

# NÁVRH TVAROVÝCH ČÁSTÍ VSTŘIKOVACÍ FORMY

Bc. LUBOŠ ROKYTA

---

Diplomová práce  
2007



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2006/2007

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Luboš ROKYTA**  
Studijní program: **N 3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**  
  
Téma práce: **Návrh tvarových částí vstříkovací formy**

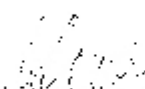
Zásady pro vypracování:

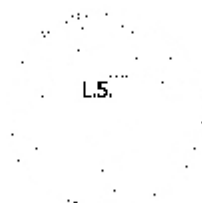
- 1) Vypracujte literární studii na dané téma
- 2) Nakreslete model plastového dílu ve 3D
- 3) Nakreslete tvarové části formy
- 4) Navrhněte vhodné úpravy stávajících tvarových částí
- 5) Proveďte tokové analýzy v programu Moldflow

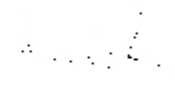
**Rozsah práce:**  
**Rozsah příloh:**  
**Forma zpracování diplomové práce:** tištěná/elektronická  
**Seznam odborné literatury:**  
**dle zadání vedoucího DP**

**Vedoucí diplomové práce:** Ing. Michal Staněk, Ph.D.  
Ústav výrobního inženýrství  
**Datum zadání diplomové práce:** 13. února 2007  
**Termín odevzdání diplomové práce:** 25. května 2007

Ve Zlíně dne 22. ledna 2007

  
prof. Ing. Ignác Hoza, CSc.  
*Hoza*



  
doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.  
*Maňas*

## **ABSTRAKT**

Úkolem mé práce bylo zpracovat teorii vstřikování polymerních materiálů. V části praktické se jednalo o úpravu vtokového systému již hotového dílu, jímž bylo držadlo plochého štětce. Tento díl vykazoval určité vady. Mým úkolem bylo odstranění těchto vad. V průběhu práce byly navrženy nové varianty vtokového systému a ty podrobeny analýze v simulačním programu Moldflow Plastics Insight. Dle výsledku byla vybrána nová varianta a následně provedeny úpravy tvarových částí vstřikovací formy. Zde byl využit program Catia.

Klíčová slova: vstřikování, analýza, polymer

## **ABSTRACT**

The aim of this research was to analyse the theory of injecting polymer materials. In the practical part I dealt with modifying of injecting system of ready-made made part which was the handle of flat brush. This system showed some defect. My task dealt with removing these defects. During my research there were some new ways of injecting system suggested and these were closely analysed in simulating programme Moldflow Plastics Insight. According to the results there was a new way of injecting chosen and then some modifications of shape parts of injection form were done. Programme Catia was used in this case.

Keywords: injection, analyse, polymer

## Poděkování, motto

Děkuji svému vedoucímu diplomové práce, Ing. Michalu Staňkovi, Ph.D., za odborné vedení při zpracovávání této práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Františku Nováčkovi, vedoucímu konstrukce firmy Spojené kartáčovny, za cenné připomínky v průběhu práce.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>10</b>
<b>1 VSTŘIKOVÁNÍ</b> .....	<b>11</b>
1.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS .....	11
1.2 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	12
1.3 VSTŘIKOVANÉ MATERIÁLY .....	12
1.3.1 Reaktoplasty.....	13
1.3.2 Termoplasty.....	13
<b>2 KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÝCH DÍLŮ</b> .....	<b>15</b>
2.1 ZAFORMOVÁNÍ VÝSTŘIKU .....	15
2.2 SMRŠTĚNÍ VÝSTŘIKU .....	16
2.3 VTOKOVÉ SOUSTAVY .....	17
2.3.1 Studené vtokové systémy.....	17
Plný kuželový vtok .....	17
Bodový vtok.....	18
Tunelový vtok .....	18
Boční vtok.....	19
Filmový vtok .....	20
2.3.2 Horké vtokové systémy .....	20
Vyhřívané trysky.....	22
<b>3 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY</b> .....	<b>24</b>
3.1 POSTUP PŘI KONSTRUKCI VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	24
3.2 VOLBA NÁSOBNOSTI FORMY.....	25
3.3 TEMPERACE FORMY .....	25
3.4 ODVZDUŠNĚNÍ FORMY .....	26
3.5 VYHAZOVÁNÍ VÝSTŘIKŮ .....	27
3.5.1 Vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků .....	27
3.5.2 Vyhazování pomocí šikmých vyhazovačů.....	28
3.5.3 Vyhazování stírací deskou.....	28
3.5.4 Dvoustupňové vyhazování .....	29
3.5.5 Vzduchové vyhazování .....	30
3.5.6 Hydraulické vyhazování.....	30
3.6 VYHAZOVÁNÍ VTOKOVÉHO ZBYTKU .....	31
3.7 MATERIÁLY FOREM.....	31
3.8 POUŽITÝ SOFTWARE.....	32
3.8.1 Moldflow Plastics Insight.....	32
3.8.2 Catia V5.....	33
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>34</b>

<b>4</b>	<b>STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE.....</b>	<b>35</b>
<b>5</b>	<b>VÝROBEK.....</b>	<b>36</b>
<b>6</b>	<b>MATERIÁL DRŽADLA .....</b>	<b>38</b>
6.1	VLASTNOSTI MATERIÁLU PP MOSTEN.....	38
6.2	ALTERNATIVNÍ MATERIÁL .....	38
<b>7</b>	<b>VSTŘIKOVACÍ FORMA .....</b>	<b>40</b>
7.1	ZAFORMOVÁNÍ DÍLU .....	41
7.2	VYHAZOVÁNÍ VÝSTŘIKU .....	42
7.3	TVAROVÉ ČÁSTI.....	43
7.3.1	Tvárníky.....	44
7.3.2	Tvárnice .....	44
7.3.3	Vtoková vložka .....	45
7.3.4	Vložky přidržovačů vtoku.....	45
7.3.5	Chlazení.....	45
<b>8</b>	<b>VSTŘIKOVACÍ STROJ .....</b>	<b>47</b>
<b>9</b>	<b>NÁVRH NOVÝCH VARIANT VTOKOVÉHO SYSTÉMU .....</b>	<b>48</b>
9.1	ANALÝZA VÝBĚRU NEJVHODNĚJŠÍHO MÍSTA VTOKU .....	48
9.2	VARIANTY VTOKOVÉHO SYSTÉMU .....	49
9.2.1	Varianta původní .....	49
9.2.2	Varianta 0.....	50
9.2.3	Varianta 1.....	53
9.2.4	Varianta 2.....	56
9.2.5	Varianta 3.....	59
9.2.6	Varianta 4.....	61
9.2.7	Varianta 5.....	63
9.3	SROVNÁNÍ VARIANT.....	65
9.4	ÚPRAVA A HODNOCENÍ VYBRANÝCH VARIANT.....	66
9.4.1	Úprava varianty 1 .....	66
9.4.2	Další výsledky analýzy plnění varianty 1 .....	69
	Vzduchové kapsy (Air traps).....	69
	Studené spoje (Weld lines).....	70
	Uzavírací síla (Clamp force).....	71
	Tlak při přepnutí V/P (Pressure at V/P switchover).....	71
	Teplota čela taveniny (Temperature at flow front).....	72
9.4.3	Úprava varianty 4 .....	73
9.4.4	Další výsledky analýzy plnění varianty 4 .....	76
	Vzduchové kapsy (Air traps).....	76
	Studené spoje (Weld lines).....	76
	Uzavírací síla (Clamp force).....	77
	Tlak při přepnutí V/P (Pressure at V/P switchover).....	77
	Teplota čela taveniny (Temperature at flow front).....	78

9.5	POROVNÁNÍ NOVÝCH VARIANT S PŮVODNÍM VTOKOVÝM SYSTÉMEM .....	78
<b>10</b>	<b>TECHNOLOGICKÉ PODMÍNKY.....</b>	<b>81</b>
<b>11</b>	<b>ÚPRAVA TVAROVÝCH ČÁSTÍ FORMY .....</b>	<b>82</b>
	<b>DISKUSE VÝSLEDKŮ .....</b>	<b>83</b>
	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>86</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>87</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>88</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>91</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>92</b>



## ÚVOD

V dějinách vývoje Země je několik významných období. Je to například doba ledová, doba kamenná nebo bronzová. Název každého z těchto období vznikl z typu materiálu, který v této době převládal. A tak jako dříve převládal kámen, led nebo bronz, tak by se současnost klidně mohla uvádět jako doba plastová. Procento využití polymerních materiálů opravdu neustále stoupá. Věci, které bychom si dříve jen těžko představili z polymerních materiálů, se nyní běžně vyrábí a v mnoha ohledech původní materiály převyšují. Těžko bychom si dříve představili, jak velké množství dílů na autě nebude z oceli. Také velká řada konstrukčních prvků, které jsou značně zatěžovány, se z těchto materiálů vyrábí. Nezbytnou podmínkou pro správnou funkci těchto dílů je správná výroba. V současné době je nejrozšířenějším způsobem zpracování plastů, zejména pak termoplastů tzv. vstřikování. Jeho princip je v podstatě velmi jednoduchý a dal by se s nadsázkou přirovnat k výrobě báboviček na písku. Ve skutečnosti se jedná o složitý postup, při kterém je nutno sladit tři základní prvky. Je to pracovní stroj, vstřikovaný materiál a také nástroj neboli vstřikovací formu. Konstrukce formy je složitá záležitost, která musí zkombinovat přání a požadavky zákazníka, možnosti konstrukce, ekonomické aspekty a další kritéria. Hodně záleží na zkušenostech konstruktéra, jeho možnostech a znalostech. Při konstrukci forem je v současnosti používáno velké množství softwaru. Jsou to například programy pro umístování vtokových soustav, programy pro konstrukci dílů formy, pro simulaci vstřikování taveniny s označením teplot v jednotlivých částech, programy pro simulaci celého pracovního cyklu nebo knihovny normalizovaných dílů. Tyto knihovny sice obsahují velkou škálu dílů, zůstává však na konstruktérovi, aby se rozhodl zda bude ekonomicky výhodnější daný díl koupit či vyrobit. Všechny tyto programy práci sice velmi usnadní a urychlí, její podstatná část však stále spočívá na člověku.

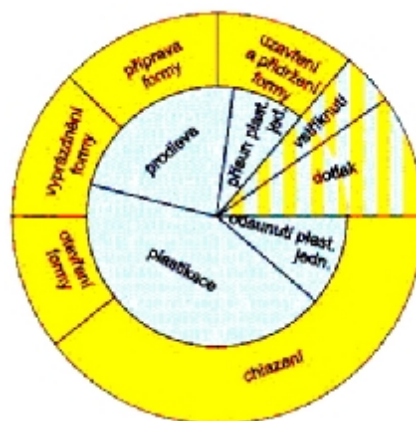
## I. TEORETICKÁ ČÁST

# 1 VSTŘIKOVÁNÍ

Technologie vstřikování je nejrozšířenějším způsobem výroby dílů z polymerních materiálů. Vyznačuje se poměrně složitým fyzikálním procesem, na kterém se podílí polymer, vstřikovací stroj a forma. V průběhu vstřikování je polymerní tavenina ve vstřikovacím stroji tlakem dopravována do dutiny formy a tam ochlazená ve tvaru vyráběné součásti.[1]

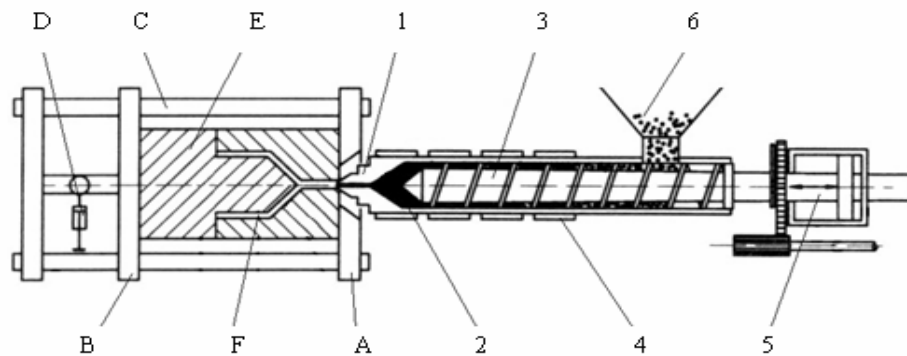
## 1.1 Vstřikovací cyklus

Z násypky VS se materiál dávkuje do plastikační jednotky v níž se přivádí do plastického stavu účinkem tepla. Po přisunutí plastikační jednotky k formě se tavenina pod tlakem doplní vtokovým systémem do dutiny formy. Doba, po kterou se forma plní je doba plnění. Po zaplnění dutiny formy se působí na materiál dotlakem, tato doba se nazývá doba doplňování. Dotlak má za účel částečně vyrovnat vliv smrštění a zabránit unikání materiálu z dutiny formy. V další fázi zůstává zaplněná forma ještě určitou dobu uzavřena - probíhá chlazení výstřiku. Po zatuhnutí výrobku se forma v dělicí rovině otevře a výstřik lze vyjmout, obvykle pomocí automatických vyhazovačů. Během chlazení a vyjímání výrobku připravuje plastikační jednotka novou dávku roztaveného materiálu, tak aby VS mohl po uzavření formy zahájit další pracovní cyklus. (Obr.1) [2]



Obr. 1. Vstřikovací cyklus

## 1.2 Vstřikovací stroj



Obr. 2. Schéma vstřikovacího stroje

*Vstřikovací jednotka: 1 - vstřikovací tryska, 2 - pracovní válec,*

*3 - šnek, 4 - topení, 5 - píst, 6 - násypka*

*Uzavírací jednotka: A - upínací deska pevná, B - upínací deska*

*pohyblivá, C - vodící sloupy, D - uzavírací hydraulický válec,*

*E - forma, F - dutina formy*

Vstřikovací stroj (Obr.2) jako jeden z hlavních činitelů výroby má nejrůznější uspořádání. Vyžaduje se od něho, aby kvalitou svých parametrů a dokonalým řízením, byla zajištěna výroba jakostních výstřiků. V současné době existuje velký počet různých konstrukcí vstřikovacích strojů, které se od sebe liší svým provedením, stupněm řízení, stálostí a reprodukovatelností jednotlivých parametrů, rychlostí výroby, snadnou obsluhou i cenou. [3]

## 1.3 Vstřikované materiály

Technologií vstřikování lze zpracovávat jak termoplasty, tak i reaktoplasty a kaučukové směsi. Zatímco v prvním případě je interval pro tváření teoreticky neomezeným

v dalších dvou případech je tento interval omezen probíhajícím síťováním. Čím je teplota tváření vyšší, tím je tvářecí interval kratší. Vstřikovací termoplasty mají zpravidla lepší tokové vlastnosti než např. vytlačovací typy. Vstřikovat lze vyztužené i lehčené materiály. [1]

Polymery jako materiál jsou látky, jejichž struktura je tvořena makromolekulárními řetězci (oproti kovům, které mají strukturu tvořenou krystalickými mřížkami). Jsou rozděleny na dva základní druhy.

### 1.3.1 Reaktoplasty

Reaktoplasty mají v konečné fázi zpracování řetězce příčně propojeny chemickými vazbami a vytváří prostorovou trojrozměrnou síť. Při ohřevu tato síť zvětšuje svoji pohyblivost, ale řetězce se zcela neuvolní. Při tváření vlivem teploty a tlaku nastává zesíťování polymeru. Jsou-li původní řetězce velmi ohebné a hustota sítě je přiměřená, je hmota za normální teploty poddajná a pružná. Takové materiály se nazývají elastomery a zesíťování u nich nastává při vulkanizaci, čímž se převedou na pryž. Jakmile je chemický proces ukončen, další tváření již není možné. Při nadměrném ohřevu u obou druhů polymerů se přetrhají chemické vazby, hmota se rozruší a ztrácí pevnost. Tento proces je již nevratný a nazývá se degradace hmoty a další zpracování je bezpředmětné. [1]

### 1.3.2 Termoplasty

Jedná se o polymery mající řetězce přímé (lineární polymery) nebo řetězce s bočními větvemi (rozvětvené polymery). Při ohřevu se uvolní soudružnost řetězců a hmota je viskózní. V tomto stavu se může tvářet. Po ochlazení se dostanou opět do původního pevného stavu. Jsou více používané než reaktoplasty.

Z hlediska vnitřní struktury lze termoplasty rozdělit na:

- amorfní – nepravidelně uspořádaný řetězce,

- semikrystalické – podstatná část řetězců pravidelně a těsně uspořádána a tvoří krystalické útvary.

Využitelnost výrobků z amorfních plastů je v oblasti pod teplotou skelného přechodu ( $T_g$ ). Polymer je v tomto stavu pevný. Zvyšováním teploty nad  $T_g$  postupně slábnou kohezní síly mezi makromolekulami a plast přechází do plastické oblasti až do viskózního stavu, kdy se zpracovává. Se zvyšováním teploty současně narůstá i objem polymeru.

U semikrystalických plastů jsou části molekul vázány pevněji v lamelách a ve sférolitech krystalické fáze. Zvyšováním teploty se nejprve uvolní část makromolekul z amorfní oblasti, potom i ostatní. To je doprovázeno značným objemovým nárůstem. [5]

## 2 KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÝCH DÍLŮ

### 2.1 Zaformování výstřiku

Správné zaformování výstřiku a vhodná volba dělicí plochy patří k rozhodujícím zásadám správné konstrukce. Umožňuje dodržet tvar a rozměry výstřiku i ekonomiku výrobu. Vychází z konstrukčního řešení vyráběného dílu. Dělicí rovina bývá zpravidla rovnoběžná s upínáním formy. Může však být i šikmá, nebo různě tvarovaná, případně vytváří u výstřiků s bočními otvory hlavní a vedlejší dělicí plochy. Taková koncepce způsobuje obtížnější výrobu formy. Je snaha se takovým tvarům vyhnout. Nepřesnost v dělicí ploše může způsobit nedovření formy během plnění. To má za následek vznik otřepů nebo zvětšení rozměrů výstřiku ve směru uzavírání formy. Proto je třeba, aby dělicí plocha:

- umožnila snadné vyjímání výstřiku z formy,
- byla pravidelná, jednoduchého geometrického tvaru, snadno vyrobitelná a dobře slícovatelná,
- probíhala v hranách výrobku,
- byla umístěna tak, aby splňovala požadavek výroby přesných rozměrů, směr technologických úkosů a souosost výstřiku, pokud je v obou polovinách formy,
- stopa po dělicí rovině nesmí být příčinou funkčních nebo vzhledových závad,

Správná volba dělicí roviny je důležitá při otevírání formy. Výstřik musí zůstat na pohyblivé straně formy. Při konstrukci je třeba formu navrhnout s úkosy a zaobleními. Na velikosti úkosů závisí snadné vyjímání výstřiku z formy a tím i menší opotřebením. Hodnota se volí

individuálně v rozsahu asi  $0,5-3^\circ$ . Zaoblení se provádí z důvodu možného vzniku vnitřního pnutí v rozích a v ostrých hranách. [1]

## 2.2 Smrštění výstřiku

Velikost smrštění je rozdíl mezi rozměrem dutiny formy a skutečným rozměrem vlivem teplotní roztažnosti plastu. Udává se v %. Jeho velikost závisí na určitých činitelích. Smrštění se rozděluje do dvou časových fází. Velikost provozního smrštění se stanoví 24 hodin po výrobě součásti a představuje až 90 % z jeho doby. Zbytek je dodatečné smrštění, které probíhá poměrně dlouho v závislosti na typu polymeru. Smrštění lze urychlit temperací (stabilizace výrobku). Velikost smrštění nemusí být ve všech směrech stejná. Asymetrické plnivo (skleněná vlákna), směr proudění taveniny, orientace makromolekul u semikrystalického plastu apod. způsobuje anizotropii definovanou jako rozdíl smrštění ve směru podélném a příčném na tok taveniny. Je vyjádřen také v %. Velikost smrštění je ovlivněna jak vlastnostmi plastu, tvarem výstřiku, technologií vstřikování, ale i vstřikovací formou (vtokovou soustavou a teplotou chlazení). Správný odhad hodnot smrštění, případně jejich korekce pro přesné výstřiky je obtížný úkol. Stanovená velikost je jen orientační. Proto je vhodné u přesných výstřiků dimenzovat rozměry dutin tak, aby bylo možné je případně snadno opravit. Pro běžné rozměry výstřiku jsou udávané hodnoty smrštění dle tabulek dostačující. U součástí, jejichž rozměry jsou vázány na protisoučást vyrobenou ze stejné hmoty lze obvykle smrštění u funkčních styčných rozměrů pominout s tím, že u obou dochází prakticky ke stejnému smrštění. [2]

Velikost smrštění tedy ovlivňuje:

- tvar výstřiku (rozměry, tloušťka stěn atd.),
- konstrukce formy (vtokový systém, poloha ústí vtoku, velikost jeho průřezu, temperace formy),
- technologie vstřikování (tlak, teplota taveniny atd.).



## 2.3 Vtokové soustavy

Vtokový systém formy zajišťuje při vstřikování vedení proudu taveniny od vstřikovacího stroje do tvářecí dutiny formy. Naplnění dutiny termicky homogenní taveninou má proběhnout v nejkratším možném čase a s minimálními odpory. Průtok taveniny vtokovým systémem je provázen složitými tepelně-hydraulickými poměry. Tvar a rozměry vtoku spolu s umístěním jejího ústí ovlivňují:

- rozměry, vzhled a vlastnosti výstřiku,
- spotřebu materiálu plastu,
- náročnost opracování na začištění výstřiku,
- energetickou náročnost výroby.

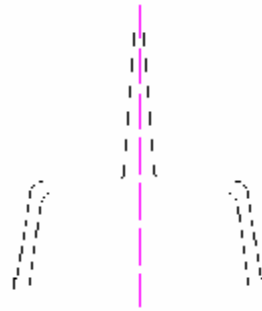
### 2.3.1 Studené vtokové systémy

Při volbě určitého vtokového systému se vychází z toho, že tavenina se vstřikuje velkou rychlostí do relativně studené formy. Během průtoku studeným vtokovým systémem viskozita taveniny na vnějším povrchu prudce roste, nejnižší je uprostřed. Vysoká viskozita vyžaduje vysoké tlaky v systému (40 až 200 MPa). Ztuhlá povrchová vrstva taveniny vytváří tepelnou izolaci vnitřnímu proudu taveniny. Za tohoto stavu se zaplní celá dutina. V okamžiku zaplnění vzroste prudce odpor a poklesne průtok. V dutině formy nastává postupné tuhnutí taveniny odvodem tepla do stěn formy. Další doplňování taveniny může nastat jen jejím elastickým stlačením. Ve vtokových ústích ještě v tomto okamžiku dochází k vývinu tepla vlivem tlaku a tím oddálení ztuhnutí taveniny. V případě, že již stroj není schopen překonat tlakové ztráty, dochází k poklesu rychlosti vstřiku a celkovému ochlazení plastu ve vtokovém systému i v dutině formy. [3]

#### Plný kuželový vtok

Přivádí taveninu do tvarové dutiny formy bez zúženého vtokového ústí (Obr.1). Používá se převážně u jednonásobných forem se symetricky uloženou dutinou. Tento vtok

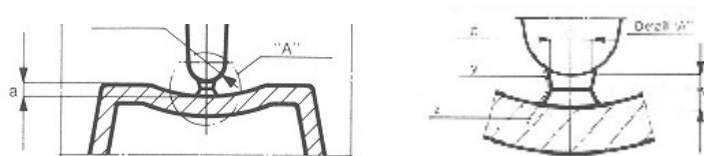
je vhodný především pro tlustostěnné výrobky. Z hlediska působení dotlaku je velmi účinný, protože vtok tuhne ve formě poslední. Jeho odstranění je pracné a zanechává vždy stopu na výstřiku. Pro určení jeho průměru platí, že ústí vtoku má být o 1 až 1,5mm větší, než je tloušťka stěny výstřiku. Pro menší tloušťky stěn výstřiku je vhodné vytvořit proti ústí čokovité zhloubení. [3]



Obr. 3. Plný kuželový vtok

### Bodový vtok

Tento vtok je nejznámější typ zúženého vtokového ústí zpravidla kruhového průřezu, který leží mimo nebo i v dělicí rovině (Obr 4). Může vycházet přímo z vtokového kanálu, z předkomůrky nebo z rozváděcích kanálů. Vyžaduje systém třídeskových forem.

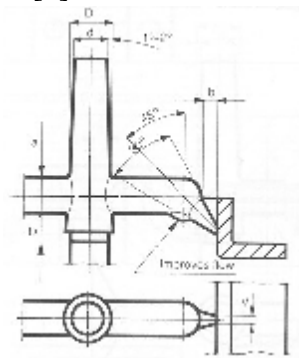


Obr. 4. Bodový vtok

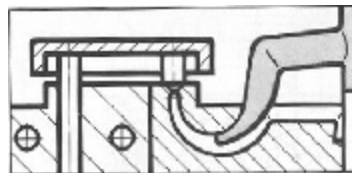
### Tunelový vtok

Jedná se o zvláštní případ bodového vtoku, který má tu výhodu, že vtokový zbytek může ležet v téže dělicí rovině jako výstřik. Umístění může být v pevné i v pohyblivé části formy. Není proto nutné konstruovat formy s více dělicími rovinami. Jeho funkce je zřejmá

z Obr. 5. Předpokladem dobré funkce tunelových vtoků je existence ostré hrany, která odděluje při odformování vtokový zbytek od výstřiku. To je třeba zvážit u vzhledově náročných výstřiků. Není-li zaústění do boku výstřiku možné, využívá se zaústění do vnitřního nálitku, žebra apod. Může se případně vytvořit i náliček, pokud to funkci výstřiku nevadí. Zvláštním typem tunelového vtoku je srpkovitý vtok, který umožňuje umístit vtokové ústí do části výstřiku, ve kterém nepůsobí rušivě (Obr 6). Takový vtok je vhodný jen pro plasty s vysokou elasticitou. [3]



Obr. 5. Tunelový vtok



Obr. 6. Srpkovitý vtok

### Boční vtok

Opět jde o typ se zúženým vtokovým ústím, které leží v dělicí rovině. Průřez bývá obvykle obdélníkový, ale může být i jiný (kruhový, lichoběžníkový). Je nejrozšířenějším a nejpoužívanějším vtokovým ústím. Tvarové řešení bočního vtoku je znázorněno na Obr. 7. Při odformování zůstává zpravidla výstřik od vtokového zbytku neoddělený. Při automatickém cyklu se řeší jeho oddělování zvláštním odřezávacím zařízením, které je součástí formy. [2]

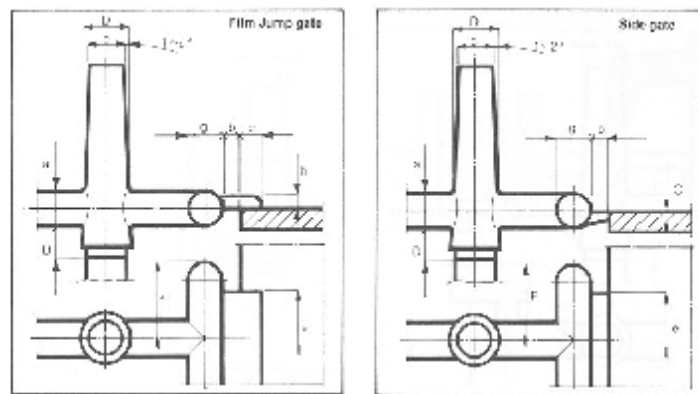


Obr. 7. Tvar bočního vtoku

### Filmový vtok

Tento vtok (Obr. 8) je nejpoužívanější ze skupiny bočních vtokových ústí hlavně k plnění kruhových a trubicových dutin s vyššími požadavky na kvalitu. K nim se ještě řadí vtoky diskové, prstencové, deštníkové. U filmového vtoku se vyžaduje:

- dodržení rovinnosti, přímosti, přesnosti tvaru výstřiku,
- malé vnitřní pnutí,
- odstranění studených spojů.



Obr. 8. Filmový vtok

### 2.3.2 Horké vtokové systémy

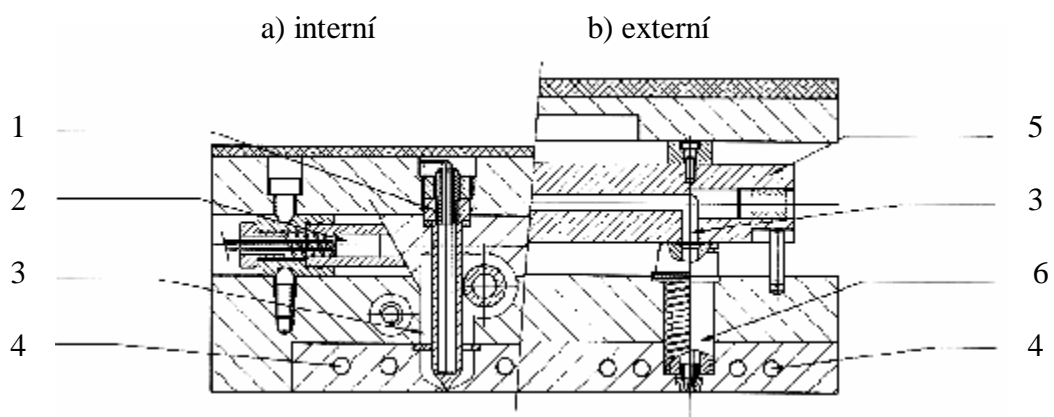
Snaha po úsporách materiálu i práce vedla k metodě vstřikování bez vtokového zbytku. Realizuje se pomocí vyhřívaných vtokových soustav. Dříve než se došlo k současným typům, předcházela jim řada jednodušších systémů. Se zesílenými vtoky, izolovanými vtokovými soustavami s předkomůrkami apod.

Používání vyhřívaných vstřikovacích soustav stále narůstá, protože:

- umožňuje automatizaci výroby,

- zkracuje výrobní cyklus,
- snižuje spotřebu plastu – vstříkuje se bez vtokových zbytků,
- snižuje náklady na dokončovací práce s odstraňováním vtokových zbytků.

V dnešní době je nejobvyklejším řešením uložení rozváděcích kanálů do ohřívaného rozváděcího bloku nebo do desky. Rozváděcí blok je vložen mezi tvarovou a upínací desku formy. Jsou v něm vyvrtány rozváděcí kanály, kterými proudí tavenina. Teplo, přiváděné do bloku topnými elementy, vstupuje do taveniny stěnami rozváděcího kanálu. Jde tedy o externí ohřev viz. Obr. 9b. V interním ohřevu je rozvodný blok vytápěn zevnitř topnými patronami, nebo tavenina obtéká ohřívanou trysku (Obr. 9a.). [1]



Obr. 9. Horký vtokový systém formy

1 - vyhřívaná vložka, 2 - distribuční systém, 3 - kanál pro taveninu,  
 4 - chladicí kanál, 5 - topný blok, 6 - tryska

Ohřev rozvodného bloku bývá realizován:

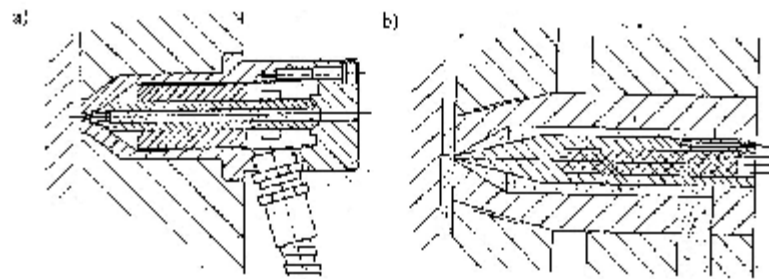
- válcovými topnými tělesy,
- topnými deskami,
- topnými tyčemi zalitými v bloku.

Nevýhodou tohoto vtokového systému je nutnost výpočtu délkové roztažnosti rozváděcího bloku, aby po zahřátí na provozní teplotu byly trysky přesně proti vtoku. To umožňuje použít jen bodové ústí malého průřezu, které je vhodné pro širokou oblast vyráběných výstřiků. U všech způsobů bezvtokového vstřikování je vhodné v místě jeho vyústění provést na výstřiku zahlobení, aby případný nepatrný vtokový zbytek nevystupoval přes jeho úroveň. Součástí systému je regulace teploty vtokového systému i formy. Celá soustava umožňuje snadnou montáž, demontáž, vyčištění a znovu nasazení do provozu.

### **Vyhřívání trysky**

Její konstrukce umožňuje propojení vstřikovacího stroje s dutinou formy, při dokonalé teplotní stabilizaci. Tryska má vlastní topný článek i s regulací, nebo je ohřívána jiným zdrojem. Výrazně umožňuje zlepšit technologické podmínky vstřikování. Takové vyhřívání vtokové soustavy (VVS) si obvykle uživatel sám nevyrábí, ale nakupuje u specializovaných firem. Ti je vyrábí v širokém konstrukčním sortimentu. Konstrukční provedení přímo ohřívání trysky je charakterizováno dvěma základními principy:

- trysky s vnějším topením (Obr. 10a), kde tavenina proudí vnitřním otvorem tělesa trysky. Těleso je z tepelně vodivého materiálu. Při vstřikování abrazivních plastů je ocelový materiál legován molybdenem. Z vnějšku je kolem tělesa trysky umístěno topení,
- trysky s vnitřním topením (Obr. 10b). U tohoto systému tavenina obtéká vnitřní vyhřívanou vložku (torpédo), zhotovenou také z materiálu s dobrou tepelnou vodivostí. [1]



*Obr. 10. Vyhřívané trysky*

### 3 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

#### 3.1 Postup při konstrukci vstřikovací formy

Výkres případně model vyráběné součásti spolu s konstrukčním návrhem a dalšími doplňujícími údaji, jsou podkladem pro konstruktéra forem.

Postup vlastní konstrukce formy:

- posouzení výkresu součásti z hlediska tvaru, rozměrů a tvářecích podmínek. Je třeba znovu zkontrolovat rozměry, jejich tolerance, rozdíly v tloušťce stěn s ohledem na propadliny a lunkry. Nezanedbat ani úpravy ostrých hran a rohů, které vyvolávají velké pnutí a obtížné plnění dutiny,
- určení, případně upřesnění dělicí roviny součásti a způsob zaformování s ohledem na funkci a vzhled. Respektovat také směr a velikost potřebných úkosů. Zaformování musí odpovídat vhodnému umístění ústí vtoku a vyhazování z dutiny formy,
- dimenzování tvarových dutin a jejich uspořádání ve formě. Volba vhodného typu vtokového systému, velikost průřezu, tvaru a délky hlavního a rozváděcího kanálku i ústí vtoku,
- stanovení koncepce vyhazovacího a temperačního systému i odvzdušnění dutin formy,
- návržení rámu formy s ohledem na danou typizaci, počet i rozmístění dutin, systém vyhazování i temperace formy,
- vhodné uspořádání středění a upínání formy na stroj s ohledem na využití dostupných prostředků. To všechno v rámci bezpečnosti práce,
- zkontrolování funkčních parametrů formy, hmotnost výstřiku, jeho průmětnou plochu, vstřikovací a uzavírací tlak a další faktory s ohledem na doporučený stroj.



Celá koncepce konstrukce vstřikovací formy musí směřovat k možné a snadné výrobní technologii dle stanovených požadavků. Je vhodné s objednavatelem návrh formy konzultovat. [1]

### 3.2 Volba násobnosti formy

Optimální volba násobnosti formy vyžaduje správné vyhodnocení jednotlivých činitelů, kteří ji ovlivňují. Posuzují se z hlediska:

- charakteru a přesnosti výstřiku,
- požadovaného množství výrobků,
- velikostí a kapacitě vstřikovacího stroje,
- požadovaného termínu dodávky,
- ekonomičnosti výroby.

Součásti tvarově náročné, které vedou ke složité formě, jakož i velkorozměrové výstřiky se většinou vyrábí v jednonásobných formách. Z hlediska kvality a přesnosti výstřiku je žádoucí, aby násobnost byla co nejmenší. Výroba rozměrově přesných součástí vedle nepřesností jednotlivých tvarových dutin, zavádí také do produkce další, nikoliv zanedbatelný faktor chyb. Nerovnoměrná teplota formy i plastu při plnění jednotlivých dutin, nestejně vstřikovací tlaky, rozdílné dráhy vtoků apod. způsobují další rozměrové nepřesnosti. Velikost vstřikovacího stroje se svým plastikačním výkonem, vstřikovacím tlakem i uzavírací silou musí dostatečně a s rezervou naplnit bezpečně uzavřenou formu (dutiny i kanály). Požadovaná rezerva objemu taveniny i uzavírací síly je cca 20 %. [1]

### 3.3 Temperace formy

Temperace slouží 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. Během vstřikování se do formy přivádí roztavený polymer, který se v

její dutině ochlazuje na teplotu vhodnou pro vyjmutí výstřiku. Teplota 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. Také při zahájení výroby je třeba nejprve vyhřát formu na pracovní teplotu. Jinak by nebyla zaručena dostatečná kvalita výstřiku. [2]

Úkolem temperace tedy je:

- zajistit rovnoměrnou teplotu formy na optimální výši po celém povrchu její dutiny (podle druhu zpracovaného plastu),
- odvést teplo dutiny formy naplněné taveninou tak, aby celý pracovní cyklus měl ekonomickou délku.

Pokud má forma dostatečnou hmotnost a dobře řešený temperační systém, zvýší se její tepelná a tím i rozměrová stabilita a sníží nebezpečí deformace, při vysokých vstřikovacích tlacích. [2]

### 3.4 Odvzdušnění formy

Odvzdušnění tvarových dutin forem zdánlivě nepatří k dominantním problémům při navrhování forem. Jeho důležitost obvykle vyplyne až při zkoušení hotového nástroje, kdy odvzdušnění může být příčinou nekvalitního vzhledu výstřiku, nebo jeho nízkých mechanických vlastností. Odvzdušnění lze někdy zhotovit snadno, jindy je však jeho vyřešení obtížné. Nezbytná znalost některých zákonitostí při plnění formy ušetří pracovníkům mnoho starostí [2]. Dutina formy je před vstřikováním zaplněna 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. Vstřikovací rychlost – doba plnění, má značný vliv na optimální vlastnosti výstřiku. Rychlé plnění zajišťuje termickou homogenitu dávky. [3]

### 3.5 Vyhazování výstřiků

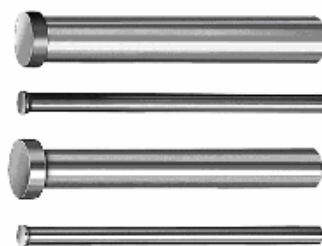
Vyhazování výstřiků z formy je činnost, kdy se z dutiny nebo z tvárníku otevřené formy vysune nebo vytlačí zhotovený výstřik. K tomu slouží vyhazovací zařízení které doplňuje formu a svojí funkcí má zajišťovat automatický výrobní cyklus. Má dvě fáze:

- dopředný pohyb, vlastní vyhazování,
- zpětný pohyb, návrat vyhazovacího systému do původní polohy

Základní podmínkou dobrého vyhazování výstřiku je hladký povrch a úkosovitost jeho stěn ve směru vyhazování. Úkosy nemají být menší než  $1,5^\circ$ . Vyhazovací systém musí výstřik vysouvat rovnoměrně, aby nedošlo k jeho přičení a tím ke vzniku trvalých deformací, nebo k jinému poškození. Umístění vyhazovačů, jejich tvar a rozložení může být velmi rozmanité. Může se jich využít k vytváření funkčních dutin nebo jako část tvárníku. U hlubokých tvarů je třeba počítat s jejich zavzdušněním. [4]

#### 3.5.1 Vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků

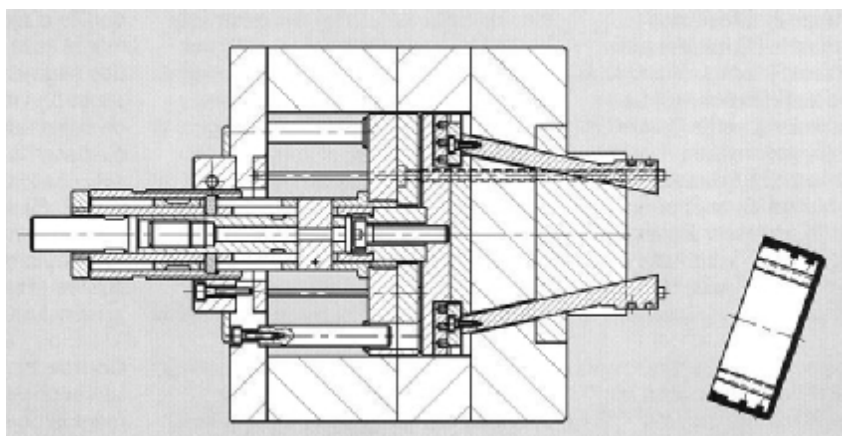
Tento způsob (Obr. 11) je nejčastějším a nejlevnějším způsobem vyhazování výstřiků. Uvedený systém lze použít všude tam, kde je možné umístit vyhazovače proti ploše výstřiku ve směru vyhození. Je výrobně jednoduchý a funkčně zaručený. Správná volba tvaru vyhazovacího kolíku i jeho vhodného umístění, umožní snadné vyhození výstřiku bez poškození. Kolík se má opírat o stěnu nebo žebro výstřiku a nesmí ho při vyhazování bortit. Jinak by mohla nastat jeho trvalá deformace. Po styčných plochách vyhazovacích kolíků zůstávají na výstřiku stopy. Proto není vhodné je umístit na vzhledových plochách. Pokud je vyhazování vybaveno větším množstvím vyhazovacích kolíků, obtížněji se u formy zhotovují temperační kanály. Vyhazovací kolíky jsou základním prvkem mechanického vyhazování. Mají být dostatečně tuhé a snadno vyrobitelné. Jsou obvykle válcové. Mohou však mít jakýkoliv jiný tvar. Ve formě jsou uloženy v tolerancích H7/g6, H7/h6, H7/k6 podle požadované funkce a tekutosti plastu. [5]



Obr. 11. Vyhazovací kolíky

### 3.5.2 Vyhazování pomocí šikmých vyhazovačů

Jedná se o speciální formu mechanického vyhazování. Vyhazovací kolíky nejsou kolmé k dělicí rovině, ale jsou uloženy k ní pod různými úhly. (Obr. 12). Využívají se k vyhazování malých a středně velkých výstřiků s mělkým vnitřním, nebo vnějším zápichem. Tím se odstraní náročné posuvné čelisti s klínovým mechanismem. Při vyhazování výstřiku se zápichem, vyhazovače svým šikmým pohybem uvolňují zvětšenou, případně zmenšenou část výstřiku při jeho současném vyhození. Zápich může být vytvořen přímo na vyhazovači, nebo s šikmo uloženými kolíky jsou pevně spojeny čelisti, se kterými plní obdobou funkci. Uspořádání takového systému má nejrůznější podobu a je možné ho kombinovat i s přímým vyhazováním. Je snahou, aby způsob byl funkčně dokonalý a výrobně jednoduchý. [1]



Obr. 12. vyhazování pomocí šikmých vyhazovačů

### 3.5.3 Vyhazování stírací deskou

Představuje stahování výstřiku z tvárníku po celém jeho obvodu. Vzhledem k velké styčné ploše, nezanechává na výstřiku stopy po vyhazování. Jeho deformace pak jsou minimální a stírací síla velká. Používá se především u tenkostěnných výstřiků, kde je nebezpečí jejich deformace, nebo u rozměrných výstřiků, které vyžadují velkou vyhazovací

sílu. Stírání je vhodné jen tehdy, dosedá-li výstřik na stírací desku v rovině, nebo plocha výstřiku je mírně zakřivena. Tento způsob se používá i pro vícenásobné formy, někdy se doplňuje systémem oddělování výstřiku od stírací desky (např. odpruženým vyhazovačem). To proto, že zde často dochází k „lepení“ výstřiku svým povrchovým napětím a elektrostatickou silou k povrchu stírací desky. Lze použít i ofukování stlačeným vzduchem.

Pohyb stírací desky může být podle účelu a koncepce formy vyvozen:

- tlakem vyhazovacího systému,
- tahem ve speciálních případech (obvykle při rozevírání formy jeho pevnou deskou).

Stírací deska je ovládána tlakem vyhazovacího trnu. Působí přes vyhazovací desku spojenou táhly se stírací deskou. Síla může být také vyvozena pružinami, hydraulickým, nebo pneumatickým zařízením. Pro zvýšení životnosti je stírací deska obvykle vyložena tepelně zpracovanou tvarovou vložkou, upevněnou v desce. Funkce trubkového vyhazovače je speciálním případem stírání tlakem. Vyhazovač s otvorem má funkci stírací desky a pracuje jako vyhazovací kolík. Zatímco vlastní vyhazovací kolík je upevněn v pevné desce, nepohybuje se a tvoří jádro. Stírací deska může být i ovládána tahem pomocných mechanismů. Tyto jsou upevněny v různých částech formy a vzájemně na sebe působí. Způsob je složitější než ovládání desky tlakem. Používá se hlavně u třídeskových forem, kdy výstřik a vtoky jsou v rozdílných dělicích rovinách a zaformování nedovoluje použít jinou koncepci stírání, či vyhazování. [1]

### 3.5.4 Dvoustupňové vyhazování

Patří do skupiny mechanického vyhazování. Vyžaduje dva vyhazovací systémy, které se vzájemně ovlivňují. Způsob umožňuje vyhazovat výstřiky s rozdílným časovým rozložením vyhazovacího zdvihu i jeho velikosti. Proto se s výhodou používá například k vyhazování slabostěnných výstřiků v kombinaci s jiným způsobem (např. stírání s vyhazovacími kolíky, při šikmém vyhazování výstřiků se zápichem apod). Využívá se také při oddělování (ostříhování) vtokových zbytků od výstřiků spolu s jejich vyhazováním.

Pracuje takovým způsobem, že jednou skupinou zdvojených vyhazovačů se odstříhnou vtoky a druhou se zpožděným zdvihem se výstřiky vyhodí. [2]

### 3.5.5 Vzduchové vyhazování

Vhodný systém pro vyhazování slabostěnných výstřiků větších rozměrů ve tvaru nádob, které vyžadují při vyhazování zavzdušnit, aby se nedeformovaly. Způsob není tak častý, ale pro výstřiky uvedeného tvaru (např. kbelík) velmi výhodný. Běžné mechanické vyhazování větších výstřiků vyžaduje značné zvětšení délky formy (velký zdvih vyhazovače), bez záruky dobré funkce. Pneumatické vyhazování zavádí stlačený vzduch mezi výstřik a líc formy. Tím umožní rovnoměrné oddělení výstřiku od tvárníku, vyloučí se místní přetížení a nevzniknou na výstřiku stopy po vyhazovačích. Použití pneumatického vyhazování je omezeno jen na některé tvary výstřiků. Vzduch se do dutiny formy přivádí přes ventil talířový, jehlový nebo různé kolíky. Ventil se otvírá tlakem vzduchu a zavírá pružinou. Jehlové ventily se používají, když plocha výstřiku ze strany od ventilu je profilovaná. Řízené ventily jsou umístěny vně formy. Pro automatické formy je třeba volit vyhazovací systémy tak, aby dva nezávislé systémy zabezpečovaly vyhození výstřiku z dutiny formy. Přitom lze kombinovat různé systémy mechanické nebo mechanické s pneumatickými. Vlastní vzduchové vyhazování je ovládáno mechanismem formy nebo vstřikovacího stroje. Tlak vzduchu má být jen tak velký, aby vyhodil výstřik a neznečišťoval svým působením prostředí vstřikovny. Použitý způsob vyžaduje přesnou výrobu formy v oblasti vedení vzduchu. [1]

### 3.5.6 Hydraulické vyhazování

Tento způsob bývá součástí vstřikovacího stroje a používá se především k ovládní mechanických vyhazovačů, které nahrazuje pružnějším pohybem a velkou flexibilitou. Hydraulické jednotky přímo zabudované ve formě se objevují již méně. Více se používají k ovládní bočních posuvných čelistí. Používané hydraulické vyhazovače se vyrábějí většinou jako uzavřená hydraulická jednotka, která se zabuduje přímo do připraveného místa ve formě. S její pomocí se přímo ovládají vyhazovací kolíky stírací desky apod. [3]

### 3.6 vyhazování vtokového zbytku

Při rozevírání formy po nástřiku je třeba vtokový zbytek přidršet na požadované straně, dokud není bezpečně vytažen vtokový kužel z vtokové vložky. V pohyblivé části formy, s vyhazovacím zařízením, je různými způsoby proveden podkos, který přidrží vtokový zbytek tak dlouho, až je vyhazovacím kolíkem vyhozen současně s výstřikou. Volba daného způsobu záleží na koncepci formy a na funkci vtokového zbytku. [1]

### 3.7 Materiály forem

Vstřikovací formy jsou velmi drahé nástroje které se vyrábí pro práci v obtížných podmínkách a pro výrobu velkého množství výrobků. Proto i materiály volené na jejich výrobu musí podléhat přísným kritériím.

Materiál forem je ovlivněn především:

- druhem vstřikovaného plastu,
- přesností a jakostí výstřiku,
- podmínkami vstřikování,
- vstřikovacím strojem.

Pro výrobu forem se používají převážně oceli, neželezné slitiny kovů (Cu, Al), izolační a tepelně nevodivé materiály. Nejpoužívanějšími jsou však oceli a to především pro svou vysokou mechanickou pevnost a dobrou obrobitelnost.

Jsou stanoveny také požadavky na specifické vlastnosti ocelí:

- dobrá obrobitelnost,
- dobrá leštitelnost a obrusitelnost,
- zvýšená odolnost proti zadírání,
- odolnost proti korozi a chemickým vlivům plastu,

- vyhovující kalitelnost a prokalitelnost,
- minimální deformace při tepelném zpracování,
- dobrá tepelná vodivost,
- houževnatost,
- pevnost v tlaku.

## **3.8 Použitý software**

### **3.8.1 Moldflow Plastics Insight**

MPI představuje systém komplexních analýz vstřikovacích procesů. S pomocí tohoto programu odpadá řada problémů, které by se musely řešit experimentováním při konstrukci i při samotném vstřikování a na které již vždy nemusely stačit zkušenosti konstruktérů. S pomocí tohoto programu lze například provádět následující analýzy.

- analýza umístění vtoku,
- optimalizace procesu,
- vyplnění dutiny,
- predikce kvality chlazení,
- odhad propadlin,
- návrh vtoku,
- směr vláken,
- návrh vtokové soustavy a formy,
- objemové smrštění,
- odchylka od tvaru a indikátor deformace [11].



### 3.8.2 Catia V5

Tento program umožňuje snadný přechod od 2D konstruování ke komplexnímu řešení projektu v modelovém i výkresovém prostředí. Vytváří snadné prostředí pro konstrukci modelů, jejich zařazování do sestav. Umožňuje také vytvářet tzv. pohyblivé sestavy. Po vytvoření modelů je dokáže snadno převést do plošných výkresů. V oblasti konstrukce vstřikovacích forem umožňuje snadné vytváření tvárnic i tvárnků, včetně rozdělení výstřiku na dané tvarové části. Jeho množství pracovních modulů dokáže pokrýt celou škálu konstruktérských a výpočtářských činností. [14]

## II. PRAKTICKÁ ČÁST

## 4 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Byly určeny následující cíle diplomové práce:

1. Vypracujte literární studii na dané téma
2. Nakreslete model plastového dílu ve 3D
3. Nakreslete tvarové části formy
4. Navrhněte vhodné úpravy stávajících tvarových částí
5. Proved'te tokové analýzy v programu Moldflow Plastics Insight

V literární části se jedná o přiblížení problematiky vstřikování polymerních materiálů. Jednotlivé kapitoly tohoto bodu zadání jsou zaměřeny na všechny části dané technologie. Popisují jednotlivé skupiny polymerních materiálů s přihlédnutím na materiály více používané při zpracování touto metodou. Dále je zde popsána konstrukce výtřiků a vtokových soustav, které jsou hlavním pilířem dobrého výrobku. Tato část se také zabývá samotnou vstřikovací formou, jejími mechanismy a materiály vhodnými k jejich výrobě. Také jsou zde zmíněny programy, které jsou použity v další práci.

V druhé části se tvoří model držáku plastového štětce v programu Catia. Nakreslí se tzv. pracovní verze. Pro práci v simulačním programu je to díl bez úkosů a zaoblení. Pro vytvoření dutin v tvarových částech formy slouží díl zvětšený o hodnotu smrštění, která vychází z použitého materiálu.

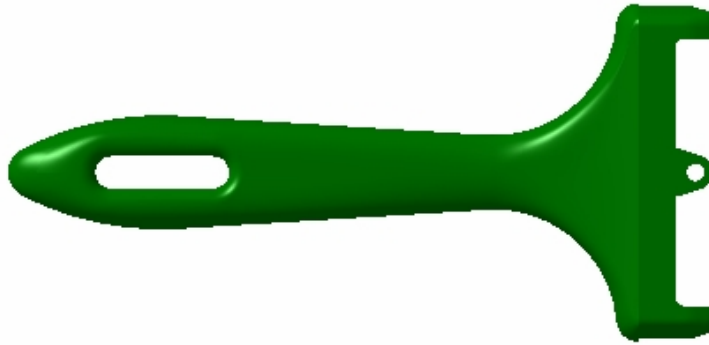
Část třetí opět probíhá v programu Catia. Tvarové části v dané formě tvoří tvárník, tvárnice a tvarové desky. Výsledkem tohoto bodu zadání je jejich konstrukce ve výše jmenovaném programu.

Ve čtvrtém bodě zadání jsou navrženy vhodné úpravy vtokového systému. Navržené varianty směřují k oddělení vtokového zbytku při vyhazování, což při původním uspořádání vtokových kanálů nebylo umožněno.

V poslední části zadání je v programu Moldflow Plastics Insight nejdříve provedena analýza původního vtokového systému se štěrbinovým i tunelovým ústím. Poté se provádí také tokové analýzy předběžných variant. Tyto slouží pro určení nedostatků a pro výběr dvou variant k dalšímu zpracování. Po jejich úpravě je opět provedena jejich analýza.

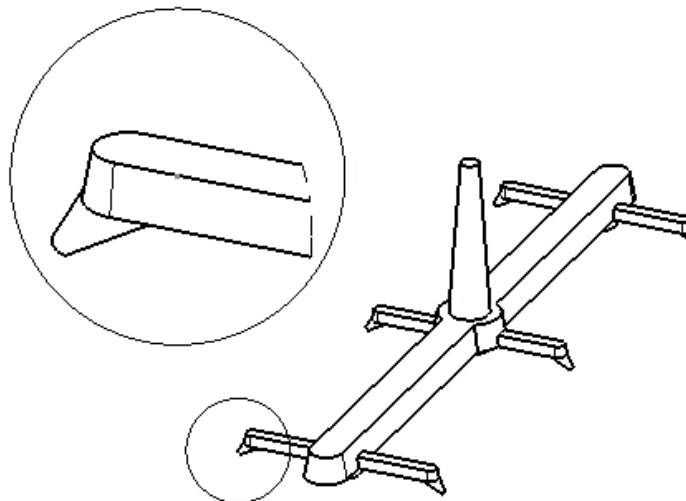
## 5 VÝROBEK

Zadaným dílem je držadlo plochého štětce velikosti 3“ (Obr. 13).

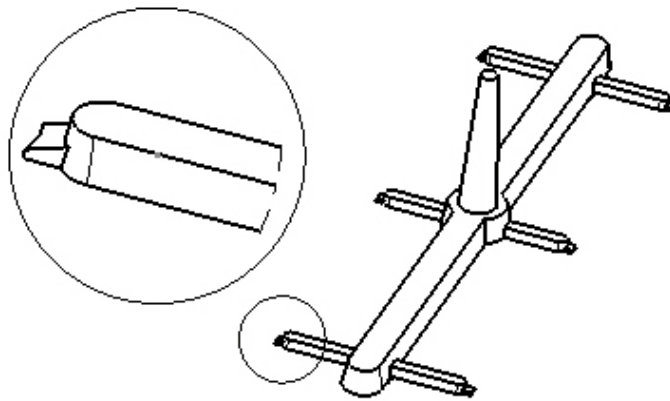


*Obr. 13. Držadlo plochého štětce*

Jedná se o tlustostěnný výrobek zhotovený vstřikováním do šestinásobné formy. Materiál i forma budou popsány v kapitole 6 a 7. Toto držadlo je vyráběno firmou Spojené kartáčovny Pelhřimov. Vtokový systém, jímž je forma plněna, byl původně navržen jako tunelový (Obr. 14). Nepodařilo se však s jeho použitím dosáhnout zaplnění dutiny, a tak se díl plní vtokem štěrbinovým (Obr. 15).

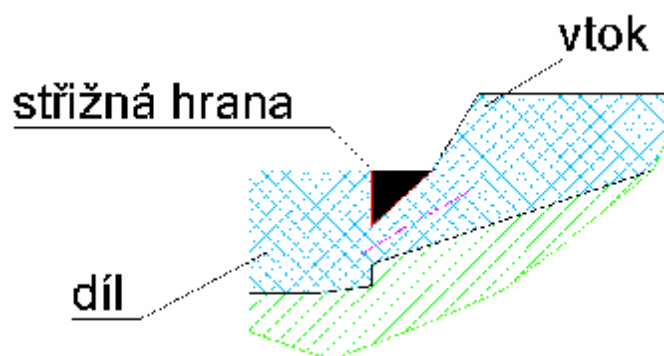


*Obr. 14. Původní tunelový vtokový systém*



Obr. 15. Štěrbínový vtokový systém

Díky tomuto uspořádání vtokového systému je pracovník obsluhující vstřikovací stroj nucen výrobek nechat chvíli vychladnout a poté ručně oddělit každý ze 6 dílů od vtokového systému. Tento způsob je nevhodný. Bylo tedy nutno navrhnout nový vtokový systém s využitím tunelového ústí. Při použití tohoto typu ústí dochází vlivem střížné hrany, která vznikne při jeho výrobě, k odtržení vtoků od dílu (Obr. 16). Tím ruční odstraňování odpadá. Aby bylo zabráněno opětovné výrobě nefunkčního vtoku, je při práci využito programu Catia a hlavně simulačního software Moldflow Plastics Insight (dále jen MPI).



Obr. 16. Systém odtržení vtoku

## 6 MATERIÁL DRŽADLA

Materiál výrobku byl volen s ohledem na funkci, použití a požadované vlastnosti. Na budoucím výrobku, tedy štětci, bude při práci s velkou pravděpodobností zničena nejdříve část přicházející do kontaktu s povrchem, který je natírán. Držadlo tedy nebude vyráběno s podmínkou dlouhé životnosti. Ani jeho mechanické vlastnosti nejsou požadovány ve vysokých hodnotách. Jako materiál byl tedy zvolen PP Mosten TB 003 recyklovaný (s indexem toku taveniny 3-5 g/10min), s 2% nadouvadla Tracel a barvivem Rykolen.

### 6.1 Vlastnosti materiálu PP Mosten

Jedná se o termoplastický materiál, který se vyrábí polymerací propylenu. Propylen vzniká při zpracování ropy. K výrobě se využívá iontové polymerace (srážecí, blokové nebo v plynné fázi). Výsledný materiál se vyznačuje dobrými elektroizolačními vlastnostmi, dobrou chemickou odolností vůči kyselinám i zásadám. Odolává vroucí vodě a sterilizaci. Zpracovává se vstřikováním, vytlačováním nebo lisováním při teplotách do 280°C. Používá se hojně pro výrobu předmětů domácí spotřeby, dále také v automobilovém průmyslu. Výrobce tohoto materiálu je Chemopetrol Litvínov.

### 6.2 Alternativní materiál

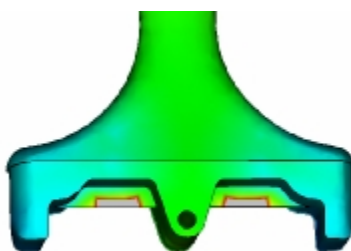
Při práci s programem MPI je nutno mimo jiné zadat správný druh materiálu, aby byla dosažena správnost výpočtů. Výše jmenovaný PP Mosten TB 003 v databázi MPI není. Výrobce není schopen dodat informační soubor potřebný pro zadání materiálu do systému. Proto byl zvolen materiál, používaný pro výrobu vzorků. Ten je vhodnou alternativou. Jedná se o Moplen HP501L. Opět jde o materiál ze skupiny Polypropylenů. Tento krystalický polymer se vyznačuje podobnými vlastnostmi jako výše jmenovaný materiál. Některé další jeho vlastnosti ukazuje Tab. 1.

Tab. 1. Některé vlastnosti materiálu PP Moplen HP501L

<b>Vlastnost</b>	<b>Jednotka</b>	<b>Hodnota</b>
<b>Rozsah teplot při vstřikování</b>	°C	220-280
<b>Teplota formy</b>	°C	20-60
<b>Index toku taveniny</b>	g/10 min	6
<b>Maximální smykové napětí</b>	MPa	0,25
<b>Maximální smyková rychlost</b>	s <sup>-1</sup>	100000
<b>Velikost smrštění</b>	%	2,5

## 7 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Pro tento díl byla vyrobena vstřikovací forma již v roce 1993, proto se některé postupy mohou zdát již zastaralé. Přesto spolehlivě slouží až dosud. V době kdy byla provedena konstrukce formy, nebyly k dispozici možnosti současných počítačů, forma byla tedy kreslena ručně. V této práci byly využity její tvarové části, poloha vyhazovačů, vtoková vložka, vložky přidržovačů vtoku a částečně chlazení. Jmenované části formy budou popsány podrobněji v kapitole 7.3. Samotná forma byla zhotovena jako šestinásobná se studenou vtokovou soustavou a nevyváženým vtokovým systémem, což znamená, že tavenina nebude vyplňovat všechny dutiny ve stejném čase. Výrobky v dutinách, které tavenina vyplní za kratší dobu, budou tzv. přetlačené, naopak ty, do nichž tavenina dorazí později, budou nedotlačené. V případě výrobků u nichž by byl kladen požadavek na určitou rozměrovou přesnost a hlavně dodržení hmotnosti by takové řešení nebylo možné. Na díl, který je zde zmiňován, však nejsou kladeny takové požadavky a případné nedotečení navíc vznikne v místě, které se nenachází na pohledové ploše (Obr. 17). Přesto budou návrhy směřovány k vytvoření možnosti plnění všech dutin současně a tím i k úspoře času.



Obr. 17. Nedotečení materiálu

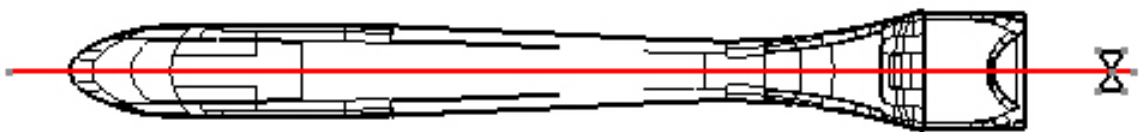
Forma se tedy skládá z vyhazovací a vstřikovací části. Vyhazovací část je složena z tvárnic, tvarové desky, desky opěrné, vyhazovacího systému, rozpěrných desek a upínací desky. Pro zajištění opěrné desky proti prohnutí je zde další dvojice rozpěrných desek. Vyhazovací systém bude popsán v kapitole 7.2.

Vstřikovací část tvoří tvárničky, tvarová deska, vtoková vložka a upínací deska. Hmotnost formy o rozměrech 490x364x244 mm je 390kg.

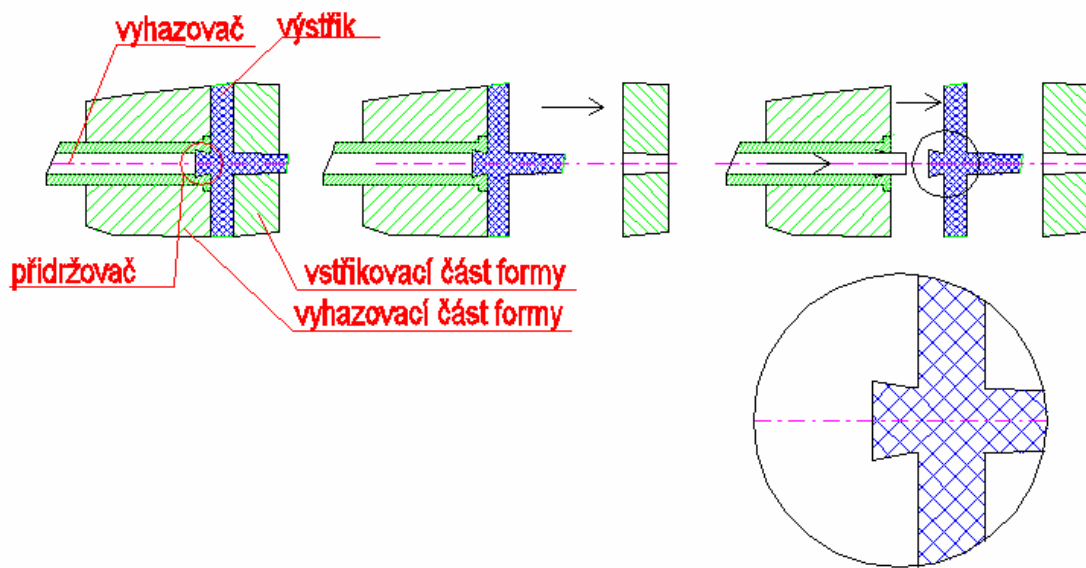


## 7.1 Zaformování dílu

Dělicí rovina je vedena tak, že rozděluje výstřik na dvě symetrické poloviny (Obr. 18). Výrobek svou konstrukcí splňuje podmínky o úpravách vstřikovaných dílů. Veškeré hrany jsou vhodně zaobleny. Velikost zaoblení činí 0,3-1,5mm. Touto úpravou byl eliminován vznik možných vnitřních pnutí. Všechny rovinné plochy jsou opatřeny úkosem, včetně otvoru sloužícího pro kolík. S pomocí kolíku se připevňuje k držadlu pracovní část štětce. Velikost úkosu je 3°. Jak již bylo zmíněno, dutina výstřiku je symetricky vytvořena v tvárníku i tvárnici. Je zvětšena o hodnotu smrštění, která je dána materiálem dílu. Činí 2,5%. Při otevírání formy je nutno dodržet podmínku, aby výstřik i vtokový systém zůstali na straně vyhazovací. Jen tehdy bude možno výstřik vyhodit případně oddělit od vtokových zbytků. Celý původní vtokový systém byl v tomto případě vyroben ve vstřikovací části formy. Při otevření musí být nějakým způsobem z této části vyjmut. Vyjmutí zajistí tzv. přidržovače vtoku (Obr. 19). Z obrázku lze názorně vidět jak systém funguje. Malý úhel (5°) zajistí vytažení vtokového zbytku ze vstřikovací části formy. Následným tlakem vyhazovače dochází ke stažení tohoto „přetoku“ a vytlačení z formy. Výrobky padají z formy spojeny s vtokovým zbytkem.



Obr. 18. Dělicí rovina



Obr. 19. Princip přidržovače vtoku

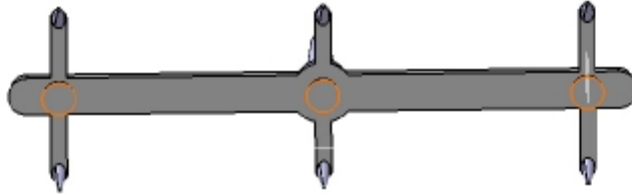
## 7.2 Vyhazování výstříku

Každý kus je vyhazován čtyřmi vyhazovači. Jsou vhodně umístěny, aby byl celý díl rovnoměrně vyhozen. (Obr. 20). Válcové vyhazovače průměru 4mm jsou umístěny na hlavové části dílu – tedy na její nepohledové části. Válcové vyhazovače průměru 6mm jsou naopak na straně pohledové. Jsou zabroušeny, přesto zanechávají na součásti stopu. Vzhledem k její funkci lze však stopu považovat za nepodstatnou.



Obr. 20. Rozmístění vyhazovačů na výstříku

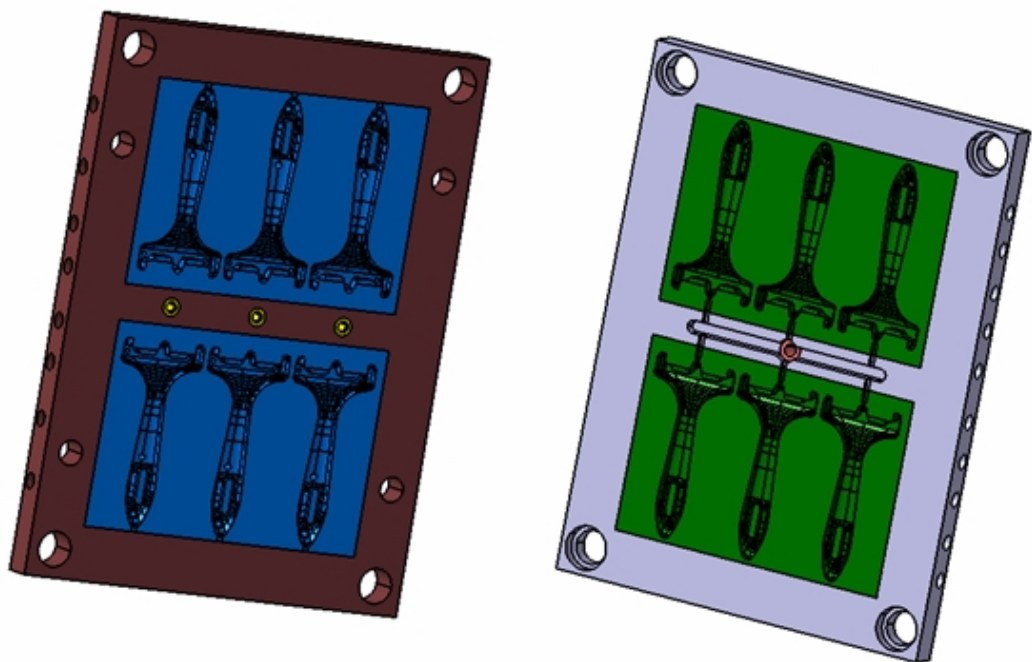
Další 3 vyhazovače jsou umístěny pod přetoky sloužícími jako přídržovače vtoku (Obr. 21). Všechny vyhazovače jsou upevněny tak, že jsou zapuštěny ve vyhazovací desce a přitaženy jedním šroubem.



Obr. 21. Rozmístění vyhazovačů na vtoku

### 7.3 Tvarové části

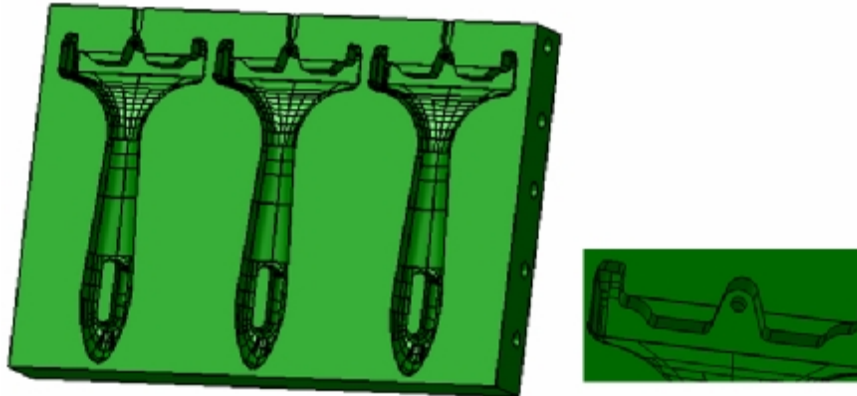
Tvarové části této formy jsou tvořeny tvarovými deskami, do nichž se vkládají tvárnice respektive tvárníky. Další tvarové části tvoří vtoková vložka a vložky přídržovačů vtoku. Celkové uspořádání je zobrazeno na Obr. 22.



Obr. 22. Tvarové části formy

### 7.3.1 Tvárníky

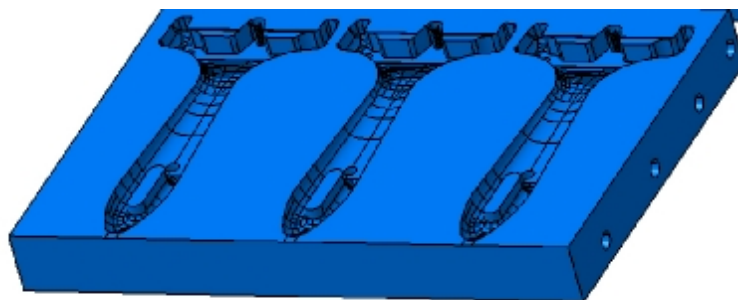
Tvárníky jsou vyrobeny z materiálu 19663. Jsou kaleny na hodnotu 56 HRC. Do opěrné desky jsou připevněny osmi šrouby M8. Kromě dutiny pro výstřik jsou v nich vyrobeny kanály chlazení. Na Obr. 23 lze vidět rozmístění dutin v tvárníku a také umístění děr pro jádro, které vytvoří otvor pro kolík. Je zde také vidět část vtokové drážky původního uspořádání.



Obr. 23. Tvárník

### 7.3.2 Tvárnice

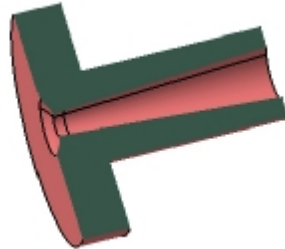
Materiál i jeho tepelná úprava jsou stejné jako u tvárnic. Jsou zde vyrobeny díry pro vedení vyhazovačů (Obr.24). Tvárnice jsou opatřeny odvodušňovací drážkou. Jedna se o 5 mm širokou drážku hloubky 0,02mm, která slouží pro odvod stlačeného vzduchu. Pokud bychom tuto úpravu neprovedli, hrozilo by uzavření vzduchu, jeho stlačení a následný vznik spáleného místa.



Obr. 24. Tvárnice

### 7.3.3 Vtoková vložka

Vtokové vložka je vyrobena z materiálu 14220, kalena a cementována. Je provedena s vnitřním úhlem  $4^\circ$  pro snadné vytažení vtokového zbytku při otevírání formy (Obr. 25).



Obr. 25. Vtoková vložka

### 7.3.4 Vložky přídržovačů vtoku

Vložky přídržovačů vtoku jsou také vyrobeny z materiálu 14220, kaleny a cementovány. Tyto vložky jsou uloženy v tvarové desce. Mají velmi důležitou funkci při vyhazování součásti (Obr.26). Ta byla popsána u principu vyhazování.



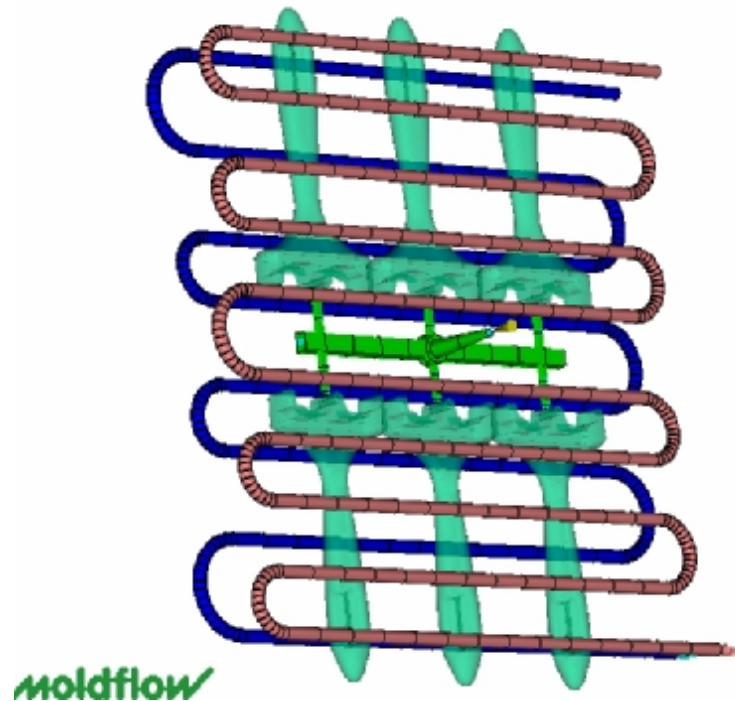
Obr. 26. Vložka

přídržovače vtoku

### 7.3.5 Chlazení

Forma není vyhřívána je pouze intenzivně chlazena. Pro chlazení zde byla využita voda o teplotě  $9-11^\circ\text{C}$ , tekoucí rychlostí  $0,16 \text{ l/s}$ , pod tlakem  $0,35 \text{ MPa}$ . Chladicí kanály v tvárnici i v tvárníku jsou průměru  $8 \text{ mm}$ . Jedná se o díry vrtané skrz tvárník respektive tvárnici, které mají na konci vyroben závít. Zde jsou připojeny trubice procházející tvarovou deskou a ústící z ní koncovkou. Na ní je umístěna hadice a spojena s další koncovkou (Obr.

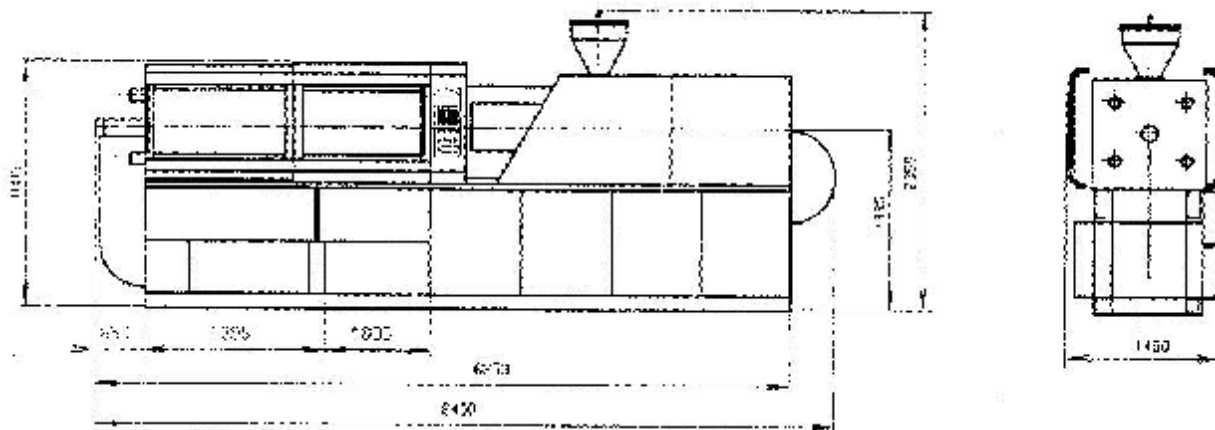
27). Každá polovina formy je propojena jedním chladícím okruhem. Vzdálenost chladících kanálů od dutiny je cca 7 mm. Tato hodnota je dostačující. Při malých vzdálenostech by mohlo dojít k praskání tenkých stěn, ať už při výrobě nebo při provozu.



Obr. 27. Chlazení

## 8 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Ve výrobě je využíván vstřikovací stroj SK 1600-810. Jedná se o horizontální vstřikovací stroj s průměrem šneku 55 mm, maximálním vstřikovacím tlakem 183 MPa, uzavírací silou 1600 kN. Další jeho parametry viz Tab.2. Schéma stroje viz Obr 28.



Obr. 28. Vstřikovací stroj

Tab. 2. Některé technické údaje pracovního stroje

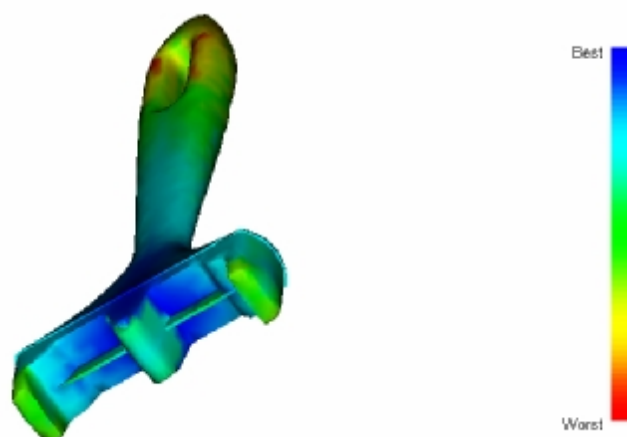
Vlastnost	Jednotka	Hodnota
Max. objem polymeru	mm <sup>3</sup>	440 0000
Přítlačná síla trysky	kN	124
Osová vzdálenost sloupů	mm	450
Síla vyhazovače	kN	56
Zdvih vyhazovače	mm	160
Hmotnost stroje	kg	7800

## 9 NÁVRH NOVÝCH VARIANT VTOKOVÉHO SYSTÉMU

Při konstrukci nového vtokového systému existují určitá omezení. Forma je již vyrobena, jakýkoliv zásah do polohy dutin je tedy téměř nemožný, zejména z důvodu umístění vyhazovačů, chlazení ale i dalších konstrukčních záležitostí. Jak již bylo zmíněno, při konstrukci nového vtokového systému jsou využívány software Catia a MPI. V následujících kapitolách bude vysvětlen výběr nového místa vtoku s použitím MPI, představeny nové varianty, jejich technické řešení. Budou porovnány výsledky analýz jednotlivých variant. Dále bude popsán a zdůvodněn výběr nejlepších dvou variant. Dalším bodem je popis jejich úprav do finální verze a porovnání výsledků s původním řešením.

### 9.1 Analýza výběru nejvhodnějšího místa vtoku

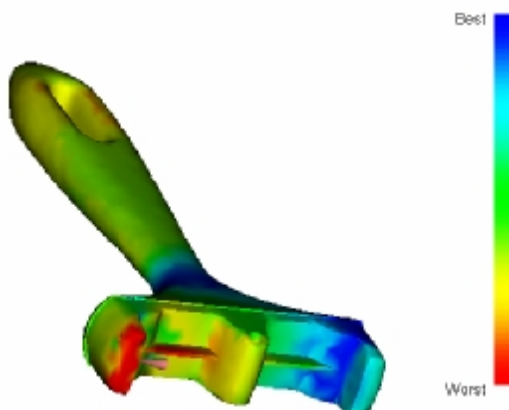
Simulační program MPI umožňuje vyhodnocení ideálního místa vtoku. Pro jeho určení program zohledňuje tvar dílu, ale také jeho materiál. Před započítáním návrhu variant bylo určeno, že mezi návrhy budou zastoupeny varianty s plněním jedním, ale i dvěma vtoky. Barevná škála ukazuje vhodnost umístění vtoku na díle. Modrá barva je nejvhodnější místo, naopak barva červená udává místo nejméně vhodné k umístění vtoku (Obr. 29).



Obr. 29. Analýza polohy vtoku



Podobným způsobem je provedena analýza ideálního umístění vtoku u návrhu s vtokem dvojnásobným. Poloha prvního vtoku je již v systému zadána. MPI určí nejvhodnější místo pro druhé ústí (Obr. 30). Je důležité brát v úvahu, že systém nedokáže rozpoznat k čemu bude daný díl určen. Nepozná tedy jeho pohledovou stranu a klidně se tak může stát, že navrhne nejideálnější místo vtoku v místě nevhodném z hlediska funkce dílu. Volba polohy místa plnění tak bývá většinou kompromisem.



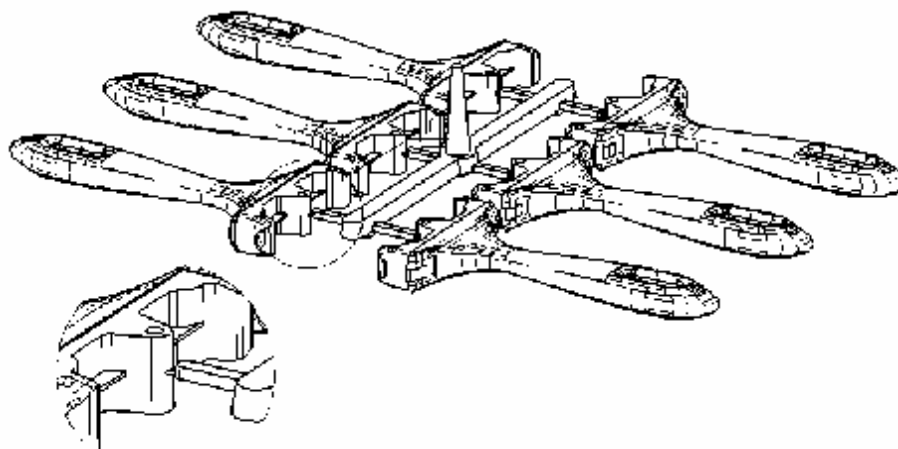
Obr. 30. Analýza polohy druhého vtoku

## 9.2 Varianty vtokového systému

V následující kapitole budou představeny jednotlivé návrhy, včetně výsledků tokových analýz. Všechny tyto analýzy jsou provedeny s nastavením procesních podmínek při vstřikování dle MPI, aby bylo možno výsledky vzájemně porovnat.

### 9.2.1 Varianta původní

Nejdříve byl navržen tunelový vtok. Ten však nebyl funkční. Bude popsán v další kapitole. Bylo tedy využito náhradního řešení, štěrbinového vtoku, který plní dutinu v její podélné ose (Obr. 31). Tento způsob není příliš vhodný. Tavenina jde prakticky přímo do dutiny. Nastává vstřikování do volného prostoru, z čehož mohou pramenit stopy vznikající na dílcích. Další a podstatnější nevýhodou této varianty, je ruční odstraňování vtokového zbytku.

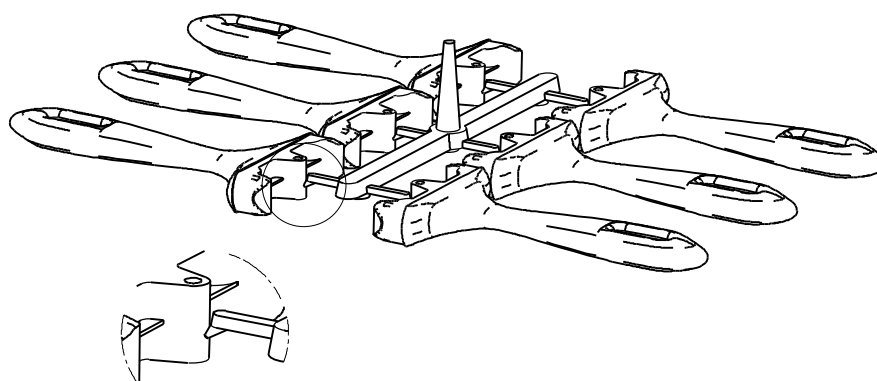


Obr. 31. Uspořádání se štěrbinovým vtokem

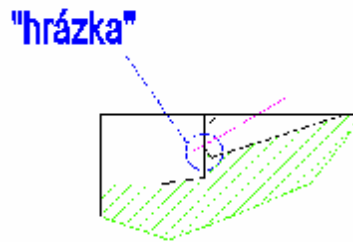
Vtokové kanály jsou lichoběžníkového průřezu. Úhel sklonu je  $10^\circ$ . Jsou vyrobeny pouze v jedné části formy. V podobném stylu budou navrženy i varianty z nichž bude vybrána náhrada tohoto způsobu plnění.

### 9.2.2 Varianta 0

Při konstrukci formy byl konstruktéry, jako první provedení, navržen tunelový vtok ústící do podélné osy (Obr. 32). Při jeho návrhu bylo využito tzv. "hrázky". Při výrobě kuželové díry v desce nebyla díra obrobena až do konce (Obr. 33).

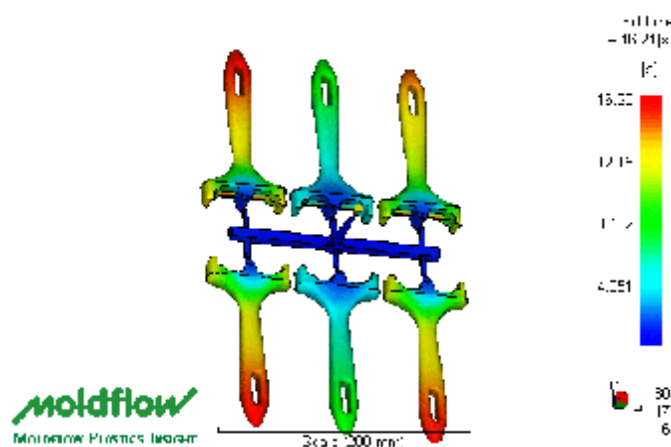


Obr. 32. Uspořádání varianty 0



Obr. 33. Přehrazení toku

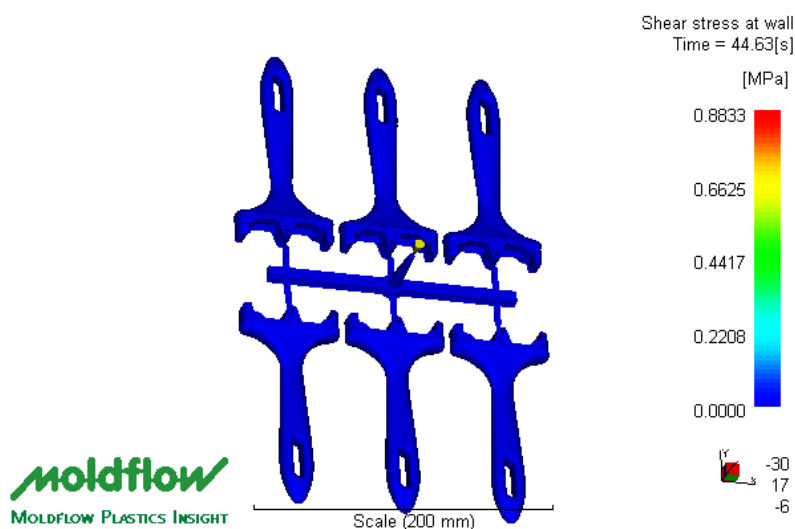
Řešení s použitím této úpravy mělo zajistit snížení smykového napětí a hlavně vznik střižné hrany. Ve výsledku měl být vtok ustřižen tak, že na dílci nebude vidět téměř žádná stopa. Na hotovém štětci by však případná stopa po vtoku byla skryta. Tato úprava je tedy zbytečná. Navíc tím, že kuželová díra nebyla vyrobena do konce, došlo ke zmenšení průřezu vtokového ústí. Při následném vstřikování tavenina přes tuto úpravu vůbec neprošla. Situaci bylo potřeba operativně řešit a tak byla použita varianta se štěrbinovým vtokem. Varianta 0 je výše jmenovaný původní návrh, ovšem bez „hrázky“. Na zobrazeném průběhu plnění s použitím varianty 0, lze vidět jakým způsobem se tavenina do dutin dostává (Obr. 34). Barevná škála ukazuje v jakém čase jsou zaplněny jednotlivé části dutin. Modrá barva udává zaplnění v nejkratším čase, naopak barva červená ukazuje místa, která jsou zaplněna nejpozději. Z obrázku lze vidět, že prostřední dutiny byly zaplněny už v čase 8s, naopak krajní dutiny až v čase 16,20s, tedy čase dvojnásobném. Tento výsledek se dal, dle rozměrů vtokového systému, očekávat.



Obr. 34. Průběh

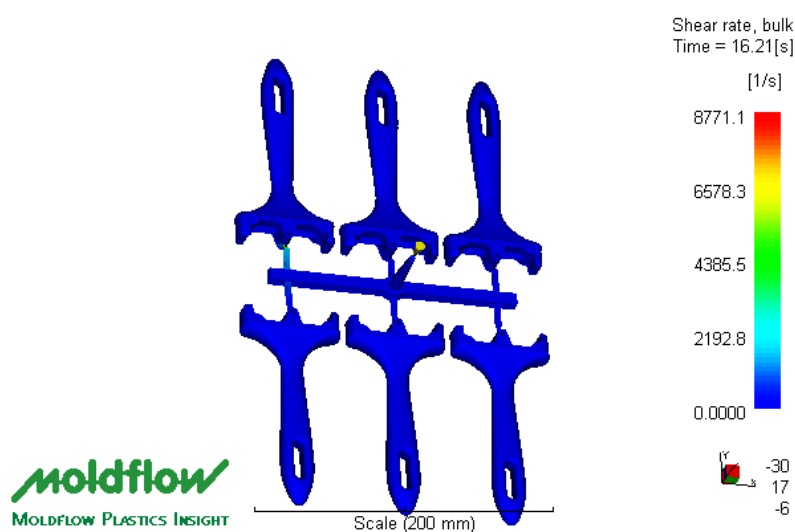
plnění varianty 0

Další obrázek ukazuje analýzu průběhu smykového napětí na stěně. (Obr. 35). Pro daný materiál Moplen HP501L je dovolená hodnota 0,25 MPa. Tato hodnota je v předběžném návrhu překročena, což by způsobovalo degradaci materiálu. V obrázku maximální hodnota zřetelně vidět není, ale s velkou pravděpodobností je v některém zúženém místě.



Obr. 35. Průběh smykového napětí na stěně varianty 0

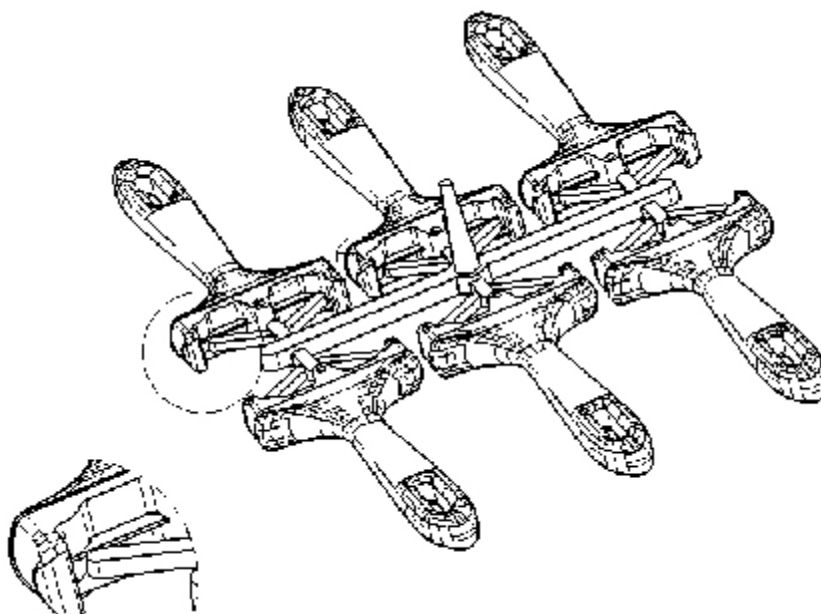
Dovolená hodnota smykové rychlosti je  $100000 \text{ s}^{-1}$ . Z analýzy lze vidět, že v daném návrhu dosahuje pouze hodnoty  $8771 \text{ s}^{-1}$  (Obr.36).



Obr. 36. Průběh smykové rychlosti varianty 0

### 9.2.3 Varianta 1

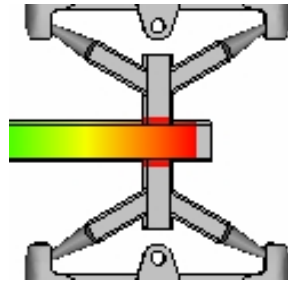
S použitím této varianty (Obr. 37) jsou dutiny plněny dvěma vtoky umístěnými v místech, ve kterých MPI vyjadřuje vhodnost k umístění hodnotou 83%. Lichoběžníkové kanály jsou i zde zkoseny pod úhlem 10°. Průměr napojení tunelového ústí je zde i u dalších variant 2mm.



Obr. 37. Uspořádání varianty 1

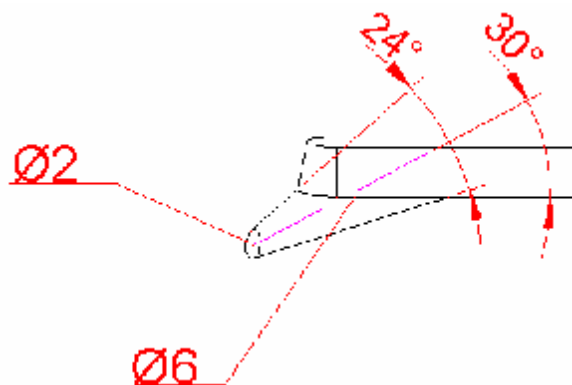
U hlavního, ale i bočních kanálů, jsou na jejich koncích vidět tzv. slepá místa. Proudící tavenina je na čele ochlazována, stoupá tedy možnost vzniku studeného spoje. Proto je vhodné tuto část taveniny odstranit. Očekává se, že proud poteče kanálem cestou nejmenšího odporu, což znamená, že nejdříve bude zaplněno slepé místo. Zde se dostane ono chladnější čelo taveniny. (Obr. 38). Do formy tak poteče již jen „čerstvá“ tavenina. Při návrhu této varianty bylo využito toho, že se tavenina po vstupu do dutiny formy dostává ke stěně, kde se její proud „boří“, čímž je zabráněno negativním jevům. Ze zobrazeného návrhu lze také vidět, že tavenina vycházející z hlavního kanálu nepřechází okamžitě do kanálu šikmého, ale po krátkou dobu jde kanálem kolmým, na hlavní kanál (Obr. 38). Pokud by totiž byly šikmé kanály napojeny ihned na kanál hlavní, tavenina by si opět vybrala cestu nejmenšího odporu a protékala by více do pravého kanálu. Tvar a geometrii tunelového ústí

lze vidět na Obr.39. Analýza plnění opět ukazuje, jak a za jaký čas budou dutiny naplněny (Obr.40). Středové dutiny jsou zaplněny již v čase 9s a zbylých cca 8s „čekají“ na doplnění ostatních dutin (Obr. 41). Výsledné analýzy splňují účel za jakým byly vytvořeny. Ukazují vady, které je třeba odstranit v další práci na vybraných variantách.

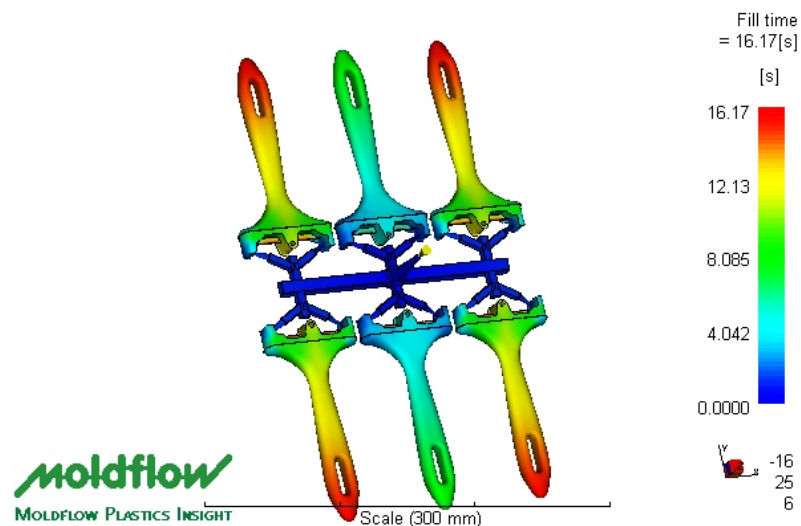


Obr. 38. Zaplnění

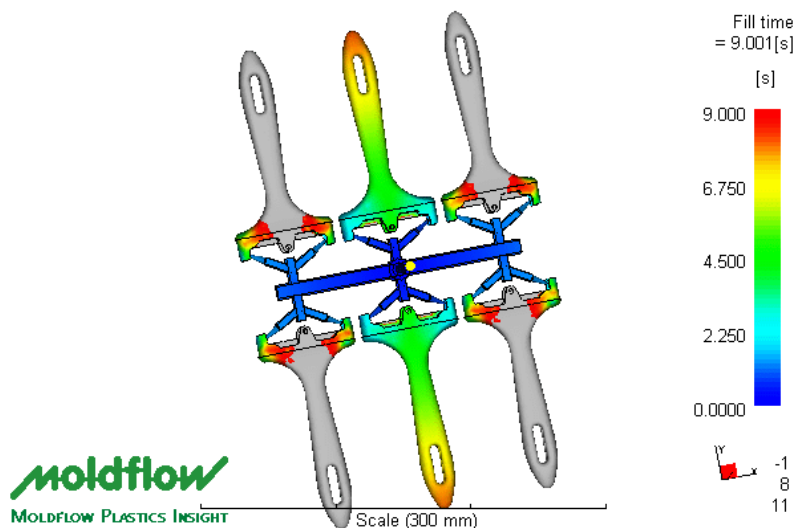
slepého místa



Obr. 39. Tvar a geometrie tunelového ústí

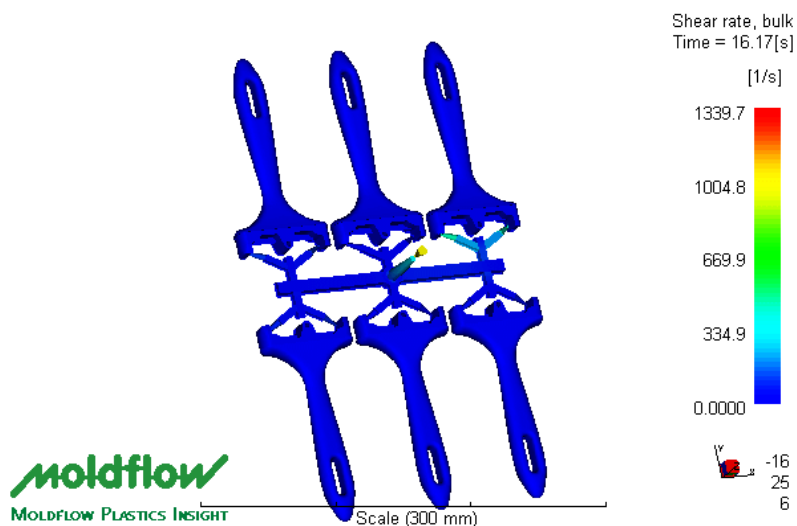


Obr. 40. Průběh plnění varianty 1



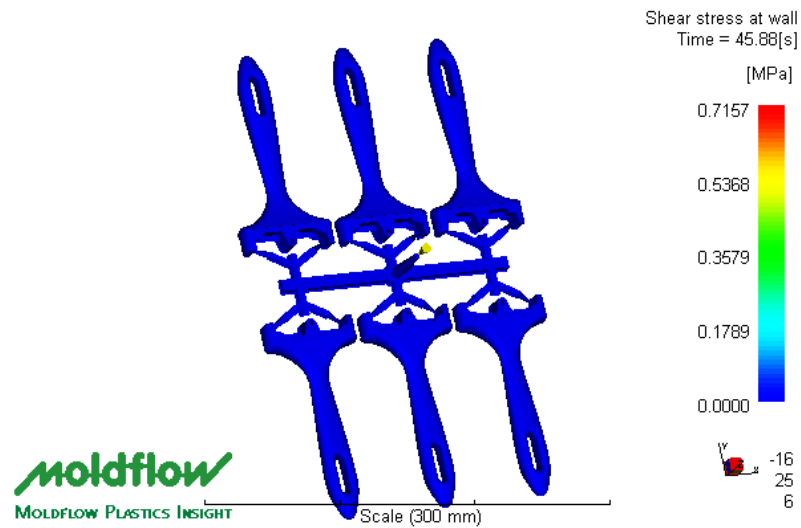
Obr. 41. Částečné zaplnění varianty 1

Hodnota smykové rychlosti dosahuje u této varianty pouze hodnoty  $1339,7 \text{ s}^{-1}$  (Obr. 42).



Obr. 42. Smyková rychlost varianty 1

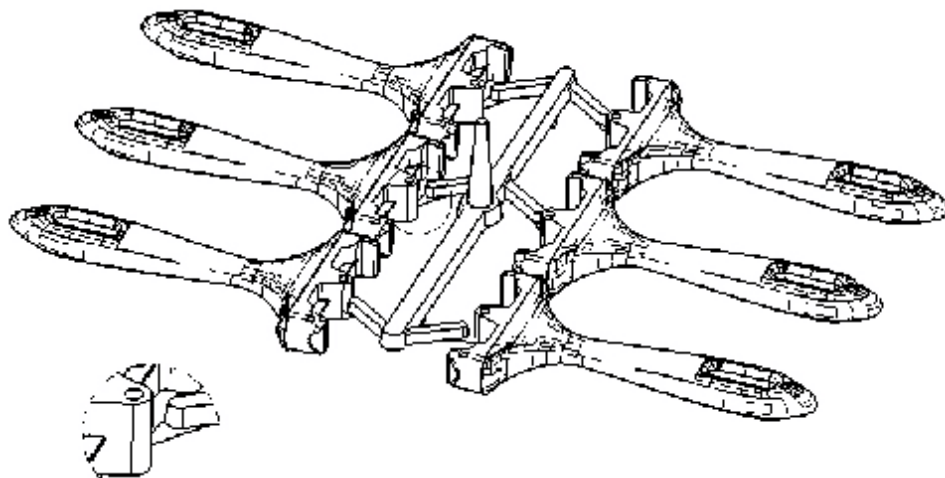
Napětí na stěně opět překročilo dovolenou hranici. Hodnota  $0,7157 \text{ MPa}$  je téměř 3x větší než je hodnota dovolená (Obr. 43). Mohla by tedy v tomto případě nastat degradace materiálu.



Obr. 43. Smyková napětí varianty 1

#### 9.2.4 Varianta 2

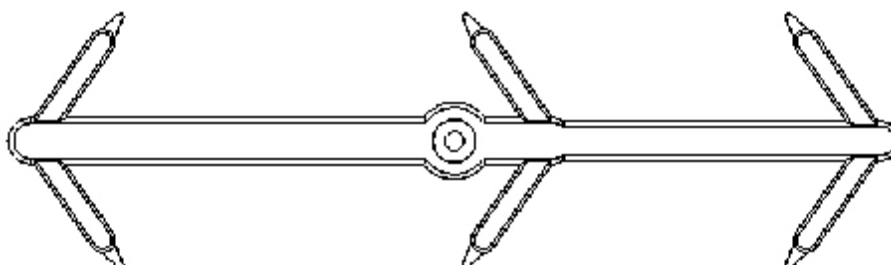
Tato varianta vtokového uspořádání plní každou dutinu jedním vtokem umístěným v místě, ve kterém MPI vyjadřuje vhodnost k umístění hodnotou 75%. Umístění je zvoleno podobně jako u původního tunelu. Lze takto zjistit zda bude přechod taveniny přes jádro i pod jiným úhlem stejně nevýhodný jako u původní varianty. Materiál by se zde měl teoreticky o jádro tříštit, ale zároveň se příliš nerozdělovat, čímž by měl být omezen vznik povrchových vad i studených spojů (Obr. 44).



Obr. 44. Uspořádání varianty 2

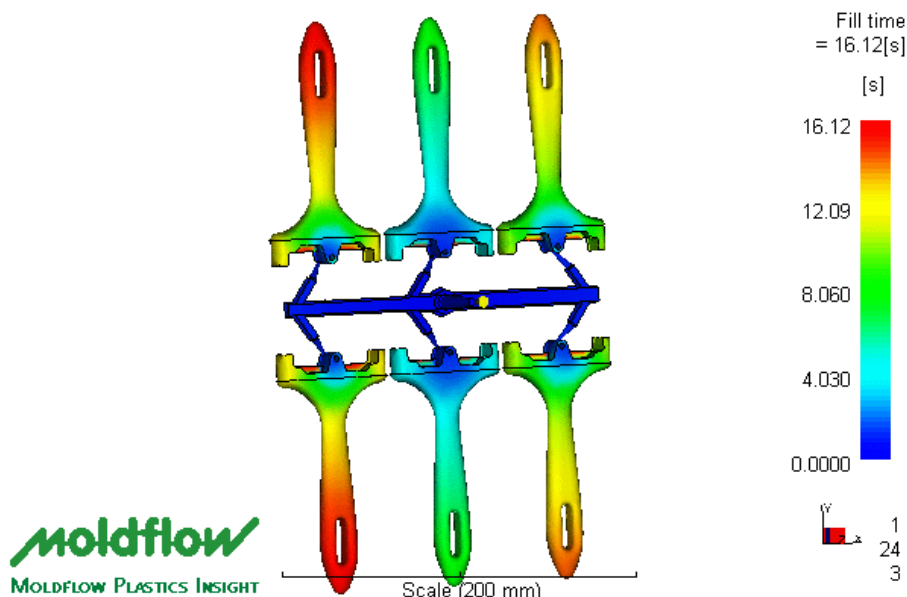


U této varianty jedna z hlavních větví zásobuje čtyři dutiny. Byl navržen menší průřez kanálu, aby se zvýšila rychlost proudící taveniny. Lze však očekávat spíše zhoršení tečení do této části (Obr. 45).



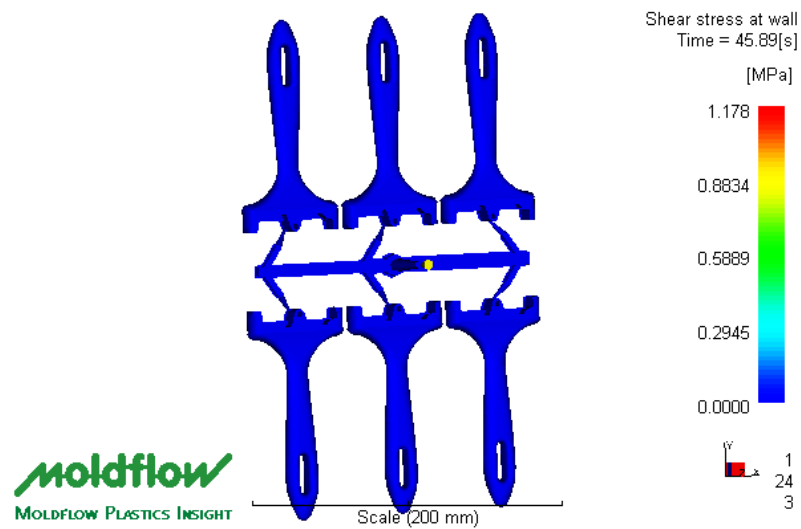
Obr. 45. Rozdílné průřezy hlavního kanálu varianty 2

Ze zobrazeného návrhu lze také vidět, že tavenina vycházející z hlavního kanálu přechází do šikmého kanálu pod úhlem větším než  $90^\circ$ , což je jedna ze zásad návrhu. Tvar a geometrie tunelového ústí jsou stejné jako u varianty 1. Na průběhu plnění této varianty (Obr. 46) je opět vidět nejprve zaplnění prostředních dutin, do nichž je vzdálenost, kterou musí urazit tavenina, nejmenší. Zúžení části hlavního kanálu se stalo příčinou zpoždění taveniny. Došlo zde ke snížení množství přiváděného materiálu a ke zvýšení odporu. Tato úprava se tedy ukázalo jako nevhodná.



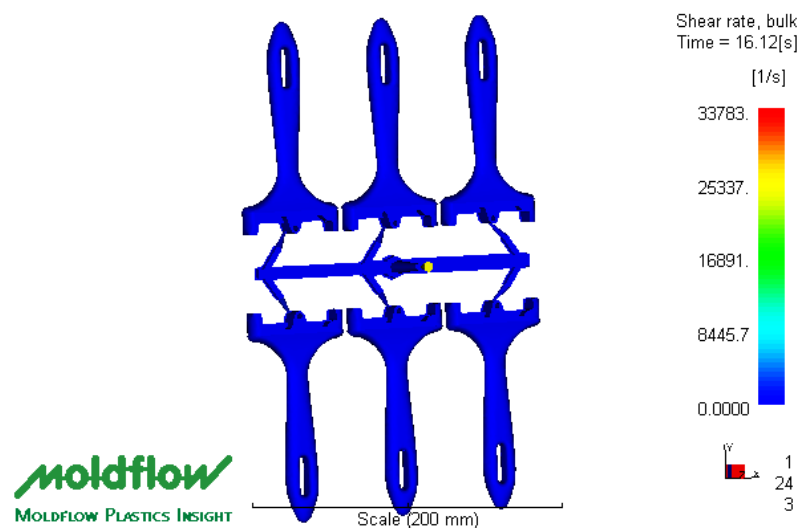
Obr. 46. Průběh plnění varianty 2

Hodnota smykového napětí je zde zatím největší ze všech navržených variant (Obr. 47).



Obr. 47. Smyková napětí na stěně varianty 2

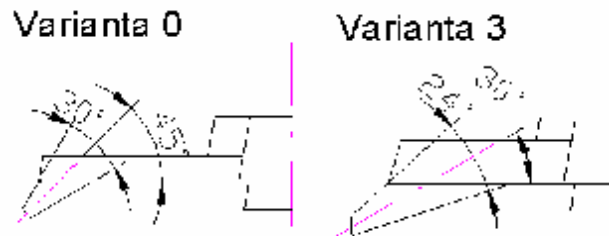
Také hodnota smykové rychlosti je zde velmi vysoká (Obr. 48). Ač MPI udává místo vtoku v podélné ose jako ideální (80%), analýzy ukazují, že tomu tak není.



Obr. 48. Smyková rychlost varianty 2

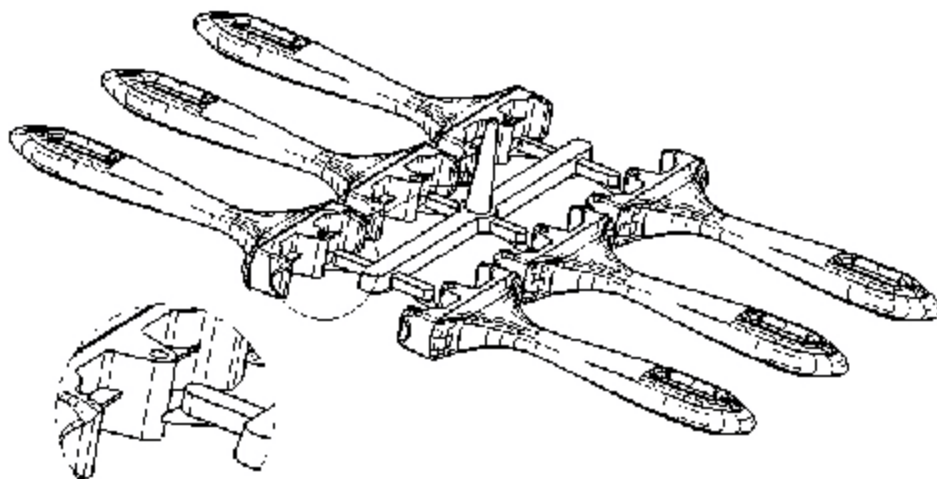
### 9.2.5 Varianta 3

Tento návrh vychází z varianty 0, ale je zde upraven úhel sklonu tunelového ústí a také vnitřní úhel kužele. Tyto úpravy lze vidět v porovnávacím obrázku s variantou 0 (Obr. 49).

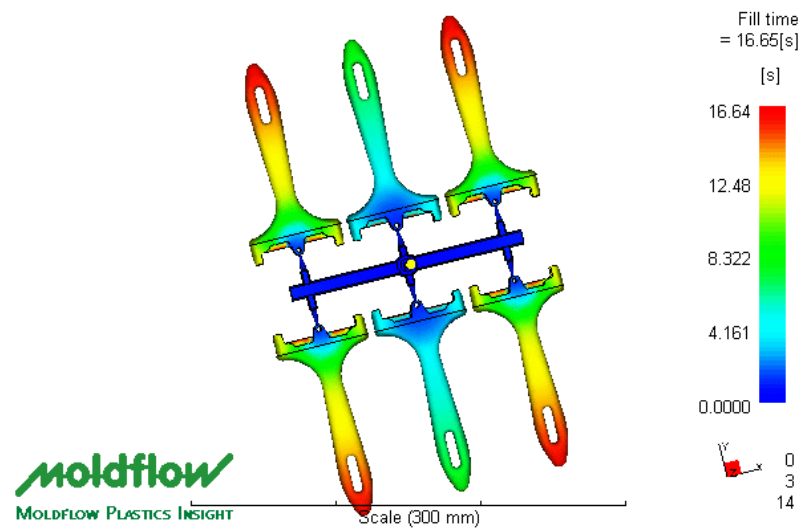


Obr. 49. Porovnání variant 0 a 3

Jde tedy o typ, kterým se dutiny zaplňují ve stejném místě, jako je tomu u původního štěrbinového ústí (Obr. 50). MPI vyjadřuje vhodnost umístění do této části dutiny hodnotou 80%. Jedná se o návrh, u kterého jsou všechny rozměry totožné s původní štěrbinou s výjimkou vtokového ústí. Je tedy velmi vhodný pro porovnání výhodnosti daných vtoků. Průběh tečení je zde velmi podobný jako u ostatních variant (Obr. 51).

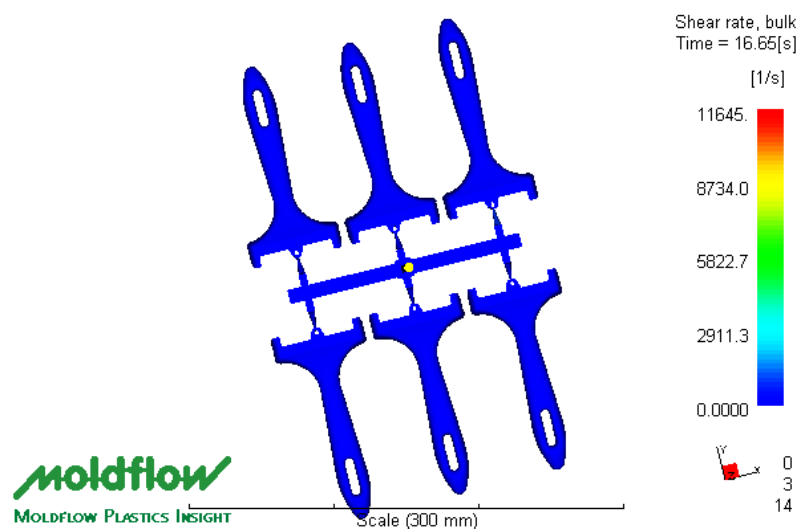


Obr. 50. Uspořádání varianty 3

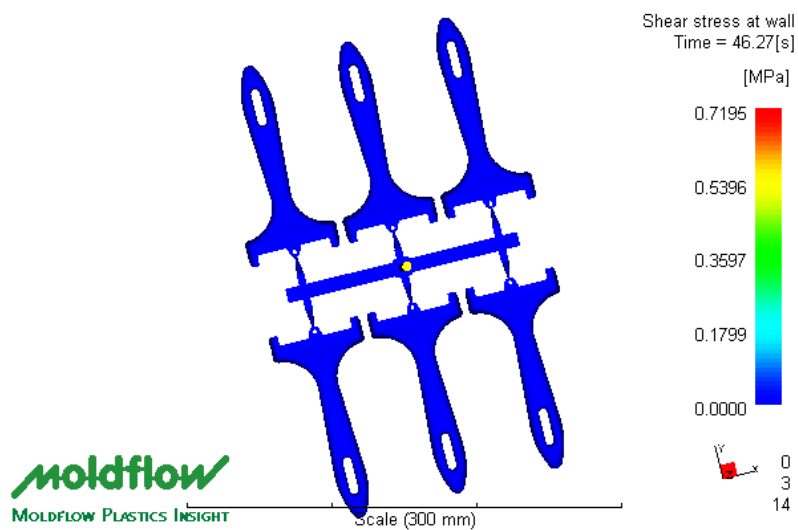


Obr. 51. Průběh plnění varianty 3

Maximální smykového napětí (Obr. 52) a smyková rychlost (Obr. 53) jsou opět nad dovolenými hodnotami. Výsledky této varianty se podobají variantám 0 a 2, u kterých je díl také plněn v podélné ose.



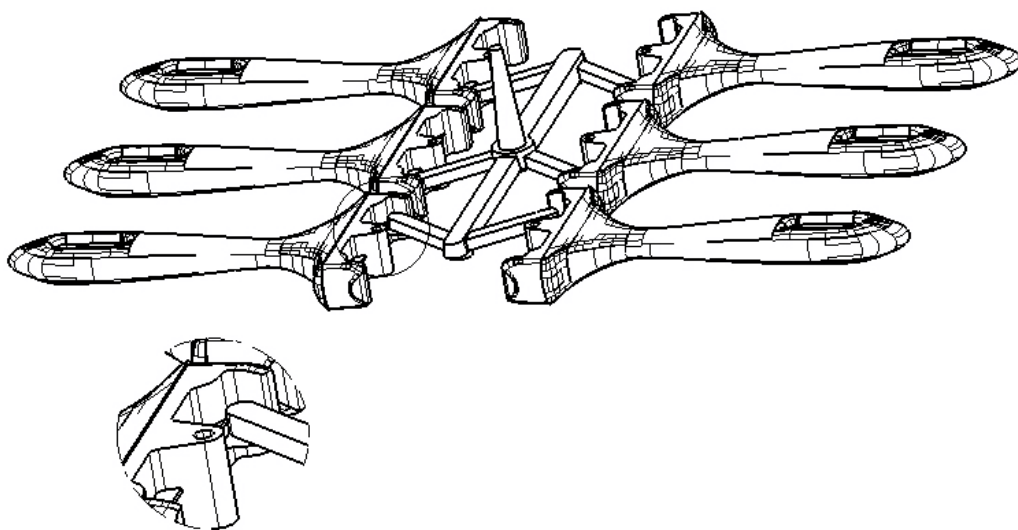
Obr. 52. Smyková rychlost varianty 3



Obr. 53. Smykové napětí na stěně varianty 3

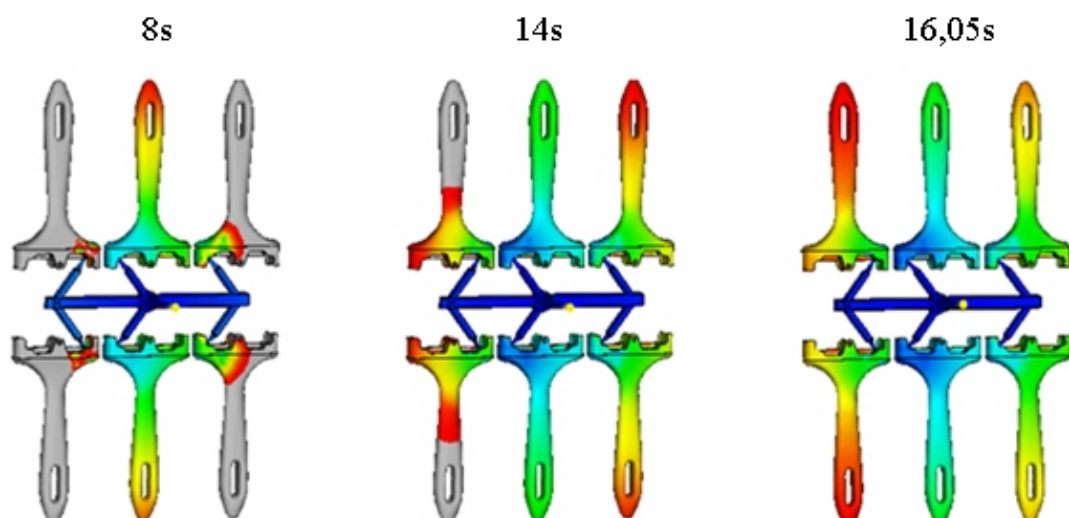
#### 9.2.6 Varianta 4

Jedná se v podstatě o modifikaci varianty 2. Rozdíl je pouze v umístění vtokového ústí. Plnění je zde tedy opět zajišťováno pouze jedním vtokovým ústím (Obr. 54).

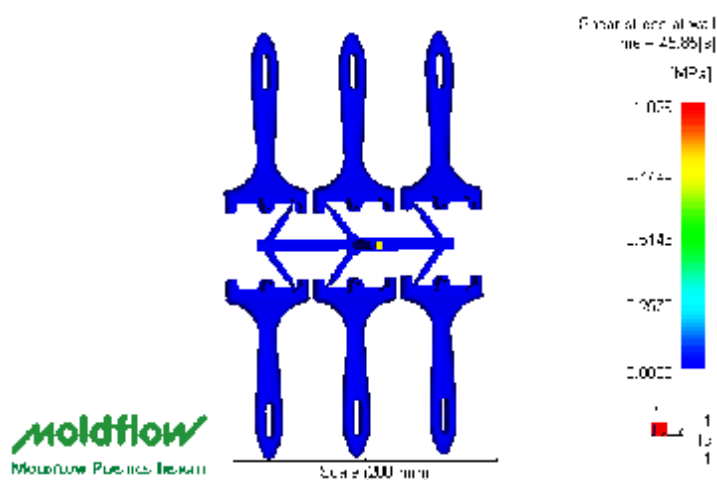


Obr. 54. Uspořádání varianty 4

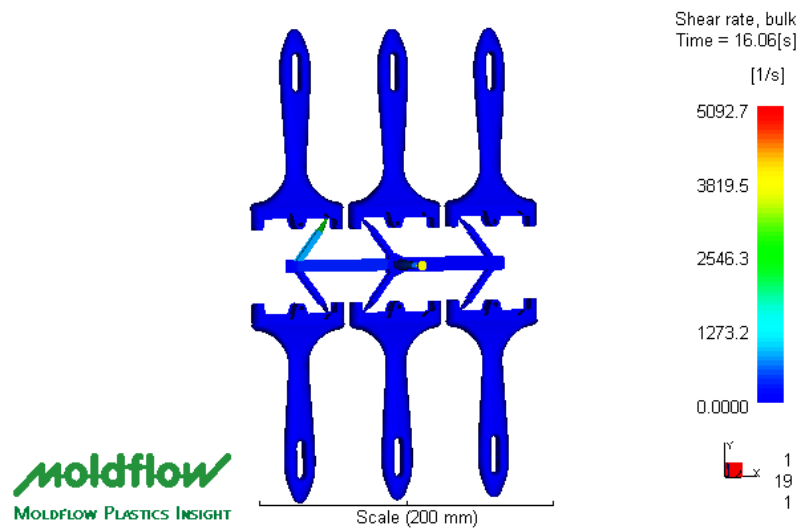
Vhodnost umístění vtoku je vyjádřena hodnotou 84%. Jedna část kanálu je opět zúžena. Rozměry jsou zvoleny stejně jako u varianty č.2. Materiál zde naráží na stěnu dutiny, nedochází tedy ke vstřikování do volného prostoru, což je nežádoucí, protože by vznikalo plnění turbulentním prouděním. Plnění dutin zde probíhá tak, že nejdříve v čase 8s dojde k naplnění prostředních dutin, v čase 14 sekund jsou zaplněny dvě krajní dutiny a v čase 16,05 jsou již zaplněny všechny dutiny (Obr. 55). Tento způsob plnění je dán rozdílnými velikostmi ploch průřezu hlavních kanálů. Je pochopitelně také nevhodný. Analýza však ukazuje možnosti úprav, vedoucích k plnění všech dutin současně. Maximální velikost smykového napětí je zde rovna téměř pětinasobku dovolené hodnoty (Obr. 56). Materiál by tedy degradoval. Naopak hodnota maximální smykové rychlosti je minimální, pouze  $5092 \text{ s}^{-1}$  (Obr. 57).



Obr. 55. Průběh plnění varianty 4



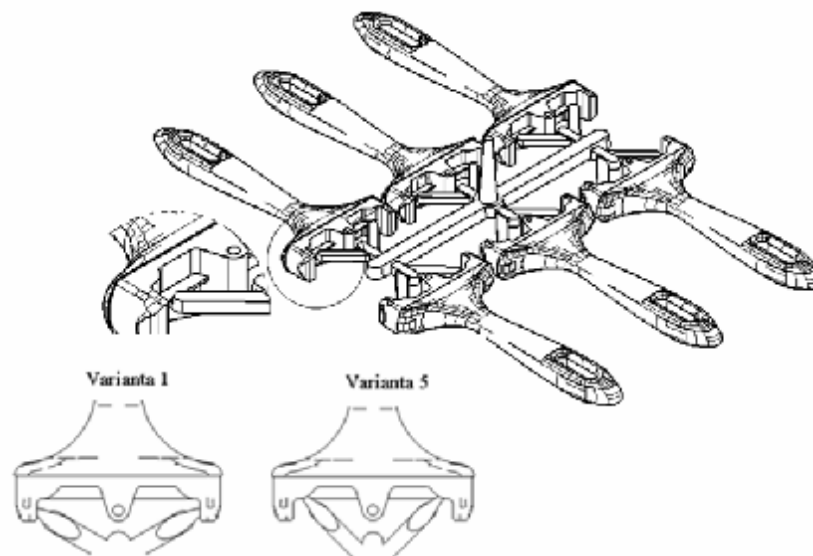
Obr. 56. Smykové napětí na stěně varianty 4



Obr. 57. Smyková rychlost varianty 4

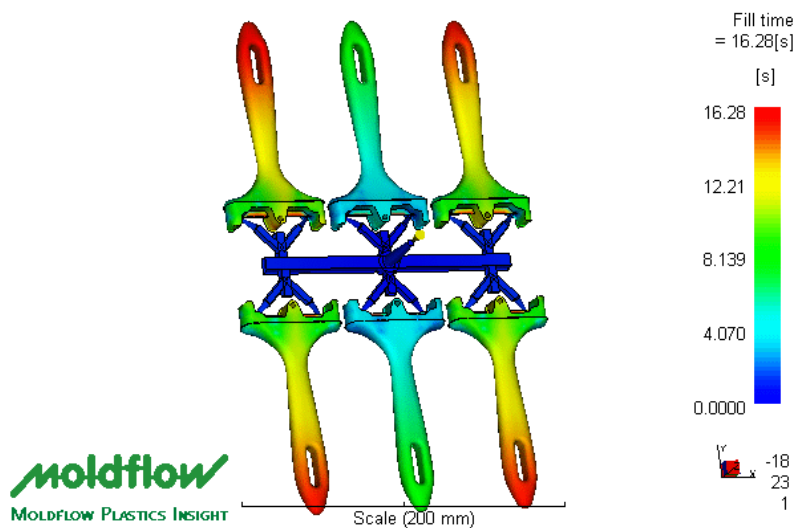
### 9.2.7 Varianta 5

Poslední varianta je velmi podobná variantě číslo 1. Jedná se o návrh s dvojnásobným vtokovým ústím (Obr. 58). Vhodnost umístění vyjadřuje MPI hodnotou 80%. Porovnání napojení vtoků s variantou 1 ukazuje rovněž Obr. 58.



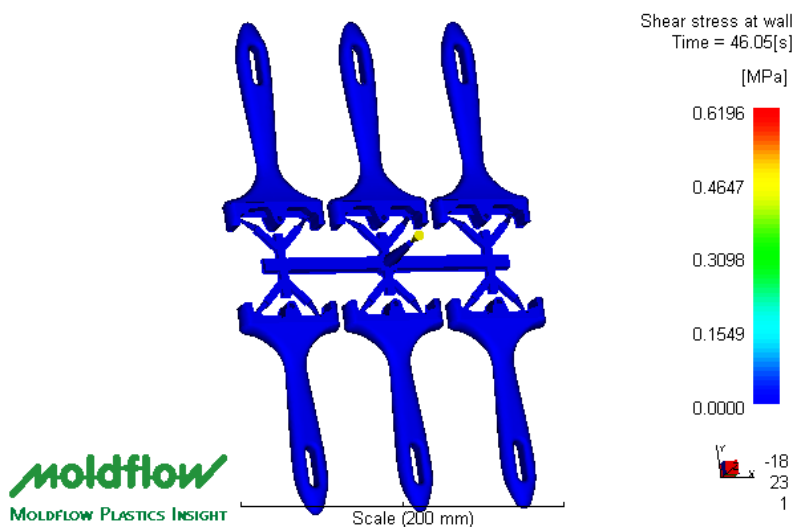
Obr. 58. Uspořádání varianty 5 a porovnání polohy s variantou 1

Průměr napojení vtokového ústí do dutin formy je stejně jako u předchozích variant 2mm. Plnění opět probíhá tak, že je nejdříve naplněna prostřední část. Až potom se zaplňují krajní dutiny, což lze vidět z barevného rozlišení (Obr. 59).



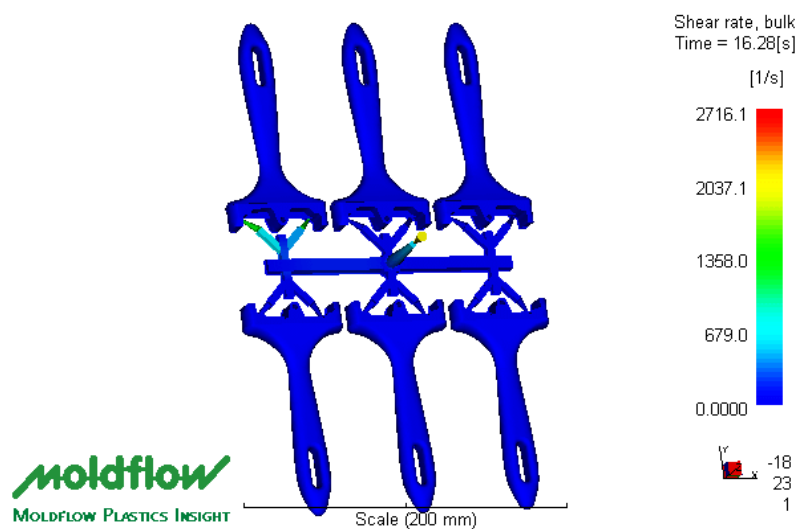
Obr. 59. Plnění varianty 5

Hodnota maximálního smykového napětí je zde opět překročena (Obr. 60). Hodnota smykové rychlosti je naopak nízká (Obr. 61).



Obr. 60. Smykové napětí na stěně varianty 5





Obr. 61. Smyková rychlost varianty 5

### 9.3 Srovnání variant

V předchozích kapitolách byly prezentovány předběžné návrhy jednotlivých variant nového vtokového systému. V této kapitole proběhne jejich porovnání a výběr varianty s jedním vtokovým a dvěma vtokovými ústími. Nyní budou porovnány návrhy s jedním vtokovým ústím (Tab. 3).

Tab. 3. Porovnání variant s jedním vtokem

Vlastnost	Jednotka	Varianta 0	Varianta 2	Varianta 3	Varianta 4
Čas plnění	s	16,21	16,12	16,64	16,05
Tlak v bodě přepnutí	MPa	15,29	14,5	10,7	15,1
Smyková rychlost taveniny	s <sup>-1</sup>	8770	33783	11645	5093
Smykové napětí na stěně	MPa	0,88	1,18	0,72	1,03
Uzavírací síla	t	22	22	14	19,7

Varianty 0,2,3 mají společné místo vtoku. Liší se úhlem kanálu, případně geometrií tunelového vtoku. Smyková rychlost u všech těchto variant dosahuje vyšších hodnot, než u varianty 4. Hodnota tlaku v bodě přepnutí vychází nejlépe u variant 3 a 4. Také hodnota uzavírací síly je nejlepší u těchto dvou variant. Nejnižší hodnotu smykového napětí má varianta 3. Důležitým faktorem je také poloha vtokového ústí. Ukázalo se, že přechod taveniny přes jádro není ideálním řešením ani při změně úhlu proudění, jako tomu bylo u varianty 2. Varianta 4 má velkou výhodu v roztržení toku taveniny o stěnu, což u variant 0,2,3, které plní díl v podélné ose, není zaručeno. Hrozil by u nich tok do volného prostoru a možné turbulentní proudění. Výsledky analýzy 4 ukazují relativně dobré hodnoty, které dalšími úpravami rozměrů lze zlepšit. Také s přihlédnutím k poloze vtokového ústí je zvolena varianta 4.

Nyní bude provedeno porovnání zbývajících dvou variant s dvojnásobným vtokovým ústím (Tab.4). Z Tab.4 vidíme, že kromě smykového napětí na stěně, které se liší o 0,1MPa je ve všech ukazatelích lepší varianta 1. Je tedy zvolena tato varianta.

Tab. 4. Porovnání variant s dvojnásobným vtokovým ústím

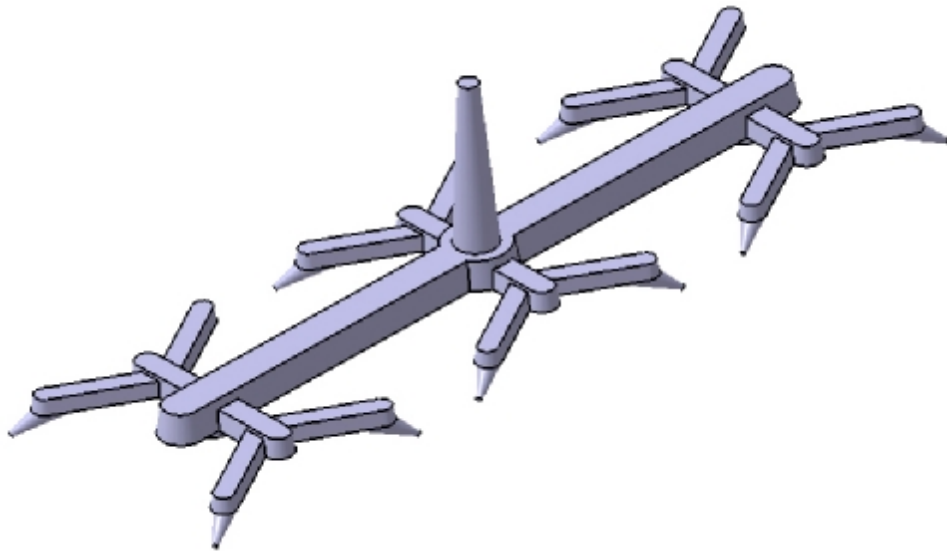
Vlastnost	Jednotka	Varianta 1	Varianta 5
Čas plnění	s	16,17	16,28
Tlak v bodě přepnutí	MPa	10,7	13,7
Smyková rychlost taveniny	s <sup>-1</sup>	1340	2716
Smykové napětí na stěně	MPa	0,72	0,62
Uzavírací síla	t	16	24

## 9.4 Úprava a hodnocení vybraných variant

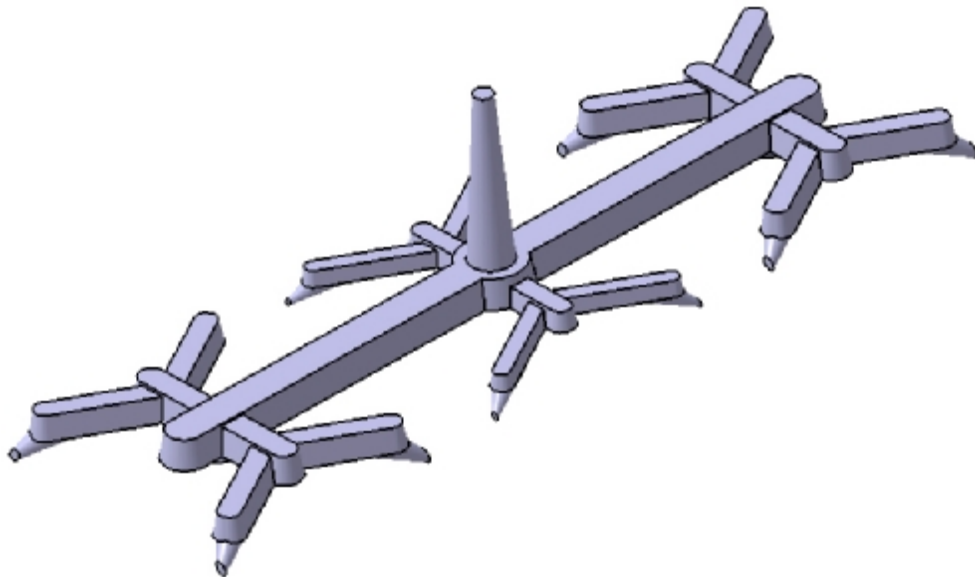
### 9.4.1 Úprava varianty 1

Výsledky předběžné analýzy plnění ukázaly, že nedochází k současnému plnění všech dutin. Dvě dutiny jsou zaplněny dříve a pak prakticky „čekají“ na zaplnění zbývajících. Tím dochází k časovým ztrátám a tedy k negativnímu ekonomickému dopadu. Také zde vzniká velké smykové napětí na stěně. To by mohlo při vyhazování případně při použití způsobovat praskání materiálu. Na této variantě byly provedeny následující úpravy.

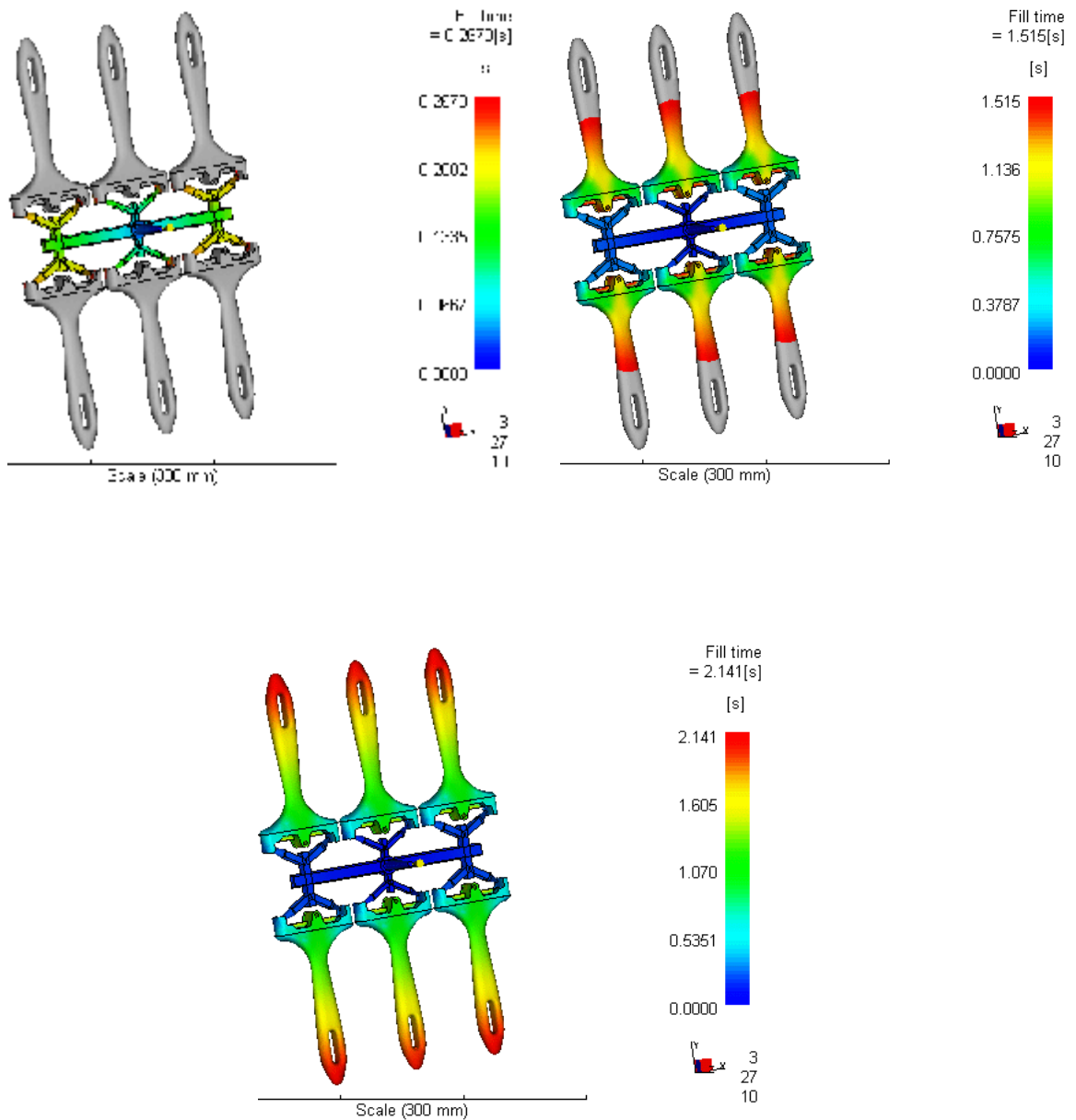
Geometrie vtokových kanálů včetně tunelových ústí byla změněna tak, aby docházelo k současnému zaplnění všech dutin (Obr. 62). Na tomto obrázku lze vidět plnění dutin v průběhu vstřikování. Průměry tunelových ústí byly dříve stejné u všech dutin (Obr. 63). Po úpravě jsou napojení vtoku k prostředním dutinám zmenšeny z 2mm na 1,5mm, naopak u krajních dutin byly zvětšeny z původních 2mm na 2,6mm (Obr. 64).



*Obr. 62. Varianta 1 – předběžný návrh*

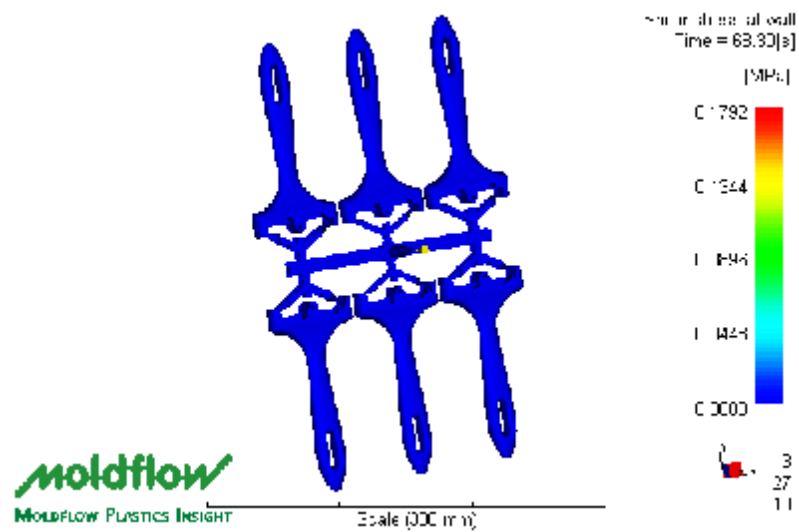


*Obr. 63. Varianta 1 – konečná verze*

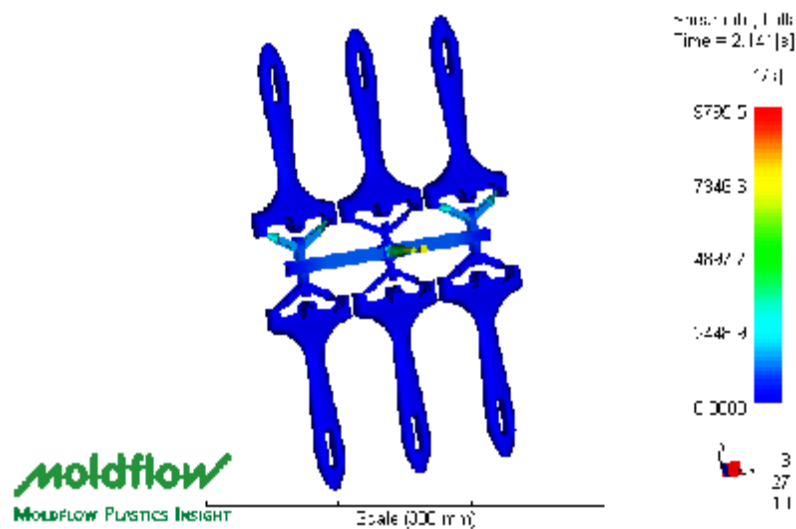


Obr. 64. Průběh plnění upravené varianty 1

Byla také výrazně snížena hodnota smykového napětí na stěně (Obr. 65). Nyní je již pod dovolenou hranicí a nebezpečí degradace materiálu nehrozí. Došlo však k mírnému zvýšení hodnoty celkové smykové rychlosti z  $1340 \text{ s}^{-1}$  na  $9795,5 \text{ s}^{-1}$ . (Obr. 66). Tato hodnota je však stále více než 10x menší než hodnota dovolená.



Obr. 65. Smykové napětí na stěně upravené varianty 1



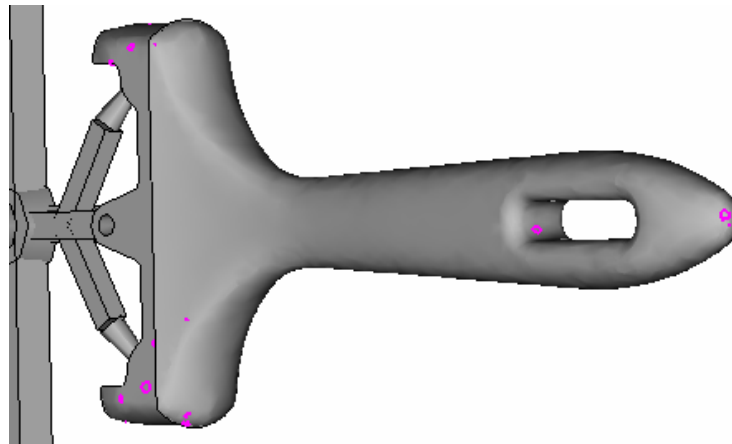
Obr. 66. Smyková rychlost upravené varianty 1

#### 9.4.2 Další výsledky analýzy plnění varianty 1

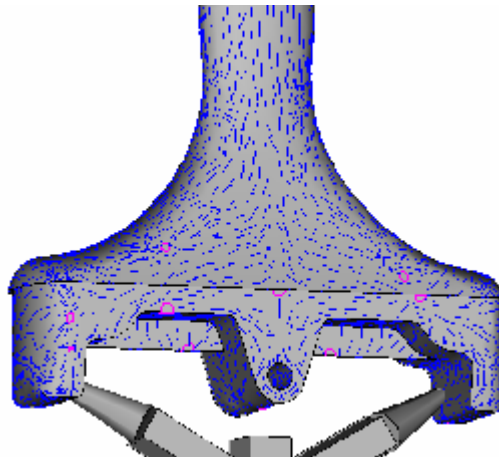
##### Vzduchové kapsy (Air traps)

Do programu MPI nelze vložit informace o odvzdušnění formy. Proto analýza vzduchových kapes neodpovídá úplně skutečnosti. Ve formě je odvzdušnění provedeno

výbrusem drážky šířky 5mm do hloubky 0,02mm u konce držadla. Vzduchové kapsy, které jsou v tomto místě na analýze viditelné (Obr. 67) zde tedy ve skutečnosti nejsou. Stlačený vzduch v místech poblíž vtoku vzniká díky tomu, že se jedná o relativně velkou dutinu, ve které se tavenina při začátku plnění pohybuje více směry. Je zde tedy více možností styků čel taveniny a tedy vzniku vzduchových kapes (Obr. 68).



Obr. 67. Vzduchové kapsy

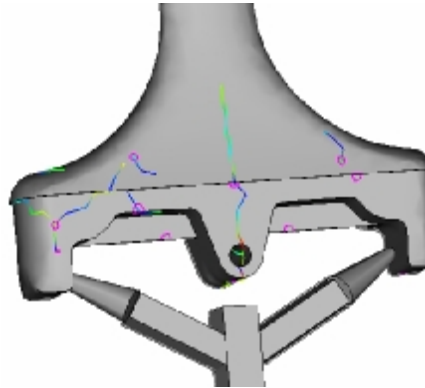


Obr. 68. Směr proudění, vzduchové kapsy

### Studené spoje (Weld lines)

Jak již bylo řečeno při posuzování analýzy vzniku vzduchových kapes, roztržitý proud taveniny na začátku dutiny vytvoří studené spoje (Obr. 69). K jejich vytvoření však

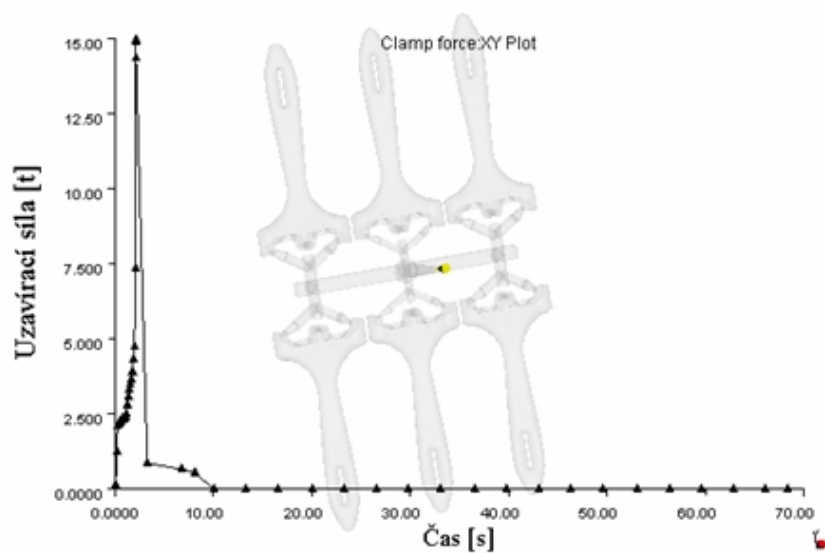
dochází po relativně velmi krátkém čase-cca 1s od začátku vstřikování. Čela taveniny tedy nebudou příliš ochlazena. Navíc jde o součást, u které by potenciální snížení pevnosti v daných místech nemělo mít vliv na její funkci.



Obr. 69. Studené spoje

#### Uzavírací síla (Clamp force)

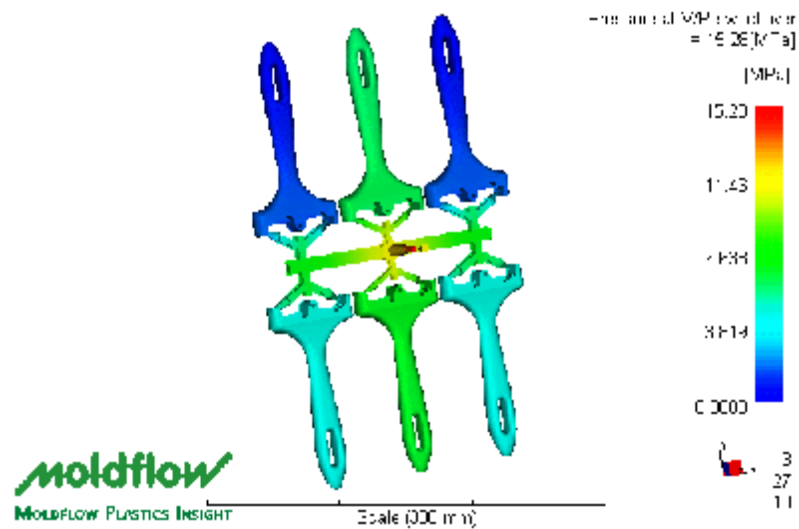
Maximální hodnota uzavírací síly, tedy síly působící při vstřikování je dosažena v čase 2,139s a její velikost je 14,94t (Obr. 70).



Obr. 70. Velikost uzavírací síly

#### Tlak při přepnutí V/P (Pressure at V/P switchover)

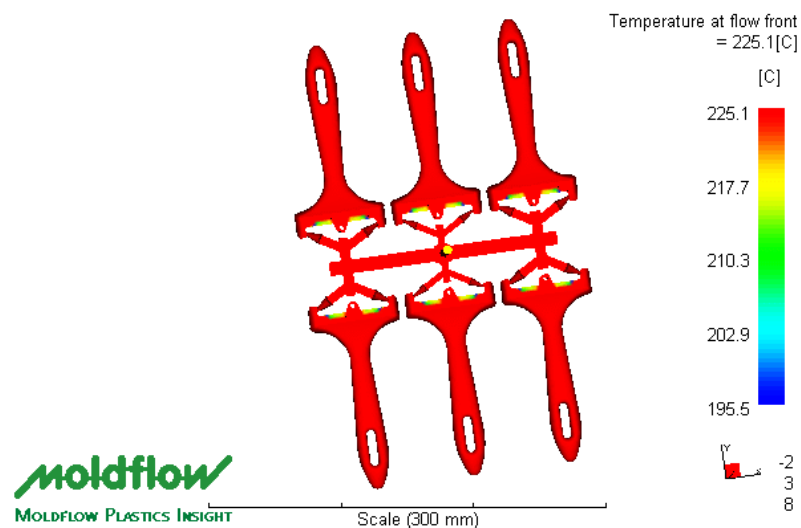
V čase 2,138s je dutina zaplněna z 99,9%. V bodě přepnutí dosahuje tlak hodnoty 15,28 MPa (Obr. 71).



Obr. 71. Tlak v bodě přepnutí

### Teplota čela taveniny (Temperature at flow front)

Teplota čela taveniny je udržována v celém výstřiku na požadované hodnotě 225°C (Obr. 72). Pouze v místě žebra klesá na 195,5 °C. V tomto místě je nejmenší tloušťka materiálu, proto chládnutí probíhá rychleji (Obr. 73).



Obr. 72. Teplota čela taveniny



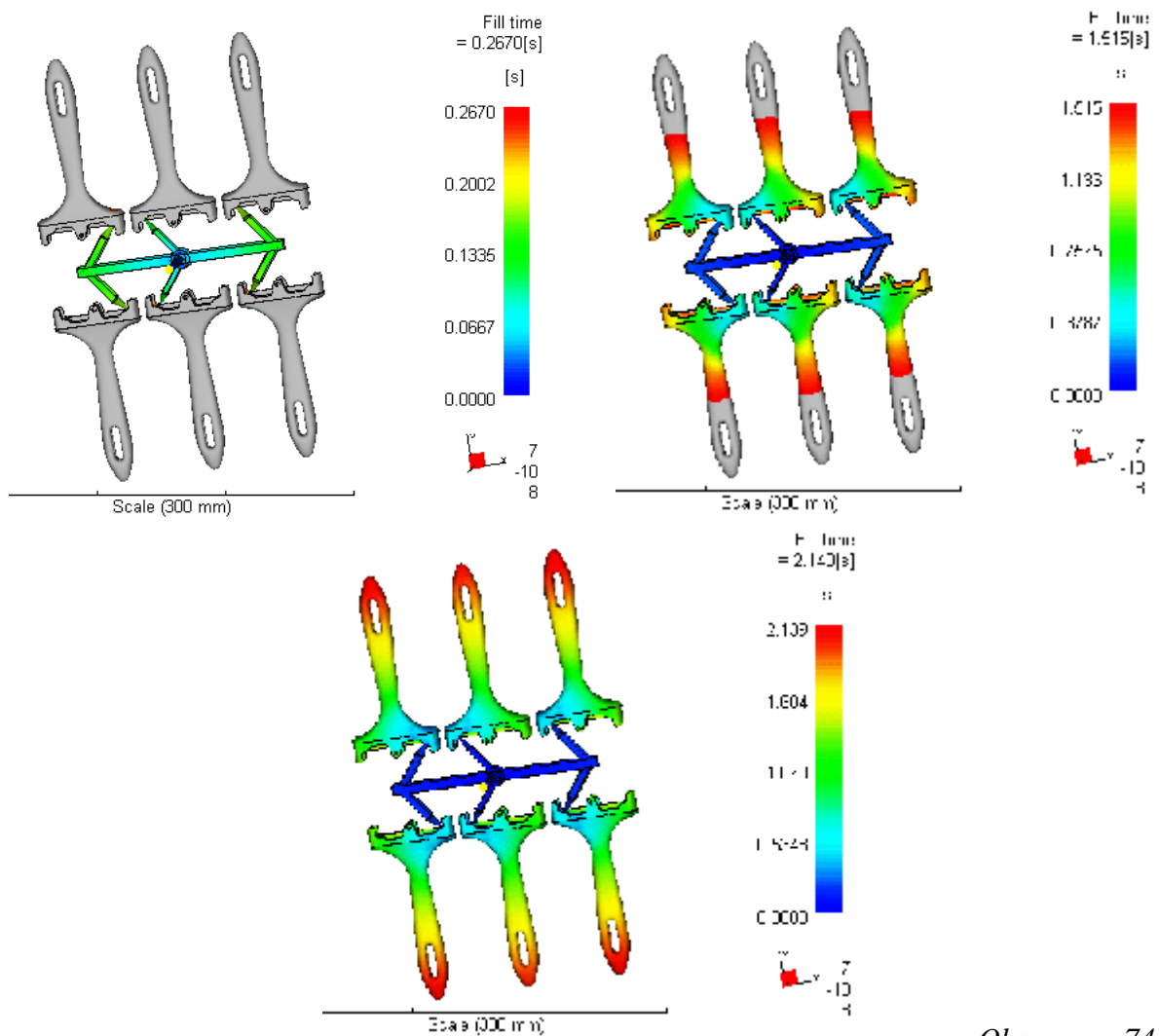


Obr. 73. Chladnější část

výstřiku

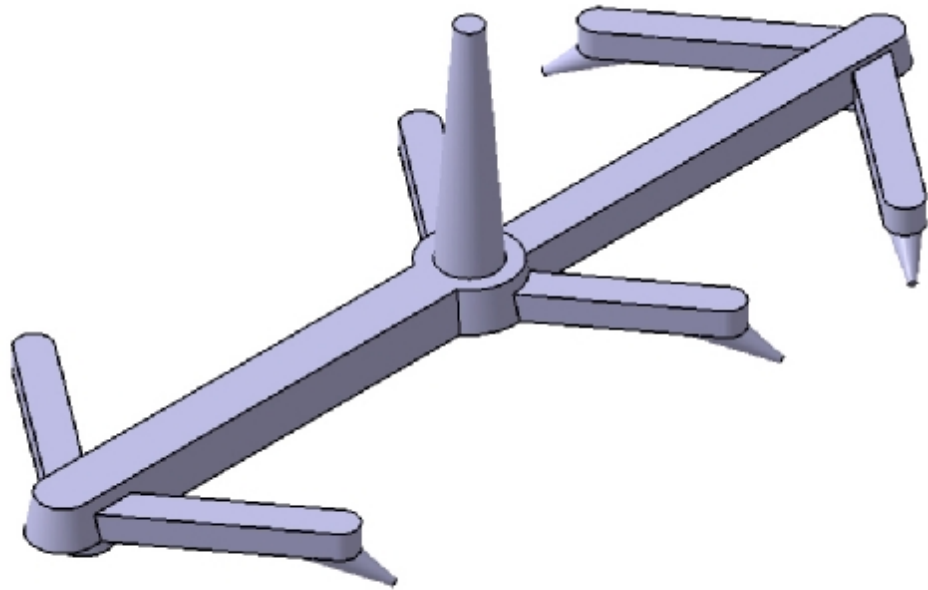
### 9.4.3 Úprava varianty 4

Stejně jako u předchozí varianty i zde byly kanály upraveny tak, aby bylo zaručeno současné plnění všech dutin (Obr. 74). Na Obr. 74 lze vidět průběh plnění s použitím této varianty. Vstřikovací čas se snížil na hodnotu 2,14s. Průměry tunelových vtoků byly upraveny z původních 2mm (Obr. 75) na 2,6mm u krajních dutin a 1,5mm u prostředních dutin (Obr. 76).

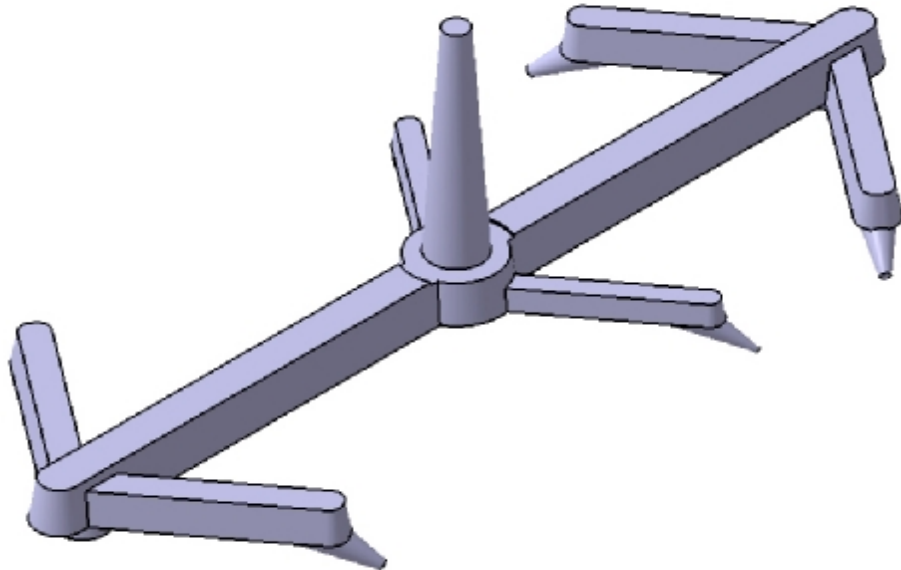


Obr. 74.

Průběh plnění upravené varianty 4

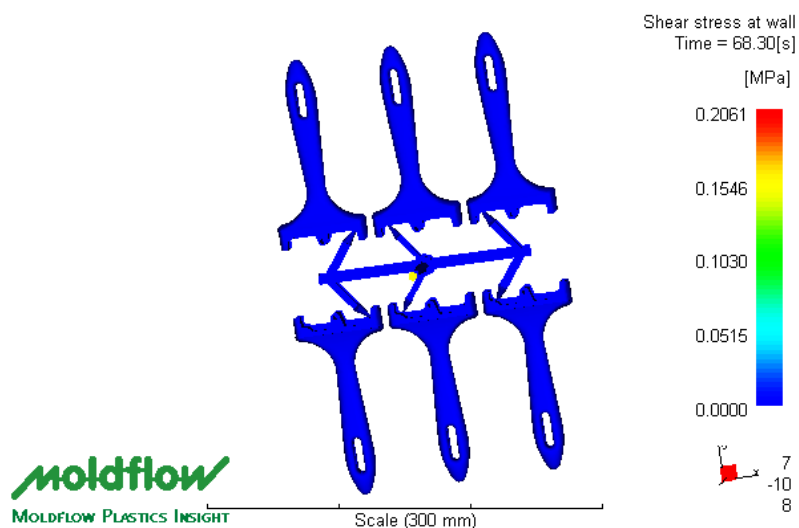


*Obr. 75. Varianta 4 – předběžný návrh*

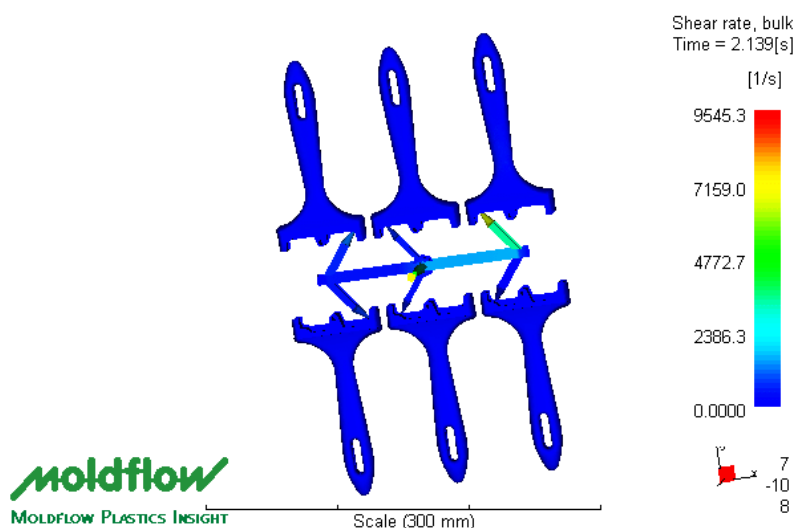


*Obr. 76. Varianta 4 – konečná verze*

U této varianty byla také výrazně snížena hodnota smykového napětí na stěně (Obr. 77). Nyní se již nachází pod dovolenou hranicí a nebezpečí degradace materiálu nehrozí. Hodnota celkové smykové rychlosti se mírně zvýšila z  $5092,7 \text{ s}^{-1}$  na  $9545,3 \text{ s}^{-1}$  (Obr. 78). Tato hodnota je stále více než 10x menší než hodnota dovolená.



Obr. 77. Smykové napětí na stěně upravené varianty 4

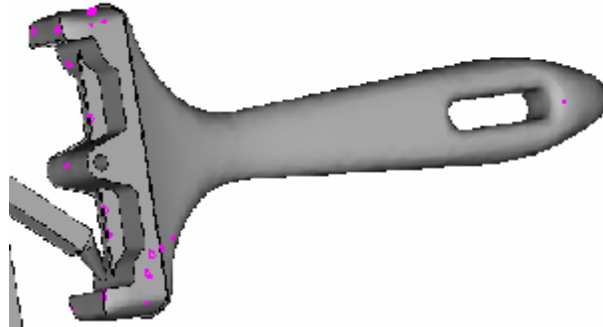


Obr. 78. Smyková rychlost upravené varianty 4

#### 9.4.4 Další výsledky analýzy plnění varianty 4

##### Vzduchové kapsy (Air traps)

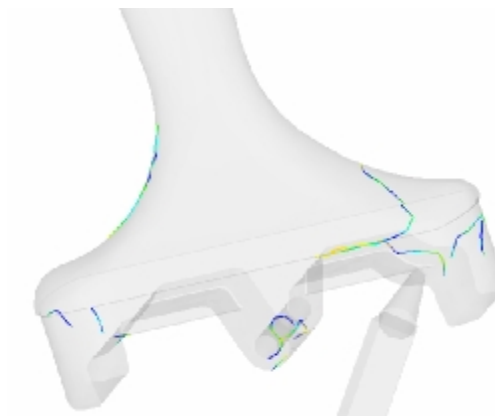
Stejně jako u předchozí varianty i zde vznikají vzduchové kapsy ze stejného důvodu. Vznik a umístění ukazuje Obr. 79.



Obr. 79. Vzduchové kapsy

##### Studené spoje (Weld lines)

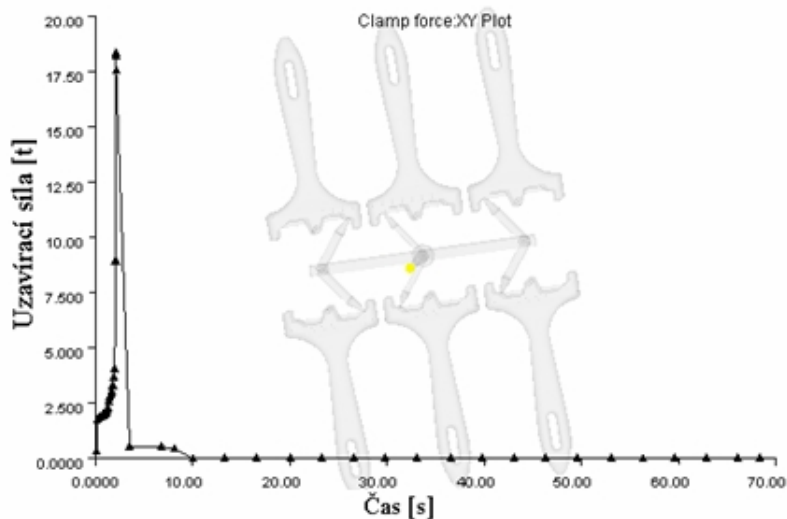
Na součásti opět mohou vznikat studená spojení, která snižují hodnoty pevnosti materiálu (Obr. 80). Jak již však bylo uvedeno, vzhledem k funkci dílu nejsou tyto studené spoje významné.



Obr. 80. Studené spoje

### Uzavírací síla (Clamp force)

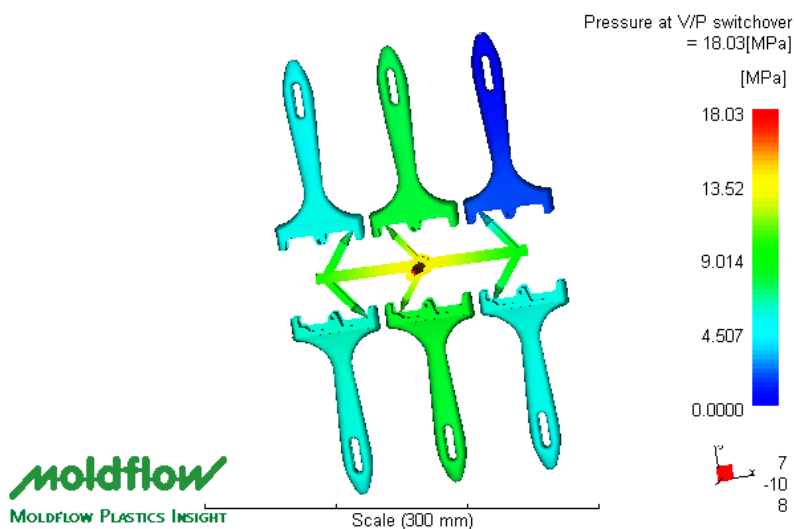
Maximální hodnota uzavírací síly je dosažena v čase 2,139s a její velikost je 18,28t (Obr. 81).



Obr. 81. Velikost uzavírací síly

### Tlak při přepnutí V/P (Pressure at V/P switchover)

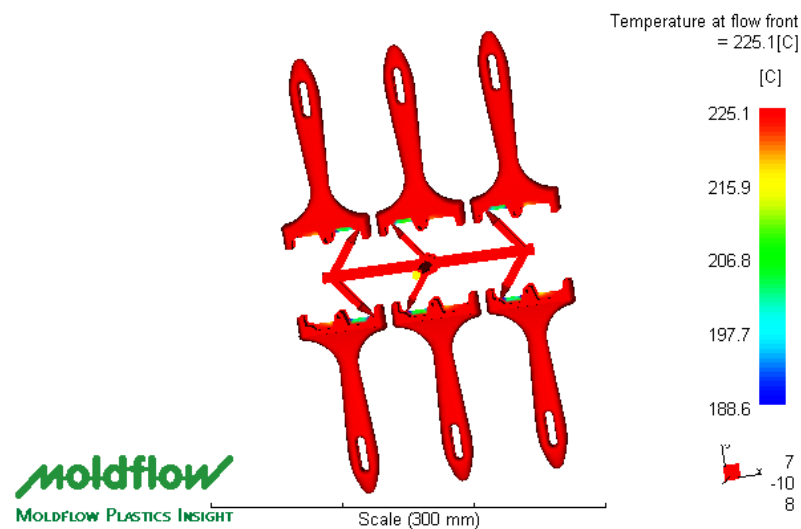
Bod přepnutí je dosažen v čase 2,145s dutina je zaplněna z 99,9%. Vstřikovací tlak dosahuje hodnotu 18,03 MPa (Obr.82).



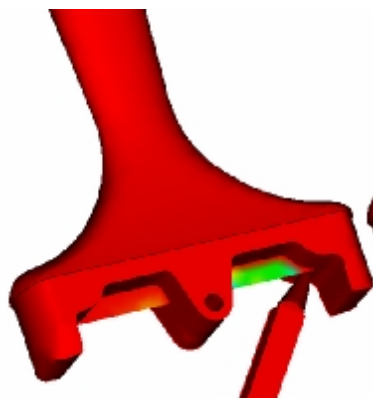
Obr. 82. Tlak v bodě přepnutí

### Teplota čela taveniny (Temperature at flow front)

Také zde je teplota taveniny udržována na požadované teplotě 225°C (Obr. 83). Opět je nižší jen v místě žebra a to 186,6 °C (Obr. 84).



Obr. 83. Teplota čela taveniny



Obr. 84. Chladnější část výstřiku

## 9.5 Porovnání nových variant s původním vtokovým systémem

V této kapitole budou porovnány výsledky některých důležitých analýz nových variant s variantou původní.

Původní varianta byla vstřikována do dutiny formy 3,3 s. I když se snížení doby plnění formy o cca 1s zdá jako nepatrná hodnota, v hromadné výrobě, ve které je forma využívána, se jedná o dobu velmi podstatnou. Vtokový systém byl nevyvážený, plnění dutin tedy neprobíhalo současně. U obou nových variant byly tyto nedostatky odstraněny, čímž se

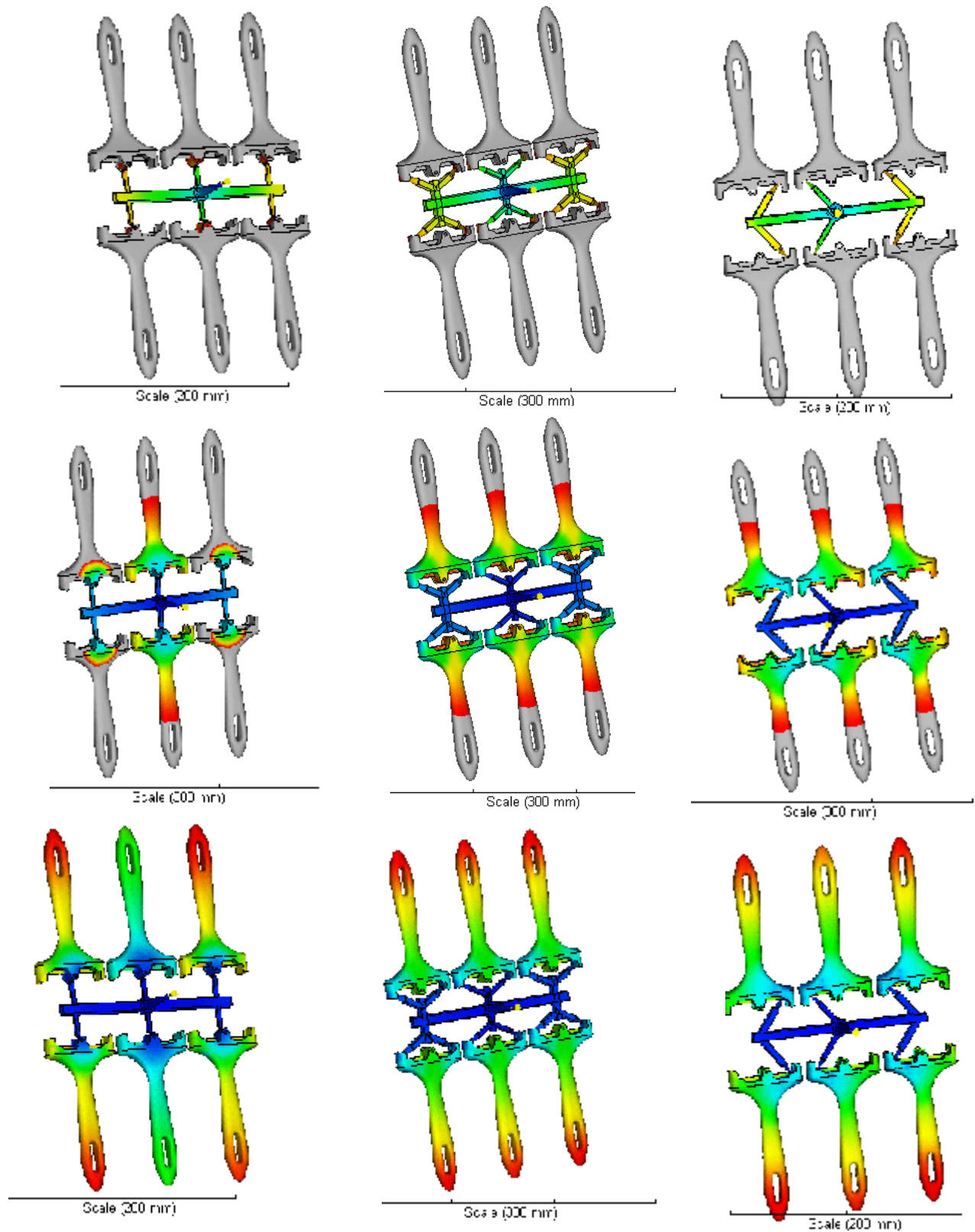
zlepšilo plnění dutin a současně se snížil čas plnění (Obr. 85). Z Obr. 85 lze vidět zaplnění dutin v čase 0,2s, 1,5s a na konci plnění. Hodnota dovoleného smykového napětí je rovna 0,25 MPa. U původní varianty byla tato hodnota překročena. U obou nových variant již bylo dosaženo hodnot pod dovolenou hranicí (Tab. 5). Také hodnota smykové rychlosti je v původním řešení větší než je hodnota udávaná pro daný materiál. I zde je u nových variant hodnota smykové rychlosti dodržena. Srovnání dále ukazuje snížení hodnoty tlaku a také hodnoty uzavírací síly.

Tab. 5. Srovnání původní varianty s novými provedeními

Vlastnost	Jednotka	Dovolená hodnota	Původní štěrbinové ústí	Dvojnásobné tunelové ústí (Varianta 1)	Jednonásobné tunelové ústí (Varianta 4)
<b>Čas plnění</b>	s	-	3,30	2,141	2,139
<b>Tlak při přeplnutí</b>	MPa	-	25,09	15,25	18,03
<b>Smyková rychlost taveniny</b>	s <sup>-1</sup>	1.10 <sup>5</sup>	2,83.10 <sup>5</sup>	9795	9545
<b>Smykové napětí na stěně</b>	MPa	0,25	0,703	0,179	0,206
<b>Uzavírací síla</b>	t	160	34,99	14,94	18,28
<b>Objem vtoku a výstřiků</b>	mm <sup>3</sup>	440000	358320	374900	362390

původní varianta

nové varianty



Obr. 85. Srovnání průběhu plnění původního provedení s novými variantami



## 10 TECHNOLOGICKÉ PODMÍNKY

Pro nastavení technologických parametrů byly částečně použity hodnoty nastavení vstřikování s původním vtokem. Tab. 6 ukazuje hodnoty, které byly nastaveny do MPI při tokových analýzách s danými vtoky. Průběh plnění dutiny (PI, PIII) ukazuje průběh velikosti tlaku, uzavírací síly a průtočného množství. Doba, intenzitu a průběh dotlaku znázorňuje PŘÍLOHA II, respektive PŘÍLOHA IV.

*Tab. 6. Technologické podmínky*

<b>Vlastnost</b>	<b>Jednotka</b>	<b>Hodnota</b>
<b>Teplota polymeru</b>	°C	225
<b>Doba dotlaku</b>	s	6
<b>Doba chlazení</b>	s	60
<b>Teplota chladící kapaliny</b>	°C	9
<b>Rychlost chladící kapaliny</b>	l/s	0,16

## 11 ÚPRAVA TVAROVÝCH ČÁSTÍ FORMY

Dle rozměrů obou návrhů vtokového systému byly pomocí programu Catia upraveny jednotlivé tvarové části formy. V příloze jsou zobrazeny: vstřikovací část s dutinou dle varianty 1 (PV), vyhazovací část s dutinou dle varianty 1 (PVI), vstřikovací část s dutinou dle varianty 4 (PVII), vyhazovací část s dutinou dle varianty 4 (PVIII).

## DISKUSE VÝSLEDKŮ

Při návrhu nového vtokového systému daného dílu, bylo předpokladem vytvořit takový způsobu plnění dutin, aby byly splněny následující podmínky. Tavenina musí být dopravena do všech dutin formy současně, aby došlo ke snížení času plnění a aby tedy nedocházelo ke zbytečným časovým ztrátám, které by ve výrobě způsobovaly ekonomické dopady. Současně musí dojít k automatickému oddělování vtoku při otevírání formy. Ani jednu z těchto podmínek současný vtokový systém nesplňoval. Původním tunelovým vtokem nebyla dutina formy naplněna vůbec, a tak se přistoupilo k alternativnímu plnění štěrbinovým vtokem. Šestinásobná forma byla plněna způsobem při němž došlo nejdříve k naplnění dvou prostředních dutin, ke kterým byla dráha taveniny nejkratší. Tyto byly naplněny za cca 2,48s, zatímco plnění krajních dutin nebylo ještě ani v 1/3. Prostřední dutiny zbývající čas plnění (0,8s) prakticky „čekaly“ na doplnění dutin krajních. Také ruční oddělování vtoku zhoršovalo produktivitu práce.

Před samotným návrhem variant byla v MPI provedena analýza umístění vtoku. Ta ukazuje procentuální vhodnost umístění vtoku v každém místě dílu. Simulační program ovšem nedokáže vyhodnocovat funkci daného dílu a tak je možné že ukazuje vhodné umístění i do míst kde je vtok nevhodný.

Úkolem bylo tedy vytvořit nový vtokový systém. Původní varianty zahrnovaly vtokové systémy s využitím jedno i dvojnásobných vtokových ústí, dále upravený návrh původního nefunkčního tunelového ústí a také štěrbinovou vtokovou soustavu, již se dutiny plní v současné době. Všechny tyto varianty byly podrobeny analýzám při nichž bylo využito nastavení procesních podmínek dle programu MPI, aby je bylo možno porovnat. Pouze u původní štěrbinové varianty bylo provedeno nastavení dle dat z výroby. U každé varianty byly sledovány následující hodnoty. Jedná se o smykové napětí na stěně, smykovou rychlost a také čas a průběh plnění. Dovolené hodnoty těchto veličin jsou určeny podle materiálu který je vstříkován. Ve skutečnosti se k výrobě držadla štětce využívá materiálu PP Mosten TB 003. Program MPI však neobsahuje informační soubor tohoto materiálu, který ani nebylo možné získat od výrobce a tak byl po dohodě se zadavatelem práce použit materiál využívaný při výrobě vzorků daného držadla. Jedná se o PP Moplen HP501L. Maximální smykové napětí tohoto materiálu je tedy 0,25MPa a maximální smyková rychlost činí 100000 s<sup>-1</sup>. U původní varianty byly obě tyto hodnoty překročeny, čímž by se dala vysvětlit

optická vada vznikající na povrchu dílce. Také u předběžných variant byly tyto hodnoty překročeny. Již při návrhu těchto variant bylo počítáno s různými nedostatky, které se projeví po analyzování. Z výsledků těchto analýz pak bylo snadnější určit možné úpravy, kterými by se dosáhlo výše zmíněných cílů. Tím byl splněn účel za nímž byly předběžné analýzy vytvořeny.

Po porovnání analýzy plnění, smykové rychlosti, smykového napětí na stěně, tlaku v bodě přepnutí a uzavírací síle byly vybrány dvě varianty- s jedním vtokem a také s dvěma vtoky. Při porovnávání výsledků analýz plnění variant s jedním vtokovým ústím byl kladen důraz také na umístění vtoku. Předběžné analýzy variant 0,2,3 s vtokem umístěným do podélné osy dílu, ukázaly hodnoty, které poukazovaly na nepřilíš vhodné umístění. Naopak varianta 4, umístěná tak, že tavenina vstupuje do dutiny proti její stěně, byla vhodnější. Při výběru varianty s dvojnásobným vtokem byla zvolena varianta 1. Při porovnání výsledků analýz variant 1 a 5 byly její výsledky lepší.

Obě varianty byly upraveny tak, aby bylo zajištěno současné plnění všech dutin, ale také, aby došlo ke snížení smykového napětí a smykové rychlosti pod dovolené hodnoty. Rozměry krajních kanálů byly zvětšeny. Rozměry prostředních kanálů byly naopak zmenšeny. Hodnota vstřikovacího času byla snížena z původních 3,3s na 2,141s (upravená varianta 1) respektive 2,139s (upravená varianta 4). Hodnoty smykového napětí (0,149 MPa; 0,206 MPa,) a smykové rychlosti ( $9075 \text{ s}^{-1}$ ;  $9045 \text{ s}^{-1}$ ) byly rovněž výrazně sníženy oproti původní variantě ( 0,703 MPa;  $2,83 \cdot 10^5 \text{ MPa}$ ).

Obě varianty jsou tedy použity pro úpravu tvarových částí formy. Je na nich provedena úprava, aby případně nedošlo k praskání při vytahování tunelových ústí z dutiny.

Pokud teoretické výsledky získané z MPI dokáží uspět i u praktického vstřikování, měly by se projevit určité výhody. U původní varianty byl výrobce nucen do směsi přidávat 2% nadouvadla. Nadouvadlo eliminovalo vznik staženin a propadlin, které vznikaly zřejmě v důsledku nedotlačení materiálu, což bylo způsobeno nevhodným uspořádáním vtokové soustavy. U obou současných návrhů použití nadouvadla již není nutné. Velkou výhodou je úspora času při plnění formy. Oproti původní variantě by nyní byly všechny dutiny formy naplněny současně. Časová úspora by činila asi 1,2s, což je v hromadné výrobě čas velmi značný. Další výhodou je automatické odstranění vtokového zbytku při otevírání formy, což

zvýší produktivitu práce a proces rovněž urychlí. Ke zvýšení kvality by mělo přispět také snížení smykového napětí na stěně a smykové rychlosti.

## ZÁVĚR

V této práci byl navržen nový vtokový systém vstřikovací formy pro výrobu držadla plochého štětce. Jednalo se o již vyrobenou formu, ve které je využíván šterbinový vtok. Vtokový zbytek se musí po vyhození dílu z formy odstraňovat ručně. Daná forma je šestinásobná s dělicí rovinou jdoucí přes vodorovnou osu dílu. Díl je vyráběn z materiálu PP Mosten. Při práci byl využíván simulační program Moldflow plastics insight (MPI) a konstrukční program Catia V5 R15. V tomto programu byl převeden model držadla do vhodného formátu. V programu MPI byl vytvořen model. Na tomto modelu byla vytvořena trojúhelníková síť, která rozdělila díl na mnoho malých částí se kterými bylo počítáno. Z důvodu nedostupnosti datového souboru jmenovaného materiálu byl zvolen v databázi programu alternativní materiál PP Moplen HP501L. Tento materiál je používán při výrobě vzorků. Nejdříve byla provedena analýza umístění vtoků, která byla využita při návrhu nových variant. Ty byly vytvořeny v programu Catia a opět převedeny do MPI. Byly provedeny tokové analýzy všech variant. Hlavní důraz byl kladen na průběh plnění, velikost smykového napětí, velikost smykové rychlosti, tlaku a uzavírací síly. Varianty byly navzájem porovnány. Byly porovnávány varianty s jedním vtokem a varianty s dvěma vtoky. Z obou těchto skupin byl vybrán jeden návrh. Na těchto dvou návrzích byly provedeny úpravy směřující ke zkrácení času plnění a hlavně k současnému plnění všech dutin. Jednalo se úpravy geometrie rozvodných kanálů a geometrii tunelových vtokových ústí. Upravené varianty byly opět podrobeny analýze tečení. Výsledky pak porovnány s variantou původní. Pomocí modelů vtoků byly vytvořeny dutiny v tvarových částech formy. Byl vytvořen soubor ve formátu .igs, který bude sloužit pro potenciální výrobu u zadavatele.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] Bobčík, L. a Kol. *Formy pro zpracování plastů I. díl – Vstřikování termoplastů*. UNIPLAST, 1999, Brno
- [2] Veselý, K. *Polymery – Struktura, syntézy, vlastnosti, zpracování*. UNIPLAST, 1992, Brno.
- [3] Bobčík, L. a Kol. *Formy pro zpracování plastů II. díl – Vstřikování termoplastů*. UNIPLAST, 1999, Brno
- [4] Lukovics, I. *Konstrukční materiály a technologie*. Brno: NVUT, 1992. 189 s.
- [5] Pötsch, G., Michaelli, W. *Injection Molding – An Introduction: Hanser*. Munich, Vienna, 1995, New York
- [6] Blaščík, F. aj. *Technologia tvárnenia, zlievarenstva a zvárenia*. Bratislava: ALFA, 1988. 680 s.
- [7] Čabelka, J. aj. *Mechanická technologia*. Bratislava: VSAV, 1967. 96 s.
- [8] Tomis F., Helštýn J. *Formy a přípravky*. VUT, 1985, Brno.
- [9] Vávra, P. a Kol. *Strojnické tabulky*. SNTL, 1984, Praha.
- [10] Firemní katalog normálií D-M-E a HASCO
- [12] [www.spokar.cz](http://www.spokar.cz) [online]. [cit. 2006-11-20].
- [13] [www.hasco.de](http://www.hasco.de) [online]. [cit. 2006-11-20].
- [14] [www.kks.zcu.cz](http://www.kks.zcu.cz) [online]. [cit. 2006-11-20].
- [15] [www.chemopetrol.cz](http://www.chemopetrol.cz) [online]. [cit. 2006-11-20].
- [16] [www.demag.de](http://www.demag.de) [online]. [cit. 2006-11-20].
- [17] [www.arburg.de](http://www.arburg.de) [online]. [cit. 2006-11-20].
- [18] [www.azplastic.cz](http://www.azplastic.cz) [online]. [cit. 2006-11-20].

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

<i>Obr. 1. Vstřikovací cyklus</i> .....	11
<i>Obr. 2. Schéma vstřikovacího stroje</i> .....	12
<i>Obr. 3. Plný kuželový vtok</i> .....	18
<i>Obr. 4. Bodový vtok</i> .....	18
<i>Obr. 5. Tunelový vtok</i> .....	19
<i>Obr. 6. Srpovitý vtok</i> .....	19
<i>Obr. 7. Tvar bočního vtoku</i> .....	20
<i>Obr. 8. Filmový vtok</i> .....	20
<i>Obr. 9. Horký vtokový systém formy</i> .....	21
<i>Obr. 10. Vyhřívání trysky</i> .....	23
<i>Obr. 11. Vyhazovací koliky</i> .....	28
<i>Obr. 12. vyhazování pomocí šikmých vyhazovačů</i> .....	28
<i>Obr. 13. Držadlo plochého štětce</i> .....	36
<i>Obr. 14. Původní tunelový vtokový systém</i> .....	36
<i>Obr. 15. Štěrbínový vtokový systém</i> .....	37
<i>Obr. 16. Systém odtržení vtoku</i> .....	37
<i>Obr. 17. Nedotečení materiálu</i> .....	40
<i>Obr. 18. Dělicí rovina</i> .....	41
<i>Obr. 19. Princip přidržovače vtoku</i> .....	42
<i>Obr. 20. Rozmístění vyhazovačů na výstřiku</i> .....	42
<i>Obr. 21. Rozmístění vyhazovačů na vtoku</i> .....	43
<i>Obr. 22. Tvarové části formy</i> .....	43
<i>Obr. 23. Tvárník</i> .....	44
<i>Obr. 24. Tvárnice</i> .....	44
<i>Obr. 25. Vtoková vložka</i> .....	45
<i>Obr. 26. Vložka</i> .....	45
<i>Obr. 27. Chlazení</i> .....	46
<i>Obr. 28. Vstřikovací stroj</i> .....	47
<i>Obr. 29. Analýza polohy vtoku</i> .....	48
<i>Obr. 30. Analýza polohy druhého vtoku</i> .....	49
<i>Obr. 31. Uspořádání se štěrbinovým vtokem</i> .....	50



<i>Obr. 32. Uspořádání varianty 0</i> .....	50
<i>Obr. 33. Přehrazení toku</i> .....	51
<i>Obr. 34. Průběh plnění varianty 0</i> .....	51
<i>Obr. 35. Průběh smykového napětí na stěně varianty 0</i> .....	52
<i>Obr. 36. Průběh smykové rychlosti varianty 0</i> .....	52
<i>Obr. 37. Uspořádání varianty 1</i> .....	53
<i>Obr. 38. Zaplnění</i> .....	54
<i>Obr. 39. Tvar a geometrie tunelového ústí</i> .....	54
<i>Obr. 40. Průběh plnění varianty 1</i> .....	55
<i>Obr. 41. Částečné zaplnění varianty 1</i> .....	55
<i>Obr. 42. Smyková rychlost varianty 1</i> .....	55
<i>Obr. 43. Smyková napětí varianty 1</i> .....	56
<i>Obr. 44. Uspořádání varianty 2</i> .....	56
<i>Obr. 45. Rozdílné průřezy hlavního kanálu varianty 2</i> .....	57
<i>Obr. 46. Průběh plnění varianty 2</i> .....	57
<i>Obr. 47. Smyková napětí na stěně varianty 2</i> .....	58
<i>Obr. 48. Smyková rychlost varianty 2</i> .....	58
<i>Obr. 49. Porovnání variant 0 a 3</i> .....	59
<i>Obr. 50. Uspořádání varianty 3</i> .....	59
<i>Obr. 51. Průběh plnění varianty 3</i> .....	60
<i>Obr. 52. Smyková rychlost varianty 3</i> .....	60
<i>Obr. 53. Smykové napětí na stěně varianty 3</i> .....	61
<i>Obr. 54. Uspořádání varianty 4</i> .....	61
<i>Obr. 55. Průběh plnění varianty 4</i> .....	62
<i>Obr. 56. Smykové napětí na stěně varianty 4</i> .....	62
<i>Obr. 57. Smyková rychlost varianty 4</i> .....	63
<i>Obr. 58. Uspořádání varianty 5 a porovnání polohy s variantou 1</i> .....	63
<i>Obr. 59. Plnění varianty 5</i> .....	64
<i>Obr. 60. Smykové napětí na stěně varianty 5</i> .....	64
<i>Obr. 61. Smyková rychlost varianty 5</i> .....	65
<i>Obr. 62. Varianta 1 – předběžný návrh</i> .....	67
<i>Obr. 63. Varianta 1 – konečná verze</i> .....	67

<i>Obr. 64. Průběh plnění upravené varianty 1</i> .....	68
<i>Obr. 65. Smykové napětí na stěně upravené varianty 1</i> .....	69
<i>Obr. 66. Smyková rychlost upravené varianty 1</i> .....	69
<i>Obr. 67. Vzduchové kapsy</i> .....	70
<i>Obr. 68. Směr proudění, vzduchové kapsy</i> .....	70
<i>Obr. 69. Studené spoje</i> .....	71
<i>Obr. 70. Velikost uzavírací síly</i> .....	71
<i>Obr. 71. Tlak v bodě přepnutí</i> .....	72
<i>Obr. 72. Teplota čela taveniny</i> .....	72
<i>Obr. 73. Chladnější část výstřiku</i> .....	73
<i>Obr. 74. Průběh plnění upravené varianty 4</i> .....	73
<i>Obr. 75. Varianta 4 – předběžný návrh</i> .....	74
<i>Obr. 76. Varianta 4 – konečná verze</i> .....	74
<i>Obr. 77. Smykové napětí na stěně upravené varianty 4</i> .....	75
<i>Obr. 78. Smyková rychlost upravené varianty 4</i> .....	75
<i>Obr. 79. Vzduchové kapsy</i> .....	76
<i>Obr. 80. Studené spoje</i> .....	76
<i>Obr. 81. Velikost uzavírací síly</i> .....	77
<i>Obr. 82. Tlak v bodě přepnutí</i> .....	77
<i>Obr. 83. Teplota čela taveniny</i> .....	78
<i>Obr. 84. Chladnější část výstřiku</i> .....	78
<i>Obr. 85. Srovnání průběhu plnění původního provedení s novými variantami</i> .....	80

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1. Některé vlastnosti materiálu PP Moplen HP501L.....</i>	<i>39</i>
<i>Tab. 2. Některé technické údaje pracovního stroje.....</i>	<i>47</i>
<i>Tab. 3. Porovnání variant s jedním vtokem.....</i>	<i>65</i>
<i>Tab. 4. Porovnání variant s dvojnásobným vtokový ústím.....</i>	<i>66</i>
<i>Tab. 5. Srovnání původní varianty s novými provedeními.....</i>	<i>79</i>
<i>Tab. 6. Technologické podmínky .....</i>	<i>81</i>

## SEZNAM PŘÍLOH

- P I Průběh vstřikování varianty 1.
- P II Průběh dotlaku varianty 1.
- P III Průběh vstřikování varianty 4.
- P IV Průběh dotlaku varianty 4.
- P V Vstřikovací část s dutinou dle varianty 1.
- P VI Vyhazovací část s dutinou dle varianty 1.
- P VII Vstřikovací část s dutinou dle varianty 4.
- P VIII Vyhazovací část s dutinou dle varianty 4.
- P IX CD, obsahující: Model původního uspořádání vtokového systému vstřikovací formy, modely nových variant vtokového systému vstřikovací formy, Tokové analýzy těchto modelů v programu MPI, úpravu tvarových částí vstřikovací formy dle nových návrhů, textovou část diplomové práce.

## PŘÍLOHA P I: PRŮBĚH VSTŘIKOVÁNÍ VARIANTY 1

<b>Čas (s)</b>	<b>Objem (%)</b>	<b>Tlak (MPa)</b>	<b>Uzavírací síla (t)</b>	<b>Průtočné množství (cm<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Stav (-)</b>
0,1	2,74	5,76	0,14	171,71	V
0,2	6,69	9,40	1,25	152,78	V
0,3	11,20	11,34	2,12	187,09	V
0,4	16,22	11,47	2,18	187,61	V
0,5	21,12	11,56	2,22	187,72	V
0,6	26,02	11,63	2,26	187,82	V
0,7	30,80	11,68	2,29	187,88	V
0,8	35,80	11,72	2,32	187,91	V
0,9	50,86	11,76	2,34	187,95	V
1,0	45,47	11,79	2,36	187,98	V
1,1	50,56	11,81	2,39	187,97	V
1,2	55,30	11,89	2,50	187,81	V
1,3	60,07	12,05	2,79	187,69	V
1,4	64,88	12,20	3,07	187,89	V
1,5	69,75	12,32	3,31	187,89	V
1,6	74,47	12,39	3,47	187,97	V
1,7	79,37	12,46	3,63	187,98	V
1,8	84,13	12,57	3,89	187,98	V
1,9	88,96	12,72	4,30	188,00	V
2,0	93,79	12,86	4,72	188,05	V
2,1	98,50	13,47	7,42	188,05	V
2,13	100	13,74	14,85	118,81	P
2,14	100	13,59	14,85	114,56	naplněno

## PŘÍLOHA P II: PRŮBĚH DOTLAKU VARIANTY 1

<b>Čas (s)</b>	<b>Tlak (MPa)</b>	<b>Uzavírací síla (t)</b>	<b>Stav (-)</b>
2,15	3,5	13,36	P
3,55	3,5	0	P
6,80	3,5	0	P
8,15	0	0	P
8,15			Uvolnění tlaku

### PŘÍLOHA P III: PRŮBĚH VSTŘIKOVÁNÍ VARIANTY 4

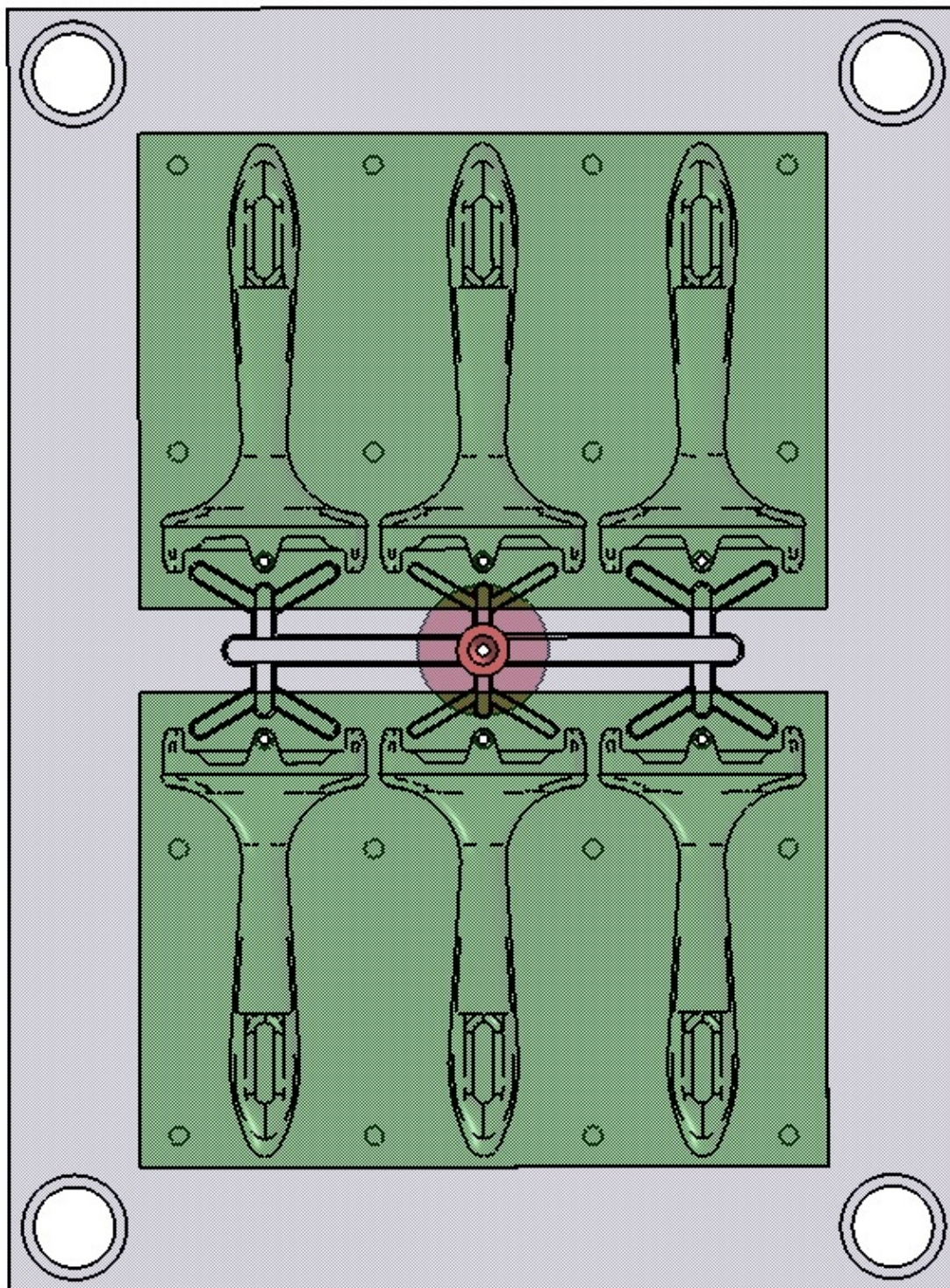
<b>Čas</b> (s)	<b>Objem</b> (%)	<b>Tlak</b> (MPa)	<b>Uzavírací síla</b> (t)	<b>Průtočné množství</b> (cm <sup>3</sup> /s)	<b>Stav</b> (-)
0,1	2,74	5,77	0,14	171,70	V
0,2	6,69	9,41	1,25	152,77	V
0,3	11,20	11,36	2,12	187,08	V
0,4	16,22	11,49	2,18	187,60	V
0,5	21,12	11,58	2,23	187,71	V
0,6	26,01	11,65	2,27	187,81	V
0,7	30,78	11,70	2,30	187,88	V
0,8	35,77	11,75	2,32	187,91	V
0,9	40,56	11,78	2,35	187,95	V
1,0	45,81	11,81	2,37	187,98	V
1,1	50,55	11,84	2,39	187,97	V
1,2	55,17	11,91	2,51	187,80	V
1,3	60,08	12,08	2,80	187,69	V
1,4	64,82	12,24	3,09	187,82	V
1,5	69,69	12,35	3,31	187,91	V
1,6	74,51	12,43	3,48	187,96	V
1,7	79,23	12,50	3,63	187,98	V
1,8	84,08	12,60	3,90	187,99	V
1,9	88,99	12,75	4,31	188,00	V
2,0	93,73	12,90	4,73	188,05	V
2,1	98,44	13,50	7,34	188,05	V
2,14	99,99	14,03	14,88	130,14	P
2,14	100	13,91	14,89	126,29	naplněno

## PŘÍLOHA P IV: PRŮBĚH DOTLAKU VARIANTY 4

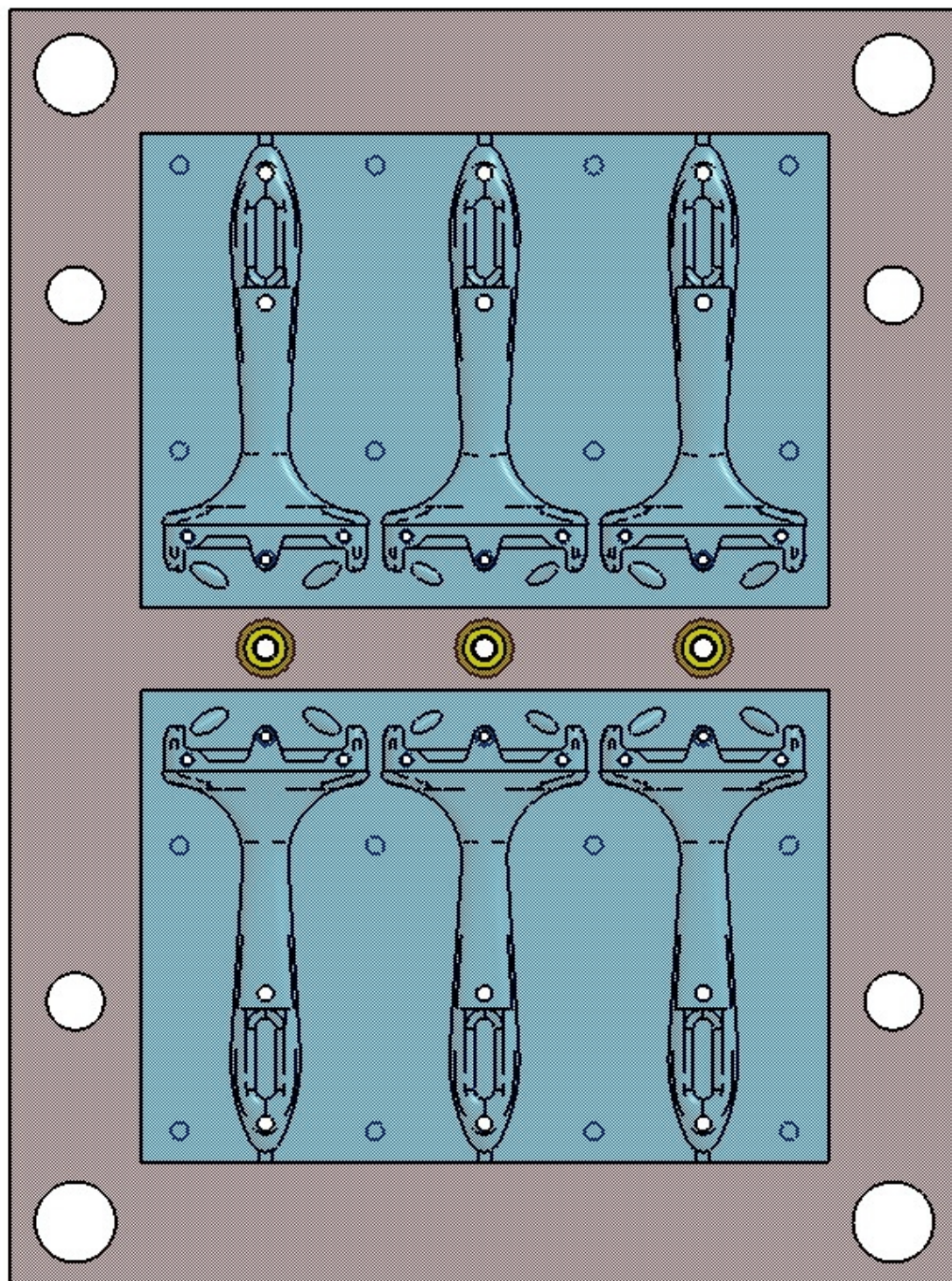
<b>Čas (s)</b>	<b>Tlak (MPa)</b>	<b>Uzavírací síla (t)</b>	<b>Stav (-)</b>
2,15	3,50	14,33	P
3,30	3,50	0,87	P
6,80	3,50	0,66	P
8,15	0	0,55	P
8,15			Uvolnění tlaku



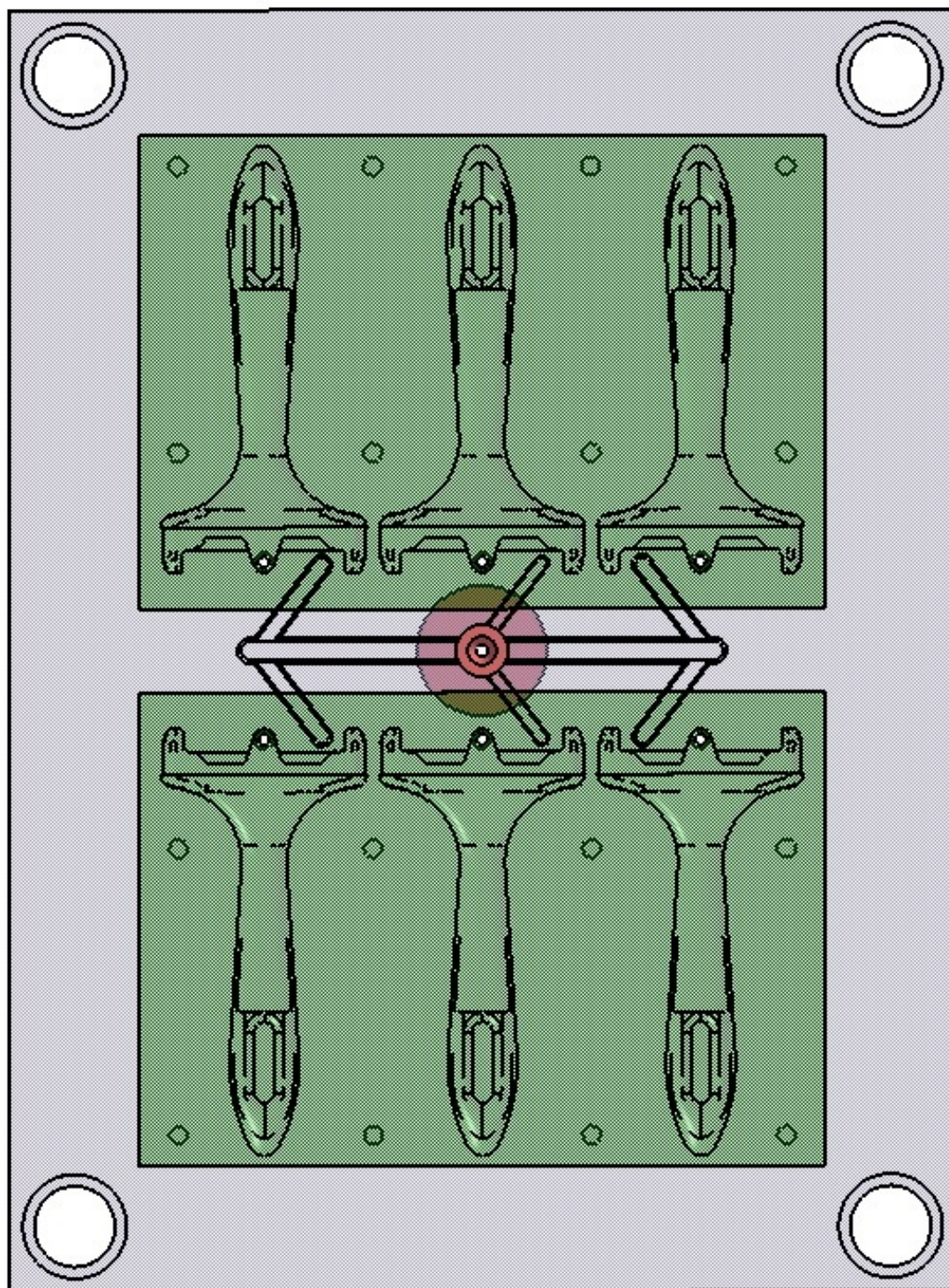
**PŘÍLOHA P V: VSTŘIKOVACÍ ČÁST S DUTINOU DLE VARIANTY 1**



**PŘÍLOHA P VI: VYHAZOVACÍ ČÁST S DUTINOU DLE VARIANTY 1**



**PŘÍLOHA P VII: VSTŘIKOVACÍ ČÁST S DUTINOU DLE VARIANTY 4**



**PŘÍLOHA P VIII: VYHAZOVACÍ ČÁST S DUTINOU DLE VARIANTY 4**

