

# Optimalizace výrobního procesu včetně úpravy nástroje

Bc. Pavel Malušek

---

Diplomová práce  
2019



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2018/2019

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Pavel Malušek**  
Osobní číslo: **T16615**  
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**  
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Optimalizace výrobního procesu včetně úpravy nástroje**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na dané téma.
2. Připravte návrh výrobního procesu (vstřikování).
3. Provedte optimalizaci výrobního procesu pomocí simulací.
4. Provedte ekonomické zhodnocení.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. **ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: teorie a praxe. Praha: Grada Publishing, 2018, 455 s. ISBN 978-80-271-0614-1.**
2. **YANG, Yi, Xi CHEN, Ningyun LU a Furong GAO. Injection molding process control, monitoring, and optimization. Munich: Hanser, [2016], xvi, 397 s. Progress in polymer processing series. ISBN 978-1-56990-592-0.**
3. **OSSWALD, Tim A., Lih-Sheng TURNG a Paul J. GRAMANN. Injection molding handbook. 2nd ed. Munich: Carl Hanser Publishers, c2008, xvii, 764 s. ISBN 978-1-56990-420-6**
4. **BEAUMONT, John P. Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers, c2007, xvi, 308 s. ISBN 978-1-56990-421-3.**

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

Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2019**

Termín odevzdání diplomové práce: **17. května 2019**

Ve Zlíně dne 23. dubna 2019

L.S.

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

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

Příjmení a jméno: .....

Obor: .....

## 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 .....

.....

---

<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 přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce se zabývá optimalizací vstřikovacího procesu plastového dílu, kterým je část palivové nádrže osobního automobilu.

V teoretické části je popsána podstata vstřikování, vady výstřiků, vstřikovací formy a vstřikovací stroje.

Praktická část obsahuje 3D model zadané součásti, který je vytvořen v Autodesk Inventor 2019, návrh parametrů vstřikování, včetně vtokové soustavy a ověření pomocí analýzy Moldflow. Závěrem je provedeno ekonomické zhodnocení.

Klíčová slova: vstřikování, vstřikovací formy, vstřikovací stroj, optimalizace

## **ABSTRACT**

This diploma thesis follow up the optimization of injection molding process of plastic part which belongs to a car fuel tank.

The theoretical part describes the principle of injection molding technology, part defects, injection molds and machines for injection molding.

The practical part includes 3D model of mentioned part created in Autodesk Inventor 2019, the design of injection molding parameters, including runners and the Moldflow analysis. The economic assessment is made as well.

Keywords: injection molding, injection molds, machines for injection molding, optimization

Poděkování patří doc. Ing. Michalu Staňkovi, Ph.D. za jeho rady, připomínky, trpělivost a čas, který mi věnoval při tvorbě této diplomové práce. Rád bych také vyjádřil poděkování firmě Staform UH s.r.o. za příležitost a zvláště pak p. Jiřímu Šťastnému za ochotné konzultace.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>11</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>12</b>
<b>1 VSTŘIKOVÁNÍ</b> .....	<b>13</b>
1.1 PODSTATA TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ .....	13
1.2 VÝHODY A NEVÝHODY VSTŘIKOVÁNÍ .....	14
1.3 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS .....	14
1.4 FÁZE VSTŘIKOVACÍHO CYKLU .....	15
1.5 SMRŠTĚNÍ.....	17
1.6 MATERIÁLY VHODNÉ PRO VSTŘIKOVÁNÍ.....	18
1.7 PLNIVA.....	19
1.7.1 Částicová plniva .....	19
1.7.2 Vyztužující plniva .....	19
1.7.3 Nanoplňniva .....	19
<b>2 VADY VÝSTŘIKŮ</b> .....	<b>20</b>
2.1 OBECNÁ CHARAKTERISTIKA.....	20
2.2 PŘÍČINY VAD A JEJICH ODSTRAŇOVÁNÍ .....	21
2.3 DRUHY VAD .....	22
2.3.1 Přetoky .....	22
2.3.2 Neúplné výstřiky .....	22
2.3.3 Propadliny, staženiny, lunkry.....	22
2.3.4 Studený spoj .....	22
2.3.5 Místní spálení materiálu (dieselefekt).....	22
2.3.6 Vzhledové vady (tmavé body, šmouhy, rozdíly v lesku).....	22
<b>3 VSTŘIKOVACÍ FORMY</b> .....	<b>23</b>
3.1 POSTUP PŘI NAVRHOVÁNÍ FOREM.....	24
3.2 VTOKOVÁ SOUSTAVA .....	25
3.2.1 Studená vtoková soustava .....	25
3.2.2 Vyhřívaná vtoková soustava .....	31
3.3 TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	33
<i>Temperační prostředky</i> .....	34
3.3.1 Aktivní prostředky .....	34
3.3.2 Pasivní prostředky .....	34
3.4 ODVZDUŠŇOVACÍ SYSTÉM.....	35
3.5 VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	36
3.5.1 Mechanické vyhazování.....	36
3.5.2 Pneumatické vyhazování.....	36
3.5.3 Hydraulické vyhazování.....	36
3.6 MATERIÁLY PRO KONSTRUKCI FOREM.....	37
3.6.1 Oceli .....	37



3.6.2	Slitiny mědi .....	38
3.6.3	Slitiny hliníku .....	38
<b>4</b>	<b>VSTŘIKOVACÍ STROJE.....</b>	<b>39</b>
4.1	VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKA .....	41
4.2	UZAVÍRACÍ JEDNOTKA.....	42
4.3	ŘÍDÍCÍ A KONTROLNÍ JEDNOTKA .....	43
4.4	PERIFERIE A PŘÍDAVNÁ ZAŘÍZENÍ .....	44
4.4.1	Mlýny a drtiče .....	44
4.4.2	Sušárny .....	44
4.4.3	Temperační jednotky.....	44
4.4.4	Roboty a dopravní pásy.....	44
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>45</b>
<b>5</b>	<b>STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE .....</b>	<b>46</b>
<b>6</b>	<b>POPIS VSTŘIKOVANÉHO DÍLU .....</b>	<b>47</b>
6.1	NAVRHOVANÉ VARIANTY.....	48
6.2	VYHODNOCOVANÉ PARAMETRY .....	48
<b>7</b>	<b>VÝSLEDKY.....</b>	<b>49</b>
7.1	VARIANTA 1 .....	49
7.1.1	Čas plnění (Fill time) .....	50
7.1.2	Čas pro vyhození součásti (Time to reach ejection temperature, part) .....	51
7.1.3	Vzduchové kapsy (Air traps) .....	53
7.1.4	Studené spoje (Weld lines).....	54
7.1.5	Celková deformace všech vlivů ( Deflection, all effects) .....	55
7.2	VARIANTA 2 .....	56
7.2.1	Čas plnění (Fill time) .....	57
7.2.2	Čas při vyhození součásti (Time to reach ejection temperature, part) .....	58
7.2.3	Vzduchové kapsy (Air traps) .....	59
7.2.4	Rychlost smykové deformace (Shear rate) .....	60
7.2.5	Studené spoje (Weld lines).....	61
7.2.6	Celková deformace všech vlivů (Deflection, all effects) .....	62
7.3	VARIANTA 3 .....	63
7.3.1	Čas plnění (Fill time) .....	64
7.3.2	Čas při vyhození součásti (Time to reach ejection temperature, part) .....	65
7.3.3	Vzduchové kapsy (Air traps) .....	66
7.3.4	Rychlost smykové deformace (Shear rate) .....	67
7.3.5	Studené spoje (Weld lines).....	68
7.3.6	Celková deformace všech vlivů (Deflection, all effects) .....	69
7.4	VARIANTA 4 .....	70
7.4.1	Čas plnění (Fill time) .....	71
7.4.2	Čas při vyhození součásti (Time to reach ejection temperature, part) .....	72
7.4.3	Vzduchové kapsy (Air traps) .....	73
7.4.4	Rychlost smykové deformace (Shear rate) .....	74
7.4.5	Studené spoje (Weld lines).....	75
7.4.6	Celková deformace všech vlivů (Deflection, all effects) .....	76

7.5	VARIANTA 5 .....	77
7.5.1	Čas plnění (Fill time) .....	78
7.5.2	Čas při vyhození součásti (Time to reach ejection temperature, part) .....	79
7.5.3	Vzduchové kapsy (Air traps) .....	80
7.5.4	Rychlost smykové deformace (Shear rate) .....	81
7.5.5	Studené spoje (Weld lines).....	82
7.5.6	Celková deformace všech vlivů (Deflection, all effects) .....	83
<b>8</b>	<b>DISKUZE VÝSLEDKŮ.....</b>	<b>84</b>
8.1	VYHODNOCENÍ PARAMETRŮ ZÍSKANÝCH ZE SIMULACÍ MOLDFLOW .....	84
8.2	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	85
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>86</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>87</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>90</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>91</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>93</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>94</b>

## ÚVOD

V dnešní době, kdy je kladen důraz především na ekonomičnost výroby, je v popředí výrobních procesů vstřikování plastů. Jde o proces, který zaručuje vysokou opakovatelnost pro sériovou výrobu, výrobky mají přesnou geometrii a vynikající fyzikální vlastnosti. Při jednom procesu navíc lze vyrobit i několik hotových kusů, což podmiňuje násobnost vstřikovací formy. I přes početné výhody vstřikování jde o proces velmi složitý a nákladný, neboť pořizovací ceny vstřikovacích strojů i vstřikovacích forem jsou otázkou několika milionů korun.

Otázkou konstruktérů je proto co nejefektivněji navrhnout vstřikovací formu, aby její násobnost a složitost odpovídala náročnosti výrobku i očekávání sériovosti. Technologie výroby plní úkol návrhu parametrů vstřikovacího procesu, odhalování a eliminování možných defektů výstřiků a řešení procesních otázek vstřikovacího cyklu.

Neméně důležitým úkolem je dosáhnout všech podmínek, jak výrobních, tak konstrukčních ruku v ruce v odpovídajících finančních relacích. Konečná cena výrobku totiž odráží nejen hmotné vstupy výroby, ale také implementované know how a z toho plynoucí zisky výrobce, který má nelehký úkol dodávat výrobek odpovídající kvality za odpovídající cenu.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 VSTŘIKOVÁNÍ

V současné době se jedná o nejpoužívanější a velmi efektivní cyklický způsob tváření termoplastů, elastomerů, kompozitů, ale i reaktoplastů a kaučuků. Podstatou vychází vstřikování plastů z tlakového lití, ovšem za výrazně rozdílných teplot a tokových vlastností taveniny. Výrobek může mít charakter hotového kusu nebo polotovaru, určeného pro další kompletaci finálního dílu. Jejich tvar a hmotnost je velmi rozmanitá. Dá se říci, že výrobky mají od pár gramů do několika kilogramů. Výrobky mají velmi dobrou tvarovou i rozměrovou přesnost. Celý tento termodynamický děj lze popsat několika postupnými kroky, trvajících několik desítek sekund. Podle velikosti formy a vstřikovaných dílů lze na jeden cyklus vyrobit až několik desítek výrobků. [1]

## 1.1 Podstata technologie vstřikování

Materiál, nejčastěji ve formě granulátu, prochází násypkou do pracovního válce. Tam se mění v důsledku tření a účinků topné soustavy na taveninu, která je pomocí pístu nebo šneku vstřikována vysokým tlakem přes trysku do dutiny vstřikovací formy. Zde získává svůj tvar, předává teplo formě, ochlazuje se a tuhne. Hotový díl je pak vyhazovací soustavou vytlačen z otevřené formy a celý proces se opakuje.

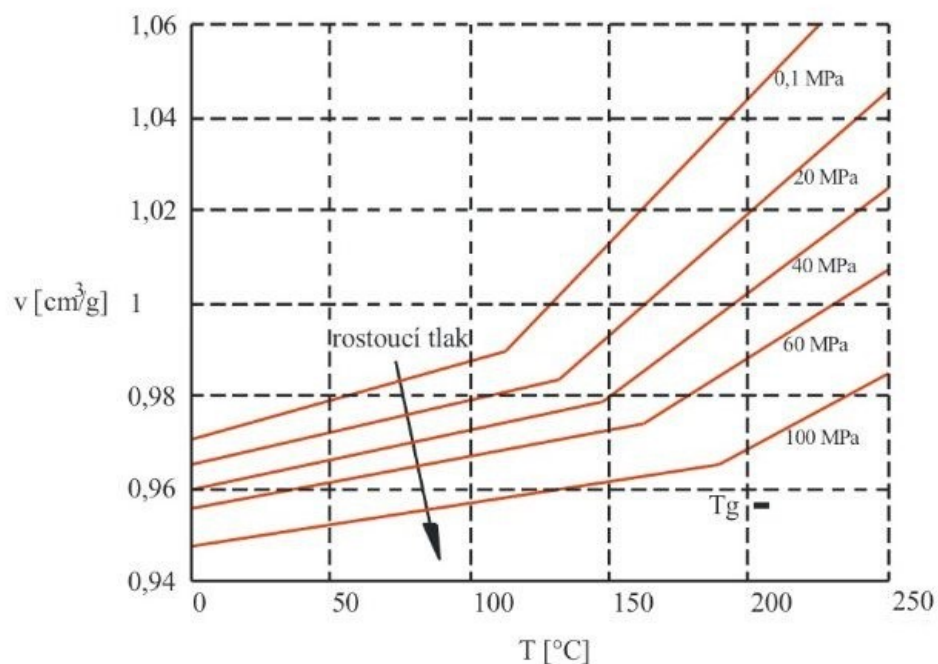
## 1.2 Výhody a nevýhody vstřikování

Mezi výhody vstřikování patří krátký čas cyklu, schopnost vyrábět složité součásti s poměrně přesnými rozměry. Povrch těchto dílů má vysokou kvalitu, tudíž odpadá následná povrchová úprava a tím i úspora času. Dávkování materiálu je vcelku jednoduché, cyklus automatizovaný a proto je považován tento způsob za velmi produktivní.

Nevýhodou jsou zejména vysoké náklady na výrobu formy a doba její návratnosti. Dalším negativem jsou ceny strojů a jejich velikost. I pro výrobu miniaturních dílů je totiž potřeba poměrně značného prostoru pro vstřikovací stroj, z čehož plyne nutnost velkých výrobních hal a nemalých nákladů na jejich provoz. Proto se tento způsob hodí jen pro velkosériové a hromadné výroby. [1]

## 1.3 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus je přesně definovaný sled pracovních úkonů, které lze dále popsat z hlediska měrného objemu, tlakového a teplotního průběhu. Vztah mezi těmito veličinami pak charakterizuje p-v-T diagram, obr. 1. Pro jednoznačný popis cyklu je nezbytně nutné stanovit počátek, za který lze označit moment, ve kterém se vstřikovací forma začíná uzavírat. [1]



Obr. 1 Diagram p-v-T pro amorfni termoplast [1]

## 1.4 Fáze vstřikovacího cyklu

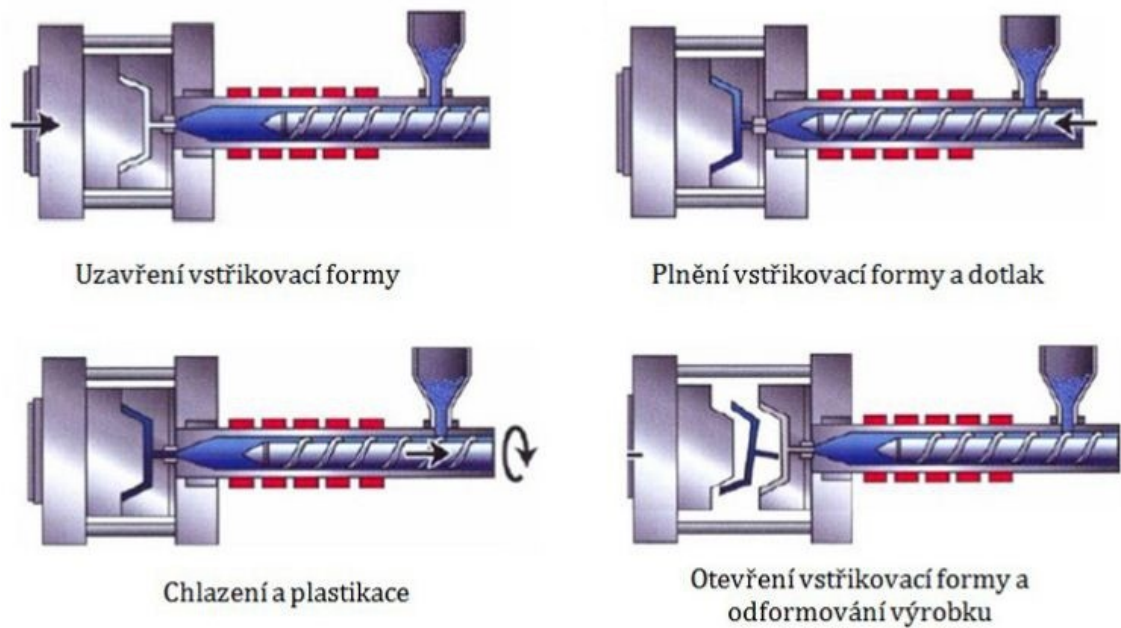
Uzavření vstřikovací formy - na počátku vstřikovacího cyklu je dutina formy prázdná a forma otevřená. Teplota má hodnotu okolí a tlak je atmosférický. Pohyblivá část formy se přisune k pevné a forma se uzavře. Strojní čas pro uzavírání formy by měl být co nejkratší. Dosedání jedné části na druhou musí být co nejplynulejší, aby nedocházelo k poškození formy. Uzavírací tlak musí být vyšší, než vstřikovací, aby nedošlo k přetokům taveniny. [1]

Plnění vstřikovací formy a dotlak - plastikační šnek dopravuje taveninu k trysce, odkud je pak vstříknuta do dutiny formy. Vstřikovací tlak bývá až 250 MPa. Doba, během níž dochází k plnění dutiny formy, se nazývá doba plnění. V této fázi má tlak maximální hodnotu. Objem taveniny v dutině zabírá kolem 97%. Následuje tzv. dotlak, tj. šnek se neotáčí, koná pouze axiální pohyb. V tomto okamžiku funguje jako píst, který část taveniny dotlačí do dutiny formy, která je následně zcela vyplněna a nedochází tak k nedokonalostem tvarovým nebo rozměrovým. Množství taveniny, kterou šnek tlačí před čelem je nazývána polštář a tvoří jej zpravidla 5-15% taveniny. Dotlak může mít celou dobu dotlaku hodnotu maximálního tlaku nebo se po několika sekundách sníží. Končí v momentě, kdy tavenina zatuhne ve vtokovém kanálku. Dotlak je jeden z nejdůležitějších parametrů. Čas a velikost dotlaku ovlivňují kvalitu vstřiku. Při nízkém dotlaku není dutina zcela zaplněna a dochází k vzhledovým i funkčním nedostatkům. Naopak při vysokém dotlaku vznikají přetoky. [1], [3]

Chlazení a plastikace – další fází je chládnutí. Doba chládnutí trvá až do otevření formy a následně vyhození výstřiku ze vstřikovací formy. Probíhá tedy jak ve formě, tak i mimo ni při atmosférickém tlaku, dokud se teplota výrobku nesrovná s teplotou okolního prostředí. Při chládnutí dochází ke smrštění a zmenšování objemu. Toto je kompenzováno právě dotlakem. Nastává opětovná plastikace. Šnek se pohybuje opačným směrem, nabírá pod násypkou novou dávku hmoty a přetlačuje před čelo šneku.

Doba chlazení je časově nejdelší fází vstřikovacího cyklu, proto je z ekonomického hlediska tendencí tento čas zkracovat. Doba chlazení závisí na tloušťce stěn výstřiku, druhu plastu, teplotě taveniny i formy a na teplotě výstřiku při vyjmutí z formy. [1]

Otevření vstřikovací formy – odsunuje se vstřikovací jednotka. Po otevření formy je výstřik vyhozen z formy. Nastává doba pro případné vložení kovových dílů do formy, dávkování separačních prostředků, čištění formy, apod. Celý cyklus je znázorněn na obr. 2.



Obr. 2 Fáze cyklu vstřikování [1]



## 1.5 Smrštění

Smrštění je objemová změna, která vzniká v důsledku chlazení plastového výrobku, bez účasti tlaku. Vzniká tedy při tuhnutí v dutině formy nebo také v časovém údobí po vyjmutí z formy. Smrštění může být výrobní a dodatečné. Výrobní smrštění je takové, které nastává a je měřeno 24 hodin od vyrobení. I po uplynutí této doby však nejsou rozměry a tvar konečné a mohou se měnit v důsledku relaxace nebo dodatečné krystalizace. Tato změna je nazývána dodatečným smrštěním. Oba druhy smrštění jsou udávány v procentech. Výrobní smrštění roste s vyšší teplotou formy, kratší dobou chlazení a rostoucí tloušťkou stěny. Dodatečné smrštění naopak roste s nižší teplotou formy. [1]

Na velikost smrštění má vliv, kromě technologických parametrů, také pochopitelně druh použitého polymeru. Rozměrové změny jsou závislé na teplotě a tlaku a také dobu, po kterou jsou vlivům vystaveny.

Zvýšením vstřikovacího tlaku dochází ke zmenšení výrobního smrštění. Jelikož je hodnota vstřikovacího tlaku rozdílná a u vtoku největší, tuhne tavenina v této oblasti až jako poslední a toto smrštění je nejmenší. Tlak v nejdálším místě dosahuje nejmenších hodnot, smrštění tedy bude naopak největší.

Zvýšení velikosti dotlaku a doby jeho působení způsobí vyšší plnění dutiny formy a tím i zmenšení výrobního smrštění.

Nižší teplota formy (a tedy i kratší čas chlazení) má za následek menší výrobní smrštění, ale naopak větší dodatečné smrštění. K opačnému jevu dochází při vyšší teplotě formy. Tloušťka stěny působí jednoznačně. Čím je tloušťka stěny vyšší, tím je vyšší i samotné smrštění.

Na velikost smrštění má vliv také typ a množství přísad. Přísady smrštění snižují, protože s procentem přísady ubývá objemu polymeru, ve kterém smrštění nastává.

Vliv teploty formy se uplatňuje zejména u semikrystalických polymerů. U amorfních nemá takový vliv. [1]

## 1.6 Materiály vhodné pro vstřikování

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

Termoplasty, které mají přímé řetězce (lineární polymery) nebo řetězce s bočními větvemi, tzv. rozvětvené polymery. Při ohřevu dochází k přerušení soudržnosti řetězců a hmota se stává viskózní. V tomto stavu je možné ji tvářet. Po ochlazení se dostanou opět do pevného stavu. Termoplasty jsou rozšířenější a dále se dělí dle struktury na amorfní a semikrystalické. Oblast využití amorfních termoplastů je pod hranicí skelného přechodu, u semikrystalických nad hranicí skelného přechodu.

Reaktoplasty, které mají řetězce příčně propojeny chemickými vazbami a vytváří prostorovou (trojrozměrnou) síť. Při tváření vlivem teploty a tlaku nastává zesíťování (vytvrzování) plastu, které je nevratné. Při opětovném zahřátí tedy nedochází k dalšímu možnému tváření, jako je tomu u termoplastů.

Mezi základní skupiny patří: polyolefiny, chlorované plasty, styrenové polymery, fluoroplasty, vynilové plasty, akryláty, polyamidy, syntetická pryž, polyestery, ketony, sulfidy, směsi polymerů, ale i kompozity.

Pro zvýšení stability a zlepšení zpracovatelnosti se do polymerních materiálů přidávají různé přísady, např. stabilizátory, které mají za úkol zlepšit odolnost např. proti UV záření. Změkčovadla zlepšují zpracovatelnost a zlepšují tažnost. Retardérů hoření se používá ke snížení hořlavosti termoplastů, barviva a pigmenty dávají materiálům barevný odstín a kryvost.

Dalším důležitým prvkem jsou plniva, která jsou přidávána pro zvýšení pevnosti, tvrdosti, tvarové stálosti. Snižují naopak ohebnost, tažnost nebo smrštění. [3]

## 1.7 Plniva

Plniva jsou látky organického nebo anorganického charakteru, které se používají ze dvou hlavních důvodů. Jedním důvodem je zlepšení mechanických vlastností a druhým důvodem je výsledná cena materiálu. Mezi organická plniva se řadí uhlík a jeho variace (grafit, saze), přírodní polymery (dřevo, celulóza, bavlna, sisal) a syntetické polymery (např. polyamid, aramid). Do organických plniv patří křemičitany, uhličitan, soli, kovy a sklo. Plniva se používají jako částicová plniva v podobě prášků nebo částic malých rozměrů, jako vyztužující plnivo (nejčastěji vlákna) nebo nanoplنiva. [3]

### 1.7.1 Částicová plniva

Tato plniva mají vliv zejména na viskozitu, zvyšují vrstnost a tepelnou vodivost, zmenšují smrštění. Mezi částicová plniva se řadí především různé druhy minerálních plniv, jako jsou např. skleněné mikrokuličky, talek (mastek), kaolin, vápenec, mletý křemen, práškové kovy, atd. Plniva tohoto typu plní také úlohu pigmentů a retardérů hoření. Jejich tvar je nejčastěji kulovitý nebo destičkový a velikost částic v řádu mikronů. Obsah částicového plniva může být od jednoho až do několika desítek procent. [3]

### 1.7.2 Vyztužující plniva

Vyztužující plniva se nejčastěji používají ve formě sekaných vláken s délkou v řádu několika desetin mm, ale i několik mm. Vyztužující efekt začíná na poměru délky vlákna k jeho průměru  $l/d$ , jehož hodnota je vyšší než 10. Tato plniva zvyšují pevnost, tuhost, tvarovou stálost, naopak snižují ohebnost, tažnost a smrštění. Nejvíce se používají skleněná vlákna, uhlíková vlákna, vlákna kovů a jiné. Koncentrace vyztužujících plniv se obvykle pohybuje od 5 do 60 hmotnostních %. [3]

### 1.7.3 Nanoplنiva

Důvodem používání nanoplنiva (nejčastěji vrstevnaté jíly) je velikost jeho částic, která se blíží velikosti molekuly termoplastické matrice. Výhodou je tedy velmi blízké spojení matrice a plniva, čímž se dosáhne na povrchu spojené oblasti. Obvyklý obsah nanoplنiva bývá do 7%. Není tudíž potřeba takový obsah klasických plniv. Dochází tím ke snížení hmotnosti dílu, lepšímu probarvení materiálu, zvýšení odolnosti proti chemikáliím, navlhavosti a zvýšení lesku. [3]

## 2 VADY VÝSTŘÍKŮ

### 2.1 Obecná charakteristika

Od počátku technologie vstřikování plastů uběhlo téměř jedno století, během kterého se tento proces neustále vyvíjí a posouvá kupředu. Bohužel i přes nejmodernější vstřikovací stroje, vyspělou technologii a počítačové simulace vstřikovacího procesu, se i v této oblasti lidského snažení vyskytují vady. Vadami plastových výrobků se rozumí odklon nebo odlišení od předem stanoveného standardu. Všechny vady mají svou příčinu. Některé z nich je možno ovlivnit a předcházet jim hned na začátku procesu díky znalostem a zkušenostem z historie, některé vady vyžadují nejrůznější analýzy a zkoušky tak, aby došlo k odstranění příčiny a zamezení opětovnému výskytu. Vady výstřiků z jejich podstaty lze rozdělit na vady zjevné a vady skryté.

Vady zjevné jsou takové, které jsou viditelné na první pohled nebo identifikovatelné běžnými kontrolními prostředky a srovnání s referenčním vzorkem. Do této skupiny vad řadíme následující dvě skupiny:

- vady tvaru – nedoplněné díly, propadliny, vrásnění, zvlnění, zborcení, deformace, přetoky, otřepy, rozměrové vady, stopy po vyhazovačích, apod.,
- vady povrchu – nedostatečný lesk, matná místa, opalescence, povrchové zakalení, stříbření, stopy po monomeru, stopy po vlhkosti, nevykopírovaný dezén, povrch gramofonové desky, povrch pomerančové kůry, tokové čáry, žloutnutí, černá místa, spálená místa, delaminace, vrstvení, apod.

Vady skryté jsou takové, které nelze obvykle vizuálním kontaktem identifikovat, mají však vliv na vlastnosti výstřiků a zhoršují jejich kvalitu.

Mezi vady skryté se řadí: vnitřní pnutí, studené spoje, vakuové bubliny a lunkry v průřezu výstřiku, uzavřený vzduch (bubliny) nebo plyny v průřezu výstřiku, anizotropie fyzikálně-mechanických vlastností. [3], [8]

## 2.2 Příčiny vad a jejich odstraňování

Při konstrukci formy je velkým úskalím její tuhost. Ta může být ovlivněna konstrukční chybou, zvoleným materiálem nebo tepelným zpracováním. Dále je důležitý vhodně zvolený tvar a umístění vtokové soustavy.

Pokud je uvažována bezproblémová konstrukce vstřikovací a uzavírací jednotky, bývá nejčastější příčinou vad opotřebení funkčních částí vstřikovací jednotky. V praxi to může znamenat, že uzávěr šneku není dokonale utěsněn. Na přední části, kolem trysky, vznikají mrtvé kouty, ve kterých dochází k degradaci materiálu. Dosed trysky není dokonalý, tryska podtéká a výstřik nelze snadno vyhodit z formy. Dalším zdrojem vad výstřiku může být porucha topení jednotlivých pásem vstřikovací jednotky, což vede ke vzniku nehomogenity v dávce taveniny.

Vstřikovaný polymer, zejména jeho reologické vlastnosti, jsou zdrojem především vzhledových vad, v krajních případech může vést k ovlivnění mechanických vlastností výstřiku. Některá aditiva, např. retardéry hoření, mohou způsobovat tepelnou nestabilitu, což je další příčinou vad. Vliv může mít kupříkladu i tvar granulí nebo barevné aditiva.

Variace technologických parametrů je efektivním způsobem, jak reagovat na vzniklou vadu. Technologické parametry mají na svědomí většinu tvarových, vzhledových i skrytých vad výstřiku. Pokud je to možné, jsou nejdříve změněny parametry s okamžitou reakcí, jako jsou: tlak, rychlost nebo otáčky šneku. Pokud není změna těchto parametrů úspěšná, lze postupně měnit teplotu jednotlivých pásem vstřikovací jednotky, teplotu taveniny, resp. formy. Změna teploty však vyžaduje větší počet cyklů k ustálení procesu. [3], [8]

Nejjednodušším případem odstranění vady nastává, pokud pochází z technologie, čili je možné ji odstranit změnou jednoho nebo více technologických parametrů. Pokud nelze vadu takto odstranit, je nutno hledat její příčinu v konstrukci formy, vstřikovacím stroji nebo ve zpracovávaném materiálu, resp. konstrukci výstřiku. Při vstřikování termoplastů je možné se setkat až několika desítkami různých vad. [3], [9]

## **2.3 Druhy vad**

### **2.3.1 Přetoky**

Je způsobeno nejčastěji nedokonalým uzavíráním formy, způsobeným nepřesnostmi v dělicí rovině, znečištěním nebo opotřebením dělicích rovin. [3]

### **2.3.2 Neúplné výstřiky**

Může být způsobeno příliš nízkým indexem tokem taveniny, nízkým vstřikovacím tlakem nebo dotlakem, teplotou taveniny nebo formy. Důvodem může být také poddimenzovaná vtoková soustava, která neumožní zatečení taveniny do vzdálených míst dutiny formy. [3]

### **2.3.3 Propadliny, staženiny, lunkry**

Příčinou může být nízký index toku taveniny, nízký vstřikovací tlak, nízký dotlak, dlouhé tokové dráhy vtokové soustavy, nepravidelné rozložení teploty tvarové dutiny. Důvodem ovšem může být i netěsnost zpětného uzávěru na šneku nebo trysce. [3]

### **2.3.4 Studený spoj**

Nejčastější příčinou je nevhodně zvolená poloha vtokového ústí. Dalším důvodem může být nedostatečné odvodušnění v místě styku dvou nebo více proudů taveniny nebo nehomogenita materiálu (rozdílná tekutost). [3]

### **2.3.5 Místní spálení materiálu (dieselefekt)**

Důvodem může být špatné nebo nedostatečné odvodušnění v místě degradace, příliš nízká viskozita taveniny, příliš velká uzavírací síly nebo teplota taveniny. [3]

### **2.3.6 Vzhledové vady (tmavé body, šmouhy, rozdíly v lesku)**

Jsou způsobeny nečistotami nebo vlhkostí v granulátu nebo znečištěnou vtokovou soustavou. [3]

### 3 VSTŘIKOVACÍ FORMY

Vstřikovací forma je nástroj, který je během vstřikovacího cyklu plněn roztaveným plastem. Ten se dostává do dutiny formy, kde tuhne a následně je z formy vyhazován výrobek. Forma se upíná do vstřikovacího stroje. Vstřikovací forma má několik funkcí. Primárně je to doprava roztaveného polymeru do dutiny formy a její dostatečné naplnění. Dutina formy přitom odpovídá tvaru a rozměrům hotového výrobku, zvětšené o nutné přídavky pro smrštění. Další funkcí formy je spolehlivý odvod tepla, přivedeného horkým plastem. V neposlední řadě je to správné odformování dílu, vyhození z formy a zajištění rychlého a bezpečného vyjmutí plastového dílu.

Forma je poměrně nákladná a proto by i její další funkce měly být zajištěny co nejdéle. Během své životnosti musí být také odolná vůči vysokým tlakům, musí zajistit požadované rozměry a kvalitu výstřiku. Vstřikovací forma musí mít snadnou obsluhu s možností automatizace a umožnit snadné vyjmutí výrobku. Výroba formy by měla být co nejméně náročná za přijatelnou cenu.

Materiál formy je volen s ohledem na druh zpracovávaného plastu, velikost a složitost výrobku, tepelnou odolnost, korozivzdornost, odolnost proti opotřebení, velikost série, požadovanou cenu a v neposlední řadě také životnost samotné formy.

Vstřikovací formy jsou svou konstrukcí velmi různorodé a lze je dělit podle několika základních hledisek, např. dle násobnosti (jedno a vícenásobné), způsobu zaformování (dvoudeskové, třidedkové, čelist'ové, atd.) a podle konstrukce vstřikovacího stroje na formy se vstřikem kolmo na dělicí rovinu a na formy se vstřikem do dělicí roviny. [10], [11]

### 3.1 Postup při navrhování forem

Správné navržení a konstrukce vstřikovací formy jsou pro kvalitu finálního výrobku nesmírně důležité. Technologie vstřikování samotných dílů probíhá na vstřikovacích strojích. Při tomto procesu dochází během krátkého časového cyklu k dosažení poměrně vysokých tlaků. To vyžaduje maximální tuhost a pevnost jednotlivých dílů, potažmo celé formy.

Dalším aspektem je dodržení vysoké přesnosti a jakosti funkčních dílů formy a její dutiny pro dosažení stanovených požadavků vstřikovaného výrobku. Je také třeba vhodně zvolit vtokový, temperační a vyhazovací systém a odvzdušnění formy. Neméně důležitým faktorem je zvolený materiál pro výrobu vstřikovací formy a dodržení technologického postupu, které mají pozitivní vliv na optimální životnost formy. [10]

Tvar dutiny formy musí umožnit především snadné zaformování. Z hlediska konstrukce je proto důležité vhodně určit dělicí plochu. Na dělicí plochu je pak vázána celá koncepce vtokového systému, tzn. vyhazování, odvzdušnění, temperace, atd. Výroba formy je velmi náročná a proto se ve vhodných případech přechází na tzv. násobné formy pro výrobu několika stejných součástí najednou. To však neznamená, že čím vyšší násobnost, tím vyšší rentabilita a výhodnější ekonomická stránka. Násobnost musí být pečlivě zvolena v závislosti na kapacitě výroby, vstřikovací stroji, požadovaném množství, životnosti formy, atd. [10]

Množství taveniny potřebné pro jeden vstřikovací cyklus bývá menší (cca 90%), než je vstřikovací kapacita stroje. Zbylá rezerva slouží jako dorovnání množství taveniny při dotlaku a neměla by být překročena. Uzavírací síla je po dosednutí pohyblivé části formy k nepohyblivé zvýšena na přidržovací sílu, která zabezpečí, aby forma byla bezpečně uzavřena po celou dobu vstřikování a nedocházelo ke zbytečným přetokům a tím úbytku materiálu. [10]

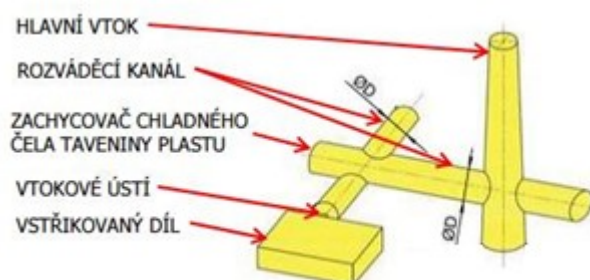


## 3.2 Vtoková soustava

Úkolem vtokové soustavy je doprava taveniny plastu z plastikační komory do dutiny formy. Je navrhována podle počtu tvarových dutin, jejich rozmístění, konstrukčního provedení výstřiku a materiálu plastu. Důležitý vliv má také rozhodnutí, zda bude vtoková soustava konstruována jako studená nebo horká. Při vstřikování termoplastů má konstrukce vtokové soustavy podstatný vliv na proudění taveniny ve formě, vytváření studených spojů, orientaci makromolekul a plniva, anizotropii vlastností, apod. [11], [12]

### 3.2.1 Studená vtoková soustava

Studená vtoková soustava je tvořena hlavním vtokovým kanálem (vtokovou vložkou), rozváděcími kanálky a vtokovým ústím, jak je patrné z obr. 3. Při vstříknutí taveniny do studené vtokové soustavy začíná tavenina okamžitě tuhnout na jejích stěnách a dále pak proudí pouze horkým jádrem. Z tohoto důvodu je nutné, aby byly velikosti průměrů rozváděcích kanálků odstupňovány při jejich větší délce, obzvláště při použití u mnohonásobných forem. Tavenina vstupuje do dutiny přes vtokové ústí, které může být řešeno několika způsoby, v závislosti na konstrukci formy a vstřikovaného dílu. Po zaplnění dutiny nastává dotlak, který má vyrovnat úbytek objemu taveniny v dutině formy z důvodu smrštění chládnoucího plastu. Nedochozí tím k objemovému smrštění výstřiku ani viditelným propadům. Je proto důležité, aby tavenina v jádru byla vždy propojena s vtokem, jehož okolí má chládnout až jako poslední. [11], [12], [13]

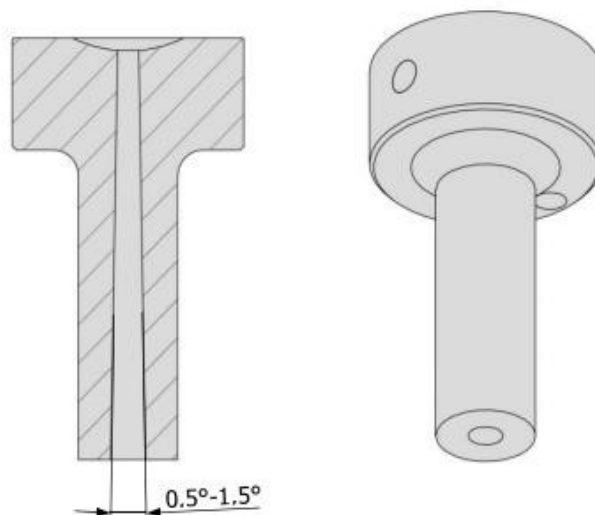


Obr. 3 Vtoková soustava [13]

### *Vtokový kanál*

Do hlavního vtokového kanálu je vstříkována tavenina z trysky vstřikovacího stroje. Tryska stroje je centrována na vtokovou vložku, v níž je vyroben hlavní vtokový kanál, viz obr. 4. Z důvodu snadného vyhození zbytku vtoku je rozšiřován pod úhlem  $0,5^\circ$  až  $1,5^\circ$  směrem k dělicí rovině. Vtokový kanál může ústít přímo do dutiny formy nebo do rozváděcích kanálů.

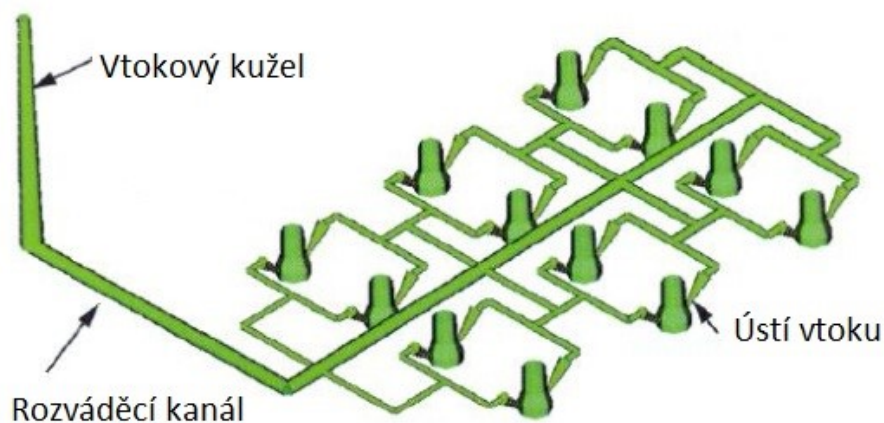
Vtoková vložka je dodávána jako normalizovaný díl. Je velmi tepelně a mechanicky namáhána a proto je vyráběna z pevných houževnatých materiálů. Pro správné ustavení vtokové vložky ve formě je v ní připraveno několik otvorů pro kolíky. [11], [12]



*Obr. 4 Vtoková vložka [12]*

### ***Rozváděcí kanály***

Do rozváděcího kanálu ústí hlavní vtokový kanál. Velikost rozváděcího kanálu je úměrná velikosti vstříkovaného dílu a počet kanálu úměrný násobnosti formy viz obr. 5. Předpokladem je, aby jejich délka byla co nejkratší, avšak dostatečná k zásobování od hlavního vtokového kanálu přes ústí do dutiny formy. [12]



*Obr. 5 Rozváděcí kanál [19]*

### ***Vtokové ústí***

Vtokové ústí je, až na výjimečné případy, spojovacím prvkem mezi rozváděcím kanálem a vstříkovaným dílem. Hlavním úkolem vtokového ústí je zamrznutí materiálu v samotném vtoku, aby nedocházelo ke zpětnému pohybu taveniny do rozváděcího kanálu při dotlaku. Další úlohou je snadné oddělení vstříkovaného dílu od rozváděcího kanálu. Obě tyto funkce vyžadují, aby mělo ústí vtoku menší tloušťku, než je tloušťka rozváděcího kanálu a tloušťka samotného dílu. Tím je také zabezpečeno, že stopy na vstříkovaném dílu budou co nejmenší. Vlastní vtok (ústí) by měl být dimenzován tak, aby umožnil maximální dobu dotlaku k vyrovnání objemové kontrakce. Tím je eliminován vznik vtaženin, případně lunkrů. [12], [16]

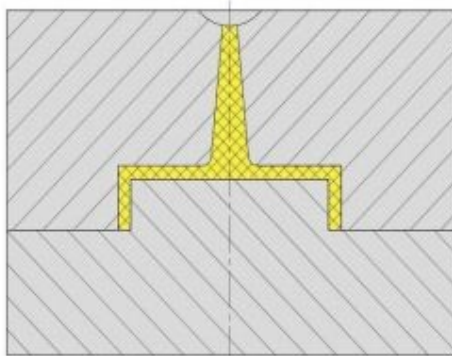
Vtokové ústí se umísťuje pokud možno:

- od nejtlustšího místa stěny výstřiku, aby tavenina tekla vždy z většího prostoru dutiny k menšímu,
- do geometrického středu dutiny, aby tavenina zatekla do všech míst rovnoměrně,
- ve směru orientace žeber,
- mimo více namáhané a pohledové plochy,
- tak, aby umožnil únik vzduchu z dutiny a nevznikaly bubliny a jiné vady,
- tak, aby studené spoje vznikaly mimo pohledové a mechanicky namáhaná místa,
- tak, aby se zamezilo volnému toku taveniny, která by způsobovala turbulentní proudění,
- tak, aby dráha taveniny v dutině byla co nejkratší.

Existuje řada provedení ústí vtoku vytvořených přímo v dělicí rovině. Mezi nejpoužívanější patří plný kuželový vtok, bodový vtok, tunelový vtok, zahnutý (srpkový) tunelový vtok. Dále existují pak kupříkladu boční vtok, filmový vtok, kruhový, deštníkový, talířový (membránový), prstencový. [12], [16]

### ***Plný kuželový vtok***

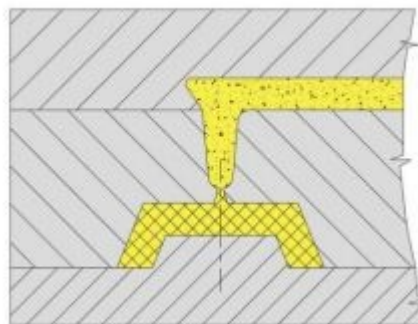
Jedná se o vtok přímo z hlavního vtokového kanálu. Tento druh vtoku je vhodný pro jednoduché symetrické výrobky s tlustšími stěnami. Jsou také vhodné pro použití plastů s horší tekutostí při použití delšího dotlaku. Výhodou kuželového vtoku (obr. 6) je snadná výroba díky jednoduchému provedení, nevýhodou je poměrně pracné odstraňování přebytků vtokového kanálu.[12], [16]



*Obr. 6 Plný kuželový vtok v řezu [13]*

### ***Bodový vtok***

Je vhodný pro tenkostěnné výrobky, průměr ústí vtoku je nejčastěji 1mm. Tvar bodového vtoku (obr. 7) je směrem k výstřiku kuželovitě rozšířen z toho důvodu, aby se ztuhlý plast v ústí odtrhl a byl vytažen spolu se vstříkovaným dílem. V opačně orientovaném otevření by zůstal v přechodu a v dalším cyklu by bránil průchodu taveniny. Výhodou je oddělení vtoku od dílu při vyhození z formy a větší volnost ve výběru umístění než např. u tunelových vtoků. Nevýhodou je větší stopa po vtoku. [16]



*Obr. 7 Bodový vtok v řezu [13]*

### ***Tunelový vtok***

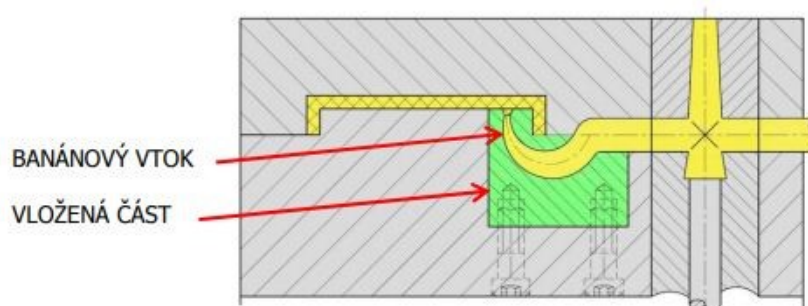
Je zvláštním případem bodového vtoku, který má tu výhodu, že může ležet v téže rovině jako výstřik. Umístění může být v pevné i pohyblivé části formy a proto není nutné konstruovat formu s více dělicími rovinami. Nevýhodou tunelového vtoku (obr. 8) je náročná výroba pomocí elektroerozivního hloubení a omezené použití v závislosti na druhu vstřikovaného materiálu. Je vhodný pro vstřikování plastů s vysokou elasticitou a pro tenkostěnné výrobky. [12], [16]



*Obr. 8 Tunelový vtok v řezu [13]*

### ***Zahnutý (srpkový, též banánový) tunelový vtok***

Jde o stejné použití jako u tunelového vtoku s tím rozdílem, pokud není možné zaústění vtoku do boku vstřikovaného dílu. To má ale zároveň pozitivní vliv na pohledovou stránku věci, neboť ústí je provedeno do spodní části výrobku a stopy tak nejsou patrné. Nevýhodou je stejně jako u tunelového vtoku náročná výroba elektroerozivním obráběním a větší prostorová náročnost z důvodu nutnosti použití dalšího komponentu pro srpkový vtok, viz obr. 9. [12], [16]



*Obr. 9 Banánový vtok v řezu [13]*

### 3.2.2 Vyhřívání vtoková soustava

U vstřikování s použitím studených vtokových soustav dochází ke vzniku poměrně velkého odpadu, což je zapříčiněno zatuhlou taveninou v rozváděcích a vtokových kanálech. To má za následek pochopitelně i náročnější výrobu na energii i náklady. Snaha po úsporách vedla ke zdokonalení a používání vyhřívání vtokové soustavy. Jejím principem je naplnění formy taveninou, která zůstává v celé oblasti od vtoku až po ústí v plastickém stavu. To umožňuje použití bodového vyústění malého průřezu, které je vhodné pro širokou oblast vyráběných výstřiků. Je vhodné v místě jeho vyústění provést na výstřiku zahlobení, aby případný nepatrný vtokový zbytek nevystupoval přes jeho úroveň. Tyto soustavy se dají regulovat, teplotu lze měnit jak pro samotnou soustavu, tak pro formu. Je nutno aplikovat regulátory a snímače. Soustava tím pádem vyžaduje podstatně složitější a výrobně nákladnější formy. Vždy je nutno posoudit, pro jaký druh výroby se daná forma a technologie bude užívat.[11], [16]

#### **Výhody oproti studeným vtokovým soustavám s vtokovým zbytkem:**

- umožňují automatizaci výroby,
- předpoklad k hromadné výrobě tenkostěnných výstřiků (kelímky, uzávěry, obaloviny, apod.),
- podstatné zkrácení výrobního cyklu,
- vyloučení odpadu z vtokových soustav,
- snížení nákladů na dokončovací práce, není potřeba odstraňovat vtokové zbytky,
- odpadá manipulace a problematika zpracování vtokových zbytků.

#### **Nevýhody:**

- nelze realizovat u všech aplikací, zejména nejsou efektivní pro malé série a pro některé typy plastů,
- náročnost technické úrovně vybavení vstřikovny a obsluhy,
- nákladné formy (soustavy a jejich regulace od specializovaných výrobců).

Vyhřívané vtokové soustavy jsou konstruovány jako trysky s vnějším topením (ohřev topné spirály), trysky s vnitřním topením (ohřev topné patrony) nebo jako rozvodné bloky s vnějším či vnitřním topením. [11], [16]

### *Vytápěné rozvodné bloky*

Slouží k rozvodu taveniny do tvarových dutin vícenásobných forem. Nutností je zajištění rovnoměrného vytápění, v opačném případě hrozí ovlivnění tokového chování taveniny a rozložení tlaku v jednotlivých tvarových dutinách. Rozváděcí blok je ocelový a je uložen mezi upínací a tvarovou desku v pevné části formy. Tvar rozvodného bloku (obr. 10) je ve tvaru písmene I, H, X nebo Y, může být i hvězdice, zkrátka dle potřeby polohy rozváděcích kanálů a uložení trysek. Musí být tepelně izolován od ostatních částí formy, což je většinou zabezpečeno vzduchovou mezerou. Vytápění bývá nejčastěji pomocí topných hadů zalitých mědí, tj. zvenku odporovým topením. Dalším nejpoužívanějším způsobem je vytápění pomocí patron zevnitř. Pro zvětšení tuhosti formy bývá rozvodný blok ve formě upevněn pomocí přítlačných kroužků. Musí být také zajištěn proti pootočení vzhledem k tvárnici.

Výkon ohřevu musí být takový, aby dosáhl rychlého ohřevu, dostatečné teploty pro optimální tok taveniny v bloku a eliminoval tepelné ztráty (vodivostí, prostupem, vyzařováním). [11], [16]



Obr. 10 Příklady tvarů vyhřívaných bloků [18]

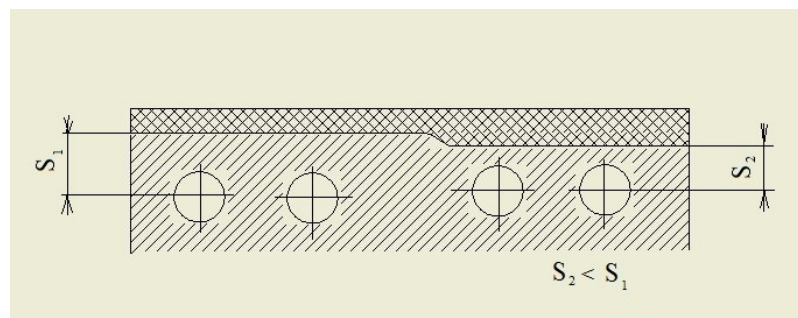


### 3.3 Temperační systém

Aby bylo možné dosáhnout optimálně krátkého pracovního cyklu, je nutné formu dostat do konstantní teploty. Toho se může dosáhnout ohříváním nebo i ochlazováním jak celé formy, tak jejích částí. K tomu slouží temperační systém. Jelikož je pro každý vstřikovací cyklus nutné zajistit stejné podmínky, je nutno formu udržovat v konstantní teplotě. Roztavený polymer předává teplo formě a pro bezproblémové vyjmutí výstřiku je nutné přebytečné teplo odvést temperační soustavou. Pokud je zpracováván plast při vyšších teplotách je nutno formu naopak ohřívát, aby byla tepelná ztráta vyrovnána. Při počátku výroby je taktéž nutné formu nejprve vyhřát na správnou pracovní teplotu. Aby nedocházelo k tvarové deformaci z důvodu anizotropie smršťování plastu, lze temperovat různé části na různou teplotu. Kvalitně řešený temperační systém formy zvyšuje její rozměrovou a tepelnou stabilitu, snižuje riziko deformací a prodlužuje její životnost.

Temperační systém formy je tvořen soustavou kanálů a dutin, ve kterých proudí vhodně zvolené temperační médium. To má za úkol udržovat temperované části na požadované teplotě. Temperační systém bývá umístěn v pevné (vtokové) části formy a v pohyblivé části. Každý okruh může být řešen samostatně, podle způsobu zaformování, technologických a konstrukčních požadavků. Umístění kanálů by mělo být v optimální vzdálenosti od tvarové dutiny formy, aby byla zachována její tuhost, viz obr. 11.

Průřez kanálu se volí podle velikosti výstřiku, druhu plastu a rámu formy, přičemž nejběžnějším průřezem je tvar kruhový. Kromě kruhových kanálů se používají také obdelníkové průřezy, do kterých se také mohou uložit tenkostěnné měděné trubky. Průměr by neměl být zbytečně zvětšován, neboť intenzita výměny tepla se zvýší jen nepatrně, zato ale stoupá množství temperačního média. Snižuje se také pochopitelně tuhost formy. [17]



Obr. 11 Vzdálenost kanálů u různé tloušťky stěn [17]

### *Temperační prostředky*

Jedná se o média, díky nimž je temperační systém schopen své funkce, tedy pracovat v optimálních podmínkách. Dělí se na aktivní a pasivní. Aktivními se rozumí takové média, které působí přímo na formě. Teplo do formy přímo přivádí nebo naopak odvádí. Pasivní jsou takové, které svými fyzikálními ovlivňují tepelný režim formy. Zvolený druh závisí na koncepci formy a požadavcích na technologii výroby výstřiků. Obvykle se používají ve vzájemné vazbě.

#### **3.3.1 Aktivní prostředky**

Kapaliny – proudí nuceným oběhem temperačními kanály, vytvořenými uvnitř formy. Obvykle se používá voda, olej a glykoly, přičemž rozhodujícím faktorem jsou jejich vlastnosti. Výhodou např. vody je nízká cena, nevýhodou pak možnost koroze. Výhodou oleje je vyšší teplota použití za cenu zhoršeného přestupu tepla.

Vzduch – je využíván jako volného proudění nebo nuceného proudění působením přetlaku či podtlaku. Nevýhodou je malá účinnost. Použití je pak pouze tam, kde nelze z důvodu nedostatku prostoru chladit kapalinou.

Topné elektrické články – jsou využívány zejména v případech, kdy jsou ztráty do okolí větší, než teplo dodané vstříkovaným plastem. Používají se většinou topné patrony.

#### **3.3.2 Pasivní prostředky**

Tepelně izolační materiály – jsou využívány především pro omezení přestupu tepla do upínacích desek vstříkovacího stroje. Používají se zejména vyztužené reaktoplasty či nekovové anorganické látky, jako např. azbestové nebo skleněné rohože. Z důvodu snížení tepelných ztrát jsou tyto povrchy leštěny, chromovány nebo pokryty hliníkovou fólií.

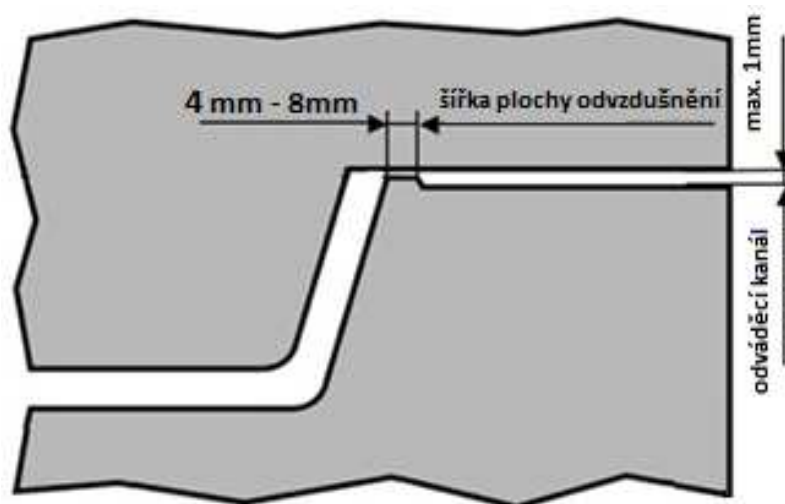
Tepelně vodivé materiály – jsou používány v místech, které jsou jinak obtížně temperovatelné, např. tenké tvárníky. Nejčastěji bývá používána měď nebo hliník a jejich slitiny. Ještě účinnějším způsobem je užití tzv. tepelných trubic, které využívají teplotního spádu látky, cirkulující uvnitř. Teplonosná látka se v teplejším místě odpařuje, přitom odebírá velké množství tepla. V chladnějším místě díky gravitaci naopak kondenzuje a předává teplo chladicímu prostředí. Tímto způsobem lze zkrátit cyklus až o 30 %. [17]

### 3.4 Odvzdušňovací systém

Po uzavření dutiny formy zůstává v jejích útrokách vzduch. Jakmile začne tavenina vnikat do dutiny, hromadí se před ní stlačený vzduch, který hledá cestu k úniku. Přestože určité množství vzduchu unikne přes dělicí rovinu, případně vodící plochy vyhazovačů nebo pohyblivé jádro, zůstává v dutině nežádoucí zbytek vzduchu. Řešením jsou další konstrukční prvky, které umožní kompletní a rychlý odvod vzduchu z dutiny formy. K tomu slouží odvzdušňovací systém. Obecně lze říci, že čím více a kvalitněji je dutina formy odvzdušněna, tím lépe. Potíže s odvzdušněním se vyskytují především u nových forem. V průběhu provozu se vlivem opotřebení vyskytují vůle, kterými lze odvzdušnění realizovat. Je nutné také udržovat odvzdušňovací kanály čisté, neboť se často ucpávají konzervačními prostředky. [1], [17]

#### *Umístění odvzdušňovacích kanálů*

Patrně nejjednodušším způsobem, jak zlepšit odvod vzduchu z dutiny formy, je umístění odvzdušňovacích ploch do dělicí roviny, viz obr. 12. Výroba nebude náročná a efekt bude zaručen. Rozměr kanálku se odvíjí od druhu vstříkovaného plastu. Čím má plast vyšší tekutost, tím menší rozměr kanálu bude stačit a naopak. Dalším aspektem při konstrukci odvzdušňovacího kanálu v dělicí rovině je objem vstříkovaného dílu a rychlost vstříkování. Čím jsou tyto hodnoty vyšší, musí být vyšší i intenzita odvzdušnění, tím pádem i rozměr kanálu. Zvětšování šířky kanálu by však mělo být v rozumné míře, aby nedocházelo ke vzniku zástříků. [1], [17]



Obr. 12 Doporučená konstrukce odvzdušňovacího kanálu [1]

### 3.5 Vyhazovací systém

Hotový výstřik je z dutiny formy vytlačován zařízením, konajícím dopředný a zpětný pohyb, při kterém se vrací prvek vyhazovacího systému do původní polohy. Systém má být volen tak, aby vyhazování bylo rovnoměrné a nedocházelo při něm k deformacím nebo jiným poškozením na výstřiku. Základním předpokladem správného vyhazování je hladký povrch výstřiku a úkosovitost jeho stěn ve směru vyhazování. To by nemělo překročit 30°. Vyhazování může probíhat několika variantami. [17]

#### 3.5.1 Mechanické vyhazování

Jde o nejrozšířenější způsob vyhazování, které může být realizováno pomocí vyhazovacích kolíků, stírací desky, šikmé postupné nebo speciální vyhazování. Vyhazování pomocí kolíků je nejméně náročný systém, jeho použití je všude tam, kde lze vyhazovače umístit proti ploše ve směru vyhození. Nevýhodou je stopa po kolíku, tudíž není vhodné, aby se opíral o vzhledovou plochu. Rovněž nesmí dojít k deformaci na výstřiku. Kolíky jsou obvykle válcové, tuhé a snadno vyrobitelné. Vůle v uložení působí také jako součást odvodu vzduchu. [17]

#### 3.5.2 Pneumatické vyhazování

Tento způsob je vhodný pro vyhazování slabostěnných objemných výstřiků, které je nutno zavzdušnit, aby se nedeformovaly. Obvyklým tvarem jsou nádoby, kbelíky, apod. Při vyhazování stlačený vzduch odděluje výstřik od formy. Oddělení je rovnoměrné a nevznikají žádné stropy na výstřiku. Stlačený vzduch je přiváděn přes talířový, jehlový nebo jiný ventil. [17]

#### 3.5.3 Hydraulické vyhazování

Hydraulické vyhazování je užíváno k ovládní mechanických vyhazovačů, stíracích desek, apod. To zajišťuje pružnější chod. Jako zabudovaná samostatná hydraulická jednotka ve formě se užívá ojediněle. [17]

### 3.6 Materiály pro konstrukci forem

Z důvodu dosažení požadované kvality, prodloužení živnosti forem a splnění ekonomických požadavků je nutné, aby byl volen materiál, který tyto hlediska umožní. Dává se přednost materiálům z řad ocelí vhodných jakostí, slitin neželezných kovů, případně ostatních tepelně nevodivých a izolačních materiálů.

#### 3.6.1 Oceli

Jsou nejvýznamnějším druhem používaných materiálů na výrobu forem pro své pozitivní mechanické vlastnosti. Mezi požadované vlastnosti patří dostatečná mechanická pevnost, dobrá obrobitelnost. Z technologického hlediska by měl materiál dale zajišťovat dobrou leštitelnost, odolnost proti oděru, chemickým vlivům, stálost rozměrů, prokalitelnost, atd.

Nejčastěji používanými jsou následující oceli:

- 1.1730 (ČSN 19083) – pro výrobu základových desek, pouzder, kolíků, sloupků. Je dobře obrobitelná, houževnatá a tvárná za tepla
- 1.2080 (ČSN 19436) – pro výrobu tvarových desek a forem pro velké série. Ocel má vysokou odolnost proti opotřebení
- 1.2312 (ČSN 19520) – mangan-chromová ocel pro výrobu tvarových desek forem, je dobře obrobitelná.
- 1. 2379 (ČSN 19573) – pro výrobu tvarových desek a forem pro velmi velké série. Ocel vykazuje velkou odolnost proti opotřebení, vysokou odolnost proti korozi.
- 1.2842 (ČSN 19313) – používá se pro výrobu menších tvarových desek na formy. Výhodou je stálost tvaru a rozměrů a houževnatost. [11], [23], [24]

### 3.6.2 Slitiny mědi

Oproti ocelím mají výhody především ve velmi dobré tepelné vodivosti, chemické odolnosti a dobrých kluzných vlastnostech, čímž lze dosáhnout zkrácení pracovního cyklu, vyšší kvality výstřiku, hladších ploch, atd. Díky velké tepelné vodivosti, která je přibližně 4x vyšší než u ocelí, dochází ke zkrácení ochlazování až o 50%, což má pozitivní dopad na délku cyklu i ekonomickou stránku. Čistá měď se používá málo, pro funkční díly se používají slitiny s jinými kovy, především s niklem, hliníkem, křemíkem. Velmi dobrých výsledků se také dosahuje se slitinami CuBe, tzv. beryliová bronz, která dosahuje po vytvrzení vysoké pevnosti. Používají se i speciální slitiny s velkou tepelnou vodivostí, např. Ampcoloy (CuSiNi) nebo Ampco (CuAlFe, CuAlFeMn...) s velkou odolností proti opotřebení. [11]

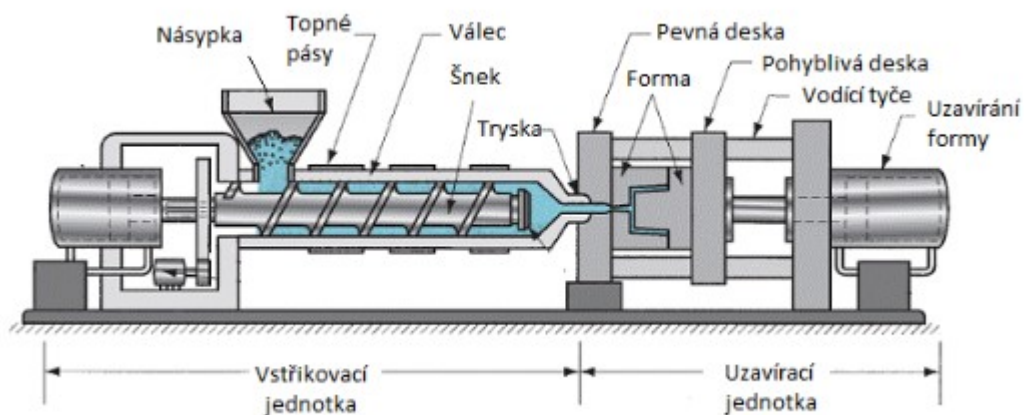
### 3.6.3 Slitiny hliníku

Nemají tak vysokou odolnost proti opotřebení ani pevnost v porovnání s oceli, zato mají velkou tepelnou vodivost a korozivzdornost. Využívají se zejména pro formy pro strukturní pěny, kde je vyžadován velký chladicí účinek a chemická odolnost. Běžně se nepoužívají odlévané materiály, protože není snadné dosáhnout hladkého bezporézního povrchu. Častěji se používá válcovaná slitina AlCuMg, která může dosáhnout poměrně vysoké pevnosti po vytvrzení. [11]

## 4 VSTŘIKOVACÍ STROJE

Výsledkem vstřikování jsou buď konečné výrobky, nebo polotovary pro další kompletování samostatného celku. Tyto díly se vyznačují velmi dobrou rozměrovou a tvarovou přesností a vysokou reprodukovatelností. Tomu musí odpovídat vstřikovací forma i samotný vstřikovací stroj. Tyto stroje jsou většinou plně automatické a dosahují vysoké produktivity práce. Na druhou stranu je jejich pořizovací cena značně vysoká, a tudíž je tato technologie vhodná především pro velkosériovou a hromadnou výrobu. Vstřikovací stroje jsou primárně určeny pro zpracování polymerů. Ty jsou zpracovávány především ve formě granulátu, případně prášku nebo těstovité hmoty.

Vstřikovací stroj se skládá ze vstřikovací jednotky, uzavírací jednotky (obr. 13), dále pak části pro řízení a regulaci. Stroje lze vybavit i různými periferními zařízeními kupříkladu roboty, manipulátory, dávkovacím a mísícím zařízením, sušárny a dopravníky tak, aby stroj plnil funkci plně automatizovaného pracoviště. [21]



Obr. 13 Hlavní části vstřikovacího stroje [20]

Mezi nejznámější výrobce vstříkovacích strojů patří Arburg (obr. 14), KraussMaffei, Engel, SumitomoDemag a jiné.



Obr. 14 Vstříkovací stroj Arburg [21]

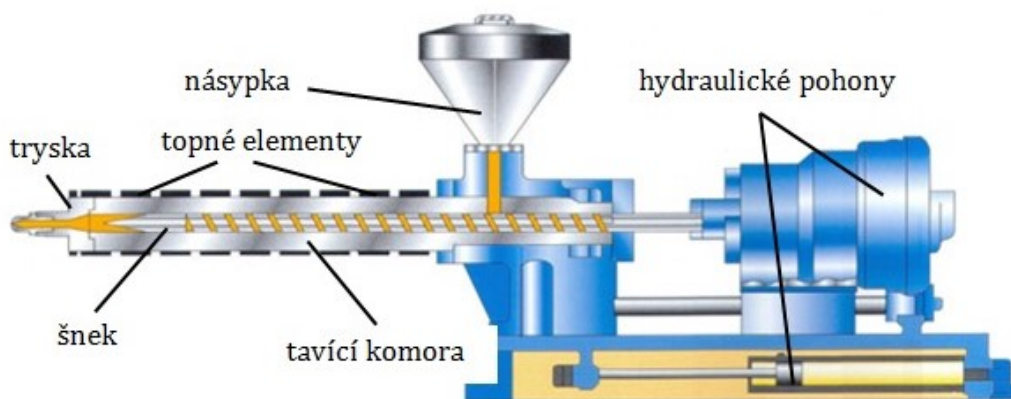
Vstříkovací stroje lze dělit dle různých kritérií do několika skupin:

- dle způsobu pohonu na hydraulické, elektrické nebo hybridní
- dle pracovního členu v tavicí komoře vstříkovací jednotky na pístové a šnekové
- dle směru posuvu pohyblivé desky uzavírací jednotky na horizontální a vertikální
- dle typu zpracovávaného plastu na stroje pro zpracování termoplastů, reaktoplastů a kaučuků
- dle počtu desek uzavírací jednotky na dvoudeskové a tříděskové
- dle počtu šneků na jednošnekové a vícešnekové
- dle rychlosti otáček šneku na pomaloběžné a rychloběžné
- dle použití předplastikace ve vstříkovací jednotce na stroje s předplastikací či bez ní
- dle počtu vodících tyčí uzavírací jednotky, atd. [21]



## 4.1 Vstřikovací jednotka

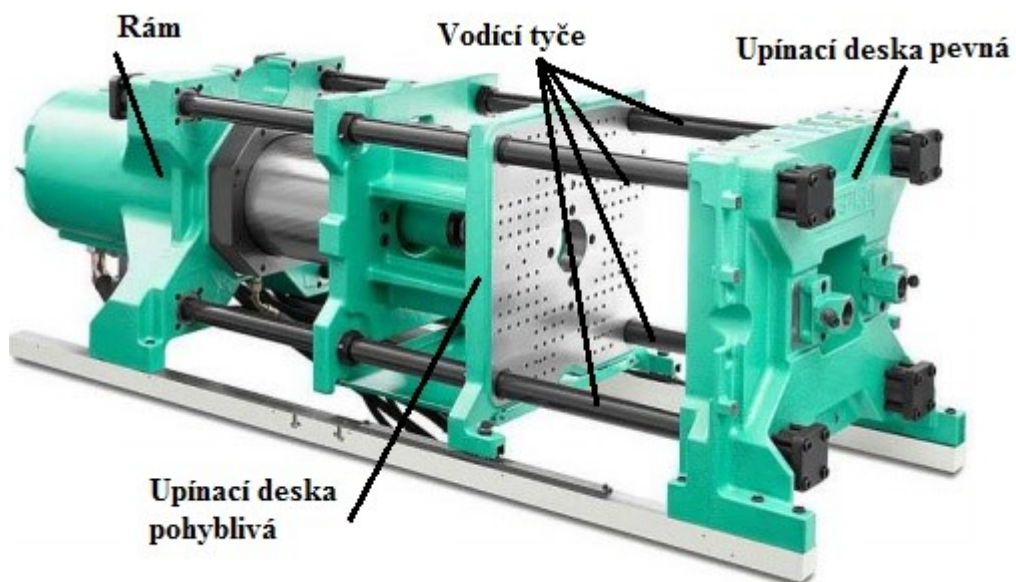
Základní funkcí vstřikovací jednotky je převedení polymeru z tuhého do vysoce viskozního stavu a přesun taveniny do dutiny vstřikovací formy. Jak již bylo řečeno, existují dva základní typy vstřikovacích jednotek, co se týče pracovního členu. Nejstarším typem jsou vstřikovací jednotky uvnitř osazeny pístem, který se pohybuje v horizontální ose dopředu a zpět. Tyto vstřikovací jednotky nejsou v dnešní době příliš využívány zejména kvůli nízké homogenizaci taveniny. Druhým typem, používanějším, jsou vstřikovací jednotky, v nichž se pohybuje šnek, obr. 15. Ten kromě dopředného a zpětného chodu navíc rotuje kolem své osy, čímž je zajištěna vyšší úroveň promíchání taveniny. [21]



Obr. 15 Vstřikovací jednotka se šnekem [21]

## 4.2 Uzavírací jednotka

Úkolem uzavírací jednotky (obr. 16) je otevírání a uzavírání vstřikovací formy během procesu vstřikování. Je nutné vyvodit větší přidržovací sílu než je tlaková síla taveniny, aby nedošlo k pootevření formy. Hlavní části jsou vodící tyče, pevná a pohyblivá deska stroje a mechanismus, který je zdrojem síly k uzavírání a otevírání vstřikovací formy. Tento uzavírací mechanismus může být ovládán buďto mechanicky (klouby a páky), hydraulicky (píst) nebo kombinací obou mechanismů. Podle pohonu, který zajišťuje posuv mechanismů, se jednotky dělí na elektricky nebo hydraulicky ovládané. [21]



Obr. 16 Uzavírací jednotka [22]

### 4.3 Řídící a kontrolní jednotka

Každý vstříkovací stroj je schopen pracovat ve třech různých nastaveních. Zcela automaticky (po seřízení stroje, kdy není potřeba lidské obsluhy), poloautomaticky, pokud je třeba např. odebírat kusy nebo naopak zakládat další prvky do formy. Jednotlivé operace jsou automatické, avšak všechny je nutno spustit manuálně. Posledním nastavením je výhradně ruční ovládání. Toho se využívá zejména při nastavování stroje.

U každého druhu nastavení jsou veškerá vložená data při vstříkovacím procesu neustále vyhodnocována a obsluha je informována o všech parametrech, jako je např. vstříkovací tlak, teplota taveniny i formy, velikost dotlaku nebo doba chlazení. Obsluha je pak pomocí LCD displeje (obr. 17) informována o probíhajícím kroku a jeho parametrech, které je možno díky dotykovému panelu měnit dle potřeby. Zobrazovány jsou případné poruchy, ke kterým může během procesu dojít. Součástí řídicího a komunikačního panelu je také port, díky kterému je možno připojit paměťová média pro stahování dat nebo naopak nahrávání programů či jednotlivých kroků vstříkovacího stroje. [21]



Obr. 17 Ovládací panel Arburg Allrounder [22]

## 4.4 Periferie a přídatná zařízení

Vše, co kromě vstřikovacího stroje a vstřikovací formy, zasahuje do výrobního procesu vstřikování, je považováno za sekundární podporu, tedy periferie. Mezi nejčastější a nejpoužívanější periferie patří sušárny, mlýny, dopravníky nebo roboty pro potisk či balení výrobků. [21]

### 4.4.1 Mlýny a drtiče

Zpracovávají vtokové zbytky nebo výstřiky, které jinak nesplňují požadované parametry. Kvůli snížení nákladů výroby je tento odpad na místě drcen a znovu užit do výroby. Velikost drtě je srovnatelná s velikostí granulátu. Obsah přidávaného regenerátu by neměl přesáhnout 25 %, aby zůstaly zachovány vlastnosti výsledné směsi. [21]

### 4.4.2 Sušárny

Nepříznivým faktorem pro vstřikování je vlhkost, která ovlivňuje vzhled a kvalitu výrobků. Proto je nutné dodávat materiál řádně vysušen. K tomuto účelu slouží sušárny. Jsou buď integrované přímo do násypky, při větším počtu vstřikovacích strojů jsou samostatné jednotky. Horký vzduch zbavuje granulát vlhkosti, i tak je nutno granulát zpracovávat do cca dvou hodin. [21]

### 4.4.3 Temperační jednotky

Okruh temperačních kanálů vstřikovací formy je pomocí hadic napojen na temperační jednotku, která zajišťuje požadovanou teplotu teplotonosného média. Toto médium ohřívá formu na požadovanou teplotu při startu cyklu a následně odvádí přebytečné teplo z formy. Nastavený průtok média a délka kanálů by měly být navrženy tak, aby rozdíl mezi vstupní a výstupní teplotou média nebyl vyšší než 5°C. [21]

### 4.4.4 Roboty a dopravní pásy

Pro odebrání kusů z formy jsou využívány dopravní pásy, kterými jsou zejména malé výrobky dopravovány do přepravních nádob. Při odebrání velkých, křehkých, horkých nebo jinak nebezpečných výrobků jsou s výhodou rychlého a přesného pohybu využívány roboty, které mohou být vybaveny i dalším příslušenstvím, jako jsou přísavky, magnety, nůžky, apod. [21]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Pro tuto diplomovou práci byly stanoveny následující cíle:

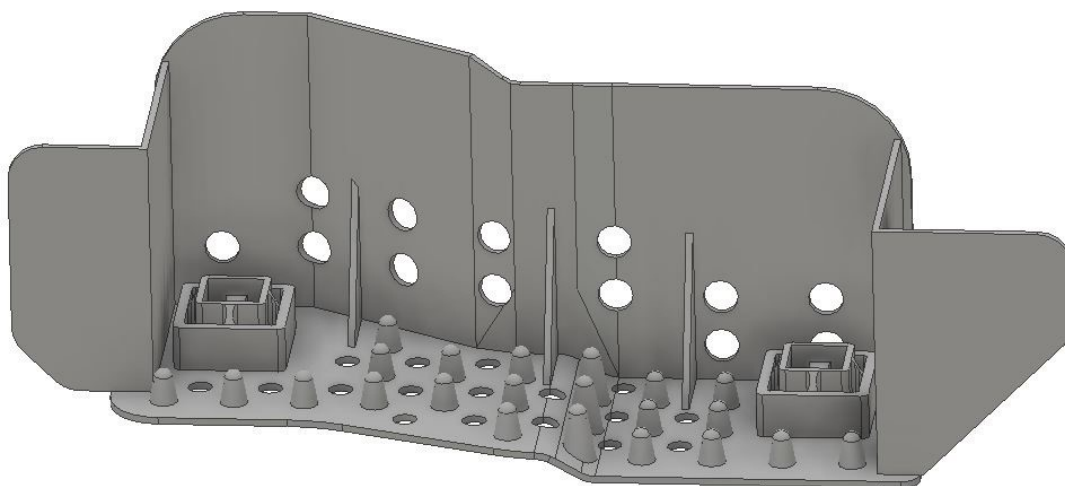
1. Vypracovat literární studii na dané téma.
2. Připravit návrh výrobního procesu (vstřikování).
3. Provést optimalizaci výrobního procesu pomocí simulací
4. Provést ekonomické zhodnocení.

V teoretické části byl popsán vstřikovací cyklus, rozebrány vady výrobků, dále byly popsány vstřikovací formy a vstřikovací stroje.

V praktické části je nutno vytvořit 3D model součásti a provést návrh vtokové a temperační soustavy. Úkolem je navrhnout takové řešení, aby byl vstřikovací proces optimalizován z pohledu sledovaných parametrů. Předpokladem je návrh několika různých variant, ze kterých bude vybrána varianta s nejlepšími ukazateli pomocí simulací Autodesk Moldflow Synergy 2016.

## 6 POPIS VSTŘIKOVANÉHO DÍLU

Zadaný výrobek (obr. 18) je součást nádrže osobního automobilu. Jedná se o nepohledový díl uvnitř nádrže, kde plní funkci tlumení nárazů paliva např. při změně směru jízdy. Požadovaný materiál je polyoxymetylén, dodávaný výrobcem BASF Engineering plastics pod obchodním názvem Ultraform W2320 U03. Hustota tohoto materiálu je  $1,4098 \text{ g/cm}^3$ . Doporučené hodnoty z aplikace Moldflow jsou uvedeny v tab. 1. Základní rozměry dílu v poměru délka x šířka x výška jsou: 306 x 110 x 100 mm. Objem dílu je  $130\,000 \text{ mm}^3$ .



Obr. 18 Vstřikovaný díl

Tab. 1 Doporučené hodnoty materiálu Ultraform W2320 U03 z databáze Autodesk Moldflow.

Procesní parametr	Hodnota (°C)
Teplota povrchu formy	90
Teplota taveniny	200
Minimální doporučená teplota formy	60
Maximální doporučená teplota formy	100
Minimální doporučená teplota taveniny	190
Maximální doporučená teplota taveniny	230
Maximální možná teplota taveniny	230
Vyhazovací teplota	110

## 6.1 Navrhované varianty

Z výchozí představy jednonásobné formy bylo z důvodu zlepšení ekonomické stránky výroby postupně navrženo několik variant vtokového a temperačního systému pro dvojnásobnou formu. Varianty byly podrobeny simulacím Moldflow, z nichž byly porovnávány vybrané parametry. Přehled variant ukazuje tabulka tab. 2.

Tab. 2 Navrhované varianty.

Var.	Vtokový systém	Vtokové ústí	Temperační systém	Materiál	Násobnost
1	studený	1	3 okruhy	POM	1
2	studený	2	3 okruhy	POM	2
3	kombinovaný	3	3 okruhy s přepážkami	POM	2
4	kombinovaný	3	3 okruhy s přepážkami	POM + 25% skleněných vláken	2
5	kombinovaný	3	3 okruhy s přepážkami	PP + 25 % skleněných vláken	2

## 6.2 Vyhodnocované parametry

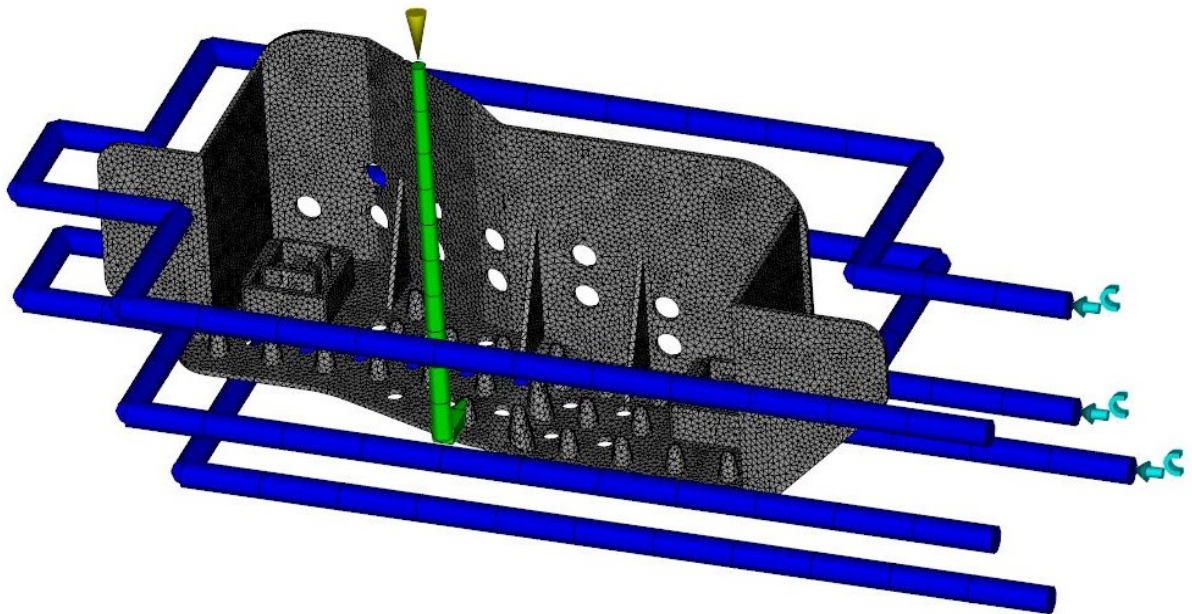
U všech analýz byly postupně vyhodnocovány vybrané parametry, dle kterých byla posuzována vhodnost dané varianty. Posuzovanými parametry byly: čas plnění (Fill time), teplota při vyhození součásti (Time to reach ejection temperature part), vzduchové kapsy (Air traps), rychlost smykové deformace (Shear rate), studené spoje (Weld lines) a deformace (Deflection). Na základě těchto parametrů byla zvolena optimální varianta.



## 7 VÝSLEDKY

### 7.1 Varianta 1

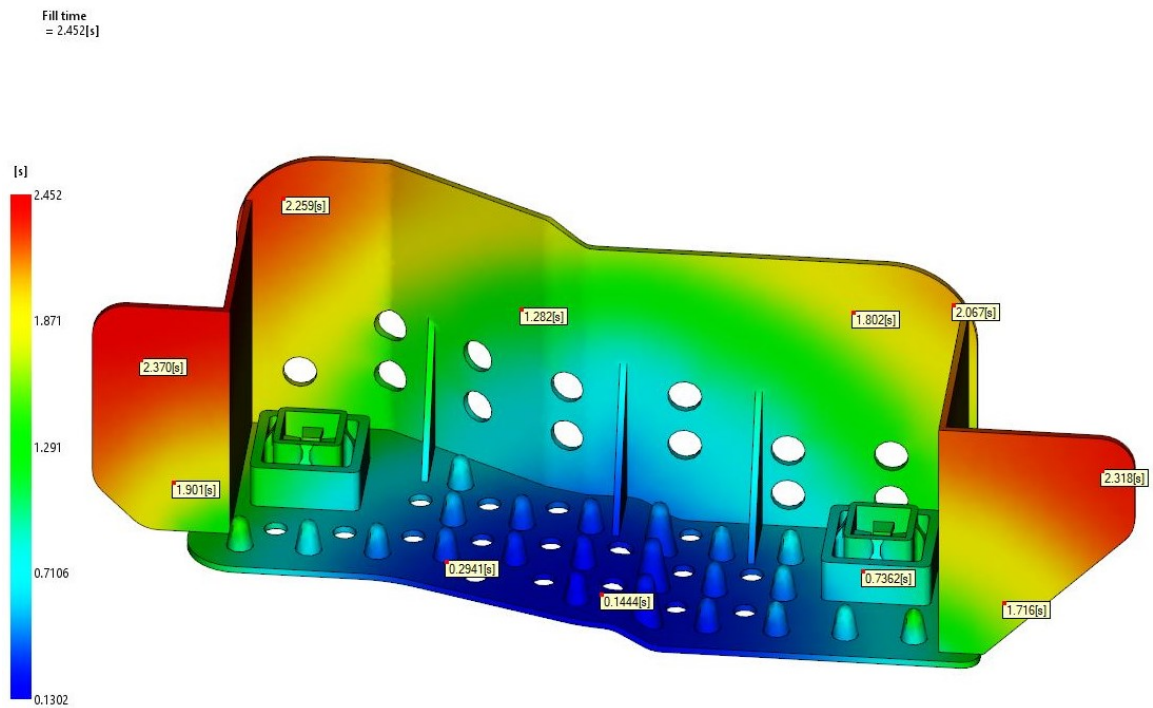
Výchozí variantou byla jednonásobná forma, dutina byla plněna studeným vtokem s jedním vtokovým ústím a forma chlazena temperační soustavou se třemi okruhy, jak demonstruje obr. 19. Průměr temperačních kanálů byl 10 mm, temperačním médiem je voda o teplotě 90 °C.



*Obr. 19 Jednonásobná forma, varianta 1*

### 7.1.1 Čas plnění (Fill time)

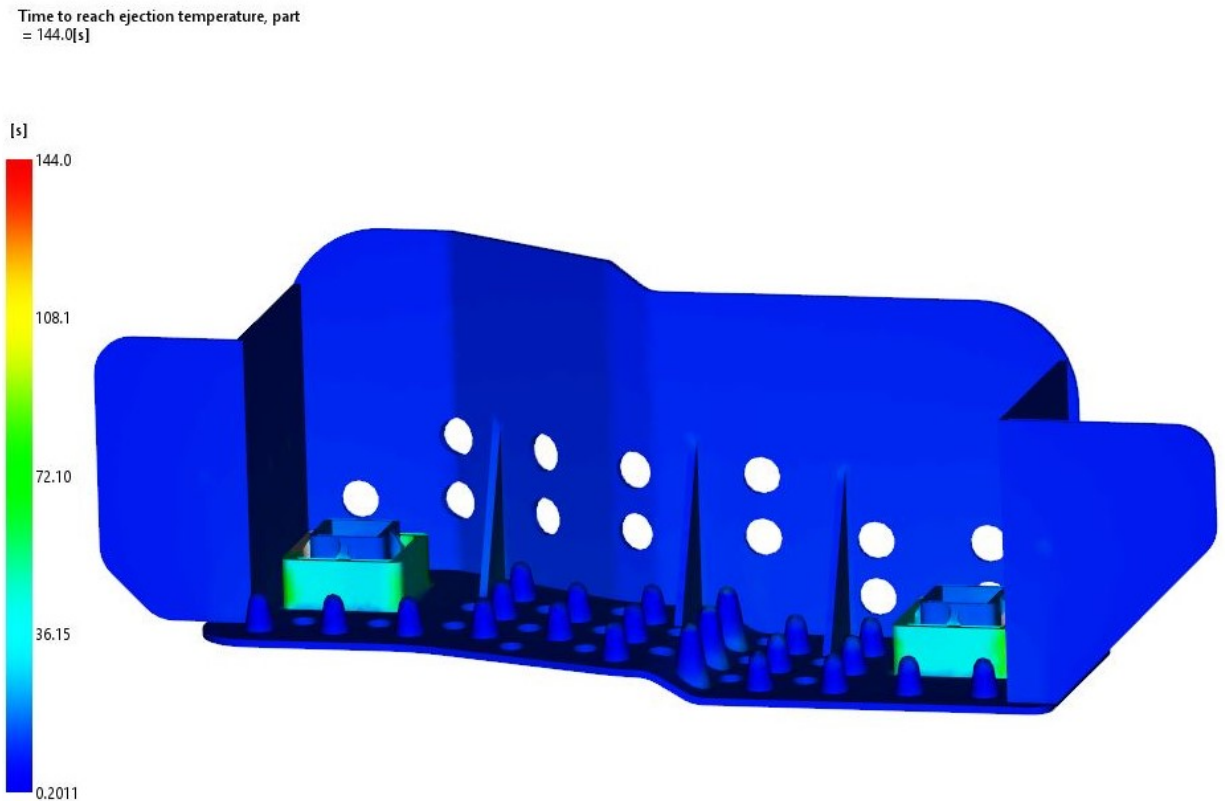
Čas plnění je jedním ze základních sledovaných parametrů, od kterého se odvíjí představa o časové náročnosti výroby a tím i její ekonomičnosti. Čas plnění jednonásobné formy byl 2,452 s, jak ukazuje obr. 20. Z obrázku je patrné, že tavenina zatekla do všech částí dutiny. Červená oblast jsou části, do kterých tavenina zateče nejpozději.



Obr. 20 Čas plnění, varianta 1

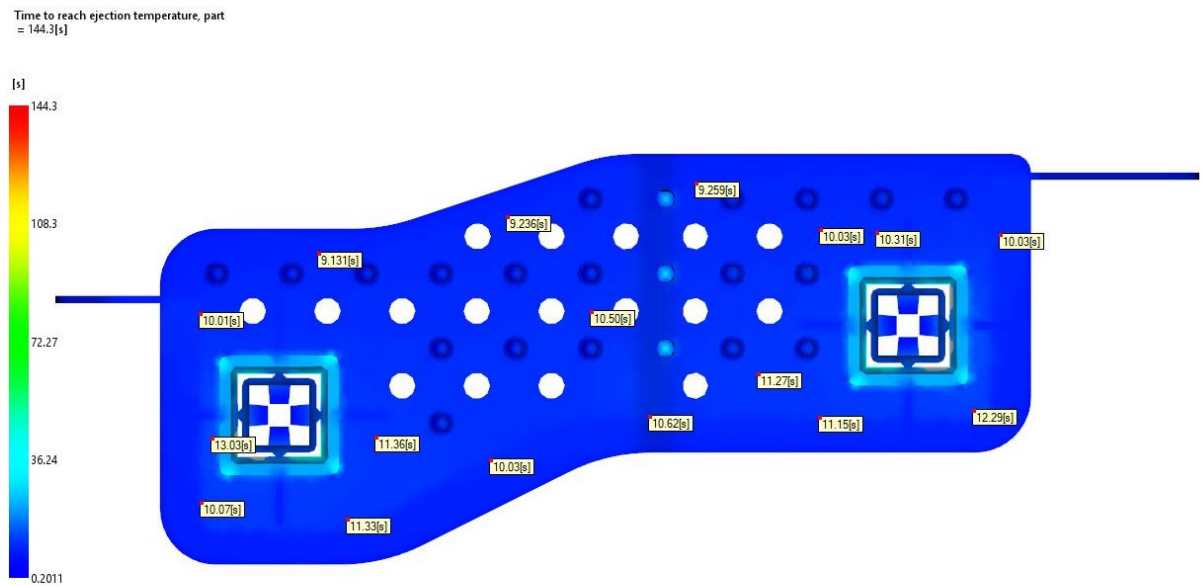
### 7.1.2 Čas pro vyhození součásti (Time to reach ejection temperature, part)

K vyhození součásti ze vstříkovací formy dochází po ochlazení výstřiku na vyhazovací teplotu. Je to hodnota, která zajišťuje bezpečné vyhození výstřiku tak, aby nedošlo k jeho poškození během vyhazování z formy. K vyhození součásti v tomto případě může dojít po 144 s, viz obr. 21.



Obr. 21 Teplota při vyhození součásti, varianta 1

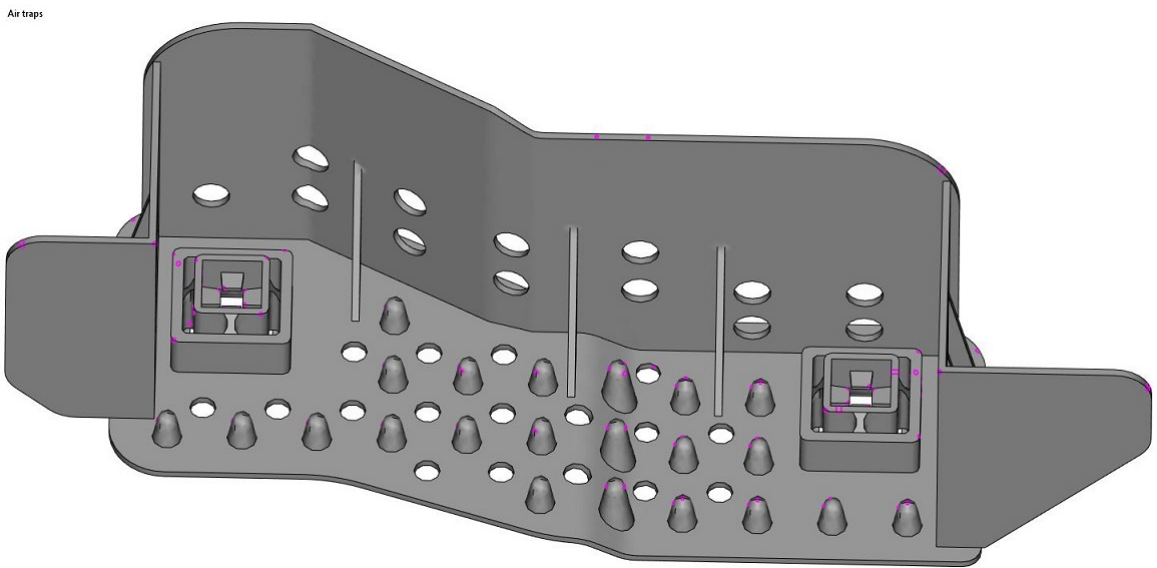
Nutno podotknout, že čas nezbytný pro vyhození součásti je v místě vyhazovače daleko nižší, cca 13 s, jak ukazuje obr. 22. Součást tak lze vyhodit z formy mnohem dříve.



Obr. 22 Vyhazovací čas v místě vyhazovačů, varianta 1

### 7.1.3 Vzduchové kapsy (Air traps)

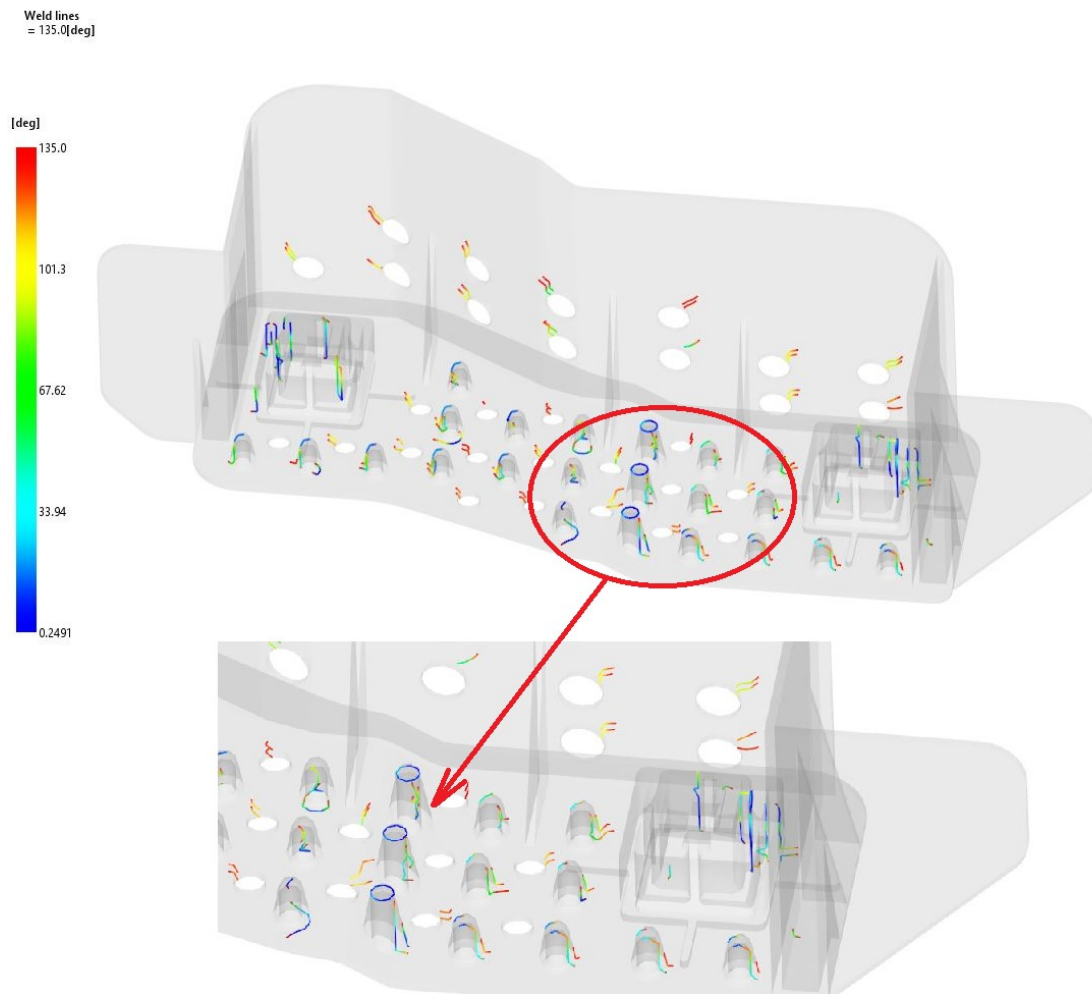
Místa náchylná na kumulaci vzduchu jsou znázorněna na obr. 23 růžovými stopami. Jsou nebezpečná např. kvůli prudkému stlačení a vznícení vzduchu, tzv. dieselektu. Další nebezpečí je nedotečení materiálu do kritických míst. Předpokladem je, že vzduch, uzavřený ve formě před vstříknutím taveniny, bude z dutiny formy vytlačen dělicí rovinou a vůlí pohyblivých částí, např. vyhazovači. Pokud by v praxi docházelo k výše zmíněným nedostatkům, je třeba opatřit formu odvzdušňovacími kanály.



Obr. 23 Vzduchové kapsy, varianta 1

#### 7.1.4 Studené spoje (Weld lines)

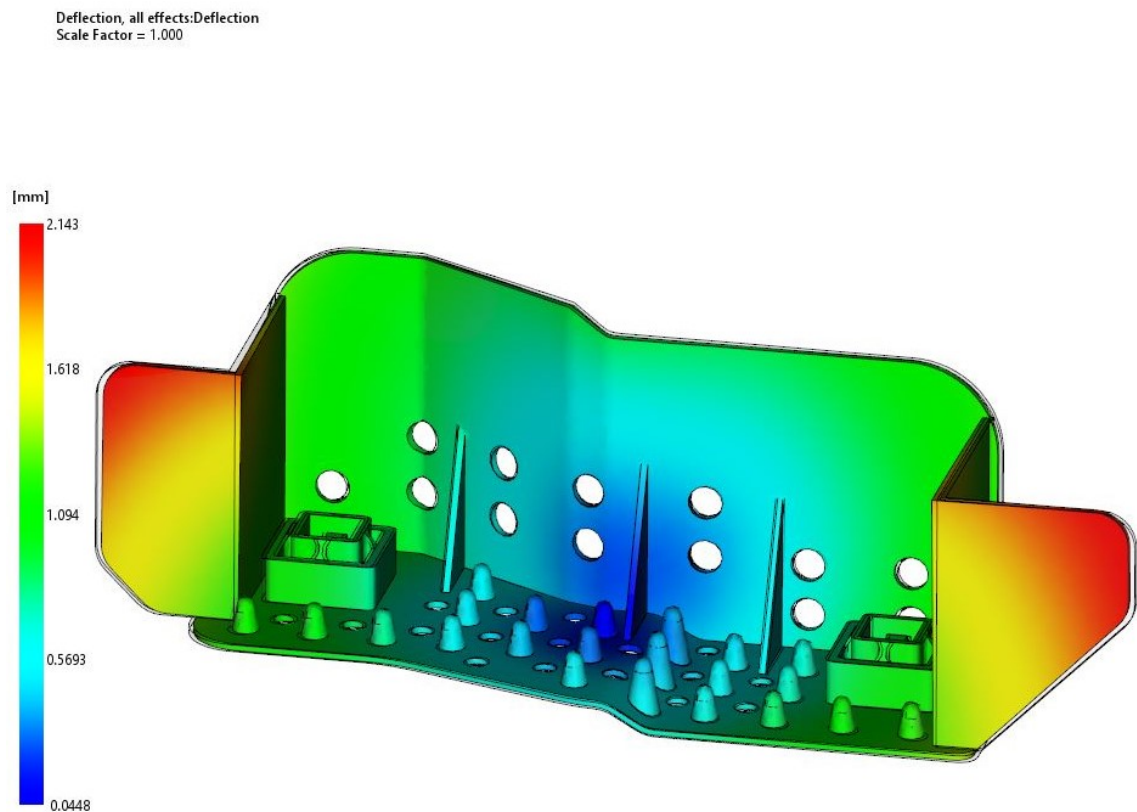
Studené spoje vznikají nejčastěji v místech spoje dvou nebo více toků tavenin a projevují se zeslabením pevnosti v místě studeného spoje. Oblasti studených spojů demonstruje obr. 24. Zasažená místa jsou nejvíce na vrcholcích spodní části, jejich hodnota však není kritická.



Obr. 24 Studené spoje, varianta 1

### 7.1.5 Celková deformace všech vlivů (Deflection, all effects)

Celková deformace vzniká díky několika vlivům, jako je tepelná roztažnost vstříkovaného materiálu nebo deformace vznikající při ochlazování. V nejkritičtějších místech byla deformace vyhodnocena s hodnotou 2,143 mm, viz obr. 25.

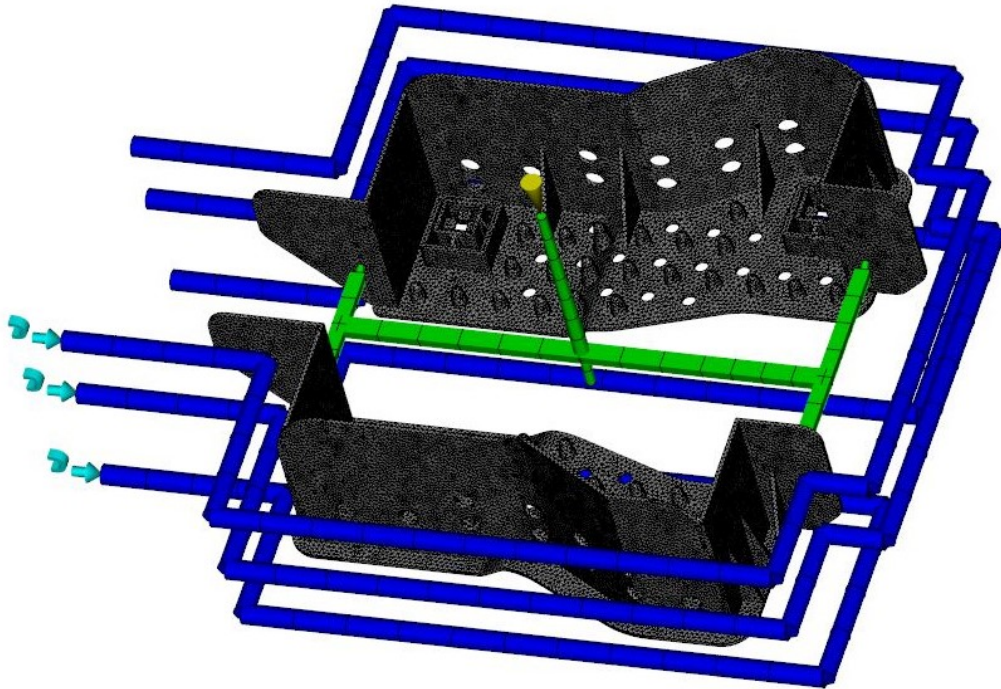


Obr. 25 Celková deformace, varianta 1



## 7.2 Varianta 2

Z důvodu zlepšení ekonomičnosti výroby byla navržena varianta dvojnásobné formy. Uspořádání součástí, vtokový a temperační systém ukazuje obr. 26. Jedná se o studenou vtokovou soustavu a tři samostatné temperační okruhy s kanály o průměru 10 mm.

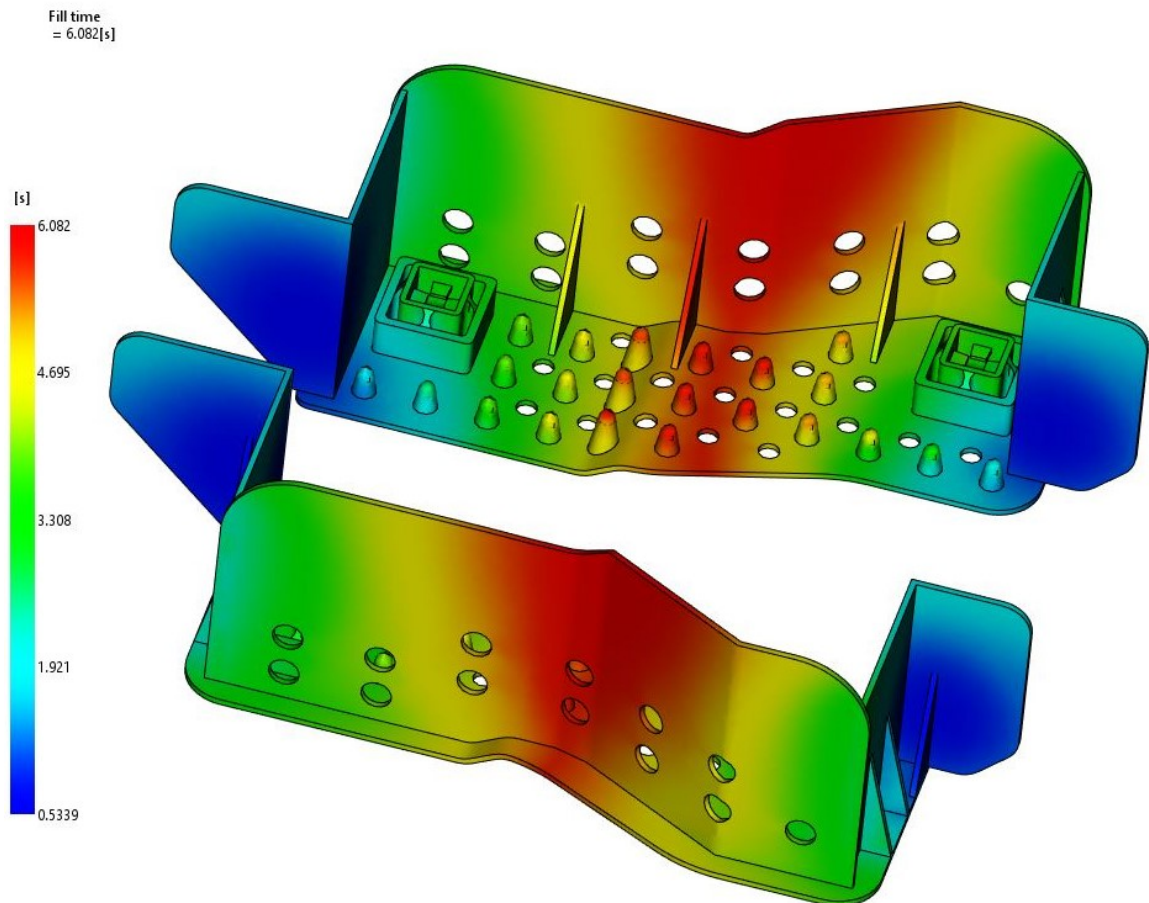


Obr. 26 Varianta 2



### 7.2.1 Čas plnění (Fill time)

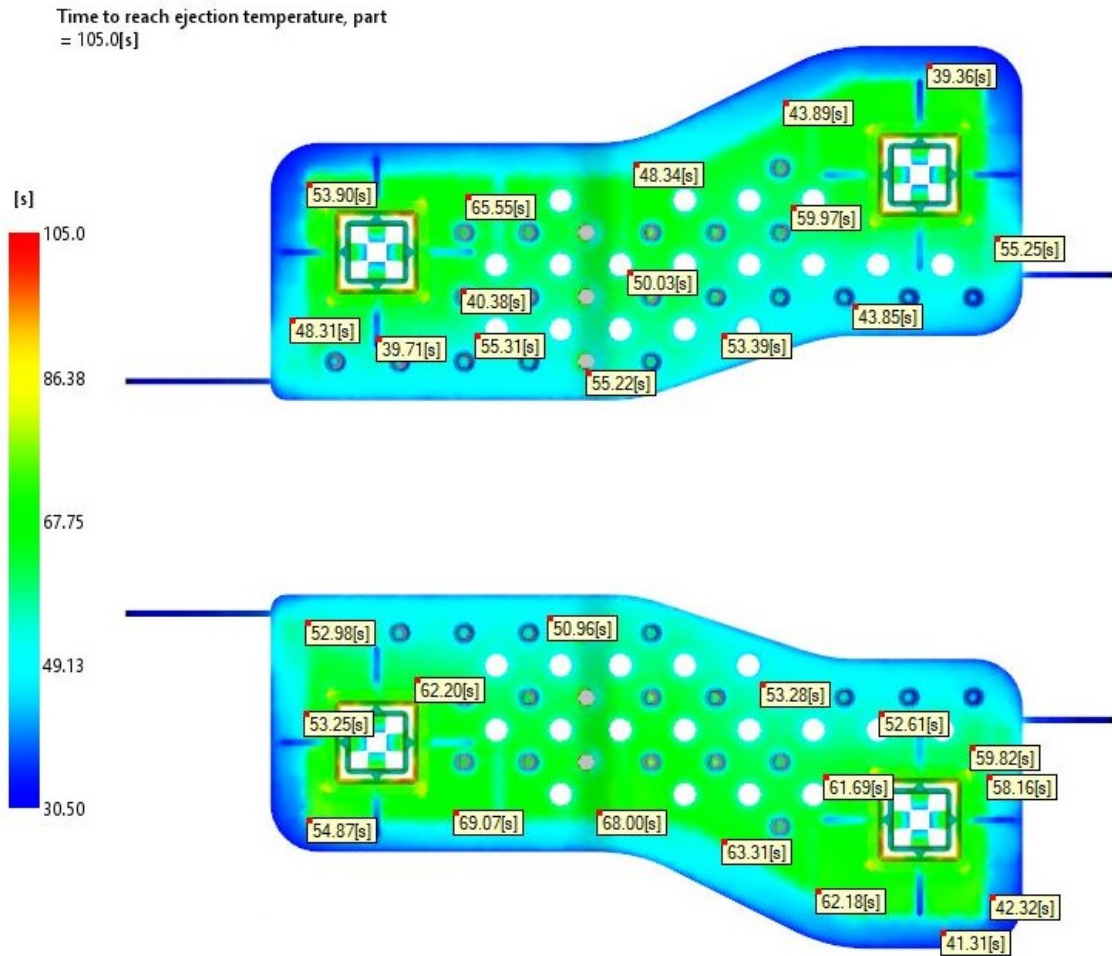
Dle předpokladu vzrostl čas plnění oproti jednonásobné formě z 2,452 s na 6,082 s, což je vzhledem k dvěma výrobkům pochopitelné. Zatečení taveniny do všech míst obou výstřiků je patrné z obr. 27.



Obr. 27 Čas plnění, varianta 2

### 7.2.2 Čas při vyhození součásti (Time to reach ejection temperature, part)

Čas pro vyhození je v předpokládaném místě vyhazovačů ztelně nižší a proto je možno součást z formy vyhodit přibližně po 70 s, viz obr. 28. Tato hodnota je však vysoká a je nutné ji snížit. Je tedy nutno upravit temperační soustavu.

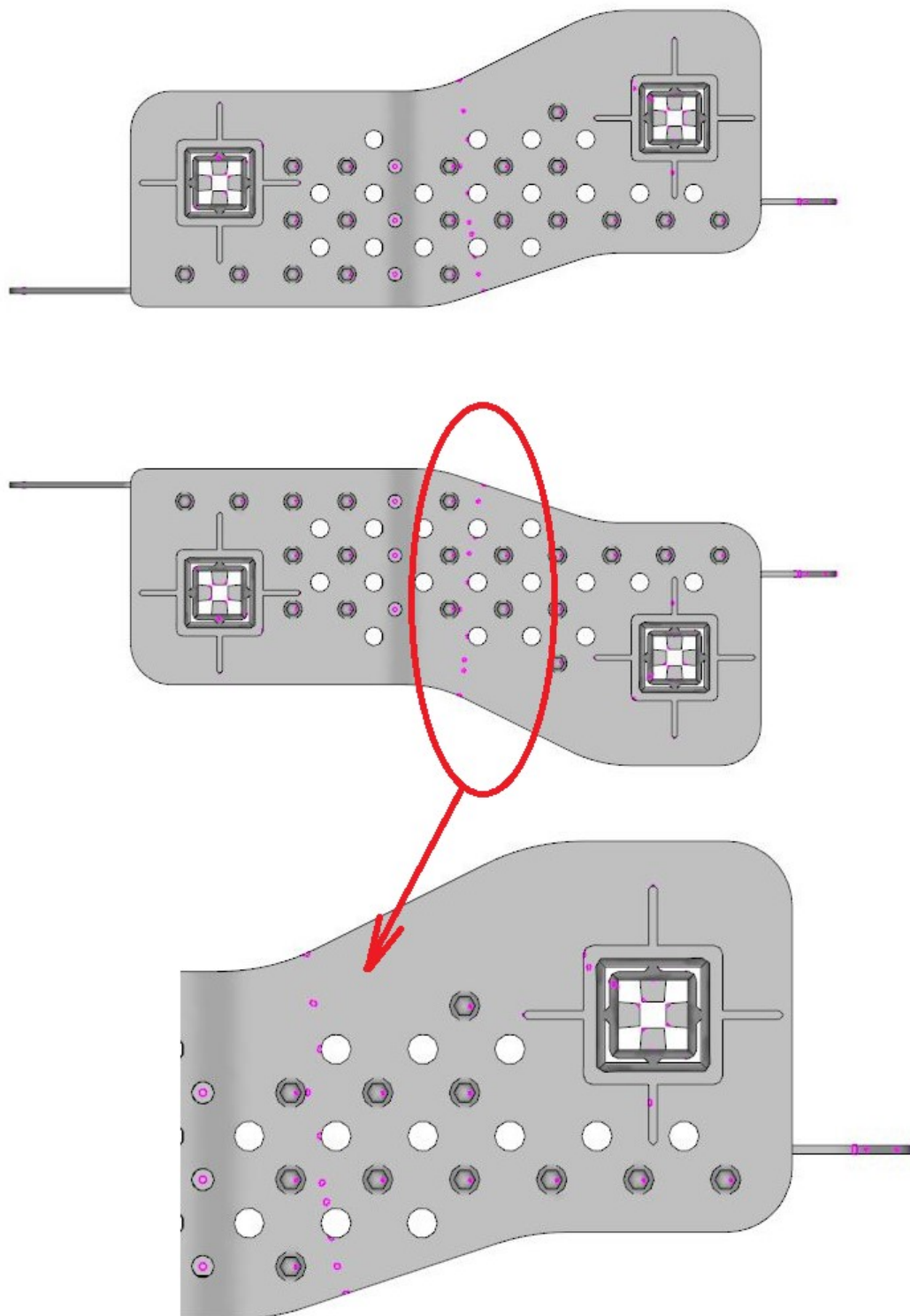


Obr. 28 Čas při vyhození součásti v místě vyhazovačů, varianta 2

### 7.2.3 Vzduchové kapsy (Air traps)

Větší koncentrace vzduchových kapes je pozorována příčně celou šíří součásti přibližně v jeho polovině, jak dokazuje obr. 29.

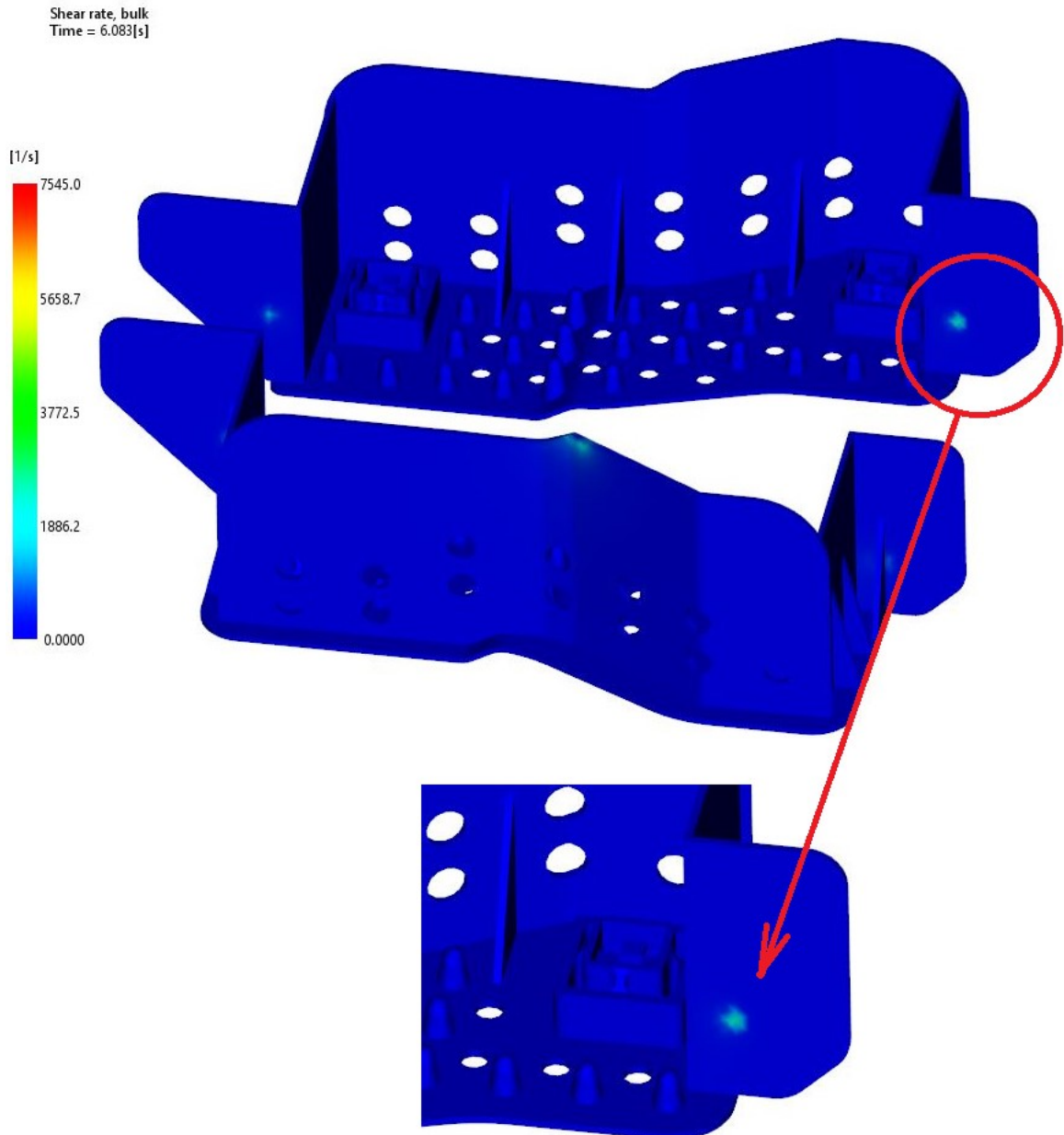
Air traps



Obr. 29 Vzduchové kapsy, varianta 2

#### 7.2.4 Rychlost smykové deformace (Shear rate)

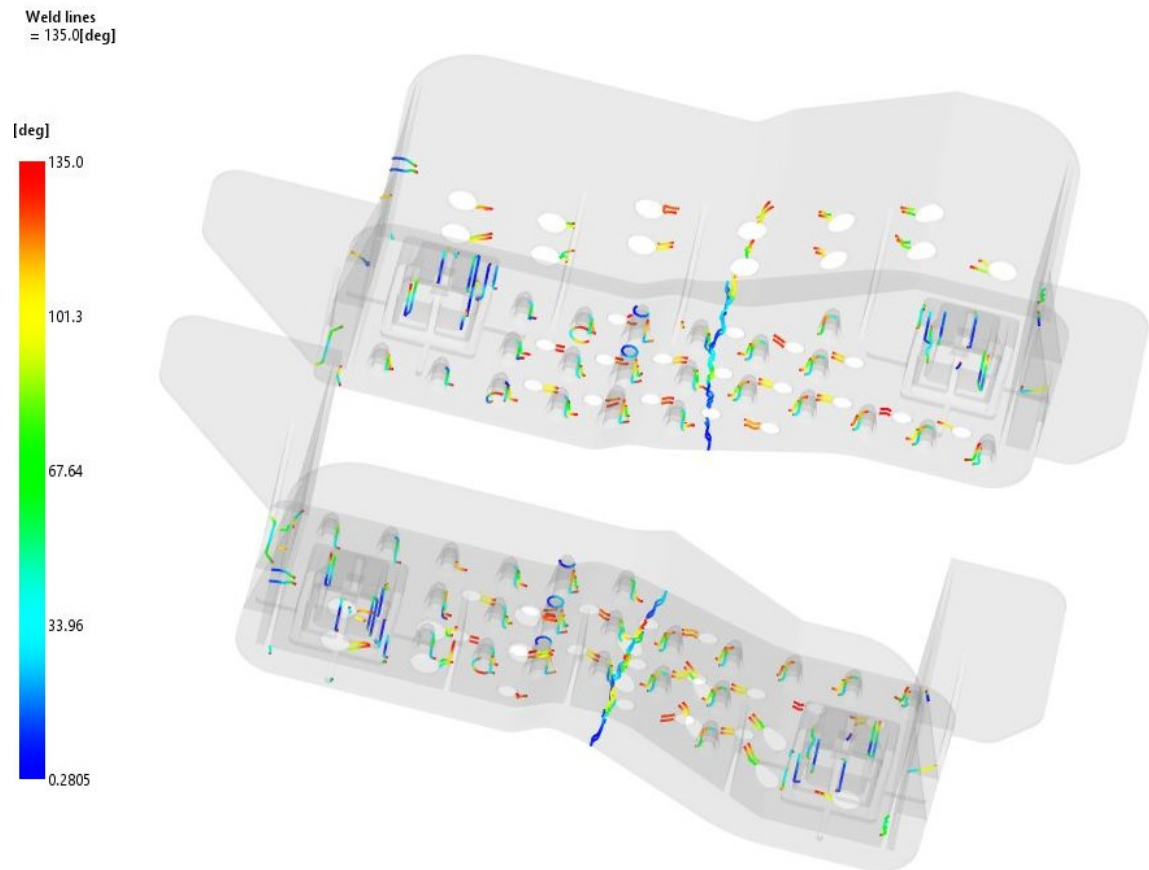
Tato analýza hodnotí velikost smykové deformace v plněném dílu. Nejvyšší hodnota bývá zpravidla v oblasti vtokového ústí. Rychlost smykové deformace je důležitý ukazatel pro řešení problémů s degradací materiálu a následnému zhoršení mechanických vlastností. Pro tento materiál je hodnota  $40\,000\text{ s}^{-1}$ . Z obr. 30 vyplývá, že tato hodnota nebyla překročena.



Obr. 30 Rychlost smykové deformace, varianta 2

### 7.2.5 Studené spoje (Weld lines)

Jak napovídala oblast vzduchových kapes, simulace odhalila poměrně znatelný studený spoj, viz obr. 31. Z tohoto důvodu bude třeba přepracovat také vtokovou soustavu.

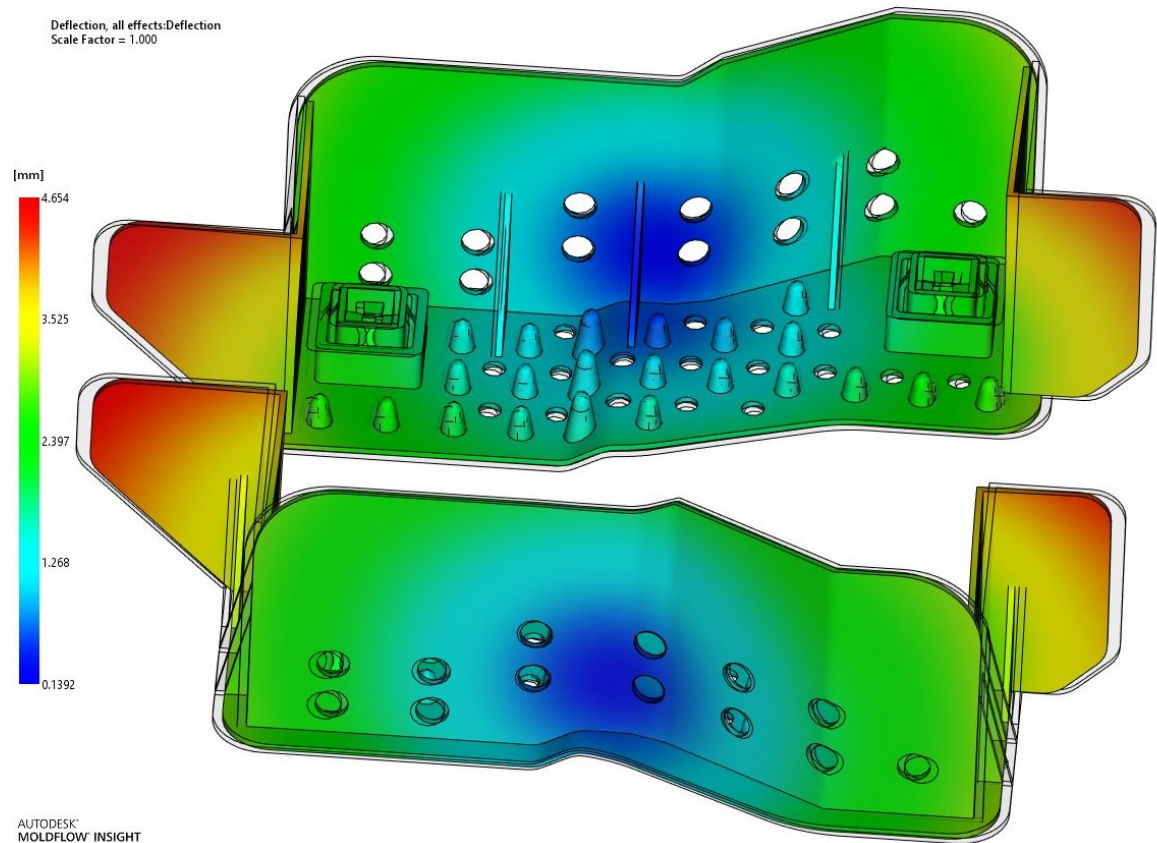


Obr. 31 Studené spoje, varianta 2



### 7.2.6 Celková deformace všech vlivů (Deflection, all effects)

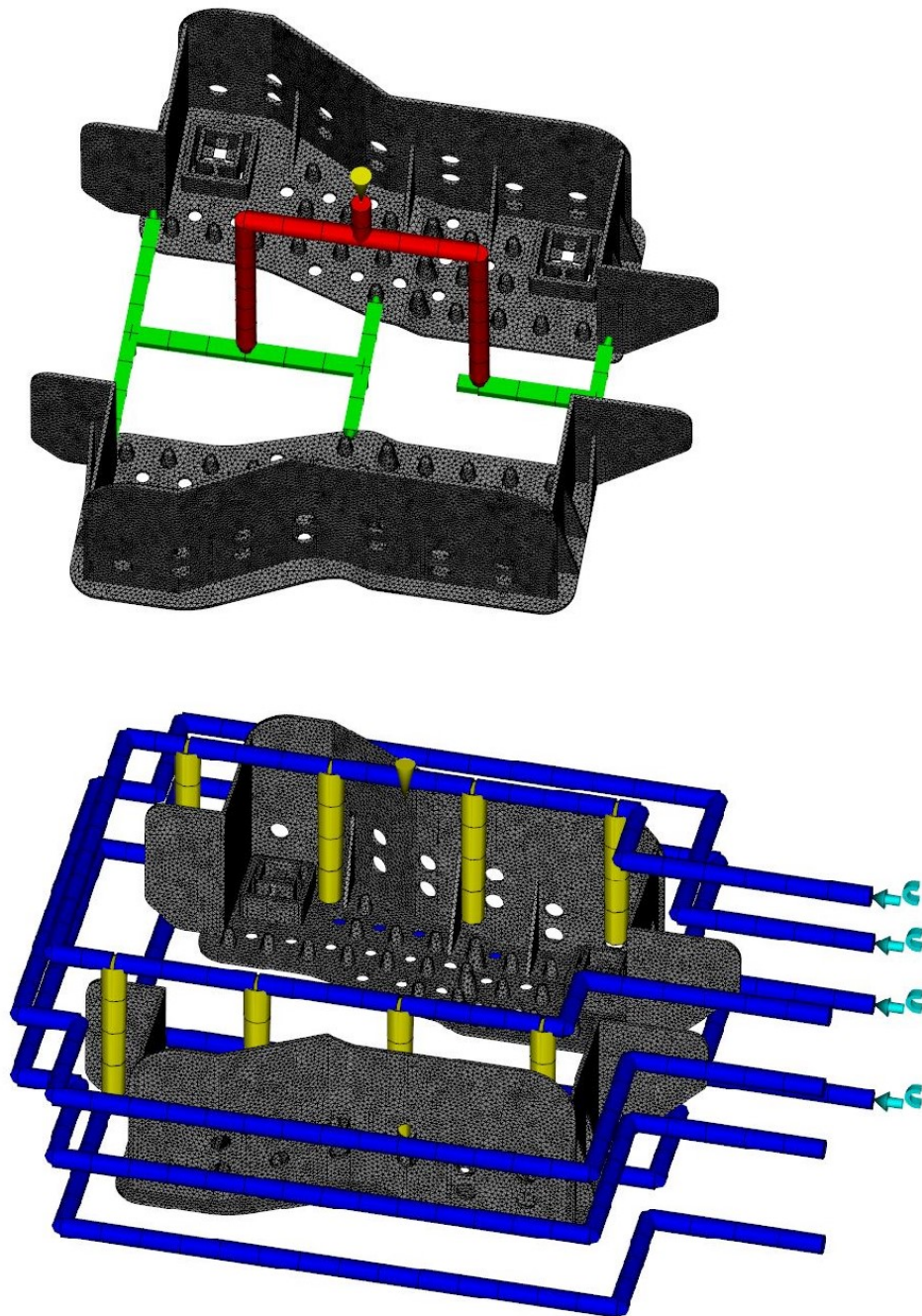
Celková deformace byla vyčíslena v kritických místech na 4,654 mm, jak dokazuje obr. 32. Jak již bylo zmíněno, také z tohoto důvodu bude potřeba upravit temperační soustavu.



Obr. 32 Celková deformace, varianta 2

### 7.3 Varianta 3

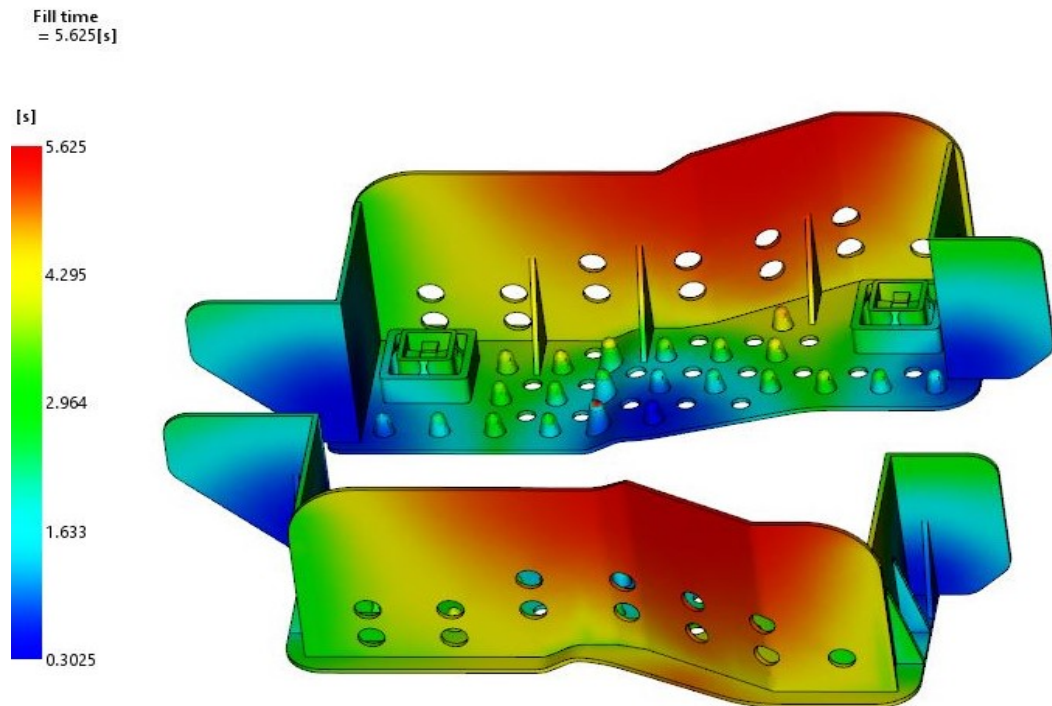
Z důvodů, vyskytujících se u varianty č. 2, doznala největších úprav vtoková soustava. Počet vtokových ústí byl zvýšen ze dvou na tři, čímž se předpokládá eliminace vzduchových kapes a studených spojů. Horké trysky do studených kanálů významně ovlivní také odpad vtokového zbytku. Byl přidán jeden temperační okruh s přepážkami pro snížení deformací a času pro vyhození součásti. Návrh definuje obr. 33.



Obr. 33 Varianta 3

### 7.3.1 Čas plnění (Fill time)

Čas plnění klesl oproti předchozí variantě se dvěma vtoky z 6,082 na 5,625 s, jak ukazuje obr. 34.

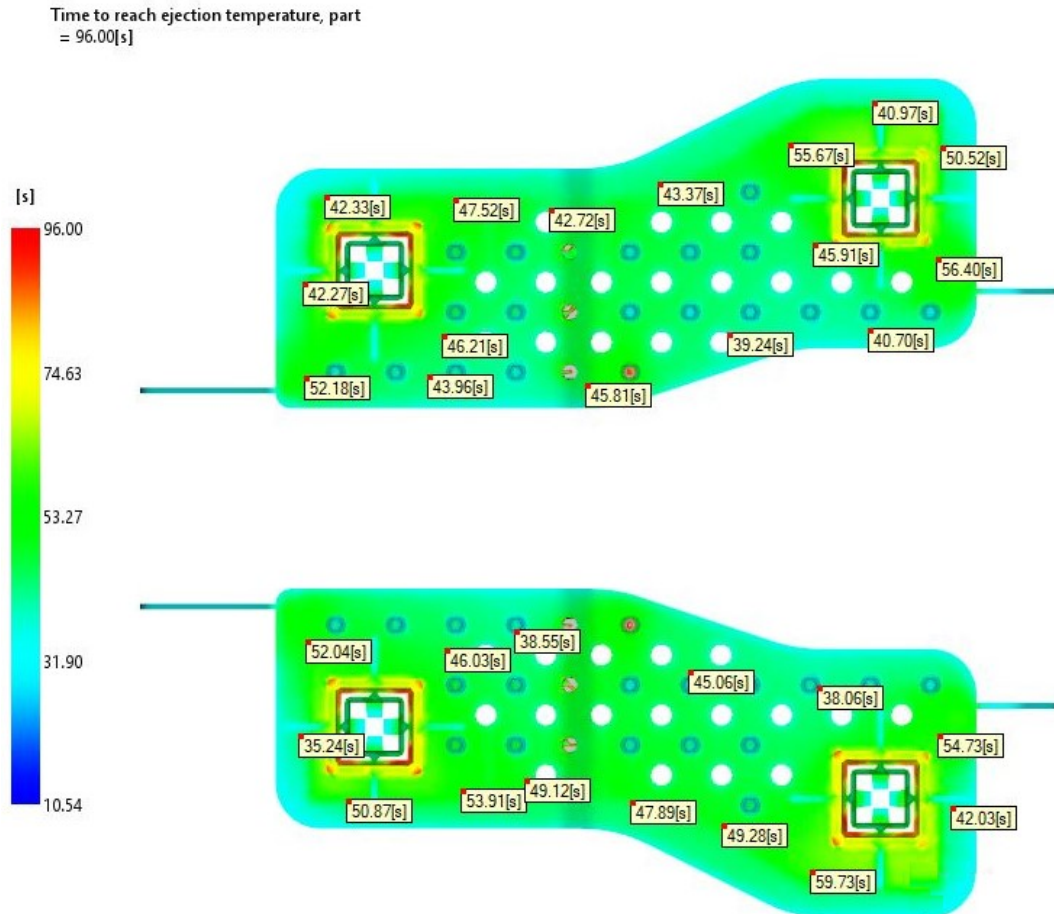


Obr. 34 Čas plnění, varianta 3



### 7.3.2 Čas při vyhození součásti (Time to reach ejection temperature, part)

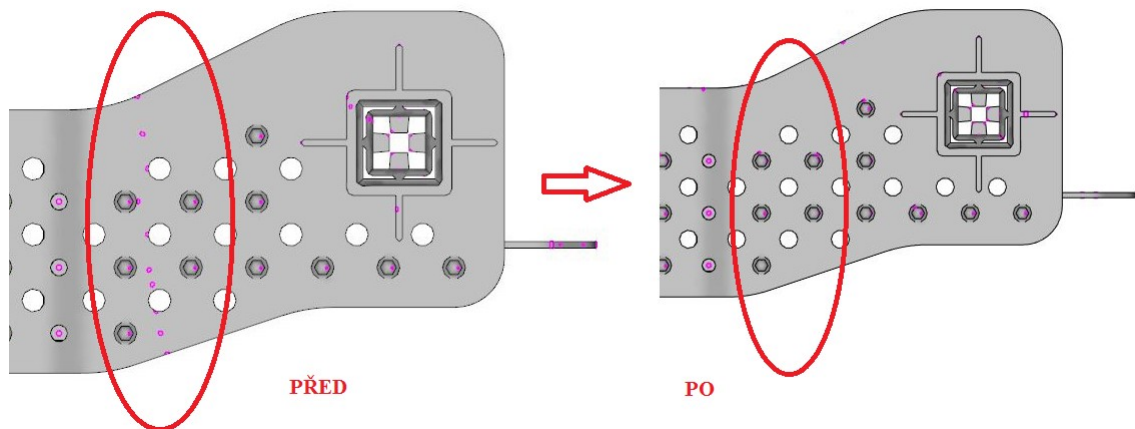
Čas pro vyhazování součásti je v předpokládaném místě vyhazovačů nejvíce 56 s, je možné tedy součást z formy vyhodit přibližně v tomto čase, viz obr. 35. Oproti předchozí variantě je to úspora přibližně 14 s díky nově navrženému okruhu s přepážkami.



Obr. 35 Čas potřebný pro vyhození součásti v místě vyhazovačů, varianta 3

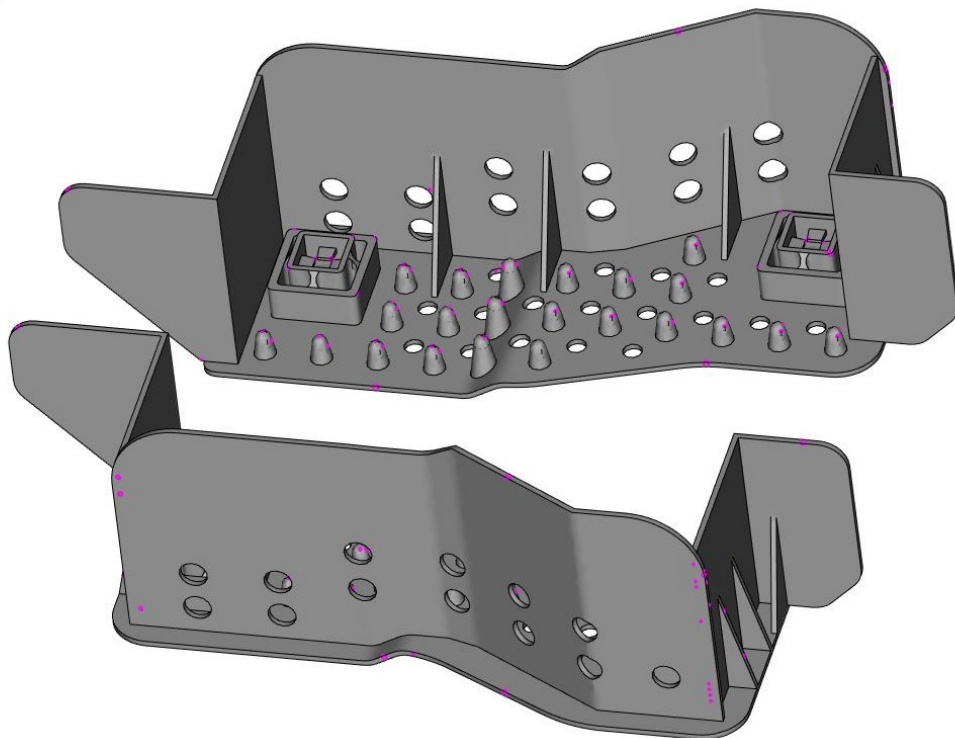
### 7.3.3 Vzduchové kapsy (Air traps)

Oblast kritického místa v polovině součásti byla ovlivněna novou vtokovou soustavou se třemi vtoky. Jak je patrné z obr. 36, je oblast většího počtu vzduchových kapes eliminována. Horní pohled součásti přibližuje obr. 37.



Obr. 36 Vzduchové kapsy (spodní část), varianta 3

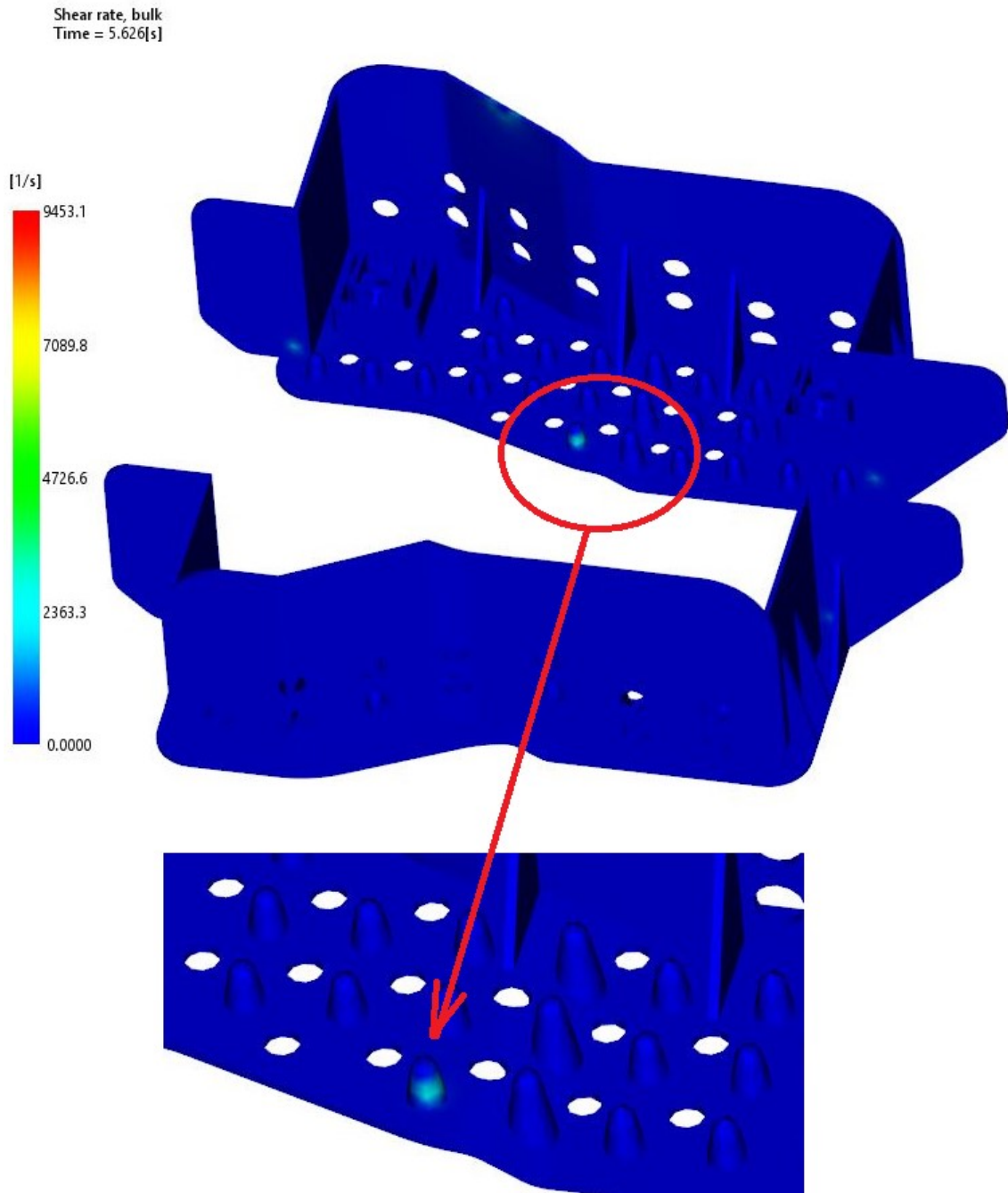
Air traps



Obr. 37 Vzduchové kapsy (horní část), varianta 3

### 7.3.4 Rychlost smykové deformace (Shear rate)

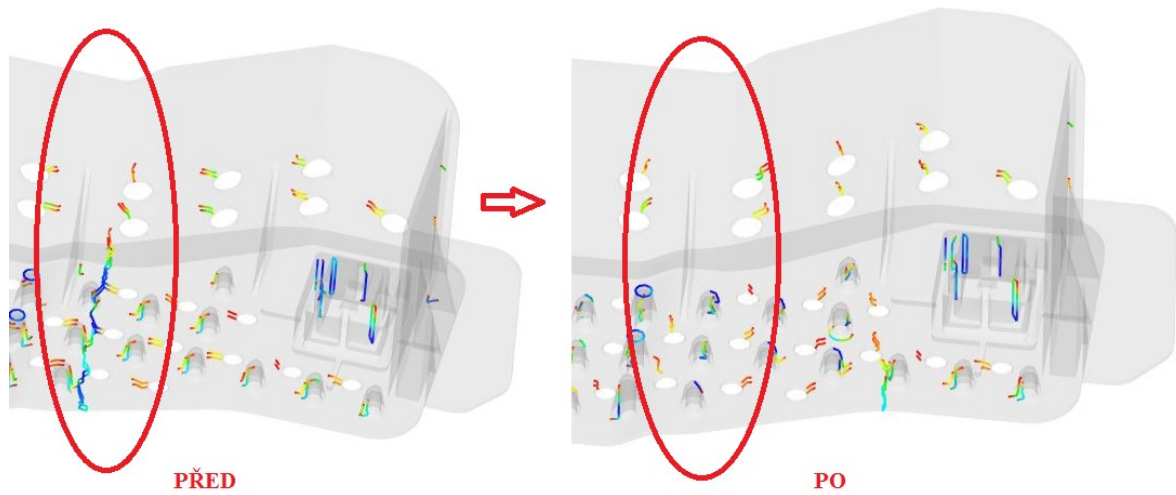
Tato hodnota se nepatrně zvýšila v místě prostředního vtoku, jak ukazuje obr. 38. Ani tato hodnota však nikterak neohrožuje dovolenou mez.



Obr. 38 Rychlost smykové deformace, varianta 3

### 7.3.5 Studené spoje (Weld lines)

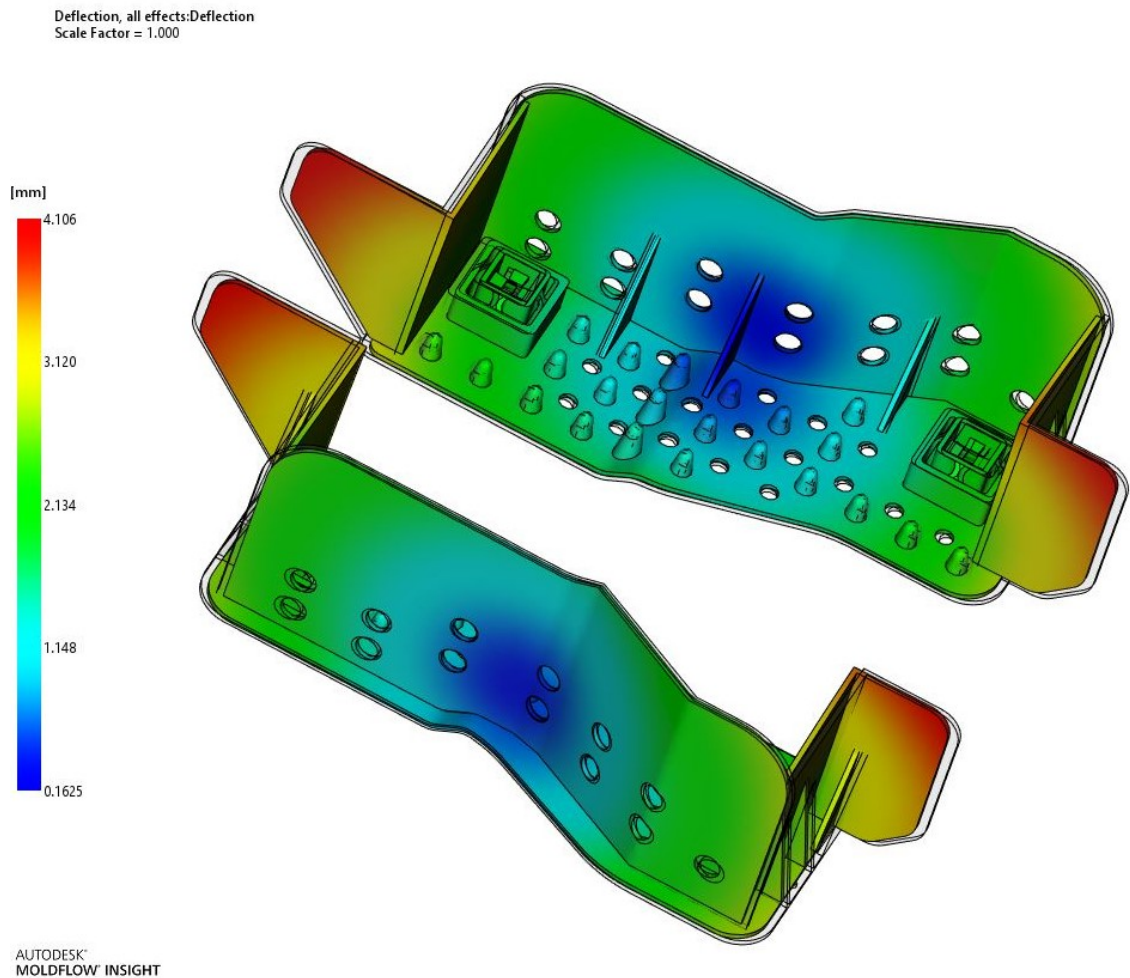
Tři vtoky pozitivně zapůsobily na oblast studeného spoje v polovině součásti, oblast je nyní mnohem méně zatížena, viz obr. 39.



Obr. 39 Studené spoje, varianta 3

### 7.3.6 Celková deformace všech vlivů (Deflection, all effects)

Přidaný okruh také pozitivně ovlivnil deformaci, která klesla ze 4,654 mm na 4,1 mm oproti předchozí variantě, jak ukazuje obr. 40. Ani tato hodnota zatím není uspokojivá, je tedy nutné přistoupit k dalším změnám. Návrhem je použití plniva.



Obr. 40 Celková deformace, varianta 3

## 7.4 Varianta 4

V předchozí variantě nedošlo k uspokojivému vyhodnocení zejména deformací, a proto byl materiál POM obohacen o plnivo skelných vláken v poměru 25 %. Obchodní název výrobce BASF je Ultraform N2200 G53. Hustota tohoto materiálu je 1,5452 g/cm<sup>3</sup>. Jeho základní charakteristiky jsou vyobrazeny v tabulce tab. 3.

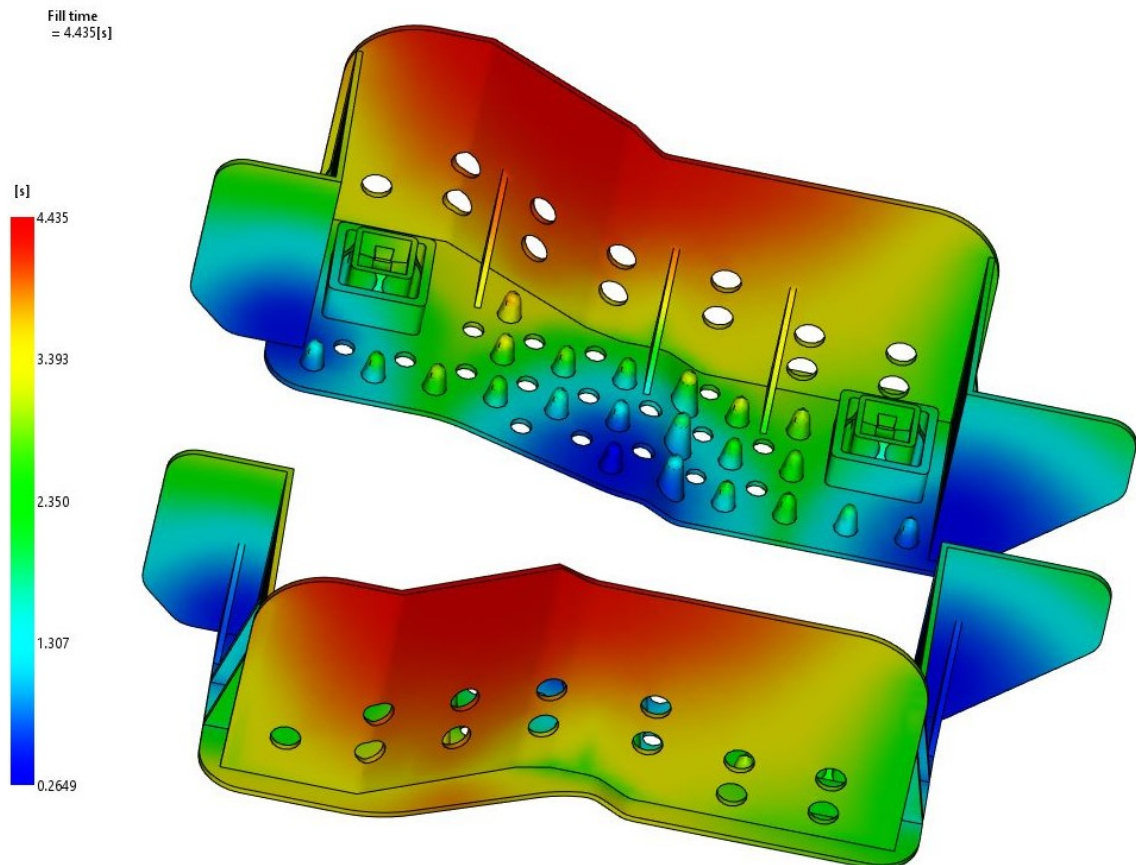
*Tab. 3 Doporučené hodnoty materiálu Ultraform N2200 G53 z databáze Autodesk Moldflow.*

<b>Procesní parametr</b>	<b>Hodnota (°C)</b>
Teplota povrchu formy	90
Teplota taveniny	200
Minimální doporučená teplota formy	80
Maximální doporučená teplota formy	110
Minimální doporučená teplota taveniny	190
Maximální doporučená teplota taveniny	220
Maximální možná teplota taveniny	220
Vyhazovací teplota	125



### 7.4.1 Čas plnění (Fill time)

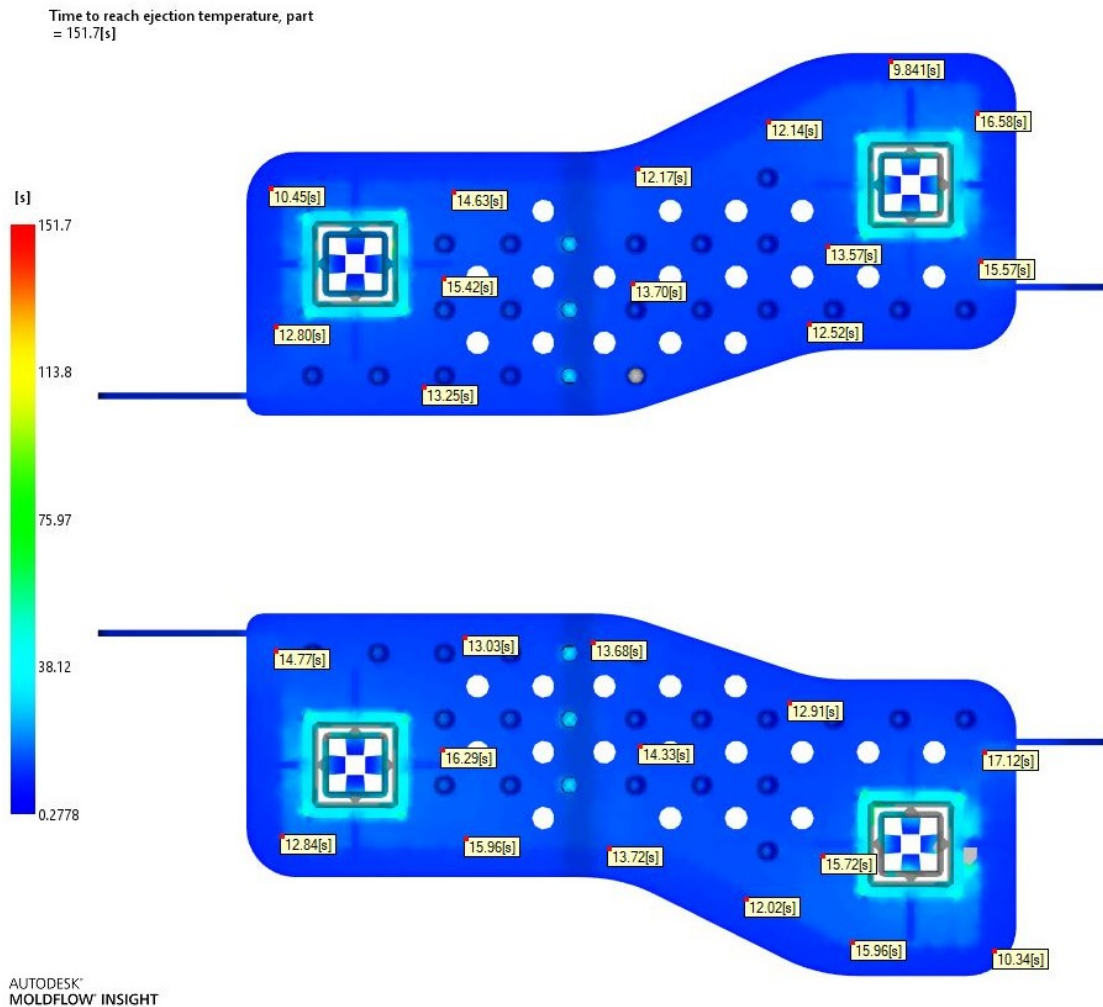
Díky lepšímu indexu toku taveniny bylo dosaženo nižší hodnoty času plnění, který poklesl z 5,625 s na 4,435 s oproti předchozí variantě s materiálem POM bez plniva. Hodnota času plnění viz obr. 41.



Obr. 41 Čas plnění, varianta 4

### 7.4.2 Čas při vyhození součásti (Time to reach ejection temperature, part)

Tato hodnota doznala oproti předchozí variantě neplněného materiálu významného snížení, a sice z přibližných 56 s na cca 17 s v místech pro vyhazovače, jak ukazuje obr. 42. Je tedy zřejmé, že časová úspora bude výrazná i díky zkrácení času pro vyhození.



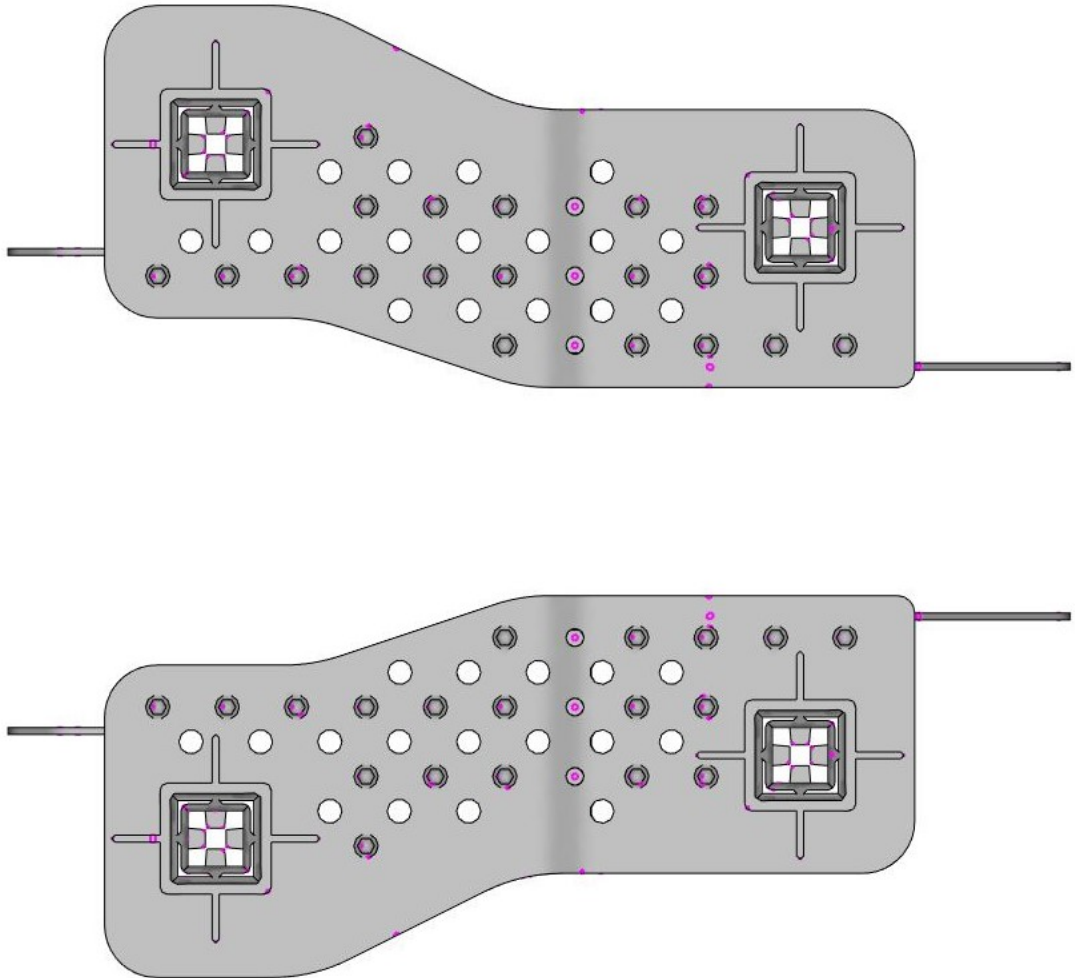
Obr. 42 Čas pro vyhození součásti v místě vyhazovačů, varianta 4



### 7.4.3 Vzduchové kapsy (Air traps)

K mírnému zlepšení a eliminaci míst s koncentrací vzduchu došlo i zde, jak ukazuje obr. 43.

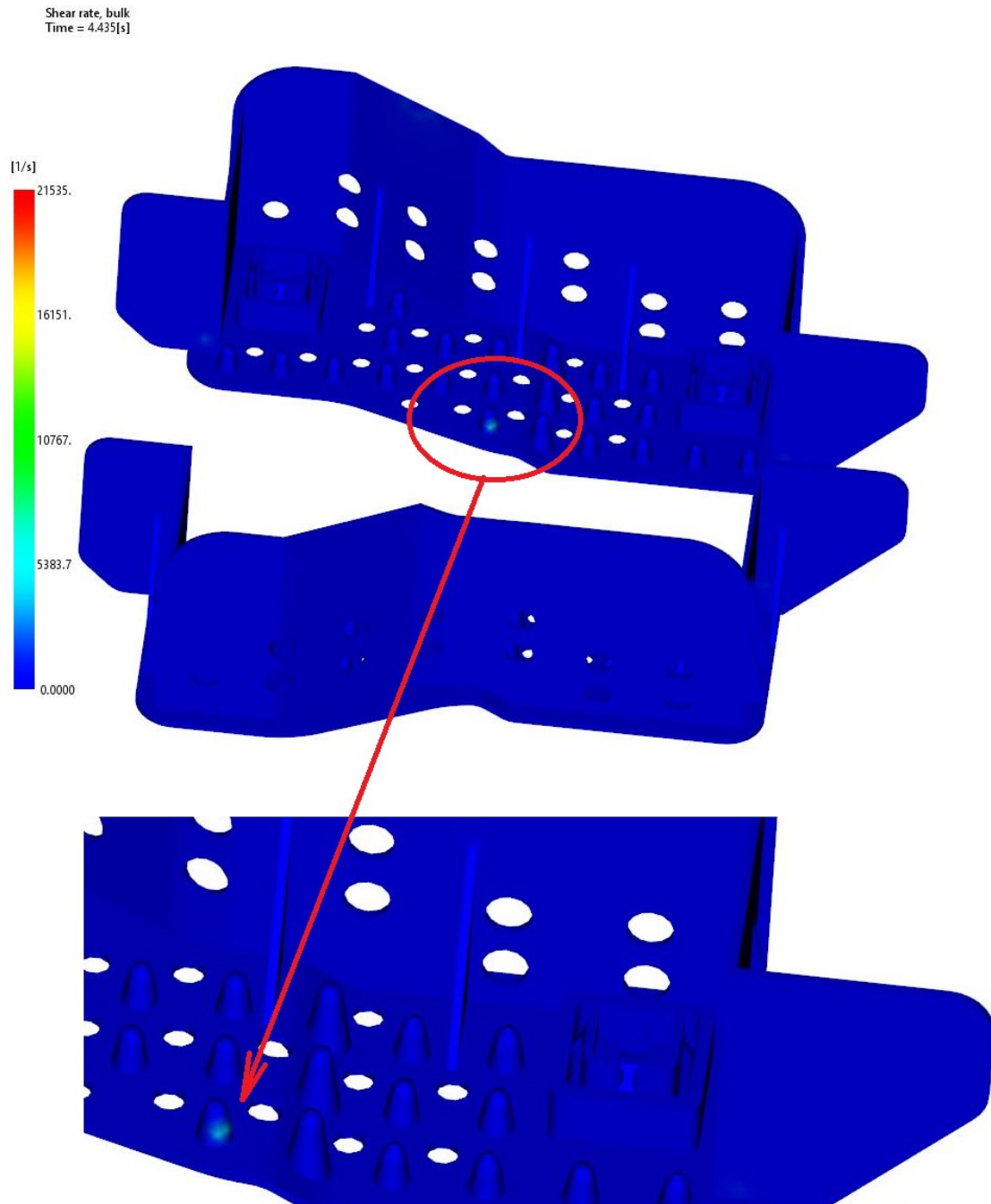
Air traps



Obr. 43 Vzduchové kapsy, varianta 4

#### 7.4.4 Rychlost smykové deformace (Shear rate)

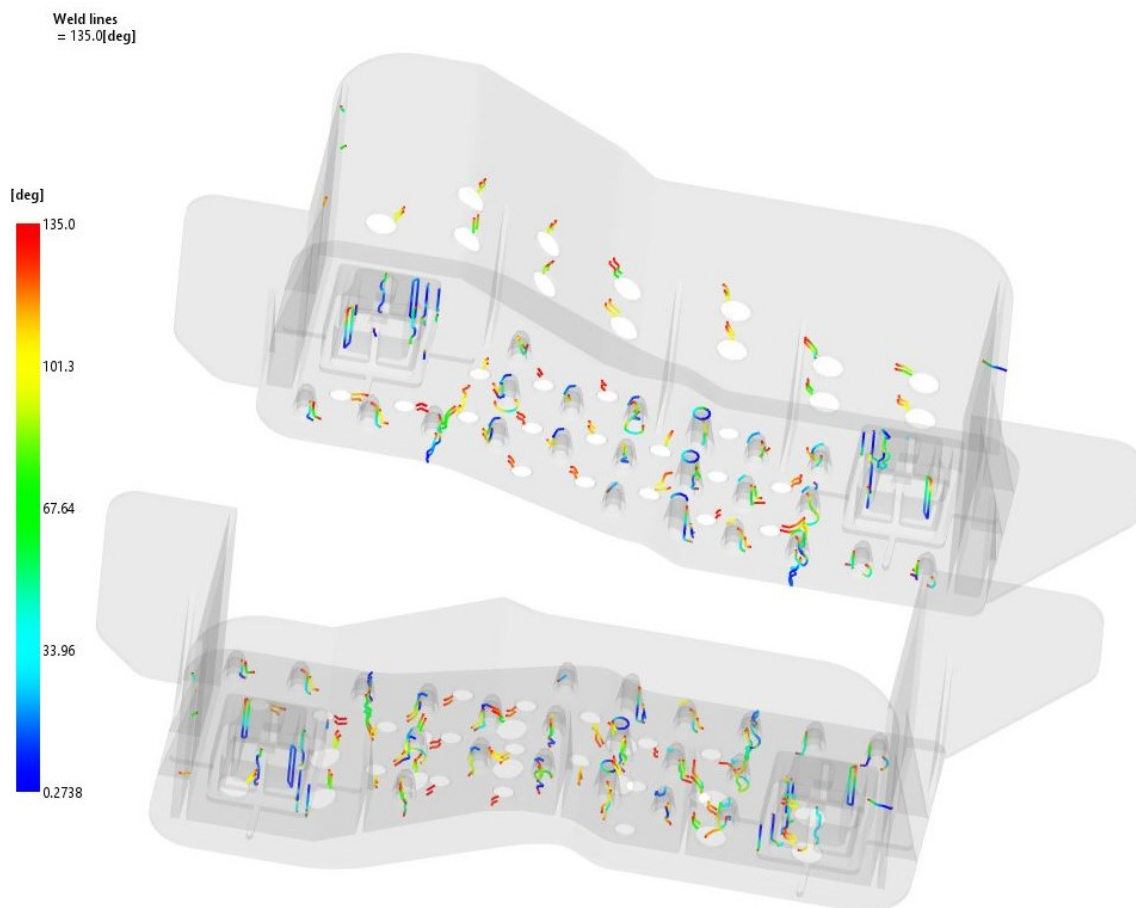
Rychlost smykové deformace pro tento materiál je hodnota  $40\,000\text{ s}^{-1}$ . Z obr. 30 vyplývá, že nejkritičtějším místem je oblast prostředního vtoku. Tato hodnota však nebyla překročena.



Obr. 44 Rychlost smykové deformace, varianta 4

### 7.4.5 Studené spoje (Weld lines)

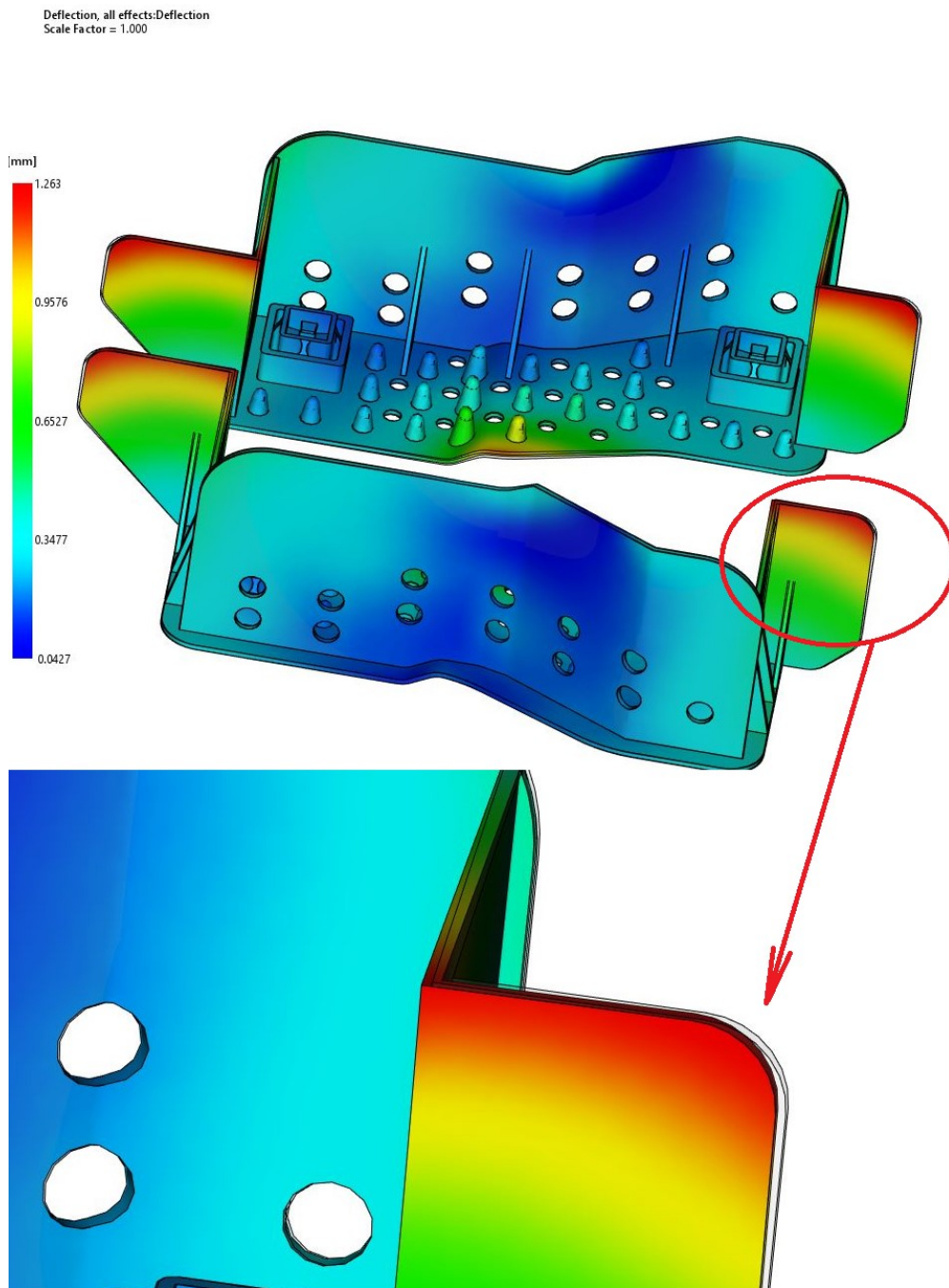
Oblast příčného studeného spoje je vyřešena z předchozí úpravy, k výraznějším změnám plnivo v ohledu studených spojů nepřispělo, viz obr. 45.



Obr. 45 Studené spoje, varianta 4

#### 7.4.6 Celková deformace všech vlivů (Deflection, all effects)

Hodnota, která se však plnivem výrazně snížila, je právě celková deformace. Ta činila v předchozí variantě 4,1 mm. Jak je patrné z obr. 46, byla tato hodnota snížena na přijatelných cca 1,3 mm v nejkritičtějších místě. Vzhledem k délce součásti je tato hodnota pouhých 0,43 %.



Obr. 46 Celková deformace, varianta 4

## 7.5 Varianta 5

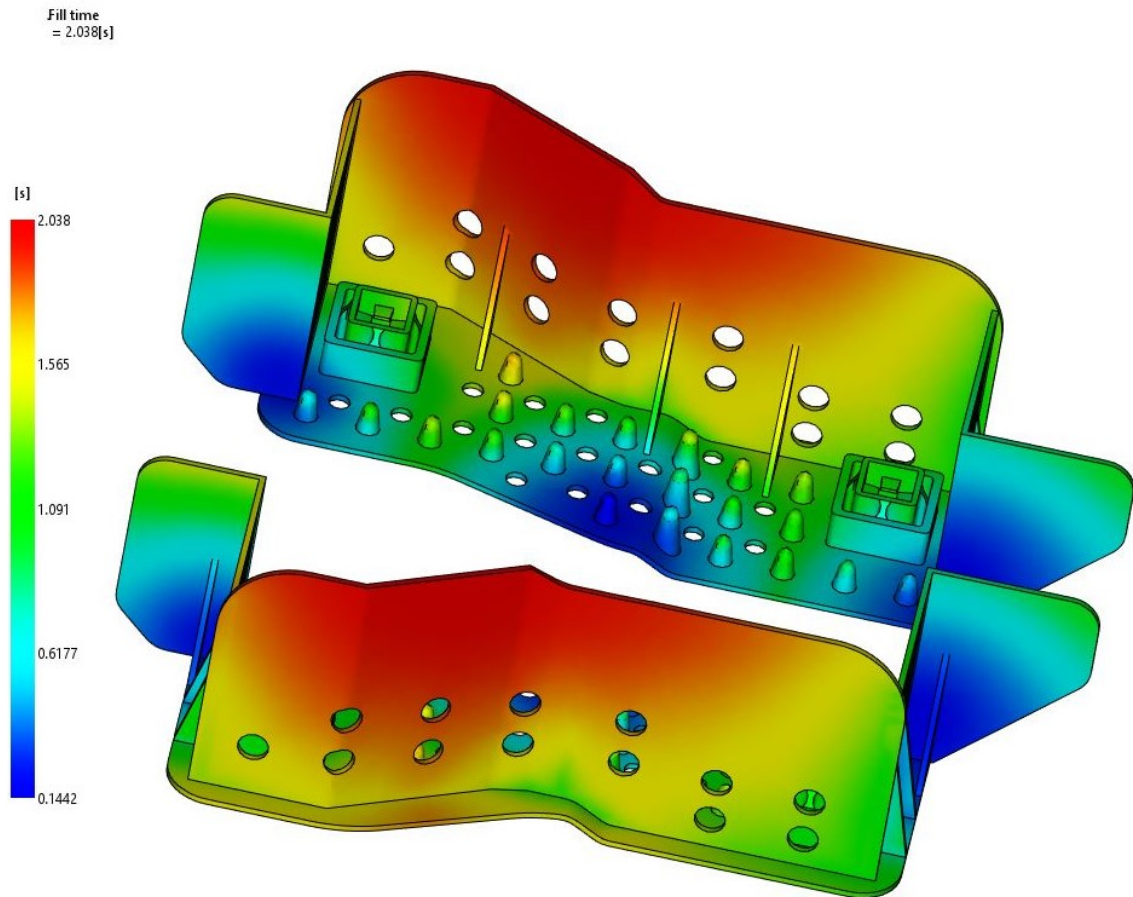
Jako alternativa byla prověřena také možnost výroby s materiálem polypropylen s obsahem 25% skelných vláken, pod obchodním názvem PP-soft touch S3625 od firmy SABIC Innovative Plastics B.V. K výhodám polypropylenu mimo jiné patří nízká hustota, čímž bude snížena i celková hmotnost výrobku. Teplota formy je výrazně nižší, než u materiálu POM, tudíž je možné zaznamenat časovou úsporu při temperaci formy. Vybrané hodnoty z aplikace Moldflow jsou uvedeny v tabulce tab. 4. Hustota materiálu v pevném stavu je uvedena 1,0667 g/cm<sup>3</sup>.

Tab. 4 Doporučené hodnoty materiálu PP-soft touch S3625.

Procesní parametr	Hodnota (°C)
Teplota povrchu formy	35
Teplota taveniny	205
Minimální doporučená teplota formy	20
Maximální doporučená teplota formy	50
Minimální doporučená teplota taveniny	180
Maximální doporučená teplota taveniny	230
Maximální možná teplota taveniny	270
Vyhazovací teplota	112

### 7.5.1 Čas plnění (Fill time)

Naplnění dutiny polypropylenem proběhlo za 2,038 s, viz obr. 47, což je poloviční čas, který je potřeba k naplnění stejné dutiny materiálem POM.

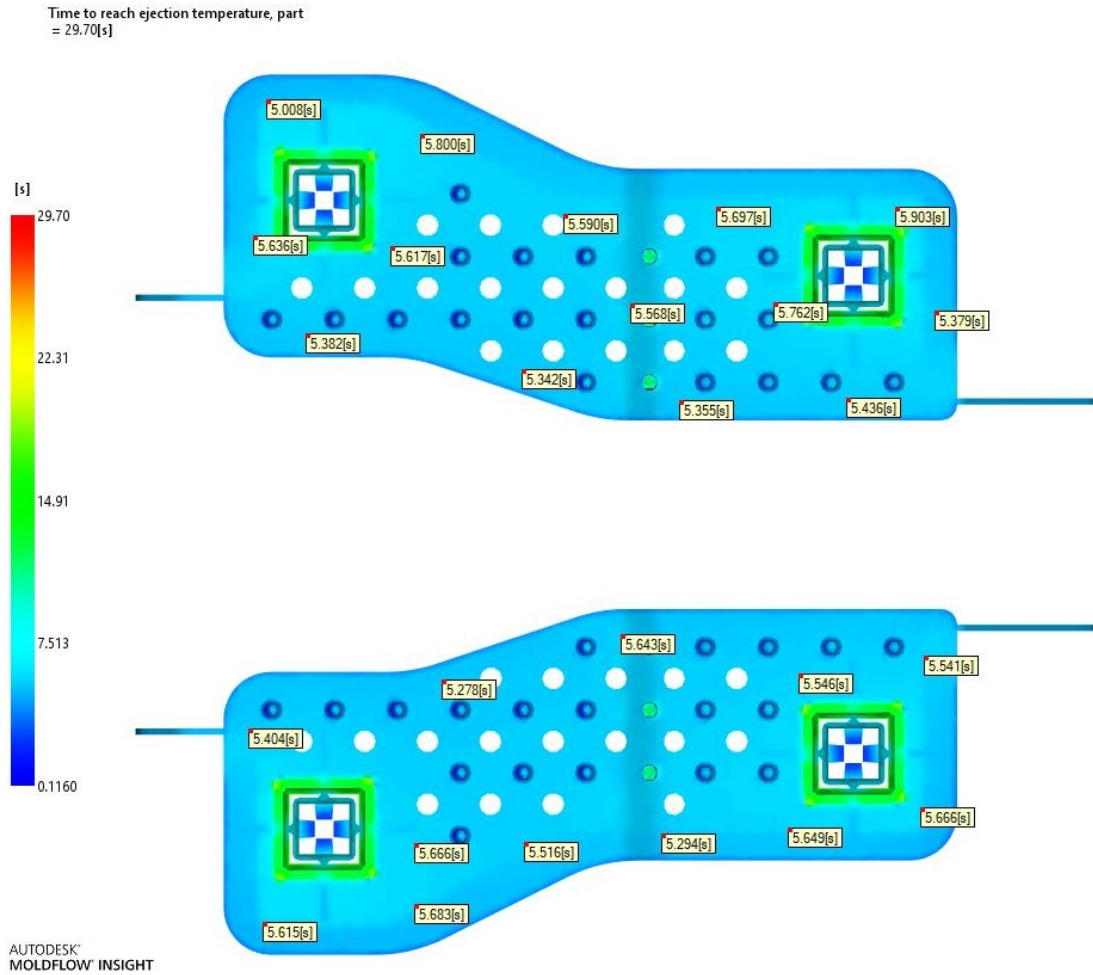


Obr. 47 Čas plnění, varianta 5



### 7.5.2 Čas při vyhození součásti (Time to reach ejection temperature, part)

Čas pro vyhození součásti v místech vyhazovačů je přibližně 6 s, což je o 11 s méně, než při použití materiálu POM, viz obr. 48.

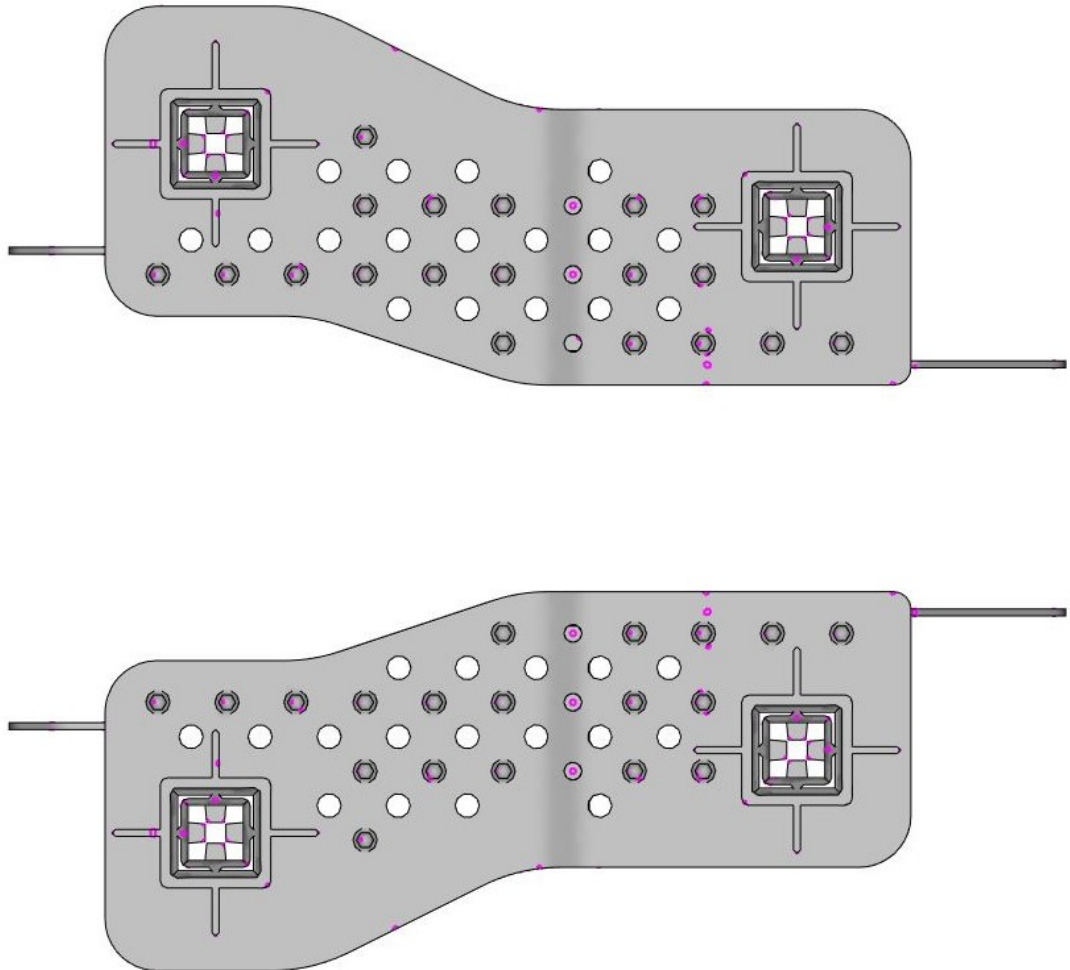


Obr. 48 Čas pro vyhození součásti v místě vyhazovačů, varianta 5

### 7.5.3 Vzduchové kapsy (Air traps)

Místa předpokládaných vzduchových kapes se nijak výrazně neliší od předchozích simulací, viz obr. 49.

Air traps

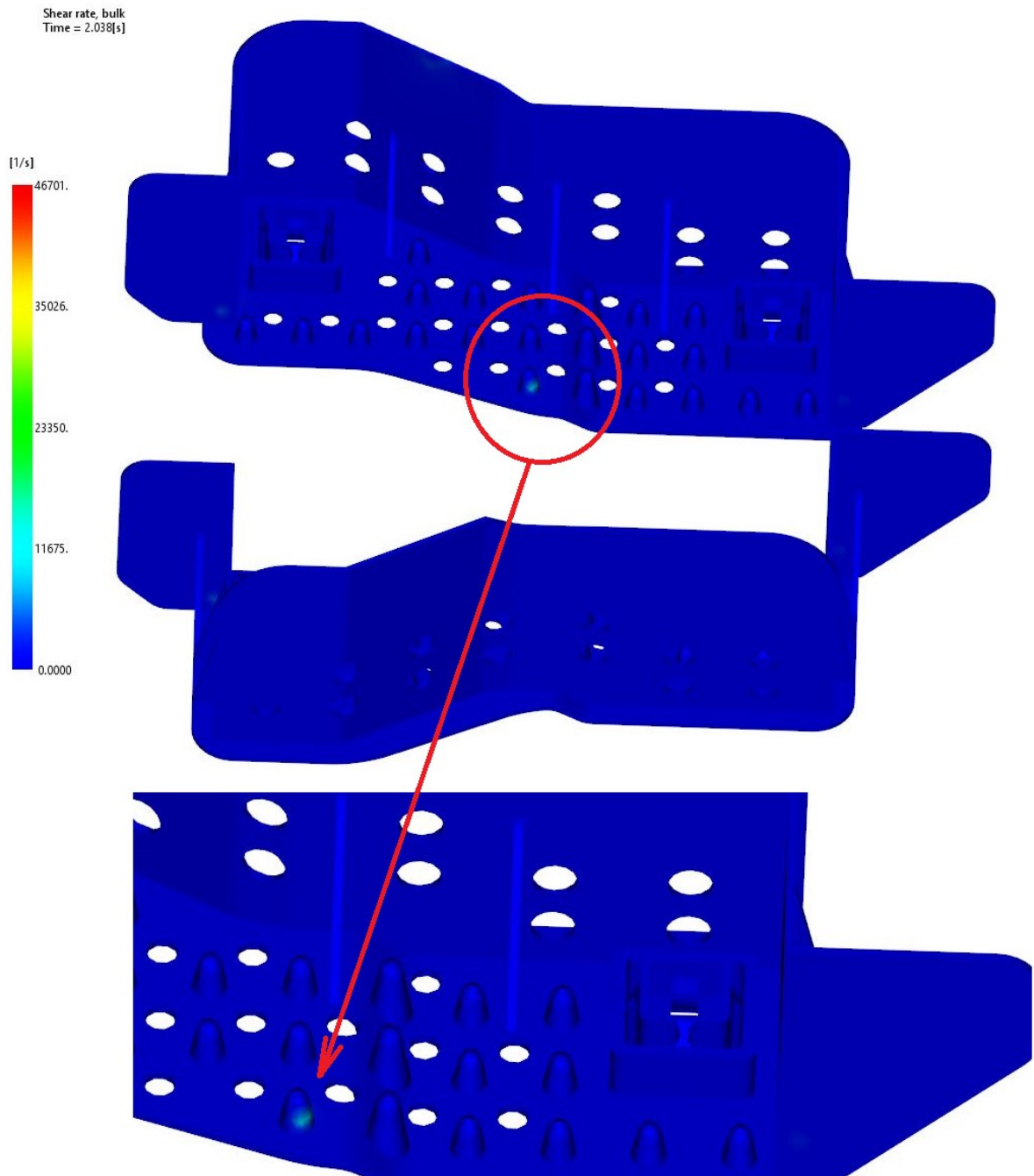


Obr. 49 Vzduchové kapsy, varianta 5



#### 7.5.4 Rychlost smykové deformace (Shear rate)

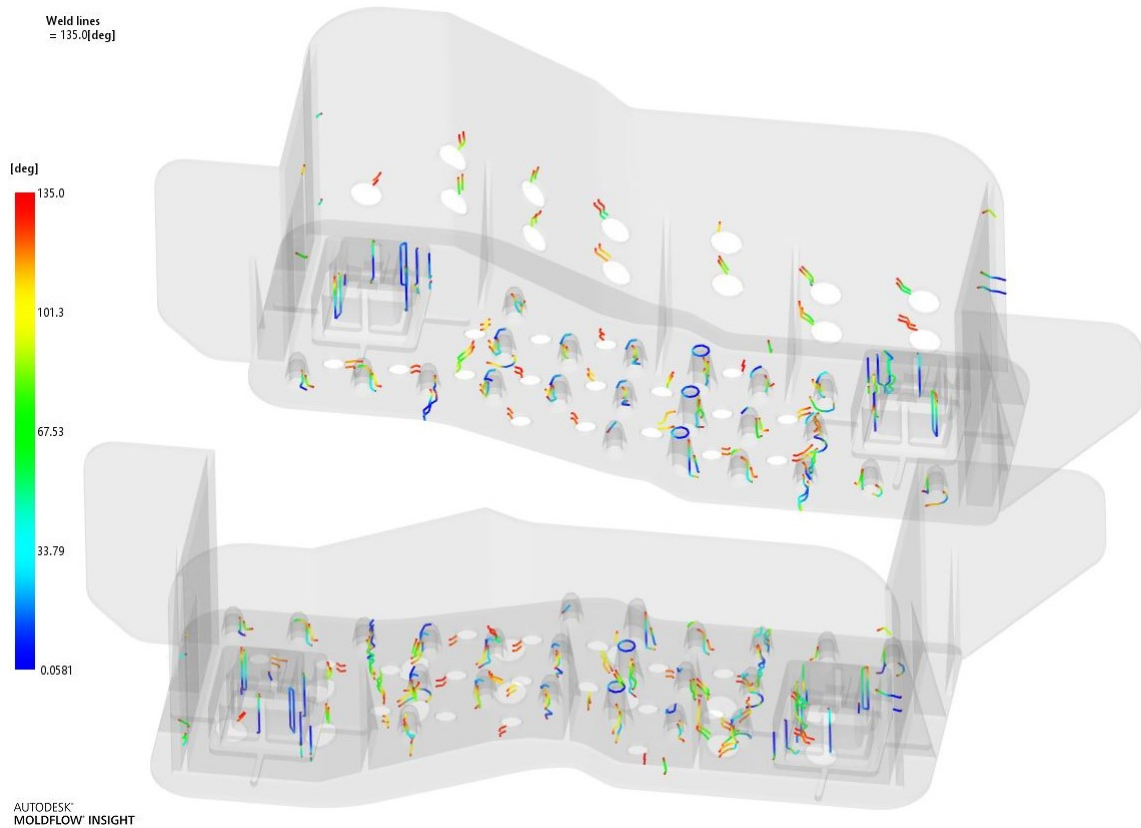
Mezní hodnota rychlosti smykové deformace pro materiál PP s plnivem je  $100\,000\text{ s}^{-1}$ . Nejvyšší hodnota je v místě vtoku, jak je patrné z obr. 50. Maximální hodnota však překročena nebyla.



Obr. 50 Rychlost smykové deformace, varianta 5

### 7.5.5 Studené spoje (Weld lines)

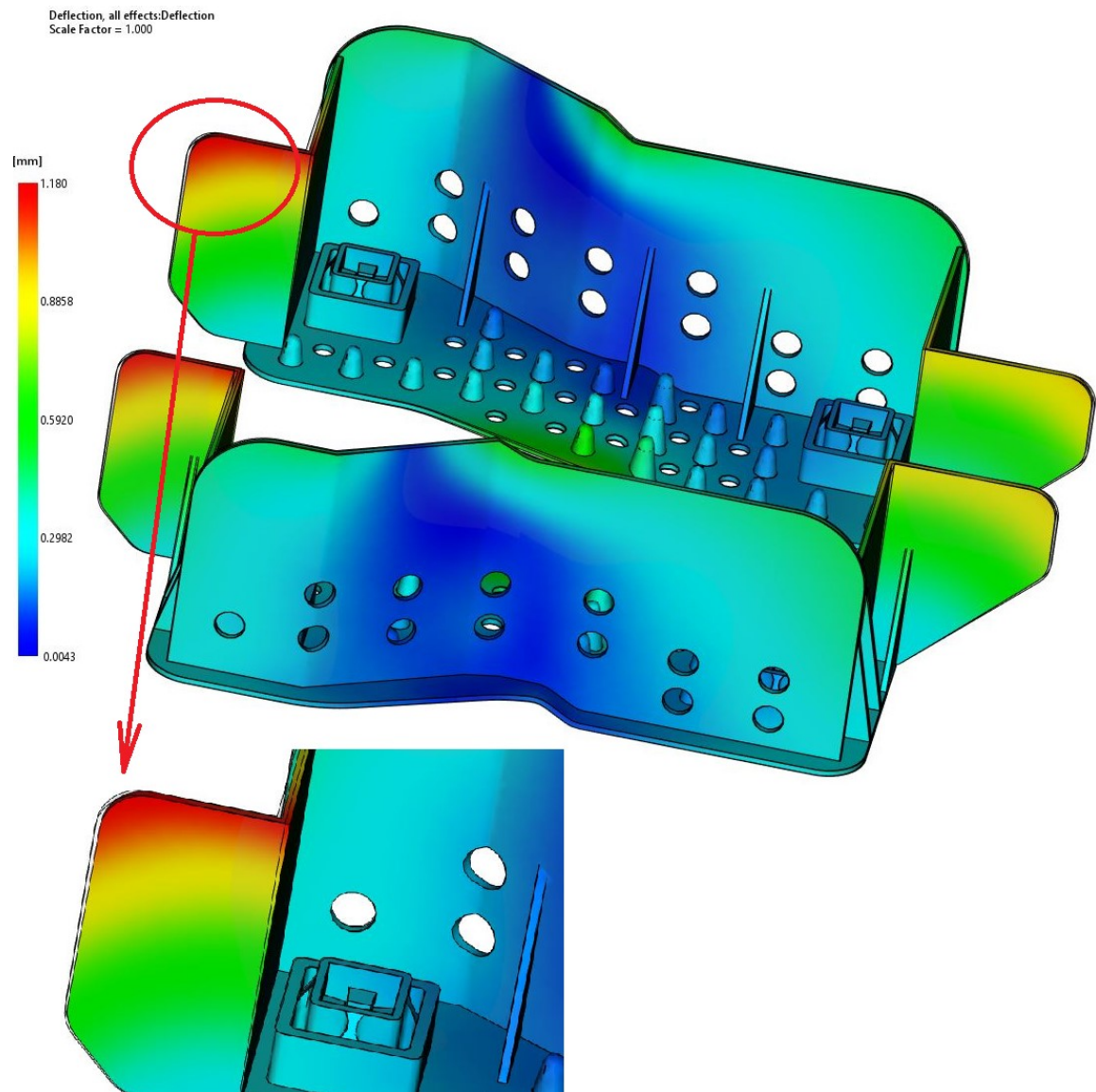
Žádných výrazných změn nedoznaly ani oblasti studených spojů, viz obr. 51.



Obr. 51 Studené spoje, varianta 5

### 7.5.6 Celková deformace všech vlivů (Deflection, all effects)

Hodnota celkové deformace klesla oproti materiálu POM z 1,3 mm na 1,1 mm, viz obr. 52. Jde tak o mírné vylepšení i v této oblasti.



Obr. 52 Celková deformace, varianta 5

## 8 DISKUZE VÝSLEDKŮ

### 8.1 Vyhodnocení parametrů získaných ze simulací Moldflow

Nejlépe vyhodnocenou variantou s materiálem POM byla varianta 4, a sice POM plněný skelným vláknem. Jako alternativa je nabídnut materiál polypropylen, varianta 5. Vybrané hodnoty všech variant jsou pro větší přehlednost uvedeny v tabulce tab. 5.

Tab. 5 Vybrané hodnoty všech variant.

Varianta	Čas plnění (s)	Čas vyhození (s)	Celková deformace (mm)
1	2,452	11	2,143
2	6,082	70	4,654
3	5,625	56	4,106
4	4,435	17	1,263
5	2,038	6	1,1

Z tabulky výsledků Tab. 5 je patrné, že nejlépe vyhodnocené parametry poskytuje POM plněný skelnými vlákny. V případě alternativy použitím polypropylenu se skelnými vlákny došlo k výraznému snížení všech sledovaných parametrů. Další výhodou užití PP je snížení hmotnosti vyráběného dílu, díky nižší hustotě polypropylenu. Dojde tím k výraznému snížení hmotnosti dílu, jak ukazuje tabulka ostatních hodnot tab. 6. Nižší hmotnost vtokového zbytku znamená úsporu materiálu a výhodu při manipulaci s odpadem.

Tab. 6 Ostatní hodnoty uvedených materiálů.

Materiál	Hmotnost dílu (g)	Hmotnost vtokového zbytku (g)	Uzavírací síla (kN)
POM + plnivo	369,1	27,4	2000
PP + plnivo	256,3	19,2	1500

V případě použití materiálu PP není nutná tak velká uzavírací síla, jako v případě materiálu POM. To hraje roli, jednak při výběru vstřikovacího stroje, tak i pro velikost sil, které působí na formu. V případě alternativy materiálu PP bude forma namáhána menšími silami, lze tak předpokládat menší opotřebení částí formy a její delší životnost.

## 8.2 Ekonomické zhodnocení

Zhodnocením všech variant byla vybrána varianta 4, která počítá s materiálem POM plněným skelným vláknem. Alternativní variantou je použití polypropylenu s plnivem, pro kterou byla taktéž provedena analýza. Výsledky porovnávaných parametrů jsou uvedeny v tabulce tab. 7.

*Tab. 7 Výsledky porovnávaných parametrů obou materiálů.*

<b>Parametr</b>	<b>POM + plnivo</b>	<b>PP + plnivo</b>
Čas plnění	-	+
Čas vyhození	-	+
Celkové deformace	-	+
Hmotnost dílu	-	+
Hmotnosti vtokového zbytku	-	+
Uzavírací síla stroje	-	+
Cena materiálu	-	+

## ZÁVĚR

Cíle této diplomové práce byly rozděleny do dvou částí.

V teoretické části byla zpracována problematika vstřikování, vad výstřiků, vstřikovacích forem a vstřikovacích strojů.

V praktické části byla zadaná součást vymodelována v programu Autodesk Inventor 2016 a představena výchozí varianta jednonásobné formy. Z důvodu zlepšení ekonomičnosti výroby bylo postupně navrženo několik variant dvojnásobné formy a navržené varianty byly podrobeny tokovým simulacím v softwaru Autodesk Moldflow Synergy 2016.

Z porovnávaných parametrů všech výsledků analýz byla vybrána optimální varianta, kterou představoval materiál POM s plnivem. Tato varianta vykazovala nejnižší čas plnění, přijatelnou dobu chlazení a malé hodnoty celkové deformace. Jako alternativa byla analýza vstřikování simulována také s materiálem PP, který je stejně jako POM pevný, tuhý, odolný proti oděru a tvarově stálý. Velkým plusem oproti POM je však jeho nízká hustota. Nejenom, že PP vykazoval lepší hodnoty všech sledovaných parametrů, ještě navíc vycházely lépe i hodnoty hmotnosti součásti a vtokových zbytků. Při vstřikování polypropylenu je navíc třeba podstatně nižší uzavírací síly, což může být výhodou při volbě vstřikovacího stroje.

Závěrem je tedy nutno dodat, že kromě nalezení optimální varianty vtokové a temperační soustavy požadovaného materiálu POM, byla nalezena alternativní varianta s užitím polypropylenu, která dosti významně změnila pohled na ekonomickou stránku výroby dané součásti.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] *Technologie vstřikování plastů*. Publi.cz – platforma pro multimediální looky neboli mKnihy [online]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/03.html>. [cit. 2019-02-15]
- [2] *Rozdělení technologií na zpracování plastů*. Publi.cz – platforma pro multimediální eBooky neboli mKnihy [online]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/01.html>[cit. 2019-02-15]
- [3] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [4] *Tváření plastů a výroba forem I.* | 14220.cz. [online]. Dostupné z:<http://www.14220.cz/technologie/tvareni-plastu-a-vyroba-forem-i/> [cit. 2019-02-15]
- [5] *Technologie II – Plasty a jejich zpracovatelské vlastnosti* [online]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/01.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm). [cit. 2019-02-15]
- [6] *Vady výstřiků – 6. díl: Skryté vady (orientace, struktura, nehomogenita)* [online]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-6-dil-skryte-vady-orientace-struktura-nehomogenita.html>. [cit. 2019-02-15]
- [7] *Požadavky na kvalitu a reálné možnosti technologie vstřikování* [online]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/pozadavky-na-kvalitu-a-realne-moznosti-technologie-vstrikovani.html>. [cit. 2019-02-15]
- [8] *Vady výstřiků – 1. díl: Příčiny vzniku vad a studené spoje* [online]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-1-dil-priciny-vzniku-vad-a-studene-spoje.html>. [cit. 2019-02-15]
- [9] MÉZL, Milan. *Základy technologie vstřikování plastov*, 2011, 1. vyd, Slovensky, A-Omega, Malacky, 301 stran. ISBN 978-80-9707-497-5.
- [10] *Vstřikování plastů - Vstřikovací formy* [online]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/04.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm). [cit. 2019-02-15]

- [11] ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce vylisků z plastů a forem pro zpracování plastů: Polymery*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-7204-833-5
- [12] *Studené a živé vtokové systémy* [online]. Dostupné z: [https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK\\_PU/KA\\_05\\_publikace/KA05\\_Studene\\_a\\_zive\\_vtokove\\_systemy.pdf](https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Studene_a_zive_vtokove_systemy.pdf). [cit. 2019-02-15]
- [13] Krahn, H.; Eh, D.; Vogel, H.: *1000 Konstruktionsbeispiele für den Werkzeugund Formenbau beim Spritzgießen*. HanserVerlag, 2008.
- [14] SOVA, Miloš a Josef KREBS. *Termoplasty v praxi* [online]. Praha: VerlagDashöfer, 2001 [cit. 2019-04-28]. ISBN 80-86229-15-7.
- [15] BEAUMONT, John.P.: *Runner and gating handbook: tools for successful injection molding*. Cincinnati: Hanser Gardner Publications [distributor], c2004. ISBN isbn1-56990-347-6. ISBN 1-56990-347-6
- [16] BOBČÍK, Ladislav, Ing., *Formy pro zpracování plastů. I. DÍL – Vstřikování termoplastů*, 134 stran, 1999, Uniplast Brno.
- [17] BOBČÍK, Ladislav, Ing., *Formy pro zpracování plastů. II. DÍL – Vstřikování termoplastů*, 134 stran, 1999, Uniplast Brno.
- [18] *Vstřikovací formy - Horké rozvodné bloky* [online]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/docs-images/58/41485525/images/22-0.png> [cit. 2019-04-28]
- [19] *Vstřikovací formy – Vtoková soustava* [online]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/docs-images/58/41485525/images/22-0.png> [cit. 2019-02-15]
- [20] *Mechanical Engineer's World* [online]. Dostupné z: <https://www.mechscience.com/4922-injection-moldinginjection-molding-machineinjection-molding-processinjection-molding-on-plastics/>. [cit. 2019-04-28]
- [21] *Stroje pro zpracování polymerních materiálů* [online]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/06.html>. [cit. 2019-02-15]
- [22] *Vstřikovací stroje* [online]. Dostupné z: <https://www.arburg.com/cs/cz/spektrum-sluzeb/vstrikovani/vstrikovaci-stroje/>. [cit. 2019-02-15 ]



- [23] *Výroba forem pro vstřikování termoplastů* [online]. Dostupné z: <http://www.14220.cz/technologie/tvareni-plastu-a-vyroba-form-ii/>. [cit. 2019-02-15]
- [24] *Specialisté na nástrojovou ocel* [online]. Dostupné z: <http://toolsteel.cz/>. [cit. 2019-02-15]

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

3D	Trojrozměrný.
MPa	Megapascal.
%	Procenta.
Obr.	Obrázek.
Tab.	Tabulka.
Apod.	A podobně.
ČSN	Československá státní norma (česká technická norma).
Cu	Cuprum (měď).
Si	Silicium (křemík).
Ni	Niccolium (nikl).
Ampco	Slitina mědi.
Al	Aluminium (hliník).
Fe	Ferrum (železo).
Mg	Magnesium (hořčík).
Mn	Manganum (mangan).
LCD	Liquid crystal display (displej z tekutých krystalů).
mm	Milimetr.
°C	Stupeň Celsia.
s	Sekunda.
g	Gram.
PP	Polypropylen.
POM	Polyoxymetylen.

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

- Obr. 1 Diagram p-v-T pro amorfní termoplast [1]*
- Obr. 2 Fáze cyklu vstřikování [1]*
- Obr. 3 Vtoková soustava [13]*
- Obr. 4 Vtoková vložka [12]*
- Obr. 5 Rozváděcí kanál [19]*
- Obr. 6 Plný kuželový vtok v řezu [13]*
- Obr. 7 Bodový vtok v řezu [13]*
- Obr. 8 Tunelový vtok v řezu [13]*
- Obr. 9 Banánový vtok v řezu [13]*
- Obr. 10 Příklady tvarů vyhřívaných bloků [18]*
- Obr. 11 Vzdálenost kanálů u různé tloušťky stěn [17]*
- Obr. 12 Doporučená konstrukce odvzdušňovacího kanálu [1]*
- Obr. 13 Hlavní části vstřikovacího stroje [20]*
- Obr. 14 Vstřikovací stroj Arburg [21]*
- Obr. 15 Vstřikovací jednotka se šnekem [21]*
- Obr. 16 Uzavírací jednotka [22]*
- Obr. 17 Ovládací panel Arburg Allrounder [22]*
- Obr. 18 Vstřikovaný díl*
- Obr. 19 Jednonásobná forma, varianta 1*
- Obr. 20 Čas plnění, varianta 1*
- Obr. 21 Teplota při vyhození součásti, varianta 1*
- Obr. 22 Vyhadzovací čas v místě vyhadzovačů, varianta 1*
- Obr. 23 Vzduchové kapsy, varianta 1*
- Obr. 24 Studené spoje, varianta 1*
- Obr. 25 Celková deformace, varianta 1*
- Obr. 26 Varianta 2*
- Obr. 27 Čas plnění, varianta 2*
- Obr. 28 Čas při vyhození součásti v místě vyhadzovačů, varianta 2*
- Obr. 29 Vzduchové kapsy, varianta 2*
- Obr. 30 Rychlost smykové deformace, varianta 2*
- Obr. 31 Studené spoje, varianta 2*
- Obr. 32 Celková deformace, varianta 2*

*Obr. 33 Varianta 3*

*Obr. 34 Čas plnění, varianta 3*

*Obr. 35 Čas potřebný pro vyhození součásti v místě vyhazovačů, varianta 3*

*Obr. 36 Vzduchové kapsy (spodní část), varianta 3*

*Obr. 37 Vzduchové kapsy (horní část), varianta 3*

*Obr. 38 Rychlost smykové deformace, varianta 3*

*Obr. 39 Studené spoje, varianta 3*

*Obr. 40 Celková deformace, varianta 3*

*Obr. 41 Čas plnění, varianta 4*

*Obr. 42 Čas pro vyhození součásti v místě vyhazovačů, varianta 4*

*Obr. 43 Vzduchové kapsy, varianta 4*

*Obr. 44 Rychlost smykové deformace, varianta 4*

*Obr. 45 Studené spoje, varianta 4*

*Obr. 46 Celková deformace, varianta 4*

*Obr. 47 Čas plnění, varianta 5*

*Obr. 48 Čas pro vyhození součásti v místě vyhazovačů, varianta 5*

*Obr. 49 Vzduchové kapsy, varianta 5*

*Obr. 50 Rychlost smykové deformace, varianta 5*

*Obr. 51 Studené spoje, varianta 5*

*Obr. 52 Celková deformace, varianta 5*

**SEZNAM TABULEK**

*Tab. 1 Doporučené hodnoty materiálu Ultraform W2320 U03.*

*Tab. 2 Navrhované varianty.*

*Tab. 3 Doporučené hodnoty materiálu Ultraform N2200 G53.*

*Tab. 4 Doporučené hodnoty materiálu PP-soft touch S3625.*

*Tab. 5 Vybrané hodnoty všech variant.*

*Tab. 6 Ostatní hodnoty uvedených materiálů.*

*Tab. 7 Výsledky porovnávaných parametrů obou materiálů.*

**SEZNAM PŘÍLOH**

PI Materiálový list Ultraform W2320 U03

PII Materiálový list Ultraform N2200 G53

PIII Materiálový list PP-soft touch S3625

PIV DVD obsahující:

- Diplomovou práci
- 3D model výrobku
- Moldflow analýzy
- Materiálové listy

# PŘÍLOHA P I: ULTRAFORM W2320 U03

## Product Information

Mar 2019

## Ultraform® N 2320 U03 UNC Q600 Polyoxymethylene (POM)



### Product Description

Ultraform N 2320 U03 UNC Q600 is a rapidly freezing UV stabilized general-purpose injection molding grade.

PHYSICAL	ISO Test Method	Property Value
Density, g/cm <sup>3</sup>	1183	1.40
Mold Shrinkage, parallel, %	294-4	2.1
Mold Shrinkage, normal, %	294-4	2.1
Moisture, % (50% RH)	62	0.2
(Saturation)		0.8
RHEOLOGICAL	ISO Test Method	Property Value
Melt Volume Rate (190 C/2.16 Kg), cc/10min.	1133	7.5
MECHANICAL	ISO Test Method	Property Value
Tensile Modulus, MPa	527	
23C		2,600
Tensile stress at yield, MPa	527	
-40C		93
23C		63
80C		33
Tensile strain at yield, %	527	
23C		9.4
Nominal strain at break, %	527	
23C		30
Flexural Modulus, MPa	178	
23C		4,000
Tensile Creep Modulus (1000h), MPa	899	1,400
Tensile Creep Modulus (1h), MPa	899	1,800
IMPACT	ISO Test Method	Property Value
Izod Notched Impact, kJ/m <sup>2</sup>	180	
23C		6.5
Charpy Notched, kJ/m <sup>2</sup>	179	
-30C		5
23C		5.5
Charpy Unnotched, kJ/m <sup>2</sup>	179	
-30C		180
23C		200
THERMAL	ISO Test Method	Property Value
Melting Point, C	3146	166
HDT A, C	75	95
HDT B, C	75	156
Coef. of Linear Thermal Expansion, Parallel, mm/mm C		1.1 X10 <sup>-4</sup>

BASF Corporation  
Engineering Plastics  
1609 Biddle Avenue  
Wyandotte, MI 48192

General Information: 800-BC-RESIN  
Technical Assistance: 800-527-TECH (734-324-5150)  
Web address: <http://www.plasticsportal.com/usa>

## Ultraform® N 2320 U03 UNC Q600



ELECTRICAL	ISO Test Method	Property Value
Comparative Tracking Index	IEC 60112	600

### Note

Although all statements and information in this publication are believed to be accurate and reliable, they are presented gratis and for guidance only, and risks and liability for results obtained by use of the products or application of the suggestions described are assumed by the user. NO WARRANTIES OF ANY KIND, EITHER EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, ARE MADE REGARDING PRODUCTS DESCRIBED OR DESIGNS, DATA OR INFORMATION SET FORTH. Statements or suggestions concerning possible use of the products are made without representation or warranty that any such use is free of patent infringement and are not recommendations to infringe any patent. The user should not assume that toxicity data and safety measures are indicated or that other measures may not be required.



# PŘÍLOHA P II: ULTRAFORM N2200 G53

## Product Information

Mar 2019

## Ultraform® N 2200 G53 UNC Q600 Polyoxymethylene (POM)



### Product Description

Ultraform N 2200 G53 UNC Q600 is a 25% glass fiber reinforced POM injection molding grade with enhanced stiffness and toughness.

### Applications

Typical applications include chain conveyors and automotive suspension components.

PHYSICAL	ISO Test Method	Property Value
Density, g/cm <sup>3</sup>	1183	1.58
Mold Shrinkage, parallel, %	294-4	0.7
Mold Shrinkage, normal, %	294-4	1.4
Moisture, %	62	
(50% RH)		0.15
(Saturation)		0.9
RHEOLOGICAL	ISO Test Method	Property Value
Melt Volume Rate (190 C/2.16 Kg), cc/10min.	1133	4
MECHANICAL	ISO Test Method	Property Value
Tensile Modulus, MPa	527	
23C		8,800
Tensile stress at break, MPa	527	
-40C		173
23C		130
80C		79
Tensile strain at break, %	527	
-40C		3.2
23C		3.0
80C		4.5
Tensile Creep Modulus (1000h), MPa	899	5,800
Tensile Creep Modulus (1h), MPa	899	7,500
IMPACT	ISO Test Method	Property Value
Charpy Notched, kJ/m <sup>2</sup>	179	
-30C		8.5
23C		9
Charpy Unnotched, kJ/m <sup>2</sup>	179	
-30C		60
23C		55
THERMAL	ISO Test Method	Property Value
Melting Point, C	3146	168
HDT A, C	75	163
HDT B, C	75	165
Coef. of Linear Thermal Expansion, Parallel, mm/mm C		0.3 X10 <sup>-4</sup>
ELECTRICAL	ISO Test Method	Property Value

BASF Corporation  
Engineering Plastics  
1609 Biddle Avenue  
Wyandotte, MI 48192

General Information: 800-BC-RESIN  
Technical Assistance: 800-527-TECH (734-324-5150)  
Web address: <http://www.plasticsportal.com/usa>

## Ultraform® N 2200 G53 UNC Q600



Comparative Tracking Index	IEC 60112	600
Volume Resistivity (Ohm-m)	IEC 60093	1E12
Surface Resistivity (Ohm)	IEC 60093	1E12
Dielectric Constant (100 Hz)	IEC 60250	4
Dielectric Constant (1 MHz)	IEC 60250	4
Dissipation Factor (100 Hz), E-4	IEC 60250	20
Dissipation Factor (1 MHz), E-4	IEC 60250	50
Dielectric Strength, KV/mm	IEC 60243-1	43

### Processing Guidelines

#### Material Handling

Max. Water content: 0.15%

Product is supplied in polyethylene bags and drying prior to molding is not required. However, after relatively long storage or when handling material from previously opened containers, preliminary drying is recommended in order to remove any moisture which has been absorbed. If drying is required, a dehumidifying or desiccant dryer operating at 80 - 110C (176 - 230F) is recommended. Drying time is dependent on moisture level, however 2-4 hours is generally sufficient. Further information concerning safe handling procedures can be obtained from the Safety Data Sheet. Alternatively, please contact your BASF representative.

#### Typical Profile

Melt Temperature 190-230C (375-446F)

Mold Temperature 60-120C (140-248F)

Injection and Packing Pressure 35-70 bar (500-1000psi)

#### Mold Temperatures

A mold temperature of 80-90C (176-194F) is recommended, however temperatures of as low as 45C (113F) and as high as 105C (221F) can be used where applicable.

#### Pressures

Injection speed must be optimized. A filling rate which is too high results in anisotropic mechanical properties, while a filling rate which is too low yields parts with poor surface finish. The tool must be vented to avoid burn marks and prevent mold deposits. Injection pressure controls the filling of the part and should be applied for 90% of ram travel. Packing pressure affects the final part and can be used effectively in controlling sink marks and shrinkage. It should be applied and maintained until the gate area is completely frozen off.

Back pressure can be utilized to provide uniform melt consistency and reduce trapped air and gas.

#### Fill Rate

Injection speed must be optimized. A filling rate which is too high results in anisotropic mechanical properties, while a filling rate which is too low yields parts with poor surface finish. The tool must be vented to avoid burn marks and prevent mold deposits.

### Note

Although all statements and information in this publication are believed to be accurate and reliable, they are presented gratis and for guidance only, and risks and liability for results obtained by use of the products or application of the suggestions described are assumed by the user. NO WARRANTIES OF ANY KIND, EITHER EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, ARE MADE REGARDING PRODUCTS DESCRIBED OR DESIGNS, DATA OR INFORMATION SET FORTH. Statements or suggestions concerning possible use of the products are made without representation or warranty that any such use is free of patent infringement and are not recommendations to infringe any patent. The user should not assume that toxicity data and safety measures are indicated or that other measures may not be required.

BASF Corporation  
Engineering Plastics  
1609 Biddle Avenue  
Wyandotte, MI 48192

General Information: 800-BC-RESIN  
Technical Assistance: 800-527-TECH (734-324-5150)  
Web address: <http://www.plasticsportal.com/usa>

# PŘÍLOHA P I: PP SOFT-TOUCH S3625



## SABIC<sup>®</sup> PPCOMPOUND S3625

PP SHORT GLASS FIBER REINFORCED

### DESCRIPTION

SABIC<sup>®</sup> PPcompound S3625 is a 25% short glass fiber reinforced polypropylene copolymer compound for injection moulding applications. The compound is UV stabilized and the glass fibers are chemically coupled to the PP matrix. This compound combines a matt surface, good sound dampening and excellent scratch resistance with soft-touch haptics and is especially designed for aesthetical automotive interior applications.

SABIC<sup>®</sup> PPcompound S3625 is a designated automotive grade.

IMDS ID: 559182813

### TYPICAL PROPERTY VALUES

Revision 20190327

PROPERTIES	TYPICAL VALUES	UNITS	TEST METHODS
<b>POLYMER PROPERTIES</b>			
<b>Melt flow rate (MFR)</b>			
at 230 °C and 2.16 kg	6	dg/min	ISO 1133
<b>Density</b> <sup>(1)</sup>	1080	kg/m <sup>3</sup>	ISO 1183
<b>Filler content</b>	25	%	SABIC method
<b>Mould shrinkage</b> <sup>(2)</sup>			
24 hours after injection moulding	0.4	%	SABIC method
<b>MECHANICAL PROPERTIES</b> <sup>(1)</sup>			
<b>Tensile</b>			
Tensile modulus	2900	MPa	ISO 527/1A
stress at yield	35	MPa	ISO 527/1A
stress at break	35	MPa	ISO 527/1A
strain at break	7	%	ISO 527/1A
<b>Flexural test</b>			
Flexural modulus	2850	MPa	ISO 178/1A
<b>Izod impact notched</b> <sup>(3)</sup>			
at 23 °C	35	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 180/1A
at -20 °C	25	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 180/1A
<b>THERMAL PROPERTIES</b> <sup>(1)</sup>			
<b>Heat deflection temperature</b>			
at 1.80 MPa (HDT/A)	111	°C	ISO 75
at 0.45 MPa (HDT/B)	-	°C	ISO 75
<b>Coeff. of linear thermal expansion</b>			
-30 °C to 100 °C	81	µm/mK	ISO 11359-2

(1) Injection molded sample ISO527-1A

(2) Injection molded plaque 65x65x3.2mm

(3) N.B.: No Break

### QUALITY

SABIC is fully certified in accordance with the internationally accepted quality standard ISO9001.

© 2019 Copyright by SABIC. All rights reserved

CHEMISTRY THAT MATTERS<sup>®</sup>



#### STORAGE AND HANDLING

Avoid prolonged storage in open sunlight, high temperatures (<50 °C) and/or high humidity as this could well speed up alteration and consequently loss of quality of the material and/or its packaging. Keep material completely dry for good processing.

#### DISCLAIMER

Any sale by SABIC, its subsidiaries and affiliates (each a "seller"), is made exclusively under seller's standard conditions of sale (available upon request) unless agreed otherwise in writing and signed on behalf of the seller. While the information contained herein is given in good faith, SELLER MAKES NO WARRANTY, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING MERCHANTABILITY AND NON-INFRINGEMENT OF INTELLECTUAL PROPERTY, NOR ASSUMES ANY LIABILITY, DIRECT OR INDIRECT, WITH RESPECT TO THE PERFORMANCE, SUITABILITY OR FITNESS FOR INTENDED USE OR PURPOSE OF THESE PRODUCTS IN ANY APPLICATION. Each customer must determine the suitability of seller materials for the customer's particular use through appropriate testing and analysis. No statement by seller concerning a possible use of any product, service or design is intended, or should be construed, to grant any license under any patent or other intellectual property right.