



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**  
**ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ**  
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

**METODIKA NÁVRHU KONSTRUKCE**  
**VSTŘIKOVACÍ FORMY V SYSTÉMU CATIA V5**  
METHODOLOGY OF INJECTION MOLD DESIGN IN THE CATIA V5

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**ADAM PŘIKRYL**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**doc. Ing. DAVID PALOUŠEK, Ph.D.**

BRNO 2014



## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá popisem návrhu konstrukčního řešení vstříkovací formy pro kryt ventilátoru nákladního automobilu v programu Catia V5R19. V první části bakalářské práce jsou popsány základní informace o vstříkovacích formách, vstříkovacím stroji a cyklu vstříkování. Samotné řešení práce se věnuje popisu návrhu vstříkovací formy pro zadaný díl. Součástí práce je konstrukce 3D modelu vstříkovací formy.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Konstrukce, plast, vstříkovací forma, vstříkování plastů

## **ABSTRACT**

This bachelor's thesis describes the design solution of an injection mold for the cover of the cooling-air fan from the truck. Software Catia V5R19 is used for the design solution. First part of the bachelor's thesis describes basic information about injection molds, molding machines and injection cycle. Very solution of the thesis describes the proces of designing an injection mold for the specified plastic part. Part of the design is the 3D model of injection mold.

## **KEY WORDS**

Design, plastic, injection mold, plastic injection

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

PŘIKRYL, A. *Metodika návrhu konstrukce vstříkovací formy v systému Catia V5*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 47 s. Vedoucí bakalářské práce Doc. Ing. David Paloušek, Ph.D.

---



## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Čestně prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci Metodika návrhu konstrukce vstříkovací formy v systému Catia V5 napsal a vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího bakalářské práce Doc. Ing. Davida Palouška, Ph.D. a uvedl v seznamu všechny použité zdroje.

V Brně dne

.....  
Adam Příkryl

---



## **PODĚKOVÁNÍ**

Touto cestou bych rád poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce Doc. Ing. Davidu Palouškovi Ph.D. za odborné vedení a trpělivost. Dále bych velice rád poděkoval pracovníkům z konstrukčního oddělení firmy Mürdter Dvořák za veškeré rady a připomínky k práci a za to, že mi umožnili práci na toto zajímavé téma vypracovat.

---





**OBSAH**

<b>OBSAH</b>	<b>11</b>
<b>ÚVOD</b>	<b>12</b>
<b>1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ</b>	<b>13</b>
1.1 Vstřikovací formy	13
1.1.1 Vtokové systémy forem	13
1.1.2 Vtoky	14
1.1.3 Temperace forem	16
1.1.4 Vyhazování výlisků z forem	17
1.1.5 Odvzdušnění	18
1.1.6 Smrštění	19
1.1.7 Materiály forem	19
1.2 Vstřikovací stroj	19
1.2.1 Vstřikovací cyklus	20
1.2.2 Vstřikovací jednotka	20
1.2.3 Uzavírací jednotka	21
<b>2 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE</b>	<b>22</b>
2.1 Cíl práce	22
<b>3 NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ</b>	<b>23</b>
3.1 Varianty řešení	23
3.1.1 Varianta č. 1	23
3.1.2 Varianta č. 2	23
3.2 Výběr a zdůvodnění nejvhodnější varianty	24
<b>4 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ</b>	<b>26</b>
4.1 Výrobek (výstřik)	28
4.1.1 Zavedení souřadného systému	28
4.1.2 Analýza vyrobitelnosti výstřiku	28
4.1.3 Smrštění výstřiku	29
4.2 Konstrukce formy	29
4.2.1 Startovací model	29
4.2.2 Tvarové desky	30
4.2.3 Slidery	31
4.2.4 Vtokový systém	33
4.2.5 Vyhazovací systém	34
4.2.6 Chladicí systém	36
4.2.7 Transportní prvky formy	37
4.2.8 Výrobní a montážní prvky formy	38
4.2.9 Ostatní prvky formy	39
4.3 Volba lisu	41
<b>DISKUSE</b>	<b>43</b>
<b>ZÁVĚR</b>	<b>44</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ</b>	<b>45</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b>	<b>46</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH</b>	<b>47</b>

## ÚVOD

Asociace Plastics Europe ve své publikaci "Plastics - the facts" udává, že v roce 2012 bylo na světě vyprodukováno přibližně 288 miliónů tun plastů. Tato čísla, v porovnání s rokem 1950, kdy bylo vyprodukováno 1,7 miliónů tun plastů, poukazují na rapidní vývoj v produkci a zpracování plastických hmot. Plasty se řadí mezi nejpoužívanější a nejuniverzálnější materiály na světě. Díky technologiím jako je rapid prototyping je možno vyrobit plastové díly takových tvarů, které nelze konvenčními metodami výroby dosáhnout. Plasty se díky svým vlastnostem začaly používat takřka ve všech odvětvích průmyslu a dnes jsou již nedílnou součástí moderního života. Jedním z odvětví průmyslu, kde se plasty využívají, je právě automobilový průmysl. Dle asociace Plastics Europe v roce 2012 čítal odběr plastických hmot pro automobilový průmysl v Evropě 8,2% celkové Evropské produkce. V běžném osobním automobilu plastové díly zaujímají 10-15% celkové hmotnosti auta. Z plastu je vyroben takřka celý interiér automobilu. Také světlá, nárazníky, kryty elektrických rozvodů a některé díly pod kapotou automobilu jsou vyrobeny z plastu. Většina těchto dílů je vyráběna vstřikováním a je nutné sestrojít formu pro jejich výrobu. Samotná výroba formy je finančně velice nákladná, a proto je nutné ji správně navrhnout a zkonstruovat. Na trhu je mnoho konstrukčních programů, a řada z nich nabízí i specializované nástroje pro konstrukci forem, které mají konstruktérovi práci usnadnit. Jedním z těchto programů je Catia V5 od francouzské firmy Dassault Systemes.

Tato bakalářská práce se zabývá tím, jak může konstruktér postupovat při návrhu konstrukce vstřikovací formy pro zadaný díl v programu Catia V5 a čemu je třeba při konstrukci věnovat pozornost.

# 1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

**1**

## 1.1 Vstřikovací formy

1.1

### *Zásady konstrukce výstřiků z plastů*

Při konstrukci formy je také třeba hledět na kvalitu návrhu výsledného výstřiku. Samotná, byť koncepčně dobře řešená forma a optimální technologie výroby, již prvotní nedostatky konstrukce dílu neodstraní. Konstrukce výstřiku musí splňovat v zásadě dvě hlavní hlediska:

1. Funkci plastového dílu v daném zařízení a užité, estetické, ergonomické a bezpečnostní hlediska.

2. Lisotechnické zásady – zaformovatelnost; tloušťky stěn, žeber, nálitky a rádiusy; lisovací úkosy; volba vhodného druhu plastu...

- zaformovatelností se rozumí způsob optimálního zaformování ve formě, aby výlisek, odformovatelný pomocí různých konstrukčních prvků mohl být ekonomicky vyráběn, nejlépe v automatickém chodu.

- tloušťka stěny musí splňovat požadavek funkční (pevnost, tuhost, aj.) a lisotechnický (z hlediska tečení plastu ve formě). Z ekonomického hlediska se snažíme, aby tloušťka stěny byla co nejmenší, neboť nám ovlivňuje nejen náklady na materiál, ale také strojní časy (doba tuhnutí, vytvrzování). Dále se snažíme zachovat rovnoměrnost tloušťky stěn, aby různým smrštěním nevznikaly deformace a pnutí při chladnutí výstřiku. Tlustší stěna v návaznosti na slabší stěnu má větší smrštění a tím vznikají tzv. faldy.

- ostré rohy vykazují úhlové deformace z důvodu různé intenzity odvodu tepla, proto se rohy zaoblují. Zaoblení zlepši průtok materiálu v dutině formy, snižuje zbytkové pnutí a usnadní vyjímání výrobku.

- dalším důležitým prvkem výstřiku jsou úkosy. Úkos je mírný sklon stěny v dutině formy a je nutný pro snadné odformování při vyhazování výstřiku z dutiny formy. [1]

### 1.1.1 Vtokové systémy forem

1.1.1

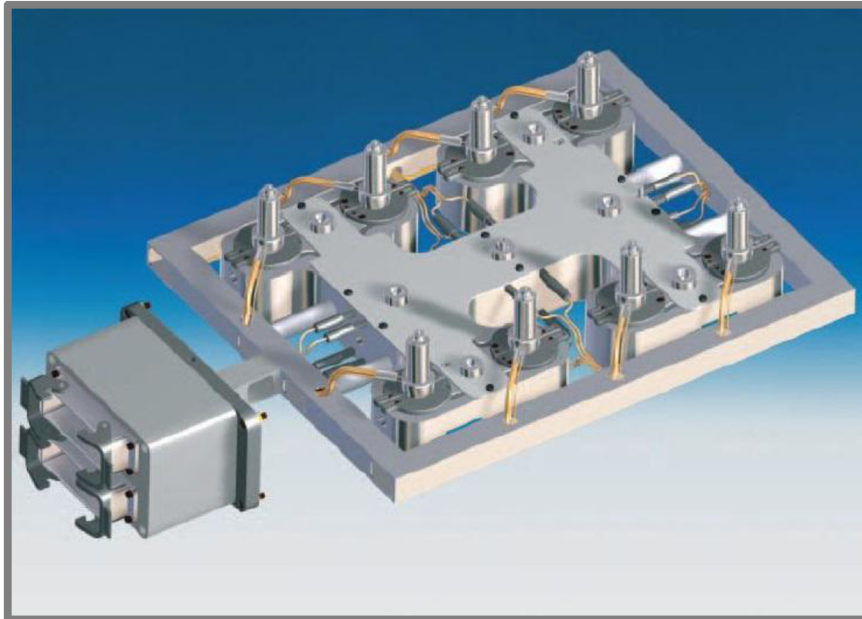
Vtoková soustava musí zajišťovat dopravení roztaveného plastu z vstřikovacího stroje do dutiny formy v co možná nejkratším čase a s malými tlakovými a teplotními ztrátami. Vtoková soustava je složena z rozváděcích kanálů. Tyto kanály by měly mít co nejmenší poměr obvodu vůči ploše kanálu, aby byl hydraulický odpor při průtoku taveniny co nejmenší. Rozlišujeme studené vtokové systémy a vyhřívané vtokové systémy. [2]

#### *Studený vtokový systém*

Kanály vtokové soustavy jsou přímo vyfrézovány do desky formy. Teplota je zde tedy stejná jako teplota formy. Po vyplnění dutiny formy zbylá tavenina v kanálech vtokové soustavy ztuhne a musí být vyhozena s výstřikem při otevření formy. Výhodou těchto systémů je jejich nízká cena, která je zřetelně nižší než u vyhřívaných vtokových systémů. Nejsou zde zapotřebí senzory, ovládání, topení a není zde zapotřebí dodatečných dílů formy. Nevýhody těchto systémů jsou zejména větší spotřeba plastu, která jde u termoplastů snížit recyklací a opětovným použitím plastu. Je zde potřeba přidat vyhazovací systém pro vtokovou soustavu. Dále je u studených vtokových systémů větší spotřeba energie (tavení většího množství plastu, následná recyklace) [3] [4]

*Vyhříváný vtokový systém*

Tyto systémy lze chápat jako prodlouženou injekční trysku ve formě bloku zabudovaného do formy. Tavenina je oddělena tepelnou izolací od studené formy. Tento blok se skládá z trysky, vtokového kanálu, rozvodných kanálů a vtoků. Teplota celého bloku leží v oblasti tavení plastu. Tyto systémy mají výhodu zejména v nižší spotřebě plastu a energie, lepší automatizaci výroby a vyšší kvalitě výstřiků. Mezi nevýhody patří vysoká cena těchto systémů a potřeba izolace bloku od formy. [4]



Obr. 1-1 Vyhříváný vtokový systém [5]

## 1.1.2

**1.1.2 Vtoky**

Vtok je místo, kterým tavenina vstupuje do dutiny formy. Při vstřikování termoplastů má druh a umístění vtoku podstatný vliv na proudění taveniny ve formě, vytváření studených spojů, rovnoměrnost krystalizace, povrchový vzhled, vznik vnitřních dutin, propadlin apod. [2]

Požadavky na vtoky jsou různé. Velké vtoky usnadňují plnění formy a snižují napětí ve výsledném výstřiku. U velkých vtoků je tuhnutí a smršťující se plast déle propojen s horkým plastem ve vtokovém systému což zabraňuje vzniku možných staženin. Nevýhodou velkých vtoků je jejich obtížné oddělování od výstřiků. Malé vtoky rychleji tuhnou a vytváří vnitřní napětí v oblasti vtoku, ale zato se jednoduše oddělují od výstřiku a jejich stopa na výstřiku je nepatrná. [3]

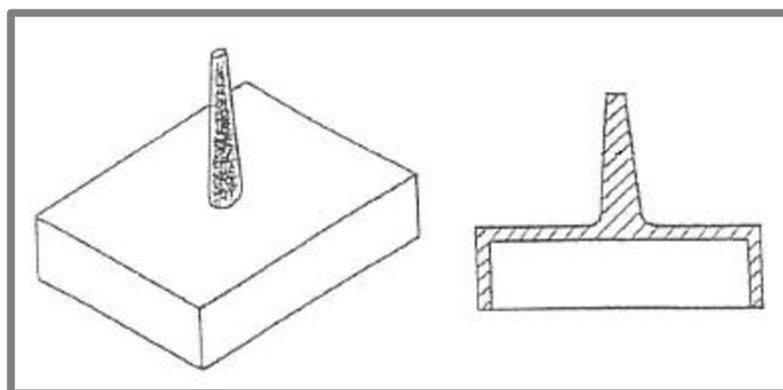
*Zásady umístění vtoků*

Počet a umístění vtoků ve formě má zásadní vliv na zatékání taveniny do formy, ale i na deformace výstřiku při špatném umístění vtoků. Vtoky je nutné orientovat na nejtlustší místa na výstřiku, aby byl využit dotlak pro eliminaci vtaženin. Dále je nutné se vyhnout volnému vtékání taveniny do dutiny formy. Při volném vtékání taveniny do dutiny formy na výstřiku vznikají výrazné vzhledové defekty ve tvaru hada. Tomuto se lze vyhnout umístěním překážky za ústí vtoku pro zlom toku taveniny. Také je nutné se vyhnout vstřikování do míst na výstřiku, která jsou při

následném používání produktu nejvíce namáhána, protože místa vtoků jsou z důvodů koncentrace pnutí vždy nejslabšími místy výstřiku. [1]

#### *Plný vtok*

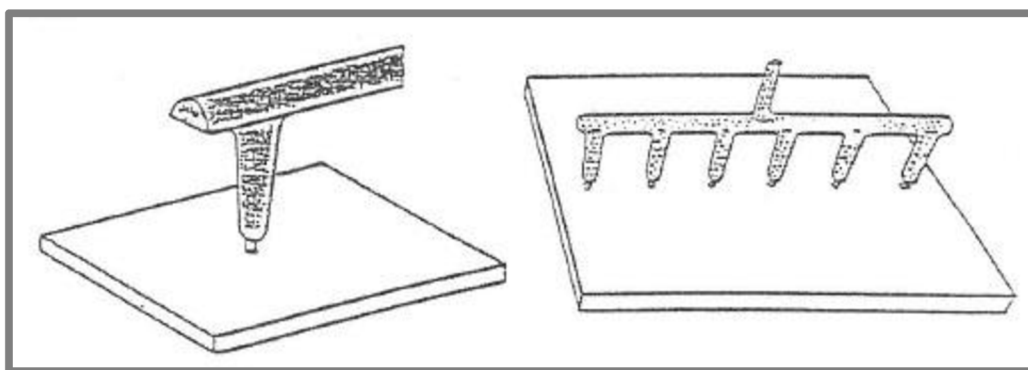
Jeho výhodou je malá tlaková ztráta, malá anizotropie smrštění a malé vnitřní pnutí ve výstřiku. Nevýhodou je delší výrobní cyklus a obtížné oddělování vtoků od výstřiku. Používá se hlavně pro rozměrné a tlustostěnné výstřiky. [2]



Obr. 1-2 Příklad plného vtoku [1]

#### *Bodový vtok*

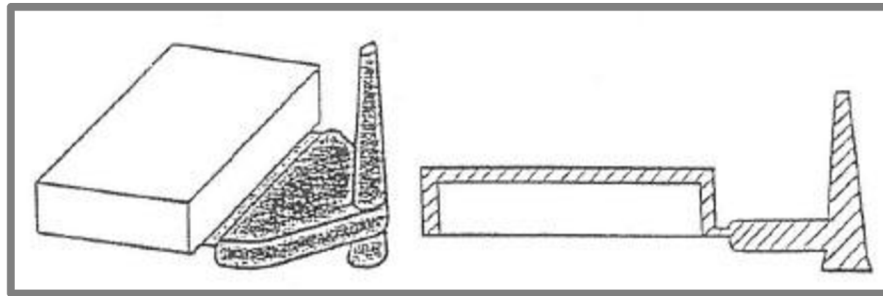
Používá se pro rychle vyráběné tenkostěnné výstřiky a pro vícenásobný vtok na jednom výstřiku. Nevýhodou bodových vtoků jsou velké tlakové ztráty. Zvláštními typy bodových vtoků jsou vtoky tunelové nebo srpkové. Tyto bodové vtoky se při otevírání formy samočinně odtrhnou a na výstřiku zanechají pouze nepatrnou stopu. [2]



Obr. 1-3 Příklad bodového vtoku [1]

#### *Štěrbínový vtok*

Patří sem boční štěrbinové vtoky, filmové vtoky a membránové vtoky. Umožňují rovnoměrné plnění dutiny formy s malým dodatečným smrštěním výstřiku. Jejich nevýhodou je větší spotřeba materiálu a nezbytnost dodatečného odstranění vtoků od výstřiku. Používá se pro ploché rozměrné výstřiky a pro prstencové tvary pouzdra. [2]

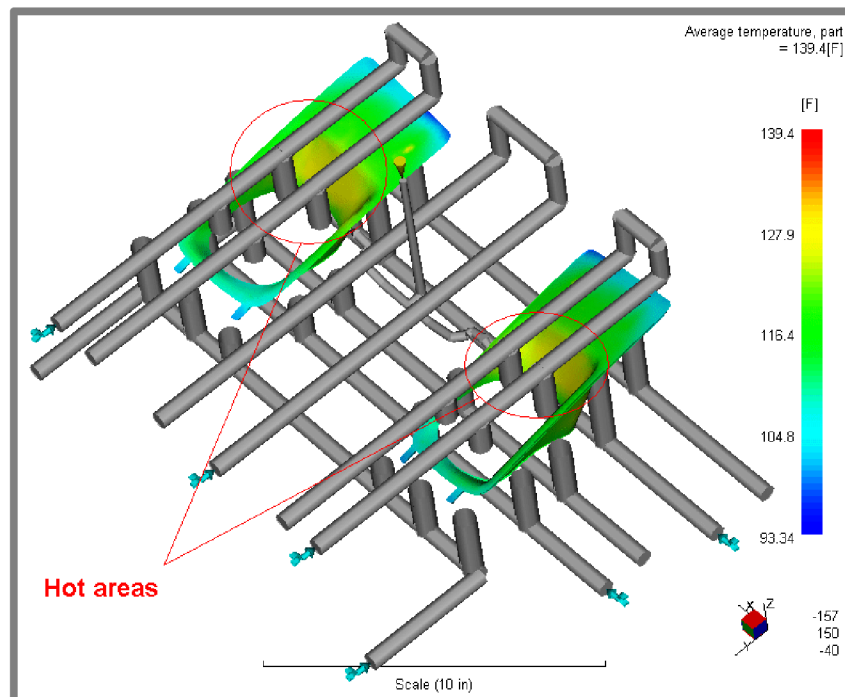


Obr. 1-4 Příklad štěrbinového vtoku [1]

## 1.1.3

**1.1.3 Temperace forem**

Forma je v podstatě tepelný výměník - většinu tepelné energie, která byla předána plasty, aby se roztavil na vstříkací teplotu, musíme po vstříknutí plasty do formy zase odebrat, než je možné výsledný výstřík vyjmout z formy. Jelikož každý výstřík musí být odformován při dané teplotě, tak je nutné, aby se teplo z formy odvádělo pomocí chladicí soustavy. Naopak při prvním vstříknutí je nutné, aby se forma předeřádala na provozní teplotu. Chlazení prodlužuje časy cyklů, proto je snaha odebírat výstříky z formy tak horké, jak to jen jde. Vyhazování horkých výstříků má ovšem své nevýhody. Čím teplejší je výstřík při vyhazování, tím více se smrští po úplném ochlazení. Proto rozvržení chladicí soustavy má velký vliv na výslednou kvalitu produktu a efektivnost celého procesu. [3]



Obr. 1-5 Příklad rozvržení chladicího systému [7]

*Rozvržení chladicího systému*

Chladicí okruh se skládá ze soustavy kanálů, kterými proudí chladicí médium. Chladicí okruhy musí být voleny tak, aby bylo dosaženo časově rovnoměrného chlazení všech částí vylisku současně. Tedy aby tlustší stěny byly chlazeny stejně rychle jako stěny užší a nedocházelo tak k deformacím výstřiku a vytváření vnitřního pnutí. Povrchem chladicího kanálu přestupuje teplo z formy do chladicího média, proto je vhodné volit větší počet kanálů s malými průměry než naopak. [1]

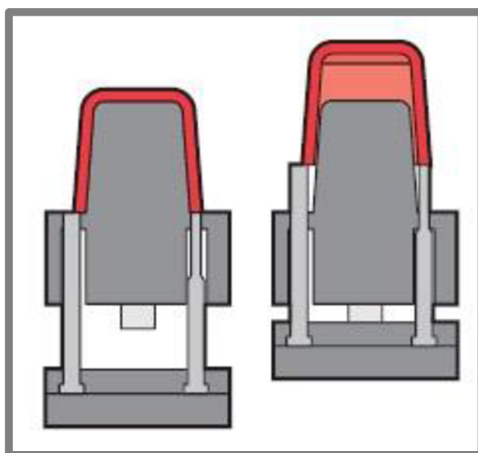
**1.1.4 Vyhazování vylisků z forem**

1.1.4

Po ztuhnutí výstřiku a otevření formy musí být výstřik vyhozen z formy. To může být řešeno ručně (pro velké a tvarově složité výstřiky) nebo pomocí vyhazovačů, které zajišťují automatizaci výroby. Vyhození výstřiku z formy musí proběhnout tak, aby nedošlo k zaseknutí výstřiku ve formě nebo kolizi vyhazovacích kolíků s tvarovou částí formy. Plochy vyhazovacích prvků a jejich rozmístění na vyhazovaném dílu musí být voleny tak, aby při vyhazování nepoškodily výsledný produkt. K systému vyhazování výstřiků z forem je nutno zahrnout i vyhazování vtokových zbytků, především při použití studených vtokových soustav. [1] [3]

*Vyhazovací kolíky*

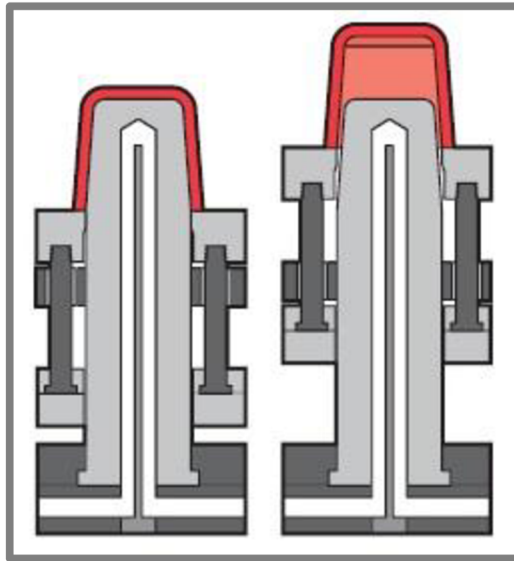
Mohou být použity pro jakékoliv tvary výsledných produktů. Jejich výhodou je, že jsou relativně levné, jednoduché na použití a zajišťují dobré odvětrání v místech, kde by byl jinak vzduch uvězněn. Jejich nevýhodou je to, že plocha, kde je výstřik tlačěn kolíkem, je relativně malá. Proto musí být výstřik dostatečně ztuhlý a pevný, aby nedošlo k poškození nebo povrchovému znehodnocení výstřiku. [3]



Obr. 1-6 Vyhazování vyhazovacími kolíky [8]

*Stírací desky*

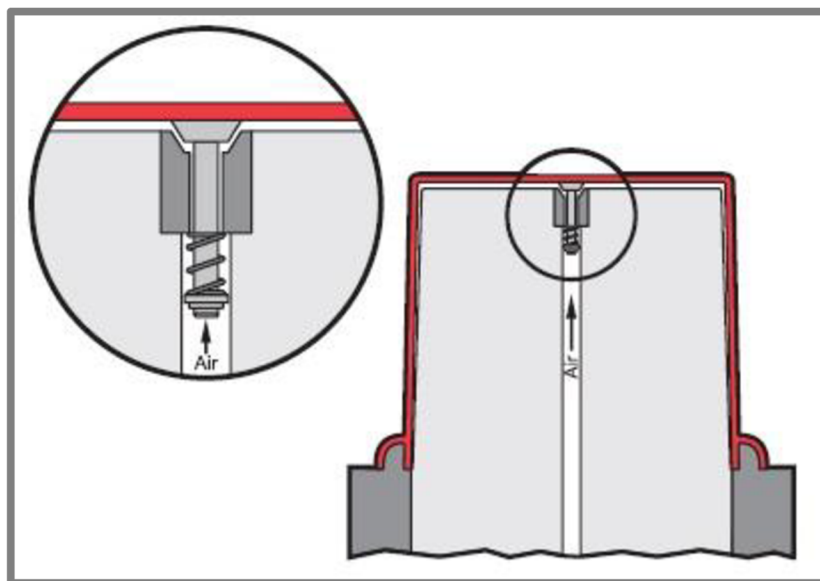
Od vyhazovacích kolíků se liší tím, že mají větší plochu dotýkající se výstřiku (po obvodu výstřiku) a vyhazovací síla je rovnoměrně rozdělena. Stopy po stíracích deskách na výstřiku jsou zpravidla méně viditelné. [3]



Obr. 1-7 Vyhazování stírací deskou [8]

### *Vzduchové vyhazování*

Používá se u výrobků nádobkovitého tvaru. K vyhození dojde proudem stlačeného vzduchu, který je vháněn mezi tvárník a výstřik. Pro větší spolehlivost je vzduchové vyhazování kombinováno s mechanickým vyhazováním. [3]



Obr. 1-8 Způsob vzduchového vyhazování [8]

### 1.1.5

#### **1.1.5 Odvzdušnění**

Při plnění formy taveninou se v dutině formy nachází místa odkud nemá vzduch kam uniknout. Vzduch se v těchto místech stlačí a tím se zahřeje na vysokou teplotu. To vede k tomu, že se plast v kontaktu s horkým vzduchem spálí, popřípadě vzduch vytvoří bubliny ve výsledném výstřiku. Odvzdušněním je třeba se zabývat hlavně u forem s hlubokými dutinami a žebry. Ovšem jen málokdy je forma tak přesná, že by mezi dosedacími plochami nemohl uniknout vzduch, dále vzduch může unikat ve vůli mezi vyhazovacími kolíky a formou. Z pokusů a simulací lze zjistit místa, kde se



hromadí vzduch. V těchto místech se vytváří drážky, kterými může uniknout vzduch, ale ne tavenina. Popřípadě se zde vkládají vložky, které umožňují únik vzduchu. [3]

### 1.1.6 Smrštění

1.1.6

---

Základním požadavkem zákazníka je, aby vyrobený díl měl požadované rozměry definované jmenovitou hodnotou a tolerancemi, jak rozměrovými, tak i tolerancemi tvaru a polohy. Proto se při konstrukci formy musí dbát na to, aby dutina formy byla o něco větší než výsledný produkt. Smrštění je tedy hodnota, o kterou je výsledný produkt menší než rozměr dutiny formy, do které byl vstříknut pod velkým tlakem a za velké teploty. Udává se v milimetrech či procentech. Na smrštění má vliv mnoho faktorů. Jedním z nich jsou procesní parametry výroby (teplota, tlak, čas působení dotlaku,...). Dalším faktorem ovlivňujícím smrštění jsou samotné vlastnosti vstřikovaného plastu, popřípadě konstrukce výstřiku (rozměry, tloušťky stěn,...). Z toho lze usoudit, že v mnoha případech je téměř nemožné přesně předpovědět správné smrštění materiálu. [3]

### 1.1.7 Materiály forem

1.1.7

---

Technologie výroby produktů vstřikováním do forem má vysoké požadavky na kvalitu, proto musí být formy vyrobeny s největší přesností a z kvalitních materiálů. Očekává se od nich práce v opakovaných cyklech při extrémní zátěži a dlouhá životnost. Spolehlivost a životnost forem závisí především na materiálech použitých k její výrobě, tepelném zpracování dílů formy. Jelikož jednotlivé díly formy nemají stejnou funkci, proto každý díl formy má specifické požadavky na volbu materiálu ze kterého bude vyroben. Nejčastěji používaným materiálem pro výrobu vstřikovacích forem jsou oceli. Zvýšení mechanických vlastností se docílí tepelným zpracováním, cementováním a nitridováním. [4]

#### *Oceli pro tvárník a dutinu*

Oceli se nejčastěji cementují (houževnaté jádro, tvrdý povrch, dobrá leštitelnost) a kalí (odolnost proti opotřebení), popř. se používají antikorozi oceli při zpracování chemicky agresivních plastů [1]

#### *Oceli pro ostatní části forem*

Pro méně namáhané desky se používají konstrukční oceli třídy 11. Více namáhané desky se vyrábí z cementačních ocelí konstrukčních i nástrojových. Vodící sloupky a pouzdra se ve většině případů vyrábí z cementačních ocelí, následně se cementují a kalí. Oceli pro vyhazovače jsou nástrojové a následně se nitridují. Dorazy jsou z nástrojových ocelí kalené na vysokou tvrdost. Vtokové vložky se vyrábí z cementačních nebo kalitelných nástrojových ocelí. [1]

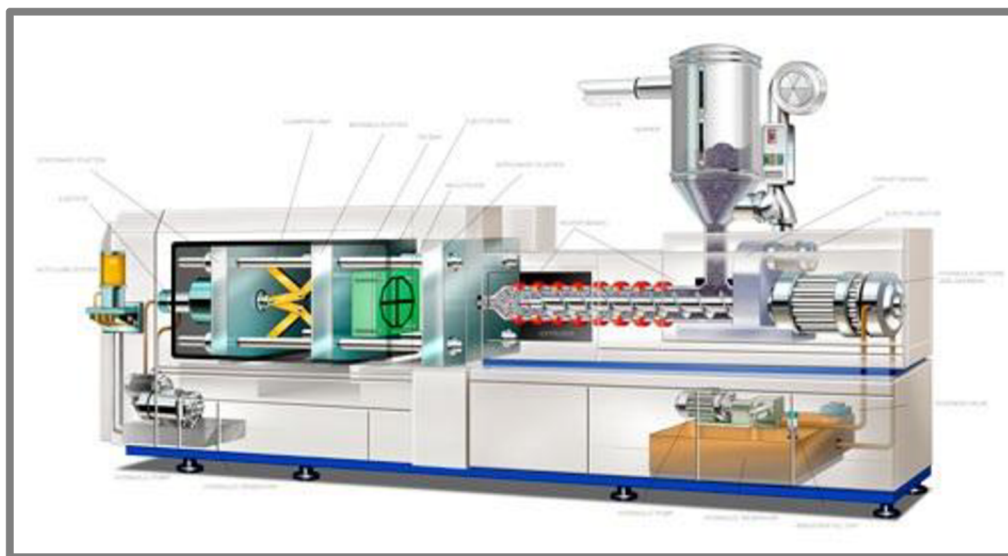
## 1.2 Vstřikovací stroj

1.2

---

Vstřikování na vstřikovacích strojích dnes probíhá plně automaticky, tím se dosahuje vysoké produktivity práce. Pořizovací cena vstřikovacích strojů je velmi vysoká, stejně tak jako náklady na výrobu vstřikovacích forem. Proto se tato technologie hodí pro velkosériovou a hromadnou výrobu. Vstřikovací stroj se skládá ze vstřikovací jednotky, uzavírací jednotky a řídicího a regulačního systému. Kromě základního vybavení mohou být vstřikovací stroje dovybaveny manipulátory, roboty,

temperačním zařízením, dávkovacím a mísícím zařízením, sušárnami, dopravníky pro výstřiky a vtoky, atd. (6)



Obr. 1-9 Schéma vstřikovacího stroje [9]

### 1.2.1

#### 1.2.1 Vstřikovací cyklus

Plast v podobě granulí je podáván do plastikační jednotky, kde dojde k jeho roztavení. Plastikační jednotka se skládá ze šneku, který svou rotací posouvá granulát v tavní komoře dopředu k trysce. Šnek je posuvně uložen ve válci a může se pohybovat v ose dopředu a dozadu. Jelikož je v průběhu plastikace vstřikovací tryska stále uzavřená, tak je roztavený plast tlačěn dopředu před šnek. Šnek je tímto tlakem tlačěn dozadu. Na začátku cyklu je forma uzavřena vyvoláním uzavíracího tlaku uzavírací jednotkou. Předtím, než je tavenina vstříknuta do uzavřené formy, je plastikační jednotka posunuta směrem k formě, čímž se tryska přitlačí do licího kanálu formy. Tlak musí být takový, aby tryska zůstala přitlačena k formě i při vstřikování plastu. V čase, kdy je přitlačena tryska k formě, se tryska otevře a tavenina se vstříkne do dutiny formy. Jak se forma plní, zvyšuje se i tlak ve formě. Proti tomuto tlaku musí působit tlak uzavírací jednotky, aby nedošlo k úniku taveniny přes dělicí rovinu. Po naplnění formy plast tuhne za působení dotlaku. Jakmile ztuhne plast ve vtokovém kanálu, odsune se plastikační jednotka a uzavře se tryska. Plastikační jednotka opět začne natavovat další množství plastu pro následující cyklus. Po ztuhnutí výstřiku do takové míry, kdy je dostatečně pevný, aby udržel svůj tvar bez podpory formy, se uzavírací jednotka otevře a dojde k vyhození výstřiku z dutiny formy pomocí vyhazovačů. Cyklus se poté dále opakuje. [4]

### 1.2.2

#### 1.2.2 Vstřikovací jednotka

Zajišťuje dvě věci. Jednou z nich je tavení plastu v plastikační jednotce a jeho hromadění před tryskou, druhou je vstřikování plastu do formy pod vysokým tlakem. Velikost tlaku potřebného pro plnění formy velmi záleží na tloušťce stěny výsledného produktu. Vstřikovací tlak je definován jako tlak, který je v plastu v momentě, kdy plast vstoupí do trysky. Tlustostěnné výstřiky vyžadují relativně nízké vstřikovací tlaky (50 až 100 MPa). Tenkostěnné výstřiky vyžadují mnohem

vyšší tlaky (někdy i dvojnásobné), aby bylo zajištěno, že dutina bude zaplněna předtím, než dojde ke ztuhnutí plastu. [3]



Obr. 1-10 Ukázka vstřikovací jednotky [10]

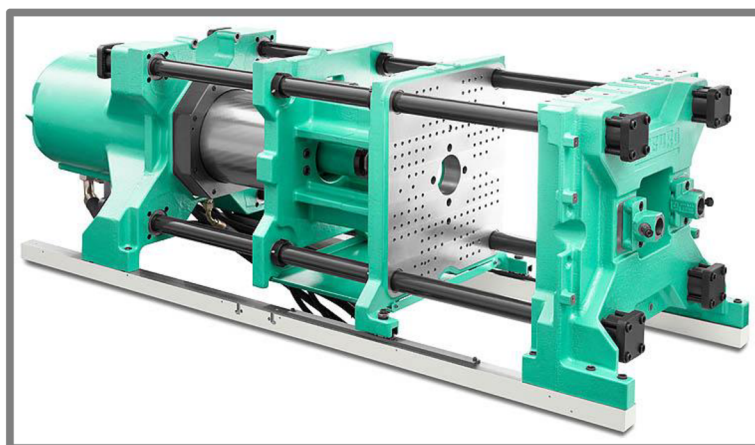
### *Plastikační jednotka*

V dnešní době jsou plastikační jednotky převážně vytlačovací lis, které ohřívají studený plast na požadovanou teplotu, aby se stal dostatečně tekutým pro vsřikování. Teplo je tvořeno především mechanickou energií generovanou otáčením šneku s plastem ve válci. Další část tepelné energie je generována topnými tělesy ve válci, které slouží k přehřívání plastu při prvním spuštění stroje nebo při zpracování velkého množství plastu za krátký čas. [3]

### **1.2.3 Uzavírací jednotka**

Uzavírací jednotka zajišťuje otevírání a zavírání formy dle požadavků výrobního cyklu. Dále musí produkovat dostatečnou uzavírací sílu, aby udržela formu uzavřenou při vstřikování plastu. Uzavírací jednotka je složena z opěrné desky pevně spojené s ložem stroje, pohyblivé desky s přidělanou pohyblivou částí formy, upínací desky s otvorem pro trysku stroje s pevnou částí formy, z vedení pro pohyblivou desku a uzavíracího a přidržovacího mechanismu. Uzavírací systémy mohou být konstruovány jako mechanické, hydraulické nebo kombinace hydraulického a mechanického uzavírání. [6]

1.2.3



Obr. 1-11 Ukázka uzavírací jednotky [10]

## **2 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE**

Návrh konstrukce forem pro vstřikování plastů vyžaduje specifické znalosti a zkušenosti. Konstruktor tedy potřebuje znát zásady konstrukce vstřikovací formy. Řešením této práce má být metodika návrhu vstřikovací formy pro plastový kryt ventilátoru nákladního vozu Daimler značky Mercedes-Benz (viz Příloha 1). Od zákazníka firmy Mürdter Dvořák byl dodán výstřik v digitální podobě ve formátu .CATPart s návrhem možného hlavního směru odformování a dodatečných odformovacích směrů pro posuvné jednotky tzv. slidery. Výstřik je vyroben z plastu s označením PP T40, obchodní označení Borealis MD441U (viz Příloha 2). Jedná se o polypropylen s 40% minerálního plniva, který je vhodný pro použití pod kapotou automobilu (zvýšené teploty, venkovní vlivy,...). Materiál je dlouhodobě tepelně stálý, má dobrou rozměrovou stabilitu a malé smrštění. Průměrná hodnota smrštění materiálu je 0,87%, přičemž zákazníkem požadované smrštění je 0,9%. Ve formě má být vyrobeno 100000 kusů výstřiků. Vzhledem k tvarové složitosti a rozměrům výstřiku je vhodné formu konstruovat jako jednonásobnou s vyhřívaným vtokem. Firma Mürdter Dvořák si nechala zpracovat reologii plastového výstřiku (viz Příloha 3), z níž vyplynul návrh vtokové soustavy s jejími rozměry tak, aby došlo ke spolehlivému naplnění formy a zamezilo se možnému vzniku vad špatným návrhem vtokové soustavy. Po výpočtu uzavíracích sil a zkouškách provedených firmou Mürdter Dvořák byl zvolen lis od firmy Krauss Maffei KM 1300.

### **2.1**

#### **2.1 Cíl práce**

Hlavním cílem bakalářské práce je popis metodiky návrhu konstrukce vstřikovací formy pro zadaný plastový díl v programu Catia V5R19.

Mezi dílčí cíle bakalářské práce spadá návrh 3D modelu vstřikovací formy s vytvořením výkresu sestavy formy.

### 3 NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ

Ke konstrukci vstřikovací formy lze přistupovat podle toho, jaké nástroje má konstruktér k dispozici. Samotný proces konstrukce vstřikovací formy lze specializovanými nástroji značně urychlit. Některé specializované nástroje nelze vždy použít, například v případě, kdy je tvar výstřiku moc složitý. Dalším kritériem pro výběr různých nástrojů je jejich pořizovací cena. Je nutné zvážit, jestli pořízení specializovaného konstrukčního nástroje je v dané situaci výhodné a zda by si konstruktér nevystačil se základní verzí konstrukčních programů.

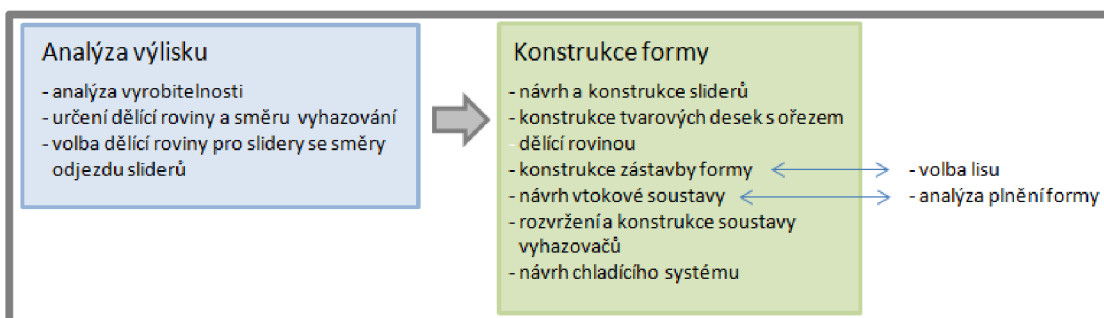
#### 3.1 Varianty řešení

3.1

##### 3.1.1 Varianta č. 1

3.1.1

Tato varianta vychází z použití základních nástrojů, které daný konstrukční program nabízí. Není tedy nutné dodatečně dokupovat licenci na pomocné nástroje specializované na tvorbu forem na vstřikování plastů. Na Obr. 12 je znázorněn diagram, který popisuje postup návrhu formy varianty č.1.



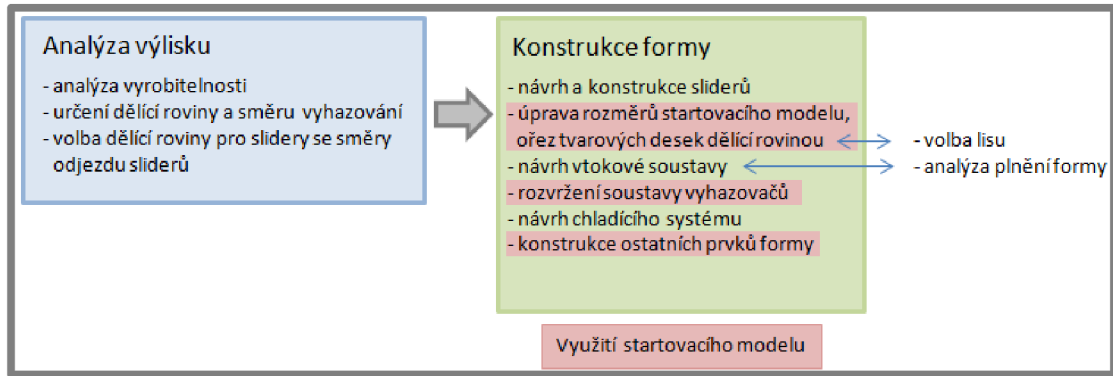
Obr. 3-12 Varianta č. 1 - postup konstrukce

V této variantě je konstruktér nucen navrhnout a vymodelovat celou zástavbu formy, kdy má k dispozici pouze normalizované součásti forem nabízené na trhu. Toto mu umožňuje jistou kontrolu nad samotným návrhem formy, kdy má dokonalý přehled o tom, který díl jak zkonstruoval a zakomponoval do sestavy. Tato varianta je velmi flexibilní v tom, že umožňuje konstrukci forem s jakkoliv složitou dutinou a jakýmkoliv rozměry formy. Nevýhodou této varianty je časově zdlouhavý proces tvoření samotné zástavby formy.

##### 3.1.2 Varianta č. 2

3.1.2

Tato varianta stejně jako varianta č. 1 vychází z použití pouze základních nástrojů nabízených daným konstrukčním programem, ale navíc zde konstruktér vychází ze startovacího modelu zástavby. Startovací model se skládá ze zástavby formy se snadno upravitelnými rozměrovými parametry a s mnoha předdefinovanými konstrukčními prvky formy.



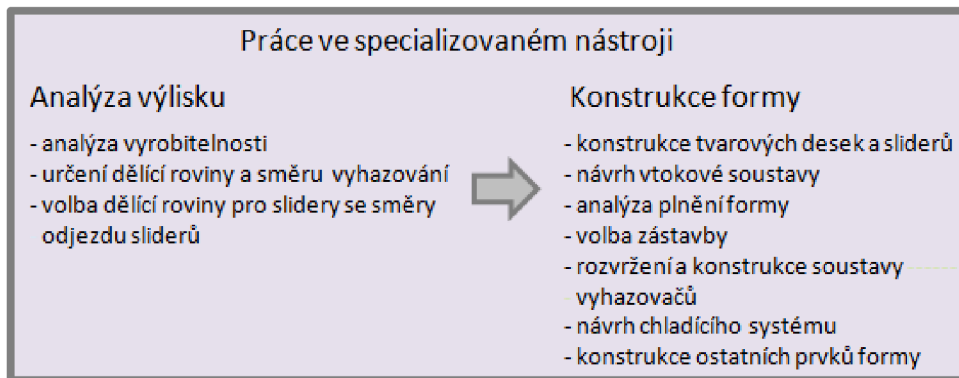
Obr. 3-13 Varianta č. 2 - postup konstrukce

Tato varianta se používá hlavně ve velkých konstrukčních firmách, kde mají zpracovány startovací modely pro konstrukci forem. Díky startovacímu modelu se konstrukce formy urychlí a zjednoduší. Konstruktor již nemusí vytvářet a hlavně sestavovat zástavbu formy a pouze předělává startovací model pro daný plastový výstřik a následně dodělá chybějící komponenty formy.

### 3.1.3

#### 3.1.3 Varianta č. 3

Tato varianta je založena na použití speciálního nástroje určeného pro konstrukci forem v daném konstrukčním programu. Tyto nástroje značně urychlí proces konstrukce vstřikovací formy, kdy konstruktor intuitivně postupuje podle kroků v daném programu. Jsou vhodné především pro konstrukci vstřikovacích forem pro jednodušší plastové výstřiky. U tvarově složitých plastových výstřiků může při konstrukci formy dojít k potížím, kdy nástroj už neumožní potřebnou volnost při návrhu formy.



Obr. 3-14 Varianta č. 3 - postup konstrukce

### 3.2

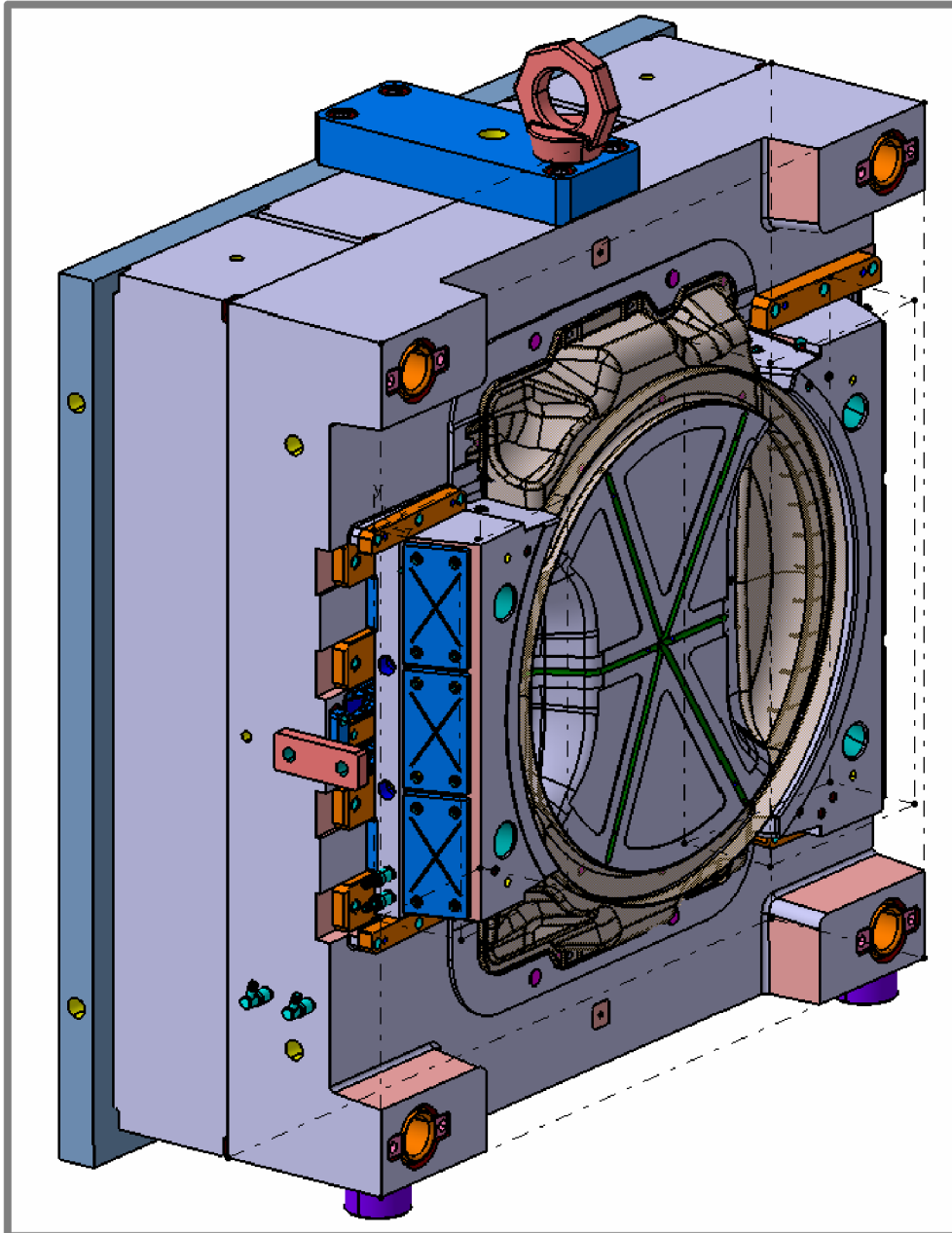
#### 3.2 Výběr a zdůvodnění nejvhodnější varianty

Při výběru jedné z variant je nutno přihlédnout k tomu, jaké možnosti jsou k dispozici a jaká z variant se bude nejlépe hodit pro zadaný případ. První varianta vyžaduje pouze přístup k základní verzi programu a nezáleží na tvarové složitosti zadaného plastového dílu, nicméně je velmi nepraktické formu tvořit od úplného základu. Výhodnější je druhá varianta, která má všechny výhody varianty první a navíc zjednodušuje práci při konstrukci díky startovacímu modelu. Ze srovnání druhé a třetí varianty plyne snazší konstrukce a úspora času v případě použití třetí

varianty. Nicméně pro použití třetí varianty je nutné v programu Catia V5 vlastnit specializovaný modul Mold Tooling Design. Tvarová složitost výstřiku a neznalost práce se specializovaným nástrojem není vhodná pro výběr třetí varianty i přes možné zjednodušení práce. Navíc firma Mürdter Dvořák pracuje se startovacími modely a umožní použití startovacího modelu k této bakalářské práci. Byla tedy zvolena varianta řešení č. 2. Nicméně na samotný popis metodiky návrhu konstrukce vstříkovací formy to nebude mít velký vliv, protože forma musí obsahovat přibližně stejné prvky bez ohledu na to, jaká varianta řešení je použita.

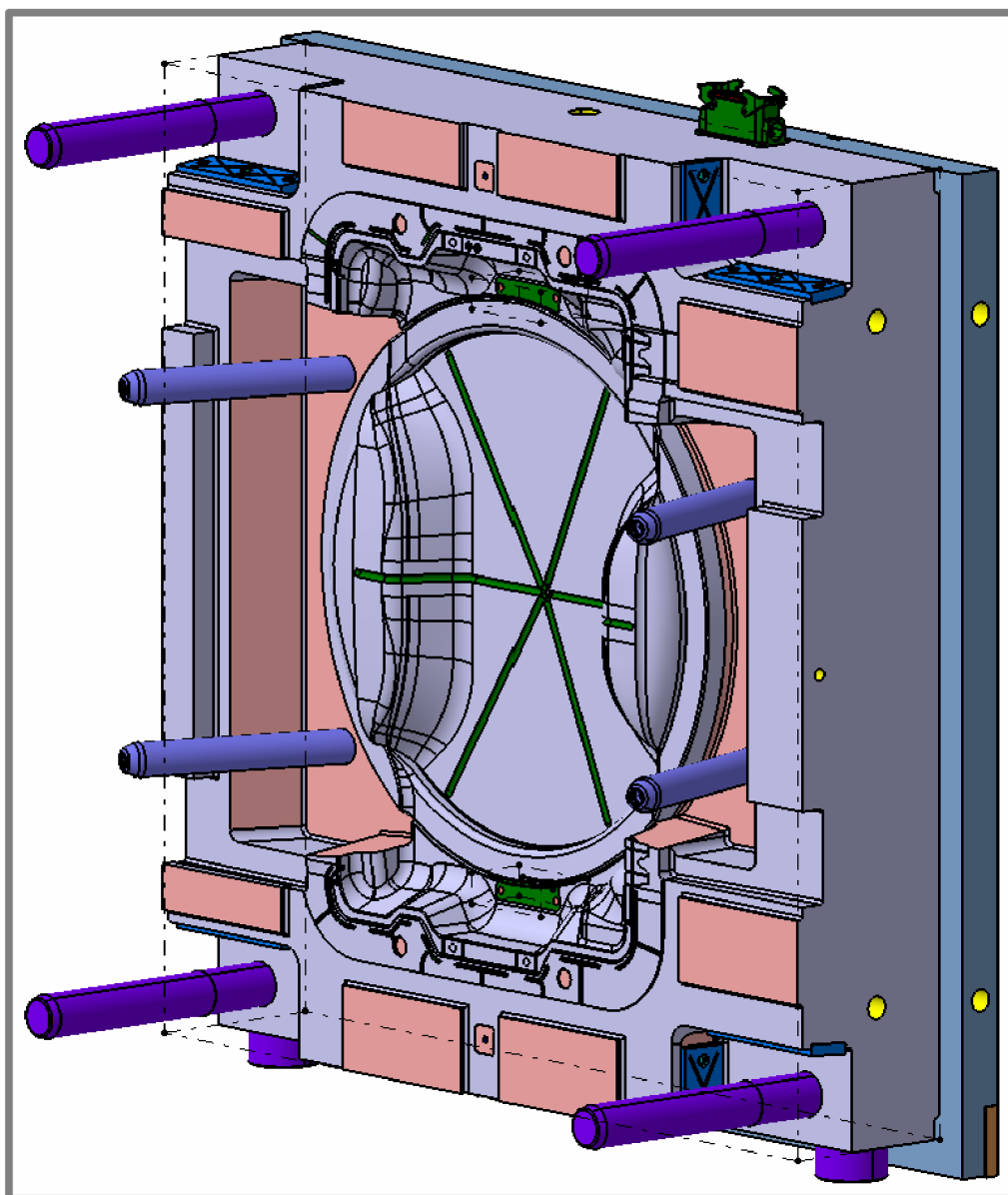
#### 4 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Výstupem konstrukčního řešení je nástroj pro vstřikování plastů pro zadaný díl (viz Obr. 15,16) s popisem jednotlivých částí (viz Příloha 6). V konstrukčním řešení je popsán postup návrhu formy v krocích, popisujících jednotlivé prvky formy.



Obr. 4-15 Pohyblivá strana formy





Obr. 4-16 Pevná strana formy

## 4.1

**4.1 Výrobek (výstřík)**

Od zákazníka je dodán 3D model výstříku s konstrukčním předpisem, podle kterého se musí nástroj konstruovat. V konstrukčním předpisu jsou definovány všechny periferie pro připojení k lisu a zvyklosti, které je nutno dodržet v konstrukci. Obdržený výstřík od zákazníka je třeba zkontrolovat, zda je výrobitelný a zda neobsahuje základní konstrukční chyby, které vedou ke vzniku vad při vstřikování.

## 4.1.1

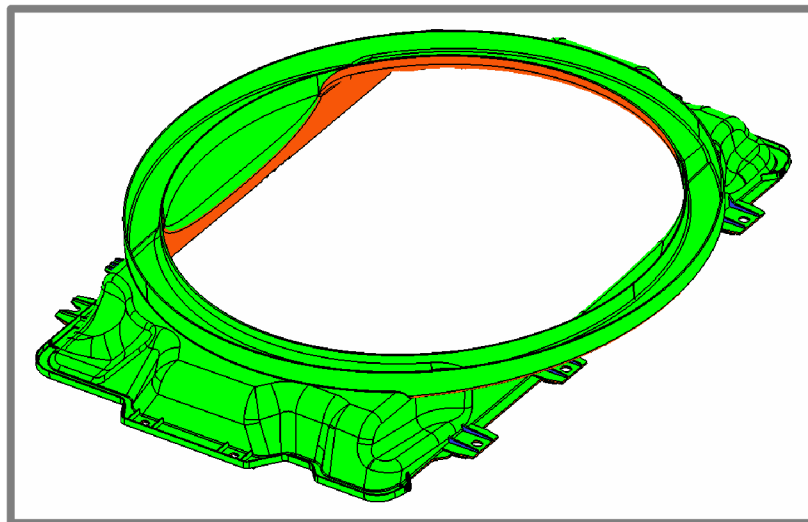
**4.1.1 Zavedení souřadného systému**

Před samotnou konstrukcí formy je vhodné zavést základní souřadný systém, ve kterém bude forma konstruována. Natočení výstříku se provádí zavedením souřadného systému přibližně do těžiště výstříku tak, aby osa Z udávala hlavní směr odformování. Výstřík se následně natočí tak, aby slidery přednostně odjížděly ve směru osy X. Slidery, které by odjížděly ve směru osy Y, musí být ovládány hydraulicky, aby nedošlo k zapadnutí slideru do formy působením gravitace.

## 4.1.2

**4.1.2 Analýza výrobitelnosti výstříku**

Prvním krokem před počátkem konstrukce je analýza výrobitelnosti výstříku (viz Příloha 4). Výrobitelnost se řeší přímo s designerskou firmou, která výstřík navrhuje. Při kontrole výrobitelnosti se určí dělicí rovina a směr odformování. Dělicí rovina by měla rozdělovat díl na dvě části zúkosované vůči sobě. Plochy kolmé na směr odformování by měly být zúkosované minimálně pod úhlem  $0,5^\circ$ , aby šel výstřík snadno vyhodit z dutiny formy. Pomocí nástroje analýzy úkosů lze snadno určit průběh dělicí roviny (viz Obr. 17), kdy zelené plochy mají úkos více jak  $0,5^\circ$ , červené plochy méně jak  $0^\circ$  a modré plochy mezi  $0$  a  $0,5^\circ$ .



Obr. 4-17 Analýza úkosů

Pokud má dělicí rovina tvar, který neumožní správné odformování dílu, je nutné vhodně upravit tvar dílu. Pokud se na dílu nachází plochy, které nejsou odformovatelné v hlavním směru odformování, je třeba zavést další směry odformování. Tyto plochy budou odformovány pomocí sliderů. Kromě odformovatelnosti dílu je dále nutná kontrola tloušťky stěn a žeber. Ty musí být navrženy tak, aby tavenina v dutině formy tuhnula rovnoměrně a nedocházelo

k uvěznění taveniny mezi ztuhlým materiálem a tím následnému vzniku staženin apod.

### 4.1.3 Smrštění výstřiku

Jelikož při tuhnutí výstřiku dojde k jeho smrštění, je nutné výstřik zvětšit o zákazníkem zadané smrštění. Zvětšování výstřiku je provedeno z jeho těžiště, aby nedošlo k posunutí výstřiku výrazně mimo střed nástroje.

4.1.3

## 4.2 Konstrukce formy

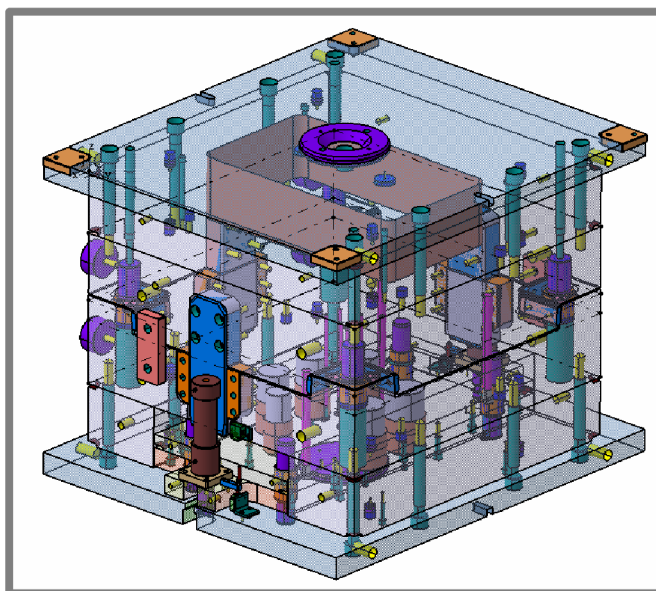
Je-li zkontrolována odformovatelnost dílu s průběhem dělicí roviny a směry odformování, lze přistoupit k samotné konstrukci formy.

4.2

### 4.2.1 Startovací model

Prvním krokem při konstrukci je vytvoření zástavby nástroje. V této práci se vychází ze startovacího modelu firmy Mürdter Dvořák. Stromová struktura a číslování jednotlivých pozic jsou dány předpisem firmy. Zástava je rozdělena na dvě hlavní sestavy. Sestavu pohyblivé části a sestavu pevné části formy. Pohyblivá část formy obsahuje podsestavy tvarové desky, vyhazovacích desek a pohyblivých mechanismů. Pevná část obsahuje podsestavu tvarové desky, upínacích desek a vstřikovacího systému. Každá podsestava obsahuje tzv. skeletony. To jsou soubory řídicích skic a rovin, kterými jsou definovány rozměry zástavby, polohy vyhazovačů, vodících sloupků, distančních válců a dalších prvků formy. Struktura je navržena tak, aby na konstrukci nástroje mohlo pracovat více konstruktérů, aby si vzájemně nepřepisovali data formy.

4.2.1



Obr. 4-18 Startovací model

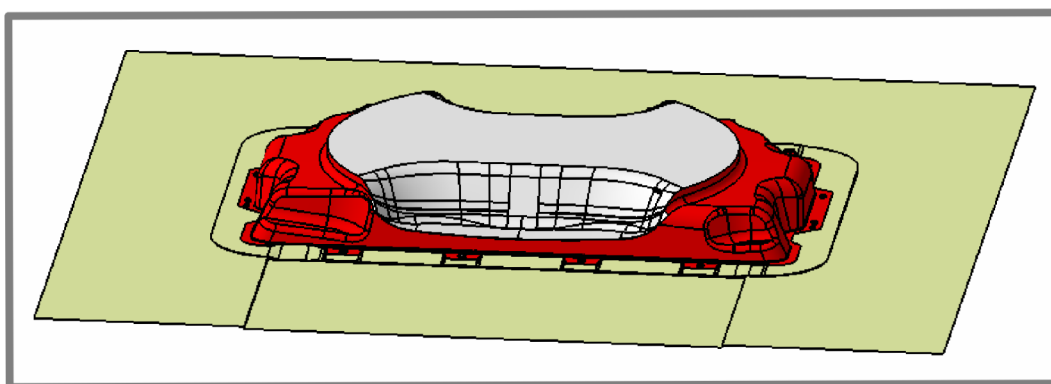
Zpočátku je nutné vhodně upravit rozměry startovacího modelu pro zadaný plastový díl. Rozměry formy jsou voleny úměrně plastovému dílu, který by měl být centrován ve středu formy, pokud to jeho tvar umožňuje. Při volbě rozměrů je nutné počítat se slidery ve vysunutém stavu, které musí zůstat ve formě. Po úpravě rozměrů jsou odmazány přebytečné prvky startovacího modelu, které nejsou u formy použity. V případě tohoto zadání byly odmazány např. vodící lišty, jelikož je volena varianta

zajištění polohy formy při uzavírání pomocí vodících sloupků. Vyhazovací systém formy je volen pomocí trnu z lisu, proto je možno odmazat i hydraulické ovládání vyhazovačů s koncovými dorazy. V průběhu konstrukce formy jsou provedeny dodatečné úpravy formy podle toho, jak je to v daném případě potřeba.

4.2.2

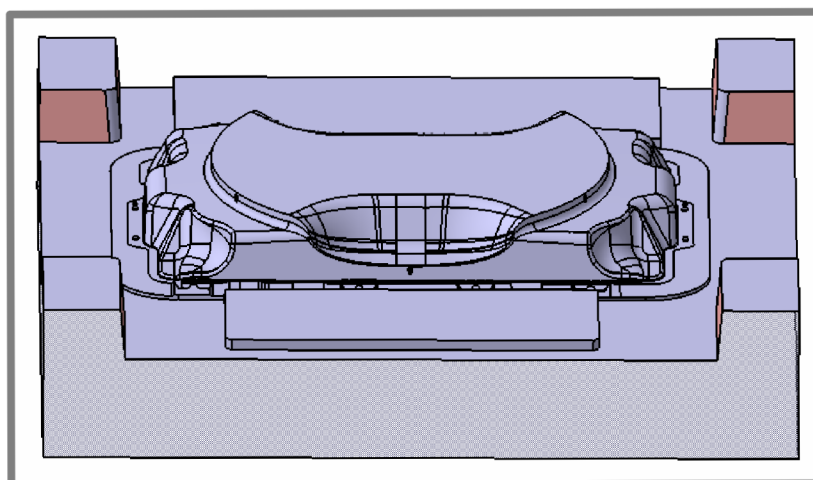
**4.2.2 Tvarové desky**

Prvním krokem v konstrukci je vymodelování hlavních ořezových ploch pro tvarové desky. K tomu lze použít modul Core & Cavity Design v němž je výstřik rozdělén na dvě plochy Core a Cavity. Následuje vytažení dělicí roviny tečně ve směru ploch. Šířka dělicí roviny, která bude těsnit dutinu při uzavření nástroje, vychází z velikosti výstřiku a velikosti lisu. V případě této práce je volena šířka 30mm. Plocha dělicí roviny musí vyhovět podmínce na otlačení. Od těsnící části dělicí roviny se provede malý odskok a ořezová plocha se protáhne přes rozměry tvarových desek.



Obr. 4-19 Ořezová plocha pro tvarovou desku pohyblivé části formy

Takto vytvořenými ořezovými plochami seřizneme tvarové desky startovacího modelu. Díky značné náročnosti konstrukce ořezových ploch byly v této práci převzaty veškeré ořezové plochy od firmy Mürdter Dvořák. Rozměry tvarových desek jsou voleny tak velké, aby byla deska dostatečně tuhá a byl minimalizován její průhyb. V dalším kroku jsou na tvarových deskách vytvořeny zamykací plochy. Aby nedocházelo k nadměrnému opotřebení těchto ploch, je nutné zvolit jejich úkos minimálně 5°.



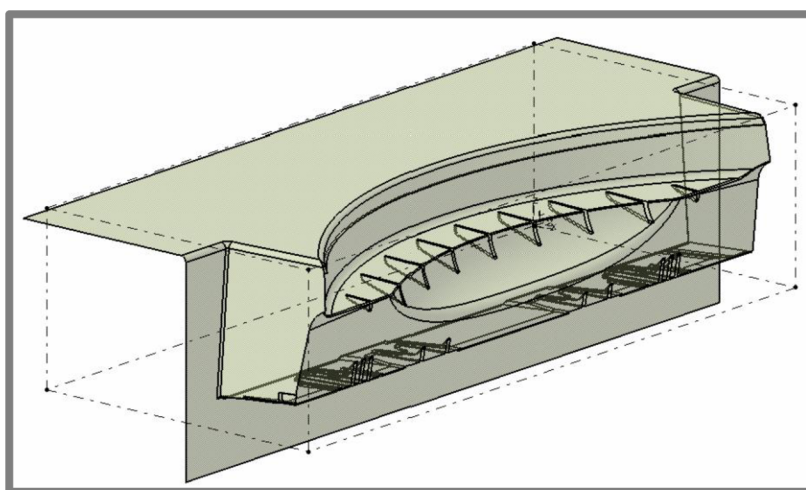
Obr. 4-20 Tvarová deska se zamykáním

Mezi výstupky zamykacích ploch je umístěno vedení desek pomocí vodících sloupků. Sloupky musí být úměrně velké k rozměrům formy. Délka vodících sloupků musí být dostatečně velká tak, aby sloupky začaly při zavírání formy zabírat dřív než vodící sloupky sliderů. Jeden z vodících sloupků je odsazen z obdélníkového rastru o 5 mm. Tím je zamezeno nesprávnému otočení jedné poloviny formy vůči druhé, čímž by mohlo dojít k poškození tvarových ploch.

#### 4.2.3 Slidery

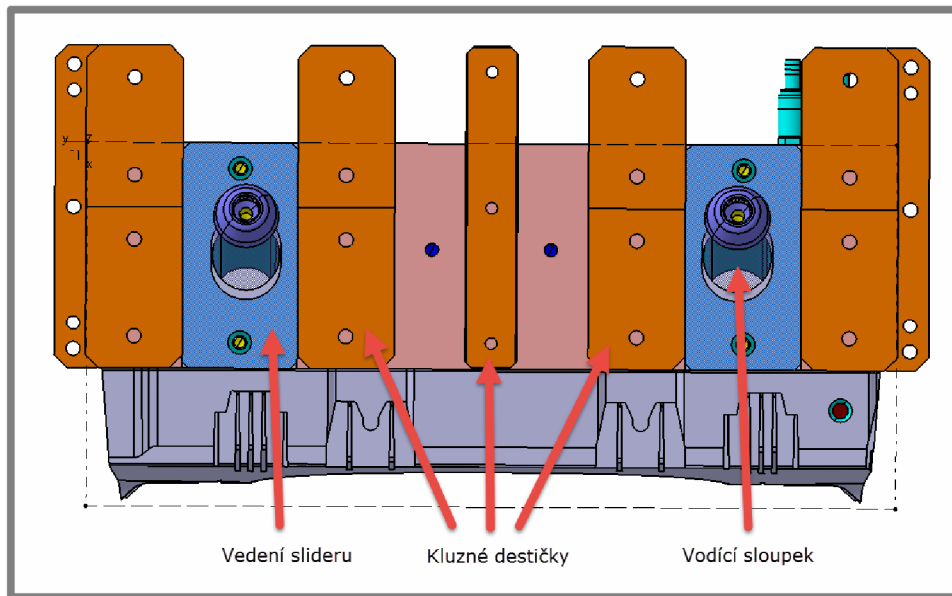
4.2.3

Pro konstrukci slideru je nutné znát směr jeho odformování. V této práci byly směry odformování obou sliderů navrženy zákazníkem. Správnost těchto směrů je nutné ověřit analýzou úkosů. Tvar slideru se vytvoří oříznutím polotovaru pomocí ořezové plochy podobně jako u tvarových desek. Plochy slideru, které při zavírání formy a příjezdu slideru přicházejí do styku s tvarovými deskami, musí mít úkos minimálně 5°.



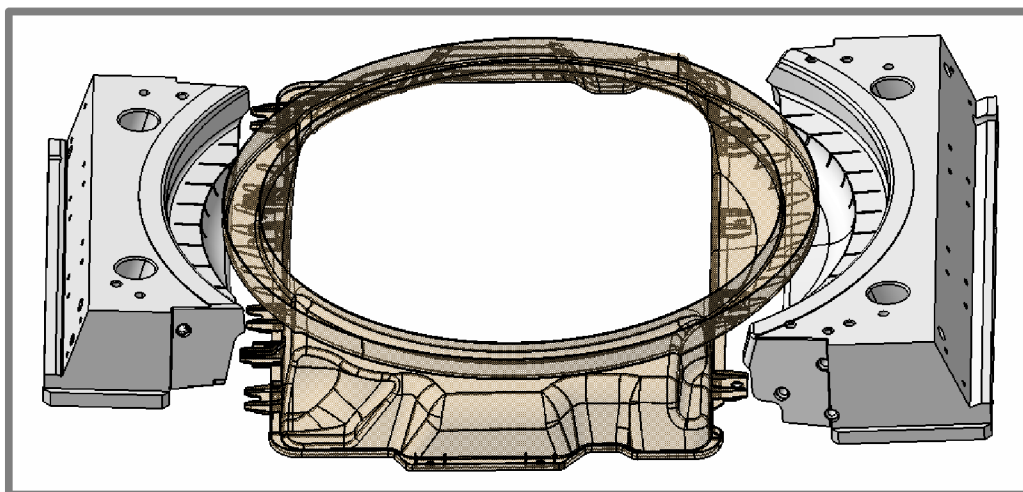
Obr. 4-21 Ořezová plocha slideru

Dalším krokem je návrh vedení slideru. K vedení jsou použity kluzné destičky s grafitovými mazacími jádery firmy Sankyo a Voest Alpine. Jelikož jsou slidery poměrně široké, je nutné umístit vodící desky dál od sebe. Špatná volba vzdálenosti vodících desek může způsobit přičení slideru při odjezdu z formy. Ve stejné vzdálenosti vedení jsou umístěny vodící sloupky. Sloupky by neměly mít úhel sklonu větší jak 25°, aby nedocházelo k přičení slideru při otvírání formy. Délka sloupků se volí dle potřebného vysunutí sliderů z tvaru formy. Slidery se musí vysunout dostatečně daleko, aby nedošlo k zaseknutí dílu ve formě při vyhazování.



Obr. 4-22 Spodní strana slideru s vedením

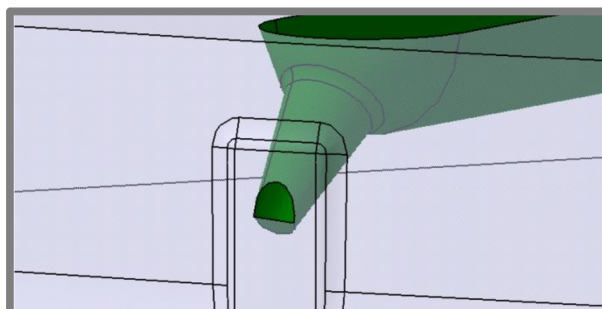
Na zadní straně slideru se vytvoří plocha, ke které se přišroubují kalené destičky. Tyto destičky slouží k zajištění polohy slideru při zavření formy. Dalším prvkem sliderů jsou pojišťovací upínky. Ty slouží k zajištění slideru v otevřené poloze. V této práci byla použita upínka od firmy DME. Proti vypadnutí z formy jsou slidery pojištěny zářezkou. Výstřík musí být chlazen i v oblasti slideru. Chlazení je řešeno vrtanými otvory o průměru 12 mm. Chladicí okruh je vytvořen pomocí zátek od firmy WEMA s koncovkami na vstupu a výstupu do okruhu. Nakonec jsou ze sestavy sliderů s díly vytvořeny odečtové solidy pro pohyblivou a pevnou tvarovou desku. Tyto solidy se následně odečtou od tvarových desek formy.



Obr. 4-23 Výstřík se slidery v otevřené poloze

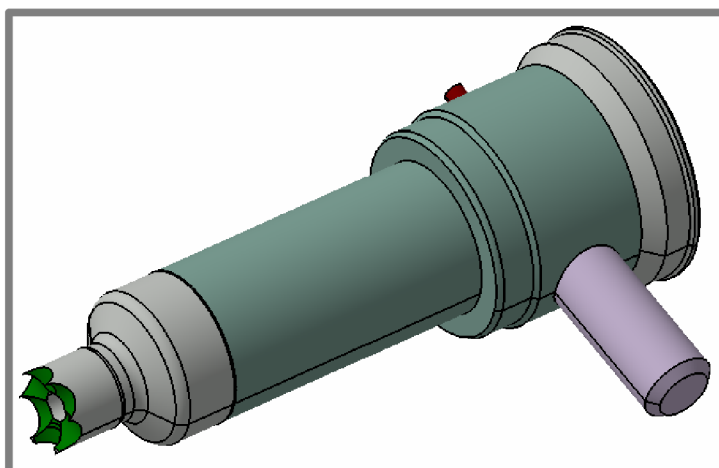
#### 4.2.4 Vtokový systém

Návrh vtokového systému je vždy nutné přizpůsobit složitosti tvaru výstřiku. Je nutné zvolit tvar kanálů vtokového systému i samotný typ vtoků. Navržený systém je dále nutné zkontrolovat pomocí simulace plnění formy materiálem. Správně navržený vtokový systém musí zajistit dokonalé zaplnění formy materiálem tak, aby nevznikly vady na výstřiku. V případě tohoto zadání jsou použity kanály kruhového průřezu s tunelovými vtoky ústící v šesti místech do formy. Rozměry kanálů vtokového systému a rozmístění vtoků jsou zjištěny pomocí analýzy plnění formy (viz Příloha 3). Analýza byla provedena specialisty na zakázku firmy Mürdter Dvořák. Analýzou ověřené rozměry kanálů a rozmístění vtoků jsou zpracovány do tvarových desek. Při vytváření vtoků není udělán vtokový otvor plně průchozí (viz Obr. 24), aby bylo zabráněno volnému vtékání materiálu do formy.



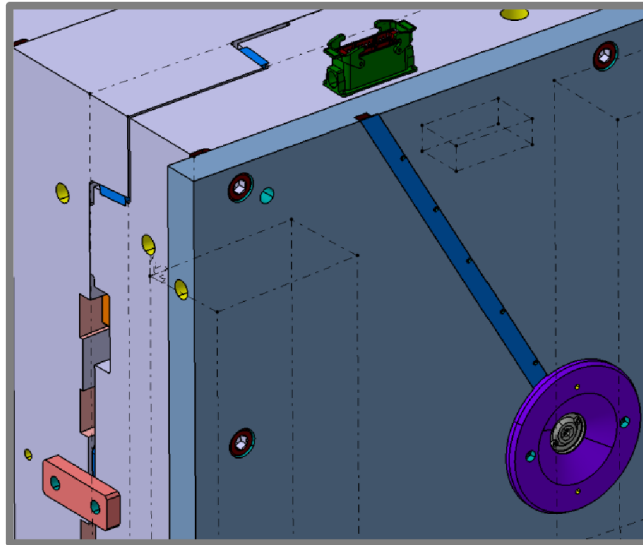
Obr. 4-24 Tunelový vtok se zapuštěním do dutiny formy

Volné vtékání materiálu do formy způsobuje nevzhledné proudové linie na výstřiku a znehodnocuje výstřik. V místě, kde se vtoky stýkají s dutinou formy, je vytvořeno drobné zapuštění do dutiny formy. Díky tomuto zapuštění nebude stopa po vtoku ve výstřiku přesahovat přes rozměr stanovený zákazníkem. Tvar vtoku umožní samovolné oddělení vtokové soustavy od výstřiku při vyhazování dílu z formy. V dalším kroku je vytvořena tryska vtokové soustavy. V tomto návrhu je volena vyhřívaná tryska od firmy HRS typ Serie A Free flow, L=125, R40. Pro trysku je vytvořen otvor v nepohyblivé části formy. Pro špičku trysky je dále vytvořeno drobné zapuštění u kanálů vtokové soustavy z důvodu tepelné dilatace trysky. Tvar špičky trysky je upraven dle tvaru kanálů vtokové soustavy.



Obr. 4-25 Vyhřívaná tryska

Vyhřívaná tryska musí mít přívod elektrické energie. Proto je vytvořena v upínací desce drážka pro přívodní kabel, která je překryta plechem připevněným šrouby k desce. Tryska bude zajištěna v pevné části formy středícím kruhem.

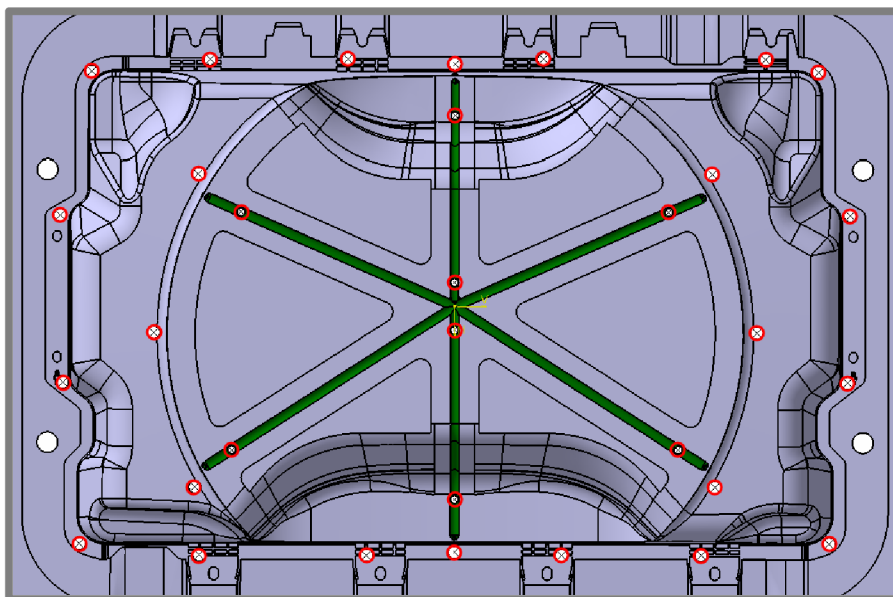


Obr. 4-26 Zakrytovaná drážka pro přívodní kabel trysky

#### 4.2.5

#### 4.2.5 Vyhazovací systém

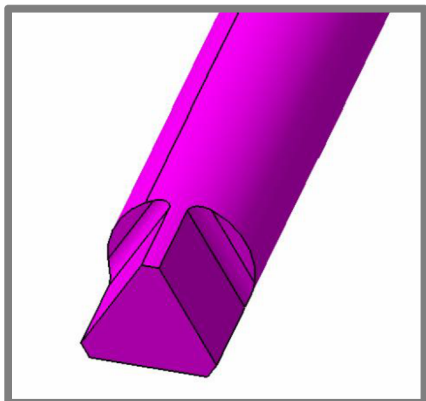
Vyhazovací systém musí zajistit úplné vyhození výstřiku z dutiny tak, aby nedošlo k poškození výstřiku. Za tímto účelem musí být správně navrženo rozmístění vyhazovačů. Vyhazovače musí být rozmístěny rovnoměrně po obvodu výstřiku, aby se výstřik při vyhazování nikde nevzpříčil. Vyhazovače se přednostně umísťují do míst se složitým tvarem a s hlubokým drážkováním, aby udržely výstřik při vyhazování, a ten pak mohl být odebrán robotem. Dále mohou sloužit v okrajových místech pro odvod vzduchu z dutiny při vstřikování.



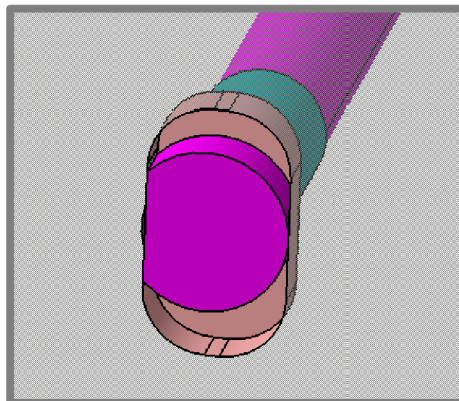
Obr. 4-27 Rozmístění vyhazovačů na tvarové desce



Po rozvržení vyhazovačů pro výstřik je nutné rozvrhnout vyhazovače i pro vtokovou soustavu. Ty jsou rozmístěny poblíž vtoků, aby došlo k jejich ustřížení. Konce vyhazovačů, které vyhazují výstřik, jsou seřiznuty dělicí rovinou, aby odpovídaly tvaru dutiny. Naopak vyhazovače vtokové soustavy jsou kratší a mají speciální tvar špičky. Díky kratším vyhazovačům vtokové soustavy zateče plast i do otvorů pro vyhazovače a ztuhne kolem tvaru špičky. Takto je vtoková soustava při vyhazování fixována na vyhazovačích, odkud může být následně odebrána robotem.

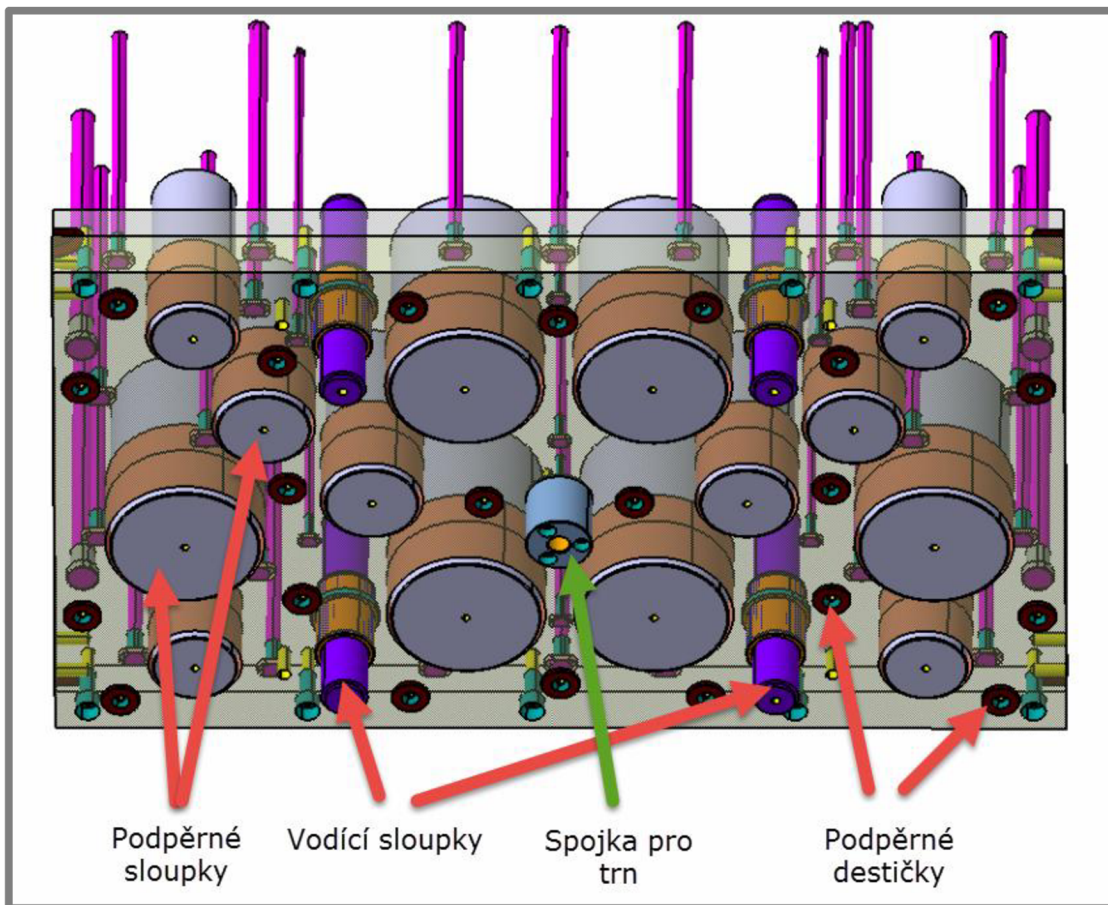


Obr. 4-28 Vyhazovač vtokové soustavy



Obr. 4-29 Zajištění vyhazovače

Vyhazovače jsou jištěny a ovládány pomocí desek vyhazovacího systému, které jsou umístěny pod tvarovou deskou pohyblivé části formy. Pokud nemají vyhazovače plochou špičku, musejí být zajištěny proti pootočení. Zajištěny jsou zbroušením ve spodní části a uložení do drážky v kotvicí desce vyhazovacího systému (viz obr. 29). Do volného místa mezi vyhazovače se vloží podpěrné válce, které slouží k zamezení průhybu tvarové desky. Další součástí vyhazovacího systému jsou vraccí kolíky. Jejich funkcí je zamezení havárie při zavření formy při vytažených vyhazovacích kolících. Dále slouží k úplnému dotlačení vyhazovacích desek k desce upínací, aby se vyhazovače plně zasunuly a nezůstaly v dutině formy. Vraccí kolíky jsou rozmístěny okolo tvaru výstřiku. Vyhazovací desky jsou vedeny vodícími sloupky. Ty musí být symetrické vůči středu nástroje (trnu), aby se předešlo přičení vyhazovacích desek při vyhazování. Velikost vodících sloupků se volí úměrně velikosti formy. Zdvih vyhazovacích desek se zvolí tak, aby šel výlisek snadno odebrat z formy robotem. Vyhazovací desky jsou ovládány mechanicky trnem lisu přes spojku spojenou s deskami. Mezi vyhazovací a upínací deskou je mezera pro podpěrné destičky. Ty slouží k přesnému dosednutí desek na sebe. Podpěrné destičky musí být umístěny především pod vraccími kolíky, aby se kolíky o destičky zapřely.

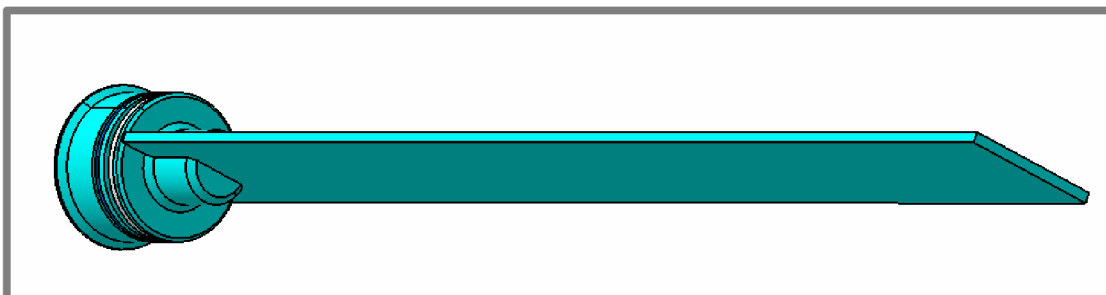


Obr. 4-30 Vyhazovací systém

## 4.2.6

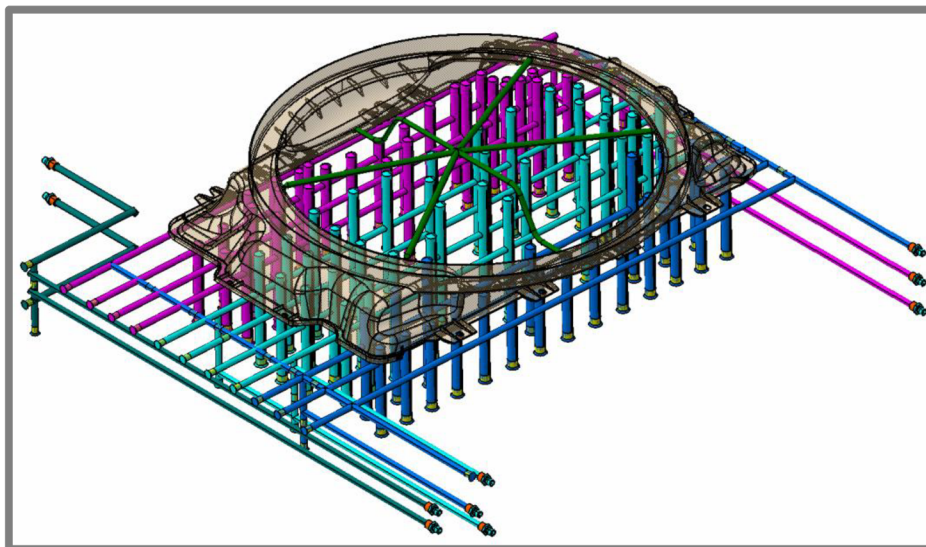
**4.2.6 Chladicí systém**

Chladicí systém slouží k odvodu přebytečného tepla z formy. Musí být navržen tak, aby se teplo rovnoměrně odvedlo z výstřiku. Čím rychleji se odvede teplo z výstřiku, tím kratší bude vstřikovací cyklus. Špatně navržený chladicí systém může způsobit nerovnoměrné tuhnutí výstřiku a jeho následné deformace. Teplo je potřeba odvádět ze všech dílů, které přijdou do styku s taveninou. V případě této práce je třeba navrhnout chladicí okruhy pro tvarové desky a slidery. Chlazení sliderů je popsáno v kapitole slidery. Chlazení tvarových desek je řešeno pomocí vrtaných děr o průměru 12 mm a zátěk firmy WEMA rozmístěných v dírách tak, aby dohromady tvořily chladicí okruh. Pro lepší prochlazení dutiny formy jsou v oblasti taru výstřiku vrtány otvory průměru 20 mm, do kterých jsou vloženy chladicí přepážky se zátkou.

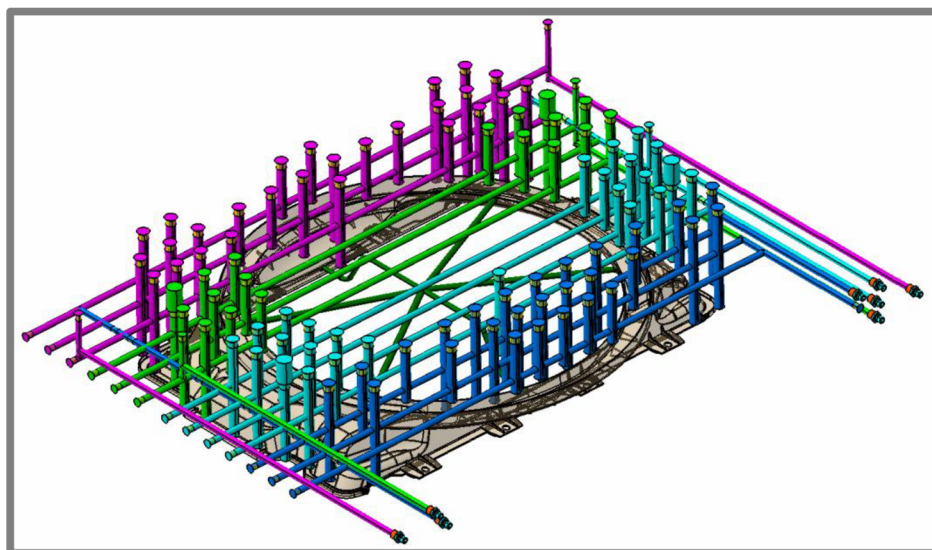


Obr. 4-31 Chladicí přepážka se zátkou

Chladicí kapalina proudí kolem přepážky a dostane se blíž k dutině formy. Vrtané otvory chlazení jsou voleny v rozteči přibližně 60 mm. Ze strany pohyblivé části formy je pomocí zátek s přepážkou prochlazen i vtokový systém. Počet chladících okruhů je volen tak, aby délka okruhu pod výstřikem nebyla větší jak 1,5 m.



Obr. 4-32 Chladící okruhy pohyblivé části formy

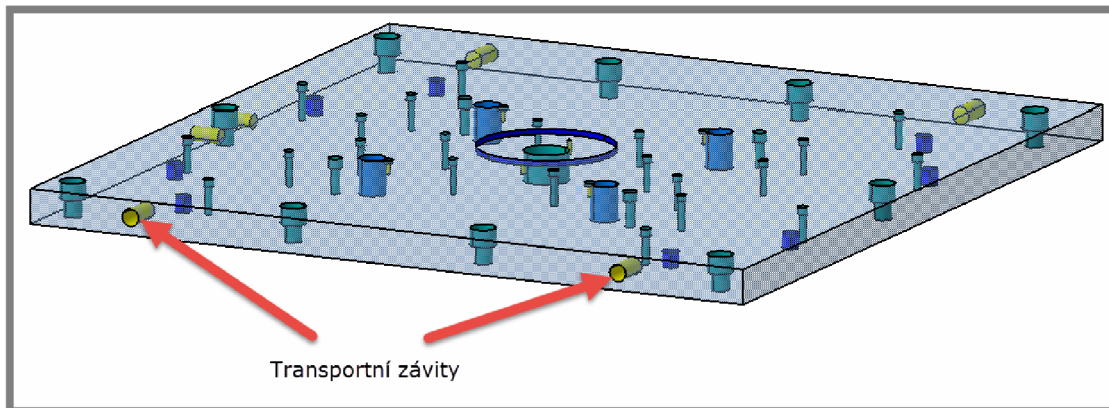


Obr. 4-33 Chladící okruhy pevné části formy

Na vstupy a výstupy chladících okruhů jsou nasazeny koncovky firmy WEMA s rychlospojkami pro rychlé nasazení přívodních hadic.

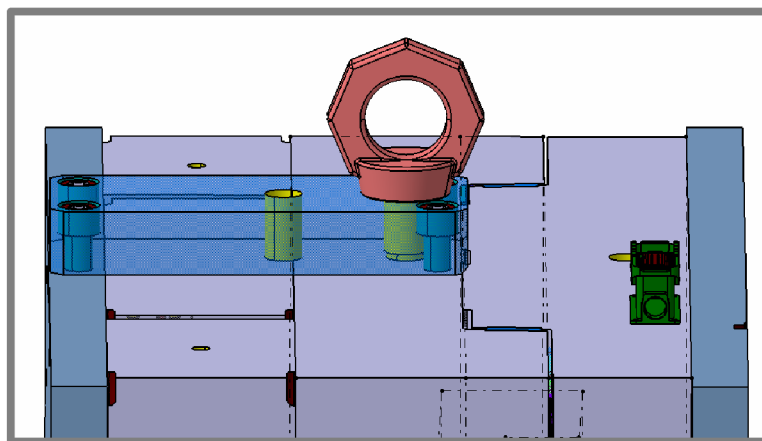
#### 4.2.7 Transportní prvky formy

S formou a jednotlivými deskami je třeba manipulovat, a to jak při výrobě a montáži, tak při ustavování do lisu. Pro transport součástí těžších jak 15 kg slouží transportní závitě. Do nich je možné přišroubovat pomocné zvedací prvky. Rozmístění transportních závitů musí být voleno v ose těžiště nebo symetricky kolem těžiště.



Obr. 4-34 Upínací deska s transportními závity

K manipulaci s celou formou se používá transportní oko. Velikost a typ transportního oka se volí dle celkové hmotnosti formy. Transportní oko je nutné umístit do osy těžiště, aby nedocházelo k naklánění formy při transportu. Dále musí být vytvořeny závity pro transportní oko v pohyblivé a pevné části formy. V případě této práce byl vytvořen transportní most připevněný k pohyblivé části formy, jelikož transportní závit pohyblivé části vycházel na rozmezí dvou desek.



Obr. 4-35 Transportní oko

Při transportu celé formy je nutné zajistit formu proti otevření. K tomu slouží zámky na stranách formy.

#### 4.2.8

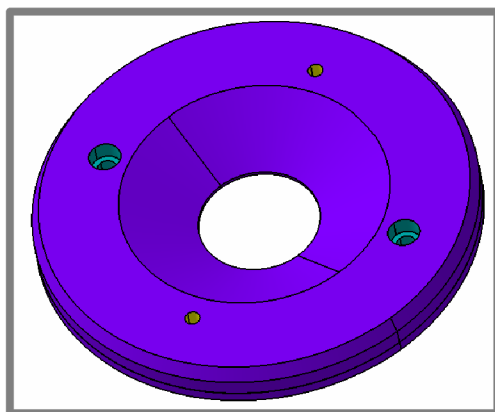
#### 4.2.8 Výrobní a montážní prvky formy

Tvarové desky a slidery musí být opatřeny speciálními otvory pro upnutí na pracovní stůl obráběcího stroje. Ty zajistí přesné ustavení polotovaru při obrábění. Tvarové desky jsou navíc opatřeny referenčními značkami, pro přesnou kalibraci polohy nástroje. Při montáži formy je nutné přesně vystředit jednotlivé desky vůči sobě. K tomu slouží středící kolíky mezi jednotlivými deskami. Pro demontáž ze středících kolíků mají desky do rohů vyfrézovány demontážní drážky. Pomocí nich se jednotlivé desky oddělí od sebe.

#### 4.2.9 Ostatní prvky formy

##### *Středící kruhy*

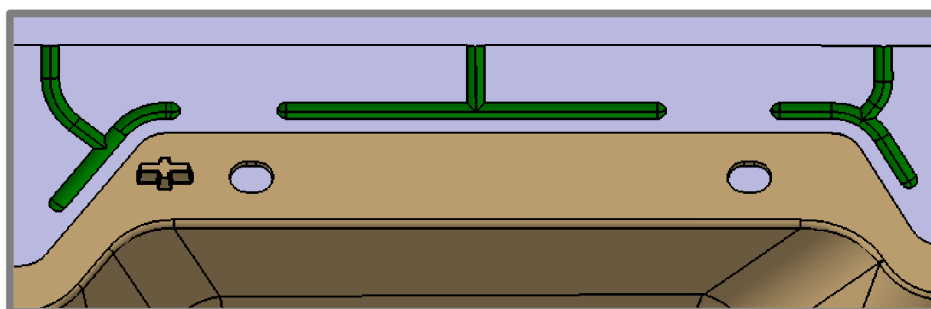
Středící kruhy slouží k přesnému ustavení pohyblivé a pevné části formy při upínání do lisu. Jsou centrovány ve středu formy. Rozměry středících kruhů se volí podle lisu. Středem středícího kruhu pohyblivé části formy prochází otvor pro spojku trnu lisu a vyhazovacích desek. Středící kruh pevné části formy přidržuje vyhřívanou trysku vtokového systému a otvorem uprostřed umožňuje přístup plastifikační jednotce k vyhřívané trysce. Oba středící kruhy mají po stranách demontáží závity.



Obr. 4-36 Středící kruh

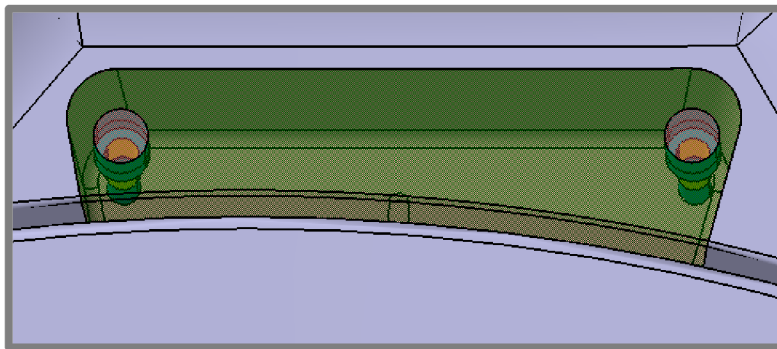
##### *Odvzdušňovací prvky formy*

Při plnění formy taveninou je v dutině uvězněn vzduch. Proto musí být zajištěn jeho odvod z dutiny ven. Vzduch může unikat přes dělicí rovinu formy, vodící otvory vyhazovačů, odvzdušňovací drážky nebo přes odvzdušňovací vložky. Při návrhu formy je mnohdy obtížné určit, kde je třeba dutinu formy odvzdušnit. Pro určení problematických míst se používají simulace plnění nebo se vychází ze zkušebního chodu stroje. V případě této práce byly zvoleny pro odvzdušnění krajních částí výstřiku odvzdušňovací drážky.



Obr. 4-37 Odvzdušňovací drážky

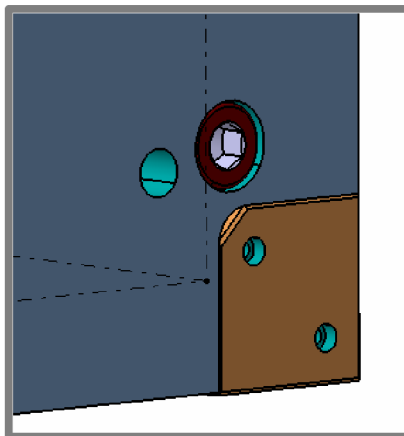
Při testovacím chodu formy firmou Mürdter Dvořák bylo zjištěno ve dvou místech nedostatečné odvzdušnění formy. Z toho důvodu jsou ve formě umístěny dvě odvzdušňovací vložky. Odvzdušňovací vložky jsou v dutině přišroubovány a otvory po šroubech jsou následně zaplombovány, aby nenarušovaly tvar dutiny.



Obr. 4-38 Odvzdušňovací vložka se zaplombovanými otvory pro šrouby

### *Ochranné rohy*

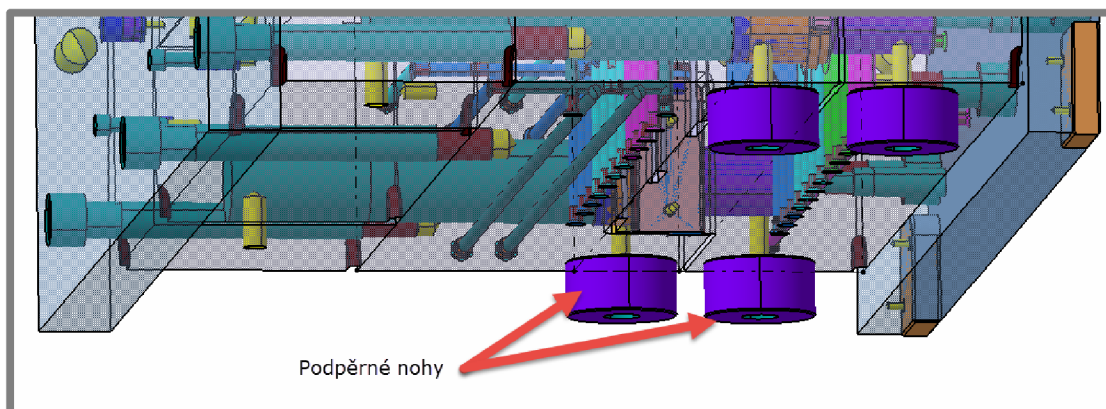
Upínací deska pevné části formy je na spodní hraně opatřena ochrannými plastovými rohy. Ty jsou zde proto, aby se zabránilo poškození rohů při manipulaci s nástrojem. Poškozené rohy můžou způsobit problémy při magnetickém upínání formy do lisu.



Obr. 4-39 Ochranný kryt rohu

### *Podpěrné nohy*

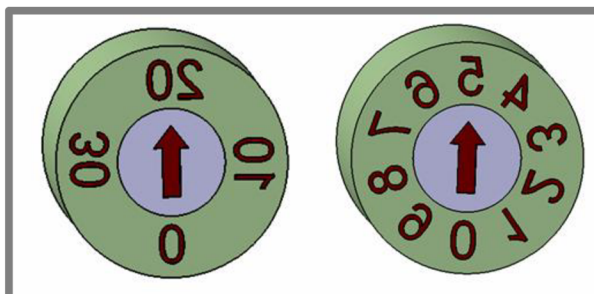
Pevná a pohyblivá část formy musí mít ve spodní části podpěrné nohy, na které mohou být jednotlivé části postaveny. Nohy jsou vyrobeny z válců přišroubovaných k okrajům tvarových desek.



Obr. 4-40 Podpěrné nohy pohyblivé a pevné části formy

*Popisky a razítka*

Každý výstřik musí obsahovat logo výrobce, popis a datum výroby. K tomu jsou do dutiny na vhodné místo vyleptány popisky s tabulkami pro zaznamenání data, případně se do formy vkládají razítka pro popis dne výroby. Popisky se dávají na nepohledovou stranu výstřiku. V této práci byla použita datová razítka firmy Opitz.



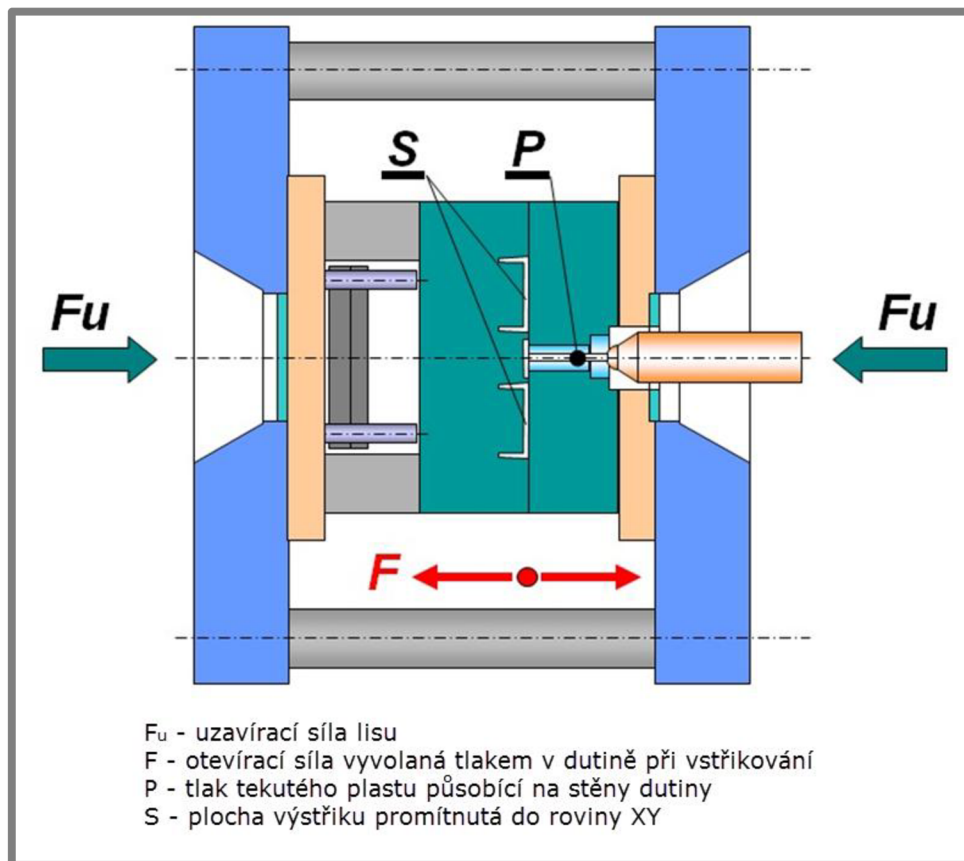
Obr. 4-41 Datová razítka

*Zásuvka*

Pokud forma obsahuje prvky ovládané elektricky, je nutné k formě přidat zásuvku s přívodem elektrické energie. V případě této práce je elektricky ovládaná vyhřívaná tryska vtokového systému. Zásuvka je umístěna na horní straně nástroje.

**4.3 Volba lisu**

Lis pro vstříkovací formu musí být volen tak, aby nedošlo při vstříkování plastu do formy k jejímu otevření. Volba lisu je tedy závislá na tlacích, vyvolaných ve formě při vstříkování. Dále musí být lis dostatečně velký, aby se do něj dala forma shora uložit. Parametry lisu také určují počet chladících okruhů, který je schopen lis ovládat, a také počet elektrických okruhů. Při zjednodušeném výpočtu velikosti lisu se pomocí vstříkovacího tlaku, který vychází z analýzy plnění, a pomocí plochy vzniklé promítnutím výstřiku do roviny XY, zjistí otevírací síla vyvolaná tlakem v dutině formy při vstříkování. Z otevírací síly se následně volí potřebný lis, který musí tuto sílu překonat.



Obr. 4-42 Schéma silových poměrů

Pro tuto formu byl použit lis od firmy Krauss Maffei KM 1300, jež firma Mürdter Dvořák dle jejich výpočtů navrhla a následně otestovala při zkušebním provozu.



## DISKUSE

V první části této bakalářské práce byl popsán stručný přehled současného stavu poznání o vstřikovacích formách a procesu vstřikování na vstřikovacích strojích. U vstřikovacích forem byly popsány jednotlivé prvky formy se základním rozdělením. Dále byl popsán vstřikovací cyklus a jednotlivé části vstřikovacího stroje. V praktické části této bakalářské práce byl popsán postup návrhu vstřikovací formy pro zadaný díl. Konstrukce formy byla zpracovávána v konstrukčním programu Catia V5R19. Tento program umožňuje díky svým modulům a funkcím zpracovat modely vstřikovacích forem i pro tvarově velmi složité díly s mnoha směry odformování, případně formy se složitým tvarem dělicí roviny. Při konstrukci formy se vycházelo z předpisů a norem firmy Mürdter Dvořák, která se specializuje na konstrukci vstřikovacích forem pro díly do automobilového průmyslu. Samotná konstrukce vycházela ze startovacího modelu firmy Mürdter Dvořák, který byl upraven pro zadaný díl. Zpracování práce pomocí startovacího modelu přineslo značné urychlení procesu návrhu formy. Startovací model je nastaven tak, aby za pomoci přídatného modulu generoval kusovník pro díly sestavy. K urychlení procesu návrhu formy přispěla také databáze normalizovaných a nakupovaných dílů používaná firmou Mürdter Dvořák. 3D data těchto dílů lze snadno zakomponovat do sestavy a přidat do kusovníku. Firma také používá databázi vstřikovacích lisů. Z ní lze snadno získat informace o parametrech lisu a z 3D schématu lisu lze snadno ověřit, zda do něj bude forma správně pasovat a zda nedojde ke kolizi formy s lisem. Jelikož hlavním cílem této bakalářské práce nebyl návrh vstřikovací formy, ale metodika, byly při práci použity databáze a některá data od firmy Mürdter Dvořák. To se týkalo především odečtových ploch použitých při návrhu formy, jejichž konstrukce vyžaduje jistou zkušenost s jejich zpracováním. Dále k práci firma Mürdter Dvořák poskytla analýzu vstřikování, z níž vycházel návrh vtokového systému. Samotné konstrukční řešení bylo uzpůsobeno pro tzv. bezvýkresovou dokumentaci, kdy byly jednotlivé prvky formy obarveny barvami stanovenými dle firemních předpisů. Toto obarvení stanovuje přesnost výroby povrchů, druh závitů, tolerované i netolerované otvory a další výrobní prvky. Návrh formy byl následně popsán v krocích rozdělených dle základních prvků formy. Samotná doba návrhu konstrukce formy je velmi závislá na tvarové složitosti dílu. Využití programu Catia V5 pro návrh formy přináší značnou úsporu času. Již při návrhu se předem zabráňuje vzniku problémů ve výrobě či provozu využitím kontrolních funkcí programu. Mezi tyto funkce patří například analýza vyrobitelnosti nebo kontrola kolizí dílů formy. Nesporné zrychlení a zjednodušení výrobního procesu zajišťuje systém bezvýkresové dokumentace. Tento systém je hojně využíván ve všech velkých firmách z oblasti automobilového průmyslu. Práce s 3D daty navíc umožňuje přesnou kontrolu tvaru vyrobeného dílu jeho zdigitalizováním pomocí 3D scanneru, případně přesným měřením pomocí měřicích center. Nevýhodou softwaru Catia V5 je především jeho cena s vysokými ročními poplatky na údržbu a také nutnost důkladného školení pracovníků pro úplné zvládnutí všech pokročilých funkcí jež program nabízí.

## **ZÁVĚR**

Všechny vymezené cíle bakalářské práce byly splněny. Hlavním cílem této bakalářské práce byla metodika návrhu formy pro vstřikování plastů, pomocí CAD systému Catia V5R19. Metodika návrhu konstrukce formy byla popsána pro plastový díl zadaný firmou Mürdter Dvořák. Zadaným dílem byl plastový kryt ventilátoru motoru pro nákladní automobil Daimler značky Mercedes-Benz. Jedním z dílčích cílů této práce byl návrh konstrukce vstřikovací formy. Z možných způsobů řešení byl použit startovací model formy poskytnutý firmou Mürdter Dvořák. Pro výsledné konstrukční řešení byl popsán postup návrhu a vytvořen výkres sestavy.

V této bakalářské práci byla použita data analýzy plnění formy poskytnutá firmou Mürdter Dvořák. Rozšířením bakalářské práce, které by mohlo být náplní dalšího studijního programu, by mohla být optimalizace návrhu vtokové soustavy formy pomocí analýz vstřikování provedených ve specializovaném programu. Dalším rozšířením by mohl být postup návrhu lisu pro vstřikovací formu s výpočtem tlaků v dutině formy při vstřikování.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**

- [1] ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce výlisků a forem pro zpracování plastů*. Praha: Sekurkon s.r.o, 2009. ISBN 978-80-86604-44-2.
- [2] KOLOUCH, Jan. *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986.
- [3] REES, Herbert. *Mold engineering*. Munich: Hanser, 2002. ISBN 1-56990-322-0.
- [4] MENGES, G., W. MICHAELI a P. MOHREN. *How to make injection molds*. Munich: Hanser, 2001. ISBN 1-56990-282-8.
- [5] *HASCO* [online]. [cit. 2014-02-13]. Dostupné z: <http://www.hasco.com/gb/Products/Hot-runner-Technology>
- [6] LENFELD, Petr. *Katedra tváření kovů a plastů - skripta* [online]. [cit. 2014-02-10]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/index.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/index.htm)
- [7] *Ideal Tech* [online]. [cit. 2014-02-13]. Dostupné z: <http://www.idealtech.net/example-of-cooling-analysis>
- [8] LANXESS. *Part and mold design* [pdf]. 2007 [cit. 2014-02-10]. Dostupné z: [http://techcenter.lanxess.com/scp/americas/en/docguard/Part\\_and\\_Mold\\_Design\\_Guide.pdf?docId=77015](http://techcenter.lanxess.com/scp/americas/en/docguard/Part_and_Mold_Design_Guide.pdf?docId=77015)
- [9] *Fiveninies automation* [online]. [cit. 2014-02-14]. Dostupné z: <http://www.5ninesautomation.com/injection-molding-machine/>
- [10] *Arburg* [online]. [cit. 2014-02-14]. Dostupné z: <http://www.arburg.com/cs/cz/reseni/injection-moulding-machines/>

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1-1 Vyhříváný vtokový systém [5].....	14
Obr. 1-2 Příklad plného vtoku [1].....	15
Obr. 1-3 Příklad bodového vtoku [1].....	15
Obr. 1-4 Příklad štěrbinového vtoku [1].....	16
Obr. 1-5 Příklad rozvržení chladícího systému [7].....	16
Obr. 1-6 Vyhazování vyhadzovacími kolíky [8] .....	17
Obr. 1-7 Vyhazování stírací deskou [8].....	18
Obr. 1-8 Způsob vzduchového vyhadzování [8] .....	18
Obr. 1-9 Schéma vstřikovacího stroje [9].....	20
Obr. 1-10 Ukázka vstřikovací jednotky [10] .....	21
Obr. 1-11 Ukázka uzavírací jednotky [10] .....	21
Obr. 3-12 Varianta č. 1 - postup konstrukce.....	23
Obr. 3-13 Varianta č. 2 - postup konstrukce.....	24
Obr. 3-14 Varianta č. 3 - postup konstrukce.....	24
Obr. 4-15 Pohyblivá strana formy .....	26
Obr. 4-16 Pevná strana formy .....	27
Obr. 4-17 Analýza úkosů .....	28
Obr. 4-18 Startovací model.....	29
Obr. 4-19 Ořezová plocha pro tvarovou desku pohyblivé části formy.....	30
Obr. 4-20 Tvarová deska se zamykáním .....	30
Obr. 4-21 Ořezová plocha slideru.....	31
Obr. 4-22 Spodní strana slideru s vedením.....	32
Obr. 4-23 Výstřik se slidery v otevřené poloze .....	32
Obr. 4-24 Tunelový vtok se zapuštěním do dutiny formy .....	33
Obr. 4-25 Vyhříváná tryska .....	33
Obr. 4-26 Zakrytovaná drážka pro přívodní kabel trysky .....	34
Obr. 4-27 Rozmístění vyhadzovačů na tvarové desce.....	34
Obr. 4-28 Vyhazovač vtokové soustavy .....	35
Obr. 4-29 Zajištění vyhadzovače .....	35
Obr. 4-30 Vyhazovací systém.....	36
Obr. 4-31 Chladicí přepážka se zátkou.....	36
Obr. 4-32 Chladicí okruhy pohyblivé části formy .....	37
Obr. 4-33 Chladicí okruhy pevné části formy .....	37
Obr. 4-34 Upínací deska s transportními závity .....	38
Obr. 4-35 Transportní oko .....	38
Obr. 4-36 Středící kruh .....	39
Obr. 4-37 Odvzdušňovací drážky .....	39
Obr. 4-38 Odvzdušňovací vložka se zaplombovanými otvory pro šrouby.....	40
Obr. 4-39 Ochranný kryt rohu .....	40
Obr. 4-40 Podpěrné nohy pohyblivé a pevné části formy .....	40
Obr. 4-41 Datová razítka .....	41
Obr. 4-42 Schéma silových poměrů .....	42

## **SEZNAM PŘÍLOH**

- Příloha 1 - Zadání - výkres dílu
- Příloha 2 - Materiálový list
- Příloha 3 - Zadání - reologie
- Příloha 4 - Analýza vyrobiteľnosti
- Příloha 5 - Kusovník
- Příloha 6 - Obrázky formy
- Příloha 7 - Výkres sestavy