

# Technický návrh nástroje pro sériovou výrobu plastových výrobků

David Seják

---

Bakalářská práce  
2024



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2023/2024

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	David Seják
Osobní číslo:	T21043
Studijní program:	B3909 Procesní inženýrství
Studijní obor:	Technologická zařízení
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Technický návrh nástroje pro sériovou výrobu plastových výrobků

## Zásady pro vypracování

- Vypracujte literární studii na dané téma.
- Provedte technický návrh 3D modelu plastového dílu.
- Navrhnete nástroj pro sériovou výrobu.
- Nakreslete 2D řez nástroje včetně příslušných pohledů a kusovníku.

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

**Seznam doporučené literatury:**

1. ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: teorie a praxe. Praha: Grada Publishing, 2018, 455 s. ISBN 978-80-271-0614-1.
2. OSSWALD, Tim A., Lih-Sheng TURNG a Paul J. GRAMANN. Injection molding handbook. 2nd ed. Munich: Carl Hanser Publishers, c2008, xvii, 764 s. ISBN 978-1-56990-420-6.
3. BEAUMONT, John P. Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers, c2007, xvi, 308 s. ISBN 978-1-56990-421-3.
4. NEUHÄUSL, E., ZEMAN, I.: Vstřikování plastů-teorie a praxe: Základní kurs. Interní dokument fy PLAST FORM SERVICE, s.r.o., Praha, 2006.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Václav Janošík, Ph.D.**  
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2024**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **17. května 2024**

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

L.S.

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

Ve Zlíně dne 4. března 2024

## **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, považuji se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

**Prohlašuji,**

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

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Práce se zaměřuje na vytvoření funkčního návrhu vstřikovací formy pro výrobu plastového dílu elektroinstalační krabičky. V teoretické části práce jsou zde zkoumány materiály vhodné pro proces vstřikování a podrobně popsána technologie vstřikování. Dále je zaměřená na řešení problematiky konstrukce výstřiku a vstřikovacích forem a zásady pro efektivní realizaci tohoto procesu. V praktické části práce je podrobně popsáno vytvoření 3D modelu elektroinstalační krabičky a navržení vstřikovací formy za použití softwaru CATIA V5R20. Tato část rovněž zahrnuje vypracování výkresové dokumentace.

Klíčová slova: vstřikování, vstřikovací forma, polymerní materiály, konstrukce výstřiku

## **ABSTRACT**

The thesis focuses on creating a functional design of an injection mold for the production of a plastic part electrical boxe. In the theoretical part of the thesis, materials suitable for the injection molding process are examined and the injection molding technology is described in detail. It also focuses on solving the problems of shot and injection mold design and the principles for efficient implementation of the process. The practical part of the thesis describes in detail the creation of a 3D model electrical boxe and the design of the injection mold using CATIA V5R20 software. This part also includes the development of the drawing documentation.

Keywords: injection molding, injection mold, polymer materials, shot design

Rád bych vyjádřil poděkování svému vedoucímu panu Ing. Václavu Janošíkovi za vedení, cenné rady, trpělivost a vstřícnost během psaní bakalářské práce. Dále bych chtěl upřímně poděkovat své rodině a přátelům za veškerou podporu po dobu celého mého studia.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 VSTŘIKOVÁNÍ</b> .....	<b>12</b>
1.1 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	12
1.1.1 Plastikační jednotka .....	13
1.1.2 Ovládací a řídicí jednotka .....	14
1.1.3 Uzavírací jednotka .....	14
1.2 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS .....	14
1.2.1 Plastikační fáze.....	15
1.2.2 Vstřikovací fáze .....	15
1.2.3 Dotlaková fáze .....	15
1.2.4 Fáze ochlazovací .....	16
1.3 TLAK, MĚRNÝ OBJEM A TEPLOTA V PRŮBĚHU VSTŘIKOVACÍHO PROCESU (PVT DIAGRAM).....	17
<b>2 VSTŘIKOVACÍ FORMA</b> .....	<b>18</b>
2.1 RÁM VSTŘIKOVACÍCH FOREM.....	18
2.2 POSTUP PŘI KONSTRUKCI FOREM .....	20
2.2.1 Zaformování výstřiku.....	20
2.3 DIMENZOVÁNÍ TVAROVÉ DUTINY .....	21
2.4 NÁSOBNOST FOREM.....	21
2.5 TEMPERACE FORMY .....	22
2.5.1 Volba temperačních kanálů.....	23
2.6 ODVZDUŠNĚNÍ FORMY.....	25
2.6.1 Určení místa pro odvzdušnění.....	25
2.7 VTOKOVÉ SYSTÉMY .....	26
2.7.1 Vyhřívaný vtokový systém .....	26
2.7.2 Studený vtokový systém .....	27
2.8 VYHAZOVCÍ SYSTÉMY.....	31
2.8.1 Mechanické vyhazovače .....	31
2.8.2 Šikmý čep.....	32
2.8.3 Hydraulické vyhazování.....	32
<b>3 POLYMERNÍ MATERIÁLY</b> .....	<b>33</b>
3.1 ROZDĚLENÍ POLYMERŮ .....	33
3.1.1 Termoplasty.....	33
3.1.2 Elastomery.....	34
3.1.3 Reaktoplasty .....	34
3.2 PŘÍPRAVA POLYMERŮ PŘED VSTŘIKOVÁNÍM .....	34

3.2.1	Sušení polymerů.....	35
3.2.2	Míchání a hnětení.....	35
3.2.3	Recyklace polymerů.....	35
3.2.4	Barvení polymerů.....	35
3.3	ZPRACOVATELSKÉ PŘÍSAKY .....	36
3.3.1	Tepelné stabilizátory .....	36
3.3.2	Změkčovadla .....	36
3.3.3	Separční činidla .....	36
<b>4</b>	<b>KONSTRUKCE VÝSTŘIKU .....</b>	<b>37</b>
4.1	ŽEBRA .....	37
4.2	ÚKOSY A PODKOSY.....	39
4.3	TLOUŠŤKA STĚN .....	40
4.4	DĚLÍCÍ ROVINA.....	40
4.5	SMRŠTĚNÍ.....	41
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST.....</b>	<b>42</b>
<b>5</b>	<b>STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE .....</b>	<b>43</b>
<b>6</b>	<b>POUŽITÝ SOFTWARE .....</b>	<b>44</b>
6.1	CATIA V5R20 .....	44
6.2	DATABÁZE MEUSBURGER.....	44
<b>7</b>	<b>SPECIFIKACE VÝROBKU .....</b>	<b>45</b>
7.1	POPIS VÝROBKU .....	45
<b>8</b>	<b>VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE .....</b>	<b>47</b>
<b>9</b>	<b>KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY.....</b>	<b>48</b>
9.1	NEPOHYBLIVÁ ČÁST VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	49
9.2	POHYBLIVÁ ČÁST FORMY .....	50
9.3	VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	51
9.4	VOLBA DĚLÍCÍ ROVINY .....	52
9.5	TVAROVÉ VLOŽKY .....	52
9.6	BOČNÍ POSUVNÉ ČELISTI .....	53
<b>10</b>	<b>HORKÝ VTOKOVÝ SYSTÉM.....</b>	<b>54</b>
<b>11</b>	<b>TEMPERAČNÍ SYSTÉM .....</b>	<b>55</b>
<b>12</b>	<b>TRANSPORT VSTŘIKOVACÍ FORMY.....</b>	<b>56</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>57</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>58</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>60</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>62</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>64</b>



<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>65</b>
---------------------------	-----------

## ÚVOD

V současné době stoupá poptávka po inovativních a efektivních metodách v průmyslové výrobě, hlavně v odvětví vstřikování plastů. Důležitým aspektem tohoto odvětví je výroba forem pro vstřikování, které hrají důležitou roli vytváření plastových výrobků. Existuje hned několik vědeckých prací, které se zaměřují na různé problematiky. Zde jich několik předložím.

Wick-Joliat, Penner a spol. přinesli důležité poznatky týkající se materiálů pro výrobu forem pro vstřikování. Jejich práce se soustředila na využití keramiky a 3 D tištěných forem z pryskyřice jako alternativy, s důrazem na rychlost a ekonomickou efektivitu výrobního procesu. [1]

Chen, Hsu a Hsu zkoumali důsledky nerovnoměrného smrštění při vstřikování, které se projevuje ve formě stop po propadnutí. I přes malé rozměry těchto stop, jsou často považovány za vadu, což zvyšuje důležitost studia takových jevů pro optimalizaci výrobního procesu. [2]

Park a Kim se zaměřili na expanzi vstřikovacího procesu a navrhli systém formy s řízením teploty a ventilací, což má za cíl zlepšit plnění formy a zajištění kvality výsledného výrobku. [3]

Tým z Univerzity Tomáše Bati přinesl nový pohled na spojení aditivních výrobních technik s práškovým vstřikováním, což může zásadně ovlivnit jak prototypování, tak sériovou výrobu. [4]

Výběr tématu konstrukce vstřikovacích forem představuje základní krok v rámci této bakalářské práce. Práce se opírá o řadu odborných článků, jež poskytují hlubší pohled na různé aspekty této problematiky. Tyto práce přinášejí cenné poznatky a přispívají k neustálému rozvoji průmyslového odvětví, kde je neustálý tlak na inovace a efektivitu výrobních procesů. Toto téma se neustále vyvíjí a je velmi důležité v současnosti.

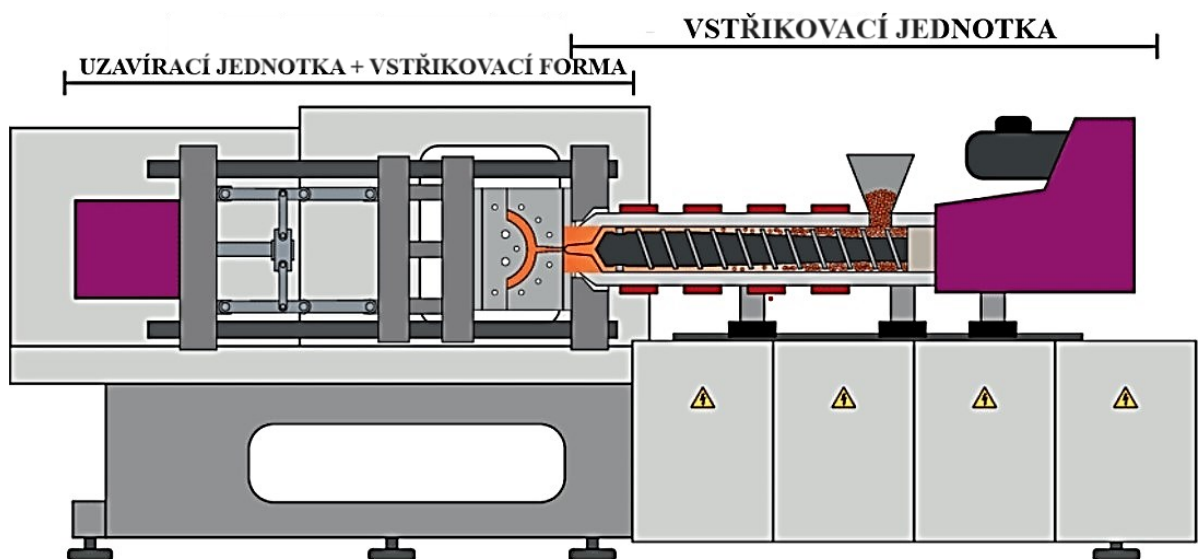
## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 VSTŘIKOVÁNÍ

Mezi jednu z nejrozšířenějších technologií patří technologie vstřikování pro zpracování polymerních materiálů. Jedná se o termodynamický cyklický proces termoplastů, při kterém je polymerní tavenina dopravována vysokou rychlostí a tlakem do dutiny formy kde je následně zchlazena a zaujímá podobu konečného výrobku. Do násypky se nasype množství materiálu a pomocí šneku se vyjme z násypky a dopraví se do plastikační jednotky, kde dochází k plastikaci materiálu vlivem tepla, které je přiváděno od topných pásů. Následně je tavenina vstřikována do uzavřené formy. Následuje dotlaková fáze, která snižuje smršťování a rozměrové změny. Tavenina předává teplo formě a postupně se ochlazuje a tuhne na konečný výrobek. V posledním kroku je produkt vyhozen pomocí vyhazovacího zařízení a celý cyklus se opakuje. Technologie vstřikování je vhodná pro sériovou výrobu plastových dílu.[5]

## 1.1 Vstřikovací stroj

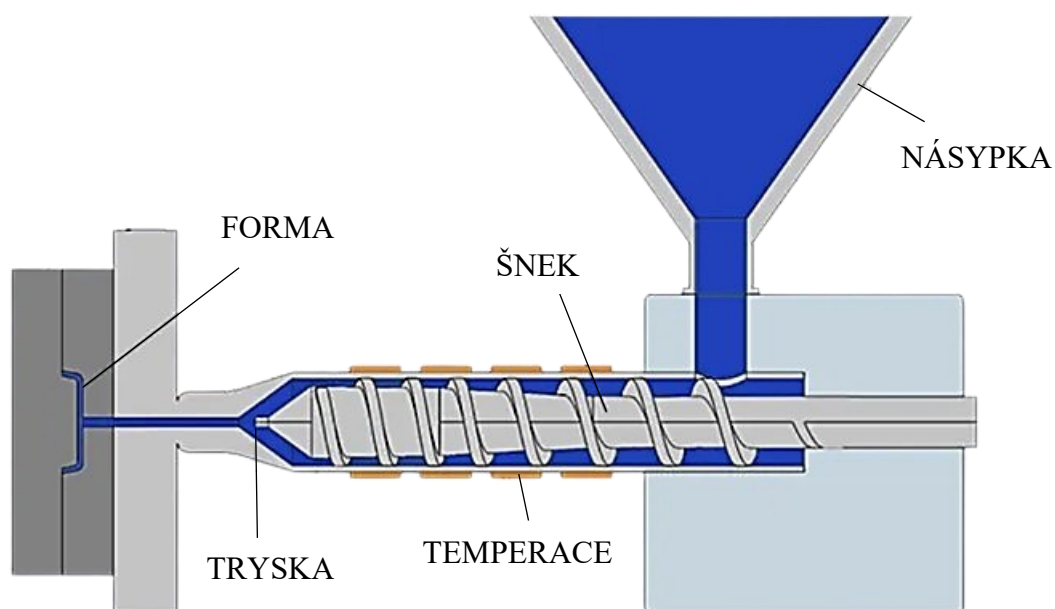
Využití vstřikovacího stroje je zaměřena na zpracování polymerů, které se obvykle dodávají ve formě granulátu. Vstřikovací stroj je plně automatizován a díky tomu i velmi efektivní na výrobu. Jejich nákupní cena není příliš nízká, takže se tato technologie obvykle nepoužívá pro malosériovou výrobu. Dále volba vstřikovacího stroje závisí na rozměrech vstřikovací formy, parametrech plastikační jednotky a velikosti uzavírací síly. Vstřikovací stroj je složen ze tří hlavních částí: plastikační jednotky, vstřikovací formy a uzavírací jednotky. [6]



Obr. 1.: Vstřikovací stroj [7]

### 1.1.1 Plastikační jednotka

Jedním z důležitých úkonů plastikační jednotky vstřikovacího stroje převedení polymerního materiálu do plastického stavu ve vysoké míře homogenity a co nejnižším obsahem vzduchových bublin. Pro zpracování všech dostupných vstřikovacích materiálu můžeme použít univerzální šneky, které mají poměr délky ku průměru (obvykle se poměr pohybuje mezi 1 : 16 do 1 : 25, nejvíce se používají 1 : 20 až 1 : 22). Základní funkce vstřikovací jednotky jsou rozděleny do dvou bodů. U první bodu dochází k plastikaci materiálu na vysoce viskózní taveninu a tavenina je dopravována vysokou rychlostí a tlakem do dutiny formy. [5; 6]



Obr.2.: Plastikační jednotka [8]

Plastikační jednotka je složena z několika částí, které lze vidět na předchozím obrázku. V počáteční části je znázorněná násypka, dále je složena ze šneku. Kolem šneku jsou umístěny topné pásy. Plastikační jednotka je zakončena tryskou, která se spojuje s vtokovou vložkou vstřikovací formy, skrz niž tavenina plastu proudí do formy. Mezi nepoužívanější typy plastikačních jednotek se používá jednotka s rotujícím šnekem, který vykonává rotační a axiální pohyb. [9]

### 1.1.2 Ovládací a řídicí jednotka

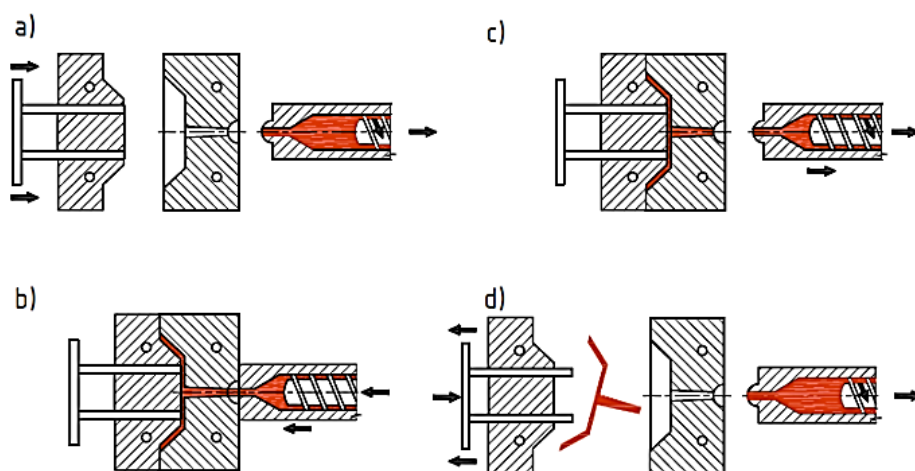
Kvalita je charakterizována jednoduchou obsluhou a úrovní řízení. Stála reprodukovatelnost technologických parametrů je klíčový a významný faktor. Jestliže tyto parametry kolísají tak se to projeví na nerovnoměrnosti, přesnosti a kvalitě výroby výstřiků. Mezi vhodné řízení stroje můžeme zahrnout řídicí a regulační prvky. V současnosti se u novějších vstřikovacích strojů objevuje výkonná procesorová technika. [6]

### 1.1.3 Uzavírací jednotka

Smyslem použití uzavírací jednotky je, že vstřikovací forma je ovládána a její upnutí a úplné uzavření či otevření jsou zajišťovány. Uzavírací mechanismus má hned několik možností provedení. Jedna z nepoužívanějších forem uzavíracího mechanismu je hydraulická, která je ovládána hydraulickým tlakem. Výhoda hydraulických uzavíracích jednotek je nastavení libovolné hloubky otevření nástroje. [6]

## 1.2 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus probíhá ve více krocích. Začíná nasypáním granulí do násypky, odkud je materiál přemístěn do pracovní části stroje. Tato fáze využívá šnek k odebrání granulátu. Poté je materiál do plastikační komory, kde se za působení tepla a tření mění v taveninu. Tavenina je následně vstřikována na tvarové dutiny, kde je získá svůj konečný tvar a objem. Následuje dotlaková fáze, která se snaží minimalizovat smrštění. Většinu času cyklu zabírá fáze ochlazovací, která trvá 60 % času celého cyklu. Po ochlazení se forma otevře a pomocí vyhazovačů je výrobek vyhozen z formy. Tento cyklus se opakuje v průběhu výroby. [10; 11]



Obr.3.: Vstřikovací cyklus [11]

### 1.2.1 **Plastikační fáze**

Plastikační fáze je fáze, při které dochází k převodu materiálu z formy granulí do plastického stavu za působení disipační a tepelné energie. Granulát je dopravován pomocí šneku a je zahříván a následně promíchán. [12]

### 1.2.2 **Vstřikovací fáze**

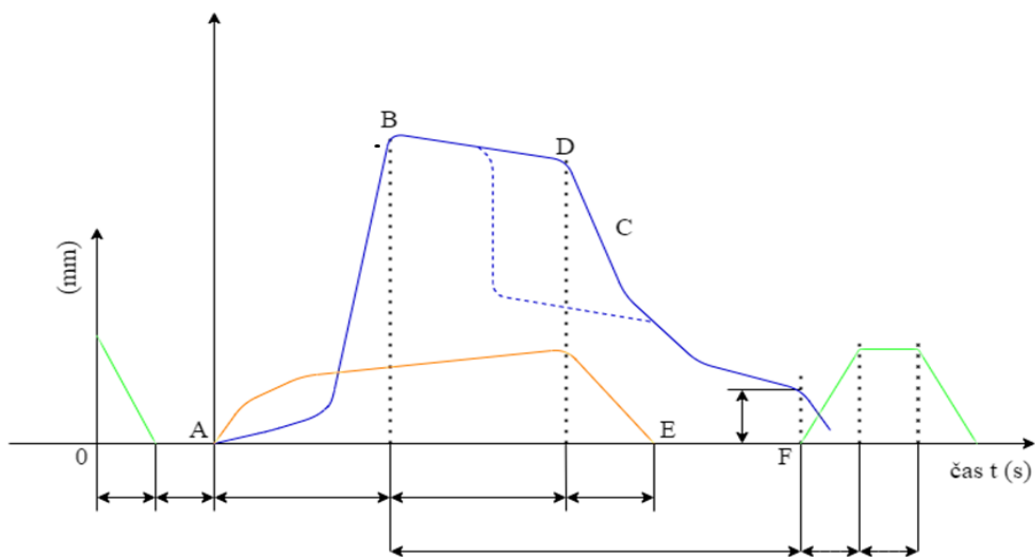
Je to jedna z nejdůležitějších fází vstřikování, činnost vstřikovací fáze je naplnění tvarové dutiny formy homogenní taveninou, která se připravena v plastikační fázi. Jde o krátký časový interval, který se pohybuje v řádech vteřin. Rychlost vstřikování má velký vliv na povrchové vady výstřiku např. studené spoje, tokové čáry. Při nízké vstřikovací rychlosti se rychle ochlazuje čelo taveniny v tvarové dutině formy. [12]

### 1.2.3 **Dotlaková fáze**

Dotlaková fáze začíná ihned po naplnění tvarové dutiny formy je na řadě stlačování hmoty. Tlak intenzivně vzroste a rychlost razantně klesne. V případě, že tlak zůstane v původním stavu mělo by to zapříčinění vzniku tzv. tlakové špičky. Jinak by to mohlo vyvolat pružné prohnutí formy. Aby se tomu zabránilo je důležité si v konkrétní době snížit vstřikovací tlak tzv. přepnout na dotlak. Doba dotlaku závisí na průřezu vtokového kanálu, většinou to bývá v řádech několika až desítek sekund. [10]

### 1.2.4 Fáze ochlazovací

Ochlazovací fáze ve tvarové dutině formy začíná hned na samotném počátku plnění tvarové dutiny taveninou. To celé trvá po dobu až do vyhození výstřiku z formy, přes dotlakovou fázi a ochlazovací fázi, ovšem bez tlaku do doby, než zamrzne vtokové ústí. Ochlazovací fáze má určité parametry, jež jsou teplota formy a doba ochlazování. Platí, že čím je ochlazování výstřiku pomalejší, tím větší je u krystalických plastů obsah krystalického podílu. To má za následek větší smrštění, a to vlivem uspořádanosti krystalické fáze. [12]



**Průběh tlaku v dutině formy pi**

**Průběh pohybu formy**

**Průběh pohybu šneku**

Obr.4.: Průběh vnitřního tlaku v dutině formy během procesu vstřikování [13]

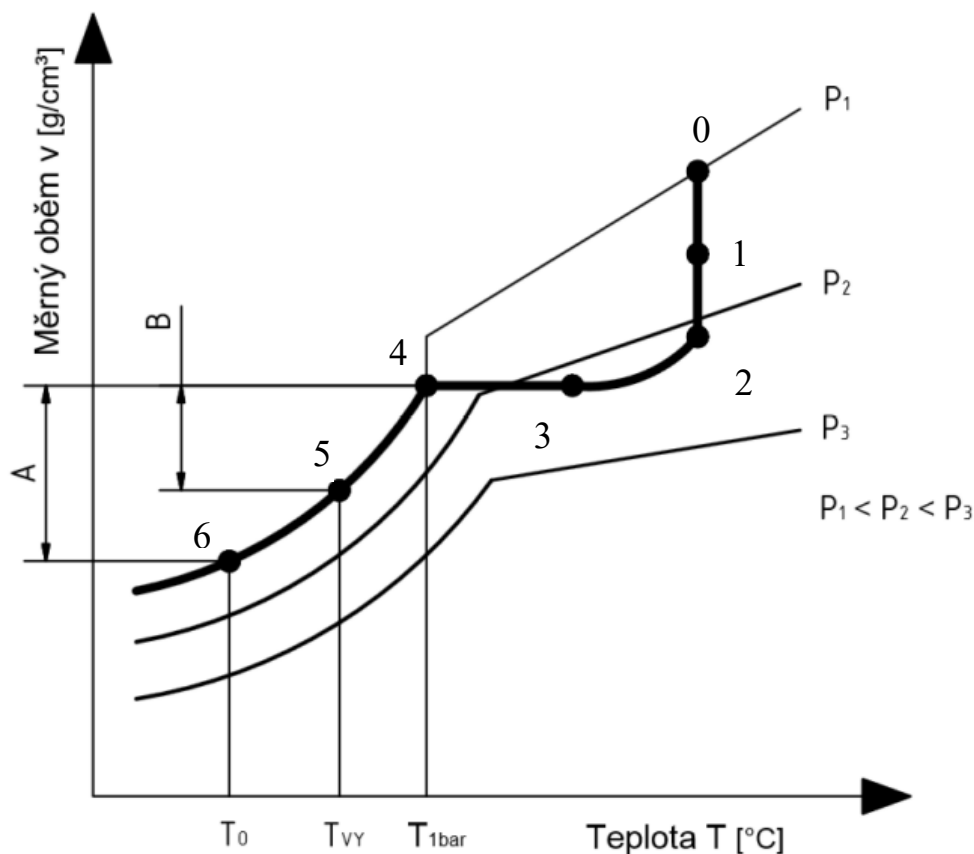
V grafu (viz obr. 5) v bodě A se začíná dávat šnek v tavící komoře do pohybu a začíná naplnění dutiny vstřikovací formy. V bodě B je tento proces ukončen. Mezi body A–B je čas plnění tv. Tlak, který vzniká v procesu naplnění se dostane do nejvyšší hodnoty. Jakmile se tavenina dostane do dutiny vstřikovací formy, zahajuje ochlazovací fázi. V dutině formy se neprodleně tavenina začíná chladit. Ochlazovací fáze přetrvává až do otevření formy a vyhazuje výstřik z formy. Tato teplota se pak označuje jako  $t_{CH}$ . [13]



### 1.3 Tlak, měrný objem a teplota v průběhu vstřikovacího procesu (pvT diagram)

K jasnému znázornění průběhu vstřikovacího procesu se využívá pvT diagram. Pokud dosadíme stanovený čas průběhu tlaku a teploty získáme konkrétní chování materiálu při vstřikování. Jedná se o závislost mezi určitým objemem na teplotě při různých tlacích

( $p$  = tlak,  $V$  = objem,  $T$  = teplota). [12]



Obr.5.: Diagram pvT během procesu vstřikování [9]

Bod (0-1) – objemové plnění

Bod (1-2) – stlačování taveniny

Bod (2-3) – izobarický dotlak

Bod (3-4) – izochronický dotlak

Bod (4-5) – ochlazování na teplotu vyhazování

Bod (5-6) – ochlazování na pokojovou teplotu [14]

## 2 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Výroba plastového dílu prostřednictvím vstřikování je realizována na vstřikovacím stroji v krátkých časových intervalech, kdy jsou splněny požadavky na dostačující tlak a teplotu, spolu s dalšími parametry. Vstřikovací forma představuje složitý systém, který má za úkol určovat finální rozměry a tvar výrobku po jeho ochlazení. Primární funkce vstřikovací formy je dopravení taveného polymeru do dutiny formy a zajistit plné naplnění. V neposlední řadě musí být forma schopná zaručit bezpečné a plynulé odstranění hotového dílu, také odolávat vysokým silám a tlakům, které se vytvářejí během procesu vstřikování. [6; 19]



Obr.6.: Vstřikovací forma [16]

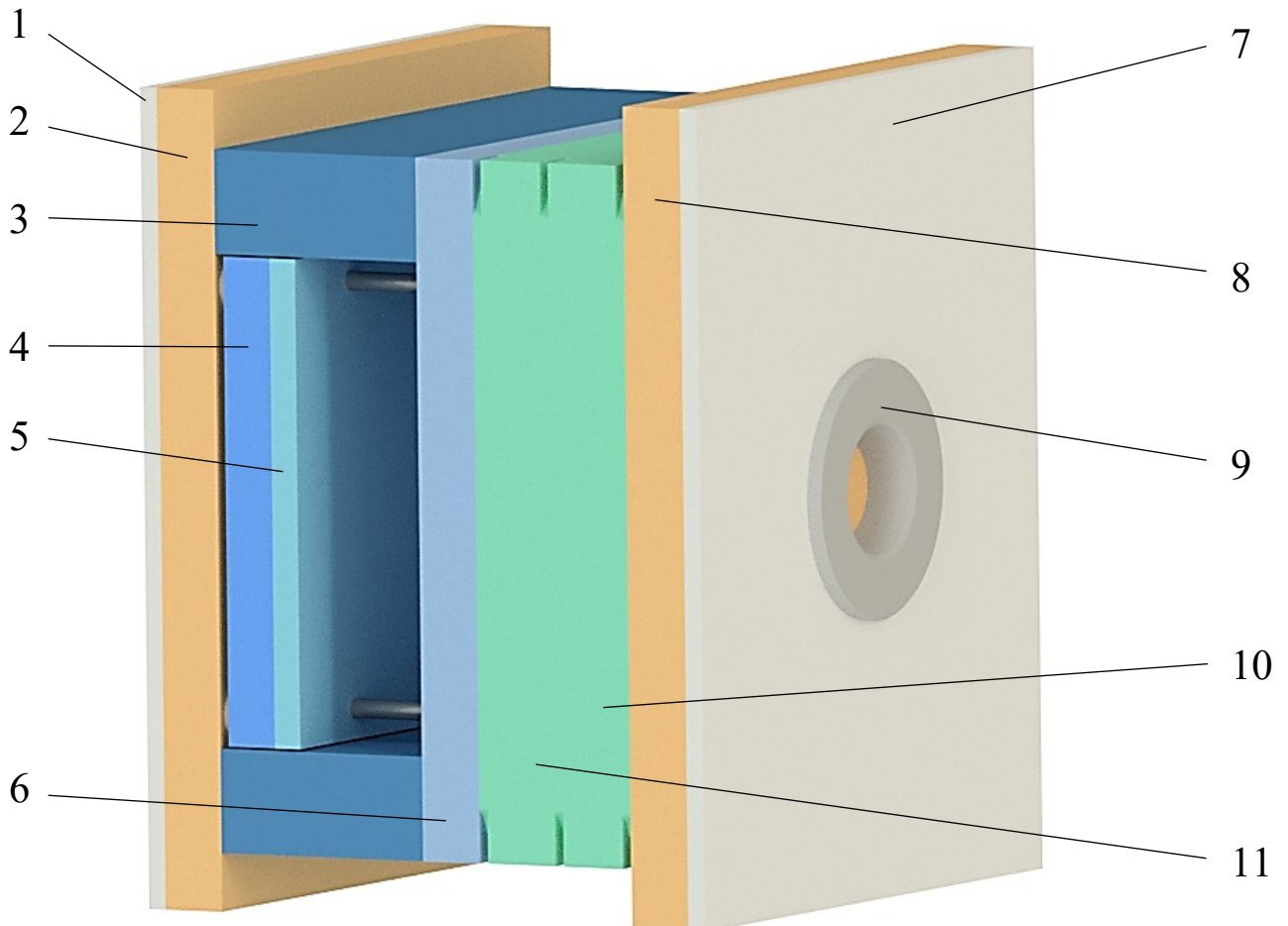
### 2.1 Rám vstřikovacích forem

Rám vstřikovací formy představuje seskupení desek, které jsou vybaveny středícím, vodícím a spojovacím mechanismem. Tyto desky slouží jako nosič tvarové dutiny a vtoky, které mohou být buď vyřezány přímo do desek nebo umístěny do speciálních vložek. Doplnění rámu o další funkční celky vzniká kompletní forma, která je schopná plnit požadovanou funkci v rámci procesu formování. [20]

Kromě výše uvedených úkolů, rám musí umožňovat:

- Bezchybné upevnění na stroji.
- Přesné řízení pohyblivých částí vstřikovací formy.
- Snadné připevnění tvarových vložek a dalších funkčních dílů.
- Adekvátní určení místa pro vyhazovací systém a temperační systém. [6]

Rozměry a uspořádání rámu jsou pečlivě přizpůsobeny individuálním požadavkům a klíčovým funkcím formy, s ohledem na proces formování vstřikovaného materiálu. Pro zefektivnění konstrukce a výroby rámu se často využívají různé standardizované typy. [6]



Obr. 7.: Části vstřikovací formy [18]

1 - izolační deska pravá, 2 - upínací deska pravá, 3 - rozpěrné desky, 4 - vyhazovací deska opěrná, 5 - vyhazovací deska kotevní, 6 - podpěrná deska, 7 - izolační deska levá, 8 - upínací deska levá, 9 - středící kroužek, 10 - deska tvárnice, 11 - deska tvárniku

## 2.2 Postup při konstrukci forem

Pro konstrukci vstřikovacích forem je důležité zohlednit geometrické parametry a návrh konstrukce s dalšími potřebnými údaji. Konstrukce dále zahrnuje následující kroky:

1. Zhodnocení výkresu součásti vzhledem k jejímu tvaru a rozměrům. Důkladná kontrola stěn, rozměrů a tolerance je nezbytná, stejně jako úpravy ostrých hran a rohů.
2. Určit dělicí rovinu s důrazem na funkčnost a také estetiku. Rovněž zohlednění umístění vtokových systémů.
3. Navrhnout vyhazovací a temperační systém, také je dost důležité zajistit správné odvodušnění.
4. Vytvoření rámu formy s ohledem na požadavky, počet dutin, efektivní vyhazovací systém a temperace.
5. Zkonstruovat rám vstřikovací formy dle žádosti, stanovení počtu dutin.
6. Optimalizace středění a upínání formy na stroj s důrazem na bezpečnostní opatření.
7. Důkladně ověřit funkční parametry, váhu výstřiku, vstřikovací a uzavírací tlak. [6]

### 2.2.1 Zaformování výstřiku

Zajištění ideálního zaformování výstřiku a správná výběr dělicí roviny jsou důležitými faktory při konstruování vstřikovací formy. Jde o to, aby rozměry a tvar výstřiku byly dodrženy a zároveň minimalizovali základy na výrobu. Dělicí plocha, která představuje rovinu bývá obvykle umístěná rovnoběžně s upínáním formy, vyskytnout se může, ale i šikmá. Složitější uspořádání však může vést k obtížím při výrobě forem. Je důležité, aby dělicí rovina:

- Usnadňovala vyjmutí výstřiku ze vstřikovací formy.
- Probíhala podél hran výrobku.
- Měla pravidelný a jednoduchý geometrický tvar, který lze snadno vyrobit.
- Nezpůsobovala žádné funkční ani vizuální nedostatky. [19; 6]

### 2.3 Dimenzování tvarové dutiny

Po uzavření formy tvar a rozměry funkčních dílů, které jsou převážně umístěny v různých částech formy, vytvářejí tvarovou dutinu. Dimenzování těchto dílů představuje důležitý krok v procesu konstrukce. Nesprávné rozměry mohou vést k nedostatečné kvalitě výstřiku. Pokud nejde o rozměry s určenou tolerancí, někdy lze tuto chybu opravit úpravou technologických parametrů. Přesnost tvarové dutiny se obvykle pohybuje v rozmezí IT 8 až IT 10 a je ovlivňována třemi hlavními faktory.[5; 6]

- Výrobní tolerance.
- Opotřebení dutiny.
- Smrštění plastu. [6]

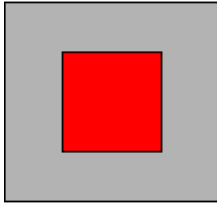
Z jedním méně obvyklým důvodem špatného dimenzování parametrů jsou nesprávné odhady smrštění při formování plastů. Správně odhadnout míru smrštění pro dané parametry dílu může být náročné, protože vypočítané hodnoty se často liší od tabulkových hodnot uvedených výrobcí plastů. Konstruktor se proto často musí spoléhat na vlastní zkušenosti. [19; 6]

### 2.4 Násobnost forem

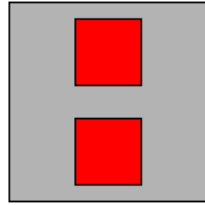
Určení násobnosti forem vyžaduje zohlednění hned z několika faktorů. Jeden z důležitých faktorů je počet kusů výstřiku za rok. Kromě počtu výstřiku je také velice důležitá složitost samotného výstřiku. Také velice důležitým aspektem na rozhodování násobnosti forem je cena samotné vstřikovací formy. [20]

Výroba forem pro náročné tvary a velké výstřiky představují složitý proces. Obvykle se tedy vyrábějí v jednoduchých formách. Z pohledu kvality a přesnosti výstřiku je ideální, aby počet forem byl co nejnižší. Chyby v jednotlivých tvarech spolu s nerovnoměrnými technologickými podmínkami vstřikování mohou snižovat přesnost výstřiku z různými tvarových dutin. Technické parametry vstřikovacích strojů v podstatě ovlivňují počet forem. Je proto nezbytné zajistit dostatečné napnutí formy s rezervou. Rezerva objemu taveniny a uzavírací síly by měla být přibližně 20 %. Vstřikovací stroj má vliv na počet forem. [19]

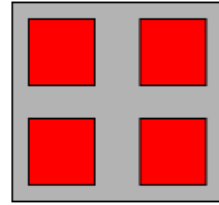
1 – násobná  
(1 díl na výhoz)



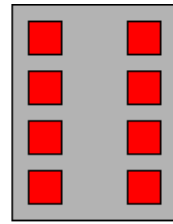
2 – násobná  
(2 díly na výhoz)



4 – násobná  
(4 díly na výhoz)



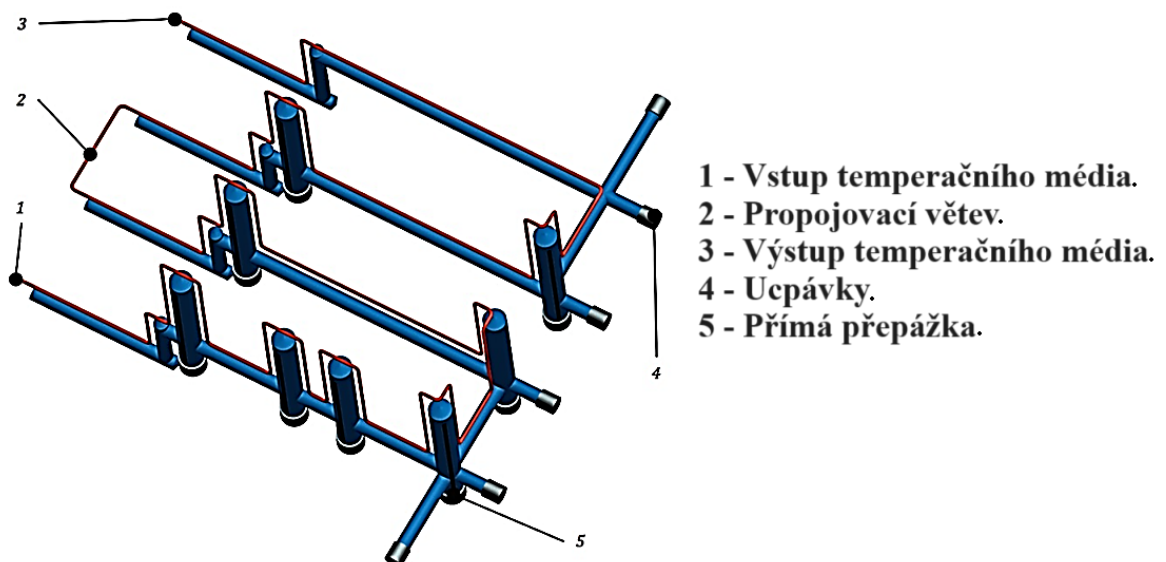
8 – násobná  
(8 díly na výhoz)



Obr.8.: Násobnost forem [19]

## 2.5 Temperace formy

Temperace je klíčovým prvkem pro udržení konstantní teploty vstřikovací formy. Hlavním cílem je zkrátit pracovní cyklus vstřikování na minimum, přičemž je zároveň zajištěno splnění všech technologických požadavků na výrobu. Tento efekt je dosažen buď ochlazením nebo vyhříváním formy či jednotlivých segmentů. Při procesu vstřikování tak do vstřikovací formy se vpravuje rozehřátý materiál, ten se poté ve tvarové dutině postupně ochlazuje na žádanou teplotu a poté se následně vyjme hotový výstřik. Po každém cyklu vstřikování je forma otevřena a každý následující vstřik se provádí opět při předem stanovené teplotě. Díky tomu je dost důležité odvádět přebytečné teplo přes temperační systémy. [19; 20]



Obr.9.: Temperační okruh vstřikovací formy [21]

Úkolem temperování je:

- Účinnější je odvádět teplo z formy obsahující taveninu, aby se dosáhlo nejefektivnějšího pracovního cyklu.
- Rovnoměrnou teplotu vstřikovací formy po celém povrchu tvarové dutiny. [19]

Temperační systém je složen z řad kanálů a dutin, kterými protéká požadovaná kapalina, aby udržovala teplotu temperačních částí na požadované hodnotě. Při zpracování plastů Při zpracování platových dílů při vyšších teplotách je často využíván elektrický ohřev. Tento temperační systém je instalován:

- V pohyblivé části formy.
- V pevné vtokové části. [19]

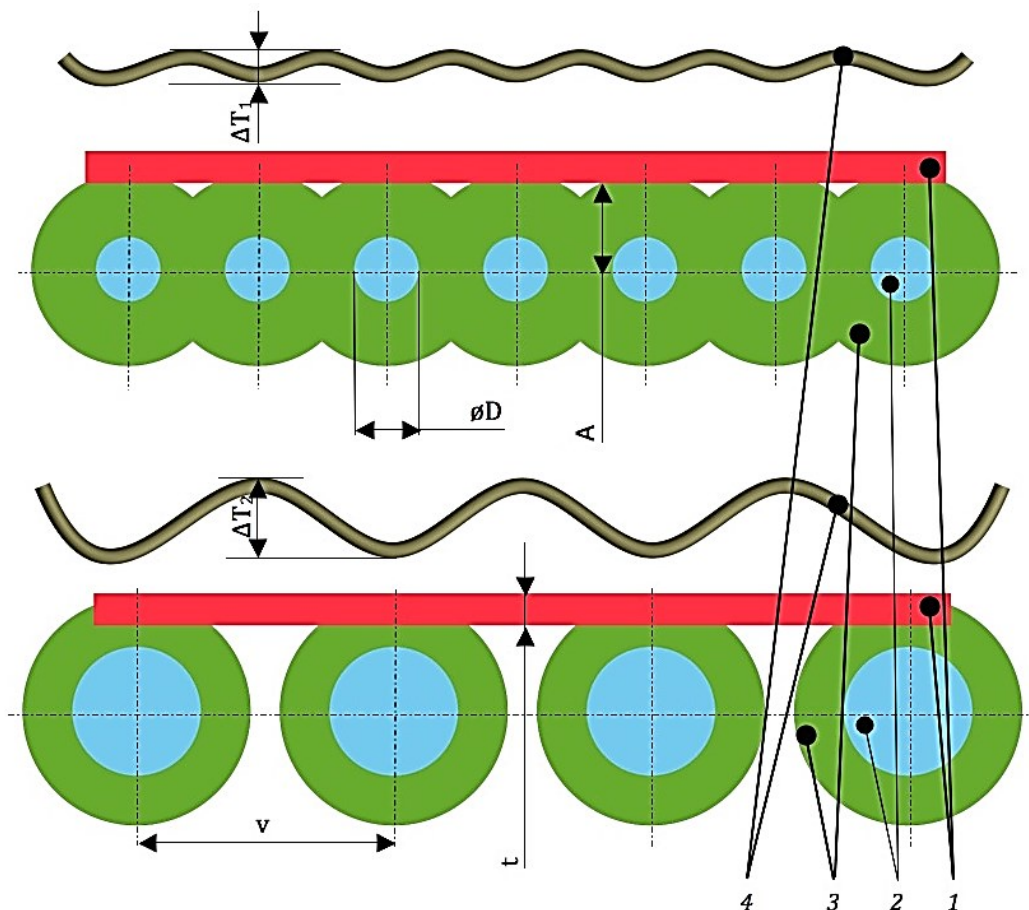
Regulace teploty formy, včetně její ohřívání a následně i chlazení, závisí na energetické bilanci vstřikovací formy. Teplo se primárně odvádí či přivádí primárně pomocí temperačního systému. Navíc dochází k přenosu tepla ze vstřikovací formy do upínacích ploch vstřikovacího stroje. Teplota forem a tvarových dutin se během vstřikování mění. Teplota vstřiknutého materiálu ze začátku stoupá a pak klesá v důsledku odvodu tepla temperačním systémem. Minimální teplotní kolísání během procesu vstřikování je zásadní. Proto je nezbytné optimalizovat temperační proces, což zahrnuje určení správného rozmístění a velikosti kanálů. [6; 19]

### 2.5.1 Volba temperačních kanálů

Systém temperačních kanálů odvádí či předává teplo ze vstřikovací formy. Z toho důvodu jsou rozměry a jejich umístění důkladně vybírány. Je vhodné tedy zajistit optimální vzdálenost kanálů od tvarové dutiny formy. Na povrchu kanálů dochází ke tepelné výměně mezi vstřikovací formou a temperačním médiem. Je velmi efektivnější využít více menších temperačních kanálů s krátkými roztečemi, než by tomu bylo naopak. Průřez kanálů je volen dle rozměrů výstřiku nebo z jakého materiálu je vyroben či parametry rámu formy. Jeden z nejpoužívanějších tvarů je kruhový. [19; 20]

Při návrhu temperačního systému je důležité držet se určitých pravidel:

- Umístění temperačních kanálů možno co nejblíže k tvarové dutině vstřikovací formy.
- Dimenzování kanálů tak, aby bylo teplo efektivně odváděno z míst, kde dochází ke kontaktu formy s proudící taveninou.
- Navrhnout kanály tak, aby bylo možné propojit jednotlivé větve hadicemi různými pořadím a způsoby.
- Vyhnout se umístování kanálů v blízkosti hran výstřiku.
- Volit dostatečně velký průměr kanálů, kvůli vzniku tzv. mrtvých míst, kde neproudí kapalina, aby se předešlo ucpáním nečistot a vodním kamenem. [19]



Obr.10.: Porovnání různých průměrů temperačních kanálů [22]

1 – vstřikovaný díl, 2 – temperační kanál, 3 – pole působení temperačních kanálů  
4 – průběh teploty povrchu dutiny vstřikovací formy



Na předchozím obrázku lze vidět odlišnost mezi oběma příklady, která spočívá v odlišném rozložení teplot na povrchu dutiny formy. Lze tedy vidět, že  $\Delta T_2 > \Delta T_1$ . Dále jsou specifikovány hlavní rozměry, které určují temperační systém a také doporučené umístění temperačních kanálů s ohledem na povrch dutiny formy a tloušťku stěny plastového dílu. [22]

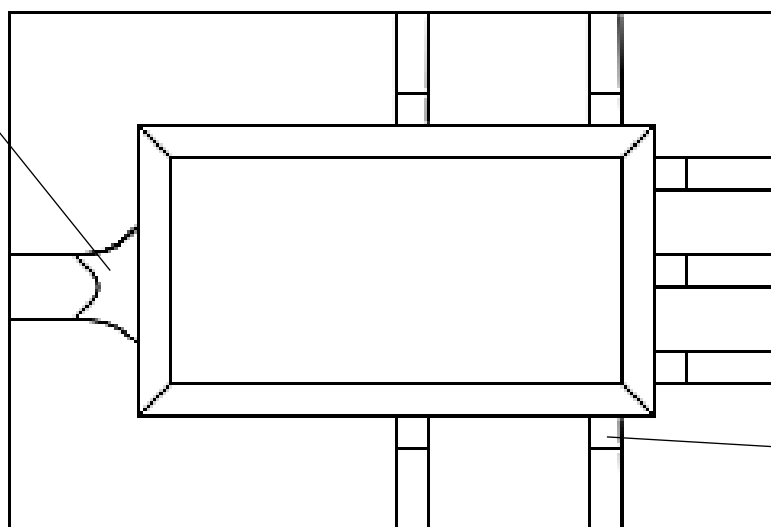
## 2.6 Odvzdušnění formy

Během vstřikování taveniny do tvarové dutiny formy je vzduch rychle vytlačován před taveninou. Ačkoli nějaký vzduch může uniknout skrz dělicí rovinu nebo pomocí vyhazovačů, většina vstřikovacích forem musí být navržena s dodatečnými prvky, které umožní rychlý odvod vzduchu z tvarové dutiny. Čím rychleji se vstřikovací forma naplňuje, tím efektivnější musí být řešení odvzdušnění. Doba, po kterou se forma naplňuje, ovlivňuje celkové vlastnosti výstřiku. Může se také stát, že při rychlém naplňování nastane stlačení vzduchu. Vzduch je silně zahříván vysokým tlakem. Což může vést ke vzniku spálených míst na výstřiku. Jedná se o Dieselův jev. [19; 20]

### 2.6.1 Určení místa pro odvzdušnění

Nalezení vhodného umístění pro odvzdušení je v rámci možností jednoduché, vychází se dle tvaru výstřiku. Ovšem mohou nastat případy kdy je určení obtížné. Je důležité zvážit, jak se tvarová dutina plní a jakým směrem. Dále můžeme brát ohled i na způsob plnění. Dále také závisí na uložení vtoku a tloušťce stěn. [19]

ÚSTÍ VTOKU



ODVZDUŠŇOVACÍ  
KANÁL

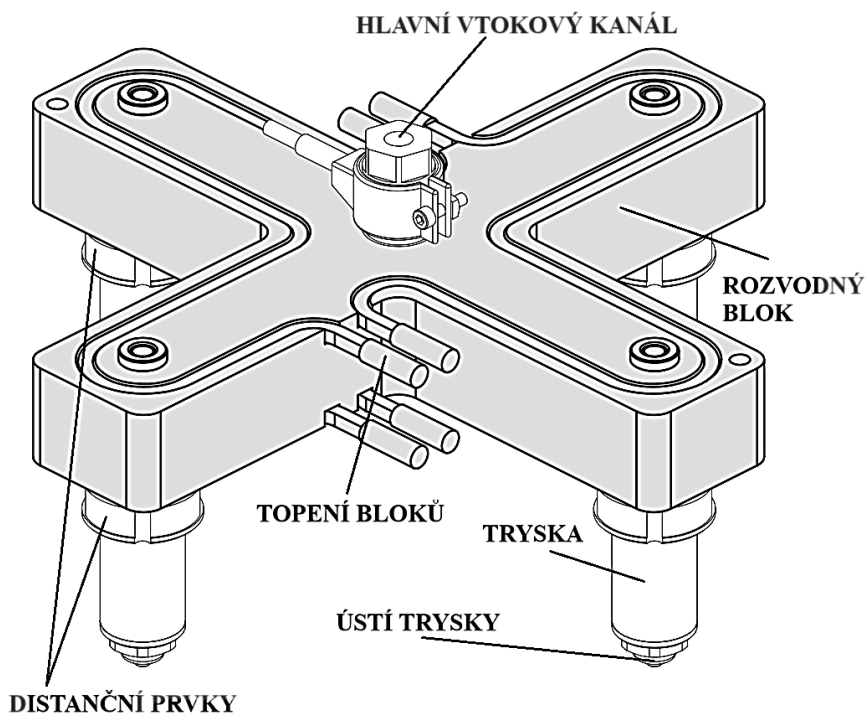
Obr.11.: Umístění odvzdušňovacích kanálů [22]

## 2.7 Vtokové systémy

Samotná vstřikovací forma využívá vtokové systémy jako jednu z nejdůležitějších částí, která slouží k dopravení taveniny plastu do tvarové dutiny vstřikovací formy. Tato soustava začíná u místa, kde se setkává plastikační jednotka s formou a končí u ústí, které vede do tvarové dutiny. Správně navržený vtokový systém zajistí rovnoměrné naplnění tvarové dutiny vstřikovací formy, správné rozdělení od výstřiku a snadné odstranění zbytků materiálu z vtokového systému. Existují horké i studené vtokové systémy, které se liší zejména v energetické náročnosti a funkčnosti. Zdali to okolnosti dovolují, je adekvátní směřovat vtok do nejtlustší oblasti vstřikovaného výrobku. [6]

### 2.7.1 Vyhříváný vtokový systém

Vyhříváný vtokový systém představuje soubor prvků vybavených vyhřívánými tělesy, které slouží k udržení konstantní teploty polymerní taveniny během jejího dopravování do tvarové dutiny vstřikovací formy. Tato metoda umožňuje vytvoření hotového výstřiku bez jakéhokoliv vtokového zbytku. Díky vyhříváným tryskám a kanálům zůstává plastový materiál v tekutém stavu po celou dobu vstřikovacího cyklu, což vede k rychlejšímu cyklu vstřikování. Také k menší spotřebě materiálu. Vyhříváný vtokový systém není příliš účinný při malé sériové výrobě. [23]



Obr.12.: Vyhříváný vtokový systém [24]

Trysky jsou vybaveny elektrickým vytápěním prostřednictvím kabeláže, která je rozdělena na druhy s vnějším anebo s vnitřním ohřevem. Vnější ohřev je realizován pomocí navinutí topného svazku, kudy roztavený plast protéká ve středu osy trysky. Tento druh trysky má výhodu v tom, že má malý úbytek tlaku. Dále však u vnitřního ohřevu je lepší regulace tepla roztaveného plastu u špičky, také je mnohem lépe tepelně izolována. [23]

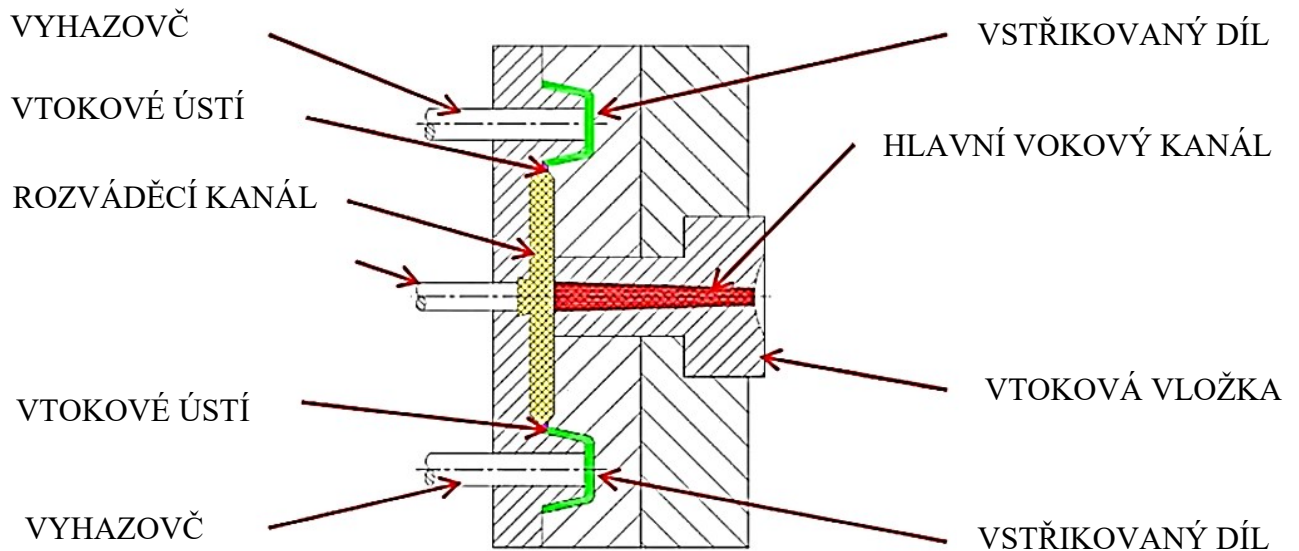


Obr.13.: Tryska [25]

### 2.7.2 Studený vtokový systém

Tento vtokový systém je standardní a často používaný. Při tomto systému roztavený materiál začne ihned tuhnout na stěnách vtokového systému. Tvoří izolační vrstvu ztuhlého plastu, zatímco roztavený materiál proudí horkým jádrem. Proto je klíčové přizpůsobit velikost rozváděcích kanálů, zejména při vyšší délce u vícenásobných vstřikovacích forem. Díky tomu je dosaženo rovnoměrného naplnění všech tvarových dutin. Roztavený materiál jde do tvarové dutiny skrze vtokové ústí: Řešení může být hned několik variant, je určován dle konstrukce vstřikovací formy i dle vstřikovaného dílu. U studeného vtokového systému jsou

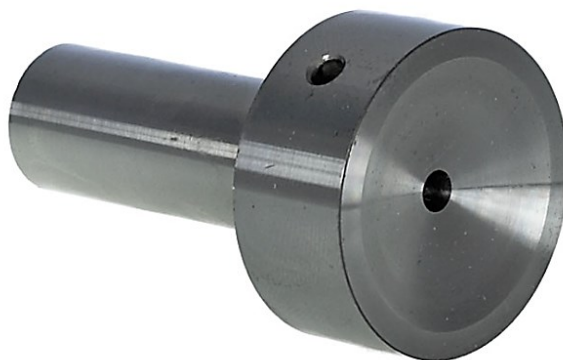
zcela běžné využívány přidržovače vtoku, ten následně slouží k přidržování dílu díky podkosům. Lze je také využít na rozdělení vtokového zbytku od výstříku. [26]



Obr.14.: Studený vtokový systém [26]

Vtoková vložka:

Tavenina plastu je přiváděna přímo z trysky vstříkovačského stroje do hlavního vtokového kanálu. Tryska stroje je umístěna a centrována pomocí středícího kroužku na vtokovou vložku, kde je vytvořen hlavní vtokový kanál. [26]

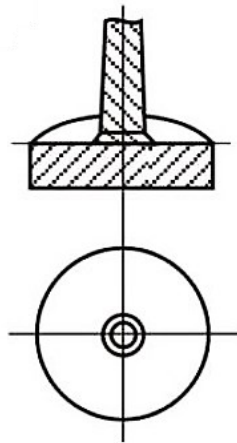


Obr.15.: Vtoková vložka [27]

Druhy řešení studeného vtokového řešení:

1. Plný kuželový vtok:

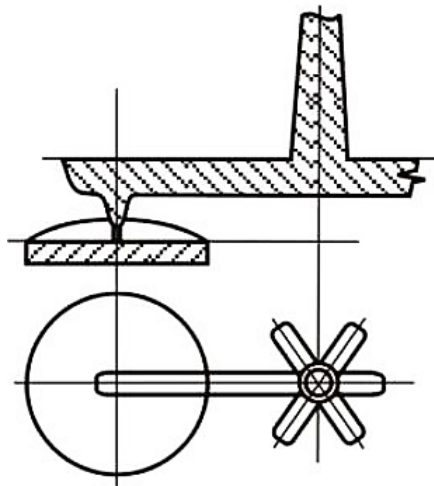
Tok materiálu do vstřikovací formy probíhá přímo z hlavního vtokového kanálu. Tato metoda je vhodná pro výrobu jednoduchých symetrických výrobků s tlustšími stěnami. Jednou z nevýhod je obtížné odstranění zbytků materiálu z vtokového kanálu, avšak výhoda je jednodušší provedení a snadnou výrobu. [6; 26]



Obr.16: Plný kuželový vtok [19]

2. Bodový vtok:

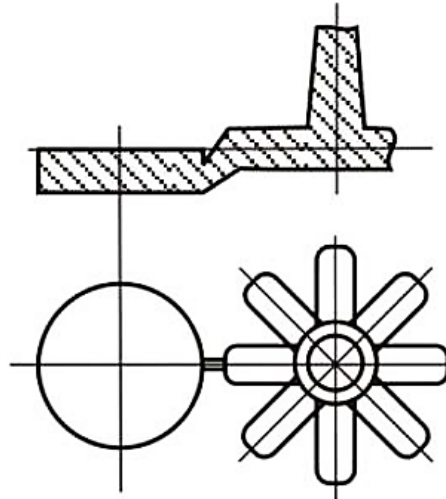
Tento způsob řešení je ideální pro výrobu tenkostěnných výrobků, přičemž průměr vtokového ústí je obvykle 1 mm. Vtok je směrem k výrobku rozšířen do kuželovitého tvaru, aby se ztuhlé plastové zbytky odtrhly a byly vytaženy společně s výstřikem. V těchto případech zůstává roztavený plast v předkomůrce, kde je v dalším cyklu vstřikování dopravena do formy. [26]



Obr.17.: Bodový vtok [19]

### 3. Tunelový vtok:

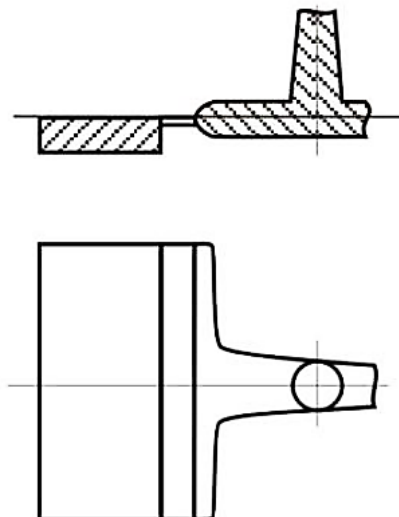
Tento typ vtokového ústí umožňuje naplnění tvarové dutiny formy bez dělící roviny. Obvykle se tento postup používá pro línění dutiny kolmo na povrch formy. [26]



Obr.18.: Tunelový vtok [19]

### 4. Filmový vtok:

Jedná se o boční vtok. Vtok je zabudován do kratší hlavy, zejména u vyplněných výrobků, aby dosáhla žádoucí pevnosti. Dalším velkým nedostatkem tohoto typu je oddělení, až po vyjmutí výrobku z formy. [6; 26]



Obr.19.: Filmový vtok [19]

## 2.8 Vyhazovací systémy

Vyhazovací systémy vstřikovací formy má za úkol vyjmutí výstřiku z tvarové dutiny, když je forma otevřena. Jejich hlavní funkce je zajistit průběh výrobního cyklu a co nejvíce ho automatizovat. Vyhazovací systém má dvě fáze. První fáze je přímý pohyb, která slouží k vyhození výstřiku, dále druhá fáze, která slouží jako zpětný pohyb, která následně nastává např: pomocí pružiny. Pokud je zapotřebí vrátit vyhazovací desky před uzavření formy, nejlepší volbou je využít hydraulické zařízení, které jsou už nedílnou součástí novějších strojích. [20]

Při vyhazování výstřiku z forem je nezbytné také zahrnout odstranění vtokových zbytků, zejména při studeném vtokovém systému. [20]

### 2.8.1 Mechanické vyhazovače

Jde o cenově dostupný a velmi opakovaně využívaný systém vyhazování, který lze použít v mnoha případech, kde je možné umístit vyhazovače tak, aby se opíraly o plochu výstřiku vyhazovacím směru. [6]

Vyhazovače musí být opřeny o stěny nebo o žebra součásti tak, aby se při vyhazování nezničily nebo nepoškodily. Jeden z příkladů mechanických vyhazovačů jsou válcové vyhazovače. [6]



Obr.20.: Válcový vyhazovač [28]

### 2.8.2 Šikmý čep

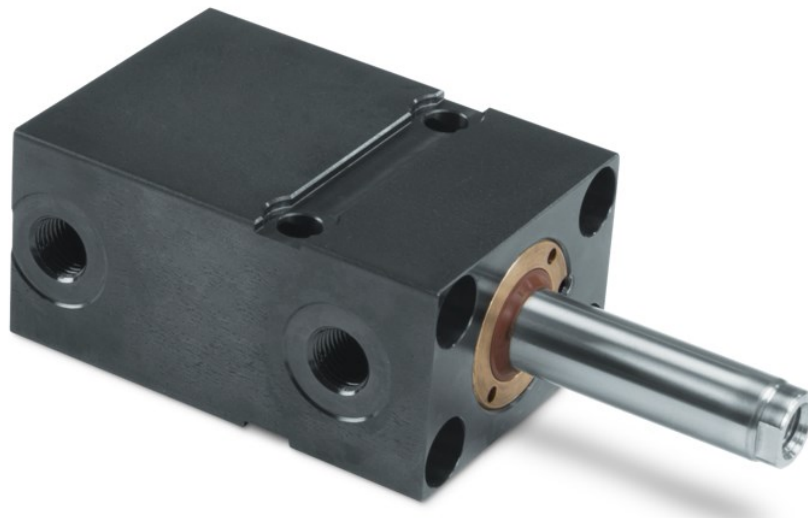
Nevšední metodou mechanického vyhazování je využití vyhazovacího čepu, který není kolmý k dělicí rovině. Tyto kolíky se využívají pro díly s vnitřním nebo vnějším zápichem. Jedná se tedy o nejjednodušší možnost vyhazování, kde se nemusí použít čelistový mechanismus. Pohyb vyhazovače ve sklonu uvolňuje rozšířenou nebo zúženou část zápichu. [12]



Obr.21.: Šikmý čep [29]

### 2.8.3 Hydraulické vyhazování

Je částí vstříkovacího stroje a je primárně využíván k řízení mechanických vyhazovačů, kde jim je nahrazena pružnost. Ovšem hydraulické vyhazovače nejsou moc běžné, spíše se setkáme s bočními posuvnými čelistmi. [6]



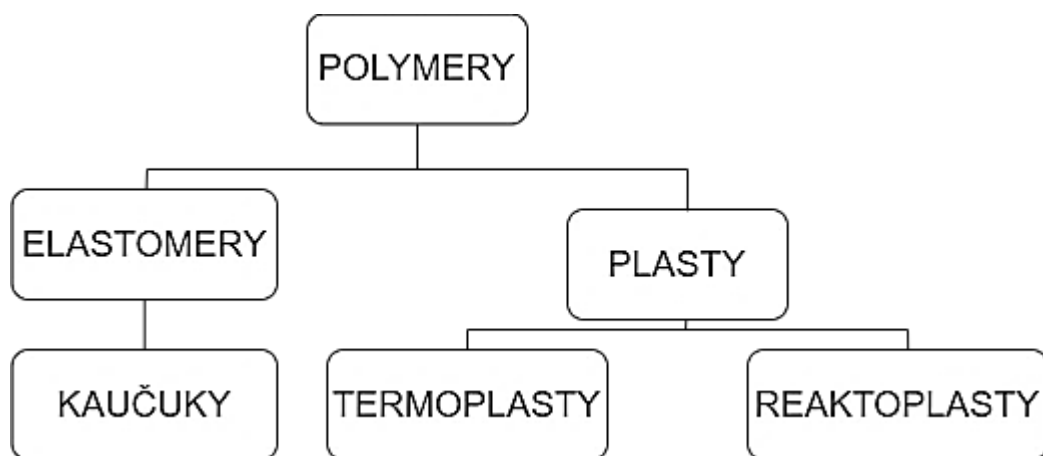
Obr.22.: Hydraulické vyhazování [30]



### 3 POLYMERNÍ MATERIÁLY

Syntetický polymer je makromolekulární látka, která vzniká opakovaným spojením základních stavebních jednotek, nazývaných monomery. Tyto monomery se spojují chemickými reakcemi, často polymerizací, za vzniku dlouhých řetězců, které tvoří strukturu polymerů. Existuje několik druhů polymerů s různými vlastnostmi, mezi které řadíme plasty, elastomery. Polymerové materiály mají velké uplatnění v mnoha odvětví, např. energetika, zdravotnictví. [5]

#### 3.1 Rozdělení polymerů



Obr.23.: Rozdělení polymerů dle chování za tepla

##### 3.1.1 Termoplasty

Termoplasty jsou materiály, které se při zahřátí měknou a stávají se plastickými, což umožňuje snadné tváření a zpracování pomocí různých technologií. Po ochlazení pod teplotu tání opět ztuhne do tuhého stavu. Tento proces měknutí a tuhnutí může být opakován opakovaně bez jakýchkoli změn v chemické struktuře materiálu. Termoplasty tvoří klíčovou skupinu plastů pro plastikářský průmysl a dělí se do dvou hlavních kategorií. První kategorie jsou amorfní termoplasty, které mají neuspořádané řetězce a zahrnují materiály jako PS, ABS, SAN, PMMA a PC. Tyto materiály jsou vhodné pro použití před teplotou skelného přechodu. Druhá kategorie jsou semikrystalické termoplasty, ve kterých se většina řetězců uspořádává do krystalických útvarů. Semikrystalické termoplasty zahrnují materiály jako PE, PP, EVA a PA6 a jsou vhodné pro použití za teplotou skelného přechodu. [31]

### 3.1.2 Elastomery

Elastomery představují jeden ze druhů polymerních materiálů, které mají vysokou elasticitu a pružnost. Při zahřívání tyto materiály měknou a stávají se tvarovatelnými, je důležité zdůraznit, že jejich vlastnosti podléhají změnám. Během procesu vulkanizace, který je podstatný pro elastomery, dochází ke křížení polymerových řetězců, tím se zvyšuje stabilita a odolnost materiálů vůči deformacím. Tento proces probíhá za vysokých teplot. Zesíťovaná struktura elastomerů je základem jejich mechanických vlastností. Vlastnosti jsou např. odolnost vůči trhání a opotřebení. [31]



Obr.24.: Vlastnost elastomeru při jeho namáhání [32]

### 3.1.3 Reaktoplasty

Reaktoplasty jsou materiály, které se vytvrzují chemickou reakcí a zpracováním za působení tepla. Při prvním zahřátí dochází k jejich změkčení a následně tvarovatelnosti, ovšem tento stav je dočasný. Během dalšího tepelného působení dochází k chemické reakci, kdy dochází k prostorovému zesíťování polymerní struktury, což je proces známý jako vytvrzování. U reaktoplastů je proces nevratný a vytvrzené plastové struktury jsou trvalé a nelze je dále zpracovávat. Navíc, pokračující tepelné zatížení vede k degradaci struktury, což znemožňuje jejich opakované zpracování. Mezi reaktoplasty patří např. epoxidová pryskyřice, polyesterové pryskyřice a další. [33; 31]

## 3.2 Příprava polymerů před vstřikováním

Před prováděním technologických procesů zpracování polymerů a kompozitů se využívají různé postupy, které slouží k přípravě nebo úpravě plastického materiálu dle požadovaných konečných vlastností. Mezi tyto technologické metody se zahrnují např. sušení granulátu, recyklace a další procesy. Jejich cílem je nejen ovlivnit konečné vlastnosti plastického materiálu. [13]

### 3.2.1 Sušení polymerů

Před prováděním technologických procesů výroby dílu z termoplastů je důležité zajistit, aby granulát obsahoval stanovený minimální obsah vlhkosti, aby se minimalizovaly nežádoucí účinky, jako jsou vadné povrchové vlastnosti a snížení mechanických charakteristik, čímž se myslí odolnost vůči mechanickému namáhání. Tyto vlastnosti mohou zahrnovat pevnost, pružnost, tvrdost. Doba sušení závisí na typu materiálu a může být ovlivněn různými faktory, jako je přítomnost povrchové vlhkosti. Sušení lze provádět různými způsoby. První způsob je sušení teplým vzduchem, sušení přetlakové nebo podtlakové. [34]

### 3.2.2 Míchání a hnětení

Technologie míchání je zaležena na procesu kombinace základního polymeru s přísadami, které slouží k vylepšení jeho vlastností. Použijeme přísady, jako jsou plniva, stabilizátory, barviva, retardéry hoření a podobně. Míchání se aplikuje v různých fázích zpracování polymerů. U taveniny, kapaliny, prášku nebo granulí. Princip míchání spočívá v tom, že různé materiály jsou vneseny do míchacího prostoru, kde jsou následně rovnoměrně rozptýleny s cílem dosáhnout požadované rovnoměrné distribuce jednotlivých složek v hmotě. [34]

### 3.2.3 Recyklace polymerů

Odpady vznikají jak během výrobního procesu, tak i po dosažení životního cyklu daného výrobku. Technologický odpad zahrnuje například zbytky z polymeračních procesů, odlitky tavenin, vadné výrobky a vtokové systémy. Tento druh odpadu často představuje kvalitní surovinu, zejména v případě termoplastů, která je vhodná pro další zpracování. Naopak odpad po skončení životního výrobku bývá obvykle obsaženy nečistoty a polymer je ovlivněn procesy stárnutí, což omezuje jeho další využití. [34]

### 3.2.4 Barvení polymerů

Pro výrobu se používají granuláty ve finální podobě dodávané výrobcem nebo upravené u zpracovatele před vstupem do výrobního procesu se aditivují, které může zahrnovat přidání barevných koncentrátů nebo stabilizátorů. Dávkování aditiv se provádí objemovými zařízeními, jako jsou dávkovací šneky, a mohou být integrována přímo do výrobních linek. [34]

### 3.3 Zpracovatelské přísady

Právě prostřednictvím přísad je možné technicky i ekonomicky nejvýhodnější připravit plasty s požadovanými vlastnostmi. Při výběru plastů se klade důraz na masově vyráběné plasty, které tvoří dvě třetiny celkové výroby a představují hlavní oblast přísad. [19]

#### 3.3.1 Tepelné stabilizátory

Tepelné stabilizátory představují látky, které umožňují tváření za tepla. Teplené stabilizátory lze rozdělit na dva hlavní druhy.

- stabilizátory založené na solích anorganických a organických kyselin, které obsahují kationty Pb, Zn, Li, Na, Ca, Mg, Sr,
- stabilizátory organické kam zahrnujeme např. epoxidové sloučeniny, stabilizátory na základně močoviny. [19]

#### 3.3.2 Změkčovadla

Změkčovadla jsou organické látky s nízkou viskozitou, které dodávají polymerům ohebnost, tvárnost. Zároveň snižují teplotu zesílení a viskozitu taveniny. Změkčovadla ovlivňují polymery tím, že regulují pohyblivost řetězců, což ovlivňuje jejich pevnost a teplotu zesílení. Tento proces zahrnuje interakce, jako je ohebnost makromolekul. Změkčovadla musí být schopná proniknout mezi řetězce polymerů a oddělit je od sebe, čímž zvyšují pohyblivost a snižují tuhost materiálu. [19]

#### 3.3.3 Separační činidla

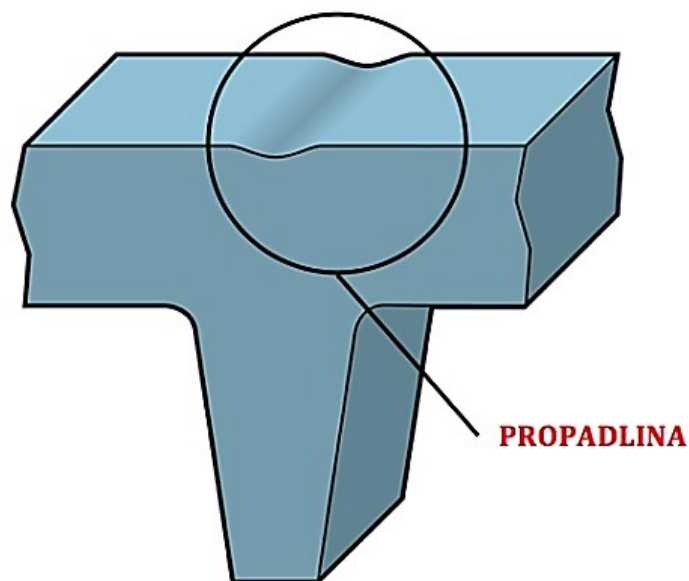
Za účelem zjednodušení odstraňování výrobku z forem se využívají různé typy prostředků, které mohou výrazně přispět k zvýšení produktivity tvářecích zařízení, jako jsou např. vstříkovací střeže. [19]

## 4 KONSTRUKCE VÝSTŘIKU

Návrh plastového dílu se řídí zcela odlišnými principy než u kovových součástí. Při navrhování je důležité vzít v úvahu všechny procesy, které se budou odehrávat během vstřikování dílu. To vyžaduje znalost technologie zpracování plastů. Existují určité omezení v konstrukčních tvarech a vlastnostech, které by neměly být překročeny, aby nedošlo k potížím při výrobě. Znalost charakteristik plastů je tedy zásadní pro optimalizaci výrobního procesu a zajištění požadovaných vlastností výsledného dílu. Je obecně známo, že jednodušší tvary součástí umožňují lepší pevnostní vlastnosti, přesné dodržovanější rozměrů a efektivnější výroba. [6]

### 4.1 Žebra

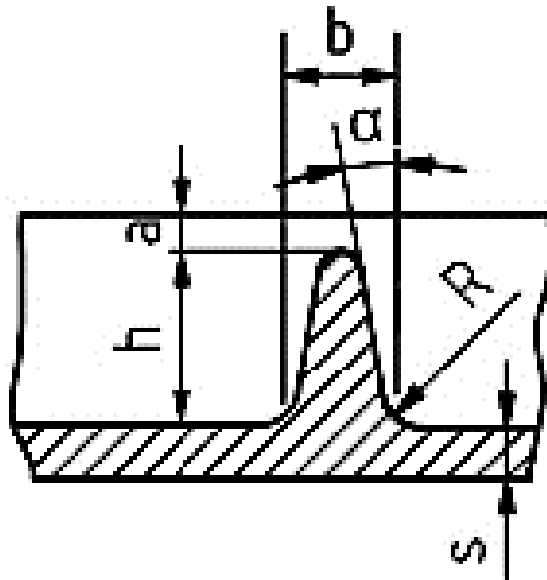
Žebra slouží především k dosažení větší pevnosti vstřikovaného dílu bez jakékoliv potřeby celkového zvětšení tloušťky. Dalšími původci použití žeber je, že žebra umožňují pozicování dílů při montáži, zajišťuje přesné lícování dílu. Mnoho faktorů mají vliv na tloušťku žeber. Žebra s větší tloušťkou často vedou ke vzniku propadlin na povrchu vstřikovaného dílu. [35]



Obr.25.: Vznik propadliny na žebrovaném vstřikovaném dílu [35]

Tloušťka žeber má rovněž na rychlost, jakým se tavenina plastu ochlazuje v oblasti žeber, což má na následky deformaci dílu vlivem ochlazení. Obvykle žebra ve formě jsou jako slepé otvory směrem k otevírání vstřikovací formy. Pro zajištění snadného oddělení dílu

s žebrováním je nezbytné, aby měly žebra minimálně  $0,5^\circ$  sklon na obou stranách, jak lze vidět na obrázku (Obr. 10 Konstrukce žebra). [6; 35]



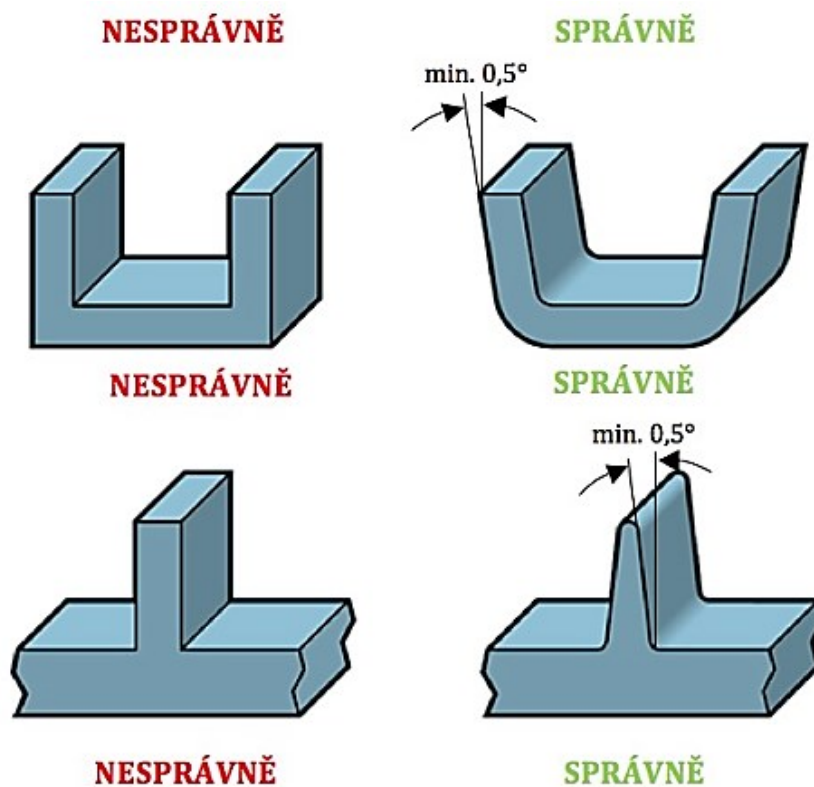
Obr.26.: Konstrukce žebra [6]

Tab.1.: Minimální požadavky žeber [6]

s (mm)	b (mm)	h (mm)	R (mm)	a (mm)	$\alpha$ (dle volby)
1,6	1	4	0,3-2	0,5	30', 1°, 2°, 3°
2,0	1,5	6			
2,5	2	7,5			
3	2,2	9			
4	2,8	12			
5	3	15			
6	3,5	18			

## 4.2 Úkosy a podkosy

Úkosy představují nakloněné části stěn vstříku, které jsou kolmé na dělicí rovinu. Slouží k usnadnění vyjmutí vstřikovaného dílu z formy. Naopak, podkosy mají za úkol zabránit vytahování dílu z dutiny formy. Velikost těchto sklonů ovlivňuje hlavně smrštění materiálu, jeho pružnost a tloušťka stěn formy. [6]



Obr.27.: Základní návrh úkosů na plastovém vstřikovacím dílu [35]

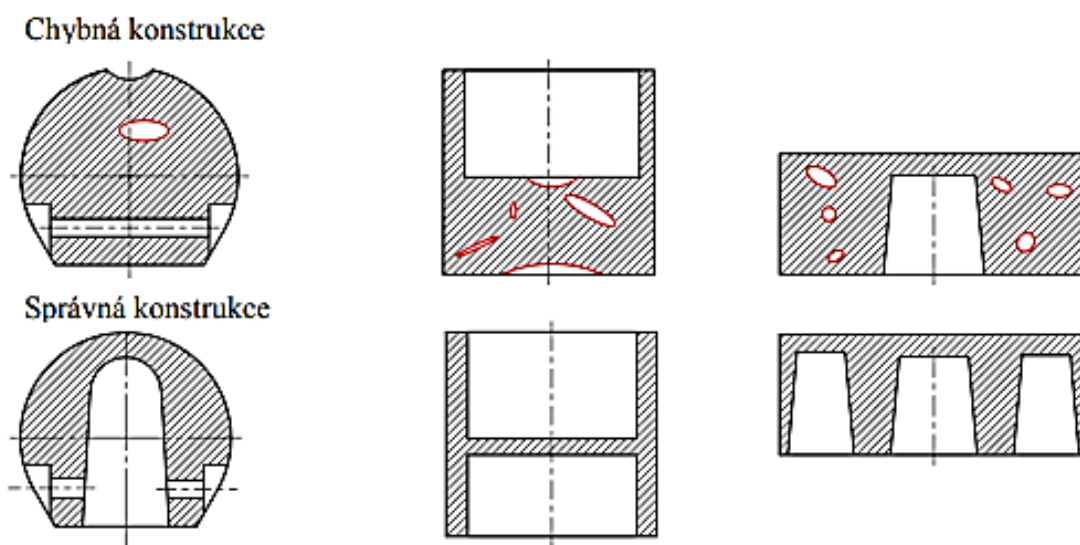
Velikost těchto faktorů se určuje s ohledem na dané parametry a je následně volena z tabulkových hodnot. Uvnitř dílů jsou obvykle použity větší úkosy než u vnějších. S výjimkou specifických technologických situací, které mohou ztížit konstrukci a funkčnost formy, a proto se snažíme minimalizovat použití podkosů. [6]

Tab. 2.: Doporučená velikost úkosu [6]

Úkos pro	Velikost úkosu
Vnější plochy	30' - 2 (1)
Vnitřní plochy	30' - 2 (1)
Otvory do hloubky 2 D	30' - 2 (1)
hluboké otvory	30' - 2 (1)
žebra, nálitky	30' - 2 (1)
Výstupky	30' - 2 (1)

### 4.3 Tloušťka stěn

Správná konstrukce stěn požaduje nejlépe stejnou tloušťku materiálu a hladké přechody, které nesmí obsahovat ostré hrany. Jsou případy kde nelze a ani se nemůžeme vyvarovat tlustším částem, je proto doporučeno provést vhodné zlehčení, ideálně na opačné straně, jak lze vidět na následujícím obrázku. Na vrchu je znázorněna chybná konstrukce a dole je vidět správná konstrukce. Nejvyšší hodnota tloušťky bočních stěn nesmí být vyšší než 0,8 mm tloušťky hlavní stěny. [6]



Obr.28.: Vady tenkostěnných výtříků [6]

Tloušťka stěny musí odpovídat požadavkům na funkčnost, zahrnující pevnost a tuhost. Tyto vlastnosti jsou ovlivněny výběrem materiálu, jako je plast, a faktory jako tloušťka stěny a tvar profilu. [20]

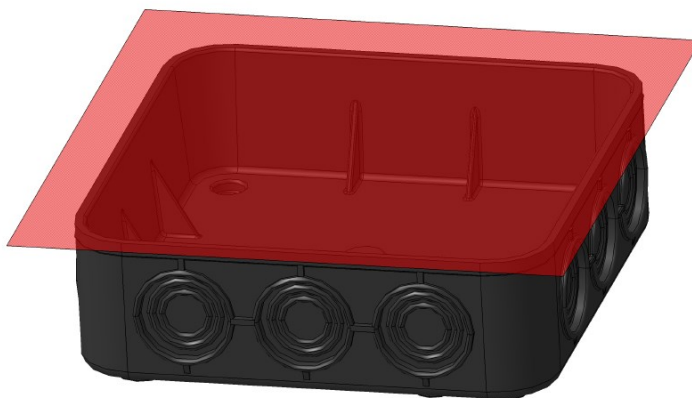
Vyztužený plast se chladí ve formě rychleji, což vede ke ztrátě tekutosti. Vyšší tření v tekoucí tavenině přispívá k zvýšení tlakovým ztrátám a tím i většímu tlakovému spádu mezi ústím vtoku a čelem taveniny plastu. Proto jsou tloušťky stěn plastů zpravidla o 20–25 % vyšší než u plastu bez výztuže. [20]

### 4.4 Dělicí rovina

Dělicí rovina představuje spojovací hranici mezi pevnou a pohyblivou částí vstříkovací formy pro vstříkování plastů. Její klíčovou funkcí je zajistit spolehlivé uzavření prostoru



formy a tím zabránit úniku plastové taveniny. Dělicí rovina může mít podobu rovné plochy nebo může být tvarována podle konkrétních potřeb. Pro správné navržení dělicí roviny je nejdříve důležité stanovit směr, kterým se forma pro vstřikování bude otevírat. [35]



*Obr.29.: Dělicí rovina*

#### 4.5 Smrštění

Smrštění se vyskytuje při tuhnutí polymerové taveniny, což znamená změnu objemu. Je vyjádřeno v procentech a indukuje, jak se rozměry výrobku liší od rozměrů formy. Existují dva typy smrštění, první typ je výrobní smrštění měřené po 24 hodinách a pak je druhý typ dodatečné smrštění, které je způsobeno uvolněním napětí. Hodnota smrštění je ovlivněna různými faktory, jako jsou technologické parametry, materiál, tloušťka stěny, umístění vtoků a geometrii dílu. Tyto faktory jsou propojeny a nelze je posuzovat samostatně. [5; 12]

##### Výrobní smrštění

Jedná se o rozdíl mezi rozměrem tvarově dutiny formy a rozměrem dílu, který je následně vyjádřen v procentech z rozměru formy. [12]

##### Dodatečné smrštění

Označuje změnu rozměrů plastového výrobku po vystavení zvýšení teplotě. Tento proces může zahrnout také změny rozměrů, které se projeví danému výrobku po jeho vytvoření a následně při časovém odstupu a při normální teplotě. [12]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Zásady pro vpracování bakalářské práce:

- Vypracujte literární studii na dané téma.
- Proveďte technický návrh 3D modelu plastového dílu.
- Navrhněte nástroj pro sériovou výrobu.
- Nakreslete 2D řez nástroje včetně příslušných pohledů a kusovníku.

V teoretické části bakalářské práce jsou zahrnuty literární studiem, které se zaměřují na základní oblasti o polymerních materiálech. Je zde popsána problematika technologie vstřikování a dále se zaměřuje na řešení konstrukce vstřikovacích forem.

V praktické části bakalářské práce je cílem vytvořit 3D model, který je inspirován skutečným výrobkem. Na základě získaných poznatků z teorie má být navržena konstrukce vstřikovací formy pro výrobu námi vybraného dílu. Díl i vstřikovací forma byla navržena v programu CATIA V5R20.

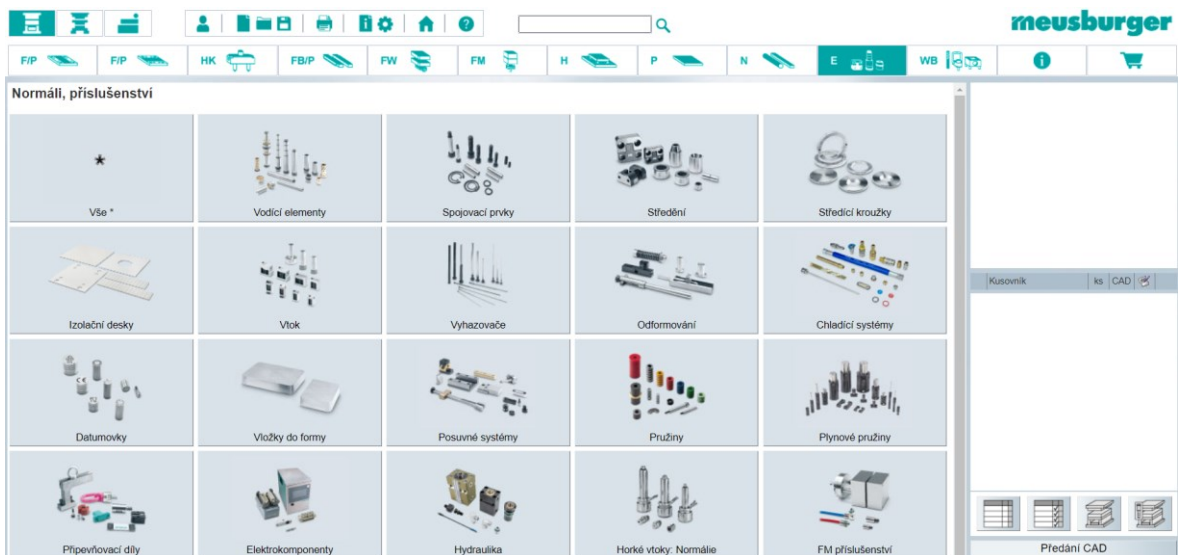
## 6 POUŽITÝ SOFTWARE

### 6.1 CATIA V5R20

Jedná se o 3D modelovací software vyvíjený společností Dassault Systemes. Tento systém se využívá především v průmyslovém odvětví. Existuje několik variant určených pro úroveň použití CAD, CAE a CAM technologií. Disponuje různými moduly, které umožňují pokrytí celého procesu. Od počátečního návrhu, konstrukce přes simulace a výkresové dokumentace.

### 6.2 Databáze MEUSBURGER

Jde o databázi normální 3D modelu dílů, který je důležitý pro co nejkvalitnější návrh vstřikovací formy. Dále umožňuje klientovi jednoduché a rychlé vyhledávání potřebných dílů. Každá položka je doplněna tabulkou, která poskytuje informace o rozměrech dílů a konstrukčního řešení této oblasti. Normálie lze jednoduše převést do požadovaného formátu a následně využít ve 3D programu.



Obr. 30.: Ukázka prostředí MEUSBURGER modulu [36]

## 7 SPECIFIKACE VÝROBKU

### 7.1 Popis výrobku

Elektroinstalační krabice, která má rozměr 80x80x25 mm je důležitou součástí elektrických instalací. Slouží k umístění a ochraně elektrických komponentů a spojů a jiných elektrických komponentů. Jsou navrženy tak, aby poskytovaly bezpečné a spolehlivé prostředí pro elektrické zařízení. Díky nim je možné spojovat a izolovat elektrické vodiče, což zabraňuje nechtěnému kontaktu a minimalizuje riziko zkratu či požáru. Krabice také slouží k ochraně vodičů před mechanickým poškozením, vlhkostí a prachem, což přispívá k dlouhodobé spolehlivosti elektrického systému. Model výrobku byl zkonstruován na základě skutečného dílu za pomoci softwaru CATIA V5R20



*Obr.31.: 3D model výrobku z vrchu*



*Obr.32.: 3D model výrobku ze spodu*

## 7.2 Materiál výrobku

Výrobek bude vyroben z materiálu Polyamid 6 z 30 % skleněnými vlákny značený jako PA6 GF30, který bude dodávat firma BASF. Jde o semikrystalický termoplast. Tento druh termoplastu kombinuje vlastnosti polyamidu s výhodami skleněných vláken. Je známý především svými tepelnými vlastnostmi, jaký jsou třeba odolnost proti teplotním změnám, což v našem případě je podstatné. Polyamidy jsou typickým polymerem, který snadno absorbuje vlhkost z okolního prostředí. Tím pádem je nutné granulát před jeho zpracováním důkladně vysušit, jinak by mohlo dojít k vzniku nedokonalých či vadných výrobků.

Tab.3.: Materiálové vlastnosti PA 6 GF30

Materiálový parametry	Hodnota	Jednotka
Plnivo (skleněná vlákna)	30	%
Rozsah teploty povrchu formy	80-90	°C
Teplota při vyhazování	184	°C
Rozsah teploty taveniny	270-280	°C
Max. smykové napětí	0,5	MPa
Max. rychost smykové deformace	60 000	s
Hustota pevné fáze	1,36	g/cm <sup>3</sup>
Modul pružnosti v tahu	9500	MPa
Modul pružnosti v ohybu	8600	MPa
Smrštění	0,3	%
Objemový index toku taveniny	50	cm <sup>3</sup> /10 min

## 8 VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Výběr vstřikovacího stroje je určen rozměry vstřikovací formy, které jsou 696x796x530 mm. S ohledem na technické specifikace a velikosti formy byl vybrán vstřikovací stroj ALLROUNDER 720 S od společnosti ARBURG.

Klíčovými parametry při volbě vstřikovacího stroje je vzdálenost mezi vodícími sloupky vstřikovacího stroje. Dále je důležité zahrnout šířku vstřikovací formy, je nutné, aby šířka vstřikovacího stroje byla větší. Další kritérium je maximální otevírací zdvih, který musí být 80 mm. Je to z toho důvodu, aby posuvné jednotky mohly vyjet z tvarové dutiny a výrobek mohl být vyjmut.

Tab.4.: Vybrané parametry vstřikovacího stroje

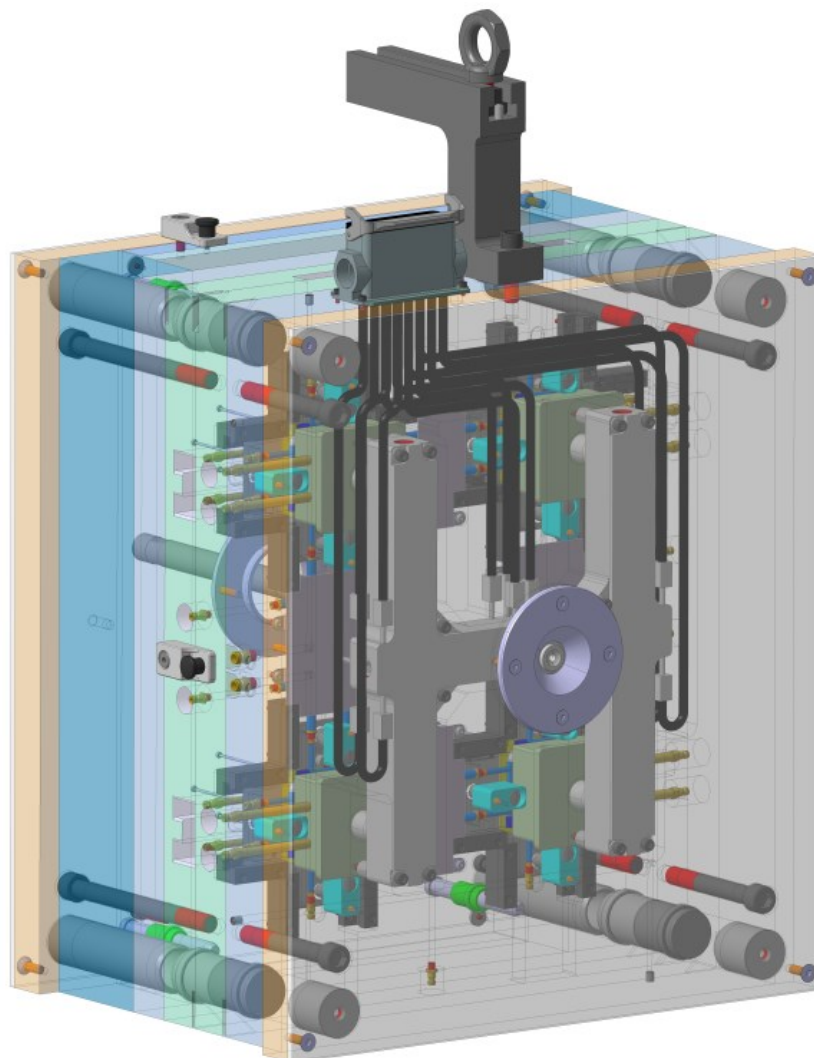
Parametr	Hodnota stroje	Hodnota formy	Jednotky
Vzdálenost mezi vodícími čepy	720x720	696x796	mm
Max. délka formy	700	530	mm
Hmotnost pohyblivé části	3600	1013	kg
Průměr středících kroužků	160	160	mm
Uzavírací síla	3200	2500	kN
Maximální objem vstřikované dávky	558	106	cm <sup>3</sup>
Zdvih vyhazovačů	250	69	mm
Otevírací zdvih	700	80	mm



Obr.33.: Vstřikovací stroj ARBURG ALLROUNDER 720 S

## 9 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Vstřikovací forma je složena ze tří podsestav. Jde o nepohyblivou část, pohyblivou část a vyhazovací systém. Při konstrukci vstřikovací formy byla důkladně zohledněna geometrie a rozměry vstřikovaného výrobku. Jedná se o čtyřnásobnou formu, z čehož vyplývá, že během jednoho pracovního cyklu budou naplněny čtyři tvarové dutiny současně. Při konstrukci bylo upřednostněno použití normalizovaných dílů od společnosti MEUSBURGER, což vedlo ke zlehčení a rychlejší konstrukci. Díky CATIA V5R20, kde byla využit Part Design byly navrženy nenormalizované díly vstřikovací formy.

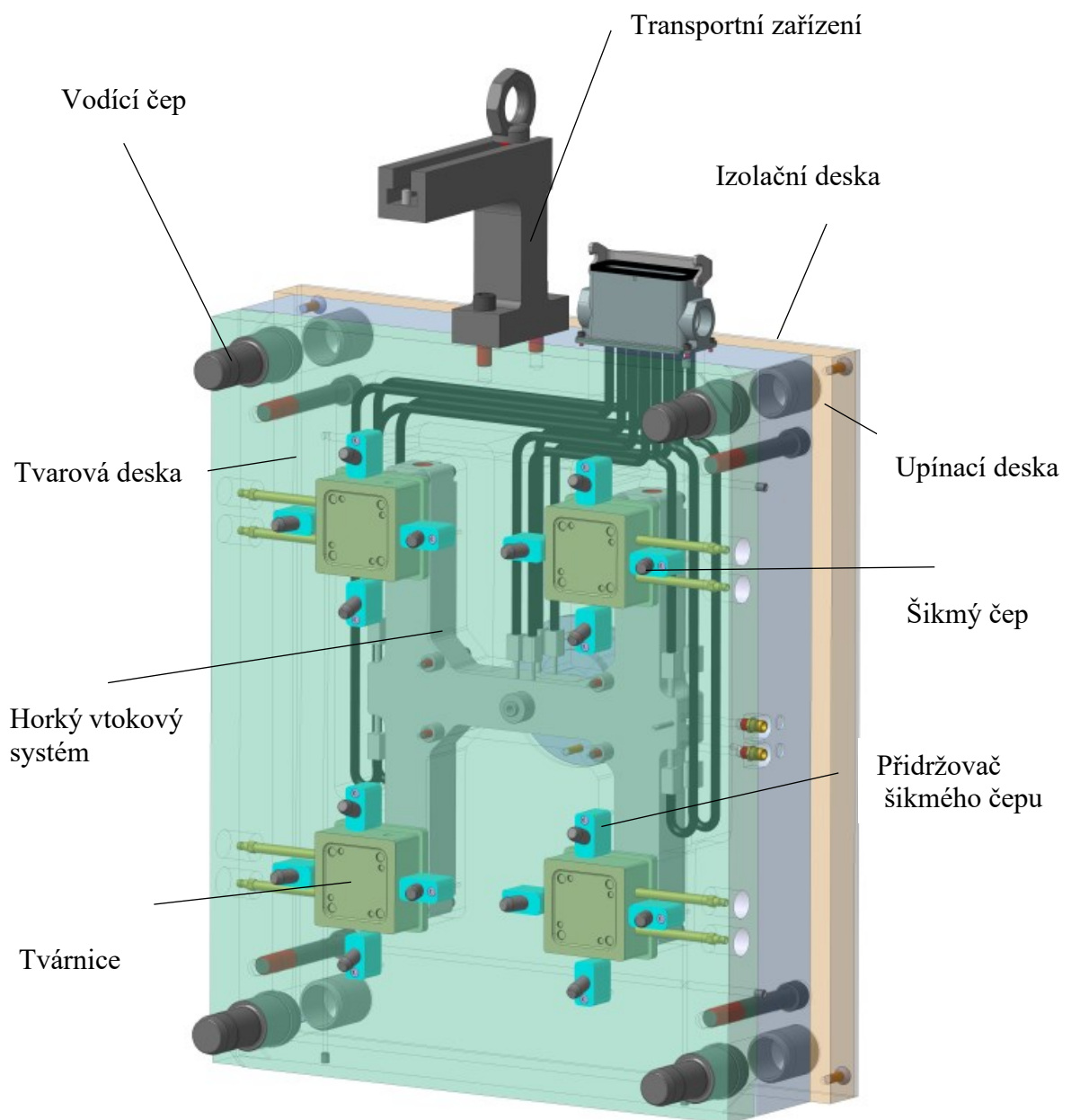


Obr.34.: Vstřikovací forma



## 9.1 Nepohyblivá část vstřikovací formy

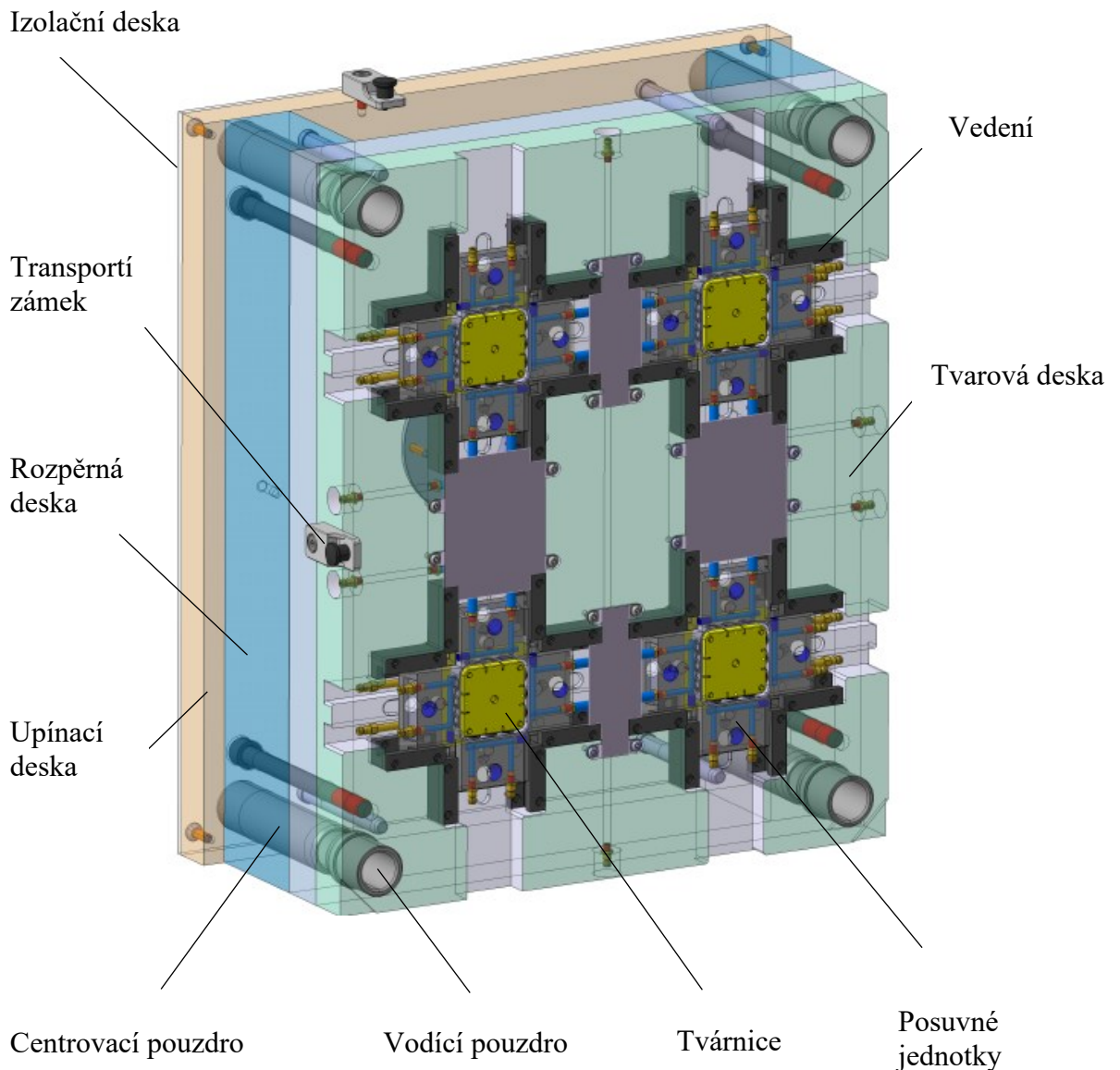
Nepohyblivá část neboli pravá část se skládá ze čtyř desek, pravá izolační deska je používána k oddělení vstřikovací formy od plastikační jednotky. Pravá upínací deska slouží k upevnění formy ke pevné části vstřikovacího stroje, zde také zabudován středící kroužek. Další součástí formy je deska pro horký vtokový systém, jsou zde uloženy kabely se zásuvkou a samotný horký vtokový systém. Poslední komponent je tvarová deska, kde jsou umístěny čtyři tvárnice, přídržovače šikmých čepů a šikmé čepu pomocí nich dochází k odformování vstřikovací formy.



Obr.35.: Nepohyblivá část vstřikovací formy

## 9.2 Pohyblivá část formy

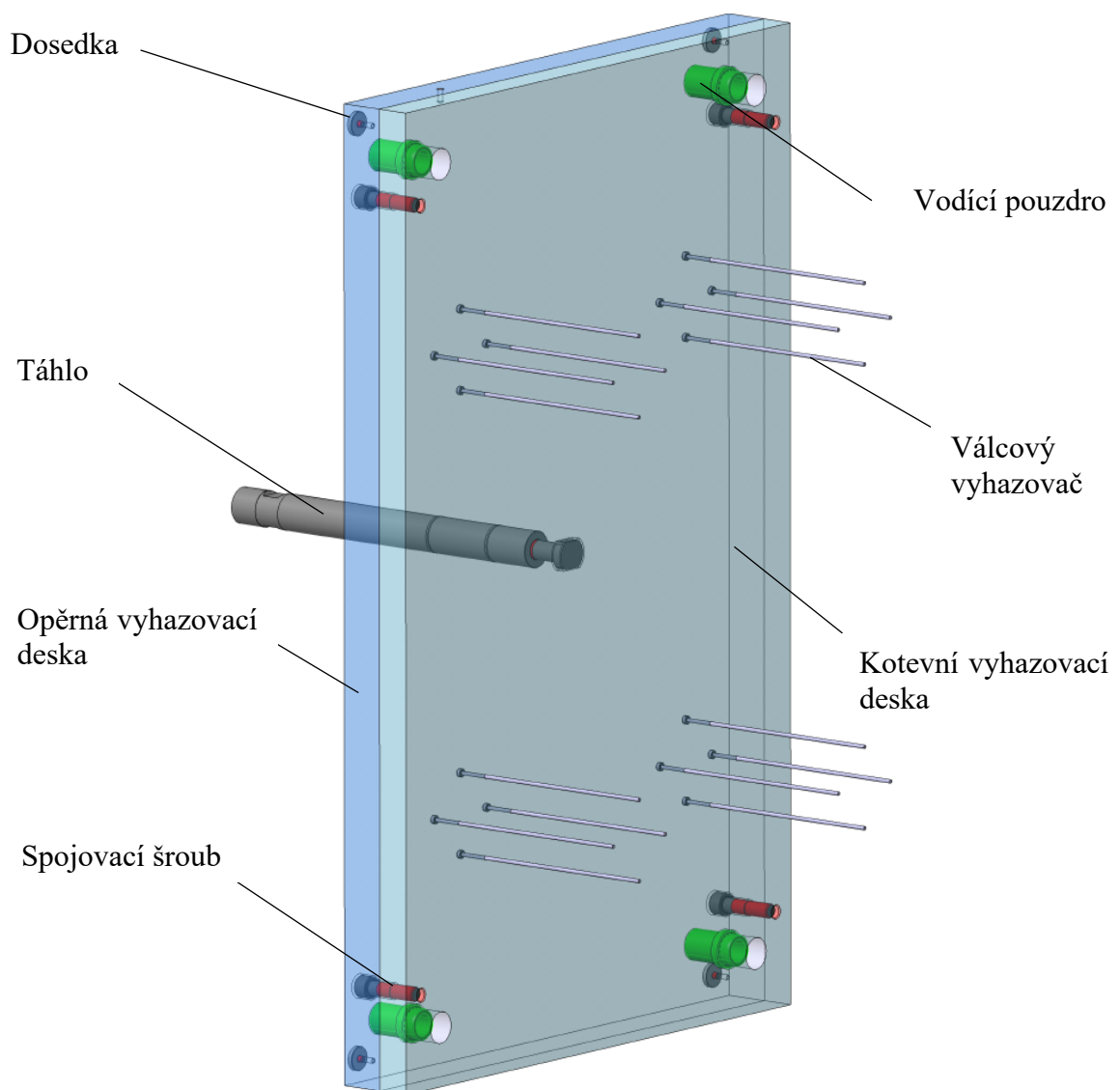
Pohyblivá část neboli levá část vstřikovací formy je tvořena z izolační desky, upínací desky, dvou rozpěrných desek, tvarové desky, opěrné desky. Dále se zde nachází vodící, středící a upínací prvky. Ty zde slouží jako středění pohyblivé části vůči nepohyblivé části. V tvarové desce jsou umístěny posuvné systémy, které tvoří posuvné vedení pro vedení šíbru. Za tvarovou deskou je umístěna opěrná deska, kde se nachází vyvrtané díry pro vyhazovače. V rozpěrných deskách jsou umístěny středící pouzdra. Ty mají úkol středit upínací desku opěrnou deskou. Vodící čepy, které jsou nalisovány v upínací desce, slouží k pohybu vyhazovacího systému.



Obr.36.: Pohyblivá část vstřikovací form

### 9.3 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém je důležitou součástí každé vstřikovací formy. Úkolem vyhazovacího systému je vyjmout výrobek z levé tvarové dutiny. Proces je prováděn díky válcovým vyhazovacím kolíkům, ty jsou umístěny tak aby vyhazovací síla byla rovnoměrná. Jsou vloženy do kotevní vyhazovací desky. Pomocí táhla dochází k vyhazování a vedou po čtyřech vodících čepech, které jsou umístěny v pohyblivé části formy. Každý výrobek je vyhazován čtyřmi válcovými vyhazovači.

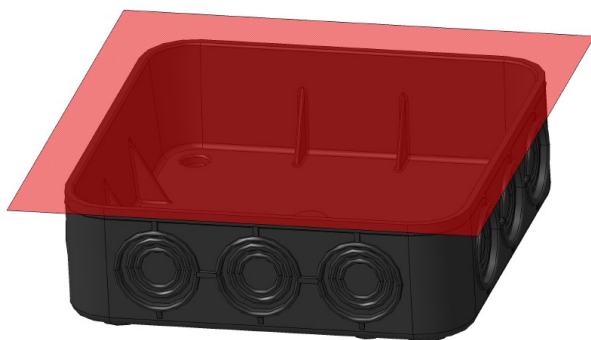


Obr.37.: Vyhazovací systém

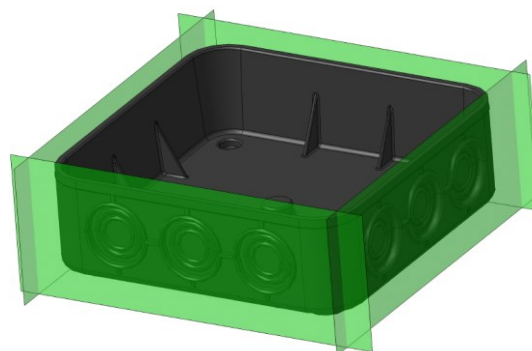
## 9.4 Volba Dělicí roviny

Díky geometrii dílu je nezbytné při konstrukci zvážit rozdělení dělicích rovin a jednu hlavní a čtyři vedlejší. Na obrázku vede hlavní dělicí rovina obvod vrchní části elektroinstalační krabice. Vzhledem k tomu, že se jedná o tvar krabičky jsou vedlejší dělicí roviny čtyři a jsou kolmo na stěny dílu.

Hlavní dělicí rovina



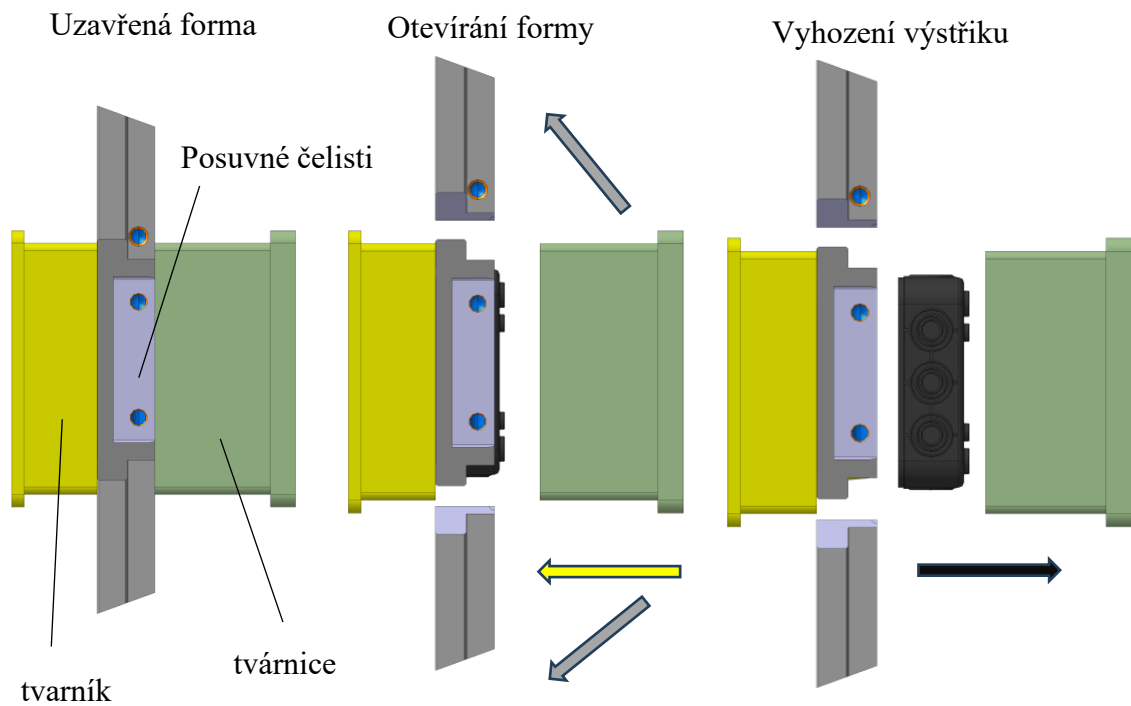
Vedlejší dělicí roviny



Obr.38.: Hlavní a vedlejší dělicí roviny

## 9.5 Tvarové vložky

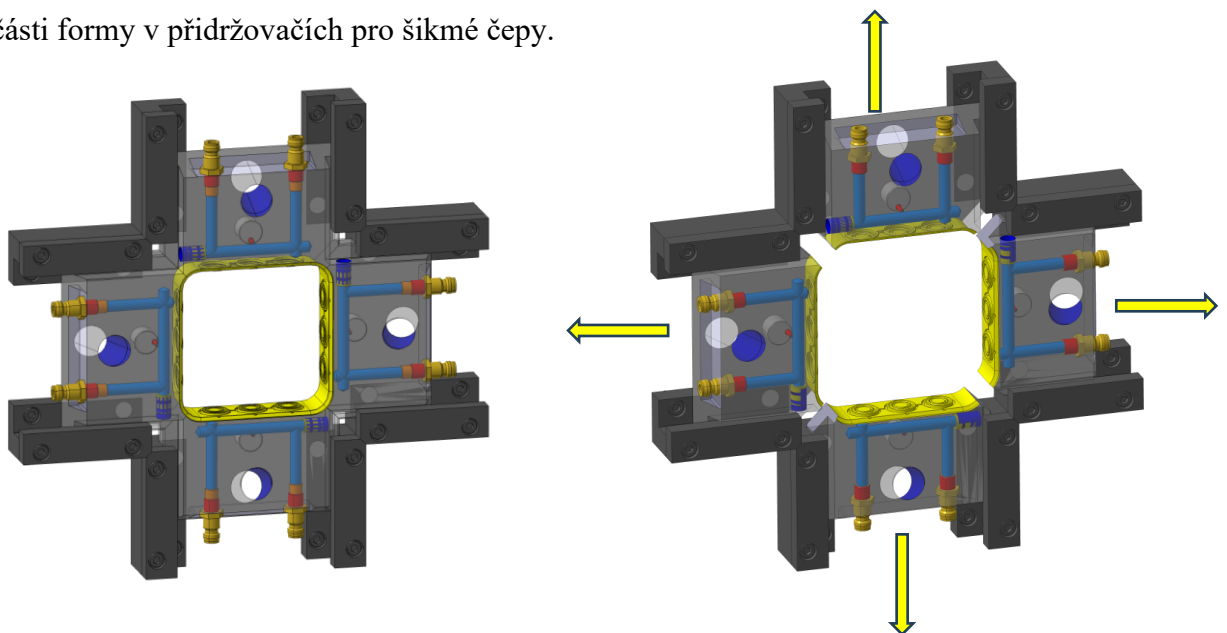
výrobu požadovaného dílu se skládá z šesti částí: tvárnice, tvárník a čtyři boční posuvné čelisti. Po jejich sestavení vytvářejí tvar negativu výrobku. Tvárnice, která určuje vnější tvar dílu je vložena do nepohyblivé části vstřikovací formy. Tvárník, který určuje vnitřní tvar dílu je umístěn v pohyblivé části formy. Na pohyblivé části vstřikovací formy se nachází boční posuvné čelisti, které bylo nutné upravit na požadovaný tvar. Při otevření dělicí roviny pomocí šikmých čepů dojde k odformování vstřikovaného dílu.



Obr.39.: Tvarové díly

## 9.6 Boční posuvné čelisti

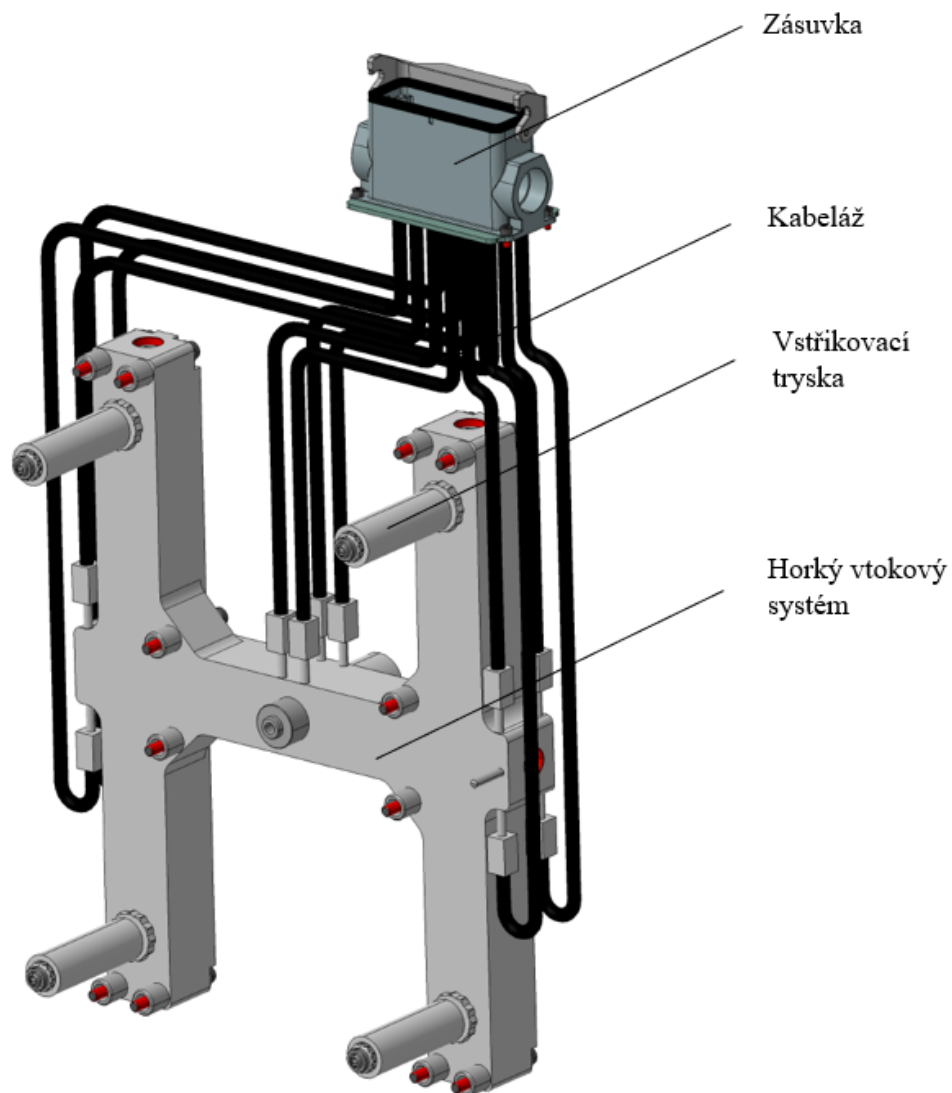
Specifické díly, které nelze odformovat jen pomocí tvárnice a tvárníku, musí být odformovány pomocí boční posuvné jednotky. Ty jsou umístěny na pohyblivé části vstřikovací formy. Jsou současně otevírány s dělicí rovinou, což jim umožňuje odformování specifických dílů. Čelisti jsou vedeny po šikmých čepech, které jsou umístěny v nepohyblivé části formy v přídržovačích pro šikmé čepey.



Obr.40.: Boční posuvné čelisti

## 10 HORKÝ VTOKOVÝ SYSTÉM

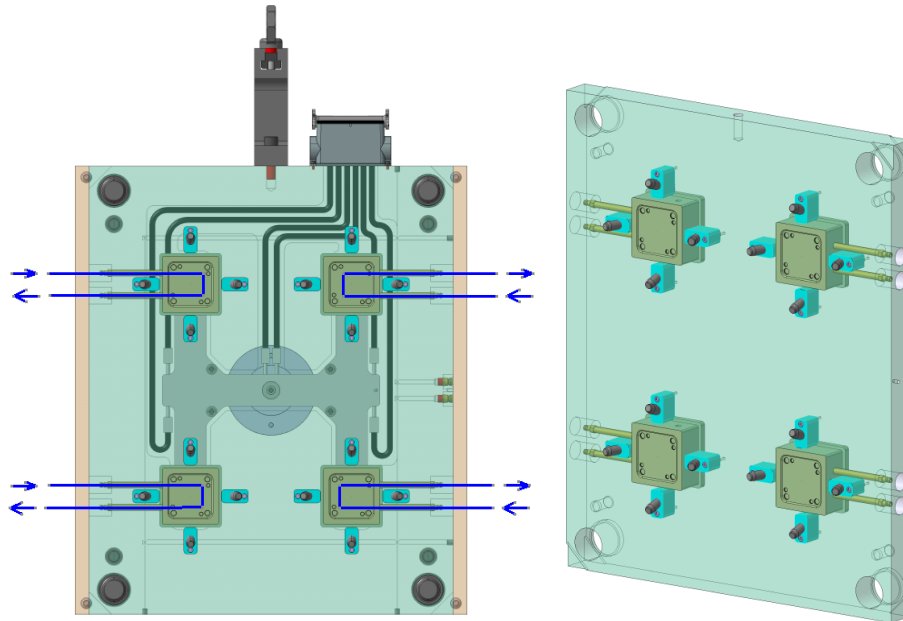
Horký vtokový systém zajistí dopravu polymerní taveniny skrz vstřikovací trysku. Při výběru horkého vtokového systému je třeba vzít v úvahu, že jeho pořizovací cena není příliš nízká. Ale na druhou stranu, při zvolení čtyřnásobné vstřikovací formy se předpokládá velká sériová výroba v několika tisících cyklech. Dalším důležitým faktorem je velká rozteč mezi jednotlivými díly, což snižuje množství odpadu oproti volbě studeného vtokového systému.



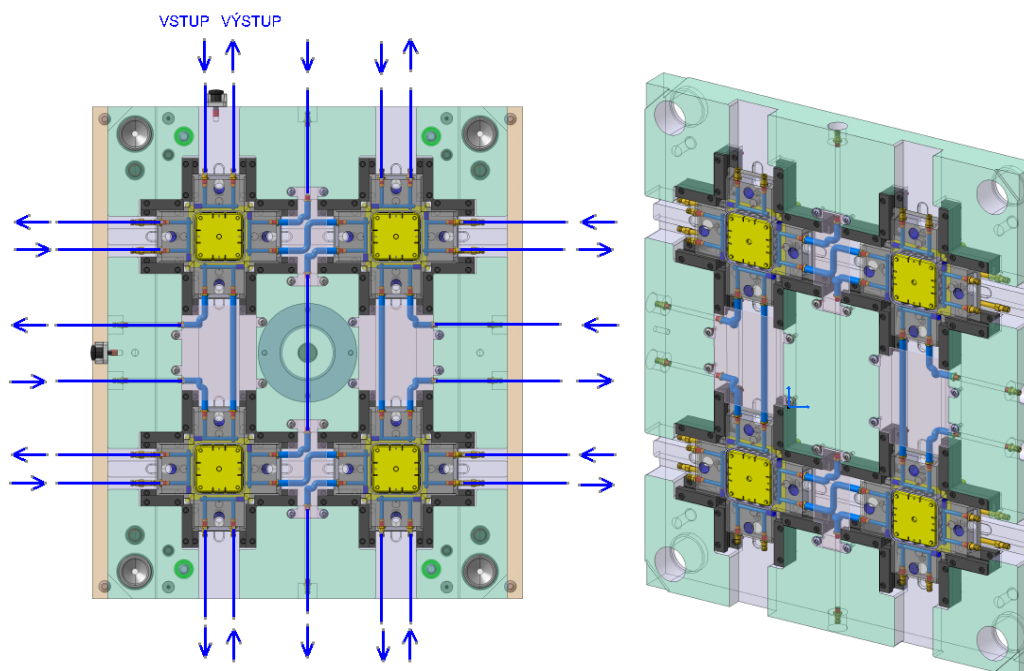
Obr.41.: Horký vtokový systém

## 11 TEMPERAČNÍ SYSTÉM

Nedílnou součástí vstřikovací formy jsou temperační systémy. Temperační systém se nachází jak na pravé straně vstřikovací formy, tak na levé. Na nepohyblivé části formy jsou vyvrtané kanály, kterými proudí temperační médium. Slouží k ochlazení tvarových částí a tím se ochladí výstřik na vyhazovací teplotu. Na pohyblivé části formy jsou umístěny hadice, kterými proudí temperační médium.



Obr.42.: Temperace nepohyblivé části

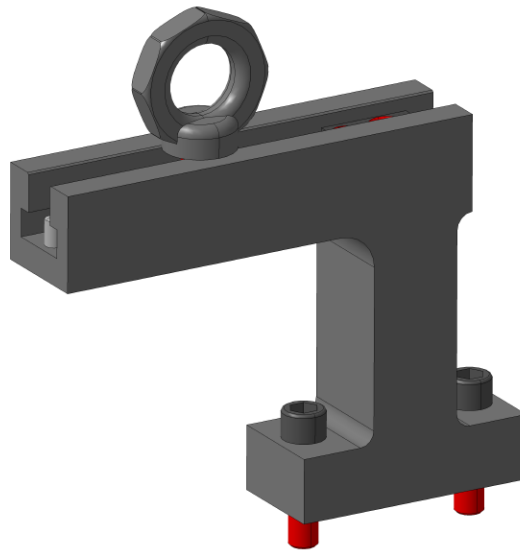


Obr.43.: Temperace pohyblivé část



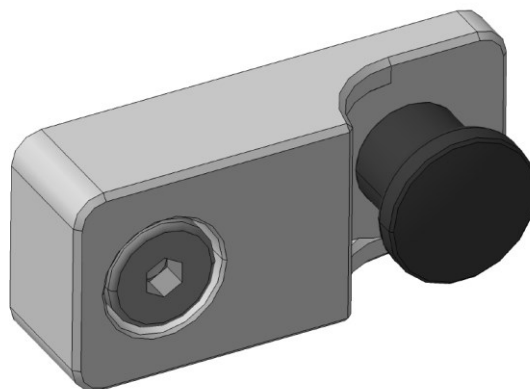
## 12 TRANSPORT VSTŘIKOVACÍ FORMY

Vstřikovací forma je vybavena transportním ramenem od společnosti MEUSBUREGER, pod označením E 1930. Transportní rameno usnadňuje manipulaci se vstřikovací formou pomocí háku, kterým se uchopuje prostřednictvím závěsného oka. Zároveň slouží jako zámek dělicí roviny, díky tomu se rameno před vložením formy do vstřikovacího stroje musí odmontovat.



*Obr.44.: Transportní rameno*

Z boku vstřikovací formy je umístěn jeden transportní zámek, který slouží k zabránění otevření tvarových desek. Druhý transportní zámek je umístěn na vrchu formy a slouží k otevření vyhazovacího systému od pohyblivé části formy.



*Obr.45.: Transportní zámek*



## ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo provedení návrhu vstřikovací formy pro vstřikovaný plastový díl, který se využívá v elektrických instalacích. Jedná se o elektroinstalační krabici. Následně byl zvolen materiál PA 6 s obsahem 30 % skelného vlákna. Vstřikovaný díl byl konstruován v programu CATIA V5R20 a v tom samém programu byla konstruována vstřikovací forma. Při návrhu formy byly využity normalizované součásti od společnosti MEUSBURGER, které byly následně importovány do programu.

První kapitola teoretické části se zabývá samotnou technologií vstřikování, v následních kapitolách bakalářské práce je popsána vstřikovací forma a polymerních materiálů. Poznatky, které byly sepsány jsou následně použity při konstruování vstřikovací formy pro konkrétní plastový díl.

Praktické část bakalářské práce se věnuje konstrukci vstřikovaného dílu a konstrukce vstřikovací formy. Nejprve byl navržen 3D model plastového dílu, dále boční posuvné jednotky, které byly vloženy do levé tvarové desky. Dle rozměrů byly navrženy desky pro sestavu vstřikovací formy společně s výkresovou dokumentací.

Vstřikovací forma je čtyřnásobná z čehož vyplývá, že během jednoho pracovního cyklu budou naplněny čtyři tvarové dutiny současně. Forma je složena ze tří klíčových částí, jde o nepohyblivou část, nepohyblivou část a vyhazovací systém. Byl zvolen horký vtokový systém kde se předpokládá velká sériová výroba v několika tisících cyklech. Pro vytvoření plastového dílu bylo nezbytné použít boční posuvné čelisti, které jsou řízeny díky šikmým čepům. Součástí vstřikovací formy je temperační systém, který je umístěn v tvárníku a v tvárnici, která zahrnuje vrtané kanály pro temperační médium. Manipulaci vstřikovací formy zajišťuje transportní rameno, které je umístěno na vrchní části formy. Byl vybrán vstřikovací stroj ALLROUNDER 720 S od společnosti ARBURG na základě celkových rozměrů formy.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] WICK-JOLIAT, Rene a Dirk PENNER. *Metal casting into NaCl molds fabricated by material extrusion 3D printing* [online]. 2023 [cit. 2024-03-04]. Dostupné z: <https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:001088980600001>
- [2] CHEN, Yen-Chih, Chih-Chung HSU a Chia-Hsiang HSU. *Numerical Simulation for Predicting Sink Marks on Injection Molding and Injection Compression Molding Process* [online]. 2020 [cit. 2024-03-04]. Dostupné z: <https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000555285800014>
- [3] PARK, Joon Hyoung a Sun Kyoung KIM. *Expansion Injection Molding Process Using Clamping Force for Melt Compression* [online]. 2024 [cit. 2024-03-04]. Dostupné z: <https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:001160168500001>
- [4] NOVÁK, Martin, Berenika HAUSNEROVÁ a Vladimír PATA. *On the possibilities of merging additive manufacturing and powder injection molding in the production of metal parts* [online]. 2024 [cit. 2024-03-04]. Dostupné z: <https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:001159744300001>
- [5] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů*. Praha: BEN-technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [6] BOBČÍK, Ladislav. *Forma pro zpracování plastů 1. díl - vstřikování termoplastů*. 2. UNIPLAST BRNO, 1999.
- [7] *Vstřikovací stroj* [online]. In: . [cit. 2024-02-04]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/figure/Illustration-of-an-injection-molding-machine-sectional-view-with-the-plasticizing-and\\_fig1\\_358948279](https://www.researchgate.net/figure/Illustration-of-an-injection-molding-machine-sectional-view-with-the-plasticizing-and_fig1_358948279)
- [8] *Plastikační jednotka*. In: *Medium* [online]. 2023, 2023 [cit. 2024-05-16]. Dostupné z: <https://medium.com/@sogaworksofficial/what-is-plastic-injection-molding-a-new-ins-guide-b676256ec697>
- [9] *Vstřikovací jednotka* [online]. In: . [cit. 2024-02-04]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/03.html>
- [10] *Vstřikování plastů*. In: *Katedra strojírenské technologie* [online]. [cit. 2024-02-05]. Dostupné z: [https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/04-vstrikovani%20plastu/10.jpg](https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04-vstrikovani%20plastu/10.jpg)
- [11] *Vstřikovací cyklus*. In: *Technologie vstřikování* [online]. [cit. 2024-02-05]. Dostupné z: [https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/04-vstrikovani%20plastu/01.JPG](https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04-vstrikovani%20plastu/01.JPG)
- [12] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů 1: teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0614-1.
- [13] LENFELD, Petr. *Technologie vstřikování* [online]. Liberec: Publi, 2015 [cit. 2024-02-06]. ISBN 978-80-88058-74-8. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/03.html>
- [14] MAŇAS, Miroslav a Jiří VLČEK. *Aplikovaná reologie*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, 2001. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-731-8039-1.
- [16] *Vstřikovací forma*. In: *Richfieldsplastics* [online]. [cit. 2024-02-18]. Dostupné z: <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Frichfieldsplastics.com%2Fblog%2Fepoxy-mold-guide%2F&psig=AOvVaw05C0HxP5OvVzvGHeJSqGfb&ust=1708371276789000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBIQjRxqFwoTCLDVjIvRtYQDFQAAAAAdAAAAABAv>
- [18] *Vstřikovací jednotka* [online]. In: . [cit. 2024-02-25]. Dostupné z: <https://medium.com/@sogaworksofficial/what-is-plastic-injection-molding-a-new-ins-guide-b676256ec697>

- [19] SOVA, Miloš a Josef KREBS. *Termoplasty v praxi*. Praha: Verlag Dashöfer, 2001. ISBN 80-862-2915-7.
- [20] ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů: polymery*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-7204-833-5.
- [21] Temperační okruh vstřikovací formy. In: *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů* [online]. [cit. 2024-02-25]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/08.html>
- [22] BOBEK, Jiří. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů* [online]. Code Creator s.r.o, 2015 [cit. 2024-03-01]. ISBN 978-80-88058-65-6. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/Impresum.html>
- [23] HYNEK, Martin a kol. *Horké vtoky* [online]. In: . 2013. Plzeň [cit. 2024-03-02]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/14044724-Horke-vtoky-k-5-plastove-doc-ing-martin-hynek-ph-d-a-kolektiv-verze-1-0.html>
- [24] Vyhřívaný vtokový systém. In: *HASCO* [online]. [cit. 2024-03-02]. Dostupné z: [https://media.hasco.com/marketing/Content/HotRunner/H4000\\_PRO\\_DE%2BEN%2BFR.pdf](https://media.hasco.com/marketing/Content/HotRunner/H4000_PRO_DE%2BEN%2BFR.pdf)
- [25] Tryska. In: *Meusburger* [online]. [cit. 2024-03-03]. Dostupné z: <https://www.meusburger.com/CS/CZ/produkty/horke-vtoky/customised-hot-runner-systems/hot-runner-ring-gate-nozzles/easyfill-single-nozzles>
- [26] HYNEK, Martin a kol. *Studené a živé vtokové systémy* [online]. In: . Plzeň, 2013 [cit. 2024-03-02]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/18161288-Studene-a-zive-vtokove-systemy.html>
- [27] Vtoková vložka. In: *Ramseier normalien* [online]. [cit. 2024-03-01]. Dostupné z: <https://www.ramseier-normteile.at/cs/produkt-detail/cat/20/productid/190418>
- [28] Válcový vyhazovač. In: *Ramseier normalien* [online]. [cit. 2024-03-03]. Dostupné z: <https://www.ramseier-normteile.at/cs/produkt-detail/cat/22/productid/194935>
- [29] Šikmý čep. In: *Progressive components* [online]. [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://shop.procomps.com/product/244/angle-pin-specials>
- [30] Hydraulická jednotka. In: *Meusburger* [online]. [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://www.meusburger.com/EN/IN/die-casting/die-casting-components-hydraulic>
- [31] *Plasty a jejich zpracovatelské vlastnosti* [online]. [cit. 2024-02-06]. Dostupné z: [https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/01.htm](https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm)
- [32] Vlastnost elastomeru při jeho namáhání. In: *Fabbaloo* [online]. [cit. 2024-05-16]. Dostupné z: <https://www.fabbaloo.com/2019/02/gaskets-and-3d-printing-joining-two-different-items-for-the-perfect-function>
- [33] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006. ISBN 80-708-0617-6.
- [34] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů 2: teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 2021. ISBN 978-80-271-1294-4.
- [35] *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů* [online]. 2016 [cit. 2024-02-09]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/04.html>
- [36] Vestavné díly pro formářinu. *Meusburger* [online]. [cit. 2024-05-16]. Dostupné z: [https://ecom.meusburger.com/e\\_menu\\_gruppen/index.asp?reset\\_gruppe=1&emos\\_sid=AY9nimgY4oaMfuJD\\*rrzJNVGpv0BZPkQ&emos\\_vid=AY3MUn3xG1KjzeZupIBIDKWuHJe2GDgo](https://ecom.meusburger.com/e_menu_gruppen/index.asp?reset_gruppe=1&emos_sid=AY9nimgY4oaMfuJD*rrzJNVGpv0BZPkQ&emos_vid=AY3MUn3xG1KjzeZupIBIDKWuHJe2GDgo)

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

p	Tlak
V	Objem
T	Teplota
$\Delta$	Delta
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
SAN	Styrén akrylonitril
PMMA	Polymethylmethakrylát
PC	Polykarbonát
PE	Polyethylen
PP	Polypropylen
EVA	Ethylen vinyl acetát
PA6 GF30	Polyamid vyztužený 30 % skelných vláken
%	Procento
Pb	Olovo
Zn	Zinek
Li	Lithium
Na	Sodík
Ca	Vápník
Mg	Hořčík
Sr	Stroncium
°	Stupeň
3D	Označení trojrozměrného prostoru
2D	Označení dvourozměrného prostoru
mm	Milimetr
Obr	Obrázek

---

CAD	Computer aided drafting
CAE	Computer aided engineering
CAM	Computer aided Manufacturing
°C	Stupně Celsia
MPa	Megapascal
s	Sekunda
g/cm <sup>3</sup>	Gram na centimetr krychlový
cm <sup>3</sup> /10 min	Objemový index toku taveniny

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1.: Vstřikovací stroj [7]</i> .....	12
<i>Obr. 2.: Plastikační jednotka [8]</i> .....	13
<i>Obr. 3.: Vstřikovací cyklus [11]</i> .....	14
<i>Obr. 4.: Průběh vnitřního tlaku v dutině formy během procesu vstřikování [13]</i> .....	16
<i>Obr. 5.: Diagram pvT během procesu vstřikování [9]</i> .....	17
<i>Obr. 6.: Vstřikovací forma [16]</i> .....	18
<i>Obr. 7.: Části vstřikovací formy [18]</i> .....	19
<i>Obr. 8.: Násobnost forem [15]</i> .....	22
<i>Obr. 9.: Temperační okruh vstřikovací formy [19]</i> .....	22
<i>Obr. 10.: Porovnání různých průměrů temperačních kanálů [20]</i> .....	24
<i>Obr. 11.: Umístění od vzdušňovacích kanálů [20]</i> .....	25
<i>Obr. 12.: Vyhřívání vtokový systém [22]</i> .....	26
<i>Obr. 13.: Tryska [23]</i> .....	27
<i>Obr. 14.: Studený vtokový systém [24]</i> .....	28
<i>Obr. 15.: Vtoková vložka [25]</i> .....	28
<i>Obr. 16.: Plný kuželový vtok [15]</i> .....	29
<i>Obr. 17.: Bodový vtok [15]</i> .....	29
<i>Obr. 18.: Tunelový vtok [15]</i> .....	30
<i>Obr. 19.: Filmový vtok [15]</i> .....	30
<i>Obr. 20.: Válcový vyhazovač [26]</i> .....	31
<i>Obr. 21.: Šikmý čep [27]</i> .....	32
<i>Obr. 22.: Hydraulické vyhazování [28]</i> .....	32
<i>Obr. 23.: Rozdělení polymerů dle chování za tepla</i> .....	33
<i>Obr. 24.: Vlastnost elastomeru při jeho namáhání [30]</i> .....	34
<i>Obr. 25.: Vznik propadliny na žebrovaném vstřikovaném dílu [33]</i> .....	37
<i>Obr. 26.: Konstrukce žebra [6]</i> .....	38
<i>Obr. 27.: Základní návrh úkosů na plastovém vstřikovacím dílu [33]</i> .....	39
<i>Obr. 28.: Vady tenkostěnných výstřiků [6]</i> .....	40
<i>Obr. 29.: Dělicí rovina</i> .....	41
<i>Obr. 30.: Ukázka prostředí MEUSBURGER modulu [34]</i> .....	44
<i>Obr. 31.: 3D model výrobku</i> .....	45
<i>Obr. 32.: Fotografie výrobku</i> .....	45
<i>Obr. 33.: Vstřikovací stroj ARBURG ALLROUNDER 720 S</i> .....	47
<i>Obr. 34.: Vstřikovací forma</i> .....	48

---

<i>Obr.35.: Nepohyblivá část vstřikovací formy .....</i>	<i>49</i>
<i>Obr.36.: Pohyblivá část vstřikovací form .....</i>	<i>50</i>
<i>Obr.37.: Vyhazovací systém.....</i>	<i>51</i>
<i>Obr.38.: Hlavní a vedlejší dělicí roviny .....</i>	<i>52</i>
<i>Obr.39.: Tvarové díly.....</i>	<i>53</i>
<i>Obr.40.: Boční posuvné čelisti.....</i>	<i>53</i>
<i>Obr.41.: Horký vtokový systém .....</i>	<i>54</i>
<i>Obr.42.: Temperace nepohyblivé části .....</i>	<i>55</i>
<i>Obr.43.: Temperace pohyblivé část .....</i>	<i>55</i>
<i>Obr.44.: Transportní rameno .....</i>	<i>56</i>
<i>Obr.45.: Transportní zámek.....</i>	<i>56</i>

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab.1.: Minimální požadavky žeber [6].....</i>	<i>38</i>
<i>Tab.2.: Doporučená velikost úkosu [6].....</i>	<i>39</i>
<i>Tab.3.: Materiálové vlastnosti.....</i>	<i>46</i>
<i>Tab.4.: Vybrané parametry vstřikovacího stroje.....</i>	<i>47</i>



## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Katalogový list PA 6 GF30

Příloha P II: Volba vstříkovacího stroje

Příloha P III: Výkresová dokumentace:

- Vedení řezů A-A a B-B
- Sestava formy
- Kusovník sestavy formy

**PŘÍLOHA P I: KATALOGOVÝ LIST PA 6 GF30**Processing Data Sheet **Ultramid®****B3WG6**

03/2024

**PA6-GF30****Product description**

Glass fibre reinforced and heat ageing resistant injection moulding grade used e.g. for automobile manifolds and pedals. The products can also be offered as BMBcert™ and/or Ccycled™. Due to the Massbalance approach the product properties do not change.

**Physical form and storage**

The product is supplied in the form of granules with a bulk density of approx. 0.7 g/cm<sup>3</sup>. Standard packs are bag and bulk container (octagonal IBC=intermediate bulk container made from corrugated board with a liner bag). Other packaging materials and shipping in road or rail silo wagons are possible by agreement. The containers should only be opened immediately before processing or drying. To ensure that the delivered product absorbs as little moisture as possible, the containers should be stored in dry rooms and always carefully closed again after partial quantities have been withdrawn. In principle, the product can be stored for a long period of time. Containers stored in cold rooms should be equalized to ambient temperature before opening in order to avoid condensation on the granules. Regardless of the storage conditions, the product should be pre-dried according to our recommendations and the machine should preferably be loaded using a closed conveyor system.

**Product safety**

In case processing is done under conditions as recommended (cf. processing data sheet) melts are thermally stable and do not generate hazards by molecular degradation or the evolution of gases and vapors. Like all thermoplastic polymers the product decomposes on exposure to excessive thermal load, e.g. when it is overheated or as a result of cleaning by burning off. Further information is available from the safety data sheet.

**Note**

The data contained in this publication are based on our current knowledge and experience. In view of the many factors that may affect processing and application of our product, these data do not relieve processors from carrying out their own investigations and tests; neither do these data imply any guarantee of certain properties, nor the suitability of the product for a specific purpose. Any descriptions, drawings, photographs, data, proportions, weights etc. given herein may change without prior information and do not constitute the agreed contractual quality of the product. It is the responsibility of the recipient of our products to ensure that any proprietary rights and existing laws and legislation are observed. In order to check the availability of products please contact us or our sales agency.

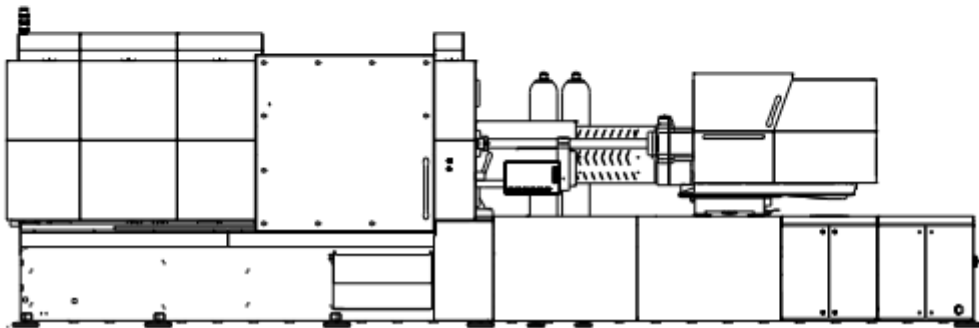
## Ultramid® B3W G6

## Processing Data Sheet



We create chemistry

	Test method	Unit	Values
<b>Properties</b>			
Polymer abbreviation	-	-	PA6-GF30
Density	ISO 1183	kg/m <sup>3</sup>	1360
Melt volume rate MVR 275 °C/5 kg	ISO 1133	cm <sup>3</sup> /10min	30
<b>Drying</b>			
Moisture, recommended <sup>1)</sup>	-	%	0.03 - 0.06
Dryer temperature <sup>2)</sup>	-	°C	80
Drying time <sup>3)</sup>	-	h	4
Moisture, max.	-	%	0.15
<b>Injection molding</b>			
Melt temperature range	-	°C	270 - 290
Melt temperature, optimal	-	°C	280
Mold temperature range	-	°C	80 - 90
Mold temperature, optimal	-	°C	80
Residence time, max.	-	min	10
<b>Machine Settings</b>			
Temperature hopper throat	-	°C	80
Cylinder temperature 1 (feed zone)	-	°C	260
Cylinder temperature 2 (compression)	-	°C	270
Cylinder temperature 3 (metering-zone, in front of the screw)	-	°C	280
Cylinder temperature 4 (nozzle)	-	°C	280
Peripheral screw speed	-	m/s	≤ 0.3
<b>Shrinkage</b>			
Molding shrinkage (parallel)	ISO 294-4	%	0.30
Molding shrinkage (normal)	ISO 294-4	%	0.75
Processing shrinkage, constrained, longitudinal (TM = 280 °C, TW = 80 °C) <sup>4)</sup>	-	%	0.3

**PŘÍLOHA P II: VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE****ALLROUNDER 720 S****Clamp-Design**

Distance between tie bars: 720 x 720 mm

Clamping force: 3200 kN

Injection unit (acc. to EUROMAP): 1300, 2100, 3200

**ARBURG**

## TECHNICAL DATA | 720 S

Clamping unit		720 S	
with clamping force	max. kN	3200	
Opening force   stroke	max. kN   mm	800   700	
Mould height, fixed   variable	min. mm	700   [300-700]	
Platen daylight fixed   variable	max. mm	1400   [1000-1400]	
Distance between tie bars (w x h)	mm	720 x 720	
Mould mounting platens (w x h)	max. mm	1040 x 1040	
Weight of movable mould half	max. kg	3600	
Ejector force   stroke	max. kN   mm	100   250	
Dry cycle time EUROMAP 2	1 pump	min. s - mm	4,8 - 504
	2 pumps	min. s - mm	3,5 - 504
	Accum.	min. s - mm	2,1 - 504

Injection unit		1300			2100			3200			
with screw diameter	mm	55	60	70	60	70	80	70	80	90	
Effective screw length	L/D	22	20	17	23	20	17,5	23	20	18	
Screw stroke	max. mm	240			280			320			
Calculated stroke volume	max. cm <sup>3</sup>	558	664	904	792	1078	1407	1232	1608	2036	
Shot weight	max. g PS	510	607	826	723	984	1286	1125	1469	1860	
Material throughput	max. kg/h PS	86	96	115	125	145	175	185	215	250	
	max. kg/h PA6.6	43	48	58	62	74	88	93	110	125	
Injection pressure	max. bar	2380	2000	1470	2500	2000	1530	2500	2000	1580	
Holding pressure	max. bar	2380	2000	1470	2500	2000	1530	2500	2000	1580	
Injection flow 2	1 pump	max. cm <sup>3</sup> /s	238	284	388	224	306	400	---		
	2 pumps	max. cm <sup>3</sup> /s	238	284	388	224	306	400	290	380	482
	Accum.	max. cm <sup>3</sup> /s	714	848	1156	1132	1540	2012	1188	1552	1964
Screw circumferential speed 2	1 pump	max. m/min	40	43	51	43	51	58	---		
	2 pumps	max. m/min	40	43	51	43	51	58	47	54	61
	Accum.	max. m/min	19	21	25	21	25	28	23	26	29
Screw torque	max. Nm	1510	1640	1920	2140	2500	2550	3140	3510	3510	
Nozzle contact force   retraction stroke	max. kN   mm	90   550			110   600			110   600			
Heating capacity   zones	kW	22,9   8			31,1   8			38,4   8			

Drive and connection		1 pump (servo)		2 pumps			Accum.		
with injection unit		1300	2100	1300	2100	3200	1300	2100	3200
Net weight of machine	kg	17000	17700	17000	17700	19200	---		
Sound press. level   Insecurity 4	dB(A)	< 65		73   3			< 70		
Oil filling	l	410		410	410	530	460	530	610
Drive power 2	max. kW	45	55	45	55	55	37	37	45
Electrical connection 4	kW	71	76	71	89	96	63	71	86
	Total	A		---			---		
	Machine	100	125	125	125	125	100	100	125
	Heating	35	50	35	50	63	35	50	63
Cooling water connection	max. °C	30		30			30		
	min. Δp bar	1,5   DN 25		1,5   DN 25			1,5   DN 32		

Machine type	
with EUROMAP size designation 1	Drive
720 S 3200-1300	1   2   -
720 S 3200-2100	1   2   Accum.
720 S 3200-3200	1   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 variant / drive configuration.
  - 3) Specifications relate to 400 V/50 Hz.
  - 4) Detailed info in the operating instr.
- [ ] Specifications apply to alternative equipment.