

# Návrh konstrukce vstřikovací formy pro součást routeru

Lukáš Lepcio

---

Bakalářská práce  
2022

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2021/2022

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Lukáš Lepcio**  
Osobní číslo: **T19219**  
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Technologická zařízení**  
Forma studia: **Prezenční**  
Téma práce: **Návrh konstrukce vstřikovací formy pro součást routeru**

## Zásady pro vypracování

1. Proveďte literární rešerši zabývající se daným tématem.
2. Vytvořte trojrozměrný model zadané vstřikované součásti.
3. Vypracujte trojrozměrný návrh konstrukce vstřikovací formy pro danou součást.
4. Zhotovte výkres sestavy vstřikovací formy včetně kusovníku a patřičných pohledů.

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

Seznam doporučené literatury:

ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 2018, 455 s. ISBN 9788027106141.

ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů: polymery*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 230, 28 s. ISBN 9788072048335.

OSSWALD, Tim A., Lih-Sheng TURNG a Paul J. GRAMANN. *Injection molding handbook*. 2nd ed. Munich: Carl Hanser Publishers, c2008, xvii, 764 s. ISBN 9781569904206.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Vaněk**  
Ústav výrobního inženýrství

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

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

L.S.

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

Ve Zlíně dne 24. února 2022

# PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu 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 samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne: 20. května 2022

Jméno a příjmení studenta: Lukáš Lepcio

.....  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se věnuje návrhu vstřikovací formy pro součást routeru. Práce obsahuje dvě hlavní části. Teoretická část poskytuje základní informace o polymerních materiálech, technologii vstřikování a konstrukčním návrhu vstřikovacích forem. Praktická část se zabývá aplikací získaných znalostí při návrhu vstřikovací formy. Dále stručně informuje o vlastnostech použité polymerní směsi polykarbonátu s akrylonitril-butadien-styrenem. K tvorbě modelu a výkresové dokumentace byl použit CAD program Catia V5R19.

Klíčová slova: vstřikování, vstřikovací forma, Catia V5R19, polymerní materiál, polymer, polymerní směs, polykarbonát, akrylonitril-butadien-styren

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis deals with the design of an injection mold for a router component. The thesis contains two main sections. The theoretical section provides general information about polymer materials, injection molding technology and injection molds design. The practical section deals with the application of acquired knowledge for designing the injection mold. It also briefly informs about the properties of the used polymer blend of polycarbonate with acrylonitrile butadiene styrene. The CAD program Catia V5R19 was used to create the model and drawing documentation.

Keywords: injection molding, injection mold, Catia V5R19, polymer material, polymer, polymer blend, polycarbonate, acrylonitrile butadiene styrene

Chtěl bych poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Vaňkovi za odbornou pomoc, cenné rady a čas, které mi věnoval při vedení této práce. Dále bych rád poděkoval své rodině, která mě podporovala během mého studia.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>10</b>
<b>1 POLYMERNÍ MATERIÁLY</b> .....	<b>11</b>
1.1 ROZDĚLENÍ POLYMERŮ.....	12
1.1.1 Rozdělení podle nadmolekulární struktury .....	12
1.1.2 Rozdělení podle chování při mechanické a tepelné zátěži.....	14
1.1.3 Rozdělení podle aplikace a postavení na trhu .....	19
1.2 VLASTNOSTI POLYMERŮ.....	20
1.2.1 Obecné polymerní vlastnosti.....	20
1.2.2 Polymerní směsi .....	22
1.3 ÚPRAVA POLYMERŮ PRO ZPRACOVÁNÍ .....	23
1.3.1 Plastikace termoplastů .....	23
1.3.2 Granulace termoplastů .....	24
1.3.3 Recyklace termoplastů .....	25
1.3.4 Sušení termoplastů.....	25
<b>2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ</b> .....	<b>26</b>
2.1 PRINCIP.....	26
2.2 VSTŘIKOVACÍ STROJE A JEJICH ČÁSTI .....	27
2.2.1 Vstřikovací jednotka.....	29
2.2.2 Uzavírací jednotka.....	30
2.2.3 Periferní zařízení .....	31
2.3 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS.....	32
2.4 VADY VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ.....	33
<b>3 VSTŘIKOVACÍ FORMY</b> .....	<b>35</b>
3.1 ČÁSTI VSTŘIKOVACÍCH FOREM.....	35
3.1.1 Rám vstřikovací formy .....	36
3.1.2 Tvarové vložky.....	37
3.1.3 Vyhazovací systém .....	37
3.1.4 Boční odformování.....	39
3.1.5 Vtokový systém.....	41
3.1.6 Temperace vstřikovacích forem .....	48
3.1.7 Odvzdušnění vstřikovací formy .....	51
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>53</b>
<b>4 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE</b> .....	<b>54</b>
<b>5 SPECIFIKACE VSTŘIKOVNÉHO DÍLU</b> .....	<b>55</b>
5.1 MATERIÁL VÝROBKU.....	56
5.1.1 Vlastnosti materiálu.....	56
5.1.2 Aplikace materiálu.....	56

5.1.3	Volba materiálu .....	57
<b>6</b>	<b>VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE.....</b>	<b>58</b>
<b>7</b>	<b>KONSTRUKČNÍ NÁVRH VSTŘIKOVACÍ FORMY.....</b>	<b>60</b>
7.1	PROGRAM CATIA V5R19.....	60
7.2	NORMALIZOVANÉ DÍLY .....	60
7.3	NÁSOBNOST VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	60
7.4	VOLBA DĚLICÍCH ROVIN .....	61
7.5	NÁVRH TVAROVÝCH VLOŽEK.....	61
7.6	KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	63
7.6.1	Pravá strana formy.....	64
7.6.2	Levá strana formy.....	65
7.6.3	Vyhazovací paket .....	66
7.7	KONSTRUKCE BOČNÍHO ODFORMOVÁNÍ .....	67
7.8	VTKOVÝ SYSTÉM .....	68
7.9	TEMPERAČNÍ SYSTÉM .....	69
7.10	MANIPULACE S FORMOU.....	70
7.11	ZÁKLADNÍ PARAMETRY FORMY .....	71
	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>72</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>73</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>76</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>79</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>81</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>82</b>



## ÚVOD

Polymerní materiály zaujaly v životech lidí zvláštní místo. Setkáváme s nimi na každodenní bázi, až se pro nás stalo dosti obtížným, představit si život bez nich. Od prostých výrobků až po špičkové aplikace, jen těžko bychom hledali obory, kde polymery nekonkurují, tradičním materiálům, či je už zcela nevytlačily. Polymery zkrátka prostoupily naše životy. Při studiu historie jsme si zvykli, popisovat jednotlivé etapy vývoje lidské společnosti podle materiálu, který člověk objevil a naučil se jej zpracovávat. Bez nadsázky lze říct, že po dobách kamenné, bronzové a železné, nastala doba polymerní.

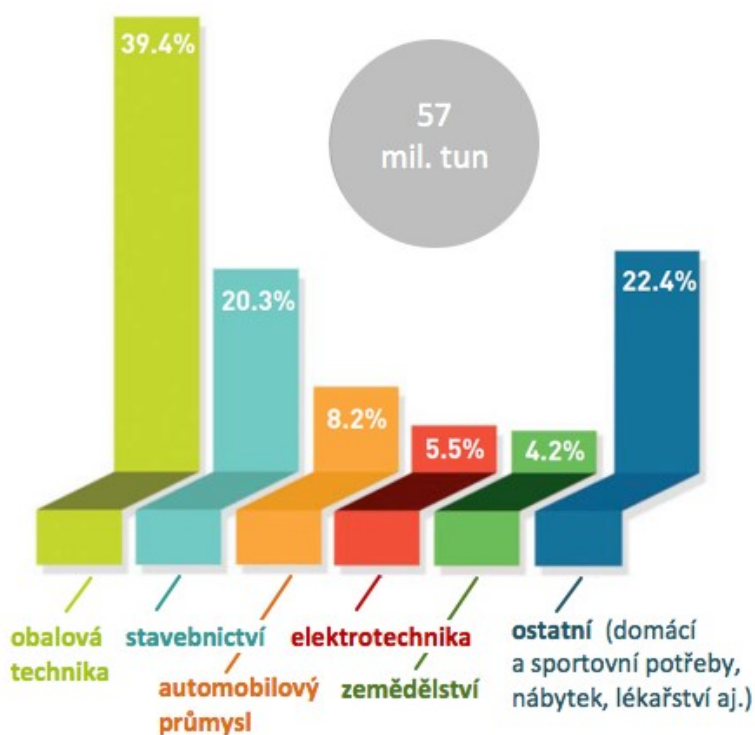
S pokrokem ve vývoji nových materiálů se objevila také potřeba rozvíjet i technologie pro jejich zpracování. Příkladem může být technologie vstřikování, která se přizpůsobila variabilitě vlastností polymerů i rozličnosti možných aplikací. Není divu, že vstřikování je nejhojněji používanou metodou výroby plastových výrobků. Oblibu si získal hlavně v oborech automotive a letectví, protože jde o rychlou a kvalitní technologii s dobrými výsledky.

Návrh konstrukce vstřikovací formy bývá náročný proces. Pro jeho usnadnění a urychlení se používá řada softwarových řešení počítačem podporovaného projektování neboli zkráceně CAD (z anglického Computer-aided Design).

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

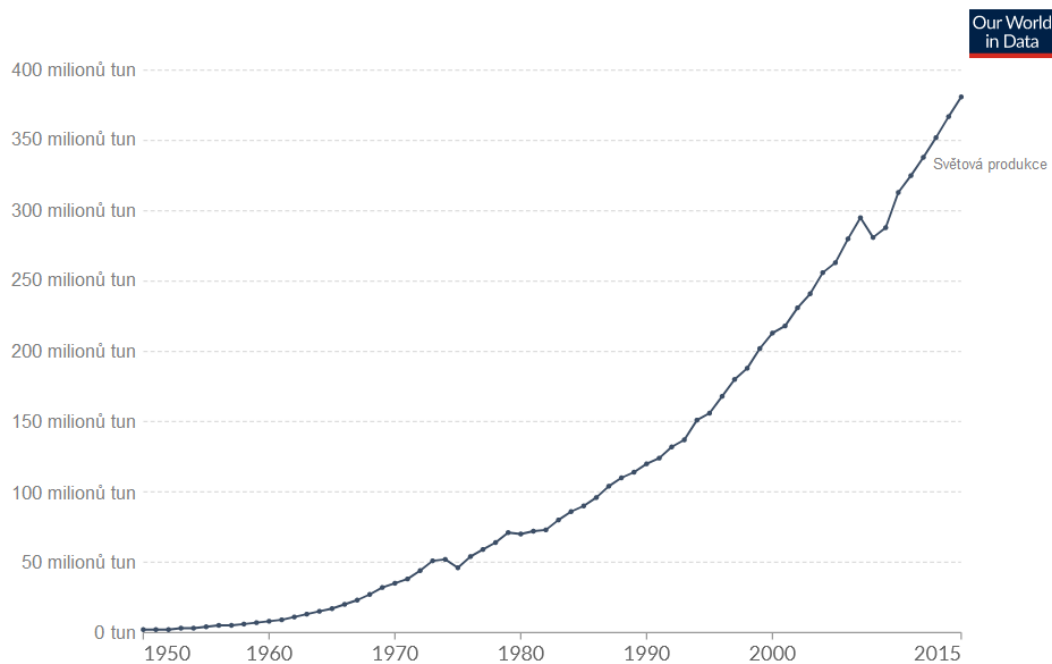
## 1 POLYMERNÍ MATERIÁLY

Polymerními materiály, zkráceně polymery, jsou nazývány chemické látky charakteristické svými velkými molekulami, zvané makromolekuly. Molekula ve formě řetězce je složena z několika opakujících se základních stavebních jednotek, nazývaných mer. V polymerních makromolekulách se vyskytují především atomy uhlíku, vodíku a kyslíku, méně často pak dusíku, chloru, či jiných prvků. Z chemického hlediska se nejčastěji jedná o organické sloučeniny, přírodního původu nebo synteticky vyrobené. Polymery disponují velkou variabilitou struktury a vlastností, což umožňuje jejich přizpůsobení požadavkům na technické výrobky a strojní zařízení, a proto se stále častěji polymery uplatňují jako konstrukční materiály v různých průmyslových odvětvích, jak ukazuje obrázek (Obrázek 1). [1, 2]



Obrázek 1 Evropská spotřeba polymerů podle odvětví v roce 2012 [2]

Stále větší obliba polymerů jako konstrukčních materiálů vede k celosvětovému meziročnímu nárůstu produkce. Zatímco za rok 1950 činila produkce polymerů ve světě přibližně 1,7 milionů tun, v roce 2012 to bylo již 288 milionů tun a v roce 2015 vzrostla na 381 milionů tun ročně. [2, 3]



Obrázek 2 Nárůst světové produkce polymerů mezi lety 1950-2015 [3]

## 1.1 Rozdělení polymerů

Polymery lze klasifikovat podle několika kritérií, z nichž nejvýznamnější jsou dělení:

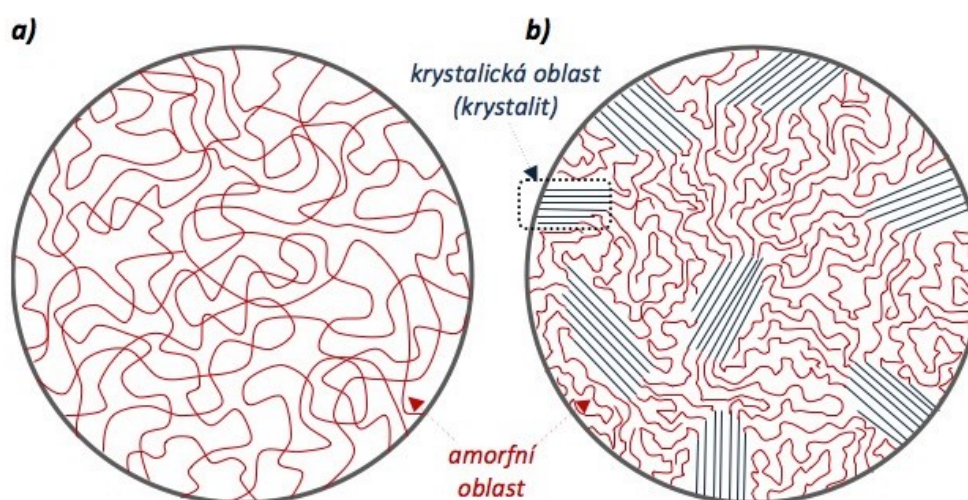
- Dle chování při mechanické a tepelné zátěži,
- dle nadmolekulární struktury,
- dle aplikace a postavení na trhu. [2, 4]

### 1.1.1 Rozdělení podle nadmolekulární struktury

Na užité vlastnosti polymerů má vliv vzájemné uspořádání makromolekul. Díky možnosti rotace segmentů těchto molekul kolem jednoduché vazby mezi sousedními atomy uhlíku mají polymery tendenci tvořit struktury nadřazené stavbě molekul s různou mírou uspořádanosti. Ukázalo se vhodné dělit polymery podle míry této uspořádanosti. Za amorfnní se označují ty polymery, kde makromolekuly zaujímají zcela nahodilou pozici. Oproti tomu semikrystalické polymery vykazují pravidelné uspořádání napříč molekulami. Téměř čistě krystalické polymery lze však připravit jen s obtížemi při laboratorních podmínkách, proto se v praxi užívají semikrystalické polymery, kde pravidelné pozice dosahuje jen část molekul a zbytek je tvořen amorfnní složkou. Míra uspořádanosti se nazývá stupeň krystalinity. [2, 4, 5]

**Amorfni polymery**, kvůli své neuspořádané struktuře, tvoří v prostoru náhodná klubka řetězců (globuly), mezi sebou často propletených. Charakterizují je tvrdost, křehkost, vysoká pevnost a vyšší modul pružnosti. Protože dosahují víceméně homogenního složení napříč objemem, mají nízký index lomu a bez aditiv jsou průhledné až čiré. Důvodem, proč tyto polymery nekystalizují, bývá často jejich nesymetrická stavba makromolekulárního řetězce, způsobená například ataktickou stereoizomerií, velkou rozvětveností řetězců s dlouhými nebo velkými postranními řetězci nebo vzniká u statistických kopolymerů. Teplotní použitelnost výrobků z amorfni polymerů se nachází pod teplotou skelného přechodu  $T_g$ . [2, 4, 5]

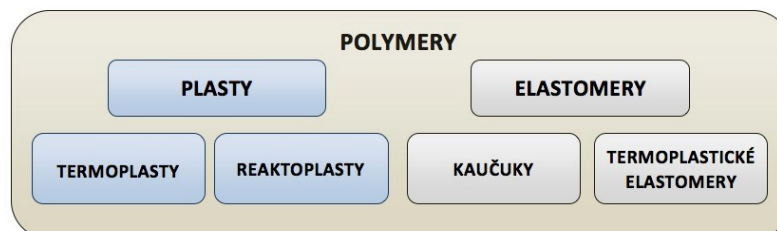
**Semikrystalické polymery** tvoří oblasti s pravidelným uspořádáním uložené v prostoru mezi oblastmi amorfni. Řetězce se v krystalech skládají těsně vedle sebe do smyček a lamel (krystality). Stupeň krystalinity vyjadřuje relativní podíl krystalické složky a zpravidla dosahuje 40 až 90 %. Z důvodu výskytu krystalických zrn, na jejichž hranicích dochází k rozptylu světla procházejícího materiálem, jsou semikrystalické polymery mléčně zakalené s vyšším indexem lomu. Typickými vlastnostmi jsou houževnatost a rostoucí pevnost i modul pružnosti s vyšším stupněm krystalinity. Součinitel teplotní roztažnosti a hustota, díky těsnějšímu uspořádání molekul, je vyšší než u amorfni polymerů. Poutelnost semikrystalických polymerů je definována teplotou tání  $T_m$ , spojenou s krystalickou složkou polymeru, a teplotou skelného přechodu  $T_g$ , popisující amorfni část struktury. [2, 4, 5]



Obrázek 3 Schéma nadmolekulární struktury polymerů [2]:  
a) amorfni, b) semikrystalický

### 1.1.2 Rozdělení podle chování při mechanické a tepelné zátěži

Při dělení podle chování při mechanické zátěži tvoří základní skupiny plasty a elastomery. Podle tepelného chování se plasty dále dělí na termoplasty a reaktoplasty. Elastomery se dělí na kaučuky a termoplastické elastomery, jak je patrné z obrázku (Obrázek 4). [2]



Obrázek 4 Rozdělení polymerů podle chování při mechanické a tepelné zátěži [2]

- **Plasty**

Plasty jsou polymery vyznačující se svou tvrdostí a tuhostí za běžných podmínek. Při mechanickém namáhání vykazují většinou trvalou (plastickou) deformaci, případně křehkost při porušení materiálu. Při zvýšené teplotě přechází do plastického stavu, ve kterém jsou měkké a dají se snadno tvarovat. Plasty, které lze opakovaně převádět mezi plastickým a tuhým stavem zvýšením teploty, se nazývají termoplasty. Jestliže je výsledkem přechodu z plastického do tuhého stavu chemická reakce, po které už nelze dosáhnout opětovně plastického stavu zahřátím, označují se takové plasty jako reaktoplasty. [1, 2]

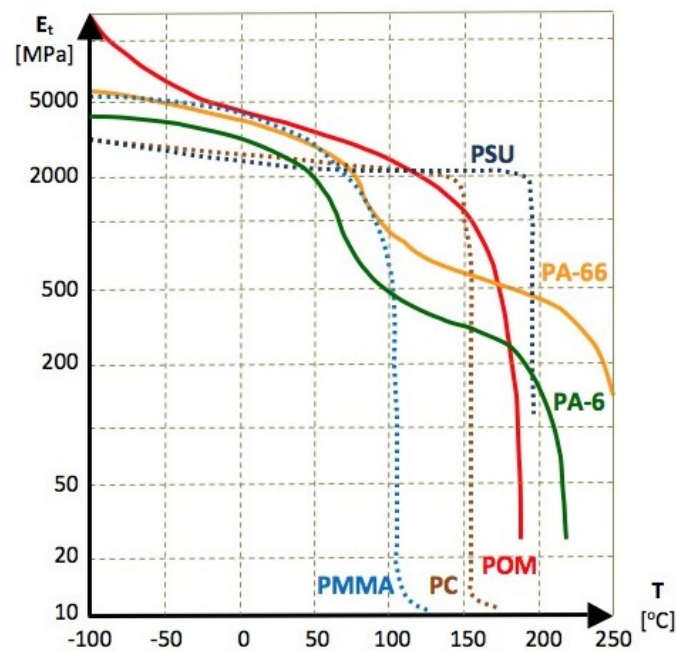
Z pohledu historie jsou plasty jednou z nejmladších skupin konstrukčních materiálů, která však dnes tvoří významnou část objemu výroby všech materiálů. Ačkoliv první syntetický plast, polyvinylchlorid, připravil francouzský chemik Henri Victor Regnault už v roce 1835, stál za rozvojem plastikářského průmyslu zcela jiný plast. Rozmach podnítila snaha nahradit nedostatkový tradiční materiál pro výrobu kulečnických koulí, jímž byla v té době slonovina. Americkému tiskaři Johnu Wesleymu Hyattovi a jeho bratrovi se po experimentech s roztokem hořlavého nitrátu celulózy a kafrem podařilo kolem roku 1868 syntetizovat nový materiál, nazvaný celuloid, připomínající svými vlastnostmi slonovinu. Kromě původního záměru se celuloid ukázal jako vhodný materiál pro jiné použití a umožnil mimo jiné rozvoj filmového průmyslu a kinematografie. Roku 1909 si patentoval americký chemik Leo Hendrik Baekeland výrobu nové látky, jež se nesyntetizuje z přírodních materiálů, na rozdíl od celuloidu, kde se používala přírodní celulóza. Tento plně syntetický plast, založený na formaldehydové pryskyřici, nesl obchodní název bakelit. Posléze dochází ve 20. století k explozivnímu vývoji a nárůstu významu plastů ve výrobě. [1, 2]

**Termoplasty** jsou nejrozšířenější a v praxi nejužívanější skupinou plastů. Z hlediska vnitřní stavby existují jak amorfní termoplasty, tak semikrystalické termoplasty. Typickou vlastností obou skupin je jejich schopnost vratně přecházet z tuhého stavu do oblasti taveniny zvýšením teploty nad teplotu tání (pro semikrystalické) nebo viskózního toku (pro amorfní), případně ochlazením pod tuto hranici se vrátit do tuhého stavu. V kapalném stavu lze termoplasty snadno tvářet, přičemž si po přechodu do tuhého stavu zachovávají definovaný tvar. Děj má pouze fyzikální povahu, nedochází tedy k žádné chemické reakci, a je teoreticky možné jej opakovat bez omezení. Na rozdíl od nízkomolekulárních látek, jako voda nebo líh, u termoplastů, ani polymerů obecně, neexistuje plynný stav. Vlivem velkých makromolekul se totiž bod varu polymerů nachází nad teplotou degradace, proto dříve dochází k rozkladu polymerních řetězců. U polymerů není ostrá hranice mezi tuhým a plastickým stavem, ale je pro ně charakteristický ještě přechodový stav mezi oběma fázemi. Nejvýznamnější je pro popis vlastností termoplastů, které se mohou vyskytovat ve všech třech oblastech v závislosti na teplotě. [1, 2, 4]

**Amorfní termoplasty** jsou definovány teplotou skelného přechodu  $T_g$  a teplotou viskózního toku  $T_f$ . Pod  $T_g$  se nachází oblast sklovitého stavu, při které je polymer tvrdý a křehký, s vysokým modulem pružnosti. Ohřátím nad  $T_g$  se amorfní polymer dostane do oblasti kaučukovitého stavu. Vlastnosti se mění skokově a polymer lze deformovat do značné míry již malou silou, proto jej není možné definovat jako tuhou látku. Zároveň ale nedochází k nevratnému toku charakterizující oblast taveniny. Dalším ohříváním až nad  $T_f$  se amorfní polymer mění ve vysoce viskózní kapalinu. Dochází k přerušení mezimolekulárních vazeb, nastává volný vzájemný pohyb makromolekul, polymer ztrácí elastické vlastnosti kaučukovitého stavu a modul pružnosti klesá k nule. Amorfní polymery se vstříkují při teplotách nad  $T_f$ . Vyjmutí z formy probíhá po ochlazení pod  $T_g$ . Pod  $T_g$  se nachází i teoretická hranice použitelnosti výrobků z amorfních termoplastů, avšak z praktických důvodů se volí horní hranice použitelnosti o 10 až 20 °C nižší. Protože struktura taveniny a sklovitého stavu jsou obě amorfní, a tedy velmi podobné, dosahuje hodnota smrštění, při chlazení dílů, relativně nízkých hodnot (obvykle do 1 %). Mezi amorfní termoplasty vhodné pro vstříkování patří například polystyren (PS), akrylonitril-butadien-styren (ABS), styrenakrylonitril (SAN), akrylonitril-styren-akryl (ASA), polyvinylchlorid (PVC), polymethylmetakrylát (PMMA), polykarbonát (PC), polysulfon (PSU). [1, 2, 6]

**Semikrystalické termoplasty** jsou popsány teplotou skelného přechodu  $T_g$  a teplotou tání krystalické fáze  $T_m$ . Obdobně jako u amorfních, nachází se u semikrystalických termoplastů

oblasti sklovitého a kaučkovitého stavu, oddělené teplotou  $T_g$ , která popisuje amorfni složku hmoty. Skoková změna vlastností na této hranici však není tak výrazná, a proto je  $T_g$  pro semikrystalické termoplasty z hlediska zpracování méně významná. Nad  $T_m$  dochází k tání krystalů a jejich přeměnu na taveninu s amorfni strukturou. Vlivem rozdílů hustot amorfni taveniny a kompaktnější krystalické struktury je smrštění výrobků při ochlazování výraznější a dosahuje hodnot od 1 % do 2,5 %. Vyšší míra smrštění je dána větším obsahem krystalické fáze. Stupeň krystalinity v tuhém stavu (sklovitý i kaučkovitý) závisí na technologických podmínkách při ochlazování. Amorfni část struktury dodává materiálu ohebnost a houževnatost a krystalická fáze tuhost a pevnost. Dostatečných vlastností pro aplikaci dosahují semikrystalické termoplasty většinou už v kaučkovité oblasti, proto vyhazování může probíhat mezi teplotami  $T_g$  a  $T_m$ . To umožňuje zkrátit technologické časy zpracování. S ohledem na vlastnosti jsou semikrystalické termoplasty vhodnější pro použití než amorfni. Zástupci semikrystalických termoplastů vhodných pro vstřikování jsou například různé modifikace polyetylen (PE), polypropylen (PP), etylen-vinyl-acetát (EVA), různé polyamidy (PA), polyoxymetylen (POM), polyetyltereftalát (PET), polyeterketon (PEK), polyeter-eter-keton (PEEK), polytetrafluoretylen (PTFE), polymery s tekutými krystaly (LCP). [1, 2, 6]



Obrázek 5 Závislost modulu pružnosti vybraných termoplastů na teplotě [2]: amorfni (PMMA, PC, PSU), semikrystalické (POM, PA-6, PA-66)



**Reaktoplasty**, dříve nazývané termosety, jsou psolymerní látky, které je možné převést do plastického stavu a tvářet jen po určitý čas po zahřátí. Při pokračujícím ohřevu se lineární molekuly mezi sebou spojují nevratnou chemickou reakcí v hustou prostorovou síť. Tento proces se nazývá vytvrzování. Vytvrzené síťované struktury lze dosáhnout i přidáním vytvrzovacího prostředku. Zesíťované molekuly jsou netavitelné a nerozpustné, neboli ztratily termoplastický charakter. Vytvrzené výrobky nelze znovu převést na taveninu a teoreticky mohou být tvořeny jednou obrovskou makromolekulou. Díky tomu vynikají svou tepelnou a chemickou odolností, tuhostí a tvrdostí. Reaktoplastický materiál před vytvrzením se často nazývá pryskyřice. Kvůli složité prostorové struktuře jsou reaktoplasty amorfní. Oblast použitelnosti produktů po vytvrzení je pod teplotou degradace (rozkladu) polymerního řetězce  $T_c$ . Zástupce tvoří například fenol-formaldehydové pryskyřice (PF), epoxidové pryskyřice (EP), polyesterové pryskyřice (UP), polyuretany (PUR). [1, 2, 4]

- **Elastomery**

Elastomery jsou vysoce pružné polymerní materiály s nízkou tuhostí, které lze za běžných podmínek významně deformovat bez porušení, a to již při působení malých sil, přičemž tyto deformace jsou převážně vratné (elastické). Elastomery jsou tvořeny řídkou sítí příčných chemických vazeb mezi molekulárními řetězci, v důsledku čehož jsou elastomery amorfní a získávají svoji pružnost a tažnost. Nejpočetnější skupinu tvoří kaučuky, ze kterých se vulkanizací vyrábí velmi pružné pryže odolné proti trvalé deformaci. [1, 2]

**Kaučuky** v surovém stavu se nehodí pro technickou aplikaci, protože za studena jsou tuhé a nepružné, naopak za tepla se stávají tahavými a lepivými. Naopak pryž je elastická v širokém rozmezí teplot. Zesíťovaná struktura pryží vzniká vulkanizací, nejčastěji sírou, při které původně lineární řetězce kaučuků začnou tvořit řídkou prostorovou síť. Jakmile proběhne síťovací reakce, je obtížné pryže přivést znovu do tvářitelného stavu. Pro pryže je charakteristická amorfní struktura, nízká teplota skelného přechodu a vysoká pružnost. Kromě přírodního kaučuku se průmyslově vyrábí velký počet syntetických kaučuků. Ty se dělí na kaučuky pro všeobecné použití, z nichž je vyráběna většina pryžových produktů. Druhou skupinou jsou kaučuky pro speciální použití, které se dále dělí na olejovzdorné kaučuky a teplovzdorné kaučuky. Olejovzdorné kaučuky se vyznačují svojí polaritou, díky které získávají svoji odolnost proti olejům. Obecně platí, že čím polárnější je olej, kterému musí pryž odolávat, tím polárnější kaučuk musí být použit při výrobě této pryže. Pro teplovzdorné kaučuky je charakteristická nejen teplovzdornost, ale i mrazuvzdornost, přičemž vlastnosti pryže se s teplotou mění jen málo. [1, 2]

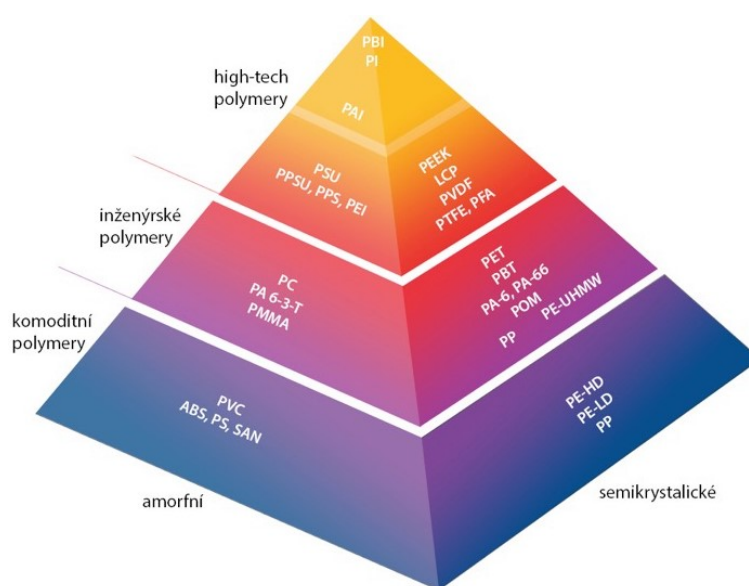
Kaučuky jsou jedny z nejstarších polymerů, se kterými se lidská společnost setkala a začala je využívat. Ačkoliv se obecně předpokládá, že rozvoj polymerů v moderním smyslu začal až ve dvacátém století, tak historie přírodního kaučuku je mnohem starší. Evropanům je znám od roku 1496, kdy se Kryštof Kolumbus vrátil ze své druhé výpravy z Jižní Ameriky. Zjistil, že domorodci využívají vyschlou kapalinu vytékající z porušené kůry stromů k výrobě míčů a nepromokavého plátna. Indiáni nazývali tyto stromy „Hheve“ (odtud latinský název kaučukovníku „Hevea“) nebo „Cau-Uchu“ (odtud české pojmenování „kaučuk“). Trvalo však skoro tři století, než se kaučuk dočkal prvního komerčního použití. V roce 1791 se začal používat na impregnaci bavlněné tkaniny. Pokrok ve zpracování přírodního kaučuku nastal až s objevem principu vulkanizace v roce 1843 resp. 1844, který si nezávisle na sobě nechali patentovat Angličan Thomas Hancock a Američan Charles Goodyear. V roce 1888 si svoji pneumatiku pro jízdní kolo patentoval skotský průkopník John Boyd Dunlop. Využití jeho nápadu pro kola automobilu vedlo k významným pokrokům v dopravě, ale taky k rychlému rozvoji gumárenského průmyslu, který na přelomu 19. a 20. století začal trpět nedostatkem přírodního kaučuku. Vzniklý nedostatek vyvolal snahy o výrobu syntetických kaučuků a rozšíření pěstování a těžby přírodního kaučuku mimo původní území Jižní Ameriky. Nejvíce se plantáže rozšířily v oblasti tropické Asie, která je dodnes největším producentem přírodního kaučuku. Není bez zajímavosti, že počátky gumárenského průmyslu v České republice jsou spojeny s firmou Baťa ve Zlíně, kde v roce 1931 začala výroba pláštíků pro jízdní kola. [1, 2]

**Termoplastické elastomery** se vlastnostmi podobají pryžím, avšak na rozdíl od nich mohou opakovaně přecházet mezi plastickým a tuhým stavem, podobně jako termoplasty. Stavba termoplastických elastomerů není homogenní, ale v jejich struktuře se nachází tvrdé a měkké segmenty. Podmínkou vzniku oddělených fází je vzájemná nemísitelnost látek tvořících tvrdé a měkké segmenty. Technologicky se tedy jedná o polymerní směsi. Měkké segmenty tvoří elastomery, které dodávají aplikační elastické vlastnosti. Tvrdé segmenty jsou pak reprezentovány termoplasty, které umožňují opakovat cyklus přeměny mezi tuhým stavem a taveninou. Hlavním rozdílem oproti pryžím je povaha vzniku síťované struktury. Zatímco u pryží je síť tvořena chemickými vazbami mezi uzly, síť termoplastických polymerů je fyzikálního charakteru. Výsledné vlastnosti jsou kombinací vlastností užitých termoplastů a elastomerů, leží proto v oblasti mezi nimi. Termoplastické elastomery se dají zpracovávat na stejných strojích jako termoplasty. Podle způsobu vzniku se dělí na kopolymerní typy a fyzikální směsi termoplastů s vulkanizovanými elastomery. Mezi fyzikální směsi patří

polyolefinové typy (TPE-O) a styrenové typy (TPE-S). Kopolymerní jsou polyetheruretanové typy (TPE-U), kopolyesterové typy (TPE-E), polyetherblokaramidové typy (TPE-A) a elastické varianty etylen-vinyl-acetátu (EVA). [2, 6]

### 1.1.3 Rozdělení podle aplikace a postavení na trhu

Další klasifikace polymerů vychází z jejich postavení a aplikace na trhu. Plasty se podle toho rozdělují na tři skupiny. Objemem výroby a spotřeby jsou největší skupinou plasty pro široké použití neboli komoditní plasty, které představují 70-80 % produkce. Výhodou je hlavně nízká cena materiálu a relativní jednoduchost zpracování. Největší uplatnění nachází v obalovém průmyslu, který je dominantním sektorem pro uplatňování plastů. Odhaduje se, že v roce 2015 tvořily vstupy do obalové techniky přibližně 42 % všech použitých plastů. Řadí se sem polyetylen (PE), polypropylen (PP), polystyren (PS) a jeho kopolymery nebo polyvinylchlorid (PVC). Druhou skupinou polymerů jsou inženýrské plasty pro konstrukční použití. Ty mají lepší užitné vlastnosti, často vyšší teplotní odolnost, avšak jsou dražší než komoditní. Patří sem například modifikace polypropylenu (PP), polyamidy (PA), polymethylmetakrylát (PMMA), polykarbonát (PC), akrylonitril-butadien-styren (ABS), polyuretany (PUR), epoxidové (EP) a polyesterové (UP) pryskyřice. Třetí skupinu tvoří high-tech, neboli speciální, plasty pro špičkové aplikace. Vyznačují se unikátními vlastnostmi, kterých nelze dosáhnout v jiných skupinách plastů. Jde o nejméně užívané plasty, materiály i technologie pro jejich zpracování patří k nejdražším. Zástupci jsou polysulfon (PSU), polytetrafluoretylen (PTFE) nebo různé polyimidy (PI). [2, 3, 4]



Obrázek 6 Rozdělení polymerů podle aplikace a jejich postavení na trhu [2]

## 1.2 Vlastnosti polymerů


### 1.2.1 Obecné polymerní vlastnosti

Vlastnosti polymerů jsou vysoce variabilní a ovlivňuje je řada faktorů. Kromě samotné fyzikálně-chemické stavby mají nezanedbatelný vliv podmínky při výrobě a zpracování polymerů nebo různé druhy přísad, které se přidávají do základního polymeru, aby zajistily dosažení požadovaných vlastností beze změny makromolekulární stavby. Výběr přísad musí zároveň zaručit, že kombinace účinků přísady s polymerem nebo přísad mezi sebou nebude mít škodlivý efekt. Komoditní polymery jsou téměř bez výjimky dodávány včetně přísad. Častými přísadami jsou barviva, plniva, změkčovadla, nadouvadla, retardéry hoření, antidegradanty či různé druhy stabilizátorů. S nárůstem produkce a používání polymerů tak vyvstala potřeba porovnávat vlastnosti polymerů rozdílného složení od různých výrobců. Koncem 80. let 20. století proto začaly vznikat první databáze vzájemně porovnatelných materiálových dat. Obsažená data jsou získávána na zkušebních tělesech podle zkušebních postupů definovaných v normách. Vlastnosti konkrétního polymeru, včetně chemického složení či obchodního názvu, jsou pak uvedeny v jeho technické specifikaci, která se nazývá materiálový list. Kromě samotných vlastností uvádí materiálové listy i doporučené podmínky přípravy a zpracování polymerů, protože ty také mají značný vliv na výsledné vlastnosti. [2, 6, 7]

Výběr polymeru pro výrobu dílu je založen hlavně na znalosti užitných (aplikačních) a zpracovatelských vlastností. Dále se zohledňují finanční požadavky, způsob a velikost zatížení výrobku, či legislativní regulace, jako například požadavek zdravotní nezávadnosti materiálu v potravinářství. Důležité aplikační vlastnosti bývají:

- Mechanické vlastnosti – pevnost při různých druzích zátěže (statická, dynamická), tuhost, tvrdost, rázová odolnost, houževnatost, únavová odolnost a další,
- teplotní vlastnosti – teplota viskózního toku, teplota tání krystalické fáze, teplota skelného přechodu, hořlavost a další,
- elektrické vlastnosti – vodivost, dielektrická pevnost a další,
- akustické vlastnosti – rezonanční frekvence, pohltivost,
- optické vlastnosti – barva, lesk, průhlednost,

- environmentální vlastnosti – životnost, recyklovatelnost, odolnost proti degradaci, tepelná odolnost (maximální doba expozice), odolnost vůči UV záření, chemická odolnost, odolnost proti hydrolyze (rozklad ve vodném prostředí) a další.

<b>CAMPUS® Materiálový list</b>		 The Chemical Company		
<b>Ultramid® A3K PA-66</b>				
<b>BASF</b>				
<b>Charakteristika materiálu</b>				
Vysoce tekoucí materiál pro rychlé zpracování technologií vstřikování. Používá se pro vysoce namáhané konstrukční díly, jako jsou ložiska, ozubená kola nebo izolanty v elektrotechnice pro svorky a konektory kabelů.				
<b>Reologické vlastnosti</b>	suchý /	navlhlý	jednotka	předpis
Objemový index toku taveniny (275 °C, 5 kg)	120 /	*	cm <sup>3</sup> /10min	ISO 1133
Výrobní smrštění, rovnoběžný směr	1,4 /	*	%	ISO 294-4
Výrobní smrštění, kolmý směr	1,7 /	*	%	ISO 294-4
<b>Mechanické vlastnosti</b>				
Modul pružnosti v tahu	3100 /	1100	MPa	ISO 527-1/2
Napětí na mezi kluzu	85 /	50	MPa	ISO 527-1/2
Poměrné prodloužení na mezi kluzu	5 /	20	%	ISO 527-1/2
Jmenovité poměrné prodloužení při přetržení	30 /	>50	%	ISO 527-1/2
Křipový modul v tahu, 1h	*	/ 1100	MPa	ISO 899-1
Křipový modul v tahu, 1000 h	*	/ 700	MPa	ISO 899-1
Rázová houževnatost Charpy, +23 °C	N /	N	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179-1/1eU
Rázová houževnatost Charpy, -30 °C	N /	-	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179-1/1eU
Vrubová houževnatost Charpy, +23 °C	5 /	20	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179-1/1eA
Vrubová houževnatost Charpy, -30 °C	4 /	-	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179-1/1eA
<b>Teplotní vlastnosti</b>				
Teplota tání, 10 °C/min	260 /	*	°C	ISO 11357-1/3
Teplota skelného přechodu, 10 °C/min	72 /	*	°C	ISO 11357-1/2
Teplota průhybu při zatížení, 1,80 MPa	75 /	*	°C	ISO 75-1/2
Teplota měknutí podle Vicata, 50 °C/h, 50 N	250 /	*	°C	ISO 306
Koeficient délkové teplotní roztažnosti	85 /	*	10 <sup>-6</sup> /K	ISO 11359-1/2
Hořlavost, 1,5 mm tloušťka	V-2 /	*	třída	IEC 60695-11-10
Kyslíkové číslo	28 /	*	%	ISO 4589-1/2
<b>Elektrické vlastnosti</b>				
Relativní permitivita, 1 MHz	3,2 /	5	-	IEC 60250
Ztrátový činitel, 1 MHz	250 /	2000	-	IEC 60250
Měrný vnitřní izolační odpor	1·10 <sup>13</sup> /	1·10 <sup>10</sup>	Ω·m	IEC 60093
Měrný povrchový izolační odpor	*	/ 1·10 <sup>10</sup>	Ω	IEC 60093
Elektrická pevnost	41 /	29	kV/mm	IEC 60243-1
<b>Ostatní vlastnosti</b>				
Nasákavost	8,5 /	*	%	ISO 62
Navlhavost	2,8 /	*	%	ISO 62
Hustota	1130 /	-	kg/m <sup>3</sup>	ISO 1183-1
<b>Specifické vlastnosti materiálu</b>				
Viskózní číslo	150 /	*	cm <sup>3</sup> /g	ISO 307
<b>Technologické parametry</b>				
<b>PŘED VSTŘIKOVÁNÍM</b>				
Maximální zbytková vlhkost	0,15 %			
Teplota sušení	80 °C			
Doba sušení	4 h			
<b>PROCESNÍ (BĚHEM VSTŘIKOVÁNÍ)</b>				
Teplotní rozsah taveniny	280 °C až 300 °C			
Doporučená teplota taveniny:	290 °C			
Teplotní rozsah formy:	60 °C až 80 °C			
Doporučená teplota formy:	60 °C			

Obrázek 7 Příklad materiálového listu z materiálové databáze CAMPUS [2]

Nejčastěji se hodnotí tyto zpracovatelské vlastnosti:

- Reologické vlastnosti – index toku taveniny (ITT), viskózní číslo (významné pro polyamidy),
- míra smrštění při tuhnutí,
- navlhavost a nasákavost,
- technologické parametry – popisují doporučené podmínky procesu před a během zpracování polymeru. [2, 4, 6]

Reologie popisuje vlastnosti a chování polymeru při tečení. Způsob toku polymerních tavenin je neneutonského charakteru a liší se od toku nízkomolekulárních látek. Základní charakteristikou je viskozita, která vyjadřuje odpor proti tečení, daný třením jednotlivých skluzných ploch v tavenině vůči sobě. Viskozita je proměnlivá veličina, proto se zobrazuje v závislosti na smykové rychlosti. Měřením závislosti při různých teplotách vznikají viskozitní křivky. Měření je však časově náročné, a tak se v praxi běžně ověřuje pouze jeden bod viskozitní křivky, který se nazývá index toku taveniny (ITT). Index toku taveniny je nejčastěji uváděnou reologickou veličinou. Podmínky pro měření indexu toku taveniny jsou definovány v normě. Oproti podmínkám při vstřikovávání se index toku taveniny stanovuje při výrazně nižších hodnotách smykové rychlosti. Z uvedeného je patrné, že index toku taveniny se nehodí pro kompletní popis viskozitního chování tavenin, ale používá se jako technologická zkouška pro porovnání tekutosti materiálů mezi sebou, hodnocení kvality dodané šarže, zjišťování vlivu aditiv na tekutost nebo hodnocení kvality výrobního procesu. [2, 6]

### 1.2.2 Polymerní směsi

Polymerní směsi, neboli blendy, jsou polymerní systémy spojující různé polymery do fyzikální směsi, za účelem vzniku materiálu s unikátní kombinací vlastností. Polymerní směsi se staly perspektivní a oblíbenou komerční metodou, jak připravit nový materiál s vlastnostmi uzpůsobenými pro konkrétní aplikaci. Je to také jeden ze způsobů pro dosažení optimálních vlastností při nízké ceně materiálu. Výroba polymerní směsi je často jednodušší a levnější než syntéza speciálních polymerů. Obecně je většina polymerů mezi sebou nekompatibilní, proto byla vyvinuta řada kompatibilizátorů, která umožňuje mísení takových nemísitelných složek. Lze tak kombinovat polární a nepolární polymery, nebo amorfní a semikrystalické polymery. Polymerní směsi mají dobrý vliv na tepelnou i

chemickou stabilitu výrobků. Značný vliv na výsledné vlastnosti směsi má stupeň krystalinity. Obecně lze říct, že směs tvořená polymery, schopnými tvořit krystalickou strukturu, bude schopná vytvářet krystaly. Pokud jsou jednotlivé polymery nemísitelné, pak budou vznikat oddělené krystaly tvořené jednou složkou rozptýlené v amorfní fázi. Naopak při navzájem mísitelných složkách, mohou vznikat jak jednosložkové krystaly, tak krystaly se smíšeným složením. Důležité směsi tvoří polykarbonát s akrylonitril-butadien-styrenem (PC/ABS), s akrylonitril-styren-akrylem (PC/ASA), s polyetylentereftalátem (PC/PET) a s polybutyilentereftalátem (PC/PBT). Další často používané směsi jsou polyamidy s akrylonitril-butadien-styrenem (PA/ABS), polysulfon s akrylonitril-butadien-styrenem (PSU/ABS). Zajímavé elastické vlastnosti má směs polypropylenu se syntetickým kaučukem etylen-propylen-dien (PP/EPDM). [2, 6, 8]

Polykarbonát (PC) je ve směsích často používaný amorfní termoplast, který se vyznačuje svou houževnatostí, tuhostí a teplotní odolností, avšak je náchylný ke korozi za napětí a má nízkou chemickou odolnost. S využitím znalostí o polymerních směsích se často kombinuje s dalším termoplastem, akrylonitril-butadien-styrenem (ABS). Vzniká snadno mísitelná směs PC/ABS, kde jsou nedostatky polykarbonátu potlačeny při nevelké změně vhodných vlastností. Výrobky ze směsi PC/ABS mají elektroizolační vlastnosti a vyšší odolnost vůči korozi za napětí. Kvůli své hořlavosti je směs vhodné její plnění retardanty hoření. Využívá se hlavně v automotive průmyslu a jako kryty elektrických zařízení. [2, 8]

### 1.3 Úprava polymerů pro zpracování

Z polymerů se většinou nedají okamžitě vyrábět výrobky, ale je potřeba je k tomu připravit řadou technologických operací. Tyto operace, které se někdy nazývají jako technologie přípravného zpracování, tvoří mezikrok mezi syntézou polymeru a samotnou výrobou produktu. Použité přípravné operace mají vliv i na koncové vlastnosti polymerních výrobků. Patří sem technologie plastikace, míchání a hnětení, granulace, tabletování, recyklace, sušení, želatinace, vulkanizace kaučuků a doprava materiálu. Tato práce se dále zabývá těmi technologiemi, které jsou podstatné pro zpracování termoplastů vstřikováním. [1, 4]

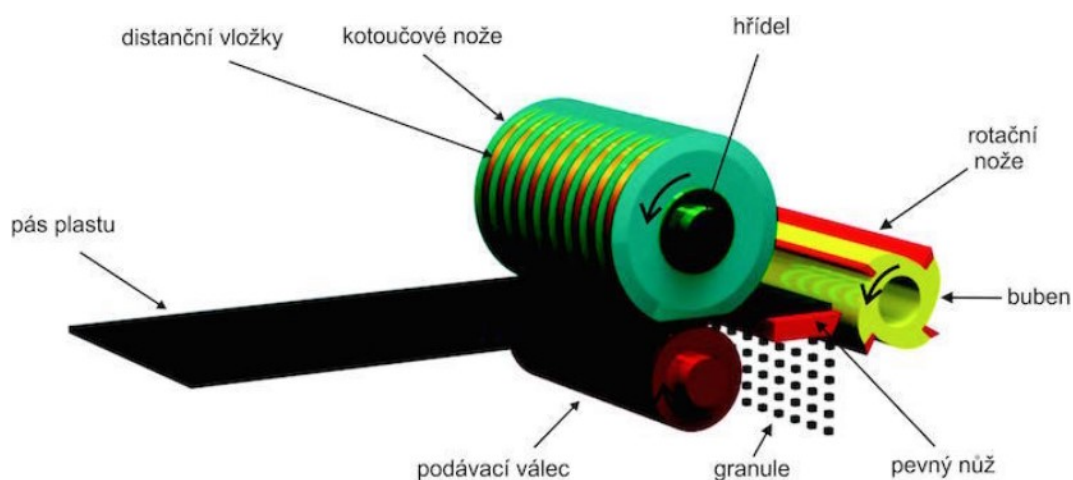
#### 1.3.1 Plastikace termoplastů

Plastikací termoplastů se rozumí roztavení a hnětení termoplastického materiálu tak, aby se homogenizoval. V takto upravené tavenině se teoreticky nevyskytují oblasti s různými vlastnostmi. Průvodním jevem hnětení, vycházejícího z viskozitního toku polymerních

tavenin zatížených vnější silou, je přeskok částic polymerního řetězce do sousedních poloh, přičemž se mechanická energie potřebná na přeskok mění obecně v teplo. Tento jev se nazývá disipace a má za následek lokální zvýšení teploty hmoty. Tento efekt podporuje tavení nepřeměněné části materiálu, čehož se s výhodou využívá, avšak může mít výrazný negativní vliv na vlastnosti, pokud v některé oblasti dojde k překročení teploty degradace. Plastikace bývá často poslední krok přípravy, běžně zařazená přímo do procesu zpracování, protože jejím výstupem je homogenní polymerní tavenina. [1, 6]

### 1.3.2 Granulace termoplastů

Pro technologii vstřikování se termoplasty dodávají většinou ve formě granulátu. Granulemi se nazývají stejnoměrné částice polymerů o velikosti několika milimetrů. Granule poskytují dostatečnou sypanou hmotnost, avšak na rozdíl od prášku neulpívají na stěně násypky. Umožňují tak pravidelný přísun materiálu a možnost dávkování nebo snadnější smísitelnost s přísadami. Existují dva typy granulacních zařízení (granulátorů). Pro měkké materiály se používá spíše granulace z pásu, kdy je vytlačovaný materiál ve formě desky dělen kotoučovými noži na pásy, které jsou následně sekány rotačními noži na granule ve tvaru krychliček. Druhou technologií je granulace ze strun, kdy je vytlačován materiál skrz granulacní hlavu do tvaru strun. Pokud jsou granule odřezávány přímo na hlavě, nazývá se tato metoda jako granulace ze strun za tepla a výsledné granule mají spíše tvar čoček. Metoda není vhodná pro velmi tekuté materiály. Během granulace ze strun za studena jsou vytlačované struny nejprve ochlazeny v kapalném prostředí, nejčastěji vodě, a sekány až po fixaci tvaru, granule pak mají spíše válcovitý tvar. Nevýhodou je možnost slepení, přetržení nebo lámání strun a nutnost vysoušení granulí. [1, 4, 9]



Obrázek 8 Příklad granulace z pásu [9]



### 1.3.3 Recyklace termoplastů

Prudký rozvoj aplikací polymerů způsobil kromě svých pozitiv i zvětšující se podíl plastů, v odpadech a nárůst cen vstupních surovin. Pro technicky a ekonomicky udržitelnou výrobu jsou proto výrobci nuceni zabývat se i zpracováním polymerních odpadů a jejich opětovným využitím ve výrobě. Protože se materiál takto vrací z konce výrobního řetězce na jeho začátek, lze recyklaci považovat za přípravnou operaci. Obecně lze vracející se materiál pojmenovat jako regenerát a vyskytuje se ve dvou formách. Jako recyklát se označuje regenerovaný materiál, který vznikl nadrcením odpadu v mlýnech. Nevýhodou je nestejná velikost částic, ale je vhodný pro teplotně citlivé materiály. Regranulát je regenerovaný materiál, který kromě drcení prošel opětovně procesem granulace, proto je tento postup časově i ekonomicky náročnější. Prakticky se může provádět zpracování regenerátu na samostatném stroji, avšak výrobky nemusí dosahovat takových kvalit a vlastností jako výrobky z původního nezpracovaného termoplastu. Výhodnější je využívat regenerát jako příměs k původnímu polymeru. [1, 4]

Při zpracování termoplastů vzniká určité procento objemu výroby, které neodpovídá požadované kvalitě na výrobek, nebo jde o technologicky nutné části výrobků, které jsou odstraňovány při dokončovacích operacích. Tento odpad se označuje jako technologický a materiálové vlastnosti se v podstatě neliší od vlastností původního termoplastu. Proto je snahou výrobců vracet technologický odpad do výrobního cyklu jako vstupní surovinu. Za užitný odpad se označují výrobky za hranicí své životnosti, u kterých se mohly projevit negativní vlivy stárnutí nebo mohou být jinak znečištěny a znehodnoceny. Recyklace užitého odpadu je proto velmi omezená. [4, 9]

### 1.3.4 Sušení termoplastů

Sušení spočívá v odstraňování podílů vlhkosti ze struktury termoplastu na úroveň vhodnou pro další zpracování. Obzvláště důležitá je pro plasty, které vzhledem k předchozím operacím nebo podmínkám skladování obsahují značné procento absorbované vody, které má většinou negativní vliv na vlastnosti a kvalitu výsledného produktu. Naopak příliš nízký obsah vody způsobuje zvýšenou křehkost. Plasty schopné sorpce vody z prostředí vlhkého vzduchu se označují jako navlhavé (hydroskopické). Za nasákové (hydrofilní) se považují plasty schopné přijímat vlhkost z vodného prostředí. Na schopnost vázat vodu má vliv chemické složení plastu, obsah plniv nebo třeba stupeň krystalinity. Sušení a sorpce vody jsou vratné děje a probíhají do ustanovení rovnovážného stavu mezi výrobkem a okolím. [4, 6, 9]

## 2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování je z hlediska objemu průmyslové výroby nejdůležitější a nejrozšířenější technologií zpracování plastů. Patří mezi tvářecí technologie, při kterých se zásadním způsobem mění tvar polymeru. Umožňuje rychlou výrobu členitých tvarů různých velikostí s vysokou přesností. Vstřikováním se vyrábějí finální výrobky, polotovary pro další operace, či díly pro kompletování sestav. Nejčastěji se vstřikují termoplastické materiály. V omezené míře lze úpravou technologických podmínek docílit vstřikování reaktoplastů i kaučuků. Výrobky zhotovené vstřikováním mají vysokou rozměrovou i tvarovou přesnost a lze u nich dosáhnout vysoké kvality povrchu bez nutnosti dalších úprav. [4, 10]

### 2.1 Princip

Princip vstřikování vychází z technologie tlakového lití, avšak za odlišných teplot a při rozdílných reologických vlastnostech materiálu. Zpracováváný materiál v podobě taveniny se vysokou rychlostí vstříkne do dutiny formy, kterou zaplní. Z uvedeného vyplývá, že forma nese negativní tvar výrobku. Po přechodu materiálu do tuhého stavu je materiál v podobě výrobku vyjmut z formy, načež se celý proces opakuje. Vstřikování je tedy diskontinuální, cyklický proces. Výhodami vstřikování jsou sériová reprodukovatelnost dílů i jejich vlastností, vysoká produktivita a rychlost cyklu. Nevýhody tvoří vysoké pořizovací náklady na vstřikovací stroje i formy a v porovnání s výrobkem neúměrně větší velikost strojů. Proto se vstřikování hodí spíše pro velkosériovou výrobu. [4, 9]

Postup při vstřikování termoplastů je následující. Termoplast, většinou v granulované podobě, je odebírán z násypky pracovní částí stroje, kterou je šnek nebo píst. Ta dopravuje materiál do tavicí komory, kde se vlivem disipace a topných těles materiál plastikuje a přechází v taveninu. Roztavený materiál se hromadí v tlakové komoře, dokud nedosáhne objemu vstřikované dávky. Následně je, působením šneku nebo pístu, vstříknut do dutiny uzavřené, většinou kovové, formy, a zaujme tak její tvar i objem. Teplo materiálu přechází do studenější formy, zároveň probíhá dotlaková fáze, která kompenzuje vliv smrštění a rozměrových změn při chlazení termoplastu. Postupným ochlazením plast tuhne ve finální výrobek, mezitím probíhá příprava další dávky materiálu. Forma se otevře, aby mohl být výrobek vyhozen a proces se opakuje. [4, 9]

## 2.2 Vstřikovací stroje a jejich části

Nezbytným základem každé vstřikovací výroby jsou specializované vstřikovací stroje a k nim připojená periferní zařízení. Vstřikovací stroje musí zajišťovat řadu funkcí spojených s přeměnou polymerní hmoty na konečný výrobek. Významnou funkcí je upnutí nástroje, který se v případě vstřikování nazývá forma, tak, aby zároveň umožňoval jeho bezpečné otevírání a uzavírání. Další důležité funkce jsou plastikace materiálu, příprava vstřikované dávky a její doprava do dutiny formy nebo připojení stroje i nástroje na technologické zdroje, jako elektrická energie, chlazení, stlačený vzduch a podobně. S ohledem na variabilitu a množství plastikářské produkce nabízí výrobci spoustu možností řešení vstřikovacích strojů od velmi univerzálních po vysoce specializované. Současně s rozvojem automatické výroby jsou výrobci schopni vybavit stroje dalším příslušenstvím, a vytvářet tak částečně až plně automatizovaná pracoviště. [4, 6, 11]

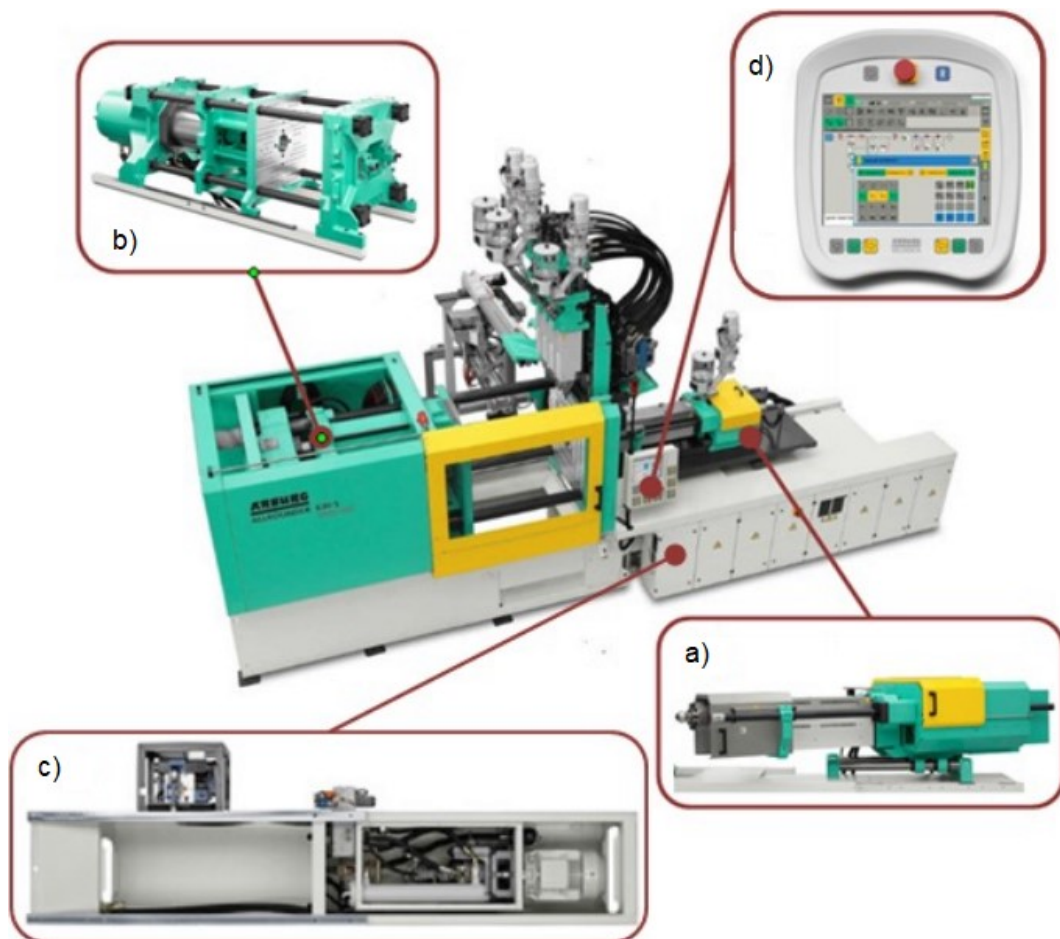
Vzhledem k dějům probíhajícím ve stroji během vstřikování, jejich popisu a nastavení parametrů, je vhodné rozdělit stroje na dvě nezávislé části. Vstřikovací stroj se tak skládá ze vstřikovací jednotky a uzavírací jednotky. Obě části jsou pak doplněny periferními zařízeními, která mohou být provedena externě, nebo integrována do rámu stroje, který obě jednotky spojuje v jeden funkční celek. Podle povahy pohonu se v současnosti na trhu rozlišují tři základní druhy vstřikovacích strojů, které jsou hydraulické, elektrické a hybridní. Starší hydraulické stroje jsou vybaveny čerpadlovou skupinou s hydraulickými okruhy. Hydraulické pohony na ně napojené pak vyvozují všechny hlavní pohyby stroje a umožňují realizovat požadované fáze vstřikovacího cyklu. U elektrických strojů jsou pohony tvořeny servomotory, díky kterým je vstřikování rychlejší a energeticky účinnější, avšak jejich údržba je složitější, síly uzavírající formu jsou obvykle menší a způsobují problematické řízení dotlakových fází. Hybridní stroje kombinují oba typy pohonů, včetně jejich výhod. Obecně tedy nelze říct, který z pohonů je lepší, ale je nutné brát v úvahu konkrétní použití stroje. [4, 6, 11]

Výběr vstřikovacího stroje probíhá na základě návrhu velikosti formy a znalosti objemu nebo hmotnosti vstřikovaného dílu. Z nich lze odvodit nezbytné parametry stroje a následně minimální velikost stroje. Nejdůležitější charakteristiky vstřikovacích strojů jsou:

- Vstřikovací kapacita – maximální objem taveniny na jednu vstřikovací dávku. Vstřikovací kapacita musí být větší než součet objemu dutiny formy, včetně vtoku a

objemu taveniny potřebného pro dotlakovou fázi. Běžně se uvádí v centimetrech krychlových ( $\text{cm}^3$ ),

- plastikační kapacita – maximální množství materiálu, které je stroj schopný roztavit a homogenizovat, za jednotku času. Běžně se uvádí v kilogramech za hodinu ( $\text{kg}\cdot\text{hod}^{-1}$ ),
- uzavírací síla – síla, která udržuje formu v zavřené poloze během vstřikování a dotlaku. Běžně se uvádí v kilonewtonech (kN),
- mezera mezi vodicími sloupy – určuje maximální rozměr formy, který lze upnout do sloupových uzavíracích jednotek. Běžně se uvádí v milimetrech (mm),
- maximální velikost upínacích desek – určuje maximální rozměr formy, který lze upnout do uzavírací jednotky s bezsloupovou konstrukcí. Běžně se uvádí v milimetrech (mm). [6, 9]



Obrázek 9 Vstřikovací stroj a jeho části [11]: a) vstřikovací jednotka, b) uzavírací jednotka, c) rám stroje s hydraulickým pohonem, d) ovládací panel řídicího a kontrolního systému integrovaného do rámu

### 2.2.1 Vstřikovací jednotka

Kvalita vstřikovaných výrobků je silně ovlivněna podmínkami procesu, který probíhá ve vstřikovací jednotce stroje. Vstřikovací jednotka plní dvě hlavní funkce. Musí zajistit přeměnu termoplastu z granulí na homogenní taveninu (plastikace) a její vstříknutí vysokou rychlostí do dutiny uzavřené formy. Nejstarší pístové jednotky převzaly princip fungování z technologie tlakového lití kovů, avšak dnes už se používají jen výjimečně kvůli svým špatným plastikačním a míchacím schopnostem. Pracovní část těchto strojů tvoří píst, který je schopný vyvodit dopředným pohybem vysoký tlak vhodný pro vstřikování velmi viskózních polymerních tavenin, vysoce plněných materiálů a reaktoplastických směsí. Pro minimalizaci vlivu nedostatečných schopností pístu se při těchto aplikacích pístové stroje doplňují šnekovou předplastikací. [4, 10, 12]

V současnosti nejčastěji využívané vstřikovací jednotky na zpracování termoplastů mají pracovní část tvořenou šnekem. Moderní šnekové vstřikovací jednotky jsou běžně složeny z několika částí. Násypka tvoří vstupní část pro materiál. Za násypkou pokračuje tavicí (plastikační) komora s topnými pásy, která je ukončena tryskou, která při vstřikování dosedá na součásti formy. V tavicí komoře je umístěn šnek, připojený na pohon. Šnek vykonává rotační pohyb a posuv ve směru osy. Vstřikovací jednotky jsou ještě vybaveny posuvem, který umožňuje příjezd k uzavírací jednotce. Po délce standardního šneku lze rozlišit tři funkční pásma, přičemž profil šneku se v jednotlivých pásmech zpravidla mění. První pásmo se nazývá vstupní (dopravní). Šnek zde rotací odebírá granulát z násypky a dopravuje ho tavicí komorou do dalšího pásma. V přechodovém (kompresním) pásmu se termoplast taví ohřevem od odporových topných pásů a vlivem disipace. Postupně se zmenšuje hloubka i stoupání závitů a materiál je značně stlačován. Následuje výstupní (homogenizační) pásmo. Otáčením šneku zde dochází k dobrému promíchávání taveniny a rovnoměrnému rozložení teplot v materiálu. Při přípravě vstřikované dávky se šnek otáčí a odjíždí dozadu, přičemž se před hlavou šneku hromadí roztavený materiál. Při samotném vstřiku se šnek přestane otáčet a kontrolovaným pohybem vpřed nejprve uzavře zpětný ventil a poté začne působit na taveninu jako píst. Poměr hloubek závitů ve vstupním a výstupním pásmu se nazývá kompresní poměr. Rozměry šneku jsou průměr a délka, která se udává poměrem k průměru šneku. [4, 11, 12, 13]

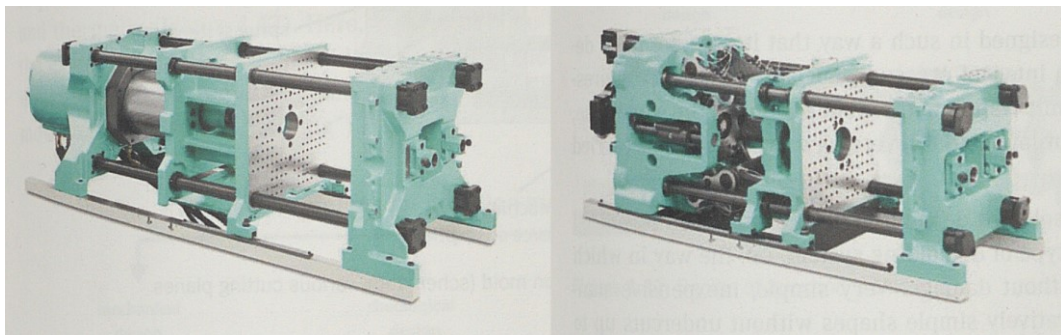
### 2.2.2 Uzavírací jednotka

Spousta procesů tváření plastů vyžaduje nástroj, který je schopný se otvírat a zároveň je udržován v uzavřeném stavu dostatečnou silou. Pro technologii vstřikování je nástrojem dvoudílná vstřikovací forma, která se otvírá v jedné dělicí rovině, nebo více. Uzavírací jednotka pak zajišťuje správné upnutí vstřikovací formy, její otevírání i zavírání v hlavní dělicí rovině a vyvolává síly, které působí proti tlaku vstřikovaného polymeru v dutině formy, čímž ji udržuje bezpečně uzavřenou v průběhu vstřikování. Moderní uzavírací jednotky obstarávají také pohyby spojené s vyhozením výrobku z formy po jejím otevření. Uzavírací jednotka se skládá z několika částí. [11, 12, 13]

Základ uzavírací jednotky tvoří dvě upínací desky, na které se připevňují obě části vstřikovací formy. Rozlišuje se pevná upínací deska a pohyblivá upínací deska. Pevná upínací deska je přichycena k rámu stroje a obsahuje otvor, kterým prochází tryska vstřikovací jednotky, aby dosedla na vtokovou vložku formy. Existuje spousta způsobů, jak uchytit vstřikovací formu k upínacím deskám. Malé a středně velké vstřikovací stroje používají především uchycení pomocí upínek, využívající princip přitlačného mechanismu. Bajonetový způsob vznikl za účelem urychlení výměny formy. U těžkých forem velkých strojů se ujal relativně rychlý systém upínání pomocí magnetických desek. Vodicí tyče, neboli sloupky, zajišťují rovnoběžnost funkčních ploch upínacích desek, vedení pohyblivé upínací desky při posunu a snižují opotřebení vodicích tyčí vstřikovací formy. Malé stroje mají většinou dvě vodicí tyče, střední a velké pak mývají čtyři sloupky. Jak u sloupků, tak u upínacích desek je kladen důraz na dostatečnou tuhost. Existují i bezsloupkové konstrukce, jejichž výhodou je možnost upnutí větších forem, avšak na úkor tuhosti soustavy uzavírací jednotky. Na straně pohyblivé upínací desky se nachází vyhazovací systém, který pohybuje vyhazovacími deskami ve vstřikovací formě, čímž dochází k vytlačení ztuhlého výrobku z otevřené formy. Nejjednodušší provedení je pomocí dorazu, kdy se při otevírání formy vyhazovací systém posouvá společně s pohyblivou upínací deskou. Po kontaktu s dorazem se pohyb vyhazovacího systému zastaví, zatímco upínací deska s připevněnou formou najíždí do zadní polohy. Zasunutí vyhazovacího systému zpět je potom realizováno přes vraccí kolíky, které se při zavírání dostávají do kontaktu s částí formy na pevné upínací desce. V současnosti se však stále více uplatňuje vyhazovací systém tvořený hydraulickými válci. Hlavní výhody takového systému jsou úplná nezávislost na pohybech upínací desky a nastavitelnost rychlosti i dráhy vyhazovačů podle potřeb aktuální aplikace. Existují i další

způsoby odformování výrobků, avšak ty jsou méně rozšířené a většinou nevyžadují přítomnost vyhazovacího systému v uzavírací jednotce stroje. [11]

Pohyblivá upínací deska je přes uzavírací mechanismus (systém) připojena k rámu stroje. Uzavírací mechanismus působí na upínací desku ve dvou fázích. V posuvové fázi, kdy se upínací desky přibližují, nebo oddalují, jsou rychlosti relativně vysoké a působící síly malé, pouze na překonání tření a setrvačných sil. V uzamykací fázi jsou naopak uzavírací síly značné a pohyb téměř, nebo úplně, nulový. Uzavírací mechanismus tak brání nežádoucímu otevření formy v průběhu vstřikování. Z hlediska způsobu, jakým je vyvolána uzavírací síla, se dělí uzavírací systémy na mechanické, hydraulické. U mechanických uzavíracích systémů se podle zdroje energie rozlišují elektro-mechanické (elektrické) systémy a hydro-mechanické systémy. Nejeftivnějším mechanickým uzavíracím systémem je kloubový mechanismus, který dosahuje téměř ideálních rychlostních profilů. Uzavírací síla je vyvolána mechanickým zapříčením formy. Kloubový mechanismus může být ovládán hydraulickým pístem nebo servomotorem. Hydraulické uzavírací systémy tvoří hydraulický válec, který často bývá připojen přímo na pohyblivou upínací desku. Výhodou je postupný nárůst uzavírací síly, avšak při pohybu dosahují nižších rychlostí než mechanické systémy se srovnatelnou uzavírací silou. Výhody obou systémů spojují kombinované uzavírací systémy, u kterých jsou posuvy řízeny kloubovým mechanismem, zatímco hydraulický válec se stará o vybudování uzavírací síly. [11, 12]



Obrázek 10 Srovnání provedení hydraulického (vlevo) a kloubového (vpravo) uzavíracího mechanismu uzavírací jednotky [13]

### 2.2.3 Periferní zařízení

Periferní zařízení napomáhají správné funkci vstřikovacího stroje nebo ho doplňují o nové funkce, a vytváří tak z něj automatizované pracoviště. Některé z často používaných periférií jsou výrobci vstřikovacích strojů integrovány přímo do rámu stroje. Například kontrolní a řídicí jednotka dnes tvoří běžnou součást stroje. Ostatní periferní zařízení bývají realizována

v podobě přídavných externích jednotek. Mezi periferní zařízení patří řídicí a kontrolní jednotka, zařízení pro temperaci vstřikovacích forem, chladicí systémy vstřikovacích strojů, sušárny granulátu, dávkovače a míchače aditiv, zařízení pro automatizované upínání a výměnu forem, manipulátory a roboty pro vyjímání vstříknutých dílů a vtokových zbytků z formy, dopravníky, popisovací systémy a další. [6, 11]

### 2.3 Vstřikovací cyklus

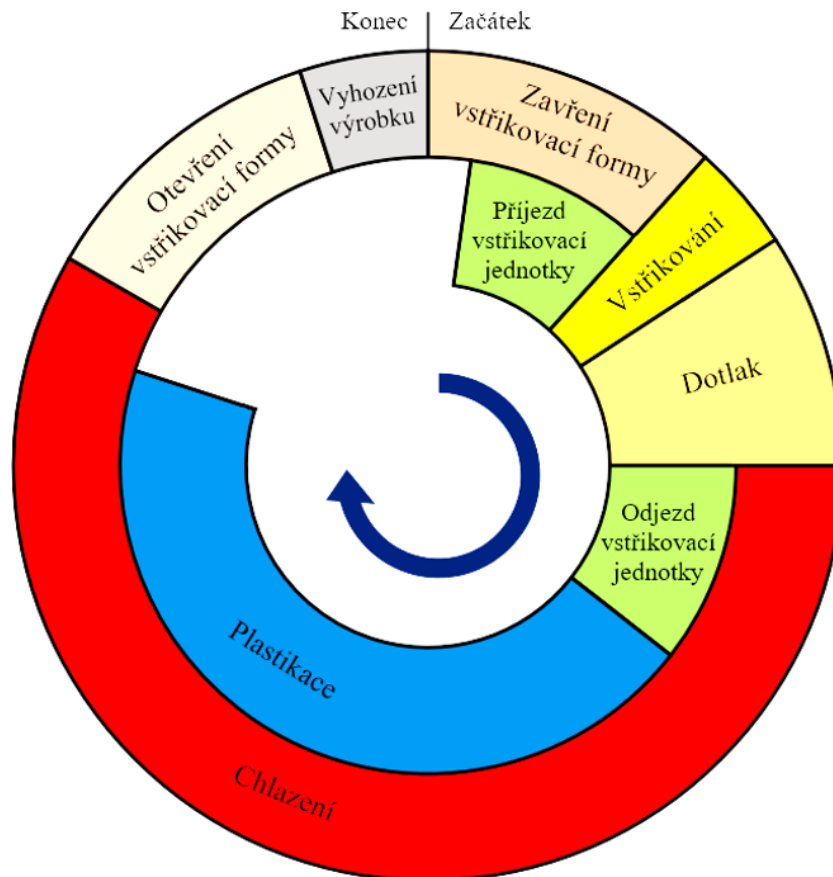
Jak bylo zmíněno, technologie vstřikování je cyklický proces. Pro sériovou reprodukovatelnost vlastností vstřikovaných dílů je proto nezbytné, aby podmínky při jednotlivých krocích výrobního procesu byly v těsné shodě napříč všemi cykly. Vstřikovací cyklus tak tvoří posloupnost přesně definovaných operací, při kterých je polymer zatížen tlakově i teplotně. Obecně se v literatuře uvádí jako začátek cyklu uzavření vstřikovací formy uzavírací jednotkou stroje. Kroky vstřikovacího cyklu termoplastů jsou obvykle:

- Zavření vstřikovací formy,
- příjezd vstřikovací jednotky,
- plnění dutiny vstřikovací formy (vstřikování),
- dotlaková fáze (dotlak),
- odjezd vstřikovací jednotky,
- příprava nové dávky polymeru (plastikace),
- otevření vstřikovací formy a vyhození výrobku (odformování),
- chlazení vstřikovací formy a výrobku. [6, 12, 13]

Některé z operací jsou prováděny různými jednotkami vstřikovacího stroje a v praxi často probíhají současně. S ohledem na použitý stroj, vstřikovaný materiál i konstrukci formy lze některé kroky výrazně zkrátit, nebo dokonce úplně vynechat. Cyklus začíná uzavřením vstřikovací formy, čímž vzniká tvarová dutina. Zároveň se k formě přibližuje vstřikovací jednotka a tryskou dosedá na ústí vtokového systému formy. Šnek vstřikovací jednotky následně působí jako píst a dutina se plní materiálem. Polymerní tavenina okamžitě tuhne na stěnách formy, ale nízká tepelná vodivost plastů umožňuje tok taveniny jádrem. Během fáze dotlaku je udržován vysoký tlak a doplňován materiál tak, aby kompenzoval redukci objemu chladnoucího polymeru. Po zatuhnutí vtoku vstřikovací jednotka odjíždí a začne plastikace dávky materiálu pro další cyklus. Dostatečně zchlazený a tvarově stabilní výrobek



je vyhozen z otevřené formy a cyklus se opakuje. Vzhledem k probíhajícím dějům během jednotlivých kroků je technologie vstřikování složitá na popis průběhů teplot a tlaků. [12, 13, 14]



Obrázek 11 Vstřikovací cyklus termoplastů, operace vstřikovací jednotky (vnitřní prsteneček) a formy (vnější prsteneček)

Kromě výše zmíněného vstřikování termoplastů existuje řada modifikací standardního procesu vstřikování. Cílem těchto modifikací je rozšíření aplikace technologie vstřikování, zlepšení vlastností a vizuální atraktivity výrobků, či zvýšení efektivity výroby. Úpravou tak lze dosáhnout vstřikování zesíťovaných struktur reaktoplastů a pryží. [9, 14]

## 2.4 Vady vstřikovaných výrobků

Kvůli své obtížnosti nastavení a provedení procesu vstřikování vznikají při výrobě různé vady dílů. Časté vady a jejich příčiny jsou:

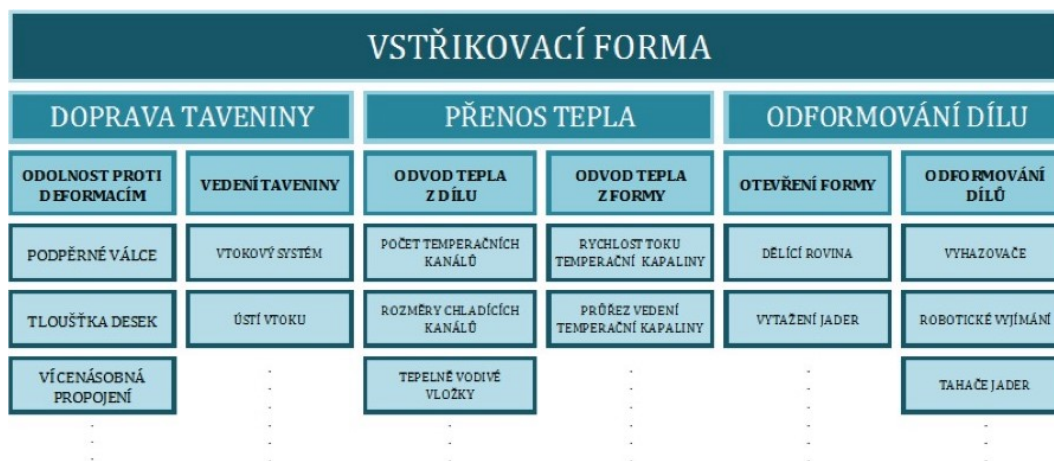
- Neúplný výstřik – nízká tekutost polymerní taveniny, malý objem dávka materiálu, nevhodná konstrukce dílu, nevhodné umístění ústí vtoku, malý průřez vtokového kanálu, nízký vstřikovací tlak,

- přetoky a otřepty – opotřebení dělicích rovin formy, nízká uzavírací síla, vysoká vstřikovací tlak,
- propadliny a vtaženiny – nevhodná konstrukce dílu, nízký tlak dotlakové fáze,
- deformace dílu – nevhodná konstrukce dílu a formy, nedostatečná doba chlazení, nevhodný materiál, špatná manipulace po vyhození a další,
- stříbrné pruhy – přítomnost vlhkosti nebo těkavých látek v tavenině, vystoupení skleněných vláken k povrchu u plněných polymerů,
- černé tečky a skvrny – vměstky nečistot, špatně nastavený teplotní profil,
- volný (meandrový) tok taveniny – vysoká vstřikovací rychlost, prudký přechod vtoku do dutiny formy, nevhodný směr zaústění vtoku,
- vakuové bubliny (lunkry) – příliš rychlé ochlazení stěn tlustostěnných dílů, špatné nastavení dotlakové fáze, špatná konstrukce formy,
- bubliny – uzavření vzduchu a plyných podílů ve formě, nedostatečné odvzdušnění formy, vlhkost v materiálu, vysoká teplota taveniny,
- lokální spálení (Diesel efekt) – špatné odvzdušnění formy, uzavření vzduchu v dutině formy,
- křehkost dílu – vysoký obsah vlhkosti v materiálu, tepelná degradace materiálu v plastikační komoře, nevhodná konstrukce formy,
- rozdíly lesku na povrchu, nekopírovaný dezén – nevhodný návrh dutiny formy, změna tokových podmínek kolem vtokového ústí, prudký přechod tloušťky stěny v okolí žeber, malá tekutost polymerní taveniny, špatná kvalita povrchu formy.

[6, 15]

### 3 VSTŘIKOVACÍ FORMY

Vstřikovací forma je komplexní tvářecí nástroj technologie vstřikování. Zároveň tvoří centrální bod vstřikovacího stroje. Požadavky na vlastnosti a funkci formy vycházejí z procesu vstřikování termoplastů. Forma zajišťuje hlavně dopravu polymerní taveniny a její přetvoření na finální produkt. Tvar výrobku je potom dán tvarem dutiny formy. Dále musí forma splňovat požadavky na snadné, bezpečné, rychlé a opakovatelné vyjmutí dílu. Poslední hlavní funkcí formy je intenzivní odvod tepla, přiváděného roztaveným materiálem. Tyto hlavní funkce pak lze rozdělit na řadu vedlejších funkcí, jež musí forma plnit. Příklady vedlejších funkcí, které musí být zohledněny při konstrukci většiny forem, ukazuje obrázek (Obrázek 12). Z uvedeného vyplývá, že vstřikovací forma je konstruována na míru pro každou aplikaci. [12, 14, 16]



Obrázek 12 Základní hlavní funkce a vlastnosti vstřikovací formy [14]

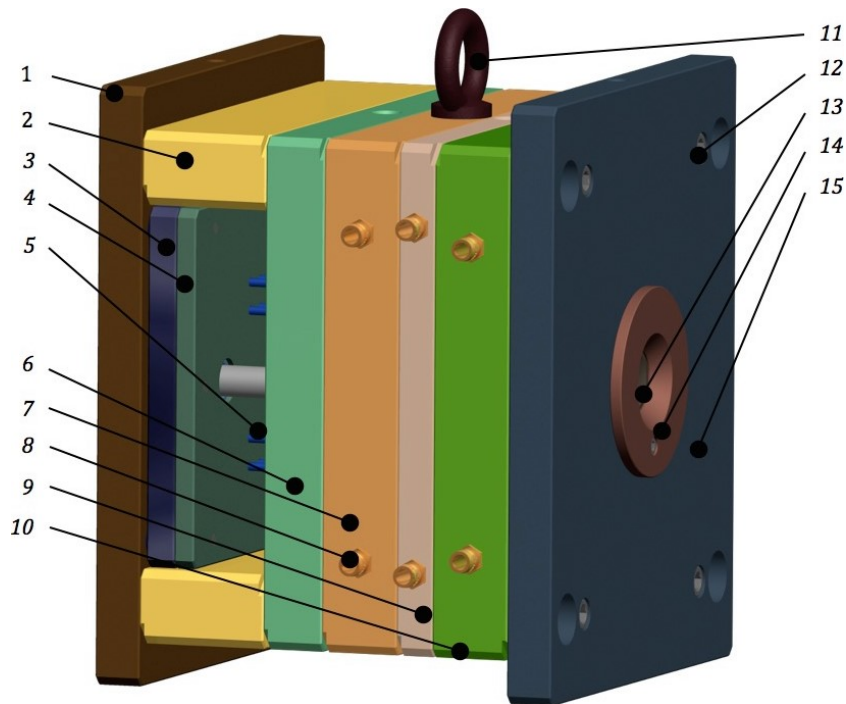
#### 3.1 Části vstřikovacích forem

Pro vstřikování termoplastů se běžně používá konstrukčně nejjednodušší dvoudesková forma. Dvoudesková forma má pouze jednu hlavní dělicí rovinu a skládá se z různých komponent. Sestava formy je namáhána mechanicky a tepelně ve vysokém počtu cyklů. Nejvíce namáhány jsou ty části formy, které přichází do přímého styku s polymerní taveninou a plochy v dělicí rovině. Kvůli snížení výrobních nákladů na formy nabízí často specializovaní výrobci řadu standardizovaných dílů (normálií). [14, 17, 18]

Dělení vstřikovacích forem:

- Podle počtu tvarových dutin – jednonásobné, vícenásobné,
- podle směru vstřiku – kolmo na dělicí rovinu (do osy formy), do dělicí roviny,

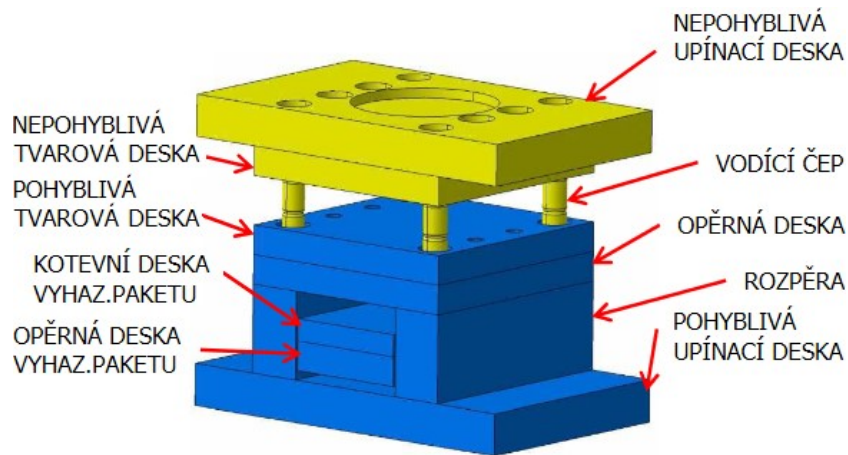
- podle uspořádání – dvoudeskové, třideskové,
- podle konstrukce – jednoduché, čelist'ové, s posuvnými jádry, závitové, etážové a další,
- podle vstřikovaného materiálu – formy pro termoplasty, formy pro reaktoplasty. [6]



Obrázek 13 Uzavřená dvoudesková vstřikovací forma [14]:  
 desky rámu (1, 2, 6, 7, 9, 10, 15), vyhazovací systém (3, 4, 5),  
 přípojka temperačního systému (8), manipulační oko (11),  
 montážní šrouby rámu (12), vložka vtokového systému (13),  
 středící kroužek rámu (14)

### 3.1.1 Rám vstřikovací formy

Rám vstřikovací formy je sestava několika dílů, které tvoří hlavní tělo vstřikovací formy. Rám se většinou skládá z několika desek s různou funkcí navzájem spojených šrouby, středícími a vodicími prvky. Rám formy je rozdělen dělicí rovinou na pohyblivou a nepohyblivou část. Konstrukce rámu formy musí být řešena tak, aby zajistila přesné a spolehlivé upnutí obou částí formy na upínací desky uzavírací jednotky vstřikovacího stroje. Vodicí prvky umožňují při pohybech formy vzájemné vedení částí rámu v požadované přesnosti. Do rámu se také upevňují a realizují ostatní části forem, přičemž je snahou volit jednoduché a spolehlivé řešení. Navíc se při návrhu rámu musí zohledňovat umístění vyhazovacího a temperačního systému, aby byla zaručena jejich správná funkce. U třideskových forem s dvěma hlavními dělicími rovinami se pro pohyb desek často využívají různé západkové systémy dodávané výrobcem forem. [14, 18]



Obrázek 14 Základní podoba rámu dvoudeskové vstřikovací formy [18]

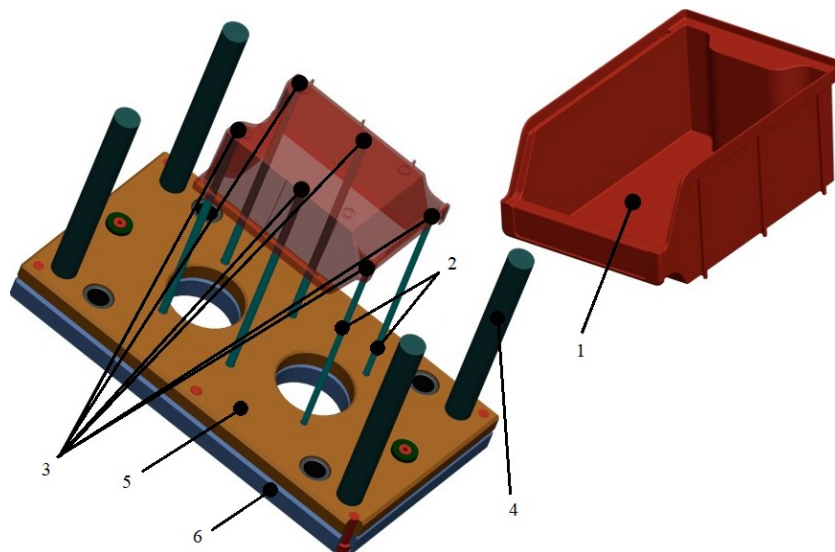
### 3.1.2 Tvarové vložky

Tvarová dutina formy, ve které tuhne polymer do tvaru výrobku, může být vytvořena přímo v tvarových deskách rámu stýkajících se v dělicí rovině. Kvůli zvýšené zátěži jsou tyto desky vyráběny z mechanicky odolnějších a tím pádem dražších materiálů. Materiál formy se volí i s ohledem na vstřikovaný termoplast a požadovanou životnost formy. Z ekonomického hlediska je vhodné takto konstruovat pouze malé vstřikovací formy. Pro snížení nákladů na pořízení větších vstřikovacích forem se z odolných materiálů zhotovují tvarové vložky, které se pevně uchytí do tvarových desek rámu z méně kvalitnější oceli. Tvárník je funkční tvarová vložka, z níž vystupuje negativní tvar výrobku. Tvarová vložka, do které je vytvořen opačný negativní tvar výrobku, se nazývá tvárnice. Tvárník se nejčastěji umísťuje na pohyblivou stranu rámu a tvárnice na nepohyblivou. [14, 18]

### 3.1.3 Vyhazovací systém

V praxi je snaha o automatizaci operace vyjmutí vstřikovaných výrobků. Pro tyto účely slouží vyhazovací systém forem. Vstřikovaný díl vlivem smrštění termoplastu při ochlazení zůstává těsně přichycen na tvárníku otevřené formy a je potřeba ho vyrazit dostatečnou silou, aby však nedošlo k poškození výrobku. Vyhazovací systém nejčastěji sestává z dvojice vyhazovacích desek, kotevní a opěrné, mezi které se upevňují vyhazovače. Pro různé tvary výrobků se volí různé tvary vyhazovačů. Často se používají kruhové (válcové) vyhazovače, ploché (prizmatické) vyhazovače s obdélníkovým průřezem, trubkové vyhazovače, stírací kroužky, stírací desky nebo stírací lišty. Speciálním případem jsou vytáček vyhazovací systémy pro odformování vnitřních závitů. Zároveň jsou plastové díly navrhovány s ohledem na snadné odformování. Prvky usnadňující vyjmutí z formy jsou

například úkosy ploch kolmých na dělicí rovinu nebo nízká drsnost povrchu tvarových vložek. [14, 16, 18, 19]



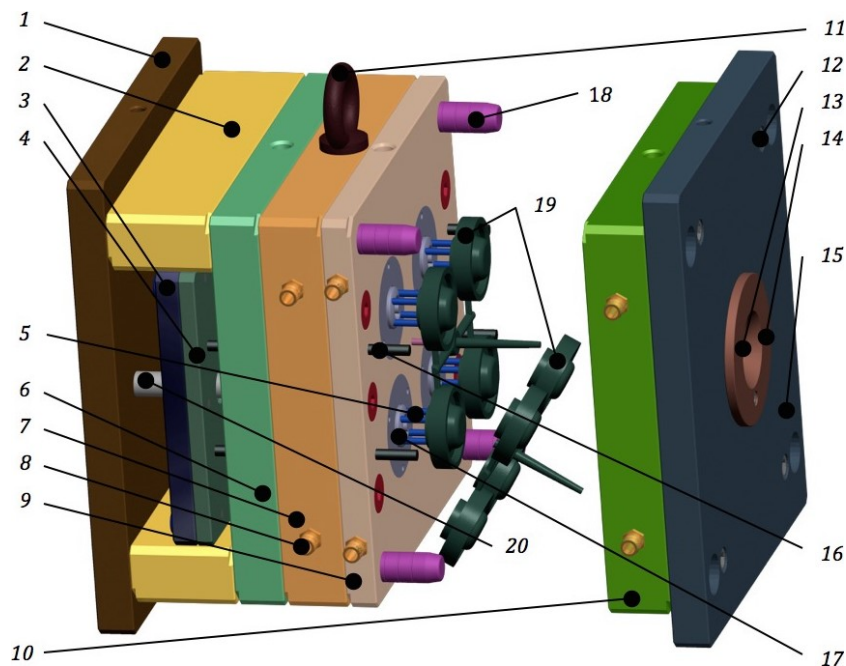
Obrázek 15 Sestava vyhazovacího systému [14]: vstříkovaný díl (1), kruhové vyhazovače (2), umístění vyhazovačů na vstříkovaném dílu (3), vodící čep vyhazovacích desek (4), kotevní vyhazovací deska (5), opěrná vyhazovací deska (6)



Obrázek 16 Válcový a plochý vyhazovač z nabídky výrobce forem Meusburger [20]

Vyhazovací desky jsou táhlem propojeny s vyhazovacím mechanismem stroje. Při zavírání formy je nutné zajistit zatažení celého systému, aby nenarazil do funkčních ploch tvarových vložek a nepoškodil je. Nejjednodušší způsob vrácení je pomocí vraccích kolíků, které mechanicky zaručí posun vyhazovacích desek do zadní polohy. Moderní vstříkovací stroje nahrazují mechanické dorazy hydraulickými válci, jejichž pohyb je možné programovat nezávisle na pohybech rámu. Funkci vyhazovačů lze podpořit stlačeným vzduchem

dopraveným mezi tvárník a výrobek. Kromě odformování dílů zajišťuje vyhazovací systém i odstranění materiálu ztuhlého ve vtokových cestách formy. [14, 16, 18, 19]

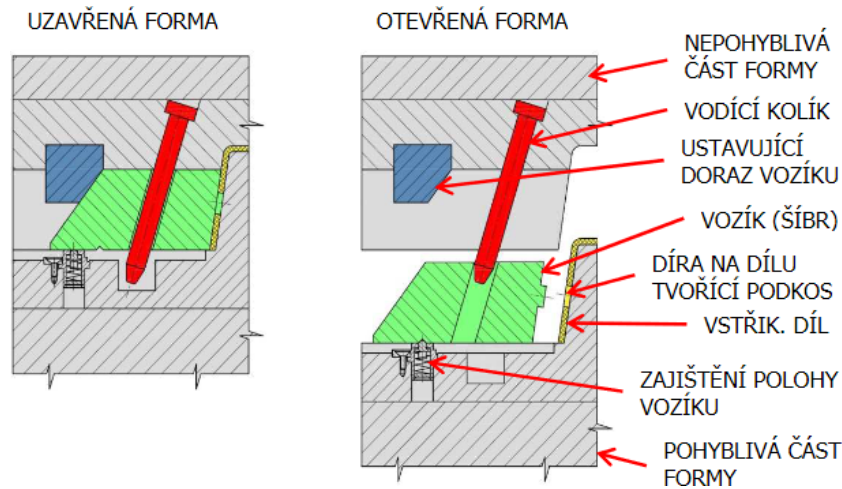


Obrázek 17 Otevřená dvoudesková forma s vysunutým vyhazovacím systémem [14]: pohyblivá upínací deska (1), rozpěra (2), opěrná vyhazovací deska (3), kotevní vyhazovací deska (4), kruhový vyhazovač (5), opěrná deska (6), temperační deska (7), přípojka temperačního systému (8), pohyblivá tvarová deska (9), nepohyblivá tvarová deska (10), manipulační oko (11), montážní šrouby rámu (12), vtoková vložka (13), středící kroužek rámu (14), nepohyblivá upínací deska (15), vraccí kolíky (16), tvárník (17), vodící čepy (18), vyhazovaný díl (19), podpěrný válec rámu (20)

### 3.1.4 Boční odformování

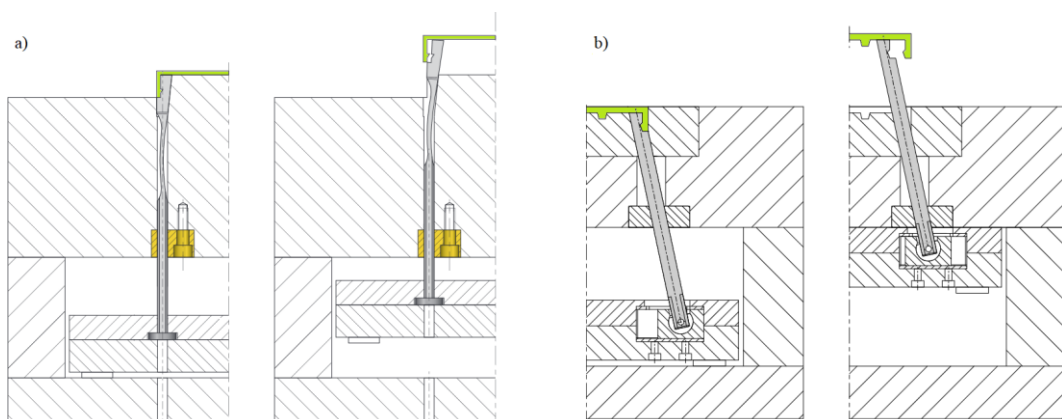
Na vstříkovaných dílech se běžně vyskytují vnější a vnitřní tvary, které není možné odformovat pouze oddělením částí formy v hlavní dělicí rovině, ale je potřeba zapojení dalších prvků. Obecně jde o tvary, jejichž osa není kolmá na dělicí rovinu. Odformování otvorů ležících mimo směr hlavních pohybů formy, často kolmých k dělicí rovině, se provádí pomocí pohyblivých tvarových jader. Vozík s upevněným jádrem je pohyblivě připojen k pohyblivé části. Pohyb vozíku je řízen mechanicky, pomocí šikmého vodícího kolíku v nepohyblivé části formy. Hlavními pohyby formy je vozík nucen klouzat po šikmém kolíku ve směru odformování. Protože je šikmý kolík při pohybech formy namáhán na ohyb, volí se odklon osy kolíku od normály dělicí roviny maximálně 22 °. V případech, kdy je potřeba pozdržet vysunutí bočních jader vůči pohybu formu, lze použít mechanického řízení

lomeným kolíků. Stále častěji se však uplatňuje programovatelné ovládání, přičemž jako pohon slouží hydraulický, nebo pneumatický, válec umístěný na formě. Pro minimalizaci nákladů nabízí výrobci forem spoustu způsobů řešení bočního odformování pomocí standardizovaných dílů a funkčních sestav. [14, 16, 17, 18]



Obrázek 18 Princip bočního odformování šikmým kolíkem [18]

Pro odformování podkosů na straně tvárníku se používají speciální druhy vyhazovačů, které se pohybem vyhazovacího paketu přemísťují nebo pružně deformují svůj tvar, aby umožnily snadné vyjmutí výrobku. Speciální vyhazovače se prodávají jako standardizované díly, které se tvarově upraví pro konkrétní aplikaci. Pro malé podkosy blízko dělicí roviny se používají pružné vyhazovače. Větší podkosy je vhodné odformovat skloněným (šikmým) vyhazovačem. Podle konstrukce se tyto vyhazovače někdy označují jako kyvné. [12, 17, 19]

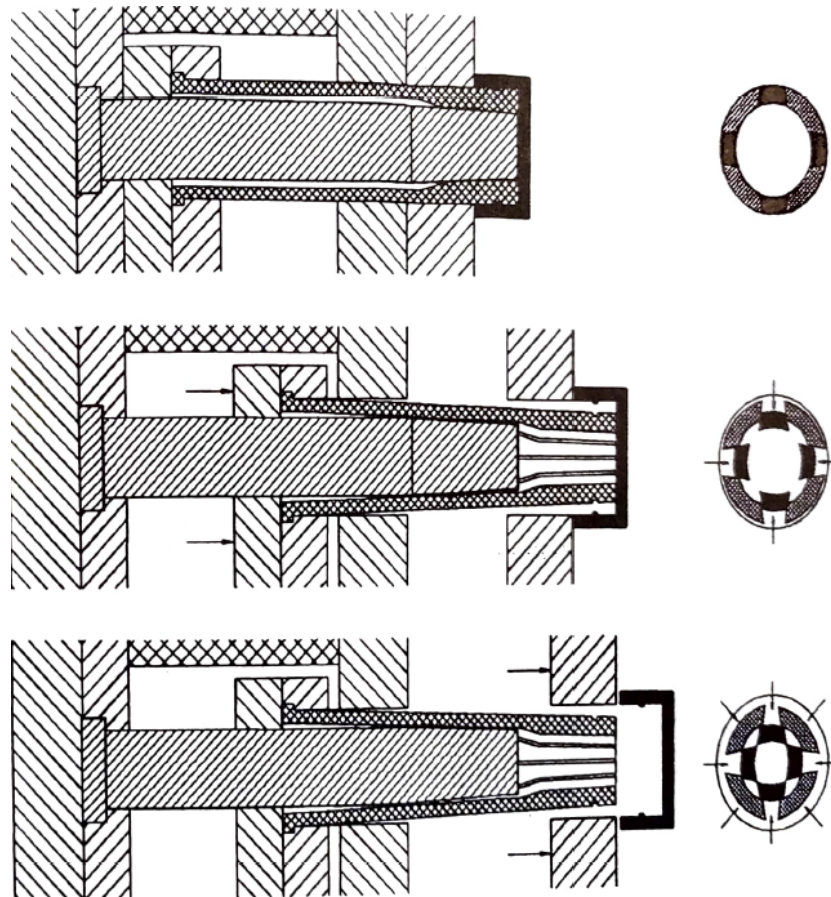


Obrázek 19 Princip bočního odformování podkosů speciálními vyhazovači [20]:  
a) pružný, b) šikmý

Kolapsibilní (skládací) jádra se používají pro odformování podkosů na vnitřních rotačních částech. S výhodou nahrazují složité vytáčeční systémy pro odformování vnitřních závitů,



avšak většinou vyžadují dvoustupňovou konstrukci vyhazování. Při prvním kroku se složí jádra, při druhém je výrobek vyhozen, nejčastěji pomocí stírací desky. [12, 17, 19]



Obrázek 20 Princip funkce kolapsibilního jádra [12]

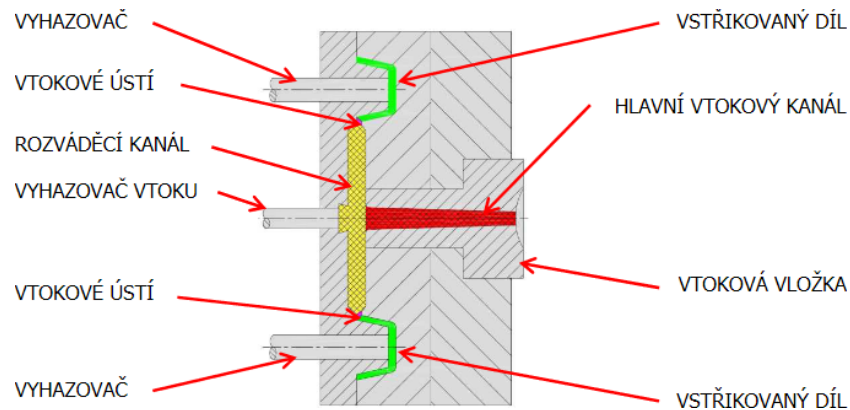
### 3.1.5 Vtokový systém

Vtokový systém dopravuje roztavený polymer ze vstřikovací jednotky stroje do dutiny formy. Vtokový systém by měl být dimenzován pro maximální dobu působení dotlaku, aby bylo možné doplňování materiálu během objemové kontrakce ochlazovaného polymeru a eliminace vzniku vad (lunkrů) ve výrobku. Rozhraní mezi vtokovým systémem a dutinou formy se nazývá ústí vtoku (vtokové ústí). V praxi se rozlišují studený vtokový systém (SVS) a vyhřívaný vtokový systém (VVS). Zároveň se používají různé způsoby zaústění vtokového systému do dutiny formy. [14, 16]

- **Studený vtokový systém (SVS)**

U studených vtokových systémů, na rozdíl od vyhřívaných, tuhne vstřikovaný materiál v dutině formy i ve vtokovém systému. Zatuhlý vtokový systém se nazývá vtokový zbytek a musí být vyhazován z formy při odformování spolu s výrobkem. Při následných operacích

je od výrobku vtokový zbytek oddělen, a tvoří tak technologický odpad. Při vstřikování termoplastů jej však lze recyklovat. U některých forem, často vícenásobných, tvoří vtokový systém významný podíl objemu vstřikované dávky, čímž zvyšuje spotřebu polymeru. Studené vtokové systémy jsou levnější a jednodušší na výrobu formy a nepotřebují pro správnou funkci energetické připojení. Studený vtokový systém se skládá z několika částí, které zaručují správné dopravení polymerní taveniny do tvarové dutiny formy. [16, 21, 22]

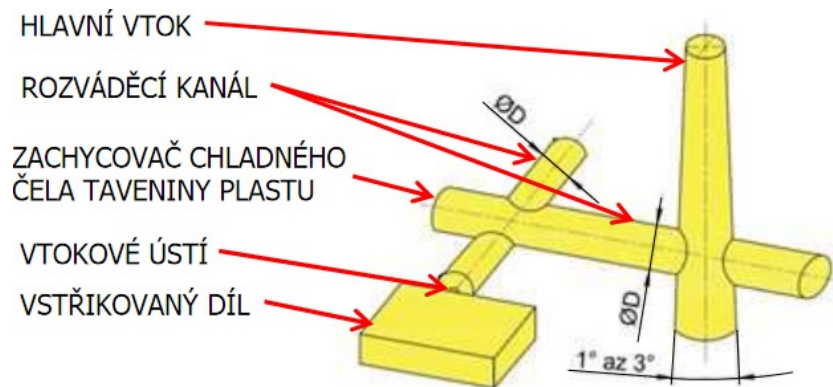


Obrázek 21 Schéma studeného vtokového systému [21]

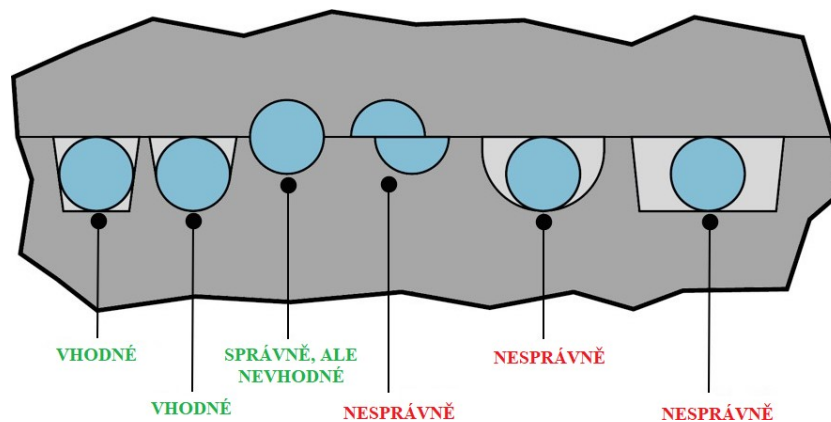
**Vtoková vložka** je od výrobců forem dodávána jako normálie. Při vstřikování na ni přímo dosedá tryska vstřikovací jednotky. Zaoblení obou částí zaručuje těsné vzájemné dosednutí a přesné vystředění tokových cest. Vložka obsahuje hlavní vtokový kanál, který u jednonásobných forem může končit vtokovým ústím. Protože se vzdáleností od trysky klesá teplota tekoucího jádra, navrhuje se pro zajištění rovnoměrného toku hlavní vtokový kanál s mírným úkosem, obvykle  $0,5^\circ$  až  $1,5^\circ$ . Úkos také usnadňuje vyjímání často dlouhého vtokového kanálu z nepohyblivé části formy. Jestliže není vtoková vložka rotačně symetrická, obsahuje tvarové úpravy pro ustavení ve správné poloze. [14, 21, 22]

**Rozváděcí kanály** u vícenásobných forem navazují na hlavní kuželový kanál a dopravují materiál do jednotlivých dutin, přičemž musí dodržet vhodné odstupňování. Pro snadné odformování se rozváděcí kanály navrhuje do dělicí roviny. Průřez rozváděcích kanálů se volí tak, aby měl co nejmenší poměr obvodu k ploše průřezu. Velký obvod způsobuje rychlejší chladnutí tekoucího jádra polymeru, naopak příliš velký obsah zvyšuje množství potřebného polymeru, čímž prodražuje výrobu. Nejideálnější poměr má kruhový průřez, avšak je u něj vysoké riziko vzniku chyb při obrábění do obou desek. Nejčastěji se proto volí průřez lichoběžníku se zaoblenou kratší stranou realizovaného pouze do jedné desky. Rozváděcí kanály se navrhuje co nejkratší, ideálně stejně dlouhé pro všechny dutiny formy, a rozděluje se symetricky k toku taveniny, aby v každé z nich byly stejné rychlostní a tlakové

podmínky. Ne vždy je možné vytvořit vtokový systém podle těchto zásad nebo by byl vtokový systém neúměrně složitý, proto se upravují průřezy vtokových ústí tak, aby se jednotlivé dutiny plnily stejně. V praxi se nejprve vtokové ústí osazuje brzdícími přepážkami, které jsou po zkušebních vstřicích postupně odebírány při optimalizaci formy. Proces úprav vtokových ústí vícenásobných forem podle reálného zatékání polymeru do jednotlivých dutin se nazývá balancování. [14, 16, 21]



Obrázek 22 Vtokový systém se dvěma stupni rozváděcích kanálů [21]



Obrázek 23 Porovnání provedení rozváděcích kanálů [14]

- **Provedení vtokového ústí**

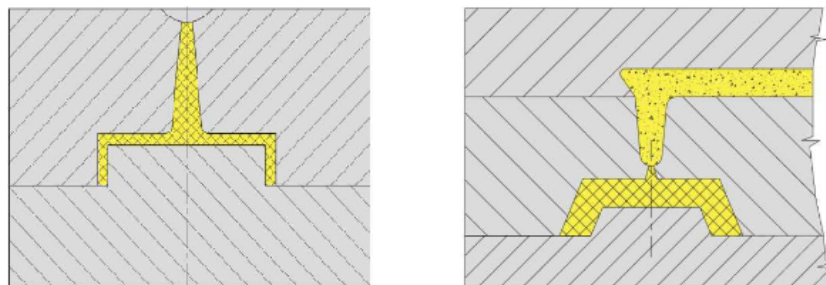
Vtokové ústí se nazývá zúžené místo, kterým je přiváděna polymerní tavenina do dutiny formy. Vtokové ústí se navrhuje co nejmenší, aby se minimalizovaly stopy na vstřikovaném výrobku. Obecně by délka vtokového ústí, tedy vzdálenost rozváděcího kanálu a dutiny formy, neměla být větší než 2 mm. Vtokové ústí se podle možností formy umísťuje:

- Do nejtlustšího místa výrobku – prodlužuje se doba působení dotlaku a zvyšuje se kvalita dílu (kuželový princip),
- do geometrického středu dutiny – dutina se rovnoměrně plní polymerem,

- ve směru orientace žeber – zatečení do všech míst,
- proti stěně formy nebo překážce – brání volnému (meandrovému) toku taveniny,
- mimo místo, kde se při používání výrobku předpokládá největší namáhání – ústí vtoku koncentruje napětí, čímž je nejslabším bodem dílu,
- mimo pohledové plochy výrobku,
- tak aby se minimalizoval vznik studených spojů nebo aby se tvořily mimo mechanicky namáhaná a pohledová místa,
- tak aby dráha taveniny v dutině byla co nejkratší. [14, 16, 21, 22]

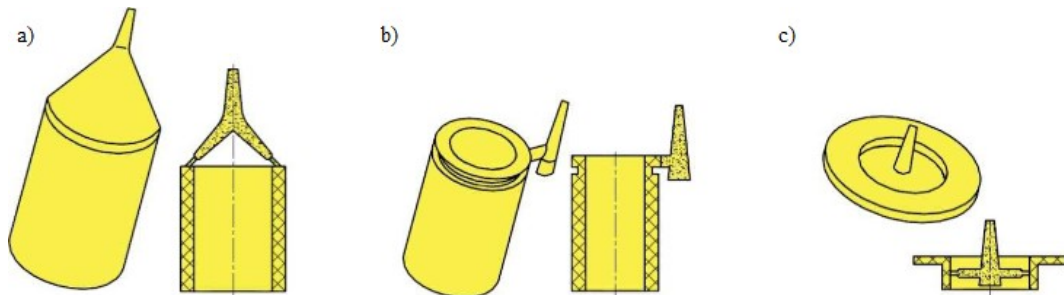
**Přímý kuželový vtok** je vyústění hlavního vtokového kanálu přímo do dutiny formy. Hodí se pro jednoduché symetrické výrobky s tlustou stěnou. Výhodou je snadná výroba, naopak nevýhodou je složité odstranění vtokového zbytku. [21, 22]

**Bodový vtok** je nejběžnější druh vtoku vhodný pro tenkostěnné výrobky. Vtokové ústí má malý průměr. Při použití v kombinaci s několikanásobnou třídeskovou formou je výhodou odtržení vtokového zbytku od výrobků pohybem formy. V jedné dělicí rovině se vyhazují výrobky, v druhé je odstraněn vtokový systém. Dneska jsou kvůli své nespolehlivosti automatického chodu často nahrazovány vyhřívanými vtoky. [16, 21, 22]



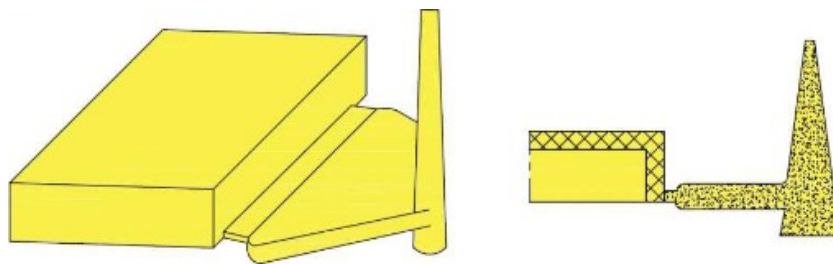
Obrázek 24 Řez vtokovým ústím přímého kuželového vtoku (vlevo) a bodového vtoku s rozváděcím kanálem (vpravo) [21]

**Deštníkový, talířový (vnitřní membránový) a prstencový (kruhový) vtok** se používají pro vstřikování rotačních těles. Výhodou je rovnoměrné plnění rotační dutiny formy. Nevýhodou je velký objem vtokového zbytku spojený se zvýšenou spotřebou polymerního materiálu. Navíc tato vtoková ústí kladou větší nároky na odstranění vtoků, proto se používají jen výjimečně. Talířový vtok se někdy nahrazuje větším počtem tunelových vtoků. [16, 21]



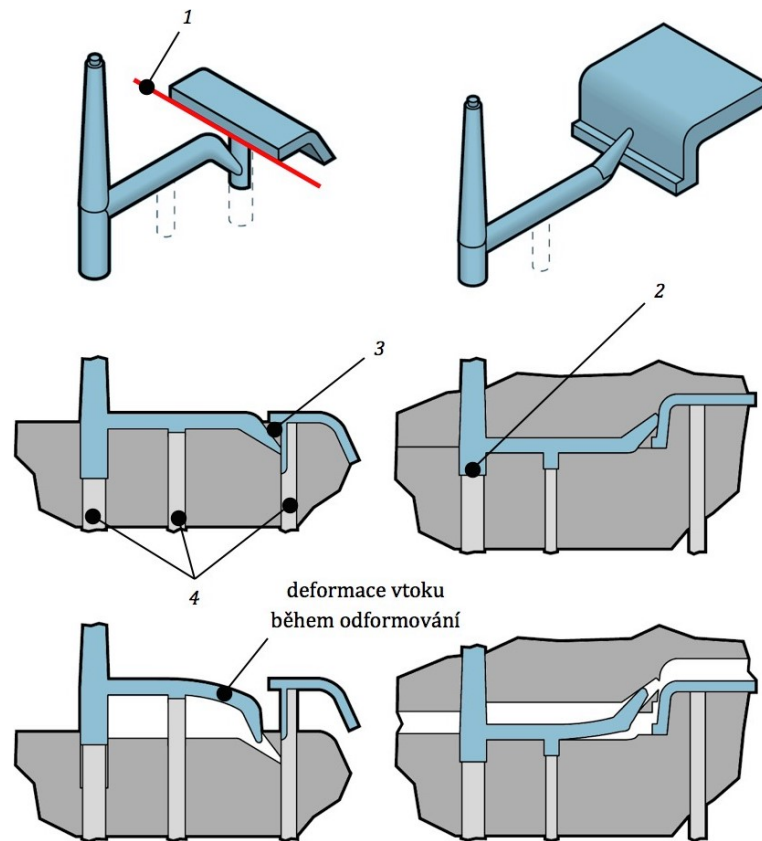
Obrázek 25 Vtoková ústí pro rotační výrobky [21]: a) deštníkový vtok, b) prstencový vtok, c) talířový vtok

**Filmový vtok**, neboli štěrbinový, je běžný typ ústí vtoku pro výrobky obdélníkového tvaru. Filmový vtok se umísťuje na kratší stranu výrobku, čímž je zaručeno rovnoměrné plnění dutiny od vtokového ústí. Vtok se hodí pro vstřikování plněných plastů nebo výrobu tenkých plochých dílů. Nevýhodou je odstranění vtokového zbytku až po vyhození z formy. Příliš úzká filmová ústí mohou vést k delaminaci vrstev ve výrobku. [14, 16, 21, 22]



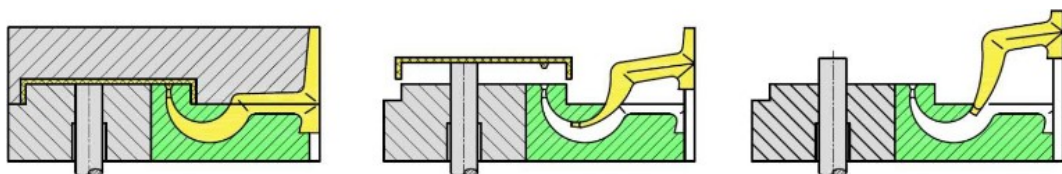
Obrázek 26 Ukázka filmového vtoku [21]

**Tunelový vtok** umožňuje plnit dutinu formy mimo dělicí rovinu. Ústí vtoku se většinou umísťuje z boku výrobku. Při vyhazování je vtok automaticky oddělen od výrobku, a to i při použití dvoudeskové formy. Vnitřní tvar vtoku je většinou vyráběn pomocí složitého elektroerozivního hloubení, proto se často dodává jako standardizovaný díl. Řezná hrana by měla být co nejostřeji obrobena, aby docházelo ke kvalitnímu oddělení vstřikovaného dílu. Při použití tunelových vtoků je většinou potřeba použít přidržovač vtoku, který udrží vtokový zbytek na pohyblivé straně formy. Tunelový vtok se nehodí používat při vstřikování polymerů plněných vláknitými plnivými. [14, 21, 22]



Obrázek 27 Princip oddělení tunelového vtoku [14]:  
hlavní dělicí rovina (1), přídržovač vtoku (2), řezná  
hrana (3), vyhazovače (4)

**Banánový vtok** je někdy nazýván jako srpkový vtok, zahnutý tunelový vtok, nebo prohnutý tunelový vtok. Principem jde o tunelový vtok, avšak se používá tam, kde není z nějakého důvodu možné umístit ústí vtoku z boku výrobku. Banánový vtok, podobně jako tunelový, je schopný oddělovat vtokový systém od výrobku a dodává se jako standardizovaný díl. Výhodou je umístění vtokového ústí ze spodní strany výrobku, čímž se zamezí výskytu stop po vtoku na pohledové straně. [14, 21, 22]

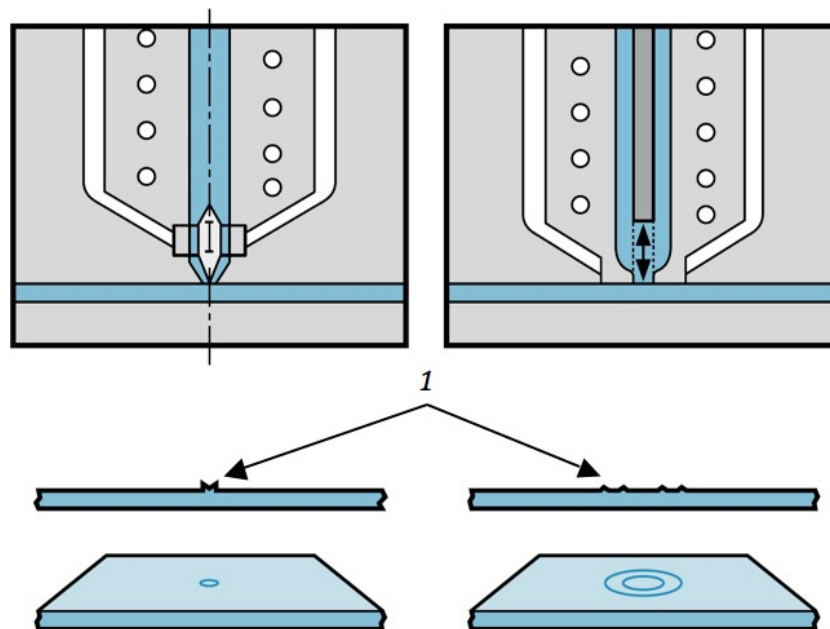


Obrázek 28 Princip oddělení banánového vtoku [21]

- **Vyhřívaný vtokový systém (VVS)**

Ve velkosériové výrobě vstřikovaných dílů se čím dál častěji uplatňují vyhřívané vtokové systémy. Podle různých výrobců existuje několik pojmenování pro tuto technologii. Lze se tak setkat s pojmenováními jako teplý vtokový systém, horký vtokový systém, systém

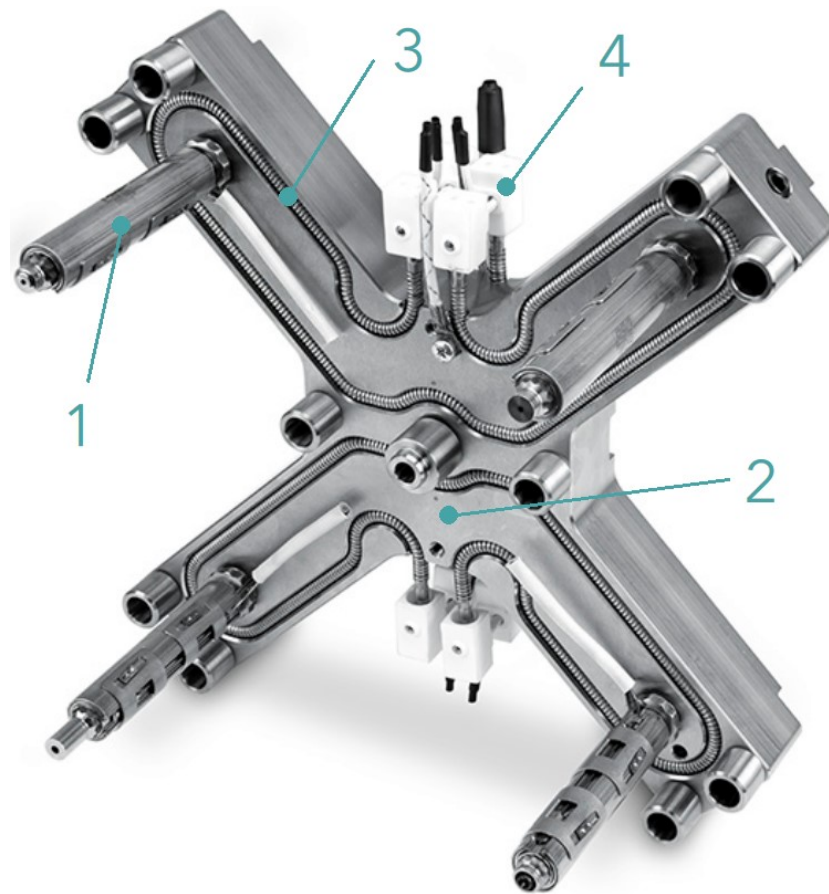
horkého rozvodu nebo systém horké trysky. Vyhřívané vtoky obsahují kromě vtokových cest topná tělesa, která udržují ve vtokovém systému polymer ve viskózním stavu po celý cyklus. Nevzniká tak vtokový zbytek, čímž se snižuje spotřeba materiálu, odpadá nutnost manipulace s technologickým odpadem a jeho recyklace. Navíc se zkracuje cyklus, protože se nemusí čekat na zatuhnutí vtoku. Další výhodou je minimalizace otisků vtokových ústí, avšak jeho okolí na výrobku může vykazovat teplotní ovlivnění vlastností. Nevýhodou jsou vyšší pořizovací náklady na formu. Zároveň musí být vtokový systém dovybaven regulační jednotkou. Vyhřívaný vtok klade i větší nároky na návrh temperace formy, aby nedocházelo k nežádoucímu chlazení vyhřívaného vtoku nebo ohřevu temperačního média. Protože polymer je teplotně namáhán výrazně déle, nehodí se pro vstřikování polymerů citlivých na teplotu. [14, 16, 22]



Obrázek 29 Ústí vtoku vyhřívaného vtokového systému [14]:  
otevřená tryska (vlevo), tryska s uzavíráním jehlou (vpravo),  
otisk trysky na výrobku po oddělení (1)

Vyhřívané vtokové systémy lze dnes v podstatě kompletně sestavit ze standardizovaných dílů. Obvykle je horký rozvod složen z vyhřívané vtokové vložky, vyhřívané trysky tvořící vtokové ústí a připojené kabeláže. Vícenásobné formy pak mají před trysky zařazenu vyhřívanou rozvodnou desku. Jako tepelná izolace slouží vzduchové mezery mezi díly formy a vyhřívaného vtoku. Z konstrukčního hlediska existují dvě řešení vtokového ústí horkého rozvodu. Starší a konstrukčně jednodušší je řešení pomocí otevřených trysek. Podle umístění topných těles vůči prostoru pro tok taveniny se rozlišují otevřené trysky s vnitřním, nebo s vnějším topením. Aby nedocházelo k samovolnému vytékání taveniny z otevřené

trysky do otevřené dělicí roviny, musí vznikat ve vtokovém ústí blána ztuhlého polymeru dostatečně silná, aby udržela tlak taveniny. Při začátku vstřikovací fáze však musí být zaručeno její proražení vstřikovacím tlakem. Druhým řešením vtokového ústí horkého rozvodu je tryska s uzavíráním. Nejčastější konfiguraci těchto trysek tvoří vnější topení a vnitřně umístěná jehla, která mechanicky nahrazuje funkci blány otevřené trysky. Jehla trysky může být ovládána hydraulickým, nebo pneumatickým, válcem, nebo u modernějších trysek pomocí elektrických jednotek, či elektromagnetem. [14, 16]



Obrázek 30 Sestava horkého vtoku výrobce Meusburger [23]:  
horká tryska (1), rozvodná deska horkého vtoku (2), topná  
tělesa (3), přípojky kabeláže (4)

### 3.1.6 Temperace vstřikovacích forem

Hlavní úkolem temperačního systému je udržování konstantní teploty formy během vstřikování. Temperační systém obstarává průběžný odvod tepla přiváděného taveninou do vstřikovací formy. Cirkulací temperačního média formou se reguluje pracovní teplota formy, do které se vstřikuje polymer. Pracovní teploty formy je potřeba dosáhnout před začátkem výroby, aby už při prvních výstřicích byla zaručena schopnost reprodukovat vlastnosti. Obecně se vstřikují termoplasty do chlazených forem a reaktoplasty do ohříváných, aby se



podpořil začátek síťovací reakce. Intenzita chlazení forem pro termoplasty pak má přímý vliv na vlastnosti a kvalitu výrobku, jeho deformaci a vnitřní pnutí po vyjmutí z formy, či na délku cyklu. Fáze chlazení je zároveň nejdelší fází, proto její délka má vliv na efektivitu výroby a výslednou cenu výrobku. Temperační systém by tedy měl zajistit z ekonomického hlediska co nejrychlejší odvedení tepla a s ohledem na kvalitu výrobků co nejrovnoměrnější chlazení. Méně citlivé na nastavení temperačního systému jsou zpravidla amorfny termoplasty, protože rychlost ochlazení rozhoduje o stupni krystalinity semikrystalických plastů. V praxi jsou doporučené teploty formy a zpracování uváděny v materiálovém listě dodaného polymeru. Vstřikované výrobky se ve formě málokdy ochlazují až na teplotu okolí. Většinou jsou vyhozeny hned po dostatečném zatuhnutí, aby si udržely definovaný tvar, a jsou dále dochlazovány mimo formu. [6, 14, 16, 17]

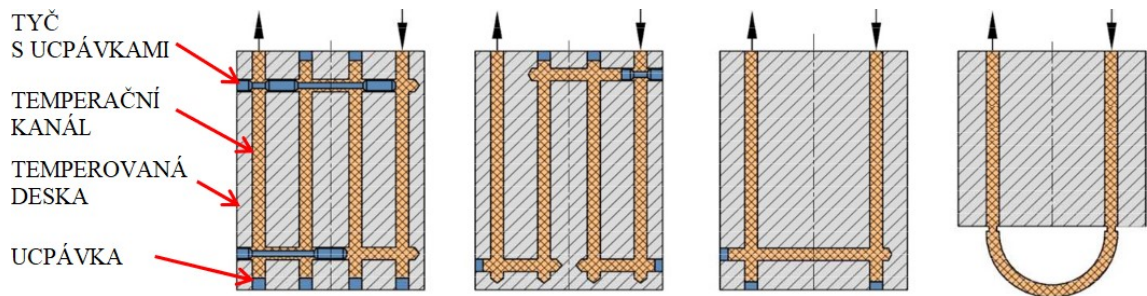
Samotný temperační systém sestává ze soustavy kanálků v deskách rámu a tvarových vložkách, temperační jednotky a hadic, které obě předchozí části propojují. Temperačními kanálky proudí temperační médium, běžně voda, olej nebo glykol. Temperační jednotky jsou nejčastěji externí zařízení, která se starají o cirkulaci temperační kapaliny a udržují její teplotu na nastavené hodnotě při jejím vstupu do formy. [6, 14, 17]



Obrázek 31 Různé temperační jednotky výrobce Wittmann [24]

Temperační kanálky jsou většinou vrtány přímo do desek rámu. Aby bylo teplotní pole co nejrovnoměrnější, doporučuje se volit větší počet kanálků s menším průměrem. Podle potřeby se temperují pohyblivé i nepohyblivé části formy. Kvůli výskytu kapalin, které by mohly znehodnotit výrobek nebo formu, je u temperačních systémů kladen důraz na těsnost. Úniku temperačního média průchozími kanálky brání ucpávky s těsněním. Těsnost přechodu temperačních kanálků mezi deskami a tvarovými vložkami je běžně řešena kruhovým

těsněním. Výstup a vstup temperace se provádí pomocí standardizovaných přípojek a rychlospojek, které umožňují připojení hadic temperační jednotky. [6, 16, 17, 25]



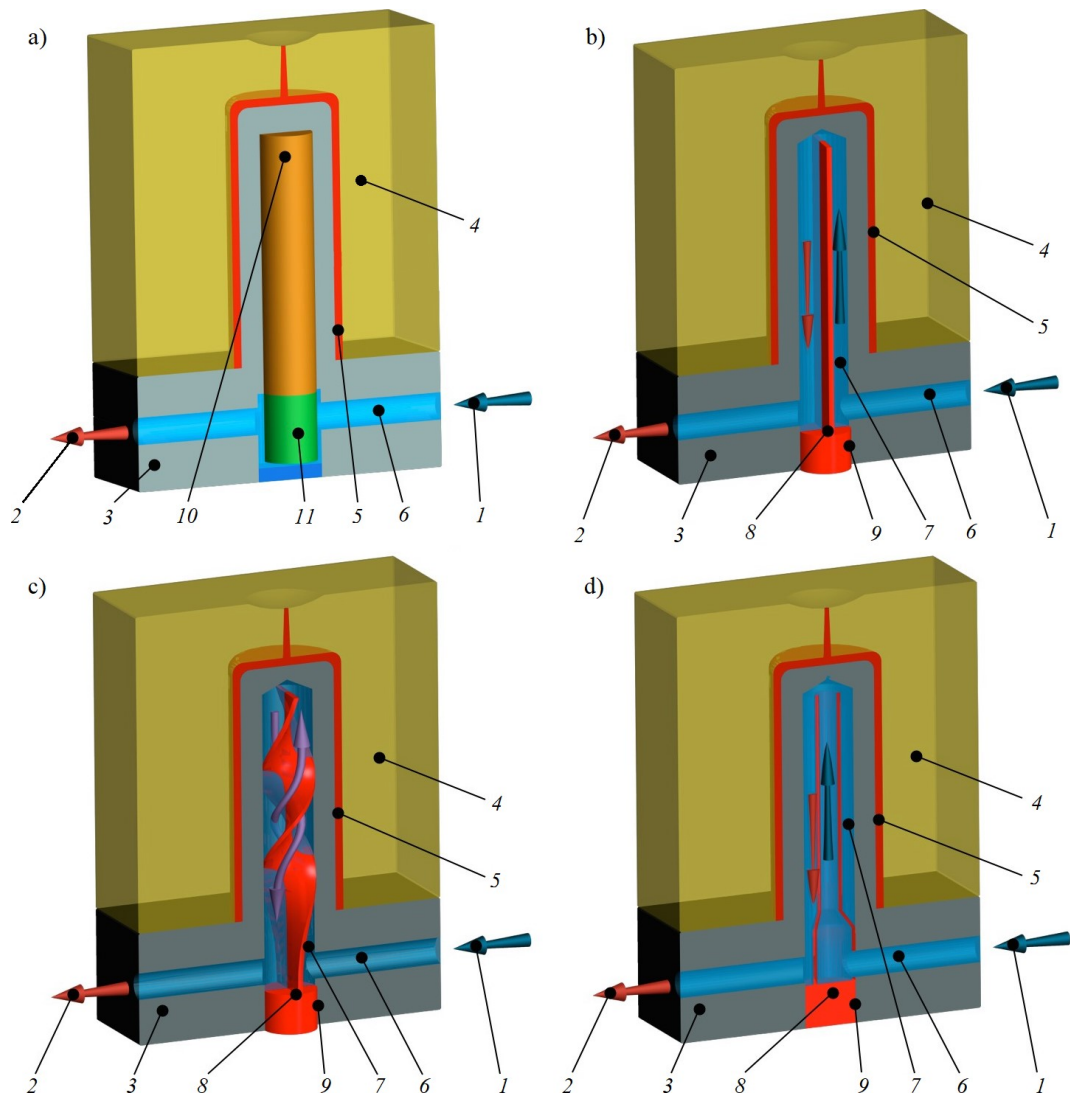
Obrázek 32 Příklady konstrukce jednoduchých temperačních systémů [25]

V případech, kdy není možné vrtat kanály pro temperaci, využívají se různé standardizované díly (inserty), které se vloží do dutin, kde je potřeba formu temperovat. Nejjednodušší provedení insertů jsou různé druhy trnů a tyčí z teplovodných materiálů, které odvádí teplo do místa, kde jej lze předat obtékající kapalině. Podmínkou správné funkce těchto insertů je těsné slícování s dutinou, protože vzduch funguje jako tepelný izolant a snížil by účinnost temperace. Efektivnější metodou odvodu tepla k temperační kapalině je použití tepelných trubíc pracujících na principu vypařování a kondenzace pracovní náplně v komoře vakuově uzavřené trubice. Pokud to umožňují rozměry tvarových dílů, doporučuje se použít normalizovaných přepážek nebo trubkových (fondánových) sestav, které umožňují neovlivňující se obousměrný tok temperačního média. [6, 14, 16, 17, 25]

Protože bývá teplota temperačního média na výstupu z formy vyšší než na vstupu do ní, klesá schopnost kapaliny odebrat dostatečně rychle teplo taveniny. U větších forem je často potřeba intenzivnější chlazení ve velkém objemu, což vyžaduje vytvoření většího počtu nezávislých temperačních okruhů. Každý temperační okruh pak vyžaduje připojení k vlastní temperační jednotce, která se stará o cirkulaci média a jeho správnou teplotu v daném okruhu. Obrovské formy mohou obsahovat velké množství temperačních okruhů, čímž se zvyšují nároky na správné zapojení temperačních jednotek. Aby se minimalizovala možnost chyby, jsou vstupy a výstupy jednotlivých okruhů jasně a srozumitelně označeny přímo na formě. [6, 16, 17, 25]

Činnost temperačního systému ovlivňuje řada vnějších faktorů jako teplota a vlhkost okolního vzduchu, proudění vzduchu nebo sluneční svit. Vstřikovací forma se během cyklu chová jako tepelný výměník, ve kterém hrají roli všechny složky sdílení tepla (vedení, proudění, sálání). Návrhu temperace je tak kladena zvláštní pozornost, aby se minimalizoval

vliv změn okolních podmínek. Pro eliminaci odvodu tepla upínacími deskami stroje jsou rámy často doplňovány deskami z tepelně izolačních materiálů. [6, 16, 17]



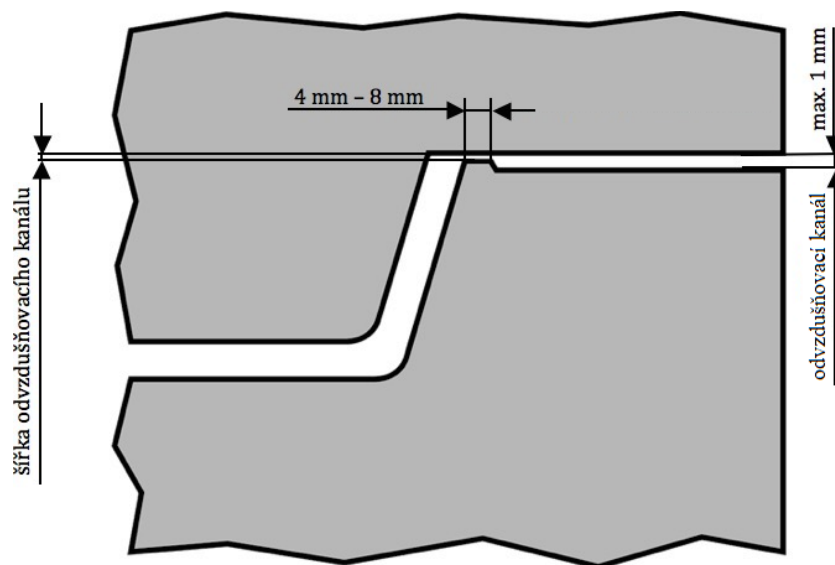
Obrázek 33 Různé typy temperačních insertů [14]:  
a) tepelná trubice, b) rovná přepážka, c) spirálová přepážka, d) fontánka

Prvky na obrázku (Obrázek 33): vstup temperačního média (1), výstup temperačního média (2), tvárnice (3), tvárnice (4), vstříkovaný díl (5), hlavní temperační kanál (6), vedlejší temperační kanál (7), funkční normálie (8), úložná plocha se závitem (9), výparná část tepelné trubice (10), kondenzační část tepelné trubice (11). [14]

### 3.1.7 Odvzdušnění vstříkací formy

Po uzavření formy zůstává ve formě zachycen vzduch, který je vytlačován tekoucím čelem polymerní taveniny. Doba plnění formy má vliv na finální vlastnosti výrobku a není možné její uzpůsobení potřebám pro únik vzduchu. U malých forem většinou stačí pro únik vzduchu

netěsnosti v dělicí rovině a mezery kolem vyhazovačů. Větší a komplikované formy se doplňují prvky pro odvod zachyceného vzduchu, jinak by mohlo dojít k jeho zachycení ve výrobku a vzniku vad. S rychlostí plnění roste i požadavek na efektivní odvzdušnění. Kromě vzniku bublin může vzduch stlačovaný polymerem způsobit lokální přehřátí až spálení termoplastu. Tento jev se nazývá Diesel efekt. Pro umístění odvzdušňovacích kanálů se volí místa nejvzdálenější od ústí vtoku a místa, kde by mohlo dojít k zachycení plynu. Konstrukce odvzdušňovacího kanálu musí zaručit dostatečný únik vzduchu, aniž by na výrobku vznikaly přetoky. Zátékavost jednotlivých polymerů se liší, a proto se volí šířka kanálu s ohledem na vstříkovaný materiál. [14, 16, 17]



Obrázek 34 Doporučená konstrukce odvzdušnění [14]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Pro tuto bakalářskou práci byly zadáním stanoveny následující cíle:

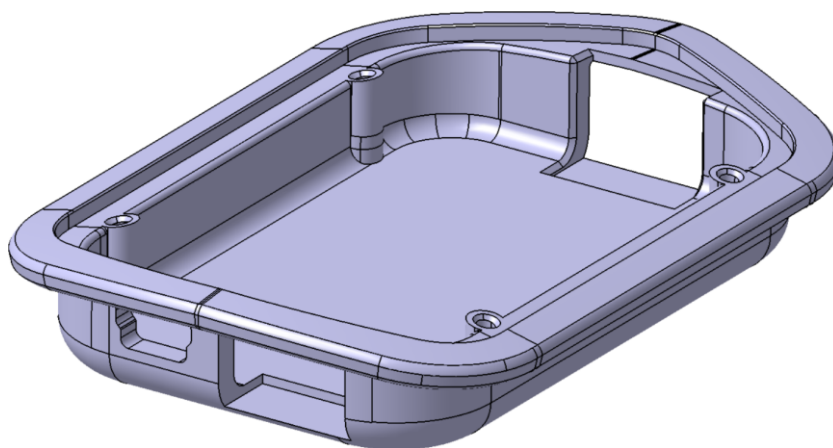
- Zpracovat literární rešerši na zadané téma,
- vytvořit trojrozměrný model vstřikovaného dílu podle zadání,
- navrhnout konstrukční řešení formy pro zadaný díl,
- zhotovit výkresovou dokumentaci sestavy formy, včetně patřičných pohledů a kusovníku.

Teoretická část stručně seznamuje čtenáře s polymerními materiály, se zaměřením hlavně na jejich zpracování technologií vstřikování. Dále poskytuje základní informace o principech technologie vstřikování a používaných strojích. Teoretická část také popisuje možnosti konstrukce a vlastnosti vstřikovacích forem.

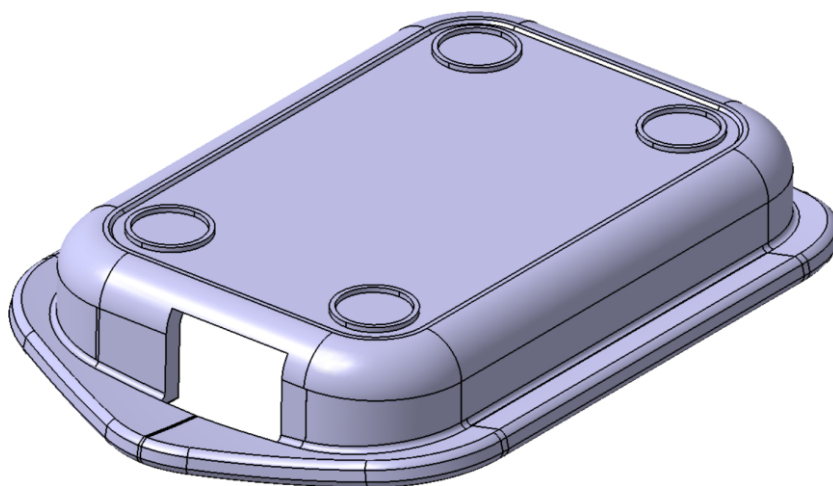
Praktická část se zabývá problematikou konstrukčního řešení vstřikovací formy pro součástku routeru s využitím znalostí získaných při vypracování teoretické části. Věnuje se aplikaci počítačových programů při procesu návrhu formy, tvorby trojrozměrných modelů a zpracování výkresové dokumentace.

## 5 SPECIFIKACE VSTŘIKOVNÉHO DÍLU

Zadaný vstříkovaný díl tvoří spodní součást krytu routeru. Router je aktivní elektrotechnické zařízení používané pro vytváření počítačových sítí. Z konstrukčního hlediska je na tento díl v praxi kladena řada nároků. Musí poskytovat stabilní oporu všem připojeným součástem, vytvořit dostatečný prostor pro umístění elektronických součástí, umožnit jejich bezpečné přichycení a chránit je před případným poškozením. Zohledňuje se také estetický vzhled dílu. Většina ploch dílu je nepohledová. V součásti jsou navrženy otvory pro umístění konektorů, které slouží pro připojení napájecího a datových kabelů. Vstříkovaný díl má rozměry 76,2 x 52,7 x 13 mm s tloušťkou stěny 2,4 mm. Celkový objem činí 10,32 cm<sup>3</sup>.



Obrázek 35 Model výrobku v pracovní poloze



Obrázek 36 Model výrobku otočený dnem vzhůru

## 5.1 Materiál výrobku

Jako materiál výrobku byl zadán polymerní blend PC/ABS. Jde o směs termoplastů, inženýrského polykarbonátu PC s komoditním akrylonitril-butadien-styrenem ABS, vhodnou pro vstřikování.

### 5.1.1 Vlastnosti materiálu

Směs PC/ABS vykazuje synergický efekt vlastností obou složek. PC je amorfní termoplast vyznačující se svou houževnatostí a tuhostí. Je odolný proti rázům, vysokým teplotám a creepu. Negativní vlastnosti jsou ve směsi minimalizovány přidáním ABS, aniž by se výrazně měnily vhodné užité vlastnosti. Výrobky z PC/ABS mají elektroizolační vlastnosti a zvýšenou odolnost vůči korozi za napětí. Zpracovatelské vlastnosti jsou velmi dobré, vzniklá směs je snadno mísitelná a celkové smrštění malé. Významným faktorem je i příznivá cena polymerní směsi, nevýhodou je její hořlavost. Materiál lze snadno obarvovat pigmenty. [2, 8, 26]



Obrázek 37 Struktura PC/ABS [26]

### 5.1.2 Aplikace materiálu

Obory výroby jsou hlavně automotive a elektrotechnika. Vstřikováním se v automotive z PC/ABS zhotovují například centrální kryty volantů dopravních prostředků, kapličky přístrojů, přístrojové desky, středové konzole automobilů, různé schránky, skříňky a přihrádky nebo sloupky. V elektrotechnice se z PC/ABS vstřikují třeba rámy televizorů, vložky monitorů, přenosná ruční zařízení, klávesnice, LCD panely, těla mobilních telefonů, destičky pro tištěné spoje, adaptéry a nabíječky. [2, 26, 27]



### 5.1.3 Volba materiálu

Podle zadání byl pro vstřikovaný díl vybrán materiál Bayblend® FR3013 od německého dodavatele Covestro. Tento materiál je vhodný pro zpracování technologií vstřikování a pro aplikace v elektrotechnice a informačních technologiích. Směs polymerů je plněna retardanty hoření, což zvyšuje její požární bezpečnost. Vlastnosti materiálu jsou dostačující pro aplikaci na vstřikovaném díle routeru. [27]

Tabulka 1 Vybrané vlastnosti PC/ABS značky Bayblend® FR3013 [27]

<b>Reologické vlastnosti</b>	<b>Hodnota</b>	<b>Jednotka</b>	<b>Testovací Standard</b>
Index toku taveniny (ITT) při 240 °C a zátěži 5 kg	26	cm <sup>3</sup> /10min	ISO 1133
Výrobní smrštění	0,6	%	ISO 294-4, 2577
<b>Mechanické vlastnosti</b>	<b>Hodnota</b>	<b>Jednotka</b>	<b>Testovací Standard</b>
Modul pružnosti	2650	MPa	ISO 527-1/-2
Mez kluzu	61	MPa	ISO 527-1/-2
Vrubová houževnatost Charpy při +23 °C	37	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1eA
<b>Teplotní vlastnosti</b>	<b>Hodnota</b>	<b>Jednotka</b>	<b>Testovací Standard</b>
Teplota tvarové stálosti při zatížení 1,80 MPa	78	°C	ISO 75-1/-2
Teplota tvarové stálosti při zatížení 0,45 MPa	86	°C	ISO 75-1/-2
Hořlavost, 1,5 mm tloušťka	V-0	třída	IEC 60695-11-10
<b>Ostatní vlastnosti</b>	<b>Hodnota</b>	<b>Jednotka</b>	<b>Testovací Standard</b>
Hustota	1190	kg/m <sup>3</sup>	ISO 1183
<b>Technologické parametry</b>	<b>Hodnota</b>	<b>Jednotka</b>	<b>Testovací Standard</b>
Vstřikování, teplota taveniny	240	°C	ISO 294
Vstřikování, teplota formy	80	°C	ISO 294

## 6 VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Podle rozměrů vstřikovací formy byl zvolen vstřikovací stroj německého výrobce ARBURG. Jde o plně hydraulický model ALLROUNDER 370 S v kombinaci se vstřikovací jednotkou řady 100 se šnekem o průměru 30 mm. Stroj splňuje všechny požadavky formy. Prostor mezi vodicími sloupky umožňuje snadnou montáž vstřikovací formy. Uzavírací jednotka vykazuje dostatečnou uzavírací sílu. Maximální objem vstřikované dávky, který je vstřikovací jednotka ve zvolené konfiguraci schopná dodat na jeden zdvih šneku, je dostatečný pro celkový vstřikovaný objem plastu do všech tvarových dutin, včetně materiálové rezervy přibližně 20 % potřebného vstřikovaného objemu.



Obrázek 38 Vstřikovací stroj ARBURG ALLROUNDER 370 S [28]

Tabulka 2 Vybrané vlastnosti stroje ARBURG ALLROUNDER 370 S [29]

Parametr	Hodnota	Jednotka
Maximální uzavírací síla	600	kN
Maximální síla při otevírání	160	kN
Maximální zdvih pohyblivé upínací desky	400	mm
Minimální výška vstřikovací formy	200	mm
Mezera mezi vodicími sloupky (šířka x výška)	370 x 370	mm
Maximální rozměr upínacích desek vstřikovací formy (šířka x výška)	510 x 510	mm
Maximální hmotnost pohyblivé části formy	360	kg
Maximální vyhazovací síla	30	kN
Maximální zdvih vyhazovacího paketu	125	mm
Průměr středícího kroužku	125	mm
Průměr šneku	30	mm
Maximální vstřikovací tlak	1390	bar
Maximální tlak dotlakové fáze	1390	bar
Maximální množství vstřikované dávky pro polystyren PS	65	g
Maximální kroutící moment na šneku	180	Nm

## 7 KONSTRUKČNÍ NÁVRH VSTŘIKOVACÍ FORMY

Vstřikovací forma pro zadaný výrobek byla navržena podle znalostí získaných během zpracování teoretické části této práce. Při postupu návrhu se, v co největší míře, vycházelo ze zásad a doporučení pro návrhy vstřikovacích forem, uváděných v literatuře. Důraz byl kladen především na maximální jednoduchost konstrukce formy a minimalizaci nákladů. Při návrhu byl použit konstrukční program Catia V5R19 od francouzské společnosti Dassault Systèmes. Snahou také bylo využívat normalizovaných dílů, dostupných z katalogů výrobců vstřikovacích forem, v maximální možné míře. Při konstrukci formy byly použity katalogy rakouského výrobce Meusburger a německé firmy HASCO.

### 7.1 Program Catia V5R19

Návrh konstrukce byl proveden v modelovacím programu Catia V5R19. Tento program integruje do jednoho prostředí řadu funkčních modulů umožňujících vytváření 3D modelů a sestav i tvorbu výkresů. Řada modulů je pak specializovaná pro zjednodušení a urychlení návrhu široké škály často používaných technologií. Pro tvorbu virtuálního modelu zadaného výrobku byly použity moduly Part Design a Generative Shape Design. V modulu Mold Tooling Design byla navržena konstrukce vstřikovací formy. Sestava formy s výrobkem byla zkompletována v modulu Assembly Design. Výkresy byly vytvořeny v modulu Drafting.

### 7.2 Normalizované díly

Pro zjednodušení návrhu formy byla snaha použít v konstrukci formy normálie v největším možném počtu. Většina dílů byla zvolena z katalogové knihovny rakouské společnosti Meusburger. Ta nabízí široký sortiment kvalitních normalizovaných dílů pro konstrukce vstřikovacích forem. V řešení konstrukce formy pro zadanou součást routeru je použit horký rozvodný systém polymerní taveniny, sestavený z normálií dodávaných firmou HASCO. Důvodem je širší výběr součástí pro tuto technologii oproti katalogu Meusburger. Výhodou elektronických databází normálií je široký výběr produktů v různých standardizovaných rozměrech, možnost stažení 3D modelů daných normálií a jejich vložení do sestavy.

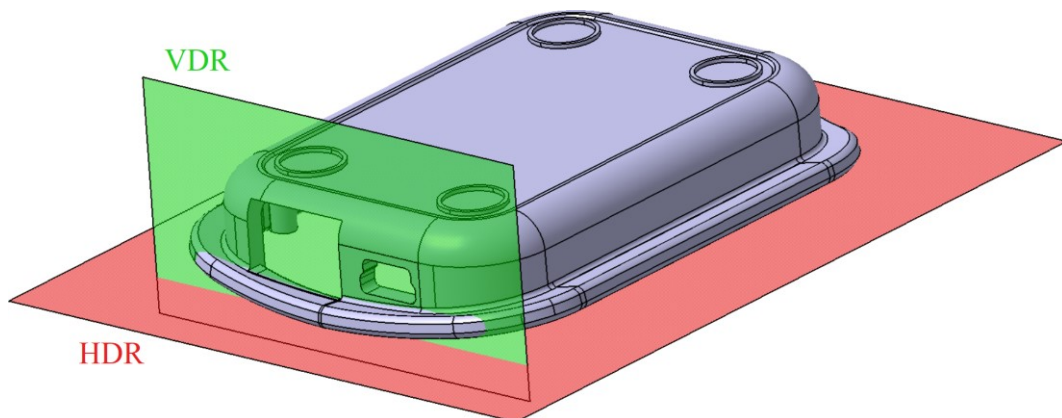
### 7.3 Násobnost vstřikovací formy

Násobnost vstřikovací formy udává počet výrobků, který ve formě vznikne za jeden pracovní cyklus vstřikovacího stroje. Při návrhu násobnosti formy se zohledňuje několik faktorů, jako

například náročnost výroby tvarových vložek, velikost a tvar vstříkovaného dílu, požadavek na kvalitu jeho povrchu, velikost vstříkovací formy, parametry vstříkovacího stroje nebo efektivita výroby. V praxi se při návrhu bere v úvahu ještě ekonomická návratnost zvoleného řešení formy. S ohledem na výše jmenované se jako nejvhodnější řešení, pro vstříkování součásti routeru, jevílo zvolit čtyřnásobnou formu.

#### 7.4 Volba dělicích rovin

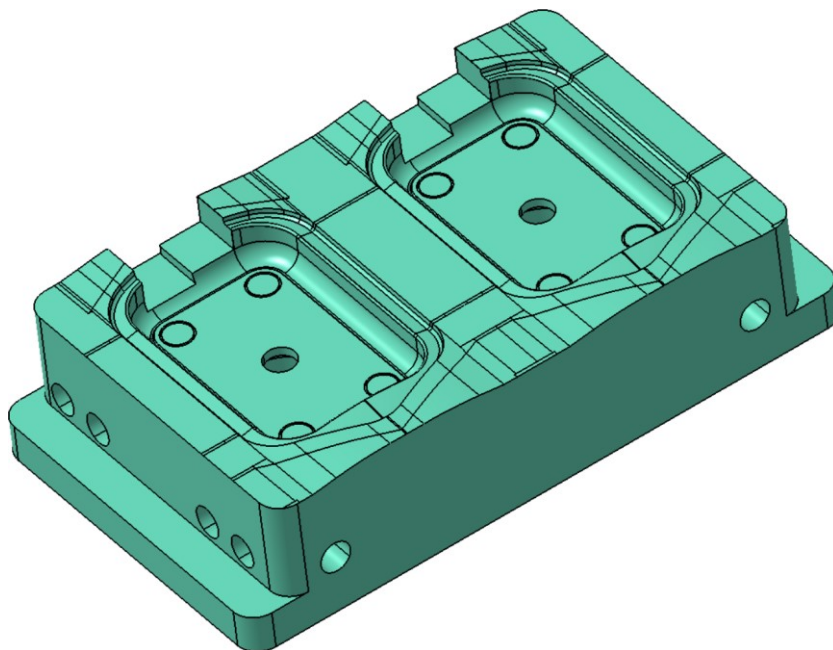
Hlavní dělicí rovina byla zvolena tak, aby odformování výrobku bylo co nejjednodušší. S ohledem na tvar součásti nebylo možné zvolit hlavní dělicí rovinu, ve které by bylo možné odformovat všechny tvarové prvky. Vytvoření otvorů pro konektory v boční stěně výrobku bylo vyřešeno přidáním vedlejší dělicí roviny, jak ukazuje obrázek (Obrázek 39).



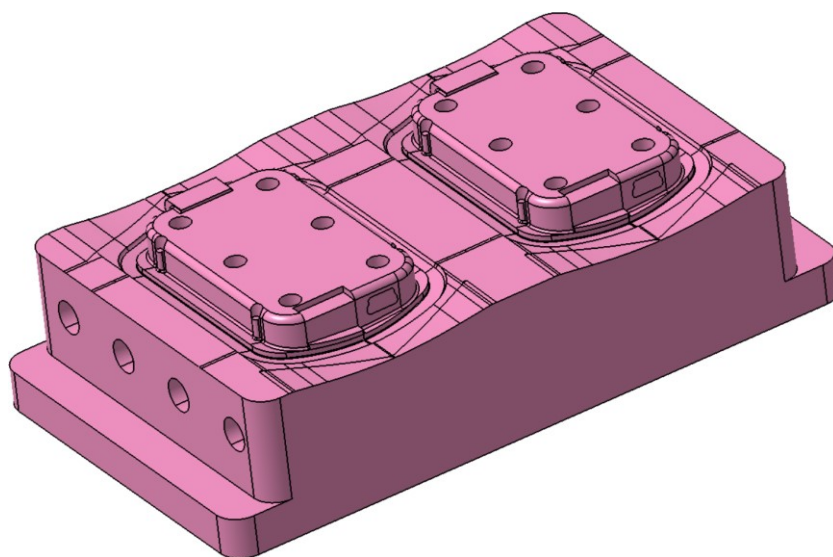
Obrázek 39 Volba dělicích rovin: hlavní dělicí rovina (HDR), vedlejší dělicí rovina (VDR)

#### 7.5 Návrh tvarových vložek

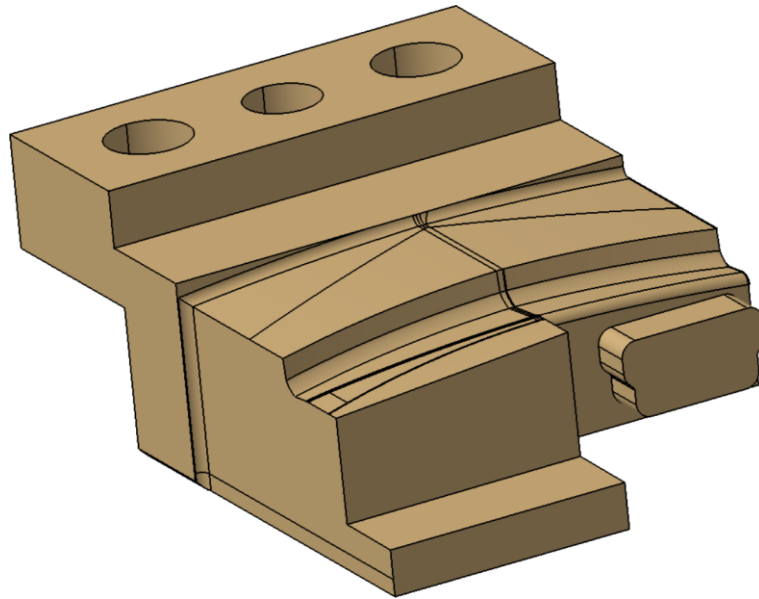
Při návrhu konstrukce tvarových vložek se vyšlo z koncepce zvolených dělicích rovin, přičemž byl brán zřetel na smrštění zvoleného materiálu. Výrobek byl do formy umístěn tak, aby bylo snadné umístění systému pro odformování vedlejší dělicí roviny. Byly navrženy tři tvarové prvky: tvárník, tvárnice a boční čelist. Pro zjednodušení výroby tvarových vložek obsahují vložky geometrické tvary pro zaformování dvou výrobků současně.



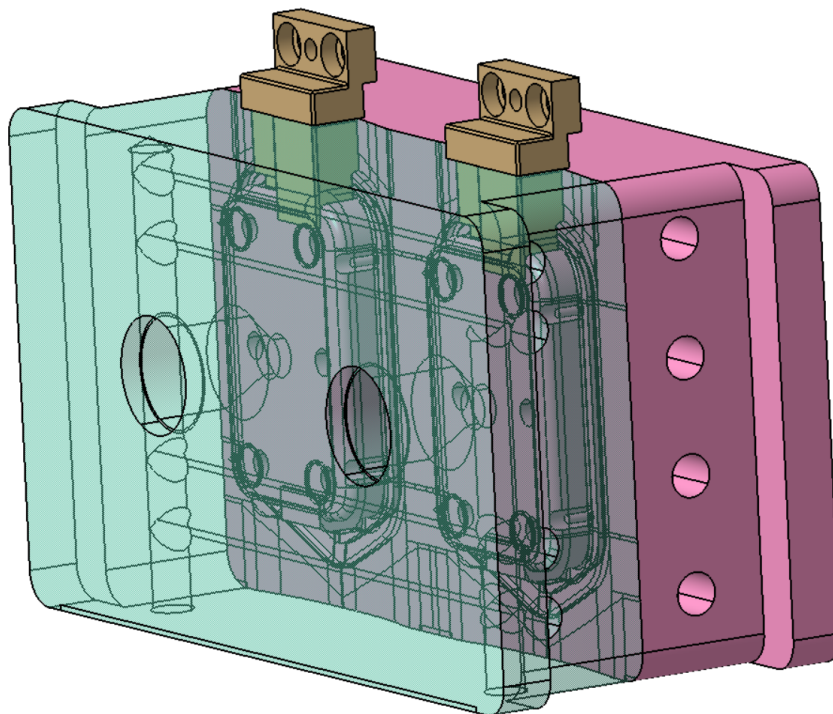
Obrázek 40 Dvounásobná tvárnice



Obrázek 41 Dvounásobný tvárník



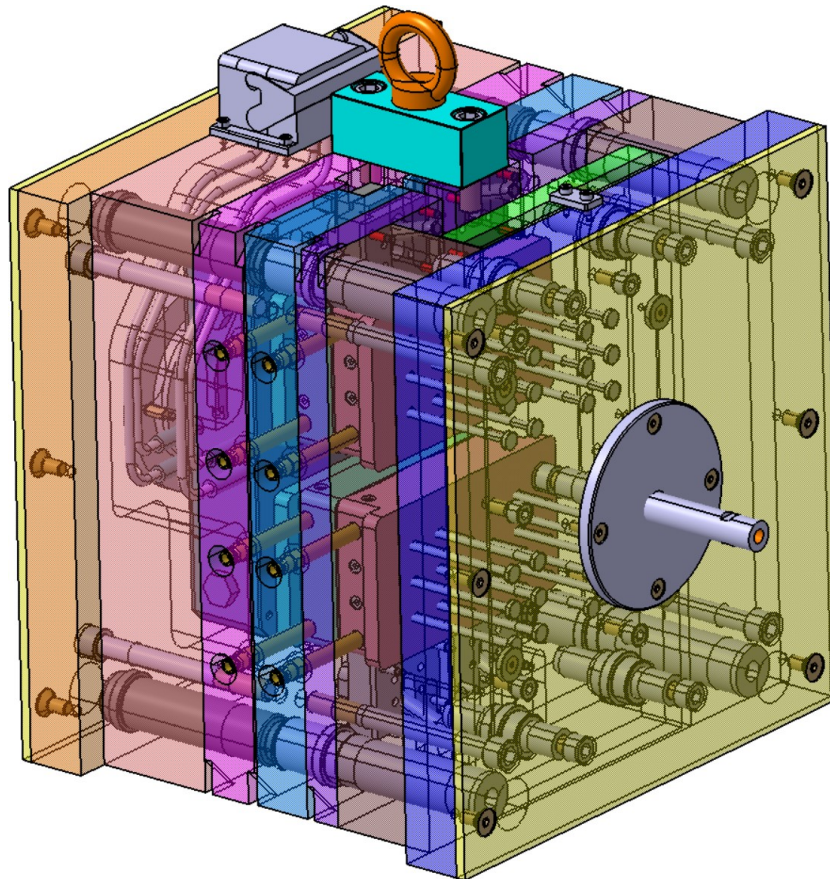
Obrázek 42 Boční čelist



Obrázek 43 Princip zaformování všech tvarových prvků

## 7.6 Konstrukce vstřikovací formy

Sestava navržené vstřikovací formy se sestává ze tří hlavních podsestav: sestava pravé nepohyblivé části, sestava levé pohyblivé části a sestava vyhazovacího paketu. V hlavních podsestavách se pak vyskytují další funkční podsestavy, nebo prvky.

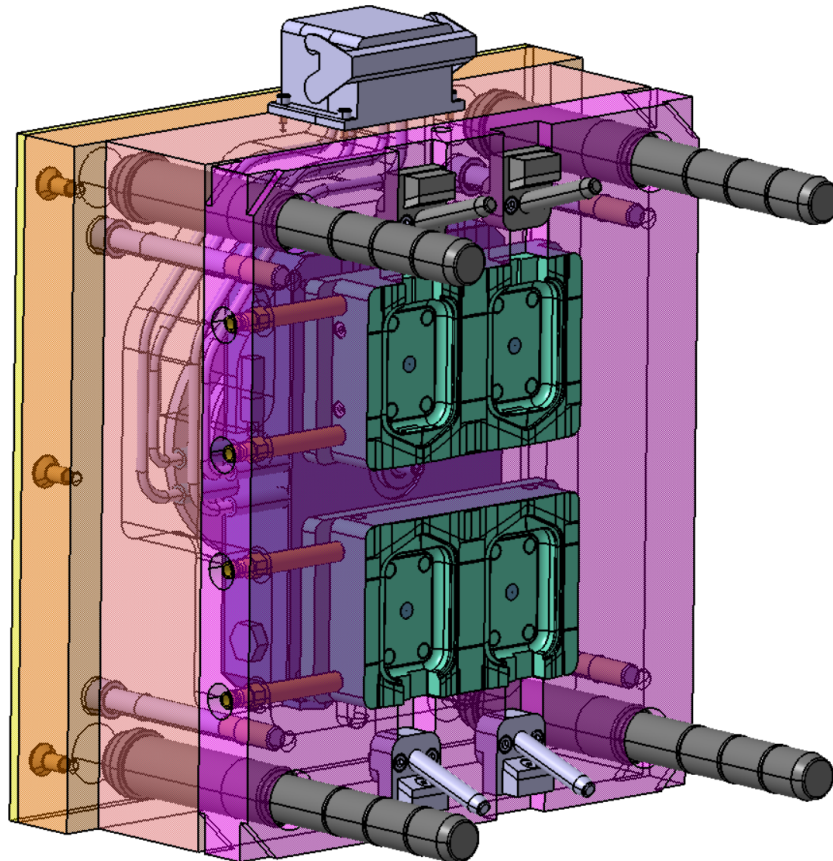


Obrázek 44 Model sestavy vstřikovací formy

### 7.6.1 Pravá strana formy

Pravá nepohyblivá strana přiléhá ke vstřikovací jednotce stroje. Pevné uchycení rámu k nepohyblivé desce uzavírací jednotky je plánováno pomocí upínek fixujících pravou upínací desku formy. Pravá strana formy je vůči nepohyblivé desce stroje vystředěna pomocí pravého středícího kroužku. Proti úniku tepla deskou stroje je forma osazena izolační deskou. Následuje deska horkého vtoku. Díky realizaci vtoku horkým rozvodem zůstává vstřikovací jednotka, po přijetí k formě, dosednutá na vtokovou vložku po celou dobu výroby. Kabeláž pro připojení regulační jednotky horkého rozvodu je vyvedena do zásuvky na horní straně formy. Za deskou horkého vtoku je pravá tvarová deska. V tvarové desce je uchycena dvojice tvarových dvojnásobných vložek (tvárnic). Do tvarové desky jsou také upevněny šikmé kolíky pro vozíky bočního odformování. Temperace byla pro dostatečný odvod tepla navržena jako samostatný okruh pro každou tvarovou vložku. Přívod temperačního média do tvarových vložek je řešen prodlužovací normálií, pro jejíž přípojku je ve tvarové desce připraveno zahloubení. Jednotlivé desky jsou při montáži vycentrovány pomocí vodících čepů a připevněny k sobě čtveřicí šroubů.



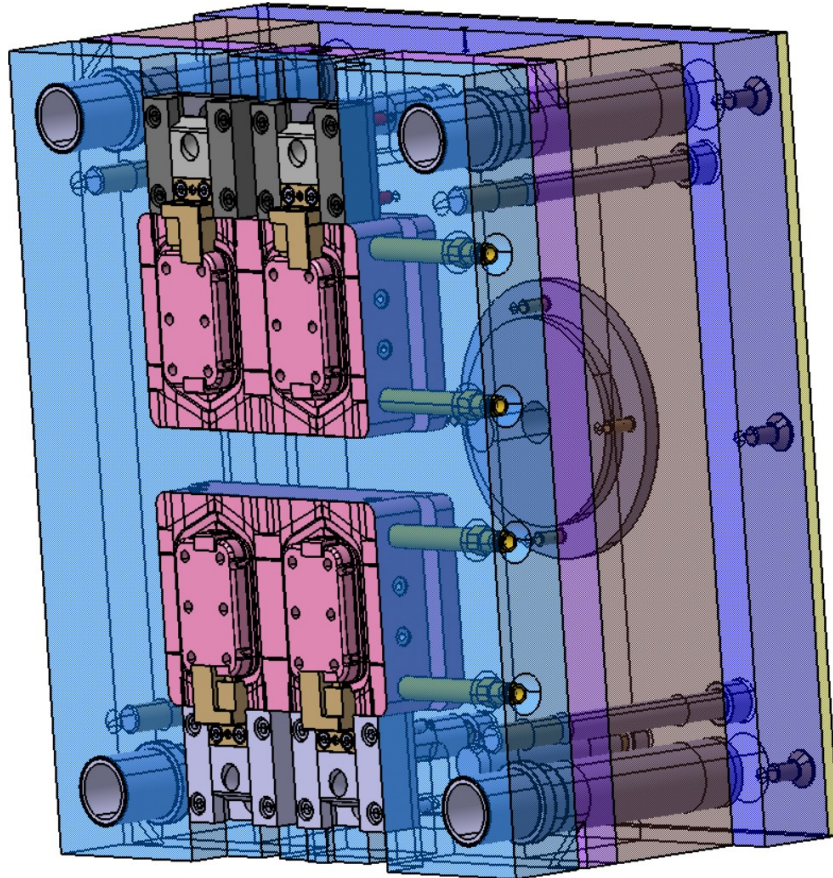


Obrázek 45 Sestava pravé strany vstřikovací formy

### 7.6.2 Levá strana formy

Levá upínací deska formy je připevněna k pohyblivé desce uzavírací jednotky vstřikovacího stroje pomocí upínek. Odvod tepla pohyblivou deskou stroje byl minimalizován vložením izolační desky. Ustavení přesné polohy levé strany formy vůči desce stroje je realizováno přes levý středící kroužek. V upínací desce jsou upevněny čepy pro vedení vyhazovacího paketu. Za levou upínací deskou rámu následuje dvojice rozpěrných desek, které tvoří prostor pro pracovní pohyby desek vyhazovacího systému. Za rozpěrami pokračuje opěrná deska bránící nežádoucímu průhybu navazující levé tvarové desky. V ní jsou uloženy dva dvounásobné tvárníky. V tvarové desce jsou také upevněny čtyři sestavy pro boční odformování otvorů ve vstřikované součástce routeru, pro každou tvarovou dutinu jedna. Součástí těchto sestav je vozík, v jehož otvoru je veden šikmý kolík na protilehlé straně formy. Temperace tvarových vložek byla vyřešena obdobně jako na pravé straně formy. K vystředění levé upínací desky, rozpěrných desek a opěrné desky při montáži byly použity čtyři středící trubky. Vzájemná poloha opěrné a levé tvarové desky byla zajištěna vodicími pouzdry, které zároveň s vodicími čepy pravé strany formy slouží pro přesné vzájemné

vedení obou částí formy při jejím zavírání a otevírání. Ve funkční celek je forma spojena čtyřmi šrouby.

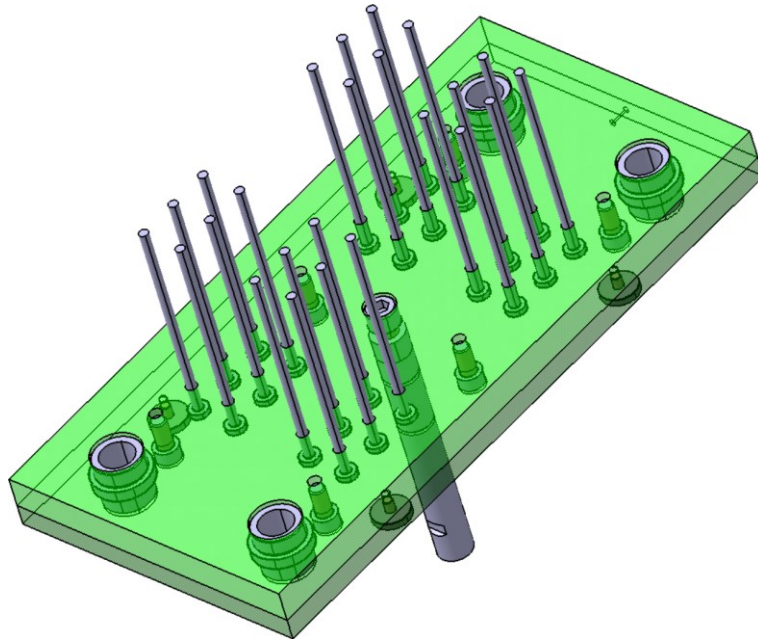


Obrázek 46 Sestava levé strany vstřikovací formy

### 7.6.3 Vyhazovací paket

Vyhazovací systém byl navržen tak, aby sloužil pro odformování všech tvarových dutin najednou. Vyhazovací paket je složen ze dvou vyhazovacích desek, kotevní a opěrné. V opěrné vyhazovací desce jsou upevněny kruhové dosedací podložky, které se používají pro minimalizaci styčné plochy mezi vyhazovacím systémem a levou stranou formy. Mezi desky jsou upevněny válcové vyhazovače o průměru 5 mm a vodicí pouzdra. Pro jednu tvarovou dutinu bylo pro bezpečné odformování součásti zvoleno šest těchto vyhazovačů, celkem jich je tedy 24. Vodicí pouzdra slouží k vystředění desek a pro přesné vedení vyhazovacího paketu po vodicích čepech v levé straně formy. Obě vyhazovací desky jsou spojeny šesti šrouby. Šroubem přes obě vyhazovací desky je připojeno táhlo vyhazovacího paketu, které je ovládáno vyhazovacím mechanismem stroje. Pro správnou funkci vyhazování je nutné nastavit stroj tak, aby ke zdvihu vyhazovačů došlo až po odformování

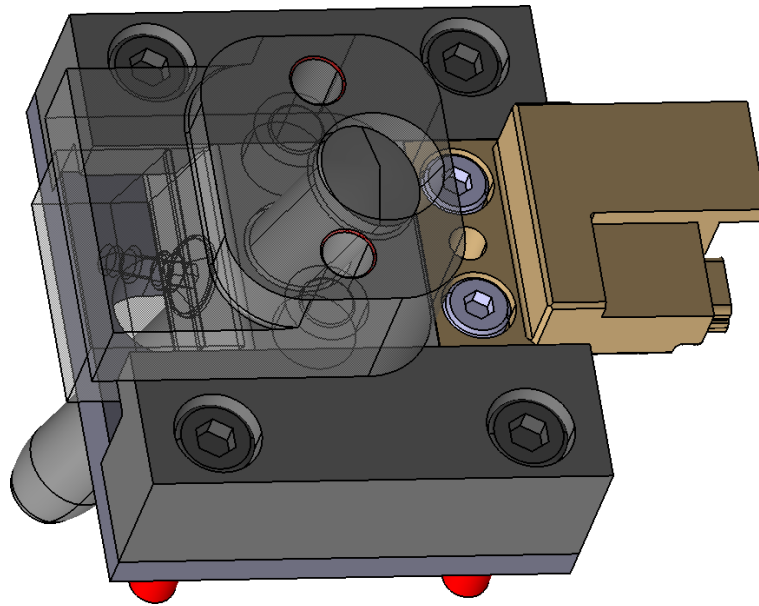
bočních otvorů. Po kompletaci všech dílů routeru budou všechny otisky vyhazovačů umístěny na vnitřní, tedy nepohledové, straně výrobku.



Obrázek 47 Sestava vyhazovacího paketu

### 7.7 Konstrukce bočního odformování

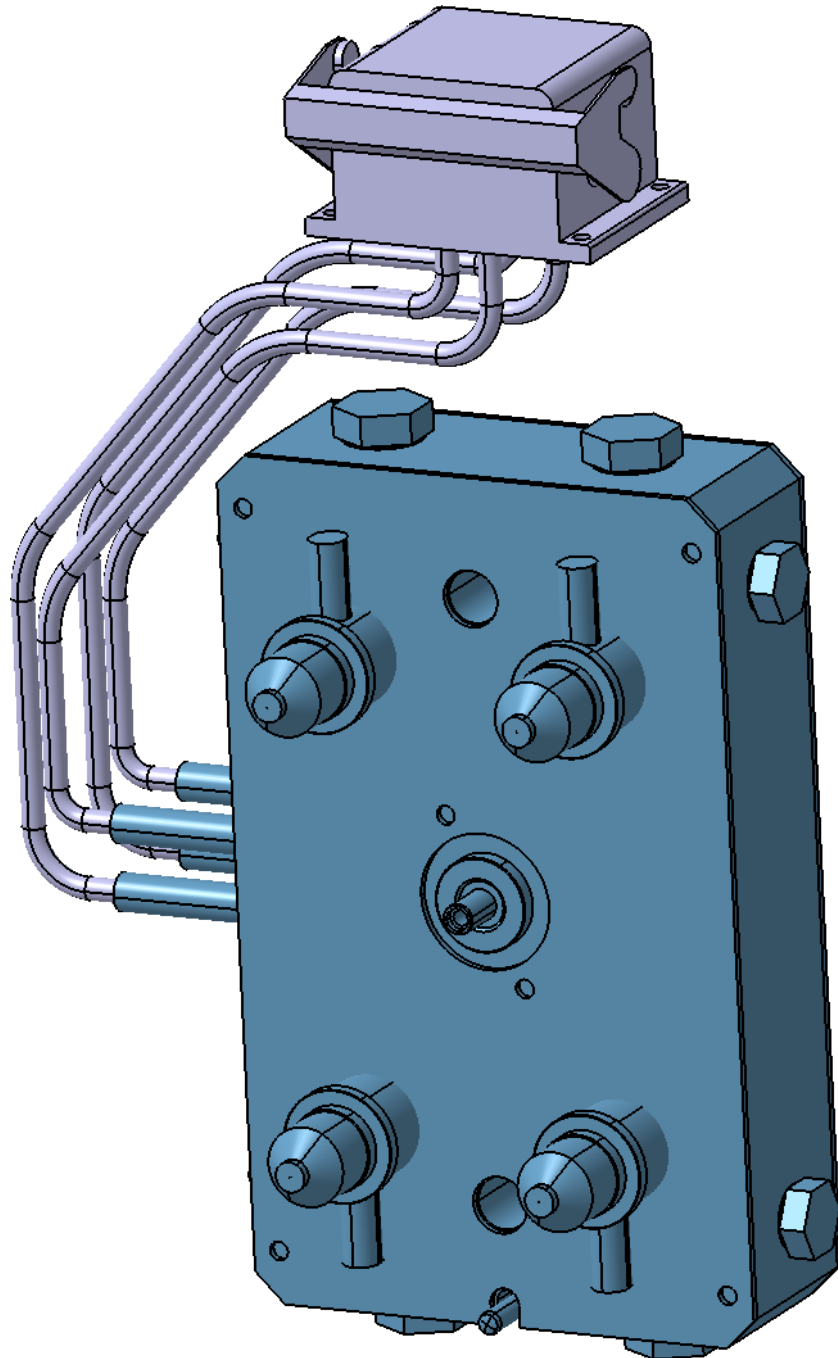
Pro odformování bočních otvorů na výrobku byla zvolena kompaktní jednotka bočního odformování od výrobce Meusburger. Tato jednotka se skládá z šikmého kolíku včetně bloku pro jeho upevnění na nepohyblivé straně formy, dále z vozíku, vedení, kluzné destičky a čelisti, do které se zhotovuje požadovaný tvar. Při otevírání se vozík pohybuje spolu s levou stranou formy a pohybuje se přitom po šikmém kolíku, čímž je nadzvedáván. Tvarová čelist přichycená k vozíku tak vyjíždí z tvarového otvoru a umožňuje odformování výrobku.



Obrázek 48 Kompaktní jednotka bočního odformování

## 7.8 Vtokový systém

Vtokový systém dopravuje polymerní taveninu ze vstřikovací jednotky stroje do dutiny formy. V konstrukci formy byl pro zjednodušení návrhu zvolen standardizovaný horký rozvod, který udržuje polymer ve stavu taveniny až do jeho vstříknutí do dutin formy. Vyšší pořizovací cena sestavy horkého vtoku bude při výrobě routeru kompenzována nižší spotřebou materiálu a zkrácením vstřikovacího cyklu a příznivějšími reologickými parametry taveniny. Horký rozvod je složen z rozvodného bloku tvaru H a čtveřice horkých trysek. Rozvodný blok obsahuje vtokové cesty pro materiál obklopené kanály pro topná tělesa. Kabeláž topných těles byla vyvedena do zásuvky na vrchní straně formy. Namísto dodavatele ostatních normálíí, firmy Meusburger, byla pro sestavení horkého vtoku zvolena firma HASCO, protože nabízí širší sortiment dílů pro tuto technologii. Pozice trysek byla zvolena tak, že dochází ke vstřikování přímo do dutiny formy s minimální stopou po vtoku. Umístění vtokového ústí na výrobku bylo zvoleno na spodní, čili nepohledovou, stranu.

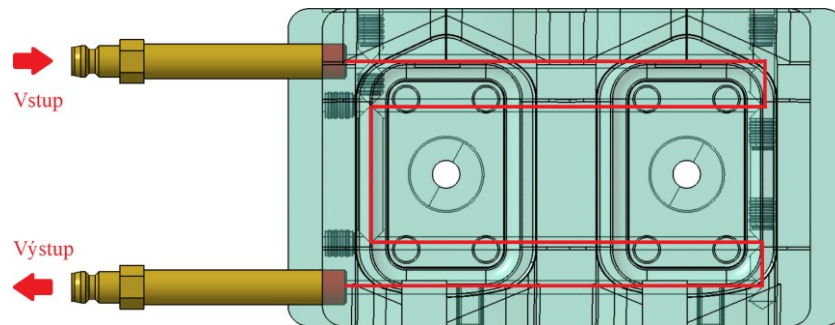


Obrázek 49 Horký rozvodný blok s kabeláží

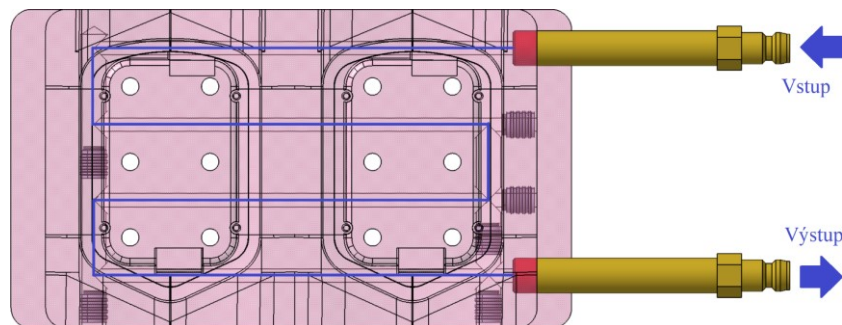
## 7.9 Temperační systém

Temperační systém byl s ohledem na jednoduchost realizován pouze pro temperaci tvarových vložek. Každá vložka obsahuje vlastní temperační okruh, celkově teda forma obsahuje 4 okruhy. V tvárnici i tvárníku byly pro efektivní chlazení zvoleny čtyři rovnoběžné kanálky propojené na obou koncích spojovacími kanály. Kanálky jsou do tvarových vložek vrtány a do potřebných míst instalovány normalizované ucpávky, aby došlo k vhodnému usměrnění toku temperačního média. Při návrhu temperace pro tvárnici

se kanály musely bezpečně vyhnout horkým tryskám. U tvárnků jsou temperační kanály vedeny mezi otvory pro válcové vyhazovače. Vstupy a výstupy temperačních okruhů byly řešeny normalizovanými prodlužovacími přípojkami, které prochází otvorem ve tvarových deskách až do zahloubení, kde je možné připojit hadice temperačních jednotek.



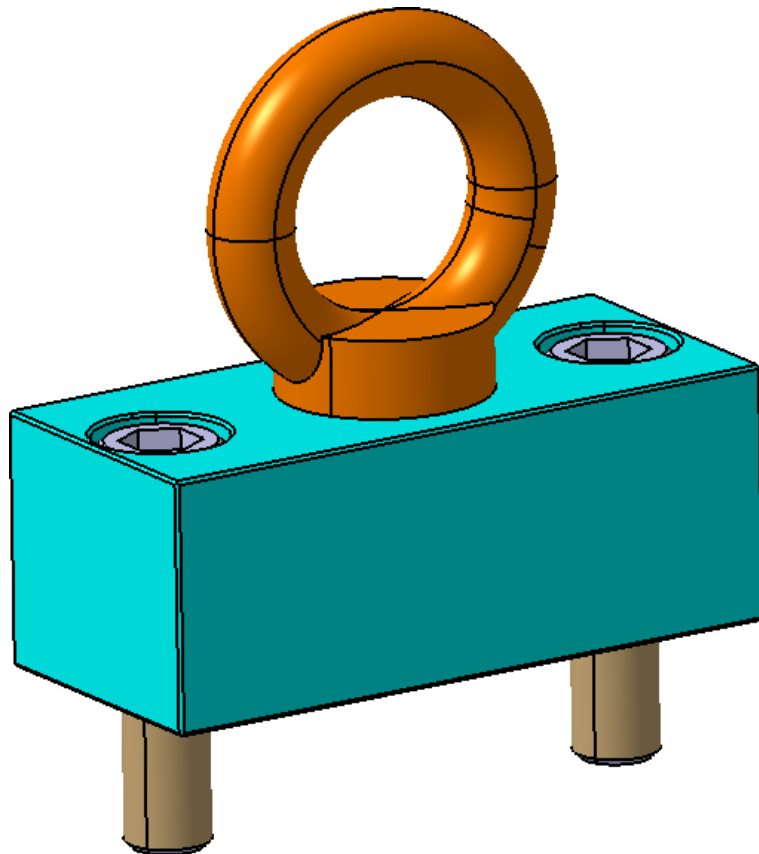
Obrázek 50 Temperační systém tvárnice



Obrázek 51 Temperační systém tvárnku

## 7.10 Manipulace s formou

Pro snadnou manipulaci s formou bylo zvoleno závěsné oko umístěné na horní straně formy. Oko je našroubováno do transportního bloku, který brání nežádoucímu otevření formy během transportu. Zatažený paket vyhazovačů a levá strana formy jsou spojeny pojistkou, aby při transportu nedošlo k vysunutí vyhazovačů, jejich nárazu do plochy tvarových součástí a jejich poškození. Pojistku i transportní blok je nutné oddělat před spuštěním výroby.



Obrázek 52 Transportní blok s okem

## 7.11 Základní parametry formy

Tabulka 3 Parametry vstříkovací formy

Parametr	Hodnota	Jednotka
Výška	317	mm
Šířka	338	mm
Délka	346	mm
Hmotnost	234,9	kg
Požadovaný objem taveniny na jeden zdvih šneku	41,28	cm <sup>3</sup>
Průměr středících kroužků	125	mm
Provedení závitu vyhazovacího táhla	M10	

## ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout konstrukci vstřikovací formy pro zadanou součást routeru. Zadaná součást slouží jako část krytu elektrotechnického zařízení. Bakalářská práce je tvořena teoretickou a praktickou částí.

Úkolem teoretické části bylo seznámení se s problematikou hojně využívaných polymerních materiálů, technologie vstřikování a konstrukce vstřikovacích forem. Praktická část pak aplikuje získané znalosti v konstrukčním návrhu formy.

Forma byla navržena jako čtyřnásobná s horkým vtokem. Snadné odformování plastového dílu bylo vyřešeno vhodným zvolením hlavní dělicí roviny. Problematické otvory pro konektory jsou navrženy s bočním odformováním. Vyhození výrobku z formy bylo řešeno zcela automaticky. Pro dostatečný ochlazovací výkon byly navrženy čtyři temperační okruhy. Návrh jako celek ukazuje možnost, jak řešit návrh formy pro obdobné díly, včetně výběru vhodného vstřikovacího stroje. Pro účel této práce byl zvolen stroj ARBURG ALLROUNDER 370 S v kombinaci se vstřikovací jednotkou řady 100.

Výstupem bakalářské práce jsou modely jednotlivých součástí a výkresová dokumentace.



**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 3., přeprac. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2011. ISBN 978-80-7080-788-0.
- [2] BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery* [online]. Verze knihy: 16. Brno: Code Creator, c2016 [cit. 2022-04-28]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Cover.html>
- [3] RITCHIE, Hannah a Max ROSER. Plastic Pollution. *Our World in Data* [online]. Oxford: OurWorldInData.org, September 2018 [cit. 2022-04-26]. Dostupné z: <https://ourworldindata.org/plastic-pollution>
- [4] LENFELD, Petr. *Technologie II*. Vyd. 2. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009. ISBN 978-80-7372-467-2
- [5] GEDDE, Ulf W. *Polymer physics* [online]. Reprinted 2013. Dordrecht: Springer, c1999 [cit. 2022-04-22]. ISBN 978-94-011-0543-9. Dostupné z: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-011-0543-9>
- [6] ZEMAN, Lubomír. *Vstříkování plastů: teorie a praxe*. Praha: Grada, 2018. ISBN 978-80-271-0614-1.
- [7] MURALISRINIVASAN, Natamai Subramanian. *Plastics additives and testing* [online]. Salem: Scrivener, c2013 [cit. 2022-05-01]. ISBN 978-1-118-11890-0. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118710128>
- [8] MURALISRINIVASAN, Natamai Subramanian. *Polymer blends and composites: chemistry and technology*. Hoboken: Wiley, c2017. ISBN 978-1-118-11889-4.
- [9] LENFELD, Petr. *Technologie vstříkování* [online]. Brno: Code Creator, c2016 [cit. 2022-05-04]. ISBN 978-80-88058-74-8. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/Cover.html>
- [10] AUSPERGER, Aleš. *Technologie zpracování plastů* [online]. Brno: Code Creator, c2016 [cit. 2022-05-09]. ISBN 978-80-88058-77-9. Dostupné z: <https://publi.cz/books/183/Cover.html>

- [11] SEIDL, Martin. *Stroje pro zpracování polymerních materiálů* [online]. Brno: Code Creator, c2016 [cit. 2022-05-09]. ISBN 978-80-88058-71-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/Cover.html>
- [12] OSSWALD, Tim A., Lih-Sheng TURNG a Paul GRAMANN. *Injection Molding Handbook*. 2nd ed. Munich: Hanser, c2008. ISBN 978-1-56990-420-6.
- [13] BONTEN, Christian. *Plastics Technology: Introduction and Fundamentals*. Munich: Hanser, c2019. ISBN 978-1-56990-767-2.
- [14] BOBEK, Jiří. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů* [online]. Brno: Code Creator, c2016 [cit. 2022-05-11]. ISBN 978-80-88058-65-6. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/Cover.html>
- [15] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů 2: Simulace, analýzy, odstraňování vad, 3D tisk. Teorie a praxe*. Praha: Grada, c2021. ISBN 978-80-271-1294-4.
- [16] ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce vylisků z plastů a forem pro zpracování plastů: polymery*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-7204-833-5.
- [17] DANGEL, Rainer. *Injection Moulds for Beginners*. Munich: Hanser, c2016. ISBN 978-1-56990-631-6.
- [18] HYNEK, Martin, a kol. *Rámy vstřikovacích forem* [online]. Verze - 1.0. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2013 [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: [http://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK\\_PU/KA\\_05\\_publicace/KA05\\_Ramy\\_vstrikovacich\\_forem.pdf](http://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publicace/KA05_Ramy_vstrikovacich_forem.pdf)
- [19] MALLOY, Robert A. *Plastic Part Design for Injection Molding: An Introduction*. 2nd ed. Munich: Hanser, c2011. ISBN 978-3-446-40468-7
- [20] MEUSBURGER. *Ejectors and Core Pins* [online]. Wolfurt: Meusburger, c2022 [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: <https://www.meusburger.com>
- [21] HYNEK, Martin, a kol. *Studené a živé vtokové systémy* [online]. Verze - 1.0. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2013 [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: [http://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK\\_PU/KA\\_05\\_publicace/KA05\\_Studene\\_a\\_zive\\_vtokove\\_systemy.pdf](http://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publicace/KA05_Studene_a_zive_vtokove_systemy.pdf)
- [22] BEAUMONT, John P. *Runner and Gating Design Handbook*. 3rd ed. Munich: Hanser, c2019. ISBN 978-1-56990-590-6

- [23] MEUSBURGER. *Hot Runner Systems* [online]. Wolfurt: Meusburger, c2022 [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: <https://www.meusburger.com>
- [24] WITTMANN. *Temperační zařízení* [online]. Dobev: WITTMANN BATTENFELD CZ, c2020 [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: <https://www.wittmann-group.com/cs>
- [25] HYNEK, Martin. *Temperace vstřikovacích forem* [online]. Verze - 1.0. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2013 [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: [https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK\\_PU/KA\\_05\\_publicace/KA05\\_Temperace\\_vstrikovacich\\_forem.pdf](https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publicace/KA05_Temperace_vstrikovacich_forem.pdf)
- [26] RESINEX. *PC/ABS – Polykarbonát/Akrylonitril-butadién-styrén* [online]. Praha, c2022 [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.resinex.cz/polymerove-typy/pc-abs.html>
- [27] COVESTRO AG. *CAMPUS Datasheet: Bayblend® FR3013* [online]. Böblingen: Altair Engineering, c2022 [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: <https://www.campusplastics.com/campus/en/datasheet/Bayblend%C2%AE+FR3013/Covestro/22/cc343346/SI?pos=22>
- [28] ARBURG. *Preview of Taipei Plas 2014* [online]. Lossburg, 08.08.2014 [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.arburg.com/en/press/press-releases/bulletin/nI/5700/>
- [29] ARBURG. *ALLROUNDER 370 S* [online]. Lossburg, c2021 [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: [https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/Mediathek/Technische\\_Daten/ARBURG\\_ALLROUNDER\\_370S\\_TD\\_527555\\_en\\_GB.pdf](https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/Mediathek/Technische_Daten/ARBURG_ALLROUNDER_370S_TD_527555_en_GB.pdf)

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

%	Procento
°	Stupeň
°C	Stupeň Celsia
3D	Trojrozměrný prostor
ABS	Akrylonitril-butadien-styren
ASA	Akrylonitril-styren-akryl
CAD	Počítačem podporované projektování (Computer-Aided Design)
cm <sup>3</sup>	Centimetr krychlový
cm <sup>3</sup> /10min	Centimetr krychlový za deset minut
EP	Epoxidové pryskyřice
EPDM	Etylen-propylen-dienový kaučuk
E <sub>t</sub>	Modul pružnosti termoplastů
EVA	Etylen-vinyl-acetát
g	Gram
HDR	Hlavní dělicí rovina
ITT	Index toku taveniny
kg	Kilogram
kg·hod <sup>-1</sup>	Kilogram za hodinu
kg/m <sup>3</sup>	Kilogram na metr krychlový
kJ/m <sup>2</sup>	Kilojoule na metr čtvereční
kN	Kilonewton
LCD	Displej s technologií tekutých krystalů (Liquid Crystal Display)
LCP	Polymery s tekutými krystaly (Liquid Crystal Polymers)
mm	Milimetr
MPa	Megapascal

---

Nm	Newtonmetr
PA	Polyamid
PA/ABS	Polymerní směs polyamidu a akrylonitril-butadien-styrenu
PA-6	Polyamid 6
PA-66	Polyamid 66
PBT	Polybutylentereftalát
PC	Polykarbonát
PC/ABS	Polymerní směs polykarbonátu a akrylonitril-butadien-styrenu
PC/ASA	Polymerní směs polykarbonátu a akrylonitril-styren-akrylu
PC/PBT	Polymerní směs polykarbonátu a polybutylentereftalátu
PC/PET	Polymerní směs polykarbonátu a polyetylentereftalátu
PE	Polyetylen
PEEK	Polyeter-eter-keton
PEK	Polyeterketon
PET	Polyetylentereftalát
PF	Fenol-formaldehydové pryskyřice
PI	Polyimid
PMMA	Polymethylmetakrylát
POM	Polyoxymetylen
PP	Polypropylen
PP/EPDM	Polymerní směs polypropylenu a etylen-propylen-dienového kaučuku
PS	Polystyren
PSU	Polysulfon
PSU/ABS	Polymerní směs polysulfonu a akrylonitril-butadien-styrenu
PTFE	Polytetrafluoretylen
PUR	Polyuretany

---

PVC	Polyvinylchlorid
SAN	Styrenakrylonitril
SVS	Studený vtokový systém
T	Teplota
T <sub>c</sub>	Teplota degradace polymerního řetězce
T <sub>g</sub>	Teplota skelného přechodu
T <sub>f</sub>	Teplota viskózního toku
T <sub>m</sub>	Teplota tání krystalické fáze
TPE-A	Termoplastické elastomery polyetherblokaramidového typu
TPE-E	Termoplastické elastomery kopolyesterového typu
TPE-O	Termoplastické elastomery polyolefinového typu
TPE-S	Termoplastické elastomery styrenového typu
TPE-U	Termoplastické elastomery polyetheruretanového typu
UP	Polyesterové pryskyřice
UV	Ultrafialové záření
VDR	Vedlejší dělicí rovina
VVS	Vyhřívaný vtokový systém

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1 Evropská spotřeba polymerů podle odvětví v roce 2012 [2] .....	11
Obrázek 2 Nárůst světové produkce polymerů mezi lety 1950-2015 [3].....	12
Obrázek 3 Schéma nadmolekulární struktury polymerů [2].....	13
Obrázek 4 Rozdělení polymerů podle chování při mechanické a tepelné zátěži [2] .....	14
Obrázek 5 Závislost modulu pružnosti vybraných termoplastů na teplotě [2] .....	16
Obrázek 6 Rozdělení polymerů podle aplikace a jejich postavení na trhu [2] .....	19
Obrázek 7 Příklad materiálového listu z materiálové databáze CAMPUS [2].....	21
Obrázek 8 Příklad granulace z pásu [9].....	24
Obrázek 9 Vstřikovací stroj a jeho části [11] .....	28
Obrázek 10 Srovnání provedení hydraulického (vlevo) a kloubového (vpravo) uzavíracího mechanismu uzavírací jednotky [13] .....	31
Obrázek 11 Vstřikovací cyklus termoplastů, operace vstřikovací jednotky (vnitřní prstenec) a formy (vnější prstenec) .....	33
Obrázek 12 Základní hlavní funkce a vlastnosti vstřikovací formy [14] .....	35
Obrázek 13 Uzavřená dvoudesková vstřikovací forma [14] .....	36
Obrázek 14 Základní podoba rámu dvoudeskové vstřikovací formy [18] .....	37
Obrázek 15 Sestava vyhazovacího systému [14].....	38
Obrázek 16 Válcový a plochý vyhazovač z nabídky výrobce forem Meusburger [20] .....	38
Obrázek 17 Otevřená dvoudesková forma s vysunutým vyhazovacím systémem [14].....	39
Obrázek 18 Princip bočního odformování šikmým kolíkem [18] .....	40
Obrázek 19 Princip bočního odformování podkosů speciálními vyhazovači [20] .....	40
Obrázek 20 Princip funkce kolapsibilního jádra [12] .....	41
Obrázek 21 Schéma studeného vtokového systému [21] .....	42
Obrázek 22 Vtokový systém se dvěma stupni rozváděcích kanálů [21].....	43
Obrázek 23 Porovnání provedení rozváděcích kanálů [14].....	43
Obrázek 24 Řez vtokovým ústím přímého kuželového vtoku (vlevo) a bodového vtoku s rozváděcím kanálem (vpravo) [21].....	44
Obrázek 25 Vtoková ústí pro rotační výrobky [21] .....	45
Obrázek 26 Ukázka filmového vtoku [21] .....	45
Obrázek 27 Princip oddělení tunelového vtoku [14] .....	46
Obrázek 28 Princip oddělení banánového vtoku [21] .....	46
Obrázek 29 Ústí vtoku vyhřívaného vtokového systému [14] .....	47
Obrázek 30 Sestava horkého vtoku výrobce Meusburger [23].....	48
Obrázek 31 Různé temperační jednotky výrobce Wittmann [24].....	49
Obrázek 32 Příklady konstrukce jednoduchých temperačních systémů [25].....	50

Obrázek 33 Různé typy temperačních insertů [14].....	51
Obrázek 34 Doporučená konstrukce od vzdušnění [14] .....	52
Obrázek 35 Model výrobku v pracovní poloze.....	55
Obrázek 36 Model výrobku otočený dnem vzhůru.....	55
Obrázek 37 Struktura PC/ABS [26].....	56
Obrázek 38 Vstřikovací stroj ARBURG ALLROUNDER 370 S [28].....	58
Obrázek 39 Volba dělicích rovin: hlavní dělicí rovina (HDR), vedlejší dělicí rovina (VDR) .....	61
Obrázek 40 Dvounásobná tvárnice .....	62
Obrázek 41 Dvounásobný tvárník.....	62
Obrázek 42 Boční čelist.....	63
Obrázek 43 Princip zaformování všech tvarových prvků .....	63
Obrázek 44 Model sestavy vstřikovací formy .....	64
Obrázek 45 Sestava pravé strany vstřikovací formy .....	65
Obrázek 46 Sestava levé strany vstřikovací formy .....	66
Obrázek 47 Sestava vyhazovacího paketu.....	67
Obrázek 48 Kompaktní jednotka bočního odformování .....	68
Obrázek 49 Horký rozvodný blok s kabeláží.....	69
Obrázek 50 Temperační systém tvárnice.....	70
Obrázek 51 Temperační systém tvárníku .....	70
Obrázek 52 Transportní blok s okem .....	71



**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 Vybrané vlastnosti PC/ABS značky Bayblend® FR3013 [27].....	57
Tabulka 2 Vybrané vlastnosti stroje ARBURG ALLROUNDER 370 S [29].....	59
Tabulka 3 Parametry vstřikovací formy .....	71

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Materiálový list Bayblend® FR3013 – (PC+ABS) FR(40)

Příloha P II: Technický list vstřikovacího stroje ARBURG ALLROUNDER 370 S

Příloha P III: Výkresová dokumentace

- Sestava vstřikovací formy
- Řezy
- Kusovník

# PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST BAYBLEND® FR3013 – (PC+ABS) FR(40)

## CAMPUS® Datasheet

Bayblend® FR3013 - (PC+ABS) FR(40)  
Covestro Deutschland AG



### Product Texts

- (PC+ABS)-Blend
- flame retardant
- impact modified
- easy flowing
- Vicat/B 120 temperature = 95°C
- for: information technology

Rheological properties	Value	Unit	Test Standard
Melt volume-flow rate, MVR	26	cm <sup>3</sup> /10min	ISO 1133
Temperature	240	°C	ISO 1133
Load	5	kg	ISO 1133
Molding shrinkage, normal	0.6	%	ISO 294-4, 2577
Mechanical properties	Value	Unit	Test Standard
Tensile modulus	2650	MPa	ISO 527-1/-2
Yield stress	61	MPa	ISO 527-1/-2
Yield strain	4	%	ISO 527-1/-2
Charpy notched impact strength, +23°C	37	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1eA
Thermal properties	Value	Unit	Test Standard
Temp. of deflection under load, 1.80 MPa	78	°C	ISO 75-1/-2
Temp. of deflection under load, 0.45 MPa	86	°C	ISO 75-1/-2
Vicat softening temperature, 50°C/h 50N	89	°C	ISO 306
Coeff. of linear therm. expansion, parallel	75	E-6/K	ISO 11359-1/-2
Coeff. of linear therm. expansion, normal	76	E-6/K	ISO 11359-1/-2
Burning Behav. at 1.5 mm nom. thickn.	V-0	class	IEC 60695-11-10
Burning Behav. 5V at thickness h	5VB	class	IEC 60695-11-20
Thickness tested	1.5	mm	IEC 60695-11-20
Oxygen index	31	%	ISO 4589-1/-2
Electrical properties	Value	Unit	Test Standard
Volume resistivity	>1E13	Ohm*m	IEC 62631-3-1
Surface resistivity	>1E15	Ohm	IEC 62631-3-2
Other properties	Value	Unit	Test Standard
Density	1190	kg/m <sup>3</sup>	ISO 1183
Test specimen production	Value	Unit	Test Standard
Injection Molding, melt temperature	240	°C	ISO 294
Injection Molding, mold temperature	80	°C	ISO 294
Injection Molding, injection velocity	240	mm/s	ISO 294

### Characteristics

#### Regional Availability

North America, Europe, Asia Pacific, Near East/Africa

#### Typical value

These values are typical values only. Unless explicitly agreed in written form, they do not constitute a binding material specification or warranted values. Values may be affected by the design of the mold/die, the processing conditions and coloring/pigmentation of the product. Unless specified to the contrary, the property values given have been established on standardized test specimens at room temperature.

**Bayblend® FR3013 - (PC+ABS) FR(40)**  
**Covestro Deutschland AG**

**General**

The manner in which you use and the purpose to which you put and utilize our products, technical assistance and information (whether verbal, written or by way of production evaluations), including any suggested formulations and recommendations, are beyond our control. Therefore, it is imperative that you test our products, technical assistance, information and recommendations to determine to your own satisfaction whether our products, technical assistance and information are suitable for your intended uses and applications. This application-specific analysis must at least include testing to determine suitability from a technical as well as health, safety, and environmental standpoint. Such testing has not necessarily been done by Covestro.

Unless we otherwise agree in writing, all products are sold strictly pursuant to the terms of our standard conditions of sale which are available upon request. All information and technical assistance is given without warranty or guarantee and is subject to change without notice. It is expressly understood and agreed that you assume and hereby expressly release us from all liability, in tort, contract or otherwise, incurred in connection with the use of our products, technical assistance, and information. Any statement or recommendation not contained herein is unauthorized and shall not bind us. Nothing herein shall be construed as a recommendation to use any product in conflict with any claim of any patent relative to any material or its use. No license is implied or in fact granted under the claims of any patent.

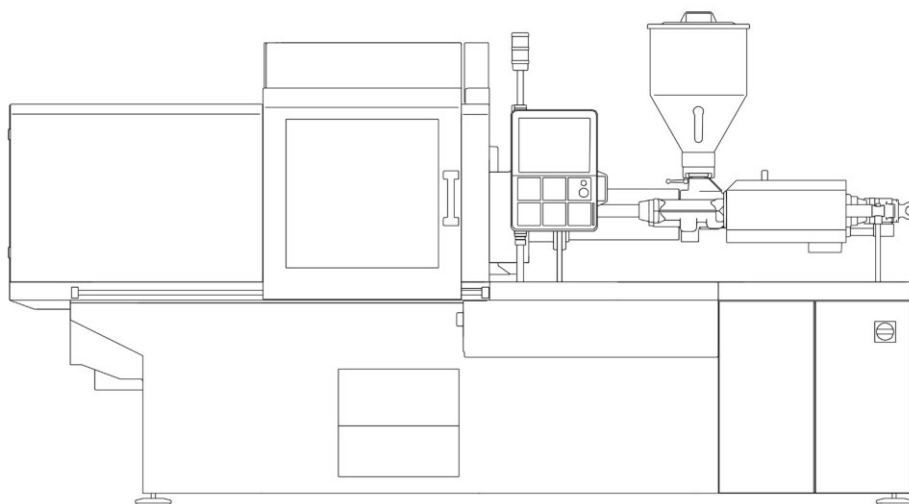
**Medical Grades**

Only Covestro products that are designated as "Medical Grade" may be used in medical devices or intermediates of medical devices. The designation as "Medical Grade" does not mean that Covestro or anyone else has determined that the product is suitable for use in any particular Medical Application. Except when Covestro has expressly agreed in writing to the sale of these products for such applications, Covestro products designated as "Medical Grade" shall not be considered candidates for any Medical Applications in: (a) cosmetic, reconstructive or reproductive implants, (b) other body implants, (c) applications involving contact with or storage of human tissue, blood or other bodily fluids for longer than 30 days, or (d) applications involving contact for longer than 24 hours with circulating blood, tissue, bone or dentin.

For further information on the use of Covestro products in Medical Applications, please request from your sales support contact our Guidance document: GUIDANCE ON USE OF COVESTRO PRODUCTS IN A MEDICAL APPLICATION.

[plastics.covestro.com](https://www.plastics.covestro.com)

**PŘÍLOHA P II: TECHNICKÝ LIST VSTŘIKOVACÍHO STROJE  
ARBURG ALLROUNDER 370 S**

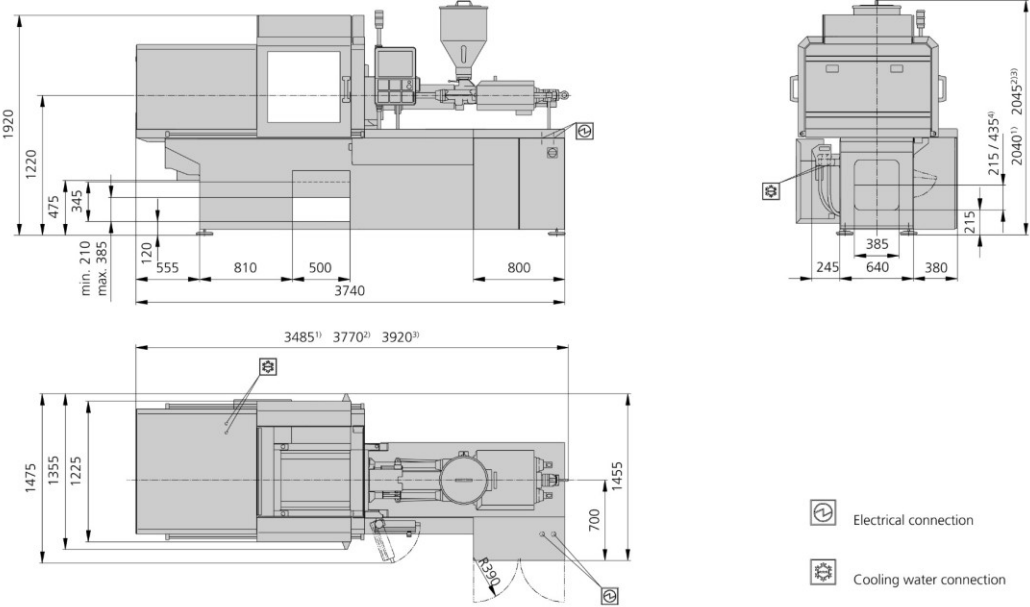


**ALLROUNDER 370 S**

Distance between tie bars: 370 x 370 mm  
Clamping force: 500, 600, 700 kN  
Injection unit (acc. to EUROMAP): 100, 170, 290

**ARBURG**

# MACHINE DIMENSIONS | 370 S



1) injection unit 100  
 2) injection unit 170  
 3) injection unit 290  
 4) Conveyor belt

## TECHNICAL DATA | 370 S

Clamping unit		370 S		
with clamping force	max. kN	500	600	700
Opening force   stroke	max. kN   mm	160   400		
Mould height, fixed   variable	min. mm	200   ---		
Platen daylight fixed   variable	max. mm	600   ---		
Distance between tie bars (w x h)	mm	370 x 370		
Mould mounting platens (w x h)	max. mm	510 x 510		
Weight of movable mould half	max. kg	360		
Ejector force   stroke	max. kN   mm	30   125		
Dry cycle time EUROMAP <sup>2</sup>	1 pump	min. s - mm	2,1   1,9 - 259	
	2 pumps	min. s - mm	1,4 - 259	
	Accum.	min. s - mm	1,3 - 259	

Injection unit		100			170			290			
with screw diameter	mm	20	25	30	25	30	35	30	35	40	
Effective screw length	L/D	25	20	16,7	24	20	17	23,3	20	17,5	
Screw stroke	max. mm	100			120			150			
Calculated stroke volume	max. cm <sup>3</sup>	31	49	71	59	85	115	106	144	188	
Shot weight	max. g PS	29	45	65	54	77	105	97	132	172	
Material throughput	max. kg/h PS	5,5	8	9,5	10	13,5	16	17	20,5	24,5	
	max. kg/h PA6.6	2,8	4	4,9	5	7	8	8,5	10,5	12,5	
Injection pressure	max. bar	2500	2000	1390	2500	2000	1470	2500	2000	1530	
Holding pressure	max. bar	2500	2000	1390	2500	2000	1470	2500	2000	1530	
Injection flow <sup>2</sup>	1 pump	max. cm <sup>3</sup> /s	64   90	100   142	146   204	66   94	96   136	132   186	102	140	182
	2 pumps	max. cm <sup>3</sup> /s	64   90	100   142	146   204	66   94	96   136	132   186	102	140	182
	Accum.	max. cm <sup>3</sup> /s	172	268	388	216	312	424	316	430	562
Screw circumferential speed <sup>2</sup>	1 pump	max. m/min	28   39	35   49	42   59	35   49	42   59	49   69	46	54	62
	2 pumps	max. m/min	28   39	35   49	42   59	35   49	42   59	49   69	46	54	62
	Accum.	max. m/min	11	14	17	14	17	19	20	24	27
Screw torque	max. Nm	120	150	180	210	250	290	320	380	430	
Nozzle contact force   retraction stroke	max. kN   mm	50   180			50   210			60   240			
Heating capacity   zones	kW	4,9   5			9,4   5			6,4   5			
Feed hopper	l	50			50			50			

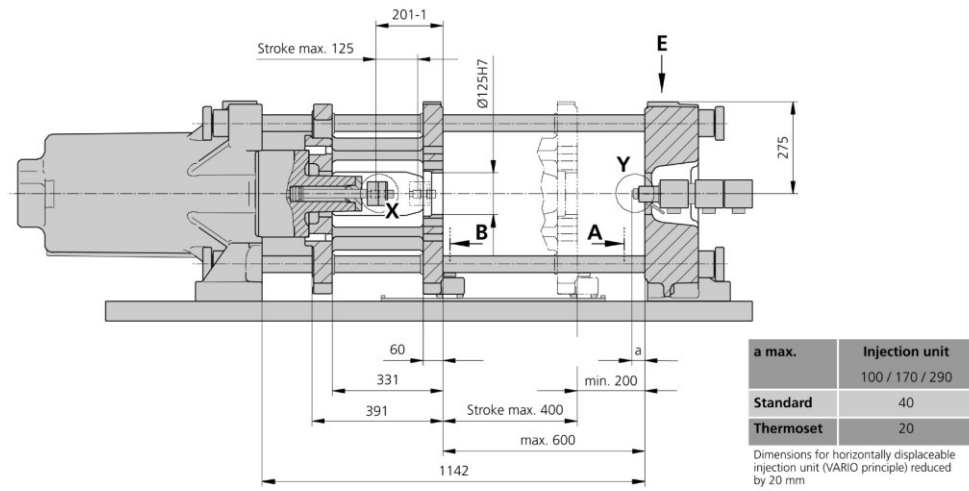
Drive and connection		1 pump			2 pumps			Accum.			
with injection unit		100	170	290	100	170	290	100	170	290	
Net weight of machine	kg	3200	3250	3300	3200	3250	3300	---			
Sound press. level   Insecurity <sup>4</sup>	dB(A)	67   3			67   3			67   3			
Oil filling	l	135			135			135			
Drive power <sup>2</sup>	max. kW	15			15			15			
Electrical connection <sup>3</sup>	kW	22	27	24	22	27	23	22	27	23	
	Total	A	63	80	80	63	80	80	63	80	80
	Machine	A	---			---			---		
	Heating	A	---			---			---		
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		Drive
with EUROMAP size designation <sup>1</sup>		
370 S 500-100   170   290		1   2   -
370 S 600-100   170   290		1   2   -
370 S 700-100   170   290		-   2   Accum.

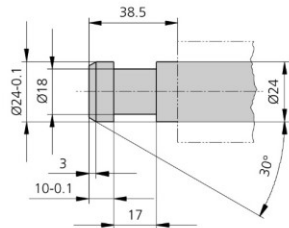
**Upon request: other machine types and mould installation heights, screws, drive powers etc.**  
All specifications relate to the basic machine version. Deviations are possible depending on variants, process settings and material type. Depending on the drive, certain combinations, e.g. max. injection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

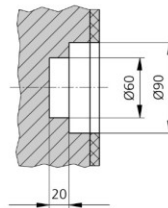
## MOULD INSTALLATION DIMENSIONS | 370 S



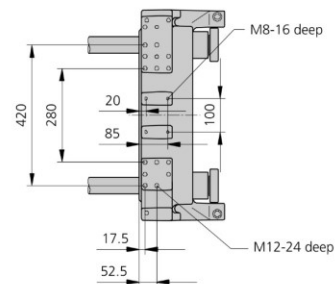
**Ejector bolt | X**



**Bore in mould (if required) | Y**



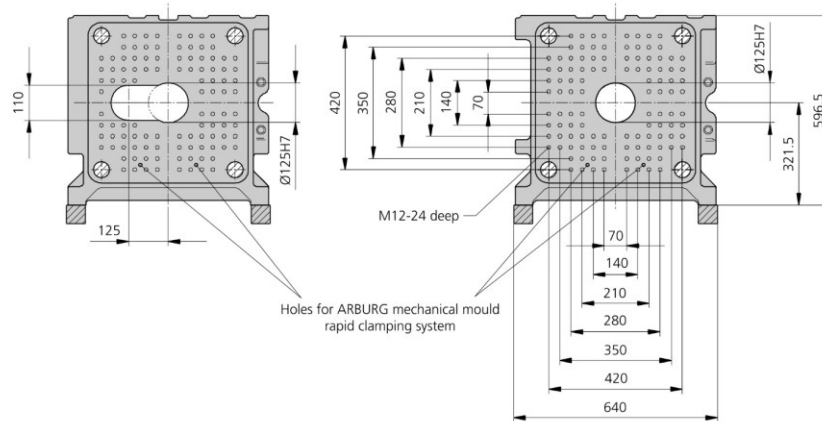
**Robotic system mounting | E**



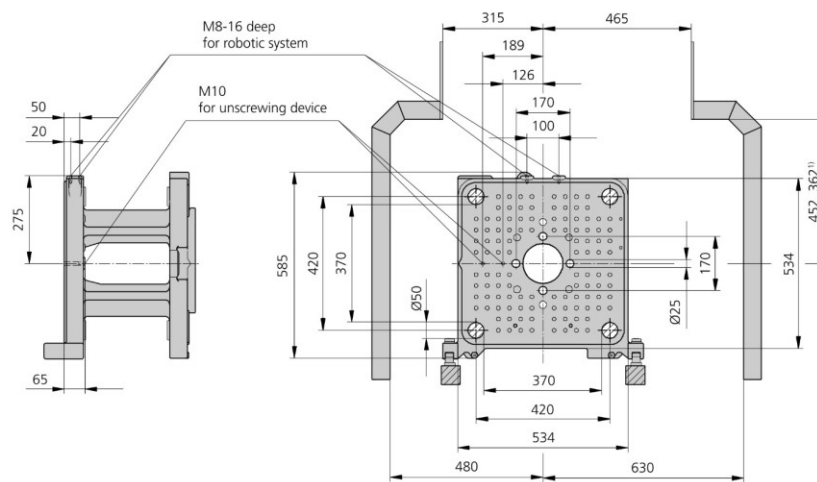


# MOULD INSTALLATION DIMENSIONS | 370 S

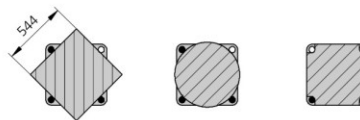
## Fixed mould mounting platen | A



## Moving mould mounting platen | B



## Useful clamping surface when pulling the tie rods



1) Pivoting clamping unit – guard closed at the top

## SHOT WEIGHTS | 370 S

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

Injection units according to EUROMAP		100			170			290		
Screw diameter		20	25	30	25	30	35	30	35	40
Polystyrene	max. g PS	29	45	65	54	77	105	97	132	172
Styrene heteropolymerizates	max. g SB	28	44	63	53	76	103	95	129	168
	max. g SAN, ABS <sup>1)</sup>	27	43	62	52	74	101	93	126	165
Cellulose acetate	max. g CA <sup>1)</sup>	32	50	73	61	87	119	109	148	194
Celluloseacetobutyrate	max. g CAB <sup>1)</sup>	30	47	68	56	81	110	101	138	180
Polymethyl methacrylate	max. g PMMA	30	46	67	56	80	109	100	136	178
Polyphenylene ether, mod.	max. g PPE	27	42	60	50	72	98	90	122	160
Polycarbonate	max. g PC	30	47	68	57	81	111	102	139	181
Polysulphone	max. g PSU	31	49	70	58	84	115	105	143	187
Polyamides	max. g PA 6.6   PA 6 <sup>1)</sup>	28	44	64	53	77	104	96	131	171
	max. g PA 6.10   PA 11 <sup>1)</sup>	26	41	60	50	72	98	90	122	160
Polyoximethylene (Polyacetal)	max. g POM	35	55	80	66	96	130	120	163	213
Polyethylene terephthalate	max. g PET	34	53	77	64	92	126	115	157	205
Polyethylene	max. g PE-LD	22	34	49	41	59	80	73	100	130
	max. g PE-HD	22	35	50	42	60	82	76	103	134
Polypropylene	max. g PP	23	36	51	43	62	84	77	105	137
Fluoropolymerides	max. g FEP, PFA, PCTFE <sup>1)</sup>	46	72	103	86	124	169	155	211	276
	max. g ETFE	40	63	91	76	109	148	136	185	242
Polyvinyl chloride	max. g PVC-U	35	54	78	65	94	127	117	159	208
	max. g PVC-P <sup>1)</sup>	32	50	72	60	87	118	108	147	192

1) average value

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

© 2021 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.