

# Konstrukce volantu včetně nástroje pro jeho výrobu

Bc. Jan Ondřej

---

Diplomová práce  
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství  
akademický rok: 2013/2014

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan ONDŘEJ**  
Osobní číslo: **T10750**  
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**  
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Konstrukce volantu včetně nástroje pro jeho výrobu**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na dané téma.
2. Provedte konstrukci 3D modelu vstřikovaného dílu.
3. Navrhněte vstřikovací formu pro zadaný díl.
4. Konstrukční řešení ověřte pomocí analýz.
5. Nakreslete 2D řez vstřikovací formou včetně příslušných pohledů a kusovníku.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

**dle zadání vedoucího DP**

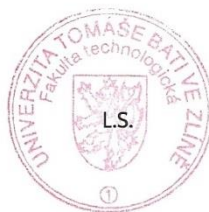
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Michal Staněk, Ph.D.**  
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **10. února 2014**

Termín odevzdání diplomové práce: **12. května 2014**

Ve Zlíně dne 10. února 2014

  
doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.  
*děkan*



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

Příjmení a jméno: Ondřej Jan

Obor: Výrobní inženýrství

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 7.5.2014

  
.....

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdětku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdětku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Tématem diplomové práce je konstrukční návrh formy a dílu použitého v sestavě dětského vozidla. Jedná se o volant, který je součástí řídicího mechanismu. Konstrukce dílu i formy je řešena pro vstřikování za pomoci asistence plynu, aby bylo dosaženo snížení hmotnosti a úspory materiálu při zachování plné funkčnosti a bezpečnosti dílu. Forma pro výrobu dílu je navržena pro použití technologie vstřikování GIT. V teoretické části jsou popsány polymery, zejména termoplasty. Je zde popsána metoda vstřikování plastů a s ní související výrobní prostředky, jako jsou formy a stroje. Závěr teoretické části je zaměřen na technologii dutých výrobků, především vstřikováním za asistence plynu. Praktická část je zaměřena na konstrukci dílu a požadavků na díl, které se týkají funkce výrobku. Z možných způsobů řešení byla vybrána ta varianta, která by měla snížit případný výskyt problémů v sériové výrobě. V dalších kapitolách praktické části je popis konstrukce formy a její ověření pomocí analýzy toku polymeru a vytvoření dutiny plynem.

**Klíčová slova:** Termoplasty, vstřikování, vstřikovací forma, asistované vstřikování pomocí plynu.

## **ABSTRACT**

The topic of the thesis is design this part used in the assembly of the children's vehicle. This is the steering wheel, which is part of the control mechanism. The construction of the part and the mold is designed for injection molding using a gas assisted to achieve weight reduction and material savings of required full functionality and safety this part. The part is designed for injection molding GIT. The theoretical part describes, especially thermoplastics polymers, especially thermoplastics, there is provided a method of injection molding and related manufacturing equipment, such as molds and machines. Conclusion the theoretical part focuses on the technology of products with hollow, mainly gas injection for assistance. The practical part is focused on the design of part, the requirements of the part relating to the function of the product. Possible solution was chosen as optimization reduces the possible problems in serial production. In next chapters of practical part is a description of mold design and its verification by analyzing the flow of the polymer and assisted gas injection molding.

**Keywords:** thermoplastics, injection molding, injection molds, assisted gas injection molding.

## PODĚKOVÁNÍ:

Tímto chci poděkovat vedoucímu mé diplomové práce panu doktorovi Michalu Staňkovi za skvělou spolupráci, pomoc, rady a trpělivost během mého studia a při psaní diplomové práce. Také bych chtěl poděkovat své rodině, která mne ve studiu podporovala.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>12</b>
<b>1 POLYMERŇÍ MATERIÁLY</b> .....	<b>13</b>
1.1 TERMOPLASTY .....	14
1.1.1 Polyolefiny .....	15
<b>2 TVÁŘECÍ METODA - VSTŘIKOVÁNÍ</b> .....	<b>17</b>
2.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS .....	17
2.2 STAVBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE.....	18
2.2.1 Vstřikovací jednotka .....	19
2.2.2 Uzavírací jednotka .....	21
2.2.3 Řídící jednotka .....	22
2.3 KONSTRUKCE FOREM NA VSTŘIKOVÁNÍ TERMOPLASTŮ.....	22
2.3.1 Zásady při konstrukci vstřikovaných polymerních výrobků.....	23
2.3.2 Smrštění výstřiku .....	24
2.3.3 Studené vtokové systémy .....	24
2.3.4 Vyhříváné vtokové systémy .....	26
2.3.5 Temperování forem .....	28
2.3.6 Odvzdušnění forem .....	30
2.3.7 Vyhazování výstřiků .....	31
2.4 VSTŘIKOVÁNÍ DUTÝCH DÍLŮ .....	33
2.4.1 Technologie GIT .....	33
2.4.2 Technologie WIT .....	39
<b>3 ANALÝZY CAE</b> .....	<b>41</b>
3.1 OVĚŘENÍ KONSTRUKCE VÝROBKU .....	41
3.2 OVĚŘENÍ KONSTRUKCE POLYMERŇÍHO VÝROBKU POMOCÍ ANALÝZY FEM.....	42
3.3 OVĚŘENÍ KONSTRUKCE FORMY POMOCÍ ANALÝZY FEM .....	44
3.4 OVĚŘENÍ PLNĚNÍ DUTINY FORMY .....	45
<b>4 ZÁVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI</b> .....	<b>46</b>
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>47</b>
<b>5 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE</b> .....	<b>48</b>
5.1 TÉMA PRÁCE .....	48
5.2 ZADÁNÍ PRO VYPRACOVÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE .....	48
5.3 POUŽITÉ SYSTÉMY CAD A CAE .....	48
5.3.1 CATIA V5R19 .....	48
5.3.2 Autodesk Moldflow Insight 2014 .....	49
6.1 POPIS VÝROBKU .....	51
6.2 POŽADAVKY NA VÝROBEK .....	52
6.2.1 Zadávací podmínky a vstupní data.....	52
6.2.4 Požadavky na funkci a bezpečnost dílu .....	55
6.3 PARAMETRY VÝROBKU .....	56
6.4 MATERIÁL VÝROBKU .....	56
<b>7 KONSTRUKCE DÍLCE</b> .....	<b>57</b>



7.1	NÁVRH DÍLU DLE ZADÁVACÍCH PODMÍNEK .....	57
7.2	KONSTRUKCE DÍLU .....	58
<b>8</b>	<b>NÁVRH VSTŘIKOVACÍHO STROJE .....</b>	<b>62</b>
<b>9</b>	<b>KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍHO NÁSTROJE .....</b>	<b>64</b>
9.1	PŘÍPRAVA VÝROBKU K ZAFORMOVÁNÍ .....	64
9.2	RÁM FORMY .....	64
9.3	DUTINA FORMY .....	66
9.4	VTOKOVÝ SYSTÉM .....	67
9.5	VYHAZOVACÍ SYSTÉM .....	68
<b>10</b>	<b>ANALÝZA PLNĚNÍ FORMY .....</b>	<b>69</b>
10.1	UMÍSTĚNÍ VTOKOVÉHO ÚSTÍ.....	69
10.2	VÝSLEDKY ANALÝZ .....	71
10.2.1	Analýza plnění .....	72
10.2.2	Analýza dutiny vytvořené plynem ve výstřiku .....	73
10.2.3	Analýza deformací .....	76
10.3	ZMĚNA UMÍSTĚNÍ VTOKOVÉHO ÚSTÍ.....	77
<b>11</b>	<b>DISKUSE VÝSLEDKŮ .....</b>	<b>81</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>83</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>84</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>86</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>87</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>89</b>

## ÚVOD

Diplomová práce je zaměřena na konstrukci a výrobu polymerního dílu v kontextu sestavy výrobku. V tomto případě jde o dětské vozidlo využívané dětmi do tří let a řešeným dílem je volant. Díl je navržen z termoplastu.

Podíl polymerů jako konstrukčních materiálů se neustále zvyšuje. Člověk již dříve dokázal využít specifických vlastností přírodních polymerů, které ještě rozšířil objev a vývoj syntetických polymerů. Mezi vyhledávané vlastnosti těchto materiálů patří především snadná tvarovatelnost, nízká hmotnost, u některých polymerních materiálů elasticita a stále na významnější recyklovatelnost a trend snižování průmyslových odpadů. Příkladem může být požadavek na 80% podíl recyklovatelných dílů na každém automobilu a to při orientaci českého průmyslu na dodávky do automobilového průmyslu znamená, že podíl termoplastů ve skupině konstrukčních dílů dále poroste.

Polymerní materiály se neustále modifikují a při jejich vývoji se hledají optimální užité a zpracovatelské vlastnosti. Hledají se polymerní kompozity, které spojují například vhodné vlastnosti dvou polymerů a výsledný kopolymer může mít například větší modul pružnosti, větší pevnost, která pak může ovlivnit životnost dílu v provozních podmínkách a nahradit například kovové konstrukční materiály. Vlastnosti kopolymerů jsou však omezeny vlastnostmi vstupních polymerů.

Jiný směr vývoje nabízí hledání polymerních surovin z obnovitelných zdrojů a přírodními vlákny, které lze například pěstovat jako zemědělskou plodinu. Přes podporu výzkumu tohoto materiálu a přes pionýrské užití takových materiálů v automobilech zavedených značek, je však cena takto vzniklého polymeru ještě příliš vysoká v porovnání s již zavedenými technologiemi výroby syntetických polymerů. Příkladem mohou být plasty použité v elektromobilech BMW řady i, které však také mohou přispět k vyšší celkové ceně vozu a tím pádem se zatím oddaluje masové využití těchto materiálů. Jejich význam se snad zvýší v budoucnu, kdy nebude už postačující pouhá recyklace materiálů, ale bude potřeba zajistit přísun surovin z obnovitelných zdrojů. V současnosti ještě není dostatečný ekonomický a ekologický tlak, což je dáno jak rozvojem technologií na těžbu neobnovitelných zdrojů, hospodárnějším zpracováním a také stále vysokým podílem jiných konstrukčních materiálů, jako jsou kovy, sklo, či kompozity. Přitom je potřeba si uvědomit, že i přes zvyšující se objem výroby plastů, je spotřeba pro výrobu plastů přibližně 2 % z celkové spotřeby ropy. Pokud to konkretizujeme v číslech, pak například na výrobu lahví pro bale-

nou vodu je odhadovaná světová spotřeba ropy „pouhých“ 50 miliónů barelů ročně, přičemž denní spotřeba ropy ve Spojených státech amerických činí 19 až 20 miliónů barelů denně, což je pak ročně 146 krát více. Například Norsko, které má velký podíl na těžbě ropy, vyprodukuje 1,45 miliónů barelů denně. Tento nepoměr ukazuje ropu spíše jako strategickou surovinu v jiných odvětvích, třeba v dopravě, ale zároveň právě dopravní prostředky tvoří velkou oblast využití plastů.

Další skupinou konstrukčních materiálů, využívající polymery jsou kompozitní materiály. Zvláště materiály na bázi práškové metalurgie a polymerů mají velký potenciál využití v budoucnu.

Vlastnosti polymerů lze upravit i anorganickými nanočásticemi, které ovlivňují i charakteristické elektro a tepelně izolační vlastnosti polymerních materiálů.

Výše uvedené příklady ukazují, že přes kratší dobu kdy se syntetické polymery využívají jako konstrukční materiály, je jejich rozvoj v porovnání s ostatními materiály rychlejší a možnosti jistě nejsou ještě zcela vyčerpány, což je určitě pozitivní informace pro zpracovatele a uživatele polymerů.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 POLYMERNÍ MATERIÁLY

Polymery jsou látky vyznačující se tím, že jejich základními jednotkami jsou extrémně velké molekuly – makromolekuly. Význam slova polymer: poly = mnoho; meros = část; monos = jediný; oligo = několik. [1]

Makromolekuly vznikají spojením velkého počtu opakujících se částí – merů. Mery jsou zůstatky ze spojujících se výchozích molekul – monomerů. Malé množství spojených merů se označuje jako oligomer, velké množství jako polymer. [1]

Základní rozdělení polymerů je na termoplasty, reaktoplasty a elastomery.

Termoplasty se dále dělí na semikrystalické neboli částečně krystalické a amorfní. Jsou houževnaté a rozpustné. Do skupiny termoplastů se řadí polyolefiny jako polypropylen a polyetylen, polyétery, vinylové polymery polyamidy, polyestery, polyacetalu.

Reaktoplasty, dříve označované jako termosety nebo z němčiny převzatým výrazem durosety, dělíme na fenolické, epoxidové, melaninové, polyesterové a další.

Elastomer obecně je polymer (makromolekulární látka), který lze za běžných podmínek malou silou značně deformovat bez porušení, přičemž deformace je převážně vratná, to znamená, že pokud síla přestane působit, deformované těleso se rychle navrácí do původního stavu. [2]

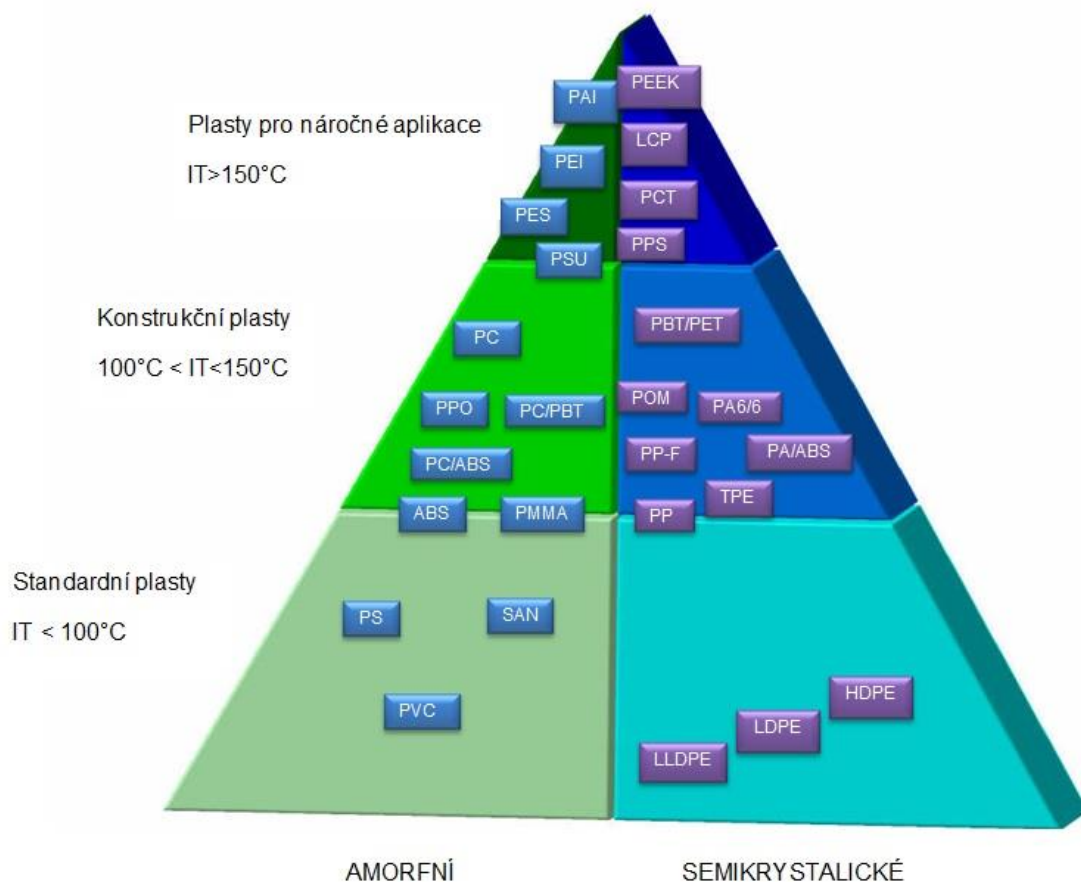
Elastomery lze primárně rozdělit na materiály, jejichž polymerní řetězce jsou vytvořeny na chemickém nebo fyzikálním základě. Mezi elastomery s chemicky propojenými řetězci, které se vytvářejí při vulkanizaci, patří přírodní kaučuky a syntetické kaučuky. Skupina elastomerních materiálů ze směsí elastických polymerních řetězců v polymerní matici, které jsou vytvořeny na fyzikálním principu, se nazývají termoplastické elastomery neboli TPE.

Tento princip rozdělení dle chemických či fyzikálních vazeb má vliv nejen na mechanické a užitné vlastnosti elastomerů, ale i na opětovnou recyklaci materiálu. Zatím co pryže z přírodních či syntetických kaučuků nelze jednoduše recyklovat, jelikož chemické vazby vzniklé za pomoci vulkanizace, u níž, při použití síry jako vulkanizačního činidla, tepla a tlaku, došlo vytvoření sírných můstků, k tak zvanému zesíťování. Tento proces je nevratný a případná recyklace, například pomocí pyrolýzy, je při současných technologických postupech ekonomicky nákladný proces. Oproti tomu vazby fyzikální, které vznikají v okolí teplot  $T_m$  při chladnutí polymerní směsi, lze při opětovném zvýšení teploty porušit

a materiál znovu zpracovat. U termoplastických elastomerů je toto umožněno díky obsahu bloků z vulkanizovaných elastických polymerních řetězců a tvrdých polymerních bloků. Pomocí toho lze u těchto materiálů využívat jak výhod termoplastů, jako je recyklovatelnost a dobrá zpracovatelnost, ale i vlastností elastomerů, jako jsou vratná deformace a flexibilita.

## 1.1 Termoplasty

Z pohledu technologie vstřikování jsou nejdůležitější termoplastické polymery. Jejich základní rozdělení je na amorfní a semikrystalické nebo podle náročnosti použití na plasty standardní, které jsou nejpoužívanější, konstrukční plasty a na plasty pro náročné aplikace. Od plastů pro náročné aplikace už je požadována vysoká pevnost i při vyšších teplotách. Podíl využití jednotlivých skupin plastů lze vyjádřit graficky, jak je znázorněno na obrázku 1.



Obr. 1. Schéma klasifikace termoplastických polymerů

Změny vlastností termoplastů probíhají v určitých teplotních oblastech rychleji nebo skokově, tyto oblasti se nazývají přechodové s přechodovými teplotami  $T_g$ ,  $T_f$  a  $T_m$ . Kde  $T_g$  je teplota skelného přechodu,  $T_f$  teplota viskózního toku a  $T_m$  je teplota tání. [3]

### 1.1.1 Polyolefiny

Pro technické díly vyráběné metodou vstřikování mají velký význam polyolefiny, což jsou semikrystalické termoplasty. Patří sem polyetylen-PE, který může být nejčastěji jako nízkohustotní-LDPE nebo vysokohustotní-HDPE, polypropylen-PP, kopolymer etylen/ vinylacetát-EVAC, vysoce krystalické polypropyleny-HCPP, kopolymery cykloolefinů-COC, kopolymery etylénu a vinylacetátu-ionomery a také PP/PS blend. [4]

#### Polypropylen

Výchozím monomer polypropylenu je bezbarvý plyn. Polypropylen má oproti polyetylenu lepší chemickou odolnost, nepodléhá korozi z napětí, je tužší, vstříky mají lepší povrchový lesk a také vyšší povrchovou tvrdost. [4]

PP není navlhavý, jeho specifická hmotnost je  $0,91 \text{ g.cm}^{-3}$  a je nejlehčí ze všech technických polymerů. Modul pružnosti E je 1100 až 1600 MPa. Obchodní názvy směsí jednotlivých výrobců jsou Mosten, Daplen, Tiplen, Tatren a jiné. [4]

Oblasti použití jsou u PP velmi široké. Od spotřebního zboží, obalů, uzávěrů lahví až po technické díly v automobilovém průmyslu jako jsou pouzdra reflektorů, díly klimatizace. Dále ruční nářadí, díly pro čističky odpadních vod, sanitární techniku, trubky, nádoby, kanystry, integrální závěsy – panty. [4]

Polypropylen se využívá nejen jako homopolymer, který má stejný monomer v řetězci, ale i jako kopolymer.

Aplikační možnosti vzrostly u PP kompaudací se skleněnými vlákny, minerály jako jsou talek, uhličitan vápenatý, kaolin, bariumsulfid, hydroxid hořečnatý či hlinitý, dřevitá moučka, EPDM kaučuk a jiné. [4]

Dle rozložení metylových skupin  $\text{CH}_3$  po stranách uhlíkového řetězce jej rozlišujeme na 3 druhy.

PP izotaktický má nejvyšší krystalický podíl, 80 až 95%. Všechny  $\text{CH}_3$  skupiny jsou podél uhlíkového řetězce uspořádány spirálovitě.

PP syndiotaktický má nižší krystalický podíl, molekuly  $\text{CH}_3$  jsou uspořádány pravidelně po obou stranách uhlíkového řetězce.

PP ataktický je amorfní, molekuly  $\text{CH}_3$  jsou neuspořádány a vytváří elastické struktury s bodem tavení  $80^\circ\text{C}$ . Využívá se jinak než předchozí dva typy polypropylenu. [4]

Polypropylen je často využíván jako kopolymer, nejčastěji v kombinaci s etylenem. Tyto kopolymery, se vyznačují menším krystalickým podílem, ale vyšší odolností a pevností při nízkých a minusových teplotách. Tyto vlastnosti jsou požadovány především u dílů pro automobilový průmysl. [4]

Kopolymery PP-CR jsou PP s kontrolovanou reologií, kde jsou řetězce odbourané pomocí peroxidů. Vyznačují se úzkou distribuční křivkou molekulových hmotností a vysokým indexem toku. Použití těchto polypropylenů je především pro slabostěnné díly jako jsou nádoby, obaly a pohárky. [4]

Kopolymery PP-R jsou statistické kopolymery. U těchto kopolymerů je nepravidelné střídání monomerních jednotek A, B v řetězci. Například A-B-A-B-A-A-B-B. Tyto kopolymery mají dobrou transparentnost. Jsou používány především pro obaly, kosmetiku, kuchyňské nádoby, obaly léků a potravin. Jiným typem jsou kopolymery blokové, které střídají bloky – segmenty obou složek v řetězci, nikoliv jednotlivé monomery jako kopolymery statistické. Tyto kopolymery také nejsou transparentní. [4]



## 2 TVÁŘECÍ METODA - VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování plastů je poměrně složitý tepelně-mechanický proces tváření, na kterém se podílí výchozí materiál, ze kterého se vyrábí požadovaná součást, výrobní cyklus se vstřikovacím strojem a ostatním zařízením, umožňující přípravu taveniny a její dopravu za určitých podmínek do formy a forma jako nástroj pro vlastní tváření taveniny na součást. [5]

Vstřikováním lze zpracovat všechny druhy polymerů tzn. termoplasty, reaktoplasty i kaučuky, přičemž tento proces je nejvhodnější pro termoplasty. Reaktoplasty, u nichž dochází k síťování chemickou cestou a kaučuky, které získávají finální tvar vulkanizací je potřeba pro vstřikování, z důvodů vysoké viskozity vstřikované taveniny, resp. směsi, modifikovat. Pro snížení viskozity elasticity směsi kaučuků se například používají změkčovadla.

Vlastní výroba vstřikováním pak probíhá nadávkováním a plastikací polymeru ve vstřikovacím stroji, jeho dopravě za teploty a tlaku do dutiny formy. Po ochlazení se již z formy vyjme hotový výrobek. [5]

### 2.1 Vstřikovací cyklus

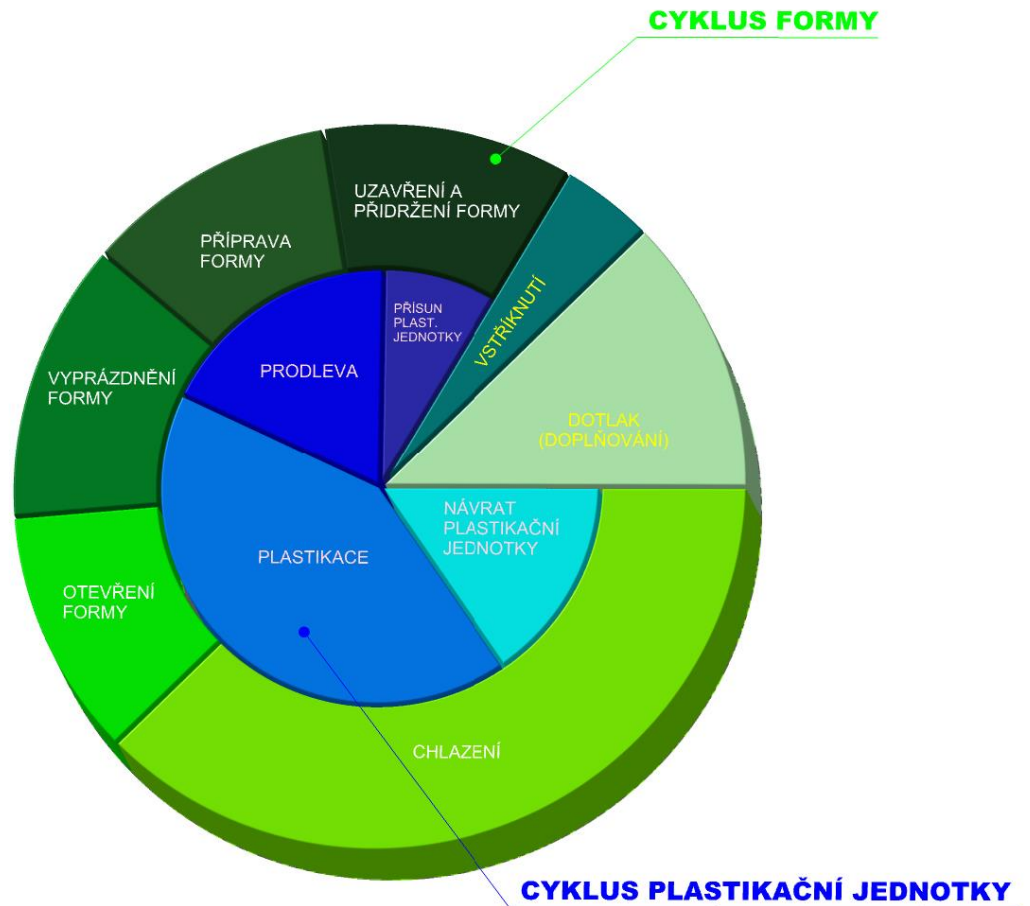
Vstřikování probíhá v pracovních cyklech na vstřikovacích strojích, které vyžadují součinnost pracovního cyklu plastikační jednotky a pracovního cyklu formy. Oba tyto cykly probíhají s ohledem na technologické vlastnosti zpracovávaného materiálu a ekonomiku výroby.

Optimální cyklus vstřikovacího stroje a jeho délka je výsledkem všech časových průběhů technologických parametrů stroje i chladícího účinku formy. Také konstrukce součásti může délku pracovního cyklu ovlivnit především tloušťkou svých stěn. Vyráběné množství výstřiku ovlivňuje především násobnost formy. [5]

Průběh cyklu pro termoplastické polymery, včetně TPE, spolu s jednotlivými fázemi plastikační jednotky a formy je znázorněn na obrázku 5. Pro formu skládá se z těchto fází:

- zavření formy,
- vsťíknutí,
- dotlaku,
- chlazení,

- otevření formy,
- vyprázdnění formy,
- přípravy formy.



Obr. 2. Vstřikovací cyklus pro termoplasty

Po uzavření formy ve stroji je plastifikovaný materiál požadované teploty vstříknut do formy nastaveným tlakem při určité rychlosti. Tavenina zůstává pod tlakem v uzavřené formě, dokud se nezačne ochlazovat. Hned potom nastoupí dotlak, který skončí při částečném ochlazení plastu ve formě. Po skončení dotlaku se vstřikovací jednotka od formy oddálí a začne v ní plastikace další dávky hmoty. Po dostatečném ochlazení výstřiku se forma otevře a výstřik se vyhodí. Po očištění a přípravě formy pro další cyklus následuje další cyklus. [5]

## 2.2 Stavba vstřikovacího stroje

Na vstřikovacích strojích se dají zpracovávat plasty i kaučukové směsi. Vstřikován zaznamenalo v poslední době nejbouřlivější rozvoj ze všech technologií zpracování plastů

a elastomerů. Na vstřikovacích strojích lze vyrábět i výrobky velmi složitých tvarů v úzkých výrobních tolerancích a v obrovských sériích. Vstřikované výrobky nacházejí využití v domácnostech, ve spotřebním průmyslu, strojírenském, automobilovém průmyslu, elektrotechnice a elektronice i v optice. [6]

Vstřikovací stroj se skládá ze tří hlavních částí:

- vstřikovací jednotky,
- uzavírací jednotky,
- řídicí jednotky.



Obr. 3. Vstřikovací stroj [7]

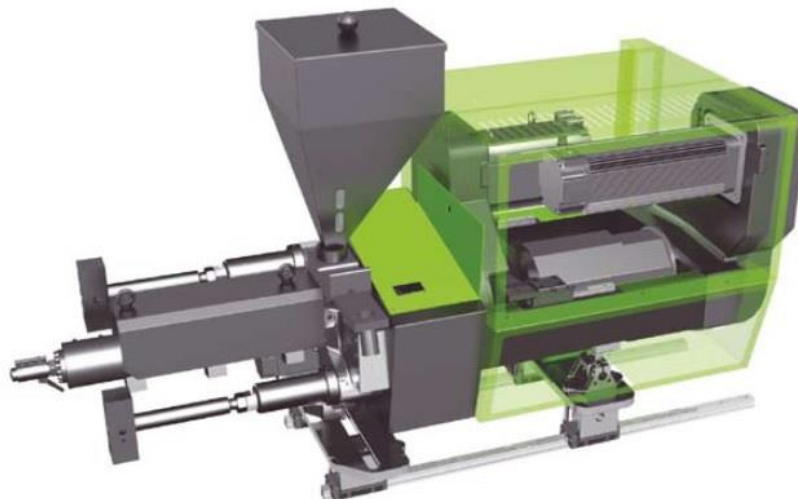
Vstřikovací stroj pro přesné výrobky musí mít:

- tuhost a pevnost výstřiku,
- konstantní tlak, rychlost, teplotu, ostatní parametry a jejich časování,
- přesnou reprodukovatelnost technologických parametrů. [5]

### 2.2.1 Vstřikovací jednotka

Připraví a dopraví požadované množství roztaveného plastu s předepsanými technologickými parametry do formy. Množství dopravované taveniny musí být menší, než je kapacita vstřikovací jednotky při jednom zdvihu. Při malém vstřikovacím množství zase setrvává plast ve vstřikovací jednotce delší dobu a tím může nastat jeho degradace. To se dá ovlivnit rychlejšími cykly výroby. Maximální vstřikované množství nemá překročit

90% kapacity jednotky, protože je ještě nutná rezerva pro případné doplnění úbytku hmoty při smrštění v průběhu chlazení. Optimální množství je 80%. [5]



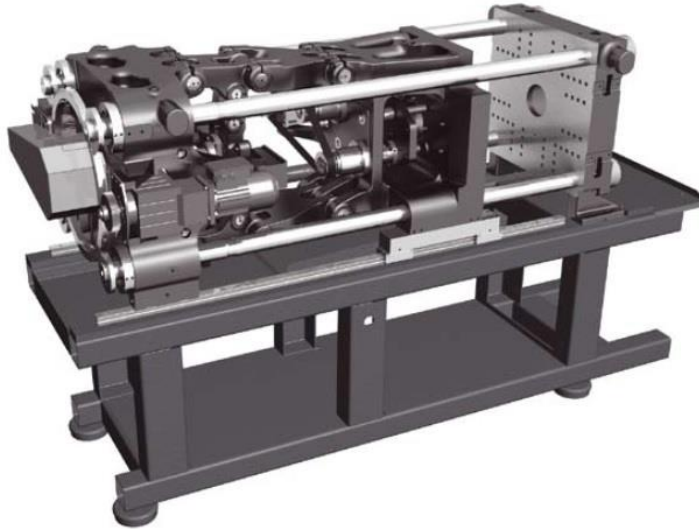
*Obr. 4. Vstřikovací jednotka [7]*

První fází cyklu vstřikovací jednotky je plastikace materiálu, což je proces, při němž dochází k přeměně materiálu dávkovaného do plastikační jednotky ve formě granulátu, prášku nebo v případě pryží ve formě pásku, na homogenní vstřikovací dávku s rovnoměrnou distribucí aditiv. Při dodržení ustálených procesních parametrů zajišťuje cyklus maximální reprodukovatelnost. Působením šneku materiál postupně prochází přes vstupní, přechodové a výstupní pásmo. Výsledkem tohoto procesu je homogenní tavenina, v případě pryží směs, připravená k plnění dutiny formy.

Vstřikovací jednotky mohou být bez předplastikace a s předplastikací. U vstřikovacích jednotek bez předplastikace probíhá samotná plastikace přímo v tavicí komoře a tavenina je vstříknuta pomocí pístu nebo pomocí pístu je provedena plastikace i vstříknutí. U vstřikovacích jednotek s předplastikací je vstřikování vždy pomocí pístu a samotná předplastikace probíhá v přídavné tavicí komoře s pístem nebo plastikačním šnekem.

### 2.2.2 Uzavírací jednotka

Ovládá formu a zajišťuje její dokonalé uzavření, otevření i případné vyprázdnění. Velikost uzavíracího tlaku je stavitelná a je přímo závislá na velikosti vstřikovacího tlaku a ploše dutiny a vtoků v dělicí rovině. [5]



*Obr. 5. Uzavírací jednotka vstřikovacího stroje [7]*

Uzavírací jednotka musí působit větší silou, než je síla, vyvolaná tlakem vstřikovaného materiálu, v důsledku čehož dochází k otevření formy. Toto otevření je nežádoucí a zvyšuje náklady na dodatečné opracování výstřiků, především u materiálů s nízkou viskozitou.

Uzavírací jednotky jsou řešeny jako hydraulické přímé či se závorováním, jako hydraulickomechanické anebo elektromechanické.

Uzavírací rychlost stroje není, v celém průběhu uzavírání formy, konstantní. Počáteční rychlost je mnohem vyšší, než rychlost před úplným zavřením formy. [5]

Hlavní části uzavírací jednotky jsou:

- opěrná deska pevná,
- upínací deska,
- vodící sloupky,
- uzavírací mechanismus. [5]

### 2.2.3 Řídící jednotka

Tato jednotka slouží k ovládání stroje pomocí obsluhy a k regulaci výrobního procesu na základě skutečných hodnot naměřených při vstřikování. Řídí úpravu odchylek od nastavených veličin.

Nejčastěji sledované parametry jsou teplota a tlak taveniny ve válci, teplota a tlak ve formě, doba vstřiku a chlazení. [8]

Řízení a regulace v podstatě znamená snímání a sledování strojních a technologických parametrů spolu s jejich následnou regulací. Na strojích se obvykle nastavuje teplota jednotlivých zón vstřikovacího válce a formy, vstřikovací tlak, dotlak, časové úseky pracovního cyklu, otáčky plastikačního šneku, vstřikovací rychlost, vstříknutý objem, uzavírací a dosedací rychlost formy. [8]

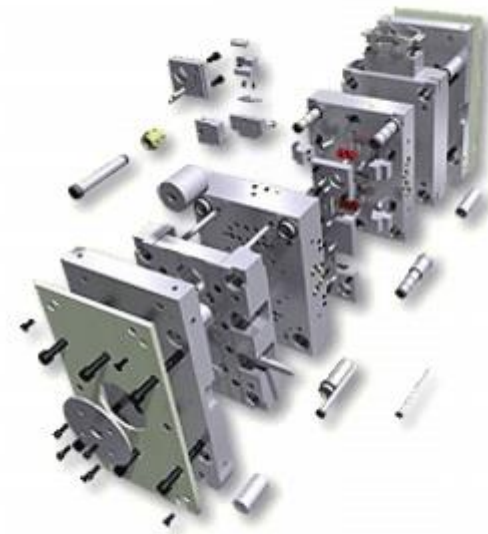
Programy uložené v paměti centrální řídicí jednotky umožňují:

- jednoduché a rychlé nastavení režimu činnosti vstřikovacího stroje,
- kontrolu funkce stroje a hlášení poruch, včetně lokalizace,
- řízení a regulaci procesu pomocí hydraulických řídicích prvků,
- optimalizaci procesu,
- sledování a vyhodnocování provozních dat – produkce, zmetky, délka cyklu,
- poskytuje obsluze vizuální informace přes displej. [8]

Vstřikovací stroje vybavené těmito řídicími systémy umožňují adaptivní regulaci vstřikovacího procesu, kdy je vše řízeno podle stavu vstřikované hmoty a hotového výrobku. Použití těchto řídicích systémů zvyšuje kvalitu výrobků. [8]

## 2.3 Konstrukce forem na vstřikování termoplastů

Vstřikovací formy se řeší vždy s ohledem na technologický projekt příslušného vstřiku. Při řešení je třeba vzít v úvahu především druh vstřikovaného polymeru a velikost výrobní série. Dále je třeba přihlídnout k možnostem navrhovaného výrobního zařízení a k požadavkům na kvalitu výrobků i produktivity práce. V závislosti na velikosti série se posuzuje stupeň mechanizace forem, aby případné dokončovací operace podstatně neovlivnily ekonomii výroby. [6]



Obr. 6. Forma konstruována s využitím normálí firmy Hasco [9]

### 2.3.1 Zásady při konstrukci vstřikovaných polymerních výrobků

Při návrhu výrobku se obecně hledá kompromis mezi požadavky designéra, funkcí výrobku popřípadě jeho namáháním a zároveň mezi možnostmi technologie výroby a ekonomiky výroby. Při zpracování polymerů vstřikováním je potřeba dodržovat několik důležitých zásad a postupů a tím zamezit možným vzhledovým či funkčním vadám výstřiku.

Požadavky na konstrukci z technologického pohledu výroby se týkají především:

- tloušťky stěn výstřiku a jejich přechodů,
- tvaru a výšky žeber,
- rohů u výstřiků typu krabice,
- technologické zaoblení,
- tečení polymeru při plnění formy a to především při použití vláknitého plniva,
- technologické úkosy.

Pro tloušťku stěny výstřiku je z pohledu plnění optimální konstantní tloušťka, případně přechod z větší tloušťky do menší a vše je závislé na plnicím tlaku a viskozitě materiálu. Plnění formy a následná kvalita výstřiků je také závislé na typu proudění taveniny a vhodné je proudění podobné laminárnímu. Z tohoto důvodu je potřeba v dutině odstranit

ostré hrany zaoblením, které mohou být zdrojem turbulentního proudění. Zaformování výrobku, definice dělicích rovin formy

### 2.3.2 Smrštění výstřiku

Smrštění je objemová změna při tuhnutí polymerních tavenin, jejíž základní příčinou je stlačitelnost, tepelná rozpínavost a kontrakce plastů. U částečně krystalických plastů ještě přistupují krystalizační změny. [10]

Velikost smrštění je rozdíl mezi rozměrem dutiny formy a skutečným rozměrem výrobku. Udává se v %. Jeho velikost závisí na teplotní roztažnosti plastu a dalších činitelích. Smrštění se rozděluje do dvou časových fází. Velikost provozního smrštění se stanoví 24 hodin po výrobě součásti a představuje až 90 % z jeho hodnoty. Zbytek je dodatečné smrštění, které probíhá poměrně dlouho v závislosti na typu polymeru. Smrštění lze urychlit temperací (stabilizace výrobku). [5]

Smrštění je jev, který se vyskytuje u všech polymerů. U jednoho výstřiku se může smrštění lišit v závislosti na směru plnění a je různé ve směru toku nebo kolmém na směr toku.

### 2.3.3 Studené vtokové systémy

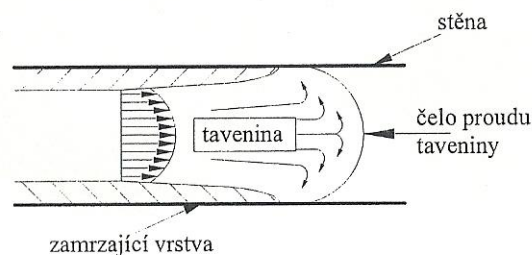
Vtokový systém formy zajišťuje při vstřiku vedení proudu roztaveného plastu od vstřikovacího stroje do tvářecí dutiny. Naplnění dutiny termicky homogenní taveninou má proběhnout v nejkratším možném čase a s minimálními odpory. [5]

Studený vtokový systém se skládá ze tří hlavních částí s rozdílným průřezem. Tavenina je do formy vstříknuta vtokovým kanálem, z něj je rozvedena rozvodnými vtokovými kanály k jednotlivým dutinám formy, které jsou pak plněny vtokovým ústím. Vtokový kanál bývá řešen pomocí zušlechtné vtokové vložky, na kterou dosedá tryska vstřikovací jednotky a průchozí kanál je kuželový a ústí do drážek vtokového rozvodu. Vtokový rozvod je potřeba zhotovit ve vhodném průřezu a tvaru kanálu, který zajistí dostatečné množství taveniny a zároveň je výrobně vyrobitelný. Ideální kruhový průřez je vhodné nahradit frézovanou drážkou s profilem, ve kterém je na celou hloubku drážky vepsaná kružnice. Boční stěny jsou pod úkosem tečně rozevřeny. Takový profil zajistí snadnou výrobu, tečení taveniny a snadné vyjmutí vtokového zbytku. Povrchu vtokového rozvodu nemusí být vždy leštěný, jelikož drsnost povrchu nemá přímý vliv na tečení. U některých polymerů však může ovlivnit přilnavost plněného polymeru k formě. Výslednou drsnost



volíme v závislosti na druhu vstřikovaného materiálu a použité výrobní technologie výroby drážky.

Polymerní tavenina po povrchu tokových cest neklouže, ale „odvaluje se“. Čelo taveniny vypadá jako fontána, ve které většina materiálu z centrální části toku odtéká a odvaluje se na stěnách dutiny. Tento typ laminárního toku je obvykle označován jako fontánový tok. [11]



Obr. 7. Tok polymerní taveniny kruhovým kanálem [11]

Funkční řešení vtokového systému musí zabezpečit aby:

- dráha toku od vstřikovacího stroje do dutiny formy byla co nejkratší, bez zbytečných tlakových i časových ztrát,
- dráha toku byla ke všem tvářecím dutinám stejně dlouhá a tím se zajistilo rovnoměrné plnění,
- průřez vtokových kanálů byl dostatečně velký, aby byla jistota, že po vyplnění tvářecí dutiny bude jádro taveniny ještě v plastickém stavu a tím se umožní působení dotlaku,
- u vícenásobných forem je vhodné odstupňování průřezů kanálů, aby byla zachována stejná rychlost taveniny. [5]

Vtokové ústí spojuje rozvodný kanál a dutinu formy. Tvar a provedení ústí má vliv na kvalitu výstřiku, jelikož zúžený průřez ovlivňuje smykovou rychlost a smykovou deformaci polymeru. Vhodný tvar má také vliv na oddělení vtokového zbytku od výstřiku.

Vtoková ústí lze řešit mnoha způsoby, v závislosti na druhu polymer, rychlosti plnění dutiny a také na odstranění vtokového zbytku, aby nerostly náklady na opracování výstřiku. Vtoková ústí mohou být jako plný kuželový vtok, bodový vtok, tunelový, popří-

padě srpkovitý vtok, filmový, kruhový, membránový, deštníkový, boční nebo boční šterbinový vtok a podobně.

#### 2.3.4 Vyhřívání vtokových systémů

Při vstřikování termoplastů plastů jsou často využívány vyhřívání vtokové soustavy. Jejich největším přínosem je snižování výrobních nákladů, především úsporou spotřebovaného materiálu a zkrácením vstřikovacího cyklu. Materiálová úspora spočívá v distribuci polymerní taveniny vyhříváním rozvodným kanálem co nejbližší k dutině formy. Tavenina je udržovaná při teplotě, která zabraňuje jejímu ochlazení a zatuhnutí, a tím se snižuje objem vtokového zbytku, který by se pro další použití ve výrobním procesu musel recyklovat. V optimálním případě je vyústění vtokové soustavy přímo do dutiny formy a po zaplnění dutiny je uzavřena, například jehlou. Pak lze snížit i náklady na odstranění vtokového zbytku a vyloučit dokončovací práce. Pomocí horkého rozvodu lze i zkrátit výrobní cyklus a to především při vstřikování většího objemu taveniny, kdy lze formu plnit větším průměrem vtokového ústí.

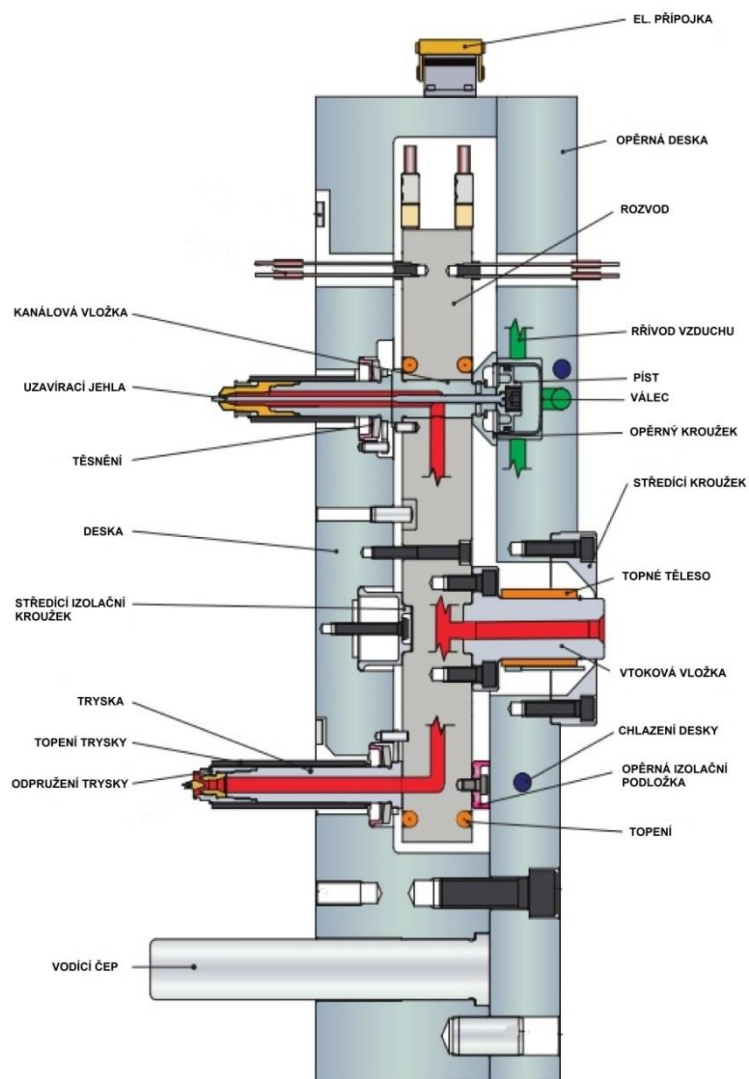
Konstrukčně je vtoková soustava řešena jako samostatný blok s vyhříváním rozvodem polymerní taveniny, který je při pracovním cyklu upnut mezi vstřikovacím strojem a sepnutý s pevnou částí formy. Pro různé druhy zpracovávaných polymerů se volí vhodná konstrukce soustavy, která se může lišit konstrukčním řešením trysek a způsobem ohřevu. Příklad vtokové soustavy je na obrázku 6.

Náklady na konstrukci a výrobu vyhřívání vtokového systému zvyšují cenu nástroje, ale návratnost těchto nákladů je dána materiálovou a časovou úsporou cyklu. Dodavatelé VVS dokáží na základě specifikace použitého materiálu a ve spolupráci s konstruktérem formy navrhnout vhodnou konstrukci VVS. Mezi významné výrobce VVS patří například firmy HASCO, HUSKY, DME, Mold Masters, Incoe International, Günther Heisskanaltechnik. Navržený vyhřívání vtokový systém je specifický pro danou formu a jeho univerzální využití i na jiných formách je méně časté a je závislé na shodné konstrukci forem a tvarové či objemové podobnosti výstřiků. Vhodnost použití VVS je kalkulováno při plánování výroby, dle počtu vyráběných kusů a ceny použitého polymeru.

Tvar rozvodného bloku se volí dle potřeby uložení vstřikovacích trysek a násobnosti formy. Vyrábí se ve tvaru I, H, Y, hvězdy atd. [5]



Obr. 8. Tvar rozvodného bloku vtokové soustavy [15]



Obr. 9. Schéma vyhřívané vtokové soustavy [15]

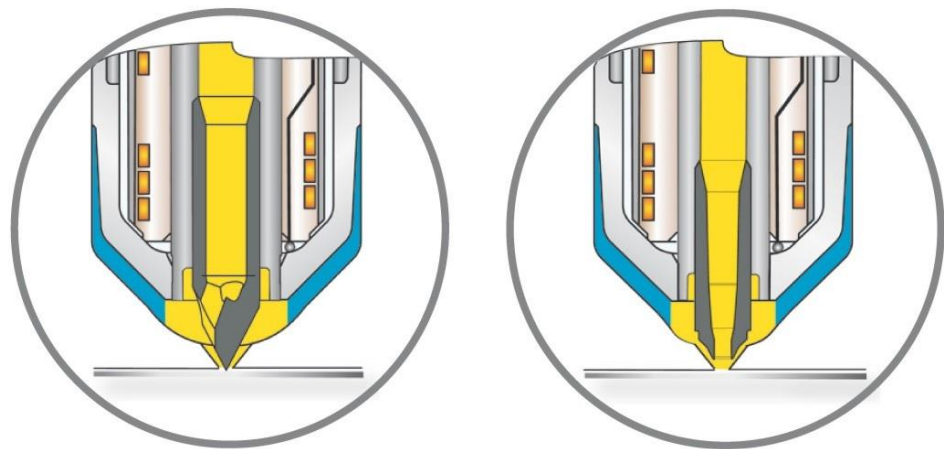
Vyhřívané vtokové soustavy mají vyhřívané trysky, které jsou charakterizovány minimálním úbytkem tlaku i teploty v systému s optimálním tokem taveniny. [5]

Jejich konstrukce umožňuje propojení vstřikovacího stroje s dutinou formy, při dokonalé teplotní stabilizaci. Tryska má vlastní topný článek i s regulací, nebo je ohříván jiným zdrojem vtokové soustavy. Výrazně umožňuje zlepšit technologické podmínky vstřikování. [5]

Trysky mohou být nepřímo ohřívány, které jsou v provedení jako dotápěná tryška s izolovaným rozvodem a jako dotápěná tryška s rozvodným blokem nebo jako přímo ohřívány s vnějším či vnitřním topením. [5]

Ústí trysek je řešeno jako:

- otevřené pro plast, který netáhne vlas (PE),
- se špičkou (s hrotem), pro plast náchylný k tažení vlasu (PS, ABS, PP),
- s uzavírací jehlou,
- Speciálně tvarované. [5]



Obr. 10. Příklad ústí trysek VVS s hrotem a s jehlou [13]

### 2.3.5 Temperování forem

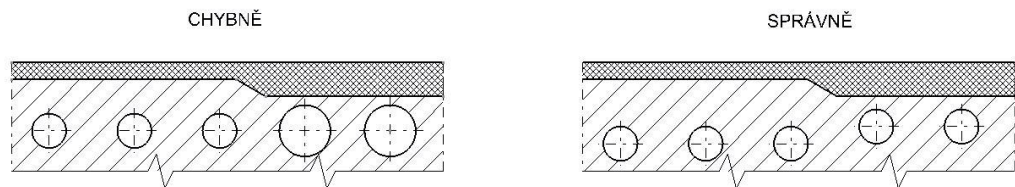
Temperace složí k udržování konstantního teplotního režimu formy. Cílem je dosáhnout optimálně krátkého pracovního cyklu vstřikování při zachování všech technologických požadavků na výrobu. Děje se tak ochlazováním, případně vyhříváním celé formy, nebo její části. [14]

Během vstřikování se do formy přivádí roztavený polymer, který se v dutině ochlazuje na teplotu vhodnou pro vyjmutí výstřiku. Teperace tedy ovlivňuje plnění tvarové dutiny a zajišťuje optimální tuhnutí a chladnutí plastu. Při každém vstřiku se forma ohřívá. Každý další výstřik je třeba vyrobit zase při stanovené teplotě. Proto je nutné toto přebytečné teplo během pracovního cyklu odvést temperační soustavou formy. [14]

Teperace má za úkol:

- zajistit rovnoměrnou teplotu formy na optimální výši po celém povrchu její dutiny a to dle druhu zpracovávaného plastu,
- odvést teplo z dutiny formy naplněné taveninou tak, aby celý pracovní cyklus měl ekonomickou délku. [14]

Navržená vtoková soustava by měla vést co nejbližší k dutině formy, ale nesmí ovlivnit pevnost a tuhost stěny tvarové dutiny, která je také namáhána vstřikovacím tlakem. Rozmístění v okolí tvarové dutiny by mělo být rovnoměrné. Konstrukčně je vhodnější použít menší průřez kanálu a zvolit menší rozteč mezi jednotlivými kanály. V případě tlustší stěny výstřiku kde je větší objem a teplota taveniny, je vhodné přiblížit temperační kanály blíže ke stěně dutiny.



Obr. 11. Temperační kanály při změně tloušťky stěny

K temperování forem se využívá nějakého temperačního média. Tyto prostředky lze rozdělit mezi aktivní a pasivní.

Aktivní působí přímo ve formě. Teplo do formy přivádí, nebo naopak odvádí. Pasivní jsou takové, které svými fyzikálními vlastnostmi ovlivňují tepelný režim formy. [14]

Mezi aktivní prostředky patří kapaliny (voda, olej, glykol), vzduch a topné elektrické články. Pasivní prostředky jsou tepelně vodivé materiály, ale také zde patří tepelně izolační materiály, které se používají v případě, kdy je u formy nutné zabránit přestupu tepla z formy do okolního prostředí.

Pro jednotlivé části formy jsou vhodné různé způsoby temperace.

Pro desky a tvárnice se volí frézované nebo nejčastěji vrtané kanály s pro kapalné médium. Chladicí soustavy mohou být řešeny jako paralelní, sériové nebo pro dutiny kruhového průřezu jako spirálové. Jsou propojené příčnými otvory nebo pomocí spojek a kapalina je usměrňována za pomoci ucpávek a zátek.

Tvárníky a jádra vstřikovacích forem se s ohledem na jejich velikost temperují pomocí přepážek a trnů nebo pomocí tepelně vodivých vložek. Přepážky mohou být ploché nebo spirálové a stejně jako trny jsou chlazeny temperačním médiem, na rozdíl od tepelně vodivých vložek například z mědi, které odvádějí teplo ze špatně přístupných míst a jsou chlazeny jen z části.

### 2.3.6 Odvzdušnění forem

Dosedací plochy dělicí roviny by měly v zavřeném stavu dutinu formy dokonale uzavřít a utěsnit, aby nedocházelo k nežádoucímu přestříknutí taveniny mimo dutinu formy a tím pádem k požadavku na dodatečné opracování. To ale s sebou nese riziko uzavřených vzduchových kapes.

Dutina formy je před vstřikováním naplněna vzduchem. Při jejím plnění taveninou je třeba zajistit únik vzduchu a případných zplodin. Čím je větší rychlost plnění, tím účinnější musí být odvzdušnění tvarové dutiny. [14]

V průběhu plnění tvářecí dutiny je tavenina dopravována do dutiny formy vstřikovacím tlakem, který na konci zdvihu dosahuje maxima. Přitom je tavenina podrobena protitlaku stlačeného vzduchu. Jeho velikost je závislá na odvzdušnění. Je-li nutné zvyšovat vstřikovací tlak vlivem nedokonalého odvzdušnění, vnáší tím zbytečně do výstřiku pnutí. I jeho hmotnost roste. [14]

Při určitém stavu technologických parametrů a větších tloušťkách stěn výstřiku, může vzduch, který nemá možnost být z formy vytlačen, vniknout do taveniny a po zchlazení v ní zůstává jako bubliny. [14]

Volba místa pro odvzdušnění je někdy zřejmá z tvaru výstřiku, jindy však je jen obtížně zjistitelná. Je třeba se řídit úvahou, jakým způsobem a směry naplní proudy taveniny dutinu. [14]

Odvzdušnění dutiny může být řešeno jako aktivní, kdy se vzduch odvádí za pomoci vývěvy a vzniklý podtlak usnadňuje proudění taveniny nebo jako pasivní. Pasivní se řeší

pomocí mělkých drážek v dělicí rovině zhotovených v místech s rizikem vzniku bublin popřípadě, když je kritické místo od dělicí roviny vzdáleno je možné použít odvzdušňovací kolík, který je po obvodu, který lícuje s formou nepatrně zploštělý a přes tuto plochu se vzduch odvádí do dutiny na kolíku vzniklé zápichem. Pomocí odvzdušněním dutiny mohou i stopy po nástroji, které vznikají při obrábění ve směru kolmém na tvar dutiny. Při aktivním odvzdušnění se více míst nebo více dutin odvzdušňuje jednou vývěvou, která je napojena na soustavu vrtaných odvzdušňovacích kanálů. Pro větší účinnost těsnosti dělicí roviny, může být tato doplněna o drážku a těsnící šnúrou. Průměr těsnící šňůry je s přesahem k hloubce drážky.

### 2.3.7 Vyhazování výstřiků

Vyhazování výstřiků z formy je činnost, kdy se z dutiny nebo z tvárníku otevřené formy vysune nebo vytlačí zhotovený výstřík. K tomu slouží vyhazovací zařízení, které doplňuje formu a svojí funkcí má zajišťovat automatický výrobní cyklus. [14]

Plochy, na které vyhazovače působí silou jsou většinou nepohledové. Ve formě jsou vyhazovače uloženy s vůlí, například H7/g6 nebo H7/h6, a proto může na výstříku zůstat stopa v závislosti na zabíhavosti materiálu. Vyhazovače slouží i vyhození vtokového zbytku.

Základní podmínkou dobrého vyhazování výstřiku je hladký povrch a úkosovitost jejich stěn ve směru vyhazování. Úkosy nemají být větší než 30°. Vyhazovací systém musí výstřík vysunout rovnoměrně, aby nedošlo k jeho přičení, a tím ke vzniku trvalých deformací nebo jinému poškození. Umístění vyhazovačů, jejich tvar a rozložení může být velmi rozmanité. Může se jich využít k vytváření funkční dutiny nebo jako část tvárníku. [14]

Další podmínkou k vyhození výstřiku je jeho dostatečná pevnost a tuhost, aby nedošlo k jeho poškození vyhazovací silou. Pro vyhazování musí být výstřík ochlazený na vyhazovací teplotu. Z důvodu pružných deformací se pro vyhazování elastomerních výstřiků nehodí mechanické vyrážení pomocí kolíků. Tyto lze použít pouze pro elastomerní výrobky s vysokou tvrdostí Shore. Navíc elastomerní materiály na bázi kaučuků mají za tepla nižší pevnost a tažnost a to se může projevit právě v průběhu odformování, kdy ještě zcela neskončila vulkanizace a teprve začíná proces ochlazování.

Pohyb vyhazovacích systémů se vyvine:

- narážecím kolíkem o traverzu vstřikovacího stroje při otevírání formy,

- hydraulickým nebo pneumatickým zařízením, které je obvykle příslušenstvím vstřikovacího stroje a umožňuje měkké vyhazování,
- ručním vyhazováním nejrůznějšími mechanismy. [14]

Samotné vyhazování bývá mechanické, pneumatické nebo hydraulické.

Nejrozšířenějším vyhazovacím systémem mechanické vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků nebo trubkových vyhazovačů. Dále lze výstřiky odformovat pomocí stírací desky, pomocí šikmých čepů anebo postupným dvoufázovým vyhazováním.

Dvoustupňové vyhazování umožňuje rozdělení vyhazování do dvou fází, což lze využít například pro rozjetí bočních čelistí formy před zdvihovým pohybem vyrážecí desky.

Vyhazovací kolíky mohou vysunout výstřik do polohy, kde je odebrán manipulátorem či robotem nebo padá přímo po vysunutí na pásový dopravník a je z prostoru stroje přemístěn například do přepravky.



*Obr. 12. Příklady vyhazovacích kolíků [14]*

Pro odformování některých výstřiků je vhodnější použít vyhazování pomocí vzduchu. Tento systém je vhodný pro vyhazování slabostěnných výstřiků větších rozměrů ve tvaru nádob, které vyžadují při vyhazování zavzdušnit, aby se nedeformovaly. [14]

Stlačeným vzduchem si lze pomoci i u ručního odformování výstřiků z elastomerů jako jsou manžety a průchodky s vlnovcem. Zde je vzduch použit k přefouknutí nejmenší-



ho průřezu vlnovce přes větší průřez jádra nebo tvárníku. Velkoplošné tenkostěnné výstřiky z elastomerů lze výduchem podfouknout a snáze vyjmout z formy.

## 2.4 Vstříkovaní dutých dílů

Vytvoření dutiny u polymerních výstřiky se často využívají u součástí, u kterých je značný nepoměr průřezu výrobku vzhledem k potřebné tloušťce stěny výstřiku. Větší objem materiálu má značný vliv na dobu chlazení, tvorbu vtaženin které vznikají při nerovnoměrném smrštění velkého objemu materiálu nebo neúčelně zvyšují objemu plastikační jednotky. Z těchto důvodů je potřeba upravit konstrukci výrobku, tak aby vyhovovala použitému namáhání výrobky, aby nesnižovala jeho tuhost a aby nedošlo k omezení funkce dílu. V praxi se často setkáváme s díly vystavenému kombinovanému namáhání či namáhání ohybovému a právě u ohybového namáhání nejsou v příčném řezu materiály v okolí středového vlákna namáhány. Výhodou dutých dílů je, že mají stejnou tuhost v ohybu při menším průřezu a tím i nižší výslednou hmotnost. Tyto díly můžeme u termoplastů vyrábět například pomocí spojování dvou dílů, které po spojení lepením, samořeznými šrouby nebo svařováním, vytvoří dutinu.

Duté polymerní díly lze vytvořit také za použití tlaku inertního plynu či za pomocí kapaliny. Pro některé polymery s vyšším bodem tavení jako jsou polyamidy PA 6.6 a PA 4.6 se skelnými vlákny lze k vytvoření dutin využít vytavitelných jader ze slitin cínu-antimonu a olova, které lze vytavit už při 187°C, respektive slitiny vizmut-cín s teplotou tavení 138°C. [15]

Na výrobu za pomoci asistence plynu či kapaliny se zaměřují technologie GIT a WIT, která využívají k doformování vstříkovaného tvaru tlaku plnicího média a nespornou výhodou je i jeho opětovné využití.

### 2.4.1 Technologie GIT

Tato technologie využívá k vytvoření dutiny vstříkovaní za řízené asistence plynu, kdy je do dutiny vstříknuta polymerní tavenina a s prodlevou je do dutiny vtlačen plyn. Ten je po ztuhnutí polymerní taveniny odveden zpět k dalšímu použití.



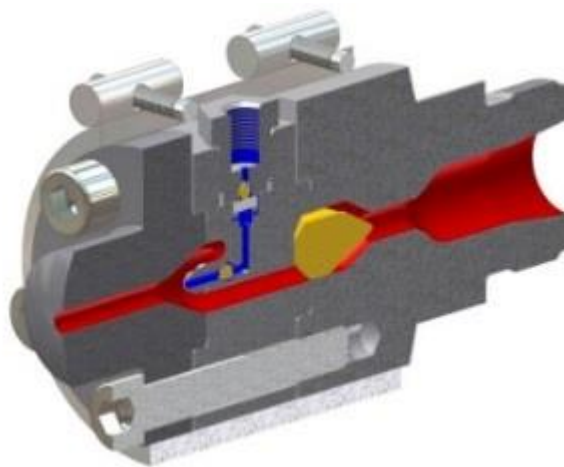
Obr. 13. Fáze vstřikování plynu [16]

Dutina je zde vytvořena následným naplněním výstřiku inertním plynem, obvykle dusíkem, případně CO<sub>2</sub> a působením tlaku. [15]



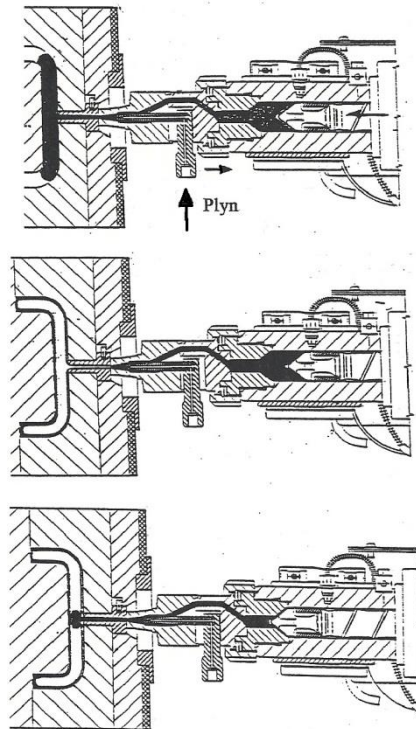
Obr. 14. Schéma vstřikování plynu [16]

Plyn je přiváděn do dutiny formy přes injektor nebo pomocí speciální trysky vstřikovací jednotky stroje, která může mít přívod s uzavíratelnou jehlou a s přívodem plynu.



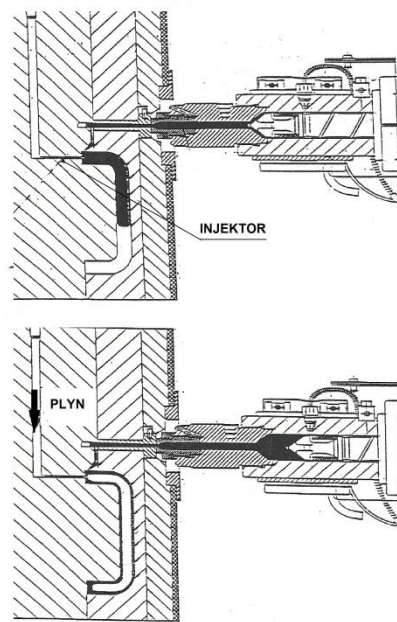
Obr. 15. Příklad trysky vstřikovací jednotky pro vstřikování plynu [17]

Plnění plynem přes trysku stroje pomocí jehlového hydraulického zavírání má tři fáze. V první fázi je tryska otevřena a do dutiny je vstřikovávána tavenina. Poté se tryska uzavře jehlou a je přiveden plyn, který je pak odveden zpět do zásobníku. V dalším kroku se tryska znovu otevře a následným dostřikem se otvor na výstřiku uzavře. [15]



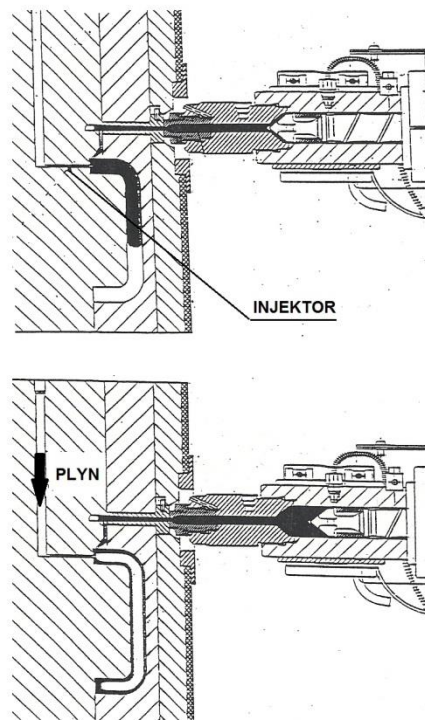
*Obr. 16. Schéma plnění plynem a zastříknutím plnicího otvoru [15]*

Jinou možností je plnění plynem přes injektor ve formě do vtokového kanálu. V první fázi je tryska otevřena a do dutiny je vstřikovávána tavenina. Poté se tryska uzavře hydraulicky ovládanou jehlou a je přiveden plyn, který je pak odveden zpět do zásobníku pro další použití. [15]



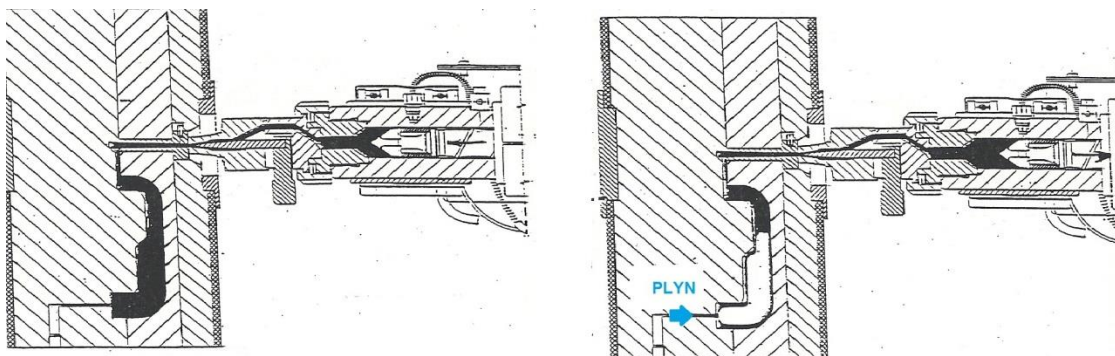
Obr. 17. Schéma plnění plynem přes injektor do vtokového kanálu [15]

Třetí možnost je plnění plynem přes injektor v dutině výstřiku, kdy je v první fázi částečně plněna dutina a v následné fázi je zaveden přes injektor plyn. Ten se pak odvede zpět do zásobníku pro další použití. Tryska stroje nemá zavírání. [15]



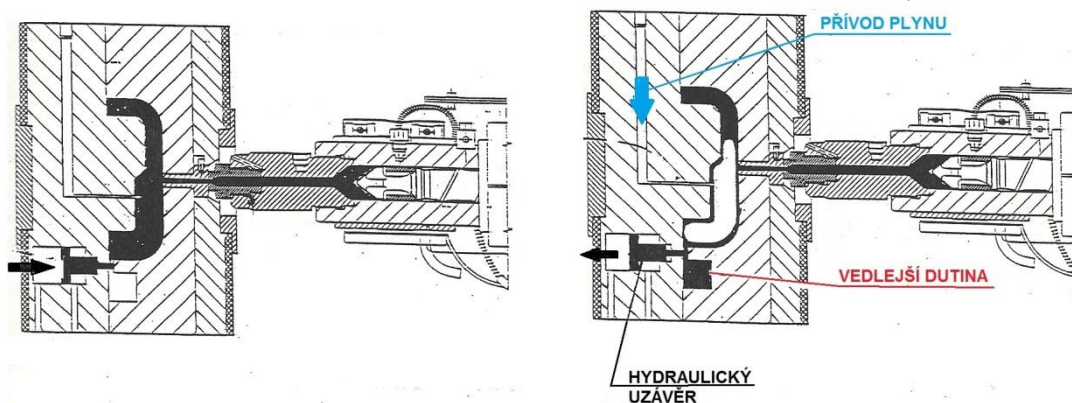
Obr. 18. Schéma plnění plynem přes injektor do výstřiku [15]

Čtvrtou variantou plnění je plnění plynem přes injektor ve formě a s jehlovým hydraulickým ovládním, kdy je v první fázi dutina zcela zaplněna taveninou. Používá se zde nejčastěji horký vtok pro lepší průchod taveninou. V další fázi je tryska stále otevřena, zatímco je dutina plněna plynem. Přebytečné množství taveniny je odebráno zpět zpětným pohybem šneku plastikační jednotky. Po ukončení plnění se tryska stroje uzavře a plyn jde zpět do zásobníku. [15]



Obr. 19. Schéma plnění plynem a se zpětným odběrem taveniny [15]

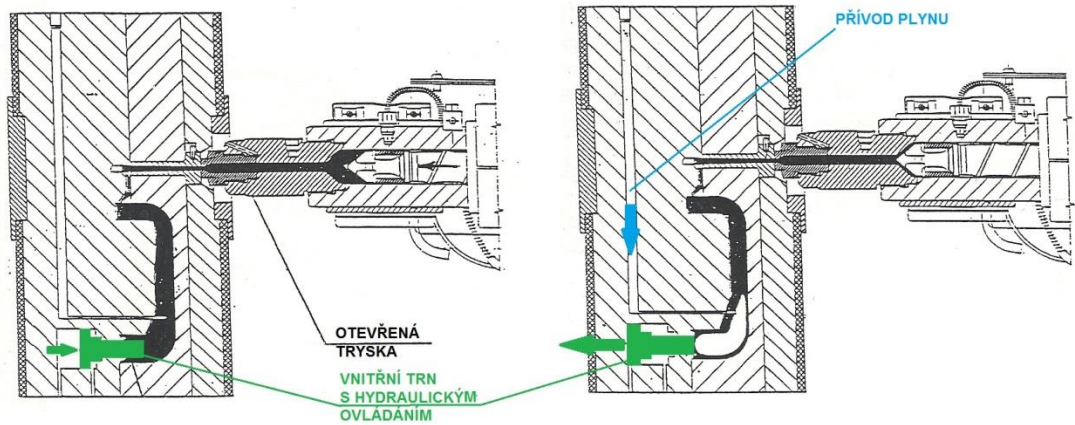
Pátým způsobem plnění je plnění plynem přes injektor ve formě a s přepouštěním taveniny do vedlejší dutiny nebo více dutin. Dutina je zcela zaplněna a uzavřena. V následujícím kroku se otevře vedlejší dutina a tlakem plynu je přebytečná tavenina vytlačena do vedlejší dutiny. Toto plnění je kontinuální a zabraňuje vytvoření tzv. přepínacího defektu, který se může vytvořit u dílů bez vedlejší dutiny a může mít za následek vzhledovou vadu. [15]



Obr. 20. Schéma plnění plynem a s přepouštěním taveniny do vedlejší dutiny [15]

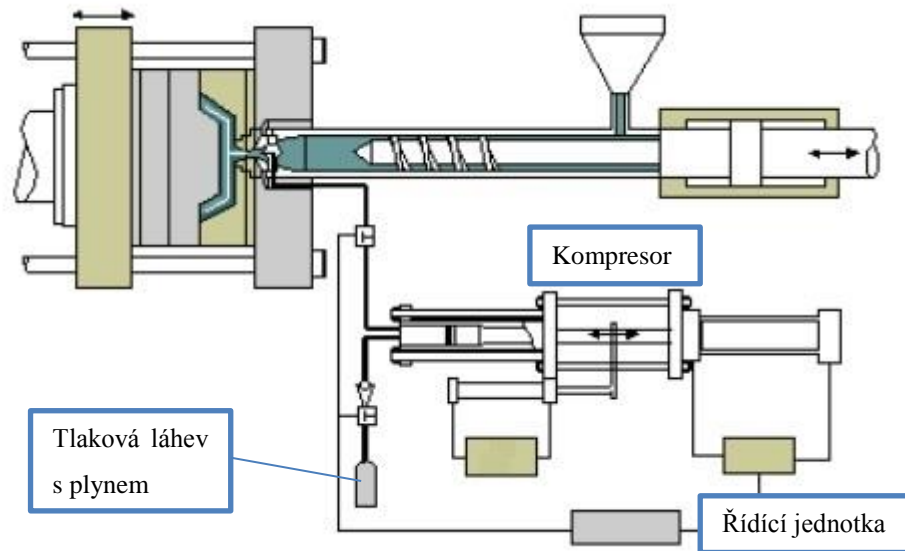
Posledním způsobem plnění může být plnění plynem přes injektor ve formě do dutiny vzniklé odjetím jádra. Dutina je zcela zaplněna taveninou. Dutina vznikne ve výstřiku

uvolněním prostoru po odjetí vnitřního trnu a současným plněním plynem. Po ukončení fáze jde plyn k dalšímu použití. [15]



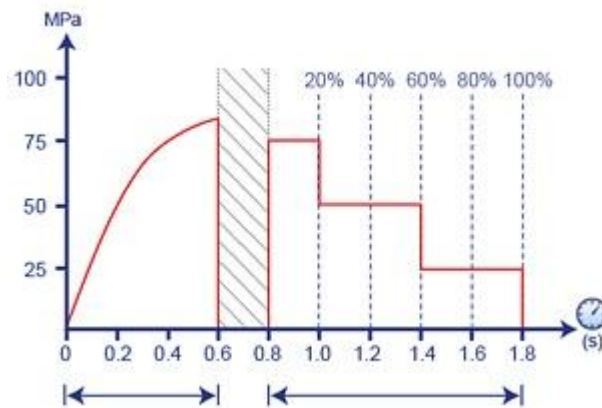
Obr. 21. Schéma plnění plynem a s vytvořením dutiny odjetím jádra [15]

Hlavní části zařízení pro plnění plynem jsou řídicí jednotka, kompresor a tlaková láhev s plynem. Jedna řídicí jednotka může přivádět a řídit plnění na více strojích současně.



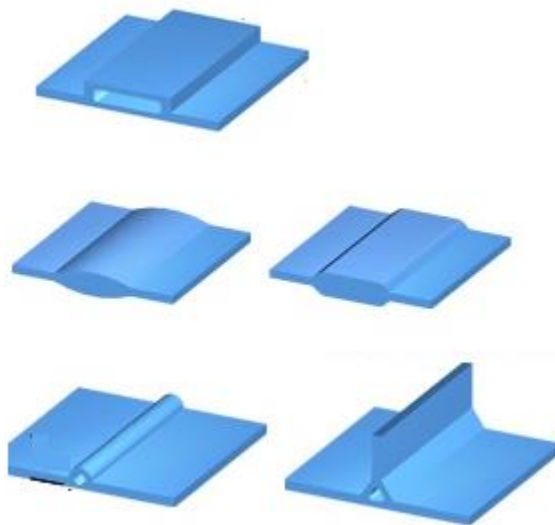
Obr. 22. Schéma GIT s přívodem plynu injektorem přes vstřikovací jednotku [18]

Množství plynu a velikost výsledné dutiny je regulováno pomocí objemu nebo pomocí tlaku.



Obr. 23. Tlakový profil při vstřikování za asistence plynu [16]

Pro technologii GIT je potřeba volit vhodné profily a tvar dutiny by měl být bez ostrých hran a přechodů. Je důležité zvolit dostatečné zaoblení a změny tvaru řešit plynulými přechody.



Obr. 24. Příklad kanálů vytvořených pomocí GIT [16]

#### 2.4.2 Technologie WIT

Tato technologie je nazývána také aquamold a místo plynu jako média je využito vodního nástřiku. Pomocí vstřikovacího pístu je přes injektor proveden vodní nástřik do výstřiku a opět přes injektor je tento objemový proud vrácen zpět pomocí přetlakového čerpadla do zásobníku. [15]

Tlak vody je do 150barů, teplota vody může dosahovat dle druhu plastu až 80°C. Voda tlačí taveninu ke stěnám formy a vytěsňuje přebytečný materiál do vedlejších dutin, které jsou k tomuto účelu ve formě vytvořeny. [15]

Výhody technologie WIT :

- dotlak je vyvolán tlakem vody, nikoliv taveniny atím páde je nižší vnitřní pnutí,
- kratší chladicí čas a tím i cyklus při stejné tloušťce stěny,
- lepší soustřednost výstřiku a stěny rovnoměrnou tloušťku,
- cenově výhodnější médium,
- vhodný pro větší díly,
- odstranění tvorby pěny na vnitřních plochách oproti GIT, což je vhodné především pro výrobu vedení chladících kapalin. [15]

Nevýhody technologie WIT :

- ve výstřiku je pro vodu větší injekční otvor než pro plyn,
- nebezpečí vzhledových vad jako jsou póry, bublinky a dutiny,
- nebezpečí plynoucí z horké vody v případě poruchy zařízení,
- koroze formy a nutno používat nerezové oceli a slitiny hliníku,
- není vhodný pro všechny polymerní materiály,
- obtížnější řízení procesu oproti GIT technologii. [15]



### 3 ANALÝZY CAE

#### 3.1 Ověření konstrukce výrobku

Návrh výrobku lze ověřit i ve stádiu, kdy ještě není k dispozici fyzický kus, zhotovený například formou prototypu. K ověření mechanických a rozměrových vlastností je možno využít CAD model výrobku. K tomuto slouží FEM analýzy pomocí metody konečných prvků, které dokáží odhalit kritická místa při zadaných parametrech simulujících namáhání v provozních podmínkách výsledného produktu. Tímto lze ověřit, zda výrobek splňuje požadované mechanické vlastnosti. Rozměry a kinematiku dílu je možno zkontrolovat přímo v sestavě nativního CAD programu.

K výrobě prototypu je vhodné použít stejný materiál, který je identický s materiálem požadovaného pro sériovou produkci, aby bylo možno ověřit například smrštění, na němž jsou závislé tvar a rozměr výrobku nebo mechanické vlastnosti, které zase ovlivňují funkci a živostnost výrobku. Cena vstřikovacích nástrojů je vysoká. Celková cena je složena z nákladů na konstrukci, které se pohybují dle složitosti mezi 10 ÷ 20 % z celkové ceny, nákladů na technologie použité pro výrobu, cca. 30 ÷ 40 % a z nákladů na materiál. Ty představují asi 50%. Přestože se při návrhu a výrobě prototypových nástrojů volí pro všechny tyto položky, co nejjednodušší a cenově přijatelné řešení, přesto může prototypový nástroj znamenat nemalou investici, která se promítá do nákladů výrobce dílu a to zvláště, pokud je potřeba provést ve fázi vývoje více úprav nebo ověřit více variant. Každá taková úprava a optimalizace pak zvyšuje vývojové náklady dílu. Jednou z možností na snížení ceny vstřikovacích prototypových nástrojů mohou být například univerzální rámy forem. Toto řešení je vhodné pouze v případě tvarové a rozměrové podobnosti výrobků. Další možností je zhotovení lisovacích nebo přetlačovacích forem, které jsou konstrukčně a výrobně jednodušší. Navíc není z důvodu malých ověřovacích sérií potřeba legovaných a tepelně zpracovaných ocelí, které jsou dražší a kde použité legující prvky většinou také zhoršují obrobiteľnost. Lisovací a přetlačovací formy se využívají pouze u vulkanizovaných elastomerů nebo reaktoplastů. Pro termoplasty a termoplastické elastomery nejsou tyto nástroje použitelné.

Jinou cestou k získání prototypu je využití metody rapid prototyping, kdy za použití různých postupů lze vytvořit model výrobku ve skutečné velikosti. Jeho přesnost a kvalita povrchu je pak závislá na zvolené metodě výroby RP a použitého kroku vrstvy. Nevýhodou výrobků zhotovených pomocí RP je, že mechanické vlastnosti materiálů prototypu,

jako je například pevnost, tvrdost a houževnatost, málokdy odpovídají skutečnému výrobku. Páve mechanické vlastnosti a především deformace, ale hrají velkou roli při ověřování funkce elastomerních dílců. Pro výrobu prototypů se využívá tzv. 3D tiskáren využívajících principů stereolitografie, spékání či vytvrzování prášku laserem nebo ultrazvukem. Díly pro ověření chování elastomerních dílů lze pak vyrobit odléváním polyuretanové hmoty do silikonových forem. Na takovéto formě lze během její životnosti zhotovit desítky prototypových dílů. Cena takto zhotovených prototypů pak klesá s počtem požadovaných kusů a tudíž i náklady u této výroby prototypů bývají značné a je proto vhodné uvažovat o analýze virtuálních modelů nejčastěji pomocí metody konečných prvků.

### 3.2 Ověření konstrukce polymerního výrobku pomocí analýzy FEM

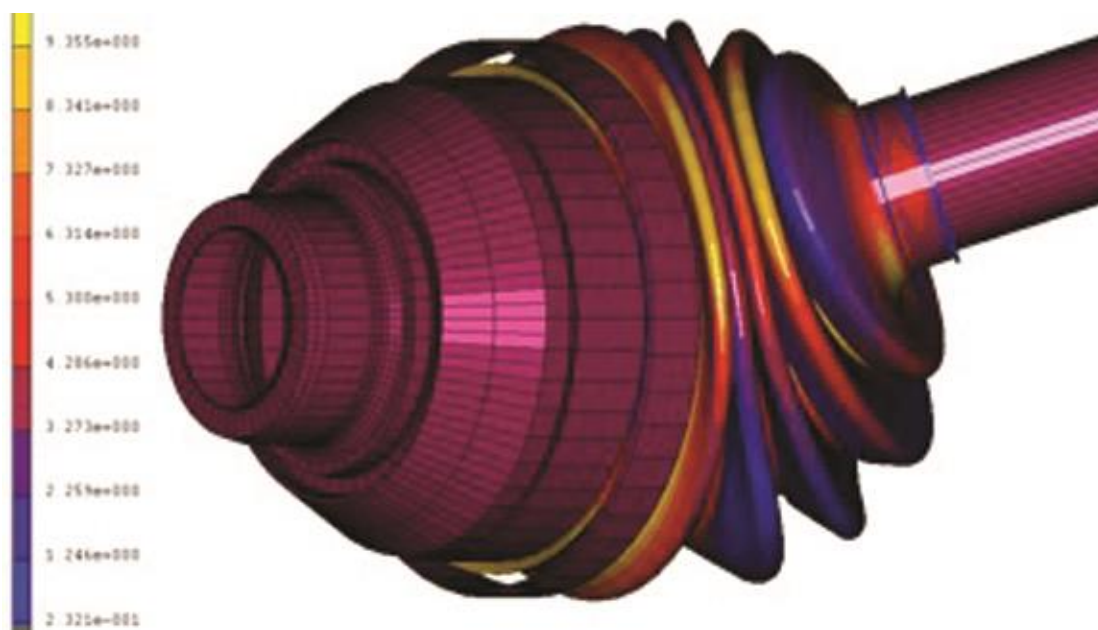
Na analýzy výrobků lze využít řešiče využívajících výpočtových metod lineárních nebo nelineárních řešičů. Lineární FEM se používají u dílů, jejichž deformace je plastická a trvalá, zatímco pro ověření konstrukce elastomerních prvků, kde jsou deformace vratné, které po odeznění působící síly vymizí, se využívá nelineárních FEM řešičů. Nástroje těchto výpočtových metod pomáhají zkrátit čas potřebný na vývoj, snížit výrobní náklady na vývoj prototypů nebo na zavedení dílu do výroby, dodržování norem kladené na užití daného konstrukčního prvku a metodiky při jeho vývoji. Využitím už ověřených postupů se předchází základním chybám.

Na rozdíl od materiálů s plastickou deformací, které využívají pro výpočty materiálové konstanty, jako jsou modul pružnosti v tahu  $E$  a modul pružnosti ve smyku  $G$ , je stanovení parametrů pro daný elastomerní materiál obtížnější. Chování je ovlivněno Poissonovou konstantou, která se pro ideální elastomer blíží k hodnotě 0,5. Parametry potřebné pro výpočet viskoelastického chování lze získat experimentálními metodami prováděnými laboratorně.

Základní zkouška pro analýzu materiálu je tahová zkouška na jednoosou napjatost zkušební vzorku. Naměřené konstanty aproximujeme křivkou a této výsledné tahové křivce přiřadíme jí odpovídající materiálový hyperelastický model. Modely mohou využívat různé metody, například Moony-Rivlin, Neo-Hookean, James-Green-Simpson). [19]

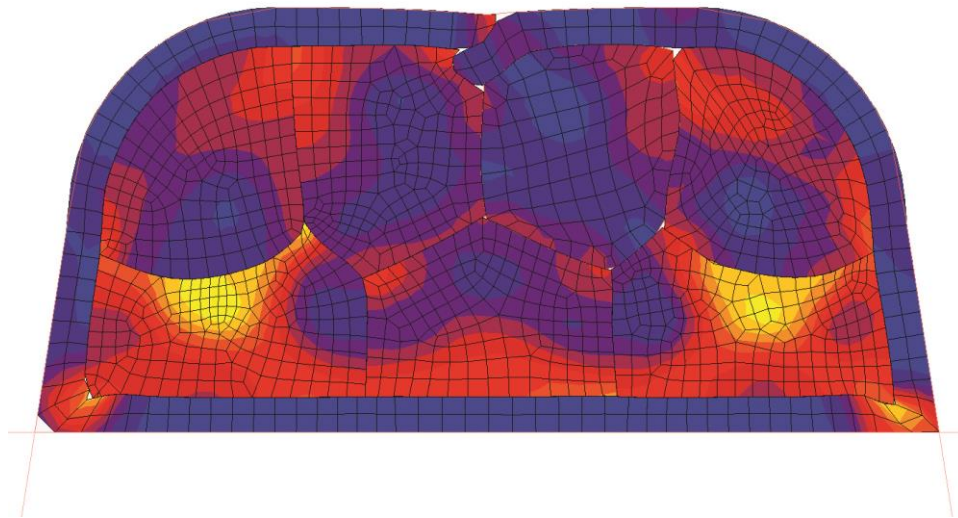
Tvorba křivky z jednoosé napjatosti není moc přesná, jelikož v praxi se většinou vyskytují namáhání kombinovaná a proto je vhodnější počítat s maticí konstant, kterou zís-

káme z více zkoušek. Tyto zkoušky se provádí na jednoosý tah, dvouosý tah a čistý smyk, tzv. rovinný tah.



*Obr. 25. Vizualizace napětí při deformaci konstrukčního prvku [20]*

Přenos dat z návrhářských CAD programů do programů pro analýzu se provádí ve formátu STL. Chování modelů se je možno analyzovat ve 2D, kdy je model nahrazen charakteristickým řezem, ve kterém je plocha řezu nahrazena sítí z trojúhelníků, která rozděluje počítanou oblast. Hustota a kvalita sítě má vliv na přesnost výpočtů. 2D výpočty však nemají dostatečnou vypovídající hodnotu pro elastomery, kde nelze analyzovanou vymežit a izolovat pomocí plošného řezu, a proto zde používáme 3D resp. 2,5 D modely, které jsou rozděleny na 3D elementy nebo plošné elementy s udaným parametrem tloušťky. Vzniklé elementy jsou čtyřstěnné, tzv. tetrahedrony. Rozšířeným softwarem vyvinutým pro elastomerní výrobky je například program Marc od firmy MSC Software.



Obr. 26. Síť vytvořena z 3D elementů [20]

### 3.3 Ověření konstrukce formy pomocí analýzy FEM

Forma pro vstřikování polymerů je značně mechanicky namáhána jednak napětím, vzniklým působením přídržné síly vyvozené uzavírací jednotkou, vnitřním napětím, které vzniká tlakem vstřikované taveniny, kterou je plněna dutina formy. Tyto napětí může vyvolat deformace především ve styčných plochách dělicí roviny, vyhazovačích, tvárnici nad dutinou, kde se deformace může projevit jako průhyb. Dále je forma namáhána i přes upínací desky a rozpěrky. Aby byla zaručena dostatečná životnost a správná funkce formy, musí mít forma dostatečnou tuhost a pevnost.

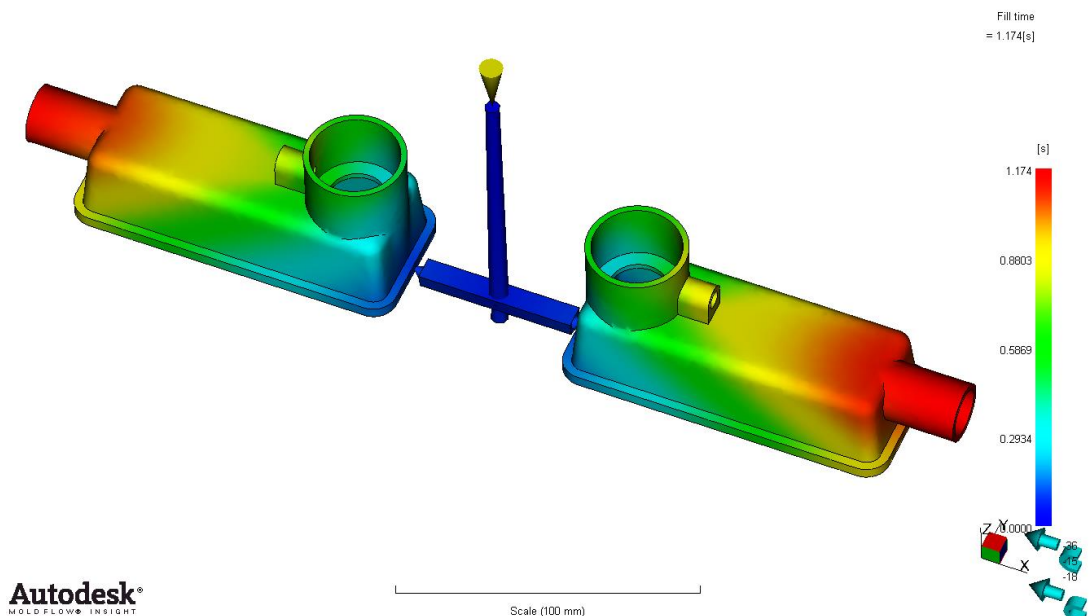
Další síly, které mohou působit na formu, vznikají při odformování pohybem jednotlivých vyrážecích prvků, rozjíždění bočních šíbrů pomocí hydrauliky nebo mechanicky pomocí šikmých kolíků. Vyrážecí zařízení může být také přídatné nebo přímo součástí vstřikovacího stroje.

Také pro pevnostní analýzu forem lze použít simulační programy. Například program NX Nastran od firmy Siemens, který zvládá jak úlohy lineární tak nelineární. Pro potřeby konstruktéra formy je postačující zjednodušit úlohy pouze na statické namáhání opěrných desek, které využívá lineárních výpočty.

### 3.4 Ověření plnění dutiny formy

Návrh formy lze ověřit ještě před samotnou výrobou formy v rámci předvýrobních etap. Na základě analýzy plnění lze v této fázi najít optimální konstrukční řešení formy a splnit technologické požadavky výrobního procesu. Pomocí výsledků analýzy, lze na základě definovaného modelu výstřiků, vtokového rozvodu, vtokového ústí a temperačních okruhů, optimalizovat například polohu a počet vtokových ústí, zvolit optimální průběh a účinnost chladicí soustavy. Díky tomu lze zkrátit čas potřebný na jeden cyklus a předejít možným vadám výstřiku, které by se jinak musely řešit až při zkoušení hotové formy.

Simulace také umožňuje najít vhodné parametry vstřikovacího stroje, díky čemuž lze zkrátit čas potřebný na rozjezd formy.



Obr. 27. Příklad analýzy plnění – doba plnění [21]

## 4 ZÁVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI

V teoretické části bylo v první kapitole stručně popsáno základní rozdělení polymerů. Další kapitola byla zaměřena na zpracování termoplastů vstřikováním. Spolu s formami na vstřikování plastů, jejich rozdělením a jednotlivými částmi, byl detailněji popsán i vstřikovací stroj a celý vstřikovací cyklus. S ohledem na využití v praktické části diplomové práce, byla část této kapitoly zaměřena na některé technologie výroby dutých výstřiků z termoplastů vstřikováním. Poslední kapitola se zabývala výpočtovými metodami pro ověření návrhu výrobku ve fázi návrhu.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### 5.1 Téma práce

Cílem diplomové práce je konstrukce dílu, který je součástí dětského vozidla a jeho nástroje na výrobu. Návrh dílu je přizpůsoben zvolené technologii výroby, kdy je v určité fázi plnění formy přiveden plyn, který vytvoří dutinu. Oproti podobným dílům, které se v podobných projektech používají, má takovýto díl nižší hmotnost a kratší výrobní cyklus, než podobný díl vstřikovaný z plného materiálu. Využití technologie vstřikování za asistence plynu by měla pomoci optimalizovat výrobní proces ve fázi výroby a montáže dílů. Pro ověření návrhu budou v této práci využity analýzy tečení při plnění dutiny formy.

### 5.2 Zadání pro vypracování diplomové práce

Hlavními body zadání pro vypracování diplomové práce jsou:

1. Vypracování literární studie na dané téma.
2. Provedení konstrukce 3D modelu vstřikovaného dílu.
3. Navržení vstřikovací formy pro zadaný díl.
4. Konstrukční řešení ověřit pomocí analýz.
5. Nakreslení 2D řezu vstřikovací formy včetně příslušných pohledů a kusovníku.

### 5.3 Použité systémy CAD A CAE

#### 5.3.1 CATIA V5R19

Návrh geometrie vstřikovaného dílu a také konstrukce jednotlivých dílů formy včetně sestavy byl vytvořen v CAD systému CATIA. Konkrétně ve verzi 5, Release 19, Service Pack 9. [22]

Tento CAD je systémem francouzské firmy Dassault Systemes a umožňuje pokrýt celý proces životnosti výrobku, tzn. od návrhu, přes konstrukci, simulace, analýzy až po vlastní výrobu, montáž a údržbu. Díky integraci celého procesu a jeho simulaci se snižuje potřeba fyzických prototypů, zkracuje se vývojový cyklus, snižují se náklady a zvyšuje se kvalita konečného výrobku. [22]



CAD systém CATIA je velmi rozšířenou CAD platformou nejen v automobilovém průmyslu. Systém je využíván především evropskými výrobci automobilů, kteří v rámci vývoje a výroby využívají jednotný konstrukční systém a tento požadavek je přenesen i na dodavatele. V běžné praxi je jednotný konstrukční systém vyžadován s ohledem na kompatibilitu a sdílení dat při vývoji. Tento požadavek vychází z nedokonalé komunikace mezi různými softwary pomocí překladačů případně univerzálních formátů jako je formát STEP či IGES. Tyto formáty slouží k exportu zdrojové geometrie na obecnější popis. Problémy pak mohou nastat při přenosu dat mezi systémy využívající k tvorbě např. B-křivek vyšších řádů nebo křivek využívajících NURBS popis. Pak nelze zaručit přesný geometrický popis přenesené geometrie. [22]

Dalším motivem pro použití jednotného systému je návaznost konstrukčních dat dále ve výrobních systémech, které slouží k řízení výroby jako je např. systém ENOVIA nebo pro řízenou komunikaci v konstrukčních skupinách. Zde je to systém SmarTeam. Konstrukční data nesou kromě geometrického popisu také informace pro výrobu či nákup o materiálu, umístění, funkčních rozměrech atd. Oba dva systémy vyvíjí firmy Dassault Systemes a jsou založeny na správě a kompletním využití CAD Catia dat. [22]

Systém V5 je na základě požadavků nadále využíván a rozvíjen, přestože firma Dassault Systemes vyvinula a propaguje systém V6, který je založen na globálním sdílení dat a má v sobě integrovány funkce výrobních systémů. [22]

### **5.3.2 Autodesk Moldflow Insight 2014**

Pomocí tohoto CAE softwaru bylo ověřeno a optimalizováno konstrukční řešení formy ve fázi konstrukce nástroje, což snižuje náklady na případnou úpravu nebo ladění nové formy. Analýza systému Autodesk Moldflow také pomohla ověřit vhodnou polohu vtokového ústí a injektoru pro vstřikování za asistence plynu.

Tento CAE nástroj umožňuje provést analýzu zvolené koncepce formy simulací technologických podmínek a dokáže nalézt kritická místa, kde mohou vznikat vady výrobku, jako jsou uzavřené vzduchové kapsy, nedostatečné zaplnění dutiny formy, zbytková napětí, místa soutoků čel taveniny apod. Touto analýzou lze optimalizovat finanční náklady a časovou náročnost na ověřování konstrukce formy a může zcela vyloučit potřebu prototypové formy z pohledu ověření zvolených výrobních podmínek. [22]

Ke správnému vyhodnocení výsledků je vhodné zvláště pro analýzu vstřikování elastomerů znát reologické vlastnosti použitého materiálu. Jedná se vlastnosti přímo, či nepřímo závislých na chování elastomerních materiálů. Mezi tyto vlastnosti patří např. viskozita, což je odpor proti tečení a kterou lze znázornit viskózní křivkou, součinitel smykového tření, plastická deformace, smykové napětí atd. [22]

## 6 VSTŘIKOVANÝ DÍL

### 6.1 Popis výrobku

Vstříkovaným dílcem je volant, který je použit v sestavě dětského vozidla. Jedná se o volant, který je součástí řídicího mechanismu. Tento díl je konstruován pro přenos krouticího momentu z obvodového věnce volantu přes tyč řízení na stabilizátor zavěšení předních kol a tím dochází k natáčení kol a požadované změny směru jízdy uživatelem.

Sestava dětského vozidla je odraždlo bez přídavného pohonu. Může být ve více verzích výbavy včetně verze s elektrickým zdrojem, který zajišťuje například osvětlení předních a zadních světel, zvuk motoru, houkačky a podobně.



Obr. 28. Rozpad podsestavy volantu



*Obr. 29. CAD model podsestavy konečného dílu*

## 6.2 Požadavky na výrobek

### 6.2.1 Zadávací podmínky a vstupní data

Všechny požadavky zákazníka na vlastnosti výrobku by měly být shrnuty v takzvaných zadávacích podmínkách. S těmi je dodavatel obeznámen v rámci nabídkového řízení a ve fázi zahájení prací na vývoji projektu mají konečnou podobu. Změna zadávacích podmínek podléhá reviznímu řízení.

Vstupními daty byly ideové návrhy designéra a přibližná geometrie. Tato geometrie z nativního formátu byla předávána pomocí datového formátu STEP a po importu do programu Catia byla použita jako základ pro tvorbu jednotlivých dílů. Formát STEP je vhodnější než například datový popis ve formátu IGES, ale přesto vznikla potřeba převedené plochy opravit nebo znovu vytvořit, aby byly pro konstrukci dílu a následně formy použitelné.

Samotná konstrukce dílů pak už byla detailně zaměřena na spojování jednotlivých dílů sestavy, vodících prvků, korekce designových požadavků s ohledem na vyrobitelnost dílu a na konkrétní funkčnost dílu. V této fázi návrhu bylo důležité brát zřetel na optimální

výrobu dílu a jeho zaformování a v neposlední řadě zakomponování prvků pro snadnou montáž komponentů v rámci sestavy.

### 6.2.2 Požadavky na vzhled a užité vlastnosti výrobku

Vzhled výrobku by měl co nejvíce připomínat reálný díl a detaily by měly být co nejvíce propracované, ale výrobek zároveň musí splňovat bezpečnostní kritéria. Tento požadavek ovlivňuje mimo jiné i výběr materiálu a tím i nepřímo i vzhled.

Vnější vzhledové plochy budou mít povrchovou strukturu vytvořenou chemickou cestou. Větec volantu bude mít rozdílnou povrchovou strukturu, která má být příjemná při dotyku. Tato struktura je definovaná vzorkovníkem firmy zabývající se chemickým leptáním nástrojů z oceli.



*Obr. 30. CAD model výrobku horní pohled*

Výrobek musí být zároveň lehký, aby nezvyšoval hmotnost celého kompletu. Ve volantu je zástavbový otvor pro mechanicky ovládaný klakson. Tato dutina je zakryta krytkou, která je opatřena logem automobilky pro níž je tento díl konstruován. Volant musí být pevně spojen a zajištěn v celkové sestavě dětského vozidla.



*Obr. 31. CAD model výrobku spodní pohled*

### **6.2.3 Požadavky na mechanické vlastnosti výrobku**

Předpokládaný krouticí moment není jediným namáháním. Dle požadavků vycházejících z norem bude celý komplet zatěžován spojitým namáháním 250N, což odpovídá 25 kg. Tato hmotnost by neměla být v praxi překročena a díl je určen pro děti od 12 do 36 měsíců. V této věkové kategorii je počítáno s maximální hmotností 18,9 kg pro americký trh. Je to více než 15 kg, které například uvádějí evropské statistiky. Z dílů, které byly prozatím pevnostní FEM analýzou ověřeny, byla takto ověřena část podvozku, jehož konstrukci a zaformování jsem již dokončil. Tento podvozkový díl byl úspěšně ověřen a schválen zákazníkem. Konstrukce dílu i formy je oproti podobným výrobkům řešena pro vstřikování za pomoci asistence plynu, aby bylo dosaženo snížení hmotnosti a úspory materiálu při zachování plné funkčnosti a bezpečnosti dílu. Z tohoto důvodu je díl konstruován jako dutý výrobek. Výrobky použité u podobných vozidel jiných výrobců jsou řešeny buď jako plné nebo šroubované ze dvou dílů a toto řešení pomocí technologie GIT by mělo snížit spotřebu materiálu, zkrátit cyklus o potřebný čas na chlazení plného dílu, popřípadě zjednodušit kompletaci dílu a s tím spojenou montáž dílu. Forma dílu je navržena na technologii vstřikování za asistence plynu.



Obr. 32. Řez dílu v podsestavě volantu

#### 6.2.4 Požadavky na funkci a bezpečnost dílu

Celý tento komplet vozidla má status dětské hračky pro děti od jednoho do tří let a tudíž spadá do kategorie výrobků podléhajících testování a schvalování v akreditovaných zkušebnách, které ověřují bezpečnost takového výrobku. Pro konstrukci výrobků, které budou používány dětmi, existuje řada omezení, jelikož děti jsou velmi zvědavé a nejde zajistit, že výrobek bude využíván vždy k účelu, k jakému je určen. Díly použité v takovém kompletu nesmí způsobit při různých způsobech manipulace žádné poranění a jejich používání musí být bezpečné.

Na výrobku se například provádí zkouška statického zatížení, dynamické zkoušky, zkouška zabezpečení proti překlopení, test na drobné díly, test na vhodné rozměry otvorů a mnoho dalších. Průměry otvorů například musí být menší než 5 mm nebo větší než 13 mm. Také díl volantu podléhá specifické rozměrové zkoušce na světlost otvorů mezi středovým kuželem a věncem volantu.

Pro uvedení výrobku na trh je potřeba tento díl nechat ověřit a certifikovat dle norem příslušného státu. V praxi to znamená, že se certifikace se provádí podle metodiky a platných norem všech států, kde bude díl prodáván.

Oblasti, pro které je vyžadovaná certifikace a zde odpovídající norma:

- EN71-1:2012 pro státy EU,
- ASTM F963-11 pro státy USA,
- GB 6675:2003 pro čínský trh,
- ISO 8124:2012 pro Austrálii a Nový Zéland.

## 6.3 Parametry výrobku

### 6.3.1 Parametry výstřiku

Vnější rozměry výstřiku: 120x186x190 mm.

Objem dle CAD dat po odlehčení:  $V = 189 \text{ cm}^3$ .

Hustota materiálu výstřiku:  $\rho = 0,902 \text{ g.cm}^{-3}$ .

Hmotnost výstřiku:  $m = 170,5 \text{ g}$ .

## 6.4 Materiál výrobku

Materiál, ze kterého bude díl vyroben, je kopolymerem PP a EPDM. Tento kopolymer bude neplněný. Nyní ve fázi návrhu není ještě zcela rozhodnuto o dodavateli použitého materiálu a nelze jej specifikovat pomocí materiálového listu. Obecně lze u tohoto druhu materiálu předpokládat dobré reologické vlastnosti pro vstřikování a dle výrobce dílu, který má s tímto typem materiálem bohaté zkušenosti nejsou předpokládány komplikace při plnění formy tohoto dílu.

Pro ověření plnění dílu pomocí analýzy byl zvolen materiál od firmy Exxon Chemical Company Vistaflex 206B. Jedná se o kopolymer PP+EPDM.



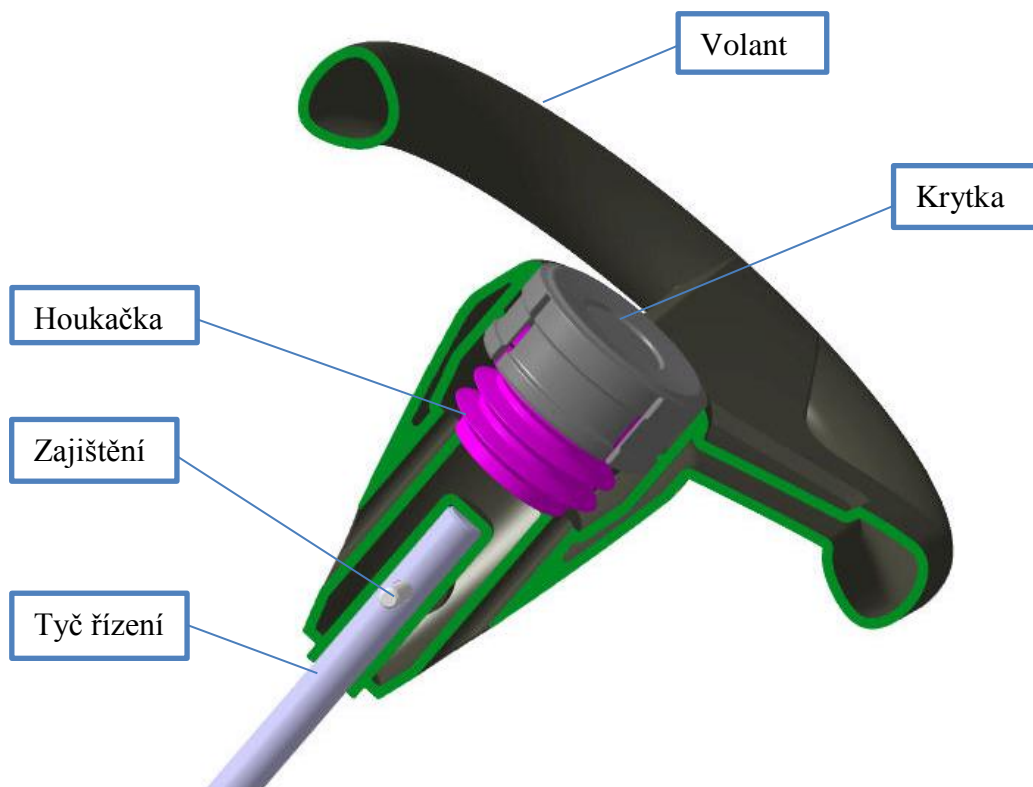
## 7 KONSTRUKCE DÍLCE

### 7.1 Návrh dílu dle zadávacích podmínek

Díl bude sloužit k ovládání řízení dětského vozidla. Bude přenášet krouticí moment, a bude zatížen tahovým a ohybovým namáháním. Tvar věnce volantu musí být vhodně tvarován kvůli správnému uchopení. Díl bude mít uvnitř zakomponovanou dutinu, kde bude umístěn vlnovec klaksonu. Tento by se měl deformovat tlakem, který bude přenášet krytka umístěná ve středu volantu. Tato krytka bude mít zároveň i funkci dekorativní, jelikož na ní bude emblém automobilky. Krytka by neměla jít snadno demontovat.

Díl by měl být lehký, a proto je navržen jako dutý. To se může realizovat i jako montovaný díl složený ze dvou výstřiků a zajištěn čtyřmi samořeznými šrouby. Takové řešení však vyžaduje rozdělit díl na dva samostatné díly a řešit pak na tyto díl další nástroj a navíc to pak prodlužuje časy montáže. Z tohoto důvodu bude požadována výroba dílu jako jednoho dutého výstřiku.

Pro správnou funkci vlnovce klaksonu musí být zajištěn dostatečný přívod a odvod vzduchu z dutiny pod krytkou.



Obr. 33: Řez sestavou volantu

Díl se bude v sestavě montovat na tyč řízení a bude zajištěn proti potočení spojovacím šroubem a maticí, který bude zároveň přenášet krouticí moment a jistit polohu volantu po montáži.



*Obr. 34. Podobný díl řešený pomocí montáže ze dvou dílů*

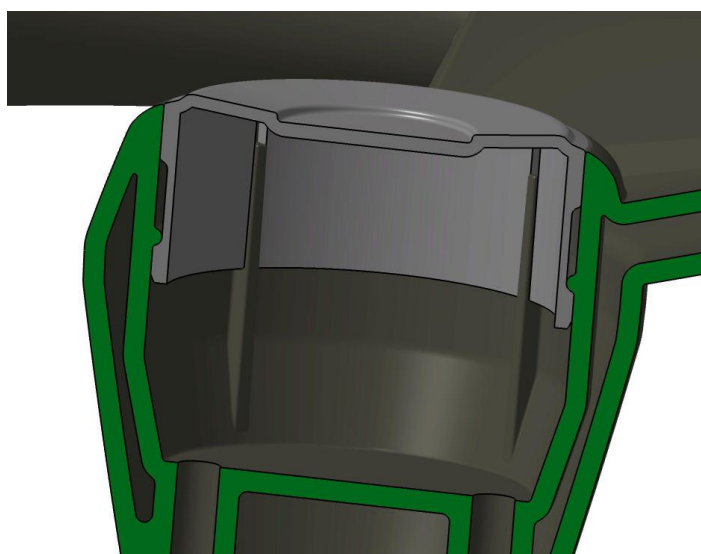
## 7.2 Konstrukce dílu

Vnější plochy dílu jsou převzaty z opravené geometrie návrhu designéra. Díl se nejdříve řeší jako plný výrobek. Do těchto dat je potřeba vytvořit funkční dutiny, odvětrávací kanály, díry a zahloubení pro šrouby. Poté je vytvořena dutina simulující odlehčení plynem. Dle dohody s designérem je potřeba optimalizovat hrany a navrhnout optimální zaoblení, aby se předešlo problémům při plnění formy a aby se optimalizovala dutina pro vstřikování za asistence plynu.



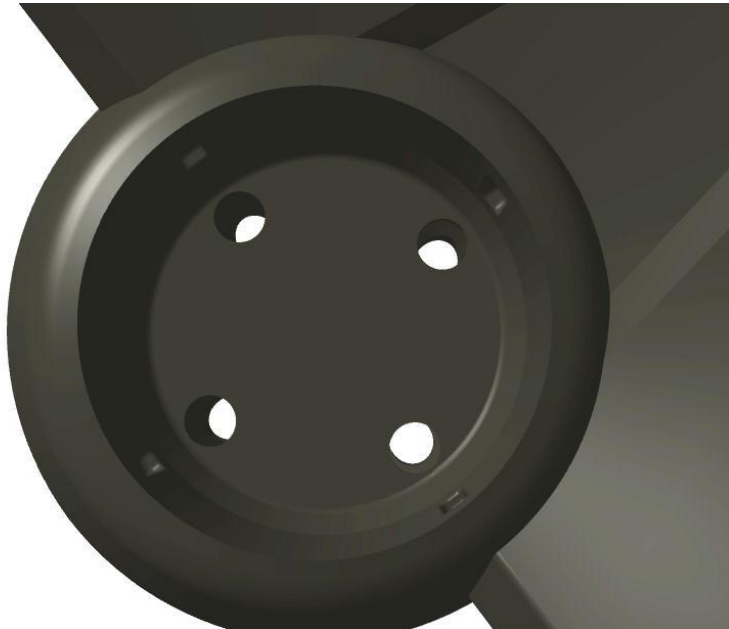
*Obr. 35. Řez dílcem*

Zdvih krytky a zajištění proti pootočení bude pomocí žebér na stěnách dutiny. Pro správnou orientaci krytky jedno žebro zesíleno, aby byla jednoznačná montáž. Zajištění proti samovolné demontáži zajišťuje tvar naváděcích ploch krytky, které fungují jako pružný spoj.



*Obr. 36. Zdvih krytky*

Původně bylo zamýšleno řešení, při kterém budou použity čtyři pružné háčky vedené ve čtyřech kavitách a odformování bude provedeno pomocí pružných kleštín, ale s ohledem na komplikaci při zajištění teplotních podmínek bylo od tohoto řešení ustoupeno.



*Obr. 37. Původně zamýšlené řešení vedení krytky*

Pro přívod vzduchu potřebného na správnou funkci vlnovce houkačky slouží dva přívodní kanály. Původně byly zamýšleny čtyři menší otvory, ale s ohledem na chlazení budou vhodnější dva o větším průměru.



*Obr. 38: Zahloubení pro zajišťovací šroub*

Dosedací část středového kužele navazuje v sestavě vozu na díl se sedákem a přístrojovou deskou, do kterého je zapuštěna pomocí osazení. Při montáži s tímto dílem a s tyčí řízení je volant zajištěn šroubem a maticí.

## 8 NÁVRH VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Návrh stroje pro vstřikování vychází z parametrů výstřiku, jeho velikosti, objemu a požadované násobnosti formy. Dle zadaného výrobku a koncepce formy je zvolena velikost stroje. Vstřikovací stroj musí zaručit dostatečný vstřikovací objem, tento objem by měl být alespoň o 20% vyšší, než je počítáno pro naplnění formy. Stroj by měl mít dostatečnou přídržnou sílu, která zajistí dostatečnou těsnost dělicí roviny a tím i kvality ploch výstřiku. Konstrukce rámu stroje musí zajistit dostatečnou tuhost a velikost upínacích desek stroje.

V praxi je výběr stroje přizpůsoben aktuálnímu strojnímu vybavení výrobce a jeho volných výrobních kapacit, eventuálně závisí na přídatných zařízeních a ovládní stroje. Tato zařízení jako jsou manipulátory či roboty na odformování, zařízení na plnění plynu a podobně komunikují přes rozhraní se řídicí jednotkou. V případě rozšíření výroby z pohledu výrobních kapacit, nových technologií nebo také u speciálních požadavků na výrobu může být zavedení nového výrobku spojeno s investicí do nového vstřikovacího stroje a obslužného zařízení.

Na výrobu tohoto dílu byl určen vstřikovací stroj od výrobce Krauss Maffei KM 250/300 C se vstřikovací jednotkou SP 1400.



Obr. 39. Vstřikovací stroj firmy Krauss-Maffei KM 250/300 C

Jedná se o stroj, který je výrobcem plastových dílů již využíván a jehož parametry jsou plně dostačující pro daný typ výrobku. V současnosti na něm výrobce plastových dílů vyrábí i díly vstřikované GIT technologií. Pro rozvod a plnění plynem je využíváno centrální zařízení, pomocí kterého je možno řídit asistované vstřikování na více strojích současně.

Objem výstřiku byl určen z CAD dat. Jedná se o dvě hodnoty, jednak objem dílu jako výrobku z plného materiálu. A jako objemu dle ideálně odlehčeného výrobku dle požadavků zákazníka. Tento objem je ale proměnný dle technologických podmínek výroby.

Objem plného dílu:  $V = 438 \text{ cm}^3$ .

Požadovaný, ideální objem:  $V = 189 \text{ cm}^3$ .

Hustota materiálu výstřiku:  $\rho = 0,902 \text{ g.cm}^{-3}$ .

Hmotnost výstřiku:  $m = V * \rho = 170,5 \text{ g}$  (1)

Hmotnost výstřiku je v tomto případě pouze orientační a jak ukázala analýza plnění dutiny formy bude se pohybovat okolo 241 gramů a dle nejlepšího výsledku by dosáhla 177 gramů, což by si však vyžádalo změnu koncepce formy.

Výpočet minimálního objemu vstřikovací jednotky stroje

Ideální využitelná kapacita vstřikovací jednotky  $x = 80\%$

Minimální objem výstřiku  $V_{\min} = 189 \text{ cm}^3$

Požadovaný objem vstřikovací jednotky  $VVJ = V_{\min} + (V_{\min} * 0,2) = 226,8 \text{ cm}^3$  (2)

Minimální požadovaný objem vstřikovací jednotky je  $226,8 \text{ cm}^3$ .

Potřebná uzavírací síla uzavírací jednotky je spočtena jako součet průměrných ploch všech otisků a vnitřního tlaku taveniny. V tomto případě je průměrná plocha jednotiskové formy  $221 \text{ cm}^2$  a vnitřní tlak je vzhledem ke zvolené technologii GIT velmi nízký, takže i analýzou byla potvrzena potřeba malé uzavírací síly. Pro navrženou formu a technologii plnění bude potřebná síla 66 tun (660kN), což je pro uzavírací sílu stroje 3000 kN resp. 300 tun téměř 4 násobná rezerva.

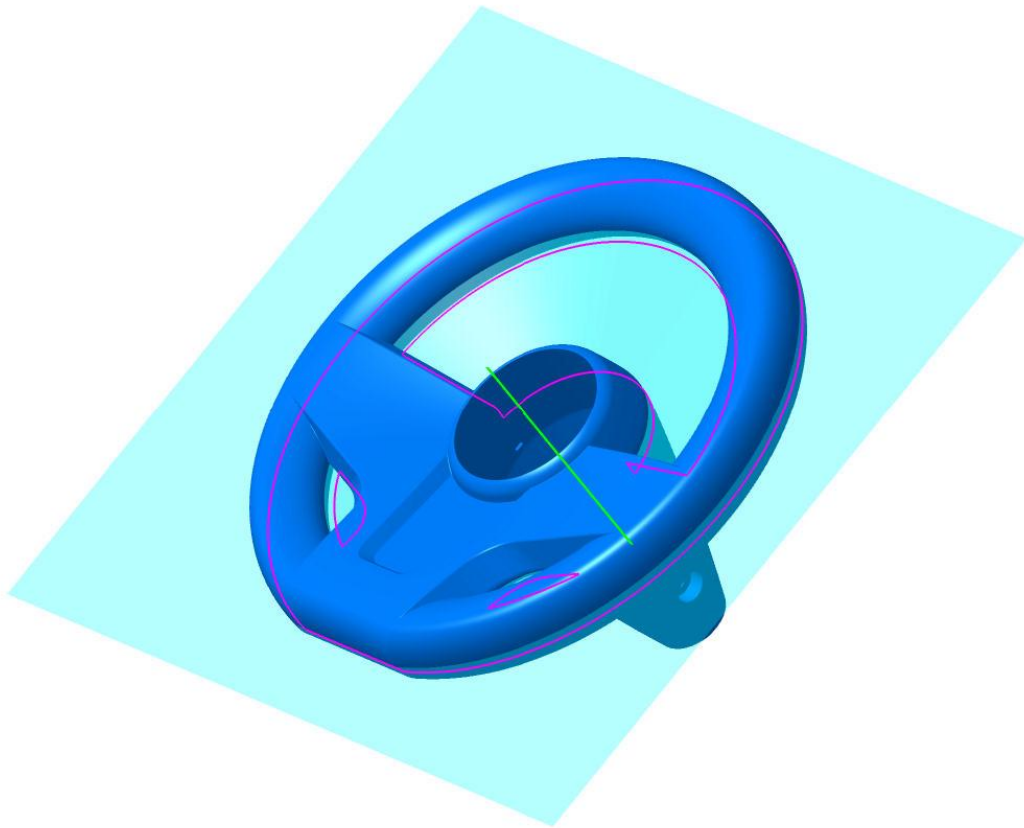
Parametry a schéma stroje jsou uvedeny v příloze P I a PII.

## 9 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍHO NÁSTROJE

### 9.1 Příprava výrobku k zaformování

Na základě finálních CAD dat výrobku určených k zaformování, se stanoví dělicí roviny. V programu Catia je k tomu možno použít v plošném modeláři příkaz Reflect Line.

Pro kompenzaci smrštění polymerních výstřiků se definuje přídavek na smrštění, který se volí dle určeného materiálu.

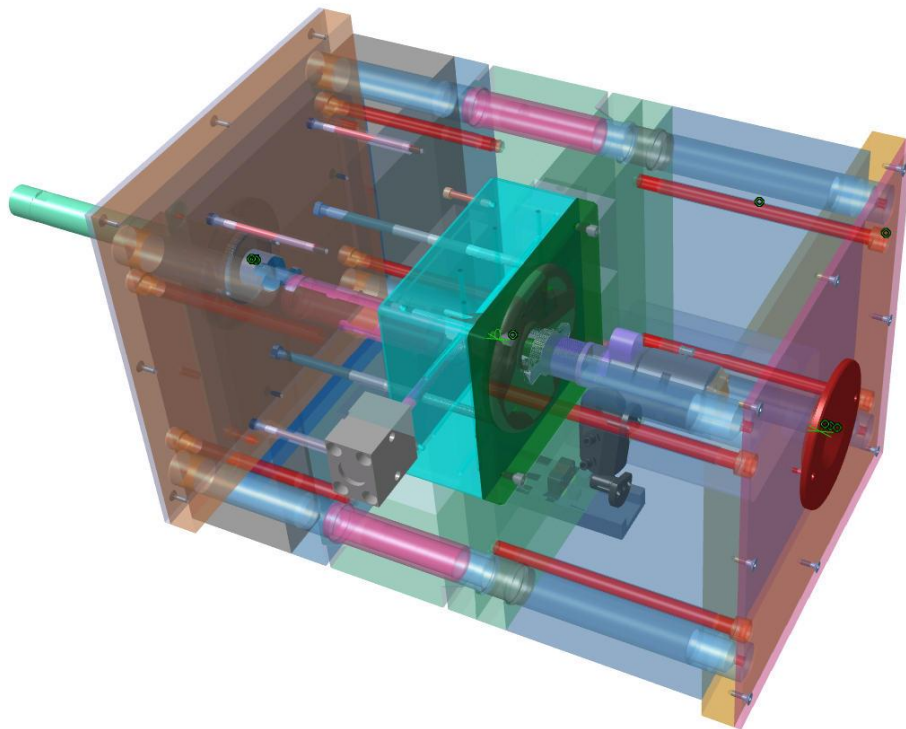


*Obr. 40. Stanovení dělících rovin a směru odformování*

### 9.2 Rám formy

Pro konstrukční řešení s kleštinovým odformováním, bylo zamýšleno použít třideskový systém. S ohledem na co nejvyšší spolehlivost výrobního procesu a jednoduchost obsluhy je vhodnější systém dvoudeskový, skládající se z pevné a pohyblivé části. Součástí pohyblivé strany je vyhazovací systém. Maximální rozměry formy jsou 396 x 446 x 650 mm. Pro konstrukci formy jsem použil normovaný rám firmy Meusburger, která je dodavatelem normovaných dílů. Ve formě je použit vyhřívaný vtokový systém.

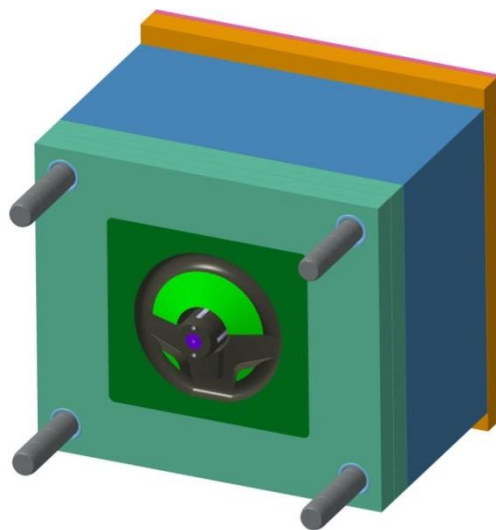




*Obr. 41. Navržená forma v zavřeném stavu*

Pro přesné usazení formy v uzavírací jednotce, jsou obě upínací desky vybaveny středícími kroužky o  $\varnothing$  160 mm. Na upínacích deskách jsou přišroubovány izolační desky, které slouží k zamezení přestupu tepla mezi deskami stroje a formy.

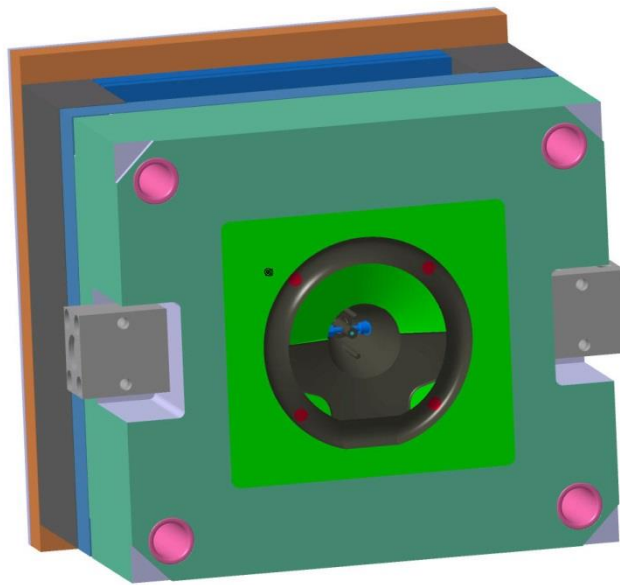
Pevná strana formy nebo také vstřikovací je složena ze tří desek, upínací desky o rozměrech 36 x 446 x 446 mm, opěrné desky o rozměrech 176 x 396 x 446 mm a kotevní desky o rozměrech 176 x 396 x 446 mm. Materiál desek je 1.1730.



*Obr. 42. Pevná část formy*

Do kotevní desky je vložena tvarová vložka z materiálu 1.2312. Součástí pevné strany formy je horký rozvod, který je umístěn v podpěrné desce.

Pohyblivá část formy neboli vyhazovací je složena z upínací desky o rozměrech 36 x 446 x 446 mm, opěrné desky o rozměrech 46 x 396 x 446 mm a tvarové desky o rozměrech 156 x 396 x 446 mm. Mezi opěrnou a upínací deskou jsou vodící sloupky vyhazovacího systému formy. Prostor pro zdvih vyhazovacího systému je vymezen dvěma lištami o rozměrech 62 x 136 x 396 mm a prvky vyhazovacího systému jsou ukotveny v deskách 17 respektive 27 x 318 x 396 mm. Tyto desky a lišty jsou z materiálu 1.1730. Do kotevní desky je stejně jako v pevné části formy vložena tvarová vložka.



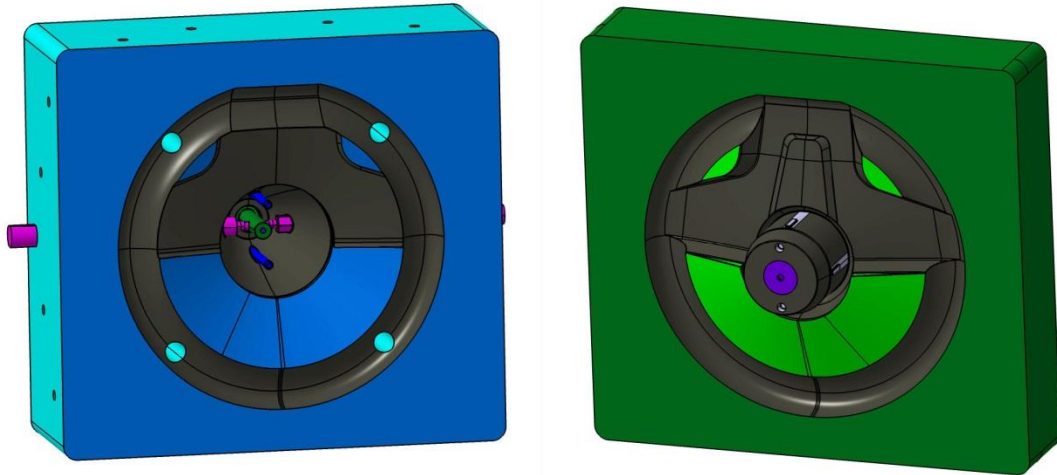
*Obr. 43. Pohyblivá část formy*

Středění obou částí formy je zajištěno vodícími a středícími prvky. Jako vodících prvků bylo použito čtyř vodících sloupků ukotvených v pevné části formy a vodících pouzder zasazených v pohyblivé části formy. V případě potřeby je možno doplnit formu v dělicí rovině o středící jednotky, které slouží k přesnému vystředění formy před zavřením.

### **9.3 Dutina formy**

Dutinu formy tvoří tvarové vložky pohyblivé a pevné části formy a tvarové trny bočních čelistí ovládaných hydraulicky. Ve tvarové vložce pohyblivé části jsou v zavřeném stavu opřeny tvarové trny o tvarový kolík, ve kterém je zároveň umístěn injektor na GIT technologii. Tvarové kolíky, které vytvářejí vzduchový kanál, jsou uchyceny na pevno

ve tvarové vložce. V tvarové drážce formující věnec volantu jsou čtyři díry pro vedení vyhazovacích kolíků



Obr. 44. Tvarové vložky pohyblivé a pevné části formy

Tvarová vložka byla původně řešena pro tříděskový systém, s čelistovým odformováním negativních kavit pomocí zborceného jádra. Tento způsob odformování je však z technologického hlediska nevhodný a proto bylo navrženo jiné řešení výrobku, které nevyžaduje žádný pohyblivý prvek v pevné části formy.

#### 9.4 Vtokový systém

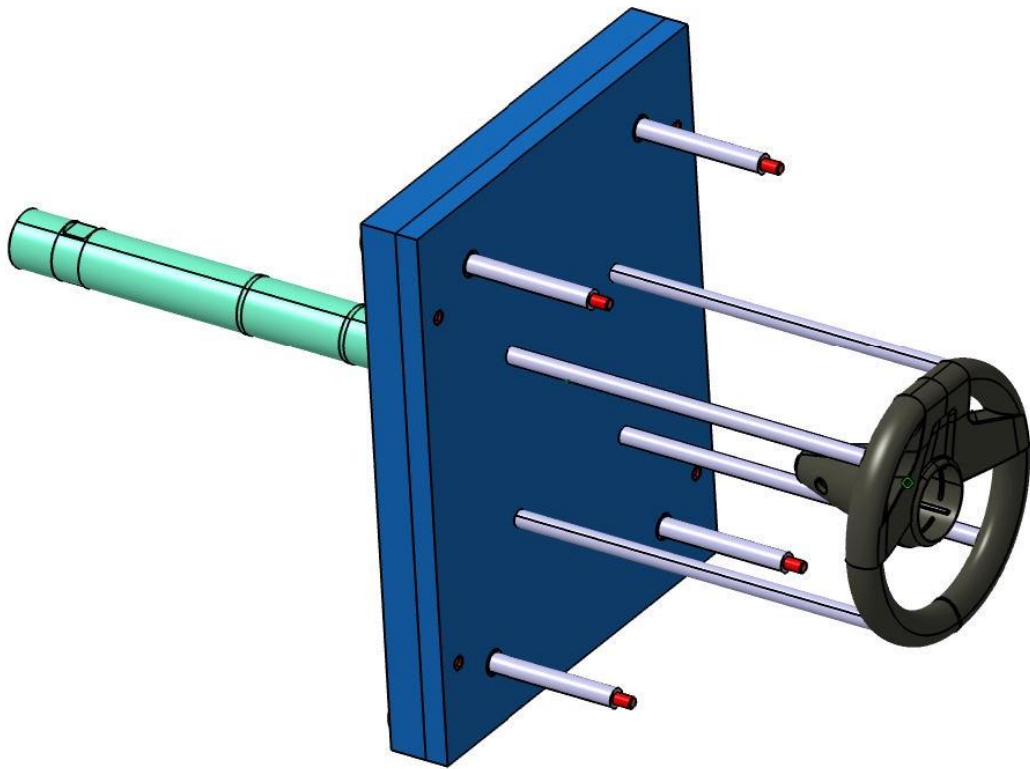


Obr. 45. Použitá uzavíratelná tryska VVS

Ve formě je použit vyhřívaný vtokový systém s uzavíratelnou jehlou. Tento systém má jednu trysku a pohyb zavírání je mimo osu formy z důvodu polohy trysky horkého vtoku v ose vstřikovací jednotky a vzhledem k celkové výšce formy.

## 9.5 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém je jednostupňový a sestává ze dvou desek a dvou válcových vyhazovačů, které musí mít zajištěnu polohu dle tvaru na konci vyhazovačů, kopírující plochu dutiny. Desky vyhazovačů se pohybují mezi upínací a opěrnou deskou pohyblivé části formy a jsou vedeny čtyřmi vodícími sloupky. Pohyb vyrážecí a zpětný je zajištěn hydraulickým vyhazovačem, jenž je součástí použitého vstřikovacího stroje. Síla vyhazovače pro pohyb vpřed je 58 kN, pro pohyb vzad to je 28 kN.



Obr. 43. Vyhazovací systém formy

## 10 ANALÝZA PLNĚNÍ FORMY

Tokové analýzy byly použity ve fázi před výrobou formy pro ověření koncepce formy. Pro tokové analýzy byl použit software Autodesk Moldflow Insight 2014 (dále jen Moldflow), pro vizualizaci výsledků potom Autodesk Moldflow Communicator 2014.

Součástí tohoto softwaru je i metoda výpočtu toku taveniny za asistence plynu (GIT), který má specifické parametry oproti jiným vstřikovacím metodám. Pro výpočet je potřeba 3D model výstřiku, který je po importu do Moldflow potřeba rozdělit na výpočtové oblasti. Samotný výpočet vyžaduje výpočtovou síť složenou z tetraedranů neboli čtyřstěňů (3D síť). Tyto 3D elementy dávají na rozdíl od 2,5D skutečnou informaci o chování taveniny ve vrstvách od stěny výstřiku. Pro výpočet plnění s pomocí GIT je vhodné použít minimální hodnotu vrstvy 10, a výše což zpřesňuje výpočet, ale zároveň zvyšuje dobu výpočtu. U 2,5D výpočtových domén neboli oblastí je chování v závislosti na vzdálenosti od stěny počítáno algoritmem pouze odhadujícím chování taveniny dle tohoto gradientu a skutečné rozdělení povrchu je pouze do plošných trojúhelníkových oblastí.

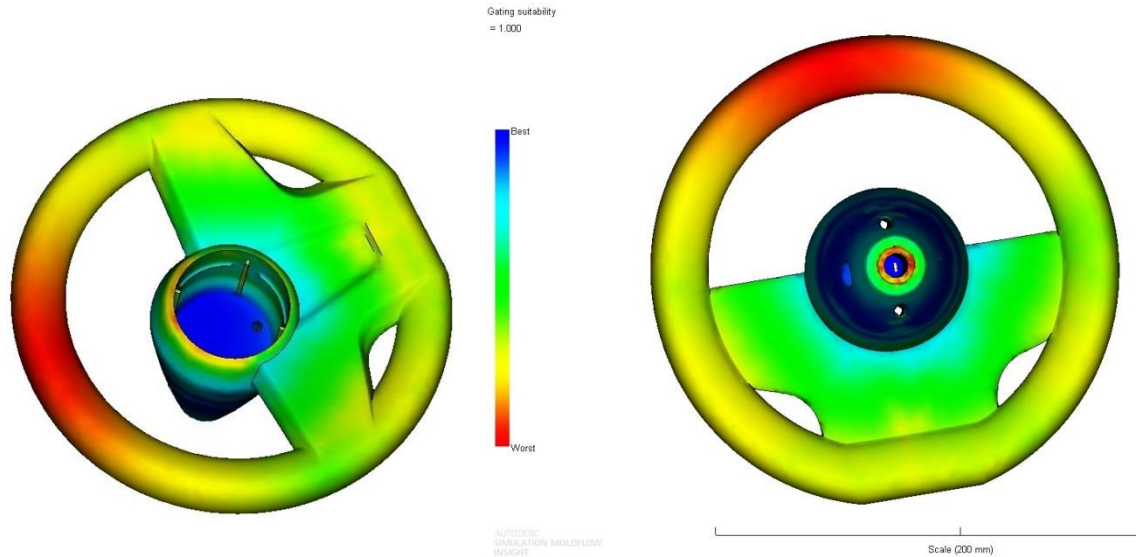
Přípravě a analýze 3D sítě však předchází tvorba 2,5D sítě, která se musí opravit na co nejnižší hodnotu, protože po přechodu do 3D se nepřesnost v navázání uzlů jednotlivých uzlů prostorových elementů zvětšuje a jelikož ve 3D už nelze elementy opravit, výpočet by nemusel správně fungovat. Po vysítování a umístění vtoku a injektoru, kterým se kavita plní plynem byla pro prvotní ověření zvolena analýza vhodného umístění vtokového ústí.

Pak následovalo nastavení typu materiálu a procesních podmínek. Dalším specifikem pro výpočty analýzy GIT, na rozdíl od jiných tokových analýz, je absence definice chlazení a tím pádem i bloku materiálu formy. Pro výpočty GIT je bráno okolí výstřiku jako izotropní. V praxi u skutečného stroje je lepší zvolit teplou chlazené formy o 20°C nižší než je udávaná teplota v procesních podmínkách materiálu. Po těchto přípravných krocích lze přejít k výpočtu analýz. V první fázi byly nastaveny standardní podmínky programu.

### 10.1 Umístění vtokového ústí

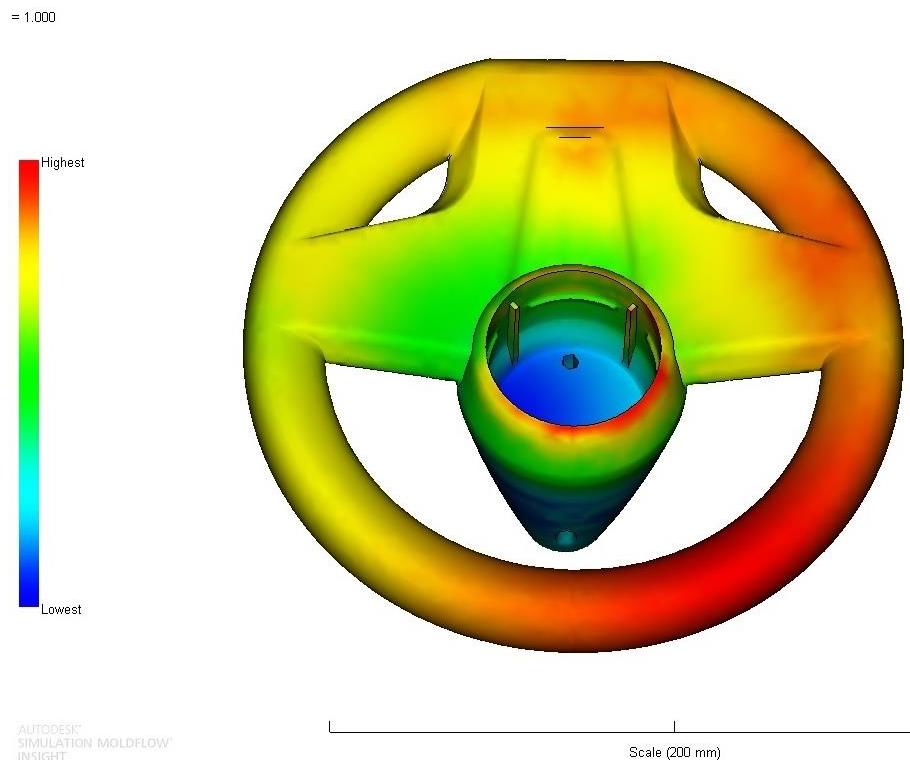
Optimální umístění vtokového ústí vhodné ověřit pomocí analýzy Gate Location. Výsledek této analýzy zobrazí nejvhodnější místo pro nejvhodnější umístění vtokového ústí a to s ohledem na geometrii výstřiku a zvolený typ materiálu. To znamená, že pro tyto analýzy se ještě nevyužívají hodnoty procesních podmínek, vlastnosti, materiálu, parametry chlazení.

Další analýza Gating suitability barevně zobrazuje oblasti na výrobku podle jejich vhodnosti pro umístění vtokového ústí a Flow resistance indicator upřesňuje analýzu vykreslením míst podle jejich odporu proti toku materiálu.



Obr. 47. Výsledky Gating suitability jako horní a spodní pohled do dělicí roviny

Z analýzy lze vyčíst, že místo vtokového ústí v koncepci formy má optimálně zvolenou polohu a proto byl následně v první fázi výpočtu použit.



Obr. 48. Výsledky Flow resistance indicator

Výsledek analýzy odporu proti tečení materiálu ukazuje na možná rizika v oblasti soutoku čel tavenin, které se budou plnit jako poslední. Jelikož se jedná především o věnec volantu, jehož plochy jsou vzhledové a je potřeba tomuto místo věnovat zvýšenou pozornost. Podobně riziková je i hrana dutiny pro vlnovec klaksonu, kde může dojít k deformaci hrany, která bude navazovat na plochy dalšího dílu v sestavě, kterým je krytka membrány klaksonu. Odpor plnění této hrany je s největší pravděpodobností ovlivněn jak polohou této oblasti vůči vtoku, tak i geometrií zaoblení hrany. V tomto případě je rádius zaoblení pouze 0,3 mm z technologického hlediska plnění formy. Větší rádius by již ovlivnil design a přechod mezi díly už by byl výrazný.

## 10.2 Výsledky analýz

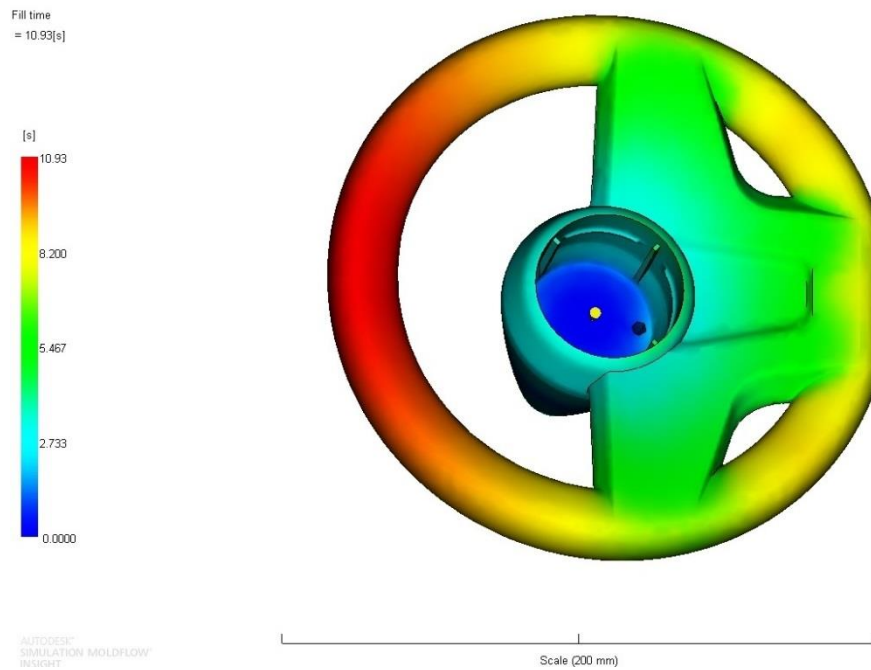
Celá analýza byla nejprve provedena při zadaných standardních hodnotách programu Moldflow, aby bylo možno získat představu o celkovém chování taveniny v nějakých výchozích podmínkách. V dalších krocích pak bylo hledání optimálních parametrů vstřikovacíh podmínek bez změny polohy vtokového ústí a injektoru plynu a jejich poloha odpovídá poloze v návrhu formy. Provedené analýzy byly v této fázi beze změny těchto vstupů, aby nebyly ovlivněny podmínky výpočtu skokově.

Důležitou hodnotou, kterou je potřeba zadat pro výpočet asistovaného plnění plynem v parametrech injektoru, je časová prodleva od začátku nástřiku taveniny po inicializaci injektoru. Tato prodleva je trvale nastavena na hodnotu 1,16 s, ale při optimalizaci procesu byla snížena na 1 sekundu. Nižší hodnoty, kdy byla hodnota prodlevy kratší než 1s, pak měly za následek, proražení čela taveniny proudem stlačeného vzduchu a tím pádem byl tok taveniny zastaven před zaplněním dutiny výstřiku. Vyšší hodnoty prodlevy pak naopak nestačily dotlačit tuhnoucí čelo taveniny v prostoru celé dutiny.

Proces plnění vzduchem přes injektor je pak řízen přes objemový nebo tlakový parametr, kterým je regulován výkon injektoru v průběhu cyklu plnění.

Další hodnoty, které výrazně ovlivňují plnění, se nastavují v procesních podmínkách a jsou to plnicí tlak plynu a teplota taveniny. Z provedených analýz s rozdílnými parametry jsou ve výsledcích a úspěšnost vytvořené dutiny značné rozdíly.

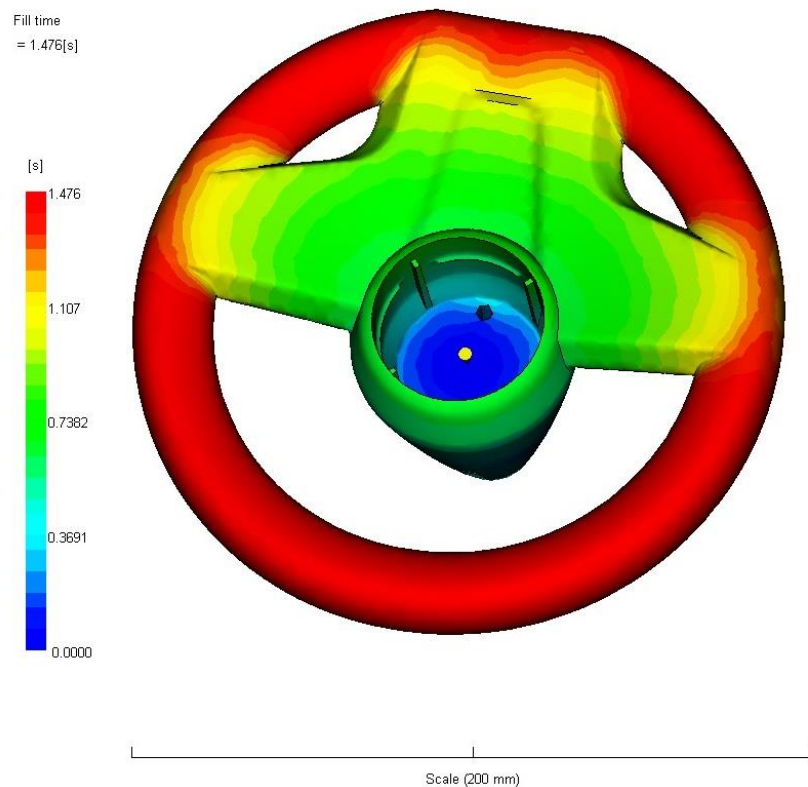
### 10.2.1 Analýza plnění



*Obr. 49. Čas plnění při defaultních podmínkách*

Při standardních podmínkách pro prvotní ověření je ve výsledku dlouhá doba nástřiku, téměř 11 s, jak je vidět z výše uvedeného obrázku, což je patrně způsobeno neúčinným nastavením hodnot tlaku a teploty a tavenina nemá dostatečný tlak a vstřikovací rychlost při plnění dutiny.



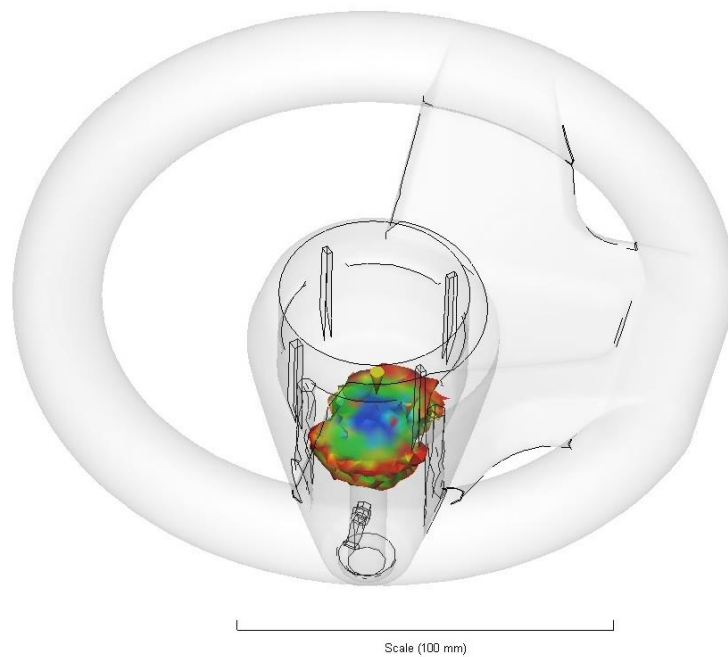


Obr. 50. Čas plnění po optimalizaci procesních podmínek

Optimálním výsledkem pro analýzu GIT je vytvoření co největší dutiny v objemu výstřiku, neporušení taveniny vstřikovaným médiem, krátký čas plnění a úplné zaplnění dutiny. Tyto podmínky se navzájem ovlivňují a je potřeba mezi nimi hledat rovnováhu. Po optimalizaci nastavení se následně podařilo docílit optimálního výsledku, kdy zaplnění dutiny bylo v čase 1,5 s, výsledná hmotnost výstřiku byla 240,5 g. Dutina byla zcela uzavřena a věnec volantu byl naplněn přibližně rovnoměrně.

### 10.2.2 Analýza dutiny vytvořené plynem ve výstřiku

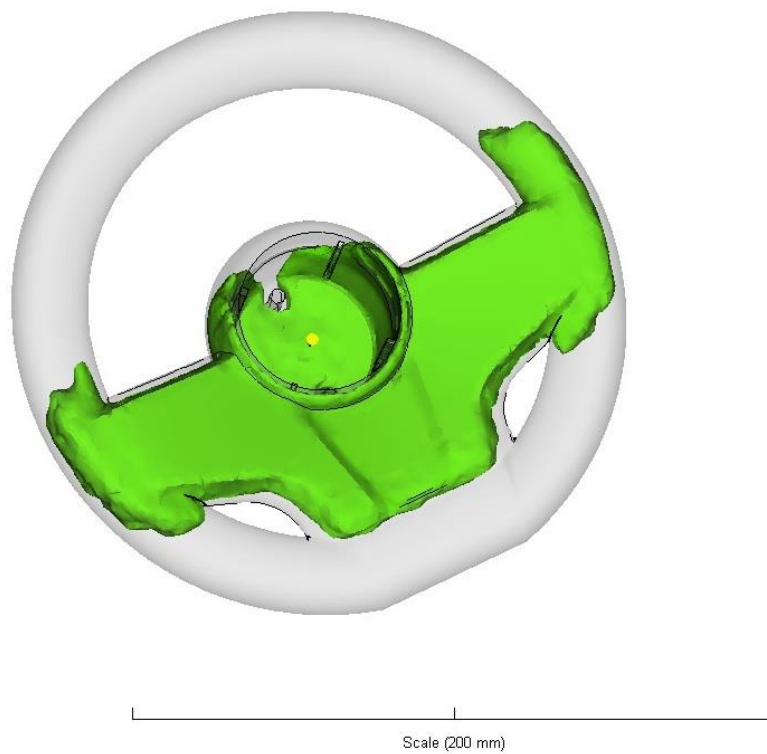
Výsledek této analýzy s automatickým nastavením podmínek ukazuje, že vstupní tlak z injektoru je příliš nízký na to, aby dokázal vytvořit dostatečně velkou dutinu.



*Obr. 51. Dutina vytvořena plynem při prvotním návrhu*

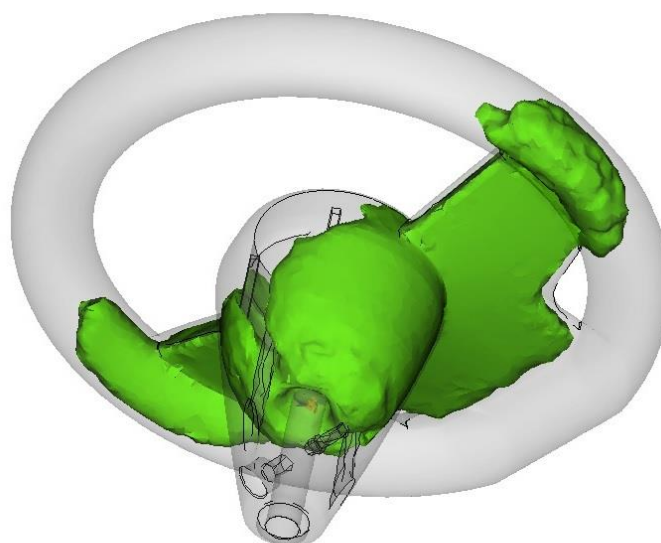
Po vlastním nastavení procesních podmínek se vytvořila větší dutina ve výrobku. Přesto je vidět, že vytvoření dutiny není zcela optimální a především ve věnci je nedostatečné. Pozitivní zde je výsledné rozložení materiálu na konci komolého kužele s dutinou, kde bude uložena tyč řízení. Zde případná masa materiálu zajistí lepší tuhost dílce při zde vyskytujícím se kombinovaném namáhání na ohyb vahou uživatele, na krut od tyče řízení a na tah při zvedání přenášený zajišťovacím šroubem. Nevýhodou nerovnoměrné tloušťky stěny však zůstává větší objemové smrštění v části výstřiku s větším objemem taveniny a tím větší riziko vzniku vad.

Gas core  
Time = 31.43[s]



*Obr. 52. Vytvořená dutina po optimalizaci parametrů*

Gas core  
Time = 31.43[s]

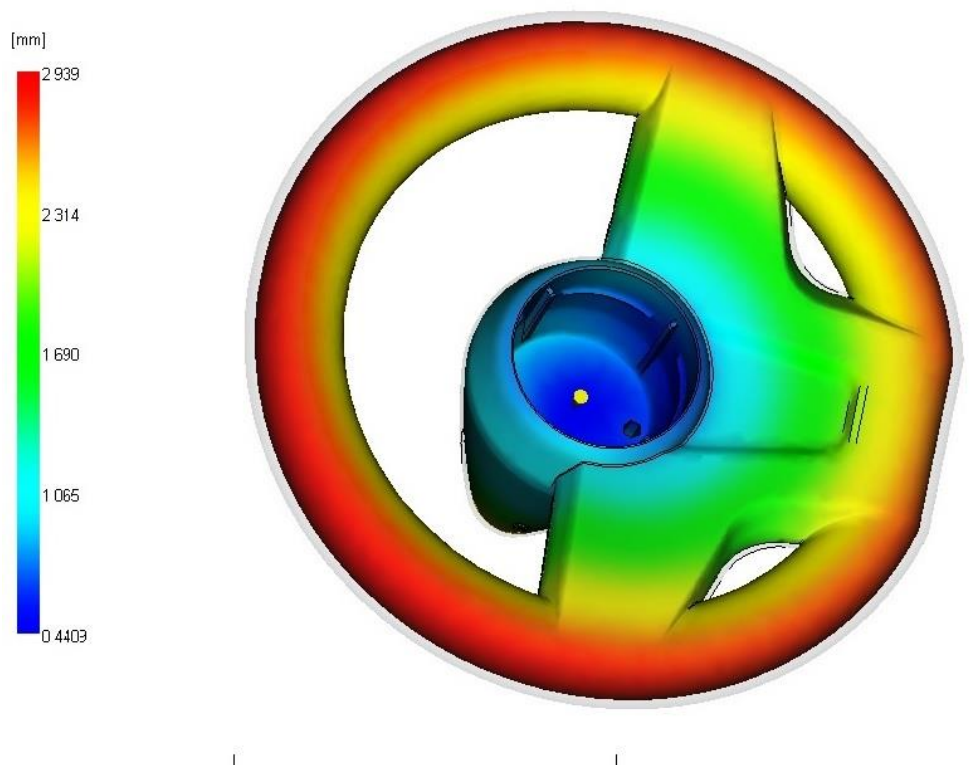


*Obr. 53. Vytvořená dutina po optimalizaci – spodní pohled*

### 10.2.3 Analýza deformací

Analýza deformací – warp, využívá výsledky z předchozích analýz k určení odchylek všech bodů výstřiku od původně definovaného tvaru. Výsledek je celková deformace výstřiku, která je složena z deformace způsobené rozdílným chlazením výstřiku, deformace způsobené rozdílným smrštěním jednotlivých částí výstřiku, dále z deformace způsobené orientací vláken a deformace v rozích výstřiku. Tyto výsledky je možné posuzovat samostatně.

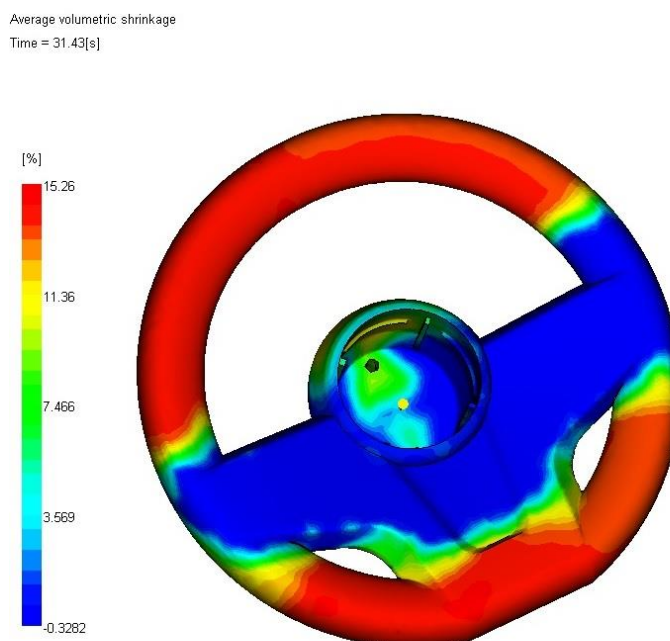
Deflect on, all effects: Deflection  
Scale Factor = 1.000



Obr. 54. Deformace výstřiku

Pro hodnocení analýzy volantu pomocí GIT modulu má vypovídající hodnotu pouze výsledek analýzy deformace způsobené rozdílným smrštěním. Tato analýza posuzuje vliv smrštění materiálu na celkovou deformaci. Tyto deformace jsou spojené převážně s geometrií výstřiku a procesními podmínkami vstřikování. Deformace ovlivňují především rozdílné tloušťky stěn a místa s velkým objemem materiálu. Výsledné tloušťky stěn

jsou závislé na kvalitě vytvořené dutiny pomocí plynu, což je ovlivněno především tvarem výstřiku.



Obr. 55. Deformace způsobené smrštěním výstřiku

### 10.3 Změna umístění vtokového ústí

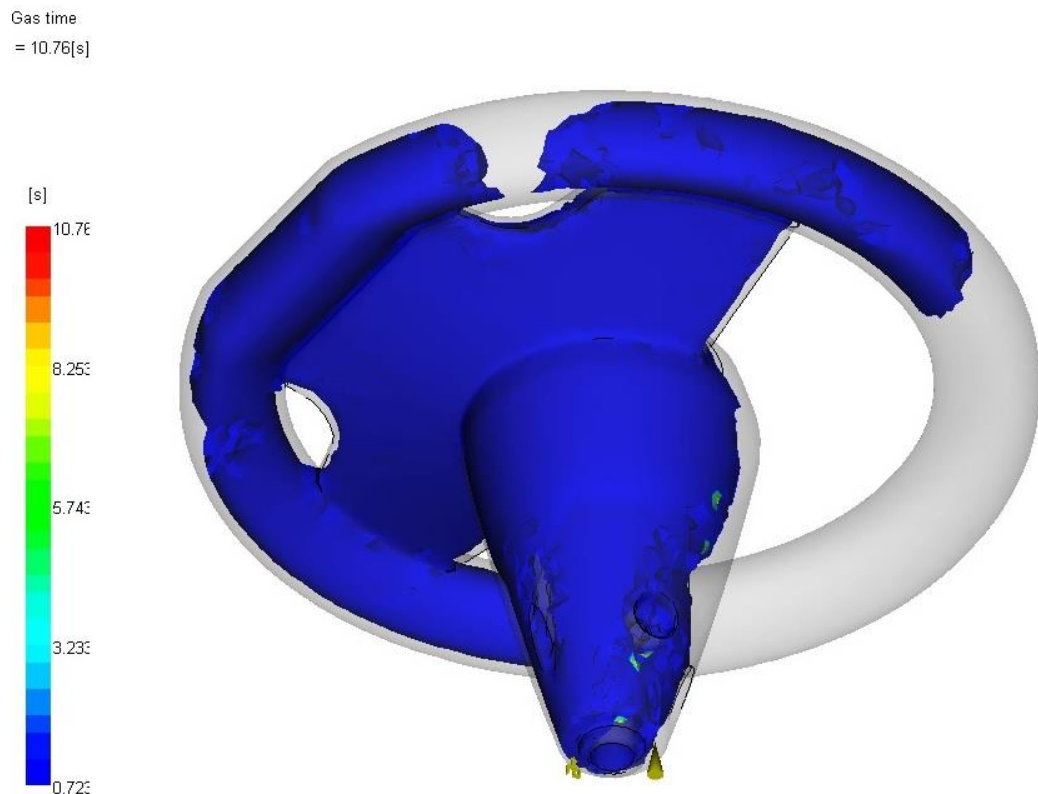
Na základě výsledků předchozích analýz, kdy bylo plnění řízeno pouze procesními podmínkami, byly následně řešeny analýzy, u kterých se hledalo optimální místo injektoru popřípadě vtokového ústí.

V první fázi bylo zkoušeno několik variant umístění injektoru, se snahou ho umístit co nejbližší k věnci volantu, aby bylo dosaženo efektu s odlehčeným věncem, ale zároveň, aby případný plný materiál zvýšil pevnost kuželové části. Tato varianta ovšem nebyla vhodná, jelikož místo injektoru bylo příliš daleko od vtokového ústí a plnicí plyn nestačil na potřebné vytvarování dutiny. Zároveň se musela zvýšit hodnota prodlevy, jelikož plyn byl naopak blízko čelu taveniny a hrozilo by otevření dutiny před dokončením nástřiku.

Z předchozích analýz bylo odvozeno, že místo vtoku bylo zvoleno správně, ale že zřejmě směr plnicího plynu nebyl vhodně stanoven, proto vyzkoušena i varianta s injektorem orientovaným ve směru vtokového ústí. Ani tato varianta však nebyla vhodná, jelikož

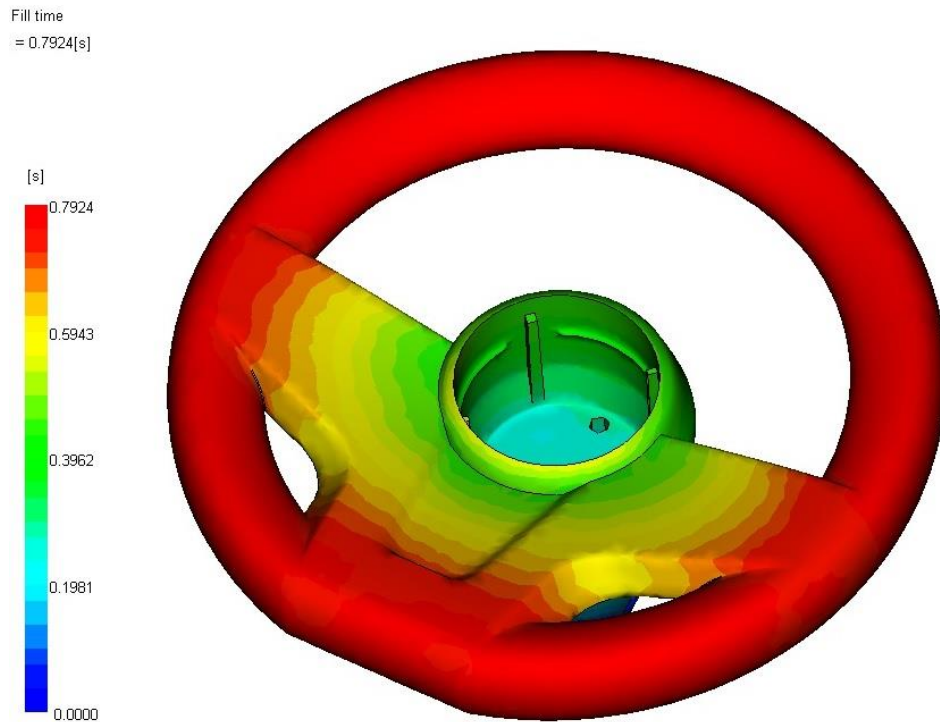
ve výsledném efektu by příliš zeslabila výrobek v oblasti uchycení s tyčí řízení a naopak věnec volantu zůstal zcela neodlehčený.

Na základě předchozích výsledků by bylo vhodné umístit vtokové ústí i injektor v pozici, aby počáteční směr plnění taveninou a směr plnění plynem byly shodně orientovány.



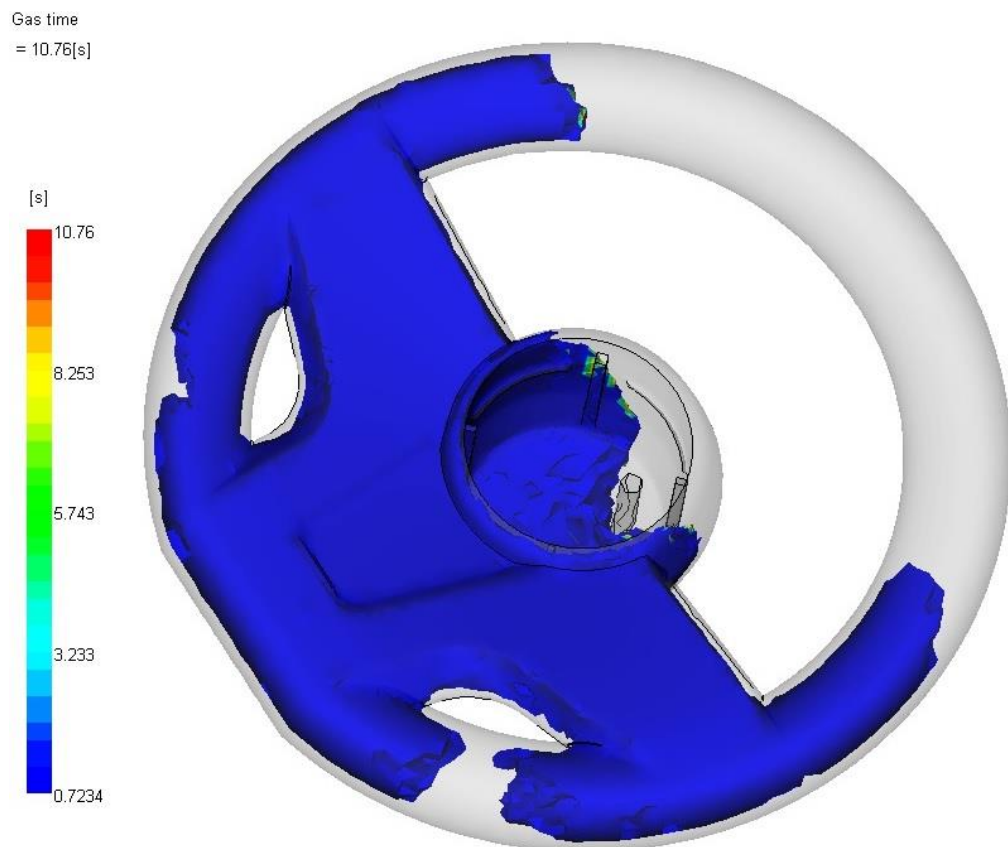
Obr. 46. Výsledná dutina vytvořena při stejné orientaci vstupů

Toto řešení mělo ve výsledku velmi krátkou dobu plnění a nejvíce odlehčenou oblast věnce volantu.



*Obr. 57. Čas plnění při stejné orientaci vstupů*

Bohužel by se jednalo o rozdílné konstrukční řešení oproti aktuální koncepci formy a v praxi by bylo obtížné tohle řešení realizovat. Aktuální koncepce vychází z umístění vtokového ústí na vstříkovací straně formy a z pozice injektoru na pohyblivé straně. Obě ústí jsou soustředné a opačně orientované. Konstrukční řešení, pro shodně orientované vtokové ústí a injektor a při současné orientaci výstřiku ve formě, by vyžadovalo delší trysku horkého vtoku vedenou mimo výrobek do další dělicí roviny a nástřík dutiny by musel být realizován studeným rozvodem a potřeby odformování včetně vtokového zbytku.



*Obr. 58. Dutina vytvořena při stejné orientaci vstupů*

Jinou možností by bylo otočit výrobek dle vertikální osy stroje, ale velikost plochy na komolém kuželi je příliš malá na kombinované umístění horkého vtoku a injektoru. V tomto případě by se muselo použít vstříkovací jednotku, která bude mít uzavíratelnou trysku a zakomponovaný přívod plnicího plynu, jakou má v nabídce například firma Arburg.

Z ekonomických a technologických důvodů se bude pokračovat v optimalizaci původního návrhu formy.



## DISKUSE VÝSLEDKŮ

Cílem této práce bylo řešení návrhu výroby dílu, který je v sestavě produktu určeného pro děti. Tímto výrobkem je dětské vozidlo. Tato práce se týká výlučně tohoto konkrétního dílu. Jeho řešení bylo rozděleno na etapy, které se týkaly konstrukce dílu, konstrukce nástroje pro jeho výrobu a ověření této konstrukce pomocí tokových analýz.

Pro fázi vývoje a konstrukce dílce byly definovány vstupy od zákazníka formou designového návrhu a zadávacích podmínek na vývoj a výrobu dílu, jejichž součástí jsou i požadavky na výrobek. Díl byl řešen v kontextu celé sestavy vozidla, a proto mnohé požadavky na tento díl byly odvozeny od požadavků na celkový komplet. Dalším vstupem byl návrh výroby dílu zohledňující ekonomickou a výrobně-technologickou stránku projektu, který byl definován výrobcem dílu.

Zadávací podmínky na vývoj dílu specifikovaly požadavky na design a užité vlastnosti dílu, mechanické vlastnosti dílu, funkci a bezpečnost výrobku. Ze strany výrobce byl určen materiál, z něhož bude díl vyroben, technologie výroby a byly určeny výrobní prostředky výrobce. Bylo rozhodnuto o potřebě výroby tohoto dílu jako kompaktního výrobku, přestože byla nejprve předpokládána montáž dílu ze dvou částí. Vzhledem k předpokládanému tvaru a tlustostěnnému charakteru výrobku, byla zvolena technologie s asistovaným plněním dutiny formy (GIT).

Prvotní návrh dílu vycházel z designové studie a z geometrie od zákazníka. Rozsah konstrukčních změn byl zaměřen především na funkční vlastnosti dílu a jeho zabudování v sestavě. Proto bylo nejdříve řešeno uchycení a montáž dílu, jeho zajištění a zástavbové otvory pro mechanické prvky. Mezi tyto prvky patří tyč řízení, vlnovec klaksonu a krytka otvoru pro vlnovec. V této fázi konstrukce byla zároveň zohledněna technologie pro výrobu pomocí technologie GIT. Vyrobitelnost finálního tvaru byla ověřena výrobcem a výsledný návrh byl schválen zákazníkem, včetně potřebných technologických změn zasahujících do vzhledových ploch dílu.

Konstrukce nástroje byla rozfázována na tvorbu koncepce formy, dle určeného stroje a technologie výroby, její ověření pomocí tokových analýz. Na základě těchto výsledků by byla konstrukce optimalizována s využitím dosavadních zkušeností výrobce s technologií GIT nebo by došlo k celkové změně koncepce.

Výsledky tokové analýzy ukázaly, že prvotně zvolená koncepce vycházející z praktických zkušeností výrobce obsahuje oblasti zvýšených rizik. Lepšího výsledku a snížení předchozích rizik by dosáhla změna koncepce formy, jak naznačují výsledky po změně pozice vtokového ústí a vstupu plynu. Realizace této změny by vyžadovala investici do výrobního zařízení nebo do úpravy či dovybavení stávajícího vstřikovacího stroje.

Vzhledem k problematice technologie asistovaného vstřikování plynem a na základě konzultace s výrobcem dílu, zůstane koncepce forma zachována. Kritická místa formy budou optimalizována na základě praktických zkušeností výrobce s touto technologií plnění dutiny plynem, které se nepodařilo pomocí analýz vyřešit.

Výsledky tokové analýzy v této fázi konstrukce mají velkou vypovídající schopnost o zvolené technologii a vytvářejí zpětnou vazbu na koncepci nástroje v předvýrobní fázi, nyní konkrétně ve fázi konstrukce.

## ZÁVĚR

Praktická část diplomové práce byla zaměřena na návrh výrobku a formy pro výrobu tohoto dílu vstřikováním za pomoci asistovaného plnění plynem (GIT). Návrh formy byl ověřen pomocí analýzy plnění v programu Moldflow. Cílem bylo najít vhodné řešení konstrukce formy a získat optimálně odlehčený dutý výrobek.

Výsledky analýz sice ukázaly možnost vhodnějšího umístění vtokového ústí a injektoru, nicméně z důvodu značně komplikovaného řešení takové formy bude z praktického hlediska vhodnější dopracování aktuálního koncepčního řešení formy a nalezení optimálních výrobních parametrů pomocí praktických zkoušek.

S ohledem na složitost procesu asistovaného vstřikování za pomoci plynu a citlivost tohoto procesu na vstupní parametry jsou výsledky této diplomové práce pouze dílčím ověřením zvolené technologie. Úspěšné zvládnutí této problematiky bude ještě z mé strany vyžadovat větší a intenzivnější získávání teoretických a praktických zkušeností.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] Stoklasa, K.: Makromolekulární chemie I. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Zlín 2005.
- [2] Ducháček, V.: Přírodní a syntetické kaučuky, Termoplastické elastomery. Česká společnost průmyslové chemie, místní pobočka Gumárenská skupina Zlín, Zlín 2006.
- [3] Ducháček, V.: Polymery – výroba, vlastnosti, zpracování, použití. VŠCHT v Praze, Praha 2006.
- [4] Řehulka, Z.: Základní a technické polymery, Praha: Sekurkon s.r.o., Praha 2006.
- [5] Bobčík, L.a kol.: Formy pro zpracování plastů-I. díl – Vstřikování termoplastů. Uniplast Brno, 1999.
- [6] Tomis, F.; Helštýn, J.: Formy a přípravky. SNTL. Praha, 1985.
- [7] Engel [online]. c2007 [cit. 2012-12-21]. Engel Weltweit. Dostupné z WWW: < [http://www.engelglobal.com/engel\\_web/global/de/index.htm](http://www.engelglobal.com/engel_web/global/de/index.htm)>.
- [8] Dvořák, Z.; Lédlová, H.: Základy výrobních procesů - Výrobní technologie zpracování polymeru vstřikováním. Fakulta technologická UTB ve Zlíně. Zlín, 2007.
- [9] Hasco [online]. c2010 [cit. 2014-02-21]. Hasco.com. Dostupné z WWW: < <http://www.hasco.com/>>.
- [10] Zeman, L.: Vstřikování plastů. BEN - Technická literatura Praha, 2009.
- [11] Maňas, M.; Staněk, M.; Maňas, D.: Je zatékavost polymerní taveniny ovlivněna drsností?. Gumárenské listy č. 4. Gumárenská skupina. Zlín, 2008.
- [12] Husky [online]. c2012 [cit. 2014-01-20]. Hot Runners and Manifold Systems. Dostupné z WWW: < <http://www.husky.co/newdynamic.aspx?id=29>>.
- [13] Mold Masters [online]. c2011 [cit. 2013-12-14]. Mold Masters – Global Hot Runner Technology. Dostupné z WWW: < <http://www.moldmasters.com/index.php?s=support&o=catalog&catid=1>>.
- [14] Bobčík, L.a kol.: Formy pro zpracování plastů II. díl – Vstřikování termoplastů. Uniplast Brno, 1999.
- [15] Řehulka, Z.: Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů. Praha: Sekurkon s.r.o., Praha 2006. ISBN: 80-8664-28-4.

- [16] Autodesk Moldflow Insight 2014[online]. c2014 [cit. 2014-03-28]. Dostupné z WWW: < mk:@MSITStore:I:\Analyzy\HELP%20AMI\ami\_master.chm::/html/ac.cmtdialog.htm>.
- [17] Herzog [online]. c2010 [cit. 2014-03-20]. Dostupné z WWW: < http://www.chinaplasonline.com/ExhibitorDB13/lang-eng/cid-203077/src-33/ExhibitorInfo.aspx>.
- [18] Gas-assisted injection molding [online]. c2014 [cit. 2014-04-20]. Gas-assisted proces. Dostupné z WWW: < http://www.dc.engr.scu.edu/cmdoc/dg\_doc/develop/process/molding/b2300001.htm>.
- [19] Javořík, J.; Maňas, M.: Určení tvarové stability pryžové manžety. Plasty a kaučuk č. 3-4. Fakulta technologická UTB ve Zlíně. Zlín, 2011.
- [20] MSC Software Corporation [online]. c2012 [cit. 2014-02-18]. MSC Software Corporation – Simulating Reality, Delivering Certainty. Dostupné z WWW: < http://www.mscsoftware.com/>.
- [21] Ondřej, J.: CAE-Vyhodnocení návrhu vstřikovacího procesu, Seminární práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Zlín, 2011.
- [22] Ondřej, J.: Konstrukce pryžového dílce včetně nástroje, Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Zlín, 2010.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

2.5D	Dual domain mesh.
3D	3 dimensions.
CAD	Computed aided design.
CAE	Computed aided engineering.
CO <sub>2</sub>	Oxid uhličitý.
COC	Cycloolefin copolymer.
C	Význam třetí zkratky.
E	Modul pružnosti.
EVAC	Etylen vinylacetát.
FEM	finite element method.
GIT	Gas Innendruck Technik.
HCPP	Vysoce krystalický polypropylen.
HDPE	Vysokohustotní polyetylen.
ITT	Index toku taveniny.
LDPE	Nízkohustotní polyetylen.
PE	Polyetylen.
PP	Polypropylen.
PS	Polystyren.
T <sub>f</sub>	Teplota viskózního toku .
T <sub>g</sub>	Teplota skelného přechodu.
T <sub>m</sub>	Teplota tání.
VVS	Vytápěný vtokový systém.
C	Význam třetí zkratky.

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Schéma klasifikace termoplastických polymerů</i> .....	14
<i>Obr. 2. Vstřikovací cyklus pro termoplasty</i> .....	18
<i>Obr. 3. Vstřikovací stroj [7]</i> .....	19
<i>Obr. 4. Uzavírací jednotka vstřikovacího stroje [7]</i> .....	20
<i>Obr. 5. Schéma klasifikace termoplastických polymerů</i> .....	21
<i>Obr. 6. Forma konstruována s využitím normálií firmy Hasco [9]</i> .....	23
<i>Obr. 7. Tok polymerní taveniny kruhovým kanálem [11]</i> .....	25
<i>Obr. 8. Tvar rozvodného bloku vtokové soustavy [15]</i> .....	27
<i>Obr. 9. Schéma vyhřívané vtokové soustavy [15]</i> .....	27
<i>Obr. 10. Příklad ústí trysek VVS s hrotem a s jehlou [13]</i> .....	28
<i>Obr. 11. Temperační kanály při změně tloušťky stěny</i> .....	29
<i>Obr. 12. Příklad vyhadzovacích kolíků [14]</i> .....	32
<i>Obr. 13. Fáze vstřikování plynu [16]</i> .....	34
<i>Obr. 14. Schéma vstřikování plynu [16]</i> .....	34
<i>Obr. 15. Příklad trysky vstřikovací jednotky pro vstřikování plynu [17]</i> .....	34
<i>Obr. 16. Schéma plnění plynem a zastříknutím plnicího otvoru [15]</i> .....	35
<i>Obr. 17. Schéma plnění plynem přes injektor do vtokového kanálu [15]</i> .....	35
<i>Obr. 18. Schéma plnění plynem přes injektor do výstřiku [15]</i> .....	36
<i>Obr. 19. Schéma plnění plynem a se zpětným odběrem taveniny [15]</i> .....	37
<i>Obr. 20. Schéma plnění plynem a s přepouštěním taveniny do vedlejší dutiny [15]</i> .....	37
<i>Obr. 21. Schéma plnění plynem a s vytvořením dutiny odjetím jádra [15]</i> .....	38
<i>Obr. 22. Schéma GIT s přívodem plynu injektorem přes vstřikovací jednotku [18]</i> .....	38
<i>Obr. 23. Tlakový profil při vstřikování za asistence plynu [16]</i> .....	39
<i>Obr. 24. Příklad kanálů vytvořených pomocí GIT [16]</i> .....	39
<i>Obr. 25. Vizualizace napětí při deformaci konstrukčního prvku [20]</i> .....	43
<i>Obr. 26. Síť vytvořena z 3D elementů [20]</i> .....	44
<i>Obr. 27. Příklad analýzy plnění – doba plnění [21]</i> .....	45
<i>Obr. 28. Rozpad podsestavy volantu</i> .....	51
<i>Obr. 29. CAD model podsestavy konečného dílu</i> .....	52
<i>Obr. 30. CAD model výrobku horní pohled</i> .....	53
<i>Obr. 31. CAD model výrobku spodní pohled</i> .....	54
<i>Obr. 32. Řez dílu v podsestavě volantu</i> .....	55

<i>Obr. 33. Řez sestavou volantu .....</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 34. Podobný díl řešený pomocí montáže ze dvou dílů .....</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 35. Řez dílcem .....</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 36. Zdvih krytky .....</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 37. Původně zamýšlené řešení vedení krytky .....</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 38. Zahloubení pro zajišťovací šroub .....</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 39. Vstřikovací stroj firmy Krauss-Maffei KM 250/300 C .....</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 40. Stanovení dělicích rovin a směru odformování .....</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 41. Navržená forma v zavřeném stavu .....</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 42. Pevná část formy .....</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 43. Pohyblivá část formy .....</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 44. Tvarové vložky pohyblivé a pevné části formy .....</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 45. Použitá uzavíratelná tryska VVS .....</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 46. Vyhazovací systém formy .....</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 47. Výsledky Gating suitability jako horní a spodní pohled do dělicí roviny .....</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 48. Výsledky Flow resistance indicator .....</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 49. Čas plnění při defaultních podmínkách .....</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 50. Čas plnění po optimalizaci procesních podmínek .....</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 51. Dutina vytvořena plynem při prvotním návrhu .....</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 52. Vytvořená dutina po optimalizaci parametrů .....</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 53. Vytvořená dutina po optimalizaci – spodní pohled .....</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 54. Deformace výstřiku .....</i>	<i>76</i>
<i>Obr. 55. Deformace způsobené smrštěním výstřiku .....</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 56. Výsledná dutina vytvořena při stejné orientaci vstupů .....</i>	<i>78</i>
<i>Obr. 57. Čas plnění při stejné orientaci vstupů .....</i>	<i>79</i>
<i>Obr. 58. Dutina vytvořena při stejné orientaci vstupů .....</i>	<i>80</i>



## **SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha P I: Parametry vstřikovacího stroje

Příloha P II: Schéma určeného vstřikovacího stroje

Příloha P III: Disk DVD

# PŘÍLOHA P I: PARAMETRY VSTŘIKOVACÍHO STROJE

## C | KM 250/300

- 1000  
- 1400  
- 1900

### vstřikovací stroj uzavírací jednotka

		KM 250/300 C
uzavírací síla <sup>1)</sup>	kN	2500/3000
otevírací síla	kN	160
síla pojezdu pohyblivé desky		
při otevření	kN	86
při uzavření	kN	68
upínací deska (horizont. x vertik.)	mm	995 x 1050
vzdálenost mezi sloupky (horizont. x vertik.)	mm	630 x 630
dráha otevření lis. nástroje	mm	820
výška nástroje min.	mm	330
max. rozestup desek	mm	1150
zdvih vyhazovače	mm	200
síla vyhazovače vpřed/vzad	kN	58/28

### vstřikovací jednotka

		SP 1000			SP 1400			SP 1900		
		1000			1400			1900		
výkon <sup>2)</sup>										
průměr šneku	mm	50	55	60	55	60	70	60	70	75
poměr L/D šneku		22	20	18	23	21	18	23	20	19
vstřikovací tlak	bar	2304	1904	1600	2380	2000	1469	2420	1778	1549
zdvihový objem	cm <sup>3</sup>	432	523	622	570	679	924	769	1047	1202
hmotnost výlisku PS	g	393	476	566	519	618	841	700	953	1094
proud vstřiku	cm <sup>3</sup> /s	353	428	509	273	325	443	294	400	459
otáčky šneku standardní/volitelné <sup>6)</sup>	1/min	368/453			259/368			218/306		
od SP 5000 stupeň 1/ stupeň 2	1/min									
plastifikační proud <sup>3)</sup> při max.										
při standardních otáčkách šneku nebo při stupni 1, PS	g/s	54	65	78	49	58	80	55	75	86
při volitelných otáčkách šneku nebo při stupni 2, PS	g/s	66	80	96	70	83	113	78	105	121
síla přítlaku trysky	kN	82			82			82		

### elektro-hydraulické vybavení

jmenovitý příkon motoru čerpadla	kW	45	45	55
instal. příkon topení	kW	19	19	30
počet regul. topných zón válce		5	5	6
chod naprázno <sup>4)</sup>	1/h	1350/1300	1400/1350	1450/1350
olejová náplň	ltr.	720	720	720

### rozměry a hmotnost

hmotnost netto	t	12.5	12.5	14.2
délka x šířka x výška	m	5.97 x 2.04 x 2.36	5.97 x 2.04 x 2.36	6.21 x 2.04 x 2.38
max. hmotnost nástroje	kg	3430	3430	3430

### vybavení C 2

proud vstřiku	cm <sup>3</sup> /s	353	428	509	353	428	509	294	400	459
otáčky šneku standardní/volitelné	1/min	368/453			368/453			218/306		
plastifikační proud <sup>3)</sup> pro PS při:										
otáčkách šneku standard	g/s	54	65	78	54	65	78	55	75	86
otáčkách šneku volitelných	g/s	66	80	96	66	80	96	78	105	121
jmenovitý příkon motoru čerpadla	kW	45			45			55		

### vybavení C 2 s akumulátorem

proud vstřiku s akumulátorem	cm <sup>3</sup> /s	589	713	848	589	713	848	848	1155	1325
otáčky šneku standardní/volitelné	1/min	368/453			368/453			218/306		
plastifikační proud <sup>3)</sup> při max.										
otáčkách šneku standard, PS	g/s	54	65	78	54	65	78	55	75	86
otáčkách šneku volitelných, PS	g/s	66	80	96	66	80	96	78	105	121
jmenovitý příkon motoru čerpadla	kW	45			45			55		

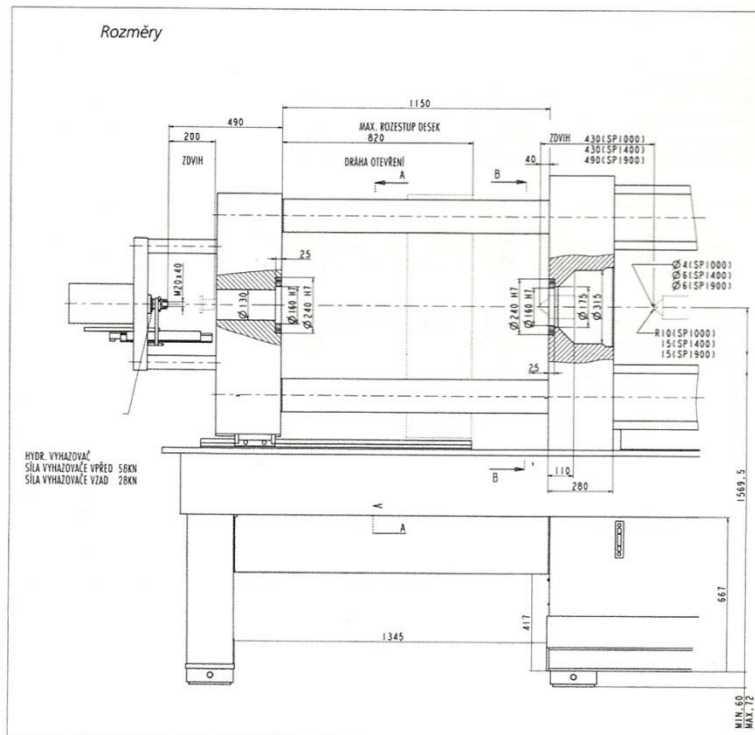
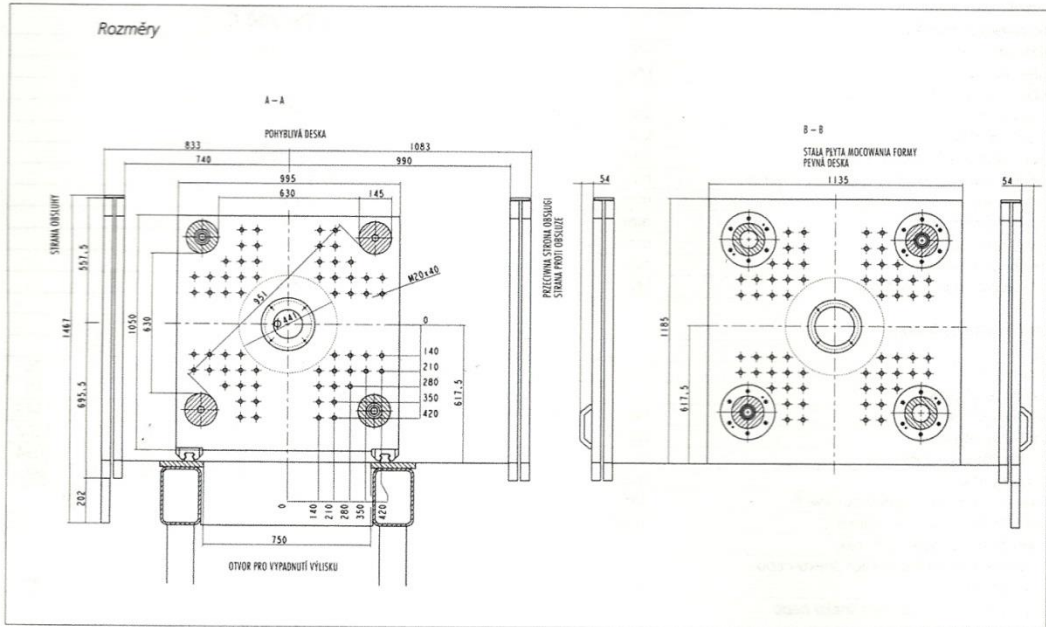
### elektrický pohon šneku

#### dodatečné vybavení

příkon motoru pohonu šneku <sup>5)</sup>	kW	35	45	55						
otáčky šneku jmen. / max.	1/min	256/410	256/410	160/255						
plastifikační proud <sup>3)</sup>										
otáčky šneku jmenovité, PS	g/s	38	45	54	38	45	54	41	55	63
otáčky šneku max., PS	g/s	60	73	87	60	73	87	65	88	101

# PŘÍLOHA P II: SCHÉMA URČENÉHO VSTŘIKOVACÍHO STROJE

**C KM 250/300** – 1000  
– 1400  
– 1900



- 1)  $1 \text{ kN} \hat{=} 0,1 \text{ Mp}$
- 2) Mezinárodní označení velikosti se vypočítá jako max. zdvihový objem ( $\text{cm}^3$ ) x max. vstřík. tlak (bar) děleno 1000.
- 3) Vypočteno dle EUROMAP 5 jako hmotnost vstříku děleno dobou plastifikace.  
Plastifikační proud je vztažen k maximálním otáčkám standardního šneku KM.
- 4) Dle EUROMAP 6 (cykly za hodinu)
- 5) Zvýšený příkon pohonu na poptávku
- 6) Přídavná zařízení