

# Konstrukční návrh vstřikovací formy pro výrobu technického plastového dílu

Ondřej Oškera

---

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:	<b>Ondřej Oškera</b>
Osobní číslo:	<b>T18211</b>
Studijní program:	<b>B3909 Procesní inženýrství</b>
Studijní obor:	<b>Technologická zařízení</b>
Forma studia:	<b>Prezenční</b>
Téma práce:	<b>Konstrukční návrh vstřikovací formy pro výrobu technického plastového dílu</b>

## Zásady pro vypracování

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

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

Seznam doporučené literatury:

- ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: teorie a praxe. Praha: Grada Publishing, 2018, 455 s. ISBN 978-80-271-0614-1.  
OSSWALD, Tim A., Lih-Sheng TURNG a Paul J. GRAMANN. Injection molding handbook. 2nd ed. Munich: Carl Hanser Publishers, c2008, xvii, 764 s. ISBN 978-1-56990-420-6  
REES, Herbert. Mold engineering. 2nd ed. Cincinnati: Hanser Gardner Publications, c2002. ISBN 3-446-21659-6.

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

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

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

L.S.

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

Ve Zlíně dne 25. 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, 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**

Bakalářská práce pojednává o návrhu vstřikovací formy pro výrobu držáku parkovacího senzoru automobilu.

Teoretická část zmiňuje základní rozdělení a druh zpracování polymerních materiálů, princip vstřikování, popis vstřikovacích strojů a vstřikovacích forem.

Praktická část se zabývá konstrukčním návrhem vstřikovací formy pro zadaný díl. K tvorbě návrhu formy a výkresové dokumentace bylo použito 3D a 2D prostředí programu CATIA V5 R19.

Klíčová slova: vstřikování, vstřikovací forma, CATIA, automotive

## **ABSTRACT**

The bachelor's thesis deals with the design of an injection mould for the production of a car parking sensor holder.

The theoretical part mentions the basic classification and types of polymer materials processing, the principles of injection moulding, description of injection moulding machines and injection moulds.

The practical part deals with the structural design of the injection mould for the specified part. The 3D and 2D environment of CATIA V5 R19 was used to create the mould design and drawing documentation.

Keywords: injection moulding, injection mould, CATIA, automotive

Děkuji své rodině a přítelkyni za podporu při studiu a při tvorbě bakalářské práce. Zároveň chci poděkovat svému vedoucímu práce Ing. Martinu Ovsíkovi, Ph.D. za rady a připomínky k mé práci.

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 POLYMERY</b> .....	<b>11</b>
1.1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ POLYMERŮ .....	11
1.1.1 Rozdělení dle původu.....	12
1.1.2 Rozdělení dle fyzikálních vlastností .....	12
1.1.3 Rozdělení dle chemické přípravy .....	13
1.1.4 Rozdělení dle nadmolekulární struktury .....	14
1.2 ZPRACOVÁNÍ POLYMERŮ PRO VSTŘIKOVÁNÍ .....	15
1.2.1 Míchání a hnětení .....	15
1.2.2 Granulace .....	16
1.2.3 Tabletování.....	19
1.2.4 Sušení .....	19
<b>2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ</b> .....	<b>20</b>
2.1 PODSTATA A PRINCIP VSTŘIKOVÁNÍ .....	20
2.2 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS .....	21
2.2.1 Fáze vstřikovacího cyklu.....	21
2.3 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	24
2.3.1 Vstřikovací jednotka .....	24
2.3.2 Uzavírací jednotka.....	25
2.3.3 Řídící jednotka .....	27
<b>3 VSTŘIKOVACÍ FORMA</b> .....	<b>28</b>
3.1 POSTUP KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	28
3.2 VTOKOVÝ SYSTÉM .....	29
3.2.1 Násobnost formy .....	29
3.2.2 Studené vtokové systémy .....	29
3.2.3 Vyhřívané vtokové systémy .....	31
3.3 VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	33
3.3.1 Vyhazovací síla .....	33
3.3.2 Počet a rozmístění vyhazovačů .....	34
3.3.3 Mechanické vyhazování.....	34
3.3.4 Vzduchové vyhazování .....	35
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>36</b>
<b>4 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE</b> .....	<b>37</b>
<b>5 CHARAKTERISTIKA VSTŘIKOVANÉHO DÍLU</b> .....	<b>38</b>
<b>6 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY</b> .....	<b>39</b>
6.1 NÁSOBNOST VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	40

6.2	VOLBA DĚLÍCÍCH ROVIN .....	41
6.3	TVAROVÉ ČÁSTI FORMY .....	41
6.4	POHYBLIVÁ ČÁST FORMY .....	42
6.5	NEPOHYBLIVÁ ČÁST FORMY .....	43
6.6	VTOKOVÝ SYSTÉM .....	44
6.7	VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	46
6.8	BOČNÍ ODFORMOVÁNÍ.....	48
6.9	TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	49
<b>7</b>	<b>VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE .....</b>	<b>50</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>51</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>52</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>55</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>56</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>57</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>58</b>



## ÚVOD

Polymery a výrobky z těchto materiálů jsou už v dnešní moderní době téměř nepostradatelné. Polymerní materiály jsou hojně využívány takřka v každém odvětví a s produkty tvořenými těmito materiály se setkáváme na každém kroku. Díky velkému množství polymerů a jejich rozmanitým vlastnostem, můžeme plasty použít jako plnohodnotnou náhradu za dřevo, kovy, ale i sklo a keramiku.

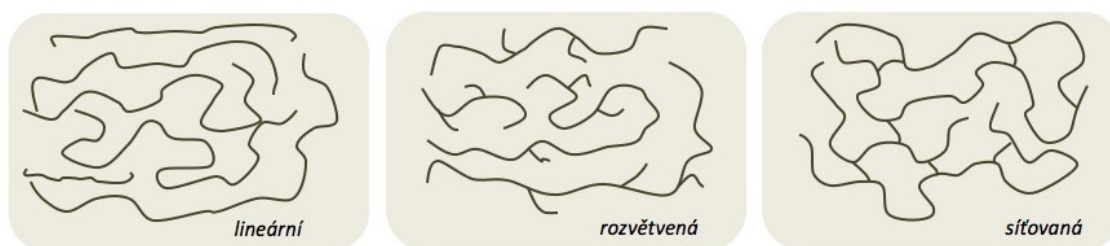
Nejčastěji se v praxi setkáváme se zpracováním polymerů formou vstřikování nebo vytlačování do formy, která je opatřena dutinou ve tvaru budoucího výrobku. Výhoda těchto metod je produktivita, kdy se při využití automatizace pohybujeme i v řádu tisíce výrobků za velmi krátkou dobu.

Abychom udrželi krok s nezadržitelným vývojem polymerů a technologií k jejich zpracování, musíme k návrhu modelu výrobku a následovnému konstruování forem, využívat moderních počítačových softwarů.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 POLYMERY

Přestože jsou polymerní materiály v technickém odvětví využívány relativně krátce, dokázaly za poslední století nahradit mnohé, dosud běžně používané materiály. Polymerem definujeme látku skládající se z molekul stejného nebo různého druhu atomů, navzájem spojených ve velkém množství. Tuto látku nazýváme makromolekulou. Základní stavební jednotkou makromolekuly je monomer, nízkomolekulární látka, schopná vytvářet chemické vazby. Makromolekuly jsou tvořeny dlouhými řetězci, obvykle složených z atomů uhlíku a vodíku, na které se potom vážou další látky (chlór, fluor, kyslík a dusík). Tvorba řetězcové struktury je hlavní odlišností polymerů od ostatních materiálů, má zásadní podíl na vlastnostech polymeru a dělíme ji na lineární, rozvětvené a síťované.



Obrázek 1 Molekulární struktura polymerů [1]

Polymery s lineární strukturou makromolekul disponují vyšším modulem pružnosti materiálu, vyšší pevností, hustotou a dobrou tekutostí taveniny. Makromolekuly s rozvětveným tvarem struktury budou mít, v porovnání s lineárním, vyšší pouze tažnost. Nižší bude také tekutost taveniny a schopnost krystalovat. U sesíťovaných řetězců se vlastnosti zásadně mění v závislosti na hustotě sítě. Můžeme počítat s vyšší pevností, modulem pružnosti a teplotní odolností, bude-li hustota sítě vysoká. [1]

### 1.1 Základní rozdělení polymerů

Rozdělení polymerů na lineární, rozvětvené a síťované je rozdělení dle tvaru molekul. Polymery můžeme rozdělit podle mnoha různých kritérií, a to od úplně základního rozdělení na syntetické a přírodní polymery, dle fyzikálních vlastností, druhu chemické přípravy, či chemické příbuznosti polymerů, až po dělení dle nadmolekulární struktury, kde vycházíme už z výše popsaného rozdělení dle tvaru molekul.

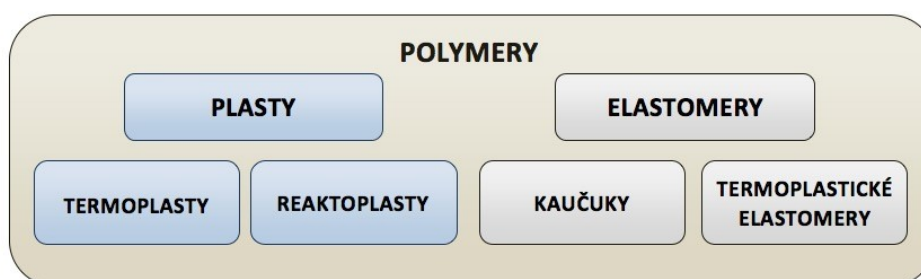
### 1.1.1 Rozdělení dle původu

**Přírodní polymery** – Přírodní polymery, jak už vyplývá ze samotného názvu, jsou skupina makromolekulárních látek, získávána z přírodních zdrojů. Jedná se o polymery velmi komplexní, což v kombinaci s obtížnou extrakcí a zpracovatelností staví přírodní polymery do složité pozice. Plusem oproti syntetickým polymerům je způsob získávání z obnovitelných přírodních zdrojů, menší toxicita vůči životnímu prostředí, s čímž souvisí i méně náročný rozklad a návrat zpět do přírody. [3],[4]

**Syntetické polymery** – V současné době jsou syntetické polymery naprosto nepostradatelným elementem na poli konstrukčních materiálů, co se spotřeby a využití týče. Uplatnění nalézáme již v elektrotechnice, dále ve stavebnictví, v automobilovém a textilním průmyslu, ale i při produkci předmětů pro každodenní použití. Syntetické polymery disponují velmi dobrými fyzikálními, chemickými i mechanickými vlastnostmi. Naopak za negativní vlastnosti považujeme nízkou teplotní odolnost, vysokou teplotní roztažnost, hořlavost, která je zaviněna složením makromolekul polymeru. [3],[4],[5]

### 1.1.2 Rozdělení dle fyzikálních vlastností

V této bakalářské práci se budu zabývat zejména syntetickými polymermi, u kterých je právě rozdělení dle fyzikálních rozdělání zcela zásadní, poněvadž nám stanovuje i možné využití syntetických polymerů v technické praxi. Polymery dělíme na dvě základní skupiny: plasty a elastomery.



Obrázek 2 Základní rozdělení polymerů [1]

Plasty dále dělíme na opakovaně tvárné – termoplasty a termosety (reaktoplasty), jenž po zahřání ztrácí tvárnost. Elastomery se dále dělí na kaučuky a termoplastické elastomery. [1],[6]

**Termoplasty** – Jedná se o materiály, které při zahřívání nad jejich teplotu tání, přechází do plastického tvaru a lze je tvářet. Během zahřívání nedochází k chemické reakci a proces měknutí a tuhnutí je vratný. Taktéž při následném zpracování nedochází ke změnám ve struktuře a celý proces je pouze fyzikálního charakteru. Zpět do tuhého stavu dochází při ochlazení pod teplotu tání pro semikrystalické plasty a při ochlazení pod teplotu viskózního toku pro amorfní plasty. Mezi termoplasty patří polyethylen (PE), polypropylen (PP), polystyren (PS), polyamid (PA), polyvinylchlorid (PVC), polymethyl-methakrylát (PMMA). [6], [7]

**Reaktoplasty** – Při zahřívání reaktoplastických materiálů, dochází stejně jako u termoplastů k měknutí, zásadním rozdílem při procesu zahřívání je však přítomnost chemické změny, která způsobuje nenávratnou ztrátu plastičnosti, tzn. reaktoplasty nelze opakovaně tvářet, protože by opakovaným zahříváním došlo k degradaci hmoty. Reaktoplasty můžeme rozdělit na fenoplasty, aminoplasty, epoxidové pryskyřice, polyesterové pryskyřice, poreutany a obecně je můžeme popsat jako tvrdé, netavitelné a nerozpustné ve většině rozpouštědel. [1], [6]

**Elastomery** – Jedná se o polymery pružné, při zahřívání taktéž měknou a stávají se plastickými, nicméně pouze po omezenou dobu. U kaučuků a pryží totiž dochází při zahřívání k chemické reakci – vulkanizaci, tedy spojení celé struktury v jednu prostorovou síť. Rozdílné je to u termoplastických elastomerů, které sice mají podobné vlastnosti jako pryže, nicméně při zahřívání nedochází k vulkanizaci, ale k přechodu do tekutého stavu a možnosti zpracovávat tyto materiály podobně jako termoplasty. Výhodou termoplastických elastomerů je recyklovatelnost a možnost vstřikování na strojích pro vstřikování termoplastů. [1], [6]

### 1.1.3 Rozdělení dle chemické přípravy

Syntetické polymery připravujeme opakováním velmi jednoduchých chemických reakcí, jež nazýváme polyreakce.

Polyreakce se dále dělí na následující skupiny:

- polymerace,
- polykondenzace,
- polyadice.

**Polymerace** – Zjednodušeně se jedná o reakci, kdy z monomerů vznikají vysokomolekulární látky, polymery. Polymerace stojí na principu spojování molekul nenasycených uhlovodíků, z čehož vznikají dlouhé řetězce (vlákna). Nejznámější polymery připravené touto metodou jsou polyethylen (PE), polypropylen (PP), polystyren (PS), polyvinylchlorid (PVC), polytetrafluorethylen (PTFE) a další. [6]

**Polykondenzace** – Stejně jako u polymerace dochází k spojování molekul monomerů do řetězců, na rozdíl od předchozí metody ale dochází při každém připojení monomerní jednotky ke vzniku vedlejšího produktu. Na rozdíl od polymerace se výsledný polymer od odlišuje výchozích sloučenin svým chemickým složením. Zástupci této polyreakce jsou polyestery (PES), polyamidy (PA), fenolformaldehydové pryskyřice a epoxidové pryskyřice. [1], [6]

**Polyadice** – U této stupňovité polyreakce dochází při reakci různých skupin monomerů k přesunu atomu vodíku z jedné relativní skupiny na druhou a dochází ke sloučení (adici). Na rozdíl od polykondenzace zde při reakci nedochází k uvolňování nízkomolekulární sloučeniny, tedy vzniku vedlejšího produktu štěpením. K nejvýznamnějším prakticky využitelným polyadičním reakcím, kterých je v porovnání s polykondenzací znatelně méně, patří syntéza polyurethanů, ze které vychází výroba PUR pěn a syntéza epoxidových pryskyřic. [1], [8]

#### 1.1.4 Rozdělení dle nadmolekulární struktury

Problematice uspořádanosti polymeru na makromolekulární úrovni se věnuje obor morfologie polymerů. Morfologie polymerů řeší souvislosti mezi vlastnostmi polymerů a jejich nadmolekulovou strukturou. Plasty se dle této problematiky dělí na amorfnní a semikrystalické. [8]

**Amorfnní** – Jedná se o polymery, které nevykazují stopy krystalinity a mají tedy neuspořádanou nadmolekulovou strukturu. Vyznačují se vysokou pevností, tvrdostí, křehkostí a vysokým modulem pružnosti. Dle nízkého indexu lomu a propustnosti je můžeme rozlišit na transparentní (60% propustnosti světla) nebo čiré (92% propustnosti světla). Pro amorfnní polymery je kritická teplota skelného přechodu  $T_g$ , jelikož po překročení této teploty dochází k nenávratnému, samovolnému poškození použitého plastu. Amorfnní polymery, konkrétně polymethylmethakrylát (PMMA) a polykarbonát (PC), jsou pro jejich skvělé optické a mechanické vlastnosti hojně využívány především v automobilovém průmyslu, při výrobě světlené techniky. [7], [8], [9]

**Semikrystalické** – Tyto polymery na rozdíl od amorfních vykazují určitou úroveň krystalinity (většinou 40-90%) a jejich strukturu můžeme nazývat uspořádanou. Jelikož krystalinita polymeru nemůže nikdy dosáhnout 100%, nenazýváme polymery krystalické, ale semikrystalické. Tyto semikrystalické polymery disponují, v porovnání s teoretickým stoprocentně krystalickým polymerem, nižší měrnou hmotností a širším intervalem tání. Pro semikrystalické polymery není tolik důležitá teplota skelného přechodu  $T_g$ , nýbrž teplota bodu tání krystalického podílu  $T_m$ . Při překonání teploty  $T_m$  se polymer stává tekutý, jedná se tedy o teplotu vhodnou k procesu vstřikování, naopak pod teplotou  $T_m$  jsou polymery tuhé, pevné a houževnaté. Využití semikrystalických polymerů nalezneme mezi širokou škálou technických výrobků a mezi hlavní zástupce patří polypropylen (PP), polyamidy (PA), polyethyltereftalát (PET), polyformaldehyd (POM). [7], [8], [9]

## 1.2 Zpracování polymerů pro vstřikování

Plasty nelze ihned zpracovávat v hotové výrobky. Je nutné, aby nejdříve prošly technologickými procesy a postupy, jež tyto materiály připraví nebo upraví dle požadovaných konečných vlastností. Jedná se o technologie sloužící ke změně konečných vlastností plastů (fyzikální, mechanické, chemické, elektrické, tepelné, apod.), ale také k přípravě plastů z hlediska jejich tvaru (granulát, kaše, prášek) a souvisejícím dávkováním. [7], [10]

Konkrétně se jedná o technologie:

- míchání a hnětení,
- granulace,
- tabletování,
- sušení.

### 1.2.1 Míchání a hnětení

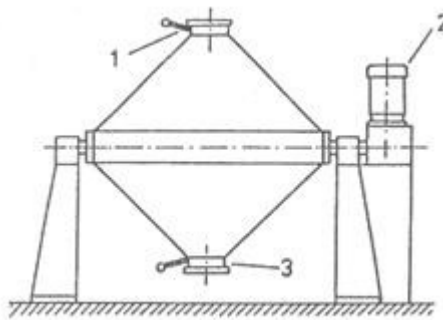
Míchání je proces, kdy dochází k homogenizaci alespoň dvou složek tak, aby bylo ve výsledném produktu dosaženo požadované rovnoměrnosti rozložení jednotlivých složek. Výsledné homogenity však může materiál dosáhnout až při následných technologických operacích (vstřikování, válcování, vytlačování).

V praxi je technologie míchání používána především ke smíchání základního polymeru a přísad pro zlepšení vlastností (stabilizátory, plniva, změkčovadla, barviva, atd.) nebo maziv, pro zlepšení zpracování.

Míchání můžeme rozdělit na dva extrémní případy. Prvním extrémem je míchání látek s nepatrným odporem částic proti posunutí (míchání zrnitých, či práškových látek). Druhým extrémem jsou procesy míchání s velkým odporem proti posunutí, jež dělíme na:

- extenzivní míchání – stupeň homogenity zde závisí na stupni tečení nebo na vytváření nového povrchu (např. míchání prášků s barvivou) a používají se míchací stroje.
- intenzivní míchání: stupeň homogenity zde závisí na stupni smykového namáhání (např. míchání kaučuků s přísadami) a hmota je ve změkklém stavu, tudíž se používají hnětací stroje. [7]

**Míchací stroje** – K míchání dochází míchadlem a podle osy se dělí na vertikální a horizontální. Využití nalezneme v míchání past, lepidel a směsí PVC. [7]



Obrázek 3 Horizontální bubnová míchačka [7]

1 – plnicí otvor, 2 – motor, 3 – výpustní otvor

**Hnětací stroje** – Jsou, na rozdíl od míchaček, schopné dosáhnout plastického stavu polymeru, a to díky působení smykového namáhání. Dělí se na kontinuální a diskontinuální a využití nalezneme v míchání kaučukových směsí. [7]

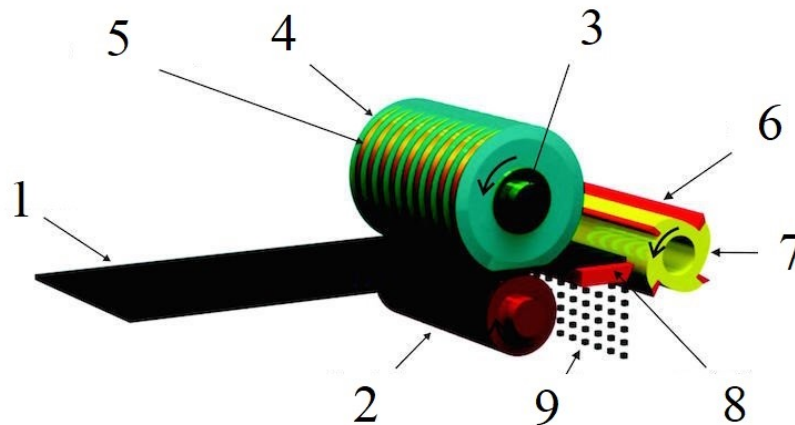
### 1.2.2 Granulace

Jedná se o technologii k výrobě granulí. Granule jsou jedním z nejpoužívanějších tvarů pro dobrou sypnou hmotnost, jejich dávkování, ale i možnost smísení s dalšími materiály. Mohou mít tvar krychle, čoček, válečků, apod. Granulace je pro většinu plastů poslední



metodou přípravného zpracování a podle vlastností zpracovávané taveniny, prostoru, ekonomie a požadovaného výkonu vybíráme jednu z následujících metod granulace:

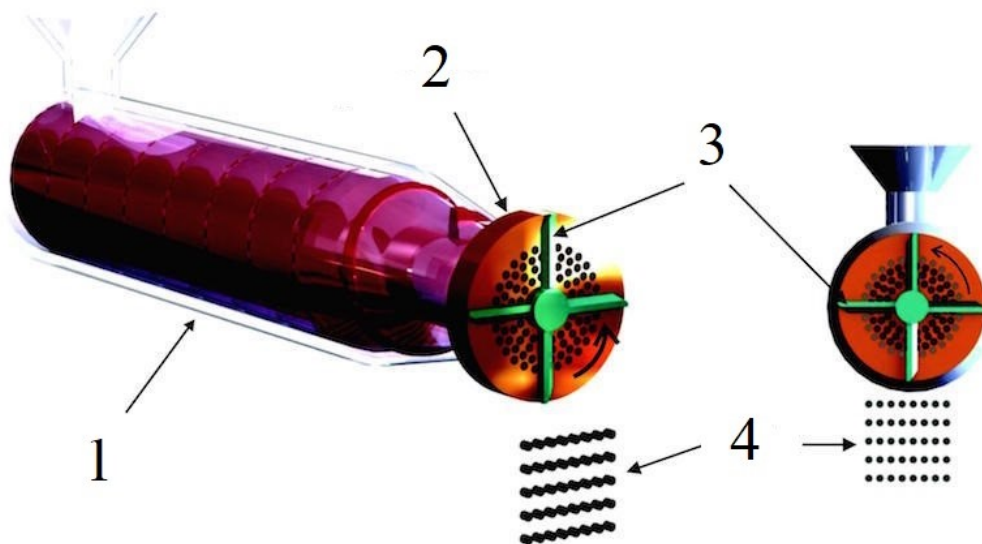
**Pásová granulace** – Pás plastu prochází skrz kotoučové nože, kde je rozřezán na proužky a následně rotačním nožem rozsekán na granule. Použití nalezneme spíše pro měkké materiály a nevýhodou je nízká produktivita. [7], [10]



Obrázek 4 Pásová granulace [10]

1 – pás plastu, 2 – podávací válec, 3 – hřídel, 4 – kotoučové řezací nože, 5 – distanční vložky, 6 – rotační nože, 7 – buben, 8 – pevný nůž, 9 - granule

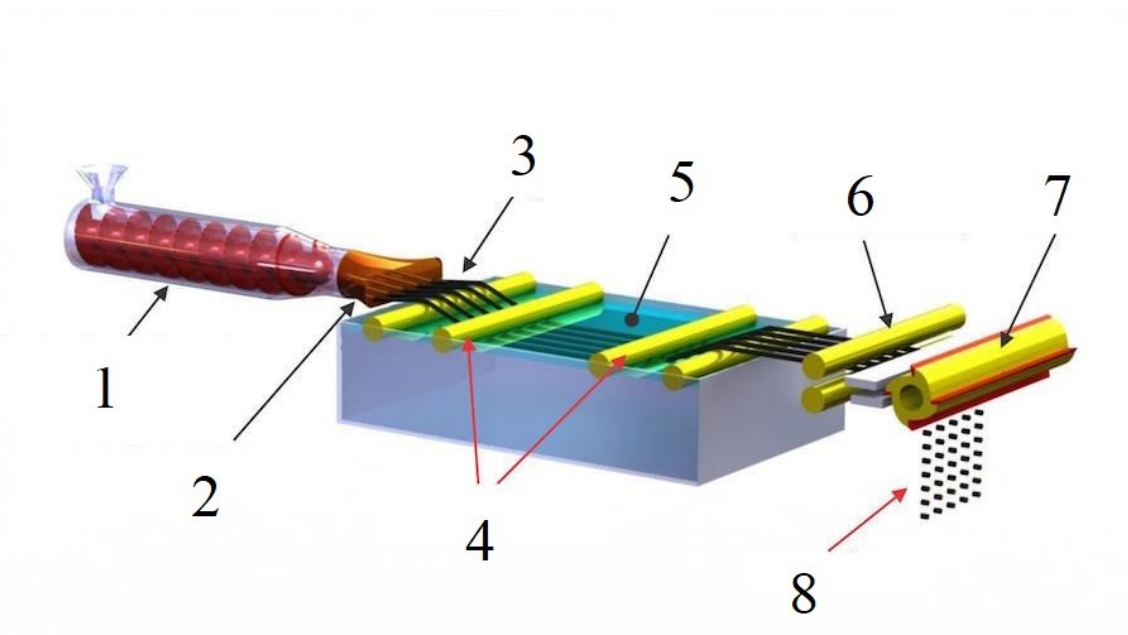
**Granulace ze strun za tepla** – Tavenina je vytlačována skrz granulační hlavu do tvaru strun, jež jsou ihned po výstupu z hlavy nasekány rotačními noži do tvaru granulí. Chlazení probíhá současně účinkem vody nebo chlazením ve vodní mlze. Technologii využíváme pro převážnou část termoplastů, naopak nevhodná je pro plasty s nízkou viskozitou taveniny. [7], [10]



Obrázek 5 Granulace za tepla [10]

1 – šnekový vytlačovací stroj, 2 – granulační hlava, 3 – rotační nůž, 4 – granule

**Granulace ze strun za studena** – Stejně jako granulace za tepla dochází k vytlačení taveniny do tvaru strun a následnému chlazení ve vaně s chladicí kapalinou. Dále jsou struny nasekány noži na granule a kvůli nasákavosti po styku s chladicí kapalinou je nutno granule sušit. Technologie granulace ze strun za studena se taktéž používá pro většinu termoplastů. [7], [10]



Obrázek 6 Granulace za studena [10]

1 – šnekový vytlačovací stroj, 2 – granulovací hlava, 3 – struny, 4 – vodící válečky, 5 – chladicí kapalina, 6 – podávací válečky, 7 – nože, 8 - granule

### 1.2.3 Tabletování

Tabletování je další přípravnou metodou využívanou převážně pro reaktoplastické materiály, u nichž je vhodné prvotní surovinu ve formě prášku slisovat do tvaru tablety. Tablety zjednodušují a zrychlují manipulaci, dávkování reaktoplastického materiálu do vstřikovací formy, snižují prašnost, umožňují zmenšení plnicího prostoru formy, zkracují dobu lisování a vytvrzování a taktéž méně navlhají. Pro tabletování používáme častěji využívané mechanické stroje nebo stroje hydraulické. [7]

### 1.2.4 Sušení

Nasákavé a navlhavé materiály, které při zpracovávání přišly do styku s vodou například při granulaci, emulzní polymeraci, či průchodem vodní lázní musíme této absorbované vlhkosti zbavit na výrobcem předepsaný obsah. Kvůli vodě totiž granulát ztrácí na kvalitě povrchu, při odpařování dochází k tvoření vad na povrchu výrobků a při vyšších zpracovatelských teplotách způsobuje voda degradaci, mající za vliv zhoršení mechanických vlastností. Pro sušení proto používáme řadu zařízení, pracujících na podobných principech:

- sušení mokrým vzduchem, jenž je nasáván z okolí tohoto zařízení,
- sušení suchým vzduchem, který je nutné předem zbavit vlhkosti a ohřát na pracovní teplotu,
- přetlakové a podtlakové sušení. [7], [10]

## 2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Technologie vstřikování dnes patří mezi velmi perspektivní obory pro zpracovávání termoplastů, termoplastických elastomerů, polymerních směsí, reaktoplastů i pryží. Vstřikování nalézá široké využití v automobilovém a elektronickém průmyslu, ve stavebnictví, potravinářství, strojírenství i spotřebním průmyslu. Výrobky vyráběné touto technologií mohou mít charakter konečného výrobku (krabičky, květináče, vaničky, apod.) nebo se může jednat o polotovary, či díly pro zkompletování samostatného výrobního celku (narázníky, světla, součásti přístrojů, atd.). Zhotovené výrobky mají vysokou rozměrovou i tvarovou přesnost, výbornou kvalitu povrchu a výhodou jsou taktéž krátké výrobní cykly a možnost výroby konečného dílu na jeden cyklus. Technologie vstřikování je proto vhodná především pro velkosériovou a hromadnou výrobu. [10]

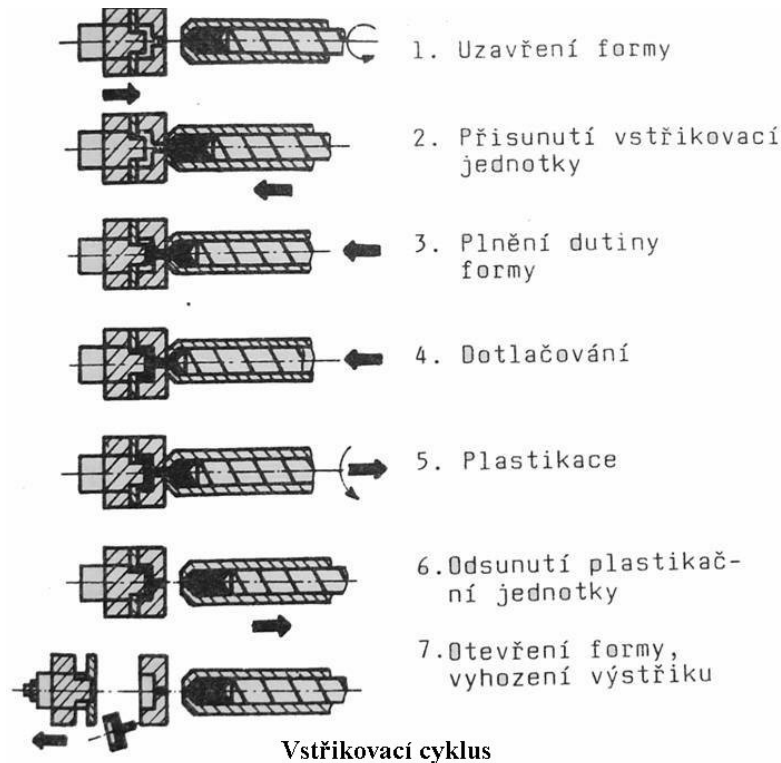
### 2.1 Podstata a princip vstřikování

Hlavní částí celého vstřikovacího procesu je stroj, ve kterém se podstatná část celého procesu odehrává. Vstřikovací stroj je složen z násypky, šneku, vstřikovací trysky a uzavírací jednotky.

Plast, regranulát nebo recyklát (nejčastěji ve formě granulí) je vysypán do násypky, ze které je pracovní částí stroje, tedy šnekem, či pístem, přemísťován do tavicí komory, kde za současného účinku tření a topení dochází k přeměně hmoty na taveninu. Tavenina je pomocí otáčení šneku dopravována ke vstřikovací trysce, jež taveninu v provozní teplotě vstříkne do dutiny formy, kde získá její tvar a objem. Po vytvrnutí materiálu vlivem chlazení se forma otevře a výstřík je vyhazovači vyjmut z formy. Po uzavření formy se celý proces cyklicky opakuje, což nazýváme vstřikovací cyklus. [7]

## 2.2 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus je série přesně specifikovaných, za sebou jdoucích kroků. Plast během vstřikování prochází tlakovým a teplotním cyklem a jedná se tedy o děj neizotermický. Plastikační cyklus zahrnuje dvě oblasti, a to oblast plastikační a oblast vztahující se k formě.



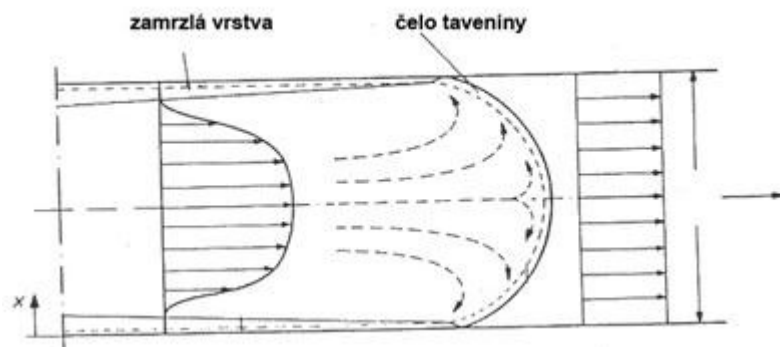
Obrázek 7 Vstřikovací cyklus [7]

### 2.2.1 Fáze vstřikovacího cyklu

**Zavření formy** – Počátečním, pevně určeným bodem vstřikovacího cyklu je podnět k uzavření formy. Před tímto úkonem je forma prázdná a otevřená. S ohledem na strojní časy je nutné, aby uzavření formy bylo co nejrychlejší, zároveň však musíme dát pozor na plynulé dosednutí pohyblivé části na druhou, pevnou část formy. V opačném případě by mohlo dojít k poškození formy. V tomto bodě dochází k uzamknutí formy, což nám zajišťuje setrvání pohyblivé části formy ve stálé poloze a zamezuje otevření formy a úniku taveniny při procesu vstřikování a dotlaku. Uzamykací síla musí být proto v porovnání se silou uzavírací až 3x vyšší.

**Přísun plastikační jednotky** – Při této operaci dochází k pohybu plastikační jednotky k uzavřené vstřikovací formě. Rychlost přesunu je zpočátku větší, před dotekem však musíme pohyb zpomalit, aby nedošlo k poškození obou částí.

**Vstřikování do dutiny formy** - Samotné vstříknutí taveniny probíhá u běžných dílů ve zlomku sekundy, aby po doteku s výrazně chladnější formou nedošlo k zatvrdnutí taveniny. Pro dosažení potřebného zaplnění dutiny formy je nutné se při plnění vyvarovat volnému toku taveniny. Volný tok, neboli jetting, je vzhledová vada, jež negativně ovlivňuje i mechanické a užité vlastnosti budoucího plastového dílu. Volný tok způsobuje nekontrolovatelný postup taveniny v dutině formy a zanechává na výrobku nepravidelnou, nežádoucí stopu, kudy proud taveniny procházel. Dochází k tomu při použití příliš nízkého nebo naopak vysokého vstřikovacího tlaku či při nesprávném umístění vtoku. Mnohem lepších vlastností dosáhneme při postupným plnění, tedy aplikací laminárního toku. Jedná se o komplikovaný mechanismus tuhnutí vrstev taveniny, při němž je teplota vstřikovací formy v porovnání s teplotou taveniny zhruba 3 až 4krát nižší. Při kontaktu taveniny se stěnou formy dochází k okamžitému ochlazení a ztuhnutí taveniny, což způsobuje vznik vrstvy nepohyblivé hmoty a vrstvy tepelné izolace. Díky plastickému jádru s vysokou tekutostí uvnitř stěny taveniny, je umožněno postupné rozlévání taveniny po stěnách a zaplnění zbytku dutiny formy. Jelikož je uvnitř plastického jádra taktéž nejvyšší teplota taveniny a směrem ke stěně formy společně s vstřikovacím tlakem klesá, dochází k zakřivení čela proudu taveniny, viz. Obrázek 8 *Laminární tok taveniny uvnitř dutiny formy*. [7], [10], [11], [12], [13]



Obrázek 8 Laminární tok taveniny uvnitř dutiny formy [7]

**Dotlak** – Po naplnění formy taveninou dochází k prudkému vzrůstu tlaku a stlačení taveniny. Při chlazení plastu ve formě dochází k nežádoucímu zmenšení objemu (smrštění), které má za následek tvoření propadlin a staženin. Tento úbytek materiálu nahrazujeme právě dotlakem, k němuž musí dojít dříve, než dojde k zatvrdnutí taveniny ve vtokovém kanálku. Další úlohou dotlaku je zmenšení tlaku uvnitř formy. Příliš vysoký tlak může mít za následek

velké pnutí ve výrobku, pružné prohnutí formy, poškození části formy nebo tzv. dýchnutí (krátké otevření formy v dělicí rovině). [7], [10]

**Plastikace** – Plastikaci můžeme zjednodušeně popsat jako přípravu granulátu pro následující vstřík. Proces probíhá současně při chládnutí výstřiku ve vstříkovací formě a nemá proto vliv na celkovou délku vstříkovacího cyklu. Šnek otáčivým pohybem nabírá granulát z násypky, plastikuje jej a přemísťuje před čelo šneku, kde dochází k homogenizaci plastové hmoty. Šnek současně koná zpětný pohyb, který vede ke vzniku protitlaku, jehož hodnota ovlivňuje čas plastikace a kvalitu prohnětení roztaveného plastu. Hodnota protitlaku nesmí být příliš vysoká, jinak může dojít k degradaci plastu. K ohřevu, a s tím souvisejícím převodem granulátu na taveninu, dochází vzájemným třením granulí plastu, třením taveniny o stěny válce šneku a rovněž působením topných těles, umístěných na obvodu tlakové plastikační komory. Poměr tepla, jež vznikne třením, je asi dvakrát vyšší, než teplo dodané topnými tělesy. [7], [10]

**Chlazení** – Materiál v dutině formy musí být před vyhozením v pevném stavu, což vede k nutnosti jej před tímto úkonem zchladit. Proces chlazení začíná už při prvním doteku taveniny s výrazně chladnější formou, pokračuje především při dotlaku. Jedná se o nejdelší proces vstříkovacího cyklu a samotná délka chlazení závisí na tloušťce stěny výstřiku, na druhu vstříkovaného plastu, teplotách taveniny, formy a na teplotě výstřiku, v momentu vyhození z formy. Snížení doby chlazení je proto sice z ekonomického hlediska výhodné, může mít však negativní dopad na konečné a užité vlastnosti výrobku, jelikož chlazení výrazně ovlivňuje strukturu plastu, smrštění, deformace výrobku, pnutí, ale také kvalitu povrchu. [7], [10]

**Vyhození výstřiku z dutiny formy** – Po dostatečném ochlazení výstřiku nastává poslední fáze vstříkovacího cyklu, sestávající z otevření formy a vyjmutí výrobku. Rychlost otevření formy by měla být vzhledem ke strojnímu času a urychlení celého procesu co nejrychlejší, opět je však nutné v poslední části otevírání formu zpomalit, z důvodu plynulého dojetí formy. Minimální vzdálenost, na kterou se forma může otevřít, nám omezuje velikost výstřiku a vtokové soustavy. Při zvolení příliš krátké vzdálenosti, by mohlo dojít k uváznutí výstřiku v dutině formy a k jeho poškození. [7], [10]

## 2.3 Vstřikovací stroj

Pro zpracovávání polymerních materiálů využíváme vstřikovací stroje. Především kvůli stále rostoucím požadavkům na kvalitu, produktivitu výroby, ale i automatizaci jsou pořizovací ceny vstřikovacích strojů a forem velmi vysoké. Proto vstřikovací stroje používáme pro velkosériovou a hromadnou výrobu.

Vstřikovací stroje sestávají ze 3 hlavních částí:

- vstřikovací jednotka,
- uzavírací jednotka,
- řídicí jednotka. [7]



Obrázek 9 Vstřikovací stroj [23]

### 2.3.1 Vstřikovací jednotka

Úlohou vstřikovací jednotky je přeměna granulátu na taveninu o požadované viskozitě a přesun taveniny do tvarové dutiny vstřikovací formy se zajištěním požadované rozměrové a tvarové přesnosti. Z počátku se používaly vstřikovací jednotky pístové, které dnes už ale plně nahradily šnekové vstřikovací jednotky. Rozdíl mezi těmito typy je dán konstrukcí tavicí komory, jenž zajišťuje homogenizaci taveniny. Konstrukcí šnekových vstřikovacích strojů se podařilo odstranit většinu problémů, které vznikaly při používání pístových strojů.



Ve stroji se šnekovou vstřikovací jednotkou je granulát nejprve z násypky dopraven do tavného válce pohybem šneku, kde se plastikuje, homogenizuje a hromadí se před čelem šneku. Šnek se zároveň chová jako píst, když tuto homogenizovanou dávku taveniny dopředným pohybem vytlačuje z tavicí komory. Na taveninu takto působí i během dotlaku. Celý šnek tak díky tomuto procesu můžeme rozdělit na 3 funkční pásma – Vstupní, kompresní a homogenizační. Ve vstupním pásmu je hloubka závitů šroubovice šneku největší a v dalších dvou pásmech se stoupání i hloubka šroubovice šneku směrem ke špičce postupně zmenšují.

Stejně jako šnek, i tavicí komoru rozdělujeme do 3 (topných) pásem, které mají funkci vytápění. První pásmo, nacházející se u násypky je ochlazováno, aby nedocházelo ke předčasnému natavení a spečení granulátu s následkem zamezení dodání dalšího materiálu do šneku. Tavicí komora je zakončena tryskou, jejíž kuželové zakončení nám zabezpečuje spolehlivé dosednutí trysky do vložky formy a tím přesné spojení vstřikovací jednotky s formou.

Vzhledem ke špatným vodivým vlastnostem plastů, musí být šnek vstřikovací jednotky konstruován tak, aby množství polymeru mezi bočními stěnami šneku a tavicí komory nebylo příliš velké. Konstrukční řešení vstřikovací jednotky pak závisí především na typu materiálu, pro jehož zpracování bude využívána. Důležitými parametry jsou vstřikovací a plastikační kapacita, jež charakterizují výkonnost vstřikovací jednotky.

Vstřikovací kapacita, nejčastěji udávána v  $\text{cm}^3$ , udává množství taveniny, jež je možné na daném stroji vystříknout z tavicí komory během jednoho pracovního zdvihu.

Plastikační kapacitu používáme především pro hrubý výpočet doby, potřebné k plastikaci daného množství materiálu. Jedná se tedy o maximální množství taveniny, které šnek při určitých otáčkách vytlačí před čelo šneku při použití pouze rotačního pohybu. [7], [14]

### 2.3.2 Uzavírací jednotka

Zajišťuje plynulé uzavření a otevření vstřikovací formy a zabraňuje otevření formy vlivem tlaku při fázích vstřiku a dotlaku.

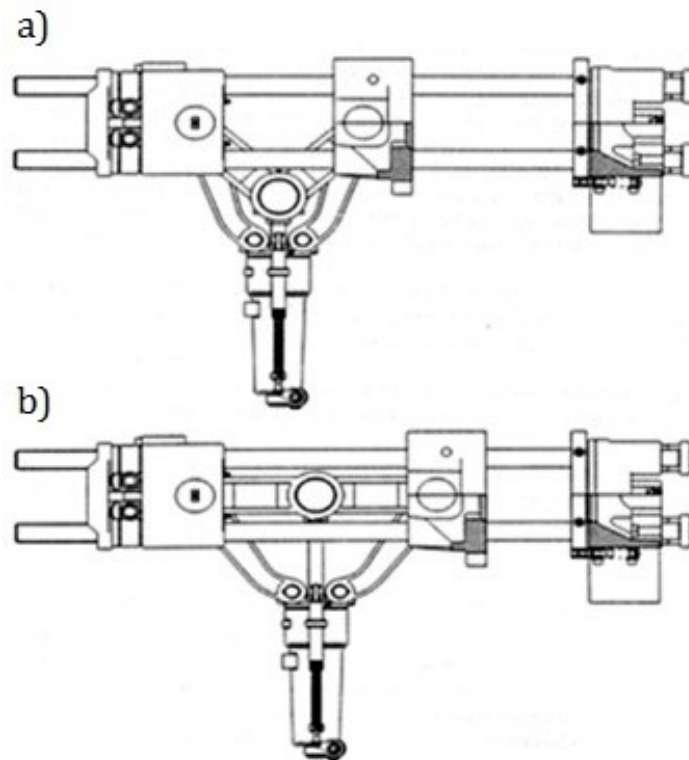
Uzavírací jednotky se skládají z několika částí:

- Pevné opěrné desky – slouží ke spojení se strojem.
- Upínací desky – pro připevnění nepohyblivé části vstřikovací formy.

- Vodící sloupky
- Uzavírací mechanismus

Uzavírací systémy dělíme podle pohonu zajišťující posuv pohyblivé desky na elektrické, hydraulické, a při napojení hydraulického pístu přímo na pohyblivou desku, či přenášením síly elektromotoru přes další mechanický systém na hydraulicko-mechanické a elektro-mechanické.

Nejefektivnějším uzavíracím systémem je kloubový mechanismus. Mohou být poháněny elektrickými, či hydraulickými pohony a oproti hydraulickým uzavíracím jednotkám šetří až 20% vstupní energie. [7], [14]



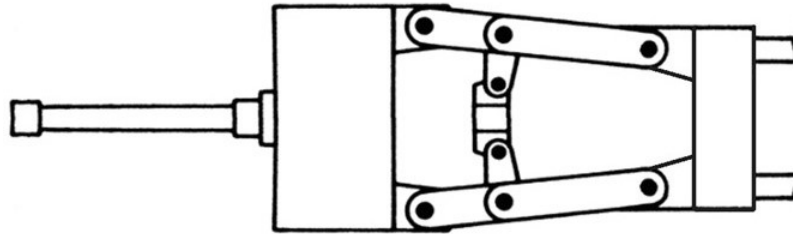
Obrázek 10 Jednoduchý kloubový mechanismus s hydraulickým pohonem, a) otevřený, b) uzavřený [14]

Mezi výhody kloubových mechanismů patří:

- úsporná konstrukce, jež nevyžaduje výrazně vyšší nároky na velikost stroje,
- vysoká rychlost posuvu (500-1200 mm/s), zajištěna malým rozměrem pohonného pístu a tím i krátkým zdvihem,

- i přes vysoké rychlosti chrání formu proti mechanickému poškození,
- malá spotřeba oleje,
- úspora energie.

Pro uzavírací jednotky vyžadující vyšší tuhost, jsou vhodné vícebodové kloubové mechanismy. [14]



Obrázek 11 Vícekloubový mechanismus: 4–kloubový [14]

### 2.3.3 Řídící jednotka

Slouží k řízení a obsluze vstřikovacího stroje. Systém řídicí jednotky, jež používáme k aplikaci a sledování konkrétních technologických parametrů vstřikovacího stroje, již dnes nejčastěji ovládáme pomocí komunikačního rozhraní stávajícího z dotykového displeje. [14]

### 3 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Nejdůležitější úlohou vstřikovací formy je doprava roztaveného polymeru do dutiny formy, jenž má tvar negativu budoucího výrobku, a její naplnění. Celkově má forma 3 funkce, a to:

- doprava polymeru do dutiny formy a její naplnění,
- odvod tepla přivedeného taveninou polymeru,
- odformování, neboli bezpečné, rychlé a v krátké periodě opakující se vyjmutí dílu z pracovního prostoru formy.

Vstřikovací formy jsou komplexní nástroje, složené z mnoha komponentů, čemuž odpovídá velké množství požadavků, jenž forma musí splňovat a taktéž její cena. Vstřikovací forma není ve vstřikovacím stroji umístěna napevno, ale dá se ze stroje vyjmout a nahradit jinou. Je tak z důvodu, že nároky a požadavky na formu se mění podle specifikací daného výrobku a pro každý výrobek tedy musí být zkonstruována unikátní forma. Formy můžeme z konstrukčního hlediska dělit:

- podle násobnosti (jednonásobné, vícenásobné),
- podle způsobu zaformování (dvoudeskové, třidedkové),
- podle konstrukce vstřikovacího stroje (s vstřikem do dělicí roviny, s vstřikem kolmo na dělicí rovinu). [15]

#### 3.1 Postup konstrukce vstřikovací formy

Při konstrukci plastového dílu je nutno brát v úvahu chování materiálu při vstřikování a v porovnání s výrobkem plechovým je jeho konstrukce výrazně složitější. Tvar dutiny formy musí zajišťovat především vhodné zaformování, jelikož je tímto určena volba dělicí roviny, na kterou se váže celá koncepce formy s vtokovým systémem, s vyhazováním, temperací, odvzdušněním apod.

První částí návrhu formy je vytvoření modelu výrobku v 3D softwaru a následné upravení geometrických detailů zajišťující vhodné technologické vlastnosti. Dále se navrhne co nejjednodušší umístění dělicí roviny, jejíž správné umístění zajišťuje plynulé vyjmutí výrobku z formy a snižuje výskyt vzhledových vad na plochách, kde jejich výskyt není možný. Použitím topologických operací mezi modelem a dělicí rovinou se vytvoří tvarové vložky formy, jejíž rozměry se upraví vzhledem ke smrštění, výrobní toleranci nebo

opotřebení dutiny (pro velké série). Následně se navrhne konstrukce temperovacího a vyhazovacího systému, systému na odvodušnění a sestava formy se doplní o další standardizované komponenty, například desky, sloupky, vedení, spojovací díly apod. Nestandardní díly je potřeba vymodelovat samostatně. Zvolí se konstrukce rámu formy, druh vystředění, upnutí formy a provede se kontrola funkčních parametrů formy s ohledem na vybraný vstřikovací stroj. [16, 18]

## **3.2 Vtokový systém**

Zajišťuje naplnění dutiny formy taveninou v nejkratším možném čase, s minimálními odpory a snadným vyhozením výstřiku z prostoru formy. O návrhu vtokového systému musí být rozhodnuto v počátku konstrukčního návrhu formy. Při konstrukci vtokového systému, musíme brát v potaz rozměry a vlastnosti výstřiku, druh použitého materiálu a jeho spotřebu nebo energetickou náročnost výroby. Tyto parametry taktéž rozhodují, zda se pro formu použije studený nebo horký vtokový systém. [15, 16]

### **3.2.1 Násobnost formy**

Je důležitá pro správné rozvržení vtokového systému. Určuje počet dutin formy, tedy počet výrobků, které vyrobíme za jeden pracovní cyklus. Násobnost závisí na velikosti a tvaru výrobku, což znamená, že vícenásobné formy použijeme především pro tvarově jednoduché a menší výrobky. Pro vícenásobné formy je důležité zajistit stejnoměrné naplnění všech dutin formy. Vzhledem k tomu je nejlepší zvolit tvarové uspořádání tvarových dutin do hvězdy, jehož vtokový kanál, je na rozdíl od uspořádání v řadě, pro každý výstřik stejně dlouhý. [15, 16]

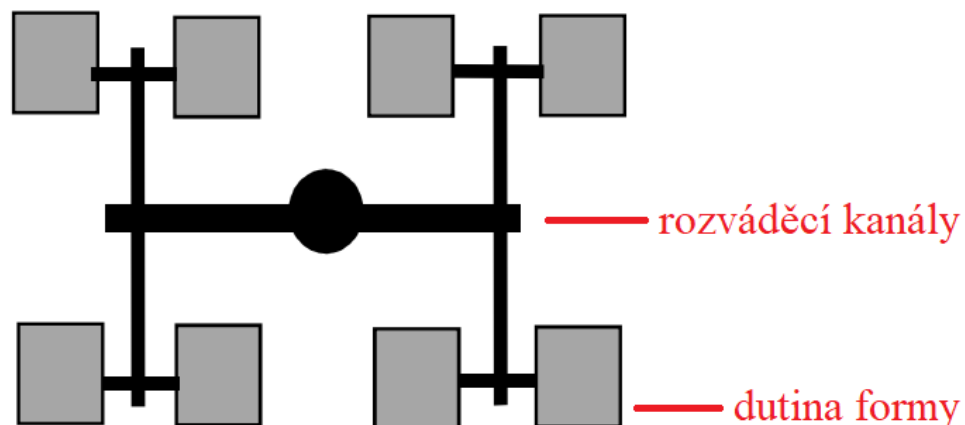
### **3.2.2 Studené vtokové systémy**

Jsou používány pro tvarově jednodušší výstřiky a malosériovou výrobu a sestávají ze 3 hlavních částí:

- hlavní vtokový kanál (vtoková vložka),
- rozváděcí kanály,
- ústí vtoku.

**Hlavní vtokový kanál (vtoková vložka)** – Je první částí vtokového systému, která se dostává do kontaktu s taveninou a ústí přímo do dutiny formy nebo do rozváděcích kanálů. Hlavní vtokový kanál je umístěn uvnitř vtokové vložky, na kterou je pomocí středících kroužků vystředěna tryska vstřikovacího stroje. Vtokové vložky jsou vyráběny v normalizovaných rozměrech z houževnatých materiálů s tepelným zpracováním, jelikož jsou vystavovány tepelnému a mechanickému namáhání. Aby nedocházelo k problému při vyhození zbytku vtoku z formy, je vtokový kanál směrem k dělicí rovině rozšiřován. [15, 17]

**Rozváděcí kanály** – Jejich funkce je dopravení taveniny od hlavního vtokového kanálu k ústí do dutiny formy. Velikost kanálu volíme dle moldflow analýzy a jejich počet a délku podle typu a násobnosti formy. Příliš velký průřez kanálu zvyšuje délku vstřikovacího cyklu a zvyšuje množství odpadu. Příliš malý průřez pak může mít za následek nežádoucí nárůst vstřikovacích tlaků. Při průchodu materiálu rozváděcím kanálem dochází působením temperačního systému k ochlazování materiálu a tvorbě zamrzlé vrstvy na stěně kanálu. Tento problém minimalizujeme volbou vhodného tvaru průřezu rozváděcího kanálu, což je průřez kruhový. Délka kanálu by měla být konstruována co nejkratší a pro dosažení plnění stejnou rychlostí, tlakem i stejnou teplotou taveniny, by u vícenásobných forem jejich rozvržení mělo být symetrické k toku taveniny. [15, 17]



Obrázek 12 Příklad symetrického rozvržení rozváděcích kanálů [17]

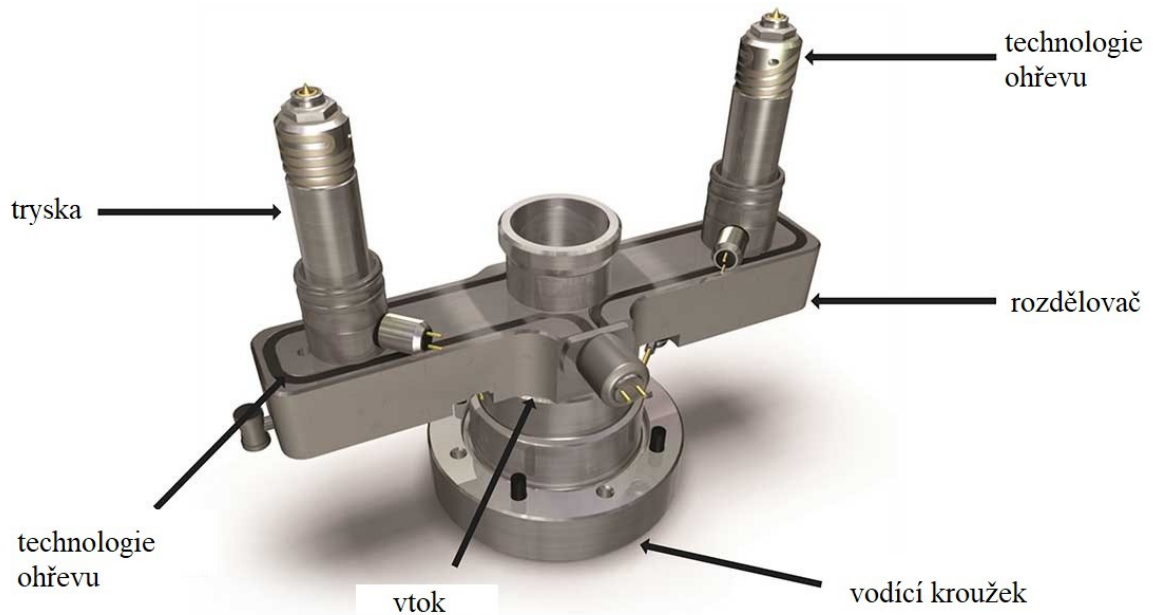
**Ústí vtoku** – Je to zúžená část rozváděcího kanálu. Mělo by být konstruováno co nejmenší, aby na výrobku zanechávalo co nejmenší vizuální stopy a zajistilo spolehlivé naplnění dutiny formy.

K nejčastějším provedení vtoků patří:

- Plný kuželový vtok, vhodný pro jednoduché symetrické výrobky s tlustšími stěnami. Předností je jednoduchost a snadná výroba, nevýhodou naopak pracné odstranění zbytků vtoku. [16], [17]
- Bodový vtok, vhodný pro tenkostěnné výrobky. Vtok je kuželovitě rozšířen, což zajišťuje oddělení vtoku od dílu při vyjmutí z formy. Nevýhodou je větší stopa po vtoku. [17]
- Tunelový vtok, jež je zvláštním případem bodového vtoku, avšak mnohem náročnější na výrobu. Výhodou je možné plnění dutiny formy mimo dělicí rovinu. Je nutné vytvořit ostrou hranu, která oddělí vtokový zbytek od výstřiku a k oddělení tedy dochází při otevření formy nebo při vyhození výstřiku. Pro jeho složitou výrobu se používá zejména u vzhledově náročných výrobků. [16]
- Filmový vtok, využíván především pro tenké ploché díly a plněné plasty. Nevýhodou je odstranění vtokového systému až po vyjmutí výrobku z formy. [17]
- Banánový vtok, jehož vtokové ústí můžeme umístit do spodní části dílu, čímž zamezíme vzniku nežádoucích stop na pohledové straně výrobku. Nevýhodou je složitá výroba a prostorová náročnost. Používá se místo tunelového vtoku, když není možné zaústění vtoku do boku vstřikovaného dílu. [17]

### 3.2.3 Vyhřívané vtokové systémy

Vzhledem k vyšším požadavkům na tuhost a přesnost forem, vlivem tepelného a mechanického namáhání rozvodných kanálů vyhřívaného vtoku, je použití tohoto vtokového systému vhodné především pro velkosériovou a hromadnou výrobu. Princip spočívá v udržení taveniny v tekutém stavu ve vtokovém systému po celou dobu vstřikovacího cyklu, což nám zajišťuje lepší přenos tlaku, menší spotřebu materiálu (nevzniká téměř žádný odpad v podobě vtokového systému) a celkově vyšší produktivitu vstřikování. Materiál nejprve prochází vtokovým ústím do rozdělovače, kde se rozdělí do trysek, skrz které putuje do dutiny formy. Množství trysek závisí na vyráběných plastových dílech, jejich počet může být od 1 až přes 192. [15], [16], [19]



Obrázek 13 Části vyhřívaného vstřikovacího systému [20]

**Vodící kroužek** – Zajišťuje spolehlivé připojení formy se vstřikovacím strojem.

**Vtok** – Jedná se o vstupní otvor, kudy materiál vstupuje do vyhřívaného systému z trysky vstřikovacího stroje. V závislosti na druhu materiálu a konstrukci horkého vtoku, může být pro lepší optimalizaci vstřikovacího procesu, tento díl vyhříván.

**Rozdělovač** – Jeho funkce je distribuce materiálu do jednotlivých trysek. Využití nalézají u forem s více vstřikovacemi dutinami nebo pokud je potřeba více než jedna tryska na díl.

**Tryska** – Skrz trysku vstupuje materiál do dutiny formy. Vyrábějí se z různých materiálů, aby vždy nejlépe vyhovovaly dané aplikaci.

**Technologie ohřevu** – Výrazně ovlivňuje celkový proces vstřikování a kvality výsledného dílu. Volba horkého vtoku závisí na druhu vstřikovacího procesu, výkonnosti dílu, spolehlivosti a ceně.

S rostoucím počtem polymerních materiálů a vyšší složitostí forem je použití vyhřívaných vtokových systémů v hromadné výrobě téměř nezbytné. S použitím horkých vtoků s pokročilou tepelnou regulací je zpracování široké škály materiálů praktičtější a pro výrobce vstřikovaných dílů, navzdory vyšší pořizovací ceně, výhodnější. [20]



### 3.3 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém slouží k bezpečnému vyjmutí vstříkovaného výrobku a v případě použití studeného vtoku i k odstranění vtokové soustavy z prostoru formy. Proces vyhození dílu začíná obecně otevřením formy a vysunutím vyhazovacího mechanismu, čímž dochází ke kontaktu vyhazovačů s dílem, jenž je z formy vyjmut a vlivem gravitace padá do prostoru pod vstříkovací formou. Poté se zpětným pohybem pohyblivá část formy s vyhazovacím paketem vrátí do výchozí pozice a po vstříku taveniny do dutiny se proces opakuje. Řešení vyhazovacího systému by mělo být co nejjednodušší, tzn. s použitím klasických vyhazovačů. Pro složitější díly nebo díly s příliš tenkou stěnou ve směru odformování, je nutné využít dalších vyhazovacích prvků, například stírací desky.

Pro spolehlivé vyhození je důležité splnit základní podmínky:

- zajištění úkosů a hladkého povrchu stěn ve směru vyhazování,
- zvolení přiměřené vyhazovací síly,
- rovnoměrné vysouvání vyhazovacího systému (opak může vést k přičení a vzniku trvalých deformací),
- správná volba druhu vyhazovačů, jejich tvaru a rozmístění vzhledem k vstříkovanému dílu. [15], [21], [22]

#### 3.3.1 Vyhazovací síla

Pro vyhození dílu z formy musí vyhazovací systém vyvinout potřebnou vyhazovací sílu. Po otevření formy zůstává výstřik vlivem smrštění na tvárníku. Je tedy nutné, aby výstřik zůstal v části formy, kde se nachází vyhazovače.

Velikost vyhazovací síly závisí na:

- velikost smrštění výstřiku ve formě,
- členitosti výstřiku a jakosti povrchu funkčních ploch tvárníku,
- technologických podmínkách vstříkování,
- pružných deformacích formy. [22]

### 3.3.2 Počet a rozmístění vyhazovačů

Musí být takové, aby zajistilo rovnoměrné rozprostření vyhazovací síly po celé ploše výstřiku.

Vyhazovače se umísťují:

- proti co největšímu množství materiálu, tzn. proti svislým stěnám a žebrům,
- na vnější okraje výlisku,
- do míst s obtížným odformováním (otvory a hluboké vybrání),
- na prvky výlisku, u kterých hrozí jejich ohnutí při vyjímání,
- u studené vtokové soustavy proti hlavnímu vtokovému kanálu a na rozváděcí kanály v blízkosti vtoků.

Vyhazovače by se naopak neměly umísťovat:

- do pohledových ploch (dochází ke vzniku stopy),
- na funkční plochy s nároky na vyšší přesnost a jakost. [21]

### 3.3.3 Mechanické vyhazování

Jedná se o nejrozšířenější systémy vyhazování, jejichž konstrukce může mít následující provedení.

**Vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků** – Je nejjednodušším a nejlevnějším způsobem vyhazování výstřiků z formy. Jejich aplikace je možná tam, kde je možné jejich umístění proti ploše výstřiku ve směru vyhození. Nejčastěji mají válcovitý tvar, jsou snadno vyrobitelné, a především dostatečně tuhé.



Obrázek 14 Vyhazovací kolíky [24]

**Vyhazování stírací deskou** – K odformování výstřiku dochází použitím tlaku po celém jeho obvodu. Díky lepšímu rozložení tlaku na ploše výstřiku dochází k minimálním deformacím a téměř nedochází ke vzniku stop po vyhazovačích. Je vhodné pro tenkostěnné výrobky a díky vzniku velké stírací síly i pro rozměrově velké výrobky, kde je k vyhození nutná velká vyhazovací síla.

**Vyhazování trubkovými vyhazovači** – Je speciálním případem stírání tlakem, kdy vyhazovač s otvorem funguje jako stírací deska a zároveň jako vyhazovací kolík. Vyhazovací kolík je umístěn v pevné desce, nepohybuje se a tvoří jádro.

**Vyhazování pomocí šikmých vyhazovačů** – Vyhazovací kolíky nejsou uloženy kolmo k dělicí rovině, ale pod různými úhly. Jedná se o speciální způsob mechanického vyhazování, využíván pro menší a středně velké výstřiky s mělkým vnitřním, nebo vnějším zápichem. [23]

#### 3.3.4 Vzduchové vyhazování

Princip spočívá v přívodu stlačeného vzduchu mezi výstřik a líc formy, čímž dochází k oddělení výstřiku od tvárníku a snížení potřebné síly na vyjmutí výstřiku z formy. Používá se v kombinaci s mechanickými vyhazovači pro výrobky větších rozměrů a složitějších tvarových ploch, kde záleží na kvalitě vzhledové plochy. [21, 22]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Za cíle pro splnění bakalářské byly zvoleny následující:

- vypracovat literární studii pro zadané téma,
- provést konstrukci 3D modelu zvolené součásti,
- navrhnout 3D sestavu vstřikovací formy pro výrobu zvolené součásti,
- nakreslit 2D sestavu vstřikovací formy doplněnou o kusovník.

Teoretická část bakalářské práce pojednává v první řadě o materiálech vhodných ke vstřikování, jejich stručném rozdělení a způsobech zpracování. Dále představuje základní princip technologie vstřikování, stručný popis vstřikovacích strojů, a především postup návrhu vstřikovacích forem a jejich vybraných částí.

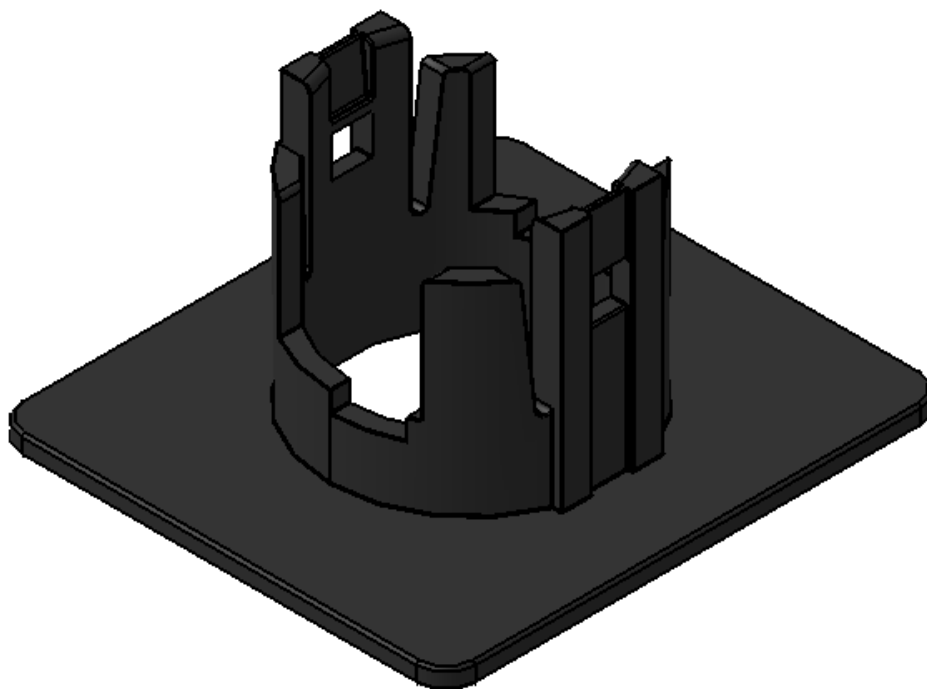
Praktická část se zabývá návrhem formy pro držák parkovacího senzoru automobilu. Návrh modelu formy v 3D prostředí a 2D výkresová dokumentace byly zhotoveny v programu Catia V5R19. K vkládání normálíí pro model formy byla využita knihovna od firmy Meusburger.

## 5 CHARAKTERISTIKA VSTŘIKOVANÉHO DÍLU

Předlohou pro vstřikovaný díl je držák parkovacího senzoru automobilu. Materiálem pro výrobu dílu je PP EPDM – T20, tedy polypropylen s 20 % přídavkem mastku. Materiál disponuje vysokou rázovou pevností, vysokou tekutostí, vynikajícím poměrem mezi houževnatostí a tuhostí, dobrou rozměrovou stabilitou a je proto hojně využíván k výrobě plastových součástí automobilů.

Tabulka 1 Vybrané vlastnosti materiálu PP EPDM – T20 [27]

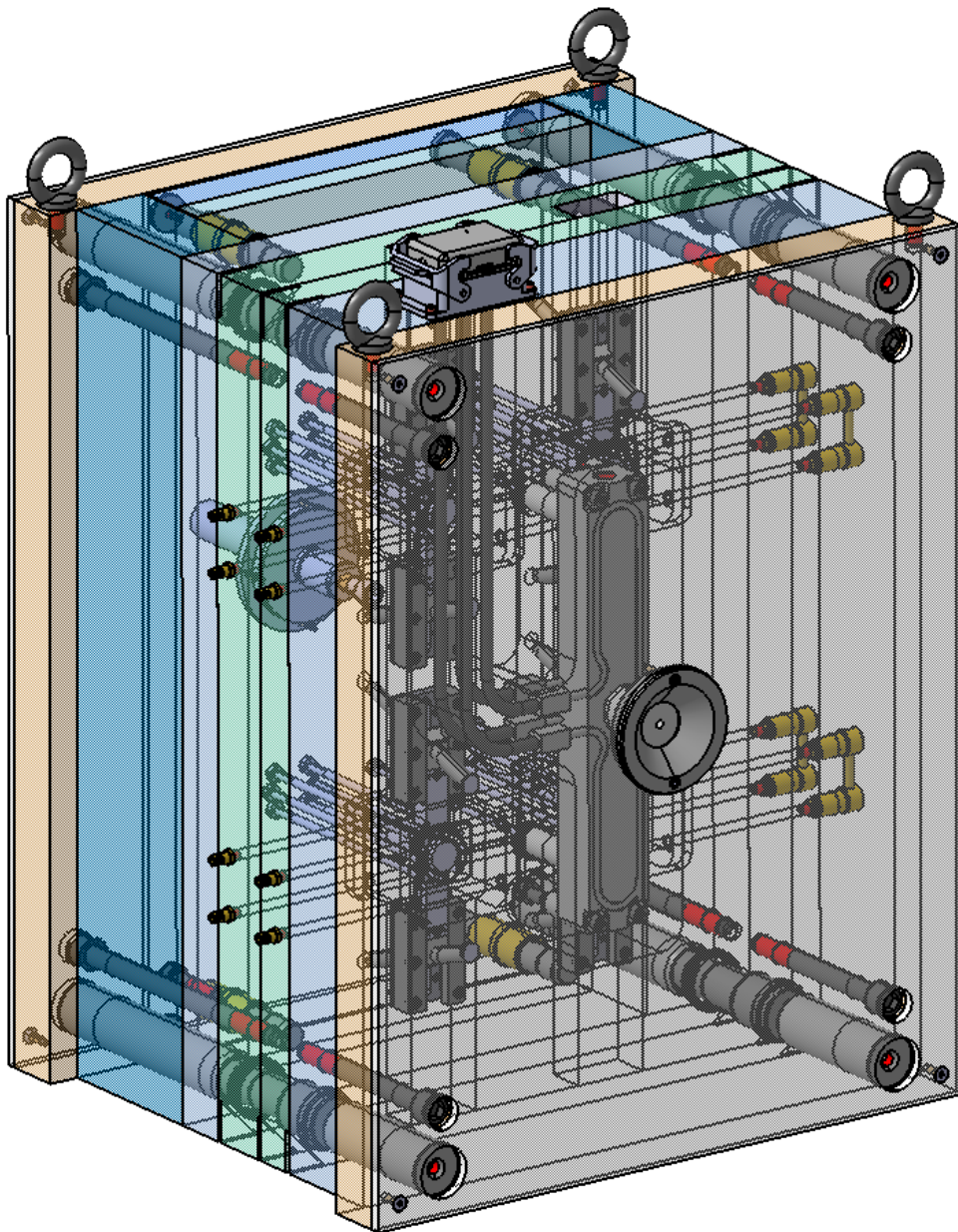
Parametr	Hodnota	Jednotky	Norma
Hustota	1040	kg/m <sup>3</sup>	ISO 1183
Modul pružnosti v tahu	1700	MPa	ISO 527
Mez kluzu	22	MPa	ISO 527
Index toku taveniny	20	cm <sup>3</sup> /10 min	ISO 1133
Teplota tání	230	°C	-
Teplota tání při vstřikování	220-260	°C	-
Teplota formy	30-50	°C	-



Obrázek 15 Model zadaného dílu

## 6 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Konstrukce vstřikovací formy byla provedena v 3D prostředí programu Catia, konkrétně bylo využito prostředí Part Design a Shape Design pro tvorbu tvarových částí formy a nenormalizovaných komponentů, prostředí Assembly Design k zavazbení a okótování jednotlivých komponentů a Mold Tooling Design k vkládání normálií. Pro urychlení konstrukce formy a zvýšení efektivity je výhodné použití normalizovaných komponentů, konkrétně u složitějších součástí jako jsou horké bloky nebo boční odformování, kde je možná konfigurace jednotlivých komponentů vzhledem k rozměrům formy. Zde bylo pro tyto účely využito katalogu firmy Meusburger.

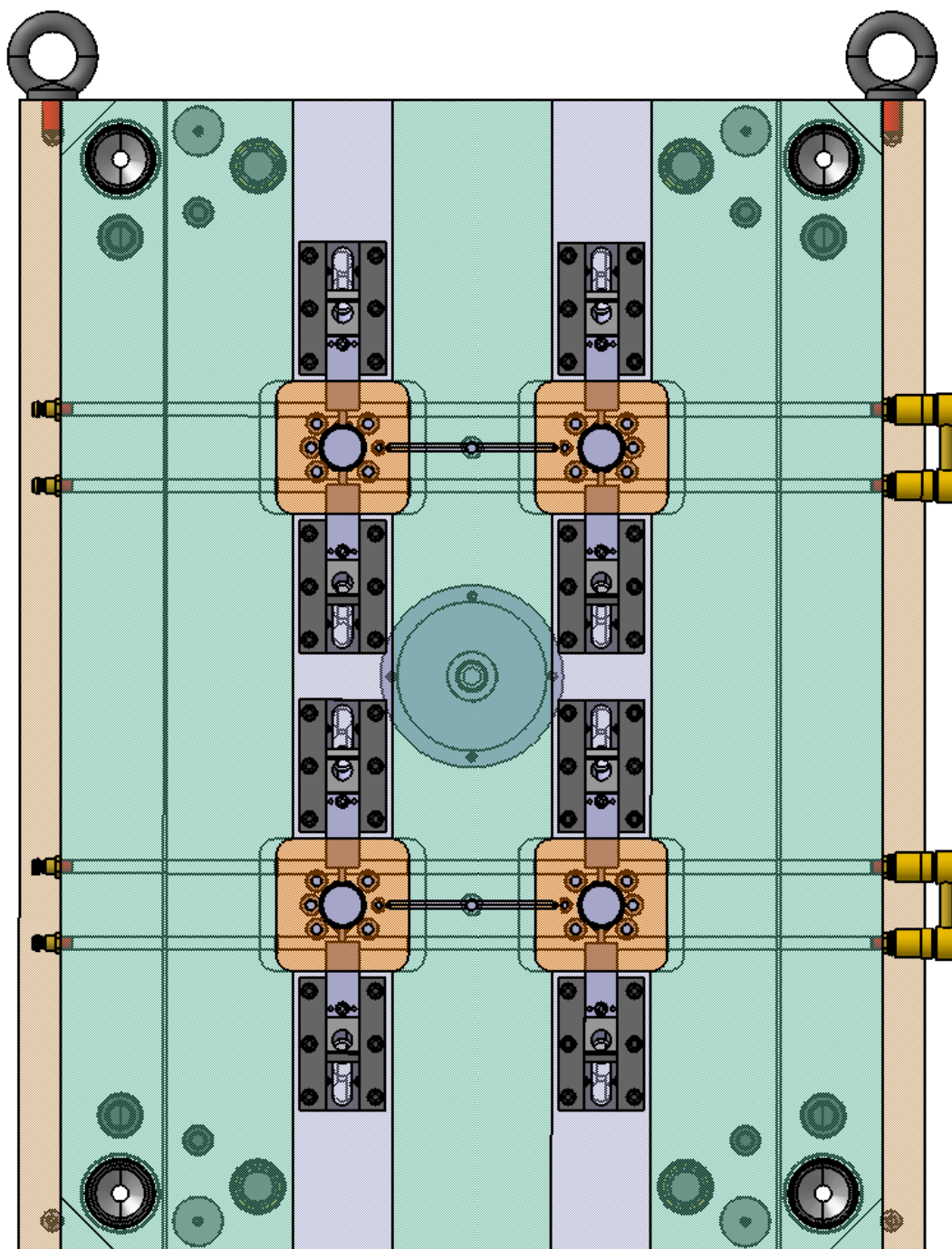


Obrázek 16 Sestava formy



## 6.1 Násobnost vstřikovací formy

Rozhodujícím parametrem při volbě rámu formy a celkové velikosti je násobnost. Z pohledu efektivity výroby je nejvýhodnější zvolit co největší násobnost, zároveň je ale nutné vzít v potaz, že s rostoucí násobností stoupá rovněž míra nepřesnosti a klesá kvalita vyráběného dílu. Zde byla i s ohledem na velikost a složitost výrobku zvolena čtyřnásobná forma.

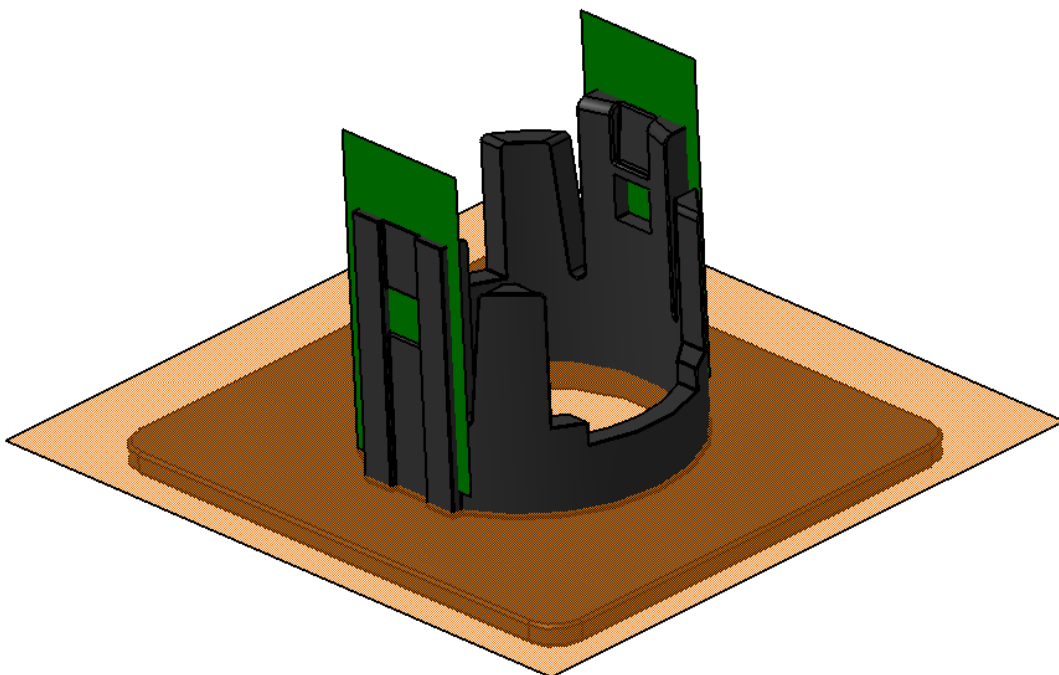


Obrázek 17 Násobnost formy



## 6.2 Volba dělicích rovin

Vhodným zvolením dělicích rovin se předchází problémům při odformování výrobku a vzniku defektů na funkčních vzhledových částech vstřikovaného dílu. Nejdůležitější funkcí dělicí roviny je utěsnění dutiny formy, které je zajištěno působením uzavírací síly kolmo na dělicí rovinu. Hlavní dělicí rovina byla zvolena na spodní straně největší plochy výrobku a vzhledem k otvorům ve výrobku bylo nutné přidat další dvě dělicí roviny po stranách. K odformování je tedy nutné použít 3 dělicí roviny.



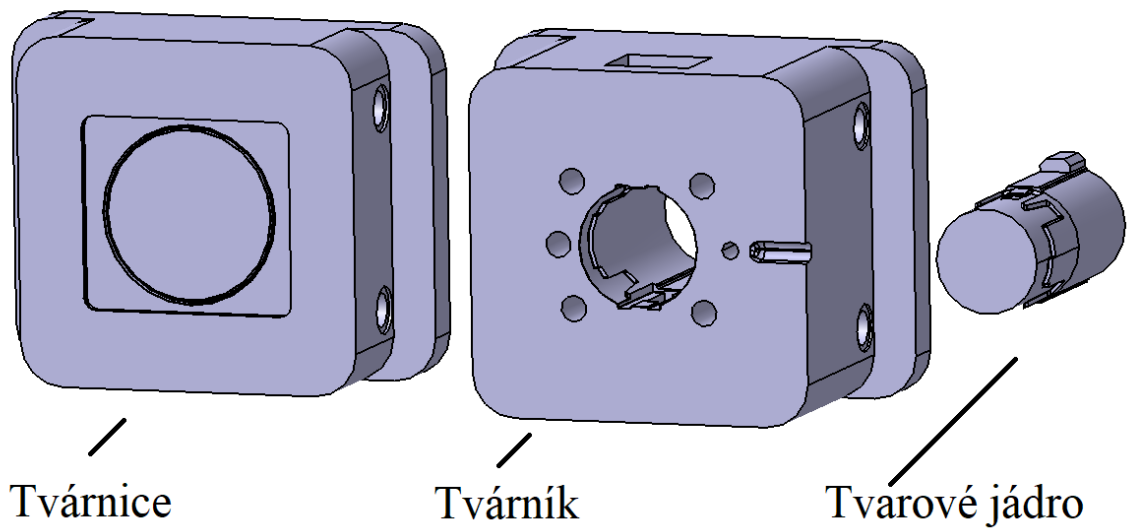
Obrázek 18 Zaznačení dělicích rovin

*Hlavní dělicí rovina – oranžově, vedlejší dělicí rovina – zeleně*

## 6.3 Tvarové části formy

Tvarové části jsou negativem vstřikovaného výrobku a udávají vstřikovanému polymeru požadovaný tvar. Dutiny tvarových částí jsou zvětšeny o smrštění výrobku. V tomto případě tvoří tvarové části tvarové vložky tvárníku a tvárnice a tvarové jádro, které je vsunuto do dutiny tvárníku. Tvárníky s jádry jsou uloženy v kotevní desce pohyblivé formy a tvárnice

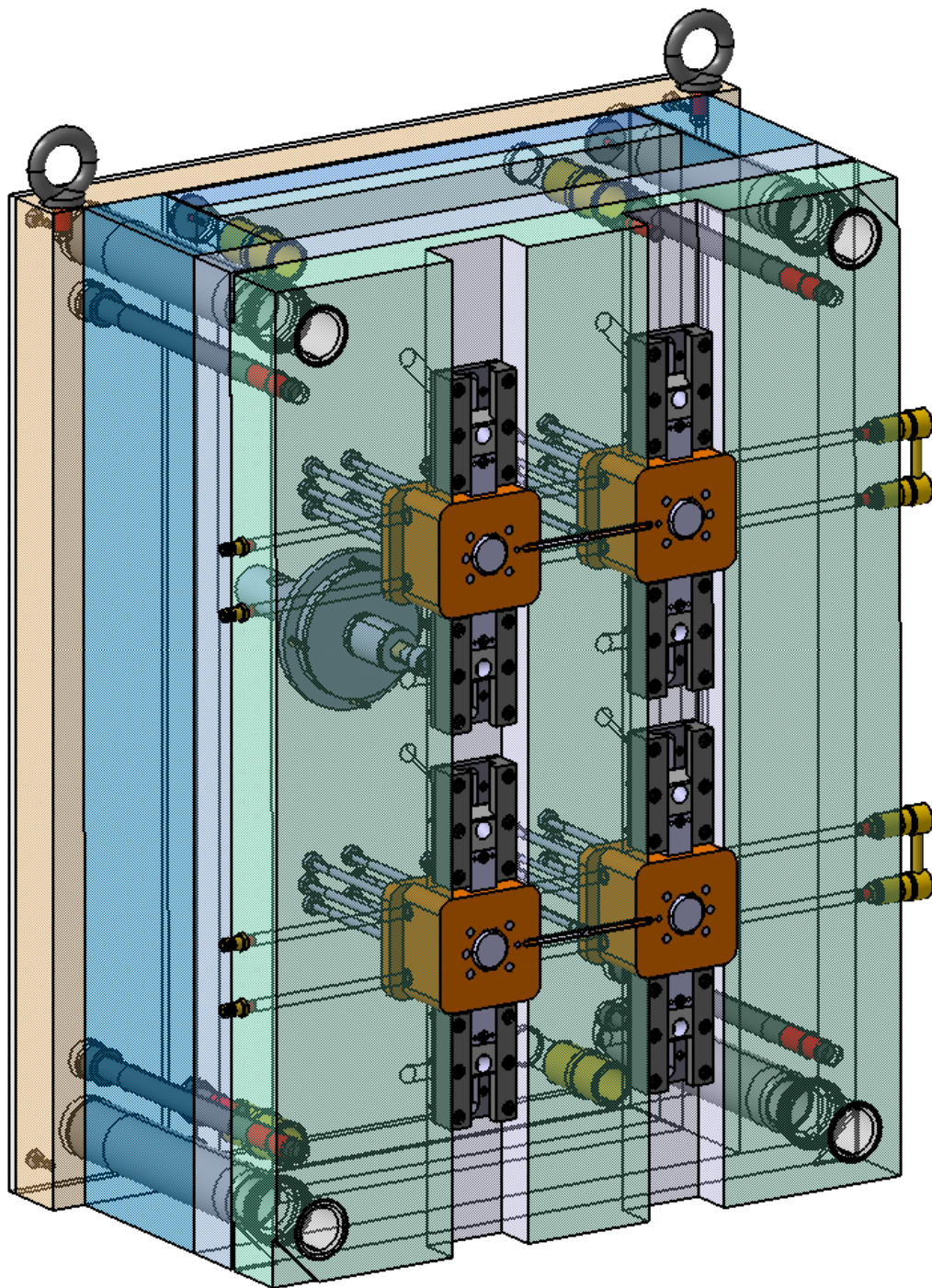
v kotevní desce nepohyblivé části formy. Výhodou použití tvarových vložek a tvarových jader je jejich možná výměna při poškození nebo opotřebení. Tvarové vložky jsou doplněny o otvory pro temperaci a vyhazovače.



Obrázek 19 Tvarové části formy

#### 6.4 Pohyblivá část formy

Při skončení vstřikovacího cyklu dochází k jejímu odsunutí a vyhození výrobku. Pohyblivá část formy je složena z izolační desky, bránící přestupu tepla z formy na stroj, upínací desky se středícím kroužkem a táhlem vyhazovačů. Dále z dvojice rozpěrných desek, mezi nimiž jsou dvě vyhazovací desky s vyhazovači, deska opěrná a deska kotevní, v níž jsou uloženy tvárníky, tvarová jádra tvárníků a systémy bočního odformování.

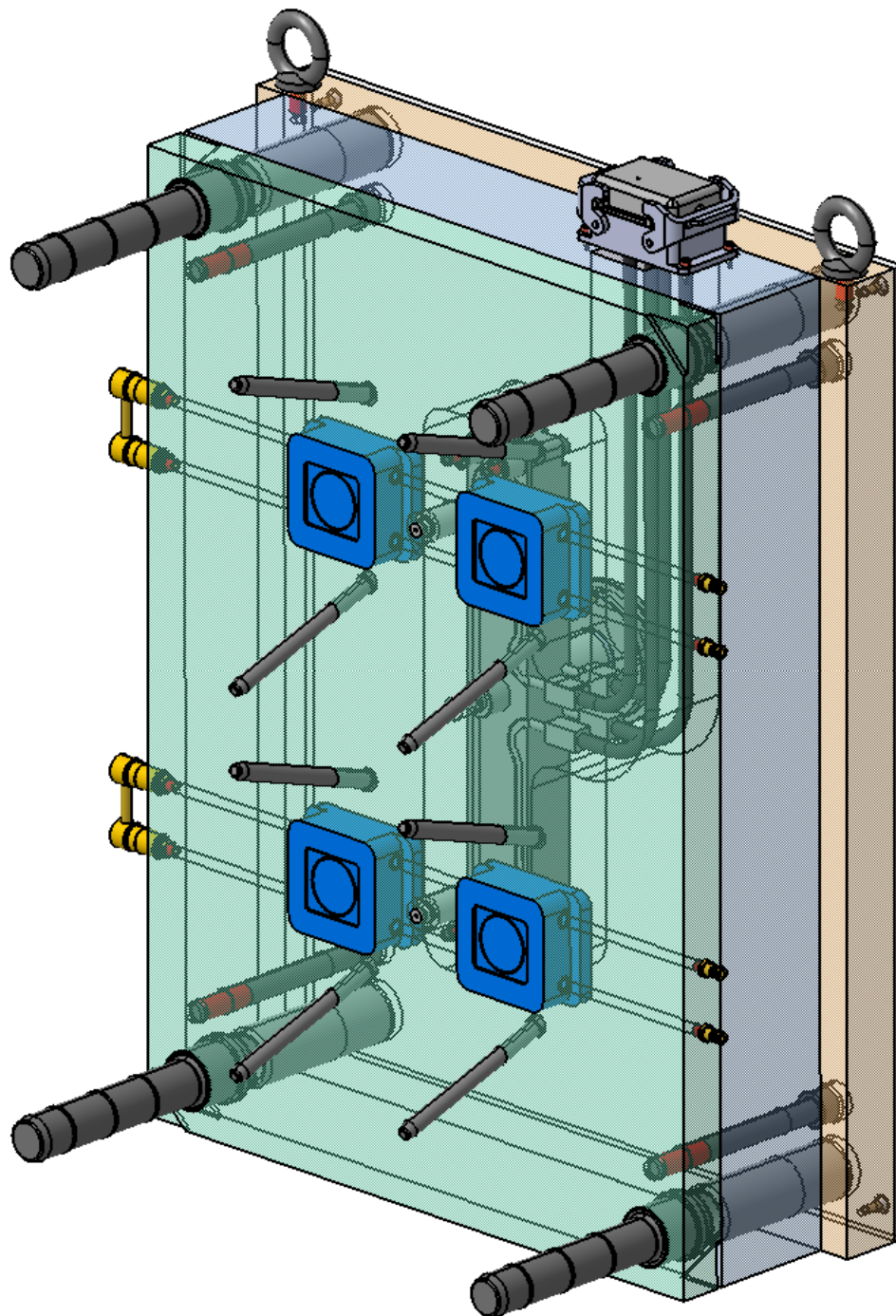


Obrázek 20 Pohyblivá část formy

## 6.5 Nepohyblivá část formy

Je napevno upnuta do vstřikovacího stroje a skládá se z desky izolační, upínací opatřené středícím kroužkem a vtokovou vložkou horkého bloku, opěrná deska s otvorem pro horký blok a kabely vedoucí do horkého bloku. S pohyblivou částí sousedí kotevní deska s tvárnicemi. Nepohyblivá i pohyblivá část formy je doplněna o středící a vodící prvky, zamezující vyosení při pohybu formy.



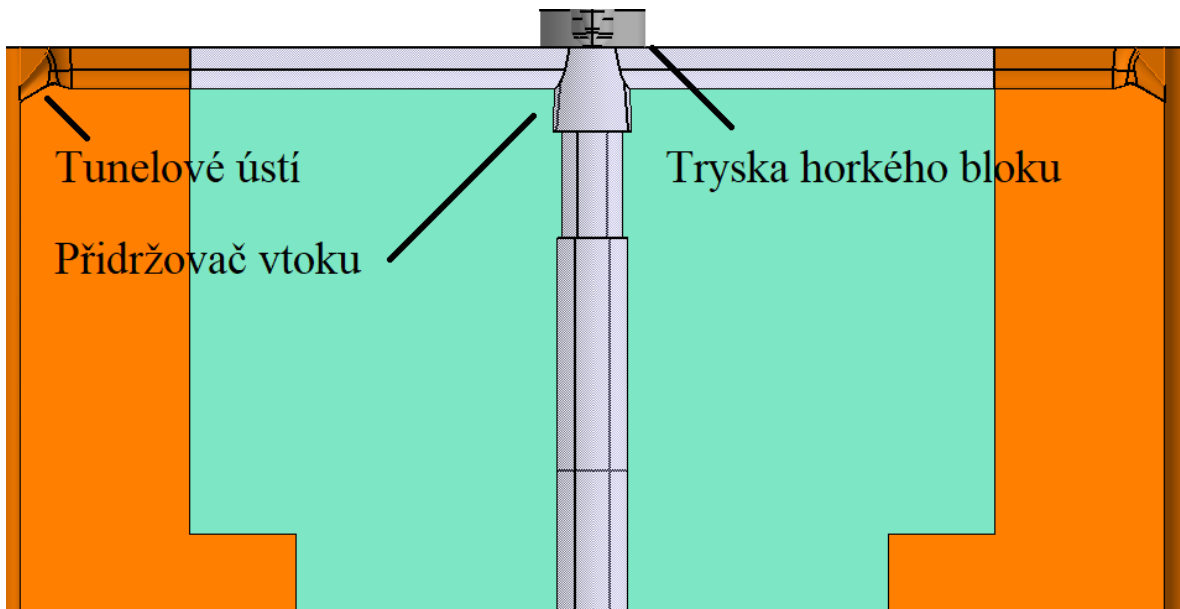


Obrázek 21 Nepohyblivá část formy

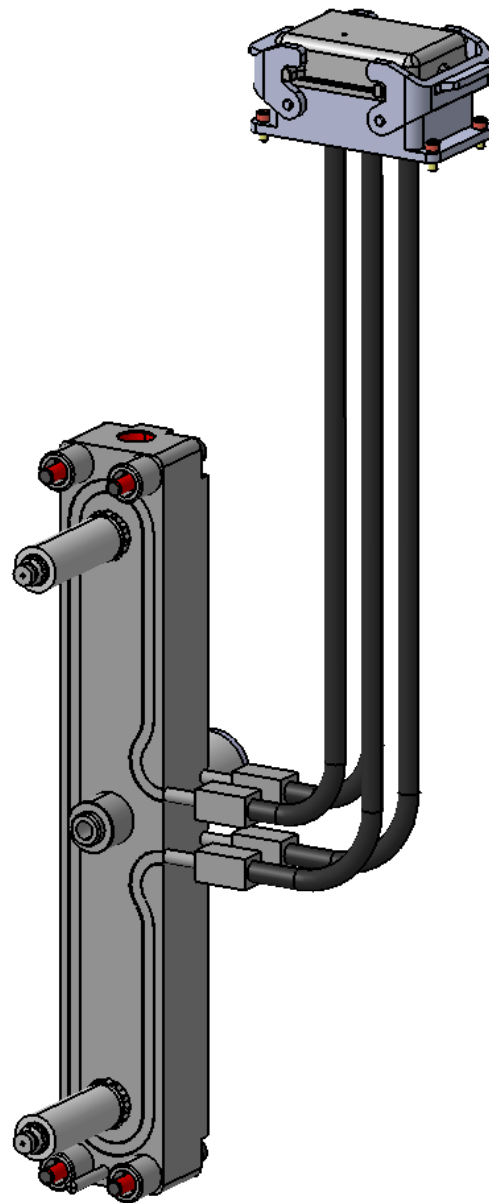
## 6.6 Vtokový systém

Zajišťuje přepravu taveniny do tvarových částí formy. Vzhledem k rozložení a orientaci tvárníku a tvárnice byl zvolen kombinovaný vtokový systém stávající z horkého bloku a dvou trysek, vedoucích do rozvodných kanálů studeného vtoku. Tyto jsou pro snadné odformování opatřeny přidržovači vtoku, jež po otevření formy drží ztuhlý zbytek vtoku na správné straně formy a poté je z formy vyhozen vyhazovači. Pro zajištění samočinného

oddělení vtokové soustavy od vstřikovaného dílu je konec rozvodného kanálu opatřen tunelovým ústím. Tento typ ústí je vhodný pro použití v případě, kdy je nutné plnit dutinu kolmo na povrch dělicí roviny. Jelikož po odstranění vtokové soustavy, zůstává na výrobku nežádoucí stopa, je vtok pomocí tunelového ústí umístěn na nepohledové části výrobku. Samooddělení vtoku je zajištěno ostrou hranou, kterou tvoří seříznutá hrana vyhazovače. Seříznutá hrana zároveň tvoří otvor pro vstup taveniny do dutiny tvárnice.



Obrázek 22 Studený vtokový systém

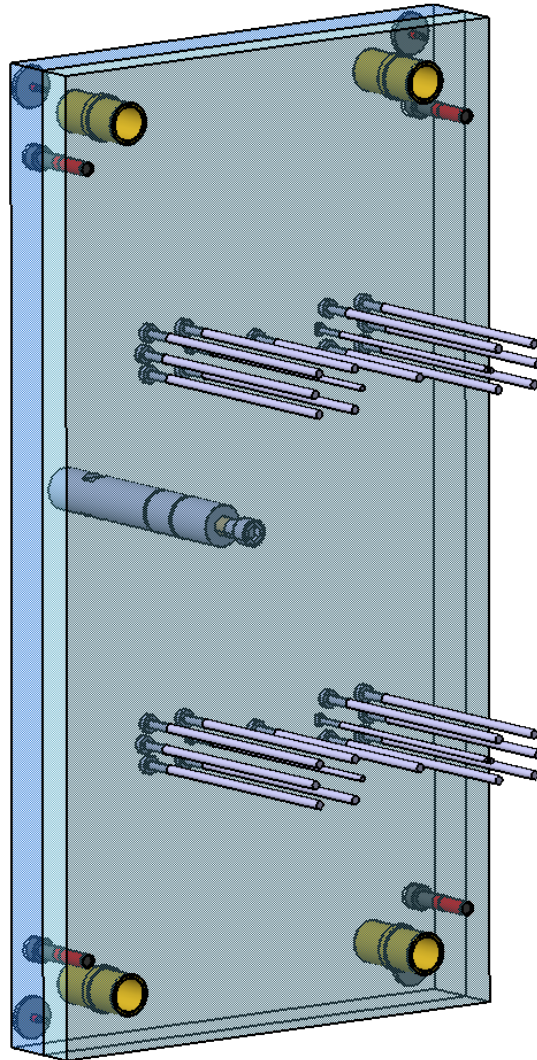


Obrázek 23 Horký blok s kabely a zásuvkou

## 6.7 Vyhazovací systém

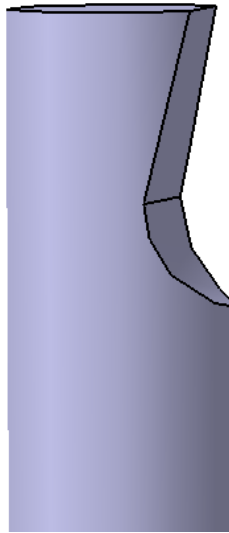
Po otevření formy se dávají do pohybu vyhazovače za účelem vyhození výrobku z dutiny tvárníku. Vyhazovače jsou umístěny ve vyhazovací desce kotevní a jejich pohyb je zajištěn vyhazovacím táhlem, připevněným šroubem k vyhazovací desce opěrné. Táhlo je ovládáno vstřikovacím strojem. Celkem je ve vyhazovacím systému použito 20 vyhazovačů o průměru 6 mm směřujících na nepohledovou stranu výrobku, 4 vyhazovače o průměru 4 mm se zafrézovanou hranou, k vyhození výrobku a odstříhnutí ztuhlé vtokové soustavy a 2

vyhazovače o průměru 6 mm pod přídržovačem vtoku k vyhození zbytku vtokové soustavy. Vyhazovače se zafrézovanou hranou jsou zajištěny proti pootočením seříznutím koncové plošky. Vyhazovače jsou typu E 1710, byly vloženy z katalogu Meusburger a následně zkráceny na požadovanou délku.



Obrázek 24 Vyhazovací systém

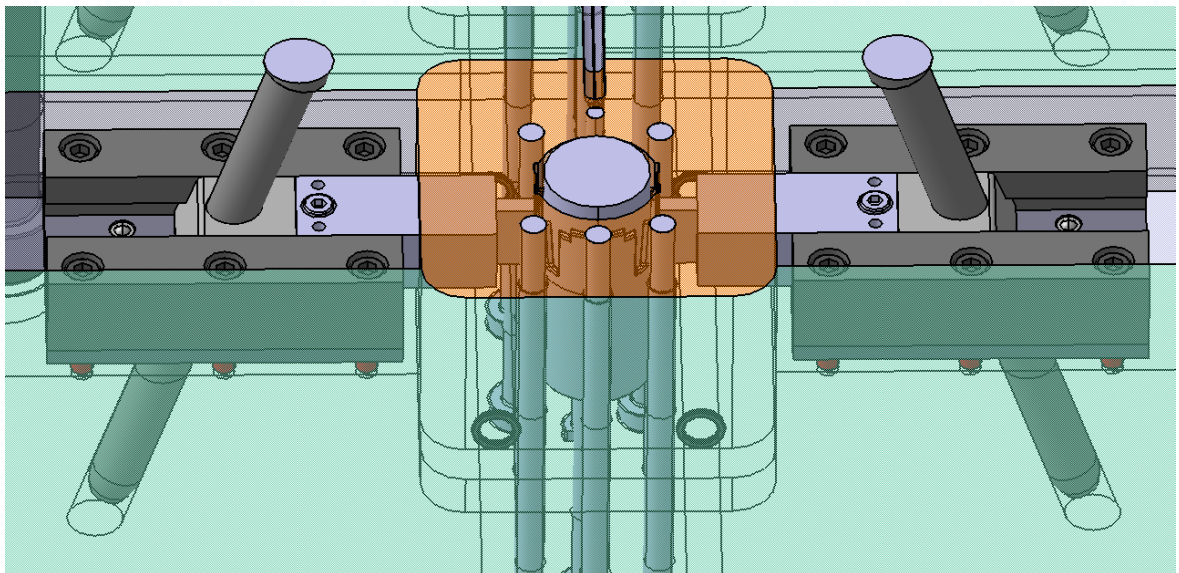




Obrázek 25 Detail zafrézované hrany vyhazovače

## 6.8 Boční odformování

Je použito v případě, kdy je k odformování výrobku z formy potřeba více než jedna dělicí rovina. Zde jsou dvě vedlejší roviny potřeba k odformování otvorů na straně výrobku. Při uzavření formy dosedá tvarová čelist na tvarové jádro tvárníku a při vstříknutí tuto čelist polymer obteče. Při otevírání formy pak čelist připevněná k posuvnému dílu odjíždí po posuvné jednotce díky šikmému kolíku, který je ustaven v nepohyblivé části formy a udává směr pohybu odformování. Pro každý výrobek jsou tak potřeba dva systémy bočního odformování.

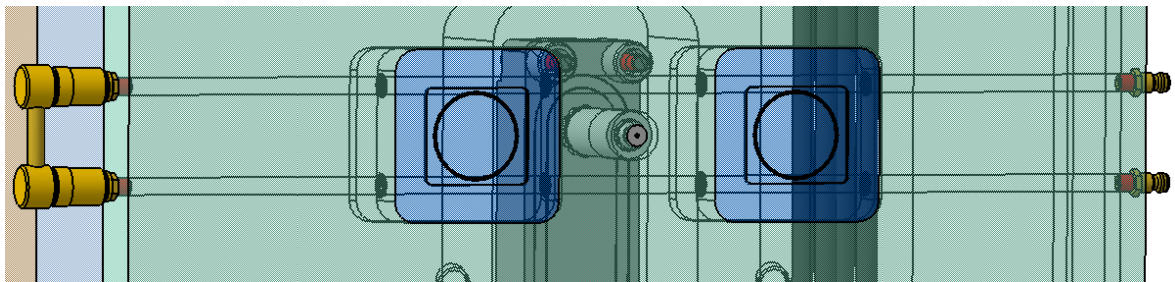


Obrázek 26 Boční odformování

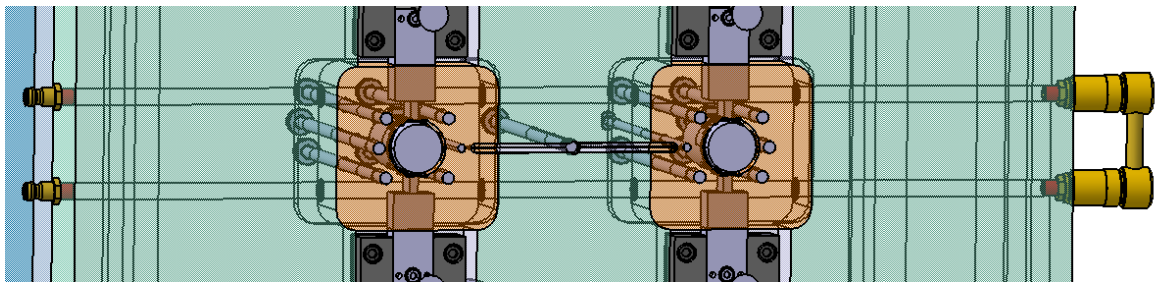


## 6.9 Temperační systém

Konstrukce temperačního systému je nutná z důvodu měnících se teplot formy, snaha je, aby teplotní pole formy bylo stálé. K tomuto účelu slouží soustava vrtaných temperačních kanálů o průměru 8 mm, v nichž proudí temperační médium. Vstup a výstup temperačního média do formy zajišťují rychlospojky, našroubované do kotevních desek pohyblivé a nepohyblivé části formy. Temperační kanály vedou skrz kotevní desky a tvarové vložky, na konci kotevních desek se nachází přemostění. K zamezení úniku temperačního média mezi kotevní deskou a tvarovou vložkou je vždy do tohoto spoje vložen těsnící O-kroužek. Celkem jsou na formě navrženy 4 samostatné okruhy, 2 na každé straně formy.



Obrázek 27 Temperace nepohyblivé části formy



Obrázek 28 Temperace pohyblivé části formy

## 7 VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Při volbě vstřikovacího stroje rozhodují rozměry formy a objem vstřikovaného polymeru. Rozměr upínacích desek formy je 546 x 696 mm. Na základě těchto parametrů byl zvolen vstřikovací stroj ARBURG ALLROUNDER 820 S.

Tabulka 2 Základní parametry vstřikovacího stroje ARBURG ALLROUNDER 820 S [25]

Parametr stroje	Hodnota	Jednotky
Maximální uzavírací síla	4000	kN
Maximální otevírací síla	800	kN
Maximální výška formy	850	mm
Rozměry upínací desky	1171 x 1171	mm
Vzdálenost mezi sloupky	820 x 820	mm
Vyhazovací síla	100	kN
Vyhazovací zdvih	250	mm



Obrázek 29 Vstřikovací stroj ARBURG ALLROUNDER 820 S [26]

## ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout konstrukční návrh čtyřnásobné vstřikovací formy pro držák parkovacího senzoru automobilu.

Literární část práce pojednává o polymerních materiálech, jejich rozdělení a druzích zpracování, dále popisuje technologii vstřikování, vstřikovací stroje a v poslední části především vstřikovací formu, její konstrukci a její vybrané části.

Druhá, praktická část práce je zaměřena na zhotovení návrhu vstřikovací formy, volbu materiálu a vstřikovacího stroje a tvorbu výkresové dokumentace. Materiál byl zvolen PP EPDM T20, tedy polypropylen s 20 % přídavkem mastku, jenž je vzhledem k jeho dobrým vlastnostem vhodný k použití v automobilovém průmyslu. Forma byla navržena jako čtyřnásobná, k jejíž odformování jsou potřeba tři dělicí roviny. Byl zvolen kombinovaný vtokový systém, složený z horkého bloku vedoucího do studeného vtokového kanálku, zakončeného tunelovým ústím. Dále byly skrz formu navrženy celkem čtyři temperační okruhy o průměru 8 mm a forma byla opatřena o 26 vyhazovačů zkrácených na požadovanou délku. K usnadnění manipulace s formou jsou v upínacího deskách našroubována závěsná oka.

Návrh vstřikovací formy byl zhotoven v 3D prostředí programu Catia V5 R19 a normálie vloženy z katalogu firmy Meusburger.

Vzhledem k rozměrům vstřikovací formy byl navržen vstřikovací stroj od firmy Arburg s označením ALLROUNDER 820 S.

V poslední řadě byla zhotovena výkresová dokumentace, jenž sestává z výkresu sestavy formy se zaznačenými řezy, z výkresu s příslušnými řezy a pohledy do levé a pravé části formy a kusovníku.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] BĚHÁLEK, Luboš. Polymery. [online]. 2016, [cit. 06.11.2021]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Impresum.html>
- [2] Vlastnosti plastů a jejich rozdělení. FactoryAutomation.cz [online]. 2014, [cit. 06.11.2021]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/vyznejte-se-ve-vlastnostech-plastu-a-jejich-deleni/>
- [3] DUCHÁČEK, Vratislav, 2011. Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití. Vyd.3., přeprac. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. ISBN 978-80-7080-788-0.
- [4] Difference Between Natural and Synthetic Polymers. Pediaa.Com [online]. 2017, [cit. 14.11.2021]. Dostupné z: <https://pediaa.com/difference-between-natural-and-synthetic-polymers/>
- [5] Učitel chemie [online]. [cit. 14.11.2021]. Dostupné z: [http://ucitelchemie.upol.cz/materialy/vtvch1/vybrana\\_temata\\_pro\\_vyuku\\_chemie\\_1.pdf](http://ucitelchemie.upol.cz/materialy/vtvch1/vybrana_temata_pro_vyuku_chemie_1.pdf)
- [6] Syntetické polymery. ELUC. [online]. [cit. 14.11.2021]. Dostupné z: <https://eluc.krolomoucky.cz/verejne/lekce/2537>
- [7] Technická univerzita Liberec. Technologie II. [online]. [cit. 14.11.2021]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/01.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm)
- [8] PROKOPOVÁ, Irena. Makromolekulární chemie. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2007. ISBN 978-80-7080-662-3.
- [9] Polymery amorfni a semikrystalicke z hlediska vstrikovani. MM Průmyslové spektrum. [online]. [cit. 17.11.2021]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/polymery-amorfni-a-semikrystalicke-z-hlediska-vstrikovani>
- [10] LENFELD, Petr. Technologie vstrikovani [online]. 2015, [cit. 05.12.2021]. ISBN 978-80-88058-74-8. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/Impresum.html>
- [11] ZEMAN, Lubomír. Vstrikovani plastu: teorie a praxe. Praha: Grada Publishing, 2021. ISBN 9788027112944.

- [12] Vady výstříků – 3. díl: Vady vzhledové. MM Průmyslové spektrum [online]. 2001 [cit. 05.01.2022]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-3-dil-vady-vzhledove>
- [13] Injection-Molding Problems in Engineering Thermoplastics [online]. [cit. 05.01.2022] Dostupné z: [https://industries.basf.com/assets/global/corp/en/Plastics-Rubber/Performance\\_Polymers/Services/brochure\\_injection\\_molding\\_pro-blems\\_en.pdf](https://industries.basf.com/assets/global/corp/en/Plastics-Rubber/Performance_Polymers/Services/brochure_injection_molding_pro-blems_en.pdf)
- [14] SEIDL, Martin. Stroje pro zpracování polymerních materiálů [online]. Code Creator, 2015 [cit. 16.02.2022]. ISBN 978-80-88058-71-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/Impresum.html>
- [15] BOBEK, Jiří. Vstříkovací formy pro zpracování termoplastů [online]. Code Creator, 2016 [cit. 23.03.2022]. ISBN 978-80-88058-65-6. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/Impresum.html>
- [16] ŽÁK, Ladislav. Vstříkování plastických hmot: Vstříkovací formy [online]. Fakulta strojního inženýrství – Vysoké učení technické v Brně [cit. 02.04.2022]. Dostupné z: [https://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/cviceni/htn\\_tvareci\\_nastroje\\_vstrikovaci\\_formy\\_zak.pdf](https://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/cviceni/htn_tvareci_nastroje_vstrikovaci_formy_zak.pdf)
- [17] HYNEK, Martin a kolektiv. Studené a živé vtokové systémy [online]. Západočeská univerzita v Plzni, 2013 [cit. 02.04.2022]. Dostupné z: [https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK\\_PU/KA\\_05\\_publikace/KA05\\_Studene\\_a\\_zive\\_vtokove\\_systemy.pdf](https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Studene_a_zive_vtokove_systemy.pdf)
- [18] Návrh vstříkovací formy očima konstruktéra. MM Průmyslové spektrum [online]. 2001 [cit. 03.04.2022]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/navrh-vstrikovaci-formy-ocima-konstruktera>
- [19] Hot Runners vs Cold Runners: Why You Should Be Using a Hot Runner System. Mold Masters [online]. 2020 [cit. 04.04.2022]. Dostupné z: <https://www.moldmasters.com/blog/hot-runners-vs-cold-runners-why-you-should-be-using-a-hot-runner-system>
- [20] What is a hot runner? Mold Masters [online]. 2020 [cit. 04.04.2022]. Dostupné z: <https://www.moldmasters.com/blog/what-is-a-hot-runner>

[21] HYNEK, Martin a kolektiv. Vyhazovací sestava a vyhazovače [online]. Západočeská univerzita v Plzni, 2013 [cit. 06.04.2022]. Dostupné z:

[https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK\\_PU/KA\\_05\\_publikace/KA05\\_Vyhazovaci\\_sestava\\_a\\_vyhazovace.pdf](https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Vyhazovaci_sestava_a_vyhazovace.pdf)

[22] BOBČÍK, Ladislav a kolektiv. Formy pro zpracování plastů II. díl – Vstřikování termoplastů. Brno: Uniplast Brno, 1999, 214 s.

[23] ENGEL [online]. [cit. 10.04.2022]. Dostupné z: <https://www.engelglobal.com/>

[24] MEUSBURGER [online]. [cit. 10.04.2022]. Dostupné z: <https://www.meusburger.com/>

[25] ARBURG. ALLROUNDER 820 S [online]. 2022 [cit. 11.05.2022]. Dostupné z: [https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/Mediathek/Technische\\_Daten/ARBURG\\_ALLROUNDER\\_820S\\_TD\\_525003\\_en\\_GB.pdf](https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/Mediathek/Technische_Daten/ARBURG_ALLROUNDER_820S_TD_525003_en_GB.pdf)

[26] Neue Maschine: ARBURG ALLROUNDER 820S 4000 – 1300. deller plastics [online]. 2012 [cit. 11.05.2022]. Dostupné z: <https://www.dellerplastics.de/neue-maschine-arburg-allrounder-820s-4000-1300/>

[27] Datasheet of AUROcom PP-EPDM TV20 black 9005. Material Data Center [online]. 2022 [cit. 11.05.2022]. Dostupné z: <https://www.materialdatacenter.com/ms/en/Aurocom/Aurora+Kunststoffe+GmbH/AUROcom%C2%AE+PP-EPDM+TV20++black+9005/0fc81901/7605>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

PP	Polypropylen
PE	Polyethylen
PS	Polystyren
PA	Polyamid
PVC	Polyvinylchlorid
PMMA	Polymethylmethakrylát
PTFE	Polytetrafluorethylen
PES	Polyesterové vlákno
PC	Polykarbonát
PET	Polyethylentereftalát
POM	Polyacetal
EPDM	Ethylenpropylendienový kaučuk
PUR pěna	Polyuretanová pěna
T <sub>g</sub>	Teplota skelného přechodu [°C]
T <sub>m</sub>	Teplota tání [°C]
3D	Trojrozměrný prostor
2D	Dvojrzměrný prostor

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1 Molekulární struktura polymerů [1] .....	11
Obrázek 2 Základní rozdělení polymerů [1] .....	12
Obrázek 3 Horizontální bubnová míchačka [7] .....	16
Obrázek 4 Pásová granulace [10] .....	17
Obrázek 5 Granulace za tepla [10] .....	18
Obrázek 6 Granulace za studena [10] .....	18
Obrázek 7 Vstřikovací cyklus [7] .....	21
Obrázek 8 Laminární tok taveniny uvnitř dutiny formy [7] .....	22
Obrázek 9 Vstřikovací stroj [23] .....	24
Obrázek 10 Jednoduchý kloubový mechanismus s hydraulickým pohonem, a) otevřený, b) uzavřený [14] .....	26
Obrázek 11 Vícekloubový mechanismus: 4–kloubový [14] .....	27
Obrázek 12 Příklad symetrického rozvržení rozváděcích kanálů [17] .....	30
Obrázek 13 Části vyhřívaného vstřikovacího systému [20] .....	32
Obrázek 14 Vyhazovací kolíky [24] .....	34
Obrázek 15 Model zadaného dílu .....	38
Obrázek 16 Sestava formy .....	39
Obrázek 17 Násobnost formy .....	40
Obrázek 18 Zaznačení dělicích rovin .....	41
Obrázek 19 Tvarové části formy .....	42
Obrázek 20 Pohyblivá část formy .....	43
Obrázek 21 Nepohyblivá část formy .....	44
Obrázek 22 Studený vtokový systém .....	45
Obrázek 23 Horký blok s kabely a zásuvkou .....	46
Obrázek 24 Vyhazovací systém .....	47
Obrázek 25 Detail zafrézované hrany vyhazovače .....	48
Obrázek 26 Boční odformování .....	48
Obrázek 27 Temperace nepohyblivé části formy .....	49
Obrázek 28 Temperace pohyblivé části formy .....	49
Obrázek 29 Vstřikovací stroj ARBURG ALLROUNDER 820 S [26] .....	50



**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 Vybrané vlastnosti materiálu PP EPDM – T20 [27] .....	38
Tabulka 2 Základní parametry vstřikovacího stroje ARBURG ALLROUNDER 820 S [25] .....	50

## SEZNAM PŘÍLOH

P I: Výkresová dokumentace

