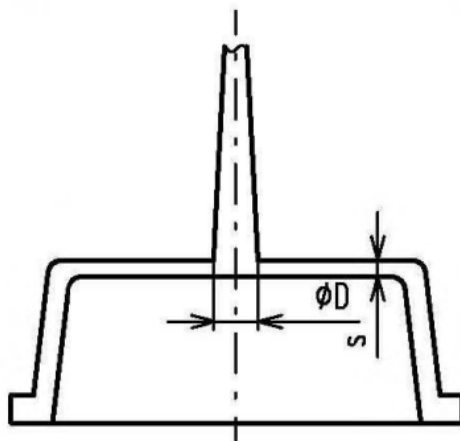


Obrázek 11: Části vtokového systému [16]

$D$  – hlavní rozváděcí kanál,  $D_1, D_2$  – vedlejší rozváděcí kanál

#### 4.2.2 Kuželový vtok

Jedná se o kuželovou díru bez zúžení. Jeho předností je velká efektivita dotlaku, nenáročná výroba. Negativum je, že po sobě nechává stopu, kterou je obtížné odstranit. Využití nachází u jednonásobných forem, jednodušších a souměrných produktů s tlustými stěnami. Vhodný i pro méně tekuté typy plastů. [16]



Obrázek 12: Plný kuželový vtok [16]

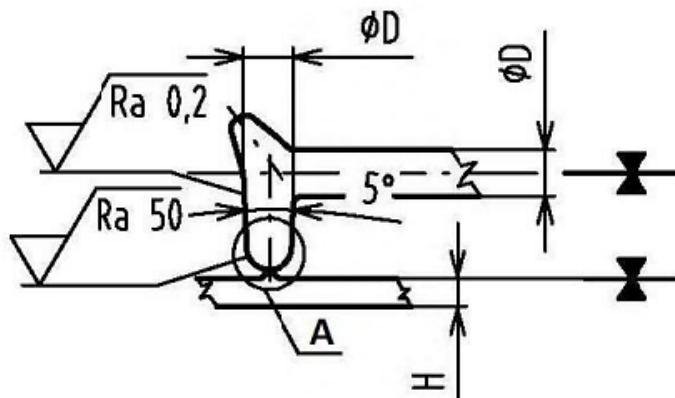
$D$  – průměr vtokového kanálu,

$s$  – tloušťka stěny výstřiku

#### 4.2.3 Bodový vtok

Mezi zúženými vtoky je nejvíce používán. Využíván ve formě ústí z vtokového nebo rozváděcích kanálů. Aby bylo zaručeno při jeho užití prvotní odtržení vtokového ústí, a

následné rozevření formy je nutné aplikovat třídeskový systém formy. Na rozdíl od kuželového není vhodný na méně tekuté plasty. [16]

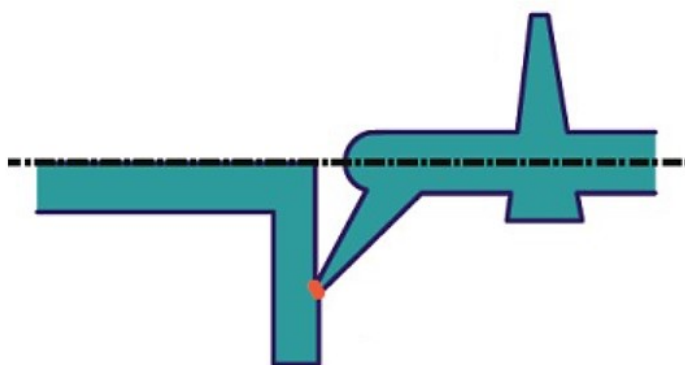


Obrázek 13: Bodový vtok [16]

$D$  – průměr komůrky,  $H$  – tloušťka výstříku

#### 4.2.4 Tunelový vtok

Je to speciální bodový vtok se značně obtížnější výrobou. Oddělení vtokového zbytku od výstříku probíhá pomocí ostré hrany. Vtokový zbytek se separuje při rozevření formy nebo vyhazování výstříku. U vtoku není potřeba aplikovat třídeskovou formu, protože zbytek vtoku leží ve stejné rovině jako výstřík. Především u složitějších součástí. [16]

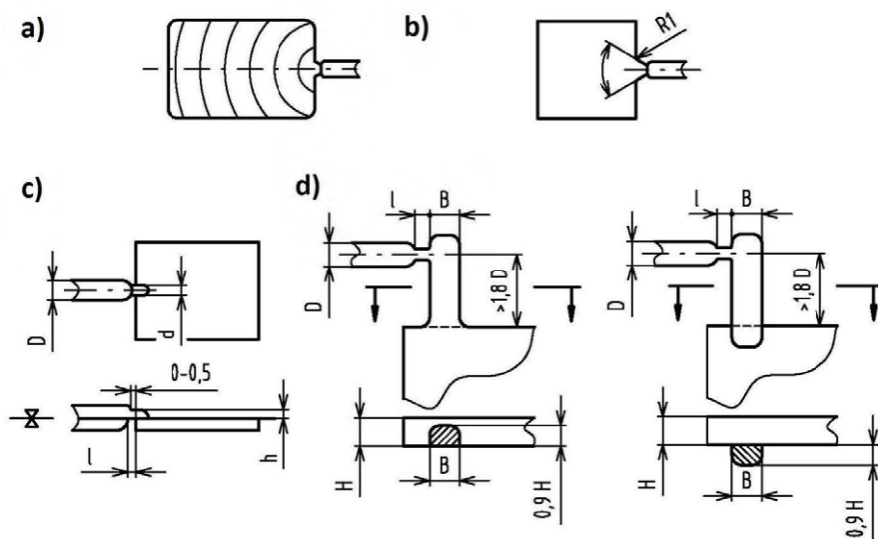


Obrázek 14: Tunelový vtok [18]

#### 4.2.5 Boční vtok

Po odformování je zatuhlý vtokový zbytek nadále součástí výstříku. Obvykle jsou od sebe oddělovány odlamováním nebo odstřižením, kdy zůstane stopa. V automatizované výrobě forma k rozdělení disponuje odřezávacím zařízením. Pro předejití volnému vstřikování do dutiny formy se přizpůsobuje vtokové ústí do podoby vějíře. Druhou variantou úpravy je

boční vtok s překrytím, který znemožňuje poničení tvárnice. Vyhnutí větší vnitřní napjatosti se řeší nepřímým bočním vtokem. Jsou-li požadavky na vyšší jakost, tak se používá nejmenší prstencový, filmový, deštníkový, diskový boční vtok. [16]

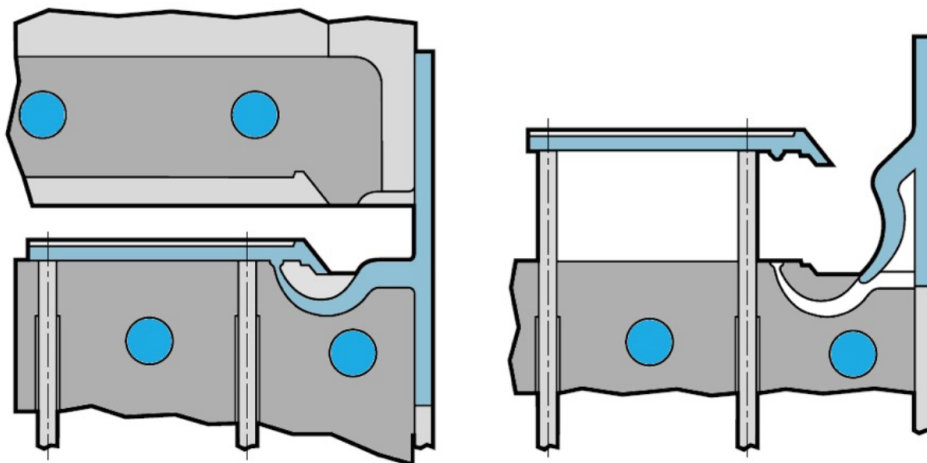


Obrázek 15: Boční vtok [16]

a) běžný, b) vějířový, c) s překrytím, d) nepřímé vtoky

#### 4.2.6 Banánový vtok

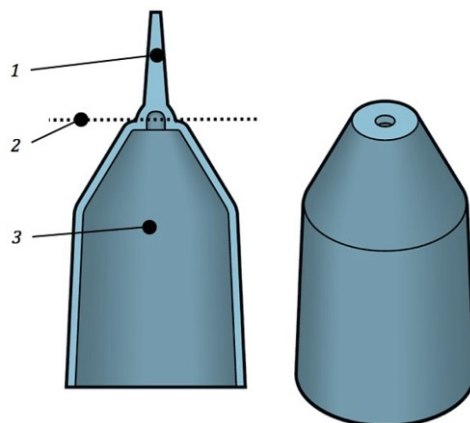
Používá se pro plnění, kde není možné vstříkovat z boku výrobku. Kvůli náročnému zhotovení vnitřního tvaru ústí vtoků za pomoci elektroerozivního obrábění je vhodnější aplikovat kupované díly – vtokové vložky. Kanál vložky je připravený k oddělení vtokového systému od výrobku bez potíží. Ústí vtoků lze schovat na méně viditelné místo. [17]



Obrázek 16: Banánový vtok [17]

#### 4.2.7 Deštníkový vtok

Souměrné vyplnění dutiny bez tvorby studených spojů pro rotační výrobky s velkou osovou dírou. Zvětšuje se kanál ústí od tokové vložky. Mechanické oddělení vtokového systému zanechává stopu. [17]



Obrázek 17: Deštníkový vtok [17]

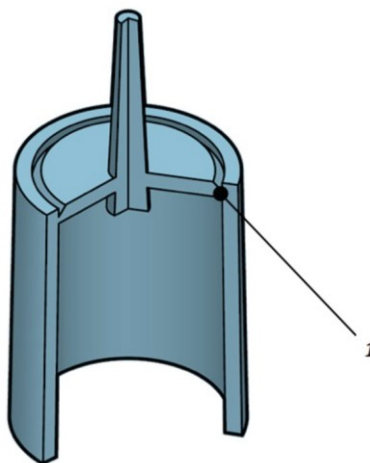
1 - vtokový systém,

2 – rovina oddělení vtokového systému,

3 – vstřikovaný díl

#### 4.2.8 Talířový vtok

Obdobné deštníkovému, s rozdílným plněním. Provádí se přes vnitřní povrch výrobku. Oddělení vtokového systému probíhá opět mechanicky, např. odvrtání, vyseknutí. [17]



Obrázek 18: Talířový vtok [17]

1 - plocha oddělení vtokového systému

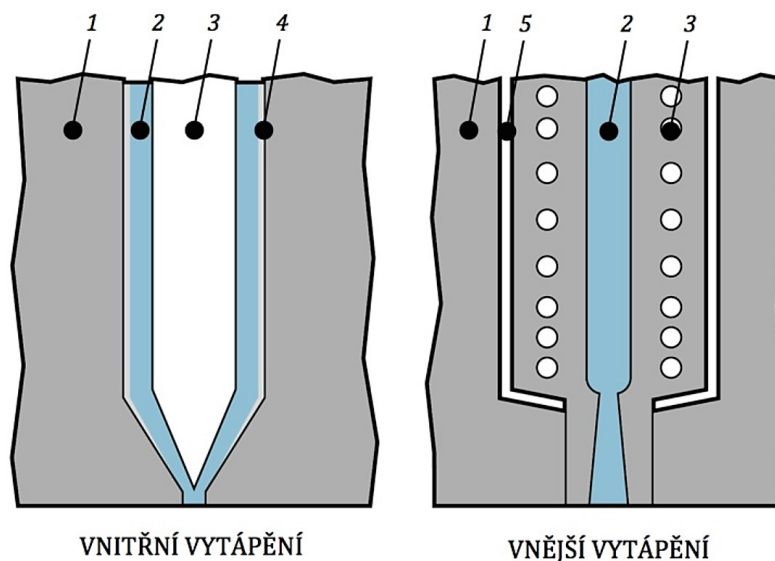
#### 4.2.9 Vícenásobné vtoky

Využití při náročném plnění formy jedním vtokem. Požadují důkladné odvětrání formy a ostrážitost vůči vytváření studených spojů. Z důsledku výměn a ulehčení produkce se využívají skládané vstřikovací soustavy vložené do dutin v tělese formy. [16]

#### 4.2.10 Vyhřívání vtokové systémy

Vyhřívání vtokový systém udržuje taveninu po celou dobu cyklu v tekutém stavu. Pořizovací náklady takových forem jsou vyšší, proto se ekonomicky neoplatí jejich použití v krátké nebo přerušované výrobě. Nejvíce vhodná je velkosériová nebo hromadná výroba. Formy o jednom kusu mají vstřikovací trysku připojenou rovnou na ústí do dutiny formy. Vyhřívání vtokové soustavy vícenásobných forem zahrnují vyhřívání rozváděcí blok s tryskami, který je zaveden napřímo do pomocných kanálů nebo dutiny formy. Požadovaná teplota roztaveného plastu je upravována regulátorem, který je ovládaný snímači. Komplikovanější větší formy obsahují větší počet samostatných topných okruhů.

Provedení horkého rozvodu – obsahuje vtokové ústí, vyhřívanou vtokovou vložku a vtokový systém včetně patřičné kabeláže. Horký rozvod je izolován vzduchovými mezerami a konstruován s nejmenším možným dotykem se vstřikovací formou. Cílem izolace od částí formy jsou minimální tepelné ztráty. Systém vtoku se nachází v pevné části formy nad dutinami. Horké rozvody dělíme na vnitřní a vnější. Vnější vytápějí topnými tělesy, která jsou z vnější strany kanálu, v němž teče tavenina. U vnitřních se vytápění koná torpédovým topným tělesem a nalézá se ve vnitřní kanálu pro tok taveniny. Negativum rozvodů je vytváření zamrzlé vrstvy taveniny v místě dotyku se studenou formou. Pakliže dojde k degradaci vrstvy a jejímu následnému proniknutí do dutiny může způsobit povrchové i mechanické nedostatky výrobku. Degradace nastává i v případě, kdy rozvody zahrnují neviditelná nebo ostrá zákoutí. Vnitřní vytápěné rozvody nejsou určeny průhledným a teplotně citlivým druhům plastů. [16; 17; 19]



Obrázek 19: Základní provedení vyhřívaného horkého vtoku [17]

1 - studený materiál formy, 2 - kanál pro proudění taveniny,

3 - topné těleso, 3 - zamrzlá 4 - vrstva plastu,

5 - izolační vzduchová mezera

### 4.3 Vyhazovací systém

Při zchlazení se po rozevření formy výrobek zachycuje na levé straně (tvárníku) vlivem smrštění, proto jsou formy vybaveny vyhazovacím systémem. Velikost vyhazovací síly se určuje v závislosti na měrných tlacích mezi formou a výstřikem, na průběhu vstřikovacích tlaků a teplot, rozměrech výrobku. Dále na teplotní závislosti součiniteli tření mezi oběma plochami. Síla se podřizuje pružnosti tvárníku a tvárnice. Vyhazovače se musí vhodně rozmístit po vstřikované součásti a vysunovat stejnoměrně kvůli předejití deformaci nebo poškození dílu. V převážné většině zůstávají po vyhazovačích stopy, pokud je to možné volí se nepohledová strana. Nejvíce používaný je mechanický způsob vyhození prostřednictvím vyhazovacích kolíků, stíracích desek nebo kroužků, ale lze způsoby i spojovat mezi sebou. [12; 16]

#### 4.3.1 Vyhazovací síla

Smrštění zapříčiňuje vznik tlaku mezi výstřikem a formou vedoucímu ke tření. Síla musí mít dostatečnou velikost k přetlačení tření. Zvolení velikosti také souvisí s elastickou deformací formy a vstřikovacími podmínkami. U mechanického způsobu není nutné provádět kalkulaci, protože síla je často naddimenzovaná. Hydraulická a pneumatická varianta nabízí nastavení tlaků jejich jednoduchým vyzkoušením. [16]

### 4.3.2 Vyhazovací kolíky

Vzhledem ke své snadné výrobě a zajištěné funkčnosti jsou velmi často používané. Většinou jejich tvar odpovídá válci. Uložení kolíků se volí na základě vlastností zvoleného plastu, je s vůlí a umožňuje únik vzduchu. Použití v případech, kdy může být vyhazovač proti ploše výstřiku ve stejném směru jako vyhození. [16]



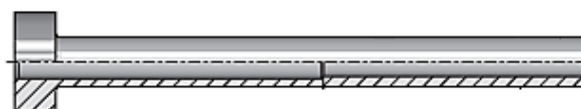
Obrázek 20: Válcový vyhazovač [20]



Obrázek 21: Prizmatický vyhazovač [20]



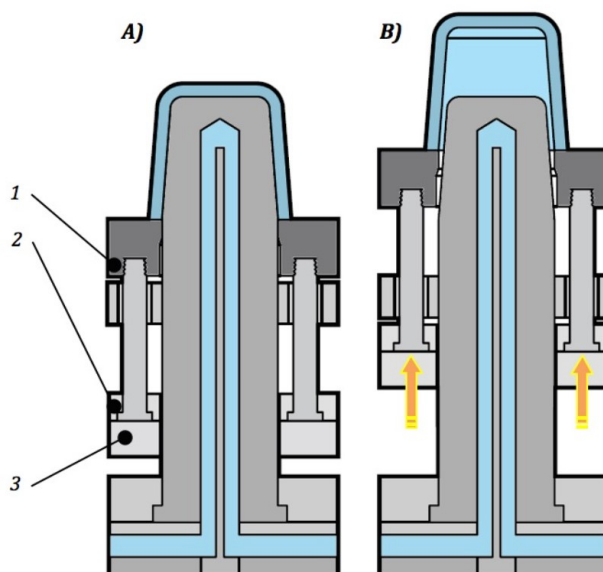
Obrázek 22: Válcový vyhazovač s  
kuželovou hlavou [20]



Obrázek 23: Trubkový vyhazovač [20]

### 4.3.3 Stírací deska

Jedná se o setření výstřiku z tvárníku přes jeho celý obvod. Velká styčná plocha zařizuje, že deska po sobě nevytváří stopy a zároveň téměř nedeformuje výrobek. Je nutné rovné dolehnutí výstřiku na stírací desku. Posun stírací desky je zajištěn tlakem vyhazovací soustavy nebo se vztahuje k posunutí pevné desky při otevírání formy. Využití u součástí, kde nemohou být stopy po vyhazovačích. Hlavně u tenkostěnných výrobků, kde můžeme zabránit deformaci vyhazovací silou a vyhazovači. [16]



Obrázek 24: Princip stírací desky [17]

1 - stírací deska, 2 - přidržovací stírací desky,

3 - hlavní vyhazovací deska

A) vyhazovací systém v zadní pozici,

B) vyhazovací systém v pohybu do přední pozice

#### 4.3.4 Šikmé vyhazování

Zvláštní postup mechanického vyhazování, při kterém jsou kolíky situované na dělicí rovinu pod rozdílnými úhly. Pro vstříknuté díly malých a středních rozměrů, které nedisponují nehlubokým vnitřní nebo vnějším zápichem.[16]

#### 4.3.5 Dvoustupňové vyhazování

Kombinují se navzájem závislé soustavy, které poskytují různé vyhození vstříknutého kusu z pohledu času a délky vyhazovacího zdvihu. Pro výstřiky se zápichem při šikmém vyhazování.[16]

#### 4.3.6 Pneumatické vyhazování

Pneumatickým vyhazováním se odděluje výstřik od tvárníku za pomoci dopravovaného zhuštěného vzduchu mezi výstřik a líc formy. Tímto způsobem nedochází ke tvorbě otisku po vyhazovači, zároveň se odstraní místní přetížení. Vzduch do formy je veden přes kolíky nebo talířové, jehlové ventily. Otevření ventilu nastane tlakem, jeho zavření je řešeno pružinou. Zajištěné vyhození výstřiku z automatických forem je opatřeno volbou dvou

nezávislých systémů, kombinují se s mechanickým vyhazováním, které u více rozměrných výrobků potřebují větší zdvih. Se zvětšováním zdvihu roste délka formy. Vzduchové vyhazování lze použít jen u některých typů výstřiků. Vyhovuje zejména větším dílům, jako jsou nádoby s tenkými stěnami, které je nutné odvzdušnit, aby nedošlo k jejich deformaci.[16]

#### **4.3.7 Hydraulické vyhazování**

Je to uzavřená hydraulická jednotka montovaná rovnou na nachystané místo do formy. Slouží k řízení mechanických vyhazovačů, kam patří kolíky, stírací desky atd. Tahle metoda poskytuje pružnější pohyb, zvýšenou flexibilitu. Dalšími vlastnostmi jsou kratší, pomalejší zdvih, ale s velkou vyhazovací silou.[16]

### **4.4 Odvzdušnění**

Po uzavření formy je vzduch uzavřen mezi tvarovými částmi a působením tlaku proudu taveniny je tlačен směrem k nejvzdálenějšímu místu dutiny. Je nezbytně důležité zabezpečit odvzdušnění tvarové dutiny formy. Odvod vzduchu může být řešen netěsností v dělicí rovině, ale i navržením odvzdušňovacích kanálků, které však nesmí vytvářet otřepy na výrobku. Vzhledem ke krátkému vstřikovacímu času lze zabránit odvodem vzduchu neúplnému vyplnění dutiny roztaveným materiálem. Dále se zamezí nebezpečnému zvětšení tlaku, zmenšení pevnosti ve studených spojích i spálení materiálu stlačením a zažehnutím vzduchu. Přebytný vzduch ve formě nepříznivě působí na mechanické vlastnosti. Zvednutí vstřikovacího tlaku příčinou nedostatečného odvzdušnění může vést až ke tvorbě vnitřních pnutí ve výrobku. Tenkostěnné díly s nízkou teplotou taveniny, slabším tlakem a rychlostí plnění shromažďují vzduch naproti vtoku, který když neopustí formu, způsobí nedotečený výrobek. Stejný problém může nastat při nízké teplotě formy nebo malé dávce materiálu. Pakliže jsou bubliny vytvořeny stejnoměrně po celém výstřiku, jejich zdrojem je vlhkost nebo přehřátí polymeru. V dělicí rovině se forma odvzdušňuje naproti vtoku. Kvalita odvzdušnění záleží na výběru místa vtoku i vyhazovačů, způsobu zaformování výstřiku, použití tvarových vložek. [12; 16]

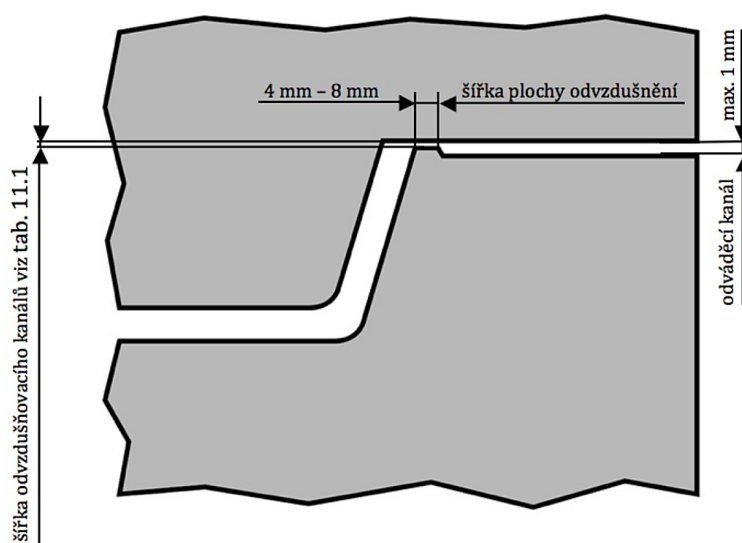
#### **4.4.1 Umístění odvzdušnění**

Zvolení místa odvzdušnění je komplikované, ale někdy může vyplynout z podoby výrobku. Je třeba počítat, v jakém směru a jakým způsobem roztavený polymer vyplňuje dutinu formy. Klade se důraz na kvalitní odvod vzduchu zejména v oblasti, která se zaplní jako

poslední, nejčastěji se jedná o nejvzdálenější oblast od vtoku. Problematické vytěsnění vzduchu přichází i v místech slepých otvorů. Po úpravě lze odvádět vzduch přes vyhazovače. Jestliže dojde k situaci, kdy i po zvážení je umístění složité, tak se k jeho provedení provádí určitá opatření. Dalším krokem je vstříknutí do formy, aby se objevila případná nedokonalost odvzdušnění, jako je nedotečení, spálení. Zvláště v situacích, kde jsou pozůstatky po zvětšeném odvzdušnění nepřijatelné, se seřízením technologických podmínek, volbou a umístěním vtoku předchází jejich vzniku. [16]

#### 4.4.2 Odvod vzduchu v dělicí rovině

Nejjednodušší možnost odvzdušnění formy je pomocí dělicí roviny. Jedná se o nejlehčí výrobu odvzdušnění, nabízí přímou dráhu odváděnému vzduchu. Polymery s nižší viskozitou požadují menší rozměry odvzdušňovacích kanálků a obráceně, zároveň rozměry jednotlivých odvzdušňovacích elementů určuje druh vstřikovaného polymeru. Důraz na odvádění vzduchu se zvětšuje se zvyšujícím se objemem produktu a jeho vstřikovací rychlostí. [17]



Obrázek 25: Konstrukce odvzdušňovacího kanálu [17]

#### 4.5 Temperování

Temperování je systém kanálů a dutin, který obstarává přestupování tepla z roztavené hmoty do formy nebo do chladicího média. Předávání tepla je důležité, protože opětovným vstřikováním následuje stále větší zahřívání formy. Zaručuje neustálé opakování výroby, slouží k optimálnějšímu a rychlejšímu chladnutí polymeru v dutině formy, což zkracuje výrobní cyklus. Rychlejší chlazení má příznivý technologický a ekonomický vliv. Kapalina

proudící systémem chladících kanálů zachovává stálou teplotu formy. Aby nedocházelo k nevhodné kvalitě dílu, vznikem deformací nebo trhlin, vlivem nestejnoměrným chladnutím, měl by se díl ochlazovat stejnoměrně. Soustava temperování se odlišuje na okruhy pro pevnou a pohyblivou část a lze je promýšlet nezávisle. Promyšlení okruhů a podokruhů podléhá pozici dělicí roviny a zaformování výrobku. Špatně naplánovaná vzdálenost mezi kanály a lícem formy je schopna směřovat k poškození povrchu tvarové dutiny a jejímu místnímu podchlazení. Rozložení kanálů je rovnoměrné, ideální, aby měl každý identickou vzdálenost od líce formy. Vzdálenost kanálů od líce formy nebo mezi kanály se zmenší v případě navýšení účinnosti chlazení. Volí se větší množství menších kanálů s kruhovým nebo obdélníkovým průřezem. Ovšem existují i typy plastů s větší teplotou formy, kdy ohřátí formy vstřikovanou taveninou je menší než ztráty tepla, proto je nutné její zahřátí. Také se forma zahřívá před zahájením provozu na požadovanou teplotu. Jestliže mají jednotlivé části formy různou teplotu, navyšují se odchylky tvaru a rozměru. Jindy lze temperováním různých částí forem na odlišné teploty využít k vyloučení tvarových deformací. [16; 12]

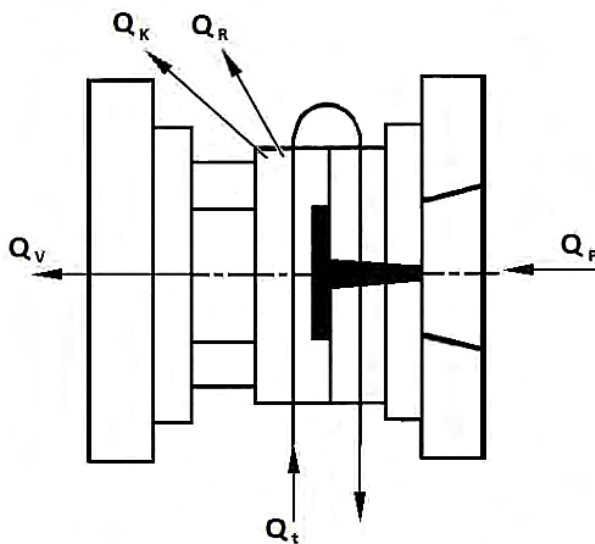
#### 4.5.1 Popis temperačního systému

Největší podíl při odvádění tepla z formy patří temperační soustavě, zbylá část odchází přes upínací plochy stroje, okolní vzduch a sáláním do okolí. Vhodný výběr velikosti a rozestavení temperačních kanálů, společně s rychlostí, teplotou temperačního média zamezí, že by jednotlivé části formy byly od sebe značně teplotně vzdáleny. Obvykle temperační soustavou protéká médium, které uchovává části formy na žádoucí teplotě, mezitímco u plastů žádoucích vyšší teplotu je ohřívání řešeno pomocí topných těles, ztráta do okolí přesahuje teplo poskytnuté vstřikovanou taveninou. Temperování elektrickým proudem se uskutečňuje v podobě pevných patron, ohebných nebo prstencových topných tělesech. Kolik daného tepla pronikne z nebo do temperačních kanálů je určeno hlavně tepelnou vodivostí materiálu, tloušťkou stěny a rozdílu teplot. Nejzásadnější je teplotní vodivost, proto se tvarové části formy vyrábí z materiálu, který je o mnoho více vodivější než obvykle využívaná ocel. Mezi takové materiály náleží slitiny z mědi, měděného berýlia. [16]

#### 4.5.2 Tepelné bilancování formy

Pracovní cyklus by měl splňovat pravidlo: Teplo, které se dostalo do formy roztaveným materiálem, se rovná teplu, které se z formy odvádí temperací nebo jinými způsoby. Teplo odcházející přes upínací plochy stroje, sáláním do okolí se velmi těžko určuje. Povrch formy

se leští nebo je možnost formu přikrýt izolační fólií z důvodu snížení tepelných ztrát. Ke snížení ztráty tepla, které přechází přes upínací plochu do stroje, se umístí mezi stroj a formu izolační deska z reaktoplastů, pryskyřic. [16]



Obrázek 26: Tepelná bilance formy [16]

$Q_P$  – teplo přivedené polymerem,

$Q_t$  – teplo odvedené temperací,

$Q_K$  – teplo odvedené do okolí,

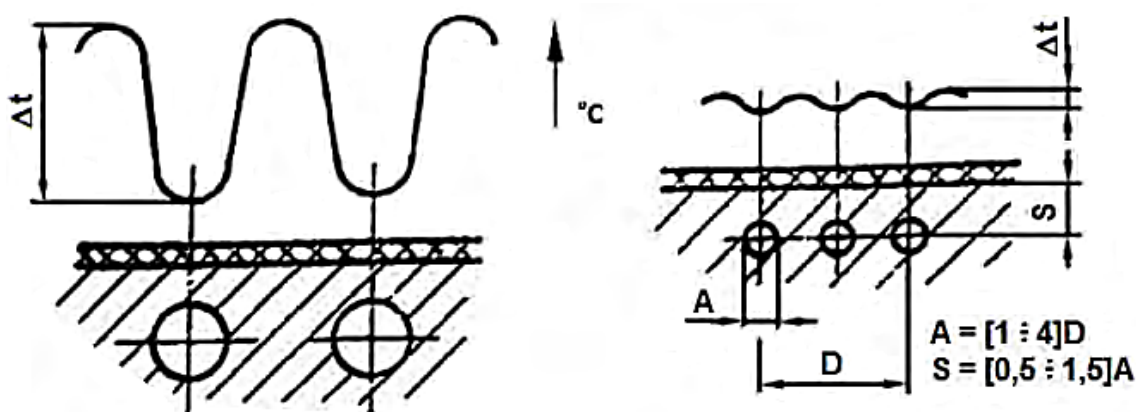
$Q_R$  – teplo odvedené zářením,

$Q_V$  – teplo odvedené do upínacích ploch stroje

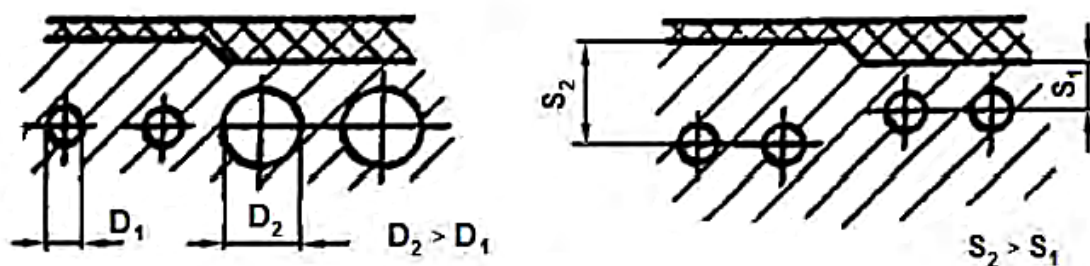
#### 4.5.3 Volba temperačních kanálů

Velikost a rozložení kanálů jsou navrhovány tak, aby vzdáleností mezi nimi a dutinou nezhoršovali tuhost a pevnost stěn dutiny. Teplo přecházející z povrchu dutiny do temperační kapaliny a obráceně využívá plochu povrchu temperačních kanálů. K menší oscilaci teploty vede zvolení kanálů o menších průřezích a roztečích. Z výrobních důvodů je více používán kruhový průřez kanálu a jeho rozměry určuje velikost produktu a rámu formy, typ polymeru. Průřezy kanálů nemá smysl rozšiřovat, protože za snahu nepatrného vylepšení účinnosti výměny tepla zhorší tuhost formy a naroste spotřeba temperační kapaliny. Proudění média se usměrňuje od teplého místa k chladnému. Kanály se konstruují ideálně bez koutů, kde by se usazovaly nečistoty, současně se musí k dílčím větvím připojit hadice. Aby kanály plnily svou funkci je nutné je zachovat bez rzi. Části formy se od sebe

nesmí velmi teplotně lišit, ale je možné zvednout výkon soustavy temperování zvednutím teplotního rozdílu mezi formou a temperačním médiem. Vytvořením turbulentního proudění, aplikací materiálu s větší tepelnou vodivostí nebo i rozdělením temperačního okruhu na více okruhů lze zvětšit součinitel přestupu tepla. Vzhledem ke komplikovanosti navržení těchto vlastností a případné obtížné nebo drahé opravě se uplatňují programy na tepelný průběh ve formách. Kanály u malých tvárnků narušují tuhost a pevnost, proto je temperace zařizována temperačními trubicemi nebo vložkami s dostatečnou tepelnou vodivostí. Účinnost přestupování tepla je založená na teplotním rozdílu média, metodě proudění, kvalitě a rozměru kontaktní plochy kanálu. [16]



Obrázek 27: Vliv rozmístění temperačních kanálů na průběh teploty ve stěně formy při stejné tloušťce výrobku [16]



Obrázek 28: Vliv rozmístění temperačních kanálů na průběh teploty ve stěně formy při rozdílné tloušťce výrobku [16]

## II PRAKTICKÁ ČÁST

## 5 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Pro vykonání bakalářské práce bylo nezbytné splnit následující cíle:

- Vypracovat literární studii pro dané téma
- Provést 3D konstrukci modelu vstřikované součásti
- Navrhnout 3D konstrukci vstřikovací formy pro zadaný díl
- Nakreslit 2D řez vstřikovací formou spolu s kusovníkem

Literární studie bakalářské práce je rozčleněna do čtyř kapitol. Jednotlivé kapitoly se postupně věnují materiálům pro vstřikování a jejich rozdělení, jednotlivým fázím v průběhu vstřikování, dále základním jednotkám vstřikovacího stroje a konstrukci formy.

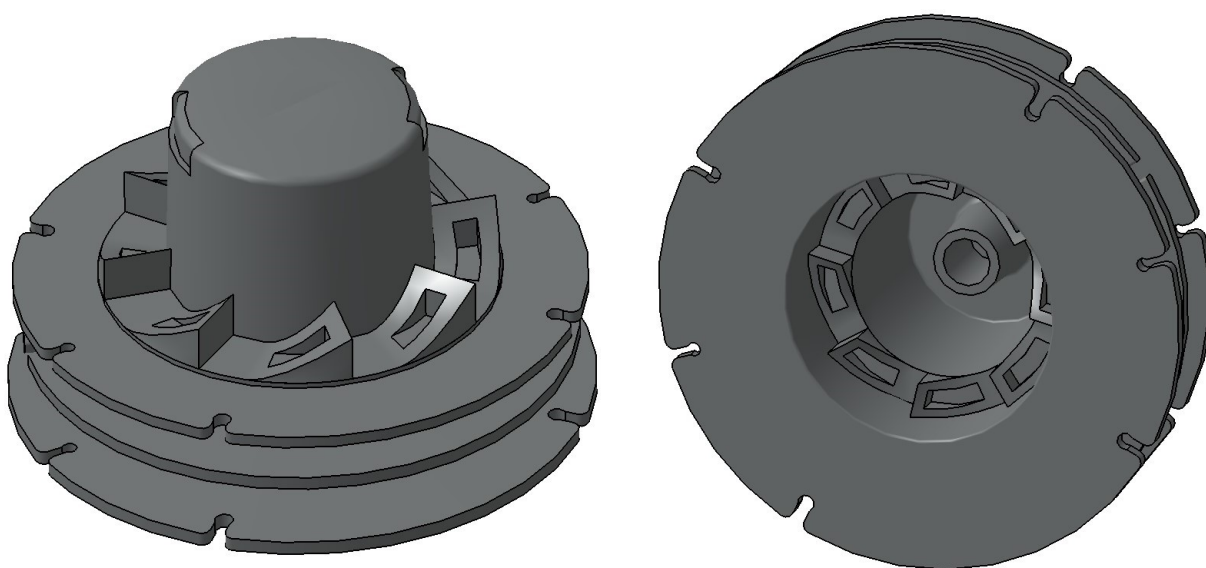
V praktické části bakalářské práce bylo za úkol vytvořit 3D model vybraného a schváleného dílu, dále zhotovit návrh vstřikovací formy. Při návrhu bylo využíváno softwaru CATIA V5R20 a normálí od firmy HASCO. Po zhotovení 3D návrhu formy byla následně udělána výkresová dokumentace sestavy formy s kusovníkem.

## 6 VSTŘIKOVANÝ DÍL

Vstřikovací forma byla navržena pro strunovou cívku křovinořezu, která je určena k navinutí a postupnému uvolňování žací struny. Díl byl zkontrolován a schválen vedoucím bakalářské práce. Cívka má dvě drážky pro namotávání a zářezy různých průměrů pro uchycení konců struny. Dále disponuje kuželovým výstupkem, na který se upevňuje pružina a unášecími zuby k přenosu otáček. Ústí horkého vtoku připadá na pohledovou stranu. Z důvodu velkého opotřebení lze stopu po vtoku dovolit. Hmotnost dílu je 95 gramů, objem 86,3 cm<sup>3</sup>. Výrobek má největší průměr 94 mm a výšku 55 mm.



Obrázek 29: Předloha pro 3D model



Obrázek 30: Model strunové cívky

## 6.1 Volba materiálu

Pro cívku byl vybrán semikrystalický polymer, konkrétně PA6. Zvolený materiál dodá vstřikovanému výrobku pevnost, tvrdost a také dobrou odolnost proti opotřebení, která je však nižší než u PA6G. Dále má materiál dobré kluzné parametry s nízkým součinitelem tření a schopností tlumení. Mezi výhody patří odolnost proti stárnutí a povětrnostním vlivům. Vyrábí se v černé nebo v mléčné bílé barvě. PA6 se aplikuje u mechanicky namáhaných strojních dílů. Uplatnění nachází v automobilovém a elektrotechnickém průmyslu, ve strojírenství a výrobě jednoúčelových strojů. [21; 22]

Tabulka 1: Vybraných materiálových vlastností [23; 24]

| Vlastnost                      | Parametr       | Hodnota | Jednotka          | Norma              |
|--------------------------------|----------------|---------|-------------------|--------------------|
| Hustota                        |                | 1,14    | g/cm <sup>3</sup> |                    |
| Modul pružnosti                | 1 mm/min       | 3300    | MPa               | DIN EN ISO 527-2   |
| Pevnost v tahu                 | 50 mm/min      | 79      | MPa               | DIN EN ISO 527-2   |
| Prodloužení                    | 50 mm/min      | 4       | %                 | DIN EN ISO 527-2   |
| Modul elasticity               | 2 mm/min, 10 N | 2900    | MPa               | DIN EN ISO 178     |
| Pevnost v ohybu                | 2 mm/min, 10 N | 100     | MPa               | DIN EN ISO 178     |
| Zkouška rázem v ohybu (Charpy) | max. 7,5J      | 7       | kJ/m <sup>2</sup> | DIN EN ISO 179-1eU |
| Teplota tání                   |                | 221     | °C                | DIN EN ISO 11357   |
| Provozní teplota               | dlouhodobá     | 100     | °C                |                    |
| Provozní teplota               | krátkodobá     | 160     | °C                |                    |
| Teplotní vodivost              |                | 0,37    | W/m*K             | ISO 22007-4:2008   |

## 7 POUŽITÝ KONSTRUKČNÍ SOFTWARE

Praktická část bakalářské práce byla vytvářena v programech vhodných pro 3D modelování a v modulech umožňující vložení normalizovaných součástí. Konkrétními případy jsou Catia V5R20, Hasco Dako module, Meusburger 3D module.

### 7.1 Catia V5R20

Bakalářská práce byla tvořena softwarem Catia (Computer – Aided Three – dimensional Interactive Application) od francouzské společnosti Dassault Systemes. Program široce využívaný pro počítačově podporované navrhování (CAD), výrobu (CAM), inženýrství (CAE). Největší uplatnění nachází v návrhu a vývoji produktů, především v automobilovém a leteckém průmyslu. Podle konstrukčních nebo inženýrských potřeb lze zvolit z několika modulů. [25]

Během praktické části byl pro tvorbu dílu použitý modul Generative Shape Design a Part Design. Při navrhování formy byl využívaný modul Assembly design pro tvorbu v sestavách a Mold Tooling Design, který slouží k jednodušší konstrukci vstřikovací formy a nabízí normalizované komponenty od známých výrobců, např. Hasco, Meusburger.

## 8 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Podle parametrů formy byl pro vstřikovaný díl vybrán stroj ARBURG ALLROUNDER 520S. Rozměry upínacích desek jsou 496x446 mm a výška formy je 448 mm. Pro výrobu obou kusů výrobků je potřeba 166,6 cm<sup>3</sup> roztaveného materiálu. Při volbě stroje se vycházelo z těchto parametrů.

Tabulka 2: Vlastnosti vstřikovacího stroje [26]

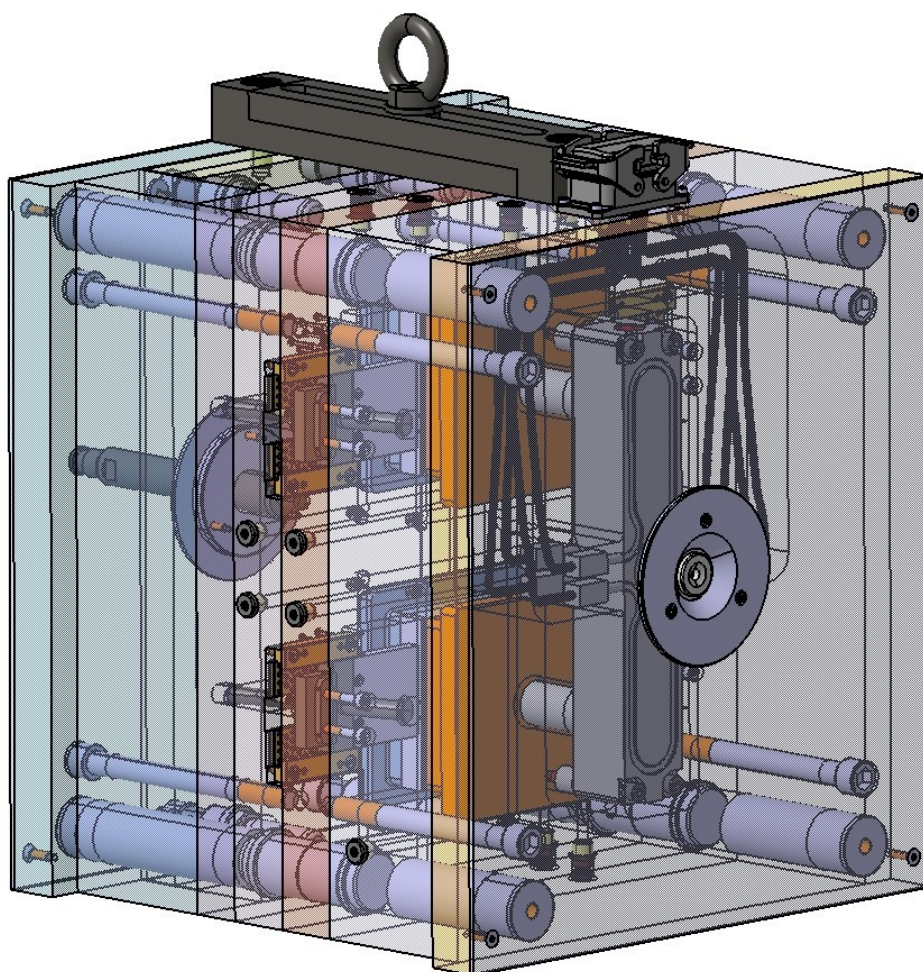
| Uzavírací jednotka                           |         |
|----------------------------------------------|---------|
| Parametr                                     | Hodnota |
| Vzdálenost mezi sloupy [mm]                  | 520x520 |
| Uzavírací síla [kN]                          | 1500    |
| Rozměr upínací desky [mm]                    | 695x695 |
| Maximální vyhazovací síla [kN]               | 50      |
| Minimální výška formy [mm]                   | 250     |
| Dosah vyhazovačů [mm]                        | 175     |
| Vstřikovací jednotka                         |         |
| Vstřikovací jednotka                         | 400     |
| Průměr šneku [mm]                            | 40      |
| Maximální objem materiálu [cm <sup>3</sup> ] | 201     |
| Poměr šneku [L/D]                            | 20      |
| Vstřikovací tlak [bar]                       | 2000    |
| Plastikační výkon [kg/hod]                   | 15      |



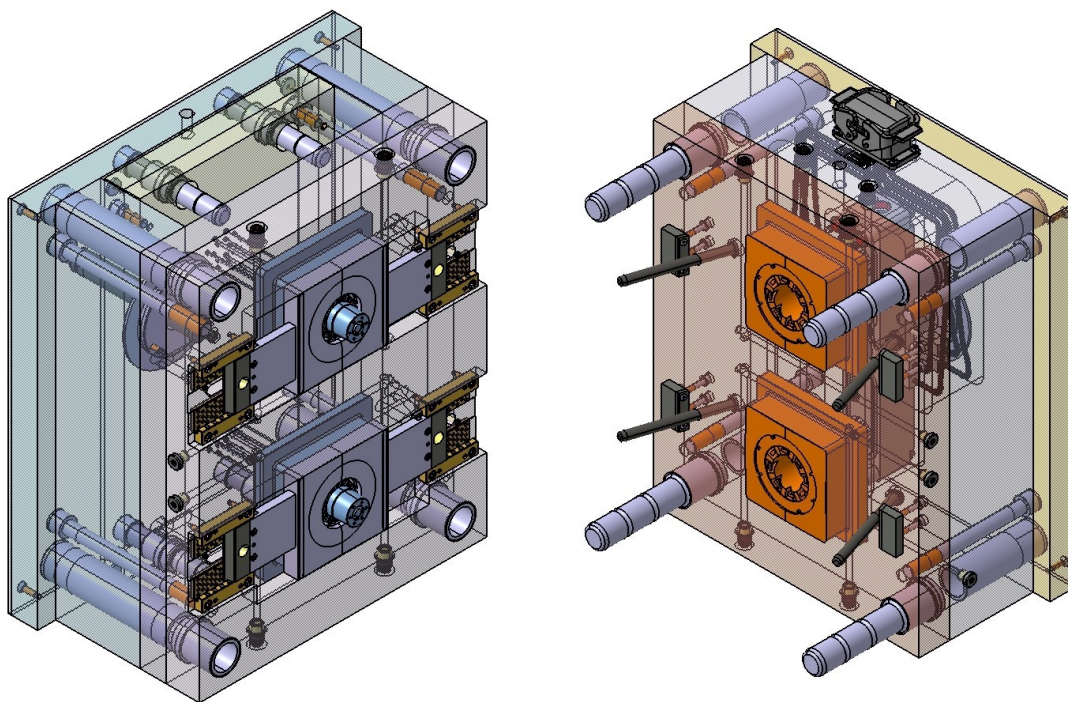
Obrázek 31 Zvolený vstřikovací stroj [27]

## 9 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Při návrhu konstrukce byl brán ohled zejména na jednoduchost, vhodnou velikost desek a správné rozložení pro umístění všech komponent do formy. Vzhledem k usnadnění konstrukce byla většina dílů použita z normálií, jedná se hlavně o spojovací prvky, vtokový systém a části sloužící k bočnímu odformování. Normalizované součásti byly voleny podle rozměrových potřeb a nesou přesně stanovené rozměry. Forma je opatřena z obou stran izolačními deskami, její rozměry jsou 396x496 mm.



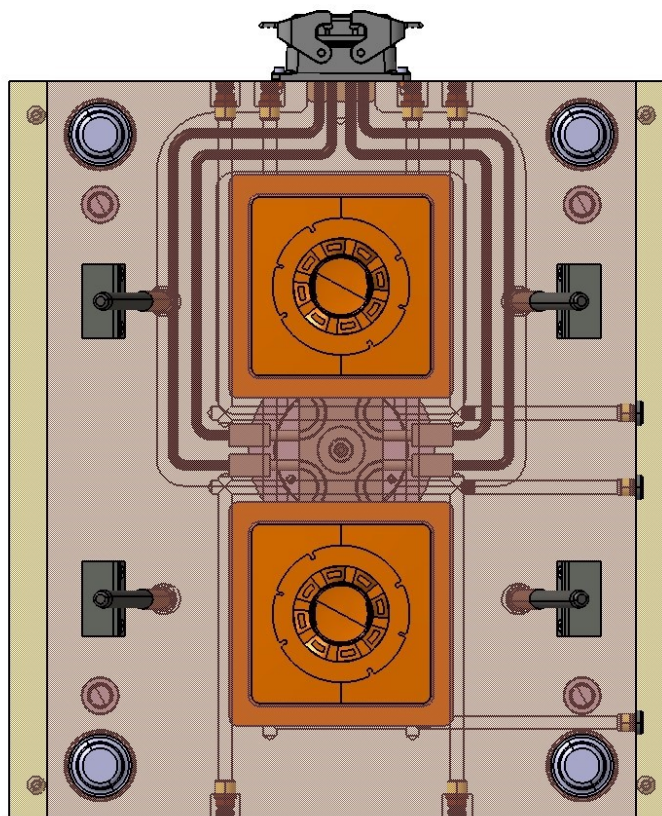
Obrázek 32: Vstřikovací forma



Obrázek 33: Levá a pravá strana formy

## 9.1 Násobnost

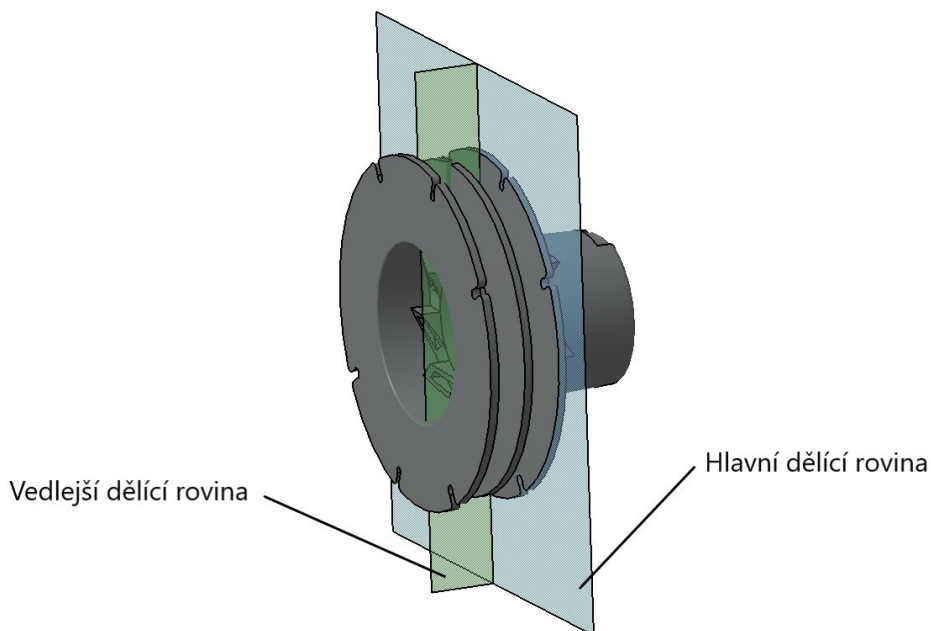
Při volbě násobnosti bylo bráno v úvahu více hledisek, mezi které patřila ekonomika, výběr stroje, dále výsledná přesnost vstříkovaného dílu nebo také samotné rozměry formy. S vedoucím práce byla dohodnuta dvojnásobná forma, kdy na jeden pracovní zdvih se vyrobí dvě strunové cívky. Pokud by forma byla zvolena s větší násobností, tak by se zvětšily její rozměry i nepřesnosti konečného výrobku.



Obrázek 34: Násobnost formy

## 9.2 Dělicí rovina a zaformování

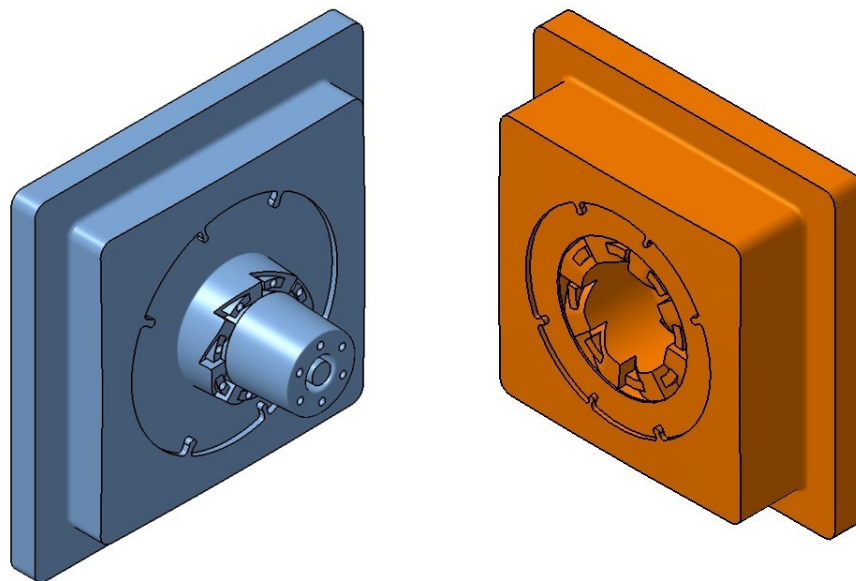
Stanovení hlavních i vedlejších dělicích rovin je složitý, ale velmi důležitý úkon. Musí se dosáhnout co nejsnadnějšího, a hlavně možného odformování výrobku. Správnou volbou rovin lze předejít potížím souvisejících například s deformací dílu. Hlavní dělicí rovina byla umístěna mezi začátkem drážky a spodní plochou unášecích zubů. Kvůli odformování obvodových drážek kolmých na hlavní dělicí rovinu bylo potřeba přidat další dělicí rovinu použitím tvarových čelistí. Do druhé dělicí roviny jsou zahrnuté pouze obvodové drážky bez zahloubení pro uchycení konce struny.



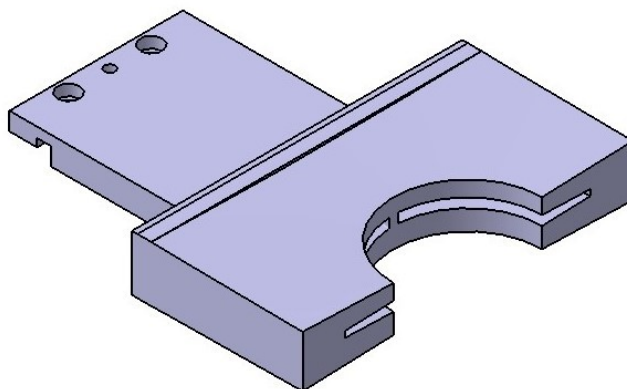
Obrázek 35: Zaznačení dělicích rovin

### 9.3 Tvarové části formy

Tvarové části tvoří negativ dutiny formy. Skládají se z tvárnice, tvárníku a dvěma posuvnými čelistmi vytvářející obvodové drážky. Tvárník a tvárnice jsou vytvořeny jako vložky z nástrojové oceli, které se upravují cementováním a kalením a jsou umístěné do kotevních desek pomocí shodného osazení. Vložky obsahují otvory pro vyhazovače. Mezi výhody použití vložek patří výroba kotevních desek pouze z konstrukční oceli nebo snadnější případné opravy.



Obrázek 36: Tvárník a tvárnice

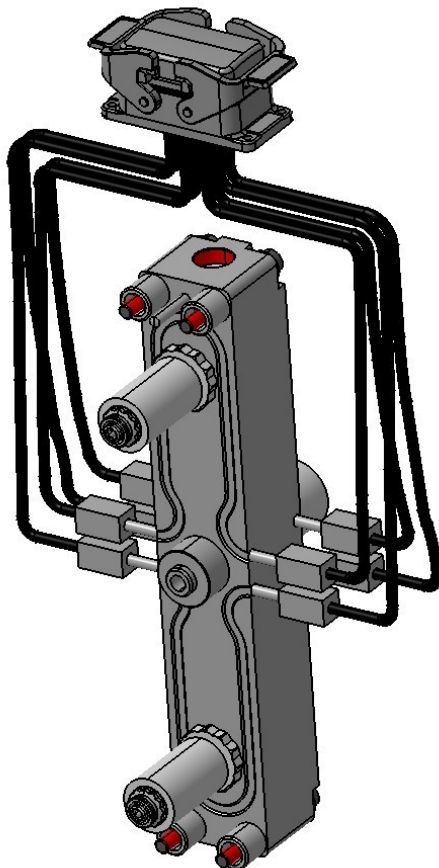


Obrázek 37: Posuvná čelist

## 9.4 Vtokový systém

Úkolem vtokové soustavy, která se nachází v pravé (nepohyblivé) části formy je vyplnění dutiny, které u vícenásobných forem by mělo probíhat shodně a v minimálním časovém úseku. Byl vybrán horký vtokový systém z důvodu umístění trysky na střed výrobku. Pozitivem horkého vtoku je menší spotřeba materiálu bez nutnosti tvorby rozvodných

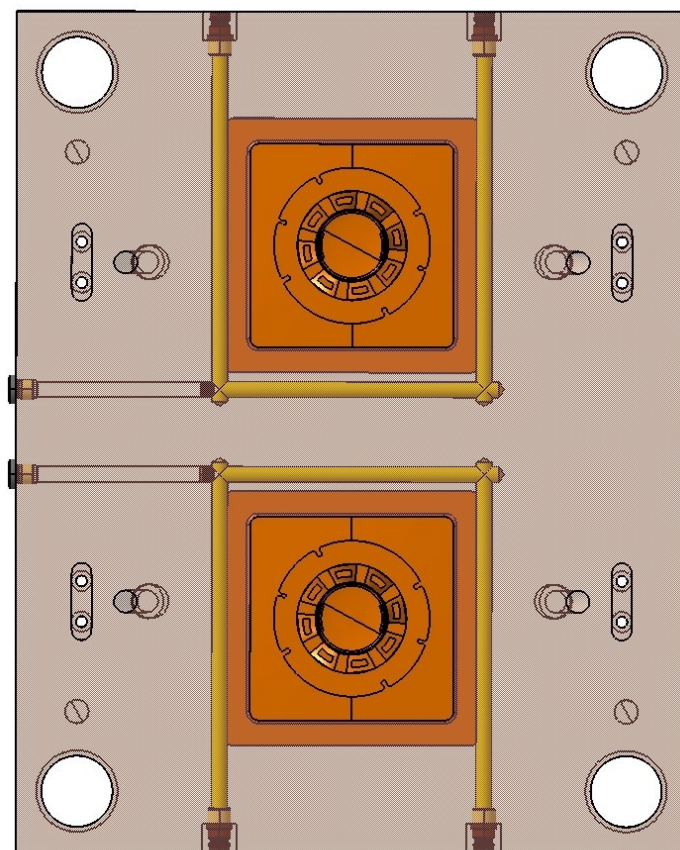
kanálů. Blok horkého vtoku je uchycen do desky a zahrnuje aretační kolík. Z bloku vede kabeláž přímo do zásuvky na horní straně formy.



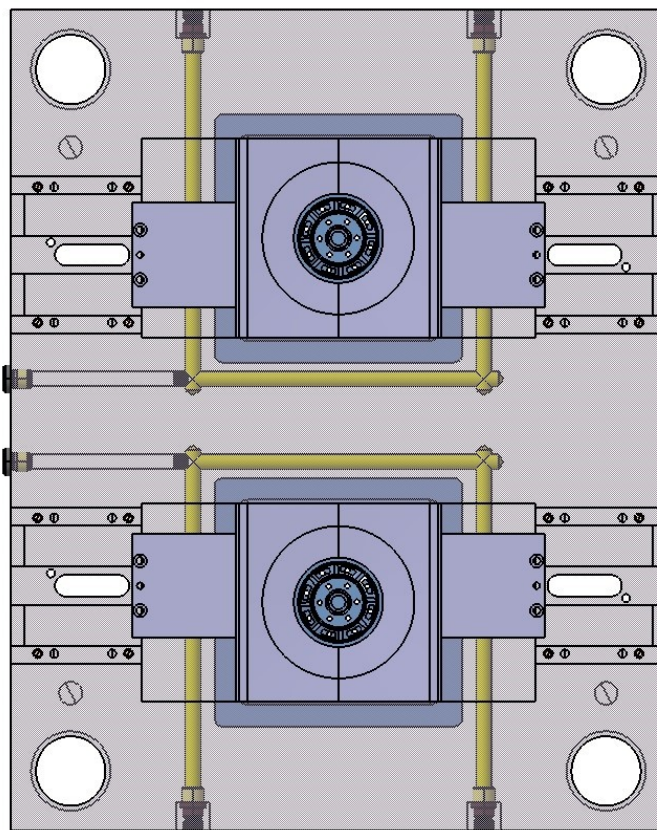
Obrázek 38: Horký blok s kabeláží a zásuvkou

## 9.5 Temperace

Temperace v podobě vrtaných kanálků má za úkol zajistit konstantní teplotu formy a odvádění přebytečného tepla. Do kotevních desek jsou vyvrtány temperační otvory o průměru 9 mm, kterými protéká médium. Jako médium byla zvolena voda, je účinnější, levnější i více ekologická než olej. Každá dutina má vlastní okruh, a to v pravé i levé části formy. Celkem se zde nachází čtyři chladicí okruhy a každý má stejný průměr. Směr proudění vody je určen vnitřními záslenkami. Vnější zásllepky slouží k udržení čistoty v kanálcích. Hadice se k okruhům připojují za pomoci přípojek, které jsou zapuštěny do kotevních desek, aby nedošlo k jejich poškození.



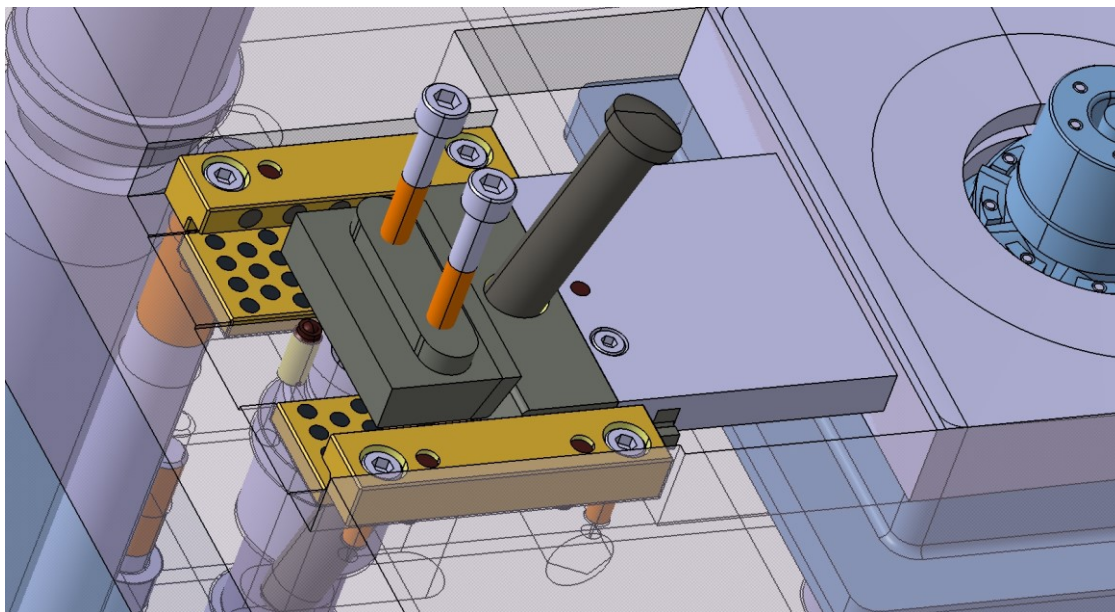
Obrázek 39: Temperace pravé strany s přípojkami a ucpávkami



Obrázek 40: Temperace levé strany s přípojkami a ucpávkami

## 9.6 Boční odformování

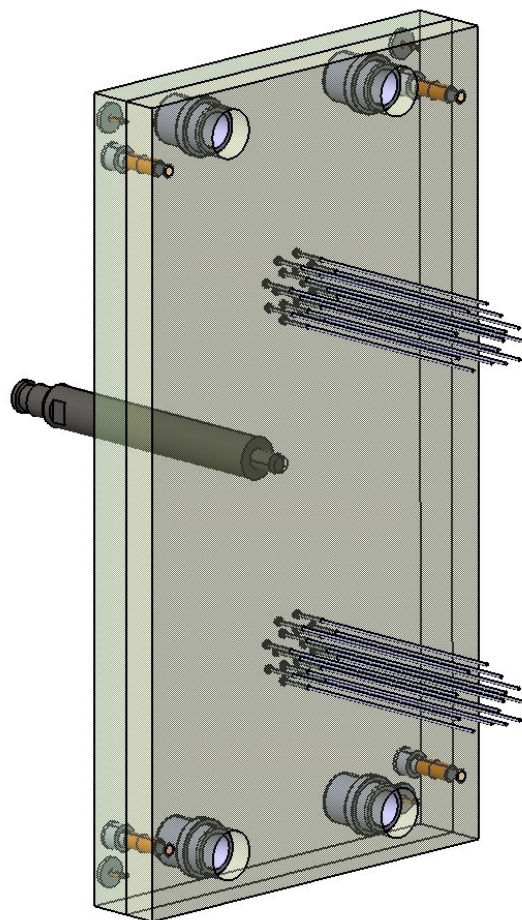
Boční odformování zasahuje mezi vnitřní stěny obvodové drážky sloužící pro namotávání struny. V zavřené poloze formy posuvné čelisti obepnou strunovou cívku a vytvoří drážky společně s vnějším průměrem. Zámky přišroubované v kotevní desce zabezpečí, aby během vstřikování nedošlo k pohybu čelistí. Po vstříknutí od sebe čelisti odjíždí pomocí kolíků, které svírají úhel  $20^\circ$  a jsou upevněné v nepohyblivé části. Zároveň po otevření zabezpečí pohyb čelistí stavěcí šroub s pružinkou a kuličkou, která zaskočí do připraveného důlku. Byla zvolena samomazná plochá vedení a vodící lišty pro snížení tření při pohybu čelistí. Velikost dráhy čelistí musela být navržena tak, aby došlo k dostatečnému odformování. Čelisti jsou s posuvnými díly spojeny šrouby a válcovým kolíkem. Na každý díl připadají dvě soustavy bočního odformování a každá obsahuje jednu posuvnou čelist.



Obrázek 41: Boční odformování

## 9.7 Vyhazovací systém

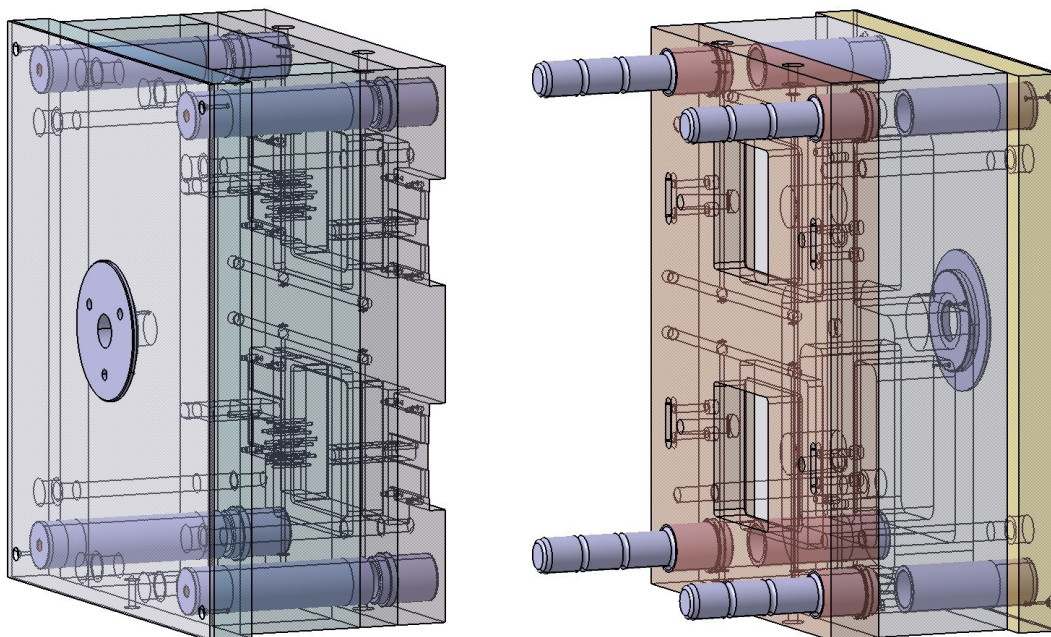
Po ochlazení a otevření formy nastává vyhození výrobku. Táhlo desek je spojeno závitem s opěrnou vyhazovací deskou a pohybuje s oběma vyhazovacími deskami. Opěrná i kotevní vyhazovací deska obsahuje 4 vodící čepy včetně vodících pouzder k vzájemnému vedení. Do opěrné vyhazovací desky jsou zašroubovány 4 dosedací podložky, aby nedocházelo k úplnému styku mezi vyhazovací opěrnou a upínací deskou. Na každé strunové cívce se nachází 14 vyhazovačů o průměru 2 mm upevněných mezi vyhazovacími deskami. Byly použity normalizované válcové vyhazovače zkrácené na potřebnou délku a umístěny na nepohledovou stranu výrobku z důvodu stop zanechaných po vyhazovačích. Viditelné stopy lze tolerovat, protože se jedná o funkční, nikoli o designový výrobek.



Obrázek 42: Vyhazovací systém

## 9.8 Vodící a středící prvky

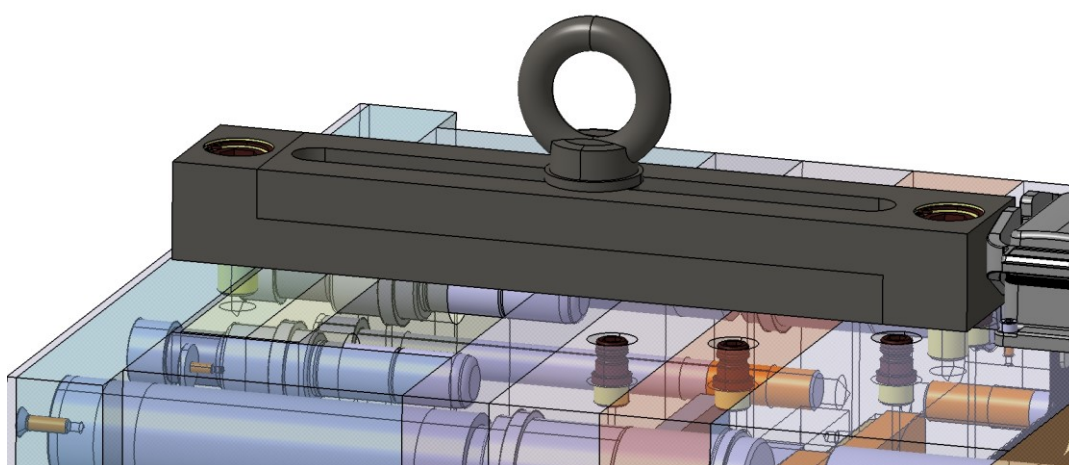
K vedení obou polovin formy vůči sobě slouží 4 vodící čepy umístěny v nepohyblivé části a 4 vodící pouzdra umístěny v levé kotevní desce. K vystředění formy na rámu stroje je určen středící kroužek. K vystředění pravé upínací desky a desky vtoku slouží středící trubka, další trubka středí upínací desku levou s rozpěrnými deskami a opěrnou deskou.



Obrázek 43: Vodící a středící prvky formy

## 9.9 Manipulace s formou

Pro manipulaci je forma opatřena transportním můstkem, který je umístěn na hořejší straně a uchycen do upínací a vtokové desky. Jeho další funkcí je zamezit během transportu otevření formy v dělicí rovině, takže není potřeba užití transportních pojistek. Po upnutí formy na stroj se závěsné oko povolí, takže nedochází k ovlivnění fungování formy.



Obrázek 44: transportní můstek

## ZÁVĚR

Cílem práce bylo navržení vstřikovací formy pro předem stanovený díl. Práce obsahuje teoretickou a praktickou část. Teoretická část pojednává o materiálech a samotném vstřikování, v praktické části se vytvořil model výrobku a vstřikovací forma.

Byla navržena dvojnásobná forma pro výrobu strunové cívky křovinořezu, na kterou byl zvolen materiál PA6 z důvodu jeho vhodných vlastností. Cívka se zaformuje pomocí tvarových částí a důležitá je tvarová čelist posuvná po kolíku, díky které může dojít k odformování výrobku v druhé dělicí rovině. Polymer je dopravován za pomoci horkého vtoku i z důvodu výhodnějšího a snadnějšího umístění než v případě studeného systému. K vyhození výrobku slouží válcové vyhazovače zkrácené na dvě odlišné délky. Chlazení formy zajišťuje voda proudící vrtanými kanály, které vytváří temperační okruhy.

Vzhledem na rozměry formy a objem výrobku došlo ke zvolení vstřikovacího stroje a to od firmy ARBURG, konkrétně se jedná o model ALLROUNDER 520 S.

Forma byla v programu CATIA vytvořena využitím normálí a v modulech určených k tomuhle účelu. Po zhotovení byla ve stejném programu vytvořena dokumentace s příčnými řezy formy, kusovníkem a 3D pohledem následována výkresem výrobku. Veškeré dokumentace se nachází v příloze.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery*. Verze knihy: 15. [Online]: [Code Creator], 2015. ISBN 978-80-88058-66-3. Dostupné také z: <https://etul.publi.cz/?book=180-polymery>.
- [2] *Elastomer*. Online. Dostupné z: <https://www.gumex.cz/slovník-pojmu/elastomer-8#toSection>. [cit. 2024-12-03].
- [3] GENT, Alan N. Elastomer - chemical compound. Online. *Britannica*. 2019. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/elastomer>. [cit. 2024-12-04].
- [4] *Co to są elastomery – właściwości i zastosowanie elastomerów*. Online. Ebmia. 2021. Dostupné z: <https://www.ebmia.pl/wiedza/porady/obrobka-porady/co-to-sa-elastomery-wlasciwosci-i-zastosowanie-elastomerow/>. [cit. 2024-12-04].
- [5] LENFELD, Petr. *Technologie vstřikování*. Verze knihy: 18. [Online]: [Code Creator], 2015. ISBN 978-80-88058-72-4. Dostupné také z: <https://etul.publi.cz/?book=184-technologie-vstrikovani>.
- [6] *Přípravné zpracování plastů*. Online. Technická univerzita Liberec. Dostupné z: [https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/03.htm#033](https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/03.htm#033). [cit. 2024-12-04].
- [7] SOVA, Miloš. *Charakteristika, příprava a aplikace polymerních směsí*. Online. Techportal. 2015. Dostupné z: [https://www.techportal.cz/33/charakteristika-priprava-a-aplikace-polymernich-smesi-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EqQUkSFod1GxI8Y\\_fHzqems/](https://www.techportal.cz/33/charakteristika-priprava-a-aplikace-polymernich-smesi-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EqQUkSFod1GxI8Y_fHzqems/). [cit. 2024-12-04].
- [8] LERMA VALERO, José R. *Plastics injection molding: scientific molding, recommendations, and best practises*. Munich: Hanser Publications, 2020. ISBN 978-1-56990-689-7.
- [9] *Vstřikování plastů*. Online. Dostupné z: <https://www.oneindustry.cz/lexikon/vstrikovani-plastu/>. [cit. 2024-12-04].
- [10] *Plasticmold*. Online. C2024. Dostupné z: <https://www.plasticmold.net/injection-moulding/>. [cit. 2025-04-02].
- [11] BOBČÍK, Ladislav. a kol. *Formy pro zpracování plastů. I. díl*. 2. vydání. Brno : Uniplast Brno, 1999.
- [12] *Vstřikování plastů*. Online. Technická univerzita Liberec. Dostupné z: [https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/04.htm](https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm). [cit. 2024-12-04].
- [13] *Vstřikolisy*. Online. Dostupné z: <https://fokusindustry.cz/Vst%C5%99ikov%C3%A1n%C3%AD+plast%C5%AF/vst%C5%99ikolisy>. [cit. 2024-12-04].
- [14] SEIDL, Martin. *Stroje pro zpracování polymerních materiálů*. Verze knihy: 17. [Online]: [Code Creator], 2015. ISBN 978-80-88058-69-4. Dostupné také z: <https://etul.publi.cz/?book=181-stroje-pro-zpracovani-polymernich-materialu>.
- [15] KAZMER, David. *Injection mold design engineering*. Munich: Hanser Publishers, c2007. ISBN 978-3-446-41266-8.
- [16] *Vstřikovací formy*. Online. Ústav strojírenské technologie. Dostupné z: [https://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/cviceni/htn\\_tvareci\\_nastroje\\_vstrikovaci\\_formy\\_zak.pdf](https://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/cviceni/htn_tvareci_nastroje_vstrikovaci_formy_zak.pdf). [cit. 2024-12-04].

- [17] BOBEK, Jiří. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů*. Verze knihy: 12. [Online]: [Code Creator], 2015. ISBN 978-80-88058-63-2. Dostupné také z: <https://etul.publi.cz/book/179-vstrikovaci-formy-pro-zpracovani-termoplastu>.
- [18] SVOBODA, Jan. *Automatické oddělování studeného kanálu*. Online. Technický deník. 2019. Dostupné z: [https://www.technickydenik.cz/rubriky/plasty/automaticke-oddelovani-studeneho-kanalu\\_48345.html](https://www.technickydenik.cz/rubriky/plasty/automaticke-oddelovani-studeneho-kanalu_48345.html). [cit. 2025-01-28].
- [19] UNGER, Peter. *Hot Runner Technology*. Online. Hanser Publishers, 2006. ISBN 978-1-56990-395-7. Dostupné z: [https://app.knovel.com/kn/resources/kpHRT00007/toc?b-q=hot%20runner%20technology&include\\_synonyms=no&q=hot%20runner%20technology&sort\\_on=default](https://app.knovel.com/kn/resources/kpHRT00007/toc?b-q=hot%20runner%20technology&include_synonyms=no&q=hot%20runner%20technology&sort_on=default). [cit. 2025-04-03].
- [20] *Auswerfer*. Online. In: Meusburger. Dostupné z: [https://ecom.meusburger.com/e\\_menu/index.asp?set\\_gruppe=7](https://ecom.meusburger.com/e_menu/index.asp?set_gruppe=7). [cit. 2025-01-28].
- [21] *PA6 - extrudovaný polyamid*. Online. C2014-2025. Dostupné z: <https://www.techplasty.cz/material/polyamid/pa6-extrudovany-polyamid>. [cit. 2025-04-10].
- [22] *Polyamid (silon) PA6*. Online. C2025. Dostupné z: [https://www.multiplast.cz/eshop/polyamid-silon-64?srsId=AfmBOoq8V\\_9jVnd0rDr8hwKIebS6PELL4I8h9KN6dKZknBrVL1Kq1DzV](https://www.multiplast.cz/eshop/polyamid-silon-64?srsId=AfmBOoq8V_9jVnd0rDr8hwKIebS6PELL4I8h9KN6dKZknBrVL1Kq1DzV). [cit. 2025-04-10].
- [23] *Polyamid PA6 Silon*. Online. C2019. Dostupné z: <https://www.plastics.cz/prehled-plastu/polyamid-pa6-silon>. [cit. 2025-04-10].
- [24] *TECAMID 6 natural*. Online. C2025. Dostupné z: <https://www.ensingerplastics.com/en/shapes/pa6-tecamid-6-natural>. [cit. 2025-04-10].
- [25] *Catia V5*. Online. C2002-2025. Dostupné z: <https://www.3ds.com/products/catia/catia-v5>. [cit. 2025-04-10].
- [26] *Arburg*. Online. C2025. Dostupné z: <https://www.arburg.com/en/>. [cit. 2025-04-10].
- [27] *Vstřikování plastů*. Online. C2022. Dostupné z: <https://www.eurotecs.cz/vstrikovani-plastu/>. [cit. 2025-04-10].

## SEZNAM OBRÁZKŮ

|                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Obrázek 1: Rozdělení polymerů [vlastní] .....                                                                             | 13 |
| Obrázek 2: Struktura amorfního termoplastu [1].....                                                                       | 14 |
| Obrázek 3: Struktura semikrystalického termoplastu [1] .....                                                              | 15 |
| Obrázek 4: Pásová granulace [5] .....                                                                                     | 17 |
| Obrázek 5: Granulace za studena [5] .....                                                                                 | 18 |
| Obrázek 6: Granulace za tepla [5] .....                                                                                   | 18 |
| Obrázek 7: Vstřikovací cyklus [11] .....                                                                                  | 20 |
| Obrázek 8: Schéma vstřikovacího stroje [12].....                                                                          | 23 |
| Obrázek 9: Schéma vstřikovací jednotky [14].....                                                                          | 24 |
| Obrázek 10: Hydraulická uzavírací jednotka [14].....                                                                      | 25 |
| Obrázek 11: Části vtokového systému [16] .....                                                                            | 28 |
| Obrázek 12: Plný kuželový vtok [16] .....                                                                                 | 28 |
| Obrázek 13: Bodový vtok [16] .....                                                                                        | 29 |
| Obrázek 14: Tunelový vtok [18].....                                                                                       | 29 |
| Obrázek 15: Boční vtok [16] .....                                                                                         | 30 |
| Obrázek 16: Banánový vtok [17].....                                                                                       | 30 |
| Obrázek 17: Deštníkový vtok [17].....                                                                                     | 31 |
| Obrázek 18: Talířový vtok [17] .....                                                                                      | 31 |
| Obrázek 19: Základní provedení vyhřívaného horkého vtoku [17].....                                                        | 33 |
| Obrázek 20: Válcový vyhazovač [20] .....                                                                                  | 34 |
| Obrázek 21: Prizmatický vyhazovač [20].....                                                                               | 34 |
| Obrázek 22: Válcový vyhazovač s.....                                                                                      | 34 |
| Obrázek 23: Trubkový vyhazovač [20] .....                                                                                 | 34 |
| Obrázek 24: Princip stírací desky [17] .....                                                                              | 35 |
| Obrázek 25: Konstrukce odvzdušňovacího kanálu [17] .....                                                                  | 37 |
| Obrázek 26: Tepelná bilance formy [16].....                                                                               | 39 |
| Obrázek 27: Vliv rozmístění temperačních kanálů na průběh teploty ve stěně formy při stejné tloušťce výrobku [16] .....   | 40 |
| Obrázek 28: Vliv rozmístění temperačních kanálů na průběh teploty ve stěně formy při rozdílné tloušťce výrobku [16] ..... | 40 |
| Obrázek 29: Předloha pro 3D model .....                                                                                   | 43 |
| Obrázek 30: Model strunové cívky.....                                                                                     | 43 |
| Obrázek 31 Zvolený vstřikovací stroj [27] .....                                                                           | 46 |
| Obrázek 32: Vstřikovací forma.....                                                                                        | 47 |

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| Obrázek 33: Levá a pravá strana formy .....                       | 48 |
| Obrázek 34: Násobnost formy .....                                 | 49 |
| Obrázek 35: Zaznačení dělicích rovin .....                        | 50 |
| Obrázek 36: Tvárník a tvárnice.....                               | 51 |
| Obrázek 37: Posuvná čelist.....                                   | 51 |
| Obrázek 38: Horký blok s kabeláží a zásuvkou.....                 | 52 |
| Obrázek 39: Temperace pravé strany s přípojkami a ucpávkami ..... | 53 |
| Obrázek 40: Temperace levé strany s přípojkami a ucpávkami .....  | 54 |
| Obrázek 41: Boční odformování.....                                | 55 |
| Obrázek 42: Vyhazovací systém.....                                | 56 |
| Obrázek 43: Vodící a středící prvky formy .....                   | 57 |
| Obrázek 44: transportní můstek .....                              | 57 |

**SEZNAM TABULEK**

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| Tabulka 1 Vybraných materiálových vlastností [19; 20]..... | 44 |
| Tabulka 2 Vlastnosti vstřikovacího stroje [22].....        | 46 |

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

|                   |                             |
|-------------------|-----------------------------|
| Apod.             | A podobně                   |
| např.             | například                   |
| atd.              | a tak dále                  |
| PE                | polyethylen                 |
| PA                | polyamid                    |
| PVC               | polyvinylchlorid            |
| mm                | milimetr                    |
| 2D                | dvourozměrný                |
| 3D                | trojrozměrný                |
| g/cm <sup>3</sup> | gram na centimetr krychlový |
| mm/min            | milimetr za minutu          |
| N                 | Newton                      |
| MPa               | megapascal                  |
| J                 | Joule                       |
| °C                | stupeň Celsia               |
| kJ/m <sup>2</sup> | kilojoule na metr čtvereční |
| kN                | kiloNewton                  |
| °                 | stupeň                      |
| %                 | procento                    |
| W/m*K             | watt na metr kelvin         |
| kg/hod            | kilogram za hodinu          |

## SEZNAM PŘÍLOH

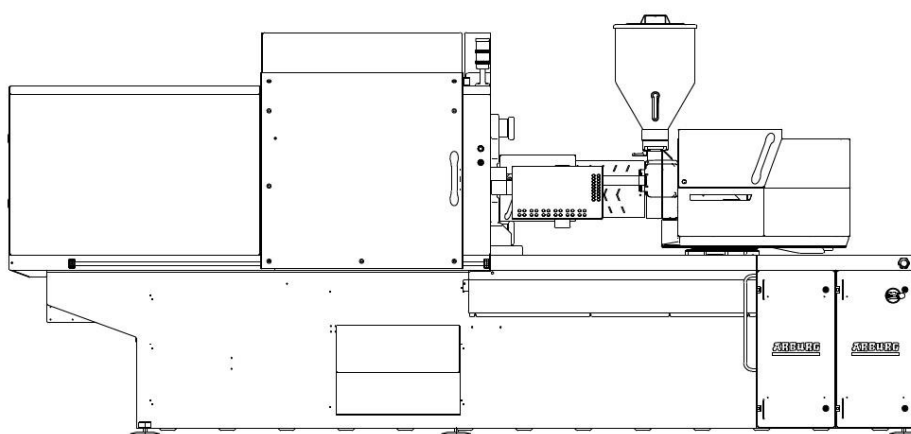
Příloha P I: Výkresová dokumentace

Příloha P II: Technický list vstřikovacího stroje

Příloha P III: CD disk obsahující:

- Text práce
- 3D model formy
- 3D model výrobku
- Výkresovou dokumentaci

## PŘÍLOHA P II: TECHNICKÝ LIST VSTŘIKOVACÍHO STROJE

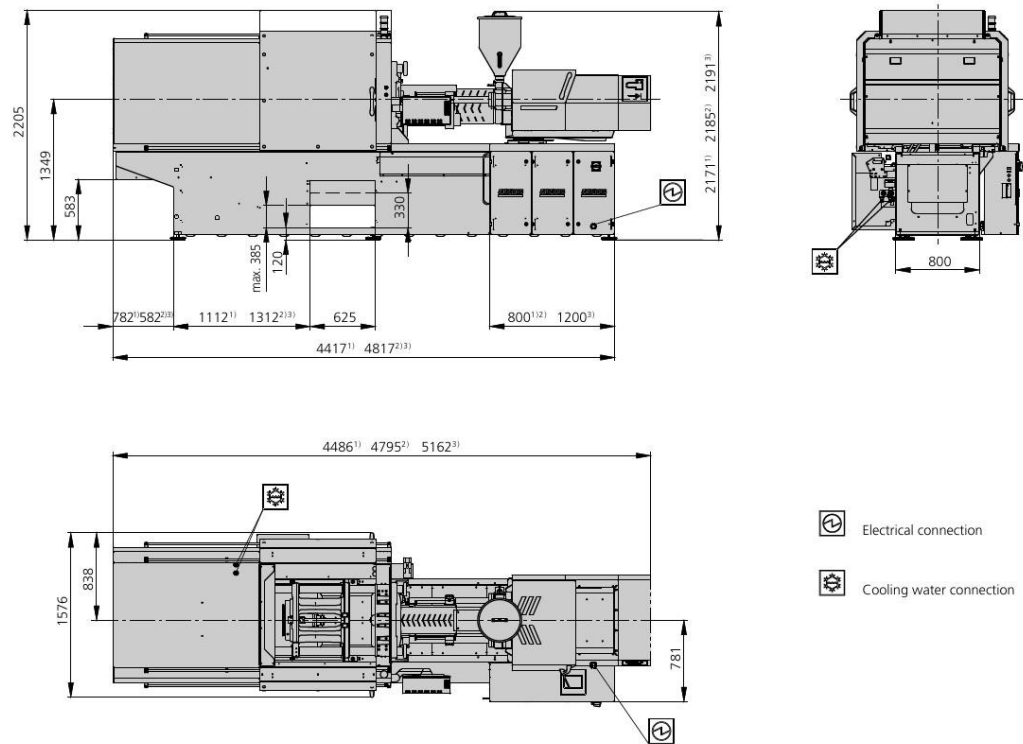


### ALLROUNDER 520 S

Distance between tie bars: 520 x 520 mm  
Clamping force: 1300, 1500, 1600 kN  
Injection unit (acc. to EUROMAP): 290, 400, 800

**ARBURG**

## MACHINE DIMENSIONS | 520 S



- 1) injection unit 290
- 2) injection unit 400
- 3) injection unit 800

## TECHNICAL DATA | 520 S

| Clamping unit                       |              |             | 520 S     |      |      |
|-------------------------------------|--------------|-------------|-----------|------|------|
| with clamping force                 | max. kN      |             | 1300      | 1500 | 1600 |
| Opening force   stroke              | max. kN   mm |             | 365   575 |      |      |
| Mould height, fixed   variable      | min. mm      |             | 250   --- |      |      |
| Platen daylight fixed   variable    | max. mm      |             | 825   --- |      |      |
| Distance between tie bars (w x h)   | mm           |             | 520 x 520 |      |      |
| Mould mounting platens (w x h)      | max. mm      |             | 695 x 695 |      |      |
| Weight of movable mould half        | max. kg      |             | 1050      |      |      |
| Ejector force   stroke              | max. kN   mm |             | 50   175  |      |      |
| Dry cycle time EUROMAP <sup>2</sup> | 1 pump       | min. s - mm | 2,5 - 364 |      |      |
|                                     | 2 pumps      | min. s - mm | 1,9 - 364 |      |      |
|                                     | Accum.       | min. s - mm | 1,7 - 364 |      |      |

| Injection unit                           |                      |                         | 290      |      |      | 400       |           |           | 800      |      |      |
|------------------------------------------|----------------------|-------------------------|----------|------|------|-----------|-----------|-----------|----------|------|------|
| with screw diameter                      | mm                   |                         | 30       | 35   | 40   | 35        | 40        | 45        | 45       | 50   | 55   |
| Effective screw length                   | L/D                  |                         | 23,3     | 20   | 17,5 | 23        | 20        | 18        | 22       | 20   | 18   |
| Screw stroke                             | max. mm              |                         | 150      |      |      | 160       |           |           | 200      |      |      |
| Calculated stroke volume                 | max. cm <sup>3</sup> |                         | 106      | 144  | 188  | 154       | 201       | 254       | 318      | 392  | 474  |
| Shot weight                              | max. g PS            |                         | 97       | 132  | 172  | 141       | 184       | 232       | 291      | 359  | 434  |
| Material throughput                      | max. kg/h PS         |                         | 17       | 20,5 | 24,5 | 25        | 29        | 35        | 46       | 53   | 59   |
|                                          | max. kg/h PA6.6      |                         | 8,5      | 10,5 | 12,5 | 12,5      | 15        | 17,5      | 23       | 27   | 30   |
| Injection pressure                       | max. bar             |                         | 2500     | 2000 | 1530 | 2500      | 2000      | 1580      | 2470     | 2000 | 1650 |
| Holding pressure                         | max. bar             |                         | 2500     | 2000 | 1530 | 2500      | 2000      | 1580      | 2470     | 2000 | 1650 |
| Injection flow <sup>2</sup>              | 1 pump               | max. cm <sup>3</sup> /s | 130      | 178  | 232  | 128       | 168       | 212       | 174      | 214  | 260  |
|                                          | 2 pumps              | max. cm <sup>3</sup> /s | 130      | 178  | 232  | 128   160 | 168   210 | 212   266 | 174      | 214  | 260  |
|                                          | Accum.               | max. cm <sup>3</sup> /s | 316      | 430  | 562  | 492       | 642       | 814       | 530      | 656  | 792  |
| Screw circumferential speed <sup>2</sup> | 1 pump               | max. m/min              | 51       | 60   | 69   | 47        | 53        | 60        | 54       | 60   | 66   |
|                                          | 2 pumps              | max. m/min              | 51       | 60   | 69   | 47   53   | 53   60   | 60   68   | 54       | 60   | 66   |
|                                          | Accum.               | max. m/min              | 20       | 24   | 27   | 16        | 18        | 21        | 15       | 17   | 19   |
| Screw torque                             | max. Nm              |                         | 320      | 380  | 430  | 480       | 550       | 610       | 880      |      |      |
| Nozzle contact force   retraction stroke | max. kN   mm         |                         | 60   240 |      |      | 60   300  |           |           | 70   300 |      |      |
| Heating capacity   zones                 | kW                   |                         | 7,7   5  |      |      | 9,7   5   |           |           | 19,9   8 |      |      |
| Feed hopper                              | l                    |                         | 50       |      |      | 50        |           |           | 50       |      |      |

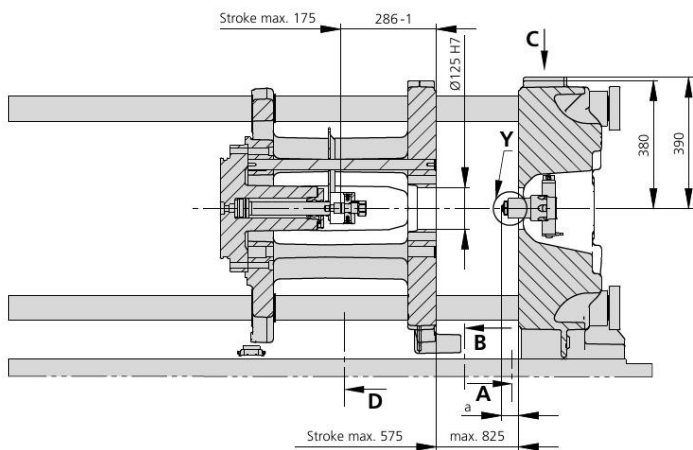
| Drive and connection                         |             |    | 1 pump      |      |      | 2 pumps     |      |      | Accum.      |     |     |
|----------------------------------------------|-------------|----|-------------|------|------|-------------|------|------|-------------|-----|-----|
| with injection unit                          |             |    | 290         | 400  | 800  | 290         | 400  | 800  | 290         | 400 | 800 |
| Net weight of machine                        | kg          |    | 5600        | 5900 | 6350 | 5600        | 5900 | 6350 | ---         |     |     |
| Sound press. level   Insecurity <sup>4</sup> | dB(A)       |    | 70   3      |      |      | 70   3      |      |      | 70   3      |     |     |
| Oil filling                                  | l           |    | 180         | 180  | 240  | 180         | 180  | 240  | 180         | 240 | 300 |
| Drive power <sup>2</sup>                     | max. kW     |    | 22          | 22   | 30   | 30          |      |      | 22          | 22  | 30  |
| Electrical connection <sup>3</sup>           |             | kW | 31          | 34   | 52   | 39          | 42   | 52   | 31          | 33  | 52  |
|                                              | Total       | A  | 80          | 80   | 100  | 100         | 100  | 125  | 80          | 80  | 125 |
|                                              | Machine     | A  | 63          | 63   | 80   | 80          | 80   | 80   | 63          | 63  | 80  |
|                                              | Heating     | A  | 16          | 20   | 35   | 16          | 20   | 35   | 16          | 20  | 35  |
| Cooling water connection                     | max. °C     |    | 30          |      |      | 30          |      |      | 30          |     |     |
|                                              | min. Δp bar |    | 1,5   DN 25 |      |      | 1,5   DN 25 |      |      | 1,5   DN 25 |     |     |

| Machine type                               |                |
|--------------------------------------------|----------------|
| with EUROMAP size designation <sup>1</sup> | Drive          |
| 520 S 1300-290   400                       | 1   2   -      |
| 520 S 1500-290   400   800                 | 1   2   -      |
| 520 S 1600-290   400   800                 | -   2   Accum. |

**Upon request: other machine types and mould installation heights, screws, drive powers etc.**  
All specifications relate to the basic machine version. Deviations are possible depending on variants, process settings and material type. Depending on the drive, certain combinations, e.g. max. injection pressure and max. injection flow may be mutually exclusive.

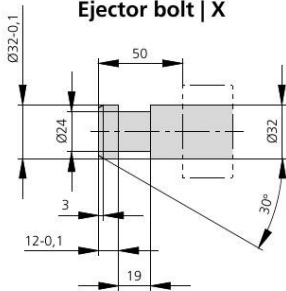
1) Clamping force (kN) - size of injection unit = max. stroke volume (cm<sup>3</sup>) x max. injection pressure (kbar).  
2) Specifications depend on the drive config. - 1st value applies to the lowest clamping force.  
3) Specifications relate to 400 V/50 Hz.  
4) Detailed info in the operating instr.  
[] Specifications apply to alternative equipment.

MOULD INSTALLATION DIMENSIONS | 520 S

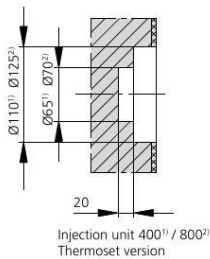
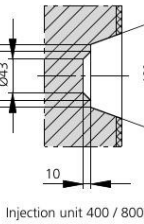
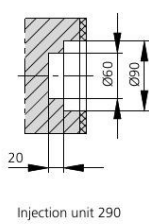


| a max.    | Injection unit |           |
|-----------|----------------|-----------|
|           | 290            | 400 / 800 |
| Standard  | 40             | 50        |
| Thermoset | 20             | 50        |

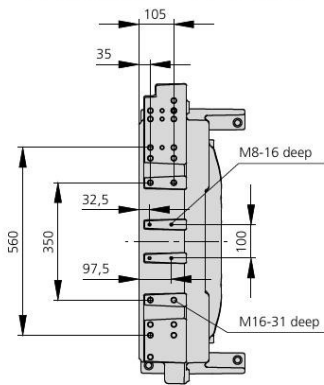
Ejector bolt | X



Bore in mould (if required) | Y

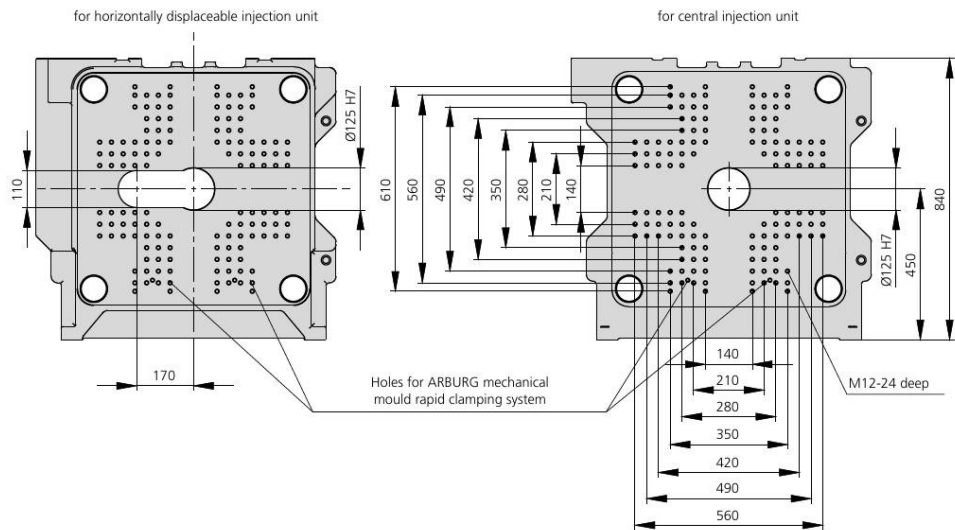


Robotic system mounting | C

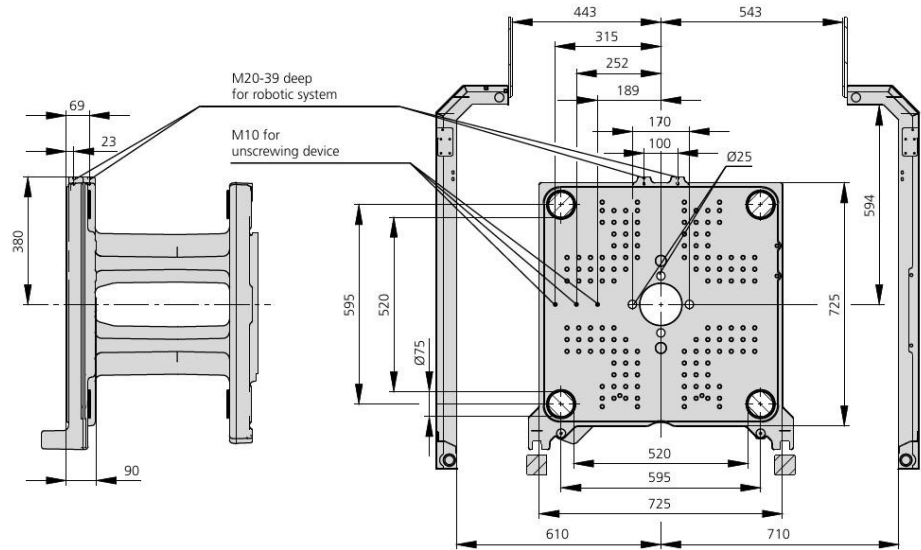


# MOULD INSTALLATION DIMENSIONS | 520 S

## Fixed mould mounting platen | A



## Moving mould mounting platen | B



# SHOT WEIGHTS | 520 S

## Theoretical shot weights for the most important injection moulding materials

| Injection units according to EUROMAP |                                      | 290 |     |     | 400 |     |     | 800 |     |     |
|--------------------------------------|--------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Screw diameter                       | mm                                   | 30  | 35  | 40  | 35  | 40  | 45  | 45  | 50  | 55  |
| Polystyrene                          | max. g PS                            | 97  | 132 | 172 | 141 | 184 | 232 | 291 | 359 | 434 |
| Styrene heteropolymerizates          | max. g SB                            | 95  | 129 | 168 | 137 | 179 | 227 | 284 | 350 | 424 |
|                                      | max. g SAN, ABS <sup>1)</sup>        | 93  | 126 | 165 | 135 | 176 | 223 | 278 | 344 | 416 |
| Cellulose acetate                    | max. g CA <sup>1)</sup>              | 109 | 148 | 194 | 158 | 207 | 262 | 327 | 404 | 488 |
| Celluloseacetobutyrate               | max. g CAB <sup>1)</sup>             | 101 | 138 | 180 | 147 | 192 | 243 | 304 | 375 | 454 |
| Polymethyl methacrylate              | max. g PMMA                          | 100 | 136 | 178 | 145 | 190 | 240 | 300 | 371 | 449 |
| Polyphenylene ether, mod.            | max. g PPE                           | 90  | 122 | 160 | 131 | 171 | 216 | 270 | 333 | 403 |
| Polycarbonate                        | max. g PC                            | 102 | 139 | 181 | 148 | 193 | 244 | 305 | 377 | 456 |
| Polysulphone                         | max. g PSU                           | 105 | 143 | 187 | 153 | 199 | 252 | 316 | 390 | 471 |
| Polyamides                           | max. g PA 6.6   PA 6 <sup>1)</sup>   | 96  | 131 | 171 | 140 | 183 | 231 | 289 | 357 | 431 |
|                                      | max. g PA 6.10   PA 11 <sup>1)</sup> | 90  | 122 | 160 | 131 | 171 | 216 | 270 | 333 | 403 |
| Polyoximethylene (Polyacetal)        | max. g POM                           | 120 | 163 | 213 | 174 | 227 | 287 | 359 | 443 | 536 |
| Polyethylene terephthalate           | max. g PET                           | 115 | 157 | 205 | 167 | 219 | 277 | 346 | 427 | 517 |
| Polyethylene                         | max. g PE-LD                         | 73  | 100 | 130 | 106 | 139 | 176 | 219 | 271 | 328 |
|                                      | max. g PE-HD                         | 76  | 103 | 134 | 110 | 143 | 181 | 227 | 280 | 339 |
| Polypropylene                        | max. g PP                            | 77  | 105 | 137 | 112 | 146 | 185 | 232 | 286 | 346 |
| Fluoropolymerides                    | max. g FEP, PFA, PCTFE <sup>1)</sup> | 155 | 211 | 276 | 225 | 294 | 372 | 465 | 574 | 695 |
|                                      | max. g ETFE                          | 136 | 185 | 242 | 196 | 256 | 324 | 408 | 504 | 609 |
| Polyvinyl chloride                   | max. g PVC-U                         | 117 | 159 | 208 | 170 | 222 | 281 | 351 | 434 | 525 |
|                                      | max. g PVC-P <sup>1)</sup>           | 108 | 147 | 192 | 157 | 205 | 260 | 324 | 401 | 485 |

1) average value

**ARBURG GmbH + Co KG**  
Arthur-Hehl-Strasse  
72290 Lossburg  
Tel.: +49 7446 33-0  
www.arburg.com  
contact@arburg.com

© 2024 ARBURG GmbH + Co KG | All data and technical information have been compiled with great care. However we accept no responsibility for correctness. Individual illustrations and information may deviate from the actual delivery condition of the machine. The relevant valid operating instructions are applicable for the installation and operation of the machine.