

# **Optimalizace tlustostěnného optického (pohledového) dílu pro automobilový průmysl**

Bc. Filip Motáň

---

Diplomová práce  
2016



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2015/2016

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Filip Motáň**

Osobní číslo: **T14546**

Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Výrobní inženýrství**

Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Optimalizace tlustostěnného optického (pohledového) dílu pro automobilový průmysl**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na dané téma.
2. Proveďte konstrukci vtokových a temperačních systémů pro konkrétní díly.
3. Zhotovte analýzy optimalizace jednotlivých řešení.
4. Porovnejte výsledky analýz.



Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

**Dle doporučení vedoucího DP.**

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Martin Ovsík, Ph.D.**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

**8. ledna 2016**

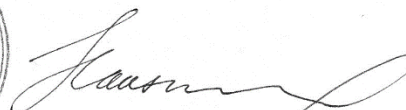
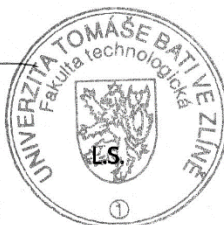
Termín odevzdání diplomové práce:

**13. května 2016**

Ve Zlíně dne 27. ledna 2016



doc. Ing. František Buňka, 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 3.5.2016

  
.....

<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 nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

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

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

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či 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). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

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

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z 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**

Diplomová práce, se zabývá optimalizací tlustostěnného optického (pohledového) dílu pro automobilový průmysl s využitím programu Moldflow.

Teoretická část, se zabývá materiály, které se při výrobě těchto dílů používají, zásadami pro konstruování výrobků a konstrukci forem, vtokovým systémem, temperačním systémem a tokovými analýzami.

Praktická část, se zabývá samotnými návrhy temperačního systému, kde byl zhotoven konvenční i nekonvenční (konformní) návrh. Dále, se zabývá návrhy vtokového systému, byly zhotoveny varianty studeného a kombinovaného vtoku. Následně byly zhotoveny výpočty analýz. Byl vyhodnocován čas plnění, smyková rychlost, celkový čas cyklu, poloha studených spojů, vzduchové kapsy a deformace. V závěru práce je zhodnocení návrhů a volba optimální varianty.

Klíčová slova: optimalizace, moldflow, temperace, vtok, analýza

## **ABSTRACT**

My master thesis deals with the optimization of thick-walled optical (visible) part for automotive industry using simulation program Moldflow.

The theoretical part deals with materials, which use for this products, principles for designing products and mold design, gating system, temperature control system and flow analyzes.

The practical part deals with design of the temperature control system, which was made of conventional and unconventional (conformal) design. It also deals with designs gating system were made cold and combination inlet. Then were made analyzes. Was evaluated fill time, shear stress, cycle time, weld lines, air traps and deformations. In conclusion was evaluatuation of the design and choice of optimal design.

Keywords: optimization, moldflow, tempering, inlet, analysis

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu Diplomové práce Ing. Martinovi Ovsíkovy, Ph.D za poskytnuté rady, připomínky a čas, které mi pomohly při řešení problematiky. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Vojtěchu Šenkeříku za poskytnutí svých zkušeností z programu Moldflow a Ing. Františku Palackému z firmy Varroc Lighting Systems, s.r.o. za poskytnuté data k diplomové práci.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem Diplomovou práci vypracoval samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citoval. Diplomová práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty technologické UTB ve Zlíně a může být využita ke komerčním účelům se souhlasem vedoucího bakalářské práce a děkana FT UTB. Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

.....

podpis studenta

# OBSAH

<b>ÚVOD.....</b>	<b>6</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST.....</b>	<b>7</b>
<b>1 POLYMERNÍ MATERIÁLY .....</b>	<b>8</b>
1.1 ZÁKLADNÍ DĚLENÍ POLYMERŮ.....	8
1.2 KONSTRUKČNÍ POLYMERY .....	10
1.2.1 Polymethylmethakrylát (PMMA) .....	10
1.2.2 Polykarbonát (PC).....	11
1.3 ZÁSADY PŘI VOLBĚ VHODNÉHO MATERIÁLU .....	11
<b>2 KONSTRUKCE VÝROBKU .....</b>	<b>13</b>
2.1 PROCES KONSTRUKCE NOVÉHO VÝROBKU.....	13
2.2 TVAROVÉ ŘEŠENÍ SOUČÁSTKY.....	13
2.3 ČINITELE OVLIVŇUJÍCÍ JAKOST VÝROBKU .....	14
2.4 ZÁSADY PŘI KONSTRUKCI VÝROBKU .....	14
2.4.1 Dělicí rovina.....	14
2.4.2 Tloušťka stěn.....	14
2.4.3 Zaoblení hran .....	15
2.4.4 Úkosy a podkosy .....	16
2.4.5 Žebra, výztuhy a rýhování.....	17
2.4.6 Velké rovinné plochy .....	18
2.4.7 Zálisky, zástříky .....	18
2.4.8 Okraje a obruby .....	19
2.4.9 Otvory a drážky .....	19
2.4.10 Závity .....	20
2.4.11 Nápis a značky .....	20
<b>3 KONSTRUKCE FOREM.....</b>	<b>21</b>
3.1 ZÁSADY PŘI KONSTRUKCI FOREM.....	21
3.2 POSTUP PŘI KONSTRUKCI FORMY.....	24
3.2.1 Smrštění.....	26
3.3 MATERIÁLY POUŽITÉ PRO VÝROBU FOREM.....	28
3.3.1 Požadované vlastnosti ocelí .....	28
3.3.2 Používané druhy oceli .....	29
<b>4 VTOKOVÝ SYSTÉM.....</b>	<b>30</b>
4.1 STUDENÝ VTOKOVÝ SYSTÉM (SVS) .....	30
4.1.1 Bodový vtok .....	30
4.1.2 Filmový vtok .....	31
4.1.3 Tunelový vtok .....	31
4.1.4 Boční vtok .....	32
4.1.5 Plnění dutiny více vtoky.....	33
4.2 VYHŘÍVANÝ VTOKOVÝ SYSTÉM (VVS).....	33
4.2.1 Vyhřívané trysky .....	34
4.2.2 Vytápěné rozvodné bloky .....	35
<b>5 TEMPERČNÍ SYSTÉM.....</b>	<b>36</b>
5.1.1 Temperační prostředky.....	36



5.1.2	Zásady volby temperačních kanálů .....	37
5.2	KONFORMNÍ CHLAZENÍ .....	38
<b>6</b>	<b>TOKOVÁ ANALÝZA .....</b>	<b>40</b>
6.1	VYUŽITÍ SIMULAČNÍCH NÁSTROJŮ .....	40
6.2	AUTODESK SIMULATION MOLDFLOW SYNERGY 2016 (AMS) .....	40
6.3	SIMULACE PLNĚNÍ (FILL).....	41
6.4	SIMULACE DOTLAKU (PACK).....	42
6.5	SIMULACE CHLAZENÍ (COOL) .....	42
6.6	SIMULACE DEFORMACE A SMRŠTĚNÍ (WARP) .....	43
6.6.1	Deformace .....	43
6.6.2	Smrštění.....	44
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>45</b>
<b>7</b>	<b>CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE .....</b>	<b>46</b>
7.1	ZADANÝ MODEL .....	47
7.2	ZADANÁ TEMPERACE .....	47
<b>8</b>	<b>NÁVRHY .....</b>	<b>48</b>
8.1	TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	48
8.1.1	Konvenční temperace.....	48
8.1.2	Nekonvenční (konformní) temperace .....	49
8.2	VTOKOVÝ SYSTÉM .....	51
8.2.1	Studený vtokový systém - 2 bodový vtok .....	51
8.2.2	Studený vtokový systém - 3 bodový vtok .....	52
8.2.3	Kombinovaný vtokový systém 2 bodový vtok.....	53
8.2.4	Kombinovaný vtokový systém 3 bodový vtok.....	53
8.3	ANALÝZY .....	54
8.4	VARIANTA 1 A .....	56
8.4.1	Analýza varianty 1 A .....	56
8.4.2	Plnění.....	56
8.4.3	Smyková rychlost.....	57
8.4.4	Studené spoje .....	57
8.4.5	Vzduchové kapsy .....	58
8.4.6	Doba pro dosažení vyhazovací teploty .....	58
8.4.7	Reynoldsovo číslo .....	60
8.4.8	Celková deformace výrobku .....	61
8.5	VARIANTA 1 B .....	62
8.5.1	Analýza varianty 1 B.....	62
8.5.2	Plnění.....	62
8.5.3	Smyková rychlost.....	63
8.5.4	Studené spoje .....	63
8.5.5	Vzduchové kapsy .....	64
8.5.6	Doba pro dosažení vyhazovací teploty .....	64
8.5.7	Reynoldsovo číslo .....	65
8.5.8	Celková deformace výrobku .....	65
8.6	VARIANTA 2 A .....	66
8.6.1	Analýza varianty 2 A .....	66

8.6.2	Plnění.....	66
8.6.3	Smyková rychlost.....	67
8.6.4	Studené spoje .....	67
8.6.5	Vzduchové kapsy .....	68
8.6.6	Doba pro dosažení vyhazovací teploty .....	68
8.6.7	Reynoldsovo číslo .....	69
8.6.8	Celková deformace.....	70
8.7	VARIANTA 2 B .....	71
8.7.1	Analýza varianty 2 B.....	72
8.7.2	Plnění.....	72
8.7.3	Smyková rychlost.....	73
8.7.4	Studené spoje .....	73
8.7.5	Vzduchové kapsy .....	74
8.7.6	Doba pro dosažení vyhazovací teploty .....	74
8.7.7	Reynoldsovo číslo .....	74
8.7.8	Celková deformace.....	75
<b>9</b>	<b>VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ .....</b>	<b>76</b>
9.1	VYHODNOCENÍ TEMPERAČNÍHO SYSTÉMU.....	76
9.2	VYHODNOCENÍ VTOKOVÉHO SYSTÉMU.....	78
9.3	CELKOVÉ ZHODNOCENÍ .....	79
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>82</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>83</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>86</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>87</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>90</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>91</b>

## ÚVOD

Mezi prvními, kdo se zabýval technologií vstřikování, byl pan John Wesley Hyatt (1870), který vyrobil plnicí stroj složený z komory vyhřívané párou a hydraulicky ovládanými písty. Vstřikování plastů se začalo rozvíjet po 1. světové válce. V roce 1921 pánové A. Eichengrün a H. Bucholtz vynalezli v Německu jako vůbec první na světě komerční pístový ruční vertikální vstřikovací stroj. S vývojem nových materiálů a jejich aplikace vedly k vynalezení pístových a šnekových vstřikovacích strojů. Pro polymery, které nesnáší míchání při zpracování, se používají pístové vstřikovací stroje. Šnekové vstřikovací stroje jsou využívány pro 95 % všech aplikací.

Vstřikování do forem, se stalo v posledních letech velmi populární a používanou technologií na zpracování plastů. Dovoluje přesnou a rychlou výrobu tvarově složitých dílů. Konstruktivní řešení dílů je omezeno pouze způsobem odformování a velikostí, ale jinak je možné vyrábět celou škálu různých dílců. Velmi mnoho dílců, které se dříve vyráběly z jiných materiálů, jsou nahrazovány plastovými díly. Na něž jsou kladeny velké požadavky, na co nejmenší náklady a rychlé uvedení na trh. Z těchto důvodů se začaly používat simulační programy, které zjišťují chování polymeru ve formě. Díky těmto programům, lze ve vývoji fixovat až 70 % celkových výrobních nákladů.

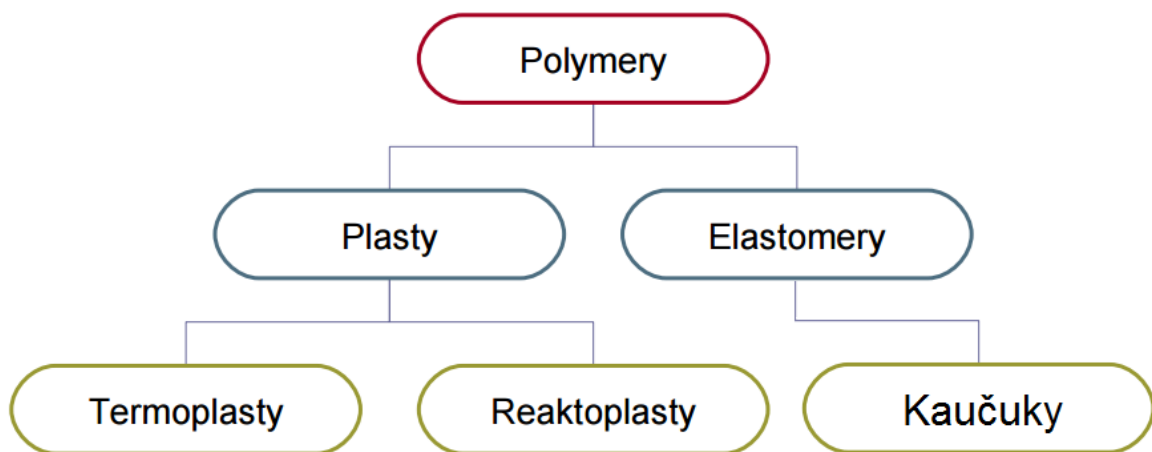
## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 POLYMERNÍ MATERIÁLY

Polymery jsou syntetické nebo přírodní látky, jejichž velké molekuly (makromolekuly) se v řetězu mnohonásobně opakují tzv. základní monomerní jednotka. Představují chemickou stavebnici, která dovoluje výjimečnou proměnlivost struktury i vlastnosti výchozích látek. Teplem i tlakem je možné změnit jejich tvar i formu, a tím je tvářet, či tvarovat. [1]

## 1.1 Základní dělení polymerů

Polymery jsou chemické látky, které díky svým obrovským molekulám, vykazují výjimečně širokou škálu vlastností. Polymery dělíme na plasty a elastomery.



Obr. 1 Klasické rozdělení polymerů [2]

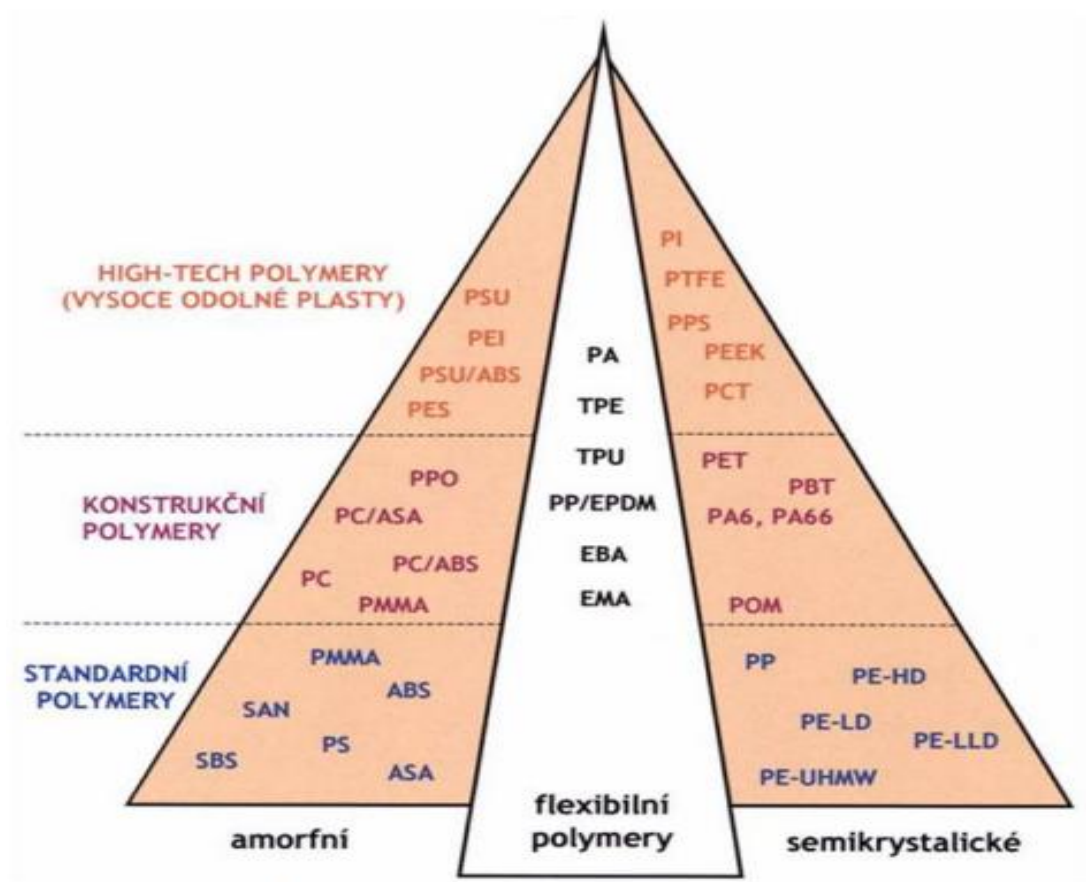
**Termoplasty**, jsou to polymerní materiály, které při ohřevu přecházejí do plastického stavu. Jedná se o stav vysoce viskózních newtonských kapalin, které je možno snadno zpracovávat různými technologiemi. Zchlazením pod teplotu tání  $T_m$  přecházejí do tuhého stavu resp. teplotu viskózního toku zvanou  $T_f$ . Jedná se o fyzikální proces. Ohřevem nedojde ke změně chemické struktury, což umožňuje proces měknutí opakovat.

- **Semikrystalické polymery** – vyjadřují určitý stupeň uspořádanosti. Ten označujeme jako stupeň krystalinity a vyjadřuje relativní podíl uspořádaných oblastí, uložených mezi amorfními oblastmi. Nikdy nemůžeme dosáhnout 100 %, proto se krystalické polymery označují jako semikrystalické např. PA, PP, PE, PTFE, atd. index lomu je vyšší a jsou mléčně zakalené. Jsou charakterizovány houževnatostí, modulem pružnosti a pevností, která se zvyšuje se stupněm krystalinity. Použitelnost do teploty tání  $T_m$ .

- **Amorfní polymery** - jejichž makromolekuly mají zcela nahodilou pozici. Patří mezi ně např. PC, PS, PMMA, apod. Jsou charakteristické křehkostí, modulem pružnosti, vysokou pevností, tvrdostí a jsou díky nízkému indexu lomu (1,4 – 1,6) průhledné. Použitelnost je do teploty zesklnění  $T_g$ .

**Reaktoplasty**, neboli termosety, jedná se o materiály, které se v první fázi zahřívají, měknou a je možné je po omezenou dobu tvářet. Při dalším zahřívání dojde k chemické reakci k prostorovému zesíťování struktury tzv. vytvrzování. Díl můžeme považovat za jednu makromolekulu. K ochlazení reaktoplastů, dochází mimo formu. Zajistit rychlý ohřev formy pro vytvrzení a následné ochlazení materiálu by bylo velmi obtížné. Jedná se o nevratný děj, vytvrzené polymery nelze opětovně roztavit ani rozpustit. Při dalším ohřevu dojde k rozložení hmoty.

**Kaučuky** jsou polymerní materiály, které v první fázi ohřevu měknou a je možné je tvářet, avšak jen po omezenou dobu. Při dalším ohřevu dojde, k prostorovému zesíťování struktury proběhne tzv. vulkanizace. [3]



Obr. 2 Rozdělení polymerů dle aplikace a nad molekulární struktury [3]

## 1.2 Konstrukční polymery

Skupina polymerů, které se vyznačují lepšími mechanickými a fyzikálními vlastnostmi, než jsou standartní polymery.

### 1.2.1 Polymethylmethakrylát (PMMA)

Je v současné době velice rozšířený konstrukční materiál. Jeho uplatnění, nalezneme téměř ve všech průmyslových odvětvích. Aplikaci můžeme najít například ve zdravotnictví, leteckém a automobilovém průmyslu a dalších. Jedná se o transparentní, tuhý, termoplastický materiál na bázi uhlíku, vodíku a kyslíku. Je přirozeně výjimečně čistý a bezbarvý i v tlustých vrstvách. Můžeme jej pigmentovat a získat tak široký rozsah barev a tónů s téměř neomezenými možnostmi změn ve světelné difuzi a propustnosti světla. Je vysoce odolný vůči korozivním chemikáliím. Má výborné charakteristiky odolnosti vůči stárnutí a světelné propustnosti, které jsou naprosto bezkonkurenční při srovnání s mnoha dalšími polymerními materiály.

Amorfni PMMA, nejedná se o krystalický materiál. Jeho řetězce se nedokáží pravidelně uspořádat s dostatečnou těsností. Řetězce nejsou pravidelně uspořádány, nebo jen ve velmi malé míře, přesto jsou při běžných teplotách velmi pevné. Při zahřívání pevného amorfniho polymeru měkne a stává se tvárným při teplotě skelného přechodu. Existují i termoplastické polymery, které jsou při normální teplotě tuhé. Při zahřívání se mohou řetězce po sobě volně klouzat, protože nejsou vzájemně síťované. [4]

#### Výhody PMMA:

- výborná odolnost proti povětrnostním vlivům,
- výborná tvarová paměť,
- dostatečná odolnost vůči vodě a kyselinám,
- propustnost světla je asi 92 % v celém rozsahu spektra,
- tepelná odolnost bez zatížení je okolo 80 °C,
- dobré mechanické a elektroizolační vlastnosti,
- dobrá mechanická obrobiteľnosť.

#### Nevýhody PMMA:

- nízká povrchová tvrdost,
- neodolává koncentrovanějším kyselinám a hydroxidům. [5]

### 1.2.2 Polykarbonát (PC)

Je transparentní polymer, se světelnou propustností až 85 % a mají mimořádně vysoký index lomu. Pro vstřikování se používají druhy s nižší molekulární hmotností. Druhy s vyšší molekulovou hmotností nejsou vzhledem k vysoké viskozitě taveniny, vhodné pro zpracování z taveniny a zpracovávají se v roztoku (zejména pro lití folií).

#### Výhody PC:

- vysoká rázová houževnatost i za velmi nízkých teplot,
- odolnost proti UV-záření,
- značná stálost proti oxidaci až do 120°C,
- dobrá odolnost proti hydrolýze,
- dobrá rozměrová stabilita až do 140 °C,
- dobré elektroizolační vlastnosti a vysoká mechanická pevnost (obzvláště v tahu),
- nízká absorpce vody.

#### Nevýhody PC:

- nedostatečná odolnost proti dlouhodobějšímu působení vařící vody, páry, amoniaku a amidům,
- degradaci také způsobuje dlouhodobé působení metanolu.

Polykarbonát lze zpracovávat běžnými způsoby používanými i u jiných termoplastů. Formovat z taveniny je možno v rozmezí teplot 220 až 320 °C. Předsušení má rozhodující vliv, protože polykarbonáty reagují v tavenině již se stopami vody za snížené molekulové hmotnosti.

Polykarbonát se nejčastěji zpracovává vstřikováním při teplotách 280 až 310 °C. Formu je třeba vyhřívat na 80 až 120 °C. Vstřikováním se vyrábějí hlavně technické výrobky určené pro použití při vyšším mechanickém a tepelném namáhání. [3]

## 1.3 Zásady při volbě vhodného materiálu

Obecně platí, že tvar a vlastnosti výrobku, musí odolávat prostředí, ve kterém budou po stanovenou dobu životnosti. Pro zlepšení trvanlivosti výrobku a mechanických vlastností se mohou přidávat do taveniny plniva. Vlastnosti a tvar výrobku, musí odpovídat zvolenému polymeru a technologii zpracování. Při volbě materiálu je nutno zhodnotit funkční i zpracovatelské hledisko.



**Funkční hledisko:**

- mechanická pevnost (dlouhodobá, krátkodobá),
- chemická odolnost (odolnost proti agresivnímu prostředí),
- elektrické vlastnosti (vodivost),
- optické vlastnosti (transparentnost, lesk, barva).

**Zpracovatelské hledisko:**

- náchylnost na procesní parametry, např. náchylnost na lokální přehřátí taveniny,
- tekutost má zásadní vliv na tloušťku stěn při návrhu výrobku, koncepci zaformování, typu, poloze, velikosti vtokového ústí a temperaci formy,
- smrštění výrobku určuje výrobní přesnost, při návrhu musí být dutina formy zvětšena o hodnotu smrštění, aby po zchlazení dílec v toleranci.

Optimální návrh výrobku a volbu materiálu, vyžaduje odborné znalosti, proto je nutná spolupráce s příslušnými odborníky v daném podniku. [6]

## 2 KONSTRUKCE VÝROBKU

Navrhnutí vhodného plastového výrobku je jedním z největších problémů. Je zde velké finanční riziko pro konstruktéra i firmu, kterému musí čelit. Než může být plastový výrobek skutečně vyhodnocen jako optimální, musí být navržena a vyrobena vstříkovací forma, která může stát stovky tisíc až miliony korun. Proces navrhování a výroby vstříkovací formy, až po vstříkování prvního výrobku může dle složitosti trvat i 20 týdnů. Po vyrobení prvních kusů se výrobky musí zhodnotit z hlediska velikosti, tvaru a mechanických vlastností. Jestliže parametry vyhovují, lze označit návrh za optimální. Pokud některé parametry neodpovídají, je nutno změnit parametry procesu, konstrukci dílu nebo konstrukci vstříkovací formy. [7]

Konstrukční návrh součástí z polymeru se řídí zcela jinými zásadami, než je tomu u kovových součástí. Při tvorbě návrhu musí konstruktér zvažovat všechny aspekty, které se při vstříkování v plastovém dílu budou odehrávat. Musí brát v potaz smrštění a možnost vzniku vad. [6]

### 2.1 Proces konstrukce nového výrobku

Proces konstrukce nového výrobku je uveden v následujícím seznamu úkolů v pořadí, kterém by mohly být uskutečněny:

1. sběr dat a specifikace výrobku,
2. tvorba projektového plánu,
3. tvorba předběžného návrhu,
4. volba použitého materiálu,
5. vypracování detailního projektu,
6. výroba prototypového výrobku a testování,
7. přezkoumání návrhu s možností případné změny v kroku 4 až 6,
8. uzavření optimálního návrhu s následnou přípravou projektu pro výrobu. [7]

### 2.2 Tvarové řešení součástky

Plastová součást musí splňovat pravidla pro její zaformování. Řešení tvaru se odvíjí z následujících hledisek:

- **funkčnost** – zajištění splnění všech hlavních funkcí, které vyžadujeme od výrobku,

- **technologičnost** – dodržení zásad co neplynulejšího a nejrychlejšího plnění dutiny formy, ideální jsou pozvolné přechody, zaoblené hrany, stejná tloušťka stěn výrobku,
- **estetické vlastnosti** – dílec musí splňovat estetické požadavky zákazníka, za předpokladu, že nebude ovlivněna jeho funkčnost,
- **ekonomické požadavky** – je vyžadován co nejjednodušší tvar výrobku, aby byla vstřikovací forma co nejlevněji vyrobitelná. [6, 8]

## 2.3 Činitele ovlivňující jakost výrobku

- **smrštění při zpracování** – záleží na druhu polymeru, konstrukci součásti i na technologii vstřikování, ovlivňuje hlavně přesnost výrobku,
- **tečení (kríp)** – vzniká při větším a dlouhodobém silovém zatížení součásti, projevuje se plastickou deformací,
- **dodatečné smrštění** – je většinou několikanásobně menší a probíhá po delší dobu (týdny až měsíce),
- **navlhnutí** – mění se rozměry dle absorpce vody z prostředí, po vysušení se rozměry opět zmenší,
- **teplotní roztažnost** – je přibližně o jeden řád větší než u kovů, je vratnou (termoplasty) změnou. [6]

## 2.4 Zásady při konstrukci výrobku

### 2.4.1 Dělicí rovina

Dělicí rovina, je místo dosedání částí forem při jejich uzavření. Je nutné ji vzhledem k výrobku umísťovat tak, aby bylo co nejjednodušší jeho vyjmutí z dutiny formy. Otisk po dělicí rovině, nesmí způsobovat funkční i vzhledové závady výrobku. Vzhledem k poloze dělicí roviny, můžeme rozlišit rovinu na hlavní a vedlejší. Hlavní dělicí rovina je kolmá ke směru uzavírání formy, ostatní dělicí roviny jsou vedlejší. Vedlejší roviny jsou u výrobků s bočními otvory, zápichy nebo výstupky. Dělicí rovina se většinou umísťuje do hrany výrobku, která nesmí být zesláblá. [9]

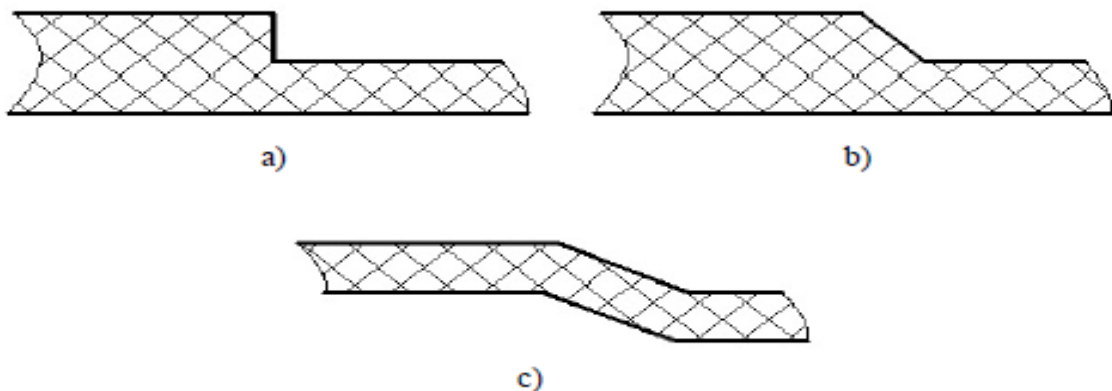
### 2.4.2 Tloušťka stěn

Tloušťka stěn musí splňovat funkční požadavek - pevnost a tuhost. Zároveň musí splnit technologické požadavky z hlediska toku materiálu ve formě. Také je vhodné přihlížet k ekonomickým požadavkům. Je snahou volit zpravidla co nejmenší tloušťku výrobku při

splnění všech funkčních požadavků. Dále je nutné se vyvarovat náhlým přechodům tloušťek mezi stěnami. [9, 10]

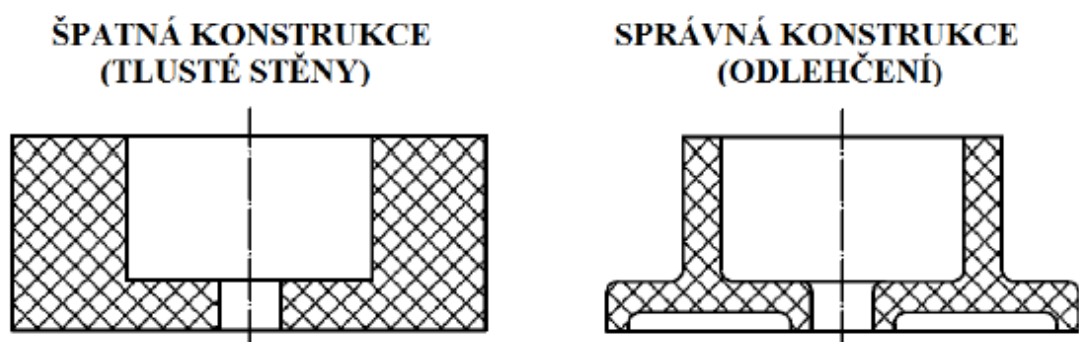
#### Zásady správné konstrukce stěn:

- snaha vyhnout se ostrým a náhlým přechodům v tloušťkách stěn,
- pokud je možno použít jednotné tloušťky stěn,
- pokud se nemůžeme vyhnout použití tlustých stěn, je vhodné použít odlehčení. [6]



Obr. 3 Příklady přechodu tloušťky stěn a) nevhodné, b) méně vhodné c) vhodné [6]

V tenké stěně tuhne tavenina rychleji, v tlusté je nutno chladit delší dobu. V různě tlustých stěnách, tuhne tavenina nestejně, dochází ke vzniku vnitřních pnutí a ke vzniku propadlin. Proto je nutné provádět odlehčení v místech tlustých stěn, odlehčení a tloušťka žeber nesmí přesáhnout 80 % tloušťky hlavní stěny. [6]



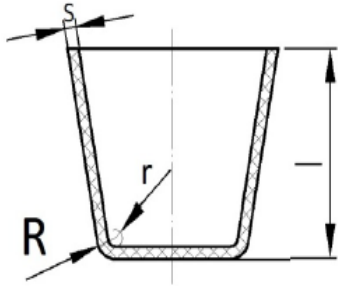
Obr. 4 Příklad vhodného odlehčení [10]

#### 2.4.3 Zaoblení hran

Pro lepší tok tavenin se zaoblují minimálním zaoblením rohy, hrany a kouty. Tím dochází ke snížení vnitřního pnutí, snadnějšímu vyjmutí výrobku z dutiny formy a může zvyšovat

tuhost výrobku. Zaoblené hrany jsou výrobně jednoduché a mají větší odolnost proti poškození, než ostré hrany. Dále, při zaoblení dochází ke zvýšení rázové houževnatosti až o 50 %. Zaoblením nesmí docházet k hromadění materiálu a nárůstu tlouštěk. [6, 9]

Tab. 1 Zaoblení hran a rohů pro různé typy polymerů [6]

Minimální poloměr			Doporučený poloměr		
Materiál	r [mm]	R [mm]		l [mm]	r [mm]
Plněné PA, PC	1,5	r+s		>50	1,6
PS, PC, PMMA, PVC	0,6-1	r+s		50 - 100	2,5
				100 - 150	4
				150 - 200	5
				200 - 250	6
PE, PP, PPO, POM, PA ABS, SAN	0,5	r+s		250 - 300	8
			300 - 400	12	
			400 - 500	20	

#### 2.4.4 Úkosy a podkosy

Úkosy jsou sklony stěn výrobku, kolmo k dělicí rovině. Díky úkosům, lze vyjmout dílec z dutiny formy. Opakem úkosů jsou podkosy, které zabraňují vyjmutí výrobku. Velikost úkosů a podkosů je dána funkcí, kterou mají vykonávat. Rozlišujeme dva druhy uspořádání na vnitřní a vnější. Jejich velikost je různá a volí se podle druhu materiálu – jeho smrštění, elasticity. Velikost se stanovuje dle povrchu stěn. Doporučené velikosti jsou uvedeny v tab. 2. Z principu se volí větší úkos u vnitřních stěn a menší úkos u vnějších stěn. Použití podkosů komplikuje samotnou konstrukci formy, proto je snaha se jim vyvarovat. [6]

Tab. 2 Doporučené velikosti úkosů [6]

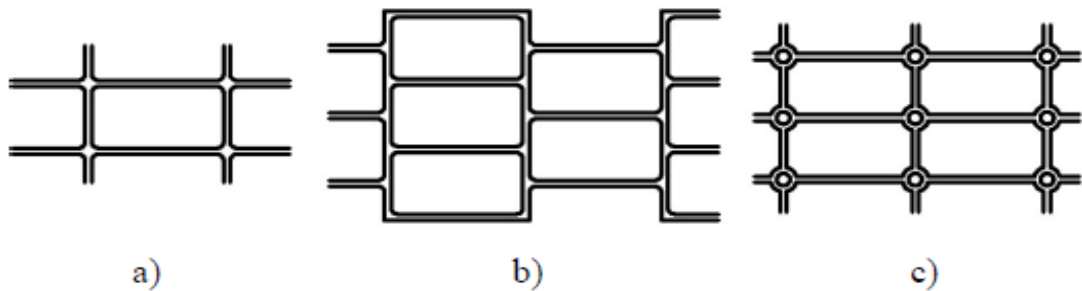
Úkos pro	Velikost úkosu
Vnější plochy	30' - 2° (1°)
Vnitřní plochy	30' - 3° (2°)
Žebra, nálitky	1° ÷ 10° (3°)
Výstupky	2° ÷ 10°
Otvory do hloubky 2D	30' ÷ 1° (45')
Hluboké otvory	1° - 10°

### 2.4.5 Žebra, výztuhy a rýhování

Žebra používaná na vstříkovaných výrobcích se dělí na dva druhy. A to na žebra zabezpečující pevnost a tuhost výrobku, tzv. technická žebra. A na žebra umožňující optimální plnění dutiny formy, zabraňující zborcení stěny výrobku, nebo zabraňující vzniku vad na výrobku tzv. technologická žebra. V první řadě jsou používána k tomu, aby se zvýšila tuhost v dané oblasti výrobku. [6]

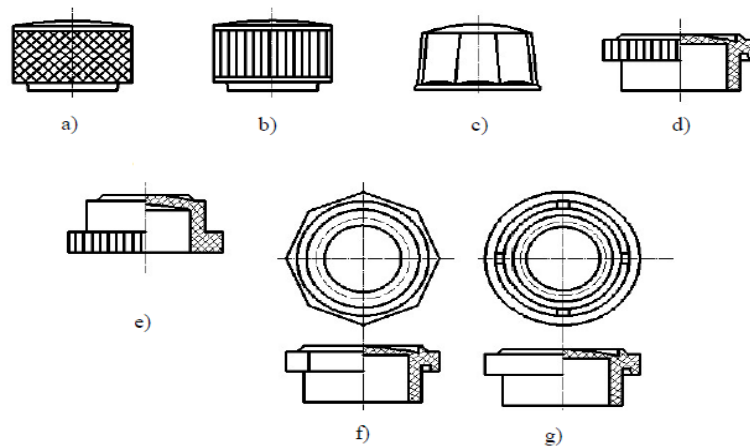
Přesná konstrukce a velikost jednotlivých žeber je silně závislá na typu zpracovávaném materiálu. Zásady vhodné konstrukce žeber:

- základna žebra by měla být zaoblena, velikost zaoblení je 0,25 násobek tloušťky hlavní stěny,
- maximální tloušťku žebra volíme 0,8 násobek tloušťky hlavní stěny,
- výška žebra se pohybuje v rozmezí 2,5 – 5 násobku tloušťky hlavní stěny. [11]



Obr. 5 příklady žebrování: a, c) technologická, b) technologická [11]

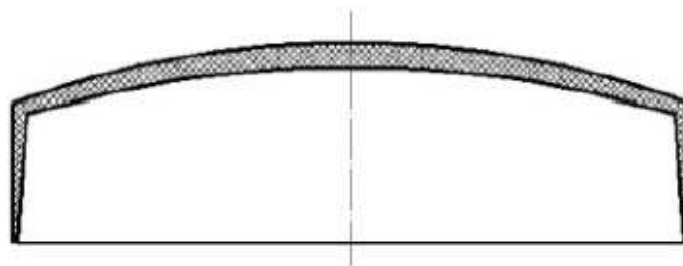
Rýhování se využívá u držáků a ovládacích prvků, které mají za úkol usnadnit manipulaci s určitým držákem. Rýhování musí být lehce zaformovatelné. Křížové rýhování (Obr. 5a) je velmi problematické. Proto, se spíše využívá podélného rýhování s kuželovými stěnami. [6]



Obr. 6 Příklady rýhování [6]

#### 2.4.6 Velké rovinné plochy

Výrobky není vhodné navrhovat s velkými rovinnými plochami. Pokud je to možné, plochy se opatřují žebry, nebo se člení. Velké plochy rotačních tvarů se vyrábí s konkávním, či konvexním klenutím. [6]



Obr. 7 Příklad konkávního zaoblení rovinné plochy [6]

#### 2.4.7 Zálisky, zástříky

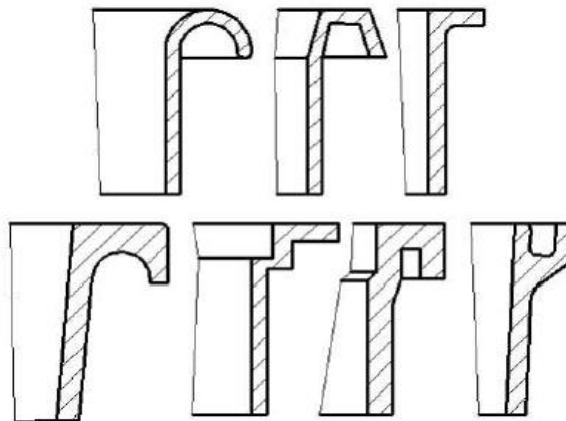
Zálisky z kovových materiálů, které jsou zastříknuté v součásti, mají zpevnit její rozměrovou stabilitu, vyztužit a vytvořit pevné spojení s ostatními částmi. Opatřují se proti otočení a vytažení tvarovými zápichy. Technologie zastříknutí zálisků má i nevýhody. Patří mezi ně problémy s automatizací výroby i zvyšující pracnost. V materiálu kolem zastříknuté součástky, dochází k napětí z důvodu vyššího koeficientu teplotní roztažnosti polymeru, oproti kovovým dílcům, to vyvolává nebezpečí vzniku trhlin. Z tohoto důvodu musí být kolem zálisků, dostatečnou tloušťka stěny z polymeru. [9]



Obr. 8 Příklad zastříknuté součástky

#### 2.4.8 Okraje a obruby

Okraje a obruby vytvořené v dělicí rovině bývají často vyztužovány. Způsoby vyztužení jsou na Obr. 9. [6]



Obr. 9 Příklad vyztužení okrajů [6]

#### 2.4.9 Otvory a drážky

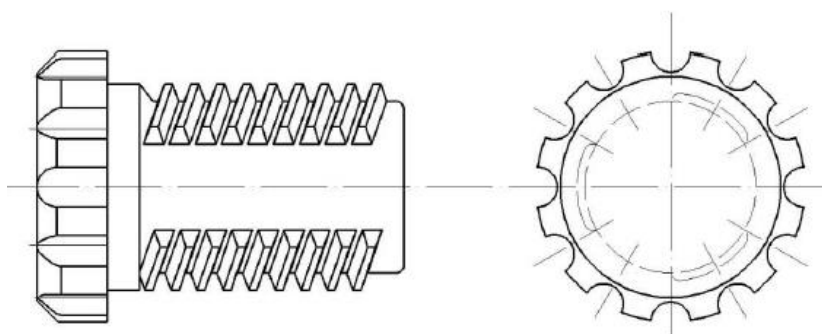
Spousta výrobků má různé otvory a drážky, které se musí při konstrukci navrhnut tak, aby při výrobě dělali co nejméně problémů. Otvory a drážky, které leží ve směru zaformování, se vytvářejí pomocí kolíků a trnů, jejich tloušťka nesmí být menší, jak 1 mm. Další otvory se vyrábějí pomocí výsuvných čelistí a jader. Hloubka slepých děr nebývá větší, než pětinasobek jejího průměru. V případě malé vzdálenosti mezi drážkami a otvory mohou vznikat praskliny mezi stěnou a okrajem, proto je nutno při konstrukci postupovat z doporučených hodnot. [6]



### 2.4.10 Závity

Závity na plastových dílech se vyznačují nižší pevností. Není vhodné vyrábět malé a ostré závity, které se obtížně zaformovávají. Proto se zpravidla vyrábějí větší průměry s větším stoupáním oblého tvaru, které jsou vhodnější z hlediska výroby a pevnosti.

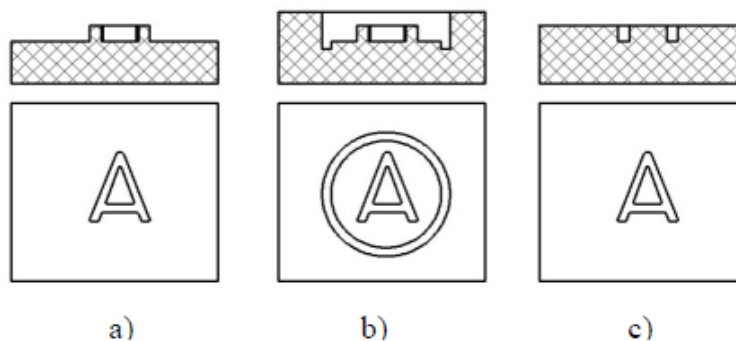
Pro tvarování vnějších závitů se používají čelisti, rozpínací trny a závitové kroužky. Pro tvarování vnitřních závitů, se používají závitové trny s vytočením, závitové kolíky a jádra s pohyblivými segmenty. Závity nesmí začínat na okraji výrobku. Malé průměry závitů s malým stoupáním, je vhodné vyřezávat. [9]



Obr. 10 Přerušovaný závit na plastovém výrobku [9]

### 2.4.11 Nápis a značky

Na Obr. 11 jsou znázorněny způsoby, jak lze vytvořit značky a nápisy na výrobku. Nejčastěji se vyrábějí na výrobku při samotném vstřikování. Výrobně nejjednodušší jsou vystouplé značky a nápisy, avšak nejméně vhodné Obr. 11a. Naopak zapuštěné, jsou výrobně obtížnější Obr. 11b. Kombinací docílíme optimálního návrhu, tedy vystouplé písmo v zhloubení, tak aby nedocházelo k přesahu na povrch Obr. 11c. [6]



Obr. 11 Způsob vytvoření nápisů a značek a), b), c) [6]

### 3 KONSTRUKCE FOREM

#### 3.1 Zásady při konstrukci forem

Forma – jedná se o nástroj, který se umísťuje do vstřikovacího stroje. Během vstřikovacího cyklu je forma naplněna roztaveným polymerem. Po zchladnutí, je zhotoven dílec s požadovaným tvarem a funkčními vlastnostmi. Během své životnosti musí forma splňovat tyto podmínky:

- odolnost vůči vysokým tlakům,
- nízká pořizovací cena,
- zajištění požadovaného rozměru a kvality výrobku,
- automatický provoz se snadnou obsluhou,
- jednoduché vyjmutí výrobku,
- rychlá a snadná výroba,
- vysoké využití zpracovaného polymeru.

Konstrukční řešení, uspořádání formy a způsob výroby, závisí na požadavcích a účelu, které musí forma splňovat. Výběrem materiálu a tepelným zpracováním funkčních částí - tvárník, tvárnice atd. určujeme životnost formy. Materiál navrhujeme s ohledem na:

- použité technologii,
- odolnosti proti opotřebení, korozi a tepelné opotřebení,
- druh zpracovávaného polymeru,
- velikosti výrobku a jeho složitosti,
- cenu,
- velikosti série.

Konstrukční rozmanitost vstřikovacích forem, je velmi rozsáhlá, lze je rozdělit do těchto skupin:

- dle konstrukčního uspořádání vstřikovacího stroje na formy: se vstřikováním do dělicí roviny a se vstřikem kolmo na dělicí rovinu,
- dle konstrukčního řešení a způsobu zaformování na dvoudeskové, třideskové, čelistové, vytáček, etážové apod.,
- dle násobnosti na jednonásobné a vícenásobné.

Vstřikovací forma, je jako celek konstrukčně náročná a skládá se z mnoha dílů, které můžeme jednotlivě rozdělit do několika skupin:

- upínací a vodící elementy,
- vymežující tvarovou dutinu,
- temperačního systému,
- vtokového systému,
- vyhazovací systém.

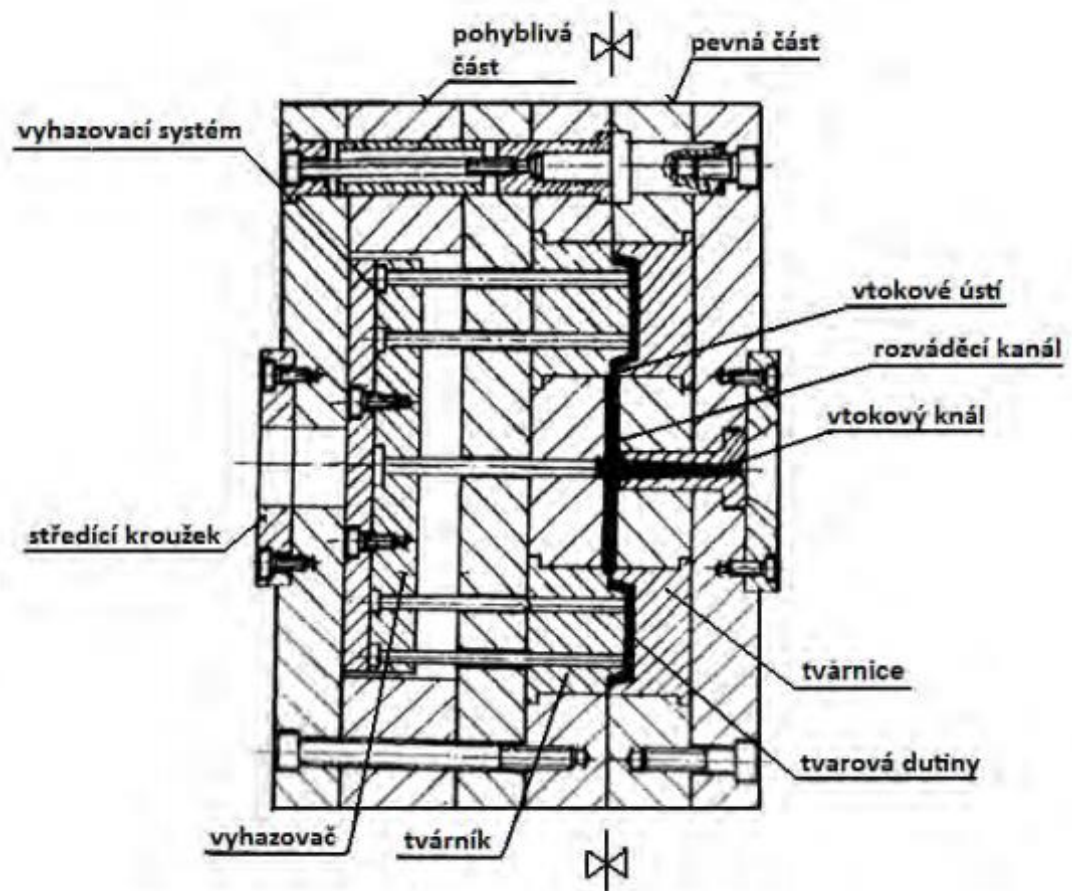
Konstrukční části zajišťující správnou činnost, funkční části a nástroje, které jsou v kontaktu s tvářeným materiálem a udávají jeho požadovaný tvar. Ukázka konstrukce vstřikovací formy s popisem hlavních části viz. Obr. 12.

Výroba vstřikovaných výrobků probíhá na vstřikovacích strojích, ve formě za velmi krátkého času. Spolu s působením dostatečného tlaku a teploty a dalšími technologickými parametry. U forem se vyžaduje:

- optimální životnost, která je zaručená materiálem, konstrukcí a výrobou,
- vysokou jakost a přesnost funkčních dílů a funkčních ploch dutiny formy,
- maximální pevnost a tuhost jednotlivých částí, ale také formy jako celek, pro zachycení potřebných tlaků,
- vhodný vtokový, odvzdušňovací, temperační a vyhazovací systém.

Konstrukce plastového výrobku je náročnější než konstrukce plechového výrobku. Při jeho konstrukci, musí brát konstruktér v úvahu to, co se v průběhu vstřikování ve výrobku děje.

Pro konstrukci plastového výrobku, jsou dány určité konstrukční omezení, týkající se tvaru a vlastností, viz. kapitola 2.



Obr. 12 Řez vstříkovací formou včetně popisu hlavních částí [12]

Z pohledu konstruktéra formy, musí tvar dutiny umožnit vhodné zaformování. Toto hledisko určuje i dělicí plocha. Na dělicí plochu se navazuje celá koncepce formy s vtokovým, vyhazovacím, odvzdušňovacím a temperačním systémem.

Jelikož jsou formy finančně velmi náročné na výrobu, je v některých případech vhodné vyrábět tzv. vícenásobné formy. Volba optimální násobnosti, se odvíjí od několika faktorů, například z hlediska:

- kapacity a velikosti vstříkovacího stroje,
- charakteru s přesností výrobku,
- ekonomičnosti výroby,
- požadovaného množství vyrobených výrobků a termínu dodávky.

S velkou násobností forem, dochází k větší nepřesnosti a menší kvalitě výrobků a proto je vhodnější používat co nejmenší násobnost formy. Tvarově složité a velkorozměrové výrobky se zpravidla vstříkují v jednonásobných formách. Násobnost formy nám dále kromě přesnosti a tvaru výrobku ovlivňuje i vstříkovací stroj. Omezení stroje je dáno vstříkovací

kapacitou, uzavírací silou a výkonu plastikační jednotky. Stroj musí zajistit plné vyplnění tvarové dutiny s dostatečnou rezervou. Rezerva pro uzavírací sílu a objem plastikační jednotky má být 20 %.

Pro dosažení kvalitního výrobku, je nutné zvolit správný vstříkovací stroj, který musí mít:

- vhodnou koncepci,
- dostatečnou vstříkovací kapacitu,
- vyhovující přidržující a uzavírací sílu,
- vyhovující vstříkovací tlak.

Množství taveniny, které je potřebné pro jeden vstříkovací cyklus, je menší, než kapacita vstříkovací jednotky. Maximální využití se pohybuje kolem 90 %. Tato hodnota by se neměla překročit, protože při výrobě je nutné dorovnávat úbytek polymeru, způsobený smrštěním tzv. dotlakem. Uzavírací síla se po dosednutí obou částí forem a zahájení vstříkování, zvýší na sílu přidržovací. Ta musí být dostatečně velká, aby udržela formu uzavřenou, po celou dobu vstříkování

Kromě technologických parametrů musí vstříkovací stroj splňovat i konstrukční požadavky formy:

- dostatečné uzavření a otevření vstříkovacího stroje v závislosti na stavební výšce formy,
- vyhovující světlost (vnitřní průměr) mezi sloupky,
- vhodné rozmístění upínacích šroubů,
- dostatečné rozměry upínacích ploch na pohyblivé a pevné upínací desce,
- vhodná velikost dosedacích trysek a středících otvorů. [8,12]

### 3.2 Postup při konstrukci formy

Podle požadavků, které konstruktér obdrží (výkres součásti, konstrukční návrh, zvolený stroj, násobnost formy a další údaje) následují tyto kroky:

- sáť pozor, na umístění vtoku a způsob zaformování, rozměrů a vhodného zaformování, zhodnocení součásti z hlediska tvaru, případně upřesnit tvar a umístění dělicí plochy tak, aby byla výroba nejjednodušší a aby procházela hranami výrobku (kvůli funkčním a vzhledovým vadám),

- dát pozor, na smršťení, výrobní toleranci a opotřebení dutiny, které lze stanovit dle rozměrů tvarových dutin,
- rozměr výrobní tolerance dutiny formy se volí 20 % ze smršťení, opotřebení dutiny, lze pro jeho velikost většinou zanedbat,
- vhodně zvolit odvzdušnění, temperační a vyhazovací systém,
- určit vhodný materiál pro rám formy a pro ostatní díly s ohledem na technologické podmínky vstřikování,
- zvolit vhodný druh vystředění a upnutí formy na stroji,
- kontrola funkčních rozměrů formy na určený vstřikovací stroj.

Dutina formy je zvětšena hlavně k vůli smršťení výrobku. Výrobní tolerance se určují podle zvolené technologie výroby a ohledem na povolené tolerance výrobku. Příklad na opotřebení dutiny, se bere v potaz pouze u velkých sérií, kde hrozí nebezpečí, že dojde k ovlivnění funkčních rozměrů výrobku.

Jakost povrchu je dalším důležitým parametrem, který určuje i vzhled finálního výrobku. Funkční plochy dutiny formy je možné vyrobít jako:

- **matné** – výrobně nejjednodušší, výchozí plocha po elektroerozivním obrábění, matný povrch dokáže zamaskovat i některé nedostatky z výroby formy i při vstřikování (vtokové čáry, studené spoje,...),
- **lesklé** – výrobně náročné a nákladné, musí být vyrobeny z kvalitních materiálů, lesklý povrch zvyrazňuje výrobní nedostatky formy i výrobku,
- **sezónové** – jedná se o speciální úpravu, při níž je vyžadováno použití kvalitního materiálu formy s vhodným opracováním pro elektrochemické nebo elektroerozivní obrábění. Nutno zvýšit velikost úkosu na bočních plochách.

Vyšší drsnost povrchu, zhoršuje odformování výrobků. Doporučené drsnosti povrchu pro obráběné plochy formy jsou uvedeny v tab. 3. [8, 12]

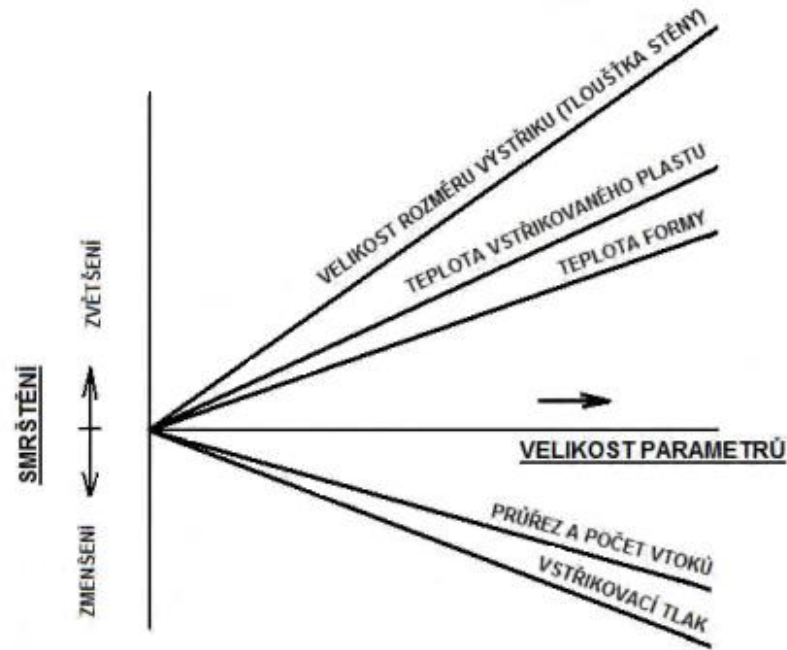
Tab. 3 Doporučená drsnost povrchu pro obrábění forem [12]

Drsnost Ra	Obrobená a požadovaná jakost
0,05	Nejpřesnější tvárnice a tvárníky s opracováním na vysoký lesk
0,1	Tvárníky a tvárnice s opracováním na běžný lesk
0,2	Tvárníky a tvárnice s dokonalým povrchem
0,4	Tvárníky a tvárnice s matným povrchem opracování dosedacích ploch
0,8	Opracování tvárníc a tvárníků u běžných forem a u dosedacích ploch

### 3.2.1 Smrštění

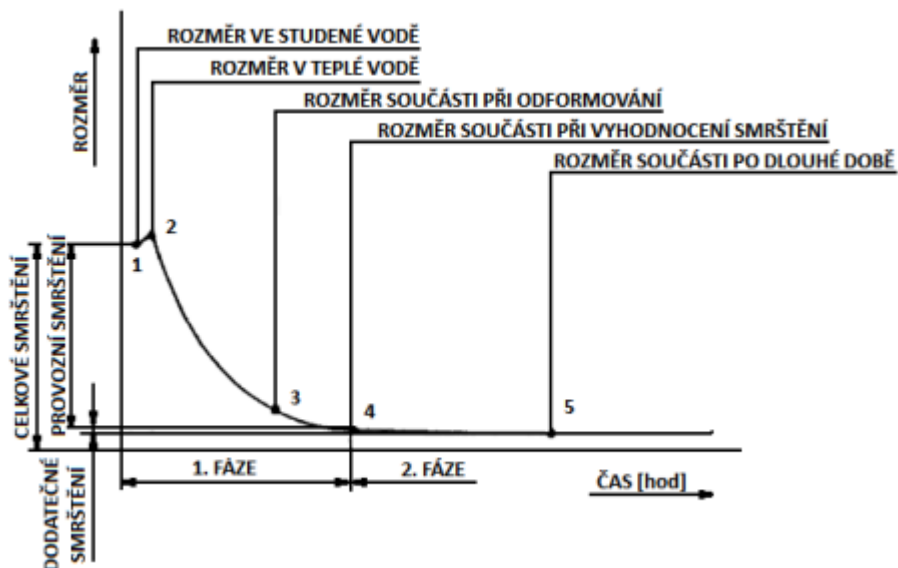
Smrštění je dáno rozdílem rozměrů dutiny formy a výslednými rozměry výrobku. Jeho hodnota se udává v procentech. Smrštění je ovlivněno druhem polymeru, technologií vstřikování, tvarem výrobku, ale i vstřikovací formou (vtokovým systémem a teplotou temperace). Vliv některých činitelů, je na Obr. 13. Při zjišťování přesné velikosti smrštění je třeba tyto faktory brát v úvahu.

Od velikosti smrštění se odvíjí konstrukce formy (vtoková soustava, temperace formy atd.). Jeho stanovení je velmi obtížné. K jeho zjištění se používají tabulky, ve kterých je pro jednotlivé druhy polymerů, smrštění již vypočítané. Stanovení smrštění z těchto tabulek, však není vždy dostačující. U přesných výrobků, je třeba dutinu formy dimenzovat tak, aby jí bylo možné v případě nutnosti opravit (tvárník vyrobít větší, tvárnici menší). Velikost smrštění v jednotlivých směrech výrobku, nemusí být stejné. Vzniklá struktura u semikrystalických polymerů a také směr proudu taveniny způsobuje anizotropii. [8, 12]



Obr. 13 Vliv důležitých činitelů na velikost smrštění [12]

Velikost smrštění se dělí do dvou fází. První fáze je provozní smrštění, které se stanovuje 24 hodin po výrobě výrobku. Představuje až 90 % celkového smrštění. Druhá fáze je dodatečné smrštění, které probíhá v delším časovém intervalu, závislém na druhu polymeru. Dodatečné smrštění lze urychlit temperováním nebo kondicionováním. Průběh smrštění je na Obr. 14. [8, 12]



Obr. 14 Průběh smrštění výrobků [12]



### 3.3 Materiály použité pro výrobu forem

Formy jsou velmi nákladné nástroje, které jsou sestavené z funkčních a pomocných dílů. Při vstřikování výrobků se od nich požaduje dosažení požadované kvality, životnosti a nízkých nákladů. Významnou roli na splnění těchto podmínek, má materiál formy, který je ovlivněn podmínkami výroby:

- vstřikovacím strojem,
- druhem vstřikovaného polymeru,
- přesností a jakostí výrobku,
- podmínkami vstřikování.

Na výrobu forem se využívají takové materiály, které splňují provozní nároky v optimální míře. Dává přednost materiálům univerzálních typů s širokými možnostmi užitných vlastností. Typy materiálů:

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

Ocel, je nejpoužívanější druh materiálu pro výrobu forem. Její pevnost a mechanické vlastnosti, je velmi obtížné je nahradit. Vhodná konstrukce, vhodné vložkování, tepelné zpracování, celkový návrh jednotlivých dílů, i způsob zacházení s formou, má vliv na kvalitu formy.

Pozornost se vyplatí věnovat i dalším druhům materiálů. Některé fyzikální a ostatní vlastnosti (izolační, tepelně vodivé, ...) jsou, předurčeny pro speciální využití na některé díly forem. [13]

#### 3.3.1 Požadované vlastnosti ocelí

Každý jednotlivý díl formy má jinou funkci. Proto požadují i svoje specifické požadavky na volbu vhodného materiálu. Výběr a doporučený typ, musí odpovídat požadované funkci s ohledem na životnost a opotřebení.

Od použitých materiálů se vyžaduje:

- mechanická pevnost,
- obrobitelnost.

Z technologického hlediska výroby má materiál funkčního dílu, zajišťovat požadavky na kvalitu struktury:

- odolnost proti korozi,
- odolnost vůči chemickým vlivům,
- dostatečnou kalitelnost a prokalitelnost,
- stálost rozměrů s minimálními deformacemi při kalení,
- leštitelnost a brousitelnost,
- zvýšenou odolnost proti otěru. [13]

### 3.3.2 Používané druhy oceli

Z širokého sortimentu jakosti oceli se na výrobu forem, používají tyto následující skupiny:

- uhlíková ocel k zušlechťování,
- nástrojová legovaná ocel s odolností proti otěru,
- konstrukční ocel k použití v přírodním i zušlechtěném stavu,
- martenzitická ocel vytvrditelná s malou deformací při tepelném zpracování a velkou stálostí rozměrů,
- ocel k snadnému opracování a tváření, pro cementování a zušlechťování,
- ocel k nitridování,
- ocel antikorozní, používaná při zpracování plastů, [13]

## 4 VTOKOVÝ SYSTÉM

Vtokový systém, se nachází v pevné části vstřikovací formy. Slouží k rozvodu taveniny z plastikační jednotky do tvarové dutiny formy. Tok taveniny, musí být rovnoměrně rozdělen do všech dutin a musí být jednoduše odformovatelný.

Typy vtokových systémů:

- studený vtokový systém (SVS),
- vyhřívaný vtokový systém (VVS),
- hybridní vtokový systém- kombinace VVS a SVS. [14]

### 4.1 Studený vtokový systém (SVS)

Systém tvořený rozvodnými kanály a ústí vtoku, spojující otvor v trysce vstřikovacího stroje s tvarovou dutinou formy. Tento systém je možné použít při vstřikování všech polymerních materiálů. Plnění dutiny SVS je poměrně pomalé, k chladnutí taveniny dochází již při průchodu vtokovými kanálkami. Při průchodu taveniny, dochází ke snížení teploty a tím roste viskozita. [6,15]

Pokud to výrobek dovoluje, lze vtokový systém rozemlet a vrátit zpět do zásobníku. Studené vtokové systémy jsou poměrně rozšířené, asi 70 % vstřikovacích forem jsou plněny pomocí studeného vtokového systému. [15,16]

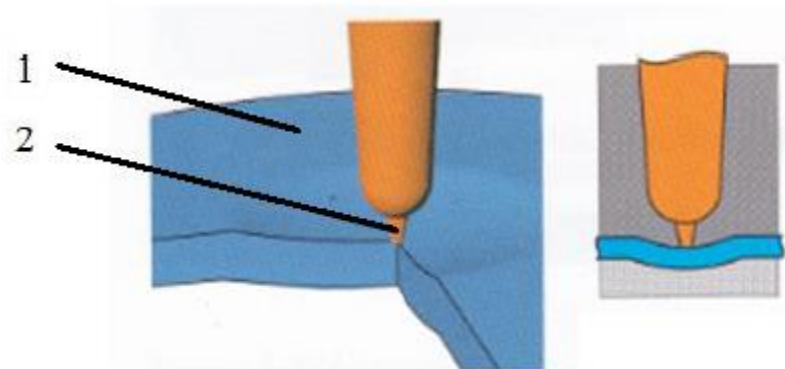
Nevýhody:

- u více násobné formy nutné vyvážení vtokového systému,
- zpracování a případná recyklace vtokového systému.

#### 4.1.1 Bodový vtok

Jedná se o nejznámější typ zúženého vtokového ústí většinou kruhového průřezu, které leží mimo, nebo v dělicí rovině. Bodový vtok může vycházet z předkomůrky, tokového kanálu, nebo rozváděcích kanálů.

Směrem k výrobku je vtok kuželovitě zúžen, aby se ztuhlý plast v ústí odtrhl a byl vytažen společně s výrobkem. Při opačném otevření, by zůstal v přechodu a bránil by dalšímu průtoku taveniny během následujících cyklů. [6,15]



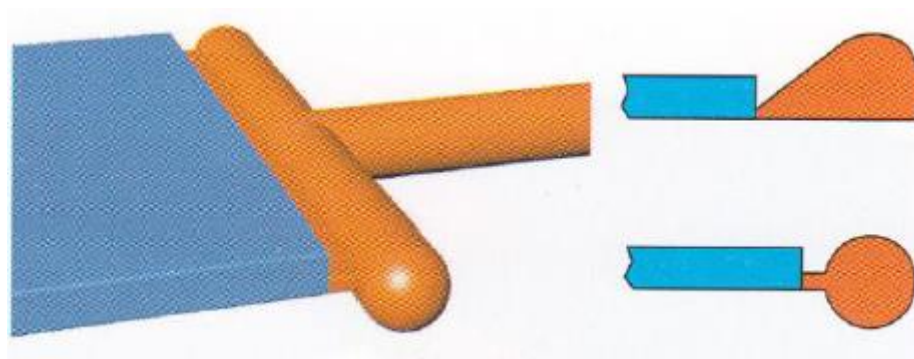
Obr. 15 Bodový vtok [15]

1- výrobek, 2- bodový vtok

#### 4.1.2 Filmový vtok

Řadí se do skupiny bočních vtokových ústí a využívá se zejména k plnění kruhových dutin s vyššími požadavky na kvalitu. Řadí se mezi ně vtoky prstencové, deštníkové, diskové a další. Tavenina se rozvádí do jednotlivých míst vtokového ústí nerovnoměrně. Dochází ke snížení tlaku, s rostoucí vzdáleností od rozváděcího kanálu. K zamezení se používá proměnná tloušťka ústí nebo rozváděcího kanálu. [6]

Pro obdélníkový tvar výrobku, je ústí vtoku umístěno do menší hrany, především u plněných a semikrystalických plastů. Jen tak lze dosáhnout požadované pevnosti výrobku. [16]

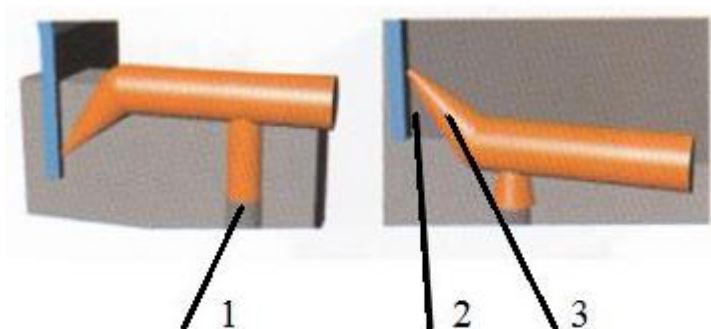


Obr. 16 Filmový tok [15]

#### 4.1.3 Tunelový vtok

Jedná se o druh bodového vtoku, výhodou tohoto typu je, že vtokový zbytek může ležet ve stejné dělicí rovině jako výrobek. Vtok, lze umístit do pohyblivé i pevné části formy. Není potřeba navrhovat formu s více dělicími rovinami. [6]

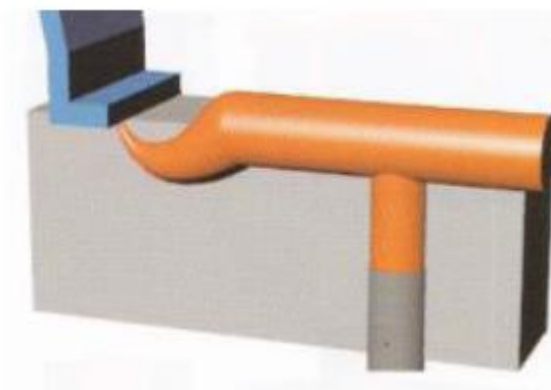
Tunelový vtok se používá u dvoudeskové konstrukce forem s automatickým oddělováním vtokového systému od výrobku. Šikmý zúžený kanál, vychází z konce rozváděcího kanálu, který navazuje těsně pod dělicí rovinu. Vtokový kanál může mít i jímku, na zachycení čela taveniny. [15,16]



Obr. 17 Tunelový vtok [15]

1 - vyhazovač, 2 – řezná hrana, 3 – tunelový vtok

Dalším typem tunelového vtoku, je tzv. srpkovitý vtok, který se může umístit do části výrobku, ve kterém bude umístěn vhodně. Tento typ vtoku je vhodný pouze pro plasty s vysokou elasticitou, nesmí docházet k zalamování. [6,15]

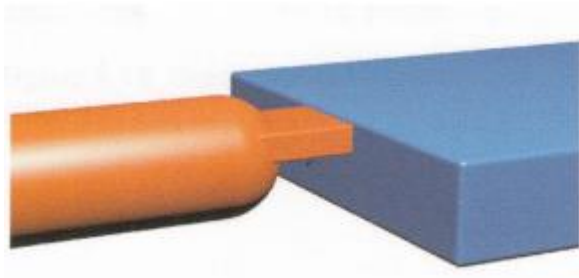


Obr. 18 Srpkovitý vtok [15]

#### 4.1.4 Boční vtok

Jedná se o nejrozšířenější a nejpoužívanější vtokové ústí. Nejčastěji je obdélníkového průřezu, ale využívají se také kruhové i lichoběžníkové průřezy. Při odformování nedochází zpravidla k oddělení výrobku od vtoku. Při automatickém cyklu lze oddělování vyřešit přidáním odřezávacím zařízením, které je součástí formy. [6]

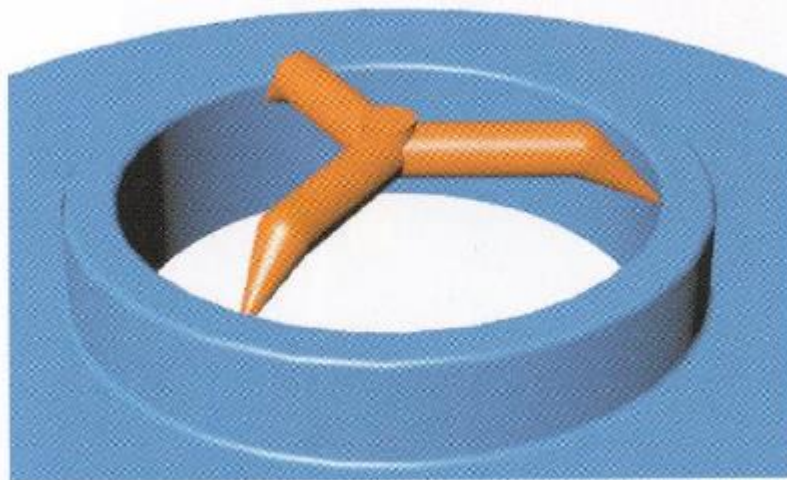
Umožňuje nahradit třídeskové řešení formy, které je finančně nákladné a složité dvoudeskovým řešením formy. Tvarové části i vtoková soustava jsou umístěny v jedné dělicí rovině. [15]



*Obr. 19 Boční obdélníkový vtok [15]*

#### **4.1.5 Plnění dutiny více vtoky**

Z pravidla, se díl plní jedním vtokem, pokud se ovšem jedná o rozměrný a tvarově náročný díl, použije se více vtoků. Při použití je třeba uvážit vliv vzniku studených spojů při setkání čel taveniny z jednotlivých vtoků. [6]



*Obr. 20 Plnění více vtoky [15]*

## **4.2 Vyhříváný vtokový systém (VVS)**

VVS se používá k propojení plastikační komory a tvarové dutiny formy, kdy po celou dráhu, toku je materiál roztavený. Tavenina je vedena přímo do dutiny formy, nebo do více dutin formy. VVS se skládá z vyhříváného bloku, vyhříváné centrální vložky a trysek. [16]

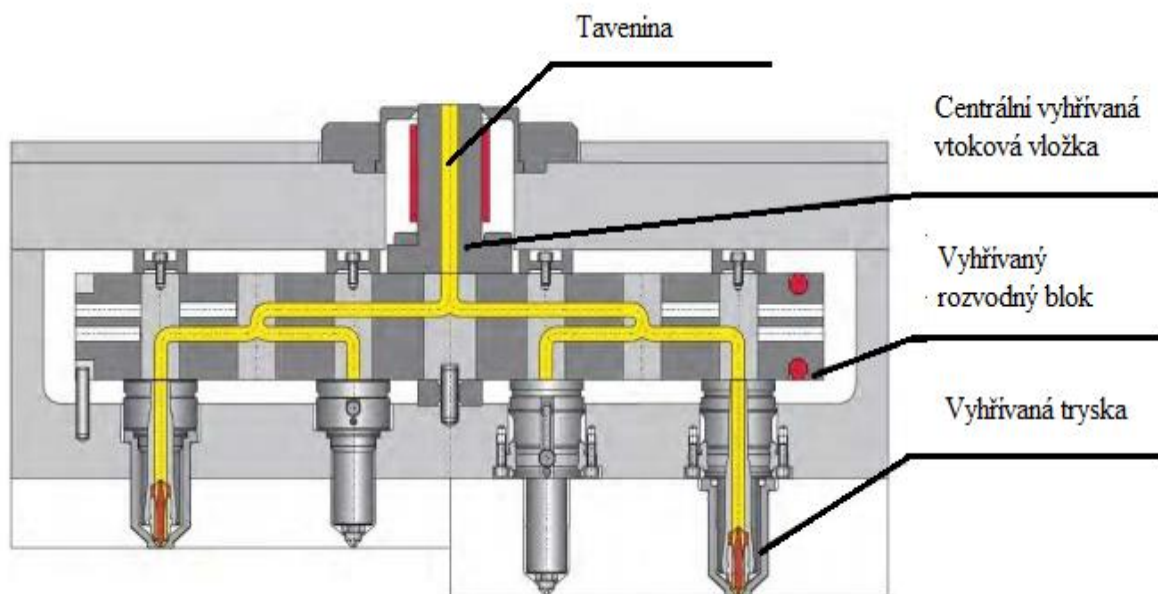
VVS zabírají ve zpracování polymerů, při konstrukci forem, stále větší uplatnění oproti klasickým studeným vtokovým systémům. Je to dáno nespornými výhodami, které jsou určeny stálým vývojem těchto systémů pro nové výrobní aplikace. [10]

**Výhody** proti studeným vtokovým systémům:

- zkrácení výrobního cyklu,
- umožnění automatizace výroby,
- úspora materiálu, nevznikají vtokové zbytky,
- daly předpoklad k hromadné výrobě výrobků,
- snížení nákladů na dokončovací práce. [10]

**Nevýhody**

- konstrukčně náročnější forma,
- vysoká cena komponentů vstřikovacího systému,
- vyšší energetická náročnost,
- použití pro tepelně odolnější materiály. [17]



Obr. 21 Příklad vyhřívaného vtokového systému [18]

#### 4.2.1 Vyhřívané trysky

Používají se k propojení vyhřívaného bloku, s dutinou formy. Tryska, je vytápěna svým vlastním topným článkem s regulací, nebo je ohřívána jiným zdrojem vtokové soustavy. Dle zpracovávaného materiálu, se volí neuzavíratelné nebo průtočné trysky. [6]

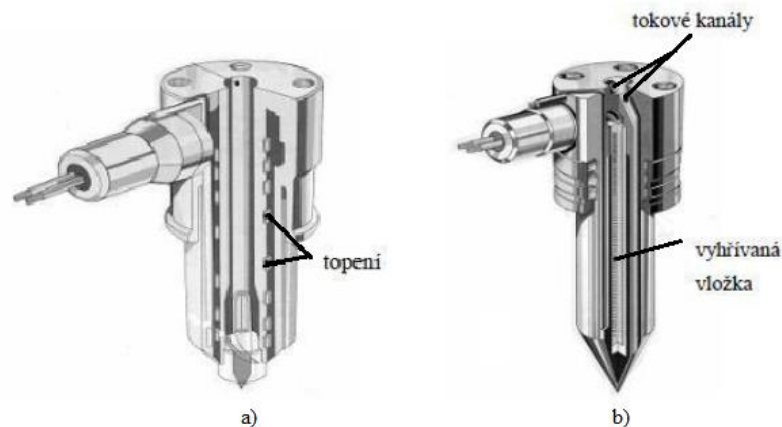
Typy vyhřívaných trysek:

**a) Přímo vyhřívané trysky:**

- s vnějším topením,
- s vnitřním topením.

**b) Nepřímo vyhřívané trysky:**

- dotápěná tryska s rozvodným blokem,
- dotápěná tryska s vlastním zdrojem tepla. [10]



Obr. 22 a) Tryska s vnějším topením b) Tryska s vnitřním topením [19]

#### 4.2.2 Vytápěné rozvodné bloky

Lze je použít v kombinaci s vyhřívanými nebo izolovanými tryskami k rozvodu taveniny u vícenásobných forem. Rozvodný blok, se umísťuje mezi tvarovou a upínací desku formy. Má různé tvary např. I, H, X, Y. Vytápění je zajištěno vnitřním, nebo vnějším elektrickým topením. Teplo, vstupuje do taveniny skrz stěny rozváděcího bloku. Výhodou je, snadná montáž či demontáž, vyčištění a opětovné nasazení do provozu. [9]



Obr. 23 Příklad rozvodných kanálů [20]



## 5 TEMPERAČNÍ SYSTÉM

Cílem temperačního systému, je zajištění udržení konstantního teplotního pole v dutině vstřikovací formy. Účelem je dosažení optimálního krátkého vstřikovacího cyklu, při zachování reologických požadavků výroby. Při vstřikování, je tvarová dutina vyplněna taveninou, která sebou nese teplo. Teplo je nutno odvést temperačním systémem. Některé polymery je potřeba zpracovávat při vyšší teplotě např. PC. V tomto případě, jsou teplotní ztráty do okolí větší, než množství tepla, které bylo do systému přijato taveninou, proto je nutno formu vyhřívat.

Optimálním návrhem temperačního systému, lze zajistit optimální tuhnutí výrobku s minimalizací deformace. Fáze chlazení je časově náročná a může trvat i 80 % délky vstřikovacího cyklu. [13,21]

### 5.1.1 Temperační prostředky

Dovolují formě pracovat v optimálních tepelných podmínkách. Dělí se na:

- aktivní – působí přímo ve formě, odvádějí nebo přivádějí teplo,
- pasivní – tepelný režim formy je ovlivněn fyzikálními vlastnostmi, řadí se mezi ně tepelně vodivé a izolační materiály.

#### Aktivní prostředky:

Voda

- výhody – nízká cena, vysoký přestup tepla, ekologická nezávadnost a nízká viskozita,
- nevýhody – Použitelné do 90 °C, vznik koroze (lze potlačit vhodnou úpravou vody), usazování vodního kamene.

Olej

- výhody – možnost teploty i nad 100 °C,
- nevýhody – zhoršený přestup tepla.

Glykoly

- výhody – omezení koroze a ucpání systému,
- nevýhody – stárnutí, znečišťování.

Vzduch

- využívá se jako volné nebo nucené proudění tlaku nebo podtlaku,
- temperační účinky jsou velmi malé, využívá se jen v případech, kde nelze chladit vodou.

Topné elektrické články

- využívají se ve formách s vyšší teplotou, kde jsou ztráty do okolí větší, než teplo dodávané polymerem.

### **Pasivní prostředky:**

Materiály s tepelnou a izolační schopností.

- využívají ke snížení přestupu tepla mezi upínací deskou a formou,
- jedná se především o nekovové anorganické látky a reaktoplasty,
- používají se pro svou tepelnou odolnost a pevnost například sklo-textil AVR, SI.

Tepelné vodivé materiály

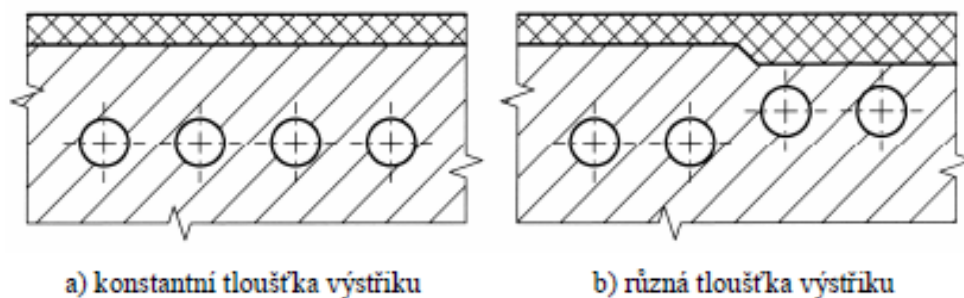
- využívají se k odvodu a přívodu tepla z obtížně temperovaných míst (vtokové trysky, tenké tvárníky) do míst, kde není možný odvod, ani přívod tepla vyřešit jiným způsobem,
- například hliníkové, nebo měděné tepelné trubice. [13]

### **5.1.2 Zásady volby temperačních kanálů**

Temperace je tvořena soustavou kanálů a dutin, kterými se přivádí nebo odvádí teplo vhodným médiem z formy. Rozměry a umístění temperačních kanálů, se volí s ohledem na celkovou konstrukci formy. Nejběžnější průřez temperačního kanálu je kruhový. Vzdálenost kanálů od dutiny formy má být umístěna tak:

- aby nedocházelo ke zhoršení pevnosti a tuhosti stěny dutiny,
- je vhodnější používat větší počet menších kanálů, s malými roztečemi, než menší počet větších,
- kolem dutiny formy se rozmíst'ují rovnoměrně a ve stejné vzdálenosti,
- v oblasti tlustějších stěn výrobku, nebo v případě vyšší teploty se kanály posunou k dutině formy,
- kanály se neumíst'ují, do blízkosti hran výrobku,

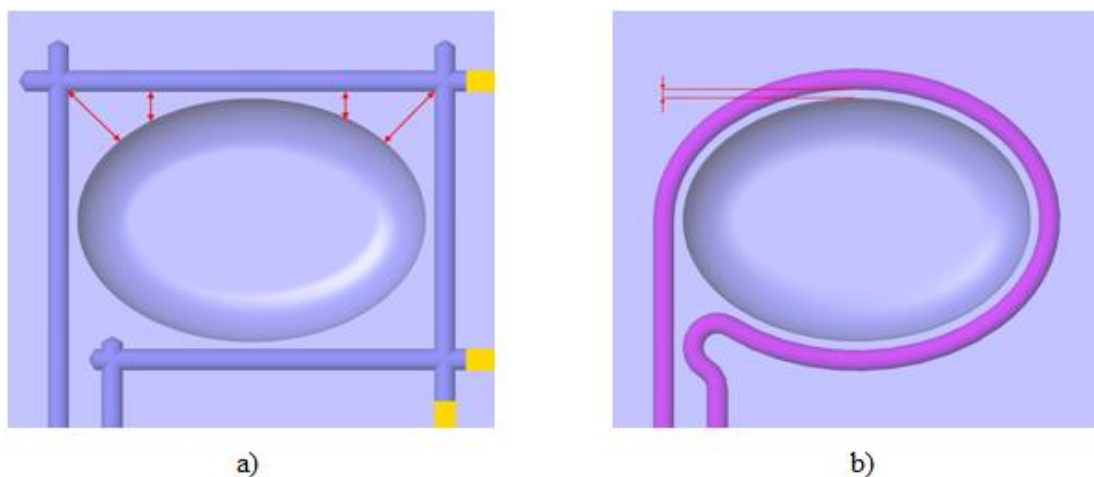
- směr proudění temperačního média se volí od nejteplejších do chladnějších míst, aby se využil tepelný spád,
- rozmístění kanálů se volí na výšku a tvar formy,
- průřez kanálku se volí s ohledem na tvar výrobku,
- průměr kanálů by neměl být menší, jak 6 mm, jinak může dojít k ucpání,
- v cestě temperačního média, se nesmí vytvářet mrtvé kouty, v nichž se usazují nečistoty, které způsobují korozi. [13]



Obr. 24 Schéma temperačních kanálů pro díl se změnou tloušťky [13]

## 5.2 Konformní chlazení

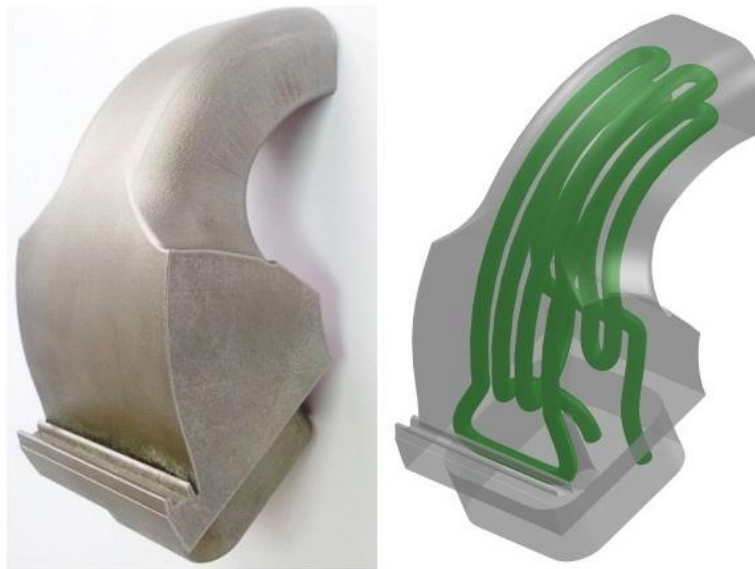
Podstatou tohoto chlazení, je navrhnout temperační systém způsobem, aby v nejkratší možné vzdálenosti kopíroval povrchový tvar dutiny formy. Takto navrhnutý systém, ovšem není možné vyrobit konvenčními metodami. Metodou Direct Metal Laser Sintering (DMLS), lze za pomoci laseru, spékat po vrstvách kovový prášek, pro vytvoření kompaktního tvárníku nebo tvárnice. Trajektorie temperačního okruhu, může být optimalizována pro dosažení maximální chladicí účinnosti a rovnoměrnosti odvodu tepla. [22]



Obr. 25 a) vrtaný chladicí okruh b) Konformní chladicí okruh [22]

### Výhody Konformního chlazení

- snížení deformace výrobku,
- snížení chladicího cyklu až o 50%,
- homogenní odvod tepla,
- optimalizace chladicího okruhu dle výrobku ne dle výrobních možností,
- možnost libovolného návrhu tvaru a trajektorie chladicího okruhu. [22]



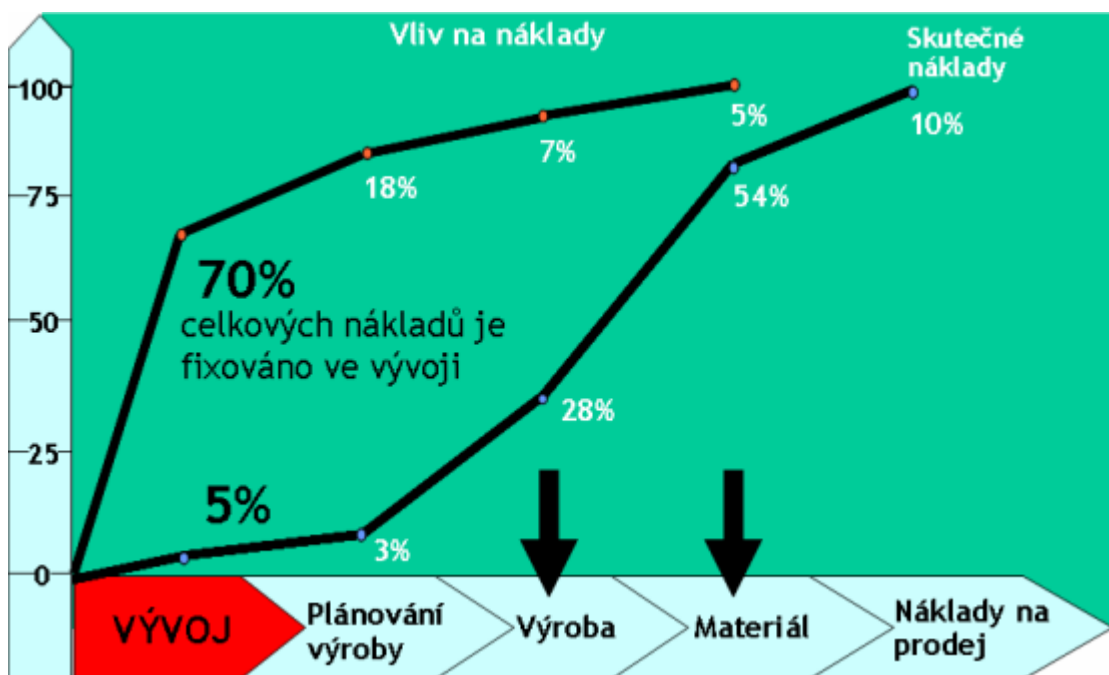
*Obr. 26 Příklad konkrétního využití [22]*

## 6 TOKOVÁ ANALÝZA

### 6.1 Využití simulačních nástrojů

S rostoucím používáním plastových dílů, praktický ve všech odvětvích a zvyšujícími se požadavky, na úsporu nákladů ve výrobě a co nejrychlejším uvedením na trh. Stále více se uplatňují simulační nástroje, které nám poskytují detailní náhled, na postup při vstřikování polymerů. [23]

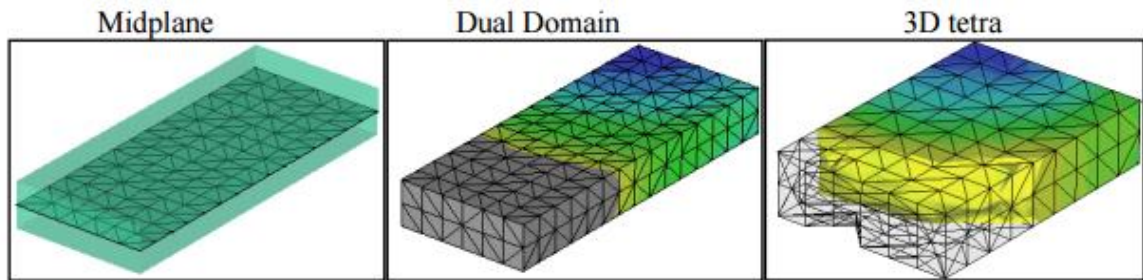
K největší úspoře může dojít ve vývoji, kde je fixováno až 70 % celkových nákladů na výrobu, přičemž vývojová fáze představuje zhruba 5 % výrobních nákladů. To je rozhodně důvod, proč věnovat vývojové fázi, velkou pozornost. Protože s částkou odpovídající 5 % výrobních nákladů, se může ušetřit desítky procent celkových výrobních nákladů Obr. 27. [24]



Obr. 27 Růst nákladu na uvedení výrobku na trh a vliv jednotlivých etap na růst nákladů [24]

### 6.2 Autodesk Simulation Moldflow Synergy 2016 (AMS)

Je nástroj pro hloubkovou analýzu vstřikovacího procesu. Poskytuje generování a editaci sítě konečných prvků. Generátory sítě konečných prvků, umožňují provádět výpočty na síti střednicové plochy, na síti dual domain a na síti objemové s využitím prvků TETRA 4 i TETRA 10 viz Obr. 28.



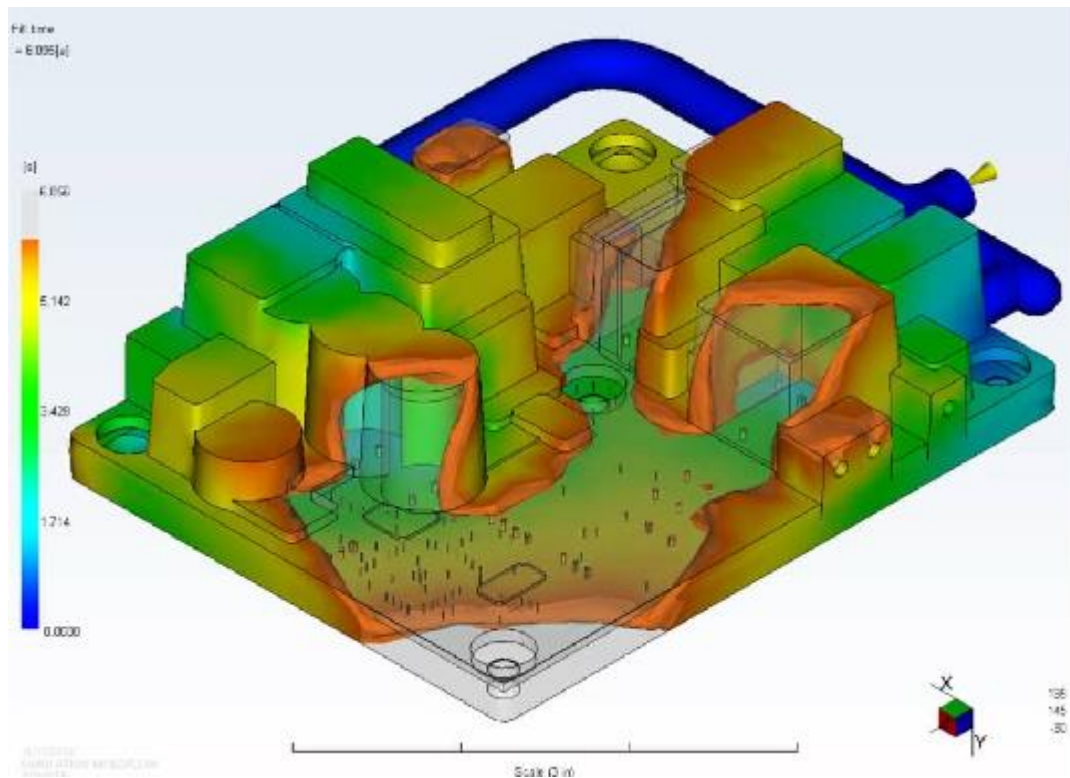
*Obr. 28 Ukázka sítě konečných prvků Midplane, Dual Domain, 3D objemová síť [24]*

Výpočtové moduly, jsou určený pro komplexní analýzu vstřikovaného procesu, včetně optimalizace DOE, dvoukomponentního vstřikování, zástříků, analýzy vstřikování, se systémem Dynamic Feed, vstřikování technologií GIT, vstřikování termosetů. Dále je možno, analyzovat průhyb jádra ve formě a změnu tloušťky stěny výrobku a kompletní mechanickou analýzu na síti střednicové plochy. AMS obsahuje i databázi polymerních materiálů s hodnotami technologických podmínek, reologických vlastností, P<sub>v</sub>T vlastností, teplotních dat, mechanických dat a hodnot smrštění, umožňujících optimalizaci designu dílu, nástroje a výroby. [24]

### 6.3 Simulace plnění (Fill)

Simulacemi plnění, lze predikovat plnění dutiny formy taveninou. Díky těmto simulacím můžeme docílit rovnoměrného plnění formy a tím i k poklesu zmetkovitosti. Dále můžeme zabránit vzniku vad, které jsou spojeny se špatným odvzdušněním a výskytem studených spojů.

System, umožňuje navrhnout libovolný tvar vtokového systému, včetně zadání konkrétních parametrů pro docílení rovnoměrného toku taveniny. Následně můžeme umístit vtokové ústí na místo, nebo na místa při použití více vtokového ústí, která vyhodnotíme jako nejvhodnější variantu. Dosáhneme tím nejkvalitnější povrch, se sníženým rizikem deformaci a v co nejkratším čase plnění. Je možné specifikovat, zda se jedná o studený, horký vtokový kanál, nebo jejich kombinace. Díky této analýze, můžeme umístit vtoková ústí tak, aby se zmenšilo smykové namáhání. [25]



Obr. 29 Příklad plnění tlustostěnného výrobku více vtoky [26]

#### 6.4 Simulace dotlaku (PACK)

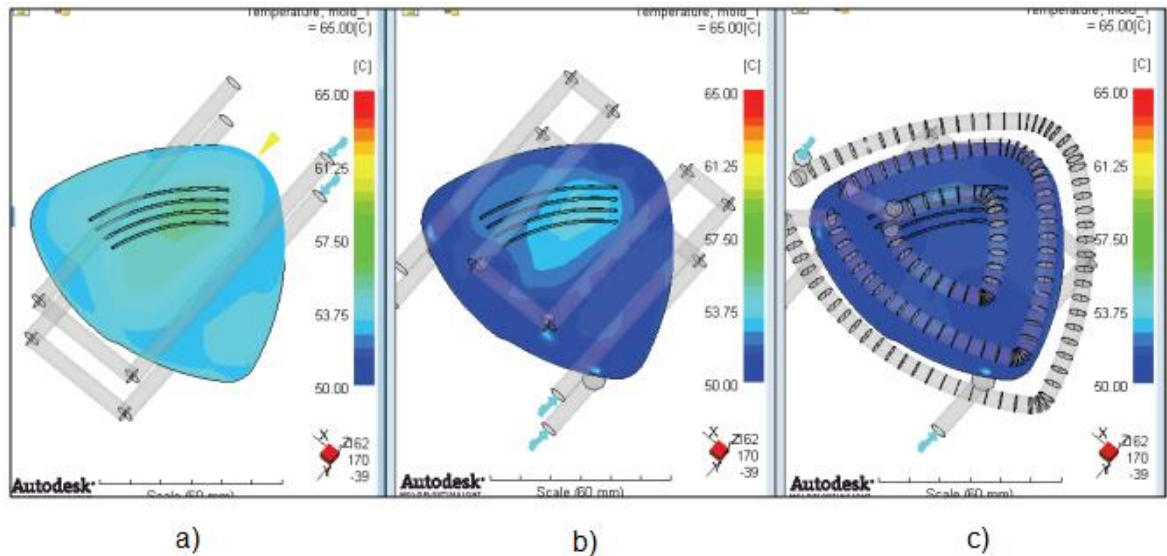
Simulací dotlaku, lze nastavit nejvhodnější bod přepnutí na dotlak, čímž předejdeme nežádoucím vadám na výrobku, např. tvorbě propadlin. Je důležité, nastavit v simulaci optimální velikost dotlaku a vytvořit průběh jednotlivých tlaků, v daném časovém úseku. Optimální nastavení dotlaku, zamezuje vzniku deformací polymerních dílů. [25]

#### 6.5 Simulace chlazení (COOL)

Simulace chlazení, umožňuje vyhodnocovat účinnost temperačního systému. Ten, má velký vliv na rozměrovou stabilitu, snížení rizika deformací a kvalitu povrchu. Je možné, zde optimalizovat libovolně navržený temperační systém, aby bylo chlazení rovnoměrné. Tím, lze dosáhnout snížení potřebného času temperačního cyklu a ke zvýšení úspory výrobních nákladů.

Systém umožňuje navrhnout libovolný temperační systém, libovolných parametrů přepážek nebo okruhů. Lze navolit, libovolné temperační médium, včetně rozměru temperačních kanálů. Temperační okruh, lze vytvořit i v jiném programu a následně importovat. [23]





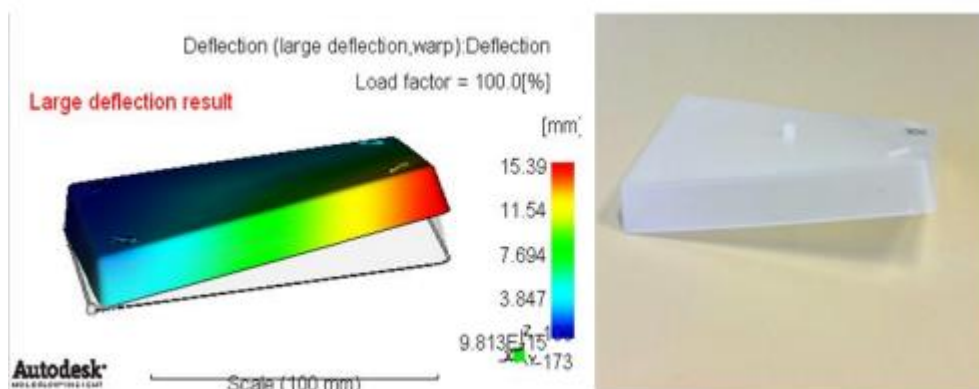
Obr. 30 Teplotní pole na povrchu dutiny formy a) jednoduché chlazení pomocí dvou kanálů b) chlazení pomocí kanálu a věží s přepážkou c) konformní chlazení [27]

## 6.6 Simulace deformace a smrštění (WARP)

Tato simulace nám vyhodnocuje stav technologického dílce a vstřikovací formy. Z výsledků, můžeme lépe určit případné deformace a smrštění na výrobku. [23]

### 6.6.1 Deformace

Během vstřikování termoplastů, dochází ke vzniku různých napětí, které mají vliv na deformaci v jednotlivých částech, výrobku. Analýza umožňuje, lépe odhadovat místa možného výskytu deformací, které lze na základě výsledků změnit. Vhodnou úpravou výrobku, temperačního systému, procesními parametry nebo volbou materiálu tak, aby díl splňoval tolerance zadané zákazníkem. [23]

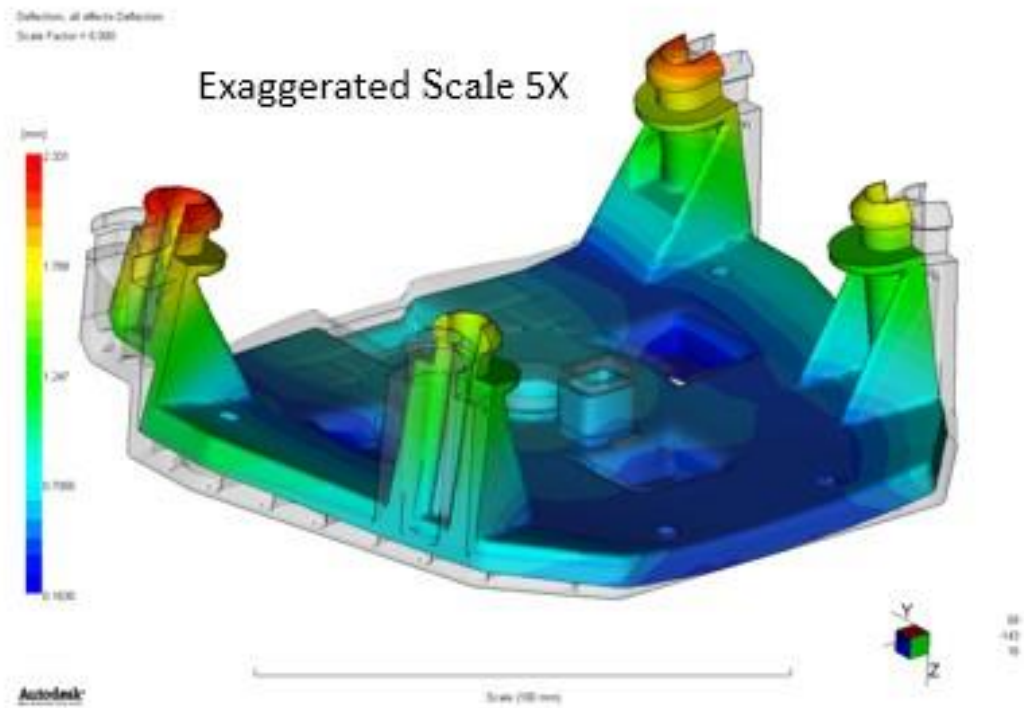


Obr. 31 Příklad analýzy deformace v porovnání s reálným výrobkem [28]



### 6.6.2 Smrštění

Rozměrové tolerance dílu dodržíme predikcí smrštění dílu založenou na procesních parametrech a specifikacích materiálových datech pro daný typ polymeru. [25]



Obr. 32 Příklad vyhodnocení analýzy smrštění [29]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 7 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Na zadaném výrobku, u něhož docházelo k deformacím, bylo hlavním cílem navrhnout možnosti temperace, vtoku a následně je podložit analýzami v programu MoldFlow. Návrhy, mohou být aplikovány při vývoji nových dílů ve firmě. Jednotlivé varianty návrhů okomentovat, porovnat a vybrat nejvhodnější návrh.

### Zadané podklady z firmy:

- Model výrobku
- Model chlazení
- Materiálový list Altuglas V825T
- Match percentage nad 85 %

### Postup praktické části:

#### Návrhy

- Temperace
  - Konvenční temperace
  - Nekonvenční (konformní) temperace
- Vtokový systém
  - Studený vtokový systém 2 bodový vtok
  - Studený vtokový systém 3 bodový vtok
  - Kombinovaný vtokový systém 2 bodový vtok
  - Kombinovaný vtokový systém 3 bodový vtok

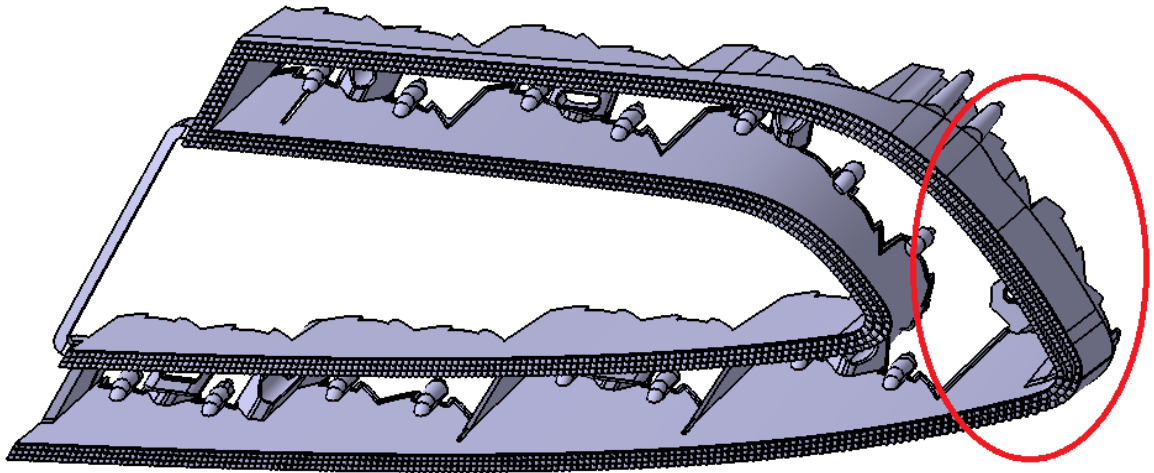
#### Analýzy

- Varianta 1 A - 2 bodový SVS + konvenční a nekonvenční temperace
- Varianta 1 B - 3 bodový SVS + konvenční a nekonvenční temperace
- Varianta 2 A - 2 bodový VVS + SVS + konvenční a nekonvenční temperace
- Varianta 2 B - 3 bodový VVS + SVS + konvenční a nekonvenční temperace

#### Vyhodnocení

## 7.1 Zadaný model

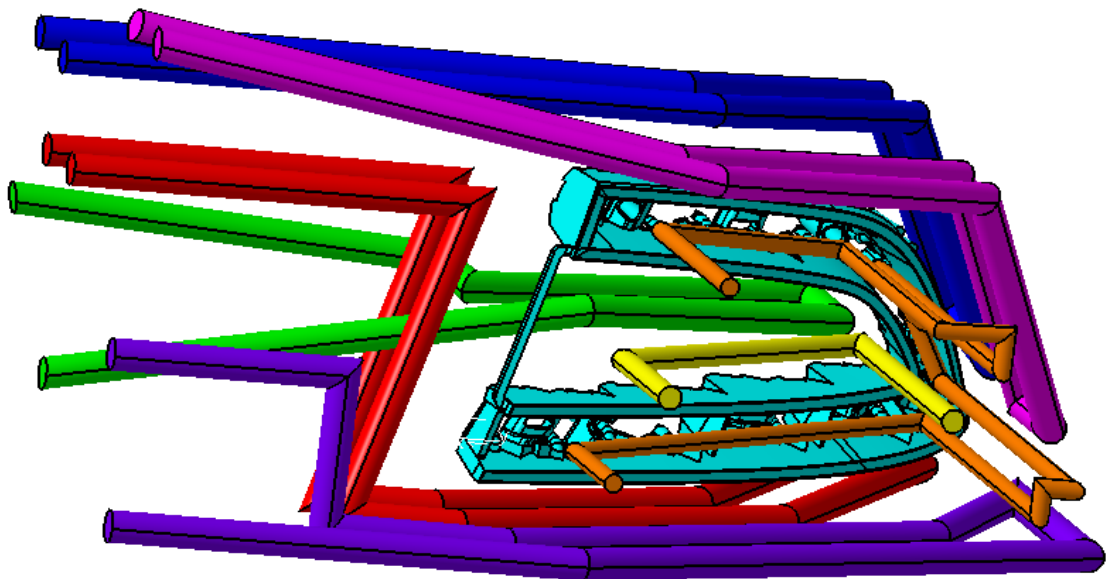
Jedná se o světlovod zadního světla u automobilu Jaguar x250. Na obrázku je vyznačena oblast, kde docházelo k výrazným deformacím.



Obr. 33 Zadaný model výrobku

## 7.2 Zadaná temperace

Původní konvenční temperace, která byla překreslena a použita pro výpočet výchozích hodnot.



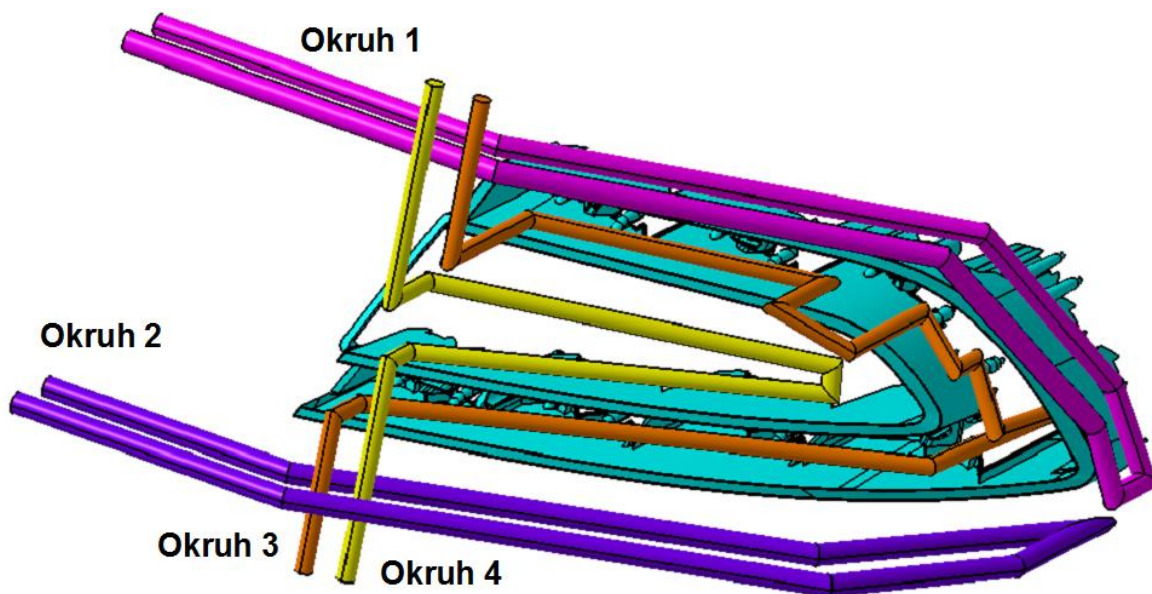
Obr. 34 Původní zadaný model temperace

## 8 NÁVRHY

### 8.1 Temperační systém

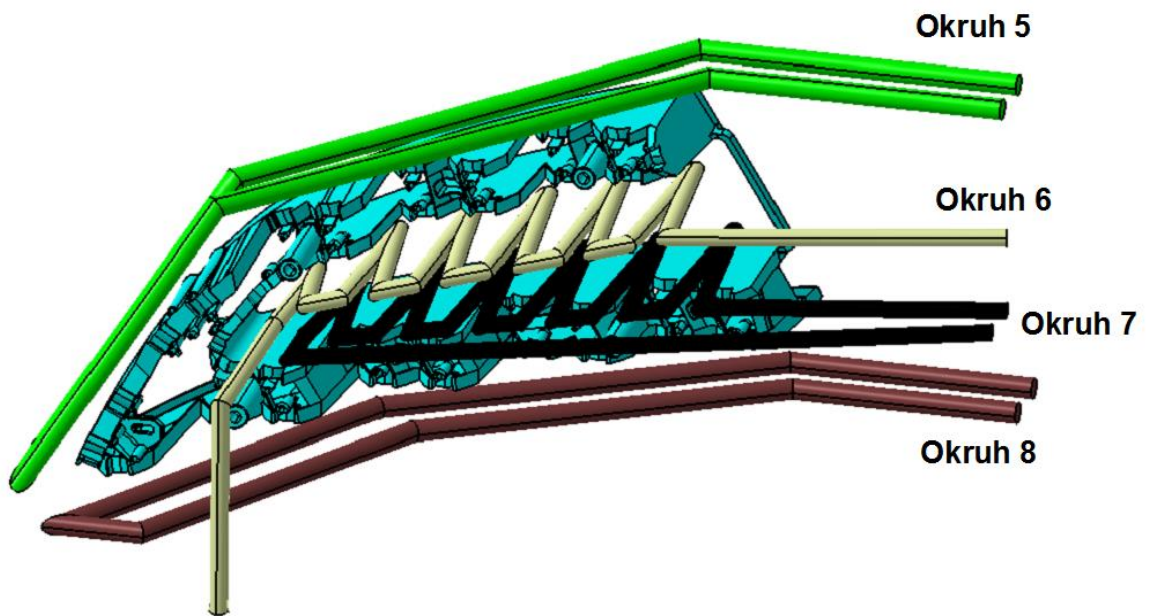
#### 8.1.1 Konvenční temperace

Oproti původnímu návrhu (Obr. 34) jsou zmenšeny průměry kanálků z  $\varnothing 14$  mm na  $\varnothing 10$  mm u okruhů 1, 2, 5, 8. Následné přiblížení k modelu na 1,5 násobek průměru kanálku, což zvyšuje temperační účinek. U okruhu 3 byla přidána přepážka (baffle), pro zvýšení efektivity chlazení rohu. U okruhu 4, byl zmenšen průměr z  $\varnothing 10$  mm na  $\varnothing 8$  mm, což umožnilo přidání dalších kanálků a tím pokrytí větší plochy Obr. 35.



Obr. 35 Okruhy 1-4 konvenční temperace – tvárník

Vnitřní okruh tvárnice byl kompletně předělán. Byly vytvořeny okruhy 6 a 7, u kterých je využito chlazení pomocí přepážek. V každém okruhu, je umístěno 6 přepážek, což je maximum na jeden okruh, aniž by docházelo k velkým tlakovým ztrátám Obr. 36. Průměry a průtoky okruhů 1-8 jsou popsány v Tab. 4.



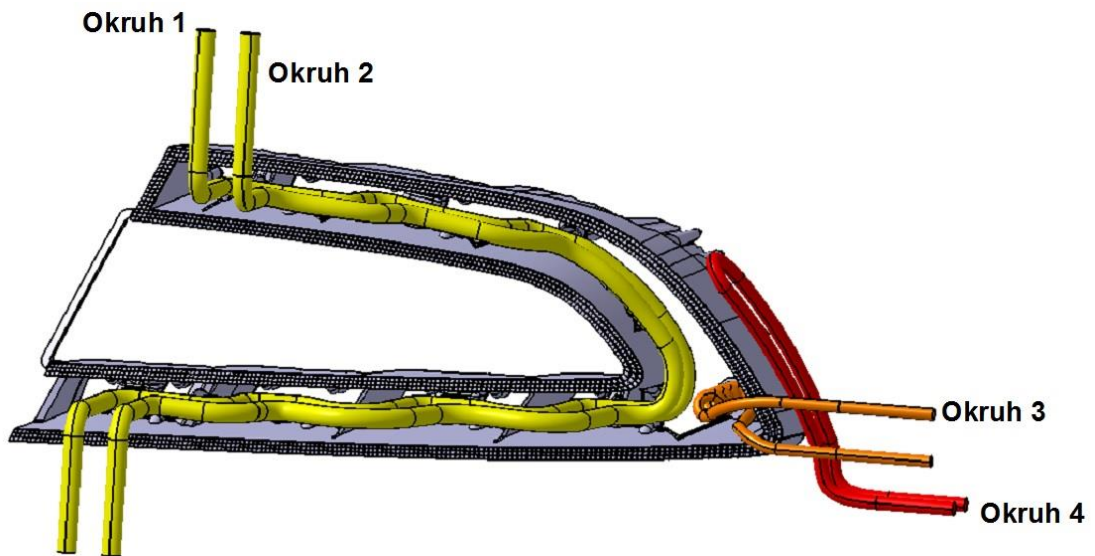
Obr. 36 Okruhy 5-8 konvenční temperace – tvárnice

Tab. 4 Průměry a průtoky jednotlivých okruhů 1-8 konvenční temperace

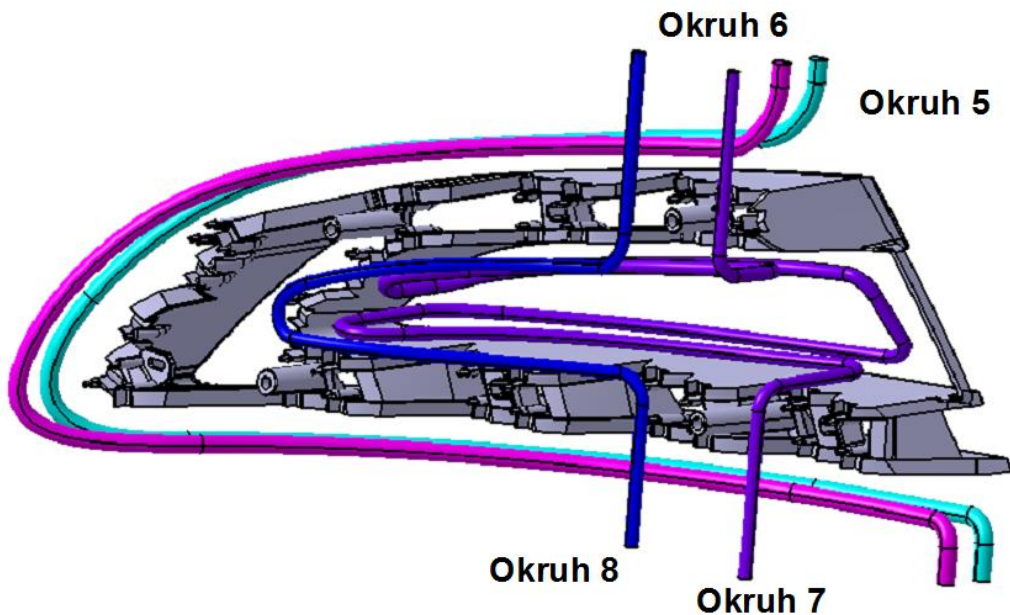
Název	Průměr [mm]	Průtok [l/min]
Okruh 1	10	15
Okruh 2	10	15
Okruh 3	8	12
Okruh 4	8	12
Okruh 5	10	15
Okruh 6	8	12
Okruh 7	8	12
Okruh 8	10	15

### 8.1.2 Nekonvenční (konformní) temperace

Metoda DLMS viz kapitola 5.2 umožňuje vytvořit jednotlivé okruhy, které kopírují tvar výrobku, aby bylo docíleno rovnoměrného a maximálního temperačního účinku. Ten výrazně snižuje cyklus chlazení. Na Obr. 37, jsou vymodelovány okruhy tvárničky, byly navrženy 4 okruhy. Na Obr. 38 jsou vymodelovány okruhy tvárnice, byly navrženy další 4 okruhy. Průměry a průtoky jednotlivých okruhů 1-8 jsou popsány v Tab. 5.



Obr. 37 Okruhy 1-4 konformní temperace – tvárník



Obr. 38 Okruhy 5-8 konformní temperace – tvárnice

Tab. 5 Průměr a průtok jednotlivých okruhů 1-8 konformní temperace

Název	Průměr [mm]	Průtok [l/min]
Okruh 1	8	15
Okruh 2	8	15
Okruh 3	6	12
Okruh 4	5	10
Okruh 5	8	15
Okruh 6	8	15
Okruh 7	6	12
Okruh 8	6	12

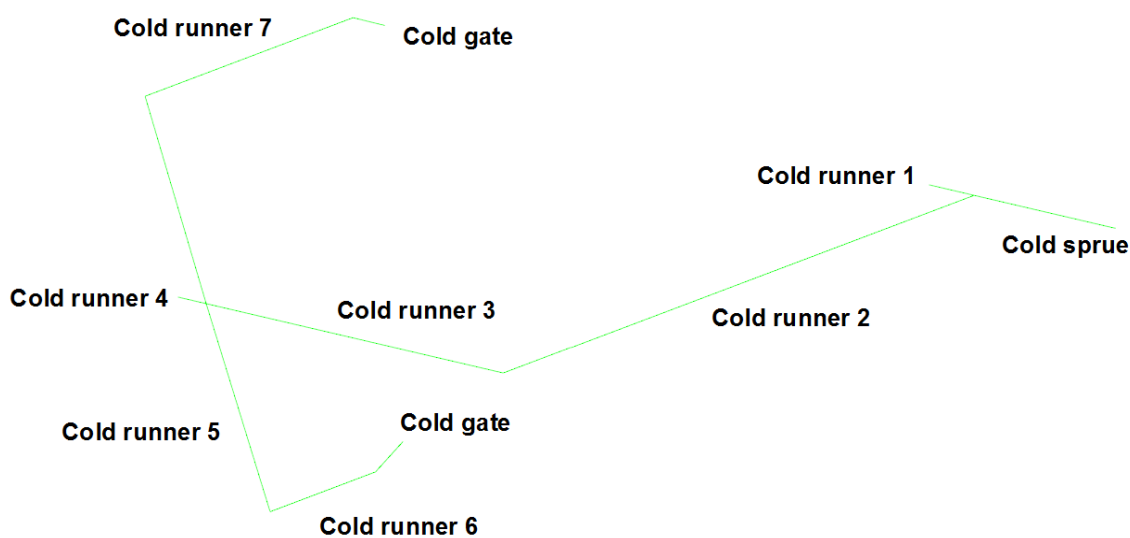


## 8.2 Vtokový systém

Byly navrženy celkem 4 varianty vtokového systému. Dvě varianty pro studený vtokový systém a 2 varianty pro kombinovaný vtokový systém, které se liší v počtu vtoků. Jednotlivé návrhy jsou popsány níže.

### 8.2.1 Studený vtokový systém - 2 bodový vtok

V prvním návrhu, byl navržen 2 bodový studený vtokový systém, trajektorie je nakreslena na Obr. 39. Jednotlivé rozměry a typ geometrie jsou popsány v Tab. 6.



Obr. 39 Studený 2 bodový vtokový systém

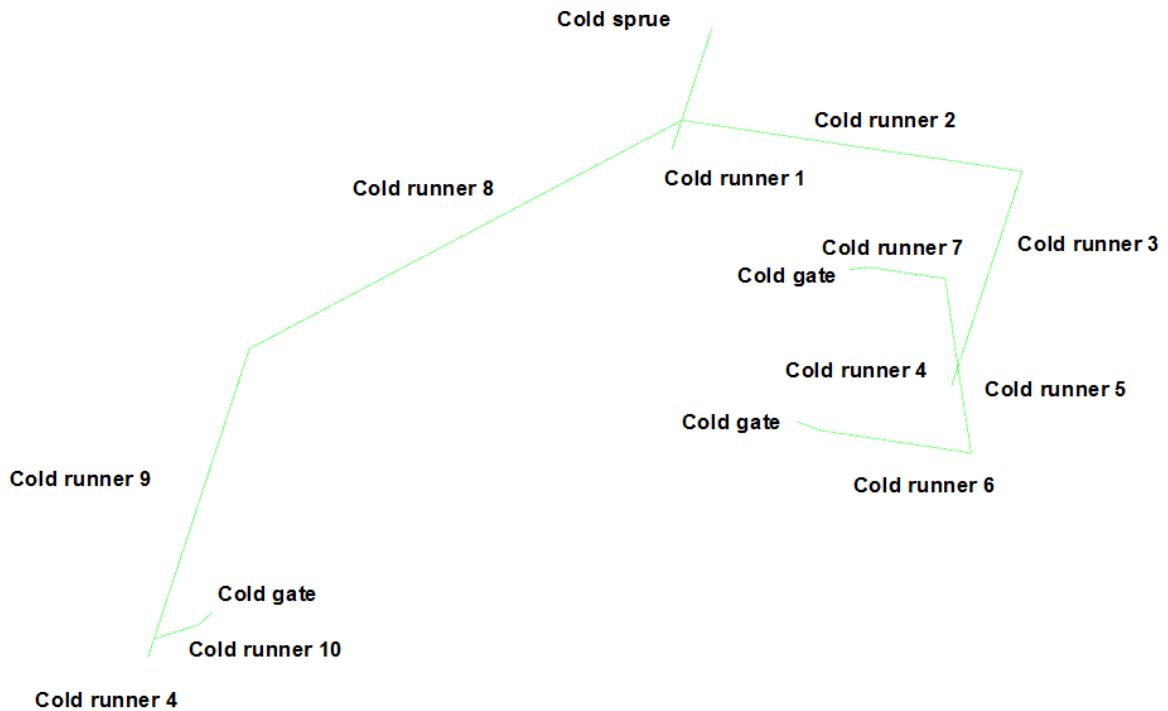
Tab. 6 Podrobný popis studeného 2 bodového vtokového systému

Název	Geometrie	Typ kanálu	Rozměry [mm]
Studený vtok	Kužel	Cold sprue	$\varnothing d= 8; \varnothing D = 10; L = 50$
Jímka	Válec	Cold runner 1	$\varnothing D = 8; L = 15$
Rozvodný kanál 1	Lichoběžník	Cold runner 2	$B_1 = 10; B_2 = 8; H = 8; L = 165$
Rozvodný kanál 2	Kužel	Cold runner 3	$\varnothing d= 8; \varnothing D = 10; L = 105$
Přidržovač	kužel	Cold runner 4	$\varnothing d= 8; \varnothing D = 10; L = 10$
Rozvodný kanál 3	Lichoběžník	Cold runner 5	$B_1 = 1; B_2 = 8; H = 8; L = 107$
Rozvodný kanál 4	Lichoběžník	Cold runner 6	$B_1 = 10; B_2 = 8; H = 8; L = 37$
Rozvodný kanál 5	Lichoběžník	Cold runner 7	$B_1 = 10; B_2 = 8; H = 8; L = 73$
Vtokové ústí	Kužel	Cold gate	$\varnothing d= 3; \varnothing D = 8; L = 10$



### 8.2.2 Studený vtokový systém - 3 bodový vtok

Ve druhém návrhu, byl navržen 3 bodový studený vtokový systém, trajektorie je nakreslena na Obr. 40. Jednotlivé rozměry a typ geometrie jsou popsány v Tab. 7.



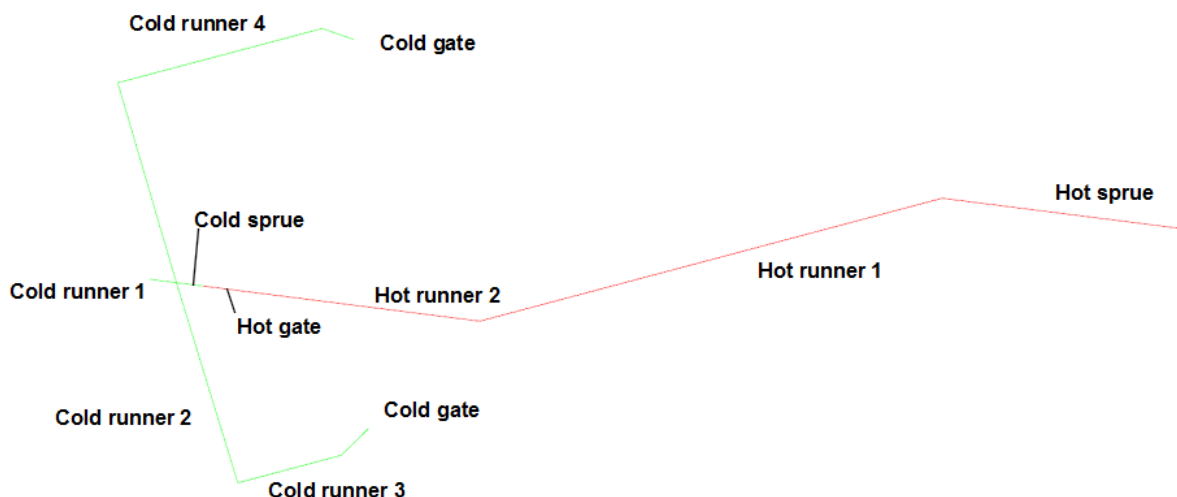
Obr. 40 Studený 3 bodový vtokový systém

Tab. 7 Podrobný popis studeného 3 bodového vtokového systému

Název	Geometrie	Typ kanálu	Rozměry [mm]
Studený vtok	Kužel	Cold sprue	$\emptyset d = 8; \emptyset D = 10; L = 50$
Jímka	Válec	Cold runner 1	$\emptyset D = 8; L = 15$
Rozvodný kanál 1	Lichoběžník	Cold runner 2	$B_1 = 10; B_2 = 8; H = 8; L = 165$
Rozvodný kanál 2	Kužel	Cold runner 3	$\emptyset d = 8; \emptyset D = 10; L = 105$
Přidržovač	Kužel	Cold runner 4	$\emptyset d = 8; \emptyset D = 10; L = 10$
Rozvodný kanál 3	Lichoběžník	Cold runner 5	$B_1 = 1; B_2 = 8; H = 8; L = 107$
Rozvodný kanál 4	Lichoběžník	Cold runner 6	$B_1 = 10; B_2 = 8; H = 8; L = 73$
Rozvodný kanál 5	Lichoběžník	Cold runner 7	$B_1 = 10; B_2 = 8; H = 8; L = 37$
Rozvodný kanál 6	Lichoběžník	Cold runner 8	$B_1 = 10; B_2 = 8; H = 8; L = 223$
Rozvodný kanál 7	Kužel	Cold runner 9	$\emptyset d = 8; \emptyset D = 10; L = 156$
Rozvodný kanál 8	Lichoběžník	Cold runner 10	$B_1 = 10; B_2 = 8; H = 8; L = 33$
Vtokové ústí	Kužel	Cold gate	$\emptyset d = 3; \emptyset D = 8; L = 10$

### 8.2.3 Kombinovaný vtokový systém 2 bodový vtok

Ve třetím návrhu, byl navržen 2 bodový kombinovaný vtokový systém, trajektorie je nakreslena na Obr. 41. Jednotlivé rozměry a typ geometrie jsou popsány v Tab. 8.



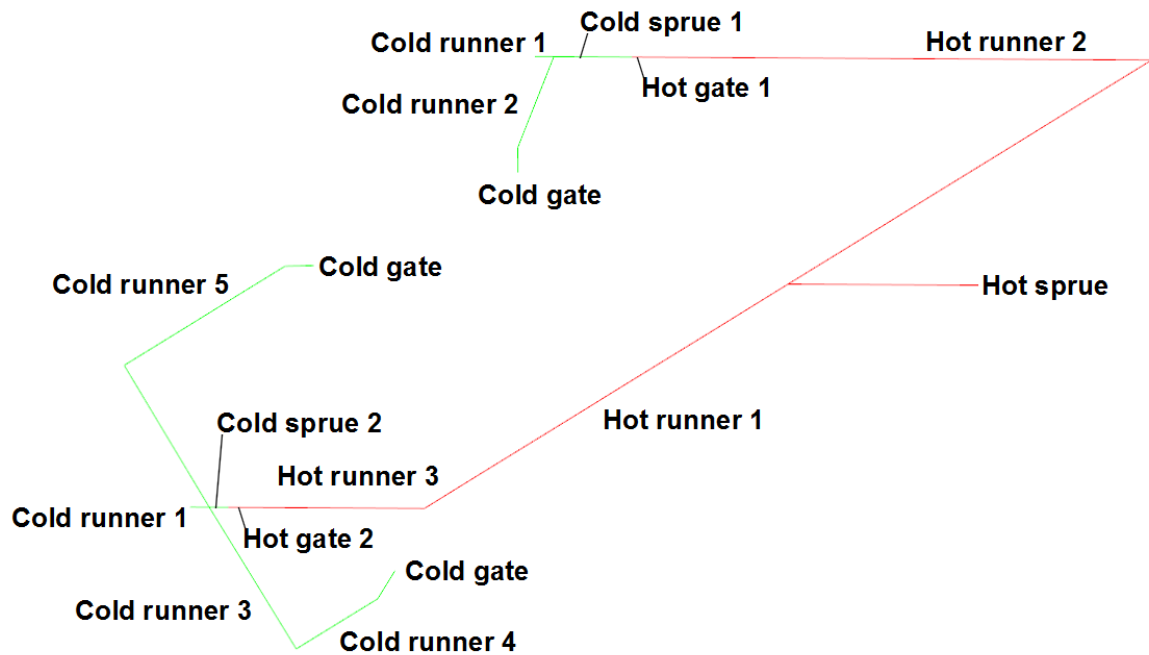
Obr. 41 Kombinovaný 2 bodový vtokový systém

Tab. 8 Podrobný popis kombinovaného 2 bodového vtokového systému

Název	Geometrie	Typ kanálu	Rozměry [mm]
Horký vtok	Válec	Hot sprue	$\emptyset D = 10; L = 100$
Horký rozvodný kanál 1	Válec	Hot runner 1	$\emptyset D = 10; L = 165$
Horký rozvodný kanál 2	Válec	Hot runner 2	$\emptyset D = 6; L = 93$
Hork vtokové ústí	kužel	Hot gate	$\emptyset d = 3,3; \emptyset D = 6; L = 10$
Studený vtok	Kužel	Cold sprue	$\emptyset d = 3,3; \emptyset D = 10; L = 10$
Přidržovač	Kužel	Cold runner 1	$\emptyset d = 8; \emptyset D = 10; L = 10$
Rozvodný kanál 1	Lichoběžník	Cold runner 2	$B_1 = 10; B_2 = 8; H = 8; L = 107$
Rozvodný kanál 2	Lichoběžník	Cold runner 3	$B_1 = 10; B_2 = 8; H = 8; L = 37$
Rozvodný kanál 3	Lichoběžník	Cold runner 4	$B_1 = 10; B_2 = 8; H = 8; L = 73$
Vtokové ústí	Kužel	Cold gate	$\emptyset d = 3; \emptyset D = 8; L = 10$

### 8.2.4 Kombinovaný vtokový systém 3 bodový vtok

Ve čtvrtém návrhu, byl navržen 3 bodový kombinovaný vtokový systém, trajektorie je nakreslena na Obr. 42. Jednotlivé rozměry a typ geometrie jsou popsány v Tab. 9.



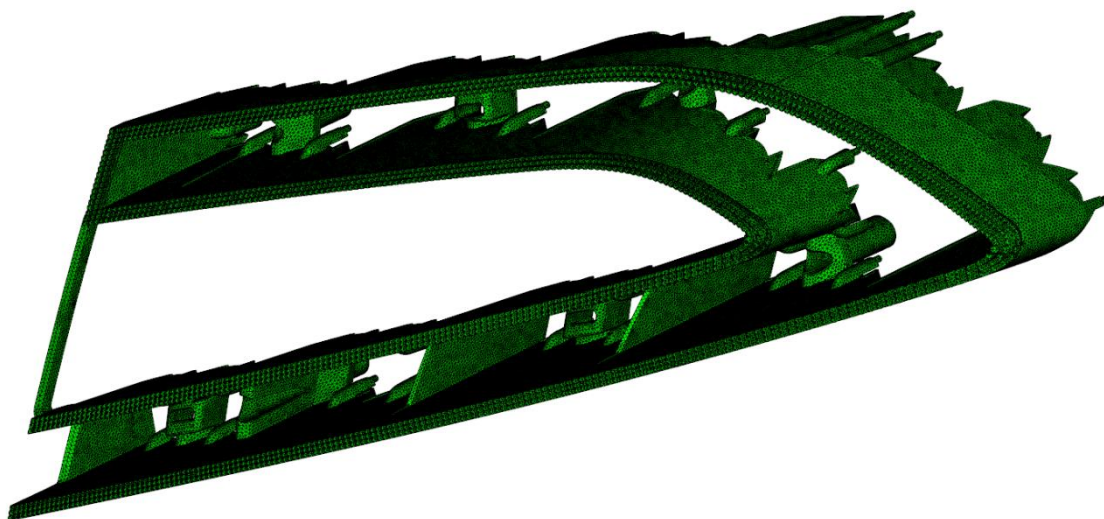
Obr. 42 Kombinovaný 3 bodový vtokový systém

Tab. 9 Podrobný popis kombinovaného 3 bodového vtokového systému

Název	Geometrie	Typ kanálu	Rozměry [mm]
Horký vtok	Válec	Hot sprue	$\emptyset D = 10$ ; $L = 100$
Horký rozvodný kanál 1	Válec	Hot runner 1	$\emptyset D = 10$ ; $L = 330$
Horký rozvodný kanál 2	Válec	Hot runner 2	$\emptyset D = 8$ ; $L = 263$
Horký rozvodný kanál 3	Válec	Hot runner 3	$\emptyset D = 6$ ; $L = 93$
Hork vtokové ústí 1	kužel	Hot gate 1	$\emptyset d = 3,8$ ; $\emptyset D = 8$ ; $L = 10$
Hork vtokové ústí 2	kužel	Hot gate 2	$\emptyset d = 3,3$ ; $\emptyset D = 6$ ; $L = 10$
Studený vtok	Kužel	Cold sprue 1	$\emptyset d = 3,8$ ; $\emptyset D = 10$ ; $L = 41$
Studený vtok	Kužel	Cold sprue 2	$\emptyset d = 3,3$ ; $\emptyset D = 10$ ; $L = 10$
Přidržovač	Kužel	Cold runner 1	$\emptyset d = 8$ ; $\emptyset D = 10$ ; $L = 10$
Rozvodný kanál 1	Lichoběžník	Cold runner 2	$B_1 = 10$ ; $B_2 = 8$ ; $H = 8$ ; $L = 33$
Rozvodný kanál 2	Lichoběžník	Cold runner 3	$B_1 = 10$ ; $B_2 = 8$ ; $H = 8$ ; $L = 108$
Rozvodný kanál 3	Lichoběžník	Cold runner 4	$B_1 = 10$ ; $B_2 = 8$ ; $H = 8$ ; $L = 37$
Rozvodný kanál 4	Lichoběžník	Cold runner 5	$B_1 = 10$ ; $B_2 = 8$ ; $H = 8$ ; $L = 73$
Vtokové ústí	Kužel	Cold gate	$\emptyset d = 3$ ; $\emptyset D = 8$ ; $L = 10$

### 8.3 Analýzy

Pro výpočet analýz, bylo jako první potřeba stanovit velikost sítě na modelu. Velikost sítě nám určuje přesnost výpočtů. Zde byla dána podmínka z firmy, že hodnota Match percentage, musí být větší, než 85 %. Jelikož se jedná o tvarově náročný a tlustostěnný díl, je velmi problematické se dostat na vyšší hodnoty.



Obr. 43 Vysíťovaný model – kvalita sítě 1,5 mm dual domain

Jako výchozí kvalita sítě, byla zvolena velikost 1,5 mm, které odpovídá Match percentage 86,7 %. Vyšší hodnoty nebylo možné dosáhnout. Dále bylo nutno upravit hodnotu Aspect ratio, pod maximální hodnotu 15. Pokud by byla hodnota překročena, dochází ke zmenšení přesnosti výpočtů. Obě tyto podmínky byly splněny, viz. statistika sítě Obr. 44.

Triangles			
-----			
Entity counts:			
Triangles	262216		
Connected nodes	131080		
Connectivity regions	1		
Invisible triangles	0		
Area:		Edge details:	
(Mold blocks and cooling channels are not included)			
Surface Area:	1771.54 cm <sup>2</sup>	Free edges	0
		Manifold edges	393324
		Non-manifold edges	0
Volume by element types:		Orientation details:	
Triangle:	391.836 cm <sup>3</sup>	Elements not oriented	0
Aspect Ratio:		Intersection details:	
Maximum	Average	Minimum	
13.87	1.81	1.16	
		Match percentage:	
		Match percentage	86.7%
		Reciprocal percentage	87.3%

Obr. 44 Statistika sítě dual domain

Pro získání přesnějších výsledků, byl následně model převeden na 3D síť a spočítána kompletní analýza všech variant.

## 8.4 Varianta 1 A

V této variantě byl použit 2 bodový studený vtokový systém, dále konvenční temperace a nekonvenční temperace. Dle materiálového listu, byly zvoleny střední hodnoty, pro procesní podmínky Tab. 10.

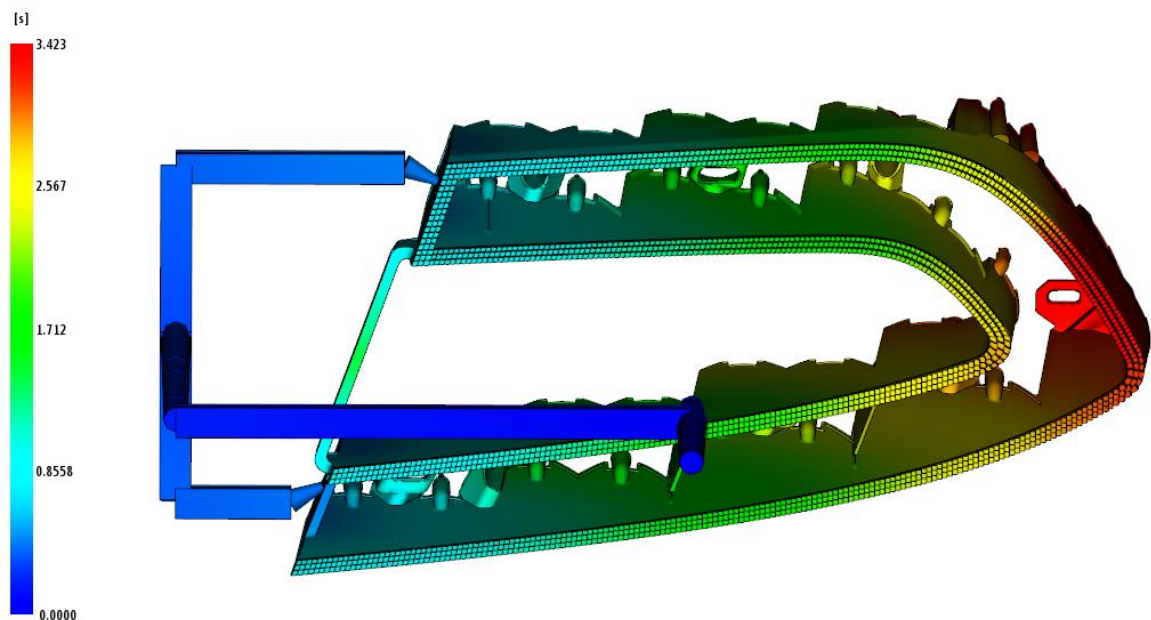
### 8.4.1 Analýza varianty 1 A

Tab. 10 Procesní podmínky použité při variantě 1 A

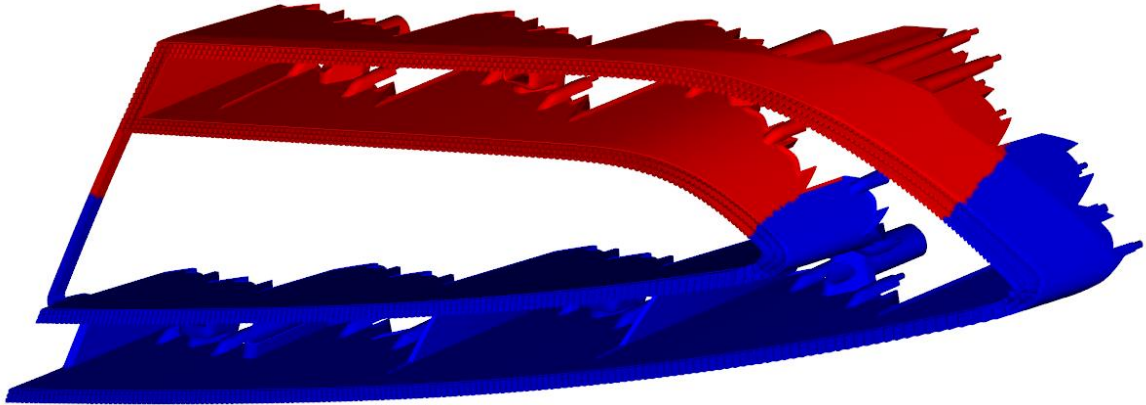
Procesní podmínky	
Teplota taveniny	240 °C
Teplota formy	80 °C
Vyhazovací teplota	110 °C
Teplota temperace	75 °C
Temperační medium	Voda
Materiál	Altuglas V825T
Stroj	Allrounder 630 s 300tons (50mm)

### 8.4.2 Plnění

Celkový čas plnění dutiny formy u této varianty vtoku, byl stanoven na 3,423 s.



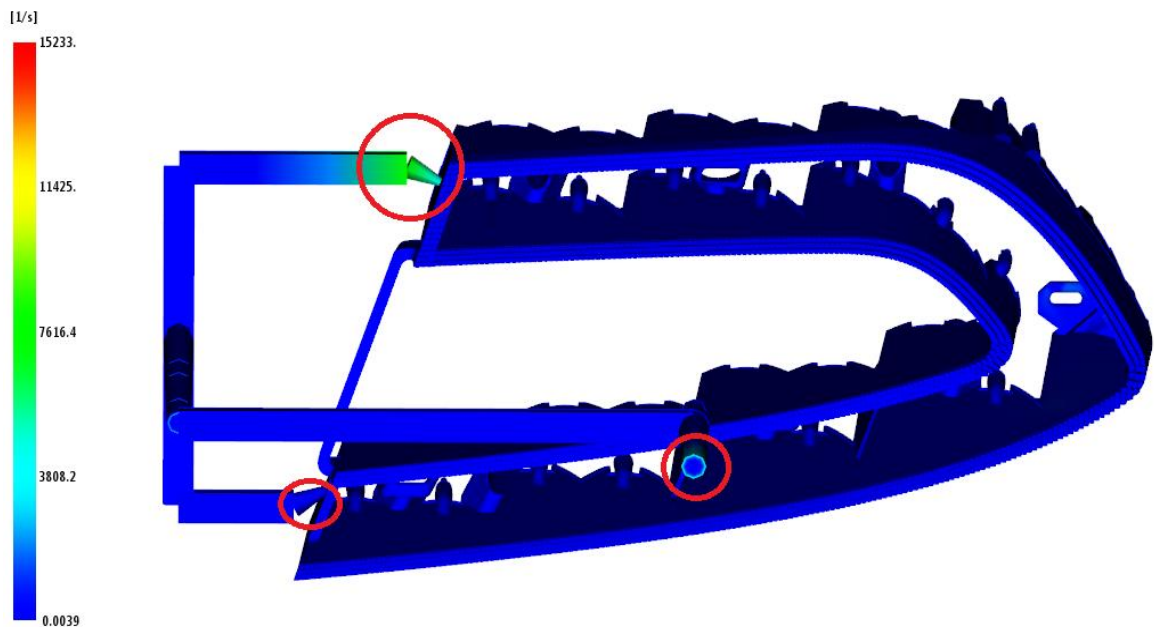
Obr. 45 Výsledek analýzy plnění 2 bodový vtok varianta 1 A



Obr. 46 Plnění dutiny 2 tryskami varianta 1 A

### 8.4.3 Smyková rychlost

Maximální hodnota smykové rychlosti, která nesmí být překročena, je pro zadaný materiál 40 000 1/s. Při překročení této hodnoty může docházet k nežádoucí degradaci materiálu a tím i ke snížení kvality výsledného výrobku. Byla zjištěna maximální smyková rychlost 15 233 1/s. Podmínka je splněna, místa jsou zakroužkována na Obr. 47. K největšímu namáhání taveniny dochází v ústí a ve vtoku.



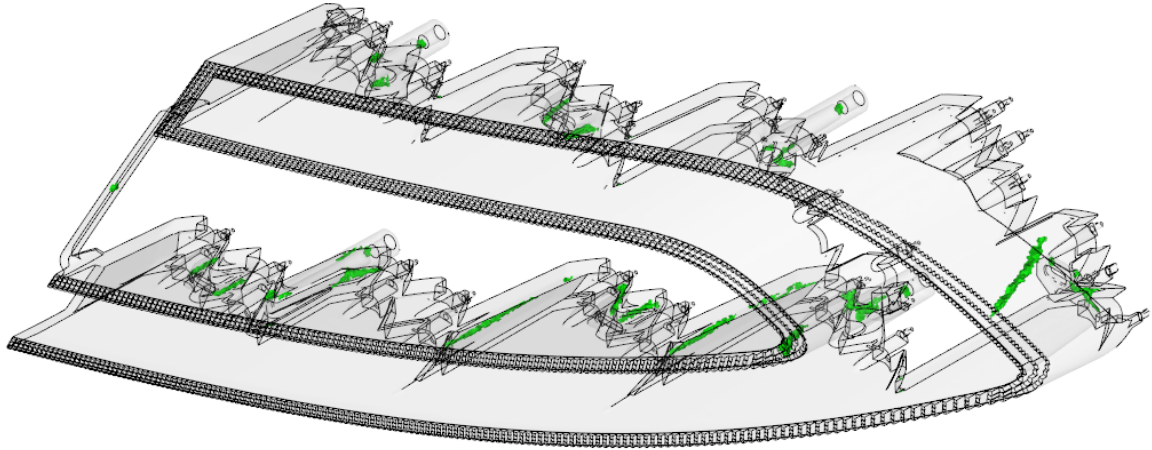
Obr. 47 Maximální smyková rychlost varianta 1 A

### 8.4.4 Studené spoje

Studené spoje, nelze úplně eliminovat, ale můžou být množstvím vtoků, procesními podmínkami a tloušťkami stěn přemístěny do částí výrobku, kde nebudou negativně



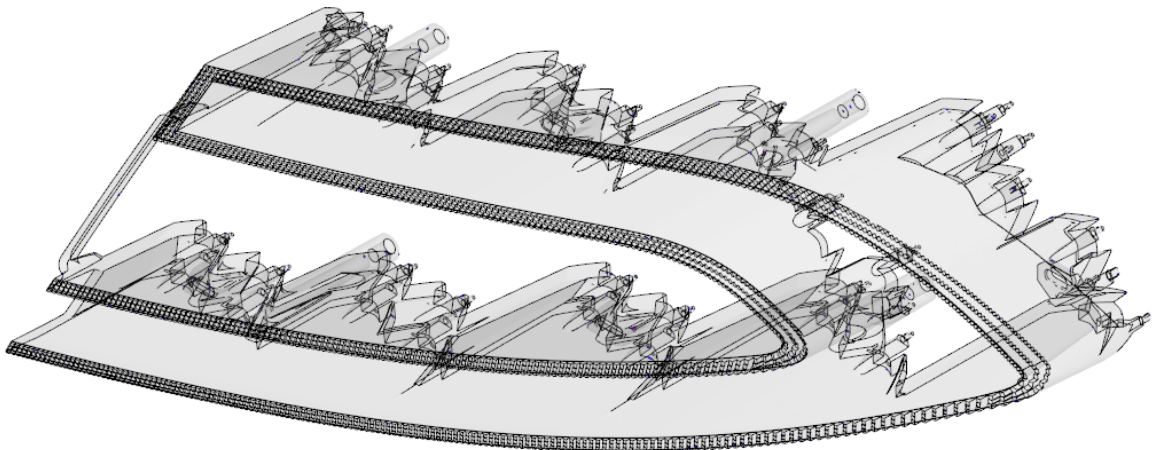
ovlivňovat kvalitu výrobku. Studené spoje, vznikají při plnění více vtoky, nebo při obtékání. Poloha studených spojů pro 2 bodový vtok, by neměla výrazně ovlivňovat funkčnost výrobku.



*Obr. 48 Predikce vzniku studených spojů pro 2 bodový vtok varianta 1 A*

#### **8.4.5 Vzduchové kapsy**

Predikce vzduchových kapes na výrobku, které se nacházejí v zadní nepohledové části výrobku.

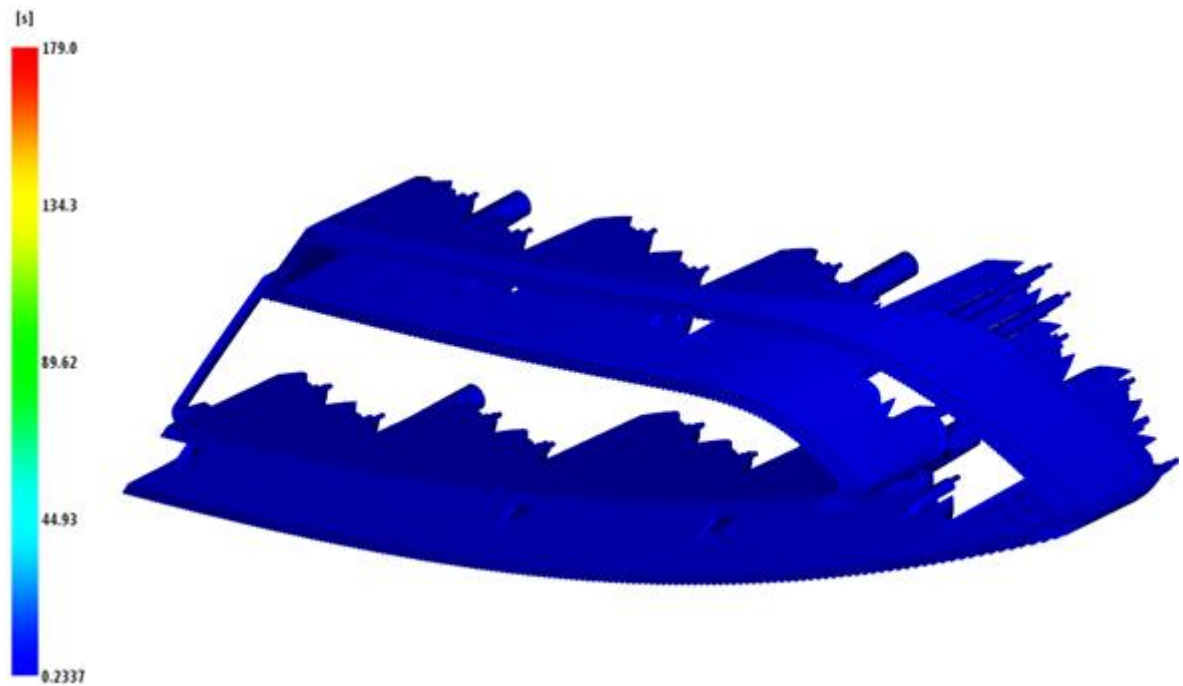


*Obr. 49 Predikce vzniku vzduchových bublin varianta 1 A*

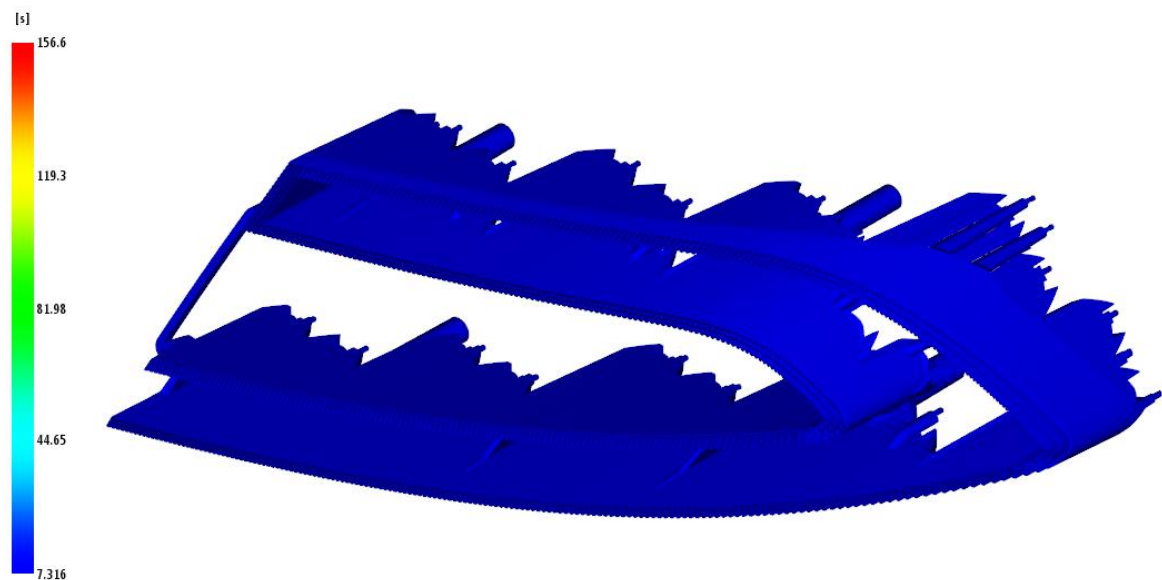
#### **8.4.6 Doba pro dosažení vyhazovací teploty**

Doba dosažení na vyhazovací teplotu je rychlejší u konformní temperace z důvodu účinnější trajektorie temperačního systému, které nám umožňuje technologie DMLS. U konvenční

temperace, nebylo možné dosáhnout takové efektivity z důvodu výrobního omezení konvenčních technologií.



*Obr. 50 Čas potřebný pro dosažení vyhazovací teploty – varianta 1 A konvenční temperace*



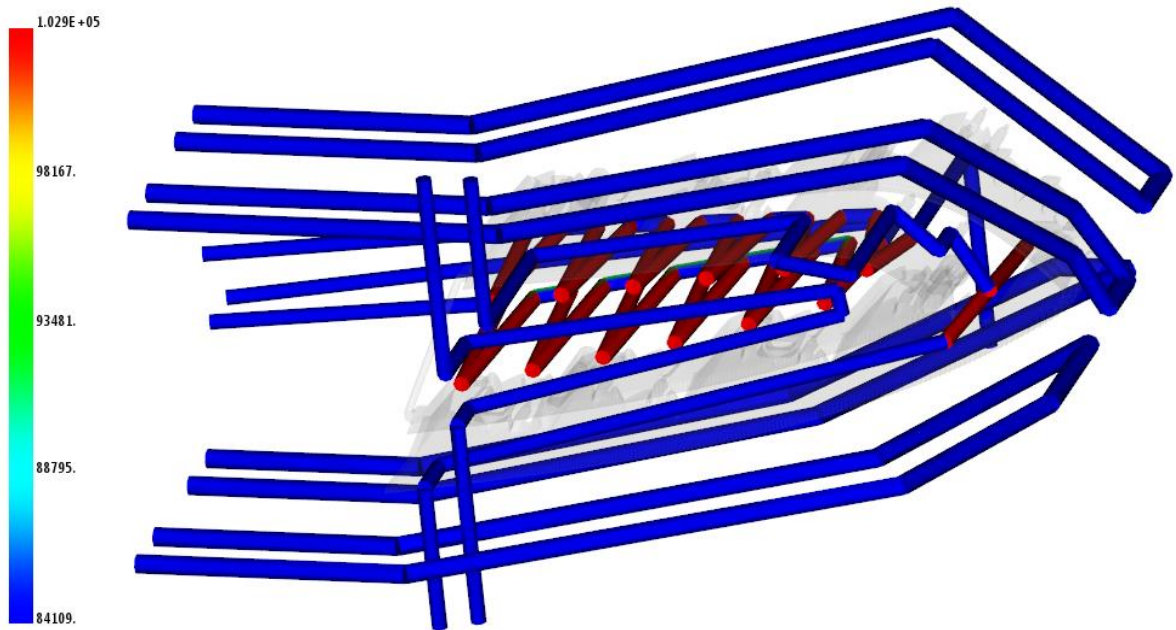
*Obr. 51 Čas potřebný pro dosažení vyhazovací teploty – varianta 1 A nekonvenční temperace*

V této variantě, byl čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty u konvenční metody 179 s. U konformní temperace je 156 s.

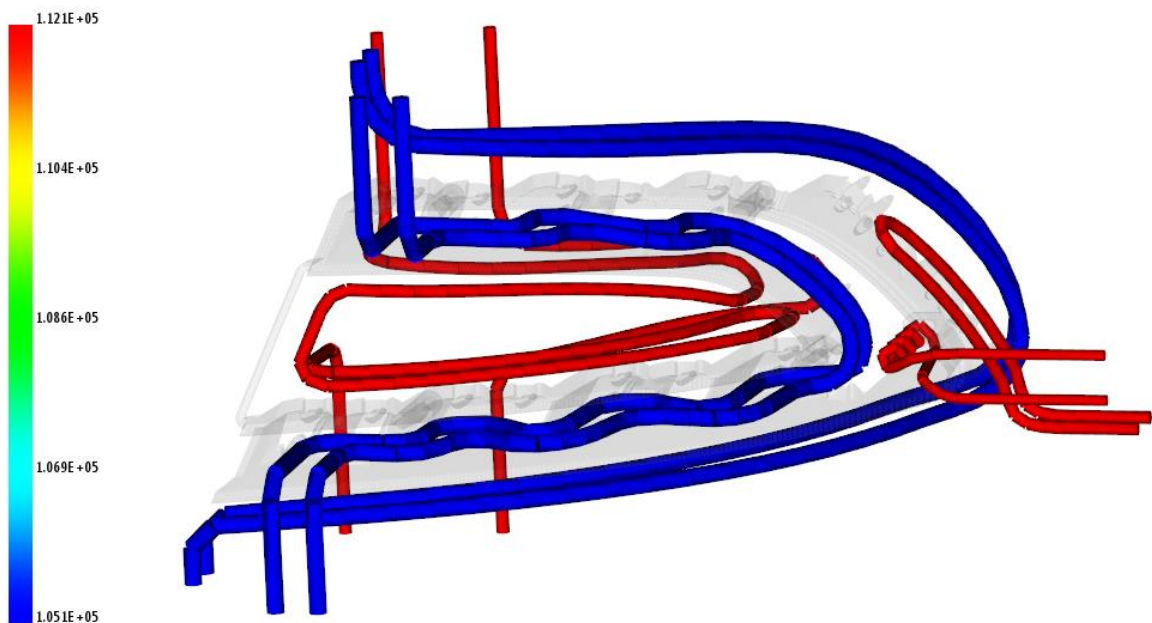


### 8.4.7 Reynoldsovo číslo

Pro největší efekt odvodu tepla z dutiny formy, je nutno dosáhnout turbulentního proudění. Turbulentní proudění je dáno rychlosti proudění, tvarem temperačního systému a typem temperačního média. Turbulentní proudění dosáhneme, pokud je Reynoldsovo číslo větší, jak 40 000. V obou případech, bylo docíleno turbulentního proudění.



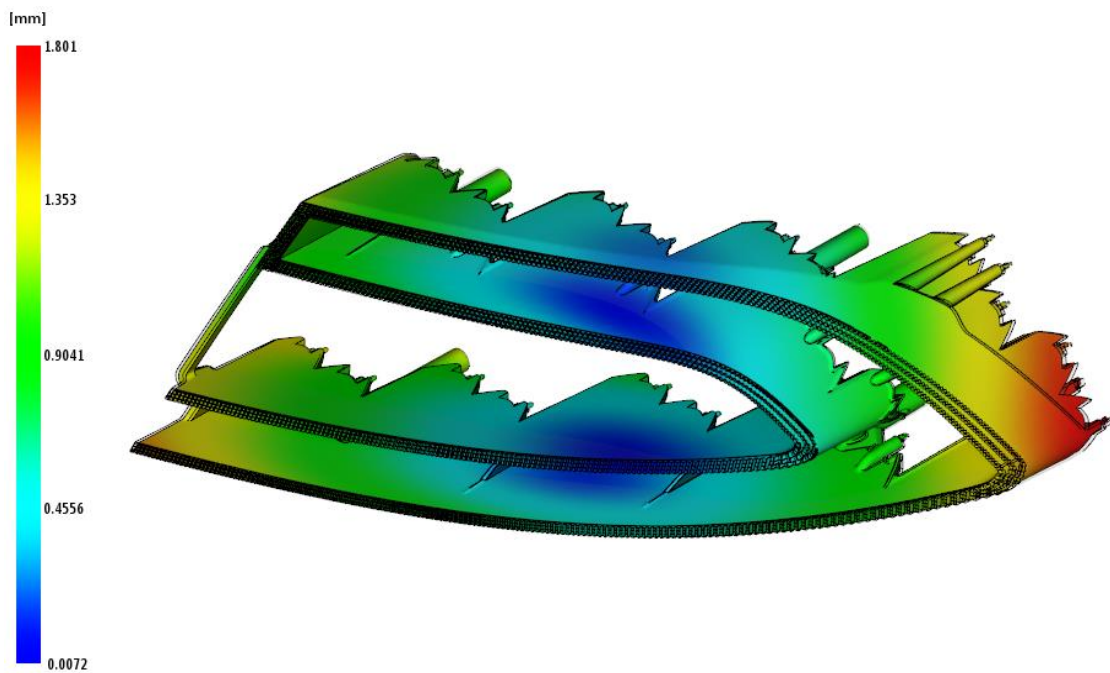
*Obr. 52 Reynoldsovo číslo – konvenční temperace*



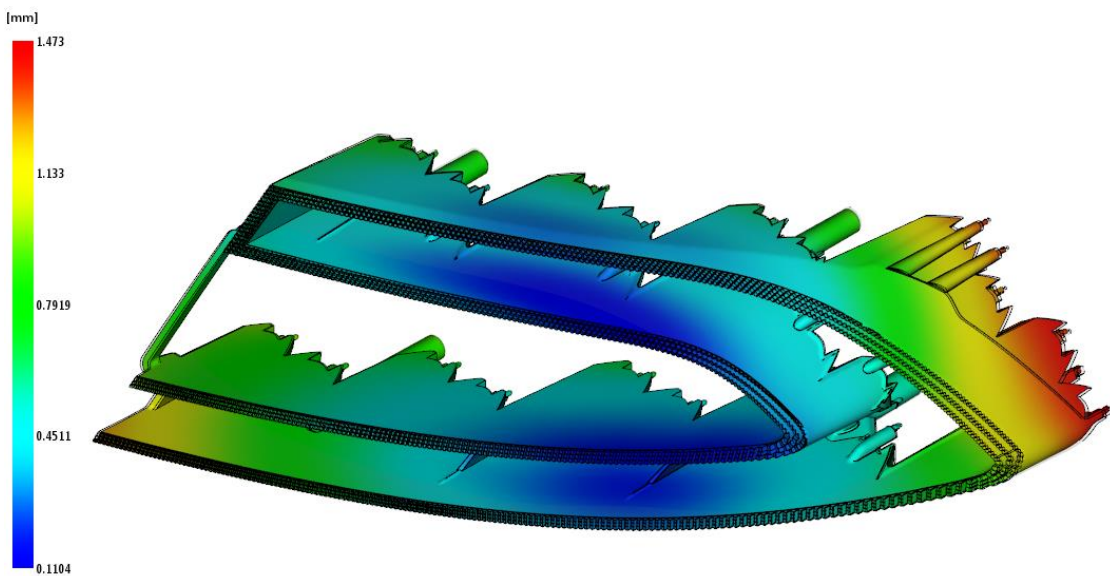
*Obr. 53 Reynoldsovo číslo – nekonvenční temperace*

#### 8.4.8 Celková deformace výrobku

Celková deformace výrobku, je ovlivněna zejména smrštěním zpracovávaného materiálu a způsobu temperace tvarové části. Čím bude teplotní pole rovnoměrnější, tím menší vzniknou deformace výrobku. Byla zjištěna celková deformace dílu, pro konvenční i nekonvenční temperaci. Pro variantu 1 A, byly zjištěny následující deformace: konvenční temperace 1,801 mm a nekonvenční temperace 1,473 mm. Největší deformace se nacházejí v pravém rohu výrobku.



Obr. 54 Celková deformace varianta 1 A, konvenční temperace



Obr. 55 Celková deformace varianta 1 A, nekonvenční temperace

## 8.5 Varianta 1 B

V této variantě byl použit 3 bodový studený vtokový systém, dále konvenční teploty a nekonvenční teploty. Dle materiálového listu, byly zvoleny střední hodnoty pro procesní podmínky Tab. 11.

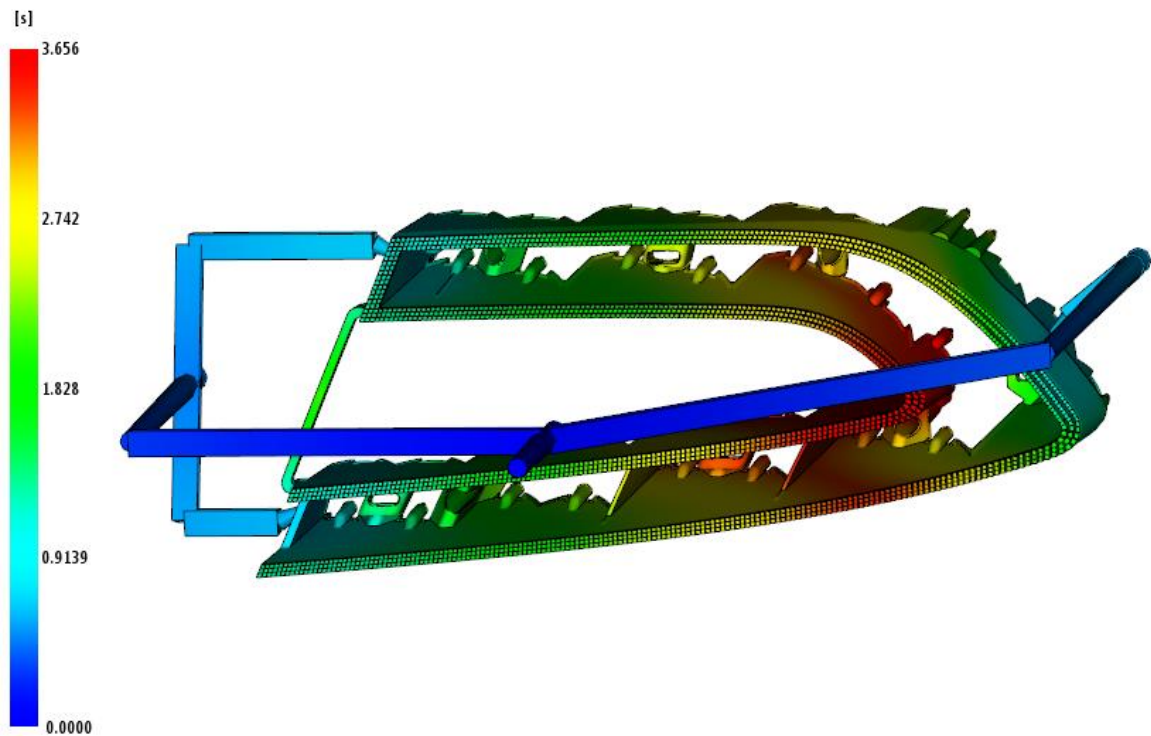
### 8.5.1 Analýza varianty 1 B

Tab. 11 Procesní podmínky použité při variantě 1 B

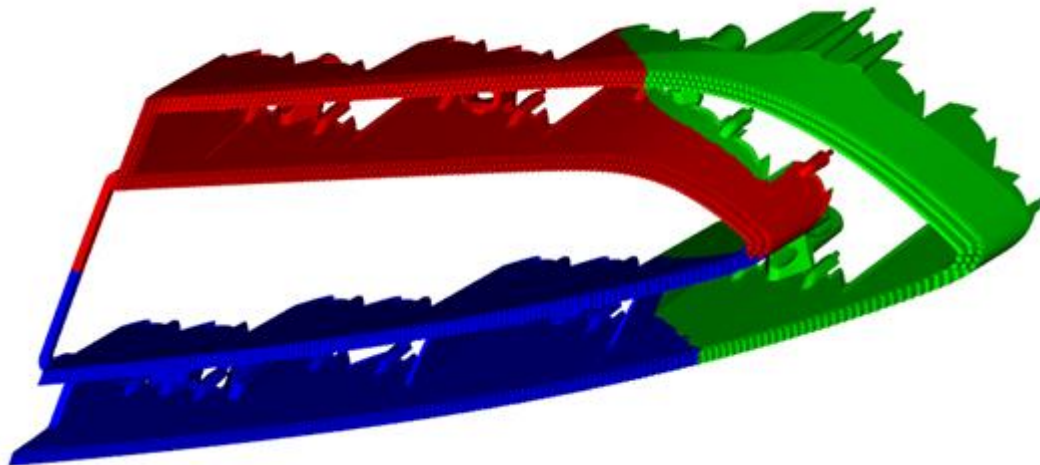
Procesní podmínky	
Teplota taveniny	240 °C
Teplota formy	80 °C
Vyhazovací teplota	110 °C
Teplota teploty	75 °C
Temperační medium	Voda
Materiál	Altuglas V825T
Stroj	Allrounder 630 s 300tons (50mm)

### 8.5.2 Plnění

Celkový čas plnění dutiny formy u této varianty vtoku, byl stanoven na 3,656 s.



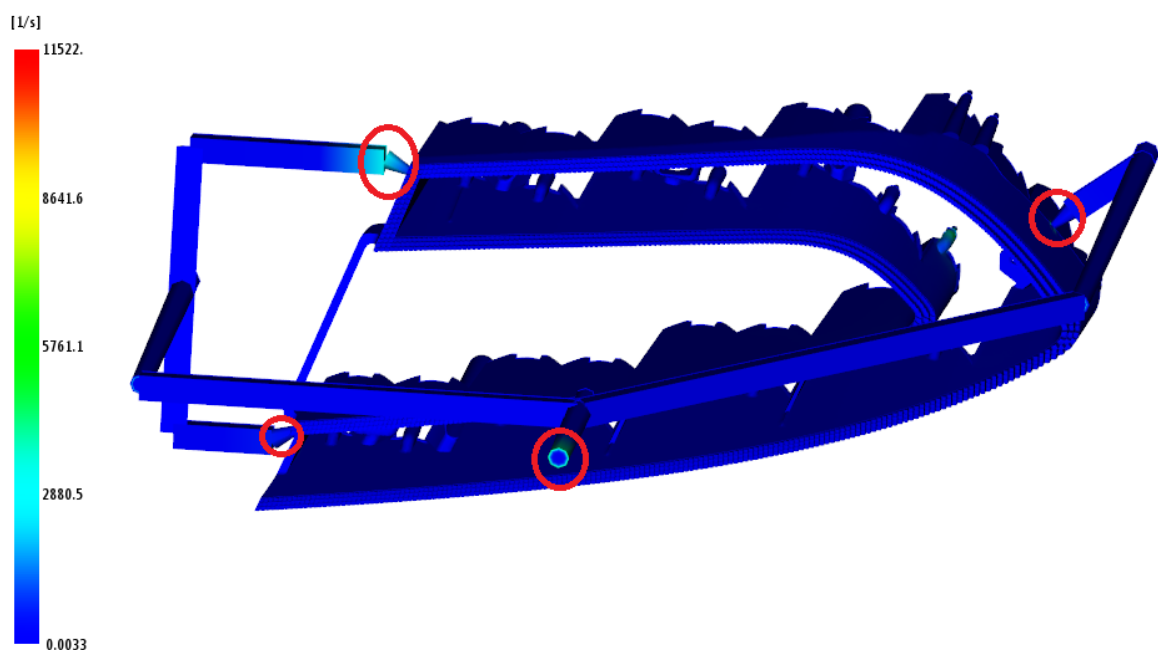
Obr. 56 Výsledek plnění 3 bodový vtok varianta 1 B



Obr. 57 Plnění dutiny 3 tryskami varianta 1 B

### 8.5.3 Smyková rychlost

Při simulaci, byla zjištěna maximální smyková rychlost 11 522 l/s. Podmínka je splněna, místa jsou zakroužkována na Obr. 58. K největšímu namáhání taveniny dochází v ústí a ve vtoku.

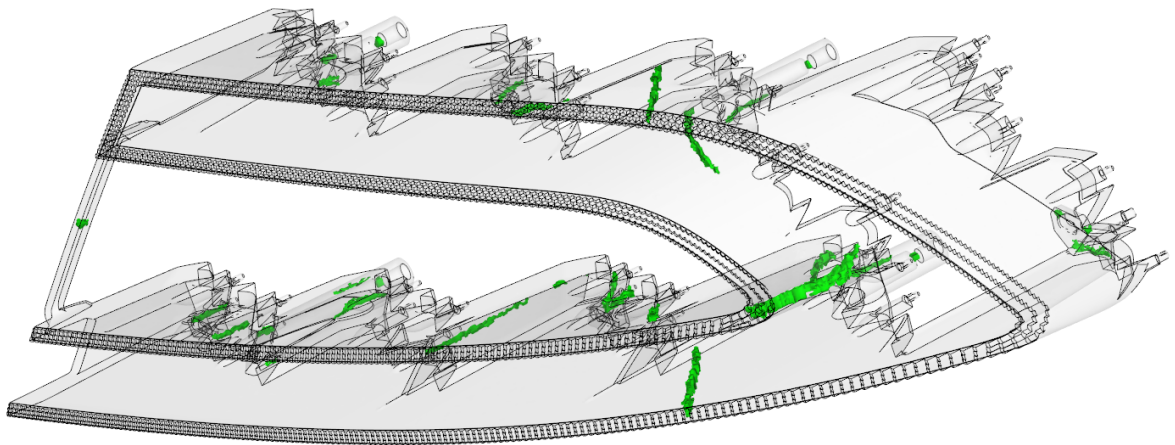


Obr. 58 Maximální smyková rychlost varianta 1 B

### 8.5.4 Studené spoje

Poloha studených spojů pro 3 bodový studený vtok, by neměla výrazně ovlivňovat funkčnost výrobku.

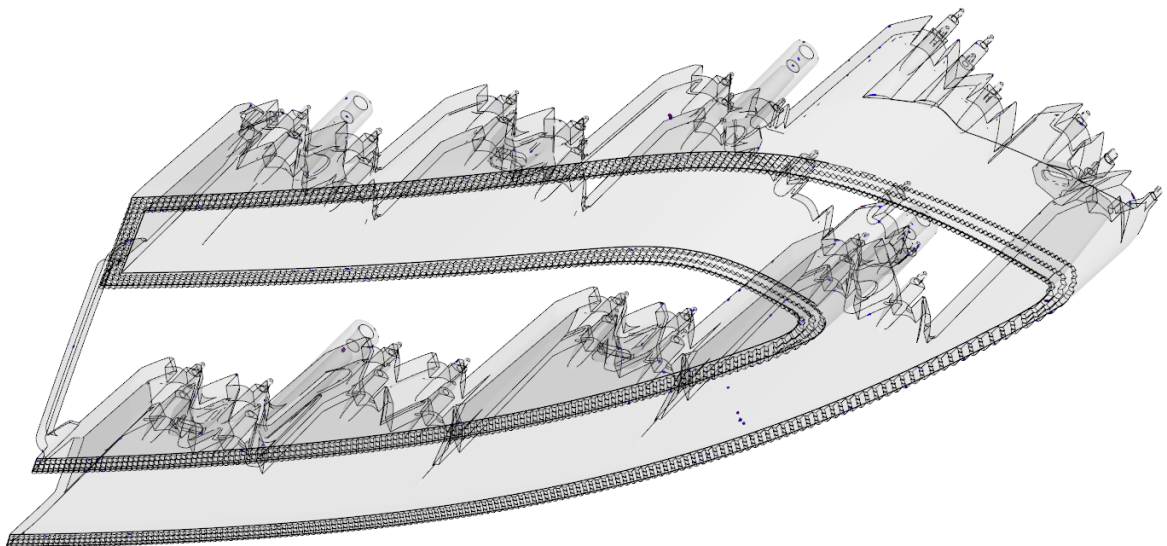




*Obr. 59 Predikce vzniku studených spojů pro 3 bodový studený vtok varianta 1 B*

### 8.5.5 Vzduchové kapsy

Predikce vzduchových kapes na výrobku, které se nacházejí v zadní nepohledové části výrobku.



*Obr. 60 Predikce vzniku vzduchových kapes varianta 1 B*

### 8.5.6 Doba pro dosažení vyhazovací teploty

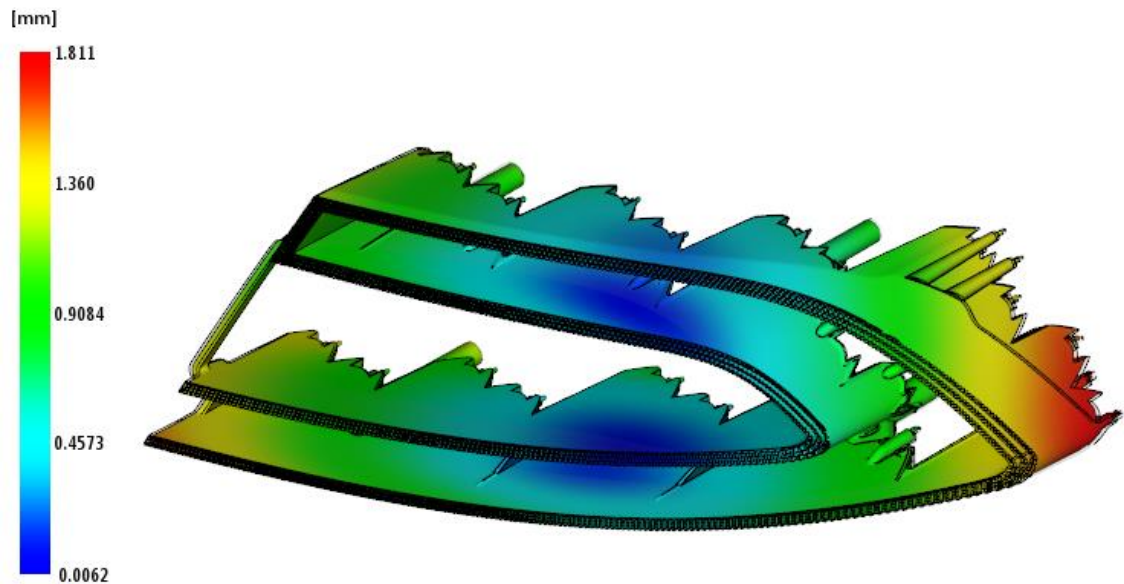
V této variantě, byl čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty stejný jako u varianty 1 A u konvenční metody 179 s. U konformní temperace je 156 s. Použití 3 bodového vtoku, nemělo vliv na čas cyklu.

### 8.5.7 Reynoldsovo číslo

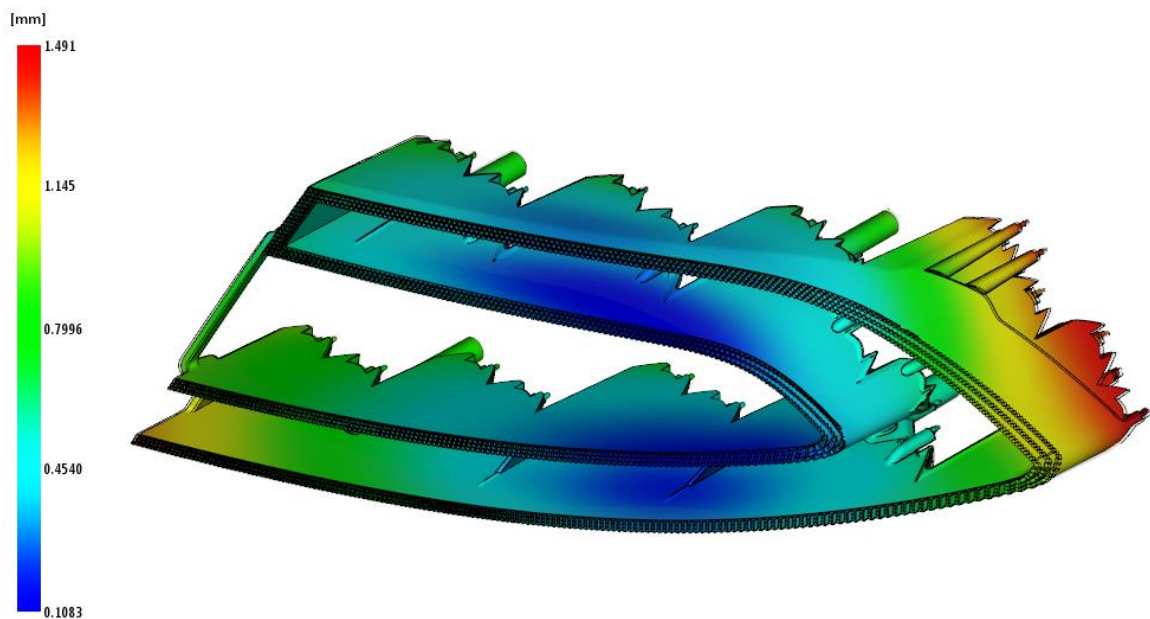
Reynoldsovo číslo vyšlo stejně jako ve variantě 1 A.

### 8.5.8 Celková deformace výrobku

Pro variantu 1 B byly zjištěny následující deformace: konvenční temperace 1,811 mm a nekonvenční temperace 1,491 mm. Největší deformace se nacházejí v pravém rohu výrobku.



Obr. 61 Celková deformace varianta 1 B – konvenční temperace



Obr. 62 Celková deformace varianta 1 B – nekonvenční temperace

## 8.6 Varianta 2 A

V této variantě byl použit 2 bodový kombinovaný vtokový systém, dále konvenční teplota a nekonvenční teplota. Dle materiálového listu, byly zvoleny střední hodnoty pro procesní podmínky Tab. 12.

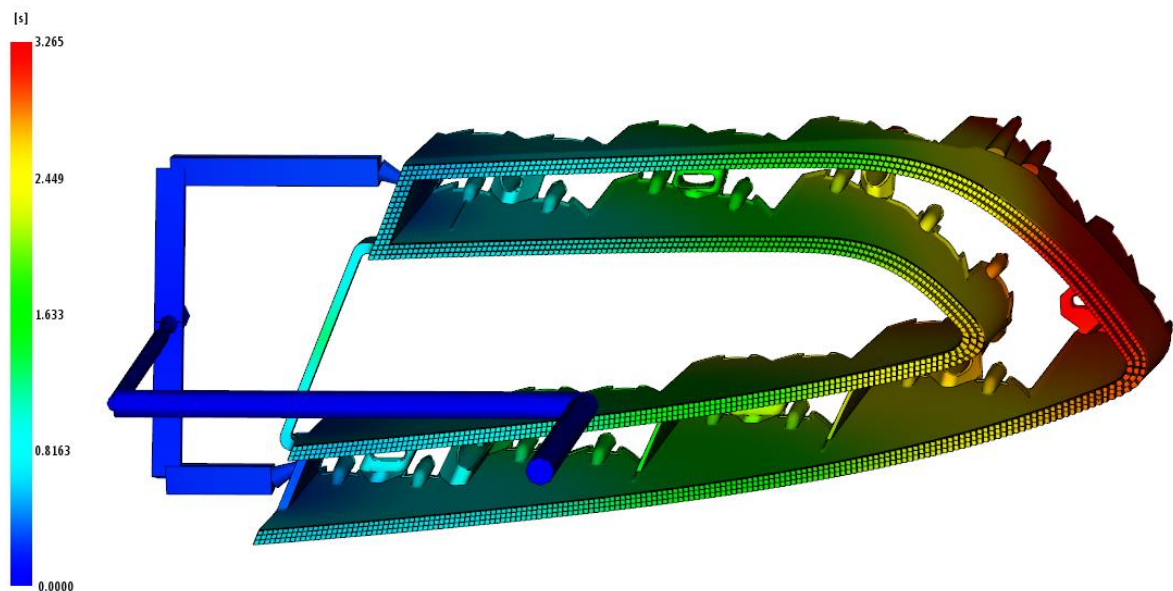
### 8.6.1 Analýza varianty 2 A

Tab. 12 Procesní podmínky použité při variantě 2 A

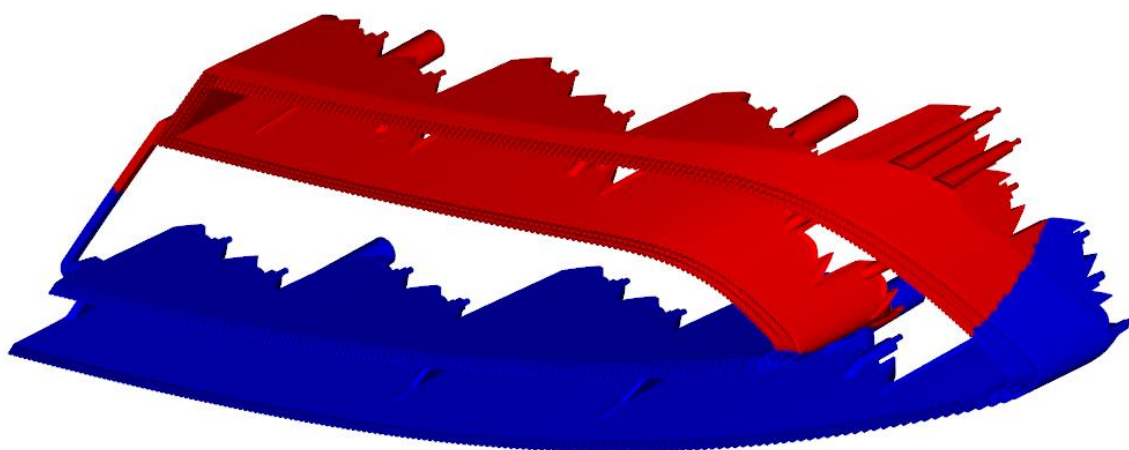
Procesní podmínky	
Teplota taveniny	240 °C
Teplota formy	80 °C
Vyhazovací teplota	110 °C
Teplota temperace	75 °C
Temperační medium	Voda
Materiál	Altuglas V825T
Stroj	Allrounder 630 s 300tons (50mm)

### 8.6.2 Plnění

Celkový čas plnění dutiny formy u této varianty vtoku, byl stanoven na 3,265s.



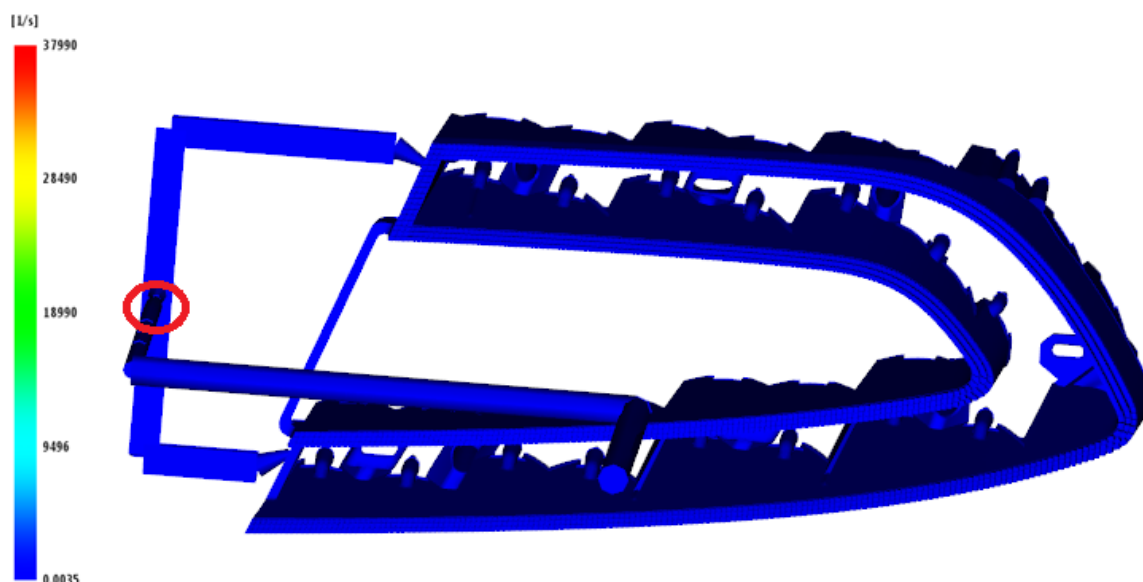
Obr. 63 Výsledek plnění 2 bodový vtok varianta 2 A



Obr. 64 Plnění dutiny 2 tryskami varianta 2 A

### 8.6.3 Smyková rychlost

Maximální hodnota smykové rychlosti, která nesmí být překročena, je pro zadaný materiál 40 000 l/s. Při překročení této hodnoty, může docházet k nežádoucí degradaci materiálu a tím i ke snížení kvality výsledného výrobku. Byla zjištěna maximální smyková rychlost 37 990 l/s. Podmínka je splněna, místa jsou zakroužkována na Obr. 65. K největší smykové rychlosti dochází v místě přechodu horkého ústí a studeného vtoku.

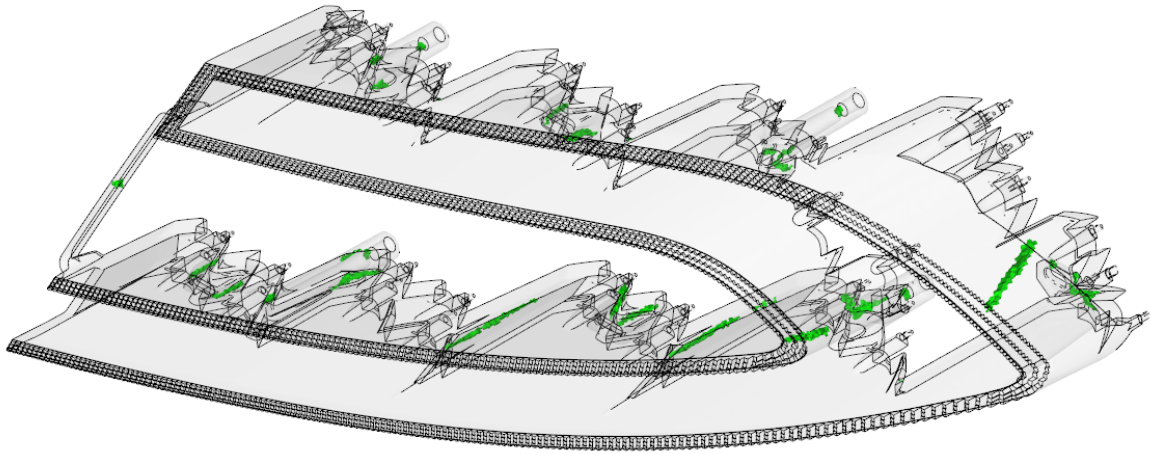


Obr. 65 Maximální smyková rychlost varianta 2 A

### 8.6.4 Studené spoje

Poloha studených spojů pro 2 bodový studený vtok, by neměla výrazně ovlivňovat funkčnost výrobku.

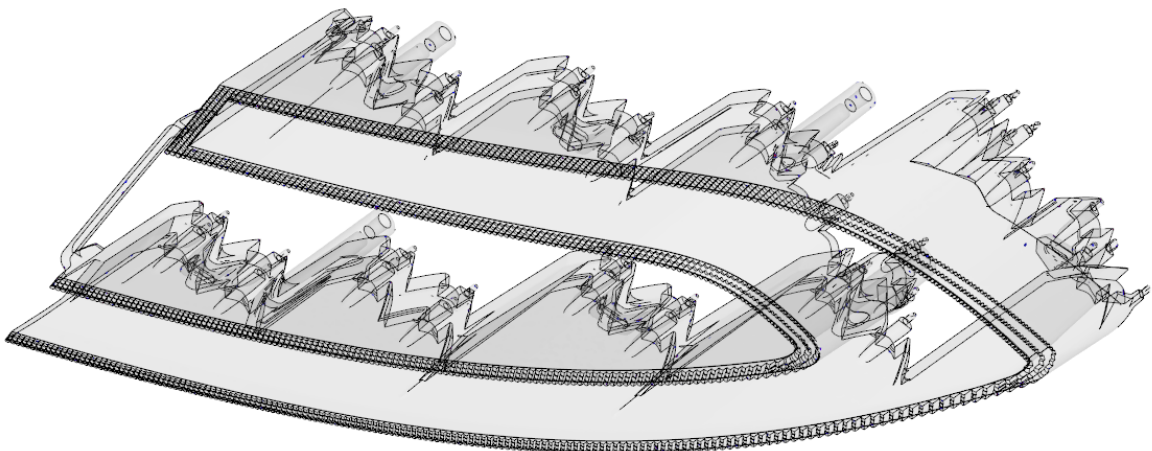




*Obr. 66 Predikce vzniku studených spojů pro 3 bodový kombinovaný vtok varianta 2 A*

### 8.6.5 Vzduchové kapsy

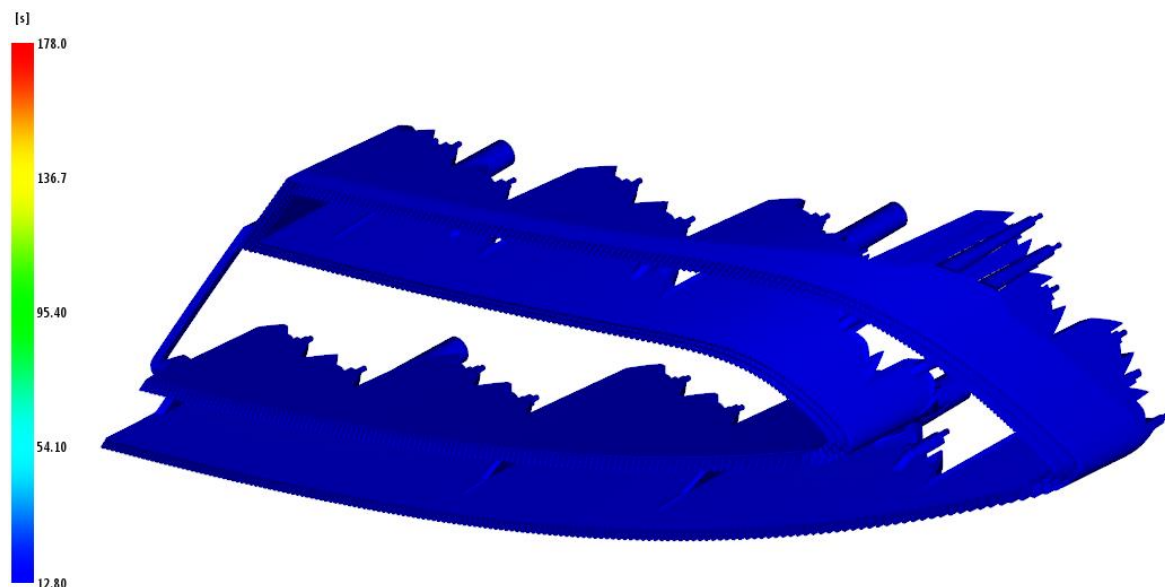
Predikce vzduchových kapes na výrobku, které se nacházejí v zadní nepohledové části výrobku.



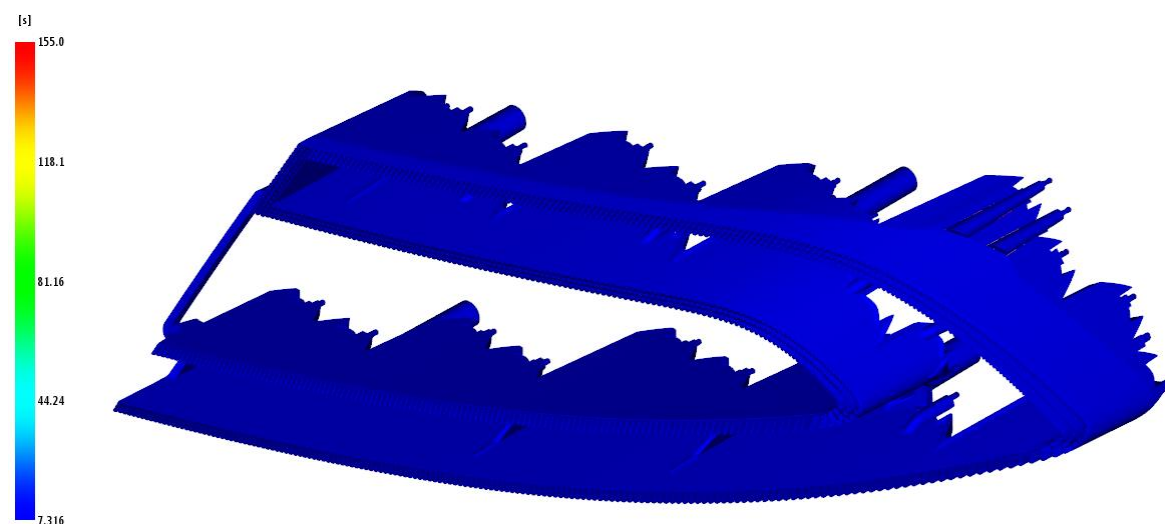
*Obr. 67 Predikce vzniku vzduchových kapes varianta 2 A*

### 8.6.6 Doba pro dosažení vyhazovací teploty

Doba dosažení na vyhazovací teplotu je rychlejší u konformní temperace, z důvodu účinnější trajektorie temperačního systému, které nám umožňuje technologie DMLS. U konvenční temperace, nebylo možné dosáhnout takové efektivity z důvodu výrobního omezení konvenčních technologií.



*Obr. 68 Čas potřebný pro dosažení vyhazovací teploty – varianta 2 A konvenční temperace*

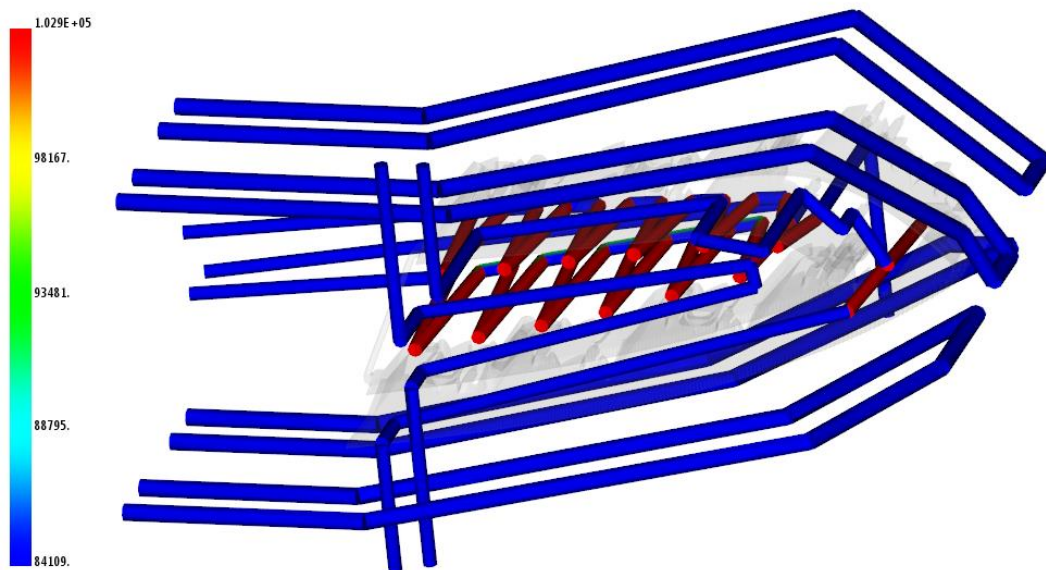


*Obr. 69 Čas potřebný pro dosažení vyhazovací teploty – varianta 2 A nekonvenční temperace*

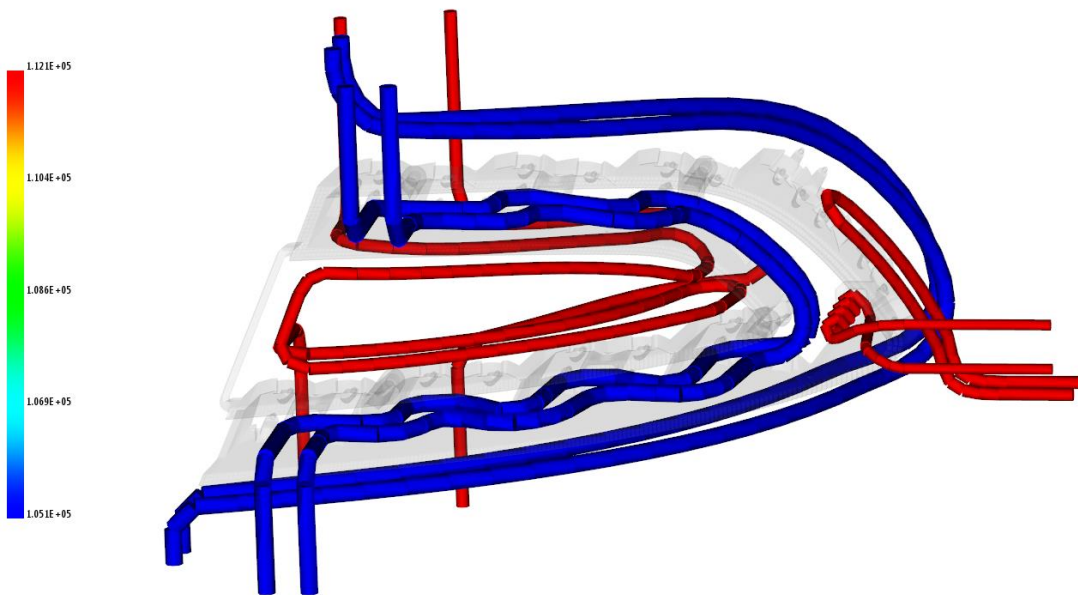
V této variantě, byl čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty u konvenční metody 178 s. U konformní temperace je 155 s.

### 8.6.7 Reynoldsovo číslo

Pro největší efekt odvodu tepla z dutiny formy, je nutno dosáhnout turbulentního proudění. Turbulentní proudění je dáno rychlosti proudění, tvarem temperačního systému a typem temperačního média. Turbulentní proudění dosáhneme, pokud je Reynoldsovo číslo větší jak 40 000. V obou případech, bylo docíleno turbulentního proudění.



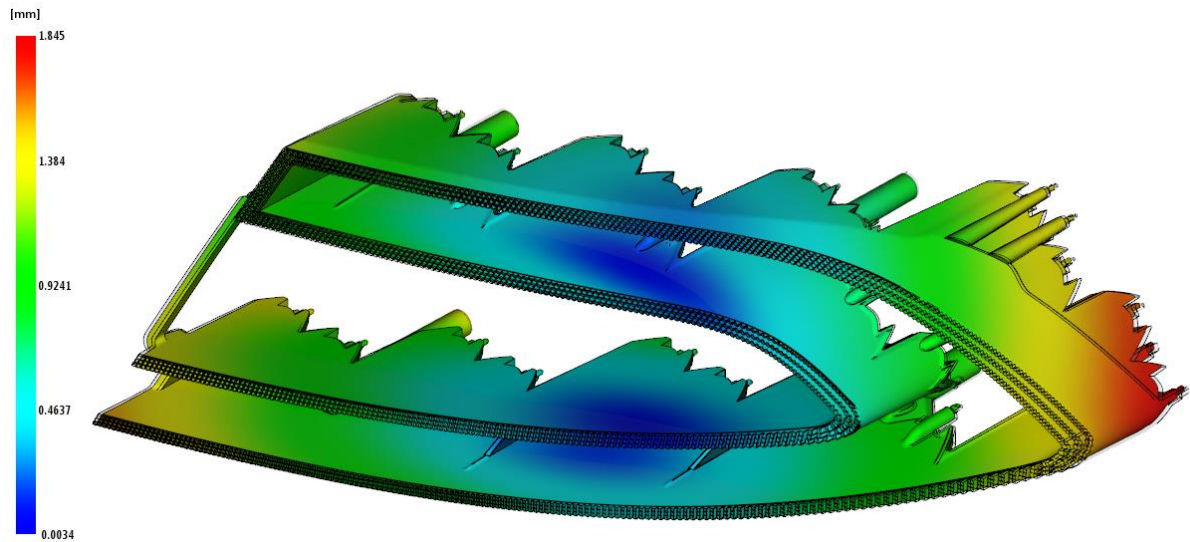
Obr. 70 Reynoldsovo číslo – konvenční temperace



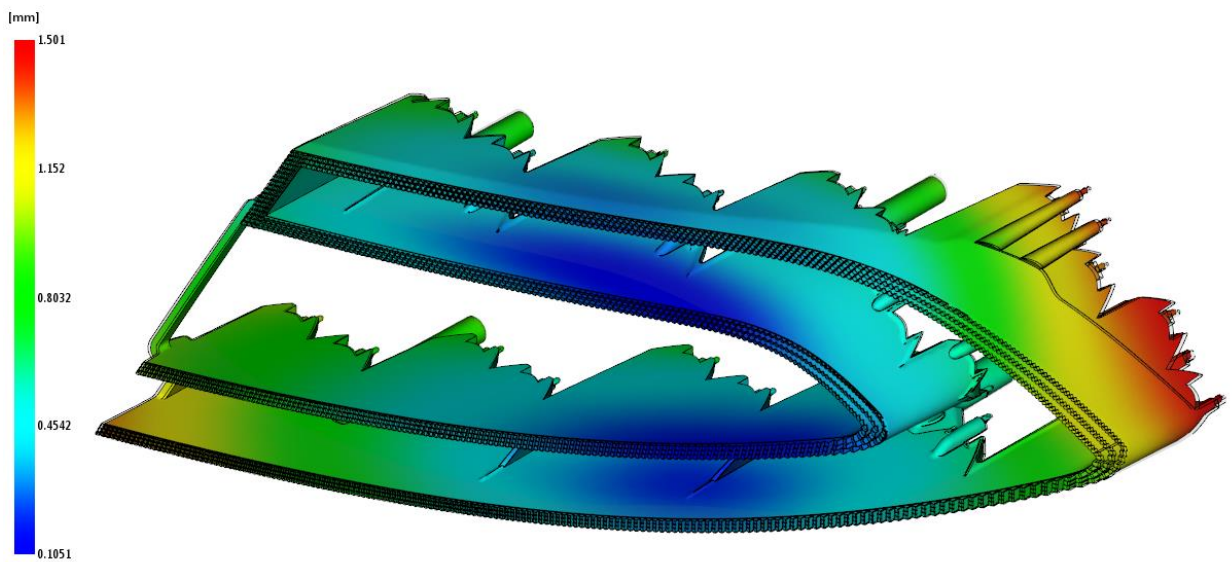
Obr. 71 Reynoldsovo číslo – nekonvenční temperace

### 8.6.8 Celková deformace

Pro variantu 2 A, byly zjištěny následující deformace: konvenční temperace 1,845 mm a nekonvenční temperace 1,501 mm. Největší deformace, se nacházejí v pravém rohu výrobku.



Obr. 72 Celková deformace varianta 2 A – konvenční teplotace



Obr. 73 Celková deformace varianta 2 A – nekonvenční teplotace

## 8.7 Varianta 2 B

V této variantě, byl použit 3 bodový kombinovaný vtokový systém, dále konvenční teplotace a nekonvenční teplotace. Dle materiálového listu, byly zvoleny střední hodnoty pro procesní podmínky Tab. 13.



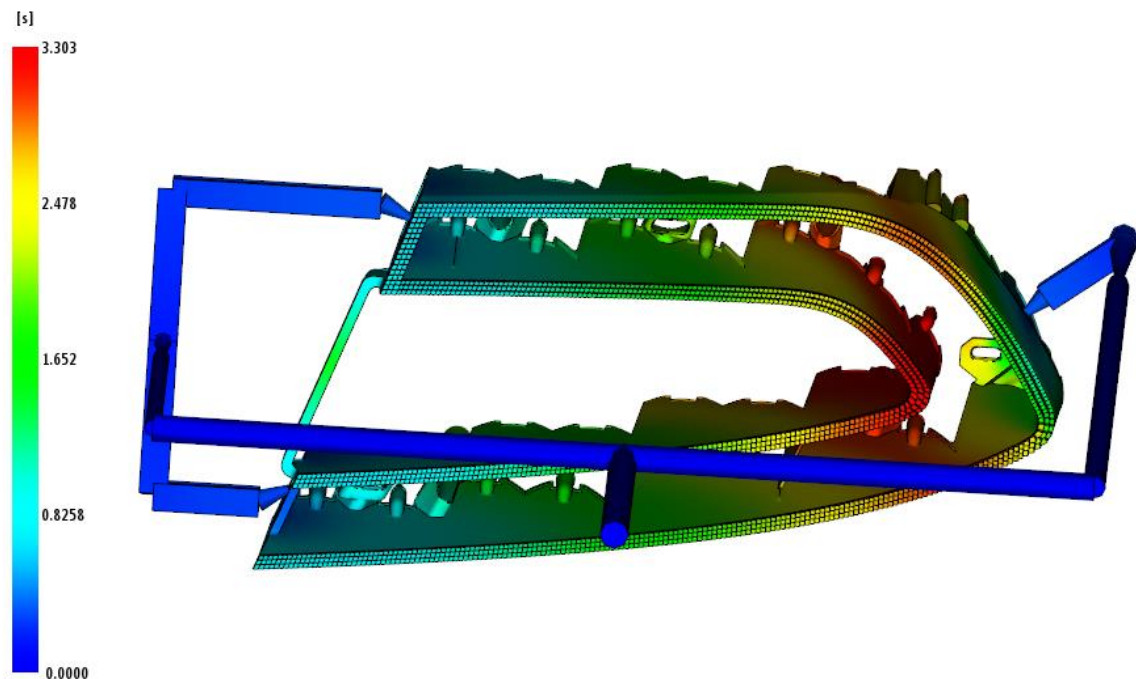
### 8.7.1 Analýza varianty 2 B

Tab. 13 Procesní podmínky použité při variantě 2 B

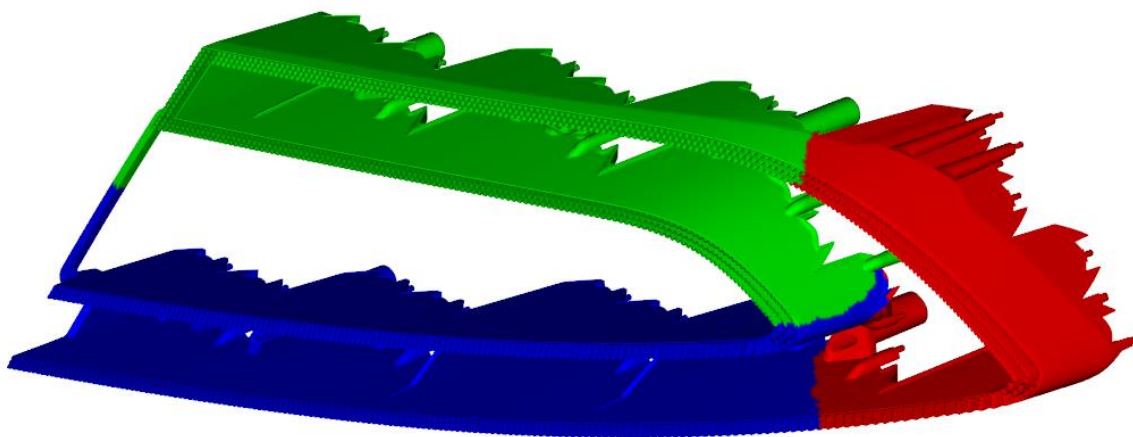
Procesní podmínky	
Teplota taveniny	240 °C
Teplota formy	80 °C
Vyhazovací teplota	110 °C
Teplota temperace	75 °C
Temperační medium	Voda
Materiál	Altuglas V825T
Stroj	Allrounder 630 s 300tons (50mm)

### 8.7.2 Plnění

Celkový čas plnění dutiny formy u této varianty vtoku, byl stanoven na 3,303s.



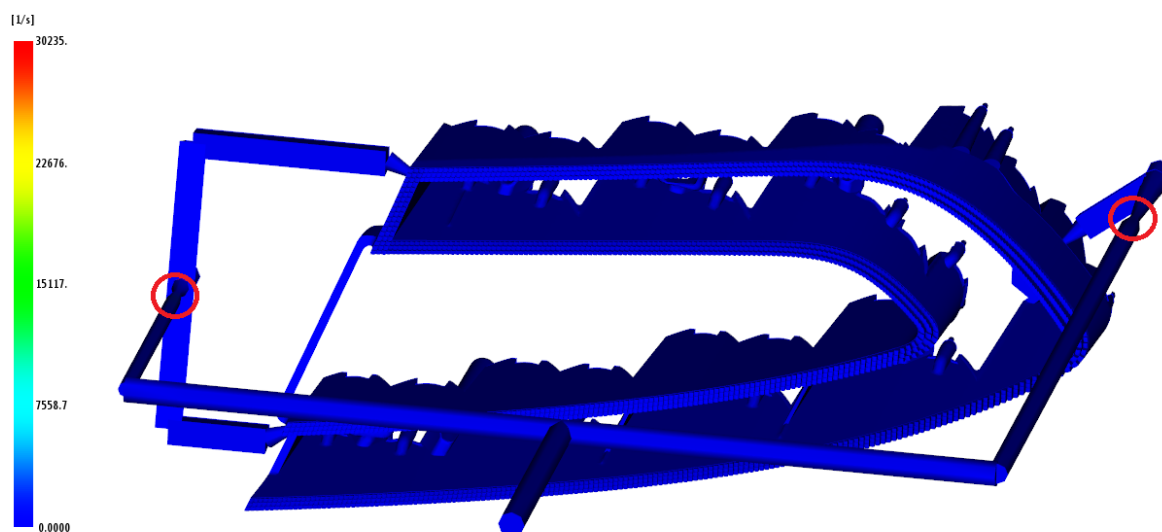
Obr. 74 Výsledek plnění 3 bodový vtok varianta 2 B



Obr. 75 Plnění dutiny 3 tryskami varianta 2 B

### 8.7.3 Smyková rychlost

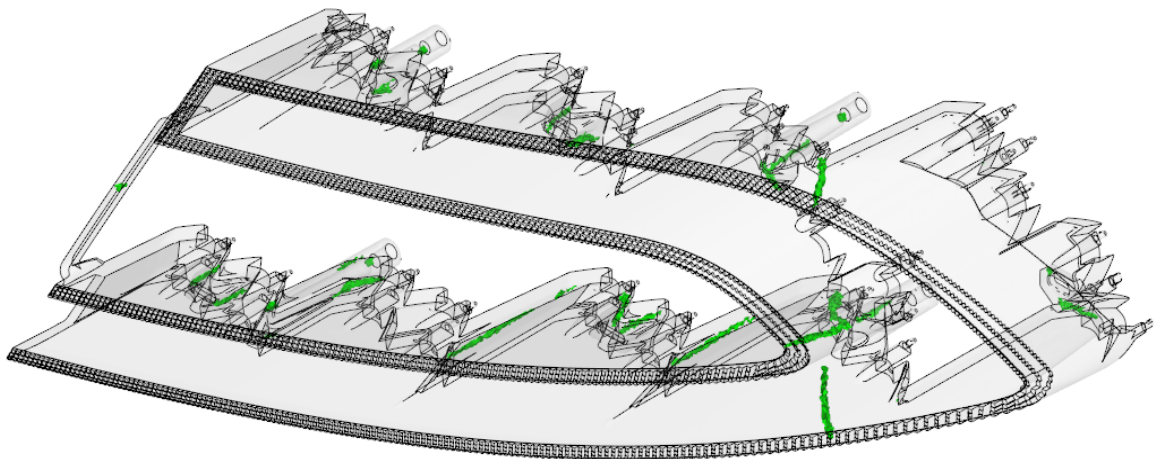
Při simulaci, byla zjištěna maximální smyková rychlost 30 235 l/s. Podmínka je splněna, místa jsou zakroužkována na Obr. 76. K největší smykové rychlosti dochází v místě přechodu horkého ústí a studeného vtoku.



Obr. 76 Maximální smyková rychlost varianta 2 B

### 8.7.4 Studené spoje

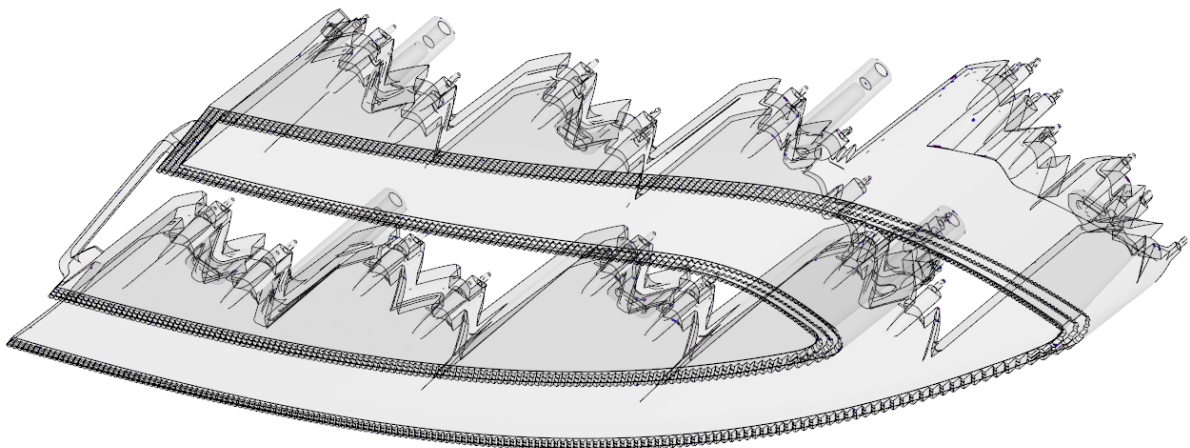
Poloha studených spojů pro 3 bodový kombinovaný vtok, by neměla výrazně ovlivňovat funkčnost výrobku.



*Obr. 77 Predikce vzniku studených spojů pro 3 bodový kombinovaný vtok varianta 2 B*

### 8.7.5 Vzduchové kapsy

Predikce vzduchových kapes na výrobku, které se nacházejí v zadní nepohledové části výrobku.



*Obr. 78 Predikce vzniku vzduchových kapes varianta 2 B*

### 8.7.6 Doba pro dosažení vyhazovací teploty

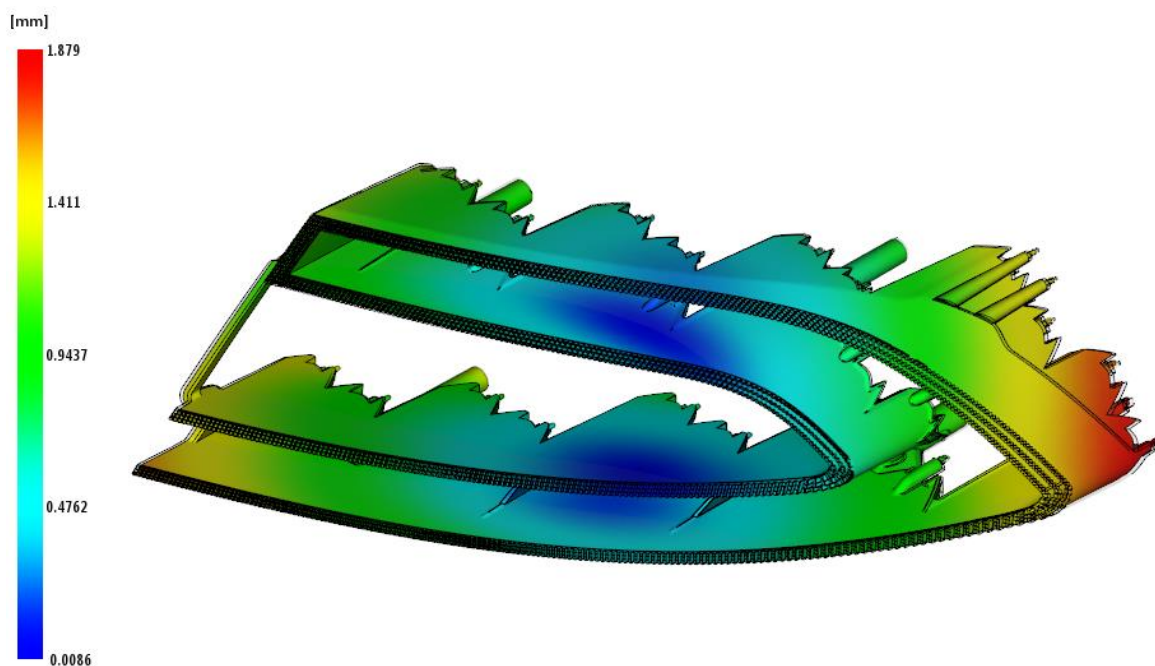
V této variantě, byl čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty stejný jako u varianty 2 A u konvenční metody 178 s. U konformní temperace je 155 s. Použití 3 bodového vtoku nemělo vliv na čas cyklu.

### 8.7.7 Reynoldsovo číslo

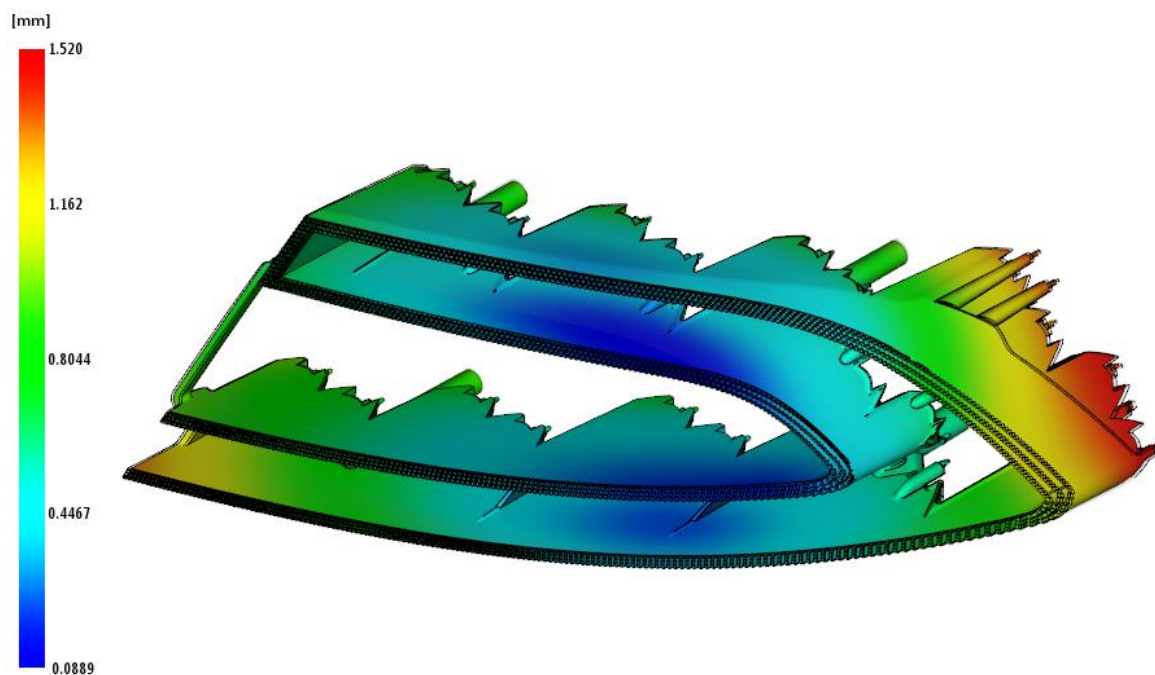
Stejná jako u varianty 2 A.

### 8.7.8 Celková deformace

Pro variantu 2 B, byly zjištěny následné deformace: konvenční temperace 1,879 mm a nekonvenční temperace 1,520 mm. Největší deformace, se nacházejí v pravém rohu výrobku.



Obr. 79 Celková deformace varianta 2 B – konvenční temperace



Obr. 80 Celková deformace varianta 2 B – nekonvenční temperace



## 9 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

### 9.1 Vyhodnocení temperačního systému

Byly navrženy 2 optimalizované návrhy temperačního systému, s cílem zvýšit účinnost temperace. Tím dojde ke snížení času chlazení, který v tomto případě zabírá největší část celého cyklu, dále dojde ke snížení deformací výrobku.

V prvním návrhu, byla optimalizována konvenční temperace. Byla optimalizována tak, aby mohla být vyrobena konvenčními metodami třískového obrábění (vrtání). Tento návrh se skládá z vrtaných kanálků a přepážek.

Výhody konvenčního temperačního systému:

- jednodušší výroba,
- nižší cena výroby,
- výrobu může provést běžná nástrojárna.

Nevýhody konvenčního temperačního systému:

- u tvarově náročných součástí, dochází k nerovnoměrnému chlazení a tím ke zvýšení deformací,
- při vstřikování může dojít k přehřívání částí výrobků a tím narušit potřebné konstantní teplotní pole,
- omezené tvarové možnosti kanálků.

V navržené úpravě temperace, oproti původní temperaci, dojde ke snížení času potřebného pro dosažení vyhazovací teploty a snížení velikosti deformace.

Tab. 14 Srovnání původní temperace a upraveného návrhu

	Původní temperace	Upravená temperace			
		1 A	1 B	2 A	2 B
Čas potřebný pro dosažení vyhazovací teploty [s]	190	179	179	178	178
Celková deformace* [mm]	1,914	1,801	1,811	1,845	1,879

V druhém návrhu, bylo použito konformní temperace. Tento temperační systém lze vyrobit pomocí technologie laserového spékání kovového prášku (DLMS). Temperace byla

navržena tak, aby kopírovala tvar výrobku. Tím, docílíme konstantního teplotního pole, nižších deformací a snížení doby chlazení.

Výhody konformního temperačního systému:

- rovnoměrné chlazení dílů, včetně tvarově složitých dílů, zároveň i menší deformace,
- libovolné možnosti tvorby trajektorie temperačních kanálků,
- lze vyrobit kanálky průměru od 3 mm,
- možnost zkrácení temperačního cyklu maximálně o 50 %,
- napojení na předem nachystané polotovary,
- při poškození tvarových desek, je možná oprava a není nutné vyrábět desku znovu.

Nevýhody konformní temperace

- velmi vysoká cena výroby, cena se odvíjí od složitosti a velikosti temperačního systému,
- vysoká cena kovového prášku,
- výroba je možná, pouze na specializovaných pracovištích, které mají speciální stroje,
- značná porozita výrobku.

Vzhledem k velikosti výrobku, by výroba celých tvarových desek metodou DMLS byla příliš drahá. Pro snížení ceny je nutné použít hybridní způsob výroby. Ten spočívá v tom, že tvarová deska, je dle maximálních možností vyrobena konvenčními metodami obrábění. Ostatní části zejména temperační kanálky, jsou dodatečně dotisknuty na předem obrobenu tvarovou desku. Tím, dojde k velké finanční úspoře, avšak i tak bude výroba tvarových desek, finančně náročná. Při použití konformního chlazení dojde k úspoře času potřebného pro dosažení vyhazovací teploty a snížení deformací Tab. 15. Nutno podotknout, že použití tohoto chlazení, si žádá statisícové výrobní série, aby se investice do výroby tvarových desek vyplatila.

Tab. 15 Srovnání původní temperace a konformní temperace

	Původní temperace	Konformní temperace			
		1 A	1 B	2 A	2 B
Čas potřebný pro dosažení vyhazovací teploty [s]	190	156	156	155	155
Celková deformace* [mm]	1,914	1,473	1,491	1,501	1,520

## 9.2 Vyhodnocení vtokového systému

Byly navrženy 2 typy vtokového systému. První návrh, obsahuje studený vtokový systém ve 2 bodovém (SVS 1) a 3 bodovém provedení vtoků (SVS 2). Druhý návrh, obsahuje kombinovaný vtokový systém opět v 2 bodovém (Kombi 1) a 3 bodovém (Kombi 2) provedení vtoků.

Tab. 16 Srovnání času plnění a smykové rychlosti pro jednotlivé typy vtoků

	Čas plnění [s]	Smyková rychlost [l/s]
<b>SVS 1</b>	3,423	15 235
<b>SVS 2</b>	3,656	11 522
<b>Kombi 1</b>	3,265	37 990
<b>Kombi 2</b>	3,303	30 235

Vyšší smyková rychlost u kombinovaného vtokového systému, je způsobena průměry na rozhraní přechodu horké trysky a studeného vtoků. Snížení bychom dosáhli zvětšením průměru studeného vtokového kanálku.

Návrhy jsou zhotoveny pro jednonásobnou formu. Z důvodu malé výpočetní kapacity počítačů ve škole, nebylo možné provést výpočty pro dvojnásobnou formu, které byly původně v plánu.

Při volbě studeného vtokového systému, bude nutné použít třídeskový vyhadzovací systém, pro odformování vtoků. Což vede ze zvýšení pořizovacích nákladů formy. Návrh 2 bodového oproti 3 bodovému vtoků, je vhodnější vzhledem k počtu a poloze studených spojů. Dalším faktorem je zbytkový materiál vtokové soustavy Tab. 17. Návrh SVS 1 lze upravit pro 2 násobnou formu, kde nebude potřeba třídeskového vyhadzovacího systému.

Tab. 17 Srovnání hmotnosti vtokových soustav

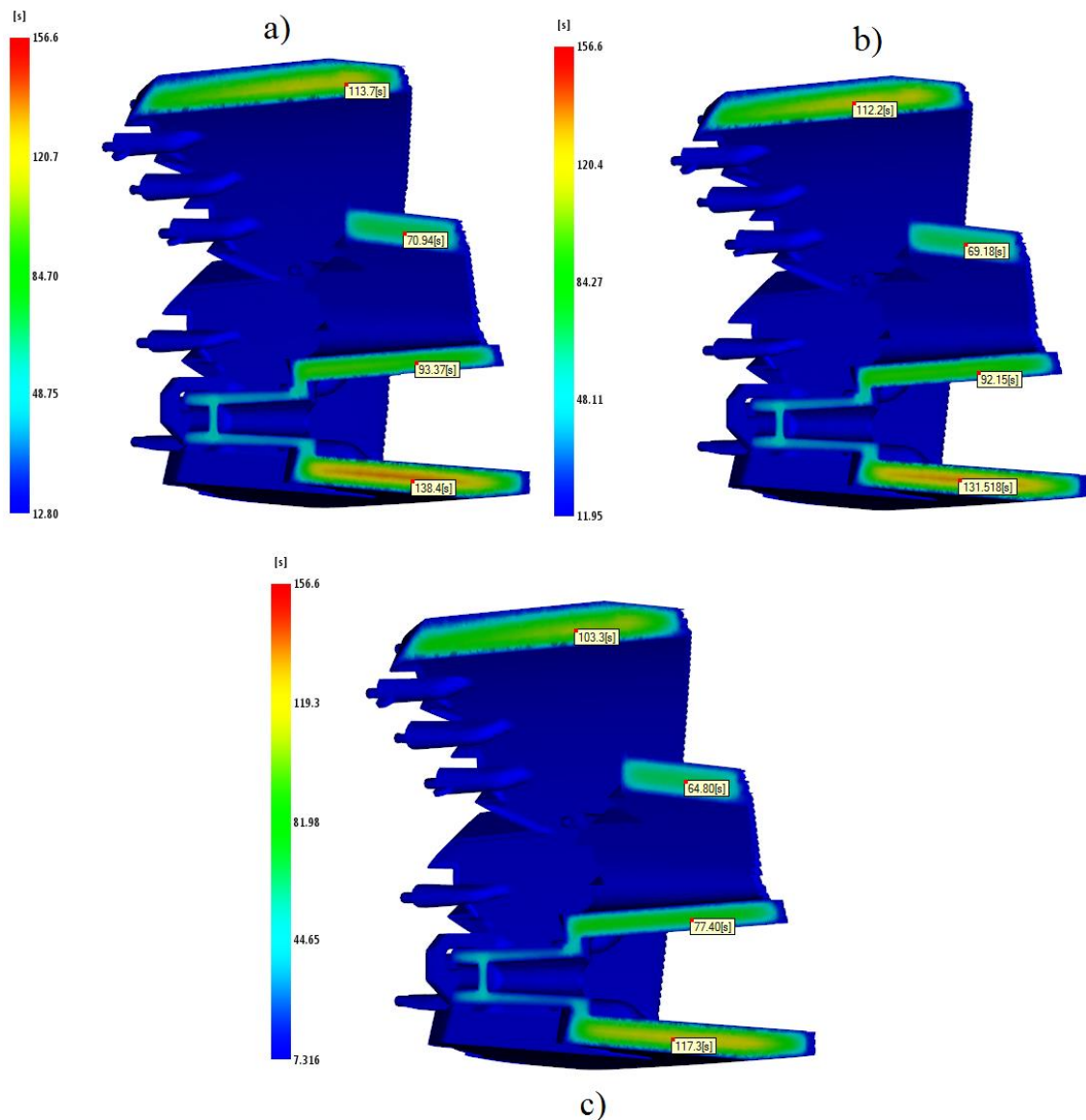
	SVS 1	SVS 2	Kombi 1	Kombi 2
<b>Hmotnost vtokové soustavy [g]</b>	45	79	19,5	25

Při volbě kombinovaného vtokového systému, bude nutné počítat s investicí do horké vtokové soustavy a celkově nákladnější provoz stroje. Avšak dojde k úspoře materiálu pro vtokový systém. Návrh 2 bodového oproti 3 bodovému vtoků je vhodnější, vzhledem k počtu

a poloze studených spojů. Oproti studenému vtokovému systému, se sníží hmotnost vtokové soustavy Tab. 17.

### 9.3 Celkové zhodnocení

Srovnání účinnosti původní, optimalizované konvenční a konformní temperace v čase 156,6 s pro studený vtokový systém.



Obr. 81 Porovnání a) původní b) konvenční temperace varianta 1 A c) konformní temperace varianta 1 A v čase 156.6 s

Pro každou variantu byla spočítána analýza, jak pro konvenční i konformní temperaci. Celkem bylo spočítáno 8 analýz. Z důvodu zjištění chování jednotlivých návrhů. Podstatné hodnoty, které byly sledovány, jsou uvedeny v Tab. 18.

Tab. 18 Celkové porovnání zjištěných hodnot jednotlivých variant

	Konvenční teperace			Nekonvenční teperace		Původní teperace	
	Čas plnění [s]	Čas cyklu [s]	Deformace [mm]	Čas cyklu [s]	Deformace [mm]	Čas cyklu [s]	Deformace [mm]
<b>Varianta 1 A</b>	3,423	156	1,801	179	1,473	-	-
<b>Varianta 1 B</b>	3,656	156	1,811	179	1,491	-	-
<b>Varianta 2 A</b>	3,265	155	1,845	178	1,501	-	-
<b>Varianta 2 B</b>	3,303	155	1,879	178	1,520	-	-
<b>Původní</b>	-	-	-	-	-	189,6*	1,914

\* Čas cyklu bez vtokového systému (nebyl zadán)

Orientační ekonomické zhodnocení pro jednotlivé návrhy. V kalkulaci jsou započítány i náklady na materiál. V Tab. 19 jsou uvedeny náklady na výrobu jednoho dílu i včetně vtokové soustavy.

Tab. 19 Orientační ekonomické zhodnocení

<b>Náklady na stroj</b> [Kč/h]	900								
<b>Cena materiálu**</b> [Kč/g]	0,0675								
<b>Teperace</b>	<b>Původní</b>	<b>Konvenční</b>				<b>Konformní</b>			
<b>Varianty</b>		<b>1 A</b>	<b>1 B</b>	<b>2 A</b>	<b>2 B</b>	<b>1 A</b>	<b>1 B</b>	<b>2 A</b>	<b>2 B</b>
<b>Čas vstřikovacího cyklu</b> [s]	189,8	179,0	179,0	178,0	178,0	156,6	156,6	155,0	155,0
<b>Počet vyrobených dílů</b> [Ks/h]	19,0	20,0	20,0	20,0	20,0	23,0	23,0	23,0	23,0
<b>Hmotnost 1 výrobku</b> [g]	444,0	448,0	448,0	446,0	446,0	448,0	448,0	446,0	446,0
<b>Náklady na výrobu 1 dílu</b> [Kč]	77,5	75,0	75,0	74,6	74,6	69,2	69,2	68,9	68,9
<b>Celková hmotnost</b> [g]	-	493,0	527,0	465,5	471,0	493,0	527,0	465,5	471,0
<b>Celkové náklady*</b> [Kč]	-	78,0	80,3	75,9	76,3	72,3	74,6	70,2	70,5

\* Není započítána cena formy

\*\* Cena materiálu 2,5 EUR/KG přepočteno při kurzu 1 EUR = 27 Kč

Pro malosériovou výrobu, byl zvolen jako nejvhodnější návrh Varianta 1 A s 2 bodových studeným vtokovým systémem a konvenční temperací, kde došlo, oproti původní temperaci k úspoře času cyklu o 10,8 s. Celkové náklady na výrobu jednoho dílu 78 Kč.

Pro velkosériovou výrobu, byl zvolen jako nejvhodnější návrh Varianta 2 A s kombinovaným vtokovým systémem a konformní temperací, kde došlo oproti původní temperaci k úspoře času cyklu o 34,8 s. Zde, by bylo nutné propočítat, zda by se výroba tvarových desek vyplatila. Z důvodu nedostatku poskytnutých dat z firmy, nebylo možné nacenit výrobu tvarových desek, pro nekonvenční temperaci. Celkové náklady na výrobu jednoho dílu 70,2 Kč.

## ZÁVĚR

Teoretická část diplomové práce, je rozdělena do šesti hlavních bodů. V prvním bodě jsou popsány polymerní materiály, včetně podrobnějšího popisu dvou materiálů, které se používají při výrobě zadaného dílu. Druhý bod, je věnován konstrukci výrobku včetně zásad pro konstruování výrobku. Třetí bod, se věnuje konstrukci forem zejména zásadám pro formy. Ve čtvrtém bodě, je popsán vtokový systém. V pátém bodě je popsán temperační systém, včetně popisu konformní temperace. V posledním bodě, jsou popsány tokové analýzy.

Praktická část diplomové práce se zabývá optimalizací zadaného dílu. Byly navrženy 2 návrhy temperačního systému a 4 návrhy vtokového systému. Pro tvorbu návrhů, byl využit program CATIA V5R19. Poté následovala volba optimální velikosti sítě modelu, aby byly splněny podmínky. Pro výpočet, byla stanovena optimální velikost sítě 1,5 mm, pro kterou platí hodnota 86,7 % Match percentage. Model, byl poté převeden do 3D sítě pro přesnější výpočet. Z důvodu nedostatku poskytnutých dat, byly dle materiálového listu navrženy procesní podmínky, které byly použity pro veškeré analýzy. Poté následovalo spočítání výchozí analýzy, s původním temperačním systémem, která byla použita pro srovnání s optimalizovanými návrhy. Následně, proběhla analýza 4 variant pro konvenční i konformní temperaci. Při nichž se vyhodnocoval čas plnění, smyková rychlost, celkový čas cyklu, poloha studených spojů, vzduchové kapsy, deformace a vhodnost jednotlivých vtokových systémů. Analýzy, byly provedeny v programu Moldflow 2016. Výsledky analýz, byly popsány a porovnány ve vyhodnocení. Bylo přidáno i orientační ekonomické zhodnocení.

Pro malosériovou výrobu, byl zvolen jako nejvhodnější návrh Varianta 1 A s 2 bodových studeným vtokovým systémem a konvenční temperací, kde došlo, oproti původní temperaci k úspoře času cyklu o 10,8 s. Celkové náklady na výrobu jednoho dílu 78 Kč.

Pro velkosériovou výrobu, byl zvolen jako nejvhodnější návrh Varianta 2 A s kombinovaným vtokovým systémem a konformní temperací, kde došlo oproti původní temperaci k úspoře času cyklu o 34,8 s. Zde, by bylo nutné propočítat, zda by se výroba tvarových desek vyplatila. Z důvodu nedostatku poskytnutých dat z firmy, nebylo možné nacenit výrobu tvarových desek, pro nekonvenční temperaci. Celkové náklady na výrobu jednoho dílu 70,2 Kč.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 3., přeprac. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2011, 276 s. ISBN 978-80-7080-788-0.
- [2] KRATOCHVÍL, Bohumil, Václav ŠVORČÍK a Dalibor VOJTĚCH. *Úvod do studia materiálů*. Vyd. 1. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2005, 190 s. ISBN 80-7080-568-4.
- [3] MLEZIVA, Josef. *Polymery - výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 1. vyd. Praha: Sobotáles, 1993, 525 s. ISBN 80-901570-4-1.
- [4] MCMURRY, John. *Organic chemistry*. 6th ed. Belmont, CA: Thomson-Brooks/Cole, 2004, 1 v. (various pagings). ISBN 0534390013.
- [5] MLEZIVA, Josef a Jaromír ŠŇUPÁREK. *Polymery: výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 2. přeprac. vyd. Praha: Sobotáles, 2000, 537 s. ISBN 80-85920-72-7.
- [6] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů: vstřikování termoplastů 1. díl*. 2. opr. vyd. Brno: Uniplast, 1999, 133 s.
- [7] OSSWALD, Tim A, Lih-Sheng TURNG a Paul J GRAMANN. *Injection molding handbook*. 2nd ed., Updated 2nd ed. Cincinnati: Hanser Gardner Publications, 2008, xvii, 764 p. ISBN 9783446407817.
- [8] KOLOUCH, Jan. *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986, 229 s.
- [9] TOMIS, František a HELŠTÝN, Josef. *Formy a přípravky*. 2. vyd. Praha: SNTL, 1985. str. 274.
- [10] ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů: polymery*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 230, 28 s. ISBN 978-80-7204-833-5.
- [11] JOHN P. BEAUMONT, R. NAGEL a R. SHERMAN. *Successful injection molding: process, design, and simulation ; with CD-ROM*. Munich [u.a.]: Hanser, 2002. ISBN 3446194339.
- [12] Vstřikovací formy. *Ústav strojírenské technologie* [online]. 2008 [cit. 2016-02-18]. Dostupné z:  
[http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni\\_soubory/htn\\_\\_tvareci\\_nastroje\\_vstrikovaci\\_formy\\_\\_zak.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni_soubory/htn__tvareci_nastroje_vstrikovaci_formy__zak.pdf)



- [13] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů: vstřikování termoplastů 2. díl*. v. vyd. Brno: Uniplast, 1999, 214 s.
- [14] MUSA R. KAMAL (ED.)... WITH CONTRIBUTIONS BY JEAN-FRANCOIS AGASSANT . *Injection molding technology and fundamentals*. Munich: Hanser, 2009. ISBN 3446416854.
- [15] BEAUMONT, John P. *Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding*. 1st ed. Cincinnati: Hanser Gardner Publications [distributor], c2004. ISBN 3446226729.
- [16] *Vtokové soustavy* [online]. [cit. 2016-03-13]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud\\_materialy/tzn/c8/Vs.pdf](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c8/Vs.pdf)
- [17] MENGES, Georg a Paul MOHREN. *How to make injection molds*. 2nd ed. New York: Hanser Publishers, c1993. ISBN 3446163050.
- [18] *Vstřikování* [online]. [cit. 2016-03-13]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni\\_soubory/htn\\_\\_tvareci\\_nastroje\\_vstrikovaci\\_\\_formy\\_\\_zak.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni_soubory/htn__tvareci_nastroje_vstrikovaci__formy__zak.pdf)
- [19] *HASCO* [online]. [cit. 2016-03-13]. Dostupné z: <http://www.hasco.com/gb/content/view/full/303>
- [20] *AUTODESK* [online]. [cit. 2016-03-13]. Dostupné z: <http://www.autodesk.com/products/inventor/features/all>
- [21] *GOMT* [online]. [cit. 2016-03-13]. Dostupné z: <http://www.gom.com/>
- [22] *Konformní chlazení* [online]. [cit. 2016-02-18]. Dostupné z: <http://www.innomia.cz/sluzby/konformni-chlazení>
- [23] *SMARTPLAST* [online]. [cit. 2016-02-18]. Dostupné z: [http://www.smartplast.cz/data/official/simulation\\_moldflow\\_brozura\\_cz.pdf](http://www.smartplast.cz/data/official/simulation_moldflow_brozura_cz.pdf)
- [24] *Snižování výrobních nákladů* [online]. SMARTPLAST [cit. 2016-02-18]. Dostupné z: [http://www.smartplast.cz/data/smartplast/halaska\\_snizovani\\_vyrobnich\\_nakladu\\_clanek\\_cz.pdf](http://www.smartplast.cz/data/smartplast/halaska_snizovani_vyrobnich_nakladu_clanek_cz.pdf)
- [25] *Vstřikování plastů dovedené k dokonalosti* [online]. AUTODESK [cit. 2016-02-18]. Dostupné z: <http://www.cadstudio.cz/dl/Autodesk-Simulation-Moldflow.pdf>
- [26] *Moldflow Analysis : Fill Time* [online]. [cit. 2016-02-18]. Dostupné z: <https://vimeo.com/143087426>

- [27] *Digitální prototyp při vstřikování plastů II* [online]. SMARTPLAST [cit. 2016-02-18]. Dostupné z:  
[http://www.smartplast.cz/data/smartplast/halalska\\_digitalni\\_prototyp\\_pri\\_vstrikovani\\_plastu\\_II\\_cz.pdf](http://www.smartplast.cz/data/smartplast/halalska_digitalni_prototyp_pri_vstrikovani_plastu_II_cz.pdf)
- [28] *Digitální prototyp Autodesk Simulation Moldflow* [online]. SMARTPLAST [cit. 2016-02-18]. Dostupné z:  
[http://www.smartplast.cz/data/smartplast/halaska\\_digitalni\\_prototyp\\_ASM\\_cz.pdf](http://www.smartplast.cz/data/smartplast/halaska_digitalni_prototyp_ASM_cz.pdf)
- [29] *Warp and Shrinkage* [online]. IDEALMELT [cit. 2016-02-18]. Dostupné z:  
<http://idealmelt.com/windage-warp-shrinkage/>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

DLMS	Direct laser metal sintering	
2D	Dvourozměrný prostor	
3D	Trojrozměrný prostor	
PMMA	Polymethylmethakrylát	
PC	Polykarbonát	
PA	Polyamid	
PVC	Polyvinylchlorid	
PP	Polypropylen	
POM	Polyoxymetylén	
ABS	Akrylobutadienstyren	
T <sub>g</sub>	Teplota skelného přechodu	°C
T <sub>f</sub>	Teplota viskózního toku	°C
T <sub>m</sub>	Teplota tání	°C
U <sub>v</sub>	Ultrafialové záření	
R	Průměr	mm

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Klasické rozdělení polymerů [2]</i> .....	8
<i>Obr. 2 Rozdělení polymerů dle aplikace a nad molekulární struktury [3]</i> .....	9
<i>Obr. 3 Příklady přechodu tloušťky stěn a) nevhodné, b) méně vhodné c) vhodné [6]</i> .....	15
<i>Obr. 4 Příklad vhodného odlehčení [10]</i> .....	15
<i>Obr. 5 příklady žebrování: a, c) technologická, b) technologická [11]</i> .....	17
<i>Obr. 6 Příklady rýhování [6]</i> .....	18
<i>Obr. 7 Příklad konkávního zaoblení rovinné plochy [6]</i> .....	18
<i>Obr. 8 Příklad zastříknuté součástky</i> .....	19
<i>Obr. 9 Příklad vyztužení okrajů [6]</i> .....	19
<i>Obr. 10 Přerušovaný závit na plastovém výrobku [9]</i> .....	20
<i>Obr. 11 Způsob vytvoření nápisů a značek a), b), c) [6]</i> .....	20
<i>Obr. 12 Řez vstřikovací formou včetně popisu hlavních částí [12]</i> .....	23
<i>Obr. 13 Vliv důležitých činitelů na velikost smrštění [12]</i> .....	27
<i>Obr. 14 Průběh smrštění výrobků [12]</i> .....	27
<i>Obr. 15 Bodový vtok [15]</i> .....	31
<i>Obr. 16 Filmový tok [15]</i> .....	31
<i>Obr. 17 Tunelový vtok [15]</i> .....	32
<i>Obr. 18 Srpkovitý vtok [15]</i> .....	32
<i>Obr. 19 Boční obdélníkový vtok [15]</i> .....	33
<i>Obr. 20 Plnění více vtoky [15]</i> .....	33
<i>Obr. 21 Příklad vyhřívaného vtokového systému [18]</i> .....	34
<i>Obr. 22 a) Tryska s vnějším topením b) Tryska s vnitřním topením [19]</i> .....	35
<i>Obr. 23 Příklad rozvodných kanálů [20]</i> .....	35
<i>Obr. 24 Schéma temperačních kanálů pro díl se změnou tloušťky [13]</i> .....	38
<i>Obr. 25 a) vrtaný chladicí okruh b) Konformní chladicí okruh [22]</i> .....	38
<i>Obr. 26 Příklad konkrétního využití [22]</i> .....	39
<i>Obr. 27 Růst nákladu na uvedení výrobku na trh a vliv jednotlivých etap na růst nákladů [24]</i> .....	40
<i>Obr. 28 Ukázka sítě konečných prvků Midplane, Dual Domain, 3D objemová síť [24]</i> .....	41
<i>Obr. 29 Příklad plnění tlustostěnného výrobku více vtoky [26]</i> .....	42

<i>Obr. 30 Teplotní pole na povrchu dutiny formy a) jednoduché chlazení pomocí dvou kanálů b) chlazení pomocí kanálu a věží s přepážkou c) konformní chlazení [27]</i>	43
<i>Obr. 31 Příklad analýzy deformace v porovnání s reálným výrobkem [28]</i>	43
<i>Obr. 32 Příklad vyhodnocení analýzy smrštění [29]</i>	44
<i>Obr. 33 Zadaný model výrobku</i>	47
<i>Obr. 34 Původní zadaný model temperace</i>	47
<i>Obr. 35 Okruhy 1-4 konvenční temperace – tvárník</i>	48
<i>Obr. 36 Okruhy 5-8 konvenční temperace – tvárnice</i>	49
<i>Obr. 37 Okruhy 1-4 konformní temperace – tvárník</i>	50
<i>Obr. 38 Okruhy 5-8 konformní temperace – tvárnice</i>	50
<i>Obr. 39 Studený 2 bodový vtokový systém</i>	51
<i>Obr. 40 Studený 3 bodový vtokový systém</i>	52
<i>Obr. 41 Kombinovaný 2 bodový vtokový systém</i>	53
<i>Obr. 42 Kombinovaný 3 bodový vtokový systém</i>	54
<i>Obr. 43 Vysíťovaný model – kvalita sítě 1,5 mm dual domain</i>	55
<i>Obr. 44 Statistika sítě dual domain</i>	55
<i>Obr. 45 Výsledek analýzy plnění 2 bodový vtok varianta 1 A</i>	56
<i>Obr. 46 Plnění dutiny 2 tryskami varianta 1 A</i>	57
<i>Obr. 47 Maximální smyková rychlost varianta 1 A</i>	57
<i>Obr. 48 Predikce vzniku studených spojů pro 2 bodový vtok varianta 1 A</i>	58
<i>Obr. 49 Predikce vzniku vzduchových bublin varianta 1 A</i>	58
<i>Obr. 50 Čas potřebný pro dosažení vyhazovací teploty – varianta 1 A konvenční temperace</i>	59
<i>Obr. 51 Čas potřebný pro dosažení vyhazovací teploty – varianta 1 A nekonvenční temperace</i>	59
<i>Obr. 52 Reynoldsovo číslo – konvenční temperace</i>	60
<i>Obr. 53 Reynoldsovo číslo – nekonvenční temperace</i>	60
<i>Obr. 54 Celková deformace varianta 1 A, konvenční temperace</i>	61
<i>Obr. 55 Celková deformace varianta 1 A, nekonvenční temperace</i>	61
<i>Obr. 56 Výsledek plnění 3 bodový vtok varianta 1 B</i>	62
<i>Obr. 57 Plnění dutiny 3 tryskami varianta 1 B</i>	63
<i>Obr. 58 Maximální smyková rychlost varianta 1 B</i>	63

<i>Obr. 59</i>	<i>Predikce vzniku studených spojů pro 3 bodový studený vtok varianta 1 B</i>	64
<i>Obr. 60</i>	<i>Predikce vzniku vzduchových kapes varianta 1 B</i>	64
<i>Obr. 61</i>	<i>Celková deformace varianta 1 B – konvenční temperace</i>	65
<i>Obr. 62</i>	<i>Celková deformace varianta 1 B – nekonvenční temperace</i>	65
<i>Obr. 63</i>	<i>Výsledek plnění 2 bodový vtok varianta 2 A</i>	66
<i>Obr. 64</i>	<i>Plnění dutiny 2 tryskami varianta 2 A</i>	67
<i>Obr. 65</i>	<i>Maximální smyková rychlost varianta 2 A</i>	67
<i>Obr. 66</i>	<i>Predikce vzniku studených spojů pro 3 bodový kombinovaný vtok varianta 2 A</i>	68
<i>Obr. 67</i>	<i>Predikce vzniku vzduchových kapes varianta 2 A</i>	68
<i>Obr. 68</i>	<i>Čas potřebný pro dosažení vyhazovací teploty – varianta 2 A konvenční temperace</i>	69
<i>Obr. 69</i>	<i>Čas potřebný pro dosažení vyhazovací teploty – varianta 2 A nekonvenční temperace</i>	69
<i>Obr. 70</i>	<i>Reynoldsovo číslo – konvenční temperace</i>	70
<i>Obr. 71</i>	<i>Reynoldsovo číslo – nekonvenční temperace</i>	70
<i>Obr. 72</i>	<i>Celková deformace varianta 2 A – konvenční temperace</i>	71
<i>Obr. 73</i>	<i>Celková deformace varianta 2 A – nekonvenční temperace</i>	71
<i>Obr. 74</i>	<i>Výsledek plnění 3 bodový vtok varianta 2 B</i>	72
<i>Obr. 75</i>	<i>Plnění dutiny 3 tryskami varianta 2 B</i>	73
<i>Obr. 76</i>	<i>Maximální smyková rychlost varianta 2 B</i>	73
<i>Obr. 77</i>	<i>Predikce vzniku studených spojů pro 3 bodový kombinovaný vtok varianta 2 B</i>	74
<i>Obr. 78</i>	<i>Predikce vzniku vzduchových kapes varianta 2 B</i>	74
<i>Obr. 79</i>	<i>Celková deformace varianta 2 B – konvenční temperace</i>	75
<i>Obr. 80</i>	<i>Celková deformace varianta 2 B – nekonvenční temperace</i>	75
<i>Obr. 81</i>	<i>Porovnání a) původní b) konvenční temperace varianta 1 A c) konformní temperace varianta 1 A v čase 156.6 s</i>	79

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1 Zaoblení hran a rohů pro různé typy polymerů [6].....</i>	<i>16</i>
<i>Tab. 2 Doporučené velikosti úkosů [6].....</i>	<i>16</i>
<i>Tab. 3 Doporučená drsnost povrchu pro obrábění forem [12] .....</i>	<i>26</i>
<i>Tab. 4 Průměry a průtoky jednotlivých okruhů 1-8 konvenční temperace .....</i>	<i>49</i>
<i>Tab. 5 Průměr a průtok jednotlivých okruhů 1-8 konformní temperace .....</i>	<i>50</i>
<i>Tab. 6 Podrobný popis studeného 2 bodového vtokového systému .....</i>	<i>51</i>
<i>Tab. 7 Podrobný popis studeného 3 bodového vtokového systému .....</i>	<i>52</i>
<i>Tab. 8 Podrobný popis kombinovaného 2 bodového vtokového systému .....</i>	<i>53</i>
<i>Tab. 9 Podrobný popis kombinovaného 3 bodového vtokového systému .....</i>	<i>54</i>
<i>Tab. 10 Procesní podmínky použité při variantě 1 A .....</i>	<i>56</i>
<i>Tab. 11 Procesní podmínky použité při variantě 1 B .....</i>	<i>62</i>
<i>Tab. 12 Procesní podmínky použité při variantě 2 A .....</i>	<i>66</i>
<i>Tab. 13 Procesní podmínky použité při variantě 2 B .....</i>	<i>72</i>
<i>Tab. 14 Srovnání původní temperace a upraveného návrhu .....</i>	<i>76</i>
<i>Tab. 15 Srovnání původní temperace a konformní temperace .....</i>	<i>77</i>
<i>Tab. 16 Srovnání času plnění a smykové rychlosti pro jednotlivé typy vtoků .....</i>	<i>78</i>
<i>Tab. 17 Srovnání hmotnosti vtokových soustav .....</i>	<i>78</i>
<i>Tab. 18 Celkové porovnání zjištěných hodnot jednotlivých variant .....</i>	<i>80</i>
<i>Tab. 19 Orientační ekonomické zhodnocení .....</i>	<i>80</i>

## **SEZNAM PŘÍLOH**

**P I Materiálový list**

**P II Původní analýza**

**P III CD**



# PŘÍLOHA P I: Materiálový list



## RESIN

### ALTUGLAS® V 825T

		CONDITIONS	TEST METHOD	UNITS	
<b>1 - GENERAL PROPERTIES</b>					
Density			ISO 1183	g/cm <sup>3</sup>	1,19
Water Absorption		23°C/50%HR	ISO 62	%	0,3
Mold Shrinkage			ASTM D-955	%	0,2-0,6
<b>2 - RHEOLOGICAL PROPERTIES</b>					
<b>Rheology</b>					
Melt Flow Index		230°C/3,8 kg	ISO 1133	g/10 min	2,8
Process					
Melt Temperature	mini			°C	230
	maxi				250
Mold Temperature	mini			°C	80
	maxi				90
Drying Conditions	time			h	2-4
	temperature			°C	85-90
<b>3 - MECHANICAL PROPERTIES</b>					
Rockwell Hardness			ASTM D-785		M-97
Tensile Strength		23°C	ISO 527-2	MPa	70
Elongation at break		23°C	ISO 527-2	%	6
Flexural Modulus		23°C	ISO 178	MPa	3300
Flexural Strength		23°C	ISO 178	MPa	103
Compressive Strength		23°C	ISO 604	MPa	117
Impact Resistance (Charpy, Notched)		23°C	ISO 179-2C	kJ/m <sup>2</sup>	2
Impact Resistance (Charpy, Unnotched)		23°C	ISO 179-2D	kJ/m <sup>2</sup>	11
Impact Resistance (Izod, Notched)		23°C	ISO 180/1a	kJ/m <sup>2</sup>	1,8
<b>4 - OPTICAL PROPERTIES</b>					
Refractive Index B			ISO R-499		1,49
Light Transmittance			ASTM D-1003	%	92
Haze			ASTM D-1003	%	0,5
<b>5 - ELECTRICAL PROPERTIES</b>					
Dielectric Strength			ASTM D-149	MV/m	19,7
Dielectric Constant		60 Hz	ASTM D-150		3,7
Dissipation Factor		1 MHz	ASTM D-150		0,04
Surface Resistivity			ASTM D-257	Ohm	>10 <sup>14</sup>
Volume Resistivity			ASTM D-257	Ohm.cm	>10 <sup>15</sup>
<b>6 - THERMAL PROPERTIES</b>					
Vicat Softening Temperature		50 N	ISO 306	°C	108
HDT		1,82 MPa	ISO 75-2	°C	100
		0,45 MPa			103
Coefficient of linear expansion		[-30°C;23°C]	ASTM D-696	10 <sup>-6</sup> K	65
Specific Heat				J/(kg.°C)	2093
<b>7 - FLAMMABILITY</b>					
Fire Resistance			ASTM UL94	Class	HB

N.B.: The values quoted are the average of results obtained under laboratory conditions and are given only as an indication to enable customers to make best use of our products. Values reported are typical and should not be used for specification purposes.

Version June 2005

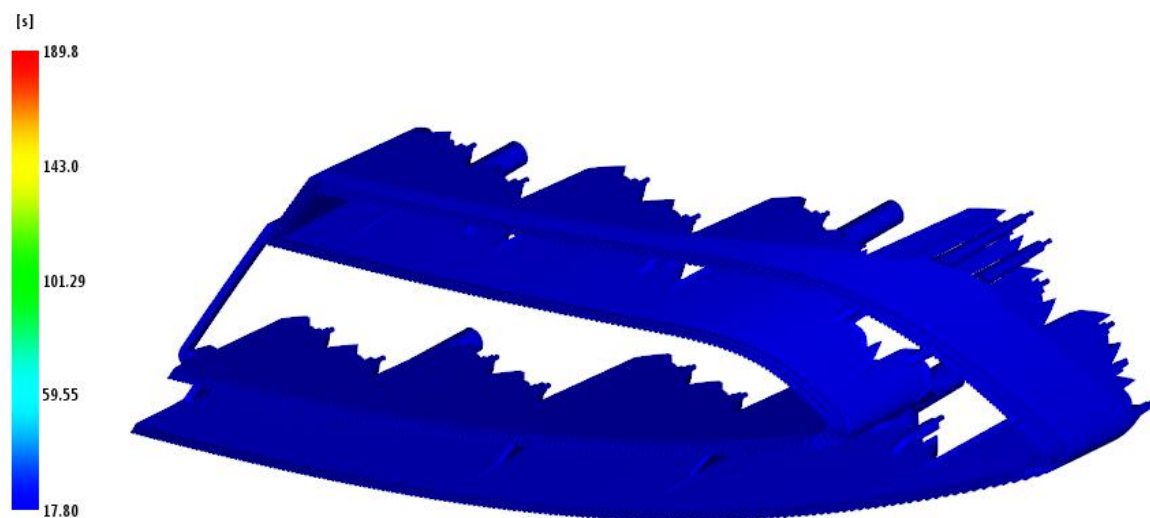
Altuglas® is a registered trademark and Altuglas International is a trademark belonging to Arkema.

Altuglas International  
6, cours Michelet  
F 92064 Paris La Défense 10 - Codex 52  
Tél. : +33 (0)1 49 00 80 69  
Fax : +33 (0)1 49 00 89 58  
www.altuglasint.com

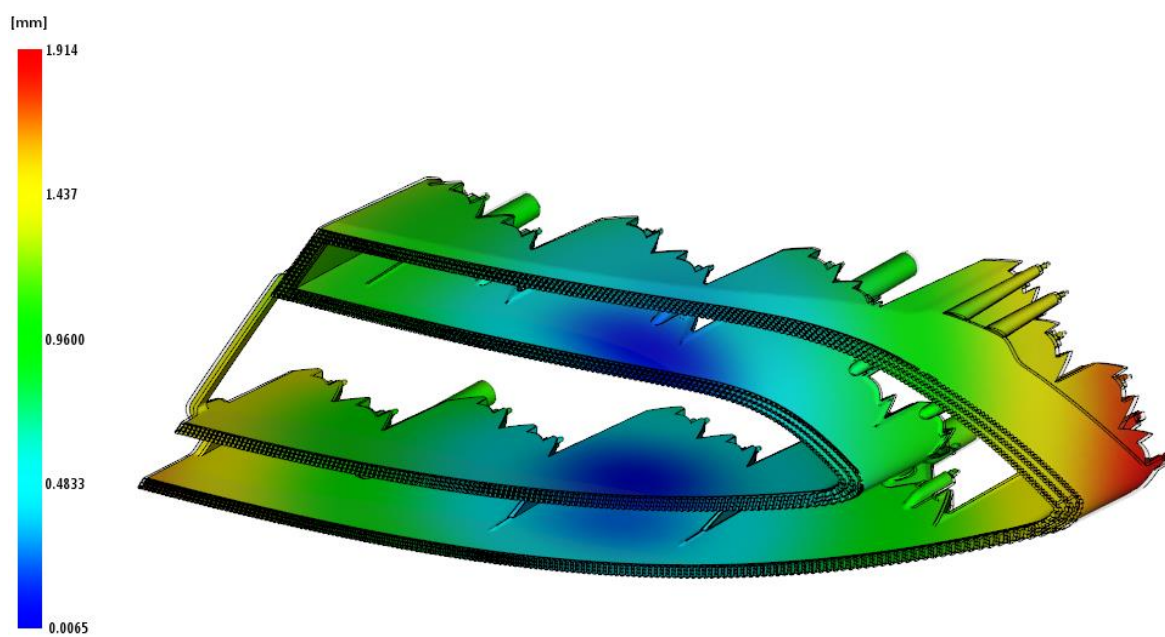
**ALTUGLAS**  
INTERNATIONAL  
ARKEMA GROUP

## P II Původní analýza

Čas potřebný pro dosažení vyhazovací teploty bez vtokového systému



Deformace výrobku



**P III CD**