

# **Konstrukce vstřikovací formy pro držák antény včetně simulací**

Bc. Pavel Berčík

---

Diplomová práce  
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2013/2014

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Pavel Berčík**  
Osobní číslo: **T12589**  
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**  
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Konstrukce vstřikovací formy pro držák antény včetně simulací**

Zásady pro vypracování:

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

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

**dle zadání vedoucího DP**

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Michal Staněk, Ph.D.**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

**10. února 2014**

Termín odevzdání diplomové práce:

**12. května 2014**

Ve Zlíně dne 10. února 2014

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



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

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně 4. 5. 2014



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## **ABSTRAKT**

Zadaná diplomová práce se zabývá konstrukcí vstřikovací formy pro plastový díl s kovovým zástrčkem, určený pro automobilový průmysl jako střešní držák antény. Teoretická část práce popisuje všeobecná pravidla pro konstrukci plastových výstřiků, zásady a konstrukci vstřikovacích forem včetně problematiky horkých vtokových soustav a základní fyzikální zákonitosti vstřikovacího procesu.

V praktické části je představena v současné době používaná vstřikovací forma v programu Catia V5R18, včetně ověření její správné funkčnosti pomocí analýz v software Autodesk Moldflow. Je navržena její modifikace pomocí nové vyhřívané vtokové soustavy tak, aby byly eliminovány vtokové zbytky a zvýšena ekonomičnost výroby. V další části práce je připravena kompletní výrobní výkresová dokumentace nezbytná k úpravě formy ve specializované nástrojárně, včetně ekonomického zhodnocení přínosu její modifikace.

Klíčová slova: vstřikovací forma, plastový díl, kovový zástrček, vyhřívaná vtoková soustava

## **ABSTRACT**

Diploma thesis deals with the construction of injection mold for plastic part with metal fused thread for the automotive industry, used as a roof antenna base. The theoretical part describes the general rules for the design of injected plastic parts, principles and design of injection molds, including hot runners and basic physical laws of the injection molding process.

In the practical part is presented the currently used injection mold in software Catia V5, including verification of the correct functionality by analyzing in the software Autodesk Moldflow. Furthermore is proposed a modification with using of a new hot runner system in order to eliminate gating's residuals and increasing of production economy. In the other part of thesis are prepared all drawings, which are necessary to complete supposed modifications of current mold in a specialized toolshop, including economic assessment of the contribution of its modifications .

Keywords: injection mold, plastic part, metal fused thread, hot runner system

Zde bych chtěl velmi poděkovat vedoucímu mé diplomové práce panu doc. Ing. Michalu Staňkovi, Ph.D., za cenné rady, odborné vedení, připomínky a soustavnou pomoc, které mi při vypracovávání této diplomové práce věnoval. Také bych zde chtěl poděkovat společnosti Mollificio Cappeller Neinsa, s.r.o. za umožnění analýzy na jí používané vstříkovací formě.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU</b> .....	<b>12</b>
1.1 ASPEKTY TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ, OVLIVŇUJÍCÍ VLASTNOSTI VÝROBKU .....	13
1.1.1 Možnosti eliminace studených spojů .....	15
1.2 JAKOST POVRCHU VSTŘIKOVANÉ PLASTOVÉ SOUČÁSTI .....	16
1.3 ZÁKLADNÍ KONSTRUKČNÍ POŽADAVKY VSTŘIKOVANÉ SOUČÁSTI .....	17
1.3.1 Požadavek správné zaformovatelnosti dílu .....	17
1.3.2 Konstrukční úpravy součástí pro technologii vstřikování.....	18
1.4 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ STĚN A VÝZTUŽNÝCH ŽEBER.....	19
1.5 ZASTŘÍKNUTÉ KOVOVÉ DÍLY .....	21
1.5.1 Využití simulačního software pro vstřikování zástříků .....	21
<b>2 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY</b> .....	<b>23</b>
2.1 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	23
2.2 POSTUP PŘI NÁVRHU VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	23
2.3 ÚPRAVA POVRCHU DUTIN FORMY.....	24
2.4 DIMENZOVÁNÍ ROZMĚRŮ TVAROVÉ DUTINY.....	25
<b>3 SOUČÁSTI VSTŘIKOVACÍCH FOREM</b> .....	<b>27</b>
3.1 TVÁŘECÍ SOUČÁSTI .....	27
3.2 RÁMY VSTŘIKOVACÍCH FOREM .....	28
3.3 VTOKOVÉ SYSTÉMY .....	29
3.3.1 Studené vtokové soustavy .....	30
3.3.2 Vyhřívané vtokové soustavy .....	32
3.4 VYHAZOVCÍ SOUSTAVY .....	34
3.5 TEMPERAČNÍ SYSTÉM VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	36
3.6 ODVZDUŠNĚNÍ FOREM.....	38
<b>4 MATERIÁLY POUŽÍVANÉ K VÝROBĚ FOREM</b> .....	<b>39</b>
4.1 POUŽÍVANÉ DRUHY OCELÍ .....	40
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>41</b>
<b>5 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE</b> .....	<b>42</b>
5.1 ZVOLENÝ VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK.....	43
<b>6 POPIS SOUČASNÉ VSTŘIKOVACÍ FORMY</b> .....	<b>44</b>
6.1 PEVNÁ STRANA FORMY .....	45
6.1.1 Obecný popis pevné strany formy.....	45
6.1.2 Popis sestavy tvárnice .....	48
6.2 POHYBLIVÁ STRANA FORMY.....	49
6.2.1 Obecný popis pohyblivé strany formy .....	49
6.3 PŮVODNÍ FORMA – VTOKOVÁ A TEMPERAČNÍ SOUSTAVA .....	51
6.3.1 Původní horká vtoková soustava.....	51
6.3.2 Původní studená vtoková soustava.....	53



6.3.3	Původní temperační systém.....	54
<b>7</b>	<b>KONSTRUKČNÍ ÚPRAVY VSTŘIKOVACÍ FORMY .....</b>	<b>56</b>
7.1	PŘEDBĚŽNÉ NAVRŽENÍ A ZHODNOCENÍ ÚPRAV ZADANÉ FORMY .....	56
7.1.1	Tvarové dutiny formy .....	56
7.1.2	Násobnost formy a dělicí rovina .....	56
7.1.3	Vtokový a temperační systém .....	57
7.1.4	Vyhazovací systém.....	57
7.1.5	Odvzdušnění formy .....	57
7.2	CELKOVÁ KONCEPCE UPRAVENÉ FORMY .....	58
7.3	NAVRHOVANÁ ÚPRAVA FORMY - VTKOVÁ A TEMPERAČNÍ SOUSTAVA .....	59
7.3.1	Nová horká vtoková soustava .....	59
7.3.2	Nová studená vtoková soustava .....	61
7.3.3	Nový temperační systém .....	62
<b>8</b>	<b>ANALÝZA FORMY V MOLDFLOW.....</b>	<b>64</b>
8.1	VOLBA MATERIÁLU DÍLCE .....	64
8.2	VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE .....	65
8.3	VOLBA PROCESNÍCH PODMÍNEK .....	65
8.4	ANALÝZY V MODFLOW .....	66
8.4.1	Doba zaplnění dutiny formy – fill time.....	66
8.4.2	Tlak v bodě přepnutí – pressure at V/P switchover .....	69
8.4.3	Smyková rychlost – shear rate .....	71
8.4.4	Teplota na konci doby plnění – bulk temperature at end of fill .....	74
8.4.5	Vzduchové kapsy – air traps .....	76
8.4.6	Studené spoje – weld lines .....	78
8.4.7	Objemové smrštění – volumetric shrinkage.....	80
8.4.8	Propadliny – sink marks.....	82
8.4.9	Teplota temperačního okruhu – circuit coolant temperature .....	84
8.4.10	Efektivita odebrání tepla – circuit heat removal efficiency .....	85
8.4.11	Celková deformace výrobku – deformation, all effects .....	86
<b>9</b>	<b>DISKUZE VÝSLEDKŮ.....</b>	<b>89</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>91</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>92</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>94</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>95</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>98</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>99</b>

## ÚVOD

Prudký rozvoj vědy, techniky a průmyslové výroby ve 20. století byl postupně doprovázen také zvyšujícím se podílem využití polymerních materiálů v konstrukci a výrobě nejrůznějších strojních součástí a výrobků denní potřeby. V posledních desetiletích pokročil vývoj moderních plastových materiálů natolik, že jsou v mnoha případech schopné plně nahradit tradiční kovové materiály. V současné době již existuje celá škála materiálů, srovnatelných svými mechanickými vlastnostmi s ocelí.

Použití plastových materiálů je velmi významné také v oblasti automobilového průmyslu. Umožňuje zrychlení a zlevnění výroby automobilů, dosažení designově zajímavějších tvarů, zvýšení recyklovatelnosti a v neposlední řadě také bezpečnosti současně vyráběných vozidel. V některých aplikacích je možné využít vhodné kombinace vlastností plastového výrobku s kovovým zástřikem, který dále zvyšuje pevnost a životnost plastové součásti.

V současnosti nejrozšířenější metodou výroby plastových součástí v automobilovém průmyslu je technologie vstřikování. Tato technologie má své nesporné přednosti především v tom, že je velmi rychlá, velmi dobře automatizovatelná, obsahuje malý počet výrobních operací a při výrobě velkých sérií je také poměrně levná.

Firma Mollificio Cappeller Neinsa, s.r.o. se zabývá mimo jiné také výrobou plastových výrobků pro elektrotechnický a automobilový průmysl. V jejím výrobním portfoliu najdeme také několik druhů anténních sestav pro automobily několika zahraničních značek. Řešená problematika kvalitativních defektů ve výrobě anténního držáku touto metodou mě přivedla k tématu mé diplomové práce.

Jejím cílem má být především navržení úpravy již používané vstřikovací formy tak, aby došlo ke zvýšení ekonomičnosti výroby, snížení zmetkovitosti a zvýšení ekonomičnosti. Velkým pomocníkem při tomto úkolu je moderní software určený k analýze vstřikovacího procesu Autodesk Moldflow.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU

Při návrhu designu a konstrukce plastového výrobku je nutno znát základní aspekty týkající se vlastností polymerních materiálů a jejich chování během vstřikovacího procesu. Nesprávně navržený tvar výrobku může způsobit různé problémy během výrobního procesu, nebo dokonce nemožnost výroby kvalitního výrobku spolehlivě plnícího zadané požadavky. Z těchto poznatků vyplývá, že konstruktér plastových součástí by měl velmi dobře ovládat problematiku technologie vstřikování plastů.

Základním pravidlem při konstrukci plastového výstřiku je podmínka co nejučelnějšího a nejjednoduššího tvaru, při jejímž dodržení není nutná složitá vstřikovací forma a nevzniká příliš mnoho problémů. Také výsledné mechanické vlastnosti a výrobní náklady jsou lepší. V praxi ovšem tato podmínka jen málokdy bývá lehce splnitelná, protože díly musí plnit různé funkce, do popředí se dostává také designové hledisko, výsledkem čehož vznikají komplikované tvary výrobků, které s sebou nesou také nutnost používání složitých vstřikovacích forem a drahých technologií. [3]

Výsledný tvar výrobku a navržená vstřikovací forma jsou tedy vždy určitým kompromisem mezi na výrobek kladenými požadavky a designem na straně jedné, a požadavky zvolené technologie vstřikování a cenové výhodnosti výroby na straně druhé.

Jednou ze základních zásad používaných při návrhu plastových výrobků je zásada, že výrobky vytvořené technologií vstřikování nelze zhotovit v jakosti shodné se srovnatelným kovovým výrobkem. Na toto omezení dané výrobní technologií je nutné při návrhu vždy brát zřetel. Během vstřikovacího cyklu dochází k působení rozličných vlivů, které snižují finální kvalitu výstřiku. Mezi nejvýznamnější patří omezení daná materiálem konečného produktu, kvalitou použité vstřikovací formy a stroje a obecně technologií výroby. Všechny tyto aspekty působí nepříznivě na jakosti součásti, velmi důležitou roli zde hraje také creepové chování plastů. [3]

Hlavní aspekty působící na výslednou dosaženou kvalitu výroby:

- smrštění během procesu chladnutí výrobku ve formě. Toto smrštění má největší vliv na konečné rozměry,
- smrštění dodatečné, jehož příčinou je postupná relaxace napětí, vzniklých v materiálu v průběhu vstřikování. Bývá zpravidla řádově menší,
- creep, neboli tečení materiálu, které u polymerních materiálů je typickým jevem,

- navlhavost použitého materiálu, v jejímž důsledku dochází k pohlcování vody z okolního prostředí do výrobku a změně jeho rozměrů,
- teplotní roztažnost, která je mnohonásobně vyšší než u kovového materiálu, nicméně je změnou vratnou.

Tyto negativní vlivy jsou v konstrukční fázi obtížně stanovitelné a závisejí také na materiálu výrobku. Dále budou popsány základní zásady pro konstrukci plastových vstřikovaných výrobků. [2]

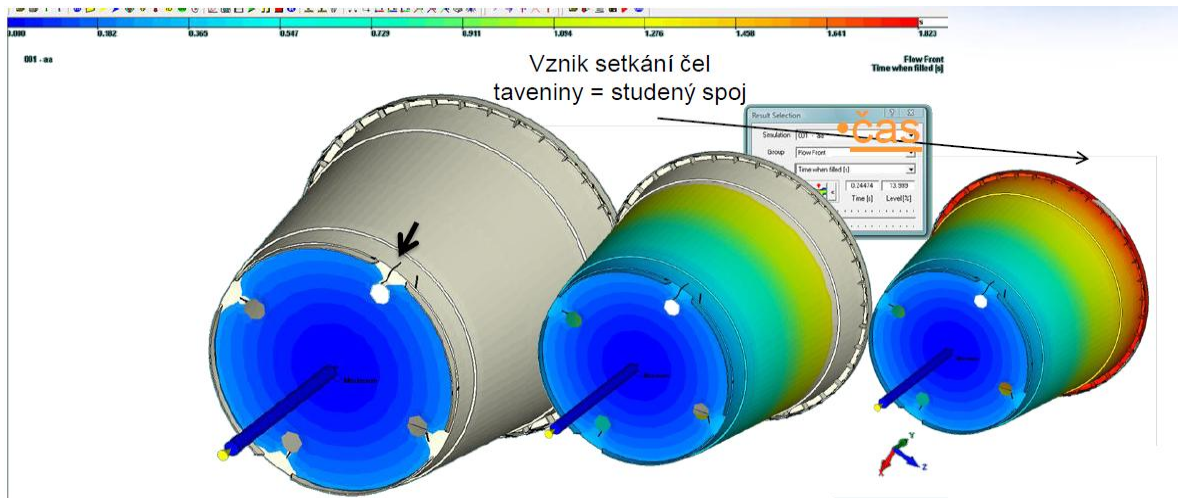
### 1.1 Aspekty technologie vstřikování, ovlivňující vlastnosti výrobku

Z mechanických vlastností vstřikovaného výrobku jsou použitou technologií ovlivňovány především tažnost a pevnost. Při vstřikování dochází k jisté orientaci struktury materiálu, která má podstatný vliv na zvýšení pevnosti výrobku ve směru struktury, ale na druhé straně dochází v příčném směru k jevu opačnému, a to snížení této pevnosti. Se zvyšující se orientací struktury makromolekul materiálu dochází také ke zvyšování rozdílu pevností v příčném a podélném směru.

Shodný efekt nastává také u polymerů plněných krátkými vlákny. Pevnost takového plněného materiálu je ovšem v závislosti na orientaci vláken ovlivňována mnohem víc. Ve směru orientace krátkých vláken pevnost tohoto polymerního materiálu značně roste, ovšem v příčném směru zůstává na hodnotě neplněného plastu nebo dokonce dochází k poklesu pevnosti oproti materiálu neplněnému.

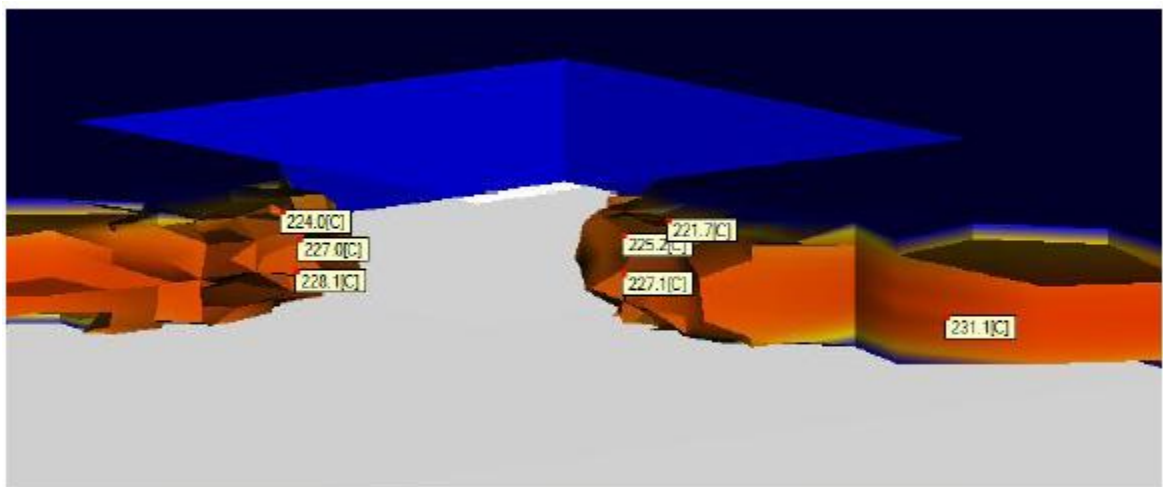
Velmi nebezpečným jevem pro pevnost a provozní spolehlivost vstřikovaného polymerního výrobku je efekt vzniku tzv. studených spojů. Obecně vzato, při vstřikování tvarově složitějšího výrobku se nachází v dutině formy místa, v nichž dochází ke styku čel dvou protisměrných proudů taveniny se vznikem tzv. studeného spoje. Ke stejnému jevu dochází také při spojování proudů taveniny ve formě po obtékání např. vloženého kovového zástřiku nebo tvarového jádra. Místo na výrobku, ve kterém se nachází studený spoj, je místem, kde může dojít k porušení výrobku se všemi důsledky z toho plynoucími. Jedním ze základních požadavků při návrhu vstřikovací formy je tedy maximální eliminace nebo omezení počtu těchto studených spojů. Pokud není možné se jejich vzniku vyhnout, je nutné je umísťovat do nepřilíš namáhaných částí výrobku. Pro vznik téměř dokonalého spojení proudů taveniny je nutno dodržet zásadu, že materiál má téci co nejvyšší rychlostí, při

vysokém tlaku a teplotě, s nízkou viskozitou. Studený spoj spolu s jeho vznikem je znázorněn na obrázku 1.



Obr. 1 Vznik studeného spoje [11]

Vznik studeného spoje je ovlivňován několika faktory. Jedním z nich je ochlazení povrchu čela roztaveného materiálu během jeho toku formou, s následným méně dokonalým spojením s protějším čelem taveniny. Mezi dvěma čely dochází také k uzavírání vzduchu, což zapříčiňuje tvorbu mikroskopických trhlinek (vrubů tvaru v) na povrchu součásti v místě spoje. Tyto trhliny následně při životnosti součásti působí jako koncentrátoři napětím, které následně způsobuje pokles pevnosti výrobku v tomto místě. Velikost této změny pevnosti je poté ovlivněna především druhem vstříkovaného polymeru a technologickými podmínkami daného výrobního procesu. [1]



Obr. 2 Ochlazování čela taveniny v detailu [11]

Ještě více nepříznivý vliv mají studené spoje u polymerních směsí plněných krátkými vlákny. V místě spoje vzniká značně nevýhodná orientace krátkých vláken. Tato orientace v kombinaci s již uvedeným snížením pevnosti v příčném směru dále snižuje místní únosnost. Z příložené tabulky je patrné, že se zvyšující se koncentrací plniva se snižuje únosnost spoje u více typů materiálu. [1]

Tab. 1 Pevnost studených spojů v závislosti na materiálu [1]

Polymerní materiál	Obsah krátkých vláken v %	Relativní pevnost v %
PP	0	86
PP	20	47
PP	30	34
SAN	0	80
SAN	30	40
PC	0	99
PC	10	86
PC	30	64
PSU	0	100
PSU	30	62
PPS	0	83
PPS	40	20
PA 6.6	0	83-100
PA 6.6	10	87-93
PA 6.6	30	56-64

### 1.1.1 Možnosti eliminace studených spojů

V současnosti se pomalu začínají aplikovat první metody pro prevenci a eliminaci vzniku studených spojů na vstříkovaných výrobcích. Do formy jsou zabudována topná tělesa s mžikovou dobou ohřevu, která lokálně ohřívají potenciální místa vzniku studených spojů. Topná tělesa jsou doplněna kovovými vložkami s temperančními kanály a samostatným temperančním okruhem. S výhodou je možné využít práškové metalurgie se spékáním laserem pro výrobu těchto okruhů. Případně je možné využít pro lokální ohřev ultrazvukových sonotrod, které taktéž zvyšují teplotu taveniny v místě studeného spoje. Dalším možným systémem je technologie Promold, který je taktéž založen na principu lokálního ohřevu v místě studeného spoje. [14]

## 1.2 Jakost povrchu vstříkované plastové součásti

Pro správnou funkci plastové součásti jsou velmi důležité její rozměry, velmi podstatnou roli ovšem hraje také hledisko jakosti povrchu. Plní designovou funkci u pohledových dílů, případně také určitou technologickou funkci. Povrchy lze vhodně upravovat, čímž se docílí požadované struktury, barevnosti, lze vytvořit povrchový dezén součásti. Obecně se zvýšením jakosti povrchu zvýší nejen vzhled, ale také funkčnost výrobku. Výsledná kvalita povrchu je přímým odrazem dutiny použité vstříkovací formy.

Druhy povrchů vstříkovaných výrobků:

- matné - tyto povrchy jsou výrobně nejjednodušší a také nejlevnější. Jejich velkou předností je také schopnost zakrýt některé vzhledové nedostatky technologie vstříkování, jako stopy po toku nebo studené spoje,
- lesklé - výrobně nejnáročnější a také nejdražší povrchy součástí. Je nutné vyrobít velmi kvalitně dutinu formy, protože na takovémto povrchu se zvýrazní veškeré její nedokonalosti. Stupeň lesku se předepisuje na výkrese,
- dezénované - dosáhne se zvýraznění odlišnosti některé části povrchu, případně snadnější manipulace nebo snížení průhlednosti. Podobně jako u matného povrchu dochází k zakrytí některých vzhledových nedostatků. Omezení jsou dána pouze možnostmi zhotovení dezénu ve formě.

Charakter dezénu nejvíce závisí na použité výrobní technologii. U dezénovaného povrchu nesmí konstruktér zapomenout na nutnost zvětšení potřebných úkosů výrobku. [3]

Velký vliv na výsledný dojem z vyrobené součásti má také barevnost povrchu. Ta závisí na druhu použitého polymeru, případně je možno ji upravovat barvením pomocí barviva. Pokud dosažitelný barevný odstín nevyhovuje, je nutné upravit povrch součásti nátěrem nebo nástřikem. [3]



Obr. 3 Příklad dezénování [11]

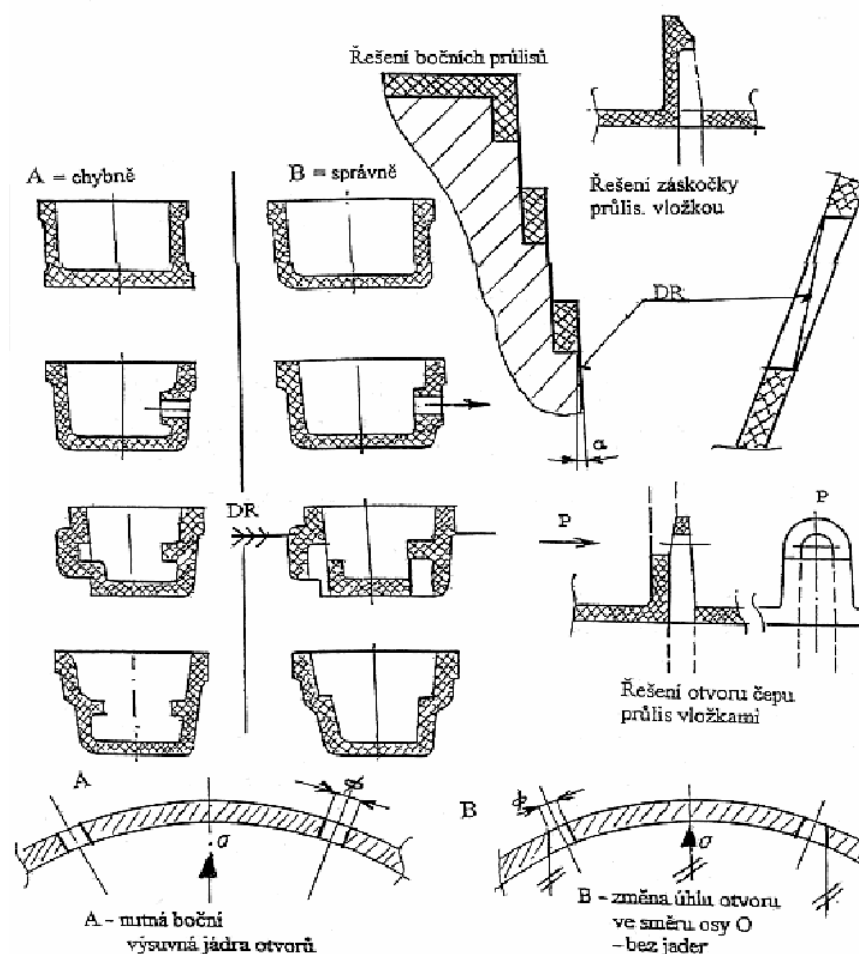


## 1.3 Základní konstrukční požadavky vstříkované součásti

### 1.3.1 Požadavek správné zaformovatelnosti dílu

Nejjednodušeji řečeno, výrobek by měl být ve zvolené vstříkovací formě umístěn tak, aby bylo možné výstřik zaformovaný s použitím různých prvků, jako jsou kleštiny, čelisti a šikmé vyhadzače, ekonomicky vyrobit a jednoduše vyhodit z dutiny formy. Konstrukteur by měl znát možnosti a omezení pro zaformování dílů, aby nedocházelo ke zbytečným problémům po zhotovení formy.

Jedním ze základních požadavků je navrhovat díly tak, aby měly co nejméně dělicích rovin. Se zvyšujícím se počtem dělicích rovin stoupá složitost celé formy a zvyšují se náklady na výrobu. Každá přidaná dělicí rovina znamená nutnost dalšího mechanismu sloužícího pro její ovládání. Navíc musí být technicky proveditelné tuto dělicí rovinu odformovat. [2]



Obr. 4 Způsoby zaformování dílů - jedna dělicí rovina [2]

### 1.3.2 Konstrukční úpravy součástí pro technologii vstřikování

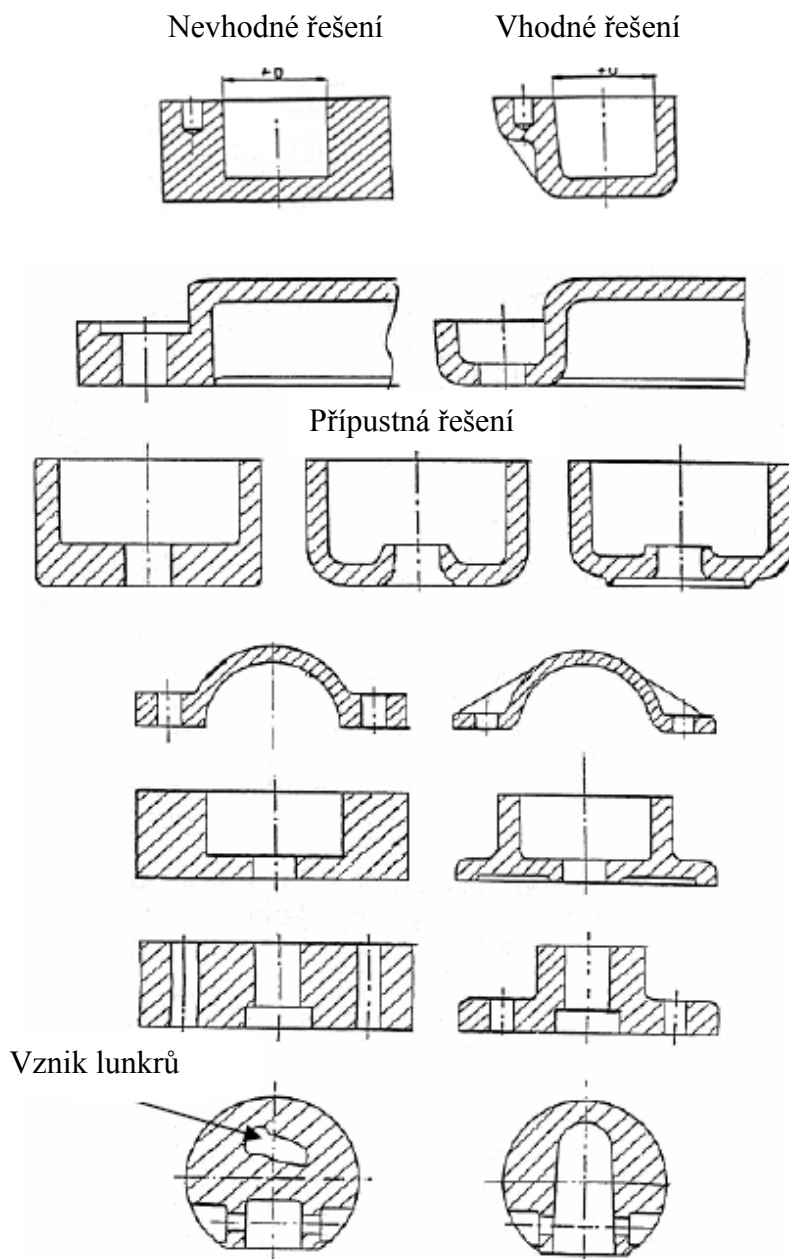
Tvar výrobku musí být navrhován od počátku s ohledem na zvolenou technologii. Pro zpracování plastů je nutno dodržovat určité zásady, jako například dodržení přibližně konstantní tloušťky stěn z důvodu rozdílných vnitřních pnutí, je nutno se vyhýbat ostrým rohům stěn a náhlým přechodům. Vzhledem ke chládnutí výstřiku je také nutno se vyhýbat příliš velkým tloušťkám stěny, lepším řešením je kritická místa odlehčit přidáním vybrání nebo dutin a úbytek pevnosti kompenzovat přidáním žeber. Jak je také známo z mechaniky, při velké tloušťce materiálu stěny mají krajní vlákna malou vzdálenost od neutrální osy a materiál není při zatížení optimálně využit. Žebra jsou velmi vhodnou metodou, jak materiál při zachování stejné tuhost odlehčit. [1]

U tlustých stěn také může docházet ke vzniku lunkrů, což jsou vakuové bubliny v materiálu. Kromě tlustých stěn se mohou tvořit v místech s nevhodnou konstrukcí s nahromaděním materiálu.

Principem jejich vzniku je objemová koncentrace při tuhnutí roztaveného materiálu. Povrch výrobku u stěny formy ztuhne, zatímco uvnitř je stále tekutý materiál s tendencí zmenšovat svůj objem. Pokud tento objem není možné doplnit, dojde ke vzniku vakuové bubliny.

Možnosti odstranění lunkrů:

- snížením nahromaděním materiálu,
- přesunem vtoku, nebo zvýšením jeho průřezu,
- zvýšením vstřikovacího tlaku, dotlaku a teploty formy,
- zvýšením doby dotlaku. [2]



Obr. 5 Řešení tvaru dílů s ohledem na vznik lungrů [2]

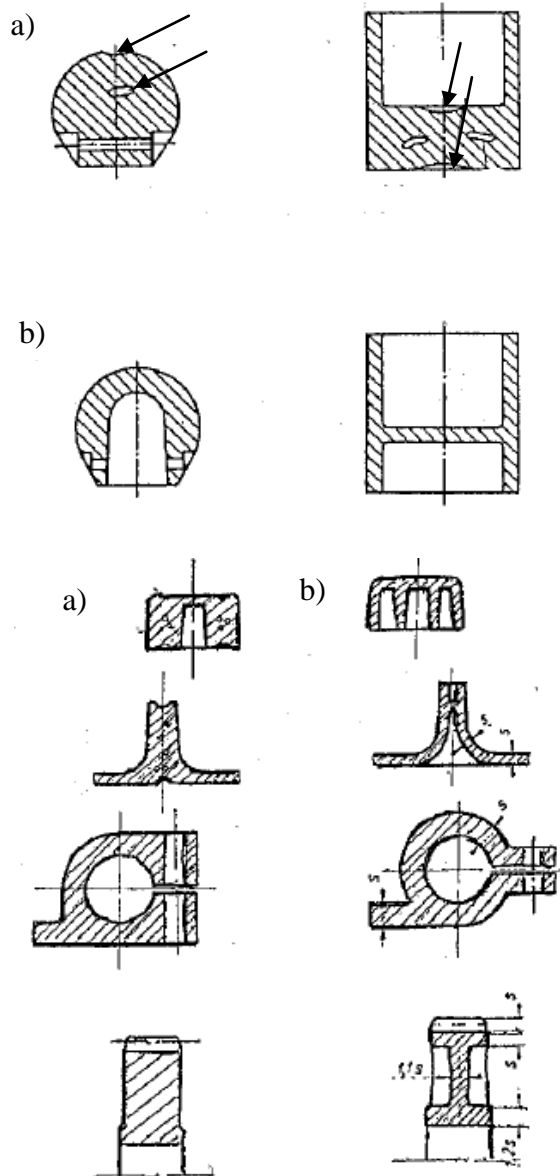
#### 1.4 Konstrukční řešení stěn a výztužných žeber

Jak již bylo uvedeno, pro zvýšení tuhosti výrobku není příliš vhodné dále zvyšovat tloušťku stěny. Z mechaniky vyplývá, že výhodnější je provést vyztužení žeber, kdy ramena působících ohybových momentů jsou větší a materiál je lépe využit. [1]

Z technologického hlediska je ovšem nutno se při návrhu žeber řídit zásadou, že tloušťka žebra musí být vždy v určitém poměru k tloušťce hlavní stěny výrobku. Jinak by mohlo dojít též k výslednému snížení tuhosti, vzniku vtaženin při chladnutí (vzhledový defekt na povrchu dílu).

Vtaženiny typicky vznikají v místě připojení žebra nebo nálitky. Působí především vzhledové problémy. Nejvíce jsou patrné na povrchu lesklých výrobků. Je možno je odstranit pomocí technologie dezénování, a to buď elektrochemicky, nebo elektroerozivně.

Lepším řešením je ovšem vzniku těchto vtaženin předcházet už ve fázi návrhu výrobku jeho vhodnou konstrukcí. [3]

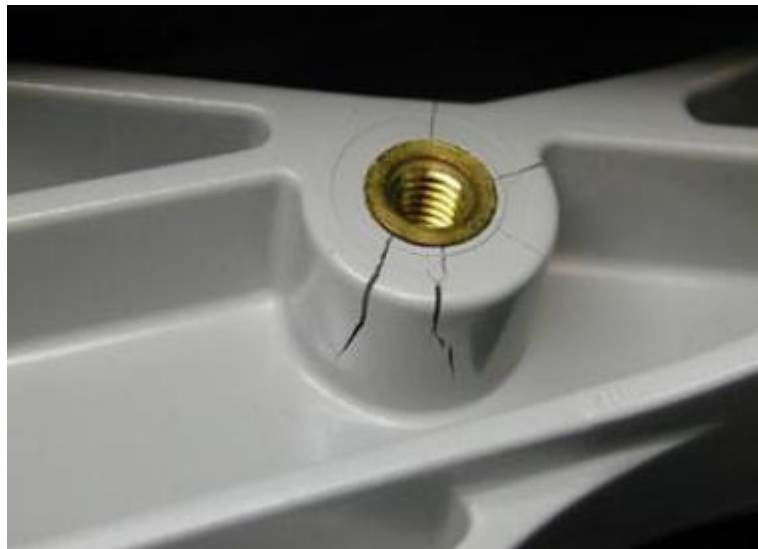


Obr. 6 Nesprávné (a) správné (b) tvary výrobku s ohledem na vznik vtaženiny [3]

## 1.5 Zastříknuté kovové díly

V případě vstřikování součástí se zastříknutými kovovými díly, hrozí velké riziko vzniku trhlin. Tomuto riziku se předchází například předehřevem insertu, úpravou jeho tvaru, případně zvětšením tloušťky okolních stěn. Vhodným zvolením druhu plastu s nižším smrštěním a sklonem k vnitřnímu pnutí lze také tomuto problému předejít. [3]

Na následujícím obrázku je uveden příklad problému u dílu se zástřikem.



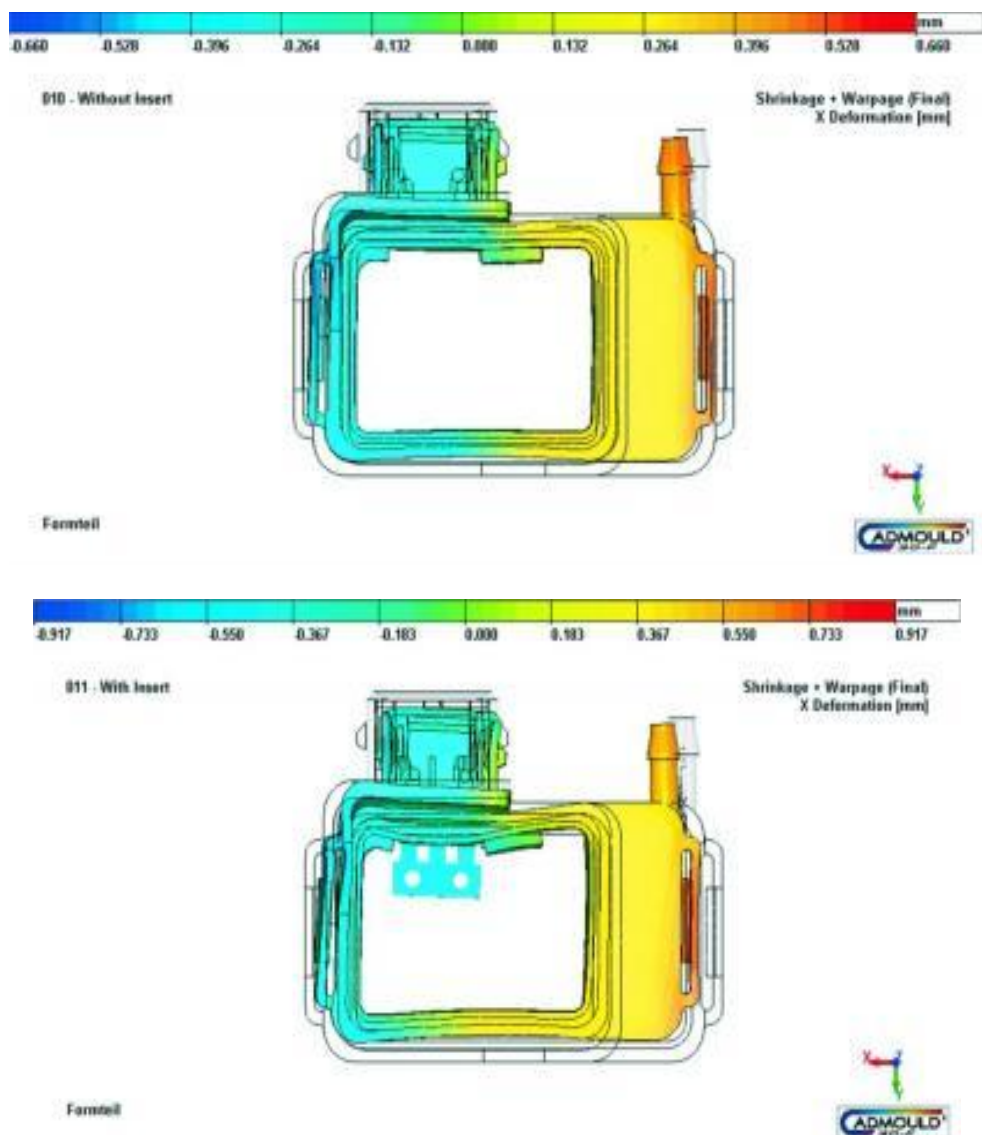
*Obr. 7 Vznik trhlin v místě kovového zástřiku [10]*

### 1.5.1 Využití simulačního software pro vstřikování zástřiků

V běžné praxi se využívá mnoho nejrůznějších dílů, které se vyrábějí technologií ob-  
střikování kovových insertů nebo vícekomponentním vstřikováním. Může se jednat o různé nářadí, dózy, emblémy apod. S využitím simulačního programu Cadmould 3D-F 2K&Insert je možné řešit následující úkoly:

- naplnění jednotlivých částí tvarové dutiny vstřikovanými komponentami, stav kontaktních ploch u dvojkomponentního vstřikování (posouzení soudržnosti ploch, např. podle míry shodnosti deformace),
- obtékání zástřiků taveninou plastu, místa se špatným plněním, oblasti studených spojů a uzavírání vzduchu,
- vliv plastových a kovových zástřiků na smrštění a deformace,
- vývoj teplot v tavenině, zástřiku nebo předstřiku,
- výpočet silového namáhání zástřiků vlivem tlaku v tavenině atd.

V případě dvojkomponentního vstřikování je nejprve provedena kompletní analýza první komponenty (předstříku). Je-li analyzován plastový díl se zástříknutým dílem, nejprve se připraví výpočtové konstrukce jednotlivých částí sestavy a připojí vtokový systém pro naplnění tvarové dutiny taveninou plastu, tedy pro obstřík. Příslušná materiálová a teplotní data, získaná u dvojkomponentního vstřikování po uložení prvního výpočtu (předstříku), budou vybrána do navazujícího výpočtu pomocí volby Project. Jednotlivým zástříkům mohou být přiřazena různá materiálová data buď manuálním zadáním požadovaných materiálových konstant, nebo načtením materiálových konstant z databanky plastů či databanky kovových materiálů. Poté již stačí jen zvolit počáteční teplotu pro inserty a nastavení potvrdit. Celý postup zadání výpočtu je velmi jednoduchý a lze jej zvládnout intuitivně. [10]



Obr. 8 Výsledky analýzy pro díl bez zástříku (nahore) a se zástříkem (dole) [10]

## 2 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

### 2.1 Konstrukce vstřikovací formy

Proces výroby vstřikovaného dílu je oproti obrábění kovových součástí odlišný. Probíhá s použitím vstřikovacího stroje, který zajišťuje přípravu materiálu a jeho vstříknutí do tvarové dutiny formy, ve které v poměrně krátkém čase dojde ke vzniku výrobku, a to za působení dostatečné teploty a tlaku.

Nejdůležitější požadavky na kvalitní vstřikovací formu:

- vysoká přesnost a požadovaná jakost funkčních ploch zhotovené dutiny formy a ostatních funkčních dílů,
- maximální tuhost a pevnost jednotlivých částí formy i celku, pro zachycení potřebných tlaků,
- správná funkce formy, vhodný vtokový systém, vyhazování, odvzdušnění, temperování apod.,
- optimální životnost zaručena konstrukcí, materiálem i výrobou.

Ze všech výše uvedených bodů je patrné, že na kvalitní formu jsou vztaženy vysoké požadavky na jakost a přesnost, což se odráží ve vyšší pracnosti a ceně její výroby. Je také nutno disponovat dostatečnou výrobní technologií. Kvůli spolehlivé funkci při vysokých vstřikovacích tlacích bývají formy navrhovány značně robustní, což ovšem někdy svádí obsluhu k neopatrnému zacházení a může dojít až k poruchám jejich funkce. [3]

### 2.2 Postup při návrhu vstřikovací formy

Základním podkladem pro konstrukci vstřikovací formy je výkres vyráběné součásti. Ten bývá doplněn parametrickým modelem, konstrukčním návrhem a údaji o materiálu dílů, ročním objemu produkce pro stanovení násobnosti formy a podobně.

Konstrukce se řídí následujícími pravidly:

- určení dělicích rovin formy, případně jejich upřesnění, určení nejvhodnějšího způsobu zaformování dílu s ohledem na požadavky vzhledové a funkční. Je nutné správně určit velikost a směr potřebných technologických a konstrukčních úkosů. Nutné také je, aby při zvoleném způsobu umístění součásti ve formě bylo možné vhodně rozmístit vtoková ústí a vyhazovače tak, aby bylo dosaženo spolehlivé vyjmutí výrobku z formy,
- dále je nutno posoudit součást z hlediska tvaru, rozměrů a technologických požadavků. Musí být zkontrolovány všechny rozměry z výkresu, jejich tolerance, musí být zkontrolováno, jaké jsou rozdíly v tloušťkách stěn. Ostré rohy a hrany by měly být upraveny tak, aby nevyvolávaly vnitřní pnutí a nezpůsobovaly problémy při plnění dutiny formy materiálem,
- poté následuje návrh tvarových dutin formy a způsobu jejich umístění, zvolí se typ vtokového systému a vtokových ústí, průřezy a délky rozváděcích kanálků a velikost ústí,
- konstrukce rámu pro formu tak, aby umožňoval umístění všech tvarových dutin, vyhazovačů a temperančních kanálů,
- zvolení systému upínání formy na stroj tak, aby bylo bezpečně možné s formou manipulovat dostupnými manipulačními prostředky,
- po tomto základním návrhu následuje kontrola všech parametrů důležitých pro funkci formy, velikosti a hmotnosti výstřiku, ze kterých se stanoví potřebná uzavírací síla a vstřikovací tlak tak, aby byla možná výroba na zvoleném vstřikovacím stroji.

Celá navržená koncepce vstřikovací formy musí být zvolena tak, aby ji bylo možné a snadné vyrobit dostupnými prostředky při splnění zadaných vstupních požadavků dostupnou technologií. Návrh formy by měl být vždy konzultován s jejím objednatelem, včetně schválení všech navržených změn ve výkrese součásti. [3]

### 2.3 Úprava povrchu dutin formy

Tvarová dutina ve formě je navržena zejména s ohledem na zadané rozměry výrobku a požadovanou jakost jeho povrchu. Je nutné zhotovit tvarovou dutinu v kvalitě shodné s požadovanou kvalitou povrchu vyráběné součásti.



Podobně jako bylo uvedeno výše o povrchu součásti, i povrch dutiny formy se vyrábí v několika provedeních:

- matný povrch, ten je výrobně nejjednodušší a nejlevnější. Běžně se vyrábí metodami elektroerozivního obrábění. Existují samozřejmě i jiné technologie (ruční úpravou, otryskáváním apod.). Podle požadovaného povrchu výrobku se dále stanoví i způsob, jakým bude povrch dutiny dokončen,
- lesklý povrch, ten je výrobně náročnější a také cenově nákladnější. Je nutná velmi kvalitní ocel a vysoká úroveň celé technologie. Vyrobena dutina je dokončována některou z metod leštění povrchu (mechanickými pomůckami nebo elektrickými jednotkami s rotačním, přímočarým i planetovým pohybem pomocí brusného tělíska, nebo pasty). U tohoto typu povrchu je nutné definovat požadovaný stupeň lesku,
- dezénovaný povrch, který se začíná používat stále častěji. Tento druh povrchu zakrývá i drobné povrchové vady výrobku. Lze jím dokončovat veškeré rovinné a zakřivené plochy. Existuje celá řada vzorků pro různé technologie obrábění. Dutina se nejčastěji vyrábí elektroerozivním obráběním, kde je možné hrubost povrchu ovlivnit nastavením elektrických veličin. Velmi široký rozsah typů dezénu je možné vyrobít také fotochemickým leptáním. Velmi levným typem dezénování je také jeho výroba pomocí otryskávání, které však nemá tak široký rozsah tvarů.

Pomocí různých výrobních technologií a způsobu dokončení lze tedy dobře splnit nároky na povrchovou jakost součásti. Navíc se různé technologie mohou spolu dále vzájemně kombinovat. [3]

## 2.4 Dimenzování rozměrů tvarové dutiny

Všeobecně tvar a rozměry dílů tvořících spolu navzájem po uzavření tvarovou dutinu formy musí být správně nadimenzovány. Pokud jsou nadimenzovány chybně (s ohledem na smrštění atd.), jsou po vyrobení součásti chybné také její finální rozměry.

V případě rozměru bez předepsané tolerance, lze tuto chybu někdy eliminovat změnou technologických parametrů procesu, v některých případech ovšem musí být nákladně upravován některý z funkčních rozměrů formy.

Výsledná tvarová, rozměrová přesnost a jakost povrchu vystříklého výrobku jsou tedy dány nejvíce přesností dutiny formy a jakostí jejího vnitřního povrchu. Většinou se jedná o sestavu tvárníku, tvárnice a různých tvarových vložek pro vytvoření dalších částí výrobku.

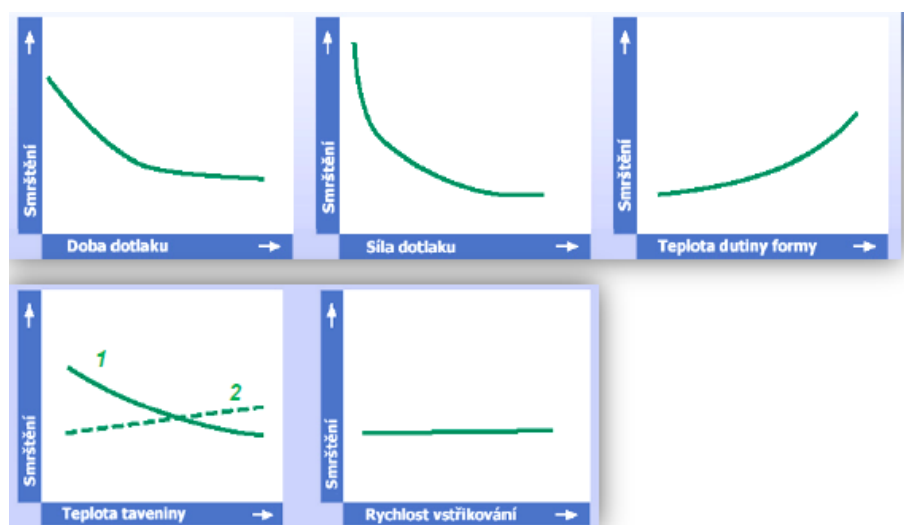
Přesnost dutin se pohybuje v rozsahu IT 8 až IT 10 a je ovlivněna následujícími činiteli:

- provozní smrštění plastu,
- výrobní tolerance,
- opotřebení tvarové dutiny formy.

Nejčastějším důvodem nesprávně zvolených rozměrů dutiny formy je především špatně odhadnuté smrštění daného rozměru v průběhu chladnutí. Správný odhad velikosti provozního smrštění pro konkrétní velikost dílů je obtížné určit, neboť výpočetní smrštění se u tvarově složitějších výstřiků většinou neshoduje s hodnotami udávanými výrobcem materiálů. Konstruktor je většinou nejvíce závislý na svých zkušenostech a znalostech. S výhodou se používá také různý simulační software. Velikost smrštění je ovlivněna následujícími činiteli:

- tvarem výstřiku (rozměry a tloušťka stěn),
- konstrukcí formy (vtokový systém, poloha ústí vtoku, velikost jeho průřezu, teploty formy),
- technologií vstřikování (tlak, teplota taveniny, vstřikovací rychlost, teplota formy).

Způsob výroby formy, především její tvarové dutiny rozhoduje o její celkové přesnosti a tolerancích. Opotřebení dutiny formy je odhadováno jako asi 10 až 40 % z celkové tolerance pro výrobek. [3]



Obr. 9 Vliv technologických podmínek na smrštění [13]

### 3 SOUČÁSTI VSTŘIKOVACÍCH FOREM

#### 3.1 Tvářecí součásti

Jedná se o ty díly vstřikovací formy, které udávají konečný tvar vystříklého výrobku. Jsou na ně kladeny velké nároky, musí být vyrobeny ve velké kvalitě a s požadovanou přesností, aby byla zajištěna kvalita plastového výstřiku.

Tyto části vstřikovacích forem jsou ve styku s polymerní taveninou, což se odráží v nutnosti je tepelně zpracovávat. Z běžných způsobů tepelného zpracování je nejčastěji používáno kalení.

Nejčastěji se tvarové části forem kalí na výslednou tvrdost kolem hodnoty 53 HRC. Tato úprava je vyhovující pro velkou škálu používaných materiálů, například neplněné polymery, polymery s nižší koncentrací skelných a minerálních plniv a polymery sice s vyšší koncentrací plniva, ale u forem používaných pro menší série výroby. Při tvrdosti 53 HRC není velkým problémem během dolícování formy upravit některou její část přibroušením a tvrdost z hlediska opotřebení dutiny formy je dostatečná.

Problém by ovšem nastal při použití polymerů plněných vyššími koncentracemi skelných vláken (nad cca 20%) při výrobě velkých sérií, kde by výsledná životnost tvarové dutiny nebyla vysoká. Pro takovéto případy se tvarové díly forem kalí na hodnotu tvrdosti cca 60 HRC. Tady ale dochází k problémům při obrábění a nutnosti upravit některý rozměr například broušením během dolícování formy. Není možné využít klasické nástroje, dochází k velkému opotřebení obráběcích nástrojů. Výhoda vysoké životnosti formy zde ovšem převažuje.

Pro některé aplikace lze použít také nekalené tvarové části forem. Typicky například pro výrobu velkoplošných dílů v automobilovém průmyslu, jako jsou palubní desky, výplně dveří, nárazníky, kdy se používají neplněné typy lehce tekoucích polymerů a opotřebení tvarové dutiny není tak vysoké. Také pro prototypové formy se používají tvarové části v nekaleném stavu.

Kromě tvrdosti povrchu tvarových částí je opět nutné se řídit i požadavky na jakost povrchu výstřiku, a s ohledem na ně dále upravovat povrch součásti, protože povrch součásti je vždy zrcadlovým obrazem dutiny formy. Využívá se leštění, dezénování a jiné metody, jak již bylo uvedeno v části o konstrukci vstřikovaných výrobků. [3]

### 3.2 Rámy vstřikovacích forem

Rám formy v podstatě po doplnění o některé další funkční prvky tvoří kompletní vstřikovací formu. Jedná se o skupinu několika desek s různou funkcí, které jsou navzájem propojeny pomocí vodicích a středících elementů. Vtokový systém je většinou vyrobený přímo v některé z desek, nebo ve speciálních vložkách. Často je rám doplněn o některé další funkční části, topná tělesa, elementy sloužící k lepší manipulaci s formou a podobně.

Rám formy musí dále umožnit některé jiné důležité funkce:

- správné umístění a ustavení na vstřikovací stroj,
- dokonalé a bezpečné upnutí bez možnosti pohybu,
- přesné vedení všech pohyblivých dílů formy,
- snadné upevnění tvarových vložek a ostatních dílů,
- správné umístění temperačního systému a vyhazovacích desek s vyhazovači.



*Obr. 10 Rám vstřikovací formy s využitím normálií [15]*

Potřebné rozměry a uspořádání formy se volí podle druhu vyráběného výrobku, dostupného vstřikovacího stroje a dalších požadovaných funkcí. V současné době existuje řada

normální dodávaných specializovanými firmami (Hasco, Meusburger, Penta atd.), které typizují a zjednodušují výrobu vstřikovacích forem.

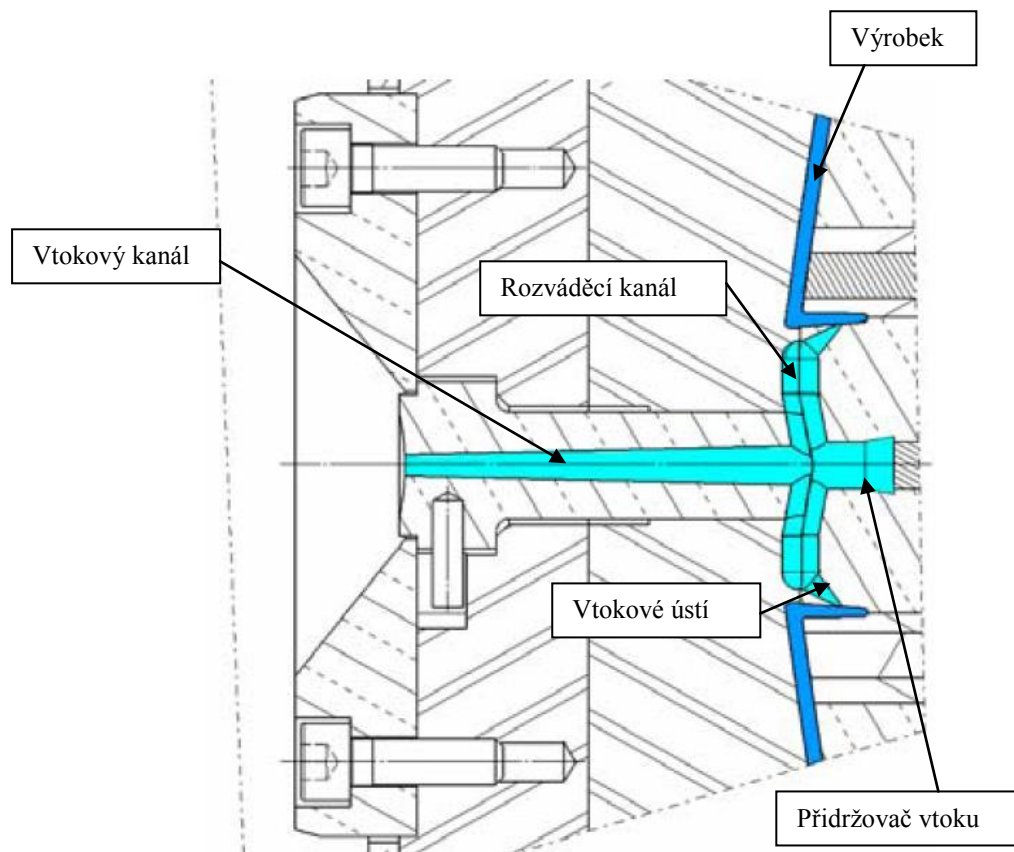
Rám formy by měl být vždy správně nadimenzován na požadované vstřikovací tlaky, aby nedocházelo například k pootevření v některých místech dělicí roviny, nebo nežádoucím deformacím. [2]

### 3.3 Vtokové systémy

Vtokový systém slouží k dopravě a rozvodu roztaveného plastového materiálu do dutiny formy. Při jeho konstrukci je opět nezbytné dodržovat některé níže uvedené důležité zásady.

Dělení vtokových systémů:

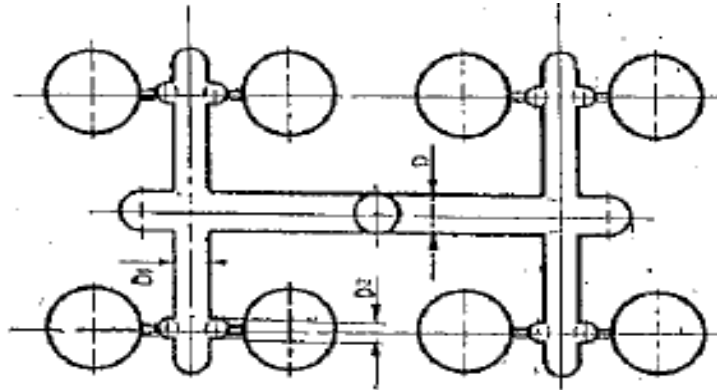
- studené vtokové soustavy,
- vyhřívané vtokové soustavy.



Obr. 11 Studený vtokový systém formy [3]

### 3.3.1 Studené vtokové soustavy

Během vstřikovacího procesu dochází k vstřikování taveniny velkou rychlostí do studené vstřikovací formy. Nevýhodou tohoto řešení je především to, že viskozita taveniny u chladných stěn kanálů prudce roste, zatímco jádro toku zůstává relativně dobře tekuté. To znamená, že pro správné zaplnění dutiny formy je zapotřebí velký vstřikovací tlak, běžně mezi 40-200 MPa.



Obr. 12 Odstupňování průřezů kanálů pro správné plnění dutin formy [3]

Vtokový systém musí být navržen tak, aby splňoval některé základní funkce:

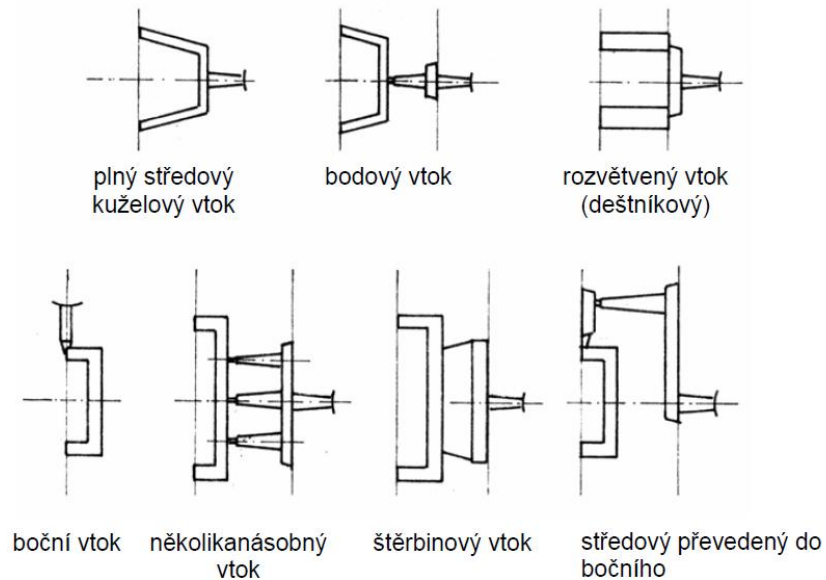
- dráha toku roztaveného materiálu by měla být co nejkratší tak, aby nedocházelo k přílišnému chládnutí během toku,
- dráha ke všem dutinám formy má být stejně dlouhá, čímž je zajištěno jejich stejnoměrné plnění,
- průřez vtokových kanálů musí být dostatečně velký, aby bylo zaručeno, že i po zaplnění všech tvarových dutin zůstane jádro kanálu tekuté, čímž je umožněno působení dotlaku na materiál v dutině.

Pro splnění všech těchto předpokladů se používají různé konstrukční úpravy vtokového systému:

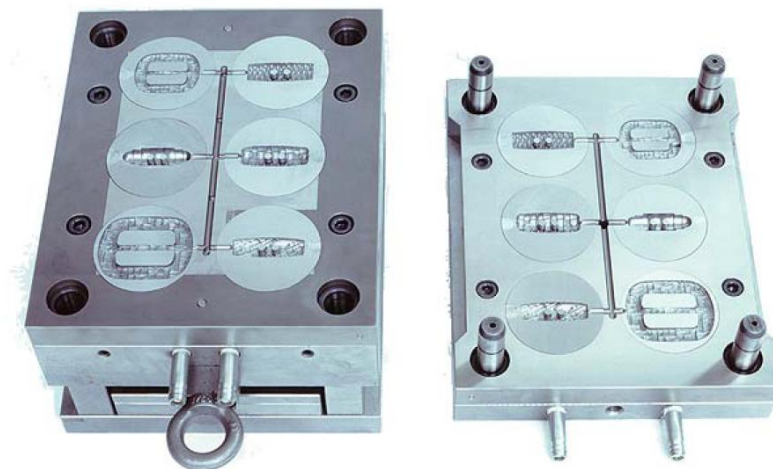
- zaoblení ostrých hran vtokových kanálů, minimální  $R=1$  mm,
- stanovit úkosy stěn kanálů, aby bylo umožněno vyhození vtokového zbytku, minimálně  $1,5^\circ$ ,

- leštění všech stěn vtokových kanálů ve směru úkosovitosti, drsnost povrchu  $Ra = 0,2$ ,
- vytvoření elementů pro zachycení chladného čela taveniny před jejím vstupem do dutiny formy, čímž se omezí povrchové vady výrobku,
- nenavrhopvat místa s velkým hromaděním materiálu. [3]

Vtokové ústí se vytvoří pomocí zúžení kanálu před vstupem do dutiny, čímž je zvýšena rychlost proudícího materiálu. To omezí tvoření povrchových defektů. Používají se různé typy vtokových ústí, některé jsou znázorněny na následujících obrázcích.



Obr. 13 Používané typy vtokových ústí [13]



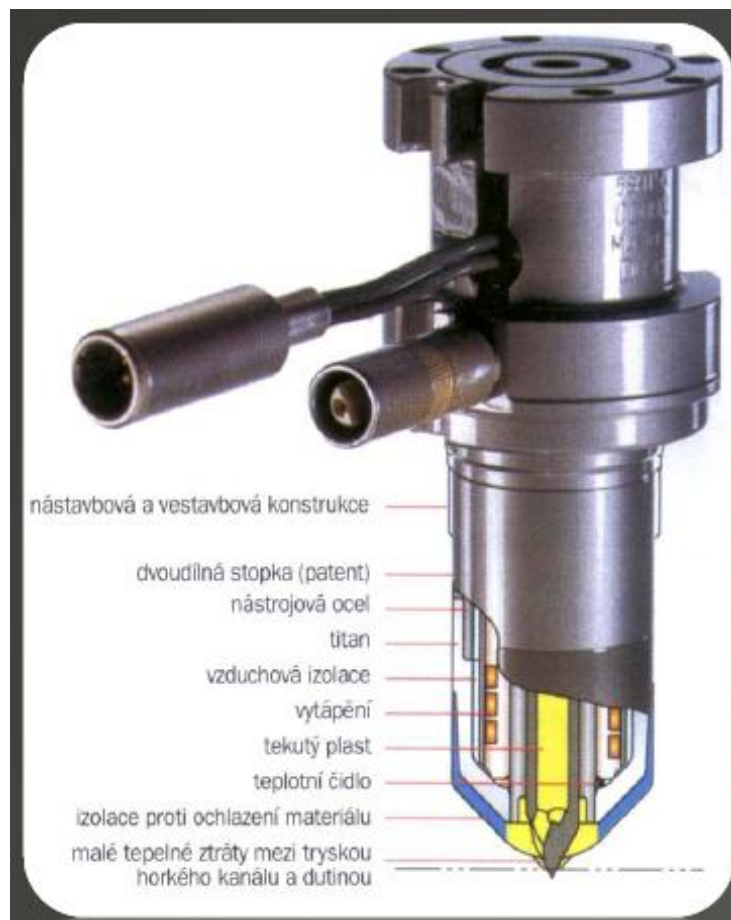
Obr. 14 Otevřená forma s pohledem na vtokový systém a tvarové dutiny [13]

### 3.3.2 Vyhříváné vtokové soustavy

Vyhříváné vtokové soustavy jsou druhou možností řešení vtokového systému. Největším rozdílem oproti studeným vtokům je ten, že nevzniká vtokový zbytek, čímž se uspoří materiál. Materiál proudí do dutiny formy vyhřívánou tryskou, která může být uzavíratelná z důvodu zamezení vytékání materiálu z ní.

VVS jsou podstatně náročnější na konstrukci, je nutno přidat topná tělesa a soustavu snímačů, což je oproti studeným vtokům prodražuje. Nicméně VVS jsou častým řešením, zejména pro své hlavní výhody:

- umožňují automatizaci výroby,
- zkracují výrobní cyklus,
- snižují spotřebu plastu (vstřikuje se bez vtokových zbytků),
- snižují se náklady na dokončovací práce s odstraňováním vtokových zbytků,
- odpadá manipulace a regenerace zbytků vtoku a problémy při jejich zpracování. [3]



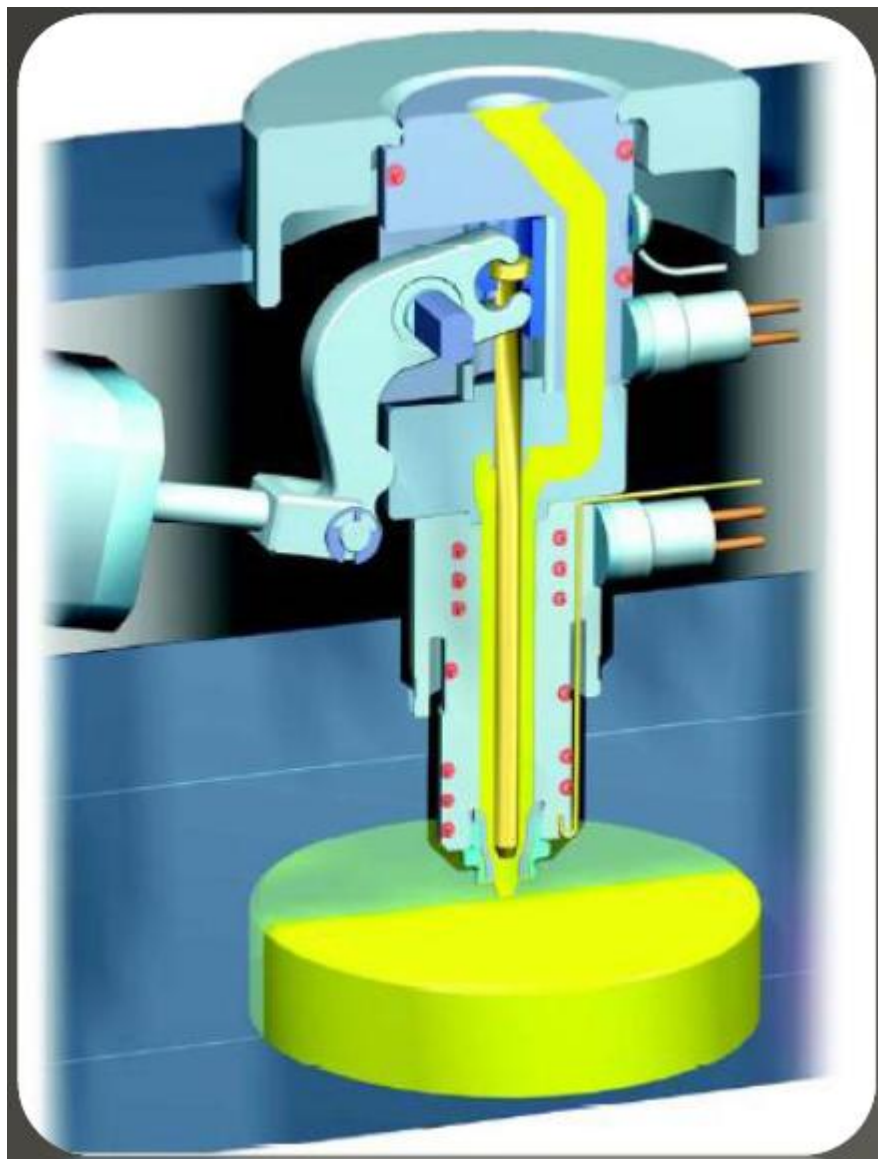
Obr. 15 Vyhříváná vtoková tryska [13]



Vyhřívané vtokové trysky mohou být uzavíratelné pomocí ocelové jehly. Uzavírání trysky se používá u materiálů táhnoucích vlas. Uzavírací jehla je značně namáhána, proto bývá vyrobena z velmi kvalitní nástrojové oceli (19 452) a kalena na výslednou tvrdost 54 HRC. Vůle v jejím vedení musí být velmi malá, používá se např. 0,015 mm.

Pro ovládání jehly se nejčastěji používá 2 systémů:

- ovládání pákou, které je řešeno pneumaticky nebo hydraulicky,
- ovládání pružinou, využívající poklesu tlaku po vstříknutí. [7]



Obr. 16 Vyhřívaná vtoková tryska ovládaná pákou [13]

Velmi často jsou v praxi používány tzv. rozvodné bloky, kdy se celá horká vtoková soustava uspořádá do jednoho bloku pro zjednodušení montáže na formu a následnou údržbu během provozu. Tyto rozvodné bloky dodává jako normalizované součásti řada výrobců, např. již zmiňovaná firma Hasco, Synventive, Günther.



*Obr. 17 Rozvodný blok firmy Hasco [13]*

### **3.4 Vyhazovací soustavy**

Vyhazovací systém slouží ve formě k vysunutí nebo vytlačení vyrobené součásti a vtokových zbytků z tvarové dutiny. Je nezbytnou součástí vstřikovací formy a zajišťuje automatický výrobní cyklus.

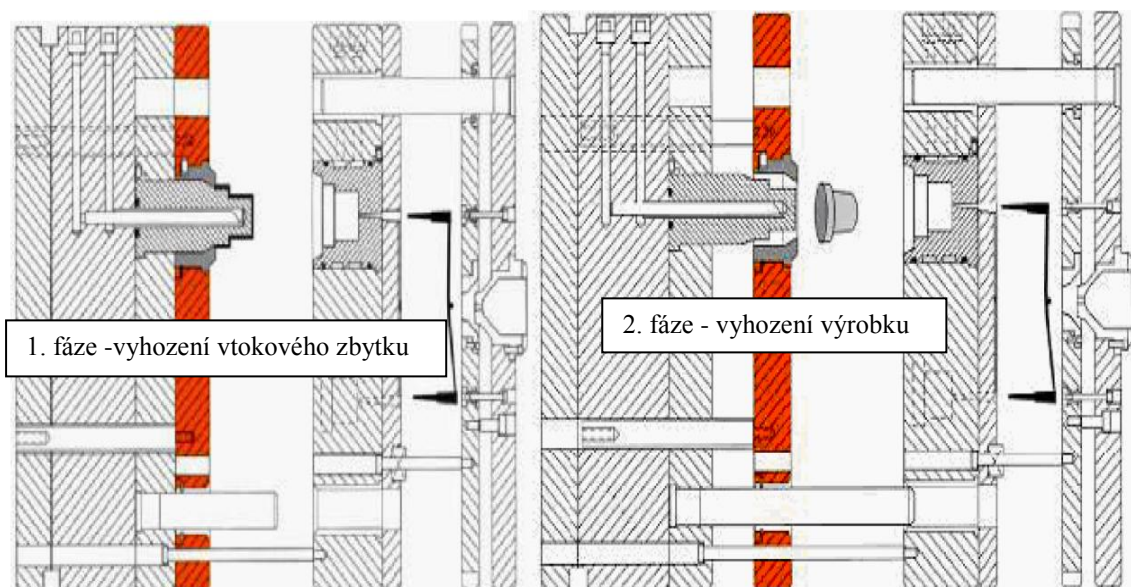
Fáze vyhazovacího cyklu:

- pohyb vpřed, slouží k vyhození výstřiku,
- pohyb zpět, zajišťuje navrácení vyhazovacího systému do původní pozice.

Pro dobrou funkci vyhazovací soustavy je opět nezbytně nutné dodržet některé zásady již při konstrukci vstřikované součásti. Povrch součásti musí být hladký a ve vyhazovaném směru je nutné udělat úkosy, které musí být větší než  $0,5^\circ$ . Při vysouvání výrobku toto musí probíhat rovnoměrně, aby nedošlo k jeho deformaci nebo dokonce zaseknutí v dutině formy. Vyhazovače mohou být umístěné v různých místech výrobku, podle toho, jak je to vhodné vzhledem ke konstrukci a funkci systému. Mohou být součástí tvarové dutiny. Na povrchu výrobku ovšem zůstávají po vyhazovačích otisky, což u pohledových dílů limituje jejich umístování. Během vyhazování celého výrobku je vyhazován také vtokový zbytek po studené vtokové soustavě. Ten je možné již ve fázi vyhazování oddělit vhodnou konstrukční úpravou od výrobku, což uspoří výrobní čas a náklady. [4]

Jako nejrozšířenější se používá mechanické vyhazování. Existuje několik provedení mechanického vyhazovacího systému. Používají se následující řešení:

- vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků,
- vyhazování pomocí stírací desky nebo trubkových vyhazovačů,
- vyhazování pomocí šikmých vyhazovačů,
- postupné vyhazování. [4]



Obr. 18 Vyhazování pomocí stírací desky – 2 fáze [3]

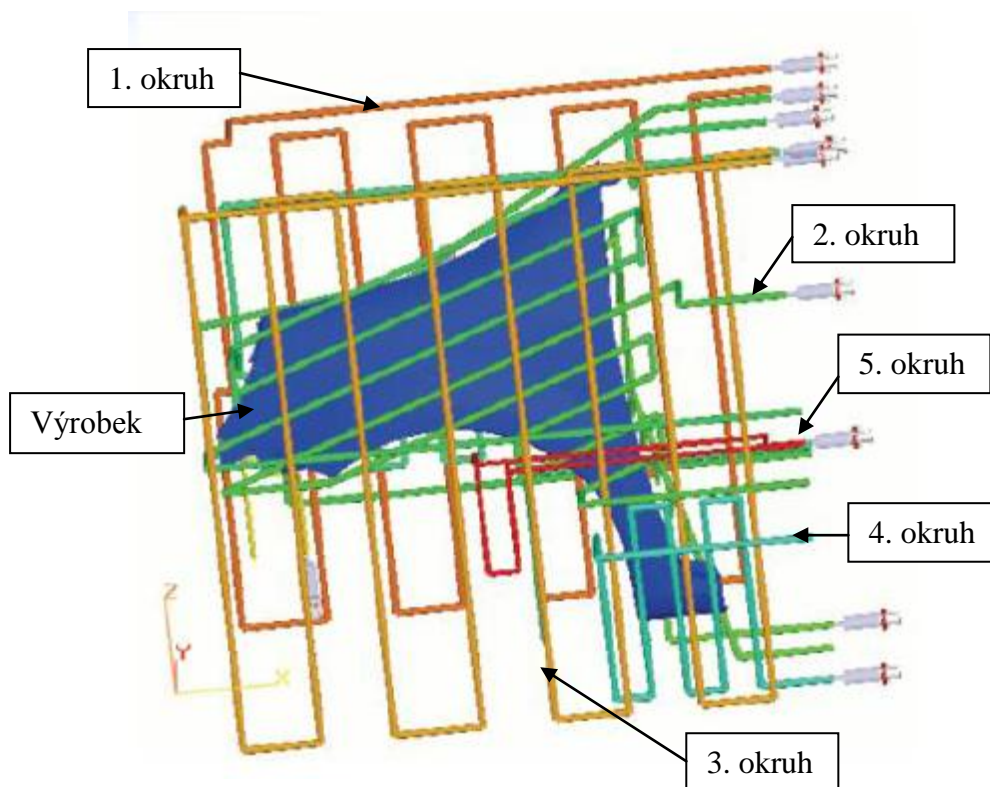
### 3.5 Temperační systém vstřikovací formy

Při vstřikovacím procesu může docházet k vzniku různých vnitřních pnutí a deformací výsledného výrobku. Největší vliv na vlastnosti výrobku a jeho deformace má temperační systém a jeho uspořádání. Tento systém také hodně ovlivňuje dosahované doby chlazení, potažmo celého cyklu.

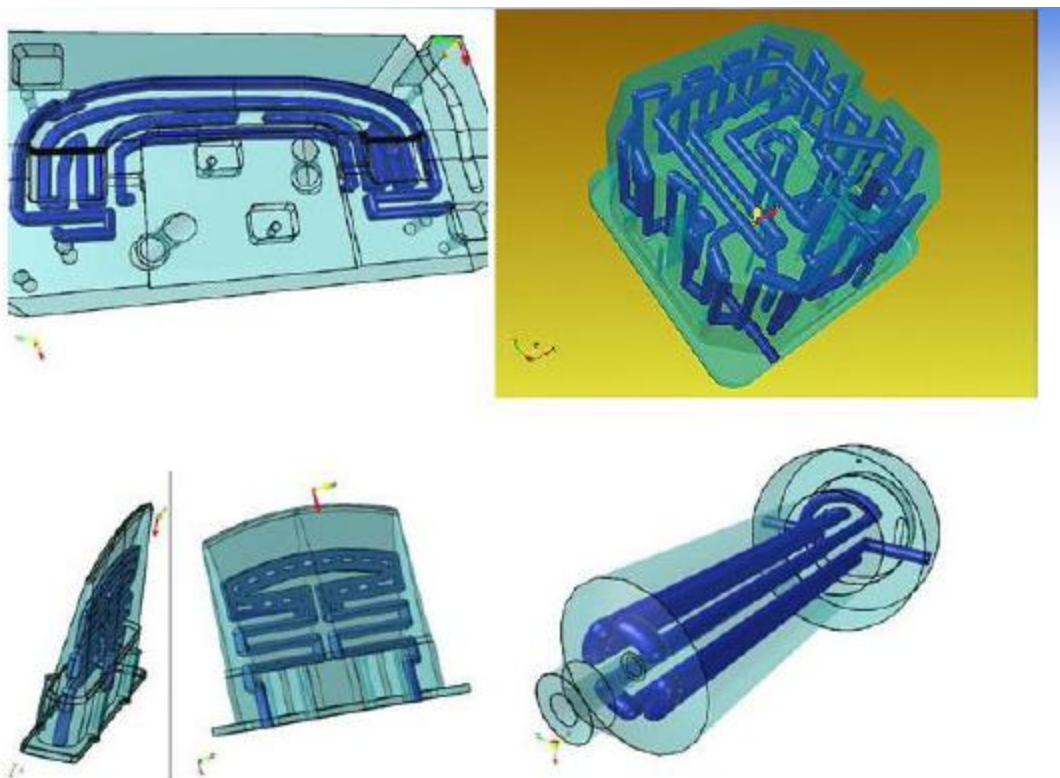
Přesto ani v současné době stále neexistují teoretické podklady pro navrhování optimálního tvaru a průřezu temperačního systému. Celý problém je dále násoben značnou variabilitou používaných polymerních materiálů a vyráběných výstřiků. Nejčastěji konstruktér vychází ze svých zkušeností a citu, vždy jde o určitý kompromis mezi požadavky kladebnými na temperaci formy a reálnými možnostmi její realizace s ohledem na umístění ostatních funkčních prvků formy. Pro správné navržení temperačních okruhů jsou tedy nutné určité teoretické znalosti.

V současné době je proces konstrukce temperačního systému velmi ulehčen existencí simulačního software pro analýzu a optimalizaci navržené temperační soustavy, jako je např. Moldflow nebo Cadmould. Nejdůležitějším požadavkem, který se kontroluje, je požadavek na rovnoměrné chlazení po celém průřezu a tvaru výrobku, což zajistí minimalizaci vznikajících vnitřních pnutí, deformací, rozdílů ve smrštění, vzhledu výrobku a povrchových vad. Temperační systém má větší vliv na semikrystalické materiály oproti amorfním. Velmi důležité je zachování doporučené teploty formy pro použitý materiál, který předepisuje výrobce materiálu.

Během konstrukce formy je nutno již od začátku uvažovat s temperační soustavou, čímž se konstruktér vyhne pozdějším problémům například kvůli nedostatku místa ve formě. Velmi důležité je také, aby forma měla dostatečnou hmotnost, která působí nejenom na zmenšení mechanických deformací během vstřikovacího cyklu, ale také zvyšuje tepelnou stabilitu formy. Nedostatečná tepelná stabilita formy způsobuje problémy především při přerušení výroby mezi jednotlivými cykly. Vhodné je také používání izolačních desek pod upínacími deskami, které snižuje odvod tepla do konstrukce vstřikovacího stroje a dále zvyšuje stabilitu formy. Tento požadavek je velmi důležitý především v případě použití vyhřívaných vtokových systémů, kdy se dosahují vyšší teploty forem. [2]



Obr. 19 Víceokruhový temperační systém pro výrobu plastového blatníku [13]



Obr. 20 Další příklady používaných temperačních systémů [13]

### 3.6 Odvzdušnění forem

Odvzdušňovací systém formy je velmi důležitou součástí každé vstříkovací formy. Je díky němu zajištěn únik vzduchu, který je před vstříknutím materiálu přítomen v dutině formy a také únik zplodin vznikajících při chladnutí taveniny. Při uzavření vzduchu v dutině bez možnosti jeho úniku, dojde k jeho adiabatickému stlačení a prudkému nárůstu teploty. Existuje pak velké riziko spálení povrchu materiálu dílce, kdy povrch poté vykazuje tmavé skvrny. Navíc dochází k velkému tepelnému a tlakovému působení na formu se všemi negativními jevy z toho plynoucími. Část uzavřeného vzduchu většinou může z formy uniknout přes netěsnosti dělicí roviny a mezi jinými pohyblivými částmi. Pokud to nestačí, musí být na formě vyrobeny odvzdušňovací kanálky.

Jako odvzdušnění se v dělicí rovině vytvoří malá drážka obdélníkového průřezu. Ten musí být navržen tak, aby zajistil spolehlivý odvod plynů z dutiny formy, ale zároveň nesmí docházet k zatékání plastu do ní a vzniku přetoků. Hloubka drážek se většinou pohybuje v rozmezí 0,005-0,05 mm a šířka se volí dle požadavků na odvzdušnění. Vliv má také použitý materiál výrobku, záleží zde především na jeho viskozitě. [4]

## 4 MATERIÁLY POUŽÍVANÉ K VÝROBĚ FOREM

Materiál vstřikovací formy je jedním z významných faktorů, které ovlivňují dosaženou kvalitu vyrobeného vstřikovaného dílu. Materiál se vždy volí podle známých procesních podmínek vstřikování, které jsou určeny následujícími faktory:

- druh vstřikovaného materiálu,
- přesnost vstřikovaného výrobku,
- podmínky vstřikování,
- vstřikovací stroj.

Materiál formy tedy musí být dostatečně kvalitní, aby umožňoval vyrábět se zadanou přesností a forma měla dobrou životnost, zároveň přitom nesmí být opomenuto ani ekonomické hledisko pro výrobu formy. Musí být vždy použity optimálně zvolené materiály tak, aby byly všechny požadavky bezproblémově splněny. Používají se především následující materiály:

- oceli vhodných jakostí,
- neželezné slitiny kovů (Cu, Al, atd.),
- ostatní materiály (izolační, tepelně nevodivé, aj.).

Nejvíce používaným materiálem na výrobu forem jsou stále oceli. Doposud neexistuje materiál, který by byl schopen jejich pevnost a ostatní mechanické vlastnosti dokonale nahradit. Vhodně zvolené oceli podle požadovaných vlastností a části formy se často ještě dále tepelně upravují. Dále se používá celá řada dalších materiálů, jako jsou izolační materiály pro izolační desky. Vždy je při výběru materiálu nutné uvažovat funkci součásti ve formě a je nutné vybrat materiál s ohledem na požadovanou životnost.

Je nutné, aby všechny materiály forem splňovaly dvě základní podmínky, a to:

- dostatečná mechanická pevnost,
- dobrá obrobiteľnosť.

Dále je nutno splnit pro technologii vstřikování specifické požadavky na strukturu výstřiků, která je ovlivněna ponejvíce:

- dobrou leštitelností a obrousitelností,
- zvýšenou odolností proti otěru,
- odolností proti korozi a chemickým vlivům plastu,
- vyhovující kalitelností a prokalitelností,
- stálostí rozměrů a minimální deformacemi při kalení,
- vhodnými fyzikálními vlastnostmi. [4]

#### 4.1 Používané druhy ocelí

Současný vývoj směřuje k používání univerzálních druhů ocelí, které mají velmi rozmanitý rozsah vlastností a dokážou plnit většinu požadavků výroby na nástrojový materiál. Pro výrobu forem se v současnosti používají především oceli z následujících skupin:

- oceli konstrukční k použití v přírodním i zušlechtěném stavu,
- oceli k snadnému opracování a tváření, pro cementování a zušlechtování,
- oceli uhlíkové k zušlechtování,
- oceli nástrojové legované se sníženou i velkou prokalitelností a odolností proti otěru,
- oceli k nitridování,
- oceli antikorozi. [4]



## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cíle diplomové práce odpovídají zadání, jehož originál je na začátku práce. Nejdříve byla vypracovaná literární studie o vstřikovacích formách, tvořící teoretickou část práce.

Zadaným výrobkem je plastový držák střešní antény osobního automobilu, který je konstrukčně řešen jako vstřikovaný dílec z materiálu označovaného jako termoplastický vulkanizát PP+EPDM (dále jen TPV). Funkci přenašeče anténního signálu a zároveň upevňovacího prvku tvoří kovový odlitek, spojený se zacvaknutým šroubem a plastovou podložkou, který je zastříknut během vstřikovacího cyklu. Tento polotovár je nakupován od externího dodavatele.

V současné době používaná vstřikovací forma je 8-násobná, s využitím rozvodného bloku a 2 vyhřívaných trysek. Z každé této trysky je materiál dále rozváděn soustavou studených vtokových kanálů do jednotlivých tvarových dutin, čímž vzniká dost velký vtokový zbytek, dále nepoužitelný pro výrobu. Tento odpad nejen že prodražuje celkovou výrobu, ale také způsobuje problémy při svém skladování a likvidaci, neboť výroba probíhá ve velkých objemech ve dvousměnném provozu.

Diplomová práce se v praktické části zabývá návrhem konstrukční úpravy současné vstřikovací formy, spočívající ve výměně současné horké vtokové soustavy za soustavu novou, s větším počtem horkých trysek. Původním záměrem byla úplná eliminace vtokových zbytků za použití 8 vyhřívaných trysek, nicméně tato úprava není možná z rozměrových důvodů. Proto byla navržena přestavba za použití rozvodného bloku se 4 vyhřívanými tryskami, umožňující snížit objem odpadu o více než polovinu oproti současnému stavu. Veškerá konstrukce formy byla provedena v programu Catia V5R18 (dále jen Catia). Dále jsou provedeny analýzy vstřikovacího procesu na současné a upravené formě, se srovnáním hlavních odlišností a výhod nově navrženého řešení. Pro tyto analýzy byl využit simulační software Autodesk Simulation Moldflow Synergy 2013 (dále jen Moldflow). V závěru práce je provedeno porovnání výhod a nevýhod navržené úpravy a vypočítáno celkové ekonomické zhodnocení. V přílohách práce jsou 3D modely z programu Catia, analýzy v Moldflow a základní výkresová dokumentace.

## 5.1 Zvolený vstříkovaný výrobek



*Obr. 21 Držák antény osobního automobilu – vstříkovaný výrobek*

V tabulce 2 jsou uvedeny nejdůležitější údaje o zvoleném vstříkovaném výrobku, včetně jeho základních rozměrů a materiálu. Detailní výkres s přesnými rozměry není uveden z důvodu jeho vlastnictví zákazníkem.

*Tab. 2 Základní údaje o zvoleném výrobku*

NÁZEV VLASTNOSTI	POPIS
MAXIMÁLNÍ DÉLKA DRŽÁKU ANTÉNY	43,70 [mm]
MAXIMÁLNÍ ŠÍŘKA DRŽÁKU ANTÉNY	39,20 [mm]
MAXIMÁLNÍ VÝŠKA BEZ ZÁSTŘIKU	27,50 [mm]
MAXIMÁLNÍ VÝŠKA SE ZÁSTŘIKEM	41,10 [mm]
MATERIÁL PLASTOVÉ ČÁSTI	Santoprene 123-50 (PP+EPDM)
MATERIÁL TĚLA ZÁSTŘIKU	Mosazná slitina
MATERIÁL ZÁVITOVÉ ČÁSTI	Ocel
OBJEM PLASTOVÉ ČÁSTI	5,65[cm <sup>3</sup> ]

Detailní informace o materiálu vstříkovaného výrobku jsou v příloze práce, kde je materiálový list s podrobnými parametry.

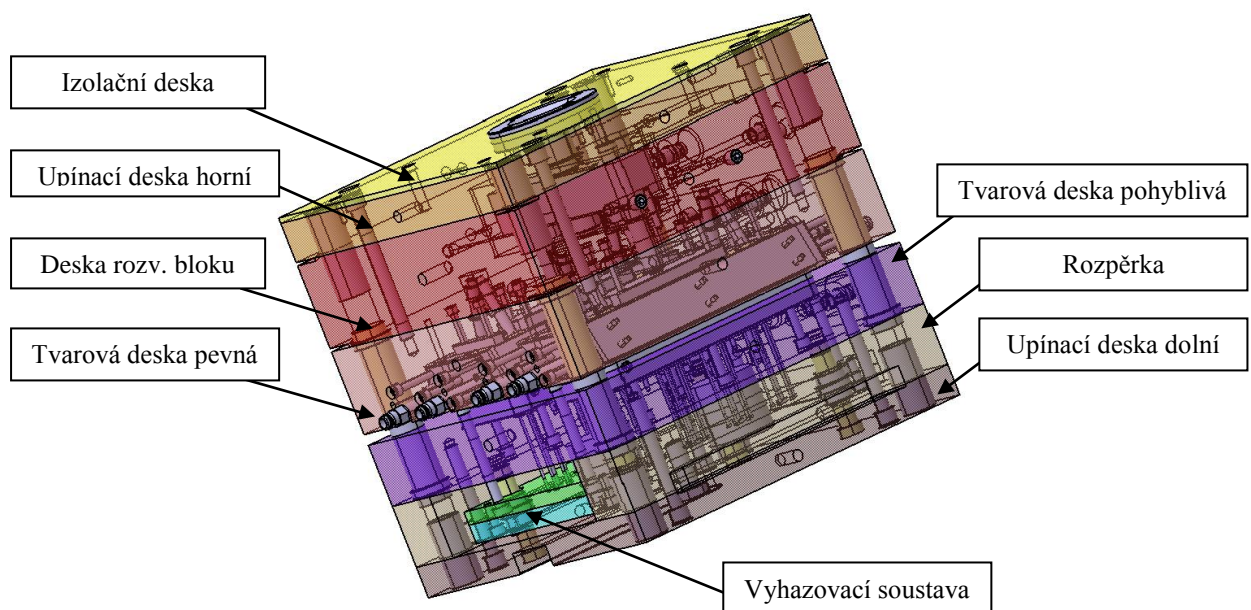
## 6 POPIS SOUČASNÉ VSTŘIKOVACÍ FORMY

V současné době používaná vstřikovací forma pro anténní držák osobního automobilu je s ohledem na využití zastříknutých kovových insertů navržena a vyrobena pro použití na vertikálním vstřikovacím stroji. Tomu odpovídá její základní koncepce, kdy spodní polovina je pohyblivou stranou s vyhazovacím systémem a tvárníky. Horní polovina je pevnou stranou s vtokovou soustavou a tvárníci. Toto řešení je zvoleno především s ohledem na možnost dobrého zakládání insertů do tvarové dutiny, kdy při použití horizontálního vstřikovacího stroje by docházelo k vypadávání insertů a riziku poškození vstřikovací formy.

Forma pro anténní držák je tvořena sestavou 7 desek, s rozměrem 330 x 360 mm o různých šířkách desek. Na horní pevné straně je použita izolační deska, pro zamezení odvodu tepla do rámu vstřikovacího stroje. Na straně pohyblivé již tato deska použita není.

Vyhazovací soustavu tvoří sestava 2 desek s ukotvenými vyhazovači, pohybující se po 2 vodících čepech. Místo pro vyhazovací soustavu je vymezeno s použitím 2 rozpěrek mezi deskami.

Pro ukotvení formy na vstřikovací stroj slouží na pevné straně formy díry se závitem, vyvrtané v horní upínací desce, do kterých jsou přišroubovány kotvící šrouby od stroje. Strana pohyblivá je přichycena pomocí ocelových upínek, pro něž jsou vyfrézovány drážky na bocích rozpěrek.

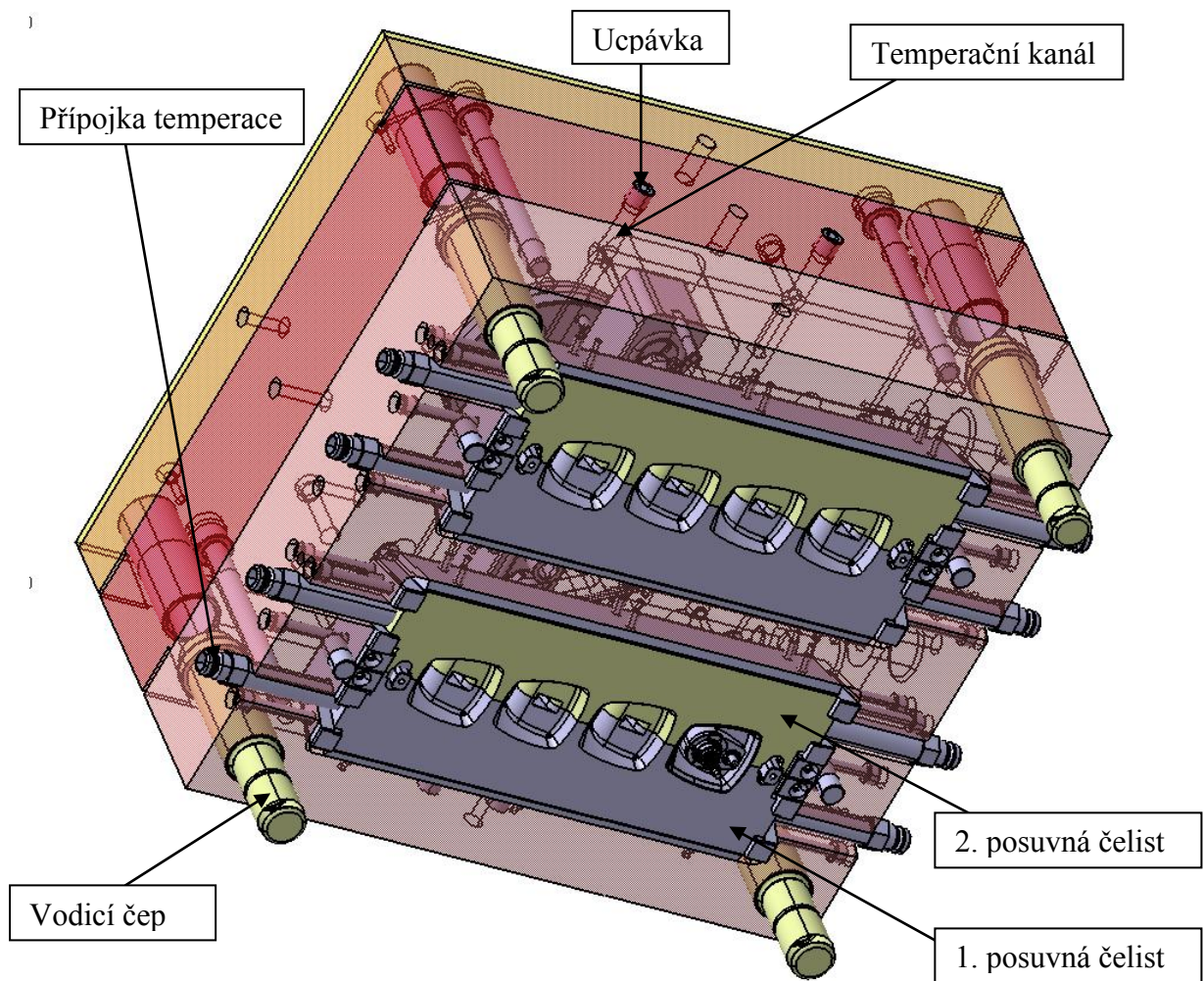


Obr. 22 Celkový pohled na současnou vstřikovací formu

## 6.1 Pevná strana formy

### 6.1.1 Obecný popis pevné strany formy

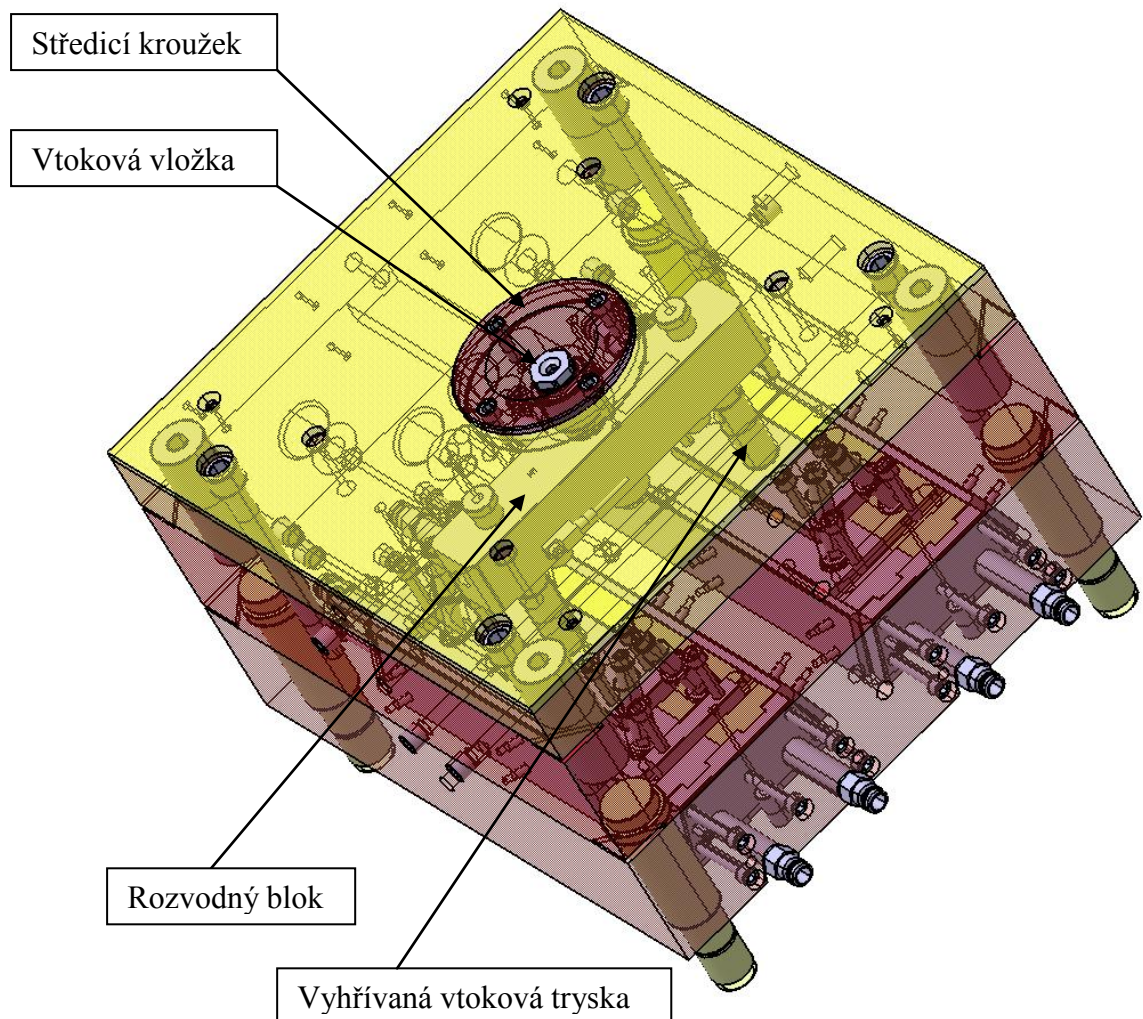
Pevná strana formy tvoří větší a složitější polovinu. Je v ní upevněna jedna polovina tvarového jádra, složená z posuvných čelistí, vedených šikmými čepy. Dále obsahuje vyhřívanou vtokovou soustavu s rozvodným blokem a temperačními kanály. Na obrázku je celkový pohled na sestavu pevné strany.



Obr. 23 Pohled na současnou pevnou stranu formy ze strany dělicí roviny

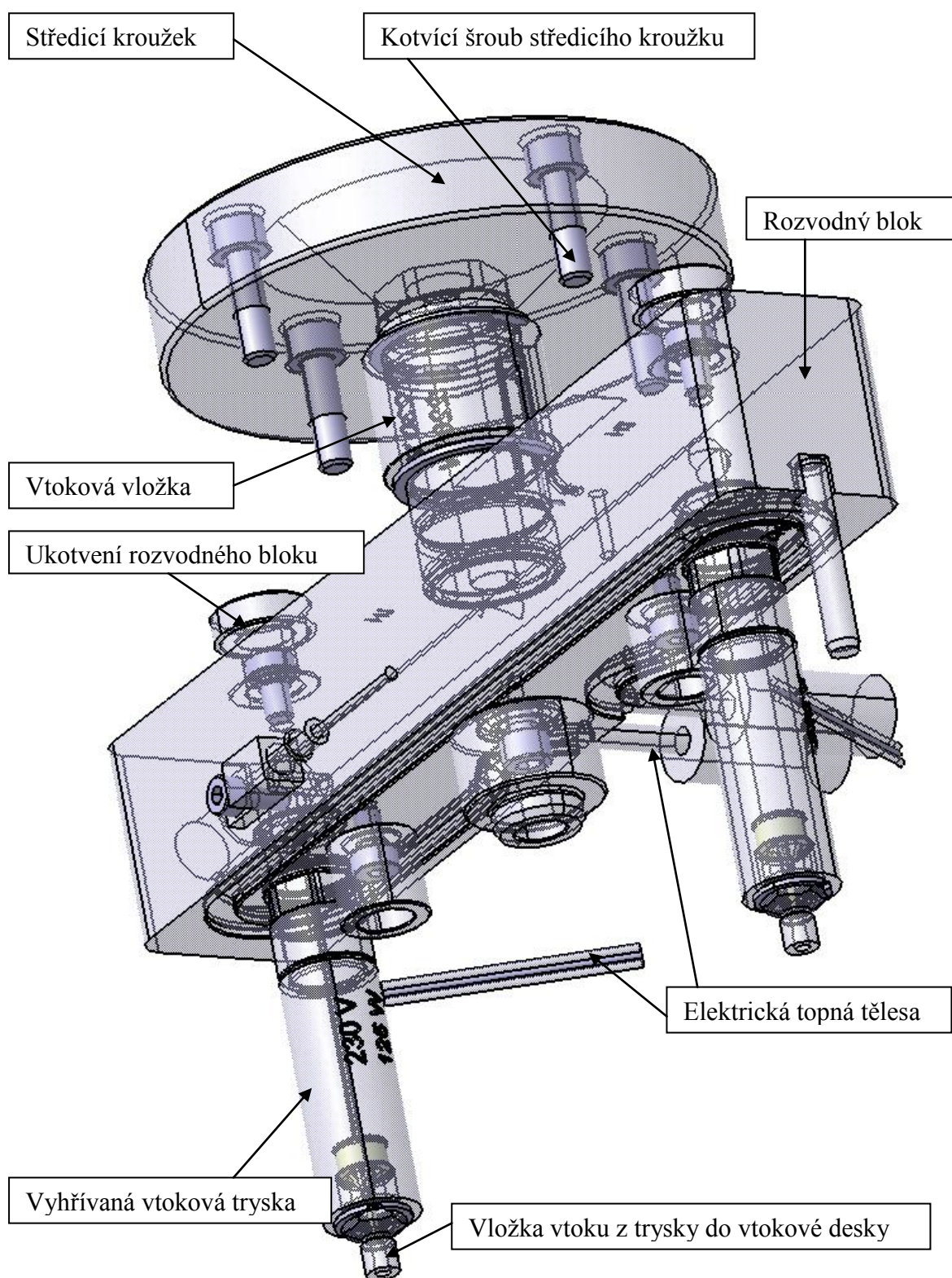
Nejtenčí a nejjednodušší deskou je deska izolační, která slouží pouze k eliminaci odvodu tepla do rámu vstřikovacího stroje. Následuje deska upínací, se závitovými dírami pro uchycení na stroj. Na upínací desce je také našroubován středící kroužek se vtokovou vložkou, na níž dosedá tryska vstřikovacího stroje. Poté následuje deska rozvodného bloku, ve které je umístěn samotný vytápěný rozvodný blok. Z rozvodného bloku vyústí 2 vyhřívané trysky, sloužící k zásobování tvarových dutin.

Na obrázku č. 24 je znázorněno umístění současné vtokové soustavy v pevné části formy.



*Obr. 24 Současná pevná strana formy – pohled ze strany trysky stroje*

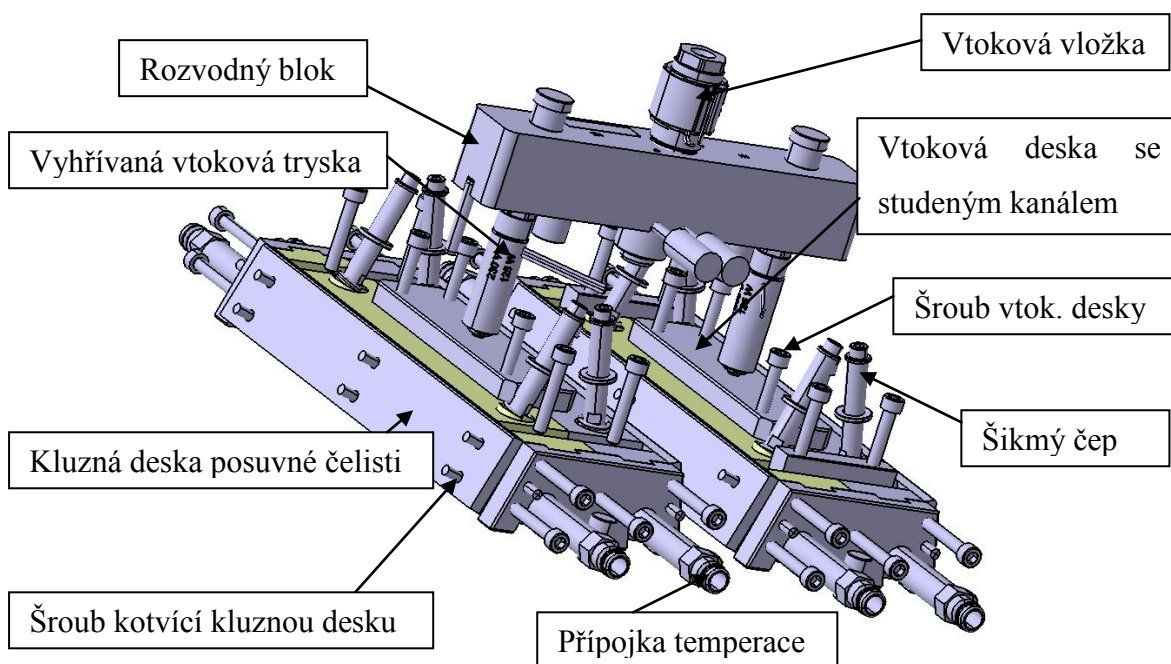
Na dalším obrázku je znázorněno současné řešení vyhřívání vtokové soustavy, použité pro rozvod taveniny. Pro každou tvarovou sestavu s 4 výrobky je tavenina dopravována jednou vyhříváním tryskou. Vyhřívání tryska vstříkne taveninu do vtokové desky, ze které tavenina dále proudí studenými kanály dále do všech dutin. Schéma navazující studené části vtokové soustavy je probráno v dalších kapitolách. Velkou nevýhodou současného řešení je vznik poměrně velkého materiálového odpadu v podobě vtokových zbytků, který při současných objemech výroby působí další problémy při skladování a likvidaci.



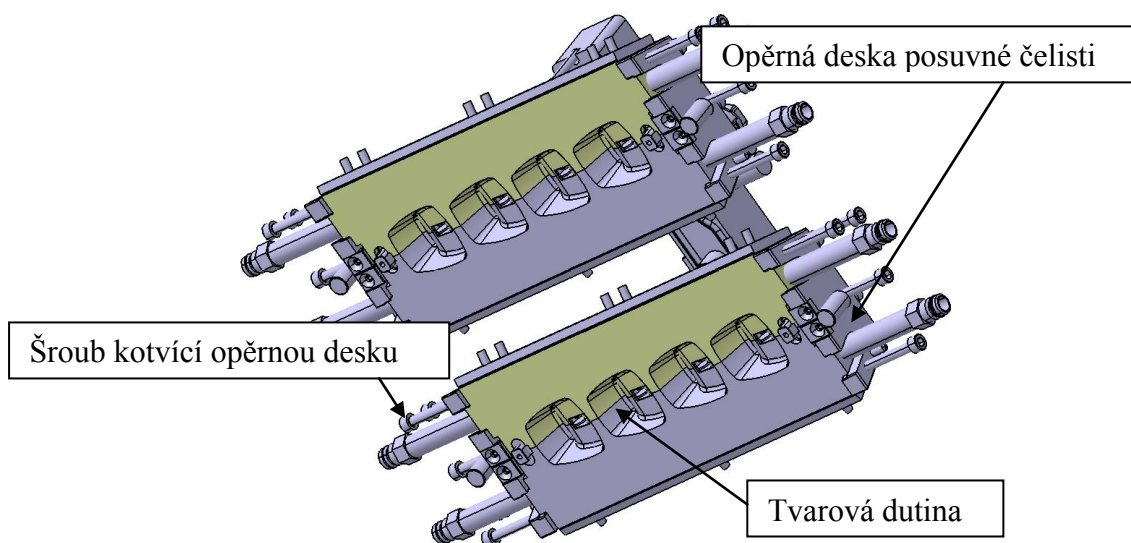
Obr. 25 Současná vyhříváná vtoková soustava Synventive

### 6.1.2 Popis sestavy tvárnice

Tvarovou část v pevné straně formy tvoří 2 sestavy tvárnice, vždy se 4 tvarovými dutinami. Každá tato sestava je složena z 2 pohyblivých posuvných čelistí, vedených po šikmých čepch s pružinou. Při otevřené formě jsou tyto čelisti v rozevřeném stavu a umožňují tak vyhození výstřiků a opětovné vložení insertů pro další vstřikovací cyklus. Teplotní systém zde prochází přímo přes posuvné čelisti a je tvořen vrtanými kanály kruhového průřezu, umístěnými v těsném okolí tvarových dutin.



Obr. 26 Pohled shora na tvarové posuvné čelisti se soustavou horkých vtoků



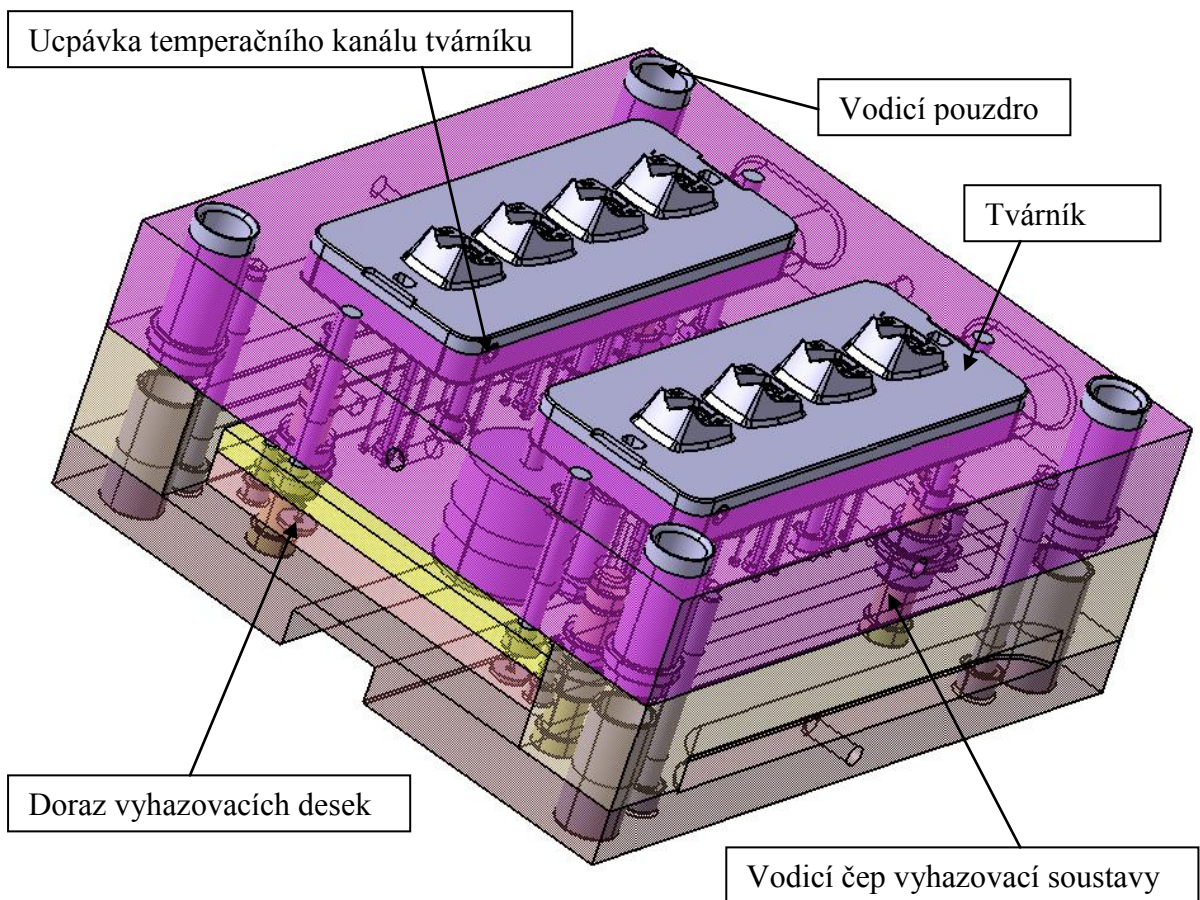
Obr. 27 Pohled zespoda na tvarové posuvné čelisti



## 6.2 Pohyblivá strana formy

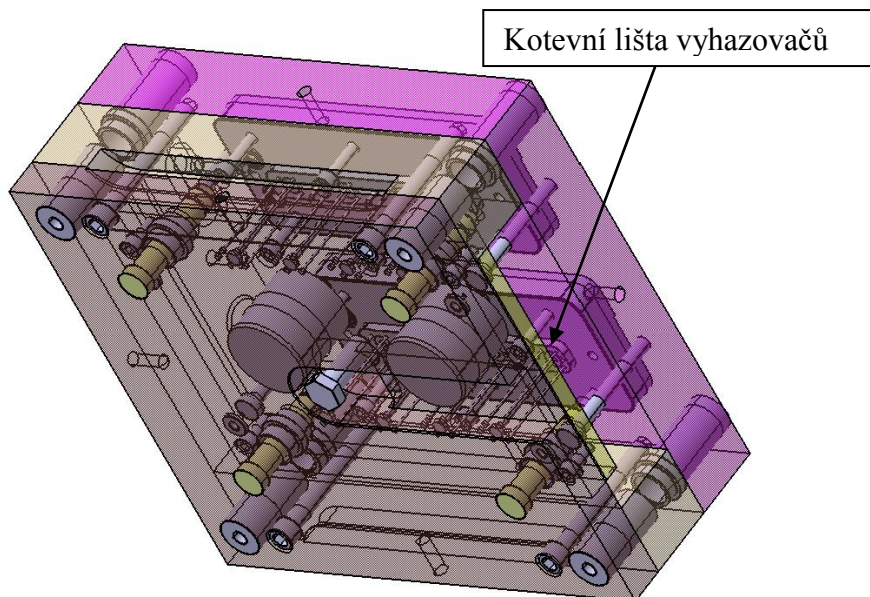
### 6.2.1 Obecný popis pohyblivé strany formy

Pohyblivá strana formy je složena především ze spodní kotevní desky, vyhazovací soustavy a tvarové desky se sestavou dvou tvárníků, formujících spodní strany výrobků. Pro vymezení prostoru nutného pro vyhazovací systém slouží 2 ocelové rozpěrky. Pohyblivá strana je jednodušší a temperační systém zde prochází pouze tvárníky. Celá pohyblivá strana formy je na dalším obrázku.



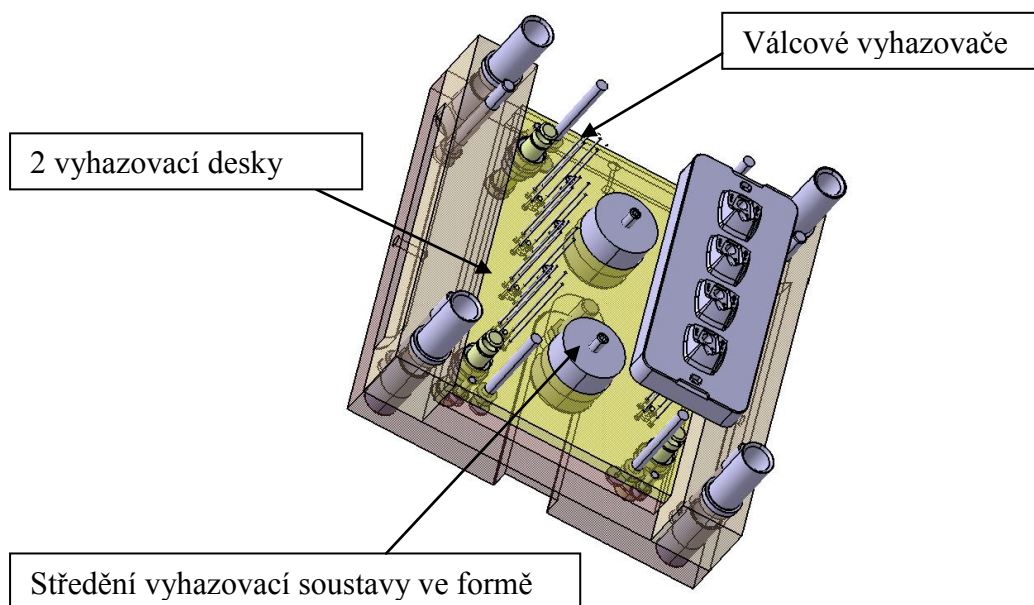
Obr. 28 Pohled shora na pohyblivou stranu formy

Na dalším obrázku je znázorněna pohyblivá strana, pro větší názornost také ještě v pohledu zespodu. Na tomto pohledu je zvýrazněna kotevní lišta, sloužící k uchycení kratších vyhazovačů.



Obr. 29 Pohled zespoda na pohyblivou stranu formy

Samostatný vyhazovací systém je znázorněn na následujícím obrázku. Každý z 8 výstřiků je vyhazován celkem 5 vyhazovači, což zajišťuje optimální vyhození z tvarové dutiny bez ovlivnění nebo poškození tvaru výrobku. Jak je vidět na obrázku č. 30, z těchto vyhazovačů 4 jsou ukotveny přímo do kotevní desky vyhazovačů, 1 kratší vyhazovač je přišroubován ke kotevní liště, která není přímo spojena s kotevní deskou vyhazovačů. Pohyb vyhazovacího systému je zajištěn přes šroub, zašroubovaný do středu kotevní desky a uchycený k odjížděcí jednotce stroje.



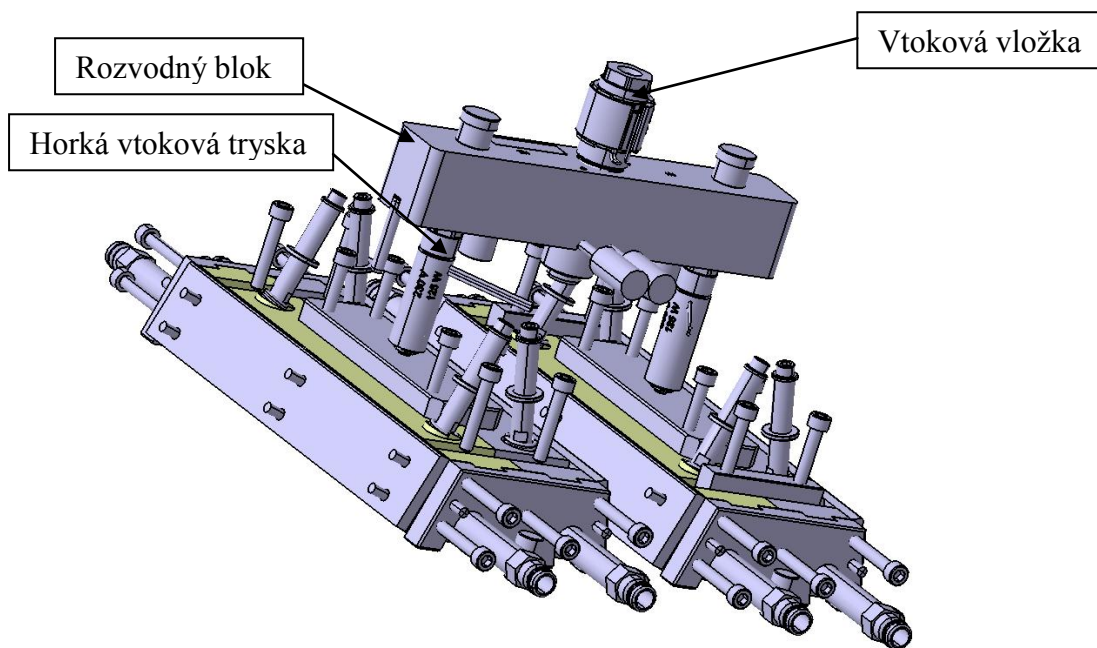
Obr. 30 Vyhazovací systém současné formy

Nedílnou součástí pohyblivé strany, tvořící tvarovou dutinu pro výrobky, je zde sestava 2 tvárníků. Tyto tvárníky jsou přišroubovány do tvarové desky, a opatřeny temperačními kanály. Chladící medium je přiváděno pomocí standardizovaných náustků.

### 6.3 Původní forma – vtoková a temperační soustava

#### 6.3.1 Původní horká vtoková soustava

Původní vyrobené řešení horké vtokové soustavy je schematicky znázorněno na obrázcích níže. Sestává z horkého rozvodného bloku a soustavy 2 vyhřívaných trysek, kolem kterých je ještě dále umístěn temperační okruh. Jeden okruh je také umístěn okolo rozvodného bloku. Zvolené řešení je v katalogové nabídce výrobce vtokových soustav Synventive.



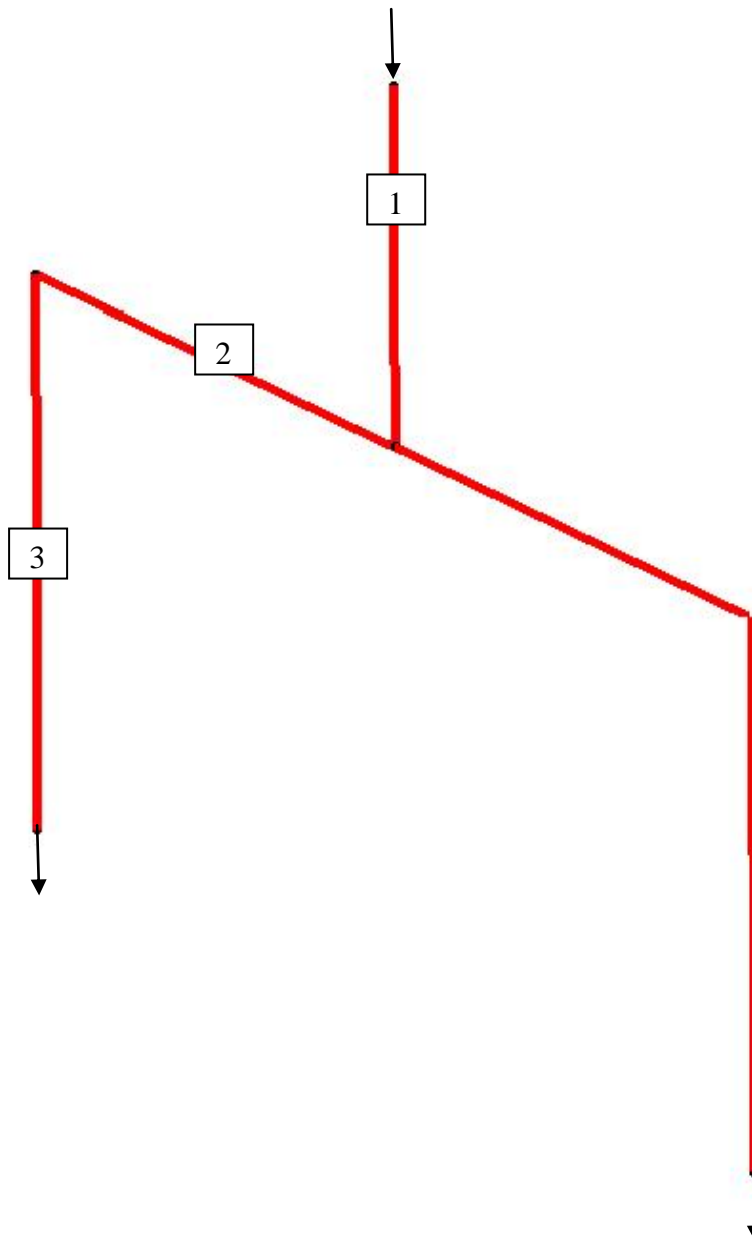
Obr. 31 Pohled na současnou horkou vtokovou soustavu

V tabulce č. 3 je uveden přehled základních rozměrů původního rozvodného bloku, průřezy jeho kanálů a délky horkých vtokových trysek. S ohledem na poznatky z technologie vstřikování termoplastů, byla celá koncepce vtokového systému zvolena vytápěná. Sestává z horké vtokové vložky, horkého rozvodného bloku tvaru I a soustavy 2 externě vytápěných vtokových trysek.

Tab. 3 Rozměry a geometrie původního horkého vtokového systému

NÁZEV SOUČÁSTI	GEOMETRIE ELEMENTU	ROZMĚRY [mm]
1. HORKÁ VTOKOVÁ VLOŽKA	VÁLEC	ØD = 8; L = 60
2. HORKÝ ROZVODNÝ KANÁL	VÁLEC	ØD = 8; L = 140
3. HORKÁ VTOKOVÁ TRYSKA	VÁLEC	ØD = 6; L = 92,5

Níže na obrázku č. 32 je vyobrazeno schéma původního horkého vtokového systému.

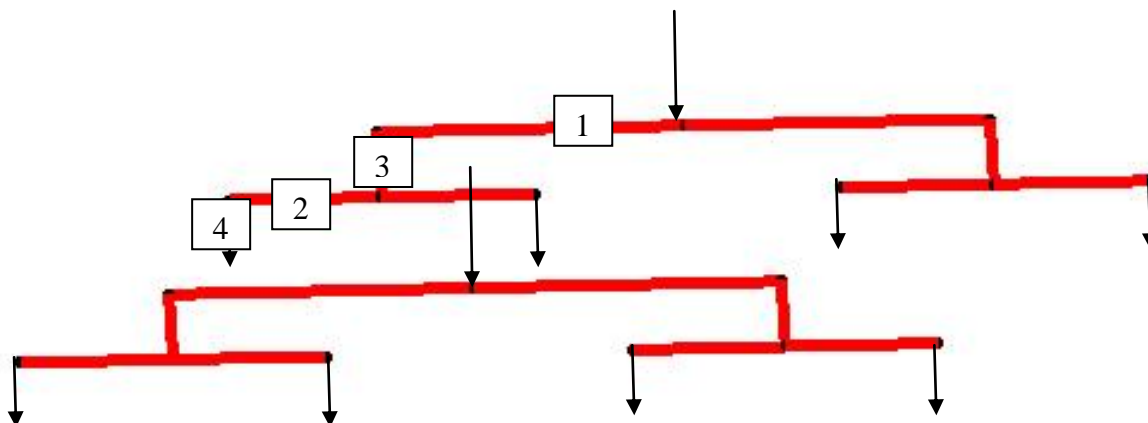


Obr. 32 Trajektorie současného horkého vtokového systému

### 6.3.2 Původní studená vtoková soustava

Následující obrázek ukazuje původní řešení studené vtokové soustavy. Pro formu byla zvolena kombinace horké vtokové soustavy se dvěma okruhy studených rozvodných kanálů a 8 studenými vtokovými ústími. Toto řešení bylo považováno za výrobně jednoduché a finančně výhodné. Nicméně během sériové výroby na formě se ukázalo jako nevhodné z hlediska odpadového hospodářství a ztrát materiálu na vtokových zbytcích.

Horní kanál má větší průřez než spodní dvě větve, což odpovídá zásadě o odstupňování průřezu vtokových kanálů. V rozích spodních větví jsou umístěna kuželovitá vtoková ústí, což není z obrázku příliš patrné.



Obr. 33 Trajektorie současného studeného vtokového systému

V tabulce jsou uvedeny základní tvary a rozměry původní studené části vtokové soustavy.

Tab. 4 Rozměry a geometrie původní studené části vtokové soustavy

NÁZEV ČÁSTI	GEOMETRIE	ROZMĚRY [mm]
1. HORNÍ OKRUH	VÁLEC	$\text{ØD} = 5; L = 100$
2. DOLNÍ OKRUH	VÁLEC	$\text{ØD} = 3,5; L = 50$
3. PROPOJOVACÍ KANÁL	VÁLEC	$\text{ØD} = 4; L = 5$
4. VTOKOVÉ ÚSTÍ	KUŽEL	$\text{Ø} = 2; \text{Ød} = 1,5; L = 2$

### 6.3.3 Původní temperační systém

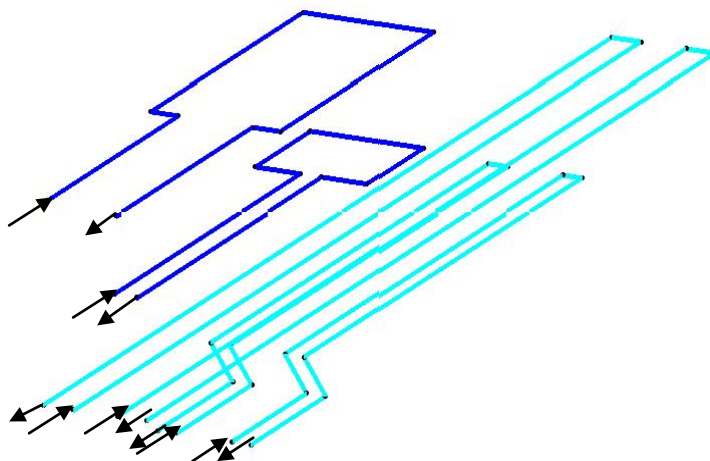
Dále následuje popis na současné formě používaného temperačního systému. Chlazení tvarových sestav formy tvoří 2 okruhy pro levou a pravou stranu formy v oblasti tvárníků a další 2 okruhy pro levou a pravou stranu v oblasti tvárnice. Vzhledem k malým objemům vstřikovaného materiálu bylo toto řešení považováno za dostatečné. Dostatečnost tohoto řešení byla také potvrzena praktickými zkušenostmi z výroby, kdy nedocházelo k problémům z důvodu nevhodné temperance. Dále jsou použity ještě 2 temperační okruhy pro horký vtokový systém, jeden je použit pro temperaci horkých vtokových trysek, druhý pro temperaci samotného rozvodného bloku

Tab. 5 Rozměry a geometrie původního temperačního systému

NÁZEV ČÁSTI	GEOMETRIE	ROZMĚRY [mm]
TEMPERACE TVÁRNÍKU	VÁLEC	ØD = 8, L = 600
TEMPERACE TVÁRNICE	VÁLEC	ØD = 8, L = 880
TEMPERACE TRYSEK	VÁLEC	ØD = 10, L = 730
TEMPERACE ROZV. BLOKU	VÁLEC	ØD = 10, L = 770

Temperačním médiem je čistá voda, obě strany jsou temperovány na teplotu 55°C, proudící v okruhu pod tlakem 5 bar.

Na obrázku č. 34 je opět se schematicky znázorněno původní řešení temperační soustavy. Světle modrou barvou je znázorněna temperace kolem tvárníků a tvárnice formy, tmavě modrou barvou je vyobrazeno temperování vtokových trysek a rozvodného bloku.



Obr. 34 Trajektorie současného temperačního systému

Celý temperační systém původní formy je složen ze 6 nezávislých okruhů, každý se samostatným přívodem a odvodem chladicí vody.

## 7 KONSTRUKČNÍ ÚPRAVY VSTŘIKOVACÍ FORMY

Obecně lze říci, že jakákoliv konstrukční úprava na již používané vstřikovací formě není jednoduchou záležitostí a nese s sebou logicky také velké riziko a cenové náklady. Zanedbatelný není ani fakt, že forma je již používána v sériové výrobě a úprava tak musí být provedena rychle, aby nedošlo k ohrožení výroby, a také musí být velmi precizně navržena a zanalyzována, protože případné nově vzniklé problémy je obtížné řešit právě s ohledem na limitaci dostupným časem. Dalším faktorem jsou zde dále rozměry a řešení současné formy a také použitý materiál a jeho tepelné úpravy. Z toho vyplývá, že nebude změněna současná násobnost formy, případně tvar výrobku. Konstrukční změny by měly být provedeny co nejekonomičtěji, to znamená s využitím maxima stávajících dílů, a minima konstrukčních úprav na nich.

Nejvíce omezující faktory úpravy formy jsou:

- volné místo ve formě, může být provedena pouze taková úprava současné formy, která je proveditelná s ohledem na současné vodící prvky, tvarové prvky. U řešené formy to znamenalo vyloučení koncepce s 8 horkými tryskami,
- druh materiálu a jeho tepelné zpracování, protože většina součástí je vyrobena z vysoce kvalitních, legovaných a tepelně zpracovaných materiálů, je velmi obtížné a drahé na nich provádět úpravy. Zejména u tvarových částí je toto problémem.

### 7.1 Předběžné navržení a zhodnocení úprav zadané formy

#### 7.1.1 Tvarové dutiny formy

Vzhledem k tomu, že vstřikovaný výrobek je pohledovým dílem osobního automobilu, s vysokými nároky na vzhled a strukturu povrchu, není záměrem provádět jakékoliv úpravy tvarových dutin formy. Zůstane plně zachováno původní řešení.

#### 7.1.2 Násobnost formy a dělicí rovina

Zde platí již výše uvedený poznatek, vzhledem k objemům výroby a celkovým rozměrům formy, bude plně zachováno současné 8-násobné řešení a celková orientace a poloha dělicí roviny. Během výrobního procesu nebyly zaznamenány žádné nedostatky dnes používaného řešení s ohledem na násobnost formy nebo dělicí rovinu.



### 7.1.3 Vtokový a temperační systém

Hlavním záměrem navrhované konstrukční úpravy současné vstřikovací formy je úprava vtokového systému. V současnosti je používána kombinace horké vtokové soustavy s 2 vyhřívanými tryskami, na které navazuje soustava studených kanálů, rozvádějící taveninu do jednotlivých tvarových dutin. Původním záměrem byla úplná eliminace studené části, kdy by byla provedena úprava spočívající v nahrazení tohoto systému horkou vtokovou soustavou s 8 vtoky. Běžně dostupná řešení od různých výrobců ovšem v současné formě nelze použít z prostorových důvodů, bylo by nutné změnit koncepci tvarové části, což při současných objemech výroby není bezpečné s ohledem na vysoké množství vyráběných kusů.

U temperačního systému by měla zůstat teplota tvarových částí plně zachována, ovšem dojde k úpravě teploty okolo vtokové soustavy, která není použitelná pro navrhované nové řešení.

### 7.1.4 Vyhazovací systém

Současný vyhazovací systém zůstane plně zachován. Cílem navrhovaných změn není žádná úprava na pohyblivé polovině vstřikovací formy, ze zkušeností ve výrobě se ukazuje, že současný vyhazovací systém byl navržen správně a nedochází k žádným problémům za provozu formy.

### 7.1.5 Odvzdušnění formy

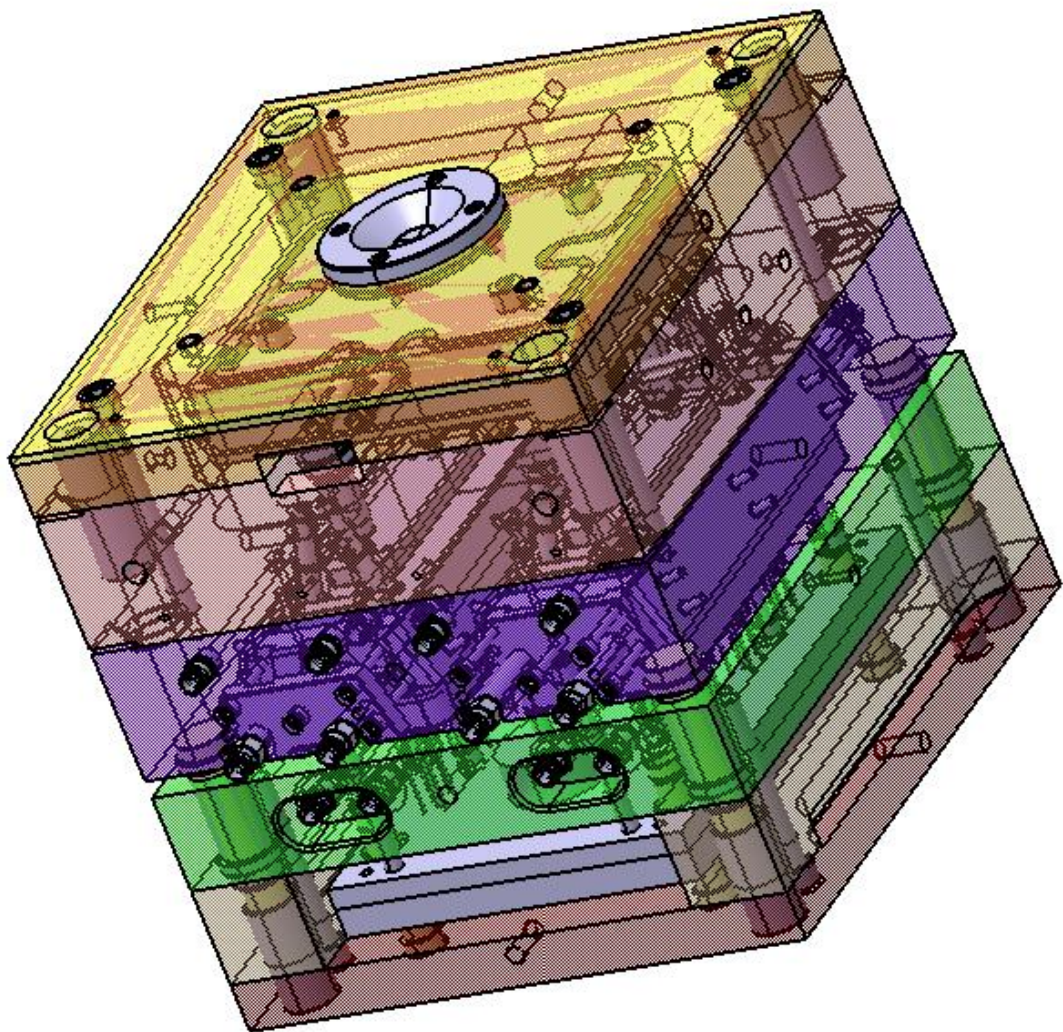
V současné výrobě se vyskytují často vzhledové vady na povrchu dílce, které odpovídají nedostatečnému odvzdušnění. Cílem této práce je také eliminace výskytu těchto vad a navržení případných úprav, vedoucích k dosažení zlepšení v tomto směru.

Po zhodnocení všech možných variant a úprav současné formy, bylo vybráno řešení s náhradou současného rozvodného bloku a 2 horkých trysek od firmy Synventive. Místo současného řešení bude navržena úprava za použití nového rozvodného bloku se 4 tryskami od rakouského výrobce Günther. Tato úprava je vhodná především v tom, že umožňuje v maximální možné míře zachovat původní komponenty formy a tím zlevnit celé navrhované nové řešení. Bude pouze nutné vyrobit novou vtokovou desku, tvarovou desku pro tvárníky (kvůli rozmístění temperačních kanálů není původní desku možné použít). Také je nutné provést vyfrézování nové dutiny pro rozvodný blok do desky rozvodného bloku a kotevní desky. Kolem rozvodného bloku, který je oproti původnímu značně masivnější a

zabírá téměř celý vnitřní prostor desky, již nebudou provedeny temperanční kanály, což umožňuje zachovat původní desky pouze s přefrézováním tvarů.

## 7.2 Celková koncepce upravené formy

Jak již bylo uvedeno, cílem práce není kompletně měnit současné pojetí vstřikovací formy. Proto upravená koncepce odpovídá původní formě. Na obrázku níže je znázorněn celkový pohled na původní vstřikovací formu po provedení navržených úprav a nahrazení vtokové soustavy novým systémem od firmy Günther.

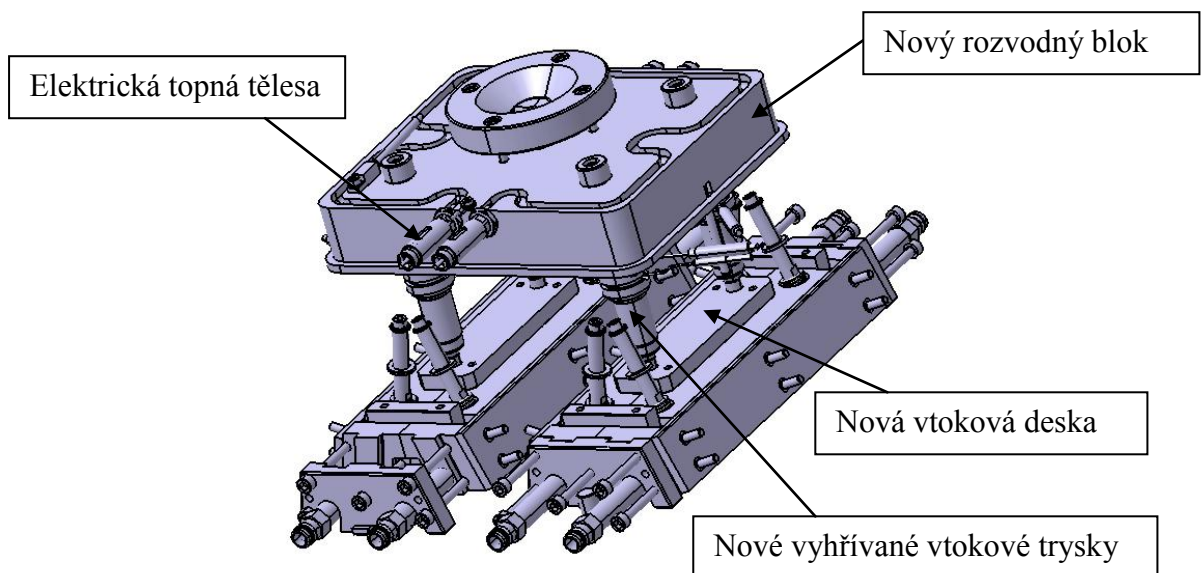


*Obr. 35 Celkový pohled na upravenou vstřikovací formu*

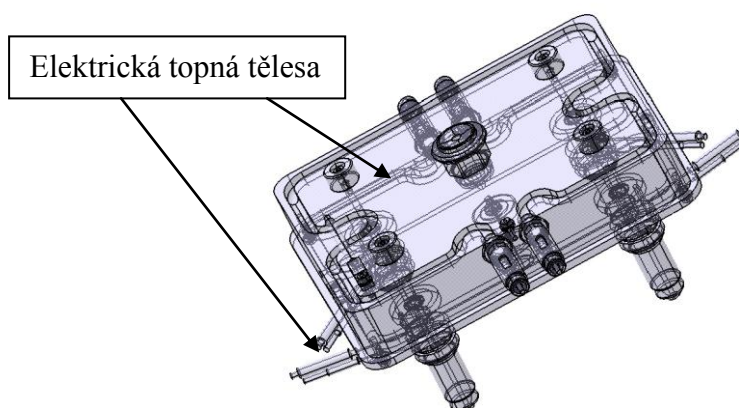
## 7.3 Navrhovaná úprava formy - vtoková a temperační soustava

### 7.3.1 Nová horká vtoková soustava

Zvolené řešení nové horké vtokové soustavy je schematicky znázorněno na obrázcích níže. Sestává z horkého rozvodného bloku a soustavy 4 vyhřívaných trysek, kolem kterých je ještě dále umístěn temperační okruh. Zvolené řešení je v katalogové nabídce výrobce vtokových soustav Günther. Oproti původní vtokové soustavě je nová soustava značně rozměrově náročnější a kromě úpravy kotevní a upínací desky vyžaduje také výrobu nové tvarové desky, protože původní kanály pro chladicí médium jsou v kolizi s umístěním nových vtokových trysek.



Obr. 36 Pohled na novou vyhřívanou vtokovou soustavu a tvarové posuvné čelisti



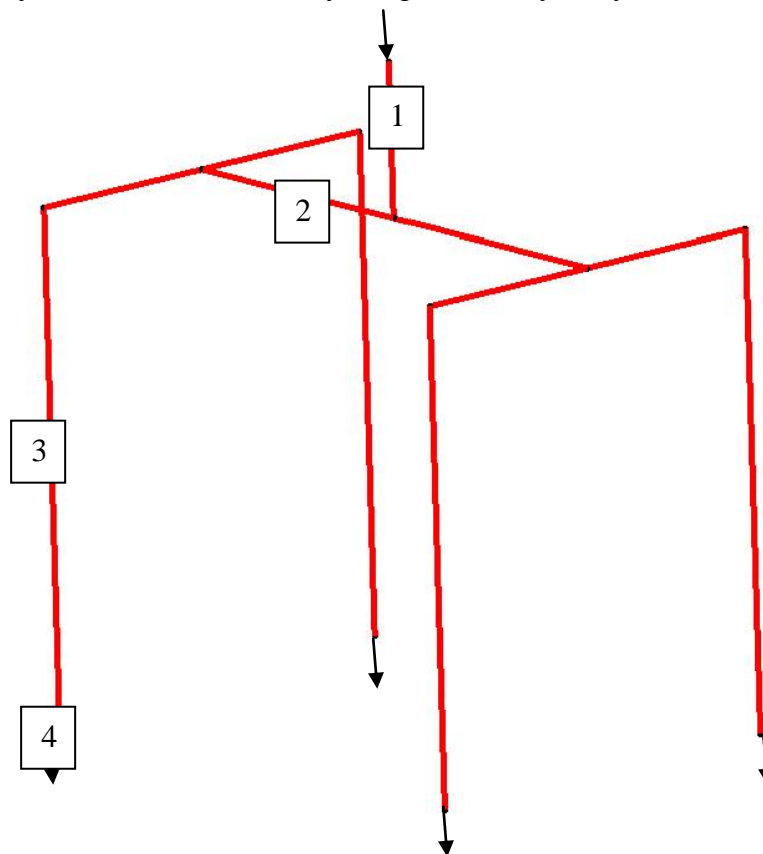
Obr. 37 Nový rozvodný blok se 4 tryskami

V následující tabulce je uveden přehled základních rozměrů nového rozvodného bloku, průřezy jeho kanálů a délky vyhřívaných vtokových trysek. S ohledem na poznatky z technologie vstřikování termoplastů, byla celá koncepce vtokového systému zvolena vytápěná. Sestává ze vtokové vložky, vyhřívaného rozvodného bloku čtvercového tvaru a soustavy 4 vytápěných vtokových trysek. Trajektorie vtokového systému byla z parametrického 3D modelu vytvořena v programu Catia a dále uložena ve formátu \*.igs pro provedení analýz v software Moldflow.

Tab. 6 Rozměry a geometrie nového horkého vtokového systému

NÁZEV SOUČÁSTI	GEOMETRIE ELEMENTU	ROZMĚRY [mm]
1. VTOKOVÁ VLOŽKA	VÁLEC	$\text{ØD} = 6$ ; $L = 38,5$
2. HORKÝ ROZVODNÝ KANÁL	VÁLEC	$\text{ØD} = 5$ ; $L = 340$
3. HORKÁ VTOKOVÁ TRYSKA	VÁLEC	$\text{ØD} = 3,8$ ; $L = 124$
4. HORKÉ VTOKOVÉ ÚSTÍ	KOMOLÝ KUŽEL	$\text{ØD} = 3 - \text{Ød} = 1,5 - L = 5$

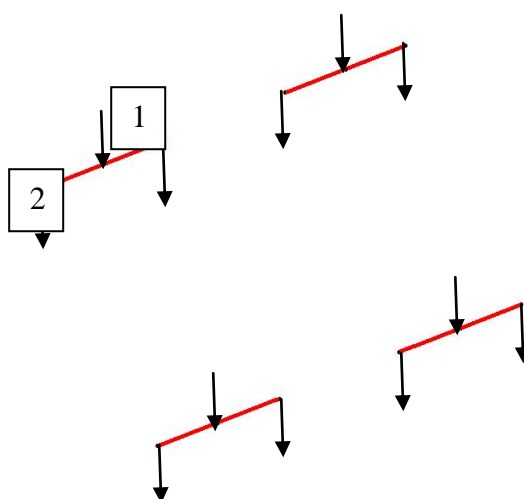
Na obrázku č. 38 je vyobrazeno schéma nového horkého vtokového systému. Jak jde vidět, oproti původnímu řešení nebyla trajektorie zásadně změněna, došlo pouze ke zvýšení počtu větví systému s ohledem na zvýšení počtu horkých trysek.



Obr. 38 Trajektorie nové horké vtokové soustavy

### 7.3.2 Nová studená vtoková soustava

Jak je patrné již z původního koncepčního řešení zadané vstřikovací formy, závěrečná část vtokového systému je řešena pomocí studené vtokové soustavy. Tento fakt je zapříčiněn především snahou o nízké výrobní náklady formy, zjednodušení její údržby a v neposlední řadě, také z rozměrových důvodů. Nebylo možné použití 8 vyhřívaných trysek a úplné eliminace vtokových zbytků. Rozměrově by takový rozvodný blok nebyl dostupný a muselo by dojít k zakázkové výrobě vtokového systému, namísto levnějšího katalogového řešení. Navíc, k umístění 8 vtokových trysek by ve formě nebyl dostatek místa a muselo by taktéž dojít k jejímu celkovému zvětšení.



Obr. 39 Trajektorie nové studené části vtokové soustavy

Z obrázku je patrné, že pro zachování původních tvarových dutin formy bez úprav, bylo nutné rozdělit původně 2 vtokové zbytky na 4 části. Již z trajektorie nové studené části vtokové soustavy je však patrné, že došlo ke zjednodušení dráhy toku taveniny a značnému zmenšení objemu odpadních vtokových zbytků.

V tabulce jsou uvedeny základní tvary a rozměry původní studené částí vtokové soustavy.

Tab. 7 Rozměry a geometrie nové studené části vtokové soustavy

NÁZEV ČÁSTI	GEOMETRIE	ROZMĚRY [mm]
1. STUDENÝ OKRUH	VÁLEC	ØD=3,5; L = 50
2. VTOKOVÉ ÚSTÍ	KUŽEL	ØD=2, Ød=1,5; L=2

### 7.3.3 Nový temperační systém

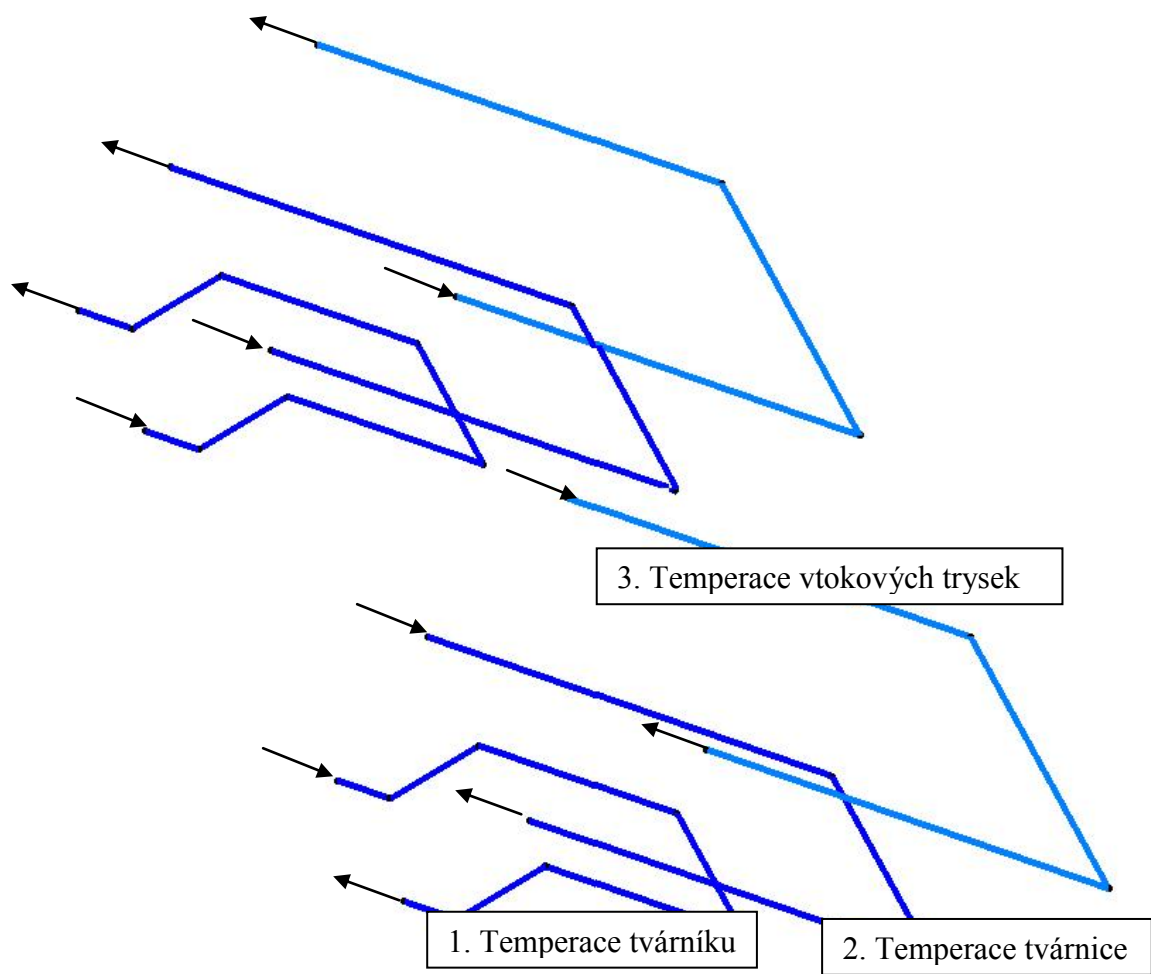
Dále je znázorněna nově navržená koncepce temperačního systému. Trajektorie byla opět vytvořena ze 3D modelu v software Catia a dále použita ve formátu \*.igs pro analýzy. Chlazení tvarových sestav formy zůstalo plně zachováno. Sestává ze 2 okruhů pro levou a pravou stranu formy v oblasti tvárníků, a taktéž z 2 okruhů pro levou a pravou stranu v oblasti tvárnice. S ohledem na nově použitý horký rozvodný blok byla vynechána horní větev okruhu, použitého pro temperaci kolem původního rozvodného bloku. Kvůli temperaci okolo horkých vtokových trysek bude nutné vyrobit novou tvarovou desku, poněvadž původní kanály se dostaly do kolize s polohou nových vtokových trysek. V další tabulce jsou uvedeny rozměry a geometrie nových temperačních kanálů.

*Tab. 8 Rozměry a geometrie nového temperačního systému*

NÁZEV ČÁSTI	GEOMETRIE	ROZMĚRY [mm]
1. TEMPERACE TVÁRNÍKU	VÁLEC	ØD = 8; L = 600
2. TEMPERACE TVÁRNICE	VÁLEC	ØD = 8; L = 880
3. TEMPERACE VTOKOVÝCH TRYSEK	VÁLEC	ØD = ; L = 897

Pro temperaci byla opět zvolena čistá voda, temperovaná na teplotu 55°C, proudící v okruhu pod tlakem 5 bar.

Následuje obrázek se schematickým znázorněním nového řešení temperační soustavy. Tmavě modrou barvou je znázorněna temperace kolem tvárníků a tvárnice formy, světle modrou barvou je vyobrazeno temperování vtokových trysek. Jak již bylo uvedeno, horký rozvodný blok je temperován pouze pomocí elektrických topných těles.



Obr. 40 Trajektorie nového temperačního systému

## 8 ANALÝZA FORMY V MOLDFLOW

V této části diplomové práce je provedena analýza navržených úprav pomocí konečně-prvkového software Moldflow. Účelem této kapitoly je ověření vhodnosti navrhovaných úprav s ohledem na zvolenou technologii vstřikování. Výsledné ekonomické zhodnocení bude provedeno v následující kapitole. Díky analýzám je možné již dopředu posoudit, zdali bude mít prováděná úprava smysl a nebude lepší formu ponechat v současném stavu.

Nejdříve byl parametrický 3D model výrobku ze software Catia exportován ve formátu \*.igs do simulačního software Moldflow. Pro analýzy byl použit v souladu se zásadami práce předem upravený 3D model. To znamená, že byl model zjednodušen tak, aby se nevyskytovaly velké tečné přechody, malé rádiusy a příliš malé plošky a výstupky na výrobku.

Následně bylo provedeno vysítování modelu a vyhodnocení dané sítě. Bylo nutné mírně poupravit vygenerovanou síť, neboť kvalita vytvořené sítě má zásadní vliv na kvalitu výsledných analýz.

### 8.1 Volba materiálu dílce

V tabulce je uveden zvolený materiál pro výrobu plastového anténního držáku. Jedná se o běžně dostupný termoplastický vulkanizát, neboli směs PP s EPDM, s výslednými vlastnostmi kombinujícími vlastnosti plastů a pryže. Dodavatelem materiálu s obchodním názvem Santoprene 123-50 je společnost Exxon Chemicals Company.

Tab. 9 Vlastnosti materiálu použitého pro analýzu v Moldflow

NÁZEV VLASTNOSTI	POPIS
TYP MATERIÁLU	TPV (PP+EPDM)
OBCHODNÍ NÁZEV	Santoprene 123-50
VÝROBCE	Exxon Chemicals Company
DOPORUČENÁ TEPLOTA FORMY	51 [°C]
DOPORUČENÁ TEPLOTA TEVENINY	232 [°C]
DOPORUČENÁ TEPLOTA PŘI VYHAZOVÁNÍ	120 [°C]
MAXIMÁLNÍ VELIKOST SMYK. NAPĚTÍ	0,25 [MPa]
MAXIMÁLNÍ VELIKOST RYCH. SMYK. DEF.	100000 [s <sup>-1</sup> ]



## 8.2 Volba vstřikovacího stroje

Pro výrobu je v současnosti používán vertikální vstřikovací stroj Arburg Allrounder 900 T s uzavírací silou 400 kN. Jeho základní parametry jsou uvedeny v dále následující tabulce. Vzhledem k velikosti formy je sice možno považovat tento stroj za zbytečně velký, nicméně byl jako jediný vertikální stroj ve firmě k dispozici pro výrobu.

Tab. 10 Shrnutí vlastností vstřikovacího stroje [12]

PARAMETRY ZVOLENÉHO VSTŘIKOVACÍHO STROJE	HODNOTA
ROZTEČ MEZI SLOUPKY STROJE	900 [mm]
UZAVÍRACÍ SÍLA	400 [kN]
MAXIMÁLNÍ VSTŘIKOVANÝ OBJEM	80 [cm <sup>3</sup> ]
PRŮMĚR ŠNEKU	25 [mm]
ZDVIH ŠNEKU	107,9 [cm]

## 8.3 Volba procesních podmínek

Tab. 11 Procesní podmínky vstřikování

TECHNOLOGICKÝ PARAMETR	HODNOTA
TEPLOTA TAVENINY	225 [°C]
TEPLOTA POVRCHU FORMY	55 [°C]
DOBA VSTŘIKU	1 [s]
BOD PŘEPNUTÍ V/P SWITCHOVER	99 [%]
ČAS OTEVŘENÍ FORMY	20 [s]
ČAS VSTŘIK+DOTLAK+CHLAZENÍ	18 [s]

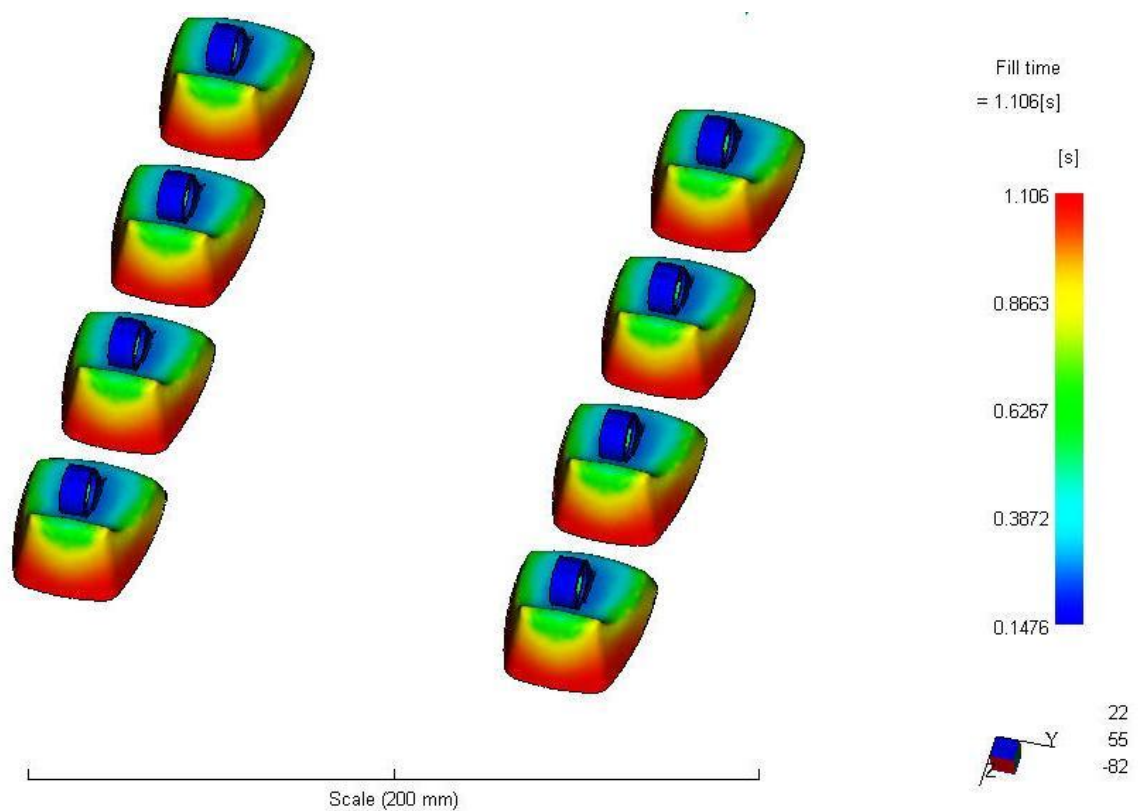
## 8.4 Analýzy v Modflow

### 8.4.1 Doba zaplnění dutiny formy – fill time

Na výslednou kvalitu plastového vstříku má, jak již bylo zmíněno v teoretické části, velký vliv doba zaplnění tvarové dutiny formy. Všechny tvarové dutiny by měly být zaplněny polymerní taveninou ve stejnou dobu, aby byla zachována stejná kvalita a rozměrová přesnost jednotlivých výrobků. Pokud by docházelo k zaplnění dutin v rozdílnou dobu, působil by v jednotlivých dutinách rozdílný tlak a dotlak, což by znamenalo nestejnost jednotlivých kusů.

Analýza zobrazuje, jak dochází k postupnému zaplňování. Místa zobrazená modrou barvou jsou plněna nejdříve, místa zobrazená červenou jako poslední. Pokud by byla některá místa vybarvena šedě, znamenalo by to, že nebyla za dobu vstříku zaplněna.

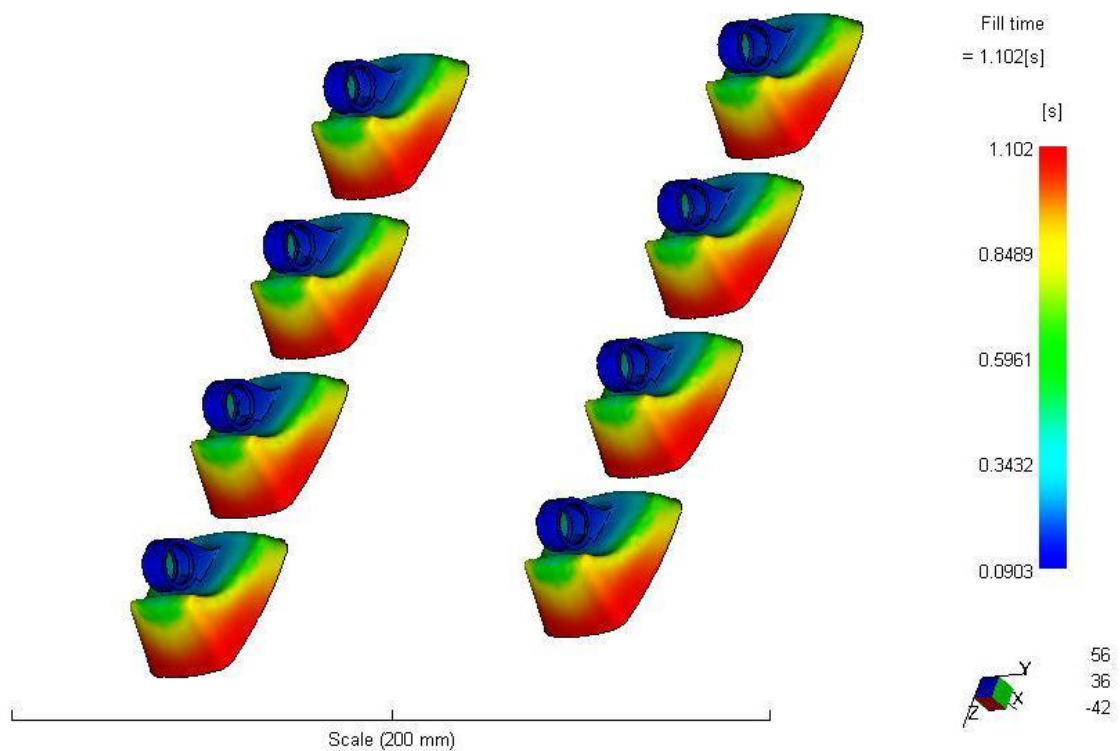
Na obrázku č. 41 jsou výsledky pro původní stav formy se 2 horkými tryskami, čas zaplnění dutiny je 1,106 s.



Obr. 41 Analýza doby zaplnění dutiny formy – původní forma

Na druhém obrázku jsou výsledky pro navrženou modifikaci vtokového systému. Analýza potvrdila, že všechny tvarové dutiny jsou zaplněny ve stejnou dobu a žádné nedotečené místo se neobjevilo. Čas plnění je pro upravenou formu 1,102 s.

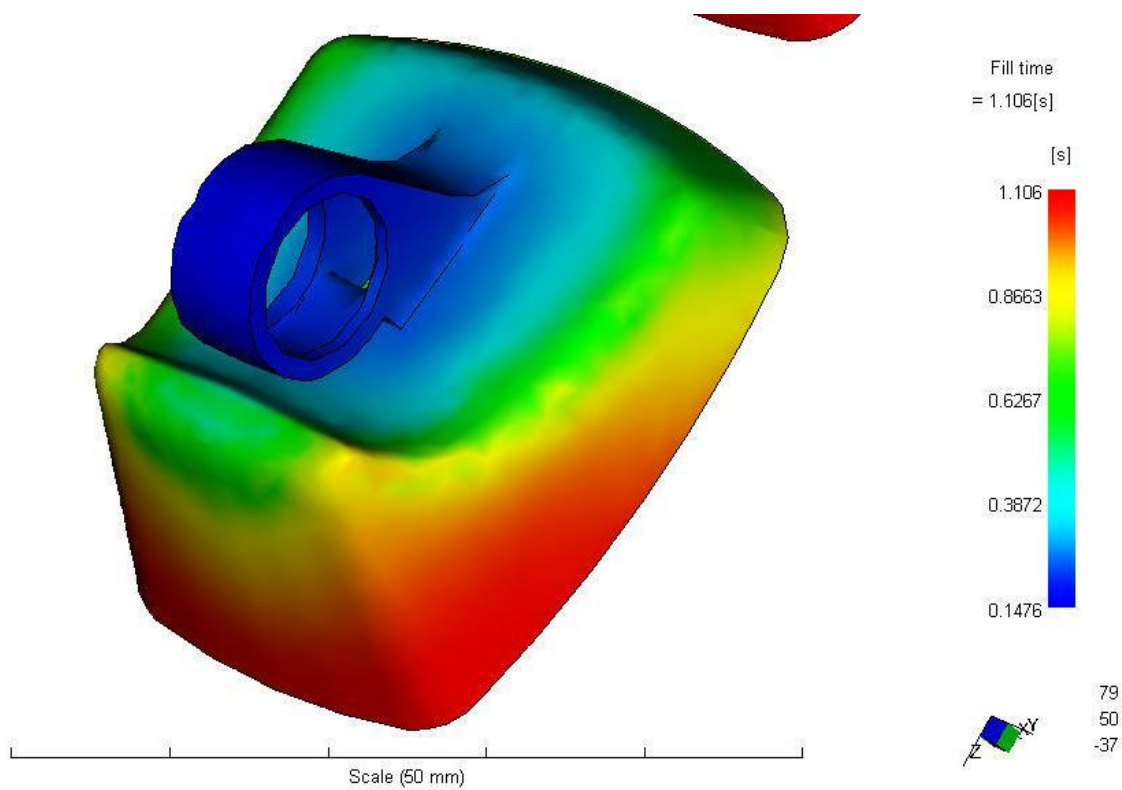
Z výsledků analýzy pro původní i upravenou formu je dobře patrné, že jako poslední se zaplňují spodní okraje výrobku v přední části. Také ze zkušeností s předchozí výrobou a výsledků první bylo patrné, že zde docházelo k největšímu výskytu vzhledových poruch i nedotečených částí. To potvrzuje, že nebyla příliš vhodně zvolena poloha vtokového ústí. Bohužel koncepce formy neumožňuje provést jakoukoliv úpravu, spočívající v jeho přemístění na vhodnější pozici.



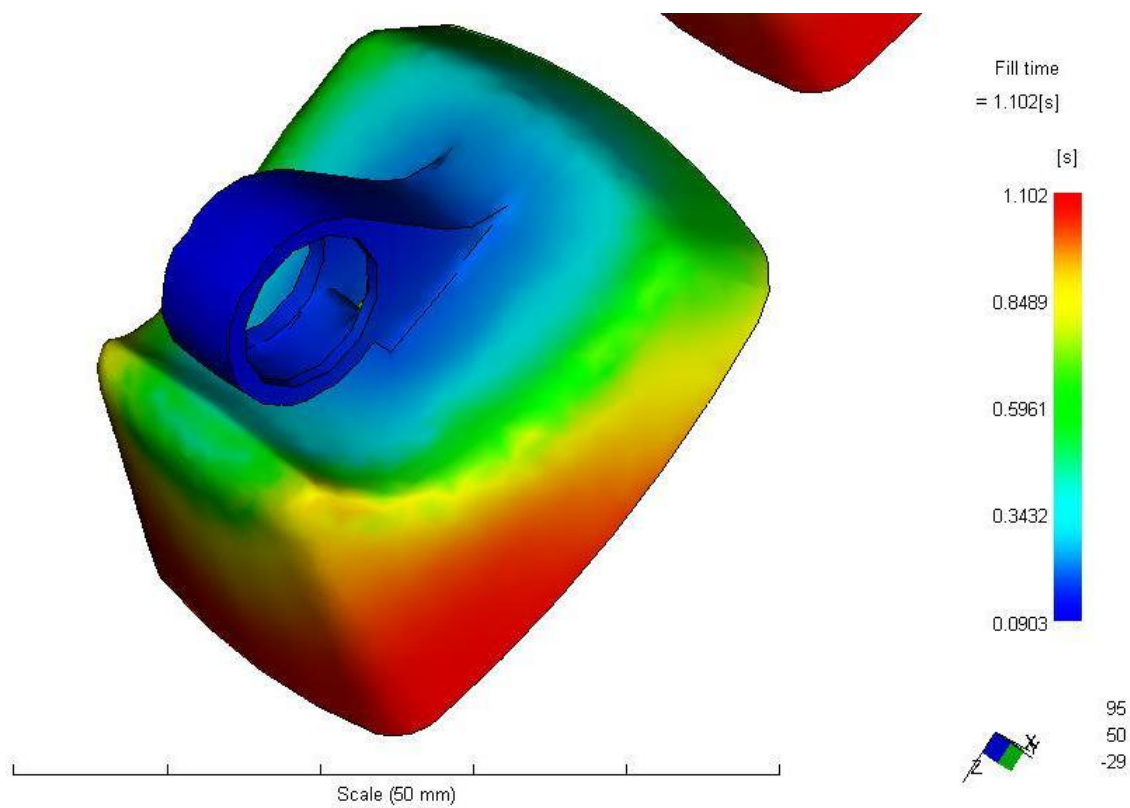
Obr. 42 Analýza doby zaplnění dutiny formy – upravená forma

Výsledky obou analýz ukazují, že úprava formy nemá téměř žádný vliv na dobu zaplnění dutiny formy. Výsledky první i druhé analýzy jsou v tomto případě téměř analogické.

Na další stránce jsou pro názornost zobrazeny výsledky z původní a upravené formy ve zvětšeném detailu. Původní dutina formy je zaplněna v čase 1,106 s, upravená forma dosáhne zaplnění tvarových dutin v čase 1,102 s, což je naprosto zanedbatelný rozdíl.



Obr. 43 Detail analýzy doby zaplnění dutiny formy – původní forma

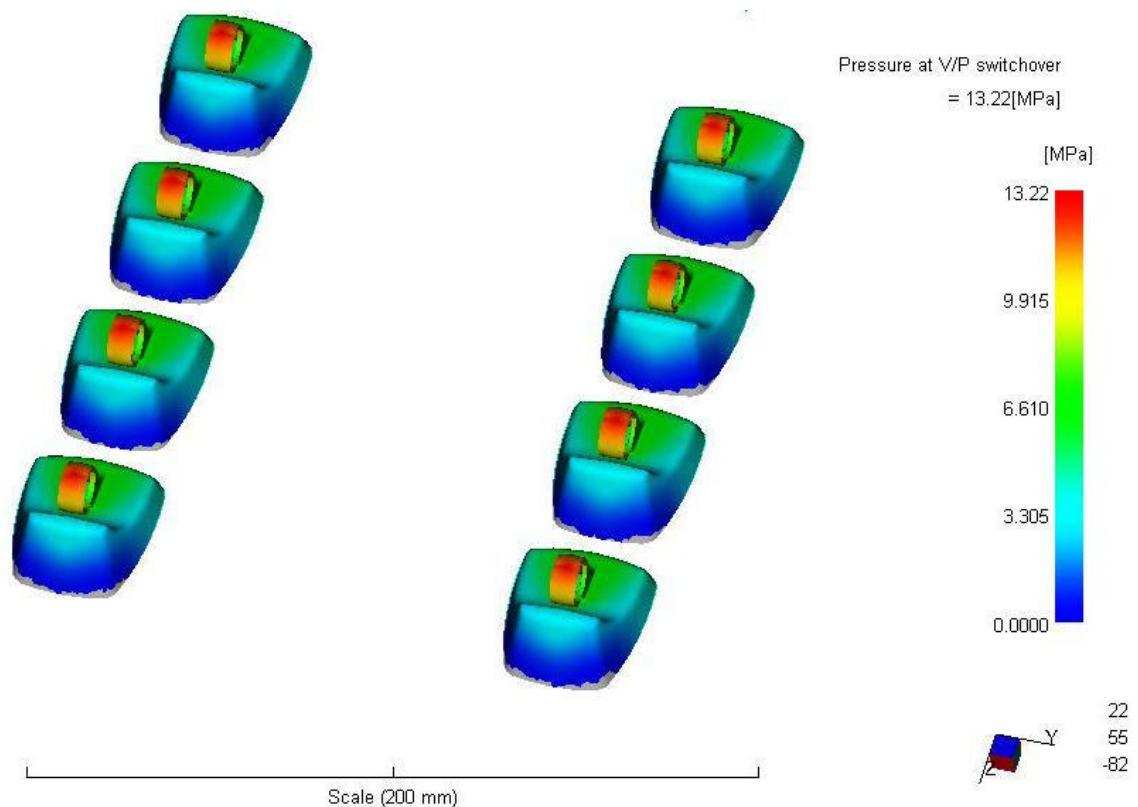


Obr. 44 Detail analýzy doby zaplnění dutiny formy – upravená forma

### 8.4.2 Tlak v bodě přepnutí – pressure at V/P switchover

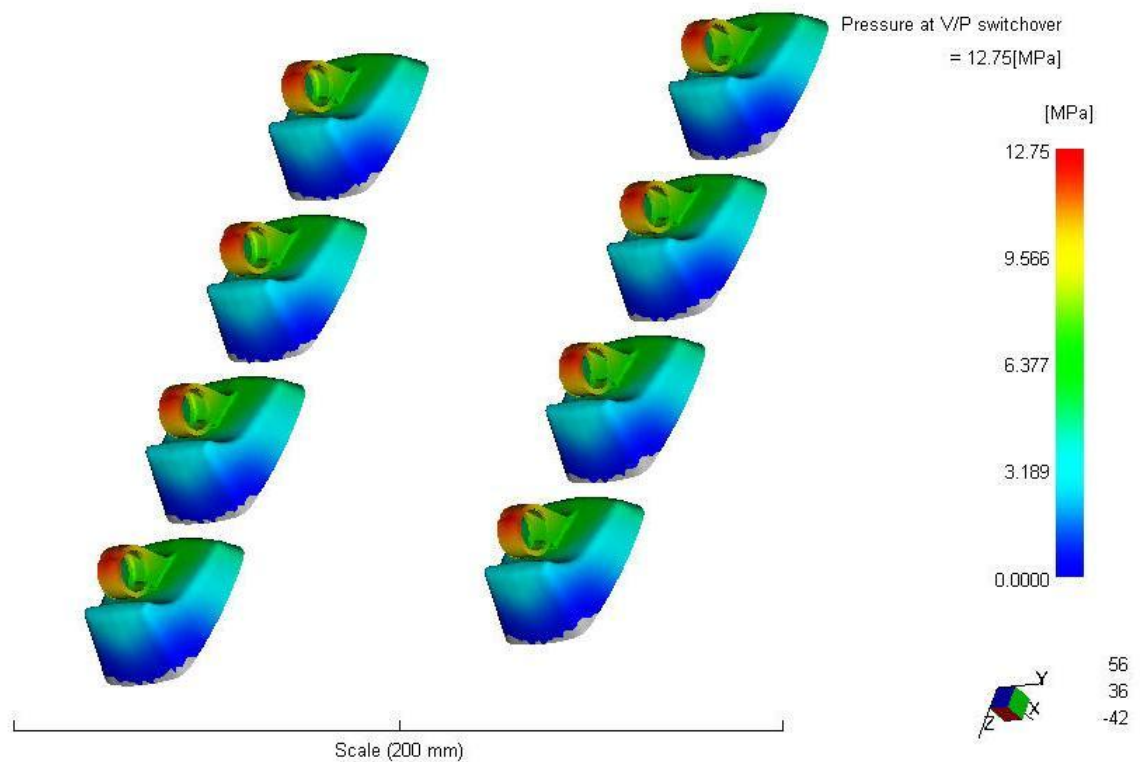
Bod přepnutí je moment, ve kterém dochází během vstřikování k přepnutí z fáze vstřikovacího tlaku na fázi dotlaku. Tento typ analýzy také dále potvrzuje, zdali dochází k rovnoměrnému zaplnění dutiny formy ve stejném časovém okamžiku. Ve výsledku této analýzy je barevně znázorněna velikost tlaku v dutině formy právě během okamžiku přepnutí na dotlak. Jako v předchozí analýze, i zde šedá místa znamenají ještě nezaplňené prostory. Pro správnou kvalitu a rovnoměrnost výroby v momentě přepnutí na dotlak nesmí být zaplněn celý objem dutiny, zaplnění se má pohybovat mezi 95 – 99 % objemu dutiny.

Na prvním obrázku jsou výsledky analýzy pro původní stav formy.



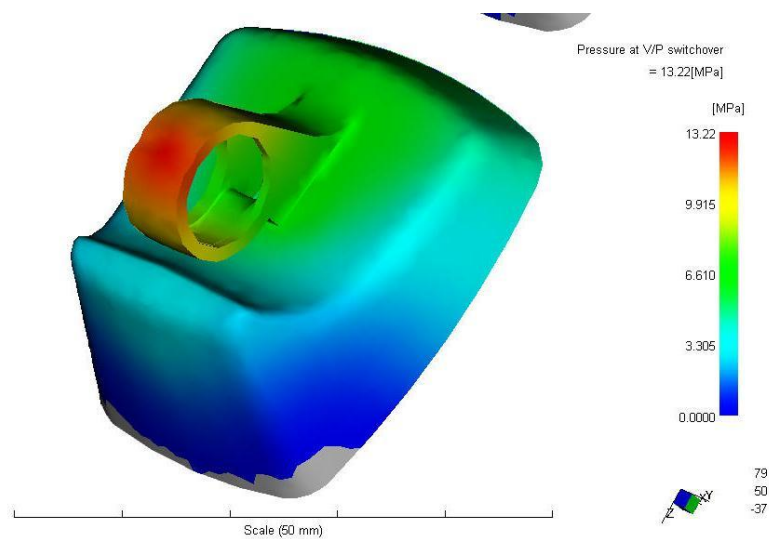
Obr. 45 Analýza tlaku v bodě přepnutí – původní forma

Na druhém obrázku jsou opět výsledky analýzy pro upravenou formu. Z obrázků je patrné, že během přepnutí na dotlak pro zvolené procesní podmínky ještě nejsou spodní okrajové části výrobku zcela zaplněny a k zaplnění tohoto prostoru dojde až během dotlakové fáze, což je správným výsledkem.

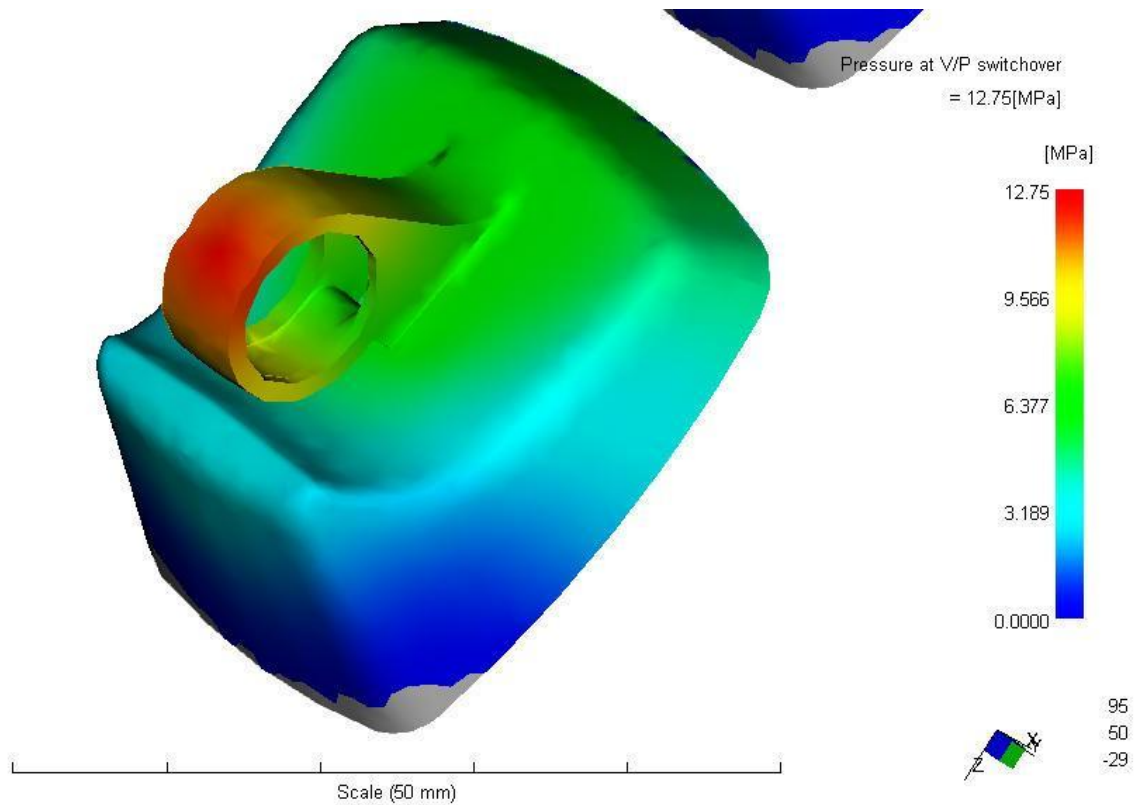


Obr. 46 Analýza tlaku v bodě přepnutí – upravená forma

I v případě této analýzy se výsledky pro upravenou formu příliš nelišily. Jediným rozdílem je nepatrné snížení tohoto tlaku, což ukazuje na mírné zlepšení toku materiálu do dutin formy po úpravě. V původním stavu byla velikost tlaku 13,22 MPa, v upraveném stavu 12,75 MPa. Na dalších 2 obrázcích jsou výsledky analýzy tlaku v bodě přepnutí v detailech.



Obr. 47 Detail analýzy tlaku v bodě přepnutí – původní forma



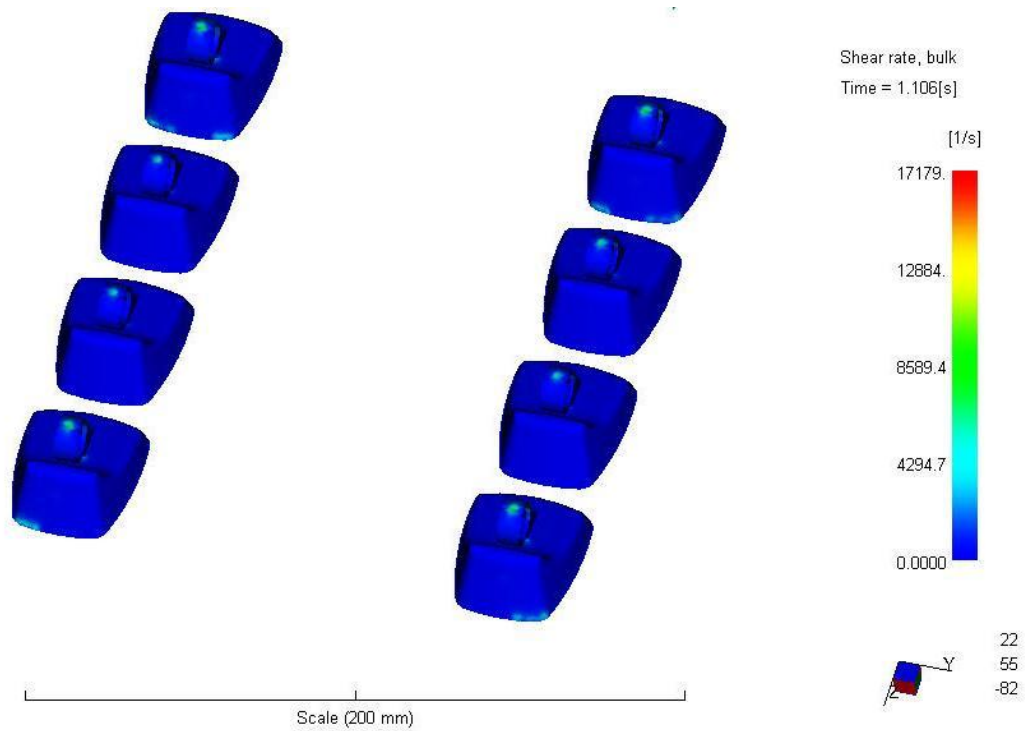
Obr. 48 Detail analýzy tlaku v bodě přepnutí – upravená forma

#### 8.4.3 Smyková rychlost – shear rate

Výsledky následující analýzy ukazují rychlosti smykové deformace. Smyková deformace charakterizuje intenzitu smykového toku materiálu ve formě a spolu se smykovým napětím udává, zda nebyly překročeny limitní hodnoty, předepsané v daném v materiálovém listu.

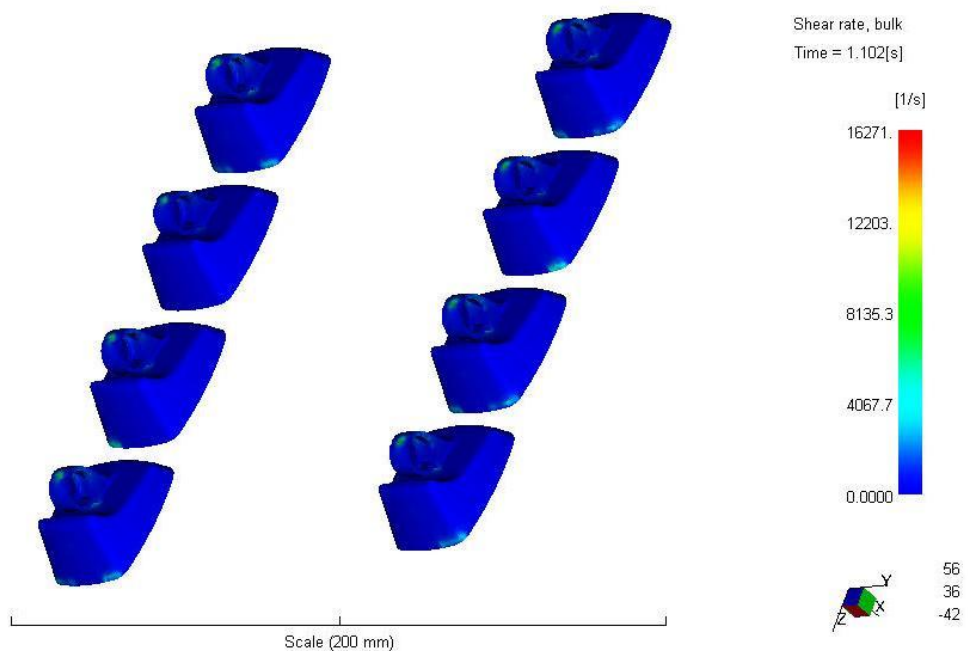
Pokud by došlo během výrobního procesu k překročení povolené maximální hodnoty velikosti smykové rychlosti, lze očekávat vznik problémů během toku taveniny, s následnou změnou kvality výrobku atd.

Na prvním obrázku níže je analýza pro neupravenou formu. Je patrné, že maximální velikost nebyla překročena. Na stupnici je patrné lokální maximum velikosti smykové rychlosti, nacházející ve vtokovém ústí. Toto maximum je způsobeno zúžením vtokového ústí oproti rozvodným kanálům.



Obr. 49 Analýza smykové rychlosti – původní forma

I pro upravenou formu, maximální doporučená hodnota rychlosti smykové deformace (100000 1/s) udaná výrobcem pro zvolený materiál výrobku nebyla překročena. Na obrázku je též patrné lokální maximum velikosti smykové rychlosti, nacházející ve vtokovém ústí.

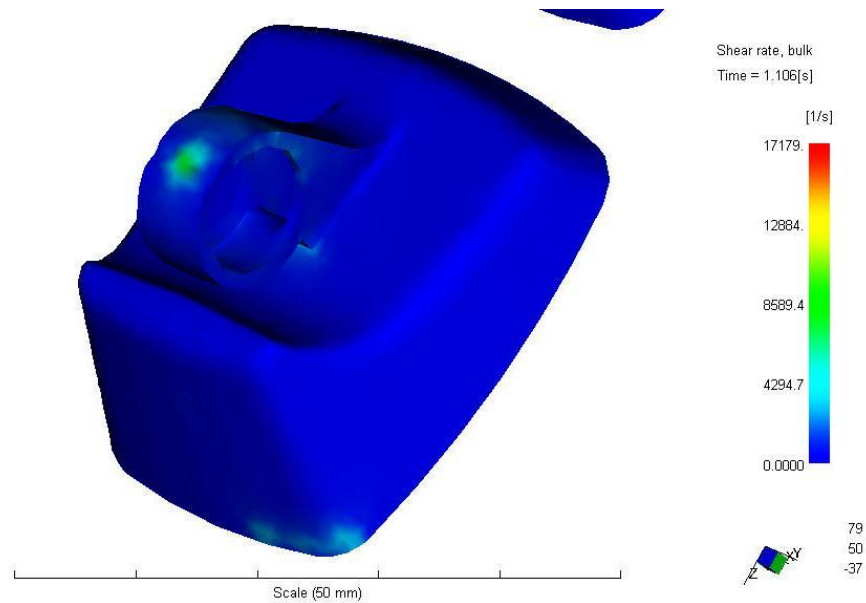


Obr. 50 Analýza smykové rychlosti – upravená forma

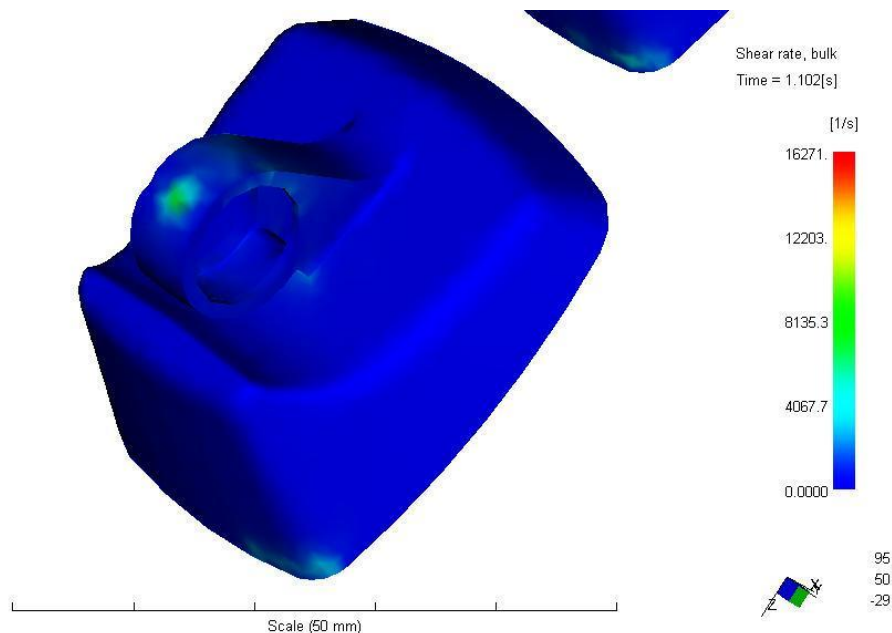


Z výsledků analýz je opět patrné, že nevzniká podstatný rozdíl oproti původní formě. Nicméně i zde, stejně jako v případě předchozí analýzy, je vidět že tok materiálu je lepší a hodnota maximální smykové rychlosti dosahuje nižších hodnot.

Na dalších 2 obrázcích jsou znázorněny pro původní i upravený stav formy detaily s dobře patrným lokálním maximem smykové rychlosti v místě vtokového ústí.



*Obr. 51 Detail maxima smykové rychlosti – původní forma*



*Obr. 52 Detail maxima smykové rychlosti – upravená forma*

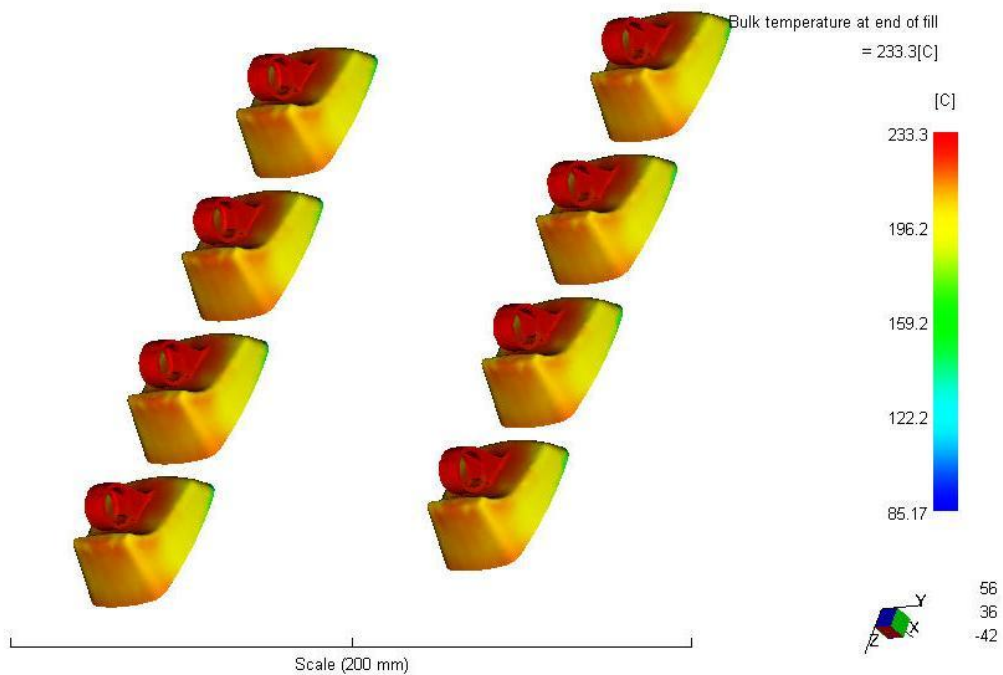
Maximum smykové rychlosti se může nacházet i ve vtokovém systému, to ovšem není případ analyzované formy. Proto není vtokový systém pro přehlednost zobrazen.

#### 8.4.4 Teplota na konci doby plnění – bulk temperature at end of fill

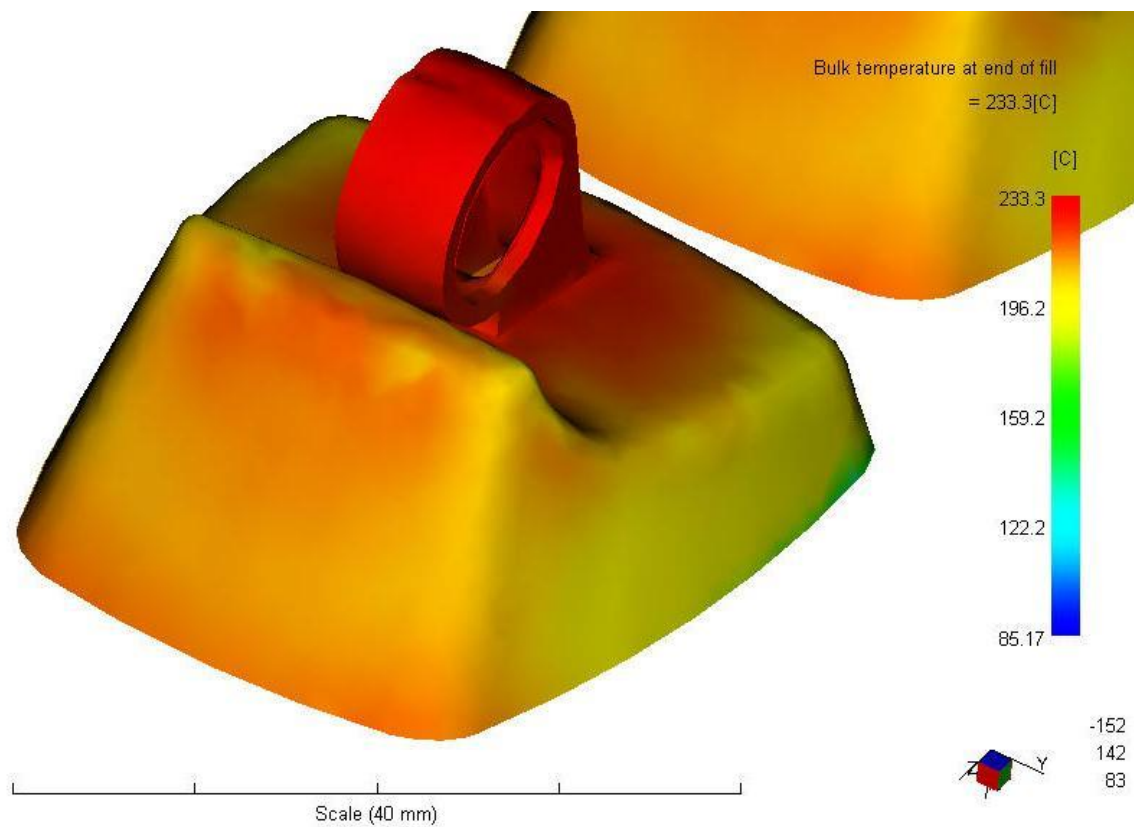


Obr. 53 Analýza teploty na konci doby plnění – původní forma

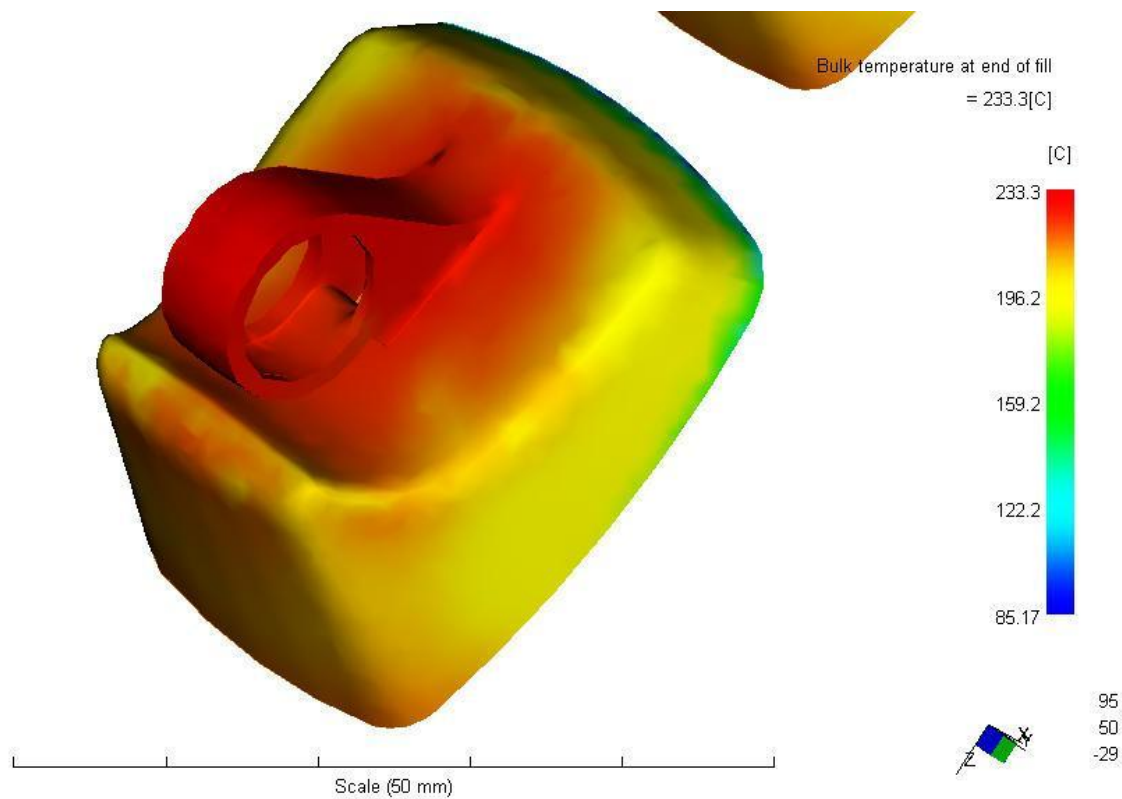
Na obrázku nahoře je původní stav. Na následujícím obrázku dole je stav po provedené úpravě formy. Je zde patrné, že základní koncepcce formy zůstala zachována, takže tyto výsledky se svou povahou neliší od původního stavu formy.



Obr. 54 Analýza teploty na konci doby plnění – upravená forma



*Obr. 55 Detail teploty výrobku na konci doby plnění – původní forma*

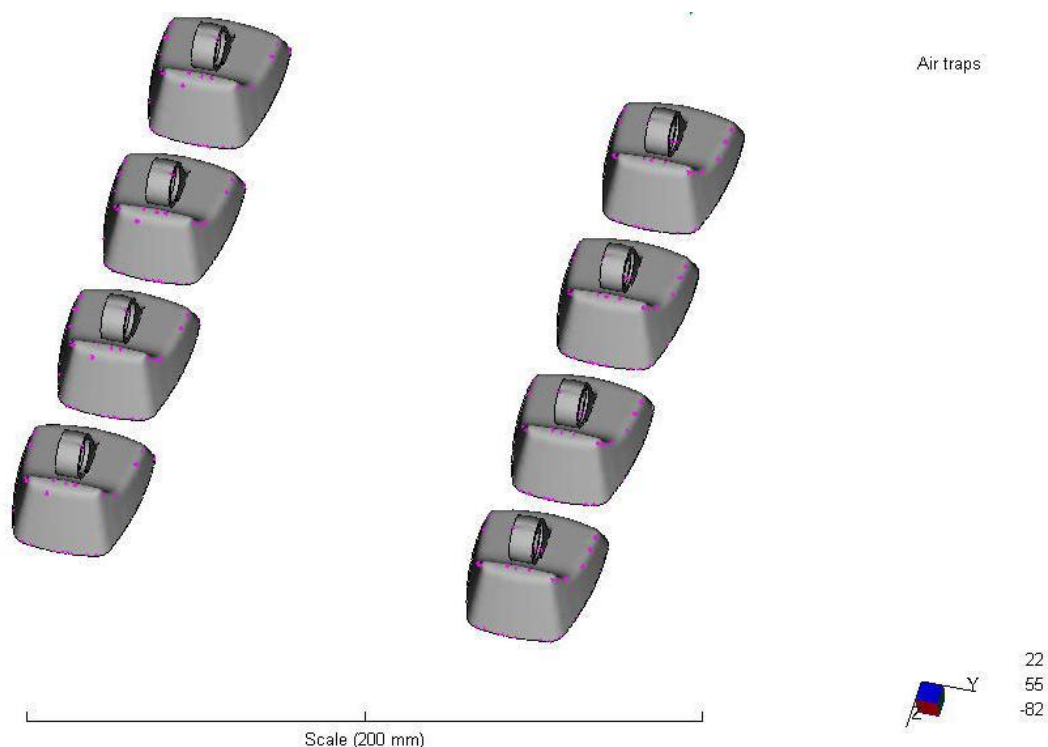


*Obr. 56 Detail teploty výrobku na konci doby plnění – upravená forma*

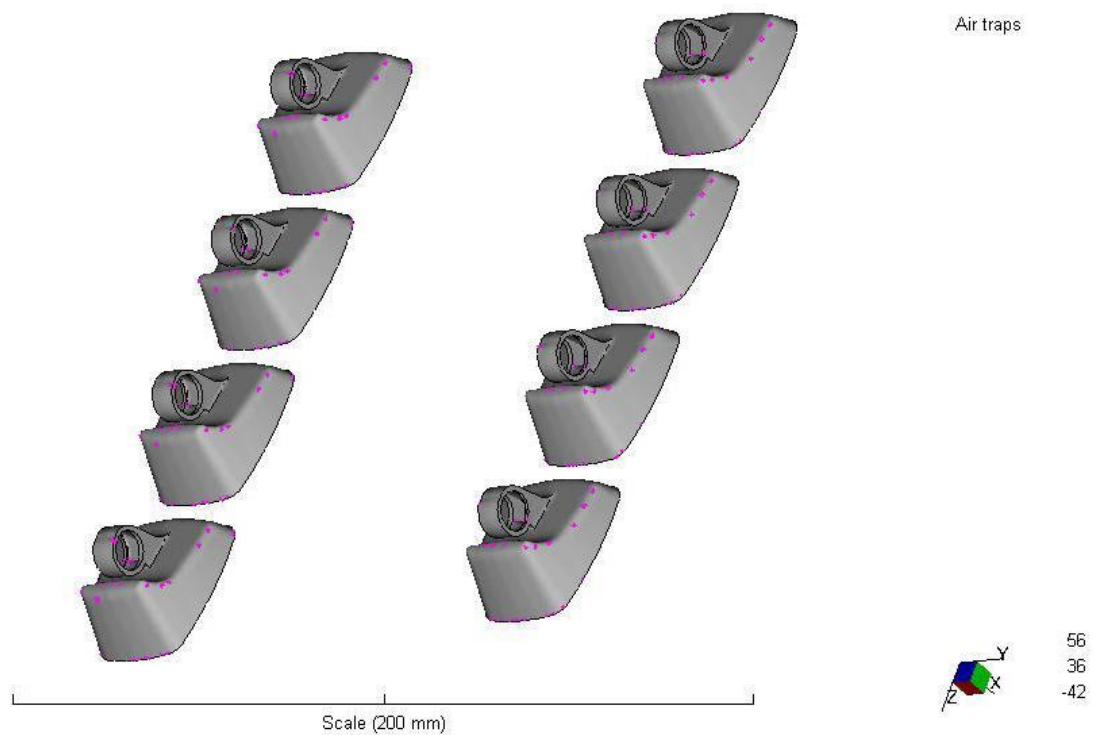
#### 8.4.5 Vzduchové kapsy – air traps

Analýza vzduchových kapes slouží k ověření defektních míst z důvodu uzavřeného vzduchu. Z teoretických poznatků a také praktických zkušeností plyne poznatek, že místa uzavření vzduchu s následným povrchovým defektem se nejčastěji objevují na hranách výrobku a místech s různými tvarově vystouplými částmi. Tato skutečnost je také jasně patrná na výsledcích provedené analýzy. Odvzdušnění by mělo být umístěno v těchto místech, kde se vyskytuje nejvíce vzduchových kapes. V analyzované formě je problémem umístit odvzdušňovací kanálky v horní části výrobku, nicméně v dolní části s odvzdušněním není problém. Z praxe ale plyne, že nedocházelo k výraznějším problémům s uzavíráním vzduchu na výrobku. Přispívá k tomu také fakt, že vzduch do jisté míry může unikat kolem vyhazovačů a přes dělicí rovinu.

Dále ke vzniku vzduchových kapes výrazně přispívají technologické podmínky vstřikovacího procesu, zejména nízká teplota formy nebo nízký vstřikovací tlak. V tomto případě je možno je eliminovat především zvýšením vstřikovacího tlaku nebo úpravou vstřikovací rychlosti. V krajním případě může být jediným řešením úprava vstřikovací formy.

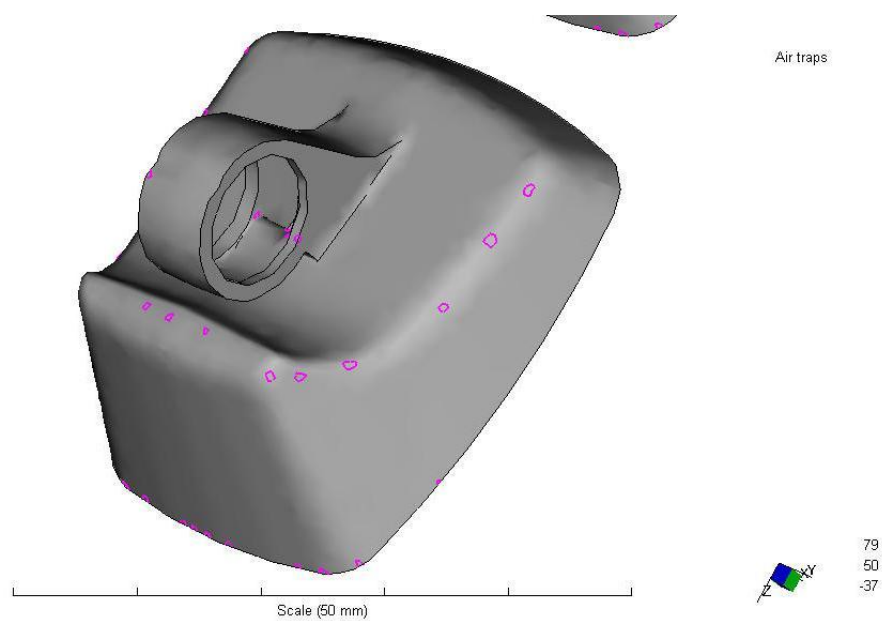


Obr. 57 Analýza vzduchových kapes – původní forma

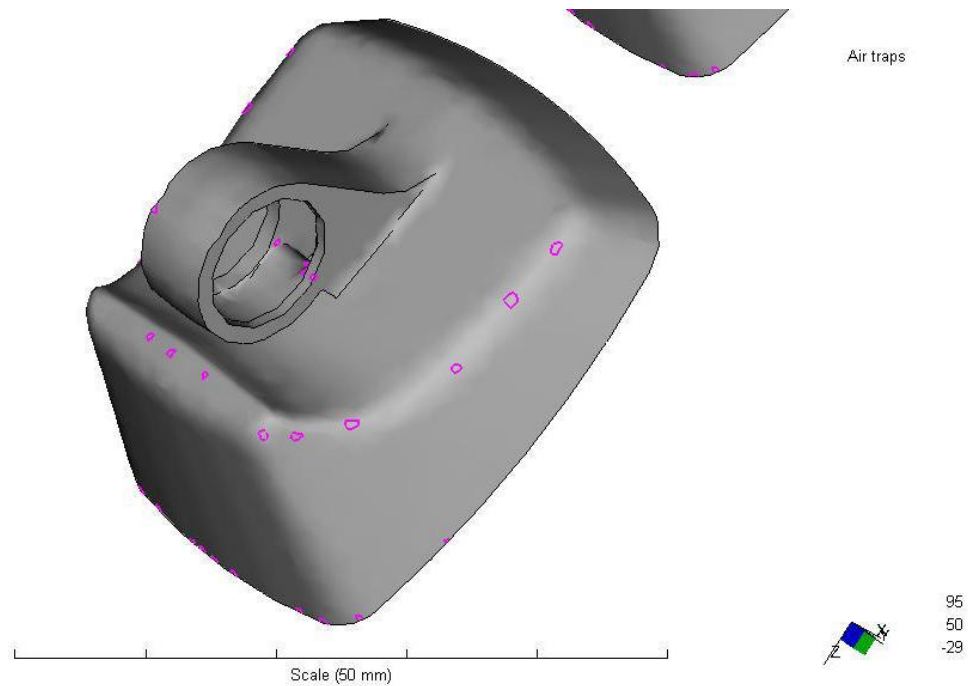


*Obr. 58 Analýza vzduchových kapes – upravená forma*

Z výsledků analýz pro vzduchové kapsy vyplývá, že na vznik vzduchových kapes nemá úprava vtokového systému formy žádný vliv. Vyskytovaly se ve stejném množství a na stejných místech jako u původní formy. Níže jsou výsledky opět znázorněny v detailu.



*Obr. 59 Detail vzduchových kapes – původní forma*



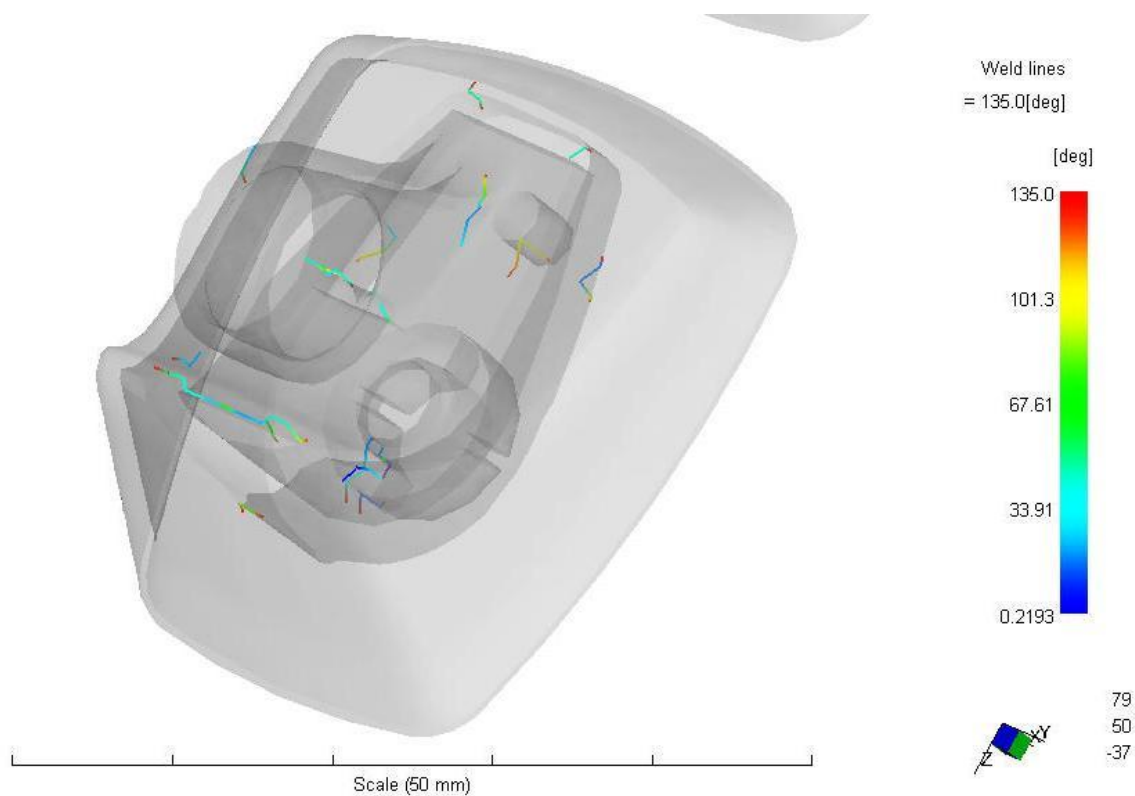
Obr. 60 Detail vzduchových kapes – upravená forma

#### 8.4.6 Studené spoje – weld lines

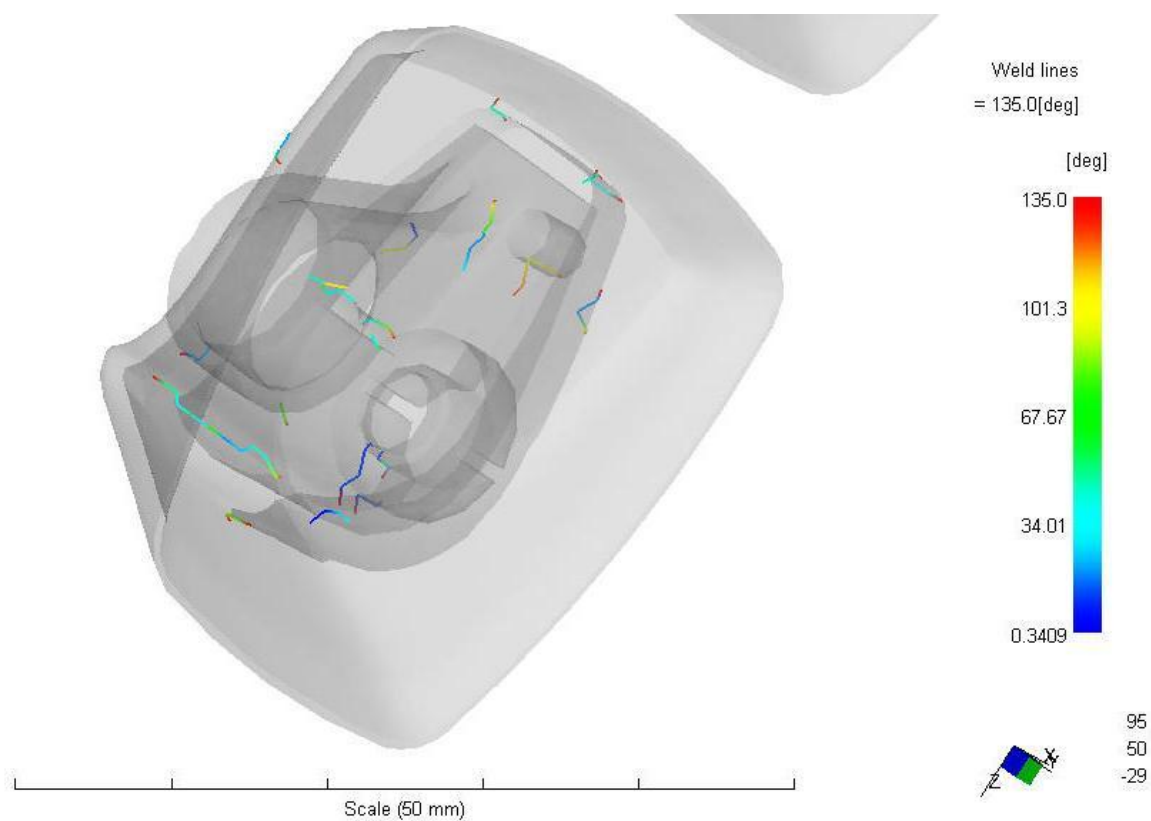
Ke vzniku studených spojů dochází zejména z důvodu spojování dvou chladných čel taveniny, jak již bylo uvedeno v teoretické části práce. Ke vzniku studeného spoje dále přispívají i další nedostatky jako jsou nízká teplota formy, nízká teplota vstříkované taveniny, nesprávné odvzdušnění, příliš nízká vstříkovací rychlost nebo velmi dlouhá dráha toku materiálu.

Z výsledků analýz opět vyplynulo, že úprava formy nemá vliv na rozmístění a velikost studených spojů na výrobku. Vyskytují se zejména v místech, kde se hromadí větší množství materiálu. Z tohoto důvodu ovšem také není jejich vliv na výrobek kritický. Toto bylo potvrzeno také praktickými zkušenostmi z výroby, kdy nedocházelo k výraznějším problémům se studenými spoji a snížením pevnosti výrobku jejich vlivem.

Na následujících 2 obrázcích jsou znázorněny detaily studených spojů na výrobku pro původní a upravenou formu.



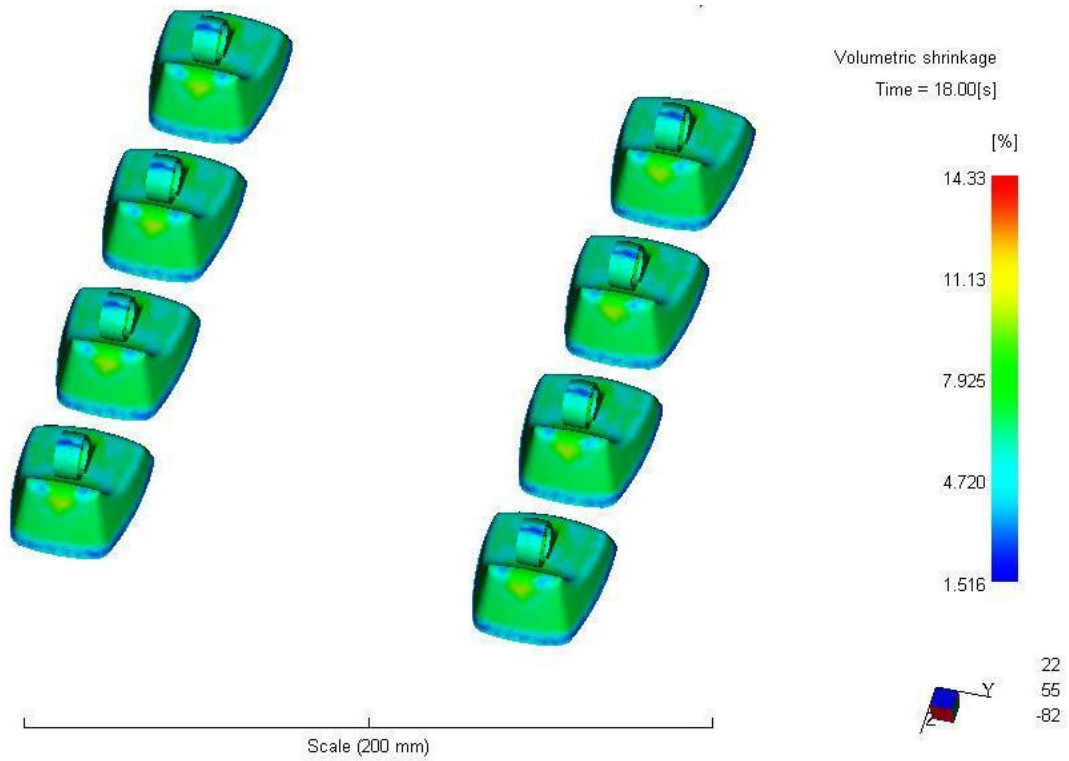
*Obr. 61 Analýza studených spojů – původní forma*



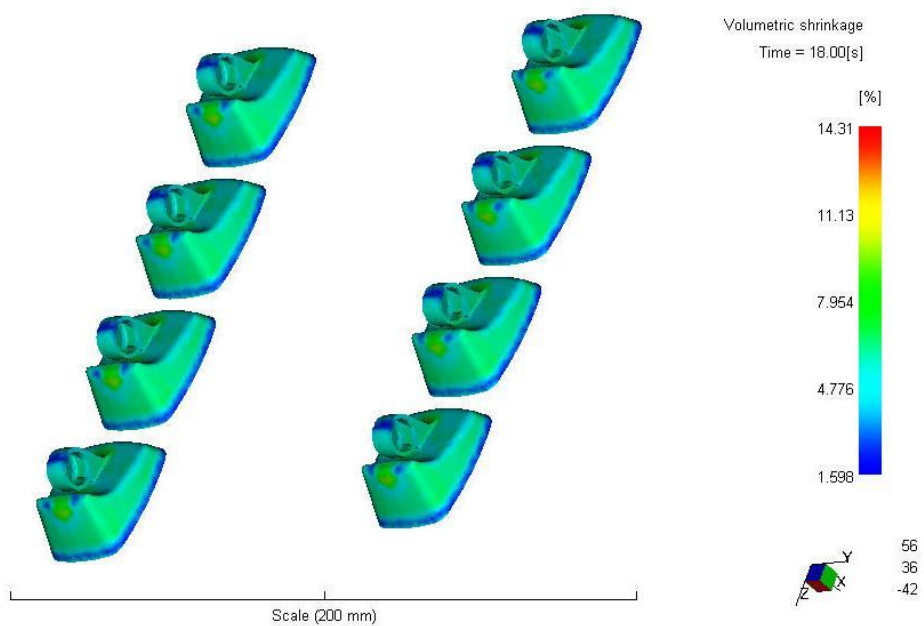
*Obr. 62 Analýza studených spojů – upravená forma*

### 8.4.7 Objemové smrštění – volumetric shrinkage

Výsledky dalšího typu analýz ukazují, jak moc se smršťuje objem výrobku během procesu chladnutí. Na prvním obrázku je výsledek opět pro původní stav formy.



Obr. 63 Analýza objemového smrštění – původní forma

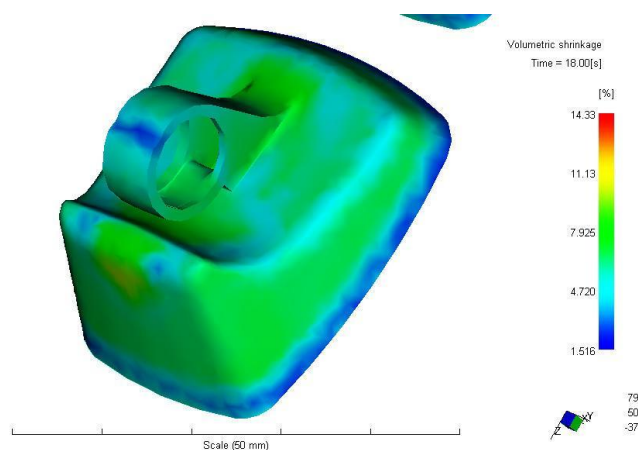


Obr. 64 Analýza objemového smrštění – upravená forma

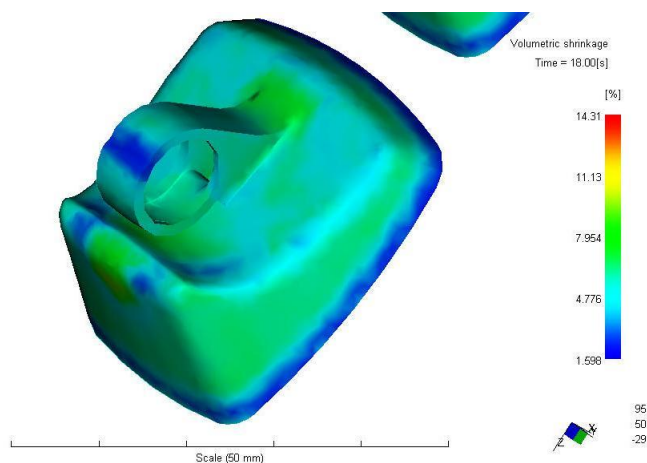


Nejvyšší hodnota, která činila téměř 10 %, se vyskytovala na spodní nepohledové části dílce, kde by ovšem mohla mít vliv na tvarovou přesnost. Nicméně z praktických zkušeností opět plyne, že toto smrštění problém nečinilo. Velkým problémem, zejména po stránce vizuální, ovšem je hodnota smrštění kolem 10 %, která se objevuje na čele výrobku v nejvyšší části před přechodem ke spojovací části pro montáž dalšího kusu. Jelikož se jedná o čelní pohledovou stranu, často docházelo ke kvalitativním problémům v této oblasti, zejména následnému vzniku propadlin. Z praxe s předchozí výrobou je ovšem dokázané, že ani různé procesních podmínek tento jev nedokázaly odstranit. Velký vliv na smrštění má také nejspíše přítomnost kovového zástříku ve středu výrobku.

Nicméně i zde se ukazuje na základě výsledků ze software Moldflow, že na objemové smrštění nemá navržená úprava žádný vliv. Oblast s nejvyššími defekty se nachází ve stejných místech a ve stejném rozsahu. Níže jsou znázorněny detailní obrázky s výsledky analýzy objemového smrštění.



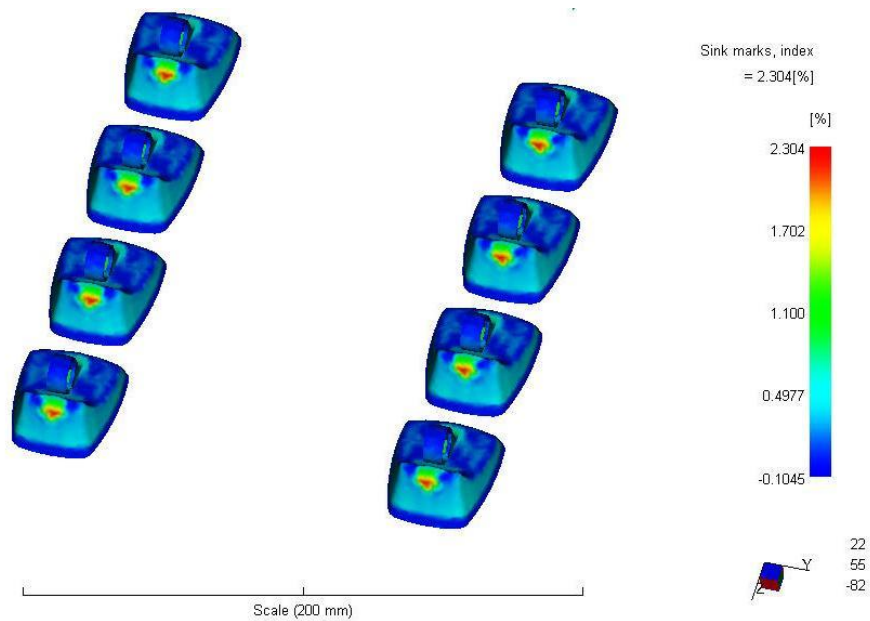
Obr. 65 Detail výsledků objemového smrštění – původní forma



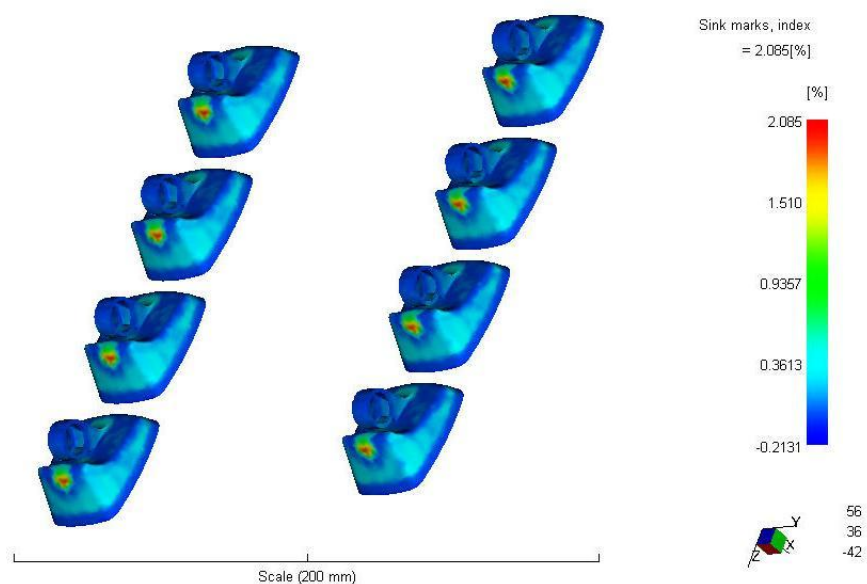
Obr. 66 Detail výsledků objemového smrštění – upravená forma

#### 8.4.8 Propadliny – sink marks

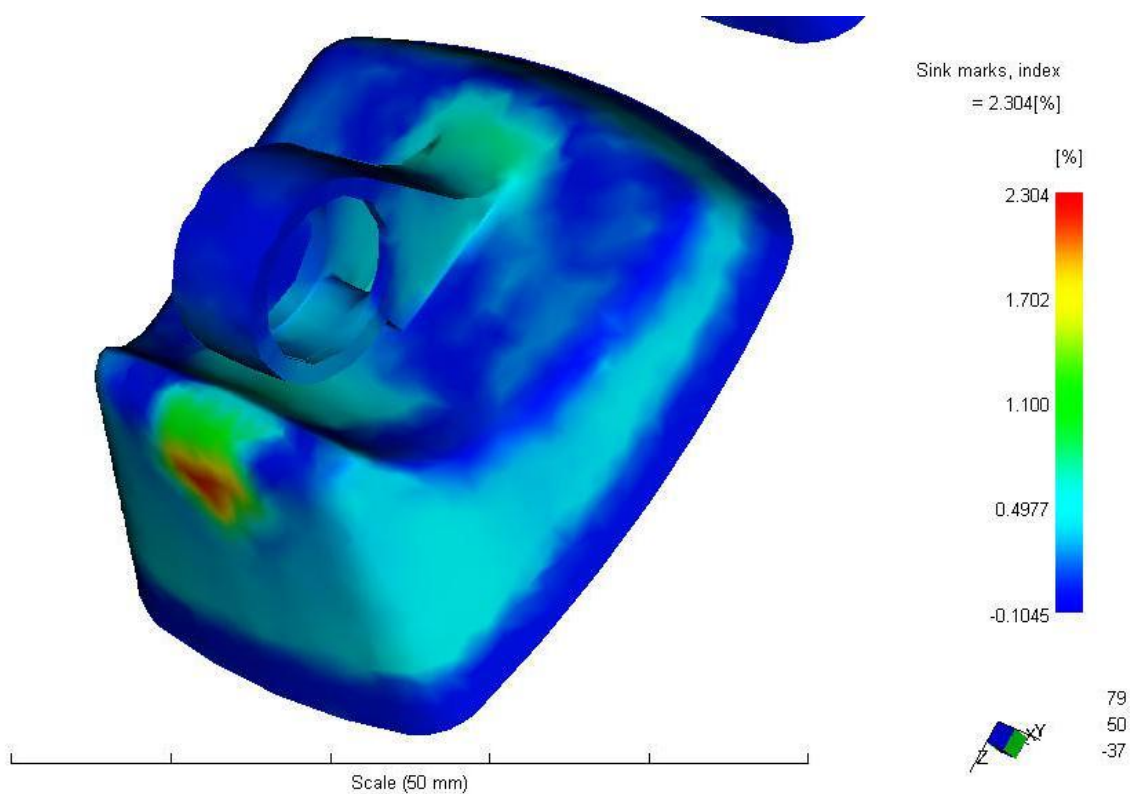
Výsledky analýzy propadlin plně korespondují s výsledky předchozí analýzy objemového smrštění. V oblastech největšího objemového smrštění dochází také ke vzniku největších propadlin. Bylo potvrzeno shodné nejproblémovější místo výrobku. S ohledem na konstrukci formy není možné přidat další chladičí okruh v blízkosti kritických míst, protože by docházelo k ochlazování poblíž dolní hrany výrobku, kde toto již více není žádoucí. Jedině možností korekce propadlin je další optimalizace procesních podmínek.



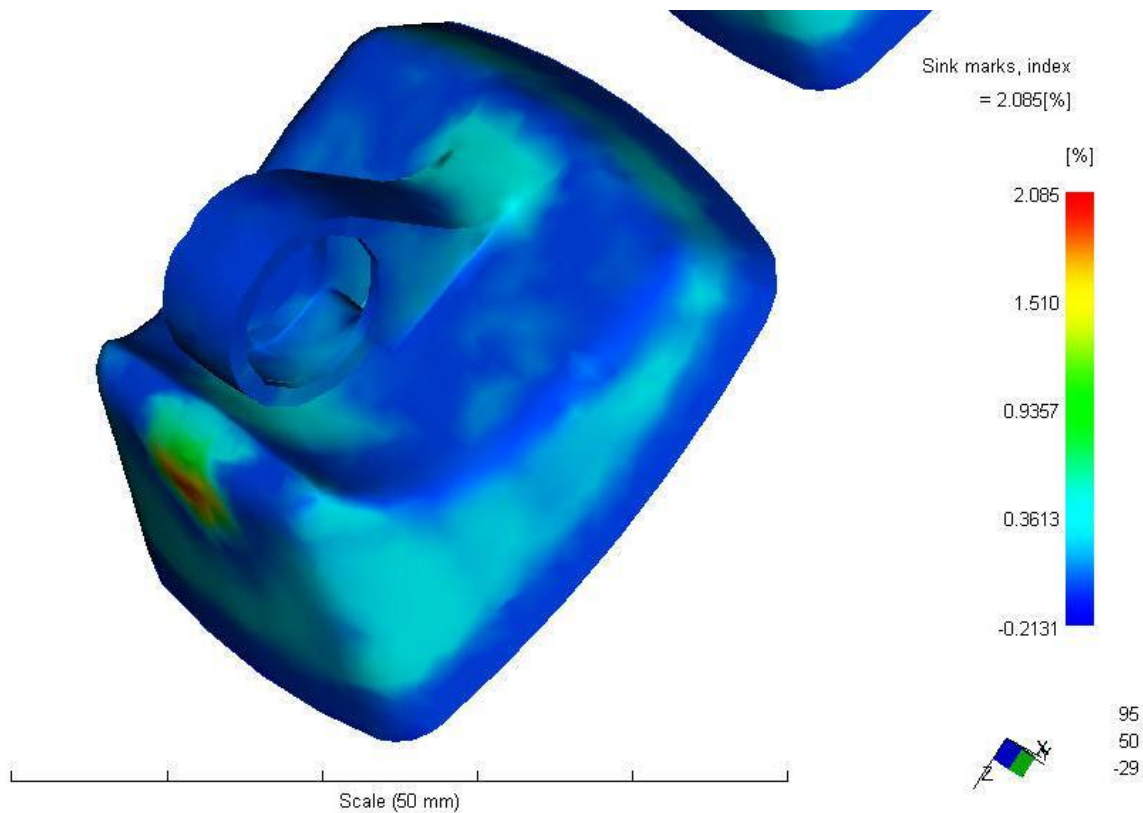
Obr. 67 Analýza propadlin - původní forma



Obr. 68 Analýza propadlin - upravená forma



Obr. 69 Detailní znázornění propadlin - původní forma



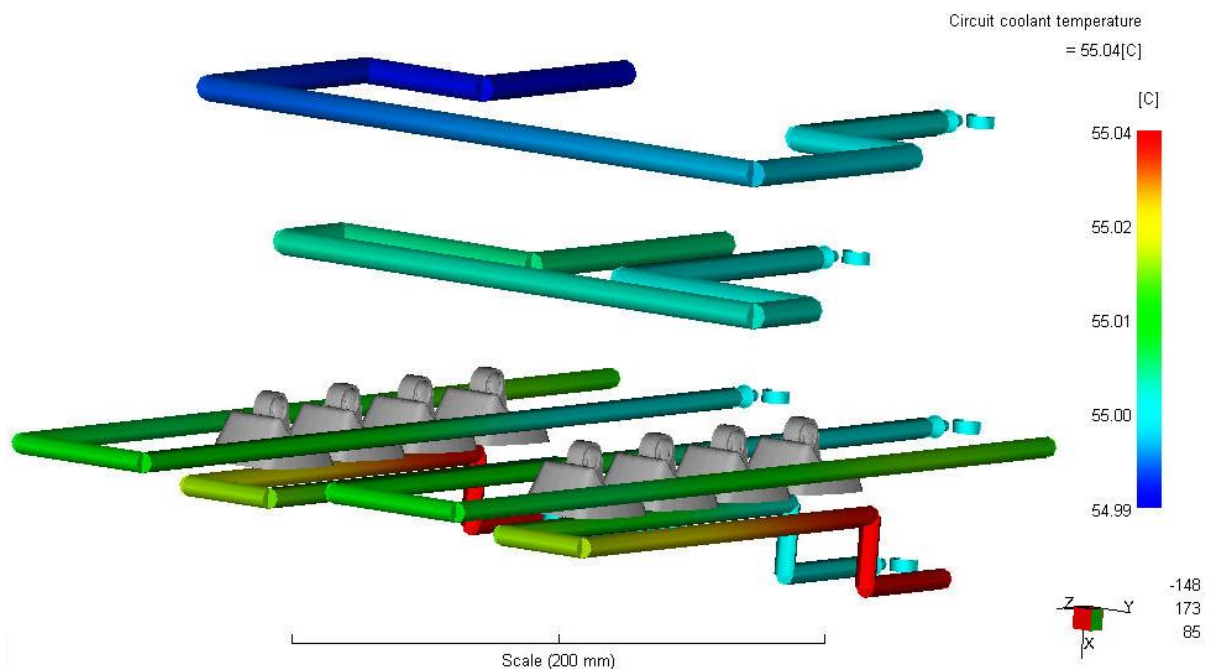
Obr. 70 Detailní znázornění propadlin - upravená forma

Na velikost propadlin má navržená úprava pozitivní vliv, jejich maximální velikost se úpravou sníží přibližně o 0,22 %. Z toho lze usuzovat na zvýšení efektivity plnění po zjednodušení studené části vtokové soustavy.

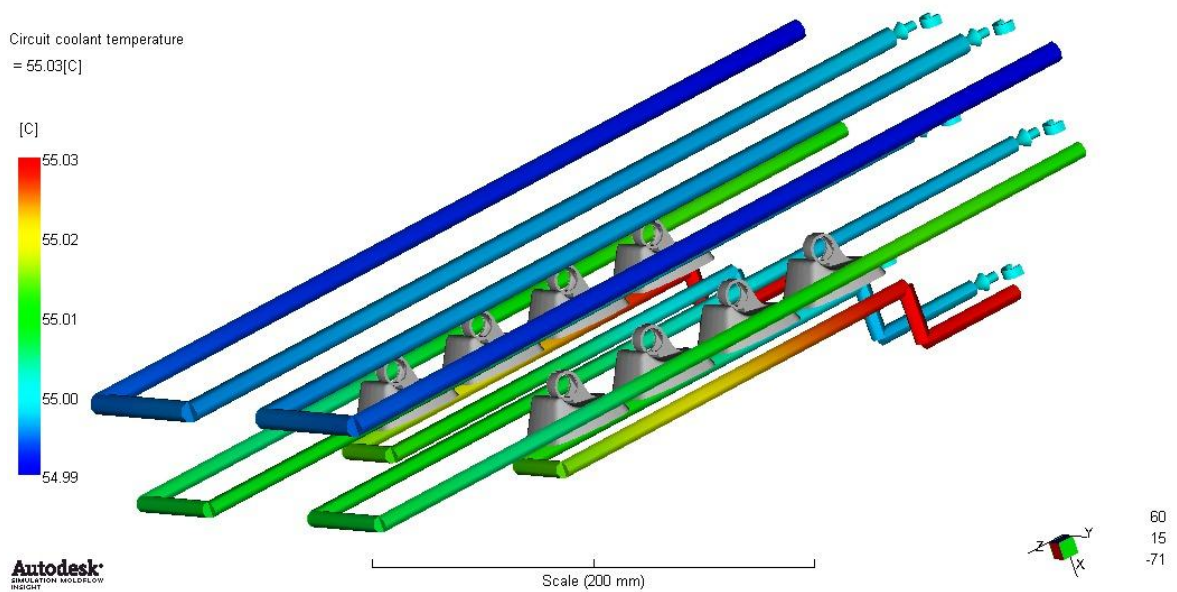
#### 8.4.9 Teplota temperačního okruhu – circuit coolant temperature

Průběh teploty v jednotlivých částech temperačního okruhu je důležitým ukazatelem efektivity a správné koncepce chlazení. Ve všech částech výstřiku by chlazení mělo probíhat rovnoměrně a nemělo by docházet k velkému rozdílu teplot chladicího média, maximální rozdíl by neměl být větší než  $3^{\circ}\text{C}$ . Toto je nutné zejména s ohledem na dodržení stejné kvality a rozměrů všech jednotlivých výrobků a také s ohledem na vizuální stránku hotového výrobku.

Z výsledku provedené analýzy je dobře patrné, že temperační okruh byl navržen správně. Jednotlivé větve mají stejný průběh teplot a rozdíl mezi nejteplejší a nejchladnější částí téměř neexistuje. To svědčí o velké efektivity temperačního okruhu, protože téměř nedochází k ohřevu chladicího média. Prakticky pro část s výrobky byl zachován současný temperační systém v nezměněné podobě, pro vtokový systém došlo k zjednodušení.



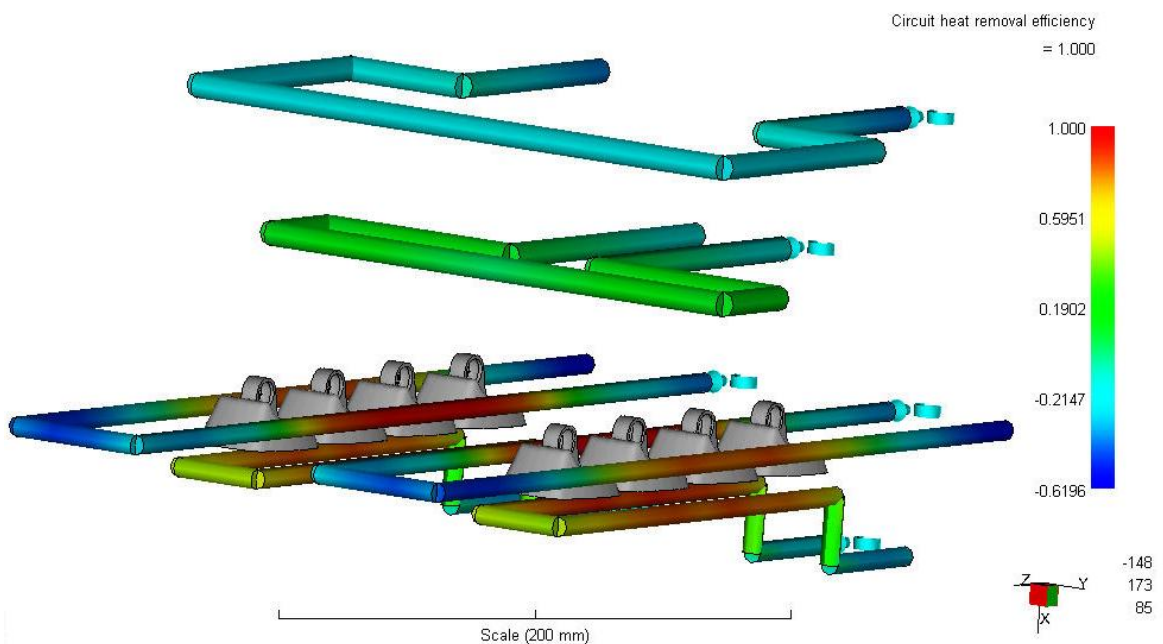
Obr. 71 Analýza teploty temperačního média - původní forma



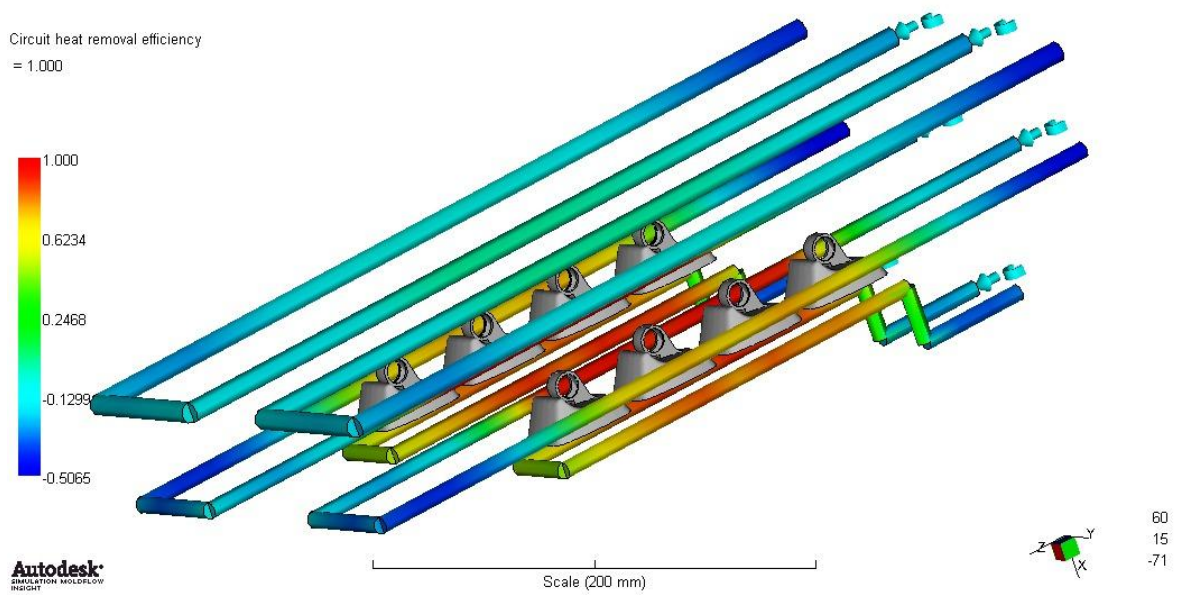
Obr. 72 Analýza teploty temperačního média - upravená forma

#### 8.4.10 Efektivita odebrání tepla – circuit heat removal efficiency

Výsledky následující analýzy nejsou nijak překvapující. Plyne z ní, že nejvyšší efektivita odebrání tepla je v těsné blízkosti výrobku. Z důvodu vodících elementů a posuvných čelistí ovšem musí být větve temperačního systému v horní pevné části umístěny ve větší vzdálenosti od výrobků. S ohledem na prakticky shodný temperační systém ani zde se výsledky pro upravenou formu příliš neliší od výsledků pro původní formu.



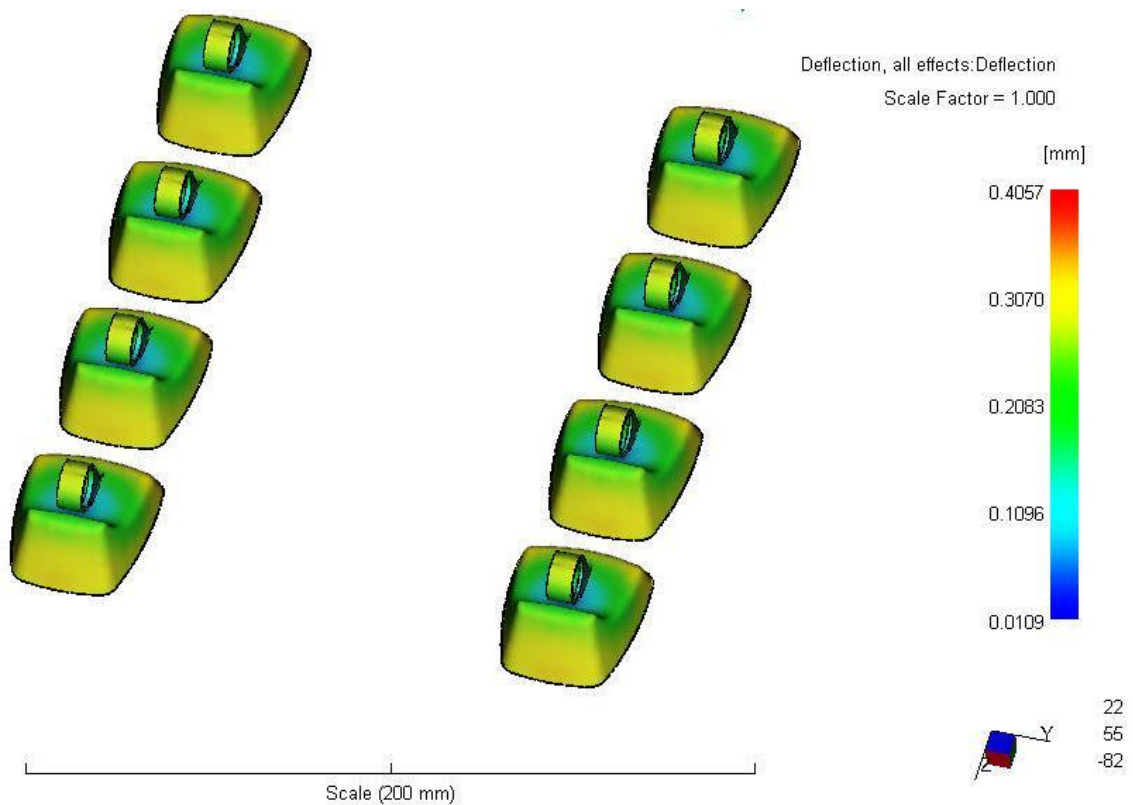
Obr. 73 Analýza efektivit odebrání tepla - původní forma



Obr. 74 Analýza efektivity odebírání tepla- upravená forma

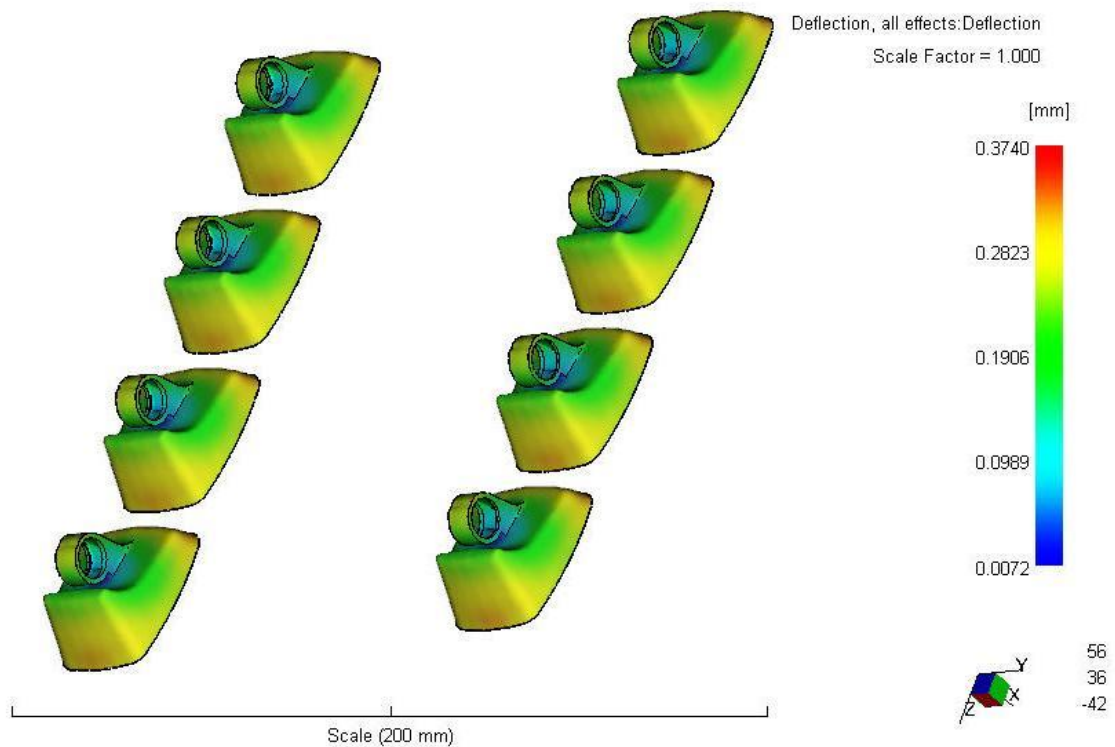
#### 8.4.11 Celková deformace výrobku – deformation, all effects

Celková deformace výrobku je velká, v některých místech až 0,4 mm. Na prvním obrázku je výsledek pro neupravenou, původní formu. Hodnota celkové deformace je maximální u zadní dolní hrany výrobku, kde dosáhla až na již uvedenou hodnotu 0,4 mm.



Obr. 75 Analýza celkové deformace výrobku - původní forma

Na dalším obrázku jsou výsledky pro upravenou formu. Není zde markantní rozdíl v rozložení deformace po ploše výrobku. Velkého zlepšení je ovšem dosaženo v hodnotě maximální velikosti deformace výrobku. Maximální hodnota je menší, pohybuje se okolo 0,37 mm, což lze považovat za podstatné zlepšení z hlediska rozměrové a tvarové přesnosti výrobku. To potvrzuje vhodnost provedení navržené úpravy současné vstříkovací formy.



Obr. 76 Analýza celkové deformace výrobku - upravená forma

V závěru této části je pro přehlednost a porovnání tabulka nejvýznamnějších rozdílů ve výsledcích provedených analýz.

Tab. 12 Srovnání výsledků analýz pro původní a upravený stav formy

ANALÝZA	PŮVODNÍ STAV	UPRAVENÝ STAV
Doby zaplnění dutiny formy	1,106 [s]	1,102 [s]
Tlak v bodě přepnutí	13,22 [MPa]	12,75 [MPa]
Smyková rychlost	17179 [1/s]	16271 [1/s]
Teplota na konci doby plnění	230,9 [°C]	233,3 [°C]
Vzduchové kapsy	shodný rozsah a poloha	shodný rozsah a poloha
Studené spoje	shodný rozsah a poloha	shodný rozsah a poloha
Objemové smrštění	14,33 [%]	14,31 [%]
Propadliny	2,304 [%]	2,085 [%]
Teplota temperačního okruhu	$\Delta$ 0,5 [°C]	$\Delta$ 0,4 [°C]
Efektivita odebírání tepla	správný výsledek	správný výsledek
Celková deformace	0,405 [mm]	0,374 [mm]



## 9 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Závěrečná diskuze výsledků s vyhodnocením navrhované úpravy současné vstřikovací formy je nedílnou a velmi podstatnou částí práce. Pokud má být provedena tak zásadní úprava vstřikovací formy, jakou výměna horké vtokové soustavy bezpodmínečně je, musí být velmi dobře zvážena všechna pro a proti. Pokud by návratnost takovéto úpravy byla v horizontu desítek let, nemá praktické opodstatnění, protože životnost produktu v současné podobě je maximálně příštích 4-5 let. Po nahrazení novým designem výrobku bude vyrobena také nová vstřikovací forma.

Z výsledků provedených analýz v software Moldflow vyplývá, že navrhovaná úprava současné formy nepřináší zásadní rozdíly ve většině technologických parametrů. Na dobu zaplnění tvarových dutin formy má úprava zanedbatelný vliv, dojde ke zkrácení tohoto času o pouhé 0,004 s. Taktéž na teplotu v dutinách formy po ukončení plnění má úprava zanedbatelný vliv.

Na vznik různých defektů má úprava vcelku pozitivní vliv. Pro původní i upravený stav se sice i nadále objevují studené spoje, deformace, propadliny a další defekty na přibližně stejných místech. Ovšem pro některé z těchto defektů došlo k jejich pozitivnímu ovlivnění navrženou úpravou vtokové soustavy.

Například na rozmístění a velikost studených spojů na výrobku nemá navržená úprava prakticky žádný vliv. Totéž platí také u vzduchových kapes a celkového objemového smrštění. Ovšem pozitivního zlepšení bylo dosaženo u velikosti propadlin. Při původním stavu formy se objevily propadliny o velikosti až 2,304 % objemu, po úpravě jejich velikost poklesla o přibližně 0,22 % na hodnotu 2,085 % objemu výrobku. Velmi pozitivní vliv má navrhovaná úprava také na celkovou velikost deformace výrobku. Zatímco v původním stavu se celková deformace výrobku dostala na maximální hodnotu 0,406 mm, po úpravě došlo ke snížení této hodnoty na 0,374 mm.

Z dalších technologických parametrů došlo ke snížení smykové rychlosti pro tekoucí taveninu materiálu, kdy po úpravě došlo ke snížení maximální hodnoty ze 17 179 1/s na hodnotu 16 271 1/s. To ukazuje na zlepšení tokových vlastností taveniny v dutině formy. Lokální maximum této smykové rychlosti se u původní i upravené formy nachází v místě vtokového ústí, což je způsobeno velkým zúžením dráhy taveniny v tomto místě.

Temperační systém zůstal pro tvarové části formy zachován ve stejné podobě. Tady taktéž logicky nedošlo k podstatným rozdílům v efektivitě odebírání tepla nebo průběhu teplot v temperačním okruhu.

Největším přínosem navrhované úpravy formy tedy je snížení objemu vtokových zbytků o cca 70%, což bylo také původním záměrem, vedoucím k návrhu úpravy formy. Ostatní parametry, které byly zlepšeny, totiž v praktické sériové výrobě nebudou příliš podstatné. Jelikož díl nepodléhá žádným rozměrovým kontrolám a veškeré prováděné kontroly jsou pouze vizuální, lze předpokládat, že nedojde k podstatnějšímu snížení zmetkovitosti. Kvůli nutnosti zakládání zástříků do formy také nelze uvažovat o zrychlení současné výroby, jejíž norma je nastavena na 87 cyklů za hodinu.

Při současném dvousměnném provozu a uvažovaných 250 pracovních dnech za rok, je objem výroby 10440 ks/den, neboli 2610000 ks/rok. Při plánovaném pokračování projektu po dobu dalších 5 let, celkový objem výroby bude 13050000 kusů anténních držáků.

- Objem 1 výrobku je  $5,65 \text{ cm}^3$ , to znamená, že objem všech 8 výrobků je  $45,2 \text{ cm}^3$ .
- Objem původních vtokových zbytků je  $6,14 \text{ cm}^3$ .
- Objem nových vtokových zbytků je  $1,96 \text{ cm}^3$ .

Z tohoto výsledku vyplývá, že po úpravě formy se uspoří asi 70% materiálu vtokových zbytků. Při předpokládaném objemu produkce je to asi  $6,82 \text{ m}^3$  materiálu za celou předpokládanou dobu pokračující produkce, což pro materiál Santoprene je cca 6,48 tuny materiálu. Uspořená částka se tak bude pohybovat, při dohodnuté ceně materiálu Santoprene okolo 75 Kč/kg, kolem 511500 Kč. Z tohoto výsledku vyplývá, že ekonomická návratnost navrhované úpravy je vcelku dobrá, zaplatí se asi po 2 letech výroby. Z konzultace s nástrojárnou, která provádí periodické renovace současné formy, totiž vyplynulo, že cena navrhované úpravy včetně nového vtokového systému se bude pohybovat kolem částky 200 000 Kč.

Toto je ovšem výsledek, pokud uvážíme pouze cenu uspořené materiálu. Dále budou uspořeny také náklady na skladování a likvidaci vtokových zbytků a zlepšeny kvalitativní parametry výrobku. Navržené řešení je tedy pro firmu jednoznačně přínosné.

## ZÁVĚR

V praktické části diplomové práce byla provedena konstrukční úprava stávající vstřikovací formy. Cílem této úpravy byla náhrada současné horké vtokové soustavy se 2 horkými tryskami za soustavu novou, se 4 horkými tryskami. Původní forma i forma s provedenou navrhovanou úpravou byla následně zanalyzována v simulačním software Moldflow. Důležitou součástí analýz bylo zobrazení veškerých defektů na výrobku, jako jsou studené spoje, propadliny, místa s velkým smrštěním.

Výsledky provedených analýz prokázaly, že úprava měla na defekty výrobku pozitivní vliv. Především došlo ke snížení velikosti propadlin a celkových deformací, došlo ke snížení celkových deformací a pozitivní vliv na výrobu má také snížení smykové rychlosti taveniny během jejího toku dutinou formy.

Za největší přínos navržené úpravy lze ovšem považovat velké zmenšení objemu vtokových zbytků. Navrhovanou úpravou se uspoří asi 70% těchto zbytků, což bylo také primárním záměrem pro provedení úpravy.

Přes všechna pozitiva, která by úprava přinesla, je její největší nevýhodou riziko ohrožení výroby, které s sebou přináší. Vzhledem k vysokým objemům výroby a neochotě vedení firmy k případné třetí výrobní směně, při problémech během úpravy by pravděpodobně došlo ke kapacitním problémům. Tyto problémy totiž již několikrát nastaly během periodických renovací formy. Proto také navrhovaná úprava nakonec nebude realizována.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] ŠUBA, Oldřich. *Dimenzování a navrhování výrobků z polymerů*. 2. vyd. Zlín : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2006. 104 s. ISBN 80-7318-431-1.
- [2] ŘEHULKA, Zdeňek. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů*. 1. vyd. Brno : SEKURKON, 2007. 226 s. ISBN 80-86604-18-7.
- [3] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů: I. Díl - Vstřikování termoplastů*. Brno : Uniplast Brno, 1999. 134 s.
- [4] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů: II. Díl - Vstřikování termoplastů*. Brno : Uniplast Brno, 1999. 214 s.
- [5] LEINVEBER, J.,ŘASA, J.,VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. 3. dopl. vyd. Praha: Scientia, 1999. 985 s. ISBN 80-7183-164-6.
- [6] MAŇAS, M., VLČEK, J. *Aplikovaná reologie*. Zlín: UTB, 2001. 144 s. ISBN 80-7318-039-1.
- [7] MAŇAS, M., HELŠTÝN, J. *Výrobní stroje a zařízení, Gumárenské a plastikářské stroje II*. Brno: VUT, 1990. 199 s. ISBN 80-214-0213-X.
- [8] KOČMAN, Karel, PROKOP, Jaroslav. *Technologie obrábění*. Brno : AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o. Brno, 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
- [9] MENGES, Georg., MICHAELLI, Walter., MOHREN, Paul. *How to Make Injection Molds*. 3rd ed. Munich: Hanser Publisher, 2001. 612 s. ISBN 3- 446-21256-6.
- [10] *Www.mmspektrum.com* [online]. 2010 [cit. 2014-01-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/plastove-dily-s-kovovymi-zalisky-a-dvojkomponentni-vstrikovani.html>>.
- [11] *Www.techno-mat.cz* [online]. 2010 [cit. 2014-01-25]. Dostupný z WWW: <[http://www.technomat.cz/data/katedry/ksp/KSP\\_NVP\\_PR\\_14\\_CZE\\_Lenfeld\\_Vady\\_plastovych\\_dilu.pdf](http://www.technomat.cz/data/katedry/ksp/KSP_NVP_PR_14_CZE_Lenfeld_Vady_plastovych_dilu.pdf)>.
- [12] *Www.wplompen.nl* [online]. 2008 [cit. 2014-01-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.wplompen.nl/matrijzen/ALLROUNDER%20900%20T.pdf>>.

[13] *Www.ksp.tul.cz* [online]. 2014 [cit. 2014-01-25]. Dostupný z WWW:

<<http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/informace.htm>>.

[14] *Www.mmspektrum.cz* [online]. 2010 [cit. 2014-01-25]. Dostupný z WWW:

<<http://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-1-dil-priciny-vzniku-vad-a-studene-spoje.html>>.

[15] *Www.cecho.cz* [online]. 2014 [cit. 2014-01-25]. Dostupný z WWW:

<<http://www.cecho.cz/cs/fcpk-bytow-kompletni-ramy-forem>>.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

TPV	Termoplastický vulkanizát (směs PP+EPDM)
PP	Polypropylen
EPDM	Etylén propylen dien monomer
V/P	Bod přepnutí rychlost/tlak (velocity/pressure)
VVS	Vyhřívaná vtoková soustava
PP	Polypropylen
SAN	Styrene-acrylonitrile resin
PC	Polykarbonát
PSU	Polysulfon
PPS	Polyfenylsulfidová vlákna
PA 6.6	Polyamid 6.6

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1</i> Vznik studeného spoje [11].....	14
<i>Obr. 2</i> Ochlazování čela taveniny v detailu [11].....	14
<i>Obr. 3</i> Příklad dezénování [11] .....	16
<i>Obr. 4</i> Způsoby zaformování dílů - jedna dělicí rovina [2].....	17
<i>Obr. 5</i> Řešení tvaru dílů s ohledem na vznik lunek [2] .....	19
<i>Obr. 6</i> Nesprávné (a) správné (b) tvary výrobku s ohledem na vznik vtaženiny [3].....	20
<i>Obr. 7</i> Vznik trhlin v místě kovového zástříku [10].....	21
<i>Obr. 8</i> Výsledky analýzy pro díl bez zástříku (nahore) a se zástříkem (dole) [10].....	22
<i>Obr. 9</i> Vliv technologických podmínek na smrštění [13].....	26
<i>Obr. 10</i> Rám vstřikovací formy s využitím normálií [15] .....	28
<i>Obr. 11</i> Studený vtokový systém formy [3] .....	29
<i>Obr. 12</i> Odstupňování průřezů kanálů pro správné plnění dutin formy [3].....	30
<i>Obr. 13</i> Používané typy vtokových ústí [13] .....	31
<i>Obr. 14</i> Otevřená forma s pohledem na vtokový systém a tvarové dutiny [13].....	31
<i>Obr. 15</i> Vyhřívání vtoková tryska [13] .....	32
<i>Obr. 16</i> Vyhřívání vtoková tryska ovládaná pákou [13].....	33
<i>Obr. 17</i> Rozvodný blok firmy Hasco [13] .....	34
<i>Obr. 18</i> Vyhazování pomocí stírací desky – 2 fáze [3] .....	35
<i>Obr. 19</i> Víceokruhový temperační systém pro výrobu plastového blatníku [13].....	37
<i>Obr. 20</i> Další příklady používaných temperačních systémů [13].....	37
<i>Obr. 21</i> Držák antény osobního automobilu – vstřikovaný výrobek.....	43
<i>Obr. 22</i> Celkový pohled na současnou vstřikovací formu .....	44
<i>Obr. 23</i> Pohled na současnou pevnou stranu formy ze strany dělicí roviny .....	45
<i>Obr. 24</i> Současná pevná strana formy – pohled ze strany trysky stroje.....	46
<i>Obr. 25</i> Současná vyhřívání vtoková soustava Synventive .....	47
<i>Obr. 26</i> Pohled shora na tvarové posuvné čelisti se soustavou horkých vtoků .....	48
<i>Obr. 27</i> Pohled zespoda na tvarové posuvné čelisti .....	48
<i>Obr. 28</i> Pohled shora na pohyblivou stranu formy .....	49
<i>Obr. 29</i> Pohled zespoda na pohyblivou stranu formy .....	50
<i>Obr. 30</i> Vyhazovací systém současné formy .....	50
<i>Obr. 31</i> Pohled na současnou horkou vtokovou soustavu .....	51
<i>Obr. 32</i> Trajektorie současného horkého vtokového systému .....	52

<i>Obr. 33 Trajektorie současného studeného vtokového systému .....</i>	53
<i>Obr. 34 Trajektorie současného temperačního systému .....</i>	54
<i>Obr. 35 Celkový pohled na upravenou vstřikovací formu .....</i>	58
<i>Obr. 36 Pohled na novou vyhřívanou vtokovou soustavu a tvarové posuvné čelisti .....</i>	59
<i>Obr. 37 Nový rozvodný blok se 4 tryskami .....</i>	59
<i>Obr. 38 Trajektorie nové horké vtokové soustavy .....</i>	60
<i>Obr. 39 Trajektorie nové studené části vtokové soustavy .....</i>	61
<i>Obr. 40 Trajektorie nového temperačního systému .....</i>	63
<i>Obr. 41 Analýza doby zaplnění dutiny formy – původní forma .....</i>	66
<i>Obr. 42 Analýza doby zaplnění dutiny formy – upravená forma .....</i>	67
<i>Obr. 43 Detail analýzy doby zaplnění dutiny formy – původní forma .....</i>	68
<i>Obr. 44 Detail analýzy doby zaplnění dutiny formy – upravená forma .....</i>	68
<i>Obr. 45 Analýza tlaku v bodě přepnutí – původní forma .....</i>	69
<i>Obr. 46 Analýza tlaku v bodě přepnutí – upravená forma .....</i>	70
<i>Obr. 47 Detail analýzy tlaku v bodě přepnutí – původní forma .....</i>	70
<i>Obr. 48 Detail analýzy tlaku v bodě přepnutí – upravená forma .....</i>	71
<i>Obr. 49 Analýza smykové rychlosti – původní forma .....</i>	72
<i>Obr. 50 Analýza smykové rychlosti – upravená forma .....</i>	72
<i>Obr. 51 Detail maxima smykové rychlosti – původní forma .....</i>	73
<i>Obr. 52 Detail maxima smykové rychlosti – upravená forma .....</i>	73
<i>Obr. 53 Analýza teploty na konci doby plnění – původní forma .....</i>	74
<i>Obr. 54 Analýza teploty na konci doby plnění – upravená forma .....</i>	74
<i>Obr. 55 Detail teploty výrobku na konci doby plnění – původní forma .....</i>	75
<i>Obr. 56 Detail teploty výrobku na konci doby plnění – upravená forma .....</i>	75
<i>Obr. 57 Analýza vzduchových kapes – původní forma .....</i>	76
<i>Obr. 58 Analýza vzduchových kapes – upravená forma .....</i>	77
<i>Obr. 59 Detail vzduchových kapes – původní forma .....</i>	77
<i>Obr. 60 Detail vzduchových kapes – upravená forma .....</i>	78
<i>Obr. 61 Analýza studených spojů – původní forma .....</i>	79
<i>Obr. 62 Analýza studených spojů – upravená forma .....</i>	79
<i>Obr. 63 Analýza objemového smrštění – původní forma .....</i>	80
<i>Obr. 64 Analýza objemového smrštění – upravená forma .....</i>	80
<i>Obr. 65 Detail výsledků objemového smrštění – původní forma .....</i>	81



---

<i>Obr. 66 Detail výsledků objemového smrštění – upravená forma.....</i>	<i>81</i>
<i>Obr. 67 Analýza propadlin - původní forma.....</i>	<i>82</i>
<i>Obr. 68 Analýza propadlin - upravená forma .....</i>	<i>82</i>
<i>Obr. 69 Detailní znázornění propadlin - původní forma.....</i>	<i>83</i>
<i>Obr. 70 Detailní znázornění propadlin - upravená forma.....</i>	<i>83</i>
<i>Obr. 71 Analýza teploty temperačního média - původní forma.....</i>	<i>84</i>
<i>Obr. 72 Analýza teploty temperačního média - upravená forma .....</i>	<i>85</i>
<i>Obr. 73 Analýza efektivity odebírání tepla - původní forma .....</i>	<i>85</i>
<i>Obr. 74 Analýza efektivity odebírání tepla- upravená forma .....</i>	<i>86</i>
<i>Obr. 75 Analýza celkové deformace výrobku - původní forma.....</i>	<i>86</i>
<i>Obr. 76 Analýza celkové deformace výrobku - upravená forma .....</i>	<i>87</i>

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1 Pevnost studených spojů v závislosti na materiálu [1]</i> .....	15
<i>Tab. 2 Základní údaje o zvoleném výrobku</i> .....	43
<i>Tab. 3 Rozměry a geometrie původního horkého vtokového systému</i> .....	52
<i>Tab. 4 Rozměry a geometrie původní studené části vtokové soustavy</i> .....	53
<i>Tab. 4 Rozměry a geometrie původního temperačního systému</i> .....	54
<i>Tab. 6 Rozměry a geometrie nového horkého vtokového systému</i> .....	60
<i>Tab. 7 Rozměry a geometrie nové studené části vtokové soustavy</i> .....	61
<i>Tab. 8 Rozměry a geometrie nového temperačního systému</i> .....	62
<i>Tab. 9 Vlastnosti materiálu použitého pro analýzu v Moldflow</i> .....	64
<i>Tab. 10 Shrnutí vlastností vstřikovacího stroje [12]</i> .....	65
<i>Tab. 11 Procesní podmínky vstřikování</i> .....	65
<i>Tab. 12 Srovnání výsledků analýz pro původní a upravený stav formy</i> .....	88

**SEZNAM PŘÍLOH**

- PI Výkres řez vstříkovací formou
- PII Výkres pohled na pevnou stranu
- PIII Výkres pohled na pohyblivou stranu
- PIV Výkres celkový pohled na formu
- PV Výkres posuvné čelisti
- PVI Výkres odjížděcí tvarové vložky
- PVII Materiálový list Santoprene 123-50
- PVIII Technický list vstříkovacího stroje Arburg