

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**  
**FAKULTA STROJNÍ**

**Studijní program:** B0715A270013 – Strojní inženýrství  
**Studijní specializace:** Konstruování strojů a technických zařízení

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Návrh vstřikovací formy pro víčka PET lahví**

**Autor:** Oldřich SZPUK  
**Vedoucí práce:** Ing. Eva KUBEC KRÓNEROVÁ Ph.D.

Akademický rok 2022/2023

# ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2022/2023

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Oldřich SZPUK**  
Osobní číslo: **S22B0034P**  
Studijní program: **B0715A270013 Strojní inženýrství**  
Specializace: **Konstruování strojů a technických zařízení**  
Téma práce: **Návrh vstřikovací formy pro víčka PET lahví**  
Zadávající katedra: **Katedra konstruování strojů**

### Zásady pro vypracování

Základní požadavky:

Vypracování řešerše na téma vstřikovací formy se studeným/teplým vtokovým systémem. Návrh vstřikovací formy a provedení potřebných výpočtů a analýz (plnění, predikce vad, predikce studených spojů, ...).

Výkresová dokumentace vstřikovací formy (výkres sestavení, seznam položek a výrobní výkresy).

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova práce:

1. Vypracování řešerše na dané téma.
2. Návrh a analýza vstřikovací formy.
3. Vypracování 3D modelu vstřikovací formy
4. Zhodnocení návrhu a výkresová dokumentace.

Konzultant: Ing. Eva Kubec Krónerová, Ph.D.

Rozsah bakalářské práce: **30-40 stran**  
Rozsah grafických prací: **podle potřeby**  
Forma zpracování bakalářské práce: **elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- [1] BEAUMONT, John P. *Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding*. 2nd ed. Cincinnati: Hanser, 2007. xvi, 308 s. ISBN 978-1-56990-421-3 .
- [2] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. Grada Publishing, 2018. 464 stran. ISBN 978-80-271-0614-1 .
- [3] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování plastů*. Praha: BEN – technická literatura, 2009

Podkladové materiály, výkresy, prospekty, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Eva Kubec Krónerová, Ph.D.**  
Katedra konstruování strojů

Datum zadání bakalářské práce: **30. listopadu 2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **26. května 2023**

L.S.

---

**Doc. Ing. Vladimír Duchek, Ph.D.**  
děkan      vedoucí katedry

---

**Prof. Ing. Václava Lašová, Ph.D.**

V Plzni dne 30. listopadu 2022

## Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne: .....

.....

podpis autora

## ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	<b>Příjmení</b> Szpuk	<b>Jméno</b> Oldřich	
<b>STUDIJNÍ PROGRAM</b>	B0715A270013 Strojní inženýrství		
<b>VEDOUcí PRÁCE</b>	<b>Příjmení (včetně titulů)</b> Ing. Kubec Krónerová Ph.D.	<b>Jméno</b> Eva	
<b>PRACOVÍŠTĚ</b>	ZČU - FST – KKS		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>	<b>Nehodící se škrtněte</b>
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Návrh vstřikovací formy pro víčka PET lahví		

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KKS	<b>ROK ODEVZD.</b>	2023
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

### POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	63	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	52	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	11
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b> <b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b>	Bakalářská práce obsahuje řešení na téma vstřikovací formy a technologie vstřikování a designérský návrh vstřikovací formy pro výrobu plastových víček pro PET lahve. Obsahem práce je také počítačová analýza vstřikování navržené formy.
<b>KLÍČOVÁ SLOVA</b> <b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b>	Technologie vstřikování, vstřikovací forma, polymerní materiály, počítačová simulace

## SUMMARY OF BACHELOR SHEET

<b>AUTHOR</b>	Surname Szpuk		Name Oldřich	
<b>STUDY PROGRAMME</b>	B0715A270013 Mechanical Engineering			
<b>SUPERVISOR</b>	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Kubec Krónerová Ph.D.		Name Eva	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KKS			
<b>TYPE OF WORK</b>	<del>DIPLOMA</del>	<b>BACHELOR</b>	Delete when not applicable	
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Design of injection mold for caps of PET bottles			

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	KKS	<b>SUBMITTED IN</b>	2023
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

**NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)**

<b>TOTALLY</b>	63	<b>TEXT PART</b>	52	<b>GRAPHICAL PART</b>	11
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

<b>BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	The bachelor's thesis contains research on the topic of injection molds and injection technology and a design of an injection mold for the production of plastic caps for PET bottles. The content of the work is also a computer analysis of the injection of the designed mold.
<b>KEY WORDS</b>	Injection technology, injection mold, polymer materials, computer simulation

## **Poděkování**

Mé poděkování patří Ing. Evě Kubec Krónerové Ph.D. za odborné vedení práce a veškerý čas, který mi věnovala ve formě konzultací. Taktéž děkuji za cenné rady a doporučené zdroje informací, které mi pomohly danou problematiku pochopit a celou práci zpracovat.

## Obsah

Zadání bakalářské práce .....	2
Prohlášení o autorství .....	4
Poděkování.....	7
Přehled použitých zkratk a symbolů.....	11
Seznam obrázků .....	12
Seznam tabulek .....	13
1 Úvod.....	14
2 Technologie vstřikování.....	15
2.1 Princip technologie vstřikování .....	15
2.2 Vstřikovací stroj.....	15
2.2.1 Vstřikovací jednotka.....	15
2.2.2 Uzavírací jednotka.....	16
2.2.3 Řídící a regulační jednotka .....	17
2.3 Vstřikovací cyklus.....	17
2.3.1 Plastikace materiálu.....	18
2.3.2 Plnění dutiny formy.....	18
2.3.3 Dotlak .....	18
2.3.4 Chlazení výstřiku .....	19
2.3.5 Vyhození výstřiku a vtokového zbytku.....	19
2.3.6 Uzavření formy .....	19
3 Vstřikované výrobky.....	20
3.1 Tloušťka stěn.....	20
3.2 Žebrování.....	21
3.3 Úkosy.....	22
3.4 Zaoblení hran .....	22
3.5 Podkosení.....	22
4 Konstrukce vstřikovací formy .....	23
4.1 Základní funkce a vlastnosti vstřikovací formy .....	23
4.2 Dělicí rovina formy .....	23
4.3 Rám vstřikovací formy .....	24
4.3.1 Upínací desky.....	24
4.3.2 Tvarové desky.....	24
4.3.3 Rozpěry.....	25

4.3.4	Vyhazovací desky .....	25
4.3.5	Kotvící desky .....	25
4.3.6	Manipulační oko.....	25
4.3.7	Středící kroužek .....	25
4.3.8	Přípojky temperačního systému .....	25
4.4	Vodící a centrovací systém .....	26
4.4.1	Vodící systém pohyblivé části vstřikovací formy .....	26
4.4.2	Vodící systém vyhazovacího paketu .....	26
4.4.3	Centrovací pouzdro .....	27
4.4.4	Vracecí kolík.....	27
4.5	Vtokový systém vstřikovací formy .....	28
4.5.1	Studená vtoková soustava.....	28
4.5.2	Vyhřívaná vtoková soustava.....	29
4.5.3	Srovnání vyhřívané a studené vtokové soustavy .....	31
4.6	Temperační systém vstřikovací formy .....	31
4.6.1	Temperační kanály .....	31
4.7	Vyhazovací systém.....	33
4.7.1	Ovládání vyhazovacího systému.....	33
4.7.2	Návrh vyhazovacího systému .....	33
4.7.3	Části vyhazovacího systému .....	33
4.7.4	Druhy vyhazovačů.....	34
4.8	Odvzdušňovací systém .....	34
4.8.1	Odvzdušňovací kanály.....	34
5	Závěr teoretické části .....	35
6	Vstřikovaný díl .....	36
6.1	Materiál víčka .....	36
6.2	Rozměry víčka .....	36
7	Analýza plnění.....	37
7.1	Čas plnění dutiny.....	37
7.2	Jistota plnění .....	37
7.3	Kvalita povrchu výstřiku .....	38
7.4	Studené spoje .....	38
7.5	Shrnutí výsledků simulace .....	39
8	Předběžný návrh vstřikovací formy a jejich systémů .....	40
8.1	Násobnost vstřikovací formy .....	40

8.2	Poloha dělicí roviny.....	40
8.3	Vtokový systém.....	40
8.4	Vyhazovací systém.....	40
8.4.1	Závitové jádro CC-175-PC.....	41
8.4.2	Dvoustupňový vyhazovač předbíhající .....	42
8.5	Volba temperačního systému .....	43
8.6	Rozložení dutin .....	43
9	Návrh desek rámu vstříkovací formy.....	44
9.1	Volba rozpěr.....	44
10	Návrh vodícího a centrovacího systému formy.....	45
11	Návrh temperačního systému .....	46
12	Návrh systému vyhazování .....	48
13	Návrh vtokového systému.....	49
14	Návrh manipulačního systému .....	50
15	Závěr praktické části.....	51
	Seznam použitých zdrojů.....	52
	PŘÍLOHA č. 1.....	i
	PŘÍLOHA č. 2.....	ii
	PŘÍLOHA č. 3.....	iii

## **Přehled použitých zkratk a symbolů**

AS FST	Akademický senát FST
BOZP a PO	Bezpečnost a ochrana zdraví při práci a Požární ochrana
CIV	Centrum informatizace a výpočetní techniky
ČSN	Česká technická norma
EN	Evropská norma
EU	Evropská unie
FST	Fakulta strojní
HW	Hardware
IS/STAG	Informační systém STAG
KKE	Katedra energetických strojů a zařízení
KKS	Katedra konstruování strojů
ZČU	Západočeská univerzita v Plzni

## Seznam obrázků

Obrázek 1 Popis vstřikovací jednotky .....	16
Obrázek 2 Popis uzavírací jednotky .....	16
Obrázek 3 Popis pracovního cyklu vstřikovacího procesu .....	18
Obrázek 4 Porovnání nesprávného a správného návrhu plastového dílu s ohledem na rovnoměrnost tloušťky stěny .....	20
Obrázek 5 Porovnání vnitřních a vnějších rádiusů vstřikovaného dílu .....	21
Obrázek 6 Vznik propadliny na žebrovaném vstřikovaném dílu .....	21
Obrázek 7 Pevná a pojízdná (pohyblivá) část formy .....	24
Obrázek 8 Základní dvoudesková vstřikovací forma .....	26
Obrázek 9 Uzavřená dvoudesková vstřikovací forma (řez A) .....	27
Obrázek 10 Popis systému vyhřívání vtokové soustavy .....	30
Obrázek 11 Základní provedení vyhřívání horkého rozvodu .....	30
Obrázek 12 Příklad použití a montáže záslepky s pryžovým „O“ kroužkem .....	32
Obrázek 13 Systém plochých přepážek .....	32
Obrázek 14 Zapuštění přípojky pro připojení temperačních hadic osazených rychlospojkou .....	33
Obrázek 15 Doporučená konstrukce odvzdušňovacího kanálu .....	34
Obrázek 16 Predikce času plnění dutiny .....	37
Obrázek 17 Predikce jistoty plnění dutiny .....	37
Obrázek 18 Predikce kvality povrchu výstřiku .....	38
Obrázek 19 Predikce studených spojů .....	38
Obrázek 20 Kvalita povrchu pro upravené teploty .....	39
Obrázek 21 Poloha dělicí roviny .....	40
Obrázek 22 Závitové jádro CC-175-PC .....	41
Obrázek 23 Dvoustupňový vyhazovač předbíhající .....	42
Obrázek 24 Funkce dvoustupňového vyhazovače .....	42
Obrázek 25 Rozložení dutin .....	43
Obrázek 26 Návrh rámu vstřikovací formy .....	44
Obrázek 27 Návrh vodícího a centrovacího systému vstřikovací formy .....	45
Obrázek 28 Temperace tvarové desky tvárnice .....	46
Obrázek 29 Temperační systém v upínací desce .....	47
Obrázek 30 Temperační systém v upínací desce a vedlejší kanál uvnitř jádra s přepážkou .....	47
Obrázek 31 Proces odformování 1 .....	48
Obrázek 32 Návrh vyhřívání vtokové soustavy a její uložení .....	49
Obrázek 33 Forma s manipulační pojistkou a závěsnými oky .....	50

## Seznam tabulek

1 Doporučené hodnoty pro návrh temperačních kanálů [1] .....	43
--	----

## 1 Úvod

V dnešní době zaujímají polymery v průmyslové výrobě velmi významnou roli. Využívají se k výrobě mnoha dílů a předmětů a stále častěji nahrazují tradiční materiály jako je například dřevo, ocel, kůže, sklo. Je to dáno především tím, že oproti dílu z tradičního materiálu má plastový díl nízkou hmotnost, je mnohem levnější a dá se vyrábět rychle a efektivně. [2,5]

Metod zpracování plastů je několik, přičemž nejrozšířenější metodou je technologie vstřikování. Je to technologie fungující na principu tváření, při níž je určité množství roztavené hmoty vstříknuto do uzavřené tvarové dutiny formy, kde hmota ochlazením ztuhne a vznikne finální výrobek. Po otevření formy se výrobek vyjme a celý proces se po uzavření formy opakuje [1]. Cílem této bakalářské práce je navrhnout vstřikovací formu, která bude sloužit k výrobě víček pro PET lahve.

## 2 Technologie vstřikování

Technologie vstřikování plastů je cyklický proces tváření polymerů, jehož výsledkem je finální výrobek (výstřik). Proces výroby je velice efektivní a zhotovené výrobky se vyznačují velmi dobrou rozměrovou i tvarovou přesností. Vstřikováním je možné zpracovat téměř všechny druhy termoplastů. Vstřikují se i reaktoplasty a elastomery. Technologií vstřikování je možno vyrobit téměř jakýkoliv tvar během krátkého pracovního cyklu. Zároveň je možné vyrábět několik dílů současně. To určuje násobnost formy. Proto je tato technologie v dnešní době nejrozšířenější způsob výroby polymerních výrobků. [1,4]

### 2.1 Princip technologie vstřikování

Podstata vstřikování spočívá na principu zaplnění kovové formy daným polymerem vysokou rychlostí a při vysokých tlacích. Polymer následně ve formě ztuhne ve finální výrobek a po otevření formy je ho možné vyjmout. Přestože se proces zdá jednoduchý, je proces vstřikování velice komplexní děj vyžadující přesné rozměry formy, správné nastavení pracovních sil, tlaků a teplot a správného načasování.

K celému procesu je potřeba vstřikovací stroj, na kterém je upnuta forma, se kterou zároveň pohybuje. Samotná vstřikovací forma má za úkol dát tavenině požadovaný tvar. Vstřikovací forma se upíná do vstřikovacího stroje, který se skládá ze tří základních částí. První částí je vstřikovací jednotka, která má za úkol přeměnit plastový granulát na taveninu a následně ji vstříknout do formy. Druhou částí vstřikovacího stroje je uzavírací jednotka, která se stará o uzavření či otevření formy a vyjmutí výrobku z formy. A třetí částí vstřikovacího stroje je řízení a regulace. [1,7]

Vstřikovací forma má za úkol dát tavenině požadovaný tvar, následně odvést teplo, aby tavenina ztuhla a poskytnout jednoduché vyjmutí finálního výrobku. Forma musí také odolávat vysokým tlakům a silám. [1]

### 2.2 Vstřikovací stroj

Celý proces vstřikování probíhá na vstřikovacích strojích nazývané též vstřikolisy. Moderní stroje jsou většinou plně automatické, takže je proces velice produktivní a efektivní. Cena vstřikovacích strojů je však značně vysoká. Proto je technologie vstřikování vhodná pouze pro hromadnou a velkosériovou výrobu. [4]

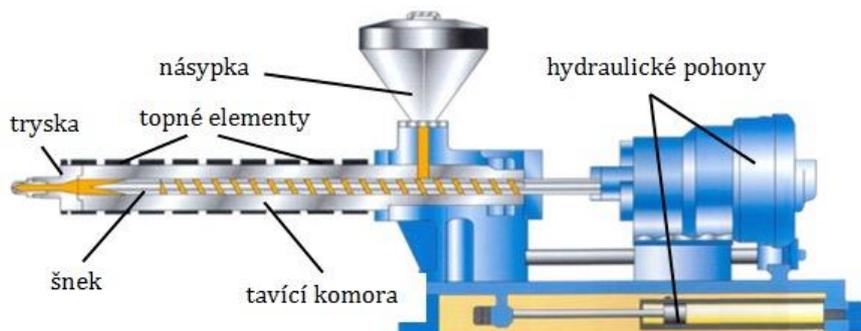
Vstřikovací stroje lze dělit dle směru posuvu pohyblivé desky uzavírací jednotky bez ohledu na pozici vstřikovací jednotky na vertikální a horizontální. Dále se vstřikolisy liší typem pohonu. Stroj je poháněn buď hydraulicky, nebo elektricky. Existují také kombinované pohony, které se nazývají hybridní. Vstřikovací stroje jsou dále specifikované typem zpracovávaného materiálu. [4]

Vstřikovací stroj se skládá ze tří hlavních systémů. Vstřikovací jednotka, uzavírací jednotka a řídicí a regulační jednotka.

#### 2.2.1 Vstřikovací jednotka

Vstřikovací jednotka, někdy nazývaná též plastikační je znázorněna na obr. 1. Úkolem této části stroje je přeměnit materiál ve formě granulátu na taveninu, homogenizovat ji a následně ji vstříknout do formy. Násypka slouží jako zásobník materiálu, odkud je granulát odebírán do tavicí komory. Tavicí komora je obložena topnými elementy, které dodávají komoře dostatečnou energii ve formě tepla, které pak slouží k roztavení materiálu. Uvnitř tavicí komory je šnek se zpětným uzávěrem konající rotační pohyb, posuv v axiálním směru nebo oba pohyby

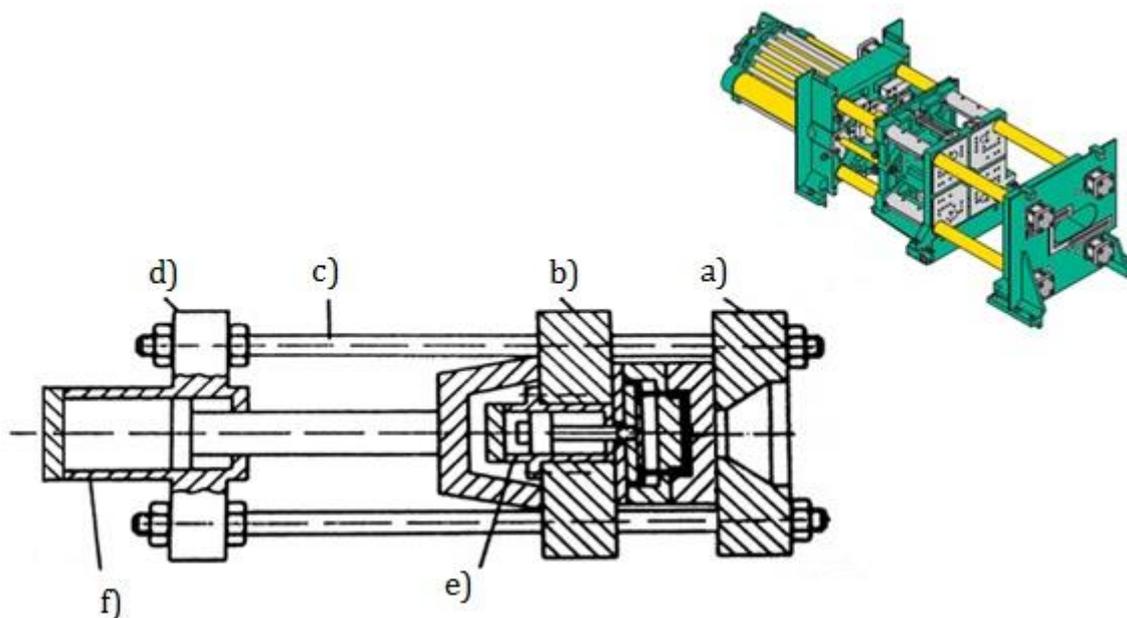
současně. Úkolem šneku je promíchávat materiál, urychlit jeho roztavení a následně ho dopravit směrem k trysce. Díky zpětnému uzávěru je šnek schopen fungovat jako píst. Ve chvíli, kdy je potřeba taveninu vstříknout do formy, posouvá se šnek axiálně dopředu a tlačí veškerou taveninu před sebou až k trysce. Veškerý pohyb šneku je ovládán buď hydraulicky nebo elektricky. [1,4]



Obrázek 1 Popis vstřikovací jednotky

### 2.2.2 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka je zobrazena na obr. 2. Skládá se ze dvou upínacích desek, které jsou vedeny pomocí vodících sloupků. Jedna je pohyblivá a druhá nepohyblivá. Na upínací desky je upnuta vstřikovací forma. Pohyblivá upínací deska se může pohybovat dopředu nebo dozadu, čímž otevírá a zavírá vstřikovací formu během vstřikovacího cyklu. Pohyb zajišťuje buď hydraulický, nebo elektrický pohon. Kromě otevírání a zavírání formy pohybuje uzavírací jednotka také s vyhazovacím paketem. Tento pohyb zajišťuje nejčastěji hydraulický pohon. Důležitým úkolem uzavírací jednotky je udržet formu uzavřenou během vstřikování, a především během fáze dotlaku, kdy je zatížení nejvyšší. V případě selhání a pootevření formy by byl výrobek znehodnocen. Uzamykací síla, což je síla držící formu uzavřenou, je vyvozena buď mechanicky, přičemž dojde k mechanickému zapřícení formy v potřebné poloze nebo hydraulicky, kdy je potřebná uzamykací síla vyvozena hydraulickým pístem. [1,4]



Obrázek 2 Popis uzavírací jednotky (a) Pevná část formy, (b) Pohyblivá část formy, (c) Vodící tyče, (d) Rám stroje, (e) Hydraulický vyhazovač, (f) Hydraulický válec pro ovládání pohyblivé části formy

### 2.2.3 Řídící a regulační jednotka

Jak už vyplývá z názvu, úkolem této jednotky je řízení stroje a regulace vstřikovacího cyklu. Hlavním členem jednotky je regulátor, který přijímá hodnoty měřené přímo na stroji, nebo na formě a porovnává je se zadanými hodnotami. V případě odchylek se snaží hodnoty dorovnat na hodnoty zadané. K tomu využívá regulační prvky, které v daném systému upravují určité parametry. V temperačním systému je to například snižování nebo zvyšování průtoku temperační kapaliny pomocí škrťacího ventilu.

Řídící jednotka pak řídí samotný proces vstřikování buď na povel obsluhy, nebo se řídí podle programu. V současnosti je každý vstřikovací proces programovatelný a díky tomu může probíhat automaticky.

Nedílnou součástí této jednotky je komunikační rozhraní s operátorem stroje nejčastěji ve formě dotykového displeje. Prostřednictvím displeje je možné nastavovat technologické parametry a sledovat naměřené hodnoty. Součástí řídicí a regulační jednotky je i signalizační zařízení, které informuje o průběhu vstřikovacího cyklu a zároveň oznamuje případné poruchy.

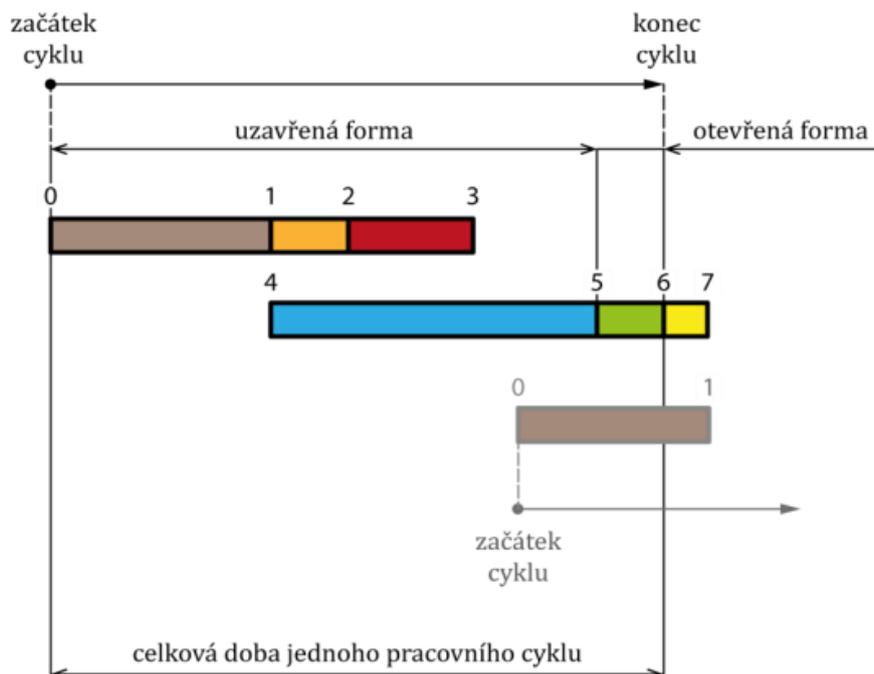
Vstřikovací stroje mohou pracovat ve třech režimech. První režim je plně automatický, při kterém celý vstřikovací cyklus probíhá zcela automaticky dle nastaveného programu, a cykly na sebe plynule navazují bez nutnosti lidské obsluhy. Druhý režim je poloautomatický, kdy probíhá vstřikovací cyklus taktéž plně automaticky dle nastaveného programu, ale každý vstřikovací cyklus je nutné spustit manuálně. Tento režim se používá v případě, kdy je nutné díl z formy vyjmout ručně, nebo v případě kdy se do formy něco zakládá. Třetí režim je zcela manuální. Využívá se především na počátku výroby, kdy je nutné formu seřídít a zkontrolovat že vše probíhá správně. V tomto případě je každá operace spuštěna manuálně přes ovládací panel stroje. V současnosti je snaha využívat v maximální možné míře plně automatický režim, protože je nejefektivnější a nejrychlejší. [4]

## 2.3 Vstřikovací cyklus

Celý proces výroby plastového dílu technologií vstřikování se nazývá vstřikovací cyklus. Vstřikovací cyklus se skládá z několika navazujících nebo navzájem se překrývajících procesů a jedná se o cyklus uzavřený. Na začátku i na konci cyklu se nachází vstřikovací stroj i forma ve stejné pozici. Celý cyklus trvá v řádu vteřin až desítek vteřin v závislosti na velikosti výrobku a efektivnosti stroje. Na konci každého cyklu vzniká počet výrobků daný násobností formou.

Před začátkem vstřikovacího cyklu je nejprve nutné dodat vstřikovacímu stroji dostatečné množství materiálu ve formě granulátu. Ten je nashromážděn v násypce či zásobníku. Dále je potřeba na upínací desku vstřikovacího stroje připevnit formu, vystředit ji správně vůči vstřikovací trysce a následně ji vytemperovat na danou provozní teplotu. Každý polymer totiž vyžaduje určitou teplotu taveniny a teplotu formy, aby byl proces ideální.

Po splnění výše uvedených předpokladů je možné spustit vstřikovací cyklus. Na počátku je forma prázdná a otevřená. Cyklus začíná uzavřením formy pomocí uzavírací jednotky a přisunutím vstřikovací jednotky k pevné části formy. Operace jednoho cyklu jsou graficky ukázány na obr. 3. [1,2]



**Obrázek 3 Popis pracovního cyklu vstřikovacího procesu 0 – 1 Plastikace materiálu; 1 – 2 Plnění dutiny formy, 2 – 3 Dotlak; 4 (1) – 5 Chlazení výstřiku; 5 – 6 Vyhození výstřiku a vtokového zbytku; 6 – 7 Uzavření formy a přisunutí vstřikovací jednotky**

### 2.3.1 Plastikace materiálu

Plastikace je operace, která připravuje homogenní taveninu z granulátu. Materiál ve formě granulátu je přiváděn pomocí násypky do prostoru tavného válce se šnekem, kde je vlivem tepla a účinků tření převeden do tekutého stavu. Teplo je přiváděno topnými válci a o tření se stará rotační a posuvný pohyb šneku. Směrem k vstřikovací trysce se teplota topných válců zvyšuje. Šnek se ve fázi plastikace posouvá dozadu směrem od trysky, aby vytvořil dostatečný prostor pro taveninu před sebou. Šnek zároveň rotuje, což zajišťuje rychlé roztavení granulátu a homogenitu taveniny. Rotace šneku taktéž způsobí dopravení materiálu do prostoru před šnekem.

Fáze plastikace končí ve chvíli, kdy je připraveno dostatečné množství homogenní taveniny o dané teplotě v prostoru mezi tryskou a šnekem. [1,2]

### 2.3.2 Plnění dutiny formy

Po fázi plastikace nastává vstřikování taveniny do dutiny formy. Tento proces zajišťuje axiální posuv šneku v plastikační jednotce. Šnek se neotáčí, pouze se axiálně posouvá směrem k trysce a díky zpětnému uzávěru funguje jako píst. Rychlost vstřikování taveniny je rovna rychlosti axiálního posuvu šneku. Nejčastěji bývá konstantní, ale je možno ji regulovat.

Pod vysokým tlakem tavenina zaplní dutinu formy a zaujme tvar požadovaného výrobku. [1]

### 2.3.3 Dotlak

Vzhledem k tomu, že se tavenina při kontaktu s formou ochlazuje, zvyšuje svoji hustotu a smršťuje se. Objemový rozdíl je třeba kompenzovat, jinak by na výrobku vznikaly staženiny a propadliny. K tomu slouží fáze dotlaku, která má za úkol dotlačit chybějící taveninu do formy.

Síla dotlaku musí být správně nastavená. Příliš silný dotlak způsobuje nežádoucí vnitřní pnutí a zkroucení výrobku po vyjmutí z formy. Naopak příliš slabý dotlak nedopraví dostatek taveniny do míst, kde se tavenina smršťovala, a vznikají povrchové vady.

Po ukončení fáze dotlaku se šnek začne posouvat axiálně od trysky dozadu a za současné rotace začíná fáze plastikace. [1,2,3]

#### **2.3.4 Chlazení výstřiku**

Chlazení taveniny nastává již při jejím prvním kontaktu se stěnou formy, tedy již během fáze vstřikování a končí úplným ztuhnutím taveniny v požadovaný tvar. Při ochlazování taveniny je třeba dbát na předepsané hodnoty teploty formy, aby nebylo ochlazení příliš prudké. Tím by mohlo vzniknout vysoké pnutí ve výrobku. Zároveň by nemělo chladnutí trvat příliš dlouho, aby byl proces co nejefektivnější.

Chlazení taveniny způsobuje přechod tepla z taveniny na formu. Proto je nutné zajistit odebrání tepla z formy, jinak by po každém cyklu měla forma vyšší teplotu. To by způsobilo, že by tavenina nestihla dostatečně ztuhnout.

O teplotu formy se stará temperační systém, který představuje kruhové kanály vedoucí skrz formu. Těmito kanály proudí temperační kapalina, která odebírá teplo z formy a zajišťuje tak její stálou teplotu. [1]

#### **2.3.5 Vyhození výstřiku a vtokového zbytku**

Jakmile je plastový díl dostatečně tuhý, je připraven na vyjmutí z formy. Nejdříve se forma otevře v dělicí rovině a následně je výstřik vyhozen pomocí vyhazovačů. V případě studené vtokové soustavy je součástí výstřiku vtokový zbytek, který se vyhazuje buď s plastovým dílem a oddělí se od něho následovně, nebo je vtokový zbytek oddělen od plastových dílů přímo na formě. [1]

#### **2.3.6 Uzavření formy**

V poslední fázi vstřikovacího cyklu je forma prázdná. Uzavírací jednotka uzavře formu a může začít další cyklus. [1]

### 3 Vstřikované výrobky

Při návrhu vstřikovaného plastového dílu je nutné dodržovat určité zásady. Samotná konstrukce plastového dílu totiž přímo ovlivňuje jeho dosažitelnou kvalitu, složitost formy a produktivitu vstřikovacího cyklu. [1]

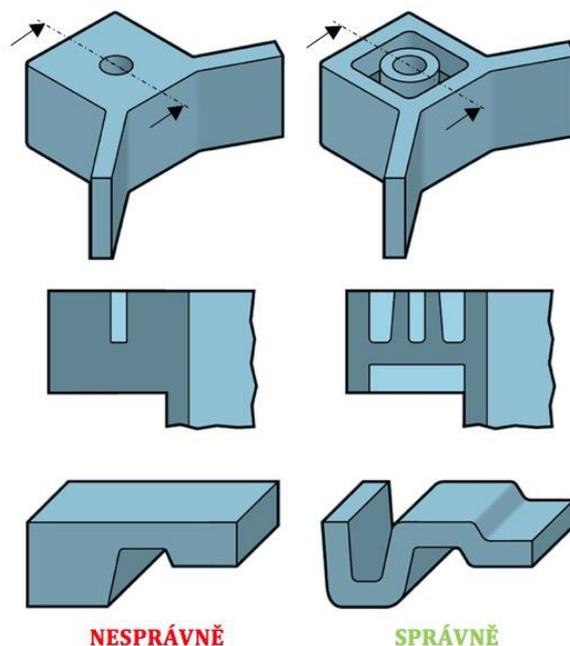
#### 3.1 Tloušťka stěn

Tloušťka stěn výstřiku je významný parametr, který ovlivňuje mnoho důležitých vlastností. Má veliký vliv na mechanické vlastnosti dílu, na druhé straně se zvětšující se tloušťkou stěn roste hmotnost, a tedy i cena. Pro průhledné plasty ovlivňuje tloušťka celkový vzhled a optické vlastnosti. Tloušťku je nutné volit také s ohledem na smrštění. Příliš tlustou stěnu by nebylo možné vyrobít bez staženin a propadlin navíc by se vzhledem k dlouho trvajícím chladnutím prodlužoval výrobní cyklus. Naopak příliš tenká stěna může způsobit vysoké vstřikovací tlaky a potíže při plnění celé dutiny formy. Pro každý polymer je proto stanovena minimální a maximální doporučená tloušťka stěny, podle kterých by se konstruktér dílu měl řídit. V případě překročení doporučených mezí je možné buď změnit materiál, upravit speciálně technologické parametry vstřikovacího cyklu, nebo třeba použít speciální vstřikovací stroj.

Vzhledem k výše popsané problematice je zřejmé, že je nutné zvolit kompromis mezi mechanickou odolností, hmotností, vzhledem a vyrobiteľností. Proto je nezbytné zvolit vhodnou tloušťku na základě kvalitně provedené rozvahy.

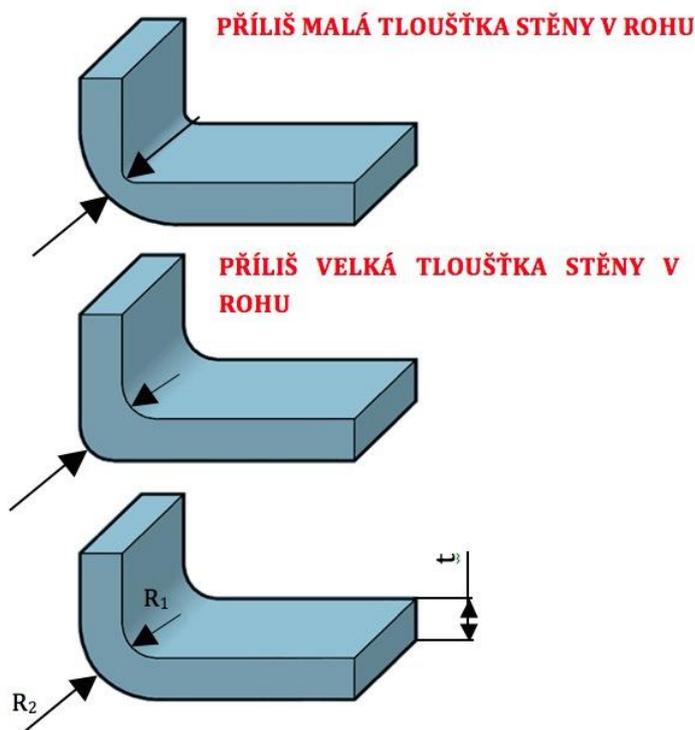
Další velice důležité pravidlo je dodržovat stejnou tloušťku stěny na celém výrobku. Během fáze chladnutí je totiž potřeba, aby ve všech částech dutiny tuhl materiál stejnou dobu. Tím se zefektivní výrobní proces a zároveň se zamezí následnému pnutí ve výrobku. Toto pravidlo nelze dodržet pro každý případ, nicméně existují metody, jak se stejné tloušťce co nejvíce přiblížit.

Jednou z metod je vhodné vybrání materiálu zobrazené na obr. 4, které neomezí funkčnost dílu a vytvoří stěnu o požadované šířce.



Obrázek 4 Porovnání nesprávného a správného návrhu plastového dílu s ohledem na rovnoměrnost tloušťky stěny

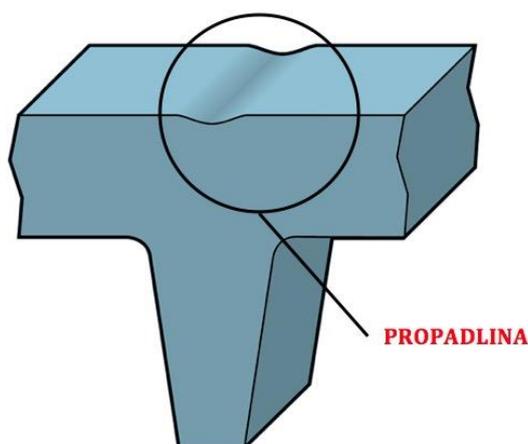
Další metodou je volba vhodných zaoblení v rozích, jak je ukázáno na obr. 5. [1]



Obrázek 5 Porovnání vnitřních a vnějších rádiusů vstřikovaného dílu

### 3.2 Žebrování

Žebrování představuje způsob, jak zvýšit pevnost a tuhost vstřikovaného dílu, aniž by se zvyšovala tloušťka stěny. Zároveň zabraňuje vstřikovanému dílu, aby se vlivem smrštění a vnitřního pnutí zkroutil. Zvyšují však složitost formy a dávají příležitost vzniku povrchových vad, jako je především propadlina na protilehlém povrchu vstřikovaného dílu. Tento případ je zobrazen na obr. 6. [1]



Obrázek 6 Vznik propadliny na žebrovaném vstřikovaném dílu

Správně navrhnutá žebra jsou vždy tenčí než tloušťka dílu. Jejich tloušťka se pohybuje mezi 30–70 % tloušťky stěny v závislosti na požadované kvalitě povrchu a daném materiálu. Žebra

jsou taktéž opatřena úkosem minimálně  $0,5^\circ$  na každé straně za účelem dobré odformovatelnosti. [1]

### 3.3 Úkosity

Veškeré stěny, které jsou kolmé na dělicí rovinu by měly být opatřeny mírným úkosem. Vstříkovaný díl tím získá lepší odformovatelnost. Úhel úkosu by měl být minimálně  $0,5^\circ$  na každé straně. Úhel úkosu také závisí na výšce či hloubce a na materiálu součásti. [1,2]

### 3.4 Zaoblení hran

Zaoblení hran vstříkovaného dílu je velice důležité. Ovlivňuje vlastnosti plastového dílu, samotný proces vstříkování, odformování a složitost výroby formy.

Zaoblením odstraníme ostré hrany dílu, které představují koncentrátoři napětí. Tím zvýšíme mechanické vlastnosti dílu. Zároveň zaoblením dosáhneme stejné tloušťky stěny dílu.

Tavenina vstříkovaná do dutiny mnohem snáz proudí podél zaoblené stěny než podél ostrých rohů. To urychluje a zkvalitňuje plnění formy.

Další výhoda zaoblených rohů se uplatňuje při odformování. Stejně jako úkosity, zaoblení ulehčuje vyhození dílu z formy.

Zároveň výroba dutin ve formě je jednodušší se zaoblením než s ostrými hranami. [1]

### 3.5 Podkosity

Podkosity jsou tvarové prvky dílu, které zabraňují odformování. Může jít o různé výstupky, dutiny nebo třeba závit. Odformování podkosů se řeší speciálními jádry, šikmým posuvem části tvárníku, či tvárnice, nebo přidáním další dělicí roviny. [1,3]

## 4 Konstrukce vstřikovací formy

Návrh vstřikovací formy je velice náročný a komplexní proces. Na vstřikovací formy jsou kladeny vysoké nároky z hlediska kvality, spolehlivosti, trvanlivost a produktivity. Úroveň kvality formy totiž přímo ovlivňuje kvalitu vstřikovacího procesu a kvalitu výrobku. Zároveň se nejedná o levnou součást, proto je velmi důležité formu vyrobit na základě pečlivě provedeného návrhu. [1,7]

### 4.1 Základní funkce a vlastnosti vstřikovací formy

Vstřikovací forma je komplexní technologické zařízení, které má tři základní funkce.

První funkce formy je dopravit roztavený materiál od trysky vstřikovací jednotky do dutiny formy, která odpovídá tvaru požadovaného dílu. Tuto funkci zajišťuje vtokový systém.

Druhá neméně důležitá funkce je efektivní odebrání tepla z taveniny, aby tavenina rychle ztuhla ve finální výrobek. Tuto funkci zajišťuje samotný materiál formy, který tvoří stěny dutiny či jádra a odebrá teplo z taveniny. O teplotu materiálu stěn se pak stará temperační systém kanálů jimiž prochází temperační kapalina.

Třetí a také poslední funkce je bezpečné a rychlé vyjmutí výstřiku z formy. To je zaručeno jednak vyhazovacím systémem, ale také správnou konstrukcí dutiny a jádra tvarových desek.

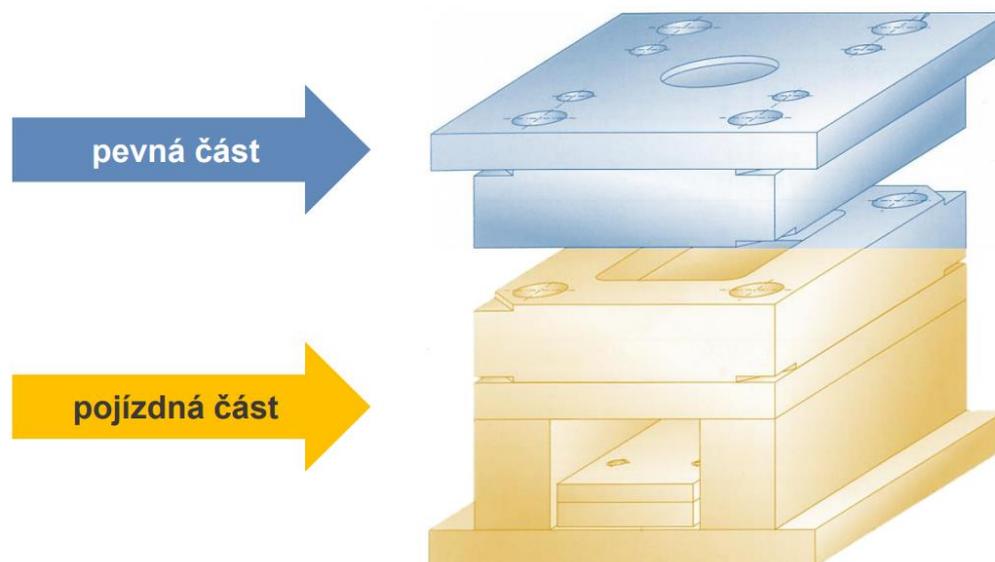
Důležitou vlastností formy je především dostatečná tuhost. Je nežádoucí, aby se forma při zatížení během vstřikovacího cyklu jakkoliv deformovala. Další důležitou vlastností je přesnost formy a kvalita povrchu. Ta totiž dokonale odráží i kvalitu výrobku. Forma musí také disponovat vhodnými manipulačními prvky, jako jsou záchytná oka. [1,3]

### 4.2 Dělicí rovina formy

Každá vstřikovací forma je rozdělena na pevnou a pohyblivou. Pevná část formy je upnuta na pevnou upínací desku vstřikovacího stroje a během vstřikovacího cyklu se nepohybuje. Je to také část formy, kterou je přiváděna tavenina z plastikační jednotky. Pohyblivá část formy je upnuta na vstřikovací stroj, ale během fáze otevírání a zavírání formy je posouvána uzavírací jednotkou dopředu nebo dozadu.

Dělicí rovina vstřikovací formy, je místo kde se dotýká pohyblivá a pevná část formy, jak je ukázáno na obr. 7. Vzhledem k tomu, že je to rovina, ve které je vstřikován plastový díl, jsou na styčné plochy desek kladeny vysoké nároky. Musí na sebe v maximální možné míře shodně dosedat, jinak by v dělicí rovině vznikaly spáry, do kterých by zatékala tavenina a vznikala by vada dílu nazývaná zástřik (přetok). Důvodem nepřesnosti dosedání ploch může být nepřesná výroba desek nebo jejich opotřebení.

Dělicí rovina se volí s ohledem na jednoduchost tvarových desek a jednoduchost odformování plastového dílu. [1]



Obrázek 7 Pevná a pojízdná (pohyblivá) část formy

### 4.3 Rám vstřikovací formy

Základem každé vstřikovací formy je rám, který je tvořen deskami spojenými nejčastěji pomocí šroubů s válcovou hlavou. Na obr. 8 je zobrazena uzavřená základní dvoudesková vstřikovací forma s jejími nejdůležitějšími prvky.

Desky lze rozdělit na desky funkční, někdy nazývané také tvářecí, které přicházejí do styku přímo s taveninou a na desky, které slouží k uložení nebo ukotvení komponent formy. [1,7]

#### 4.3.1 Upínací desky

K upnutí vstřikovací formy na vstřikolis slouží dvě upínací desky (obr. 8 poz. 1 a 15). Pomocí první upínací desky se upíná pohyblivá část formy na pohyblivou část uzavírací jednotky a pomocí druhé se upíná pevná část formy na pevnou část stroje.

Jako materiál pro upínací desky se používá nástrojová ocel 1.1730, která disponuje vysokou houževnatostí a dobrou obrobiteľností. [1]

#### 4.3.2 Tvarové desky

Tvarové desky (obr. 8 poz. 9 a 10) slouží k vytvoření dutiny, která udává tvar vstřikovaného dílu. Podle počtu tvarových desek se formy dělí na dvoudeskové a třídeskové. Dutina je buď přímo vyrobena v deskách, nebo se používají tvarové vložky, které jsou v tvarových deskách ukotveny. K výrobě dílů, které tvoří dutinu formy se používají mechanicky odolnější, a tedy i výrazně dražší materiály, a proto můžou tvarové vložky představovat významnou úsporu nákladů. K ukotvení těchto vložek je totiž možno použít levnější ocel.

Na výrobu tvarových desek a vložek se používá prokalitelná ocel 1.2083. Tato ocel je korozivzdorná a vykazuje výbornou odolnost vůči opotřebení, což je pro dutiny velice důležitá vlastnost. Ocel je dobře obrobiteľná a lešitelná.

Tvarové desky obsahují temperační systém ve formě kanálů, kterými proudí temperační kapalina, Tvarové desky jsou jediné desky, které přicházejí do styku s taveninou a je tedy nutné je vytemperovat na správnou teplotu. [1]

### 4.3.3 Rozpěry

Rozpěry (obr. 8 poz. 2) jsou desky, které vytváří prostor pro vyhazovací systém. Jejich výška je jejich nejdůležitější parametr, který se volí podle potřebného zdvihu vyhazovacího paketu.

Na výrobu rozpěr se používá ocel 1.1730. Je to stejná ocel jako na výrobu upínacích desek. [1]

### 4.3.4 Vyhazovací desky

Vyhazovací desky (obr. 8 poz. 3 a 4) jsou zpravidla dvě a jejich primární funkcí je ukotvení vyhazovačů a vraccích kolíků. Vyhazovací desky jsou k sobě přišroubovány nejčastěji pomocí šroubů s válcovou hlavou a společně tak s vyhazovačema tvoří vyhazovací paket. Vůči formě je vyhazovací paket veden vodícími kolíky.

Vyhazovací desky mohou být vyrobeny například z oceli 1.2162. [1]

### 4.3.5 Kotvící desky

Kotvící desky (obr. 8 poz. 7) jsou desky, které slouží pouze k ukotvení jednotlivých komponent vstříkovací formy.

Tyto desky se vyrábějí nejčastěji z oceli 1.2162. [1]

### 4.3.6 Manipulační oko

Jelikož může vstříkovací forma představovat velice hmotný objekt, je nutné opatřit ji manipulačním okem (obr. 8 poz. 11). [7]

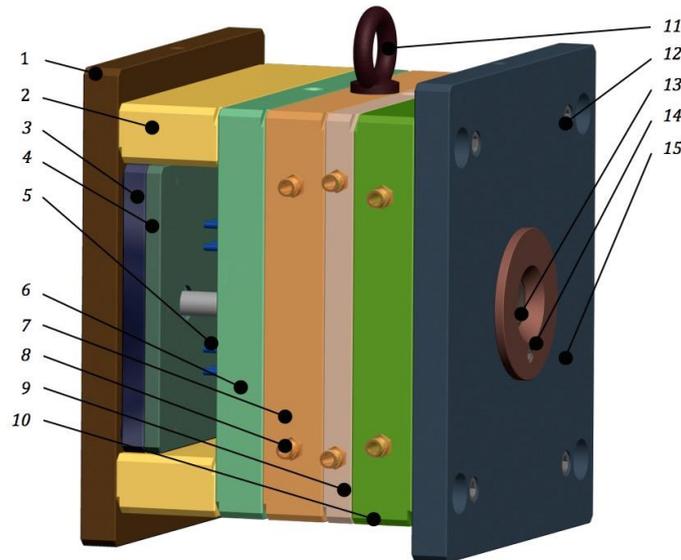
### 4.3.7 Středící kroužek

Nedílnou součástí vstříkovací formy jsou zpravidla dva středící kroužky (obr. 8 poz. 14), které jsou přišroubovány na upínací desky pevné a pohyblivé části formy. Jejich úkolem je zajištění přesné polohy formy na vstříkovacím stroji. Formu je třeba upnout tak, aby její osa byla totožná s osou trysky vstříkovací jednotky stroje, kterou proudí materiál do vtokového systému. Zároveň je nezbytné, aby byla totožná osa uzavírací jednotky s osou otvoru ve vyhazovacích deskách, který slouží k připojení vyhazovacího systému formy s vyhazovacím systémem vstříkovacího stroje.

Průměr středícího kroužku se volí na základě průměru středícího otvoru vstříkovacího stroje. [1]

### 4.3.8 Přípojky temperačního systému

Přípojky (obr. 8 poz. 8) slouží k propojení temperačních kanálů s hadičkami. Přípojky se na temperační kanály našroubovávají a jsou opatřeny těsněním. [1]



**Obrázek 8** Základní dvoudesková vstřikovací forma 1 – Upínací deska pohyblivé části vstřikovací formy, 2 – Rozpěra, 3 – Hlavní vyhadzovací deska, 4 – Přidržovací vyhadzovací deska, 5 – Vyhadzovač, 6 – Podpěrná deska, 7 – Kotvící deska, 8 – Přípojka chlazení, 9 – Tvarová deska tvárníku, 10 – Tvarová deska tvárnice, 11 – Manipulační oko, 12 – Hlavní montážní šrouby, 13 – Vtoková vložka, 14 – Středící kroužek, 15 – Upínací deska pevné části vstřikovací formy

#### 4.4 Vodící a centrovací systém

Vodící a centrovací systém slouží k zajištění správné polohy desek, jednak při smontování formy a zároveň během vstřikovacího cyklu. [1] Jednotlivé prvky jsou vidět v řezu základní dvoudeskové vstřikovací formy (obr. 9).

##### 4.4.1 Vodící systém pohyblivé části vstřikovací formy

V průběhu vstřikovacího cyklu dochází k otevírání a zavírání formy. Aby byla zajištěna přesná vzájemná poloha pevné a pohyblivé části formy, je v pohyblivé části formy uložen vodící sloupek (viz obr. 9 poz. 4). Ten při uzavírání formy zajede do vodícího pouzdra (viz obr. 9 poz. 2), které je uloženo v pevné části formy a tím je zajištěna jejich přesná vzájemná poloha.

Vodící sloupky se vyrábějí z oceli, povrchově upravené ke zvýšení tvrdosti. Vhodnou ocelí je ocel 1.7131. Některé vodící sloupky jsou opatřeny mazacími drážkami.

Vodící pouzdra se vyrábějí buď z oceli, nebo z mosazi. Některé vodící pouzdra jsou opatřena grafitovými vložkami, které zaručují doživotní mazání.

Vstřikovací forma má zpravidla čtyři tyto posuvné vazby. V každém rohu formy jednu.

V některých případech zajíždí vodící sloupky pouze do přesné díry vyrobené v deskách, tudíž nejsou využity vodící pouzdra. Tím se ale riskuje opotřebením děr třením a následkem je nedodržení přesné polohy. [1]

##### 4.4.2 Vodící systém vyhadzovacího paketu

V průběhu fáze vyhadzování koná vyhadzovací paket pohyb ve směru osy formy. Proto je nutné opatřit jej vodícím systémem. Princip je totožný s principem vodícího systému pohyblivé části formy. Vyhadzovací paket je opatřen zpravidla čtyřmi vodícími pouzdry, která jsou vedena vodícími sloupky uloženými mezi upínací deskou pohyblivé části formy a kotevní deskou.

Vodící sloupky prochází celým prostorem, kterým se vyhazovací paket pohybuje a zasahuje až do desky nad rozpěrou. [1]

Některé vyhazovací pakety jsou opatřeny kuličkovými vodícími pouzdry.

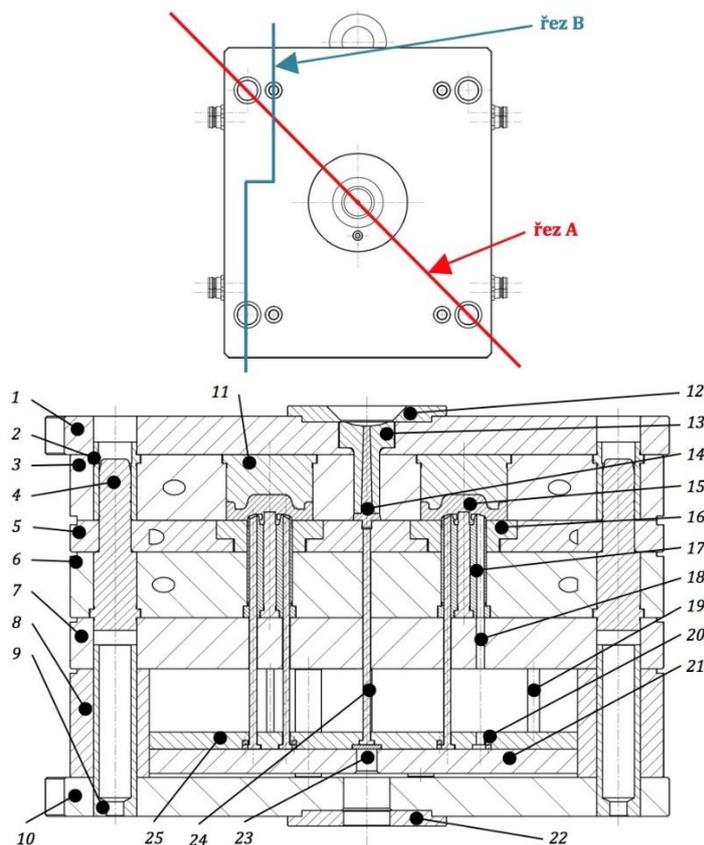
Prvky vodícího systému vyhazovacího paketu jsou vidět na obr. 9.

#### 4.4.3 Centrovací pouzdro

Centrovací pouzdro (obr. 9 poz. 9) je trubkovitý díl zajišťující správnou vzájemnou polohu všech desek, kterými pouzdro prochází. [1]

#### 4.4.4 Vraccí kolík

Vraccí kolíky (viz obr. 9 poz. 19) slouží jako pojistky a jsou uloženy mezi vyhazovacími deskami. Pokud by se z nějakého důvodu po fázi vyhazování nevrátil vyhazovací paket zpět do původní polohy a vyhazovače spolu s vraccími kolíky by stále byly vysunuté, při zavírání formy by se čelní plochy vraccích kolíků dostaly do kontaktu s dělicí rovinou pevné části vstříkovací formy a tím by mechanicky posunuli vyhazovací paket zpět do zadní polohy. Tím se vyloučí možná kolize vyhazovačů s dutinou pevné části formy, což by mělo za následek poškození tvarové dutiny. [1,3]



Obrázek 9 Uzavřená dvoudesková vstříkovací forma (řez A)

1 – Upínací deska pevné vstříkovací formy, 2 – Vodící pouzdro, 3 – Tvarová deska tvárnice, 4 – Vodící sloupek, 5 – Tvarová deska tvárníku, 6 – Kotvící deska, 7 – Podpěrná deska, 8 – Rozpěra, 9 – Centrovací pouzdro, 10 – Upínací deska pohyblivé části vstříkovací formy, 11 – Jádro, 12 – Středící kroužek pevné části vstříkovací formy, 13 – Vtoková vložka, 14 – Vtokový systém, 15 – Vstříkovaný díl, 16 – Vložka pro uložení jádra, 17 – Jádro, 18 – Vyhazovač, 19 – Vraccí kolík, 20 – Pojistovací kolík, 21 – Hlavní vyhazovací deska, 22 – Středící kroužek pohyblivé části vstříkovací formy, 23 – Závitový otvor pro připojení vyhazovacího systému, 24 – Vyhazovač/přidržovač vtokového systému, 25 – Přidržovací vyhazovací deska

## 4.5 Vtokový systém vstřikovací formy

Úkolem vtokového systému je dopravit taveninu od trysky vstřikolisu do jednotlivých dutin formy v co nejkratší době.

Při návrhu formy je možno volit mezi studenou vtokovou soustavou a vyhřívanou vtokovou soustavou. [2]

### 4.5.1 Studená vtoková soustava

Principem studené vtokové soustavy je vytvořit ve formě systém kanálů, kterými se tavenina dostane až do dutin tvarové desky. Tavenina, která zbyde v kanálech ztuhne spolu s taveninou v dutinách a po otevření se vyjme výstřik spolu se ztuhlou vtokovou soustavou, která se pak nazývá vtokový zbytek. Studená vtoková soustava se skládá z vtokového kanálu, rozváděcích kanálů a ústí vtoků.

Studená vtoková soustava je levnější varianta vtokového systému. Je vhodná pro malosériovou výrobu. Dále se hodí spíše pro jednoduché díly a formu s nízkou násobností. [2,3]

#### 4.5.1.1 Vtokový kanál

První částí studené vtokové soustavy je vtokový kanál, který dopravuje taveninu z trysky vstřikovacího stroje do požadované hloubky vstřikovací formy, což je zpravidla až do dělicí roviny. Vtokový kanál se vyrábí buď přímo do určené desky, nebo se využívá vtoková vložka, která vtokový kanál obsahuje a je uložena v upínací desce pevné části vstřikovací formy (viz obr. 9 poz. 13). Vtokový kanál musí být opatřen úkosem, aby se vtokový zbytek jednoduše odformoval.

Rozměry vtokového kanálu jsou dány vlastnostmi vstřikovaného dílu, procesu vstřikování a vstřikovaného plastu. [1]

#### 4.5.1.2 Rozváděcí kanály

Druhou částí studené vtokové soustavy jsou rozváděcí kanály. Navazují na vtokový kanál a rozvádějí taveninu dělicí rovinou. Rozváděcí kanály jsou obrobena buď do tvarové desky pevné části formy, nebo do tvarové desky pohyblivé části. V případě že mají rozváděcí kanály kruhový průřez, zasahují do obou desek.

U rozváděcích kanálů se volí tvar průřezu. Nejideálnější je kruhový průřez, protože má minimální možný povrch stěny vůči obsahu průřezu. To se v praxi projeví minimálním možným třením taveniny o stěny kanálů. Na druhou stranu se jedná o nejdražší návrh, protože kanál zasahuje do obou tvarových desek a je tedy nutné obrábět obě desky. Zároveň je třeba dodržet maximální přesnost, aby na sebe půlkruhové kanály v obou deskách dokonale dosedly a vytvořily kanál kruhového průřezu.

Proto se často volí levnější varianty, kdy jsou kanály obrobena pouze do jedné z desek, ale zároveň vykazují slušné vlastnosti. Vhodnými variantami jsou půlkruhový průřez a lichoběžníkový průřez se zaoblenými rohy.

Dále se u rozváděcích kanálů volí jejich velikost průřezu, což značně ovlivňuje kvalitu a efektivitu vstřikovacího cyklu. Proto je nutné dodržovat určité zásady. První zásadou je nevolit menší průřez rozváděcích kanálů, než je tloušťka vstřikovaného dílu. Pokud by byl průřez menší, mohlo by se stát, že tavenina ztuhne dřív v kanálech, než v samotné dutině a do dutiny by se pak nemuselo dostat dostatek taveniny. Následkem by byly staženiny a propadliny. Na druhou stranu, v případě příliš velkého průřezu by tavenina v kanálech tuhla moc dlouho a zbytečně by se prodlužoval vstřikovací cyklus, nehledě na plýtvání materiálem.

V případě dlouhých rozváděcích kanálů je také doporučeno průřez kanálů zvětšit. Tavenina tuhne na stěně kanálů totiž průřez v průběhu plnění formy materiálem zmenšuje.

Při volbě průřezu rozváděcích kanálů je také třeba zohlednit typ vstříkovaného materiálu.

Kromě tvaru průřezu a velikosti rozváděcích kanálů je potřeba navrhnout jejich správné rozložení. Při plnění formy materiálem je žádáno, aby se všechny dutiny formy plnily ve stejný čas. Tím se zajistí, že do každé dutiny je vstříknut materiál o stejné teplotě, konzistenci a pod stejným tlakem. Jinak řečeno materiál musí urazit do každé dutiny stejnou vzdálenost, takže všechny rozváděcí kanály vedoucí od ústí vtokového kanálu do dutin by měly být stejně dlouhé.

Volba optimálního systému rozváděcích kanálů je tedy kompromisem mezi vyrobiteľností, cenou a snadným plněním dutin formy. [1,2,3]

#### **4.5.1.3 Ústí vtoku**

Ústí vtoku je posledním článkem studeného vtokového systému. Představuje spojovací prvek mezi rozváděcími kanály a dutinou formy. Ústí vtoku má dvě funkce. První funkcí je snadné oddělení vtokového zbytku od vstříkovaného dílu a druhou funkcí je zabránění unikání materiálu z dutiny formy zpět do rozváděcích kanálů po fázi dotlaku. Obě tyto funkce jsou docíleny výrazně menším průřezem ústí vtoku v porovnání s tloušťkou výstřiku. Materiál v ústí vtoku rychle ztuhne, čímž zabráni úniku materiálu z dutiny po fázi dotlaku a zároveň je jednoduché vtokový zbytek oddělit právě v místě ústí vtoku.

Při návrhu ústí vtoku je důležité vhodně zvolit jeho polohu. Jednak vzhledem k rovnoměrnému plnění dutiny a zároveň je třeba počítat s tím, že po oddělení vtokového zbytku bude v místě bývalého ústí vtoku estetická vada, či nerovnost.

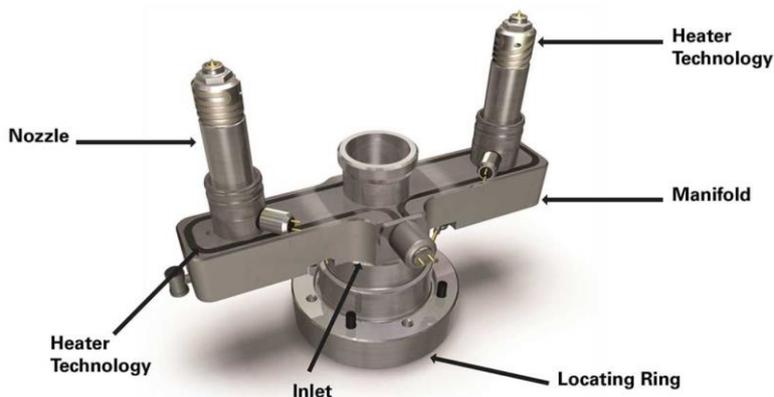
Existuje mnoho typů provedení ústí vtoku, přičemž volba daného provedení závisí především na vstříkovaném dílu. [1]

#### **4.5.2 Vyhřívání vtokové soustavy**

Funkce vyhřívání vtokové soustavy je stejná jako u studené vtokové soustavy, tedy dopravit taveninu od trysky vstříkovacího stroje do dutiny formy. Rozdíl spočívá v tom, že vyhřívání vtokové soustavy udržují materiál neustále ve stavu taveniny po celou dobu vstříkovacích cyklů. Odpadá tím tedy celý vtokový zbytek, což představuje obrovskou výhodu. Přestože systém vyhřívání vtokové soustavy představuje vysoké náklady, jedná se v současnosti o nejvíce používaný systém dopravy taveniny plastu do dutin formy.

Vyhřívání vtokové soustavy, nazývaná také horký rozvod, se skládá z vyhřívání rozváděcí desky a vyhřívání trysek. Systém horkých rozvodů je uložen v pevné části vstříkovací formy nad příslušnými dutinami. Do vyhřívání rozváděcí desky je přiváděna tavenina z trysky vstříkovacího stroje a tou je pak tavenina rozváděna k jednotlivým vyhříváním tryskám. Vyhřívání trysky ústí přímo v dutinách formy a tím je systém uzavřen.

Jednoduchý vyhřívání vtokový systém se dvěma tryskami je zobrazen na obr. 10. [1,6,7]



Obrázek 10 Popis systému vyhřívání vtokové soustavy Nozzle-vyhřívání tryska, Heater Technology- vyhřívací prvek, Inlet-vstup pro taveninu, Manifold-rozváděcí vyhřívací deska

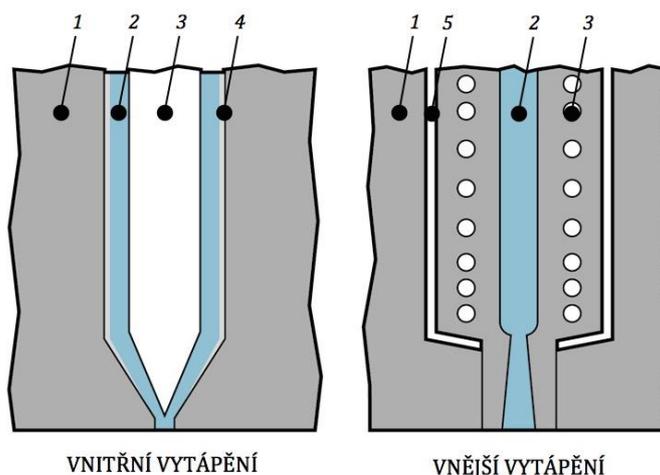
#### 4.5.2.1 Vyhřívání rozváděcí deska

Vyhřívání rozváděcí deska obsahuje kanály, které rozvádí taveninu k jednotlivým tryskám. V desce jsou uloženy vyhřívací prvky, které nejčastěji pomocí elektřiny udržují stěny kanálů v předepsané teplotě.

Vyhřívání rozváděcí deska musí být co nejlépe izolována od ostatních komponent vstřikovací formy, protože má vysokou teplotu a vlivem kondukce tepla by mohla nepříznivě ohřívát především tvarové desky. Zároveň by docházelo k velikým teplotním ztrátám. Izolace se provádí vzduchovými mezerami mezi rozváděcí deskou a deskami, ve kterých je horký rozvod uložen. Zároveň je snaha o minimální kontaktní plochy. [6]

#### 4.5.2.2 Vyhřívání trysky

Vyhřívání trysky mají za úkol vést taveninu od rozváděcí desky do dutin formy. Jsou vyhřívány, a proto musí být co nejvíce izolovány od okolních komponent formy. Vyhřívání trysky je řešeno buď jako vnitřní nebo vnější, jak je ukázáno na obr. 11. [6]



Obrázek 11 Základní provedení vyhřívání horkého rozvodu

1 – Studený materiál formy, 2 – Kanál pro proudění taveniny, 3 – Topné těleso, 4 – Zamrzlá vrstva plastu, 5 – Izolační vzduchová mezera

K vnějšímu vytápění trysky slouží topné prvky vně kanálu, kterým proudí tavenina. Naopak vnitřní vytápění zaručuje topný prvek uvnitř kanálu. Vnitřní vytápění je jednodušší varianta, nicméně má tu nevýhodu, že na vnější straně kanálu pak může vznikat zamrzlá vrstva materiálu, která zužuje průřez kanálu. Zároveň se zamrzlý degradovaný materiál může odtrhnout a dostat do dutiny, čímž by zhoršil vlastnosti výstřiku.

Místo mezi tryskou a samotnou dutinou formy se nazývá ústí vtoku, což je velmi důležité místo. Ve chvíli, kdy jsou dutiny formy zcela naplněny, musí materiál v oblasti ústí zatuhnout, aby tavenina samovolně nevytékala mezi jednotlivými vstřikovacími cykly. Nesmí ale zatuhnout příliš, jinak by se horký rozvod ucpal.

Ústí horkých rozvodů se provádí v několika variantách v závislosti na jejich tvaru a stopy po oddělení ústí vtoku. [6]

### 4.5.3 Srovnání vyhřívané a studené vtokové soustavy

Vyhřívaná vtoková soustava přináší nespočet výhod. Díky tomu, že nevzniká vtokový zbytek, nabízí toto řešení menší spotřebu materiálu. Zároveň je možné vstřikovat složitější díly s malou tloušťkou stěn, protože je polymer v roztaveném stavu přiveden až k ústí vtoku. Dále vyniká ve vysoké produktivitě procesu vstřikování a v širokých možnostech přizpůsobení polohy ústí vtoku.

Na druhou stranu je forma se systémem horkých rozvodů mnohem dražší a náročnější na údržbu. Také je složitá výměna materiálu, protože uvnitř rozvodu zůstává předchozí materiál a je nutné provést tzv. přejezd materiálu, kdy se provádí několik výrobních cyklů, dokud není materiál uvnitř systému kompletně vyměněn. [1,6]

## 4.6 Temperační systém vstřikovací formy

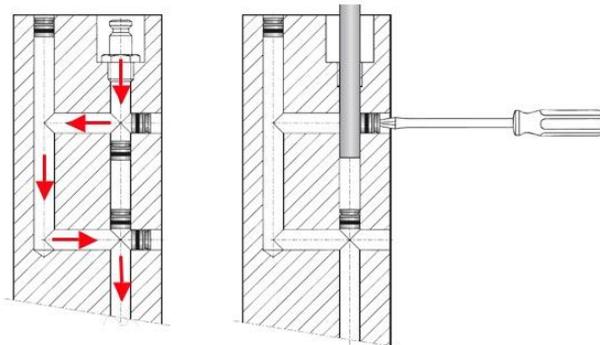
Úkolem temperačního systému je vyhřátí dutin vstřikovací formy na předepsanou teplotu a udržení požadované teploty během procesu vstřikování. Pro každý typ materiálu existuje doporučená hodnota teploty dutin a tu je třeba udržovat v co nejmenším rozsahu.

Teplota formy při styku s taveninou přímo ovlivňuje kvalitu výrobků a efektivnost výrobního procesu. Na jedné straně chceme, aby byl proces tuhnutí co nejrychlejší. Tedy aby byla doba od okamžiku úplného zaplnění dutiny formy taveninou do vyjmutí výrobku co nejnižší. Tím by se zkrátil výrobní proces a vzrostla by produktivita. Příliš rychlé ochlazení taveniny ale negativně ovlivňuje kvalitu samotného výrobku. Nemusí být zaručené správné plnění dutiny, mohou v důsledku vznikat různé vady a v neposlední řadě vzniká v materiálu pnutí. Vhodná teplota formy je tedy kompromisem mezi kvalitou výrobku a rychlostí vstřikovacího cyklu. [1,7]

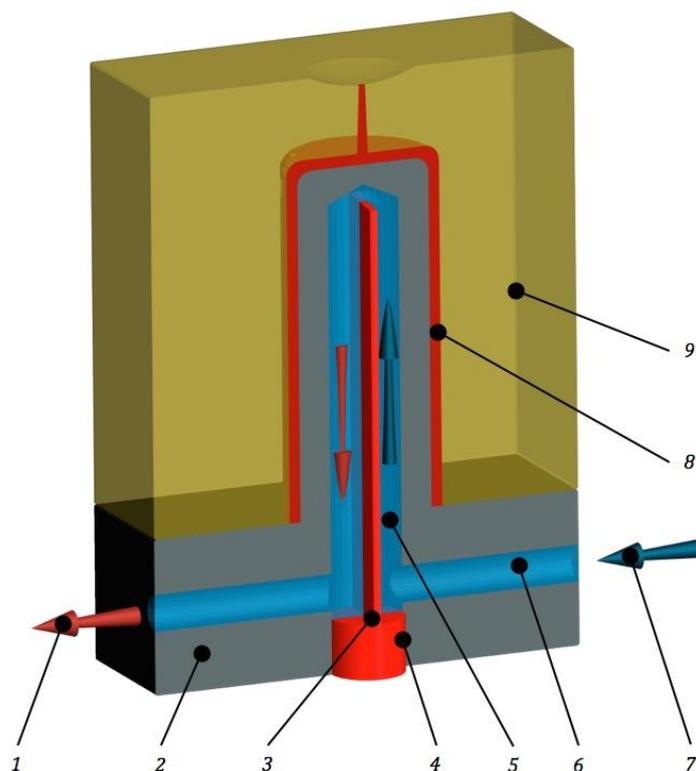
### 4.6.1 Temperační kanály

Nejrozšířenějším způsobem temperace formy je pomocí temperačních kanálů. Těmi proudí temperační médium, které předává nebo odebírá teplo. Temperační kanály je třeba navrhnout rovnoměrně a symetricky vzhledem k dutinám. Je žádané, aby měla celá dutina ve všech místech stejnou teplotu. Nerovnoměrná teplota stěn by negativně ovlivňovala kvalitu výrobku a výrobní proces. Dále je nutné zohlednit tuhost desek, do kterých jsou temperační kanály vyrobeny. Kanály totiž odebráním materiálu snižují jejich tuhost a zároveň vytváří koncentrátory napětí. Průměr kanálů se volí v závislosti na vstřikovaném dílu. Obecně se doporučuje více užších kanálů než méně širších. V praxi se průměr kanálů pohybuje mezi 6–20 mm.

K vytvoření funkčního a uzavřeného temperačního systému se využívají ucpávky a přepážky zobrazené na obr. 13. a 12.



Obrázek 12 Příklad použití a montáže záslepky s pryžovým „O“ kroužkem

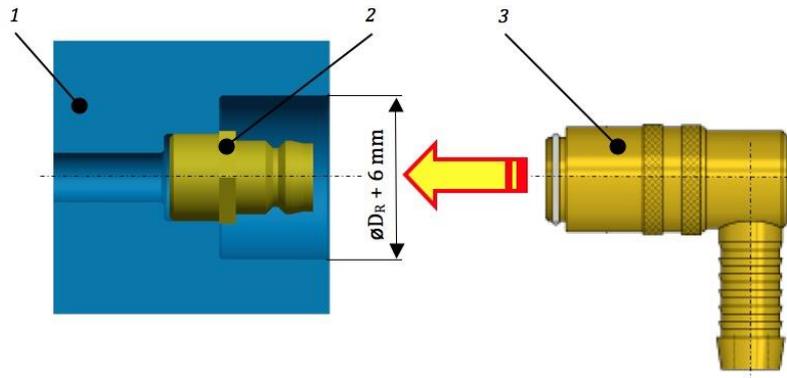


Obrázek 13 Systém plochých přepážek

1 – Výstup temperačního média, 2 – Těleso pohyblivé části vstříkovací formy, 3 – Plochá přepážka, 4 – Úložná plocha přímé přepážky, 5 – Vedlejší temperační kanál, 6 – Hlavní temperační kanál, 7 – Vstup temperačního média, 8 – Vstříkovaný díl, 9 – Těleso pevné části vstříkovací formy

Celý temperační okruh je vhodné navrhnout tak, aby médium proudilo od nejteplejšího místa formy k nejstudenějšímu. Zároveň by mělo být možné jednotlivé temperační větve propojit pomocí hadiček v různém pořadí.

Spojení temperačních kanálů s hadičkami se provádí pomocí přípojek zobrazených na obr. 14. [1,7]



Obrázek 14 Zapuštění přípojky pro připojení temperačních hadic osazených rychlospojku

## 4.7 Vyhazovací systém

Tavenina ztuhlá v dutině formy tvoří výrobek. Ten po otevření formy ulpívá na pohyblivé části formy. Je to dáno smrštěním materiálu, díky kterému výrobek obepíná jádro a tvarové prvky tvořící vnitřní plochy výstřiku, které jsou navrženy právě na pohyblivé části formy. Ke spolehlivému a bezpečnému odejmutí výrobku a vtokového zbytku z formy slouží vyhazovací systém.

Princip odformování výrobku je velice jednoduchý. Po otevření formy je vysunut vyhazovací systém, který mechanicky vystrčí výstřik z dutiny formy. Vyhazovací systém se následně zasune zpět a po zavření formy může začít nový vstřikovací cyklus.

Kromě výše popsaného mechanického vyhazování existuje ještě vyhazování vzduchové, při kterém se přivádí stlačený vzduch mezi výstřik a líc formy. Výhodou je rovnoměrné oddělení výstřiku od tvárníku. Nevýhodou je omezení použití tohoto způsobu pouze na určité tvary výstřiků. [1,7]

### 4.7.1 Ovládání vyhazovacího systému

Vyhazovací systém je ovládán vstřikovacím strojem, konkrétně uzavírací jednotkou, se kterou je spojen. Pohybuje vyhazovacím paketem dopředu a dozadu. Pokud je vyhazovací systém opatřen pružinami, pohybuje stroj vyhazovacím systémem jen jedním směrem a druhý směr zajistí uložená síla v pružině. [4,7]

### 4.7.2 Návrh vyhazovacího systému

Vyhazování by mělo proběhnout co nejrychleji, aby se neprodlužoval výrobní cyklus. Zároveň ale nesmí dojít k poškození výstřiku nerovnoměrně rozloženou vyhazovací silou, nebo příliš rychlým pohybem vyhazovačů.

Volba vyhazovacího systému záleží čistě na tvaru výrobku. Je nutné zvolit správný tvar vyhazovačů, rovnoměrně je rozmístit a navrhnout je do míst, kde nebude vadit případná stopa po vyhazovačích. [1,7]

### 4.7.3 Části vyhazovacího systému

Základem vyhazovacího systému je vyhazovací paket, který se skládá z hlavní vyhazovací desky a přidržovací vyhazovací desky. Obě desky jsou k sobě přišroubovány a slouží k uložení vyhazovačů, vraccích kolíků a vedení pro vodící čepy. Uprostřed vyhazovacího paketu je

uložen spojovací prvek, který spojuje vyhadzovací mechanismus stroje s vyhadzovacím paketem. Hlavní vyhadzovací deska je také opatřena dosedacími podložkami. [1]

#### 4.7.4 Druhy vyhadzovačů

Nejlevnějším a nejčastějším typem vyhadzovače je vyhadzovací kolík. Ty jsou uloženy buď kolmo k dělicí rovině, nebo pod různými úhly, přičemž se pak jedná o šikmé vyhadzování. Dále se využívají vyhadzovací kolíky s nekruhovým průřezem a trubkové vyhadzovače. Pokud je třeba působit vyhadzovací silou po co největší ploše výstřiku, využívají se stírací desky. [2,3,7]

### 4.8 Odvzdušňovací systém

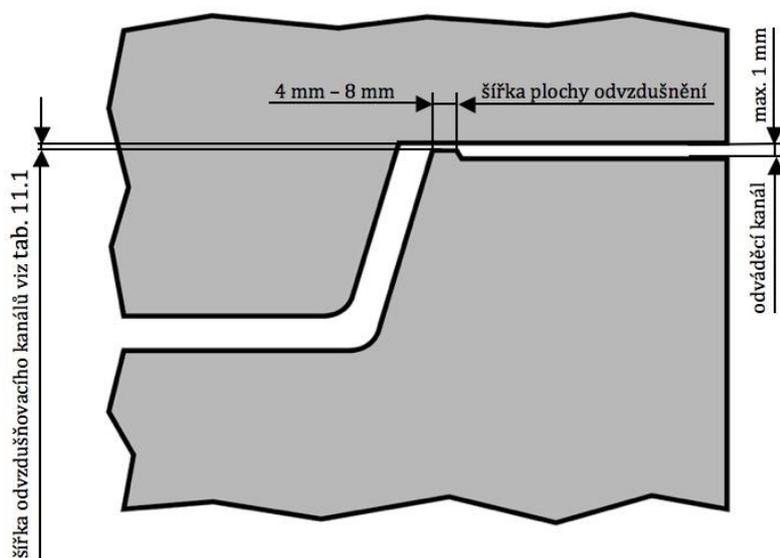
Aby mohla tavenina vyplnit celou dutinu formy, musí z ní vytlačit vzduch. Vzduch částečně unikne přes dělicí rovinu a vodící plochy vyhadzovačů či jader. Přesto je třeba opatřit formu odvzdušňovacími kanály, které zajistí kompletní a rychlý odvod vzduchu z dutiny při plnění.

Nedostatečný odvod vzduchu z dutiny formy negativně ovlivňuje kvalitu výrobku a může způsobit tzv. Diesel efekt, při kterém se extrémně stlačený vzduch vysoce zahřeje a může dojít ke vzniku spálenin plastu. [1]

#### 4.8.1 Odvzdušňovací kanály

Odvzdušňovací kanály se umísťují především do dělicí roviny. Doporučený návrh odvzdušňovacího kanálu v dělicí rovině je zobrazen na obr. 15. Rozměry těchto kanálů jsou závislé na vlastnostech vstříkovaného materiálu. Tekutější materiály vyžadují menší rozměry, jinak by mohlo dojít k zástřikům. Odvzdušňovací kanály se umísťují do míst, kam se tavenina dostává nejdéle. Zpravidla je to místo nejvzdálenější od ústí vtoku.

Alternativou odvzdušňovacích kanálů v dělicí rovině je odvzdušnění přes vyhadzovače, kdy se mírně upraví jejich tvar. [1]



Obrázek 15 Doporučená konstrukce odvzdušňovacího kanálu

## **5 Závěr teoretické části**

Vstřikovací forma je velice komplexní soustava skládající se z mnoha systémů a součástí. Před samotným návrhem vstřikovací formy je nutné rozumět veškerým funkcím, které forma plní a znát její potřebné vlastnosti, aby byl finální návrh funkční.

Teoretická část této práce se nejprve věnuje samotné technologii vstřikování. Je zde popsáno, v čem technologie vstřikování spočívá, jaký je její princip, jak probíhá výrobní cyklus a co je vstřikovací stroj. V další kapitole je popsána problematika plastových dílů. Jaké zásady platí při jejich návrhu a jakých doporučení je dobré se držet. Poslední kapitola je věnována vstřikovací formě. V úvodu kapitoly jsou vysvětleny její základní funkce a následně je vstřikovací forma popsána z pohledu jednotlivých systémů.

## 6 Vstřikovaný díl

Vstřikovaným dílem je plastové víčko pro PET lahve. Jedná se o drobnou rotační tenkostěnnou součást opatřenou vnitřním závitem. Dále je víčko opatřeno vnějším žebrováním, které slouží především ke zvýšení tření mezi rukou a víčkem, čímž se usnadňuje povolování a utahování. Žebrování zároveň zvyšuje tuhost a zabraňuje zdeformování se víčka po odformování vlivem smrštění materiálu. Na víčku je dále zobrazen recyklační symbol a dané označení číslicí nebo písmenem.

### 6.1 Materiál víčka

Víčka od PET lahví se vyrábějí z vysokohustotního polyethylenu, který se značí zkratkou HDPE z anglického názvu „high density polyethylen“.

Vysokohustotní polyethylen je jeden z nejpoužívanějších polymerů, především pak v obalovém a stavebnickém průmyslu. Je využíván také na výrobu domácích a kuchyňských potřeb. Vyniká vysokou pevností, tvrdostí a tuhostí. Proto je vhodný na výrobu tenkostěnných dílů. Dále má vysokou teplotní a chemickou odolnost. Nepodléhá působení kyselin, rostlinných olejů a alkoholu. Velikou výhodou je také dobrá recyklovatelnost. Vysokohustotní polyethylen je netoxický, což je esenciální vlastnost pro víčka uzavírající lahve s potravinou. [8]

Na výrobu víček je zvolen vysokohustotní polyethylen s obchodním názvem SABIC HDPE M40053CO od výrobce SABIC Europe B.V.

### 6.2 Rozměry víčka

Víčko bylo navrženo se zásadami popsané v kap. 3.

Návrh víčka a jeho rozměry jsou zobrazeny na výkrese (viz. příloha č. 1).

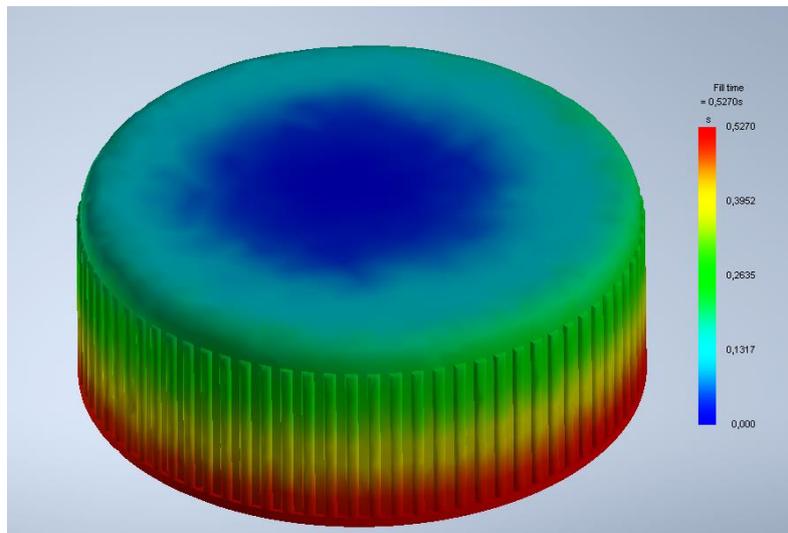
## 7 Analýza plnění

K analýze plnění dutiny materiálem byl využit program Autodesk Inventor 2021. Pomocí simulace byla zjištěna predikce času plnění, kvality a jistoty plnění a predikce studených spojů. Potřebné parametry pro simulaci byly zvoleny podle materiálového listu od výrobce [11] a doporučení programu Inventor.

Teplota formy byla nastavena na 53°C a teplota taveniny na 230°C.

### 7.1 Čas plnění dutiny

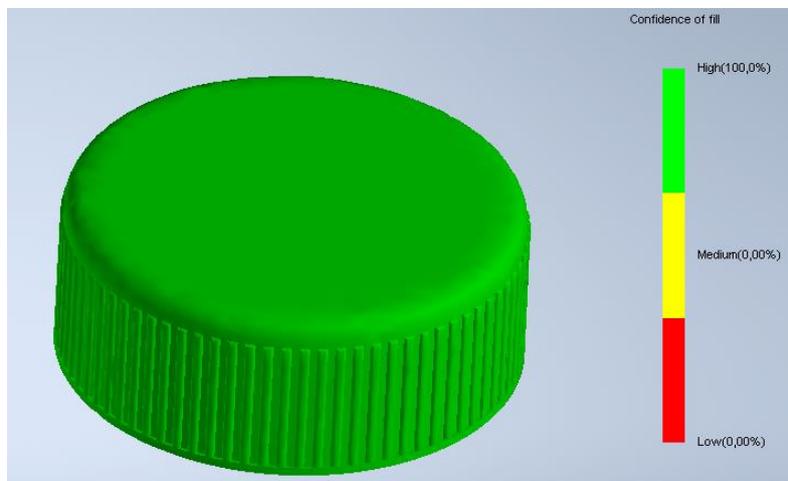
Na obr. 16 je graficky zobrazena predikce času plnění dutiny formy. Ze simulace vyplývá, že plnění dutiny bude trvat přibližně půl vteřiny, konkrétně 0,527 s, a dále je vidět, že díky geometrickému umístění ústí vtoku bude dutina plněna symetricky a rovnoměrně.



Obrázek 16 Predikce času plnění dutiny

### 7.2 Jistota plnění

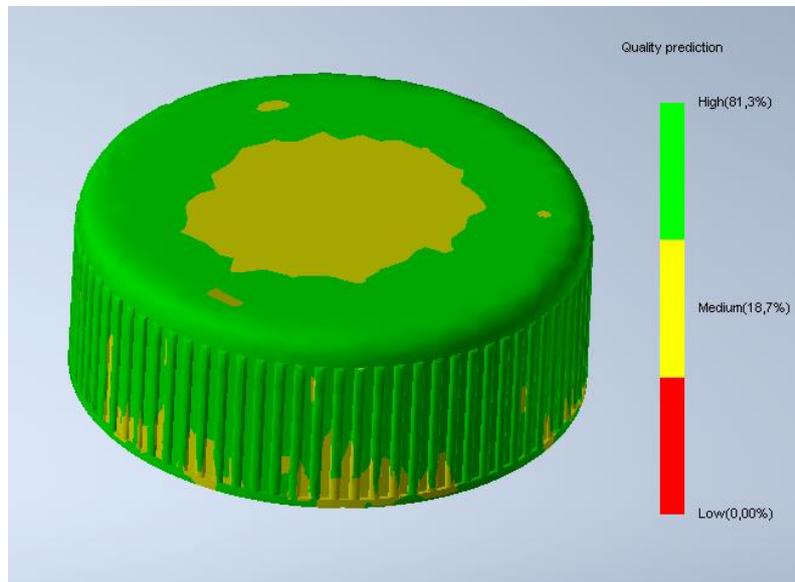
Na obr. 17 je graficky zobrazena predikce jistoty, že bude celá dutina naplněna materiálem. Ze simulace vyplývá, že jistota je 100 %. Je to dáno správným návrhem vstříkovaného dílu a vhodným geometrickým umístěním ústí vtoku.



Obrázek 17 Predikce jistoty plnění dutiny

### 7.3 Kvalita povrchu výstříku

Na obr. 18 je graficky zobrazena predikce kvality povrchu výstříku. Podle simulace bude mít výstřík více než 80 % povrchu vysokou kvalitu. Necelých 19 % povrchu bude mít výstřík střední kvalitu. Nízká kvalita povrchu nehrozí podle simulace vůbec.



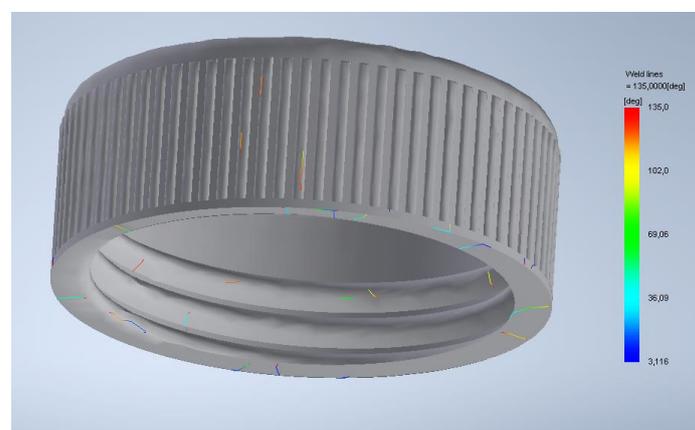
Obrázek 18 Predikce kvality povrchu výstříku

### 7.4 Studené spoje

Studený spoj je nežádoucí jev, který vzniká v dutině formy v místech, kde se setkávají dva nebo více proudů taveniny. Představuje nedokonalý svar, který zhoršuje povrchovou kvalitu, je vizuálně vidět, a především zhoršuje mechanické vlastnosti. V jeho místech je největší pravděpodobnost porušení materiálu při zatížení. Záleží však na orientaci studeného spoje vůči směru zatížení. [14]

Přestože je víčko velmi tenký díl a o to více jsou studené spoje nežádoucí, nepředstavuje víčko výrazně mechanicky zatěžovaný díl, a proto pro ně nejsou studené spoje z hlediska snížení pevnosti nebezpečné. Mnohem více se na studené spoje v případě víčka pohlíží z vizuálního hlediska. Studené spoje mohou být vidět ve formě linií. Přestože víčko není okrasný díl, ale především funkční díl, nejsou studené spoje z vizuálního hlediska žádoucí.

Grafické zobrazení studených spojů ve víčku je zobrazeno na obr. 19.



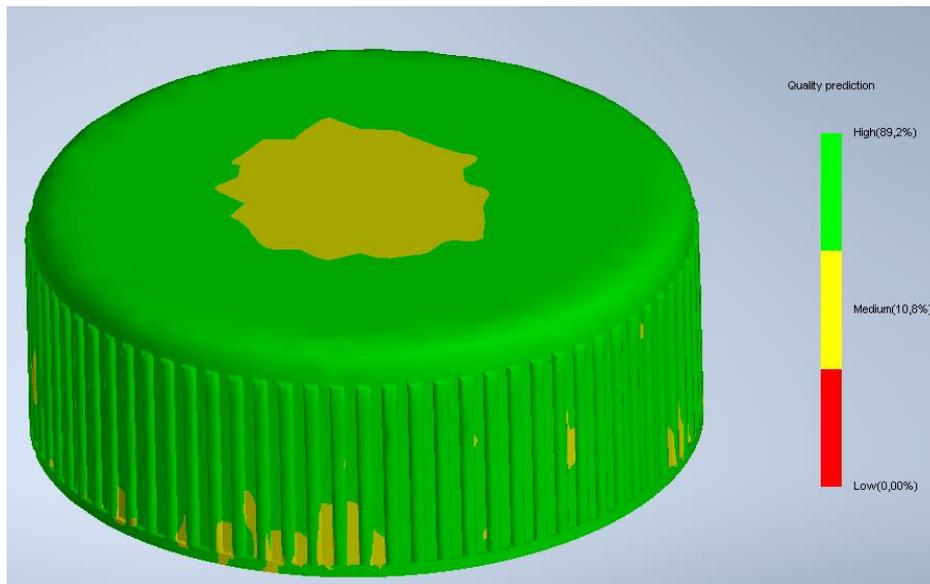
Obrázek 19 Predikce studených spojů

## 7.5 Shrnutí výsledků simulace

Díky analýze jsme zjistili predikovanou dobu plnění dutiny a tuhnutí výstřiku. Spolu s trváním dalších operací můžeme znát celkovou dobu jednoho výrobního cyklu. Dále máme podle simulace 100% jistotu, že bude celá dutina vyplněna taveninou. Ze simulace také známe, jakou přibližnou část povrchu a v jakých místech může mít výstřik horší kvalitu. Taktéž známe místa a orientaci studených spojů.

Přestože by víčko podle simulace nemělo mít nikde nízkou kvalitu povrchu, je vhodné pokusit se snížit procento střední kvality povrchu pomocí změny teploty taveniny a formy.

Teplota formy byla zvýšena na 58°C a teplota taveniny na 250°C. Tím se kvalita povrchu znatelně zvýšila jak je ukázáno na obr. 20. Na druhou stranu přibilo více studených spojů, které pro nás však nejsou tak důležité jako kvalita povrchu.



Obrázek 20 Kvalita povrchu pro upravené teploty

## 8 Předběžný návrh vstřikovací formy a jejich systémů

Jak již bylo popsáno v teoretické části, vstřikovací forma je velice komplexní součást. Před zvolením konkrétních rozměrů a typu vstřikovacího rámu je třeba předběžně navrhnout jednotlivé systémy a funkce.

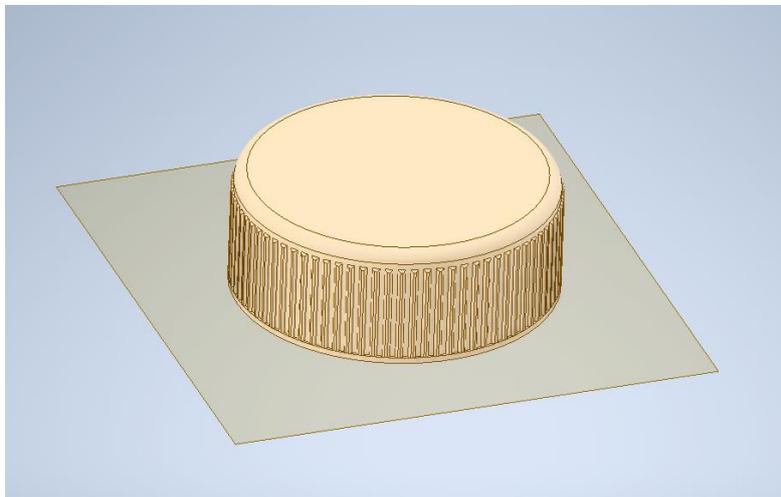
### 8.1 Násobnost vstřikovací formy

Vzhledem k tomu, že se víčka vyrábějí hromadně a jejich tvar zůstane s největší pravděpodobností stejný, je výhodné zvolit vysokou násobnost.

Vstřikovací forma je zvolena 64násobná.

### 8.2 Poloha dělicí roviny

Zvolená poloha dělicí roviny je zobrazena na obr. 21. Je to nejvhodnější poloha vzhledem ke složitosti tvarových desek a jednoduchosti odformování.



Obrázek 21 Poloha dělicí roviny

### 8.3 Vtokový systém

Pro naši formu je vhodné zvolit vyhřívanou vtokovou soustavu. Ta umožní umístit ústí vtoku do geometrického středu víčka. Zároveň nebude vznikat vtokový zbytek, který by vzhledem k vysoké násobnosti formy představoval vysoký objem materiálu. Dále se vyhřívaná vtoková soustava hodí více vzhledem k tenké stěně víčka.

### 8.4 Vyhazovací systém

Vyhazování plastových dílů, které obsahují vnitřní závit vyžadují speciální závitová (skládací) jádra, v angličtině nazývaná „collapsible cores“. Tyto jádra jsou schopná držet požadovaný tvar během vstřikování a „rozložit se“ během odformování. Závit totiž představuje podkos, který zabraňuje vyjmutí výstřiku z formy.

Díly obsahující závit je také možné z jádra ručně nebo strojově odšroubovat, nicméně v případě 64násobné formy je toto řešení nevhodné. V případě ručního odšroubování by byl výrobní proces neproduktivní a v případě strojového odšroubování by byl návrh formy mnohem komplikovanější a znatelně dražší. [10]

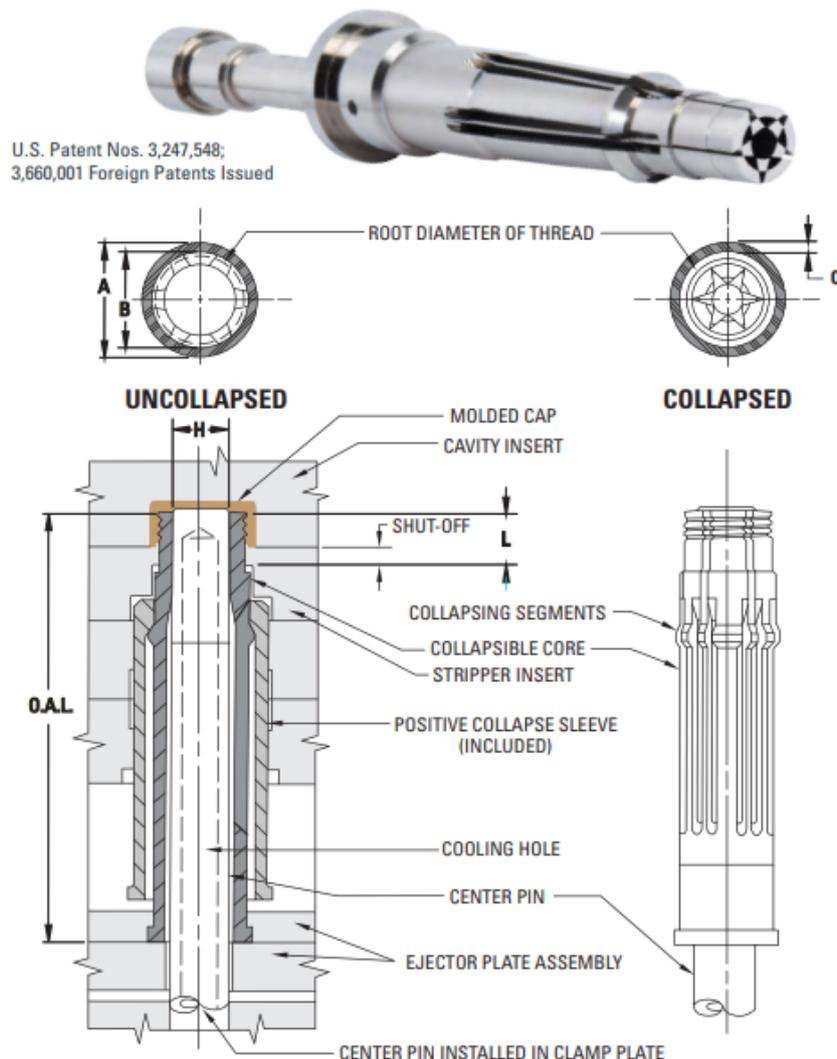
Pro naši formu jsou zvolena závitová jádra od formy DME pod obchodním názvem CC-175-PC. Volba byla provedena na základě požadovaného vnitřního průměru víčka.

Následné vyjmutí víček z „rozložených“ jader zajistí stírací deska, která bude ovládána samostatným vyhazovacím paketem.

#### 8.4.1 Závitové jádro CC-175-PC

Závitové jádro CC-175-PC zobrazené na obr. 22 se skládá ze tří částí. Středový čep (Center pin), skládací jádro (Collapsible core) a svírací trubka (positive collapse sleeve). Aby závitové jádro správně fungovalo, je třeba ho do formy vhodně uložit. Středový čep bude uložen mezi kotvicí a upínací deskou pohyblivé části formy. Skládací jádro bude uloženo v samostatném vyhazovacím paketu. Svírací trubka není pevně ukotvena, je pouze nasunuta na skládací jádro.

Zmenšení průměru jádra (rozložení jádra) charakterizované rozměrem C (viz. obr. 22) je provedeno dvěma pohyby. Nejprve je třeba z jádra vysunout středový čep a následně ho sevřít svírací trubkou. Tyto pohyby zajišťuje pohyb vyhazovacího paketu.

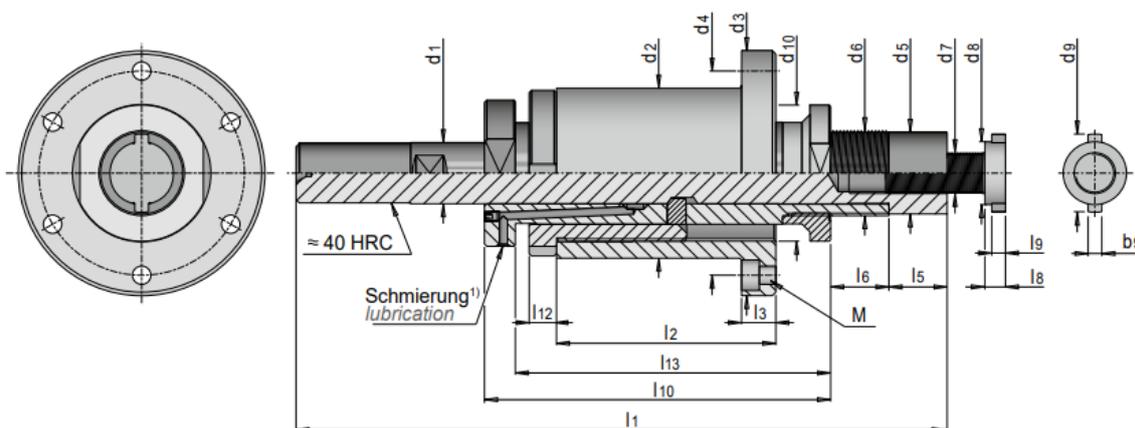


Obrázek 22 Závitové jádro CC-175-PC Uncollapsed-nerozložené jádro, A-maximální vnější průměr závitu, B-minimální vnitřní průměr závitu, H-průměr středového čepu, O.A.L.-celková délka skládacího jádra, Molded cap-vstříkované víčko, Cavity insert-tvarová vložka/tvarová deska, L-maximální pracovní délka závitového jádra, Collapsible segments-skládací segmenty, Collapsible core-skládací jádro, Positive collapse sleeve-svírací trubka, Cooling hole-díra pro chlazení, Center pin-středový čep, Ejector plate assemble-vyhazovací paket, Collapsed-rozložené jádro, C-zmenšení průměru jádra [13]

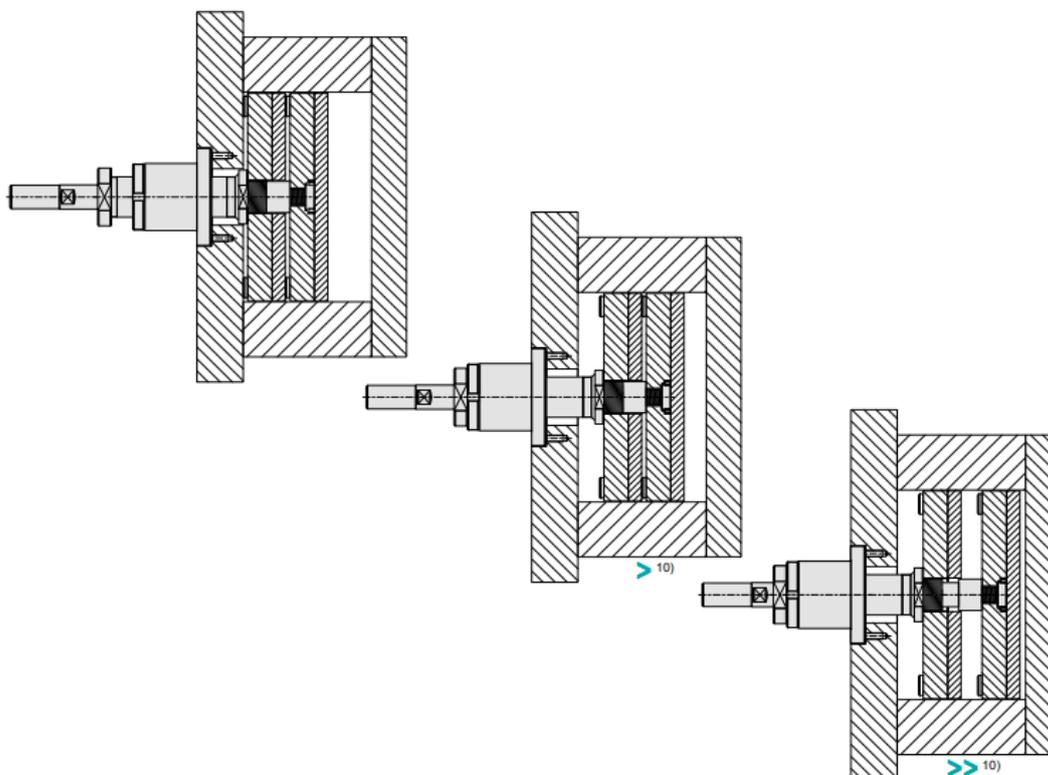
### 8.4.2 Dvoustupňový vyhazovač předbíhající

Vzhledem k tomu, že odformování víček vyžaduje dva samostatné vyhazovací pakety a je třeba jimi samostatně pohybovat, bude forma opatřena dvoustupňovým vyhazovačem předbíhajícím od firmy Meusburger pod obchodním názvem E 1860/44 (obr. 23). Volba byla provedena na základě rozměrů formy a potřebných zdvihů.

Uložení vyhazovače a jeho ovládání vyhazovacích paketů je zobrazeno na obr. 24. Vyhazovač nejprve pohybuje oběma vyhazovacími pakety vpřed. Jakmile je dosaženo maxima prvního zdvihu, pokračuje dál pouze přední vyhazovací paket až do požadovaného zdvihu 2.



Obrázek 23 Dvoustupňový vyhazovač předbíhající [14]



Obrázek 24 Funkce dvoustupňového vyhazovače [14]

## 8.5 Volba temperačního systému

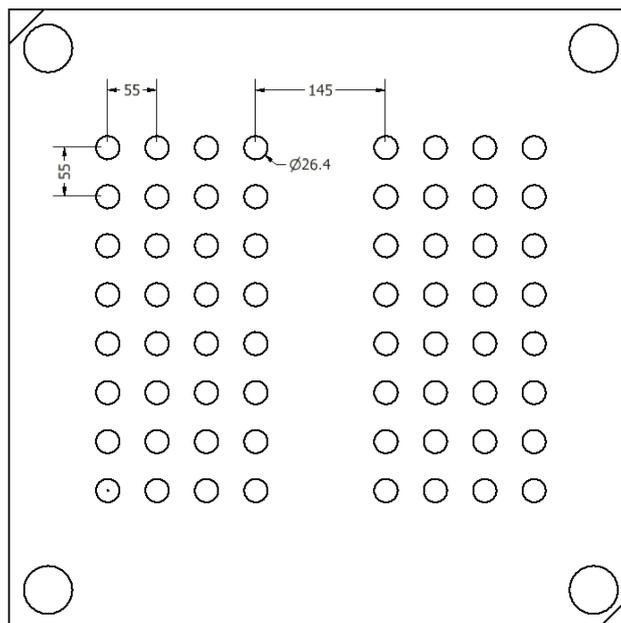
Tvarová deska tvárnice a skládací jádra budou temperovány pomocí systému temperačních kanálů. Vzhledem k největší tloušťce víčka, což je přibližně 1 mm, je zvolen průměr kanálů 8 mm. Dále je třeba respektovat doporučenou vzdálenost osy kanálu od stěny dutiny 10-20 mm a vzájemnou vzdálenost os sousedních temperačních kanálů 12-16 mm. Tyto hodnoty byly zvoleny vzhledem k tab. 1.

### 1 Doporučené hodnoty pro návrh temperačních kanálů [1]

TLOUŠŤKA STĚNY VSTŘIKOVNÉHO DÍLU t [ mm ]	VZDÁLENOST OSY TEMPERAČNÍHO KANÁLU OD DUTINY VSTŘIKOVČÍ FORMY A [ mm ]	VZÁJEMNÁ VZDÁLENOST OS SOUSEDNÍCH TEMPERAČNÍCH KANÁLŮ v [ mm ]	PRŮMĚR TEMPERAČNÍHO KANÁLU ØD [ mm ]
0 - 1	10 - 14	10 - 12	5 - 6
1 - 2	10 - 20	12 - 16	6 - 8
2 - 4	20 - 25	16 - 22	8 - 10
4 - 6	25 - 35	22 - 28	10 - 12
6 - 8	32 - 42	28 - 36	12 - 16
8 - 12	42 - 55	36 - 50	16 - 20

## 8.6 Rozložení dutin

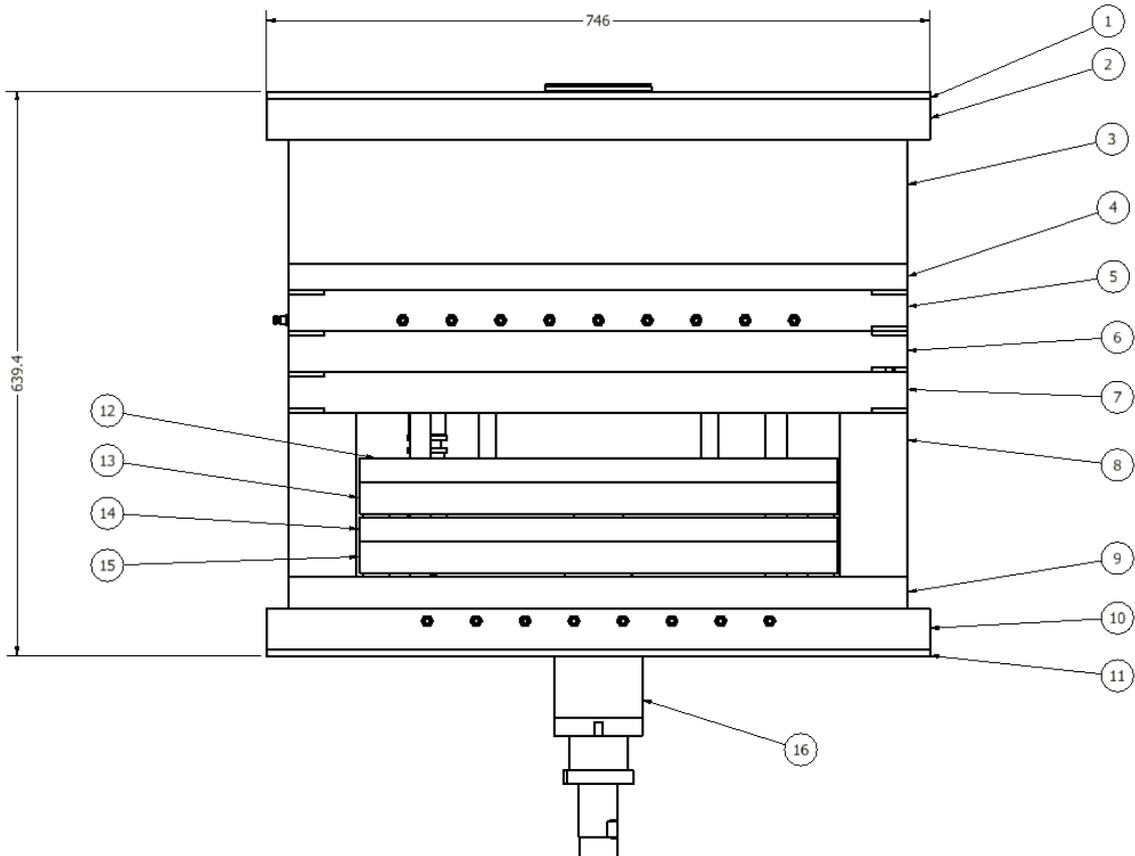
Poté, co známe potřebné rozměry, můžeme navrhnout rozložení dutin. Vzhledem k nejširší součásti, což je závitové jádro, je zvolena vzdálenost mezi dutinami 55 mm. Zároveň je ve středu formy dostatečná mezera mezi dutinami pro vytvoření místa na uložení dvoustupňového vyhazovače. Rozložení dutin je zobrazeno na obr. 25.



Obrázek 25 Rozložení dutin

## 9 Návrh desek rámu vstřikovací formy

Návrh rámu vstřikovací formy vycházející z předběžného návrhu systémů a funkcí formy v kapitole 8, je zobrazen na obr. 26. Veškeré desky jsou zvoleny od firmy Meusburger.



Obrázek 26 Návrh rámu vstřikovací formy 1 – Izolační deska, 2 – Upínací deska, 3 – Úložná deska pro vyhřívanou vtokovou soustavu, 4 – Úložná deska pro vyhřívanou vtokovou soustavu, 5 – Tvarová deska tvárnice, 6 – Stírací deska, 7 – Podpěrná deska, 8 – Rozpěra, 9 – Kotvící deska, 10 – Upínací deska, 11 – Izolační deska, 12 – Přidržovací vyhadzovací deska, 13 – Hlavní vyhadzovací deska, 14 – Přidržovací vyhadzovací deska, 15 – Hlavní vyhadzovací deska, 16 – Dvoustupňový vyhadzovač

### 9.1 Volba rozpěr

Potřebný zdvih vyhadzovacího paketu, který pohybuje se stírací deskou, je 12 mm. Potřebný zdvih vyhadzovacího paketu, kde je uloženo skládací jádro, je alespoň 33 mm. Rozpěry byly tedy zvoleny se zdvihem 52 mm.

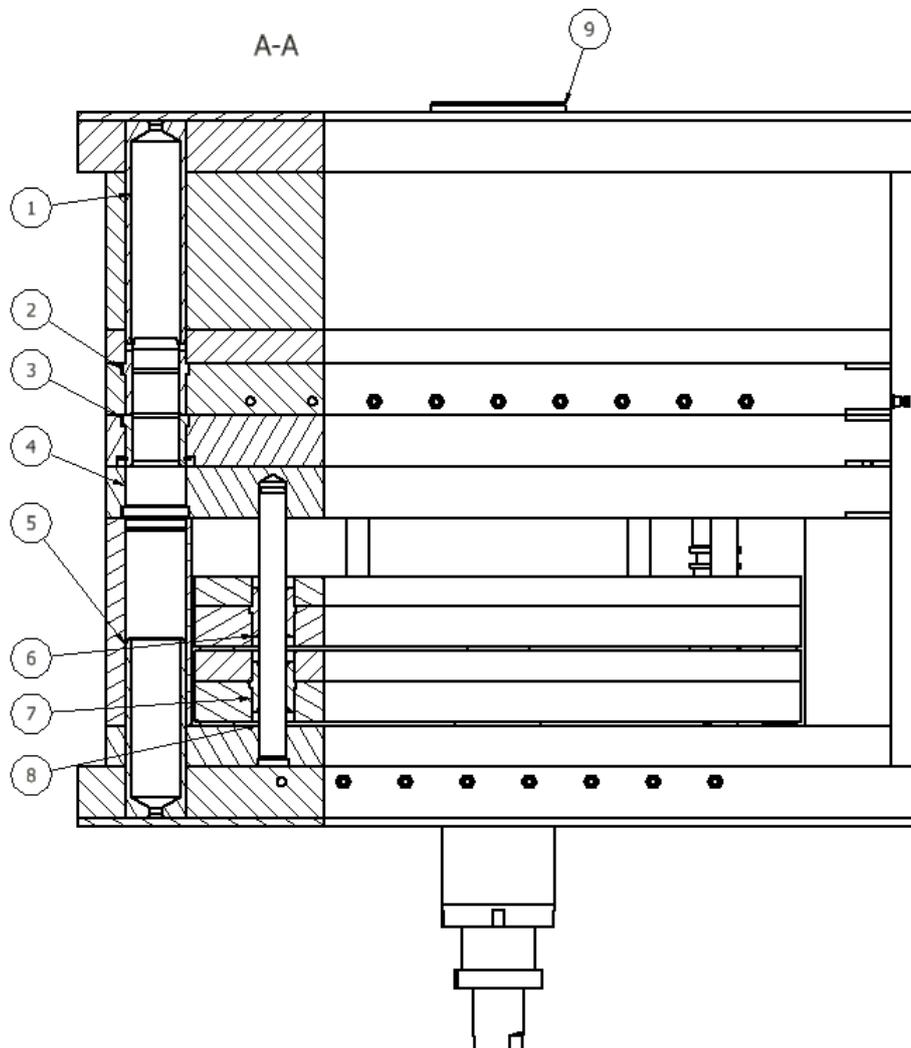
## 10 Návrh vodícího a centrovacího systému formy

Návrh vodícího a centrovacího systému je zobrazeno na obr. 27. Veškeré vodící a centrovací prvky byly zvoleny od firmy Meusburger.

Forma je opatřena čtyřmi centrovacími pouzdry v pevné části formy (poz. 1) a čtyřmi centrovacími pouzdry v pohyblivé části formy (poz. 5). Centrovací pouzdra zajišťují správnou vzájemnou pozici desek, kterými procházejí. Dále je forma opatřena čtyřmi vodícími sloupky (poz. 4), které jsou uloženy v pohyblivé části formy mezi podpěrnou a kotvící deskou. Vodící sloupky jsou vedeny vodícími pouzdry (poz. 2 a 3).

Vyhazovací pakety jsou opatřeny kuličkovými vedeními (poz. 6 a 7) a jsou vedeny vodícími čepy (poz. 8).

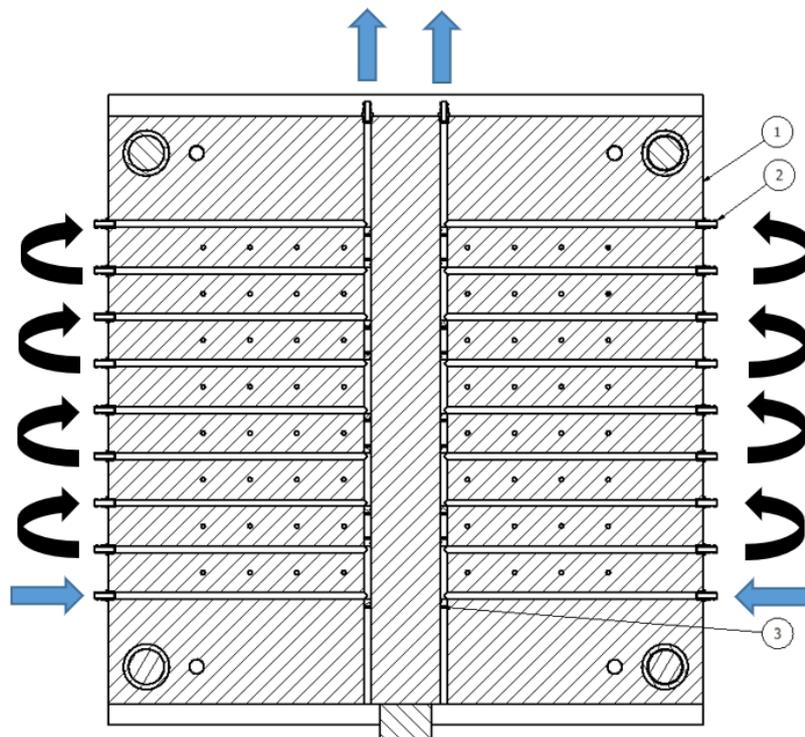
Forma je opatřena Centrovacím kroužkem (poz. 9).



Obrázek 27 Návrh vodícího a centrovacího systému vstřikovací formy 1 – Centrovací pouzdro, 2 – Vodící pouzdro, 3 – Vodící pouzdro, 4 – Vodící sloupek, 5 – Centrovací pouzdro, 6 – Kuličkové vedení pro vyhazovací paket, 7 – Kuličkové vedení pro vyhazovací paket, 8 – Vodící čep, 9 – Centrovací kroužek

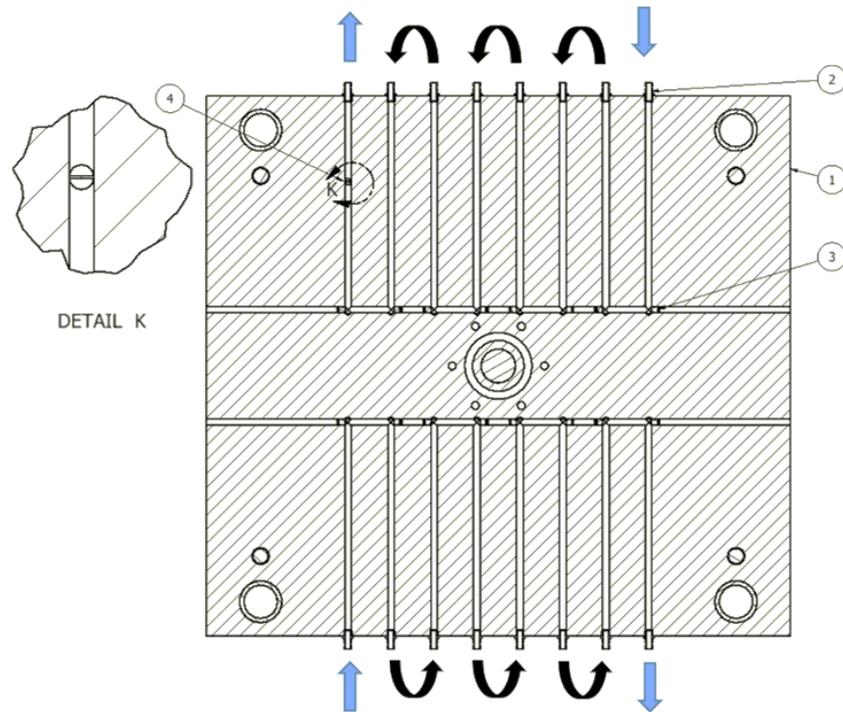
## 11 Návrh temperačního systému

Návrh temperačního systému tvarové desky tvárnice je zobrazen na obr. 28. Šipky zobrazují směr proudění temperační kapaliny. Modré šipky zobrazují vstup a výstup temperační kapaliny do a ze systému. Temperace tvarové desky je tvořena dvěma uzavřenými okruhy. Jednotlivé temperační kanály jsou spojené pomocí hadiček, které propojují kanály přípojkami (poz. 2). Dále jsou použity záslepky (poz. 3), které zajišťují, aby temperační médium proudilo požadovaným kanálem.

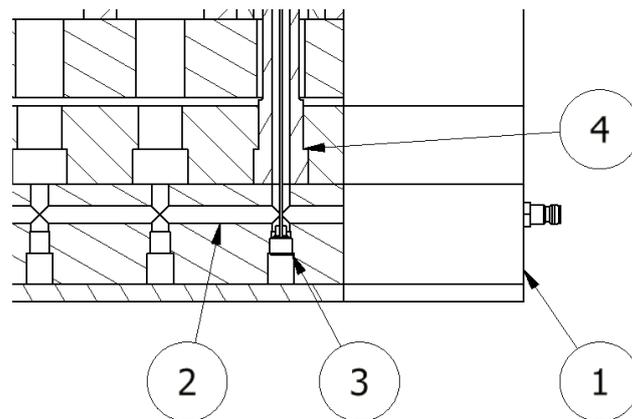


Obrázek 28 Temperace tvarové desky tvárnice 1 – Tvarová deska tvárnice, 2 – Přípojka, 3 – Záslepka

Jádra jsou temperována pomocí přepážkového systému. Tento systém je zobrazen na obr. 29 a 30. V upínací desce (poz. 1) je vyroben systém hlavních temperačních kanálů, který rozvádí temperační médium k jednotlivým jádrům. Systém je tvořen dvěma uzavřenými okruhy. Šipky určují směr proudění média a modré šipky zobrazují vstup a výstup kapaliny do a ze systému. Kanály jsou spojeny hadičkami přes přípojky a kanály jsou také opatřeny záslepkami stejně jako temperační systém tvarové desky. Uvnitř jader je vyvrtán kanál, který je spojen s hlavním temperačním kanálem a je na něj kolmý (viz obr. 30). Do kanálu uvnitř jádra je vložena plochá přepážka (obr. 30 poz. 3), čímž je kanál rozdělen na dvě poloviny. Jednou polovinou proudí médium směrem do jádra a druhou polovinou se médium vrací zpět do hlavního temperačního kanálu, který vede médium k dalšímu jádru.



Obrázek 29 Temperační systém v upínací desce 1 – Upínací deska, 2 – Přípojka, 3 – Záslepka, 4 – Plochá  
přepážka

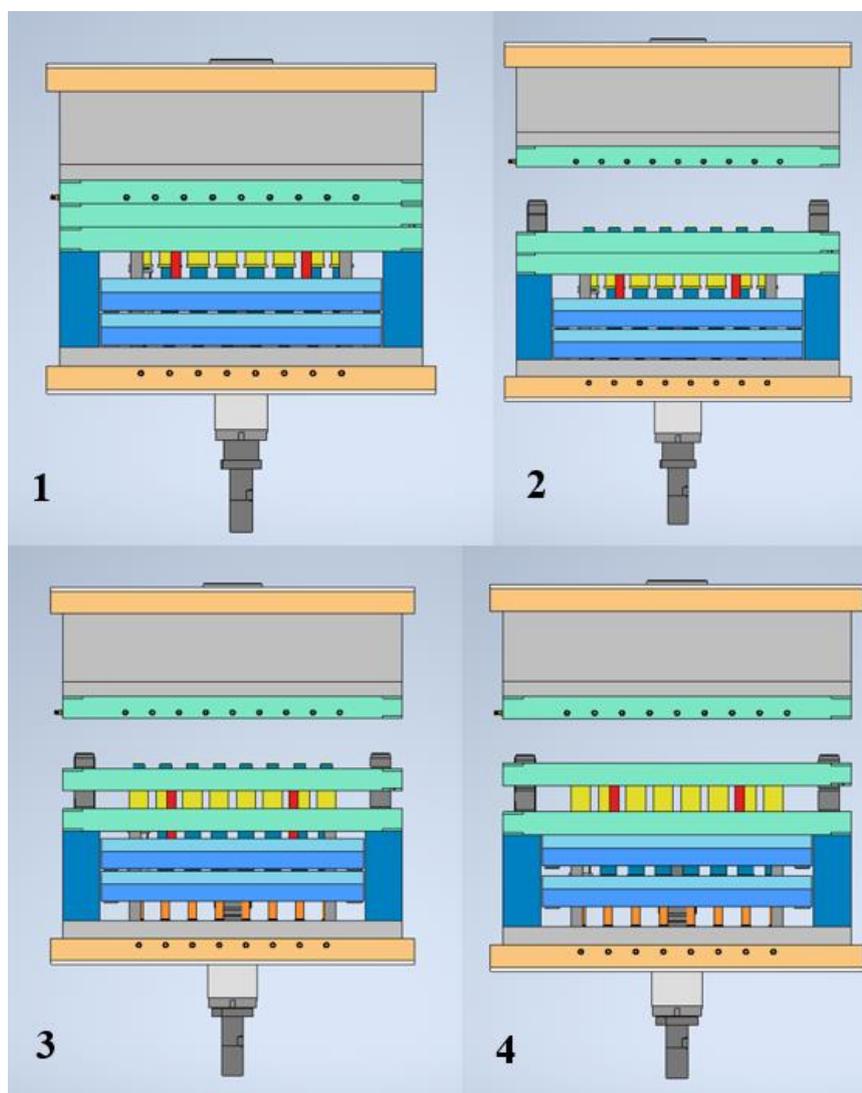


Obrázek 30 Temperační systém v upínací desce a vedlejší kanál uvnitř jádra s přepážkou 1 – Upínací  
deska, 2 – Hlavní rozváděcí kanál, 3 – Plochá přepážka, 4 – Jádro s vedlejším temperačním kanálem  
uvnitř

## 12 Návrh systému vyhazování

Proces odformování víček je zobrazen na obr. 31 a je rozdělen do čtyř fází. Na začátku procesu je forma zavřená (1). Následuje otevření formy v dělicí rovině pohybem celé pohyblivé části formy (2). Dalším krokem je pohyb dvoustupňového vyhazovače, který vysouvá oba vyhazovací pakety (3). Horní vyhazovací paket je pevně spojen se stírací deskou a ve spodním vyhazovacím paketu jsou uložena skládací jádra. Pohyb spodního vyhazovacího paketu způsobí vysunutí středového čepu ze skládacího jádra, čímž umožní svírací trubce sevřít jádro a tím zmenšit jeho průměr. Posledním krokem (4) je samostatný pohyb horního vyhazovacího paketu, který je spojen se stírací deskou a ta všechna víčka setře z jader. Víčka vlivem gravitace spadnou pod formu do sběrače.

Následuje zasunutí vyhazovacích paketů do původní polohy a následné zavření formy.

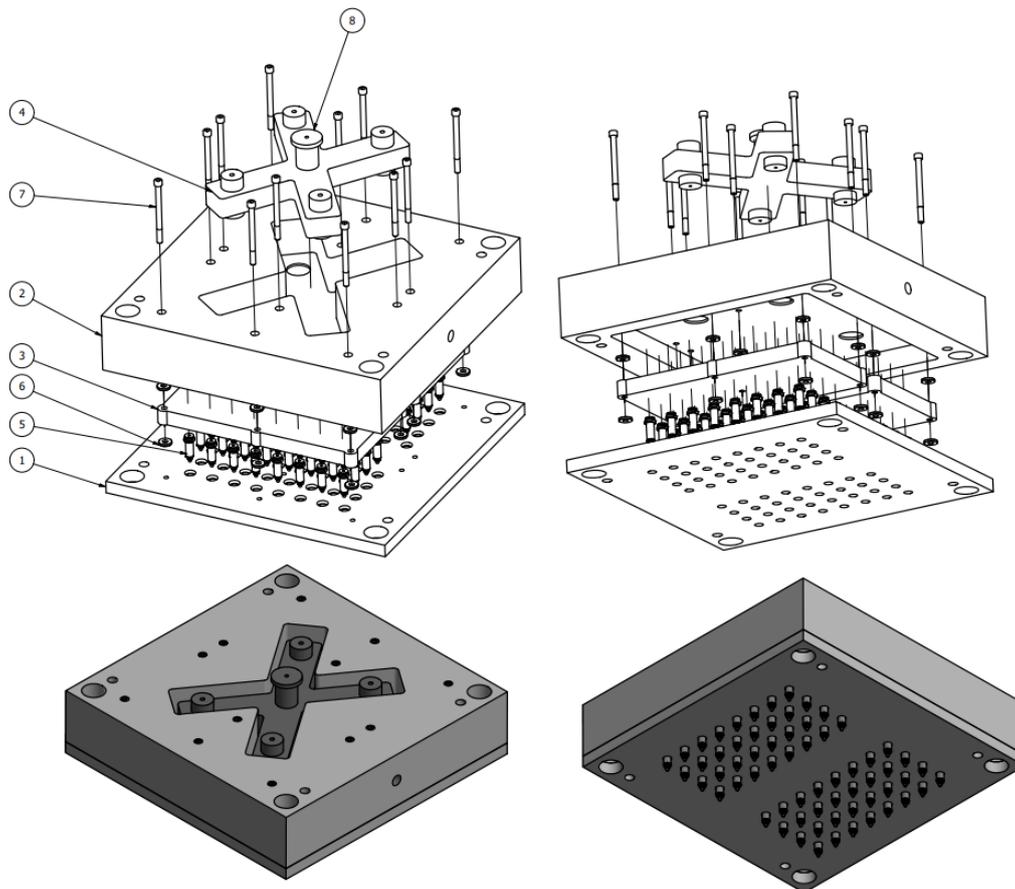


Obrázek 31 Proces odformování 1 – Uzavřená forma, 2 – Otevřená forma, 3 – Pohyb oběma vyhazovacími pakety, 4 – Pohyb stírací desky

### 13 Návrh vtokového systému

Pro vyhřívanou vtokovou soustavu byly zvoleny vyhřívací trysky od firmy Hasco pod obchodním názvem H20212/25x71. Jedná se o otevřenou vyhřívanou trysku s vnějším vyhříváním. Volba byla provedena na základě doporučení od výrobce vzhledem ke vstříkovanému materiálu, teplotě taveniny a hmotnosti výstřiku. Uložení trysek do rámu formy bylo též provedeno podle doporučení výrobce.

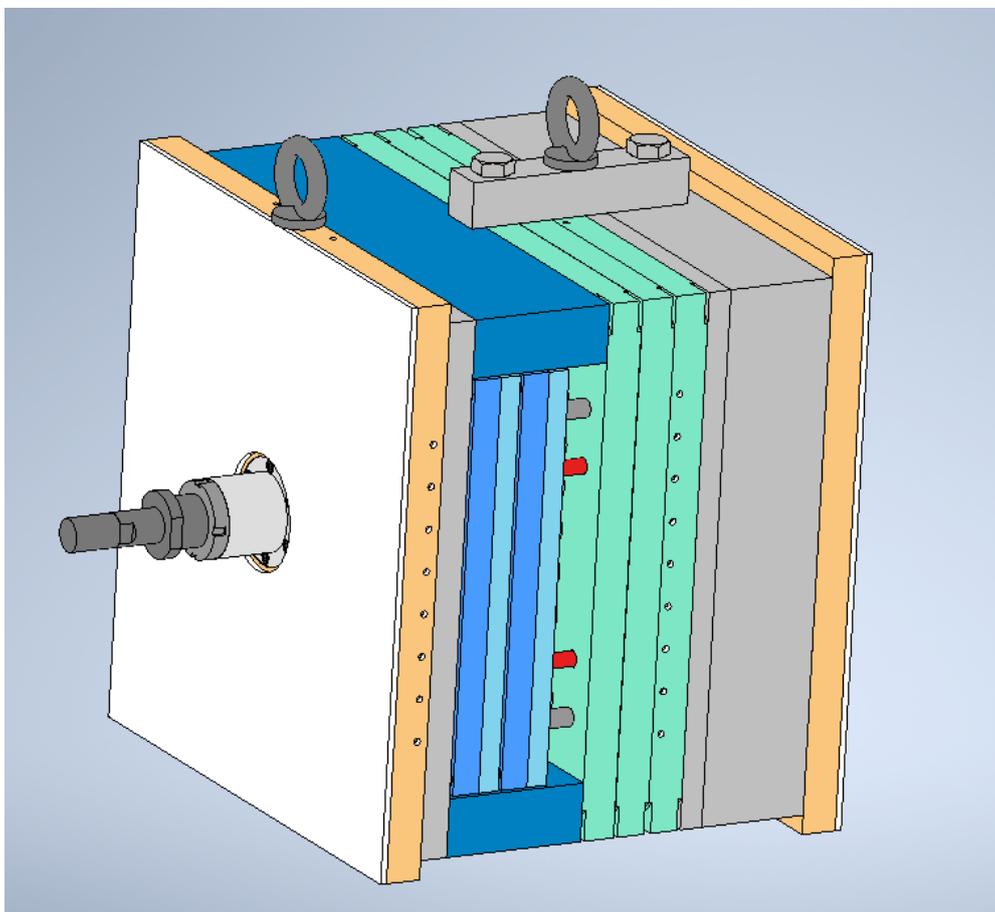
Vyhřívanou rozváděcí soustavu je možno nechat navrhnout od firmu Hasco. Rozložení je naznačeno na obr. 32. Skládá se z primární rozváděcí desky (poz. 4), která je spojena se sekundární rozváděcí deskou (poz. 3) a seshora je pomocí čtyř šroubů spojena k upínací desce pevné části vstříkovací formy. Sekundární rozváděcí deska je spojena s úložnými deskami (poz. 1 a 2) pomocí imbusových šroubů (poz. 7). Od stěn jsou rozváděcí desky izolovány vzduchovou mezerou a izolačními podložkami (poz. 6).



Obrázek 32 Návrh vyhřívané vtokové soustavy a její uložení 1 – Úložná deska, 2 – Úložná deska, 3 – Sekundární vyhřívání rozváděcí deska, 4 – Primární vyhřívání rozváděcí deska, 5 – Vyhřívání tryska, 6 – Izolační podložka, 7 – Imbusový šroub M12x150, 8 – Vyhřívání vtoková vložka

## 14 Návrh manipulačního systému

Vzhledem k váze celé formy byla zvolena dvě závěsná oka od firmy Meusburger pod obchodním názvem E 1270/30. Zároveň jsou obě poloviny formy spojeny transportní pojistkou, který zajišťuje, aby se forma během manipulace neotevřela. Manipulační prvky jsou vidět na obr. 33.



Obrázek 33 Forma s manipulační pojistkou a závěsnými oky

## 15 Závěr praktické části

Cílem praktické části této práce byl návrh vstřikovací formy dle zadání a následné vytvoření výkresu sestavy a kusovníku vstřikovací formy, které jsou k nalezení v příloze.

Nejprve byl navržen konkrétní tvar víčka a zvolen vhodný materiál. Při návrhu víčka byly dodržovány zásady a doporučení pro konstrukci plastových vstřikovaných dílů popsaných v kap. 3. Materiál byl zvolen vzhledem k funkci a požadovaným vlastnostem víčka.

Pro navržené víčko ze zvoleného materiálu byla provedena simulace plnění v programu Autodesk Inventor 2021. Ze simulace byla zjištěna predikce kvality výstřiku, jistoty vyplnění dutiny, studených spojů a celkového času plnění. Vzhledem k nedostatečné kvalitě povrchu byla upravena teplota formy a taveniny, čímž bylo dosaženo lepších výsledků. Z analýzy jsme se ujistili, že návrh tvaru víčka byl proveden správně a že odhadovaná kvalita povrchu je vyhovující.

Před návrhem vstřikovací formy s konkrétními prvky a rozměry byl v kapitole 8 proveden předběžný návrh veškerých systémů formy. Nesložitějším systémem byl systém vyhazování kvůli vnitřnímu závitu víčka, který představuje podkos. Bylo třeba zvolit speciální závitová jádra a dvoustupňový vyhazovač, který umožňoval správné fungování jader a zároveň pohyb stírací desky.

S ujasněním si všech systémů v této kapitole bylo možné volit konkrétní rozměry a komponenty. K návrhu rámu a většině komponentů byl využit výrobce Meusburger, který dává k dispozici velký výběr dílů a jejich CAD modely. Dále byl využit výrobce HASCO k volbě vyhřívaných trysek. Některé díly však byly upraveny nebo navrženy.

Problém ovšem nastal při volbě vyhřívacího rozváděcího systému. Vzhledem k 64násobné formě nebylo možné najít vhodnou prodávanou vyhřívací vtokovou soustavu. Takové soustavy s vysokým počtem trysek vyrábějí firmy pouze na zakázku. Byla tedy navržena rozváděcí vyhřívaná soustava pouze na základě volně dostupných rozměrových informací jako je minimální rozteč trysek, výška a šířka desky.

Z výsledného navrženého modelu vstřikovací formy byl vytvořen výkres sestavy zobrazující veškeré její komponenty a jejich uložení v rámu.

## Seznam použitých zdrojů

- [1] Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů. ePubli webová knihovna [online]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/Cover.html>
- [2] DSpace Home [online]. Copyright © [cit. 23.05.2023]. Dostupné z: [https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/11122/jur%C3%A1sek\\_2010\\_bp.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/11122/jur%C3%A1sek_2010_bp.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [3] DSpace Home [online]. Copyright © [cit. 23.05.2023]. Dostupné z: [https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/23013/jur%C3%A1sek\\_2012\\_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/23013/jur%C3%A1sek_2012_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [4] Stroje pro zpracování polymerních materiálů. ePubli webová knihovna [online]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/Cover.html>
- [5] Polymery. ePubli webová knihovna [online]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Cover.html>
- [6] What is a hot runner? | Mold Masters. Hot Runners | Injection Molding | Mold-Masters [online]. Dostupné z: <https://www.moldmasters.com/blog/what-is-a-hot-runner>
- [7] [online]. 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)
- [8] Encyklopedie plastů: nízkotlaký (vysokohustotní) polyethylen (HDPE) - Samosebou.cz. Samosebou.cz [online]. Copyright © 2023 [cit. 23.05.2023]. Dostupné z: <https://www.samosebou.cz/2020/07/02/encyklopedie-plastu-nizkotlaky-vysokohustotni-polyethylen-hdpe/>
- [9] Click to open/close. [online]. Copyright © 2023 HASCO [cit. 23.05.2023]. Dostupné z: <https://www.hasco.com/en/hotrunner/home>
- [10] Best Methods of Molding Undercuts | Plastics Technology . Helping Plastics Processors Do Things Better | Plastics Technology [online]. Copyright © [cit. 23.05.2023]. Dostupné z: <https://www.ptonline.com/articles/best-methods-of-molding-undercuts>
- [11] Inicio – Insumos Internacionales GC, S.A. de C.V. [online]. Dostupné z: <https://iigc.mx/Fichas/HDINM-M40053S-SABIC.pdf> [12] <https://online.flippingbook.com/view/668526/88-89/#zoom=true> dme katalog
- [13] Normálie | Formařina Nástrojařina Stojírenství | Meusburger. Normálie | Formařina Nástrojařina Stojírenství | Meusburger [online]. Copyright © 2022 by Meusburger Georg GmbH [cit. 23.05.2023]. Dostupné z: <https://www.meusburger.com/>
- [14] Wikipedie, otevřená encyklopedie. [online]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Hlavn%C3%AD\\_strana](https://cs.wikipedia.org/wiki/Hlavn%C3%AD_strana)

## **PŘÍLOHA č. 1**

### **Výkres víčka**

## **PŘÍLOHA č. 2**

### **Výkres sestavy vstříkovací formy**

## **PŘÍLOHA č. 3**

### **Kusovník vstříkovací formy**